

## ON $(m,n)$ -QUASI-HYPERIDEALS OF AN ORDERED LA- SEMIHYPERGROUPS

**Wichayaporn Jantan**

**Department of mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University**

**E-mail: wichayaporn.jan@bru.ac.th**

**Taspong Sritamma**

**Department of mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University**

**E-mail: sritammataspong@gmail.com**

**Sittisuk Polchamart**

**Department of mathematics/Faculty of Science/Buriram Rajabhat University**

**E-mail: Sittiauk11@gmail.com**

### ABSTRACT

In this paper, we introduce the notion of  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of an ordered LA-semihypergroup, and describe some property of  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of an ordered LA-semihypergroup. Also including the study relations of  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of an ordered LA-semihypergroup.

**KEYWORDS:** ordered LA-semihypergroup, hyperideal,  $(m,n)$ -quasi-hyperideal,  $m$ -left hyperideal,  $n$ -right hyperideal.

### 1. Introduction

In 2009 R. Chinaram [9] presented the notion of On  $(m,n)$ -quasi-ideal of a semigroups, In 2013 Kazin and Naseerudin [5] provided the notion of LA-semigroups. Later in the year 2014 Faisal [2] suggested the notion of LA-semigroups which then expanded on ordered LA-semigroups. The notion shows relation between LA-semigroups and ordered LA-semigroups. Moreover, the hypergroups first occurred in 1934 by a French mathematician, F. Marty [3] His first defined the meaning of hypergroup from definition group. Several researchers from differed institutions then helped develop sup-categories of hyper which includes semihypergroup, hyperring, semihyperring, hyperfields, semihyperfields and hypermodules.

In this research study, we were interested in new knowledge suggested by Thiti Gaketem [10] regarding On  $(m,n)$ -quasi-ideal in LA-semigroups. Gaketem presented a definition  $m$ -left ( $n$ -right) hyperideal and  $(m,n)$ -quasi-hyperideal on ordered LA-semihypergroups for achieving maximum effect researchers interested to investigate ordered LA-semihypergroups.

## 2. Preliminaries and basic definitions

In this section, we provide some basic definitions needed for our further work.

Let  $H$  be a non-empty set. Then the map  $\circ : H \times H \rightarrow P^*(H)$  is called hyperoperation or join operation on the set  $H$ , where  $P^*(H) = P(H) / \{\emptyset\}$  denotes the set of all non-empty subsets of  $H$ . A hypergroupoid is a set  $H$  together with a (binary) hyperoperation. For any non-empty subsets  $A, B$  of  $H$ , we denote

$$A \circ B = \bigcup_{a \in A, b \in B} a \circ b$$

Instead of  $\{a\} \circ A$  and  $B \circ \{a\}$ , we write  $a \circ A$  and  $B \circ a$ , respectively.

Recently, in [5,6,11] authors introduced the notion of LA-semihypergroups as a generalization of semigroups, semihypergroups, and LA-semihypergroups. A hypergroupoid  $(H, \circ)$  is called an LA-semihypergroup if for every  $x, y, z \in H$ , we have  $(x \circ y) \circ z = (z \circ y) \circ x$ . The law  $(x \circ y) \circ z = (z \circ y) \circ x$  is called a left invertive law. An element  $e \in H$  is called a left identity (resp., pure left identity) if for all  $x \in H, x \in e \circ x$  (resp.,  $x = e \circ x$ ). In an LA-semihypergroup, the medial law  $(x \circ y) \circ (z \circ w) = (x \circ z) \circ (y \circ w)$  holds for all  $x, y, z, w \in H$ . An LA-semihypergroup may or may not contain a left identity and pure left identity. In an LA-semihypergroup  $H$  with pure left identity, the paramedial law  $(x \circ y) \circ (z \circ w) = (w \circ z) \circ (y \circ x)$  holds for all  $x, y, z, w \in H$ . If an LA-semihypergroup contains a pure left identity, then by using medial law, we get  $x \circ (y \circ z) = y \circ (x \circ z)$  for all  $x, y, z \in H$ . An LA-semihypergroup  $H$  is said to be locally associative LA-semihypergroup if for all  $a \in H, (a \circ a) \circ a = a \circ (a \circ a)$ .

**Lemma 2.1** [7]. If  $H$  is an LA-semihypergroup with left identity, then  $H \circ H = H$ .

**Definition 2.1** [6]. Let  $H$  be non-empty set and  $\leq$  be an ordered relation on  $H$ . Then triplet  $(H, \circ, \leq)$  is called an ordered LA-semihypergroup if the following conditions are satisfied

1.  $(H, \circ)$  is an LA-semihypergroup,
2.  $(H, \leq)$  is a partially ordered set,
3. for every  $a, b, c \in H, a \leq b$  implies  $a \circ c \leq b \circ c$  and  $c \circ a \leq c \circ b$ , where  $a \circ c \leq b \circ c$  means that for  $x \in a \circ c$  there exist  $y \in b \circ c$  such that  $x \leq y$ .

**Example 2.1** [7]. Let  $H = \{x, y, z\}$ . The binary hyperoperation  $\circ$  the order  $\leq$  and the corresponding Hasse diagram are given as follows:

$\circ$	$x$	$y$	$z$
$x$	$x$	$y$	$z$
$y$	$z$	$\{y, z\}$	$\{y, z\}$
$z$	$y$	$\{y, z\}$	$\{y, z\}$

$$\leq : \{(x, x), (x, y), (x, z), (y, y), (z, z)\}$$

It is easy to verify that  $(H, \circ, \leq)$  is an ordered LA-semihypergroup.

**Definition 2.2** [7]. If  $(H, \circ, \leq)$  is an ordered LA-semihypergroup and  $A \subseteq H$ , then  $(A)$  is the subset of  $H$  defined as follows:  $(A) = \{t \in H : t \leq a, \text{ for some } a \in A\}$ .

**Definition 2.3** [1]. A non-empty subset  $A$  of an ordered LA-semihypergroup  $(H, \circ, \leq)$  is called an LA-subsemihypergroup of  $H$  if  $(A \circ A) \subseteq (A)$ .

**Definition 2.4** [6]. A non-empty subset  $A$  of an ordered LA-semihypergroup  $(H, \circ, \leq)$  is called a left (resp., right) hyperideal of  $H$  if the following condition hold.

- (1)  $H \circ A \subseteq A$  (resp.  $A \circ H \subseteq A$ ),
- (2) If  $a \in A$  and  $b \leq a$ , then  $b \in A$  for every  $b \in H$ .

**Definition 2.5** A non-empty subset  $A$  of an ordered LA-semihypergroup  $H$  is called idempotent if  $A = (A^2)$ .

**Lemma 2.2** [7]. Let  $(H, \circ, \leq)$  be an ordered LA-semihypergroup. Then the following assertions hold:

- (1)  $A \subseteq (A)$  for every  $A \subseteq H$ ,
- (2) If  $A \subseteq B$ , then  $(A) \subseteq (B)$  for every  $A, B \subseteq H$ ,
- (3)  $(A) \circ (B) \subseteq (A \circ B)$  for every  $A, B \subseteq H$ ,
- (4)  $((A)) = (A)$  for every  $A \subseteq H$ ,
- (5)  $((A) \circ (B)) = (A \circ B)$  for all  $A, B \subseteq H$ ,
- (6) If  $A, B, C \subseteq H$  such that  $A \subseteq B$ , that  $C \circ A \subseteq C \circ B$  and  $A \circ C \subseteq B \circ C$ .

### 3. On $(m, n)$ -quasi-hyperideal of an ordered LA-semihypergroups

In this section we define and study  $(m, n)$ -quasi-hyperideal of an ordered LA-semihypergroup in a similar manner to  $(m, n)$ -quasi-hyperideal of LA-semihypergroup.

**Definition 3.1** A subsemihypergroup  $A$  of an ordered LA-semihypergroup  $H$  is called an  $(m, n)$ -quasi-hyperideal of  $H$  if

1.  $(H^m \circ A) \cap (A \circ H^n) \subseteq A$ , where  $m, n$  are positive integers.
2. If  $a \in A$  and  $b \in H$  are such that  $b \leq a$ , then  $b \in A$ .

**Definition 3.2** A subsemihypergroup  $A$  of an ordered LA-semihypergroup  $H$  is called  $m$ -left ( $n$ -right) hyperideal of  $H$  if

- (1)  $H^m \circ A \subseteq A$  (resp.  $A \circ H^n \subseteq A$ ), for  $m, n \in \mathbb{N}$ .
- (2) If  $a \in A$  and  $b \in H$  such that  $b \leq a$ , then  $b \in A$ .

**Example 3.1** Let  $B = \{x, y, z\}$  be an LA-semihypergroup defined as

$\circ$	$x$	$y$	$z$
$x$	$\{y, z\}$	$\{y, z\}$	$z$
$y$	$\{y, z\}$	$\{y, z\}$	$z$
$z$	$z$	$z$	$z$

and the order relation defined as  $\leq : \{(x,x),(y,y),(z,z),(z,x),(z,y)\}$ . Then  $(H, \circ, \leq)$  is an ordered LA-semihypergroup. Let  $B = \{z\}$ . Consider  $H^2 \circ B = \{z\}$  and  $B \circ H^2 = \{z\}$ . Then  $(H^2 \circ B) \cap (B \circ H^2) = \{z\} \subseteq B$ . If  $x \in B$  and  $y \in H$  such that  $y \leq x$ , we have  $y \in B$ . This shows that  $B$  is an  $(2,2)$ -quasi-hyperideal of  $H$ . We have that  $B$  are 2-left hyperideal and 2-left hyperideal.

**Lemma 3.1** Let  $H$  be an ordered LA-semihypergroup and let  $T_i$  be an LA-subsemihypergroup of  $H$  for all  $i \in I$ . If  $\bigcap_{i \in I} T_i \neq \emptyset$ , then  $\bigcap_{i \in I} T_i$  is an LA-subsemihypergroup.

**Proof.** Assume that  $\bigcap_{i \in I} T_i \neq \emptyset$ . Let  $x \in (\bigcap_{i \in I} T_i \circ \bigcap_{i \in I} T_i)$  for all  $i \in I$ . Consider  $(\bigcap_{i \in I} T_i \circ \bigcap_{i \in I} T_i) \subseteq (T_i \circ T_i) \subseteq T_i$  for all  $i \in I$ . Then  $(\bigcap_{i \in I} T_i \circ \bigcap_{i \in I} T_i) \subseteq (\bigcap_{i \in I} T_i)$ . Therefore  $\bigcap_{i \in I} T_i$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ .

**Theorem 3.2** Let  $H$  be an ordered LA-semihypergroup and let  $Q_i$  be an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$  for all  $i \in I$ . If  $\bigcap_{i \in I} Q_i \neq \emptyset$ , then  $\bigcap_{i \in I} Q_i$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal.

**Proof.** Assume that  $\bigcap_{i \in I} Q_i \neq \emptyset$ . By Lemma 3.1, we have that  $\bigcap_{i \in I} Q_i$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . Further, let  $c \in (H^m \circ \bigcap_{i \in I} Q_i) \cap (\bigcap_{i \in I} Q_i \circ H^n)$ . So  $(H^m \circ \bigcap_{i \in I} Q_i) \cap (\bigcap_{i \in I} Q_i \circ H^n) \subseteq (H^m \circ Q_i) \cap (Q_i \circ H^n)$ . Since  $Q_i$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$  for all  $i \in I$ , we have  $(H^m \circ Q_i) \cap (Q_i \circ H^n) \subseteq Q_i$  for all  $i \in I$ . This implies that  $c \in \bigcap_{i \in I} Q_i$ . If  $x \in \bigcap_{i \in I} Q_i$  and  $y \in H$  such that  $y \leq x$ , then  $y \in \bigcap_{i \in I} Q_i$ . Therefore  $\bigcap_{i \in I} Q_i$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ .

**Lemma 3.3** Let  $H$  be an ordered LA-semihypergroup and  $a \in H$ . Then the following statements hold true:

- (i)  $(H^m \circ a)$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$ .
- (ii)  $(a^2 \circ H^n)$  is an  $n$ -right hyperideal of  $H$ .
- (iii)  $(H^m \circ a) \cap (a^2 \circ H^n)$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal.

**Proof.** (i) Using media law, we get  $((H^m \circ a) \circ (H^m \circ a)) \subseteq ((H^m \circ a) \circ (H^m \circ a))$

$$\begin{aligned} &\subseteq ((H^m \circ H^m) \circ (H^m \circ a)) \\ &= ((a \circ H^m) \circ (H \circ H^m)) \\ &= ((a \circ H^m) \circ H^m) \\ &= ((H^m \circ H^m) \circ a) \\ &= (H^m \circ a) = ((H^m \circ a)). \end{aligned}$$

Therefore  $(H^m \circ a)$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . First we will show that  $(H^m \circ a)$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$ , i.e  $H^m \circ (H^m \circ a) \subseteq (H^m \circ a)$ . Let  $x \in H^m \circ (H^m \circ a)$  then  $x \in y \circ b$  for some  $y \in H^m$  and  $b \in (H^m \circ a)$  where  $b \leq s \circ a$  for some  $s \in H^m$ . Since  $H = H \circ H$ , so let  $y \in z_1 \circ z_2$ , we have  $x \leq y \circ (s \circ a) \subseteq (z_1 \circ z_2) \circ (s \circ a) = (a \circ s) \circ (z_2 \circ z_1) = ((z_2 \circ z_1) \circ s) \circ a \subseteq H^m \circ a$ . Therefore  $x \in (H^m \circ a)$ . For the second condition, let  $x$  be any element in  $(H^m \circ a)$ , then  $x \leq b \circ a$  for some  $b \circ a$  in  $H^m \circ a$ . Let  $y$  be any other element of  $H$  such that  $y \leq x \leq b \circ a$ , which implies that  $y$  is in  $(H^m \circ a)$ . Hence  $(H^m \circ a)$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$ .

$$\begin{aligned}
 \text{(ii) We get } & ((a^2 \circ H^n] \circ (a^2 \circ H^n]) \subseteq ((a^2 \circ H^n) \circ (a^2 \circ H^n)) \subseteq ((H \circ H^n) \circ (a^2 \circ H^n)) \\
 & = (H^n \circ (a^2 \circ H^n]) = (a^2 \circ (H^n \circ H^n)) \\
 & = (a^2 \circ H^n] = ((a^2 \circ H^n]) \text{ and} \\
 & (a^2 \circ H^n] \circ H^n \subseteq (a^2 \circ H^n] \circ (H^n] \subseteq ((a^2 \circ H^n) \circ H^n) \\
 & = ((H^n \circ H^n) \circ a^2] = (a \circ ((H^n \circ H^n) \circ a)) \\
 & = (a \circ ((a \circ H^n) \circ H^n)) = ((a \circ H^n) \circ (a \circ H^n)) \\
 & = ((a \circ a) \circ (H^n \circ H^n)) = (a^2 \circ H^n].
 \end{aligned}$$

Again let  $x \in (a^2 \circ H^n]$  then  $x \leq a \circ b$  for some  $a \circ b \subseteq a^2 \circ H^n$ . Let  $y$  be any other element of  $H$  such that  $y \leq x \leq a \circ b$  then  $y \in (a^2 \circ H^n]$ .

(iii) We consider

$$\begin{aligned}
 (((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n]) \circ ((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n])) & \subseteq (((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n)) \circ ((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n))) \\
 & \subseteq ((H^m \circ a] \circ ((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n))) \\
 & = ((H^m \circ a] \circ (H^m \circ a] \cap (H^m \circ a] \circ (a^2 \circ H^n))) \\
 & \subseteq (((H^m \circ a) \circ (H^m \circ a)) \cap ((H^m \circ a) \circ (a^2 \circ H^n))) \\
 & \subseteq ((H^m \circ a] \cap ((H^m \circ a) \circ (a^2 \circ H^n))) \subseteq ((H^m \circ a]) \\
 & = (H^m \circ a] \text{ and}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 (((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n]) \circ ((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n])) & \subseteq ((a^2 \circ H^n] \circ ((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n))) \\
 & = ((a^2 \circ H^n] \circ (H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n]) \circ (a^2 \circ H^n]) \\
 & \subseteq (((a^2 \circ H^n) \circ (H^m \circ a)) \cap ((a^2 \circ H^n) \circ (a^2 \circ H^n))) \\
 & \subseteq (((a^2 \circ H^n) \circ (H^m \circ a)) \cap (a^2 \circ H^n]) \subseteq (a^2 \circ H^n].
 \end{aligned}$$

Therefore  $(((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n]) \circ ((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n])) \subseteq (H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n]) \subseteq ((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n))$ .

Consider  $(H^m \circ ((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n])) \cap (((H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n)) \circ H^n]$

$$\begin{aligned}
 & = ((H^m] \circ (H^m \circ a] \cap (H^m] \circ (a^2 \circ H^n])) \cap ((H^m \circ a] \circ (H^n] \cap (a^2 \circ H^n]) \circ (H^n]) \\
 & \subseteq ((H^m \circ (H^m \circ a)) \cap (H^m \circ (a^2 \circ H^n))) \cap (((H^m \circ a) \circ H^n] \cap ((a^2 \circ H^n) \circ H^n]) \\
 & \subseteq ((H^m \circ a] \cap (H^m \circ (a^2 \circ H^n))) \cap (((H^m \circ a) \circ H^n] \cap (a^2 \circ H^n]) \\
 & \subseteq ((H^m \circ a]) \cap ((a^2 \circ H^n]) = (H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n].
 \end{aligned}$$

Again let  $x \in (H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n]$  then  $x \leq b \circ a$  for some  $b \circ a \subseteq H^m \circ a$  and  $x \leq a^2 \circ d$  for some  $a^2 \circ d \subseteq a^2 \circ H^n$ . Let  $y$  be any other element of  $H$  such that  $y \leq x$  then  $y \leq x \leq b \circ a$  and  $y \leq x \leq a^2 \circ d$ , this implies that  $y \in (H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n]$ . Hence  $(H^m \circ a] \cap (a^2 \circ H^n]$  is an  $(m, n)$ -quasi-hyperideal.

**Theorem 3.4** Let  $H$  be an ordered LA-semihypergroups. The following statements are true:

- (i) Let  $L_i$  be an  $m$ -left hyperideal of  $H$  for all  $i \in I$ . If  $\bigcap_{i \in I} L_i \neq \emptyset$ , then  $\bigcap_{i \in I} L_i$  is  $m$ -left hyperideal of  $H$ .
- (ii) Let  $R_i$  be an  $n$ -right hyperideal of  $H$  for all  $i \in I$ . If  $\bigcap_{i \in I} R_i \neq \emptyset$ , then  $\bigcap_{i \in I} R_i$  is  $n$ -right hyperideal of  $H$ .

**Proof.** (i) Let  $L_i$  be an  $m$ -left hyperideal of  $H$  for all  $i \in I$ . Then  $H^m \circ L_i \subseteq L_i$  for all  $i \in I$ . We will show that  $\bigcap_{i \in I} L_i$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$ . Assume that  $\bigcap_{i \in I} L_i \neq \emptyset$ . By Lemma 3.1, we get that  $\bigcap_{i \in I} L_i$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . Then  $H^m \circ (\bigcap_{i \in I} L_i) \subseteq H^m \circ L_i \subseteq L_i$ . Thus  $H^m \circ (\bigcap_{i \in I} L_i) \subseteq \bigcap_{i \in I} L_i$ . Let  $x \in \bigcap_{i \in I} L_i$  and  $y \in H$  such that  $y \leq x$ , then  $y \in \bigcap_{i \in I} L_i$ . Therefore  $\bigcap_{i \in I} L_i$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$ .

(ii) Let  $R_i$  be an  $n$ -right hyperideal of  $H$  for all  $i \in I$ . Then  $R_i \circ H^n \subseteq R_i$  for all  $i \in I$ . We will show that  $\bigcap_{i \in I} R_i$  is an  $n$ -right hyperideal of  $H$ . Assume that  $\bigcap_{i \in I} R_i \neq \emptyset$ . By Lemma 3.1, we have  $\bigcap_{i \in I} R_i$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . Then  $(\bigcap_{i \in I} R_i) \circ H^n \subseteq R_i \circ H^n \subseteq R_i$ . Thus  $(\bigcap_{i \in I} R_i) \circ H^n \subseteq \bigcap_{i \in I} R_i$ . Let  $x \in \bigcap_{i \in I} R_i$  and  $y \in H$  such that  $y \leq x$ , then  $y \in \bigcap_{i \in I} R_i$ . Therefore  $\bigcap_{i \in I} R_i$  is an  $n$ -right hyperideal of  $H$ .

**Lemma 3.5** Let  $H$  be an ordered LA-semihypergroup the following statements are true:

- (i) Every  $m$ -left hyperideal of  $H$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ .
- (ii) Every  $n$ -right hyperideal of  $H$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ .

**Proof.** (i) Let  $A$  be an  $m$ -left hyperideal of  $H$ ; then  $H^m \circ A \subseteq A$  and  $A \subseteq H$ . We have  $A$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . By considering  $(H^m \circ A] \cap (A \circ H^n) \subseteq (H^m \circ A) \subseteq (A) = A$ . If  $x \in A$  and  $y \in H$  such that  $y \leq x$ , then  $y \in A$ . Therefore  $A$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ .

(ii) Let  $B$  be an  $n$ -right hyperideal of  $H$ ; then  $B \circ H^n \subseteq B$  and  $B \subseteq H$ . Then  $B$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . By considering  $(H^m \circ B] \cap (B \circ H^n) \subseteq (B \circ H^n) \subseteq (B) \subseteq B$ . If  $x \in B$  and  $y \in H$  such that  $y \leq x$ , then  $y \in B$ . Therefore  $B$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ .

**Theorem 3.6** Let  $H$  be an ordered LA-semihypergroup and let  $A$  be an  $m$ -left hyperideal of  $H$  and  $B$  be an  $n$ -right hyperideal of  $H$ . Then  $A \cap B$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ .

**Proof.** By properties of  $A$  and  $B$ , consider  $B^m \circ A^n \subseteq B \circ H^n \subseteq (B \circ H^n]$  and  $B^m \circ A^n \subseteq H^m \circ A \subseteq (H^m \circ A]$ , we have  $B^m \circ A^n \subseteq (H^m \circ A] \cap (B \circ H^n) \subseteq (A] \cap (B) = A \cap B$ . Thus  $A \cap B$  is non-empty. By Lemma 3.1, we get that  $A \cap B$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . We further show that  $A \cap B$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ . Since  $A$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$  and  $B$  is an  $n$ -right hyperideal of  $H$ , we have  $H^m \circ A \subseteq A$  and  $A \circ H^n \subseteq A$ . By considering  $(H^m \circ (A \cap B)] \cap ((A \cap B) \circ H^n) \subseteq (H^m \circ A] \cap (B \circ H^n) \subseteq (A] \cap (B) = A \cap B$ . Again let  $x \in A \cap B$  then  $x \in A$  and  $x \in B$ . Let  $w$  be any other element of  $H$  such that  $w \leq x$  then  $w \in A \cap B$ . Hence  $A \cap B$  is an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ .

**Theorem 3.7** Every  $(m,n)$ -quasi-hyperideal  $Q$  of an ordered LA-semihypergroup of  $H$  with left identity such that  $Q$  is idempotent, is the intersection of some  $m$ -left hyperideal and some  $n$ -right hyperideal of  $H$ .

**Proof.** Let  $Q$  be an  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ . Setting  $L = (Q \cup H^m \circ Q]$  and  $R = (Q \cup Q \circ H^n]$ . We will show that  $L$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ .

$$\begin{aligned}
 \text{Consider } (L \circ L) &= ((Q \cup H^m \circ Q] \circ (Q \cup H^m \circ Q]) \subseteq ((Q \cup H^m \circ Q] \circ (Q \cup H^m \circ Q]) \\
 &= ((Q \circ Q \cup Q \circ (H^m \circ Q)) \cup ((H^m \circ Q) \circ Q \cup (H^m \circ Q) \circ (H^m \circ Q))) \\
 &= ((Q \circ Q \cup H^m \circ (Q \circ Q]) \cup ((Q \circ Q) \circ H^m \cup (H^m \circ H^m) \circ (Q \circ Q))) \\
 &\subseteq ((Q \circ Q \cup H^m \circ (Q \circ Q]) \cup ((Q \circ Q) \circ (H^m \circ H^m) \cup H^m \circ (Q \circ Q))) \\
 &= ((Q \circ Q \cup H^m \circ (Q \circ Q]) \cup ((H^m \circ H^m) \circ (Q \circ Q) \cup H^m \circ (Q \circ Q))) \\
 &= ((Q \circ Q \cup H^m \circ (Q \circ Q]) \cup (H^m \circ (Q \circ Q) \cup H^m \circ (Q \circ Q))) \\
 &\subseteq ((Q \cup H^m \circ Q] \cup (H^m \circ Q \cup H^m \circ Q]) = (Q \cup H^m \circ Q] = L \subseteq (L).
 \end{aligned}$$

Then  $L$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ .

$$\begin{aligned}
 \text{Next, we have } H^m \circ L &= H^m \circ (Q \cup H^m \circ Q] \subseteq (H^m] \circ (Q \cup H^m \circ Q] \subseteq (H^m \circ (Q \cup H^m \circ Q]) \\
 &= (H^m \circ Q \cup H^m \circ (H^m \circ Q]) = (H^m \circ Q \cup (H^m \circ H^m) \circ (H^m \circ Q]) \\
 &= (H^m \circ Q \cup (Q \circ H^m) \circ (H^m \circ H^m)) = (H^m \circ Q \cup (Q \circ H^m) \circ H^m] \\
 &= (H^m \circ Q \cup (H^m \circ H^m) \circ Q] = (Q \cup H^m \circ Q] = L.
 \end{aligned}$$

If  $x \in (Q \cup H^m \circ Q]$  and  $y \in H$  such that  $y \leq x$ , then  $y \in (Q \cup H^m \circ Q]$ . Hence  $L$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$ . Similarly,  $R$  is an  $n$ -right hyperideal of  $H$ . We get  $Q \subseteq Q \cup (H^m \circ Q] \subseteq (Q \cup H^m \circ Q]$  and  $Q \subseteq Q \cup (Q \circ H^n) \subseteq (Q \cup Q \circ H^n]$ , which implies that  $Q \subseteq (Q \cup H^m \circ Q] \cap (Q \cup Q \circ H^n]$ . Consider

$$\begin{aligned}
 (Q \cup H^m \circ Q] \cap (Q \cup Q \circ H^n] &= ((Q] \cup (H^m \circ Q]) \cap ((Q] \cup (Q \circ H^n]) \\
 &= ((Q] \cap ((Q] \cup (Q \circ H^n])) \cup ((H^m \circ Q] \cap ((Q] \cup (Q \circ H^n]))) \\
 &= (((Q] \cap (Q]) \cup ((Q] \cap (Q \circ H^n))) \cup (((H^m \circ Q] \cap (Q]) \cup ((H^m \circ Q] \cap (Q \circ H^n)))) = (Q] = Q.
 \end{aligned}$$

Therefore  $Q = L \cap R$ .

We further study the relation of  $(m, n)$ -quasi-hyperideals in regular ordered LA-semihypergroup.

**Definition 3.3** [1]. Let  $(H, \circ, \leq)$  be an ordered LA-semihypergroup and  $a \in H$ . Then  $a$  is said to be regular element of  $H$ , if there exists an element  $x \in H$  such that  $a \leq (a \circ x) \circ a$ , or equivalently  $a \leq (a \circ H) \circ a$ . If every element of  $H$  is regular then  $H$  is said to be a regular ordered LA-semihypergroup.

**Lemma 3.8** Let  $H$  be a locally associative ordered LA-semihypergroup. If  $H$  is regular and  $\emptyset \neq A \subseteq H$ , such that  $A$  is idempotent, then the following statements hold:

- (a)  $A \subseteq (H^m \circ A]$  where  $m \in \mathbb{Z}^+$ .
- (b)  $A \subseteq (A \circ H^n]$  where  $n \in \mathbb{Z}^+$ .

**Proof.** (a) Let  $P(m)$  be the statement  $A \subseteq (H^m \circ A]$ , where  $m \in \mathbb{Z}^+$ , and let  $x \in A$ . Since  $H$  is regular,  $x \leq (x \circ y) \circ x$  for some  $y \in H$ . Thus  $(x \circ y) \circ x \subseteq H \circ A$ . So  $x \in (H \circ A]$ . Therefore  $A \subseteq (H \circ A]$ . Hence  $P(1)$  holds true. Let  $P(k)$  holds true for all  $k \in \mathbb{Z}^+$ . Then  $A \subseteq (H^k \circ A]$ . We further show that  $P(k+1)$  holds true. Since  $H$  is a locally associative ordered LA-semihypergroup, we have  $H \circ A \subseteq H \circ (H^k \circ A] \subseteq (H] \circ (H^k \circ A] \subseteq (H \circ (H^k \circ A]) = ((H \circ H) \circ (H^k \circ A]) = ((A \circ H^k) \circ (H \circ H)) = ((A \circ H^k) \circ H) = ((H \circ H^k) \circ A] = (H^{k+1} \circ A]$ . Since  $A \subseteq (H \circ A]$  and  $(H \circ A] \subseteq (H^{k+1} \circ A]$ , hence  $A \subseteq (H^{k+1} \circ A]$ . Therefore  $P(k+1)$  is true. Hence  $A \subseteq (H^m \circ A]$  where  $m \in \mathbb{Z}^+$ .

(b) Let  $P(n)$  be the statement  $A \subseteq (A \circ H^n]$ , where  $n \in \mathbb{Z}^+$ , and let  $x \in A$ . Since  $H$  is regular,  $x \leq (x \circ y) \circ x$  for some  $y \in H$ . Thus  $(x \circ y) \circ x \subseteq (A \circ H) \circ A = (A \circ H) \circ (A \circ A] \subseteq ((A \circ H) \circ (A \circ A)] = ((A \circ A) \circ (A \circ H)] \subseteq ((A \circ A) \circ H] \subseteq ((A \circ A) \circ H] = (A \circ H]$ . So  $x \in (A \circ H]$ . Therefore  $A \subseteq (A \circ H]$ . Hence  $P(1)$  holds true. To this aim, let  $P(k)$  be true for all  $k \in \mathbb{Z}^+$ . Then  $A \subseteq (A \circ H^k]$ . Now we show that  $P(k+1)$  is true. Since  $H$  is a locally associative ordered LA-semihypergroup, we have  $A \circ H \subseteq (A \circ H^k] \circ H \subseteq (A \circ H^k] \circ (H) \subseteq ((A \circ H^k) \circ H] = (((A \circ A) \circ H^k) \circ H] \subseteq (((A \circ A) \circ H^k) \circ H] = ((H \circ H^k) \circ (A \circ A)] = ((A \circ A) \circ (H^k \circ H)] \subseteq ((A \circ A) \circ (H^k \circ H)] = (A \circ H^{k+1}]$ . So  $A \subseteq (A \circ H^{k+1}]$  and therefore  $P(k+1)$  is true. Hence  $A \subseteq (A \circ H^n]$  where  $n \in \mathbb{Z}^+$ .

**Definition 3.4** A subsemihypergroup  $Q$  of an ordered LA-semihypergroup  $H$  has the  $(m, n)$  intersection property if  $Q$  is the intersection of an  $m$ -left hyperideal and  $n$ -right hyperideal of  $H$ .

**Theorem 3.9** Let  $H$  be a locally associative ordered LA-semihypergroup. Then every  $(m, n)$ -quasi-hyperideal  $Q$  of a regular ordered LA-semihypergroup of  $H$  with left identity such that  $Q$  is idempotent has the  $(m, n)$  intersection property.

**Proof.** Let  $Q$  be an  $(m, n)$ -quasi-hyperideal of an ordered LA-semihypergroup  $H$ . Clearly  $(Q \cup H^m \circ Q]$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$  and  $(Q \cup Q \circ H^n]$  is an  $n$ -right hyperideal of  $H$ . By Lemma 3.8, we have  $Q \subseteq (Q \circ H^n]$  and so  $(Q \cup Q \circ H^n] \subseteq (Q \cup (Q \circ H^n)] = (Q \circ H^n]$ . Since  $Q \subseteq Q \cup (H^m \circ Q) \subseteq (Q \cup H^m \circ Q]$  and  $Q \subseteq Q \cup (Q \circ H^n] \subseteq (Q \cup Q \circ H^n]$ , we have  $Q \subseteq (Q \cup H^m \circ Q] \cap (Q \cup Q \circ H^n]$ . Now,  $(Q \cup H^m \circ Q] \cap (Q \cup Q \circ H^n] \subseteq (Q \cup Q \circ H^n] \subseteq (Q \cup (Q \circ H^n)] = (Q \circ H^n]$  and  $(Q \cup H^m \circ Q] \cap (Q \cup H^m \circ Q] \subseteq (Q \cup H^m \circ Q] \subseteq (Q \cup (H^m \circ Q)] = (H^m \circ Q]$ . Hence  $(Q \cup H^m \circ Q] \cap (Q \cup H^m \circ Q] \subseteq (H^m \circ Q] \cap (Q \circ H^n] \subseteq Q$ . Then  $(Q \cup H^m \circ Q] \cap (Q \cup Q \circ H^n] = Q$ . Therefore  $Q$  has the  $(m, n)$ -intersection property.

**Theorem 3.10** Let  $H$  be a locally associative ordered LA-semihypergroup and let  $H$  be a regular ordered LA-semihypergroup and let  $A$  be a non-empty subset of  $H$  such that  $A$  be an idempotent. Then  $A$  is an  $(m, n)$ -quasi-hyperideal of  $H$  if and only if it is the intersection of a  $m$ -left hyperideal and  $n$ -right hyperideal.

**Proof.** ( $\Rightarrow$ ) Let  $A$  be an  $(m, n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ . This implies that  $(H^m \circ A] \cap (A \circ H^n] \subseteq A$ . Next, we will show that  $(H^m \circ A]$  is an  $m$ -left hyperideal and  $(A \circ H^n]$  is an  $n$ -right hyperideal of  $H$ . We have that  $((H^m \circ A] \circ (H^m \circ A)] \subseteq ((H^m \circ A) \circ (H^m \circ A)] = ((H^m \circ H^m) \circ (A \circ A)] = (H^m \circ (A \circ A)] \subseteq (H^m \circ (A \circ A)] = (H^m \circ A]$ , which shows that  $(H^m \circ A]$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . We see that  $H^m \circ (H^m \circ A] \subseteq (H^m] \circ (H^m \circ A] \subseteq (H^m \circ (H^m \circ A)] = ((H^m \circ H^m) \circ (H^m \circ A)] = ((A \circ H^m) \circ (H^m \circ H^m)] = ((A \circ H^m) \circ H^m] = ((H^m \circ H^m) \circ A] = (H^m \circ A]$ . Again let  $x \in (H^m \circ A]$  then  $x \leq a \circ b$  for some  $a \circ b \in H^m \circ A$ . Let  $w$  be any other element of  $H$  such that  $w \leq x \leq a \circ b$  then  $w \in (H^m \circ A]$ . Therefore  $(H^m \circ A]$  is an  $m$ -left hyperideal of  $H$ . In a similar way, We have that  $((A \circ H^n] \circ (A \circ H^n]) \subseteq ((A \circ H^n) \circ (A \circ H^n)] = ((A \circ A) \circ (H^n \circ H^n)] = ((A \circ A) \circ H^n] \subseteq (A \circ H^n]$ , which shows that  $(A \circ H^n]$  is an LA-subsemihypergroup of  $H$ . We see that  $(A \circ H^n] \circ H^n \subseteq (A \circ H^n] \circ (H^n] \subseteq ((A \circ H^n) \circ H^n] = (((A \circ A) \circ H^n) \circ H^n] = ((H^n \circ H^n) \circ (A \circ A)] = (A \circ ((H^n \circ H^n) \circ A)] = (A \circ ((A \circ H^n) \circ H^n)] = ((A \circ H^n) \circ (A \circ H^n)] = ((A \circ A) \circ (H^n \circ H^n)] \subseteq ((A \circ A) \circ (H^n \circ H^n)] = (A \circ H^n]$ . Again let  $x \in (A \circ H^n]$  then  $x \leq a \circ b$  for some  $a \circ b \in A \circ H^n$ . Let  $w$  be any other element of  $H$  such that  $w \leq x \leq a \circ b$  then  $w \in (A \circ H^n]$ . Therefore  $(A \circ H^n]$  is an  $n$ -right hyperideal of  $H$ . By Lemma 3.8, we have  $A \subseteq (H^m \circ A]$  and  $A \subseteq (A \circ H^n]$ . Then  $A \subseteq (H^m \circ A] \cap (A \circ H^n]$ . Hence  $A = (H^m \circ A] \cap (A \circ H^n]$ . Therefore  $A$  is the intersection of  $m$ -left hyperideal and an  $n$ -right hyperideal of  $H$ .



( $\Leftarrow$ ) Let  $A$  be an intersection of an  $m$ -left hyperideal and an  $n$ -right hyperideal. By Theorem 3.6, we get that  $A$  is a  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$ .

#### 4. Research Findings

The aforementioned content is entirely partial and provides no attempt to cover an ordered LA-semihypergroups. Thus this can be concluded that On  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of an ordered LA-semihypergroups, was caused by the intersection of  $m$ -left hyperideal and  $n$ -right hyperideal of  $H$ . And if  $H$  was set to be locally associative ordered LA-semihypergroups then let  $H$  be regular ordered LA-semihypergroups. Then  $(m,n)$ -quasi-hyperideal of  $H$  caused by the intersection of  $m$ -left hyperideal with  $n$ -right hyperideal of  $H$ .

#### 5. Acknowledgement

This research was completed from the grateful kindness of teachers of Mathematics Major, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University not only their advice and suggestion which also useful for me in doing a lot of research but also solve the problems that accrue throughout the period of this research.

In addition, I would like to express my special thanks to Faculty of Science, Buriram Rajabhat University supporting the fund for this research.

#### 6. References

- [1]. M. Azhar, N. Yaqoob, M. Gulistan, M. Khalaf, "On  $(\in, \in V_{qk})$  – fuzzy hyperideals in ordered LA-semihypergroups," Disc. Dyn. Nat. Soc., 2018, Article ID 9494074, 13 pages.
- [2]. Faisal Yousafzai, Madad Khan, Bijan Davvaz, Shamsul Haq, "A note on fuzzy ordered AG-groupoids," Journal of Intelligent and Fuzzy Systems 26, (2014), 2251-2261.
- [3]. F. Marty, "Sur une generalization de la notion de groupe," 8iem congress Math. Scandi-naves, Stockholm, (1934), 45-49.
- [4]. K. Hila and J. Dine, "On hyperideal in left almost semihypergroups," ISRN Algebra, 2011 (2011). Article ID 953124.
- [5]. M. Akram, N. Yaqood and M. Khan, "On  $(m,n)$ -ideals in LA-semigroups," Appl. Math. Sci., 7 (2013) 2187-2191
- [6]. M. Azhar, M. Gulistan, N. yaqoob, and S. Kadry, "on fuzzy ordered LA-semihypergroups," International Journal of Analysis and Applications, Vol. 16, no. 2, pp.276-289, 2018.
- [7]. N. Yaqoob and M. Gulistan, "Partially ordered left almost semihypergroups," Journal of the Egyptian Mathematical Society, Vol. 23, no. 2, pp.231-235, 2015.
- [8]. N. Yaqoob, P. Corsini and F. Yousafzai, "On intra-regular left almost semihypergroups with pure left identity," J. Math. 2013 (2013), Art. ID 510790
- [9]. R. Chinnaran and R. Sripakorn, "Generalized quasi-ideals of semigroups," KKU Sci.J., 37, (2) (2009), 213-220
- [10]. T. Gaketem, "On  $(m,n)$ -quasi-ideals in LA-semigroups," Applied Science 7 (2015) 57-61.
- [11]. V. Amjad, K. Hila, F. Yousafzai, "Generlized hyperideals in locally associative left almost semihypergroups," New York J. Math. 20 (2014), 1063-1076

การเพิ่มประสิทธิภาพระบบการให้บริการหน่วยเวชระเบียน  
โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
SERVICE IMPROVEMENT OF MEDICAL RECORDS UNIT SYSTEM,  
SRINAGARIND HOSPITAL, FACULTY OF MEDICINE,  
KHON KAEN UNIVERSITY

ดร.สุกัญญา เรืองสุวรรณ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: sukrua@kku.ac.th

ยุภาพร ตงประสิทธิ์

อาจารย์ประจำ สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: yupato@kku.ac.th

ดร.วรรณพร จันทโภาส

อาจารย์ประจำ สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: wanju@kku.ac.th

อรนุช เชียงหนู

นักศึกษา สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: oranuts@kkumail.com

ณัฐนิชา ชูพุดชา

นักศึกษา สาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: nattanicha.ch@kkumail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ได้แก่ (1) เพื่อศึกษาระบบการให้บริการและจำลองระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน (2) เพื่อหาระบบการให้บริการที่สามารถลดเวลาเฉลี่ยในการส่งแฟ้มเวชระเบียนไปยังห้องตรวจข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประกอบด้วย จำนวนผู้รับบริการ และเวลาที่ใช้ในการให้บริการ ของแต่ละขั้นตอนของหน่วยเวชระเบียน เก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบบันทึกข้อมูล ตั้งแต่เวลา 07:00 - 09:00 น. จำนวน 10 วัน นำผลการวิเคราะห์การแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะห่างระหว่างการเข้ามาของผู้รับบริการ และเวลาให้บริการแต่ละขั้นตอน มาสร้างตัวแบบจำลองระบบการให้บริการด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Arena แล้วทดสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลองโดยใช้สถิติ t-test จากนั้นจำลองระบบการให้บริการเป็นระยะเวลา 120 นาที จำนวนซ้ำ 36 ครั้ง เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของเวลาที่แฟ้มเวชระเบียนถูกส่งไปถึงห้องตรวจจาก 3 ระบบคือ ระบบปัจจุบัน และระบบใหม่ที่เสนออีก 2 ระบบ โดยใช้สถิติทดสอบ One-way ANOVA

ผลการวิจัย พบว่า จากการจำลองระบบได้เวลาเฉลี่ยที่เพิ่มเวชระเบียนถูกส่งไปถึงห้องตรวจของระบบ ปัจจุบัน 55.48 นาทีต่อแฟ้ม ซึ่งมีค่าสอดคล้องกับระบบจริงอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อเปรียบเทียบผลจากการจำลองระบบปัจจุบันและผลจากตัวแบบจำลองที่เสนอใหม่ 2 ระบบ พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยระบบที่ดีที่สุดคือ ระบบใหม่ระบบที่ 1 ทำให้เวลาเฉลี่ยที่เพิ่มเวชระเบียนถูกส่งไปถึงห้องตรวจเท่ากับ 48.31 นาทีต่อแฟ้ม ลดลงจากระบบปัจจุบัน 7.17 นาทีต่อแฟ้ม

คำสำคัญ: การจำลอง, หน่วยเวชระเบียน, โรงพยาบาล

## ABSTRACT

The objectives of this research were (1) to study and simulate the medical records service unit system (2) to find a system that decreases the average time of sending medical records to the examination units. Data were used in this study were a number of patients and service time in each process of the medical records service unit. The data were collected by using record form for 10 days, from 07:00 to 09:00 a.m. The probability distribution of inter-arrival time of patients and service time in each process was analyzed and then, were used to create a simulation model by Arena software. The simulation model was validated by the t-test. The validated model was simulated for 120 minutes with 36 times. After that, compare the average sending medical records time of 3 models: the current system and 2 new systems by using the One-way ANOVA test.

The results of the research found that the average time sending a medical record to the examination units from the simulation model was 55.48 minutes per file. It was significantly consistent with the current system. The researchers offered two new systems to decrease the average sending medical records time. It was found that the results of all systems were significantly different. The best system was the first new system which the average sending time was 48.31 minutes per file that decreased from the current system by 7.17 minutes per file.

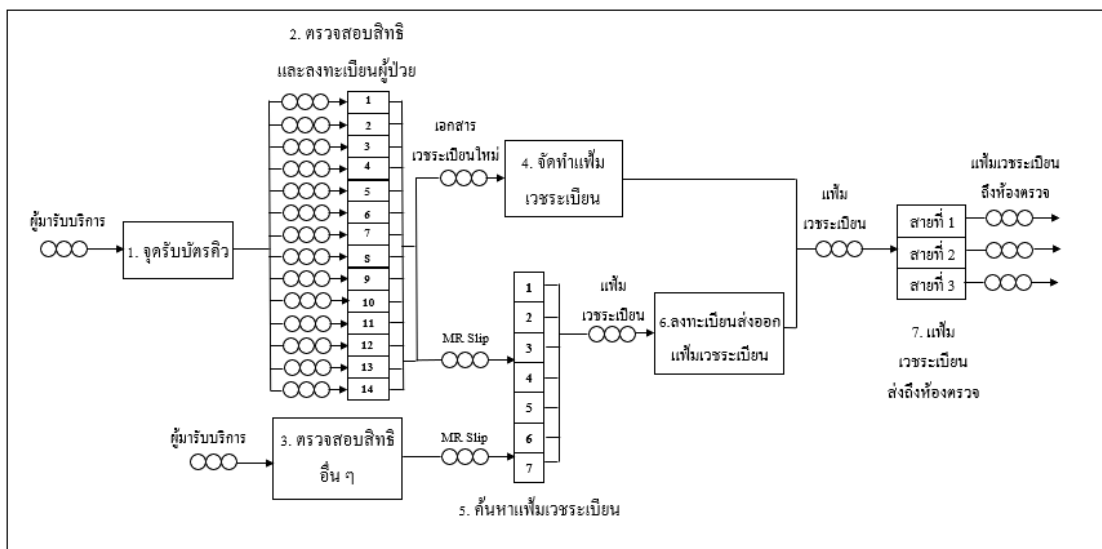
**KEYWORDS:** Simulation, Medical Records Unit, Hospital

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น มีการให้บริการที่มีคุณภาพด้วยบุคลากรที่มีความรู้ ความชำนาญ มีอุปกรณ์และเครื่องมือทางการแพทย์ที่ทันสมัย เป็นที่ยอมรับของประชาชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและประเทศเพื่อนบ้านเป็นผลให้มีผู้มารับบริการเป็นจำนวนมากและมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี ดังรายงานสถิติผู้ป่วยของ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ประจำปี 2558, 2559 และ 2560 มีผู้มารับบริการจำนวน 840,899 คน 915,516 คน และ 955,320 คนตามลำดับ (ชัยณรงค์ ทรงสังข์, วาสนา จันทะชุม และสุวรรณี มหาวิทยาลัยศรีนครินทร์, 2560)

เวชระเบียนเป็นขั้นตอนที่ผู้เข้ารับบริการทุกคนต้องใช้บริการก่อนจึงจะไปพบแพทย์ยังห้องตรวจได้ เวลาที่ใช้ในการให้ด้านเวชระเบียนจึงมีผลกระทบต่อระยะเวลาในการเข้ารับบริการของผู้ป่วย โดยที่ขั้นตอนการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน มีทั้งหมด 7 ขั้นตอน โดยเริ่มจาก ขั้นตอนที่ 1 ผู้ป่วยที่มารับบริการจะมารับบัตรคิวที่จุดรับบัตรคิว เมื่อถึงคิวแล้ว ขั้นตอนที่ 2 ผู้มารับบริการยื่นเอกสารเพื่อตรวจสอบสิทธิการรักษา ซึ่งมีช่อง

บริการ 14 ช่อง หากเป็นผู้ป่วยใหม่จะต้องลงทะเบียนก่อนแล้วเจ้าหน้าที่จะพิมพ์ใบ Visit Slip ขึ้นให้ผู้มารับบริการนำไปรอตรวจที่หน้าห้องตรวจ ส่วนข้อมูลจะถูกส่งต่อไปยังขั้นตอนที่ 4 เพื่อจัดทำแฟ้มเวชระเบียน สำหรับผู้ป่วยเก่าเมื่อได้รับการตรวจสอบสิทธิแล้วเจ้าหน้าที่จะพิมพ์ใบ Visit Slip ให้ผู้มารับบริการนำไปรอตรวจที่หน้าห้องตรวจ อย่างไรก็ตามเพื่อเป็นการอำนวยความสะดวกให้กับผู้ป่วยทางโรงพยาบาลยังมีจุดบริการอื่น ๆ ในขั้นตอนที่ 3. ตรวจสอบสิทธิอื่น ๆ นอกเหนือจากบริเวณหน่วยเวชระเบียน ที่ผู้ป่วยเก่าสามารถยื่นตรวจสอบสิทธิได้ด้วย ซึ่งข้อมูลทั้งจากขั้นตอนที่ 2 และขั้นตอนที่ 3 จะถูกพิมพ์เป็นใบค้นหาแฟ้มเวชระเบียน (MR Slip) ส่งไปยังขั้นตอนที่ 5 เพื่อให้เจ้าหน้าที่ที่มีอยู่ 7 คน ค้นหาแฟ้มเวชระเบียน เมื่อพบแฟ้มเวชระเบียนแล้ว ขั้นตอนที่ 6 มีเจ้าหน้าที่จำนวน 1 คน จะลงทะเบียนส่งออกแฟ้มเวชระเบียน และขั้นตอนที่ 7 เจ้าหน้าที่รับแฟ้มเวชระเบียนของผู้ป่วยใหม่มาจากขั้นตอนที่ 4 และแฟ้มเวชระเบียนของผู้ป่วยเก่ามาจากขั้นตอนที่ 6 มาจำแนกตามห้องตรวจแล้วรวบรวมแฟ้มให้ได้จำนวนมากพอสมควร แล้วจึงนำไปส่งยังห้องตรวจต่าง ๆ โดยแบ่งเป็น 3 สาย ตามเส้นทางของห้องตรวจโรคที่ตั้งอยู่ทางเดียวกัน ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนผังขั้นตอนการให้บริการหน่วยเวชระเบียน โรงพยาบาลศรีนครินทร์

จากขั้นตอนการให้บริการหน่วยเวชระเบียนข้างต้น จะเห็นว่าในแต่ละขั้นตอนจะเกิดการสูญเสียเวลาที่เกิดจากแถวคอย แม้ผู้มารับบริการทำการตรวจสอบสิทธิเสร็จแล้วยังคงต้องรอการทำงานของหน่วยเวชระเบียนเพื่อจัดส่งแฟ้มเวชระเบียนไปที่ห้องตรวจก่อนจึงจะได้เข้ารับการรักษา ที่ผ่านมามีพบว่าขั้นตอนทั้งหมดของหน่วยเวชระเบียนใช้เวลาโดยรวมที่แฟ้มเวชระเบียนส่งถึงห้องตรวจเป็นเวลานาน เนื่องจากผู้มารับบริการมีจำนวนมาก ดังนั้นผู้วิจัยจึงต้องการศึกษาหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของหน่วยเวชระเบียน โดยอาศัยวิธีการจำลองระบบแถวคอย มาใช้ในการวิเคราะห์ ออกแบบ ทำการทดลองเพื่อหาแผนการจัดจำนวนผู้ให้บริการในแต่ละขั้นตอน ที่จะทำให้เวลาเฉลี่ยที่แฟ้มเวชระเบียนอยู่ในระบบหน่วยเวชระเบียนลดลง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะช่วยในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนระบบงานเพื่อรองรับผู้มารับบริการที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต อีกทั้งสามารถทำให้ผู้มารับบริการเกิดความพึงพอใจมากขึ้นอีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- (2) เพื่อจำลองระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- (3) เพื่อหาระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียนที่สามารถลดเวลาเฉลี่ยในการส่งแฟ้มเวชระเบียนไปยังห้องตรวจ

## 3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การจำลอง (Simulation) หมายถึงกระบวนการออกแบบตัวแบบจำลอง (Model) เพื่อใช้แทนระบบจริง (Real System) ซึ่งสามารถนำมาใช้ทดลองเรียนรู้พฤติกรรมต่าง ๆ ของระบบจริงตามข้อกำหนดที่ต้องการได้ ซึ่งสามารถใช้ตัวแบบการจำลองเพื่อประเมินผลการดำเนินงานของระบบจริง และวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการทดลองสถานการณ์ต่าง ๆ แล้วจึงตัดสินใจนำไปใช้แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นต่อไป (Shanon, 1975) ในปัจจุบันมีการพัฒนาซอฟต์แวร์ทางคอมพิวเตอร์เพื่อช่วยในการจำลองระบบงานมากขึ้น โดยมีหลักการ คือ การสร้างแนวทางในการตัดสินใจให้ระบบเพื่อเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาให้ระบบหรือปรับปรุงระบบงานเดิมที่มีอยู่ให้ดียิ่งขึ้น โดยปราศจากการรบกวนงานในระบบจริง (รุ่งรัตน์ กิษัทธิ, 2553)

การจำลองมักจะนำมาใช้กับปัญหาที่ซับซ้อน ไม่สามารถแก้ปัญหได้ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ได้ ปัญหาที่ต้องการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงของระบบที่ใช้ระยะเวลาในการศึกษาที่ยาวนาน ใช้เพื่อทดลองนโยบายหรือทางเลือกต่าง ๆ ก่อนที่จะนำไปสู่การปฏิบัติงานกับระบบจริง (มานพ วรศักดิ์, 2550) เช่นในงานวิจัยของ พรทิพย์ ชัยวัฒน์ (2550) ซึ่งได้ศึกษาเกี่ยวกับสภาพการดำเนินงานในปัจจุบันของระบบการให้บริการผู้ป่วยนอกที่ห้องจ่ายยา โรงพยาบาลหนองสองห้อง ด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Arena เพื่อหานโยบายการให้บริการเกี่ยวกับจำนวนผู้ให้บริการในจุดบริการต่าง ๆ ที่ทำให้เวลาที่ผู้ป่วยอยู่ในระบบเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยผู้วิจัยได้เสนอนโยบายการจำลองระบบการให้บริการผู้ป่วยนอกที่ห้องจ่ายยา ในการแก้ปัญหา 3 นโยบาย ซึ่งพบว่านโยบายที่ดีที่สุด ทำให้เวลาที่ผู้ป่วยรอคอยในระบบเฉลี่ยลดลงเป็น 4.02 นาทีต่อคน (95% CI:3.80,4.24) นาทีต่อคน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดการจำลองระบบมาใช้กับระบบงานเวชระเบียน ซึ่งมีการทำงานที่ซับซ้อนหลายขั้นตอน และยังต้องการทดลองเพื่อหานโยบายที่จะทำให้เวลาที่แฟ้มเวชระเบียนอยู่ในระบบงานหน่วยเวชระเบียน กล่าวคือเวลาดังแต่ผู้รับบริการครบถ้วน จนกระทั่งแฟ้มเวชระเบียนถูกส่งไปถึงห้องตรวจต่าง ๆ ลดลงจากปัจจุบัน

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

### 4.1 แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยเชิงปริมาณ เก็บรวบรวมข้อมูลโดยการบันทึกข้อมูลตามตัวแปรที่ศึกษา จากสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาที่สุ่มตัวอย่าง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้นำมาสร้างตัวแบบจำลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Arena แล้วจึงดำเนินการทดลองระบบใหม่อีก 2 ระบบ ที่ทำให้เวลาเฉลี่ยที่แฟ้มเวชระเบียนอยู่ในระบบน้อยลง โดยการเพิ่มหรือลดจำนวนเจ้าหน้าที่ที่ทำงานในแต่ละขั้นตอน และลดจำนวนแฟ้มต่อรอบการจัดส่งแฟ้มในแต่ละสายทางลง

#### 4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้ป่วยนอกที่มารับบริการที่หน่วยเวชระเบียน โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ช่วงเวลา 07:00 – 09:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่มียูเอมาใช้บริการหนาแน่นมากที่สุด

ตัวอย่าง คือ ผู้ป่วยนอกที่มารับบริการที่หน่วยเวชระเบียน โรงพยาบาลศรีนครินทร์ ในวันจันทร์ถึงศุกร์ ระหว่างวันที่ 21 มกราคม ถึง 1 กุมภาพันธ์ 2562 ช่วงเวลา 07:00 – 09:00 น.

#### 4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรที่ศึกษาในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย จำนวนผู้มารับบริการที่หน่วยเวชระเบียน จำนวนผู้มารับบริการตรวจสอบสิทธิจากจุดบริการอื่น ๆ เวลาที่ใช้บริการในแต่ละขั้นตอน จำนวนเจ้าหน้าที่ให้บริการแต่ละขั้นตอน สัดส่วนจำนวนผู้ป่วยเก่าและผู้ป่วยใหม่ จำนวนแพทย์ที่รวบรวมจัดส่งไปในแต่ละรอบการส่ง ซึ่งตัวแปรทั้งหมดที่กล่าวมานั้น นำมาสร้างตัวแบบจำลองระบบบริการของหน่วยเวชระเบียน 3 ระบบที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นตัวแปรต้น ที่ทำให้ตัวแปรตามคือ เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการจัดส่งแฟ้มเวชระเบียน ไปยังห้องตรวจเปลี่ยนแปลงไป

#### 4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยเป็นแบบบันทึกข้อมูล แบ่งเป็น 2 ชุด เพื่อใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูลตามตัวแปรที่ศึกษา ได้แก่

**ชุดที่ 1** ใช้บันทึกจำนวนผู้มารับบริการทุก ๆ 5 นาที ตั้งแต่เวลา 07:00 – 09:00 น. ณ จุดรับบัตรคิว และจุดตรวจสอบสิทธิอื่น ๆ โดยบันทึกประเภทผู้ป่วยเก่าและผู้ป่วยใหม่ด้วย

**ชุดที่ 2** เป็นแบบบันทึกเวลาที่ใช้ในการให้บริการแต่ละขั้นตอน โดยบันทึกเวลาเข้ารับบริการและเวลาสิ้นสุดการรับบริการ ในขั้นตอนการตรวจสอบสิทธิและลงทะเบียนผู้ป่วย การจัดแฟ้มเวชระเบียนสำหรับผู้ป่วยใหม่ การค้นหาแฟ้มเวชระเบียนสำหรับผู้ป่วยเก่า การลงทะเบียนส่งออกแฟ้มเวชระเบียน การส่งแฟ้มเวชระเบียนออกจนกระทั่งถึงห้องตรวจ โดยบันทึกแบ่งออกเป็น 3 สาย

#### 4.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1) ศึกษาระบบการทำงานหน่วยเวชระเบียน เกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานของระบบงานในปัจจุบัน  
2) การเก็บรวบรวมข้อมูล ระหว่างวันที่ 21 มกราคม ถึง 1 กุมภาพันธ์ 2562 ตั้งแต่เวลา 07:00 - 09:00 น. โดยให้พนักงานสนามจำนวน 6 คน บันทึกจำนวนผู้มารับบริการและจับเวลาที่ใช้ในการให้บริการของแต่ละขั้นตอนของระบบการทำงานหน่วยเวชระเบียน ลงในแบบบันทึกทั้ง 2 ชุด

3) การจัดการข้อมูล โดยตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล จัดรูปแบบของข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบที่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์

4) การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่

4.1) ทดสอบสมมติฐานทางสถิติเพื่อหารูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามาของผู้มารับบริการ และเวลาให้บริการในแต่ละขั้นตอนของหน่วยเวชระเบียน โดยใช้วิธีการทดสอบไคสแควร์ (Chi-Square Test) จากโปรแกรมสำเร็จรูป Arena

4.2) กำหนดหาสัดส่วนของจำนวนผู้ป่วยเก่าและผู้ป่วยใหม่

4.3) กำหนดหาสัดส่วนจำนวนแฟ้มเวชระเบียนที่ส่งถึงห้องตรวจจำแนกเป็น 3 สายทาง

5) การสร้างตัวแบบจำลอง ให้เหมือนกับระบบการทำงานจริงตามขั้นตอนการทำงานของหน่วยเวชระเบียน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Arena และตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบจำลอง (Validation) ว่าผลลัพธ์ที่ได้สอดคล้องกับระบบจริงหรือไม่ โดยใช้สถิติทดสอบ t-test

6) จากการจำลองในขั้นตอนที่ผ่านมา พิจารณาผลลัพธ์ซึ่งประกอบด้วย เวลาที่เพิ่มเวชระเบียนอยู่ในระบบ และร้อยละการทำงานของผู้หน้าห้องของแต่ละขั้นตอน แล้วเสนอแนวทางในการปรับปรุงระบบเพื่อลดเวลาเฉลี่ยที่เพิ่มเวชระเบียนอยู่ในระบบตั้งแต่ผู้รับบริการรับบัตรคิวจนกระทั่งเพิ่มเวชระเบียนถูกส่งไปถึงห้องตรวจ โดยนำเสนอเป็นระบบการทำงานใหม่ 2 ระบบ

7) การดำเนินการทดลองตามแผนที่วางไว้ โดยการประมวลผล (run) โปรแกรม กำหนดระยะเวลาจำลอง 120 นาที เหมือนกับระบบจริงที่ดำเนินงานตั้งแต่เวลา 7:00-9:00 น. และทำซ้ำจำนวน 36 รอบ

8) การวิเคราะห์ผลการจำลองระบบการให้บริการทั้ง 3 ระบบ โดยเปรียบเทียบระยะเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการให้บริการของหน่วยเวชระเบียนจากการจำลองสภาพการทำงานจากระบบปัจจุบัน และระบบใหม่ที่เสนอทั้ง 2 ระบบว่าแตกต่างกันหรือไม่ โดยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบจำแนกทางเดียว (One-way ANOVA)

## 5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาระบบ และวิเคราะห์ข้อมูลตามขั้นตอนการดำเนินงานข้างต้น ได้ผลการวิจัยดังนี้

### 5.1 ผลการศึกษาระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

จากการศึกษาการทำงานจากระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน ดังรูปที่ 1 และดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูล แล้วนำมาวิเคราะห์หารูปแบบการแจกแจงความน่าจะเป็นของระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามาของผู้มารับบริการ และเวลาให้บริการแต่ละขั้นตอนของหน่วยเวชระเบียนได้ผลดังตารางที่ 1

นำจำนวนผู้ป่วยที่มารับบริการคัดแยกเป็นจำนวนผู้ป่วยเก่าและผู้ป่วยใหม่ แล้วนำมาหาสัดส่วนความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสม ได้ผลดังตารางที่ 2 จากนั้นนับจำนวนเพิ่มผู้ป่วยที่จัดส่งไปยังห้องตรวจตามสายทางที่แบ่งไว้เป็น 3 สายทาง แล้วนำมาหาสัดส่วนความน่าจะเป็นและความน่าจะเป็นสะสม ได้ผลดังตารางที่ 3

ตารางที่ 1 รูปแบบการแจกแจงของข้อมูลนำเข้า

ขั้นตอนการให้บริการ	ข้อมูล	รูปแบบการแจกแจงและพารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย (นาทีต่อเพิ่ม)
จุดรับบัตรคิว	ระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามาของผู้มารับบริการ	Lognormal (1.5, 0.0729)	0.27
จุดตรวจสอบสิทธิอื่น ๆ	ระยะเวลาห่างระหว่างการเข้ามาของผู้มารับบริการ จุดตรวจสอบสิทธิอื่น ๆ	Lognormal ( 1.8, 0.27 )	0.63
การตรวจสอบสิทธิและลงทะเบียนผู้ป่วยใหม่	ระยะเวลาการให้บริการ	Weibull (3.13, 1.80)	3.29
การจัดทำเพิ่มเวชระเบียน	ระยะเวลาการให้บริการ	Empirical (0.4051, 0.84, 0.7632, 1.26, 0.9491, 1.68, 0.9824, 2.10, 1.0000, 2.52)	1.02
การตรวจสอบสิทธิผู้ป่วยเก่า	ระยะเวลาการให้บริการ	Empirical (0.6881, 1, 0.9307, 2, 0.9812, 3, 0.9936, 4, 0.9966, 5, 1.0000, 6)	1.41
การค้นหาเพิ่มเวชระเบียน	ระยะเวลาการให้บริการ	Empirical (0.2722, 0.90, 0.6489, 1.71, 0.8167, 2.52,	1.88

ขั้นตอนการให้บริการ	ข้อมูล	รูปแบบการแจกแจงและพารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย (นาทีต่อแฟ้ม)
		0.9067, 3.33, 0.9533, 4.14, 0.9739, 4.95, 1.0000, 5.76)	
การลงทะเบียนส่งออกแฟ้มเวชระเบียน	ระยะเวลาการให้บริการ	Empirical (0.4777, 0.28, 0.8979, 0.47, 0.9630, 0.66, 0.9835, 0.85, 1.0000, 1.04)	0.28
การส่งแฟ้มไปห้องตรวจ สายที่ 1	ระยะเวลาการให้บริการ	Empirical (0.1961, 11.25, 0.7843, 17.51, 0.9020, 23.77, 1.0000, 30.03)	15.8 นาทีต่อรอบ
การส่งแฟ้มไปห้องตรวจ สายที่ 2	ระยะเวลาการให้บริการ	Normal (13.60, 5.79)	13.6 นาทีต่อรอบ
การส่งแฟ้มไปห้องตรวจ สายที่ 3	ระยะเวลาการให้บริการ	Normal (15.40, 5.33)	15.4 นาทีต่อรอบ

ตารางที่ 2 สัดส่วนของจำนวนผู้ป่วยเก่าและผู้ป่วยใหม่ที่เข้ามาใช้บริการ

ประเภทผู้ป่วย	จำนวนผู้ป่วย (คน)	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม
ผู้ป่วยเก่า	4,050	0.9050	0.9050
ผู้ป่วยใหม่	425	0.0950	1.0000
<b>รวม</b>	<b>4,475</b>	<b>1.0000</b>	

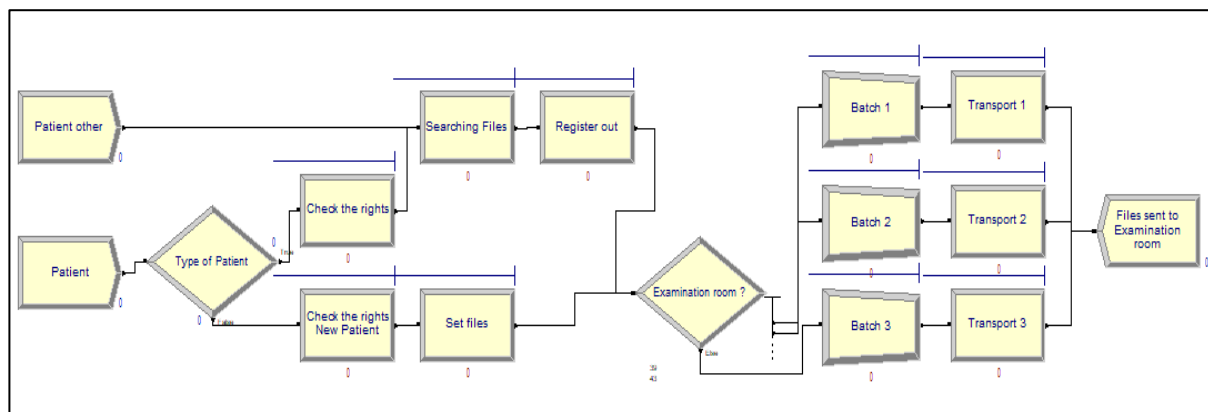
ตารางที่ 3 สัดส่วนของจำนวนแฟ้มเวชระเบียนที่ส่งถึงห้องตรวจจำแนกตามสายทาง

สาย	จำนวนแฟ้มเวชระเบียน	ความน่าจะเป็น	ความน่าจะเป็นสะสม
สายที่ 1	2,118	0.3935	0.3935
สายที่ 2	2,304	0.4280	0.8215
สายที่ 3	961	0.1785	1.0000
<b>รวม</b>	<b>5,383</b>	<b>1.00</b>	

## 5.2 ผลการจำลองระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

นำผลจากการวิเคราะห์ข้อมูลมาสร้างตัวแบบจำลองระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป Arena เพื่อเป็นตัวแทนของระบบการทำงานจริง ได้ดังรูปที่ 2 โดยนำข้อมูลจากตารางที่ 1, 2 และ 3 เข้าสู่ระบบ





รูปที่ 2 ตัวแบบจำลองระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน

ทำการจำลองการดำเนินงานของระบบปัจจุบัน เป็นเวลา 120 นาที จำนวน 36 ครั้ง พบว่า เวลาเฉลี่ยการให้บริการตั้งแต่ผู้รับบริการกดบัตรคิวจนกระทั่งเพิ่มเวชระเบียนถูกจัดส่งไปยังห้องตรวจใช้เวลา 55.48 นาที ต่อเพิ่ม ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน 2.96 นาที และช่วงความเชื่อมั่น 95% อยู่ระหว่าง 50.02 ถึง 60.94 นาทีต่อเพิ่ม เมื่อทำการตรวจสอบความถูกต้องของผลลัพธ์จากการจำลองเปรียบเทียบกับข้อมูลจากระบบจริง พบว่า ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองมีค่าสอดคล้องกับระบบจริงอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\text{-value} < 0.001$ ) แสดงว่าตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถใช้เป็นตัวแทนของระบบจริงได้

### 5.3 ผลการจำลองเพื่อหาระบบการให้บริการของหน่วยเวชระเบียน ที่สามารถลดเวลาเฉลี่ยในการส่งเพิ่มเวชระเบียนไปยังห้องตรวจ

ผู้วิจัยได้เสนอนโยบายเพื่อปรับเปลี่ยนจำนวนเจ้าหน้าที่ที่ให้บริการในแต่ละขั้นตอน และจำนวนเพิ่มที่รอการจัดส่งโดยเสนอเป็นระบบใหม่ 2 ระบบ เพื่อลดเวลาเฉลี่ยที่เพิ่มเวชระเบียนอยู่ในระบบ เมื่อทำการทดลองจำลองระบบปัจจุบัน และระบบใหม่ที่เสนอ 2 ระบบ โดยใช้ระยะเวลาจำลอง 120 นาที จำนวน 36 ครั้ง ได้ผลลัพธ์จากการจำลอง ดังตารางที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการจำลองสภาพการทำงานของระบบการให้บริการหน่วยเวชระเบียนในปัจจุบันและจากการทดลองระบบใหม่ทั้ง 2 ระบบ พบว่า เวลาเฉลี่ยที่เพิ่มเวชระเบียนอยู่ในระบบทั้ง 3 ระบบแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $p\text{-value} < 0.001$ ) โดยที่ระบบที่ทำให้เวลาเฉลี่ยที่เพิ่มเวชระเบียนอยู่ในระบบสั้นที่สุด คือ ระบบใหม่ระบบที่ 1 ซึ่งได้เวลาเฉลี่ยที่เพิ่มเวชระเบียนอยู่ในระบบ เท่ากับ 48.31 นาทีต่อเพิ่ม ลดลงจากปัจจุบัน 7.17 นาทีต่อเพิ่มหรือลดลงจากเดิมร้อยละ 12.92 โดยมีช่วงความเชื่อมั่น 95% อยู่ระหว่าง 46.55 ถึง 50.07 นาทีต่อเพิ่ม

ตารางที่ 4 ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองระบบปัจจุบัน เปรียบเทียบกับระบบใหม่

รายการที่กำหนด	ระบบปัจจุบัน	ระบบใหม่ 1	ระบบใหม่ 2
จำนวนเจ้าหน้าที่ตรวจสอบสิทธิการรักษา (คน)	14	12	12
จำนวนเจ้าหน้าที่จัดส่งเพิ่มเวชระเบียน (คน)	6	5	6
จำนวนเจ้าหน้าที่ค้นหาเพิ่มเวชระเบียน (คน)	7	8	8
จำนวนเจ้าหน้าที่ลงทะเบียนส่งออก (คน)	1	2	2
จำนวนเพิ่มต่อรอบการจัดส่งของสายที่ 1 (เพิ่ม)	18	15	15
จำนวนเพิ่มต่อรอบการจัดส่งของสายที่ 2 (เพิ่ม)	18	15	15
จำนวนเพิ่มต่อรอบการจัดส่งของสายที่ 3 (เพิ่ม)	18	12	15

รายการที่กำหนด	ระบบปัจจุบัน	ระบบใหม่ 1	ระบบใหม่ 2
<b>ผลลัพธ์จากการจำลอง</b>			
เวลาเฉลี่ยที่เพิ่มเวรระเบียบอยู่ในระบบ (นาทีต่อเพิ่ม)	55.48	48.31	50.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (นาที)	8.81	2.84	5.83
ช่วงความเชื่อมั่น 95%	(50.02, 60.94)	(46.55, 50.07)	(46.56, 53.79)

## 6. อภิปรายผล

จากการศึกษาและการวิเคราะห์ระบบหน่วยเวรระเบียบ โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่าลักษณะของระบบการให้บริการของหน่วยเวรระเบียบ เป็นระบบแถวคอยที่มีหลายขั้นตอนและมีจำนวนผู้ให้บริการหลายคน โดยที่รูปแบบการแจกแจงของข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้มีการแจกแจงที่หลากหลายนแตกต่างกันไปตามลักษณะของเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง เช่น เวลาห่างระหว่างการเข้ามาของผู้มารับบริการในจุดรับบัตรคิว มีการแจกแจงแบบลือกอนอร์มอล เวลาการให้บริการของขั้นตอนตรวจสอบสิทธิและลงทะเบียนผู้ป่วยมีการแจกแจงแบบไวบูลล์ การส่งเพิ่มเวรระเบียบถึงห้องตรวจ สายที่ 2 มีการแจกแจงแบบปกติ เป็นต้น เมื่อเปรียบเทียบกับทฤษฎีแถวคอย ซึ่งสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาแถวคอยจะใช้ได้ในกรณีที่การเข้ามาของผู้รับบริการมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปัวซอง (Poisson Distribution) และเวลาให้บริการมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบเลขชี้กำลัง (Exponential distribution) เท่านั้น (พงศษันน์ เหลืองไพบูลย์, 2553) ดังนั้นทฤษฎีแถวคอยจึงไม่สามารถใช้ได้กับระบบการบริการของหน่วยเวรระเบียบ นอกจากนี้ระบบยังมีความซับซ้อนเนื่องจากมีขั้นตอนการทำงานหลายขั้นตอน จึงจำเป็นต้องใช้การสร้างตัวแบบการจำลองในการแก้ปัญหานี้ (มานพ วรภักดิ์, 2550)

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

จากผลการวิจัยพบว่า ระบบใหม่ระบบที่ 1 สามารถลดระยะเวลาการจัดส่งเพิ่มเวรระเบียบไปยังห้องตรวจลงได้ โดยใช้เจ้าหน้าที่ 27 คน ลดลงจากเดิม 1 คน ดังนั้นหน่วยเวรระเบียบควรพิจารณาระบบใหม่ระบบที่ 1 ไปใช้โดยสามารถพิจารณาเพิ่ม – ลดจำนวนเจ้าหน้าที่ในแต่ละขั้นตอนตามที่เสนอแนะ ขณะที่เจ้าหน้าที่ที่ถูกลดจำนวนลง 1 คน สามารถกลับไปปฏิบัติงานในแผนกอื่นแทนได้ การเปลี่ยนแปลงนี้จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการให้บริการของหน่วยเวรระเบียบ อีกทั้งยังทำให้ผู้มารับบริการเกิดความประทับใจและมีระดับความพึงพอใจมากขึ้นได้

### 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1) ตัวแบบจำลองที่สร้างขึ้นเริ่มดำเนินการงานเวลา 07:00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาที่ผู้รับบริการหนาแน่นแต่ในความเป็นจริงหน่วยเวรระเบียบเปิดให้บริการตั้งแต่เวลา 06:00 น. จึงทำให้ตัวแบบจำลองอาจคลาดเคลื่อนไปจากระบบจริง ดังนั้น การวิจัยครั้งต่อไปควรปรับปรุงการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยต้องเก็บข้อมูลจำนวนผู้เข้ามาใช้บริการตั้งแต่เวลา 6.00 น. รวมทั้งต้องเก็บข้อมูลจำนวนผู้มารับบริการที่มารอก่อนเวลาเปิดทำการด้วย

2) การจำลองระบบในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยสร้างตัวแบบการจำลองด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Arena รุ่นสำหรับนักเรียน นักศึกษา ซึ่งทำให้มีข้อจำกัดของจำนวนตัวแปรที่สามารถสร้างในตัวแบบจำลองได้ จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดจำนวนรอบในการประมวลผลได้มากพอ ดังนั้น การวิจัยครั้งต่อไปก่อนเลือกใช้โปรแกรม

สำเร็จรูปสำหรับการจำลองความต้องการศึกษาเกี่ยวกับข้อจำกัดของ โปรแกรมนั้น ๆ และเลือกโปรแกรมที่เหมาะสมกับขนาดของระบบที่ทำการศึกษาเพื่อให้สามารถสร้างตัวแบบและวิเคราะห์ผลลัพธ์ของการจำลองได้สอดคล้องกับระบบจริงมากที่สุด

3) การวิจัยครั้งต่อไป สามารถขยายขอบเขตการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพการบริการไปยังแผนกอื่น ๆ ของโรงพยาบาลศรีนครินทร์ให้ครอบคลุมทั้งโรงพยาบาล เช่น ห้องการเงิน ห้องจ่ายยา ห้องเจาะเลือด เป็นต้น

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยเวชระเบียน โรงพยาบาลศรีนครินทร์ คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการศึกษาระบบงานครั้งนี้ และขอขอบคุณสาขาวิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ และโปรแกรมที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

## 9. เอกสารอ้างอิง

Shanon, R. E. (1975). **System Simulation. The Art and Science**, Englewood Cliffs: Prentice-Hall Inc.

ชัยณรงค์ ทรงสังข์, วาสนา จันทะชุม และสุวรรณี มหาวิทยาลัยวัดนเร. (2560). สถิติผู้ป่วยโรงพยาบาลศรีนครินทร์

คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประจำปี 2560 เล่มที่ 35-37. ขอนแก่น: หน่วยเวชสถิติ งานเวชระเบียนและสถิติ โรงพยาบาลศรีนครินทร์.

พงษ์ชนัน เหลืองไพฑูริย์. (2553). การวิจัยดำเนินงาน . กรุงเทพมหานคร: บริษัท สำนักท้อป จำกัด.

พรทิพย์ ชัยวัฒน์. (2550). การจำลองระบบการให้บริการผู้ป่วยนอกที่ห้องจ่ายยา โรงพยาบาลหนองสองห้อง

จังหวัดขอนแก่น. โครงการวิจัย ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มานพ วรภักดิ์. (2550). การจำลอง (Simulation). กรุงเทพมหานคร: วี พรินท์.

รุ่งรัตน์ กิษฐ์เพ็ญ. (2553). คู่มือสร้างแบบจำลอง ด้วยโปรแกรม Arena (ฉบับปรับปรุง). กรุงเทพมหานคร:

ซีเอ็ดยูเคชั่น.

การใช้คะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรมของหลอดเลือดหัวใจในประชากรไทย  
GENETIC RISK SCORE OF CORONARY ARTERY DISEASE IN  
THAI POPULATION

กิตติศักดิ์ ท้าวมา<sup>1,\*</sup> ไพศาล ร่วมวิบูลย์สุข<sup>2</sup> สุรัคเมธ มหาศิริมงคล<sup>3</sup> พิมพ์เพ็ญ เจริญ<sup>4,5</sup>  
จักรกฤษณ์ เอื้อสุนทรวัฒนา<sup>6</sup> ประพัฒน์ สุริยผล<sup>1,7</sup> ภูมิ สุขชิตินันท์<sup>1,5,7,8,\*</sup>

1) หลักสูตรชีวสารสนเทศทางการแพทย์ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10700

2) กลุ่มงานจักษุวิทยา โรงพยาบาลราชวิถี กรุงเทพฯ 10400

3) ศูนย์พันธุศาสตร์การแพทย์ สถาบันชีววิทยาศาสตร์ทางการแพทย์

กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข นนทบุรี 11000

4) ภาควิชาสูติวิทยาเขตร้อน คณะเวชศาสตร์เขตร้อน มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400

5) กลุ่มภารกิจศูนย์ปฏิบัติการด้านชีววิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหิดล นครปฐม 73170

6) ภาควิชาเวชศาสตร์ชุมชน คณะแพทยศาสตร์ ร.พ.รามธิบดี มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10400

7) ศูนย์วิจัยความเป็นเลิศด้านชีวสารสนเทศและการจัดการข้อมูล

คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10700

8) ภาควิชาชีวเคมี คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล มหาวิทยาลัยมหิดล กรุงเทพฯ 10700

\* Correspondence to: kittisak.tao@student.mahidol.ac.th or bhoom.suk@mahidol.ac.th

## บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโรคไม่ติดต่อมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในหลายประเทศ รวมถึงประเทศไทย โดยเฉพาะโรคหลอดเลือดหัวใจ (coronary artery disease: CAD) ซึ่งเป็นสาเหตุของการตายที่พบมากที่สุด ทั้งนี้เพื่อเพิ่มความเที่ยงตรงในการทำนายความเสี่ยงของโรค สำหรับการแพทย์แม่นยำ (precision medicine) สนิปส์ (single nucleotide polymorphisms: SNPs) ได้ถูกนำมาใช้คำนวณคะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรม (genetic risk score: GRS) ของโรคไม่ติดต่อ ดังนั้นงานวิจัยนี้ได้สำรวจการกระจายตัวของคะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรมของโรคหลอดเลือดหัวใจ (CAD-GRS) ประกอบด้วย 40 สนิปส์ ในกลุ่มตัวอย่างประชากรไทยจำนวน 1,806 คน โดยเทียบกับประชากรจาก 1000 Genome Project Phase 1 (1KGp1) ซึ่งพบว่าการกระจายตัวของ CAD-GRS แตกต่างกันระหว่างเชื้อชาติ (one-way ANOVA,  $p < 0.0001$ ) โดยพบการกระจายตัวของ GRS (Mean  $\pm$  SD) ของประชากรไทย  $3.51 \pm 0.29$  มากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากชาวยุโรป ( $3.58 \pm 0.31$ ) โดยที่มีค่าเฉลี่ย CAD-GRS ไม่แตกต่างจากชาวเอเชียตะวันออก ( $3.52 \pm 0.30$ ) (Independent t-test,  $p = 0.38$ ) ซึ่งสอดคล้องกับค่าสหสัมพันธ์สเปียร์แมน ( $r^2$ ) ของ risk allele frequency (RAF) สูงถึง 0.98 นอกจากนี้ เมื่อใช้ค่าอ้างอิงจากค่ามัธยฐาน หรือเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 50<sup>th</sup> ของประชากรทั่วโลก (1KGp1) ในประชากรไทย พบว่า ร้อยละ 55.4 มีความเสี่ยงที่มากกว่าค่ามัธยฐานของประชากรทั่วโลก ซึ่งจากคะแนนความเสี่ยง GRS ของโรคหลอดเลือดหัวใจในประชากรไทยที่สูงอาจช่วยเพิ่ม

ความใส่ใจในการป้องกันโรค แต่ทั้งนี้ยังมีความจำเป็นต้องตรวจสอบความถูกต้องของ CAD-GRS ในประชากรไทย ในการศึกษาถัดไปก่อน ที่จะสามารถนำไปใช้ทางคลินิกในประชากรไทยได้ในอนาคต

**คำสำคัญ:** คะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรม, ประชากรไทย, โรคหลอดเลือดหัวใจ

## ABSTRACT

The burden of non-communicable diseases (NCDs) has been increasing in many countries including Thailand. Of these NCDs, cardiovascular disease (CVD) is the most common cause of death. To improve the accuracy of NCD risk prediction, particularly in the application of precision medicine, single nucleotide polymorphism (SNPs) are utilized to calculate the genetic risk of NCDs, known as genetic risk score (GRS). In this paper, we explored the GRS distribution of coronary artery disease (CAD) of 1,806 individuals of Thai population against 1000 Genome Project Phase 1 (1KGp1) populations. The GRS of coronary artery disease (CAD-GRS) was calculated from 40 SNPs in Thai population and 1KGp1 populations. Overall, the CAD-GRS are different across populations (one-way ANOVA,  $p < 0.0001$ ). The mean  $\pm$  SD of GRS in Thai population was the second highest genetic risk score ( $3.51 \pm 0.29$ ) behind European population ( $3.58 \pm 0.31$ ). When comparing GRS to East Asian population, as expected, the CAD-GRS distribution of Thai was similar to East Asian ( $3.52 \pm 0.30$ ) (Independent t-test,  $p = 0.38$ ) with a strong correlation of risk allele frequency ( $r_2 > 0.98$ ). Using the median or the 50<sup>th</sup> percentile of global GRS as a cut-off between high versus low GRS, 55.4 percent of Thai population had higher risk than this global median cut-off. The high genetic risk burden of CAD in Thai population might help increase the awareness of CAD leading to disease prevention. However, the validation of CAD-GRS in Thai population is required before we can use GRS in the clinical setting in the future.

**Keywords:** Genetic Risk Score, Thai population, Coronary Artery Disease

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ภาระของโรคไม่ติดต่อ (non-communicable diseases: NCDs) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นในหลายประเทศทั่วโลก รวมทั้งประเทศไทย เมื่อเทียบกับปัญหาสุขภาพด้านอื่นๆ อาทิ เช่น อุบัติเหตุ โรคขาดสารอาหาร และโรคติดเชื้อ เป็นต้น โดยในปี 2561 องค์การอนามัยโลกรายงานว่า ร้อยละ 71 ของสาเหตุของการเสียชีวิตทั้งหมดเกิดจาก NCDs โดยในจำนวนนี้ โรคหัวใจและหลอดเลือด (cardiovascular diseases: CVD) เป็นสาเหตุการของเสียชีวิตที่พบมากที่สุดในกลุ่ม NCDs จำนวน 17.9 ล้านคน รองลงมาคือมะเร็ง จำนวน 9 ล้านคน โรคระบบทางเดินหายใจ จำนวน 3.9 ล้านคน และโรคเบาหวาน จำนวน 1.6 ล้านคน (World Health Organization (WHO), 2018) โดยอัตราการตายของ NCDs ในประเทศไทย เพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2548 โดยเฉพาะ โรคหลอดเลือดหัวใจตีบ (CAD) ซึ่งมีภาระโรคมามากที่สุด ตามมาด้วยโรคเบาหวานประเภทที่2 โรคความดันโลหิตสูง และโรคปอดอุดกั้นเรื้อรัง

ในปัจจุบันการแพทย์แม่นยำ (precision medicine) เป็นทางเลือกในการตรวจคัดกรอง NCDs โดยใช้ข้อมูลทางพันธุกรรมของผู้คัดกรอง ซึ่งมีความเที่ยงตรงมากขึ้น การใช้แนวทางปฏิบัติแบบเก่าซึ่งทำนายความเสี่ยงของการเกิด NCDs เช่น ใน Framingham Risk Score ทำนายความเสี่ยง 10 ปีของการเกิด CAD (Wilson et al., 1998) จากปัจจัยเสี่ยง อาทิเช่น อายุ ระดับคอเลสเตอรอล และความดันโลหิต เป็นต้น ซึ่งการใช้แนวทางดังกล่าว ความเสี่ยงจะสูงขึ้นก็ต่อเมื่อปัจจัยเสี่ยงเหล่านี้มีปริมาณสูงขึ้นสูงแล้ว ทำให้ไม่สามารถวางแผนก่อนล่วงหน้าได้ ก่อนที่จะตรวจพบว่าบุคคลนั้นมีปัจจัยเสี่ยงที่เพิ่มสูงขึ้น

การทำนายความเสี่ยงตามแนวทางของ การแพทย์แม่นยำ (precision medicine) ส่วนใหญ่นั้นจะประยุกต์ใช้สโนปีส์ (Single Nucleotide Polymorphisms: SNPs) ที่สัมพันธ์กับโรค (Torkamani, Wineinger, & Topol, 2018) ซึ่งความสำเร็จของการศึกษาความสัมพันธ์ของ SNPs แบบทั่วทั้งจีโนม (genome wide association study: GWAS) นำไปสู่การค้นพบ SNPs จำนวนมากที่นำมาใช้ทำนายความเสี่ยงของโรคได้ ดังนั้นการทำนายความเสี่ยงของการเกิด NCDs สามารถใช้ค่าสรุปทางสถิติ (summary statistics) ของ SNPs ที่พบใน GWAS ในการคำนวณคะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรม (Genetic Risk Score: GRS) ซึ่งสามารถนำมาช่วยตัดสินใจเลือกแนวทางปฏิบัติ ได้เร็วขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากข้อมูลพันธุกรรมมีมาแต่กำเนิด ซึ่งการใช้ GRS นั้นสามารถนำมาใช้ทำนายความเสี่ยงได้ทันที

ถึงแม้ว่าจะมีการศึกษาการใช้คะแนนความเสี่ยง CAD-GRS ในการหลายกลุ่มประชากร โดยเฉพาะในชาวยุโรป การใช้คะแนนความเสี่ยงดังกล่าว ยังไม่เคยมีการศึกษาในประชากรไทย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจุดประสงค์หลักที่จะสำรวจการกระจายตัวของคะแนนความเสี่ยง CAD-GRS ในประชากรไทยเปรียบเทียบกับประชากรจาก 1,000 Genome Project 1 (1KGp1) โดยใช้ multi-ethnic summary statistics จาก GWAS ในการคำนวณคะแนนความเสี่ยงดังกล่าว ซึ่งงานวิจัยนี้จะป็นโครงการนำร่องในการใช้คะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรมในประชากรไทย และจะเป็นประโยชน์ต่อการประเมินความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจในประชากรไทยโดยใช้คะแนนความเสี่ยง GRS นอกจากนี้ยังสามารถสร้างความตระหนักถึงภาวะโรคหลอดเลือดหัวใจที่เกิดขึ้นได้จากปัจจัยทางพันธุกรรม ซึ่งนำไปสู่การใช้คะแนนความเสี่ยง CAD-GRS ในประชากรไทยได้ในอนาคต

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นโครงการนำร่องเพื่อนำคะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรมสำหรับ NCDs มาใช้ในประชากรไทย โดยเริ่มต้นศึกษาความเสี่ยงโรคหลอดเลือดหัวใจในประชากรไทย เพื่อเทียบกับประชากรทั่วโลกจาก 1,000 Genome Project phase 1 (1KGp1)

## 3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

การทำนายความเสี่ยงของโรค NCDs ในปัจจุบัน จะทราบถึงความเสี่ยงของโรคก็มักเกิดความเสี่ยงที่จะเป็นโรคนั้นๆขึ้นแล้ว แต่ถ้าสามารถใช้ข้อมูลทางพันธุกรรมมาช่วยทำนายความเสี่ยงได้ล่วงหน้า น่าจะสามารถป้องกันโรคไม่ให้เกิดขึ้น หรือชะลอเวลาการเกิดโรคได้นานขึ้น เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำคะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรมของโรคหัวใจมาใช้ในประชากรไทย คณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบรองรับการคำนวณความเสี่ยงทางพันธุกรรม จาก multi-ethnic summary statistics และได้ทดสอบในกลุ่มประชากรไทยในงานวิจัยชิ้นนี้ และเปรียบเทียบกับข้อมูลทางพันธุกรรมของประชากรชนชาติอื่นใน 4 ทวีปทั่วโลก จากโครงการ 1,000 จีโนมระยะ 1 (1000 Genome Project phase 1)

## 4. วิธีดำเนินการวิจัย

### 4.1 แบบแผนการวิจัย

โปรโตคอลงานวิจัยได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล โดยในโครงการนี้จะวิเคราะห์ข้อมูลทุติยภูมิ (secondary analysis) โดยใช้ข้อมูลจีโนมที่เก็บจากคนไทยจำนวน 886 คน ซึ่งเป็นโรคจอประสาทตาเสื่อม (neovascular age-related macular degeneration: AMD) และ 920 คน ซึ่งไม่เป็นโรคจอประสาทตาเสื่อม จากการศึกษาของ (Ruamviboonsuk et al., 2017) โดยผู้เข้าร่วมวิจัยแบ่งกลุ่มตัวอย่างเป็นสองกลุ่มคือ RIKEN I จำนวน 863 คน และ RIKEN II 949 คนตามลำดับ ซึ่งทั้งสองกลุ่มถูกตรวจทางพันธุกรรมโดยใช้สปีดไมโครอาร์เรย์ HumanOmniExpressExome-8v1-2 และ Infinium.OmniExpressExome-8v1-3 (Illumina, Inc., San Diego, CA, USA) ซึ่งประกอบด้วย 964,193 SNPs และ 958,497 SNPs ตามลำดับ เพื่อทำการเทียบ CAD-GRS ของคนไทย (RIKEN I & II) กับประชากรทั่วโลก ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลทางพันธุกรรมของประชากรจาก 1KGp1 (1000 Genomes Project Consortium, 2012) ซึ่งมีจำนวนทั้งสิ้น 1,902 คน จาก 4 ทวีปประกอบไปด้วย ชาวเอเชียตะวันออก (ASN) 286 คน ชาวยุโรป (EUR) 379 คน ชาวอเมริกา (AMR) 181 คน และชาวแอฟริกา (AFR) 246 คน

### 4.2 การวิเคราะห์ข้อมูล

#### 4.2.1 Quality Control

เพื่อให้ได้ข้อมูลพันธุกรรมที่ถูกต้อง กระบวนการควบคุมคุณภาพของข้อมูลพันธุกรรม แบ่งเป็นสองระดับได้แก่ ระดับบุคคล (individual level) และที่แต่ละตำแหน่งของสปีด (SNP level) โดยซอฟต์แวร์ PLINK เวอร์ชัน 1.9 โดย สปีด และตัวอย่างที่มี call rate < 99% หรือ missing genotype มากกว่าร้อยละ 1 จะถูกคัดออก นอกจากนี้ตัวอย่างที่มี heterozygosity rate ที่มากกว่า 3 SD ซึ่งแสดงถึง sample contamination จะถูกคัดออกด้วยเช่นกัน

#### 4.2.2 Genotype Phasing and Imputation

เนื่องจากสปีด ที่ต้องใช้ในการคำนวณ GRS หลายตำแหน่งไม่ได้ถูกจีโนมโดยตรงด้วยสปีดไมโครอาร์เรย์ กระบวนการ genotype imputation จึงถูกนำมาใช้ เพื่อช่วยบอกชนิดของสปีดที่ตำแหน่งเหล่านั้น โดยเริ่มต้นจากการทำ phasing ก่อนเป็นขั้นตอนแรกโดย Eagle version 2.4.1 (Loh et al., 2016) ซึ่งใช้วิธี cohort phasing แทน reference phasing ซึ่งจะใช้อ้างอิงจากตัวอย่างของชาวเอเชีย (EAS) ใน 1KGp3 เนื่องจาก reference panel ของ EAS มีขนาดเล็กกว่ากลุ่มตัวอย่างที่กำลังศึกษา หลังจากนั้น ผู้วิจัยได้ทำการ genotype imputation ซึ่งวิเคราะห์โดยซอฟต์แวร์ IMPUTE2 (Howie, Fuchsberger, Stephens, Marchini, & Abecasis, 2012) โดยใช้ reference panel จาก 1KGp1 ซึ่งประกอบด้วย ~37.9 ล้าน variants (genome build version 37).

#### 4.2.3 GRS Calculation and Risk Allele Frequency Comparison

ผู้วิจัยใช้เว็บแอปพลิเคชัน MeGRS เพื่อช่วยทำนายความเสี่ยงของโรคไม่ติดต่อที่สำคัญ (Taoma & Suktitipat, 2019) ในการคำนวณคะแนน CAD - GRS MeGRS ทำนายความเสี่ยงโดยใช้ summary statistics ของสปีด จากการศึกษาของ Nikpay, et al (2015) ซึ่งมี SNPs ทั้งหมด 40 ตัว ( $r^2 < 0.2$ ) ที่มี p-value <  $5 \times 10^{-8}$  โดยคำนวณ GRS ทั้งแบบถ่วงน้ำหนัก (weighted GRS)

หลังจาก GRS ที่ถูกคำนวณในแต่ละประชากรที่ศึกษา จะถูกเปรียบเทียบความแตกต่างกัน โดยใช้ one-way ANOVA และ Independent t-test เพื่อเปรียบเทียบกับคนไทย

นอกจากนี้ Spearman's correlation test. และ Mann-Whitney-Wilcoxon test จะถูกใช้ในการคำนวณความสัมพันธ์ของความถี่ของสปีส์ (risk allele frequency: RAF) ระหว่างสองกลุ่มประชากร และคำนวณเปรียบเทียบ allelic heterozygosity ของ SNPs ที่ significant level 0.00125 (0.05/40) หลังควบคุมความผิดพลาดชนิดที่ 1 ตามวิธีของ บอนเฟอร์โรนี (Bonferroni's correction)

## 5. สรุปผลการวิจัย

เพื่อทำการสำรวจคะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรมของโรคหลอดเลือดหัวใจในประชากรไทย และเปรียบเทียบกับประชากรทั่วโลกจาก 1,000 Genome Project phase 1 (1KGp1) ผู้วิจัยได้ตรวจสอบคุณภาพข้อมูลจีโนมโทป์ของประชากรไทย และ 1KGp1 และหลังจากนั้นได้ทำการวิเคราะห์คะแนนความเสี่ยงและเปรียบเทียบความถี่ risk allele ในประชากรไทยเทียบกับ 1KGp1 ดังรายละเอียดต่อไปนี้

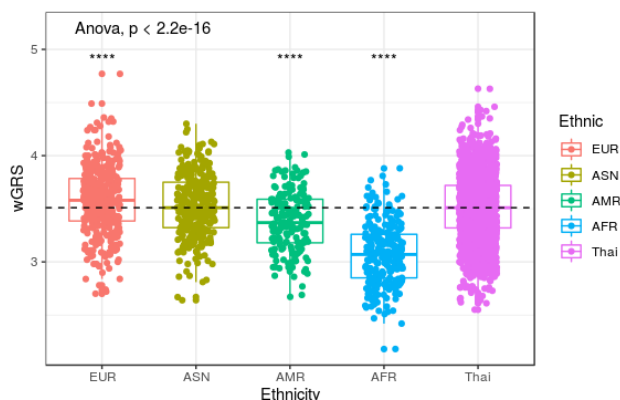
### 5.1 ข้อมูลพันธุกรรมสำหรับคำนวณคะแนนความเสี่ยง

ข้อมูลจากตัวอย่าง 6 คน ที่มี heterozygosity rate มากกว่า 3 SD ได้ถูกคัดออกจากการวิเคราะห์ เนื่องจากเกณฑ์ดังกล่าวแสดงถึง sample contamination โดยทุกตัวอย่างมี missing genotype ที่น้อยกว่าร้อยละ 99 นอกจากนี้ในการควบคุมระดับสปีส์ พบสปีส์ที่มี missing genotype น้อยกว่าร้อยละ 99 จำนวน 927,626 (98.92 %) และ 923,725 (99.05 %) ตำแหน่งใน RIKEN I และ RIKEN II ตามลำดับ หลังจากผ่านการควบคุมคุณภาพทั้งสองกลุ่มตัวอย่างแล้ว ผู้วิจัยได้รวมสองกลุ่มตัวอย่างโดยตัด duplicate SNPs จำนวน 20,324 ตัว ซึ่งมีข้อมูลซ้ำซ้อนกันระหว่างสองกลุ่มตัวอย่างออก ดังนั้นมี SNPs คงเหลือทั้งหมด 916,501 ตัว และข้อมูลรวม 1,806 คน ในกระบวนการ phasing และ genotype imputation จาก สปีส์ทั้งหมด ใน reference panel จำนวน ~37.9 ล้านมีสปีส์ จำนวน 11 ล้านตำแหน่ง (~30 %) ที่มีระดับความถูกต้องผ่านเกณฑ์ (INFO > 0.3) และสามารถนำไปใช้วิเคราะห์ต่อได้ โดยเป็นสปีส์ที่ใช้ในการคำนวณ CAD-GRS รวม 27 ตัวที่ถูก impute ขึ้นมา ทั้งนี้ SNPs rs55730499 ไม่สามารถ impute ได้ (INFO = 0.158) และ ไม่สามารถหา proxy SNPs ที่ INFO > 0.3 มาทดแทน SNP ตัวดังกล่าวได้ จึงมีความจำเป็นที่ต้องตัด rs55730499 ออกจากการคำนวณ GRS โดยเหลือ SNPs ทั้งหมด 40 ตัว เพื่อใช้ในการคำนวณ CAD-GRS

### 5.2 GRS Calculation and Risk Allele Frequency Comparison

การกระจายตัวของ GRS ของโรคหลอดเลือดหัวใจในประชากรไทย และประชากร 1KGp1 โดยพบว่า CAD-GRS มีการกระจายตัวที่แตกต่างกันในแต่ละเชื้อชาติแตกต่างกันอย่างชัดเจน (one-way ANOVA,  $p < 0.0001$ ) ดังรูปที่ 1

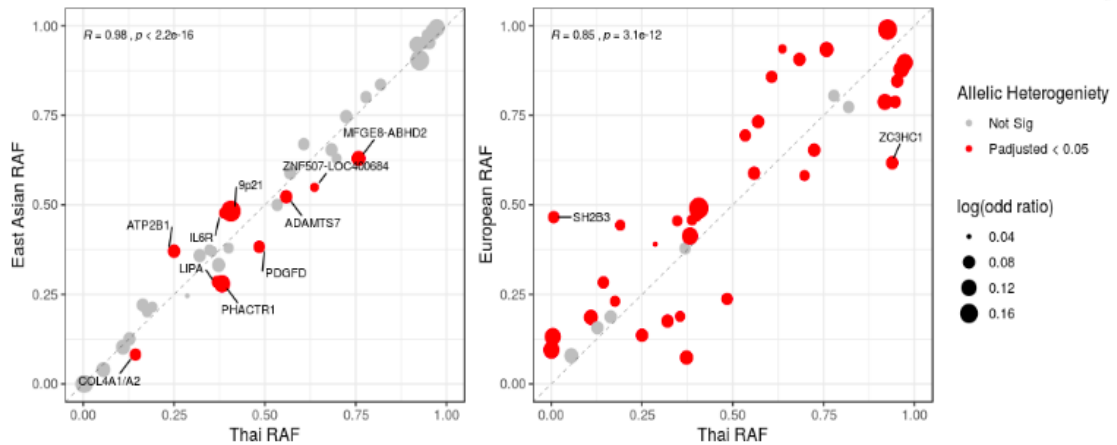




**รูปที่ 1:** เปรียบเทียบ GRS ของโรคหลอดเลือดหัวใจในประชากรไทย และประชากรจาก 1KGp1 ซึ่งประกอบไปด้วยชาวยุโรป (EUR) ชาวเอเชียตะวันออก (ASN) ชาวอเมริกัน (AMR) และชาวแอฟริกัน (AFR)

ซึ่งความแตกต่างดังกล่าวสามารถพบได้ในอาทิเช่น ชาวยุโรป (Mean = 3.58, S.D. = 0.31) และชาวแอฟริกัน (Mean = 3.07, S.D. = 0.29) จากความแตกต่างดังกล่าวพบว่า ชาวแอฟริกันมีคะแนนความเสี่ยง CAD-GRS เปรอร์เซ็นไทล์ที่ 50 อยู่ที่ 3.07 เมื่อเทียบกับชาวยุโรปที่ 3.58 ในขณะที่การกระจายตัวคะแนนความเสี่ยง CAD-GRS ในประชากรไทย (Mean = 3.51, S.D. = 0.29) พบว่ามีความใกล้เคียงกับชาวเอเชียตะวันออก (Mean = 3.52, S.D. = 0.30) (Independent t-test,  $p = 0.38$ ) นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ทดลองเปรียบเทียบ จำนวนกลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงทางพันธุกรรมต่อโรคหลอดเลือดหัวใจในประชากรไทย โดยใช้ค่าอ้างอิงจากค่ามัธยฐาน หรือเปอร์เซ็นไทล์ที่ 50<sup>th</sup> ของประชากรทั่วโลก (1KGp1) ในประชากรไทยพบว่า ร้อยละ 55.4 มีความเสี่ยงที่มากกว่าค่ามัธยฐานของประชากรทั่วโลก

เพื่อช่วยอธิบายเพิ่มเติมว่า GRS ในประชากรไทยใกล้เคียงกับในประชากรเอเชียตะวันออก และแตกต่างจากชาวยุโรป จากเหตุใดทางคณะผู้วิจัยได้ ทดสอบความสัมพันธ์ของ RAF ระหว่างประชากรดังกล่าว โดยพบว่า ประชากรไทย และชาวเอเชียตะวันออก มีค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ ( $r_s$ ) สูงถึง 0.98 และความถี่ risk allele ของ SNPs ระหว่างประชากรไทย และชาวเอเชียส่วนมากมีจำนวนเท่ากัน (รูปที่ 2 ซ้าย) จึงส่งผลให้มีการกระจายตัวของคะแนนความเสี่ยง CAD-GRS ที่เท่ากัน อย่างไรก็ตามพบว่ายังมีความแตกต่างของความถี่ของ risk allele ระหว่างสองประชากรดังกล่าว (Mann-Whitney-Wilcoxon Test,  $p = 0.00125$ ) ใน 10 ยีน เช่น 9p21 (rs2891168) *PHACTR1* (rs9349379) *ATP2B1* (rs2681472) และ *MFGE8* (rs8042271) เป็นต้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าประชากรไทยมีความเสี่ยงทางพันธุกรรมสำหรับโรคหลอดเลือดหัวใจ ที่แตกต่างจากชาวเอเชียตะวันออกเช่นกัน ถึงแม้ว่าจะมีค่าเฉลี่ยของ CAD-GRS ในประชากรใกล้เคียงกัน อาทิเช่น ประชากรเอเชีย จะมีโอกาสเกิดโรคหลอดเลือดหัวใจจากภาวะหลอดเลือดแข็งตัว (atherosclerosis) มากกว่าชาวไทย เนื่องจากเกิดการมิวเทชันในยีน *CDKN2B-AS1* (rs2891168,  $RAF_{EAS} = 0.48$  และ  $RAF_{Thai} = 0.40$ ) ซึ่งอยู่ในโลคัส 9p21



**รูปที่ 2:** เปรียบเทียบความถี่ของ risk allele ของ 40 CAD-SNPs ระหว่างชาวไทย - ชาวเอเชียตะวันออก (ชาย) และชาวไทย - ชาวยุโรป (ขวา) โดยที่เส้นประ แสดงถึง ความเท่ากันของ RAF ของสองประชากรดังกล่าว ซึ่งฟังก์ชันของสนิปส์ในแต่ละยีนอิง จาก OMIM (Hamosh, Scott, Amberger, Valle, & McKusick, 2000)

เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของโครงสร้างทางพันธุกรรมระหว่างชาวไทยและชาวยุโรป (รูปที่ 2 ขวา) ถึงแม้ว่าความสัมพันธ์ความสัมพันธ์จะอยู่ในระดับสูง ( $r_s = 0.85$ ) แต่ SNPs ในยีนส่วนมากที่ยังคงมี RAF ความแตกต่างกันระหว่าง ชาวไทย และชาวยุโรป รวมถึงกระจายตัวของ effect size ที่มีขนาดสูงก่อนไปทางยุโรป จึงส่งผลให้ชาวยุโรปมีค่าเฉลี่ยของคะแนนความเสี่ยง CAD-GRS ที่มากกว่าชาวไทย (รูปที่ 1) นอกจากนี้ สองประชากรดังกล่าวยังมีสาเหตุการเกิด CAD ที่แตกต่างกันอาทิเช่น การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมจาก (mutation) จากกรดอะมิโนกลูตามิก เป็น กรดอะมิโนกลูตามีน ที่ตำแหน่ง 208 (E208Q) ในโปรตีน SH2B3 (rs3184504) ยีนซึ่งพบในผู้ป่วยที่มีอาการเกล็ดเลือดสูง (essential thrombocythemia) ซึ่งอาจช่วยอธิบายว่าชาวยุโรปน่าจะมียีนโอกาสเกิด CAD จากกลีเม็ลเลือดอุดตันในหลอดเลือดมากกว่าชาวไทย เนื่องจากมี RAF ของ SNPs ที่พบมากในยีนดังกล่าว ( $RAF_{EUR}: 0.46$  and  $RAF_{Thai}: 0.006$ ,  $p < 5e-90$ ) ในขณะที่ ชาวไทยมีโอกาที่จะมีสาเหตุของ CAD จากการเกิดมิวเทชันในของยีน ZC3HC1 (rs11556924) ซึ่งเกิดการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมจาก อาร์จินีน เป็นฮิสติดีนของ NIPA (Nuclear Interaction Partner of ALK) โปรตีนที่ตำแหน่ง 363 ซึ่งสามารถก่อให้เกิดภาวะหลอดเลือดแข็งตัว (atherosclerosis) มากกว่าชาวยุโรป ( $RAF_{EUR}: 0.61$  and  $RAF_{Thai}: 0.93$ ,  $p < 5e-90$ )

## 6. อภิปรายผล

ในงานวิจัยนี้ ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาการกระจายตัวของคะแนนความเสี่ยง CAD-GRS โดย คำนวณจาก multi-ethnic summary statistics ในประชากรไทย เทียบกับประชากรทั่วโลกจาก 1KGp1 โดยพบการกระจายตัวของคะแนนความเสี่ยง CAD-GRS ที่คล้ายคลึงกันระหว่างประชากรไทย และชาวเอเชียตะวันออก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Reisberg, et al (2017) ซึ่งพบว่า GRS ที่คำนวณจาก multi-ethnic summary statistics ในโรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคเบาหวานประเภท 2 ของชาวยุโรป (1KGp3) และ GRS ของชาวเอสโตเนียยีน ใกล้เคียงกันซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างประชากรวิเคราะห์ที่ใกล้เคียงกัน

อย่างไรก็ตามประชากรที่มีโครงสร้างพันธุกรรมคล้ายคลึงกัน ก็อาจมีการกระจายตัวของ GRS ที่แตกต่างกันได้ เช่นที่พบจากการศึกษาในชาวมาเก๊าของ Tsui, et al (2018) โดยพบว่าคะแนนความเสี่ยงของชาวมาเก๊าที่เหมือนและต่างจากชาวจีนแผ่นดินใหญ่ (IGKp3) ตัวอย่างเช่น ในโรคความดันโลหิตสูง (Macau < Chinese) โรคจอประสาทตาเสื่อม (Macau > Chinese) และโรคพาร์กินสัน (Macau > Chinese) เป็นต้น

ในกรณีของประชากรไทย ถึง CAD-GRS จะใกล้เคียงกับชาวเอเชียตะวันออก แต่สำหรับโรคอื่นๆ ก็อาจพบความเสี่ยงทางพันธุกรรมที่แตกต่างกันได้เช่นกัน ถึงแม้ว่าโครงสร้างประชากรทางพันธุกรรมระหว่างคนไทยและชาวเอเชียตะวันออก อาจจะใกล้เคียงกัน ดังนั้นการใช้ค่าอ้างอิงของ GRS ที่มาจากประชากรอื่นๆ ที่มีโครงสร้างทางพันธุกรรมใกล้เคียงกันควรที่จะมีการประเมินการกระจายตัวเทียบกับกลุ่มประชากรเป้าหมายก่อนที่จะนำค่าอ้างอิง GRS ไปใช้

เนื่องจากข้อจำกัดของงานวิจัยนี้ การสำรวจการกระจาย CAD-GRS ในชาวไทย ยังไม่สามารถบอกอรรถประโยชน์ทางคลินิก (clinical utility) ของ GRS ที่แท้จริงได้ ถึงแม้ว่าจะพบการกระจายตัวของคะแนนความเสี่ยง GRS ที่สอดคล้องกันระหว่างชาวไทยและชาวเอเชียตะวันออกก็ตาม คะแนนความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ จำเป็นต้องถูกนำไปประเมินความถูกต้อง ในการทำนายผลจริงในกลุ่มผู้ป่วยโรคหลอดเลือดหัวใจ ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาต่อไป

เมื่อเทียบการกระจายตัวของ CAD-GRS กับอัตราการตายจาก CAD (death proportion: DP) ตามรายงานโดยองค์การอนามัยโลก (World Health Organization, 2018) พบว่าสอดคล้องกับการกระจายตัวของ CAD – GRS โดยพบว่าชาวยุโรปมีภาวะโรคหัวใจ และ CAD-GRS มากที่สุดเป็นอันดับหนึ่ง (DP: 25.4 %, GRS mean: 3.58) ตามด้วยชาวเอเชียตะวันออก รวมถึงประชากรไทย (DP: 16.2 %, GRS<sub>EAS</sub> mean: 3.52, GRS<sub>Thai</sub> mean: 3.51) ชาวอเมริกัน (DP: 15.9 %, GRS<sub>AMR</sub> mean: 3.38) และชาวแอฟริกัน (DP: 5.8 %, GRS<sub>AFR</sub> mean: 3.07) ตามลำดับ

อย่างไรก็ตาม เมื่อเทียบการกระจายตัวของ GRS ในโรคหลอดเลือดหัวใจ และโรคเบาหวาน ตามการศึกษาของ Reisberg, et al (2017) พบว่ามีการกระจายตัวของ GRS ที่ไม่สอดคล้องกับอัตราการตายของสองโรคดังกล่าว ความแตกต่างระหว่างการกระจายตัวของ GRS และ อัตราการตายในโรคที่ศึกษา อาจเกิดจากปัจจัยสิ่งแวดล้อม หรือพฤติกรรม ซึ่งส่งผลให้อัตราการตาย และ GRS แตกต่างกันในประเทศที่ศึกษา

เนื่องจาก CAD มี heritability สูงถึงร้อยละ 49 (Fischer et al., 2005) และในปัจจุบันอัตราการเสียชีวิตของ CAD มีแนวโน้มที่สูงขึ้นในประเทศไทย ความเสี่ยงทางพันธุกรรมของ CAD ที่สูงในประชากรไทย จากค่าการกระจายตัวของ CAD-GRS ในโครงการนี้ เน้นถึงความจำเป็นต่อการประเมิน CAD-GRS ในประชากรไทย ซึ่งมีความเสี่ยงของ CAD สูงเป็นอันดับสอง รองจากชาวยุโรป และมีความเสี่ยงมากกว่า ชาวอเมริกัน และชาวแอฟริกัน ซึ่งน่าจะนำไปสู่การป้องกันโรคหัวใจ และอาจช่วยลดความเสี่ยงในการเกิดโรคหัวใจในประชากรไทยในอนาคตได้

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การวิจัยครั้งนี้แสดงให้เห็นว่า เว็บบแอปพลิเคชัน MeGRS ที่ถูกพัฒนาสามารถนำมาช่วยคำนวณคะแนนความเสี่ยงทางพันธุกรรมได้จริง นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของ CAD-GRS ในประชากรไทย โดยใช้ multi-ethnic summary statistics จากการศึกษาของ Nikpay et al 2015 ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงความเสี่ยงทางพันธุกรรมของโรคหัวใจที่มีค่าสูงที่เทียบกับประชากรโลก ซึ่งช่วยเน้นถึงความจำเป็นของ

ประเทศที่ควรมีนโยบายทางด้านสาธารณสุข ที่สร้างเสริมความตระหนักรู้ต่อความเสี่ยงของโรคหลอดเลือดหัวใจ ในคนไทยเพิ่มขึ้น

นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังสามารถใช้เป็นแนวทางเบื้องต้นในการเลือกใช้อ้างอิง GRS เช่นการใช้อ้างอิงความเสี่ยงทางพันธุกรรมจากประชากรทั่วไป (control group) จากประชากรข้างเคียงกับประชากรไทยที่เป็นโรค เพื่อสำรวจหากกลุ่มประชากรที่มีความเสี่ยงสูง (อาทิเช่น มากกว่า เปอร์เซ็นต์ที่ 80) ซึ่งการใช้อ้างอิง GRS จากตัวอย่างดังกล่าว ในประชากรข้างเคียงดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการค้นหาบุคคลที่มีความเสี่ยงทางพันธุกรรมที่สูงเพื่อรับการคัดกรองโรค (disease screening) ได้ต่อไป

## 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ผู้วิจัยเสนอแนะ ให้มีงานวิจัยในการเปรียบเทียบ หรือสร้างโมเดลทำนายความเสี่ยงโดยเปรียบเทียบ การความสามารถในการทำนายความเสี่ยง (predictive ability) โดยนำ candidate markers summary statistics ที่ต่างกัน อาทิเช่น จาก multi-ethnic summary statistics หรือจากประชากรที่มีพื้นฐานทางพันธุกรรมเหมือนกับประชากรที่ศึกษา (single-ethnic summary statistics) เพื่อสามารถนำ summary statistics มาสร้าง GRS โมเดลที่ดีที่สุด เพื่อนำไปใช้สำหรับคัดกรองโรค (disease screening) วางแผนการรักษา (treatment planning) หรือวางแผนด้านสุขภาพ (life planning) ได้อย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

## 8. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนบัณฑิตศึกษาคณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล (Siriraj Graduate Scholarship), สำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) (ทุนทำทนายไทย) และทุนกองทุนเฉลิมพระเกียรติ คณะแพทยศาสตร์ศิริราชพยาบาล

## 9. เอกสารอ้างอิง

- 1000 Genomes Project Consortium. (2012). An integrated map of genetic variation from 1,092 human genomes. *Nature*, 491(7422), 56–65. <https://doi.org/10.1038/nature11632>
- Fischer, M., Broeckel, U., Holmer, S., Baessler, A., Hengstenberg, C., Mayer, B., ... Schunkert, H. (2005). *Distinct heritable patterns of angiographic coronary artery disease in families with myocardial infarction*. Retrieved from <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15710764?dopt=Abstract>
- Hamosh, A., Scott, A. F., Amberger, J., Valle, D., & McKusick, V. A. (2000). Online Mendelian Inheritance in Man (OMIM). *Human Mutation*, 15(1), 57–61. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-1004\(200001\)15:1<57::AID-HUMU12>3.0.CO;2-G](https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-1004(200001)15:1<57::AID-HUMU12>3.0.CO;2-G)
- Howie, B., Fuchsberger, C., Stephens, M., Marchini, J., & Abecasis, G. R. (2012). Fast and accurate genotype imputation in genome-wide association studies through pre-phasing. *Nature Genetics*, 44(8), 955–959. <https://doi.org/10.1038/ng.2354>
- Loh, P. R., Danecek, P., Palamara, P. F., Fuchsberger, C., Reshef, Y. A., Finucane, H. K., ... Price, A. L. (2016). Reference-based phasing using the Haplotype Reference Consortium panel. *Nature Genetics*, 48(11), 1443–1448. <https://doi.org/10.1038/ng.3679>

- Nikpay, M., Goel, A., Won, H. H., Hall, L. M., Willenborg, C., Kanoni, S., ... Farrall, M. (2015). A comprehensive 1000 Genomes-based genome-wide association meta-analysis of coronary artery disease. *Nature Genetics*, *47*(10), 1121–1130. <https://doi.org/10.1038/ng.3396>
- Reisberg, S., Iljasenko, T., Läll, K., Fischer, K., & Vilo, J. (2017). Comparing distributions of polygenic risk scores of type 2 diabetes and coronary heart disease within different populations. *PLoS ONE*, *12*(7), 1–9. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0179238>
- Ruamviboonsuk, P., Tadarati, M., Singhanetr, P., Wattanapokayakit, S., Kunhapan, P., Wanitchanon, T., ... Mahasirimongkol, S. (2017). Genome-wide association study of neovascular age-related macular degeneration in the Thai population. *Nature Publishing Group*, *62*(11), 957–962. <https://doi.org/10.1038/jhg.2017.72>
- Taoma, K., & Suktitipat, B. (2019). Genetic Risk Prediction Platform for Common Non-Communicable Diseases. Proceeding from the Annual Meeting of the Genetics Society of Thailand, Pattaya, Cholburi, Thailand. 149p. Retrieved from <https://drive.google.com/file/d/1qaxhBsjsxhvwwDlpCfBC4YXylX3RqAzkk>
- Torkamani, A., Wineinger, N. E., & Topol, E. J. (2018). The personal and clinical utility of polygenic risk scores. *Nature Reviews Genetics*, *19*(9), 581–590. <https://doi.org/10.1038/s41576-018-0018-x>
- Tsui, N. B. Y., Cheng, G., Chung, T., Lam, C. W. K., Yee, A., Chung, P. K. C., ... Fok, M. (2018). Population-Wide Genetic Risk Prediction of Complex Diseases: A Pilot Feasibility Study in Macau Population for Precision Public Healthcare Planning. *Scientific Reports*, *8*(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-19017-y>
- Wilson, P. W. F., D'Agostino, R. B., Levy, D., Belanger, A. M., Silbershatz, H., & Kannel, W. B. (1998). Prediction of coronary heart disease using risk factor categories. *Circulation*, *97*(18), 1837–1847. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.97.18.1837>
- World Health Organization. (2018). Global Health Estimates 2016: Deaths by Cause, Age, Sex, by Country and by Region, 2000-2016. Retrieved from [https://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/estimates/en/](https://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/estimates/en/)

## ผลของอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงต่อการเดินในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง

### THE EFFECT OF MODIFIED ANKLE SUPPORT DEVICE

### ON WALKING ABILITY IN STROKE PATIENTS

ณัฐกฤตา ฐิติชัยวัฒน์

นักศึกษา สาขาวิทยาการฟื้นฟูสมรรถภาพคนพิการ วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: nutkrittapt@gmail.com

อาจารย์ ดร.สุจิตรา เขียวศรี

อาจารย์ประจำ สาขาวิทยาการฟื้นฟูสมรรถภาพคนพิการ วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: suchitra.khe@mahidol.ac.th

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภ.ภ.วรินทร์ กฤตยาภิรม

อาจารย์ประจำ สาขาวิทยาการฟื้นฟูสมรรถภาพคนพิการ วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล

อาจารย์ประจำ คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: warin.kri@mahidol.edu

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาอุปกรณ์พยุงข้อเท้าสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีการเกร็งปลายเท้าลงและบิดเข่าด้านในขณะเดิน และเพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเดินของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระหว่างใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าที่พัฒนาขึ้น กับอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบเดิม และไม่ได้ใส่อุปกรณ์ วิจัยดำเนินการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน (1) พัฒนาอุปกรณ์พยุงข้อเท้าโดยออกแบบให้อุปกรณ์มีแรงดึงจากยางยืดโดยใช้แบบจำลอง มนุษย์ กิจกรรม และเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก (Human Activity Assistive Technology model : HAAT model) ตรวจสอบและสอบถามความคิดเห็นต่ออุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง โดยผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 10 คน จากนั้นนำข้อเสนอแนะมาปรับปรุงแก้ไข พัฒนาเป็นอุปกรณ์ต้นแบบ (2) ทดสอบการใช้งานกับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง โดยเปรียบเทียบความสามารถของการเดินเมื่อเดินด้วยเท้าเปล่า ใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบเดิม และเมื่อใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่เข้ารับบริการฟื้นฟูสภาพในแผนกเวชศาสตร์ฟื้นฟู สถาบันประสาทวิทยา เลือกตัวอย่างแบบเฉพาะเจาะจง จำนวน 17 คน ผลการวิจัยพบว่า อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงทำให้เท้าอยู่ในลักษณะงอปลายเท้าขึ้นและบิดออกด้านนอก มีความยืดหยุ่น สวมใส่สบาย ทำความสะอาดง่าย สามารถใช้ได้กับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมอง ปรับได้กับทุกขนาดของเท้า ไม่ต้องสวมรองเท้าขณะเดิน และจากการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง พบว่า เมื่อใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงทำให้ความเร็วของการเดินจำนวนก้าวต่อนาที และคะแนน TUG ดีกว่าเดินเท้าเปล่า และเดินใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบเดิม ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

คำสำคัญ: อุปกรณ์พยุงข้อเท้า ความสามารถในการเดิน โรคหลอดเลือดสมอง

## ABSTRACT

The objective of this study was to develop ankle support device for stroke patients with spasticity of ankle plantar flexion and inversion while walking and to compare walking ability of stroke patients between use a modified ankle support, plastic ankle foot orthoses and bare foot. The research was divided into two parts. First was the development of ankle foot support device, designed with the principle of HAAT model to have pulling force from textile elastic. Investigated and commented on the modified ankle support by 10 experts in related fields. Improved and modified according to the suggestion and develop- into a prototype device. Second part was a test of used by stroke patients, compared the ability of walking when walking with barefoot, a plastic ankle foot orthoses and the modified ankle support device. The subjects were stroke patients who received rehabilitation services at the Department of Rehabilitation Medicine of Prasat Neurological Institute. Seventeen participants were selected by purposive sampling meet the inclusion criteria and sign the consent to participate in the research. From the development, the modified ankle support had elastic band to correct the ankle position to flexion with eversion while walking. Flexible, comfortable to wear, easy to clean, adjustable to all sizes of foot and no need to wear shoes while walking. The effectiveness of the modified ankle support showed that when wearing the modified ankle support, gait velocity, cadence and the Timed Up and Go test scores were better than barefoot and the plastic ankle support at the level of significance 0.05

**Keywords:** Ankle support, walking ability, stroke

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ภาวะกล้ามเนื้อหดเกร็งแบบกระดกปลายเท้าลงและบิดเข้าด้านในของขาข้างอ่อนแรงในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเป็นลักษณะที่พบได้บ่อยและส่งผลกระทบต่อการใช้ชีวิตประจำวันอย่างอิสระของผู้ป่วยมาก เช่น การทำกิจวัตรประจำวัน การเคลื่อนย้ายตัว ไปจนถึงการเดิน สามารถสังเกตได้ง่ายโดยเฉพาะเมื่อมีการรับน้ำหนักตัวของขาข้างนั้นขณะเดิน (Ferhan and Ahmet, 2007) เมื่อแบ่งช่วงการก้าวเดินของขา 1 ข้างออกเป็น 2 ช่วง ได้แก่ ช่วงเท้าสัมผัสพื้น (stance phase) และช่วงเท้าลอยพื้น (swing phase) จะพบความผิดปกติที่เกิดขึ้นคือมีการลงน้ำหนักที่ขอบของเท้าด้านนอกมากกว่าปกติในช่วงเท้าสัมผัสพื้น (stance phase) เพื่อรับน้ำหนักของร่างกายและมีการใช้ระยะเวลาที่นานขึ้น ร่วมกับการเอียงตัวไปทางด้านข้างแรงมากขึ้นในช่วงเท้าลอยพื้น (swing phase) เพื่อให้สามารถเหวี่ยงขาไปด้านหน้าได้ ลักษณะที่เกิดขึ้นนี้ส่งผลทำให้ผู้ป่วยเสียสมดุลของการทรงตัวทั้งในขณะที่เท้าสัมผัสพื้น และเท้าลอยพื้น นำไปสู่การล้มขณะเดินด้วยตนเองเพียงลำพัง (Sankaranayan et al., 2016) การฟื้นฟูสมรรถภาพด้านการเดินของผู้ป่วยที่มีภาวะหดเกร็งของข้อเท้าจึงมีความจำเป็นที่ต้องควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อเท้าให้เกิดการเคลื่อนไหวที่เหมาะสมและปลอดภัย มีการนำอุปกรณ์สำหรับช่วยพยุงข้อเท้าหลากหลายรูปแบบมาใช้ (Hwang et al., 2013; Kim et al., 2016; Patil and Rao, 2011; Sankaranarayan et al., 2016; Zancan et al., 2004) ไปจนถึงอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยีขั้นสูง เช่น หุ่นยนต์ช่วยฝึกเดิน (electromechanical/robot-assisted), อุปกรณ์พยุงพร้อมไฟฟ้ากระตุ้นการทำงานของกล้ามเนื้อ (functional electrical stimulation-based orthosis) (Shorter et al., 2011) สำหรับในประเทศไทยผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีปัญหาการควบคุมการเคลื่อนไหวของข้อเท้าจะได้รับอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติกตัดเข้ารูปเพื่อช่วยในการฝึกเดินทำให้สามารถ

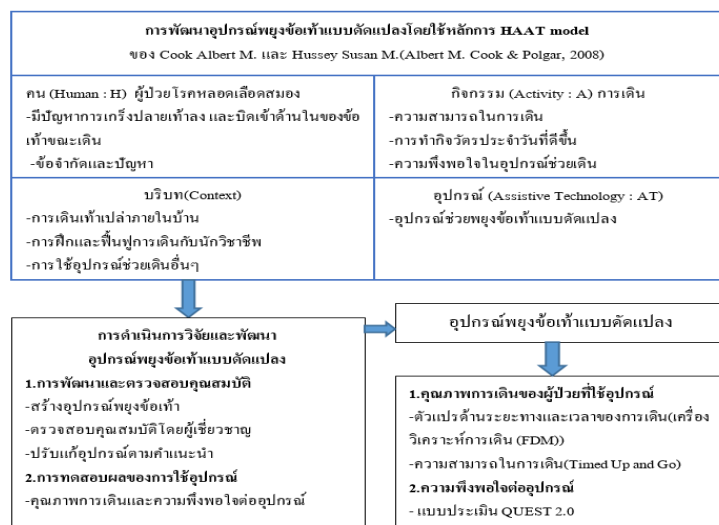
ควบคุมขาข้างที่อ่อนแรงให้ทำการเคลื่อนไหวได้ดีขึ้น แต่ก็ยังมีข้อเสียของการใช้อุปกรณ์ชนิดนี้คือ Tyson และ Thornton (Tyson and Thornton, 2001) รายงานถึงข้อเสียของอุปกรณ์พยุงแบบคัตเข้ารูปนี้ว่า เมื่อใช้อุปกรณ์ในระยะยาวจะส่งผลต่อความแข็งแรงของกล้ามเนื้อกระดูกข้อเท้าที่ลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Sankaranarayan และคณะ(2016) ที่พบว่านอกจากความแข็งแรงที่ลดลงแล้ว เมื่อใช้อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติกในระยะยาวยังทำให้การฟื้นตัวของขาข้างที่อ่อนแรงลดลงด้วย นอกจากนี้เมื่อสอบถามถึงความรู้สึกของผู้ใช้เมื่อใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติกบางรายมีอาการระคายเคืองหรือเจ็บผิวหนังบริเวณที่สวมใส่ จากข้อดีของอุปกรณ์ที่ทำจากพลาสติกจึงได้มีการศึกษาที่ใช้อุปกรณ์พยุงข้อเท้าที่ทำจากผ้าหรือใยสังเคราะห์มาทดแทน เช่น Zancan และคณะ(2004) ใช้อุปกรณ์พยุงข้อเท้าที่ทำจากแถบผ้ายาวเปรียบเทียบกับอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติก พบว่ามีการเคลื่อนไหวของขาและข้อเท้าข้างที่บิดเกร็งและความเร็วของการเดินที่ดีขึ้น Noha และคณะ(Noha et al., 2013) ใช้อุปกรณ์ที่ทำจากถุงเท้าและยางยืดพยุงส่วนเท้าและข้อเท้าเปรียบเทียบการเดินเท้าเปล่าพบว่า ความเร็วของการเดิน ความยาวของการก้าวขา และช่วงเวลาการรับน้ำหนักของขาข้างอ่อนแรงเพิ่มขึ้น

จากผลการศึกษาข้างต้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดเพื่อพัฒนาอุปกรณ์ที่เป็นถุงเท้าผ้าขนาดพอดีกับเท้าร่วมกับการใช้ยางยืดที่มีความยืดหยุ่นและแรงดึงต้านกับการบิดเกร็งของกล้ามเนื้อ เพื่อใช้ในการฝึกเดินสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีการเกร็งปลายเท้าลงและบิดเข้ด้านในของข้อเท้าขณะเดิน และเปรียบเทียบรูปแบบการเดินของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีการเกร็งปลายเท้าลงและบิดเข้ด้านในของข้อเท้าขณะเดินเมื่อใช้อุปกรณ์พยุงข้อเท้าที่พัฒนาขึ้น อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบเดิม และการเดินเท้าเปล่า

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาอุปกรณ์พยุงข้อเท้าในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีการเกร็งปลายเท้าลงและบิดเข้ด้านในของข้อเท้าขณะเดิน
2. เพื่อเปรียบเทียบความสามารถในการเดินของผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองระหว่างใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าที่พัฒนาขึ้น อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบเดิม และไม่ใส่อุปกรณ์

## 3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย



#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือขั้นตอนการพัฒนาอุปกรณ์ และการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์พุงข้อเท้าแบบดัดแปลงสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีการเกร็งปลายเท้าลงและบิดเข่าด้านใน

##### 4.1 ขั้นตอนที่ 1 การพัฒนาและตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์

4.1.1 กำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ใช้หลักการ HATT model ของ Cook Albert M. และ Hussey Susan M. (Albert M. Cook & Polgar, 2008)เพื่อกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์ตามปัญหา และบริบทของผู้ใช้งาน จนได้คุณสมบัติตามนี้คือ

1. ออกแบบอุปกรณ์ให้มีแรงดึงจากยางยืดที่ทำให้เท้าอยู่ในแนวการเคลื่อนไหวที่เหมาะสม ไม่เกิดการเกร็งปลายเท้าลง และบิดเข่าด้านในขณะเดิน

2. ออกแบบให้อุปกรณ์มีความยืดหยุ่น สวมใส่สบาย ทำความสะอาดง่าย

3. ออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถใช้ได้กับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองได้ทุกขนาดของเท้า

4. ออกแบบอุปกรณ์ให้สามารถสวมใส่ได้ง่ายและไม่ต้องสวมรองเท้าขณะเดิน

4.1.2 ตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ โดยการตรวจสอบและสอบถามความคิดเห็นต่ออุปกรณ์พุงข้อเท้าแบบดัดแปลงจากผู้เชี่ยวชาญในสาขาที่เกี่ยวข้อง จำนวน 10 คน ประกอบด้วย แพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟู 3 คน นักกายภาพบำบัด 3 คน นักกายอุปกรณ์หรือช่างกายอุปกรณ์ 3 คน นักเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก 1 คน

1. ตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ตามที่กำหนดไว้

2. แสดงความคิดเห็นต่ออุปกรณ์ด้วยแบบประเมินความพึงพอใจในการใช้อุปกรณ์จากแบบประเมิน Quebec User Evaluation of Satisfaction with Assistive Technology version 2.0 (QUEST) ของ Louise Demers และคณะ (Demers et al., 2002)

##### 4.2 การทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์พุงข้อเท้าแบบดัดแปลง

4.2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัย เป็นอาสาสมัครผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่เข้ารับบริการฟื้นฟูสภาพในแผนกเวชศาสตร์ฟื้นฟู สถาบันประสาทวิทยา จำนวน 17 คน ที่มีคุณสมบัติตรงตามเกณฑ์คัดเข้าดังต่อไปนี้คือ มีภาวะอ่อนแรงกล้ามเนื้อครึ่งซีกของร่างกายจากโรคหลอดเลือดสมอง มีอายุ 18 ปีขึ้นไป ได้รับการวินิจฉัยว่าเป็นโรคหลอดเลือดสมองอย่างน้อย 3 เดือน โดยพิจารณาจากข้อมูลเวชระเบียนผู้ป่วย ประกอบด้วยผลการตรวจด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์สแกน (CT scan) หรือ เครื่องสแกนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (MRI) มีภาวะกล้ามเนื้อข้อเท้าหดเกร็ง โดยมีการเกร็งปลายเท้าลงและบิดเข่าด้านใน โดยค่าของความตึงตัว อยู่ในระดับ 1- 3 เมื่อประเมินด้วย Modified Ashworth Scale (MAS) ไม่มีภาวะยึดติดของข้อ หรือภาวะกล้ามเนื้อหรือเอ็นในรายกล้ามเนื้อขา สามารถเดินได้ตามลำพัง เป็นระยะทางอย่างน้อย 10 เมตร โดยมีอุปกรณ์ช่วยหรือไม่ก็ได้ และไม่มีข้อจำกัดจากพยาธิสภาพอื่นใดที่ส่งผลต่อการทดสอบในวันที่ทำการทดสอบ และเกณฑ์คัดออกคือ มีประวัติโรคหลอดเลือดสมองมากกว่าหนึ่งครั้ง สัญญาณชีพและอาการทางระบบประสาทไม่คงที่ มีโรคทางระบบประสาทส่วนกลางอื่น ๆ มาก่อน มีการบาดเจ็บหรือความพิการที่ทำให้เกิดความผิดปกติของการเดิน และมีคะแนน RUDAS-Thai version น้อยกว่า 24 คะแนน

ผู้วิจัยให้ข้อมูลเกี่ยวกับรายละเอียดของโครงการและขั้นตอนการวิจัยหลังจากนั้นผู้เข้าร่วมวิจัยลงนามในหนังสือยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย โดยขั้นตอนการวิจัยได้รับการอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคนมหาวิทยาลัยมหิดล และสถาบันประสาทวิทยา

4.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ การทดสอบจะใช้เวลาทั้งหมด 90 นาที โดยแบ่งเป็นการสอบถามข้อมูลพื้นฐาน และวัดสัญญาณชีพ 10 นาที ตรวจสอบประเมินความบกพร่องของร่างกายส่วนขาโดยใช้แบบประเมิน Fugl-

Meyer Assessment (FMA) (Fugl-Meyer et al., 1975) เป็นเวลา 30 นาที และบันทึกข้อมูลดังแสดงใน ตารางที่ 3 จากนั้นทดสอบความสามารถของการเดิน 50 นาที โดยผู้เข้าร่วมวิจัยจับสลากเพื่อสุ่มลำดับของการเดิน 3 รูปแบบ คือ เดินเท้าเปล่า เดินใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบเดิม และเดินใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง โดยมีขั้นตอนของการเดินแต่ละรูปแบบคือ ฝึกใช้อุปกรณ์เพื่อเพิ่มความคุ้นเคยและทำความเข้าใจรูปแบบการเดินเป็นเวลา 5 นาที จากนั้น ผู้เข้าร่วมวิจัยทดสอบความสามารถของการเดินรูปแบบละ 3 ครั้ง และนั่งพักหลังจากการเดินครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 เป็นเวลา 3 นาที เมื่อเดินครบ 3 ครั้งแล้ว ผู้เข้าร่วมวิจัยนั่งพักเป็นเวลาอย่างน้อย 10 นาที ก่อนจะเริ่มทดสอบความสามารถของการเดินในรูปแบบอื่นๆตามลำดับที่จับสลากได้ ในขณะที่เดินผู้วิจัยจะบันทึกความสามารถของการเดินด้านระยะทางและเวลาของการก้าวขาแต่ละข้างด้วยเครื่องวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักขณะเดินไปพร้อมกันด้วย โดยในการเดินทุกครั้งจะมีผู้วิจัย และนักกายภาพบำบัดคอยดูแลความปลอดภัยของผู้เข้าร่วมวิจัยอยู่ใกล้ๆ

**4.2.2.1 รูปแบบการเดิน** รูปแบบการเดินที่ใช้เพื่อทดสอบความสามารถของการเดินในการศึกษาครั้งนี้จะใช้การเดินเหมือนกับการทำแบบทดสอบ Timed Up and Go Test (TUG) คือ ผู้เข้าร่วมวิจัยจะนั่งอยู่กับเก้าอี้มีพนักพิงและที่วางเท้าบนเมื่อได้ยินสัญญาณจากผู้วิจัยว่า “เริ่ม” ให้ผู้เข้าร่วมวิจัยลุกขึ้นยืนและเดินด้วยความเร็วที่สุดเท่าที่ผู้เข้าร่วมวิจัยจะทำได้ตรงไปข้างหน้าเป็นระยะทาง 3 เมตร เดินอ้อมกรวยจราจรที่วางไว้บนพื้นและเดินตรงกลับมาที่นั่งที่เก้าอี้ตัวเดิม ขณะเดินจะไม่มีคนช่วยพยุงแต่ผู้เข้าร่วมวิจัยสามารถใช้อุปกรณ์ช่วยเดิน เช่น ไม้เท้าขาเดียว หรือ ไม้เท้าสามขาได้ ผู้วิจัยเริ่มจับเวลาตั้งแต่ก้นของผู้เข้าร่วมวิจัยยกขึ้นจากเก้าอี้และนั่งลงที่เก้าอี้อีกครั้ง

**4.2.2.2 เครื่องวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักขณะยืนนิ่งและขณะเดิน (Instrument walkways)**  
ทางเดินยาว 6 เมตร ประกอบด้วยแผ่นยางขนาดยาว 2 เมตรกว้าง 1.5 เมตร วางต่อกับส่วนหัวและท้ายของแผ่นอุปกรณ์วัดแรงกดสำหรับเดินขนาด 0.605เมตร × 2.122 เมตร × 0.21 เมตร (กว้าง × ยาว × หนา) ที่มีอุปกรณ์รับสัญญาณแรงกดขนาด 1 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร (N/cm<sup>2</sup>) โดยมีความถี่ของการเก็บข้อมูล (sampling rate) อยู่ที่ 120 ครั้งต่อวินาที (Hz) และส่งข้อมูลผ่านสายเคเบิลที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ที่มีโปรแกรมวิเคราะห์การกระจายน้ำหนัก Zebris FDM (The Zebris FDM –system- Gait Analysis) ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวิเคราะห์การกระจายน้ำหนักขณะยืนและเดิน โดยทำงานร่วมกับอุปกรณ์รับข้อมูลจากแรงกด (sensor) ที่ฝังอยู่ในแผ่นปูสำหรับเดิน จะให้ข้อมูลด้านระยะทางและเวลาของวงจรการเดินแบบแยกฝ่าเท้าแต่ละข้าง

**4.2.2.3 อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง (Modified ankle support)**  
เป็นอุปกรณ์พยุงข้อเท้าที่พัฒนาขึ้นประกอบด้วยถุงเท้าหุ้มข้อแบบเปิดปลายเท้าและแขนนิ้ว มีปุ่มกันลื่นที่ฝ่าเท้า และยางยืด 3 เส้น โดยยางยืด 1 เส้น เย็บติดกับถุงเท้าบริเวณกระดูกฝ่าเท้าด้านนิ้วที่ 1 ของเท้า (1st metatarsal) เส้นมีขนาดยาวขึ้นไปพันบริเวณใต้ฝ่าเท้าโดยดึงจากด้านในของฝ่าเท้าไปอ้อมด้านนอกของขาบริเวณ head of fibular และวนกลับมาติดกับแถบตีนตุ๊กแก (velcro) เพื่อเป็นจุดยึดเกาะให้ยางยืดอีก 2 เส้น ขนาดสั้นกว่าที่ซ้อนทับกันและเย็บติดกับถุงเท้าบริเวณขอบด้านนอกของฝ่าเท้าบริเวณนิ้วที่ 5 ของเท้า (5th metatarsal) และดึงขึ้นมาข้ามหน้าแข้งและอ้อมด้านหลังมาติดซ้อนทับกับยางยืดเส้นแรก ตามแผนภาพที่ 2 (ก) และ 2 (ข)

**4.2.2.4 อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบเดิม (Plastic Ankle Foot Orthoses: AFOs)**  
เป็นอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติกที่มีคุณสมบัติเปลี่ยนแปลงรูปร่างได้ด้วยความร้อนที่อุณหภูมิหนึ่ง (Thermoplastic) ไม่มีข้อต่อที่ข้อเท้า ขอบของอุปกรณ์คลุมถึงหน้าข้อต่อทั้งสองข้าง ขอบบนของ

อุปกรณ์ยาว ไปถึงบริเวณต่ำกว่าหัวกระดูกหน้าแข้ง (head of fibular) ประมาณ 2-2.5 เซนติเมตร ส่วนด้านล่างของอุปกรณ์จะรองรับส่วนของฝ่าเท้าทั้งหมด ตามแผนภาพที่ 2 (ค)

#### 4.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลด้วยโปรแกรม SPSS ใช้ สถิติเชิงพรรณนาเพื่อแสดงข้อมูลพื้นฐานของผู้เข้าร่วมวิจัย ใช้สถิติ nonparametric –K Related Samples และ Wilcoxon Signed Ranks Test โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ 0.05

### 5. สรุปผลการวิจัย

#### 5.1 ผลของการพัฒนาอุปกรณ์

ภายหลังการพัฒนาอุปกรณ์ต้นแบบได้ อุปกรณ์ต้นแบบที่มืองค์ประกอบ 1. ถุงเท้าแบบแยกนิ้วและเปิดปลายนิ้วเท้าพร้อมจุดกันลื่นใต้ฝ่าเท้า 2. ยางยืดขนาดยาว 1 เส้น ยึดติดกับถุงเท้าทางด้านหัวแม่เท้า (1<sup>st</sup> metatarsal) นิ้วที่ 1 ของเท้า ดัดเพื่อพันพาดบนหลังเท้าดึงแนวเฉียงขึ้นไปด้านข้างของหน้าแข้งด้านนอก(lateral) และพันรอบขาใต้ข้อเข่า ยึดติดด้วยตีนตุ๊กแก (Velcro) เพื่อเป็นจุดเกาะสำหรับยางยืดที่จะดึงจากฝั่งนิ้วที่ 5 ของฝ่าเท้า 3. ยางยืดขนาดสั้น 2 เส้น ซ้อนทับกันยึดติดกับถุงเท้าทางด้านข้างนิ้วที่ 5 ของฝ่าเท้า (5<sup>th</sup> metatarsal) เพื่อพันพาดผ่านหน้าแข้งเป็นแนวเฉียงเข้าทางด้านในของหน้าแข้งแล้วพันรอบใต้ข้อเข่าปิดทับกับเส้นแรก



(ก)

(ข)

(ค)

แผนภาพที่ 2 รูปอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง (ก-ข) และอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบเดิม(Ankle Foot Orthoses, AFO) (ค)

ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นต่ออุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง

หัวข้อ	ค่าเฉลี่ย ( $\pm$ SD)	Min-Max
มิติ ของอุปกรณ์มีความเหมาะสม	3.4 ( $\pm$ 0.84)	2-5
น้ำหนักของอุปกรณ์มีความเหมาะสม	4.4 ( $\pm$ 0.84)	3-5
ความง่ายในการปรับ	3.6 ( $\pm$ 0.52)	3-4
อุปกรณ์มีความปลอดภัยและมั่นคง	3.4 ( $\pm$ 0.52)	3-4
อุปกรณ์มีความคงทน (ทนทาน ยากต่อการชำรุด)	3.2 ( $\pm$ 0.42)	3-4
อุปกรณ์ใช้งานได้ง่าย	3.5 ( $\pm$ 0.53)	3-4
อุปกรณ์มีความสะดวกสบาย	3.7 ( $\pm$ 0.67)	3-5
อุปกรณ์มีประสิทธิภาพ	3.1 ( $\pm$ 0.99)	1-5

ผลการตรวจสอบคุณสมบัติของอุปกรณ์ต้นแบบ พบว่า ความคิดเห็นว่าอุปกรณ์ต้นแบบมีคุณสมบัติตรงตามที่กำหนดในหัวข้ออุปกรณ์มีแรงดึงจากยางยืดที่ทำให้เท้าอยู่ในลักษณะงอปลายเท้าขึ้นและบิดออกด้านนอก อุปกรณ์มีความยืดหยุ่น สวมใส่สบาย ทำความสะอาดง่าย และอุปกรณ์สามารถสวมใส่ได้ง่าย ไม่ต้องสวมใส่รองเท้าขณะเดิน ร้อยละ 100 ของความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด มีเพียงหัวข้อการปรับใช้ได้กับทุกขนาดของเท้า ที่มีความคิดเห็นว่าคุณสมบัติไม่ตรงกับที่กำหนดไว้ ร้อยละ 30 ของความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญทั้งหมด และจากตารางที่ 1 แสดงค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นต่ออุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบดัดแปลง พบว่า ระดับความคิดเห็นต่ออุปกรณ์โดยเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลางขึ้นไป หัวข้อน้ำหนักของอุปกรณ์มีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยระดับความคิดเห็นมากที่สุด คือ 4.4 คะแนน รองลงมาคืออุปกรณ์มีความสะดวกสบายคะแนนเฉลี่ย 3.7 คะแนน และหัวข้อที่มีความคิดเห็นน้อยที่สุดคือ อุปกรณ์มีประสิทธิภาพมีคะแนนเฉลี่ย 3.1 คะแนน

## 5.2 ผลการทดสอบประสิทธิผลของอุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบดัดแปลง

5.2.1 ผู้เข้าร่วมวิจัย ผู้เข้าร่วมวิจัยเป็นผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองจำนวน 17 คนเป็นเพศชายร้อยละ 64.7 และเป็นเพศหญิงร้อยละ 35.3 ของผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้งหมด มีอายุเฉลี่ย 50.8 ปี ค่าดัชนีมวลกายเฉลี่ย 22.86 กิโลกรัมต่อตารางเมตร มีคะแนนความบกพร่องของร่างกายส่วนขาเฉลี่ย 25 คะแนน มีอาการอ่อนแรงร่างกายซีกซ้ายร้อยละ 52.9 และซีกขวาร้อยละ 47.1 ของผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้งหมด มีภาวะกล้ามเนื้อข้อเท้าหดเกร็งระดับ 2 ร้อยละ 58.8 และระดับ 1 ร้อยละ 41.2 ของผู้เข้าร่วมงานวิจัยทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมวิจัย (n=17)

หัวข้อ	จำนวน(ร้อยละ)	ค่าเฉลี่ย ±SD	ค่าต่ำสุด-ค่าสูงสุด
เพศ			
ชาย	11 (64.70)		
หญิง	6 (35.30)		
อายุ (ปี)		50.82 ±13.55	22 - 73
ค่าดัชนีมวลกาย(BMI)(กก./ตร.ม.)		22.86 ±2.7	19.53 – 29.38
คะแนนความบกพร่องของร่างกาย		25.00 ±3.2	18 - 29
ส่วนขา (คะแนนเต็ม 34)			
ร่างกายข้างอ่อนแรง			
ข้างซ้าย	9 (52.90)		
ข้างขวา	8 (47.10)		
ภาวะกล้ามเนื้อข้อเท้าหดเกร็ง			
ระดับ 1	7 (41.20)		
ระดับ 2	10 (58.80)		

จากตารางที่ 3 แสดงผลการวิเคราะห์ด้วยสถิติ Friedman ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 พบว่า ตัวแปรการเดินที่มีความแตกต่างกันระหว่างการเดินรูปแบบต่างๆ ที่มีความแตกต่างกันอย่างน้อย 1 คู่ คือ ตัวแปร จำนวนก้าวต่อนาที ความเร็วของการเดิน และคะแนนแบบประเมินTUG

จากตารางที่ 4 เมื่อทำการเปรียบเทียบรายคู่ของการเดินแต่ละรูปแบบด้วยสถิติ Wilcoxon Singed Ranks test พบว่า (1) ตัวแปรจำนวนก้าวต่อนาที (Cadence) พบว่าการเดินด้วยอุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบดัดแปลงมีจำนวนก้าวต่อนาทีมากกว่าการเดินด้วยอุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบพลาสติก (2) ตัวแปรความเร็วของการเดิน พบว่า การเดินด้วยอุปกรณ์แบบดัดแปลงมีความเร็วของการเดินมากกว่าการเดินด้วยอุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบพลาสติก และการเดินด้วยเท้าเปล่า การเดินด้วยเท้าเปล่ามีความเร็วของการเดินมากกว่าเดินด้วยอุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบพลาสติก (3) คะแนนประเมิน TUG พบว่า การเดินด้วยอุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบดัดแปลงมีคะแนนดีกว่าการเดินด้วยอุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบเดิม และดีกว่าการเดินด้วยเท้าเปล่า การเดินด้วยเท้าเปล่ามีคะแนนดีกว่าการเดินด้วยอุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบพลาสติก ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ตารางที่ 3 ค่าสถิติและผลการวิเคราะห์ตัวแปรของการเดิน จำแนกตามรูปแบบของการเดิน (n = 17)

ตัวแปรการเดิน	Mean Rank (Mean ±SD)			ค่าสถิติ Chi-Square	p-value
	เท้าเปล่า	อุปกรณ์พยางค์ แบบเดิม	อุปกรณ์แบบ ดัดแปลง		
จำนวนก้าวต่อนาที (ก้าว/นาที)	1.94 (62.73 ±17.64)	1.47 (60.33 ±14.78)	2.59 (65.49 ±17.02)	10.71	0.005*
ความเร็วของการเดิน (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	1.94 (1.21 ± 0.66)	1.29 (1.11 ±0.49)	2.79 (1.34 ±0.68)	18.47	0.000*
TUG (วินาที)	1.94 (32.86 ±14.72)	2.71 (36.81 ±16.20)	1.35 (30.74 ±13.62)	15.65	0.000*

\* ระดับนัยสำคัญที่ 0.05

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบรายคู่ระหว่างการเดินรูปแบบต่างๆ ของตัวแปรการเดินด้วยสถิติ (n=17)

ตัวแปรการเดิน	Mean Rank											
	แบบเดิมและเท้าเปล่า				ดัดแปลงและเท้าเปล่า				ดัดแปลงและแบบเดิม			
	N	P	Z	p-value	N	P	Z	p-value	N	P	Z	p-value
จำนวนก้าวต่อนาที	10.1	7.0	-1.633	0.102	8.4	9.3	-1.633	0.102	7.5	9.2	-2.911	0.004
ความเร็วของการเดิน	9.2	8.5	-2.013	0.044	4.5	10	-2.984	0.003	6.5	9.2	-3.317	0.001
TUG	3.2	10.8	-3.006	0.003	11	4.1	-2.651	0.008	9.3	5.0	-3.385	0.001

หมายเหตุ: 1) เท้าเปล่าหมายถึง การเดินด้วยเท้าเปล่าไม่ใส่อุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าขณะเดิน 2) แบบเดิม หมายถึง การเดินใส่อุปกรณ์พยางค์ข้อเท้าแบบพลาสติก 3) ดัดแปลง หมายถึง การเดินใส่อุปกรณ์ข้อเท้าแบบดัดแปลงที่พัฒนาขึ้น 4) N หมายถึง Negative rank 5) P หมายถึง Positive rank

## 6. อภิปรายผล

### 6.1 การอภิปรายผลการพัฒนาอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง

อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงมีแรงดึงจากยางยืดที่ทำให้ปลายเท้าอยู่ในลักษณะงอปลายเท้าขึ้นและบิดออกด้านนอก เนื่องจากตำแหน่งของการยึดติดส่วนของถุงเท้ากับยางยืดทั้ง 2 ด้าน และทิศทางของการดึงยางยืด คือ ยึดติดยางยืดกับส่วนของถุงเท้าที่บริเวณ ใต้ต่อกระดูกmetatarsal ขอบของยางยืดไม่เกิน ข้อต่อของกระดูกฝ่าเท้าและนิ้วเท้า (metatarsophalangeal joints) เนื่องจากป้องกันการบีบรัด บริเวณนิ้วเท้า ทิศทางของแรงดึงแรงดึงจากด้านในของฝ่าเท้าจะช่วยให้เกิดการงอของปลายเท้าขึ้น ทิศทางของแรงดึงจากด้านนอกของฝ่าเท้าจะทำให้เกิดการบิดออกด้านนอกของเท้า อุปกรณ์นี้มีความยืดหยุ่นสวมใส่สบายทำความสะอาดง่าย เนื่องจากอุปกรณ์เป็นถุงเท้าผ้าใยสังเคราะห์ และยางยืด ทำให้นุ่มและแนบกับเท้าและขาของผู้ใช้ อุปกรณ์สวมใส่ได้ง่ายไม่ต้องสวมรองเท้าขณะเดิน อุปกรณ์มีความยืดหยุ่น มีจุดกันลื่นที่ฝ่าเท้า และเมื่อสวมใส่แล้วไม่เกิดความแตกต่างของความยาวของขา และไม่จำเป็นต้องใส่รองเท้า นอกจากนั้นอุปกรณ์นี้สามารถปรับได้กับทุกขนาดของเท้า มีคุณสมบัติไม่ตรงกับที่กำหนดไว้ร้อยละ 30 ระดับความเห็นด้วยมากถึงมากที่สุด ยกเว้นในหัวข้ออุปกรณ์มีความคงทน ยกต่อการชำรุด อาจเนื่องมาจากอุปกรณ์ผลิตจากผ้าใยสังเคราะห์และยางยืดซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีคุณสมบัติอ่อนนุ่ม และมีความยืดหยุ่น ซึ่งอาจง่ายต่อการฉีกขาดหรือถูกทำลาย

### 6.2 การอภิปรายผลการทดสอบประสิทธิภาพผลของอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง

จากผลการวิจัยพบว่าความสามารถของการเดินในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีอาการเกร็งปลายเท้าลงและบิดเข้าด้านในเมื่อใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลง ดีกว่าการใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติก และการเดินเท้าเปล่า โดยดูจากค่าเฉลี่ยของจำนวนก้าวต่อนาที ความเร็วของการเดิน และคะแนนแบบทดสอบ TUG จำนวนก้าวต่อนาทีเมื่อใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงมากกว่า การเดินโดยใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติก สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ โดยอุปกรณ์พยุงข้อเท้าที่ผลิตจากผ้า หรือยางยืดสามารถส่งผลดีต่อจำนวนก้าวต่อนาที เมื่อเปรียบเทียบกับอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติก และเดินเท้าเปล่า (Lee and Byun, 2005) (Lee SM et al., 2017) ความเร็วของการเดิน เมื่อใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงมีความเร็วเพิ่มขึ้นมากกว่าเดินด้วยอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติก และเดินเท้าเปล่า ซึ่งความเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นนี้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Noha และคณะ (2013) และHwang และคณะ (2013) คะแนนแบบประเมิน TUG พบว่าเมื่อเดินด้วยอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงมีการเปลี่ยนแปลงของคะแนนแบบประเมิน TUG ลดลงมากกว่าการเดินด้วยอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบพลาสติก และการเดินเท้าเปล่าตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Naha และคณะ(2013) ที่มีคะแนน TUG ลดลง 3.2 วินาทีเมื่อใส่อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบยางยืดกับการเดินเท้าเปล่า และ การศึกษาของ Kim และOh (Kim and Oh, 2015) ซึ่งทั้งหมดอาจเป็นผลจากน้ำหนักของอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต และแรงดึงที่ได้จากอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงที่ตอบสนองต่อการหดเกร็ง และส่งเสริมให้เกิดการเดินที่ดีขึ้น

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1. ใช้เพื่อเป็นแนวทางการเลือกอุปกรณ์พยุงข้อเท้าสำหรับผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองที่มีการเกร็งของปลายเท้าลงและบิดเข้าด้านในขณะเดิน

## 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

1. การวิจัยครั้งต่อไปควรศึกษาถึงความสามารถของการเดินในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดสมองเมื่อใช้อุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงในระยะยาว
2. การวิจัยในครั้งต่อไปควรศึกษาถึงอายุการใช้งานของอุปกรณ์พยุงข้อเท้าแบบดัดแปลงและผลข้างเคียงจากการใช้งานในระยะยาว

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Albert M. Cook and J. M Polgar. 2008. **Cook and Husseys Assistive Technologies : Principles and Practice.** Mosby Elsevier.
- Daher N, Lee S, and Yang Y. 2013. Effects of elastic band orthosis (aider) on balance and gait in chronic stroke patients. **Physical Therapy Rehabilitation Science**, 2(2), 81-86.
- Demers L, Weiss-Lambrou R and B S. 2002. **Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive Technology QUEST version 2.0.**
- Ferhan Soyuer and Ahmet Ozturk. 2007. The effect of spasticity, sense and walking aids in falls of people after chronic stroke. **Disabil Rehabil**, 29(9), 679-687.
- Fugl-Meyer AR, Jaasko L, Leyman I, Olsson S and Steglind S. 1975. The post-stroke hemiplegic patient. 1. a method for evaluation of physical performance. **Scand J Rehabil Med**, 7(1), 13-31.
- Hwang YI, Yoo WG and An DH. 2013. Effects of the Elastic Walking Band on gait in stroke patients. **NeuroRehabilitation**, 32(2), 317-322.
- Kim Hyung-geun, Oh Yong-seop. 2015. Effects of Removable Ankle-Foot Orthosis in Chronic Patients With Hemiplegia During Gait Training: A Pilot Study. **Physical Therapy Korea**, 22(3), 91-97.
- Kim Woo-Il, Park Young-Han , Sung Youn-Bum, Nam Chan-Woo, & LeeJung-Ho. 2016. Influence of Kinesio Taping for Stroke's Ankle Joint versus Ankle-Foot Orthosis on Muscle Stimulation and Gait Ability in Stroke's Foot Drop. **International Journal of Bio-Science and Bio-Technology**, 8, 263-274.
- Lee SM, Cynn HS, Yi CH, Yoon TL and Lee JH. 2017. Wearable tubing assistive walking device immediately enhances gait parameters in subjects with stroke: A randomized controlled study. **NeuroRehabilitation**, 40(1), 99-107.
- Lee Kyoung Moo, & Byun Jae Hyun. 2005. The Development of Ankle Control Elastic Band for Improvement in Walking of Hemiplegic Patients. **Ann Rehabil Med**, 29(3), 303-308.
- P Patil and S.A.Rao. 2011. Effects of Thera-Band ® elastic resistance-assisted gait training in stroke patients: A pilot study. **European journal of physical and rehabilitation medicine**, 47, 427-433.
- Sankaranarayan H, Gupta A, Khanna M, Taly A.B., & Thennarasu K. 2016. Role of ankle foot orthosis in improving locomotion and functional recovery in patients with stroke: A prospective rehabilitation study. **J Neurosci Rural Pract**, 7(4), 544-549.

Shorter K. A., Kogler G. F., Loth E., Durfee W. K. and Hsiao-Wecksler, E. T. 2011. A portable powered ankle-foot orthosis for rehabilitation. **Journal of Rehabilitation Research and Development**, 48(4), 459-472.

Tyson, S. F., & Thornton, H. A. (2001). The effect of a hinged ankle foot orthosis on hemiplegic gait: objective measures and users' opinions. **Clin Rehabil**, 15(1), 53-58.

Zancan, A., Beretta, M. V., Schmid, M., & Schieppati, M. (2004). A new hip-knee-ankle-foot sling: kinematic comparison with a traditional ankle-foot orthosis. **J Rehabil Res Dev**, 41(5)



## ผลทางคลินิกของการใช้โฟโตไดนามิกเทอราพีในการรักษาโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรัง

### CLINICAL EFFECT OF PHOTODYNAMIC THERAPY IN THE TREATMENT OF CHRONIC PERIODONTITIS

บุณทริกา พึ่งรัมย์

นักศึกษาระดับหลังปริญญา คณะทันตแพทยศาสตร์ ภาควิชาปริทันตวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail: [bua.boob27@gmail.com](mailto:bua.boob27@gmail.com)

สุพัตรา แสงอินทร์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ ภาควิชาปริทันตวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail: [supatra.s@cmu.ac.th](mailto:supatra.s@cmu.ac.th)

ปิยะนุช เพิ่มพานิช

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คณะทันตแพทยศาสตร์ ภาควิชาปริทันตวิทยา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail: [tweetyoot@hotmail.com](mailto:tweetyoot@hotmail.com)

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบผลทางคลินิกของการรักษาโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรังโดยการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันร่วมกับการใช้โฟโตไดนามิกเทอราพี กับการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันเพียงอย่างเดียว การศึกษานี้เป็นแบบแบ่งส่วนช่องปาก ศึกษาในผู้ป่วยโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรังระดับปานกลางถึงรุนแรง จำนวน 24 ราย ประเมินระดับความลึกของร่องปริทันต์ ระดับขอบเหงือก ระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ทางคลินิก ดัชนีแผ่นคราบจุลินทรีย์ ดัชนีเหงือกอักเสบ และการมีเลือดออกเมือหยั้งทั้งปากที่ระยะเวลา 0, 1, 3 และ 6 เดือนหลังการรักษา โดยศึกษาเฉพาะตำแหน่งที่มีร่องลึกปริทันต์เริ่มต้นมากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ผลการศึกษาไม่พบความแตกต่างระหว่างกลุ่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ของทุกค่าพารามิเตอร์ทางคลินิกเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะเวลาเดียวกัน

คำสำคัญ : โรคปริทันต์อักเสบเรื้อรัง, โฟโตไดนามิกเทอราพี, การขูดหินน้ำลายและเกลารากฟัน

#### ABSTRACT

Aim of this study was to evaluate the clinical effect in the treatment of chronic periodontitis after applying photodynamic therapy as an adjunct to scaling and root planing (SRP) compared with SRP alone. Twenty four patients with moderate to severe chronic periodontitis were treated in split-mouth design study. Clinical assessment of probing depth (PD), gingival recession, clinical attachment level, plaque index, gingival index and full mouth bleeding on probing were evaluated at baseline, 1, 3 and 6 months after treatment. Only

sites with PD  $\geq$  5 mm at baseline were calculated. All clinical parameters were no statistically significant differences between the groups ( $P>0.05$ ) at baseline, 1, 3 and 6 months.

**Keywords :** Chronic periodontitis, Photodynamic therapy, Scaling and root planing

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

โรคปริทันต์อักเสบเป็นโรคที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบเรื้อรังของเนื้อเยื่อรอบตัวฟัน โดยมีแบคทีเรียในคราบจุลินทรีย์เป็นสาเหตุหลักของการเกิดโรค ลักษณะทางคลินิกที่พบได้แก่ เหงือกอักเสบบวมแดงมีเลือดออกได้ง่าย มีร่องลึกปริทันต์ มีการสูญเสียกระดูกเบ้าฟัน ฟันโยก เป็นผลทำให้เกิดการสูญเสียฟันได้หากไม่ได้รับการรักษาที่เหมาะสม (Haffajee and Socransky, 1994; Philstrom et al, 2005) การรักษาโรคปริทันต์อักเสบนั้นสามารถแบ่งได้เป็นสองวิธี คือ การรักษาโดยวิธีไม่ทำศัลยกรรมปริทันต์กับการรักษาโดยวิธีทำศัลยกรรมปริทันต์ร่วมด้วย ซึ่งการรักษาด้วยวิธีไม่ทำศัลยกรรมปริทันต์ได้แก่ การขูดหินน้ำลายและเกลารากฟัน การดูแลอนามัยช่องปากและ/หรือร่วมกับการใช้สารต้านจุลชีพ (Venkatesh and Ramamurthy, 2012) การรักษาโรคปริทันต์อักเสบเบื้องต้นมุ่งเน้นไปที่การกำจัดเชื้อแบคทีเรียโดยการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันร่วมกับการดูแลอนามัยช่องปาก (Ishikawa and Baehni, 2004) พบว่า ภายหลังจากขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันจะพบลักษณะทางคลินิกที่ดีขึ้นโดยมีการอักเสบและความลึกของร่องลึกปริทันต์ลดลง แต่อย่างไรก็ตาม การขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากเชื้อแบคทีเรียก่อโรคบางชนิดมีความสามารถรุกรานเข้าไปในเยื่อเนื้องอก (Sandros et al, 1993) ทำให้การรักษาโดยการขูดหินน้ำลายเพียงอย่างเดียวไม่สามารถกำจัดเชื้อแบคทีเรียได้หมด ส่วนการรักษาโรคปริทันต์อักเสบโดยวิธีทำศัลยกรรมปริทันต์ร่วมด้วย เป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการกำจัดร่องลึกปริทันต์ซึ่งเป็นที่อาศัยของแบคทีเรียก่อโรค แต่วิธีดังกล่าวมีความยุ่งยากซับซ้อน มีค่าใช้จ่ายสูง ต้องอาศัยประสบการณ์ของทันตแพทย์ผู้ผ่าตัดและอาจมีผลแทรกซ้อนจากการผ่าตัดได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่มีโรคทางระบบ (Pack and Haber, 1983)

โฟโตไดนามิกเทอราพีเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการกำจัดเชื้อแบคทีเรียร่วมกับการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันในการรักษาโรคปริทันต์อักเสบ วิธีการนี้อาศัยหลักการที่เกี่ยวข้องกับแสงที่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่าไปกระตุ้นสารไวต่อแสง (photosensitizer) ซึ่งปกติไม่เป็นอันตรายต่อเซลล์ ทำให้เกิดการสังเคราะห์ออกซิเจนชนิดเดี่ยวและเกิดการสังเคราะห์ซิงเกิลออกซิเจน (singlet oxygen) เป็นผลให้เกิดการทำลายผนังเซลล์ (cell wall) และเยื่อเนื้องอกเซลล์ (cell membrane) อีกทั้งเกิดการตายของเซลล์แบบเฉพาะที่ (Dobson and Wilson, 1992; Komerik et al, 2003) จากการศึกษาในมนุษย์ พบว่า เมื่อใช้โฟโตไดนามิกเทอราพีร่วมกับการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันเทียบกับการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันอย่างเดียวในการรักษาผู้ป่วยโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรัง ผลทางคลินิกที่ระยะเวลา 3 และ 6 เดือน ไม่พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Christodoulides et al, 2008; Pourabbas et al, 2014) Kolbe และคณะ (2014) ทำการศึกษาผลทางคลินิกของการใช้โฟโตไดนามิกเทอราพีเทียบกับการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันในการรักษาผู้ป่วยโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรังในระยะคงสภาพ ติดตามผลการรักษาที่ระยะเวลา 3 และ 6 เดือน พบว่า ผลทางคลินิกไม่มี ความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วน Moreira และคณะ (2015) ทำการศึกษาผลทางคลินิกของการใช้โฟโตไดนามิกเทอราพีร่วมกับการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันเทียบกับการขูดหินน้ำลายและเกลารากฟันอย่างเดียวในการรักษาผู้ป่วยโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรัง ติดตามผลการรักษาที่ระยะเวลา 3 เดือน พบว่า ในร่องลึก

ปริทันต์ที่มีความลึกมากกว่า 7 มิลลิเมตรขึ้นไป กลุ่มทดลองซึ่งใช้โฟโตไดนามิกเทอราปีร่วมกับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันมีการความลึกของร่องลึกปริทันต์ลดลงมากกว่าและมีการยึดเกาะทางคลินิก (clinical attachment gain) มากกว่ากลุ่มควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จากการศึกษาที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่าโฟโตไดนามิกเทอราปีเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการรักษาโรคปริทันต์อักเสบได้ แต่การศึกษาในทางคลินิกยังมีการศึกษาไม่มากนัก และผลการศึกษามีความแตกต่างกันไป อีกทั้งการศึกษาส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในต่างประเทศ ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะทำการศึกษาการใช้โฟโตไดนามิกเทอราปีร่วมกับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันในผู้ป่วยโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรัง

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อประเมินผลทางคลินิกของการรักษาโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรังโดยการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันร่วมกับการใช้โฟโตไดนามิกเทอราปี ที่ระยะเวลา 6 เดือน
2. เพื่อเปรียบเทียบผลทางคลินิกของการรักษาโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรังโดยการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันร่วมกับการใช้โฟโตไดนามิกเทอราปี กับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันเพียงอย่างเดียว ที่ระยะเวลา 6 เดือน

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

ประชากรกลุ่มตัวอย่างที่เข้าร่วมวิจัย คือ ผู้ป่วยเพศชายและหญิง จำนวน 24 ราย ที่มารับการรักษาที่ภาควิชาทันตกรรมบูรณะและปริทันต์วิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ และได้รับการวินิจฉัยเป็นโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรัง

### เกณฑ์การคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการวิจัยและคัดออกจากการวิจัย

1. ข้อกำหนดในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมการศึกษา (Inclusion criteria) ได้แก่ อายุมากกว่าหรือเท่ากับ 35 ปี, มีสุขภาพร่างกายทั่วไปแข็งแรง และมีฟันที่มีร่องปริทันต์ลึกตั้งแต่ 5 มิลลิเมตรขึ้นไป ที่มีการสูญเสียการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ตั้งแต่ 3 มิลลิเมตรขึ้นไป อย่างน้อย 2 ซี่ ในแต่ละควอท-แดนท์ (Quadrant) อย่างน้อย 2 ควอทแดนท์ พบการสูญเสียกระดูกเบ้าฟันทางภาพรังสี อย่างน้อย 1 ตำแหน่งต่อควอทแดนท์
2. ข้อกำหนดในการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างออกจากการศึกษา (Exclusion criteria) ได้แก่ มีประวัติทางการแพทย์ที่มีผลต่อความไวต่อโรคปริทันต์ และ/หรือ ต่อการรักษาทางปริทันต์ เช่น โรคเบาหวาน หรือ autoimmune disease, ได้รับยาปฏิชีวนะรวมถึงน้ำยาบ้วนปากในช่วง 3 เดือนก่อนการวิจัย, ได้รับการรักษาทางปริทันต์ใดๆ ภายใน 6 เดือนก่อนเข้าร่วมโครงการวิจัย, อยู่ระหว่างตั้งครรภ์, ให้นมบุตร หรือรับประทานยาคุมกำเนิด, ใช้น้ำยาแก้อักเสบกลุ่มนอน-สเตียรอยด์, สเตียรอยด์ หรือยากดภูมิคุ้มกันต่อเนื่อง, สูบบุหรี่ หรือมีรากฟันเทียมอยู่ติดกับฟันที่ทำการรักษา

### ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นแบบแบ่งส่วนช่องปาก ปกปิดแบบทางเดียว แบ่งกลุ่มออกเป็น 2 กลุ่มโดยวิธีการสุ่ม เพื่อให้ได้รับการรักษา 2 แบบ โดยแต่ละกลุ่มจะได้รับการรักษาแตกต่างกัน ดังนี้

**กลุ่มที่ 1 :** ด้านควบคุมได้รับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันในตำแหน่งที่มีร่องลึกปริทันต์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร

**กลุ่มที่ 2 :** ด้านทดลองได้รับการการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันร่วมกับการใช้โฟโตไดนามิกเทอราพีในตำแหน่งที่มีร่องลึกปริทันต์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร สำหรับโฟโตไดนามิกเทอราพีที่ใช้ในการศึกษาใช้ตามข้อกำหนดของบริษัทผู้ผลิต (HELBO® Photodynamic Systems, Senden, Germany) ร่วมกับสารไวต่อแสง (HELBO® Blue Photosensitizer) ทำการฉายแสง 6 ตำแหน่งต่อฟันหนึ่งซี่ (ด้านแก้ม และด้านลิ้น ประกอบด้วย ด้านใกล้กลาง, กึ่งกลาง และไกลกลาง) เป็นเวลา 10 วินาทีต่อตำแหน่ง

#### ค่าตัวแปรที่ศึกษา มีดังนี้

1. ความลึกร่องปริทันต์วัดจากขอบเหงือกถึงจุดลึกสุดของร่องปริทันต์ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
2. ระดับขอบเหงือกโดยในกรณีที่มีเหงือกกร่น ระยะที่วัดได้จะมีค่าบวก หากมีเหงือกคลุมเหนือรอยต่อระหว่างเคลือบฟันและเคลือบรากฟัน ระยะที่วัดได้จะมีค่าลบ หน่วยเป็นมิลลิเมตร
3. ระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ทางคลินิก คือ ค่าที่ได้จากการรวมค่าความลึกร่องปริทันต์กับระดับขอบเหงือกเข้าด้วยกัน
4. ดัชนีแผ่นคราบจุลินทรีย์ใช้เกณฑ์ของ Silness และ LÖe (Silness and LÖe, 1964)
5. ดัชนีเหงือกอักเสบใช้เกณฑ์ของ LÖe และ Silness (LÖe and Silness, 1963)
6. การมีเลือดออกเมือหยั่งทั้งปากใช้เกณฑ์ของ Ainamo และ Bay (Ainamo and Bay, 1975)

#### การเก็บรวบรวมข้อมูล

ผู้ป่วยทั้งหมดจะได้รับการตรวจทางคลินิกโดยตรวจฟันทุกซี่ ยกเว้นฟันกรามซี่ที่สาม พร้อมทั้งบันทึกข้อมูล ทำการวัดลักษณะทางคลินิกด้วยอุปกรณ์ตรวจปริทันต์ที่มีขีดแบ่งทุก 1 มิลลิเมตร (PCP-UNC15 probe, Hu-Friedy, Chicago, USA) โดยทำการวัดในระยะเริ่มแรกก่อนการรักษา ทำการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันภายใต้ยาชาเฉพาะที่โดยไม่จำกัดเวลาและรักษาตามกลุ่มที่จำแนก ทำการวัดลักษณะทางคลินิกภายหลังการรักษาที่ 1 เดือน, 3 เดือน และ 6 เดือน ตามลำดับ โดยการวัดลักษณะทางคลินิกในฟันแต่ละซี่จะทำการวัด 6 ตำแหน่ง ได้แก่ ด้านแก้ม และด้านลิ้น ประกอบด้วย ด้านใกล้กลาง, กึ่งกลาง และไกลกลาง

#### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรมสำเร็จรูป Statistical Package for Social Science (SPSS) version 17.0 การวิเคราะห์ใช้สถิติเชิงพรรณนา เพื่อแสดงค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลทั่วไปและสภาวะปริทันต์ของผู้เข้าร่วมการศึกษา ทดสอบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยตัวแปรทางคลินิกของกลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุมในช่วงเวลาเดียวกัน โดยใช้สถิติ Paired Sample T-Test เมื่อมีการกระจายปกติ และใช้ Wilcoxon signed-rank test เมื่อมีการกระจายข้อมูลไม่ปกติ กำหนดความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่  $P < 0.05$

## 4. สรุปผลการวิจัย

ผู้ป่วยโรคปริทันต์อักเสบเรื้อรังทั้งหมด 24 ราย เป็นเพศชาย 11 ราย (อายุเฉลี่ย  $54.73 \pm 10.54$  ปี) เพศหญิง 13 ราย (อายุเฉลี่ย  $53.54 \pm 6.75$  ปี) จำนวนฟันที่ศึกษาที่มีตำแหน่งของร่องลึกปริทันต์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ในด้านควบคุมทั้งหมด 82 ซี่ (ฟันหน้า 25 ซี่ ฟันกรามน้อย 33 ซี่ และฟันกราม 24 ซี่) ด้านทดลองทั้งหมด 83 ซี่ (ฟันหน้า 24 ซี่ ฟันกรามน้อย 32 ซี่ และฟันกราม 27 ซี่) จำนวนตำแหน่งของฟันที่มีตำแหน่งของร่องลึกปริทันต์มากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตร ในด้านควบคุมทั้งหมด 163 ตำแหน่ง (ด้านประชิด 143 ตำแหน่ง ด้านอื่นๆ (ใกล้แก้ม/ริมฝีปาก/ลิ้น/เพดาน) 20 ตำแหน่ง) ด้านทดลองทั้งหมด 149 ตำแหน่ง (ด้านประชิด 135

ตำแหน่ง ด้านอื่นๆ 14 ตำแหน่ง) จำนวนตำแหน่งของร่องปริทันต์ที่มีความลึกมากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตรที่ Baseline, 1, 3 และ 6 เดือน) แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงจำนวนตำแหน่งของร่องปริทันต์ที่มีความลึกมากกว่าหรือเท่ากับ 5 มิลลิเมตรที่ระยะเวลาต่างๆ

จำนวนของร่อง ปริทันต์ที่มีความลึก ≥ 5 มิลลิเมตร (ตำแหน่ง(ร้อยละ))	Baseline	1 เดือน	3 เดือน	6 เดือน
ด้านควบคุม	163	36 (22.09)	37 (22.70)	35 (21.47)
ด้านทดลอง	149	39 (26.17)	31 (20.81)	32 (21.48)

ที่ Baseline ด้านควบคุม มีความลึกของร่องปริทันต์ (PD) เฉลี่ย  $5.63 \pm 0.47$  มิลลิเมตร ระดับขอบเหงือก (GR) เฉลี่ย  $0.36 \pm 0.52$  มิลลิเมตร ระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ทางคลินิก (PAL) เฉลี่ย  $6.01 \pm 0.95$  มิลลิเมตร ด้านทดลองมีความลึกของร่องปริทันต์เฉลี่ย  $5.68 \pm 0.41$  มิลลิเมตร ระดับขอบเหงือกเฉลี่ย  $0.44 \pm 0.49$  มิลลิเมตร ระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ทางคลินิกเฉลี่ย  $6.17 \pm 0.81$  มิลลิเมตร สำหรับที่ระยะเวลา 6 เดือนด้านควบคุม มีความลึกของร่องปริทันต์เฉลี่ย  $3.86 \pm 0.66$  มิลลิเมตร ระดับขอบเหงือกเฉลี่ย  $1.26 \pm 1.09$  มิลลิเมตร ระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ทางคลินิกเฉลี่ย  $5.05 \pm 1.22$  มิลลิเมตร ด้านทดลองมีความลึกของร่องปริทันต์เฉลี่ย  $3.83 \pm 0.62$  มิลลิเมตร ระดับขอบเหงือกเฉลี่ย  $1.32 \pm 0.70$  มิลลิเมตร ระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ทางคลินิกเฉลี่ย  $5.05 \pm 1.10$  มิลลิเมตร ค่าเฉลี่ยของความลึกของร่องปริทันต์ทั้งในด้านควบคุมและด้านทดลอง มีค่าประมาณ 3.8 ถึง 3.9 มิลลิเมตร ตั้งแต่ที่ระยะเวลา 1 เดือน โดยมีการเปลี่ยนแปลงของความลึกของร่องปริทันต์ประมาณ 1.8 มิลลิเมตร ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึงระยะเวลา 6 เดือน ในส่วนระดับขอบเหงือกพบว่าที่ระยะเวลา 6 เดือน มีเหงือกร่นเพิ่มขึ้นประมาณ 0.8 ถึง 0.9 มิลลิเมตรทั้งในด้านควบคุมและด้านทดลอง สำหรับค่าเฉลี่ยของระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ทั้งในด้านควบคุมและด้านทดลองมีค่าประมาณ 5 มิลลิเมตร ตั้งแต่ระยะเวลา 1 เดือน โดยมีการเปลี่ยนแปลงของระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ประมาณ 1 มิลลิเมตร โดยการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึงระยะเวลา 6 เดือน (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าความลึกของร่องปริทันต์ (PD) ระดับขอบเหงือก (GR) ค่าระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ (PAL) ดัชนีแผ่นคราบจุลินทรีย์ (PI) ดัชนีเหงือกอักเสบ (GI) และการมีเลือดออกเมื่อหยั่งที่ซุงปาก (BOP) ของด้านควบคุม และด้านทดลอง ที่ระยะเวลา Baseline, 1, 3 และ 6 เดือน

ค่าพารามิเตอร์	Baseline	1 เดือน	ความแตกต่างที่ 0-1 เดือน	3 เดือน	ความแตกต่างที่ 0-3 เดือน	6 เดือน	ความแตกต่างที่ 0-6 เดือน
<b>PD (มิลลิเมตร)</b>							
ด้านควบคุม	5.63±0.47	3.84±0.52	1.79±0.45**	3.86±0.66	1.77±0.71*	3.86±0.66	1.87±0.58**
ด้านทดลอง	5.68±0.41	3.91±0.58	1.77±0.41*	3.79±0.60	*	3.83±0.62	1.85±0.53*
<i>P</i> -value	0.678	0.475		0.770	1.89±0.45*	0.543	
<b>GR (มิลลิเมตร)</b>							
ด้านทดลอง	0.36±0.52	0.87±0.81	-0.50±0.46*	1.00±0.93	-0.64±0.59*	1.26±1.09	-0.90±0.72*
ด้านควบคุม	0.44±0.49	0.99±0.63	-0.54±0.48*	1.10±0.79	-0.65±0.68*	1.32±0.70	-0.87±0.64*
<i>P</i> -value	0.485	0.526		0.646		0.810	
<b>PAL (มิลลิเมตร)</b>							
ด้านควบคุม	6.01±0.95	4.83±1.26	1.18±0.56**	4.95±1.16	1.06±0.78*	5.05±1.22	0.96±0.86**
ด้านทดลอง	6.17±0.81	4.99±1.01	1.18±0.66*	4.93±0.95	*	5.05±1.01	1.12±0.77*
<i>P</i> -value	0.529	0.539		0.773	1.23±0.67*	0.867	
<b>PI</b>							
ด้านควบคุม	1.87±0.23	1.59±0.33	0.28±0.32**	1.71±0.31	0.16±0.24*	1.85±0.18	0.02±0.22
ด้านทดลอง	1.88±0.20	1.55±0.38	0.33±0.32**	1.70±0.35	*	1.84±0.22	0.04±0.26
<i>P</i> -value	0.477	0.268		0.983	0.18±0.23*	0.865	
					*		
<b>GI</b>							
ด้านควบคุม	1.99±0.44	1.92±0.12	0.07±0.11**	1.92±0.13	0.07±0.11*	1.91±0.05	0.08±0.13**
ด้านทดลอง	1.98±0.05	1.94±0.07	0.04±0.07**	1.91±0.12	*	1.91±0.15	0.07±0.14**
<i>P</i> -value	0.180	0.414		0.624	0.07±0.11*	0.562	
					*		
<b>BOP (ร้อยละ)</b>							
ด้านควบคุม	81.97±9.0	66.06±13.	15.91±13.70*	65.67±14.3	16.30±13.0	64.50±17.8	17.47±15.70*
ด้านทดลอง	5	67	18.77±17.06*	5	8*	0	16.50±19.31*
<i>P</i> -value	83.01±12.	64.24±12.		68.33±12.7	14.68±18.8	66.51±16.8	
	46	22		6	0*	8	
	0.662	0.397		0.279		0.393	

\* แทน ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเปรียบเทียบกับ Paired Sample t test;  $P < 0.05$

\*\* แทน ความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบกับ Wilcoxon signed-rank test;  $P < 0.05$

ค่าเฉลี่ยดัชนีเหงือกอักเสบและค่าเฉลี่ยดัชนีแผ่นคราบจุลินทรีย์ของด้านควบคุมและด้านทดลอง ที่ระยะเวลาต่างๆ มีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงในทิศทางเดียวกัน โดยค่าเฉลี่ยดัชนีเหงือกอักเสบมีการเปลี่ยนแปลง ในทางที่ดีขึ้นตั้งแต่วันที่ 1 เดือน และคงที่ต่อเนื่องไปจนถึงระยะเวลา 6 เดือน ในขณะที่ค่าเฉลี่ยแผ่นคราบ จุลินทรีย์มีค่าลดลงอย่างมากที่ระยะเวลา 1 เดือน และมีค่าค่อยๆเพิ่มขึ้นจนถึงระยะเวลา 6 เดือน ซึ่งมีค่าใกล้เคียง กับ Baseline สำหรับค่าเฉลี่ยของร้อยละการมีเลือดออกทั้งในด้านควบคุม และด้านทดลอง มีค่าร้อยละ 64 ถึง 66 ตั้งแต่ระยะเวลา 1 เดือน และมีค่าค่อนข้างคงที่ไปจนถึงระยะเวลา 6 เดือน เมื่อเปรียบเทียบค่าความลึกของร่อง ปริทันต์ ระดับขอบเหงือก ระดับการยึดเกาะของอวัยวะทางปริทันต์ทางคลินิก ดัชนีแผ่นคราบจุลินทรีย์ ดัชนี เหงือกอักเสบ และการมีเลือดออกเมื่อหยั่งทั้งปาก ที่ระยะเวลาเดียวกันของทั้งสองด้าน ไม่มีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญทางสถิติ (ตารางที่ 2)

## 5. อภิปรายผล

การศึกษานี้ได้เปรียบเทียบผลทางคลินิกของการรักษาโรคปริทันต์อักเสบชนิดเรื้อรัง โดยการดูดหิน น้ำลายและเกลารากฟันร่วมกับการใช้โฟโตไดนามิกเทอร์ราพีกับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันเพียงอย่างเดียว พบว่าที่ระยะเวลา 1, 3 และ 6 เดือนหลังการรักษา ทั้งสองกลุ่มมีผลทางคลินิกดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อ เปรียบเทียบกับ baseline แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม ที่ระยะเวลาเดียวกัน การศึกษานี้ทำการศึกษาแบบแบ่งส่วนในช่องปาก ทำให้สามารถควบคุมปัจจัยในเรื่อง ความแตกต่างระหว่างบุคคลได้ ผลการศึกษานี้ให้ผลทางคลินิกคล้ายคลึงกับการศึกษาของ Chrisdoulide และคณะ (2008), Pourabbas และคณะ (2014) และ Kolbe และคณะ (2014) แต่ให้ผลแตกต่างจากการศึกษาของ Moreira และคณะ (2015) พบว่า กลุ่มที่ได้รับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันร่วมกับการใช้โฟโตไดนามิกเทอร์ราพี ที่ระยะเวลา 3 เดือน ในร่องลึกปริทันต์ที่มีความลึกมากกว่า 7 มิลลิเมตรขึ้นไป มีความลึกของร่องลึกปริทันต์ลดลง มากกว่า และมีระดับการยึดเกาะทางคลินิกเพิ่มขึ้นมากกว่ากลุ่มที่ได้รับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟัน เพียงอย่างเดียวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งการศึกษานี้มีตำแหน่งของร่องลึกปริทันต์ที่มีความลึกมากกว่า 7 มิลลิเมตร ปริมาณน้อยจึงทำให้ไม่สามารถวิเคราะห์ข้อมูลดังกล่าวได้ ในประเทศไทย มีการศึกษาของ Bundidpun และคณะ (2017) ทำการศึกษาแบบแบ่งส่วนช่องปาก พบว่า กลุ่มที่ได้รับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟัน ร่วมกับการใช้โฟโตไดนามิกเทอร์ราพี มีค่าดัชนีเหงือกอักเสบและค่าการมีเลือดออกเมื่อหยั่ง แตกต่างอย่างมี นัยสำคัญทางสถิติที่ระยะเวลา 3 และ 6 เดือนหลังการรักษา เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มที่ได้รับการดูดหินน้ำลายและ เกลารากฟันเพียงอย่างเดียว แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความลึกของร่องปริทันต์, ระดับการยึดเกาะของอวัยวะปริทันต์ และดัชนีคราบจุลินทรีย์ ซึ่งการศึกษาดังกล่าวพิจารณาที่ตำแหน่งร่องลึก ปริทันต์มากกว่าหรือเท่ากับ 4 มิลลิเมตร โดยแต่ละการศึกษามีการออกแบบการศึกษา การวินิจฉัย โรคปริทันต์ ชนิดและความเข้มข้นของสารไวแสง ชนิดของแสง รวมถึงระยะเวลาในการได้รับโฟโตไดนามิกที่แตกต่างกันไป อาจเป็นผลให้ผลที่ได้แตกต่างกัน จากการศึกษาในกลุ่มที่ได้รับโฟโตไดนามิกเทอร์ราพี ให้ผลทางคลินิกที่คล้ายคลึง กับกลุ่มที่ได้รับการดูดหินน้ำลายและเกลารากฟันเพียงอย่างเดียว การศึกษาในอนาคตควรมีขนาดกลุ่มตัวอย่าง เพิ่มขึ้น ประกอบกับการตรวจผลทางจุลชีววิทยาเพิ่มเติม เพื่อยืนยันผลของการศึกษานี้

## 6. ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากโฟโตไดนามิกเทอราพี มีผลในการทำลายผนังเซลล์และเยื่อหุ้มเซลล์ (cell membrane) เป็นผลให้เกิดการตายของเซลล์ ดังนั้นถ้ามีการศึกษาถึงผลทางจุลชีววิทยา จะทำให้เห็นผลการรักษาที่ชัดเจนขึ้น

## 7. เอกสารอ้างอิง

- Haffajee AD, Socransky SS. 1994. Microbial etiological agents of destructive periodontal diseases. **Periodontology** 2000.5(1):78-111.
- Pihlstrom BL, Michalowicz BS, Johnson NW. 2005. Periodontal diseases. **Lancet**.366(9499):1809-20.
- Venkatesh A, Ramamurthy DJ. 2012. Local drug delivery systems in the treatment of periodontitis--An Overview. **International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences**.4(1):30-7.
- Ishikawa I, Baehni P. 2004. Nonsurgical periodontal therapy--where do we stand now? **Periodontology** 2000.36:9-13.
- Sandros J, Papapanou P, Dahlén G. 1993. *Porphyromonasgingivalis* invades oral epithelial cells in vitro. **Journal of periodontal research**.28(3):219-26.
- Pack PD, Haber J. 1983. The incidence of clinical infection after periodontal surgery. **Journal of periodontology**.54:441-43.
- Dobson J, Wilson M. 1992. Sensitization of oral bacteria in biofilms to killing by light from a low-power laser. **Archives of Oral Biology**. 37:883-887.
- Komerik N, Nakanishi H, MacRobert AJ, Henderson B, Speight P, Wilson M. 2003. In vivo killing of *Porphyromonasgingivalis* by toluidine blue-mediated photosensitization in an animal model. **Antimicrob Agents Chemother**.47:932-40.
- Christodoulides N, Nikolidakis D, Chondros P, Becker J, Schwarz F, Rössler R, Sculean A. 2008. Photodynamic therapy as an adjunct to non-surgical periodontal treatment: a randomized, controlled clinical trial. **Journal of periodontology**.79(9):1638-44.
- Pourabbas R, Kashefimehr A, Rahmanpour N, Babaloo Z, Kishen A, Tenenbaum HC, Azarpazhooh A. 2014. Effects of photodynamic therapy on clinical and gingival crevicular fluid inflammatory biomarkers in chronic periodontitis: a split-mouth randomized clinical trial. **Journal of periodontology**. 85(9): 1222-9.
- Kolbe MF, Ribeiro FV, Luchesi VH, Casarin RC, Sallum EA, Nociti FH Jr, Ambrosano GM, Cirano FR, Pimentel SP, Casati MZ. 2014. Photodynamic therapy during supportive periodontal care: clinical, microbiologic, immunoinflammatory, and patient-centered performance in a split-mouth randomized clinical trial. **Journal of periodontology**.85(8):e277-86.
- Moreira AL, Novaes AB Jr, Grisi MF, Taba M Jr, Souza SL, Palioto DB, de Oliveira PG, Casati MZ, CasarinRC, Messora MR. 2015. Antimicrobial photodynamic therapy as an adjunct to non-surgical treatment of aggressive periodontitis: a split-mouth randomized controlled trial. **Journal of periodontology**. 86(3):376-86.



Bundidpun P, Srisuwantha R, Laosrisin N. 2017. Clinical effects of photodynamic therapy as an adjunct to full-mouth ultrasonic scaling and root planning in treatment of chronic periodontitis. **Laser therapy**. 27.1:33-39.

## การพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก

### DEVELOPMENT OF MEASUREMENT TOOL FOR LEG LENGTH DISCREPANCY IN CLINIC

นายภูชัช ถนอมวงษ์

นักศึกษาระดับปริญญาโท วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: phuchich1969@gmail.com

ผศ.ดร.กมล นพพร จงกมลวิวัฒน์

ภาควิชากายวิภาคศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: nopporn.jon@mahidol.ac.th

ผศ.ดร.กมล วรินทร์ กฤตยาเกียรติ

วิทยาลัยราชสุดา มหาวิทยาลัยมหิดล

คณะกายภาพบำบัด มหาวิทยาลัยมหิดล

E-mail: warin.kri@mahidol.edu

#### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกและศึกษาประสิทธิภาพของเครื่องมือ วิจัยโดยพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกเป็นอุปกรณ์ต้นแบบ และทดลองใช้อุปกรณ์ โดยทดสอบกับผู้ร่วมวิจัยจำนวน 2 ราย (ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง) แล้วประเมินอุปกรณ์ต้นแบบด้วยแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของควิเบคเวอร์ชัน 2.0 (QUEST 2.0) จากผู้เชี่ยวชาญ 3 คน และหาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ต้นแบบโดยศึกษาจากกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้ป่วยที่มีความยาวขา 2 ข้างที่ไม่เท่ากัน (LLD) จำนวน 15 ราย โดยผู้ทำการทดสอบ 4 คน แบ่งเป็นผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์ 2 คนและผู้ทดสอบที่ไม่มีประสบการณ์ 2 คน ผู้ป่วยทุกรายได้รับการสุ่มเพื่อเข้ารับการวัดด้วยวิธีวัดทางคลินิก 3 วิธี ได้แก่ วิธีวัดด้วยสายวัดวิธีวัดด้วยบล็อก และวิธีวัดด้วยเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นใหม่ (NT) วิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้เพื่อหาค่าความน่าเชื่อถือของผู้ทดสอบ (Reliability) ได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Intraclass Correlation Coefficient) และความเที่ยงตรงของเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นใหม่ (Validity) ได้จากการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) จากกลุ่มตัวอย่างนำร่องจำนวน 5 ราย ผลการศึกษาพบว่าการประเมินระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเครื่องมือวัดที่พัฒนาขึ้นใหม่พบว่า ระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ที่ “พึงพอใจ” ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 คะแนน (SD = 0.44) จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน ค่าความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ทดสอบ (Intertester reliability) วิธีวัดด้วย BK (0.885) มากกว่า NT (0.850) และ TP (0.486) ตามลำดับ ค่าความน่าเชื่อถือภายในผู้ทดสอบ (Intratester reliability) จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Intraclass Correlation Coefficient) โดยวิธี BK (0.966) มากกว่า NT (0.957) และ TP (0.756) ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient)

เมื่อเทียบกับ BK มีค่าเท่ากับ 0.960 สำหรับการวัดด้วย NT และ 0.572 สำหรับการวัดด้วย TP ผลการศึกษานี้สรุปได้ว่า NT มีความน่าเชื่อถือ และความแม่นยำในระดับสูง และใกล้เคียงกับ BK

**คำสำคัญ:** วิธีทางคลินิก โรคความยาวขาไม่เท่ากัน เครื่องมือวัด เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก

## ABSTRACT

The objective of this research was to develop clinical tool for measuring leg length discrepancy (LLD) and evaluated for the efficiency of it. The research methodology was developed the measurement tool for LLD. And try out the equipment by testing with 2 patients (not the samples) and evaluating the prototype with the user satisfaction assessment on Quebec User Evaluation of Satisfaction with assistive Technology (QUEST 2.0) by experts (n = 3). The efficiency of this prototype was studied in leg length discrepancy (LLD) patients (n = 15) by 4 testers which composed of testers with experience in measurement (n = 2) and testers without experience in measurement (n = 2). Three methods (TP, BK and NT) were applied to patients by random. The reliability and validity of measurement were calculate Intraclass Correlation Coefficient and Pearson correlation coefficient, respectively on 5 pilot samples. The results presented that satisfaction of experts was "SATISFACTION" (mean  $\pm$  SD,  $4.00 \pm 0.44$  from 5.00). The intertester reliability, the methods were measured by BK (0.885), NT (0.850) and TP (0.486), respectively. Intratester reliability (ICC) was BK (0.966), NT (0.957) and TP (0.756), respectively, Pearson correlation coefficient when compared with BK, NT was 0.960 and TP was 0.572. Therefore, NT has a high level of reliability and validity and similar to BK.

**KEYWORDS:** Clinical methods, Leg length discrepancy, Measurement tool, Assistive Technology

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ขา (Lower Limb) ของร่างกายมนุษย์ทำหน้าที่สำคัญในการรับน้ำหนัก และการเคลื่อนไหวในรูปแบบต่างๆ ความยาวขาที่แตกต่างกันอาจส่งผลให้เกิดเป็นความพิการซึ่งเป็นลักษณะหนึ่งของความพิการทางร่างกายที่ส่งผลต่อการเคลื่อนไหว และมีผลอย่างมากต่อชีวกลศาสตร์ในการเคลื่อนไหว เพราะเมื่อความยาวขาไม่เท่ากันจะส่งผลให้การยืนหรือการเดินไม่สมดุล (asymmetry) และอาจส่งผลกระทบต่อให้เกิดความผิดปกติทางร่างกาย เช่น กระดูกสันหลังคด (Scoliosis) การเกิดท่าทางที่ผิดปกติ (Posture Deformation) การเดินไม่สมดุล (Gait Asymmetry) และอาการปวดหลังส่วนล่าง (Low back pain) การเกิดโรคเข่าเสื่อม (Osteoarthritis of the knee) หรือข้อสะโพกเสื่อม (Osteoarthritis of the hip) ซึ่งจะก่อให้เกิดมีผลกระทบต่อการทำงานของร่างกายและคุณภาพชีวิตได้ (Sam Khamisa et al., 2017)

วิธีวัดเพื่อหาค่าความแตกต่างความยาวขาในปัจจุบันมี 3 วิธี คือ (1) วิธีวัดด้วยการฉายภาพรังสี (Imaging Methods) ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่มีความแม่นยำสูง แต่มีค่าใช้จ่ายสูง และรังสี x-ray อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพของผู้ป่วยได้ (Burke Gurney, 2001) (2) วิธีวัดด้วยสายวัด (Tape Method, TP) การวัดด้วยวิธีนี้มีผลที่ยอมรับได้ อย่างไรก็ตามมีการศึกษาพบว่าวิธีการวัดนี้สามารถก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนในการวัดอันเนื่องมาจากหลายปัจจัย เช่น ความแตกต่างในเส้นรอบวงขาแต่ละข้าง (Edwin Hanada et al., 2001) ความยากในการตรวจคลำกระดูกในการ

ระบุให้เป็นตำแหน่งในการอ้างอิงที่สำคัญในการวัด การเกิดการเบี่ยงเบนทางชีวกลศาสตร์ของขา เช่น ข้อต่อมีการติดยึด (contractures) รวมถึงประสบการณ์ของผู้วัด เป็นต้น (Sam Khamisa et al., 2017) (Tracy Middleton et al., 2000) และ (3) วิธีวัดด้วยบล็อก (Block Method, BK) เป็นวิธีการวัดที่ได้รับการยอมรับว่ามีความแม่นยำสูง อย่างไรก็ตามยังมีปัจจัยหลายประการที่อาจส่งผลกระทบต่อความผิดพลาดในการวัด เช่น ประสบการณ์ของผู้วัด นอกจากนี้วิธีการดังกล่าวประกอบด้วยอุปกรณ์หลายชิ้น ซึ่งอาจเป็นอีกข้อจำกัดในเรื่องของการเตรียมอุปกรณ์ร่วมด้วย อาจทำให้เกิดความไม่สะดวก และใช้เวลามากกว่าการวัดด้วยสายวัด นอกจากนี้ยังมีการลงน้ำหนักที่ไม่สมดุลของขาหรือการชดเชย ที่ไม่สอดคล้องกันเกิดขึ้นในขณะที่ยืนจะทำให้ได้ผลการวัดที่ไม่ถูกต้องหรือมีความคลาดเคลื่อนได้ (Edwin Hanada et al., 2001)

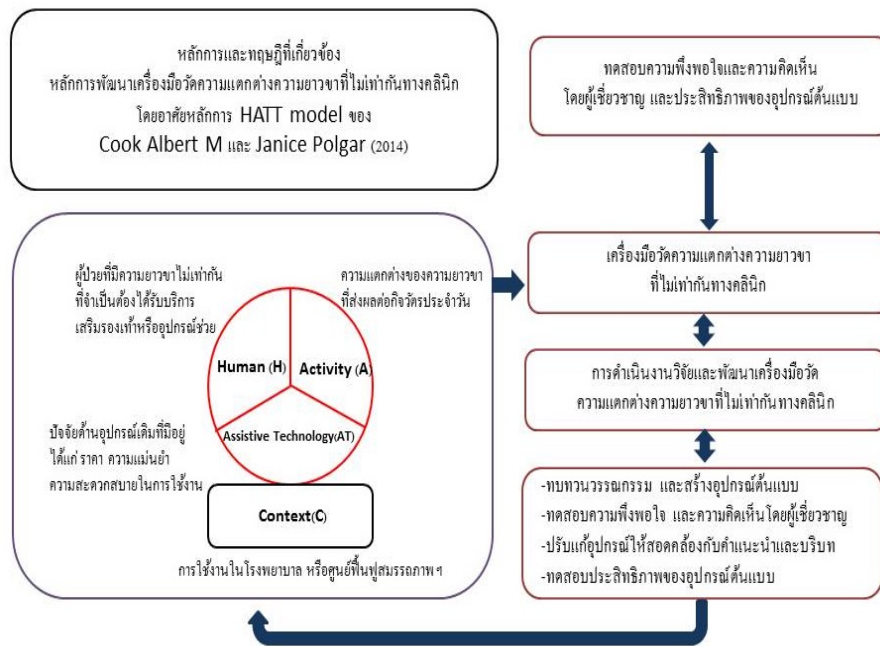
ปัจจุบันยังไม่มีรายงานสถิติจำนวนผู้ป่วยที่มีความยาวขาไม่เท่ากัน(LLD)ในประเทศไทย ซึ่งอุบัติการณ์นี้สามารถพบได้ในประชากรทั่วไป Ahmed A Khalifa (2017) ได้รายงานไว้ว่า 70% ของประชากรนั้นมี LLD และจากการสืบค้นข้อมูลยังไม่พบว่าเคยมีการพัฒนาเครื่องมือวัดทางคลินิกในลักษณะนี้ ในการศึกษาที่กำหนดให้วิธีวัดด้วยบล็อก(BK) เป็นวิธีมาตรฐานทางคลินิก(gold standard) Maziar Badii และคณะ(2014)รายงานผลในการวัดทางคลินิกโดยการวัดด้วยบล็อก(BK)มีความถูกต้อง(validity)และความน่าเชื่อถือ(reliability)สูงกว่าการวัดด้วยสายวัด(TP) โดยมีผลค่า Pearson correlation coefficient เป็น 0.93 สำหรับการใช้นบล็อกและ 0.75 สำหรับสายวัด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การประเมินความน่าเชื่อถือ(ICC)ของ interobserver เป็น 0.737 สำหรับการใช้นบล็อกและ 0.477 สำหรับสายวัด และนักวิจัยส่วนใหญ่เห็นด้วยกับวิธีการวัดด้วยการให้ผู้ป่วยยืนบนบล็อกว่าดีกว่าวิธีการวัดด้วยสายวัด และแนะนำให้ใช้ในการประเมินทางคลินิกสำหรับผู้ป่วยที่มีความยาวขาที่ไม่เท่ากัน (Tracy Middleton et al, 2000)

จากปัญหาดังกล่าวข้างต้นทีมผู้วิจัยจึงได้ดำเนินการวิจัยและพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก เพื่อให้ได้เครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่สามารถลดปัญหาดังกล่าวข้างต้น โดยต้องการสร้างเครื่องมือวัดขึ้นใหม่ให้สามารถวัดได้แม่นยำ เครื่องมือมีความน่าเชื่อถือ ใช้งานได้ง่าย ซึ่งจะช่วยอำนวยความสะดวกให้กับบุคลากรทางการแพทย์ นักกายภาพบำบัด และนักกายอุปกรณ์ในการตรวจประเมินความยาวขาของผู้ป่วย

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก
- (2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการใช้เครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก

### 3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



แผนภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

#### 4.1 แบบแผนการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาวิจัย และพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกและทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่พัฒนาขึ้นใหม่ (NT) เปรียบเทียบกับการวัดที่เป็นมาตรฐานทางคลินิกแบบเดิม ได้แก่ การวัดด้วยสายวัด (TP) และการวัดด้วยบล็อก (BK) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้ BK เป็นมาตรฐานการวัดทางคลินิก โดยมีขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย ดังนี้

1. ระบุเป้าหมายการพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากัน
2. รวบรวมปัญหาที่เกิดจากการใช้วิธีวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ TP และ BK
3. ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันทั้งในและต่างประเทศ และหลักการออกแบบเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก จัดทำเอกสารและดำเนินการขอการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในคน มหาวิทยาลัยมหิดล และโรงพยาบาลราชวิถี
4. ออกแบบ ประดิษฐ์อุปกรณ์ต้นแบบ และทดลองใช้อุปกรณ์ โดยทดสอบในผู้ร่วมวิจัยจำนวน 2 คน (ที่ไม่ใช่กลุ่มตัวอย่าง) เพื่อนำจุดบกพร่องที่พบไปปรับปรุงแก้ไข
5. พัฒนา เครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกต้นแบบ
6. ประเมินอุปกรณ์ต้นแบบด้วยแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของคิวเบเกอร์รุ่น 2.0 (QUEST 2.0) โดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟู 1 คน นักเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก 1 คน นักกายภาพบำบัดหรือนักกายอุปกรณ์ 1 คน
7. นำข้อมูลจากผู้เชี่ยวชาญมาใช้ในการปรับปรุงพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก

8. คัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเข้าร่วมกระบวนการวิจัยเป็นประชากรนำร่อง(pilot subject) จำนวน 5 คน จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 15 คน โดยการสุ่ม และให้ผู้ป่วยเข้ารับการวัดทางคลินิกโดยผู้ทดสอบ 4 คนวัดผู้ป่วยทุกรายครบทั้ง 3 วิธี

#### 4.2 ประชากรและตัวอย่าง

ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ ผู้ป่วยที่มีความยาวขาไม่เท่ากัน LLD ณ โรงพยาบาลราชวิถี จำนวน 5 คน ซึ่งเป็นประชากรนำร่อง(pilot samples) โดยการสุ่ม จากกลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 15 คน อายุ 18 ปีขึ้นไป โดยมีเกณฑ์คัดเลือกเข้าคือ สามารถยืนลงน้ำหนักได้โดยไม่ต้องช่วยเหลือหรือใช้อุปกรณ์อำนวยความสะดวก ดัชนีมวลกายต่ำกว่า 25.0 BMI ไม่มีปัญหาที่อาจส่งผลให้การวัดความยาวขาคลาดเคลื่อน สามารถปฏิบัติตามคำแนะนำได้ ทั้งนี้จะได้รับการวินิจฉัยโดยแพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟู

ผู้ทดสอบ ประกอบด้วยผู้ทำการทดสอบจำนวน 4 คน ประกอบด้วย ผู้ทดสอบที่มีประสบการณ์ (Exp) 2 คน คือ เป็นผู้ที่ปฏิบัติงานประจำในการตรวจประเมินผู้ป่วยที่มี LLD สามารถประเมินผู้ป่วยด้วย TP BK และ NT มีประสบการณ์ในการตรวจประเมินผู้ป่วยที่มี LLD ในคลินิกเวชศาสตร์ฟื้นฟู และผู้ทดสอบที่ไม่มีประสบการณ์ (Non-Exp) 2 คน เป็นผู้ที่ปฏิบัติงานในคลินิกเวชศาสตร์ฟื้นฟู ไม่เคยตรวจประเมินผู้ป่วยที่มี LLD ด้วยเครื่องมือวัดความยาวขาทางคลินิกมาก่อน ผู้ทดสอบทำการวัดผู้ป่วยแต่ละรายที่ได้รับการสุ่มเข้าตรวจ วิธีละ 3 ครั้ง

#### 4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

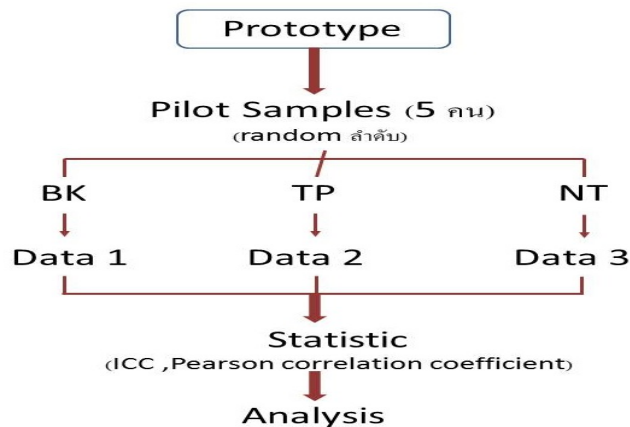
ตัวแปรต้น คือ วิธีวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางด้วยเครื่องมือที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่

ตัวแปรตาม คือ ความน่าเชื่อถือ (reliability) ของเครื่องมือวัด และความเที่ยงตรง (validity) ของเครื่องมือวัด

#### 4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่พัฒนาขึ้นใหม่
2. แบบบันทึกผลการวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก
3. สายวัด
4. อุปกรณ์วัดด้วยบล็อก
5. แบบประเมิน คิวเบคเวอร์ชัน 2.0 (QUEST 2.0)

#### 4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล



แผนภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการเก็บรวบรวมข้อมูล

ภายหลังจากที่ได้อุปกรณ์ต้นแบบแล้ว ทำการเก็บข้อมูล ณ กลุ่มงานเวชศาสตร์ฟื้นฟู โรงพยาบาลราชวิถี กลุ่มตัวอย่างนำร่องจำนวน 5 คน เข้าร่วมคลินิกเวชศาสตร์ฟื้นฟู ในวันเวลาที่ได้นัดหมาย ผู้ป่วยทุกรายเข้ารับการวัดด้วยวิธีวัดทางคลินิกครบ 3 วิธีในวันเดียวกัน โดยการสุ่ม แยกผู้ป่วยแต่ละรายเข้าห้องตรวจซึ่งมีจำนวน 3 ห้องที่มีเครื่องมือวัดแตกต่างกัน 3 วิธี ผู้ทดสอบ 4 คน ทำการวัดผู้ป่วยโดยการสุ่ม วัดวิธีละ 3 ครั้ง ครั้งละประมาณ 3-5 นาทีและในแต่ละครั้งก่อนทำการวัดซ้ำให้พัก 1 นาทีเพื่อให้ผู้ป่วยได้พักและเปลี่ยนอิริยาบถก่อนทำการวัดครั้งต่อไป รวมใช้ระยะเวลาในการวัดต่อผู้ป่วย 1 รายวิธีละประมาณ 15 นาที บันทึกผลการวัดโดยผู้วิจัยหรือเจ้าหน้าที่ผู้ช่วยเหลือผู้วิจัย ข้อมูลทั้งหมดจะถูกรวบรวมเพื่อนำไปคำนวณด้วยโปรแกรม SPSS ver.20 และนำไปวิเคราะห์ผลในลำดับต่อไป

#### 4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ด้วยโปรแกรม SPSS ver.20 ตัวแปรที่ต้องการประเมิน ได้แก่ ความน่าเชื่อถือ (reliability) และความเที่ยงตรง (validity) ค่าเฉลี่ย (Average) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ใช้คำนวณเพื่อเปรียบเทียบข้อมูลการวัด ความน่าเชื่อถือภายในผู้ทดสอบ (Intra-tester reliability) คำนวณโดยใช้สถิติหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Intraclass Correlation Coefficient) ของผู้ทดสอบแต่ละคน ความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ทดสอบ (Inter-tester reliability) คำนวณโดยใช้สถิติหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Intraclass Correlation Coefficient) ระหว่าง 4 ผู้ทดสอบ ความเที่ยงตรง (validity) คำนวณโดยใช้สถิติหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) เปรียบเทียบกันระหว่างวิธีการวัดด้วยวิธี TP กับวิธี BK และวิธี NT กับวิธี BK

### 5. สรุปผลการวิจัย

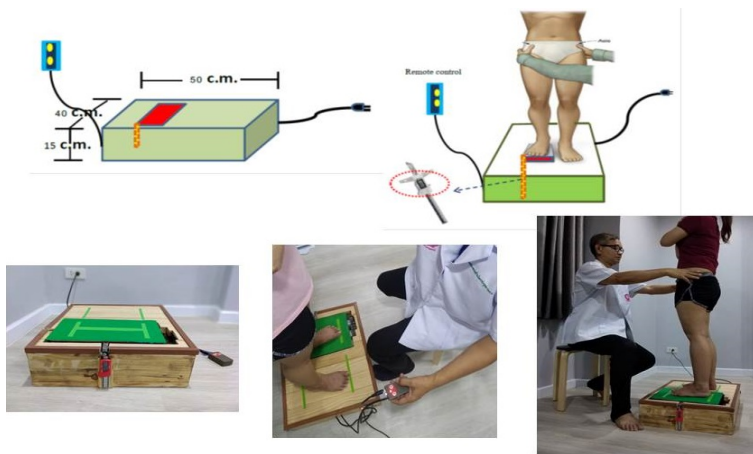
ผลการวิจัยการพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก เป็นการนำเสนอผลการวิจัยเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. ผลการพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก
2. ผลการประเมินเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่โดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง
3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่ได้พัฒนาขึ้น

#### ผลการพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก

การพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก มีการออกแบบประกอบด้วยส่วนหลัก ๆ 3 ส่วน คือ (1) ส่วน A คือ แท่นรองยืน มีลักษณะเป็นกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 40 x 50 x 15 ซม. วัสดุทำด้วยไม้ที่มีความหนา 2 ซม. ทำหน้าที่เป็นแท่นรองยืนสำหรับขาข้างดี พื้นที่มีขนาดเพียงพอต่อการยืน มีความสูงที่เหมาะสมต่อการก้าวขึ้น-ลงของผู้ป่วย ออกแบบให้มีความแข็งแรง มั่นคง ทดลองรับน้ำหนักโดยใช้คนปกติที่มีน้ำหนัก 65-85 กิโลกรัมสามารถรับน้ำหนักได้โดยอุปกรณ์ไม่มีการทรุดตัว ภายในบรรจุแม่แรงไฟฟ้าและหม้อแปลงไฟฟ้า (switching) มีน้ำหนักประมาณ 15 กิโลกรัม พบว่าอุปกรณ์มีความมั่นคง ขนาดเหมาะสมสามารถรับน้ำหนักในการยืนได้ดี (2) ส่วน B คือ แม่แรงไฟฟ้า (electric jack) ขนาด แรงดันไฟฟ้า 12 V ปริมาณกระแสไฟฟ้า 10 A กำลังไฟฟ้า 130 W ช่วงยกของแม่แรงไฟฟ้า 13-35 ซม. มีระบบการป้องกันเมื่อสิ้นสุดช่วงขึ้นลงอัตโนมัติ ทำหน้าที่ในการขึ้น-ลง ด้วยการกดรีโมทควบคุม วัสดุหลักเป็น โลหะ มีความแข็งแรง ทนทาน

สามารถรองรับน้ำหนักได้มากถึง 2 ตัน กลไกทำงานได้ด้วยไฟฟ้า คัดแปลงให้เป็นแท่นยืนสำหรับขาข้างที่สั้นกว่าโดยยึดไว้ให้มั่นคง แข็งแรง อยู่ในแท่นรองยืนส่วน A พบว่าอุปกรณ์มีการโยกตัวได้บ้างเล็กน้อย เนื่องจากมีข้อต่อเพื่อช่วยอุปกรณ์ในการหุบเข้าหรือกางออก (แผนภาพที่ 2) (3) ส่วน C คือ ส่วนวัดและแสดงผล ใช้เวอร์เนียแคลิเปอร์ดิจิทัล (Digital caliper Vernier Gauge) เป็นเครื่องมือวัดระยะชนิดแสดงผลเป็นตัวเลขดิจิทัล คัดแปลงติดตั้งบริเวณด้านข้างของส่วน A โดยปลายด้านหนึ่งของเวอร์เนียยึดพ่วงกับแท่นรองยืนบนแม่แรงจึงทำให้สามารถกางเข้าออกได้อิสระตามการขึ้นลงของแม่แรงไฟฟ้า ทำหน้าที่ในการวัดและแสดงผล โดยมีค่าความละเอียดในการวัด 0.01mm/ 0.0005 in. ความเที่ยงตรง: 0.01mm/ 0.0005 in. ความแม่นยำ: + 0.02 mm/ 0.001 in. (100-150 mm) สามารถวัดด้วยการตอบสนองรวดเร็วสูงถึง 1 m/s พบว่าอุปกรณ์นี้สามารถแสดงผลได้ดี แต่ควรมีขนาดจอแสดงผลที่ใหญ่ขึ้น เพื่อช่วยให้สะดวกในการอ่านผล



แผนภาพที่ 3 แสดงลักษณะของเครื่องมือวัดที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่

ผลการประเมินเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่โดยผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง

ภายหลังจากที่ได้ประดิษฐ์เครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่จนสำเร็จเป็นต้นแบบ ได้มีการนำเครื่องมือวัดนี้เข้ารับการประเมินและขอรับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ แพทย์เวชศาสตร์ฟื้นฟู 1 คน นักเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก 1 คน และนักกายอุปกรณ์ 1 คน ประเมินด้วยแบบประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้ที่มีต่อเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกของควิเบกเวอร์ชัน 2.0 (QUEST 2.0) จำนวน 12 ข้อ ผลการศึกษาพบว่าผลการประเมินระดับความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่พบว่า ระดับความพึงพอใจโดยรวมอยู่ที่ “พึงพอใจ” ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.00 คะแนนจากคะแนนเต็ม 5 คะแนน (SD = 0.44) เมื่อพิจารณาแยกรายข้อพบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจในด้านมิติ (ขนาด ความสูง ความยาว ความกว้าง) ของอุปกรณ์ และอุปกรณ์ใช้งานง่ายเพียงใด มีระดับความพึงพอใจสูงสุด อยู่ที่ 4.33 คะแนน (SD = 0.58) และประเด็นด้านความง่ายในการปรับ (การยึดติด การทำให้แน่น) อุปกรณ์ รวมถึงความปลอดภัย และมั่นคงของอุปกรณ์มีระดับคะแนนต่ำสุดอยู่ที่ 3.67 คะแนน (SD = 0.58)





แผนภาพที่ 3 แสดงลักษณะของเครื่องมือวัดก่อนและหลังได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ

ผลการทดสอบประสิทธิภาพผลเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกที่ได้พัฒนาขึ้นใหม่

ค่าความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ทดสอบ (Inter tester reliability) วิธีวัดด้วย BK (0.885) มากกว่า NT (0.850) และ TP (0.486) ตามลำดับ ค่าความน่าเชื่อถือภายในผู้ทดสอบ (Intra tester reliability) จากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Intraclass Correlation Coefficient) โดยวิธี BK (0.966) มากกว่า NT (0.957) และ TP (0.756) ตามลำดับ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน (Pearson correlation coefficient) เมื่อเทียบกับ BK พบว่า TP เท่ากับ 0.572 และ NT เท่ากับ 0.960 กล่าวได้ว่า NT มีความน่าเชื่อถือ และความแม่นยำในระดับสูง และใกล้เคียงกับ BK

## 6. อภิปรายผล

การศึกษาครั้งนี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิก จากผลการศึกษาพบว่าเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกต้นแบบมีระดับความพึงพอใจอยู่ก่อนข้างสูง (4 คะแนน จากคะแนนเต็ม 5 คะแนน) เมื่อพิจารณาแยกรายข้อพบว่า ค่าเฉลี่ยของระดับความพึงพอใจในด้านมิติ (ขนาด ความสูง ความยาว ความกว้าง) ของอุปกรณ์ และอุปกรณ์ใช้งานง่ายเพียงใด มีระดับความพึงพอใจสูงสุด และประเด็นด้านความง่ายในการปรับ (การยึดติด การทำให้แน่น) อุปกรณ์ รวมถึงความปลอดภัยและมั่นคงของอุปกรณ์มีระดับคะแนนต่ำสุด ภายหลังจากได้รับคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องแล้วได้มีการปรับปรุงโดยการติดตั้งราวจับ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ช่วยเพิ่มความปลอดภัยรวมทั้งตรวจสอบให้อุปกรณ์อื่นๆ ยึดแน่นและมั่นคงแล้ว พบว่าสามารถแก้ปัญหาได้ตรงตามคำแนะนำของผู้เชี่ยวชาญ เครื่องมือมีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น โดยตอบสนองหลักการยศาสตร์และยังมีความสอดคล้องกับทฤษฎี HATT models (Cooks and Polgar, 2014) ในการเลือกเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกให้แก่คนพิการ โดยมืองค์ประกอบในการเลือกใช้อุปกรณ์คือ ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคนพิการ (Human) กิจกรรม (Activity) เทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวก (assistive technology) และบริบท (context) นอกจากนั้นคุณสมบัติของวัสดุ การรองรับน้ำหนัก การออกแบบให้ใช้งานได้ง่าย สะดวกและราคามีความเหมาะสม ซึ่งวัสดุที่นำมาใช้ในการผลิตเครื่องมือวัดในครั้งนี้หาได้ง่าย ราคาประหยัด มีน้ำหนักเบาแต่มีความแข็งแรงเพียงพอ เมื่อประกอบแล้วสามารถรองรับน้ำหนักในการยืนของคนปกติที่มีน้ำหนัก 65-85

กิโกรัมได้โดยอุปกรณ์ไม่มีการทุดตัว อุปกรณ์ที่สำคัญเพิ่มเติมได้แก่ แม่แรงไฟฟ้าที่ควบคุมให้ขึ้นลงได้ด้วยรีโมทคอนโทรล สามารถหาซื้อได้ในท้องตลาด วัสดุเป็นโลหะ มีความแข็งแรงทนทานมาก และอุปกรณ์แสดงผลได้แก่ เวอร์เนียคาลิเปอร์ที่แสดงผลแบบดิจิตอล การประกอบและติดตั้งสามารถทำได้โดยบุคคลทั่วไปที่มีความรู้พื้นฐานทางด้านช่างเทคนิคบ้าง ราคาต้นทุนอุปกรณ์ทั้งหมดประมาณ 5,000 บาท น้ำหนักโดยรวมประมาณ 16 กิโลกรัม

ประสิทธิผลของเครื่องมือวัดความแตกต่างความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกต้นแบบมีความน่าเชื่อถือและความแม่นยำในการวัดใกล้เคียงกับ BK ซึ่งในการศึกษานี้ได้กำหนดให้วิธี BK เป็นวิธีวัดมาตรฐานทางคลินิก (Gold standard) โดยมีการศึกษาพบว่าวิธีวัดด้วย BK ได้รับการยอมรับว่ามีความถูกต้องและความน่าเชื่อถือสูงกว่าการวัดด้วยสายวัด โดยมีผลค่า Pearson correlation coefficient เป็น 0.93 และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์การประเมินความน่าเชื่อถือ (ICC) ของ interobserver เป็น 0.737 ซึ่งเหมาะสำหรับการวัดทางคลินิก (Maziar Badii et al., 2014) (Tracy Middleton et al., 2000) ดังนั้นอุปกรณ์ต้นแบบนี้จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการวัดความแตกต่างความยาวขาทางคลินิก ช่วยในการวางแผนการรักษาเพื่อปรับแก้ไขสภาวะความพิการ บรรเทาปัญหาอันเกิดจากความยาวขาที่ไม่เท่ากันด้วยเทคโนโลยีสิ่งอำนวยความสะดวกที่เหมาะสมในบริบทไทย

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ในการประเมินสำหรับการคัดกรองผู้ที่มีความยาวขาที่ไม่เท่ากันเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของวิธีการวัดทางคลินิก

(2) ผลการศึกษานี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางเพื่อเป็นต้นแบบการพัฒนาต่อยอดในการประดิษฐ์หรือปรับปรุงเครื่องมือวัดความยาวขาที่ไม่เท่ากันทางคลินิกในลำดับต่อไป

(3) ผลการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าหน่วยงานที่เกี่ยวข้องสามารถผลิตเครื่องมือวัดขึ้นเองได้ในหน่วยงานหากได้มีการศึกษาข้อมูลอย่างเพียงพอ หน่วยงานทางการแพทย์ สถาบันการศึกษาหรือหน่วยงานรัฐควรให้การสนับสนุน เนื่องจากการประดิษฐ์ไม่ซับซ้อน อุปกรณ์สามารถหาซื้อได้ในท้องตลาด ซึ่งจะช่วยให้ได้เครื่องมือวัดที่มีประสิทธิภาพ ราคาเหมาะสม คุ่มค่า สามารถใช้งานได้จริง

### 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

(1) ค่าเฉลี่ยของการวัดซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้งขึ้นไป จะช่วยให้ได้ผลการวัดที่น่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น

(2) เนื่องจากในการศึกษานี้เป็นการพัฒนาเครื่องมือวัดโดยบุคลากรที่ปฏิบัติงานสายการแพทย์ หากได้ร่วมศึกษาวิจัยกับบุคลากรในสาขาวิศวกรรมศาสตร์จะช่วยให้ได้เครื่องมือวัดที่ประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

(3) วิธีการวัดความยาวขาคด้วยการเอ็กซ์เรย์ (image method) ยังคงเป็นวิธีที่น่าเชื่อถือและมีความแม่นยำมากที่สุดในการประเมินเพื่อให้ได้มาซึ่งผลการวัดความยาวขาที่ไม่เท่ากัน แต่จะมีค่าใช้จ่ายสูงกว่าวิธีทางคลินิกและผู้ป่วยอาจจะได้รับรังสี (Burke Gurney, 2001)

## 8. กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณท่านผู้อำนวยการ โรงพยาบาลราชวิถี หัวหน้ากลุ่มงานเวชศาสตร์ฟื้นฟูผู้เข้าร่วมวิจัยทุกท่านที่ได้ให้ความร่วมมือในการเก็บข้อมูลวิจัย อันเป็นข้อมูลที่สำคัญยิ่งสำหรับการศึกษาในครั้งนี้

## 9. เอกสารอ้างอิง

- Ahmed A K. Leg Length Discrepancy: Assessment and Secondary Effects. *Ortho & Rheum Open Access* 2017; 6(1): 555678.
- Burke Gurney. Leg length discrepancy. *Gait and Posture* (15) 2002; 195–206.
- Cook, A. M., Polga, J. M. **Assistive technologies: principles and practice** (4rd ed.) 2014 .
- Hanada E, Kirby RL, Mitchell M, Swuste JM. Measuring leg-length discrepancy by the “iliac crest palpation and book correction” method: reliability and validity. *Arch Phys Med Rehabil* 2001; 82:938-42.
- Maziar Badii, A. Nicole Wade, David R. Collins, Savvakis Nicolaou, B. Jacek Kobza and Jacek A. Kopec. Comparison of Lifts Versus Tape Measure in Determining Leg Length Discrepancy. **J Rheumatol** 2014; 41; 1689-1694.
- Sam Khamisa , Eli Carmeli . A new concept for measuring leg length discrepancy. **J Orthop** (14 ) 2017; 276–280.
- Tracy Middleton, Keith George, Alan Batter ham. The reliability and validity of the ‘Tape’ and ‘Block’ methods for assessing anatomical leg-length discrepancy. **Physical Therapy in Sport** (3)2000; 91-99.

## ผลของการเสริมด้วยไทอามีนต่อสมรรถภาพด้านความทนระหว่างการออกกำลังกาย

### EFFECTS OF THIAMINE SUPPLEMENTATION ON ENDURANCE PERFORMANCE DURING EXERCISE

นนท์ ฤกษ์ถนอม

หลักสูตรวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ

สำนักวิชา เวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

E-mail : nontning@hotmail.com

วิจิตร บุญยะโทตระ

ศาสตราจารย์ สำนักวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

E-mail : dr.vichit@hotmail.com

เทพ เฉลิมชัย

อาจารย์ สำนักวิชาเวชศาสตร์ชะลอวัยและฟื้นฟูสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

E-mail : thep\_chalermchai@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ ศึกษาประสิทธิผลของการให้ไทอามีนที่มีต่อสมรรถภาพด้านความทนระหว่างการออกกำลังกายของอาสาสมัคร โดยงานวิจัยนี้ใช้อาสาสมัครเพศชายทั้งหมด 22 คน ซึ่งเป็นผู้ที่ออกกำลังกายอย่างสม่ำเสมอ อาสาสมัครจะได้รับประทานน้ำเปล่าผสมกับผงไทอามีน 2 ชั่วโมงก่อนการทดลอง อาสาสมัคร 11 คน ได้รับไทอามีนขนาด 10 มิลลิกรัม (TG-10) และ 11 คนที่เหลือได้รับไทอามีนขนาด 30 มิลลิกรัม (TG-30) อาสาสมัครเริ่มออกกำลังกายโดยการวิ่งบนลู่วิ่ง ด้วยอัตราเร็วเริ่มต้น 7 กม./ชั่วโมง ความเร็วจะถูกเพิ่มขึ้น 1 กม./ชั่วโมง ทุก 3 นาที และเพิ่มความเร็วต่อไปจนความเร็วถึง 10 กม./ชั่วโมง มีการบันทึกอัตราการเต้นของหัวใจโดยใช้เครื่องวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะทำการทดลอง บันทึกเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจหลังวิ่ง 10 กม./ชั่วโมง จนถึงอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก ตัวอย่างเลือดจะถูกเก็บจากการเจาะบริเวณปลายนิ้วมือของอาสาสมัครและนำมาตรวจวัดปริมาณด้วยเครื่องวิเคราะห์กรดแลคติก จากนั้นทำการทดลองแบบเดิมอีกครั้ง เมื่อเวลาผ่านไป 1 สัปดาห์ โดยกำหนดให้เป็นกลุ่มที่ช้ยาหลอก (P-10 และ P-30) ใช้สถิติแบบ t-test และ Repeated measure ANOVA ผลการทดลองพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักในกลุ่มที่ได้รับการเสริมด้วยไทอามีนทั้ง 2 กลุ่ม ลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $p \leq 0.05$ ) อัตราการเต้นของหัวใจขณะวิ่งด้วยอัตราเร็ว 7, 9 และ 10 กม./ชม. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม TG-10 และ TG-30 ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) แต่มีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอัตราการเต้นของหัวใจที่ความเร็ว 8 กม./ชั่วโมง ( $p \leq 0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม P-10 และ TG-10, P-30 และ TG-30 อัตราการเต้นของหัวใจอัตราการวิ่งเร็ว 7, 8, 9 และ 10 กม./ชม. ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p > 0.05$ ) เมื่อวิเคราะห์ระดับกรดแลคติกในเลือด พบว่ามีการลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่อัตราเร็ว 9 กม./ชั่วโมง เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม P-10 และ TG-10 ( $p \leq 0.05$ ) ขณะที่ระดับกรดแลคติกก่อนวิ่งและอัตราการวิ่งเร็ว 7, 8 และ 10 กม./ชม. ไม่มีความแตกต่างกันในทาง

สถิติ ( $p>0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม P-30 และ TG-30, TG-10 และ TG-30 ระดับกรดแลคติกก่อนวิ่ง และอัตราการวิ่งเร็ว 7, 8, 9 และ 10 กม./ชม. ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติเมื่อเปรียบเทียบระหว่างกลุ่ม TG-10 และ TG-30, P-10 และ TG-10, P-30 และ TG-30 พบว่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ )

**คำสำคัญ:** ไทอามีน/ไทอามีน ไฮโดรคลอไรด์/อาหารเสริม/ออกกำลังกาย/ความทน

## ABSTRACT

The objective of this study was to examine the effect of Thiamine loading on the endurance performance during exercise of volunteers. Measurements were performed on 22 male subjects who regularly exercised. Subjects were given a glass of water mixed with thiamine powder 2 hour before the measurement. Then, 11 participants were given 10 mg of Thiamine (TG-10) and the remaining 11 were given 30 mg (TG-30). Subjects began the exercise test at a running speed of 7km/hour. The speed was increased 1 km/hour every 3 minutes, and the test continued until the speed reached 10 km/hour. Heart rate was registered using portable heart rate monitor during the test. The recovery times of heart rate were measured (time that is taken to return to resting heart rate after running at speed of 10km). Blood samples were taken from fingertips of volunteers both before the test and before the speed increase (during the 1-minute interval), and the lactate concentration was measured by lactate analyzer. The test was repeated after 1 week as a group of placebos (P-10 and P-30). The t-test and repeated measure ANOVA were used for statistical analysis. The result showed that the resting heart rate was decreased in both supplemented groups compared with placebos ( $p \leq 0.05$ ). A significant reduction in heart rate at the speed of 8 km/hour was found in TG-10 and TG-30 ( $p \leq 0.05$ ), however there was no statistical significance in heart rate at 7,9,10 km/hour ( $p>0.05$ ). There was no statistical significance in heart rate at the speed of 7,8,9,10 km/hour in P-10 and TG-10, P-30 and TG-30 ( $p>0.05$ ). When the lactate concentrations were analyzed, there was no statistical significance in lactate level at the speed of 7,8,10 km/hour, but a significant reduction at the speed of 9 km/hour was found in TG-10 and P-10 ( $p \leq 0.05$ ). There was no statistical significance in lactate level at the speed of 7,8,9,10 km/hour in P-30 and TG-30, TG-10 and TG-30 ( $p>0.05$ ). There was no statistical significance in recovery time in all groups (TG-10 and TG-30, P-10 and TG-10, P-30 and TG-30) ( $p>0.05$ ).

**Keywords:** Thiamine/Thiamine Hydrochloride/supplement/exercise/endurance

## 1. บทนำ (Introduction)

### 1.1 หลักการและเหตุผล

สมรรถภาพด้านความทน (Endurance) มีคำจำกัดความคือ ความสามารถในการต้านทานต่อความเมื่อยล้าของนักกีฬา (Berdejo-del-fresno, D, Laupheimer, M.W., 2014)สมรรถภาพด้านความทนสามารถวัดได้จาก ประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้ออกซิเจน ( $VO_{2Max}$ ) และ ระดับกรดแลคติกในเลือด (blood lactate level) ความเข้มข้นของกรดแลคติกในเลือดซึ่งหมายถึงความทนต่อ anaerobic (anaerobic threshold) ซึ่ง blood lactate

level สามารถใช้แทน VO<sub>2</sub>max ได้ (Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, et al:1979) ดังนั้นค่าความเข้มข้นของ blood lactate ในเลือดจึงถือว่าเป็นตัวบ่งชี้ความเป็นกรดของร่างกายที่มีประโยชน์ในการใช้วัดความทนในการออกกำลังกาย และปรับการฝึกฝนของนักกีฬา

thiamine และทำหน้าที่เป็น cofactor ของ เอนไซม์หลายตัวที่เกี่ยวข้องกับเมทาบอลิซึมของพลังงาน เอนไซม์เหล่านี้รวมไปถึง pyruvate dehydrogenase ในไมโทคอนเดรีย alpha-ketoglutarate dehydrogenase และ cytosolic transketolase ซึ่งเกี่ยวข้องกับเมทาบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต และการทำงานของเอนไซม์เหล่านี้จะลดลงถ้ามีภาวะขาด thiamine หน้าที่ของเอนไซม์ pyruvate dehydrogenase คือ decarboxylation ให้กับ pyruvate ทำให้ pyruvate เปลี่ยนเป็น acetyl-CoA เพื่อเข้าสู่ Krebs cycle ต่อไป เช่นเดียวกันหน้าที่ของเอนไซม์ alpha-ketoglutarate dehydrogenase คือ decarboxylation ให้ alpha-ketoglutarate ให้กลายเป็น succinyl-CoA ส่วนเอนไซม์ transketolase จะมีหน้าที่ใน pentose phosphate pathway เมื่อร่างกายได้รับ thiamine กระบวนการสร้างพลังงานใน Krebs's cycle จะเกิดมากขึ้นเพื่อนำไปผลิตพลังงานต่อไป (Fattal-Valevski, A, 2011) เมื่อกล้ามเนื้อได้พลังงานมากขึ้น ก็จะสามารถออกกำลังกายได้ทนต่อความหนักได้มากขึ้นและนานขึ้น นอกจากนี้ยังลดอัตราการเกิดกรดแลคติกด้วย งานวิจัยของ Sung-Keun Choi และคณะ (Choi S.K., Baek S.H., Choi S.W., 2013) ศึกษาเกี่ยวกับการฝึกความทนของร่างกายพร้อมกับให้ thiamine เสริมเพื่อหวังผลให้ความเมื่อยล้าลดลงหลังออกกำลังกายทำการทดลองโดยให้ปั่นจักรยานติดต่อกัน 4 สัปดาห์ และให้ thiamine 10 มก./กิโลกรัม/วัน เทียบกับกลุ่มที่ได้ placebo ผลคือ ระดับ blood lactate และ ระดับ ammonia ในนาที่ที่ 15 ถึง 30 ของการออกกำลังกายลดลงอย่างมีนัยสำคัญ สรุปว่า การเสริม thiamine มีผลช่วย carbohydrate metabolism ช่วยลด lactate, ammonia และลดความเมื่อยล้าได้ จากการศึกษาเภสัชจลนศาสตร์ของ thiamine ในรูปแบบรับประทานขนาด 10mg พบว่าระดับ thiamine จะขึ้นสูงสุดหลังรับประทานประมาณ 2 ชั่วโมง และจะคงอยู่ในเลือดได้ประมาณ 6 ชั่วโมง (Institute of medicine, 1998)

การศึกษานี้ผู้วิจัยให้ความสนใจทางเลือกเกี่ยวกับการรับประทาน thiamine มาเป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหาร เพราะ thiamine ที่ได้รับจากอาหารไม่เพียงพอต่อการเพิ่มสมรรถภาพด้านความทน ยกตัวอย่างเช่น ข้าวซ้อมมือ 100 กรัม จะมี thiamine อยู่ประมาณ 0.34 มิลลิกรัม (Institute of medicine, 1998) ซึ่งจากงานวิจัยของ Suzuki และคณะ (Suzuki, M, Itokawa, Y, 1996) ต้องใช้ thiamine 100 มก./วัน จึงจะช่วยลดความเมื่อยล้าในนักกีฬาได้อย่างมีนัยสำคัญ โดยสรุปแล้วสมรรถภาพด้านความทนมีตัวชี้วัดคือ VO<sub>2</sub>max , blood lactate level (Allen, WK, Seals, DR, Hurley, BF, Ehsani, AA, and Hagberg, JM., 1985) ผู้วิจัยเลือกวัด blood lactate level เป็นตัวบ่งชี้หลักในการทำงานวิจัยครั้งนี้ นอกจากนี้มีการวัด heart rate และ recovery time หรือระยะเวลาที่ heart rate ของอาสาสมัครกลับเข้าสู่อัตราปกติหลังออกกำลังกาย อ้างอิงจากงานวิจัยที่พบว่าหนูทดลองที่ได้รับ Thiamine มีอัตราการเต้นหัวใจที่ลดลงเมื่อเทียบกับหนูทดลองที่ไม่ได้รับ Thiamine (Onodera K., Saito T., Itoh M., 1991) ขนาดของ thiamine ที่แนะนำในการใช้เป็นผลิตภัณฑ์เสริมอาหารสำหรับผู้ใหญ่ คือ 1-1.5 มก./วัน (Institute of Medicine, 1998) ในขณะที่มีงานวิจัยที่ใช้ thiamine 100 มก./วัน แล้วช่วยลดความเมื่อยล้าในนักกีฬาได้ คณะ (Suzuki, M, Itokawa, Y, 1996) แต่ยังไม่มียานวิจัยที่ใช้ thiamine น้อยกว่า 100 มิลลิกรัม เพื่อประเมินสมรรถภาพด้านความทน งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ thiamine ในรูปแบบรับประทาน ซึ่งอยู่ในรูปของ thiamine hydrochloride โดยใช้ยาเม็ดขนาด 10 mg นำแบ่งให้อาสาสมัครรับประทานในปริมาณที่แตกต่างกัน 2 ขนาดคือ 10 mg และ 30 mg

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

เพื่อศึกษาผลของ thiamine ต่อสมรรถภาพทางกายด้านความทนเมื่อเทียบกับ placebo และเมื่อใช้ thiamine ในขนาดที่ต่างกัน

## 1.3 สมมติฐานการวิจัย

1.3.1 Thiamine ชนิดรับประทาน สามารถเพิ่มสมรรถภาพทางกายด้านความทนได้ โดยผลคือสามารถลดระดับ lactate ในเลือด ลดอัตราการเต้นของหัวใจ ระหว่างการออกกำลังกาย และลด recovery time เมื่อเทียบกับการรับประทานน้ำเปล่า (placebo)

1.3.2 Thiamine ชนิดรับประทานขนาด 30 มิลลิกรัม สามารถเพิ่มสมรรถภาพทางกายด้านความทนได้ โดยผลคือสามารถลดระดับ lactate ในเลือด ลดอัตราการเต้นของหัวใจ ระหว่างการออกกำลังกาย และลด recovery time เมื่อเทียบกับการรับประทาน thiamine ขนาด 10 มิลลิกรัม

## 2. ระเบียบวิธีวิจัย (Research Methodology)

งานวิจัยนี้ได้ผ่านการรับรองจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง โครงการเลขที่ REH-62089

2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ อาสาสมัครเพศชาย อายุ 18-25 ปี นักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ ทำการวิจัย ณ คณะวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง จังหวัดเชียงราย จำนวน 22 คน จำนวนอาสาสมัครได้จากการคำนวณ โดยมีเกณฑ์คัดเข้า คือ

1. เพศชาย ไทย เป็นนักกีฬาประเภทใดก็ได้ที่ออกกำลังกายอย่างน้อย 5 วันต่อสัปดาห์
2. อายุ 18-25 ปี มีBMI อยู่ระหว่าง 18-22 kg/m<sup>2</sup>
3. สุขภาพร่างกายแข็งแรง ไม่มีโรคประจำตัว
4. ไม่รับประทานผลิตภัณฑ์เสริมอาหารหรือยาในช่วง 3 เดือนที่ผ่านมา
5. ไม่เสพสิ่งเสพติด ไม่ดื่มสุรา ไม่สูบบุหรี่
6. เป็นผู้เข้าร่วมงานวิจัยด้วยความสมัครใจ ได้รับความยินยอมเกี่ยวกับงานวิจัย และมีการลงนาม

ในเอกสารแสดงความยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย

## 2.2 ตัวแปรที่ศึกษา

ตัวแปรต้น : การได้รับ thiamine ขนาดต่างกัน คือ 10 มิลลิกรัม และ 30 มิลลิกรัม, การได้รับ thiamine (10 มิลลิกรัมหรือ 30 มิลลิกรัม) และไม่ได้รับ thiamine (placebo)

ตัวแปรตาม : ระดับกรดแลคติกระหว่างออกกำลังกาย อัตราการเต้นของหัวใจระหว่างออกกำลังกาย เวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นของหัวใจหลังวิ่ง 10km/hr จนถึงอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก

## 2.3 กระบวนการดำเนินงานวิจัย (Research Procedure)

1. คัดเลือกอาสาสมัครจากนักศึกษาปริญญาตรี หลักสูตรวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์การกีฬาและสุขภาพ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

2. ให้อาสาสมัครมาตรวจร่างกายเบื้องต้น ชั่งประวัติข้อมูลสุขภาพ พฤติกรรมการรับประทานอาหาร พฤติกรรมการออกกำลังกาย โรคประจำตัว ประวัติแพ้ยาแพ้อาหาร ประวัติการดื่มสุราสูบบุหรี่ (ข้อมูลส่วนตัว และผลการตรวจวิเคราะห์ของอาสาสมัครทั้งหมดจะถูกเก็บและรักษาเป็นความลับ ไม่เปิดเผยต่อผู้ใด)

ยกเว้นผู้เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ อาสาสมัครที่เข้าร่วมงานวิจัยนี้จะไม่เสียค่าใช้จ่าย และได้ค่าตอบแทนคนละ 400 บาท)

3. คัดเลือกอาสาสมัครที่เข้าเกณฑ์ตามเงื่อนไขทั้งสิ้น 22 ราย
4. กลุ่มอาสาสมัคร ได้รับคำชี้แจงวัตถุประสงค์ วิธีการดำเนินการวิจัย รายละเอียดของวิตามินประโยชน์ที่จะได้รับ ผลข้างเคียง และให้อาสาสมัครลงนามยินยอมเข้าร่วมงานวิจัย
5. แบ่งอาสาสมัครออกเป็น 2 กลุ่ม โดยใช้วิธีสุ่มแยกกลุ่มด้วยวิธีการจับสลาก แบ่งออกเป็นกลุ่มที่รับประทาน Thiamine Hydrochloride 10mg 11 คน (TG-10) และกลุ่มที่รับประทาน Thiamine Hydrochloride 30mg (TG-30) 11 คน โดยอาสาสมัครไม่รู้ว่าตนเองอยู่ในกลุ่มใด (Thiamine Hydrochloride ที่ใช้ในการวิจัย ผลิตโดยห้างหุ้นส่วนจำกัดแสงไทยก่าปะนี้ ผ่านการรับรองจากสำนักงานคณะกรรมการอาหารและยาของประเทศไทย (เลขที่ อย. 1A 190/28))
6. ชี้แจงให้อาสาสมัครทั้ง 2 กลุ่มให้หลีกเลี่ยงการออกกำลังกายก่อนการทดลองประมาณ 24 ชั่วโมง นอนหลับอย่างน้อย 8 ชั่วโมง หลีกเลี่ยงการดื่มชา กาแฟหรือแอลกอฮอล์ อย่างน้อย 3 ชั่วโมงก่อนการทดลอง จากนั้นกำหนดเวลานัดหมายของอาสาสมัครแต่ละคน โดยให้แต่ละคนมาตามเวลาที่นัดไว้
7. บด thiamine ผสมลงในน้ำเปล่าแบ่งเป็น Thiamine Hydrochloride 10mg และ Thiamine Hydrochloride 30mg ให้อาสาสมัครดื่ม 2 ชั่วโมงก่อนการทดลองโดยทานให้หมดภายในครั้งเดียว
8. กำหนดกลุ่มที่ได้ Thiamine Hydrochloride 10mg 11 คน และ Thiamine Hydrochloride 30mg 11 คน
9. อาสาสมัครวิ่งบนลู่วิ่ง PRECOR รุ่น M9 ปรับระดับความชันเป็นศูนย์ โดยก่อนเริ่มวิ่งจะใช้ปากกาเจาะเลือดเก็บเลือดจากปลายนิ้วนิ้วชี้มือข้างซ้ายเพื่อวัดค่า Blood lactate ขณะพัก และวัดอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักของอาสาสมัครแต่ละคน
10. เริ่มต้นวิ่งด้วยอัตราเร็ว 7km/hr เป็นเวลา 3 นาที และพัก 1 นาที จากนั้นวิ่งต่อด้วยอัตราเร็ว 8km/hr เป็นเวลา 3 นาที และพัก 1 นาที จากนั้นวิ่งต่อด้วยอัตราเร็ว 9km/hr เป็นเวลา 3 นาที และพัก 1 นาที จากนั้นวิ่งต่อด้วยอัตราเร็ว 10km/hr เป็นเวลา 3 นาที และหยุดวิ่ง
11. ระหว่างวิ่งจะมีการวัดอัตราการเต้นของหัวใจด้วยเครื่อง Heart rate monitor
12. ใช้ปากกาเจาะเลือดเก็บเลือดจากปลายนิ้วนิ้วชี้มือข้างซ้าย ขณะเพิ่มความเร็วในการวิ่ง (เก็บระหว่างหยุดพัก 1 นาที) เลือดที่ได้นำมาหยดลงบน Strip test แปลค่า Blood lactate โดยใช้เครื่อง Blood lactate analysis
13. หลังจากวิ่งด้วยอัตราเร็ว 10 km/hr แล้วให้อาสาสมัครนั่งพักโดยยังวัดอัตราการเต้นของหัวใจจนอัตราการเต้นของหัวใจของอาสาสมัครลดลงเท่ากับอัตราการเต้นของหัวใจขณะพักตอนแรก บันทึกเวลาที่ใช้ในการเปลี่ยนอัตราการเต้นของหัวใจหลังวิ่ง 10 km/hr จนถึงอัตราการเต้นของหัวใจขณะพัก เป็นหน่วยวินาที
14. 1 สัปดาห์ต่อมาทำการทดลองเหมือนเดิม แต่ก่อนทำการทดลอง 2 ชั่วโมงให้ดื่มน้ำเปล่าที่ไม่ผสม thiamine ทั้งสองกลุ่ม กำหนดกลุ่มที่เคยได้ Thiamine hydrochloride 10mg (TG-10) และ 1 สัปดาห์ต่อมาได้น้ำเปล่า เป็นกลุ่ม P-10 จำนวน 11 คน และกำหนดกลุ่มที่เคยได้ Thiamine Hydrochloride 30mg (TG-30) และ 1 สัปดาห์ต่อมาได้น้ำเปล่า เป็นกลุ่ม P-30 จำนวน 11 คน

#### 2.4 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลพื้นฐานทั่วไปวิเคราะห์โดยใช้สถิติเชิงพรรณนา คือ ค่าเฉลี่ยและค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ผู้วิจัยทดสอบข้อตกลงเบื้องต้นเรื่องการแจกแจงแบบปกติโดยใช้ Komogorov-Sminov Test (KS-test) วิเคราะห์ข้อ



มูลค่าการเปลี่ยนแปลงระดับ Blood lactate, Heart rate และระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติ เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มTG-10และกลุ่มTG-30สถิติที่ใช้คือ t-test และ Repeated measure ANOVA เปรียบเทียบระหว่างรับประทานและไม่รับประทาน Thiamine Hydrochloride (TG-10, P-10 และ TG-30, P-30) สถิติที่ใช้คือ paired t-test และ Repeated measure ANOVA

### 3. ผลวิจัย (Results)

**ตารางที่ 1** การศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างกลุ่มที่รับประทาน Thiamine Hydrochloride 10 MG และกลุ่มที่รับประทาน Thiamine Hydrochloride 30 MG

	TG-10 (n=11)	TG-30 (n=11)	p-value(a)
<b>Heart rate (bmp)</b>			
Resting	66.09±11.59	67.91±7.37	0.665
7km/hr	106.27±9.95	114.18±15.17	0.164
8 km/hr	115.45±6.90	123.45±8.45	0.025
9 km/hr	123.00±9.51	129.27±10.36	0.155
10km/hr	131.55±12.18	136.82±8.18	0.247
p-value(b)	<0.001	<0.001	
<b>Lactic acid (mmol/L)</b>			
Baseline	3.40±2.33	3.26±1.90	0.874
7 km/hr	3.93±2.54	3.33±0.94	0.472
8 km/hr	3.93±2.41	4.45±2.43	0.615
9 km/hr	3.45±0.72	5.33±3.30	0.093
10 km/hr	4.72±3.59	4.36±1.41	0.763
p-value(b)	0.520	0.066	
<b>Recovery time (second)</b>	52.27±14.23	61.55±7.76	0.072

วิเคราะห์ข้อมูล โดย Independent t-test(a), Repeated measure ANOVA (b)

จากตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ กรดแลคติกและระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติระหว่างกลุ่มที่รับประทาน Thiamine Hydrochloride 10 MG และกลุ่มที่รับประทาน Thiamine Hydrochloride 30 MG พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักและอัตราการวิ่งเร็ว 7, 9 และ 10 กม./ชม. ระหว่างกลุ่ม TG-10 และ TG-30 ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ขณะที่อัตราการเต้นของหัวใจในอัตราการวิ่งเร็ว 8 กม./ชม. กลุ่มที่รับประทาน TG-10 ต่ำกว่ากลุ่มที่รับประทาน TG-30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p=0.025$ ) เปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจตามอัตราการวิ่งเร็วพบว่ากลุ่ม TG-10 และ TG-30 มีอัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นตามอัตราการวิ่งเร็วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p<0.001$ ) ระดับกรดแลคติกก่อนวิ่งและอัตราการวิ่งเร็ว 7, 8, 9 และ 10 กม./ชม. ระหว่างกลุ่ม TG-10 และ TG-30 ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระดับกรดแลคติกตามอัตราการวิ่งเร็วพบว่า กลุ่ม TG-10 และ TG-30 มีระดับกรดแลคติกที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการวิ่งเร็วในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) กลุ่ม TG-10 มีระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติน้อยกว่า (52.27±14.23 วินาที) เมื่อเทียบกับกลุ่มที่รับประทาน TG- 30 (61.55±7.76 วินาที) โดย p-value เท่ากับ 0.072 ซึ่งเข้าใกล้ 0.05

**ตารางที่ 2** การศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างการรับประทาน  
Thiamine Hydrochloride 10 MG กับรับประทาน

**ตารางที่ 3** การศึกษาเปรียบเทียบผลระหว่างการรับประทาน  
Thiamine Hydrochloride 30 MG กับรับประทาน

ตารางที่ 2	TG-10 (n=11)	Placebo (n=11)	p-value(a)	ตารางที่ 3	TG-30 (n=11)	Placebo (n=11)	p-value(a)
<b>Heart rate (bpm)</b>				<b>Heart rate (bpm)</b>			
Resting	66.09±11.59	76.36±12.20	0.003	Resting	67.91±7.37	80.45±9.97	0.005
7km/hr	106.27±9.95	112.00±5.66	0.125	7km/hr	114.18±15.17	117.64±9.36	0.595
8 km/hr	115.45±6.90	119.64±5.39	0.092	8 km/hr	123.45±8.45	126.91±7.71	0.069
9 km/hr	123.00±9.51	126.45±7.26	0.205	9 km/hr	129.27±10.36	134.45±7.26	0.066
10km/hr	131.55±12.18	135.45±5.77	0.270	10km/hr	136.82±8.18	139.00±6.77	0.257
p-value(b)	<0.001	<0.001		p-value(b)	<0.001	<0.001	
<b>Lactic acid (mmol/L)</b>				<b>Lactic acid (mmol/L)</b>			
Baseline	3.40±2.33	3.44±0.96	0.944	Baseline	3.26±1.90	4.55±3.37	0.336
7 km/hr	3.93±2.54	3.85±1.54	0.943	7 km/hr	3.33±0.94	4.02±0.71	0.374
8 km/hr	3.93±2.41	3.88±2.12	0.940	8 km/hr	4.45±2.43	4.67±1.00	0.873
9 km/hr	3.45±0.72	4.34±1.25	0.014	9 km/hr	5.33±3.30	5.64±1.09	0.842
10 km/hr	4.72±3.59	5.46±3.37	0.572	10 km/hr	4.36±1.41	5.55±1.17	0.421
p-value(b)	0.520	0.087		p-value(b)	0.066	0.144	
<b>Recovery time (second)</b>	52.27±14.23	58.55±18.77	0.188	<b>Recovery time (second)</b>	61.55±7.76	61.82±16.32	0.950

วิเคราะห์ข้อมูลโดย Independent t-test(a), Repeated measure ANOVA (b)

จากตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ กรดแลคติกและระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังภายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติระหว่างการได้รับประทาน Thiamine Hydrochloride 10 MG และการได้รับประทานน้ำเปล่า พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจอัตราการวิ่งเร็ว 7, 8, 9 และ 10 กม./ชม. ระหว่างการกลุ่ม TG-10 และการได้รับประทานน้ำเปล่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ขณะที่อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักกลุ่ม TG-10 ต่ำกว่าการได้รับประทานน้ำเปล่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p=0.003$ ) เปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจตามอัตราการวิ่งเร็วพบว่า กลุ่ม TG-10 และการได้รับประทานน้ำเปล่ามีอัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นตามอัตราการวิ่งเร็วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p<0.001$ ) ระดับกรดแลคติกก่อนวิ่งและอัตราการวิ่งเร็ว 7, 8 และ 10 กม./ชม. ระหว่างกลุ่ม TG-10 และการได้รับประทานน้ำเปล่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ขณะที่ระดับกรดแลคติกอัตราการวิ่งเร็ว 9 กม./ชม. กลุ่ม TG-10 ต่ำกว่าการได้รับประทานน้ำเปล่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p=0.014$ ) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระดับกรดแลคติกตามอัตราการวิ่งเร็วพบว่า กลุ่ม TG-10 และการได้รับประทานน้ำเปล่ามีระดับกรดแลคติกที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการวิ่งเร็วในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังภายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติระหว่างกลุ่ม TG-10 และการได้รับประทานน้ำเปล่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ )

จากตารางที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจ กรดแลคติกและระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังภายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติระหว่างการได้รับประทาน Thiamine Hydrochloride 30 MG และการได้รับประทานน้ำเปล่า พบว่า อัตราการเต้นของหัวใจอัตราการวิ่งเร็ว 7, 8, 9 และ 10 กม./ชม. ระหว่างกลุ่ม TG-30 และการได้รับประทานน้ำเปล่า ไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ขณะที่อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักกลุ่ม TG-30 ต่ำกว่าการได้รับประทานน้ำเปล่า อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่

ระดับ 0.05 ( $p=0.005$ ) เปรียบเทียบอัตราการเต้นของหัวใจตามอัตราการวิ่งเร็ว กลุ่ม TG-30 และการได้รับประทานน้ำเปล่ามีอัตราการเต้นของหัวใจสูงขึ้นตามอัตราการวิ่งเร็วอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 ( $p<0.001$ ) ระดับกรดแลคติกก่อนวิ่งและอัตราการวิ่งเร็ว 7, 8, 9 และ 10 กม./ชม. ระหว่างกลุ่ม TG-30 และการได้รับประทานน้ำเปล่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงระดับกรดแลคติกตามอัตราการวิ่งเร็วพบว่า กลุ่ม TG-30 และการได้รับประทานน้ำเปล่ามีระดับกรดแลคติกที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามอัตราการวิ่งเร็วในทางสถิติ ( $p>0.05$ ) ระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติระหว่างกลุ่ม TG-30 และการได้รับประทานน้ำเปล่าไม่มีความแตกต่างกันในทางสถิติ ( $p>0.05$ )

#### 4. อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ (Discussion and Suggestion)

อัตราการเต้นของหัวใจขณะพักและขณะวิ่งในอัตราความเร็วแตกต่างกัน และระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติในกลุ่ม TG-10 ต่ำกว่ากลุ่ม TG-30 เล็กน้อย โดยอัตราการเต้นของหัวใจต่ำกว่าร้อยละ 2.6-6.9 และระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติต่ำกว่าร้อยละ 15.1 หรือกล่าวได้ว่ากลุ่มที่รับประทาน Thiamine Hydrochloride 10 มก. มีประสิทธิภาพต่อสมรรถภาพทางกายด้านความทนสูงกว่า Thiamine Hydrochloride 30 มก. ขณะที่ระดับกรดแลคติกก่อนวิ่งและขณะวิ่งในอัตราความเร็วที่แตกต่างกันระหว่างการได้รับประทาน Thiamine Hydrochloride 10 และ 30 มก. ไม่มีความแตกต่างกัน อาจเนื่องจากความแตกต่างของขนาดการรับประทาน Thiamine Hydrochloride ที่มีความใกล้เคียงกันทำให้ยังไม่สามารถเห็นความแตกต่างประสิทธิภาพของสมรรถภาพทางกายด้านความทนที่ชัดเจน

แต่เมื่อเปรียบเทียบกับ การได้รับประทานน้ำเปล่าพบว่าอัตราการเต้นของหัวใจ ระดับกรดแลคติกและระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติของการรับประทาน Thiamine Hydrochloride 10 และ 30 มก. ต่ำกว่าการได้รับประทานน้ำเปล่า เนื่องจาก Thiamine เป็นสิ่งที่ต้องการต่อเซลล์ประสาท ช่วยสนับสนุนระบบประสาทเพื่อสร้างสารสื่อประสาทที่ทำหน้าที่ความจำและการเคลื่อนไหว และยังสามารเพิ่มความแข็งแรงของกล้ามเนื้อโดยการปรับปรุงสมรรถภาพระบบประสาทของกล้ามเนื้อ (Obaidi S., Sayegh N., Nadar M., 2014) นอกจากนี้การออกกำลังกายทำให้เกิดการสะสมของกรดแลคติกและระดับ pH ในเซลล์ลดลงทำให้เกิดความเหนื่อยล้าในกล้ามเนื้อ (Kristensen M. Albertsen J. Rentsch M. Juel C., 2005) หากได้รับ Thiamine จะสามารถลดระดับกรดแลคติกได้และส่งผลให้ความเหนื่อยล้าในกล้ามเนื้อลดลงตาม ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Choi S.K. et al (2013) ที่ทำการศึกษาประสิทธิภาพของความทนในการรับประทาน Thiamine เพื่อลดความเหนื่อยล้าระหว่างออกกำลังกายในนักศึกษา ผลการศึกษาพบว่า การได้รับ Thiamine 10 มก./กิโลกรัม/วัน ระยะเวลา 4 สัปดาห์ สามารถลดระดับกรดแลคติกและแอมโมเนียระหว่างการออกกำลังกายโดยใช้จักรยานได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และสอดคล้องกับงานวิจัยของ Marilù Giacalone และคณะ (Giacalone, M, Martinelli, R, Abramo, A, Rubino, A, Pavoni, V., 2015) พบว่าผู้ป่วย 3 คนซึ่งมีภาวะ severe lactic acidosis นอนโรงพยาบาลห้อง ICU โดยไม่ได้สารอาหารที่มี thiamine ภายหลังจากที่ได้ thiamine IV พบว่าภาวะ lactic acidosis ดีขึ้นภายในไม่กี่ชั่วโมง และจากงานวิจัยของ Woolum JA และคณะ (Woolum, A, Thompson, L, Flannery, H, Abner, L, Morris, E, 2018) พบว่าการให้ thiamine ทางเส้นเลือดแก่ผู้ป่วยที่ได้รับ การวินิจฉัยว่ามีภาวะ septic shock ภายใน 24 ชั่วโมง พบว่าค่า lactate clearance ดีขึ้น และช่วยลดอัตราการตายใน 28 วัน

นอกจากนี้ Huang W.C. & et al, (2018) พบว่าความสามารถด้านความทนทานในหนูทดลองที่ได้รับ Thiamine tetrahydrofurfuryl disulfide ขนาด 500, 200 และ 100 มก./กก./วัน (เทียบกับในมนุษย์ 40, 16, 8 มก./กก.) สูงกว่ากลุ่มควบคุม 7.6, 6.4 และ 5.4 เท่า ตามลำดับ โดยหนูทดลองที่ได้รับ Thiamine tetrahydrofurfuryl disulfide ขนาด 500 มก./กก./วัน มีอัตราการผลิตกรดแลคติก ต่ำกว่ากลุ่มควบคุมร้อยละ 38.5 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อัตราการกำจัดกรดแลคติก ไม่แตกต่างจากกลุ่มควบคุม และในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราการเต้นหัวใจในหนูทดลองที่ขาด Thiamine พบว่าเมื่อหนูทดลองได้รับ Thiamine มีอัตราการเต้นหัวใจลดลงเมื่อเทียบกับหนูทดลองที่ไม่ได้รับ Thiamine (Onodera K., Saito T., Itoh M., 1991)

การรับประทาน Thiamine Hydrochloride ในผู้ที่ออกกำลังกายโดยการวิ่งในอัตราความเร็วที่แตกต่างกัน มีแนวโน้มที่จะเพิ่มสมรรถภาพทางกายด้านความทนได้ โดยเห็นได้จาก ระดับกรดแลคติกที่ลดลงและระยะเวลาที่ใช้หลังออกกำลังกายในการทำให้อัตราการเต้นของหัวใจกลับสู่ภาวะปกติต่ำกว่าการรับประทานน้ำเปล่า แต่ไม่ได้มีผลต่อการลดอัตราการเต้นของหัวใจ ในขณะที่การรับประทาน Thiamine Hydrochloride ที่มีขนาดแตกต่างกันไม่ส่งผลให้การเพิ่มสมรรถภาพทางกายด้านความทนแตกต่างกันได้ คือ thiamine ขนาด 30 มิลลิกรัม ไม่ได้ให้ผลที่ดีกว่าขนาด 10 มิลลิกรัม

## ข้อเสนอแนะ

1. จำนวนประชากรที่ใช้อาจไม่เพียงพอต่อการพิสูจน์สมมติฐาน ในการทำการทดลองครั้งต่อไปอาจเพิ่มจำนวนประชากรให้มากขึ้นและเปลี่ยนรูปแบบของ thiamine จาก Thiamine Hydrochloride เป็น Thiamine tetrahydrofurfuryl disulfide ซึ่งอาจได้ผลที่แตกต่างกัน
2. ควรทำการศึกษาผลลัพธ์สมรรถภาพของผู้ออกกำลังกายในด้านอื่นๆ ได้แก่ Forelimb Grip Strength Test, การวิเคราะห์ห้องค์ประกอบของร่างกายและไกลโคเจน, การวิเคราะห์ทางจุลพยาธิวิทยา และการวิเคราะห์ทางชีวเคมี เพื่อให้ได้เห็นผลลัพธ์ประสิทธิภาพของ Thiamine Hydrochloride ได้หลายด้าน
3. ควรทำการศึกษารับประทาน Thiamine Hydrochloride ในขนาดและระยะเวลาที่แตกต่างกันหลายกลุ่ม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่แตกต่างกันตามขนาดของ Thiamine Hydrochloride ที่แตกต่างกัน

## 5. รายการอ้างอิง

- Allen, WK, Seals, DR, Hurley, BF, Ehsani, AA, and Hagberg, JM. Lactate threshold and distance–running performance in young and older endurance athletes. **J Appl Physiol** 58: 1281–1284, 1985.
- Berdejo-del-fresno, D, Laupheimer, M.W. Recovery & Regeneration Behaviours in Elite English Futsal Players. **American Journal of Sports Science and Medicine**. 2014;2(3): 77-82.
- Choi S.K., Baek S.H., Choi S.W. The effects of endurance training and thiamine supplementation on anti-fatigue during exercise. *J. Exerc. Nutr. Biochem*. 2013; 17(4), 189–198.
- Fattal-valevski, A. Thiamine (Vitamin B1). **Journal of Evidence-Based Complementary & Alternative Medicine**. 2011;16(1): 12-20.
- Giacalone, M, Martinelli, R, Abramo, A, Rubino, A, Pavoni, V. Rapid Reversal of Severe Lactic Acidosis after Thiamine Administration in Critically Ill Adults. *Nutrition in Clinical Practice*. 2015;30(1): 104-110.

- Huang W.C., Huang H.Y., Hsu Y.J., Su W.H., Shen S.Y., Lee M.C., Lin C.L., Huang C.C. The Effects of Thiamine Tetrahydrofurfuryl Disulfide on Physiological Adaption and Exercise Performance Improvement. *Nutrients*. 2018, 10(7), 851.
- Institute of Medicine. 1998. Dietary Reference Intakes for Thiamin, Riboflavin, Niacin, Vitamin B6, Folate, Vitamin B12, Pantothenic Acid, Biotin, and Choline. Washington, DC: The National Academies Press.
- Kristensen M. Albertsen J. Rentsch M. Juel C. Lactate and force production in skeletal muscle. *J. Physiol*. 2005, 562(2), 521–526.
- Obaidi S., Sayegh N., Nadar M. Smoking impact on grip strength and fatigue resistance: Implications for exercise and hand therapy practice. *J. Phys. Act. Health*. 2014; 11(5), 1025–1031.
- Onodera K., Saito T., Itoh M. Changes in blood pressure and heart rate following dietary-induced thiamine deficiency in muricide rats. *Yakubutsu Seishin Kodo*. 1991, 11(5),319-325.
- Suzuki, M, Itokawa, Y. Effects of thiamine supplementation on exercise-induced fatigue. *Metab Brain Dis*. 1996;11(1): 95-106.
- Woolum, A, Thompson, L, Flannery, H, Abner, L, Morris, E. Effect of Thiamine Administration on Lactate clearance and mortality in patients with septic shock. *CRIT CARE MED*. 2018;46(11): 1747-1752.

ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่าง 7Ps กับความภักดีต่อตราสินค้าของธุรกิจ  
บ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย

THE STRUCTURAL EQUATION MODEL BETWEEN 7PS AND BUSINESS  
BRAND LOYALTY HOUSING ESTATES AND CONDOMINIUMS

อำนาจ วังจิ้น

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: amnart.va@spu.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา ระดับความพึงพอใจในปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด ความภักดีต่อตราสินค้า ผู้นำนักปัจจัยส่วนประสมทางการตลาด ผู้นำนักปัจจัยความภักดีต่อตราสินค้า และศึกษาความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่าง 7Ps กับความภักดีต่อตราสินค้าของธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ประชากร คือ ลูกค้าที่พักอาศัยในบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และส่วนภูมิภาค ใช้ตัวอย่างจำนวน 1,800 ตัวอย่าง ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอน เครื่องมือที่ใช้เป็นแบบสอบถาม ชนิดมาตราประมาณค่า 5 ระดับ และ 10 ระดับ จำนวน 1 ชุด มีค่าความเชื่อมั่น 0.933 สถิติที่ใช้ คือ การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง (Structure Equation Model :SEM)

ผลการศึกษา พบว่า ระดับความพึงพอใจในส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน (7Ps) อยู่ในระดับมากที่สุด เรียงลำดับจากมากไปน้อย คือ ด้าน ผลิตภัณฑ์และบริการ สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ราคา และการส่งเสริมการตลาด ส่วนความภักดีต่อตราสินค้าทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ การยอมรับ การบอกต่อและการแนะนำ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับเลขๆ

โมเดลความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง ระหว่าง 7Ps กับความภักดีต่อตราสินค้าของธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัยสอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ มีค่า  $\chi^2 = 31.44$ ,  $df = 23$ ,  $P - value = 0.1124$ ,  $\chi^2/df = 1.367$ ,  $RMSEA = 0.014$ ,  $GFI = 1.000$  และ  $AGFI = 0.990$  ดังนั้น ส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7Ps มีอิทธิพลต่อความภักดีต่อตราสินค้าของธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ด้วยค่ามาตรฐานน้ำหนักองค์ประกอบ 0.92 ส่วนประสมทางการตลาดสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความภักดีของลูกค้าได้ ร้อยละ 85.0 ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน ส่งผลต่อองค์ประกอบส่วนประสมทางการตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 มีค่ามาตรฐานน้ำหนักองค์ประกอบอยู่ระหว่าง 0.91 – 0.98 ปัจจัยความภักดีต่อตราสินค้าทั้ง 3 ด้าน ส่งผลต่อความภักดีต่อตราสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยมีค่ามาตรฐานน้ำหนักองค์ประกอบเท่ากับ 0.96 ทั้ง 3 ด้าน

คำสำคัญ : บ้านจัดสรร, ส่วนประสมทางการตลาด (7Ps), ความภักดีต่อตราสินค้า, ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง

## ABSTRACT

The purposes of this study were to Study satisfaction level in marketing mix factors, Brand loyalty, Factor loading of brand loyalty for housing and condominium businesses and The structural Equation Model between 7Ps and business brand loyalty Housing estates and condominiums.

Populations in this study were customers who live at Bangkok Metropolitan Region and provincial By Multi-stage totaling 1,800 samples. Used 5 and 10 rating-scale questionnaire which the reliability was 0.933 The statistics used were structure equation model analysis .

The findings indicated that the overall level of customer satisfaction of aspects (7Ps) marketing were at the highest level in descending order, such as products and services, physical environment, price and promotion. As for the loyalty of the brand in 3 aspects, such as accepting, telling and suggesting with an average level of passivity.

The model of structural Equation between 7Ps and the brand loyalty of the housing estates and condominiums is consistent with the empirical data. The model has  $\chi^2 = 31.44$ ,  $df = 23$ ,  $P - value = 0.1124$ ,  $\chi^2/df = 1.367$ ,  $RMSEA = 0.014$ ,  $GFI = 1.000$  และ  $AGFI = 0.990$ . So that The marketing mix of 7Ps influences the brand loyalty of housing estates and condominiums. With the influence weight equal to 0.92. Marketing mix can explain 85.0% of customer loyalty changes. The marketing mix in all 7 aspects affects the marketing mix components with statistical significance at the level of 0.05. With influence weight between 0.91-0.98. All 3 aspects of brand loyalty have a significant effect on brand loyalty at the 0.05 level. With an influence weight of 0.96 on all 3 sides.

**Keywords :** Housing , Marketing Mixes (7Ps), Brand Loyalty, Structural Equation Model

## ความสำคัญของปัญหา

เศรษฐกิจโลกปี 2562 มีทิศทางชะลอตัวต่อเนื่อง โดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรมการผลิตและการส่งออก จากความไม่แน่นอนของสงครามการค้า (SCB Economic Intelligence Outlook 3/2019.) ปัจจุบันเศรษฐกิจไทยและประเทศอื่นๆ ในโลกมีทิศทางการเติบโตที่อยู่ในขาลงอย่างชัดเจน โดยอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจที่ชะลอตัวลง จากปีที่แล้ว ในครั้งแรกของปี 2562 เศรษฐกิจไทยขยายตัวในอัตราร้อยละ 2.6 (ไตรมาสที่ 2 ขยายตัวต่ำสุดที่ร้อยละ 2.3) ซึ่งสาเหตุหลักคือ การชะลอตัวอย่างรวดเร็วของการส่งออก (มูลค่าการส่งออกสินค้า ช่วง มค.- กค. หดตัวร้อยละ 1.9) ธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดจึงได้รับผลกระทบจากการชะลอตัวของเศรษฐกิจ ครั้งหลังของปี 2562 บ้านจัดสรรและอาคารชุด มีหน่วยเหลือขายสูง ผลมาจากสภาพเศรษฐกิจและแรงซื้อของผู้บริโภคทั้งชาวไทยและต่างชาติที่มีแนวโน้มที่จะชะลอตัวลง คาดว่าสิ้นปี 2562 จะเหลือขายที่ประมาณ 196,000 – 201,000 หน่วย หดตัวร้อยละ 1.9 ถึงขยายตัวเพิ่มขึ้นร้อยละ 0.6 จากปี 2561 (โพสต์ทูเดย์ การเงินการลงทุน. (2562) กลุ่มลูกค้าที่มีความสามารถในการซื้อจึงมีจำนวนน้อยลง การแข่งขันในธุรกิจนี้จึงมีความรุนแรงมากขึ้น กลยุทธ์ทางการตลาดต่างๆ จึง ถูกนำมาใช้เพื่อความอยู่รอดของธุรกิจ

ส่วนประสมทางการตลาด 7Ps เป็นกลยุทธ์ทางการตลาดที่นักการตลาดนำมาใช้เพื่อความสำเร็จของธุรกิจของตน ซึ่งประกอบด้วย 1) ผลิตภัณฑ์และบริการ 2) ราคา 3) ช่องทางการจัดจำหน่าย 4) การส่งเสริมการตลาด

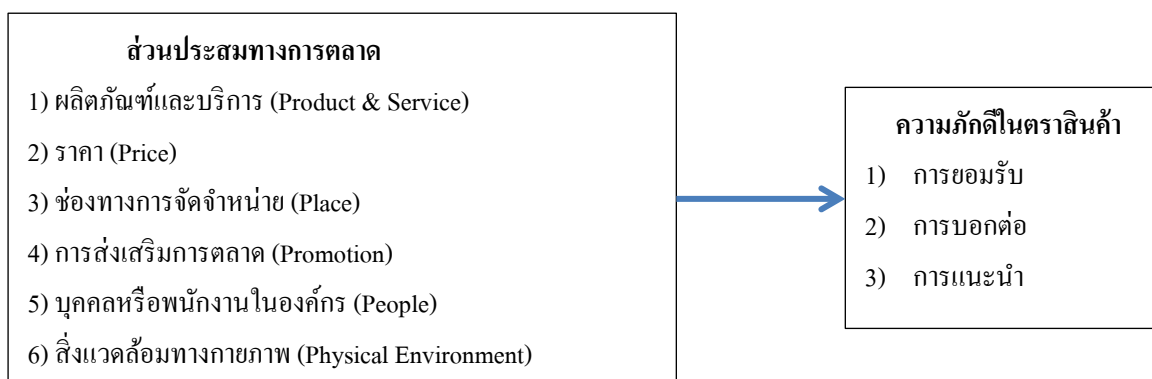
5) บุคคลหรือพนักงานในองค์กร 6) สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และ7) กระบวนการ (Kotler, P. 1997.) ความพึงพอใจต่อส่วนประสมทางการตลาดจึงเป็นกลยุทธ์ที่มีการนำมาใช้ในธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย นอกจากความพึงพอใจแล้ว ความภักดีต่อตราสินค้ายังมีความสำคัญสำหรับธุรกิจเช่นกัน การยอมรับ การบอกต่อ และการแนะนำ ของลูกค้ามีผลต่อความยั่งยืนของธุรกิจ เมื่อลูกค้ามีความภักดีและไว้วางใจในตัวสินค้าแล้วจะมีการซื้อซ้ำต่อไปเรื่อยๆ (Kotler, 2003) เป็นรากฐานที่สำคัญในการพัฒนาความได้เปรียบทางการแข่งขันแบบยั่งยืนของธุรกิจ ความภักดีของลูกค้ามีความสำคัญต่อการจัดการกลยุทธ์ทางการตลาด สร้างมูลค่าและคุณค่าให้สินค้า ช่วยลดความกดดันในสงครามราคาจากการแข่งขันที่รุนแรง ความภักดีต่อตราสินค้าจะเกิดขึ้นได้ลูกค้าจะต้องมีความพึงพอใจต่อสินค้าและบริการของบริษัทก่อนเป็นอันดับแรกเพราะความพึงพอใจของลูกค้ามีความสัมพันธ์เชิงบวกต่อความภักดี (Bourdeau, 2005) การสร้างความพึงพอใจในส่วนประสมทางการตลาด 7Ps ของลูกค้าให้สูงขึ้นย่อมมีอิทธิพลต่อความภักดีต่อตราสินค้าของธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ให้สูงขึ้น

จากที่กล่าวมาทั้งหมด ผู้วิจัยจึงให้ความสนใจ ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่าง 7Ps กับความภักดีต่อตราสินค้าของธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย เพื่อทดสอบโมเดล หาคำอธิบายปัจจัย และอิทธิพล ระหว่างความพึงพอใจในในส่วนประสมทางการตลาด 7Ps และความภักดีต่อตราสินค้า สำหรับเป็นข้อมูลย้อนกลับจากลูกค้าต่อธุรกิจด้านนี้และเป็นแนวทางการศึกษาต่อไป

### วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาระดับส่วนประสมทางการตลาดของลูกค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย
2. เพื่อศึกษาน้ำหนักของส่วนประสมทางการตลาดของลูกค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย
3. เพื่อศึกษาน้ำหนักของความภักดีต่อแบรนด์ของลูกค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย
4. เพื่อศึกษาความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่าง 7Ps กับความภักดีต่อตราสินค้าของลูกค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย

### กรอบแนวคิดในงานวิจัย



1. **ขอบเขตด้านเนื้อหา** ขอบเขตด้านเนื้อหาการวิจัยในครั้งนี้คือ การศึกษาระดับความพึงพอใจในส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน ของลูกค้าธุรกิจบ้านจัดสรร และความภักดีต่อตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย



2. **ขอบเขตด้านแหล่งข้อมูล** แหล่งข้อมูลการวิจัยในส่วนนี้ ผู้วิจัยทำการเลือกตัวแทนลูกค้าธุรกิจบ้านจัดสรร ทั้งในเขตกรุงเทพและปริมณฑลและในส่วนภูมิภาค โดยการสุ่มตัวอย่างแบบหลายขั้นตอนเพื่อตอบแบบสอบถามจำนวน 1,800 ราย

3. **ขอบเขตด้านตัวแปรที่ศึกษา** ตัวแปรที่ศึกษาประกอบด้วยความพึงพอใจส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ด้าน 1) ผลิตภัณฑ์และบริการ 2) ราคา 3) ช่องทางการจัดจำหน่าย 4) การส่งเสริมการตลาด 5) บุคคลหรือพนักงานในองค์กร 6) สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และ 7) กระบวนการ และ ความภักดีในตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย

### **ประโยชน์ของการวิจัย**

ทำให้ทราบน้ำหนักปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน และความภักดีในตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดของลูกค้าธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย และทำให้ทราบระดับอิทธิพลส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน ที่มีต่อความภักดีในตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัยแล้วนำไปวางแผนกลยุทธ์ต่อไป

### **วิธีดำเนินการวิจัย**

รูปแบบการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยใช้ระเบียบแบบแผนวิธีวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการวิจัยดังนี้

#### **ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

ประชากรในการศึกษา คือ ลูกค้าที่อาศัยอยู่ในบ้านจัดสรรและ/หรืออาคารชุดที่พักอาศัย ในเขตกรุงเทพและปริมณฑล และส่วนภูมิภาค สุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบหลายขั้นตอน ประกอบด้วย 1) สุ่มตัวอย่างจังหวัดตามภูมิภาค ที่มีความเป็นเมืองและมีบ้านจัดสรรและ/หรืออาคารชุดหนาแน่นในพื้นที่ ประกอบด้วย ภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก ภาคตะวันตก และภาคใต้ จำนวน 1 จังหวัดต่อ 1 ภาค รวม 6 จังหวัด และ กรุงเทพและปริมณฑล รวม 6 กลุ่มตัวอย่าง ด้วยการสุ่มอย่างง่าย 2) สุ่มตัวอย่างโครงการบ้านจัดสรรและหรืออาคารชุดที่พักอาศัยมาจังหวัดละ 2 โครงการ และ กรุงเทพและปริมณฑล 6 โครงการ รวม 18 โครงการ ด้วยการสุ่มตัวอย่างอย่างง่าย 3) สุ่มกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 100 ตัวอย่างต่อโครงการเป็นจำนวนทั้งสิ้น 1,800 ตัวอย่าง

#### **แหล่งข้อมูล**

แหล่งข้อมูลการวิจัยในส่วนนี้ คือ ลูกค้าพักอาศัยในบ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพและปริมณฑลและบ้านจัดสรรในส่วนภูมิภาคจำนวน 18 โครงการ ด้วยแบบสอบถามจำนวน 1 ฉบับ

#### **เครื่องมือในการวิจัย**

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บรวบรวมข้อมูล ประกอบด้วยแบบสอบถามแบบประเมินค่า 5 ระดับในเรื่องความพึงพอใจในส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน แบบประเมินค่า 10 ระดับในเรื่อง ความภักดีในตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย 3 ด้าน จำนวน 1 ชุดรวม 75 ข้อ และลักษณะทางประชากร จำนวน 8 ข้อ

### การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือ

1. ตรวจสอบความเที่ยงตามเนื้อหาของแบบสอบถาม (Content Validity) โดยใช้ผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 คน ได้ค่า IOC มากกว่า 0.5 ทุกข้อ

2. การทดสอบความเชื่อมั่น ได้ค่าความเชื่อมั่นมากกว่า 0.933 ซึ่งมากกว่า 0.70

### การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลด้วยการขอความร่วมมือจากโครงการบ้านและที่พักอาศัยต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และส่วนภูมิภาค โดยดำเนินการด้วยตนเองที่มงาน

### การวิเคราะห์ข้อมูล

1. ใช้การแจกความถี่ (Frequency) การหาค่าร้อยละ (Percentage) ในการแจกแจงนับจำนวนและหาค่าร้อยละอธิบายลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่าง

2. ใช้หาค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ในการอธิบายระดับความพึงพอใจในส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้านความภักดีในตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย 3 ด้าน

3. ใช้การวิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง (Structure Equation Model : SEM) วิเคราะห์ความสัมพันธ์เชิงสาเหตุหรืออิทธิพลที่ ส่วนประสมทางการตลาดมีต่อความภักดีต่อตราสินค้า

4. การใช้สถิติเชิงอนุมานทดสอบสมมติฐานทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

### ผลการวิจัย

1) ลักษณะทางประชากรศาสตร์ของกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา เป็นเพศชาย ร้อยละ 48.44 เป็นเพศหญิงร้อยละ 51.56 ส่วนใหญ่มีอายุ 41 – 50 ปี คิดเป็นร้อยละ 54.11 ส่วนใหญ่มีสถานภาพสมรสแต่งงานแล้วคิดเป็นร้อยละ 70.00 มีบุตร 1 คิดเป็นร้อยละ 34.28 ส่วนใหญ่จบการศึกษาระดับ อนุปริญญา – ปริญญาตรี คิดเป็นร้อยละ 57.44 ส่วนใหญ่มีอาชีพพนักงาน คิดเป็นร้อยละ 25.89 มีรายได้ส่วนตัวเฉลี่ย 17,340.18 บาทต่อเดือน และมีรายได้ครัวเรือนเฉลี่ย 29,426.00 บาทต่อเดือน

2) ระดับความพึงพอใจในส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ของลูกค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ได้แก่ 1) ผลิตภัณฑ์และบริการ 2) ราคา 3) ช่องทางการจัดจำหน่าย 4) การส่งเสริมการตลาด 5) บุคคลหรือพนักงานในองค์กร 6) สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และ 7) กระบวนการ โดยภาพรวมของปัญหาทั้ง 7 ด้านมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.29 อยู่ในระดับมากที่สุด ส่วนประสมที่มีค่าเฉลี่ยสูงที่สุดคือ ด้านผลิตภัณฑ์และบริการ รองลงมาเป็นด้าน สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ ราคา และ การส่งเสริมการตลาด ตามลำดับ แสดงดังตารางที่ 1

2) ระดับความภักดีต่อตราสินค้ามีค่าเฉลี่ยอยู่ใน ระดับความภักดีเฉยๆ พร้อมทั้งจะเปลี่ยนแปลง (Passives) (1- 6 หมายถึง ไม่ยอมรับ (Detractors) 9 – 10 หมายถึง สนับสนุน (Promoters) ทั้งด้านการยอมรับ การบอกต่อและการแนะนำมีค่าเท่ากับ 7.56 7.53 และ 7.51 (จาก 10) ตามลำดับดังตารางที่ 2

3) ผลจากการศึกษาพบว่า โมเดลความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง สอดคล้องกับข้อมูลเชิงประจักษ์ มีค่า  $\chi^2 = 31.44$ ,  $df = 23$ ,  $P - value = 0.1124$ ,  $\chi^2/df = 1.367$ ,  $RMSEA = 0.014$ ,  $GFI = 1.000$  และ  $AGFI = 0.990$  สรุปได้ว่า

3.1) ส่วนประสมทางการตลาด (Maket\_mi) มีอิทธิพลต่อความภักดี (Brand\_ro) ของลูกค้าในตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ด้วยน้ำหนักอิทธิพลเท่ากับ 0.92 ( สถิติทดสอบ  $t = 48.12$ ) ส่วนประสมทางการตลาดสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของความภักดีของลูกค้าได้ ร้อยละ 85.0 เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$\text{Brand\_ro} = 0.92(\text{Maket\_mi}) + \text{error}, R^2 = 0.85$$

3.2 ปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์และบริการ (Product) ราคา (Price) ช่องทางการจัดจำหน่าย (Place) การส่งเสริมการตลาด (Promotio) บุคคลหรือพนักงานในองค์กร (People) สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ (Physical) และ กระบวนการ (Process) ส่งผลต่อส่วนประสมทางการตลาดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยตัวแปรทั้ง 7 มีน้ำหนักอิทธิพลใกล้เคียงกัน มีค่าเท่ากับ 0.92 0.98 0.96 0.96 0.91 0.96 และ 0.96 ตามลำดับ ตัวแปรทั้ง 7 มีความผันแปรร่วมกับส่วนประสมทางการตลาด ร้อยละ 84.0 96.0 93.0 93.0 83.0 93.0 และ 92.0 ตามลำดับ ดังตารางที่ 3 และรูปที่ 2

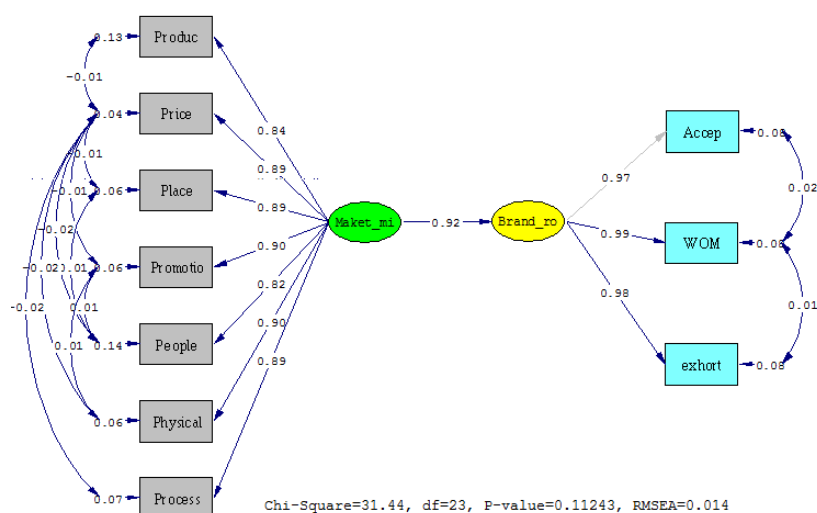
3.3 ปัจจัยความภักดีต่อตราสินค้าทั้ง 3 ด้าน ได้แก่ การยอมรับ(Accep) การบอกต่อ(WOM) และการแนะนำ(exhort) ส่งผลต่อความภักดีต่อตราสินค้าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05 โดยตัวแปรทั้ง 3 มีน้ำหนักอิทธิพลเท่ากันทั้ง 3 ตัวแปร มีค่าเท่ากับ 0.96 ตัวแปรทั้ง 3 มีความผันแปรร่วมกับส่วนความภักดีต่อตราสินค้า ร้อยละ 92.0 93.0 และ 92.0 ตามลำดับดังตารางที่ 3 และรูปที่ 2

ตารางที่ 1 : ความพึงพอใจในส่วนประสมทางการตลาดของบ้านจัดสรร และอาคารชุดพักอาศัยของลูกค้า

ด้าน	$\bar{X}$	S.D.
1) ผลิตภัณฑ์และบริการ	4.36	.33
2) ราคา	4.32	.42
3) ช่องทางการจัดจำหน่าย	4.23	.34
4) การส่งเสริมการตลาด	4.26	.35
5) บุคคลหรือพนักงานในองค์กร	4.24	.33
6) สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ	4.34	.34
7) กระบวนการ	4.25	.31
<b>รวม</b>	<b>4.29</b>	<b>.28</b>

ตารางที่ 2 : ความภักดีต่อตราสินค้าบ้านจัดสรร และอาคารชุดพักอาศัยของลูกค้า

ด้าน	$\bar{X}$	S.D.
การยอมรับ	7.56	1.77
การบอกต่อ	7.53	1.83
การแนะนำ	7.51	1.90
<b>รวม</b>	<b>7.53</b>	<b>1.83</b>



รูปที่ 2 โมเดลส่วนประสมทางการตลาด (Maket\_mi) มีอิทธิพลต่อความภักดี(Brand\_ro) ของลูกค้าต่อตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย

ตารางที่ 3 : ค่าน้ำหนักองค์ประกอบ และสัมประสิทธิ์คะแนนองค์ประกอบ

ตัวแปร	สัมประสิทธิ์	น้ำหนักองค์ประกอบ		ค่ามาตรฐานน้ำหนัก สัมประสิทธิ์	R <sup>2</sup>
		SE	t		
Produc	0.84	0.016	51.17	0.92	0.84
Price	0.89	0.016	56.33	0.98	0.96
Place	0.89	0.016	55.66	0.96	0.93
Promotio	0.90	0.016	55.60	0.96	0.93
People	0.82	0.016	50.15	0.91	0.83
Physical	0.90	0.016	55.64	0.96	0.93
Process	0.89	0.016	55.23	0.96	0.92
Accep	0.97	-	-	0.96	0.92
WOM	0.99	0.0091	108.93	0.96	0.93
exhort	0.98	0.010	95.49	0.96	0.92

Chi-Square = 31.44, df = 23, p = 0.11243, RMSEA = 0.014, GFI = 1.000, AGFI = 0.990

### อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

ผลจากการศึกษาพบว่าปัจจัยส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน ได้แก่ ผลิตภัณฑ์และบริการ ราคา ช่องทางการจัดจำหน่าย การส่งเสริมการตลาด บุคคลหรือพนักงานในองค์กร สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และ กระบวนการ ส่งผลต่อส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ปัจจัย โดยมีน้ำหนักอิทธิพลใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับทฤษฎี ส่วนประสมทางการตลาดของ Kotler (Kotler, P. 1997.) และน้ำหนักอิทธิพลที่ได้จากการวิเคราะห์ ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างนี้สอดคล้องกับค่าเฉลี่ยความพึงพอใจในส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้าน โดยด้าน ที่มีค่าเฉลี่ยสูงสุดได้แก่ ผลิตภัณฑ์และบริการ สิ่งแวดล้อมทางกายภาพ และ ราคา สอดคล้องกับการศึกษาของ ขวัญใจ ช้างหล้า (2559) ที่ได้ศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อบ้านเดี่ยวราคามากกว่า 5 ล้านบาทของ ผู้บริโภคที่มีผู้สูงอายุในครอบครัวในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่า ปัจจัยด้านสภาพแวดล้อม โครงการต้องการ โครงการที่ให้บรรยากาศดีมีพื้นที่พักผ่อนต่อการตัดสินใจซื้อบ้าน สอดคล้องกับการศึกษาของ วิภา ธิระโสภณ (2558) ที่ได้ศึกษาเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อบ้านจัดสรร ในเขตกรุงเทพมหานคร และปริมณฑล พบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อบ้านจัดสรรในเขตกรุงเทพและปริมณฑล ได้แก่ ปัจจัย ด้านสิ่งแวดล้อม ปัจจัยด้านคุณภาพ และปัจจัยด้านความปลอดภัย สอดคล้องกับการศึกษาของ อัมพร ศรีรัชชัย และ สิทธิเกียรติ รัชชชานติ (2558) ศึกษาเรื่อง ส่วนประสมการตลาดที่มีผลต่อผู้บริโภคในการซื้อบ้าน โครงการบ้าน จัดสรรพรสวรรค์จังหวัดเชียงใหม่ ผลการศึกษาพบว่า การวางแผนบริเวณบ้านภายในโครงการเหมาะสมเป็น ระเบียบเรียบร้อยมีผลต่อผู้บริโภคในการซื้อบ้าน จึงสรุปได้ว่า ส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้านเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย กลยุทธ์ในการแข่งขันจึงจำเป็นต้องให้ความสำคัญทั้ง 7 ด้าน ไม่ควรตัดปัจจัยใดปัจจัยหนึ่ง

ปัจจัยด้านความภักดีต่อตราสินค้าบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ตัวชี้วัดทั้ง 3 ตัวแปร ได้แก่ การ ยอมรับ การแนะนำ และการบอกต่อ ส่งผลต่อภักดีต่อตราสินค้า ด้วยน้ำหนักอิทธิพลที่สูงทั้ง 3 ตัวแปร จึงยืนยันได้ว่าการวัดความภักดีต่อตราสินค้าสามารถวัดได้จากตัวชี้วัดทั้ง 3 นี้ จึงอาจกล่าวได้ว่าบริษัทด้านอสังหาริมทรัพย์

จะต้องให้ความสำคัญกับความภักดีต่อตราสินค้าอันหมายถึงความมั่นคงยั่งยืนขององค์กร การศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ เกศนภา ไชษานครวี ยะเสน (2553) ได้ศึกษาเรื่อง ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความจงรักภักดีของลูกค้าในการใช้สินค้าและบริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ของบริษัทแอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด(มหาชน) ในเขตจังหวัดปทุมธานี ผลการศึกษาพบว่า ลูกค้าในเขตจังหวัดปทุมธานี มีความจงรักภักดีที่มีต่อการใช้สินค้าและบริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ของบริษัทแอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด(มหาชน) โดยรวมอยู่ในระดับมาก และสอดคล้องกับการศึกษาของ ณัฐกานต์ อติชัยรัตนกุล (2560) พบว่า ความภักดีของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์และบริการอินเทอร์เน็ต ประเภท FTTx ของบริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน) ในเขตพื้นที่ศูนย์บริการลูกค้า ทีโอที สาขาสุราษฎร์ธานี ทุกด้านอยู่ในระดับมากที่สุด ยกเว้นด้านความตั้งใจซื้อ อยู่ในระดับมาก

ความสัมพันธ์เชิงโครงสร้างระหว่าง 7Ps กับความภักดีต่อตราสินค้าของธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ส่วนประสมทางการตลาดมีอิทธิพลต่อความภักดีต่อตราสินค้าอย่างมีนัยสำคัญ จึงกล่าวได้ว่าส่วนประสมทางการตลาดทั้ง 7 ด้านส่งผลต่อความภักดีต่อตราสินค้าธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย การจะทำให้เกิด การยอมรับ การแนะนำ และการบอกต่อในเรื่องบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย ต้องวางกลยุทธ์ในการบริหารจัดการ ให้ความสำคัญพอใจใน 7Ps ให้สูงขึ้น การศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ ปยุต ภัทรภาพงศร (2556) ได้ศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ของคุณภาพบริการ ปัจจัยการตัดสินใจของผู้บริโภคและความภักดีต่อการบริการของอุตสาหกรรมหลักทรัพย์ในประเทศไทย ผลการศึกษาพบว่า การรับรู้คุณภาพบริการมีความสัมพันธ์ในทิศทางเดียวกับความภักดีต่อการบริการในอุตสาหกรรมหลักทรัพย์ในประเทศไทยสูงมาก สอดคล้องกับการศึกษาของ แวรวรัตน์ เวสนุสิทธิ (2557) ได้ศึกษาเรื่องความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพบริการกับความพึงพอใจ และความจงรักภักดีของลูกค้า บริษัท พี ซี แอล โฮลดิ้ง จำกัด ผลการศึกษาพบว่า ความพึงพอใจของลูกค้าต่อสินค้าและบริการมีความสัมพันธ์กับความจงรักภักดีของลูกค้าของบริษัท พีซี แอล โฮลดิ้ง จำกัด สอดคล้องกับการศึกษาของ วรท ธรรมวิทยาภูมิ (2558) ศึกษาเรื่องความพึงพอใจและความภักดีของผู้ใช้บริการสถานีบริการน้ำมันในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล พบว่าความภักดีของลูกค้าได้รับอิทธิพลจากปัจจัยด้านความพึงพอใจของลูกค้า สอดคล้องกับการศึกษาของ มณฑิรา ศรีด้วง และ ณัฐชฎา วิจิตรจามรี (2558) ศึกษาเรื่องความพึงพอใจและความภักดีของลูกค้าที่มีต่อตราสินค้าของศูนย์บริการตอบรับทางโทรศัพท์ในอุตสาหกรรมสินเชื่อรถยนต์ ในกรุงเทพมหานคร ผลการวิจัยพบว่า ความพึงพอใจในศูนย์บริการตอบรับทางโทรศัพท์ด้านภาพรวม ด้านบริการ และด้านพนักงาน มีความสัมพันธ์กับความภักดีต่อบริษัทสินเชื่อรถยนต์ จึงสรุปได้ว่าความพึงพอใจมีความสัมพันธ์และมีอิทธิพลเชิงบวกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ กับความภักดีต่อตราสินค้า

## ข้อเสนอแนะ

1. การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้ในการวางแผนเชิงกลยุทธ์ในการบริหารจัดการธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัย
2. ธุรกิจบ้านจัดสรรและอาคารชุดที่พักอาศัยควรให้ความสำคัญกับความภักดีต่อตราสินค้าและส่งเสริมให้สูงขึ้น
3. ควรมีการศึกษาความสัมพันธ์เชิงโครงสร้าง (Structure Equation Model : SEM) ระหว่าง 7Ps กับความภักดีต่อตราสินค้าจำแนกตามกลุ่มตามราคาบ้านและ/หรือประเภทบ้าน

## เอกสารอ้างอิง

- เกศชนา ไลษานดร้า ยะเสน. (2553). ปัจจัยที่มีผลต่อระดับความจงรักภักดีของลูกค้าในการใช้สินค้าและบริการ โทรศัพท์เคลื่อนที่ของบริษัท แอดวานซ์ อินโฟร์ เซอร์วิส จำกัด (มหาชน) ในเขตจังหวัด ปทุมธานี. วิทยานิพนธ์ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยรามคำแหง.
- ขวัญใจ ช่างหล้า. 2559. “ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจซื้อบ้านเดี่ยวราคามากกว่า 5 ล้านบาทของผู้บริโภคที่มี ผู้สูงอายุในครอบครัวในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต พานิชศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- ณัฐกานต์ อธิศัยรัตนกุล และ สุพิศ ฤทธิแก้ว. (2560). ความภักดีของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์และบริการอินเทอร์เน็ต ประเภท FTTx ของบริษัท ทีโอที จำกัด(มหาชน) ในเขตพื้นที่ศูนย์บริการลูกค้า ทีโอที สาขาสุราษฎร์ธานี. วิทยานิพนธ์ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต สำนักวิชาการจัดการ. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- ปยุต ภัทราพงศธร. (2556). ความสัมพันธ์ของคุณภาพบริการปัจจัยการตัดสินใจของผู้บริโภคและความภักดี ต่อการบริการของอุตสาหกรรมหลักทรัพย์ในประเทศไทย. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- มณฑิรา ศรีด้วง และ ณัฐฐ์ชฎา วิจิตรจามรี. (2558). ความพึงพอใจและความภักดีของลูกค้าที่มีต่อตรา สินค้าของศูนย์บริการตอบรับทางโทรศัพท์ในอุตสาหกรรมสินค้าเครื่องนุ่งห่มในกรุงเทพมหานคร. วารสารมนุษยศาสตร์, ปีที่ 22(1), 231-251.
- วรท ธรรมวิทยาภูมิ. (2558). การศึกษาความพึงพอใจและความภักดีของผู้ใช้บริการสถานีบริการน้ำมัน ใน เขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล. บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- แววรัตน์ เวสณูสิทธิ์. (2557). ความสัมพันธ์ระหว่างคุณภาพบริการกับความพึงพอใจและความจงรักภักดีของ ลูกค้าบริษัท พี ซี แอล โฮลดิ้ง จำกัด. การศึกษาค้นคว้าอิสระ บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์.
- วีณา ธีระโสภณ. 2558. “ปัจจัยที่ส่งผลต่อการตัดสินใจเลือกซื้อบ้านจัดสรร ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.” วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต พานิชศาสตร์และการบัญชี มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อัมพร ศรีรัชชัย และสิริเกียรติ รัชชานันติ. 2558. “ส่วนประสมการตลาดที่มีผลต่อผู้บริโภคในการซื้อบ้าน โครงการบ้านจัดสรรพรสวรรค์จังหวัดเชียงใหม่.” วารสารบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปีที่ 1, ฉบับที่ 2 (เมษายน – มิถุนายน 2558).
- SCB Economic Intelligence Outlook 3/2019. (2562). เศรษฐกิจไทย 2019.[ออนไลน์]. วันที่ 5 พฤศจิกายน 2562, จาก <https://www.sebeic.com/th/detail/product/6115>
- โพสต์ทูเดย์ การเงินการลงทุน. (2562). การรับมือเศรษฐกิจขาลงในปี 2562–2563 ของรัฐบาลใหม่.[ออนไลน์]. วันที่ 5 พฤศจิกายน 2562, จาก <https://www.posttoday.com/finance-stock/columnist/600179>
- Bourdeau, Leigh Brian. (2005). *A New Examination of Service Loyalty : Identification of the Antecedents and Outcomes of Additional Loyalty Framework*. Dissertation, Ph.D. (Business Administration). Florida: Florida University. Photocopied. Boulding, William A.; et. al. (1993, November). A Dynamic Process Model of Service

Kotler, Philip. (1997). Marketing Management : Analysis, Planning, Implement, and Control. 9th ed., Prentice-Hall, Inc.

Kotler, Philip. (2003). Marketing Management. 10th ed. Upper saddle river, NJ:Prenticehall 2561 .

**ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน**  
**FACTORS AFFECTING ARABICA COFFEE PRODUCTION OF FARMERS**  
**IN MAE HONG SON PROVINCE**

**จุฬารัตน์ คำภา**

**กลุ่มส่งเสริมและพัฒนาอุตสาหกรรม สำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดแม่ฮ่องสอน**

**อาจารย์ ดร.วสุ สุวรรณวิหค**

**สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยนครราชสีมา**

**อาจารย์ ดร.วรรณรัตน์ ลิสุขสวัสดิ์**

**สาขาวิชามนุษยนิเวศศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยนครราชสีมา**

**ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เฉลิมพล จตุพร**

**สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยสุโขทัยนครราชสีมา**

**E-mail: Chalermpon.Jat@stou.ac.th; jatuporn.stou@gmail.com**

**บทคัดย่อ**

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ประชากรที่ใช้ในการศึกษา คือ เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้า ปีการเพาะปลูก 2560/61 กำหนดขนาดกลุ่มตัวอย่างที่ระดับความคลาดเคลื่อนร้อยละ 5 ด้วยวิธีการของทาโร ยามาเน ได้ขนาดของกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 342 ราย จากนั้นจึงสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่ายโดยใช้แบบสอบถามเป็นเครื่องมือในการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ร้อยละ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และการถดถอยพหุคูณ ด้วยวิธีการลดรูปตัวแปร ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้แก่ จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตกาแฟ การได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการผลิตกาแฟ การปลูกกาแฟผสมผสานกับการปลูกพืชชนิดอื่น ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการผลิตกาแฟ และการมีแหล่งเงินทุนที่ใช้ในการผลิตกาแฟเป็นของตนเอง สำหรับข้อเสนอแนะเชิงนโยบาย ภาครัฐและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องควรส่งเสริมและสนับสนุนการปลูกกาแฟแบบผสมผสาน การให้สินเชื่อเพื่อการผลิตกาแฟ การจัดโครงการฝึกอบรมเกี่ยวกับการผลิตกาแฟ และการใช้เทคโนโลยีเพื่อทดแทนแรงงาน เป็นต้น

**คำสำคัญ:** ฟังก์ชันการผลิต การถดถอยพหุคูณ กาแฟพันธุ์อาราบิก้า

**ABSTRACT**

The main purpose of this research is to analyze factors affecting the production of Arabica coffee of farmers in Mae Hong Son province. The population is the farmers that grow Arabica coffee in crop year 2017/18.



Taro and Yamane's procedure based on a five percent error is designed to determine the sample size with 342 coffee growers are observed. The simple random sampling is performed using the questionnaire technique. The descriptive and inferential statistics are utilized to analyze the data through mean, percentage, standard deviation (S.D.), and multiple regression via backward elimination. The result showed that factors affecting Arabica coffee production of farmers in Mae Hong Son province are labor used to produce coffee, receiving training in coffee production, using integrated farming system for producing coffee with other crops, fertilizer used in coffee production, and having own sources of funds. For policy recommendations, the government and related stakeholders should promote and support an integrated farming system for coffee cultivation, credits for coffee production, training programs on coffee production, technology for labor replacement, and so on.

**KEYWORDS:** Production Function, Multiple Regression, Arabica Coffee

## 1. บทนำ

กาแฟเป็นเครื่องดื่มที่มีอิทธิพลต่อเศรษฐกิจ สังคม และวัฒนธรรม รวมถึงค่านิยมของมนุษย์มาตั้งแต่ในสมัยอดีตจนถึงปัจจุบัน เป็นพืชเศรษฐกิจที่มีการค้าขายในตลาดโลก เป็นสินค้าที่สร้างมูลค่าทางเศรษฐกิจให้กับประเทศผู้ผลิต ส่งผลให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตกาแฟ ตั้งแต่การพัฒนาสายพันธุ์กาแฟ รูปแบบและวิธีการปลูกหรือการผลิตกาแฟ การเก็บเกี่ยว การแปรรูปผลิตภัณฑ์ของกาแฟ เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อตอบสนองความต้องการบริโภคของนักดื่มกาแฟทั่วโลกที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง สายพันธุ์กาแฟมีอยู่มากมายหลายชนิด แต่สายพันธุ์หลักซึ่งเป็นที่นิยมปลูกมีอยู่ 4 สายพันธุ์ ได้แก่ พันธุ์อะราบิกา (Arabica) พันธุ์โรบัสตา (Robusta) พันธุ์เอ็กเซลซ่า (Excelsa) และพันธุ์ลิเบอริกา (Liberica) สำหรับกาแฟพันธุ์อะราบิกา เป็นสายพันธุ์ที่มีผู้บริโภคนิยมดื่มกันมากที่สุด เนื่องจากมีรสชาติและกลิ่นหอมเฉพาะตัว โดยลักษณะเมล็ดกาแฟพันธุ์อะราบิกามีรูปร่างรียาวผอม ตรงกลางเมล็ดมีรอยผ่าได้ลักษณะเหมือนตัวเอส (S) มีปริมาณคาเฟอีนเพียงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับกาแฟพันธุ์โรบัสตา ส่งผลให้กาแฟชนิดนี้เป็นที่นิยมปลูกของเกษตรกร (สิริพันธ์ จุลรังคะ, 2555) โดยมีสัดส่วนของผลผลิตในตลาดโลกถึงร้อยละ 80 โดยข้อมูลจากขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ ปี พ.ศ. 2560 รายงานว่าประเทศผู้ผลิตกาแฟในตลาดโลกที่สำคัญ ได้แก่ บราซิล เวียดนาม โคลัมเบีย อินโดนีเซีย และฮอนดูรัส ตามลำดับ ในขณะที่ประเทศไทยมีปริมาณการผลิตกาแฟอยู่ในลำดับที่ 11 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) อย่างไรก็ตาม การผลิตกาแฟในประเทศไทยยังคงมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากอุปสงค์ในตลาดกาแฟของประเทศไทยยังคงมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น รวมไปถึงราคาของกาแฟยังอยู่ในเกณฑ์ดีเมื่อเปรียบเทียบกับสินค้าเกษตรชนิดอื่น

จากสภาพภูมิประเทศของประเทศไทยที่ตั้งอยู่ในเขตร้อนชื้น จึงมีความเหมาะสมต่อการปลูกกาแฟ โดยสายพันธุ์ที่นิยมปลูก ได้แก่ พันธุ์โรบัสตาและพันธุ์อะราบิกา โดยพันธุ์โรบัสตานิยมปลูกในพื้นที่ภาคใต้ของประเทศไทยเพราะเป็นสายพันธุ์ที่ชอบฝนตกชุก มีสภาพอากาศชุ่มชื้น ในขณะที่พันธุ์อะราบิกานิยมปลูกในพื้นที่ภาคเหนือเพราะเป็นสายพันธุ์ที่ชอบอากาศเย็น ในปัจจุบันมีเกษตรกรเป็นจำนวนมากยึดอาชีพการปลูกกาแฟเป็นอาชีพหลักหรือปลูกกาแฟผสมผสานกับการปลูกพืชชนิดอื่น ก่อให้เกิดมูลค่าทางเศรษฐกิจแก่เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟประมาณ 5,500 ล้านบาท/ปี สอดคล้องกับอุปสงค์กาแฟในตลาดที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องเฉลี่ยร้อยละ 7 – 10 ต่อปี ด้วยเหตุนี้ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้เล็งเห็นถึงโอกาสในการพัฒนาอุตสาหกรรม

ผลิตกาแฟของประเทศขึ้น จึงได้กำหนดเป็นยุทธศาสตร์กาแฟ (พ.ศ. 2560 – 2564) โดยมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเพิ่มปริมาณผลผลิตกาแฟ ยกกระดับประสิทธิภาพการผลิตกาแฟ สร้างและพัฒนาเครือข่ายระหว่างกลุ่มเกษตรกรและผู้ประกอบการ ยกกระดับมาตรฐานกาแฟไทย และเป็นศูนย์กลางการค้ากาแฟในระดับภูมิภาค (กรมวิชาการเกษตร, 2560)

จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นพื้นที่ในภาคเหนือของประเทศไทย มีความสูงของพื้นที่เฉลี่ยอยู่ในช่วง 400 – 2,005 เมตรจากระดับน้ำทะเล อุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปีประมาณ 25.5 องศาเซลเซียส จึงมีความได้เปรียบเชิงภูมิศาสตร์และมีสภาพภูมิอากาศที่เหมาะสมต่อการปลูกกาแฟสายพันธุ์อะราบิกา โดยในปี 2562 จังหวัดแม่ฮ่องสอนมีพื้นที่ปลูกกาแฟ 5,129 ไร่ และเป็นเนื้อที่ให้ผลผลิตแล้ว 4,526 ไร่ สามารถผลิตกาแฟได้ 602 ตัน หรือคิดเป็นผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ประมาณ 133 กิโลกรัม ทั้งนี้ จังหวัดแม่ฮ่องสอนเป็นพื้นที่ที่ให้ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่สูงสุดเป็นลำดับที่ 2 ของประเทศ รองจากจังหวัดเชียงใหม่ (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2562) ดังนั้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการผลิตกาแฟในจังหวัดแม่ฮ่องสอนจึงเป็นประเด็นที่น่าสนใจ เพื่อศึกษาและพัฒนาต่อยอดเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของจังหวัดต่อไป

การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาณการผลิตกาแฟ ได้แก่ กฤษนันท์และหนับ (2553) ได้วิเคราะห์อุปทานกาแฟของประเทศไทย อาศัยข้อมูลอนุกรมเวลารายปี ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2537 – 2552 วิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณ ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีผลต่ออุปทาน ได้แก่ เนื้อที่ให้ผลผลิตของกาแฟ ราคาที่เกษตรกรขายได้ ราคาสินค้าอื่นที่เกี่ยวข้อง และต้นทุนแปรผัน ในขณะที่เดียวกัน นวรัตน์ โพธิ์ศิริ และคณะ (2561) ได้ศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการผลิตกาแฟโรบัสตาของเกษตรกร ในตำบลรับร้อ อำเภอน้ำแตง จังหวัดชุมพร โดยใช้แบบสัมภาษณ์เก็บข้อมูลจากเกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 312 ราย วิเคราะห์ด้วยสถิติโคสแควร์ ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์กับการผลิตกาแฟโรบัสตา ได้แก่ ระดับการศึกษา จำนวนสมาชิกในครัวเรือน ประสบการณ์การปลูกกาแฟ การเป็นสมาชิกกลุ่มเกษตรกร รายได้จากการผลิตกาแฟ จำนวนแรงงานในการผลิตกาแฟ เงินทุนในการผลิตกาแฟ ความรู้ด้านเทคโนโลยีการผลิตกาแฟ และการเปิดรับข้อมูลข่าวสารของเกษตรกร นอกจากนี้ Gathura (2013) ได้ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตกาแฟในพื้นที่ขนาดเล็กของอำเภอ Githunguri ประเทศเคนยา จากกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 120 ราย วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนาและสถิติเชิงอนุมาน ผลการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตกาแฟ ได้แก่ ปัจจัยด้านการตลาด ปัจจัยทางการเงิน นโยบายภาครัฐ ทรัพยากรทางกายภาพในการผลิต และทรัพยากรมนุษย์ สำหรับการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ (1) ศึกษาสภาพทางเศรษฐกิจและสังคม และ (2) ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตกาแฟพันธุ์อะราบิกา ของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยข้อค้นพบที่ได้จะเป็นประโยชน์ต่อการยกระดับประสิทธิภาพการผลิตกาแฟของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน รวมถึงเป็นแนวทางสำหรับพื้นที่ผลิตกาแฟอื่นๆ เพื่อนำข้อค้นพบไปพัฒนาต่อยอดเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิตของตนเองต่อไป

## 2. ระเบียบวิธีการวิจัย

### 2.1 ประชากร กลุ่มตัวอย่าง และเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

ประชากร คือ เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟพันธุ์อะราบิกาในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ปีการเพาะปลูก 2560/2561 จำนวน 2,342 ราย โดยขนาดของกลุ่มตัวอย่างคำนวณได้จากสูตรของทาโร ยามานะ (Yamane, 1973) มีรายละเอียดดังนี้

$$n = \frac{N}{1+Ne^2} \quad (1)$$

โดยกำหนดให้  $n$  หมายถึง จำนวนตัวอย่าง (หน่วย: ราย)  $N$  หมายถึง จำนวนประชากรทั้งหมด (หน่วย: ราย) และ  $e$  หมายถึง ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ ร้อยละ 5

จากสมการ (1) เมื่อแทนค่าสูตรคำนวณเพื่อหาขนาดของกลุ่มตัวอย่าง พบว่า ได้ขนาดกลุ่มตัวอย่างของเกษตรกรผู้ปลูกกาแฟในจังหวัดแม่ฮ่องสอนรวมทั้งสิ้น จำนวน 342 ราย จากนั้นจึงกำหนดสัดส่วนเพื่อสุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มอย่างง่าย (Simple Random Sampling) แยกตามรายอำเภอของจังหวัดแม่ฮ่องสอน รายละเอียดแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

อำเภอ	ประชากร (ราย) <sup>a</sup>	ตัวอย่าง (ราย)
เมืองแม่ฮ่องสอน	145	21
ขุนยวม	150	22
แม่สะเรียง	559	82
แม่ลาน้อย	767	112
สบเมย	330	48
ปางมะผ้า	254	37
ป่าเย็บ	137	20
<b>รวม</b>	<b>2,342</b>	<b>342</b>

<sup>a</sup>ที่มา: สำนักงานเกษตรจังหวัดแม่ฮ่องสอน

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา คือ แบบสอบถาม โดยเก็บรวบรวมข้อมูลจากเกษตรกรกลุ่มตัวอย่างใน 7 อำเภอ ของจังหวัดแม่ฮ่องสอน จำนวน 342 ราย และแบ่งประเด็นคำถามออกเป็น 4 ส่วน ได้แก่ ข้อมูลพื้นฐานส่วนบุคคล ข้อมูลด้านเศรษฐกิจ ข้อมูลด้านสังคม และข้อมูลด้านการผลิตกาแฟ ปัญหาและอุปสรรคตามลำดับ

## 2.2 แบบจำลองทางเศรษฐมิติและวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล

แนวคิดที่ใช้ในการกำหนดปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิต คือ ฟังก์ชันการผลิต (Production Function) เป็นรูปแบบที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตกับผลผลิตภายใต้เทคโนโลยีที่ใช้ในขณะนั้น โดยปัจจัยการผลิตหรือทรัพยากรการผลิตสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ ที่ดิน แรงงาน ทุน และผู้ประกอบการ (บัณฑิตผ่องนรินทร์, 2558) อย่างไรก็ตาม จากการทดสอบวรรณกรรม แนวคิดและทฤษฎี และงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง จึงได้กำหนดรูปแบบฟังก์ชันการผลิตกาแฟ แบบจำลองการผลิตกาแฟ และตัวแปรต่างๆ ดังนี้

รูปแบบฟังก์ชันการผลิตกาแฟ

$$Q_i = f(X_{1i}, X_{2i}, X_{3i}, \dots, X_{10i}) \quad (2)$$

แบบจำลองการผลิตกาแฟ

$$Q_i = \alpha_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_{10} X_{10i} + \varepsilon_i \quad (3)$$

โดยกำหนดให้  $Q$  หมายถึง ปริมาณผลผลิตกาแฟ (หน่วย: กิโลกรัม)  $\alpha_0$  หมายถึง ค่าคงที่  $f(.)$  หมายถึง ฟังก์ชันการผลิต  $\beta$  หมายถึง สัมประสิทธิ์การถดถอย  $\varepsilon$  หมายถึง ความคลาดเคลื่อน  $i$  หมายถึง ค่าสังเกต  $X_1$  หมายถึง เพศ (กำหนดให้ 0 คือ เพศหญิง และ 1 คือ เพศชาย)  $X_2$  หมายถึง อายุ (หน่วย: ปี)  $X_3$  หมายถึง การศึกษา (กำหนดให้ 0 คือ ไม่ได้รับการศึกษา และ 1 คือ ได้รับการศึกษา)  $X_4$  หมายถึง จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตกาแฟ (หน่วย: ราย)  $X_5$  หมายถึง ประสบการณ์ในการผลิตกาแฟ (หน่วย: ปี)  $X_6$  หมายถึง การฝึกอบรมเกี่ยวกับการผลิตกาแฟ (โดยกำหนดให้ 0 คือ ไม่ได้รับการฝึกอบรม และ 1 คือ ได้รับการฝึกอบรม)  $X_7$  หมายถึง รูปแบบการปลูกกาแฟ (โดยกำหนดให้ 0 คือ การปลูกกาแฟเชิงเดี่ยวและ 1 คือ การปลูกกาแฟผสมผสานร่วมกับการปลูกพืชชนิดอื่น)  $X_8$  หมายถึง อายุเฉลี่ยของต้นกาแฟ (หน่วย: ปี)  $X_9$  หมายถึง ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการผลิตกาแฟ (หน่วย: กิโลกรัม/ปี) และ  $X_{10}$  หมายถึง แหล่งเงินทุนที่ใช้ในการผลิตกาแฟ (โดยกำหนดให้ 0 คือ ไม่มีแหล่งเงินทุนเป็นของตนเอง และ 1 คือ มีแหล่งเงินทุนเป็นของตนเอง)

สมการ (3) คือ แบบจำลองการผลิตกาแฟของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน แสดงในรูปแบบของสมการถดถอยพหุคูณระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ โดยทำการประมาณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยวิธีกำลังสองน้อยที่สุด (Ordinary Least Squares: OLS) อย่างไรก็ตาม เงื่อนไขของตัวประมาณค่าสัมประสิทธิ์ด้วยวิธี OLS ประกอบด้วยข้อสมมติบางประการที่มีอาจจะผิดได้ ได้แก่ (1) ตัวแปรอิสระต้องไม่มีปัญหาความสัมพันธ์เชิงเส้นสูงเกินไป (ปัญหา Multicollinearity) สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธี Variance Inflation Factor (VIF) โดยต้องมีค่าไม่เกิน 10 และคำนวณได้จากสูตร (Studenmund, 2017) ดังนี้

$$VIF(\beta_i) = \frac{1}{1-R_i^2} \quad (4)$$

โดยกำหนดให้  $R_i^2$  หมายถึง สัมประสิทธิ์แห่งการกำหนด (Coefficient of Determination) โดยค่า VIF แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร  $X$  ค่าหนึ่งที่ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรตามกับตัวแปรอิสระ ( $X$ ) ตัวอื่นๆ ที่เหลือ

และ (2) ตัวคลาดเคลื่อนจะต้องไม่มีปัญหาความแปรปรวนไม่คงที่ (ปัญหา Heteroskedasticity) สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการของ Breusch and Pagan (1979) โดยมีกระบวนการคือดึงเอาค่าหลงเหลือ (Residual) จากสมการ (3) ออกมา แล้วทำการสร้างสมการทดสอบปัญหา Heteroskedasticity ดังนี้

$$\varepsilon_i^2 = \alpha_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{3i} + \dots + \beta_{10} X_{10i} + u_i \quad (5)$$

โดยกำหนดให้  $\varepsilon_i$  หมายถึง ค่าหลงเหลือจากสมการ (3) และ  $u$  คือ ตัวรบกวน (White noise) ในสมการ (5) สำหรับการทดสอบปัญหา Heteroskedasticity จะใช้สถิติไคสแควร์ (Chi-square:  $\chi^2$ ) ในการทดสอบสมมติฐานมีรายละเอียดดังนี้

$$H_0: \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = \dots = \beta_{10} = 0 \quad (\text{Homoskedasticity})$$

$$H_1: \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq \dots \neq \beta_{10} \neq 0 \quad (\text{Heteroskedasticity})$$

กล่าวโดยสรุป สมมติฐานหลัก ( $H_0$ ) ใช้เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองไม่มีปัญหา Heteroskedasticity หรือเป็น Homoskedasticity ในขณะที่ สมมติฐานทางเลือก ( $H_1$ ) คือ แบบจำลองมีปัญหา Heteroskedasticity เกิดขึ้น

### 3. ผลการวิเคราะห์

การวิเคราะห์ข้อมูลได้แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ (1) การวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา เพื่ออธิบายคุณลักษณะพื้นฐานของกลุ่มตัวอย่าง และ (2) การวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงอนุมาน เพื่ออธิบายปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตกาแฟของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน มีรายละเอียดดังนี้

เกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 342 ราย พบว่า เป็นเพศชาย จำนวน 225 ราย (ร้อยละ 65.79) และเพศหญิง จำนวน 117 ราย (ร้อยละ 34.21) มีอายุเฉลี่ย 44.41 ปี (S.D. = 10.67 ปี) ส่วนใหญ่ไม่ได้รับการศึกษา ร้อยละ 61.99 มีจำนวนสมาชิกในครัวเรือนเฉลี่ย 4.58 ราย (S.D. = 1.68 ราย) มีรายได้รวมในครัวเรือนเฉลี่ย 8,174 บาท/เดือน (S.D. = 8,247 บาท/เดือน) มีรายจ่ายรวมในครัวเรือนเฉลี่ย 4,651 บาท/เดือน (S.D. = 5,097 บาท/เดือน) มีพื้นที่ถือครองเฉลี่ย 10.36 ไร่/ครัวเรือน (S.D. = 9.59 ไร่/ครัวเรือน) และมีหนี้สินครัวเรือน ร้อยละ 43.27

เกษตรกรกลุ่มตัวอย่างทุกรายปลูกกาแฟพันธุ์อะราบิกา มีปริมาณผลผลิตเฉลี่ย 1,963 กิโลกรัม/ครัวเรือน (S.D. = 4,199 กิโลกรัม/ครัวเรือน) มีรายได้จากการผลิตกาแฟเฉลี่ย 40,598 บาท/ปี (S.D. = 69,198 บาท/ปี) มีต้นทุนจากการผลิตกาแฟเฉลี่ย 5,854 บาท/ปี (S.D. = 8,437 บาท/ปี) มีแรงงานที่ใช้ในการผลิตกาแฟเฉลี่ย 3.39 ราย (S.D. = 1.58 ราย) มีปริมาณการใช้ปุ๋ยในการผลิตกาแฟเฉลี่ย 121.40 กิโลกรัม/ปี (S.D. = 143.10 กิโลกรัม/ปี) มีพื้นที่ปลูกกาแฟเฉลี่ย 5.16 ไร่ (S.D. = 4.39 ไร่) มีประสบการณ์ในการปลูกกาแฟเฉลี่ย 7.69 ปี (S.D. = 5.88 ปี) มีอายุของต้นกาแฟเฉลี่ย 8.25 ปี (S.D. = 6.75 ปี) เกษตรกรส่วนใหญ่ ได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการผลิตกาแฟ ร้อยละ 91.52 มีรูปแบบการปลูกกาแฟผสมผสานกับการปลูกพืชชนิดอื่น ร้อยละ 73.98 มีแหล่งเงินทุนเป็นของตนเอง ร้อยละ 78.95 และมีการจำหน่ายผลผลิตผ่านตัวแทนหรือพ่อค้าคนกลาง ร้อยละ 78.07

การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ด้วยวิธีการลดรูปตัวแปร ในตารางที่ 2 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตกาแฟของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้แก่ จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตกาแฟ การได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการผลิตกาแฟ การปลูกกาแฟผสมผสานกับการปลูกพืชชนิดอื่น ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการผลิตกาแฟ และการมีแหล่งเงินทุนที่ใช้ในการผลิตกาแฟเป็นของตนเอง ทั้งนี้ ผลการวิเคราะห์ดังกล่าว ไม่พบปัญหา Multicollinearity เมื่อพิจารณาด้วยสถิติ VIF ของตัวแปรอิสระ มีค่าไม่เกิน 10 อย่างไรก็ตาม ผลการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณในตารางที่ 2 ได้แก้ไขปัญหา Heteroskedasticity ด้วยวิธี Heteroskedasticity-robust S.E. (Cottrell and Lucchetti, 2019) สำหรับการแปรผลการวิเคราะห์การถดถอยเพื่ออธิบายความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยการผลิตกับการผลิตกาแฟ มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 การวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณ ด้วยวิธีการลดรูปตัวแปร

Variable	Coefficient	S.E.	t-statistics	p-value
$\alpha_0$	-2783.00	767.39	-3.627	<0.01
$\beta_4$	451.78	129.21	3.497	<0.01
$\beta_6$	495.11	285.39	1.735	0.08
$\beta_7$	1547.43	298.21	5.189	<0.01
$\beta_9$	5.99	2.23	2.69	<0.01
$\beta_{10}$	1129.17	419.62	2.69	<0.01

VIF ( $X_4 = 1.04$ ,  $X_6 = 1.04$ ,  $X_7 = 1.03$ ,  $X_9 = 1.04$ ,  $X_{10} = 1.02$ )

S.E. หมายถึง ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (Standard Error)

หมายเหตุ: มีการแก้ปัญหา Heteroskedasticity ด้วยวิธี Heteroskedasticity-robust S.E.

เมื่อจำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตกาแฟ ( $X_4$ ) เพิ่มขึ้น 1 ราย ปริมาณผลผลิตกาแฟจะเพิ่มขึ้น 451.78 กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

เกษตรกรในกลุ่มที่ได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการผลิตกาแฟ ( $X_6$ ) จะมีปริมาณผลผลิตกาแฟมากกว่าเกษตรกรในกลุ่มที่ไม่ได้รับการฝึกอบรม 495.11 กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.1

เกษตรกรในกลุ่มที่มีการปลูกกาแฟผสมผสานกับการปลูกพืชชนิดอื่น ( $X_7$ ) จะมีปริมาณผลผลิตกาแฟมากกว่าเกษตรกรในกลุ่มที่มีการปลูกกาแฟเชิงเดี่ยว 1,547.43 กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

เมื่อปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการผลิตกาแฟ ( $X_9$ ) เพิ่มขึ้น 1 กิโลกรัม ปริมาณผลผลิตกาแฟจะเพิ่มขึ้น 5.99 กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

เกษตรกรในกลุ่มที่มีแหล่งเงินทุนเพื่อใช้ในการผลิตกาแฟเป็นของตนเอง ( $X_{10}$ ) จะมีปริมาณผลผลิตกาแฟมากกว่าเกษตรกรในกลุ่มที่ไม่มีแหล่งเงินทุนเป็นของตนเอง 1,129.71 กิโลกรัม อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

#### 4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่ส่งผลต่อการผลิตกาแฟพันธุ์อาราบิก้าของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน โดยการเก็บแบบสอบถามจากเกษตรกรกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 342 ราย และวิเคราะห์ด้วยการถดถอยพหุคูณ พบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการผลิตกาแฟของเกษตรกรในจังหวัดแม่ฮ่องสอน ได้แก่ จำนวนแรงงานที่ใช้ในการผลิตกาแฟ การได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการผลิตกาแฟ การปลูกกาแฟผสมผสานกับการปลูกพืชชนิดอื่น ปริมาณปุ๋ยที่ใช้ในการผลิตกาแฟ และการมีแหล่งเงินทุนที่ใช้ในการผลิตกาแฟเป็นของตนเอง

ข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษา มีรายละเอียดดังนี้

(1) ควรส่งเสริมและสนับสนุนการปลูกกาแฟร่วมกับการปลูกพืชชนิดอื่น เนื่องจากกาแฟพันธุ์อาราบิก้าเป็นสายพันธุ์ที่ไม่ชอบแสงแดดจัดและชอบความชื้น การเจริญเติบโตเหมาะสมกับการปลูกบริเวณใต้ร่มไม้ใหญ่ จึงทำให้กาแฟที่ปลูกผสมผสานกับการปลูกพืชชนิดอื่น มีปริมาณผลผลิตมากกว่าการปลูกกาแฟเชิงเดี่ยว อย่างไรก็ตาม ควรมีการศึกษาชนิดของพืช รูปแบบและวิธีการปลูกที่เหมาะสมร่วมกับการปลูกกาแฟ เพื่อให้การผลิตกาแฟและการผลิตพืชที่ปลูกร่วมกันมีประสิทธิภาพสูงสุด

(2) ควรสนับสนุนสินเชื่อและอัตราดอกเบี้ยที่เหมาะสมแก่เกษตรกรผู้ปลูกกาแฟ เนื่องจากสินเชื่อเป็นปัจจัยที่จำเป็นต่อการผลิต และเงินทุนที่เพียงพอมีผลต่อการจัดหาปัจจัยต่างๆ มาใช้ในการผลิตกาแฟ เช่น ปุ๋ย สารเคมี ค่าจ้างแรงงาน เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น

(3) ควรส่งเสริมและพัฒนาโครงการฝึกอบรมเกี่ยวกับการผลิตกาแฟ รวมถึงพัฒนาหลักสูตรอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการผลิต สร้างมูลค่าเพิ่มทางการตลาด การสร้างตราสินค้า การแปรรูปและพัฒนาผลิตภัณฑ์ของกาแฟ เป็นต้น

(4) ควรพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเพื่อทดแทนแรงงาน เนื่องจากการปลูกกาแฟต้องอาศัยแรงงานคนเป็นผู้ดูแลรักษาในแทบทุกขั้นตอน ตั้งแต่การขุดหลุมปลูกจนถึงการเก็บเกี่ยวผลผลิต จึงทำให้มีต้นทุนในส่วน of ค่าจ้างแรงงานค่อนข้างสูง ในขณะที่ต้นทุนค่าจ้างแรงงานในปัจจุบันมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ การพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อลดต้นทุนหรือทดแทนแรงงานจึงเป็นวิธีที่ช่วยให้เกษตรกรสามารถผลิตกาแฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ

## 5. เอกสารอ้างอิง

- กฤษณันท์ เลาหะนันท์. (2553). การผลิตและการตลาดของกาแฟในประเทศไทย. *วารสารวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่*, 5(2), 119 – 144.
- กรมวิชาการเกษตร. (2560). *ยุทธศาสตร์กาแฟ ปี 2560 – 2564*. กรมวิชาการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. <http://www.doa.go.th/hort/wp-content/uploads/2018/11/ยุทธศาสตร์กาแฟ2560-2564.pdf>
- นวรรตน์ โพธิ์ศิริ, สาวิตรี รังสิภัทร์ และพัชราวดี ศรีบุญเรือง. (2561). ปัจจัยที่มีความสัมพันธ์ต่อการผลิตกาแฟโรบัสต้าของเกษตรกร ตำบลบริบูรณ์ อำเภอบ้านไร่ จังหวัดอุทัยธานี. *วารสารเกษตรพระจอมเกล้า*, 36(2), 43 – 52.
- บัณฑิต ผังนรินทร์. (2558). *หน่วยที่ 4 การผลิตและต้นทุนการผลิต*. ในเอกสารการสอนชุดวิชา 60120 หลักเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น. สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.
- สิริพันธ์ จุลกรังคะ. (2555). *เครื่องดัดในงานบริการ*. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพมหานคร.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2562). *สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2561*. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.
- Breusch, T. S., Pagan, A. R. (1979). A simple test for heteroscedasticity and random coefficient variation. *Econometrica*, 47(5), 1287 – 1294.
- Cottrell, A., Lucchetti, R. (2019). *Gretl user's guide: Gnu regression, econometrics and time-series library*. <http://ricardo.ecn.wfu.edu/pub/gretl/gretl-guide.pdf>
- Gathura, M. N. (2013). Factors affecting small-scale coffee production in Githunguri district, Kenya. *International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences*, 3(9), 132 – 149.
- Studenmund, A. H. (2017). *Using econometrics: A practical guide*. (7th Edition). Boston: Pearson.
- Yamane, T. (1973). *Statistics: An Introduction Analysis*. New York: Harper & Row.

## การวิเคราะห์พื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ

### SUITABLE AREAS ANALYSIS FOR COFFEE PLANTATION

เสวตฉัตร ศรีสุวรรณ

ภาควิชาภูมิศาสตร์ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

E-mail: sawettac@gmail.com

#### บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาหาแนวทางและขั้นตอนในการนำ มาประยุกต์ใช้งานด้านวิเคราะห์พื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ โดยเฉพาะพื้นที่ราบในจังหวัดลำปางเพื่อจัดทำแผนที่พื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ และเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาในพื้นที่บริเวณอื่นต่อไป อีกทั้งเป็นประโยชน์ในการศึกษาวิจัยต่อของหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง

ในการจำแนกวิเคราะห์พื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟพบว่า พื้นที่เหมาะสมปานกลางสำหรับปลูกกาแฟมีพื้นที่มากที่สุด คือ 2,552.77 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 39.70 รองลงมาได้แก่ พื้นที่เหมาะสมมากสำหรับปลูกกาแฟมีพื้นที่คือ 2,184.20 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 33.97 พื้นที่ที่ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟมีพื้นที่คือ 1,167.59 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 18.15 และพื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟมีพื้นที่น้อยที่สุดคือ 526.05 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 8.18 ตามลำดับ พื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟส่วนใหญ่อยู่ทางตอนเหนือและตอนกลางของจังหวัดลำปาง

คำสำคัญ: พื้นที่เหมาะสม การปลูกกาแฟ ระบบภูมิสารสนเทศ

#### ABSTRACT

This study has the objectives for studies to find the method and the process in using Geoinformatic System to analyze the areas suitable for growing arabica coffee in Lampang province. Moreover, this study can be produce map of suitable area for coffee plantation and to serve as a guideline in the study area to another area. It is useful in further studies of government agencies involved. In the analysis of suitable area for coffee plantation, it found that the suitable area for coffee is mostly in the northern and central part of the province. The area of medium level suitable for growing coffee is 2,552.77 square kilometers (39.70 percent), next is the area of high potential level suitable for growing coffee is 2,184.20 square kilometers (33.97 percent), the area is not suitable for coffee growing is 1167.59 square kilometers. (18.15 percent) and the area suitable for coffee growing area of 526.05 square kilometers (8.18 percent) respectively.

**Key words:** Suitable area, Coffee plantation, Geoinformatic



## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

กาแฟ เป็นหนึ่งในอาหารเข้ายอดนิยมนิยมของคนทั่วโลกมาเป็นเวลานาน และสำหรับประเทศไทยนั้น กาแฟนอกจากจะเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมมากขึ้นเรื่อยๆ ในปัจจุบันแล้ว กาแฟยังเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของเกษตรกรในภาคใต้และภาคเหนือของไทย ในจังหวัดชุมพร ระนอง สุราษฎร์ธานี กระบี่ และเชียงรายซึ่งเป็นจังหวัดที่มีการเพาะปลูกกาแฟเป็นจำนวนมาก ครอบคลุมครัวเรือนเกษตรกร 28,698 ครัวเรือนในปี พ.ศ. 2551 และสามารถทำรายได้เข้าประเทศจากการส่งออกเมล็ดกาแฟในปีพ.ศ. 2551 เป็นมูลค่า 150.9 ล้านบาท หรือคิดเป็นปริมาณเท่ากับ 1,662 ตัน ซึ่งหากเทียบกับประเทศคู่แข่งในอาเซียนด้วยกันแล้ว พบว่าไทยเป็นประเทศผู้ส่งออกอันดับ 3 รองจากประเทศเวียดนามซึ่งเป็นประเทศส่งออกกาแฟอันดับหนึ่งของอาเซียนและอันดับสองของโลก และประเทศอินโดนีเซีย

จากการเข้าสู่การเป็นประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (AEC) ที่จะเริ่มแล้วในการลดภาษีนำเข้าเมล็ดกาแฟ ในปี พ.ศ. 2553 นั้น ได้มีข้อกำหนดที่เกี่ยวข้องกับสินค้าเมล็ดกาแฟ และกาแฟสำเร็จรูปด้วย โดยสินค้ากาแฟสำเร็จรูป ได้ลดภาษีนำเข้าเป็น 0% ให้แก่ประเทศสมาชิกอาเซียน แต่สำหรับสินค้าเมล็ดกาแฟนั้นถูกจัดว่าเป็นสินค้าอ่อนไหว (Sensitive List) ที่จำเป็นต้องใช้เวลาในการปรับตัวนานกว่าสินค้ากลุ่มอื่นๆ จึงกำหนดให้ลดภาษีนำเข้าในปี พ.ศ.2553 มาอยู่ที่ 5% และจะลดลงเป็น 0% ในปี พ.ศ.2558 เช่นเดียวกับประเทศบรูไนและมาเลเซียที่กำหนดให้สินค้ากาแฟเป็นสินค้าอ่อนไหวเช่นกัน

สำหรับสถานการณ์ด้านการผลิต การบริโภค รวมถึงการส่งออกกาแฟของไทย มีการประเมินสถานการณ์เมื่อเปิดเสรีอาเซียน AEC ในปี พ.ศ. 2558 จากปัจจุบันปี พ.ศ. 2554 จนถึง พ.ศ. 2558 ไทยอาจเสียส่วนแบ่งการตลาดเมล็ดกาแฟในตลาดอาเซียนให้เวียดนาม 0.1% เป็นมูลค่าประมาณ 0.2 ล้านดอลลาร์สหรัฐ เนื่องจากเสียเปรียบเรื่องต้นทุน และพื้นที่การเพาะปลูกที่ไม่เพียงพอ (ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2555 : ออนไลน์)

กาแฟเป็นพืชเศรษฐกิจที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง เนื่องจากเป็นสินค้าที่มีมูลค่าการซื้อขายมากเป็นอันดับ 2 ของโลก รองจากปิโตรเลียม กาแฟในเชิงการค้าที่สำคัญมีอยู่ 2 สายพันธุ์ คือ กาแฟอาราบิก้า และกาแฟโรบัสต้า โดยปริมาณการผลิตกาแฟของโลกจะมีสัดส่วนของอาราบิก้า : โรบัสต้า ประมาณ 70 : 30 และปริมาณการค้ามีสัดส่วน 65 : 35 ตามลำดับ สำหรับประเทศไทยผลิตกาแฟได้เพียงร้อยละ 1 ของโลก เป็นกาแฟโรบัสต้าถึงร้อยละ 97 และอาราบิก้าเพียงร้อยละ 3 เท่านั้น เนื่องจากกาแฟอาราบิก้ามีรสชาติไม่ขมเข้มรุนแรง และกลิ่นหอมนุ่มนวล จึงถือเป็นกาแฟคุณภาพดี ตลาดโลกมีความต้องการสูง ประกอบกับแนวโน้มการบริโภคยังสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ขณะที่การผลิตภายในประเทศไม่เพียงพอ ต้องนำเข้าปีหนึ่งๆ ในปริมาณและมูลค่าสูง หากมีการพัฒนาการผลิตกาแฟดังกล่าว เพื่อทดแทนการนำเข้า จะเป็นการประหยัดเงินตราได้มาก ซึ่งพบว่า เมื่อเปรียบเทียบกาแฟกับเครื่องดื่มที่ทำจากพืชอื่น เช่น ชา โกโก้ น้ำผลไม้ และน้ำอัดลม ถือได้ว่ากาแฟเป็นเครื่องดื่มที่คนนิยมบริโภคมากเป็นอันดับหนึ่ง โดยประชากรทั่วโลกจะบริโภคกาแฟไม่ต่ำกว่าวันละ 1,000 ล้านถ้วย สำหรับคนไทยนั้นมีการดื่มกาแฟก่อนช่วงน้อย เฉลี่ยประมาณ 90 ถ้วยต่อคนต่อปี อัตราการขยายตัวของตลาดกาแฟไทยประมาณร้อยละ 5 - 7 ต่อปี

วิธีการตลาดกาแฟอาราบิก้าในภาคเหนือของประเทศไทยปี พ.ศ.2544 เกษตรกรจะขาย ผลผลิตให้พ่อค้าท้องถิ่น หน่วยงานพัฒนาที่สูง และพ่อค้าในเมืองร้อยละ 53 31 และ 16 ตามลำดับ สำหรับระบบการปลูกที่เหมาะสมคือ การปลูกกาแฟเป็นพืชเชิงเดี่ยว และความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อกาแฟอาราบิก้าในร้านกาแฟ

ชั้นดีพบว่ามีความมากกว่าร้อยละ 80 ผลการศึกษาเหล่านี้จะนำมาพิจารณาสรุปหาแนวทางการพัฒนาการผลิตกาแฟอาราบิก้าต่อไป (อวยพร เพชรหลายสี. 2546)

จังหวัดลำปาง ตั้งอยู่ภาคเหนือของประเทศไทย เป็นจังหวัดหนึ่งที่มีการปลูกกาแฟพันธุ์อาราบิก้า โดยจากข้อมูลปี พ.ศ.2555 มี 4 อำเภอที่ปลูกคือ อำเภอแม่ทะ เนื้อที่ปลูก 470 ไร่, อำเภองาว เนื้อที่ปลูก 3 ไร่, อำเภอแจ้ห่ม เนื้อที่ปลูก 6 ไร่ และอำเภอเมืองปาน เนื้อที่ปลูก 600 ไร่ รวมทั้งสิ้น 1,079 ไร่ (ฐานข้อมูลเพื่อพัฒนาห่วงโซ่อุปทานของกาแฟอาราบิก้าในภาคเหนือของประเทศไทย.2555 : ออนไลน์) อำเภอแม่เมะมีเนื้อที่ปลูก 660 ไร่ อำเภอแม่ทะมีเนื้อที่ปลูก 250 ไร่, อำเภอแจ้ห่มมีเนื้อที่ปลูก 1,935 ไร่ และอำเภอเมืองปานมีเนื้อที่ปลูก 17,400 ไร่ รวมทั้งสิ้น 20,245 ไร่ ผลผลิตต่อไร่ 160 กิโลกรัมผลผลิตรวม 3,239.20 ตัน (สำนักงานเกษตรจังหวัดลำปาง.2556 : ออนไลน์) ซึ่งจะเห็นได้ว่ามีการขยายตัวของพื้นที่เพาะปลูกกาแฟอย่างมาก เพิ่มขึ้นประมาณ 19,000 ไร่

ดังนั้น เพื่อให้การวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เพื่อหาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องดำเนินการจัดเก็บรวบรวมข้อมูล การจัดทำฐานข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการบูรณาการกับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในระดับพื้นที่ รวมทั้งการนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) มาประยุกต์ใช้อย่างเป็นระบบ เพื่อใช้เป็นฐานข้อมูลในการวิเคราะห์และคำนวณหาพื้นที่ที่มีความเหมาะสมต่อการปลูกกาแฟ

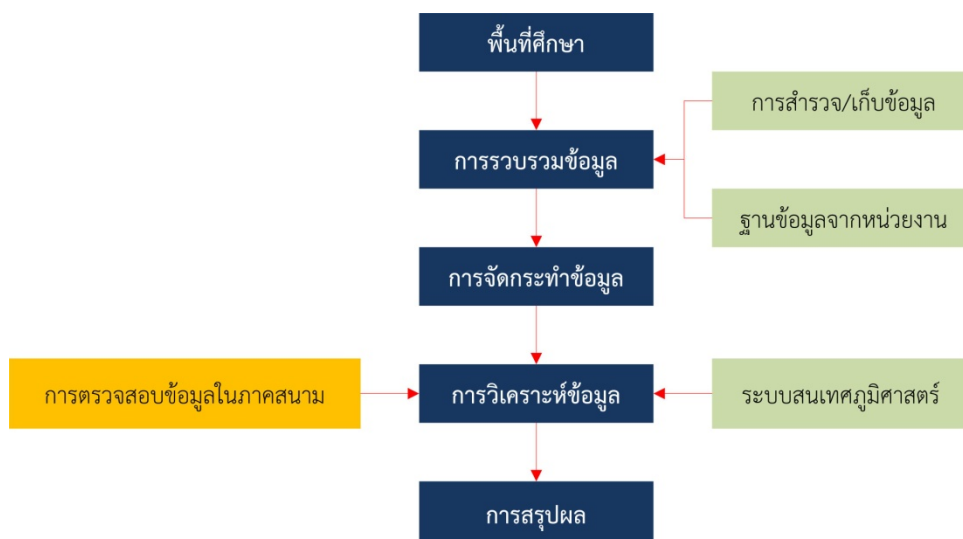
## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์มาวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ
2. เพื่อจัดทำแผนที่พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ
3. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาในพื้นที่บริเวณอื่นต่อไป
4. เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาวิจัยต่อของหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้อง

## 3. กรอบแนวคิดในการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ เป็นการดำเนินการจัดเก็บรวบรวมข้อมูล การจัดทำฐานข้อมูลปัจจัยด้านต่างๆ และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการบูรณาการกับหน่วยงานต่างๆ ที่เกี่ยวข้องในระดับพื้นที่ โดยนำระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) มาประยุกต์ใช้วิเคราะห์เชิงพื้นที่อย่างเป็นระบบ และคำนวณหาพื้นที่ที่มีความเหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ ซึ่งอยู่ภายใต้กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัยดังนี้

### กรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย



#### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการดำเนินงานวิจัยนั้น ผู้วิจัยมีแผนงานการวิจัยและดำเนินการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ

- ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา
- เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา
- การเก็บรวบรวมข้อมูล
- การจัดกระทำและการวิเคราะห์ข้อมูล
- สรุปผลการวิจัย

**ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา** ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ประกอบไปด้วย

1.1 แผนที่ดิจิทัลแสดงภูมิประเทศ มาตรฐานส่วน 1 : 50,000 ของกรมแผนที่ทหารลำดับชุด L7018 จำนวน 31 ระวัง ประกอบด้วยระวาง 4947IV, 4947II, 4947III, 4847II, 5046IV, 4946I, 4946IV, 4846I, 5046III, 4946II, 4946III, 4846II, 5045IV, 4945I, 4945IV, 4845I, 4845IV, 4945II, 4945III, 4845II, 4845III, 4944IV, 4844I, 4844IV, 4844II, 4744II, 4844III, 4843I, 4743I, 4843IV และ 4843II

1.2 ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 ระบบ ETM+ บันทึกเมื่อปี 2554 Path 130/ Row 047, Path 131/ Row 047, Path 130/ Row 048 และ Path 131/ Row 048 มาตรฐานส่วน 1:50,000 จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

1.3 แผนที่แสดงขอบเขตของตำบล มาตรฐานส่วน 1 : 50,000 ของกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย

1.4 แผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน มาตรฐานส่วน 1 : 50,000 ของกรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม

1.5 แผนที่ธรณีวิทยาพื้นที่จังหวัดลำปาง มาตรฐานส่วน 1 : 50,000 จากกรมทรัพยากรธรณี

1.6 แผนที่แสดงขอบเขตการปกครองระดับจังหวัด อำเภอ และตำบล มาตรฐานส่วน 1 : 50,000 กรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม

1.7 แผนที่ชุดดินบริเวณจังหวัดลำปาง มาตรฐานส่วน 1 : 50,000 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

1.8 แผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่จังหวัดลำปาง 1 : 50,000 ปี กรมแผนที่ทหาร

1.9 แผนที่แสดงแม่น้ำ,แหล่งน้ำของพื้นที่จังหวัดลำปาง 1 : 50,000 กรมส่งเสริมคุณภาพและ

สิ่งแวดล้อม

### เครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาเพื่อวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟในบริเวณพื้นที่จังหวัดลำปาง ประกอบด้วยเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษา และ แหล่งข้อมูลดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์ ได้แก่ เครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล เครื่องพิมพ์สี (Color Laser Printer) เครื่องระบุตำแหน่งพิกัดภูมิศาสตร์ (Global Positioning System) แผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map)

- ชุดโปรแกรมสำเร็จรูป ได้แก่ โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ และ โปรแกรมวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียม

- รวบรวมข้อมูลเอกสารงานศึกษาวิจัย บทความที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อในการศึกษา จากหอสมุดมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ หอสมุดมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ หอสมุดแห่งชาติและหอสมุดสภาวิจัยแห่งชาติ

- รวบรวมข้อมูลอุตุนิยมิวิทยาและจุดตรวจวัดทางอุตุนิยมิวิทยา ได้แก่ ข้อมูลปริมาณน้ำฝน, ข้อมูลอุณหภูมิจากกรมอุตุนิยมิวิทยา

- รวบรวมข้อมูลแผนที่เชิงตัวเลขในปัจจัยต่างๆ จากหน่วยงานราชการและองค์กรต่างๆ

### การเก็บข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่

- การสำรวจภาคสนาม เก็บข้อมูลปฐมภูมิ

- แผนที่ภูมิประเทศ L7018 มาตรฐาน 1:50,000 จากกรมแผนที่ทหาร 31 ระวัง

- ข้อมูลตำแหน่งที่ตั้งสถานีตรวจวัดน้ำฝนและปริมาณน้ำฝน จากกองอุตุนิยมิวิทยา กรมอุตุนิยมิวิทยา

- ข้อมูลจากกรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม ได้แก่ฐานข้อมูลสารสนเทศภูมิศาสตร์ พื้นที่ด้านทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ จำนวน 10 กลุ่มชั้นข้อมูล

- ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 ระบบ ETM+ จากสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน)

- ข้อมูลแผนที่แสดงขอบเขตของตำบล มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย

- ข้อมูลแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม และกรมพัฒนาที่ดิน

- ข้อมูลแผนที่แสดงความลาดชันของพื้นที่จังหวัดลำปาง 1 : 50,000 กรมแผนที่ทหาร

- ข้อมูลแผนที่ชุดดินบริเวณพื้นที่จังหวัดลำปาง มาตรฐาน 1:50,000 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์

- ข้อมูลแผนที่แสดงแม่น้ำ,แหล่งน้ำของพื้นที่จังหวัดลำปาง 1 : 50,000 กรมส่งเสริมคุณภาพและสิ่งแวดล้อม

### การจัดกระทำข้อมูล

การศึกษาในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ใช้และ โปรแกรมวิเคราะห์ภาพจากดาวเทียม และใช้โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์และเป็นเครื่องมือจัดการ นำเข้า ประมวลผล วิเคราะห์ และแสดงข้อมูลที่เกี่ยวข้องประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ อาทิ

#### - ด้านรีโมตเซนซิง (Remote Sensing)

1. การผสมสี (Color Composite Image) เป็นการนำข้อมูลของช่วงคลื่น 3 ช่วงคลื่นที่แตกต่างกันมาผสมเพื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลจำแนกพื้นที่การใช้ที่ดินจังหวัดลำปาง

2. การจำแนกประเภทข้อมูล คือ การทำการแปลภาพจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT 7 ระบบ ETM+ บันทึทปี 2554 Path 130/ Row 047, Path 131/ Row 047, Path 130/ Row 048 และ Path 131/ Row 048 มาตราส่วน 1:50,000

#### - ด้านระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

1. ตรวจสอบและจัดข้อมูลทางด้านระบบสารสนเทศจากหน่วยงานต่างๆ เพื่อให้อยู่ในพิกัด Universal Transverse Mercator (UTM)

2. การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ ในการจัดทำชั้นแผนที่ของตัวแปรต่างๆ โดยกรรมวิธีการจัดการฐานข้อมูลระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ได้แก่ การนำเข้าข้อมูล การปรับปรุงคุณภาพข้อมูล การตรวจสอบและแก้ไขข้อมูล ทั้งที่เป็นข้อมูลเชิงเส้น และข้อมูลเชิงอธิบาย เพื่อนำไปใช้ในการกำหนดพื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ ในบริเวณพื้นที่จังหวัดลำปาง โดยใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์

3. การเตรียมข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ โดยการกำหนด coverage ให้ตรงกับปัจจัยต่างๆ เพื่อนำไปสู่การกำหนดพื้นที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ ในบริเวณพื้นที่จังหวัดลำปาง

- ปัจจัยที่ 1 คือ อุณหภูมิ
- ปัจจัยที่ 2 คือ ปริมาณน้ำฝน
- ปัจจัยที่ 3 คือ ความอุดมสมบูรณ์ของดิน
- ปัจจัยที่ 4 คือ ความเป็นกรดและด่างของดิน
- ปัจจัยที่ 5 คือ ความลึกของดิน
- ปัจจัยที่ 6 คือ ความสามารถในการระบายน้ำของดิน
- ปัจจัยที่ 7 คือ ความลาดชันของดิน

4. ใช้ฟังก์ชันในการจัดกระทำข้อมูลเชิงพื้นที่ของโปรแกรมเช่น TIN,Grid,Create Contour

5. การให้คะแนนและค่าความสำคัญของปัจจัยแต่ละปัจจัย

6. การใช้ฟังก์ชันการซ้อนทับข้อมูล

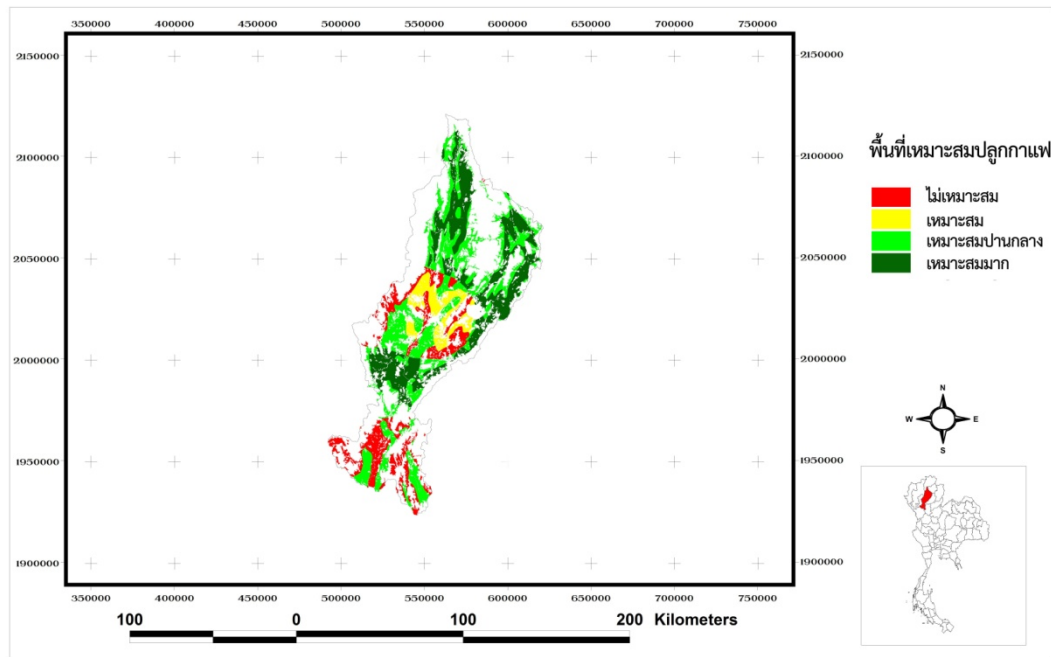
7. การกำหนดช่วงคะแนนและประเมินพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟในบริเวณพื้นที่จังหวัด

ลำปาง

### 5. สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเพื่อศึกษาวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟได้ผลการศึกษาแบ่งออกเป็น ผลการศึกษาวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟระดับต่างๆ ในจังหวัดลำปาง และผลการศึกษาวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟระดับต่างๆ แยกรายอำเภอในจังหวัดลำปาง

### สรุปผลการศึกษาวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟระดับต่างๆ ในจังหวัดลำปาง



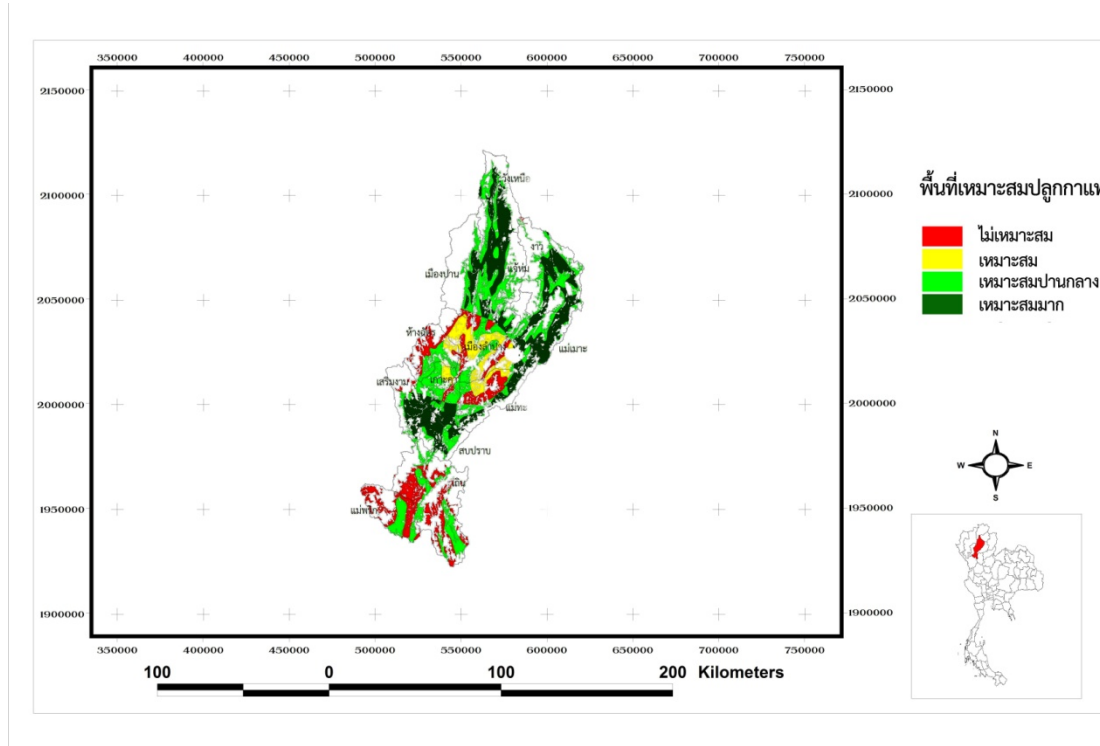
ภาพประกอบที่ 1 แผนที่พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟระดับต่างๆ ในจังหวัดลำปาง

ผลการศึกษาพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟระดับต่างๆ ในจังหวัดลำปางซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 12,507.48 ตารางกิโลเมตร หรือ 7,817,175 ไร่พบว่าพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟในระดับต่างๆ ในจังหวัดลำปาง พบว่าพื้นที่ที่สามารถนำมาพิจารณาเพื่อความเหมาะสมในการปลูกกาแฟได้นั้น มีพื้นที่เหมาะสมปานกลางสำหรับปลูกกาแฟมีพื้นที่มากที่สุดคือ 2,552.77 ตารางกิโลเมตร (1,595,481.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 39.70 ของพื้นที่ที่สามารถนำมาพิจารณาเพื่อความเหมาะสมในการปลูกกาแฟได้ รองลงมาได้แก่พื้นที่เหมาะสมมากสำหรับปลูกกาแฟมีพื้นที่คือ 2,184.20 ตารางกิโลเมตร (1,365,125.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 33.97 ของพื้นที่ที่สามารถนำมาพิจารณาเพื่อความเหมาะสมในการปลูกกาแฟได้ ถัดมาได้แก่พื้นที่ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ มีพื้นที่คือ 1,167.59 ตารางกิโลเมตร (729,743.75 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 18.15 ของพื้นที่ที่สามารถนำมาพิจารณาเพื่อความเหมาะสมในการปลูกกาแฟได้ และท้ายที่สุดได้แก่พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ มีพื้นที่น้อยที่สุดคือ 526.05 ตารางกิโลเมตร (328,781.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 8.18 ของพื้นที่ที่สามารถนำมาพิจารณาเพื่อความเหมาะสมในการปลูกกาแฟได้ ตามลำดับ

จะเห็นได้ว่าจังหวัดลำปางมีพื้นที่ที่สามารถส่งเสริมปลูกกาแฟอาราบิก้าได้เป็นอย่างดีเนื่องจากจากมีระดับความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกกาแฟมากที่สุดตามลำดับที่มากที่สุด รวมทั้งรองลงมาเป็นพื้นที่ที่มีความเหมาะสมของพื้นที่ในการปลูกกาแฟปานกลาง ซึ่งคิดรวมเป็นเนื้อที่ถึงร้อยละ 73.67 ของพื้นที่ที่สามารถนำมาพิจารณาใช้เพื่อปลูกกาแฟ โดยอยู่ในพื้นที่ทางตอนเหนือและตอนกลางของจังหวัดลำปางเป็นส่วนใหญ่ จากการมีลักษณะภูมิประเทศ ภูมิอากาศและสภาพกายภาพที่เอื้ออำนวยต่อการปลูกกาแฟพันธุ์นี้ เพราะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นที่ราบสูง มีภูเขาสูงอยู่ทั่วไป ส่วนบริเวณตอนกลางของจังหวัด เขตที่มีระดับความสูงตั้งแต่ 200-500

เมตร ดินบริเวณนี้ส่วนใหญ่มีความอุดมสมบูรณ์และมีคุณภาพดี เหมาะแก่การเพาะปลูกเป็นแหล่งเกษตรกรรมที่สำคัญของจังหวัดลำปาง

สรุปผลการศึกษาวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟระดับต่างๆ แยกรายอำเภอในจังหวัดลำปาง



ภาพประกอบที่ 2 แผนที่พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟระดับต่างๆ แยกรายอำเภอในจังหวัดลำปาง

ผลการศึกษาพื้นที่ที่เหมาะสมแยกเป็นรายอำเภอในจังหวัดลำปาง พบว่าพื้นที่ที่ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟในแต่ละอำเภอของจังหวัดลำปาง พบว่า พื้นที่อำเภอที่ไม่เหมาะสมที่มีพื้นที่มากที่สุดจนถึงน้อยที่สุดคือ อำเภอเถิน มีพื้นที่ 415.97 ตารางกิโลเมตร (259,981.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 35.626 ถัดมาได้แก่ อำเภอแม่พริก มีพื้นที่ 223.30 ตารางกิโลเมตร (139,562.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 19.125 อำเภอแม่ทะ มีพื้นที่ 161.49 ตารางกิโลเมตร (100,931.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 13.831 อำเภอเมืองลำปาง มีพื้นที่ 141.08 ตารางกิโลเมตร (88,175.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 12.083 อำเภอห้างฉัตร มีพื้นที่ 127.15 ตารางกิโลเมตร (79,468.75 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 10.890 อำเภอเกาะคา มีพื้นที่ 25.01 ตารางกิโลเมตร (15,631.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 2.142 อำเภอแม่เมาะ มีพื้นที่ 24.18 ตารางกิโลเมตร (15,112.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 2.071 อำเภอแจ้ห่ม มีพื้นที่ 17.70 ตารางกิโลเมตร (11,062.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 1.516 อำเภอเมืองปาน มีพื้นที่ 16.82 ตารางกิโลเมตร (10,512.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 1.441 อำเภอเสริมงาม มีพื้นที่ 13.13 ตารางกิโลเมตร (8,206.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 1.125 และน้อยที่สุดคืออำเภองาว มีพื้นที่ 1.76 ตารางกิโลเมตร (1,100.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 0.151 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีอีก 3 อำเภอซึ่งไม่มีพื้นที่ในระดับที่ไม่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ คืออำเภอแจ้ห่ม อำเภอวังเหนือ และอำเภอสบปราบ

พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟในแต่ละอำเภอของจังหวัดลำปาง พบว่า พื้นที่อำเภอที่เหมาะสมที่มีพื้นที่มากที่สุดจนถึงน้อยที่สุดคือ อำเภอเมืองลำปาง มีพื้นที่ 329.17 ตารางกิโลเมตร (205,731.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 62.575 ถัดมาได้แก่ อำเภอแม่ทะ มีพื้นที่ 87.75 ตารางกิโลเมตร (54,843.75 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 16.681 อำเภอเกาะคา มีพื้นที่ 45.27 ตารางกิโลเมตร (28,293.75 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 8.606 อำเภอแม่เมาะมีพื้นที่ 31.35

ตารางกิโลเมตร (19,593.75 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 5.960 อำเภอห้างฉัตร มีพื้นที่ 29.28 ตารางกิโลเมตร (18,300.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 5.566 อำเภอเมืองปาน มีพื้นที่ 3.08 ตารางกิโลเมตร (15,631.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 0.586 และน้อยที่สุดคืออำเภอเถิน มีพื้นที่ 0.14 ตารางกิโลเมตร (87.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 0.027 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีอีก 6 อำเภอซึ่งไม่มีพื้นที่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ คือ อำเภอแม่พริก อำเภอแจ้ห่ม อำเภอเสริมงาม อำเภอวังเหนือ อำเภอสบปราบ และอำเภองาว

พื้นที่เหมาะสมปานกลางสำหรับปลูกกาแฟในแต่ละอำเภอของจังหวัดลำปาง พบว่า พื้นที่อำเภอที่เหมาะสมที่มีพื้นที่มากที่สุดจนถึงน้อยที่สุดคือ อำเภอแจ้ห่ม มีพื้นที่ 369.53 ตารางกิโลเมตร (230,956.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 14.476 ถัดมา ได้แก่ อำเภอเถิน มีพื้นที่ 337.17 ตารางกิโลเมตร (210,731.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 13.208 อำเภองาว มีพื้นที่ 274.31 ตารางกิโลเมตร (171,443.75 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 10.746 อำเภอเกาะคา มีพื้นที่ 247.59 ตารางกิโลเมตร (154,743.75 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 9.699 อำเภอเมืองลำปาง มีพื้นที่ 225.80 ตารางกิโลเมตร (141,125.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 8.845 อำเภอวังเหนือ มีพื้นที่ 180.52 ตารางกิโลเมตร (112,825.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 7.072 อำเภอแม่เมาะ มีพื้นที่ 164.86 ตารางกิโลเมตร (103,037.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 6.458 อำเภอแม่พริก มีพื้นที่ 163.00 ตารางกิโลเมตร (101,875.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 6.385 อำเภอห้างฉัตร มีพื้นที่ 149.83 ตารางกิโลเมตร (101,875.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 5.869 อำเภอเมืองปาน มีพื้นที่ 134.73 ตารางกิโลเมตร (84,206.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 5.278 อำเภอแม่ทะ มีพื้นที่ 123.69 ตารางกิโลเมตร (77,306.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 4.845 อำเภอสบปราบ มีพื้นที่ 102.05 ตารางกิโลเมตร (63,781.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 3.998 และน้อยที่สุดคืออำเภอเสริมงาม มีพื้นที่ 79.69 ตารางกิโลเมตร (49,806.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 3.122 ตามลำดับ

ส่วนพื้นที่เหมาะสมมากสำหรับปลูกกาแฟในแต่ละอำเภอของจังหวัดลำปาง พบว่า พื้นที่อำเภอที่เหมาะสมที่มีพื้นที่มากที่สุดจนถึงน้อยที่สุดคือ อำเภอแม่เมาะ มีพื้นที่ 383.85 ตารางกิโลเมตร (239,906.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 17.574 ถัดมา ได้แก่ อำเภองาว มีพื้นที่ 372.00 ตารางกิโลเมตร (232,500.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 17.031 อำเภอแจ้ห่ม มีพื้นที่ 329.02 ตารางกิโลเมตร (205,637.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 15.064 อำเภอวังเหนือ มีพื้นที่ 291.90 ตารางกิโลเมตร (182,437.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 13.364 อำเภอเสริมงาม มีพื้นที่ 238.68 ตารางกิโลเมตร (149,175.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 10.928 อำเภอสบปราบ มีพื้นที่ 203.95 ตารางกิโลเมตร (127,468.75 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 9.338 อำเภอแม่ทะ มีพื้นที่ 123.90 ตารางกิโลเมตร (77,437.50 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 5.673 อำเภอเมืองปาน มีพื้นที่ 106.41 ตารางกิโลเมตร (66,506.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 4.872 อำเภอเกาะคา มีพื้นที่ 83.97 ตารางกิโลเมตร (52,481.25 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 3.844 และน้อยที่สุดคืออำเภอเมืองลำปาง มีพื้นที่ 50.52 ตารางกิโลเมตร (31,575.00 ไร่) คิดเป็นร้อยละ 2.313 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีอีก 3 อำเภอซึ่งไม่มีพื้นที่ในระดับที่เหมาะสมมากสำหรับปลูกกาแฟ คือ อำเภอเถิน อำเภอแม่พริก อำเภอห้างฉัตร

โดยทั้งนี้จังหวัดลำปางมีพื้นที่ที่สามารถส่งเสริมปลูกกาแฟอาราบิก้าได้เป็นอย่างดีมาก ในพื้นที่ระดับเหมาะสมมากที่สุดสำหรับปลูกกาแฟถึง 10 อำเภอ คืออำเภอแม่เมาะ อำเภองาว อำเภอแจ้ห่ม อำเภอวังเหนือ อำเภอเสริมงาม อำเภอสบปราบ อำเภอแม่ทะ อำเภอเมืองปาน อำเภอเกาะคา อำเภอเมืองลำปาง โดยอยู่ในพื้นที่ทางตอนเหนือและตอนกลางของจังหวัดลำปางเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งในปัจจุบันก็มีพื้นที่ที่ปลูกกาแฟอาราบิก้าอยู่ในอำเภอที่กล่าวมาข้างต้นเพียง 5,514 ไร่ จากพื้นที่ระดับเหมาะสมมากที่สุดสำหรับปลูกกาแฟคือ 1,595,481.25 ไร่ (2,552.77 ตารางกิโลเมตร) คิดเป็นเพียงร้อยละ 0.35 ของพื้นที่ดังกล่าว



## 6. ข้อเสนอแนะเชิงวิชาการ

ส่วนของข้อเสนอแนะในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีข้อเสนอแนะบางประการ หรือเป็นแนวทางเพื่อประโยชน์สำหรับการวิจัยด้านนี้ต่อไป เช่น

- ทำการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟ โดยเพิ่มปัจจัยอื่นๆ ในการวิเคราะห์ เช่น
  - ปริมาณธาตุอาหารในดิน
  - ความสามารถในการซึมน้ำของดิน
  - อัตราการชะล้างพังทลายของดิน เป็นต้น
- ทำการวิเคราะห์พื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับปลูกกาแฟในระดับตำบล หมู่บ้าน

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ที่มอบทุนสนับสนุนการทำวิจัยนี้จากงบประมาณเงินรายได้ ประจำปี 2557

## 8. เอกสารอ้างอิง

ฐานข้อมูลเพื่อพัฒนาห่วงโซ่อุปทานของกาแฟอาราบิก้าในภาคเหนือของประเทศไทย สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มีนาคม

2557, จาก [http://www.ntacbase.com/Lpa\\_Wn.asp](http://www.ntacbase.com/Lpa_Wn.asp)

สำนักงานเกษตรจังหวัดลำปาง. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 มกราคม 2558, จาก <http://www.moac->

[info.net/modules/reports/R601.php](http://www.moac-info.net/modules/reports/R601.php)

ศูนย์ศึกษาการค้าระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, ภาพรวมสถานการณ์เมล็ดกาแฟของไทยเมื่อเปิด

AEC บทความและบทวิเคราะห์ AEC 11 มีนาคม 2555. สืบค้นเมื่อวันที่ 12 มีนาคม 2557, จาก

<http://www.thai-aec.com/56>

อวยพร เพชรหลายสี. 2546. แนวทางการพัฒนาการผลิตกาแฟอาราบิก้า. กรุงเทพมหานคร : กลุ่มวิจัยพืชน้ำมัน

และพืชตระกูลถั่วส่วนวิจัยพืชไร่, สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร

ผลกระทบของการทอริแฟคชันร่วมต่อคุณสมบัติของกากกาแฟและชานอ้อยเพื่อเพิ่ม  
คุณภาพเชื้อเพลิงแข็ง

EFFECT OF CO-TORREFACTION ON THE PROPERTIES OF SPENT  
COFFEE GROUNDS AND SUGARCANE BAGASSE TO UPGRADE  
SOLID FUEL QUALITIES

อัจฉราพร เย็นทรวง

นิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

E-mail: atcharaporn.y@ku.th

เกียรติศักดิ์ ศรีเมือง

นิสิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

E-mail: kiattisak.sri1@ku.th

กนิต มานะฐระ\*

อาจารย์ประจำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

\*Corresponding author E-mail: kanitmana@gmail.com

บทคัดย่อ

การทอริแฟคชันเป็นการปรับสภาพชีวมวลด้วยความร้อนภายใต้สภาวะอากาศเฉื่อย ที่อุณหภูมิระหว่าง 200 °C ถึง 300 °C ที่ความดันบรรยากาศ งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลกระทบของการทอริแฟคชันร่วมระหว่างกากกาแฟและชานอ้อย ที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักเท่ากับ 75:25 50:50 และ 25:75 ตามลำดับ ภายใต้อุณหภูมิทอริแฟคชันที่ 200 250 และ 300°C ระยะเวลา 60 นาที พบว่ากากกาแฟผสมที่ผ่านการทอริแฟคชันร้อยละ 25 ถึง 50 ให้ค่าประสิทธิภาพทอริแฟคชันที่สูง โดยมีค่า ผลผลิตเชิงพลังงาน ดัชนีการปรับปรุงพลังงาน และค่าดัชนีชี้วัดร่วมระหว่างมวลและพลังงาน เท่ากับร้อยละ 56 – 89, 64 – 219 kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> และ 1 – 21 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ทอริแฟคชันร่วม, ค่าความร้อนสูง, ดัชนีการปรับปรุงพลังงาน, กากกาแฟ, ชานอ้อย

ABSTRACT

Torrefaction is the biomass adjustment process using heat under anaerobic conditions at temperatures between 200 and 300°C at atmospheric pressure. This research studied the effect of co-torrefaction on spent

coffee grounds and sugarcane bagasse at the weight ratio of 75:25, 50:50 and 25:75, respectively, under the temperature of 200, 250 and 300°C for 60 minutes. Results showed spent coffee grounds had been subjected from 25% up to 50%, providing high torrefaction efficiency in terms of energy yields, upgrading energy index (UEI) and energy-mass co-benefit index (EMCI) equal to 56% – 89%, 64 – 219 kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> and 1 - 21, respectively.

**Keywords:** Co-torrefaction, HHV, UEI, Spent coffee grounds, Sugarcane bagasse

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

พลังงานนับเป็นปัญหาใหญ่ในประเทศ และนับวันจะมีผลกระทบต่อการพัฒนาของประเทศไทยมากขึ้น เชื้อเพลิงต่าง ๆ ที่นำมาใช้ผลิตกระแสไฟฟ้า เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน จะมีปริมาณน้อยลงและคงหมดไปในอนาคต นอกจากนี้ราคาของเชื้อเพลิงยังมีความผันผวนไปในแนวทางที่สูงขึ้น ตามสถานการณ์ทางเศรษฐกิจ ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะคิดค้นแหล่งพลังงานใหม่ ๆ ที่ประหยัดและไม่มีวันหมดสิ้น นั่นก็คือพลังงานทดแทน

พลังงานทดแทน หมายถึง พลังงานที่นำมาใช้แทนน้ำมันเชื้อเพลิง สามารถแบ่งตามแหล่งที่ได้มาเป็น 2 ประเภท คือ พลังงานทดแทนจากแหล่งที่ใช้แล้วหมดไป ได้แก่ พอสซิดัล ปีโตเลียม และหินน้ำมัน เป็นต้น พลังงานทดแทนอีกประเภทหนึ่ง เป็นแหล่งพลังงานที่ใช้แล้วสามารถหมุนเวียนมาใช้ได้อีก เรียกว่า พลังงานหมุนเวียน ได้แก่ แสงอาทิตย์ ลม ชีวมวล น้ำ และไฮโดรเจน เป็นต้น เป็นพลังงานที่สะอาด ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (ภาสกร (2554))

โดยส่วนใหญ่แล้ว โรงงานอุตสาหกรรมจะใช้พลังงานทดแทนประเภทพลังงานชีวมวลเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากจะช่วยลดพื้นที่ในการเก็บชีวมวลและไม่ต้องติดตั้งอุปกรณ์เพิ่ม สามารถนำชีวมวลมาเผาแทนถ่านหินได้ การเพิ่มประสิทธิภาพของชีวมวลทำได้จากการแปรสภาพชีวมวล โดยใช้ความร้อนสามารถแบ่งเป็น กระบวนการเผาไหม้ กระบวนการผลิตก๊าซเชื้อเพลิง กระบวนการไพโรไลซิส และกระบวนการทอริแฟคชัน โดยแต่ละแบบจะมีวิธีและผลลัพธ์ที่ได้แตกต่างกัน สำหรับกระบวนการทอริแฟคชันจะได้ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบของของแข็งออกมามากที่สุด (Prins et al. (2006)) จึงเลือกมาทำการศึกษาในงานวิจัยนี้

กระบวนการทอริแฟคชันเป็นกระบวนการไพโรไลซิสที่อุณหภูมิช่วง 200°C ถึง 300°C ที่สภาวะบรรยากาศที่ไร้ออกซิเจน จากสมดุลมวลและพลังงานสำหรับกระบวนการทอริแฟคชัน จะพบว่ามีมวลที่เหลืออยู่ในผลิตภัณฑ์ซึ่งเป็นของแข็งร้อยละ 70 และมวลที่ถูกเปลี่ยนไปเป็นก๊าซร้อยละ 30 ผลผลิตเชิงพลังงานจะเหลือ 90% จากการทอริแฟคชัน ซึ่งมีพลังงานสูญเสียไปเพียงร้อยละ 10 (ดุษฎีพร (2556))

จากข้อมูลของกองส่งเสริมการค้าสินค้าเกษตร ในปี 2560-2561 ประเทศไทยมีการผลิตอ้อยถึง 135.9 ล้านตัน และผลิตกากแผล 10,948 ตัน ((กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2556)) ซึ่งขานอ้อยที่เหลือจากกระบวนการแปรรูปอ้อยเป็นน้ำตาลถูกนำไปผลิตเอทานอล ใช้ทำไม้อัดและนำไปทิ้งเป็นส่วนใหญ่ ส่วนกากกาแผล นำไปทำเป็นปุ๋ย ชัดผิว หรือกำจัดกลิ่นอับ ซึ่งไม่คุ้มค่า การนำขานอ้อยและกากกาแผลที่เหลือใช้มาผ่านกระบวนการทอริแฟคชันนั้น จะเป็นการเพิ่มมูลค่าให้ขานอ้อยกับกากกาแผลเหลือทิ้งเหล่านี้ ดังปรากฏในหลายงานวิจัยที่นำกระบวนการทอริแฟคชันมาใช้ในการเพิ่มมูลค่าชีวมวล

Chen et al. (2012) ศึกษาการทอริแฟคชัน ไม้ไผ่ น้ำมันปาล์ม แกลบ ขานอ้อย และอัลมอนต์มาดักคาร์บอนที่อุณหภูมิ 250 และ 300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อทำการเปรียบเทียบกับถ่านหินบิทูมินัสที่ระเหยได้ง่าย โดยใช้วิธี

Ultimate Analysis ในการวิเคราะห์องค์ประกอบธาตุในชีวมวล ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า การลดอะตอมคาร์บอนในชีวมวล มีค่าน้อยกว่าของอะตอมไฮโดรเจนและออกซิเจน การทอริแฟคชันยังคงปริมาณกำมะถันในไม้ไผ่และน้ำมันปาล์มมากกว่า ร้อยละ 33 และพบว่าที่อุณหภูมิ 300°C สามารถเปลี่ยนชีวมวลให้เป็นเชื้อเพลิงแข็งคล้ายกับถ่านหินบิทูมินัสที่ระเหยได้ง่าย ซึ่งสามารถเป็นเชื้อเพลิงที่ประยุกต์ใช้ได้กับอุตสาหกรรมเตาหลอม

Poudelet et al. (2017) ศึกษาการทอริแฟคชัน เศษไม้ที่มีลิกโนเซลลูโลส และกากตะกอนของน้ำเสียที่ไม่ใช่ลิกโนเซลลูโลสเพื่อนำมาผสมกัน ที่อุณหภูมิ 200 ถึง 450°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิต่อผลผลิตเชิงมวล, ผลผลิตเชิงพลังงาน, ค่าความร้อนสูง (HHV) และองค์ประกอบธาตุ พบว่า อัตราการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสและส่วนประกอบอินทรีย์ในองค์ประกอบลิกโนเซลลูโลส และองค์ประกอบที่ไม่ใช่ลิกโนเซลลูโลสมีบทบาทสำคัญในการกำหนดลักษณะของผลิตภัณฑ์ นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้มีการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ก่อนข้างต่ำ และไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีค่าความร้อนเหลืออยู่เป็นข้อได้เปรียบสำคัญอย่างหนึ่งในการนำชีวมวลสองชนิดมาผสมกัน

Zhang et al. (2018) ศึกษาประสิทธิภาพการทอริแฟคชัน กากกาแฟ ยาจีน และสาหร่ายขนาดเล็กจากการวิเคราะห์กากกาแฟ พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจากการทอริแฟคชัน ทำให้ค่า HHV เพิ่มขึ้น ผลผลิตเชิงพลังงานและอัตราส่วนของ H/C และ O/C ลดลง นอกจากนี้ การทอริแฟคชันแสดงให้เห็นถึงการสูญเสียน้ำหนักทางกายภาพของชีวมวล

Zhang et al. (2019) ศึกษาประสิทธิภาพการทอริแฟคชันเปลือกชีวมวลสามชนิด ได้แก่ walnut, xanthoceras sorbifolia และ sapindus mukorossi ที่อุณหภูมิ 250 และ 300 °C เป็นเวลา 10 – 30 นาที และความเข้มข้นของออกซิเจนที่ร้อยละ 0 - 21 ผลการวิจัยชี้ให้เห็นว่า เปลือกชีวมวลมีการเพิ่มปริมาณคาร์บอนซึ่งเกิดจากการสูญเสียน้ำหนักของความชื้นและเฮมิเซลลูโลสในชีวมวล การทอริแฟคชันที่มีความเข้มข้นของออกซิเจนและระยะเวลาที่สั้นลงทำให้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงขึ้น และค่าดัชนีการปรับปรุงพลังงาน (Upgrading Energy Index, UEI) มีแนวโน้มลดลง ค่า Energy-Mass Co-Benefit Index (EMCI) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ผลการทดลองที่อุณหภูมิ 250°C แสดงให้เห็นว่ามีอิทธิพลของความเข้มข้นของออกซิเจนค่อนข้างน้อย ซึ่งชีวมวลที่ทอริแฟคชันร่วมกับอากาศเป็นระยะเวลา 20 นาทีที่มีความสมดุลของประสิทธิภาพการใช้พลังงานและมวลเชื้อเพลิง

จากข้อมูลเบื้องต้นพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำชีวมวลมาผสมรวมกันเพื่อใช้เป็นเชื้อเพลิงแล้วนำไปปรับสภาพทางความร้อนโดยกระบวนการทอริแฟคชันมีไม่มากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอผลการศึกษาผลกระทบของการทอริแฟคชันร่วมต่อคุณสมบัติของกากกาแฟและชานอ้อย ทั้งนี้เพื่อหาความเหมาะสมของกากกาแฟและชานอ้อยในการใช้เป็นเชื้อเพลิงแข็ง โดยทำการทดลองที่อัตราส่วนโดยน้ำหนักของกากกาแฟและชานอ้อยเท่ากับ 75:25 50:50 และ 25:75 ที่อุณหภูมิ 200 250 และ 300°C ตามลำดับ ระยะเวลาทอริแฟคชัน 60 นาที

## 2. วิธีการดำเนินการวิจัย

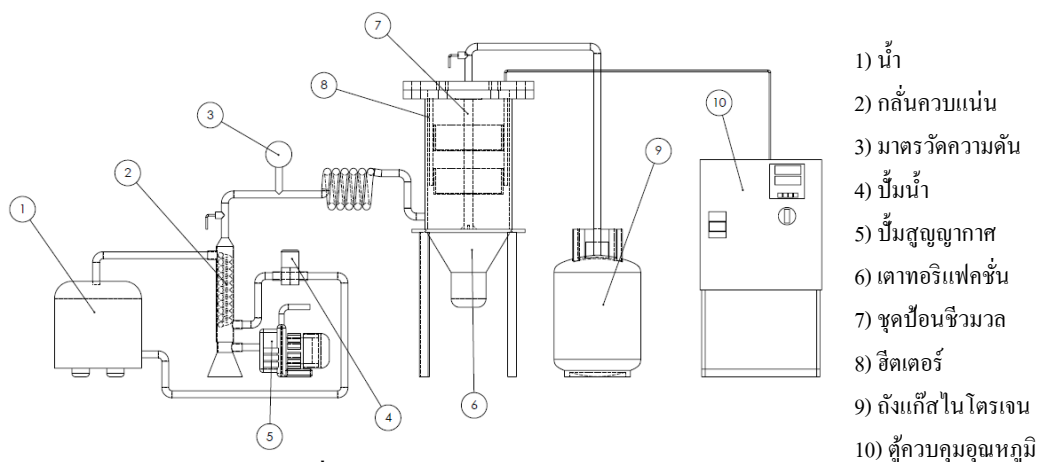
### การเตรียมชีวมวล

ตัวอย่างทดสอบที่นำมาใช้ในการศึกษาคือ กากกาแฟจากร้านอาหารและชานอ้อยจากศูนย์วิจัยและพัฒนาอ้อยและน้ำตาล มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ซึ่งชีวมวลทั้งสองถูกทำให้แห้งด้วยเครื่องอบลมร้อนที่อุณหภูมิเฉลี่ย 105°C โดยกากกาแฟใช้เวลา 7-9 ชั่วโมง ชานอ้อยใช้เวลา 22-24 ชั่วโมง นำชานอ้อยมาบดละเอียดและกรองผ่านกระชอนขนาด 300 nm จากนั้นนำมาผสมในอัตราส่วนร้อยละ โดยน้ำหนักของ

กากกาแฟ (C) ต่อชานอ้อย (B) ในอัตราส่วน 75:25 (C75:B25) 50:50 (C50:B50) และ 25:75 (C25:B75) โดยใช้ น้ำ เป็นตัวประสาน มีอัตราส่วนชีวมวลต่อน้ำที่ 1:1.15, 1:1.1 และ 1:1.2 ตามลำดับ หลังจากนั้นนำชีวมวลดังกล่าวไป ขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดเม็ดปุ๋ย ชีวมวลอัดเม็ดที่ขึ้นรูปแล้วมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร ความยาว 1 – 1.5 เซนติเมตร ชีวมวลอัดเม็ดถูกนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบที่อุณหภูมิเฉลี่ย 105°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เพื่อลดความชื้น จากนั้นเก็บชีวมวลอัดเม็ดดังกล่าวในภาชนะที่ปิดผนึกเพื่อป้องกันความชื้นก่อนและหลังการทดสอบ

#### กระบวนการทอริแฟกชัน

ในงานวิจัยนี้ทำการทดสอบประสิทธิภาพการทอริแฟกชันของกากกาแฟผสมชานอ้อย จากรูปที่ 1 แสดง ระบบการทอริแฟกชัน โดยมีหลักการทำงานดังนี้ ลำดับแรกทำการใส่ชีวมวล 100 กรัมลงไปในเตาบริเวณ หมายเลข 7 หลังจากนั้นปิดเตาให้แน่น แล้วจึงเปิดการทำงานของปั๊มสุญญากาศหมายเลข 5 เพื่อให้ภายในเตา เป็นสุญญากาศโดยตรวจดูที่มาตรวัดความดันหมายเลข 3 ให้ความดันภายในเตาคงที่ แล้วจึงปิดปั๊มสุญญากาศ หลังจากนั้นทำการปล่อยก๊าซไนโตรเจนหมายเลข 9 โดยใช้วาล์วควบคุมอัตราไหล หลังจากนั้นเปิดการทำงานที่ ตู้ควบคุมอุณหภูมิหมายเลข 10 โดยจ่ายไฟไปที่ฮีตเตอร์หมายเลข 8 เพื่อให้ความร้อนแก่เตาซึ่งควบคุมความร้อน จากเทอร์โมคัปเปิล อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในเตาแสดงที่ตู้ควบคุม ทำการทดลองตามอัตราส่วนและอุณหภูมิ ที่กำหนดไว้ หลังจากทดลองเสร็จทำการปิดอุปกรณ์ทั้งหมดแล้วเปิดปั๊มสุญญากาศอีกครั้ง เพื่อให้ น้ำมันดินไหล ออกมาจากท่อที่เจาะไว้โดยไหลผ่านที่ควบแน่นหมายเลข 2 เพื่อลดอุณหภูมิของสารระเหยโดยใช้น้ำใน การแลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อทำให้สารระเหยกลั่นตัวหยดลงไปที่ถ้วยแก้ว ชีวมวลที่ผ่านการทอริแฟกชันถูกนำไป ไว้ในภาชนะที่ปิดผนึกก่อนนำไปวิเคราะห์ต่อไป การทดลองดังกล่าวทำการทดลองซ้ำจำนวน 2 ครั้ง ก่อนนำ คำนวณค่าที่หามาเฉลี่ยเพื่อใช้ในการคำนวณต่อไป



รูปที่ 1 แสดงระบบการทอริแฟกชัน

#### การวิเคราะห์หาค่าความร้อนและการวิเคราะห์แบบละเอียด

ชีวมวลก่อนและหลังการทอริแฟกชันถูกวิเคราะห์หาค่าความร้อนด้วยเครื่อง Bomb Calorimeter, Apex และการวิเคราะห์แบบละเอียด (Ultimate Analysis) ซึ่งประกอบด้วย คาร์บอน, ไฮโดรเจน และ ไนโตรเจน จากห้องปฏิบัติการทดสอบและรับรองมาตรฐานเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ด้วยเครื่อง CHN Analyzer, Leco, CHN628 series

### ประสิทธิภาพการทอริแฟกชัน

ชีวมวลที่ผ่านการทอริแฟกชันแล้วสามารถประเมินประสิทธิภาพการทอริแฟกชัน (Chen et al. (2012)) ดังสมการต่อไปนี้

$$MY = \left( \frac{m_{\text{torrefied}}}{m_{\text{raw}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

$$ED = \frac{HHV_{\text{torrefied}}}{HHV_{\text{raw}}} \quad (2)$$

$$EY = MY \times ED \quad (3)$$

$$UEI = \frac{EY}{\text{Electricity input}} \quad (4)$$

$$EMCI = EY - MY \quad (5)$$

โดย Mass Yield (MY) คือ ผลผลิตมวล (%)

Energy Density (ED) คือ ความหนาแน่นของพลังงาน (-)

Energy Yield (EY) คือ ผลผลิตเชิงพลังงาน (%)

Upgrading Energy Index (UEI) คือ ดัชนีการปรับปรุงพลังงาน ( $\text{kW}^{-1}\text{h}^{-1}$ )

Energy-Mass Co-benefit Index (EMCI) คือ ดัชนีชี้วัดร่วมระหว่างมวลและพลังงาน (-)

$m_{\text{raw}}$  คือ มวลก่อนทำการทดลอง (g)

$m_{\text{torrefied}}$  คือ มวลหลังทำการทดลองแล้ว (g)

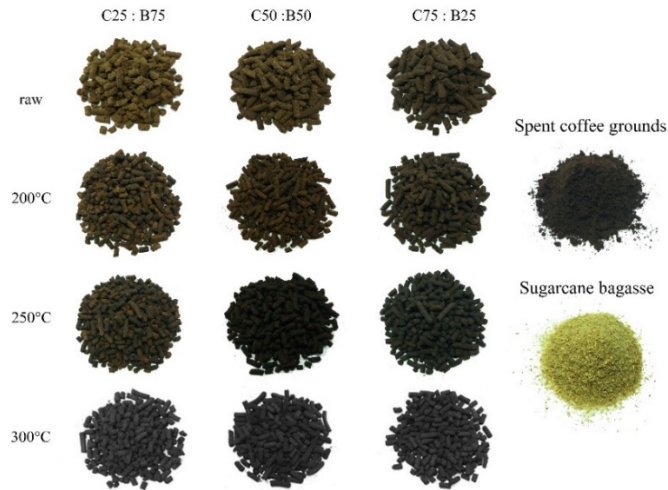
$HHV_{\text{raw}}$  คือ ค่าความร้อนสูงก่อนทำการทดลอง (MJ/kg)

$HHV_{\text{torrefied}}$  คือ ค่าความร้อนสูงหลังทำการทดลอง (MJ/kg)

Electricity input คือ กำลังไฟฟ้าที่ใช้ (kWh)

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

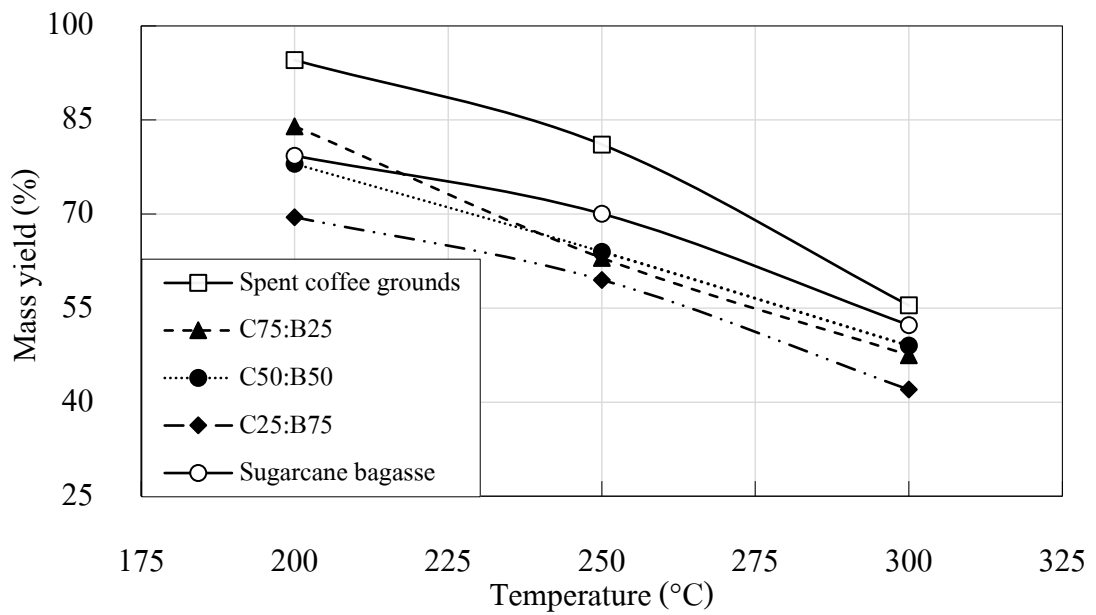
รูปที่ 2 แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสีของชีวมวล การเพิ่มอุณหภูมิทอริแฟกชันทำให้ชีวมวลที่ผ่านการทอริแฟกชันมีสีเข้มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชีวมวลก่อนการทอริแฟกชัน ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีเกี่ยวข้องกับการแตกตัวของพันธะไฮโดรเจนและคาร์บอน นำไปสู่การแยกตัวของพันธะไฮโดรเจนระหว่างโมเลกุลภายใน และพันธะ C-C และ C-O ที่ทำหน้าที่ลดคุณสมบัติชอบน้ำ (hydrophilic) กรดคาร์บอกซิลิก แอลกอฮอล์ อัลดีไฮด์อีเทอร์และก๊าซ การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางเคมีทั้งหมดจะทำให้ชีวมวลเปลี่ยนสี (Tumuluru, J.S. (2016))



C = Spent coffee grounds, B = Sugarcane bagasse

รูปที่ 2 ชีวมวลหลังการทอริแฟคชัน

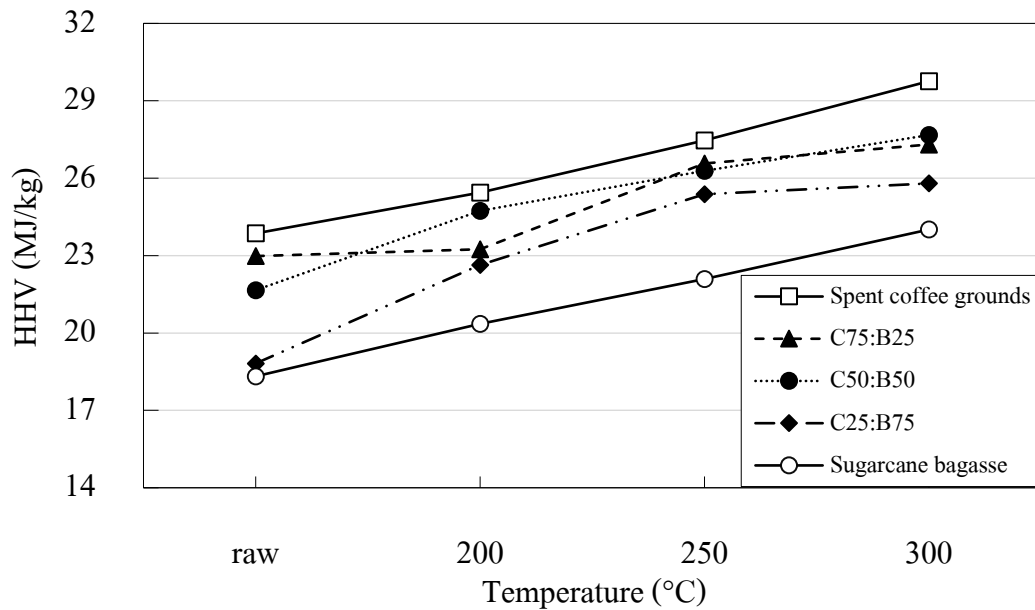
จากรูปที่ 3 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 300°C ต่อ MY พบว่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นทำให้องค์ประกอบในชีวมวลสลายตัวกลายเป็นของเหลวและก๊าซบางส่วน (Prins et al. (2006)) จึงทำให้ชีวมวลที่ได้มีน้ำหนักลดลง และพบว่าปริมาณกากกาแฟจำนวนมาก (C75:B25 และ C50:B50) มีค่า MY มากเป็นสาเหตุให้ C25:B75 ซึ่งมีปริมาณกากกาแฟน้อยที่สุดมีค่า MY ที่น้อยที่สุด



รูปที่ 3 ผลของอุณหภูมิทอริแฟคชันต่อ MY

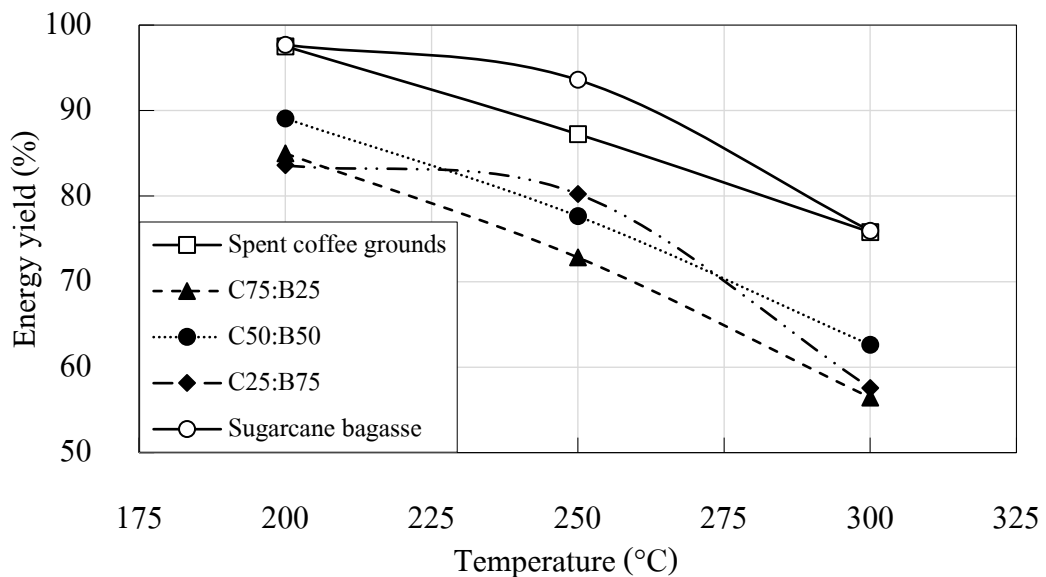
จากรูปที่ 4 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 300°C ต่อ HHV พบว่า ค่า HHV สูงขึ้นเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลสภายในชีวมวล ทำให้มีองค์ประกอบของคาร์บอนที่มากขึ้น (Zhang et al. (2018)) จึงทำให้ที่อุณหภูมิที่ 300°C มีค่า HHV สูงกว่าเมื่อเทียบกับอุณหภูมิที่ต่ำกว่า

และที่ C50:B50 มีค่า HHV เท่ากับ 27.67 MJ/kg ซึ่งมากกว่า C75:25 (มีปริมาณกากกาแฟมากกว่า) ทำให้เห็นว่าการใช้กากกาแฟผสมในปริมาณที่เหมาะสมสามารถเพิ่มค่า HHV ให้กับชีวมวลได้



รูปที่ 4 ผลของอุณหภูมิทอริแฟคชันต่อ HHV

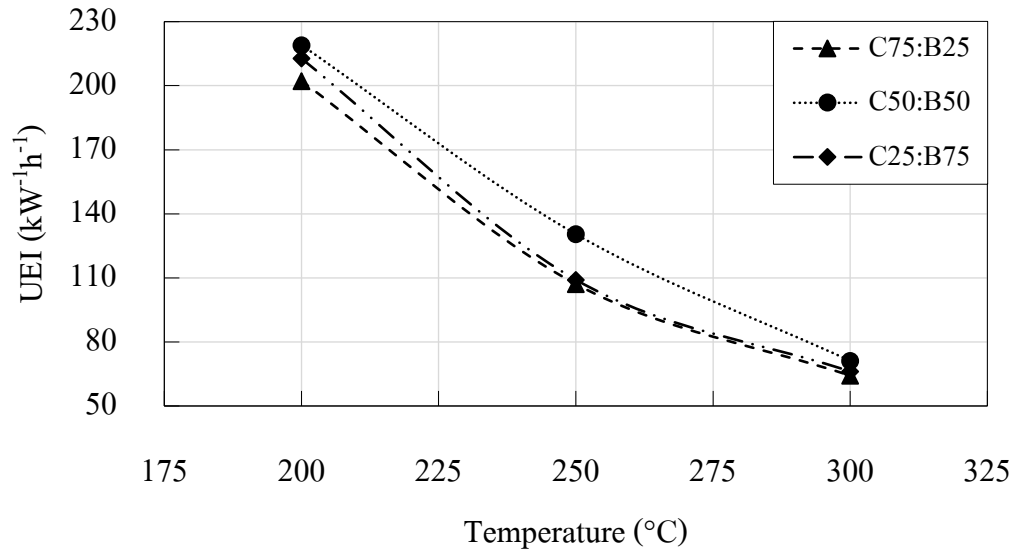
จากรูปที่ 5 แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิในช่วง 200 ถึง 300°C ต่อค่า Energy yield (EY) ซึ่ง EY เป็นผลจากการคำนวณระหว่าง MY และ ED ในสมการที่ (3) จากรูปค่า EY มีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการผสมชีวมวล 2 ชนิด จะได้ค่า EY ที่น้อยกว่าชีวมวลดิบเพียงชนิดเดียว ในที่นี้คือ กากกาแฟและชานอ้อย ค่า EY ที่มากที่สุดสำหรับอุณหภูมิ 200°C และ 300°C คือ 89.07 และ 62.6 สำหรับ C50:B50 ตามลำดับ ขณะที่อุณหภูมิ 250°C มีค่า 80.25 สำหรับ C25:B75



รูปที่ 5 ผลของอุณหภูมิทอริแฟคชันต่อ EY

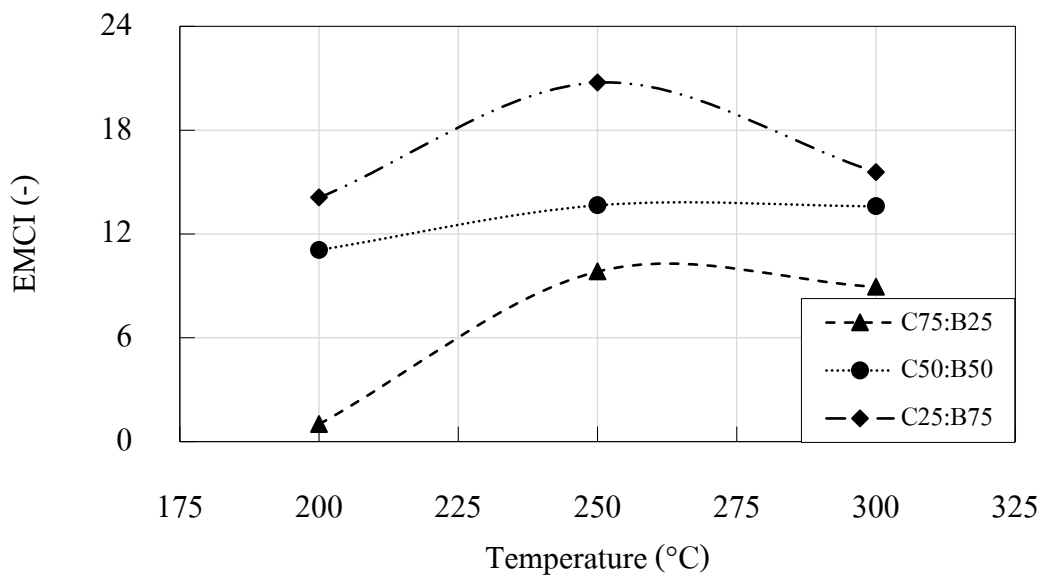


รูปที่ 6 แสดงผลของอุณหภูมิทอริแฟลคชันในช่วง 200 ถึง 300°C ต่อค่า UEI พบว่าค่า UEI มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงต้องใช้พลังงานป้อนเข้าในระบบปริมาณสูง ซึ่งในที่นี้คือพลังงานไฟฟ้า จะเห็นว่าที่ C50:B50 มีค่า UEI มากที่สุด เนื่องจากมีค่า EY สูง ดังแสดงในรูปที่ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 219.03 130.48 และ 71.13 kW<sup>-1</sup>h<sup>-1</sup> ตามลำดับ



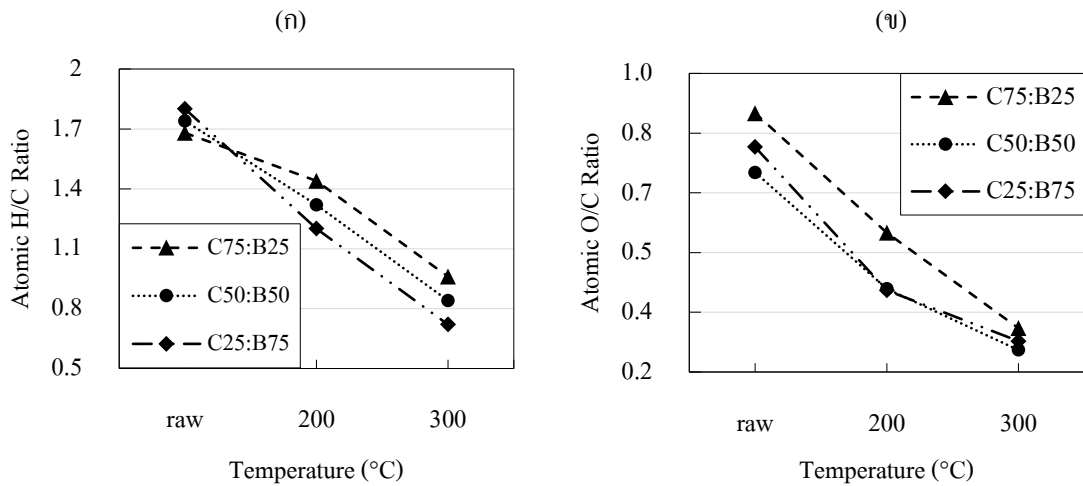
รูปที่ 6 ผลของอุณหภูมิทอริแฟลคชันต่อ UEI

จากรูปที่ 7 แสดงผลของอุณหภูมิทอริแฟลคชันในช่วง 200 ถึง 300°C ต่อค่า EMCI ซึ่งค่า EMCI ได้มาจากผลต่างระหว่าง EY และ MY ผลต่างดังกล่าวแสดงถึงความสามารถของระบบทอริแฟลคชันที่สามารถทำให้ชีวมวลเพิ่มค่าความร้อนได้อย่างทั่วถึงโดยสูญเสียมวลในปริมาณน้อยที่สุด จากรูปค่า EMCI มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น โดย C25:B75 มีค่า EMCI มากที่สุด



รูปที่ 7 ผลของอุณหภูมิทอริแฟลคชันต่อ EMCI

รูปที่ 8 แสดงผลของอุณหภูมิทอริแฟกซ์ในช่วง 200 ถึง 300°C ต่ออัตราส่วนของ H/C และ O/C จากรูปเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีการสลายตัวของเฮมิเซลลูโลส ทำให้ปริมาณคาร์บอนเพิ่มขึ้น (Zhang et al. (2018)) ส่งผลให้ H/C และ O/C มีค่าลดลง โดยเฉพาะช่วงก่อนอุณหภูมิ 200°C มีการลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากมีการสูญเสียความชื้น (Poudel et al. (2017)) เป็นที่สังเกตว่าอัตราส่วน C25:B75 และ C50:B50 ต่างให้ค่า H/C และ O/C น้อย เนื่องจากมีปริมาณชานอ้อยในส่วนผสมจำนวนมาก



รูปที่ 8 ผลของอุณหภูมิทอริแฟกซ์ต่ออัตราส่วนอะตอม (ก) H/C และ (ข) O/C

#### 4. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาผลของการทอริแฟกซ์ร่วมระหว่างกากกาแฟและชานอ้อยที่อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 25:75 50:50 และ 75:25 จากการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมของกากกาแฟระหว่างร้อยละ 25 ถึง 50 ให้ค่า HHV ของชีวมวลผสมและค่าประสิทธิภาพของระบบทอริแฟกซ์ ซึ่งได้แก่ ค่าผลิตเชิงพลังงาน (EY) ดัชนีการปรับปรุงพลังงาน (UEI) และดัชนีชี้วัดร่วมระหว่างมวลและพลังงาน (EMCI) ที่สูง ภายใต้อุณหภูมิทอริแฟกซ์ระหว่าง 200 ถึง 300 °C ระยะเวลาทอริแฟกซ์ 60 นาที นอกจากนี้อุณหภูมิทอริแฟกซ์ที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าความร้อนสูงของชีวมวลผสมเพิ่มขึ้น ซึ่งตรงข้ามกับค่าผลผลิตเชิงมวล ผลผลิตเชิงพลังงาน UEI EMCI ค่าอัตราส่วน H/C และ O/C ของชีวมวลผสมซึ่งต่างมีค่าลดลง

#### 5. ข้อเสนอแนะ

##### 5.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

- (1) นำไปเป็นองค์ความรู้ให้กับบุคคลที่สนใจ
- (2) เป็นกระบวนการที่ปรับปรุงสมบัติของเชื้อเพลิงแข็งสำหรับกากกาแฟและชานอ้อย ซึ่งมีวัตถุดิบอยู่มาก หากสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานจริงก็อาจเป็นผลดี

##### 5.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ทดลองชีวมวลที่หลากหลายเพื่อหาค่าความร้อนสูงที่เหมาะสม
- (2) ทำการเปลี่ยนก๊าซเชื้อเพลิงที่ใช้ในการทอริแฟกซ์และนำมาเปรียบเทียบกัน
- (3) พิจารณาผลเชิงเศรษฐศาสตร์ในประเด็นอื่น เช่น ด้านมลพิษ สิ่งแวดล้อม ความคุ้มค่า การลงทุน

## 6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน ที่ได้สนับสนุนงบประมาณทุนวิจัยสำหรับ โครงการวิจัยเรื่อง “การทอรีแฟคชั่นร่วมระหว่างกากกาแฟและขาน้อยเพื่อปรับปรุงคุณภาพของชีวมวล”

## 7. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (พพ.) กระทรวงพลังงาน. 2556. **ชีวมวล (Biomass)**. แหล่งที่มา:

[http://biomass.dede.go.th/biomass\\_web/index.html](http://biomass.dede.go.th/biomass_web/index.html), 06 ตุลาคม 2562

ภาสกร ดั่งสมักร (อพร.). 2554. **พลังงานทดแทน**. แหล่งที่มา: <http://www4.egat.co.th/re/index.html>, 22 ตุลาคม 2562

ศุภฎีพร สิทธิกุล. 2556. **คุณสมบัติของชีวมวลในกระบวนการทอรีแฟคชั่น**. แหล่งที่มา:

<http://www.thapra.lib.su.ac.th>, 06 ตุลาคม 2562

Chen, W.H., Dub, S.W., Tsai, C.H. and Wang, Z.Y. 2012. Torrefied biomasses in a drop tube furnace to evaluate their utility in blast furnaces. **Bioresource Technology**. 111: 433-438.

Poudel, J., Karki, S., Gu, J.H., Lim, Y.T. and Oh, S.C. 2017. Effect of Co-Torrefaction on the Properties of Sewage Sludge and Waste Wood to Enhance Solid Fuel Qualities. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. 5: 5411-5419.

Prins, M.J., Ptasiński, K.J. and Janssen, F.J.J.G. 2006. Torrefaction of wood: Part 2. Analysis of Products. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**. 77(1): 35-40.

Tumuluru, J.S. 2016. Effect of Deep Drying and Torrefaction Temperature on Proximate, Ultimate Composition, and Heating Value of 2-mm Lodgepole Pine (*Pinus contorta*) Grind. **Bioengineering**. 3(2): 1-16.

Zhang, C., Ho, S.H., Chen, W.H., Fu, Y., Chang, J.S. and Bi, X. 2019. Oxidative torrefaction of biomass nutshells: Evaluations of energy efficiency as well as biochar transportation and storage. **Applied Energy**. 235: 428-441.

Zhang, C., Ho, S.H., Chen, W.H., Xie, Y., Liu, Z. and Chang, J.S. 2018. Torrefaction performance and energy usage of biomass wastes and their correlations with torrefaction severity index. **Applied Energy**. 220: 598-604.

## การพัฒนาตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน

### DEVELOPMENT OF AUTOMATIC INCUBATOR OF FIGHTING COCK.

ธนศ ตั้งจิตเจริญเลิศ

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

E-mail: thanet@pnru.ac.th

อิสรี ศรีคุณ

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

E-mail: Isree@pnru.ac.th

ธัญญา ศิริมาศเกษม

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

E-mail: thanyapob@pnru.ac.th

วันชัย ธารีพฤษ์

สาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร

E-mail: wanchai@pnru.ac.th

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยเรื่องการพัฒนาตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนเป็นการศึกษาแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพของการฟักไข่ไก่ชน มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ออกแบบและสร้างตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน และ 2) ศึกษาประสิทธิภาพของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน โดยการใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 เป็นประมวลผลสัญญาณจากเซนเซอร์ DHT22 วัดอุณหภูมิกับความชื้น ใช้ Cartridge Heater ขนาด 150 W สำหรับเพิ่มอุณหภูมิและแสดงผลใน LCD ผลการวิจัยพบว่า ตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนสามารถควบคุมให้อุณหภูมิภายในตู้ฟักไข่มีค่าต่ำสุดที่ 37.60 °C และสูงสุด 37.80 °C จากค่าที่กำหนด 37.70 °C ส่วนการควบคุมความชื้นภายในตู้ฟักไข่มีค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำสุดร้อยละ 54.90 และสูงสุดร้อยละ 56.40 จากค่าที่กำหนดร้อยละ 55.00 แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนสามารถใช้งานได้มีประสิทธิภาพต่อการเพิ่มปริมาณของการฟักไข่

คำสำคัญ: ตู้ฟักไข่, ไก่ชน, ตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน

#### ABSTRACT

The research entitled Development of Automatic Incubator for Fighting cock, for investigating the guidelines for increasing the incubator efficiency for fighting cock, possessed two objectives: 1) to design and build an automatic incubator for fighting cock, and 2) to study the efficiency of the automatic incubator for

fighting cock. The following things were taken into consideration: Using the Arduino Mega 2560 board as a signal processing from DHT22 sensor to measure temperature and humidity, and a cartridge heater 150 Watt for increasing the temperature and displaying it on the LCD. The results revealed that the automatic incubator for fighting cock could control the temperature inside the incubator to a minimum of 37.60 °C and a maximum of 37.80 °C from the set value of 37.70 °C. The humidity control in the incubator had the lowest relative humidity of 54.90% and a maximum of 56.40% from the set value of 55.00%. This indicated that the development of an automatic incubator for fighting cock could be used effectively to increase the amount of hatching.

**KEYWORDS:** Incubator, Fighting cock, Automatic Incubator of Fighting cock.

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ไก่ชน คือ ไก่สายพันธุ์พื้นเมือง ซึ่งไก่พื้นเมืองมีการแบ่งเป็นประเภททั่วไปได้ 2 ลักษณะ คือ การเลี้ยงไว้เพื่อประกวดการต่อสู้และความสวยงาม กับการเลี้ยงไว้เพื่อบริโภคเนื้อเป็นอาหาร ความนิยมของการประกวดการต่อสู้ของไก่พื้นเมืองสายพันธุ์ต่าง ๆ ในภูมิภาคต่าง ๆ แทบจะทั่วโลก ประเทศในแถบเอเชียที่นิยมเลี้ยงไก่ชนได้แก่ ไทย พม่า ลาว กัมพูชา มาเลเซีย ฟิลิปปินส์ แม้แต่ประเทศทางตะวันตก ไก่ชนบางตัวที่มีลักษณะดีสวยงามนอกจากนี้ยังเป็นไก่ตลาดมีปฏิภาณไหวพริบในเชิงชน หรือ แก่ทางของคู่ต่อสู้ได้สิ่งเหล่านี้เราไม่สามารถฝึกสอนมันได้ เพราะมันเป็นเรื่องพันธุกรรม ที่ถ่ายทอดมาจากพ่อแม่ปู่ย่าตายายของมัน ทำให้ปัจจุบันไก่ชนบางตัวราคาค่อนข้างสูง ซื่อขายกันหลักล้าน เพื่อนำไปเพาะพันธุ์ต่อ และไข่ที่มีเชื้อราคาสูงหลักพันต่อใบ และนับวันราคายิ่งสูงขึ้นเรื่อย ๆ

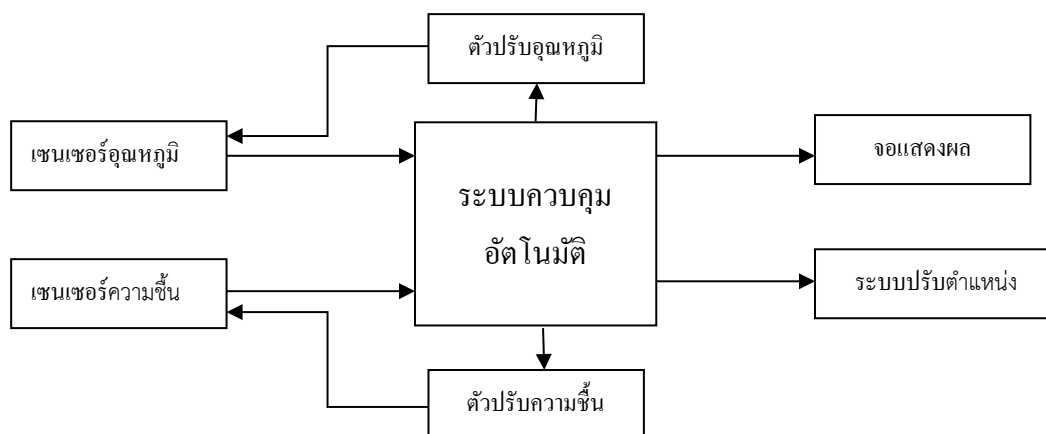
ประเทศไทยมีประชากรส่วนใหญ่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก ไม่ว่าจะเป็นการปลูกพืชทำไร่ทำสวนเป็นต้น ซึ่งประกอบ อาชีพเกษตรกรรมควบคู่ไปกับการเลี้ยงสัตว์โดยเฉพาะการเลี้ยงไก่พื้นเมือง แต่โดยส่วนใหญ่การฟักไข่โดยใช้วิธีธรรมชาติ หรือ เป็นการฟักไข่โดยแม่ไก่ ในรังวางไข่ส่วนมาก จะมีปัญหาแม่ไก่ไม่ยอมฟักไข่เอง แม่ไก่แย่งกันกก แม่ไก่กินไข่ตัวเอง หรือ โคนสัตว์อื่น ๆ รบกวน และเรื่องอากาศแปรปรวน ซึ่งเป็นปัญหาอย่างมากสำหรับคนเลี้ยงไก่ ทำให้จำนวนผลผลิตหรืออัตราการฟักไข่ไก่ลดลง และระยะเวลาฟักไข่ ใช้เวลา 21 วัน อุณหภูมิอยู่ที่ 37-38°C และความชื้นร้อยละ 50-70 (สัญญา ผาสุก, 2554) ตลอดระยะเวลาฟักควรอยู่ในระดับที่สม่ำเสมอมากที่สุด อุณหภูมิเหมาะสมที่สุด 37.7 °C สำหรับการฟักและความชื้นที่เหมาะสม คือ ร้อยละ 58-60 จะต้องกลับไข่อย่างน้อย วันละ 6 ครั้ง ถึงจะสามารถฟักไข่ไก่ได้และลูกไก่ที่ออกมาจะสมบูรณ์

ดังนั้นคณะผู้วิจัยได้จากการนำเทคโนโลยีใหม่ ๆ มาประยุกต์ใช้กับการเกษตร โดยจัดทำตู้ฟักไข่อัตโนมัติสำหรับไก่ชน โดยระบบของตู้ฟักไข่ไก่นี้จะมี ฟังก์ชัน การทำงาน แบบอัตโนมัติ การแสดงผล และระบบควบคุมสามารถปรับค่าของอุณหภูมิและความชื้น ได้อย่างมีประสิทธิภาพ การกลับไข่ใช้มอเตอร์ไฟฟ้าเป็นอุปกรณ์ ในการกลับพร้อมตั้งเวลาในการกลับไข่อัตโนมัติ(สมใจ อารยวัฒน์และคณะ, 2560) และสามารถกำหนดค่าของอุณหภูมิได้ตามความต้องการ

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- (1) เพื่อศึกษาการออกแบบและสร้างตู้ฟักไข่อัตโนมัติสำหรับไก่ชน
- (2) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของตู้ฟักไข่อัตโนมัติสำหรับไก่ชน

### 3. กรอบแนวคิดในการวิจัย



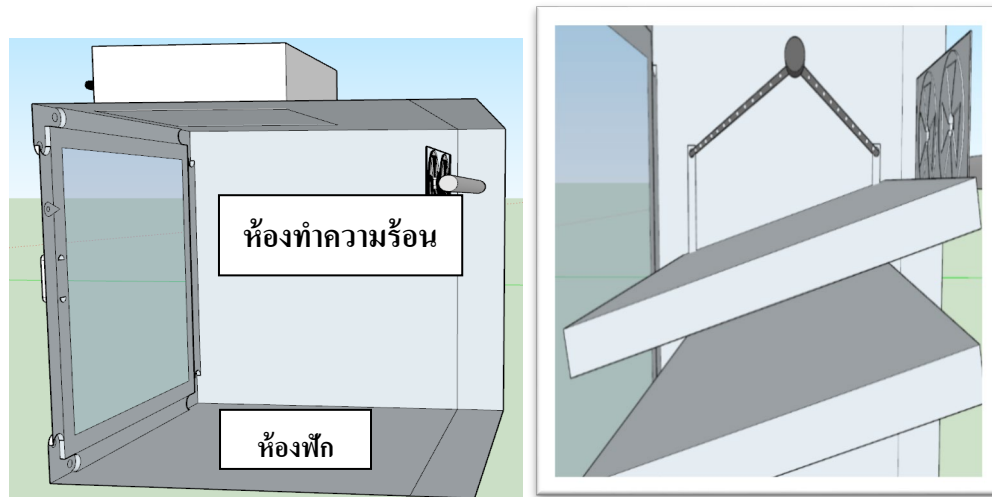
ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดในการวิจัย

ภาพที่ 1 แสดงกรอบแนวคิดในการวิจัย เริ่มจากเซนเซอร์อุณหภูมิและความชื้นทำงานโดยการตรวจวัดค่าของอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักไข่และส่งสัญญาณไปให้ระบบควบคุมอัตโนมัติทำการประมวลผลเปรียบเทียบกับระดับค่าที่กำหนดไว้ ถ้าค่าอุณหภูมิมีน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ ระบบควบคุมอัตโนมัติจะสั่งการให้ตัวทำความร้อนทำงานเพื่อเพิ่มอุณหภูมิภายในตู้ฟักไข่จนกว่าตัวเซนเซอร์อุณหภูมิจะตรวจจับสัญญาณได้ตามที่กำหนดไว้ ในทางกลับกันถ้าอุณหภูมิสูงกว่าที่กำหนด ระบบควบคุมอัตโนมัติจะสั่งให้พัดลมระบายความร้อนทำงาน และถ้าความชื้นมีค่าน้อยกว่าที่กำหนด ระบบควบคุมอัตโนมัติจะสั่งให้ตัวทำความชื้นเริ่มทำงานเพื่อให้ความชื้นภายในตู้ฟักไข่เพิ่มระดับตามที่กำหนด และในทางกลับกันถ้าความชื้นมากกว่าที่กำหนด ระบบควบคุมอัตโนมัติจะสั่งให้พัดลมระบายความชื้นทำงานจนกว่าตัววัดความชื้นในตู้ฟักไข่มีค่าตามที่กำหนด นอกจากนี้ระบบควบคุมอัตโนมัติจะทำการปรับค่าตำแหน่งมุมของที่วางไข่ โดยค่าอุณหภูมิ ค่าความชื้น จะแสดงบนจอ LCD

### 4. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองที่มุ่งออกแบบสร้างเครื่องมือและทดลองตู้ควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสำหรับฟักไข่แบบอัตโนมัติ โดยมีลำดับการดำเนินการดังนี้

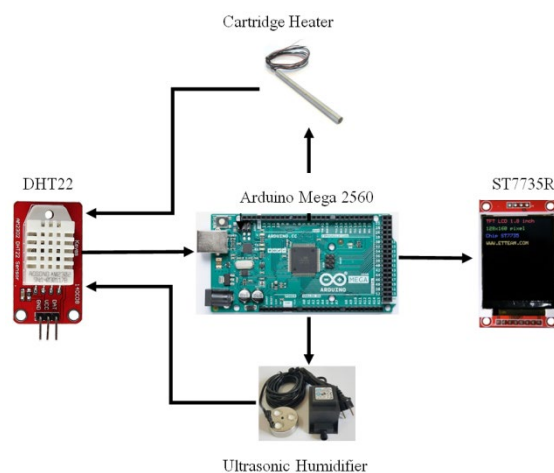
#### 4.1 การออกแบบและสร้างตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน แสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 โครงสร้างของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน

ภายในตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนจะแบ่ง เป็น 2 ห้อง ห้องที่ 1 คือห้องฟัก ในส่วนห้องฟักจะมีการติดตั้งของมอเตอร์, ถาดวางไข่, พัดลมระบายอากาศ และห้องที่ 2 ในส่วนห้องทำความร้อน จะมีการติดตั้งฮีตเตอร์ และพัดลมกระจายอากาศ(วิโรจน์ เอกวงษ์มันคง และคณะ, 2551). ส่วนระบบทำความชื้นจะติดตั้งที่ด้านข้างของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน

#### 4.2 การออกแบบระบบควบคุมการทำงานของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน แสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การทำงานของระบบควบคุมการทำงานของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน

ในภาพที่ 3 เป็นกระบวนการทำงานของระบบควบคุมการทำงานของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน โดยมีตัวเซ็นเซอร์ DHT22 เป็นตัวตรวจวัดค่าของอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักไข่และส่งสัญญาณเพื่อให้ตัวประมวลผลของบอร์ด Arduino Mega 2560 ประมวลผลตรวจสอบกับค่าที่กำหนด ในด้านอุณหภูมิต่ำกว่าที่กำหนด Arduino Mega 2560 ทำการส่งสัญญาณให้ Cartridge Heater ทำงานเพิ่มอุณหภูมิจะกว่ามีค่าตามที่กำหนด ถ้าอุณหภูมิสูงกว่าพัดระบายอากาศจะทำการระบายอากาศ ด้านความชื้นต่ำกว่าที่กำหนด Arduino Mega

2560 ทำการส่งสัญญาณให้ Ultrasonic Humidifier ทำการเพิ่มขึ้นให้ได้ค่าตามที่กำหนด ถ้าความชื้นสูงกว่า พัดระบายอากาศจะทำการระบายความชื้นออก และนำค่าที่ประมวลผลแสดงที่ผลที่ LCD ST7735R

#### 4.3 ตัวแปรที่ศึกษา

การวิจัยตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนดำเนินการศึกษาถึงประสิทธิภาพการทำงานของระบบควบคุมอัตโนมัติของอุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักไข่ให้มีค่าใกล้เคียงกับอุณหภูมิ  $37.7^{\circ}\text{C}$  โดยมีความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 5 ในช่วง  $35.815\text{-}39.585^{\circ}\text{C}$  และที่ความชื้นร้อยละ 55 โดยมีความแตกต่างไม่เกินร้อยละ 5 ในช่วงร้อยละ  $52.25\text{-}57.75$  ที่เหมาะสมในการฟักไข่ได้ตลอดเวลา

#### 4.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนได้ใช้เครื่องมือในการวิจัยประกอบด้วย

4.4.1 ตู้ฟักไข่มีขนาด  $55.5 \times 53 \times 75$  เซนติเมตร ที่สามารถฟักไข่ได้สูงสุด 172 ฟอง และสามารถกลับไข่ทุก 2 ชั่วโมง โดยถาดความเอียงอยู่ที่ประมาณ  $45^{\circ}$  องศา แสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน

4.4.2 ระบบควบคุมอัตโนมัติ ที่มีบอร์ด Arduino Mega 2560 ตัวประมวลผล และมี DHT22 เป็นเซ็นเซอร์ และแสดงค่าที่ LCD ST7735R (สมใจ อารยวัฒน์ และคณะ, 2560) แสดงในภาพที่ 5 แสดงค่าของอุณหภูมิ และความชื้นภายในตู้ฟักไข่

#### 4.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนได้ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพโดยทดลองบันทึกค่าของอุณหภูมิกกลางที่กำหนดไว้  $37.7^{\circ}\text{C}$  และความชื้นกลางที่กำหนดไว้ร้อยละ 55 ในเวลา 06.00 , 12.00 , 18.00 และ 23.00 ของในแต่ละวันจำนวน 10 วัน และเก็บข้อมูลไข่ที่สามารถฟักออกมาเป็นตัว





ภาพที่ 5 จอแสดงผล LCD ST7735R

#### 4.6 การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน ดำเนินการวิเคราะห์ผลของข้อมูลที่บันทึกไว้เพื่อหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ และความชื้นที่เพิ่มขึ้นในแต่ละช่วงของแต่ละวัน และร้อยละของไข่ที่สามารถฟักออกมาเป็นตัว

### 5. ผลการทดลอง

ในการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนครั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการทดลองและเก็บข้อมูลจากการทำงานของเครื่องฟักไข่ไก่อัตโนมัติ จำนวน 10 วัน ในแต่ละวันจะเก็บค่าอุณหภูมิและความชื้น ทั้งนี้ได้กำหนดเกณฑ์การทดลอง ควบคุมอุณหภูมิภายในตู้ฟักที่ 37.7°C และเก็บข้อมูลตามเวลาดังตารางที่ 1 และความชื้นที่ร้อยละ 55 และเก็บข้อมูลตามเวลาดังตารางที่ 2 ในการทดลองทั้งหมด 10 วัน

ตารางที่ 1 การทดลองการทำงานด้านอุณหภูมิ

เวลา	อุณหภูมิ(°c)										$\bar{X}$	S.D
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
6.00	37.70	37.60	37.70	37.70	37.60	37.70	37.70	37.70	37.70	37.70	37.68	0.0422
12.00	37.80	37.70	37.70	37.80	37.70	37.80	37.80	37.80	37.70	37.80	37.76	0.0516
18.00	37.70	37.70	37.80	37.70	37.70	37.70	37.60	37.70	37.70	37.70	37.70	0.0471
23.00	37.60	37.80	37.70	37.60	37.70	37.70	37.70	37.70	37.60	37.70	37.68	0.0632

ตารางที่ 2 การทดลองการทำงานด้านความชื้น

เวลา	ความชื้น(% RH)										$\bar{X}$	S.D
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10		
6.00	55.80	55.80	56.20	55.90	56.50	55.70	55.00	55.80	55.00	55.20	55.69	0.4932
12.00	55.10	54.90	55.50	55.20	55.40	55.50	55.70	55.00	55.00	55.40	55.27	0.2669
18.00	55.60	55.40	55.00	55.00	55.00	55.70	55.30	55.20	55.40	55.00	55.26	0.2633
23.00	56.00	56.20	56.40	56.10	56.20	55.00	56.20	55.70	55.00	55.80	55.86	0.4971

ตารางผลการทดลองประสิทธิภาพตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนจากตารางที่ 1 และตารางที่ 2 สรุปได้ว่าผลของการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนนั้นพบว่าค่าอุณหภูมิและความชื้น ตั้งแต่วันที่ 1 ถึง วันที่ 10 ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิและความชื้น เมื่อเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้ทำงานได้ตรงตามเป้าหมาย ค่าความผิดพลาดของอุณหภูมิจากค่าที่ตั้งไว้ในช่วง 37.60 - 37.80 °C และค่าความผิดพลาดความชื้นที่ได้ร้อยละ 54.90- 56.40 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 5

เมื่อนำไข่ไก่ชนจำนวน 15 ฟองมาทดลองฟักในตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนตั้งค่าอุณหภูมิที่ 37.7°C องศา และความชื้นที่ร้อยละ 55 แล้วรอนจนกว่าลูกไก่จะฟัก โดยปกติแล้วจะใช้ระยะเวลา 21 วันสำหรับการฟักของลูกไก่พบว่า ผลอัตราการฟักไข่ของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนคิดเป็นร้อยละ 100 ของจำนวนไข่ไก่ที่นำมาทดลองฟักสอดคล้องกับงานวิจัยของวิสิทธิ์ ลุมชะเนาวิและคณะ (2561). แสดงภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ลูกไก่ที่ผ่านการฟักจากตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชน

## 6. สรุปผล

จากการดำเนินการวิจัยตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนสามารถควบคุมให้อุณหภูมิและความชื้นภายในตู้ฟักไข่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานการฟักไข่ ซึ่งอุณหภูมิภายในเครื่องอยู่ในช่วง 37-38°C สอดคล้องกับงานวิจัยของ ชัยณรงค์ ธรรมกุล (2551). และความชื้นภายในช่วงร้อยละ 50-60 ได้แม้ว่าอุณหภูมิและความชื้นแวดล้อมภายนอกจะมีการเปลี่ยนแปลงก็ตาม ซึ่งผลจากการทดสอบระบบตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนแต่ละส่วนสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และอัตราการฟักของไข่ จากตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนพบว่า ผลอัตราการฟักของตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนคิดเป็น ร้อยละ 100 ของไข่ที่นำมาฟักออกเป็นตัว

## 7. ข้อเสนอแนะ

### 7.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

งานวิจัยตู้ฟักไข่แบบอัตโนมัติสำหรับไก่ชนเป็นงานวิจัยด้านนวัตกรรมที่ส่งเสริมการเพิ่มโอกาสสำหรับเกษตรกรที่มีความประสงค์ในการเพาะเลี้ยงไก่ขายเพื่อเป็นอาชีพ

## 7.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

- (1) ควรมีการติดตั้งอุปกรณ์สำรองไฟเพิ่มเติม เพื่อในกรณีไฟดับ
- (2) พัฒนาซอฟต์แวร์ สามารถควบคุมการตั้งค่า อุณหภูมิ และ ความชื้น และสามารถแจ้งเตือน

การทำงาน ผ่านแอปพลิเคชันบนมือถือ

## 8. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้จากทุนสนับสนุนการวิจัยของกองทุนสนับสนุนการวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ชมรมเพาะพันธุ์ไก่ชนจังหวัดสุโขทัย คณาจารย์ บุคลากร นักศึกษาสาขาวิชาเทคโนโลยีไฟฟ้า รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่าน

## 9. เอกสารอ้างอิง

ชัยณรงค์ ธรรมกุล. 2551. “การพัฒนาเครื่องฟักไข่โดยใช้ถังหมักก๊าซชีวภาพร่วมกับเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานอาทิตย์.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเทคโนโลยีพลังงาน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประภากร ธาราฉาย. การผลิตสัตว์ปีกเรื่องการฟักไข่ [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 25 มกราคม 2562. จาก : [http://www.as.mju.ac.th/EBook/t\\_prapakorn/สศ241/บทที่%205%20การฟักไข่%20ปรับปรุง%202560-2](http://www.as.mju.ac.th/EBook/t_prapakorn/สศ241/บทที่%205%20การฟักไข่%20ปรับปรุง%202560-2).

วิโรจน์ เอกวงษ์มั่นคง และศุภชัย มณีวัฒนา. 2551. “การออกแบบระบบปรับอากาศที่เหมาะสมสำหรับตู้ฟักไข่ที่ใช้ในอุตสาหกรรม.” วารสารบทความวิชาการสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศแห่งประเทศไทย. 12(6):32-34, วิสิทธิ์ คุมชะเนาว์, ณัฐวุฒิ พจน์ปริญญา. 2561. “การพัฒนาเครื่องฟักไข่สำหรับการตรวจหาตัวอ่อนในไข่ไก่โดยใช้เทคนิคการประมวลผลภาพดิจิทัล.” วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ. 13(1), 151-165.

สัญญา ผาสุข. สร้างตู้ฟักไข่อัตโนมัติ. [ออนไลน์]. สืบค้นเมื่อวันที่ 23 มกราคม 2562. จาก: <http://www.phtnet.org/news52/viewnews.asp?nID=445>.

สมใจ อารยวัฒน์, ชิตติพนธ์ ขุนใหญ่ และประภัสสร ทนาศรี.(2560). “เครื่องฟักไข่ไก่อัตโนมัติ.” 10<sup>th</sup> National Conference on Technical Education มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ: 329-333.

อัสมี๊ะ ลือมาลีอนิ ลติฟา สมานพิทักษ์ และชุลกิปลี กาชอ. 2560. “การศึกษาและออกแบบตู้ควบคุมอุณหภูมิในการฟักไข่ไก่แบบกลับไข่อัตโนมัติ.” วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 2(1): 39-49.

เอกชัย สิงหเดช ธวัช สุริวงษ์ สมชาย เจียจิตต์สวัสดิ์ และประพิศารีย์ ธนารักษ์. 2557. “การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของตู้ฟักไข่แบบควบคุมความร้อนและแบบเทอร์โมอิเล็กทริก.” วารสารวิทยาศาสตร์บูรพาฉบับพิเศษ, การประชุมวิชาการระดับชาติวิทยาศาสตร์วิจัย ครั้งที่ 6 วันที่ 20 – 21 มีนาคม พ.ศ. 2557 : 271-276.

T. A. Adegbulugbe A. O. Atere and O. G. Fasanmi. 2013. “Development of an Automatic Electric Egg Incubator.” International Journal of Scientific & Engineering Research. 4(9): 914-918.

**การจัดการขยะอินทรีย์โดย “ถังขยะหอม” ของชุมชนเทศบาลเมืองลำสามแก้ว  
ตำบลลुकต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี**  
**ORGANIC WASTE MANAGEMENT WITH “HOM BIN” IN LAMSAMKEAW  
MUNICIPALITY, KHU KHOT SUB-DISTRICT, LUM LUKKA DISTRICT,  
PATHUM THANI PROVINCE**

**ศุภณัฐ เวชมณี**

**สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม**

**วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**

**E-mail: tontal\_t@hotmail.com**

**ศศิธร หาดิน**

**สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม**

**วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**

**วันสพรศรี สมสวัสดิ์**

**สาขาวิชานวัตกรรมการจัดการสิ่งแวดล้อม**

**วิทยาลัยนวัตกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์**

**Email: vanatpornratt@vru.ac.th**

**บทคัดย่อ**

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการจัดการขยะอินทรีย์ในครัวเรือนที่อยู่ในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองลำสามแก้ว ตำบลลुकต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม และคัดเลือกประชาชนที่สมัครใจในการเข้าร่วมการจัดการ จัดทำ และการทดลองใช้งานถังขยะหอม จำนวน 50 คน ผลการศึกษาพบว่า ถังขยะหอมสามารถแก้ไขปัญหาการเพิ่มขึ้นของขยะอินทรีย์หรือขยะเศษอาหารได้เป็นอย่างดี โดยประชาชนมากถึงร้อยละ 73.9 ให้คะแนนความคิดเห็น คือ สามารถลดปริมาณขยะอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังมีความคิดเห็นที่ถังขยะหอมมีขั้นตอนและวิธีใช้ที่สะดวกสามารถใช้งานได้ง่าย ถึงร้อยละ 69.6 ดังนั้นเมื่อพิจารณาความพึงพอใจต่อการใช้งานถังขยะหอม พบว่าประชาชนมีความพึงพอใจมากที่สุดถึงร้อยละ 70 ดังนั้นจากงานวิจัยจึงแสดงให้เห็นว่า ถังขยะหอมเป็นวิธีการแก้ไขปัญหาขยะอินทรีย์หรือขยะเศษอาหารได้เป็นอย่างดี ลดการปนเปื้อนขยะเศษอาหารในพื้นที่บ่อขยะ และลดการเกิดโรคได้อีกด้วย

**คำสำคัญ:** การจัดการขยะอินทรีย์, การจัดการขยะแบบมีส่วนร่วม, ถังขยะหอม

## ABSTRACT

This research was studied organic waste management in Lamsamkeaw Municipality, Khu Khot Sub-district, Lum Lukka District, Pathum Thani Province. This research was participatory waste management and selected the 50 volunteers to join the research and “Hom Bin” testing. This research found that “Hom Bin” can solve the organic waste food waste problem. Volunteers 73.9% were told “Hom Bin” was suitable for organic waste decreasing. Moreover, volunteers 69.6% told “Hom Bin” was easily to used and they satisfied about “Hom Bin” utilization 70%. Therefore, this research was showed “Hom Bin” was suitable for solve the organic waste or food waste problem, moreover that can be reduce contamination and the occurrence of diseases in landfill.

**Keywords:** Organic waste management, Participatory waste management, “Hom Bin”

## 1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาขยะมูลฝอยถือเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ซึ่งจากสถานการณ์ขยะมูลฝอยในปี 2560 เกิดขึ้นประมาณ 27 ล้านตัน เพิ่มขึ้นร้อยละ 1.15 โดยขยะมูลฝอยประกอบด้วย ขยะอินทรีย์ (Organic Waste) ขยะรีไซเคิล (Recyclable Waste) ขยะอันตราย (Hazardous Waste) และขยะทั่วไป (General Waste) ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงสัดส่วนของขยะแต่ละประเภทจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่าปริมาณของขยะอินทรีย์หรือขยะเศษอาหารมีปริมาณมากที่สุด คือ ร้อยละ 64 (ปิยะชาติ ศิลปะสุวรรณ, 2559) จึงทำให้ขยะอินทรีย์เป็นประเภทขยะมูลฝอยที่ควรได้รับการจัดการอย่างเร่งด่วน เมื่อขยะอินทรีย์หรือขยะเศษอาหารได้รับการกำจัด จะส่งผลให้ลดกลิ่นเหม็นที่จะเกิดขึ้นบริเวณบ่อขยะของแต่ละพื้นที่ และยังช่วยลดการเกิดและแพร่กระจายของโรคที่เกิดจากการปนเปื้อนของขยะมูลฝอยได้อีกด้วย พื้นที่ศึกษาที่น่าสนใจ คือพื้นที่ใกล้กรุงเทพมหานคร เนื่องจากเป็นพื้นที่ชานเมือง อีกทั้งยังมีการขยายตัวของเมืองอีกด้วย เทศบาลเมืองลำสามแก้ว ตั้งอยู่ในพื้นที่ตำบลลูกุด อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่ 12.5 ตารางกิโลเมตร ถูกเชื่อมต่อด้วยสถานีรถไฟฟ้าสายสีเขียวจุด เป็นพื้นที่ติดต่อกับเขตกรุงเทพมหานคร จึงทำให้มีการขยายตัวของหมู่บ้านจัดสรร ที่อยู่อาศัย และการพาณิชย์ เพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เพื่อรองรับการขยายตัวทางเศรษฐกิจ ทำให้ประชากรเพิ่มจำนวนขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อพิจารณาจากข้อมูลสถิติประชากรของเทศบาลเมืองลำสามแก้วในแต่ละปี พบว่ามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2556 ถึง พ.ศ.2561 เพิ่มขึ้นจาก 62,026 คน เป็น 65,741 คน (กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย, 2561) โดยในปัจจุบันพบว่า พื้นที่เทศบาลเมืองลำสามแก้ว มีจำนวนชุมชนรวม 70 ชุมชน และมีปริมาณขยะมูลฝอยรวม 25,819.65 ตัน/ปี (กรมการปกครอง สำนักบริการการจดทะเบียน เทศบาลเมืองลำสามแก้ว, 2561) จึงนำไปสู่ปัญหาปริมาณขยะที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งขยะอินทรีย์ซึ่งมีสัดส่วนมากที่สุด เกิดจากการอุปโภคบริโภคของประชาชน ถือเป็นปัญหาสำคัญที่ต้องการได้รับการแก้ไขอย่างเร่งด่วน ดังเป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืนข้อ 12.3 คือการลดปริมาณขยะเศษอาหารลง การลดปริมาณขยะเศษอาหารหรือขยะอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ คือการนำขยะเศษอาหารหรือขยะอินทรีย์มาใช้ประโยชน์ จึงนำไปสู่การหาวิธีการแก้ปัญหาขยะอินทรีย์อย่างยั่งยืน โดยการแปรสภาพขยะอินทรีย์หรือขยะเศษอาหารให้กลายเป็นปุ๋ย และนำไปใช้ภายในครัวเรือน โดยการใส่ถังขยะหอมมาแก้ไข้ปัญหาเพื่อลดปริมาณขยะอินทรีย์หรือขยะเศษอาหาร ก่อนการจัดการขยะมูลฝอยอื่นๆต่อไป การทำถังขยะหอมจะตัดกั้นที่ถังขยะแบบมีฝาปิดแล้วนำไปฝังไว้ที่ดิน ความสูงของปากถังขณะที่ฝังแล้วประมาณ 15 เซนติเมตร โดยหลักการทำงานของถังขยะหอม คือ เมื่อนำขยะเศษอาหารใส่ลงไปจนถึง และปิดฝา จุลินทรีย์

และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กที่อยู่ภายในดิน จะย่อยสลายเศษอาหาร หรือที่เรียกว่าสารอินทรีย์ ผ่านเมตาบอลิซึมของจุลินทรีย์ ส่งผลให้สารอินทรีย์มีขนาดเล็กลง และเปลี่ยนเป็นธาตุอาหาร ทำให้เกิดการหมุนเวียนธาตุอาหารกลับมาใช้ใหม่ของเศษอาหาร หรือสารอินทรีย์ ให้อยู่ในรูปแบบที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (วิไลลักษณ์ สวามมะลิ และ สุรัชย์ มุลมวล, 2560)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจที่จะนำถังขยะหอมมาใช้ในการแก้ปัญหาขยะอินทรีย์ หรือขยะเศษอาหารภายในครัวเรือน โดยใช้พื้นที่ชุมชนเทศบาลเมืองลำสามแก้ว ให้เป็นชุมชนต้นแบบในการใช้ถังขยะหอมในการแก้ปัญหาขยะเศษอาหารอย่างยั่งยืน

## 2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาการปริมาณขยะและการลดปริมาณขยะอินทรีย์ของเทศบาลเมืองลำสามแก้ว ตำบลลุดค อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี

2.2 เพื่อเสนอแนวทางการลดปริมาณขยะอินทรีย์โดยการใช้ถังขยะหอมของเทศบาลเมืองลำสามแก้ว ตำบลลุดค อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี

## 3. ขอบเขตของการวิจัย

เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม (Participatory Action Research: PAR) เปิดโอกาสให้ผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้อง (Stakeholder) เข้ามามีส่วนร่วมในทุกขั้นตอนซึ่งมีความสำคัญเพื่อการพัฒนาในด้านต่าง ๆ ในสังคมที่เป็นปัญหาโดยเปิดโอกาสให้คนในชุมชน และกลุ่มองค์กรที่เกี่ยวข้องเป็นผู้มีส่วนร่วมในการวิจัย (อมวสิ อัมพันธ์ศิริรัตน์, 2560) ในชุมชน โดยเริ่มจากการสำรวจสภาพปัญหาขยะอินทรีย์ในชุมชนที่สมัครใจเป็นชุมชนต้นแบบของพื้นที่เทศบาลเมืองลำสามแก้ว จากนั้นนำข้อมูลที่ได้อามาวิเคราะห์สภาพ และปัญหา จากนั้นหาวิธีการที่เหมาะสมในการจัดการขยะอินทรีย์ ผ่านกิจกรรมการมีส่วนร่วมของชุมชนนำไปสู่การสร้าง “ถังขยะหอม” และในขั้นตอนสุดท้ายมีการเปรียบเทียบผลการใช้ ถังขยะหอม โดยพิจารณาว่าสามารถลดปริมาณขยะอินทรีย์ หรือขยะเศษอาหาร ได้หรือไม่ เพื่อนำไปปรับใช้ในชุมชนอื่นต่อไป

## 4. วิธีการวิจัย

การวิจัยเรื่องการจัดการขยะอินทรีย์โดย “ถังขยะหอม” ของชุมชนในเขตเทศบาลเมืองลำสามแก้ว ตำบลลุดค อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี แบ่งเป็นขั้นตอน ดังนี้

### ขั้นที่ 1 ขั้นเตรียมการ

- 1.1 ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้อง แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดการขยะอินทรีย์ที่ต้นทาง
- 1.2 กำหนดกระบวนการและขั้นตอนการวิจัย

### ขั้นที่ 2 ขั้นการสร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ

สร้างและหาประสิทธิภาพของเครื่องมือ โดยให้ผู้ทรงคุณวุฒิ 5 ท่าน ที่มีความเชี่ยวชาญด้านการจัดการขยะ เพื่อให้ผู้เชี่ยวชาญประเมินความสอดคล้องของข้อคำถามที่อยู่ในแบบสอบถามและแบบสัมภาษณ์ ก่อนการนำไปใช้งาน

### ขั้นที่ 3 ดำเนินการทดลอง

ผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลอง ดังนี้

1. ขั้นการสำรวจสภาพและปัญหาขยะมูลฝอยในชุมชน โดยเลือกชุมชนที่สนใจให้เป็นชุมชนต้นแบบสำหรับการจัดการขยะมูลฝอยของพื้นที่เทศบาลเมืองลำสามแก้ว โดยการใช้เครื่องมือคือแบบสัมภาษณ์และแบบสอบถาม

2. ขั้นการวางแผนและการสร้างถังขยะหอม แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

2.1 ขั้นการวางแผนและออกแบบถังขยะหอม โดยการร่วมกันวางแผนกันระหว่างชุมชนและตัวแทนจากเทศบาลฯ เพื่อให้มีประสิทธิภาพและยั่งยืน จากนั้นจัดทำแบบร่างถังขยะหอม และนำไปสู่การสร้างถังขยะหอมต่อไป

2.2 ขั้นการสร้างถังขยะหอม โดยให้นำแบบร่างจากข้อ 2.1 มาใช้เป็นต้นแบบในการสร้างถังขยะหอม และนำไปทดลองใช้ในชุมชน

3. ขั้นการเปรียบเทียบการใช้งานและสรุปผลการใช้ถังขยะหอม เมื่อมีการทดลองใช้ถังขยะหอมโดยชุมชนต้นแบบ จะมีการติดตามผลการใช้งาน โดยการเปรียบเทียบก่อนและหลังการใช้งาน โดยใช้สถิติพื้นฐานในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อนำไปใช้เป็นต้นแบบสำหรับชุมชนอื่นๆ ในการจัดการขยะอินทรีย์หรือขยะเศษอาหารต่อไป

## 5. ผลการวิจัย และวิจารณ์

### 5.1 สภาพและปัญหาขยะมูลฝอยในชุมชน

จากการสอบถามสภาพปัญหาผู้ที่ทำหน้าที่ในการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาล พบว่าขยะมูลฝอยที่อยู่ในชุมชนมากที่สุดคือขยะที่เป็นน้ำแฉะ เศษอาหาร ทำให้มีกลิ่นเหม็นเวลาเก็บขยะจะทำให้เกิดความสกปรก ชุมชนที่มีการจัดการขยะที่ดีที่สุดคือชุมชนฟ้ากรีนพาร์คริงสิต เฟส 2 เนื่องจากขยะมีน้อยบางถังไม่มีกลิ่นเหม็นจากน้ำขยะ มีการแยกขยะอย่างเรียบร้อยทำให้การจัดเก็บขยะมูลฝอยได้อย่างรวดเร็ว แนวทางในการจัดการขยะมูลฝอยของเทศบาลที่เหมาะสมคือต้องการให้ประชาชนในชุมชนมีการคัดแยกขยะจากต้นทาง แยกก่อนทิ้งลงถังขยะทุกครั้ง โดยเฉพาะมีการจัดทำถังขยะหอมทุกหลังคาเรือน การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของปริมาณขยะมูลฝอยเนื่องจากเกิดเป็นหมู่บ้านใหม่ต้องเข้าไปจัดเก็บขยะ ขยะที่จัดการได้ยากที่สุดคือขยะประเภทหลอดไฟมักจะพบมีการปนปนมากับขยะในครัวเรือน และอันตรายหากทำแตกจะมีสารพิษและเศษกระจก การลดปริมาณขยะมูลฝอยที่สามารถทำได้ง่ายที่สุดคือการคัดแยกขยะก่อนทิ้ง ปัญหาอุปสรรคที่ไม่สามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยได้คือประชาชนไม่ให้ความร่วมมือ ไม่คัดแยกขยะ ขยะอินทรีย์สามารถลดได้โดยวิธีการทำถังขยะอินทรีย์ทุกครัวเรือน

จากการสอบถามสภาพปัญหากับประชาชนในเขตพื้นที่เทศบาลเมืองลำสามแก้วเรื่องการจัดการขยะมูลฝอยแบบมีส่วนร่วมของชุมชนกับเทศบาลเมืองลำสามแก้ว เพื่อศึกษาสภาพปัญหาการจัดการขยะมูลฝอย พบว่าชุมชนรับทราบข้อมูลว่าการจัดการขยะว่าการรักษาความสะอาดเป็นหน้าที่ของทุกคน ควรมีการคัดแยกขยะก่อนทิ้งลงถังขยะ หากมีการคัดแยกขยะสามารถลดปริมาณขยะมูลฝอย ถึงคัดแยกขยะยังไม่เพียงพอและการเนะการคัดแยกขยะก่อนนำไปทิ้งไม่ทั่วถึงการส่งเสริมการคัดแยกขยะของเทศบาลอยู่ในระดับปานกลาง การคัดแยกขยะก่อนทิ้งสามารถลดปริมาณขยะมูลฝอยได้อยู่ในระดับมากที่สุด ชุมชนได้รับการส่งเสริมเรื่องการคัดแยกขยะมูลฝอยอยู่ในระดับมาก ชุมชนรับทราบข้อมูลว่ามีขยะบางอย่างสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อยู่ในระดับมากที่สุด การเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรทำให้มีปริมาณขยะมูลฝอยอยู่ในระดับมากที่สุด รับรู้ข้อมูลเรื่องการคัดแยกขยะมูลฝอยและได้คัดแยกขยะในชีวิตประจำวันอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนประเด็นด้านความร่วมมือกับเทศบาล คือ

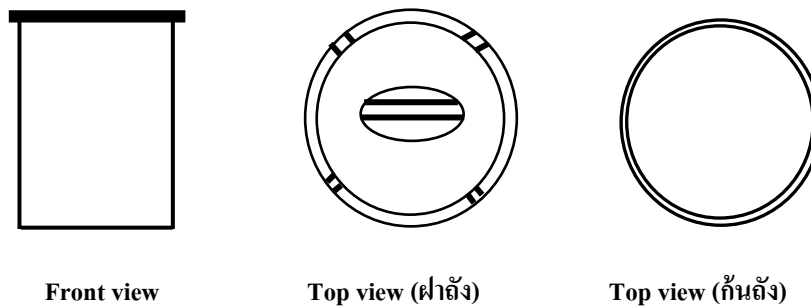
การให้ความร่วมมือในการลดปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันอยู่ในระดับมากที่สุด การให้ความร่วมมือในการนำขยะมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่หรือการรีไซเคิลอยู่ในระดับปานกลาง การส่งเสริมการจัดการขยะมูลฝอยโดยชุมชนเพื่อนำไปสู่ชุมชนต้นแบบอยู่ในระดับปานกลาง ความร่วมมือกับเทศบาลอยู่ในระดับมากที่สุด การอบรมให้ความรู้ด้านการคัดแยกขยะอยู่ในระดับมากที่สุด เจ้าหน้าที่เทศบาลมีส่วนร่วมในการจัดการขยะเพื่อการลดปริมาณขยะตั้งแต่ต้นทางอยู่ในระดับมากที่สุด ปริมาณขยะอินทรีย์ในครัวเรือนมีปริมาณมากที่สุดทำให้เกิดปัญหามลพิษเหม็นเน่าเวลาที่รถขยะมาเก็บขยะ แต่เป็นแหล่งเพาะพันธุ์เชื้อโรคต่างๆ

สภาพปัญหาในการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนเขตเทศบาลเมืองลำสามแก้ว ตำบลคูคต อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมธานี มีพื้นที่ 12.5 ตารางกิโลเมตร เป็นเขตปริมณฑลติดมีพื้นที่ติดกับกรุงเทพมหานคร บริเวณพื้นที่อยู่ใกล้จุดขึ้นรถไฟฟ้าสายสีเขียว BTS สถานีคูคต ทำให้มีการขยายตัวของจำนวนประชากรซึ่งเข้ามาอยู่อาศัย ปริมาณขยะมูลฝอยที่จัดเก็บในชุมชนมีอัตราเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เทศบาลเมืองลำสามแก้วได้พยายามแก้ไขปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยภายในพื้นที่อย่างต่อเนื่อง โดยมีการรณรงค์คัดแยกขยะให้แก่ผู้นำชุมชน ประชาชนในพื้นที่ มีการส่งเสริมการจัดตั้งธนาคารขยะให้แก่โรงเรียน ชุมชน มีการส่งเสริม สนับสนุนการจัดการขยะอินทรีย์โดยมีกลุ่มประชาชน สนใจและเข้าร่วมโครงการทำให้มีกลุ่มขยะหมอมเพื่อจัดการขยะอินทรีย์เกิดขึ้นในพื้นที่

## 5.2 การวางแผนและการสร้างถังขยะหมอม

### 5.2.1 การวางแผนและออกแบบถังขยะหมอม

เมื่อผ่านการวางแผนการสร้างถังขยะหมอม จึงมีการออกแบบ โดยการจัดทำแบบร่างก่อนการนำไปสร้างจริง ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงแบบร่างถังขยะหมอม

จากแบบร่างถังขยะหมอมทำให้สามารถสร้างถังขยะหมอมที่นำไปใช้ในชุมชนต้นแบบได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ขั้นที่ 1 จัดเตรียมถังพลาสติกสีดำมีฝาปิดขนาดความจุ 60 ลิตร (รูปที่ 2) โดยขนาดของถังพลาสติกสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความเหมาะสมของขนาดครัวเรือน





รูปที่ 2 ตัวอย่างถังพลาสติกสีดำ

ขั้นที่ 2 ตัดก้นถังพลาสติกสีดำออก ดังรูปที่ 3 เพื่อให้ขยะอินทรีย์ที่ใส่ลงไปไม่ถึง สามารถสัมผัสกับดินและกลุ่มจุลินทรีย์ภายในดินได้ ทำให้ขยะอินทรีย์ที่ใส่เข้าไปเกิดการย่อยสลายต่อไป



รูปที่ 3 ตัวอย่างการตัดก้นถังพลาสติก

ขั้นที่ 3 การเตรียมพื้นที่สำหรับวางถังขยะหอม โดยการขุดหลุมขนาดความลึก 2 ใน 3 ส่วนของความสูงของถังพลาสติกสีดำ ดังรูปที่ 4 ที่ผ่านการตัดก้นถังแล้ว จากนั้นนำถังพลาสติกสีดำใส่ลงในหลุมที่เตรียมไว้



รูปที่ 4 การเตรียมพื้นที่สำหรับวางถังขยะหอม

**ขั้นที่ 4** การทดลองใช้งานถังขยะหอม ขั้นตอนการใช้งานแสดงดังรูปที่ 5 โดยใช้ระยะเวลา 2 เดือน จึงติดตามผลการใช้งาน รวมถึงปริมาณการลดลงของขยะอินทรีย์ในครัวเรือน



**รูปที่ 5** การทดลองการใช้งานถังขยะหอม

### 5.3. การเปรียบเทียบการใช้งานและสรุปผลการใช้ถังขยะหอม

หลังจากการใช้งานถังขยะหอม ในขั้นสุดท้ายจึงมีการเปรียบเทียบการใช้งาน โดยใช้การเก็บข้อมูลจากแบบสอบถามชุมชนที่เข้าร่วมโครงการถังขยะหอมพบว่า เป็นเพศหญิงเป็นส่วนใหญ่ มีการศึกษาระดับปริญญาตรี อาชีพแม่บ้าน มีรายได้ต่อเดือน 10,000 – 20,000 บาท จากการตั้งคำถามเรื่องถังขยะหอมสามารถลดปริมาณขยะอินทรีย์ได้เป็นอย่างดี ร้อยละ 73.9 ระดับมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 26.1 ระดับมาก ถังขยะหอมมีขั้นตอนและวิธีใช้ที่สะดวกสามารถใช้งานได้ง่าย ร้อยละ 52.2 ระดับมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 43.5 ระดับมาก ถ้านักเรียนภาครัฐไม่สนับสนุนถังขยะหอมก็จะไม่เข้าร่วมโครงการ ร้อยละ 55 ระดับปานกลาง รองลงมา ร้อยละ 25 ระดับน้อย และ ร้อยละ 10 ระดับมาก ตามลำดับ ถังขยะหอมสามารถทำให้ท่านมีพฤติกรรมการคัดแยกขยะ ร้อยละ 82.6 ระดับมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 13 ระดับมาก ท่านยินดีที่จะใช้ถังขยะหอมตลอดไป ร้อยละ 73.9 ระดับมากที่สุด รองลงมา 26.1 ระดับมาก ถังขยะหอมสิ้นเปลืองเนื้อที่ใส่ขยะในบ้าน ร้อยละ 59.1 ระดับน้อยที่สุด รองลงมา ร้อยละ 27.3 ระดับน้อย และ ร้อยละ 9.1 ระดับปานกลาง ท่านยินดีที่จะสนับสนุนหรือช่วยบอกต่อการใช้งานถังขยะหอม ร้อยละ 73.9 ระดับมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 13 ระดับมาก รองลงมา ร้อยละ 13 ระดับมาก และ ร้อยละ 13 ระดับปานกลาง ท่านตัดสินใจใช้ถังขยะหอมเพราะเห็นประโยชน์จากผู้ที่เคยใช้ ร้อยละ 69.6 ระดับมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 17.4 ระดับมาก และ ร้อยละ 13 ระดับปานกลาง ท่านยินดีที่จะมีส่วนร่วมในการคัดแยกขยะให้กับชุมชน ร้อยละ 69.6 ระดับมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 30.4 ท่านพึงพอใจต่อการใช้งานถังขยะหอม ร้อยละ 70 ระดับมากที่สุด รองลงมา ร้อยละ 25 ระดับมาก

จากการศึกษาพบว่าอาชีพที่มีความสนใจในการจัดการขยะอินทรีย์คือแม่บ้าน หากมีถังขยะอินทรีย์ไว้สำหรับคัดแยกขยะจะมีพฤติกรรมในการจัดการขยะนอกจากขยะอินทรีย์ ถังขยะอินทรีย์ไม่เปลืองเนื้อที่ใส่ขยะภายในบ้านสำหรับบ้านที่มีเนื้อที่เหลือน้อยและมีดิน หน่วยงานภาครัฐมีบทบาทสำคัญในการส่งเสริมให้ประชาชนมีส่วนร่วมในการจัดการขยะหากมีการสนับสนุนส่งเสริมประชาชนจะมีความสนใจ และเกิดเป็นนวัตกรรม

จัดการขยะมูลฝอยโดยชุมชนเกิดการบอกต่อถึงประโยชน์การใช้งานถังขยะหอม และมีการเชิญชวนให้มีการจัดการขยะอินทรีย์อย่างยั่งยืน

## 6. บทสรุป

ปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยในชุมชนเกิดจากการที่ไม่มีการคัดแยกขยะจากต้นทางทำให้มีปริมาณขยะมูลฝอยเป็นจำนวนมากส่วนใหญ่ปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นคือขยะอินทรีย์ รองลงมาคือขยะที่สามารถนำไปรีไซเคิลได้ เมื่อมีการแยกขยะอินทรีย์จะทำให้เกิดพฤติกรรมคัดแยกขยะประเภทอื่น ปริมาณขยะครัวเรือนเมื่อมีการคัดแยกขยะอินทรีย์ จะมีปริมาณขยะมูลฝอยที่เทศบาลจัดเก็บจำนวนลดน้อยลง ไม่มีกลิ่นเหม็นจากถังขยะเพราะขยะที่มีกลิ่นส่วนใหญ่มาจากขยะอินทรีย์ เมื่อจัดการขยะต้นปัญหาก็จะช่วยลดกลิ่นเหม็น ปัญหากลิ่นเหม็นออกจากร้านขายแก๊สลดลง ทำให้ได้ชื่อว่าถังขยะหอม การจัดการโดยภาคประชาชนมีความสำคัญในการช่วยให้เกิดประสิทธิผลสำเร็จอย่างยั่งยืน

## 7. ข้อเสนอแนะ

1. ภาครัฐควรมีการประชาสัมพันธ์ทำให้เห็นอย่างจริงจัง จัดโครงการแยกขยะในทุกหน่วยงานราชการอย่างต่อเนื่อง เป็นการนำร่องให้ประชาชนเห็นคุณค่าประโยชน์ รักษาสิ่งแวดล้อม และช่วยรัฐประหยัดต้นทุนในการกำจัดขยะ
2. ถึงแม้ถังขยะหอมจะเห็นผลชัดแต่เชื่อมั่นได้เลยยังยื่นขอให้ภาครัฐสนับสนุนตลอดไป

## 8. เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย. (2561). ระบบข้อมูลกลางกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นเทศบาลเมืองลำสามแก้ว. สืบค้นจาก <http://www.dla.go.th/index.jsp>
- กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย สืบค้นเมื่อวันที่ 20 ต.ค. 62, จาก [http://www.dla.go.th/upload/document/type2/2019/2/21247\\_2\\_1549515241145](http://www.dla.go.th/upload/document/type2/2019/2/21247_2_1549515241145)
- กรมการปกครอง สำนักบริการการจดทะเบียน เทศบาลเมืองลำสามแก้ว. (2561). ข้อมูลการจดทะเบียนของพนักงาน. สืบค้นจาก <http://www.lamsamkaeo.go.th>
- ปิยชาติ ศิลปสุวรรณ. (2557) **บทความวิชาการ ขยะมูลฝอยชุมชน ปัญหาใหญ่ที่ประเทศกำลังเผชิญ**. ปีที่ 4 ฉบับที่ 7 เดือนเมษายน 2557
- วิไลลักษณ์ สวนมะลิ และสุรัชย์ มุลมวล. (2560). **การศึกษาปริมาณแบคทีเรีย เชื้อรา และแอกติโนมัยสัท ในดินปลูกกล้วยไข่ ตำบลสระแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดกำแพงเพชร**. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สสวท.) ปีที่ 4 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม-ธันวาคม 2560.
- อมาวาสี อัมพันศิริรัตน์ และพิมพ์มล วงศ์ไชยา. (2560). **การวิจัยเชิงปฏิบัติการแบบมีส่วนร่วม : ลักษณะสำคัญและการประยุกต์ใช้**. วารสารมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ปีที่ 36 ฉบับที่ 6 พฤศจิกายน - ธันวาคม พ.ศ.2560

## โพรดิวเซอร์ก๊าซจากชีวมวลอัดแท่งสำหรับเชื้อเพลิงทางเลือกในโหมดเชื้อเพลิงร่วมของ เครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า

### PRODUCER GAS FROM WOOD-PELLET BIOMASS FOR ALTERNATIVE FUEL IN DUAL-FUEL MODE OF A DIESEL-ENGINE GENERATOR

เอกชัย สุธีรศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: ekkachai@eng.buu.ac.th

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาสมรรถนะและการปล่อยสารพิษต่างๆ จากก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า ณ ความเร็วรอบคงที่ 2,600 รอบต่อนาที (rpm) และเปลี่ยนแปลงภาระงานต่างๆ เมื่อใช้โพรดิวเซอร์ก๊าซซึ่งผลิตจากชีวมวลอัดแท่งโดยใช้เตาก๊าซซิฟเฟอร์แบบไหลลงในโหมดเชื้อเพลิงร่วม ผลลัพธ์ต่างๆ ของการทดสอบเครื่องยนต์ แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรดิวเซอร์ก๊าซร้อยละ 80 ในโหมดเชื้อเพลิงร่วม สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนได้ เนื่องจากการประหยัดน้ำมันดีเซลถูกเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 24 สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงกว่าแต่การปล่อยสารพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์มากกว่าโหมดการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว อย่างไรก็ตาม การใช้โพรดิวเซอร์ก๊าซร้อยละ 80 ในโหมดเชื้อเพลิงร่วม ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์สูงกว่า และการปล่อยสารพิษต่างๆ จากก๊าซไอเสียต่ำกว่าการใช้โพรดิวเซอร์ก๊าซร้อยละ 100

คำสำคัญ: เครื่องยนต์ดีเซล โพรดิวเซอร์ก๊าซ น้ำมันดีเซล สมรรถนะ สารพิษต่างๆ จากก๊าซไอเสีย

#### ABSTRACT

The main purpose of this research is to study the performance and exhaust-gas emissions of a diesel-engine generator at constant speed 2,600 rpm with different loads. When using producer gas that was generated from wood-pellet biomass by using a downdraft gasifier in dual-fuel mode, results of the engine test indicated that the use of diesel combining with 80% producer gas in dual-fuel mode can be used as alternative fuel, because the diesel saving was increased to 24%. Engine performance was high but engine emissions was higher than the pure diesel mode. However, using 80% of producer gas in dual-fuel mode has given a higher engine performance and the exhaust-gas emissions was lower than using 100% producer gas.

**Keywords:** Diesel engine, Producer gas, Diesel, Performance, Exhaust-gas emissions

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

การใช้พลังงานหมุนเวียนจากชีวมวลต่างๆ มีปริมาณ 685 พันตัน เทียบเท่าน้ำมันดิบเพิ่มขึ้นร้อยละ 10.1 ของการใช้พลังงานขั้นสุดท้ายของประเทศไทยในเดือนแรกของปี 2562 ขณะที่เป้าหมายการใช้พลังงานชีวมวลต่างๆ ตามแผนการพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก (AEDP2015) พ.ศ. 2558-2579 โดยสำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน กระทรวงพลังงาน มีแผนจะเพิ่มการใช้พลังงานจากชีวมวลต่างๆ ให้สูงขึ้นถึงร้อยละ 25 สำหรับแหล่งที่มาของชีวมวลต่างๆ นั้น มาจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น แกลบ ชานอ้อย เศษไม้ และอื่นๆ โดยนำมาอัดเป็นแท่ง เรียกว่า ชีวมวลอัดแท่ง ซึ่งถูกป้อนเข้าเตาก๊าซซิไฟเออร์ เพื่อผลิตโพรคิวเซอร์ก๊าซ และนำมาใช้ในกระบวนการอบแห้ง สำหรับพืชผลทางการเกษตร และกระบวนการผลิตไฟฟ้า สำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล [Sutheerasak et al., (2018)]

อย่างไรก็ตามในถิ่นทุรกันดาร มีประชาชนซึ่งต้องการไฟฟ้า เพื่อใช้ในการดำรงชีวิต และประกอบอาชีพทางการเกษตรและการประมง โดยการใช้เครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า เนื่องจากเครื่องยนต์นี้ มีการประหยัดเชื้อเพลิง กำลังงานสูง และค่าบำรุงรักษาต่ำ แต่ความผันผวนของราคาน้ำมันดีเซล และความไม่สะดวกในการหาแหล่งจัดซื้อน้ำมัน B10 และ B20 นำมาสู่การหาแหล่งพลังงานทางเลือกใหม่ เพื่อประชาชนในถิ่นทุรกันดารได้ใช้ในขณะที่ยังคงเหลือทิ้งทางการเกษตร เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหนึ่ง โดยนำมาผลิตโพรคิวเซอร์ก๊าซจากเตาก๊าซซิไฟเออร์ต่างๆ แต่โพรคิวเซอร์ก๊าซ ไม่สามารถจุดระเบิดโดยตรงภายในเครื่องยนต์ดีเซล เนื่องจากอุณหภูมิในการจุดระเบิดโพรคิวเซอร์ก๊าซด้วยตัวเองสูงประมาณ 500 °C Hadkar และ Amarnath (2015) เสนอว่า การใช้โพรคิวเซอร์ก๊าซในโหมดเชื้อเพลิงร่วม โดยโพรคิวเซอร์ก๊าซผสมกับอากาศผ่านห้องผสม และส่งเข้าท่อร่วมไอดี ขณะที่น้ำมันดีเซลถูกฉีดตามจังหวะการทำงานปกตินั้น สามารถจุดระเบิดโพรคิวเซอร์ก๊าซได้ และประหยัดน้ำมันดีเซล

ต่อมา Sutheerasak et al. (2018) ศึกษาการใช้โพรคิวเซอร์ก๊าซที่ผลิตจากถ่านไม้ และกะลามะพร้าว ในโหมดเชื้อเพลิงร่วม โดยเพิ่มอัตราการไหลของโพรคิวเซอร์ก๊าซถึง 125 lpm เมื่อใช้ในเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง 3 สูบ 4 จังหวะ แบบไม่ตัดแปลง ทำให้การประหยัดน้ำมันดีเซลเพิ่มถึงร้อยละ 41 นอกจากนี้ Singh และ Mohapatra (2018) และ Lal และ Mohapatra (2017) ใช้เศษไม้ ชี้เลื่อย และ ก้านฝ้าย Mathanmohan และ Vivekanandan (2017) ใช้ชานอ้อย และเศษไม้ Indrawan et al. (2017) ใช้ไม้สับ Dhole et al. (2016) ใช้แกลบ Rith et al. (2016) ใช้ต้นสบู่ดำและเปลือกของเม็ดสบู่ดำ และ Das et al. (2012) ใช้เศษไม้และซังข้าวโพด เพื่อผลิตโพรคิวเซอร์ก๊าซจากเตาก๊าซซิไฟเออร์แบบไหลลง และใช้ร่วมกับน้ำมันดีเซล ทดสอบกับเครื่องยนต์ดีเซลแบบฉีดตรง 1 สูบ 4 จังหวะ และปรับแต่งเครื่องยนต์ มีการประหยัดน้ำมันดีเซลเพิ่มถึงร้อยละ 60 ขณะที่กำลังงานจากการใช้ก๊าซซึ่งผลิตจากชีวมวลเหล่านี้ เมื่อใช้โหมดเชื้อเพลิงร่วมมีค่าใกล้เคียงกับโหมดน้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

จากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมา มีงานวิจัยบางส่วนใช้ชีวมวลอัดแท่งผลิตโพรคิวเซอร์ก๊าซเพื่อใช้สำหรับเครื่องยนต์ แต่มีการปรับแต่งเครื่องยนต์ เพื่อนำเสนอการใช้ก๊าซที่ผลิตจากชีวมวลอัดแท่งเป็นพลังงานทางเลือก สำหรับประชาชนในถิ่นทุรกันดาร วัตถุประสงค์หลักของการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการใช้โพรคิวเซอร์ก๊าซจากชีวมวลอัดแท่งร่วมกับน้ำมันดีเซลในโหมดเชื้อเพลิงร่วมเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว โดยตรวจสอบคุณสมบัติของโพรคิวเซอร์ก๊าซที่ผลิตจากชีวมวลอัดแท่ง และทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าที่ไม่ปรับแต่ง ณ ความเร็วรอบคงที่ และเปลี่ยนแปลงภาระงาน เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการนำเสนอประชาชนในถิ่นทุรกันดาร และใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในอนาคต

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

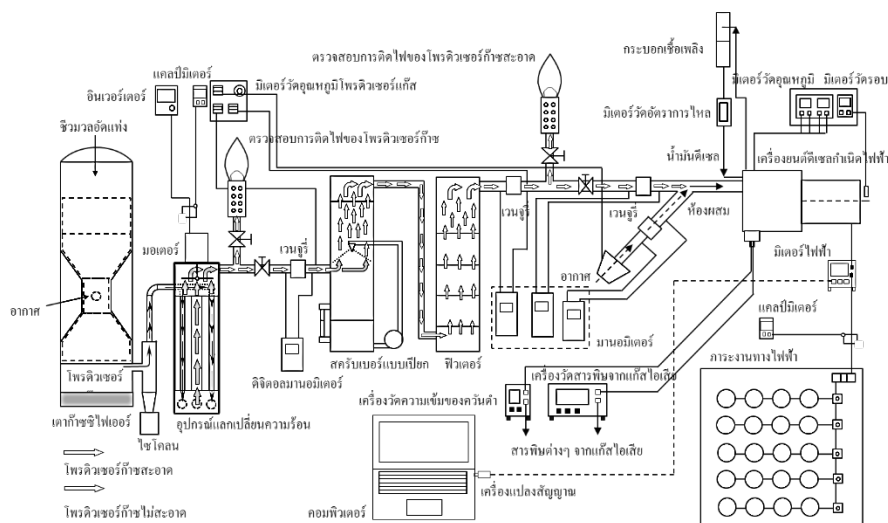
### 2.1 การผลิตโพรคิวเซอร์ก๊าซจากชีวมวลอัดแท่ง

การวิจัยนี้ โพรคิวเซอร์ก๊าซ ถูกผลิตจากชีวมวลอัดแท่ง โดยชีวมวลอัดแท่งถูกป้อนทางด้านบนของเตา ก๊าซซีไฟเออร์แบบไหลลงขนาดเล็ก ซึ่งมีข้อมูลต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 1 ต่อมาโพรคิวเซอร์ก๊าซถูกจัดฝุ่นผง ด้วยไซโคลน และลดอุณหภูมิของก๊าซและปริมาณน้ำมันดินโดยใช้อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน ขณะที่มีการทดสอบความสามารถในการติดไฟของก๊าซ ก่อนส่งเข้าไปทำความสะอาด และลดปริมาณน้ำมันดินอีกครั้ง โดยใช้สกริมเบอร์แบบเปียก และดึงความชื้นและไอน้ำที่ปะปนมากับโพรคิวเซอร์ก๊าซสะอาดโดยใช้ฟิวเตอร์

ตารางที่ 1 ข้อมูลต่างๆ ของเตาก๊าซซีไฟเออร์ที่ใช้ในงานวิจัย

ข้อมูล	รายละเอียด
ลักษณะเตาก๊าซซีไฟเออร์	แบบไหลลง และ เต็มชีวมวลตลอดเวลา
ความจุสูงสุด (kW <sub>th</sub> )	27.82±0.03
อัตราการป้อนชีวมวลอัดแท่ง (kg/h)	5.7±0.3
ค่าความร้อนของชีวมวลอัดแท่ง (MJ/kg)	17.57±0.08
ความยาวของชีวมวลอัดแท่ง (mm)	30±2
ประสิทธิภาพของเตา (%)	72±3

ก่อน โพรคิวเซอร์ก๊าซสะอาด ถูกส่งเข้าเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าดังแสดงในรูปที่ 1 นั้น มีการตรวจสอบความสามารถในการติดไฟของโพรคิวเซอร์ก๊าซสะอาดอีกครั้ง และมีการเก็บตัวอย่างของโพรคิวเซอร์ ก๊าซสะอาดเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบต่างๆ ของโพรคิวเซอร์ก๊าซ โดยใช้เครื่อง Gas Chromatography พบว่า โพรคิวเซอร์ก๊าซสะอาดนี้ มีองค์ประกอบต่างๆ ดังแสดงในตารางที่ 2 และค่าความร้อนของโพรคิวเซอร์ก๊าซ สะอาดจากการคำนวณเท่ากับ 4.76±0.12 MJ/m<sup>3</sup> สำหรับน้ำมันดีเซลที่ใช้ร่วมกับโพรคิวเซอร์ก๊าซสะอาดนั้น เป็นน้ำมันดีเซลธรรมดา มีค่าความร้อนของเชื้อเพลิงเท่ากับ 44.46±0.07 MJ/kg



รูปที่ 1 รูปแบบของชุดทดสอบ

ตารางที่ 2 องค์ประกอบของโพรคิวเซอร์ก๊าซที่ผลิตจากชีวมวลอัดแท่ง

ชนิดของก๊าซ	องค์ประกอบก๊าซ (%) โดยปริมาตร
ไฮโดรเจน (H <sub>2</sub> )	13.7±3.5
คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)	20.3±3.0
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO <sub>2</sub> )	10.5±1.5
มีเทน (CH <sub>4</sub> )	1.5±0.5
ไนโตรเจน (N <sub>2</sub> )	53.5±2.5

หลังจากโพรคิวเซอร์ก๊าซสะอาดมีความสามารถในการติดไฟ มีการเปิดวาล์วเพื่อส่งโพรคิวเซอร์ก๊าซสะอาดเข้าห้องผสม และผสมกับอากาศ ก่อนส่งเข้าท่อร่วมไอดี และห้องเผาไหม้ของเครื่องยนต์ ขณะที่น้ำมันดีเซลถูกฉีดตามจังหวะการทำงานปกติของเครื่องยนต์นี้ โดยแต่ละจุดของโพรคิวเซอร์ก๊าซและอากาศที่ไหลภายในท่อนั้น มีการตรวจสอบอัตราการไหล โดยใช้เวนจูร์ซึ่งต่อกับคิวิตอลมานอมิเตอร์

## 2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

รูปที่ 1 ณ อีกส่วนหนึ่งของการวิจัยนี้ แสดงชุดทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า Mitsuiki 418 cc รุ่น 5GF-ME แบบฉีดตรง 1 สูบ 4 จังหวะ ระบายความร้อนด้วยอากาศ ใช้ น้ำมันดีเซลเป็นเชื้อเพลิง ผลิตกำลังไฟฟ้าสูงสุด 5 kWe ณ ความเร็วรอบ 3,000 rpm โดยไม่ตัดแปลงเครื่องยนต์ สำหรับการเพิ่มภาระงานให้กับเครื่องยนต์นี้ การวิจัยนี้ ใช้ภาระงานทางไฟฟ้าที่ออกแบบเป็นวงจรไฟฟ้าแบบผสม และวัดกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากการเพิ่มภาระงานร้อยละ 20 ถึง 100 โดยการใช้นิเตอร์ไฟฟ้า Richtmass รุ่น RP-96EN ต่อกับแคปปีลอค IMARI-CT100/1A และตัวแปลงสัญญาณ Richtmass RS485 เพื่อแปลงสัญญาณเข้าคอมพิวเตอร์ ผ่าน Hardlock RP series และประมวลผลของกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมา สำหรับการตรวจสอบอุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ ได้แก่ อุณหภูมิหล่อเย็น โพรคิวเซอร์ก๊าซ อากาศ และแก๊สไอเสีย การวิจัยนี้ เลือกใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ต่อกับมิเตอร์วัดอุณหภูมิ และมีมิเตอร์วัดรอบสำหรับตรวจสอบความเร็วรอบของเครื่องยนต์ซึ่งติดตั้งในตู้ควบคุม สำหรับการวัดอัตราการไหลเชื้อเพลิงนั้น กระจบอกเชื้อเพลิงถูกติดตั้งกับมิเตอร์วัดอัตราการไหล ในส่วนของการตรวจสอบสารพิษต่างๆ จากก๊าซไอเสีย การวิจัยนี้ใช้เครื่องวัดสารพิษจากก๊าซไอเสียรุ่น Cosber: KWQ-5 Automotive emission analyzer และเครื่องวัดความเข้มข้นของควันดำรุ่น Cosber: KYD-6 Opacimeter เพื่อวัดปริมาณของ CO<sub>2</sub>, CO, NO และควันดำ ซึ่งวิเคราะห์จากความเข้มของควันดำ

## 2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล

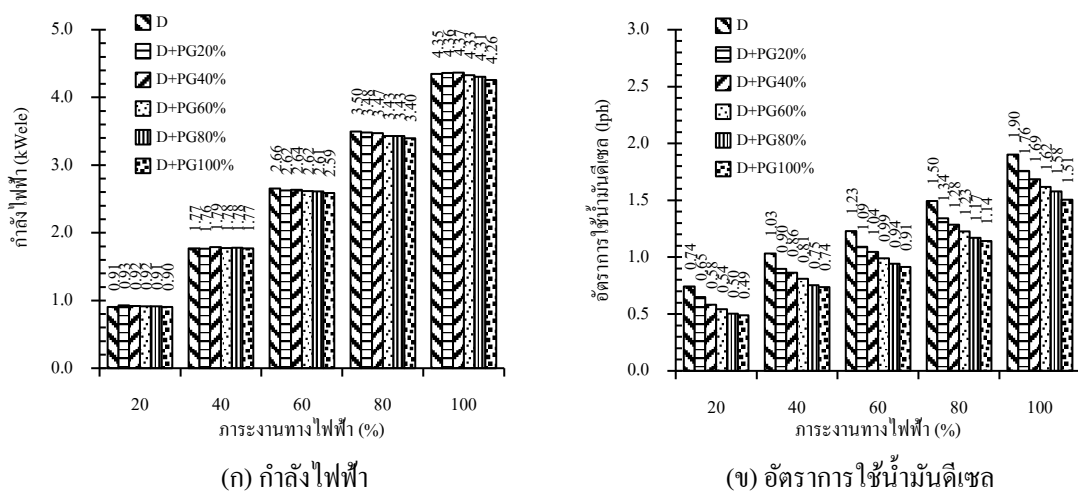
เริ่มต้นจากการอุ่นเครื่องยนต์เวลา 15 min โดยตรวจสอบอุณหภูมิเครื่องยนต์จากมิเตอร์วัดอุณหภูมิ เมื่ออุณหภูมิต่างๆ คงที่ ทำการทดสอบโหมดการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว โดยปรับความเร็วรอบครั้งที่ 2,600 rpm ค่าความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ±50 rpm หลังจากนั้น เพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าร้อยละ 20 เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงที่ บันทึกความเร็วรอบ กำลังไฟฟ้า อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ อัตราการไหลของอากาศ เวลาในการเผาผลาญน้ำมันดีเซลจากการกำหนดปริมาณน้ำมันดีเซลครั้งที่ 20 ml เทียบกับเครื่องวัดอัตราการไหลเชื้อเพลิง เพื่อนำไปวิเคราะห์ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง และการปล่อยสารพิษต่างๆ จากก๊าซไอเสีย ต่อมา เพิ่มภาระงานร้อยละ 40 และ บันทึกข้อมูลต่างๆ เหมือนกับการทดสอบที่ภาระงานร้อยละ 20 หลังจากนั้น เพิ่มภาระงานร้อยละ 60 ถึง 100 และบันทึกข้อมูลต่างๆ เหมือนกับการทดสอบที่ภาระงานร้อยละ 20

หลังจากสิ้นสุดการทดสอบการใช้น้ำมันดีเซล เริ่มเปิดวาล์วจากจุดตรวจสอบการติดไฟของโพรวินเซอร์ ก๊าซสะอาด โดยเปิดวาล์วร้อยละ 20 เพื่อส่งโพรวินเซอร์ก๊าซสะอาด (PG) ผสมกับอากาศภายในห้องผสม และส่งเข้าท่อไอเสียของเครื่องยนต์ โดยควบคุมความเร็วรอบคงที่  $2,600 \pm 50$  rpm เมื่อเครื่องยนต์อยู่ในสภาวะคงที่ เพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าร้อยละ 20 หลังจากนั้นบันทึกข้อมูลต่างๆ ได้แก่ ความเร็วรอบ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้ อุณหภูมิ ณ จุดต่างๆ อัตราการไหลของ PG และอากาศ เวลาในการเผาผลาญน้ำมันดีเซลจากการกำหนดปริมาณน้ำมันดีเซลคงที่ 20 ml เทียบกับเครื่องวัดอัตราการไหลเชื้อเพลิง และปริมาณสารพิษต่างๆ เมื่อสิ้นสุดการทดสอบนี้ เพิ่มภาระงานร้อยละ 40 จนถึง 100 และบันทึกข้อมูลต่างๆ เหมือนการทดสอบที่ภาระงานร้อยละ 20

เมื่อเสร็จสิ้นการทดสอบ ณ ปริมาณของ PG จากการเปิดวาล์วร้อยละ 20 มีการเพิ่มปริมาณของ PG จากการเปิดวาล์วร้อยละ 40 และทำการทดสอบเครื่องยนต์ ในสภาวะเดียวกันกับการใช้ปริมาณของ PG จากการเปิดวาล์วร้อยละ 20 หลังจากนั้น มีการเปิดวาล์วเพื่อเพิ่มปริมาณของ PG ร้อยละ 60 จนถึง 100 โดยใช้สภาวะการทดสอบเดียวกันกับการใช้ปริมาณของ PG จากการเปิดวาล์วร้อยละ 20 สุดท้าย นำข้อมูลต่างๆ ทั้งหมดจากการใช้น้ำมันดีเซล (D) ร่วมกับปริมาณของ PG จากการเปิดวาล์วร้อยละ 20, 40, 60, 80 และ 100 โดยกำหนดตัวแปรต่างๆ เป็น D+PG20%, D+PG40%, D+PG60%, D+PG80% และ D+PG100% ณ สภาวะการทดสอบ ความเร็วรอบคงที่ 2,600 rpm และภาระงานถูกเพิ่มจาก 20 ถึง 100 เปรียบเทียบกับโหมดการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว (D)

### 3. ผลการวิจัย

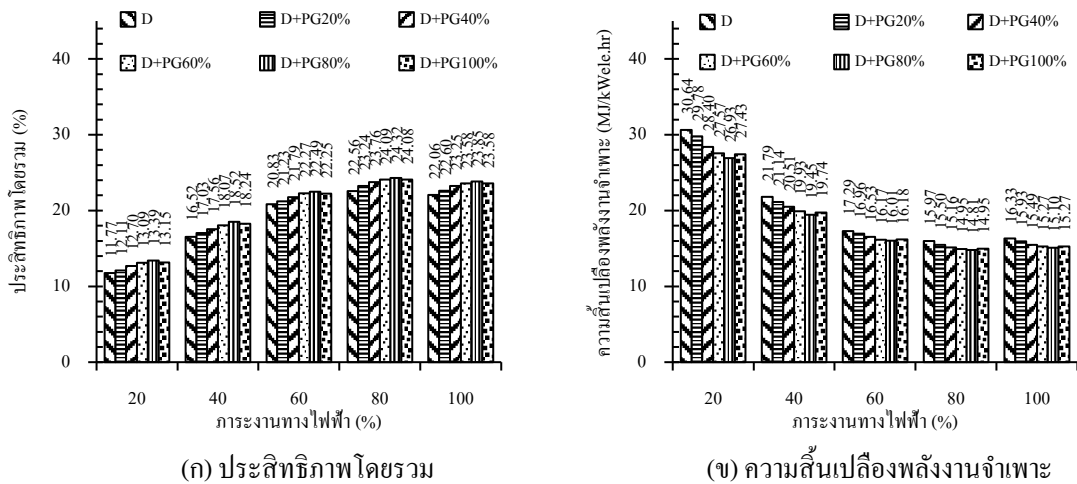
รูปที่ 2 (ก) แสดงกำลังไฟฟ้า ณ ภาระงานต่างๆ พบว่า กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มภาระงานทางไฟฟ้า ขณะที่กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับ PG (D+PG) มีการเปลี่ยนแปลงไป โดยการใช้ D+PG100% ณ ภาระงานเต็ม (100%) มีกำลังไฟฟ้าต่ำกว่าโหมดการใช้น้ำมันดีเซล ในขณะเดียวกัน รูปที่ 2 (ข) แสดงให้เห็นว่า อัตราการใช้น้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มภาระงาน สำหรับการใช้น้ำมันดีเซลนั้น มีการลดลงของอัตราการใช้น้ำมันดีเซลตามการเพิ่มปริมาณของ PG ซึ่งนำไปสู่การประหยัดน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น รูปที่ 3 (ก) แสดงประสิทธิภาพโดยรวม โดยเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มภาระงานจนถึงภาระงานร้อยละ 80 ขณะที่การใช้ภาระงานเต็มที่มีการลดลงของประสิทธิภาพโดยรวม เนื่องจากการสูญเสียความร้อนและความเสียดทานเพิ่มขึ้น



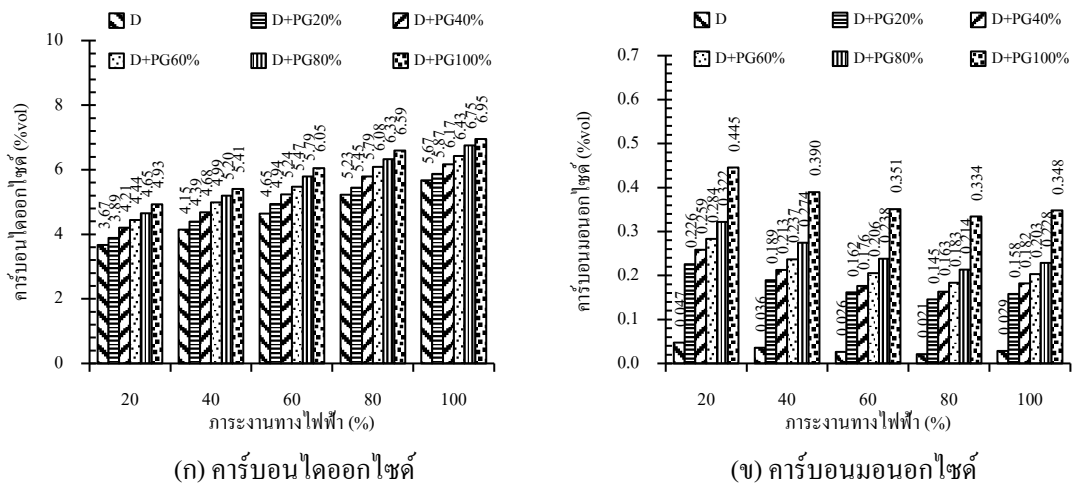
รูปที่ 2 กำลังไฟฟ้า และอัตราการใช้น้ำมันดีเซล ณ ภาระงานต่างๆ



สำหรับการใช้ D+PG มีประสิทธิภาพโดยรวมสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลตามการเพิ่มปริมาณของ PG ส่วนรูปที่ 3 (ข) แสดงผลลัพธ์ของความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (Specific Energy Consumption, SEC) พบว่า SEC ลดลงตามการเพิ่มภาระงานจนถึงภาระงานร้อยละ 80 ขณะที่การใช้ภาระงานเต็มที่ มีการเพิ่มขึ้นของ SEC โดยสอดคล้องกับประสิทธิภาพโดยรวม เนื่องจาก SEC มีผลลัพธ์ตรงกันข้ามกับประสิทธิภาพโดยรวม ดังนั้น การใช้ภาระงานร้อยละ 80 เป็นจุดที่ให้สมรรถนะของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าที่ดีที่สุด สำหรับการใช้น้ำมันดีเซล D+PG แสดงให้เห็นว่า มีการลดลงของ SEC ตามการเพิ่มปริมาณของ PG ดังนั้น การใช้ D+PG มีการประหยัดพลังงานมากกว่า และประสิทธิภาพโดยรวมสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ตามการเพิ่มปริมาณของ PG สำหรับผลการตรวจสอบการปล่อยสารพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้านี้ ถูกแสดงในรูปที่ 4 และ 5



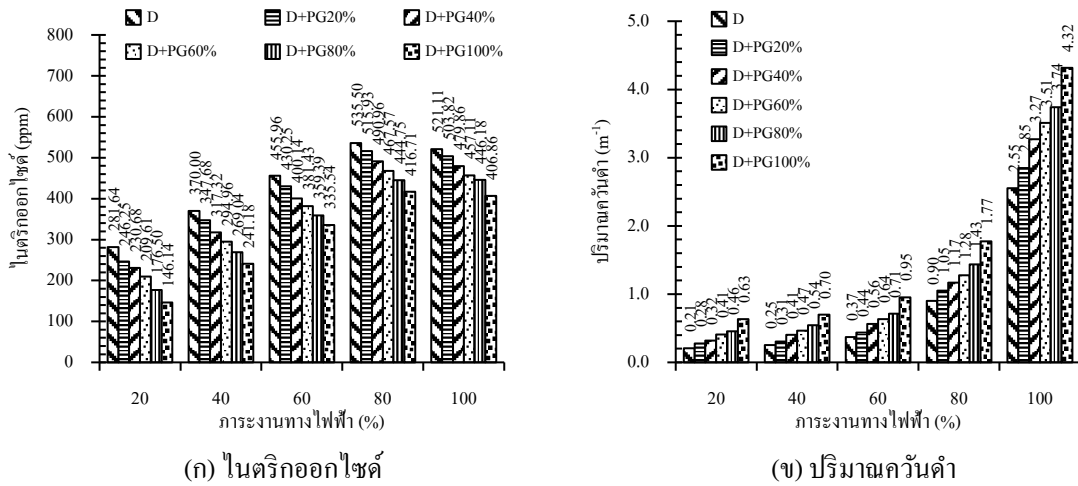
รูปที่ 3 ประสิทธิภาพโดยรวม และความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ ณ ภาระงานต่างๆ



รูปที่ 4 คาร์บอนไดออกไซด์ และคาร์บอนมอนอกไซด์ ณ ภาระงานต่างๆ

โดยรูปที่ 4 (ก) แสดงผลการวัดระดับของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) พบว่า ระดับของ CO<sub>2</sub> ถูกเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มภาระงานและปริมาณของ PG ส่วนรูปที่ 4 (ข) แสดงผลการปล่อยคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) โดยปริมาณของ CO ลดลงตามการเพิ่มภาระงาน แต่การใช้ D+PG นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของระดับ CO ตามการเพิ่มปริมาณของ PG สำหรับรูปที่ 5 (ก) แสดงผลการปล่อยไนตริกออกไซด์ (NO) พบว่า การปล่อย NO เพิ่มขึ้นตาม

การเพิ่มภาระงาน แต่การใช้ D+PG นำไปสู่การลดลงของ NO ตามการเพิ่มปริมาณของ PG ในทุกภาระงาน ส่งผลให้การปล่อยควันดำเพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 5 (ข) ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การใช้ D+PG ก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของการปล่อยปริมาณควันดำ โดยสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นจากการปล่อย CO ขณะที่ปริมาณควันดำเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มภาระงานด้วย



รูปที่ 5 ไนตริกออกไซด์ และ ปริมาณควันดำ ณ ภาระงานต่างๆ

#### 4. อภิปรายผลการวิจัย

(1) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากการใช้ D+PG ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล เนื่องจากการวิจัยนี้กำหนดภาระงานทางไฟฟ้าคงที่ เพื่อผลิตกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม การวิจัยนี้พบว่า การใช้ D+PG เมื่อ PG ถูกเพิ่มจากร้อยละ 60 ถึง 100 ณ ภาระงานร้อยละ 60 ถึง 100 ดังแสดงในรูปที่ 2 (ก) นั้น เกิดการลดลงของกำลังไฟฟ้า โดยผลลัพธ์เหล่านี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Singh และ Mohapatra (2018) ทั้งนี้ มีสาเหตุมาจากการทดสอบที่ภาระงานร้อยละ 60 ถึง 100 โพรคิวเซอร์ก๊าซ (PG) สามารถจุดระเบิดรวดเร็วกว่าน้ำมันดีเซล ซึ่งนำไปสู่การลดลงของการฉีดน้ำมันดีเซล ดังนั้น พลังงานหลักที่ป้อนเข้าไปจากน้ำมันดีเซลถูกลดลง ด้วยพลังงานอีกส่วนจาก PG ที่ป้อนแทนที่ แต่พลังงานจาก PG ต่ำกว่า เพราะค่าความร้อนของ PG ซึ่งผลิตจากชีวมวลอัดแห้งต่ำกว่าน้ำมันดีเซลหลายเท่า ถึงแม้จะมีการเพิ่มปริมาณของ PG ส่งผลให้พลังงานความร้อนจากการเผาไหม้ถูกเปลี่ยนรูปเป็นพลังงานกลและถูกผลิตออกมาเป็นกำลังไฟฟ้าจากการใช้ D+PG เมื่อ PG ถูกเพิ่มขึ้น มีการลดลงอย่างต่อเนื่อง

(2) อัตราการใช้น้ำมันดีเซลจากการใช้ D+PG ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลทุกภาระงาน และการเพิ่มปริมาณ PG นำไปสู่การลดลงของอัตราการใช้น้ำมันดีเซลอย่างต่อเนื่อง ณ ภาระงานเต็มที่ใช้ D+PG100% มีอัตราการใช้น้ำมันดีเซลลดลงถึง 0.4 lph ทำให้การประหยัดน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นร้อยละ 21 โดยไม่ต้องแปลงเครื่องยนต์และผลลัพธ์เหล่านี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutheerasak et al. (2018) เนื่องจากการใช้ PG นำไปสู่จังหวะการจุดระเบิดรวดเร็ว และอัตราการเผาไหม้รวดเร็วกว่าการใช้น้ำมันดีเซล ส่งผลให้การฉีดน้ำมันดีเซลในช่วงเริ่มต้นของการเผาไหม้น้ำมันดีเซลลดลง ทำให้อัตราการใช้น้ำมันดีเซลลดลง และการประหยัดน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้น

(3) ประสิทธิภาพโดยรวมจากการใช้ D+PG สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลทุกภาระงาน และการเพิ่มปริมาณ PG จากร้อยละ 20 ถึง 80 นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของประสิทธิภาพโดยรวมอย่างต่อเนื่อง ขณะที่ผลลัพธ์เหล่านี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutheerasak et al. (2018) เนื่องจากประสิทธิภาพโดยรวม เป็นอัตราส่วนของ

กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาต่อพลังงานทั้งหมดของเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าเครื่องยนต์ โดยกำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากการใช้ D+PG มีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล แต่พลังงานทั้งหมดของเชื้อเพลิงจากการใช้ D+PG ถูกลดลงตามการเพิ่มปริมาณ PG เพราะอัตราการใช้น้ำมันดีเซลลดลง ทำให้พลังงานจากการใช้น้ำมันดีเซลลดลง ผลลัพธ์ที่ตามมา การใช้ D+PG ขณะที่เพิ่มปริมาณ PG สูงถึงร้อยละ 80 จึงมีประสิทธิภาพโดยรวมสูงกว่า อย่างไรก็ตาม การใช้ D+PG100% มีประสิทธิภาพโดยรวมต่ำกว่าการใช้ D+PG80% ในทุกภาระงาน ขณะที่ผลลัพธ์นี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rith et al. (2016) เพราะมีการเพิ่มขึ้นของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากการใช้ปริมาณ PG มากเกินไป

(4) SEC จากการใช้ D+PG ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลในทุกภาระงาน และการเพิ่มปริมาณ PG จากร้อยละ 20 ถึง 80 นำไปสู่การลดลงของ SEC อย่างต่อเนื่อง โดยผลลัพธ์เหล่านี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutherasak et al. (2018) เนื่องจาก SEC มีผลลัพธ์ตรงกันข้ามกับประสิทธิภาพโดยรวมตามที่กล่าวมาในข้อที่ (3) และการเพิ่มปริมาณ PG ทำให้อัตราการใช้น้ำมันดีเซลและพลังงานจากการใช้น้ำมันดีเซลลดลง ส่งผลให้พลังงานทั้งหมดของเชื้อเพลิงลดลง ขณะที่กำลังงานจากการใช้ D+PG มีค่าใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ผลลัพธ์ที่ตามมา การใช้ D+PG จากการเพิ่มปริมาณ PG ถึงร้อยละ 80 นำไปสู่มีการประหยัดพลังงานมากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล อย่างไรก็ตาม การใช้ D+PG100% มี SEC สูงกว่า D+PG80% โดยผลลัพธ์นี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Rith et al. (2016) เพราะมีการเพิ่มขึ้นของการเผาไหม้ไม่สมบูรณ์จากการใช้ปริมาณ PG มากเกินไป

(5) ผลการตรวจสอบการปล่อยสารพิษต่างๆ พบว่า ระดับของ  $CO_2$  และ CO จากการใช้ D+PG ขณะที่เพิ่มปริมาณ PG นั้น สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลในทุกภาระงาน โดยผลลัพธ์เหล่านี้ สอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutherasak et al. (2018) Lai และ Mohapatra (2017) และ Rith et al. (2016) เนื่องจาก PG มีองค์ประกอบของ  $CH_4$ ,  $CO_2$  และ CO ขณะที่ PG ถูกส่งเข้าห้องเผาไหม้พร้อมกับออกซิเจน ( $O_2$ ) ในองค์ประกอบของอากาศโดยผ่านท่อร่วม และมีการเพิ่มปริมาณของ PG ซึ่งนำไปสู่การลดลงของ  $O_2$  ผลลัพธ์ที่ตามมา การเผาไหม้ถูกเริ่มต้นขึ้น องค์ประกอบของ PG ถูกทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับ  $O_2$  อย่างรวดเร็ว นำไปสู่การปล่อย  $CO_2$  และ CO ซึ่งเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณ PG ในขณะเดียวกัน มีปริมาณของ  $O_2$  บางส่วนทำปฏิกิริยากับคาร์บอนภายในองค์ประกอบของน้ำมันดีเซลด้วย ดังนั้น ภายหลังจากปฏิกิริยาการเผาไหม้ของ D+PG และ  $O_2$  จึงมีการปล่อย  $CO_2$  และ CO มากกว่าการใช้น้ำมันดีเซล และผลลัพธ์เหล่านี้ สอดคล้องกับการลดลงของ NO เพราะว่าการเกิด NO นั้น ส่วนหนึ่งมาจากปริมาณของ  $O_2$  ถ้าปฏิกิริยาการเผาไหม้มีการใช้  $O_2$  จำนวนมาก จะนำไปสู่การเกิด NO จำนวนมาก แต่การใช้ D+PG ขณะที่เพิ่มปริมาณ PG นั้น นำไปสู่การลดลงของ  $O_2$  อย่างต่อเนื่อง ทำให้การปลดปล่อย NO ลดลงด้วย

(6) ผลการตรวจสอบปริมาณควันดำจากการใช้ D+PG ขณะที่เพิ่มปริมาณ PG นั้น พบว่า ปริมาณของควันดำเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณ PG โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutherasak et al. (2018) Lai และ Mohapatra (2017) และ Rith et al. (2016) เนื่องจากการเพิ่มปริมาณ PG ลดปริมาณของ  $O_2$  เพราะใช้ท่อร่วมเดียวกัน ส่งผลให้ปริมาณของ  $O_2$  ส่วนใหญ่ถูกทำปฏิกิริยาการเผาไหม้กับองค์ประกอบของ PG ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Premixed combustion) ผลลัพธ์ที่ตามมา มีปริมาณ  $O_2$  ไม่เพียงพอต่อการเผาไหม้ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (Mixing controlled combustion) ซึ่งเป็นช่วงการเผาไหม้หลักของเครื่องยนต์ดีเซล นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของช่วงความล่าช้าของการเผาไหม้ (Late combustion) ส่งผลให้มีการปล่อยควันดำเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มปริมาณ PG และสูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

## 5. สรุปผลการวิจัย

ผลการวิจัยสมรรถนะและการปล่อยสารพิษต่างๆ จากก๊าซไอเสียของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า โดยไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์ เมื่อใช้ D+PG ซึ่งถูกเพิ่มจากร้อยละ 20 ถึง 100 เทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ณ ความเร็วรอบคงที่ และเปลี่ยนแปลงภาระงาน สามารถสรุปประเด็นสำคัญดังนี้

(1) การใช้ D+PG ขณะเพิ่มปริมาณ PG เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว พบว่ามีกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกัน แต่การประหยัดน้ำมันดีเซลสูงกว่า ประสิทธิภาพโดยรวมสูงกว่า และ SEC ต่ำกว่า อย่างไรก็ตาม การใช้ D+PG ขณะเพิ่มปริมาณ PG เต็มที่ (D+PG100%) นั้น ทำให้กำลังไฟฟ้าลดลงร้อยละ 2 และการประหยัดน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นร้อยละ 21 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ณ ภาระงานสูงสุด แต่การใช้ D+PG80% นั้น มีกำลังไฟฟ้าลดลงเพียงร้อยละ 1 ขณะที่การประหยัดน้ำมันดีเซลเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 24 ผลลัพธ์ที่ตามมา ประสิทธิภาพโดยรวม และ SEC จากการใช้ D+PG80% ดีกว่าการใช้ D+PG100% และใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว เมื่อพิจารณาจากภาระงานร้อยละ 80 ประสิทธิภาพโดยรวมจากการใช้ D+PG80% เพิ่มขึ้นร้อยละ 2 และ SEC ลดลงร้อยละ 7 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ดังนั้น การวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรพิลเซอร์ก๊าซนั้น ควรใช้ปริมาณโพรพิลเซอร์ก๊าซร้อยละ 80 ไม่ควรใช้ปริมาณโพรพิลเซอร์ก๊าซเต็มที่ เพราะสมรรถนะของเครื่องยนต์ลดลง และการประหยัดน้ำมันดีเซลน้อยกว่าการใช้ปริมาณโพรพิลเซอร์ก๊าซร้อยละ 80

(2) การใช้ D+PG ขณะเพิ่มปริมาณ PG เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว พบว่า การปล่อยปริมาณของ CO<sub>2</sub>, CO และควันดำเพิ่มขึ้น แต่ระดับของ NO ลดลง โดยการใช้ D+PG ขณะเพิ่มปริมาณ PG เต็มที่นำไปสู่การปล่อย CO<sub>2</sub>, CO และความเข้มของควันดำเพิ่มขึ้น 1.36%vol, 0.31%vol และ 0.87 m<sup>-1</sup> ตามลำดับ และระดับของ NO ลดลงร้อยละ 22 ขณะที่การใช้ D+PG80% พบว่า มีการปล่อย CO<sub>2</sub> เพิ่มขึ้น 1.1%vol การปล่อย CO เพิ่มขึ้น 0.19%vol และความเข้มของควันดำเพิ่มขึ้น 0.53 m<sup>-1</sup> และระดับ NO ลดลงร้อยละ 17 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ณ ภาระงานร้อยละ 80 ดังนั้น การใช้ D+PG80% ลดการปล่อย CO<sub>2</sub> ถึงร้อยละ 19 ขณะที่การปล่อย CO ลดลงร้อยละ 39 และความเข้มของควันดำลดลงร้อยละ 30 เมื่อเทียบกับ D+PG100% ดังนั้น การวิจัยนี้ สรุปว่าการใช้น้ำมันดีเซลร่วมกับโพรพิลเซอร์ก๊าซร้อยละ 80 ในโหมดเชื้อเพลิงร่วม เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า เพราะมีสมรรถนะดีกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว และการปล่อยสารพิษต่างๆ จากก๊าซไอเสียต่ำกว่าการใช้ปริมาณโพรพิลเซอร์ก๊าซเต็มที่ในโหมดเชื้อเพลิงร่วม

## 6. ข้อเสนอแนะ

### 6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) เพื่ออธิบายผลของการเปลี่ยนสมรรถนะและการปล่อยสารพิษต่างๆ อย่างละเอียด ควรศึกษาคุณลักษณะของการเผาไหม้ของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า จากการใช้ปริมาณน้ำมันดีเซลร่วมกับโพรพิลเซอร์ก๊าซที่ผลิตจากชีวมวลอัดแท่งในโหมดเชื้อเพลิงร่วมเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

(2) ควรศึกษาวิธีการลดการปล่อยสารพิษต่างๆ จากการใช้ปริมาณน้ำมันดีเซลร่วมกับโพรพิลเซอร์ก๊าซ

### 6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ศึกษาเศรษฐศาสตร์และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ของเครื่องยนต์ในระยะยาว จากการใช้ปริมาณน้ำมันดีเซลร่วมกับโพรพิลเซอร์ก๊าซร้อยละ 80 ในโหมดเชื้อเพลิงร่วมเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซลเพียงอย่างเดียว

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 45/2559 (เพิ่มเติม)

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Das, D.K., Dash, S.P., and Ghosal, M.K. 2012. Performance evaluation of a diesel engine by using producer gas from some under-utilized biomass on dual-fuel mode of diesel cum producer gas. **Journal of Central South University**. 19(6):1583-1589.
- Dhole, A.E., Lata, D.B., and Yarasu, R.B. 2016. Effect of hydrogen and producer gas as secondary fuels on combustion parameters of a dual fuel diesel engine. **Applied Thermal Engineering**. 108:764-773.
- Hadkar, T., and Amarnath, H.K. 2015. Performance and emission characteristics of producer gas derived from coconut shell (Biomass) and honne biodiesel with different configuration of carburetor for dual fuel four stoke direct injection. **International Research Journal of Engineering and Technology**. 2:1804-1811.
- Indrawan, N., Thapa, S., Bhoi, P.R., Huhnke, R.L., and Kumar, A. 2017. Engine power generation and emission performance of syngas generated from low-density biomass. **Energy Conversion and Management**. 148:593-603.
- Lal, S., and Mohapatra, S.K. 2017. The effect of compression ratio on the performance and emission characteristics of a dual fuel diesel engine using biomass derived producer gas. **Applied Thermal Engineering**. 119:63-72.
- Mathanmohan, M., and Vivekanandan, S. 2017. Performance characterization of CI engine using producer gas on dual-fuel mode. **Advances in Natural and Applied Sciences**. 11(4):311-320.
- Rith, M., Biona, J.B.M., Gitano-Briggs, H.W., and Sok, P. 2016. Performance and emission characteristics of the genset fuelled with dual producer gas-diesel. **the DLSU Research Congress**. 4:1-7.
- Singh, H., and Mohapatra, S.K. 2018. Production of producer gas from sugarcane bagasse and carpentry waste and its sustainable use in a dual fuel CI engine: A performance, emission, and noise investigation. **Journal of the Energy Institute**. 91:43-54.
- Sutheerasak, E., Pirompugd, W., and Sanitjai, S. 2018. Performance and emissions characteristics of a direct injection diesel engine from compressing producer gas in dual fuel mode. **Engineering and Applied Science Research**. 45(1):1-10.
- Sutheerasak, E., Pirompugd, W., and Sanitjai, S. 2018. Investigation of supercharging producer gas in dual fuel mode on the performance and emissions of a diesel-engine generator. **International Journal of Materials, Mechanics and Manufacturing**. 6(6):402-406.

## ไบโอดีเซลร้อยละ 10 ผสมเอทานอลร้อยละ 5 สำหรับเชื้อเพลิงทางเลือกในเครื่องยนต์ ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า

### 10% BIODIESEL MIXED WITH 5% ETHANOL FOR ALTERNATIVE FUEL IN A DIESEL-ENGINE GENERATOR

เอกชัย สุทธิศักดิ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: ekkachai@eng.buu.ac.th

เจริญ ชินวานิชย์เจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยบูรพา

E-mail: charoen@buu.ac.th

#### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการใช้ส่วนผสมไบโอดีเซลจากปาล์มเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 10 และเอทานอลร้อยละ 5 (B10E5) สำหรับเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์แบบเดียวกันที่ใช้น้ำมันดีเซล ณ ความเร็วรอบ 2,600 รอบต่อนาที (rpm) และเปลี่ยนแปลงภาระงาน ในระยะเวลา 500 ชั่วโมง ผลลัพธ์ที่ได้พบว่า สมรรถนะของเครื่องยนต์ที่ใช้ B10E5 และน้ำมันดีเซลใกล้เคียงกัน ขณะที่ B10E5 มีการเพิ่มขึ้นของคาร์บอนไดออกไซด์ไม่เกินร้อยละ 6 อย่างไรก็ตาม การใช้ B10E5 นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการเผาไหม้สมบูรณ์ ซึ่งลดการปล่อยควันดำถึงร้อยละ 26 ดังนั้น B10E5 สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในอนาคตได้

คำสำคัญ: เครื่องยนต์ดีเซล B10E5 น้ำมันดีเซล สมรรถนะ สารพิษต่างๆ จากแก๊สไอเสีย

#### ABSTRACT

The main objective of this research is to study the use of diesel mixed with 10% biodiesel from palm ethyl ester and 5% ethanol (B10E5). For a diesel-engine generator comparing with the same engine that using diesel fuel at speed 2,600 rpm with different loads in a period of 500 hours. Results shown that engine performance of using B10E5 and diesel fuel was similarly while B10E5 has increased a carbon dioxide not over 6%. However, using B10E5 leads to the increasing of complete combustion and decreasing the black-smoke release up to 26%. Therefore, B10E5 can be used as a replacement fuel for the diesel in the future.

**Keywords:** Diesel engine, B10E5, Diesel, Performance, Exhaust-gas emissions

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ไฟฟ้าเป็นสิ่งจำเป็นสำหรับการดำรงชีวิตของมนุษย์ ขณะที่ไฟฟ้าถูกผลิตจากโรงไฟฟ้า และบางครั้งถูกผลิตจากเครื่องยนต์กำเนิดไฟฟ้า ซึ่งใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลัง เนื่องจากกำลังงานสูง ประหยัดเชื้อเพลิง และค่าบำรุงรักษาต่ำ อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์นี้ใช้น้ำมันดีเซล และปล่อยสารพิษต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และควันดำ ซึ่งนำไปสู่การปล่อยฝุ่นละอองขนาดไม่เกิน 2.5 ไมครอน หรือ PM2.5 จำนวนมาก เมื่อประชาชนสูดดม ทำให้เกิดโรกระบบทางเดินหายใจ และเสียชีวิตได้ เพื่อลดการปล่อยสารพิษเหล่านี้ สถาบันต่างๆ ทั้งในและต่างประเทศ ปรับปรุงสมบัติของน้ำมันดีเซล โดยการผสมสารเติมแต่งหรือสารเพิ่มออกซิเจน (Oxygenated additives) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ไบโอดีเซล และเอทานอล เพราะมีออกซิเจน (O<sub>2</sub>) เป็นองค์ประกอบนำไปสู่การลดลงของสารพิษทั้งสามนี้ [Yahuza และ Dandakouta, (2015) และ Kumar et al., (2013)]

สำหรับการใช้ไบโอดีเซล และเอทานอล ผสมหรือร่วมกับน้ำมันดีเซลนั้นมี 3 วิธีหลัก ได้แก่ อิมัลซิฟิเคชัน (Emulsification) ฟูมิเกชัน (Fumigation) และการปรับเปลี่ยนการฉีดเชื้อเพลิง ขณะที่อิมัลซิฟิเคชัน เป็นการเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ (Emulsifier) เพื่อผสมของเหลว 2 ชนิดที่ไม่ละลายเป็นเนื้อเดียวกันให้ผสมกันได้ โดยวิธีนี้ดีกว่าสองวิธีที่กล่าวมา เพราะต้นทุนต่ำ และไม่ดัดแปลงเครื่องยนต์ [Sutheerasak, (2017)] ขณะที่การเติมสารอิมัลซิไฟเออร์ เพื่อใช้ร่วมกับเอทานอลนั้น งานวิจัยส่วนใหญ่ มุ่งเน้นการใช้ไบโอดีเซล เพราะไบโอดีเซลมีโครงสร้างคล้ายคลึงกับน้ำมันดีเซล และมีความเป็นขั้วใกล้เคียงกัน [Krishna et al., (2019)] โดย Phasinam et al. (2019) ศึกษาสมรรถนะและการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลในระยะเวลา 500 hr เมื่อใช้น้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลในสัดส่วนต่างๆ พบว่า การผสมไบโอดีเซลร้อยละ 20 ให้กำลังลดลงร้อยละ 4.57 และการสึกหรอของเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล แต่การเพิ่มปริมาณ ไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 20 นำไปสู่การสึกหรอของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น Sutheerasak และ Chinwanitcharoen (2018) และ Santasnachok et al. (2018) นำเสนอว่าการผสมไบโอดีเซลร้อยละ 10 (B10) มีค่าความหนืดเพิ่มขึ้นร้อยละ 7 และค่าความร้อนลดลงร้อยละ 3 ทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนลดลงร้อยละ 0.64 แต่การเพิ่มไบโอดีเซลมากกว่าร้อยละ 10 ลดสมรรถนะของเครื่องยนต์ขณะที่การปล่อยสารพิษทั้งสามลดลง ส่วนการเพิ่มเอทานอลนั้น Sutheerasak และ Chinwanitcharoen (2016) นำเสนอว่าการผสมเอทานอลมากกว่าร้อยละ 5 เกิดการแยกชั้นระหว่างน้ำมันดีเซล เอทานอล และสารอิมัลซิไฟเออร์ไม่เกิน 1 วัน สมรรถนะเครื่องยนต์ลดลงอย่างมาก และปริมาณของ HC เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มเอทานอล ขณะที่การผสมเอทานอลร้อยละ 5 มีความเป็นเนื้อเดียวกันของสารผสมนานถึง 3 เดือน สมรรถนะเครื่องยนต์ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล แต่ลดการปล่อย CO และควันดำ ต่อมา Sutheerasak (2017) ตรวจสอบการผสมเอทานอลร้อยละ 10 ซึ่งเกิดการแยกชั้นของสารผสมภายใน 7 วัน ขณะที่สมรรถนะของเครื่องยนต์ต่ำกว่า การปล่อย HC สูงกว่า และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์มากกว่าน้ำมันดีเซล

ปัจจุบัน สถาบันปิโตรเลียมต่างๆ ผลิต B10 ใช้กับเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า และเครื่องยนต์ดีเซลติดตั้งภายในรถยนต์ แต่น้ำมันชนิดนี้ มีค่าความหนืดสูงกว่าน้ำมันดีเซล เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกายภาพของ B10 วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ ศึกษาการใช้ B10 ผสมเอทานอลร้อยละ 5 (B10E5) สำหรับเชื้อเพลิงทางเลือกในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า โดยการตรวจสอบสมบัติของเชื้อเพลิง สมรรถนะและการปล่อยสารพิษต่างๆ และการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าในระยะเวลา 500 ชั่วโมง เมื่อใช้ B10E5 เทียบกับน้ำมันดีเซล ณ ความเร็วรอบคงที่ เพื่อเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในอนาคต

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 น้ำมันเชื้อเพลิง

งานวิจัยนี้ ผลิตน้ำมันดีเซลผสมไบโอดีเซลซึ่งเป็นปาล์มเอทิลเอสเทอร์ร้อยละ 10 ซึ่งถูกผสมกับเอทานอลปราศจากน้ำ (99.9%w) ร้อยละ 5 ในสัดส่วนโดยมวล ผ่านกรรมวิธีอิมัลซิฟิเคชัน โดยใช้เครื่องกวนสารผสมแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electromagnetic machine) และเครื่องกวนสารแบบไบกวน (Mechanical stirrer) ความเร็วรอบการกวนครั้งที่ 1,000 รอบต่อนาที ระยะเวลาการกวน 30 นาที และอุณหภูมิครั้งที่ 30 องศาเซลเซียส โดยศึกษาจาก Shahir et al. (2014) หลังจากนั้น ตรวจสอบสมบัติเชื้อเพลิงตามมาตรฐาน ASTM ดังแสดงในตารางที่ 1 ผลลัพธ์ที่ได้ พบว่า B10E5 มีความเป็นเนื้อเดียวกันนานถึง 2 เดือน ค่าความหนาแน่นและค่าความหนืด ลดลงร้อยละ 0.96 และ 1.85 อุณหภูมิของจุดวาบไฟลดลง 53 องศาเซลเซียส และค่าความร้อนของเชื้อเพลิง (LHV) ลดลงร้อยละ 7.69 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซล ตามลำดับ นอกจากนี้ งานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า B10E5 สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงทดแทนน้ำมันดีเซลในอนาคตได้ เนื่องจากมีค่าความหนาแน่นและค่าความหนืดของเชื้อเพลิงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน โดยอ้างอิงจาก Krishna et al. (2019) และ Sutherasak (2017)

ตารางที่ 1 การตรวจสอบคุณสมบัติความเป็นเชื้อเพลิง

คุณสมบัติทางกายภาพ	ความหนาแน่น (kg/m <sup>3</sup> )	ความหนืด (mm <sup>2</sup> /s)	จุดวาบไฟ (°C)	LHV (MJ/kg)	ระยะเวลาการแยกชั้น
มาตรฐาน ASTM	D 1298	D 445	D 93	D 240	Krishna et al. (2019)
มาตรฐานน้ำมันดีเซล	810-870	1.8-4.1	≥ 52	-	-
น้ำมันดีเซล (D)	830	3.25	73	44.46	-
B10E5	822	3.19	20	41.04	หลัง 2 เดือน

### 2.2 เครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องยนต์ที่ใช้ในการวิจัยนี้เป็นเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า Mitsuki รุ่น 5GF-ME แบบฉีดตรง หนึ่งสูบ สี่จังหวะ อัตราส่วนการอัด 18:1 กำลังไฟสูงสุด 5 กิโลวัตต์ไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบสูงสุดของเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที จำนวน 2 ชุด โดยแต่ละชุดใช้น้ำมันดีเซล (เครื่องยนต์ A) และ B10E5 (เครื่องยนต์ B) ขณะที่เครื่องยนต์ทั้งสอง มีข้อมูลของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ (ได้แก่ ความดันการฉีดเชื้อเพลิง ( $P_{inj}$ ) เส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ (B) ระยะชัก (S) ระยะห่างปากแหวนแรงอัดบน ( $X_p$ ) แหวนแรงอัดกลาง ( $X_m$ ) และแหวนน้ำมันล่าง ( $X_r$ ) และช่องว่างระหว่างแหวนกับร่องแหวนลูกสูบ ฅ แหวนแรงอัดบน ( $G_p$ ) แหวนแรงอัดกลาง ( $G_m$ ) และแหวนน้ำมันล่าง ( $G_r$ ) เท่ากัน ดังแสดงในตารางที่ 2

### 2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

การวิจัยนี้ นำเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าจำนวน 2 ชุดติดตั้งบนแท่นทดสอบ และติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1 ขณะที่การเพิ่มภาระงาน เพื่อทดสอบสมรรถนะและการปล่อยสารมลพิษต่างๆ ของเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองนั้น การวิจัยนี้ ใช้ภาระงานทางไฟฟ้า และวัดกำลังไฟฟ้าจากการเพิ่มภาระงานร้อยละ 20 ถึง 100 โดยใช้มิเตอร์ไฟฟ้า Richtmass รุ่น RP-96EN ต่อกับแคมป์ล็ค IMARI-CT100/1A และตัวแปลงสัญญาณ Richtmass RS485 เพื่อแปลงเข้าคอมพิวเตอร์ โดยผ่าน Hardlock RP series เพื่อประมวลผลของกำลังไฟฟ้า สำหรับการตรวจสอบอุณหภูมิต่างๆ (ได้แก่ อุณหภูมิหล่อเย็น อากาศ และแก๊สไอเสีย) ใช้เทอร์โมคัปเปิล Type K ต่อกับมิเตอร์วัดอุณหภูมิ และมีมิเตอร์วัดรอบสำหรับตรวจสอบความเร็วรอบของเครื่องยนต์ ซึ่งติดตั้งในตู้ควบคุม

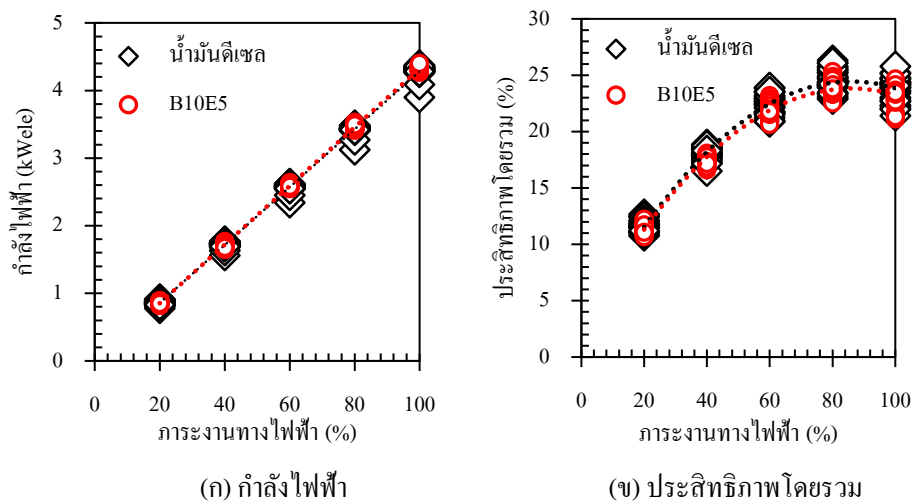




J1940 (JUN89) และ JIS B8018 (1989) โดยทำการทดสอบที่ความเร็วรอบคงที่  $2,600 \pm 50$  รอบต่อนาที ณ ภาระคงที่ร้อยละ 60 ในระยะเวลาของการทดสอบ 300 ชั่วโมง รวมระยะเวลาของการทดสอบทั้งหมด 500 ชั่วโมง

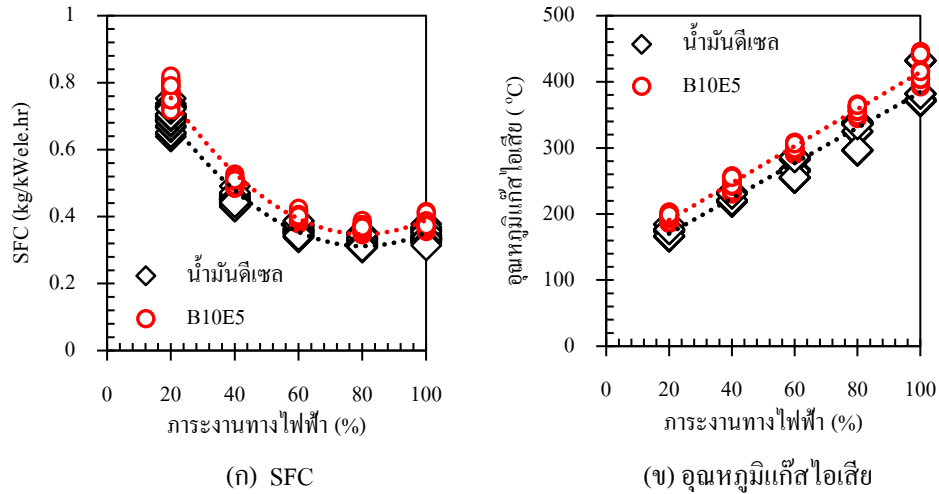
### 3. ผลการวิจัย

ผลการตรวจสอบกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพโดยรวมที่ภาระงานต่างๆ ถูกแสดงในรูปที่ 2 พบว่ากำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามภาระงานทางไฟฟ้า ขณะที่ประสิทธิภาพโดยรวม (ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างกำลังไฟฟ้าต่อพลังงานจากเชื้อเพลิงที่ป้อนให้เครื่องยนต์) เพิ่มขึ้นจนถึงภาระงานร้อยละ 80 แต่ภาระงานสูงสุด (100%) มีประสิทธิภาพโดยรวมลดลง เพราะมีการสูญเสียความร้อนและความเสียดทานเพิ่มขึ้น สำหรับการใช้น้ำมัน B10E5 สามารถผลิตกำลังไฟฟ้า และประสิทธิภาพโดยรวมใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ยกเว้นกรณีของภาระงานร้อยละ 60 ถึง 100 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า มีประสิทธิภาพโดยรวมต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลเพียงเล็กน้อย

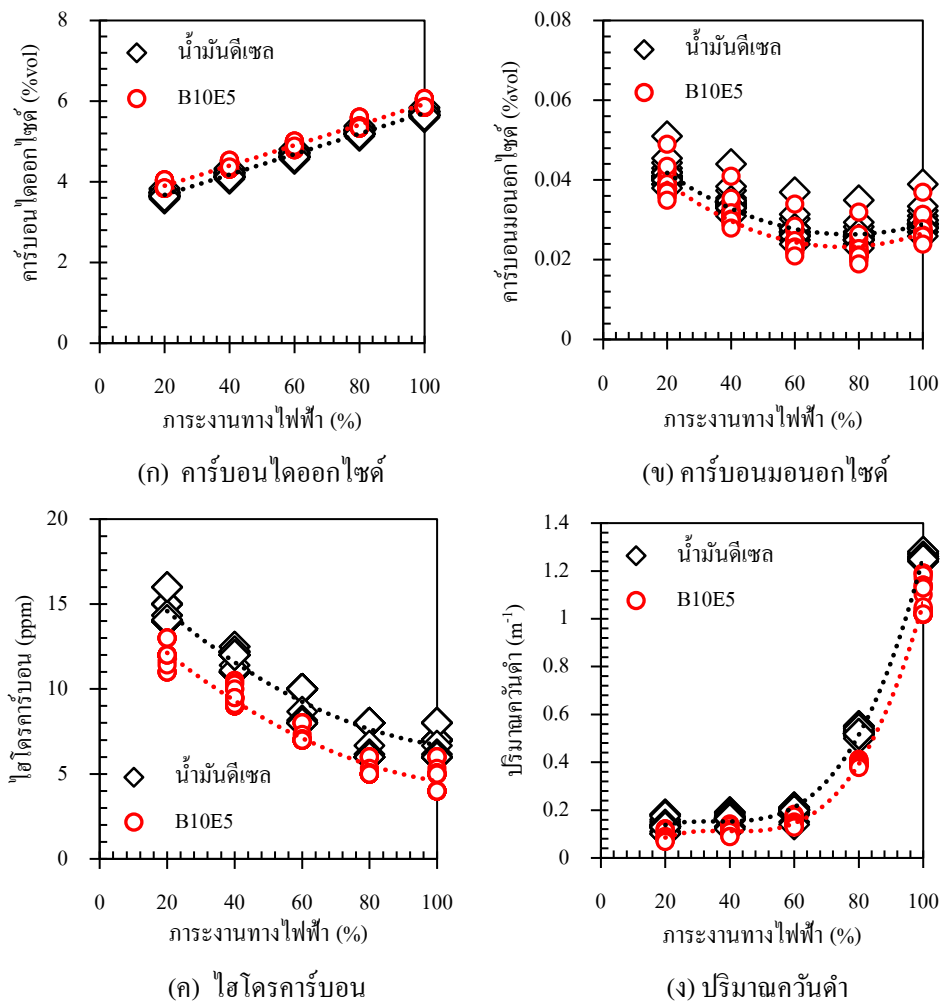


รูปที่ 2 กำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพโดยรวมที่ภาระงานต่างๆ

ผลลัพธ์ของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (Specific Fuel Consumption, SFC) และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย (Texh) ที่ภาระงานต่างๆ ถูกแสดงในรูปที่ 3 พบว่า SFC (ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการใช้เชื้อเพลิงต่อกำลังไฟฟ้า) ลดลงตามภาระงานที่เพิ่มขึ้นจนถึงภาระงานร้อยละ 80 ขณะที่ภาระงานสูงสุด มีการเพิ่มขึ้นของ SFC ซึ่งสอดคล้องกับประสิทธิภาพโดยรวม ดังนั้น ภาระงานร้อยละ 80 เป็นภาระงานเหมาะสม สำหรับอุณหภูมิแก๊สไอเสีย ถูกเพิ่มขึ้นตามภาระงานที่เพิ่มขึ้น กรณีของการใช้น้ำมัน B10E5 พบว่า SFC และอุณหภูมิแก๊สไอเสีย สูงกว่าการใช้น้ำมันดีเซลทุกภาระงาน รูปที่ 4 แสดงผลลัพธ์ของปริมาณสารพิษต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ไฮโดรคาร์บอน (HC) และควันท่ำที่ภาระงานต่างๆ พบว่า ปริมาณของ CO<sub>2</sub> และควันท่ำเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณของ CO และ HC ลดลงตามภาระงานที่เพิ่มขึ้น สำหรับการใช้น้ำมัน B10E5 มีระดับของ CO<sub>2</sub> สูงกว่า แต่การปลดปล่อย CO, HC และควันท่ำต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซลในทุกภาระงาน ขณะที่ผลลัพธ์ต่างๆ ของการทดสอบทั้งหมดตลอดระยะเวลา 200 ชั่วโมง ถูกแสดงเป็นค่าเฉลี่ยดังแสดงในตารางที่ 3 และ 4



รูปที่ 3 ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะ (SFC) และอุณหภูมิแก๊สไอเสียที่ภาระงานต่างๆ



รูปที่ 4 การปลดปล่อยสารมลพิษต่างๆ ที่ภาระงานต่างๆ

ตารางที่ 3 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ของสมรรถนะของเครื่องยนต์จากการทดสอบ 200 ชั่วโมง

ภาระงาน (%)	กำลังไฟฟ้า (kWele)		ประสิทธิภาพ (%)		SFC (kg/kWele.hr)		Texh (°C)	
	ดีเซล	B10E5	ดีเซล	B10E5	ดีเซล	B10E5	ดีเซล	B10E5
20	0.87	0.86	11.61	11.45	0.70	0.77	174.29	194.51
40	1.73	1.72	17.99	17.46	0.45	0.50	224.69	244.58
60	2.58	2.57	22.40	21.90	0.36	0.40	270.85	298.64
80	3.48	3.46	24.61	24.00	0.33	0.37	323.66	358.57
100	4.33	4.32	23.71	23.11	0.34	0.38	391.89	417.34

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของตัวแปรต่างๆ ของสารพิษจากแก๊สไอเสียของเครื่องยนต์จากการทดสอบ 200 ชั่วโมง

ภาระงาน (%)	CO <sub>2</sub> (%vol)		CO (%vol)		HC (ppm)		ควันดำ (m <sup>-1</sup> )	
	ดีเซล	B10E5	ดีเซล	B10E5	ดีเซล	B10E5	ดีเซล	B10E5
20	3.68	3.91	0.046	0.041	14.46	12.02	0.13	0.09
40	4.17	4.40	0.038	0.034	11.82	9.53	0.16	0.11
60	4.66	4.89	0.031	0.027	9.32	7.17	0.20	0.15
80	5.23	5.44	0.029	0.026	7.34	5.19	0.53	0.39
100	5.69	5.92	0.032	0.029	6.85	4.73	1.27	1.07

สำหรับการตรวจสอบการสึกหรอของเครื่องยนต์ทั้งสองนั้น ทำการวัดระยะของชิ้นส่วนต่างๆ ตามที่กล่าวมาในตารางที่ 2 โดยใช้บรรทัดเหล็ก เวอร์เนียคาลิเปอร์ ไมโครมิเตอร์คาลิเปอร์ฟิลเลอร์เกจ และ บอร์เกจ ขณะที่ผลลัพธ์ต่างๆ ของการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ทั้งสอง ถูกแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายหลังจากระยะเวลา 500 ชั่วโมง

เครื่องยนต์	เชื้อเพลิง	P <sub>inj</sub> (MPa)	B (mm)	S (mm)	X <sub>t</sub> (mm)	X <sub>m</sub> (mm)	X <sub>r</sub> (mm)	G <sub>t</sub> (mm)	G <sub>m</sub> (mm)	G <sub>r</sub> (mm)
A	D	18.03	86.04	70.00	0.31	0.30	0.30	0.09	0.06	0.05
B	B10E5	17.17	86.08	70.00	0.32	0.31	0.30	0.10	0.07	0.06

#### 4. อภิปรายผลการวิจัย

(1) กำลังไฟฟ้าที่ผลิตออกมาจากการใช้ B10E5 และน้ำมันดีเซลในแต่ละเครื่องยนต์ใกล้เคียงกัน เนื่องจากการวิจัยนี้ เพิ่มภาระงานทางไฟฟ้าให้กับเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าทั้งสองใกล้เคียงกัน เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพโดยรวม ความสิ้นเปลืองของเชื้อเพลิง และตัวแปรอื่นๆ ขณะที่มีการใช้ B10E5 และน้ำมันดีเซลในสภาวะการทำงานใกล้เคียงกัน

(2) ผลการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า ประสิทธิภาพโดยรวมจากการใช้ B10E5 ลดลงเพียงเล็กน้อยโดยไม่เกินร้อยละ 1 ขณะที่ SFC จากการใช้ B10E5 เพิ่มขึ้นไม่เกินร้อยละ 12 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลในทุกภาระงาน สำหรับสาเหตุของการลดลงของประสิทธิภาพโดยรวมและการเพิ่มขึ้นของ SFC จากการใช้ B10E5 ส่วนหนึ่งมา

จากค่าความร้อนของ B10E5 ต่ำกว่าค่าความร้อนของน้ำมันดีเซล เมื่อทดสอบที่กำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกัน ทำให้ อัตราการใช้ B10E5 เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสิ้นเปลืองการใช้ B10E5 เพิ่มขึ้น ทำให้พลังงานจากเชื้อเพลิงที่ป้อนให้ เครื่องยนต์เพิ่มขึ้น แต่กำลังไฟฟ้าถูกผลิตออกมากที่ ดังนั้น การใช้ B10E5 มีประสิทธิภาพโดยรวมต่ำกว่า และ SFC สูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Krishna et al. (2019) Sutherasak (2017) และ Tse et al. (2016)

(3) อุณหภูมิแก๊สไอเสียจากการใช้ B10E5 สูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล และอุณหภูมิแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้นถึง 35 องศาเซลเซียส เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ภาระงานร้อยละ 80 ซึ่งผลการวิจัยนี้ตรงกันข้ามกับงานวิจัยของ Sutherasak และ Chinwanitcharoen (2016) ซึ่งอธิบายว่า การผสมเอทานอลนำไปสู่การระเหยกลายเป็นไออย่างรวดเร็ว ทำให้อัตราการเผาไหม้ในช่วงการเผาไหม้ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (Premixed combustion) ลดลง และ ปฏิกิริยาการเผาไหม้ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม (Mixing controlled combustion) ลดลง ส่งผลให้อุณหภูมิการเผาไหม้ต่ำกว่าน้ำมันดีเซล แต่การวิจัยนี้ ใช้ปลั๊กเมทิลเอสเตอร์ร้อยละ 10 ผสมกับเอทานอลร้อยละ 5 ดังนั้น พฤติกรรมของการเผาไหม้ จึงเปลี่ยนแปลงไป โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutherasak และ Chinwanitcharoen (2018) และ Santasnachok et al. (2018) เพราะปลั๊กเมทิลเอสเตอร์และน้ำมันดีเซลมีการระเหยกลายเป็นไอใกล้เคียงกัน ส่งผลให้ปฏิกิริยาของการเผาไหม้ในช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสมเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทำให้อุณหภูมิของการเผาไหม้เพิ่มขึ้นจนกระทั่งวาล์วไอเสียถูกเปิด ส่งผลให้อุณหภูมิของแก๊สไอเสียจากการใช้ B10E5 สูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล [Rajesh และ Ganesh, (2019) และ Tse et al., (2016)]

(4) การใช้ B10E5 มีระดับของ CO<sub>2</sub> สูงกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล ขณะที่การปลดปล่อย CO<sub>2</sub> เพิ่มขึ้นสูงสุด ร้อยละ 6 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ภาระงานร้อยละ 20 ดังนั้น การใช้ B10E5 มีระดับของ CO<sub>2</sub> เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม สาเหตุของการใช้ B10E5 มีการปลดปล่อย CO<sub>2</sub> สูงกว่าน้ำมันดีเซล เพราะว่า B10E5 มี ปริมาณของ O<sub>2</sub> เป็นองค์ประกอบของน้ำมันดังกล่าว ซึ่งนำไปสู่การเผาไหม้สมบูรณ์เพิ่มขึ้นในช่วงการเผาไหม้ที่ เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และช่วงการเผาไหม้ที่ถูกควบคุมโดยการผสม ดังนั้น คาร์บอนอะตอมเดี่ยวภายใน B10E5 ถูก ทำปฏิกิริยากับ O<sub>2</sub> จากองค์ประกอบของอากาศ และภายในตัวมันเอง นำไปสู่การปลดปล่อย CO<sub>2</sub> จำนวนมาก นอกจากนี้ ไฮโดรเจนอะตอมคู่เกิดการรวมตัวกับออกซิเจนอะตอมเดี่ยวที่แตกตัวอย่างอิสระ ทำให้เกิดไอน้ำ (H<sub>2</sub>O) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้คาร์บอนและไฮโดรเจนที่เป็นอะตอมเดี่ยวลดลง ทำให้การรวมตัวของ CO และ HC ลดลง ส่งผลให้การสะสมของสารพิษทั้งสองเพื่อก่อให้เกิดควันดำลดลง [Sutherasak และ Chinwanitcharoen, (2018)]

(5) การวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่า การใช้ B10E5 ลดการปล่อยปริมาณของ CO, HC และควันดำถึงร้อยละ 10, 29 และ 26 เมื่อเทียบกับน้ำมันดีเซลที่ภาระงานร้อยละ 80 ตามลำดับ ที่สำคัญที่สุด การใช้ B10E5 ลดการปล่อย ปริมาณ HC เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Sutherasak (2017) ซึ่งศึกษาการใช้ น้ำมันดีเซลผสมเอทานอลร้อยละ 10 พบว่า มีการปล่อย HC สูงกว่าน้ำมันดีเซล ในขณะที่สาเหตุของการใช้ B10E5 นำไปสู่การลดลงของการปล่อย สารพิษทั้งสาม เพราะว่า B10E5 มีปริมาณของ O<sub>2</sub> เป็นองค์ประกอบ ทำให้เกิดการเผาไหม้สมบูรณ์เพิ่มมากขึ้น ตามที่ได้กล่าวในหัวข้อที่ (4)

(6) ผลการตรวจสอบการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายหลังจากทดสอบทั้งหมด 500 ชั่วโมง พบว่า ทั้งสองเครื่องยนต์ มีระยะการสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ใกล้เคียงกัน แต่ความดันของการฉีดเชื้อเพลิงจากการใช้ B10E5 ต่ำกว่าการใช้ น้ำมันดีเซล โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ Sutherasak (2017) เพราะว่า B10E5 มีค่า ความหนืดและความหนาแน่นของเชื้อเพลิงต่ำกว่าน้ำมันดีเซล ส่งผลให้ความสามารถในการอัดตัวได้มากขึ้น และ

การสร้างแรงดันเพื่อเอาชนะแรงกดของสปริงบนเข็มหัวฉีดลดลง นำไปสู่การสึกหรอของสปริงที่กดเข็มหัวฉีด ส่งผลให้ความดันของการฉีดเชื้อเพลิงจากการใช้ B10E5 ต่ำกว่าการใช้น้ำมันดีเซล

## 5. สรุปผลการวิจัย

ความเป็นไปได้ของการใช้ B10E5 เทียบกับน้ำมันดีเซลในแต่ละเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้า ที่ความเร็วรอบคงที่ และเปลี่ยนแปลงภาระงาน ในระยะเวลา 500 ชั่วโมง สรุปประเด็นที่สำคัญดังนี้

(1) คุณสมบัติทางกายภาพของ B10E5 ใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล และค่าความหนืดและความหนาแน่นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกรมธุรกิจพลังงาน ดังนั้น B10E5 เป็นเชื้อเพลิงทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในอนาคตได้

(2) ผลการทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ เมื่อใช้ B10E5 เป็นเชื้อเพลิง แสดงให้เห็นชัดเจนว่าประสิทธิภาพโดยรวมใกล้เคียงกับการใช้น้ำมันดีเซล ที่สำคัญ ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจากการใช้ B10E5 เพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย โดยไม่เกินร้อยละ 12

(3) แม้ว่าการใช้ B10E5 ทำให้อุณหภูมิแก๊สไอเสียเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของระดับ CO<sub>2</sub> เพราะมีการเผาไหม้สมบูรณ์มากขึ้น แต่การปลดปล่อย CO<sub>2</sub> ไม่เกินร้อยละ 6 ที่สำคัญ การวิจัยนี้ แสดงให้เห็นชัดเจนว่า การใช้ B10E5 ทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์ขึ้น เพราะปริมาณ O<sub>2</sub> จำนวนมากในองค์ประกอบของ B10E5 ช่วยลดการก่อตัวของ CO, HC และควันดำ ซึ่งนำมาสู่การปล่อยฝุ่นละอองขนาดเล็กลดลง ยิ่งไปกว่านั้น การสึกหรอของชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ที่ใช้ B10E5 ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ที่ใช้น้ำมันดีเซล ยกเว้นความดันของการฉีดเชื้อเพลิงจากการใช้ B10E5 ลดลงร้อยละ 4.77 เมื่อเทียบกับการใช้น้ำมันดีเซล ดังนั้น การนำ B10E5 มาใช้ทดแทนน้ำมันดีเซล จะช่วยลดการปล่อย PM<sub>2.5</sub> และไม่มีผลกระทบต่อการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลในระยะเวลา 500 ชั่วโมง ขณะที่การวิจัยนี้ แนะนำว่า การปรับปรุงคุณสมบัติของ B10 ในปัจจุบัน ควรเพิ่มเอทานอลร้อยละ 5 เนื่องจาก น้ำมันชนิดนี้ ช่วยลดค่าความหนืดของ B10 ไม่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงสมรรถนะของเครื่องยนต์ และยังช่วยลดการปล่อย PM<sub>2.5</sub>

## 6. ข้อเสนอแนะ

### 6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

(1) เพื่อนำ B10E5 ใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในอนาคต ควรศึกษาสมรรถนะ คุณสมบัติของการเผาไหม้ การปล่อยสารพิษต่างๆ และการสึกหรอของเครื่องยนต์ดีเซลระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรวมที่ใช้น้ำมันดีเซล

(2) ควรศึกษาค้นทุน และจุดคุ้มทุนของการผลิต B10E5 เพื่อใช้ทดแทนน้ำมันดีเซลในอนาคต

### 6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ภายหลังการสรุปผลของคุณสมบัติของ B10E5 และสรุปผลการตรวจสอบสมรรถนะและการปล่อยสารพิษต่างๆ จากเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ B10E5 เทียบกับน้ำมันดีเซลในระยะเวลา 500 ชั่วโมง การวิจัยครั้งต่อไป ควรทำการศึกษาการสึกหรอของระบบฉีดเชื้อเพลิง และชิ้นส่วนต่างๆ ภายในเครื่องยนต์ดีเซลกำเนิดไฟฟ้าที่ใช้ B10E5 เทียบกับน้ำมันดีเซลในระยะเวลา 1,000 ถึง 3,000 ชั่วโมง

## 7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้จากเงินอุดหนุนรัฐบาล (งบประมาณแผ่นดิน) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 41/2559 (เพิ่มเติม)

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Krishna, S.M., Salam, P.A., Tongroon, M., and Chollacoop, N. 2019. Performance and emission assessment of optimally blended biodiesel-diesel-ethanol in diesel engine generator. **Applied Thermal Engineering**. 155:525-533
- Kumar, S., Cho, J.H., Park, J., and Moon, I. 2013. Advances in diesel-alcohol blends and their effects on the performance and emissions of diesel engines. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 22:46-72.
- Phasinam, K., Kassanuk, T., and Nikhomchaiprasert, K. 2019. Performance and wearing studies on medium speed diesel engines with biodiesel fuel. **PSRU Journal of Science and Technology**. 4(1):28-38.
- Rajesh, K., and Ganesh, D.B. 2019. Assessment of ethanol as fuel additive to diesel biodiesel blends on combustion and performance characteristics in ci engine. **International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering**. 8:582-587.
- Santasnachok, M., Sutheerasak, E., Ruengphrathuengsuka, W., and Chinwanitcharoen, C. 2018. Performance analysis of a diesel-engine generator using ethyl ester synthesized from anhydrous ethanol and NaOH. **International Journal of Electrical and Electronic Engineering & Telecommunications**. 8:108-112
- Shahir, S.A., Masjuki, H.H, Kalam, M.A., Imran, A., Fattah, I.M.R., and Sanjid, A. 2014. Feasibility of diesel-biodiesel-ethanol/bioethanol blend as existing CI engine fuel: an assessment of properties, material compatibility, safety and combustion. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. 32:379-895.
- Sutheerasak, E. 2017. Investigation on the performance, emissions and wear of a small diesel engine using 10% anhydrous ethanol-diesel blends. **Ubon Ratchathani University Engineering Journal**. 10(1):70-84.
- Sutheerasak, E., and Chinwanitcharoen, C. 2018. Performance and emissions of a diesel engine using palm ethyl ester. **Engineering Journal Chiang Mai University**. 25(2):1-13.
- Sutheerasak, E., and Chinwanitcharoen, C. 2016. Ratio of ethanol and ethyl acetate on spray and diesel engine performance. **Ubon Ratchathani University Engineering Journal**. 9(1): 91-104.
- Tse, H., Leung, C.W., and Cheung, C.S. 2016. Performances, emissions and soot properties from a diesel-biodiesel-ethanol blend fuelled engine. **Advances in Automobile Engineering**. 1-7.
- Yahuza, I., and Dandakouta, H. 2015. A performance review of ethanol-diesel blended fuel samples in compression-ignition engine. **Chemical Engineering & Process Technology**. 6(5):1-6.

การสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลจากกลูโคสโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนและ  
อะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในระบบสองวัฏภาค

5-HMF PRODUCTION FROM GLUCOSE USING ION EXCHANGE RESIN  
AND ALUMINA AS DUAL CATALYST IN BIPHASIC SYSTEM

ศุภกฤต พุ่มรอด

ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: supakrit.pu@ku.th

อรรถศักดิ์ จารีย์

รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: fengasj@ku.ac.th

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลนั้นเป็นสารเคมีแพลตฟอร์ม โดยสามารถผลิตจากสารชีวมวลต่างๆ ซึ่งสามารถนำไปผลิตเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ มอนอเมอร์ รวมไปถึงสารป้อนในอุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องปฏิกรณ์แบบกะในระบบสองวัฏภาค (สารละลายกลูโคสและเมทิลไอโซบิวทิลคีโตน) โดยใช้อะลูมิเนียมออกไซด์และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและอิทธิพลของอัตราส่วนของสารละลายนอร์มอลเมทิลไพโรรีโตน, ปริมาณเมทิลไอโซบิวทิลคีโตน และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลจากน้ำตาลกลูโคส พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลคือ ที่อุณหภูมิและเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 120 องศาเซลเซียส และ 360 นาที ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนของนอร์มอลเมทิลไพโรรีโตนและน้ำเท่ากับ 4 ต่อ 1, ปริมาณเมทิลไอโซบิวทิลคีโตนต่อสารละลายกลูโคสเท่ากับ 7 ต่อ 3 และปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.3 กรัม ซึ่งให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคสเท่ากับ 84.79, ร้อยละการเลือกเกิดเป็นสารไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลเท่ากับ 76.49 และร้อยละผลได้ของไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัลเท่ากับ 64.86

คำสำคัญ: น้ำตาลกลูโคส ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล เรซินแลกเปลี่ยนไอออน อะลูมิเนียมออกไซด์ เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน

ABSTRACT

Nowadays hydroxymethylfurfural (HMF) is a platform chemical that can be produced from biomass. HMF can be used in many applications such as biofuel, monomer, and industrial bio feed stock. In this work



HMF was synthesized from glucose by using batch reactor to mix glucose with methyl isobutyl ketone. Aluminium oxide and ion exchange resin were used as a catalyst in this reaction. The optimum conditions for synthesis HMF were studied such as ratio of methylpyrrolidone, content of methyl isobutyl ketone, and amount of catalyst loading that affected the synthesis of HMF from glucose. The optimum condition was achieved by using temperature at 120°C and time 360 min. In order to apply the optimum condition, the ratio between methylpyrrolidine and water must be 4:1, the ratio between methyl isobutyl ketone and glucose need to be 7:3, and the catalyst loading was found to be 0.3g. The conversion of glucose, yield of 5-HMF, and selectivity of 5-HMF were 84.79%, 64.86% and 76.49, respectively.

**Keywords:** Glucose, Hydroxymethylfurfural, Ion exchange resin, Aluminiumoxide, Methylisobutylketone

## 1. ความสำคัญและที่มาของปัญหาวิจัย

ในปัจจุบันปัญหาที่สำคัญที่ส่งผลกระทบต่อโลกนั้นคือ ปัญหาด้านพลังงาน อันเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของประชากร การพัฒนาของอุตสาหกรรมในด้านต่างๆ เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดผลกระทบต่อธรรมชาติเนื่องจากการปล่อยปริมาณของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สู่ชั้นบรรยากาศมากขึ้นทำให้เกิดภาวะเรือนกระจกส่งผลให้อุณหภูมิของโลกนั้นสูงขึ้น สาเหตุสำคัญที่ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นคือ การใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล และการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงปิโตรเลียม ซึ่งพลังงานนั้นเป็นปัจจัยหลักในการนำมาพัฒนาประเทศ ไม่ว่าจะเป็นในด้านอุตสาหกรรม การขนส่ง การผลิตไฟฟ้า และด้านอื่นๆอีกหลายประเภท ดังนั้นเพื่อลดผลกระทบจากการใช้พลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิลและปิโตรเลียม ผู้วิจัยเล็งเห็นว่า สารชีวมวลนั้นพบได้ตามธรรมชาติและสามารถนำมาผลิตเป็นพลังงานได้จึงหาทางพัฒนาการเปลี่ยนสารชีวมวลให้กลายเป็นพลังงานที่สามารถนำมาทดแทนพลังงานจากฟอสซิลและปิโตรเลียม โดยสารชีวมวลจะมีกลูโคสเป็นองค์ประกอบหลักซึ่งกลูโคสนั้นสามารถนำไปสังเคราะห์เป็นไฮดรอกซีเมทิลฟูรัล (5-Hydroxymethylfurfural; 5-HMF) ได้ซึ่ง 5-HMF นั้นสามารถนำไปผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ไดเมทิลฟูแรน (Dimethylfuran) และสารป้อนในระบบอุตสาหกรรมได้ เช่น กรดลิวรีนิก (Levulinic acid) 2,5-ไดฟอร์มิลฟูแรน (2,5-Diformylfuran) 2,5-ไดไฮดรอกซีเมทิลฟูแรน (2,5-Dihydroxymethylfuran) 5-คลอโรเมทิลฟูรัล (5-Chloromethyl furfural) เป็นต้น อีกทั้งยังสามารถนำไปผลิตเป็น กรดฟูแรนไดคาร์บอกซิลิก (2,5-Furandicarboxylic acid; FDCA) ซึ่งเป็นมอนอเมอร์ในการสังเคราะห์พอลิเอทิลีนฟูราโนเอต (Polyethylene furanoate; PEF) ซึ่งสามารถนำไปใช้แทนพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate; PET) ที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการปิโตรเคมีได้อีกด้วย

กระบวนการเปลี่ยนกลูโคสเป็น 5-HMF สามารถทำได้โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาที่มีตำแหน่งที่ว่างไว้เป็นกรดผ่านปฏิกิริยาไอโซเมอไรเซชัน (Isomerization) เพื่อเปลี่ยนจากกลูโคสให้กลายเป็นฟรุกโตส จากนั้นฟรุกโตสจะเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชัน (Dehydration) เพื่อเปลี่ยนเป็น 5-HMF ในปี ค.ศ. 1990 Kuster ได้ทำการสังเคราะห์ 5-HMF โดยใช้ น้ำเป็นตัวทำละลาย พบว่าได้ผลิตภัณฑ์น้อยมาก เนื่องจาก 5-HMF นั้นสามารถเกิดปฏิกิริยารีไฮเดรชัน (Rehydration) กับน้ำที่มีอยู่ในระบบ ซึ่งจะเกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงคือ กรดลิวรีนิก (Levulinic acid) และกรดฟอร์มิก (Formic acid) อีกทั้ง 5-HMF นั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน (Polymerization) หรือปฏิกิริยาการสลายตัว (Degradation) เกิดเป็นฮิวมิน (Humins) ได้ ดังนั้นจึงได้มีการสังเคราะห์ 5-HMF โดยใช้ตัวเร่ง

ปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์ (Homogeneous catalyst) ที่มีสภาวะเป็นกรด เช่น กรดไฮโดรคลอริก (Hydrochloric acid; HCl) และกรดซัลฟิวริก (Sulfuric acid;  $H_2SO_4$ ) ซึ่งให้ร้อยละผลผลิตของ 5-HMF เท่ากับ 30-50 แต่ข้อเสียของการใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบเอกพันธ์นั้นคือ ต้องมีการแยกผลิตภัณฑ์ออกจากสารละลายทำให้ต้นทุนในการผลิตสูง เกิดผลิตภัณฑ์ข้างเคียงเนื่องจากใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย อีกทั้งการใช้กรดเป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นทำให้เกิดการกัดกร่อนอุปกรณ์ต่างๆ ได้ เพื่อแก้ปัญหาเหล่านี้จึงได้มีการพัฒนาการสังเคราะห์ 5-HMF โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst) โดยในปี ค.ศ. 2007 Chheda ได้ศึกษาการสังเคราะห์ 5-HMF โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวก ในระบบสองวัฏภาคระหว่างวัฏภาคน้ำเป็นสารผสมระหว่างนอร์มอลเมทิลไพโรลิโดน (N-Methyl-2-pyrrolidone; NMP) และวัฏภาคอินทรีย์เป็นเมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (Methyl isobutyl ketone; MIBK) พบว่าได้ค่าร้อยละผลผลิตสูงถึง 83

ในงานวิจัยนี้จะเป็นการศึกษาการสังเคราะห์ 5-HMF โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์ ได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกที่มีตำแหน่งหมู่ฟังก์ชันกรดซัลฟอนิก (Sulfonic;  $-HSO_3$ ) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide;  $Al_2O_3$ ) โดยมีการใช้เกลือโซเดียม (Sodium chloride; NaCl) เพื่อช่วยในการสกัด 5-HMF ในระบบสองวัฏภาค (วัฏภาคน้ำและวัฏภาคอินทรีย์) โดยศึกษาอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อการสังเคราะห์ 5-HMF ที่จะทำให้ได้ค่าการเปลี่ยนแปลง ร้อยละผลผลิต และค่าการเลือกจำเพาะที่เหมาะสมที่สุดในปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 5-HMF โดยใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาเป็นแบบวิวิธพันธ์ (Heterogeneous catalyst)

## 2. วัตถุประสงค์ของการวิจัย

(1) เพื่อสังเคราะห์ 5-HMF จากกลูโคสโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนประจุบวกและอะลูมิเนียมออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา

(2) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ 5-HMF เพื่อให้ได้ร้อยละผลได้ของ 5-HMF ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกลูโคส และร้อยละการเลือกเกิด 5-HMF ในการเกิดปฏิกิริยาได้ดีที่สุด

## 3. วิธีดำเนินการวิจัย

### 3.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. น้ำตาลกลูโคส (D-glucose AR Grade) จาก Fisher Scientific
2. น้ำบริสุทธิ์ (Deionized water)
3. เมทิลไอโซบิวทิลคีโตน (MIBK AR Grade) จาก Merck
4. เรซินแลกเปลี่ยนไอออน (DIAIONTMRCP 160M) จาก Mitsubishi Chemical
5. สารมาตรฐานไฮดรอกซีเมทิลฟูรัล (5-Hydroxymethylfurfural AR Grade 98%) จาก Sigma-Aldrich
6. นอร์มอลเมทิลไพโรลิโดน (N-Methyl-2-pyrrolidone; NMP) AR Grade จาก Sigma-Aldrich
7. อะลูมิเนียมออกไซด์ (Aluminium oxide;  $Al_2O_3$ )
8. เครื่องชั่งดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง Precision Balance รุ่น GF-300 ยี่ห้อ AND
9. เครื่องกวนสารละลายพร้อมเตาให้ความร้อน Hotplate and Magnetic Stirrer รุ่น C – MAG HS7 ยี่ห้อ IKA
10. ชุดอุปกรณ์รีฟลักซ์

11. เครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (HPLC) รุ่น LC-10AT VT ยี่ห้อ Shimadzu
12. UV detector รุ่น 2550 ยี่ห้อ Varian
13. RI detector รุ่น YL9170 RI ยี่ห้อ YL Instrument
14. คอลัมน์ APS – 2 Hypersil (4.6 mm x 250 mm 5  $\mu$ m particle size) จาก Thermo Scientific
15. คอลัมน์ ACE Excel 5 super C18 ชนิดกลับเฟส (4.6 mm x 250 mm 5  $\mu$ m particle size) จาก Advanced Chromatography Technologies
16. เข็กรองไนลอนขนาด 0.45 ไมครอน (13 mm. 0.45  $\mu$ m Nylon Syringe filter) จาก CNW
17. หลอดเก็บสารตัวอย่างขนาดเล็ก (microtube) ขนาด 2 มิลลิลิตร

### 3.2 ปัจจัยที่ทำการศึกษา

1. อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างนอร์มอลเมทิลไพโรลิโดนต่อน้ำในวัฏภาคน้ำระหว่าง 1:1 ถึง 4:1
2. อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างวัฏภาคอินทรีย์ต่อวัฏภาคน้ำระหว่าง 1:1 ถึง 4:1
3. ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาระหว่าง 0 ถึง 0.2 กรัม

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

1. การสังเคราะห์ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรัลจากน้ำตาลกลูโคส

เครื่องปฏิกรณ์แบบกะ (Batch reactor) ถูกนำมาใช้ในทำปฏิกิริยาการสังเคราะห์ 5-HMF โดยระบบสองวัฏภาคซึ่งประกอบไปด้วยสารละลายกลูโคส โซเดียมคลอไรด์ ตัวเร่งปฏิกิริยา และ MIBK ปฏิกิริยาการสังเคราะห์ในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะทั้งหมดจะถูกศึกษาโดยใช้ขวดก้นกลมขนาด 50 มิลลิลิตร จุ่มลงในอ่างน้ำมัน (Oil bath) ที่มีการให้ความร้อนและทำการกวนด้วยแท่งแม่เหล็ก โดยใช้เครื่อง Hot plat (model C-MAG H57, IKA) ซึ่งขวดก้นกลมนั้นจะต่อกับตัวควบแน่น (Condenser) เพื่อให้เกิดกระบวนการรีฟลักซ์ (Reflux) อย่างต่อเนื่องในระบบปิด ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การทดลองการสังเคราะห์ 5-ไฮดรอกซีเมทิลเฟอฟูรัลในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ

เมื่อปฏิกิริยาสิ้นสุดจะนำขวดก้นกลมจุ่มลงในอ่างน้ำเย็น (Ice bath) เพื่อเป็นการหยุดปฏิกิริยา จากนั้นทำการกรองเพื่อแยกตัวเร่งปฏิกิริยาออกจากสารละลายโดยการกรองแบบสุญญากาศ สารละลายที่ผ่านการกรองจะแยกเป็นสองวัฏภาคนั้นคือ วัฏภาคอินทรีย์ และวัฏภาคน้ำ ทำการเก็บสารละลายผลิตภัณฑ์โดยใช้ปิเปตดูด

สารละลายแต่ละชั้นออกมาเพื่อนำไปวิเคราะห์โดยใช้เทคนิคโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง (High performance Chromathography; HPLC) เพื่อคำนวณหาการเปลี่ยนแปลง (%Conversion) ค่าร้อยละผลผลิตของ 5-HMF (%Yield) และค่าการเลือกจำเพาะ (%Selectivity) โดยมีสูตรการคำนวณตามสมการที่ 1-4 ด้านล่างนี้ (Teng, J. และคณะ, 2016) ส่วนตัวเร่งปฏิกิริยาที่ไม่ผ่านกระดวยกรองจะนำไปล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน 3 รอบ และนำไปอบเพื่อไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเพื่อนำไปวิเคราะห์ต่อไป

ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคส (%conversion)

$$\%conversion = \left[ 1 - \left( \frac{\text{moles of fructose unreacted}}{\text{moles of starting glucose units}} \right) \right] \times 100\% \quad (1)$$

ร้อยละผลผลิตของไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (%yield)

$$\%yield = \left[ \frac{\text{moles of 5 - HMF produced}}{\text{moles of starting glucose units}} \right] \times 100\% \quad (2)$$

ร้อยละการเลือกจำเพาะเป็นไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล (%selectivity)

$$\%selectivity = \left[ \frac{\%yield}{\%conversion} \right] \times 100\% \quad (3)$$

## 2. การวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์

ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นหลังเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์จะถูกแยกชั้นเป็นชั้นวัฏภาคน้ำ และวัฏภาคอินทรีย์ จากนั้นนำมาเก็บในช่องแช่เย็น -5 องศาเซลเซียส และวิเคราะห์ด้วยเครื่องโครมาโทกราฟีของเหลวสมรรถนะสูง ที่ประกอบไปด้วยปั๊มของความดันสูง (Shimadzu LC-10AT VT) ต่อกับเครื่อง ultraviolet detector (UV; model 2550 variable  $\lambda$  detector, Varian) และเครื่อง refractive index detector (RI; model YL9170 RI Detector, YL Instrument) โดยควบคุมอุณหภูมิด้วยเตาอบ (model TCM-004076, Waters) เพื่อให้อุณหภูมิขณะทำการวิเคราะห์มีค่าคงที่

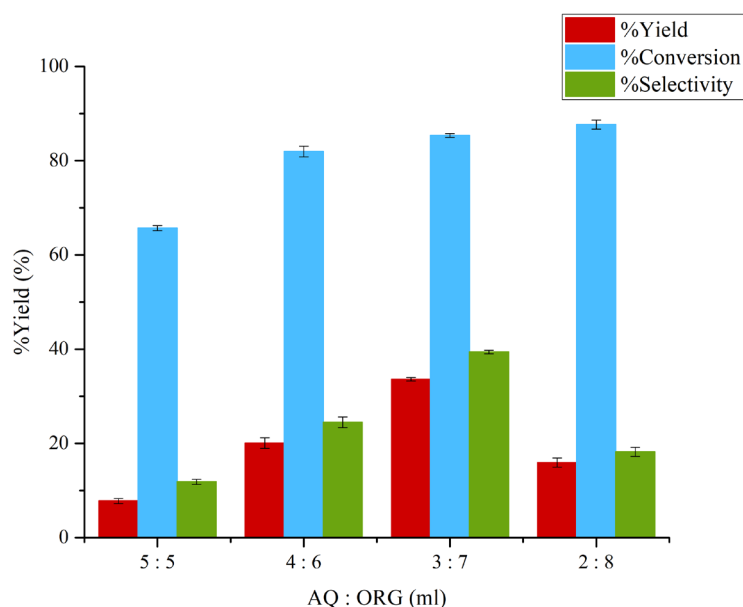
ปริมาณของน้ำตาลกลูโคสที่เหลืออยู่ในวัฏภาคน้ำหลังเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์จะถูกวิเคราะห์ด้วยตัวตรวจชนิด RI โดยใช้คอลัมน์ APS – 2 Hypersil (4.6 mm x 250 mm 5  $\mu$ m particle size, Thermo Scientific) ที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส และมีอะซิโตนในไตรล์และน้ำในอัตราส่วน 75:25 (v/v) ตามลำดับเป็นสารตัวพา (mobile phase) ด้วยอัตราการไหล 1.0 มิลลิลิตรต่อนาที

ส่วนปริมาณของ 5-HMF ที่เกิดขึ้นหลังเกิดปฏิกิริยาการสังเคราะห์ในทั้งสองวัฏภาคจะถูกวิเคราะห์ด้วยตัวตรวจชนิดอูลตราไวโอเลตที่ความยาวคลื่น 320 นาโนเมตร โดยใช้คอลัมน์ ACE Excel 5 super C18 ชนิดกลับเฟส (4.6 mm x 250 mm 5  $\mu$ m particle size, Advanced Chromatography Technologies) ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และมีอะซิโตนในไตรล์และน้ำในอัตราส่วน 10 : 90 (v/v) ตามลำดับเป็นสารตัวพาดำเนินการไหล 0.7 มิลลิลิตรต่อนาที

#### 4. ผลการทดลองและวิจารณ์

##### 1. ผลของอัตราส่วน โดยปริมาตรระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคอินทรีย์ (AQ : ORG ratio)

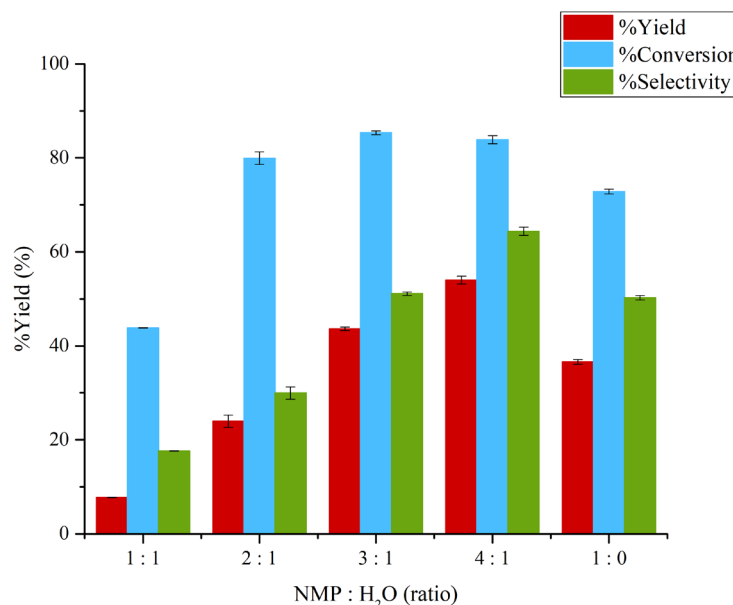
ในการเริ่มต้นการทดลองผู้วิจัยได้เริ่มต้นศึกษาจากการปรับเปลี่ยนอัตราส่วน โดยปริมาตรระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคอินทรีย์ การเติม MIBK ในระบบนั้นช่วยให้อัตราส่วนที่ป้องกันการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ดี โดยปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของกลูโคสนั้นจะเกิดอยู่ในชั้นวัฏภาคน้ำ จากนั้น 5-HMF ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดีไฮเดรชันนั้นจะถูกสกัดขึ้นไปยังชั้นวัฏภาคอินทรีย์เพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง ในการทดลองจะเริ่มต้นจากการปรับเปลี่ยนอัตราส่วน โดยปริมาตรระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคอินทรีย์ตั้งแต่ 1:1 ถึง 1:4 อัตราส่วนของสารละลาย NMP ต่อ น้ำในชั้นวัฏภาคน้ำเท่ากับ 3:1 ปริมาตรรวมของสารละลายเท่ากับ 10 มิลลิลิตร ทำปฏิกิริยาที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 360 นาที ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 2 การเพิ่มขึ้นของอัตราส่วนของ AQ : ORG ส่งผลให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลงของน้ำตาลกลูโคส, ค่าร้อยละผลผลิตของ 5-HMF และค่าการเลือกเกิด 5-HMF เพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่ออัตราส่วนของวัฏภาคน้ำลดลง ปริมาณน้ำในระบบจะลดลงส่งผลให้ 5-HMF ที่เกิดขึ้นนั้นถูกสกัดไปยังชั้นวัฏภาคอินทรีย์ได้มากขึ้น และสามารถป้องกันการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงได้ ซึ่งถ้าในระบบมีปริมาณน้ำที่มากเกินไปจะทำให้เกิดกรดเรวูรีนิกและกรดฟอร์มิกจากปฏิกิริยารีดิวซ์ไฮดรอกซิลกับน้ำที่เหลือในระบบได้ แต่จะพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคอินทรีย์จาก 3:7 ถึง 2:8 จะพบว่า ค่าร้อยละผลผลิตของ 5-HMF และค่าการเลือกเกิด 5-HMF นั้นเปลี่ยนแปลงจาก 33.61 และ 39.38 ลดลงเหลือ 15.96 และ 18.2 ตามลำดับ เนื่องจากการลดปริมาณน้ำในระบบนั้นทำให้ความเข้มข้นของกลูโคสในระบบนั้นเพิ่มขึ้น อัตราการเกิดปฏิกิริยาจึงเร็วขึ้นทำให้กลูโคสอาจทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดเป็นฮิวมินได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhou และคณะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ 5-HMF จากกลูโคสโดยใช้สารละลายและตัวเร่งปฏิกิริยาต่างๆ และในงานวิจัยของ Kuster และคณะได้ศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของฟรุกโตสเพื่อสังเคราะห์เป็น 5-HMF พบว่า 5-HMF และฟรุกโตสนั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันกลายเป็นฮิวมินได้ โดยจะเกิดเฉพาะวัฏภาคน้ำ



ภาพที่ 2 ผลของอัตราส่วนโดยปริมาตรระหว่างวัฏภาคน้ำและวัฏภาคอินทรีย์

## 2. อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างนอร์มอลไพโรริโดนต่อน้ำ

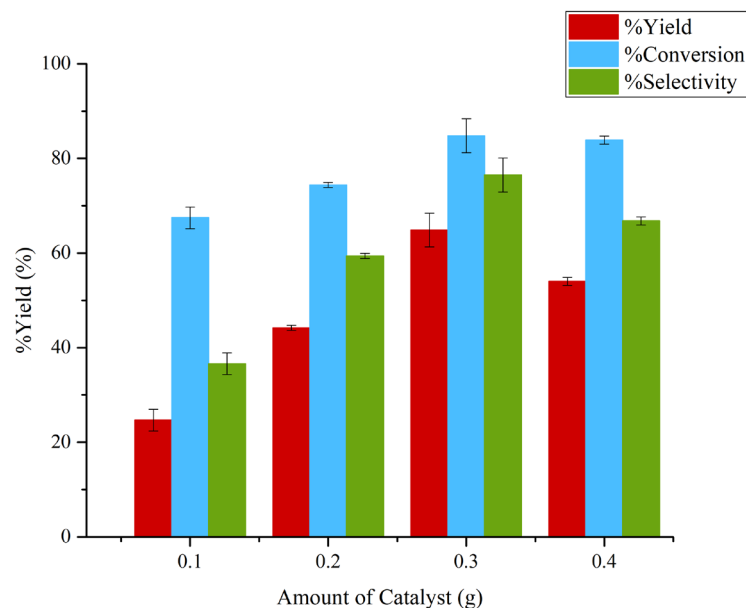
การศึกษาอิทธิพลของน้ำในระบบการสังเคราะห์ 5-HMF นั้นทำได้โดยการเติมนอร์มอลไพโรริโดนลงไปในบางส่วนแทนน้ำในภาคน้ำ อัตราส่วนระหว่างนอร์มอลไพโรริโดนต่อน้ำในภาคน้ำนั้นจะถูกปรับเปลี่ยนโดยเพิ่มขึ้นจาก 3:1 เพิ่มเป็น 1:0 และ ลดลงจาก 3:1 จนถึง 1:1 ขณะที่เวลา อุณหภูมิ และอัตราส่วนของภาคน้ำและภาคน้ำมันที่ใช้นั้นคงที่เท่ากับ 360 นาที, 120 องศาเซลเซียส และ อัตราส่วน 3:7 ตามลำดับ ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 3 พบว่า ในช่วงอัตราส่วนระหว่างนอร์มอลไพโรริโดนต่อน้ำเท่ากับ 1:1 จนถึง 4:1 พบว่าการเพิ่มปริมาณนอร์มอลไพโรริโดน ร้อยละผลผลิตของ 5-HMF และการค่าการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น เนื่องจากน้ำในระบบจะค่อยๆลดลง การเติมนอร์มอลไพโรริโดนเป็นการช่วยป้องกันการเกิดปฏิกิริยาข้างเคียงเช่น กรดเลวูรีนิกและกรดฟอรั่มิกได้อีกทั้งนอร์มอลเมทิลไพโรริโดนนั้นสามารถปรับปรุงสภาพช่วยป้องกันการเกิดเป็นอิวมินได้อีกด้วย ในงานวิจัยของ Horvat และคณะได้ศึกษาเกี่ยวกับการสังเคราะห์ 5-HMF พบว่า เมื่อในระบบมีปริมาณน้ำที่มากเกินไป 5-HMF ที่เกิดขึ้นในปฏิกิริยานั้นจะสามารถเกิดปฏิกิริยากับน้ำที่เหลือในระบบ ที่ตำแหน่ง 2 และ 3 คาร์บอนอะตอมของ 5-HMF และเกิดปฏิกิริยาพอร์เมอร์ไรเซชันกลายเป็นอิวมินได้ และ ที่ตำแหน่ง 4 และ 5 คาร์บอนอะตอมของ 5-HMF นั้นสามารถเกิดปฏิกิริยาดีไฮเดรชันกับน้ำกลายเป็นกรดเรวูรีนิก และเกิดปฏิกิริยาคาร์บอกซิเรชัน (Decarboxylation) กลายเป็นกรดฟอรั่มิกได้อีกด้วย การเติมนอร์มอลไพโรริโดนเข้าไปในระบบนั้นจะช่วยลดการเกิดปฏิกิริยาเหล่านี้ และในช่วงอัตราส่วนระหว่างนอร์มอลไพโรริโดนต่อน้ำเท่ากับ 4:1 จนถึง 1:0 จะพบว่าร้อยละผลผลิตของ 5-HMF ลดลง เนื่องการเติมนอร์มอลไพโรริโดนมากเกินไปนั้นจะทำให้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เป็นตัวเร่งปฏิกิริยานั้นความว่องไวลดลง เนื่องจากเรซินแลกเปลี่ยนไอออนมีตำแหน่งว่องไวเป็นหมู่ฟังก์ชันที่ชอบน้ำคือ หมู่ซัลโฟนิก ดังนั้นถ้าในระบบไม่มีน้ำหรือน้ำน้อยเกินไป ประสิทธิภาพของตำแหน่งว่องไวในการเร่งปฏิกิริยานั้นลดลง ส่งผลให้ร้อยละผลผลิตและค่าการเลือกจำเพาะของ 5-HMF นั้นลดลง Chen และคณะได้สังเคราะห์ 5-HMF จากกลูโคสโดยใช้พอลิเมอร์ที่มีรูพรุนเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแบบวิวิธพันธ์โดยศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำกับร้อยละผลผลิตของ 5-HMF พบว่าได้ผลการทดลองในลักษณะเดียวกัน



ภาพที่ 3 ผลของอัตราส่วนระหว่างนอร์มอลไพโรริโดนต่อน้ำ

### 3. อิทธิพลของปริมาณน้ำหนักรีดิวซ์ปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล

การศึกษาอิทธิพลของปริมาณน้ำหนักรีดิวซ์ปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์ 5-HMF ทำได้โดยการปรับเปลี่ยนปริมาณน้ำหนักรีดิวซ์ปฏิกิริยาได้แก่ เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกและอะลูมิเนียมออกไซด์ โดยที่อัตราส่วนของตัวเร่งปฏิกิริยาทั้งสองชนิดเท่ากันคือ 1 ต่อ 1 ปริมาณน้ำหนักรีดิวซ์ปฏิกิริยาจะเริ่มปรับเปลี่ยนตั้งแต่ 0.10 กรัมจนถึง 0.40 กรัม ซึ่งเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 360 นาที และ 120 องศาเซลเซียส ตามลำดับ อัตราส่วนของวัฏภาคน้ำและวัฏภาคอินทรีย์นั้นคงที่เท่ากับ 3 ต่อ 7 อัตราส่วนของปริมาณน้ำและนอร์มอลเมทิลไพโรโรโดนเท่ากับ 1 ต่อ 4 โดยปริมาณกลูโคสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยา คือ 0.1 กรัม และปริมาณโซเดียมคลอไรด์เท่ากับ 0.4 กรัม ผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาพที่ 4 จากผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหนักรีดิวซ์ปฏิกิริยาจาก 0.1 กรัมจนถึง 0.3 กรัม ส่งผลให้ค่าร้อยละผลผลิตของ 5-HMF นั้นสูงขึ้นจาก 24.68 จนถึง 64.86 ค่าการเปลี่ยนแปลงและค่าการเลือกเกิดจำเพาะเพิ่มขึ้นตามลำดับ แต่เมื่อเพิ่มปริมาณน้ำหนักรีดิวซ์ปฏิกิริยาจนถึง 0.4 กรัม พบว่าค่าร้อยละผลผลิตของ 5-HMF ลดลงจาก 64.68 เหลือเพียง 53.98 เนื่องจากเมื่อปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเพิ่มขึ้นในระบบ อาจทำให้ปริมาณตำแหน่งที่ว่างไวต่อการเกิดปฏิกิริยานั้นมากเกินไปทำให้อาจเกิดปฏิกิริยาข้างเคียง (ปฏิกิริยาไฮเดรชัน) และที่ค่าการเปลี่ยนแปลงลดลงเนื่องจากเกิดปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชันเกิดเป็นฮิวมินได้ โดยงานวิจัยของ Elsayed และคณะได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกิริยาดีไฮเดรชันของกลูโคสเพื่อสังเคราะห์ 5-HMF โดยใช้  $Fe_3O_4@SiO_2-SO_3H$  เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่า มีผลการทดลองที่คล้ายคลึงกัน



ภาพที่ 4 ผลของปริมาณน้ำหนักรีดิวซ์ปฏิกิริยาที่ใช้ในการสังเคราะห์ไฮดรอกซีเมทิลเฟอร์ฟูรัล

### 5. สรุปผลงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการสังเคราะห์ 5-HMF ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนของนอร์มอลเมทิลไพโรโรโดนและน้ำ, ปริมาณเมทิลไอโซบิวทิลดีโตนต่อสารละลายกลูโคสและปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนบวกเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะในระบบสองวัฏภาค การเพิ่มปริมาณของเมทิลไอโซบิวทิลดีโตน การเพิ่มอัตราส่วนของนอร์มอลเมทิลไพโรโรโดน

และน้ำนั้นส่งผลให้ร้อยละการเปลี่ยนแปลง ร้อยละผลได้ของ 5-HMF และร้อยละการเลือกเกิด 5-HMF เพิ่มขึ้น โดยสภาวะที่เหมาะสมในการสังเคราะห์ 5-HMF คืออุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส และเวลาในการทำปฏิกิริยา 360 นาที โดยใช้อัตราส่วนของนอร์มอลเมทิลไพโรริโดนและน้ำเท่ากับ 4 ต่อ 1, ปริมาณเมทิลไอโซบิวทิลคีโตนต่อสารละลายกลูโคสเท่ากับ 7 ต่อ 3, ปริมาณของตัวเร่งปฏิกิริยาเท่ากับ 0.3 กรัม ซึ่งให้ค่าร้อยละการเปลี่ยนแปลงเท่ากับ 84.79, ร้อยละการเลือกเกิด 5-HMF เท่ากับ 76.49 และร้อยละผลได้ของ 5-HMF เท่ากับ 64.86

## 6. ข้อเสนอแนะ

### 6.1 ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

การนำผลวิจัยไปใช้ต่อในเชิงอุตสาหกรรมนั้น ควรมีการศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มกำลังการผลิตในเครื่องปฏิกรณ์แบบกะ ไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มขนาดของเครื่องปฏิกรณ์แบบกะหรือออกแบบความสามารถในการป้อนสารและนำสารออก เพื่อศึกษาพฤติกรรมของสารในเครื่องปฏิกรณ์ในเชิงอุตสาหกรรมต่อไป

### 6.2 ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ในการวิจัยครั้งต่อไปอาจจะเลือกเครื่องปฏิกรณ์ชนิดอื่นๆเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพและกำลังการผลิตในการสังเคราะห์

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณบริษัท มิตรซูชิเคมีคอล(ประเทศไทย) จำกัด ที่ได้อนุเคราะห์ตัวเร่งปฏิกิริยาเรซินแลกเปลี่ยนไอออน RCP 160M ที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- Chen, D., et al., An efficient route from reproducible glucose to 5-hydroxymethylfurfural catalyzed by porous coordination polymer heterogeneous catalysts. **Chemical Engineering Journal**, 2016. 300: p. 177-184.
- Chheda, J. and J. A. Dumesic, Production of 5-hydroxymethylfurfural and furfural by dehydration of biomass-derived mono- and poly-saccharides. Vol. 9. 2007.
- Elsayed, I., et al., Dehydration of glucose to 5-hydroxymethylfurfural by a core-shell  $Fe_3O_4@SiO_2-SO_3H$  magnetic nanoparticle catalyst. *Fuel*, 2018. 221: p. 407-416.
- Horvat, J., et al., Mechanism of levulinic acid formation. *Tetrahedron Letters*, 1985. 26(17): p. 2111-2114.
- Kuster, B.F.M., 5-Hydroxymethylfurfural (HMF). A Review Focussing on its Manufacture. *Starch – Stärke*, 1990. 42(8): p. 314-321.
- Zhou, C., et al., Conversion of glucose into 5-hydroxymethylfurfural in different solvents and catalysts: Reaction kinetics and mechanism. **Egyptian Journal of Petroleum**, 2017. 26(2): p. 477-487.



ภาวะโลกร้อน: ผลลัพธ์เชิงลบในโลกยุคอุตสาหกรรม  
GLOBAL WARMING: NEGATIVE OUTCOME IN  
THE INDUSTRIAL WORLD

มนนภา เทพสุด

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สำนักวิชาศึกษาทั่วไป มหาวิทยาลัยศรีปทุม

E-mail: Monnapa.th@spu.ac.th

**บทคัดย่อ**

ภาวะโลกร้อนที่ทำให้สภาพภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปในโลกยุคปัจจุบัน เป็นสภาพการณ์ที่เกิดขึ้นจากความไม่สมดุลของปริมาณก๊าซเรือนกระจก โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์ที่เพิ่มมากขึ้นในชั้นบรรยากาศ อันมีสาเหตุสำคัญมาจากปรากฏการณ์เรือนกระจกที่รุนแรง ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากผลการพึ่งพิงพลังงานกระแสหลักจากเชื้อเพลิงฟอสซิล ในการขับเคลื่อนเศรษฐกิจของโลกยุคอุตสาหกรรม ที่มีแหล่งปล่อยใหญ่มาจากภาคพลังงานและการขนส่ง รวมทั้งมีแรงเสริมจากการทำลายพื้นที่ป่าเพื่อปรับเปลี่ยนที่ดินมาใช้ขยายพื้นที่ต่าง ๆ ร่วมสมทบด้วยปัจจุบันภาวะโลกร้อนซึ่งเป็นปัญหาสะสมที่เกิดขึ้นมากกว่าศตวรรษได้ทวีความรุนแรง ทำลายคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งในภาคพื้นดิน ฝืนน้ำ และอากาศเพิ่มมากขึ้น จนทุกชีวิตต้องได้รับความเดือดร้อนจากผลกระทบที่ตามมามากมาย ทั้งจากการเผชิญกับสภาพภูมิอากาศที่รุนแรง การไหม้กระหน่ำของพืชผักที่ร้ายแรงจากคลื่นความร้อน ภัยแล้ง ไฟป่า และพายุอย่างบ่อยครั้งยิ่งขึ้น ตลอดจนถึงการเพิ่มสูงของระดับน้ำทะเล อันเนื่องมาจากการขยายตัวของน้ำทะเลผนวกกับการละลายตัวลงที่เร็วยิ่งของน้ำแข็งทั่วโลก การแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนด้วยการลดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ ร่วมกับการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ และการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งผลิตก่อนเข้าสู่ชั้นบรรยากาศ จึงถือเป็นสามแนวทางออกสำคัญที่จะช่วยขยับยั้งไม่ให้อุณหภูมิโลกเพิ่มสูงขึ้นต่อไปกระทั่งก่อภัยพิบัติทำลายทุกชีวิตได้

**คำสำคัญ:** ภาวะโลกร้อน ก๊าซเรือนกระจก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ พลังงานทดแทน แหล่งกักเก็บคาร์บอน

**ABSTRACT**

The global warming that causes climate change in today world is a situation that arises from an imbalance in the amount of greenhouse gases, especially carbon dioxide that is increasing in the atmosphere, which is the cause of the severe greenhouse effect and which occurs due to the dependency on mainstream energy from fossil fuels that drive the economy of the industrial age world. The industrial age which has a large source of emission from the energy and transportation sector as well as having reinforcements from deforestation of the forest in order to change the land to be used to expand the various areas. Nowadays, global warming, which has accumulated problems that have occurred for over a century, has intensified. It has increased in destruction of environmental quality in the land, water and air sectors. Today all lives have suffered from many consequences, both from facing the severe climate the raging of serious disasters from heat waves, drought, forest fires and

storms more often. Throughout, including rising sea levels due to the expansion of sea water combined with the rapid melting of ice around the world. Therefore, it is considered that there are three important ways to stop the global temperature from rising until it can endanger every life, that is the reducing the rate of carbon dioxide emissions into the atmosphere together with the removal of carbon dioxide from the atmosphere and the removal of carbon dioxide gas released from the production source before reaching the atmosphere.

**KEYWORDS:** Global warming, Greenhouse gas, Carbon dioxide, Renewable energy, Carbon storage

## 1. บทนำ

ในขณะที่มนุษย์เรากำลังอยู่ท่ามกลางความเจริญ ที่พร้อมไปด้วยสิ่งอำนวยความสะดวกสบายและเทคโนโลยีต่างๆ ตลอดจนถึงการสัญจรที่เต็มไปด้วยรถยนต์ เรือยนต์ และเครื่องบิน สถานการณ์ความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศและการพังทลายของผืนน้ำแข็งหลายแห่งทั่วโลก ก็กำลังทวีความรุนแรงส่งผลกระทบต่อลูกหลานให้มนุษย์เราต้องเผชิญกับภัยพิบัติต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเกิดคลื่นความร้อน ภัยแล้ง ไฟป่า พายุ และการเพิ่มสูงของระดับน้ำทะเล อันเป็นผลพวงมาจากภาวะโลกร้อน โดยมีมนุษย์เป็นผู้ร่วมกันก่อขึ้นจากการเพิ่มปริมาณก๊าซเรือนกระจกนานาชนิด โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศอย่างไม่หยุดยั้งในสังคมโลกยุคอุตสาหกรรม อันเป็นยุคแห่งการผลิตที่มีการขับเคลื่อนเศรษฐกิจอุตสาหกรรมบนฐานพลังงานของเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยใหญ่สุดของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

แน่นอนว่า หากยังคงปล่อยให้การพัฒนาดำเนินไปในรูปแบบเดิมๆ โดยไม่มีการปรับเปลี่ยนแหล่งพลังงานภาวะโลกร้อนก็จะขยายขนาดความรุนแรงไปสู่จุดอันตรายอย่างยิ่งยวดขึ้นเรื่อยๆ จนถึงขั้นที่ทำให้ระบบนิเวศของโลกล่มสลายและอันตรายก็จะมาถึงมนุษย์เราได้ ในท้ายสุด ดังนั้นการก้าวพ้นจากยุคพลังงานเชื้อเพลิงฟอสซิลไปสู่ยุคพลังงานทดแทน จึงเป็นทางออกอันสำคัญที่นำไปสู่การลดระดับความรุนแรงของภาวะโลกร้อน ไม่ให้รุกรืบก่อเหตุหายนะสร้างความเดือดร้อนได้มากยิ่งขึ้น และเพื่อให้ทุกสรรพสิ่งมีโอกาสอยู่คู่โลกไปได้อีกยาวนานเท่านาน

## 2. วัตถุประสงค์

- (1) เพื่อเผยแพร่สาเหตุที่แท้จริงของการเกิดภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน
- (2) เพื่อเผยแพร่ถึงผลกระทบและปัญหาที่ตามมาจากภาวะโลกร้อน
- (3) เพื่อเผยแพร่แนวทางการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน

## 3. สาเหตุการเกิดภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน

### 3.1 การผันแปรของสภาพภูมิอากาศตามธรรมชาติและภาวะโลกร้อนในยุคปัจจุบัน

ผลการวิเคราะห์สภาพภูมิอากาศโลกช่วงยุคดึกดำบรรพ์ จากฟองอากาศโบราณซึ่งถูกกักเก็บภายในแท่งน้ำแข็งระดับลึก ทั้งที่เกาะกรีนแลนด์และเขตวอสทอกในทวีปแอนตาร์กติกา ทำให้นักวิทยาศาสตร์สามารถศึกษาพบความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันระหว่างค่าอุณหภูมิบนพื้นผิวโลกและปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศ และพบว่าตลอดช่วงหนึ่งล้านปีที่ผ่านมามีโลกประสบกับช่วงที่โลกร้อนขึ้นซึ่งเรียกว่า “ยุคน้ำแข็งละลาย” สลับกับช่วงที่โลกเย็นลงซึ่งเรียกว่า “ยุคน้ำแข็ง” มาแล้วอย่างเป็นวัฏจักรประมาณ 7-8 รอบ ซึ่งแต่ละรอบมีคาบเวลายาวนานประมาณ 100,000-150,000 ปี โดยช่วงการเปลี่ยนจากยุคน้ำแข็งสู่ยุคโลกร้อนนั้นมีระยะเวลา

ประมาณ 20,000 ปี ส่วนช่วงที่โลกร้อนสูงสุดแล้วค่อยๆ เย็นตัวลงจนเข้าสู่ยุคน้ำแข็งมีระยะเวลาสั้นกว่าแสนปี (สวัณน์ อัสวไชยชาญ, 2551: 7) โดยมีตัวกำหนดอัตราการรอบคือการเปลี่ยนวงโคจรของโลก ที่รู้จักในชื่อ "วัฏจักร มิลานโควิทซ์" (Milankovich cycle) และการเปลี่ยนแปลงปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นก๊าซเรือนกระจก (Greenhouse Gas) เป็นปัจจัยร่วมสำคัญ (ธนวิวัฒน์ จารพงษ์สกุล, 2550: 19-21)

ด้วยข้อเท็จจริงที่ว่า โลกผ่านยุคโลกร้อนครั้งล่าสุดมาเมื่อประมาณ 6,000 ปีก่อน ดังนั้นหากเป็นไปตามวิถีแห่งธรรมชาติ โลกในยุคปัจจุบันต้องอยู่ในช่วงเวลาของการปรับสมดุลให้อุณหภูมิลดต่ำลงอย่างช้าๆ เพื่อเข้าสู่ยุคน้ำแข็งอีกครั้งตามแนวโน้มนวนวัฏจักร ซึ่งใช้ระยะเวลาสั้นกว่าแสนปี หากแต่สิ่งที่ปรากฏกลับตรงข้ามด้วยนับตั้งแต่ปี พ.ศ. 2404 เป็นต้นมา อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกได้ขยับเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องและรวดเร็วเกินกว่าค่าเฉลี่ยในเกณฑ์ปกติ (Dennis, 1993: 184) นักวิทยาศาสตร์ส่วนใหญ่จึงมีความเห็นว่า ภาวะโลกร้อนที่กำลังทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นแบบผิดปกตินี้ ไม่ได้เป็นการผันแปรของสภาพภูมิอากาศที่เกิดขึ้นตามวิถีธรรมชาติดังเช่นที่โลกเคยประสบมา

ทั้งเมื่อในปี พ.ศ. 2550 ทางคณะกรรมการระหว่างรัฐบาลว่าด้วยการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ หรือ "ไอพีซีซี" (Intergovernmental Panel on Climate Change: IPCC) ขององค์การสหประชาชาติ ยังได้นำเสนอรายงานการตรวจประเมินสภาพภูมิอากาศครั้งที่ 4 (Fourth Assessment Report: AR4) ที่ระบุยืนยันว่า มีความเป็นไปได้สูงถึงร้อยละ 90 ที่อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกในยุคปัจจุบัน ซึ่งเพิ่มสูงอย่างผิดปกติโดยเฉพาะในตลอดช่วงระยะเวลากว่า 50 ปีที่ผ่านมา นั้น เกิดขึ้นจากผลการดำเนินกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ยุคอุตสาหกรรม ที่ร่วมกันปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกนานาชนิด โดยเฉพาะคาร์บอนไดออกไซด์เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ จนมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นกว่าระดับความพอดีที่ธรรมชาติจะระบายออกไปได้ทัน (สืบค้นเมื่อ 29 ต.ค. 2562, จาก [https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/faq-2-1.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-2-1.html))

### 3.2 ปรากฏการณ์เรือนกระจกที่รุนแรง: สาเหตุของภาวะโลกร้อน

ตามสภาพธรรมชาติแล้ว ภายในชั้นบรรยากาศใกล้ผิวโลกจะมีก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ อาทิ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO<sub>2</sub>) มีเทน (CH<sub>4</sub>) ไนตรัสออกไซด์ (N<sub>2</sub>O) ไออน้ำ (H<sub>2</sub>O) และโอโซน (O<sub>3</sub>) ซึ่งมีคุณสมบัติกักเก็บความร้อนได้ดีแพร่กระจายอยู่ในปริมาณที่คงความสมดุล ทำให้ปรากฏการณ์เรือนกระจก (Greenhouse Effect) ซึ่งเป็นกลไกการควบคุมสมดุลอุณหภูมิโลกดำเนินไปอย่างปกติ

กล่าวคือ เมื่อรังสีจากดวงอาทิตย์ส่องผ่านชั้นบรรยากาศมายังพื้นผิวโลก รังสีส่วนใหญ่ซึ่งเป็นรังสีความยาวคลื่นสั้น (Short-Wave Radiation) ในช่วงที่แสงมองเห็น (Visible Light) จะสะท้อนและกระจายความร้อนออกสู่อวกาศในทันทีร้อยละ 30 โดยกลุ่มเมฆและอนุภาคสารต่างๆ ในบรรยากาศ และโดยสารชนิดต่างๆ เช่น ทราช ก้อนหิน หิมะ น้ำแข็ง และวัตถุสะท้อนอื่นๆ บนพื้นผิวโลก และส่วนที่เหลือร้อยละ 70 นั้น ส่วนหนึ่ง (ร้อยละ 20) จะถูกดูดกลืนไว้โดยกลุ่มเมฆ ฟุนละออง และก๊าซชนิดต่างๆ และอีกส่วน (ร้อยละ 50) จะเดินทางเข้ามาตกกระทบบนพื้นผิวโลก จนเมื่อพื้นผิวโลกได้รับความอบอุ่นเพียงพอแล้ว พื้นผิวโลกจะแผ่ความร้อนส่วนที่เหลือในรูปรังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีคลื่นยาว (Long-Wave Radiation) ออกสู่อวกาศอย่างช้าๆ ร้อยละ 20 ซึ่งมีเพียงส่วนน้อยที่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 8-13 ไมครอนเท่านั้นที่เคลื่อนที่ผ่านออกไปสู่อวกาศได้ทันที (ร้อยละ 6) แต่อีกส่วน (ร้อยละ 14) จะถูกกลุ่มเมฆและก๊าซเรือนกระจกชนิดต่างๆ ร่วมกันดูดกลืนไว้ ต่อจากนั้น ก๊าซเรือนกระจกจะแผ่รังสีความร้อนปล่อยกระจายกลับคืนสู่อวกาศและพื้นผิวโลกอีกครั้งอย่างต่อเนื่อง (บรรจบ ทิดเลิศล้ำ, 2547: 61; ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และมานิจ ทองประเสริฐ, 2549: 70) ส่งผลให้พื้นผิวโลกมี

ความอบอุ่นอยู่ที่ประมาณ 15 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นระดับอุณหภูมิที่มีคุณประโยชน์ต่อการกำเนิดและดำรงอยู่ของชีวิต (ดอร์ และคาร์นิง, 2551: 30)

หากแต่หลังจากที่โลกเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม ภายในชั้นบรรยากาศได้มีปริมาณการแพร่กระจายของก๊าซเรือนกระจกเพิ่มมากขึ้นจนเกินระดับความสมดุลทางธรรมชาติ ปรากฏการณ์เรือนกระจกจึงดำเนินไปในทิศทางที่รุนแรง กระทั่งส่งผลให้ความร้อนถูกเก็บสะสมไว้บนพื้นผิวโลกและในชั้นบรรยากาศเหนือโลกได้มากเกินปกติ อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกจึงเพิ่มสูงขึ้นตามมาอย่างผิดธรรมชาติ แล้วเกิดเป็นภาวะโลกร้อน (Global Warming) ที่ส่งผลกระทบอันร้ายแรงให้สภาพภูมิอากาศโลกต้องเปลี่ยนแปลงไป (Climate Change) ดังเช่นที่ได้ปรากฏอยู่ในทุกวันนี้

### 3.3 คาร์บอนไดออกไซด์ : ก๊าซเรือนกระจกตัวการหลักแห่งปัญหาภาวะโลกร้อน

แม้ภายในชั้นบรรยากาศเหนือโลกจะมีก๊าซเรือนกระจกเป็นองค์ประกอบอยู่นานชนิด หากแต่ก๊าซเรือนกระจกตัวการหลักที่มีอิทธิพลต่อปัญหาภาวะโลกร้อนมากที่สุดคือคาร์บอนไดออกไซด์ เนื่องจากเป็นก๊าซที่สามารถกักเก็บความร้อนได้มากที่สุดและนานที่สุดเมื่อเทียบกับก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น เหตุเพราะมีปริมาณการสะสมตัวอยู่ในชั้นบรรยากาศมากกว่าก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นด้วยสัดส่วนถึงเกือบสองในสาม อีกทั้งแต่ละโมเลกุลของก๊าซยังมีช่วงเวลาคงอยู่ในชั้นบรรยากาศ 200-450 ปี ซึ่งนับว่านานยิ่งกว่าก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่น ถึงแม้ว่าจะมีศักยภาพก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Global Warming Potential : GWP) น้อยกว่าก๊าซเรือนกระจกชนิดอื่นก็ตาม (ธนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล, 2550: 58-59)

### 3.4 ต้นเหตุที่ทำให้ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มสูงขึ้นในชั้นบรรยากาศ

การเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ ซึ่งก่อตัวมาตั้งแต่ที่สังคมโลกเข้าสู่ยุคของการปฏิวัติอุตสาหกรรมจนถึงปัจจุบันนี้ มีต้นเหตุหลักมาจากการพัฒนาเศรษฐกิจอุตสาหกรรมบนฐานพลังงานของเชื้อเพลิงฟอสซิล ซึ่งเป็นแหล่งปล่อยใหญ่ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เหตุเพราะการเผาผลาญเชื้อเพลิงฟอสซิล อันได้แก่ ถ่านหิน น้ำมัน และก๊าซธรรมชาติกันอย่างมหาศาลในนานาประเทศ เพื่อผลิตพลังงานมาใช้ดำเนินกิจกรรมต่างๆ ทั้งในภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม การคมนาคมขนส่ง และการผลิตไฟฟ้า นั้น จะส่งผลข้างเคียงให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกผลิตแล้วปล่อยออกมาสู่ชั้นบรรยากาศอย่างไม่หยุดยั้ง

นอกจากนี้การทำลายป่า เพื่อปรับเปลี่ยนที่ดิน มาใช้ในการเกษตร การทำฟาร์มปศุสัตว์ การขยายพื้นที่เมือง และอื่นๆ เพื่อรองรับจำนวนประชากรโลกที่เพิ่มมากขึ้นในทุกๆ ปี ก็เป็นอีกต้นเหตุของการเพิ่มเติมปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศด้วย ทั้งนี้เพราะเมื่อต้นไม้ถูกตัดทำลายตายลง ธาตุคาร์บอนที่ถูกต้นไม้กักเก็บไว้ในรูปมวลชีวภาพ ทั้งที่อยู่ในเนื้อไม้และตามส่วนต่างๆ ของต้นไม้ จะเกิดการย่อยสลายทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกผลิตสู่ชั้นบรรยากาศได้เป็นจำนวนมาก ส่วนการเผาป่าก็ทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ถูกผลิตออกสู่ชั้นบรรยากาศด้วยเช่นกัน โดยการเผาป่าที่ไม่มีการปลูกป่าทดแทนนั้น จะมีผลทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศเพิ่มขึ้นได้ถึงร้อยละ 30 ของจำนวนที่ถูกผลิตออกมาทั่วโลก (วัลยา วิริยเสนกุล, 2550: 67)

ที่สำคัญอีกประการคือ การทำลายป่ายังเป็นการบั่นทอนศักยภาพการตรึงก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศได้อีกด้วย เหตุเพราะโดยธรรมชาติแล้วต้นไม้จะมีกลไกการดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศโดยผ่านกระบวนการสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) เพื่อนำมาสร้างสารอาหารในระหว่างการเจริญเติบโต แล้วสะสมคาร์บอนไว้ในรูปเนื้อไม้ ดังนั้นเมื่อไม่มีต้นไม้เป็นแหล่งกักเก็บคาร์บอน ก็จะส่งผลให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมตัวในชั้นบรรยากาศมากขึ้นได้ โดยทาง IPCC ได้ระบุว่า การทำลายป่า

เป็นการปล่อยก๊าซเรือนกระจกถึงราวร้อยละ 20 เมื่อเทียบกับปริมาณการปล่อยทั้งหมด (พิพัตน์ พัฒนผลไพบุลย์ และศศิธร พ่วงปาน, 2558: 113)

### 3.5 แนวโน้มการเพิ่มขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ

ตลอดช่วงเวลาราว 10,000 ปี ก่อนยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรม ความสมดุลระหว่างการปลดปล่อยและการกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งดำเนินไปตามวิถีแห่งธรรมชาติ ได้ส่งผลสะท้อนให้ภายในชั้นบรรยากาศมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมอยู่ในระดับความเข้มข้นที่ค่อนข้างมีเสถียรภาพที่ 280 ส่วนในล้านส่วน (ppm)

หากแต่เมื่อโลกเข้าสู่ยุคอุตสาหกรรม การขับเคลื่อนเศรษฐกิจบนฐานเชื้อเพลิงฟอสซิลและการทำลายป่า ได้ส่งผลร่วมกันผลักดันให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มีปริมาณการสะสมตัวเพิ่มมากขึ้นในชั้นบรรยากาศ โดยเพิ่มสูงถึงระดับ 351.57 ppm เมื่อในปี พ.ศ. 2531 ซึ่งนับว่าสูงเกินระดับความปลอดภัยที่ถูกกำหนดไว้ที่ 350 ppm เป็นครั้งแรก และถึงระดับ 400.83 ppm ในปี พ.ศ. 2558 ในขณะที่ขีดเริ่มต้นของการเข้าสู่หายนะของสภาพภูมิอากาศ ถูกกำหนดไว้ที่ 400 ppm และเพิ่มสูงอยู่ที่ระดับ 415.09 ppm แล้วในปัจจุบัน (สืบค้นเมื่อ 29 ต.ค. 2562, จาก <https://th.co2.earth/daily-co2>) ซึ่งนับว่าเพิ่มสูงขึ้นถึงร้อยละ 48.2 เมื่อเทียบกับจากระดับก่อนยุคการปฏิวัติอุตสาหกรรม ทั้งที่ตลอดช่วงเวลา 800,000 ปี ที่ผ่านมา ปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศได้ปรากฏค่าความเข้มข้นระดับสูงสุดที่ 300 ppm เท่านั้น (สืบค้นเมื่อ 29 ต.ค. 2562, จาก <https://www.rereef.co/single-post/CO2-415-ppm>)

## 4. ผลกระทบที่ตามมาจากภาวะโลกร้อน

การสะสมตัวที่เพิ่มมากขึ้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ภายในชั้นบรรยากาศ จากฝีมือมนุษย์ทั้งโลกที่ร่วมกันก่อขึ้นมา ได้ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยมีรายงานจากองค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization; WMO) ระบุว่า อุณหภูมิเฉลี่ยบนพื้นผิวโลกมีความร้อนสูงสุดในช่วง 5 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2558-2562) นับตั้งแต่ที่เริ่มมีการบันทึกสถิติในปี พ.ศ. 2393 และมีอุณหภูมิเพิ่มสูงจากช่วงก่อนการปฏิวัติยุคอุตสาหกรรมถึง 1.1 องศาเซลเซียสแล้วในปัจจุบัน (สืบค้นเมื่อ 29 ต.ค. 2562, จาก <https://www.posttoday.com/world/601532>)

ทั้งยังมีรายงานการวิจัยจากทีมนักวิทยาศาสตร์ด้วยว่า ปัจจุบันภาวะโลกร้อนได้ขยายขนาดความรุนแรงจนครอบคลุมพื้นที่ทั่วโลกไปกว่าร้อยละ 98 แล้ว ในขณะที่ยังไม่เคยมีการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งใดๆ ที่ส่งผลกระทบต่อร้อยละ 50 ของพื้นที่โลกเลย (สืบค้นเมื่อ 24 ก.ย. 2562, จาก [http://www.onep.go.th/env\\_data/2019](http://www.onep.go.th/env_data/2019))

สำหรับผลกระทบจากภาวะโลกร้อนนั้น นอกจากจะทำให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้น จนสภาพภูมิอากาศโลกเกิดการเปลี่ยนแปลง ดังเห็นได้ชัดจากความแปรปรวนของฤดูกาลที่ปรากฏช่วงฤดูร้อนที่ร้อนขึ้นอย่างยาวนานและฤดูหนาวที่สั้นลง อีกทั้งฝนก็ไม่ตกตามรูปแบบที่เคยเป็น โดยบางพื้นที่ต้องประสบกับฝนตกหนักจนเกิดปัญหาน้ำท่วมใหญ่ หากแต่บางพื้นที่กลับแทบไม่มีฝนตกจนเกิดปัญหาภัยแล้งและไฟป่าตามมาแล้ว ความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศและการละลายตัวอย่างผิดปกติของน้ำแข็งขั้วโลก ก็เป็นอีกสองวิกฤติการณ์อันตรายที่กำลังรุกคืบเข้าสร้างความเสียหายอย่างเห็นได้ชัด

#### 4.1 ความรุนแรงของสภาพภูมิอากาศ

ขณะนี้ภาวะโลกร้อนได้ทวีความรุนแรง ถึงขั้นทำให้หลายพื้นที่โลกเผชิญกับเหตุการณ์ “สภาพภูมิอากาศสุดขั้ว” หรือที่รู้จักกันในชื่อ “Extreme Weather Event” โดยที่เพิ่งผ่านไปในปี พ.ศ. 2561 มีดังเช่นกรณีที่ประเทศสหรัฐอเมริกาต้องเผชิญกับสภาพอากาศหนาวเหน็บ จากอุณหภูมิที่ลดต่ำลงอย่างรวดเร็วจนคิดลบ อันเนื่องมาจากอิทธิพลของพายุฤดูหนาวกำลังแรง ในขณะที่ประเทศออสเตรเลียกลับถูกคลื่นความร้อนเข้าแผ่ปกคลุมสามรัฐใหญ่ จนทำให้นครซิดนีย์มีสภาพอากาศร้อนจัดที่สุดในรอบ 79 ปี เนื่องจากมีอุณหภูมิเฉลี่ยในวันที่ 7 ม.ค. 2561 สูงถึง 47.3 องศาเซลเซียส

อีกทั้งในปีพ.ศ. 2562 ประเทศสหรัฐอเมริกาก็เผชิญกับความหนาวจัดราวกับอยู่ในเมืองแช่แข็งกว่าหนึ่งสัปดาห์ จากอิทธิพลของปรากฏการณ์ “ลมวนขั้วโลก” ส่วนประเทศออสเตรเลียก็เผชิญกับคลื่นความร้อนครั้งรุนแรง จนอุณหภูมิเฉลี่ยทั่วประเทศตลอดช่วงเวลานี้สูงเกินกว่า 35 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ ภัยพิบัติทางอากาศยังเพิ่มความถี่และความรุนแรงเหนือธรรมชาติยิ่งขึ้น สำหรับกรณีที่สร้างความเสียหายอย่างหนัก มีดังนี้

- ปี พ.ศ. 2546 เกิดคลื่นความร้อนแถบทวีปยุโรป จนคร่าชีวิตผู้คนกว่า 30,000 ราย
- ปี พ.ศ. 2548 เกิดพายุเฮอริเคน “แคทรินา” ซึ่งมีกำลังแรงสูงสุดถึงระดับ 5 พัดถล่มทำลายเมืองนิวออร์ลีนส์ ประเทศสหรัฐอเมริกา จนมีผู้เสียชีวิตถึง 1,300 คน
- ปี พ.ศ. 2550 เกิดอุทกภัยครั้งใหญ่ในรอบ 60 ปีที่ประเทศอังกฤษ
- ปี พ.ศ. 2551 เกิดพายุไซโคลน “นาร์กิส” พัดถล่มประเทศพม่าจนมีผู้เสียชีวิตนับแสนคน
- ปี พ.ศ. 2561 เกิดไฟป่าลูกความรุนแรงที่สุดในรอบ 10 ปี ที่รัฐแคลิฟอร์เนีย

#### 4.2 การละลายตัวอย่างรวดเร็วของน้ำแข็งขั้วโลก

การละลายตัวอย่างรวดเร็วของน้ำแข็งทุกแห่งทั่วโลก เป็นทั้งผลกระทบและหลักฐานสำคัญที่ยืนยันได้ว่าโลกกำลังร้อนยิ่งขึ้นในทุกขณะแล้ว โดยทีมนักวิทยาศาสตร์ของศูนย์ข้อมูลน้ำแข็งและหิมะแห่งชาติ (National Snow and Data Center-NSIDC) ได้เปิดเผยว่า แผ่นน้ำแข็งที่ปกคลุมผืนโลกบริเวณมหาสมุทรอาร์กติก ซึ่งมีขนาดเฉลี่ย 7.7 ล้านตารางกิโลเมตรในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2522-2543 (สืบค้นเมื่อ 29 ต.ค. 2562, จาก <http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6944401.stm>) ได้เกิดการละลายตัวมากขึ้นและเร็วขึ้น จนมีความหนาบางลงและมีขนาดพื้นที่เล็กลงเหลือเพียง 4.15 ล้านตารางกิโลเมตร เมื่อในฤดูร้อนของปี พ.ศ. 2562 ซึ่งแม้จะไม่ใช่มินิมัลดังต่ำสุดที่มีพื้นที่เหลือเพียง 3.39 ล้านตารางกิโลเมตรดังที่เคยเกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2555 หากแต่น้อยกว่าในรอบปีที่ผ่านมาของเดือนเดียวกันถึง 0.51 ล้านตารางกิโลเมตร (สืบค้นเมื่อ 29 ต.ค. 2562, จาก <https://nsidc.org/arcticseaicenews/2019/09/arctic-sea-ice-reaches-second-lowest-minimum-in-satellite-record/>)

ที่เป็นเช่นนี้เพราะ อุณหภูมิที่เพิ่มสูงอย่างต่อเนื่องได้ส่งผลกระทบต่อให้น้ำในมหาสมุทรมีความร้อนสะสมเพิ่มขึ้น จนน้ำแข็งขั้วโลกละลายตัวมากขึ้นและเร็วขึ้น น้ำแข็งส่วนที่เหลือจึงสะท้อนรังสีความร้อนกลับสู่อวกาศได้น้อยลง ในขณะที่ปริมาณน้ำในมหาสมุทรที่เพิ่มขึ้นจากการละลายของผืนน้ำแข็ง จะดูดเก็บรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ไว้ได้มากขึ้น น้ำในมหาสมุทรที่อุ่นขึ้นจึงปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่บรรยากาศได้มากขึ้น อุณหภูมิโลกจึงเพิ่มสูงขึ้นแล้วป้อนกลับมาเร่งการละลายตัวของผืนน้ำแข็งให้เพิ่มขึ้นได้เรื่อยๆ

เนื่องจากการขยายตัวของน้ำทะเลที่อุ่นขึ้นและการละลายตัวของน้ำแข็งที่ขั้วโลก จะส่งผลร่วมกันทำให้น้ำทะเลมีระดับเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นจึงมีการคาดการณ์จากนักวิทยาศาสตร์ว่า หากน้ำทะเลมีระดับเพิ่มสูงขึ้น 1 เมตร

อันตรายจะเกิดกับพื้นที่ชายฝั่งของประเทศต่างๆ โดยประเทศอุรุกวัย เนเธอร์แลนด์ และบังคลาเทศ จะมีพื้นที่สูญหายไปถึงร้อยละ 0.05, 6 และ 17.5 ตามลำดับ (ชนวิวัฒน์ จารุพงษ์สกุล, 2558: 154)

โดยล่าสุดนี้มีการคาดการณ์จากรายงานด้านสิ่งแวดล้อมว่า ระดับน้ำทะเลอาจเพิ่มสูงขึ้นกว่า 2 เมตร ภายในศตวรรษนี้ หรือภายในปี 2100 ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อครั้งใหญ่ต่อมนุษยชาติ เพราะจะทำให้ที่ดินกว่า 1.79 ล้านตารางกิโลเมตรได้รับความเสียหาย ประชากรโลกกว่า 187 ล้านคนไร้ที่อยู่อาศัย โดยเฉพาะดินแดนและประเทศในแถบมหาสมุทรแปซิฟิก (สืบค้นเมื่อ 29 ต.ค. 2562, จาก <https://thestandard.co/2-metre-sea-level-rise-plausible-by-2100/>)

## 5. ปัญหาที่ตามมาจากภาวะโลกร้อน

เป็นที่ชัดเจนว่า ภาวะโลกร้อนกำลังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีความเสื่อมทรุดลง และก่อให้เกิดปัญหาหลากหลายตามมาหลายด้านมากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นปัญหาความมั่นคงทางอาหาร การลี้ภัยเนื่องจากสิ่งแวดล้อม สุขภาพอนามัยเสื่อมโทรม การแพร่ระบาดของภูมิแพ้และโรคติดต่อต่างๆ และการสูญเสียความหลากหลายทางชีวภาพ ที่น่าห่วงยิ่งคือ หากก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ยังคงทวีจำนวนเพิ่มสูงขึ้นถึง 450 ppm อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกก็จะเพิ่มสูงขึ้นตามมาได้ถึง 2 องศาเซลเซียส ซึ่งนั่นจะเป็นจุดเริ่มของเหตุหายนะที่นำไปสู่การสูญพันธุ์ครั้งใหญ่ได้ (สืบค้นเมื่อ 29 ต.ค. 2562, จาก [https://www.greenpeace.or.th/report/endcoal\\_factsheet/owards-climate-catastrophe.pdf](https://www.greenpeace.or.th/report/endcoal_factsheet/owards-climate-catastrophe.pdf))

ที่เป็นเช่นนี้เพราะ อุณหภูมิที่เพิ่มสูงถึงระดับนี้จะเป็นปัจจัยเร่งให้ชั้นดินเยือกแข็งคงตัว (Permafrost) ซึ่งเป็นแหล่งดูดซับคาร์บอนตามธรรมชาติและมีเป็นจำนวนมากละลายมากขึ้น จนทำให้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และมีเทน (ศักยภาพก่อโลกร้อนมากกว่าคาร์บอนไดออกไซด์ 21 เท่า) ซึ่งถูกกักเก็บไว้นานาน รั่วไหลออกสู่ชั้นบรรยากาศได้อย่างมหาศาล โลกจึงร้อนยิ่งขึ้น แล้วเวียนกลับเข้ามากระตุ้นให้ชั้นดินเยือกแข็งคงตัวส่วนที่เหลือละลายเร็วขึ้นและมากขึ้นต่อไปได้อีก ภาวะโลกร้อนก็จะยิ่งทวีความรุนแรง เพิ่มอำนาจการทำลายล้างเข้าคุกคามธรรมชาติสิ่งแวดล้อมให้เสื่อมทรุดลงอย่างหนัก และโลกก็จะเข้าสู่ระยะวิกฤติโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

## 6. แนวทางการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อน

แม้ความเคลื่อนไหวต่อการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนจากนานาชาติประเทศ ที่เริ่มมีมาตั้งแต่พิธีสารเกียวโต (Kyoto Protocol) จนถึงความตกลงปารีส (Paris Agreement) จะดำเนินมากว่าทศวรรษแล้ว หากแต่ความพยายามแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนจากนานาชาติประเทศนั้นยังประสบความสำเร็จน้อยมาก เหตุเพราะต้องเผชิญกับอุปสรรคหลายด้าน ทั้งจาก 1) การสวนกระแสกับสังคมโลกที่วางโครงสร้างพื้นฐานทางพลังงานบนฐานเชื้อเพลิงฟอสซิล 2) การไม่ได้รับความร่วมมือจากประเทศสหรัฐอเมริกา เพราะอยู่ในสถานะการถอนตัวทั้งจาก “พิธีสารเกียวโต” และ “ความตกลงปารีส” ทั้งที่ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์มากเป็นอันดับสองรองจากจีน และ 3) ปัจจัยเร่งจากไฟป่าและมหาสมุทรที่อุ่นขึ้น ซึ่งสามารถป้อนกลับมาเพิ่มปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศ โลกจึงร้อนยิ่งขึ้นสืบไปได้เรื่อยๆ

แต่เนื่องด้วยสิ่งที่ต้องเฝ้าระวังคือ การสกัดกั้นไม่ให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงเกินจุดพลิกผันที่ 2 องศาเซลเซียส ดังนั้นการหลีกเลี่ยงหายนะจากสถานการณ์ดังกล่าวจึงเป็นสิ่งสำคัญ ที่ทุกประเทศจะต้องร่วมมือกันต่อต้านการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์อย่างจริงจังและเร่งด่วน เพื่อปกป้องไม่ให้อุณหภูมิบนพื้นผิวโลกเพิ่มสูงขึ้นถึง 2 องศาเซลเซียสภายในปี พ.ศ. 2643 ตามเป้าหมายของ “ความตกลงปารีส” ให้ได้ โดยทางองค์การ

อุตุนิยมวิทยาโลกได้ออกมาระบุว่า การจะบรรลุเป้าหมายตามความตกลงปารีส เพื่อควบคุมไม่ให้อุณหภูมิโลกเพิ่มสูงถึง 2 องศาเซลเซียส และ 1.5 องศาเซลเซียสได้นั้น นานาประเทศทั่วโลกจะต้องเพิ่มความพยายามขึ้นเป็น 3 เท่า และ 5 เท่าตามลำดับ (สืบค้นเมื่อ 24 ก.ย. 2562, จาก [http://www.onep.go.th/env\\_data/2019](http://www.onep.go.th/env_data/2019))

สำหรับแนวทางการแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนให้ได้ผล สามารถดำเนินการได้บน 3 แนวทางหลักดังนี้

1) การลดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ

โดยลดการใช้พลังงานจากฐานเชื้อเพลิงฟอสซิล ด้วยการอนุรักษ์พลังงานทั้งการนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วกลับมาผลิตใหม่ (Recycle) ลดการบริโภคผลิตภัณฑ์ที่เกินความจำเป็น (Reduce) การนำผลิตภัณฑ์ที่ใช้แล้วที่มีประสิทธิภาพดีมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Reuse) และการซ่อมแซมเครื่องใช้ที่สึกหรอให้ใช้ประโยชน์ได้ (Repair)

ที่สำคัญยิ่งคือ ความพยายามยุติการพึ่งพิงพลังงานจากฐานเชื้อเพลิงฟอสซิล แล้วหันมาให้ความสำคัญและส่งเสริมการใช้พลังงานทดแทน (เช่น พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำ) เพื่อหยุดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์

2) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ

โดยการเพิ่มแหล่งดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ เช่น การเพิ่มพื้นที่ป่า เนื่องจากป่ามีกระบวนการสังเคราะห์แสงเป็นกลไกทางธรรมชาติที่ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศที่ดียิ่ง มีการคำนวณจากนักวิทยาศาสตร์ว่า หากต้องการให้ป่าดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้ได้ร้อยละ 10 ของก๊าซที่เกิดขึ้นทั่วโลกได้นั้น จำเป็นต้องปลูกป่าอย่างน้อย 700,000 ตารางกิโลเมตร (สุพัตรา แซ่ลิ้ม, 2550: 159)

อีกทั้งยังมีข้อมูลสนับสนุนจากงานวิจัยของ ดร.โทมัส ครอว์เธอร์ นักวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมชาวอเมริกันด้วยว่า หากทั่วโลกร่วมกันปลูกต้นไม้จำนวน 1.2 ล้านล้านต้น จะสามารถดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาในรอบ 10 ปีที่ผ่านมาได้ (สืบค้นเมื่อ 24 ก.ย. 2562, จาก [https://www.khaosod.co.th/sci-tech/news\\_2224199](https://www.khaosod.co.th/sci-tech/news_2224199))

3) การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งผลิต

โดยการเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปของสารประกอบชนิดอื่น ด้วยกระบวนการทางชีวภาพ เช่น การใช้จุลสาหร่าย (กษิตติศ หนูทอง และประเสริฐ ภูสันต์, 2551: 22-36) และ/หรือด้วยกระบวนการทางเคมี เช่น การเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ให้อยู่ในรูปของแข็งคาร์บอนเนตหรือไบคาร์บอนเนตซึ่งมีความคงทนมากกว่า (วารกรณ์ สามโกเศศ, 2546: 58)

รวมถึงการดักจับและกักเก็บก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ออกจากแหล่งผลิต (CO<sub>2</sub> Capture and Storage: CCS) มาอัดฝังเก็บไว้ใต้พื้นดินระดับลึก เช่น แหล่งน้ำมัน ซึ่งต้องคำนึงถึงระยะเวลาและผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นกับมนุษย์และสิ่งแวดล้อมด้วย เพราะแหล่งกักเก็บนั้นสามารถรั่วราวตามมาได้ หากมีภัยพิบัติทางธรรมชาติเกิดขึ้น

## 7. สรุป

การพัฒนาาระบบเศรษฐกิจบนฐานเชื้อเพลิงฟอสซิลในโลกยุคอุตสาหกรรม คือต้นเหตุสำคัญที่ทำให้ภายในชั้นบรรยากาศมีปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นก๊าซเรือนกระจกตัวการหลักเพิ่มสูงขึ้นอย่างผิดธรรมชาติ จนส่งผลกระทบต่อปัญหาภาวะโลกร้อนที่มีความรุนแรงมากพอ ที่จะทำให้สภาพภูมิอากาศโลกต้องเปลี่ยนแปลงไปและน้ำแข็งทั่วโลกละลายตัวมากยิ่งขึ้น จนส่งผลกระทบต่อวิถีชีวิตต้องเผชิญกับผลกระทบต่างๆ ที่รุกไล่ตามมาอย่างเป็นลูกโซ่



การปรับเปลี่ยนวิถีทางการพัฒนาสู่สังคมคาร์บอนต่ำ เพื่อลด-ละ-เลิกการพึ่งพิงพลังงานจากเชื้อเพลิงฟอสซิล พร้อมกับก้าวไปสู่อนาคตแห่งพลังงานทดแทนโดยเร็ว จะเป็นทางออกสำคัญที่ทำให้ทุกชีวิตมีโอกาสรอดพ้นจากสถานการณ์อันเลวร้ายได้ แต่หากยังคงดำเนินการแก้ปัญหาอย่างล่าช้าและยังคงมีการพัฒนาบนวิถีทางเดิมภายในบรรยากาศก็จะมีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สะสมตัวหนาแน่นขึ้นเรื่อยๆ การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศครั้งใหญ่ก็จะเกิดขึ้นและคงอยู่สืบไปอีกหลายศตวรรษ และทุกชีวิตก็ต้องเผชิญกับภาวะวิกฤตแบบสุดวิกฤตอย่างไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

## 8. ข้อเสนอแนะ

การแก้ปัญหาภาวะโลกร้อนจะประสบผลสำเร็จได้ จำเป็นต้องอาศัยวิธีผสมผสานกันทั้งการลดอัตราการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกสู่ชั้นบรรยากาศ การกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากชั้นบรรยากาศ และการกำจัดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ถูกปล่อยออกมาจากแหล่งผลิต

## 9. เอกสารอ้างอิง

กษิดิศ หนูทอง และประเสริฐ ภูวสันต์, 2551. “ทางเลือกในการลดปริมาณคาร์บอนไดออกไซด์จากแหล่งผลิตเพื่อบรรเทาภาวะโลกร้อน.” วารสารสิ่งแวดล้อม ปีที่ 12 ฉบับที่ 1: 22-36.

ดอว์, คริสติน และดาว์นิง, อี โทมัส. 2551. การเปลี่ยนแปลงภาวะอากาศ ความอยู่รอดของมวลมนุษยชาติ.

กรุงเทพฯ: ปาเจรา.

ชนวัฒน์ จารุพงษ์สกุล, 2558: “สภาพภูมิอากาศแปรเปลี่ยนและผลกระทบต่อประเทศไทย” เมื่อโลกร้อนขึ้น.

กรุงเทพฯ: กรุงเทพฯเวชสาร

\_\_\_\_\_. 2550. โลกร้อนสุดขีด วิกฤตอนาคตประเทศไทย. กรุงเทพฯ: ฐานบุคส์.

บรรจบ คิดเลิศล้ำ. 2547. “ปรากฏการณ์เรือนกระจก กับดัชนีความร้อนที่มนุษย์สร้างไว้ข้ามมนุษย์.” วารสารโลกพลังงาน ปีที่ 7, ฉบับที่ 24: 59-61.

พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ และศศิธร พ่วงปาน, 2558: “ป่าไม้กับปัญหาโลกร้อน” เมื่อโลกร้อนขึ้น. กรุงเทพฯ:

กรุงเทพฯเวชสาร.

เล็ก มอญเจริญ, 2550. “มาตรา 3.4 (additional Human Induce) ในพิธีสารเกียวโตกับการเก็บกักอินทรีย์คาร์บอนในดินเพื่อบรรเทาปัญหาโลกร้อน.” วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ ปีที่ 22, ฉบับที่ 2: 44-51.

วารกรณ์ สามโกเศศ. 2546. “เก็บ CO<sub>2</sub> ไม่ให้เป็นก๊าซเรือนกระจก.” นิตยสารโลกสีเขียว ปีที่ 12 ฉบับที่ 4: 58.

วัลยา วิริยเสนกุล. 2550. “เศรษฐกิจพอเพียงกับปัญหาโลกร้อน.” วารสารสังคมพัฒนา ปีที่ 35, ฉบับที่ 3: 65-71.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ และมานิจ ทองประเสริฐ. 2549. “การลดก๊าซเรือนกระจก : จากนโยบายสู่ภาคปฏิบัติ (ตอนที่ 1).” วารสาร Engineering Today ปีที่ 4, ฉบับที่ 44: 68-71.

สุพัตรา แซ่ถิ่ม. 2550. มหันตภัยโลกร้อน GLOBAL WARMING เรื่องจริงที่คุณต้องรู้. กรุงเทพฯ: ฟ้าริมาซด์.

สุวัฒน์ อัสวไชยชาญ. 2551. 50 เรื่องต้องรู้เกี่ยวกับโลกร้อน. กรุงเทพฯ: สารคดี.

สุรินทร์ เหล่าสุขสถิตย์, 2551. “ภาวะเรือนกระจกหรือภาวะโลกร้อนคืออะไร...?” วารสารพัฒนาเทคนิคศึกษา ปีที่ 20 ฉบับที่ 65: 22-28.

“ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในบรรยากาศแตะระดับ 415 ppm แล้ว” สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2562, จาก

<https://www.rereef.co/single-post/CO2-415-ppm>

“นักวิทยาศาสตร์บางชื่อ! ผู้โลกร้อนไม่อยากช่วยกันทำได้ทันที ปลุกต้นไม้แค่หนึ่งล้านล้านต้น” สืบค้นเมื่อวันที่ 29

ตุลาคม 2562, จาก [https://www.khaosod.co.th/sci-tech/news\\_2224199](https://www.khaosod.co.th/sci-tech/news_2224199)

“ยูเอ็นเผย 5 ปีที่ผ่านมาโลกร้อนที่สุดเป็นประวัติการณ์” สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2562, จาก

<https://www.posttoday.com/world/601532>

“รายงานเผยระดับน้ำทะเลอาจเพิ่มสูงขึ้นกว่า 2 เมตร ภายในปี 2100 ประชาชน 187 ล้านคนไร้ที่อยู่อาศัย” สืบค้น

เมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2562, จาก <https://thestandard.co/2-metre-sea-level-rise-plausible-by-2100/>

“สูญหายของสภาพภูมิอากาศ ถ่านหินก่อวิกฤตสภาพภูมิอากาศ” สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2562, จาก

[https://www.greenpeace.or.th/report/endcoal\\_factsheet/owards-climate-catastrophe.pdf](https://www.greenpeace.or.th/report/endcoal_factsheet/owards-climate-catastrophe.pdf)

“‘อุตุโลก’ระบุโลกร้อนขึ้น 1.1 องศาเซลเซียส ‘ยูเอ็น’เรียกร้องผู้นำโลกแก้ปัญหาเป็นรูปธรรม” สืบค้นเมื่อวันที่

29 ตุลาคม 2562, จาก [http://www.onep.go.th/env\\_data/2019](http://www.onep.go.th/env_data/2019)

“Arctic sea ice reaches second lowest minimum in satellite record” สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2562, จาก

<https://nsidc.org/arcticseaicenews/2019/09/arctic-sea-ice-reaches-second-lowest-minimum-in-satellite-record/>

“Arctic sea ice set to hit new low” สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2562, จาก

<http://news.bbc.co.uk/2/hi/science/nature/6944401.stm>

“Climate Change 2007: Working Group I: The Physical Science Basis” สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2562, จาก

[https://archive.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/ar4/wg1/en/faq-2-1.html](https://archive.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/en/faq-2-1.html)

“CO<sub>2</sub>. Earth Are we stabilizing yet?” สืบค้นเมื่อวันที่ 29 ตุลาคม 2562, จาก <https://th.co2.earth/daily-co2>

Dennis, R.L.H.. 1993. **Butterflies and Climate Change**. London: Manchester University Press.