

## อุปกรณ์วิเคราะห์ทางเคมีและเทคนิคการใช้

การใช้เครื่องมือและเทคนิคสำหรับงานวิเคราะห์ทางเคมีนั้นมีความสำคัญอย่างมากต่อผลการวิเคราะห์ เพื่อให้ผลการวิเคราะห์ดินและปุ๋ยซึ่งเป็นตัวแทนสำหรับการประเมินผลและแปลผลสามารถนำไปประยุกต์ใช้จริงได้อย่างถูกต้อง ไม่ว่าจะเป็นการเลือกใช้เครื่องแก้ว สำหรับเตรียมสารเคมีในการวิเคราะห์ต่าง ๆ ตั้งแต่เรื่องการจัดและดวงสารสำหรับวิเคราะห์ความต้องการเติมปุ๋ยขาวจึงจะสามารถทำให้ได้ค่า pH เท่ากับ 6.5 เพื่อคำนวณการเติมปุ๋ยขาวในแหล่งดินที่มีสภาพเป็นกรด การวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดินและวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนโดยการใช้ไทเทรตคำนวณปริมาตรวิเคราะห์เชิงปริมาณ นอกจากนี้ยังพบปัญหาจากการชั่งสารตัวอย่างในบuret ซึ่งประกอบดินที่ไม่ถูกต้องส่งผลกระทบต่อผลการทดลอง ผู้ปฏิบัติงานควรศึกษารายละเอียดหลักการและวิธีการใช้ข้อควรระวัง ให้เข้าใจก่อนการปฏิบัติการทดลอง และปฏิบัติตามขั้นตอนที่กำหนด ช่วยกันรักษาความสะอาดของเครื่องมือและบริเวณ โดยรอบ รายละเอียดของเครื่องมือที่ควรทราบก่อนเริ่มปฏิบัติการการวิเคราะห์ดินและปุ๋ยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### เครื่องมือและเทคนิคการใช้

#### 1. เครื่องแก้ว (glassware)

เครื่องแก้วคืออุปกรณ์หลักหรืออุปกรณ์พื้นฐานที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป แต่ถึงอย่างไรก็ตามอุปกรณ์พื้นฐานนี้มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการทดลอง ผลการทดลองที่ได้ ตลอดจนความสะอาดของเครื่องแก้ว การใช้เครื่องแก้วที่เหมาะสมต่อการตรวจ วัดปริมาตรที่ถูกต้องนับเป็นอีกปัจจัยที่จะทำให้การทดลองประสบความสำเร็จตามจุดประสงค์ที่ตั้งไว้ เครื่องแก้วที่ใช้ในห้องปฏิบัติการทั่วไปมีคุณสมบัติแตกต่างกันขึ้นกับวัสดุที่นำมาผลิตเครื่องแก้วนั้น ๆ ได้แก่

borosilicate เครื่องแก้วชนิดนี้มีส่วนผสมของบอริกออกไซด์ทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำ ทนการเปลี่ยนแปลงความร้อนได้ดี และทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีกรดและด่าง ได้แก่ เครื่องแก้วของ pyrex และ kimax

alumina-silicate เครื่องแก้วชนิดนี้มีความทนทาน และทนความร้อนสูงได้ดีกว่าเครื่องแก้วที่ทำจาก borosilicate เช่น เครื่องแก้วของ corex

soda - lime เครื่องแก้วชนิดนี้ส่วนผสมหลักคือ ทราช โซดาแอช และหินปูน เป็นแก้วที่ใช้โดยทั่วไปจึงไม่ทนต่อความร้อน นิยมใช้ทำเครื่องแก้วที่ใช้แล้วทิ้ง มีข้อควรระวังสำหรับการใช้เครื่องแก้วชนิดนี้คือ เป็นเครื่องแก้วชนิดที่มีความเป็นด่างในตัว จึงควรล้างด้วยน้ำจืดไอออน ก่อนนำไปใช้งาน เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการเคมีทั่วไป สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของการทำงาน ได้ดังนี้

## 2. เครื่องแก้วที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุ

เครื่องแก้วประเภทนี้จะมีข้อจำกัด คือ มีขีดบอกปริมาตรไม่ละเอียด ไม่สามารถนำมาใช้ในการทดลองวิเคราะห์ผลเชิงปริมาณได้ เครื่องแก้วประเภทนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้งานการเตรียมสารละลายใช้เป็นภาชนะรองรับในการทำปฏิกิริยาหรือใช้รองรับสาร ถ่ายเทสาร ได้แก่ บีกเกอร์ (beakers) ขวดรูปชมพู่ (erlenmeyer flasks) และหลอดทดลอง (test tubes)

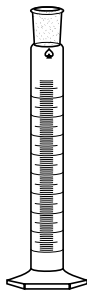
## 3. เครื่องแก้วที่ใช้วัดปริมาตร

การเลือกใช้เครื่องแก้วชนิดนี้จะต้องให้เหมาะสมแก่งานที่ต้องการความแม่นยำของปริมาตรที่แตกต่างกัน เช่น กระจกตวงอ่านปริมาตรความแม่นยำ  $\pm 1-2$  มิลลิลิตร หากต้องการความแม่นยำของปริมาตรสูงในระดับ  $\pm 0.01$  มิลลิลิตร ควรใช้ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) ขนาดต่าง ๆ มีตั้งแต่ระดับน้อยไปหามาก เช่น 5 25 50 100 250 500 1000 และ 2000 มิลลิลิตร เครื่องแก้ววัดปริมาตรหรือตวงปริมาตรอีกชนิดหนึ่งที่ใช้โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการคือ ปิเปต (pipet) มีหลายขนาด เช่น 1 2 5 10 และ 25 มิลลิลิตร อ่านปริมาตรความแม่นยำ  $\pm 0.02$  มิลลิลิตร และ 0.03 มิลลิลิตร อีกชนิดหนึ่งที่นิยมใช้คือบิวเรต (buret) มีความจุ 25 หรือ 50 มิลลิลิตร มีขีดแบ่งปริมาตรเป็นช่วง ๆ ละ 0.1 มิลลิลิตร อ่านปริมาตรความแม่นยำ  $\pm 0.05$  มิลลิลิตร ข้อสังเกตการเลือกใช้เครื่องแก้วในการตวงหรือวัดปริมาตรคือการถ่ายเทของเหลวจากขวดวัดปริมาตรลงในภาชนะชนิดอื่นปริมาตรที่ได้จะมีปริมาตรน้อยกว่าที่บรรจุเสมอเพราะจะมีของเหลวบางส่วนตกค้างอยู่ภายในขวดในระหว่างการถ่ายเท จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งควรเลือกใช้ให้เหมาะสมกับประเภทของงาน ยกตัวอย่างการวิเคราะห์ปริมาณเชิงปริมาณเปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุในดิน โดยทำการเคมีการละลายโปแตสเซียมโครเมท เข้มข้น 1 นอร์มอล เพื่อให้ทำปฏิกิริยาย่อยสลายสารอินทรีย์ในดิน ปริมาตร 5 มิลลิลิตร ควรเลือกใช้ปิเปต

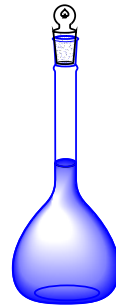
กระบอกตวง (measuring cylinders หรือ graduated cylinders) เครื่องแก้วที่มีลักษณะเป็นทรงกระบอก มีขีดบอกปริมาตรแบ่งย่อยหลายขีดระหว่างปริมาตร มีขนาดแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการใช้งาน เช่น ถ้าต้องการปริมาตรสารละลาย 15- 25 มิลลิลิตร ควรเลือกใช้กระบอกตวงขนาด 25 มิลลิลิตร ในกรณีที่ต้องการปริมาตรสารละลายจำนวน 150 - 250 มิลลิลิตร ควรเลือกใช้กระบอกตวง

ขนาด 250 มิลลิลิตร จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นกระบอกตวงเหมาะกับการปริมาตรที่มีความแม่นยำ  $\pm 1-2$  มิลลิลิตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าปริมาตรที่ได้ค่อนข้างหยาบจึงไม่เหมาะสมต่อการวิเคราะห์เชิงปริมาณ (quantitative analysis)

ขวดวัดปริมาตร (volumetric flasks) เครื่องแก้วที่มีลักษณะก้านยาว ก้นกลมแบนมีขีดบอกปริมาตรที่ก้านขวดเพียงขีดเดียวแต่ค่อนข้างแม่นยำและจำเพาะ มีหลายขนาดที่นิยมใช้กันมาก ได้แก่ ขนาดเล็ก 5 10 25 และ 50 มิลลิลิตร เหมาะสำหรับการเตรียมสารละลายโพแทสเซียมและฟอสฟอรัสเพื่อวิเคราะห์ธาตุอาหารหรือปุ๋ยในดิน ในกรณีขนาด 100 250 500 และ 1,000 มิลลิลิตร เหมาะสำหรับการเตรียมสารละลายต่างๆ ที่ใช้ในบทปฏิบัติการ เช่น การเตรียมสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ในปฏิบัติการวิเคราะห์ความต้องการเตรียมปูนขาว เมื่อเปรียบเทียบการตวงปริมาตรด้วยขวดวัดปริมาตรขนาด 500 มิลลิลิตรกับการใช้กระบอกตวง เช่น ขนาด 500 มิลลิลิตร  $\pm 0.2$  มิลลิลิตร จะเห็นได้ว่าขวดวัดปริมาตรมีความแม่นยำสูงกว่า คังภาพประกอบ 2.1



ก. กระบอกตวง



ข. ขวดวัดปริมาตร



ค. ปิกเกอร์

**ภาพประกอบ 2.1** เครื่องแก้วที่ใช้เป็นภาชนะบรรจุแบบต่าง ๆ

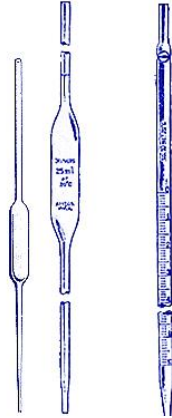
ปิเปต (pipette) เครื่องแก้วที่มีลักษณะหลอดแก้วขนาดเล็กหรือกระเปาะตรงกลางมีขนาดต่างกันในระดับมิลลิลิตร ใช้ตวงหรือดูดสารละลายเมื่อต้องการปริมาตรน้อยและต้องใช้ร่วมกับลูกยาง

(pipette rubber bulb) ที่ใช้ใน TN 312 มีขนาด 0.2 0.5 1.0 2.0 5.0 และ 10 มิลลิลิตร โดยปิเปตที่ใช้ โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการแบ่งเป็น 2 ประเภทคือแบบที่ใช้ในการถ่ายเทสารละลายจากภาชนะหนึ่งไปยังอีกภาชนะหนึ่งในปริมาตรที่ต้องการ เรียกปิเปตแบบนี้ว่า “to deliver” หรือ “T.D.” และแบบที่ใช้ในการวัดปริมาตรสารละลายเรียกปิเปตแบบนี้ว่า “to contain” หรือ “T.C.” ทั้งสองชนิดนี้มีหลายชนิด ขึ้นกับการออกแบบ เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งาน มีชื่อเรียกและวิธีการใช้แตกต่างกัน ดังนี้ (พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จูอนุวัฒน์กุล. 2560 : 49)

ปิเปตแบบกระเปาะ (volumetric หรือ transfer pipette) ปิเปตที่มีลักษณะกระเปาะตรงกลาง หรือเรียกว่า T.D. มีสเกลบอกปริมาตรเพียงหนึ่งตามปริมาตรที่กำหนด โดยไม่มีการแบ่งขีดย่อย ๆ จุดประสงค์การใช้งานเพื่อการถ่ายเทสารละลาย โดยการปล่อยสารละลายออกให้หมดแล้วจะปลายของปิเปตที่ผิวด้านในภาชนะรองรับ โดยไม่ต้องเป่าสารละลายที่เหลือค้างในปิเปตจึงจะได้ปริมาตรที่ถูกต้อง

ปิเปตแบบมอห์ร์ (Mohr pipette) ปิเปตที่มีลักษณะหลอดแก้วยาวเสมอ หรือเรียกว่า T.D. มีหลายขนาด มีสเกลบอกปริมาตรแบ่งปริมาตรย่อย ๆ ตั้งแต่ 0.1 มิลลิลิตร จนถึง 0.01 มิลลิลิตร มีขีดปริมาตรตั้งแต่ขีดศูนย์ลงไป แต่ข้อสังเกตคือไม่มีการแบ่งขีดไปจนถึงปลายล่างสุดที่ไม่มีขีดปริมาตร และไม่ต้องเป่าสารละลายออก เพราะจะทำให้ได้ปริมาตรเกินปริมาตรจริง

ปิเปตแบบเซโรโลจิคัล (serological pipette) ปิเปตที่มีลักษณะหลอดแก้วยาวเสมอ หรือเรียกว่า T.D. มีลักษณะคล้ายปิเปตแบบมอห์ร์ แต่มีขีดแบ่งปริมาตรเป็นส่วนย่อยจนถึงปลายล่างสุดซึ่งเป็นส่วนที่แตกต่างจากปิเปตแบบมอห์ร์ ดังนั้นหลังจากการถ่ายเทสารละลายจนหมดแล้วต้องเป่าให้สารละลายที่ค้างอยู่ที่ปลายออกให้หมด จึงจะได้ปริมาตรที่ถูกต้อง ข้อสังเกตมีแถบผ้าทึบหรือวงสองวงเป็นเครื่องบ่งชี้อยู่ด้านบนของปิเปตแต่ถ้าไม่มีเครื่องบ่งชี้ดังกล่าว ให้ตะเป่า ปิเปตกับผิวด้านในของภาชนะรองรับจนสารละลายออกหมด โดยไม่ต้องเป่าปิเปต ดังภาพประกอบที่ 2.



ภาพประกอบ 2.2 ปีเปิดแบบต่าง ๆ

ที่มา: ไพเพท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (2561 : 1; อ้างถึงใน ประเสริฐ ศรีไพโรจน์. 2538 : 1)

#### 4. การวัดปริมาตร

พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จุณนวัฒน์กุล. (2560 : 47) กล่าวถึงการวัดปริมาตรไว้ว่า ในการปฏิบัติการทางเคมี การวัดปริมาตรในการทดลองในห้องปฏิบัติการนั้นนับเป็นสิ่งสำคัญ โดยเฉพาะการวิเคราะห์เชิงปริมาณ หน่วยที่ใช้ในการบอกปริมาตร คือ ลิตร (liter, L) และ มิลลิลิตร (milliliter, มิลลิลิตร) โดยนิยามว่า ลิตร คือปริมาตรของน้ำ 1,000 กรัม เท่ากับ 1 ลูกบาศก์เดซิเมตร ( $\text{dm}^3$ ) เท่ากับ 1000 มิลลิลิตร หรือ 1000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{cm}^3$  หรือ cc.) ผลของอุณหภูมิเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการวัดปริมาตร ส่งผลกระทบต่อการขยายตัวของแก้ว อย่างไรก็ตามเครื่องมือวัดปริมาตรส่วนใหญ่ทำด้วยแก้วซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวต่ำ ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิเปลี่ยนแปลง ปริมาตรของเครื่องมือวัดปริมาตรจึงเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ในงานวิเคราะห์ทั่วไปจึงไม่ต้องคำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของเครื่องมือวัดปริมาตร สำหรับสารละลายเจือจางที่มีน้ำเป็นตัวทำละลายจะมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวประมาณ 0.025% ต่อองศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 5 องศาเซลเซียส ปริมาตรของสารละลายจะเปลี่ยนแปลงมากพอที่จะวัดได้ ดังนั้น การวัดปริมาตรจึงต้องอ้างอิงอุณหภูมิอุณหภูมิมาตรฐานที่ใช้กัน โดยทั่วไปคือ 20 องศาเซลเซียส หรือ 25 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิของห้องปฏิบัติการไม่ใช่ 20 องศาเซลเซียส หรือ 25 องศาเซลเซียส จะต้องปรับแก้ปริมาตรของสารละลายในน้ำที่วัดได้ สำหรับการวัดปริมาตรของของเหลวอินทรีย์ซึ่งมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูงกว่าน้ำ อาจต้องปรับแก้ปริมาตรเมื่ออุณหภูมิต่างจากอุณหภูมิมาตรฐานเพียง 1 องศาเซลเซียส

## 5. เครื่องแก้ววัดปริมาตรที่แน่นอน (volumetric glassware)

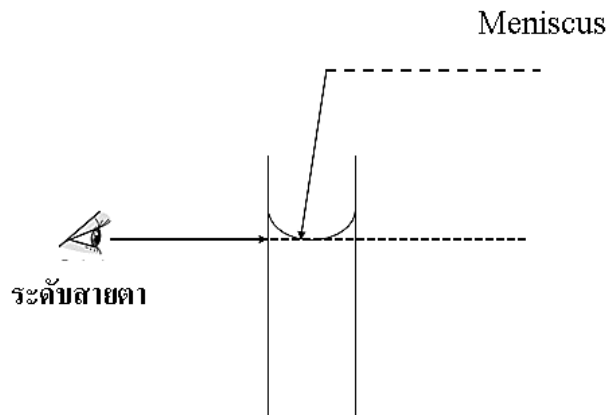
พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จุณนุวัฒน์กุล. (2560: 48-49) กล่าวถึงเครื่องแก้วชนิดนี้วัดปริมาตรที่แน่นอนได้แก่ บิวเรต(buret) ปิเปต (pipet) และขวดวัดปริมาตร (volumetric flask) บนเครื่องแก้วจะแสดงสัญลักษณ์โดยบริษัทผู้ผลิตแสดงการเทียบมาตรฐาน (calibration) โดยใช้ตัวย่อ T.D. (to deliver) หรือ E.X. หมายถึงเครื่องมือที่เทียบมาตรฐานสำหรับถ่ายเท ในกรณีตัวย่อ T.C. (to contain) หรือ IN หมายถึงเครื่องมือที่เทียบมาตรฐานสำหรับบรรจุ โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการใช้ปิเปตและบิวเรตสำหรับถ่ายเทสารปริมาตรที่ต้องการความแน่นอน ขวดวัดปริมาตรนิยมใช้สำหรับบรรจุสาร ข้อควรระมัดระวังเกี่ยวกับการใช้เครื่องแก้วประเภทนี้คือ บนเครื่องจะแสดงอุณหภูมิที่เทียบมาตรฐาน ดังนั้นไม่ควรล้างปิเปตหรือบิวเรตแล้วนำไปอบให้แห้งโดยใช้ตู้อบลมร้อนเนื่องจากการให้ความร้อนแล้วทำให้เย็นจะทำให้เครื่องแก้วเกิดการขยายตัว หดตัว หรือบิดเบี้ยวไปเล็กน้อยส่งผลต่อปริมาตรเปลี่ยนแปลงไปจากที่เทียบมาตรฐานไว้ ควรผึ่งเครื่องแก้ววัดปริมาตรให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง

## 6. การทำความสะอาดเครื่องแก้ววัดปริมาตร

เนื่องจากการเทียบมาตรฐานเครื่องแก้ววัดปริมาตรแล้วความสะอาดของเครื่องแก้วนับเป็นปัจจัยสำคัญอีกทางหนึ่งต่อผลการทดลองที่ได้ ความถูกต้อง เครื่องแก้วในห้องปฏิบัติการเมื่อใช้ไปนาน ๆ และผู้ใช้หลากหลายมือย่อมส่งผลกระทบต่อความสะอาดของเครื่องแก้วแน่นอน จากความสำคัญดังกล่าวข้างต้น ควรทำการสังเกตเครื่องแก้วที่ใช้งาน หากพบว่าของเหลวติดภายในเนื้อแก้วอย่างสม่ำเสมอแสดงให้เห็นว่าเครื่องมีความสะอาด แต่หากพบว่าของเหลวจะมีรอยแยก สันนิษฐานได้ทันทีว่าเครื่องแก้วมีสิ่งสกปรก และคราบไขมันที่ไม่สะอาด ทำได้โดยนำเครื่องแก้วล้างด้วยสารซักฟอกและล้างออกด้วยน้ำประปา หลังจากนั้นชะด้วยน้ำกลั่นหลาย ๆ ครั้ง ครึ่งละปริมาณน้อย ๆ สารหล่อลื่นหรือจาระบี (grease) สารอินทรีย์ที่ล้างไม่ออกด้วยสารซักฟอกจะถูกกำจัดได้โดยนำเครื่องแก้วไปแช่ในน้ำยาล้างเคมี (dichromate cleaning solution) ซึ่งประกอบด้วยโพแทสเซียมหรือโซเดียมไดโครเมตละลายในกรดซัลฟิวริกเข้มข้น

## 7. การอ่านปริมาตรของสารละลาย

เมื่อของเหลวอยู่ในหลอดขนาดเล็ก เช่น ปิเปต บิวเรต หรือขวดวัดปริมาตร พื้นผิวของเหลวจะมีความโค้งซึ่งเรียกว่า meniscus โดยถือส่วน โค้งต่ำสุดของของเหลวเป็นเกณฑ์ในการเทียบมาตรฐานและการอ่านปริมาตร และต้องให้ตาอยู่ในระดับเดียวกับพื้นผิวของของเหลว ถ้าตาอยู่สูงกว่าพื้นผิวของเหลวจะอ่านปริมาตรได้น้อยกว่าค่าจริง และถ้าตาอยู่ต่ำกว่าพื้นผิวของเหลวจะอ่านปริมาตรได้มากกว่าค่าจริง แสดงวิธีการอ่านดังภาพประกอบ 2.3



ภาพประกอบ 2.3 การอ่านปริมาตรของเหลว

ที่มา: คัดแปลงจาก Clinicalgate (2015 : 8; อ้างถึงใน Turgeon M.L. 2012 : n.d.)

### 8. การใช้ปิเปตแบบกระเปาะวัดปริมาตรสารละลาย

ถ้าใช้ปิเปตเป็ยก ใช้ลูกยางเป่าน้ำที่อยู่ข้างในปิเปตออกให้หมด แล้วเช็ดด้านนอกและปลายปิเปตให้แห้งเพื่อไม่ให้ น้ำที่เป็ยกปิเปตทั้งภายในและภายนอก ทำให้สารละลายเจือจางลง ในขณะที่จุ่มปิเปตลง ไป จะปิเปตด้วยสารละลายที่ต้องการวัดปริมาตร โดยใช้ลูกยางดูดสารละลายเข้าไป ใน ปิเปตเล็กน้อย เอาลูกยางออกแล้วใช้นิ้วชี้ปิดปลายปิเปต เอียงปิเปตให้สารละลายเป็ยกผิวแก้ว ภายในให้ทั่ว ปล่อยสารละลายนี้ทิ้งทางปลายล่าง ทำเช่นนี้อย่างน้อย 3 ครั้ง ทำได้ตามขั้นตอนดังนี้ (มนนภา เทพสุด. 2553 : 27)

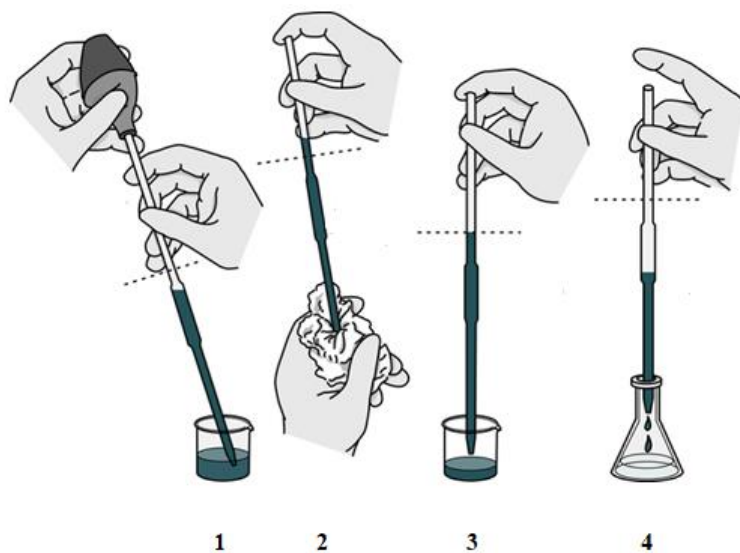
1. ใช้มือขวาจับปิเปต มือซ้ายถือลูกยางแล้วบีบลูกยางให้แฟบ สวมลูกยางลงบนปลายปิเปตด้านบน แล้วจุ่มปลายปิเปตลงในสารละลาย ค่อย ๆ ผ่อนแรงบีบลูกยาง สารละลายจะถูกดูดเข้าไป ในปิเปต ดูดสารละลายจนระดับสารละลายอยู่เหนือขีดปริมาตร

2. เอาลูกยางออกแล้วใช้นิ้วชี้ปิดที่ปลายปิเปตทันที คุยให้แน่ใจว่าไม่มีฟองอากาศอยู่ ภายในหรืออยู่ที่ผิวสารละลาย ยกปลายปิเปตให้พ้นสารละลาย เอียงปิเปตจากแนวตั้งเล็กน้อยแล้วเช็ดภายนอกจนไม่มีของเหลวติดอยู่

3. ค่อย ๆ ผ่อนแรงและเหยอนิ้วชี้ให้สารละลายในปิเปตไหลออกอย่างช้า ๆ จนขีดปริมาตรและดูในระดับเดียวกับสายตา สังเกตเป็นรูปท้องน้ำหรือ Meniscus ดังภาพประกอบ 2.3 กดนิ้วชี้ให้แน่นที่ปลายปิเปตเพื่อไม่ให้สารละลายไหลออกมาอีก และปลายปิเปตกับภาชนะเดิมเพื่อกำจัด

สารละลายที่อาจติดอยู่ที่ปลายปิเปตด้านนอก ระวังอย่าปล่อยปิเปต เนื่องจากอาจทำให้สูญเสียสารละลายบางส่วนและเกิดฟองอากาศที่ปลายปิเปต

4. นำปิเปตไปยังภาชนะที่ต้องการซึ่งจัดเตรียมไว้ใกล้ ๆ ปล่อยสารละลายลงในภาชนะ โดยให้สารละลายไหลออกเองจนหมด แต่ปลายปิเปตกับผนังภายในภาชนะเป็นเวลา 10 นาที แล้วจึงนำปิเปตออกจากภาชนะ จะมีสารละลายเหลืออยู่ที่ปลายปิเปตเล็กน้อยอย่าเป่าหรือชะสารละลายที่เหลือนี้ลงในภาชนะ แสดงขั้นตอนการใช้ดังภาพประกอบ 2.4



ภาพประกอบ 2.4 ขั้นตอนการใช้ปิเปต

ที่มา: คัดแปลงจาก Clinicalgate (2015 : 8; อ้างถึงใน Turgeon M.L. 2012 : n.d.)

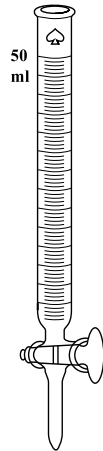
## 9. บิวเรต (buret)

พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จูอนุวัฒน์กุล. (2560 : 52-55) อธิบายเกี่ยวกับเครื่องแก้ววัดปริมาตรที่แน่นอนไว้ว่ามีลักษณะก้านยาวขนาดสม่ำเสมอมีขีดปริมาตรย่อย ๆ สำหรับบรรจุของเหลว และมีก๊อกปิดเปิด (stopcock) ที่ทำด้วยแก้วหรือเทฟลอนสำหรับควบคุมการไหลของของเหลวใช้สำหรับถ่ายเท (to deliver, T.D. หรือ E.X.) ปริมาตรต่าง ๆ จนถึงความจุสูงสุด ควบคุมของเหลวโดยการหมุนก๊อกปิดเปิดให้ไหลออกมาส่วนใหญ่ใช้การไทเทรต บิวเรตที่ใช้ในงานวิเคราะห์มีขนาดตั้งแต่ 10 ถึง 50 มิลลิลิตร ในห้องปฏิบัติการนิยมใช้ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และมีขีดบอกปริมาตรทุก 0.1 มิลลิลิตร (ดังภาพประกอบ 2.5) จึงสามารถประมาณค่าปริมาตรของของเหลวได้ใกล้เคียง 0.01

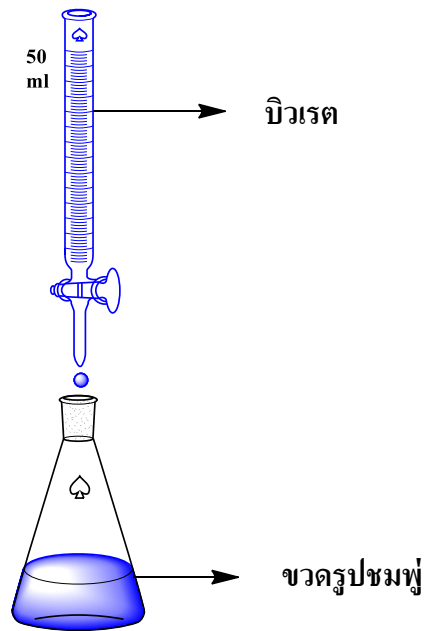


มิลลิลิตร ก่อนนำบิวเรตมาใช้จะต้องล้างให้สะอาด พร้อมทั้งตรวจสอบว่าไม่มีของเหลวรั่วที่ก๊อกปิดเปิด  
ดังภาพประกอบ 2.5

การทำความสะดวกบิวเรต ล้างบิวเรตด้วยสารละลายของสารซักฟอกและแปรงยาว  
สำหรับล้างบิวเรต แล้วล้างด้วยน้ำประปาให้สะอาดจากนั้นชะด้วยน้ำกลั่น สังเกตผิวแก้วด้านในของ  
บิวเรต ถ้าน้ำเปียกผิวแก้วไม่สม่ำเสมอแสดงว่ายังไม่สะอาด จะต้องล้างด้วยน้ำยาล้างเคมี โดยนำบิวเรต  
มายึดกับขาตั้งในลักษณะที่คว่ำบิวเรตลงในบีกเกอร์บรรจุน้ำยาล้างเคมี ใช้ลูกยางดูดที่ปลายบิวเรต  
เพื่อให้น้ำยาเคมีขึ้นมาในบิวเรตจนกระทั่งเกือบถึงก๊อกปิดเปิด จึงปิดก๊อกปิดเปิด ทิ้งไว้ประมาณ 10-15  
นาทิจ แล้วปล่อยน้ำยาล้างเคมีออก ล้างบิวเรตด้วยน้ำประปาและน้ำกลั่น ตรวจสอบอีกครั้งหนึ่งว่าบิวเรต  
สะอาดหรือไม่ หากยังไม่สะอาดให้ทำซ้ำจนสะอาด ในกรณีที่บิวเรตมีจาระบีซึ่งไม่สามารถล้างออกด้วย  
น้ำยาล้างเคมี ให้ล้างด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ เช่น แอซิโตนหรือเบนซีน แล้วล้างด้วยสารซักฟอกอีกครั้ง  
ดังภาพประกอบ 2.6



ภาพประกอบ 2.5 บิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร



ภาพประกอบ 2.6 การล้างบิวเรตด้วยน้ำยาล้างเคมี

ในกรณีสารละลายบางชนิด เช่น เบส ถ้าบรรจุไว้ในบิวเรตเป็นเวลานานจะทำปฏิกิริยากับแก้ว ทำให้ก๊อกปิดเปิดหลวมได้ ดังนั้น หลังการใช้แต่ละครั้งจะต้องล้างบิวเรตให้สะอาดทันที ปัจจุบันส่วนใหญ่ใช้ก๊อกปิดเปิดที่ทำด้วยเทฟลอน เนื่องจากไม่ทำปฏิกิริยากับรีเอเจนต์ส่วนใหญ่และไม่ต้องทำสารหล่อลื่น

#### การบรรจุสารละลาย

9.1 ปิดก๊อกปิดเปิด เติมสารละลายที่บรรจุ 5-10 มิลลิลิตร ลงในบิวเรต โดยอาจเทผ่านกรวยกรอง

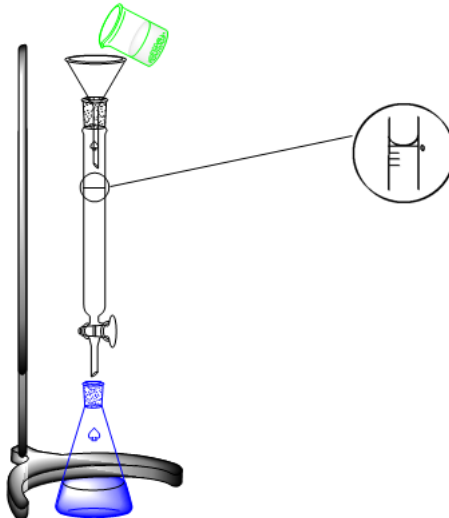
9.2 เอียงและหมุนบิวเรตอย่างระมัดระวังเพื่อให้สารละลายเปียกผิวแก้วภายในให้ทั่วเปิดก๊อกปิดเปิดเพื่อปล่อยสารละลายออกทางปลายล่าง ทำซ้ำ 2 ครั้ง

9.3 เติมสารละลายลงในบิวเรตจนระดับสารละลายอยู่เหนือขีด 0 ไล่ฟองอากาศออกจากบริเวณที่ก๊อกปิดเปิดต่อกับปลายบิวเรต โดยหมุนก๊อกปิดเปิดและปล่อยให้สารละลายไหลผ่านอย่างรวดเร็ว หรือเคาะที่ปลายบิวเรตในขณะที่สารละลายไหลผ่าน

9.4 ปรับระดับสารละลายให้อยู่ที่ขีด 0 หรือต่ำกว่า โดยปล่อยสารละลายออกช้า ๆ รอให้สารละลายที่ติดผิวแก้วไหลลงมาจนหมด (ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที) แล้วจึงบันทึกระดับสารละลาย

เริ่มต้นที่อ่านได้โดยประมาณให้ใกล้เคียง 0.01 มิลลิลิตร (สำหรับบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร)

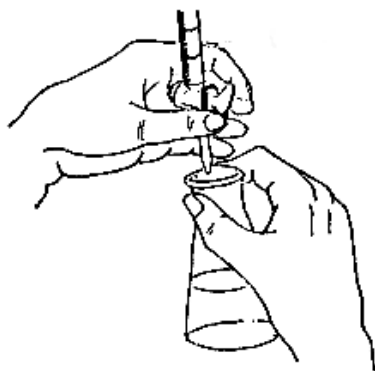
ดั่งภาพประกอบ 2.7



**ภาพประกอบ 2.7** การบรรจุสารละลายในบิวเรต

**ที่มา:** ดัดแปลงจาก วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2561 : 11)

การหมุนก๊อกปิดเปิด การหมุนก๊อกปิดเปิดในขณะที่ไทเทรตจะต้องหมุนในลักษณะที่กดก๊อกปิดเปิดเข้าในช่องใส่เสมอ สำหรับผู้ที่ถนัดมือขวาให้ตั้งบิวเรตให้ที่หมุนก๊อกปิดเปิดอยู่ทางด้านขวา ใช้มือซ้ายจับก๊อกปิดเปิดหมุนจากด้านซ้าย ดั่งภาพประกอบ 2.8 การหมุนก๊อกปิดเปิดด้วยวิธีดังกล่าวจะป้องกันไม่ให้ก๊อกปิดเปิดเลื่อนหลุดออกจากช่องใส่



ภาพประกอบ 2.8 การหมุนก๊อกปิดเปิด

ที่มา: ดัดแปลงจาก มหาวิทยาลัยมหิดล (2550 : 2)

### 10. การไทเทรต (titration)

ผู้เรียนรายวิชาการวิเคราะห์ดินและปุ๋ยควรมีการทบทวนเทคนิคการไทเทรต เนื่องจากจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการวิเคราะห์สารตัวอย่าง เช่น การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์อินทรีย์วัตถุในดิน และการวิเคราะห์ปริมาณเชิงปริมาณของไนโตรเจน จึงควรศึกษาวิธีการไทเทรตดังนี้

(มนนภา เทพสุด. 2553 : 29-33)

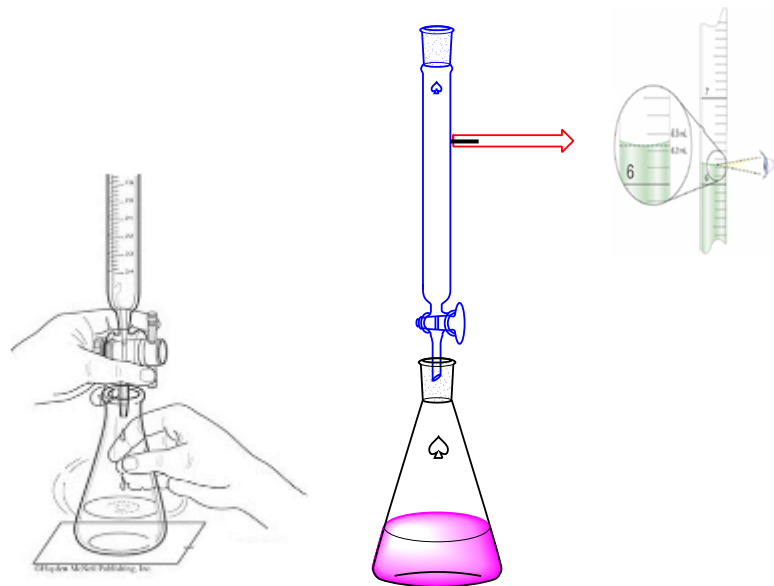
10.1 ชะบิวเรตที่สะอาดด้วยสารละลายที่จะบรรจุ แล้วไขสารละลายออกจากปลายล่าง โดยทำซ้ำ 3 ครั้ง

10.2 บรรจุสารละลายลงในบิวเรต และอ่านระดับสารละลายก่อนไทเทรต

10.3 การไทเทรตทำได้โดยบรรจุสารตัวอย่างลงในขวดรูปชมพู่วางบนกระดาษสีขาว และต้องให้ปลายบิวเรตอยู่ในขวดรูปชมพู่ หมุนก๊อกปิดเปิดเพื่อสารจากบิวเรต พร้อมทั้งเขย่าขวดรูปกรวยด้วยมือขวาโดยการหมุนหรือคนสารละลายอย่างสม่ำเสมอเพื่อให้ผสมกันอย่างทั่วถึง เมื่อปฏิกิริยาดำเนินไป ลดปริมาณสารในบิวเรตและค่อย ๆ เติมทีละหยดเมื่อใกล้ถึงจุดยุติ พร้อมทั้งใช้ขวดน้ำกลั่นฉีดล้างสารละลายที่ติดอยู่บนผนังภาชนะด้านในลงมาทำปฏิกิริยาให้หมด

10.4 การเติมสารละลายน้อยกว่า 1 หยด ทำได้โดยปล่อยสารจากปลายบิวเรต และปลายบิวเรตกับผนังภาชนะด้านใน จากนั้นใช้น้ำกลั่นฉีดล้างข้างภาชนะด้านใน

10.5 เมื่อไทเทรตจนถึงจุดยุติแล้ว ปล่อยให้สารละลายที่ติดอยู่ข้างผิวแก้วในบิวเรตไหลลงมาจนหมด (ใช้เวลาประมาณ 30 วินาที) จากนั้นบันทึกระดับสารละลายที่จุดยุติโดยประมาณให้ใกล้เคียง 0.01 มิลลิลิตร ปริมาตรของสารละลายที่ใช้ในการไทเทรตเท่ากับผลต่างของระดับสารละลายก่อนและหลังการไทเทรต ดังภาพประกอบ 2.9



ก. การไทเทรต

ข. การอ่านปริมาตรจากบิวเรต

ภาพประกอบ 2.9 การไทเทรตและการอ่านปริมาตรจากบิวเรต

ที่มา: คัดแปลงจาก สุนทร พรจำเริญ (ม.ป.ป.)

หมายเหตุ

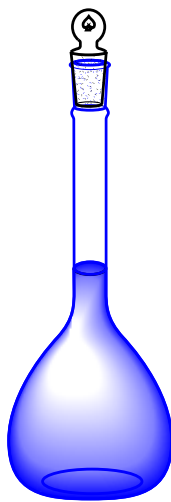
10.5.1 อย่างที่สารละลายไว้ในบิวเรตค้างคืน เนื่องจากสารละลายที่บรรจุไว้เป็นเวลานานจะทำให้ก๊อกปิดเปิดหลวมได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง สารละลายเบส เช่น NaOH และ KOH ดังนั้นหลังการใช้แต่ละครั้งจะต้องล้างบิวเรตให้สะอาด

10.5.2 เมื่อทำการไทเทรตที่ไม่คุ้นเคย อาจเตรียมตัวอย่างเพิ่มอีก 1 ตัวอย่าง แล้วทำการไทเทรตอย่างรวดเร็วโดยไม่ต้องระวังมากนัก เพื่อคุณลักษณะของจุดยุติและเพื่อให้ทราบปริมาตรของตัวไทเทรตที่ต้องใช้คร่าว ๆ การทำเช่นนี้จะประหยัดเวลาที่ใช้ในการไทเทรต

### 11. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)

พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จูอนุวัฒน์กุล. (2560 : 56) กล่าวว่าขวดวัดปริมาตรใช้สำหรับภาชนะบรรจุ (to contain, T.C. หรือ I.N.) ดังภาพประกอบ 2.10 มีการเทียบมาตรฐานสารละลายปริมาตรแน่นอนที่อุณหภูมิที่ระบุ 20 องศาเซลเซียส หรือ 25 องศาเซลเซียส ใช้สำหรับเตรียม

สารละลายมาตรฐาน เช่น การวิเคราะห์โพแทสเซียมในดิน ต้องทำการเตรียมสารละลายเข้มข้น ปริมาตร 5 ลิตรจนส่วน โคน้ำต้ำสุดอยู่ตรงขีดปริมาตรที่คอขวดมีปริมาตรแน่นอน โดยปริมาตรของ สารละลายในขวดวัดปริมาตรมีเลขนัยสำคัญ 4 ตัว ก่อนใช้ขวดวัดปริมาตรควรล้างด้วยสารซักฟอก และ น้ำยาล้างเคมี ถ้าจำเป็น หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำประปาและชะด้วยน้ำกลั่น



### ภาพประกอบ 2.10 ขวดวัดปริมาตร

การเตรียมสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างของแข็งที่ละลายได้ดี

11.1 ชั่งสารละลายมาตรฐานหรือสารตัวอย่างให้ทราบน้ำหนักแน่นอน เติลงในขวดกำหนด ปริมาตรผ่านกรวยแก้วเพื่อไม่ให้มีการสูญเสียสารระหว่างการถ่ายเท

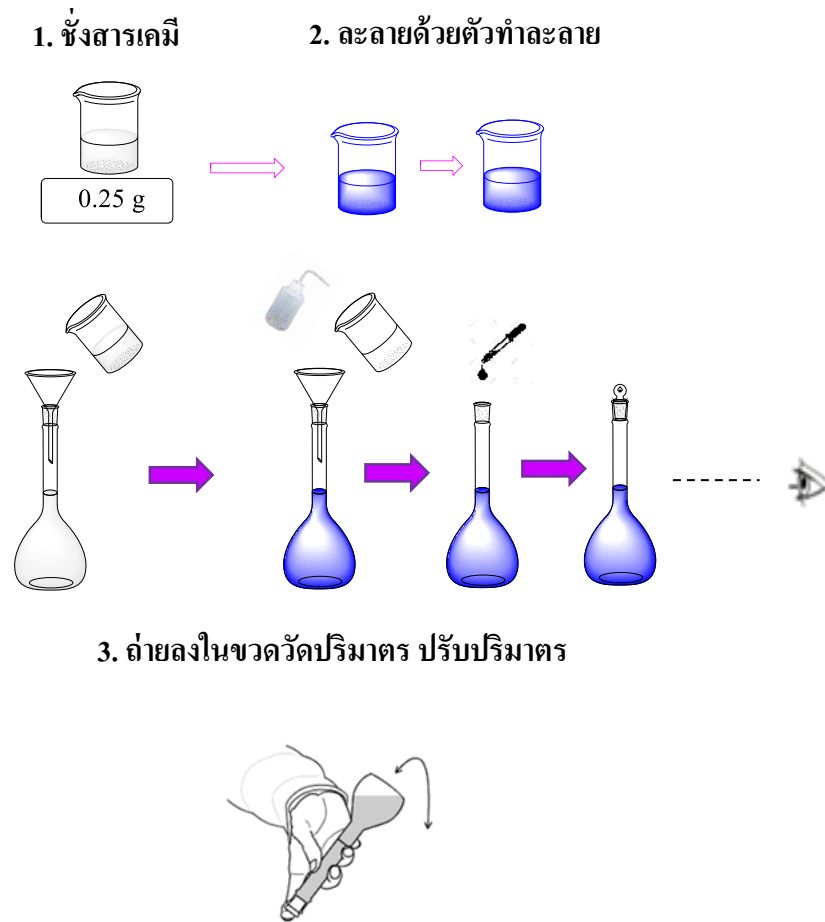
11.2 หากการชั่งเป็นการชั่งโดยตรง ใช้ตัวทำละลายจากขวดฉีด (wash bottle) ชะล้างสารที่ติด อยู่ในขวดซึ่งลงสู่กรวยแก้วจนหมด แต่ถ้าชั่งแบบแบ่งออก ไม่ต้องล้างขวดซึ่ง ให้นำขวดซึ่งไปซึ่งหา น้ำหนักขวดซึ่งและสารที่เหลือ

11.3 ใช้ตัวทำละลายฉีดชะล้างของแข็งที่ติดอยู่บนกรวยแก้วลงในขวดวัดปริมาตรจนหมด ยก กรวยแก้วขึ้น ฉีดตัวทำละลายชะล้างของเหลวที่ติดอยู่ปลายก้านกรวยแก้วลงสู่ขวดวัดปริมาตร

11.4 เติมตัวทำละลายจนมีปริมาตรประมาณครึ่งหนึ่งและเขย่าแบบหมุนวนจนของแข็งละลาย หมด

11.5 เติมตัวทำละลายจนเกือบถึงขีดปริมาตร ที่วงไว้ของเหลวที่ติดอยู่ข้างขวดภายในไหลลงไปจนหมด จากนั้นใช้หลอดหยดเติมตัวทำละลายจนส่วนโค้งต่ำสุดอยู่ตรงขีดปริมาตรพอดี

11.6 ปิดจุกขวดกำหนดปริมาตรแล้วกลับขวดไปมาจนแน่ใจว่าจะละลายเป็นเนื้อเดียวกัน แสดงดังภาพประกอบ 2.11



#### 4. ปิดฝาและเขย่าให้สารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

ภาพประกอบ 2.11 การเตรียมสารละลายโดยชั่งของแข็งใส่ในขวดกำหนดปริมาตรโดยตรง

ที่มา: คัดแปลงจาก Soulful B. (2018 : 2)

#### 12. การเตรียมสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างของของแข็งที่ละลายยาก

มนนภา เทพสุต. (2553 : 34) อธิบายวิธีการเตรียมสารละลายในกรณีสารของแข็งละลายยาก ทำได้โดยชั่งสารตามที่คำนวณได้ใส่ในบีกเกอร์ เติมตัวทำละลายปริมาตร 2 ใน 3 หลังจากนั้นให้ความร้อนจนกระทั่งของแข็งละลายหมด รอจนกระทั่งสารละลายเย็นลงที่อุณหภูมิห้อง เทลงใน

ขวดวัดปริมาตรผ่านแท่งแก้ว ใช้ตัวทำละลายปริมาตรเล็กน้อยชะสารในบีกเกอร์ลงในขวดวัดปริมาตร แล้วจึงเติมตัวทำละลายจนถึงขีดปริมาตร ปิดจุก เขย่าและกลับขวดไปมาจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน

### 13. การเตรียมสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างจากสารละลายเข้มข้น

พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จุฬนุวัฒน์กุล. (2560 : 59) ได้อธิบายวิธีการเตรียมสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างเจือจางจากสารละลายมาตรฐานหรือสารละลายตัวอย่างเข้มข้น ทำได้โดยวัดปริมาตรที่แน่นอนของสารละลายเข้มข้นด้วยปิเปต ใส่ในขวดวัดปริมาตรโดยตรง โดยไม่ต้องใช้กรวยกรองช่วย (ภาพประกอบ 2.12) จากนั้นจึงเติมตัวทำละลายจนถึงขีดปริมาตร ปิดจุก เขย่าและกลับขวดไปมาจนสารละลายเป็นเนื้อเดียวกัน



ภาพประกอบ 2.12 การเตรียมสารละลายจากสารละลายเข้มข้น

หมายเหตุ

13.1 สำหรับการทำงานที่ต้องการความถูกต้องสูง ควรให้ขวดกำหนดปริมาตรอยู่ที่อุณหภูมิเทียบมาตรฐานดังแสดงบนขวด

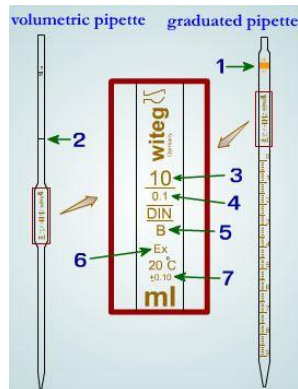
13.2 ไม่ควรใช้ขวดวัดปริมาตรเตรียมสารละลายที่กัดแก้ว เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) และกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) เนื่องจากจะทำให้มีปริมาตรต่างไปจากที่เทียบมาตรฐานไว้

13.3 ขวดวัดปริมาตรใช้ในการเตรียมสารละลายให้มีความเข้มข้นแน่นอน ไม่ควรใช้ขวดวัดปริมาตรเก็บสารละลาย



## ความคลาดเคลื่อนยินยอมและความเที่ยงของเครื่องแก้ววัดปริมาตร (tolerance and precision)

เครื่องแก้วที่ใช้ในทางวิทยาศาสตร์ทั้ง 2 ชนิด สำหรับบรรจุ T.D. (to contain) และสำหรับถ่ายเท T.C. (to deliver) สามารถแบ่งตามระดับชั้นคุณภาพของเครื่องแก้ว ได้ดังนี้ (พรพรรณ อุคมกาญจนวนันท์ และสุชาดา จูอนุวัฒน์กุล. 2560 : 59) เครื่องแก้วแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ class A และ class B สัญลักษณ์รายละเอียดบนเครื่องโดยบริษัทผู้ผลิต กล่าวคือ เครื่องแก้ว class A นั้น การเทียบมาตรฐานจะเข้มงวดกว่า เหมาะสมสำหรับใช้ในงานที่ต้องการความเที่ยงสูง ความคลาดเคลื่อนยินยอม (tolerance) หรือความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์ (absolute error) ของเครื่องแก้ววัดปริมาตร class A ที่กำหนดโดยสำนักมาตรฐานแห่งชาติ (National Bureau of Standards, NBS) แสดงในตารางที่ 2.1 จึงมีราคาแพงกว่าเครื่องแก้ว class B ซึ่งไม่พบในห้องปฏิบัติการ โดยส่วนใหญ่สำหรับนิสิตฝึกให้ใช้เครื่องแก้ววัดปริมาตรในห้องปฏิบัติการเป็นชนิดคุณภาพ class B ซึ่งอาจมีความคลาดเคลื่อนยินยอมเป็นสองเท่าของเครื่องแก้ว class A อย่างไรก็ดี สามารถเทียบมาตรฐานเครื่องแก้ววัดปริมาตรเหล่านี้เพื่อให้ปริมาตรที่ได้มีความแม่นยำสูง รายละเอียดบนเครื่องแก้วดังภาพประกอบ 2.13 ตัวอย่างความเที่ยงของการอ่านบิวเรตขนาด 50 มิลลิลิตร มีค่าประมาณ  $\pm 0.02$  มิลลิลิตร แต่เมื่อใช้ทำการทดลองจริงต้องอ่านปริมาตรก่อนและหลังการไทเทรตทำให้เกิดการอ่าน 2 ครั้ง ดังนั้น ความไม่แน่นอนสัมบูรณ์อาจมีค่ามากถึง  $\pm 0.04$  มิลลิลิตร ความไม่แน่นอนสัมพัทธ์จะเป็นสัดส่วนกลับกับปริมาตรของสารละลายที่ใช้จากบิวเรต สำหรับการไทเทรตที่ใช้บิวเรต ขนาด 50 มิลลิลิตร ถ้าต้องการให้มีความเที่ยง 1 ppt จะต้องใช้ตัวไทเทรตประมาณ 40 มิลลิลิตร ถ้าใช้ตัวไทเทรตปริมาตรน้อยลง ความเที่ยงจะน้อยลง การใช้บิวเรตขนาดเล็กลงจะเพิ่มความเที่ยงในกรณีที่ปริมาตรมีค่าน้อยลงได้ สำหรับปิเปตจะมีความเที่ยงของการอ่านเช่นเดียวกับบิวเรต แต่การอ่านปิเปตแบบกระเปาะนั้นจะอ่านเพียงครั้งเดียว



ภาพประกอบ 2.13 ตัวอย่างรายละเอียดบนเครื่องแก้ว

ที่มา: มหาวิทยาลัยขอนแก่น (2561 : 2)

ตารางที่ 2.1 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ (tolerance) ของปิเปต บิวเรต กระบอกตวง และขวดวัดปริมาตร class A

ขนาด (มิลลิลิตร)	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ (tolerance, มิลลิลิตร)			
	ปิเปตแบบกระเปาะ	บิวเรต	กระบอกตวง	ขวดวัดปริมาตร
0.5	±0.006	-	-	-
1	±0.006	-	-	-
2	±0.006	-	-	-
3	±0.01	-	-	-
4	±0.01	-	-	-
5	±0.01	±0.01	-	±0.02
10	±0.02	±0.02	±0.1	±0.02
15	±0.03	-	-	-
20	±0.03	-	-	-
25	±0.03	±0.03	±0.3	±0.03
50	±0.05	±0.05	±0.4	±0.05
100	±0.08	±0.10	±0.6	±0.08

ขนาด (มิลลิลิตร)	ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับ (tolerance, มิลลิลิตร)			
	เปิดแบบกระเปาะ	บิวเรต	กระบอกตวง	ขวดวัดปริมาตร
200	-	-	±1.4	±0.10
250	-	-	±1.4	±0.12
500	-	-	±2.6	±0.20
1000	-	-	±5.0	±0.30
2000	-	-	±10.0	±0.50

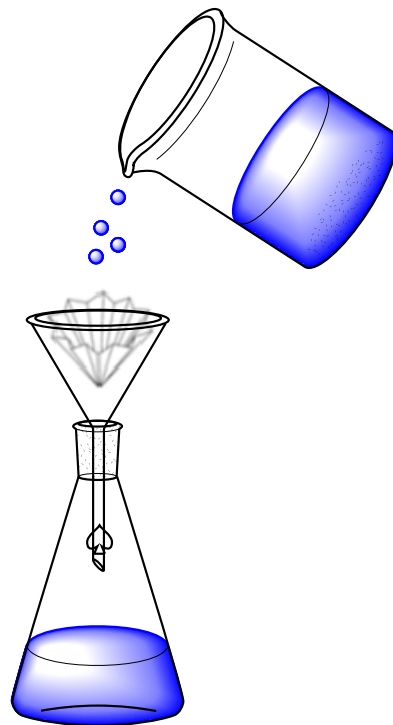
ที่มา: Marcin B. (2009 : 2-3; อ้างถึงใน ASTM E287 – 02. (2012 : n.d.)

## การกรอง

การกรอง คือ กระบวนการแยกของแข็งออกจากสารละลาย เช่น การตกผลึก หรือแม่แต่ในการเรียนรายวิชาการวิเคราะห์ดินและปฏิกิริยาเป็นเทคนิคหนึ่งที่นักศึกษาควรศึกษา เนื่องจากใช้ในการวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวกในดิน โดยอาศัยการกรองแบบสุญญากาศ หรือแม้กระทั่งการวิเคราะห์ปริมาณโพแทสเซียมในดิน เมื่อทำการย่อยตัวอย่างแล้วต้องทำการกรองแยกให้สารละลายใส โดยอาศัยการกรองแบบธรรมดา ก่อนนำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิคฟลูออโรมิเตอร์ แอ็บซอร์ปชันสเปกโตรมิเตอร์ ดังนี้ (พรพรรณ อุดมกาญจนันท์ และสุชาดา จุณนุวัฒน์กุล. 2560 : 61 และวริทธิ์ จันท์สุวรรณ. 2561 : 5) ได้อธิบายเกี่ยวกับการกรองไว้ว่าแบ่งได้ 2 วิธี ได้แก่ การกรองด้วยความโน้มถ่วง (gravity filtration) คือกระบวนการที่ของเหลวไหลผ่านกรวยกรองภายใต้แรงโน้มถ่วง และแรงดึงดูดในหลอดขนาดเล็ก (capillary attraction) ระหว่างของเหลวและก้านกรวยกรอง และการกรองสุญญากาศ (vacuum filtration) คือกระบวนการทำให้ความดันสองด้านของตัวกรองครุวิเบิลแตกต่างกัน โดยการดูดอากาศด้านใต้กรองออก การกรองสุญญากาศจะทำให้เกิดแรงกระทำต่อของเหลวเพิ่มขึ้นจากแรงโน้มถ่วงจึงทำให้กรองได้เร็วขึ้น การเลือกใช้วิธีการกรองขึ้นอยู่กับ ธรรมชาติของตะกอน ระยะเวลาในการกรอง และสารปนเปื้อนที่พบในสารละลายขณะทำการกรอง

## 1. การกรองด้วยความโน้มถ่วง

การกรองวิธีนี้นิยมใช้โดยทั่วไปในห้องปฏิบัติการ ข้อดีคือ อุปกรณ์ราคาถูก ที่นิยมใช้คือ โดยใช้กระดาษกรองและกรวยแก้ว เหมาะสำหรับตะกอนวุ้น และกรองตะกอนขนาดเล็กได้ดีกว่าการกรองแบบสุญญากาศ เนื่องจากเมื่อใช้แรงดันจากการกรองแบบสุญญากาศส่งผลให้ตะกอนไปอุดบริเวณรูพรุนของกระดาษได้ แต่ข้อเสียเมื่อใช้ระยะเวลาในการกรองนานอาจส่งผลกระทบให้กระดาษกรองขาดได้ การกรองใช้เวลาค่อนข้างนานกว่าการกรองแบบสุญญากาศ แสดงลักษณะการกรองดังภาพประกอบ 2.14



ภาพประกอบ 2.14 การกรองด้วยความโน้มถ่วง (gravity filtration)

การเลือกใช้กระดาษกรองควรเลือกใช้ตามความเหมาะสมของคุณภาพของผลการทดลองที่ต้องการ จำเป็นอย่างยิ่งที่นักศึกษาควรทราบเกี่ยวกับรายละเอียดของกระดาษกรอง โดยยี่ห้อที่พบโดยทั่วไป คือกระดาษกรอง ยี่ห้อ Whatman โดย (พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จุณนุวัฒน์กุล. 2560 : 61 และวรวิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2561 : 4) ได้อธิบายถึง กระดาษกรองมี 2 แบ่งตาม

ลักษณะของคุณภาพงานดังนี้ ได้แก่ กระดาษกรองสำหรับงานคุณภาพวิเคราะห์ (qualitative grade) กระดาษกรองสำหรับงานปริมาณวิเคราะห์ (quantative grade) ซึ่งเป็นกระดาษกรองชนิดไม่มีเถ้า (ashless filter paper) เมื่อกรองตะกอนแล้วนำไปเผาจะเหลือแต่ตะกอน (มีเถ้าน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัม) จึงสามารถชั่งน้ำหนักตะกอนได้ กระดาษกรองซึ่งมีความเหนียวและทน กรด-ด่าง ได้ดี (hardened grade) และกระดาษใยแก้ว (glass-fiber paper) ในการกรองต้องเลือกกระดาษกรองชนิดที่เหมาะสมและมีความพรุน (porosity) เหมาะสมกับขนาดตะกอน แสดงรายละเอียดดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 กระดาษกรองยี่ห้อ (Whatman) นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการ

Whatman (เบอร์)	ความหนา (µm)	ความพรุน	ความเร็วในการกรอง	ความเหมาะสมการเลือกใช้
กระดาษกรองสำหรับงานคุณภาพวิเคราะห์				
4	205	หยาบ	เร็วมาก	ตะกอนขนาดใหญ่หรือตะกอนวุ้น
1	180	ปานกลาง	ปานกลาง	ตะกอนขนาดกลาง
3	390	ปานกลาง	ช้า	ตะกอนขนาดเล็กมาก ใช้กับกรวยบูชเนอร์
กระดาษกรองสำหรับงานปริมาณวิเคราะห์ (หลังการเผาเถ้าน้อยกว่า 0.1 mg)				
41	220	หยาบ	เร็วมาก	ตะกอนผลึกขนาดใหญ่หรือตะกอนวุ้น
40	210	ปานกลาง	เร็ว	ตะกอนผลึกขนาดเล็กหรือปานกลาง
42	200	ละเอียด	ช้า	ตะกอนขนาดเล็กมาก

ที่มา: พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จูณวัจนกุล (2560 : 62)

การใช้ประโยชน์สูงสุดจากแรงดึงดูดในหลอดขนาดเล็ก (capillary attraction) เพื่อช่วยดึงของเหลวผ่านกระดาษกรอง โดยใช้กรวยแก้วก้านยาวและทำให้มีน้ำเต็มก้านกรวยแก้ว จัดให้ปลายก้านกรวยแก้วแตะผนังด้านข้างของภาชนะรองรับของเหลวเพื่อช่วยการกรองและป้องกันไม่ให้ของเหลวกระเด็น (อย่าให้ปลายก้านกรวยแก้วจุ่มในของเหลวในภาชนะรองรับ) และทำให้ขอบบนของกระดาษ

กรองแนบติดกับกรวยแก้ว สำหรับการกรองตะกอนในงานเคมีปริมาณวิเคราะห์ พับกระดาษกรอง  
 ดังภาพประกอบ 2.15 ใส่ลงในกรวยแก้ว โดยริมกระดาษกรองควรต่ำกว่าขอบกรวยแก้วไม่ต่ำกว่า 0.5  
 เซนติเมตร นิดน้ำกลั่นให้กระดาษกรองเปียกจนทั่ว ใช้นิ้วมือกดกระดาษกรองให้ขอบบนแนบสนิทกับ  
 กรวยแก้ว โดยสังเกตได้โดยการเติมน้ำกลั่นลงในกระดาษกรอง น้ำจะไหลลงไปเต็มก้นกรวย



พับครึ่งวงกลม



พับครึ่งให้สมมาตร

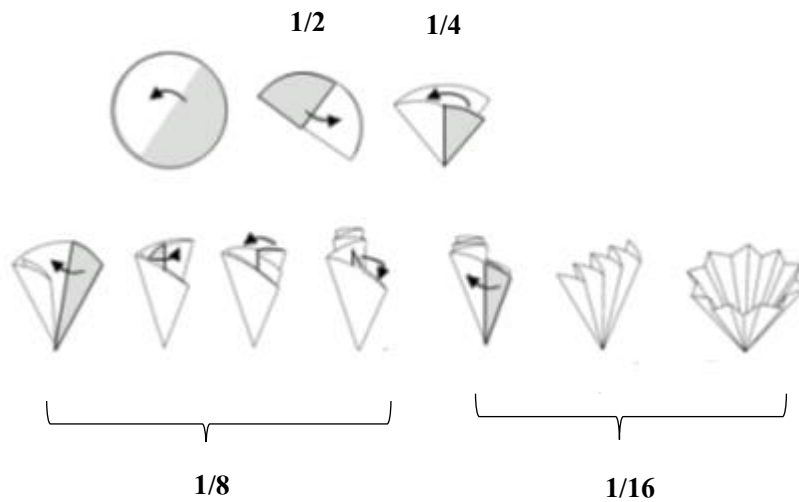


1/4 ฉีกปลายด้านหนึ่งออก



ให้ส่วนที่ฉีกสัมผัส  
กรวยกรองได้ดี

ก. การพับกระดาษกรองแบบกรองช้า



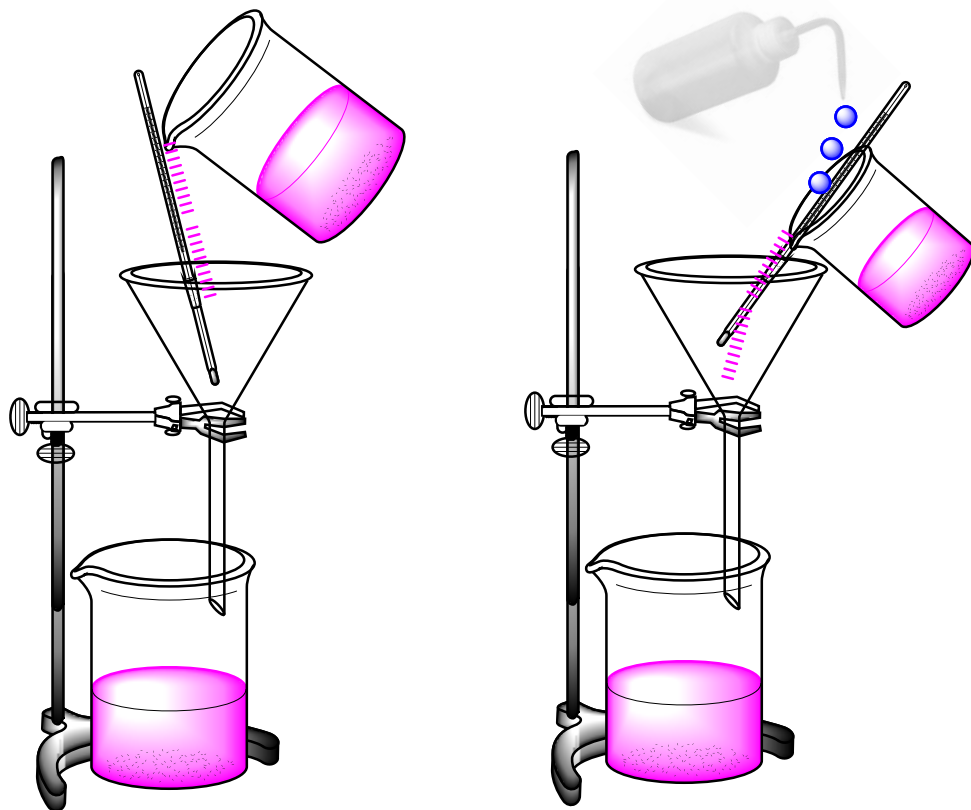
ข. การพับกระดาษกรองแบบมีร่อง

ภาพประกอบ 2.15 การพับกระดาษกรองสำหรับงานปริมาณวิเคราะห์

ที่มา: วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2561 : 4)

เทคนิคในการกรองตะกอน โดยใช้ระยะเวลาสั้นลง ทำได้โดยเทสารละลายส่วนใสลงในกรวยกรองก่อน ยังไม่เทตะกอนลงโดยตรงเนื่องตะกอนจะไปอุดรูพรุนกระดาษกรองทำให้การกรองต้องใช้เวลานานและกระดาษกรองอาจจะขาดได้เมื่อแช่ในสารละลายเป็นเวลานาน ดังนั้นควรเทสารละลายส่วนใสด้านบนที่ปราศจากตะกอนแขวนลอยลงบนกระดาษกรอง การกรองในการปฏิบัติงานทางด้านเคมี แบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

1. การรินสารละลาย ให้รินสารละลายผ่านแท่งแก้วคนสารเข้ากับปากบีกเกอร์และปลายด้านล่างอยู่เหนือกระดาษกรอง ของเหลวจะค่อย ๆ ไหลอย่างช้า ๆ ป้องกันไม่ให้สารกระเด็นและไหลลงสู่กรวยกรองโดยไม่ไหลออกมานอกบีกเกอร์แสดงดังภาพประกอบ 2.16



ภาพประกอบ 2.16 การกรองและล้างตะกอน

ตะกอนหลายชนิดจะเคลื่อนที่บนพื้นผิวที่เปียกในทิศทางที่ต้านแรงโน้มถ่วง (creeping) จึงไม่ควรเติมของเหลวลงในกระดวยกรงเกินสามในสี่ เพื่อหลีกเลี่ยงการสูญเสียตะกอน นอกจากนี้ ยังทำให้กระดวยกรงส่วนบนปราศจากตะกอน ทำให้สามารถนำกระดวยกรงออกจากกรวยแก้ว แล้วพับเพื่อนำไปเผา โดยมีการสูญเสียหรือการปนเปื้อน

2. การล้างตะกอน ทำได้โดยล้างด้วยสารละลายที่ผสมเข้ากันแต่แต่ต้องไม่ละลายตะกอน และไม่ควรร้างนานเกินไป โดยเทสารละลายผ่านแท่งแก้วคนสาร การล้างตะกอนที่ได้ผลดีต้องทำโดยใช้ของเหลวครั้งละน้อย ๆ หลาย ๆ ครั้ง การล้างตะกอนก่อนที่จะถ่ายเทตะกอนลงในกรวยกรง จะทำให้ล้างตะกอนได้อย่างทั่วถึงและกรองได้อย่างรวดเร็ว

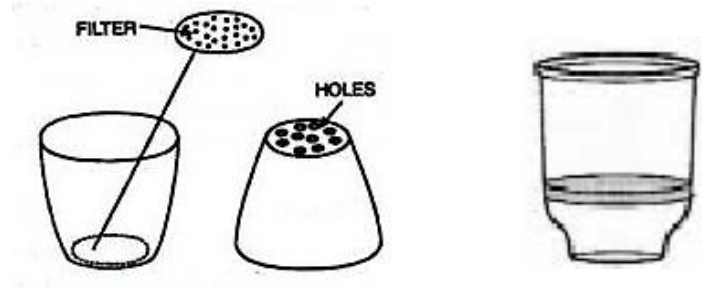
3. การถ่ายเทตะกอน ถ่ายเทตะกอนจากบีกเกอร์ลงในกรวยกรงโดยจับบีกเกอร์และแท่งแก้วคนด้วยมือซ้ายมือขวาสำหรับล้างตะกอนด้วยมือขวา ถ้ายังมีตะกอนเหลือติดอยู่ที่ผนังบีกเกอร์ให้ใช้แท่งแก้วที่ขยง โพลิสแมน (policeman) เขี่ยออก แล้วใช้ของเหลวสำหรับล้างตะกอนลงสู่กรวยกรงจนหมด

## 2. การกรองสุญญากาศ

พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จุณนุวัฒน์กุล. 2560 : 65 และววิทย์ จันทร์สุวรรณ. 2561 : 6 ได้อธิบายว่าการกรองแบบสุญญากาศ ข้อดีคือกรองใช้เวลาเร็วกว่าการกรองแบบอาศัยแรงโน้มถ่วง แต่ไม่เหมาะกับการนำมาใช้กรองตะกอนที่เป็นเจลหรือวุ้นเนื่องจากอนุภาคของตัวกรองอย่างรวดเร็ว ทำให้ของเหลวไม่สามารถไหลผ่านได้ เหมาะกับการนำมาใช้ในงานปริมาณวิเคราะห์ การกรองสุญญากาศสามารถทำโดยใช้ครุชชีเบิลกรงชนิดต่าง ๆ เช่น กูชครุชชีเบิล (gooch crucible) ซินเตอร์กลาสครุชชีเบิล (sintered-glass crucible) ครุชชีเบิลกรงกระเบื้องขาว (porcelain filter crucible)

กูชครุชชีเบิล (gooch crucible) เป็นครุชชีเบิลที่มีรูเล็ก ๆ ทางด้านล่าง ใช้กรองตะกอนขนาดเล็กโดยวางแผ่นกรองแก้ว (glass filter mat) ปิดรูเล็ก ๆ ด้านล่าง แสดงดังภาพประกอบ 2.17





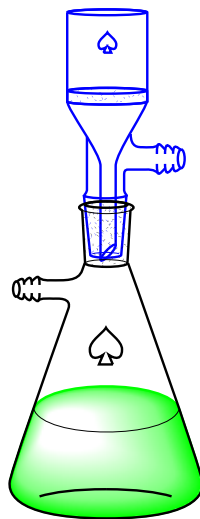
ภาพประกอบ 2.17 ครุชิวเบิลกรองชนิดต่าง ๆ

ที่มา: Biocyclopedia. (2018: 5)

ซินเตอร์กลาสครุชิวเบิล เป็นครุชิวเบิลที่มีแผ่นแก้วพรุน (sintered glass) ติดอยู่ถาวรทางด้านล่าง แก้วพรุนนี้มีความพรุนขนาดต่าง ๆ คือละเอียด ปานกลาง และหยาบ ให้เลือกใช้ให้เหมาะสมกับขนาดของตะกอน ใช้กรองตะกอนที่ต้องนำไปอบที่อุณหภูมิไม่เกิน 300 องศาเซลเซียสไม่ควรใช้ซินเตอร์กลาสครุชิวเบิลกับสารละลายเบสแก่ เนื่องจากเบสแก่สามารถทำปฏิกิริยากับกรดแก่ได้

ครุชิวเบิลกรองกระเบื้องขาว ด้านล่างมีกระเบื้องไม่เคลือบที่มีรูพรุนติดอยู่ถาวร ใช้กรองตะกอนที่ต้องนำเผาที่อุณหภูมิสูงกว่าซินเตอร์กลาสครุชิวเบิล

การจัดอุปกรณ์สำหรับการกรองสุญญากาศแสดงในภาพประกอบ 2.18 วิธีการกรองสุญญากาศทำได้เช่นเดียวกับการกรองด้วยความโน้มถ่วง โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ การริน การล้าง และการถ่ายเทตะกอน ดังที่กล่าวไว้ข้างต้น (จารุวรรณ สุจริต. 2552 : 112)



ภาพประกอบ 2.18 การจัดอุปกรณ์สำหรับการกรองสุญญากาศ

ในการวิเคราะห์โดยน้ำหนัก ต้องชั่งน้ำหนักครุชเชิลให้ค่าคงที่ โดยนำให้ความร้อนแก่ครุชเชิลกรองและทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ จดบันทึกน้ำหนักเพื่อใช้ในการคำนวณ หลังจากกรองตะกอนจะต้องนำตะกอนในครุชเชิลไปอบหรือเผาเพื่อให้ตะกอนแห้ง หรือเปลี่ยนให้อยู่ในภาพประกอบที่เหมาะสมสำหรับการชั่ง จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักเพื่อหาน้ำหนักตะกอน จึงต้องทราบน้ำหนักของครุชเชิลก่อน

### **การชั่ง (weighing)**

เทคนิคการชั่งในรายวิชาการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย ได้ใช้ได้โดยตรงจากการชั่งตัวอย่างดินเพื่อการวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด ด่างในดิน ความต้องการการเติมปุ๋ย ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก การวิเคราะห์ธาตุอาหารหรือปุ๋ย ประกอบด้วยไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโพแทสเซียม ดังนั้นการศึกษาหัวข้อนี้จึงจำเป็นต่อผู้เรียนรายวิชานี้โดยเครื่องมือในห้องปฏิบัติการที่ใช้วัดมวลของวัตถุคือ เครื่องชั่ง (balance) การเลือกใช้เครื่องชั่งขึ้นกับความแม่นยำ ความเที่ยง มวลสูงสุดที่ชั่งได้ (maximum capacity) และสภาพความไว คือมวลน้อยที่สุดที่เครื่องชั่งตอบสนองได้โดยทั่วไปเครื่องในห้องปฏิบัติการที่นิยมใช้คือ เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์

### **เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ (analytical balance)**

พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จุณนุวัฒน์กุล. (2560 : 37) ได้อธิบายการใช้เครื่องและการชั่งไว้ดังนี้ เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ชั่งมวลที่ต้องการความแม่นยำสูง มีค่าเบี่ยงเบน 0.01 มิลลิกรัม มีสภาพไวถึงเศษส่วนของไมโครกรัม ใช้เมื่อมวลชั่งในการคำนวณผลการวิเคราะห์ เครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ที่พบมากที่สุดคือ macroanalytical balance ซึ่งมวลสูงสุดที่ชั่งได้อยู่ในช่วงประมาณ 160 ถึง 200 กรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 0.1$  มิลลิกรัม semimicroanalytical balance มีมวลสูงสุดที่ชั่งได้ในช่วง 10 ถึง 30 กรัม โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 0.1$  มิลลิกรัม ส่วน microanalytical balance ชั่งได้สูงสุดในช่วง 1 ถึง 3 กรัม และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 0.001$  มิลลิกรัม

### **การใช้และการรักษาเครื่องชั่ง**

เครื่องชั่งทุกชนิดเป็นเครื่องมือที่มีราคาแพง จึงต้องใช้เครื่องชั่งด้วยความระมัดระวัง ข้อควรปฏิบัติทั่วไปในการใช้เครื่องชั่ง มีดังนี้

1. เครื่องชั่งต้องตั้งอยู่บนสถานที่แน่นหนา มั่นคง เพื่อป้องกันการสะเทือน ไม่ควรตั้งเครื่องชั่งใกล้หน้าต่างและอย่าให้แสงแดดส่องและลมสัมผัสเครื่องชั่งโดยตรง เนื่องจากมีผลต่อน้ำหนักการชั่ง และสังเกตลูกน้ำให้อยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของเครื่องชั่งก่อนใช้ก่อนทุกครั้ง

2. ต้องพิจารณาข้อจำกัดของเครื่องชั่ง มวลสูงสุดที่ชั่งได้ และหลีกเลี่ยงการชั่งตัวอย่างหรือสารที่มีมวลมากกว่ามวลสูงสุดเป็นอันขาด

3. การชั่งสารระดับมิลลิกรัมขณะชั่งต้องปิดประตูบานเลื่อนของเครื่องชั่งทั้งหมด เนื่องจากกระแสอากาศจะมีผลให้มวลไม่คงที่

4. อุณหภูมิมีผลต่อมวลของวัตถุ การชั่งมวลของสารตัวอย่างหรือสารให้ได้ค่าที่ถูกต้องจะต้องชั่งที่อุณหภูมิห้อง ถ้าวัตถุมีอุณหภูมิสูงจะเกิดการหมุนเวียนของอากาศภายในตู้เครื่องชั่ง ทำให้เกิดการลอยตัวของจานชั่ง มวลที่ชั่งได้จึงน้อยกว่าค่าจริง นอกจากนี้ มวลที่ชั่งได้นอกจากจะเป็นมวลของภาชนะและสารที่บรรจุแล้ว ยังรวมถึงมวลของอากาศที่อยู่ในภาชนะด้วย อากาศที่อยู่ในภาชนะที่ร้อน จะมีความหนาแน่นน้อยกว่าที่อุณหภูมิห้อง ดังนั้น ถ้าจะชั่งวัตถุที่ร้อน เช่น ซินเตอร์กลาสคริสตัล จะต้องทำให้เย็นลงจนถึงอุณหภูมิห้องในเดซิเคเตอร์ (desiccator เพื่อป้องกันการดูดความชื้น) ก่อนการชั่ง

5. อย่าชั่งสารเคมีโดยใส่ในจานชั่งโดยตรง จะต้องใส่ในขวดชั่ง (weighing bottle) ภาชนะสำหรับชั่ง (weighing dish/boat) หรือกระดาษสำหรับชั่ง (weighing paper) การชั่งสารเคมีที่ต้องการทราบมวลที่แน่นอนสำหรับเคมีปริมาณวิเคราะห์ทำโดยใช้ขวดชั่งที่แห้งและสะอาด แสดงดังภาพประกอบ 2.23 และ 2.24



ภาพประกอบ 2.23 ขวดชั่ง (weighing bottle)

ที่มา: Thomas Scientific. (2018 : 3)



**ภาพประกอบ 2.24** ภาพสำหรับชั่ง (weighing dish or weighing boat)

ที่มา: Fisher Scientific. (2018 : 2)

6. ไม่ควรใส่สารลงในขวดชั่งขณะที่วางไว้บนจานชั่ง เพราะถ้าสารตกลงบนจานชั่งจะทำให้มวลที่ชั่งได้ผิดพลาด ให้นำขวดชั่งออกมาวางบนโต๊ะข้างเครื่องชั่ง ตักสารจากขวดด้วยช้อนตักสารที่จัดไว้ให้ใส่ลงในขวดชั่ง แล้วปิดฝาขวดชั่งเพื่อป้องกันไม่ให้สารดูดความชื้นหรือคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศในขณะที่ชั่ง

7. ในการชั่ง ไม่ควรใช้มือหยิบวัตถุที่จะชั่งเนื่องจากสิ่งปรุอะเปื้อนไขมัน และความชื้นจากมือจะทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น จะต้องใช้คีมที่สะอาดคีบ หรือใช้แถบกระดาษอย่างดี ไม่เป็นขุย จับรอบขวดชั่งหรือวัตถุ แสดงดังภาพประกอบ 2.25



**ภาพประกอบ 2.25** การใช้คีมหรือแถบกระดาษจับขวดชั่ง

ที่มา: Oliver S. (n.d. : 3)

8. ควรบันทึกน้ำหนักในสมุดบันทึกผลการทดลองทันที
9. เมื่อชั่งเรียบร้อยแล้ว ตรวจสอบว่าไม่มีวัตถุอยู่บนจานชั่ง ทำความสะอาดเครื่องชั่งและโต๊ะเครื่องชั่ง ของแข็งที่เหลือห้ามเทคืนลงในขวด นำขวดสารเก็บเข้าที่
10. ถ้าเครื่องชั่งไม่อยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ตามปกติต้องรายงานให้อาจารย์ผู้ควบคุม

รับทราบ

### เทคนิคการชั่งของแข็ง

พรพรรณ อุคมกาญจนนันท์ และสุชาดา จูอนุวัฒนกุล. (2560 : 44) ได้กล่าวถึงเทคนิคการชั่งว่า หากต้องการชั่งของแข็งต้องใช้ขวดชั่ง ของแข็งบางชนิดดูดความชื้นหรือคาร์บอนไดออกไซด์จากอากาศ ทำให้น้ำหนักเพิ่มขึ้น จึงควรทำให้ของแข็งตัวอย่างหรือรีเอเจนต์แห้งก่อนที่จะนำไปชั่ง โดยนำไปอบเพื่อให้น้ำหนักคงที่ โดยใส่ของแข็งในขวดชั่ง จัดวางในบีกเกอร์ นำไปอบในเตาอบ (electric oven) ที่อุณหภูมิ 110-120 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในเดซิเคเตอร์ (desiccator) แต่เนื่องจากนักศึกษามีเวลาในห้องปฏิบัติการจำกัด จึงได้เตรียมสารเคมีที่ได้ทำให้แห้งแล้วไว้ให้ นักศึกษาควรใช้อย่างระมัดระวังและไม่เปิดขวดสารเคมีทิ้งไว้

การชั่งสารอาจทำได้โดยชั่งขวดชั่งเปล่า ใส่สารลงในขวดชั่งแล้วชั่งน้ำหนักขวดชั่งและสาร จากนั้นจึงถ่ายเทสารจากขวดชั่งลงในภาชนะที่จะทำการทดลองและใช้ตัวทำละลายชะล้างสารที่ติดอยู่ในขวดชั่งลงไปภาชนะจนหมด น้ำหนักของสารที่ใช้ทดลองจะเท่ากับผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งทั้งสองครั้ง การชั่งแบบนี้เรียกว่า การชั่งโดยตรง (direct weighing) เครื่องชั่งส่วนใหญ่สามารถปรับตั้งให้อ่านน้ำหนักเป็นศูนย์เมื่อวางภาชนะเปล่าไว้บนจานชั่ง ซึ่งเรียกว่า taring ดังนั้นเมื่อใส่สารลงในภาชนะดังกล่าว น้ำหนักที่แสดงบนเครื่องชั่งจะเป็นน้ำหนักของสารเท่านั้น

การชั่งสารชนิดเดียวกันซ้ำหลายครั้งนิยมใช้วิธี การชั่งแบบผลต่าง (weighing by difference) เช่น ถ้าต้องการชั่งตัวอย่างของแข็งเพื่อทำการทดลองซ้ำกัน 3 ครั้งทำได้ดังนี้

1. ชั่งขวดชั่งพร้อมฝาด้วยเครื่องชั่งหยาบ ใส่สารลงในขวดชั่งให้มีน้ำหนักเป็นสามเท่าของน้ำหนักที่ต้องการใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง โดยชั่งด้วยเครื่องชั่งหยาบ
2. ชั่งน้ำหนักขวดชั่งและสารด้วยเครื่องชั่งสำหรับงานวิเคราะห์ บันทึกน้ำหนักให้มีความแน่นอนถึง 0.1 มิลลิกรัม

3. นำขวดซังออกจากเครื่องซัง เปิดฝา แล้วเทสารหนึ่งในสามของสารทั้งหมดลงในภาชนะที่จะใช้ทำการทดลองใบที่ 1 โดยอาจเทผ่านกรวยแก้วถ้าภาชนะที่รองรับมีขนาดเล็กแล้วใช้ตัวทำละลายชะล้างสารที่ติดอยู่ที่กรวยแก้วลงให้หมด

4. ชั่งน้ำหนักขวดซังและสารที่เหลือ บันทึกน้ำหนักให้มีความแน่นอนถึง 0.1 มิลลิกรัม น้ำหนักของสารที่แบ่งออกจากขวดซังลงในภาชนะใบที่ 1 เท่ากับผลต่างของน้ำหนักในขั้นนี้กับน้ำหนักที่ซังในขั้นที่ 2

5. นำขวดซังออกจากเครื่องซัง เทสารที่เหลือครึ่งหนึ่งลงในภาชนะที่จะใช้ในการทดลองใบที่ 2 ชั่งน้ำหนักขวดซังและสารที่เหลือ บันทึกน้ำหนัก น้ำหนักของสารที่แบ่งออกจากขวดซังลงในภาชนะใบที่ 2 เท่ากับผลต่างของน้ำหนักในขั้นนี้กับน้ำหนักที่ซังในขั้นที่ 4

6. นำขวดซังออกจากเครื่องซัง เทสารที่เหลือลงในภาชนะที่จะใช้ในการทดลองใบที่ 3 ชั่งน้ำหนักขวดซังพร้อมฝาและสารที่เหลือ บันทึกน้ำหนัก น้ำหนักของสารที่แบ่งออกจากขวดซังลงในภาชนะใบที่ 3 เท่ากับผลต่างของน้ำหนักในขั้นนี้กับน้ำหนักที่ซังในขั้นที่ 5 (จารุวรรณ สุจริต, 2552)

## บทสรุป

การวิเคราะห์ดินและปุ๋ยทางเคมี เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้องและไม่คลาดเคลื่อน จำเป็นอย่างยิ่งที่ควรจะศึกษาเทคนิคและอุปกรณ์เครื่องแก้วสำหรับการวิเคราะห์ทางเคมี เริ่มจากการใช้การเลือกใช้เครื่องแก้วสำหรับวัดปริมาตร ตวงสาร การใช้ปิเปต การเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ การใช้บิวเรตสำหรับวิเคราะห์โดยวิธีปริมาตรวิเคราะห์ในบทปฏิบัติการวิเคราะห์ปริมาณอินทรีย์วัตถุ การวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจน และการวิเคราะห์ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุบวก เทคนิคการใช้เครื่องชั่งสำหรับเตรียมสาร สำหรับชั่งตัวอย่างเพื่อใช้ในการวิเคราะห์เพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่างในดินและการวิเคราะห์ความต้องการเติมปุ๋ยของดินในสภาพที่เป็นกรด และการกรองสารตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณธาตุอาหารหลักหรือปุ๋ย ประกอบด้วย โปแทสเซียม และ ฟอสฟอรัส เพื่อให้ผลการทดลองที่ถูกต้องและแม่นยำ ทั้งยังเกี่ยวข้องโดยตรงสำหรับการวิเคราะห์เชิงปริมาณและคุณภาพทางเคมี นักศึกษาจึงควรมีความละเอียดรอบคอบสำหรับการใช้อุปกรณ์เครื่องแก้วและเทคนิคการใช้เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับปฏิบัติการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย

## คำถามท้ายบท

1. เครื่องแกวชชนิดใด เป็นเครื่องแกวที่นิยมใช้ในห้องปฏิบัติการทางเคมี
2. จงเรียงลำดับความแม่นยำของเครื่องแกวที่ใช้ในการวัดปริมาตรจากมากไปหาน้อย
3. จงอธิบายวิธีการอ่านปริมาตรของสารละลาย พร้อมทั้งวาดรูปประกอบ
4. จงอธิบายวิธีการใช้ปิเปตดูดสารละลายอย่างไรให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง
5. นักศึกษาจะมีวิธีการทำความสะอาดบิวเรตอย่างไร
6. จงอธิบายวิธีการใช้บิวเรตรวมถึงการบรรจุสารละลายลงในบิวเรต
7. นักศึกษาจะมีวิธีการไทเทรตหาปริมาณไนโตรเจน ปริมาณอินทรีย์วัตถุในดิน ค่า CEC อย่างไร เพื่อให้ได้ผลการทดลองที่ถูกต้อง
8. จงอธิบายวิธีการชั่งตัวอย่างดินก่อนนำมาวิเคราะห์อย่างไรให้ถูกต้องและแม่นยำ
9. จงอธิบายเปรียบเทียบกระดาษกรองที่ใช้ในงานคุณภาพวิเคราะห์และปริมาณวิเคราะห์ แตกต่างกันอย่างไร
10. จงอธิบายวิธีการเตรียมสารละลายสำหรับการวิเคราะห์ดินและปุ๋ย มาพอสังเขป



## เอกสารอ้างอิง

- จารุวรรณ สุจริต. (2552). **ปฏิบัติการเคมีปริมาณวิเคราะห์**. สงขลา: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา.
- พรพรรณ อุดมกาญจนนันท์ และสุชาดา จูณวัฒน์กุล. (2560). **เคมีปริมาณวิเคราะห์: เทคนิคการทดลอง**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- มุกดา จิรภูมิมนตรี. (2538). **เคมีวิเคราะห์ปริมาณ**. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ ฯ: โรงพิมพ์ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ.
- มนนภา เทพสุด. (2553). **ปฏิบัติการเคมีทั่วไป**. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ ฯ: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศรีปทุมมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. (2561). **ไพเพต (Pipette)**. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560 จากเว็บไซต์:  
<https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet5/index.html>
- มหาวิทยาลัยขอนแก่น. (2561). **ปิเปตต์แบบปริมาตร (volumetric pipette หรือ transfer pipette)**. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560 จากเว็บไซต์: <http://vet.kku.ac.th/physio/labbiochem/16/trip.html>
- มหาวิทยาลัยมหิดล. (2550). **การไทเทรตกรดเบส**. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560 จากเว็บไซต์:  
<https://il.mahidol.ac.th/e-media/acid-base/C11-1.HTM>
- ศิริพร จันทศิริ. (2557). **เคมีวิเคราะห์: การวิเคราะห์เชิงปริมาณ**. พิมพ์ครั้งที่ 4. สงขลา: สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยทักษิณ.
- สุนทร พรจำเจริญ. (ม.ป.ป.) **กรด-เบส**. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560 จากเว็บไซต์:  
[https://majorchemspa.wordpress.com/ab\\_11/](https://majorchemspa.wordpress.com/ab_11/)
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2561). **ปริมาตรวิเคราะห์**. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560 จากเว็บไซต์:  
<https://www.slideshare.net/woravith/analchem-volumetric>
- วรวิทย์ จันทร์สุวรรณ (2561). **การวิเคราะห์โดยน้ำหนักและปริมาตรวิเคราะห์**. สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560 จากเว็บไซต์: <http://web.rmutp.ac.th/woravith/upload/AnalChem/gravimetry.pdf>
- ASTM E287 – 02. (2012). **Standard Specification for Laboratory Glass Graduated Burets**. In ASTM สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560 จากเว็บไซต์: <http://www.titrations.info/pipette-burette>
- Biocyclopedia. (2018). **Filtration**. (Online). Retrieved May 1, 2018. Available URL:  
[https://biocyclopedia.com/index/chem\\_lab\\_methods/filtration.php](https://biocyclopedia.com/index/chem_lab_methods/filtration.php)
- Clinicalgate. (2015). **Chapter 8 Basic Serologic Laboratory Techniques (Pipettes)**. (Online). Retrieved May 1, 2018. Available URL: <https://clinicalgate.com/basic-serologic-laboratory-techniques-3/>

Fisher scientific. (2018). **Weighing Dishes**. (Online). Retrieved May 1, 2018.

Available URL: <https://www.fishersci.co.uk/gb/en/products/I9C8KCZP/weighing-dishes.html>

Soulful B. (2018). **วิธีการเตรียมสารละลายจากสารเคมีตั้งต้นที่เป็นของแข็งและการคำนวณ.**

สืบค้นเมื่อ 1 พฤษภาคม 2560 จากเว็บไซต์: [http://elife-news.blogspot.com/2018/04/blog-post\\_46.html](http://elife-news.blogspot.com/2018/04/blog-post_46.html)

Thomas Scientific. (2018). **Weighing Bottle**. (Online). Retrieved May 1, 2018. Available URL:

<https://www.thomasci.com/scientific-supplies/Weighing-Bottle>

Oliver S. (n.d.). **Balances and Their Use in the Chemistry Laboratory**. (Online).

Retrieved May 1, 2018. Available URL: <http://www5.csudh.edu/oliver/demos/bal-use/bal-use.htm>