ทำความรู้จักกับออร์กาโนเคลย์ (Organoclay)

คณิตตา ธรรมจริยวงศา
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

ประเทศไทยมีการพัฒนาทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดการเพิ่มจำนวนของโรงงานอุตสาหกรรมอย่างรวดเร็ว ทำให้ปริมาณน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล่านี้เพิ่มสูงขึ้นอย่างมากและเป็นสาเหตุหลักที่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ สารมลพิษที่ปนเปื้อนทางน้ำก็มีความเป็นพิษต่อระบบนิเวศและสิ่งมีชีวิต นอกจากนี้ยังมีสารมลพิษอินทรีย์บางชนิดที่มีความคงทนและทำการบำบัดได้ยาก เช่น สารกำจัดแมลงศัตรูพืช หรือสารประกอบแอโรมาติก (Aromatic Compounds) อื่นๆ

ปัจจุบันมีวิธีการที่ใช้กำจัดสารมลพิษอินทรีย์อยู่หลายวิธี โดยวิธีที่มีความเหมาะสมและใช้กันอย่างแพร่หลายคือการใช้วัสดุดูดซับ เช่น ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon) ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำเอาวัตถุดิบธรรมชาติที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาผ่านกรรมวิธีก่อกัมมันต์จนได้ผลิตภัณฑ์สีดำ มีโครงสร้างที่มีลักษณะเป็นรูพรุน มีพื้นที่ผิวสูง มีคุณสมบัติในการดูดซับสารต่างๆ ได้เป็นอย่างดี แต่ก็อาจมีข้อจำกัดของการใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อเป็นตัวดูดซับในระบบบำบัดน้ำเสียคือ การกำจัดน้ำมันและไขมัน (Oil and Grease) และโมเลกุลของสารอินทรีย์ (Organic Molecules) ที่มีขนาดใหญ่จากน้ำเสียมีประสิทธิภาพต่ำ เนื่องจากโมเลกุลของสารเหล่านี้จะอุดตันอยู่ที่รูพรุนขนาดใหญ่ (Macropore) บนพื้นผิวด้านนอกของถ่านกัมมันต์ ทำให้การเคลื่อนที่ของสารที่ถูกดูดซับไปยังบริเวณที่มีรูพรุนขนาดเล็ก (Micropore) ลดลง ดังนั้นจึงมีการพยายามมองหาวัสดุดูดซับตัวใหม่ที่มีความสามารถในการกำจัดน้ำมันและไขมันจากน้ำเสียได้ดีมากยิ่งขึ้น

Figure 1

Figure 2

รูปที่ 1 **รูปที่ 2**

รูปที่ 1 การดูดซับที่พื้นผิวของถ่านกัมมันต์

รูปที่ 2 โมเลกุลของสารถูกอุดตันที่รูพรุนขนาดใหญ่บนพื้นผิวด้านนอกของถ่านกัมมันต์

ประเภทของสารดูดซับหรือสารดูดติดผิว

สารที่มีอำนาจดูดโมเลกุลต่างๆ มาติดผิวได้ เรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) มีหลายชนิด สามารถแบ่งได้เป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1) ประเภทของสารอนินทรีย์ (Inorganic Compound) เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ ถ่านกระดูก (Bone Char) แอคติเวตเต็ดซิลิกา (Activated Silica) เป็นต้น สารดูดซับประเภทนี้มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตรต่อกรัม

2) ประเภทสารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบนพื้นผิว (Synthetic Exchange Resins) สามารถดูดจับวัตถุอื่นๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมา เพื่อกำจัดสารอินทรีย์ เป็นประเภทที่เรียกว่า Macroporous Resin หรือ Adsorbent Resin เช่น Styrene Divinylbenzene Resin และ Phenol Formaldehyde Resin เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตรต่อกรัม มีข้อดีคือ สามารถฟื้นอำนาจ (Regenerate) ได้ง่าย และรีเจนเนอแรนด์มักเป็นสารที่มีราคาถูก เช่น โซเดียมคลอไรด์

3) ประเภทถ่านกัมมันต์ เป็นสารดูดติดผิวที่ดีกว่าสารอนินทรีย์ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตรต่อกรัม ถ่านกัมมันต์ที่ใช้และเสื่อมแล้วสามารถนำไปทำการฟื้นอำนาจและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่มีข้อเสียคือ การทำรีเจนเนอเรตคาร์บอน

ต้องเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย และต้องมีคาร์บอนบางส่วนสูญเสียไปเนื่องจากปั่นกลายเป็นผงละเอียดจนใช้การไม่ได้

จะเห็นได้ว่าสารดูดซับแต่ละชนิดมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป บทความนี้ขอนำเสนอการใช้สารอนินทรีย์เพื่อเป็นสารดูดซับ ซึ่งเป็นสารที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป นั่นคือ แร่ดินเหนียวหรือที่เรียกว่า Clay Mineral เป็นแร่ทุติยภูมิซึ่งเกิดจากการผุพังของหิน โดยทั่วไปอนุภาคมีขนาดเล็กมากระดับไมครอน มีธาตุอลูมิเนียม ซิลิกอน และออกซิเจนเป็นองค์ประกอบหลักทางเคมี โครงสร้างของแร่ดินเหนียว หรือสารประกอบจำพวกแอนไฮดรัสอลูมิโนซิลิเกต ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นแผ่น เกิดจากการเรียงซ้อนกันของ ชั้นอลูมินาและซิลิกา และในระหว่างชั้นนี้จะมีไอออนบวกของธาตุโลหะ เช่น โซเดียม แคลเซียม โพแทสเซียม แมกนีเซียมและเหล็กแทรกอยู่ จากโครงสร้างและองค์ประกอบที่แตกต่างกันนี้ทำให้สามารถจำแนกชนิดของแร่ดินเหนียวออกได้เป็น 5 ประเภท คือ

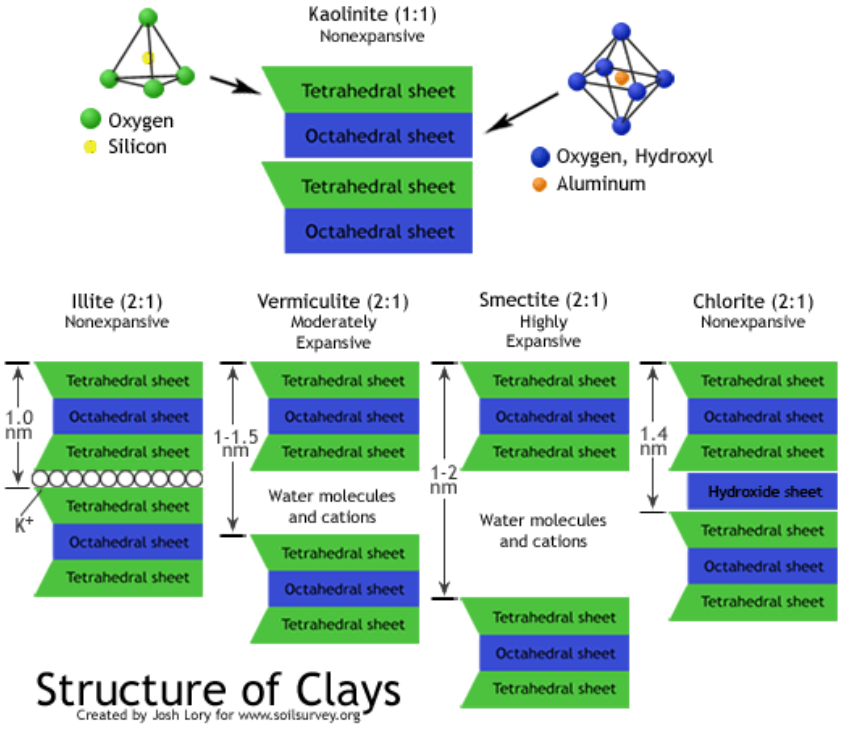
1) กลุ่มแร่เคโอลิไนต์ (kaolinite) มีโครงสร้างชนิด 1:1 ประกอบด้วยชั้นของซิลิกาเรียงสลับกับชั้นของอลูมินา

2) กลุ่มแร่อิลไลท์ (Illite) เป็นแร่ดินชนิด 2:1 ในหน่วยโครงสร้างจะมีชั้นซิลิกา 2 ชั้นประกบชั้นอลูมินาอยู่ และในแต่ละหน่วยมีไอออนของโพแทสเซียมแทรกอยู่ ทำให้ดินในกลุ่มนี้ไม่สามารถพองตัวในน้ำได้

3) กลุ่มแร่สเม็กไทต์ (Smectite) โครงสร้างเป็นชนิด 2:1 เหมือนกลุ่มอิลไลท์ แต่ในชั้นโครงสร้างมีโมเลกุลของน้ำแทรกอยู่ และไอออนบวกส่วนใหญ่ที่พบจะเป็น แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กและโซเดียม แร่กลุ่มนี้มีความสามารถในการพองตัวในน้ำได้ดี

4) กลุ่มแร่เวอร์มิคูไลต์ (Vermiculite) มีโครงสร้างเหมือนกลุ่มสเม็กไทต์ แต่มีค่าความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนสูงกว่า เมื่อเผาแล้วอนุภาคมีลักษณะคล้ายตัวหนอน

5) กลุ่มแร่ปาลีกอร์ซไกต์ (Palygorskite) มีโครงสร้างต่อเนื่องเป็นลูกโซ่



รูปที่ 3 โครงสร้างของแร่ดินเหนียวชนิดต่างๆ

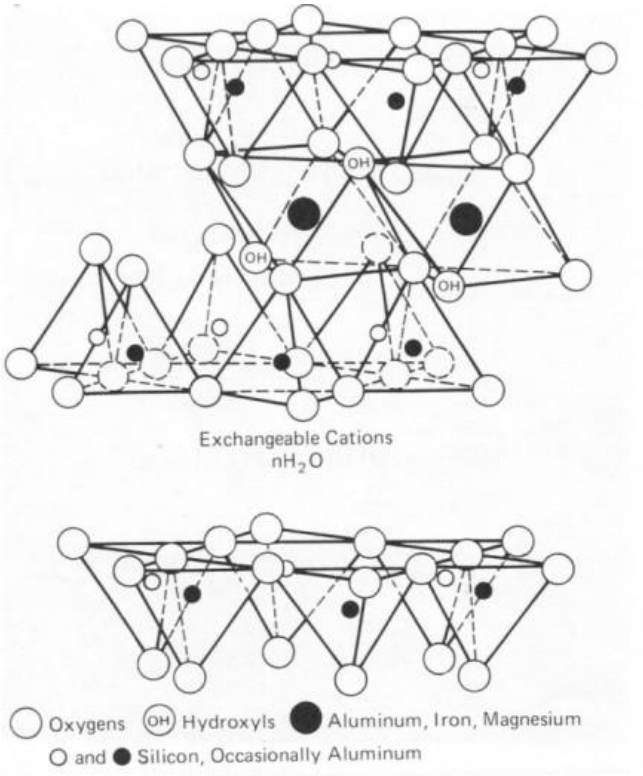
แร่ดินเหนียวแต่ละกลุ่มมีสมบัติต่างๆ ทั้งทางเคมีและฟิลิกส์ที่แตกต่างกัน จึงทำให้การใช้งานแตกต่างกันด้วย โดยแร่ดินเหนียวที่นิยมนำมาใช้ส่วนใหญ่จะอยู่ในกลุ่มแร่เคโอลิไนต์และกลุ่มสเม็กไทต์ กลุ่มแร่เคโอลิไนต์นิยมนำมาเป็นส่วนผสมในการผลิตผลิตภัณฑ์เซรามิก เช่น กระเบื้อง ถ้วยชามและสุขภัณฑ์ สำหรับกลุ่มแร่สเม็กไทต์ที่รู้จักกันมากคือเบนโทไนต์ นิยมนำมาเป็นสารตัวเติมในอุตสาหกรรมสี หมึกพิมพ์ กระดาษ หรือใช้เป็นโคลนขุดเจาะ (Drilling Mud) เป็นสารหล่อลื่น

ปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้พยายามพัฒนาสมบัติของแร่ดินเหนียวกลุ่มนี้ เพื่อเพิ่มประโยชน์การใช้งานของแร่ดินให้หลากหลายและมีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้เทคโนโลยีการปรับเปลี่ยนสภาพพื้นผิว ให้ได้ดินที่ชอบสารอินทรีย์ หรือที่รู้จักกันทั่วไปในนามของ Organophillic Clays ซึ่งสามารถนำไปใช้ในระบบตัวทำละลายสารอินทรีย์ได้ เช่น นำไปเป็นสารปรับความหนืดในสี หมึกพิมพ์ และจาระบี อีกทั้งมีการพัฒนาเพื่อนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียได้เป็นอย่างดี

ออร์กาโนเคลย์ (Organoclay)

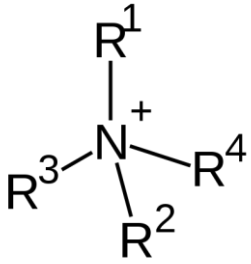
ออร์กาโนเคลย์ คือ แร่ดินเหนียวธรรมชาติซึ่งมีสมบัติชอบน้ำ (Hydrophilic) ถูกเปลี่ยนให้มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือชอบสารอินทรีย์ (Organophilic) และมีประสิทธิภาพสูงในการดูดซับสารมลพิษอินทรีย์ แร่ดินเหนียวธรรมชาติที่นิยมใช้ในการสังเคราะห์ออร์กาโนเคลย์ คือ แร่ดินเหนียวกลุ่มสเม็กไทต์ ซึ่งมีอยู่หลายชนิดที่สำคัญได้แก่ มอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite) และเบนโทไนต์ (Bentonite) โครงสร้างของสเม็กไทต์ประกอบด้วยแผ่นซิลิกา (Silica Sheet) สองแผ่นและแผ่นอะลูมินา (Alumina Sheet) หนึ่งแผ่นสอดอยู่ระหว่างกลางของแผ่นซิลิกาทั้งสองแผ่น ซิลิกอนและอะลูมินาอะตอมในแผ่นเหล่านั้น ต่างเกาะยึดออกซิเจนร่วมกัน ผลึกของสเม็กไทต์มีความหนา 9.6 อังสตรอม โดยผลึกเหล่านี้จะเชื่อมต่อกันไปในแนวระดับและซ้อนกันเป็นชั้นๆ ระยะห่างระหว่างผลึกที่อยู่ติดกันเรียกว่า Interlayer Spacing ซึ่งอาจขยายกว้างหรือแคบได้ เนื่องจากทั้งด้านบนและด้านล่างของผลึกนี้ต่างก็มีออกซิเจน ดังนั้นจึงเกิด Oxygen-Oxygen linkage ซึ่งเป็นแรงเกาะกันที่เบาบางมาก ไม่สามารถจะยึด Interlayer Spacing ให้มีระยะคงที่ได้ โมโลกุลของน้ำและแคตไอออนต่างๆ สามารถแทรกซึมเข้าไปดูดซับอยู่ที่ผิวภายใน (Internal Surface) ได้โดยง่าย

จากลักษณะพื้นผิวของแร่ดินเหนียวสเม็กไทต์ธรรมชาติซึ่งมีประจุลบ ดังนั้นจึงมีสารอนินทรีย์ประจุบวก เช่น โซเดียม (Na^{+}) และ แคลเซียม (Ca^{2+}) เกาะอยู่ที่พื้นผิวของสเม็กไทต์ ปริมาณสารอนินทรีย์ประจุบวกทั้งหมดที่สเม็กไทต์สามารถดูดยึดไว้ได้ เรียกว่า ความจุแลกเปลี่ยนประจุบวก (Cation Exchange Capacity, CEC) สารอนินทรีย์เหล่านี้เป็นสารที่ชอบน้ำ ทำให้พื้นผิวของสเม็กไทต์มีสมบัติชอบน้ำ สเม็กไทต์จึงไม่สามารถดูดซับสารอินทรีย์ที่ไม่มีไอออน (Nonionic Organic Compounds) เช่น สารพอลิไซคลิกอโรมาติกไฮโดรคาร์บอน (Polycyclic Aromatic Hydrocarbons, PAH_s) ดังนั้นจึงมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติของสเม็กไทต์ให้สามารถดูดซับสารอินทรีย์ที่ไม่มีไอออนได้ดีขึ้น ทำได้โดยการเติมสารอินทรีย์ประจุบวก โดยสารอินทรีย์ประจุบวกสามารถเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างระหว่างชั้นผลึก (Interlamellar Space) และถูกดูดยึดอยู่ที่ผิวของสเม็กไทต์ โดยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งเป็นการแลกเปลี่ยนระหว่างสารอินทรีย์ประจุบวกกับ Na^{+} และ Ca^{2+} ที่เกาะอยู่บริเวณพื้นผิวของสเม็กไทต์ ทำให้สเม็กไทต์ที่ปรับปรุงสมบัติพื้นผิวด้วยสารอินทรีย์ประจุบวก มีสมบัติไม่ชอบน้ำหรือชอบสารอินทรีย์



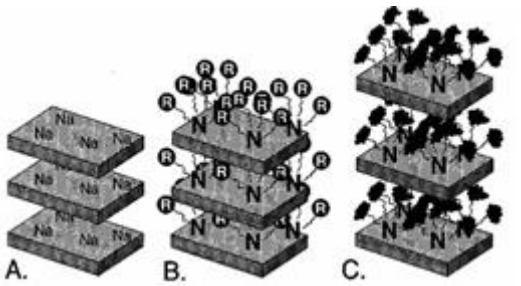
รูปที่ 4 โครงสร้างของแร่ดินเหนียวกลุ่มสเม็กไทต์

สารอินทรีย์ประจุบวกที่นิยมใช้ในการปรับปรุงสมบัติของสเม็กไทต์ ได้แก่ สารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน (Quaternary Ammonium Cations) โครงสร้างโมเลกุลของสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน แสดงดังรูปที่ 5 เมื่อ R คือ หมู่แอลคิลไฮโดรคาร์บอน สารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ส่วนที่มีขั้ว ได้แก่ Ammonium head group ซึ่งมีประจุบวกและส่วนที่ไม่มีขั้ว ได้แก่ หมู่แอลคิลไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำ



รูปที่ 5 โครงสร้างโมเลกุลของสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออน

เมื่อสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนเข้าไปอยู่ภายในช่องว่างระหว่างผลึกของสเม็กไทต์ จะเกิดอันตรกิริยาทางไฟฟ้า (Electrostatic Interaction) ระหว่างพื้นผิวของสเม็กไทต์ซึ่งมีประจุลบ กับ Ammonium head group ซึ่งมีประจุบวก ส่งผลให้ส่วนหัวของสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนเกาะแน่นอยู่ที่พื้นผิว ในทางตรงกันข้ามพื้นผิวของสเม็กไทต์ซึ่งมีสมบัติชอบน้ำจะผลักหมู่แอลคิลไฮโดรคาร์บอนซึ่งมีสมบัติไม่ชอบน้ำให้เคลื่อนที่ออกจากพื้นผิว ทำให้ระยะห่างระหว่างผลึกของออร์กาโนเคลย์เพิ่มขึ้น และหมู่แอลคิลไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างผลึกเหล่านี้จะเป็น Partition Medium ในการดูดซับสารมลพิษอินทรีย์จากน้ำเสีย



รูปที่ 6 **รูปที่ 7** **รูปที่ 8**

รูปที่ 6 ชั้นของดินเหนียว (Clay)

รูปที่ 7 ชั้นของดินเหนียวที่ถูกปรับปรุงสภาพพื้นผิว (Organoclay)

รูปที่ 8 ชั้นของดินเหนียวที่มีสภาพอิ่มตัวด้วยสารมลพิษอินทรีย์

การสังเคราะห์ออร์กาโนเคลย์อาศัยกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุบวกระหว่างสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนกับ Na^{+} และ Ca^{2+} ที่อยู่ภายในช่องว่างระหว่างผลึกของสเม็กไทต์ ซึ่งโครงสร้างโมเลกุลของสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนที่ใช้ในการสังเคราะห์ จะต้องมีจำนวนคาร์บอนมากกว่า 10 อะตอมเพื่อให้ระยะห่างระหว่างผลึกเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ออร์กาโนเคลย์ที่มีสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนอยู่ภายในช่องว่างระหว่างผลึกมากจะทำให้สามารถดูดซับสารพิษได้มากขึ้น อีกทั้งออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมจากสเม็กไทต์ที่มีค่า CEC สูงจะสามารถดูดยึดสารควอเทอร์นารีแอมโมเนียมแคตไอออนและมีประสิทธิภาพการกำจัดสารมลพิษอินทรีย์มากกว่าออร์กาโนเคลย์ที่เตรียมจากสเม็กไทต์ที่มีค่า CEC ต่ำ

เหล่านี้เป็นแนวทางในการสังเคราะห์ออร์กาโนเคลย์เพื่อให้เกิดประโยชน์ในทางการใช้เพื่อบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ปนเปื้อนอยู่ได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

สุรัชนา ช้างชายวงค์และสุธา ขาวเธียร. (2551). **การใช้ออร์กาโนเคลย์ดูดซับสารอินทรีย์ในน้ำเสีย.** วารสารสิ่งแวดล้อม. ปีที่ 12 ฉบับที่ 3 (กรกฎาคม- กันยายน).

Deer, Howie and Zussman. (1992). An Introduction to the Rock Forming Minerals. 2nd edition. Longman.p 353-381.

Alther, G.R. (1995). **Organically modified clay removes oil from water.** Waste Management 15(8): 623-628.

Atsushi Suetsugu, Tsuyoshi Miyazaki and Masashi Nakano. (2001). **Effects of Amphiphilic Amines on Moisture Characteristics of Alluvial and Volcanic Soils.** Journal of Soil Science Society of America. Vol. 65 No. 4, p. 1129-1135.

Soil Texture-Physical Properties. (n.d.) [Online]. Available: http://soils.missouri.edu/tutorial/page8.asp. [2014, July 15]

Quaternary Compound. (n.d.) [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Quaternary_compound. [2014, July 15]