

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สารหนู

สารหนูเป็นธาตุกึ่งโลหะ มีลักษณะเป็นผงโลหะสีเทา มีเลขอะตอม 33 น้ำหนักอะตอม 74.9216 จุดเดือดที่ 613 องศาเซลเซียส จุดหลอมเหลว 817 องศาเซลเซียส พบมากเป็นอันดับที่ 20 ของธาตุที่พบมากบนโลกโดยจะพบในสิ่งมีชีวิต พืช และสัตว์ ตลอดจนพบในธรรมชาติได้แก่ ในพื้นดินทะเล มหาสมุทร และแหล่งน้ำต่าง ๆ สารหนูในธรรมชาติ มาจากการระเบิดของภูเขาไฟ การเผาถ่านหิน การถลุงแร่ การใช้สารกำจัดศัตรูพืช นอกจากนี้สารหนูยังออกมาสู่บรรยากาศจากอุตสาหกรรมบางประเภทที่มีการใช้สารชนิดนี้ เช่น การรักษาเนื้อไม้ การผลิตสี และการผลิตสารกำจัดศัตรูพืช ใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดแมลง (Singh et al., 2015; Agrafioti et al., 2014)

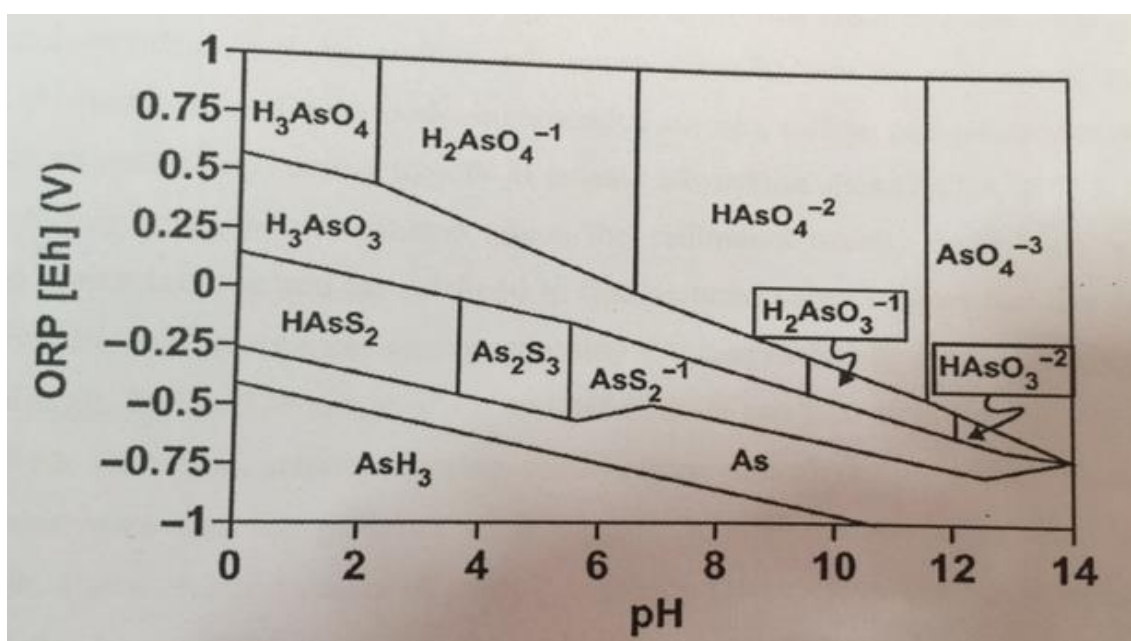
สารหนูสามารถพบได้ 2 รูปแบบ คือ สารหนูอินทรีย์และอนินทรีย์ โดยเลขออกซิเดชันหรือวาเลนซ์หลายค่าคือ +5 (As^{+5} , AsO_4^{-3}), +3 (As^{+3} , AsO_3^{-3} , AsH_3) และ -3 (H_3AsO_4) โดยรูปของสารหนูที่อยู่ในดินส่วนใหญ่อยู่ในรูปสารอนินทรีย์ที่มีวาเลนซ์ +5 เรียกว่าอาร์เซเนต (As^{+5}) พบได้หลายรูปเช่น AsO_4^{-3} , HAsO_4^{-2} และ $\text{H}_2\text{AsO}_4^{-1}$ และวาเลนซ์ +3 เรียกว่าอาร์เซไนต์ (As^{+3}) พบได้หลายรูปเช่นเดียวกัน ได้แก่ $\text{As}(\text{OH})_3$, $\text{As}(\text{OH})_4^-$, $\text{AsO}_2(\text{OH})^{-2}$ และ AsO_3^{-3} (Sing et al., 2015; Ren et al., 2014) สารหนูอาร์เซเนตและอาร์เซไนต์สามารถเกิดการเปลี่ยนรูปได้ขึ้นอยู่กับรีดอกซ์โพเทนเชียล (redox potential, Eh) และพีเอช (pH) เช่นสารหนูจะเสถียรอยู่ในดินเมื่อคาร์ดิอิกโพเทนเชียลอยู่ในช่วง -100 ถึง 300 mV ในขณะที่สารหนูอาร์เซไนต์จะเสถียรเมื่อคาร์ดิอิกโพเทนเชียลต่ำกว่า -100 mV

สำหรับสารหนูในรูปอินทรีย์คือ สารหนูที่อยู่เป็นองค์ประกอบของเซลล์ในสิ่งมีชีวิตโดยสารหนูสามารถสามารถรวมตัวกับคาร์บอนและไฮโดรเจนในเซลล์ของสิ่งมีชีวิตกลายเป็นสารหนูอินทรีย์ ซึ่งไม่สามารถแตกตัวเป็นเกลืออนินทรีย์ได้เหมือนกับสารอนินทรีย์จึงมีพิษน้อยกว่า สารหนูพบได้หลายชนิดทั้งในพืชและสัตว์ โดยเฉพาะในสัตว์น้ำ เช่น กุ้ง ปู ปลา และสาหร่าย โดยสารหนูที่มีองค์ประกอบของเซลล์สิ่งมีชีวิตจะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับชนิดของสิ่งมีชีวิตในดินหรือสิ่งแวดล้อม เช่น Arsenobetaine, Aresenochlorine, Monomethylarsonic acid, Methylarsonate และ Dimethylarsinic acid

นอกจากนี้สารประกอบสารหนูอาร์เซเนต (AsO_4^{-3}) สามารถเกิดการรีดักชันเป็นสารหนูชนิดอาร์เซไนต์และเปลี่ยนเป็นแก๊สในชั้นบรรยากาศได้ เรียกแก๊สนี้ว่า แก๊สอาร์ซีน (AsH_3) โดยการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นจะเกิดในสภาวะที่ไม่มีอากาศ และมีคาร์ดิอิกโพเทนเชียลที่ต่ำมาก โดยปกติแก๊สอาร์ซีนเป็นแก๊สที่ไม่มีสี แต่มีกลิ่นฉุนคล้ายกระเทียม และมีระดับความเป็นพิษสูง สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายและสลายตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 225 องศาเซลเซียส ความเป็นพิษของแก๊สอาร์ซีนทำให้เกิดการสัมผัสหรือสูดดม โดยหาร่างกายได้รับแก๊สนี้มากเกินไป จะทำให้การทำงานของไตล้มเหลว เกิดภาวะโลหิตจางเนื่องจากแก๊สนี้เข้าไปทำลายเซลล์เม็ดเลือดแดง โดยการเข้าไปจับกับเซลล์เม็ดเลือดแดง ทำให้เซลล์เม็ดเลือดแดงบวมและไม่

ทำงาน อย่างไรก็ตามเนื่องจากแก๊สอาร์ซีนีมีความเสถียรน้อย สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายจึงพบในธรรมชาติได้น้อย ตัวอย่างการเปลี่ยนรูปเป็นแก๊สอาร์ซีนี เช่น Monomethylarsonic acid (MMAA) เปลี่ยนเป็น Monoethylarsine (CH_3AsH)

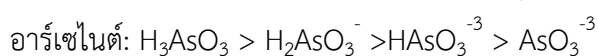
ปฏิกิริยเคมีซึ่งเป็นปัจจัยต่อสารหนู รูปของสารหนู การแพร่กระจายและการเคลื่อนที่ของสารหนู ได้แก่ รีดอกโทเทินเซียลและพีเอช ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของรีดอกโทเทินเซียลและพีเอช ดังภาพที่ 2.1 สภาวะที่มีออกซิเจนและพีเอชต่ำจะพบสารหนูในรูป H_2AsO_4^- แต่หากพีเอชสูงขึ้นจะพบสารหนูในรูป HAsO_4^{2-} เมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 6.5-12 และพบทั้งสองรูปได้เท่า ๆ กันเมื่อพีเอชอยู่ช่วง 7-8 สำหรับสารหนูอาร์เซนไนต์มักพบในรูป H_3AsO_3 ซึ่งมีประจุรวมเป็นศูนย์ เมื่อพีเอชมีค่าน้อยกว่า 9 (Mohan and Pittman, 2007)



ภาพที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของค่ารีดอกโทเทินเซียลและพีเอชต่อรูปของสารหนูในดินที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความดัน 1 บรรยากาศ

ที่มา: Mohan and Pittman (2007)

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณารูปของสารหนูที่พบในดินที่มีพีเอชเป็นกลาง (พีเอช=7) สามารถพบสารอาร์เซนเนตและอาร์เซนไนต์ในรูปที่แตกต่างกันดังนี้



แหล่งที่พบสารหนู

1. สารหนูที่พบในธรรมชาติ (มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ, 2555)

(1) ในหิน พบสารหนูรวมอยู่กับแร่ต่างๆ หลายชนิด ปริมาณสารหนูที่พบมากที่สุดจะอยู่ในรูปสารประกอบอาร์เซไนด์ (Arsenide) และสารประกอบซัลไฟด์ (Sulfide) ของทองแดง ตะกั่ว เงินและทอง แร่ที่พบสารหนูมาก ได้แก่ อาร์เซโนไพไรต์ (Arsenopyrit, FeAsS) รีอัลการ์ (Realgar, As₂S₂, As₄S₄) และ ออร์พิเมนต์ (Orpiment, As₂S₃) ในตะกอนดินพบสารหนูในรูปออกซิไดซ์ สารหนูที่เป็นธาตุจะพบในปริมาณที่น้อย

(2) ในอากาศ พบอนุภาคสารหนูที่เป็นสารประกอบทั้งในรูปอนินทรีย์ เช่น ในรูปอาร์เซไนด์ และพบในรูปอินทรีย์ เช่น เมทิลอาร์ซีน ในอากาศปกติจะมีปริมาณสารหนูน้อยกว่า 1 นาโนกรัม/ลูกบาศก์เมตร

(3) ในน้ำพบสารหนูในน้ำทั้งในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ สารหนูในน้ำที่อยู่ในรูปอินทรีย์ส่วนใหญ่เป็นสารประเภทเมทิลอาร์โซนิคแอซิด (Methylarsonic acid) และสารประเภทไดเมทิลอาร์ซีนิกแอซิด (Dimethylarsinic acid) ซึ่งมีปริมาณน้อยกว่าสารหนูในรูปอนินทรีย์

(4) ในดินพบสารหนูได้หลายชนิดทั้งในรูปอนินทรีย์และอินทรีย์ พบว่าสารหนูแต่ละชนิดสามารถระเหยเป็นก๊าซ (Gaseous arsines) ได้โดยจุลินทรีย์ ซึ่งสารประกอบที่มีพิษมากต่อสิ่งมีชีวิต คือสารหนูที่อยู่ในรูปสารประกอบอนินทรีย์ (As (V), As (III) และ gas ซึ่งจะมีความเป็นพิษที่แตกต่างกัน สารหนูที่ตรวจพบบ่อยในดินส่วนมากอยู่ในรูป As (V)

2. กิจกรรมของมนุษย์

ถือเป็นแหล่งที่ทำให้สารหนูในสิ่งแวดล้อมเพิ่มปริมาณได้มาก เช่น การทำเหมืองแร่ การถลุงโลหะ ในการผลิตสารหนูตัวเริ่มต้นที่จะผลิตคือ อาร์เซนิกไตรออกไซด์ (Arsenic trioxide, As₂O₃) ซึ่งทำโดยนำแร่ที่มีสารหนูมาถลุง สารหนูทั้งหมดที่ปนในแร่จะลอยเข้าสู่อากาศในลักษณะฝุ่นละอองเล็กๆ หลังจากนั้นจะเก็บรวบรวมฝุ่นละอองเหล่านี้มาเตรียมเป็นอาร์เซนิกไตรออกไซด์และนำไปใช้ประโยชน์ต่อไป

นอกจากนี้จะเห็นว่าสารหนูถูกนำมาใช้ประโยชน์ในหลายด้าน ได้แก่ ด้านการเกษตร ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น รายละเอียดดังต่อไปนี้ (มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ, 2555)

ด้านการเกษตร

- ใช้เป็นสารป้องกันและกำจัดแมลง
- ใช้เป็นสารกำจัดวัชพืช
- ใช้เป็นน้ำยารักษาเนื้อไม้

-ใช้ผสมในสารเคมีอื่นๆ เพื่อเปลี่ยนแปลงคุณภาพของฝ้าย

ด้านอุตสาหกรรม

-ใช้ผสมกับโลหะอื่น เช่น ตะกั่ว ทองแดง เป็นโลหะอัลลอยด์หรือโลหะผสม เพื่อทนต่อการกัดกร่อน

-ใช้เป็นวัตถุกึ่งตัวนำ

-ใช้เป็น Silver reducer ในอุตสาหกรรมกระจกเงา

-สารประกอบอินทรีย์อาร์ซีนิกใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการผลิตพลาสติก

อันตรายของสารหนูต่อสุขภาพ

1. การเข้าสู่ร่างกาย

การเข้าสู่ร่างกายแบ่งออกได้เป็น 3 ทาง คือ (มิ่งขวัญ รังสรรค์สมบัติ, 2555)

ก. ทางการหายใจ ร่างกายมนุษย์จะหายใจสารหนูอนินทรีย์ เนื่องจากการทำงานหรือระหว่างการสูบบุหรี่ และสารหนูที่หายใจเข้าไปส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแอโรซอลซึ่งเป็นอนุมูลประจุ +3 โดยเฉพาะในโรงงานอุตสาหกรรมอนุภาคของสารหนูจะมีขนาดใหญ่เมื่อหายใจเข้าไปในระยะแรกสารหนูจะตกค้างอยู่บริเวณทางเดินหายใจส่วนบน และต่อมาจะถูกดูดซับเข้าไปในระบบทางเดินหายใจ หรือทางเดินอาหาร

ข. ทางเดินอาหาร การดูดซึมสารหนูอนินทรีย์ในระบบทางเดินอาหารเกิดจากการรับประทานอาหาร น้ำ เครื่องดื่ม หรือ ยาที่มีสารหนู โดยเฉพาะการบริโภคอาหารทะเลที่มีสารปนเปื้อนสารหนูอยู่ในปริมาณสูง ซึ่งโดยปกติร่างกายไม่ควรรับเอาสารหนูอนินทรีย์เข้าไปเกิน 0.05 มก. ต่อวัน

ค. ทางผิวหนัง สารหนูอนินทรีย์สามารถดูดซึมผ่านทางผิวหนังได้ โดยสารหนูที่เข้าทางผิวหนังจะขับออกมาโดยการหลุดลอกของผิวหนัง (Desquamation of skin) ทางเหงื่อและอาจมีการสะสมอยู่ในเล็บและผม

2. ความเป็นพิษ

ก. ความเป็นพิษต่อสัตว์ สารหนูอนินทรีย์อนุมูลประจุ +3 มีความเป็นพิษมากกว่า +5 เนื่องจากมีคุณสมบัติละลายน้ำ ซึ่งจะเกิดการดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดี ปริมาณต่ำสุดที่สารหนูเมื่อฉีดเข้ากล้ามเนื้อหนู (Rat) คือ 25 มก./กก. และปริมาณต่ำสุดที่สารหนูทำให้กระต่ายตายเมื่อฉีดเข้าใต้ผิวหนัง คือ 300 มิลลิกรัม/กิโลกรัม

ข. ความเป็นพิษต่อมนุษย์ ลักษณะการเกิดพิษจากสารหนูส่วนใหญ่เป็นการเกิดพิษแบบเรื้อรัง จากการสัมผัสสารหนูเข้าสู่ร่างกายเป็นเวลานาน ซึ่งอาการที่แสดงต่อระบบต่าง ๆ แบ่งออกเป็น

- 1) ที่ผิวหนัง จะเกิดการระคายเคือง เกิดเป็นโรคผิวหนัง โดยเฉพาะผิวหนังที่อยู่ตามซอกมุมต่าง ๆ เช่น รักแร้ ซอกคอ หู หนังสตา มุมปาก ซึ่งจะเห็นตุ่มแข็งใสพองหรือเกิดผิวหนังแข็งด้าน และที่ฝ่าเท้า ฝ่ามือ ผิวหนังบริเวณนั้นจะหลุดออกมา หรือบริเวณที่สัมผัสจะเป็นจุดสีดำ คล้ายกับหูด และพัฒนาเป็นมะเร็งผิวหนังได้
- 2) ที่เยื่อเมือก เมื่อสัมผัสกับฝุ่นผงหรือก๊าซจะทำให้เกิดการระคายเคืองบริเวณนั้น และฝุ่นผงบางส่วนจะลงไปอุดตันทำให้มีอาการคล้ายกับเป็นหวัดคัดจมูก
- 3) ตา เกิดอาการตาแดง ตาอักเสบ
- 4) ระบบหายใจ สารหนูจะสะสมที่ปอด ทำให้หลอดลมเกิดการอักเสบอาจมีผลทำให้เกิดมะเร็งปอด
- 5) ระบบประสาท เมื่อสารหนูเข้าสู่ระบบการไหลเวียนของเลือด ซึ่งจะส่งผลต่อน้ำย่อยที่ช่วยในการเมตาบอลิซึม ทำให้เกิดการเบื่ออาหาร ปลายประสาทอักเสบ แขนขาชาและอาจเป็นอัมพาตได้
- 6) สมอง ทำให้เกิดการระคายเคืองต่อสมอง กระสับกระส่าย ความจำเสื่อม
- 7) อื่น ๆ เช่น เกิดภาวะโลหิตจาง อาการทางตับ ไต

การปนเปื้อนของสารหนูในประเทศไทย

ประเทศไทยพบการปนเปื้อนของสารหนูครั้งแรกทั้งในดิน ในแหล่งน้ำ และในน้ำใต้ดิน ในพื้นที่อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ซึ่งในพื้นที่บริเวณการทำเหมืองแร่ดีบุก โดยพบสารหนูปนเปื้อนในดินตั้งแต่ 21-16,000 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในขณะที่บ่อบาดาลมีปริมาณสารหนูปนเปื้อนสูงถึง 50 มิลลิกรัม/ลิตร สารหนูที่ปนเปื้อนใน อำเภอรัตนพิบูลย์ จะเป็นแร่ Aeropyrite (FeAsS) ที่มากับสายแร่ดีบุก หรือเป็นแร่อื่นที่มีซิลไฟด์เป็นองค์ประกอบ (เพชรดา เจริญมิตร, 2554) การแพร่กระจายของสารหนูในพวก Arsenopyrite ที่ปนเปื้อนกับสายแร่ถูกขุดออกมาเมื่อเข้าสู่กระบวนการแยกแร่ Arsenopyrite จะถูกแยกออกมากับหางแร่และทิ้งไว้ ทำให้เกิดการออกซิเดชันกับอากาศและน้ำเกิดการแพร่กระจายลงสู่ดินและแหล่งน้ำใกล้เคียง โดยส่วนใหญ่บริเวณที่เสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารหนูได้แก่เหมืองแร่ถ่านหิน ดีบุก ทองคำ ตะกั่ว และเงิน ที่มีการปิดการทำเหมืองและไม่มีการเก็บกากแร่ หรือปล่อยให้สัมผัสกับน้ำหรืออากาศ ซึ่งเป็นการเร่งให้เกิดการสลายตัวและการแพร่กระจายไปยังแหล่งน้ำต่างๆ ต่อไป การปนเปื้อนของสารหนูที่เกิดขึ้นใน อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช ทำให้เกิดโรคไข้ดำระบาดแก่ประชาชนในพื้นที่ดังกล่าว เป็นผลมาจากพิษของสารหนูที่สะสมในร่างกายมากกว่าปกติ เนื่องจากพบว่าประชาชนเหล่านั้นดื่มน้ำและใช้น้ำจากบ่อน้ำผิวดิน ที่มีสารหนูปนเปื้อนสูงเป็นประจำ ซึ่งปัญหาการแพร่กระจายของสารหนูในแหล่งน้ำและดิน ที่อำเภอรัตนพิบูลย์ จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นปัญหาที่สะสมมากกว่า 30 ปี ตั้งแต่ปี พ.ศ 2530 ถึงปัจจุบัน เนื่องจากพื้นที่ดังกล่าวเคยเป็นเหมืองแร่ดีบุกมาก่อนและพื้นที่ผ่านการทำเหมืองแล้วจะถูกปล่อยให้ปล่อยให้ร้างทั่วไป ประชาชนก็

เข้าไปอยู่อาศัย บางแห่งก็ปล่อยให้เป็นบ่อ แอ่งรับน้ำ เพื่อใช้สอยของชาวบ้านต่อไป สารหนักก็จะปนอยู่ในน้ำทำให้ประชาชนมีโอกาสรับสารหนักได้โดยตรงจากการบริโภค และทางอ้อมคือการบริโภคพืชผักผลไม้ ที่ปลูกกินเองในพื้นที่ดังกล่าวที่มีปริมาณการสะสมของสารหนักในปริมาณที่สูงซึ่งทำให้สารหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในดินถูกพืชผักดูดดึง (Uptake) สารหนักเข้าไปส่วนต่าง ๆ ของพืช เมื่อมนุษย์กินพืชผักเหล่านี้เข้าไปจะทำให้สารหนักเข้าไปสะสมในร่างกายเพิ่มขึ้น

นอกจากพื้นที่การทำเหมืองแร่ดีบุกที่พบปัญหาการปนเปื้อนสารหนักในแหล่งน้ำและดินแล้ว ปัจจุบัน บริเวณเหมืองแร่ทองคำ ที่อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย จากรายงานของศูนย์วิจัย น้ำบาดาล ทำการตรวจวัดคุณภาพสิ่งแวดล้อมทั้งในและนอกบริเวณโครงการเหมืองแร่ทองคำ อำเภอวังสะพุง จังหวัดเลย พบการปนเปื้อนของโลหะหนักหลายชนิด โดยเฉพาะดินบริเวณโดยรอบโครงการเหมืองแร่ทองคำซึ่งส่วนใหญ่เป็นพื้นที่ทำการเกษตรพบว่าบางแห่งมีปริมาณสารหนักสูงเกินกว่าค่ามาตรฐานกำหนด คือ 3.9 มิลลิกรัม/กิโลกรัม ซึ่งมาตรฐานคุณภาพดินที่อยู่ในเขตที่อยู่อาศัยและเกษตรกรรม (มิ่งขวัญ รังสรรค์ สมบัติ, 2555) จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการพบสารหนักในสิ่งแวดล้อมปริมาณสูงนี้อาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชีวิตความเป็นอยู่ของประชาชนที่อยู่บริเวณโดยรอบเนื่องจากสารหนักนั้นมีพิษที่รุนแรงหากได้รับสารหนักติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้ผิวหนังหนาขึ้น มีรอยดำดำที่ผิวหนังและก่อให้เกิดมะเร็งผิวหนังได้

กระบวนการดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (Adsorption) เป็นความสามารถของสารบางชนิดในการดึงโมเลกุลหรือคอลลอยด์ซึ่งอยู่ในสถานะของเหลวหรือก๊าซให้มาเกาะจับหรือดูดติดอยู่บนผิวของของแข็ง การดูดซับหรือการดูดติดผิวนี้นี้จะเป็นการเคลื่อนย้ายสาร (Mass transfer) ระหว่างสถานะต่าง ๆ ทั้ง 3 สถานะ คือของเหลว ก๊าซ และของแข็ง ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว-ของเหลว ก๊าซ-ของเหลว ก๊าซ-ของแข็งและของเหลว-ของแข็ง

กลไกการดูดซับที่เกิดขึ้นในระหว่างการดูดซับ ประกอบด้วย 3 ขั้นตอนดังนี้ :

ขั้นตอนที่ 1 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลของตัวถูกดูดซับ เข้าหาตัวดูดซับ

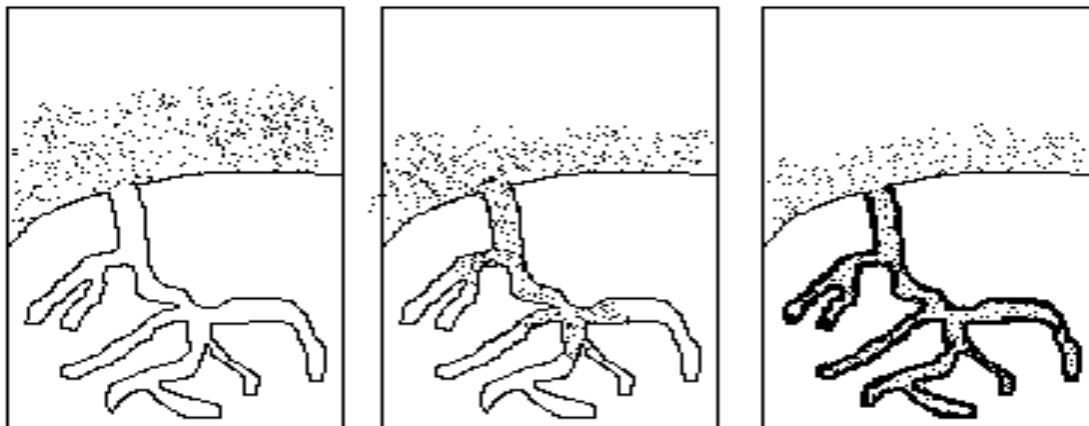
ขั้นตอนที่ 2 โมเลกุลของตัวถูกดูดซับ จะเกิดการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มของน้ำ (Film diffusion) ซึ่งตามปกติตัวดูดซับจะมีฟิล์มของน้ำบาง ๆ ห่อหุ้มอยู่โดยรอบคล้ายเยื่อบาง ๆ และเกิดการแพร่เข้าสู่โพรงหรือช่องว่างภายในของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 เกิดการดูดซับระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับกับพื้นผิวภายในโพรงหรือช่องว่างภายในของตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 1: ตัวถูกดูดซับ
แพร่ผ่านพื้นผิวตัวดูดซับ

ขั้นตอนที่ 2 : ตัวถูกดูดซับ
เคลื่อนที่เข้าสู่รูพรุนของตัว
ดูดซับ

ขั้นตอนที่ 3 : เกิดการดูด
ซับของตัวดูดซับบน
พื้นผิวของตัวดูดซับ



ภาพที่ 2.2 กลไกการดูดซับ

ที่มา: Mckey (1996)

ประเภทของการดูดซับ

แบ่งประเภทการดูดซับเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (Noll et al., 1992)

1) การดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) เกิดจากแรงดึงดูดอย่างอ่อนระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตัวดูดซับ โดยตัวที่ถูกดูดซับและตัวดูดซับจะไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางเคมีใด ๆ การดูดซับแบบนี้สามารถผันกลับได้ (Reversible) การดูดซับทางกายภาพบางที่เรียกว่า การดูดซับด้วยแรงแวลเดอร์วาล (Van der waal's adsorption)

2) การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption) จะเกี่ยวข้องกับพันธะทางเคมีระหว่างโมเลกุลของตัวถูกดูดซับและตำแหน่งดูดซับ (Adsorption site) ที่ผิวของตัวดูดซับ การดูดซับทางเคมีบางครั้งจะต้องการพลังงานเข้าร่วมด้วยเรียกว่า การดูดซับด้วยการกระตุ้น (Activated adsorption) พันธะที่เกิดขึ้นแข็งแรงกว่าการดูดซับทางกายภาพ ตำแหน่งที่เกิดการดูดซับทางเคมีจะเกิดขึ้นที่ผิวหน้าของตัวดูดซับในลักษณะชั้นเดียว (Monolayer) ซึ่งต่างจากการดูดซับทางกายภาพที่การดูดซับเกิดในลักษณะหลายชั้น (Multilayer) และพบว่า ค่า H ส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 40 to 1,000 kJmol⁻¹

3) การดูดซับด้วยประจุ (Ionic adsorption) เป็นการดูดซับระหว่างตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่พื้นผิวด้วยแรงของประจุที่ตรงข้ามกัน (Electrical attraction) ทำให้ไอออนของตัวถูกดูดซับติดอยู่ที่

พื้นผิวตัวดูดซับในตำแหน่งที่มีประจุตรงข้ามกัน ไอออนที่มีประจุสูงจะถูกดูดติดได้ดีกว่าพวกที่มีประจุที่ต่ำ ๆ และไอออนที่มีขนาดเล็ก

สมดุลของการดูดซับ (Adsorption equilibrium)

กระบวนการดูดซับจะเกิดขึ้นไปเรื่อย ๆ โดยที่สารที่ถูกดูดซับจะถูกดูดซับและคายการดูดซับไปพร้อม ๆ กัน จนกว่าอัตราการดูดซับและการคายการดูดซับจะเท่ากัน ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะสมดุล เรียกว่า สมดุลของการดูดซับ

ไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) เป็นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับกับความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เหลืออยู่ที่สมดุลการดูดซับ ณ อุณหภูมิคงที่หนึ่งๆ เมื่อนำเอาความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับที่เหลืออยู่ที่สมดุลการดูดซับไปพล็อตกราฟกับปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับ จะได้เส้นโค้งแนวโน้มที่เกิดจากการลากผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเรียกว่า ไอโซเทอมของการดูดซับ

รูปแบบของไอโซเทอมของการดูดซับมีหลายสมการด้วยกัน ซึ่งแล้วแต่ว่าจะนำเอาสมการแบบไหนมาอธิบายเกี่ยวกับสมดุลของการดูดซับ แต่ที่นิยมนำมาใช้ในการอธิบายการดูดซับมาก คือ สมการไอโซเทอมการดูดซับของแลงเมอว์ (Langmuir's adsorption isotherm) และไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนด์ลิคซ์ (Freundlich's adsorption isotherm)

1. สมการไอโซเทอมของการดูดซับของแลงเมอว์

สมการของแลงเมอว์ถูกอธิบายโดย Irving Langmuir โดยสมมติฐานของสมการแลงเมอว์ คือ (Agrafioti et al., 2014)

- 1) ที่ทุก ๆ ตำแหน่งผิวสัมผัส สามารถดูดซับโมเลกุลได้
- 2) การดูดซับจะเกิดบนพื้นผิวที่มีพื้นที่ในการดูดซับที่แน่นอนและพื้นที่นั้น ๆ สามารถดูดซับโมเลกุลได้เพียงชั้นเดียว เป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer)
- 3) จะไม่มีการเคลื่อนย้ายหรือเปลี่ยนตำแหน่งของไอออนหรือโมเลกุลที่ถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับ
- 4) พลังงานในการดูดซับจะเท่ากันในทุก ๆ พื้นที่ของการดูดซับและไม่มีการทำปฏิกิริยากันระหว่างโมเลกุลของตัวดูดซับที่อยู่ใกล้กัน

โดยสมการแลงเมอว์แสดงดังสมการที่ 1 (Agrafioti et al., 2014)

$$q_e = \frac{q_{max} b C_e}{(1 + b C_e)} \quad (1)$$

โดยที่ q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ)

q_{max} คือ ปริมาณสูงสุดของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของเหลวที่สภาวะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

b คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดซับ

ลักษณะของรูปไอโซเทอม สามารถบอกได้ว่าการดูดซับในการทดลองได้ผลดีหรือไม่ ซึ่งจะใช้การคำนวณจากค่าคงที่ของแลงเมอว์ไอโซเทอม โดยจะแสดงให้อยู่ในรูปค่าคงที่ของการแยกตัว (R_L , Separation factor) ซึ่งจะหาได้จากความสัมพันธ์ดังสมการที่ 2 และผลของค่า R_L ที่มีต่อการดูดซับได้แสดงไว้ในตารางที่ (Saha and Sarkar, 2012)

$$R_L = \frac{1}{(1 + b C_0)} \quad (2)$$

โดยที่ R_L คือ คงที่ของการแยกตัว (separation factor)

b คือ สัมประสิทธิ์ของการดูดซับ

C_0 คือ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลาย (มิลลิกรัมต่อลิตร)

ตารางที่ 2.1 ผลของค่าคงที่การแยกตัว (Separation factor) จากลักษณะของรูปไอโซเทอม

ค่าคงที่การแยกตัว (R_L)	ลักษณะไอโซเทอม
$R_L > 1$	การดูดซับไม่ดี
$R_L = 1$	การดูดซับคงที่
$0 < R_L < 1$	การดูดซับดี
$R_L = 0$	ปฏิกิริยาย้อนกลับได้

2.สมการไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนดลิกซ์

ไอโซเทอมการดูดซับของฟรอนดลิกซ์ใช้กับกรณีการถ่ายเทพลังงานผ่านพื้นผิวแบบไม่เป็นชั้นเดียว (Heterogeneous) และเป็นการดูดซับบนพื้นผิวหลายชั้น (Multilayer) (Agrafioti et al., 2014) ซึ่งฟรอนดลิกซ์ได้เสนอความสัมพันธ์ว่าสมมูลของการดูดซับอธิบายโดยสมการที่ 3 (Agrafioti et al., 2014; Saha and Sarkar, 2012)

$$q_e = K_f C_e^{1/n} \quad (3)$$

โดยที่

q_e คือ ปริมาณของตัวถูกดูดซับที่สามารถถูกดูดซับ (Monolayer)

ต่อน้ำหนักของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ)

C_e คือ ความเข้มข้นของตัวถูกละลายในของเหลวที่สถานะสมดุล (มิลลิกรัมต่อลิตร)

K_f คือ ค่าคงที่ที่สัมพันธ์กับความสามารถในการดูดซับ (Sorption capacity)

$1/n$ คือ ค่าคงที่ที่แสดงถึงพลังงานที่เกิดจากปฏิกิริยา (Adsorption Intensity)

เมื่อเขียนสมการในรูปความสัมพันธ์เชิงเส้นจะได้สมการที่ 4 (Saha and Sarkar, 2012)

$$\log q_e = \log K_f + (1/n) \log C_e \quad (4)$$

ตามสมการของฟรอนดลิกซ์ สมการที่ 4 ค่าคงที่ต่าง ๆ (K_f และ n) คำนวณหาได้จากการสร้างกราฟระหว่าง $\log q_e$ เป็นแกน y กับ $\log C_e$ เป็นแกน x จะได้กราฟเส้นตรงมีค่าความชันเท่ากับ $1/n$ และจุดตัดแกน y เท่ากับ $\log K_f$ เมื่อ $1/n$ มีค่าเข้าใกล้ 1 หรือมีความชันมากจะแสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยก็จะมีผลต่ออัตราการดูดซับมาก คือเมื่อความเข้มข้นต่ำอัตราการดูดซับก็จะต่ำและจะเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น แต่เมื่อ $1/n \ll 1$ หรือความชันต่ำมากจนบางครั้งเกือบจะชิดกับแกน x นั้น แสดงว่าอัตราการดูดซับเมื่อความเข้มข้นต่ำหรือสูงจะไม่แตกต่างกันนักหรือการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นจะไม่มีผลต่ออัตราการดูดซับ อย่างไรก็ตามจากลักษณะไอโซเทอมของสมการฟรอนดลิกซ์จะสังเกตเห็นว่าการดูดซับจะเกิดขึ้นต่อไปเรื่อย ๆ トラบเท่าที่ความเข้มข้นของไอออนหรือโมเลกุลในสารละลายมีสูงขึ้น

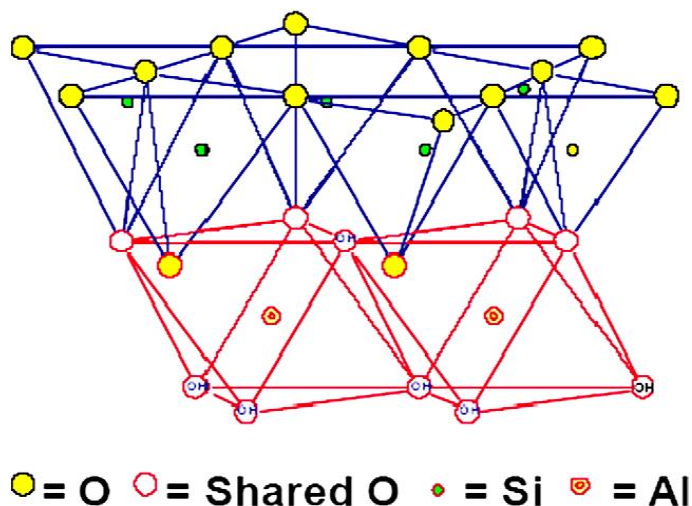
ดินขาว

ดินขาว (Kaolin) จัดเป็นแร่ชนิดหนึ่งในกลุ่มพวกแร่ดิน (Clay) เป็นกลุ่มแร่ที่มีโครงสร้างเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicates) ที่เป็นโครงสร้างของหินชนิดต่าง ๆ เช่น หินฟันม้า (Felspar) ไมกา (Mica) หินควอร์ต (Quartz) หินปูน (lime) มีสารอินทรีย์ (Organic matter) และออกไซด์ของโลหะต่าง ๆ โดยโครงสร้างอะลูมิเนียมซิลิเกตจะเป็นเป็นแผ่นและเป็นชั้นๆ โดยโครงสร้างย่อย 1 หน่วยจะประกอบด้วยชั้นของ Tetrahedral silica sheet และ Octahedral alumina sheet ส่วนดินขาว (Kaolin) ใน 1 หน่วย ประกอบด้วย ชั้นของ Tetrahedral silica sheet 1 ชั้น และ Octahedral alumina sheet 1 ชั้น หรือ layer type 1:1 (ดังภาพที่ 2.4) ดินขาวมีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไป คือ $(Si_4)^{IV}(Al_4)^{VI}O_{10}(OH)_8$ โดย ดินขาวมีธาตุที่เป็นองค์ประกอบหลัก ได้แก่ SiO_2 46.54 %, Al_2O_3 39.50 %, และ H_2O 13.96 % [13] นอกจากนี้ยังมีองค์ประกอบอื่น ๆ ด้วย เช่น Fe_2O_3 0.7 %, CaO 0.1 %, MgO ซึ่งดินขาวแต่ละแหล่งมีเปอร์เซ็นต์ขององค์ประกอบของธาตุแตกต่างกัน โดยดินขาวในจังหวัดระนองมี SiO_2 61.5 %, Al_2O_3 26.0 %, Fe_2O_3 0.7 %, CaO 0.1 %, MgO 0.8 % (Aung et al., 2015)

สำหรับประเทศไทยมีปริมาณดินขาวในปริมาณสูง โดยมีแหล่งผลิตหลายจังหวัดในประเทศไทย ได้แก่ เชียงราย ลำปาง อุตรดิตถ์ ปราจีนบุรี ระนอง ชุมพร และนราธิวาส ซึ่งปริมาณที่ผลิตได้ในปี 2555 ปริมาณ 131,131 ตัน (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2555) โดยปริมาณดินขาวที่ผลิตได้ดังกล่าว จะถูกนำมาเป็นวัตถุดิบเพื่อใช้ประโยชน์อย่างกว้างขวางในเชิงพาณิชย์ เช่น ในอุตสาหกรรมเซรามิก เครื่องปั้นดินเผา กระดาษ ยาง สี พลาสติก เครื่องสำอาง ฉนวนไฟฟ้า วัตถุทนไฟ และผลิตภัณฑ์ก่อสร้าง



ภาพที่ 2.3 ลักษณะของดินขาว (Kaolin)



ภาพที่ 2.4 โครงสร้างของดินขาว

ที่มา: Bhattacharyya and Gupta (2008)

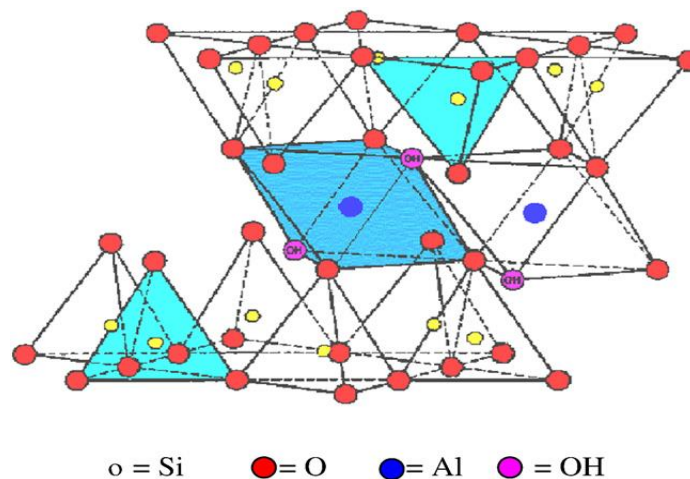
แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ (Montmorillonite clay)

แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์เป็นแร่ดินในกลุ่มสมεκไทต์ (Smectite) เป็นกลุ่มแร่ที่มีโครงสร้างเป็นอะลูมิเนียมซิลิเกต (Aluminosilicates) ชนิดเป็นแผ่นและเป็นชั้น ๆ โดยแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ 1 หน่วยประกอบด้วยชั้นของ Tetrahedral silica sheet 2 ชั้น และ ชั้นของ Octahedral alumina sheet 1 ชั้น หรือ Layer type 2:1 (ภาพที่ 2.6) แร่มอนต์มอริลโลไนต์มีสูตรโครงสร้างทางเคมีทั่วไปคือ $(\text{Si}_{7.8}\text{Al}_{0.2})^{\text{IV}}(\text{Al}_{3.4}\text{Mg}_{0.6})^{\text{VI}}\text{O}_{20}(\text{OH})_4$ โดยมีองค์ประกอบหลักของ SiO_2 66.7 %, Al_2O_3 28.3 %, และ H_2O 5% (Bhattacharyya and Gupta, 2008)

สำหรับประเทศไทยแหล่งที่พบได้ในจังหวัด จันทบุรี ปราจีนบุรี เลย อุตรดิตถ์ เชียงราย นครสวรรค์ ลพบุรี กำแพงเพชร สระบุรี ฉะเชิงเทรา และอุดรธานี แร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ดังกล่าวจะถูกนำมาใช้ประโยชน์หลายด้าน ได้แก่กระบวนการหล่อ งานก่อสร้าง การกำจัดสีในน้ำมันพืช การผลิตอาหารสัตว์อัดแข็ง อุตสาหกรรมผลิตยา และสารดูดความชื้น



ภาพที่ 2.5 ลักษณะของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์



ภาพที่ 2.6 โครงสร้างของแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์

ที่มา: Bhattacharyya and Gupta (2008)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Baskan และ Pala (2011) ศึกษาการกำจัดสารหนูในน้ำดื่มโดยใช้ซีโอไลต์ (Zeolite) ที่ปรับสภาพด้วย NaCl และ FeCl₃ (0.1 และ 0.01 M) ผลการทดลองพบว่าสามารถดูดซับสารหนู (V) ได้ 9.2 (92%) และ 8.4 (84%) ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ ขณะที่ซีโอไลต์ไม่ปรับสภาพสามารถดูดซับสารหนูได้เพียง 1.5 ไมโครกรัมต่อกรัมตัวดูดซับ และผลการทดลองพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับสารหนู เท่ากับ 60 นาที จลศาสตร์ (Kinetic) การดูดซับเป็นแบบ Pseudo second order rate equation

นอกจากนี้ผลการศึกษายังพบว่าไม่เพียงแต่ปริมาณการดูดซับสารหนูขึ้นกับ ความเข้มข้นของ FeCl_3 ในการปรับสภาพบนตัวดูดซับยังขึ้นกับความเข้มข้นของ As (V) ด้วย

Saha และ Sarkar (2012) ศึกษาการใช้นาโนอลูมินา (Nano alumina) ที่ตรึงด้วยไคโตซานที่ กราฟต์ด้วย Polyacrylamide ในการดูดซับสารหนู (V) ที่ปนเปื้อนในน้ำดื่ม ผลการทดลองพบว่า ตัวดูดซับสามารถดูดซับสารหนูในน้ำได้ 6.56 มิลลิกรัม/กรัม และพบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ เท่ากับ 7.2 และเวลาที่เหมาะสมเท่ากับ 6 ชั่วโมง และเมื่อพิจารณาผลของไอโซเทอมของการดูดซับ (Adsorption isotherm) พบว่าสอดคล้องกับสมการของฟรุนด์ลิช (Freundlich isotherm) และจากการศึกษา D-R isotherm และ FTIR พบว่ามีกลไกการดูดซับทางเคมี และเมื่อนำตัวดูดซับไปฟื้นฟูสภาพ (Regeneration) ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ประสิทธิภาพยังสูงถึง 94% หลังจากฟื้นฟูสภาพ 5 รอบ (cycle)

Glocheux et al. (2013) ศึกษาการกำจัดสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำใต้ดินด้วยดินแดง (Laterite) ที่ปรับสภาพด้วยกรด ซึ่งผลการทดลองพบว่า ความจุของการดูดซับสูงสุดของ As (III) และ As (V) เมื่อใช้ ดินแดงที่ปรับสภาพด้วยกรดเป็นตัวดูดซับเท่ากับ 171.7 และ 923.6 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ ขณะที่การดูดซับ As (III) และ As (V) ด้วยดินแดงไม่ปรับสภาพมีค่าเท่ากับ 127.8 และ 301.2 ไมโครกรัม/กรัม ตามลำดับ และผลจลศาสตร์ (Kinetic) การดูดซับเป็นแบบ Pseudo second order rate equation และผลการทดลองพบว่า การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิว (Surface area) และการเกาะของ ซัลเฟต (Sulfate) บนพื้นที่ผิวของดินแดงจะเพิ่มการดูดซับของ As (III) และ As (V)

Agrafioti et al. (2014) ศึกษาการกำจัดสารหนูและโครเมียมในน้ำด้วยไบโอชาร์จากแกลบ จากกากตะกอนของน้ำเสีย (Sewage sludge) และ ของแข็งอินทรีย์ (Organic solid waste) พบว่า ประสิทธิภาพของไบโอชาร์ทั้งสามมีประสิทธิภาพการบำบัด Cr (III) สูงกว่า 95% และ พบว่าไบโอชาร์จาก กากตะกอนน้ำเสียนี้อาจมีประสิทธิภาพการบำบัด Cr (VI) ได้ร้อยละ 89% และมีประสิทธิภาพในการบำบัด สารหนู (V) ได้ร้อยละ 53% ซึ่งสูงกว่าไบโอชาร์จากแกลบและของแข็งอินทรีย์ อาจเนื่องจากในถ้ำของ กากตะกอนน้ำเสียนี้อาจมีปริมาณของเหล็ก (Fe_2O_3) เป็นองค์ประกอบอยู่สูงจึงสามารถดูดซับสารหนู (V) โดยการตกตะกอน (Precipitation) ได้เพิ่มขึ้น

Chammui et al. (2014) ศึกษาการกำจัดสารหนูในน้ำด้วยลีโอนาดิต (Leonadite) การ ทดลองจะเป็นอาร์เซไนต์ (As (III)) และ อาร์เซเนต (As (V)) โดยนำลีโอนาดิตมาเผาที่อุณหภูมิ 450 องศา เซลเซียส ก่อนนำไปดูดซับสารหนูในน้ำ ผลการทดลองพบว่าขนาดของตัวดูดซับ (Particle size) 75 ไมโครเมตรจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับ As (III) และ As (V) สูงสุด โดยประสิทธิภาพการดูดซับเกือบ

100 % และพบว่าระยะเวลาและพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับ As (III) และ As (V) เท่ากับ 3 ชั่วโมง และ พีเอช 7 และจากการศึกษาไอโซเทอมของการดูดซับสารหนูพบว่าสอดคล้องกับสมการแลงเมอว์ (Langmuir isotherm) และสมการของฟรุนดลิช (Freundlich isotherm) โดยค่าความจุสูงสุดของ As (III) และ As (V) ในการดูดซับตามสมการแลงเมอว์เท่ากับ 4.46 และ 8.40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตามลำดับ อีออนในน้ำมีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ As (III) และ As (V) โดยการดูดซับของ As (III) และ As (V) จะลดลงตามลำดับ $SO_4^{2-} > NO_3^- > Cl^-$

Hanssan et al. (2014) ศึกษาการดูดซับสารหนูในน้ำด้วยถ่านกัมมันต์ที่พัฒนามาจาก Apricot stone ที่กระตุ้นด้วย โพลีแซคคาไรด์ไฮดรอกไซด์ (C), Calcium alginate bead (G), Activated carbon ที่ตรึงด้วย Calcium alginate (GC) ผลการทดลองพบว่าขนาดของรูพรุน พื้นที่ผิว (Surface area) และปริมาตรรูพรุน (Total pore volume) ของ C > GC > G และผลการทดลองพบว่าค่าการดูดซับ As (V) ด้วย GC มีค่าสูงสุดเท่ากับ 66.7 มิลลิกรัม/กรัม ที่ 30 องศาเซลเซียส ทั้งนี้เนื่องจาก Calcium alginate เป็นพวก Polysaccharide biopolymer จึงมีศักยภาพดูดซับโลหะหนักได้ดี อีกทั้งถ่านกัมมันต์ ก็มีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนสูง และผลการทดลองยังพบว่า G มีประสิทธิภาพการดูดซับ As (V) น้อยกว่า GC ทั้งนี้อาจเนื่องจากมีพื้นที่ผิวและปริมาตรรูพรุนน้อยกว่า และอย่างไรก็ตาม G มีประสิทธิภาพการดูดซับ As (V) มากกว่า C ทั้งนี้เนื่องจากพื้นที่ผิวจะมี Polysaccharide biopolymer อยู่ด้วย ดังนั้นจากทดลองจะเห็นว่าประสิทธิภาพการดูดซับ As (V) จะขึ้นกับลักษณะพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ เช่น ขนาดของรูพรุน พื้นที่ผิว (Surface area) และปริมาตรรูพรุน (Total pore volume) แล้วยังขึ้นกับโครงสร้างทางเคมีของตัวดูดซับด้วย

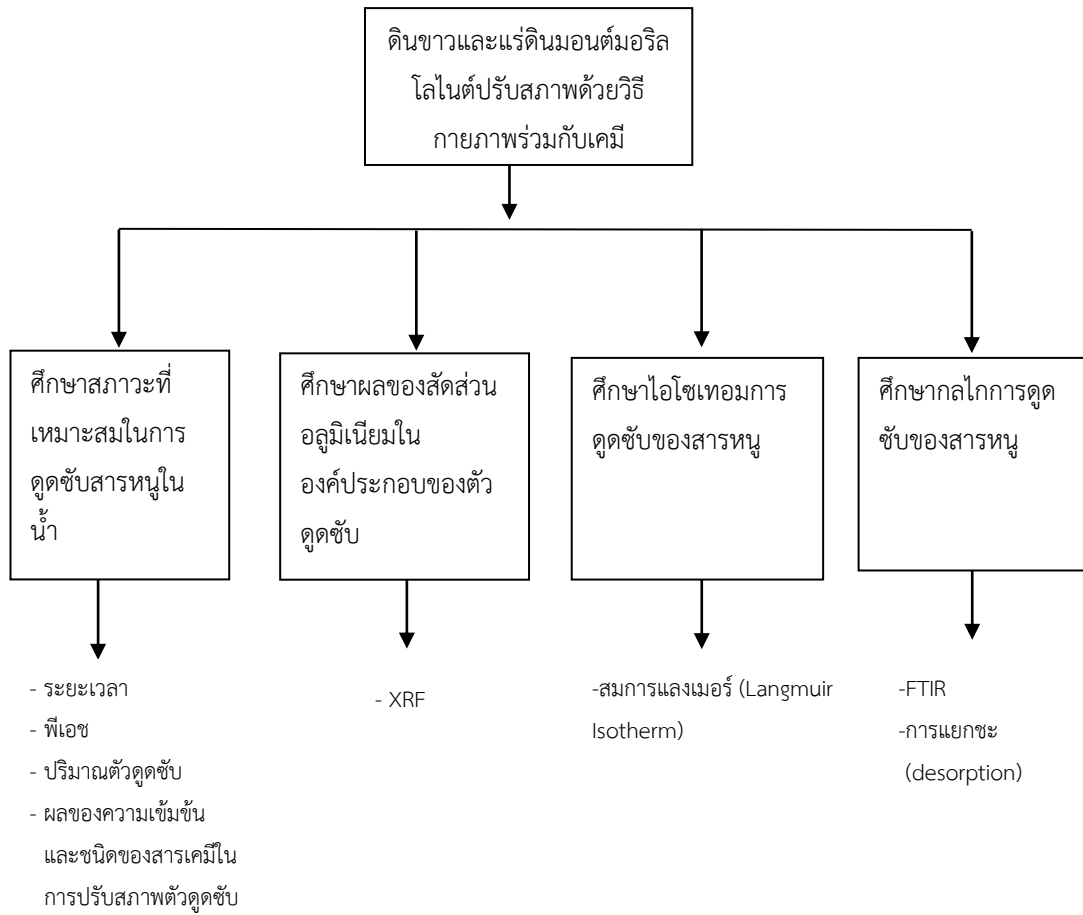
Ren et al. (2014) ศึกษาการดูดซับสารหนูด้วยดิน Montmorillonite ที่ผ่านการปรับสภาพด้วย Fe polycation และ Cetylammonium bromide (CTMAB) ผลการทดลองพบว่าเมื่อปรับสภาพของดิน Montmorillonite จะทำให้ CTMAB เข้าไปอยู่ชั้นด้านในของดิน ขณะที่ Fe polycation อยู่บริเวณด้านนอกของผิวดิน Montmorillonite การทดลองพบว่าความจุของการดูดซับเมื่อปรับสภาพเฉพาะ Fe polycation (สารอนินทรีย์) จะมีความจุของสารหนู (V) 15.15 mg/g ส่วนดิน Montmorillonite ที่ปรับสภาพทั้ง Fe polycation และ CTMAB (สารอนินทรีย์และสารอินทรีย์) จะมีความจุของสารหนู (V) 8.85 mg/g และ ค่าความจุการดูดซับสารหนู (III) มีค่าเท่ากับ 16.13 และ 13.89 mg/g เมื่อดิน Montmorillonite ปรับสภาพด้วย Fe polycation และ ปรับสภาพทั้ง Fe polycation และ Cetylammonium bromide อัตราการกำจัดสารหนู (V) สูงมากกว่าร้อยละ 99 เมื่อ พีเอชอยู่ในช่วง 2-10 และผลการทดลองยังพบว่ากลไกการดูดซับหลักเป็นการดูดซับด้วยแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic interaction)

Jin et al. (2014) ได้ศึกษาการกำจัดสารหนูในน้ำด้วยไบโอชาร์ที่ปรับสภาพด้วยโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) ที่ผลิตจากกากตะกอนน้ำเสียชุมชน โดยปรับสภาพด้วย 0.2 M KOH ผลการทดลองพบว่า เมื่อใช้ไบโอชาร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ ค่าความจุการดูดซับสารหนู (V) ตามสมการแลงเมอรัมีค่าเพียง 24.49 mg/g ขณะที่ เมื่อใช้ไบโอชาร์ผ่านการปรับสภาพด้วย โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ จะทำให้ค่าความจุของการดูดซับเพิ่มขึ้น เป็น 30.98 mg/g ซึ่งมากกว่า 1.3 เท่าของการใช้ไบโอชาร์ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ

Yazdani et al. (2016) ศึกษาการใช้หินฟันม้า (Feldspars) ในการกำจัดสารหนูในน้ำ การทดลองตัวดูดซับ 3 ตัว ได้แก่ ใช้หินฟันม้า 2 ตัวอย่าง (sample A และ B) และ แร่ Quartz โดยการทดลองพบว่า พบว่าหินฟันม้าตัวอย่าง B ที่มีประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูได้สูงสุด ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณอลูมิเนียมเป็นองค์ประกอบสูงสุด โดยสัดส่วนของ Si:Al ของหินฟันม้า B, หินฟันม้า A และแร่ quartz เท่ากับ 2.7, 3.33 และ 0.56 ตามลำดับ นอกจากนี้การทดลองยังพบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าพีเอชลดลงและเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูเพิ่มขึ้นและพบว่าจากการศึกษาไอโซเทอมการดูดซับสารหนูในน้ำด้วยหินฟันม้าการดูดซับสอดคล้องกับสมการของฟรอนด์ลิช (Freundlich isotherm)

กรอบแนวคิดการวิจัย

การปนเปื้อนสารหนูในน้ำใต้ดินและน้ำผิวดิน ตลอดจนน้ำประปาเป็นปัญหาของหลายๆ ประเทศในโลกรวมถึงประเทศไทยด้วยเมื่อมนุษย์มีการใช้น้ำเพื่ออุปโภคหรือบริโภคจะเกิดอันตรายต่อสุขภาพร่างกายของมนุษย์ และเห็นว่าการใช้วิธีการดูดซับ (Adsorption) สารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ เป็นวิธีที่ประหยัด การดำเนินการง่าย อีกทั้งมีประสิทธิภาพสูง ดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์มีจำนวนมากในประเทศไทยและราคาถูก จากการศึกษาที่ผ่านมาของนักวิจัยหลายท่านพบว่า การปรับสภาพของตัวดูดซับด้วยวิธีทางกายภาพและเคมีจะทำให้ประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำสูงขึ้น (Baskan and Pala, 2011; Yazdani et al., 2016) ดังนั้นการวิจัยนี้จึงสนใจจะปรับสภาพดินขาวและแร่ดินมอนต์มอริลโลไนต์ด้วยวิธีกายภาพร่วมกับวิธีทางเคมีมาใช้บำบัดสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำ ซึ่งวิธีทางกายภาพใช้วิธีบด ส่วนวิธีทางเคมีจะใช้การปรับสภาพด้วยกรด ได้แก่ กรดซัลฟูริก และ กรดไฮโดรคลอริก และ ปรับสภาพด้วยด่าง ได้แก่ แคลเซียมคลอไรด์ และ โพแทสเซียมไฮดรอกไซด์โดยกรอบแนวคิดการวิจัยแสดงดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 กรอบแนวคิดของการวิจัย