

บทที่ 2

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลักระจูดโดยใช้สารดูดซับจากธรรมชาติ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำเสนอตามหัวข้อตามลำดับต่อไปนี้

1. กระจูด
2. การข้อมลักระจูด
3. สีย้อม
4. น้ำเสียจากการฟอกย้อม
5. ตะกั่ว
6. การดูดซับ
7. สมการการดูดซับ
8. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
9. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโตรมิเตอร์
10. ตาลโตนด
11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1. กระจูด

กระจูดเป็นพืชตระกูลเดียวกับกก (Sedge) ชนิดหนึ่งในวงศ์ Cyperaceae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Lepironia articulata* เป็นวัชพืชที่เจริญเติบโตง่าย แพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว ลำต้นของกระจูดมีลักษณะกลม ตรง กลวง มีข้อปล้องภายในคล้ายลำไผ่ มีเหง้าใต้ดิน ขึ้นเป็นกอใหญ่ ลำต้นกลมตรง โด่เท่าขนาดก้านไม้ขีดไฟถึงเท่าแท่งดินสอดำ สูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นสีเขียวอ่อน ออกดอกเป็นกระจูดแน่นหนึ่งกระจูดข้างลำต้น โกลัยอดคล้ายดอกกระเทียม ลำต้นหุ้มด้วยกาบ (ศักดิ์อนันต์ ปรลาทอง 2550) พื้นที่ชุมชนทะเลน้อย อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง เป็นชุมชนหนึ่งที่พื้นที่เป็นทุ่งลุ่มหรือป่าพรุ มีกระจูดจำนวนมาก ประชาชนในพื้นที่ประกอบอาชีพการทำผลิตภัณฑ์จากกระจูด ซึ่งเป็นสินค้าอย่างหนึ่งที่ปรากฏอยู่ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) โดยการนำกระจูดดังกล่าวมาจักสานเป็น เสื่อ หมวก กระเป๋า พัด ฯลฯ ได้มีศึกษารูปแบบลวดลายที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ทั้งการ

ศึกษาหาแนวทางเพื่อส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์กระจุสามารถแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ในท้องตลาด ซึ่งสามารถส่งทั้งภายในและภายนอกประเทศ และสามารถหาแนวทางในการอนุรักษ์และส่งเสริม หัตถกรรมพื้นบ้านของไทยให้เป็นที่นิยมสืบไป

ในส่วนของน้ำเสียจากการย้อมสีกระจุคนั้นชาวบ้านไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดใดๆ น้ำเสียจากกระบวนการย้อมจะไหลสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำในพื้นที่ใกล้กับจุดย้อมนั้นๆ ซึ่งเมื่อมีการ ชีมิซบหรือฝนตกชะล้างน้ำทิ้งเหล่านั้นจะไหลลงสู่ลำคลอง บึง ต่างๆ จะไหลลงสู่ทะเลน้อยในที่สุด อีกทั้งชุมชนทะเลน้อยเป็นชุมชนที่สภาพบ้านยกพื้นมีได้ถูกเป็นส่วนใหญ่ ด้านล่างจะมีน้ำขัง เป็นที่ลุ่ม เชื่อมต่อไปยังแหล่งน้ำต่างๆ ส่งผลกระทบให้มีโลหะปนเปื้อนสู่แหล่งน้ำ และห่วงโซ่อาหารต่อไป ได้ และพบว่าจากรายงานการสำรวจน้ำเบื้องต้นพบว่าในทะเลน้อยมีธาตุจำพวกโลหะหนักอยู่เป็น จำนวนมาก ถึงแม้ว่าผลการตรวจยังไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพตามกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบาย น้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม น้ำทิ้งจากโรงงาน อุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม 2539 และลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ตามประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 (ภาคผนวก ค) หาก ไม่มีการป้องกันแก้ไขแล้วในอนาคตข้างหน้า จะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมแน่นอน

2. การย้อมสีกระจุ

ปัจจุบันผู้ผลิตหรือผู้ประกอบการอาชีพผลิตภัณฑ์หัตถกรรมจากกระจุได้พัฒนาและปรับปรุง ผลิตภัณฑ์ในรูปแบบต่างๆ ให้มีประโยชน์ใช้สอยได้มากขึ้น ตลอดจนมีลวดลายสีสันทนหลายหลากสี ทั้งนี้ เพื่อความสวยงาม และน่าใช้ จึงมีการนำกระจุไปย้อมสี สีที่นิยมย้อมกันมาก ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน สีส้ม สีบานเย็น สีม่วง ฯลฯ

ประเภทสีย้อมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการย้อมสีกระจุ คือ สีเบสิค (Basic Dyestuff) เนื่องจากการดูดซับเป็นไปได้ง่าย และรวดเร็วมากเป็นพิเศษประกอบกับเป็นประเภทสีย้อมที่มีราคา ปานกลาง หาซื้อได้ง่าย ลักษณะเด่นพิเศษของสีย้อมประเภทนี้ คือ มีความสดใสและความเข้มของ สีเด่นชัดมาก ความคงทนต่อแสงแดดค่อนข้างดี แต่มีข้อเสียตรงที่มีความคงทนต่อการซักฟอกและ การขัดถูค่อนข้างต่ำ (<http://www.phatlung.com/product/kajud.php>)

2.1 การย้อมสีกระจุจ จำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

2.1.1 การย้อมสีกระจุจที่ผ่านกรรมวิธีฟอกขาวแล้ว

2.1.2 การย้อมสีกระจุจดิบ และกระจุจที่ผ่านกรรมวิธีฟอกสีด้วยแสงแดด การสานเสื่อกระจุจโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะใช้วิธีการย้อมสีกระจุจในลักษณะที่ 2 เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด ส่วนการย้อมสีกระจุจในลักษณะที่ 1 ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากใช้ต้นทุนในการผลิตสูงมาก กรรมวิธียุ่งยาก และเป็นสารเคมีที่มีพิษสูง

2.2 ขั้นตอนในการย้อมสีกระจุจดิบและกระจุจที่ผ่านกรรมวิธีฟอกสี มีดังนี้ (สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอควนขนุน 2553)

2.2.1 ทำการรีดลำกระจุจให้แบนราบ โดยใช้เครื่องบดระบบชุดลูกกลิ้ง หรือจะใช้วิธีการแบบพื้นบ้าน เช่น การตำด้วยสากไม้ หรือการเหยียบฟ่อนกระจุจตลอดแนวด้วยเท้า ฯลฯ เพื่อบดทำลายข้อปล้องภายในลำกระจุจ เพื่อสะดวกแก่การขดงอลำกระจุจลงในภาชนะรูปแบบต่างๆ

2.2.2 ทำการลอกกาบที่บริเวณโคนลำกระจุจออกให้หมด ทำการแบ่งแยกกระจุจออกเป็นกลุ่มๆ ละประมาณ 300 – 600 กรัมตามที่ต้องการ แล้วทำการมัดปลายหรือโคนต้น ด้านใดด้านหนึ่งด้วยยางให้แน่น แล้วมัดซ้ำอีกชั้นหนึ่งด้วยเชือกฟาง เพื่อสะดวกในการขนถ่ายระหว่างกรรมวิธีผลิต

2.2.3 นำมัดกระจุจไปทำการซักล้างน้ำเย็นสัก 1 – 2 ครั้ง เพื่อล้างคราบดินโคลน และสิ่งสกปรกบางส่วนออกไป จากนั้นนำไปแขวนทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ

2.2.4 นำมัดกระจุจไปต้มในน้ำเดือดประมาณ 15 – 20 นาที เพื่อชะล้างคราบดินโคลนที่เหลือ (หากยังมีคราบดินโคลนหลงเหลืออยู่ จะไปปรากฏเป็นคราบสีขาวเด่นชัดที่ผิวกระจุจหลังการย้อมสี) การทำให้สุกจะเป็นผลให้กระจุจเกิดความอ่อนตัว ย้อมสีติดได้ง่าย และสม่ำเสมอกว่าปกติ จากนั้นนำไปแขวนทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ

2.2.5 นำมัดกระจุจไปซักล้างด้วยน้ำเย็น เพื่อล้างคราบดินโคลน และสิ่งสกปรกที่เหลือ อันจะเป็นอุปสรรคต่อการย้อมสี จากนั้นแขวนให้สะเด็ดน้ำ (ลำดับนี้เคยได้มีการทดลองนำมัดกระจุจที่ผ่านการต้มน้ำเดือดเรียบร้อยแล้ว นำไปแช่น้ำทิ้งไว้ค้างคืน น้ำจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แสดงว่า ยังมีสีตามธรรมชาติ และสิ่งแปลกปลอมหลงเหลืออยู่ในลำกระจุจอีกมาก

2.2.6 ย้อมสีกระจุจ ทำการขูดโดยการมัดปลายหรือโคนต้น ด้านใดด้านหนึ่งให้แน่น เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายกระจุจระหว่างการย้อม ทำการเตรียมสีที่จะย้อม โดยนำน้ำในปั๊ประมาณ 7-10 ลิตร ต้มให้เดือด เทผงสีลงไปให้ละลาย จากนั้นนำกระจุจลงไปแช่เพื่อให้ดูดซับสี ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ด้วยการกดให้จมน้ำสีที่ใช้ย้อม ทิ้งให้กระจุจสะเด็ดน้ำสีแล้วล้างคราบสีด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง



ภาพที่ 2.1 การย้อมสีกระจุค

2.2.7 นำกระจุคไปแผ่เพื่อผึ่งแดดจัดๆ บนพื้นราบ ทิ้งไว้สัก 2-3 วัน โดยควรทำการกลับลำกระจุควันละ 1 ครั้ง เพื่อให้การฟอกสีเป็นไปโดยสม่ำเสมอทั่วถึงตลอดลำกระจุค ทั้งนี้ จะต้องทำการเก็บกระจุคเข้าที่ร่มทุกคืน การตากกระจุคทิ้งไว้ค้างคืนเป็นเวลาหลายวัน จะเกิดโรครา ทำให้กระจุคเสียหายได้

2.2.8 นำกระจุคที่ย้อมแล้วมารีดอีกครั้งจนแบนเรียบ พร้อมทั้งจะนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ น้ำเสียจากการย้อมกระจุคโดยการใช้สีในการย้อมกระจุค ของกลุ่มหัตถกรรมจักสานกระจุคชุมชนทะเลน้อยจะแบ่งรูปแบบของการย้อมสีกระจุคที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย เป็น 2 รูปแบบ คือ 1) รวมกลุ่มกันผลิต เป็นกลุ่มแม่บ้าน มีกระบวนการย้อมสี ณ จุดเดียว 2) การผลิตเองที่บ้านแล้วนำผลิตภัณฑ์มาส่งขายในกลุ่ม กระบวนการย้อมสีจึงเกิดแบบกระจายแต่ละบ้าน ซึ่งน้ำเสียจากการย้อมกระจุคในการย้อมแต่ละครั้งต่อ 1 สี ประมาณ 7-10 ลิตร ในการย้อมแต่ละครั้งจะย้อมหลายๆ สี ซึ่งจะเริ่มย้อมจากสีอ่อนไปสู่สีเข้ม โดยการใช้สีจากธรรมชาติมาผสมสีต่างๆ เพื่อให้ได้สีที่ต้องการ เช่น ใช้สีจากสีแดงสดที่ผ่านการย้อมมาแล้ว ผสมกับสีดำจะได้กระจุคสีม่วง ความถี่ในการย้อมขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาดในผลิตภัณฑ์ เฉลี่ยโดยประมาณ 7 วันต่อการย้อม 1 ครั้ง ซึ่งสีที่นิยมและใช้มากที่สุดในการย้อม ได้แก่ สีแดง (สัมภาษณ์อรุณวรรณ วิเชียรบุตร 2553) โดยน้ำเสียจากกระบวนการย้อมมีลักษณะที่สำคัญดังนี้ เช่น 1) ปริมาณสารอินทรีย์สูง ค่าบีโอดี และค่าซีโอดี ซึ่งสารอินทรีย์ที่ได้จากการย้อมโดยมีการใส่ สารส้อมหรือน้ำยาล้างจานหรือผงซักฟอก ขึ้นอยู่กับผู้ย้อมใส่ เพื่อให้เส้นกระจุคเป็นมันวาว 2) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูง 3) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง 4) มีโลหะหนักเจือปนสูง เช่น ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว (กรมควบคุมมลพิษ 2552)

3. สีย้อม

สีย้อม (Dye stuff) คือ สีชนิดหนึ่งที่ใช้ในการย้อมวัสดุสิ่งทอ สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ก็ได้ มีลักษณะเป็นผลึกหรือผงละเอียด ที่สร้างมาเพื่อดูดซึม หรือดูดซับแสงโดยการทำให้ยู่บน หรือในผิวหน้าของวัตถุ แล้วเกิดการแพร่แทรกซึมเข้าสู่ภายในโครงสร้างของวัตถุ เพื่อที่จะทำให้วัตถุนั้นมีสีขึ้นมา สีย้อมบางชนิดละลายน้ำได้ บางชนิดจะไม่สามารถละลายน้ำแต่จะละลายในตัวทำละลายอินทรีย์ได้ เมื่อนำสีย้อมไปใช้ในกระบวนการย้อมจะทำให้โมเลกุลของสีย้อมซึมผ่านเข้าไปในโมเลกุลของเส้นใย โดยจะทำลายโครงสร้างผลึกของวัตถุนั้นชั่วคราว ซึ่งอาจเกิดพันธะไอออนิก (Ionic bond) หรือพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) กับวัตถุที่ต้องการย้อมโดยตรง (<http://chartree.wordpress.com/2009/11/21>)

สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้น มีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400–700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ซึ่งสายตาสารสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาสารออกมาเป็นต่างกันไป ซึ่งความคงทนจะต่างกันออกไปตามแต่ละประเภท และการยิดเกาะของสีประเภทนั้นๆ ทั้งนี้สามารถแบ่งสีย้อมออกได้ดังนี้

3.1 การแบ่งสีย้อมตามลักษณะการเกิด

3.1.1 สีย้อมธรรมชาติ (Natural dyestuffs) เป็นสีย้อมที่มาจากแหล่งธรรมชาติ โดยเฉพาะพืชและสัตว์ สีย้อมที่มาจากส่วนประกอบพืช เช่น ส่วนลำต้น ส่วนดอก ส่วนที่เป็นเปลือก ส่วนที่เป็นใบ เป็นต้น ตัวอย่างเช่น สีดำจากลูกมะเกลือ สีนํ้าเงินจาก ต้นคราม สีเหลืองจากเนื้อไม้ไผ่ สีแดงจากดอกกระดังงา สีแดงจากรากต้นเข็ม ส่วนสีย้อมที่มาจากสัตว์ เช่น สีม่วงแดงของครั่ง สีม่วงจากหอยสังข์หนาม เป็นต้น

3.1.2 สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic dyestuffs) เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ซึ่งจะจำแนกทางโครงสร้างทางเคมี จำเป็นต้องมีพื้นฐานทางเคมีที่ดีเพราะ โครงสร้างก่อนข้างยุ่งยากมากอาจเกิดความสับสนได้ และการจัดส่วนใหญ่จะจัดตามโครงสร้างหลักในโมเลกุลของสีย้อม เช่น สีเอโซ (Azo dyes) เป็นสีที่มีหมู่เอโซ ($-N=N-$) เป็นโครโมฟอร์ในโครงสร้าง สีสไตบิน (Stibene dyes) โครงสร้างทางเคมีจะมีกลุ่มสไตบิน ($C_6H_5-CH=CH-C_6H_5$) เป็นโครงสร้างที่สำคัญ ตัวอย่างสีย้อมสังเคราะห์ เช่น Direct dye, Reactive dye, Acid dye, Disperse dye, Basic dye, Vat dye, Sulphur dye เป็นต้น

3.2 การแบ่งสีย้อมตามลักษณะการใช้งาน

3.2.1 สีย้อมที่มีหมู่ฟังก์ชันแอนไอออนิก (Anionic functional group) ได้แก่ สีแอซิด (Acid dyes) สีเมทัลคอมเพล็กซ์ (Metal complex dyes) สีมอร์แดนต์ (Mordant dyes) สีไดเร็กต์ (Direct dyes) และสีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) โดยสีเหล่านี้เมื่อละลายน้ำจะมีประจุลบ

3.2.2 สีย้อมที่มีหมู่ฟังก์ชันแคตไอออนิก (Cationic functional group) ได้แก่ สีเบสิก (Basic dyes) เมื่อละลายน้ำให้โครงสร้างหลักที่มีประจุบวก

3.2.3 สีย้อมที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีก่อนจะนำมาย้อม ได้แก่ สีแวต (Vat dyes) สีซัลเฟอร์ (Sulfur dyes) และสีเอโซอิก (Azoic) ในสถานะที่ไม่ละลายน้ำ

3.2.4 สีย้อมที่ย้อมด้วยวิธีเฉพาะและพวกรงควัตถุ ได้แก่ สีดีสเพอร์ส (Disperse dyes) โซลเวนท์ (Solvent) สีธรรมชาติ และฟักเเมนต์

3.3 การแบ่งสีย้อมตามการนำไปใช้

การจำแนกสีย้อมที่นิยมกันมากที่สุด เพราะจะต้องมีความคงทนต่อการซัก มีความคงทนต่อแสงและยังต้องมีความคงทนต่อความร้อน โดยที่สีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อม ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญอย่างมากในการย้อมสี เพราะวัตถุที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมด้วยสีย้อมเพียงชนิดเดียวหรือย้อมด้วยสีย้อมหลายชนิดที่ต่างชนิดกันได้ ซึ่งในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีใช้ออกเป็น 11 ประเภท

3.3.1 สีแอซิด (Acid dye) สีย้อมชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กรดไกลในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอสสิกบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ไชนแกะ ไหม วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอสสิกไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

3.3.2 สีไดเร็กต์ (Direct dye) หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีย้อมชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบ เอโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ สีตกง่าย ทนแสง

3.3.3 สีเบสิก (Basic or cationic dye) สีย้อมชนิดนี้เป็นเกลือของเบสอินทรีย์ (organic base) ให้ประจุลบ ละลายน้ำได้ นิยมใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ไนลอนและโพลีเอคริลิกได้ดี ในขณะที่ย้อมโมเลกุลของสีส่วนที่มีประจุลบจะยึดจับกับโมเลกุลของเส้นใย เป็นสีที่ติดทน ไม่ควรใช้ย้อมเส้นใยธรรมชาติเพราะจะไม่ทนการซักและแสงแดด

3.3.4 สีดิสเพอร์ส (Disperse dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิ และความดันสูง เป็นสีที่ทนแสงแดดและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊ส ไนตรัสออกไซด์ สีดิสเพอร์ส แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อม เอโซ (azo dyes) และสีย้อมแอมมิโน แอนทราควิโนน (amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วย อนุพันธ์ของเอทานอลามีน (ethanolamine; $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

3.3.5 สีรีแอกทีฟ (Reactive dye) เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมี สมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับ หมู่ไฮดรอกไซด์ (OH^-) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอกทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุก สภาวะ

3.3.6 สีเอโซอิก (Azoic dye) สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูป เป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัว เป็นสี (coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโพเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีเอโซอิกใช้ย้อมเส้นใย ได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีเอโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขัดถู

3.3.7 สีแว็ต (Vat dye) เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียม น้ำย้อมให้ สีแว็ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว็ตจะถูก รีดิวส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์ เป็นสีแว็ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (indigoid) และสี แอนทราควิโนอยด์ (anthraquinoid)

3.3.8 สีมอร์แดนต์ (Mordant dye) สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วย เพื่อให้ เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช้ คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดีบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจาก สีมอร์แดนต์หลายโมเลกุลจับกับโลหะ แล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ซึ่งใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลิเอไมด์ได้ดี

3.3.9 สีอินกรน เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีย้อมชนิดนี้ใช้สำหรับย้อมผ้า

3.3.10 สีออกซิเดชัน (Oxidation dye) เป็นสีที่มีละลายน้ำโดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำโดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับย้อมฝ้ายและขนสัตว์

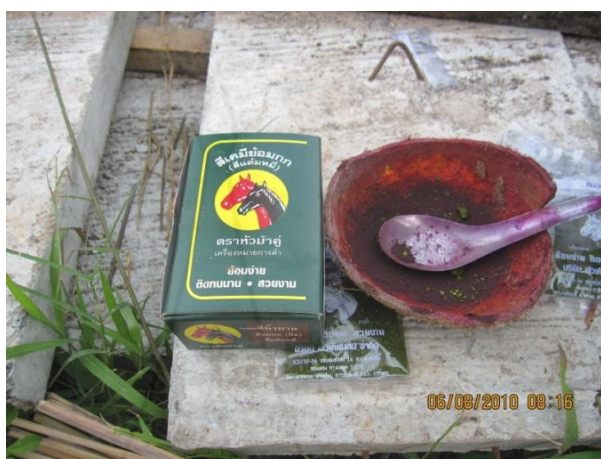
3.3.11 สีซัลเฟอร์ (Sulfur dye) เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สีเพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก (http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php)

3.4 สีที่นิยมใช้ย้อมกระจุค

สีเบสิก เป็นสีที่นิยมใช้ในการย้อมกระจุคในพื้นที่ชุ่มชื้นทะเลน้อย ซึ่งสีเบสิกหรือบางครั้งเรียกว่า สีแคทไอออนิก (Cationic dyes) ทั้งนี้เพราะเวลาสีอยู่ในน้ำสีจะแสดงประจุบวกบนโครงสร้างโมเลกุลของสี และใช้ส่วนประจุบวกนี้ให้เกิดพันธะกับเส้นใยที่แสดงประจุลบเป็นพันธะไอออนิก เริ่มแรกสีเบสิก ถูกใช้เพื่อย้อมเส้นใยไหมและขนแกะ ต่อมาใช้ย้อมเส้นใยอะคริลิกเป็นหลัก ปัจจุบันสามารถใช้ย้อมเส้นใย โพลีเอสเตอร์ชนิด cationic dyeable polyester ที่ถูกดัดแปลงโครงสร้างให้มีหมู่ประจุลบบนสายโซ่พอลิเมอร์ของพอลิเอสเตอร์ การย้อมด้วยสีเบสิกจะให้เฉดสีที่สดใสมาก สีมักมีความคงทนต่อแสงต่ำ แต่ปัจจุบันได้ปรับปรุงให้มีความคงทนต่อแสงได้มากขึ้น น้ำที่ได้ในการย้อมไม่ควรมีภาวะเป็นด่างเพราะทำให้สีตกตะกอนได้ สีเบสิกมีพลังยึดเหนี่ยวกับเส้นใยอะคริลิกมาก สีถูกดูดซึมและยึดติดกับสายโซ่พอลิเมอร์ของเส้นใยได้เร็วมากจนทำให้การย้อมไม่สม่ำเสมอ จึงต้องมีการเติมสารหน่วงย้อม (Retarder) นิยมใช้สารหน่วงการย้อมที่มีหมู่แสดงประจุบวกและมีขนาดโมเลกุลเล็กกว่าโมเลกุลของสีย้อม เพื่อช่วยชะลออัตราเร็วในการแพร่ของสี เข้าสู่เส้นใย และในการยึดติดของสีกับสายโซ่พอลิเมอร์ของเส้นใย การย้อมใยอะคริลิกด้วยสีเบสิกและมีสารหน่วงการย้อมอยู่ด้วย เมื่อสีแพร่เข้าสู่เส้นใยมากถึงระดับหนึ่งความสมดุลทางไดนามิกส์ของการย้อมทำให้โมเลกุลของสารหน่วงขนาดเล็ก ที่ยึดติดกับสายพอลิเมอร์แบบชั่วคราวหลุดออกจากสายโซ่ และโมเลกุลสีย้อมมีขนาดใหญ่กว่าจะเข้ามายึดเกาะกับสายแทนโซ่ ปรากฏการณ์นี้ทำให้สามารถย้อมใยอะคริลิกได้สีเข้มสม่ำเสมอทั่วทุกที่ (<http://itt.cru.in.th>)

3.5 การเลือกซื้อตัวย้อมกระจุตแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

3.5.1 **ตัวย้อมชนิดซอง** ผู้ประกอบการนิยมใช้สีชนิดซอง ดังแสดงในภาพที่ 2.2 โดยสีชนิดซองขายซองละ 10 บาท (น้ำหนักสุทธิ 5 กรัมต่อซอง)



ภาพที่ 2.2 สีย้อมชนิดซอง

3.5.2 **ตัวย้อมชนิดแบ่งขาย** สีที่แบ่งขายเป็นกิโลกรัมมีชื่อทางการค้าเดียวกัน แต่คุณภาพความสดของสีน้อยกว่าสีชนิดซอง ดังแสดงในภาพภาพที่ 2.3 และราคาถูกกว่า เนื่องจากมีน้ำหนักต่อถุงมากกว่า ซึ่งนิยมใช้สำหรับผู้ที่ต้องการย้อมปริมาณมาก



ภาพที่ 2.3 สีย้อมชนิดแบ่งขาย

ซึ่งสีทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถหาซื้อได้ตามร้านขายของชำในพื้นที่ที่มีการทำผลิตภัณฑ์กระจุค โดยวางขายร่วมกับสินค้าอื่นๆ ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่าสีข้อมก (สีแถมหมี่ไหม) ตราหัวม้า

การเลือกสีในการย้อม ผู้ประกอบการจะย้อมตามความต้องการของลูกค้า ซึ่งจะมีพ่อค้าคนกลางแจ้งความต้องการ จึงยากที่จะสามารถประมาณอัตราการใช้สีในแต่ละเดือนได้ สีที่ใช้ปัจจุบันจำแนกเป็นกลุ่มสี 7 กลุ่ม 14 สีดังนี้

1. กลุ่มสีแดง ประกอบด้วย สีแดงสด สีแดงแก่ สีชมพู
2. กลุ่มสีเหลือง ประกอบด้วย สีเหลืองเข้ม สีเหลืองอ่อน สีโอลโรส
3. กลุ่มสีเขียว ประกอบด้วย สีเขียวสด สีเขียวแก่ สีเขียวอ่อน
4. กลุ่มสีน้ำเงิน ประกอบด้วย สีน้ำเงิน สีฟ้า
5. สีม่วง
6. สีดำ
7. สีน้ำตาล

3.6 โลหะหนักเจือปนในน้ำเสียจากการย้อมสีกระจุค ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม สังกะสี และแคดเมียม (กรมควบคุมมลพิษ 2552) ซึ่งโลหะหนักล้วนเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมและมนุษย์โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.6.1 ปัจจัยที่มีผลต่อความเป็นพิษของโลหะหนัก (สุริลา ตูลยะเสถียร และคณะ 2544)

1) ปริมาณและเวลาที่ได้รับ หากได้รับในปริมาณสูงเป็นระยะเวลานาน ความเป็นพิษก็จะมากขึ้น ความเป็นพิษจะต่างกัน เช่น การได้กินแคดเมียมครั้งเดียวในปริมาณมาก จะมีผลต่อระบบทางเดินอาหาร แต่หากได้รับแคดเมียมปริมาณน้อยต่อเนื่องกันเป็นระยะเวลานาน ก็จะมีผลเสียต่อไต

2) รูปแบบทางเคมี ตัวอย่างที่เด่นชัดคือปรอท หากอยู่ในลักษณะสารประกอบอินทรีย์ เช่น $HgCl_2$ จะเป็นพิษต่อไต แต่ถ้าอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ เช่น เมทิลเมคิวรี (Methyl mercury) หรือเอทิล เมคิวรี (Ethyl mercury) จะเป็นพิษต่อระบบประสาท การอยู่ลักษณะเป็นสารอินทรีย์จะทำให้ละลายได้ดีในไขมันจึงสามารถผ่านเข้าสมองง่ายเช่นเดียวกับ สารประกอบของตะกั่ว (Tetraethyllead) จะเข้าไปในปอดทุกหมู่ประสาท ทำให้เป็นพิษต่อปลายประสาทได้ง่าย โลหะอินทรีย์จะถูกขับออกทางน้ำดี ส่วนโลหะอนินทรีย์จะถูกขับออกทางไต

3) สารประกอบเชิงซ้อนโลหะและโปรตีน การที่โลหะถูกจับอยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อนกับโปรตีน จะเป็นกลไกของร่างกายเพื่อป้องกันความเป็นพิษของโลหะได้ เช่น ตะกั่ว โปรท เซเลเนียม จะจับกับโปรตีนอยู่ในเซลล์เป็นรูปร่างสามารถมองเห็นได้โดยการใช้อัลตราจุลทรรศน์ เหล็กสามารถจับกับโปรตีนได้สารที่เรียกว่า เฟอร์ริติน (Ferritin) ซึ่งละลายได้ในน้ำ หรือเกิดเป็นฮีโมไลเดอร์ิน (Hemosiderin) ซึ่งละลายในน้ำไม่ได้ สะสมที่ตับ ทำให้ตับทำงานผิดปกติ แคลเซียม สังกะสี และโลหะอื่นๆ สามารถจับกับโปรตีนซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลไม่มาก ชื่อ เมทัลโลไทโอนีน (Metallothionein) แคลเซียมเมื่อจับกับโปรตีนจะมีความเป็นพิษน้อยลง

4) ปัจจัยเกี่ยวกับผู้ได้รับโลหะหนัก โดยทั่วไป สัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีความไวต่อความเป็นพิษของโลหะมากกว่าสัตว์ที่มีอายุมากกว่า ในเด็กจะพบว่ามีความไวต่อตะกั่ว เนื่องจากเมื่อติดน้ำหนักร่างกายแล้ว เด็กจะรับประทานอาหารมากกว่าและอาหารเป็นแหล่งปนเปื้อนตะกั่วที่สำคัญ การขาดโปรตีน วิตามินซี และวิตามินดี จะเพิ่มความเป็นพิษต่อตะกั่วและแคลเซียม โลหะบางชนิด เช่น ตะกั่วและปรอท สามารถซึมผ่านรกได้จึงมีผลต่อตัวอ่อนในครรภ์ พบว่า ทารกที่ได้รับโลหะตอนอยู่ในครรภ์มารดาจะมีผลเสียมากกว่ามารดาที่ตั้งครรภ์

3.6.2 ความเป็นพิษของโลหะที่พบบ่อย (พิมล เรียงวัฒนา และชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ 2539)

1) การเกิดมะเร็ง โลหะหนักหลายชนิดได้ถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มสารที่ทำให้เกิดมะเร็งในคนได้ เช่น สารหนู อนุพันธ์ของสารหนู แคลเซียม สารประกอบโครเมียมบางชนิด และนิเกิล เป็นต้น

2) ผลต่อระบบภูมิคุ้มกัน การได้รับโลหะบางชนิดอาจมีผลต่อการทำงานของภูมิคุ้มกัน เช่น ปรอทและตะกั่ว เป็นต้น โลหะบางชนิดจะทำให้เกิดความไวของปฏิกิริยาตอบสนองของภูมิคุ้มกัน

3) ผลต่อระบบประสาท ระบบประสาทมักเป็นอวัยวะเป้าหมายของโลหะ โลหะชนิดเดียวกันคุณสมบัติทางเคมีฟิสิกส์ซึ่งต่างกัน ขึ้นกับโลหะนั้นจะอยู่ในรูปแบบใด จะพบว่าความเป็นพิษก็จะต่างกัน เช่น สารประกอบปรอทอนินทรีย์จะเข้าระบบประสาทได้ยากในปริมาณเพียงพอที่จะเกิดพิษ ดังนั้นอวัยวะเป้าหมายจึงไม่ใช่ระบบประสาท สารประกอบตะกั่วอนินทรีย์ จะมีผลต่อการสังเคราะห์ แต่หากได้รับปริมาณมากๆ ก็จะเข้าสมองได้โดยเฉพาะเด็กแรกเกิด มีผลให้ระดับสติปัญญาต่ำกว่าเด็กที่ไม่ได้รับสารเหล่านี้

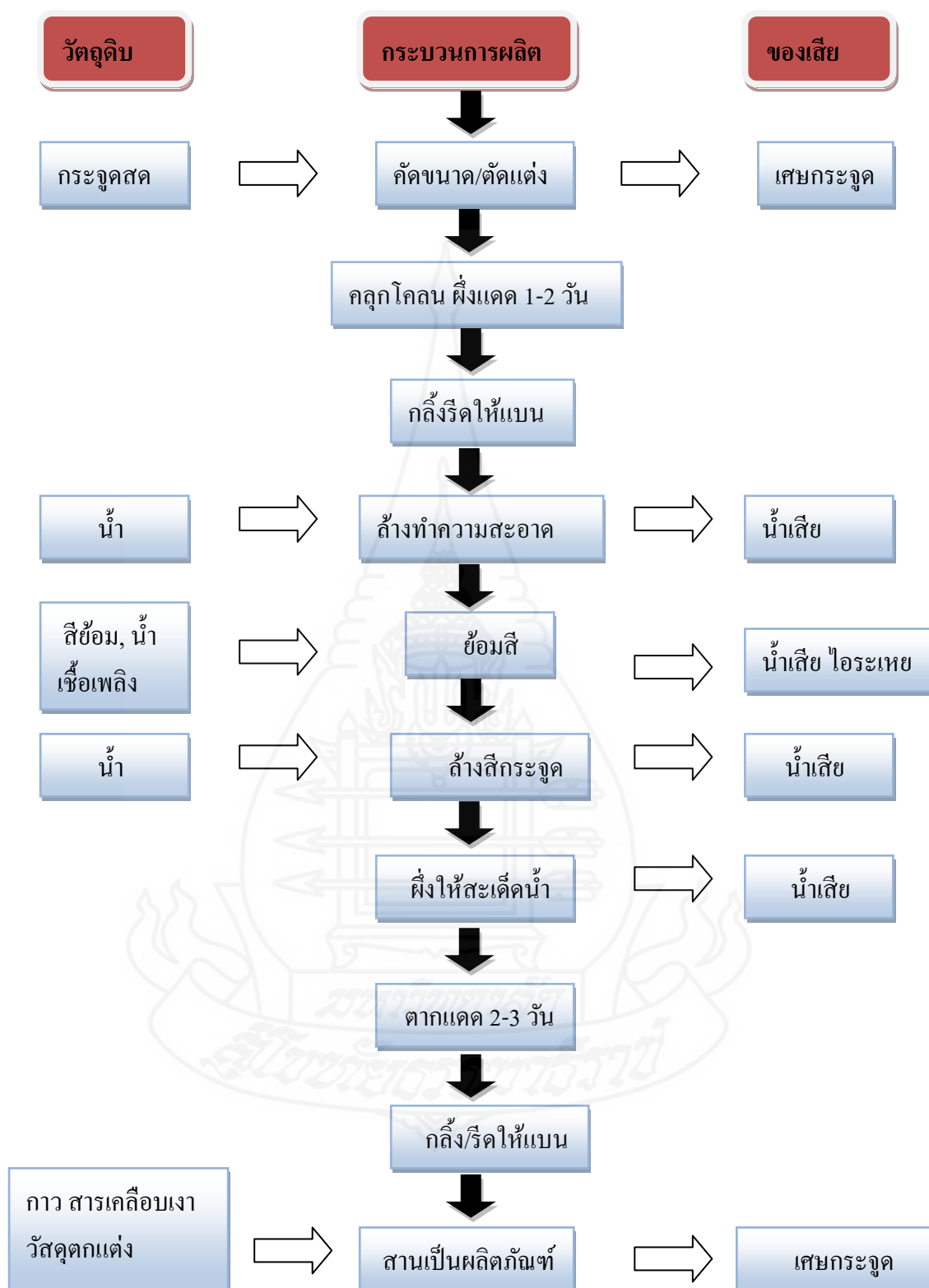
4) ผลต่อไต ไตเป็นอวัยวะสำคัญในการขับของเสียออกจากร่างกาย ดังนั้นไตจึงเป็นอวัยวะเป้าหมายอย่างหนึ่งของโลหะ แคลเซียมจะทำลายเซลล์บุท่อไตส่วนต้น ทำให้การทำงานของไตผิดปกติ โดยจะทำให้กรดอะมิโน โปรตีน โมเลกุลขนาดเล็กและน้ำตาลออกมาพร้อมกับปัสสาวะ

สารประกอบปรอทอนินทรีย์ ตะกั่ว โครเมียม และพลาคินัม ก็สามารถทำอันตรายเกิดความเสียหายแก่เซลล์บุท่อไตส่วนต้นเช่นกัน

5) ผลต่อระบบหายใจ ส่วนใหญ่เกิดจากการได้รับโลหะเมื่อสัมผัสหรือได้รับขณะประกอบอาชีพ โลหะอาจทำให้เกิดการระคายเคืองและอักเสบของระบบทางเดินหายใจ ในแต่ละส่วนต่างกัน เช่น การได้รับโครเมียมโดยการหายใจอย่างเฉียบพลัน ทำให้เกิดระคายเคืองของเยื่อจมูก ขณะที่สารหนูมีผลต่อหลอดลม การได้รับโลหะเช่น เหล็กและอะลูมิเนียม เป็นเวลานาน ทำให้ปอดไม่ยืดหยุ่น เนื่องจากเกิดพังผืด โลหะบางชนิดทำให้เกิดมะเร็ง ได้แก่ สารหนู โครเมียม นิเกิล เป็นต้น

4. น้ำเสียจากการฟอกย้อม

น้ำทิ้งที่เกิดจากการฟอกย้อมสีกระดาษ ของกลุ่มอาชีพและวิสาหกิจชุมชนที่ทำผลิตภัณฑ์จากกระดาษเป็นจำนวนมาก ได้ถูกปล่อยทิ้งสู่ธรรมชาติ โดยมีกระบวนการผลิตและน้ำเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์กระดาษ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 ซึ่งสิ่งเจือปนในน้ำทิ้งเนื่องจากการย้อมสีกระดาษ ส่วนใหญ่จะเป็นสีย้อมและสารเคมี ซึ่งเป็นส่วนที่เหลือตกค้างอยู่ในน้ำ ที่ใช้ในกระบวนการย้อมสี จะถูกปล่อยลงแหล่งน้ำทิ้งสู่ธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัด มีผลกระทบต่อสภาพสิ่งแวดล้อมและระดับน้ำใต้ดินของชุมชน ทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศต่างๆ มากมาย บางพื้นที่ไม่สามารถใช้น้ำจากบ่อน้ำตื้นในชุมชนได้ (กรมควบคุมมลพิษ 2552)



ภาพที่ 2.4 กระบวนการผลิตและน้ำเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์กระเบื้อง

4.1 น้ำเสียที่เกิดจากการทำผลิตภัณฑ์กระจุค ประกอบด้วยน้ำเสีย 3 ประเภท

4.1.1 น้ำเสียจากการล้างกระจุค เกิดจากการล้างกระจุคก่อนและหลังการย้อม จะมีปริมาณเฉลี่ย 20-30 ลิตร ในการล้างในแต่ละครั้ง และเกิดขึ้นพร้อมกับการย้อมกระจุค โดยจะต้องทำการย้อมครบโคลนออกจากกระจุคให้สะอาดก่อนนำไปย้อม และหลังจากการย้อมสีจะต้องใช้น้ำล้างกระจุคเพื่อล้างคราบสีส่วนเกินออกเพื่อให้ในการย้อมมีความสม่ำเสมอ โดยมีลักษณะน้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดหลังย้อมสีกระจุค ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ลักษณะน้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดหลังการย้อมสีกระจุค

4.1.2 น้ำเสียจากการย้อมสีกระจุค คือ น้ำสีที่เหลือจากการย้อม ส่วนใหญ่มีปริมาณ 1-5 ลิตร ต่อครั้ง ปริมาณน้ำเสียจากการย้อมจะสัมพันธ์กับความถี่ในการย้อม

สำหรับการจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้นผู้ประกอบการเกือบทั้งหมดจะเททิ้งลงโดยตรง เพื่อปล่อยให้ไหลซึมผ่านสู่ใต้ดิน และยังมีน้ำเสียจากการปล่อยให้กระจุคสะเด็ดน้ำอีกด้วย มีเพียงไม่กี่ครัวเรือนที่ไม่เหลือน้ำเสียจากการย้อมเนื่องจากใช้น้ำย้อมจนเหลือน้อยที่สุด แล้วปล่อยให้แห้งติดภาชนะ

4.1.3 น้ำเสียจากการล้างภาชนะสำหรับย้อม คือ น้ำที่ใช้ล้างคราบที่เหลือจากการย้อม โดยมีปริมาณ 1-5 ลิตรต่อการล้างแต่ละครั้ง

4.2 ลักษณะทั่วไปของน้ำเสียจากกระบวนการฟอกย้อม (อารยา ประดับวงศ์ 2549)

4.2.1 มีปริมาณสารอินทรีย์สูง ซึ่งมีสาเหตุจาก สีย้อมสังเคราะห์ กรดอะซิดิก เส้นใยธรรมชาติออกมาจากกระบวนการย้อม นอกจากนี้แล้วยังอาจเกิดจากสารช่วยย้อม เช่น สบู่ผงซักฟอก สารส้ม โดยทั่วไปแล้วน้ำเสียนี้นักมีค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) และค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand, COD) ค่อนข้างสูง

4.2.2 มีค่าความเป็นกรดและด่าง (pH) และค่าสภาพด่าง(alkalinity) สูง โดยมีค่าประมาณ 9-12 และมีค่าสภาพความเป็นด่างประมาณ 300-900 มิลลิกรัมหินปูน/ลิตร สารที่ทำให้ น้ำเสียฟอกย้อมมีค่า pH และค่าสภาพด่างสูง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งมีการใช้ในขั้นตอนการจัดตั้งสกรูเจือปน (Scouring)

4.2.3 มีอุณหภูมิสูง โดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในขั้นตอนที่มีการใช้ความร้อน เช่น ขั้นตอนการจัดตั้งสกรูเจือปน ขั้นตอนการย้อม

4.2.4 มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง ส่วนใหญ่เป็นการละลายของแข็งพวกเกลือ โซเดียมและกรดต่างๆ

4.2.5 มีความขุ่นสูง เนื่องจากการย้อมสีของเส้นใย เส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นจึงมีสีย้อมหลงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อม และจะถูกปล่อยออกมา กับน้ำเสีย ปริมาณของสีย้อมจะแตกต่างกันไปตั้งแต่ร้อยละ 5-50 ขึ้นอยู่กับประเภทของสีย้อมที่ใช้

4.2.6 มีโลหะหนักเจือปน โลหะเจือปนอยู่ในสีย้อม ได้แก่ ทองแดง ตะกั่ว โครเมียม และสังกะสี

4.2.7 มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง โดยเฉพาะเศษเส้นใยที่หลุดออกมา ซึ่งเศษเส้นใยนี้หากมีปริมาณมาก

4.2.8 มีการปนเปื้อนของสารเคมี ซึ่งมีอยู่หลายประเภทตามชนิดที่เลือกใช้ ส่วนใหญ่จะมีหลงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง ซึ่งจะถูกปล่อยปนออกมาในน้ำเสีย

4.3 ผลกระทบของน้ำเสียจากการฟอกย้อมต่อสิ่งแวดล้อม

4.3.1 สารอินทรีย์ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำลดลง ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาแอนแอโรบิก (Anaerobic) และไม่ทำให้สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นทำประโยชน์ได้ สารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตมีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในกรณีที่ได้รับสารโดยตรงจากการบริโภคสัตว์น้ำ นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้ยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศหากสารนั้นเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก

4.3.2 ค่าความเป็นด่าง น้ำเสียมีค่าพีเอชสูงเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยตรงแล้วจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง ช่วงพีเอช 6-9

4.3.3 อุณหภูมิที่สูง จะมีผลทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

4.3.4 ปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด อาจทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคที่ร้ายแรงได้และน้ำไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

4.3.5 สี ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีของแหล่งน้ำและ ทำให้ปริมาณแสงที่จะส่องผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง ส่งผลให้พืชน้ำไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

4.3.6 โลหะหนัก ทำให้เกิดโรคที่ร้ายแรงในสัตว์น้ำและยังสะสมอยู่ในระบบนิเวศ ทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ รวมทั้งมนุษย์ด้วย

4.3.7 สารแขวนลอย จะเพิ่มสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำสามารถตกตะกอนทำให้แหล่งน้ำตื้นเขินทำให้มีผลกระทบต่อระบบนิเวศและทำลายทัศนียภาพของแหล่งน้ำด้วย

5. ตะกั่ว (Lead : Pb)

สารตะกั่วเป็นโลหะหนักสีน้ำเงิน มีคุณสมบัติที่อ่อนตัวสามารถดัดเป็นรูปร่างต่างๆได้ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้มากมาย แต่เนื่องจากตะกั่วมีอันตราย จึงมีการพยายามที่จะลดการใช้สารตะกั่วลงที่เห็นได้ชัดคือ สีทาบ้านและน้ำมัน แต่อย่างไรก็ตามยังพบว่ายังมีวัสดุที่มีสารตะกั่วเป็นส่วนประกอบอีกมากมาย เช่น เครื่องปั้นดินเผา แบตเตอรี่ หมึก สี ตัวเชื่อม ท่อน้ำ สารตะกั่วสามารถอยู่ในอากาศ น้ำ ดิน (สุริยา ตูลยะเสถียร และคณะฯ 2544)

ปริมาณของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมเพิ่มขึ้น เนื่องจากการกระทำจากมนุษย์ โดยปกติปริมาณตะกั่วในดินอยู่ระหว่าง 5-25 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ในน้ำใต้ดินมีปริมาณ 1-6 ไมโครกรัมต่อลิตร ซึ่งจะต่ำกว่าน้ำผิวดิน ส่วนในอากาศจะมีน้อยกว่า 1 ไมโครกรัมต่อตารางเมตร ในคนทั่วไปการปนเปื้อนมาจากอาหารที่รับประทานซึ่งจะมีปริมาณ 100-300 ไมโครกรัมต่อวัน (มธุรส รุจิรวัฒน์ และจุฑามาศ สัตยวิวัฒน์ 2549) และหากในแหล่งน้ำมีสารตะกั่วเจือปนจะทำให้สิ่งมีชีวิตที่ถูกเจือปนเข้าสู่สิ่งมีชีวิต ในแหล่งน้ำที่ถูกเจือปนโดยตะกั่ว อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายของคนเรานั้น ส่วนใหญ่จะถูกสะสมไว้ในเนื้อเยื่อโครงสร้าง เช่น เส้นผมและกระดูก ทั้งนี้เป็นเพราะตะกั่วมีลักษณะคล้ายแคลเซียม

5.1 การดูดซึมตะกั่วเข้าสู่ร่างกาย ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ

5.1.1 การดูดซึมจากระบบทางเดินอาหาร แหล่งสำคัญ คือ การปนเปื้อนของตะกั่วในอาหาร น้ำ เครื่องดื่ม ภาชนะเครื่องใช้ที่มีตะกั่วปนเปื้อน พบว่าร้อยละ 70-85 ของตะกั่วที่เข้าสู่ร่างกายคนปกติได้จากอาหาร โดยเฉลี่ยผู้ใหญ่สามารถดูดซึมตะกั่วจากอาหารได้ประมาณร้อยละ 10 ของปริมาณตะกั่วในอาหารและเด็กสามารถดูดซึมได้มากถึงร้อยละ 40-50 ของปริมาณตะกั่วในอาหาร ตะกั่วที่เข้าไปกับอาหารจะดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดที่ลำไส้เล็กส่วนต้น จากลำไส้เล็กจะเข้าสู่ตับโดยผ่านทางเส้นเลือดดำใหญ่เข้าสู่กระแสเลือดการดูดซึมตะกั่วในทางเดินอาหาร ขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น อายุ และภาวะโภชนาการโดยในภาวะที่ท้องว่างหรือได้รับอาหารที่ขาดธาตุแคลเซียม เหล็ก และทองแดง หรือมีสารฟอสเฟตจะทำให้ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีขึ้น

5.1.2 การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจ การหายใจเอาควัน หรือฝุ่นของตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไป เช่น จากการหลอมตะกั่ว การพ่นทราย การเคส ซึ่งทำให้ตะกั่วกลายเป็นฝุ่นลอยไปในอากาศ ซึ่งเป็นทางเข้าสู่ร่างกายอันดับแรกของผู้ประกอบอาชีพที่สัมผัสตะกั่ว เช่น คนงานในโรงงานหลอมตะกั่ว แบตเตอรี่ โรงงานผลิตสี ฯลฯ ตะกั่วสามารถดูดซึมผ่านถุงลมปอดเข้าสู่กระแสเลือดได้ โดยการดูดซึมจะเร็วมาก แต่ถ้าหายใจเอาอนุภาคของตะกั่วที่มีขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอนเข้าไป

5.1.3 การดูดซึมทางผิวหนัง เกิดเฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้น ผู้ที่มีโอกาสได้รับตะกั่วทางผิวหนัง ได้แก่ คนงานที่ทำงานในปั้มน้ำมัน ช่างซ่อมเครื่องยนต์ เนื่องจากในอุตสาหกรรมน้ำมัน ตะกั่วจึงสามารถซึมผ่านผิวหนังและเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือดของร่างกายไปสู่ตับ และจะเปลี่ยนเป็นไตรเอทิลเลด (Triethyllead) ได้ดีมาก โดยมีค่าครึ่งชีวิตเท่ากับ 200-350 วัน ตะกั่วจึงสามารถสะสมอยู่ในร่างกายได้นาน

5.2 การสะสมของตะกั่วในร่างกาย

5.2.1 ในกระแสเลือด โดยทั่วไปร้อยละ 90 จะรวมตัวกับเม็ดเลือดแดง และส่วนที่เหลือจะอยู่ในน้ำเลือด ค่าครึ่งชีวิตของตะกั่วในเลือดประมาณ 2-4 สัปดาห์

5.2.2 ในเนื้อเยื่ออ่อน ที่สำคัญ คือ ตับ และไตมีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 4 สัปดาห์

5.2.3 ในกระดูก โดยร้อยละ 90 ของตะกั่วที่สะสมอยู่ในร่างกายจะอยู่ในกระดูก ซึ่งอยู่ค่อนข้างมีเสถียรภาพ และมีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 16-20 ปี ยกเว้นในเด็ก ซึ่งประมาณร้อยละ 70 เท่านั้นที่สะสมอยู่ในกระดูก

5.3 พืชของตะกั่วต่อร่างกาย (มธุรส รุจิวัฒน์ และจุฑามาศ สัตยวิวัฒน์ 2549)

5.3.1 พืชตะกั่วในผู้ใหญ่

1) *อาการทางระบบทางเดินอาหาร* พบได้บ่อยในผู้ใหญ่ โดยเริ่มจากมีอาการเบื่ออาหารคลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูก บางรายมีอาการท้องเสียอาการที่สำคัญคือ ปวดท้องอย่างรุนแรงมาก ที่เรียกว่า “โคลิค” เป็นเหตุให้ผู้ป่วยมาโรงพยาบาลผู้ป่วยอาจปวดท้องจนดิ้นตัวงอ อาการปวดท้องนี้อาจทำให้แพทย์วินิจฉัยโรคผิดว่าเป็นอาการปวดท้องเนื่องจากสาเหตุทางศัลยกรรมได้ เช่น ไส้ติ่งอักเสบนอกจากนี้การดื่มสุรา หรือภาวะเจ็บป่วยอื่นๆ จะเป็นตัวกระตุ้นทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของตะกั่วจากที่เก็บสะสมไว้ออกมาในเลือด ทำให้ผู้ป่วยมีอาการปวดท้องมากขึ้น

2) *อาการทางระบบประสาทส่วนปลาย* ผู้ป่วยจะมีอาการอ่อนแรงของกล้ามเนื้อแขนและขาบางครั้งมีอาการปวดตามกล้ามเนื้อ และข้อต่อต่างๆถ้าร่างกายได้รับตะกั่วปริมาณมากๆเป็นเวลานานอาจทำให้เกิดอัมพาตของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งมักจะเกิดกับกล้ามเนื้อกลุ่มที่ทำหน้าที่เหยียด เช่น กล้ามเนื้อที่ใช้เหยียดข้อมืออ่อนแรง ทำให้เกิดอาการที่เรียกว่า ข้อมือตก หรือข้อเท้าตก

3) *อาการทางสมอง* สำหรับผู้ใหญ่พบได้น้อย โดยมากเกิดจากตะกั่วอินทรีย์ เช่น คนงานในโรงงานอุตสาหกรรมกลั่นน้ำมัน มักมีอาการเริ่มต้นจากตื้นเต้น นอนไม่หลับ ผื่นร่าย อารมณ์ฉุนเฉียว ปฏิกริยาสะท้อนไวกว่าปกติ สติคุ้มค้ำคุ้มร้าย ในที่สุดอาจชัก หมดสติ และถึงแก่กรรมได้

4) *อาการทางโลหิต* ผู้ป่วยมักจะมีอาการซีดเลือดจาง อ่อนเพลีย นอกจากอาการดังกล่าวแล้วผู้ป่วยมักมีอาการปวดศีรษะ มึนงง ในรายที่เป็นเรื้อรัง พบว่ามีอาการตัวเหลืองตาเหลือง ได้ด้วย

5.3.2 พืชตะกั่วในเด็ก

1) *ระบบประสาท* โดยตะกั่วจะทำลายทั้งระบบประสาทส่วนกลาง และระบบประสาทส่วนปลาย ยิ่งอายุน้อยระบบประสาทยิ่งถูกทำลายมาก ดังนั้นในเด็กเล็กจึงเป็นอันตรายอย่างยิ่งนอกจากนี้ระดับตะกั่วในเลือด 35 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตรขึ้นไป อาจมีอาการผิดปกติทางจิตประสาทได้ด้วย

2) *ระบบทางเดินปัสสาวะ* ตะกั่วทำลายไตโดยตรง ทำให้เกิดการฝ่อลีบของบริเวณที่กรองปัสสาวะ

3) *ระบบเลือด* นอกจากจะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายแล้ว ตะกั่วยังขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินทำให้เกิดอาการซีด โลหิตจางได้

4) *พืชต่อหัวใจ* ทำให้เกิดกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ

5) ระบบทางเดินอาหาร ทำให้กล้ามเนื้อเรียบมีการเกร็ง เกิดอาการปวดท้องมาก

6) การเจริญเติบโต ระดับตะกั่วในเลือด ตั้งแต่ 25 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร ขึ้นไป มีผลกระทบ ทำให้การเจริญเติบโตไม่สมอายุ

5.4 อาการโรคพิษตะกั่ว

5.4.1 พิษตะกั่วเฉียบพลัน อาการสำคัญที่พบ คือ อาการของโรคเนื่อสมองเสื่อม เฉียบพลันมักเกิดเมื่อระดับตะกั่วในเลือดสูงเกิน 120 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตร และมักพบในเด็กอายุต่ำกว่า 3 ปี อาการอาจเริ่มด้วยชักและหมดสติ หรือมีอาการอื่นร่วม เช่น เบื่ออาหาร ชีด กระวนกระวาย ซึม เล่นน้อยลง กระสับกระส่าย เสียกิริยาประสานงาน อาเจียน มีอาการทักเยื่อสมอง โดยเฉพาะการพูด อาการจะมากขึ้นเรื่อยๆ ใน 3-6 สัปดาห์ จากนั้นจึงมีอาการของโรคสมองเสื่อมตามมาใน 2-5 วัน เริ่มด้วยอาการเดินเซ อาเจียนมาก ซึม หมดสติและชักที่ควบคุมลำบาก

5.4.2 พิษตะกั่วเรื้อรัง เกิดขึ้นเมื่อได้รับสารตะกั่วอนินทรีย์เข้าสู่ร่างกายเป็นประจำ ตลอดเวลาการทำงาน ผู้ป่วยจะมีอาการทั่วไปที่สังเกตได้ คือ ร่างกายอ่อนแอ ผิวซีด น้ำหนักลด อ่อนเพลีย เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียน ลิ้นมีรสโลหะ มีน้ำลายมาก จะเห็นเส้นตะกั่วสีน้ำเงินบริเวณเหงือก เหงือกบวม ปวดท้อง ท้องผูกสลับกับท้องเดิน กล้ามเนื้อเป็นตะคริว กระตุก ปวดตามข้อต่อ จะมีอาการอัมพาตซึ่งจะเริ่มตั้งแต่นิ้วกลางและลามไปนิ้วอื่นๆ จนถึงข้อมือ ทำให้ข้อมือห้อย ข้อเท้าห้อย ส่วนอาการทางสมอง ทำให้ผู้ป่วยปวดศีรษะ มึนงง เครียด กระวนกระวาย ง่วงเหงา ความคิดสับสน เพื่อ ความจำเสื่อม ไตวาย

5.5 การขับถ่ายตะกั่วออกจากร่างกาย

ร่างกายคนเราสามารถขับตะกั่วออกได้เต็มที่ประมาณ 2 มิลลิกรัมต่อวัน โดยขับออกทางปัสสาวะร้อยละ 75-80 โดยผ่านกระบวนการกรองของไตนอกจากนี้ถูกขับออกทางเหงื่อ น้ำดี น้ำนม และขับออกทางอุจจาระ ประมาณร้อยละ 15

5.6 การรักษาโรคพิษจากตะกั่ว

การรักษาโรคพิษทางตะกั่วทำได้โดยการให้สารเข้าไปจับกับตะกั่ว (Chelate) เช่น เกลือของแคลเซียมอีดีทีเอ (Ca-EDTA) ตะกั่วในร่างกายจะเปลี่ยนที่อยู่กับแคลเซียม และถูกขับออกมาพร้อมกับ EDTA โดยทางไต สำหรับวิธีนี้ใช้สำหรับกำจัดตะกั่วที่สะสมในกระดูกเป็นส่วนใหญ่

5.7 ปริมาณสารตะกั่วตามมาตรฐานต่างๆ

5.7.1 ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 วันที่ 3 มกราคม 2539 กำหนดให้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ต้องมีปริมาณสารตะกั่วได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาคผนวก ค)

5.7.2 ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงาน ต้องมีปริมาณสารตะกั่วได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาคผนวก ค)

5.7.3 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ปริมาณสารตะกั่วได้ไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาคผนวก ค)

5.7.4 ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ปริมาณสารตะกั่วได้ไม่เกิน 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร (ภาคผนวก ค)

6. การดูดซับ (Adsorption)

6.1 กระบวนการดูดซับ หรือกระบวนการดูดติดที่ผิว หมายถึง กระบวนการแยกมลสารซึ่งอาจอยู่ในรูปของโมเลกุลหรือคอลลอยด์ (ทั้งในสถานะของของเหลว และก๊าซ) ที่มีอยู่ในสารละลายหรือก๊าซ ให้เกาะอยู่บนผิวของของแข็ง ซึ่งจัดอยู่ในกระบวนการบำบัดทางกายภาพ-เคมี เพื่อให้สารละลายหรือก๊าซดังกล่าว มีความสะอาดมากขึ้นด้วยกลไกของกระบวนการที่เกี่ยวข้องในกระบวนการดูดซับ ประกอบไปด้วยสาระสำคัญ จำนวน 2 ชนิด คือ สารถูกดูดซับ (Adsorbate) และสารที่ใช้ในกระบวนการดูดซับ ซึ่งเรียกว่า สารดูดซับ (Adsorbent) ตัวอย่างของสารดูดซับ ได้แก่ สารประกอบคาร์บอน ซึ่งมีการใช้งานอยู่ 2 ชนิด คือ แบบผง (Powder Activated Carbon : PAC) และแบบเม็ด (Granular Activated Carbon : GAC) สารดูดซับชนิดนี้เรียกกันทั่วไปว่า ถ่านกัมมันต์ (Activated Carbon : AC)

6.1.1 การนำเอากระบวนการดูดซับไปใช้งาน มีการนำเอาไปใช้งานทางด้านสิ่งแวดล้อมมีอยู่ 2 ทาง

- 1) ด้านน้ำเสีย
- 2) ด้านน้ำประปา

มลสารที่ถูกดูดซับเอาไว้ที่ผิวของสารดูดซับ ได้แก่ กลิ่น เช่น กลิ่นของก๊าซแอมโมเนีย สี และมลสารที่อยู่ในกลุ่มของสารอินทรีย์ กำจัดฟีนอล และสารประกอบฟีนอล โลหะหนัก ยาฆ่าแมลง พืชผักฟอก เป็นต้น

6.2 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (Chemical adsorption)

6.2.1 การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิต (Electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย (เดชา นัตรศิริเวช 2552)

6.2.2 การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกละลายกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกละลายเดิม ซึ่งเป็นการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50–400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่า การกำจัดตัวถูกละลายออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือ ไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้ (Irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

6.3 ประเภทของตัวดูดซับ

ได้แบ่งประเภทของตัวดูดซับที่นำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียเป็น 3 ประเภท ได้แก่ (มันสิน คณกุลเวศม์ 2538)

6.3.1 สารอนินทรีย์ เช่น ดินเหนียวชนิดต่างๆ แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) ถ่านลอย ลิกไนต์ ถ่านกระดูก (Bone char) และถ่านกัมมันต์ซิลิกา (Activated silica) เป็นต้น ตัวดูดซับประเภทนี้จะมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 50-200 ตารางเมตร/กรัม มีข้อเสียคือสามารถจับโมเลกุลหรือคอลลอยด์ได้เพียงไม่กี่ชนิด การใช้ประโยชน์จึงมีจำกัด

6.3.2 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) เป็นตัวดูดซับที่ดีกว่าสารชนิดอื่นๆ เนื่องจากมีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 600-1,000 ตารางเมตร/กรัม และเมื่อนำมาใช้แล้วสามารถคืนสภาพ (Regenerate) และนำกลับมาใช้ใหม่ได้แต่มีข้อเสียคือ การคืนสภาพต้องทำการเผาไหม้ที่อุณหภูมิสูง ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายไม่คุ้มทุน และยังมีบางส่วนสูญเสียไปในกระบวนการนี้ และยังมีราคาแพง

6.3.3 สารอินทรีย์สังเคราะห์ที่มีประจุบนพื้นผิว สามารถดูดซับกับสารอื่นๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ ได้แก่ สารเรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดพิเศษที่สังเคราะห์ขึ้นมาเพื่อกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ เรียกว่า Macroporous Resin เช่น Styrene Divinylbenzene (SDVB) Phenol-Formaldehyde (PF) Resin เป็นต้น มีพื้นที่ผิวจำเพาะประมาณ 300-500 ตารางเมตร/กรัม ซึ่งต่ำกว่าถ่านกัมมันต์ แต่มีข้อดีคือสามารถคืนสภาพ (Regenerate) ได้ง่าย และสารที่นำมาเป็นรีเจนเนอเรนต์ (Regenerant) มักเป็นสารราคาถูก เช่น เกลือแกง

6.4 ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

ระหว่างที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับส่วนใหญ่จะจับภายในรูพรุนของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจากเฟสของไหลไปยังตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงจุดสมดุลแล้วจะหยุดการดูดซับที่จุดสมดุล ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับจะมีค่าเหลือน้อยมากในเฟสของของไหลเพราะส่วนมากจะเคลื่อนที่ไปจับอยู่กับตัวดูดซับหมดแล้ว ณ จุดสมดุลของการดูดซับของตัวดูดซับจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ ซึ่งใช้ในการกำหนดขีดความสามารถของระบบดูดซับเช่นทำให้รู้ว่าระบบดูดซับจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใด เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องกล่าวถึงคือ จลนศาสตร์ของระบบซึ่งอธิบายถึงอัตราเร็วของการดูดซับนั่นคือ เมื่อรู้ว่าการดูดซับจะสามารถเกิดขึ้นได้เท่าใดยังต้องรู้ว่าอัตราเร็วของการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ภายในเวลาเท่าใดเพื่อนำไปกำหนดเวลาสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับเฟสของของไหลที่มีตัวถูกดูดซับอยู่อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้ (มันลิน ตันทุลเวศม์ 2538)

6.4.1 ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านชั้นฟิล์ม (Film Diffusion) หรือขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านรูพรุน (Pore diffusion) ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าเฟสของไหลมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มของของไหลซึ่งล้อมรอบตัวดูดซับจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของตัวถูกดูดซับที่จะเข้าไปหาตัวดูดซับทำให้ การแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วของการดูดซับ ในทางตรงกันข้ามถ้าของไหลมีความปั่นป่วนสูงทำให้ของไหลไม่สามารถสะสมเกิดเป็นฟิล์มได้เป็นผลให้ตัวถูกดูดซับเคลื่อนที่ผ่านตัวดูดซับไปอย่างรวดเร็วจนไม่สามารถเข้าไปในรูพรุนของตัวดูดซับได้ ด้วยเหตุนี้อัตราเร็วในการดูดซับจึงขึ้นอยู่กับ การแพร่ผ่านรูพรุนเนื่องจากมีความปั่นป่วนสูง

6.4.2 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวดูดซับ คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับ คือ ขนาดของตัวดูดซับมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดซับตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

6.4.3 ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับ ภายในเฟสของของไหล เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น ตัวถูกดูดซับจะถูกแยกออกจากเฟสของของไหล และไปเกาะติดอยู่ที่ผิวของตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่สามารถละลายได้ในเฟสของของไหลได้ดีย่อมจะมีแรงยึดเหนี่ยวที่มาก จึงเป็นการยากที่ตัวถูกดูดซับจะมาเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับ แต่เกณฑ์นี้ไม่แน่นอนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับด้วย

6.4.4 ขนาดของตัวถูกดูดซับ ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีอิทธิพลคือ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อตัวถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนได้หรือมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โดยตัวถูกดูดซับขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในรูพรุนก่อนแล้วตัวถูกดูดซับขนาดใหญ่กว่าจึงจะถูกดูดเข้าไปบ้าง

6.4.5 ค่าพีเอช เนื่องจากพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายในน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับในระบบที่มีการละลายในน้ำด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ด้วย

6.4.6 อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามอุณหภูมิที่ลดลง แต่ขีดความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูง

6.5 สมดุลการดูดซับ

การดูดซับเกิดขึ้นบนผิวของตัวดูดซับ สารดูดซับที่อยู่ในวัฏจักรของไหล ซึ่งมีสถานะเป็นก๊าซหรือของเหลวสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ และจะถ่ายโอนไปยังวัฏจักรดูดซับ ณ สถานะที่ควบคุมไว้ เช่น อุณหภูมิคงที่ เมื่ออัตราการถ่ายโอนสารถูกดูดซับจากวัฏจักรของไหลไปยังวัฏจักรดูดซับเท่ากับอัตราการถ่ายโอนสารดูดซับจากวัฏจักรดูดซับไปยังวัฏจักรของไหล คือ อัตราการดูดซับสุทธิเป็นศูนย์ แม้ว่าสารดูดซับยังคงถ่ายโอนระหว่างวัฏจักรของไหลกับวัฏจักรดูดซับ แต่ความเข้มข้นของสารดูดซับในวัฏจักรของไหลและปริมาณดูดซับจำเพาะในวัฏจักรดูดซับไม่เปลี่ยนแปลงอีก ณ สถานะที่ควบคุมไว้ ดังนั้น การดูดซับสารดูดซับดังกล่าวจึงเข้าสู่สมดุล (Equilibrium) สมดุลเกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) เคลื่อนย้ายจากน้ำเข้ามายังตัวเกาะติดผิว (Adsorbent)จนกระทั่งความ

เข้มข้นของตัวถูกดูดซับในน้ำเท่ากับความเข้มข้นในตัวดูดซับที่อุณหภูมิหนึ่งๆ นั้นเราใช้ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm) เป็นตัวแทน ในการอธิบายความสัมพันธ์ที่เกิดขึ้น

ไอโซเทอร์มของการดูดซับ (Adsorption isotherm) คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของ ตัวดูดซับและความเข้มข้นของสารดูดซับที่ถูกดูดซับที่เหลือน้อยที่สุดของสารดูดซับ ณ อุณหภูมิที่หนึ่งๆ เมื่อนำความเข้มข้นของตัวดูดซับที่เหลือที่สมดุลของการดูดซับไปเขียนกราฟกับปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับจะได้เส้นโค้ง แนวโน้มที่เกิดจากการลากเส้นผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเรียกว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

7. สมการการดูดซับ

สมการการดูดซับมีหลายชนิด ซึ่งเป็นการแสดงปริมาณของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อหน่วยของตัวดูดซับที่สัมพันธ์กับความเข้มข้นที่จุดสมดุลในสารละลายที่มีอุณหภูมิคงที่ เนื่องจากการดูดซับมีหลายทฤษฎีที่นำมาอธิบายเกี่ยวกับสมดุลของการดูดซับที่เกิดขึ้น แต่ที่นิยมใช้มากที่สุดคือ สมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm) และสมการไอโซเทอร์มของฟรุนดลิช (Freundliche adsorption isotherm) (สกล ศิริรัตน์ 2546)

7.1 สมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

Langmuir ได้เสนอแบบจำลองการดูดซับและการคายซับของก๊าซจากผิวของแข็ง เพื่ออธิบายการดูดซับเชิงปริมาณ (Quantitative) ไว้ ซึ่งแบบจำลองของ Langmuir นั้นพัฒนาสำหรับการดูดซับเชิงเคมี แต่ได้ก็มีการประยุกต์ไปใช้สำหรับการดูดซับเชิงกายภาพด้วย

เนื่องจากอุณหภูมิมีผลอย่างมากต่อการดูดซับ ข้อมูลการดูดซับมักรายงานออกมาในรูปของไอโซเทอร์มการดูดซับ แบบจำลองของสมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ สมมติฐานที่สำคัญของแบบจำลอง Langmuir คือ

7.1.1 ผิวทุกจุดมีความสามารถในการดูดซับได้เท่าเทียมกัน ในกรณีทีคิดว่าบนผิวมีจุดกัมมันต์ ก็ให้ถือว่าจุดกัมมันต์มีความสามารถในการเกาะติดผิวเท่ากัน

7.1.2 โมเลกุลที่ถูกดูดซับอยู่ไม่ทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกัน

7.1.3 การดูดซับเกิดขึ้นจากกลไกที่เหมือนกัน และสารที่ถูกดูดซับมีโครงสร้างเหมือนกัน

7.1.4 การดูดซับเกิดขึ้นเพียงชั้นเดียวบนผิวของแข็ง

Langmuir adsorption isotherm มีสมการดังนี้

$$x/m = \frac{KbC}{(1+KbC)} \dots\dots\dots(2.1)$$

จากสมการที่ 2.1 เขียนใหม่ได้เป็น

$$1/(x/m) = 1/b + 1/KbC \dots\dots\dots(2.2)$$

หรือ $C/(x/m) = 1/Kb + 1/b (C) \dots\dots\dots(2.3)$

เมื่อ $x =$ ปริมาณมลสาร (Adsorbate) ที่ถูกกำจัด $= (C_0 - C)V$

$m =$ ปริมาณตัวดูดซับ (Adsorbent)

$C_0 =$ ความเข้มข้นเริ่มต้นของมลสารก่อนผ่านการดูดซับ (mg/l)

$C =$ ความเข้มข้นของมลสารหลังจากการดูดซับ (mg/l)

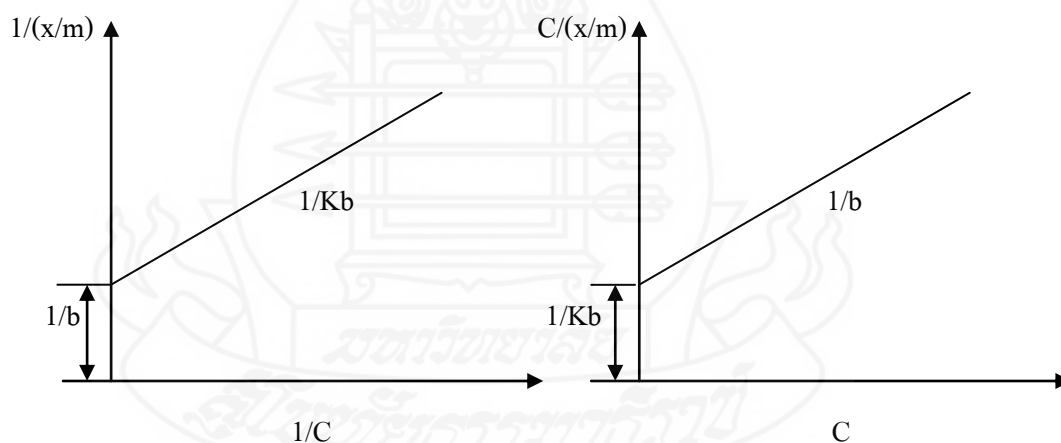
$V =$ ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการทดลอง (l)

$K =$ ค่าคงที่ของการดูดซับ

$b =$ ค่าคงที่

เมื่อนำสมการทั้งสองมาเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรงดังต่อไปนี้ ดังแสดงในภาพที่

2.6



ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแบบแลงเมียร์

7.2 สมการไอโซเทอร์มของฟรอนด์ลิช (Freundlich adsorption isotherm)

Freundlich ได้พัฒนาสมการไอโซเทอร์ม ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการศึกษาการดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ในน้ำและน้ำเสีย สมการไอโซเทอร์มของฟรอนด์ลิช มีสมมติฐานที่ว่า การดูดซับที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นการดูดซับแบบไม่เป็นเนื้อเดียวกันและมีการดูดซับแบบหลายชั้น ซึ่งสามารถอธิบายข้อมูลบางสภาวะได้ดังสมการดังต่อไปนี้

$$x/m = KC^{1/n} \dots\dots\dots 2.4$$

เมื่อ x = ปริมาณมลสาร (Adsorbate) ที่ถูกกำจัด $= (C_0 - C)V$

m = ปริมาณตัวดูดซับ (Adsorbent)

C_0 = ความเข้มข้นเริ่มต้นของมลสารก่อนผ่านการดูดซับ (mg/l)

C = ความเข้มข้นของมลสารหลังจากการดูดซับ (mg/l)

V = ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการทดลอง (l)

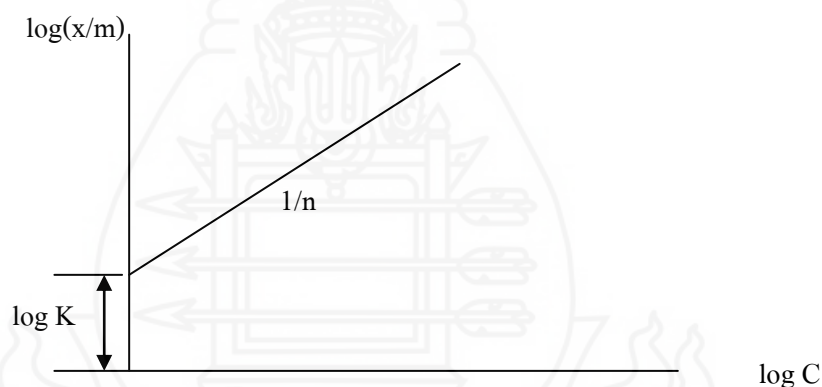
K = ค่าคงที่ของการดูดซับ

b = ค่าคงที่

จากสมการที่ 2.4 ทำให้อยู่ในรูปของ logarithm ได้ดังนี้

$$\log(x/m) = \log K + (1/n) \log C \dots\dots\dots 2.5$$

จากสมการ 2.5 และผลทดลองการดูดซับที่ได้สามารถเขียนกราฟระหว่างค่า $\log C$ และ $\log(x/m)$ ได้กราฟเส้นตรงที่ได้ไปคำนวณค่าคงที่ ดังสมการ ดังแสดงในภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแบบฟรุนดลิช

8. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ

น้ำทิ้งที่เกิดจากการฟอกย้อมสีของกลุ่มย้อมสีกระจุกเป็นจำนวนมากได้ถูกเททิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีการบำบัด ซึ่งมีผลกระทบต่อสภาพสิ่งแวดล้อมและระดับน้ำใต้ดินของชุมชน ทำให้บางพื้นที่ไม่สามารถใช้น้ำจากบ่อน้ำตื้นในชุมชนได้ ชุมชนจึงจำเป็นต้องหาวิธีในการบำบัดน้ำทิ้งจากการย้อมสีในเบื้องต้น ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติต่อไป

8.1 สีของน้ำ

ในการบำบัดน้ำเสีย สีเป็นพารามิเตอร์หลักที่ประสบปัญหา ซึ่งสีย้อมส่วนใหญ่มีความคงทนสูงซึ่งไม่สามารถย่อยสลายได้โดยกระบวนการทางชีววิทยา จึงไม่ถูกบำบัดโดยกระบวนการบำบัดทางชีววิทยาที่ใช้อยู่ทั่วไป ทำให้น้ำที่ผ่านออกจากระบบบำบัดดังกล่าวมีความเข้มสีสูงอยู่ จึงจำเป็นต้องพัฒนาระบบบำบัดให้มีประสิทธิภาพในการบำบัดสี เนื่องจากสีย้อมเป็นสารที่มีสีเข้ม แม้มีสีอยู่ในน้ำเพียงปริมาณเล็กน้อย ก็สามารถทำให้น้ำมีสีเป็นที่รังเกียจของผู้พบเห็นได้ จึงต้องมีการกำจัดสีของน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่สิ่งแวดล้อม ปัญหาที่เกิดจากสีย้อมในน้ำทิ้งมีดังนี้

8.1.1 ก่อให้เกิดความไม่สวยงามทางด้านทัศนียภาพ

8.1.2 สีย้อมที่เป็นสารอินทรีย์ย่อยสลายได้ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายน้ำลดลง

8.1.3 ขัดขวางการเดินทางของแสง ซึ่งจำเป็นต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

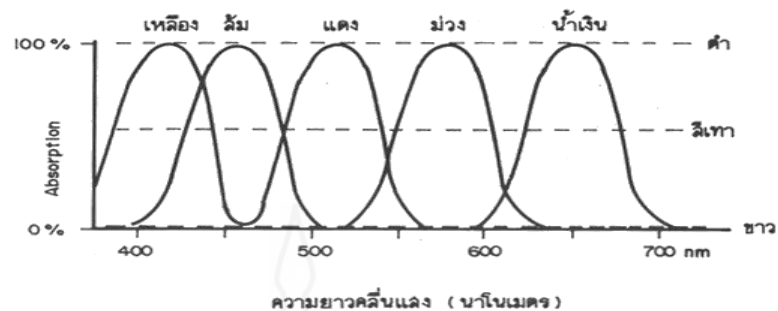
8.1.4 การผลิตออกซิเจนลดลง เนื่องจากผลกระทบจากข้อ 7.1.3) ซึ่งส่งผลต่อสัตว์น้ำ

8.1.5 ความเป็นพิษของตัวสีย้อม บางชนิดเป็นสารก่อมะเร็ง

8.1.6 ทั้งหมดข้างต้นส่งผลให้สถานะของแหล่งน้ำไม่เหมาะต่อการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ

สำหรับการมองเห็นสีของวัตถุหนึ่งๆ เป็นสีต่างๆ นั้นเป็นเพราะวัตถุนั้นๆ ดูดกลืนพลังงานแสงความยาวคลื่นช่วงหนึ่งๆ เอาไว้และสะท้อนแต่พลังงานแสงความยาวคลื่นอื่นออกมาทำให้เราเห็นสีตามความยาวคลื่นที่ถูกสะท้อนออกมา

สีของน้ำเสียมักเกิดจากสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมสิ่งทอ กระดาษ ฯลฯ แม้ว่าสีจะมองเห็นได้ชัด แต่การวัดปริมาณสีกระทำได้ไม่ง่าย มนุษย์สามารถมองเห็นแสงได้ในช่วงความยาวคลื่น 400-700 นาโนเมตร ดังแสดงในภาพที่ 2.8 หากวัตถุสะท้อนคลื่นแสงทั้งหมดเข้าตา มนุษย์จะมองเห็นสีขาว หากดูดกลืนไว้ทั้งหมดจะเห็นเป็นสีดำ ถ้าดูดกลืนบางส่วนก็จะเห็นเป็นสีต่างๆ โทนสีที่ปรากฏเมื่อเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เป็นดังรูปต่อไปนี้ (มันสัน ตันทุลเทศม์ 2540)



ภาพที่ 2.8 สีที่ปรากฏเมื่อมีการดูดกลืนแสงในช่วง 400-700 นาโนเมตร

8.1.1 สีของน้ำที่ปรากฏให้เห็นโดยทั่วไปมี 2 แบบ

1) สีแท้หรือสีจริง (True Color) หมายถึง สีที่ละลายจนกลายเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำ เกิดจากการละลายของสารประกอบที่อยู่ในน้ำ ซึ่งสารที่ทำให้เกิดสีแท้ ได้แก่ โปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต และสารประกอบของสารประกอบทั้งสามดังกล่าว เช่น สารอินทรีย์ต่างๆ ซึ่งเป็นพวกอนุภาคคอลลอยด์

2) สีปรากฏ (Apparent Color) หมายถึง สีของน้ำที่สามารถกำจัดออกได้โดยวิธีกายภาพ เกิดจากการสะท้อนของสิ่งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำหรืออาจเกิดขึ้นจากการสะท้อนของห้องฟ้า สิ่งที่แขวนลอยอยู่ในน้ำที่ทำให้เกิดสีปรากฏ ได้แก่ พีชเล็กๆ ในน้ำ เช่น แพลงตอนพีช แพลงตอนสัตว์ รวมทั้งสิ่งไม่มีชีวิตบางประเภท เช่น ตะกอนดินและทราย

สีทั้งสองรูปแบบนี้อาจจะแยกออกจากกันโดยใช้วิธีหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ซึ่งสีปรากฏจะตกตะกอน ส่วนสีแท้จะไม่ตกตะกอน (กรณีการ สิริสิงห 2544)

8.2 ค่าของแข็ง (Solids)

ทางด้านสิ่งแวดล้อม จะถือว่าองค์ประกอบทุกอย่างในของเหลวส่วนที่ไม่ใช่น้ำเป็นของแข็งทั้งสิ้นจึงอาจให้คำจำกัดความของแข็งว่าหมายถึง สารที่คงเหลือหลังการระเหยด้วยไอน้ำและทำให้แห้งที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส สารที่มีความดันไอสูงที่อุณหภูมินี้จะกลายเป็นไอ สูญหายไปด้วย เหลือเพียงตะกอนของสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ วิธีวิเคราะห์ปริมาณของแข็งจะเป็นวิธีที่ไม่ได้ใช้หลักการยุ่งยาก แต่เป็นหลักการพื้นฐานมักใช้วิธี Gravimetric ค่าที่ได้จะบอกในรูปน้ำหนักของแข็งละลายในปริมาณมากมักมีรสชาติไม่ดี มาตรฐานน้ำดื่มกำหนดให้น้ำมีปริมาณของแข็งไม่เกิน 500 มิลลิกรัม/ลิตร ประเภทของของแข็งจะใช้เป็นเกณฑ์แยกประเภทของน้ำ เช่น น้ำดิบ สำหรับทำน้ำประปาต้องไม่มีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูง ปริมาณของแข็งมีผลต่อระบบบำบัด

น้ำเสียด้วย การศึกษากากตะกอน (Sludge) ในระบบบำบัดจะบอกถึงประสิทธิภาพของการบำบัด ปัญหาของผู้วิเคราะห์ คือ ต้องรู้ว่าการวิเคราะห์ของแข็งแต่ละประเภทมีวิธีพิเศษอย่างไรคือ

8.2.1 ประเภทของแข็ง

1) ของแข็งที่ละลายน้ำและไม่ละลายน้ำ (*Dissolved solid and Undissolved / suspended solid*) สามารถหาค่าได้โดยการกรองน้ำตัวอย่างด้วยกระดาษกรอง GF/c หรือ Gooch crucible แล้วชั่งน้ำหนักของแข็งที่ค้างบนกระดาษกรอง (Suspended solid) และของแข็งที่ผ่านการกรอง (Dissolved solid) ปริมาณของแข็งทั้งสองประเภทนี้จะแตกต่างกันตามชนิดของแหล่งน้ำ เช่น ปริมาณสารแขวนลอยจะเพิ่มมากขึ้นตามระดับความสกปรกของน้ำ ในกากตะกอน (sludge) จะมีปริมาณของแข็งแขวนลอยสูงกว่าของแข็งละลาย

2) ของแข็งระเหยและของแข็งคงตัว (*Volatile and Fixed solids*)

ของแข็งระเหย คือ ของแข็งที่สลายตัวเมื่อเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที ส่วนที่เหลือ คือ ของแข็งคงตัว ปริมาณของแข็งระเหยมักแปลผลเป็นปริมาณสารอินทรีย์ โดยถือว่าที่อุณหภูมินี้สารอินทรีย์จะเปลี่ยนไปเป็น CO_2 และ H_2O ซึ่งไม่ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเผาไหม้สารอินทรีย์บางตัวจะมีเถ้าเหลืออยู่ ในขณะที่สารอินทรีย์บางชนิดจะสลายตัวได้ที่อุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปเพราะสารอินทรีย์หลายตัวจะสลายที่อุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปเพราะสารอินทรีย์หลายตัวจะสลายที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

3) ของแข็งตกตะกอน (*Settleable solid*)

ของแข็งตกตะกอน หมายถึงของแข็งในน้ำตัวอย่าง ซึ่งจะนอนก้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงภายใต้สภาวะที่สงบนิ่งเฉพาะสารแขวนลอยที่หยาบและมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าของน้ำเท่านั้นที่จะนอนก้น คำนี้นี้มีประโยชน์มากในการพิจารณาสร้างตกตะกอน

8.2.2 มาตรฐานของแข็งแขวนลอยและค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กำหนดค่าของแข็งแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่เกิน 50 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 มิลลิกรัม/ลิตร และสำหรับค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด (TDS/Total Dissolved Solids) ไว้ไม่เกิน 3,000 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงาน

อุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับน้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 มิลลิกรัม/ลิตร หรือลงสู่ทะเลค่า TDS ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า TDS ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อย หรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัม/ลิตร

8.3 ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)

ค่าบีโอดี เป็นวิธีมาตรฐานสำหรับการทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาปริมาณออกซิเจนที่ต้องการสำหรับน้ำทิ้ง น้ำโสโครก น้ำเสีย เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในการสลายตัวทางชีวของสารอินทรีย์ และออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดส์สารอนินทรีย์ เช่น ชัลไฟด์ และเฟอร์รัสไอออน ซึ่งอาจจะรวมค่าออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดส์ไนโตรเจน

ค่าบีโอดี เป็นการหาปริมาณออกซิเจนที่แบคทีเรียใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ โดยแบคทีเรียเหล่านี้กินสารอินทรีย์ในน้ำเป็นอาหาร ดังนั้นค่าบีโอดีจึงสามารถบอกลักษณะของน้ำได้ว่ามีความสกปรก (ในรูปสารอินทรีย์) มากน้อยแค่ไหน ถ้าน้ำเสียมีสารอินทรีย์มากจะทำให้แบคทีเรียมีปริมาณมากและหายใจใช้ออกซิเจนมาก ค่าบีโอดีก็จะสูงตามไปด้วย ในทางกลับกันถ้าน้ำเสียมีสารอินทรีย์อยู่น้อยค่าบีโอดีก็จะน้อย ถ้าน้ำเสียมีค่าบีโอดีสูงเมื่อปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำ จะทำให้ออกซิเจนในแหล่งน้ำลดลงอาจทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจน เกิดน้ำเน่าเสียหรือสัตว์น้ำตายได้

8.3.1 การวิเคราะห์ค่า บีโอดี มี 2 วิธี คือ

1) วิธีแบบโดยตรง (Direct Method) เหมาะสำหรับตัวอย่างน้ำที่มีความสกปรกน้อยที่มีค่าบีโอดี ไม่เกิน 7 มิลลิกรัม/ลิตร เช่น น้ำธรรมชาติจากแม่น้ำลำคลองที่สะอาด วิธีนี้ไม่ต้องทำให้ตัวอย่างเจือจางด้วยน้ำกลั่น นำน้ำตัวอย่างมาหาค่าบีโอดีโดยตรง

2) วิธีแบบเจือจาง (Dilution Method) ใช้สำหรับตัวอย่างน้ำที่มีความสกปรกมาก ที่มีค่าบีโอดี เกิน 7 มิลลิกรัมต่อลิตร เนื่องจากปริมาณของออกซิเจนที่ใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์จะเป็นปฏิกิริยาโดยตรงกับจำนวนสารอินทรีย์ที่อยู่ในน้ำนั้น เมื่อน้ำตัวอย่างมีสารอินทรีย์จำนวนมาก จึงต้องเจือจางตัวอย่างเพื่อให้มีออกซิเจนเพียงพอที่แบคทีเรียจะใช้ในการย่อยสลายสารอินทรีย์ดังกล่าว

8.3.2 ค่าบีโอดีตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

อุตสาหกรรม

ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กำหนดค่าบีโอดีไม่เกิน 20 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 60 มิลลิกรัม/ลิตร

8.4 ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)

ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) เป็นการวัดปริมาณออกซิเจนที่นำไปใช้ในการสลายสารอินทรีย์ที่มีในน้ำตัวอย่างได้เป็นคาร์บอนไดออกไซด์ในน้ำ ดังนั้นการหาค่าซีโอดีก็เพื่อวัดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียจากบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม

ข้อดีของการวิเคราะห์ค่าซีโอดี คือ ใช้เวลาน้อยเพียง 3 ชั่วโมงก็รู้ผล ในขณะที่ค่าบีโอดี ใช้เวลาวิเคราะห์ถึง 5 วัน บางงานจึงใช้ค่าซีโอดี แทน หรือ ถ้านักวิเคราะห์มีประสบการณ์มากพอและรู้ความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ค่าก็อาจใช้ค่าซีโอดี มาแปลผลเป็นค่าบีโอดีได้

ค่าซีโอดี ใช้มากในการวิเคราะห์ของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม มีประโยชน์มาก โดยเฉพาะในการสำรวจหาการสูญเสียของสารลงไปในระบบระบายน้ำ และเนื่องจากความรวดเร็วในการวิเคราะห์จึงสามารถแก้ไขความผิดพลาดได้ทันที ถ้าใช้ร่วมกับค่าบีโอดี จะช่วยให้รู้ถึงการปนเปื้อนของสารพิษ และปริมาณของสารอินทรีย์ที่คงทนต่อการย่อยสลายทางชีววิทยา

ความสำคัญของซีโอดี มีได้ดังนี้

- 1) เมื่อพิจารณาพร้อมกับค่าบีโอดี บอกได้ว่าน้ำเสียมีแนวโน้มการย่อยสลายโดยทางชีววิทยาได้ยากหรือง่ายเพียงใด
- 2) ใช้ประมาณค่าบีโอดีได้คร่าวๆ เมื่อรู้แหล่งกำเนิดของน้ำตัวอย่าง
- 3) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย
- 4) มีประโยชน์สำหรับการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย
- 5) บอกค่าความสกปรกของน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ
- 6) ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าบีโอดีสามารถบอกได้ว่าน้ำนั้นมีความเป็นพิษหรือไม่

8.4.1 ค่าซีโอดีตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

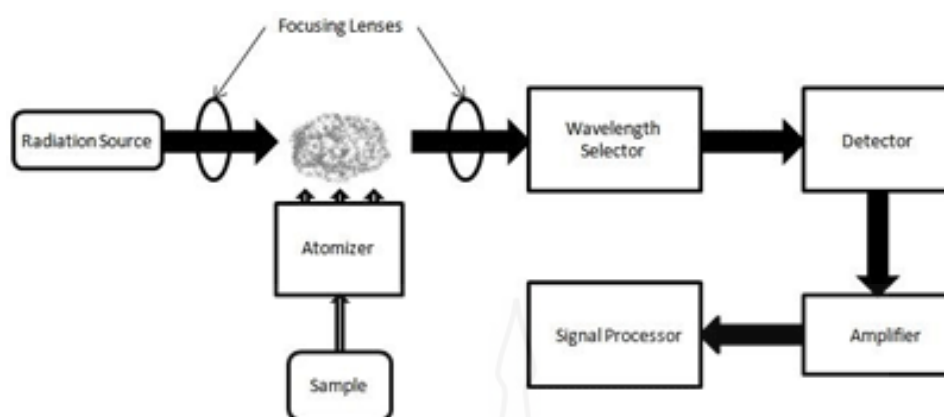
ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กำหนดค่าซีโอดีไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 400 มิลลิกรัม/ลิตร

9. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ฟชันสเปกโตรมิเตอร์

เครื่องอะตอมมิคแอบซอร์ฟชันสเปกโตรมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะในตัวอย่างต่างๆ เช่น วิเคราะห์หาปริมาณโลหะตะกั่วที่เจือปนอยู่ในน้ำเสีย วิเคราะห์หาปริมาณเงินหรือทองคำที่เจืออยู่ในสินแร่ เป็นต้น ซึ่งสามารถทำได้ทั้งเชิงคุณภาพและปริมาณที่ได้รับ ความนิยมมากวิธีหนึ่ง เพราะเป็นเทคนิคที่ให้ความเที่ยง ความไวสูง ประกอบกับค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์ไม่สูง ซึ่งเทคนิคนี้สามารถใช้วิเคราะห์หาปริมาณโลหะได้มากถึง 70 ธาตุด้วยกัน ระดับความเข้มข้นที่วิเคราะห์ได้อยู่ในระดับ ppm (part per million, หนึ่งในล้านส่วน) (แมน อมรสิทธิ์และอมร เพชรสม 2535)

หลักการอย่างง่าย อิเล็กตรอนที่อยู่ภายในอะตอม เมื่อได้รับพลังงานจะดูดกลืนพลังงานและเปลี่ยนวงโคจร ไปอยู่ในวงโคจรใหม่ที่ระดับพลังงานสูงขึ้นกว่าเดิม เพียงชั่วครู่เท่านั้น ซึ่งพลังงานที่ให้กับอะตอมจะใช้พลังงานแสงที่มีความจำเพาะกับธาตุแต่ละชนิด โดยค่าการดูดกลืนแสงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความเข้มข้นของโลหะ เมื่อโลหะมีความเข้มข้นมากจะดูดกลืนพลังงานแสงได้มาก ในทางตรงข้ามหากโลหะมีปริมาณน้อยก็จะดูดกลืนพลังงานแสงได้น้อย เป็นไปตามกฎของเบียร์-แลมเบิร์ต (Beer-Lambert law)

ในการวิเคราะห์จะต้องเปลี่ยนรูปของโลหะที่ปนอยู่ในสารละลายตัวอย่าง ให้กลายเป็นอะตอมโดยใช้พลังงานจากเปลวไฟด้วยส่วนสร้างอะตอม (Atomizer) อะตอมที่เกิดขึ้นจะดูดกลืนพลังงานแสงที่ได้จากแหล่งกำเนิดแสง (Radiation source) หลังจากนั้นแสงที่ผ่านการดูดกลืนแล้วจะถูกเลือกเฉพาะความยาวคลื่นที่จำเพาะกับธาตุแต่ละชนิด และถูกตรวจวัดด้วยดีเทกเตอร์ (Detector) เพื่อเปลี่ยนจากสัญญาณแสงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นเข้าไปที่หน่วยขยายสัญญาณ (Amplifier) สิ้นสุดกระบวนการด้วยการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ (Signal processor)



ภาพที่ 2.9 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่อง AAS

9.1 องค์ประกอบที่สำคัญต่างๆ ของเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ (Atomic Absorption Spectrophotometer) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ที่สำคัญ 5 ส่วน ดังแสดงในภาพที่ 2.9 ได้แก่

9.1.1 แหล่งกำเนิดแสง (Light source) ส่วนใหญ่เป็น หลอดขอลโลว์แคโทด (hollow cathode lamp (HCL) และหลอดไม่มีขั้วไฟฟ้า (electrodeless discharge lamp (EDL) ซึ่งใช้เฉพาะบางธาตุเท่านั้น HCL ใช้แรงเคลื่อนไฟฟ้าในช่วง 300-600 โวลต์ จะทำให้ก๊าซเฉื่อย ที่บรรจุอยู่เกิดการแตกตัวเป็นไอออนบวก แล้วไอออนบวกจะวิ่งไปชน ธาตุที่ฉาบอยู่ที่แคโทดทำให้อะตอมของธาตุนั้นๆ ถูกกระตุ้นและเปล่งแสงออกมาเป็นสเปกตรัมของธาตุนั้นๆ

9.1.2 ส่วนที่ทำให้เกิดอะตอมอิสระ (Atomizer unit)

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิคทาง AAS จะประสบความสำเร็จอย่างดีมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปริมาณของอะตอมเสรีของธาตุที่ทำให้เกิดขึ้น เพราะอะตอมเสรีเป็นตัวดูดกลืนแสง ที่จะได้โดยเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมผ่านเข้าไป เพราะฉะนั้นทำอะไรที่จะทำให้ธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์แตกตัวเป็นอะตอมเสรีในสถานะพื้นได้มากๆ วิธีที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้แก่

1) *Flame Atomization Technique* เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างแตกตัวเป็นอะตอมด้วยเปลวไฟ (flame) ที่เหมาะสม

2) *Flameless or Non-Flame Atomization Technique* เทคนิคนี้ใช้กระบวนการทำให้สารตัวอย่างสลายตัวเป็นอะตอมได้ด้วยความร้อนจากกระแสไฟฟ้า (electrothermal atomizer หรือ graphite furnace) โดยสามารถโปรแกรมให้อุณหภูมิของการเผามีค่าต่างๆ กัน และใช้เวลาต่างๆ กันได้

3) Hydride Generation Technique เนื่องจากมีธาตุบางชนิดจะเปลี่ยนให้เป็นอะตอมโดยตรงด้วยเทคนิค 1) และ 2) ไม่ได้จำเป็นต้องใช้วิธีทำให้แตกตัวในบรรยากาศที่ปราศจากออกซิเจนเพื่อป้องกันการรวมตัวกับออกซิเจนของธาตุเหล่านี้ ดังนั้น จึงต้องใช้วิธีทำให้ธาตุเหล่านี้กลายเป็นไอได้ง่ายๆ ที่อุณหภูมิห้องด้วยการรีดิวซ์ให้เป็นไฮไดรด์ แล้วให้ไฮไดรด์นั้นผ่านเข้าไปในเปลวไฟไฮโดรเจน ความร้อนจากเปลวไฟไฮโดรเจนทำให้ธาตุกลายเป็นอะตอมเสรีได้ เทคนิคนี้ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุ As, Se, Te, Ge, Bi, Sb

4) Cold Vapor Generation สำหรับเทคนิคนี้เหมาะที่จะใช้เป็นวิธีวิเคราะห์ธาตุบางชนิดที่สามารถเปลี่ยนให้เป็นไอได้ง่ายๆ

9.1.3 โมโนโครเมเตอร์หรือส่วนแยกแสง (Monochromator)

โมโนโครเมเตอร์มีหน้าที่หลักคือ ทำการแยกแสงให้ได้ช่วงความยาวคลื่นตามที่ต้องการไม่ต้องใช้โมโนโครเมเตอร์ที่มีกำลังการแยกสูงมากนักเพียงแค่ 0.002-2 นาโนเมตรก็พอ

9.1.4 ส่วนวัดสัญญาณ (Detector)

Detection system ที่ใช้กัน โดยมากคือ photomultiplier tube (PMT) ซึ่งประกอบด้วย Photoemission cathode and dynodes หลายอันอยู่ภายในหลอดสุญญากาศ dynodes ทำให้เกิดอิเล็กตรอนจำนวนมาก PMT ใช้กับไฟฟ้ากระแสสลับกำลังไฟฟ้า 400-500 โวลต์ นอกจากนี้ detection system อื่นๆ ที่น่าสนใจ ได้แก่ photodiode array (PDA) และ charge transfer device (CTD)

9.1.5 ส่วนประมวลผลและอ่านผล (Data system and readout unit)

เป็นเครื่องที่อ่านค่า absorbance โดยตรงประกอบด้วยหน่วยขยายสัญญาณ (amplifier) และ recorder หรืออาจจะเป็น read-out-system อื่นๆ เช่น คอมพิวเตอร์ หรือไมโครโปรเซสเซอร์ (microprocessor)

10. ตาลโตนด

10.1 ตาลโตนด

ตาลโตนด มีชื่อวิทยาศาสตร์หรือชื่อเรียกที่เป็นสากลว่า *Borassus flabellifer* Linn. มีถิ่นกำเนิดดั้งเดิมอยู่ในเขตร้อนของทวีปแอฟริกา ต่อมาได้ขยายพื้นที่ปลูกจนถึงอินเดียตอนใต้ และมาถึงประเทศไทยภายหลังจากนั้นส่วนชื่อพื้นเมืองก็เรียกแตกต่างกันตามท้องถิ่น เช่น ตาลใหญ่ ตาลนา ไทย เชียงใหม่ เรียก ปลีตาล ทางภาคใต้เรียก โหนด เขมร เรียก ตะนอย ถ้าจะเขียนตามสำเนียงเรียก “โน้ต” สำหรับชื่อสามัญเรียกกันคือ Fan palm, Palmyra palm หรือ Lontar palm ต้นตาลจัดว่าเป็นพืชตระกูลปาล์มหรือเป็นพวก Palmae (<http://www.yupparaj.ac.th/web1999/kaj/page612.htm>)

ตาลโตนดเป็นไม้วงศ์ปาล์มเช่นเดียวกับมะพร้าว แต่ตาลโตนดมีความแข็งแรงทนทานและอายุยืนยาวกว่ามะพร้าวมาก ตาลโตนดขึ้นได้บนดินทุกชนิด ทนทั้งความแห้งแล้งและน้ำท่วม มีรากลึกมาก รากของตาลโตนดไม่แผ่ออกทางด้านข้าง จึงสามารถปลูกร่วมกับพืชอื่นได้ดี (<http://www.doctor.or.th/node/3473>) ตาลโตนดมีลำต้นขนาดใหญ่ อาจมีเส้นผ่าศูนย์กลางถึง 100 เซนติเมตร อายุ 40-50 ปี มีความสูงประมาณ 20-30 เมตร พบได้ทุกภาค ในภาคกลางมีมากแถบจังหวัด เพชรบุรี ปทุมธานี สุพรรณบุรี ภาคใต้พบมากบนคาบสมุทรสทิงพระ ตั้งแต่อำเภอสิงหนคร อำเภอสทิงพระ อำเภอกะแสสินธุ์ อำเภอระโนด จังหวัดสงขลา อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง ถึงอำเภอหัวไทรจังหวัดนครศรีธรรมราช ลักษณะของต้นตาลโตนดดังแสดงดังภาพที่ 2.10

(<http://www.tungsong.com/ModifyLifetsgcity/Nakorn/Agriculture/Tan.asp>)



ภาพที่ 2.10 ต้นตาลโตนด

10.2 ประโยชน์ของตาลโตนด

ตาลโตนดเป็นพืชสารพัดประโยชน์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งทุกส่วนของตาลโตนดสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ทั้งสิ้น ที่รู้กันดีที่สุด คือ ตาลโตนดเป็นพืชให้น้ำหวานที่เรียกตามชื่อว่า “น้ำตาล” ซึ่งสังเกตว่าคนไทยเรียก “น้ำตาล” ซึ่งแท้จริงแล้วน้ำหวานไม่เพียงแต่ได้จากต้นตาลโตนดเท่านั้น อาจมาจากพืชอื่นๆ ด้วย เช่น อ้อย มะพร้าว แสดงว่าแต่เดิมคนไทยรู้จักน้ำตาลจากต้นตาลโตนดก่อนพืชชนิดอื่น หรืออีกอย่างคือน้ำตาลโตนดเป็นน้ำตาลที่คนไทยนิยมมากที่สุด น้ำตาลโตนดได้จากช่อดอกของตาลโตนด หรือที่เรียกว่า “งวงตาล” ช่อดอกนี้มี 2 ชนิด คือ ตัวผู้และตัวเมีย ซึ่งใช้ทำน้ำตาลได้ทั้ง 2 ชนิด และประโยชน์ของตาลโตนด มีดังนี้

10.2.1 ผลของตาลโตนด นำมาประกอบอาหารได้หลายอย่าง ผลตาลอ่อน นำมาแกง เมล็ดในอ่อน (ลอนตาล) ใช้เป็นผลไม้หรือทำขนม เช่น ลอนตาลลอยแก้ว

10.2.2 เมล็ดแก่ นำมาแกะให้งอกแล้วผ่าจะได้อาหารตาล นิยมนำมาเชื่อมน้ำตาล ผลตาลสุก ใช้เนื้อทำขนมตาล เพราะมีกลิ่นพิเศษ

10.2.3 ใบตาลอ่อน นำมาจักสานได้เช่นเดียวกับใบลาน เช่น ทำตะกร้า หมวก เสื้อ กระเป๋า พัด ฯลฯ เส้นใยเชิงบริเวณโคนใบใช้ทำแปรง ไม้กวาด เชือก เส้นใยจากผลแก่ก็ใช้ทำเชือกได้

10.2.4 ลำต้นตาลโตนด ลักษณะกลมตรง อาจยาวถึง 40 เมตร แข็งแรงทนทานมาก นำมาใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ส่วนโคนต้นนำมาขุดใช้เป็นเรือเรียกเรืออีโปง ลำต้นตัดขุดใส่กลอง ออกใช้ทำท่อน้ำ สะพาน กลอง เสา ไม้ใช้ก่อสร้างเครื่องใช้ต่างๆ เช่น ไม้เท้า แก้ว ไม้เท้า ไม้ตีรำ ไม้ตีพริก (สาก) กรอบรูป ฯลฯ

10.2.5 ใบแก่ ใช้ทำพัดขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “ตาลปัตร” พระภิกษุในศรีลังกาและพม่ายังใช้ประกอบพิธีกรรมอยู่ ใบแก่ยังใช้มุงหลังคาบ้านได้ดี นิยมกันมากในอินเดีย และก้านใบที่เรียกว่า “ทางตาล” นำมาทำแก้วและโต๊ะได้

10.2.6 สมุนไพร ชาวบ้านใช้งวงตาล (ช่อดอก) กินแก้ตาลขโมยในเด็ก แก้พิษตานซาง ขับพยาธิ น้ำคั้นจากก้านใบสดย่างไฟแก้ท้องร่วง แก้ปากเปื่อย ส่วนรากเป็นยาชูกำลัง ขับเลือด แก้พิษตานซาง (<http://as.doa.go.th/fieldcrops/cane/oth/022.HTM>)

10.3 ผลของตาลโตนด ผลตาลมีส่วนประกอบสำคัญ 3 ส่วน คือ

10.3.1 เอกโซคาร์ป (Exocarp) เป็นเปลือกชั้นนอก มีผิวเรียบเป็นมัน

10.3.2 มีโซคาร์ป (Mesocarp) เป็นเส้นใยละเอียด

10.3.3 เอนโดคาร์ป (Eudocarp) เป็นเปลือกหรือกะลาแข็งหุ้มเมล็ด

ตาลโตนดจะให้ดอกให้ผลหลายครั้งจนกว่าจะแก่ตาย ผลอ่อนมีสีเขียวติดอยู่บน ทะลายคล้ายมะพร้าว ผลแก่จัดมีสีน้ำตาลเข้ม หรือสีดำเป็นมัน ผลโตขนาดเท่าผลส้มโอ ภายใน เป็น เส้นละเอียด เมื่อสุกจะมีสีเหลืองแก่และมีกลิ่นหอม เนื้อผลประกอบไปด้วยแป้งและน้ำตาล ทะลาย หนึ่งมีประมาณ 10-15 ผล ตาลลูกหนึ่งมักมีเต้าตาลอ่อนอยู่ 2-3 เต้า เมื่อปาดเปลือกตาลออกเพื่อแกะ เต้าตาล ที่เรียกกันว่า “ลูกตาลอ่อน” “ลูกตาลสด” หรือ “ลอนตาล” จะมีเนื้อสีขาวใส นุ่ม รสหวานเย็น มีลักษณะแบนๆ ยาวประมาณ 3 นิ้ว กว้าง 2 นิ้ว และหนาประมาณ 0.5 นิ้ว ผลตาลจะออกเฉพาะต้น ตัวเมียเท่านั้น ระยะเวลาตั้งแต่ออกดอกจนถึงเก็บผลอ่อนจะใช้เวลาประมาณ 75-80 วัน ผลจะออกเวียน รอบต้นตามก้านใบ 1 ก้านใบ จะออก 1 ปลี ใน 1 ปลีจะให้ช่อดอกประมาณ 3 ช่อ แต่ละช่อก็จะให้ ผลผลิต จำนวน 1 ทะลาย และทุกๆ 1 ทะลายจะมีผลตาลประมาณ 10-20 ผล ส่วนเมล็ดลูกตาลสามารถ นำไปเพาะได้ พอเริ่มงอก ต้นในเมล็ดจะเปลี่ยนเป็นจาวตาล มีสีเหลืองอ่อน มีเนื้อแข็งคล้ายจาวมะพร้าว แต่แน่นกว่า และมีรสชาติที่อร่อย

ลูกตาล โตนด เมื่อผ่าเอาเนื้อของลูกตาลโตนดอ่อนสามารถนำไปลือกตาลโตนด มาเป็นอาหารวัวแต่จะให้ในปริมาณที่น้อย (http://file.siam2web.com/puktientruth/2010223_26258.pdf) และยังมีผู้คิดค้นนำเปลือกตาลโตนดอ่อนมาทำเป็นปุ๋ยหมัก โดยผสมกับใบก้ามปูมาทำการคลุกเคล้า ให้เข้ากันไว้ทำกองไว้และใส่ พด.1 (สารเร่งสำหรับผลิตปุ๋ยหมัก) มาทำการละลายน้ำแล้วนำยูเรียมา ละลายลงไปด้วยแล้วนำไปรดที่กองปุ๋ย นำกระสอบป่านมาปิดทำกองหมักไว้ 2 เดือนก็ใช้ได้สามารถ นำไปรองก้นหลุมปลูกพืชหรือนำไปใส่รอบทรงพุ่มหรือหว่านว่านในนาอัตรอย่างน้อย 1.5-2.5 ตัน ต่อไร่หว่านให้ทั่วแปลงแล้วไถหรือคราดกลบก่อน การปลูกพืช (<http://www.rakbankerd.com/agriculture/open.php?id=648&s=tblblog>)

โดยปกติแหล่งและที่มาของเปลือกตาลโตนดมาจากพ่อค้านำรถบรรทุกลูกตาลโตนด เพื่อขายนักท่องเที่ยวหรือนำมาขายในตลาดนัดของพื้นที่ในอำเภอทะเลน้อยและอำเภอโกสโกลีเคียง โดยเปลือกตาลโตนดจะถูกนำไปทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ มีการทิ้งรวมกับขยะทั่วไป ทิ้งให้ย่อยสลาย ไปตามธรรมชาติตรงริมถนนใกล้กับจุดขายหรือไม่ก็นำไปทิ้งในพื้นที่ดินว่างเปล่าสาธารณะบริเวณ โกสโกลีเคียง ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 เปลือกตาลโดนค้อน

วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร หรือแม้แต่วัชพืช สามารถมาประยุกต์ใช้งานได้กับสารมลพิษได้หลายอย่างเช่น สีย้อม น้ำมัน โลหะหนัก (เพ็ญศรี ปลอดภัย 2546) ดังนั้นการใช้เปลือกตาลโดนค้อนเป็นผลดีทั้งด้านสภาพแวดล้อมและอุตสาหกรรม

10.4 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืช ใยเนื้อไม้ วัชพืช แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

10.4.1 เซลลูโลส เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ประเภทพอลิแซ็กคาไรด์ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ ของ β -D-glucopyranose ต่อกันเป็นสายโพลิเมอร์ มีคุณสมบัติละลายน้ำและตัวทำละลายทั่วไปและสารละลายต่างได้ดี สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสกับกรดได้ และที่สำคัญมีโครงสร้างทั้งที่เรียงตัวเป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ รวมกันในส่วนต่างๆ ทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการดูดซึม ยึดหยุ่นและพองตัวได้

10.4.2 เฮมิเซลลูโลส เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับเซลลูโลสแต่มีโครงสร้างไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นจึงสามารถดูดซึมน้ำได้จึงมีผลช่วยทำให้เส้นใยพองตัวได้รวดเร็ว ง่ายต่อการตีเยื่อและยังช่วยทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติยึดหยุ่นเพิ่มขึ้นอีกด้วยและยังสามารถทำปฏิกิริยาได้กับสารละลายต่างอีกด้วย

10.4.3 ลิกนิน เป็นสารจำพวกพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่เมทอกซีฟีนิลโพรเพน โดยเป็นวงอะโรมาติกที่มีแขนเป็นคาร์บอนสามอะตอม นอกจากนี้เป็นหน่วยวานิลิน และไซริงกัลดีไอด์ ที่เป็นหน่วยพื้นฐานอีกสองกลุ่มของโครงสร้างลิกนินทำหน้าที่เป็นสารยึดติดกับเส้นใยเนื้อไม้ มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำหรือสารอินทรีย์ทั่วไป และละลายได้บางส่วนในสารละลายต่างหรือสามารถทำปฏิกิริยาได้กับสารละลายกรดเข้มข้น

เปลือกตาลโตนดนำมาล้างทำความสะอาดแล้วตากแห้งประมาณ 5 วันแล้วนำมาเผาด้วยเตาเผาแบบชาวบ้าน ดังแสดงในภาพที่ 2.12 แล้วจะได้ถ่านของเปลือกตาลโตนดดังแสดงในภาพที่ 2.13 พร้อมทั้งจะนำมาบดและร่อนด้วยตะแกรงให้ได้ขนาด 40-60 mesh เพื่อใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 2.12 เตาเผาแบบชาวบ้าน



ภาพที่ 2.13 ถ่านเปลือกตาลโตนด

11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Akbal (2005) ทำการศึกษาการดูดซับสีย้อมชนิด เมทิลีนบลู (methylene blue) และ ชนิด คริสตัลไวโอเลต (crystal violet) โดยใช้หินภูเขาไฟ พบว่าประสิทธิภาพของหินภูเขาไฟในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีน้อยลง ระยะเวลาสัมผัสและปริมาณสารดูดซับมากขึ้น

เมตตา เพ็ญผลเจริญ (2547) ศึกษาพฤติกรรมการดูดซับและหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับสีของถ่านหิน จากนั้นนำค่าที่ได้ทดลองกับน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมผ้ายืนสี ผลการศึกษาพบว่าถ่านหิน 12 กรัมต่อน้ำทิ้ง 1 ลิตร สามารถกำจัดสีได้ถึง ร้อยละ 86.65 ในเวลา 30 นาที โดยไม่ต้องปรับปรุงคุณภาพใดๆ ของทั้งถ่านหินและน้ำทิ้งสีก่อน โดยสมมูลของของการดูดซับสีเป็นแบบ สมการพหุนาม

ชนิตา เสมรต์ (2543) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ ด้วยกระบวนการดูดซับโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยสารดูดซับที่ใช้คือ ถ่านกัมมันต์และถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร ได้แก่ ถ่านกะลาและถ่านชานอ้อย ซึ่งพบว่าถ่านกะลาไม่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำไปใช้งาน ส่วนถ่านกัมมันต์และถ่านชานอ้อยมีความเป็นไปได้ที่จะนำไปใช้งาน ถ่านกัมมันต์มีประสิทธิภาพในการลดสีอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 84-99 ถ่านกัมมันต์ผสมถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการลดสีอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 50-98 และถ่านชานอ้อยมีประสิทธิภาพในการลดสีอยู่ในช่วงประมาณร้อยละ 51-95 โดยประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อใช้กำจัดสีแดงและสีเหลืองที่ความเข้มข้นสี 250 มิลลิกรัมต่อลิตร

นริศรา โพธิ์มูล (2545) ได้ศึกษาถึงการลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ถ่านแกลบดำ โดยในขั้นแรกจะศึกษาปัจจัยพื้นฐานที่เหมาะสมต่อการลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ค่าพีเอช ความสูงของถ่านแกลบดำและอัตราการกรอง จากนั้นนำปัจจัยที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริงจากโรงงานผลิตแบตเตอรี่ในการทดลองใช้แบบจำลองพลาสติกใส ทรงกระบอก บรรจุถ่านแกลบดำสูง 30 และ 60 เซนติเมตร ความเข้มข้นของตะกั่วออกไซด์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร และใช้อัตราการกรอง 0.4, 0.6 และ 0.8 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการลดปริมาณตะกั่วได้ดีที่ค่าพีเอช 3 ความสูงของถ่านแกลบดำ 60 ซม. และอัตราการกรอง 0.4 ลบ.ม./ตร.ม.-ชม โดยถ่านแกลบมีอายุ 8 ชั่วโมง และมีประสิทธิภาพในการลดปริมาณตะกั่วโดยเฉลี่ยมากกว่าร้อยละ 99.85

อจรรยา เจนการขั่ง (2531) ได้ศึกษาถึงการลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางเคมีแล้วโดยใช้ถ่านกรอง โดยการกรองด้วยถ่านไม้ 3 ชนิด คือ ถ่านจากกะลามะพร้าว ถ่านไม้โกงกาง และถ่านไม้กะบก ที่ขนาดเม็ดถ่านแตกต่างกัน โดยใช้ขนาด 0.35 , 0.45 และ 0.55

มิลลิเมตร ความหนาชั้นกรองเท่ากับ 90 และ 60 เซนติเมตรน้ำเสียจะนำมาปรับปรุงคุณภาพทางเคมีด้วยปูนขาว ปล่อยทิ้งให้ทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ และบางส่วนตกตะกอน 30 นาที แล้วจึงนำมาผ่านกระบวนการกรองช้าแบบอัตราการกรองลดลง (Declining-rate filtration) ศึกษาการกรองแบบต่อเนื่อง 6 ชั่วโมง ต่อชุดการทดลอง เก็บตัวอย่างน้ำแบบรวมทุก 2 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่เหลือก่อนและหลังการกรองจากการศึกษาพบว่า ถ่านไม้ที่นำมาทดลองสามารถลดปริมาณตะกั่วได้มากกว่าร้อยละ 90.0 โดยถ่านไม้ขนาดใช้งาน 0.35 มิลลิเมตร ลดปริมาณตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 98.19 ถ่านไม้ขนาด 0.45 มิลลิเมตร ปริมาณตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 97.67 สำหรับถ่านไม้ขนาด 0.55 มิลลิเมตร ลดปริมาณตะกั่วได้ร้อยละ 97.0 และเมื่อทำการศึกษาอายุการกรองของถ่านไม้ขนาด 0.35 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกรองน้ำเสียได้นาน 144 ชม. อัตราการกรองจึงลดต่ำมากถึง 0.058 ลบ.ม./ตร.ม./ชม หลังจากนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่านกรอง จากการทดลองนอกจากจะทำให้ทราบว่า การใช้ถ่านไม้ทั้ง 3 ชนิดเป็นสารกรองสามารถกรองน้ำเสียให้มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (0.2 มิลลิกรัม/ลิตร) แล้วยังสามารถผลิตน้ำกรองที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่มอีกด้วย (0.05 มิลลิกรัม/ลิตร)

จรรยาพร พุ่มงาม (2545) ได้ทำการศึกษาหาเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่มาใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการดูดซับและใช้สมการฟรอนด์ลิช ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับพบว่าเปลือกหอยแครง ซึ่งมีพื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุน ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าเปลือกหอยแมลงภู่สามารถกำจัดตะกั่วได้ดีกว่าเปลือกหอยแมลงภู่ ผลการนำเปลือกหอยขนาดต่างกันไปอบที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเปลือกหอยแครงขนาด 20-60 mesh ซึ่งนำไปตากแดดสามารถกำจัดตะกั่วได้ดีที่สุด โดยมีค่าคงที่การดูดซับของฟรอนด์ลิชเท่ากับ 9.46×10 มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเปลือกหอย

แคลทิยา ศีประคิษฐ์ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเป็นตัวดูดซับ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง ผลการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องพบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวกำจัดตะกั่วได้ดีที่พีเอช 4 และใช้เวลาถึงจุดสมดุล 15 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 92.4 ผลการทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ดูดซับ พบว่าความสูง 90 เซนติเมตร ใช้งานจนถึงเบรคทูล์ 15 ชั่วโมง ปริมาณน้ำที่บำบัดจนมีค่าความเข้มข้นตะกั่วเหลืออยู่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน 20.53 ลิตร และการดูดซับต่อน้ำหนักถ่านจากกะลามะพร้าว 0.1002 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วสูงสุด ร้อยละ 97.98

ประกฤต เลิศจรสอร่ามดี (2539) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและปรอท ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยการใช้ขี้เถ้า ฟางข้าว และขุยมะพร้าว ผลการทดลองพบว่า ขุยมะพร้าวที่ความเข้มข้น 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณ 0.20 กรัม สามารถกำจัดไอออนของตะกั่วและปรอท ในน้ำเสียสังเคราะห์ ได้ถึงร้อยละ 80 และ 78 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้ขี้เถ้าและฟางข้าว พบว่า ขุยมะพร้าวมีความสามารถในการกำจัดไอออนของโลหะได้ดีกว่าขี้เถ้าและฟางข้าว สำหรับน้ำเสียจากโรงงานแบตเตอรี่มีความเข้มข้นของตะกั่ว 0.3-0.7 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่า ขี้เถ้าและฟางข้าว และขุยมะพร้าว สามารถกำจัดไอออนของตะกั่วได้ทั้งหมด

รัตนา มหาชัย (2542) ทำการศึกษาคัดซับโลหะหนักบางชนิดด้วยวัสดุธรรมชาติ ที่หาง่ายและราคาถูก เช่น แกลบเผา ถ่านกัมมันต์ ขี้เถ้า คาโอลิน เบนโทไนท์ กาบมะพร้าว รั้วไหม เยื่อไม้ไผ่ และใยข้าวโพด พบว่าตะกั่วถูกดูดซับได้มากที่สุด ในวัสดุเกือบทุกชนิดโดยมีค่าการนำอยู่ ในช่วง 30-70 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักต่อน้ำหนัก ทองแดง แคลเมียม สังกะสี อยู่ในช่วง 2-10 เปอร์เซ็นต์ และนิเกิล โครเมียม แมงกานีส น้อยกว่า 1 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับความสามารถในการดูดซับโลหะของวัสดุเรียงตามลำดับมากไปน้อยได้ดังนี้ ขี้เถ้า ถ่านกัมมันต์ เบนโทไนท์ ส่วนถ่านแกลบ เยื่อไม้ไผ่ กาบมะพร้าว และใยไหม มีความสามารถในการดูดซับโลหะหนักใกล้เคียงกัน เมื่อกำจัดโลหะหนักผสมกันพบว่าวิธีการแบบต่อเนื่องมีประสิทธิภาพในการกำจัดได้ดีกว่าวิธีการออกแบบไม่ต่อเนื่อง ประมาณ 5 เท่า แต่เมื่อนำวิธีทั้งสองมารวมกัน โดยใช้วัสดุขี้เถ้าได้ผลเหมาะสมที่สุด

อจรรดา ดวงเดือน (2545) ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักขึ้นกับค่า พีเอช ซึ่งในการกำจัด แคลเมียม และเถ้าแกลบดำกำจัดตะกั่ว ทำการทดลองแบบคอลัมน์ พบว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมคือ พีเอช 5-6 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดร้อยละ 99.75 เมื่อใช้เปลือกไข่ประมาณ 3.28 กิโลกรัม ส่วนการกำจัดตะกั่วโดยใช้เถ้าแกลบดำ พีเอชที่เหมาะสม คือ 3 ขึ้นไป ประสิทธิภาพการดูดซับของสารกำจัดตะกั่วสูงถึง 99.85 เปอร์เซ็นต์ เมื่อใช้เถ้าแกลบดำปริมาณ 4.58 กิโลกรัม การกำจัดโลหะหนักนั้นยังขึ้นอยู่กับอัตราการกรองด้วย ถ้าอัตราการกรองช้าจะมีประสิทธิภาพสูงและมีอายุการใช้งานนานด้วย

จรรยาลักษณ์ ปาปะโพธิ์ และอุลา ทิพราช (2549) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแกลบเผา และกะลามะพร้าวในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียข้อมลิก โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับ ที่พีเอช 4, 5 และ 6 ตามลำดับ และปริมาณวัสดุดูดซับที่ 0.1 , 1.0, 5.0, 10.0 และ 15.0 กรัม ตามลำดับ และหาประสิทธิภาพของแกลบเผาและกะลามะพร้าวในการดูดซับโลหะหนักในน้ำข้อมลิก ที่สภาวะที่เหมาะสม พบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับโลหะหนักคือ พีเอช 5 ใช้ปริมาณวัสดุดูดซับ 15 กรัม และประสิทธิภาพของแกลบเผาในการดูดซับทองแดง โครเมียมและสังกะสี อยู่ในช่วง 89.66-100, 81.18-91.67 และ 81.13-100 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ในขณะที่กะลามะพร้าวมีประสิทธิภาพ

ในการดูดซับทองแดง โครเมียม และสังกะสี อยู่ในช่วง 85.71-95.45, 70.49-85.71 และ 69.69-98.41 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

บัญชา ชวาลไชย (2549) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียม และตะกั่วในสารละลายโดยใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับ โดยการใช้ เปลือกกล้วยแห้ง เปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟริกเข้มข้น และเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายด่าง ทำให้มีสภาพต่างกัน ปริมาณเยื่อใย เถ้า ไขมัน ความเป็นกรด ต่าง ขนาดรูพรุน เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพมีความสามารถในการดูดซับโลหะดีที่สุดในสภาพความเป็นกรด ต่าง ที่ 4 คือ ร้อยละ 87.53-97.77 ภายในเวลา 1 ชั่วโมง โดยสามารถดูดซับไอออนของตะกั่วได้ดีกว่าแคดเมียม นอกจากนี้ปริมาณและขนาดของตัวดูดซับมีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะหนักต่างกัน และได้ศึกษาสมมูลของการดูดซับแบบกะของเปลือกกล้วยเป็นแบบแลงเมียร์ โดยมีความจุสูงสุดของการดูดซับโลหะแคดเมียม และตะกั่วเท่ากับ 5.7405, 1.2680 และ 3.5273 มิลลิกรัมของแคดเมียมต่อกรัมของสารดูดซับ และ 8.7032, 1.4766 และ 1.0075 มิลลิกรัมของตะกั่วต่อกรัมของสารดูดซับ ตามลำดับ และเมื่อทดลองการกำจัดไอออนของโลหะแคดเมียมในน้ำเสียห้องปฏิบัติการภายใต้ที่เหมาะสมพบว่าเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟริกเข้มข้น สามารถกำจัดแคดเมียมได้สูงสุดคือ ร้อยละ 88.75 ส่วนเปลือกกล้วยแห้ง และเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายด่างกำจัดแคดเมียมได้ไม่ต่างกันคือ ร้อยละ 84.45 และ 83.75 ตามลำดับ

Namasivayam C. and D.Sangeetha (2004) ได้ทำการศึกษาสมมูลของการดูดซับฟอสเฟต โดยใช้ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมได้จากกากมะพร้าว ซึ่งกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$ โดยได้ศึกษาผลของค่าความเป็นกรด ต่าง ปริมาณของถ่าน เวลา อุณหภูมิ และปริมาณของฟอสเฟตที่ใช้ โดยอาศัยการดูดซับของแลงเมียร์ พบว่า มีความเป็นกรดต่างเท่ากับ 3 โดยมีปริมาณของถ่านที่ใช้ 300 มิลลิกรัม ปริมาณของฟอสเฟตที่ใช้ 50 มิลลิกรัม อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส และเวลา 3 ชั่วโมง จะทำให้ความสามารถในการดูดซับของแลงเมียร์สูงสุด คือ 5.1 มิลลิกรัมต่อกรัม

ชลเดช ตั้งตระการพงษ์ และภาณุมาศ พรหมเทศ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้เปลือกแพชชันฟรุต ซึ่งทำการศึกษาอิทธิพลของเวลาสัมผัส พีเอช ความเข้มข้นโลหะหนัก อุณหภูมิ สารละลายที่เหมาะสมในการชะโลหะหนัก และประสิทธิภาพในการนำกลับมาใช้ใหม่ ผลการทดลองพบว่าการดูดซับโลหะหนักเข้าสู่สมมูลประมาณ 60 นาที พีเอชที่เหมาะสมดูดซับแคดเมียม นิกเกิล เท่ากับ 7 และสังกะสี เท่ากับ 5 ปริมาณการดูดซับสูงสุดตามสมการแลงเมียร์เท่ากับ 16.50 มิลลิกรัมแคดเมียม 29.33 มิลลิกรัม นิกเกิล 13.33 มิลลิกรัมสังกะสีต่อกรัม ตามลำดับ และพบว่า เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น สารละลายที่เหมาะสมในการชะโลหะหนัก พบว่า กรดไนตริก ความเข้มข้น 0.1 โมล สามารถชะโลหะหนักได้ดีที่สุด และประสิทธิภาพการนำกลับมา

ใช้ใหม่ 5 รอบ พบว่า ประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียม นิกเกิล สังกะสี ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ ร้อยละ 21.05 39.08 และ 36.91 ของการดูดซับรอบที่ 1 ตามลำดับ

