

การบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลึกระจุย  
ด้วยถ่านเปลือกตาลโหนด

นางสาวสมหมาย ชูช่วย

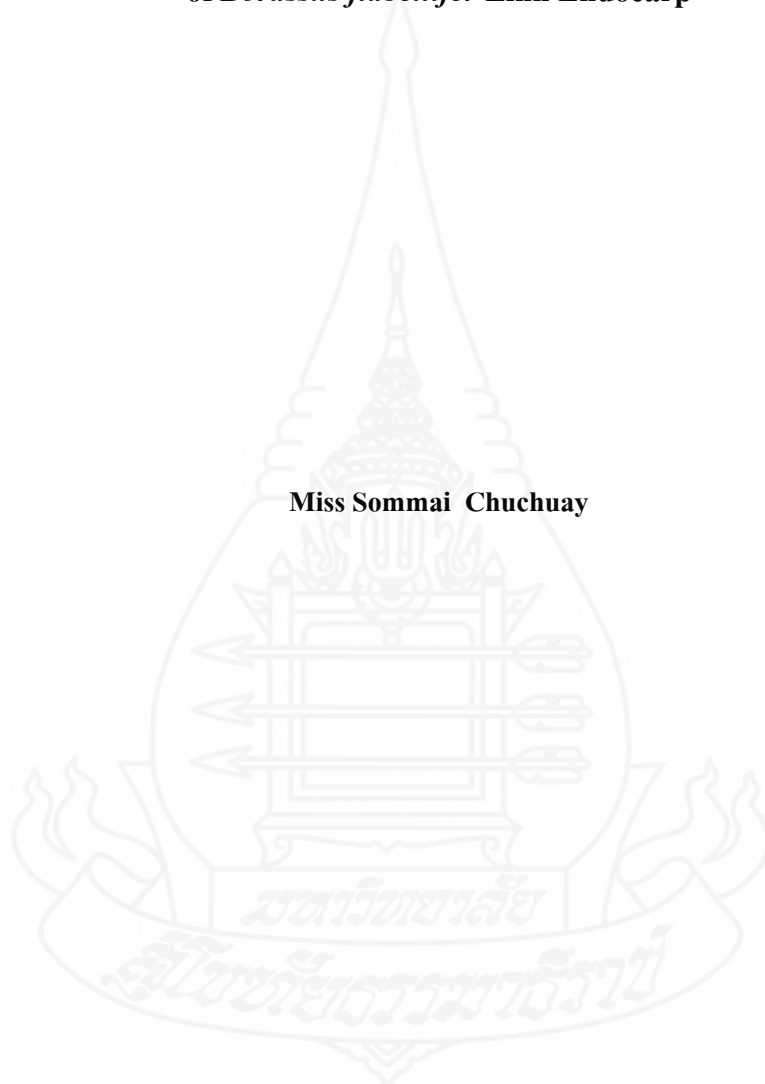


วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
แขนงวิชาสาธารณสุขศาสตร์ สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช

พ.ศ. 2554

**Treating Wastewater Generated from Krajud Dyeing by Using Charcoal  
of *Borassus flabellifer* Linn Endocarp**

**Miss Sommai Chuchuay**



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for  
the Degree of Master of Public Health in Industrial Environment Management

School of Health Science

Sukhothai Thammathirat Open University

2011

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลี่กระจุคด้วยถ่านเปลือกตาลโคตนค

ชื่อและนามสกุล นางสาวสมหมาย ชูช่วย

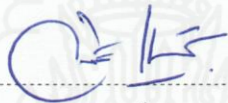
แขนงวิชา สาธารณสุขศาสตร์

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สุขภาพ มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช

อาจารย์ที่ปรึกษา 1. รองศาสตราจารย์สุดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์  
2. รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย  
3. รองศาสตราจารย์ ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป

วิทยานิพนธ์นี้ ได้รับความเห็นชอบให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา  
ตามหลักสูตรระดับปริญญาโท เมื่อวันที่ 19 มีนาคม 2555

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



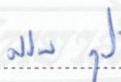
ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร. กิตติศิริ แก้วพิพัฒน์)



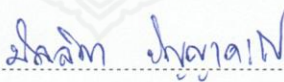
กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สุดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์)




กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย)



กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. มัลลิกา ปัญญาคะโป)



ประธานกรรมการบัณฑิตศึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจินต์ วิสุทธิรานนท์)



**ชื่อวิทยานิพนธ์** การบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลึกระจุคด้วยถ่านเปลือกตาลโดนด

**ผู้วิจัย** นางสาวสมหมาย ชูช่วย **รหัสนักศึกษา** 2515001226 **ปริญญา** สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต

(การจัดการสิ่งแวดล้อมอุตสาหกรรม) **อาจารย์ที่ปรึกษา** (1) รองศาสตราจารย์สุดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์

(2) รองศาสตราจารย์ ดร. ศิริศักดิ์ สุนทรไชย (3) รองศาสตราจารย์ ดร. มลลิกา ปัญญาคะโป

**ปีการศึกษา** 2554

### บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา (1) ปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโดนด ในการดูดซับสีและตะกั่วของน้ำเสียจากการข้อมลึกระจุค (2) เวลาที่สมควรของถ่านเปลือกตาลโดนดในการดูดซับสีและตะกั่วของน้ำเสียจากการข้อมลึกระจุค (3) ไอโซเทอร์มของการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโดนด และ (4) ประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโดนด ในการบำบัดสี ซีไอดี บีไอดี ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากการข้อมลึกระจุค

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ข้อมลึกระจุคสีแดงสดที่มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสี และใช้สารละลายตะกั่วมาตรฐานที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว ใช้ถ่านเปลือกตาลโดนด ขนาด 40-60 เมฆ เพื่อหาปริมาณถ่านที่เหมาะสมและเวลาที่สมควรในการดูดซับสีและตะกั่ว ของถ่านเปลือกตาลโดนด จากนั้นนำค่าที่ได้ทดลองกับน้ำเสียจริงจากการข้อมลึกระจุค เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดของถ่านเปลือกตาลโดนด การวิเคราะห์ข้อมูลใช้ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและร้อยละเพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัด

ผลการวิจัยพบว่า (1) ปริมาณถ่านเปลือกตาลโดนดที่เหมาะสมในการดูดซับสีและตะกั่วเท่ากับ 0.7 กรัม โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดร้อยละ 79.69 และ 66.90 ตามลำดับ (2) เวลาที่สมควรในการดูดซับสีและตะกั่วระยะเวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพการดูดซับสูงสุดร้อยละ 79.97 และ 66.40 ตามลำดับ (3) การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของตะกั่ว พบว่าสอดคล้องตามสมการไอโซเทอร์มแบบแลงเมียร์มากกว่าสมการไอโซเทอร์มแบบฟรุคติกซ์ และ (4) ถ่านเปลือกตาลโดนด มีประสิทธิภาพการบำบัดสี บีไอดี ซีไอดี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจากการข้อมลึกระจุคร้อยละ 75.19 55.45 68.48 71.76 และ 66.67 ตามลำดับ โดยคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัดมีค่าการบำบัดสี ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่ว อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่ค่าบีไอดีและซีไอดีสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นการนำไปใช้จริงควรสร้างบ่อซีเมนต์รวบรวมน้ำเสียเพื่อเป็นการบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลึกระจุคขั้นต้น ก่อนบำบัดด้วยถ่านเปลือกตาลโดนดโดยใช้คอลัมน์

**คำสำคัญ** สี ตะกั่ว การดูดซับ ถ่านเปลือกตาลโดนด น้ำเสียข้อมลึกระจุค

**Thesis title:** Treating Wastewater Generated from Krajud Dyeing by Using Charcoal of *Borassus flabellifer* Linn Endocarp

**Researcher:** Miss Sommai Chuchuay; **ID:** 2515001226;

**Degree:** Master of Public Health (Industrial Environment Management) ;

**Thesis advisors:** (1) Sudaw Lertwisuttipaiboon, Associate Professor; (2) Dr. Sarisak Soontornchai, Associate Professor (3) Dr. Mallika Panyakapo, Associate Professor; **Academic year:** 2011

### Abstract

The objectives of this research were: (1) to study suitable quantity of *Borassus flabellifer* Linn endocarp's charcoal in adsorption of dye and lead from wastewater generated from Krajud dyeing; (2) to study equilibrium duration of the charcoal in adsorption of dye and lead from the wastewater; (3) to find the lead adsorption isotherm of the charcoal; and (4) the efficiency of the charcoal in treating dye, COD, BOD, all dissolving fluids, and lead quantity in the wastewater.

This research was an experimental research. The research methods used the synthesized wastewater generated from red-color Krajud dyeing with the concentration of 1,000 mg/l. For the efficiency study of dye adsorption, the standard lead solutions from the concentration of 10 mg/l and more were used. For the efficiency study of lead adsorption, the charcoal with 40-60 mesh size was used in calculating the suitable quantity of the charcoal and equilibrium duration in the dye and lead adsorption by the charcoal. These results and those of the real wastewater were then used in calculating to find the wastewater treatment efficiency by the charcoal. The data were analyzed by mean, standard deviation and percent to find the treatment efficiencies.

The research results were that: (1) the suitable quantity of the charcoal in adsorption of dye and lead from the wastewater was of 0.7g. with the highest absorption efficiency of 79.69 and 66.90 %, respectively; (2) the equilibrium duration of the charcoal in adsorption of dye and lead from the wastewater was 1 hour with the highest absorption efficiency of 79.97 and 66.40 %, respectively; (3) the lead adsorption isotherm of the charcoal was in accordance with the isotherm equation of the Langmuir model more than that of the Freundlich model; and (4) the efficiencies of the charcoal in treating dye, COD, BOD, all dissolving fluids, and lead quantity in the wastewater were of 75.19, 55.45, 68.48, 71.76, and 66.67 %, respectively. The quality of treated water with the values of dye, all dissolving fluids, and lead quantity were under the standard levels whereas those of BOD and COD were over than the standard levels. Therefore, applying the cement pond should be constructed for the storage of wastewater as primary wastewater treatment from Krajud dyeing prior to treating with the charcoal in columns.

**Keywords:** Dye, Lead, Adsorption, Charcoal of *Borassus flabellifer* Linn endocarp, Wastewater from Krajud dyeing.

## กิตติกรรมประกาศ

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ล่วงได้ด้วยความกรุณาเป็นอย่างยิ่งจาก รองศาสตราจารย์  
สุดาว เลิศวิสุทธิไพบูลย์ รองศาสตราจารย์ ดร. ศรีศักดิ์ สุนทรไชย สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สุขภาพ  
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช และรองศาสตราจารย์มัลลิกา ปัญญาคะโป คณะวิทยาศาสตร์  
มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและติดตามการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ตลอดมานับตั้งแต่  
เริ่มต้นจนกระทั่งสำเร็จเรียบร้อยสมบูรณ์ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาของท่านเป็นอย่างยิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณบุคลากรภายในสาขาวิชาสุขภาพศาสตร์อุตสาหกรรมและสุขภาพ  
สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา และคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัย  
ทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา ที่อยู่เบื้องหลังความสำเร็จที่ให้ความช่วยเหลือสนับสนุน  
และให้กำลังใจตลอดมา

สมหมาย ชูช่วย

มีนาคม 2555



## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ฅ
สารบัญภาพ .....	ญ
บทที่ 1 บทนำ .....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา .....	1
วัตถุประสงค์การวิจัย .....	3
กรอบแนวคิด .....	3
ขอบเขตการวิจัย .....	4
นิยามศัพท์เฉพาะ .....	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ .....	5
บทที่ 2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง .....	6
กระจุก .....	6
การข้อมสีกระจุก .....	7
สีข้อม .....	10
น้ำเสียจากการฟอกข้อม .....	17
ตะกั่ว (Lead : Pb) .....	21
การดูดซับ (Adsorption) .....	25
สมการการดูดซับ .....	29
การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ .....	32
การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโตรมิเตอร์ .....	37
ताल टोनद .....	40
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง .....	45

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย .....	50
ตัวแปรที่ใช้ .....	50
สถานที่ทำการทดลอง .....	51
เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีในการดำเนินการวิจัย .....	51
การดำเนินการวิจัย .....	54
การวิเคราะห์ข้อมูล .....	62
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล .....	65
การหาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับสีและตะกั่ว ในน้ำเสียจากการข้อมลักระจุค ด้วยถ่านเปลือกตาลโดนค .....	65
การหาเวลาที่สมคูลของถ่านเปลือกตาลโดนคในการดูดซับสีและตะกั่ว ในน้ำเสีย จากการข้อมลักระจุค .....	73
การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโดนค .....	77
ประลัทธิภพของถ่านเปลือกตาลโดนค ในการบำบัดสี ซึโอดี บีโอดี ของแฉงละลายน้ำ ทั้งหมดและตะกั่วในน้ำเสียจรงจากการข้อมลักระจุค .....	80
บทที่ 5 สรุปรการวิจัย อภัปรายผล และข้อเสนอแนะ .....	81
สรุปรการวิจัย .....	81
อภัปรายผล .....	85
การนำไปใช้ประโยชน์ได้จรง .....	88
ข้อเสนอแนะ .....	89
บรรณานุกรม .....	89
ภาคผนวก .....	95
ก การสร้างกราฟมาตรฐาน .....	96
ข ภาพประกอบการทดลอง .....	99
ค คุณภพน้ำตามมาตรฐานต่างๆ .....	103
ประวัติผู้วิจัย .....	119



สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์ .....	67
ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ .....	68
ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์ .....	69
ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ .....	71
ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในช่วงระยะเวลาต่างๆ .....	74
ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในช่วงระยะเวลาต่างๆ .....	75
ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองไอโซเทอร์มของการดูดซับ .....	77
ตารางที่ 4.8 ค่าไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช .....	79
ตารางที่ 4.9 ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัด .....	80



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 2.1 การข้อมลี่กระจุจ .....	9
ภาพที่ 2.2 ลี่ข้อมลี่ชนิดชอง .....	14
ภาพที่ 2.3 ลี่ข้อมลี่ชนิดแบ่งขาย .....	14
ภาพที่ 2.4 กระบวนการผลิตและน้ำเสี่ยจากการผลิตผลิตภัณฑ์กระจุจ .....	18
ภาพที่ 2.5 ลักษณะน้ำเสี่ยจากการล้างทำความสะอาดหลังการข้อมลี่กระจุจ .....	19
ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแบบแลงเมียร์ .....	30
ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแบบฟรุนดลิคซ์ .....	31
ภาพที่ 2.8 ลี่ที่ปรากฏเมื่อมีการดูดกลืนคลี่นแสงในช่วง 400-700 นาโนเมตร .....	33
ภาพที่ 2.9 แผนภาพแสดงส่วนประกอบของเครื่อง AAS .....	38
ภาพที่ 2.10 ต้นตาล โตนด .....	40
ภาพที่ 2.11 เปลี่อกตาลโตนดอ่อน .....	43
ภาพที่ 2.12 เตาเผาแบบชาวบ้าน .....	44
ภาพที่ 2.13 ถ่านเปลี่อกตาลโตนด .....	44
ภาพที่ 3.1 แผนภูมิการหาความยาวคลี่นแสงที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในน้ำเสี่ยสังเคราะห์ ..	58
ภาพที่ 3.2 แผนภูมิการหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลี่อกตาลโตนดในการดูดซับลี่ และตะกั่ว .....	59
ภาพที่ 3.3 แผนภูมิการหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลี่อกตาลโตนดในการดูดซับลี่และตะกั่ว ..	60
ภาพที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการหาประสิทธิภาพของถ่านเปลี่อกตาลโตนดในการบำบัดน้ำเสี่ยจริง จากการข้อมลี่กระจุจ .....	61
ภาพที่ 4.1 กราฟการสแกนหาความยาวคลี่นสูงสุด .....	66
ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับลี่และตะกั่วของน้ำเสี่ยสังเคราะห์ในปริมาณถ่านเปลี่อก ตาลโตนดต่างๆ .....	72
ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับลี่และตะกั่วในช่วงระยะเวลาต่างๆ .....	76
ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของตะกั่ว .....	78
ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิคซ์ของตะกั่ว .....	79
ภาพที่ 5.1 บ่อซีเมนต์เพื่อเก็บน้ำเสี่ยจากการข้อมลี่กระจุจ .....	89

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การทำผลิตภัณฑ์กระดาษมีมาตั้งแต่ในอดีต สมัยก่อนชาวบ้านมักจะสานกระดาษเพื่อทำเป็นของใช้ต่างๆ ในครัวเรือนไม่ว่าจะเป็นเสื่อหรือสาดใช้ปูนั่ง กระสอบและกระบุงสำหรับใส่สิ่งของ ต่อมาได้มีการพัฒนาการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์หัตถกรรมรูปแบบต่างๆ ที่หลากหลายขึ้น และมุ่งเพื่อแหล่งตลาดเป็นสำคัญ เช่น เสื่อกระดาษ กระเป๋า รวมถึงของใช้ในชีวิตประจำวันแบบต่างๆ สร้างรายได้ให้แก่ชาวบ้านจำนวนมากทั้งที่เป็นอาชีพเสริมและอาชีพหลัก การทำผลิตภัณฑ์จากกระดาษเกิดขึ้นในหมู่บ้านทะเลน้อย ตำบลพนางตุง และตำบลทะเลน้อย อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง ซึ่งการทำผลิตภัณฑ์จากกระดาษดังกล่าวจัดเป็นอุตสาหกรรมชุมชน ชาวบ้านส่วนใหญ่ประมาณร้อยละ 80-90 ของครัวเรือนทั้งหมดประกอบอาชีพหลักในการทำผลิตภัณฑ์จากกระดาษ จากสภาพการประกอบอาชีพผลิตภัณฑ์กระดาษในปัจจุบันพบว่า มลพิษที่เกิดขึ้นคือน้ำเสียจากการฟอกย้อมกระดาษ

สีย้อมที่นิยมมากที่สุด คือ สีเบสิก (Basic Dye stuff) เนื่องจากการดูดติดสีง่ายและรวดเร็ว น้ำเสียจากการย้อมกระดาษมีความสกปรกในรูปบีโอดี 700 มิลลิกรัมต่อลิตร ซีโอดี 6,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และการปนเปื้อนโลหะหนัก ได้แก่ ทองแดง (Cu) ตะกั่ว (Pb) และ สังกะสี (Zn) (กรมควบคุมมลพิษ 2552) หากระบายน้ำทิ้งลงสู่ทะเลน้อยโดยตรงจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมของทะเลน้อยในระยะยาวได้ หรือระบายลงสู่ห้วย หนอง คลอง บึง หรือแม้แต่กระทั่งลงพื้นดิน ฯลฯ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่ตามมา ซึ่งน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษที่เหลือจากการย้อมจะถูกเททิ้งไหลซึมลงสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำใกล้เคียงกับจุดที่มีการย้อมสี ซึ่งปัญหาน้ำเสียจากการทำผลิตภัณฑ์จากกระดาษเป็นประเด็นที่การประชุมกลุ่มย่อยเครือข่ายชุมชนในพื้นที่ทะเลน้อยที่ดำเนินการโดยสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ระบุเป็นปัญหาที่ประชาชนต้องการให้หน่วยงานรัฐช่วยเหลือสนับสนุนด้านเทคโนโลยีการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ และเนื่องจากการทำผลิตภัณฑ์จากกระดาษเป็นอุตสาหกรรมชุมชนที่ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานอุตสาหกรรมตามพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 จึงยังไม่มีหน่วยงานใดเข้ามาควบคุมดูแลด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมดังกล่าว

การทำผลิตภัณฑ์กระจกมีขั้นตอนที่มีการปนเปื้อนของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว ทองแดง สังกะสี โครเมียม ในขั้นตอนการย้อมสีกระจก ซึ่งมีการปนเปื้อนของโลหะอยู่ในลักษณะของ 1) น้ำเสีย จากกระบวนการย้อมกระจก 2) ฝุ่นโลหะหนักจากการย้อมสีกระจก ซึ่งจากการศึกษาของ ศัญญา จันทร์สุวรรณ และ อุษา อันทอง (2552) โดยใช้น้ำสีสังเคราะห์ที่ใช้ย้อมสีกระจกในสีต่างๆ โดยใช้ ปริมาณสี 5 กรัม ต่อน้ำ 5 ลิตร วิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วโดยวิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรมิเตอร์ ผลการวิเคราะห์พบว่า สีย้อมกระจกสีม่วงมีปริมาณตะกั่ว 0.15 ppm สีย้อมกระจกสีดำมีปริมาณตะกั่ว 3.07 ppm สีย้อมกระจกผสมมีปริมาณตะกั่ว 0.70 ppm สีย้อมไหมชมพูมีปริมาณตะกั่ว 0.14 ppm ซึ่งพบว่าน้ำเสียจากกระบวนการย้อมสีกระจกมีโลหะหนัก คือ ตะกั่วปนเปื้อนอยู่ จึงได้มีศึกษาค้นคว้า เพื่อนำวัสดุเหลือใช้จากธรรมชาติ ที่มีอยู่จำนวนมากในท้องถิ่น คือ เปลือกตาลโตนด ซึ่งตำบลทะเลน้อยมีพื้นที่เชื่อมต่อกับอำเภอระโนด จังหวัดสงขลา เป็นถิ่นกำเนิดของตาลโตนดและมีการแปรรูป ผลิตภัณฑ์จากลูกตาลโตนด เช่น ลูกตาลอ่อน น้ำส้มสายชู น้ำตาล ขนมหาล ฯลฯ เปลือกตาลโตนด (จากการแกะเอาเนื้อลูกตาลอ่อนแล้ว) ซึ่งจะมีมากในพื้นที่ทะเลน้อย โดยมีพ่อค้านำรถบรรทุกลูกตาลโตนดเพื่อขายนักท่องเที่ยวหรือนำมาขายในตลาดนัดของพื้นที่ของอำเภอทะเลน้อยและอำเภอใกล้เคียง โดยปกติเปลือกตาลโตนดจะถูกนำไปทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ มีการทิ้งรวมกับขยะทั่วไปหรือทิ้งให้ย่อยสลายตามธรรมชาติบริเวณริมถนนใกล้กับจุดขายหรือทิ้งในพื้นที่ดินว่างเปล่าสาธารณะบริเวณใกล้เคียง ผู้วิจัยจึงคิดที่จะนำวัสดุเหลือใช้ภายในท้องถิ่นซึ่งมีอยู่เป็นจำนวนมากให้เกิดประโยชน์ ในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีกระจก เนื่องจากเปลือกตาลโตนดนำมาใช้ในการดูดซับสารอินทรีย์ และโลหะหนักในน้ำทิ้งได้ เพราะวัสดุดังกล่าวมีองค์ประกอบของเซลลูโลส ลิกนิน ซึ่งภายในโครงสร้างเหล่านี้ประกอบด้วยหมู่ไฮดรอกซิลิกและหมู่ฟีนอลิก มีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยน ไอออนในน้ำทิ้ง และน้ำเสียได้ (วิริยา วิริยะเขษม 2550)

การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษา ประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว จากน้ำเสียจากการย้อมสีกระจก โดยการใช้ น้ำสีสังเคราะห์ ศึกษาปริมาณที่สมดุลและเวลาที่เหมาะสม ในการดูดซับสีและตะกั่ว แล้วเลือกปริมาณที่เหมาะสมและเวลาที่สมดุลในการดูดซับสีและตะกั่ว ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับสี ตะกั่ว ซี ไอดี บี ไอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมดเพื่อที่จะเป็นแนวทางที่จะนำมาประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีกระจกได้จริง และที่สำคัญคือสร้าง การมีส่วนร่วมระหว่างชาวบ้านผู้ทำผลิตภัณฑ์จากกระจก ในการร่วมมือกันดำเนินการตามแนวทางการจัดการน้ำเสียให้เกิดความยั่งยืน ซึ่งจะส่งผลดีต่อคุณภาพน้ำของทะเลน้อยในอนาคตต่อไป

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

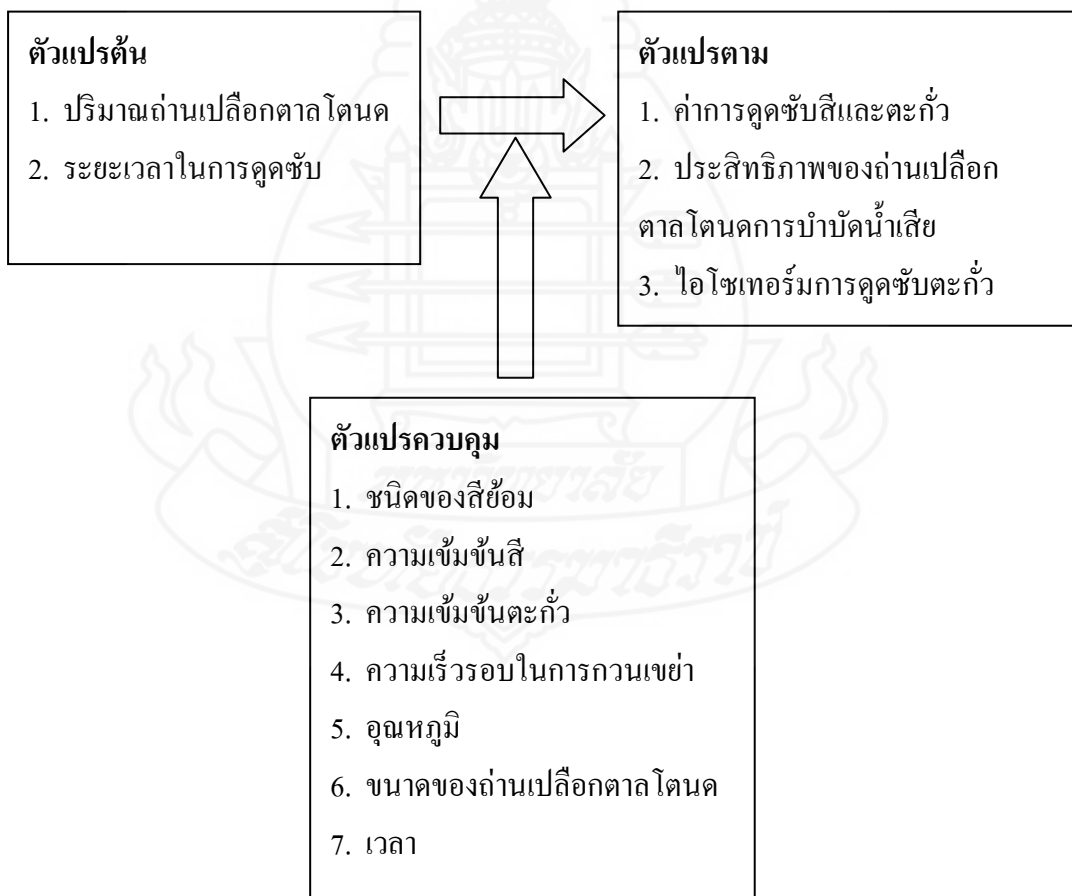
2.1 เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว ในน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ

2.2 เพื่อศึกษาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว ในน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ

2.3 เพื่อศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด

2.4 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการบำบัดสี ซีไอดี บีไอดี ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและตะกั่วในน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ

## 3. กรอบแนวคิด



#### 4. ขอบเขตการวิจัย

ทำการศึกษาโดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วและน้ำเสียสังเคราะห์จากสี่ข้อมักระจุตสีแดงสด และน้ำเสียจริงจากการข้อมสิกระจุตสีแดงสดของชุมชน ตำบลทะเลน้อย อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง โดยทำการทดลอง ณ ห้องปฏิบัติการทางด้านสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและสุขภาพสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา และห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

#### 5. นิยามศัพท์เฉพาะ

5.1 **น้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว** หมายถึง น้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วที่เตรียมขึ้น โดยมีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร

5.2 **น้ำเสียสีสังเคราะห์** หมายถึง น้ำเสียที่เตรียมจาก สี่ข้อมักระจุตสีแดงสด ได้น้ำเสียตัวอย่างที่มีความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร

5.3 **น้ำเสียการข้อมสิกระจุต** หมายถึง น้ำเสียจริงที่เกิดจากกระบวนการข้อมสิกระจุตสีแดงสด

5.4 **ถ่านเปลือกตาลโดนด** หมายถึง เปลือกตาลโดนดที่ตากแห้งแล้วนำมาเผาโดยใช้เตาเผาแบบชาวบ้าน นำมาบดและร่อนให้ได้ขนาด 40-60 mesh

5.5 **ไอโซเทอร์มของการดูดซับ** คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับต่อหน่วยน้ำหนักของ ตัวดูดซับและความเข้มข้นของสารดูดซับที่ถูกดูดซับที่เหลืออยู่ที่สมดุลของสารดูดซับ ณ อุณหภูมิที่หนึ่งๆ เมื่อนำความเข้มข้นของตัวดูดซับที่เหลือที่สมดุลของการดูดซับ ไปเขียนกราฟกับปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับจะได้เส้นโค้ง แนวมโน้มที่เกิดจากการลากเส้นผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมด

5.6 **ประสิทธิภาพในการดูดซับ** หมายถึง ความสามารถของถ่านเปลือกตาลโดนดในการดูดซับสีและตะกั่วของน้ำเสียจริงและน้ำเสียสังเคราะห์ โดยคิดประสิทธิภาพการดูดซับเป็นรูปร้อยละ ดังนี้

$$\text{ประสิทธิภาพในการดูดซับ} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ

B = ความเข้มข้นหลังการดูดซับ

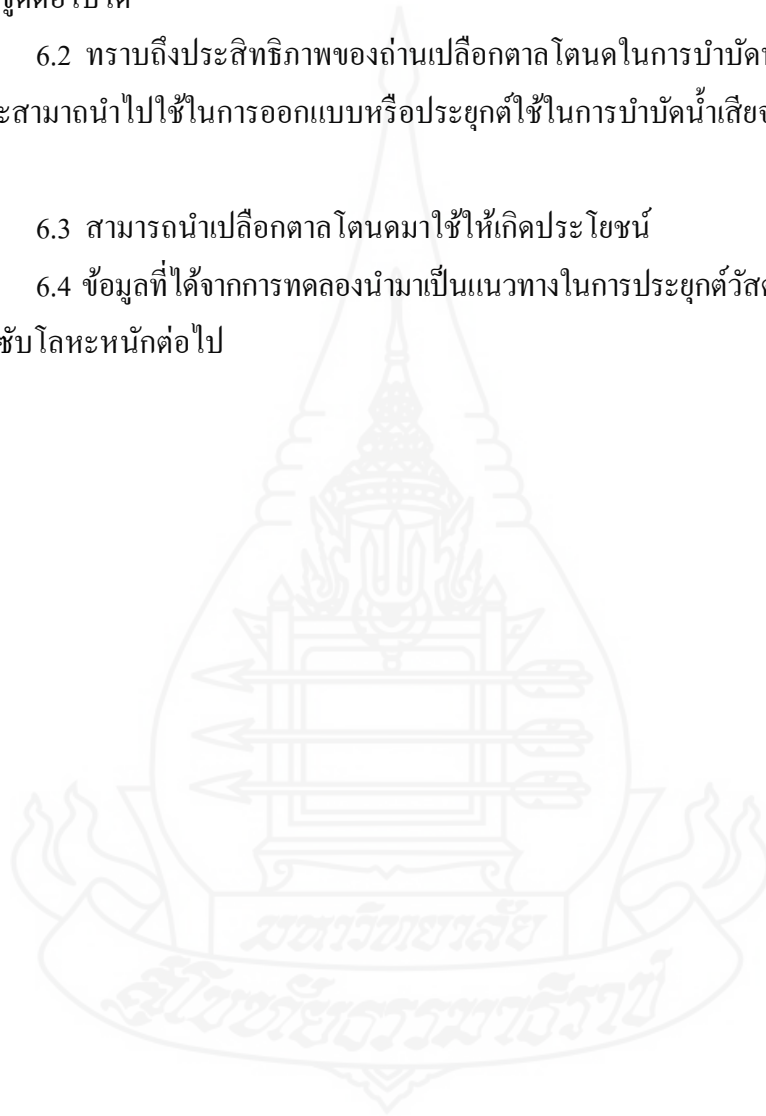
## 6. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

6.1 ทราบสถานะที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่วในน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษและสามารถนำไปใช้ในการออกแบบหรือประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษต่อไปได้

6.2 ทราบถึงประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษและสามารถนำไปใช้ในการออกแบบหรือประยุกต์ใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษต่อไปได้

6.3 สามารถนำเปลือกตาลโตนดมาใช้ให้เกิดประโยชน์

6.4 ข้อมูลที่ได้จากการทดลองนำมาเป็นแนวทางในการประยุกต์วัสดุเหลือจากการเกษตรในการดูดซับโลหะหนักต่อไป



## บทที่ 2

### วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาวิจัยเรื่องการบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลี่กระจูดโดยใช้สารดูดซับจากธรรมชาติ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง นำเสนอตามหัวข้อตามลำดับต่อไปนี้

1. กระจูด
2. การข้อมลี่กระจูด
3. ลีข้อม
4. น้ำเสียจากการฟอกข้อม
5. ตะกั่ว
6. การดูดซับ
7. สมการการดูดซับ
8. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำ
9. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์
10. ตาลโตนด
11. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 1. กระจูด

กระจูดเป็นพืชตระกูลเดียวกับกก (Sedge) ชนิดหนึ่งในวงศ์ Cyperaceae มีชื่อทางพฤกษศาสตร์ว่า *Lepironia articulata* เป็นวัชพืชที่เจริญเติบโตง่าย แพร่พันธุ์ได้รวดเร็ว ลำต้นของกระจูดมีลักษณะกลม ตรง กลวง มีข้อปล้องภายในคล้ายลำไผ่ มีเหง้าใต้ดิน ขึ้นเป็นกอใหญ่ ลำต้นกลมตรง โคนเท่าขนาดก้านไม้ขีดไฟถึงเท่าเท่ากดินสอด่า สูงประมาณ 1-2 เมตร ลำต้นสีเขียวอ่อน ออกดอกเป็นกระจูดแน่นหนึ่งกระจูดข้างลำต้น โกล่ยอคคล้ายดอกกระเทียม ลำต้นหุ้มด้วยกาบ (ศักดิ์อนันต์ปลาทอง 2550) พื้นที่ชุ่มชนทะเลน้อย อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง เป็นชุ่มชนหนึ่งที่พื้นที่เป็นที่ลุ่มหรือป่าพรุ มีกระจูดจำนวนมาก ประชาชนในพื้นที่ประกอบอาชีพการทำผลิตภัณฑ์จากกระจูด ซึ่งเป็นสินค้าอย่างหนึ่งที่ปรากฏอยู่ในโครงการหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ (OTOP) โดยการนำกระจูดดังกล่าวมาจักสานเป็น เสื่อ หมวก กระเป๋า พัด ฯลฯ ได้มีศึกษารูปแบบลวดลายที่มีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ทั้งการ



ศึกษาหาแนวทางเพื่อส่งเสริมให้ผลิตภัณฑ์กระจุสามารถแข่งขันกับผลิตภัณฑ์ชนิดอื่นๆ ในท้องตลาด ซึ่งสามารถส่งทั้งภายในและภายนอกประเทศ และสามารถหาแนวทางในการอนุรักษ์และส่งเสริม หัตถกรรมพื้นบ้านของไทยให้เป็นที่นิยมสืบไป

ในส่วนของน้ำเสียจากการย้อมสีกระจุคนั้นชาวบ้านไม่ได้ผ่านกระบวนการบำบัดใดๆ น้ำเสียจากกระบวนการย้อมจะไหลลงสู่พื้นดินหรือแหล่งน้ำในพื้นที่ใกล้กับจุดย้อมนั้นๆ ซึ่งเมื่อมีการ ชิมชับหรือฝนตกชะล้างน้ำทิ้งเหล่านั้นจะไหลลงสู่ลำคลอง บึง ต่างๆ จะไหลลงสู่ทะเลน้อยในที่สุด อีกทั้งชุมชนทะเลน้อยเป็นชุมชนที่สภาพบ้านยกพื้นมีใต้ถุนเป็นส่วนใหญ่ 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 ตลอดจนมีลวดลายสีสันทันหลายหลากสี ทั้งนี้ เพื่อความสวยงาม และน่าใช้ จึงมีการนำกระจุไปย้อมสี สีที่นิยมย้อมกันมาก ได้แก่ สีแดง สีเขียว สีนํ้าเงิน สีส้ม สีบานเย็น สีม่วง ฯลฯ

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

## 2.1 การย้อมสีกระดาษ จำแนกออกได้เป็น 2 ลักษณะ คือ

### 2.1.1 การย้อมสีกระดาษที่ผ่านกรรมวิธีฟอกขาวแล้ว

2.1.2 การย้อมสีกระดาษดิบ และกระดาษที่ผ่านกรรมวิธีฟอกสีด้วยแสงแดด การสานเสื่อกระดาษโดยทั่วไปส่วนใหญ่จะใช้วิธีการย้อมสีกระดาษในลักษณะที่ 2 เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่ายและใช้ต้นทุนในการผลิตต่ำที่สุด ส่วนการย้อมสีกระดาษในลักษณะที่ 1 ไม่เป็นที่นิยม เนื่องจากใช้ต้นทุนในการผลิตสูงมาก กรรมวิธียุ่งยาก และเป็นสารเคมีที่มีพิษสูง

2.2 ขั้นตอนในการย้อมสีกระดาษดิบและกระดาษที่ผ่านกรรมวิธีฟอกสี มีดังนี้ (สำนักงานพัฒนาชุมชนอำเภอควนขนุน 2553)

2.2.1 ทำการรีดลํากระดาษให้แบนราบ โดยใช้เครื่องบดระบบชุดลูกกลิ้ง หรือจะใช้วิธีการแบบพื้นบ้าน เช่น การตำด้วยสากไม้ หรือการเหยียบฟ่อนกระดาษตลอดแนวด้วยเท้า ฯลฯ เพื่อบดทำลายข้อปล้องภายในลํากระดาษ เพื่อสะดวกแก่การขดงอลํากระดาษลงในภาชนะรูปแบบต่างๆ

2.2.2 ทำการลอกกาบที่บริเวณโคนลํากระดาษออกให้หมด ทำการแบ่งแยกกระดาษออกเป็นกลุ่มๆ ละประมาณ 300 – 600 กรัมตามที่ต้องการ แล้วทำการมัดปลายหรือโคนต้น ด้านใดด้านหนึ่งด้วยยางให้แน่น แล้วมัดซ้ำอีกชั้นหนึ่งด้วยเชือกฟาง เพื่อสะดวกในการขนถ่ายระหว่างกรรมวิธีผลิต

2.2.3 นำมัดกระดาษไปทำการซักล้างน้ำเย็นสัก 1 – 2 ครั้ง เพื่อล้างคราบดินโคลน และสิ่งสกปรกบางส่วนออกไป จากนั้นนำไปแขวนทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ

2.2.4 นำมัดกระดาษไปต้มในน้ำเดือดประมาณ 15 – 20 นาที เพื่อชะล้างคราบดินโคลนที่เหลือ (หากยังมีคราบดินโคลนหลงเหลืออยู่ จะไปปรากฏเป็นคราบสีขาวเด่นชัดที่ผิวกระดาษหลังการย้อมสี) การทำให้สุกจะเป็นผลให้กระดาษเกิดความอ่อนตัว ย้อมสีติดได้ง่าย และสม่ำเสมอกว่าปกติ จากนั้นนำไปแขวนทิ้งไว้ให้สะเด็ดน้ำ

2.2.5 นำมัดกระดาษไปซักล้างด้วยน้ำเย็น เพื่อล้างคราบดินโคลน และสิ่งสกปรกที่เหลือ อันจะเป็นอุปสรรคต่อการย้อมสี จากนั้นแขวนให้สะเด็ดน้ำ (ลำดับนี้เคยได้มีการทดลองนำมัดกระดาษที่ผ่านการต้มน้ำเดือดเรียบร้อยแล้ว นำไปแช่น้ำทิ้งไว้ค้างคืน น้ำจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาล แสดงว่า ยังมีสีตามธรรมชาติ และสิ่งแปลกปลอมหลงเหลืออยู่ในลํากระดาษอีกมาก

2.2.6 ย้อมสีกระดาษ กำกระดาษโดยการมัดปลายหรือโคนต้น ด้านใดด้านหนึ่งให้แน่น เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายกระดาษระหว่างการย้อม ทำการเตรียมสีที่จะย้อม โดยนำน้ำในบีบประมาณ 7-10 ลิตร ต้มให้เดือด เทผงสีลงไปให้ละลาย จากนั้นนำกระดาษลงไปแช่เพื่อให้ดูดซับสี ดังแสดงในภาพที่ 2.1 ด้วยการกดให้จมน้ำสีที่ใช้ย้อม ทิ้งให้กระดาษสะเด็ดน้ำสีแล้วล้างคราบสีด้วยน้ำสะอาดอีกครั้ง



ภาพที่ 2.1 การย้อมสีกระจูด

**2.2.7 นำกระจูดไปแช่เพื่อผึ่งแดดจัดๆ บนพื้นราบ ทิ้งไว้สัก 2-3 วัน** โดยควรทำการกลับลำกระจูดวันละ 1 ครั้ง เพื่อให้การฟอกสีเป็นไปโดยสม่ำเสมอทั่วถึงตลอดลำกระจูด ทั้งนี้ จะต้องทำการเก็บกระจูดเข้าที่ร่มทุกคืน การตากกระจูดทิ้งไว้ค้างคืนเป็นเวลาหลายวัน จะเกิดโรครา ทำให้กระจูดเสียหายได้

**2.2.8 นำกระจูดที่ย้อมแล้วมารีดอีกครั้งจนแบนเรียบ** พร้อมทั้งจะนำไปทำผลิตภัณฑ์ต่างๆ น้ำเสียจากการย้อมกระจูดโดยการใช้สีในการย้อมกระจูด ของกลุ่มหัตถกรรมจักสานกระจูดชุมชนทะเลน้อยจะแบ่งรูปแบบของการย้อมสีกระจูดที่ก่อให้เกิดน้ำเสีย เป็น 2 รูปแบบ คือ 1) รวมกลุ่มกันผลิต เป็นกลุ่มแม่บ้าน มีกระบวนการย้อมสี ณ จุดเดียว 2) การผลิตเองที่บ้านแล้วนำผลิตภัณฑ์มาส่งขายในกลุ่ม กระบวนการย้อมสีจึงเกิดแบบกระจายแต่ละบ้าน ซึ่งน้ำเสียจากการย้อมกระจูดในการย้อมแต่ละครั้งต่อ 1 สี ประมาณ 7-10 ลิตร ในการย้อมแต่ละครั้งจะย้อมหลายๆ สี ซึ่งจะเริ่มย้อมจากสีอ่อนไปสู่สีเข้ม โดยการใช้สีจากสีอ่อนมาผสมสีต่างๆ เพื่อให้ได้สีที่ต้องการ เช่น ใช้สีย้อมจากสีแดงสดที่ผ่านการย้อมมาแล้ว ผสมกับสีดำจะได้กระจูดสีม่วง ความถี่ในการย้อมขึ้นอยู่กับความต้องการของตลาดในผลิตภัณฑ์ เฉลี่ยโดยประมาณ 7 วันต่อการย้อม 1 ครั้ง ซึ่งสีที่นิยมและใช้มากที่สุดในการย้อม ได้แก่ สีแดง (สัมภาษณ์อรุณวรรณ วิเชียรบุตร 2553) โดยน้ำเสียจากกระบวนการย้อมมีลักษณะที่สำคัญดังนี้ เช่น 1) ปริมาณสารอินทรีย์สูง ค่าบีโอดี และค่าซีโอดี ซึ่งสารอินทรีย์ที่ได้จากการย้อมโดยมีการใส่ สารส้มหรือน้ำยาล้างจานหรือผงซักฟอก ขึ้นอยู่กับผู้ย้อมใส่ เพื่อให้เส้นกระจูดเป็นมันวาว 2) ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำสูง 3) มีปริมาณของแข็งแขวนลอยทั้งหมดสูง 4) มีโลหะหนักเจือปนสูง เช่น ทองแดง สังกะสี ตะกั่ว (กรมควบคุมมลพิษ 2552)

### 3. สีย้อม

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

สีที่เห็นจากสีย้อมนั้นเกิดจากอิเล็กตรอนในพันธะคู่ ซึ่งอยู่ในโมเลกุลของสีย้อมนั้น มีความสามารถดูดกลืนพลังงานในช่วงสเปกตรัมต่างกัน พลังงานแสงที่สายตามองเห็นจะมีความยาวคลื่นช่วง 400–700 นาโนเมตร สีย้อมที่มีโครงสร้างทางโมเลกุลต่างกันจะมีความสามารถในการดูดกลืนพลังงานแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ กันไป ซึ่งสายตาสามารถรับภาพได้ จึงทำให้โมเลกุลสีย้อมต่างโทนสีกันแสดงสีให้เราเห็นด้วยสายตาดูออกมาเป็นต่างกันไป ซึ่งความคงทนจะต่างกันออกไปตามแต่ละประเภท และการยิดเกาะของสีประเภทนั้นๆ ทั้งนี้สามารถแบ่งสีย้อมออกได้ดังนี้

#### 3.1 การแบ่งสีย้อมตามลักษณะการเกิด

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

**3.1.2 สีย้อมสังเคราะห์ (Synthetic dyestuffs)** เป็นสีย้อมที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทางเคมี ซึ่งจะจำแนกทางโครงสร้างทางเคมี จำเป็นต้องมีพื้นฐานทางเคมีที่ดีเพราะ โครงสร้างก่อนข้างยุ่งยากมากอาจเกิดความสับสนได้ และการจัดส่วนใหญ่มักจัดตามโครงสร้างหลักในโมเลกุลของสีย้อม 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) สีมอร์แดนท์ (Mordant dyes) สีไคเร็กต์ (Direct dyes) และสีรีแอคทีฟ (Reactive dyes) โดยสีเหล่านี้เมื่อละลายน้ำจะมีประจุลบ

**3.2.2 สีย้อมที่มีหมู่ฟังก์ชันแคทไอออนิก (Cationic functional group)** ได้แก่ สีเบสิก (Basic dyes) เมื่อละลายน้ำให้โครงสร้างหลักที่มีประจุบวก

**3.2.3 สีย้อมที่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีก่อนที่จะนำมาย้อม** ได้แก่ สีแวต (Vat dyes) สีซัลเฟอร์ (Sulfer dyes) และสีเอโซอิก (Azoic) ในสถานะที่ไม่ละลายน้ำ

**3.2.4 สีย้อมที่ย้อมด้วยวิธีเฉพาะและพวกรงควัตถุ** ได้แก่ สีดีสเพอร์ส (Disperse dyes) โซลเวนท์ (Solvent) สีธรรมชาติ และพิกเมนต์

### 3.3 การแบ่งสีย้อมตามการนำไปใช้

การจำแนกสีย้อมที่นิยมกันมากที่สุด เพราะจะต้องมีความคงทนต่อการซัก มีความคงทนต่อแสงและยังต้องมีความคงทนต่อความร้อน โดยที่สีย้อมแต่ละประเภทจะมีสูตรโครงสร้างทางเคมี สมบัติของสีย้อม ตลอดจนวิธีใช้ที่แตกต่างกันไป ดังนั้นการเลือกใช้สีย้อมจึงมีความสำคัญอย่างมากในการย้อมสี เพราะวัตถุที่ต้องการย้อมอาจสามารถย้อมด้วยสีย้อมเพียงชนิดเดียวหรือย้อมด้วยสีย้อมหลายชนิดที่ต่างชนิดกันได้ ซึ่งในกลุ่มโรงงานอุตสาหกรรมได้จำแนกสีย้อมตามวิธีใช้ออกเป็น 11 ประเภท

**3.3.1 สีแอซิด (Acid dye)** สีชนิดนี้เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ มีประจุลบ ละลายน้ำได้ดี ส่วนใหญ่เป็นเกลือของกรดกำมะถัน กลไกในการติดสีเกิดเป็นพันธะไอออนิก ใช้ย้อมเส้นใยโปรตีน ในน้ำย้อมที่มีสภาพเป็นกรดเจือจาง สีเอสิคบางตัวสามารถนำไปใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลสบริสุทธิ์ได้ เช่น ปอ ป่าน ไนลอน ไยขนแกะ ไหม วิธีการใช้จะนำสีย้อมที่เกิดจากสารประกอบอินทรีย์ไปละลายน้ำย้อมที่เป็นกรดหรือเป็นกลาง สีเอสิคไม่ทนการซัก ไม่ทนเหงื่อ

**3.3.2 สีไคเร็กต์ (Direct dye)** หรืออาจเรียกว่าสีย้อมฝ้าย สีชนิดนี้ส่วนใหญ่เป็นสารประกอบ เอโซที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง มีหมู่กรดซัลโฟนิคที่ทำให้ตัวสีสามารถละลายน้ำได้ มีประจุลบ นิยมใช้ย้อมเส้นใยเซลลูโลส สีจะติดเส้นใยได้โดยโมเลกุลของสีจะจัดเรียงตัวแทรกอยู่ในระหว่างโมเลกุลเส้นใย และยึดจับกันด้วยพันธะไฮโดรเจน สีไม่ทนต่อการซักน้ำ สีตกง่าย ทนแสง

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

**3.3.4 สีดีสเพอร์ส (Disperse dye)** เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำแต่มีสมบัติกระจายได้ดี สามารถย้อมเส้นใยอะซิเตท เส้นใยโพลีเอสเตอร์ ไนลอน และอะคริลิกได้ดี การย้อมจะใช้สารพา (carrier) เพื่อช่วยเร่งอัตราการดูดซึมของสีเข้าไปในเส้นใยหรือย้อมโดยใช้อุณหภูมิ และความดันสูง เป็นสีที่ทนแสงแดดและการซักฟอกค่อนข้างดี แต่สีจะซีดถ้าถูกควันทันหรือแก๊สบางชนิด เช่น แก๊สไนโตรสออกไซด์ สีดีสเพอร์ส แบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากกลุ่มเคมีในตัวสีย้อม ได้แก่ สีย้อมเอโซ (azo dyes) และสีย้อมแอมมิโน แอนทราควิโนน (amino anthraquinone) ซึ่งทั้ง 2 กลุ่ม ประกอบด้วยอนุพันธ์ของเอทานอลามีน (ethanolamine;  $\text{NH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$ ) หรืออนุพันธ์ที่คล้ายคลึงกัน

**3.3.5 สีรีแอกทีฟ (Reactive dye)** เป็นสีที่ละลายน้ำได้ มีประจุลบ เมื่ออยู่ในน้ำจะมีสมบัติเป็นด่าง สีย้อมชนิดนี้เหมาะกับการย้อมเส้นใยเซลลูโลสมากที่สุด โมเลกุลของสีจะยึดจับกับหมู่ไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}^-$ ) ของเซลลูโลสและเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์ในสภาวะที่เป็นด่าง กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส สีรีแอกทีฟมี 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิสูง 70-75 องศาเซลเซียส และกลุ่มที่ย้อมติดที่อุณหภูมิต่ำ สีรีแอกทีฟให้สีที่สดใส ทุกสีติดทนในทุกสภาวะ

**3.3.6 สีเอโซอิก (Azonic dye)** สีย้อมชนิดนี้ไม่สามารถละลายน้ำได้ การที่สีจะก่อรูปเป็นเส้นใยได้ต้องย้อมด้วยสารประกอบฟีนอลซึ่งละลายน้ำได้ก่อน ซึ่งเป็นกระบวนการทำให้รวมตัวเป็นสี (coupling) แล้วย้อมทับด้วยสารไดอะโซคอมโปเนนท์จึงจะเกิดเป็นสีได้ สีเอโซอิกใช้ย้อมเส้นใยได้ทั้งเซลลูโลส ไนลอน หรืออะซิเตท สีเอโซอิกเป็นสีที่ทนต่อการซัก แต่ไม่ทนต่อการขจัด

**3.3.7 สีแว็ต (Vat dye)** เป็นสีที่ไม่สามารถละลายน้ำได้ เมื่อทำการย้อมต้องเตรียมน้ำย้อมให้ สีแว็ตละลายน้ำโดยให้ทำปฏิกิริยากับสารรีดิวซ์และโซเดียมไฮดรอกไซด์ สีแว็ตจะถูกรีดิวส์ให้กลายเป็นเกลือจึงซึมเข้าไปในเส้นใยได้ เมื่อนำผ้าไปผึ่งในอากาศสีในเส้นใยจะถูกออกซิไดส์เป็นสีแว็ต สีย้อมชนิดนี้มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญอยู่ 2 ชนิด คือ สีอินดิโก (indigoid) และสีแอนทราควิโนอยด์ (anthraquinoid)

**3.3.8 สีมอร์แดนต์ (Mordant dye)** สีย้อมชนิดนี้ต้องใช้สารช่วยติดเข้าไปช่วย เพื่อให้เกิดการติดสีบนเส้นใย สารที่ช่วยติดที่ใช่ คือ สารประกอบออกไซด์ของโลหะ เช่น โครเมียม ดิบุก เหล็ก อะลูมิเนียม เป็นต้น เป็นสีที่มีโมเลกุลใหญ่ซึ่งเกิดจาก สีมอร์แดนต์หลายโมเลกุลจับกับโลหะ แล้วละลายน้ำได้จึงทำให้ย้อมได้ง่าย ซึ่งใช้ย้อมเส้นใยโปรตีนและเส้นใยพอลีเอไมด์ได้ดี

**3.3.9 สีอินกรน** เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ โดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์หลังจากเกิดปฏิกิริยากับน้ำ สีย้อมชนิดนี้ใช้สำหรับย้อมผ้า

**3.3.10 สีออกซิเดชัน (Oxidation dye)** เป็นสีที่มีละลายน้ำโดยจะเกิดเป็นคอลลอยด์ หลังจากเกิดปฏิกิริยาในน้ำโดยสีจะติดแน่น อาศัยปฏิกิริยาการตกตะกอนผลึกภายในเส้นใย ใช้สำหรับ ย้อมฝ้ายและขนสัตว์

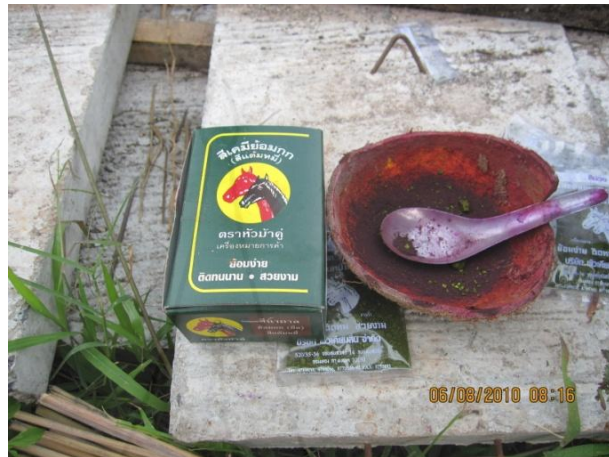
**3.3.11 สีซัลเฟอร์ (Sulfur dye)** เป็นสีที่ไม่ละลายน้ำ เมื่อทำการย้อมต้องรีดิวซ์สี เพื่อให้โมเลกุลอยู่ในสภาพที่ละลายน้ำได้ แต่สีซัลเฟอร์บางชนิดที่ผลิตออกมาจำหน่ายในรูปที่ถูกรีดิวซ์จะละลายน้ำได้ นิยมนำสีซัลเฟอร์มาย้อมฝ้าย สีจะติดทน และยังเป็นสีที่มีราคาถูก แต่สีที่อ่อนจะไม่ทนต่อการซัก ([http://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_topic.php](http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php))

### 3.4 สีที่นิยมใช้ย้อมกระจูด

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

### 3.5 การเลือกซื้อตัวย้อมกระจัดแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

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



ภาพที่ 2.2 ตัวย้อมชนิดซอง

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



ภาพที่ 2.3 ตัวย้อมชนิดแบ่งขาย



ซึ่งสีทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถหาซื้อได้ตามร้านขายของชำในพื้นที่ที่มีการทำผลิตภัณฑ์กระจุค โดยวางขายร่วมกับสินค้าอื่นๆ ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่าสีข้อมกก (สีแถมหมี่ใหม่) 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 หากอยู่ในลักษณะสารประกอบอนินทรีย์ เช่น  $HgCl_2$  จะเป็นพิษต่อไต แต่ถ้าอยู่ในรูปสารประกอบอินทรีย์ เช่น เมทิลเมคิวรี (Methyl mercury) หรือเอทิล เมคิวรี (Ethyl mercury) จะเป็นพิษต่อระบบประสาท การอยู่ลักษณะเป็นสารอินทรีย์จะทำให้ละลายได้ดีในไขมันจึงสามารถผ่านเข้าสมองง่ายเช่นเดียวกับ สารประกอบของตะกั่ว (Tetraethyllead) จะเข้าไปในปอดอกหุ้มประสาท ทำให้เป็นพิษต่อปลายประสาทได้ง่าย โลหะอินทรีย์จะถูกขับออกทางน้ำดี ส่วนโลหะอนินทรีย์จะถูกขับออกทางไต

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

4) ปัจจัยเกี่ยวกับผู้ได้รับโลหะหนัก โดยทั่วไป สัตว์ที่มีอายุน้อยจะมีความไวต่อความเป็นพิษของโลหะมากกว่าสัตว์ที่มีอายุมากกว่า ในเด็กจะพบว่ามีความไวต่อตะกั่ว เนื่องจากเมื่อคิดน้ำหนักตัวแล้ว 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 มีผลให้ระดับสติปัญญาต่ำกว่าเด็กไม่ได้รับสารเหล่านี้

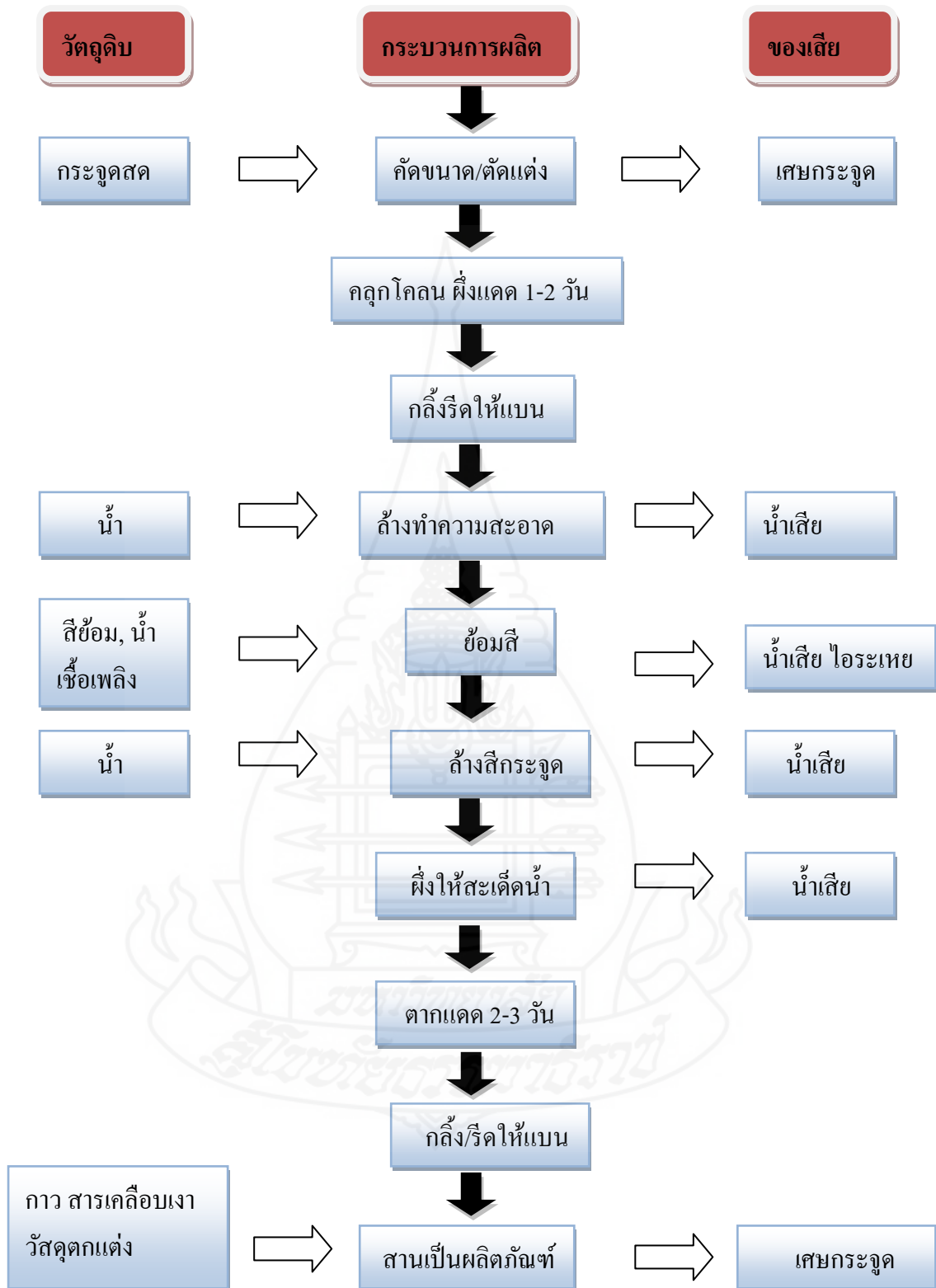
4) ผลต่อไต ไตเป็นอวัยวะสำคัญในการขับของเสียออกจากร่างกาย ดังนั้นไตจึงเป็นอวัยวะเป้าหมายอย่างหนึ่งของโลหะ แคลเซียมจะทำลายเซลล์บุท่อไตส่วนต้น ทำให้การทำงานของไตผิดปกติ โดยจะทำให้กรดอะมิโน โปรตีน โมเลกุลขนาดเล็กและน้ำตาลออกมาพร้อมกับปัสสาวะ

สารประกอบปรอทอินทรีย์ ตะกั่ว โครเมียม และพลาทินัม 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 กระบวนการผลิตและน้ำเสียจากการผลิตผลิตภัณฑ์กระจูด

#### 4.1 น้ำเสียที่เกิดจากการทำผลิตภัณฑ์กระจูด ประกอบด้วยน้ำเสีย 3 ประเภท

4.1.1 **น้ำเสียจากการล้างกระจูด เกิดจากการล้างกระจูดก่อนและหลังการย้อม** จะมีปริมาณเฉลี่ย 20-30 ลิตร ในการล้างในแต่ละครั้ง และเกิดขึ้นพร้อมกับการย้อมกระจูด โดยจะต้องทำการย้อมครบโคลนออกจากกระจูดให้สะอาดก่อนนำไปย้อม และหลังจากการย้อมสีจะต้องใช้น้ำล้างกระจูดเพื่อล้างคราบสีส่วนเกินออกเพื่อให้ในการย้อมมีความสม่ำเสมอ โดยมีลักษณะน้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดหลังย้อมสีกระจูด ดังแสดงในภาพที่ 2.5



ภาพที่ 2.5 ลักษณะน้ำเสียจากการล้างทำความสะอาดหลังการย้อมสีกระจูด

4.1.2 **น้ำเสียจากการย้อมสีกระจูด** คือ น้ำสีที่เหลือจากการย้อม ส่วนใหญ่มีปริมาณ 1-5 ลิตร ต่อครั้ง ปริมาณน้ำเสียจากการย้อมจะสัมพันธ์กับความถี่ในการย้อม

สำหรับการจัดการน้ำเสียที่เกิดขึ้นผู้ประกอบการเกือบทั้งหมดจะเททิ้งลงโดยตรง เพื่อปล่อยให้ไหลซึมผ่านสู่ใต้ดิน และยังมีน้ำเสียจากการปล่อยให้กระจูดสะเด็ดน้ำอีกด้วย 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 สารที่ทำให้น้ำเสียฟอกย้อมมีค่า pH และค่าสภาพด่างสูง ได้แก่ โซเดียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งมีการใช้ในขั้นตอนการขจัดสิ่งสกปรกเจือปน (Scouring)

4.2.3 **มีอุณหภูมิสูง** โดยทั่วไปจะมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส โดยเฉพาะในขั้นตอนที่มีการใช้ความร้อน เช่น ขั้นตอนการขจัดสิ่งสกปรกเจือปน ขั้นตอนการย้อม

4.2.4 **มีปริมาณของแข็งละลายน้ำสูง** ส่วนใหญ่เป็นการละลายของแข็งพวกเกลือโซเดียมและกรดต่างๆ

4.2.5 **มีความเข้มข้นสูง** เนื่องจากในการย้อมสีของเส้นใย เส้นใยจะมีการดูดซึมสีย้อมเพียงบางส่วนเท่านั้น ดังนั้นจึงมีสีย้อมหลงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อม และจะถูกปล่อยออกมากับน้ำเสีย 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 ส่วนใหญ่จะมีคงเหลืออยู่ในสารละลายสีย้อมหรือน้ำซักล้าง ซึ่งจะถูกล้างปนออกมาในน้ำเสีย

## 4.3 ผลกระทบของน้ำเสียจากการฟอกย้อมต่อสิ่งแวดล้อม

4.3.1 **สารอินทรีย์** ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำลดลง ทำให้สิ่งมีชีวิตในน้ำตายเนื่องจากขาดออกซิเจน ทำให้เกิดกลิ่นเหม็นจากการเกิดปฏิกิริยาแอนแอโรบิก (Anaerobic) และไม่ทำให้สามารถใช้แหล่งน้ำนั้นทำประโยชน์ได้สารอินทรีย์บางชนิดเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตมีผลทำให้เกิดอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำและอาจเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ในกรณีที่ได้รับสารโดยตรงจากการบริโภคสัตว์น้ำ นอกจากนี้สารพิษเหล่านี้ยังอาจสะสมอยู่ในระบบนิเวศหากสารนั้นเป็นสารที่สลายตัวได้ยาก

**4.3.2 ค่าความเป็นด่าง** น้ำเสียมักมีค่าพีเอชสูงเมื่อปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ โดยตรงแล้วจะเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ เพราะโดยทั่วไปสิ่งมีชีวิตจะดำรงชีพอยู่ได้ในสภาวะที่เป็นกลาง ช่วงพีเอช 6-9

**4.3.3 อุณหภูมิที่สูง** จะมีผลทำให้เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้ปริมาณออกซิเจนในน้ำลดลง

**4.3.4 ปริมาณสารละลายน้ำทั้งหมด** อาจทำให้สัตว์น้ำเกิดโรคที่ร้ายแรงได้และน้ำไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้

**4.3.5 สี** ทำให้เกิดทัศนียภาพที่ไม่ดีของแหล่งน้ำและทำให้ปริมาณแสงที่จะส่องผ่านลงสู่แหล่งน้ำลดลง 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 รุจิวัฒน์ และจุฑามาศ สัตยวิวัฒน์ 2549) และหากในแหล่งน้ำมีสารตะกั่วเจือปนจะทำให้สิ่งมีชีวิตที่ถูกเจือปนเข้าสู่สิ่งมีชีวิต ในแหล่งน้ำที่ถูกเจือปนโดยตะกั่ว อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค เมื่อตะกั่วเข้าสู่ร่างกายของคนเรานั้น ส่วนใหญ่จะถูกสะสมไว้ในเนื้อเยื่อ โครงสร้าง 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 และภาวะโภชนาการ โดยในภาวะที่ท้องว่างหรือได้รับอาหารที่ขาดธาตุแคลเซียม เหล็ก และทองแดง หรือมีสารฟอสเฟตต่ำจะทำให้ตะกั่วถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ดีขึ้น

**5.1.2 การดูดซึมจากระบบทางเดินหายใจ** การหายใจเอาควัน หรือฟุ้งของตะกั่วที่หลอมเหลวเข้าไป เช่น จากการหลอมตะกั่ว การพันทราย การเคาะสี 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 รุจิรวัฒน์ และจุฑามาศ สัตยวิวัฒน์ 2549)

#### 5.3.1 พืชตะกั่วในผู้ใหญ่

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

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

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

4) *อาการทางโลหิต* ผู้ป่วยมักจะมีอาการซีดเลือดจาง อ่อนเพลีย นอกจากอาการดังกล่าวแล้วผู้ป่วยมักมีอาการปวดศีรษะ มึนงง ในรายที่เป็นเรื้อรัง พบว่ามีอาการตัวเหลือง ตาเหลือง ได้ด้วย

#### 5.3.2 พืชตะกั่วในเด็ก

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

2) *ระบบทางเดินปัสสาวะ* ตะกั่วทำลายไตโดยตรง ทำให้เกิดการฟอสฟอรัสของบริเวณที่กรองปัสสาวะ

3) *ระบบเลือด* นอกจากจะทำให้เม็ดเลือดแดงแตกง่ายแล้ว ตะกั่วยังขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบินทำให้มีอาการซีด โลหิตจางได้

4) *พืชต่อหัวใจ* ทำให้เกิดกล้ามเนื้อหัวใจอักเสบ

5) ระบบทางเดินอาหาร ทำให้กล้ามเนื้อเรียบมีการเกร็ง เกิดอาการปวดท้องมาก

6) การเจริญเติบโต ระดับตะกั่วในเลือด ตั้งแต่ 25 ไมโครกรัมต่อเดซิลิตรขึ้นไป มีผลกระทบ ทำให้การเจริญเติบโตไม่สมอายุ

## 5.4 อาการโรคพิษตะกั่ว

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

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

## 5.5 การขับถ่ายตะกั่วออกจากร่างกาย

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

## 5.6 การรักษาโรคพิษจากตะกั่ว

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

## 5.7 ปริมาณสารตะกั่วตามมาตรฐานต่าง ๆ

**5.7.1 ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม 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 กระบวนการแยกมลสารซึ่งอาจอยู่ในรูปของ โมเลกุลหรือคอลลอยด์ (ทั้งในสถานะของของเหลว และก๊าซ) ที่มีอยู่ในสารละลายหรือก๊าซ ให้เกาะอยู่บนผิวของของแข็ง ซึ่งจัดอยู่ในกระบวนการบำบัดทางกายภาพ- เคมี เพื่อให้สารละลายหรือก๊าซดังกล่าว มีความสะอาดมากขึ้นด้วยกลไกของกระบวนการที่เกี่ยวข้องในกระบวนการดูดซับ ประกอบไปด้วยสารสำคัญ 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 ผงซักฟอก เป็นต้น

## 6.2 ประเภทของการดูดซับ

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van Der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (Physical adsorption) แต่ถ้าวัดแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า 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 กิโลจูลต่อโมล และสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น (Multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้า โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย (เดชา นัตริศิริเวช 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 และสารที่นำมาเป็นรีเจนเนอแรนต์ (Regenerant) มักเป็นสารราคาถูก เช่น เกลือแกง

#### 6.4 ปัจจัยต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการดูดซับ

ระหว่างที่มีการดูดซับเกิดขึ้น โมเลกุลของตัวถูกดูดซับส่วนใหญ่จะจับภายในรูพรุนของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลของตัวถูกดูดซับจากเฟสของไหลไปยังตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงจุดสมดุลแล้วจะหยุดการดูดซับที่จุดสมดุล ความเข้มข้นของตัวถูกดูดซับจะมีค่าเหลือน้อยมากในเฟสของของไหลเพราะส่วนมากจะเคลื่อนที่ไปจับอยู่กับตัวดูดซับหมดแล้ว ณ จุดสมดุลของการดูดซับผิวของตัวดูดซับจึงเป็นคุณสมบัติที่สำคัญ ซึ่งใช้ในการกำหนดขีดความสามารถของระบบดูดซับเช่นทำให้รู้ว่าระบบดูดซับจะสามารถกำจัดสารอินทรีย์ได้มากน้อยเพียงใด เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีสิ่งที่สำคัญอีกประการหนึ่งที่ต้องกล่าวถึงคือ จลนศาสตร์ของระบบซึ่งอธิบายถึงอัตราเร็วของการดูดซับนั่นคือ เมื่อรู้ว่าการดูดซับจะสามารถเกิดขึ้นได้เท่าไดยังต้องรู้ว่าอัตราเร็วของการดูดซับจะเกิดขึ้นได้ภายในเวลาเท่าใดเพื่อนำไปกำหนดเวลาสัมผัสระหว่างตัวดูดซับกับเฟสของของไหลที่มีตัวถูกดูดซับอยู่อัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้ (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** คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญของตัวดูดซับคือ ขนาดของตัวดูดซับมีผลต่ออัตราเร็วในการดูดซับในทางลบ กล่าวคือ อัตราดูดซับเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดของตัวดูดซับ ส่วนพื้นที่ผิวของตัวดูดซับนั้นมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขีดความสามารถในการดูดซับ นั่นคือตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดซับตัวถูกดูดซับได้มากกว่าตัวดูดซับที่มีพื้นที่ผิวน้อย

**6.4.3 ความสามารถในการละลายของตัวถูกดูดซับ** ภายในเฟสของของไหล เมื่อมีการดูดซับเกิดขึ้น ตัวถูกดูดซับจะถูกแยกออกจากเฟสของของไหล และไปเกาะติดอยู่ที่ผิวของตัวดูดซับ ตัวถูกดูดซับที่สามารถละลายได้ในเฟสของของไหล ได้ดีย่อมจะมีแรงยึดเหนี่ยวที่มาก จึงเป็นการยากที่ตัวถูกดูดซับจะมาเกาะติดที่ผิวของตัวดูดซับ แต่เกณฑ์นี้ไม่แน่นอนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสมบัติทางกายภาพของตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับด้วย

**6.4.4 ขนาดของตัวถูกดูดซับ** ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีอิทธิพลคือ การดูดซับจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อตัวถูกดูดซับสามารถเข้าไปในรูพรุนได้หรือมีขนาดเล็กกว่ารูพรุนเล็กน้อย ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับจะมีค่ามากที่สุด โดยตัวถูกดูดซับขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในรูพรุนก่อนแล้วตัวถูกดูดซับขนาดใหญ่กว่าจึงจะถูกดูดเข้าไปบ้าง

**6.4.5 ค่าพีเอช** เนื่องจากพีเอชมีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็น ไอออนและการละลายในน้ำของสารต่างๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับในระบบที่มีกระบวนการละลายในน้ำด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของตัวดูดซับได้ด้วย

**6.4.6 อุณหภูมิ** มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และลดลงตามอุณหภูมิลดลง 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 ตัวดูดซับและความเข้มข้นของสารดูดซับที่ถูกดูดซับที่เหลื่ออยู่ที่สมดุลของสารดูดซับ ณ อุณหภูมิที่หนึ่งๆ เมื่อนำความเข้มข้นของตัวดูดซับที่เหลื่อที่สมดุลของการดูดซับไปเขียนกราฟกับปริมาณของตัวถูกดูดซับต่อน้ำหนักตัวดูดซับจะได้เส้นโค้ง แนวโน้มที่เกิดจากการลากเส้นผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมดเรียกว่า ไอโซเทอร์มของการดูดซับ

## 7. สมการการดูดซับ

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

### 7.1 สมการไอโซเทอร์มของแลงเมียร์ (Langmuir adsorption isotherm)

Langmuir ได้เสนอแบบจำลองการดูดซับและการคายซับของก๊าซจากผิวของแข็งเพื่ออธิบายการดูดซับเชิงปริมาณ (Quantitative) ไว้ ซึ่งแบบจำลองของ Langmuir นั้นพัฒนาสำหรับการดูดซับเชิงเคมี แต่ได้ก็มีการประยุกต์ไปใช้สำหรับการดูดซับเชิงกายภาพด้วย

เนื่องจากอุณหภูมิมิมีผลอย่างมากต่อการดูดซับ 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)

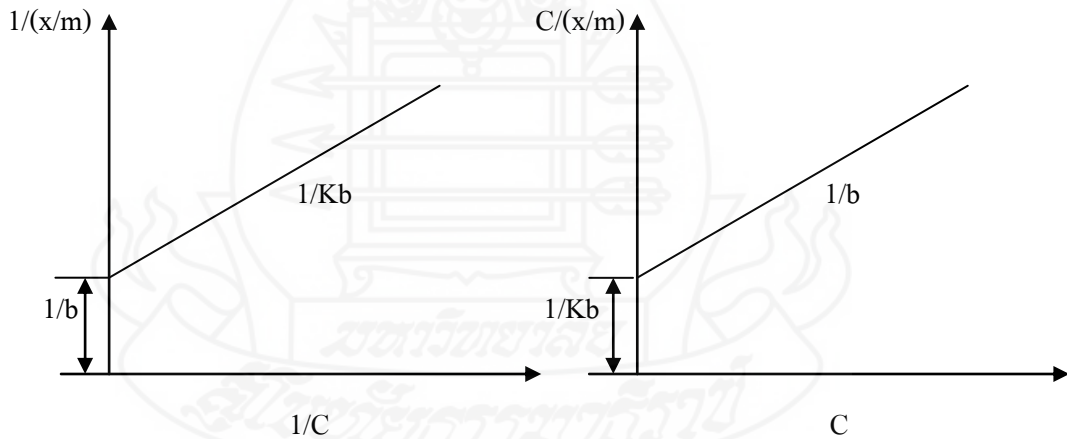
$V =$  ปริมาณของน้ำที่ใช้ในการทดลอง (l)

$K =$  ค่าคงที่ของการดูดซับ

$b =$  ค่าคงที่

เมื่อนำสมการทั้งสองมาเขียนกราฟจะได้กราฟเส้นตรงดังต่อไปนี้ ดังแสดงในภาพที่

2.6



ภาพที่ 2.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการแบบแลงเมียร์

### 7.2 สมการไอโซเทอร์มของฟรอนด์ลิช (Freundliche adsorption isotherm)

Freundliche 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)

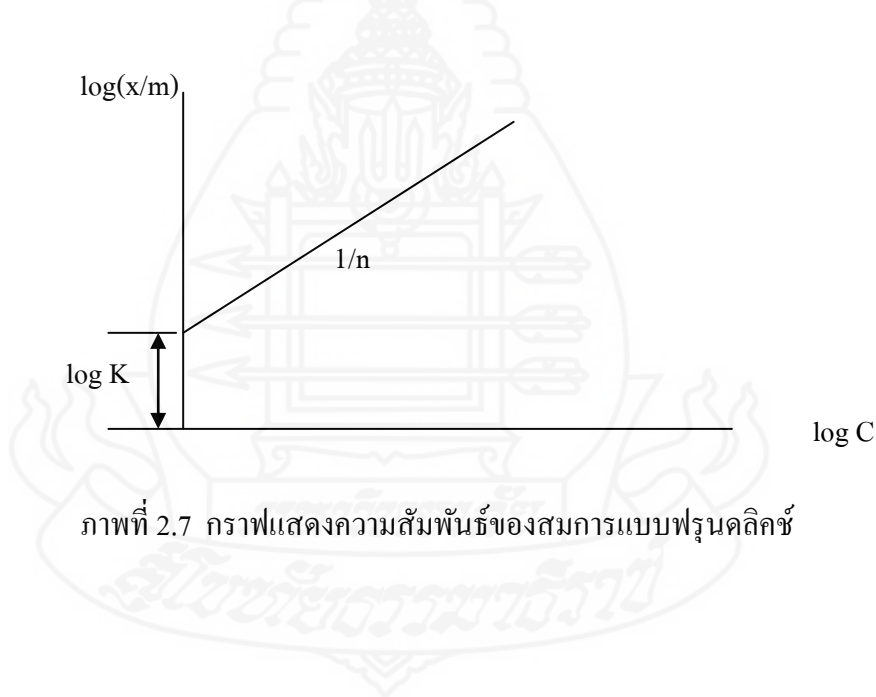
$K =$  ค่าคงที่ของการดูดซับ

$b =$  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

น้ำทิ้งที่เกิดจากการฟอกย้อมสีของกลุ่มย้อมสีกระจุกเป็นจำนวนมากได้ถูกเททิ้งสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยไม่มีระบบบำบัด 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 ซึ่งจำเป็นต้องต่อการสังเคราะห์แสงของพืช

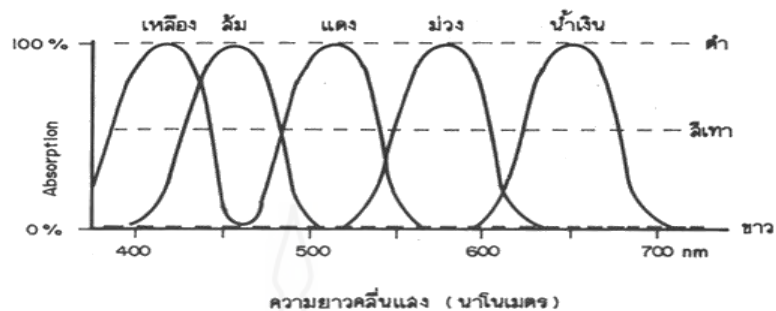
8.1.4 การผลิตออกซิเจนลดลง เนื่องจากผลกระทบจากข้อ 7.1.3) ซึ่งส่งผลต่อสัตว์น้ำ

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 โทนนีที่ปรากฏเมื่อเกิดการดูดกลืนคลื่นแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆ เป็นดังรูปต่อไปนี้ (มันสิน ตันกุลเวศม์ 2540)



ภาพที่ 2.8 สีที่ปรากฏเมื่อมีการดูดกลืนคลื่นแสงในช่วง 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 (กรรณิการ์ สิริสิงห 2544)

### 8.2 ค่าของแข็ง (Solids)

ทางด้านสิ่งแวดล้อม จะถือว่าองค์ประกอบทุกอย่างในของเหลวส่วนที่ไม่ใช่น้ำ เป็นของแข็งทั้งสิ้นจึงอาจให้คำจำกัดความของแข็งว่าหมายถึง 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 ของแข็งคงที่สลายตัวเมื่อเผาที่ 550 องศาเซลเซียส นาน 15-20 นาที ส่วนที่เหลือ คือ ของแข็งคงตัว ปริมาณของแข็งระเหยมักแปลผลเป็นปริมาณสารอินทรีย์ โดยถือว่าที่อุณหภูมินี้สารอินทรีย์จะเปลี่ยนไปเป็น  $\text{CO}_2$  และ  $\text{H}_2\text{O}$  ซึ่งไม่ถูกต้อง 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเผาไหม้สารอินทรีย์บางตัวจะมีเถ้าเหลืออยู่ ในขณะที่สารอินทรีย์บางชนิดจะสลายตัวได้ที่อุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปเพราะสารอินทรีย์หลายตัวจะสลายที่อุณหภูมิไม่ให้สูงเกินไปเพราะสารอินทรีย์หลายตัวจะสลายที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส

#### 3) ของแข็งตกตะกอน (*Settleable solid*)

ของแข็งตกตะกอน หมายถึงของแข็งในน้ำตัวอย่าง ซึ่งจะนอนก้นเนื่องจากแรงโน้มถ่วงภายใต้สภาวะที่สงบนิ่งเฉพาะสารแขวนลอยที่หยาบและมีความถ่วงจำเพาะสูงกว่าของน้ำเท่านั้นที่จะนอนก้น ค่านี้มีประโยชน์มากในการพิจารณาสร้างตกตะกอน

### 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) ทั่วไปไม่เกิน 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 และออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์สารอนินทรีย์ เช่น ซัลไฟด์ และเฟอร์รัสไอออน ซึ่งอาจจะรวมค่าออกซิเจนที่ใช้ในการออกซิไดซ์ไนโตรเจน

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 ค่าบีโอดีตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคม

##### 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 บอกได้ว่าน้ำเสียนั้นมีแนวโน้มการย่อยสลายโดยทางชีววิทยาได้ยากหรือง่ายเพียงใด

2) ใช้ประมาณค่าบีโอดีได้คร่าวๆ เมื่อรู้แหล่งกำเนิดของน้ำตัวอย่าง

3) เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณออกแบบระบบบำบัดน้ำเสีย

4) มีประโยชน์สำหรับการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย

5) บอกค่าความสกปรกของน้ำเสียจากแหล่งต่างๆ

6) ผลการวิเคราะห์ค่าซีโอดีเมื่อพิจารณาร่วมกับค่าบีโอดีสามารถบอกได้ว่าน้ำนั้นมีความเป็นพิษหรือไม่

##### 8.4.1 ค่าซีโอดีตามมาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

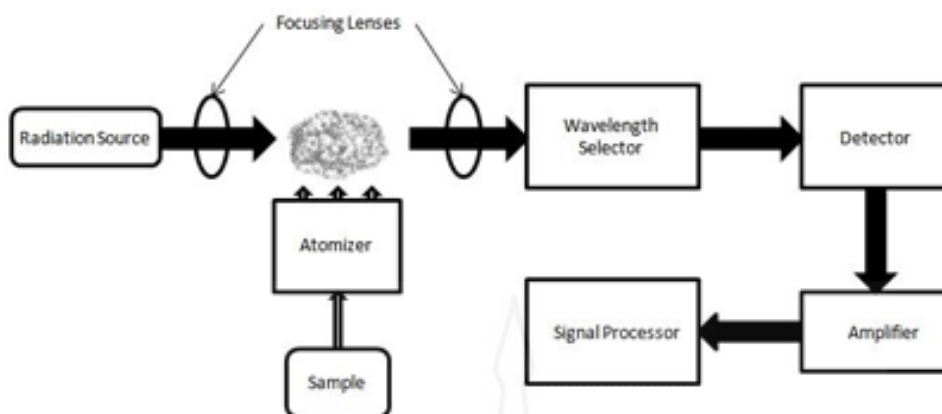
ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม กำหนดค่าซีโอดีไม่เกิน 120 มิลลิกรัม/ลิตร หรืออาจแตกต่างกันแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม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

## 9. การวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์

เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะในตัวอย่างต่างๆ 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) หลังจากนั้นแสงที่ผ่านการดูดกลืนแล้ว จะถูกเลือกเฉพาะความยาวคลื่นที่จำเพาะกับธาตุแต่ละชนิด และถูกตรวจวัดด้วยดีเทคเตอร์ (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 ที่จะทำให้ได้โดยเลือกความยาวคลื่นที่เหมาะสมผ่านเข้าไป เพราะฉะนั้นทำอย่างไรที่จะทำให้ธาตุที่อยู่ในสารตัวอย่างที่จะวิเคราะห์แตกตัวเป็นอะตอมเสรีในสถานะพื้นได้มากๆ 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 หลายอันอยู่ในหลอดสุญญากาศ 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 อำเภอกระแสดินรุ้ง 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 ที่รู้จักดีที่สุดคือ 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** นำมาแกะให้แห้งแล้วผ่าจะได้อาหารตาล 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 ส่วนโคนต้นนำมาขูดใช้เป็นเรือเรียกเรืออีโปง ลำต้นตัดขูดใส่กลาง ออกใช้ทำท่อน้ำ สะพาน กลอง เสา ไม้ใช้ก่อสร้างเครื่องใช้ต่างๆ เช่น ไม้เท้า เก้าอี้ โต๊ะ ค้ำม้วน ไม้ตีพริก (สาก) กรอบรูป ฯลฯ

**10.2.5 ใบแก่** ใช้ทำพัดขนาดใหญ่ที่เรียกว่า “ตาลปัตร” พระภิกษุในศรีลังกาและพม่ายังใช้ประกอบพิธีกรรมอยู่ ใบแก่ยังใช้มุงหลังคาบ้านได้ดี นิยมกันมากในอินเดีย และก้านใบที่เรียกว่า “ทางตาล” นำมาทำเก้าอี้และโต๊ะได้

**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](http://file.siam2web.com/puktientruth/2010223_26258.pdf)) และยังมีผู้คิดค้นนำเปลือกตาลโตนดอ่อนมาทำเป็นปุ๋ยหมัก โดยผสมกับใบก้ามปูมาทำการคลุกเคล้า ให้เข้ากันไว้ทำกองไว้ และใส่ 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 เพื่อขายนักท่องเที่ยวหรือนำมาขายในตลาดนัดของพื้นที่ในอำเภอทะเลน้อยและอำเภอโกสีย์ียง โดยเปลือกตาลโตนดจะถูกนำไปทิ้งโดยเปล่าประโยชน์ มีการทิ้งรวมกับขยะทั่วไป ทิ้งให้ย่อยสลาย ไปตามธรรมชาติตรงริมถนนใกล้กลับจุดขายหรือไม่ก็นำไปทิ้งในพื้นที่ดินวางเปล่าสาธารณะบริเวณ โกสีย์ียง ดังแสดงในภาพที่ 2.11



ภาพที่ 2.11 เปลือกตาลโตนดอ่อน

วัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตร หรือแม้แต่วัชพืช สามารถมาประยุกต์ใช้งานได้ กับสารมลพิษได้หลายอย่างเช่น สีย้อม น้ำมัน โลหะหนัก (เพ็ญศรี ปลอดภัย 2546) ดังนั้นการใช้เปลือก ตาลโตนดนับเป็นผลดีทั้งด้านสภาพแวดล้อมและอุตสาหกรรม

#### 10.4 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นใยพืช ใยเนื้อไม้ วัชพืช แบ่งออกเป็น 3 ส่วน

**10.4.1 เซลลูโลส** เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรต ประเภทพอลิแซคคาไรด์ มีน้ำหนักโมเลกุลสูง ประกอบด้วยหน่วยซ้ำๆ ของ  $\beta$ -D-glucopyranose ต่อกันเป็นสายโพลิเมอร์ มีคุณสมบัติละลายน้ำและตัวทำละลายทั่วไปและสารละลายต่างได้ดี สามารถเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส กับกรดได้ และที่สำคัญมีโครงสร้างทั้งที่เรียงตัวเป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ รวมกันในสัดส่วน ต่างๆ ทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการดูดซึม ยึดหยุ่นและพองตัวได้

**10.4.2 เฮมิเซลลูโลส** เป็นสารประกอบคาร์โบไฮเดรตเช่นเดียวกับเซลลูโลสแต่มี โครงสร้างไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นจึงสามารถดูดซึมน้ำได้จึงมีผลช่วยทำให้เส้นใยพองตัวได้รวดเร็ว ง่ายต่อการตีเยื่อและยังช่วยทำให้เส้นใยมีคุณสมบัติยึดหยุ่นเพิ่มขึ้นอีกด้วยและยังสามารถทำปฏิกิริยา ได้กับสารละลายต่างอีกด้วย

**10.4.3 ลิกนิน** เป็นสารจำพวกพอลิเมอร์ที่ประกอบด้วยหมู่เมออร์ฟินิลโพรเพน โดยเป็นวงอะโรมาติกที่มีแกนเป็นคาร์บอนสามอะตอม นอกจากนี้เป็นหน่วยวานิลิน และไซริงกัลดีไอดี ที่เป็นหน่วยพื้นฐานอีกสองกลุ่มของโครงสร้างลิกนินทำหน้าที่เป็นสารยึดติดกับเส้นใยเนื้อไม้ มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำหรือสารอินทรีย์ทั่วไป และละลายได้บางส่วนในสารละลายต่างหรือสามารถ ทำปฏิกิริยาได้กับสารละลายกรดเข้มข้น

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 เมททิลีนบลู (methylene blue) และ ชนิด คริสตัลไวโอเลต (crystal violet) โดยใช้หินภูเขาไฟ พบว่าประสิทธิภาพของหินภูเขาไฟในการกำจัดสีเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสีน้อยลง ระยะเวลาสัมผัสและปริมาณสารดูดซับมากขึ้น

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

ชนิตา เสมรัตน์ (2543) ได้ศึกษาประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอ ด้วยกระบวนการดูดซับสีโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร โดยสารดูดซับสีที่ใช้คือ 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

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

มิลลิเมตร ความหนาชั้นกรองเท่ากับ 90 และ 60 เซนติเมตรน้ำเสียจะนำมาปรับปรุงคุณภาพทางเคมี ด้วยปูนขาว ปล่อยทิ้งให้ทำปฏิกิริยาอย่างสมบูรณ์ และบางส่วนตกตะกอน 30 นาที แล้วจึงนำมาผ่าน กระบวนการกรองช้าแบบอัตราการกรองลดลง (Declining-rate filtration) ศึกษาการกรองแบบต่อเนื่อง 6 ชั่วโมง ต่อชุดการทดลอง เก็บตัวอย่างน้ำแบบรวมทุก 2 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์ปริมาณตะกั่วที่เหลือ ก่อนและหลังการกรองจากการศึกษาพบว่า ถ่านไม้ที่นำมาทดลองสามารถลดปริมาณตะกั่วได้มากกว่า ร้อยละ 90.0 โดยถ่าน ไม้ขนาดใช้งาน 0.35 มิลลิเมตร ลดปริมาณตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 98.19 ถ่าน ไม้ขนาด 0.45 มิลลิเมตร ปริมาณตะกั่วได้สูงสุดถึงร้อยละ 97.67 สำหรับถ่าน ไม้ขนาด 0.55 มิลลิเมตร ลดปริมาณตะกั่วได้ร้อยละ 97.0 และเมื่อทำการศึกษาอายุการกรองของถ่าน ไม้ขนาด 0.35 มิลลิเมตร พบว่าสามารถกรองน้ำเสียได้นาน 144 ชม. อัตราการกรองจึงลดต่ำมากถึง 0.058 ลบ.ม./ตร.ม./ชม หลังจากนั้นจำเป็นต้องเปลี่ยนถ่านกรอง จากการทดลองนอกจากจะทำให้ทราบว่า การใช้ถ่าน ไม้ทั้ง 3 ชนิดเป็นสารกรองสามารถกรองน้ำเสียให้มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่ามาตรฐานน้ำทิ้ง (0.2 มิลลิกรัม/ลิตร) แล้วยังสามารถผลิตน้ำกรองที่มีความเข้มข้นของตะกั่วต่ำกว่ามาตรฐานน้ำดื่มอีกด้วย (0.05 มิลลิกรัม/ลิตร)

จรรยาพร พุ่มงาม (2545) ได้ทำการศึกษา นำเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ มาใช้ในการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสีย โดยทำการทดลองแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่มี ผลต่อการดูดซับและใช้สมการฟรอนดลิช ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับพบว่าเปลือกหอยแครง ซึ่งมี พื้นที่ผิวจำเพาะและรูพรุน ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนตมากกว่าเปลือกหอยแมลงภู่สามารถกำจัดตะกั่ว ได้ดีกว่าเปลือกหอยแมลงภู่ ผลการนำเปลือกหอยขนาดต่างกัน ไปอบที่อุณหภูมิต่างๆ พบว่าเปลือก หอยแครงขนาด 20-60 mesh ซึ่งนำไปตากแดดสามารถกำจัดตะกั่ว ได้ดีที่สุด โดยมีค่าคงที่การดูดซับ ของฟรอนดลิชเท่ากับ  $9.46 \times 10$  มิลลิกรัมตะกั่วต่อกรัมเปลือกหอย

แคทลียา ศีประคิษฐ์ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าวเป็นตัวดูดซับ โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน คือ การทดลอง แบบไม่ต่อเนื่อง และแบบต่อเนื่อง ผลการทดลองแบบไม่ต่อเนื่องพบว่า ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว กำจัดตะกั่วได้ดีที่พีเอช 4 และใช้เวลาถึงจุดสมดุล 15 นาที โดยมีประสิทธิภาพการกำจัดเฉลี่ยร้อยละ 92.4 ผลการทดลองแบบต่อเนื่องโดยใช้คอลัมน์ดูดซับ พบว่าความสูง 90 เซนติเมตร ใช้งานจนถึง เบริคทูล์จ 15 ชั่วโมง ปริมาณน้ำที่บำบัดจนมีค่าความเข้มข้นตะกั่วเหลืออยู่ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐาน 20.53 ลิตร และการดูดซับต่อน้ำหนักถ่านจากกะลามะพร้าว 0.1002 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีประสิทธิภาพ ในการกำจัดตะกั่วสูงสุด ร้อยละ 97.98



ประกฤต เลิศจรีสอร่ามดี (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) ทำการศึกษาราคาคูดซับโลหะหนักบางชนิดด้วยวัสดุธรรมชาติที่หาง่ายและราคาถูก เช่น แกลบเผา ถ่านกัมมันต์ ขี้เถ้า คาโอลิน เบนโทไนท์ กาบมะพร้าว รั้งไหม เยื่อไม้ไผ่ และใยข้าวโพด พบว่าตะกั่วถูกดูดซับได้มากที่สุด ในวัสดุเกือบทุกชนิดโดยมีค่าการนำอยู่ในช่วง 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

อัจฉรา ดวงเดือน (2545) ศึกษาการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และเถ้าแกลบดำ จากการศึกษาพบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนักขึ้นกับค่า พีเอช ซึ่งในการกำจัดแคลเมียม 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) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของแกลบเผาและกะลามะพร้าวในการดูดซับโลหะหนักในน้ำเสียข้อมลิก โดยหาสภาวะที่เหมาะสมในการดูดซับที่พีเอช 4, 5 และ 6 ตามลำดับ และปริมาณวัสดุดูดซับที่ 0.1, 1.0, 5.0, 10.0 และ 15.0 กรัม ตามลำดับ และหาประสิทธิภาพของแกลบเผาและกะลามะพร้าวในการดูดซับโลหะหนักในน้ำข้อมลิกที่สภาวะที่เหมาะสม 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 ชาวลาไชย (2549) ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียม และตะกั่วในสารละลายโดยใช้เปลือกกล้วยเป็นสารดูดซับ โดยการใส่เปลือกกล้วยแห้ง เปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น และเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายต่าง ทำให้มีสภาพต่างกัน ปริมาณเยื่อใย เถ้า ไขมัน ความเป็นกรด ต่าง ขนาดรูพรุน เปลือกกล้วยที่ผ่านการปรับสภาพ มีความสามารถในการดูดซับโลหะดีที่สุดในสภาพความเป็นกรด 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 และเมื่อทดลองการกำจัดไอออนของโลหะแคดเมียมในน้ำเสียห้องปฏิบัติการภายใต้ที่เหมาะสมพบว่าเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น สามารถกำจัดแคดเมียมได้สูงสุดคือ ร้อยละ 88.75 ส่วนเปลือกกล้วยแห้ง และเปลือกกล้วยที่ปรับสภาพด้วยสารละลายต่างกำจัดแคดเมียมได้ไม่ต่างกันคือ 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

ดลเดช ตั้งตระการพงษ์ และภาณุมาศ พรหมเทศ (2548) ศึกษาประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี โดยใช้เปลือกแพชชั่นฟรุต 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



# บทที่ 3

## วิธีการดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง ( Experiment Research ) ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ เพื่อหาปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่เหมาะสมและเวลาที่สมมูลในการดูดซับสีและตะกั่ว โดยทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Experiment) มีการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของตะกั่ว โดยเปรียบเทียบของสมการการดูดซับ 2 สมการคือ ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช และนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจากการกระบวนการย้อมสีกระดาษจริง เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับสีและตะกั่ว และการบำบัดน้ำเสียพารามิเตอร์อื่น ๆ เช่น ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี

### 1. ตัวแปรที่ใช้

#### 1.1 ตัวแปรต้น

1.1.1 ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม ตาม ASTM D 3860-89a (Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique)

1.1.2 ระยะเวลาในการดูดซับ เวลา 1 ชั่วโมง ในการหาปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการดูดซับสีและตะกั่ว และใช้เวลาทุกๆ 30 นาที ในการหาเวลาที่สมมูลในการดูดซับสีและตะกั่ว

#### 1.2 ตัวแปรตาม

1.2.1 ค่าการดูดซับสีและตะกั่ว

1.2.2 ประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการดูดซับสีและตะกั่ว ซีโอดี บีโอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

1.2.3 ลักษณะการดูดซับตะกั่ว ของถ่านเปลือกตาลโตนด ตามไอโซเทอร์ม

#### 1.3 ตัวแปรควบคุม

1.3.1 ชนิดของสีย้อมโดยใช้สีแดงสด บริษัท พิวเคียมสิน จำกัด ตราหัวม้า

1.3.2 ความเข้มข้นสี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.3 ความเข้มข้นตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตร

1.3.4 ความเร็วรอบในการกวนเขย่า ความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที

1.3.5 อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส

1.3.6 ขนาดของถ่านเปลือกตาลโตนด 40-60 mesh

1.3.7 เวลา

## 2. สถานที่ทำการทดลอง

2.1 ห้องปฏิบัติการทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและสุขภาพสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

2.2 ห้องปฏิบัติการคณะเทคโนโลยีและการพัฒนาชุมชน มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง

## 3. เครื่องมืออุปกรณ์และสารเคมีในการดำเนินการวิจัย

### 3.1 อุปกรณ์

#### 3.1.1 การเก็บตัวอย่างน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ

1) ขวดเก็บตัวอย่างน้ำแบบโพลีเอททิลีน

#### 3.1.2 การเตรียมผงถ่านเปลือกตาลโตนดและตัวอย่างน้ำ

- 1) เปลือกตาลโตนด
- 2) เตาเผาถ่านแบบชาวบ้าน
- 3) ครกหิน
- 4) ตะแกรงร่อนขนาด 40 และ 60 Mesh
- 5) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB 204-s
- 6) บีเปต ขนาด 1.0, 2.0, 5.0, 10.0 มิลลิลิตร
- 7) อะลูมิเนียมฟลอยด์
- 8) บีกเกอร์ ขนาด 50, 100, 250, 500 และ 1,000 มิลลิลิตร
- 9) ขวดวัดปริมาตร ขนาด 50, 100, 1,000 มิลลิลิตร
- 10) ขวดรูปกรวย ขนาด 250 มิลลิลิตร
- 11) ขวดน้ำกลั่น

### 3.1.3 การตรวจวัดค่าการดูดกลืนแสง

- 1) เครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น UV mini-1240
- 2) เครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิ
- 3) กระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman

### 3.1.4 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว

- 1) เครื่องอะตอมมิกแอสซอร์ปชันสเปกโทรมิเตอร์ ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น

AAAnalyst 300

- 2) กระดาษกรองเบอร์ 1 ยี่ห้อ Whatman

### 3.1.5 การตรวจวัดค่าพีเอช

- 1) เครื่องวัดพีเอช ยี่ห้อ YST รุ่น pH 100

### 3.1.6 การตรวจวิเคราะห์ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

- 1) ถ้วยระเหย
- 2) อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ ยี่ห้อ Selecta รุ่น precisdis part
- 3) กระดาษกรองใยแก้ว (GF/ c) เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.7 ซม.
- 4) ชุดกรองสุญญากาศ
- 5) เครื่องดูดอากาศ (vacuum pump)
- 6) โถดูดความชื้น (desiccator) ยี่ห้อ Duran
- 7) เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB 204-s
- 8) ตู้อบความร้อน (drying oven) ยี่ห้อ memmert รุ่น model 500

### 3.1.7 การตรวจวิเคราะห์ค่าบีโอดี

- 1) ขวดบีโอดี ขนาด 300 มิลลิลิตร
- 2) ตู้บ่มบีโอดี
- 3) ชุดไทเทรต
- 4) บีเปต

### 3.1.8 การตรวจวิเคราะห์ซีโอดี

- 1) หลอดทดลองทำด้วยแก้วบอโรซิลิเกต (Borosilicate glass) ขนาด

20 x 150 มม.

- 2) เครื่องทำความร้อน (Block heater)
- 3) ชุดไทเทรต

### 3.2 สารเคมี

#### 3.2.1 น้ำเสียจริงและน้ำเสียสังเคราะห์

- 1) น้ำที่ผ่านการกำจัดไอออน (Deionized water:DI)
- 2) สารละลายมาตรฐานตะกั่ว
- 3) สีแดงสด ตราห้วม้า จากบริษัท พิวเคียมลีน จำกัด
- 4) น้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ
- 5) น้ำกลั่น

#### 3.2.2 การตรวจวิเคราะห์บีโอดี

- 1) แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 4 H_2O$ ) ของบริษัท Ajax Finechem
- 2) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) ของบริษัท Merck
- 3) กรดไฮโดรคลอริก ( $HCl$ ) ของบริษัท Merck
- 4) กรดไนตริก ( $HNO_3$ ) ของบริษัท Merck
- 5) กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) ของบริษัท Merck
- 6) โซเดียมซัลไฟท์ ( $Na_2SO_3$ ) ของบริษัท Ajax Finechem
- 7) น้ำแข็ง
- 8) โซเดียมเอไซด์ ( $NaN_3$ ) ของบริษัท Ajax Finechem
- 9) แมกนีเซียมซัลเฟต ( $MgSO_4 \cdot 7 H_2O$ ) ของบริษัท Ajax Finechem
- 10) สารละลายฟอสเฟตบัพเฟอร์
- 11) แคลเซียมคลอไรด์ ( $CaCl_2$ ) ของบริษัท Ajax Finechem
- 12) เฟอร์ริกคลอไรด์ ( $FeCl_3 \cdot 6H_2O$ ) ของบริษัท Merck

#### 3.2.3 การตรวจวิเคราะห์ซีโอดี

- 1) เฟอร์รัสแอมโมเนียมซัลเฟตเฮกซะไฮเดรต ( $Fe(NH_4)_2(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ ) ของบริษัท Merck
- 2) โพตัสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ของบริษัท Ajax Finechem
- 3) ซิลเวอร์ซัลเฟต ( $Ag_2SO_4$ ) ของบริษัท Merck
- 4) เฟอโรอินอินดิเคเตอร์
- 5) กรดซัลฟิวริก ( $H_2SO_4$ ) ของบริษัท Merck

#### 4. การดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโดนดในการบำบัดน้ำเสียจากการข้มลักระจุจ ในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งขั้นตอนการทดลองดังนี้

##### ขั้นที่ 1 การเตรียมถ่าน

นำเปลือกตาลโดนดมาล้างทำความสะอาดแล้วตากแห้งนำไปเผาด้วยเตาเผาแบบชาวบ้าน แล้วนำถ่านที่ได้มาบดและร่อนให้ได้ขนาด 40-60 mesh เพื่อพร้อมใช้ในการขั้นตอนต่อไป

##### ขั้นที่ 2 การเตรียมกราฟมาตรฐานของตะกั่ว

โดยใช้สารละลายตะกั่วมาตรฐาน 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มาเจือจางให้มีความเข้มข้นตั้งแต่ 0, 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร สร้างกราฟมาตรฐานตะกั่ว (ดังภาคผนวก ก)

##### ขั้นที่ 3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อใช้ในการทดลอง

นำสีแดงสดมาละลายน้ำในอัตราส่วนสี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ผู้ข้มลักระจุจใช้ในการกระบวนการข้มจริง จะได้น้ำเสียสังเคราะห์เพื่อใช้ในการทดลอง

##### 3.1 การหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปริมาณความเข้มข้นสี 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง เพื่อสแกนหาความยาวคลื่นแสงที่ค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนค์ (Blank) สร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น เพื่อเลือกความยาวคลื่นในการทดลองต่อไปดังภาพที่ 3.1

##### 3.2 การสร้างกราฟมาตรฐานของสีข้อม

เตรียมสารละลายมาตรฐานของสีแดงสด เข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยชั่งสี 1,000 มิลลิกรัม มาละลายน้ำแล้วปรับปริมาตรให้ได้ 1,000 มิลลิตร ในขวดวัดปริมาตร แล้วนำสารละลายมาตรฐานสีแดงสดที่ได้มาเจือจางให้มีความเข้มข้น 0, 5, 10, 15, 20, 30 และ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสงที่เหมาะสมที่หาได้จาก 3.1 โดยสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนคลื่นแสงกับความเข้มข้นของสีเพื่อใช้เป็นกราฟมาตรฐานในการทดลองต่อไป (ดังภาคผนวก ก)

##### ขั้นที่ 4 การหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโดนดในการดูดซับสีและตะกั่ว



#### 4.1 ทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์

##### 4.1.1 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียสังเคราะห์

นำน้ำเสียสังเคราะห์วัดค่าการดูดกลืนแสงโดยใช้ความยาวคลื่นที่ได้จากการทดลองข้อ 3.1 วัดด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์

##### 4.1.2 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

นำน้ำเสียสังเคราะห์ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ไปผ่านกระบวนการย่อยด้วยกรด พร้อมปรับปริมาตร จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปวัดหาปริมาณตะกั่วด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์

4.1.3 การหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ดังภาพที่ 3.2

1) การหาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับสี โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและมีความเข้มข้นตะกั่ว เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวนทั้งหมด 10 ขวด แล้วเติมถ่านเปลือกตาลโตนดขนาด 40-60 mesh ปริมาณ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม ลงในแต่ละขวดตามลำดับ ตาม ASTM D 3860-89a (Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique) นำไปเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำน้ำแต่ละตัวอย่างมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อนำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ค่าความยาวคลื่นที่ได้จากข้อ 3.1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2) การหาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับตะกั่ว ทำเหมือนข้อ 1. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้ว นำสารละลายมาผ่านกระบวนการย่อยด้วยกรด พร้อมปรับปริมาตรเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

4.1.4 การหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ดังภาพที่ 3.3

1) การหาเวลาที่สมดุลในการดูดซับสี โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 250 มิลลิลิตร ใส่ขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร จำนวนทั้งหมด 10 ขวด ซึ่งถ่านเปลือกตาลโตนด ปริมาณที่เหมาะสม (จาก 4.1.3) ครบทั้ง 10 ขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิความเร็วรอบ 120 รอบ/

นาฬิกา ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วนำน้ำเสียสังเคราะห์ในช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 30 นาที จนครบ 5 ชั่วโมง นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ค่าความยาวคลื่นที่ได้จากข้อ 3.1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2) การหาเวลาที่สมดุลในการดูดซับตะกั่ว ทำเหมือนข้อ 1. เมื่อกรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้ว นำสารละลายมาผ่านกระบวนการย่อยด้วยกรด พร้อมปรับปริมาตรเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

#### 4.2 ศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับของตะกั่ว

ศึกษาโดยเปรียบเทียบของสมการการดูดซับ 2 สมการ คือ สมการแบบแลงเมียร์และสมการแบบฟรุนดลิช เพื่อหาสมการที่สามารถอธิบายการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโดนด โดยพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient,  $R^2$ ) ของแต่ละสมการ โดยใช้สมการแบบแลงเมียร์รูปสมการ  $x/m = K_bC/(1+K_bC)$  และสมการแบบฟรุนดลิช รูปสมการ  $x/m = KC^{1/n}$

#### 4.3 ทดลองน้ำเสียจริงจากการย้อมสีกระดาษ

##### 4.3.1 การวัดค่าการดูดกลืนแสงของน้ำเสียจริงจากการย้อมกระดาษ

โดยทำการทดลองเหมือนกับขั้นตอน 4.1.1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

##### 4.3.2 การวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจริงจากการย้อมกระดาษ

โดยทำการทดลองเหมือนขั้นตอน 4.1.2 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

##### 4.3.3 การหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโดนด ในการบำบัดสี และตะกั่วในน้ำเสียจริงจากการย้อมสีกระดาษ ดังภาพที่ 3.4

1) การหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโดนดในการบำบัดสี โดยใช้น้ำเสียจริงจากการย้อมสีกระดาษ ปริมาตร 100 มิลลิลิตร ลงในขวดรูปกรวยขนาด 250 มิลลิลิตร ชั่งถ่านเปลือกตาลโดนด ปริมาณที่เหมาะสม (4.1.3) นำไปกวนด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ในเวลาที่สมดุล (4.1.4) นำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้ค่าความยาวคลื่นที่ได้จากข้อ 3.1 ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

2) การหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโดนดในการบำบัดตะกั่ว

ทำเหมือนข้อ 1. กรองสารละลายด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้ว นำสารละลายมาผ่านกระบวนการย่อยด้วยกรดพร้อมปรับปริมาตรเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอ็บซอร์ฟชันสเปกโตรมิเตอร์ ทำการทดลอง 3 ซ้ำ

**ขั้นที่ 5 การหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการลดปริมาณค่าพีเอช ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด**

**5.1 ทำการทดลองกับน้ำเสียจริงก่อนและหลังการดูดซับด้วยถ่านเปลือกตาลโตนด** ตามขั้นตอนของ Standard Method for The Examination of water and Wastewater 19<sup>th</sup> ed. (APHA,AWWA,WEF,1995) ทำการทดลองแต่ละค่า 3 ซ้ำ

### 5.2 คำนวณหาประสิทธิภาพในรูปร้อยละ

**การเก็บตัวอย่างน้ำและการตรวจวิเคราะห์**

#### การเก็บตัวอย่างน้ำ

การเก็บน้ำเสียจากกระบวนการย้อม ของกลุ่มหัตถกรรมทำผลิตภัณฑ์กระจูด ชุมชนทะเลน้อย ด้วยขวดเก็บตัวอย่างน้ำแบบ โพลีเอททิลีน ขนาด 1 ลิตร แล้วเติมกรดไนตริกเข้มข้นลงไป 3 มิลลิลิตรต่อตัวอย่าง 1 ลิตร เพื่อเก็บรักษาคุณภาพน้ำ นำขวดตัวอย่างน้ำเก็บไว้ที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส

**การเตรียมตัวอย่างโดยการย่อยเพื่อวิเคราะห์ด้วยอะตอมมิกแอ็บซอร์ฟชันสเปกโตรมิเตอร์**

การเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์เป็นการย่อยสลาย โลหะหนักที่อยู่ในน้ำในรูปสารละลาย เพื่อฉีดเข้าเครื่องวิเคราะห์โลหะหนัก ในตัวอย่างจะประกอบด้วยอนุภาคเล็กๆ หรือสารอินทรีย์และอนินทรีย์ของโลหะบางชนิด ซึ่งจำเป็นต้องถูกย่อยสลายในการวิเคราะห์ วัดโลหะหนักในรูปโลหะทั้งหมด การเตรียมตัวอย่างน้ำก่อนการวิเคราะห์ ในการศึกษานี้ใช้วิธีการย่อยสลายด้วยกรดไนตริก โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กรองสารละลายตัวอย่างด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 เพื่อแยกเศษถ่านออก เติมกรดไนตริกเข้มข้น 3 มิลลิลิตร
2. นำไปย่อยบนเครื่องให้ความร้อน โดยให้สารละลายเดือดเบาๆ จนเหลือปริมาณประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น
3. เติมกรดไนตริกเข้มข้นอีก 3 มิลลิลิตร นำไปย่อยต่อจนสารละลายไม่มีควันสีน้ำตาลและสีขาว หรือจนเหลือสารละลายใสหรือเกือบใส ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น

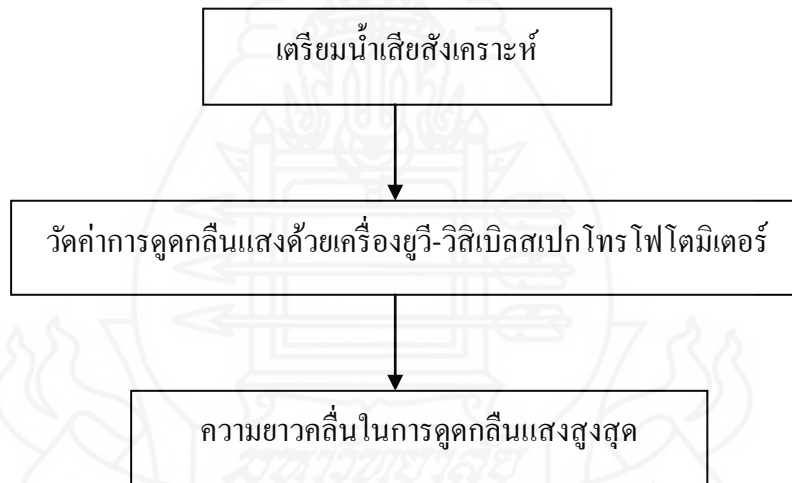
4. นำสารละลายที่ได้ไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วปรับปริมาตรด้วยสารละลายกรดไนตริก 2% ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร

5. นำไปวิเคราะห์หาโลหะหนักด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์ (AAS)

#### แผนการดำเนินการวิจัย

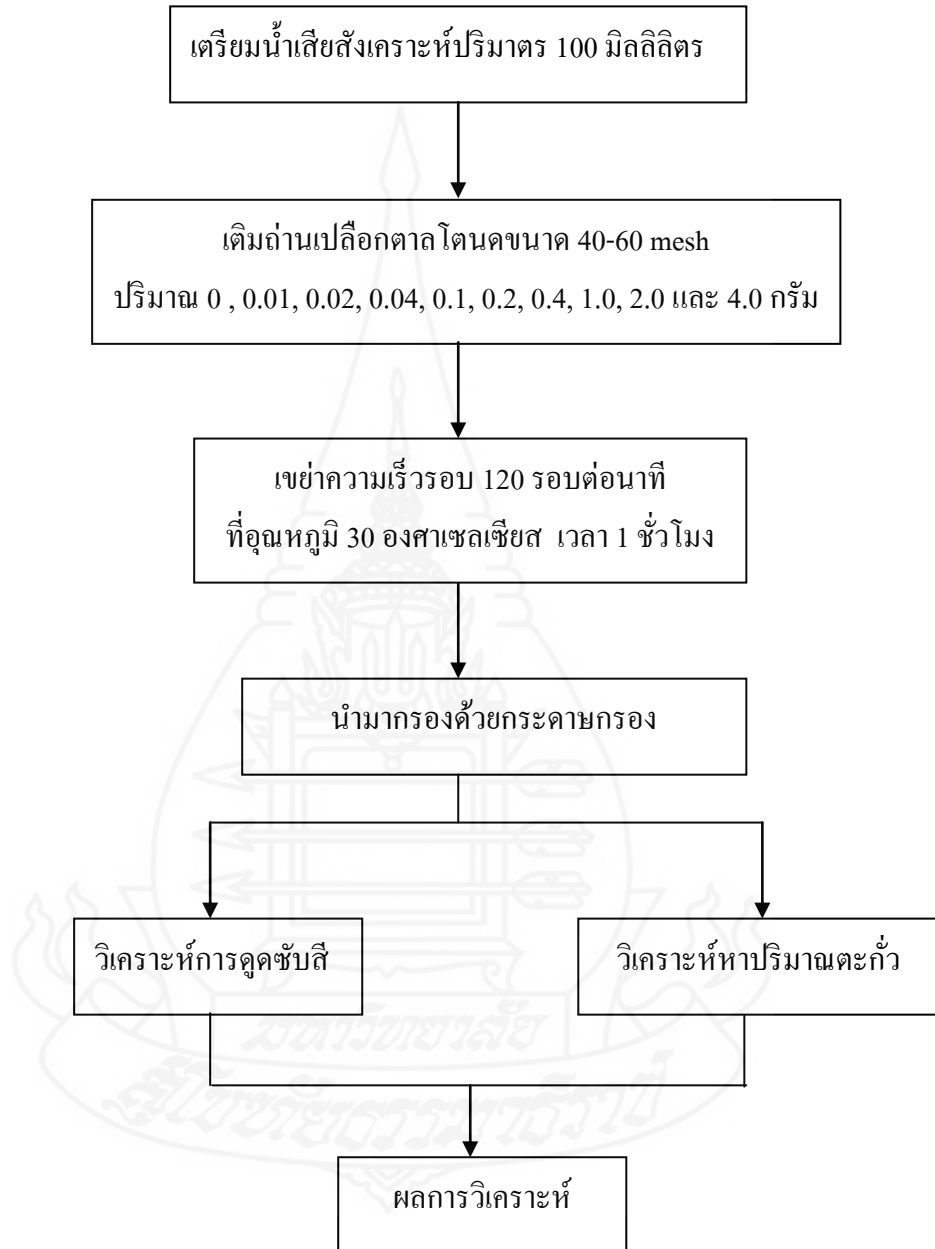
การวิจัยครั้งนี้ ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยศึกษาการดูดซับสีและตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมและเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว และนำมาใช้ในการบำบัดน้ำเสียจริงจากการกระบวนการเชื่อมสีกระจกจริง เพื่อหาประสิทธิภาพการบำบัดน้ำเสีย อธิบายการทดลองโดยแบ่งการทดลองดังนี้

**การทดลองที่ 1** การหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์



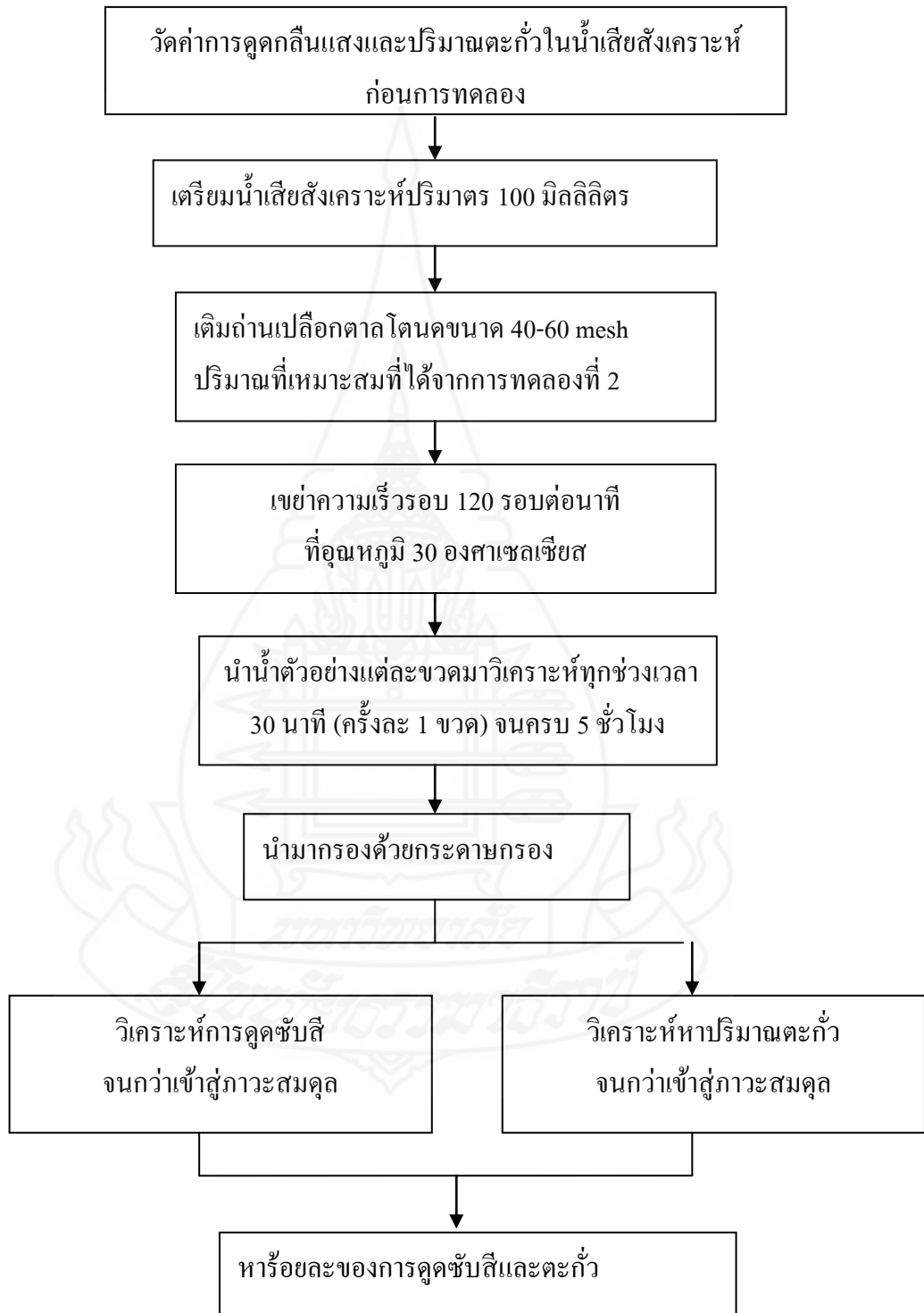
ภาพที่ 3.1 แผนภูมิการหาความยาวคลื่นแสงที่ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุดในน้ำเสียสังเคราะห์

**การทดลองที่ 2** การหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว ในน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)



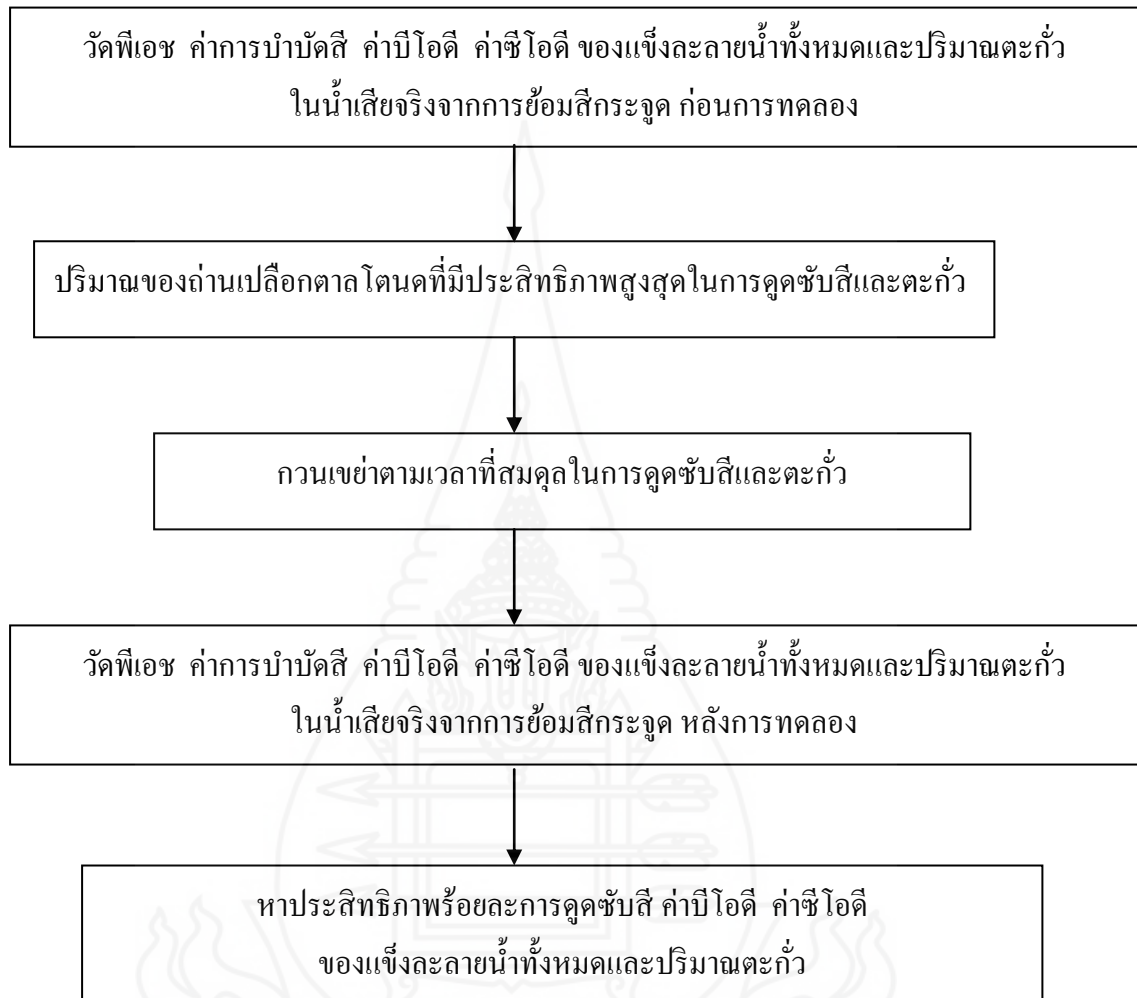
ภาพที่ 3.2 แผนภูมิการหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว

**การทดลองที่ 3** การหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว  
ในน้ำเสียจากการข้อมลึกระจุค (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)



ภาพที่ 3.3 แผนภูมิการหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว

**การทดลองที่ 4** หาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการบำบัดน้ำเสียจริง  
จากการข้อมลี่กระจุค (ทำการทดลอง 3 ซ้ำ)



ภาพที่ 3.4 แผนภูมิแสดงการหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการบำบัดน้ำเสียจริง  
จากการข้อมลี่กระจุค

## 5. การวิเคราะห์ข้อมูล

### 5.1 การวิเคราะห์น้ำเสีย

ตัวอย่างน้ำเสียจากกระบวนการหมักสักระจุตสีแดงสดที่เก็บจากพื้นที่ตำบลทะเลน้อย อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง นำมาวิเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการทางสุขศาสตร์อุตสาหกรรมและสุขภาพสิ่งแวดล้อม คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง โดยตัวอย่างน้ำเสียจะมีวิธีวิเคราะห์คุณภาพเพื่อหาคุณลักษณะของน้ำเสียดังนี้

**5.1.1 การวิเคราะห์หาค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)** ใช้ pH Meter

**5.1.2 การวิเคราะห์หาค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand : BOD)** การหาค่าบีโอดีของน้ำเสีย จะใช้วิธี Dilution Method (non-Seeding) บ่มที่ 20 องศาเซลเซียส 5 วัน และหาค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) โดยวิธี Azide Modification

$$\text{การคำนวณ BOD}_{5,\text{mg/L}} = \frac{(\text{DO}_0 - \text{DO}_5)}{P}$$

โดยที่  $\text{DO}_0$  = ค่าออกซิเจนที่ละลายในวันแรก  
 $\text{DO}_5$  = ค่าออกซิเจนที่ละลายในวันที่ 5  
 $P$  = อัตราส่วนการเจือจางน้ำตัวอย่าง

**5.1.3 การวิเคราะห์หาค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand : COD)** การหาค่าซีโอดีของน้ำเสีย จะใช้วิธีฟลักซ์แบบปิด/การไตเตรท (Closed-Flux, Titrimetric Method)

$$\text{การคำนวณ COD (mg/l)} = \frac{[(A-B) \times M \times 8,000]}{\text{ปริมาณตัวอย่าง (ml)}}$$

โดยที่ซีโอดี = ค่า Chemical Oxygen Demand  
 $A$  = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับแบลนด์ (มิลลิลิตร)  
 $B$  = ปริมาณ FAS ที่ใช้สำหรับตัวอย่าง (มิลลิลิตร)  
 $M$  = โมลาริตีของ FAS



#### 5.1.4 การวิเคราะห์หาของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total Dissolve Solids :TDS)

ปริมาณของแข็งที่เหลืออยู่ในภาชนะภายหลังการระเหยน้ำออกจากน้ำตัวอย่างจนหมด ในการวิเคราะห์จะระเหยน้ำตัวอย่างบน Steamer แล้วนำไปอบต่อในตู้ที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ แล้วปล่อยให้เย็นลงในโถดูดความชื้น ปริมาณของของแข็งในภาชนะนั้น คือ ปริมาณของแข็งทั้งหมด

#### การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (มก./ลิตร)} = \frac{(B-A) \times 10^6}{C}$$

โดยที่ A = น้ำหนักถ้วยระเหยอย่างเดียว (กรัม)  
 B = น้ำหนักถ้วยระเหยและของแข็ง (กรัม)  
 C = ปริมาตรตัวอย่างน้ำ (มิลลิลิตร)

#### 5.1.5 การคำนวณหาประสิทธิภาพ

คำนวณประสิทธิภาพในการดูดซับ โลหะหนัก

$$\text{ประสิทธิภาพในการดูดซับ} = \frac{A-B}{A} \times 100$$

เมื่อ A = ความเข้มข้นก่อนการดูดซับ

B = ความเข้มข้นหลังการดูดซับ

#### 5.1.6 การคำนวณค่าการดูดซับ

ค่าการดูดซับ (q) สามารถคำนวณได้ตามสมการ

$$q = \frac{(C_0 - C) \times V}{m}$$

โดย  $C_0$  = ความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้น (มิลลิกรัม/ลิตร)

$C$  = ความเข้มข้นของสารละลายที่เหลือหลังการดูดซับ (มิลลิกรัม/ลิตร)

$q$  = ค่าการดูดซับ = ปริมาณตัวถูกดูดซับต่อมวลสารดูดซับ (มิลลิกรัม/กรัม)

$V$  = ปริมาตรสารละลายที่ใช้ในการดูดซับ (ลิตร)

$m$  = น้ำหนักถ่านที่ใช้ในการดูดซับ (กรัม)

**5.1.7 ไอโซเทอร์มการดูดซับ** ข้อมูลประสิทธิภาพการดูดซับ ความจุการดูดซับ ปริมาณสารตะกั่วที่ถูกดูดซับต่อปริมาณสารดูดซับ จะถูกนำมาวิเคราะห์ข้อมูลการดูดซับที่สมดุลของสารดูดซับด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ตามสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช

## 5.2 ใช้สถิติพรรณนา (Descriptive Statistics)

**5.2.1 ร้อยละ** ใช้บอกค่าประสิทธิภาพร้อยละในการบำบัดสี ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่ว

**5.2.2 ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)** ในการหาค่าเฉลี่ยปริมาณ เวลา การบำบัดสี ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่ว ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง เพื่อใช้คำนวณการหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ

### 5.2.3 นำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ร้อยละ ตารางและกราฟ



## บทที่ 4

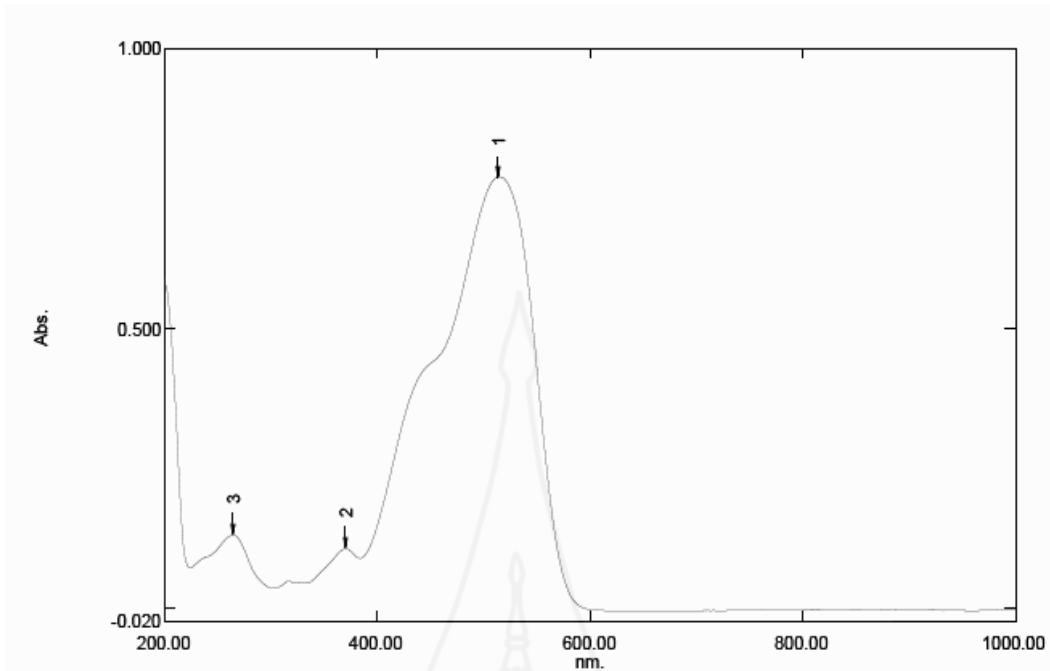
### ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับสีและตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการบำบัดน้ำเสียจากการข้อมสีกระดาษ ซึ่งทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Experiment) โดยวิธีการใช้น้ำเสียสังเคราะห์สีแดงสด ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับสี ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ และน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลอง เพื่อหาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว โดยศึกษาหาปริมาณที่เหมาะสมและเวลาที่สมควร ในการดูดซับสีและตะกั่ว พร้อมทั้งศึกษาสมการไอโซเทอร์มของการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด และหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการบำบัดสี บีโอดี ซีโอดี ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่วของน้ำเสียจริงจากการข้อมสีกระดาษ ซึ่งได้ผลการทดลองได้ดังนี้

#### 1. การหาปริมาณที่เหมาะสมในการดูดซับสีและตะกั่ว ในน้ำเสียจากการข้อมสีกระดาษ ด้วยถ่านเปลือกตาลโตนด

##### 1.1 การหาความยาวคลื่นที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์

นำสีข้อมกระดาษสีแดงสดมาละลายน้ำกลั่นเพื่อให้ได้น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มาวัดค่าการดูดกลืนคลื่นแสง เพื่อสแกนหาความยาวคลื่นแสงที่มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ โดยใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนค์ (Blank) นำมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าดูดกลืนแสงกับความยาวคลื่น ซึ่งจากการสแกนหาความยาวคลื่นแสงที่มีค่าการดูดกลืนคลื่นแสงสูงสุด ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ได้ค่าความยาวคลื่นสูงสุดเท่ากับ 548 นาโนเมตร ซึ่งจะนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป ซึ่งได้ผลการทดลองดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 กราฟการสแกนหาความยาวคลื่นสูงสุด

## 1.2 การหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์

น้ำเสียสังเคราะห์สีแดงสดความเข้มข้นสี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีความเข้มข้นตะกั่ว เท่ากับ 0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร มาใส่ขวดรูปกรวยปริมาตรขวดละ 100 มิลลิลิตร จำนวน 10 ขวด แล้วใส่ถ่านเปลือกตาลโตนด ที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh ปริมาณ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม ลงในแต่ละขวดตามลำดับ นำไปเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำ 3 ซ้ำ เพื่อศึกษา

**1.2.1 การดูดซับสีของถ่านเปลือกตาลโตนด** โดยการนำมาวัดค่าการดูดกลืนแสง ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดตามลำดับต่อไปนี้ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม จากการวัดค่าการดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีเฉลี่ยร้อยละ 0, 6.68, 9.96, 13.91, 39.33, 55.71, 77.33, 72.32, 55.80 และ 41.24 ตามลำดับ

จากการทดลองดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด ที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ซึ่งการเพิ่มปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดมีแนวโน้มว่าทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีสูงสุด

ร้อยละ 77.33 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.4 กรัม และรองลงมาร้อยละ 72.32 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 1.0 กรัม ซึ่งผลการทดลองดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์

ลำดับ	ถ่านเปลือกตาลโตนด (g)	ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสง (cm <sup>-1</sup> )	อัตราการเจือจาง X factor	ค่าการดูดกลืนแสง X factor (cm <sup>-1</sup> )	ประสิทธิภาพการดูดซับสี(ร้อยละ)	ค่า S.D.
1	0	0.733	3	2.199	0	0
2	0.01	0.684	3	2.052	6.68	0.013
3	0.02	0.660	3	1.980	9.96	0.006
4	0.04	0.631	3	1.893	13.91	0.012
5	0.1	0.667	2	1.334	39.33	0.010
6	0.2	0.973	1	0.973	55.71	0.014
7	0.4	0.498	1	0.498	77.33	0.014
8	1.0	0.608	1	0.608	72.32	0.016
9	2.0	0.971	1	0.971	55.80	0.019
10	4.0	1.291	1	1.291	41.24	0.015

**1.2.2 การดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด** โดยหาความเข้มข้นของตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านกระบวนการย่อยพร้อมปรับปริมาตรมาวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอสซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์ (AAS) ซึ่งมีค่าปริมาณตะกั่วเริ่มต้น 0.17 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดลองเนื่องจากปริมาณตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์มีปริมาณน้อย ทำให้ผลการทดลองไม่พบปริมาณตะกั่วในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่มากขึ้น จึงได้เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่วที่มีความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อใช้ในการทดลองในการหาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วโดยใช้ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดปริมาณต่างๆ ตามข้างต้น

การดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดตามลำดับต่อไปนี้ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม โดยมีความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด

ได้ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วเฉลี่ยร้อยละ 0, 3.3, 8.8, 19.10, 28.90, 37.90, 64.00, 65.80, 63.30 และ 61.10 ตามลำดับ

จากการทดลองการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด ที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ซึ่งการเพิ่มปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดมีแนวโน้มว่าทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วสูงสุดร้อยละ 65.80 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 1.0 กรัม และรองลงมาร้อยละ 64.00 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.4 กรัม ซึ่งผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

ลำดับ	ถ่านเปลือกตาลโตนด (g)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่ว (mg/l)	ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว (ร้อยละ)	ค่า S.D.
1	0	10.00	0	0
2	0.01	9.67	3.30	0.193
3	0.02	9.12	8.80	0.180
4	0.04	8.09	19.10	0.174
5	0.1	7.11	28.90	0.187
6	0.2	6.21	37.90	0.187
7	0.4	3.60	64.00	0.111
8	1.0	3.42	65.80	0.170
9	2.0	3.67	63.30	0.180
10	4.0	3.89	61.10	0.218

จากผลการหาปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่เหมาะสมในการดูดซับสีและตะกั่ว โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ในการหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว ได้ผลการทดลองดังนี้ ประสิทธิภาพในการดูดซับสีที่ดีที่สุดที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.4 กรัม มีประสิทธิภาพร้อยละ 77.33 และรองลงมาคือปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 1.0 กรัม มีประสิทธิภาพร้อยละ 72.32 (จากตารางที่ 4.1) ส่วนประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วที่ดีที่สุดที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 1.0 กรัม มีประสิทธิภาพร้อยละ 65.80 และรองลงมาคือปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.4 กรัม มีประสิทธิภาพร้อยละ 64.50 (จากตารางที่ 4.2) ซึ่งยัง

ไม่สามารถสรุปได้ว่าปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่าใดที่เหมาะสมที่สุดในการดูดซับสีและตะกั่ว แต่เบื้องต้นทราบปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดอยู่ในช่วง 0.4–1.0 กรัม จึงต้องมีการทดลองซ้ำในช่วงปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดระหว่าง 0.4–1.0 กรัม โดยเพิ่มความละเอียดในช่วงระหว่างปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดดังกล่าว ซึ่งการทดลองในครั้งนี้ได้กำหนดให้มีการทดลองซ้ำทุกช่วงปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเพื่อให้ผลที่แน่นอนอีกครั้ง ดังต่อไปนี้

การดูดซับสีของถ่านเปลือกตาลโตนด ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดตามลำดับต่อไปนี้ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม มีประสิทธิภาพในการดูดซับสีเฉลี่ยร้อยละ 0, 6.57, 9.30, 13.40, 39.08, 55.83, 77.00, 77.82, 78.14, 79.69, 78.63, 75.32, 72.68, 55.60 และ 41.39 ตามลำดับดังตารางที่ 4.3

จากการทดลองดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนดที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ซึ่งการเพิ่มปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดความสามารถในการดูดซับสีย่อมเพิ่มขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีสูงสุดร้อยละ 79.69 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม และรองลงมาร้อยละ 78.63 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.8 กรัม และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการดูดซับสีของน้ำเสียสังเคราะห์ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดต่างๆ ดังภาพที่ 4.2

ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์

ลำดับ	ถ่านเปลือกตาลโตนด (g)	ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสง (cm <sup>-1</sup> )	อัตราการเจือจาง X factor	ค่าการดูดกลืนแสง X factor (cm <sup>-1</sup> )	ประสิทธิภาพการดูดซับสี (ร้อยละ)	ค่า S.D.
1	0	0.731	3	2.193	0	0
2	0.01	0.683	3	2.049	6.57	0.007
3	0.02	0.663	3	1.989	9.30	0.006
4	0.04	0.633	3	1.899	13.40	0.012
5	0.1	0.668	2	1.336	39.08	0.010
6	0.2	0.970	1	0.970	55.83	0.014
7	0.4	0.505	1	0.505	77.00	0.007
8	0.5	0.487	1	0.487	77.82	0.007

ตารางที่ 4.3 (ต่อ)

ลำดับ	ถ่านเปลือก ตาลโตนด (g)	ค่าเฉลี่ยการ ดูดกลืนแสง ( $\text{cm}^{-1}$ )	อัตราการ เจือจาง X factor	ค่าการดูดกลืน แสง X factor ( $\text{cm}^{-1}$ )	ประสิทธิภาพ การดูดซับสี (ร้อยละ)	ค่า S.D.
9	0.6	0.480	1	0.480	78.14	0.006
10	0.7	0.446	1	0.446	79.69	0.008
11	0.8	0.469	1	0.469	78.63	0.009
12	0.9	0.542	1	0.542	75.32	0.014
13	1.0	0.600	1	0.600	72.68	0.016
14	2.0	0.975	1	0.975	55.60	0.009
15	4.0	1.287	1	1.287	41.39	0.014

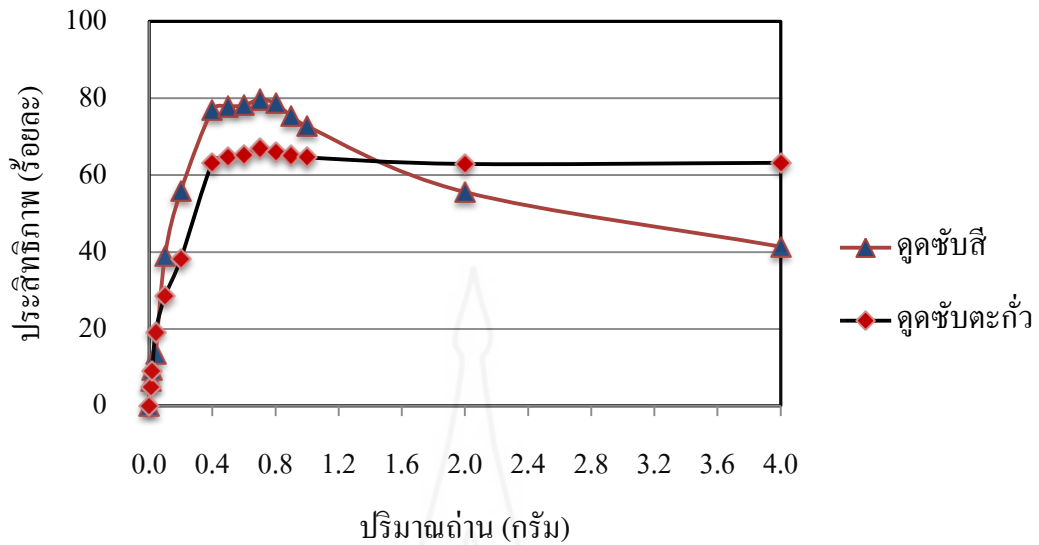
การดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด ตามลำดับต่อไปนี้ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.2, 0.4, 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นของตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร มีประสิทธิภาพในการดูดซับ ตะกั่วเฉลี่ยร้อยละ 0, 5.00, 9.00, 19.10, 28.50, 38.20, 63.20, 64.60, 65.30, 66.90, 66.00, 65.10, 64.60, 62.90 และ 63.20 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4

จากการทดลองดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด ที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ซึ่งการเพิ่มปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วสูงสุด ร้อยละ 66.90 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม และรองลงมา ร้อยละ 66.00 ที่ปริมาณ ถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.8 กรัม และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพ การดูดซับตะกั่วของน้ำเสียสังเคราะห์ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดต่างๆ ดังภาพที่ 4.2



ตารางที่ 4.4 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์

ลำดับ	ถ่านเปลือก ตาลโตนด (g)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้น ตะกั่ว (mg/l)	ประสิทธิภาพการดูดซับ ตะกั่ว (ร้อยละ)	ค่า S.D.
1	0	10.00	0	0
2	0.01	9.50	5.00	0.175
3	0.02	9.10	9.00	0.141
4	0.04	8.09	19.10	0.175
5	0.1	7.15	28.50	0.115
6	0.2	6.18	38.20	0.139
7	0.4	3.68	63.20	0.140
8	0.5	3.54	64.60	0.118
9	0.6	3.47	65.30	0.108
10	0.7	3.31	66.90	0.187
11	0.8	3.40	66.00	0.089
12	0.9	3.49	65.10	0.092
13	1.0	3.54	64.60	0.121
14	2.0	3.71	62.90	0.193
15	4.0	3.68	63.20	0.180



ภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพการคูคซ์บีสีและตะกั่วของน้ำเสียสังเคราะห์ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดต่างๆ

ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่เหมาะสมที่สุดในการคูคซ์บีสีและตะกั่ว คือ ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม โดยมีประสิทธิภาพในการคูคซ์บีสีร้อยละ 79.69 และ ประสิทธิภาพในการคูคซ์บะท้าว ร้อยละ 66.90 ซึ่งจะนำผลการทดลองที่ได้ คือ ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด 0.7 กรัม ใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

จากภาพที่ 4.2 ประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดที่ปริมาณต่างๆ ในการคูคซ์บีสีและตะกั่ว เมื่อนำมาเขียนให้อยู่ในกราฟเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการคูคซ์บีสีและตะกั่ว พบว่าการเพิ่มปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดมีแนวโน้ม ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการคูคซ์บีสีจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณของถ่านเปลือกตาลโตนดที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสังเกตได้จากความชันของกราฟ พบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดสูงสุดร้อยละ 79.69 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม และเริ่มลดลงเรื่อยๆ อย่างช้าๆ แต่เมื่อปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่เพิ่มขึ้นในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด ระหว่าง 2.0-4.0 กรัม ประสิทธิภาพการคูคซ์บีสีจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากปริมาณถ่านที่มากเกินไป ทำให้สีของผงถ่านเปลือกตาลโตนดละลายออกมาผสมกับน้ำเสีย ทำให้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดมีสีดำของถ่านที่ละลายออกมาด้วยทำให้ประสิทธิภาพการคูคซ์บีสีไม่ดีในปริมาณถ่านที่สูงเกินไป

ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งการเพิ่มปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดมีแนวโน้มทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วสูงสุดร้อยละ 66.90 ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม และเมื่อปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่มากขึ้นประสิทธิภาพในการดูดซับเริ่มคงที่ เนื่องจากถึงจุดอิ่มตัวในการดูดซับ

## 2. การหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว ในน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ

2.1 น้ำเสียสังเคราะห์สีแดงสด ความเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อหาประสิทธิภาพการดูดซับสี โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตรขวดละ 100 มิลลิตร ทั้งหมด 11 ขวด เติมถ่านเปลือกตาลโตนด ที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh ปริมาณเท่ากับ 0.7 กรัม นำไปเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่ละขวดที่ช่วงเวลาต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นทุก 30 นาที จนครบ 5 ชั่วโมง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลการทดลองดังนี้

การดูดซับสีของถ่านเปลือกตาลโตนด โดยการนำวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม ที่ช่วงเวลาทุกๆ 30 นาที ที่เวลาดังต่อไปนี้ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 ชั่วโมง พบว่ามีประสิทธิภาพในการดูดซับสีเฉลี่ยร้อยละ 0, 70.14, 79.97, 78.24, 78.33, 78.65, 78.83, 78.74, 79.06, 78.92 และ 78.83 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.5

จากการทดลองดูดซับสีในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด ที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh เพื่อหาประสิทธิภาพในการดูดซับสีสูงสุด ซึ่งการเพิ่มเวลามีแนวโน้ม ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีสูงสุดร้อยละ 79.97 ที่เวลาเท่ากับ 1.0 ชั่วโมง และรองลงมาร้อยละ 79.06 ที่เวลาเท่ากับ 4.0 ชั่วโมง และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการดูดซับสีในช่วงระยะเวลาต่างๆ ดังภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.5 ประสิทธิภาพการดูดซับสีในช่วงระยะเวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยการดูดกลืนแสง ( $\text{cm}^{-1}$ )	ประสิทธิภาพการดูดซับสี (ร้อยละ)	ค่า S.D.
0	2.197	0	0
0.5	0.656	70.14	0.013
1.0	0.440	79.97	0.011
1.5	0.478	78.24	0.017
2.0	0.476	78.33	0.016
2.5	0.469	78.65	0.015
3.0	0.465	78.83	0.008
3.5	0.467	78.74	0.013
4.0	0.460	79.06	0.010
4.5	0.463	78.92	0.009
5.0	0.465	78.83	0.010

## 2.2 น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อศึกษา

ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ปริมาตรขวดละ 100 มิลลิลิตร ทั้งหมด 11 ขวด เติมน้ำเกลือกลั่นที่มึขนาดระหว่าง 40-60 mesh ปริมาณ 0.7 กรัม ลงในแต่ละขวด ตามลำดับ นำไปเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แต่ละขวดที่ช่วงเวลาต่างๆ ที่เพิ่มขึ้นทุก 30 นาที ทำการทดลอง 3 ซ้ำ ได้ผลการทดลองดังนี้

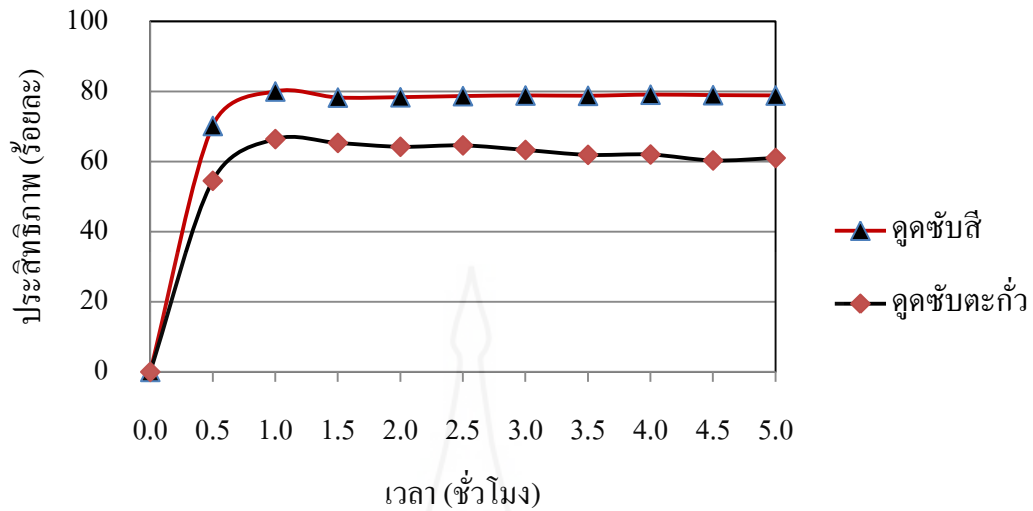
การดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด ที่ผ่านกระบวนการย่อยพร้อมปรับปริมาตรวิเคราะห์หาปริมาณตะกั่ว ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์ฟชันสเปกโทรมิเตอร์ (AAS) ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด 0.7 กรัม ที่ช่วงเวลาทุกๆ 30 นาที ในน้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่เวลาดังต่อไปนี้ 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 3.5, 4.0, 4.5 และ 5.0 ชั่วโมง มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วเฉลี่ยร้อยละ 0, 54.50, 66.40, 65.30, 64.20, 64.60, 63.30, 61.90, 62.00, 62.30 และ 61.00 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.6

จากการทดลองดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด ที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh เพื่อหาประสิทธิภาพในการบำบัดสูงสุด ซึ่งการเพิ่มเวลา มีแนวโน้มว่าทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น แต่ถึงจุดหนึ่งจะคงที่ โดยประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วสูงสุดร้อยละ

66.40 ที่เวลาเท่ากับ 1.0 ชั่วโมง และรองลงมาร้อยละ 65.30 ที่เวลาเท่ากับ 1.5 ชั่วโมง และนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในช่วงระยะเวลาต่างๆ ดังภาพที่ 4.3

ตารางที่ 4.6 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในช่วงระยะเวลาต่างๆ

เวลา (ชั่วโมง)	ค่าเฉลี่ยความเข้มข้นตะกั่ว (mg/l)	ประสิทธิภาพการดูดซับ ตะกั่ว (ร้อยละ)	ค่า S.D.
0	10.00	0	0
0.5	4.55	54.50	0.17
1.0	3.36	66.40	0.16
1.5	3.47	65.30	0.20
2.0	3.58	64.20	0.19
2.5	3.54	64.60	0.24
3.0	3.67	63.30	0.15
3.5	3.81	61.90	0.10
4.0	3.80	62.00	0.10
4.5	3.97	60.30	0.13
5.0	3.90	61.00	0.20



ภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีและตะกั่วในช่วงระยะเวลาต่างๆ

จากการหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว ได้ผลการทดลองดังนี้ เวลาที่สมดุลในการดูดซับสีและตะกั่ว เท่ากับ 1.0 ชั่วโมง โดยมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีที่ร้อยละ 78.24 และประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว ร้อยละ 68.75

จากภาพที่ 4.3 ประสิทธิภาพการดูดซับสีและตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด ที่ช่วงเวลาต่างๆ เมื่อนำมาเขียนให้อยู่ในกราฟเดียวกันเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับสีและตะกั่ว พบว่าเวลาในการดูดซับที่นานขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพในการบำบัดสูงขึ้น โดยประสิทธิภาพการดูดซับสีและตะกั่วจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้นซึ่งสังเกตได้จากความชันของกราฟ ประสิทธิภาพการบำบัดสีและตะกั่วสูงสุด ที่เวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง และไม่คอยการเปลี่ยนแปลงหรือเกือบคงที่ เมื่อเวลาที่เพิ่มขึ้น

### 3. การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกถั่วลิสง

การศึกษาความสามารถในการดูดซับของถ่านเปลือกถั่วลิสงในการดูดซับตะกั่ว จากการทดลองครั้งนี้ได้ทำการเปรียบเทียบ 2 สมการ คือ ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และ ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารดูดซับต่อน้ำหนัก สารดูดซับกับความเข้มข้นของตะกั่วของสารดูดซับที่จุดสมดุล โดยเปรียบเทียบจากมีค่ามีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์(correlation coefficient,  $R^2$ ) กับความสามารถในการดูดซับของสารดูดซับ (K) ความชันของกราฟ ( $1/m$ ) ซึ่งหาได้จาก Intercept และ  $1/Slope$  ตามลำดับ

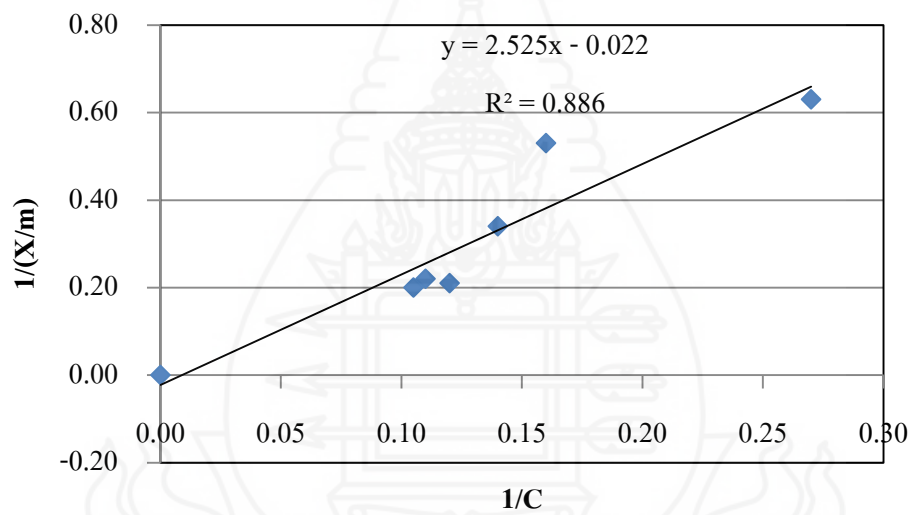
จากการทดลองที่ใช้น้ำเสียสังเคราะห์มีความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยนำถ่านเปลือกถั่วลิสงมาดูดซับตะกั่ว ผลการทดลองได้ผลการดูดซับตะกั่วแสดงดังตารางที่ 4.5 และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $1/(x/m)$  และ  $1/C$  ดังภาพที่ 4.4 และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log(x/m)$  และ  $\log C$  ดังภาพที่ 4.5 โดยแกนตั้ง หมายถึง จำนวนของตัวถูกละลายที่ถูกดูดซับต่อน้ำหนักของสารดูดซับ และแกนนอน หมายถึง ความเข้มข้นของตัวถูกละลายที่จุดสมดุล ซึ่งจากตารางที่ 4.7 ผลการทดลอง ไอโซเทอร์มของการดูดซับ พบว่า เมื่อปริมาณสารดูดซับมากขึ้น ความเข้มข้นของตะกั่วจะมีความเข้มข้นลดลง

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองไอโซเทอร์มของการดูดซับ

ลำดับ	M (g)	C (mg/l)	X (mg)	X/m(mg/g)	1/(X/m)	1/C	log(X/m)	log C
1	0	10	0	0	0	0	0	0
2	0.01	9.50	0.05	5.0	0.20	0.105	0.70	0.98
3	0.02	9.10	0.09	4.5	0.22	0.11	0.65	0.96
4	0.04	8.09	0.19	4.75	0.21	0.12	0.68	0.91
5	0.1	7.15	0.29	2.90	0.34	0.14	0.46	0.85
6	0.2	6.18	0.38	1.90	0.53	0.16	0.28	0.79
7	0.4	3.68	0.63	1.58	0.63	0.27	0.20	0.57
8	0.5	3.54	0.65	1.30	0.77	0.28	0.11	0.55
9	0.6	3.47	0.65	1.08	0.93	0.29	0.033	0.54
10	0.7	3.31	0.67	0.96	1.04	0.30	-0.018	0.52

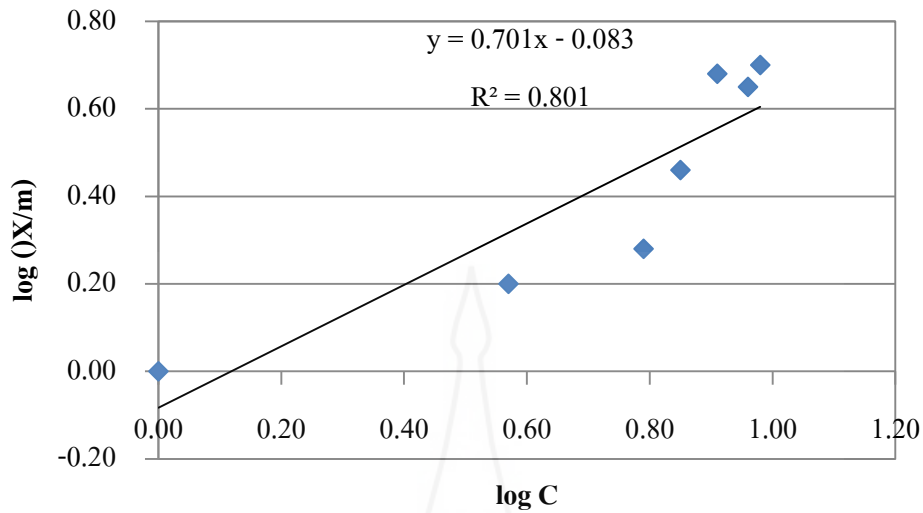
ตารางที่ 4.7 (ต่อ)

ลำดับ	M (g)	C (mg/l)	X (mg)	X/m(mg/g)	1/(X/m)	1/C	log(X/m)	log C
11	0.8	3.40	0.66	0.83	1.20	0.29	-0.08	0.53
12	0.9	3.49	0.65	0.72	1.39	0.29	-0.14	0.54
13	1.0	3.54	0.65	0.65	0.60	0.28	-0.19	0.55
14	2.0	3.71	0.63	0.32	3.13	0.27	-0.49	0.57
15	4.0	3.68	0.63	0.16	6.25	0.27	-0.79	0.57



ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ของตะกั่ว





ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิคซ์ของตะกั่ว

ตารางที่ 4.8 ค่าไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิคซ์

	สมการแลงเมียร์	สมการฟรุนดลิคซ์
สมการ	$y = 2.525x - 0.022$	$y = 0.701x - 0.083$
$R^2$	0.886	0.801
ความชัน Slope (1/n)	2.525	0.701
จุดตัดแกน y (Intercept)	-0.022	-0.083

สมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิคซ์ ของถ่านเปลือกตาลโตนด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.886 และ 0.801 ตามลำดับ ค่า  $1/n$  คือ ค่าความชันของกราฟ ซึ่งพบว่าค่า  $1/n$  สมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิคซ์เท่ากับ 2.525 และ 0.701 ตามลำดับ

#### 4. ประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการบำบัดสี ซีไอดี บีไอดี ของแข็งละลายน้ำ ทั้งหมดและตะกั่วในน้ำเสียจริงจากการข้อมสีกระดาษ

จากการทดลองหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการข้อมสีกระดาษของสีแดงสดในชุมชนบ้านทะเลน้อย อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง โดยการใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด ปริมาณเท่ากับ 0.7 กรัม ใช้เวลาในการดูดซับ 1 ชั่วโมง ได้ผลการทดลองดังนี้ ค่าสีวัดในรูปของการดูดกลืนแสงของน้ำข้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 1.975 และ 0.490 ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 75.19 ค่าบีไอดี ของน้ำข้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 550 และ 245 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 55.45 ค่าซีดีไอ ของน้ำข้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 1,650 และ 520 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 68.48 ค่าบีไอดี:ค่าซีไอดี ของน้ำข้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 0.33 และ 0.47 ตามลำดับ ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ของน้ำข้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 4,250 และ 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 71.76 ค่าการดูดซับตะกั่ว ของน้ำข้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด 0.12 และ 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 66.67 ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ลักษณะคุณสมบัติของน้ำเสียและประสิทธิภาพการบำบัด

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ย ก่อนบำบัด	ค่าเฉลี่ย หลังบำบัด	ค่ามาตรฐาน	ประสิทธิภาพ การบำบัด (ร้อยละ)
พีเอช	7.34	8.57	5.5-9.0	-
การดูดกลืนแสง (cm <sup>-1</sup> )	1.975	0.490	-	75.19
บีไอดี (มก./ล.)	550	245	ไม่เกิน 60 มก./ล.	55.45
ซีไอดี (มก./ล.)	1,650	520	ไม่เกิน 400 มก./ล.	68.48
บีไอดี:ซีไอดี	0.33	0.47	-	-
ของแข็งละลายน้ำ ทั้งหมด (มก./ล.)	4,250	1,200	ไม่เกิน 5,000 มก./ล.	71.76
ตะกั่วทั้งหมด (มก./ล.)	0.12	0.04	ไม่เกิน 0.2 มก./ล.	66.67

หมายเหตุ ค่าการดูดกลืนแสงวัดที่ความยาวคลื่น 548 นาโนเมตร

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลักระจุค โดยใช้วิธีการใช้น้ำเสียสังเคราะห์ ทำการทดลองแบบทีละเท (Batch Experiment) โดยการหาปริมาณที่เหมาะสมและเวลาที่สมควร ในการดูดซับสีและตะกั่ว และศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด พร้อมทั้ง ประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการบำบัดสี บีโอดี ซีโอดี ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจริง จากการข้อมลักระจุค ในกลุ่มท่าผลิตภัณฑักระจุค ตำบลทะเลน้อย อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง

#### 1. สรุปการวิจัย

##### 1.1 วัตถุประสงค์การวิจัย

1.1.1 เพื่อศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสี และตะกั่ว ในน้ำเสียจากการข้อมลักระจุค

1.1.2 เพื่อศึกษาเวลาที่สมควรของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสี และตะกั่ว ในน้ำเสียจากการข้อมลักระจุค

1.1.3 เพื่อศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด

1.1.4 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการบำบัดสี ซีโอดี บีโอดี ของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจริงจากการข้อมลักระจุค

##### 1.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

##### 1.2.1 ตัวแปรที่ศึกษา

###### 1) ตัวแปรต้น

- (1) ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด
- (2) ระยะเวลาในการดูดซับ

## 2) ตัวแปรตาม

- (1) ค่าการดูดซับสีและตะกั่ว
- (2) ประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาล โคนด ในการดูดซับสีและตะกั่ว  
ซีไอดี บีไอดี และของแข็งละลายน้ำทั้งหมด
- (3) ลักษณะการดูดซับตะกั่ว ของถ่านเปลือกตาล โคนด ตามไอโซเทอร์ม

## 3) ตัวแปรควบคุม

- (1) ชนิดของสีย้อมโดยใช้สีแดงสด บริษัท พิวเคียมลีน จำกัด ตราหัวม้า
- (2) ความเข้มข้นสี
- (3) ความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว
- (4) ความเร็วรอบในการกวนเขย่า
- (5) อุณหภูมิ
- (6) ขนาดของถ่านเปลือกตาล โคนด
- (7) เวลา

### 1.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

- 1) อุปกรณ์ในการวิจัย (ในการวิจัยเชิงทดลอง)
- 2) อุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
- 3) เครื่องคำนวณ
- 4) เครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องพิมพ์

### 1.2.3 การเตรียมตัวอย่าง

- 1) การเผาถ่าน
- 2) การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์จากสีย้อมกระจูด
- 3) การเตรียมน้ำเสียตะกั่วสังเคราะห์

### 1.2.4 วิธีทำการทดลอง แบ่งออกเป็น 5 ขั้นตอน

**ขั้นที่ 1** การเตรียมถ่านเปลือกตาล โคนดเพื่อใช้ในการทดลอง

**ขั้นที่ 2** การศึกษาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาล โคนดในการดูดซับสีและตะกั่ว โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ความเข้มข้นสี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตรและความเข้มข้นตะกั่วเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร และใช้ถ่านเปลือกตาล โคนด ปริมาณ 0, 0.01, 0.02, 0.04, 0.1, 0.20.4, 1.0, 2.0 และ 4.0 กรัม ตามลำดับ ตาม ASTM D 3860-89a (Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique)

นำไปเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิ ความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมที่สุดเพื่อใช้การการทำลองขั้นตอนต่อไป

**ขั้นที่ 3** การศึกษาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโดนดในการดูดซับสี และ ตะกั่ว นำน้ำเสียสังเคราะห์ และเติมปริมาณถ่านที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองขั้นที่ 2 มากวนเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส แล้วนำน้ำเสียสังเคราะห์ แต่ละขวดที่ทุกเวลาเพิ่มขึ้นทุกๆ 30 นาที มาตรวจวัดการดูดซับสีและตะกั่วจนเข้าสู่ภาวะเวลาที่สมดุล

**ขั้นที่ 4** ทำการทดสอบข้อมูลการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโดนด โดยนำข้อมูลการดูดซับที่ได้มาทดสอบกับสมการแบบแลงเมียร์และสมการแบบฟรุนดลิชซ์ เพื่อหาสมการที่สามารถอธิบายการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียจากการย่อยสรีระจุของถ่านเปลือกตาลโดนดได้

**ขั้นที่ 5** การหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโดนด ในการบำบัดสี บีโอดี ซีโอดี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่ว โดยใช้ปริมาณถ่านที่เหมาะสมและเวลาที่สมดุลจากการทดลองการดูดซับสีและตะกั่ว มาใช้กับน้ำเสียจริงจากการย่อยสรีระจุสีแดงสด

#### 1.2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

1) ร้อยละ ใช้บอกค่าประสิทธิภาพร้อยละในการบำบัดสี ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำเสีย และปริมาณตะกั่ว

2) ค่าเฉลี่ยเลขคณิตและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ในการหาค่าเฉลี่ยปริมาณ เวลา บำบัดสี ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี และปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมดในน้ำเสีย ปริมาณตะกั่ว ก่อนการทดลองและหลังการทดลอง เพื่อใช้คำนวณในการหาค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพ

### 1.3 ผลการวิจัย

#### 1.3.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโดนดในการดูดซับสีและตะกั่ว ในน้ำเสียจากการย่อยสรีระจุ

1) การสแกนหาความยาวคลื่นเพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงสูงสุด โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์สีแดงสดความเข้มข้น 20 มิลลิกรัมต่อลิตร วิเคราะห์ด้วยเครื่องยูวี-วิสิเบิลสเปคโตรโฟโตมิเตอร์มิเตอร์ ได้ค่าความยาวคลื่นแสงสูงสุดเท่ากับ 548 นาโนเมตร เพื่อนำไปใช้ในการทดลองขั้นตอนต่อไป

2) การหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโดนดในการดูดซับสีและ ตะกั่ว โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์ของสีข้อมกระดูกสีแดงสดความเข้มข้นสี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการหาประสิทธิภาพการดูดซับสี และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้นเท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการหาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว เพื่อหาปริมาณถ่านเปลือกตาลโดนดที่เหมาะสมในการดูดซับ

สีและตะกั่ว พบว่าปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม มีประสิทธิภาพสูงสุดในการดูดซับสีและตะกั่วที่ร้อยละ 79.69 และ 70.59 ตามลำดับ

### **1.3.2 การหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่วในน้ำเสียจากการย้อมสีกระดาษ**

น้ำเสียสังเคราะห์ของสีย้อมกระดาษสีแดงสดความเข้มข้นสี 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการหาประสิทธิภาพการดูดซับสี และใช้น้ำเสียสังเคราะห์ตะกั่ว ความเข้มข้น เท่ากับ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการหาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด ที่มีขนาดระหว่าง 40-60 mesh ที่ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม พบว่าเวลาที่สมดุลในการดูดซับสีและตะกั่วเท่ากับ 1.0 ชั่วโมง ซึ่งมีประสิทธิภาพในการดูดซับสีและตะกั่วที่ร้อยละ 78.24 และ 66.40 ตามลำดับ

### **1.3.3 การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนด**

ศึกษาการดูดซับตะกั่วของถ่านเปลือกตาลโตนดโดยการใช้สมการการดูดซับแบบแลงเมียร์และสมการการดูดซับแบบฟรุนดลิคซ์ มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.886 และ 0.801 ตามลำดับ ค่า  $1/n$  คือ ค่าความชันของกราฟ ซึ่งพบว่าค่า  $1/n$  สมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิคซ์เท่ากับ 2.525 และ 0.701 ตามลำดับ

### **1.3.4 ประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนด ในการบำบัดสี ซีไอดี บีไอดี ของแฉังละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่วในน้ำเสียจริงจากการย้อมสีกระดาษ**

นำน้ำเสียจากกระบวนการย้อมสีกระดาษสีแดงสด ในชุมชนบ้านทะเลน้อย อำเภอกวนขนุน จังหวัดพัทลุง ใช้ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดขนาด 40-60 mesh ปริมาณ 0.7 กรัม นำไปกวนเขย่าด้วยเครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิความเร็วรอบ 120 รอบ/นาที ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เวลา 1.0 ชั่วโมง ศึกษาค่า สี ค่าพีเอช ค่าบีไอดี ค่าซีไอดี ปริมาณของแฉังละลายน้ำทั้งหมดและปริมาณตะกั่ว พบว่า ค่าสีซึ่งวัดในรูปของการดูดกลืนแสงของน้ำย้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 1.975 และ 0.490 ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 75.19 ค่าบีไอดี น้ำย้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 550 และ 245 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 55.45 ค่าซีไอดี ของน้ำย้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 1,650 และ 520 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 68.48 ค่าบีไอดี:ค่าซีไอดี ของน้ำย้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 0.33 และ 0.47 ตามลำดับ ปริมาณของแฉังละลายน้ำทั้งหมด ของน้ำย้อมสีกระดาษก่อนและหลังการบำบัด คือ 4,250 และ 1,200 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพร้อยละ 71.76 ค่าการดูดซับ

ตะกั่ว ของน้ำขี้มูกีกระจุคก่อนและหลังการบำบัด 0.12 และ 0.04 มิลลิกรัม/ลิตร คิดเป็นประสิทธิภาพ ร้อยละ 66.67

## 2. อภิปรายผล

2.1 การหาปริมาณที่เหมาะสมของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อศึกษาหาปริมาณถ่านที่เหมาะสมในการดูดซับสีและตะกั่ว ซึ่งปริมาณถ่านเป็น ปัจจัยที่สำคัญในการดูดซับสีและตะกั่ว แนวโน้มประสิทธิภาพของความสามารถในการดูดซับตะกั่ว จะเพิ่มสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด คือ ระหว่าง 0.01- 0.7 กรัม แต่เมื่อถึงจุดหนึ่ง ของปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่มากกว่า 0.7 กรัม คือ ช่วงปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด 0.8 – 4.0 กรัม ประสิทธิภาพการดูดซับไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงหรือเกือบคงที่ แสดงว่าถึงจุดสมดุลของการดูดซับ ทั้งนี้การเพิ่มปริมาณตัวดูดซับที่มากขึ้น ในขณะที่ตัวถูกดูดซับที่มีปริมาณคงที่นั้นทำให้ปริมาณไอออน ของโลหะที่ถูกกำจัดออกจากตัวถูกดูดซับมีปริมาณเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวดูดซับที่ใช้ ทั้งนี้เพราะการเพิ่มขึ้นของปริมาณตัวดูดซับดังกล่าวจะเป็นการเพิ่มจำนวนอนุภาคตัวดูดซับที่ดูดติด ไอออนของโลหะด้วยสอดคล้องกับงานวิจัยของกิติโรจน์ หวันตาหลาและคณะ (2550) ที่กล่าวว่า เมื่อเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์ ความสามารถในการดูดซับสีข้อมเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับงานวิจัย เกษม สิมาพล และนรินทร ต้นจ้อย (2546) ที่กล่าวว่า เมื่อน้ำหนักของตัวดูดซับเพิ่มมากขึ้น ประสิทธิภาพ การดูดซับมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเนื่องจากการเพิ่มปริมาณเป็นการเพิ่มตำแหน่งที่ว่างไว (Active site) ในการดูดซับให้ไอออนของโลหะในน้ำเสียสามารถดูดซับที่ผิวของตัวดูดซับได้มากขึ้น แต่เมื่อถึง จุดหนึ่งพบว่าประสิทธิภาพการดูดซับมีแนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงไม่มากนัก ทั้งนี้อาจจะเกิดจาก สาเหตุเนื่องมาจากเมื่อความเข้มข้นของไอออนในน้ำเสียลดลง (เนื่องจากการดูดซับ) ทำให้การแพร่ ของไอออนจากสารละลายเข้าสู่ตำแหน่งที่ว่างไวลดลงด้วย และสอดคล้องกับงานวิจัยของ เพ็ญศรี ปลอดภัย (2546) ที่กล่าวว่า โมเลกุลของตัวดูดซับส่วนแรกๆ จะเคลื่อนที่เข้าไปยังผิวว่างๆ ก่อน และ ถูกดูดซับ ณ ส่วนที่น่าจะเกิดการดูดซับได้ดี (Attractive Sites) หรือตำแหน่งที่มีพลังงานต่ำ ขณะที่การ ดูดซับดำเนินไปเรื่อยๆ บริเวณที่ว่างนั้นลดลงไป ดังนั้นการดูดซับเกิดขึ้นในส่วนที่ถัดไปจะช้าลง อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองประสิทธิภาพการดูดซับปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่มีประสิทธิภาพ ดีที่สุด คือ 0.7 กรัม แต่การนำไปใช้จริงควรคำนึงถึงปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดหลังจากการใช้แล้ว ที่จะต้องกำจัด ซึ่งจากการทดลองพบว่าที่ปริมาณถ่านเปลือกถ่าน โตนดที่ปริมาณ 0.4 กรัม มีประสิทธิภาพ ในการดูดซับไม่แตกต่างกันกับปริมาณถ่าน 0.7 กรัม เพื่อเป็นการลดปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนด ที่เกิดขึ้น การนำไปใช้จริงควรใช้ปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดที่ 0.4 กรัม

**2.2 การหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว** โดยใช้ น้ำเสียดังเคราะห์ เพื่อศึกษาการหาเวลาที่สมดุลของถ่านเปลือกตาลโตนดในการดูดซับสีและตะกั่ว ประสิทธิภาพในการดูดซับสีและตะกั่ว อัตราการดูดติดผิวตะกั่วเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเวลาสัมผัสระหว่าง 0-1.0 ชั่วโมง สังเกตได้จากความชันของกราฟ เนื่องจากเมื่อเพิ่มเวลาในการดูดซับ จะทำให้ไอออนในน้ำเสียดังเคราะห์กระจายไปยังจุดที่ไวต่อการดูดซับเพิ่มขึ้น ทำให้ร้อยละของการดูดซับสูงขึ้น เมื่อเวลาสูงขึ้น และจะดีที่สุดที่เวลาเท่ากับ 1 ชั่วโมง แต่ผลการทดลองเมื่อเวลาเพิ่มสูงขึ้นช่วง 1.5 – 5.0 ชั่วโมง ร้อยละในการดูดซับจะไม่ค่อยเปลี่ยนแปลง หรือเกือบจะคงที่ เนื่องจากถึงจุดสมดุล ซึ่งนั่นคือ อัตราการดูดซับ (Rate of adsorption) มีค่าเท่ากับอัตราการคายออก (Rate of desorption) สอดคล้องกับงานวิจัยของ จรรยา คงฤทธิ์ และคณะ (2549) ที่กล่าวว่า แนวโน้มของประสิทธิภาพการดูดซับจะเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่เมื่อถึงจุดหนึ่งประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วจะเริ่มคงที่ ทั้งนี้เนื่องจาก เมื่อเริ่มทำการดูดซับระยะเวลาจะเพิ่มขึ้น พื้นที่ผิวของดินเหนียวจะถูกประจุของตะกั่วจับตัวมากขึ้น ทำให้ตำแหน่งในการยึดเกาะน้อยลง และสอดคล้องกับงานวิจัยของสุจินต์ เอี่ยมปี (2544) ที่กล่าวว่า น้ำทิ้งมีเวลาสัมผัสในชั้นของถ่านกัมมันต์นานกว่าทำให้มีไอออนถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ได้มากขึ้นโดยประสิทธิภาพในการบำบัดของชั่วโมงแรกๆ จะสูงกว่าชั่วโมงหลังๆ ซึ่งเป็นเพราะในระยะเวลาแรกๆ พื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์ยังมีมาก แต่เมื่อน้ำทิ้งผ่านชั้นกัมมันต์นานขึ้นพื้นที่ผิวของถ่านกัมมันต์จะลดลง เนื่องจากอนุภาคของสี สารอินทรีย์และมลสารต่างๆ ถูกดูดซับอยู่ที่ผิวของถ่านกัมมันต์มากขึ้นทำให้พื้นที่ผิวที่เหลือของถ่านกัมมันต์ลดลงทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดลดลง

**2.3 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วของน้ำเสียดังเคราะห์** โดยใช้ถ่านเปลือกตาลโตนด โดยการเปรียบเทียบทั้ง 2 สมการ คือ ไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช นำข้อมูล ประสิทธิภาพการบำบัดตะกั่วของน้ำเสียดังเคราะห์ในปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดต่างๆ ตารางที่ 4.4 มาคำนวณและแทนค่าข้อมูลที่ได้ของตารางที่ 4.7 ในสมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช พบว่า สมการเส้นตรงของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และแบบฟรุนดลิช ของถ่านเปลือกตาลโตนด มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient,  $R^2$ ) เท่ากับ 0.886 และ 0.801 ตามลำดับ ซึ่งค่า  $R^2$  มีค่าต่ำสุดที่ 0 แสดงว่ามีความน่าเชื่อถือต่ำที่สุด และมีค่าสูงสุดเท่ากับ 1 แสดงว่ามีความน่าเชื่อถือมากที่สุด ศศิธร นามโคตร (2551) ซึ่งค่า  $R^2$  ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์มีค่าเข้าใกล้ 1 มากกว่า การดูดซับของถ่านเปลือกตาลโตนดมีแนวโน้มสอดคล้องกับสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์มากกว่าสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิช สอดคล้องกับงานวิจัยของคมสันต์ กุศล (2551) ที่กล่าวว่า การดูดซับไอออนโลหะด้วย XSMANH และ XSMADA เป็นไปตามสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ คือ การดูดติดผิวจะเกิดขึ้นที่ผิวของโคพอลิเมอร์และสามารถดูดซับไอออน



ของโลหะหนักได้เพียงชั้นเดียว (Monolayer adsorption) และสอดคล้องกับงานวิจัยของภูมิพัฒน์ รัตนตรัยเจริญ และคนคณะ (2548) ศึกษาการดูดซับไอออนโพแทสเซียมและสังกะสีโดยใช้ถ้ำแคลบ เป็นไปตามสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์ โดยถ้ำแคลบสามารถดูดซับได้มากที่สุดเท่ากับ 11.56 มิลลิกรัม/กรัม และค่าคงที่ในการดูดซับ 1.09 ลิตร/มิลลิกรัม โดยค่า  $1/n$  คือ ค่าความชันของกราฟ แสดงถึงขีดความสามารถในการดูดซับ ซึ่งพบว่าค่า  $1/n$  สมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแลงเมียร์และสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิชเท่ากับ 3.776 และ 0.945 ตามลำดับ ซึ่งค่าความชันสามารถบอกถึงความสามารถในการดูดซับได้ด้วย

แบบจำลองการดูดซับแบบแลงเมียร์สามารถใช้อธิบายการดูดซับแบบกายภาพบนพื้นผิวผสม โดย การดูดซับของ โมเลกุลหรืออะตอมเกิดขึ้นบนพื้นที่ผิวในขอบเขตที่จำกัด แต่ละตำแหน่งบนพื้นผิวสามารถดูดซับได้เพียง 1 อะตอมหรือ 1 โมเลกุลเท่านั้นพลังงานในการดูดซับจะเท่ากันทุกจุดและแต่ละ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับจะไม่มีแรงหรือปฏิกิริยาต่อกัน ทำให้เกิดพื้นผิวดูดซับแบบเนื้อเดียว (homogeneous surface) ด้วยการดูดซับแบบชั้นเดียว พิระ ณะชัย (2548) กลไกการดูดซับของแลงเมียร์ คือ พื้นผิวบนตัวดูดซับเป็นแบบเดียวกันหมด มีกลไกการดูดซับเหมือนกัน การดูดซับของตัวถูกดูดซับบนพื้นผิวของตัวดูดซับเป็นแบบชั้นเดียว ตัวถูกดูดซับจะจัดเรียงตัวเพียงชั้นเดียวบนพื้นผิวตัวดูดซับ โดยที่โมเลกุลตัวถูกดูดซับไม่เกิดการซ้อนทับกัน พื้นผิวบนตัวดูดซับจะมีจำนวนจำกัด และเมื่อตัวถูกดูดซับถูกดูดซับไว้แล้วจะ ไม่มีการเคลื่อนที่ หรือเปลี่ยนตำแหน่งกันกับตัวถูกดูดซับอื่นบนพื้นผิวตัวดูดซับ พื้นผิวตัวดูดซับจะถูกปกคลุมด้วยตัวถูกดูดซับมากขึ้น เมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น จนมีตัวถูกดูดซับถูกดูดซับจนอิ่มตัว นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ และคณิตา ตั้งคณาภิรักษ์ (2550)

การดูดซับตามสมการฟรุนดลิช เกิดจากสมมติฐานจากพื้นผิวหลายชั้น (heterogeneous surface) ด้วยการกระจายตัวแบบไม่สม่ำเสมอของความร้อนของการดูดซับบนพื้นผิวที่เกิดจากการดูดซับแบบหลายชั้น (multilayer sorption) โดยสมการไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนดลิชที่มีความชัน  $(1/n)$  ถ้า  $n > 1$  แสดงถึงว่า ตัวดูดซับที่ใช้มีความสามารถในการดูดซับตัวถูกละลายหรือตัวถูกดูดซับได้ดี เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น และถ้า  $1 < n < 10$  แสดงว่าปฏิกิริยาการดูดซับกำลังดำเนินไปได้ด้วยดี แต่ถ้า  $1/n$  มีค่าน้อยกว่า 1 มาก ๆ ( $1/n \ll 1$ ) ความสามารถในการบำบัดจะค่อยๆ ลดลง ตามความเข้มข้นที่น้อยลงด้วย นอกจากนี้ค่า  $K$  สามารถเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารดูดซับได้ด้วย เนื่องจากเป็นค่าที่แสดงความหนาแน่นของการดูดซับ โดยค่า  $K$  ที่มากส่งผลให้ความหนาแน่นของการดูดซับมากขึ้นด้วย เป็นค่าความจุของการดูดซับ ถ้าค่า  $K$  สูงแสดงว่ามีความสามารถในการดูดซับดี สุชาดา สุทธิพิบูลย์ (2547)

**2.4 การหาประสิทธิภาพของถ่านเปลือกตาลโตนดในการบำบัดน้ำเสียจากการย่อยสรีระจุลินทรีย์** ของปริมาณถ่านเปลือกตาลโตนดเท่ากับ 0.7 กรัม ที่เวลา 1.0 ชั่วโมง สียกค่าสี ค่าพีเอช ค่าบีโอดี ค่าซีโอดี ปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด และปริมาณตะกั่ว ในน้ำเสียจากกระบวนการย่อยสรีระจุลินทรีย์แดงสดในชุมชนบ้านทะเลน้อย ผลที่ได้จากการทดลองน้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านเปลือกตาลโตนด ขนาด 40-60 mesh เปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) และกำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539) พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 พบว่า มีพารามิเตอร์ที่ตรวจวัดมีค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด คือ ค่าบีโอดีหลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 245 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (ไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร) และ ค่าซีโอดีหลังการบำบัดมีค่าเท่ากับ 520 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่าเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (ไม่เกิน 400 มิลลิกรัมต่อลิตร)

### 3. การนำไปใช้ประโยชน์ได้จริง

ชุมชนทะเลน้อยเป็นแหล่งทำผลิตภัณฑ์จากกระจุลินทรีย์ ซึ่งจะปล่อยน้ำเสียจากกระบวนการย่อยสรีระจุลินทรีย์ลงสู่แหล่งน้ำและสิ่งแวดล้อม ที่ขาดกระบวนการบำบัด ซึ่งผู้ประกอบการอาชีพทำผลิตภัณฑ์จากกระจุลินทรีย์ดังกล่าวยังขาดความรู้และตระหนักในการรักษาสิ่งแวดล้อม จากผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้หาวิธีการบำบัดน้ำเสียที่สามารถนำถ่านเปลือกตาลโตนดมาใช้ให้เกิดประโยชน์ได้จริง ซึ่งสามารถทำได้ภายในครัวเรือนหรือชุมชน โดยมีวิธีการดังนี้

**3.1 สร้างบ่อซีเมนต์ในการเก็บกักน้ำเสียจากกระบวนการย่อยสรีระจุลินทรีย์** รวบรวมน้ำเสียเพื่อเป็นการบำบัดน้ำเสียจากการย่อยสรีระจุลินทรีย์ขั้นต้น โดยนำน้ำเสียจากกระบวนการย่อยสรีระจุลินทรีย์มากรองเพื่อเอาเศษกระจุลินทรีย์หรือกากตะกอนขนาดใหญ่ออก กักเก็บน้ำเสียไว้ในบ่อซีเมนต์ ดังภาพที่ 5.1



ภาพที่ 5.1 บ่อซีเมนต์เพื่อเก็บน้ำเสียจากการข้อมลึกระจูด

**3.2 สร้างคอลัมน์ด้วยท่อพีวีซี** ซึ่งสามารถออกแบบได้เองบรรจุถ่านเปลือกตาลโดนด และนำน้ำเสียที่มาจากบ่อกักเก็บน้ำผ่านคอลัมน์ เพื่อให้ได้น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดด้วยถ่านเปลือกตาลโดนด

#### 4. ข้อเสนอแนะ

##### 4.1 การนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

4.1.1 หน่วยงานผู้รับผิดชอบหรือเกี่ยวข้องสามารถนำถ่านเปลือกตาลโดนดไปใช้ในการออกแบบหรือประยุกต์ใช้ต่อไปในการบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลึกระจูด

4.1.2 ผู้ประกอบอาชีพผลิตผลิตภัณฑ์จากกระจูดสามารถบำบัดน้ำเสียจากการข้อมลึกระจูดได้ภายในครัวเรือนหรือกลุ่มผู้ประกอบการอาชีพ

##### 4.2 การวิจัยครั้งต่อไป

4.2.1 ควรเลือกศึกษาน้ำเสียที่มีการปนเปื้อนหลายๆ โทเนล เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับสีและตะกั่ว

4.2.2 ควรมีการศึกษาของถ่านเปลือกตาลโดนดในการบำบัดน้ำเสียจากแหล่งอื่น ๆ เช่น น้ำเสียจากการเครื่องดนตรีธรรมราช เป็นต้น เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการบำบัด

4.2.3 ควรศึกษาหาวิธีการกำจัดถ่านเปลือกตาลโดนดที่ใช้แล้ว

4.2.4 ควรนำน้ำจากทะเลน้อยและแหล่งน้ำใกล้เคียงมาตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เพื่อจะได้ทราบสถานการณ์คุณภาพน้ำ



**บรรณานุกรม**

## บรรณานุกรม

- กรมควบคุมมลพิษ (2543) *มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์คุณภาพน้ำในประเทศไทย* พิมพ์ครั้งที่ 4 \_\_\_\_\_ (2552) รายงานฉบับสมบูรณ์ โครงการจัดการน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุมชน การทำผลิตภัณฑ์กระจูดในพื้นที่ทะเลน้อย
- กรณีการ์ สิทธิสิงห์ (2544) *เคมีของน้ำ น้ำโสโครกและการวิเคราะห์* พิมพ์ครั้งที่ 3 กรุงเทพมหานคร ประยูรวงศ์
- การทำปุ๋ยหมักจากเปลือกตาลโตนด คำนวณที่ 8 ตุลาคม 2554 จาก <http://www.rakbankerd.com/agriculture/open.php?id=648&s=tblblog>
- การนำเปลือกตาลมาใช้ประโยชน์ คำนวณที่ 8 ตุลาคม 2554 จาก [http://file.siam2web.com/puktientruth/2010223\\_26258.pdf](http://file.siam2web.com/puktientruth/2010223_26258.pdf)
- การแบ่งประเภทของสีย้อม คำนวณที่ 8 ตุลาคม 2554 จาก [http://www.tpa.or.th/writer/read\\_this\\_book\\_topic.php](http://www.tpa.or.th/writer/read_this_book_topic.php)
- กิติโรจน์ หวันตาหลา ชยาภาส ทับทอง และสินศุภา จุ้ยจุลเจิม (2550) “การดูดซับสีย้อมผ้าด้วยถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากถ่านหินและกะลามะพร้าว” *วารสารการวิจัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*
- เกษม สีมานพ และนรินทร ดันจ้อย (2546) “การกำจัดไอออนตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียด้วยใยมะพร้าว” *ทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักวิจัยและบริการวิชาการ สถาบันราชภัฏวไลยอลงกรณ์ในพระบรมราชูปถัมภ์*
- คมสันต์ กุศล (2551) “การสังเคราะห์อนุพันธ์ของโคพอลิ(สไตรีน/ไดไวนิลเบนซีน/มาเลอิกแอนไฮไดรด์) เพื่อใช้ในการดูดซับ” *ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
- แคทลียา ดีประดิษฐ์ (2548) “การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์จากกะลามะพร้าว” *สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 7*
- จรรยา คงฤทธิ์ จุไรรัตน์ กุรุโคตร และกาญจนารัตน์ ช่อรักษ์ (2549) “ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วโดยใช้ดินเหนียว” *โครงการวิจัยสนับสนุนจากการวิจัยงบประมาณรายได้ ประจำปี 2549 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม*
- จรรยาลักษณ์ ปาปะโพธิ์ และอุลา ทิพราช (2549) “การศึกษาประสิทธิภาพของแกลบและ กะลามะพร้าว ในการดูดซับโลหะหนักน้ำย้อมสีเปลือกกล้วยแห้ง” *วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม*

- ชนิตา เสมรัตน์ (2543) “ประสิทธิภาพการกำจัดสีของน้ำทิ้งอุตสาหกรรมสิ่งทอด้วยกระบวนการ  
ดูดติดผิวโดยใช้ถ่านที่ผลิตจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร” วิทยานิพนธ์ปริญญา  
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- คลเดช ตั้งตระการพงษ์ และภาณุมาศ พรหมเทศ (2548) “การเลือกเปลือกแพชชั่นฟลูตดูดซับ  
โลหะหนักแคดเมียม นิกเกิล และสังกะสี” ภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร *วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย* 20,2
- เดชา นัตรีศิริเวช (2552) *กระบวนการดูดซับ* แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- “ตาลโตนด” ค้นวันที่ 21 ตุลาคม 2554 จาก <http://www.doctor.or.th/node/3473>
- “ตาลโตนด” ค้นวันที่ 21 ตุลาคม 2554 จาก <http://www.tungsong.com/ModifyLifetsgcity/Nakorn/Agriculture/Tan.asp>
- “ตาลโตนด” ค้นวันที่ 21 ตุลาคม 2554 จาก <http://www.yupparaj.ac.th/web1999/kaj/page612.htm>
- นริศรา โพธิ์มูล (2545) “การลดปริมาณตะกั่วจากน้ำเสียโรงงานผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ถ่านกัมมันต์”  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- นิพนธ์ ตั้งคณาภิรักษ์ และคณิตา ตั้งคณาภิรักษ์ (2550) *หลักการการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ  
ทางเคมี* มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- บัญชา ชวาลไชย (2549) “การศึกษาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การดูดซับไอออนของโลหะแคดเมียม  
และตะกั่วในสารละลายโดยใช้เปลือกกล้วยในการดูดซับ” วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรการเกษตรและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- ประกฤต เลิศจรส์อร่ามดี (2539) “การกำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการใช้น้ำเกลือ  
ฟางข้าวและขุยมะพร้าว” ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์  
สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- “ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม (ฉบับที่ 3) พ.ศ.2539” (2539,3 มกราคม)  
เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท  
โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13
- “ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)” เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบาย  
ออกนอกโรงงาน พระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535
- “ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537)” เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ  
ในแหล่งน้ำผิวดิน พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535

- “ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543)” เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำ  
ใต้ดิน พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535
- “ประโยชน์ของตาลโตนด” ค้นคืนวันที่ 8 ตุลาคม 2554 จาก <http://as.doa.go.th/fieldcrops/cane/oth/022.HTM>
- “ประวัติของวีย่อม” ค้นคืนวันที่ 21 ธันวาคม 2554 จาก <http://chartree.wordpress.com/2009/11/21>
- พิมล เรียงวัฒนา และ ชัยวัฒน์ เจนวานิชย์ (2539) *เคมีสภาวะแวดล้อม* โอเดียนสโตร์
- พีระ ณะชัย (2548) “การศึกษาการดูดซับของแก๊สที่อุณหภูมิคงที่และอัตราการคายตัวของแก๊สบนถ่านกัมมันต์” *ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*
- เพ็ญศรี ปลอดภัย (2546) “การกำจัดตะกั่วโดยวิธีเฉื่อยและกากตะกอนจากเตาหลอมเหล็ก” *ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*
- ภูมิพัฒน์ รัตนตรัยเจริญ กิติโรจน์ หวันตาหลา และศิริวรรณ ศรีสรณ์ตร์ (2548) “การดูดซับไอออนโพแทสเซียมและสังกะสีโดยใช้ถ่านแกลบ” *ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*
- มธุรส รุจิรวัฒน์ และจุฑามาศ สัตยวิวัฒน์ (2549) *พิษวิทยาสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร ทรินิตี้พับลิชชิง*
- มันสิน ตันกุลเวศม์ (2538) *วิศวกรรมการประปา เล่มที่ 2 กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*  
\_\_\_\_\_. (2540) *คู่มือวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*
- มันสิน ตันกุลเวศม์ และมันรัช ตันกุลเวศม์ (2538) *คู่มือการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ พิมพ์ครั้งที่ 5 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย*
- เมตตา เพ็ญผลเจริญ (2547) “ความสามารถในการดูดซับสีย้อมผ้ายีนต์และคุณสมบัติปอซโซลานหลังดูดซับสีย้อมของถ่านหินบิทูมินัส” *สงขลานครินทร์ ฉบับวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 26 (กรกฎาคม): 85-95.*
- แมน อมรสิทธิ์ และอมร เพชรสม (2535) *หลักการและเทคนิควิเคราะห์เชิงเครื่องมือ* ชวนพิมพ์
- รัตนา มหาชัย (2542) “การศึกษาพฤติกรรมดูดซับโลหะหนักบางตัวบนวัสดุดูดซับถ่านแกลบ” *ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาเคมี มหาวิทยาลัยขอนแก่น*
- วิริยา วิริยะเขม (2550) “การบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานผลิตกาแฟผงสำเร็จรูปโดยใช้สารดูดซับจากวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร” *คณะวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์*

- วิวรรณ ขจรเกียรติคุณ (2539) “การใช้ถังกรองดูดซับในการบำบัดสีจากน้ำเสียโรงงานฟอกย้อมสิ่งทอ ในการบำบัดขั้นสุดท้าย” ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- ศักดิ์อนันต์ ปลาทอง (2550) *ระบบนิเวศป่าพรุ* สงขลา แอปเปิ้ลอาร์ต
- ศศิธร นามโคตร (2551) “การศึกษาไอโซเทอร์มของการดูดซับสารละลายโลหะหนักด้วยเปลือก ถั่วเหลืองคัดแปด” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
- สกล ศิริรัตน์ (2546) “การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟและสีย้อมเบสิกจากสารละลายโดยใช้ถ่านกัมมันต์ ชนิดเกล็ดเคลือบด้วยไคโตซาน” ปรินญาวิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมคณะพลังงานและวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี
- สัญญา จันทร์สุวรรณ และอุษา อันทอง (2552) “การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากการย้อมสี โดยซีโอไลต์ธรรมชาติ” การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยทักษิณ ครั้งที่ 19 ประจำปี 2552
- “สีเบสิก” ค้นวันที่ 30 มีนาคม 2554 จาก <http://itt.cru.in.th>
- สีย้อมกระจูด ค้นวันที่ 30 มีนาคม 2554 จาก <http://www.phatlung.com/product/kajud.php>
- สุจินต์ เอี่ยมปี (2544) “การบำบัดน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรมสีโดยกระบวนการดูดซับ ด้วยถ่านกัมมันต์” ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- สุชาดา สุทธิพิบูลย์ (2547) “ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วและอาร์เซนิกในน้ำเสียด้วยถ่านกระดูก” สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- สุธิลา ตูลยะเสถียร และคณะฯ (2544) *มลพิษสิ่งแวดล้อม* รวมสารัน (1997) จำกัด
- อารยา ประดับวงศ์ (2549) “ประสิทธิภาพการดูดซับสีจากน้ำเสียย้อมผ้าด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่ และหอยแครง” สาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม คณะสาธารณสุขศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- อรุณวรรณ วิเชียรบุตร (2553, 30 มีนาคม 2553) ผู้ประกอบอาชีพสานกระจูด สัมภาษณ์โดย สมหมาย ชูช่วย 32 หมู่ 9 ต.ทะเลน้อย อ.ควนขนุน จ.พัทลุง
- อัจฉรา ดวงเดือน (2545) “การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยใช้เปลือกไข่และถ่านแกลบ”  
*LAB.TODAY* 2(1) 62-65



อัจฉรา เจนการซ่ง (2531) “การลดปริมาณตะกั่วในน้ำเสียที่ผ่านการปรับปรุงคุณภาพทางเคมีแล้ว โดยใช้ถ่านกรอง” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Akbal, F. (2005) “Adsorption of basic dyes from aqueous solution onto pumice powder”

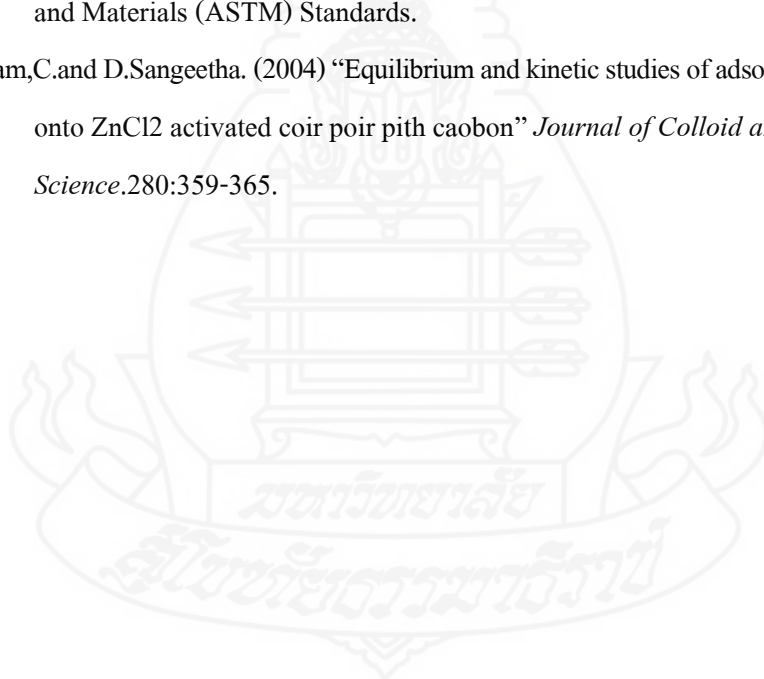
*Journal of Colloid and Interface Science* (286): 455-458.

American Public Health Association (AWWA), WPCA. (1993) “Standard methods for the examination of water and waste water, 18 ed” American Public Health Association. Washington, D.C.

APHA, AWWA and WEF, (1997) “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” 19<sup>th</sup> Edition. Washington DC :American Public Health Association.

ASTM D 3860-89a (Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique) Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards.

Namasivayam, C. and D. Sangeetha. (2004) “Equilibrium and kinetic studies of adsorption of phosphate onto ZnCl<sub>2</sub> activated coir pith carbon” *Journal of Colloid and Interface Science*. 280:359-365.





ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

สภามหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร

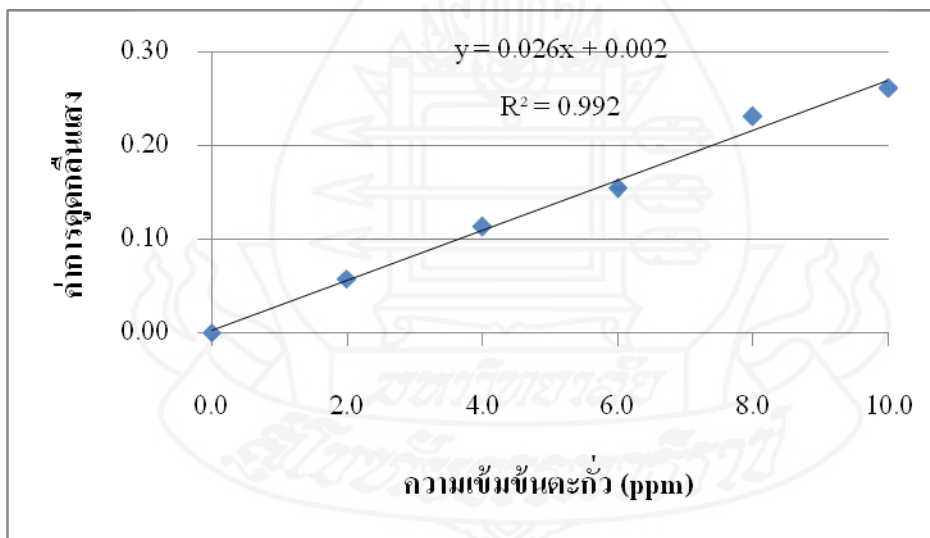


ภาคผนวก ก  
การสร้างกราฟมาตรฐาน

## 1. สารละลายมาตรฐานตะกั่ว

ตารางที่ ก-1 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานตะกั่ว

สารละลายมาตรฐานตะกั่ว	ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าการดูดกลืนแสง( $\text{cm}^{-1}$ )
1.	0.00	0.0001
2.	2.00	0.0576
3.	4.00	0.1134
4.	6.00	0.1547
5.	8.00	0.2316
6.	10.00	0.2620

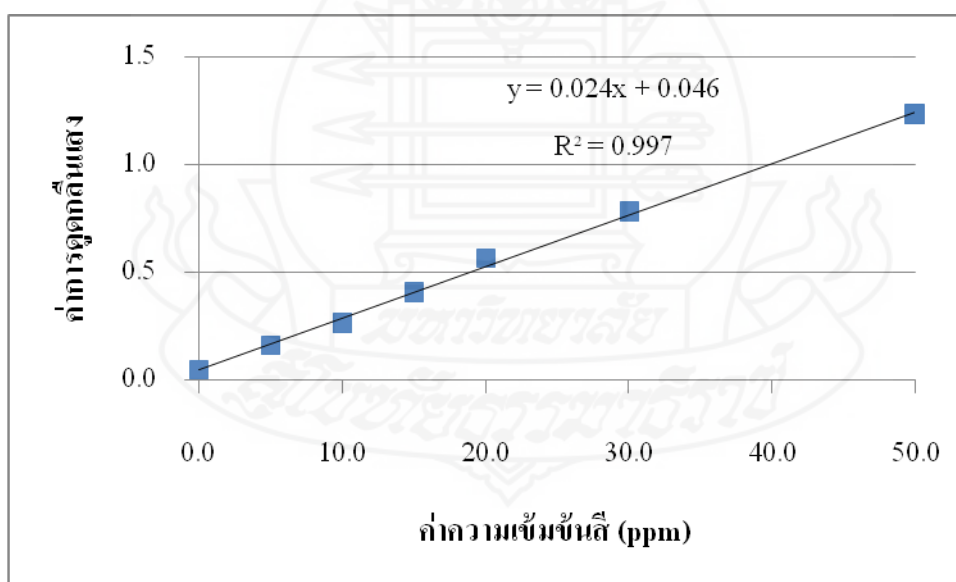


ภาพที่ ก-1 กราฟมาตรฐานของสารละลายตะกั่ว

## 2. สารละลายมาตรฐานสีเขียว

ตารางที่ ก- 2 ค่าการดูดกลืนแสงของสารละลายมาตรฐานสีเขียว

สารละลายมาตรฐานตะกั่ว	ความเข้มข้น (mg/l)	ค่าการดูดกลืนแสง( $\text{cm}^{-1}$ )
1.	0.00	0.0483
2.	5.00	0.1609
3.	10.00	0.2600
4.	15.00	0.4022
5.	20.00	0.5659
6.	30.00	0.7789
7.	50.00	1.2339



ภาพที่ ก- 2 กราฟมาตรฐานของสีเขียวกระจุค



ภาคผนวก ข

ภาพประกอบการทดลอง



ภาพที่ ข -1 และ ข-2 การล้างกระชูดหลังจากการข้อมลงสู่แหล่งน้ำ



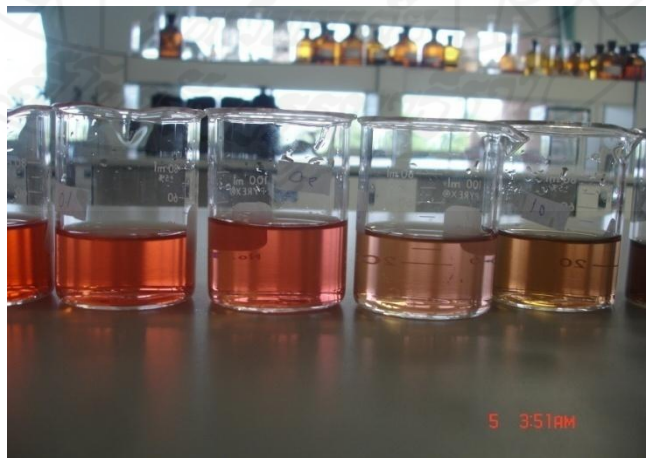
ภาพที่ ข -3 สีที่ใช้ข้อมกระชูด



ภาพที่ ข - 4 ถ่านเปลือกตาลโตนด



ภาพที่ ข -5 การใช้เครื่องกวนเขย่าควบคุมอุณหภูมิในการทำการทดลอง



ภาพที่ ข-6 น้ำเสียสังเคราะห์ที่ผ่านการดูดซับด้วยถ่านเปลือกตาลโตนดปริมาณต่าง ๆ





ภาพที่ ข-7 การวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วย เครื่อง ยูวี-วิสิเบิลสเปกโทรโฟโตมิเตอร์



ภาพที่ ข-8 การทดลองเพื่อวิเคราะห์ค่าซีไอดี



ภาพที่ ข-9 การทดลองหาปริมาณของแข็งละลายน้ำทั้งหมด

**ตารางภาคผนวก ค**  
คุณภาพน้ำตามมาตรฐานต่างๆ



มาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
ค่าความเป็นกรดและด่าง (pH)	pH 5.5 – 9.0
ค่าทีดีเอส (TDS/Total Dissolved Solids)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· ไม่เกิน 3,000 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 5,000 mg/l</li> <li>· น้ำทิ้งที่จะระบายลงแหล่งน้ำกร่อยที่มีค่าความเค็ม (Salinity) เกิน 2,000 mg/l หรือลงสู่ทะเลค่า TDS ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า TDS ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำกร่อย หรือน้ำทะเลได้ไม่เกิน 5,000 mg/l</li> </ul>
สารแขวนลอย (Suspended Solids)	ไม่เกิน 50 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 150 mg/l
อุณหภูมิ (Temperature)	ไม่เกิน 40 °C
สีหรือกลิ่น	ไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
ซัลไฟด์ (Sulfide)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
ไซยาไนด์ (Cyanide)	ไม่เกิน 0.2 mg/l
น้ำมันและไขมัน	ไม่เกิน 5.0 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 15 mg/l
ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
สารประกอบฟีนอล (Phenols)	ไม่เกิน 1.0 mg/l
คลอรีนอิสระ (Free Chlorine)	ไม่เกิน 1.0 mg/l

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
สารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ (Pesticide)	ต้องตรวจไม่พบตามวิธีตรวจสอบที่กำหนด
ค่าบีโอดี (5 วันที่อุณหภูมิ 20°C / Biochemical Oxygen Demand: BOD)	ไม่เกิน 20 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 60 mg/l
ค่าทีเคเอ็น (TKN: Total Kjeldahl Nitrogen)	ไม่เกิน 100 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 200 mg/l
ค่าซีโอดี (COD: Chemical Oxygen Demand)	ไม่เกิน 120 mg/l หรืออาจแตกต่างกันแล้วแต่ประเภทของแหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม หรือประเภทของระบบน้ำเสียตามที่คณะกรรมการควบคุมมลพิษเห็นสมควรแต่ไม่เกิน 400 mg/l
โลหะหนัก	
สังกะสี	ไม่เกิน 5.0 mg/l
โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	ไม่เกิน 0.25 mg/l
โครเมียมชนิดไตรวาเลนต์ (Trivalent Chromium)	ไม่เกิน 0.75 mg/l
ทองแดง	ไม่เกิน 2.0 mg/l
แคดเมียม	ไม่เกิน 0.03 mg/l
แบเรียม	ไม่เกิน 1.0 mg/l
ตะกั่ว	ไม่เกิน 0.2 mg/l

ดัชนีคุณภาพน้ำ	ค่ามาตรฐาน
นิคเกิล	ไม่เกิน 1.0 mg/l
แมงกานีส	ไม่เกิน 5.0 mg/l
อาร์เซนิก	ไม่เกิน 0.25 mg/l
เซเลเนียม	ไม่เกิน 0.02 mg/l
ปรอท	ไม่เกิน 0.005 mg/l

**แหล่งที่มา:** ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) ลงวันที่ 3 มกราคม 2539 เรื่องกำหนดมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภท โรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 113 ตอนที่ 13 ลงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ 2539



**ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม**  
**ฉบับที่ 2 (พ.ศ.2539)**  
**ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535**  
**เรื่อง กำหนดคุณลักษณะน้ำทิ้งที่ระบายออกนอกโรงงาน**

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะ เป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนด โดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช่วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)” รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงาน ดังนี้ **ข้อ 1 คำจำกัดความ**

**น้ำทิ้ง** หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำ สาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และหมายรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงาน รวมทั้งจากกิจกรรมอื่นๆ

**ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้**

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

(2) ทีดีเอส (TDS หรือ Total Dissolved Solids) ต้องมีค่าดังนี้

2.1 ค่าทีดีเอส ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าทีดีเอส ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่า ทีดีเอส ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

4.1 ปรอท (Mercury) ไม่มากกว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.2 เซเลเนียม (Selenium) ไม่มากกว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่มากกว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

- 4.5 อาร์เซนิก (Arsenic) ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.6 โครเมียม (Chromium)
- 4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่มากกว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.6.2 Trivalent Chromium ไม่มากกว่า >0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.7 บาเรียม (Barium) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.8 นิกเกิล (Nickle) ไม่มากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.9 ทองแดง (Copper) ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่มากกว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (5) ซัลไฟด์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนซัลไฟด์ ( $H_2S$ ) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (6) ไซยาไนด์ คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ HCN ไม่มากกว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (7) ฟอรั้มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (8) สารประกอบฟีนอล (Phenols Compound) ไม่มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (9) คลอรีนอิสระ
- (10) เพสตีไซค์ (Pesticide) ไม่ต้องมี
- (11) อุณหภูมิไม่มากกว่า 40 องศาเซลเซียส
- (12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
- (13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ
- (14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่มากกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่มากกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่มากกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่มากกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

**ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้**

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

(2) การตรวจสอบค่าทีดีเอส ให้ใช้วิธีการระเหยแห้ง ระหว่างอุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส ถึงอุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส ในเวลา 1 ชั่วโมง

(3) การตรวจสอบค่าสารแขวนลอยให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองใยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าโลหะหนัก

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โครเมียม ทองแดง แคดเมียม แบเรียม ตะกั่ว นิกเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธี อะตอมมิก แอบซอร์พชัน สเปกโตรโฟโตเมตริ (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไดเรกต์แอสไพเรชัน (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสมาอีมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิก และเซเลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโตรโฟโตเมตริ (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิดไฮไดรด์เจเนอเรชัน (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสมาอีมิสชัน สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลีคัพเพิล พลาสมา (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอร์พชัน โคลด์ เวปอร์ เทคนิก (Atomic Absorption Cold Vapour Technigue)

(5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการไตเตรท (Titrate)

(6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธีกลั่นและตามด้วยวิธีไพริดีน บาร์บิทูริกแอซิด (Pyridine-Barbituric Acid)

(7) การตรวจสอบค่าฟอर्मัลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)

(8) การตรวจสอบค่าสารประกอบฟีนอล ให้ใช้วิธีกลั่น และตามด้วยวิธี 4 อะมิโนแอนติไพรีน (Distillation, 4- Aminoantipyrine)

(9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอโดเมตริก (Iodometric Method)

(10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรูพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีแก๊สโครมาโตกราฟี (Gas-Chromatography)



- (11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
- (12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหาน้ำหนักของน้ำมันและไขมัน
- (13) การตรวจสอบค่าบีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โมดิฟิเคชัน (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกันหรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ
- (14) การตรวจสอบค่าทีเคเอ็น ให้ใช้วิธีเจลดาคาล์ (Kjeldahl)
- (15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium Dichromate Digestion)

ข้อ 4 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ตามข้อ 3 จะต้องเป็นไปตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย ของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย หรือ Standard Method for the Examination of Water and Wastewater ซึ่ง American Public Health Association, Work Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนดไว้ด้วย American Water



## มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ <sup>1/</sup>	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด <sup>2/</sup> ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	
			1	2	3	4	5	
1.สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	-	๓	๓'	๓'	๓'	-	-
2.อุณหภูมิ (Temperature)	๙๙	-	๓	๓'	๓'	๓'	-	เครื่องวัดอุณหภูมิ (Thermometer) วัดขณะทำการเก็บตัวอย่าง
3.ความเป็นกรดและด่าง (pH)	-	-	๓	5-9	5-9	5-9	-	เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH meter) ตามวิธีหาค่าแบบ Electrometric
4.ออกซิเจนละลาย (DO) <sup>2/</sup>	มก./ล.	P20	๓	6.0	4.0	2.0	-	Azide Modification
5.บีโอดี (BOD)	มก./ล.	P80	๓	1.5	2.0	4.0	-	Azide Modification ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกัน
6.แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	P80	๓	5,000	20,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
7.แบคทีเรียกลุ่มฟีคัล โคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี. เอ็น/100 มล.	P80	๓	1,000	4,000	-	-	Multiple Tube Fermentation Technique
8.ไนเตรต (NO <sub>3</sub> ) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	๓	5.0			-	Cadmium Reduction

ดัชนีคุณภาพน้ำ <sup>1/</sup>	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด <sup>2/</sup> ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	ประเภท	
			1	2	3	4	5	
9.แอมโมเนีย (NH <sub>3</sub> ) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	ธ	0.5	-	Distillation Nesslerization		
10.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	ธ	0.005	-	Distillation, 4-Aminoantipyrene		
11.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	ธ	0.1	-	Atomic Absorption - Direct Aspiration		
12.นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	-	ธ	0.1	-	Atomic Absorption - Direct Aspiration		
13.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	ธ	1.0	-	Atomic Absorption - Direct Aspiration		
14.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	ธ	1.0	-	Atomic Absorption - Direct Aspiration		
15.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	ธ	0.005* 0.05**	-	Atomic Absorption - Direct Aspiration		
16.โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr Hexavalent)	มก./ล.	-	ธ	0.05	-	Atomic Absorption - Direct Aspiration		
17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	-	ธ	0.05	-	Atomic Absorption - Direct Aspiration		
18.ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล.	-	ธ	0.002	-	Atomic Absorption- Cold Vapour Technique		
19.สารหนู (As)	มก./ล.	-	ธ	0.01	-	Atomic Absorption - Direct Aspiration		
20.ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	-	ธ	0.005	-	Pyridine-Barbituric Acid		

ดัชนีคุณภาพน้ำ <sup>1/</sup>	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด <sup>2/</sup> ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์					วิธีการตรวจสอบ
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5	
21.กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) -ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) -ค่ารังสีเบตา(Beta)	เบคเคอ ล/ล.	-	๓		0.1 1.0		-	Gas-Chromatography
22.สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล.	-	๓		0.05		-	Gas-Chromatography
23.ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม ม/ล.	-	๓		1.0		-	Gas-Chromatography
24.บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)	ไมโครกรัม ม/ล.	-	๓		0.02		-	Gas-Chromatography
25.ดีลด์ริน (Dieldrin)	ไมโครกรัม ม/ล.	-	๓		0.1		-	Gas-Chromatography
26.อัลดริน (Aldrin)	ไมโครกรัม ม/ล.	-	๓		0.1		-	Gas-Chromatography
27.เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachor & Heptachlorepoxide)	ไมโครกรัม ม/ล.	-	๓		0.2		-	Gas-Chromatography
28.เอนดริน (Endrin)	ไมโครกรัม ม/ล.	-	๓	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-	Gas-Chromatography

หมายเหตุ : <sup>1/</sup> กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่

1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

<sup>2/</sup> ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ข อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส

\* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ  $\text{CaCO}_3$  ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

\*\* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ  $\text{CaCO}_3$  เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ซ องศาเซลเซียส

P 20 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P 80 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล. มิลลิกรัมต่อลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

วิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย

Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA :

American Public Health Association ,AWWA : American Water Works

Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริกา

ร่วมกันกำหนด

แหล่งที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) ออกตามความใน

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนด

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 111 ตอนที่ 16

ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537

## มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน

มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน			
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
1. สารอินทรีย์ระเหยง่าย (Volatile Organic Compound)			
1) เบนซีน (Benzene)	ไมโครกรัม /ลิตร	ต้องไม่เกิน 5	วิธี Purge and Trap Gas Chromatography หรือวิธี Purge and Trap Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) คาร์บอนเตตระคลอไรด์ (Carbon Tetrachloride)	"	ต้องไม่เกิน 5	"
3) 1,2 - คลอโรอีเทน (1,2-Dichloroethane)	"	ต้องไม่เกิน 5	"
4) 1,1-ไดคลอโรเอทิลีน (1,1-Dichloroethylene)	"	ต้องไม่เกิน 7	"
5) ซิส -1,2 - ไดคลอโรเอทิลีน (cis-1,2-Dichloroethylene)	"	ต้องไม่เกิน 70	"
6) ทรานส์ -1,2-ไดคลอโรเอทิลีน (trans-1,2-Dichloroethylene)	"	ต้องไม่เกิน 100	"
7) ไดคลอโรมีเทน (Dichloromethane)	"	ต้องไม่เกิน 5	"
8) เอทิลเบนซีน (Ethylbenzene)	"	ต้องไม่เกิน 700	"
9) สไตรีน (Styrene)	"	ต้องไม่เกิน 100	"
10) เตตระคลอโรเอทิลีน (Tetrachloroethylene)	"	ต้องไม่เกิน 5	"
11) โทลูอีน (Toluene)	"	ต้องไม่เกิน 1,000	"
12) ไตรคลอโรเอทิลีน (Trichloroethylene)	"	ต้องไม่เกิน 5	"
13) 1,1,1-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,1-Trichloroethane)	"	ต้องไม่เกิน 200	"

มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน			
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
14) 1,1,2-ไตรคลอโรอีเทน (1,1,2-Trichloroethane)	ไมโครกรัม /ลิตร	ต้องไม่เกิน 5	"
15) ไซลีนทั้งหมด (Total Xylenes)	"	ต้องไม่เกิน 10,000	"
2. โลหะหนัก (Heavy metals)			
1) แคดเมียม (Cadmium)	มิลลิกรัม /ลิตร	ต้องไม่เกิน 0.003	วิธี Direct Aspiration/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Hexavalent Chromium)	"	ต้องไม่เกิน 0.05	"
3) ทองแดง (Copper)	"	ต้องไม่เกิน 1.0	"
4) ตะกั่ว (Lead)	"	ต้องไม่เกิน 0.01	"
5) แมงกานีส (Manganese)	"	ต้องไม่เกิน 0.5	"
6) นิกเกิล (Nickel)	"	ต้องไม่เกิน 0.02	"
7) สังกะสี (Zinc)	"	ต้องไม่เกิน 5.0	"
8) สารหนู (Arsenic)	"	ต้องไม่เกิน 0.01	วิธี Hydride Generation/Atomic Absorption Spectrometry หรือวิธี Inductively Coupled Plasma/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
9) ซีลีเนียม (Selenium)	"	ต้องไม่เกิน 0.01	"
10) ปรอท (Mercury)	"	ต้องไม่เกิน 0.001	วิธี Cold-Vapor Atomic Absorption Spectrometry/Plasma Emission Spectroscopy หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ

มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน			
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
3. สารป้องกันกำจัดศัตรูพืชและสัตว์ (Pesticides)			
1) คลอเดน (Chlordane)	ไมโครกรัม /ลิตร	ต้องไม่เกิน 0.2	วิธี Liquid - Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธี Liquid - Liquid Extraction Gas Chromatography (Method I) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
2) ดิลดริน (Dieldrin)	"	ต้องไม่เกิน 0.03	"
3) เฮปตาคลอร์ (Heptachlor)	"	ต้องไม่เกิน 0.4	"
4) เฮปตาคลอร์ อีพอกไซด์ (Heptachlor Epoxide)	"	ต้องไม่เกิน 0.2	"
5) ดีดีที (DDT)	"	ต้องไม่เกิน 2	"
6) 2,4-ดี (2,4-D)	"	ต้องไม่เกิน 30	วิธี Liquid-Liquid Extraction Gas Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
7) อะทราซีน (Atrazine)	"	ต้องไม่เกิน 3	"
8) ลินเดน (Lindane)	"	ต้องไม่เกิน 0.2	วิธี Liquid-Liquid Extraction Gas Chromatography (Method I) หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
9) เพนตะคลอโรฟีนอล (Pentachlorophenol)	"	ต้องไม่เกิน 1	วิธี Liquid - Liquid Extraction Chromatography หรือวิธี Liquid - Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
4. สารพิษอื่น ๆ			
1) เบนโซ (เอ) ไพรีน (Benzo (a) pyrene)	ไมโครกรัม /ลิตร	ต้องไม่เกิน 0.2	วิธี Liquid - Liquid Extraction Chromatography หรือวิธี Liquid-Liquid Extraction Gas Chromatography/Mass Spectrometry หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ



มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน			
ดัชนีคุณภาพน้ำ	หน่วย	ค่ามาตรฐาน	วิธีการตรวจวัด
2) ไซยาไนต์ (Cyanide)	ไมโครกรัม /ลิตร	ต้องไม่เกิน 200	วิธี Pyridine Barbituric Acid หรือวิธี Colorimetry หรือวิธี Ion Chromatography หรือวิธีอื่นที่กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
3) พีซีบี (PCBs)	"	ต้องไม่เกิน 0.5	วิธี Liquid - Liquid Extraction Gas Chromatography (Method II) หรือวิธีอื่นที่ กรมควบคุมมลพิษเห็นชอบ
4) ไวนิลคลอไรด์ (Vinyl Chloride)	"	ต้องไม่เกิน 2	วิธี Purge and Trap Gas Chromatography หรือวิธี Purge and Trap Gas Chromatography Mass Spectrometry หรือวิธี อื่นที่กรมควบคุมมลพิษ

- หมายเหตุ : 1 การตรวจสอบคุณภาพน้ำใต้ดินใช้วิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย (Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater) ซึ่ง American Public Health Association, American Water Works Association และ Water Environment Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนด หรือตามคู่มือวิเคราะห์น้ำและน้ำเสียของสมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมแห่งประเทศไทย
- 2 วิธีการเก็บและรักษาตัวอย่างน้ำใต้ดินให้เป็นไปตามที่กรมควบคุมมลพิษประกาศในราชกิจจานุเบกษา

แหล่งที่มา : ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 เรื่อง กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน ตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 117 ตอนพิเศษ 95 ง ลงวันที่ 15 กันยายน 2543

**ประวัติผู้วิจัย**

ชื่อ	นางสาวสมหมาย ชูช่วย
วัน เดือน ปีเกิด	21 มีนาคม 2521
สถานที่เกิด	อำเภอควนขนุน จังหวัดพัทลุง
ประวัติการศึกษา	วท.บ.วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยรามคำแหง พ.ศ.2543
สถานที่ทำงาน	คณะวิทยาการสุขภาพและการกีฬา มหาวิทยาลัยทักษิณ วิทยาเขตพัทลุง
ตำแหน่ง	นักวิชาชีพ

