| | |
|---|---|
| **ชื่อการวิจัยสิ่งแวดล้อม** | ประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ |
| **ผู้วิจัย** | นางสาวนูร์อัลญา เลาะเมาะ<br>นางสาวมารีแย สือรี |
| **โปรแกรมวิชา** | วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม |
| **คณะ** | วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี |
| **ปีการศึกษา** | 2559 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษา** | อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์<br>อาจารย์กาญจณา ขันทกะพันธ์ |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY


**บทคัดย่อ**

โลหะแคดเมียมเป็นสารพิษที่ส่งผลเสียต่อสุขภาพของประชาชน จากปัญหาดังกล่าวในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม (Cd) ในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการเผาที่ 950 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง และเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการเผา แล้วนำมาบดละเอียดร่อนผ่านตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตร ทำการศึกษาที่ระดับ pH แตกต่างกัน 4 ช่วง (7, 8, 9 และ 10) และปริมาณการใช้ร้อยละ 0.05, 0.10, 0.20, 0.30 และ 0.50

ผลการศึกษาพบว่าเปลือกหอยนางรมที่ทำการเผามีประสิทธิภาพในการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ดีกว่าเปลือกหอยนางรมที่ไม่ทำการเผาโดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P<0.05$) ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัด Cd ของหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาสูงสุดที่ pH 10.00 มีค่าเท่ากับ 98.99 และ 98.94 ตามลำดับ สำหรับเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.50 และเปลือกหอยนางรมแบบเผาร้อยละ 0.05 มีประสิทธิภาพสูงในการกำจัด Cd ร้อยละ 98.68 และ 99.42 ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มปริมาณเปลือกหอยนางรม (เผาและไม่เผา) มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัด Cd น้อย อาจเนื่องจากปริมาณที่ใช้มีมากเกินพอ


**คำสำคัญ :** เปลือกหอยนางรม / กำจัด / แคดเมียม (Cd) / น้ำเสียสังเคราะห์

เลข Bibid 1110446
วันที่ - 3 ก.ค. 2560
เลขเรียกหนังสือ 628.16 W471ป

**StudyTitle** Efficiency of Burned and Un-burned Oyster Shell in Removal of Cadmium from Synthetic Wastewater.

**Authors** Miss Nur-alya Lohmoh
Miss Mariyae Sueri

**Major Program** Environmental Science

**Faculty** Science and Technology

**Academic year** 2016

**Advisor** Miss Hirunwadee Suviboon
Miss Kanjana Kantakapan

## Abstract

Arsenic is a toxic substance which harms people health. Therefore this research aimed to study of efficiency of cadmium (Cd) removal in synthetic wastewater using burnt oyster shells at 950 °C for 5 hours compared with un-burnt oyster shells. The oyster shell samples were sieved pass through a 106 µm sieve. In this work, four different pH values (7, 8, 9 and 10) and the applied rate of oyster shells was 0.05, 0.10, 0.20, 0.30 and 0.50 percent.

The results showed that the burnt oyster shells had greater Cd removal capacity than the un-burnt oyster shells with statistically significant difference, at 95 % reliability ($P<0.05$). The highest efficiency Cd removal of un-burnt and burnt at pH levels 10.00 were 98.99 % and 98.94 %, respectively. The applied rate of 0.05 % un-burnt and 0.5 % burnt oyster shells showed the highest Cd removal efficiency were 98.68 % and 99.42 % respectively. The increasing applied rate of oyster shells (burnt and un-burnt) had low effect to Cd removal because there were over applied rate than necessity.

**Key words:** Oyster Shell / Removal / Cadmium (Cd) / Synthetic Wastewater

# กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาการวิจัยเฉพาะทาง (4453503) รายงานฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาของบุคคลหลายท่านโดยเฉพาะอย่างยิ่งอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์ และอาจารย์กาญจณา ขันทกะพันธ์ ที่คอยให้คำปรึกษาแนะนำแนวทางการศึกษาวิจัย ปฏิบัติการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ และแก้ไขข้อผิดพลาดจากปัญหาต่างๆ ตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษาวิจัยและการใช้เครื่องมือวิทยาศาสตร์ รวมทั้งขอขอบพระคุณ ผศ.ขวัญกมล ขุนพิทักษ์ ดร.สุชีวรรณ ยอยรู้รอบ อาจารย์นัดดา โปดำ อาจารย์กมลนาวิน อินทนูจิตร และดร.สิริพร บริรักวิสิฐศักดิ์ อาจารย์ประจำโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่างๆในการทำวิจัย

ขอขอบคุณ นายสอแหละ บางูสัน เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการโปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รวมถึงเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการ โปรแกรมเคมี โปรแกรมชีววิทยา ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำวิจัย

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ และผู้มีพระคุณทุกท่านที่เป็นกำลังใจให้ผู้วิจัยตลอดมา รวมถึงเพื่อนร่วมรุ่นวิทยาศาสตร์ โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม รุ่นที่ 14 ที่ช่วยเหลือให้คำแนะนำในการวิเคราะห์ข้อมูลของงานวิจัยครั้งนี้ เป็นผลให้การศึกษาวิจัยสามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

นางสาวนูร์อัลญา เลาะเมาะ

นางสาวมารีแย สือรี

ตุลาคม 2559

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อ ก

Abstract ข

กิตติกรรมประกาศ ค

สารบัญ ง

สารบัญตาราง ฉ

สารบัญรูป ช

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ตัวแปร 2

1.4 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการการวิจัย 2

1.5 สมมติฐาน 3

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.7 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย 3

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติทั่วไปของโลหะแคดเมียม 5

2.2 ประโยชน์ของแคดเมียม 6

2.3 การปนเปื้อนโลหะแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม 7

2.4 ผลกระทบของแคดเมียม 8

2.5 การกำจัดแคดเมียม 9

2.6 ข้อมูลทั่วไปของหอยนางรม 14

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 17


มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

3.1 กรอบแนวคิดในการศึกษา 21

3.2 ขอบเขตการศึกษา 22

3.3 อุปกรณ์และสารเคมี 23

3.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน 24

3.5 ขั้นตอนการศึกษา pH ที่เหมาะสม 25

3.6 ขั้นตอนการศึกษาปริมาณที่เหมาะสม 26

3.7 การวิเคราะห์ข้อมูล 27

บทที่ 4 ผลและอภิปรายผลการวิจัย

4.1 การศึกษา pH ที่เหมาะสม 28

4.2 การศึกษาปริมาณที่เหมาะสม 31

บทที่ 5 สรุปการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย 35

5.2 ข้อเสนอแนะ 36

บรรณานุกรม 37

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบเสนอโครงร่างวิจัย ก-1

ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพ ข-1

ภาคผนวก ค ภาพประกอบการวิจัย ค-1

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ ง-1

ภาคผนวก จ ประวัติผู้วิจัย จ-1

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญตาราง


| ตารางที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 1.7-1 | แผนดำเนินโครงการ | 4 |
| 2.6-1 | องค์ประกอบทางเคมีที่พบในเปลือกหอยนางรม | 15 |
| 2.6-2 | ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตและพื้นที่จำเพาะของเปลือกหอยบด | 16 |
| 2.7-1 | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 17 |
| 3.4-1 | การคำนวณมาตรฐานของแคดเมียม | 24 |
| 4.1-1 | ประสิทธิภาพการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างกันด้วยเปลือกหอยนางรมไม่เผา | 29 |
| 4.1-2 | ประสิทธิภาพการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างกันด้วยเปลือกหอยนางรมเผา | 30 |
| 4.2-1 | ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาแตกต่างกัน | 32 |
| 4.2-2 | ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบเผาแตกต่างกัน | 33 |


มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# สารบัญรูป


| รูปที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1-1 | แคดเมียม | 5 |
| 2.6-1 | ลักษณะของหอยนางรมสกุลต่างๆที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ | 15 |
| 3.1-1 | กรอบแนวคิดวิธีการดำเนินงาน | 20 |
| 3.2-1 | ตัวอย่างผงเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผา | 21 |
| 3.2-2 | เปลือกหอยนางรมบริเวณหาดนราทัศน์ หมู่บ้านบาเละฮีเล อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส | 21 |
| 4.1-1 | ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกหอยนางรมในช่วง pH ที่แตกต่างกัน | 31 |
| 4.2-1 | ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้เปลือกหอยนางรมในปริมาณที่แตกต่างกัน | 34 |


SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความสำคัญและที่มาของการวิจัย

โลหะแคดเมียม เป็นโลหะหนักมีสีขาว ฟ้า แวว มักอยู่ในรูปแท่ง แผ่น เส้นลวด หรือเป็นผงเม็ดเล็กส่วนใหญ่พบว่าปนอยู่ในสินแร่สังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดง ซึ่งในปัจจุบันแคดเมียมเป็นสารที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ผลิตแบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า อะไหล่ยนต์ การย้อมสีผ้า และเกษตรกรรมซึ่งนำมาใช้เป็นองค์ประกอบของสารฆ่าวัชพืช สารฆ่าเชื้อรา เป็นต้น (พูลทรัพย์ วิรุฬหากุล, ม.ป.พ.) ซึ่งหากไม่มีการจัดการที่ถูกต้องอาจมีการปนเปื้อนของแคดเมียมสู่ระบบนิเวศและส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ เช่น เกิดอาการเยื่อปอดถูกทำลาย ถุงลมโป่งพอง คลื่นไส้ อาเจียน ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา อาจทำให้เสียชีวิตได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต โรคปอดเรื้อรัง โรคไตอักเสบ (เกษม สีมาพล, 2546) นอกจากนี้ยังส่งผลกระกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันการกำจัดโลหะหนักแคดเมียมทำได้หลายวิธี ได้แก่ การตกตะกอนทางเคมี โดยเติมสารเคมีบางชนิดกระตุ้นการเกิดตะกอน การสกัดตัวทำละลาย การใช้สารคีเลต (Chelating agent) บางชนิดที่มีการดูดซับโลหะหนัก รวมถึงการศึกษาวัสดุธรรมชาติเพื่อใช้เป็นซับดูดซับ อาทิเช่น การใช้มะขามและเปลือกทับทิมที่ไม่ปรับสภาพทางเคมีและที่ปรับสภาพทางเคมี (ด้วยกรดซัลฟูริกเข้มข้น อัตราส่วน 1:1.8) ในการกำจัดแคดเมียมและตะกั่วพบว่ามะขามและเปลือกทับทิมที่ปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์แบบต่อเนื่องได้สูงกว่าการดูดซับตะกั่วมาก การดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงถึง 94.03 ± 0.70 และ 94.64 ± 0.64 ตามลำดับ และการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ประสิทธิการภาพ 37.65 ± 0.69 และ 36.39 ± 0.50 ตามลำดับ (ยุพดี เส้นขาว, 2557) รวมถึงการใช้เปลือกหอยนางรมเป็นวัสดุดูดซับ พบว่าการใช้เปลือกหอยนางรมเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง พบว่าที่ pH 11 ตัวดูดซับมีประสิทธิภาพในการดูดซับสารหนู (As) สูงสุด คิดเป็น 57.85 (พิชญ์นิภา ขวัญเผือก และวลัยรัตน์ จันทรอัมพร, 2556) และการศึกษาเปรียบเทียบเปลือกหอยนางรมที่เผาที่อุณหภูมิ 950 °C และไม่เผาในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าที่ pH 9 เปลือกหอยที่ทำการเผามีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์ดีกว่าเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้ผ่านการเผา เมื่อใช้เปลือกหอยนางรมปริมาณ 5.00 และ 10.00 กรัม คิดเป็นร้อยละ 94.07/89.36 และ 98.12/96.76 ตามลำดับ (พิทยุตม์ ประทุมรัตน์, 2555) อาจเนื่องจากเปลือก

หอยนางรมมีปริมาณของ $CaCO_3$ สูงถึงร้อยละ 96.87 และมีพื้นที่ผิวจำเพาะ 14,280 $cm^2/g$ ซึ่งพบว่าเมื่อนำเปลือกหอยนางรมไปเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปลือกหอยจากแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดการฟอร์มตัวอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักสูงขึ้น (พิชญ์นิภา ขวัญเผือก และวลัยรัตน์ จันทรอัมพร, 2556)

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจที่จะใช้เปลือกหอยนางรมในพื้นที่หาดนราทัศน์ จังหวัดนราธิวาส ที่เหลือทิ้งกลายเป็นขยะจนเป็นปัญหากับชุมชน ส่งกลิ่นเหม็น มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์และเพิ่มทางเลือกในการปรับปรุงคุณภาพน้ำได้นำวัสดุจากธรรมชาติที่เหลือใช้มาใช้ให้เกิดประโยชน์

## 1.1 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

1.2.2 เพื่อศึกษาสภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการใช้เปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

## 1.2 ตัวแปร

**ตัวแปรต้น** ชนิดและปริมาณ (เปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผา) และค่า pH

**ตัวแปรตาม** ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม

**ตัวแปรควบคุม** ลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ อุณหภูมิ และระยะเวลาในการเขย่า

## 1.3 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

น้ำเสียสังเคราะห์ (Synthetic wastewater) หมายถึง น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมโดยใช้สารประกอบแคดเมียม $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ความเข้มข้น 10 mg/L เพื่อใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม

เปลือกหอยนางรมเผา (Burned) หมายถึง เปลือกหอยนางรมที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 °C โดยใช้เตาเผา และนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 106 ไมโครเมตร

เปลือกหอยนางรมไม่เผา (Un-burned) หมายถึง เปลือกหอยนางรมที่ผึ่งให้แห้งและนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 106 ไมโครเมตร

## 1.4 สมมุติฐาน

เปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผามีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์แตกต่างกัน

## 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการใช้เปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์

1.6.3 เป็นแนวทางในการนำวัสดุเหลือใช้มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ในการกำจัดโลหะหนัก

1.6.3 ทราบถึงสภาวะความเป็นกรดด่างที่เหมาะสมในการใช้เปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์

## 1.7 ระยะเวลาดำเนินการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยมีระยะเวลาที่ใช้ในการศึกษาทั้งหมด 24 เดือน ได้เริ่มต้นทำการศึกษามาตั้งแต่เดือน กันยายน พ.ศ. 2557 จนถึงเดือน ตุลาคม พ.ศ. 2559 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1.7-1

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

**ตารางที่ 1.7-1** แผนการดำเนินโครงการ

| ขั้นตอนดำเนินงาน | เดือน/ปี | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 2557 | | | | 2558 | | | | | | | | | | | | 2559 | | | | | |
| | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. | เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค.-เม.ย. | พ.ค. | มิ.ย. | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. |
| 1. ศึกษาเก็บรวบรวมข้อมูลและตรวจสอบเอกสาร | — | — | — | — | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2. จัดทำโครงร่างและเสนอโครงร่างวิจัยเฉพาะทาง | | | | ▲ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3. ดำเนินการวิจัยเฉพาะทาง | | | | | — | — | — | | | | — | — | — | — | — | — | | — | — | — | — | | |
| 4. วิเคราะห์ผลการทดลอง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 5. สรุปผลการศึกษาและอภิปรายผล | | | | | | | | | | | | | | | — | — | | | | | | — | — |
| 6. สอบความก้าวหน้าวิจัย | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ▲ | | |
| 7. สอบจบวิจัยเฉพาะทาง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | ▲ | |
| 8. จัดทำเล่มวิจัยเฉพาะทาง | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | — | — | — | |

**หมายเหตุ :** **ช่วงเดือนมกราคม ถึง เมษายน 2559 ไม่ได้ดำเนินการวิจัยเนื่องจากอยู่ในระหว่างฝึกประสบการณ์วิชาชีพ**

สำหรับโครงร่างวิจัยในโครงการศึกษาครั้งนี้แสดงไว้ใน **ภาคผนวก ก**

# บทที่ 2

# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 สมบัติทั่วไปของโลหะแคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะหนักสีอ่อนดังรูปที่ 2.1-1 มีเลขอะตอม 48 น้ำหนักอะตอม 112.4 จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส (°C) จุดเดือด 769 °C ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.65 แคดเมียมมีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียวคือ +2 ละลายได้ในกรดไนตริก และสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท (Hawley, 1977 อ้างถึงในพรรษกร ใจประดับเพชร, 2549) เป็นธาตุที่ระเหิดได้ง่ายละลายได้ดีในกรดอนินทรีย์และกรดอินทรีย์ที่มีในอาหารและผลไม้ ละลายได้บ้างในน้ำกระด้างที่เป็นกรดแต่ละลายได้ดีในน้ำอ่อน

**รูปที่ 2.1-1** แคดเมียม

**ที่มา :** กลุ่มวิจัยด้านเทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อการพัฒนาชุมชน (2557)

แคดเมียมเป็นโลหะที่พบปนอยู่กับโลหะชนิดอื่น ได้แก่ สังกะสี ตะกั่ว และทองแดง อัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไป โดยพบปนอยู่กับโลหะสังกะสีร้อยละ 0.1 – 5 สำหรับประเทศไทยแหล่งแร่สังกะสีอยู่ที่จังหวัดตาก ซึ่งมีแคดเมียมประกอบอยู่ร้อยละ 0.23 – 0.38 และจากการสำรวจขององค์การนานาชาติอีมี (International Water Management Institute ; IWMI) ที่ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับทรัพยากรน้ำและดินในประเทศกำลังพัฒนา ร่วมกับกรมวิชาการเกษตร ในพื้นที่ลำน้ำแม่ตาว ตำบลพระธาตุผาแดง และตำบลแม่ตาวใหม่ อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบว่าในพื้นที่ดินนามีแคดเมียมอยู่ในช่วง 3.4 – 284 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานของสหภาพยุโรปที่กำหนดไว้

ที่ 3 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ถึง 1.13 – 94 เท่า นอกจากนี้ยังพบแคดเมียมในผลผลิตทาง การเกษตร ได้แก่ ข้าว กระเทียม และถั่วเหลือง ในการวิเคราะห์หาแคดเมียมในน้ำใต้ดิน น้ำผิวดิน พบปริมาณแคดเมียมในระดับที่น้อยกว่า 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งต่ำกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่พบแคดเมียมในตะกอนดินที่พัดพามากับกระแสน้ำในปริมาณสูง ซึ่งในระยะยาวยังไม่มีการยืนยันว่าหากได้รับแคดเมียมเป็นเวลานานจะเกิดการสะสมหรือไม่ ดังเช่นในกรณีของประเทศญี่ปุ่นที่ชาวบ้านป่วยเป็นโรคอิไต-อิไตจากการทำเหมืองและถลุงโลหะซึ่งผลิตโลหะทองแดง ตะกั่ว และสังกะสี โดยทิ้งกากโลหะจากโรงงานลงแม่น้ำ จนชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณนั้นมีอาการผิดปกติ คือมีอาการปวดกระดูกตามน่อง ซี่โครง และหลัง ซึ่งทราบภายหลังว่าเกิดมาจากการกินข้าวที่ปนเปื้อนแคดเมียมเป็นเวลานาน (พรรษกร ใจประดับเพชร, 2549) โดยทั่วไปแคดเมียมเป็นธาตุที่เกิดขึ้นในธรรมชาติมักจะพบอยู่ร่วมกับสังกะสี และตะกั่ว ซึ่งแคดเมียมมีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์คล้ายกับสังกะสี คือทนทานต่อการผุกร่อน และเนื่องจากแคดเมียมมีโครงสร้างอะตอมคล้ายกับสังกะสีจึงสามารถเข้าแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์ ตัวอย่างเช่น แคดเมียมสามารถเข้าแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์ Carboxypeptidase ในปัจจุบันมีการนำแคดเมียมไปใช้ในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่ และอุตสาหกรรมชุบโลหะ ซึ่งโลหะชนิดนี้ไม่จำเป็นและไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายทั้งยังมีความเป็นพิษต่อร่างกายอีกด้วย

## 2.2 ประโยชน์ของแคดเมียม

แคดเมียมใช้ทำผลิตภัณฑ์และของใช้ที่เป็นประโยชน์รวมทั้งการใช้ประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมที่สำคัญมีดังนี้

1) ใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเพื่อทำแบตเตอรี่ที่สามารถประจุไฟใหม่ได้เรียกว่า แบตเตอรี่ Cd-Ni (Rechargeable)

2) ใช้ทำโลหะเจือ Cd - Au ให้สีเขียวแวววาว จึงนิยมใช้เป็นโลหะประดับ โลหะเจือชนิดนี้สามารถทนต่อการเปลี่ยนเป็นสีดำได้เป็นอย่างดี จึงนิยมใช้ทำภาชนะใส่เครื่องดื่ม ขันน้ำ เป็นต้น

3) ใช้ผสมสีเคลือบเซรามิกบางชนิด

4) ใช้ผสมในน้ำมันเครื่อง ยาง และพลาสติก

5) ใช้ในอุตสาหกรรมเคลือบผิวหรือชุบโลหะ

## 2.3 การปนเปื้อนโลหะแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อม

ในปัจจุบันแคดเมียมเป็นสารที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท ซึ่งอาจก่อให้เกิดการปนเปื้อนของแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อมได้หลายกระบวนการ ตัวอย่างเช่น

1) อุตสาหกรรมตะกั่วและสังกะสี

อุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยฝุ่น ไอ น้ำเสีย กากตะกอน ที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา ได้แก่ การทำเหมือง อุตสาหกรรมเหมืองแร่ เป็นอุตสาหกรรมต้นน้ำที่สำคัญของประเทศไทย เพราะหากเราไม่มีการนำทรัพยากรในประเทศมาใช้ประโยชน์ จะต้องมีการนำเข้าแร่จากต่างประเทศซึ่งจะทำให้เกิดการเสียดุลด้านการค้า และการนำเข้าแร่โดยทั่วไปจะแร่ที่นำเข้าจะมีราคาที่สูงกว่าแร่ที่ผลิตได้ในประเทศ ทำให้ต้นทุนการผลิตสูงขึ้นเมื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์นั่นหมายถึงราคาสินค้าย่อมสูงขึ้นตามไปด้วย หากมีการทำเหมืองแร่ในประเทศ เพื่อผลิตแร่ที่สำคัญมาใช้ประโยชน์จะเป็นการทำให้ประเทศไทยมีความมั่นคงด้านวัตถุดิบสำหรับภาคอุตสาหกรรม และหากมีการส่งเสริมอุตสาหกรรมต่อเนื่องในการนำทรัพยากรแร่มาใช้ในการผลิตอย่างครบวงจร ก็จะเป็นการสร้างงาน และสร้างมูลค่าเพิ่มมหาศาลกว่าการนำแร่ดิบขายเป็นสินค้าส่งออก ซึ่งเป็นสิ่งที่ภาครัฐควรให้การสนับสนุนให้เกิดขึ้น

2) โรงงานชุบโลหะแคดเมียม

โรงงานประเภทนี้จะมีแคดเมียมประมาณ 100 – 500 ppm และมีโลหะหนักอย่างอื่นรวมทั้งไซยาไนด์และสารเคมีอื่นๆ ผสมอยู่ด้วย

3) การเผาของเสีย (Incineration)

การเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ เช่นพลาสติก เม็ดสี โลหะเคลือบเศษเหล็ก เป็นต้น จะปล่อยแคดเมียมออกมาในรูป Cadmium Aerosols เช่น แคดเมียมออกไซด์

4) ยางรถยนต์ที่สึกหรอ

ยางรถยนต์จะมีแคดเมียมประกอบอยู่ประมาณ 20-29 ppm โดยเป็นสิ่งเจือปน (Impurity) ใน Zinc Oxide ซึ่งเป็นสารรักษาความเร่ง

5) การใช้ถ่านหินและ Heating Oil

แคดเมียมเป็นธาตุปริมาณน้อยใน Fossil Fuels ดังนั้นเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ แคดเมียมจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอและเถ้า ปริมาณแคดเมียมในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.25 – 5 ppm ถึงแม้จะไม่ทราบเปอร์เซ็นต์ที่แน่นอนของแคดเมียมที่ถูกปล่อยออกจากปล่อง หรือส่วนที่ถูกขจัดโดย Scrubber หรือส่วนที่ถูกทำให้เกิดตะกอน (Precipitated) ก็ตาม แต่พบว่าในเถ้าจากถ่านหิน (Coal Ash) มีปริมาณแคดเมียมสูงถึง 150 ppm ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมโดยเฉลี่ยใน heating oil ประมาณ 0.3 ppm

6) กากตะกอนของน้ำทิ้ง (Sewage Sludge)

กากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียจำนวน 56 แห่งในประเทศสวีเดน มีค่าเฉลี่ย 15.6 ppm และการใช้กากตะกอนเหล่านี้เพื่อเป็นปุ๋ย ได้มีศึกษาว่าจากการใช้กากตะกอนของน้ำทิ้ง (ที่มี Cd ~ 20 ppm หรือมากกว่า) จำนวน 2 – 3 ตัน/ปี ใส่ในพื้นที่เพาะปลูกที่ยังไม่มีปัญหามลพิษ (Unpolluted Agriculture Soils ซึ่งมี Cd < 0.1–0.5 ppm) จะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดินเพาะปลูกนี้เป็น 1.2 – 6 ppm และพบว่าพืชบางชนิด เช่น ข้าว ข้าวสาลี สามารถดูดซึมแคดเมียมจากดินได้ดี (พรรษกร ใจประดับเพชร, 2549)

## 2.4 ผลกระทบแคดเมียม

แคดเมียมเป็นสารที่ใช้แพร่ในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น การผลิตแบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า อะไหล่ยนต์ การย้อมผ้า และเกษตรกรรม ซึ่งหากไม่มีการจัดการที่ถูกต้องอาจมีการปนเปื้อนทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ รวมถึงส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์ มีรายละเอียด ดังนี้

### 2.4.1 ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและระบบนิเวศ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต หากมีสารพิษละลายปนเปื้อนอยู่ในน้ำ จะส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ซึ่งแหล่งที่มาของสารพิษในน้ำส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นน้ำทิ้งตามบ้านเรือน หรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ปัญหามลพิษทางน้ำนี้จัดเป็นปัญหาสำคัญยิ่งปัญหาหนึ่งที่ทั่วโลกให้ความสนใจอย่างกว้างขวาง เพื่อควบคุมคุณภาพของแหล่งน้ำและป้องกันไม่ให้เกิดมลพิษในแหล่งน้ำอีกต่อไป จึงมีการกำหนดมาตรฐานของน้ำทิ้งตลอดจนการนำเทคโนโลยีใหม่ๆมาใช้ในการควบคุมและบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ สารพิษต่างๆ โดยเฉพาะแคดเมียมและตะกั่วที่ปนเปื้อนอยู่ในน้ำเสีย เมื่อถูกปล่อยทิ้งสะสมในแหล่งน้ำ ดินตะกอนและห่วงโซ่อาหาร (ยุพดี เส้นขาว, 2557)

### 2.4.2 ผลกระทบต่อมนุษย์และสัตว์

ส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสภาพแวดล้อมและส่งผลถึงสุขภาพอนามัยของมนุษย์ โดยโลหะหนักเหล่านี้จะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์เมื่อรับประทานพืชหรือสัตว์ที่มีโลหะหนักปนเปื้อน และจะสะสมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึงระดับที่ก่อให้เกิดความเจ็บป่วยจากพิษโลหะหนัก ความเป็นพิษของแคดเมียม โดยเฉพาะอย่างยิ่งต่อมนุษย์นั้นจะมีทั้งเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง แคดเมียมสามารถเข้าไปสะสมในร่างกาย ทั้งระบบทางเดินหายใจ ผิวหนังและระบบทางเดินอาหาร ซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อน เนื่องจากอาหารหรือเครื่องดื่มดังกล่าวบรรจุด้วยภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม โดยปริมาณที่มีผลอาจทำให้ถึงตายได้อยู่ที่ 350 – 3,500 มิลลิกรัม และปริมาณที่มีผลทำให้ตายได้อยู่ที่ 1,500 – 8,900 มิลลิกรัม (ยุพดี เส้นขาว, 2557)

## 2.5 การกำจัดแคดเมียม

การกำจัดสารอนินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำเสียโดยเฉพาะโลหะต่างๆที่ออกมาจากกระบวนการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรมมีหลายวิธี ได้แก่ การบำบัดด้วยกระบวนการทางเคมี และกระบวนการทางฟิสิคัลเคมี สำหรับการเลือกใช้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความเป็นไปได้ทางเทคนิค ค่าใช้จ่าย ข้อจำกัดของแต่ละวิธี และความเหมาะสมอื่นๆ

### 2.5.1 การบำบัดด้วยกระบวนการฟิสิคัลเคมี

การกำจัดแคดเมียมด้วยกระบวนการฟิสิคัลเคมีมีอยู่หลายวิธีได้แก่ การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) การใช้โลหะออกไซด์ มีรายละเอียดดังนี้

1) การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange)

การบำบัดน้ำเสียโดยการใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ สามารถกำจัดแคดเมียมได้อย่างมีประสิทธิภาพ ยกเว้นเมื่อน้ำมันมีปริมาณไอออนของโลหะอื่นๆ เช่น $Ca^{2+}$, $Mg^{2+}$, $Hg^{2+}$, $Pb^{2+}$ และ $Ba^{2+}$ ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณมากประสิทธิภาพในการกำจัดจะลดลง เมื่อใช้ไปนานๆเรซินจะหมดสภาพต้องมีการคืนสภาพโดยการล้างด้วยน้ำเกลือ กรด หรือด่าง แล้วแต่ชนิดของเรซิน

2) การใช้ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เป็นถ่านที่มีรูพรุนสามารถดูดซับเอาแคดเมียมไว้ได้ (Faust และ Aly, 1983) มีรายงานการศึกษาเปรียบเทียบการใช้ถ่านกัมมันต์แบบผงและแบบเกร็ด พบว่าถ่านกัมมันต์แบบผงมีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมได้ดีกว่าแบบเกร็ดที่ค่าความเป็นกรดด่าง (pH) และระยะเวลาเท่ากัน และเมื่อใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับโลหะต่อไปอาจจะเกิดการอุดตันและส่งผลต่อประสิทธิภาพของการดูดซับจึงต้องมีการคืนสภาพ (Regenerate) อยู่เสมอ

3) การใช้โลหะออกไซด์

การใช้โลหะออกไซด์ ได้แก่ แมงกานีส เหล็ก และอลูมิเนียม สามารถดูดซับแคดเมียมในรูปสารละลาย เช่น แมงกานีสออกไซด์มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการดูดซับแคดเมียมโดยช่วง pH ที่เหมาะสมคือ 5 - 8.5

### 2.5.2 การบำบัดด้วยวิธีการทางเคมี

การกำจัดแคดเมียมด้วยวิธีทางเคมีมีอยู่หลายวิธี อาทิเช่น กระบวนการออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) และการตกผลึก (Chemical precipitation) และการการดูดติดผิว (Adsorb) มีรายละเอียดดังนี้

1) การตกตะกอน

การตกตะกอนทางเคมีเป็นการเปลี่ยนสภาพของสารละลายต่างๆที่อยู่ในสารละลาย (Soluble) ในสารที่อยู่ในรูปไม่ละลายน้ำ (Insoluble) เป็นตะกอนหนักสามารถจมตัวได้โดยการเติม

สารเคมีลงไปในของเสีย วิธีการนี้ต่างจากวิธีรวมตะกอน (Coagulation) ซึ่งเป็นการเติมสารเคมีเพื่อช่วยให้มลสารที่เป็นตะกอนขนาดเล็กรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ ในกรณีที่ตะกอนของวิธีการตกตะกอนทางเคมีที่เกิดจากการเติมสารเคมีลงไปมีขนาดเล็กและเบาต้องใช้วิธีการรวมตะกอนเข้าช่วยเพื่อให้ตะกอนเหล่านั้นรวมตัวกันเป็นตะกอนขนาดใหญ่ (วิราสินี ปรียานุพันธ์, 2542)

วิธีการตกตะกอนทางเคมีสามารถตกตะกอนสารละลายที่ปนเปื้อนมากับของเหลวได้ทุกชนิด (Palma, 1988 อ้างถึงในวิราสินี ปรียานุพันธ์, 2542) กล่าวว่าการตกตะกอนได้มากเพียงใดนั้นขึ้นกับค่าพีเอช(pH) และชนิดของสารเคมีที่ใช้ ซึ่งวิธีการนี้มีค่าใช้จ่ายไม่สูงนัก (Wentz, 1995 อ้างถึงในวิราสินี ปรียานุพันธ์, 2542) โดยเฉพาะอย่างยิ่งการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ (Hydroxide-Precipitation) เป็นกระบวนการลดปริมาณโลหะหนักออกจากของเสียที่มีประสิทธิภาพและคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ สารที่ใช้ในกระบวนการนี้ส่วนใหญ่ ได้แก่ ปูนขาว ($CaOH_2$) และโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) การตกตะกอนทางเคมีเป็นวิธีที่นิยมใช้เนื่องจากไม่ซับซ้อน ควบคุมง่ายและการบำรุงรักษาต่ำ การตกตะกอนโลหะหนักอาจทำให้อยู่ในรูปซัลไฟด์โดยเติมสารประกอบซัลไฟด์ที่ละลายน้ำได้ เช่น โซเดียมซัลไฟด์($Na_2S$) ในการเกิดปฏิกิริยาและโลหะซัลไฟด์มักเกิดกลิ่นเหม็นของไฮโดรเจนซัลไฟด์จึงนิยมใช้ ส่วนใหญ่นิยมทำให้อยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์โดยใช้ปูนขาวเป็นตัวปรับพีเอชให้สูงขึ้นเพื่อเปลี่ยนสมดุลการละลายของโลหะโดยโลหะหนักแต่ละชนิดจะตกตะกอนได้ดีที่สุดในช่วงพีเอชที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อพีเอชสูงขึ้นจะทำให้โลหะหนักสามารถตกตะกอนได้ดีขึ้นและค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้ปูนขาวและโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่การตกตะกอนโดยใช้ปูนขาวจะมีปริมาณตะกอนมากกว่าการใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์จะมีค่าใช้จ่ายสูงขึ้น ปูนขาวหรือโซดาไฟที่เติมลงไปในของเสียจะทำให้ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ในของเสียเพิ่มขึ้นเป็นผลให้โลหะหนักในรูปอิออนที่ละลายอยู่เปลี่ยนสมดุลของการละลายไป โดยโลหะหนักจะสามารถละลายได้น้อยลงทำให้โลหะหนักถูกกำจัดออกในรูปของโลหะหนักไฮดรอกไซด์ (วิราสินี ปรียานุพันธ์, 2542) เช่น แคดเมียม การตกตะกอนของแคดเมียม (Cd) ในรูปไฮดรอกไซด์มีพีเอชที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 9.5-12.5 (Patterson, 1978 อ้างถึงในวิราสินี ปรียานุพันธ์, 2542) และค่าการละลายของแคดเมียมในรูปไฮดรอกไซด์พบว่าแคดเมียมมีค่าการละลายต่ำสุดที่พีเอช 11 (Charles, 1995 อ้างถึงในวิราสินี ปรียานุพันธ์, 2542) และจากการศึกษาของFaust และAly (1983) ได้ศึกษากระบวนการการบำบัดด้วยวิธีทางเคมีที่ใช้กำจัดแคดเมียมในน้ำผิวดินและน้ำบาดาลโดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (Chemical coagulation) ใช้สารส้มและเฟอร์ริกซัลเฟต (ferric sulfate) เป็นสารตกตะกอน (Coagulant) ในสภาพความเป็นด่างค่อนข้างสูง pH ที่เหมาะสมในการตกตะกอนอยู่ระหว่างช่วง 8.5-9.0 (200 mg/l as $CaCO_3$) ผลคือ การใช้เฟอร์ริกซัลเฟตให้ประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำผิวดินและน้ำบาดาลได้ดีกว่าสารส้มที่ปริมาณและ

pH เท่ากัน จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องสามารถสรุปไว้ว่า ค่าพีเอชที่เหมาะสมในการตกตะกอนของโลหะหนักแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของโลหะ

2) การดูดติดผิว

การดูดติดผิวเป็นการดูดซับของสารเกี่ยวข้องกับการสะสมที่ผิวหน้าของสารสองสภาวะ เช่น ของเหลวและของแข็ง หรือก๊าซและของแข็ง สารที่เกิดการสะสมหรือดูดซับที่ผิวหน้าเรียกว่า สารถูกดูดติดผิว (Adsorbate) และของแข็งที่ซึ่งมีการดูดซับเกิดขึ้นเรียกว่าสารดูดติดผิว(Adsorbent) สารดูดติดผิวที่น่าสนใจในการทำน้ำให้บริสุทธิ์ประกอบด้วยถ่านกัมมันต์ สารแลกเปลี่ยนไอออนเป็นต้น

2.1) กลไกการดูดติดผิว

เนื่องจากการดูดติดผิวเป็นการเคลื่อนย้ายสาร(mass transfer) จากของเหลวและของแข็งหรือก๊าซและของแข็ง ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีขั้นตอนการเกิดขึ้น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 Bulk solution transport สารถูกดูดติดผิวจะเคลื่อนที่จากสารละลาย สู่ของด้านนอกของน้ำที่อยู่ล้อมรอบสารดูดติดผิว การเคลื่อนที่เกิดขึ้นโดยการแพร่

ขั้นตอนที่ 2 Film diffusion transport โมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวจะแพร่ผ่านชั้นน้ำ (Hydrodynamic boundary layer) ที่อยู่ล้อมรอบสารดูดติดผิวเมื่อน้ำเคลื่อนที่ผ่านสารดูดติดผิวระยะทางในการเคลื่อนที่และเวลาที่เกิดขึ้นของขั้นตอนนี้ขึ้นอยู่กับอัตราไหลถ้าอัตราไหลสูงระยะทางสั้น

ขั้นตอนที่ 3 Pore transport หลังจากผ่านชั้นน้ำ (Hydrodynamic boundary layer) สารถูกดูดติดผิวจะเคลื่อนที่ผ่านช่องที่อยู่ภายในสารดูดติดผิวไปสู่บริเวณที่จะเกิดการดูดซับ

ขั้นตอนที่ 4 Adsorption หลังจากสารถูกดูดติดผิวมีการเคลื่อนที่ไปสู่บริเวณที่จะมีการดูดซับเกิดขึ้นจะถูกดูดติดผิวทางกายภาพ

ขั้นตอนที่ 5 เป็นขั้นตอนที่เกิดช้าที่สุดเรียกว่า Rate-limiting step ซึ่งจะควบคุมอัตราการกำจัดในถังปฏิกรที่มีความปั่นป่วนสูง Film diffusion และ Pore diffusion จะควบคุมอัตราการกำจัด

2.2) ปัจจัยที่มีผลต่อการดูดติดผิว

ก. ความปั่นป่วน อัตราเร็วในการดูดติดผิวอาจขึ้นอยู่กับ Film diffution หรือ Pore diffusion ซึ่งแล้วแต่ความปั่นป่วนของระบบ ถ้าน้ำมีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มน้ำซึ่งล้อมรอบสารดูดติดผิวจะมีความหนามากและเป็นอุปสรรคต่อการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวเข้าไปหาสารดูดติดผิว ดังนั้นการแพร่ผ่านชั้นฟิล์มเป็นปัจจัยกำหนดอัตราเร็วของการดูดติดผิว ในตรงกันข้ามถ้าความปั่นป่วนสูงจะเกิดฟิล์มบางทำให้โมเลกุลสามารถเคลื่อนที่ผ่านฟิล์มน้ำเข้าหาสารดูดติดผิวได้รวดเร็วกว่าการเคลื่อนที่เข้าไปในรูพรุน ในการนี้การแพร่ผ่านรูพรุนจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดติดผิว

ข. ขนาดและพื้นที่ผิวของสารถูกดูดติดผิว ขนาดและพื้นที่ผิวของสารดูดติดผิว ความสามารถในการดูดติดผิวมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ นั่นคือ สารดูดติดผิวที่มีพื้นที่ผิวมากย่อมดูดโมเลกุลของสารถูกดูดติดผิวได้มากกว่าสารดูดติดผิวที่มีพื้นที่ผิวน้อยและอัตราการดูดติดผิวเป็นอัตราส่วนผกผันกับขนาดสารดูดติดผิว เช่น คาร์บอนผง(Powder Activated Carbon , PAC) มีอัตราเร็วในการดูดติดผิวสูงกว่าคาร์บอนแบบเกร็ด(Granular Activated Carbon , GAC)

ค. ขนาดและลักษณะของสารถูกดูดติดผิว ขนาดของสารหรือโมเลกุลมีความสำคัญมากต่อการดูดติดผิวซึ่งส่วนใหญ่เกิดขึ้นในโพรงของสารดูดติดผิว เช่น คาร์บอน การดูดติดผิวจะเกิดขึ้นได้ดีที่สุดเมื่อสารมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างภายในพอดี (พอดีเข้าไปในช่องว่างได้) ทั้งนี้เพราะว่าแรงดึงดูดระหว่างสารถูกดูดติดผิวและสารดูดติดผิวจะมีค่ามากที่สุดโมเลกุลขนาดเล็กจะถูกดูดเข้าไปในช่องว่างภายในก่อนจากนั้นโมเลกุลขนาดใหญ่ว่าจึงถูกดูดเข้าไปบ้าง อาจกล่าวได้ว่าความสามารถในการดูดติดผิวจะแปรผกผันกับขนาดโมเลกุลของตัวถูกดูดติดผิว นั่นคือ เมื่อน้ำหนักโมเลกุลเพิ่มขึ้นความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลง

ง. ความสามารถในการละลายน้ำของสารถูกดูดติดผิว ความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายเป็นปัจจัยสำคัญในการดูดติดผิว การดูดติดผิวจะเพิ่มขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกละลายในตัวทำละลายลดลง เนื่องจากในการดูดติดผิวตัวถูกละลายจะต้องถูกแยกออกจากตัวทำละลายในที่นี้คือน้ำ ดังนั้น สารที่ไม่ละลายน้ำหรือละลายได้น้อยจะสามารถถูกดูดติดผิวได้ดี

จ. pH มีอิทธิพลต่อการแตกตัวเป็นไอออนและการละลายน้ำของสารต่างๆ ดังนั้น จึงมีผลกระทบต่อการดูดติดผิวด้วย นอกจากนี้ไฮโดรเจนไอออนเองก็เป็นไอออนที่สามารถเกาะติดผิวของสารดูดติดผิวได้ดี

ฉ. อุณหภูมิ มีอิทธิพลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดติดผิว กล่าวคืออัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอุณหภูมิและลดลงตามการลดของอุณหภูมิ แต่ขีดความสามารถในการดูดติดผิวจะลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้เพราะการดูดติดผิวเป็นปฏิกิริยาแบบ Exothermic

ช. เวลาสัมผัส เป็นพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของการดูดติดผิวและอายุการใช้งานของถังดูดติดผิว โดยที่เวลาสัมผัสมีความสัมพันธ์กับประสิทธิภาพการดูดติดผิวเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้น ซึ่งถ้าเวลาสัมผัสเลยจากช่วงนี้แล้วก็จะไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดติดผิวเลย

## 2.6 ข้อมูลทั่วไปของหอยนางรม

### 2.6.1 ชนิดของหอยนางรม

หอยนางรม มีชื่อสามัญ คือ Oyster หอยนางรม (วงศ์ Ostreidae) นั้นมีหลายสายพันธุ์ แต่ที่นิยมเลี้ยงกันอยู่โดยทั่วไปนั้น แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ด้วยกันคือ หอยนางรมพันธุ์เล็กหรือหอยนางรมปากจีบ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccostrea commercialis* หอยนางรมพันธุ์นี้มีเลี้ยงมากทางภาคตะวันออก ส่วนหอยรมอีกสองพันธุ์ที่เหลือเป็นหอยนางรมที่ค่อนข้างมีขนาดใหญ่เรียกว่าหอยตะโกรม *(Crassostrea belcheri)* และหอยตะโกรมกรามดำ *(Clugubris)* แม้ว่าจะมีการเลี้ยงกันบ้างในภาคตะวันออก แต่การเลี้ยงส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตจังหวัดในภาคใต้ (เจนจิรา ขุนทอง, 2556)

### 2.6.2 ลักษณะของหอยนางรม

หอยนางรมเป็นหอยทะเลกาบสอง 2 ฝา มีกาบหนาแข็ง ซึ่งฝาทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน บางชนิดมีสีน้ำตาล หรือสีเทา กาบบนจะใหญ่และแบนกว่ากาบล่าง ส่วนกาบล่างที่มีลักษณะโค้งเว้านี้ จะเป็นส่วนที่มีตัวหอยติดอยู่ ด้านที่มีเนื้อฝังอยู่จะเว้าลึกลงไปคล้ายรูปถ้วย หรือจานและยึดติดกับวัตถุแข็ง เช่น ก้อนหิน ไม้หลัก หรือเปลือกหอยที่จมอยู่ในทะเล ส่วนฝาปิดอีกด้านหนึ่งแบนบาง ขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร เปลือกหอยนางรมประกอบด้วยหินปูนร้อยละ 95

(เจนจิรา ขุนทอง, 2556) ดังแสดงในรูปที่ 2.6-1 และมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.6-1 นอกยังนั้นการระบุปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต และ พื้นที่จำเพาะ ของเปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และเปลือกหอยแครงบดแสดงไว้ในตารางที่ 2.6-2

(ก) (ข) (ค)

**รูปที่ 2.6-1** ลักษณะของหอยนางรมสกุลต่างๆ ที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจ

(ก) หอยนางรมสกุล *Crassostrea belcheri* (หอยตะโกรม)

(ข) หอยนางรมสกุล *Crassostrea lugubris* (หอยตะโกรมกรามดำ)

(ค) หอยนางรมสกุล *Saccostrea commercialis* (หอยปากจีบ)

ที่มา : เจนจิรา ขุนทอง (2556)

**ตารางที่ 2.6-1** องค์ประกอบทางเคมีที่พบในเปลือกหอยนางรม

| องค์ประกอบทางเคมี | ปริมาณ (ร้อยละ) |
|---|---|
| Silica ($SiO_2$) | 17.67 |
| Alumina ($Al_2O_3$) | 1.10 |
| Ferric Oxide ($Fe_2O_3$) | 0.29 |
| Titanium Dioxide ($TiO_2$) | 0.01 |
| Manganese Dioxide ($MnO_2$) | 0.01 |
| Calcium Oxide (CaO) | 68.99 |
| Magnesium Oxide (MgO) | 2.43 |
| Potassium Oxide ($K_2O$) | 0.04 |
| Sodium Oxide ($Na_2O$) | 0.53 |
| Loss of Ignition (LoI) | 8.02 |

ที่มา : ศูนย์พัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องเคลือบดินเผา อำเภอเกาะคำ จังหวัดลำปาง (2549)

**ตารางที่ 2.6-2** ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต และ พื้นที่จำเพาะของเปลือกหอยบดแต่ละชนิด

| ชนิดของเปลือกหอย | ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) | ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ |
|---|---|---|
| เปลือกหอยลายบด | ร้อยละ 96.80 | 8,279 $cm^2/g$ |
| เปลือกหอยแมลงภู่บด | ร้อยละ 95,60 | 6,186 $cm^2/g$ |
| เปลือกหอยนางรมบด | ร้อยละ 96.87 | 14,280 $cm^2/g$ |
| เปลือกหอยแครงบด | ร้อยละ 97.13 | 8,299 $cm^2/g$ |

ที่มา : ชโลทร ศิริภัทรประวัติ (2552)

**2.6.3 ประโยชน์ของหอยนางรม**

หอยนางรมนอกจากจะเป็นอาหารทะเลที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลายแล้วยังเป็นอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและนอกจากนี้เปลือกหอยนางรมก็ยังมีคุณประโยชน์มากมายดังนี้

1) เปลือกหอยสามารถใช้ทำปูนขาว ซึ่งใช้ประโยชน์ทางการก่อสร้าง การเกษตรกรรม อุตสาหกรรมหลายประเภทและใช้ปรับปรุงดินเปรี้ยวได้

2) เปลือกหอยสามารถใช้ผสมกับอาหารสัตว์ เพื่อเพิ่มแคลเซียมให้แก่สัตว์ในด้านปศุสัตว์

3) สามารถสร้างเครื่องประดับ อย่างเช่น ไข่มุก แต่อาจจะไม่สวยเท่าไข่มุกที่ได้จากหอยมุกเท่าใดนัก

4) เปลือกหอยนางรมซึ่งมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุด และพบว่าสารสังเคราะห์จากเปลือกหอยมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับในการดูดซับโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี เหล็ก และโครเมียมออกจากน้ำเสียได้

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่มีการใช้วัสดุจากธรรมชาติมาใช้เป็นตัวดูดซับ เช่น การใช้เปลือกมะขามและเปลือกทับทิม เปลือกหอยแครง เปลือกหอยแมลงภู่ และเปลือกหอยนางรม เป็นต้น เพื่อใช้ในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสีย โดยวิธีที่ประหยัดเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย มีรายละเอียดดังแสดงใน **ตารางที่ 2.9-1**

**ตารางที่ 2.7-1** งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เปลือกหอยนางรมในการลดปริมาณโลหะหนัก

| ชื่อผู้วิจัย | ชื่อผลงานวิจัย | ผลการศึกษา |
|---|---|---|
| ยุพดี เส้นขาว (2557) | การกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วออกจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม | ทราบถึงการศึกษาการกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม โดยใช้มะขามและเปลือกทับทิมที่ไม่ปรับสภาพทางเคมีและที่ปรับสภาพทางเคมี ในการกำจัดแคดเมียและตะกั่ว พบว่ามะขามและเปลือกทับทิมที่ปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียแบบต่อเนื่องได้สูงกว่าการดูดซับตะกั่วมาก การดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงถึง 94.03±0.70 และ 94.64±0.64 ตามลำดับ ส่วนการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิการภาพ37.65±0.69 และ 36.39±0.50 ตามลำดับ |
| จรรยาพร พุ่มงาม (2545) | การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ | การศึกษาองค์ประกอบของเปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ พบว่า เปลือกหอยทั้ง 2 ชนิด มีแคลเซียมคาร์บอเนต ในรูป Aragonite และ Calcite เป็นองค์ประกอบหลักโดยเปลือหอยแครงมีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงถึงร้อยล 96.83 เปลือกหอยแมลงภู่มีแคลเซียมคาร์บอเนตสูงถึงร้อยละ 86.65 การใช้น้ำเสียสังเคราะห์พบว่าในช่วง 20 นาทีแรกในการกำจัดตะกั่วเปลือกหอยแครงขนาด 20-60 เมช สามารถกำจัดตะกั่วได้ 45.85 % และสามารถกำจัดได้กว่า 99 % เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ส่วนเปลือกหอยแมลงภู่สามารถกำจัดตะกั่วได้ 97.14 % เมื่อเวลาผ่านไป 240 นาที |

**ตารางที่ 2.7-1** งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เปลือกหอยนางรมในการลดปริมาณโลหะหนัก (ต่อ)

| ชื่อผู้วิจัย | ชื่อผลงานวิจัย | ผลการศึกษา |
|---|---|---|
| พิทยุตม์ ประทุมรัตน์ (2554) | การใช้เปลือกหอยนางรมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ | การใช้เปลือกหอยนางรมในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.15 มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ pH 9 พบว่า เปลือกหอยที่ทำการเผา มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ดีกว่าเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้ผ่านการเผา ร้อยละ 94.07/89.36 และ 98.12/96.76 ซึ่งสอดคล้องกับวิธีกำจัดโลหะหนักด้วยไฮดรอกไซด์ที่โลหะหนักส่วนใหญ่จะสามารถตกตะกอนที่ช่วง pH 8.5-9.5 นอกเหนือจากนี้ตะกอนไฮดรอกไซด์จะกลับมาละลายหรือไม่สามารถก่อตะกอนได้อย่างสมบูรณ์ |
| รัตนาภร ยวงสวัสดิ์ (2554) | การเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งเพื่อกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย | ได้ศึกษาการนำเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งมาสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับมาเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อยที่อุณหภูมิ ≥ 873 แคลวิน พบว่าแคลเซียมคาร์บอเนตในเปลือกหอยนางรมจะเปลี่ยนเป็นแคลเซียมออกไซด์ โดยชนิดของแก๊สและอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและค่าความจุฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ ซึ่งมีค่าความจุในการดูดซับฟอสเฟตสูงสุด 583.5 mg-P / g เมื่อเตรียมโดยให้ความร้อนที่ 873 แคลวิน ภายใต้บรรยากาศที่มีไนโตรเจนไหลผ่าน |

**ตารางที่ 2.7-1** งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เปลือกหอยนางรมในการลดปริมาณโลหะหนัก (ต่อ)

| ชื่อผู้วิจัย | ชื่อผลงานวิจัย | ผลการศึกษา |
|---|---|---|
| พิชญ์นิภา ขวัญเผือก และวลัยรัตน์ จันทรอัมพร (2556) | การดูดซับสารหนูปนเปื้อนด้วยตัวดูดซับสังเคราะห์จากเปลือกหอยนางรม | พบว่าค่า pH และความเข้มข้นของสารหนูที่ปนเปื้อนในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูและเมื่อใช้สารสังเคราะห์จากเปลือกหอยนางรมเตรียมได้จากการเผาเปลือกหอยนางรมที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่ pH11 ตัวดูดซับสังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด คิดเป็น 57.85 % รองลงมาคือ pH 9 และ pH 7 มีประสิทธิภาพในการดูดซับคิดเป็น 52.08 % และ 52.00 % ตามลำดับ |

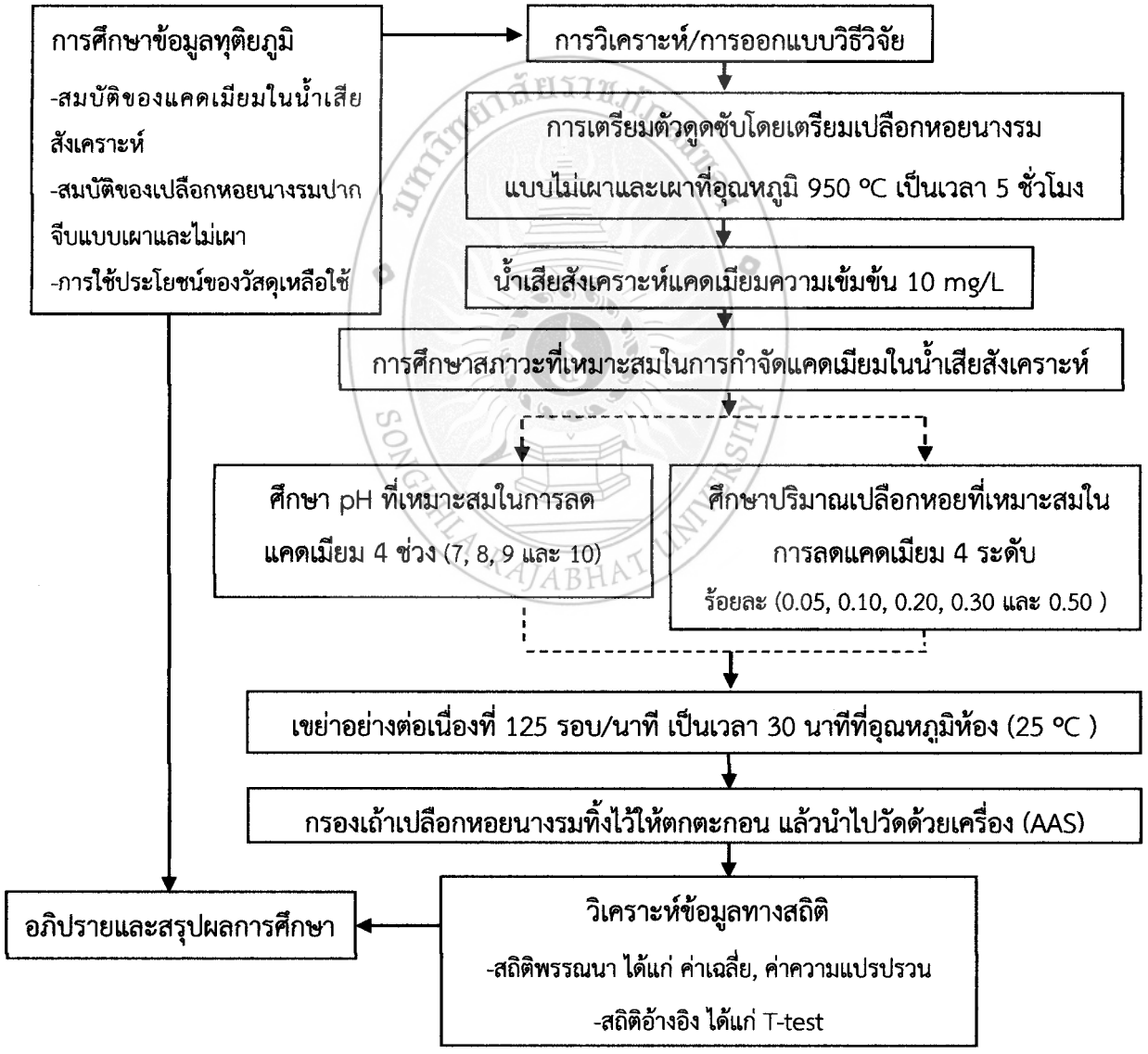
จากงานวิจัยนี้เกี่ยวข้องจะเห็นได้ว่ามีการนำเอาเศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรและเปลือกหอยหลายชนิดทั้งแบบเผาและไม่เผาในการดูดซับโลหะหนักซึ่งสอดคล้องกับการกำจัดโลหะหนักด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมีส่วนใหญ่นิยมทำให้อยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์โดยใช้ปูนขาวเป็นตัวปรับพีเอชให้สูงขึ้นเพื่อเปลี่ยนสมดุลการละลายของโลหะโดยโลหะหนักแต่ละชนิดจะตกตะกอนได้ดีที่สุดในช่วงพีเอชที่แตกต่างกัน ซึ่งพบว่าเมื่อพีเอชสูงขึ้นจะทำให้โลหะหนักสามารถตกตะกอนได้ดีขึ้นและค่าพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดโลหะหนักโดยใช้ปูนขาวและโซเดียมไฮดรอกไซด์มีค่าใกล้เคียงกันและพบว่าการตกตะกอนของแคดเมียมด้วยปูนขาวสามารถตกตะกอนได้ดีที่สุดที่อยู่ในช่วง pH 9.5-12.0 และการตกตะกอนของแคดเมียมด้วยไฮดรอกไซด์สามารถตกตะกอนได้ดีที่สุดอยู่ในช่วง pH 9.5-12.5 นอกเหนือจากนี้ตะกอนไฮดรอกไซด์จะกลับมาละลายหรือไม่สามารถก่อตะกอนได้อย่างสมบูรณ์และมีประสิทธิภาพขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น เปลือกหอยนางรม ซึ่งมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต($CaCO_3$) และค่าพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุดซึ่งพบว่าเมื่อนำเปลือกหอยนางรมไปเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปลือกหอยจากแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) เป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดการฟอร์มตัวอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ทำให้มีประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักสูงขึ้น โดยวัสดุเหล่านี้เป็นวัสดุเหลือใช้ที่มีอยู่เป็นจำนวนมากและหาได้ง่าย หากนำมาใช้ประโยชน์ในการบำบัดน้ำเสียจะสามารถช่วยลดต้นทุน และเป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาใช้ประโยชน์ได้อีกด้วย

# บทที่ 3

# วิธีการวิจัย

## 3.1 กรอบแนวคิดวิธีการดำเนินงาน

กรอบแนวคิดการศึกษาเรื่องการศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ แสดงไว้ในรูปที่ 3.1-1




**รูปที่ 3.1-1** กรอบแนวคิดวิธีการดำเนินงาน

## 3.2 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยฉบับนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการใช้เปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการลดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยศึกษา 2 สภาวะ ได้แก่ ค่า pH ที่เหมาะและปริมาณเปลือกหอยนางรมมีรายละเอียดดังนี้

### 3.2.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษา

กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาในงานวิจัยนี้ คือ ผงเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาและแบบเผาโดยผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงแล้วนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3.2-1

(ก) ผงเปลือกหอยนางรมไม่ผ่านการเผา (ข) ผงเปลือกหอยนางรมผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 °C

**รูปที่ 3.2-1** ตัวอย่างผงเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผา

### 3.2.2 พื้นที่ศึกษา

1) พื้นที่เก็บตัวอย่าง เปลือกหอยนางรมที่เหลือทิ้งโดยเก็บจากหาดนราทัศน์ หมู่บ้านบาเละฮีเล อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส ดังแสดงในรูปที่ 3.2-2

**รูปที่ 3.2-2** เปลือกหอยนางรมบริเวณหาดนราทัศน์ หมู่บ้านบาเละฮีเล อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

2) พื้นที่เตรียมวัสดุ เตรียมเปลือกหอยนางรมเพื่อใช้ในการศึกษาและเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ ณ ห้องปฏิบัติการโปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

3) พื้นที่ทดสอบ การวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่เหลือในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ณ อาคารวิจัยวิศวกรรมประยุกต์สิรินธร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่

## 3.3 วัสดุอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

### 3.3.1 วัสดุ

1) เปลือกหอยนางรม
2) บีกเกอร์
3) ขวดปรับปริมาตร
4) ช้อนคนสาร
5) กระดาษกรอง Whatman No.42
6) ปิเปต
7) ถุงมือ
8) หน้ากากอนามัย
9) ขวดพลาสติก
10) ตะแกรงร่อนขนาด 106 ไมโครเมตร
11) ครกบด ขนาดเล็ก

### 3.3.2 อุปกรณ์

1) ตู้อบ (Hot Air Oven) รุ่น D-91126 Schwabach ยี่ห้อ Memmert
2) เตาเผา (Funnace) รุ่น RWF 1100 ยี่ห้อ CARBOLITE
3) เครื่อง pH (pH meter) รุ่น pH 135i ยี่ห้อ WTW
4) เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง (Analytical Balance) รุ่น AL204 ยี่ห้อ METTER TOLEDO
5) เครื่องเขย่า (Shaker) รุ่น NB-1015 ยี่ห้อ Orbital Shaker
6) เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) รุ่น AA analyst 100 ยี่ห้อ Perkin elemer

### 3.3.3 สารเคมี

1) Nitric acid ($HNO_3$)

2) Deionized water (DI water)

3) Sodium hydroxide (NaOH)

4) Sulfuric acid ($H_2SO_4$)

5) แคดเมียม (II) ไนเตรต เตตระไฮเดรต $Cd(No_3)_2 \cdot 4H_2O$ (AR grade)

## 3.4 วิธีการวิเคราะห์

สำหรับวิธีการวิเคราะห์การศึกษาครั้งนี้ประกอบด้วย 5 ขั้นตอน ได้แก่ การเตรียมตัวดูดซับซึ่งได้แก่ เปลือกหอยนางรม นำมาทำเป็นผงแบบเผาและไม่เผา การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ และการเตรียมสารละลายมาตรฐาน แล้วนำมาทดลอง (สำหรับภาพประกอบการศึกษาแสดงไว้ใน **ภาคผนวก ข**)

### 3.4.1 การเตรียมตัวดูดซับ

นำวัสดุดูดซับ ได้แก่ เปลือกหอยนางรม มาทำการล้างด้วยน้ำให้สะอาด จากนั้นนำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 ℃ เป็นเวลา 10 ชั่วโมง นำมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตร แบ่งเปลือกหอยส่วนหนึ่งไปปรับปรุงสภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิ 950 ℃ นาน 5 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตร เก็บผงเปลือกหอยในถุงซิป และปิดปากถุงให้แน่นเพื่อป้องกันความชื้น

### 3.4.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

เตรียมสารละลายมาตรฐานแคดเมียม (Stock solution) 1,000 ppm

ชั่งแคดเมียม (II) ไนเตรตเตตระไฮเดรต $Cd(No_3)_2 \cdot 4H_2O$ จำนวน 2.7441 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน (Deionized water, DI) เก็บน้ำเสียสังเคราะห์ในขวดพลาสติกแช่เย็นที่อุณหภูมิ 4 ℃ นำไปใช้ในการเตรียมสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมในการศึกษาต่อไปด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

### 3.4.3 การเตรียมสารละลายมาตรฐานในการวิเคราะห์หาปริมาณแคดเมียม

การเตรียมสารละลายมาตรฐานเพื่อทำกราฟมาตรฐานของแคดเมียม โดยนำน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของแคดเมียม 1,000 mg/L (Stock 1) มาปรับปริมาตรจนได้ 10 mg/L (Stock 2) แล้วนำไปใช้ในการเตรียมสารละลายมาตรฐานดังแสดงใน**ตารางที่ 3.4-1**

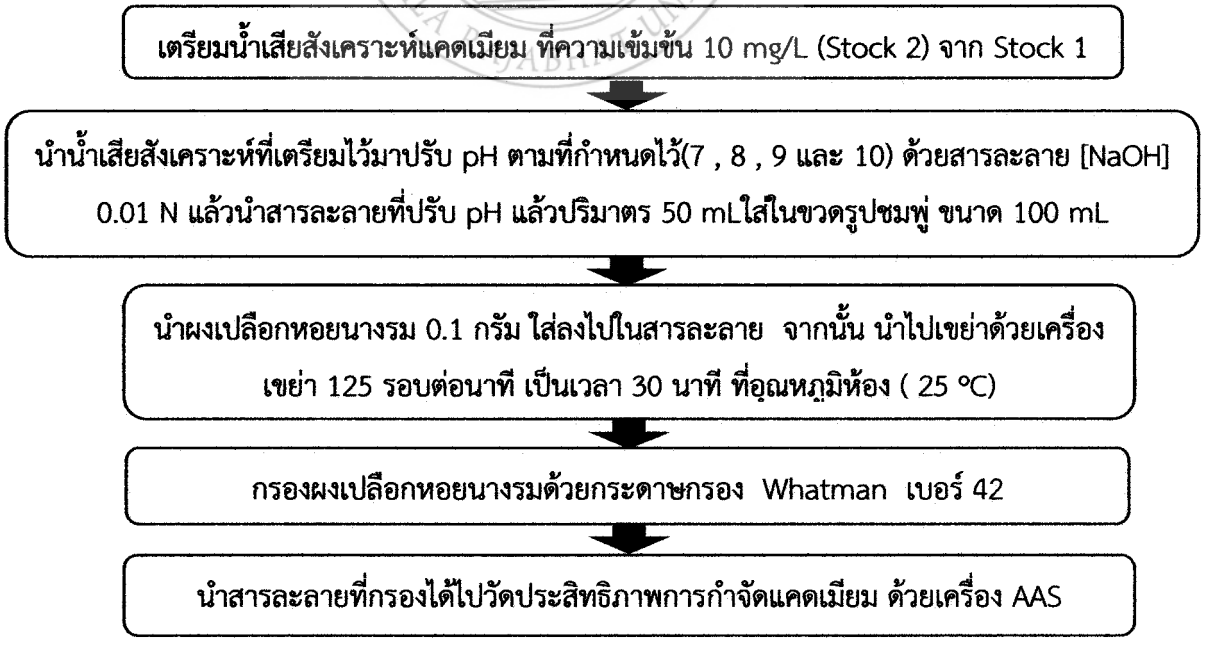
**ตารางที่ 3.4-1** การคำนวณมาตรฐานของแคดเมียม

| Stock 2 (mg/L) | V Stock (mL) | DI water (mL) | ปริมาตรสุทธิ |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 99 | 100 |
| 2 | 2 | 98 | 100 |
| 5 | 5 | 95 | 100 |
| 8 | 8 | 92 | 100 |
| 10 | 10 | 90 | 100 |

### 3.4.4 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรม

1) การศึกษาช่วง pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

สำหรับขั้นตอนการศึกษาระดับ pH ที่เหมาะสมต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาและแบบเผา มีรายละเอียด ดังนี้



สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร



2) การศึกษาปริมาณเปลือกหอยที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห

สำหรับขั้นตอนการศึกษาปริมาณที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผงเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาและแบบผา มีรายละเอียดดังนี้

เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม ที่ความเข้มข้น 10 ppm จาก Stock 1

↓

นำน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปรับ pH ที่เหมาะสมแล้ว ปริมาตร 50 mL มาใส่ในขวดรูปชมพู่ ขนาด 100 mL

↓

นำผงเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาร้อยละ 0.05, 0.10, 0.20, 0.30 และ 0.50 เติมลงในสารละลาย แล้วนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 125 รอบ/นาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง (25 °C )

↓

กรองผงเปลือกหอยนางรมด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 42

↓

นำสารละลายที่กรองได้ไปวัดประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียม ด้วยเครื่อง AAS

3) การคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การคำนวณประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม โดยใช้สมการที่ (1)

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(C_i - C_f) \times 100}{C_i} \qquad \text{สมการที่ (1)}$$

เมื่อ $C_i$ = ความเข้มข้นก่อนการทดลอง (mg/L)

$C_f$ = ความเข้มข้นหลังการทดลอง (mg/L)

ที่มา : สนธยา นำภา (2546)

ว
628.16
ท๑๖๒๑

3 ก.ค. 2560

## 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติด้วยโปรแกรม SPSS โดยวิเคราะห์ 2 ส่วน คือ

3.5.1 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ค่าเฉลี่ยและค่าความแปรปรวน เพื่อเสนอผลการศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย

3.5.2 การวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้สถิติแบบอ้างอิง ได้แก่ T-test เพื่อศึกษาความแตกต่างของประสิทธิภาพเปลือกหอยนางรมในการดูดซับแคดเมียม และใช้ One-Way Anova เพื่อศึกษาเปรียบเทียบความแตกต่างของปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับแคดเมียม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บทที่ 4

# ผลและการอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการกำจัดแคดเมียม เป็นการศึกษาความสามารถในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จนกลายเป็นเถ้าสีขาว ซึ่งเป็นการเพิ่มปริมาณ CaO ให้กับผงเปลือกหอยกับการใช้เปลือกหอยนางรมที่ไม่เผา และทำการทดสอบสภาวะที่เหมาะสม 2 สภาวะ ได้แก่ pH ที่เหมาะสมและปริมาณผงเปลือกหอยนางรม สำหรับผลการศึกษามีรายละเอียดดังนี้

## 4.1 ผลการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรม

การศึกษา pH เหมาะสมต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยศึกษาผลของ pH ที่แตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่ 7, 8, 9 และ 10 ต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ซึ่งกำหนด ปริมาณผงเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาให้คงที่เท่ากับสัดส่วนร้อยละ 0.20 ใช้สารละลายแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 10 mg/L ปริมาตร 50 mL อัตราการทำงานของเครื่องเขย่า 125 รอบ/นาที และเวลาที่สัมผัส 30 นาที ผลการศึกษาพบว่า

### 4.1.1 ผลของ pH ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรม (แบบไม่เผา)

จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกหอยนางรมแบบไม่เผา พบว่าเมื่อ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 10 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 98.94 รองลงมาคือที่ pH 9, 8 และ 7 มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมเท่ากับ96.06, 95.75 และ 94.64 ตามลำดับ รายละเอียดดังแสดงใน**ตารางที่ 4.1-1** โดยประสิทธิภาพการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P-Value = 0.007) ในทุกช่วง pH สำหรับผลการวิเคราะห์ทางสถิติแสดงใน**ภาคผนวก ง**

**ตารางที่ 4.1-1** ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาในช่วง pH ต่างๆ

| สัดส่วนการใช้เปลือกหอยนางรมไม่เผา (ร้อยละ) | ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ (mL) | สภาวะที่ใช้ในการลดแคดเมียม | ปริมาณแคดเมียม (mg/l) | | | | ประสิทธิภาพในการลดแคดเมียม (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ก่อนใส่เถ้า | หลังใส่เถ้า | ปริมาณที่ลดลง | ค่าเฉลี่ย | |
| 0.20 | 50 | pH 7 | 9.089 | 0.459 | 8.630 | 8.602 | 94.64 |
| | | | | 0.515 | 8.574 | | |
| 0.20 | 50 | pH 8 | 9.111 | 0.317 | 8.794 | 8.724 | 95.75 |
| | | | | 0.457 | 8.654 | | |
| 0.20 | 50 | pH 9 | 8.249 | 0.303 | 7.946 | 7.924 | 96.06 |
| | | | | 0.346 | 7.903 | | |
| 0.20 | 50 | pH 10 | 12.936 | 0.137 | 12.799 | 12.799 | 98.94 |
| | | | | 0.138 | 12.798 | | |

### 4.1.2 ผลของ pH ต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรม (แบบเผา)

จากการศึกษา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้เปลือกหอยนางรมแบบเผา(เผาที่อุณหภูมิ 950 °C) พบว่าเมื่อ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 10 จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 99.98 รองลงมาคือที่ pH 7, 8 และ 9 มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียม เท่ากับ 98.77, 98.76 และ 98.29 ตามลำดับ ดังแสดงรายละเอียดใน**ตารางที่ 4.1-2** (ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพดังแสดงใน**ภาคผนวก ค**) โดยประสิทธิภาพการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P-Value = 0.0005) ในทุกช่วง pH ดังแสดงรายละเอียดใน**ภาคผนวก ง**

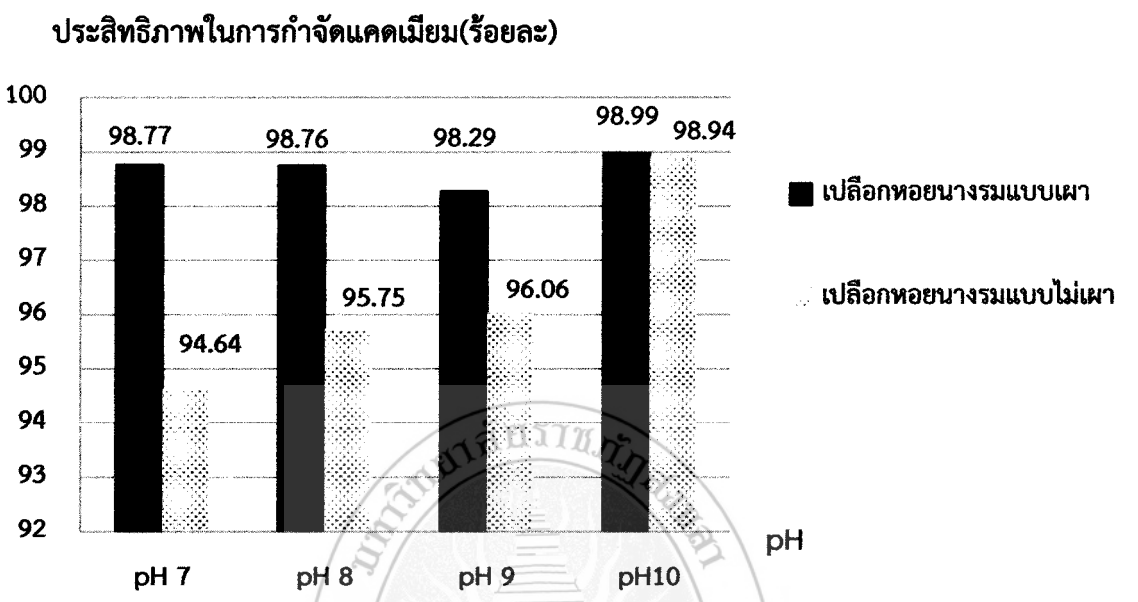
**ตารางที่ 4.1-2** ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรมแบบเผา.ในช่วง pH ต่างๆ

| สัดส่วนการใช้เปลือกหอยนางรมเผา (ร้อยละ) | ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ (mL) | สภาวะที่ใช้ในการลดแคดเมียม | ปริมาณแคดเมียม (mg/l) | | | | ประสิทธิภาพในการลดแคดเมียม (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ก่อนใส่เถ้า | หลังใส่เถ้า | ปริมาณที่ลดลง | ค่าเฉลี่ย | |
| 0.20 | 50 | pH 7 | 9.089 | 0.113 | 8.976 | 8.977 | 98.77 |
| | | | | 0.111 | 8.978 | | |
| 0.20 | 50 | pH 8 | 9.111 | 0.113 | 8.998 | 8.998 | 98.76 |
| | | | | 0.113 | 8.998 | | |
| 0.20 | 50 | pH 9 | 8.249 | 0.139 | 8.110 | 8.108 | 98.29 |
| | | | | 0.142 | 8.107 | | |
| 0.20 | 50 | pH 10 | 12.936 | 0.130 | 12.806 | 12.806 | 98.99 |
| | | | | 0.130 | 12.806 | | |

### 4.1.3 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรมในช่วง pH ที่แตกต่างกัน

การเปรียบเทียบผลของ pH 4 ระดับ กับประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผา พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยผงเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาเพิ่มขึ้นตามค่า pH ส่วนเปลือกหอยนางรมแบบเผามีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมใกล้เคียงกันในแต่ละช่วง pH โดยเปลือกหอยนางรมแบบเผาจะมีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงกว่าโดยความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P-Value = 0.006) ดังแสดงรายละเอียดใน**รูปที่ 4.1-1** และ **ภาคผนวก ง** อาจเนื่องจากหอยนางรมแบบเผามีแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ที่มีความเป็นอนุภาคและมีความเป็นรูพรุนสูงเป็นองค์ประกอบหลัก ทำให้สามารถเข้าดูดซับที่ผิวอนุภาคได้มากกว่าโครงสร้างผลึกของเปลือกหอยนางรมที่ไม่ผ่านการเผา (พิชญ์นิภา ขวัญเผือก และวลัยรัตน์ จันทรอัมพร, 2556) และแคดเมียมสามารถละลายน้ำได้ดีที่ pH ต่ำ ความสามารถในการละลายจะลดลงเมื่อ pH สูงขึ้น ซึ่งสารที่ไม่สามารถละลายน้ำหรือละลายได้น้อยจะสามารถดูดติดผิวได้ดีเพราะสามารถแยกออกจากน้ำได้

ง่าย (พิทยุตม์ ประทุมรัตน์, 2555) โดยเฉพาะอนุภาคที่มีรูพรุนสูงและพื้นที่ผิวมากยิ่งมีความสามารถดูดติดผิวได้ดี




**รูปที่ 4.1-1** ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรมในช่วง pH ที่แตกต่างกัน

## 4.2 ผลการศึกษาปริมาณเปลือกหอยนางรมที่เหมาะสมต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

การศึกษาปริมาณผงเปลือกหอยนางรมทั้งแบบเผาที่อุณหภูมิ 950 °C และแบบไม่เผาในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยจากค่า pH ที่ให้ประสิทธภาพสูงสุดในการกำจัดแคดเมียมด้วยเปลือกหอยนางรม (จากข้อ 4.1) มีค่าเท่ากับ 10 ปริมาณสัดส่วนการใช้เปลือกหอยนางรมต่อน้ำเสียสังเคราะห์ คือ ร้อยละ 0.05, 0.10, 0.20, 0.30 และ 0.50 ความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ 10 mg/L ปริมาตร 50 mL อัตราการทำงานของเครื่องเขย่า 125 รอบ/นาที และระยะเวลาสัมผัส 30 นาที ผลการศึกษาพบว่า

**4.2.1 ผลของปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์**

ผลของปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ pH 10 พบว่าเมื่อใช้เปลือกหอยร้อยละ 0.50 (หรือ 0.25 g ในน้ำเสียสังเคราะห์ 50 mL) มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมร้อยละ 98.68 หรือมีปริมาณแคดเมียมที่ลดลงเฉลี่ยเท่ากับ 10.375 mg/L รองลงมาคือ ปริมาณเปลือกหอยร้อยละ 0.20, 0.05, 0.10 และ 0.30 คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมร้อยละ 98.67, 98.48, 98.42 และ 98.28 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมตามปริมาณเปลือกหอยนางรมที่ใช้ด้วยสถิติ T-Test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 (P-Value = 0.008) ดังแสดงใน**ตารางที่ 4.2-1** และ **ภาคผนวก ง**

**ตารางที่ 4.2-1** ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาแตกต่างกัน

| สัดส่วนการใช้เปลือกหอยนางรมไม่เผา (ร้อยละ) | ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ (mL) | สภาวะที่ใช้ในการลดแคดเมียม | ปริมาณแคดเมียม (mg/l) | | | | ประสิทธิภาพในการลดแคดเมียม (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ก่อนใส่เถ้า | หลังใส่เถ้า | ปริมาณที่ลดลง | ค่าเฉลี่ย | |
| 0.05 | 50 | 0.025 | 10.514 | 0.166 | 10.348 | 10.354 | 98.48 |
| | | | | 0.154 | 10.360 | | |
| 0.10 | 50 | 0.05 | | 0.169 | 10.345 | 10.348 | 98.42 |
| | | | | 0.164 | 10.350 | | |
| 0.20 | 50 | 0.10 | | 0.129 | 10.385 | 10.374 | 98.67 |
| | | | | 0.151 | 10.363 | | |
| 0.30 | 50 | 0.15 | | 0.178 | 10.336 | 10.333 | 98.28 |
| | | | | 0.184 | 10.330 | | |
| 0.50 | 50 | 0.25 | | 0.140 | 10.374 | 10.375 | 98.68 |
| | | | | 0.138 | 10.376 | | |

### 4.2.2 ผลของปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบเผาต่อประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

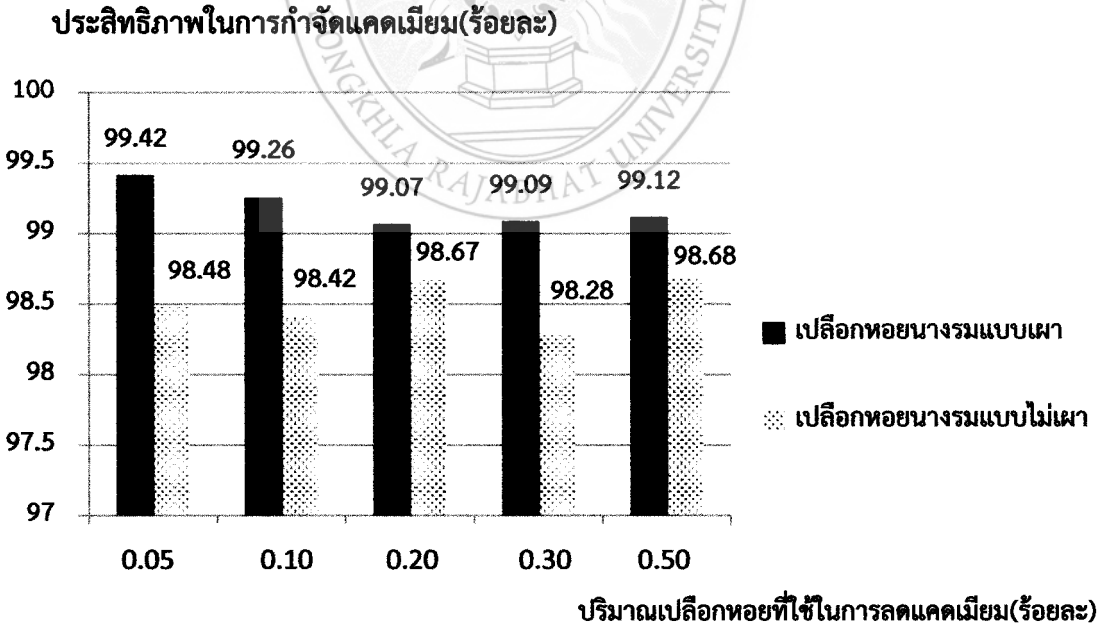
ผลของปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบเผาในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ pH 10 พบว่าเมื่อใช้เปลือกหอยร้อยละ 0.05 หรือ 0.025 g ในน้ำเสียสังเคราะห์ 50 mL มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมร้อยละ 99.42 รองลงมาคือ ปริมาณเปลือกหอยร้อยละ 0.10, 0.50, 0.30 และ 0.20 คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมร้อยละ 99.26, 99.12, 99.09 และ 99.07 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมตามปริมาณเปลือกหอยนางรมที่ใช้ด้วยสถิติ T-Test พบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ95 (P-Value = 0.001) ดังแสดงในตารางที่ 4.2-2 และ ภาคผนวก ง

**ตารางที่ 4.2-2** ประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบเผาแตกต่างกัน

| สัดส่วนการใช้เปลือกหอยนางรมเผา (ร้อยละ) | ปริมาตรน้ำเสียสังเคราะห์ (mL) | สภาวะที่ใช้ในการลดแคดเมียม | ปริมาณแคดเมียม (mg/l) | | | | ประสิทธิภาพในการลดแคดเมียม (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ก่อนใส่เถ้า | หลังใส่เถ้า | ปริมาณที่ลดลง | ค่าเฉลี่ย | |
| 0.05 | 50 | 0.025 | 10.514 | 0.058 | 10.456 | 10.453 | 99.42 |
| | | | | 0.064 | 10.450 | | |
| 0.10 | 50 | 0.05 | | 0.078 | 10.436 | 10.436 | 99.26 |
| | | | | 0.079 | 10.435 | | |
| 0.20 | 50 | 0.10 | | 0.092 | 10.422 | 10.416 | 99.07 |
| | | | | 0.103 | 10.411 | | |
| 0.30 | 50 | 0.15 | | 0.093 | 10.421 | 10.418 | 99.09 |
| | | | | 0.098 | 10.416 | | |
| 0.50 | 50 | 0.25 | | 0.091 | 10.423 | 10.422 | 99.12 |
| | | | | 0.092 | 10.422 | | |

**4.2.3 ผลการเปรียบเทียบปริมาณเปลือกหอยนางรมกับประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์**

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาปริมาณต่างกัน พบว่าผงเปลือกหอยนางรมทั้ง 2 ชนิด มีประสิทธิภาพการลดแคดเมียมใกล้เคียงกันในทุกๆปริมาณ แต่เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (P-Value = 0.000) ซึ่งเป็นไปได้ว่าปริมาณของเปลือกหอยนางรมไม่มีผลกับประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ ดังแสดงใน**รูปที่** 4.2-1 อาจเนื่องจากปริมาณเปลือกหอยนางรมที่ใช้ในการศึกษามีปริมาณมากเพียงพอกับการดูดซับ ซึ่งในการศึกษาครั้งต่อไปผู้วิจัยอาจต้องมีการปรับเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมหรือลดปริมาณตัวดูดซับลง โดยการศึกษาครั้งนี้แตกต่างกันกับการศึกษาของคุณพิทยุตม์ ประทุมรัตน์ (2552) ซึ่งศึกษาการใช้เปลือกหอยนางรมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าเพิ่มปริมาณเถ้าของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาจะยิ่งมีความสามารถในการกำจัดโลหะหนักเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งในการศึกษาใช้ความเข้มข้นของตะกั่วในปริมาณสูงถึง 100 mg/L




**รูปที่** 4.2-1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยเปลือกหอยนางรมในปริมาณที่แตกต่างกัน

# บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการนำเปลือกหอยนางรมที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง และเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผา แล้วนำไปบดให้เป็นผงร่อนผ่านตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตร ไปทดสอบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ โดยทำการศึกษาที่ระดับ pH แตกต่างกัน 4 ช่วง คือ 7, 8, 9 และ 10 และปริมาณการใช้เปลือกหอยนางรมร้อยละ 0.05, 0.10, 0.20, 0.30 และ 0.50

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

### 5.1.1 การศึกษา pH ที่เหมาะสมในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์

ผลการศึกษาพบว่าเมื่อปรับ pH ของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 10 เปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผา มีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 98.99 และ 98.94 ตามลำดับ และเปลือกหอยนางรมแบบเผามีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมต่ำสุดที่ pH เท่ากับ 9 คิดเป็นร้อยละ 98.29 ส่วนเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผามีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมต่ำสุดที่ pH เท่ากับ 7 คิดเป็นร้อยละ 94.64 และเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกหอยนางรมทั้ง 2 ชนิด ตามระดับ pH พบว่าเปลือกหอยนางรมแบบเผามีประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมสูงกว่า โดยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

### 5.1.2 การศึกษาปริมาณเปลือกหอยนางรมที่เหมาะสมต่อการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

ผลการศึกษาพบว่าเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.50 และเปลือกหอยนางรมแบบเผาที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.05 มีประสิทธิภาพสูงสุดในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์คิดเป็นร้อยละ 98.68 และ 99.42 ตามลำดับ ส่วนประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ต่ำสุดที่ปริมาณการใช้ร้อยละ 0.30 ในเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาและปริมาณการใช้ร้อยละ 0.20 ในเปลือกหอยนางรมแบบเผาคิดเป็นร้อยละ 98.28 และ 99.07 ตามลำดับ ซึ่งการเพิ่มปริมาณของเปลือกหอยนางรมทั้ง 2 แบบ มีผลต่อประสิทธิภาพในการกำจัดแคดเมียมน้อยอาจเนื่องมาจากปริมาณการใช้มากเกินพอ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

1) ควรศึกษาองค์ประกอบต่างๆของตัวดูดซับ เช่น รูพรุน และสมบัติในการดูดซับ

2) ควรศึกษาการนำน้ำเสียจากโรงงานที่มีการปนเปื้อนแคดเมียมมาใช้ในการทดลอง

3) ควรศึกษาวัสดุธรรมชาติอื่นๆที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเป็นองค์ประกอบหลักเพื่อเป็นทางเลือกในการบำบัดน้ำเสีย

4) ควรเพิ่มความเข้มข้นของแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมได้อย่างเหมาะสม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# บรรณานุกรม

พิทยุตม์ ประทุมรัตน์. 2555. **การใช้เปลือกหอยนางรมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์.** วารสารวิทยาศาสตร์ คชสาส์น(1): 61-70

รัตนาภร ยวงสวัสดิ์, วลัยรัตน์ จันทรอัมพร และดวงกมล ณ. ระนอง. **"การเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งเพื่อกำจัดฟอสเฟตในน้ำ"**.สาขาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ.

จรรยาพร พุ่มงาม. 2545. **"การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่"**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์1 สาขาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม มหาวิทยาลัยจุฬาลงกรณ์.

ยุพดี เส้นขาว. 2557 **"การกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม"** วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ปีที่ 22 . ฉบับที่ 2,หน้าที่ 185-201

พิชญ์นิภา ขวัญเผือก และวลัยรัตน์ จันทรอัมพร. 2556. **"การดูดซับสารหนูในน้ำปนเปื้อนด้วยตัวดูดซับสังเคราะห์จากเปลือกหอย,** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์ สาขาวิศวกรรมเคมี, มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พรรษกร ใจประดับเพชร. 2549. **"การกำจัดแคดเมียมและสังกะสีในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกะลามะพร้าวและเมล็ดมะขาม"**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตร์. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

โอภาส คำฝึกฝน. 2545. **"การศึกษาปริมาณโลหะหนัก (ตะกั่ว และแคดเมียม) ในน้ำทิ้งจากบริษัทเซรามิค อุตสาหกรรมไทย จำกัด ตำบลโคกแย้ อำเภอหนองแค จังหวัดสระบุรี".** สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อ, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. สถาบันราชภัฏเพชรบุรีวิทยาลงกรณ์ ในพระบรมราชูปถัมภ์.

วิราสินี ปรียานุพันธ์. 2542. **"การตกตะกอนโลหะหนักในของเสียอันตรายจากห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยขอนแก่น".** วิทยานิพนธ์ปริญญาสาธารณสุขศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาอนามัยสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

# บรรณานุกรม (ต่อ)

ศิริวรรณ ลาภทอง. 2544. **"การสะสมของโลหะหนักบางชนิดในหอยเศรษฐกิจ บริเวณชายฝั่งทะเลของอ่าวไทยและทะเลอันดามัน"** วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา.

ภรดี พันธุภากร และ เสกสรรค์ ตันยาภิรมย์. 2542. **"เคลือบเซรามิกส์จากเปลือกหอยนางรม".** คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา.

ชโลทร ศิริภัทรประวัติ. 2552. **"อิทธิพลของเปลือกหอยบดต่อคุณสมบัติของปูนฉาบ"** วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ฉัตรสินี สุราเสน. 2545. **"การกำจัดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์โดยการกรองด้วยเปลือกไข่".** ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต(วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม), สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก

# ภาคผนวก ก

# แบบเสนอโครงร่างวิจัย

# แบบเสนอโครงร่างวิจัย

## โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

## วิจัยทางวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม 4453503

**1.ชื่อโครงการ** ประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์

**2.สาขาวิชา** วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม(เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม)

**3.ชื่อผู้วิจัย**

3.1 นางสาวนูร์อัลญา เลาะเมาะ รหัสนักศึกษา 554232012
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
3.2 นางสาวมารีแย สือรี รหัสนักศึกษา 554232017
นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

**4.คณะกรรมการที่ปรึกษาวิจัยเฉพาะทาง**

อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก อาจารย์หิรัญวดี สุวิบูรณ์
วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม อาจารย์กาญจณา ขันทกะพันธ์
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่

**5.ความสำคัญและที่มาของการวิจัย**

โลหะแคดเมียม เป็นโลหะหนักมีสีขาว ฟ้า แวว มักอยู่ในรูปแท่ง แผ่น เส้นลวด หรือเป็นผงเม็ดเล็กๆและมักปนอยู่ในสินแร่สังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดง ซึ่งในปัจจุบันแคดเมียมเป็นสารที่แพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น ผลิตแบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า อะไหล่ยนต์ โหละผสมในอุตสาหกรรมเพชรพลอยและการเกษตร (พูลทรัพย์ วิรุฬหากุล,ม.ป.พ.) ซึ่งหากไม่มีการจัดการที่ถูกต้องอาจส่งผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติ สิ่งแวดล้อมและสิ่งมีชีวิตได้ ทำให้มีการกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่2 (2539) ได้กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายออกจากโรงงานต้องมีปริมาณแคดเมียมไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร และองค์การอนามัยโลก องค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ(1989) ได้กำหนดปริมาณแคดเมียมสูงสุดที่ร่างกายมนุษย์รับได้ไว้ที่ 7 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมต่อคน สำหรับผลกระทบของแคดเมียมจะส่งผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสภาพแวดล้อมและส่งผลถึงสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ผลกระทบต่อสภาพแวดล้อม ได้แก่ มลพิษทางน้ำ น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญต่อการดำรงชีวิต หากมีสารพิษละลายปนเปื้อนอยู่ในน้ำ จะส่งผลให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ซึ่งแหล่งที่มาของสารพิษในน้ำส่วนใหญ่เป็นผลมาจากการกระทำของมนุษย์ ไม่ว่าจะเป็นน้ำทิ้งตามบ้านเรือน หรือน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม (ยุพดี เส้นขาว, 2557) ผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของมนุษย์ ทำให้เกิดอาการเยื่อปอดถูกทำลาย ถุงลมโป่งพอง คลื่นไส้ อาเจียน อ่อนเพลีย ปวดกระดูกสันหลัง แขนขา อาจทำให้เสียชีวิตได้ โรคที่เกิดจากพิษของแคดเมียมเรียกว่า โรคอิไต-อิไต โรคปอดเรื้อรัง โรคไตอักเสบ (Itai-Itai decease) (เกษม สีมาพล, 2546) จากการศึกษาการดูดซับสารหนูปนเปื้อนด้วยตัวดูดซับสังเคราะห์จากเปลือกหอยนางรม พบว่าประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูและเมื่อใช้สารสังเคราะห์จากเปลือกหอยนางรมประสิทธิภาพการดูดซับสารหนูและเมื่อใช้สารสังเคราะห์จากเปลือกหอยนางรมเตรียมได้จากการเผาเปลือกหอยนางรมที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 8 ชั่วโมง ที่ pH 11 ตัวดูดซับสังเคราะห์มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงสุด คิดเป็น 57.85 % (พิชญ์นิภา ขวัญเผือก และ วลัยรัตน์ จันทรอัมพร ,ม.ป.พ.) จากการศึกษาเรื่องการเตรียมวัสดุดูดซับจากเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งเพื่อกำจัดฟอสเฟตในน้ำเสีย พบว่าการนำเปลือกหอยนางรมเหลือทิ้งมาสังเคราะห์เป็นวัสดุดูดซับมาเผาภายใต้บรรยากาศของแก๊สเฉื่อยที่อุณหภูมิ ≥ 873 K โดยชนิดของแก๊สและอุณหภูมิที่ใช้มีผลต่อลักษณะทางกายภาพและค่าความจุฟอสเฟตของวัสดุดูดซับ ซึ่งมีค่าความจุในการดูดซับฟอสเฟตสูงสุด 583.5 mg-p / g

เมื่อเตรียมโดยให้ความร้อนที่ 873 K (รัตนาภร ยวงสวัสดิ์ ,2554) จากการศึกษาการกำจัดไอออนแคดเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียด้วยมะขามและเปลือกทับทิม พบว่าการใช้มะขามและเปลือกทับทิมที่ไม่ปรับสภาพทางเคมีและที่ปรับสภาพทางเคมีในการกำจัดแคดเมียมและตะกั่วพบว่ามะขามและเปลือกทับทิมที่ปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์แบบต่อเนื่องได้สูงกว่าการดูดซับตะกั่วมาก การดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์มีประสิทธิภาพสูงถึง 94.03 ± 0.70 และ 94.64 ± 0.64 ตามลำดับ (ยุพดี เส้นขาว ,ม.พ.ป.) จากการศึกษาการกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกหอยแครงและเปลือกหอยแมลงภู่ พบว่าการใช้น้ำเสียสังเคราะห์พบว่าในช่วง 20 นาทีแรกในการกำจัดตะกั่วเปลือกหอยแครงขนาด 20-60 เมช สามารถกำจัดตะกั่วได้ 45.85 % และสามารถกำจัดได้กว่า 99 % เมื่อเวลาผ่านไป 60 นาที ส่วนเปลือกหอยแมลงภู่สามารถกำจัดตะกั่วได้ 97.14 % เมื่อเวลาผ่านไป 240 นาที (จรรยาพร พุ่มงาม , 2545) จากการศึกษาการใช้เปลือกหอยนางรมในการกำจัดตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าการใช้เปลือกหอยนางรมในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.15 ที่อุณหภูมิ 950 °C มีประสิทธิภาพดีที่สุดที่ pH 9 พบว่า เปลือกหอยที่ทำการเผา มีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วออกจากน้ำเสียสังเคราะห์ดีกว่าเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้ผ่านการเผา ร้อยละ 94.07/89.36 และ 98.12/96.76 ที่ปริมาณ 5.00 และ 10.00 กรัม ตามลำดับ และพบว่าเปลือกหอยนางรมที่ไม่ได้ผ่านการเผามีประสิทธิภาพดีกว่าเปลือกหอยนางรมแบบเผา ร้อยละ 99.95/99.38 และ99.98/99.94 ตามลำดับ ดังนั้นจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้พบว่าสามารถนำวัสดุธรรมชาติซึ่งมีปริมาณ $CaCO_3$ ค่อนข้างสูงมาใช้เป็นวัสดุสังเคราะห์เพื่อลดปริมาณโลหะหนักในสภาวะที่เหมาะสม (พิทยุตม์ ประทุมรัตน์, 2555)

ดังนั้น คณะผู้วิจัยจึงมีความสนใจการใช้เปลือกหอยนางรมในการศึกษาครั้งนี้ เนื่องจากเปลือกหอยนางรมที่มีจำนวนมากจากชุมชนบาเละฮีเล อำเภอเมือง จังหวัดนราธิวาส ชาวบ้านนำเอาทิ้งกองไว้ทำให้ส่งผลกระทบ ส่งกลิ่นเหม็น จึงได้หาวิธีการแก้ไขปัญหาโดยการนำเปลือกหอยนางรมไปทดลองใช้บำบัดน้ำเสีย เนื่องจากเปลือกหอยนางรมบดมีปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต($CaCO_3$)และพื้นที่ผิวจำเพาะมากที่สุดเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับเปลือกหอยบดชนิดอื่น จากการศึกษาของ(พิทยุตม์ ประทุมรัตน์, 2555) พบว่าเมื่อนำเปลือกหอยนางรมมาเผาที่อุณหภูมิสูงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเปลือกหอยนางรมจาก $CaCO_3$ เป็น CaO กับพื้นที่ผิวจำเพาะของเปลือกหอยนางรมทำให้ประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่วสูงขึ้น จึงอาจเป็นไปได้ว่าเมื่อนำเปลือกหอยนางรมมาเผาที่

อุณหภูมิสูงน่าจะลดแคดเมียมได้เช่นกัน ซึ่งจากการศึกษาของ (รัตนาภร ยวงสวัสดิ์, 2554) พบว่า สารสังเคราะห์จากเปลือกหอยดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นตัวดูดซับในการดูดซับโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคดเมียม สังกะสี เหล็ก และโครเมียม ออกจากน้ำเสียได้

**6.วัตถุประสงค์การวิจัย**

6.1 เพื่อศึกษาผลของ pH ต่อการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผา

6.2 เพื่อศึกษาปริมาณของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

**7.สมมติฐาน**

เปลือกหอยนางรมแบบเผามีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมได้ดีกว่าเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผา

**8.ตัวแปร**

ตัวแปรต้น : เปลือกหอยนางรมแบบเผาและเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผา

ตัวแปรตาม : ประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมในการลดแคดเมียม

ตัวแปรควบคุม : คุณลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์ ชนิดของเปลือกหอยนางรม

**9.ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ**

9.1 ทราบถึงประสิทธิภาพระหว่างเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผาในการลดปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

9.2 เป็นการนำวัสดุเหลือใช้มาประยุกต์ใช้ในการลดโลหะหนัก

9.3 ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมในการลดแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์

**10.ขอบเขตการวิจัย**

10.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ศึกษา ได้แก่ เปลือกหอยนางรมแบบเผาและเปลือกหอยนางรมไม่เผา

10.2 พื้นที่ศึกษา

10.2.1 พื้นที่เก็บตัวอย่าง เปลือกหอยนางรมเก็บจากหาดนราทัศน์ หมู่บ้านบาเละฮีเล อ.เมือง จ.นราธิวาส

10.2.2 พื้นที่ศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

- การเตรียมตัวอย่าง ณ.ห้องปฏิบัติการ ศูนย์วิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา
- การวัดปริมาณแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ณ.อาคารวิจัยวิศวกรรมประยุกต์สิรินธร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่

**11.นิยามศัพท์เฉพาะ**

11.3 **เปลือกหอยนางรมที่เผา** คือ เปลือกหอยนางรมที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 950 °C โดยใช้เตาเผา และนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 106 ไมโครเมตร

11.4 **เปลือกหอยนางรมที่ไม่เผา** คือ เปลือกหอยนางรมที่ผึ่งให้แห้งและนำไปบดและร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 106 ไมโครเมตร

11.5 **น้ำเสียสังเคราะห์** หมายถึง น้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมโดยใช้สารประกอบแคดเมียม $Cd(NO_3)_2 \cdot 4H_2O$ ความเข้มข้น 10 mg/L เพื่อใช้เป็นน้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียม

**12.ตรวจเอกสาร**

**12.1.แคดเมียม(Cadmium)**

**แคดเมียม**

แคดเมียม เป็นโลหะหนัก มีสีขาว ฟ้า วาว มีลักษณะเนื้ออ่อน สามารถบิดโค้งงอได้และถูกตัดได้ง่ายด้วยมีด มักอยู่ในรูปแท่ง แผ่น เส้นลวด หรือเป็นผงเม็ดเล็กๆ และ มักปนอยู่ในสินแร่

สังกะสี ตะกั่ว หรือทองแดง การนำเอาแคดเมียมมาใช้ทำให้มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม ทั้งในอากาศ น้ำ ดิน รวมทั้งในอาหารด้วย เมื่อมีมากๆ จะเกิดการสะสม โดยเฉพาะมนุษย์หรือสัตว์ ถ้ามีการสะสมของแคดเมียมในร่างกายมากอาจก่อให้เกิดพิษได้

**ประโยชน์ของแคดเมียม**

**-ด้านอุตสาหกรรม** แคดเมียมเป็นสารที่ใช้แพร่หลายในอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น แบตเตอรี่ อุปกรณ์ไฟฟ้า โลหะผสม อะไหล่รถยนต์ โลหะผสมในอุตสาหกรรมเพชรพลอย

**-ด้านเกษตรกรรม** แคดเมียมเป็นส่วนผสมของสารเคมีปราบวัชพืช สารเคมีฆ่าเชื้อรา และเป็นส่วนผสมในปุ๋ยบางชนิด

**คุณสมบัติของแคดเมียม**

แคดเมียมเป็นโลหะหนักสีอ่อน อยู่ในหมู่ 2B ของตารางธาตุ มีเลขอะตอม 48 น้ำหนักอะตอม 112.4 จุดหลอมเหลว 320.9 องศาเซลเซียส จุดเดือด 769 องศาเซลเซียส ค่าความถ่วงจำเพาะ 8.65 แคดเมียมมีเลขออกซิเดชันเพียงค่าเดียวคือ +2 ละลายได้ในกรดไนตริกและสารละลายแอมโมเนียมไนเตรท (Hawley,1977) โลหะชนิดนี้ไม่จำเป็นและไม่มีประโยชน์ต่อร่างกาย ยิ่งกว่านี้ยังเป็นพิษต่อร่างกายอีกด้วย แคดเมียมเป็นธาตุที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ มักจะพบอยู่ร่วมกับสังกะสีและตะกั่วแต่มีสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์คล้ายกับสังกะสี คือ ทนทานต่อการผุกร่อนและเนื่องจากแคดเมียมมีโครงสร้างอะตอมคล้ายกับสังกะสีจึงสามารถเข้าแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์ ตัวอย่างเช่น แคดเมียมสามารถเข้าแทนที่สังกะสีในระบบเอนไซม์ carboxypeptidase

**การปนเปื้อนของแคดเมียมในสิ่งแวดล้อม**

แหล่งที่แพร่กระจายแคดเมียมสู่สิ่งแวดล้อมที่สำคัญ คือ

1) อุตสาหกรรมตะกั่วและสังกะสี (ได้แก่ การทำเหมือง การหลอม และถลุง) อุตสาหกรรมแคดเมียม ซึ่งอุตสาหกรรมเหล่านี้จะปล่อยฝุ่น ไอ (Fume) น้ำเสีย กากตะกอน (Sludge) ที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา
2) โรงงานชุบโลหะแคดเมียม ซึ่งของเสียจากโรงงานประเภทนี้จะมีแคดเมียมประมาณ 100 – 500 ppm และมีโลหะหนักอื่นๆ รวมทั้งไซยาไนด์และสารเคมีอื่นๆผสมอยู่ด้วย
3) Primary Iron and Steel Industry และ Secondary Non – FerousMetalIndustry อุตสาหกรรมประเภทนี้จะปล่อยฝุ่น ไอ น้ำเสีย กากตะกอน ที่มีแคดเมียมปนอยู่ออกมา

4) การเผาของเสีย (Incineration) การเผาของเสียที่มีแคดเมียมประกอบอยู่ เช่นพลาสติก เม็ดสี โลหะเคลือบ เศษเหล็ก เป็นต้น จะปล่อยแคดเมียมออกมาในรูป Cadmium Aerosols เช่น แคดเมียมออกไซด์
5) ยางรถยนต์ที่สึกหรอ ยางรถยนต์ จะมีแคดเมียมประกอบอยู่ประมาณ 20 – 29 ppm โดยเป็นสิ่งเจือปน (Impurity) ใน Zinc Oxide ซึ่งเป็นสารรักษาความเร่ง
6) ปุ๋ยฟอสเฟต มีแคดเมียมปนอยู่ เนื่องจากหินฟอสเฟตที่เป็นวัตถุดิบแคดเมียมประมาณ 2 – 170 ppmมีรายงานการศึกษาพบว่าการใช้ปุ๋ยฟอสเฟสจะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดิน เพราะแคดเมียมฟอสเฟสละลายน้ำได้น้อย และส่วนที่ไม่ละลายพืชไม่สามารถดูดซึมได้ ดังนั้นแคดเมียมส่วนนี้จึงสะสมอยู่ในดิน แต่ถ้ามีการใช้ปุ๋ยแอมโมเนียร่วมด้วยแคดเมียมจะละลายได้มากขึ้น เนื่องจากแคดเมียมจะไปรวมตัวกับแอมโมเนียเป็นอิออนที่ละลายน้ำได้ (กรมควบคุมมลพิษ,กองจัดการสารอันตรายและกากของเสีย,2545)
7) การใช้ถ่านหินและ Heating Oil แคดเมียมเป็นธาตุปริมาณน้อยใน Fossil Fuels ดังนั้นเมื่อมีการใช้เชื้อเพลิงเหล่านี้ แคดเมียมจะถูกปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมในรูปของไอและเถ้า ปริมาณแคดเมียมในถ่านหินอยู่ในช่วง 0.25 – 5 ppm ถึงแม้จะไม่ทราบเปอร์เซ็นต์ที่แน่นอนของแคดเมียมที่ถูกปล่อยออกจากปล่อง หรือส่วนที่ถูกขจัดโดย Scrubber หรือส่วนที่ถูกทำให้เกิดตะกอน (Precipitated) ก็ตาม แต่พบว่าในเถ้าจากถ่านหิน (Coal Ash) มีปริมาณแคดเมียมสูงถึง 150 ppm ส่วนความเข้มข้นของแคดเมียมโดยเฉลี่ยใน heating oil ประมาณ 0.3 ppm
8) กากตะกอนของน้ำทิ้ง (Sewage Sludge) กากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียมีปริมาณแคดเมียมค่อนข้างสูง ปริมาณแคดเมียมในกากตะกอนจากโรงงานกำจัดน้ำเสียจำนวน 56 แห่งในประเทศสวีเดน มีค่าเฉลี่ย 15.6 ppm และการใช้กากตะกอนเหล่านี้เพื่อเป็นปุ๋ย ได้มีการคำนวณว่าจากการใช้Sewage Sludge (ที่มี Cd ~ 20 ppm หรือมากกว่า) จำนวน 2 – 3 ตัน/ปี ใส่ลงในพื้นที่เพาะปลูกที่ยังไม่มีปัญหามลพิษ (Unpolluted Agriculture Soils ซึ่งมี Cd < 0.1 – 0.5 ppm) จะไปเพิ่มปริมาณแคดเมียมในดินเพาะปลูกนี้เป็น 1.2 – 6 ppm และพบว่าพืชบางชนิด เช่น ข้าว ข้าวสาลี สามารถดูดซึมแคดเมียมจากดินได้ดี
9) การสึกกร่อนของสังกะสี (Corrosion of Zinc) แคดเมียมเป็นสิ่งเจือปนในสังกะสี เมื่อโลหะหรือภาชนะที่ชุบสังกะสีเกิดการสึกกร่อนแคดเมียมก็จะแพร่กระจายออกสู่สิ่งแวดล้อมได้

**การรักษาเมื่อได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย**

ถ้าผู้ป่วยได้รับแคดเมียมทางการหายใจ ให้ปฏิบัติดังนี้

- เคลื่อนย้ายผู้ป่วยออกไปบริเวณอื่น

**ถ้าผู้ป่วยได้รับแคดเมียมทางการกินให้ปฏิบัติดังนี้**

- ให้นมหรือไข่ที่ตีแล้ว เพื่อลดการระคายเคืองของทางเดินอาหาร

**ตัวอย่างอาหารที่พบแคดเมียม**

-อาหารทะเล ใบยาสูบ ข้าวและพืชที่ปลูกบริเวณที่มีสารแคดเมียมสะสมอยู่

**ข้อควรระวังเกี่ยวกับโลหะแคดเมียม**

โลหะแคดเมียม มีคุณสมบัติละลายได้ทั้งในกรดอินทรีย์ และกรดอนินทรีย์ เคยมีรายงานการระบาดพิษของแคดเมียม เนื่องจากการดื่มน้ำมะนาวในภาชนะที่ฉาบด้วยโลหะแคดเมียม ความเป็นกรดของน้ำมะนาวสามารถละลายแคดเมียมออกจากภาชนะจนทำให้มีแคดเมียมปนเปื้อนในน้ำมะนาว เป็นสาเหตุให้ผู้ดื่มล้มป่วยลง ฉะนั้นจึงควรระมัดระวังไม่ควรเก็บ หรือเตรียมอาหารที่มีน้ำส้ม หรือพวกน้ำผลไม้ในภาชนะ หรือเครื่องครัวที่มี แคดเมียมเป็นส่วนผสม

**อาการเมื่อได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกาย**

1.อาการพิษเฉียบพลัน จากการกิน มีอาการคลื่นไส้ อาเจียน ท้องเสีย ปวดศีรษะ ปวดกล้ามเนื้อ มีน้ำลายไหล ปวดท้อง ช็อค (Shock) ไตและตับถูกทำลาย

2.จากการหายใจ (ควันของแคดเมียม) มีอาการเจ็บหน้าอก หายใจสั้น มีกลิ่นโลหะในปาก ไอมีเสมหะเป็นฟองหรือมีเสมหะเป็นเลือด อ่อนเพลีย ปวดเจ็บขา ต่อมาปัสสาวะจะน้อยลง เริ่มมีไข้ มีอาการของปอดอักเสบ

3.อาการพิษเรื้อรัง จากการหายใจ มีอาการไอ สูญเสียการรับกลิ่น น้ำหนักลด โลหิตจาง (anemia) หายใจลำบาก ฟันมีคราบเปื้อนสีเหลือง ตับและไตอาจถูกทำลาย

**โรคที่เกิดจากแคดเมียม**

**1.โรคอิไต-อิไต (Itailtai disease)** ในประเทศญี่ปุ่น หลังสงครามโลกครั้งที่ 2 มีรายงานผู้ป่วยโรคไต และมีผิดปกติที่กระดูก และมีอาการปวดกระดูกมาก ทำให้มีชื่อเรียกโรคนี้ในภาษาญี่ปุ่นว่า Itailtaiแปลว่า โอย-โอย (ouch-ouch) ซึ่งเกิดจากพิษของแคดเมียม จะมีอาการกรวยไตผิดปกติ ท่อไตไม่ทำงาน มีโปรตีนในปัสสาวะ เป็นโรคกระดูกอ่อน มีอาการเหมือนคนกระดูกหัก มักพบได้ในผู้หญิงที่มีบุตรหลายคน ที่อาศัยอยู่บริเวณแม่น้ำจินจุ เขตโตฮามา และมีจำนวนมากขึ้น เมื่อมีการพัฒนาอุตสาหกรรมมากขึ้น ผู้ป่วยจะมีอาการเจ็บปวดมากบริเวณเอว หลัง และเกิดความผิดปกติ

ของกระดูกสันหลัง เมื่อดูจากฟิล์มเอกซเรย์ พบว่า ผู้ป่วยมีความผิดปกติของกระดูกแขน และซี่โครง สาเหตุเนื่องจากร่างกายได้รับแคลเซียมน้อย และแคดเมียมมากเกินไป

**2.โรคปอดเรื้อรัง** การได้รับแคดเมียมนานๆ และในปริมาณมากโดยเฉพาะจากการหายใจ จะทำให้เกิดการอุดตันภายในปอด ซึ่งเป็นเพราะมีการอักเสบของหลอดลม มีพังผืดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีการทำลายของถุงลมซึ่งจะกลายเป็นโรคถุงลมโป่งพองในที่สุด ผู้ที่มีความเสี่ยงมากคือคนทำงานกับผงแคดเมียมโดยตรง เช่น โรงงานแบตเตอรี่ขนาดเล็ก

**3.โรคไตอักเสบ** จะแสดงออกโดยมีการอักเสบของไต โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ท่อในไต ซึ่งจะพบแคดเมียมในปัสสาวะสูง มีโปรตีน กลูโคสสูงในปัสสาวะ การทำงานทางท่อในไตเสียการทำงาน พบว่ามีการสะสมของแคดเมียมที่หมวกไตก่อให้เกิดการอักเสบและเป็นอันตรายต่อไป และอาจเป็นไตวายได้ในที่สุดการเกิดโรคไตอักเสบนี้จะเป็นแบบถาวร แม้ว่าจะไม่ได้รับแคดเมียมต่อ

**การป้องกันพิษจากแคดเมียม**

จะป้องกันพิษจากแคดเมียมได้โดยการเฝ้าระวังของแพทย์ โดย

1.ตรวจสุขภาพก่อนเข้าทำงานโดยเน้นที่ประวัติการเป็นโรคไตที่สำคัญๆ ประวัติการสูบบุหรี่และโรคทางเดินหายใจ และควรทดสอบสมรรถภาพการทำงานของปอด รวมทั้งเอกซเรย์ปอดด้วยเพื่อเก็บไว้เป็นข้อมูลสุขภาพเบื้องต้น

2. การตรวจเป็นระยะๆ ขณะทำงาน ควรเน้นที่ระบบหายใจ รวมทั้งทดสอบสมรรถภาพการทำงานของปอด และไต

**12.2.หอยนางรม**

**หอยนางรม** มีชื่อสามัญ คือ Oyster หอยนางรม (วงศ์ Ostreidae) นั้นมีหลายสายพันธุ์ แต่ที่นิยมเลี้ยงกันอยู่โดยทั่วไปนั้น แบ่งออกเป็น 3 ชนิด ด้วยกันคือ หอยนางรมพันธุ์เล็กหรือหอยนางรมปากจีบ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Saccostreacommercialis* หอยนางรมพันธุ์นี้มีเลี้ยงมากทางภาคตะวันออก ส่วนหอยรมอีกสองพันธุ์ที่เหลือเป็นหอยนางรมที่ค่อนข้างมีขนาดใหญ่เรียกว่าหอยตะโกรม (*Crassostreabelcheri*) และหอยตะโกรมกรามดำ (*C.lugubris*) แม้ว่าจะมีการเลี้ยงกันบ้างในภาคตะวันออก แต่การเลี้ยงส่วนใหญ่จะอยู่ในเขตจังหวัดในภาคใต้ หอยนางรมเป็นอาหารทะเลที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เป็นอาหารที่จัดได้ว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง

**ประโยชน์ของหอยนางรม**

หอยนางรม เป็นอาหารทะเลที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย เป็นอาหารที่จัด ได้ว่ามีคุณค่าทางโภชนาการสูง ส่วนเปลือกหอยยังใช้ทำปูนขาว ซึ่งใช้ประโยชน์ใน การก่อสร้าง การเกษตร

กรรม อุตสาหกรรมหลายประเภท เนื้อหอยนางรมนอกจาก จะใช้รับประทานสด และปรุงอาหารได้หลายอย่างไว้ ยังแปรรูปเป็นอาหารสำเร็จรูปได้อีก เช่นหอยนางรมดอง หอยรมควัน และสกัดเป็นน้ำมันหอย หอยนางรมพบอยู่ทั่วไปตามบริเวณน้ำตื้นชายเกาะ ชายฝั่งทะเล แหล่งน้ำที่มี อาณาเขตติดต่อกับทะเล หอยนางรมมีหลายชนิดที่พบในประเทศไทย ได้แก่ หอยนางรมปากจีบขนาดเล็ก และหอยนางรมพันธุ์โตที่มีชื่อว่า "หอยตะโกรม" พบมากในจังหวัดชลบุรี ระยอง จันทบุรี สุราษฎร์ธานี ตราด ยังสามารถสร้างเครื่องประดับแสนงาม อย่างไข่มุกได้อีกด้วย แต่อาจไม่สวยเท่าไข่มุกที่ได้จากหอยมุกเท่าใดนัก

สถาบันหัวใจและปอดแห่งชาติของแคนาดา ระบุว่า หอยนางรมอุดมไปด้วยคุณค่าทางอาหาร คือเป็นแหล่งของวิตามินเอ บีหนึ่ง(ไทอามิน) บีสอง(ไรโบฟลาวิน) บีสาม(ไนอาซิน) ซี(กรมแอสคอร์บิค) และดี (แคลซิฟีรอล) การบริโภคหอยนางรมตัวที่มีขนาดกลาง 4-5 ตัว ช่วยให้ร่างกายได้รับแร่ธาตุประเภท เหล็ก ทองแดง ไอโอดีน แมกนีเซียม แคลเซียม สังกะสี แมงกานีส และฟอสฟอรัส อย่างไรก็ตาม อาหารดิบ อาจมีแบคทีเรีย ผู้ที่ป่วยด้วยโรคตับ มะเร็ง โรคระบบภูมิคุ้มกัน ควรหลีกเลี่ยงการรับประทานหอยนางรมสด

**ลักษณะของหอยนางรม**

หอยนางรมเป็นหอยทะเลกาบสอง 2 ฝา มีกาบหนาแข็ง ซึ่งฝาทั้งสองมีขนาดไม่เท่ากัน บางชนิดมีสีน้ำตาล หรือสีเทา กาบบนจะใหญ่และแบนกว่ากาบล่าง ส่วนกาบล่างที่มีลักษณะโค้งเว้านี้ จะเป็นส่วนที่มีตัวหอยติดอยู่ ด้านที่มีเนื้อฝังอยู่จะเว้าลึกลงไปคล้ายรูปถ้วย หรือจาน และยึดติดกับวัตถุแข็ง เช่น ก้อนหิน ไม้หลัก หรือเปลือกหอยที่จมอยู่ในทะเล ส่วนฝาปิดอีกด้านหนึ่งแบนบาง ขนาดความยาวประมาณ 5 เซนติเมตร เปลือกหอยนางรมประกอบด้วยหินปูนร้อยละ 95

หอยนางรมแบ่งเป็น ๒ พวก คือ พันธุ์เล็ก เรียกว่า "หอยเจาะ" หรือ "หอยปากจีบ" พันธุ์ใหญ่เรียกว่า "หอยตะโกรม" รสชาติของหอยนางรมขึ้นอยู่กับแหล่งอาศัย หรือแหล่งเพาะเลี้ยงมากกว่าสายพันธุ์

ตารางที่ 1 แสดงความแตกต่างของปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนต และ พื้นที่จำเพาะ ของเปลือกหอยลายบด เปลือกหอยแมลงภู่บด เปลือกหอยนางรมบด และ เปลือกหอยแครงบดดังตาราง12.2-1

| ชนิดของเปลือกหอย | ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) | ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะ |
|---|---|---|
| เปลือกหอยลายบด | ร้อยละ 96.80 | 8,279 $cm^2/g$ |
| เปลือกหอยแมลงภู่บด | ร้อยละ 95,60 | 6,186 $cm^2/g$ |
| เปลือกหอยนางรมบด | ร้อยละ 96.87 | 14,280 $cm^2/g$ |
| เปลือกหอยแครงบด | ร้อยละ 97.13 | 8,299 $cm^2/g$ |

**ที่มา :** ชโลทร ศิริภัทรประวัติ, 2552

**12.3 การดูดซับ**

**กระบวนการดูดซับ (Adsorption Process)**

กระบวนการดูดซับเป็นวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้กันมากในด้านการบำบัดน้ำเสีย เนื่องจากสามารถกำจัดสารปนเปื้อนขนาดเล็กจนถึงขนาดโมเลกุล ซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยวิธีการตกตะกอนหรือการกรองแบบธรรมดา โดยอาศัยความสามารถเฉพาะตัวของสารในการดึงดูดโมเลกุลของสารปนเปื้อนให้มาเกาะที่ผิวของสารดูดซับโดยเรียกปรากฏการณ์ที่สารปนเปื้อนมาเกาะที่ผิวว่า กระบวนการดูดซับ (absorption) ตัวที่ทำหน้าที่ดูดซับ เรียกว่า ตัวดูดซับ (absorbent) ส่วนโมเลกุลที่มาเกาะติดที่ผิวตัวดูดซับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (absorbate) ปรากฏการณ์การดูดซับนี้เกิดขึ้นระหว่าง 2 พื้นผิว (surface) โดยที่ตัวถูกดูดซับจะไปเกาะที่ผิวของตัวดูดซับ ซึ่งได้แก่พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของเหลว พื้นผิวระหว่างของแข็งกับก๊าซ พื้นผิวระหว่างของแข็งกับของแข็งและพื้นผิวระหว่างของเหลวกับของเหลว

**กลไกของกระบวนการดูดติดผิว**

การดูดติดผิว (Adsorption) เป็นกระบวนการกักพวกสารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กซึ่งละลายอยู่ในน้ำให้อยู่บนผิวของสารอีกชนิดหนึ่ง โดยที่สารละลายหรือสารแขวนลอยขนาดเล็กนี้เรียกว่า Adsorbate ส่วนของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของสารที่ถูกดูดติดเรียกว่า

Adsorbent การดูดติดผิวนี้จะเป็นการดูดติดแบบระหว่างสถานะ (Phase) ต่างๆทั้งสามสถานะ คือ ของเหลว (Liquid) ก๊าซ (Gas) และ ของแข็ง (Solid) ซึ่งมีได้ทั้งแบบ ของเหลว- ของเหลว ก๊าซ- ของเหลว ก๊าซ-ของแข็ง และ ของเหลว-ของแข็ง โดยในที่นี้จะพิจารณาถึงเฉพาะแบบ ของเหลว-ของแข็ง (Liqid –Solid Interface) ในการดูดติดผิวโมเลกุลของสารละลายหรือสารแขวนลอยก็จะถูกกำจัดออกจากน้ำและไปเกาะติดอยู่บนตัวดูดซับ โมเลกุลของสารส่วนใหญ่จะเกาะจับอยู่กับผิวภายในโพรงของตัวดูดซับและมีเพียงส่วนน้อยเท่านั้นที่เกาะอยู่ที่ผิวภายนอก การถ่ายเทโมเลกุลจากน้ำไปหาตัวดูดซับเกิดขึ้นได้จนถึงสมดุลจึงหยุด ณ จุดสมดุล ความเข้มข้นของโมเลกุลในน้ำจะเหลือน้อยเพราะโมเลกุลส่วนใหญ่เคลื่อนที่ไปเกาะจับอยู่กับตัวดูดซับโดยในการเกาะติดจะมี Driving Force อยู่ 2 แบบ คือ การดูดซับทางกายภาพ และกาดูดซับทางเคมี

**ประเภทของการดูดซับ**

ปัจจัยสำคัญในการบอกชนิดของกระบวนการดูดซับจะพิจารณาจากแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับ ถ้าแรงยึดเหนี่ยวเป็นแรงแวนเดอร์วาลส์ (Van der Waals Forces) จะเป็นการดูดซับทางกายภาพ (physical adsorption) แต่ถ้าแรงยึดเหนี่ยวทำให้เกิดพันธะเคมีระหว่างโมเลกุลที่ถูกดูดซับกับผิวของสารดูดซับจะเรียกว่า การดูดซับทางเคมี (chemical adsorption)

1) การดูดซับทางกายภาพ

เป็นการดูดซับที่เกิดจากแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลอย่างอ่อน คือ แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals Forces) ซึ่งเกิดจากการรวมแรง 2 ชนิด คือ แรงกระจาย (London dispersion force) และแรงไฟฟ้าสถิตย์(electrostatic force) การดึงดูดด้วยแรงที่อ่อนทำให้การดูดซับประเภทนี้มีพลังงานการคายความร้อนค่อนข้างน้อย คือ ต่ำกว่า 20 กิโลจูลต่อโมลและสามารถเกิดการผันกลับของกระบวนการได้ง่าย ซึ่งเป็นข้อดี เพราะสามารถฟื้นฟูสภาพของตัวดูดซับได้ง่ายด้วย สารที่ถูกดูดซับสามารถเกาะอยู่รอบ ๆ ผิวของสารดูดซับได้หลายชั้น(multilayer) หรือในแต่ละชั้นของโมเลกุลสารถูกดูดซับจะติดอยู่กับชั้นของโมเลกุลของสารถูกดูดซับในชั้นก่อนหน้านี้ โดยจำนวนชั้นจะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของสารถูกดูดซับ และจะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นที่สูงขึ้นของตัวถูกละลายในสารละลาย

2) การดูดซับทางเคมี

การดูดซับประเภทนี้เกิดขึ้นเมื่อตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีของตัวถูกดูดซับเดิม คือมีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอมหรือกลุ่มอะตอมเดิมแล้วมีการจัดเรียงอะตอมไปเป็นสารประกอบใหม่ขึ้น โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูงประมาณ 50-400 กิโลจูลต่อโมล หมายความว่าการกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยาก คือไม่สามารถเกิดปฏิกิริยาผันกลับได้(irreversible) และการดูดซับประเภทนี้จะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (monolayer) เท่านั้น ซึ่งการดูดซับทางกายภาพและทางเคมีมีข้อแตกต่างกันหลายอย่าง

**13.วิธีการดำเนินการวิจัย**

**13.1 วิธีดำเนินการ**

**ตอนที่ 1 การเตรียมตัวดูดซับ**

13.1.1 นำเปลือกหอยนางรม มาล้างทำความสะอาด นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

13.1.2 นำมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตร

13.1.3 นำเปลือกหอยจากข้อ 1 ไปปรับปรุงสภาพโดยการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตร

**ตอนที่ 2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์**

13.2.1 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของแคดเมียมความเข้มข้น 1000 mg/l ชั่งแคดเมียม (ll) ไนเตรตเตตระไฮเดรต ($cd(No_3)$) 2 ($4H_2O$) จำนวน 2.7441 กรัม ใส่ลงในขวดวัดปริมาตร ขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตรเป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน (deionized water ,DI) จะได้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของแคดเมียม 1000 mg/l เก็บตัวอย่างสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

13.2.2 ทำการปรับค่าพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์ให้ได้เท่ากับ 7, 8, 9 และ10 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 0.01 N และสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.01 N เก็บตัวอย่างสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น

ตอนที่ 3 การศึกษาการดูดซับโลหะหนัก

13.3.1 ชั่งเปลือกหอยที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส เตรียมไว้ 5 ระดับ ปริมาณ 0.25, 0.15, 0.10, 0.05 และ 0.025 กรัม

13.3.2 เตรียมขวดรูปชมพู่ขนาด 125 มิลลิลิตร จำนวน 5 ใบ นำน้ำเสียสังเคราะห์ pH 7 ที่เตรียมไว้เติมลงในขวดรูปชมพู่ ปริมาตร 50 มิลลิลิตร

13.3.3 เติมเปลือกหอยที่เตรียมไว้ ใส่ในขวดรูปชมพู่ที่มีน้ำเสียสังเคราะห์ จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่า 125 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 นาที ที่อุณหภูมิห้อง

13.3.4 นำสารละลายกรองผ่านกระดาษกรองเบอร์ 42

13.3.5 นำสารละลายส่วนที่ใสมาทำการวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมที่เหลือ

13.3.6 เปลี่ยนเปลือกหอยที่ทำการปรับสภาพแล้วมาทดลองซ้ำตามข้อ 1-5

13.3.7 เปลี่ยนน้ำเสียสังเคราะห์เป็นค่า pH 8 9 และ 10 ทำการทดลองซ้ำตามข้อ 1-6 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม โดยศึกษา ค่าพีเอช ที่ 7, 8, 9 และ 10 โดยใช้น้ำเสียสังเคราะห์แคดเมียมอย่างละ 50 มิลลิลิตร นำเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผา เตรียมไว้ ระดับ ปริมาณ 0.25, 0.15, 0.10, 0.05 และ 0.025 กรัม ใส่ลงในขวดรูปชมพู่ขนาด 100 มิลลิลิตร

**13.2 วัสดุและอุปกรณ์**

13.2.1. อุปกรณ์สำหรับเตรียมตัวดูดซับ

-ตู้อบความร้อน

-เตาเผา

-ตะแกรงขนาด 106 ไมครอน

-ครกบดขนาดเล็ก

13.2.2. อุปกรณ์สำหรับใช้ในห้องปฏิบัติการ

-เครื่องวัด pH (pH meter)

-เครื่องชั่ง 4 ตำแหน่ง

-อุปกรณ์พลาสติกและเครื่องแก้วต่างๆ

-เครื่องเขย่า

13.2.3.เครื่องมือในการวิเคราะห์

-วิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมและปริมาณ $CaCO_3$ด้วย เครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

**การดำเนินงาน ดังนี้**

ตอนที่ 1 การเตรียมตัวดูดซับ

นำเปลือกหอยนางรม มาล้างทำความสะอาด นำไปอบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง

นำเปลือกหอยส่วนหนึ่งไปปรับปรุงสภาพ โดยการเผาที่อุณหภูมิ 950 องศาเซลเซียส นาน 5 ชั่วโมง ทิ้งไว้ให้เย็น แล้วนำมาบด แล้วร่อนผ่านตะแกรง 106 ไมโครเมตร

นำมาบดแล้วร่อนผ่านตะแกรง106 ไมโครเมตร

ตอนที่ 2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์

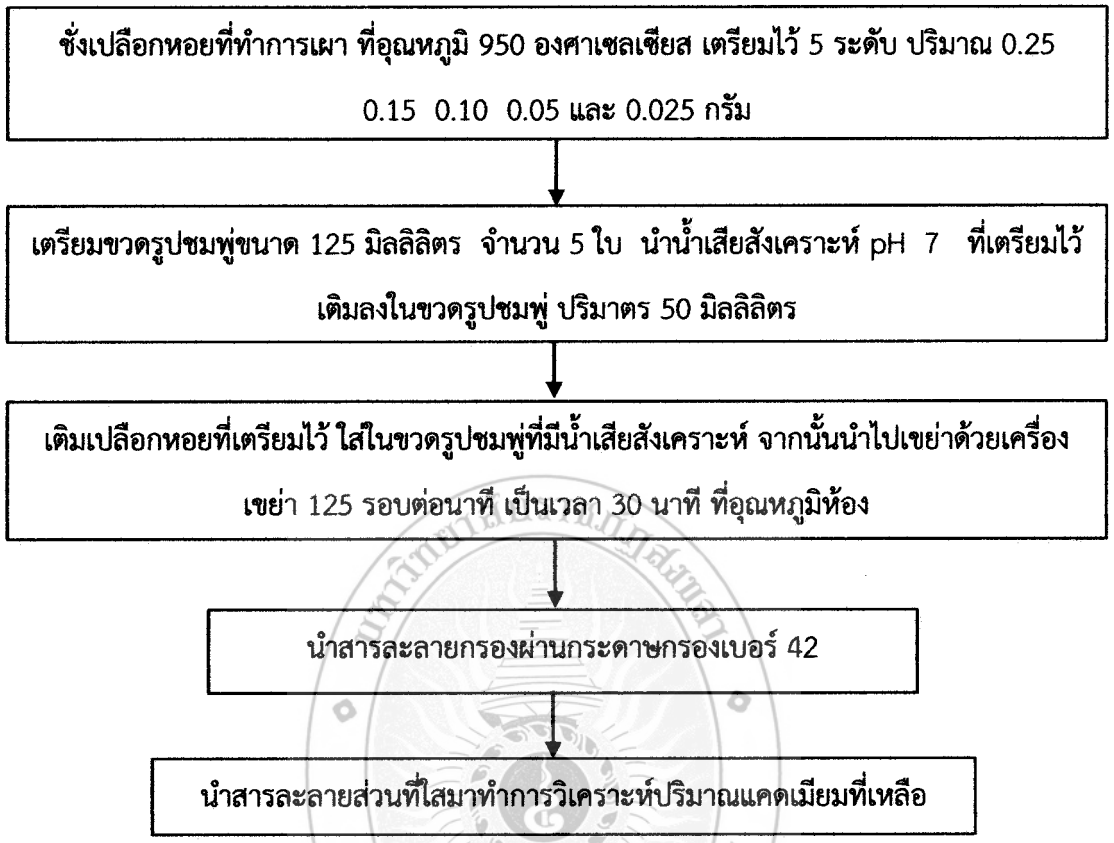
การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ของแคดเมียมความเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร ชั่งแคดเมียม(II)ไนเตรต เตตระไฮเดรต ($Cd(NO_3)$) 2 ($4H_2O$) จำนวน 2.7441 กรัม

ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 1 ลิตร ปรับปริมาตร 1 ลิตร ด้วยน้ำปราศจากไอออน

เก็บตัวอย่างสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS)

ทำการปรับค่า pH ของน้ำเสียสังเคราะห์ให้ได้เท่ากับ 7 8 9 และ 10 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้น 0.01 นอร์มอล และสารละลายกรดซัลฟิวริก ความเข้มข้น 0.01 N เก็บตัวอย่างสารละลายไปวิเคราะห์ปริมาณแคดเมียมเริ่มต้น

ตอนที่ 3 การศึกษาการดูดซับโลหะหนัก




มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

## 14.แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ

เริ่มต้นการดำเนินงานตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ.2557 ถึง เดือนตุลาคม พ.ศ.2558

ตารางการดำเนินงาน

| ขั้นตอนการดำเนินงาน | 2557 | | | | | 2558 | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| รวบรวมข้อมูลและตารางเอกสาร | — | — | — | — | — | | | | | | | | | | |
| สอบโครงร่างวิจัย | | | | | ▲ | | | | | | | | | | |
| ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ | | | | | — | — | — | | | | | | | | |
| ทำการทดลองภาคสนาม | | | | | | | | — | — | — | | | | | |
| สอบรายงานความก้าวหน้าวิจัย | | | | | | | | | ▲ | | | | | | |
| วิเคราะห์ผลและสรุปผล | | | | | | | | | | | — | — | | | |
| การเขียนเล่มวิจัย | | | | | | | | | | | | — | — | — | — |
| สอบและแก้ไขเล่มวิจัย | | | | | | | | | | | | | | | ▲ |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก ข

# ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพ

## การคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับ

การแสดงการคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างๆของเปลือกหอยนางรมแบบเผาและไม่เผา ดังนี้

จากสูตร

$$\text{ประสิทธิภาพ} = \frac{(C_i - C_f) \times 100}{C_i}$$

*หมายเหตุ $C_i$ = ความเข้มข้นก่อนการทดลอง

$C_f$ = ความเข้มข้นหลังการทดลอง

ตัวอย่างการคำนวณประสิทธิภาพ

การศึกษาประสิทธิภาพของเปลือกหอยนางรมในการกำจัดแคดเมียมที่ pH 7

$$\text{ประสิทธภาพการดูดซับ} = \frac{(9.089 - 0.487) \times 100}{9.089}$$

$$= 94.64\ \%$$

จากค่าคำนวณประสิทธิภาพการดูดซับแคดเมียมในน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกหอยนางรมข้างต้นพบว่าที่ pH ต่ำสุดจะมีประสิทธิภาพในการดูดซับแคดเมียมได้น้อยกว่าที่ pH สูงสุด ซึ่งในการคำนวณค่าประสิทธิภาพการดูดซับของเปลือกหอยนางรมที่ปริมาณต่างๆ ใช้วิธีการคำนวณเช่นเดียวกัน

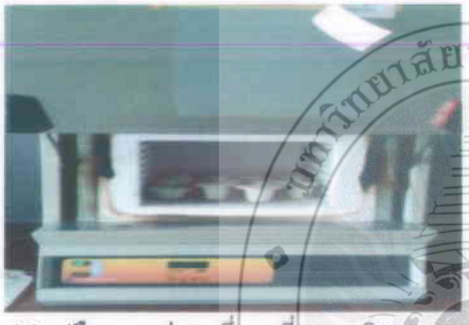
# ภาคผนวก ค

## ภาพประกอบการวิจัย

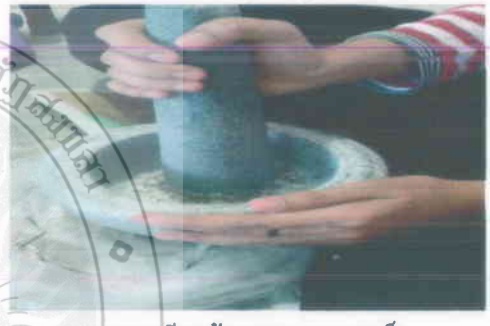
# ภาพประกอบการวิจัย

(ก) เปลือกหอยนางรม

(ข) อบไล่ความชื้นที่อุณหภูมิ 105 °C



(ค) เปลือกหอยส่วนหนึ่งเผาที่อุณหภูมิ 950 °C



(ง) บดละเอียดด้วยครกบดขนาดเล็ก

(จ) ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 106 ไมโครเมตร

(ฉ) เปลือกหอยนางรมเผาและไม่เผา

**รูปที่** ผค-1 การเตรียมตัวดูดซับ

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาพประกอบการวิจัย

(ก) ชั่งวัสดุดูดซับ

(ข) วัดความเป็นกรด-ด่าง (pH)

(ค) เขย่าเพื่อให้สารละลายผสมเข้ากัน

(ง) กรองเพื่อกำจัดสิ่งปนเปื้อน

(จ) วิเคราะห์แคดเมียมที่เหลือ

**รูปที่** ผค-2 การศึกษา pH และปริมาณที่เหมาะสมต่อการดูดซับแคดเมียม

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก ง

# การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างกันด้วยเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผา

**Descriptive**

| pH | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| 7 | 2 | 0.4870 | 0.0396 | 0.0280 | 0.1312 | 0.8428 | 0.459 | 0.515 |
| 8 | 2 | 0.3870 | 0.0990 | 0.0700 | -0.5024 | 1.2764 | 0.317 | 0.457 |
| 9 | 2 | 0.3245 | 0.0304 | 0.0215 | 0.0513 | 0.5977 | 0.303 | 0.346 |
| 10 | 2 | 0.1375 | 0.0007 | 0.0005 | 0.1311 | 0.1439 | 0.137 | 0.138 |
| Total | 8 | 0.3340 | 0.1425 | 0.0504 | 0.2149 | 0.4531 | 0.137 | 0.515 |

**ANOVA**

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 0.130 | 3 | 0.043 | 14.083 | 0.014 |
| Within Groups | 0.012 | 4 | 0.003 | | |
| Total | 0.142 | 7 | | | |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่ pH ต่างกันด้วยเปลือกหอยนางรมแบบเผา

**Descriptive**

| pH | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| 7 | 2 | 0.1120 | 0.0014 | 0.0010 | 0.0993 | 0.1247 | 0.111 | 0.113 |
| 8 | 2 | 0.1130 | 0.0000 | 0.0000 | 0.1130 | 0.1130 | 0.113 | 0.113 |
| 9 | 2 | 0.1405 | 0.0021 | 0.0015 | 0.1214 | 0.1596 | 0.139 | 0.142 |
| 10 | 2 | 0.1300 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.0000 | 0.130 | 0.130 |
| Total | 8 | 0.1230 | 0.0136 | 0.0051 | 0.1104 | 0.1356 | 0.111 | 0.142 |

**ANOVA**

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 0.001 | 3 | 0.000 | 169.7690 | 0.001 |
| Within Groups | 0.000 | 3 | 0.000 | | |
| Total | 0.001 | 6 | | | |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบไม่เผาแตกต่างกัน

**Descriptive**

| ปริมาณ (ร้อยละ) | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| 0.05 | 2 | 0.1600 | 0.0085 | 0.0060 | 0.0838 | 0.2362 | 0.154 | 0.166 |
| 0.10 | 2 | 0.1665 | 0.0035 | 0.0025 | 0.1347 | 0.1983 | 0.164 | 0.169 |
| 0.20 | 2 | 0.1400 | 0.0155 | 0.0110 | 0.0002 | 0.2798 | 0.129 | 0.151 |
| 0.30 | 2 | 0.1810 | 0.0042 | 0.0030 | 0.1429 | 0.2191 | 0.178 | 0.184 |
| 0.50 | 2 | 0.1390 | 0.0014 | 0.0010 | 0.1263 | 0.1517 | 0.138 | 0.140 |
| Total | 10 | 0.1573 | 0.0180 | 0.0057 | 0.1444 | 0.1702 | 0.129 | 0.184 |

**ANOVA**

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 0.003 | 4 | 0.001 | 9.291 | 0.016 |
| Within Groups | 0.000 | 5 | 0.000 | | |
| Total | 0.003 | 9 | | | |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณเปลือกหอยนางรมแบบเผาแตกต่างกัน

**Descriptive**

| ปริมาณ (ร้อยละ) | N | Mean | Std. Deviation | Std. Error | 95% Confidence Interval for Mean | | Minimum | Maximum |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | | Lower Bound | Upper Bound | | |
| 0.05 | 2 | 0.0610 | 0.0042 | 0.0030 | 0.0229 | 0.0991 | 0.058 | 0.064 |
| 0.10 | 2 | 0.0785 | 0.0007 | 0.0005 | 0.0721 | 0.0848 | 0.078 | 0.079 |
| 0.20 | 2 | 0.0975 | 0.0078 | 0.0055 | 0.0276 | 0.1674 | 0.092 | 0.103 |
| 0.30 | 2 | 0.0955 | 0.0035 | 0.0025 | 0.0637 | 0.1273 | 0.093 | 0.098 |
| 0.50 | 2 | 0.0915 | 0.0007 | 0.0005 | 0.0851 | 0.0978 | 0.091 | 0.092 |
| Total | 10 | 0.0848 | 0.0147 | 0.0046 | 0.0743 | 0.0953 | 0.058 | 0.103 |

**ANOVA**

| | Sum of Squares | df | Mean Square | F | sig |
|---|---|---|---|---|---|
| Between Groups | 0.002 | 4 | 0.000 | 25.185 | 0.002 |
| Within Groups | 0.000 | 5 | 0.000 | | |
| Total | 0.002 | 9 | | | |

SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกหอยนางรม ในช่วง pH ที่แตกต่างกัน

Paired Samples Statistics

| | | Mean | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| Pair | Burned | 0.1239 | 8 | 0.0128 | 0.0045 |
| | Un-burned | 0.3340 | 8 | 0.1425 | 0.0504 |

Paired Samples Test

| | Paired Differences | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 95% Confidence Interval of the Differences | | | | |
| | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | Lower | Upper | t | df | Sig. (2-tailed) |
| Pair Burned - Un-burned | -0.2101 | 0.1503 | 0.0532 | -0.3358 | -0.0844 | -3.952 | 7 | 0.006 |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดแคดเมียมจากน้ำเสียสังเคราะห์ของเปลือกหอยนางรม ในช่วงปริมาณที่แตกต่างกัน

Paired Samples Statistics

| | | Mean | N | Std. Deviation | Std. Error Mean |
|---|---|---|---|---|---|
| Pair | Burned | 0.0848 | 10 | 0.0147 | 0.0046 |
| | Un-burned | 0.1573 | 10 | 0.0180 | 0.0057 |

Paired Samples Test

| | Paired Differences | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 95% Confidence Interval of the Differences | | | | |
| | Mean | Std. Deviation | Std. Error Mean | Lower | Upper | t | df | Sig. (2-tailed) |
| Pair Burned - Un-burned | -0.0725 | 0.0248 | 0.0078 | -0.0902 | -0.0548 | -9.259 | 9 | 0.000 |

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY

# ภาคผนวก จ

# ประวัติผู้ทำวิจัย

# ประวัติผู้วิจัย

1. **ชื่อ-สกุล** นางสาวนูร์อัลญา เลาะเมาะ
   **วัน เดือน ปีเกิด** 11 พฤศจิกายน 2536
   **ที่อยู่** 11 หมู่ที่ 2 ตำบลจอเบาะ อำเภอยี่งอ จังหวัดนราธิวาส 96180
   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
   โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
   มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

2. **ชื่อ-สกุล** นางสาวมารีแย สือรี
   **วัน เดือน ปีเกิด** 16 มีนาคม 2537
   **ที่อยู่** 107 หมู่ที่ 4 ตำบลดุซงญอ อำเภอจะแนะ จังหวัดนราธิวาส 96220
   คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
   โปรแกรมวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
   มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา SONGKHLA RAJABHAT UNIVERSITY