

## การคุดชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

เที่ยงชัย บัวลอย

การค้นคว้าอิสระนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิគกรรมศาสตรมหาบัณฑิต<sup>๑</sup>  
สาขาวิชาวิគกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิគกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี<sup>๒</sup>

พ.ศ. 2553

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**ADSORPTION OF LEAD IN SYNTHETIC WASTEWATER USING COW DUNG  
ACTIVATED CARBON**

**THEAMCHAI BUALOI**

**AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PERTIAL FULFILLMENT OF  
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING  
MAJOR IN ENVIRONMENTAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY  
YEAR 2010  
COPYRIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY**



ในรับรองการค้นคว้าอิสระ<sup>๑</sup>  
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การคดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้กัมมันต์มูลโโค

ผู้จัด นายเทียนชัย บัวลอก

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

*M.Y. Bh.* ..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สนองรายภร)

*สมกพ* ..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมกพ สนองรายภร)

*กัลยกร ขวัญมา* ..... กรรมการ

(ดร.กัลยกร ขวัญมา)

*สองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โภคาน* ..... คณบดี

(สองศาสตราจารย์ ดร.สถาพร โภคาน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

*นาย เตชะ*

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2553

## กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าอิสระนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความช่วยเหลือและข้อเสนอแนะต่างๆ ในการศึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอดระยะเวลาที่ทำการศึกษา ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สนองรายภร์ อาจารย์ที่ปรึกษา และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมพพ สนองรายภร์

ขอขอบพระคุณ ดร.กัลยกร ขวัญมา กรรมการสอบการค้นคว้าอิสระ อาจารย์ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ข้อเสนอแนะและคำอธิบายในเนื้อหาเพื่อการปรับปรุงแก้ไขในเนื้อหาให้ดีขึ้น

ขอขอบคุณ คุณกาญจนा พานเก้าว คุณสุรชัย วงศารี และคุณเอกสารรัช ศรีอ่อน ที่ให้คำแนะนำการใช้เครื่องมือ และการปฏิบัติต่างๆ ในห้องปฏิบัติการ จนทำให้การศึกษารั้งนี้สำเร็จได้

ขอขอบคุณ คุณจิราธร แสนทวีสุข ที่ให้ความช่วยเหลือให้คำแนะนำเกี่ยวกับเอกสารต่างๆ และช่วยติดต่อสื่อสารระหว่างผู้ทำการศึกษาและอาจารย์ที่ปรึกษา จนทำให้การศึกษารั้งนี้สามารถดำเนินการมาได้อย่างสะดวกง่ายดาย

ขอขอบคุณ พี่ปีบะมิตร สมบูรณ์ และพี่สุริยะ บุญศักดิ์ บัณฑิตศึกษาร่วมรุ่นที่ให้คำแนะนำในการศึกษาแต่ละกระบวนการวิจัยและเนื้อหาบางส่วนซึ่งทำให้มีความสมบูรณ์มากขึ้น

เที่ยงชัด บี๊ด  
(นายเทียนชัย บัวลอย)

ผู้วิจัย

## บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโโค

โดย : เทียนชัย บัวลอย

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สนองรายภรร্ত

ศัพท์สำคัญ : การคุณชับ ถ่านกัมมันต์มูลโโค ตะกั่ว ไอโซเทอร์มการคุณชับ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโโค ในการศึกษานี้จะทำการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์มูลโโคโดยทำการคาร์บอนайซ์ (Carbonization) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกระตุ้น (Activation) ด้วยซิงค์คลอไรต์ ( $ZnCl_2$ ) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์มูลโโคที่ได้มาคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการคุณชับ พบว่าการคุณชับเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 120 นาที จากนั้นนำมาศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชับ จากการศึกษาไอโซเทอร์มพบว่า การคุณชับของแลงเมียร์ให้ค่าการคุณชับสูงสุด ( $q_m$ ) เท่ากับ 4.314 มิลลิกรัมต่องرام และไอโซเทอร์มการคุณชับของฟรุนเดลิชสามารถอธิบายการคุณชับได้กว่าของแลงเมียร์ ( $R^2 = 0.9895$ ,  $R^2 = 0.9583$ ) และจากการศึกษาประสิทธิภาพการคุณชับ พบว่าถ่านกัมมันต์มูลโโค 0.10 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 82.03 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชับ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นและพีเอช พบว่าที่เวลาในการคุณชับ 60 นาที เปอร์เซ็นต์การคุณชับมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การคุณชับจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวคุณชับ และพีเอชที่เหมาะสมในการคุณชับคือ 4, 5 และ 6 และจากการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 75-100 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ ยกเว้นที่พีเอช 2 และ 3 นี่เปอร์เซ็นต์การกำจัดต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามความมีการศึกษาเพิ่มเติมกับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

## ABSTRACT

TITLE : ADSORPTION OF LEAD IN SYNTHETIC WASTEWATER USING COW DUNG ACTIVATED CARBON

BY : THEAMCHAI BUALOI

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. WIPADA SANONGRAJ, Ph.D.

KEYWORDS : ADSORPTION / COW DUNG ACTIVATED CARBON / LEAD / ISOTHERM ADSORPTION

The objective of this research was to study adsorption of lead in synthetic wastewater using cow dung activated carbon. The cow dung was carbonized at 600 °C for 1 hour and activated with ZnCl<sub>2</sub> at 700 °C for 1 hour. The cow dung activated carbon was then applied for lead adsorption in synthetic wastewater to investigate the contact time. It was found that the contact time was in equilibrium at 120 minutes. After that the isotherm adsorptions were studied. The isotherm adsorption was observed that q<sub>m</sub> received Langmuir adsorption model was about 4.314 mg/g. The adsorption of lead could be better explained by Freundlich equation as compared to Langmuir equation ( $R^2 = 0.9895$ ,  $R^2 = 0.9583$  respectively). Then the removal efficiencies were studied. The removal efficiencies of lead were about 82.03%. This studies investigated the adsorption factors; initial concentration and pH. It was found that treatment efficiencies tended to decrease when increasing the initial concentration. On the other hand treatment efficiencies had tendency to increase with the adsorbent dosage. The treatment efficiencies were in the range of 75-100% except for those at the pH of 2 and 3 having the treatment efficiencies lower than 50%. The studies found the pH optimums were 4, 5 and 6. However, further studies with industrial wastewater should be included.

## บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโโค

โดย : เทียนชัย บัวลอย

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิภาดา สนองรายภรร্ত

ศัพท์สำคัญ : การคุณชับ ถ่านกัมมันต์มูลโโค ตะกั่ว ไอโซเทอร์มการคุณชับ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโโค ในการศึกษานี้จะทำการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์มูลโโคโดยทำการคาร์บอนайซ์ (Carbonization) ที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง และกระตุ้น (Activation) ด้วยซิงค์คลอไรต์ ( $ZnCl_2$ ) ที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นนำถ่านกัมมันต์มูลโโคที่ได้มาคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์เพื่อศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการคุณชับ พบว่าการคุณชับเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 120 นาที จากนั้นนำมาศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชับ จากการศึกษาไอโซเทอร์มพบว่า การคุณชับของแลงเมียร์ให้ค่าการคุณชับสูงสุด ( $q_m$ ) เท่ากับ 4.314 มิลลิกรัมต่องرام และไอโซเทอร์มการคุณชับของฟรุนเดลิชสามารถอธิบายการคุณชับได้กว่าของแลงเมียร์ ( $R^2 = 0.9895$ ,  $R^2 = 0.9583$ ) และจากการศึกษาประสิทธิภาพการคุณชับ พบว่าถ่านกัมมันต์มูลโโค 0.10 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 82.03 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนั้นศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชับ ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นและพีเอช พบว่าที่เวลาในการคุณชับ 60 นาที เปอร์เซ็นต์การคุณชับมีแนวโน้มลดลงเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ในขณะที่เปอร์เซ็นต์การคุณชับจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณตัวคุณชับ และพีเอชที่เหมาะสมในการคุณชับคือ 4, 5 และ 6 และจากการศึกษาพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดมีค่าอยู่ในช่วง 75-100 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ ยกเว้นที่พีเอช 2 และ 3 นี่เปอร์เซ็นต์การกำจัดต่ำกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามควรมีการศึกษาเพิ่มเติมกับน้ำเสียจริงจากโรงงานอุตสาหกรรมต่อไป

## ABSTRACT

TITLE : ADSORPTION OF LEAD IN SYNTHETIC WASTEWATER USING COW DUNG ACTIVATED CARBON

BY : THEAMCHAI BUALOI

DEGREE : MASTER OF ENGINEERING

MAJOR : ENVIRONMENTAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. WIPADA SANONGRAJ, Ph.D.

KEYWORDS : ADSORPTION / COW DUNG ACTIVATED CARBON / LEAD / ISOTHERM ADSORPTION

The objective of this research was to study adsorption of lead in synthetic wastewater using cow dung activated carbon. The cow dung was carbonized at 600 °C for 1 hour and activated with ZnCl<sub>2</sub> at 700 °C for 1 hour. The cow dung activated carbon was then applied for lead adsorption in synthetic wastewater to investigate the contact time. It was found that the contact time was in equilibrium at 120 minutes. After that the isotherm adsorptions were studied. The isotherm adsorption was observed that q<sub>m</sub> received Langmuir adsorption model was about 4.314 mg/g. The adsorption of lead could be better explained by Freundlich equation as compared to Langmuir equation ( $R^2 = 0.9895$ ,  $R^2 = 0.9583$  respectively). Then the removal efficiencies were studied. The removal efficiencies of lead were about 82.03%. This studies investigated the adsorption factors; initial concentration and pH. It was found that treatment efficiencies tended to decrease when increasing the initial concentration. On the other hand treatment efficiencies had tendency to increase with the adsorbent dosage. The treatment efficiencies were in the range of 75-100% except for those at the pH of 2 and 3 having the treatment efficiencies lower than 50%. The studies found the pH optimums were 4, 5 and 6. However, further studies with industrial wastewater should be included.

## สารบัญ

|   | หน้า |
|---|------|
| กิตติกรรมประกาศ   | ก    |
| บทคัดย่อภาษาไทย   | ข    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ  | ค    |
| สารบัญ  | ง    |
| สารบัญตาราง   | ฉ    |
| สารบัญภาพ   | ช    |
| บทที่   |      |
| <b>1 บทนำ</b>   |      |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัจจุหา   | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา   | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของการศึกษา   | 3    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ   | 4    |
| 1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย  | 4    |
| <b>2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>  |      |
| 2.1 น้ำเสีย (Wastewater)  | 5    |
| 2.2 อู่พ่นสีรถ (Automotive painting shop)   | 6    |
| 2.3 โลหะหนัก (Heavy Metals)   | 10   |
| 2.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment processes)  | 15   |
| 2.5 การดูดซับ (Adsorption)  | 17   |
| 2.6 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)   | 21   |
| 2.7 ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)   | 25   |
| <b>3 วิธีดำเนินการวิจัย</b>   |      |
| 3.1 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอู่พ่นสีรถ  | 29   |
| 3.2 การศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว<br>ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค | 30   |
| 3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์<br>โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค         | 34   |

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

|   |    |
|---|----|
| <b>4 ผลการดำเนินการวิจัย</b>  |    |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสียจากอุ่นสีร้อน                              | 37 |
| 4.2 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโลก | 38 |
| 4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโลก         | 41 |
| <b>5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b>  |    |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย  | 45 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ  | 46 |
| <b>เอกสารอ้างอิง</b>  | 47 |
| <b>ภาคผนวก</b>  |    |
| ก การเตรียมสาร  | 53 |
| ข ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากอุ่นสีร้อนเบื้องต้น                                 | 58 |
| ค ข้อมูลคินจากการศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่ว                 | 60 |
| ง ข้อมูลคินการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโลก    | 64 |
| จ ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539                                  | 66 |
| <b>ประวัติผู้วิจัย</b>  | 72 |

## สารบัญตาราง

| ตารางที่   | หน้า |
|--|------|
| 4.1 ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอุ่นสีรถ   | 37   |
| 4.2 ค่าพารามิเตอร์และค่า $R^2$ ของสมการไอโซเทอร์มแบบແลงເມີຣ໌ແລະ ພຽນຄຸລິ່ງ                    | 40   |
| 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์ມູລໂຄ   | 42   |
| ๔.1 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสียจากอุ่นสีรถ   | 59   |
| ๔.1.1 ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่วกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่เวลาในการคุดชับต่างกัน       | 61   |
| ๔.1.2 ความสามารถคุดชับตะกั่วที่ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นต่างกัน                              | 61   |
| ๔.1.3 ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอร์มการคุดชับแบบແลงເມີຣ໌  | 62   |
| ๔.1.4 ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอร์มการคุดชับแบบພຽນຄຸລິ່ງ                                       | 62   |
| ๔.1.5 ประสิทธิภาพการคุดชับตะกั่วในสารละลายตะกั่วสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์ມູລໂຄ            | 63   |
| ๔.1.1.1 ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่วกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน | 64   |
| ๔.1.1.2 ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่วกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่พิเศษเริ่มต้นต่างกัน       | 65   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่   | หน้า |
|--|------|
| 2.1 กระบวนการพ่นสีรถ   | 8    |
| 2.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์   | 24   |
| 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.3) ของ Langmuir Isotherm                                | 27   |
| 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.5) ของ Freundlich Isotherm                              | 28   |
| 3.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างนำ้เสียจากอู่พ่นสีรถ   | 30   |
| 3.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์มูลโคด้วยวิธีการกระตุ้นด้วย $ZnCl_2$                                  | 31   |
| 3.3 การศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค                           | 32   |
| 3.4 การศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค                                   | 33   |
| 3.5 การศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค                                  | 34   |
| 3.6 การศึกษาผลของการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค  | 35   |
| 3.7 การศึกษาผลของการดูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค  | 36   |
| 4.1 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโคที่เวลาสัมผัสต่างกัน                         | 38   |
| 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถดูดซับตะกั่วกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ | 39   |
| 4.3 ไอโซเทอร์มการดูดซับตามสมการของแลงเมียร์ (Langmuir Isotherm)                                | 40   |
| 4.4 ไอโซเทอร์มการดูดซับตามสมการของฟรุนเดิล (Freundlich Isotherm)                               | 41   |
| 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโคที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน                | 43   |
| 4.6 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโคที่พิอิเซเริ่มต้นต่างกัน                     | 44   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

น้ำเป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความจำเป็นต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์และสิ่งมีชีวิตบนโลกน้ำในแหล่งน้ำตามธรรมชาติเป็นแหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตหลายชนิดและเป็นแหล่งอาหารของมนุษย์ที่สำคัญมนุษย์ยังใช้น้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาตินี้เพื่อการอุปโภคและบริโภค แต่ในปัจจุบันแหล่งน้ำต่าง ๆ หลายแห่งได้เกิดผลกระทบโดยตรงต่อสุขภาพมนุษย์และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำซึ่งเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญต่อระบบ生นิเวศ โลหะหนักเป็นสารปนเปื้อนชนิดหนึ่งที่ก่อให้เกิดผลกระทบในน้ำที่เรียกว่า "น้ำเสีย" น้ำเสียที่มีไอออนโลหะหนักปนเปื้อนมักพบในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานชุบโลหะ โรงงานฟอกซ้อม โรงงานผลิตแผ่นสังกะสี เป็นต้น โดยโลหะหนักที่ปนเปื้อน เช่น ตะกั่ว แคมเมี่ยน และโครเมี่ยน นั้นล้วนมีความเป็นพิษสูง ไม่สามารถย่อยสลายตามธรรมชาติ เมื่อสะสมในเซลล์ของมนุษย์จะทำให้เกิดโรคร้ายแรง (Wang et al., 2003) อุปกรณ์ที่เป็นอีกอุตสาหกรรมหนึ่งที่ก่อให้เกิดการสะสมของโลหะหนักในน้ำอันเนื่องมาจากการพ่นสี ซึ่งในเม็ดสีจะมีองค์ประกอบของโลหะหนัก เช่น ตะกั่ว แคมเมี่ยน และโครเมี่ยน เป็นต้น (ศูนย์กลางบริการภาครัฐ, 2551) เมื่อสีเหล่านี้ถูกชะล้างลงสู่แหล่งน้ำโดยไม่มีการบำบัดก็จะเกิดการสะสมของโลหะหนักในแหล่งน้ำได้

โลหะหนักเป็นสารอนินทรีย์ซึ่งส่วนใหญ่จะละลายอยู่ในน้ำเสียในรูปของไอออนและส่วนใหญ่จะเป็นสารพิษ (Toxic) ซึ่งจะมีผลต่อทั้งสิ่งมีชีวิตและสิ่งแวดล้อม (สันทัด ศิริอนันต์ ไพบูลย์, 2549) กล่าวคือเมื่อโลหะหนักถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ สิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในแหล่งน้ำนั้นจะได้รับโลหะหนักและสะสมไว้ในส่วนต่าง ๆ ซึ่งมนุษย์จะได้รับโลหะหนักผ่านทางหัวใจอาหาร โดยหากได้รับการสะสมในระดับที่เกินมาตรฐานอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพได้ เช่น สารประกอบโครเมี่ยนที่ละลายอยู่ในน้ำจะมีความเป็นพิษสูงมาก เมื่อเข้าสู่ร่างกายในปริมาณหนึ่งอาจก่อให้เกิดอาการคลื่นไส้ ห้องร่วง อาเจียน และอาจทำให้เสียชีวิตได้ถ้าได้รับในปริมาณสูง นอกจากนี้ยังสามารถสะสมแล้วก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้ (สุภากรณ์ เข็มประเสริฐ และคณะ, 2543) ตะกั่วที่พบในน้ำทะเลทั่วไปจะไม่เป็นอันตรายต่อปลาเท่ากับตะกั่วที่อยู่ในน้ำที่มีสภาพความเป็นกรดอ่อน ๆ ซึ่งจะทำให้ความเป็นพิษของตะกั่วเพิ่มขึ้น ซึ่งเมื่อเข้าสู่ร่างกายของสิ่งมีชีวิตในปริมาณที่

มากจะทำให้กระบวนการเมtabolism (Metabolism) พิคปกติเพราไปขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่จำเป็นต่อชีวิต (สัมพันธ์ พลันสังเกต, 2549)

ดังนั้นเพื่อเป็นการลดปัญหาที่เกิดขึ้นจึงได้มีการศึกษาวิธีในการนำบัคน้ำเสียก่อนที่จะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ การนำบัคโลหะหนักออกจากน้ำเสียด้วยวิธีทางเคมีภารภาพ เช่น การตกรตะกอนด้วยสารเคมี การแยกเปลี่ยนไออกอน การกรองผ่านเยื่อกรอง และกระบวนการรีเวอร์สอสโตร์โนซิส ยังประสบปัญหาในเรื่องวิธีการนำบัคที่ยุ่งยากหรือค่าใช้จ่ายสูงเมื่อความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำเสียต่ำกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร (Gulnaz et al., 2005) การกำจัดไออกอนโลหะหนักด้วยการคุดชับเป็นวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยม ซึ่งได้มีการนำเอาวัสดุคุดชับทางชีวภาพมาใช้ในการกำจัดโลหะหนัก เช่น สาหร่ายทะเล (Matheickal and Yu, 1999) ของเสียจากชีวนิวคล (Tobin and Roux, 1998) ภาคตะกอน (Solari et al., 1996) พังก์ใจ (Kratochvil and Volesky, 1998) และถ่านกัมมันต์ (Gulnaz et al., 2005) ปัจจุบันมีการนำถ่านกัมมันต์มาใช้เพื่อการคุดชับสารประกอบอนินทรีย์จากน้ำเสีย ซึ่งการนำเอาถ่านกัมมันต์มาใช้ในการคุดชับสารอนินทรีย์นั้นมีการศึกษามานานแล้วโดยให้ความสำคัญที่ต้นทุนในการผลิตถ่านกัมมันต์และประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะหนัก ดังนั้นที่ผ่านมาจึงมีการศึกษาการนำเอาวัสดุทางธรรมชาติตามผลิตเป็นถ่านกัมมันต์เพื่อใช้ในการคุดชับโลหะหนัก กันอย่างแพร่หลาย เช่น ชนิคติ แสงวิจิตร ได้ทำการศึกษาการสังเคราะห์ถ่านกัมมันต์จากมูลโลกเพื่อใช้ในการคุดชับสารละลายทองแดงในน้ำเสียสังเคราะห์ (ชนิคติ แสงวิจิตร, 2549) เป็นต้น ซึ่งมูลโลกเป็นของเสียทางการเกษตรที่มีอยู่มากและหาจ่ายในประเทศไทย และจากการคุดชับมีการรับรอง (C) 31.6% ในพฤษศาสตร์แห่ง 20 กรัม (Kumar and Shende, 2552) ในไตรเจน (N) ร้อยละ 0.87-1.17 พอสฟอรัส (P) ร้อยละ 0.33-0.64 โพแทสเซียม (K) ร้อยละ 0.53-0.87 ในน้ำหนักมูลโลกแห่ง 1 กิโลกรัม (จรัญ จันกลักษณ์ และพกาพรรณ สถาณมั่น, 2542) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งสามารถนำมาสังเคราะห์เพื่อให้เกิดเป็นถ่านกัมมันต์ได้ นอกจากนี้ยังเป็นการเพิ่มนูคลีนูลโคให้กับเกษตรกรอีกด้วย จึงเป็นที่มาของงานวิจัยนี้ในการศึกษาวิธีลดปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจากอุปกรณ์สีรอดและเพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในอนาคต

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 ศึกษาลักษณะสมบัติโลหะหนักในน้ำเสียจากอุปกรณ์สีรอด

1.2.2 ศึกษาประโยชน์และประสิทธิภาพการคุดชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโลก

1.2.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุดชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโลก

### 1.3 ขอบเขตของการศึกษา

1.3.1 น้ำเสียที่ใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของโลหะหนักเป็นน้ำเสียจากอุ่นสีร้อนได้แก่ อุ่นสีร้อนที่เพ้นท์ จำกัด อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

1.3.2 วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอุ่นสีร้อนโดยใช้เครื่อง Atomic absorption spectrophotometer (AAS) เพื่อหาโลหะหนักที่ปนเปื้อนอยู่ในปริมาณที่เกินค่ามาตรฐานตามประกาศของกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม และเลือกศึกษาโลหะหนักตัวนั้น

1.3.3 ศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชั้บตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

1.3.3.1 ศึกษาเวลาที่เข้าสู่สมดุล ได้แก่ 30, 60, 90, 120 และ 150 นาที

1.3.3.2 ศึกษาไอโซเทอร์มการคุณชั้บโดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.1 กรัม ความเข้มข้นเริ่มต้นสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ เริ่มต้นที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้น 4 และใช้เวลาในการคุณชั้บที่ศึกษาได้ในข้อ 1.3.3.1

1.3.3.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการคุณชั้บ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.1 กรัม สารละลายตะกั่วสังเคราะห์ความเข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร พีเอชเริ่มต้น 4 และใช้เวลาในการคุณชั้บที่ศึกษาได้ในข้อ 1.3.3.1

1.3.4 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชั้บตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

1.3.4.1 ศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของตะกั่ว โดยใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.1 กรัม ใช้เวลาในการคุณชั้บ 60 นาที และพีเอชเริ่มต้น 4

1.3.4.2 ศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้น ได้แก่ 2, 3, 4, 5 และ 6 ใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นที่ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.1 กรัม และใช้เวลาในการคุณชั้บ 60 นาที

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 สามารถวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอุปกรณ์สีรถได้
- 1.4.2 สามารถหาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลໂຄได้
- 1.4.3 สามารถอธิบายปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลໂຄได้

#### 1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

| รายการ   | เดือน | 2550 |      |      | 2551       |      | 2552 |       |  |
|--|-------|------|------|------|------------|------|------|-------|--|
|  |       | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค.- ม.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค. |  |
| 1. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง                        | ●     |      |      |      |            | →    |      |       |  |
| 2. วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนัก                           | ●     | →    |      |      |            |      |      |       |  |
| 3. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมและ<br>ประสิทธิภาพในการคุณชับ |       |      |      | ●    | →          |      |      |       |  |
| 4. ศึกษาไอโซเทอร์มการคุณชับ                          |       |      |      |      | ●          | →    |      |       |  |
| 5. ปรับปรุงแก้ไข                                     |       |      |      |      |            |      | ●    | →     |  |
| 6. จัดทำเอกสารประกอบ                                 |       |      |      |      |            | ●    | →    |       |  |

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 น้ำเสีย (Wastewater)

##### 2.1.1 ความหมายของน้ำเสีย

น้ำเสีย หมายถึงน้ำที่ผ่านใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ แล้ว ตัวอย่างเช่น การใช้ในชีวิตประจำวันของประชาชน เช่น ใช้ในการอุปโภคและบริโภค การประกอบอาหาร การชำระล้างร่างกาย ใช้ในอุตสาหกรรม เช่น การล้างวัตถุดิน วัสดุอุปกรณ์ และการหล่อเย็น ซึ่งทำให้น้ำดังกล่าวมีลักษณะเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากการปนเปื้อนของสิ่งสกปรก สิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะขึ้นอยู่กับกิจกรรมที่ใช้ประโยชน์จากน้ำนั้น นอกจาคนี้แล้วสิ่งสกปรกที่ปนเปื้อนในน้ำเสียจะเป็นสาเหตุที่ทำให้น้ำเสียมีลักษณะสมบัติที่แตกต่างกันออกไป น้ำเสียที่เสื่อมคุณภาพหรือน้ำที่มีลักษณะสมบัติเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมที่เคยเป็นอยู่ตามธรรมชาติ เนื่องจากมีสารพิษเจือปนจนทำให้มุขย์สัตว์ และพืช ได้รับอันตรายทั้งทางตรงและทางอ้อม (สันทัด ศิริอนันต์พูลย์, 2549) การเสื่อมลงของคุณภาพน้ำเนื่องจากมีสิ่งแผลปลอมปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำต่าง ๆ ทั้งแหล่งน้ำจืด ไม่ว่าจะเป็นน้ำใต้ดิน หนอง บึง ลำธาร ลำคลอง แม่น้ำ ทะเลสาบ และแหล่งน้ำเค็ม ทั้งบริเวณชายฝั่งทะเล และมหาสมุทร ทำให้ไม่สามารถใช้น้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ ให้เป็นประโยชน์ได้ ทำให้เกิดผลเสียหายต่อการใช้ประโยชน์ของมนุษย์ และเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต (สุธีลา ตุลยะเตสีร และคณะ, 2544)

##### 2.1.2 แหล่งกำเนิดน้ำเสีย

แหล่งกำเนิดน้ำเสียเกิดได้จากหลายกิจกรรม ซึ่งแต่ละกิจกรรมจะมีปริมาณและลักษณะน้ำเสียแตกต่างกัน และก่อให้เกิดผลกระทบที่แตกต่างกันด้วย กิจกรรมหลักที่ก่อให้เกิดน้ำเสียแบ่งเป็น 3 กิจกรรมหลัก ได้แก่ น้ำเสียจากชุมชน น้ำเสียจากอุตสาหกรรม และน้ำเสียจากการเกษตร ดังนี้ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549)

2.1.2.1 น้ำเสียจากชุมชน หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการใช้ประโยชน์ในกิจกรรมต่าง ๆ และระบายน้ำทั้งลงสู่ท่อระบายน้ำ แหล่งรองรับน้ำเสีย หรือแหล่งน้ำธรรมชาติ โดยไม่ได้ผ่านการบำบัดให้มีลักษณะดีขึ้นหรือสะอาดขึ้นก่อน ซึ่งทำให้แหล่งน้ำมีคุณภาพน้ำเสื่อมโดยรวมและเน่าเสียในที่สุด ในการพื้นฟูคุณภาพน้ำจะต้องใช้บประมาณสูงมาก น้ำเสียจากชุมชนนี้มักปนเปื้อนสิ่งสกปรกพวก สารอินทรีย์ เช่น เศษอาหาร อุจจาระ ปัสสาวะ นอกจากนี้ยังมีผงซักฟอก สนู๊ฟ และสารลดแรงตึงผิวที่เป็นส่วนประกอบในผงซักฟอก สนู๊ฟ ตลอดจนชุลินทรีย์ต่าง ๆ ซึ่งอาจจะมีทั้งชุลินทรีย์

นทรีที่ทำให้เกิดโรคและจุลินทรีทั่วไป (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) แหล่งกำเนิดที่จัดอยู่ในกลุ่มที่ก่อให้เกิดน้ำเสียชุมชน ได้แก่ บ้านพักอาศัย กัตตาหาร โรงพยาบาล สถานบริการ อาคารพาณิชย์ โรงเรียน อาคารชุด ตลาด สถานบริการจำหน่ายน้ำมัน ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น

2.1.2.2 น้ำเสียจากอุตสาหกรรม เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่เกิดจากกระบวนการถังวัตถุดิน การล้างเครื่องจักรอุปกรณ์ การระบายน้ำร้อน รวมทั้งกิจกรรมต่าง ๆ ของพนักงานในโรงงาน เป็นต้น (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549) น้ำล้างในกระบวนการผลิตต่าง ๆ จะมีสมบัติแตกต่างกันตามประเภทของอุตสาหกรรม น้ำเสียจากอุตสาหกรรมบางแห่งอาจปนเปื้อนโลหะหนัก หรือสารประกอบที่ต้องอาศัยกระบวนการบำบัดที่ซับซ้อนกว่าน้ำเสียจากชุมชน แหล่งกำเนิดน้ำเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ อุตสาหกรรมอาหาร อุตสาหกรรมสิ่งทอ อุตสาหกรรมการผลิตกระดาษ อุตสาหกรรมเครื่องหนัง อุตสาหกรรมการผลิตเคมีภัณฑ์ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมการเคลื่อนโลหะ และอุตสาหกรรมพ่นสีรถ เป็นต้น

2.1.2.3 น้ำเสียจากการเกษตร เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกิจกรรมทางการเกษตร เป็นน้ำเสียที่ถูกปล่อยออกมานอกพื้นที่ที่มีกิจกรรมทางการเกษตร ไม่ว่าจะเป็น พื้นที่เพาะปลูกหรือพื้นที่เลี้ยงสัตว์ สิ่งที่ปนเปื้อนในน้ำเสียที่มาจากการพื้นที่เลี้ยงสัตว์ส่วนใหญ่จะเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งมาจากเศษอาหารสัตว์และสิ่งที่ขับถ่ายออกมานอกจากสัตว์ ซึ่งน้ำเสียส่วนนี้มักจะมีความเข้มข้นของสารอินทรีย์สูงรวมทั้งอาจจะมีความเข้มข้นขององแข็ง ไม่ละลายน้ำสูงด้วย ส่วนน้ำเสียที่มาจากการพื้นที่เพาะปลูกมักมีการปนเปื้อนของสารเคมี ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าแมลง ที่ถูกใช้ในพื้นที่เพาะปลูก ดังนั้นอาจกล่าวได้ว่า น้ำเสียจากการเกษตรมักจะมีการปนเปื้อนของสารอินทรีย์เป็นจำนวนมากทั้งสารเคมีด้วย (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

โรงงานอุตสาหกรรมต่าง ๆ ถือว่าเป็นแหล่งที่มาของน้ำเสียหลักของประเทศไทยในปัจจุบัน ซึ่งอุตสาหกรรมที่จะกล่าวถึงในการศึกษานี้คือ อุตสาหกรรมพ่นสีรถ ซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่อยู่ในเขตเทศบาลเมืองอุบลราชธานี

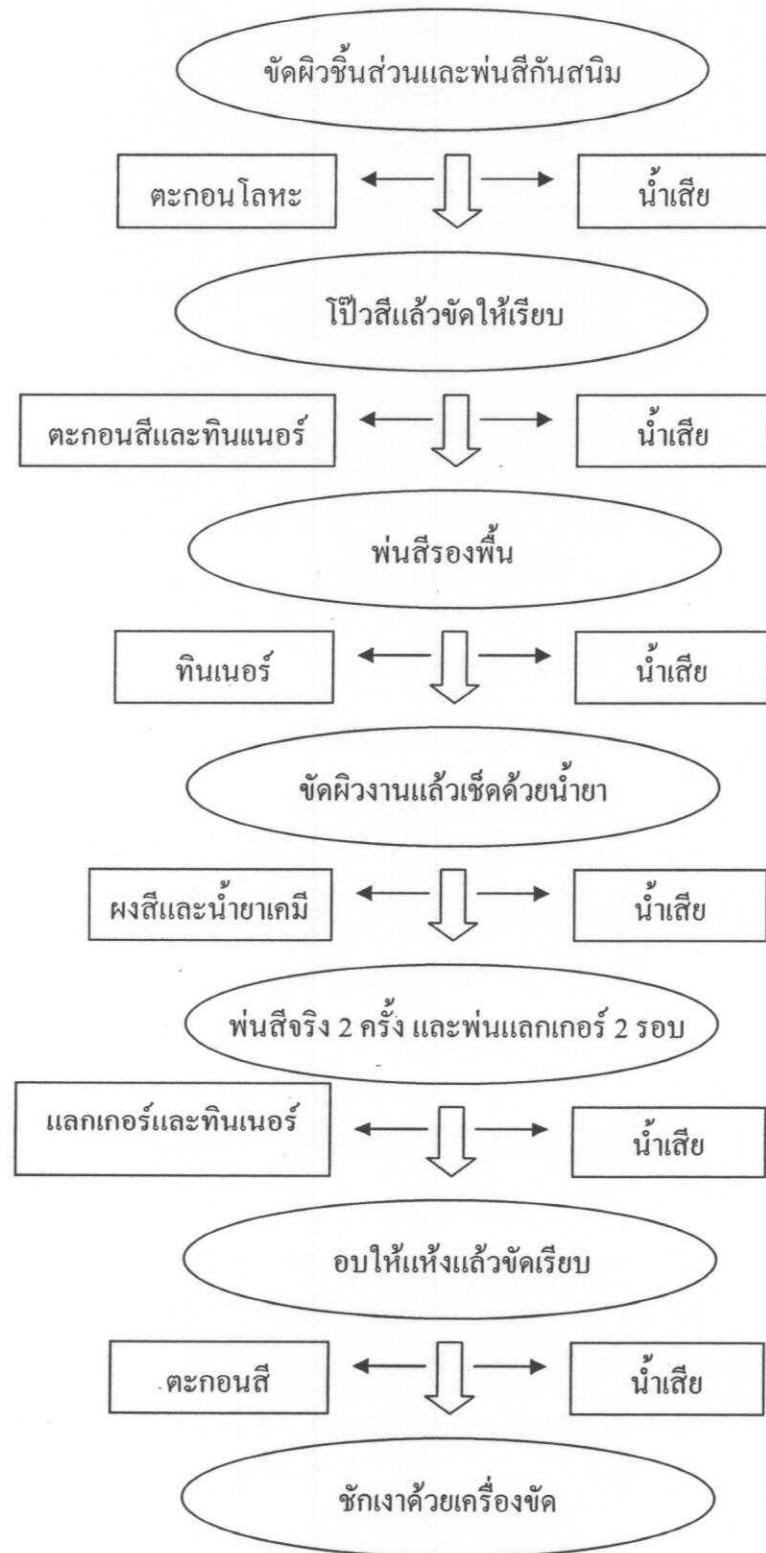
## 2.2 อู่พ่นสีรถ (Automotive painting shop)

บริษัท ทีเพนท์ จำกัด ตั้งอยู่บนถนนชยางกูร ตำบลในเมือง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี เป็นอู่พ่นสีรถขนาดกลาง มีรถเข้ามาใช้บริการ โดยเฉลี่ยเดือนละ 110-150 คัน มีปริมาณน้ำเสียโดยเฉลี่ย 25-30 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เปิดให้บริการประชาชนที่ใช้รถในเขตเทศบาลเมืองอุบลราชธานี

### 2.2.1 กระบวนการพ่นสีร็อต

ในกระบวนการพ่นสีนี้ ทางบริษัทใช้สีสองเก (2K) ซึ่งเป็นสีที่นิยมใช้กันทั่วไป ในอุตสาหกรรมพ่นสีร็อต สีสองเก กือสีที่มี 2 องค์ประกอบ กือส่วนที่เป็นเนื้อสีและตัวเร่งปฏิกิริยา สำหรับส่วนที่เป็นเนื้อสีจะมีส่วนผสม 4 ส่วนคือ การหรือเรชิน พงสี ตัวทำละลายและสารปรับแต่ง ซึ่งในส่วนของพงสีนี้จะมีส่วนประกอบของโลหะหนักพวง ตะกั่ว โกรเมี่ยม และแคนเดเมี่ยม เป็นตัว ทำให้เกิดสีต่าง ๆ เช่น สีแดง ได้จากตะกั่วแดงหรือตะกั่วออกไซด์ สีเขียวได้จากโกรเมี่ยมออกไซด์ สีเหลืองได้จากแคนเดเมี่ยมชัลไฟด์ เป็นต้น ซึ่งมีกระบวนการในการพ่นสีร็อตดังแสดงในภาพที่ 2.1

จากการกระบวนการพ่นสีร็อตจะเห็นว่าในขั้นตอนแรกที่มีการขัดผิวชิ้นส่วน ในกระบวนการนี้จะทำให้ชิ้นส่วนซึ่งอาจจะมีทั้งสีเดิมของชิ้นส่วนและเศษโลหะถูกขัดออกมาหลุด落去 ไปกับน้ำที่ฉาบล้าง ซึ่งนอกจากจะทำให้น้ำมีลักษณะสีที่บุ่นแล้วยังมีตะกอนโลหะสะสมเกิดขึ้นด้วย หลังจากผ่านกระบวนการนี้แล้วยังต้องมีการ โป้วสีแล้วก็ขัดให้เรียบอีกที ขั้นตอนนี้สิ่งปนเปื้อนที่ เกิดขึ้นคือเศษพงสีที่โป้วแล้วถูกขัดออกมากก็เป็นตะกอนอีกต่อหนึ่ง นอกจากนี้ก็จะมีทินเนอร์ ปนออกมารด้วยจากการที่ใช้ทินเนอร์จะเป็นตัวละลายสีโป้ว ขั้นตอนต่อมาคือขั้นตอนพ่นสีรองพื้น ขั้นตอนนี้ก็จะมีการใช้ทินเนอร์ละลายสีเช่นกัน ดังนั้นจะมีทินเนอร์ปนออกมารด้วย ต่อนาสีและ สารเคมีจะถูกฉาบล้างออกมาอีกรอบ ซึ่งในขั้นตอนขัดผิวและเช็ดผิวด้วยน้ำยา ทินเนอร์จะเป็นตัวทำ ละลายสีได้เป็นอย่างดีดังนั้น โลหะหนักที่ผสมอยู่ในพงสีจะถูกชะออกมากพร้อม ๆ กับทินเนอร์ใน ขั้นตอนการพ่นสีจริง ซึ่งสีที่ถูกผสมพร้อมที่จะพ่นแล้วคงเหลืออยู่บนพื้นพร้อมกับทินเนอร์ก็จะถูก ชะออกมากในขั้นตอนล้างพื้น ส่วนในขั้นตอนอบให้แห้งแล้วขัดเรียบจนจะมีเพียงแต่เศษพงสีที่ อาจจะหลุดออกมากซึ่งอาจจะไม่มากนัก แต่ถ้าสะสมหลายครั้งก็จะทำให้เกิดตะกอนสีได้เช่นกัน สีที่ ผ่านออกมายังกระบวนการค่าง ๆ จะถูกละลายกับทินเนอร์อีกรอบในน้ำ



ภาพที่ 2.1 กระบวนการพ่นสีรอด

## 2.2.2 ลักษณะน้ำเสียจากอู่พ่นสีรถ

ลักษณะสมบัติของน้ำเสียแบ่งออกได้เป็นลักษณะสมบัติทางกายภาพ ลักษณะสมบัติทางเคมี และลักษณะสมบัติทางชีวภาพ (สันทัด ศิริอันดีไพบูลย์, 2549) ดังนี้

2.2.2.1 ลักษณะสมบัติทางกายภาพ (Physical properties of wastewater) ลักษณะทางกายภาพของน้ำเสียที่สำคัญที่ใช้ประกอบในการออกแบบ ตลอดจนใช้เป็นค่านิยมคุณภาพของน้ำเสียและใช้เป็นค่านิยมในการควบคุมระบบบำบัดน้ำเสีย ได้แก่ ปริมาณของแข็ง กลิ่น สี ความขุ่น และอุณหภูมิ เป็นต้น

สำหรับน้ำเสียจากอู่พ่นสีรถที่เห็นได้ชัดเจนคือ ของแข็งที่เกิดจากเศษผงสีและโลหะ ของเสียเหล่านี้ทำให้น้ำมีลักษณะเป็นสีขุ่นและมีตะกอนเบอะ เนื่องจากอู่พ่นสีรถมีการใช้ทินเนอร์เป็นตัวทำละลายสี จึงทำให้กลิ่นที่เกิดขึ้นเป็นกลิ่นจากทินเนอร์ และอุณหภูมิค่อนข้างที่จะต่ำ เพราะในกระบวนการไม่มีการใช้น้ำร้อนหรือใช้กรด โดยอุณหภูมิจะอยู่ในช่วง 15-20 องศาเซลเซียส โดยประมาณ

2.2.2.2 ลักษณะสมบัติทางเคมี (Chemical properties of wastewater) ลักษณะสมบัติทางเคมีของน้ำเสียที่จำเป็นในการตรวจวิเคราะห์ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง สารอินทรีย์ ปริมาณสารประกอบในโตรเจน ปริมาณสารฟอฟอรัส ปริมาณไขมันและน้ำมัน สารอนินทรีย์ คลอไรด์ สารประกอบชั้ตเฟอร์ ก๊าซและปริมาณสารพิษ เป็นต้น

น้ำเสียจากอู่พ่นสีรถจะมีความเป็นกรดด่างอยู่ในช่วง 6-7 เพราะในกระบวนการไม่มีการใช้กรดหรือเบส มีเพียงทินเนอร์และน้ำที่จะถูกจึงทำให้กรดเบสไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่ลักษณะของน้ำเสียจะมีน้ำมันปนเปื้อนบ้างแต่ไม่มากเนื่องจากกระบวนการถูกจึงอาจมีการระเหายน้ำมันที่ติดอยู่บนชั้นงานและจากกระบวนการขัดเงา และเช็ดทำความสะอาด อาจจะทำให้มีสารเคมีปนเปื้อนอยู่ด้วยซึ่งไม่มากนักเพราะไม่ได้ใช้ในปริมาณที่酵素มาก ๆ

2.2.2.3 ลักษณะสมบัติทางชีวภาพ (Biological properties of wastewater) ลักษณะทางชีวภาพของน้ำเสียจะกล่าวถึงจุลินทรีย์เป็นส่วนใหญ่ ซึ่งจุลินทรีย์จะมีทั้งแบบจุลินทรีย์ที่ไม่ก่อให้เกิดโรค (Normal flora) และจุลินทรีย์ที่เป็นสาเหตุของโรคในสิ่งมีชีวิต (Pathogenic bacteria) น้ำเสียที่มีการปนเปื้อนของจุลินทรีย์ที่เป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต ได้แก่ น้ำเสียที่มาจากการซุนชัน หรือโรงพยาบาล และโรงพยาบาลอุตสาหกรรมที่มีการใช้วัตถุดูดที่เป็นสารอินทรีย์ เป็นต้น (สันทัด ศิริอันดีไพบูลย์, 2549) ในขณะเดียวกันในระบบบำบัดน้ำเสียก็จะใช้จุลินทรีย์อีกชนิดเป็นตัวช่วย สายสิ่งสกปรกต่าง ๆ ได้แก่ แบคทีเรีย ซึ่งเป็นตัวที่ช่วยย่อยสายสิ่งสกปรกในน้ำเสีย นอกจากนั้นก็จะเป็นรา สาหร่าย และปรอตอซัว เป็นต้น

น้ำเสียจากอู่พ่นสีรถไม่ค่อยพบลักษณะน้ำเสียที่มีจุลทรีเจริญเติบโต อาจมีสาเหตุจากการบวนการที่พนักงานท่านอาหารแล้วหลังพื้นแล้วถูกจะด่างลงไปด้วย ทำให้จุลทรีบางชนิด เช่น แบคทีเรีย ใช้เศษอาหารอินทรีพวงนั้นเป็นอาหาร แล้วทำให้แบคทีเรียเจริญเติบโตได้ ซึ่งถือว่า มีน้ำเสียมาก

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าน้ำเสียจากการบวนการพ่นสีรถ จะมีสารอินทรีปนเปื้อนน้ำเสียกันอย แต่ที่พบมาก คือทินเนอร์ เป็นสารอินทรีที่ก่อให้เกิดกลิ่นเหม็นของทินเนอร์และสารอนินทรี ซึ่ง ส่วนใหญ่คือโลหะหนักที่เป็นส่วนผสมในสี ซึ่งโลหะหนักที่เป็นปัญหาและพบมากในน้ำเสียจาก อู่พ่นสีรถ ได้แก่ ตะกั่ว โกรเมี่ยม และแแกดเมี่ยม (Auckland Regional Council, 2551)

### 2.3 โลหะหนัก (Heavy Metals)

จากการบวนการพ่นสีรถที่มีการใช้สี ทำให้น้ำเสียที่เกิดขึ้นมีการปนเปื้อนของโลหะหนัก เพราะ โลหะหนักเป็นส่วนผสมที่มีอยู่ในสี เมื่อละลายด้วยตัวทำละลายทินเนอร์ทำให้เกิดมีโลหะ หนักปนเปื้อนอยู่ในน้ำ ซึ่งโลหะหนักที่กล่าวนี้ได้แก่ ตะกั่ว โกรเมี่ยม และแแกดเมี่ยม เป็นต้น

#### 2.3.1 ตะกั่ว (Lead, Pb)

ตะกั่วเป็นโลหะที่มนุษย์ให้ความสนใจกับความเป็นพิษของมันมากที่สุด เนื่องจาก มีการนำตะกั่วมาใช้ประโยชน์อย่างมากมา โดยเฉพาะในอุตสาหกรรมแบตเตอรี่รถยนต์ เรือดำน้ำ ใช้ตะกั่วเกือบร้อยละ 50 ของผลิตผลตะกั่วทั้งหมด และยังใช้ในรูปตะกั่วอินทรี (Alkyl lead) โดย เป็นสารเคมีที่ใช้ เติมในน้ำมันเบนซิน เพื่อป้องกันเครื่องยนต์เดินสะคุด แต่ปัจจุบันได้หันมาใช้สาร ชนิดอื่นทดแทน

ในอุตสาหกรรมสีและสารเคมี ใช้สารประกอบตะกั่วมาก เช่น สีแดง ของตะกั่ว ออกไซด์ (Red lead) สีเหลือง จากตะกั่วโครเมต (Lead chromate) สีขาว จากตะกั่วคาร์บอเนต (Lead carbonate) และตะกั่วซัลเฟต (Lead sulfate) สารเคมีเหล่านี้สามารถละลายในน้ำได้ ทำให้เกิดตะกั่วในรูปตะกั่วอินทรี (Alkyl lead) สารเคมีที่มีตะกั่วเหล่านี้อาจผสมในสีของเล่นสำหรับเด็ก ลิ้นจี่ กาว ฯลฯ สาร หนังสือพิมพ์ ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องสัมผัสเสมอในชีวิตประจำวัน ทำให้บุคคลที่สัมผัสมีโอกาสได้รับสาร ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้สูง

นอกจากนี้ ยังมีการนำตะกั่วออกไซด์ มาใช้เป็นเครื่องสำอางด้วย กองพิษวิทยา เคยตรวจสอบเป็นรายตัวเด็ก เป็นผงสีขาว และสีแดงอ่อน มีตะกั่วปนอยู่ร้อยละ 74 ซึ่งอันตรายต่อเด็ก มาก เนื่องจากผิวนั้นเด็กดูดซึมตะกั่วได้ดีกว่า

พิษเรื้อรังของตะกั่ว จะค่อย ๆ แสดงอาการออกมา ภายหลังจากได้รับสารตะกั่วที่ละน้อยเข้าสู่ร่างกายและค่อย ๆ สะสมในร่างกาย จนถึงระยะเวลาหนึ่ง อาจนานเป็นปีจึงแสดงอาการ ส่วนมากเกิดกับบุตรคลที่มีอาชีพที่สัมผัสกับตะกั่ว ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิตไปจับกับเม็ดเลือดแดงแทนที่เหล็ก ( $Fe^{+2}$ ) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) และมีผลให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลืองเพิ่มขึ้น ผิดปกติ ตะกั่วบางส่วนจะไปสะสมในกระดูก โดยตะกั่ว ( $Pb^{+2}$ ) จะเข้าไปแทนที่แคลเซียม ( $Ca^{+2}$ ) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างกระดูกและฟัน ทำให้มีอาการปวดตามข้อ กระดูกผุและหักง่าย ถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นสีม่วงหรือสีดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่าเส้นตะกั่ว (Lead line) ทำให้ฟันหลุดได้ง่าย มีผู้วิจัยพบว่าตะกั่วสามารถเกาะกับกระดูกในร่างกายได้นานถึง 32 ปี และยังสะสมในไขมัน ระบบประสาท สมอง ระบบหัวใจและหลอดเลือด ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดการปวดท้อง น้ำหนักลด เนื้ออาหารคลื่นไส้อาเจียน ท้องผูก อาการพิษทางประสาทและสมอง ทำให้ทรงตัวไม่อุ้ย เกิดอาการประสาทหลอน ซึ่งไม่รู้สึกตัว ชา มือและเท้า เป็นอันพาด ลับ และอาจตายได้ (กุลธิดา ถาวรกิจการและกิจชัย ศิริวัฒน์, 2552)

จะเห็นได้ว่าตะกั่วเป็นโลหะหนักที่รู้จักกันมากในเรื่องของความเป็นพิษ และเป็นโลหะหนักที่ได้รับความสนใจอย่างมากในงานวิจัยต่างๆ แต่ย่างไรก็ดีตะกั่วมีความจำเป็นอย่างมาก ในอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น อุตสาหกรรมพ่นสี อุตสาหกรรมชุบโลหะ เป็นต้น จึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะมีการปล่อยสารตะกั่วลงสู่แหล่งน้ำ แต่ปริมาณตะกั่วที่สามารถปล่อยออกมายังน้ำจะต้องเป็นไปตามประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด โดยปริมาณของตะกั่วที่ไม่ก่อให้เกิดพิษและสามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้คือ ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

### 2.3.2 โครเมียม (Chromium, Cr)

โครเมียมเป็นธาตุที่พบตามธรรมชาติในดิน หิน พืช สัตว์ และฝุ่นจากปล่องกุเทา ไฟ ในร่างกายมนุษย์จะมีโครเมียมปริมาณน้อย การใช้ประโยชน์ทางอุตสาหกรรมนั้นมีการนำโครเมียมและสารประกอบโครเมียมมาใช้หลายประเภท เช่น การชุบโลหะ ผลิตชิ้นส่วนรถยนต์ ผลิตโลหะ อัลลอยด์ ผลิตเม็ดสี ชุดเครื่องประดับ การข้อมผ้า การฟอกหนังสัตว์ เป็นต้น นอกจากนี้แล้ว จากคุณสมบัติโครเมียมเป็นโลหะลีขารเงิน มีลักษณะเป็นมันวาวมีความแข็งแรง มีความมันเงาและต้านทานการผุกร่อน ได้คือจึงมีการนำโครเมียมไปผสมกับเหล็กและnickelเกลเป็นโลหะผสม(สแตนเลส) ที่ต้านทานการเกิดสนิมอีกด้วย โครเมียมและสารประกอบโครเมียมมีหลายกลุ่ม โดยแบ่งตาม Valency ได้แก่ Valency 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 ซึ่งกลุ่ม Valency 3 (Trivalent chromium,  $Cr^{3+}$ ) และ Valency 6 (Hexavalent chromium,  $Cr^{6+}$ ) จะมีความสำคัญทั้งในด้านการนำมาใช้ประโยชน์และผลต่อสุขภาพของมนุษย์ (Ramathibodi poison center, 2552) โดยส่วนใหญ่มีเลขอักษรเดือนเป็น

โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) และ โครเมียม( $\text{Cr}^{6+}$ ) ระดับความเป็นอันตรายของ โครเมียม ( $\text{Cr}^{6+}$ ) มีมากกว่า โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) พิษของ โครเมียม ( $\text{Cr}^{6+}$ ) จะเป็นอันตรายต่อระบบหายใจ ระบบประสาท ตับ ไต การเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรม นอกจากนั้นยังเป็นสารก่อมะเร็งต่อมนูขย์ที่ปอดและโพรงจมูก (วีนา ชูโชติ และคงคล เพญสายใจ, 2543) ดังนั้นกระทรวงอุตสาหกรรมของประเทศไทย โดยกรมโรงงานอุตสาหกรรม จึงได้กำหนดมาตรฐานน้ำทึบจากโรงงานอุตสาหกรรม ให้ปล่อยน้ำทึบที่ปนเปื้อน โครเมียม ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ต้องมีปริมาณไม่น่ากว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร และ โครเมียม ( $\text{Cr}^{6+}$ ) ต้องมีปริมาณไม่น่ากว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร (โภวิทย์ ปิยะมังคลา และคณะ, 2551)

ผลกระทบของ โครเมียมขึ้นกับ oxidation state คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ในคนทั่วไปมีการประมาณว่าจะได้รับ โครเมียมในรูป trivalent จากอาหารที่บริโภคประจำวัน 50-200 ไมโครกรัม และ 3-5% ของอาหารที่บริโภค จะถูกดูดซึมเข้าสู่ร่างกาย ส่วน hexavalent chromium จะถูกดูดซึมจากการดูดซึมน้ำ ขนาดของอนุภาค และยังพบว่า hexavalent chromium จะถูกดูดซึมจากการดูดซึมน้ำได้ดีกว่า trivalent ถึง 3-5 เท่า นอกจากนี้ โครเมียม และสารประกอบ โครเมียมสามารถเข้าสู่ร่างกายได้โดยการหายใจ ทั้งนี้ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดของ valency ความสามารถในการละลายน้ำ ขนาดของอนุภาค และยังพบว่า hexavalent chromium จะถูกดูดซึมจากการดูดซึมน้ำได้ดีกว่า trivalent ด้วย ช่องทางเดียวกัน hexavalent chromium สามารถผ่าน cell membrane ได้ดี ส่วนการซึมผ่านทางผิวหนังทั้ง hexavalent และ trivalent chromium เป็นไปอย่างจำกัด ยกเว้นกรณีที่ผิวหนังได้รับอันตรายจากความร้อน (burn) ทำให้สารประกอบ โครเมียมบางชนิดเข้าสู่ร่างกายได้ เช่น potassium dichromate และ chromium chloride ส่วน chromium sulfate ไม่สามารถซึมผ่านทางผิวหนังได้ (Ramathibodi poison center, 2552) เมื่อ โครเมียมเข้าสู่ร่างกายแล้ว trivalent chromium จะรวมกับ transferrin ใน plasma และกระจายไปทั่วร่างกาย มีเพียงส่วนน้อยที่เข้าไปในเม็ดเลือดแดง ส่วน hexavalent chromium จะผ่านเข้าไปในเม็ดเลือดแดงอย่างรวดเร็ว และจะรวมกับ b-chain ของ hemoglobin และเปลี่ยนไปเป็น trivalent form ในเม็ดเลือดแดงด้วย โครเมียมเก็บทั้งหมดจะถูกขับออกทางไต มีเพียงส่วนน้อยที่สะสมอยู่ในร่างกาย มีการประมาณว่าผู้ใหญ่สุขภาพแข็งแรง ที่ได้รับ โครเมียมจากอาหารวันละ 30 - 100 ไมโครกรัม จะมีระดับ โครเมียมเฉลี่ยในปัสสาวะ 2-10 ไมโครกรัม/ลิตร และ half-life ของ hexavalent chromium ในปัสสาวะอยู่ระหว่าง 15-41 ชั่วโมง (Ramathibodi poison center, 2552) นอกจากนี้ โครเมียมยังถูกขับออกทางน้ำดี ประมาณ 10% ของการขับออกทั้งหมดและมีปริมาณน้อยมากที่ขับออกทางผนน น้ำนม เส้นและเหงื่อ

### 2.3.3 แคนเดเมียม (Cadmium, Cd)

โลหะแคนเดเมียมเป็นโลหะหนักชนิดหนึ่งที่ได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ มากมาย โดยประมาณร้อยละ 50 ใช้ในการเคลือบเงาด้วยไฟฟ้าซึ่งจะได้ผิวโลหะที่เคลือบด้วยแคนเดเมียมเป็นเงางามและทนต่อการกัดกร่อน ไม่เป็นสนิมนอกเสียจากจะมีการหลุดลอกของแคนเดเมียมที่เคลือบอยู่ โลหะที่เคลือบด้วยแคนเดเมียมจะใช้ในอุปกรณ์รถยนต์ต่าง ๆ ทั้งที่เป็นส่วนของเครื่องยนต์และส่วนประกอบอื่น ๆ รวมไปถึงน็อตและสกรูด้วย นอกจากนี้แคนเดเมียมยังอยู่ในรูปของสารประกอบต่าง ๆ อีกมากมาย เช่น แคนเดเมียมชัลไฟด์ และแคนเดเมียมชัลไฟซิลไนต์ ใช้เป็นตัวสีในสิ่งต่าง ๆ เช่น พลาสติก สีทา สีพ่น หมึก ยาง เสื้อผ้า และสีที่จิตรกรใช้ในการวาดรูปหรือทำขึ้นงานจิตรกรรมต่าง ๆ เพราะให้สีสวย สารประกอบแคนเดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น แคนเดเมียมสเตียเรท เป็นต้น (ทรงศักดิ์ ศรีอนุชิต, 2552)

โลหะแคนเดเมียมยังใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะอัลลอยด์ เช่น ผสมกับโลหะทองแดงจะช่วยเพิ่มความเหนียวและความทานทานต่อการสึกหรอให้กับทองแดงด้วยโดยเฉพาะอย่างยิ่งที่อุณหภูมิสูงได้ด้วย จึงนำไปใช้ผลิตอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ต้องทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำร้อนต์ หรืออุปกรณ์เครื่องเย็นต่าง ๆ ที่ต้องระบายความร้อนมาก ๆ ด้านนี้แคนเดเมียมไปผสมกับโลหะเงินจะได้โลหะอัลลอยด์ที่เงางาม ใช้ในการผลิตเครื่องประดับอัญมณี

ประโยชน์ของแคนเดเมียมยังขยายการใช้ไปในอุตสาหกรรมการผลิตแบตเตอรี่ขนาดเล็กที่เรียกว่า แคนเดเมียมนิกเกิลแบตเตอรี่ (CdNi batteries) สำหรับการใช้กับอุปกรณ์ขนาดเล็ก เช่น นาฬิกา เครื่องคิดเลข กล้องถ่ายรูป และวิทยุเล็ก ๆ เป็นต้น และยังมีการใช้สารประกอบแคนเดเมียมประเภท แคนเดเมียมไบโรไนด์ และแคนเดเมียมไอโอดีส์ ในการถ่ายรูป นอกจากนี้ยังพบว่าโลหะแคนเดเมียมใช้ใน Photoelectric cells ผสมในสารผ้าเชื้อรากที่ใช้ในกิจกรรมเกษตร และปัจจุบันยังใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณูด้วย

นอกจากจะมีประโยชน์ดังที่กล่าวมาแล้วแคนเดเมียมยังเป็นโลหะหนักที่มีพิษรุนแรง เมื่อได้รับเข้าไปก็จะส่งผลกระทบต่อร่างกาย การได้รับแคนเดเมียมจำนวนมากอาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันได้ แต่ส่วนใหญ่โรคที่เกิดจากแคนเดเมียมมักเป็นชนิดเรื้อรัง โดยการได้รับแคนเดเมียมติดต่อกันเป็นเวลานาน โรคที่เกิดอาจแบ่งเป็นกลุ่มได้ดังนี้

(1) โรคปอดเรื้อรัง การได้รับแคนเดเมียมนาน ๆ และในปริมาณมากโดยเนพะจาก การหายใจ จะทำให้เกิดการอุดตันภายในปอด ซึ่งเป็นพารามีการอักเสบของหลอดลม มีพังผืดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง และมีการทำลายของถุงลมซึ่งจะกลายเป็นโรคถุงลมโป่งพองในที่สุด ผู้ที่มีความเสี่ยงมากคือคนทำงานกับผงแคนเดเมียมโดยตรง เช่น โรงงานแบตเตอรี่ขนาดเล็ก (ทรงศักดิ์ ศรีอนุชิต, 2552)

(2) โรคไトイอักเสบ จะแสดงออกโดยมีการอักเสบของไトイ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ห่อในไトイซึ่งจะพบแผลเมียบในปัสสาวะที่ปริมาณสูง นอกจากนี้ยังทำให้มีโปรตีนและลูโคสในปัสสาวะสูงอีกด้วย ทำให้การทำงานของห่อในไトイเสียเสียสมคุณ (ทรงศักดิ์ ศรีอนุชิต, 2552) นอกจากนี้ก็พบว่า มีการสะสมของแผลเมียบที่หนวกไトイก่อให้เกิดการอักเสบและเป็นอันตรายและอาจเป็นໄตวยได้ในที่สุด การเกิดโรคไトイอักเสบนี้จะเป็นแบบถาวร แม้ว่าจะไม่ได้รับแผลเมียบต่อไปแล้ว แต่ไトイยังไม่สามารถพื้นคืนกลับมาดังเดิมได้

(3) โรคกระดูก แผลเมียบทำให้เกิดการสูญเสียแคลเซียมออกมานอกไปในปัสสาวะสูง และอาจมีแผลเมียบเข้าไปสะสมในกระดูกทำให้กระดูกพรุน และมีอาการปวดกระดูกอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง อาการปวดกระดูกจะเป็นไปเรื่อยๆ เช่นที่เกิดกับชาวญี่ปุ่นที่เมืองฟูจู ในช่วงก่อนและระหว่างสงกรานต์ครั้งที่ 2 ซึ่งเรียกโรคนี้ว่า อิトイอิトイ (itai itai) หรือ เอ้าซ์ เอ้าซ์ (ouch ouch) ชื่อโรคมาจากเสียงร้องอย่างเจ็บปวดในภาษาญี่ปุ่น ซึ่งได้รับแผลเมียบมากเป็นเวลานานจากการกินข้าวที่เป็นปีโオンด้วยแผลเมียบมาก คนกลุ่มนี้จะมีกระดูกเปราะ แตกหักง่าย และอาจมีความสูงลดลงได้ เพราะการสูญเสียแคลเซียมทำให้เป็นโรคกระดูกพรุน (ทรงศักดิ์ ศรีอนุชิต, 2552)

(4) โรคความดันโลหิตสูงและโรคหัวใจ พว่แผลเมียบทำให้ความดันโลหิตสูงขึ้นมากและมีโอกาสเป็นโรคหัวใจสูงขึ้นด้วย ซึ่งอาจจะเป็นการร่วมกันกับโรคไトイดังที่กล่าวมาแล้ว

(5) โรคมะเร็ง มีข้อมูลการศึกษาติดตามคนงานที่ทำงานสัมผัสถกแผลเมียบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่แห้งขนาดเล็ก พบร่วมกับความเสี่ยงต่อการเป็นโรคมะเร็งปอด สูงกว่าคนทั่วไป และอาจมีผลต่อการเสี่ยงเป็นโรคมะเร็งของต่อมลูกหมากด้วย

อย่างไรก็ตามเรื่องความปลอดภัยของสุขภาพคนไทยจากแผลเมียบคงต้องได้รับการคูแลอย่างดีจากรัฐ โดยเฉพาะการกำกับคุณภาพและบริเวณแหล่งอุตสาหกรรม ไม่ประปนกับส่วนที่ทำการเกษตร ประกอบกับต้องเกรงครั้ดต่อโรงงานอุตสาหกรรมใหม่มีการจัดการคูแลสภาพแวดล้อม และกำจัดสารพิษอย่างถูกต้องไม่ส่งผลกระทบกับคนทั่วไปด้วย โดยทางกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนดให้ปริมาณแผลเมียบที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ คือ ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อตัน

โลหะหนักเป็นสารปนเปื้อนในน้ำเสียที่ไม่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งหากไม่มีการกำจัดก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำตามธรรมชาติแล้วจะเกิดการสะสมวนเวียนอยู่ในวงจรของลิงมีชีวิต เมื่อสะสมในเซลล์ของร่างกายของมนุษย์จะก่อให้เกิดโรคร้ายแรง (Wang et al, 2003) ซึ่งกระบวนการที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียมีด้วยกันหลายวิธีดังจะกล่าวต่อไป

## 2.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย (Wastewater treatment processes)

กระบวนการบำบัดน้ำเสียเป็นกระบวนการกำจัดสารปนเปื้อนที่อยู่ในน้ำเพื่อให้น้ำมีคุณภาพที่จะสามารถปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมได้ ส่วนใหญ่สามารถแบ่งเป็นประเภทใหญ่ ๆ ได้ดังนี้

### 2.4.1 กระบวนการทางกายภาพ (Physical unit processes)

เป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดสิ่งสกปรกที่มีน้ำหนักมากหรือมีขนาดใหญ่ เช่น ไขมัน ขยะ ราย ซึ่งเป็นการบำบัดเบื้องต้นก่อนที่จะมีการบำบัดในขั้นต่อไป ข้อดีคือ ทำได้ง่าย ราคาถูก ข้อเสียคือ กำจัดได้เฉพาะสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ กระบวนการทางกายภาพเป็นการกำจัดสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนออกจากน้ำเสียโดยอาศัยหลักการทำงานทางกายภาพ (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โภจน์, 2539) ดังนี้

2.4.1.1 กระบวนการกรองด้วยตะแกรง ใช้ดักพ่วงไขมัน หรืออื่น ๆ ที่มีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรง

2.4.1.2 กระบวนการตกตะกอน เป็นการปล่อยน้ำมาเก็บไว้ที่ถังตกตะกอน ทำการตกตะกอนโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก สามารถตกตะกอน ราย หิน หรืออนุภาคที่มีน้ำหนักพอที่จะสามารถตกตะกอนได้

2.4.1.3 กระบวนการดักจับไขมันหรือภาชนะที่มีน้ำหนักเบากว่าน้ำ โดยจะลอยอยู่บนผิวน้ำสามารถกำจัดออกโดยเปิดส่วนบนของถังพักแล้ว ภาชนะน้ำมันจะหล่นลง

กระบวนการทางกายภาพนี้มักจะเหมาะสมกับการแยกสิ่งสกปรกหรือสิ่งปนเปื้อนที่ไม่ละลายน้ำเป็นส่วนใหญ่ นอกจากนี้แล้วยังมีกระบวนการทางกายภาพอื่น ๆ ที่มีการใช้อีก เช่น การลดอุณหภูมิของน้ำเสียโดยการแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างน้ำเสียกับน้ำ หรือน้ำเสียกับอากาศ หรือแม้กระทั่งการไอลสิ่งสกปรกในน้ำเสีย (สันทัด ศิริอนันต์ พิมูลย์, 2549)

### 2.4.2 กระบวนการทางเคมี (Chemical unit processes)

เป็นกระบวนการที่ใช้กำจัดหรือแยกสารต่าง ๆ ที่ปนเปื้อนในน้ำเสีย วิธีนี้จะต้องมีการเติมสารเคมีต่าง ๆ ลงไปในน้ำเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาเคมี ข้อดีคือ สามารถกำจัดสารเคมีที่ปนเปื้อนในน้ำได้หลายชนิดด้วยการเติมสารเคมีเพียงชนิดเดียว ข้อเสียคือ เมื่อมีการเติมสารเคมีลงไปแล้ว ก็จะมีสารเคมีผสมอยู่ในน้ำเสียซึ่งทำให้เกิดผลกระทบในด้านอื่น ๆ เช่น การเกิดตะกอนเพิ่มมากขึ้น ค่าพิเชชเปลี่ยนแปลงไปจากธรรมชาติ เป็นต้น ตัวอย่างกระบวนการทางเคมี (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โภจน์, 2539) ได้แก่

2.4.2.1 กระบวนการปรับสภาพกรด-ด่าง (pH adjustment) คือกระบวนการที่ปรับสภาพกรด-ด่างของน้ำเสียให้ได้ค่ามาตรฐานน้ำเสีย (ค่ามาตรฐานน้ำทึ้งพิเศษต้องไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่เกิน 9.0) หรือค่าที่เหมาะสมสำหรับการบำบัดในขั้นตอนไป หลักการทั่วไป ถ้าหากน้ำเสียมีสภาพเป็นกรดก็เติมสารเคมีประเภทด่าง เช่น โซดาไฟ ปูนขาว เป็นต้น ถ้าเป็นด่างจะปรับด้วยสารเคมีประเภทกรด เช่น กรดเกลือ กรดกำมะถัน เป็นต้น

2.4.2.2 กระบวนการตกตะกอนทางเคมี (Chemical precipitation) คือกระบวนการเติมสารเคมีลงในน้ำเพื่อทำให้อ่อน เช่น ไอออนของโลหะหนักที่ löösy ในน้ำเปลี่ยนสถานะมาอยู่ในรูปของของแข็งที่ไม่ละลายน้ำเกิดเป็นตะกอนมีน้ำหนักมากขึ้นทำให้จมตัวลง สารเคมีที่ใช้เติมนิยมชนิด เช่น ปูนขาว โซดาไฟ โซเดียมคาร์บอนเนต เป็นต้น ปูนขาวนิยมใช้ตกตะกอนโลหะหนักซึ่งโลหะหนักแต่ละชนิดจะสามารถตกตะกอนได้ที่พิเศษต่างๆ กัน ตะกอนที่ได้จะมีองค์ประกอบของโลหะหนักซึ่งจะต้องมีกระบวนการกำจัดต่อไป

2.4.2.3 กระบวนการสร้างรวมตะกอนเคมี (Coagulation-flocculation) คือกระบวนการที่มีการเติมสารเคมีพวกสารสร้างตะกอน ได้แก่ สารส้ม ปูนขาว ผสมกับน้ำเสียที่มีตะกอนแขวนลอยเล็ก ๆ แล้วทำการกรวยย่างช้า ๆ เพื่อให้เกิดสภาพการรวมตะกอนทำให้เป็นตะกอนใหญ่ขึ้น

นอกจากนี้ในบางครั้งอาจจะใช้กระบวนการทางเคมีในการช่วยเสริมให้กระบวนการทางชีวภาพมีประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่น การใช้กระบวนการทางเคมีในการปรับสภาพความเป็นกรด-ด่างของน้ำเสียให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่กระบวนการทางชีวภาพ หรืออาจจะใช้กระบวนการทางเคมีในการแยกสารพิษที่อาจเป็นอันตรายต่อลูกนิทรรย์ในระบบบำบัดทางชีวภาพ ออกจากน้ำเสียก่อนเข้าสู่กระบวนการทางชีวภาพ (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

#### 2.4.3 กระบวนการทางชีวภาพ (Biological unit processes)

เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียโดยใช้ลูกนิทรรย์ที่เหมาะสมmany อย่างหลากหลายต่าง ๆ ในน้ำเสีย ข้อดีคือ ราคาถูก แต่การควบคุมกระบวนการเจริญเติบโตของลูกนิทรรย์จะต้องควบคุมการทำงานตามปัจจัยต่าง ๆ ที่ลูกนิทรรย์แต่ละชนิดจะสามารถดำเนินชีวิตอยู่ได้ เพื่อให้น้ำเสียมีความสกปรกน้อยลง ลูกนิทรรย์อาจเป็นแบบใช้หรือไม่ใช้ออกซิเจนก็ได้ อย่างไรก็ตามกระบวนการบำบัดน้ำเสียทางชีวภาพไม่ว่าจะเป็นแบบเติมอากาศหรือไม่เติมอากาศก็ตาม นักเป็นที่นิยมอย่างมากที่จะใช้กับน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์เป็นสิ่งปนเปื้อนหลัก (สันทัด ศิริอนันต์ไพบูลย์, 2549)

#### 2.4.4 กระบวนการทางกายภาพ-เคมี (Physicochemical unit processes)

เป็นกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่อาศัยวิธีทางกายภาพและเคมีผสมผสานกัน เป็นวิธีที่อาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง โดยอาศัยเครื่องมือที่มีอุปกรณ์หลายชนิด และมีราคาแพงกว่า

กระบวนการบำบัดอื่น ๆ แต่สามารถกำจัดสารปนเปื้อนในน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพที่สุดไม่ว่าจะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ (เกรียงศักดิ์ อุตมลิน โภจน์, 2539) ดังนี้

2.4.4.1 การดูดซับ (Adsorption) คือกระบวนการแยกสารปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในน้ำเสีย โดยใช้สารดูดซับมาทำการดูดซับสารที่ต้องการแยกออกໄไป สารดูดซับที่นิยมใช้มีหลายชนิด เช่น ชิลิกา เบนโซไนต์ ถ่านกัมมันต์ ซิโอลิต เป็นต้น ถ่านกัมมันต์เป็นสารดูดซับที่นิยมใช้มากที่สุดเนื่องจากสามารถกำจัดสีหรือโลหะหนักได้ดี

2.4.4.2 การแลกเปลี่ยน ไอออน (Ion exchange) คือกระบวนการที่ไอออนในน้ำเสียจะมาเกาะแลกเปลี่ยน ไอออนกับเรซินที่ไม่ละลายน้ำ ซึ่งมีทั้ง ไอออนลบและ ไอออนบวก โดยไม่เกิดการเปลี่ยนค่าน้ำกรงสร้างของตัวกลาง เช่น การใช้เรซินที่มี ไอออนลบกับตะกอนโลหะหนักที่มีประจุบวก เป็นต้น เรซินเมื่อใช้แล้วสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้โดยถ้างด้วยกรด

2.4.4.3 การกรองแบบอัลตราฟิวเตอร์ชั้น (Ultra filtration) คือ กระบวนการกรองโดยใช้เยื่อกรองแบบ porous membrane อัดแรงดันน้ำเข้าไปพอประมาณ ซึ่งทำให้แยกสารปนเปื้อนที่มีโมเลกุลขนาดเล็ก ๆ ได้ตั้งแต่ขนาด 2 ถึง 100 ไมโครเมตร

2.4.4.4 การอสโนซิสผันกลับ (Reverse osmosis) คือกระบวนการแยกสารปนเปื้อนที่มีขนาดตั้งแต่ 0.4 ถึง 60 ไมโครเมตร กรองผ่านเยื่อกรองแบบเยื่อกิงซีมผ่านด้วยความดันสูง

สำหรับในการศึกษารังนี้จะใช้กระบวนการทางกายภาพเคมี ซึ่งได้แก่ การดูดซับเพื่อการบำบัดน้ำเสียจากอู่พ่นสีรถ เพราะเป็นวิธีที่ง่ายและประหยัด นอกจากนี้แล้วยังเป็นวิธีที่รักษาภัณฑ์ไว้

## 2.5 การดูดซับ (Adsorption)

การดูดซับ (Adsorption) เป็นกระบวนการที่โมเลกุลของของไหลหรือกolloidal เคลื่อนที่ไปสัมผัสและเกาะติดแน่นอยู่บนผิวของของแข็ง โดยแรงคึ่งคุคระหว่างโมเลกุลที่ต่างชนิดกันของสารที่เป็นของแข็งและของเหลวนั้น สารของแข็งที่มีผิวเป็นที่เกาะจับของโมเลกุลหรือกolloidal เรียกว่า ตัวดูดซับ (Adsorbent) ส่วนโมเลกุลหรือกolloidal ที่มาเกาะจับ เรียกว่า ตัวถูกดูดซับ (Adsorbate) การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของตัวดูดซับสามารถอธิบายได้ด้วยเหตุผล 3 ประการ (เอกชัย ประสานมงคล, 2546) ดังนี้

(1) การเกาะจับของโมเลกุลบนผิวของตัวดูดซับอาจเกิดขึ้นด้วยแรงทางกายภาพ เช่น แรงแวนเดอ华ร์ (Vander-waals force) หรือด้วยแรงทางเคมี (Chemical adsorption) หรือทั้งสองอย่างรวมกัน

(2) ความสามารถในการดูดซับ (Adsorption ability) เนื่องจากตัวดูดซับมีพื้นผิวเป็นรูพรุนจึงเกิดภาวะของ capillary action ทำให้โมเลกุลของตัวถูกดูดซับเกาะติดอยู่ได้

(3) ตัวดูดซับมีประจุบนพื้นผิว (Surface charge) สามารถดูดจับกับวัตถุอื่น ๆ ที่มีประจุตรงกันข้าม ทำให้เกิดการเกาะติดกันได้ สภาพดังกล่าวคล้ายกับปรากฏการณ์ของการแลกเปลี่ยนไอออน (Ion exchange mechanism)

### 2.5.1 ลักษณะหรือรูปแบบของการดูดซับ แบ่งได้เป็น 4 ลักษณะ ดังนี้

2.5.1.1 การดูดซับแบบกายภาพ (Physical adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการดูดติดด้วยแรงประเภท vander-waals force หรือพันธะไฮโดรเจน ซึ่งมีลักษณะเป็นแรงอ่อน ไม่ยึดติดแน่น และยังพบว่าไม่มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าน้อย การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ง่าย และการดูดซับอาจเกิดขึ้นชั้นกันได้เป็นหลายชั้น (Multilayer) มักจะหมายความกับสภาวะอุณหภูมิต่ำ (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.5.1.2 การดูดซับแบบเคมี (Chemical adsorption) เกิดขึ้นเมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับทำปฏิกิริยาเคมีกัน ส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี คือ มีการทำลายแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอะตอนหรือกลุ่มอะตอนเดิม แล้วมีการจัดเรียงอะตอนขึ้นใหม่โดยมีพันธะเคมีซึ่งเป็นพันธะที่แข็งแรง มีพลังงานกระตุ้นเข้ามาเกี่ยวข้อง ความร้อนของการดูดซับมีค่าสูง การกำจัดตัวถูกดูดซับออกจากผิวตัวดูดซับจะทำได้ยากและการดูดซับจะเป็นการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.5.1.3 การดูดซับแบบแลกเปลี่ยน ไอออน (Exchange ion adsorption) การดูดซับแบบนี้อาศัยการดูดติดด้วยไฟฟ้าสถิตบริเวณผิว เมื่อตัวดูดซับและตัวถูกดูดซับมีประจุ จะเกิดแรงดึงดูดระหว่างไอออนตัวถูกดูดซับที่มีประจุกับตัวดูดซับที่มีประจุตรงข้ามกัน (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

2.5.1.4 การดูดซับแบบเฉพาะ (Specific adsorption) เกิดขึ้นเนื่องจากมีแรงยึดเหนี่ยวของโมเลกุลตัวถูกดูดซับกับตัวดูดซับที่มีหมุ่ฟังก์ชั่นอยู่บนผิว แต่ไม่มีผลทำให้ตัวถูกดูดซับเปลี่ยนโครงสร้างไป พฤติกรรมการดูดซับชนิดนี้จะมีค่าพลังงานในการยึดเหนี่ยวอยู่ระหว่าง พลังงานของการดูดซับแบบกายภาพและการดูดซับแบบเคมี (มั่นสิน ตัณฑุลเวศม์, 2542)

### 2.5.2 ขั้นตอนการดูดซับหรือการดูดติดผิว มี 4 ขั้นตอน ดังนี้

2.5.2.1 การเคลื่อนที่ของโมเลกุลตัวถูกดูดซับเข้าหาตัวดูดซับ โดยการเคลื่อนที่อาจเกิดเนื่องมาจากมีการกวนน้ำทำให้เกิดการปั่นป่วน หรือเนื่องจากกลไกการเคลื่อนที่ระดับโมเลกุลที่เกิดจากการแพร่กระจายแบบรewire เนยน การเคลื่อนที่ตามเส้นทางการไหลของน้ำซึ่งเป็นการเคลื่อนที่ที่มีกลไกเช่นเดียวกับที่เกิดในเครื่องกรองน้ำ (Vladimir et al., 1974)

2.5.2.2 Film diffusion โนเมเลกุลของตัวถูกคุณชั้บเข้ามาถึงตัวคุณชั้บ ซึ่งมีฟิล์มของน้ำห่อหุ้มอยู่โดยรอบกล้ายื่องบาง ๆ โนเมเลกุลต้องแทรกตัวผ่านฟิล์มน้ำให้ได้จึงจะเข้าถึงผิวของตัวคุณชั้บได้

2.5.2.3 Pore diffusion เนื่องจากตัวคุณชั้บมีลักษณะของพื้นที่ผิวเป็นโพรงหรือช่องว่างภายในโนเมเลกุลของตัวถูกละลาย จึงต้องแทรกตัวให้เข้าถึงช่องว่างภายในตัวคุณชั้บ จึงจะมีการคุณชั้บเกิดขึ้น

2.5.2.4 โนเมเลกุลของตัวถูกคุณชั้บจะเกาะติดที่ผิวของตัวคุณชั้บโดยไม่หลุดออก

2.5.3 วัสดุคุณชั้บ สามารถแบ่งได้ 2 กลุ่มตามพฤติกรรมของการคุณชั้บ (จรรยาพร ไชยวิเศษ, 2549) ดังนี้

2.5.3.1 กลุ่มที่ได้จากพืชประเพณีพืช วัสดุกลุ่มนี้จะมีรูปรุนทดนาคเล็กมาก กระ JACK ระยะอยู่ทั่วไปตามพื้นที่ผิวของตัวคุณชั้บ สามารถคุณชั้บตัวถูกคุณชั้บไว้ที่ผิวในลักษณะเป็นชั้น (Layer) ทำให้วัสดุกลุ่มนี้ใช้ในการคุณชั้บได้ ความสามารถในการคุณชั้บขึ้นอยู่กับปริมาณการรับอนและการจัดเรียงตัวของอะตอนการรับอน ถ้าปริมาณการรับอนสูงจะคุณชั้บได้ เช่น แกลบเผาถ่าน และถ่านกัมมันต์ เป็นต้น

2.5.3.2 กลุ่มแร่ชาตุจากธรรมชาติ วัสดุกลุ่มนี้ภายในโครงสร้างจะประกอบด้วยแผ่นซิลิกาเตคริสตอลเชื่อมต่อกันกับแผ่นอุบมินาออกตะศิครอต การคุณชั้บโดยอนของตัวคุณชั้บเกิดจากการที่มีการแตกหักของพันธะเคมีภายในโครงสร้าง ทำให้เกิดประจุต่ำขึ้น โดยมีประจุต่ำก้าวเป็นลบ ดังนั้นจึงสามารถดึงคุณประจุบวก ที่มีอยู่ในสภาพมีโนเมเลกุลนำสื่อมรอน (Hydrate) ไว้ที่ผิวของมันได้ด้วยแรงดึงดูดไฟฟ้าสถิต เช่น ดินขาวหรือกาลิน เป็นไห้ในต์และซีโอลิต์

#### 2.5.4 ปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชั้บ

##### 2.5.4.1 ขนาดและพื้นที่ผิวของตัวคุณชั้บ (Size and surface area)

เนื่องจากปฏิกิริยาที่พื้นที่ผิวเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของพื้นที่ผิว ความสามารถของตัวคุณชั้บในการคุณชั้บจึงมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพื้นที่ผิวจำเพาะ และอัตราการคุณชั้บเป็นอัตราส่วนผลกระทบกับขนาดตัวคุณชั้บ เมื่อตัวคุณชั้บนั้นไม่มีรูปรุน อัตราการคุณชั้บจะเป็นอัตราส่วนผลกระทบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวคุณชั้บ แต่สำหรับตัวคุณชั้บที่มีรูปรุน อัตราการเคลื่อนที่เข้าสู่พื้นที่ผิวภายในรูปรุนถูกควบคุมโดยขั้นตอนการขนส่งชั้นฟิล์ม (Film transport) ถ้าการเคลื่อนที่ภายในอนุภาคเป็นตัวควบคุมอัตราการคุณชั้บ การคุณชั้บจะเป็นอัตราส่วนผลกระทบกับเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวคุณชั้บ (มั่น สิน ตัณฑุลเวศ, 2542)

#### 2.5.4.2 ลักษณะของตัวถูกดูดซับ (Nature of adsorbate)

การดูดซับจะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความสามารถในการละลายน้ำของตัวถูกดูดซับมีค่าลดลง เนื่องจากกระบวนการดูดซับที่ผิวตัวถูกดูดซับ มีการดึงเอาตัวถูกดูดซับออกมากจากตัวทำละลาย นอกจากนี้ถ้าอัตราการดูดซับถูกควบคุมด้วยอัตราการเคลื่อนที่ภายในโพรงขนาดไม่เล็ก ของตัวถูกดูดซับยังมีผลต่ออัตราการดูดซับอีกด้วย และขนาดไม่เล็กของตัวถูกดูดซับจะแปรผันกับอัตราการดูดซับ (มั่นสิน ตันตุลเวศ์, 2542)

#### 2.5.4.3 พีเอช (pH)

พีเอชมีผลต่อการแทรกตัวของไօอ่อนและการละลายน้ำของสารต่าง ๆ ดังนั้นจึงมีผลต่อการดูดซับ นอกจากนี้ไօอ่อน ไօอ่อนและไօครอกซิล ไօอ่อนก็เป็นไօอ่อนที่สามารถถูกดูดซับได้อย่างดี ที่พีเอชต่ำจะทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างไօอ่อน ไօอ่อนหรือไօครอเนียม ไօอ่อนกับไօอ่อนประจุบวกตัวอื่น เช่น ใน การดูดซับสังกะสีโดยใช้ชีวนะ (Biomass) ที่พีเอชต่ำจะทำให้เกิดการแข่งขันกันระหว่างไօอ่อนหรือไօครอเนียม ไօอ่อนกับไօอ่อนของสังกะสี ทำให้การดูดซับสังกะสีลดลง (Norton et al, 2004) โดยทั่วไปแล้วการดูดซับสารอินทรีย์เพิ่มขึ้นเมื่อพีเอชลดลง

#### 2.5.4.4 อุณหภูมิ (Temperarure)

อุณหภูมนีผลต่ออัตราเร็วและขีดความสามารถในการดูดซับ กล่าวคือ อัตราเร็วเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ และอัตราเร็วลดลงตามการลดลงของอุณหภูมิ แต่ปัจจัยความสามารถในการดูดซับจะมีค่าลดลงที่อุณหภูมิสูงและจะมีค่าเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิต่ำ ทั้งนี้ก็เนื่องมาจากการดูดซับเป็นปฏิกิริยาความร้อน (Exothermic) (มั่นสิน ตันตุลเวศ์, 2542)

#### 2.5.4.5 ความปั่นป่วน (Mixing speed)

อัตราการดูดซับอาจขึ้นอยู่กับการขนส่งผ่านแผ่นฟิล์ม (Film transport) และการแพร่เข้าสู่โพรง (Pore diffusion) ซึ่งในระบบที่มีความปั่นป่วนต่ำ ฟิล์มของของเหลวที่อยู่รอบสารดูดซับจะมีความหนามาก ทำให้ไม่เล็กของสารดูดซับเคลื่อนที่เข้าหาสารดูดซับได้ยากโดยทางตรงกันข้ามถ้ามีความปั่นป่วนสูง ความหนาของชั้นฟิล์มจะลดลงทำให้ไม่เล็กเคลื่อนที่เข้าหาตัวถูกดูดซับได้เร็วขึ้น ดังนั้นการแพร่เข้าสู่โพรงจะเป็นตัวกำหนดอัตราเร็วในการดูดซับ

#### 2.5.4.6 เวลาสัมผัส (Contact time)

เวลาสัมผัสในกระบวนการดูดซับเป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญอย่างหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพการดูดซับ และอายุการใช้งานของการดูดซับแบบต่อเนื่อง เพื่อที่จะให้แน่ใจได้ว่าการดูดซับของสารเปลกปลอกในน้ำเป็นไปอย่างเหมาะสม สิ่งเปลกปลอกนี้ควรจะมีเวลาเก็บกักในชั้นของการรับอนนานประมาณ 30 นาที (Cheremisinoff et al, 1973)

กระบวนการในการบำบัดน้ำเสียมีหลากหลายวิธีแล้วแต่จะเลือกใช้ตามความเหมาะสม ซึ่งในการศึกษานี้จะใช้วิธีการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีการคุณชับ โดยใช้วัสดุตัวคุณชับเป็นถ่านกัมมันต์มูลโค (Cow dung activated carbon) ซึ่งเป็นสารที่สังเคราะห์จากวัสดุทางธรรมชาติ มีองค์ประกอบของคาร์บอน (C) 31.6% ในผงมูลโคแห้ง 20 กรัม (Kumar and Shende, 2552) ในโครงสร้าง (N) 0.87-1.17% ฟอสฟอรัส (P) 0.33-0.64% โพแทสเซียม (K) 0.53-0.87% ในน้ำหนักมูลโคแห้ง 1 กิโลกรัม (จรัญ จันทลักษณา และพกานพารณ ศกุลมั่น, 2542) นอกจากนี้ยังมีส่วนประกอบของเซลลูโลสและลิกนิน ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เหมาะสม เพราะนอกจากจะมีประสิทธิภาพแล้วยังเป็นการลดต้นทุนในกระบวนการอีกด้วย เนื่องจากวัสดุเหลือใช้ทางธรรมชาติมีอยู่มากและหาได้ง่าย ซึ่งนอกจากจะเป็นการลดต้นทุนในการบำบัดน้ำเสียแล้วยังเป็นการเพิ่มน้ำค่าของมูลโคให้กับเกษตรกรอีกด้วย

## 2.6 ถ่านกัมมันต์ (Activated carbon)

ถ่านกัมมันต์เริ่มนิยมการผลิตในศตวรรษที่ 17-18 ซึ่งมีการผลิตถ่านกัมมันต์ขึ้นมาใช้โดยนำไม่มาเพาในบริเวณที่มีอากาศจำจัด ถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ส่วนมากจะนำไปใช้ในโรงงานกลุ่มแร่ และใช้เป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อน ต่อมานิยมการค้นพบว่าถ่านมีคุณสมบัติในการคุณชับได้ดี และพบว่า การใช้ถ่านปริมาณเล็กน้อยสามารถกำจัดสีและกลิ่นในของเหลวชนิดต่าง ๆ ได้ เช่น ไวน์ และน้ำตาล จากจุดนี้จึงมีความพยายามที่จะทำให้ถ่านกัมมันต์มีความสามารถในการคุณชับดีขึ้น โดยกระบวนการกระตุ้นซึ่งโดยทั่วไปจะใช้ไอน้ำ ขณะนี้มีความต้องการใช้ถ่านกัมมันต์ในทวีปยุโรป เติบโตขึ้น และนิยมใช้ถ่านกัมมันต์ที่ได้จากการคุณ化ใช้ในโรงงานน้ำตาล โดยใช้ในรูปทรงถ่านผสมลงในสารละลายที่ร้อนแล้วกรองสารละลายออก (สุรชัย วงศารี และคณะ บุญแต่ง, 2548)

คุณสมบัติการคุณชับและก้าชของถ่านกัมมันต์ เริ่มเป็นที่สนใจกันในระหว่างศตวรรษที่ 1 ความต้องการหน้ากากสำหรับป้องกันก้าชพิษมีมากขึ้น เนื่องจากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตขึ้นสำหรับฟอกสีน้ำตาลมีลักษณะเบาและพองไม่เหมาะสมที่จะทำไส้กรองก้าชพิษเนื่องจากต้องใช้ปริมาณมาก จากจุดนี้เองจึงส่งผลให้มีการค้นคว้าวิจัยถ่านกัมมันต์ชนิดอื่นซึ่งมีความสามารถในการคุณชับสูง เพื่อใช้เป็นไส้กรองหน้ากากป้องกันก้าชพิษ จากข้อมูลดังกล่าวทำให้มีผู้พยายามผลิตถ่านกัมมันต์ชนิดใหม่ ให้มีความหนาแน่นมากขึ้นสำหรับใช้ในการคุณก้าชและต่อมาสังกรมสูงลง การค้นคว้าเกี่ยวกับประสิทธิภาพสำเร็จ และมีผู้นำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ เช่น การคุณ化ของสารละลายคุณ化ในเบนซิน เป็นต้น (สุรชัย วงศารี และคณะ บุญแต่ง, 2548)

## 2.6.1 ชนิดของถ่านกัมมันต์ ถ่านกัมมันต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

2.6.1.1 ถ่านกัมมันต์ชนิดผง (Powder activated carbon: PAC) ถ่านกัมมันต์ชนิดผงมีขนาดประมาณ 10 ไมครอนหรือน้อยกว่า (สันทัด ศิริอันต์ไฟบูลล์, 2549) ถ่านกัมมันต์ชนิดผงนี้นิยมเติมก่อนกระบวนการตกรากอนหรือกระบวนการกรองน้ำ ในกรณีที่น้ำมีสีและความชุ่นต่ำ อาจแก้ไขได้โดยการเติมผงถ่านกัมมันต์ประมาณ 5-20 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วกรองออกด้วยเครื่องกรองน้ำ ถ่านกัมมันต์ชนิดผงจะมีราคาถูก และการคุ้คิดผิวจะเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เนื่องจากโมเลกุลหรือกลุ่มของสารที่สามารถสัมผัสกับผิวถ่านกัมมันต์ได้ง่าย แต่จะไม่คุ้มค่าเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ด

2.6.1.2 ถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ด (Granular activated carbon, GAC) ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้มีขนาดใกล้เคียงกับขนาดของเม็ดทรายกรองน้ำ แต่ประและเบากว่าทรายกรองน้ำ ในการปฏิบัติมักใช้ถ่านกัมมันต์เป็นวิธีกำจัดสีที่ตกค้างมาจากกระบวนการอื่น ๆ เช่น อาจมีกระบวนการทางเคมีและกระบวนการทางชีวภาพกำจัดน้ำเสียก่อน จากนั้นจึงใช้ถ่านกัมมันต์ชนิดนี้กำจัดน้ำเสียต่ออีกที ดังนั้นถ่านกัมมันต์จึงรับภาระน้ำอย่างทำให้ประยัดค่าใช้จ่ายได้ ถ่านกัมมันต์ชนิดเกร็ดที่ใช้แล้วและเสื่อมสภาพ สามารถนำไปทำรีเจเนอเรชันและนำกลับมาใช้ใหม่ได้ แต่อย่างไรก็ตามการพื้นฟูสภาพด้องเพาที่อุณหภูมิสูงมาก ทำให้ถ่านกัมมันต์บางส่วนถลายเป็นผงและเสียหายใช้การไม่ได้ (สันทัด ศิริอันต์ไฟบูลล์, 2549)

## 2.6.2 กระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์

โดยทั่วไปกระบวนการผลิตถ่านกัมมันต์มีหลายขั้นตอน ดังแสดงสรุปในภาพที่ 2.2 แต่ย่างไรก็ตาม ขั้นตอนหลักที่สำคัญที่มีผลต่อการคุณภาพ ลักษณะพื้นที่ผิว ขนาดและปริมาตรของรูพรุน ของถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ขึ้นอยู่กับขั้นตอน Carbonization และ Activation ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

2.6.2.1 การคาร์บอนไนซ์เชชัน (Carbonization) เป็นกระบวนการไฟโลไฮซิส (Pyrolysis) โดยใช้ความร้อนໄล่ความชื้น และสารต่าง ๆ ออกจากวัตถุดิน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จะอยู่ในรูปของข่องแข็งที่เรียกว่าถ่านชาร์ (Char) และส่วนที่หลุดออกมายัง ก๊าซและน้ำมันtar (Tar) กระบวนการนี้เป็นการเพิ่มร้อยละของการรับอนให้สูงขึ้น (ปิยพร บารมี, 2542) ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นการแปรสภาพอินทรีย์วัตถุให้เป็นถ่าน ทำโดยนำวัตถุดินที่มีคาร์บอนเป็นองค์ประกอบหลักมาเผาในสภาวะที่มีออกซิเจนอยู่น้อย ในระยะเวลาแรกของการเผา ใช้โครงสร้างในโครงสร้าง และออกซิเจนจะถูกเผาออกก่อนในรูปของก๊าซ ทำให้ได้ถ่านที่มีสัดส่วนขององค์ประกอบของคาร์บอนสูงขึ้น จากนั้นเมื่อให้อุณหภูมิสูงขึ้นสารอินทรีย์จะแตกสลายพร้อมกับปล่อยน้ำมันดิน (Tar) และสารอื่น ๆ

เข่น ออกซิเจน นำ คาร์บอนไดออกไซด์ เป็นต้น เป็นจำนวนมากออกมา สีของวัตถุดินเริ่มเปลี่ยนเป็นสีดำ เนื่องจากปฏิกิริยา Carbonization ของเซลลูโลสและลิกนินเป็นหลัก เซลลูโลสจะสูญเสียมากที่สุดในช่วงนี้ ถ้าที่ได้มีความสามารถในการคุณชับต่ำเพระมีพื้นที่ผิวและรูพรุนน้อย และบังคงมีน้ำมันดินบางส่วนตกค้างอยู่ในรูพรุน หรือเกาะอยู่ตามผิวจึงจำเป็นต้องถ่านนี้ไปผ่านขั้นตอนการกระตุ้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการคุณชับ (Smisek, 1970) โดยรายละเอียดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นในระหว่างกระบวนการเพิ่มสัดส่วนของคาร์บอนในโครงสร้าง และผลิตภัณฑ์ของถ่านchar ได้มีผู้เสนอไว้ เช่น Anthony J. Buonicore และ William D. Byers (Anthorony Jb, Wayne Td, 1992)

2.6.2.2 การกระตุ้น (Activation) เป็นการทำให้คาร์บอนหรือถ่านหารมีความสามารถในการคุณชับสูงขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มพื้นที่ผิวและทำให้ผิวของถ่านหารมีความว่องไวมากขึ้น (ปิยพร บารมี, 2542) ซึ่งวัตถุประสงค์ของการกระตุ้นมีอยู่ 3 ลักษณะคือ

(1) การเพิ่มพื้นที่ผิวที่ว่องไว (Active Surface Area) โดยการเกิดปฏิกิริยาทางเคมี ทำให้ไมเลกุลบางกลุ่มหลุดออกไประและเกิดส่วนที่มีอำนาจในการคุณชับขึ้นมาแทน

(2) การเพิ่มความว่องไวในการคุณชับให้ผิวที่มีอยู่แล้วซึ่งหมายถึงการทำให้อะตอนของคาร์บอนมีพลังงานศักย์สูงขึ้น โดยจัดเปลี่ยนโครงสร้างใหม่ให้มีความว่องไวในการคุณชับสูงขึ้น

(3) การกำจัดอนทรีย์วัตถุและอนินทรีย์วัตถุต่าง ๆ ซึ่งเป็นสารปนเปื้อนออกจากบริเวณที่ทำหน้าที่คุณชับ (Active Center)

โดยทั่วไปขั้นตอนในการกระตุ้นสามารถกระทำได้ 2 วิธี คือ

(1) วิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมี (Chemical activation) คือการนำถ่านหารมาระਸນกับสารเคมี เช่น ชิงค์คลอไรด์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ เป็นต้น แล้วนำไปเผาในที่รีอากาศโดยใช้อุณหภูมิในการเผาประมาณ 600 - 700 องศาเซลเซียส นำผลิตภัณฑ์ที่ได้ถังเพื่อเอาสารเคมีออกให้หมด และนำมามีสิ่งแวดให้แห้ง โดยทั่วไปวิธีการกระตุ้นด้วยสารเคมีเป็นวิธีที่มีต้นทุนในการผลิตสูง และอาจมีสารเคมีตกค้างในถ่านกัมมันต์ทำให้ต้องเสียเวลาและค่าใช้จ่ายในการถังสารเคมีออก รวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้ต้องมีความสามารถทนต่อการกัดกร่อนได้ เช่น การกระตุ้นด้วยชิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) การกระตุ้นด้วยโซเดียมคลอไรด์ ( $NaCl$ ) เป็นต้น

(2) วิธีการกระตุ้นทางกายภาพ (Physical activation) คือ การนำถ่านหารมาระดับต่ำด้วยไอน้ำ หรือก๊าซต่าง ๆ เช่น การกระตุ้นด้วยไอน้ำ การกระตุ้นด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) และการกระตุ้นด้วยอากาศเป็นต้น



ภาพที่ 2.2 ขั้นตอนการผลิตถ่านกัมมันต์ (กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม, 2548)

### 2.6.3 ประโยชน์ของถ่านกัมมันต์

ถ่านกัมมันต์มีคุณสมบัติในการคัดซับ ฟอกสี มีอุดสาหกรรมหลายประเภทที่นำถ่านกัมมันต์มาใช้ โดยส่วนมากถ่านกัมมันต์ที่ผลิตได้ที่เป็นแบบชนิดผงนั้น ส่วนมากนำไปใช้กับสารที่เป็นของเหลว และถ่านกัมมันต์ชนิดเกล็ดนั้นจะนำไปประยุกต์ใช้กับสารที่เป็นก๊าซ โดยอุดสาหกรรมต่าง ๆ ที่นำถ่านกัมมันต์ทึ้งสองประเภทไปใช้สรุปได้ ดังนี้

#### 2.6.3.1 อุดสาหกรรมน้ำตาลใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อฟอกสีและทำให้น้ำตาลดิบ บริสุทธิ์ขึ้น

2.6.3.2 อุดสาหกรรมน้ำมันและไขมันสำหรับบริโภค นอกจากใช้ในการฟอกสีแล้ว ยังใช้ในการแยกเอาสูญเสียและเปอร์ออกไซด์ออกจากน้ำมันและไขมันได้ด้วย

2.6.3.3 อุดสาหกรรมอาหารใช้ถ่านกัมมันต์เพื่อคุ้กคิดน้ำมันและฟอกสีของผลิตภัณฑ์อาหารซึ่งคือการใช้สารเคมีชนิดอื่นเพราะไม่เป็นอันตราย และไม่เกิดปฏิกิริยา กับผลิตภัณฑ์อาหาร

2.6.3.4 อุตสาหกรรมเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ เช่น ไวน์ วิสกี้ น้ำใช้ด่านกัมมันต์เพื่อคุณลักษณะที่ไม่ต้องการ ทำให้เครื่องดื่มที่ได้มีรสชาติดีขึ้น

2.6.3.5 อุตสาหกรรมเคมีและยา ถ่านกัมมันต์ใช้ในการผลิตสารเคมีและยาหลายชนิด

2.6.3.6 อุตสาหกรรมการทำน้ำให้บริสุทธิ์ โดยใช้เป็นตัวคุณลักษณะฟอกสี

2.6.3.7 อุตสาหกรรมการแยกสารที่ต้องการ เช่น การแยกทองหลังการสกัดจากแร่ด้วยวิธีไซยาไนด์ การแยกไฮโดรคลอริกจากน้ำเกลือที่เกิดในหลุนน้ำมัน (petroleum oil well brines) ตลอดจนการผลิตวิตามินและซอร์โนนอีกหลายชนิด กระบวนการที่มีการใช้สารเร่ง (Catalytic Process) ถ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวพาสารเร่ง (catalyst carrier) ในปฏิกิริยาที่มีการใช้สารเร่งหลายชนิด รวมทั้งทำหน้าที่เป็นตัวกระตุ้นการทำงานของตัวเร่งให้ดีขึ้นด้วย

2.6.3.8 อุตสาหกรรมทำหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ทั้งที่ใช้กันในการทหารและที่ใช้กันทั่วไป ทั้งนี้ เพราะถ่านกัมมันต์สามารถดูดซับก๊าซพิษและไอของสารอินทรีย์ได้

2.6.3.9 อุตสาหกรรมที่ใช้ถ่านกัมมันต์ดูดซับไอระเหยของตัวทำละลายที่ใช้แล้วกลับมาใช้ใหม่ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดซับไอระเหยเหล่านั้นที่อุณหภูมิห้อง และจะหายออกที่ความดันของไอระเหยต่ำ ๆ

2.6.3.10 อุตสาหกรรมเครื่องปรับอากาศ โดยถ่านกัมมันต์จะดูดก๊าซพิษในอากาศต่าง ๆ เช่นการรับอนไดออกไซด์ ในโทรศัพท์มือถือ เป็นต้น

2.6.3.11 อุตสาหกรรมบุหรี่ โดยใช้ถ่านกัมมันต์เป็นกันกรองบุหรี่

## 2.7 ไอโซเทอมการดูดซับ (Adsorption Isotherm)

การดูดซับจะอธิบายถึงการเกะติดของสารอินทรีย์ หรือสารอินทรีย์บนผิวของตัวดูดซับ โดยหากที่จะอธิบายถึงความแตกต่างกันระหว่างการดูดซับทางเคมีและการดูดซับทางกายภาพ ดังนี้นี่จึงเรียกว่า ถ่านเป็นการดูดซับ เมื่อไหร่ที่อัตราการดูดซับเท่ากับอัตราการคายออก (Desorption) นั่นคือถึงจุดสมดุล ก็คือความสามารถในการดูดซับของตัวดูดซับลดลง (เกรียงศักดิ์ อุดมสิน โภจน์, 2547) ที่จุดสมดุลนี้ความเข้มข้นของสารที่ถูกดูดซับในน้ำเท่ากับความเข้มข้นในสารดูดซับที่อุณหภูมิคงที่หนึ่ง ๆ เราใช้ Adsorption Isotherm เป็นตัวแทนในการอธิบายความสมดุลที่เกิดขึ้น (สันทัด ศรีอันันต์พญลักษ์, 2549)

Adsorption Isotherm คือ ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณของสารที่ถูกดูดซับและความเข้มข้นของสารที่ยังเหลืออยู่ในน้ำที่อุณหภูมิคงที่ แล้วนำไปพลอตกราฟลอกกาลีทีน โดยให้ความเข้มข้นที่เหลืออยู่ในน้ำเป็นแกนนอนและปริมาณของสารที่ถูกดูดซับไปต่อหน้าสารดูดซับเป็น

แกนดั้ง เส้นโค้งที่เกิดจากการถากผ่านจุดที่ได้จากการทดลองทั้งหมด เรียกว่า Adsorption Isotherm ซึ่งมีประโยชน์มากในการหาความสามารถในการดูดซับของสิ่งสกปรกในน้ำเพื่อเปรียบเทียบชนิดของสารดูดซับที่ดีที่สุด (สันทัด ศิริอนันต์ไพฑูรย์, 2549)

สมการ Adsorption Isotherm ได้มีการวิเคราะห์โดย Langmuir, Freundlich และ Brunauer, Emmet และ Teller (BET) แต่สมการของ Langmuir และ Freundlich จะนิยมใช้กันน้ำเสียที่ถูกดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (เกรียงศักดิ์ อุตมสิน ใจน้ำ, 2547) และเป็นทฤษฎีที่นิยมใช้งานมากที่สุด โดยสมมติฐานของทฤษฎีทั้งสองนี้เป็นแนวความคิดแบบจำลองทั้งแบบ Monolayer สำหรับทฤษฎีของ Langmuir และแบบ Multilayer สำหรับทฤษฎีของ Freundlich (สันทัด ศิริอนันต์ไพฑูรย์, 2549) ดังนี้

### 2.7.1 สมการของแอลเมียร์ (Langmuir Isotherm)

เป็นสมการที่เสนอโดย ออร์วิ้ง แอลเมียร์ (Irving Langmuir) ใช้สำหรับการดูดซับแบบชั้นเดียว (Monolayer) มีสมมติฐานคือ โมเลกุลที่ถูกดูดซับมีจำนวนที่แน่นอน และมีตำแหน่งของการดูดซับ (Adsorption site) ที่แน่นอน โดยในแต่ละ โมเลกุลของตัวดูดซับจะดูดซับ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับได้เพียงหนึ่ง โมเลกุลเท่านั้น ในแต่ละตำแหน่งมีความร้อนของการดูดซับเท่ากันและคงที่ ไม่มีแรงกระทำระหว่าง โมเลกุลที่อยู่ใกล้กันและ โมเลกุลของตัวถูกดูดซับไม่มีการเคลื่อนที่ อิสระบนผิว (Langmuir, 1918) ดังสมการที่ (2.1)

$$q = q_m \frac{C_e}{b + C_e} \quad (2.1)$$

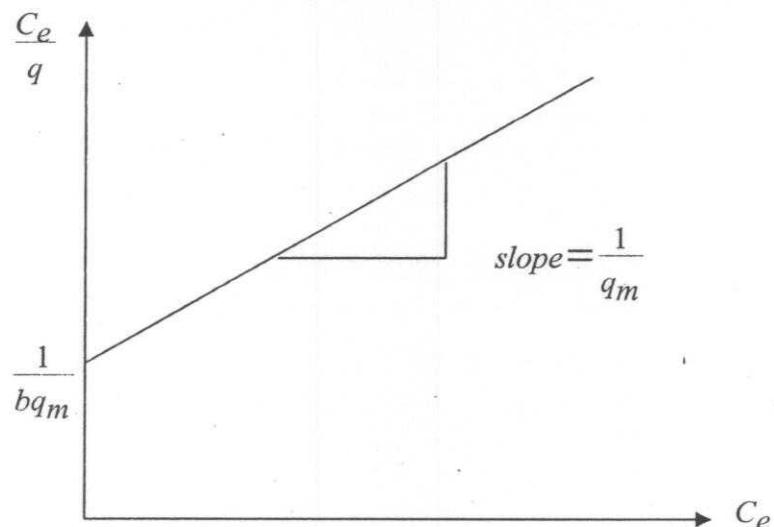
- เมื่อ  $C_e$  คือ ความเข้มข้นสุดท้ายหลังการดูดซับ (มิลลิกรัมต่อลิตร)  
 $q$  คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)  
 $q_m$  คือ ค่าการดูดซับสูงสุด (มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม)  
 $b$  คือ ค่าคงที่การดูดซับ (Adsorption affinity)

เพื่อให้สามารถหาค่า  $q_m$  และ  $b$  ได้ด้วยวิธีสร้างกราฟ จึงต้องจัดรูปสมการใหม่ ให้เป็นสมการเส้นตรง ดังสมการที่ (2.2) และ (2.3)

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_m} + \frac{1}{bq_m} \times \frac{1}{C_e} \quad (2.2)$$

$$\frac{C_e}{q} = \frac{C_e}{q_m} + \frac{1}{bq_m} \quad (2.3)$$

เมื่อเขียนกราฟระหว่าง  $\frac{C_e}{q}$  กับ  $C_e$  จะได้กราฟเส้นตรงที่มีจุดตัดแกนเท่ากับ  $\frac{1}{bq_m}$  และมีความชันเท่ากับ  $\frac{1}{q_m}$  ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.3) ของ Langmuir Isotherm

### 2.7.2 สมการของฟรูนคลิช (Freundlich Isotherm)

เป็นสมการที่ใช้กับกรณีการถ่ายเทพลังงานผ่านพื้นที่ผิวแบบไม่เป็นเนื้อเดียว (Freundlich, 1906) ซึ่งฟรูนคลิชได้เสนอความสัมพันธ์สมดุลของการดูดซับตามสมการที่ (2.4) ดังนี้

$$q = K_f C_e^{\frac{1}{n}} \quad (2.4)$$

เมื่อ  $q$  คือ ปริมาณของสารถูกดูดซับต่อปริมาณของตัวดูดซับ  
(มิลลิกรัมต่อกรัม)

$C_e$  คือ ความเข้มข้นสุคท้ายหลังการดูดซับที่สมดุล

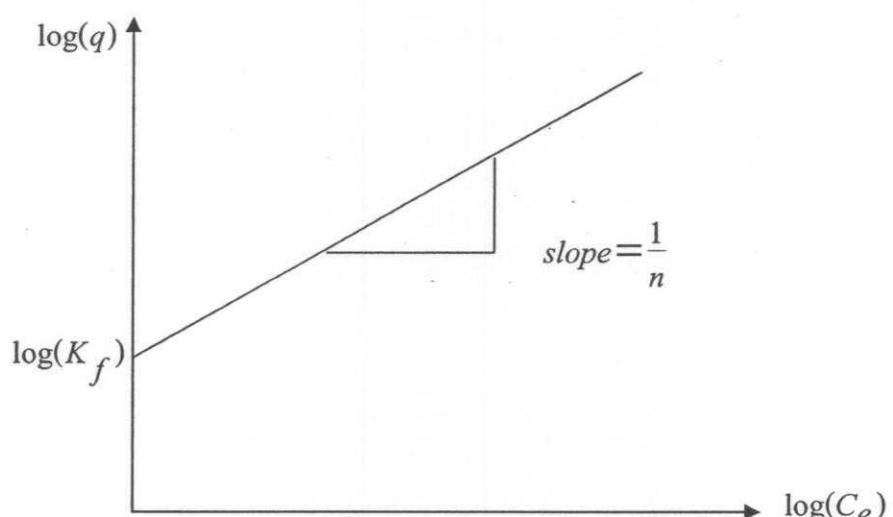
(มิลลิกรัมต่อลิตร)

$K_f, n$  คือ ค่าคงที่

เพื่อให้สามารถหาค่า  $K_f$  และ  $n$  ได้ด้วยวิธีการสร้างกราฟ จึงมีการสร้างกราฟ  $\log$  ขึ้น ดังสมการที่ (2.5) ดังนี้

$$\log(q) = \log(K_f) + \frac{1}{n} \log(C_e) \quad (2.5)$$

เมื่อสร้างกราฟ  $\log$  แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง  $\log(q)$  กับ  $\log(C_e)$  จะได้ กราฟเส้นตรงที่มีจุดตัดแกนเท่ากับ  $\log(K_f)$  และความชันเท่ากับ  $\frac{1}{n}$  ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของสมการที่ (2.5) ของ Freundlich Isotherm

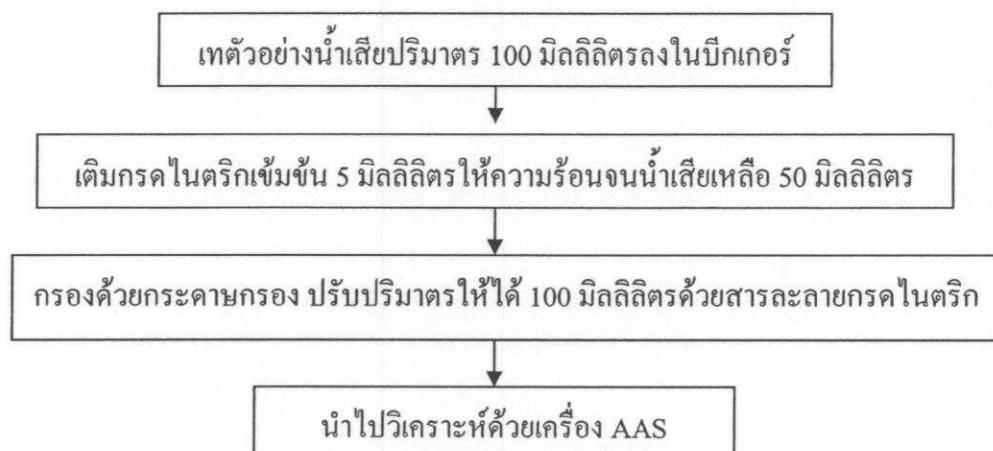
## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัยในการศึกษานี้จะทำการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือขั้นตอนแรกวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอู่พ่นสีรถ เพื่อเลือกโลหะหนักที่จะใช้ในการศึกษาในขั้นตอนถัดไป โดยคุณจากโลหะหนักที่มีค่าเกินค่ามาตรฐาน ขั้นตอนถัดมาคือการศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพในการดูดซับโลหะหนักที่ศึกษาได้ในขั้นตอนแรกนั้นคือ ตะกั่ว ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค และขั้นตอนสุดท้ายคือการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค ตามลำดับ

#### 3.1 การวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอู่พ่นสีรถ

เก็บตัวอย่างน้ำเสียด้วยขวดพลาสติกมีฝาปิดมิดชิดขนาด 1 ลิตร โดยเก็บน้ำเสียตรงรางน้ำเสียที่ปล่อยออกมากจากกระบวนการพ่นสีรถ แล้วแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส แบ่งตัวอย่างน้ำที่เก็บมาเบย่าให้เข้ากันแล้วถ่ายลงในบิกเกอร์ 100 มิลลิลิตร ทำการต้มย่อยด้วยวิธี Nitric Acid Digestion โดยเติมกรดไนโตริกเข้มข้น 5 มิลลิลิตร แล้วต้มให้ร้อนที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส บนเตาไฟฟ้าประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 กรองตัวอย่างน้ำลงในขวดวัดปริมาตรและปรับปริมาตรสุดท้ายเป็น 100 มิลลิลิตร ด้วยสารละลายกรดไนโตริกเจือจาง แล้วแบ่งตัวอย่างน้ำที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของโลหะหนักด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectrophotometer (AAS) ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น AAnalyst 200 โดยใช้เทคนิค Flame atomization technique แล้วเก็บส่วนที่เหลือไว้ทำการทดลองต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3.1

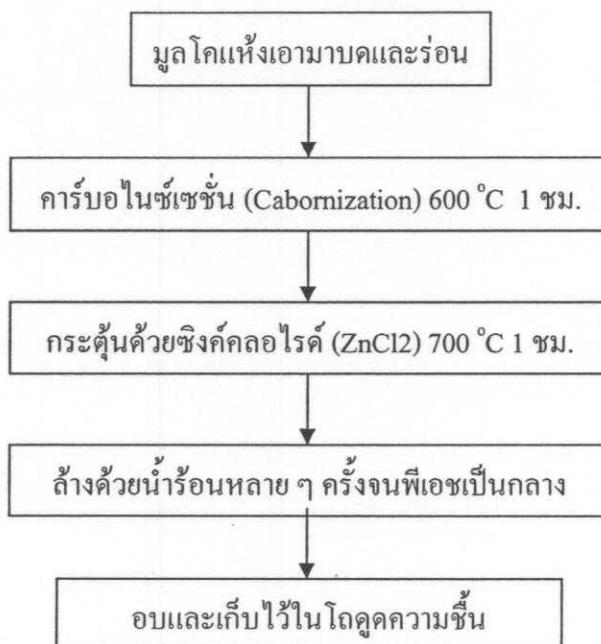


ภาพที่ 3.1 การวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำเสียงจากอุปกรณ์พ่นสีรถ

### 3.2 การศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคัดซับตะกั่วในน้ำเสียงสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

#### 3.2.1 การเตรียมถ่านกัมมันต์มูลโค

นำตัวอย่างมูลโคมาอบที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส ด้วยเตาอบ (Hot air oven) รุ่น 1375 FX ยี่ห้อ Shelleb เป็นเวลา 48 ชั่วโมง แล้วนำมูลโคที่อบแห้งแล้วมาบดและร่อนผ่านตะแกรงขนาด 600 ไมครอน แล้วนำไปทำการคาร์บอนไซซ์ชั่นโดยเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส (สูตรชัย วงศารี, 2550) ด้วยเตาเผา ยี่ห้อ Vecstar Furnaces บริษัทเนคพัฒนา จำกัด เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (สูตรชัย วงศารี, 2550) ทั้งให้เย็นแล้วนำถ่านมูลโคที่ได้มาบดและร่อนด้วยตะแกรงขนาด 600 ไมครอน พสมถ่านมูลโคที่ได้กับสารละลายซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) เข้มข้น 25% โดยน้ำหนัก ในอัตราส่วนน้ำหนักต่อน้ำหนัก คือ 1:1 นำไปเผาอีกครั้งด้วยเตาเผา ยี่ห้อ Vecstar Furnaces ในสภาวะไร่องากที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (สันทัด ศิริอนันต์พันธุ์, 2549) ทั้งให้เย็น แล้วนำถ่านกัมมันต์ที่ได้มาล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนจนถ่านมีสภาพเป็นกล่องแล้วนำไปอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส แล้วทิ้งไว้ให้เย็นในโดดดความชื้นเก็บไว้เตรียมใช้ในการทดลองต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 การเตรียมถ่านกัมมันต์มูลโคด้วยวิธีการกระตุ้นด้วย  $ZnCl_2$

### 3.2.2 การเตรียมสารละลายตะกั่วสังเคราะห์

การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ โดยเตรียมจากสารละลายตะกั่วมาตรฐานเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 10 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรในขวดวัดปริมาตรด้วยน้ำประศาจากไอกอนให้ได้ปริมาตร 1 ลิตร ได้ความเข้มข้นของสารละลายตะกั่ว 100 มิลลิกรัมต่อลิตร เก็บໄວ້เพื่อทำการเจือจางให้ได้สารละลายตะกั่วเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ในการทดลองต่อไป

### 3.2.3 การศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณซับตะกั่ว

#### 3.2.3.1 การศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการคุณซับตะกั่ว

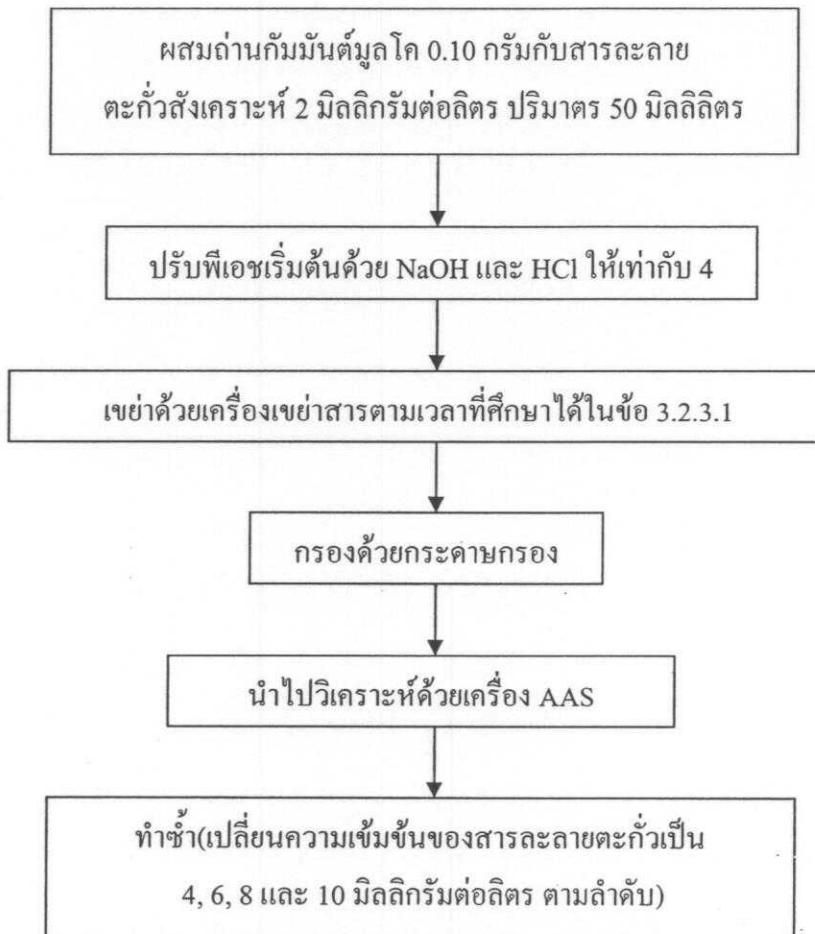
นำถ่านกัมมันต์มูลโคใส่ในขวดรูปชنمพ 5 ขวด ขวดละ 0.1 กรัม เติมสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปขวดละ 50 มิลลิลิตร ปรับค่าพีເອຂເຣີມຕົ້ນດ້ວຍ  $NaOH$  0.1 M และ  $HCl$  0.1 M ให้ได้เท่ากับ 4 ทุกขวด นำไปเขย่าด້ວຍເຄື່ອງເບ່າສາຣັກມີ 200 รอบต่อนາທີ เป็นเวลา 30, 60, 90, 120 และ 150 นาທີตามลำดับ จากนັ້ນนำสารນາກຮອງດ້ວຍกระดาษกรอง Whatman ເບອຣ 1 นำสารละลายທີ່ໄດ້ໄປວິເຄາະທີ່ຫາຄວາມເຂັ້ມືອັນຂອງຕະກຳດ້ວຍເຄື່ອງ AAS ດັ່ງແສດງໃນກາພທີ 3.3



ภาพที่ 3.3 การศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการคุณซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโโค

#### 3.2.3.2 การศึกษาไอโซเทอร์มการคุณซับตะกั่ว

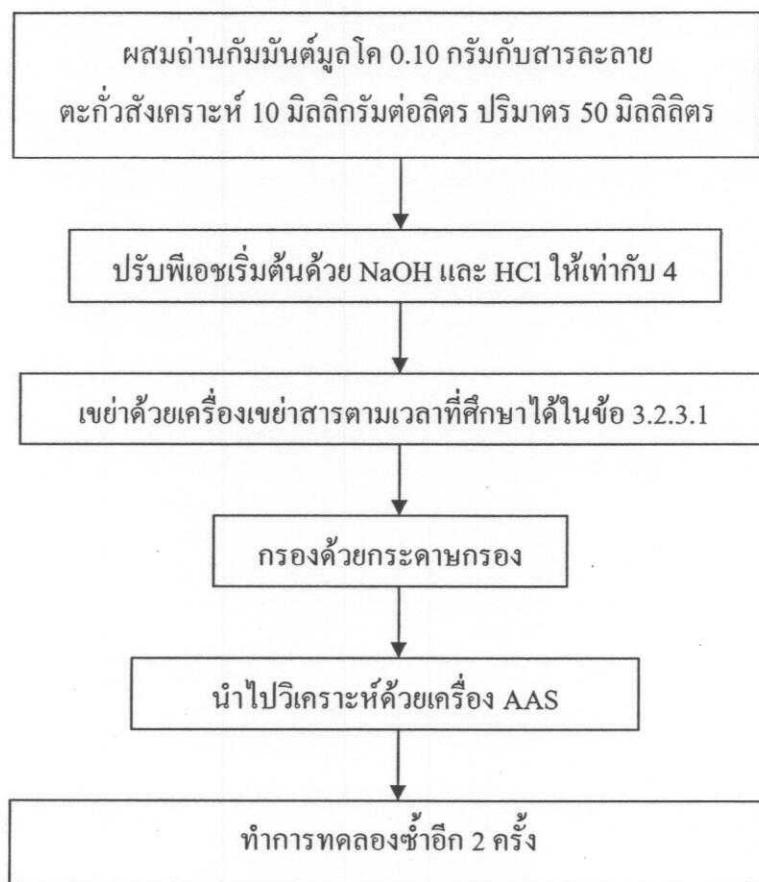
นำถ่านกัมมันต์มูลโโคใส่ในขวดปูนมพู่ 5 ขวด ขวดละ 0.1 กรัม เติมสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปขวดละ 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นด้วย NaOH 0.1 M และ HCl 0.1 M ให้ได้เท่ากับ 4 ทุกขวด นำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเคมี 200 รอบต่อนาที เป็นเวลาดังที่ศึกษาได้ในข้อ 3.2.3.1 จากนั้นนำสารมากรองด้วยกระดาษ Whatman เบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่วด้วยเครื่อง AAS นำผลที่วิเคราะห์ได้ไปศึกษาไอโซเทอร์มการคุณซับแบบ Langmuir (Langmuir Isotherm) และ Freundlich (Freundlich Isotherm) ดังแสดงในภาพที่ 3.4



ภาพที่ 3.4 การศึกษาໄอโซเทอร์มการคุณซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

### 3.2.3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการคุณซับตะกั่ว

นำเอาถ่านกัมมันต์มูลโคมาใส่ในขวดรูปทรง 3 ขวด ขวดละ 0.1 กรัม แล้วเติมสารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตรลงไปขวดละ 50 มิลลิลิตร ปรับค่าพีอีอชเริ่มต้นแต่ละขวดให้เป็น 4 แล้วนำไป夷่าด้วยเครื่อง夷่าสารเคมี 200 รอบต่อนาที ตามเวลาดังที่วิเคราะห์ได้ในข้อ 3.2.3.1 จากนั้นนำสารมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นโดยหนักด้วยเครื่อง AAS ดังภาพที่ 3.5

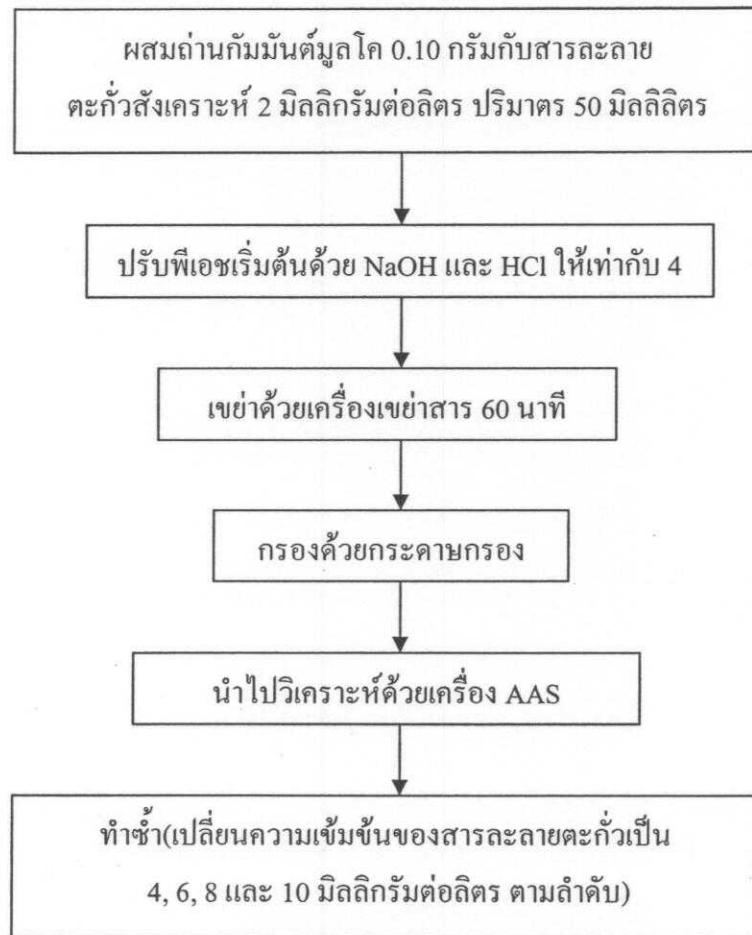


ภาพที่ 3.5 การศึกษาประสิทธิภาพการคุณชับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

### 3.3 การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

#### 3.3.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นตะกั่วในการคุณชับโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

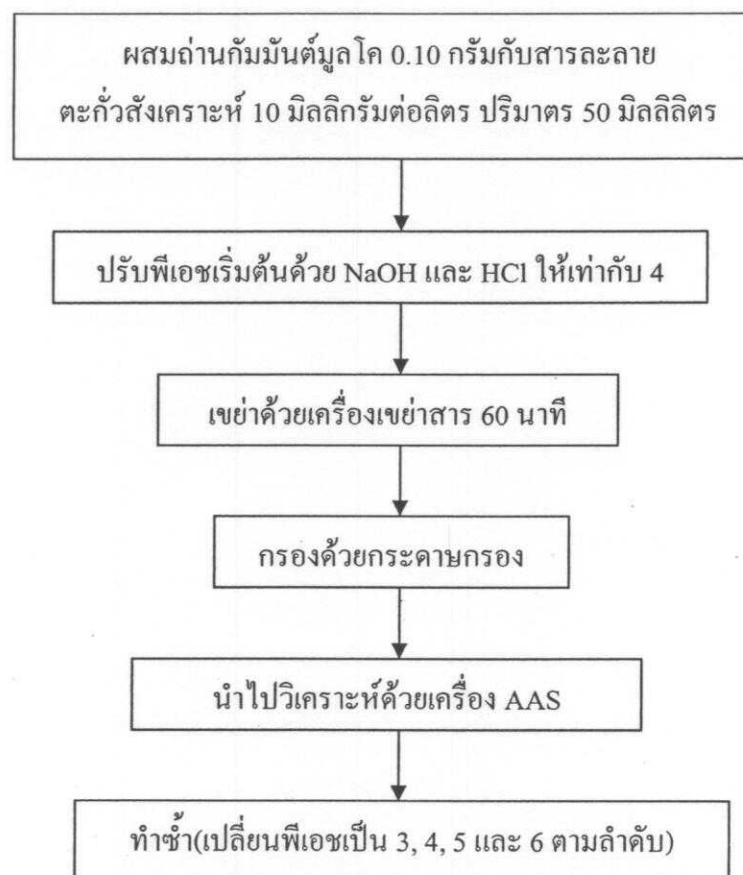
นำถ่านกัมมันต์มูลโคใส่ในขวดรูปทรงพู่ 5 ชุด ขนาด 0.1 กรัม เดิมสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ความเข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปขนาด 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับค่าพีอีชาร์มต้นด้วย NaOH 0.1 M และ HCl 0.1 M ให้ได้เท่ากับ 4 ทุกชุด นำไปเบี่ยงด้วยเครื่องเบี่ยงสารเคมี 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำสารมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่วด้วยเครื่อง AAS ดังแสดงในภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 การศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ในการคุณซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

### 3.3.2 การศึกษาผลของค่าพีเอชเริ่มต้นในการคุณซับตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโค

นำถ่านกัมมันต์มูลโคใส่ในขวดรูปทรงพู่ 5 ขวด ขวดละ 0.1 กรัม เดิมสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ลงไปขวดละ 50 มิลลิลิตร ปรับค่าพีเอชเริ่มต้นด้วย NaOH 0.1 M และ HCl 0.1 M แต่ละขวดให้เป็น 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ แล้วนำໄปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารเคมี 200 รอบต่อนาที เป็นเวลา 60 นาที จากนั้นนำสารมากรองด้วยกระดาษกรอง Whatman เบอร์ 1 นำสารละลายที่ໄได้ไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นของตะกั่วด้วยเครื่อง AAS ดังแสดงในภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 การศึกษาผลของพีอีอชเริ่มต้นในการคุณชับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์นูลโค

## บทที่ 4

### ผลการดำเนินการวิจัย

การศึกษางานวิจัยนี้เริ่มต้นด้วยการศึกษาวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอุ่ปั่นสีรอด จาก บริษัท ที่เพ็นท์ จำกัด สาขาเมือง จังหวัดอุบลราชธานี ซึ่งได้แก่ ตะกั่ว โครเมี่ยน และแคนเดียมเมื่อทราบว่า โลหะหนักโดยปริมาณเกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งก็จะเลือกศึกษาโลหะหนักนั้นหลังจากนั้นศึกษาໄอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชับ โลหะหนักที่วิเคราะห์ได้ในตอนแรก ซึ่ง โลหะหนักนั้นก็คือ ตะกั่ว ศุดท้ายศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชับตะกั่ว ได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้น และพีเอชเริ่มต้น จากการศึกษาดังกล่าวได้ผลการศึกษาดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสียจากอุ่ปั่นสีรอด

จากการทดลองพบว่า มีปริมาณตะกั่วเท่านั้นที่เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง โดยมีตะกั่วเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เกินค่ามาตรฐานน้ำทิ้งซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ โครเมี่ยนปริมาณที่วิเคราะห์ได้คือ ND (Non-detection) นั้นคือไม่พบปริมาณของ โครเมี่ยนในน้ำเสีย จากอุ่ปั่นสีรอด เพราะเครื่องอะตอมมิกแอบนชอร์บชั้นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ไม่สามารถอ่านค่าได้ และสำหรับแคนเดียมพบในปริมาณน้อยมากคือ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร น้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทิ้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอุ่ปั่นสีรอด

| โลหะหนัก  | ปริมาณโลหะหนัก (มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่ามาตรฐานน้ำทิ้ง*(มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|-----------|-----------------------------------|--------------------------------------|
| ตะกั่ว    | 1.00                              | ไม่เกิน 0.20                         |
| โครเมี่ยน | ND                                | ไม่เกิน 0.50                         |
| แคนเดียม  | 0.01                              | ไม่เกิน 0.03                         |

หมายเหตุ ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2539

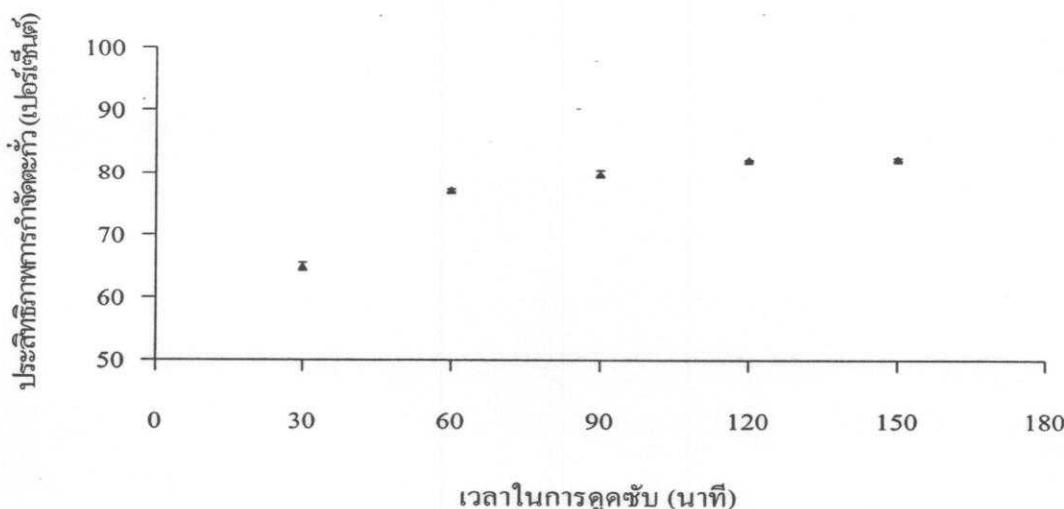
ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกที่จะศึกษาตะกั่ว เพราะตะกั่วมีปริมาณมากเกินค่ามาตรฐาน น้ำทึ้งตามที่ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด

#### 4.2 ผลการศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชั้บตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลໂຄ

การศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชั้บตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลໂຄ จะทำการศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุล เมื่อทราบเวลาเข้าสู่สมดุลแล้วนำมาศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชั้บ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลໂຄและพีເອຊເຣີມຕົ້ນຄົງທີ່ 0.1 ກຣັມແລະ 4 ຕາມລຳດັບ ທີ່ໄດ້ຜົດກວດສິ່ງຕົ້ນໄປນີ້

##### 4.2.1 ผลการศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการคุณชั้บตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลໂຄ

จากการศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการคุณชั้บตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลໂຄ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลໂຄ 0.1 ກຣັມ ສາຮລະລາຍຕະກໍວ່າສັງເກະະທີ່ເຂັ້ມຂຶ້ນເຣີມຕົ້ນ 10 ມີລືກຣັມຕ່ອລິຕຣ ປຣິມາຕຣ 50 ມີລືກລິຕຣ ປັບພື້ອຊເຣີມຕົ້ນໃຫ້ເຖິງກັນ 4 ແລະ ໃຊ້ເວລາໃນการคุณชັບ 30, 60, 90, 120 ແລະ 150 ນາທີ ຕາມລຳດັບ ພບວ່າຄວາມເຂັ້ມຂຶ້ນສຸດທ້າຍຂອງສາຮລະລາຍຕະກໍວ່າເຖິງກັນ 3.513, 2.312, 2.027, 1.792 ແລະ 1.776 ມີລືກຣັມຕ່ອລິຕຣ ຕາມລຳດັບ (ດູໃນກາຄພນວກ ດ) ແລະ ໄດ້ເປົ່ອຮັ້ນຕໍ່ການກຳຈັດຕະກໍວ່າ ດັ່ງແສດງໃນກາພທີ 4.1

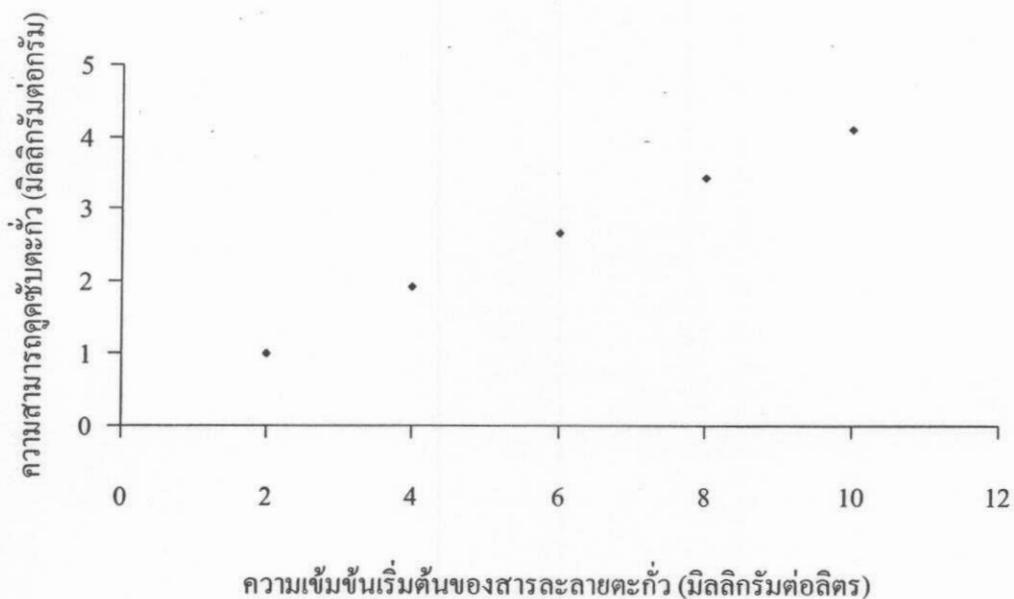


ກາພທີ 4.1 ປະສົງທີ່ກຳພາກກຳຈັດຕະກໍວ່າດ້ວຍຄ່ານັ້ນມັນຕົ້ນມູລໂຄທີ່ເວລາໃນກາງສູດຕ່າງກັນ (ປຣິມາຕຣ ຄ່ານັ້ນມັນຕົ້ນມູລໂຄ 0.1 ກຣັມ ສາຮລະລາຍຕະກໍວ່າສັງເກະະທີ່ເຂັ້ມຂຶ້ນ 10 ມີລືກຣັມຕ່ອລິຕຣ ປຣິມາຕຣ 50 ມີລືກລິຕຣ ແລະ ພື້ອຊເຣີມຕົ້ນ 4)

จากการศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการคูดซับตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโคพบว่าเปอร์เซ็นต์การกำจัดจะเพิ่มขึ้นจาก 64.87 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 30 นาที เป็น 82.23 เปอร์เซ็นต์ที่เวลา 150 นาที ดังภาพที่ 4.1 โดยประสิทธิภาพจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นและเริ่มเข้าสู่จุดสมดุลที่เวลาในการคูดซับ 120 นาที เนื่องจากเมื่อเวลาเพิ่มขึ้นก็จะมีไอออนตะกั่วเข้าไปเกาะที่ผิวด้วยคูดซับเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนทำให้ความจุนผิวด้วยคูดซับเริ่มลดลงกระตุ้นคงที่ จากภาพที่ 4.1 จะเห็นว่าที่เวลา 120 นาที ปริมาณของตะกั่วที่ถูกคูดซับเริ่มคงที่ เมื่อเปรียบเทียบกับที่เวลา 150 นาที จะเห็นว่าปริมาณตะกั่วที่ถูกคูดซับและประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วใกล้เคียงกันมาก แต่เพื่อให้เหมาะสมกับการทดลองที่ต้องการประหยัดเวลาที่สุดจึงเลือกใช้เวลาในการคูดซับที่ 120 นาที เป็นเวลาที่เข้าสู่สมดุลในการคูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

#### 4.2.2 ผลการศึกษาโดยเทอร์มการคูดซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

จากการศึกษาโดยเทอร์มการคูดซับตะกั่วโดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.10 กรัม สารละลายนะจะสังเคราะห์เข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับพีโซชเริ่มต้นเท่ากับ 4 และใช้เวลาในการคูดซับ 120 นาที พบว่าความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายนะจะเท่ากับ 0.016, 0.175, 0.685, 1.129 และ 1.790 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ดูในภาคผนวก ค) และมีความสามารถในการคูดซับตะกั่ว ดังแสดงในภาพที่ 4.2

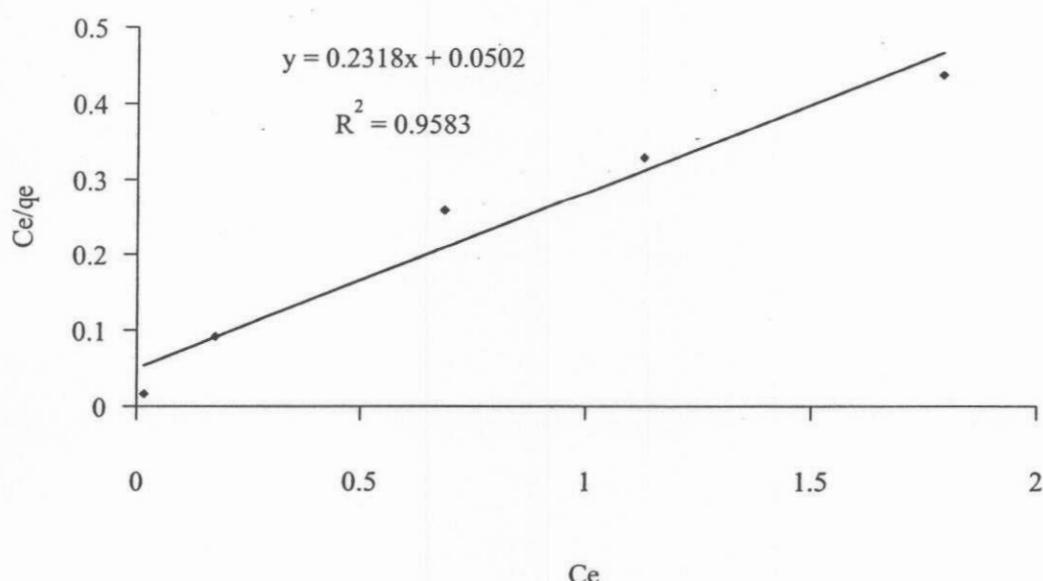


ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถคูดซับตะกั่วกับความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายนะตะกั่วสังเคราะห์

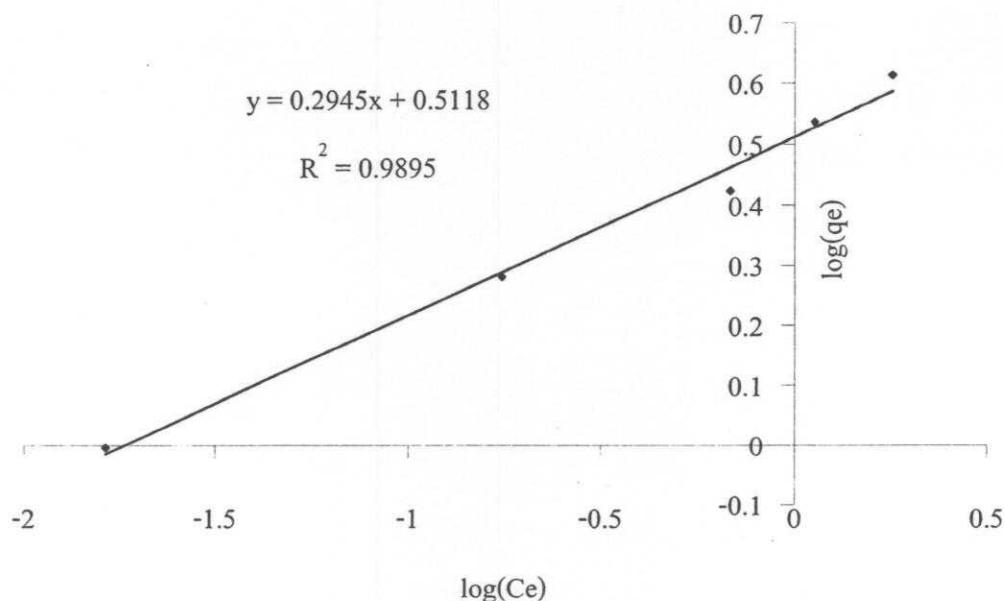
จากการศึกษาໄอโซเทอร์มการดูดซับແลงເມີຣ໌ແລ້ວຝຸນຄືລິຂອງການດູດຊັບຕະກ່າວດ້ວຍດໍານັກມັນຕົ້ນໂລ ໄດ້ຄ່າພາຣາມີເຕେର໌ຕ່າງໆ ແລະ ຄ່າ  $R^2$  ດັ່ງແສດງໃນຕາຮາງທີ່ 4.2 ຜຶ່ງຈະເຫັນວ່າທີ່ໄອໂຫຼເກອຮົມຂອງແລ້ງເມີຣ໌ແລ້ວຝຸນຄືລິສາມາດອົບນາຍການດູດຊັບຕະກ່າວດ້ວຍດໍານັກມັນຕົ້ນໂລ ໄດ້ເປັນອ່າງດີເພົ່າເວັບໄວ້ແລ້ງທີ່  $R^2 = 0.9583$ ,  $R^2 = 0.9895$  ຕາມລຳດັບ ດັ່ງແສດງໃນກາພທີ່ 4.3 ແລະ ກາພທີ່ 4.4 ເພື່ອເປັນການອົບນາຍວ່າເປັນການດູດຊັບແບບຂັ້ນເດີວາຫຼືອຫລາຍຂັ້ນ ຈຶ່ງມີການສົກຫາທີ່ສອງໄອໂຫຼເກອຮົມດັ່ງກ່າວ ຜຶ່ງດ້າເປັນດໍານັກມັນຕົ້ນໂລ ໂດຍຈະໃຫ້ໄອໂຫຼເກອຮົມຂອງຝຸນຄືລິ ອົບນາຍການດູດຊັບໄດ້ກ່າວເນື່ອງຈາກການດູດຊັບໄມ້ໄດ້ເກີດທີ່ເຖິງບະບິວໜ້າຂອງດໍານັກມັນຕົ້ນໂລແຕ່ມີການດູດຊັບເຂົ້າໄປໃນຮູ່ຝຸນຂອງດໍານັກມັນຕົ້ນໂລດ້ວຍ

ຕາຮາງທີ່ 4.2 ຄ່າພາຣາມີເຕେର໌ແລະ ຄ່າ  $R^2$  ຂອງສົມກາຣ໌ໄອໂຫຼເກອຮົມແລ້ງເມີຣ໌ແລ້ວຝຸນຄືລິ

| ໄອໂຫຼເກອຮົມການດູດຊັບແບບແລ້ງເມີຣ໌ |        | ໄອໂຫຼເກອຮົມການດູດຊັບແບບຝຸນຄືລິ |        |
|----------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| $q_m$                            | 4.314  | $K_F$                          | 3.249  |
| b                                | 4.617  | n                              | 3.396  |
| $R^2$                            | 0.9583 | $R^2$                          | 0.9895 |



ກາພທີ່ 4.3 ໄອໂຫຼເກອຮົມການດູດຊັບຕາມສົມກາຣ໌ແລ້ງເມີຣ໌ (Langmuir Isotherm)



ภาพที่ 4.4 ไอโซเทอร์มการคุณซับตามสมการของฟรุนเดลิช (Freundlich Isotherm)

จากการศึกษาไอโซเทอร์มแลงเมียร์พบว่าปริมาณการคุณซับตะกั่วสูงสุด ( $q_m$ ) เท่ากับ 4.314 มิลลิกรัมต่อกรัม เมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่ผลิตจากกาเขี้ยเป็นและถ่านกัมมันต์การค้าซึ่งให้ค่าการคุณซับตะกั่ว 116.18 และ 11.07 มิลลิกรัมต่อกรัม (ปนัดดา คำรัตน์, 2545) ตามลำดับ จะเห็นว่าถ่านกัมมันต์มูลโโค่มีความสามารถในการคุณซับตะกั่วได้น้อยกว่า แต่ไม่แตกต่างมากนักเมื่อเทียบกับถ่านกัมมันต์ที่สังเคราะห์จากกลาbamะพร้าวและกลาปาลืม โดยถ่านกัมมันต์จากกลาbamะพร้าวสามารถคุณซับตะกั่วได้ 8.37 มิลลิกรัมต่อกรัม และถ่านกัมมันต์จากกลาปาลืมสามารถคุณซับตะกั่วได้ 2.53 มิลลิกรัมต่อกรัม ตามลำดับ (สุจันย์ คุ่ยเสจิ่ยน, 2544)

#### 4.2.3 ผลการศึกษาประสิทธิภาพการคุณซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโโค

การศึกษาประสิทธิภาพการคุณซับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโโค โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโโค 0.1 กรัม ในสารละลายน้ำสังเคราะห์เข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมตอลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับพิเชชเริ่มต้นเท่ากับ 4 และใช้เวลาในการคุณซับเท่ากับ 120 นาที พนบวความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายน้ำสังเคราะห์เท่ากับ 1.797 มิลลิกรัมตอลิตร (คุณภาพน้ำ ก) และประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 82.03 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3

**ตารางที่ 4.3 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโลก**

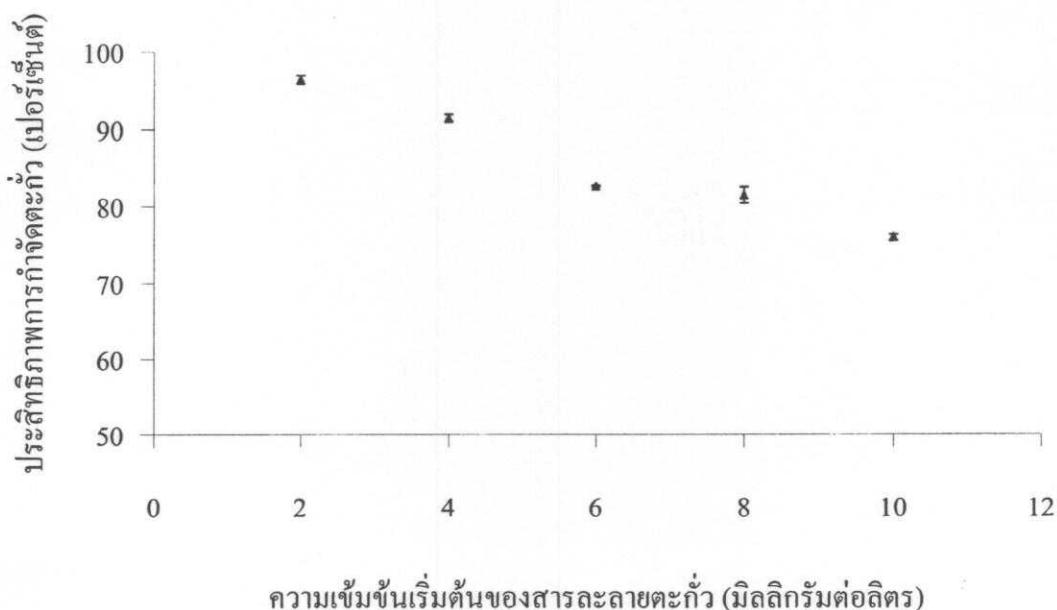
| ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้น<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ความเข้มข้นสุดท้าย<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>(เปอร์เซ็นต์) |
|---|--|--------------------------------------|
| 10  | 1.797                                    | 82.03                                |

**4.3 ผลการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชั้บตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโลก**

การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชั้บตะกั่ว จะศึกษาผลของการเข้มข้นเริ่มต้นและผลของพีเอชเริ่มต้น โดยกำหนดให้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโลกคงที่ 0.10 กรัม และใช้เวลาในการคุณชั้บ 60 นาที ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

**4.3.1 ผลกระทบของการเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์**

จากการศึกษาผลกระทบของการเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโลก 0.10 กรัม สารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ตามลำดับ ปรับพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 4 และใช้เวลาในการคุณชั้บ 60 นาที พนว่าความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายตะกั่วลดลงเหลือ 0.073, 0.346, 1.046, 1.488 และ 2.410 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ดูในภาคผนวก ง) และมีประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว ดังแสดงในภาพที่ 4.5

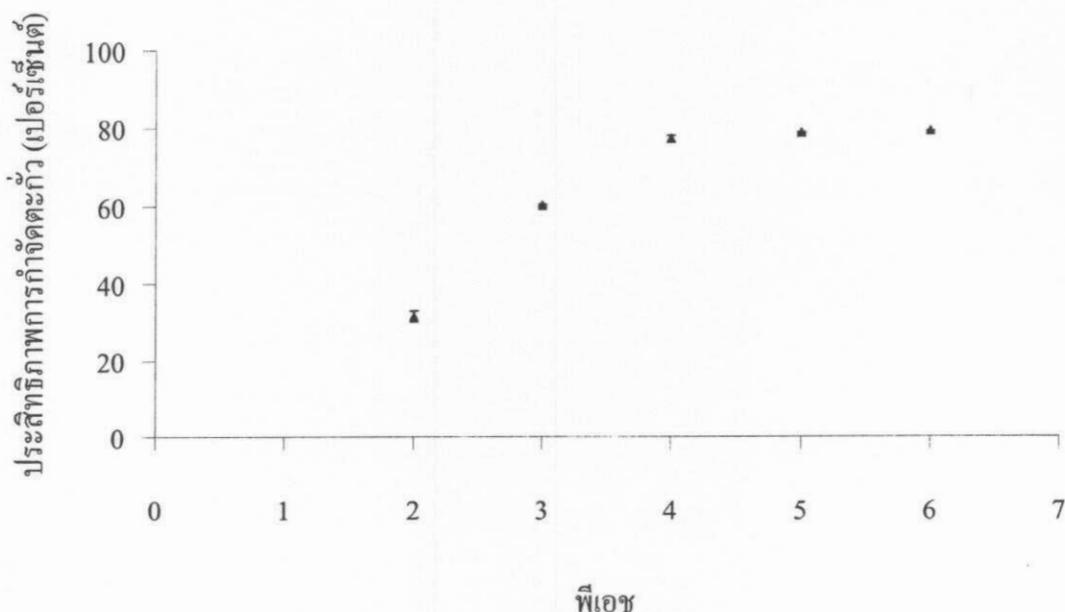


**ภาพที่ 4.5 ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโคที่ความเข้มข้นเริ่มต้นต่างกัน**  
 (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.1 กรัม สารละลายตะกั่วสังเคราะห์ 50 มิลลิกรัม  
 เวลาในการคุณชับ 1 ชั่วโมง และพีอีอีเริ่มต้น 4)

จากการศึกษาผลของการเพิ่มความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว พบร่วงเปอร์เซ็นต์การคุณชับจะมีแนวโน้มลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น โดยลดลงจาก 96.36 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตรเป็น 75.90 เปอร์เซ็นต์ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังภาพที่ 4.5 โดยเปอร์เซ็นต์การกำจัดตะกั่วลดลง เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของสารละลายเริ่มต้นนั้น เนื่องจากสารละลายมีไอออนตะกั่วเพิ่มขึ้น ขณะที่ปริมาณพื้นที่ผิวของการคุณชับยังคงเท่าเดิม จึงทำให้มีปริมาณไอออนที่ไม่ถูกคุณชับเพิ่มมากขึ้น (Kuh and Kim, 2000)

#### 4.3.2 ผลกระทบของพีอีอีเริ่มต้นในการคุณชับตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

จากการผลกระทบของพีอีอีเริ่มต้น โดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.1 กรัม สารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ปรับพีอีอีให้เท่ากับ 2, 3, 4, 5 และ 6 ตามลำดับ และใช้เวลาในการคุณชับ 60 นาที พบร่วงความเข้มข้นสุดท้ายของสารละลายตะกั่วเท่ากับ 6.849, 3.985, 2.273, 2.134 และ 2.094 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ (ดูในภาคผนวก ง) และมีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 ประสีทวิภาคการคุณชับตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโคที่พื้นเริ่มต้นต่างกัน (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.1 กรัม สารละลายน้ำที่สังเคราะห์เข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเวลาในการคุณชับ 1 ชั่วโมง)

จากการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพการคุดชับตะกั่วจะเพิ่มขึ้นจาก 31.50 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอชเริ่มต้น 2 เป็น 79.06 เปอร์เซ็นต์ ที่พีเอชเริ่มต้น 6 ดังภาพที่ 4.3 ที่พีเอชเริ่มต้นระหว่าง 2 ถึง 3 ประสิทธิภาพการคุดชับตะกั่วมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับที่พีเอชเริ่มต้นระหว่าง 4 ถึง 6 เนื่องจากที่พีเอชต่ำจะมีไออกอนของไฮโคลเรนมากทำให้เกิดการแย่งกันกับไออกอนของตะกั่วเพื่อเข้าไปเกาะกันผิวตัวคุดชับจึงทำให้ไออกอนตะกั่วเข้าไปเกาะที่ผิwtัวคุดชับได้น้อยกว่าที่พีเอชระหว่าง 4 ถึง 6 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของปันคชา คำรัตน์ โดยได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกาเข็ปของโรงงานน้ำยาขึ้นในการกำจัดตะกั่วและprotoxinในน้ำเสียสังเคราะห์ พบว่าที่ความเข้มข้นของตะกั่ว 10 มิลลิกรัมต่อลิตรและพีเอชเริ่มต้น 4 ถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากกาเข็ปสามารถคุดชับตะกั่วได้ที่สุดคือ 116.18 มิลลิกรัมต่อกรัม (ปันคชา คำรัตน์, 2545)

## บทที่ 5

### สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค ผู้ศึกษาได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ตอน คือ ตอนที่หนึ่งวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอู่พ่นสีรถ ตอนที่สองศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค และตอนที่สามศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค ซึ่งจากการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

##### 5.1.1 วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียจากอู่พ่นสีรถ

จากการศึกษาโดยนำน้ำเสียนามาต้มย่อยด้วยกรดในตริกเข้มข้น แล้วกรองเอาสารละลายที่ได้ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่อง AAS ปรากฏว่ามีเพียงตะกั่วเท่านั้นที่มีค่าความเข้มข้นเกินค่ามาตรฐานตามที่กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมกำหนด โดยวัดความเข้มข้นได้ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งค่ามาตรฐานกำหนดไว้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกศึกษาการคุณชับตะกั่ว

##### 5.1.2 ศึกษาไอโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

###### 5.1.2.1 ศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุลในการคุณชับ

จากการศึกษาพบว่าเมื่อใช้สารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.10 กรัม การคุณชับจะเริ่มเข้าสู่สมดุลที่เวลา 120 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเท่ากับ 82.08 เปอร์เซ็นต์

###### 5.1.2.2 ศึกษาไอโซเทอร์มการคุณชับ

จากการศึกษาโดยใช้ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.10 กรัม ในสารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้น 2, 4, 6, 8 และ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร พิเอชเริ่มต้น 4 และใช้เวลาในการคุณชับ 120 นาที พบว่าความสามารถในการคุณชับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น เมื่อนำผลการทดลองมาศึกษาไอโซเทอร์มการคุณชับพบว่าการคุณชับตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโคสอดคล้องกับไอโซเทอร์มการคุณชับของ

แลงเมียร์และฟรุนค์ลิช ก็มีค่า  $R^2$  ใกล้เคียงหนึ่งและพบว่าความสามารถในการดูดซับตะกั่วสูงสุดของถ่านกัมมันต์มูลโคโดยใช้สมการแลงเมียร์ มีค่าเท่ากับ 4.314 มิลลิกรัมต่อกรัม

#### 5.1.2.3 ศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

จากการศึกษาโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค 0.10 กรัม ละลายในสารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร ที่พีอ่อนเริ่มต้น 4 และใช้เวลาในการดูดซับ 120 นาที พบร่วถ่านกัมมันต์มูลโคมีประสิทธิภาพในการดูดซับตะกั่ว 82.03 เปอร์เซ็นต์

#### 5.1.3 ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโค

##### 5.1.3.1 ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว

จากการศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ พบร่วถ่านกัมมันต์มูลโคเพิ่มขึ้นเริ่มต้นเพื่อเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วจะลดลงตามความเข้มข้นที่เพิ่มขึ้น ถ้าต้องการให้ประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเพิ่มมากขึ้นก็ต้องเพิ่มปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโคด้วย จากการทดลองพบว่าปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโค 0.10 กรัม มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตรมากที่สุด โดยมีประสิทธิภาพในการกำจัด 96.36 เปอร์เซ็นต์

##### 5.1.3.2 ศึกษาพีอ่อนเริ่มต้นในการดูดซับ

จากการศึกษาผลของพีอ่อนเริ่มต้นในการดูดซับพบว่าพีอ่อนเริ่มต้นที่เหมาะสมที่สุดคือ พีอ่อนเริ่มต้นเท่ากับ 4, 5 และ 6 มีประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่ว 77.27, 78.66 และ 79.06 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรมีการศึกษาต้นทุนการใช้ถ่านกัมมันต์มูลโคแล้วเปรียบเทียบกับตัวดูดซับชนิดอื่นๆ เพื่อให้เห็นความแตกต่างระหว่างต้นทุนที่ใช้ในการศึกษา ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความเหมาะสมกับสภาพทางเศรษฐกิจทั้งในปัจจุบันและอนาคต

5.2.2 ควรมีการศึกษาการดูดซับตะกั่วและโลหะหนักชนิดอื่นโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโคในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมจริง

5.2.3 ควรมีการศึกษารักษณะโครงสร้างทั้งทางกายภาพและทางเคมีของถ่านกัมมันต์มูลโคที่กระตุ้นด้วยซิงค์คลอไรด์ เพื่อใช้เป็นข้อมูลสนับสนุนการอธิบายว่าถ่านกัมมันต์มูลโคนั้นสามารถดูดซับโลหะหนักได้อย่างไร

## ประวัติผู้วิจัย

|                                |  |
|--------------------------------|--|
| ชื่อ                           | นายเที่ยมชัย บัวลอย  |
| ประวัติการศึกษา                | พ.ศ. 2544 – พ.ศ. 2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ. เคมี)<br>มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                  |
| ประวัติการวิจัย                | พ.ศ. 2550 – ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต<br>(วศ.ม. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| ประวัติการทำงาน                | พ.ศ. 2550 – พ.ศ. 2552 ทุนสนับสนุนการค้นคว้าอิสระ<br>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน | พ.ศ. 2552 ประจำวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8<br>ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี           |
|                                | พ.ศ. 2552 งานวิจัยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ<br>สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ                       |
|                                | พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2553  |
|                                | ครุสอนกมิตศาสดร โรงเรียนขรโจนวิทยา<br>กรุงเทพมหานคร  |
|                                | พ.ศ. 2553- ปัจจุบัน ธุรกิจส่วนตัว  |
|                                | ธุรกิจส่วนตัว  |
|                                | ซอยวัดกำแพง ถนนพระราม 2 แขวงแสนคต<br>เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร                              |



**เอกสารอ้างอิง**

## เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม. “ถ่านกัมมันต์”, โครงการศึกษาและจัดทำแบบอย่างการลงทุนเพื่อเผยแพร่ผ่านเครือข่ายอินเตอร์เน็ต. <http://library.dip.go.th/multim/edoc/095559.pdf>.  
มีนาคม 2551.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. ตำราระบบบำบัดมลพิษน้ำ. กรุงเทพมหานคร : สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม โรงงาน กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2549.

กลุ่มชาติ ชาวรากิจการ และกิจชัย ศิริวัฒน์. “พิษจากโลหะตะกั่ว”, ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสิ่งเป็นพิษ.

[http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc\\_toxic/a\\_tx\\_1\\_001c.asp?info\\_id=41](http://webdb.dmsc.moph.go.th/ifc_toxic/a_tx_1_001c.asp?info_id=41). ตุลาคม, 2552.

เกรียงศักดิ์ อุดมสินローン. การบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร : มิตรนราการพิมพ์, 2539.

\_\_\_\_\_ . วิศวกรรมการบำบัดน้ำเสีย เล่มที่ 5. กรุงเทพมหานคร : เอส.อาร์ พรินติ้ง  
แมสโปรดักส์, 2547.

โภควิทย์ ปิยะมังคลา และคณะ. “ผลศาสตร์การคดซับโกรเมียม (VI) จากโรงงานชุบโลหะโดยใช้  
ไก่โตชานเรซิน”, วารสารวิชาการประจำอมก้าวประนเครนีอ, 8(1) : 68-79, 2551.

จรัญ จักลักษณ์ และพกาพรรณ ศกุลมั่น. ฟาร์มโคนมกับสิ่งแวดล้อม. ศูนย์วิจัยและพัฒนาการผลิต  
กระปือและโโค : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2542.

บรรยายพร ไชยวิเศษ. การกำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียโดยใช้เปลือกกล้วย. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2549.

ชนยิตรี แสงวิจิตร. การใช้ประโยชน์จากมูลโโคและถ่านมูลโโคสำหรับคดซับสารละลายทองแดงใน  
น้ำสังเคราะห์. การค้นคว้าอิสระปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัย  
อุบลราชธานี, 2549.

ทรงศักดิ์ ศรีอนุชิต. “แคคเมียม โลหะพิษที่อันตราย”, ฐานความรู้เรื่องความปลอดภัยด้านสารเคมี.

<http://www.chemtrack.org/News-Detail.asp?TID=7&ID=347>. ตุลาคม, 2552.

ปนัดดา คำรัตน์. ประสิทธิภาพของถ่านกัมมันต์ที่เตรียมจากการแบ่งของโรงงานน้ำยาขึ้นในการ  
กำจัดตะกั่วและปรอทในน้ำเสียสังเคราะห์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร  
มหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

ปิยพร บารมี. การผลิตถ่านกัมมันต์จากยางเหลือทิ้งโดยการกระตุนด้วยเชิงคูลอไรค์. วิทยานิพนธ์  
ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

มั่นสิน ตั้มฤทธิ์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 1. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

## เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

มั่นสิน ตันทุลเวศม์. เทคโนโลยีบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม เล่ม 2. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์แห่ง  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

วีนา ชูโชค และมงคล เพ็ญสายใจ. “การคัดซับโครเมียมโดย Chlorella”, วารสารพระจอมเกล้า  
ตารางบัง. 8(1) : 26-30, 2543.

สันทัด ศรีอนันต์พนูลย์. ระบบบำบัดน้ำเสีย. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์ท้อป, 2549.

สมพันธ์ พลันสังเกต. เคมีสิ่งแวดล้อม. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ : มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2549.

สุธีดา ตุลยะเสถียร และคณะ. นลพิมสิ่งแวดล้อม. กรุงเทพมหานคร : รวมสาส์น, 2544.

สุภารณ์ เข็มประเสริฐ และคณะ. การผลิตถ่านกัมมันต์จากวัสดุชีวมวลเหลือทิ้งเพื่อใช้คัดซับโลหะ  
โครเมียมจากน้ำเสียอุตสาหกรรมและศึกษาวิธีการนำโลหะโครเมียมกลับมาใช้ใหม่.

โครงการวิจัยสาขาวิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2543.

สุรชัย วงศารี. การคัดซับสารละลายน้ำด้วยถ่านมูลโคและถ่านกัมมันต์มูลโค. การประชุม  
วิศวกรรมเคมีและเคมีประยุกต์แห่งประเทศไทย ครั้งที่ 17, ตุลาคม 2550.

สุรชัย วงศารี และดนัย บุญแต่ง. การวิเคราะห์พื้นที่ผิวน้ำดีไซน์และปริมาตรจำเพาะของรูพรุนของ  
ถ่านกัมมันต์มูลโค. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัย  
อุบลราชธานี, 2548.

ศูนย์กลางบริการภาครัฐ. สีสารเคมีมีอันตราย. <http://www.ecitizen.go.th/view.php?SystemModuleKey=&id=304>. ตุลาคม, 2551.

เอกสาร ประสานงคล. การคัดซับโครเมียมด้วยเส้นใยจากเปลือกสนบัณฑิต. วิทยานิพนธ์ปริญญา  
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.

Anthorony, Jb., Wayne, Td., Editors. Air pollution engineering manual. New York: Air and  
Waste Management., 1992.

Auckland Regional Council. “Automotive painting & panelbeating”, Pollution Facts.

<http://www.arc.govt.nz/albany/fms/main/Documents/Environment/Pollution/UPC14%20Automotive%20Painting%20and%20Panel%20Beating.pdf>. October, 2008.

Cheremisinoff, N., Paul, F., Ellerbusch, F. Carbon adsorption handbook. Michigan: Ann Arbor  
Science, 1973.

### ເອກສາຣ໌ອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- Freundlich, H.M.F. "Über die adsorption in Lösungen", Zeitschrift für Physikalische Chemie. 57: 385-470, 1906.
- Gulnaz, O., Saygideger, S., Kusvuran, E. "Study of Cu(II) biosorption by dried activated sludge: Effect of physicochemical environment and kinetic study", Journal of Hazardous Materials. B120: 193-200, 2005.
- Kratochvil, D., Volesky, B. "Advances in the biosorption of heavy metals", Trends in Biotechnology. 16: 291-300, 1998.
- Kuh, S.E. and Kim, D.S. "Removal characteristics of cadmium ions by waste egg shell", Environmental Technology. 21: 883-890, 2000.
- Kumar, JS., Shende, D. "Combustion of cow dung in fluidized state for household purposes", Advances in energy research.  
<http://greenresourcesredux.com/clientimages/44570/027.pdf>. October, 2009.
- Langmuir, I. "The adsorption of gases on plane surface of glass, mica and platinum", Journal of the American Chemical Society. 40: 1361-1403, 1918.
- Matheickal, J., Yu, Q. "Biosorption of lead(II) and copper(II) from aqueous solutions by pre-treated biomass of Australian marine algae", Bioresource Technology. 69: 223-229, 1999.
- Norton, L., Baskaran, K., Mckenzie, T. "Biosorption of zinc from aqueous solutions using biosolids", Australia: Advances in Environmental Research. 8: 629-635, 2004.
- Ramathibodi poison center. "Chromium" Faculty of Medicine Ramathibodi Hospital : Mahidol university. <http://www.ra2.mahidol.ac.th/poisoncenter/bulletin/bul%20%2001/v9n4/Chromium.html>. October, 2009.
- Sekar, M., Sakthi, V. and Rengaraj, S. "Kinetic and equilibrium adsorption study of lead (II) onto activated carbon prepared from coconut shell", Journal of Colloid and Interface Science. 279: 307-313, 2004.
- Solari, P., Zouboulis, A., Matis, K., Stalidis, G. "Toxic metals removal from dilute solutions by biosorptive flotation", Separation Science Technology. 31: 1075-1092, 1996
- Smisek, M. Activated carbon. New York: Elsevier Publishing Company, 1970.

### ເອກສາຣອ້າງອີງ (ຕ່ອ)

- Tobin, J.M., Roux, J.C. "Mucor biosorbent for chromium removal from tanning effluent", Water Research. 32: 1407-1416, 1998.
- Vladimir, P., Zlatko, K., Slavoj, C. Adsorption on solids. Translated by Smith, D., Adams, N.G. Czechoslovakia: Butterworth Group, 1974.
- Wang, Y., Lin, S., Juang, R. "Removal of heavy metal ions from aqueous solutions using various low-cost adsorbents", Journal of Hazardous Materials. B102: 291-302, 2003.

## ภาคผนวก

ภาคผนวก ก  
การเตรียมสาร

### การเตรียมสาร

#### 1. การเตรียมสารละลายน้ำซิงค์คลอไรด์ ( $ZnCl_2$ ) เข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก

ในการทดลองนี้เตรียมสารละลายน้ำซิงค์คลอไรด์เข้มข้นร้อยละ 25 โดยน้ำหนัก ปริมาตร 500 มิลลิลิตร ดังนั้นจะได้ว่า

ถ้าสารละลายน้ำซิงค์คลอไรด์ 100 มิลลิลิตร จะมี  $ZnCl_2$  25 กรัม

$$\text{ถ้าสารละลายน้ำซิงค์คลอไรด์ } 500 \text{ มิลลิลิตร จะมี } ZnCl_2 = \frac{25 \times 500}{100} \text{ กรัม} = 125 \text{ กรัม}$$

ดังนั้น ต้องซั่ง  $ZnCl_2$  มา 125 กรัมละลายน้ำ 500 มิลลิลิตร

#### 2. การเตรียมสารละลายต่างกันเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการทดลองนี้จะเตรียมสารละลายต่างกันเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายต่างๆ มาตรฐานเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะได้ว่า

จากสูตร

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

|        |       |  |
|--------|-------|--|
| โดยที่ | $C_1$ | คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|        | $C_2$ | คือ ความเข้มข้นสุดท้าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)  |
|        | $V_1$ | คือ ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น (มิลลิลิตร)    |
|        | $V_2$ | คือ ปริมาตรสารละลายสุดท้าย (มิลลิลิตร)     |

แทนค่าจากสูตรจะได้

$$1,000 \times V_1 = 2 \times 100$$

$$V_1 = \frac{2 \times 100}{1,000}$$

$$V_1 = 0.2 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น จะต้องปีเปปเต้อสารละลายนะก่ำมาตรฐานเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นา 0.2 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำดีไอ (DI-water) ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

### 3. การเตรียมสารละลายนะก่ำเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการทดลองนี้จะเตรียมสารละลายนะก่ำเข้มข้น 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายนะก่ำมาตรฐานเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะได้ว่า

$$\text{จากสูตร} \quad C_1 V_1 = C_2 V_2$$

|        |       |  |
|--------|-------|--|
| โดยที่ | $C_1$ | คือ ความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|        | $C_2$ | คือ ความเข้มข้นสุดท้าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)  |
|        | $V_1$ | คือ ปริมาตรสารละลายเริ่มต้น (มิลลิลิตร)    |
|        | $V_2$ | คือ ปริมาตรสารละลายสุดท้าย (มิลลิลิตร)     |

แทนค่าจากสูตรจะได้

$$1,000 \times V_1 = 4 \times 100$$

$$V_1 = \frac{4 \times 100}{1,000}$$

$$V_1 = 0.4 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น จะต้องปีเปปเต้อสารละลายนะก่ำมาตรฐานเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นา 0.4 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร แล้วปรับปริมาตรด้วยน้ำดีไอ (DI-water) ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

### 4. การเตรียมสารละลายนะก่ำเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการทดลองนี้จะเตรียมสารละลายนะก่ำเข้มข้น 6 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายนะก่ำมาตรฐานเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะได้ว่า

$$\text{จากสูตร} \quad C_1 V_1 = C_2 V_2$$

|        |       |   |
|--------|-------|---|
| โดยที่ | $C_1$ | คือความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|        | $C_2$ | คือความเข้มข้นสุดท้าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)  |
|        | $V_1$ | คือปริมาตรสารละลายเริ่มต้น (มิลลิลิตร)    |
|        | $V_2$ | คือปริมาตรสารละลายสุดท้าย (มิลลิลิตร)     |

แทนค่าจากสูตรจะได้

$$1,000 \times V_1 = 6 \times 100$$

$$V_1 = \frac{6 \times 100}{1,000}$$

$$V_1 = 0.6 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น จะต้องปีเปตเจาสารละลายตะกั่วมาตรฐานเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร นา 0.6 มิลลิลิตร ใส่ในขวดวัดปริมาตรขนาด 100 มิลลิลิตร และปรับปริมาตรด้วยน้ำดีไอ (DI-water) ให้ได้ปริมาตร 100 มิลลิลิตร

### 5. การเตรียมสารละลายตะกั่วเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร

ในการทดลองนี้จะเตรียมสารละลายตะกั่วเข้มข้น 8 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 100 มิลลิลิตร จากสารละลายตะกั่วมาตรฐานเข้มข้น 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร จะได้ว่า

$$\text{จากสูตร} \quad C_1 V_1 = C_2 V_2$$

|        |       |   |
|--------|-------|---|
| โดยที่ | $C_1$ | คือความเข้มข้นเริ่มต้น (มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|        | $C_2$ | คือความเข้มข้นสุดท้าย (มิลลิกรัมต่อลิตร)  |
|        | $V_1$ | คือปริมาตรสารละลายเริ่มต้น (มิลลิลิตร)    |
|        | $V_2$ | คือปริมาตรสารละลายสุดท้าย (มิลลิลิตร)     |

แทนค่าจากสูตรจะได้

$$1,000 \times V_1 = 8 \times 100$$

$$V_1 = \frac{8 \times 100}{1,000}$$

$$V_1 = 0.8 \text{ มิลลิลิตร}$$

ดังนั้น จะต้องปีเปตເອາສາຮະລາຍຕະກໍວມາຕຽບຮູນເຂັ້ມຂຶ້ນ 1,000 ມີລິກຣັມຕ່ອລິຕຣ  
ນາ 0.8 ມີລິລິຕຣ ໄສ່ໃນຂວດວັດປຣິມາຕຣນາດ 100 ມີລິລິຕຣ ແລ້ວປ່ຽນປຣິມາຕຣດ້ວຍນໍ້າດີໄອ (DI-water)  
ໃຫ້ໄດ້ປຣິມາຕຣ 100 ມີລິລິຕຣ

#### 6. การເຕີຍມສາຮະລາຍຕະກໍວມເຂັ້ມຂຶ້ນ 10 ມີລິກຣັມຕ່ອລິຕຣ

ໃນກາຣທຄລອງນີ້ຈະເຕີຍມສາຮະລາຍຕະກໍວມເຂັ້ມຂຶ້ນ 10 ມີລິກຣັມຕ່ອລິຕຣ ປຣິມາຕຣ  
100 ມີລິລິຕຣ ຈາກສາຮະລາຍຕະກໍວມາຕຽບຮູນເຂັ້ມຂຶ້ນ 1,000 ມີລິກຣັມຕ່ອລິຕຣ ຈະໄດ້ວ່າ

ຈາກສູດ

$$C_1 V_1 = C_2 V_2$$

|        |       |   |
|--------|-------|---|
| ໂດຍທີ່ | $C_1$ | ກືອຄວາມເຂັ້ມຂຶ້ນເຮັ່ນຕົ້ນ (ມີລິກຣັມຕ່ອລິຕຣ) |
|        | $C_2$ | ກືອຄວາມເຂັ້ມຂຶ້ນສຸດທ້າຍ (ມີລິກຣັມຕ່ອລິຕຣ)   |
|        | $V_1$ | ກືອປຣິມາຕຣສາຮະລາຍເຮັ່ນຕົ້ນ (ມີລິລິຕຣ)       |
|        | $V_2$ | ກືອປຣິມາຕຣສາຮະລາຍສຸດທ້າຍ (ມີລິລິຕຣ)         |

ແພນຄ່າຈາກສູດຈະໄດ້

$$1,000 \times V_1 = 10 \times 100$$

$$V_1 = \frac{10 \times 100}{1,000}$$

$$V_1 = 1.00 \text{ ມີລິລິຕຣ}$$

ດັ່ງນັ້ນ ຈະຕ້ອງປີເປີຕເອາສາຮະລາຍຕະກໍວມາຕຽບຮູນເຂັ້ມຂຶ້ນ 1,000 ມີລິກຣັມຕ່ອລິຕຣ  
ນາ 1.00 ມີລິລິຕຣ ໄສ່ໃນຂວດວັດປຣິມາຕຣນາດ 100 ມີລິລິຕຣ ແລ້ວປ່ຽນປຣິມາຕຣດ້ວຍນໍ້າດີໄອ  
(DI-water) ໃຫ້ໄດ້ປຣິມາຕຣ 100 ມີລິລິຕຣ

ภาคผนวก ฯ  
ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากอุ่นสีร้อนเบื้องต้น

## ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากอุ่นสีรดเบื้องต้น

**ตารางที่ ข.1 ผลการวิเคราะห์โลหะหนักในน้ำเสียจากอุ่นสีรด**

| โลหะหนัก   | ความเข้มข้น<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ค่ามาตรฐาน<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) |
|------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| แคนเดเมียม | 0.01                              | ไม่เกิน 0.03                     |
| ตะกั่ว     | 1.00                              | ไม่เกิน 0.20                     |
| โครเมียม   | ND                                | ไม่เกิน 0.50                     |

จากการทดลองพบว่ามีปริมาณตะกั่วเท่านั้นที่เกินค่ามาตรฐานน้ำทึ้ง โดยมีตะกั่วเข้มข้น 1.00 มิลลิกรัมต่อลิตร เกินค่ามาตรฐานน้ำทึ้งซึ่งกำหนดไว้ไม่เกิน 0.20 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับ โครเมียมปริมาณที่วิเคราะห์ได้คือ ND (Non-detection) นั่นคือไม่พบปริมาณของโครเมียมในน้ำเสีย จากอุ่นสีรด เพราะเครื่องจะต้องมีก้อนของรูบขั้นสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (AAS) ไม่สามารถอ่านค่าได้ และสำหรับแคนเดเมียมพบในปริมาณน้อยมากคือ 0.01 มิลลิกรัมต่อลิตร น้อยกว่าค่ามาตรฐานน้ำทึ้งที่กำหนดไว้ไม่เกิน 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร

### ภาคผนวก ก

ข้อมูลดิบจากการศึกษาไฮโซเทอร์มและประสิทธิภาพการคุ้ดชันตะกั่ว

### ข้อมูลคินจากการศึกษาเวลาเข้าสู่สมดุล

**ตารางที่ ค.1 ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่วกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่เวลาในการคุณชันต่างกัน (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโโค 0.10 กรัม สารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และพีอีชาร์บิ้นตัน 4)**

| เวลา<br>(นาที) | ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่ว<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) |            |            |        | ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว<br>(เปอร์เซ็นต์) |            |            |        |
|----------------|---|------------|------------|--------|--|------------|------------|--------|
|                | ครั้งที่ 1  | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | ครั้งที่ 1                                 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย |
| 30             | 3.509   | 3.583      | 3.446      | 3.513  | 64.91                                      | 64.17      | 65.54      | 64.87  |
| 60             | 2.308   | 2.337      | 2.291      | 2.312  | 76.92                                      | 76.63      | 77.09      | 76.88  |
| 90             | 2.107   | 2.003      | 1.970      | 2.027  | 78.93                                      | 79.97      | 80.30      | 79.73  |
| 120            | 1.802   | 1.788      | 1.785      | 1.792  | 81.98                                      | 82.12      | 82.15      | 82.08  |
| 150            | 1.755   | 1.784      | 1.790      | 1.776  | 82.45                                      | 82.16      | 82.10      | 82.23  |

\* ข้อมูลคินจากการศึกษาไอโซเทอร์มการคุณชัน

**ตารางที่ ค.2 ความสามารถคุณชันตะกั่วที่ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นต่างกัน (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโโค 0.10 กรัม สารละลายตะกั่วสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร พีอีชาร์บิ้นตัน 4 และเวลาในการคุณชัน 120 นาที)**

| ความเข้มข้นเริ่มต้น<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่ว<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) |            |            |        | ความสามารถคุณชันตะกั่ว<br>(มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม) |
|---|---|------------|------------|--------|--|
|   | ครั้งที่ 1  | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย |  |
| 2   | 0.012   | 0.020      | 0.017      | 0.016  | 0.992  |
| 4   | 0.165   | 0.190      | 0.171      | 0.175  | 1.912  |
| 6   | 0.667   | 0.680      | 0.708      | 0.685  | 2.658  |
| 8   | 1.119   | 1.105      | 1.162      | 1.129  | 3.436  |
| 10  | 1.799   | 1.805      | 1.767      | 1.790  | 4.105  |

\* ข้อมูลคินจากการศึกษาไอโซเทอร์มการคุณชันแบบแลงเมียร์ (Langmuir isotherm)

ตารางที่ ค.3 ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบแอลองเมียร์ (Langmuir) (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโล 0.10 กรัม สารละลายน้ำมันสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร พีอีชเริ่มต้น 4 และเวลาในการดูดซับ 120 นาที)

| W<br>(กรัม) | V<br>(ลิตร) | $C_i$<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | $C_e$<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | $q_e = (C_i - C_e) \times V / W$<br>(มิลลิกรัมต่อกรัม) | $C_e/q_e$ |
|-------------|-------------|-----------------------------|-----------------------------|--|-----------|
| 0.1         | 0.05        | 2                           | 0.016                       | 0.992  | 0.016     |
| 0.1         | 0.05        | 4                           | 0.175                       | 1.912  | 0.092     |
| 0.1         | 0.05        | 6                           | 0.685                       | 2.658  | 0.258     |
| 0.1         | 0.05        | 8                           | 1.129                       | 3.436  | 0.328     |
| 0.1         | 0.05        | 10                          | 1.790                       | 4.105  | 0.436     |

\* ข้อมูลดินจากการศึกษาไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนเดลิช (Freundlich isotherm)

ตารางที่ ค.4 ค่าพารามิเตอร์ของไอโซเทอร์มการดูดซับแบบฟรุนเดลิช (Freundlich) (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโล 0.10 กรัม สารละลายน้ำมันสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร พีอีชเริ่มต้น 4 และเวลาในการดูดซับ 120 นาที)

| W<br>(กรัม) | V<br>(ลิตร) | $C_i$<br>(มิลลิกรัม<br>ต่อลิตร) | $C_e$<br>(มิลลิกรัม<br>ต่อลิตร) | $q_e = (C_i - C_e) \times V / W$<br>(มิลลิกรัมต่อกรัม) | $\log(C_e)$ | $\log(q_e)$ |
|-------------|-------------|---------------------------------|---------------------------------|--|-------------|-------------|
| 0.1         | 0.05        | 2                               | 0.016                           | 0.992  | -1.787      | -0.004      |
| 0.1         | 0.05        | 4                               | 0.175                           | 1.912  | -0.756      | 0.282       |
| 0.1         | 0.05        | 6                               | 0.685                           | 2.658  | -0.164      | 0.424       |
| 0.1         | 0.05        | 8                               | 1.129                           | 3.436  | 0.053       | 0.536       |
| 0.1         | 0.05        | 10                              | 1.790                           | 4.105  | 0.253       | 0.613       |

\* ข้อมูลดินจากการศึกษาประสิทธิภาพการดูดซับ

ตารางที่ ก.5 ประสิทธิภาพการดูดซับตะกั่วในสารละลายตะกั่วสังเคราะห์โดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโภ<sup>ค</sup>  
 (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโภ 0.10 กรัม สารละลายตะกั่วสังเคราะห์เข้มข้นเริ่มต้น 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร พิเศษเริ่มต้น 4 และเวลาในการดูดซับ 120 นาที)

| ครั้งที่ | ความเข้มข้นเริ่มต้น<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ความเข้มข้นสุดท้าย<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) | ประสิทธิภาพการกำจัด<br>(เปอร์เซ็นต์) |
|----------|---|--|--------------------------------------|
| 1        | 10  | 1.808                                    | 81.92                                |
| 2        | 10  | 1.770                                    | 82.30                                |
| 3        | 10  | 1.814                                    | 81.86                                |
| เฉลี่ย   |   | 1.797                                    | 82.03                                |

#### ภาคผนวก ง

ข้อมูลดิบการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการคุณชั้นตะกั่วโดยใช้ถ่านกัมมันต์มูลโลก

ข้อมูลคินจากการศึกษาผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายตะกั่ว

**ตารางที่ ง.1 ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่วกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่ความเข้มข้นตะกั่วเริ่มต้นต่างกัน (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโลค 0.10 กรัม สารละลายตะกั่วสังเคราะห์ 50 มิลลิลิตร พีอีชเริ่มต้น 4 และเวลาคุณชั้บ 60 นาที)**

| ความเข้มข้น<br>เริ่มต้น<br>(มิลลิกรัม<br>ต่อลิตร) | ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่ว<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) |            |            |        | ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว<br>(เปอร์เซ็นต์) |            |            |        |
|---|---|------------|------------|--------|--|------------|------------|--------|
|   | ครั้งที่ 1  | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | ครั้งที่ 1                                 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย |
| 2   | 0.060   | 0.077      | 0.081      | 0.073  | 97.00                                      | 96.15      | 95.95      | 96.36  |
| 4   | 0.329   | 0.338      | 0.370      | 0.346  | 91.77                                      | 91.55      | 90.75      | 91.36  |
| 6   | 1.048   | 1.051      | 1.040      | 1.046  | 82.53                                      | 82.48      | 82.67      | 82.56  |
| 8   | 1.490   | 1.570      | 1.403      | 1.488  | 81.37                                      | 80.37      | 82.46      | 81.40  |
| 10  | 2.450   | 2.379      | 2.401      | 2.410  | 75.50                                      | 76.21      | 75.99      | 75.90  |

\* ข้อมูลคินจากการศึกษาผลของพีอีชในการคุณชั้บตะกั่วด้วยถ่านกัมมันต์มูลโลค

**ตารางที่ ง.2 ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่วกับประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่วที่พีอีชเริ่มต้นต่างกัน (ปริมาณถ่านกัมมันต์มูลโลค 0.10 กรัม ความเข้มข้นสารละลายตะกั่วสังเคราะห์ 10 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาตร 50 มิลลิลิตร และเวลาคุณชั้บ 60 นาที)**

| พีอีช | ความเข้มข้นสุดท้ายของตะกั่ว<br>(มิลลิกรัมต่อลิตร) |            |            |        | ประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว<br>(เปอร์เซ็นต์) |            |            |        |
|-------|---|------------|------------|--------|--|------------|------------|--------|
|       | ครั้งที่ 1  | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย | ครั้งที่ 1                                 | ครั้งที่ 2 | ครั้งที่ 3 | เฉลี่ย |
| 2     | 6.714   | 6.832      | 7.002      | 6.849  | 32.86                                      | 31.68      | 29.98      | 31.50  |
| 3     | 4.009   | 3.954      | 3.993      | 3.985  | 59.91                                      | 60.46      | 60.07      | 60.15  |
| 4     | 2.247   | 2.360      | 2.212      | 2.273  | 77.53                                      | 76.40      | 77.88      | 77.27  |
| 5     | 2.103   | 2.149      | 2.149      | 2.134  | 78.97                                      | 78.51      | 78.51      | 78.66  |
| 6     | 2.094   | 2.088      | 2.100      | 2.094  | 79.06                                      | 79.12      | 79.00      | 79.06  |

### ภาคผนวก จ

#### ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 2 พ.ศ. 2539



## ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2539)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535

เรื่อง กำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายนอกจากโรงงาน

อาศัยอำนาจตามความในข้อ 14 แห่งกฎกระทรวงฉบับที่ 2 (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ที่ระบุว่า “ห้ามระบายน้ำทิ้งออกจากโรงงานเว้นแต่ได้ทำการอข่ายโดยย่างหนึ่งหรือถ่ายอย่างจนน้ำทิ้งนั้นมีลักษณะเป็นไปตามที่รัฐมนตรีกำหนดโดยประกาศในราชกิจจานุเบกษา แต่ทั้งนี้ต้องไม่ใช้วิธีทำให้เจือจาง (Dilution)” รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม จึงออกประกาศกำหนดคุณลักษณะของน้ำทิ้งที่ระบายนอกจากโรงงาน ดังนี้

### ข้อ 1 กำหนดความ

น้ำทิ้ง หมายถึง น้ำเสียที่เกิดจากการประกอบกิจการโรงงานอุตสาหกรรมที่ระบายนอกสู่แหล่งน้ำสาธารณะหรือออกสู่สิ่งแวดล้อม และให้หมายความรวมถึงน้ำเสียจากการใช้น้ำของคนงานรวมทั้งจากกิจกรรมอื่น

### ข้อ 2 น้ำทิ้งที่ระบายนอกจากโรงงานต้องมีคุณสมบัติดังนี้

(1) ความเป็นกรดและด่าง (pH) มีค่าไม่น้อยกว่า 5.5 และไม่มากกว่า 9.0

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

2.1 ค่าทีเดอส์ ไม่มากกว่า 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแต่ต่างจากที่กำหนดໄວ่ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งรองรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่มากกว่า 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

2.2 น้ำทิ้งซึ่งระบายนอกจากโรงงานลงสู่แหล่งน้ำที่มีค่าความเค็ม (Salinity) มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตรค่าทีเดอส์ ในน้ำทิ้งจะมีค่ามากกว่าค่าทีเดอส์ ที่มีอยู่ในแหล่งน้ำได้ไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร

(3) สารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่น่ากว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทึ้งแหล่งรองรับน้ำทึ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่น่ากว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร

(4) โลหะหนักมีค่าดังนี้

- 4.1 ปรอท (Mercury) ไม่น่ากว่า 0.005 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.2 เชเลเนียม (Selenium) ไม่น่ากว่า 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.3 แคดเมียม (Cadmium) ไม่น่ากว่า 0.03 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.4 ตะกั่ว (Lead) ไม่น่ากว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.5 อาร์เซนิค (Arsenic) ไม่น่ากว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.6 โครเมียม (Chromium)
  - 4.6.1 Hexavalent Chromium ไม่น่ากว่า 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร
  - 4.6.2 Trivalent Chromium ไม่น่ากว่า 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.7 บารีียม (Barium) ไม่น่ากว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.8 นิกเกิล (Nickel) ไม่น่ากว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.9 ทองแดง (Copper) ไม่น่ากว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.10 สังกะสี (Zinc) ไม่น่ากว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร
- 4.11 แมงกานีส (Manganese) ไม่น่ากว่า 5.0 มิลลิกรัมต่อลิตร

(5) ชัลไฟฟ์ (Sulphide) คิดเทียบเป็นไฮโคลเจนชัลไฟฟ์ ( $H_2S$ ) ไม่น่ากว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(6) ไซไฮไนด์ คิดเทียบเป็นไฮโคลเจนไซไฮไนด์ (HCN) ไม่น่ากว่า 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

(7) ฟอร์มัลดีไฮด์ (Formaldehyde) ไม่น่ากว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(8) สารประกอบพิโนล (Phenols Compound) ไม่น่ากว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร

(9) คลอรินอิสระ

(10) เพสติไซด์ (Pesticide) ไม่ต้องมี

(11) อุณหภูมิ ไม่น่ากว่า 40 องศาเซลเซียส

(12) สี ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(13) กลิ่น ต้องไม่เป็นที่พึงรังเกียจ

(14) น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) ไม่น่ากว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทึ้ง แหล่งรองรับน้ำทึ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่ กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่น่ากว่า 15 มิลลิกรัมต่อลิตร

(15) ค่าบีโอดี (Biochemical Oxygen Demand) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เวลา 5 วัน ไม่มากกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่นานกว่า 60 มิลลิกรัมต่อลิตร

(16) ค่าทีเคเอ็น (TKN หรือ Total Kjeldahl Nitrogen) ไม่นานกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้ง แหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ตามที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมกำหนด แต่ต้องไม่นานกว่า 200 มิลลิกรัมต่อลิตร

(17) ค่าซีโอดี (Chemical Oxygen Demand) ไม่นานกว่า 120 มิลลิกรัมต่อลิตร หรืออาจแตกต่างจากที่กำหนดไว้ ขึ้นกับปริมาณน้ำทิ้งแหล่งร่องรับน้ำทิ้ง หรือประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม แต่ต้องไม่นานกว่า 400 มิลลิกรัมต่อลิตร

### ข้อ 3 การตรวจสอบค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมตามข้อ 2 ให้ดำเนินการดังต่อไปนี้

(1) การตรวจสอบค่าความเป็นกรดและด่างของน้ำทิ้ง ให้ใช้เครื่องวัดความเป็นกรดและด่างของน้ำ (pH Meter)

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

(3) การตรวจสอบค่าสารเขายอนลอย ให้ใช้วิธีการกรองผ่านกระดาษกรองไยแก้ว (Glass Fibre Filter Disc)

(4) การตรวจสอบค่าໂ Holden ให้ใช้วิธีการดังนี้

4.1 การตรวจสอบค่าสังกะสี โกรเมี่ยม ทองแดง แคนเดเมี่ยม แบเบรี่ยม ตะกั่ว นิเกิล และแมงกานีส ให้ใช้วิธีอะตอมมิก แอบซอฟชั่น สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิด ไดเร็คแอสไพรชั่น (Direct Aspiration) หรือวิธีพลาสม่า อิมิชั่น สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพลิ พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.2 การตรวจสอบค่าอาร์เซนิค และเขลเนียม ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอฟชั่น สเปกโตรโฟโตเมตรี (Atomic Absorption Spectrophotometry) ชนิด ไฮไดรค์เจนเนอเรชั่น (Hydride Generation) หรือวิธีพลาสม่า อิมิชั่น สเปกโตรสโคปี (Plasma Emission Spectroscopy) ชนิดอินดักทีฟลี คัพเพลิ พลาสม่า (Inductively Coupled Plasma : ICP)

4.3 การตรวจสอบค่าปรอท ให้ใช้วิธีอะตอมมิกแอบซอฟชั่น โคลด์ เวปอร์ เทคนิค(Atomic Absorption Cold Vapour Technique)

- (5) การตรวจสอบค่าซัลไฟด์ ให้ใช้วิธีการ ไทเตรท (Titrate)
- (6) การตรวจสอบค่าไซยาไนด์ ให้ใช้วิธิกลั่นและตามด้วยวิธี ไพริดีน บาร์บิทูริกแอกซิค (Pyridine-Barbituric Acid)
- (7) การตรวจสอบค่าฟอร์มอลดีไฮด์ ให้ใช้วิธีเทียบสี (Spectrophotometry)
- (8) การตรวจสอบค่าสารประกอบพีโนอล ให้ใช้วิธิกลั่น และตามด้วยวิธี 4-อะมิโนแอนดิไฟรีน (Distillation, 4-Aminoantipyrine)
- (9) การตรวจสอบค่าคลอรีนอิสระ ให้ใช้วิธีไอโอดิเมตริก (Iodometric Method)
- (10) การตรวจสอบค่าสารที่ใช้ป้องกันหรือกำจัดศัตรุพืชหรือสัตว์ ให้ใช้วิธีก๊าซ โครมาตอกราฟี (Gas-Chromatography)
  - (11) การตรวจสอบอุณหภูมิของน้ำ ให้ใช้เครื่องวัดอุณหภูมิ วัดขณะทำการเก็บตัวอย่างน้ำ
  - (12) การตรวจสอบค่าน้ำมันและไขมัน ให้ใช้วิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย แล้วแยกหน้าหนักของน้ำมันและไขมัน
- (13) การตรวจสอบค่านีโอดี ให้ใช้วิธีอะไซด์ โนดิพิเชชั่น (Azide Modification) ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 วัน ติดต่อกันหรือวิธีการอื่นที่กรมโรงงานอุตสาหกรรมให้ความเห็นชอบ
- (14) การตรวจสอบค่าทีโคเย็น ให้ใช้วิธีเจลดาก้าล (Kjeldahl)
- (15) การตรวจสอบค่าซีโอดี ให้ใช้วิธีย่อยสลาย โดยโปตัสเซียม ไดโครเมต (Potassium-Dichromate Digestion)

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

ประกาศ ณ วันที่ 14 มิถุนายน พ.ศ. 2539

ไชยวัฒน์ สินสุวงศ์  
(นายไชยวัฒน์ สินสุวงศ์)  
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ประกาศราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 113 ตอนที่ 52 ง วันที่ 27 มิถุนายน 2539

## ประวัติผู้วิจัย

|                                       |  |
|---------------------------------------|--|
| <b>ชื่อ</b>                           | นายเที่ยมชัย บัวลอย  |
| <b>ประวัติการศึกษา</b>                | พ.ศ. 2544 – พ.ศ. 2548 วิทยาศาสตรบัณฑิต (วท.บ. เคมี)<br>มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี                  |
| <b>ประวัติการวิจัย</b>                | พ.ศ. 2550 – ปัจจุบัน วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต<br>(วศ.ม. วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| <b>ประวัติการทำงาน</b>                | พ.ศ. 2550 – พ.ศ. 2552 ทุนสนับสนุนการค้นคว้าอิสระ<br>ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี |
| <b>ตำแหน่งและสถานที่ทำงานปัจจุบัน</b> | พ.ศ. 2552 ประจำวิชาการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติครั้งที่ 8<br>ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี           |
|                                       | พ.ศ. 2552 งานวิจัยได้รับการตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ<br>สิ่งแวดล้อมแห่งชาติ                       |
|                                       | พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2553<br>ครูสอนคณิตศาสตร์ โรงเรียนขอรอนนีวิทยา<br>กรุงเทพมหานคร                |
|                                       | พ.ศ. 2553- ปัจจุบัน ธุรกิจส่วนตัว  |
|                                       | ธุรกิจส่วนตัว  |
|                                       | ซอยวัดกำแพง ถนนพระราม2 แขวงแสนคำ<br>เขตบางขุนเทียน กรุงเทพมหานคร                               |