

## บทที่ 2

### แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### แหล่งที่มาและคุณลักษณะของน้ำเสีย

พระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ. 2535 ได้ให้ความหมายของน้ำเสียว่า เป็นของเสียที่อยู่ในสภาพของของเหลว รวมทั้งมวลสารที่ปนเปื้อนอยู่ในของเหลวนั้น (ฝ่ายตรวจและบังคับการ, 2549)

#### 1. ประเภทของน้ำเสีย

น้ำเสียสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภท โดยแบ่งเป็น 4 ประเภท ตามแหล่งกำเนิด ดังนี้

##### 1) น้ำเสียจากแหล่งชุมชน (Domestic wastewater)

น้ำเสียประเภทนี้โดยทั่วไปแล้วมาจาก 2 แหล่งใหญ่ คือ น้ำเสียจากอาคารที่พักอาศัยขนาดต่างๆ และน้ำเสียจากสถานประกอบการต่างๆ รวมทั้งตลาด ร้านค้า โรงแรมสหโรงแรมสำนักงาน และสถานที่ทำงานนานาชนิด ฯลฯ น้ำเสียประเภทนี้เกิดจากกิจกรรมต่างๆ ในการดำเนินชีวิตของมนุษย์ เช่น การชำระร่างกาย การล้างภาชนะอุปกรณ์ การประกอบอาหาร การซักเสื้อผ้า การขับถ่าย เป็นต้น สิ่งสกปรกที่เจือปนอยู่ในน้ำเสียประเภทนี้มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ส่วนมากจะเป็นสารอินทรีย์ เช่น เศษอาหารจากการล้างจานและภาชนะ หรือจากการปรุงอาหาร รวมถึงสารต่างๆ ที่เกิดจากการล้างทำความสะอาดเสื้อผ้า รถ บ้านเรือน ฯลฯ รวมทั้งอุจจาระและปัสสาวะ เป็นต้น น้ำเสียจากชุมชนแต่ละแหล่งต่างมีลักษณะและปริมาณแตกต่างกันออกไป

##### 2) น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม (Industrial wastewater)

สิ่งสกปรกในน้ำเสียมีลักษณะแตกต่างกันออกไป มีทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ขึ้นอยู่กับการใช้น้ำและประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งส่วนใหญ่จะมาจากส่วนต่างๆ ของกระบวนการอุตสาหกรรม เช่น

(1) น้ำหล่อเย็น (Cooling water) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากการระบายความร้อนในเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ต่างๆ น้ำหล่อเย็นมีอุณหภูมิสูงประมาณ 40-60 องศาเซลเซียส ความร้อนนี้จัดเป็นสิ่งสกปรกอย่างหนึ่ง เช่นกัน คือทำให้เกิด Thermal pollution

(2) น้ำล้าง (Wash water) ได้แก่ น้ำเสียที่เกิดจากการล้างวัตถุดิบ เครื่องจักร อุปกรณ์ต่างๆ และพื้นโรงงาน เป็นต้น น้ำล้างนี้อาจมีความสกปรกมาก ๆ เช่น มีคราบน้ำมัน สารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในการทำความสะอาดละลายปนอยู่

(3) น้ำจากกระบวนการผลิต (Process wastewater) เป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิต ส่วนใหญ่เป็นน้ำที่สกปรกค่อนข้างมาก

(4) น้ำเสียอื่นๆ (Miscellaneous wastewater) เช่น น้ำเสียจากหม้อน้ำ น้ำเสียจากเครื่องกรองความกระด้างของน้ำ ฯลฯ

### 3) น้ำเสียจากการเกษตร (Agricultural wastewater)

น้ำเสียจากการเพาะปลูกและเลี้ยงสัตว์ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเลี้ยงสัตว์ที่พาลักษณะของการอุตสาหกรรม เช่น สุกร โค ปลา และกุ้ง เป็นต้น

### 4) น้ำเสียที่เกิดจากน้ำฝน (Storm sewage)

ได้แก่ น้ำฝนที่ตกลงมาแล้วไหลนองไปตามพื้นดิน น้ำเสียประเภทนี้ไม่จำเป็นต้องผ่านระบบบำบัด สามารถปล่อยลงสู่แหล่งรองรับน้ำได้เลย

นอกจากนี้ น้ำเสียอาจแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามคุณลักษณะของสิ่งสกปรกส่วนใหญ่ในน้ำเสีย คือ

1. น้ำเสียอินทรีย์ (Organic wastewater) น้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกส่วนใหญ่เป็นสารอินทรีย์ ซึ่งจุลินทรีย์ช่วยย่อยสลายได้ น้ำเสียประเภทนี้ ได้แก่ น้ำเสียจากแหล่งชุมชน น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมบางประเภท เช่น โรงงานกระดาษ โรงงานทอผ้า โรงงานประกอบอาหาร โรงฆ่าสัตว์ ฯลฯ ลักษณะอื่นๆ ของน้ำเสีย คือ จะเน่าเหม็นได้ถ้าหากปล่อยทิ้งไว้นานเกินไป

2. น้ำเสียอนินทรีย์ (Inorganic wastewater) ได้แก่ น้ำเสียที่มีสิ่งสกปรกส่วนใหญ่เป็นสารอนินทรีย์ น้ำเสียประเภทนี้ได้แก่ น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโลหะ และโรงงานผลิตสารเคมี เช่น โรงงานถลุงเหล็ก โรงงานผลิตกรดกำมะถัน โรงงานชุบโลหะ เป็นต้น

อย่างไรก็ตาม น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทอาจมีคุณลักษณะเด่นเป็นทั้งน้ำเสียอินทรีย์ และน้ำเสียอนินทรีย์ เช่น น้ำเสียจากโรงงานประกอบรถยนต์ ที่มีสารประกอบสังกะสีละลายปนอยู่มากและมีสารอินทรีย์และมีสารอินทรีย์ปนอยู่มากเช่นกัน (สุรสวัสดิ์ บุญพะเรณู, 2542)

## 2. สิ่งสกปรกในน้ำเสีย

สิ่งสกปรกในน้ำเสียเป็นสิ่งที่ต้องกำจัดออกจากน้ำเสียให้มากที่สุด เพื่อให้ให้น้ำนั้นมีสภาพที่ดีขึ้น ก่อนที่จะปล่อยออกสู่แหล่งน้ำอื่นๆ หรือสภาพแวดล้อมโดยทั่วไป สิ่งที่อยู่ในน้ำเสียโดยทั่วไปมีลักษณะดังนี้คือ

1) สารอินทรีย์ ได้แก่ คาร์โบไฮเดรต โปรตีน ไขมัน เช่น เศษข้าว พืชผัก ชี้นเนื้อ ฯลฯ

(1) สารอินทรีย์ ได้แก่ แร่ธาตุต่างๆ ที่อาจทำให้เกิดน้ำเน่าเหม็น แต่อาจเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต หรือเป็นอุปสรรคในกระบวนการผลิตน้ำประปา ได้แก่ คลอไรด์ ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส ซัลเฟอร์ เป็นต้น

(2) โลหะหนักและสารพิษอื่นๆ โดยอาจอยู่ในรูปของสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ และสามารถสะสมอยู่ในวงจรรอาหาร เกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น พรอทแคดเมียม ทองแดง ปกติจะมาจากน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และสารเคมีที่ใช้ในการกำจัดศัตรูพืชปนเปื้อนมากับน้ำทิ้งจากการเกษตร สำหรับเขตชุมชนอาจมีสารมลพิษเหล่านี้จากอุตสาหกรรมบางประเภท เช่น ร้านชุบโลหะ ตู้ซ่อมรถ และน้ำเสียจากโรงพยาบาล

(3) ไขมันและสารลอยน้ำต่าง ๆ เป็นอุปสรรคต่อการสังเคราะห์แสงและกีดขวางการละลายของออกซิเจนจากอากาศลงสู่น้ำ ทำให้เกิดสภาพไม่น่าดู

(4) ความร้อน ทำให้อุณหภูมิของน้ำเสียสูงขึ้น มีผลทำให้เกิดการเร่งปฏิกิริยาการใช้ออกซิเจนของจุลินทรีย์และลดระดับการละลายน้ำของออกซิเจน

(5) ของแข็ง ประกอบด้วย ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids) ตะกอนหนัก (Settleable solids) และของแข็งละลายน้ำ (Dissolved solids) ซึ่งเมื่อจมตัวลงสู่ก้นลำน้ำทำให้เกิดสภาพไร้ออกซิเจนที่ท้องน้ำ ทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน มีความขุ่นสูง มีผลกระทบต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการนำน้ำไปใช้ประโยชน์

(6) สีและความขุ่น มักเกิดจากอุตสาหกรรมประเภทสิ่งทอ กระดาษ ฟอกหนัง และโรงฆ่าสัตว์ สีและความขุ่นจะขัดขวางกระบวนการสังเคราะห์แสงในลำน้ำ และทำให้เกิดสภาพที่ไม่น่าดู

(7) กรดและด่าง สามารถวัดโดยค่า pH (พีเอช) ค่าพีเอชมากกว่า 7 หมายถึงสภาพเป็นด่าง ค่าพีเอชน้อยกว่า 7 หมายถึงสภาพเป็นกรด น้ำสะอาดจะมีพีเอชเท่ากับ 7 ค่าพีเอชมีผลต่อการดำรงชีพของสิ่งมีชีวิตในน้ำและการใช้ประโยชน์จากน้ำนั้นๆ

(8) สารก่อให้เกิดฟอง/สารซักฟอก ได้แก่ ผงซักฟอก สบู่ ฟองจะกีดกันการละลายของออกซิเจนในอากาศสู่น้ำ และอาจเป็นอันตรายต่อสัตว์น้ำ

(9) จุลินทรีย์ (Microorganism) น้ำเสียจากโรงงานฟอกหนัง โรงฆ่าสัตว์ หรือโรงงานอาหารกระป๋องจะมีจุลินทรีย์เป็นจำนวนมาก จุลินทรีย์เหล่านี้ใช้ออกซิเจนในการดำรงชีพ ทำให้สามารถลดระดับของออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำได้ในระยะเวลาสั้น ทำให้เกิดสภาพน้ำเหม็น จุลินทรีย์บางชนิดอาจเป็นเชื้อโรคและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต เช่น จุลินทรีย์ในน้ำเสียจากโรงพยาบาล

(10) สารกัมมันตรังสี อาจมาจากโรงพยาบาล หรือองค์การของรัฐบาล เป็นสารอันตรายเมื่อสะสมอยู่ในสิ่งมีชีวิต และก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้

(11) ธาตุอาหาร ได้แก่ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ถ้ามีปริมาณสูงจะทำให้เกิดการเจริญเติบโตเกินขีดของสาหร่าย (Algae bloom) ซึ่งจะลดระดับออกซิเจนในน้ำในช่วงเวลากลางวันและทำให้เกิดวัชพืชน้ำซึ่งเป็นปัญหาแก่การสัญจรทางน้ำและการนำน้ำไปใช้

(12) กลิ่น เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ ซึ่งเกิดจากการย่อยสลายของสารอินทรีย์แบบไร้อากาศ หรือกลิ่นอื่น ๆ จากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานทำปลาปนโรงฆ่าสัตว์ เป็นต้น (เกรียงศักดิ์ อุคมสินโรจน์, 2539)

### คุณลักษณะของน้ำเสียทางกายภาพ

คุณลักษณะของน้ำเสียทางกายภาพ ถ้ามีสภาพเปลี่ยนแปลงไปแล้วทำให้เกิดน้ำเสีย ดังนี้คือ

#### 1. ลักษณะที่เป็นของแข็ง

1) ของแข็งทั้งหมด (Total solid : TS) คือ ปริมาณของแข็งหรือสารทั้งหมดที่อยู่ในน้ำหาได้จากปริมาณสารที่ระเหย (Evaporate) น้ำออกทั้งหมด ที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส

2) ของแข็งจมตัวได้ (Settleable solids) หมายถึง ของแข็งที่จมตัวสู่ก้นภาชนะเมื่อตั้งทิ้งในเวลา 1 ชั่วโมง มีหน่วยเป็นมิลลิลิตรต่อลิตร

3) ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (Total dissolved solids : TDS) หมายถึง ของแข็งที่สามารถผ่านกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน แล้วยังคงเหลืออยู่ หลังจากกระเหยไอน้ำจนแห้งแล้วอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส

4) ของแข็งแขวนลอย (Suspended solids :SS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เหลือค้างบนกระดาษกรองใยแก้วมาตรฐาน หลังจากกรองน้ำตัวอย่างและอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส

5) ของแข็งระเหยง่าย (Volatile solids : VS) หมายถึง ส่วนของแข็งที่เป็นสารอินทรีย์ วิเคราะห์โดยนำกระดาษกรองที่วิเคราะห์หาของแข็งที่แขวนลอยแล้ว หรือด้วยกระเบื้องระเหย ที่วิเคราะห์ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด ไปเผาที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส น้ำหนักที่หายไปคือ น้ำหนักของแข็งที่ระเหยง่าย (เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์, 2539)

### คุณลักษณะของน้ำเสียทางเคมี

คุณลักษณะน้ำเสียทางเคมีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย มีดังต่อไปนี้

#### 1. ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH)

มีความสำคัญในการควบคุมคุณภาพน้ำและคุณภาพน้ำเสีย ควบคุมให้เหมาะสมกับการเจริญเติบโตของสิ่งมีชีวิต เพื่อให้เกิดการกักต่อนของท่อ เพื่อใช้ในการควบคุมสารเคมีที่ใช้บำบัดน้ำเสียทำงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยทั่วไปน้ำมีค่า pH อยู่ในช่วง 5-8 ค่า pH เป็นค่าที่แสดงปริมาณความเข้มข้นของอนุภาคไฮโดรเจนในน้ำ  $[H^+]$

#### 2. น้ำมันและไขมัน (O&G)

น้ำมันและไขมัน (Oil & Grease) หมายถึง สารประกอบไฮโดรคาร์บอน เอสเทอร์ น้ำมัน ไขมัน ชีวไขมัน กรดไขมันที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงๆ และสารอื่นที่สามารถละลายได้ในตัว ทำละลาย (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธศักดิ์, 2540)

น้ำมันและไขมันจะพบมากในน้ำทิ้งจากร้านอาหารทั่วไป สถานีบริการน้ำมัน ตู้ซ่อมรถยนต์ และโรงงานอุตสาหกรรมประเภทที่มีไขมันและน้ำมัน

น้ำมันและไขมัน คือ สารอินทรีย์ที่ได้มาจากสิ่งมีชีวิต มีคุณสมบัติไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในสารละลายอินทรีย์ (Organic solvent) มีส่วนประกอบทางเคมีเหมือนกัน เป็นเอสเทอร์ของกรดไขมันกับกลีเซอรอล ไขมันจะเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ส่วนน้ำมันจะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิห้อง กรดไขมันที่มีในน้ำมันและไขมัน อาจเป็นชนิดเดียวกันทั้ง 3 โมเลกุล หรือคนละชนิดก็ได้ น้ำมันหรือไขมันจากสัตว์มีกรดไขมันที่อิ่มตัวอยู่มาก และมักเป็นของแข็งที่อุณหภูมิห้อง ได้แก่ ไขมันในเนื้อสัตว์ ไขมันในไข่แดง ไขมันในนม และน้ำมันหมู ส่วนน้ำมันและไขมันจากพืช มีกรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวอยู่มาก (ยกเว้นน้ำมันมะพร้าว) ได้แก่ น้ำมันรำ น้ำมันถั่ว น้ำมันมะกอก เป็นต้น

น้ำมันและไขมันสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

1) น้ำมันและไขมันธรรมดา (Simple lipid) ได้แก่ เอสเตอร์ของกรดไขมันกับแอลกอฮอล์ ชนิดต่างๆ ถ้าแอลกอฮอล์นั้นเป็นกลีเซอรอล (Glycerol) ไขมันนี้จะเรียกว่าเป็น เอซิลกลีเซอรอล (Acylglycerol) หรือกลีเซอไรด์ (Glyceride) ถ้าอยู่ในสภาพของเหลวก็เรียกว่า น้ำมัน (Oil) ถ้าอยู่

ในสภาพของแข็งจะเรียกว่า ไขมัน (fat) ถ้าแอลกอฮอล์นั้นมีขนาดใหญ่กว่ากลีเซอรอล ไขมันนั้นก็จะเป็นของแข็งในสภาพปกติ และเรียกว่า ไช (Wax)

2) น้ำมันและไขมันประกอบ (Compound lipid) ได้แก่ น้ำมันและไขมันธรรมดาที่มีสารอื่นเพิ่มขึ้น มีอยู่ 3 ชนิดด้วยกัน แล้วแต่ชนิดของส่วนที่เพิ่มขึ้นมา คือ

(1) ฟอสโฟลิปิด (Phospholipid) หรือฟอสโฟกลีเซอไรด์ (Phosphoglyceride) มีส่วนที่เพิ่มขึ้นเป็นฟอสเฟตและแอลกอฮอล์

(2) ไกลโคลิปิด (glycolipid) ส่วนที่เพิ่มขึ้นเป็นคาร์โบไฮเดรต

(3) ไลโปโปรตีน (Lipoprotein) เป็นไขมันที่มีโปรตีนจับอยู่ด้วย ทำหน้าที่เป็นตัวขนส่งไขมันในโลหิต และเป็นส่วนประกอบของเยื่อเซลล์

3) อนุพันธ์น้ำมันและไขมัน (Derived lipid) ได้แก่ อนุพันธ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นจากการสลายตัวของไขมัน 2 ประเภทข้างต้น เช่น กรดไขมัน (Fatty acid) แอลกอฮอล์ (Alcohol) รวมทั้งสารอื่นๆ ที่มาจากไลโปโปรตีน

4) น้ำมันและไขมันเบ็ดเตล็ด (Miscellaneous lipid) ได้แก่ สารอื่นๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายไขมัน มักพบอยู่ร่วมกับไขมันในธรรมชาติ และจะสลายในสารละลายที่ใช้สกัดไขมัน สารเหล่านี้ได้แก่ สเตอรอยด์ (Steroid) วิตามินที่ละลายได้ในไขมัน และสารประเภทเทอร์ปีน (terpene) (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิสักดิ์, 2540)

เมื่อมีการรั่วไหลของน้ำมันและไขมันลงสู่สิ่งแวดล้อมไม่ว่าจะเกิดจากสาเหตุใดก็ตาม จะเกิดกระบวนการทางกายภาพ เคมีและชีวภาพ แล้วทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาณของน้ำมัน และจากการเปลี่ยนแปลงต่างๆ เหล่านี้ จะก่อให้เกิดผลกระทบและความเสียหายต่อทรัพยากรสิ่งแวดล้อมทางด้านต่างๆ ตลอดจนความเสียหายต่อทรัพย์สินของมนุษย์ ผลกระทบทางด้านกายภาพ ได้แก่ ทำให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำลดลง แสงส่องผ่านลงสู่แหล่งน้ำไม่ได้ ความร้อนในน้ำสูงขึ้น ความเป็นพิษจากตะกอนและซึมเข้าไปในตะกอนทำให้น้ำมันคงตัวอยู่ในน้ำได้เป็นเวลานาน และส่งผลกระทบต่อทัศนียภาพ ผลกระทบทางด้านชีวภาพ จะส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตต่างๆ ทำให้ธรรมชาติเกิดการเปลี่ยนแปลง ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการที่ธรรมชาติจะสามารถฟื้นฟูสภาพกลับมามีชีวิตในแหล่งน้ำได้แก่ แพลงก์ตอน ปลา สัตว์หน้าดิน ป่าชายเลน หรือป่าโกงกาง แนวปะการังและหญ้าทะเล นกน้ำ เป็นต้น นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อด้านเศรษฐกิจและสังคม ได้แก่ ผลกระทบต่อแหล่งเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ผลกระทบต่อความเดือดร้อนรำคาญ ผลกระทบต่อความงามของแหล่งท่องเที่ยวและทัศนียภาพ และทำให้สูญเสียรายได้จากทรัพยากรและการบริการ (ธงชัย พรรณสวัสดิ์และวิบูลย์ลักษณ์ วิสุทธิสักดิ์, 2540)

### 3. ไซยาไนด์ (Cyanide)

ปริมาณของสารประกอบไซยาไนด์ทั้งหมดที่มีอยู่ในน้ำ สารประกอบไซยาไนด์แบ่งออกเป็นสารประกอบเชิงเดี่ยวและเชิงซ้อน

1) สารประกอบเชิงเดี่ยว ได้แก่ สารประกอบไซยาไนด์ของโลหะอัลคาไลด์ (โซเดียมไปตัสเซียม หรือโลหะอื่นที่มีสูตรเป็น  $A(CN)_x$  เช่น  $NaCN, Ag(CN)_2$  หมู่ไซยาไนด์ของสารประกอบกลุ่มนี้จะอยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออน ( $CN^-$ ) และในรูป  $HCN$  (ไฮโดรเจนไซยาไนด์) อัตราส่วนของหมู่ไซยาไนด์ 2 รูปนี้ ขึ้นอยู่กับพีเอชและค่าคงที่การละลายของไฮโดรเจนไซยาไนด์

2) สารประกอบเชิงซ้อน ได้แก่ สารประกอบของโลหะอัลคาไลด์กับของโลหะหนัก มีสูตรเป็น  $AyM(CN)_x$  เช่น  $\{K_4[Fe(CN)_6]\}$  เป็นต้น

สารประกอบเหล่านี้ เมื่ออยู่เป็นสารละลายจะแตกตัวให้โลหะไซยาไนด์ไอออน ซึ่งจะคงตัวไม่สลายง่าย พิษไม่ร้ายแรง ความเป็นพิษขึ้นอยู่กับปริมาณของหมู่ไซยาไนด์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบไซยาไนด์อัลคาไลด์เชิงเดี่ยว ไซยาไนด์มีอยู่ทั้งในน้ำเสียและน้ำทิ้งของโรงงานบางประเภท เช่น โรงงานเหล็กกล้า ชุบโลหะ และผลิตภัณฑ์เคมีบางชนิด ดังนั้น จึงมีโอกาสพบไซยาไนต์ในแม่น้ำลำคลอง ซึ่งเป็นที่รองรับน้ำเสีย โดยปกติร่างกายมนุษย์สามารถทดแทนไซยาไนต์ได้ประมาณ 2.9- 4.77 มิลลิกรัม/วัน ถ้าได้รับไซยาไนด์สูงกว่านั้นอาจถึงตายได้ พิษของไซยาไนต์จะเพิ่มขึ้นตามได้ พิษของไซยาไนต์จะเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิของน้ำ

### 4. โลหะหนักชนิดต่าง ๆ

#### 1) ความหมายของโลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นเกิน 5 กรัมต่อลูกบาศก์กิโลเมตร หรือมีค่าความถ่วงจำเพาะตั้งแต่ 5 ขึ้นไป มีเลขอะตอมอยู่ระหว่าง 23-92 ภายในคาบที่ 4-7 ของตารางธาตุ เช่น ตะกั่ว นิกเกิล ปรีท แคดเมียม สังกะสี เป็นต้น ซึ่งโลหะหนักแต่ละชนิดจะถูกปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างชนิดกัน โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ ซึ่งโลหะหนักส่วนใหญ่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่คล้ายคลึงกันคือ นำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว สามารถตีเป็นแผ่นบางได้ และสะท้อนแสงได้ดี ส่วนคุณสมบัติทางด้านเคมีที่สำคัญ คือ มีค่าออกซิเดชันได้หลายค่า ดังนั้นโลหะหนัก จึงสามารถที่จะรวมตัวกับสารอื่นๆ เป็นสารประกอบเชิงซ้อน (Complex compound) ได้หลายรูปที่เสถียกว่โลหะอิสระโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อรวมตัวกับสารประกอบอินทรีย์ ซึ่งสามารถที่จะถ่ายทอดสู่สิ่งมีชีวิตได้ โดยผ่านไปตามห่วงโซ่อาหาร และเมื่อโลหะหนักเหล่านี้แพร่กระจายในสิ่งแวดล้อม

โดยปนเปื้อนในดิน น้ำ อากาศ และผลผลิตทางการเกษตร ก็จะเข้าสู่ร่างกายมนุษย์และมีผลต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์สิ่งมีชีวิต (มนตรี ไขแก้ว, 2543)

โดยทั่วไปเราสามารถแบ่งโลหะหนักต่างๆ ออกตามคุณสมบัติที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต ได้เป็น 4 ประเภท คือ

- (1) โลหะหนักที่ให้คุณประโยชน์ต่อสิ่งมีชีวิต เช่น เหล็ก และทองแดง เป็นต้น
- (2) โลหะที่ไม่ก่อประโยชน์และโทษต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อะลูมิเนียม
- (3) โลหะหนักที่สะสมในสิ่งมีชีวิตและก่อให้เกิดโทษ เช่น ตะกั่ว และสารหนู
- (4) โลหะหนักที่ก่อประโยชน์ ถ้าสิ่งมีชีวิตได้รับเพียงเล็กน้อยแต่ให้โทษถ้าได้รับใน

ปริมาณมาก

## 2) แหล่งกำเนิดของโลหะหนักในสิ่งแวดล้อม

ลักษณะของแหล่งกำเนิดโลหะหนักสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 แหล่งใหญ่ คือ

### (1) แหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ

ได้แก่โลหะหนักที่ปะปนอยู่ในชั้นของเปลือกโลก ชั้นหินและแร่ธาตุชนิดต่างๆ

### (2) แหล่งกำเนิดที่เกี่ยวข้องกับมนุษย์ เช่น

(2.1) จากการทำอุตสาหกรรม โรงงานอุตสาหกรรมที่มีกระบวนการผลิตเกี่ยวข้องกับโลหะหนัก จะปล่อยโลหะหนักรูปแบบต่างๆ ออกสู่สิ่งแวดล้อม เช่น โรงงานแบตเตอรี่ โรงงานถลุงโลหะ โรงงานฟอกย้อม เป็นต้น

(2.2) จากการเกษตร โดยการนำสารเคมีมาใช้ในกระบวนการเพิ่มผลผลิตทั้งในรูปของปุ๋ย และการใช้สารปราบศัตรูพืช เพื่อป้องกันการสูญเสียผลผลิต เช่น ยากำจัดเชื้อรา ยาฆ่าหญ้าบางชนิด ซึ่งจะมีทองแดงและอาร์เซนิกเป็นส่วนประกอบ

(2.3) จากแหล่งชุมชน เช่น การนำโลหะหนักไปใช้ประโยชน์ในด้านต่างๆ เช่น เป็นส่วนผสมในสีทาบ้าน ถ้วยไฟฉาย น้ำมันเครื่อง เป็นต้น การขาดการกำจัดของเสียที่เหมาะสมทำให้เกิดปัญหาการแพร่กระจายของโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมเพิ่มมากขึ้น

(2.4) จากการทำเหมืองแร่ เช่น การขุดแร่ การชะล้าง และการตกตะกอน เป็นต้น

### 3) การแพร่กระจายของโลหะหนัก

(1) การแพร่กระจายของโลหะหนักในน้ำ มีทั้งในรูปที่สามารถละลายน้ำ และรูปสารแขวนลอย ซึ่งปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำอาจเปลี่ยนแปลงได้ตลอดเวลา เนื่องจากความสามารถในการผสมผสานของสารแขวนลอย จะมี Residence time ยาวนานกว่าพวกที่ละลายน้ำและจากน้ำที่มีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา มีผลทำให้ตะกอนได้น้ำลอยตัวขึ้น จึงมีทั้งกระบวนการดูดซับ และการคายของโลหะหนักระหว่างน้ำและตะกอน

(2) การแพร่กระจายของโลหะหนักในตะกอนแขวนลอย โลหะหนักในตะกอนจะมีปริมาณความเข้มข้นของโลหะหนักสูงกว่า ทั้งนี้เนื่องจากโลหะบางชนิดสามารถเคลื่อนย้ายออกจากน้ำทะเลมาอยู่ในสภาพที่แขวนลอยได้ โดยผสมกับผิวของอนุภาคต่างๆ เช่น ออกไซด์ของเหล็ก และแมงกานีส แร่ธาตุดินเหนียวหรือแพลงก์ตอน เป็นต้น

### 4) การสะสมโลหะหนักในสิ่งมีชีวิต

ปริมาณความเข้มข้นของโลหะในน้ำที่ผิวหน้า ส่วนใหญ่จะถูกควบคุมโดยขบวนการการดูดซับทางกายภาพ และทางเคมีของสารชีวภาพในทะเลโดยขบวนการนี้ โลหะจะถูกเคลื่อนย้ายออกจากน้ำ และถูกทำให้คืนกลับสู่แหล่งน้ำอีก โดยการย่อยสลายของแบคทีเรีย และสิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก เช่น แพลงก์ตอน ซึ่งสามารถดูดซับโลหะจำนวนมาก และเคลื่อนย้ายไปสู่สิ่งมีชีวิตในลำดับขั้นที่สูงกว่าในห่วงโซ่อาหาร การสะสมโลหะในสิ่งมีชีวิต เป็นผลมาจากการดูดซับหลังจากการกินอาหาร หรือการซึมผ่านเข้าทางผิวหนังเมื่อผ่านเหงือกขณะที่หายใจ (สุรสวัสดิ์ บุปผะเรณู, 2542)

### 5) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับโครเมียม

#### (1) คุณลักษณะของโครเมียม (Chromium)

โครเมียม (Chromium) มีสูตรเคมี คือ Cr โดยที่สารโครเมียมนี้ สามารถนำมาใช้งานด้านอุตสาหกรรมได้อย่างกว้างขวาง โดยนำมาผสมกับโลหะทำให้เกิดความแข็งแรงมีความเหนียวทนทาน ทำให้โลหะไม่เป็นสนิมทนต่อการผุกร่อน โลหะโครเมียมบริสุทธิ์ใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะด้วยไฟฟ้า สารประกอบของโครเมต (Chromate) ใช้ในอุตสาหกรรมเครื่องปั้นดินเผา อุตสาหกรรมพอกหนัง การย้อมสีขนสัตว์ จะเห็นได้ว่าประโยชน์ของโครเมียม และสารประกอบของโครเมียมมีประโยชน์มากมายแต่อันตรายของโครเมียมก็มีอยู่ไม่น้อย เช่น สูดหายใจเอาฝุ่นละอองหรือควันของกรดโครมิก ก็จะทำให้ระบบทางเดินหายใจส่วนต้นบริเวณจมูก โดยแผ่นกั้นระหว่างจมูกซึ่งเป็นกระดูกอ่อนทำละลายและทำให้เป็นมะเร็งที่ปอด นอกจากนี้การสัมผัสกับฝุ่นละออง หรือสารละลายของกรดโครมิกทำให้ผิวหนังอักเสบ

ความเป็นพิษของโครเมียมและผลต่อสุขภาพ (Toxicity and health effect) ในกรณีที่ร่างกายได้รับโครเมียมในปริมาณที่สูงเกินกว่าที่ร่างกายจะรับได้ ก็จะก่อให้เกิดภาวะพิษโครเมียมได้ทั้งในลักษณะการเกิดพิษแบบเฉียบพลันและแบบเรื้อรัง

### (2) ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน (Acute toxicity)

มักพบในกรณีได้รับโดยการกิน Hexavalent chromium เช่น Chromic acid จะทำให้เกิด Acute gastroenteritis ร่วมกับ Yellow-green vomitus หรือ Hematemesis, Hepatic necrosis, Gastrointestinal hemorrhage acute tubular necrosis และ Renal failure นอกจากนี้ ในรายที่กิน Hexavalent chromium ในปริมาณมากๆ จะทำให้มี Vertigo, thirst, Abdominal pain, Bloody diarrhea ในรายที่รุนแรงอาจพบความผิดปกติเหล่านี้ร่วมด้วย เช่น Hepatorenal syndrome, Severe coagulopathy, Intravascular hemolysis และอาจเสียชีวิตได้ ปริมาณที่ทำให้เสียชีวิตได้ในผู้ใหญ่ คือ 1-3 กรัม

### (3) ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง (Chronic toxicity)

มักพบในคนงานที่ต้องทำงานสัมผัสกับโครเมียมเป็นเวลานานๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้คือ

#### (3.1) ความเป็นพิษต่อผิวหนังและ Mucous membrane

มีสาเหตุจากการสัมผัส Hexavalent chromium เป็นระยะเวลานานๆ จะเกิดแผลบริเวณผิวหนัง ที่ต้องสัมผัสโครเมียมเป็นประจำที่เรียกว่า Chrome hole หรือ Chrome sore พบมากในคนงานที่ใช้ Chromic acid, Ammonium dichromate, Potassium chromate และ Sodium dichromate ถ้าแผลไม่ลึกมากเมื่อรักษาด้วยยาประมาณ 3 อาทิตย์แผลจะหาย ในรายที่รุนแรงทำให้เกิด Allergic contact dermatitis ซึ่งเป็นอาการผิดปกติที่เกิดขึ้นร่วมกับ Immune system จะพบ Acute or chronic eczema และจัดเป็น Chromium sensitivity ชนิด Delayed-type (class IV) Hypersensitivity reaction นอกจากนี้ในรายคนงานที่ต้องสัมผัสกับ Chromate dust จะพบ Conjunctivitis, Lacrimation, Respiratory irritation, Rhinitis, Epitaxis, และที่พบบ่อยคือ Ulceration หรือ Perforation of nasal septum

#### (3.2) การเป็นสารก่อให้เกิดมะเร็ง (Carcinogenicity):

โดย The International Agency for Research on Cancer (IARC) และ US Toxicology Program จัด Hexavalent chromium เป็น Human carcinogen ด้วยความสามารถในการละลายน้ำที่ดีของสารประกอบ โครเมียม เช่น Stronium จึงพบว่าเป็นปัจจัยที่สำคัญในการเกิดมะเร็งปอด มีรายงานการศึกษาเกี่ยวกับการเกิดมะเร็งปอดในคนงานที่ต้อง

ทำงานสัมผัสกับ Hexavalent chromium เป็นเวลามากกว่า 30 ปีขึ้นไป จะมีความเสี่ยงสูงกว่า  
คนงานที่มีอายุน้อยกว่า (ชาลินี ศักดิ์แสน, 2550)

(4) ค่ามาตรฐานของโครเมียมในน้ำ

ค่ามาตรฐานในการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดย  
ประกาศจากกระทรวงวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) ดังแสดง  
ในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้งของโครเมียมจากโรงงานอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย
โครเมียม ชนิดเฮกซะวาเลนต์	0.25	มิลลิกรัมต่อลิตร
โครเมียม ชนิดไตรวาเลนต์	0.75	มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539

6) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับตะกั่ว

(1) คุณลักษณะของตะกั่ว (Lead : Pb)

ตะกั่วเป็นแร่โลหะชนิดหนึ่ง ซึ่งได้มีการค้นพบและนำมาใช้ประโยชน์  
กันมาก ซึ่งพบทั่วไปทั้งในดิน หิน น้ำ พืช และอากาศ แหล่งแร่ตะกั่วที่พบกันมากในประเทศไทย  
ได้แก่ แหล่งตะกั่วบริเวณอำเภอทองผาภูมิ สังขะบุรี และอำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี ถือได้  
ว่าเป็นแหล่งผลิตตะกั่วใหญ่ที่สุดของประเทศไทย แร่ตะกั่วที่พบส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปสารประกอบ  
เช่น แร่กาลิना (Galena, PbS) แร่เซอร์ไซต์ (Cerrussite, PbCO<sub>3</sub>) แร่อะไนไลต์ (Anylesite,  
PbSO<sub>4</sub>)

(2) คุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมีของตะกั่ว

สัญลักษณ์	Pb
เลขอะตอม	82 เป็นธาตุที่ 5 ของหมู่ IVA ในตารางธาตุ
น้ำหนักอะตอม	207.2
จุดหลอมเหลว	327.5 องศาเซลเซียส
จุดเดือด	1,740 องศาเซลเซียส
ความหนาแน่น	11.342 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ที่ระดับ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

เลขออกซิเดชัน	+2 และ +4
การละลาย	ไม่ละลายในน้ำ ละลายได้ในกรดไนตริกและกรดซัลฟูริก

### (3) ประโยชน์ของตะกั่ว

(3.1) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตสี เช่น สีแดง (Red lead ; PbO) สีเหลืองส้ม (Lead chromate ; PbCrO<sub>4</sub>) และสีขาว (Lead carbonate ; PbCO<sub>3</sub>)

(3.2) ใช้ในอุตสาหกรรมการทำหม้อแบตเตอรี่และโลหะหุ้มสายเคเบิลไฟฟ้า

(3.3) ใช้เป็นเครื่องกำบังป้องกัน อันตรายจากรังสีในอุตสาหกรรม และห้องปฏิบัติการทางด้านรังสีและนิวเคลียร์

(3.4) ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมกระจก และเครื่องเคลือบบางชนิด

(3.5) ใช้เป็นส่วนผสมของยาฆ่าแมลงและยาปราบศัตรูพืชบางชนิด

(3.6) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหมึกพิมพ์

(3.7) สารตะตะอะเทิลเลด ใช้เป็นตัวผสมเติมในน้ำมันเบนซินพลังสูงในอัตรา 3 กรัมต่อแกลลอน เพื่อให้เครื่องยนต์เดินเรียบขึ้น แต่ปัจจุบันหลายประเทศทั่วโลกรวมทั้งประเทศไทยได้เลิกใช้สารตัวนี้แล้ว เพราะสารดังกล่าวเมื่อเผาแล้วตะกั่วกระจายเป็นไอปะปนอยู่ในอากาศซึ่งเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต

(3.8) ใช้เป็นส่วนผสมที่สำคัญในอุตสาหกรรมทำท่อต่างๆ ตลอดจนทำพีวีซี

(3.9) ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตอาวุธและกระสุนปืนต่างๆ

(3.10) ใช้ในอุตสาหกรรมผสมโลหะผสมต่างๆ เช่น ตะกั่วผสมดีบุกเป็นโลหะบัดกรี (Solder) ตะกั่วผสมพลวงเป็นโลหะตัวพิมพ์ (Type metal) ตะกั่วผสมบิสมัทดีบุกและแคดเมียมเป็นโลหะผสมที่เรียกว่า Wood's alloy เป็นต้น (วิกิพีเดีย, 2541)

### (4) การเข้าสู่ร่างกายของตะกั่ว

ตะกั่วสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง คือ ทางเดินอาหาร โดยการรับประทานอาหารหรือน้ำที่มีสารตะกั่วปะปนเปื้อนอยู่ ทางเดินหายใจ โดยการสูดควันเสียจากรถยนต์หรือโรงงานอุตสาหกรรม รวมทั้งฝุ่นที่มีสารตะกั่ว และทางผิวหนังจะสามารถเข้าสู่ผิวหนังได้ในรูปสารประกอบอินทรีย์ โลหะหนักตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทางดังนี้

#### (4.1) ทางเดินหายใจ

ก๊าซหรือฟุ้งของตะกั่ว และฝุ่นขนาดเล็กกว่า 0.75 ไมครอน สามารถผ่านสู่ถุงลมในปอด และผ่านสู่กระแสเลือด ฝุ่นขนาดใหญ่จะติดค้างบริเวณทางเดินหายใจตอนบน เช่น ในจมูก ช่วงต่อระหว่างโพรงจมูกและคอ และหลอดลมใหญ่ซึ่งร่างกายจะขับออกในรูปของเสมหะ

#### (4.2) ทางเดินอาหาร

จากการปนเปื้อนในอาหาร น้ำ หรือทางใดทางหนึ่ง เช่น ปนเปื้อนมากับอาหารมือที่หยิบอาหารหรือการสูบบุหรี่ขณะทำงาน ตะกั่วจะผ่านสู่กระเพาะอาหาร รวมทั้งการกลืนเสมหะ ทางเดินอาหารจะดูดซึมเข้าสู่กระแสเลือดประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือถูกขับออกทางอุจจาระ

#### (4.3) ทางผิวหนัง

เฉพาะตะกั่วอินทรีย์เท่านั้น ที่สามารถซึมผ่านผิวหนังได้ เพราะตะกั่วจำพวกนี้จะละลายได้ในไขมันและถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบโลหิตของร่างกาย

#### (5) ความเป็นพิษของตะกั่ว

ความเป็นพิษของตะกั่ว ตะกั่วเป็นธาตุที่ไม่มีประโยชน์ต่อร่างกายมนุษย์สัตว์ รวมทั้งพืช ตะกั่วเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางอาหาร ทางผิวหนัง และการหายใจ สามารถสะสมในโลหิต กระดูก ฟัน เล็บ ผม กล้ามเนื้อ และ น้ำเหลือง ถ้าร่างกายได้รับตะกั่วในปริมาณสูงอย่างเฉียบพลัน จะทำให้เกิดพิษเฉียบพลัน คือ มีอาการปวดท้องรุนแรง ท้องร่วงอย่างแรง กล้ามเนื้อ ตับ ไต หัวใจ ล้มเหลวและอาจถึงตายได้ อาการเหล่านี้ส่วนใหญ่จะพบในเด็ก แต่ผู้ใหญ่พบได้น้อยมากสำหรับ อาการเรื้อรังของตะกั่ว จะทำให้เกิดโรคโลหิตจางตะกั่วไปขัดขวางการสร้างฮีโมโกลบิน เมื่อตะกั่วในเลือดมากกว่า 70 ไมโครกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร จะเสี่ยงต่อการเป็นโรคประสาทก่อให้เกิดความผิดปกติของโครโมโซมที่ต่อมน้ำเหลืองขัดขวางการทำงานของเอนไซม์ที่มีหมู่-SH ทั้งยังก่อให้เกิดเนื้องอกและมะเร็ง ซึ่งความเป็นพิษของตะกั่วจะมาจากสารหลัก 2 ประเภท คือ

##### (5.1) ตะกั่วอินทรีย์

ได้แก่ ตะกั่วผสมดีบุกที่ใช้ทำลวดเชื่อมบัดกรีโลหะกันสนิม หมึกพิมพ์ และใช้ผสมกระเบื้องเคลือบหรือเซรามิกเพื่อให้เกิดความเงางามและผิวเรียบ นอกจากนี้ในอุตสาหกรรมการถลุงและการแต่งแร่โลหะตะกั่ว ก็ทำให้มีสารตะกั่วตกค้างอยู่ในสิ่งแวดล้อมได้ทั้งในดิน น้ำ และอากาศ เช่น เศษละอองฝุ่นผงตะกั่วในอากาศ ตะกั่วในรูปของอิลอน ( $Pb^{2+}$ ) ที่ละลายในน้ำ ตะกั่วออกไซด์ ( $PbO$ ) ตะกั่วไฮดรอกไซด์ ( $Pb(OH)_2$ ) ตะกั่วคาร์บอเนต ( $PbCO_3$ ) ที่ตกตะกอนในดิน เป็นต้น

## (5.2) ตะกั่วอินทรีย์

เป็นสารประกอบตะกั่วในน้ำมัน เช่น สารเตตระเอทิลเลด ( $Pb(C_2H_5)_4$ ) ที่ใช้เป็นสารกันน็อก เพื่อป้องกันการกระตุกของเครื่องยนต์ในเวลาทำงาน ตะกั่วอินทรีย์เป็นสารระเหยง่ายและคงตัวอยู่เป็นไอในอากาศ เมื่ออยู่ในสถานะของเหลวจะสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ หากถูกเผาไหม้ในเครื่องยนต์ จะถูกเปลี่ยนเป็นตะกั่วอินทรีย์ในสภาพของอนุภาคปนออกมากับไอเสียของยานยนต์ และเข้าสู่ร่างกายโดยทางหายใจ หากอนุภาคของตะกั่วจากท่อไอเสียตกลงบนอาหารที่อยู่ริมถนน สารตะกั่วก็จะเข้าสู่ร่างกายได้โดยผ่านระบบทางเดินอาหาร

การได้รับสารตะกั่วสะสมเข้าสู่ร่างกาย อาจทำให้เกิดพิษเฉียบพลันและเรื้อรังต่อระบบต่างๆ ของร่างกาย พิษเรื้อรังของตะกั่ว จะค่อยๆ แสดงอาการออกมา หลังจากได้รับสารตะกั่วที่ละน้อย เข้าสู่ระบบของเหลวในร่างกาย และค่อยๆ สะสมในร่างกาย จนกระทั่งถึงเวลาหนึ่งจึงแสดงออกมา ส่วนมากเกิดกับบุคคลที่มีอาชีพสัมผัสกับสารตะกั่ว และกับชุมชนที่มีการปนเปื้อนตะกั่วในสิ่งแวดล้อม เช่น บริเวณเหมืองหรือโรงแต่งแร่ตะกั่ว เป็นต้น ตะกั่วเมื่อเข้าสู่ร่างกายไม่ว่าทางใด จะถูกดูดซึมเข้าสู่ระบบไหลเวียนเลือด ไปจับกับเม็ดเลือดแดง แทนที่เหล็ก ( $Fe^{+2}$ ) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็น ในการสร้างเม็ดเลือดแดง ทำให้เกิดอาการโลหิตจาง (Anaemia) ทำให้ปริมาณเหล็กในน้ำเหลืองเพิ่มขึ้นผิดปกติ ตะกั่วบางส่วน จะเข้าไปแทนที่แคลเซียม ( $Ca^{+2}$ ) ซึ่งเป็นโลหะที่จำเป็นในการสร้างกระดูกและฟัน ทำให้มีอาการปวดตามข้อกระดูกและหักง่ายถ้าไปสะสมที่รากฟัน ทำให้เห็นสีม่วง หรือดำบริเวณเหงือก บางครั้งเรียกว่าเส้นตะกั่ว (Leadline) ฟันหลุดได้ง่าย

นอกจากนี้ ยังสะสมในไขมัน สมองระบบประสาท ระบบน้ำเหลือง ตับ และไต อาการพิษเรื้อรังที่พบบ่อย คือ

(1) อาการของระบบย่อยอาหาร จะเกิดอาการปวดท้อง น้ำหนักลด เบื่ออาหาร คลื่นไส้ อาเจียนท้องผูก

(2) อาการพิษทางประสาทและสมองทำให้ทรงตัวไม่ได้ เกิดอาการประสาทหลอน ซึมไม่รู้สึกรู้ตัว ชัก มือ และเท้าตก เป็นอัมพาต สลบ และอาจตายได้

(6) การแพร่กระจายของตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม

การใช้ประโยชน์จากตะกั่วเป็นสาเหตุสำคัญที่ก่อให้เกิดของเสีย โดยเฉพาะการใช้ตะกั่วในอุตสาหกรรมต่างๆ ซึ่งทำให้มีการปล่อยสารตะกั่วสู่สิ่งแวดล้อม ซึ่งการแพร่กระจายของตะกั่วทั้งจากแหล่งกำเนิดที่เคลื่อนที่ได้และเคลื่อนที่ไม่ได้ ส่วนใหญ่จะปล่อยออกสู่บรรยากาศดินและแหล่งน้ำตามธรรมชาติ สำหรับความเข้มข้นของตะกั่วในสิ่งแวดล้อม มีรายละเอียดดังนี้

### (6.1) ตะกั่วในอากาศ

ปริมาณความเข้มข้นของตะกั่วในบรรยากาศ จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ได้แก่ ปริมาณแหล่งกำเนิดของตะกั่ว ระยะห่างของแหล่งกำเนิดและผู้ได้รับผลกระทบ ทิศทางลมและความเร็วลม ตะกั่วที่ถูกปล่อยจากรถยนต์ส่วนใหญ่มีขนาด 0.2-0.4 ไมครอน ซึ่งเป็นขนาดของฝุ่นละอองที่ผ่านเข้าสู่ถุงลมในปอดและกระแสเลือดได้ (ฝุ่นขนาด 0.75 ไมครอนเมตร สามารถเข้าสู่ถุงลมปอดได้) ซึ่งฝุ่นละอองเหล่านี้ 25 เปอร์เซ็นต์ จะแพร่กระจายในอากาศและถูกพัดพาไปตามกระแสลม และอีก 75 เปอร์เซ็นต์ จะเปลี่ยนไปเป็นออกไซด์หรือคาร์บอนเนตและรวมตัวเป็นฝุ่นขนาดใหญ่ ซึ่งจะตกลงบนพื้นดิน เป็นเหตุให้ดินและน้ำเกิดการปนเปื้อนของสารตะกั่วได้มาก

### (6.2) ตะกั่วในแหล่งน้ำ

ปริมาณตะกั่วโดยส่วนใหญ่แล้ว จะพบในปริมาณเล็กน้อยในบริเวณต้นน้ำ และเมื่อผ่านแหล่งเกษตรกรรม ชุมชน และโรงงานอุตสาหกรรม จะพบในปริมาณที่สูงมากขึ้น และจากการศึกษา พบว่า ปริมาณสารตะกั่วในน้ำทิ้งของโรงงานแบตเตอรี่ ที่ตั้งอยู่บนฝั่งทางทิศตะวันออกของแม่น้ำเจ้าพระยา มีโลหะตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในปริมาณ 4.452-111.994 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งมีค่าสูงเกินมาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดขึ้นเพื่อควบคุมสภาวะแวดล้อมจากสารพิษต่างๆ ที่ปล่อยจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม โดยกำหนดให้มีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินจะต้องมีปริมาณตะกั่วไม่เกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร นอกจากนี้ในมาตรฐานของน้ำบริโภคกำหนดปริมาณตะกั่วไม่เกิน 50 ไมครอนกรัมต่อลิตร ถึงแม้ในน้ำจะมีตะกั่วละลายในปริมาณไม่มากนักก็อาจเป็นอันตรายต่อการบริโภคน้ำได้ เพราะตะกั่วมีฤทธิ์สะสม ปริมาณตะกั่วในน้ำไม่ควรเกิน 0.05 มิลลิกรัมต่อลิตร เพราะถือเป็นขีดกำหนดสูงสุดที่ปลอดภัยทำให้เกิดการสะสมจนกลายเป็นโรคพิษตะกั่ว ซึ่งจะทำลายปับทอนสมองและระบบประสาท

### (6.3) ตะกั่วในดิน

แหล่งน้ำโดยทั่วไป มักจะมีปริมาณตะกั่วปนเปื้อนอยู่ในตะกอนของดินเสมอ ซึ่งจากการศึกษา พบว่า ในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง จะมีตะกั่วเจือปนอยู่ในดินตะกอนใต้ น้ำประมาณ 11.8-356.0 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม (วิกินดา ชัยบุตร, 2541)

### (6.4) ตะกั่วในอาหารและเครื่องอุปโภค

อาหารที่มีการปนเปื้อนด้วยตะกั่ว เป็นปัจจัยสำคัญในการที่จะนำเข้าสู่ร่างกายรวมทั้งการมีสารตะกั่วในเครื่องสำอาง เครื่องประทีนผิว ที่มีโอกาสสัมผัสอยู่เป็นประจำทางคณะกรรมการร่วมองค์การอาหารและยาแห่งสหประชาชาติกับองค์การอนามัยโลก

ได้ร่วมกันกำหนดค่าสูงสุดที่ผู้ใหญ่จะได้รับสารตะกั่วเข้าสู่ร่างกายจากอาหารและเครื่องดื่ม คิดเป็นวันละไม่เกิน 500 ไมโครกรัมต่อกิโลกรัมของอาหารและเครื่องดื่มนั้น ในประเทศอังกฤษ มีกฎหมายข้อบังคับเกี่ยวกับปริมาณตะกั่วในอาหารกำหนดไว้ว่ามีได้ไม่เกิน 2 พีพีเอ็ม (ppm) สำหรับอาหารสำเร็จรูปไม่เกิน 5 พีพีเอ็ม (ppm) และอาหารสำเร็จรูปของเด็กไม่เกิน 0.5 พีพีเอ็ม (ppm) (วาสนา ลิ่มสุวรรณ, 2545)

#### (7) ค่ามาตรฐานของตะกั่วในน้ำ

ค่ามาตรฐานในการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยประกาศจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้งของตะกั่วจากโรงงานอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย
ตะกั่ว (Pb)	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539

#### 7) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแคดเมียม

##### (1) คุณลักษณะของแคดเมียม

แคดเมียมเป็นโลหะที่มีคุณสมบัติเบา อ่อน ตัดงอได้ และทนต่อการกัดกร่อน เป็นโลหะที่มีในธรรมชาติน้อยกว่าสังกะสี ประมาณว่ามีอยู่ในเปลือกโลก  $5 \times 10^{-4}$  เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ไม่มีแหล่งแร่ของแคดเมียมโดยตรง แต่จะเป็นผลพลอยได้จากการผลิตแร่สังกะสี

##### (2) คุณสมบัติการเคมีและทางกายภาพของแคดเมียม

สัญลักษณ์	Cd
หมายเลข	48
อนุกรมเคมี	โลหะทรานซิชัน
หมู่, คาบ, บล็อก	12, 5, d
มวลอะตอม	112.411(8)กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	[Kr] 4d <sup>10</sup> 5s <sup>2</sup>
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 18, 18, 2
สถานะ	ของแข็ง

ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.)	8.65 ก./ซม. <sup>3</sup>
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	7.996 ก./ซม. <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	594.22 K (321.07 °C)
จุดเดือด	1040 K (767 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	6.21 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	99.87 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 26.020 J/(mol·K)

### (3) ประโยชน์ของแคดเมียม

(3.1) แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมต่างๆ และสินค้าอุปโภค

ดังนี้

(3.1.1) ใช้ผสมกับโลหะอื่นเป็นโลหะผสมอัลลอยด์ (Alloy) เพื่อเพิ่ม

ความเหนียวและความทนทานต่อการกัดกร่อน เช่น

(3.1.2) อัลลอยด์ของทองแดงที่มีแคดเมียม 1% (Cadmium bronze) ใช้

ในการผลิตเส้นลวดโทรเลขและโทรศัพท์

(3.1.3) อัลลอยด์ของทองแดงและตะกั่ว ซึ่งมีแคดเมียมผสมอยู่ 20%

ใช้ในการผลิตแบบพิมพ์ (Printing plates)

(3.1.4) อัลลอยด์ของทองแดง แคดเมียม และเซอร์โคเนียม ใช้ใน

อุปกรณ์การสื่อสารต่างๆ ที่มีศักย์ไฟฟ้าสูงๆ ทั้งนี้เพราะโลหะผสมประเภทนี้จะมีความแข็งและมีแรงดึงได้สูงกว่าโลหะผสมของทองแดงกับแคดเมียม

(3.1.5) แคดเมียมใช้ผสมกับโลหะอื่นในอุตสาหกรรมเพชรพลอยและ

เครื่องประดับอัญมณีต่างๆ โดยอาจผสมกับโลหะอื่นชนิดเดียว (ผสมทอง) ผสมกับโลหะอื่น 2 ชนิด (ทอง 75% เงิน 16.6%) ผสมกับโลหะอื่น 3 ชนิด (ทองแดง เงิน และทอง)

(3.1.6) ใช้แคดเมียมที่มีความบริสุทธิ์สูงๆ ในการผสมกับโลหะอื่น

เพื่อให้มีคุณสมบัติกึ่งตัวนำ (Semiconductor) เช่น Cadmium arsenide, Cadmium antimonide และ Cadmium telluride

(3.2) ใช้ในการชุบโลหะ โดยใช้แคดเมียมเคลือบบนแผ่นเหล็ก ทองแดง

อะลูมิเนียม โดยการชุบด้วยไฟฟ้า โลหะที่ได้จากการชุบนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของเครื่องบิน รถยนต์ อุปกรณ์ไฟฟ้า อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ วิทยุ เป็นต้น

(3.3) ใช้เป็นเม็ดสีในอุตสาหกรรม สารประกอบแคดเมียมซัลไฟด์และแคดเมียมซัลไฟด์ใช้ในใช้ในการให้สีในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น สีอานาเมล เซรามิก ยาง แก้ว ผ้าเส้นใย หนัง หมึกพิมพ์และพลาสติก

(3.4) ใช้ผลิตแบตเตอรี่ โดยใช้ร่วมกับโลหะนิกเกิลเป็น Cd-Ni battery ซึ่งนำมาใช้เป็นแบตเตอรี่ในเครื่องคิดเลข แฟลชถ่ายรูป เครื่องโกนหนวด นาฬิกาและวิทยุเล็กๆ เป็นต้น

(3.5) ใช้ในกิจการอื่นๆ เช่น

(3.5.1) ใช้ผสมในสารฆ่าเชื้อรา ที่ใช้ในกิจการเกษตร

(3.5.2) ใช้ในเตาปฏิกรณ์ปรมาณู เป็นตัวควบคุมอัตราการแตกตัวของนิวเคลียร์

(3.5.3) ใช้ในการผลิตหลอดฟลูออเรสเซนต์

(3.5.4) ใช้ในการถ่ายรูป เช่น Cd - Br, Cd - I

(3.5.5) สารประกอบแคดเมียมบางชนิดใช้เป็นสารเพิ่มความคงตัวของพลาสติก เช่น Cadmium stearate

(3.5.6) ใช้ในการผลิตอุปกรณ์ต่างๆที่ต้องทนความร้อน เช่น ทำหม้อน้ำรถยนต์ อุปกรณ์ทำความเย็นต่างๆที่ต้องระบายความร้อนมากๆ

#### (4) ความเป็นพิษของแคดเมียม

จากการที่แคดเมียมถูกนำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมและสินค้าอุปโภคบริโภคที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงทำให้โลหะแคดเมียมเกิดการปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อม บรรยากาศ และในอาหาร ทำให้เราได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายได้หลายทางโดยไม่รู้ตัว คนทั่วไปจะได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายจากอาหารที่บริโภคเข้าไปเป็นหลัก โดยอาจติดปะปนมากับพืชผัก ผลไม้ หรือผลิตภัณฑ์จากสัตว์ที่นำมาปรุงเป็นอาหาร แคดเมียมอาจจะละลายอยู่ในน้ำที่เราดื่มและได้รับจากอากาศโดยการหายใจเอาอากาศที่มีฝุ่นแคดเมียมฟุ้งกระจายอยู่ โดยเฉพาะในแหล่งอุตสาหกรรมที่มีการใช้แคดเมียมเป็นวัตถุดิบ เช่น โรงงานทำแบตเตอรี่ หรือบริเวณที่เป็นเหมืองทำแร่ สังกะสี ตะกั่ว ทองแดง ที่มักมีแคดเมียมปนอยู่ด้วย การสัมผัสกับสิ่งของที่มีแคดเมียมเป็นส่วนประกอบและการอยู่ในแหล่งที่มีการปนเปื้อนของแคดเมียมในอากาศนานๆจะทำให้แคดเมียมซึมผ่านผิวหนังเข้าสู่ร่างกายเราได้อีกด้วย สำหรับผู้ที่สูบบุหรี่จัดจะทำให้ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้นปริมาณแคดเมียมทั้งหมดในร่างกายครึ่งหนึ่งจะไปสะสมอยู่ที่ตับและไต ทำให้เกิดพิษสะสมได้ในคน การขับแคดเมียมที่ร่างกายดูดซึมเข้าไปแล้วออกจากร่างกายเป็นไปค่อนข้างช้า

มาก เพราะวงจรชีวิตของแคดเมียมในคนค่อนข้างยาว 16 -33 ปี โดยความเป็นพิษของแคดเมียม แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ดังนี้

#### (4.1) ความเป็นพิษแบบเฉียบพลัน

(4.1.1) ความเป็นพิษต่อระบบทางเดินอาหาร เมื่อร่างกายได้รับแคดเมียมโดยการกินซึ่งส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากการกินอาหารหรือเครื่องดื่มที่มีแคดเมียมปนเปื้อนหรือบรรจุในภาชนะที่เคลือบด้วยแคดเมียม อาการที่ปรากฏเริ่มแรกคือ รู้สึกคลื่นเหียนอย่างรุนแรง อาเจียน ท้องร่วง เป็นตะคริว และน้ำลายฟูมปาก ในรายที่เป็นมากอาจเกิดอาการช็อค เนื่องจากร่างกายสูญเสียน้ำมาก ระบบการทำงานของไตล้มเหลวและอาจถึงตายได้

(4.1.2) ความเป็นพิษต่อระบบหายใจ การสูดหายใจเอาไอของแคดเมียมเข้าไปทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หลอดลม ปอด จมูก ลำคอ และยังทำให้เกิดอาการไอ เวียนศีรษะ อ่อนเพลีย หนาวสั่น มีไข้ เจ็บหน้าอก

#### (4.2) ความเป็นพิษแบบเรื้อรัง

(4.2.1) ความเป็นพิษต่อปอดในคนที่หายใจเอาฝุ่นหรือไอ (Fume) ของแคดเมียมเข้าไปติดต่อกันเป็นเวลานานจะทำให้เกิดการบวมหรือพองของเนื้อเยื่อปอด ประสิทธิภาพในการระบายลมของปอดจะลดลง ทำให้อากาศอยู่ในปอดนานกว่าปกติ มีอาการหายใจขัดหรือหายใจไม่ออก นอกจากนี้ยังพบว่า แคดเมียมทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพอง และมีพังผืดในปอดจับในทางเดินหายใจส่วนล่าง เนื่องจากแคดเมียมจะเป็นตัวไปขัดขวางการสร้าง Antitrypsin ซึ่งเป็นตัวควบคุม Trypsin ในร่างกายคน ซึ่งสาร Trypsin นี้เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรคถุงลมโป่งพองได้

ความเป็นพิษจากแคดเมียมที่เกิดกับคนส่วนใหญ่มักเป็นแบบชนิดเรื้อรัง ซึ่งเกิดจากการที่ร่างกายได้รับแคดเมียมเข้าไปเป็นเวลานานติดต่อกัน ได้แก่

(4.2.2) ความเป็นพิษต่อไต ผู้ที่ได้รับแคดเมียมเข้าสู่ร่างกายนานติดต่อกันจะพบความเป็นพิษที่ไตก่อนที่ปอด จะเกิดแผลที่ไต พิษต่อไตจะปรากฏโดยผู้ป่วยมีอาการของโปรตีนยูเรีย คือ ไตจะมีการขับปัสสาวะที่มีโปรตีนมากกว่าปกติ ซึ่งโปรตีนที่ขับออกมาส่วนใหญ่จะเป็นโปรตีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ เช่น Microglobin Lysozyme Ribonuclease Retinol binding protein และ Immunoglobulin chains โดยชนิดของโปรตีนที่ถูกขับออกมาจะเป็นตัวบอกให้รู้ว่าไตส่วนใดถูกทำลาย เช่น ถ้าโปรตีนขนาดใหญ่ถูกขับออกมา แสดงว่า โกลเมอรูลัส (Glomerulus) ถูกทำลาย แต่ถ้าเป็นโปรตีนขนาดเล็กถูกขับออกมา แสดงว่า ส่วนของทิวบูลถูกทำลาย นอกจากโปรตีนแล้วยังอาจมีสารอื่นๆ ถูกขับออกมาผิดปกติด้วย เช่น กรดอะมิโน ทำให้

เกิดอาการ Aminoaciduria แคลเซียม ทำให้เกิดอาการ Hypercalciumuria และกลูโคส ทำให้เกิดอาการ Glucosuria เป็นต้น

(4.2.3) ความเป็นพิษที่กระดูก ที่ปรากฏเด่นชัดในกรณีการเกิดโรค อีไต อีไต โรคชนิดนี้เป็นโรคกระดูก คือ กระดูกจะพรุน กระดูกโก่ง งอโค้งได้ จะทำให้กระดูกเสีย รูปทรง แตกร้าวและหักได้ เนื่องจากร่างกายดูดซึมแคลเซียมได้น้อยลง

(4.2.4) ความเป็นพิษต่อระบบเลือดเข้าสู่หัวใจและระบบการสร้าง เม็ดโลหิต จะทำให้เกิดความดันโลหิตสูง เป็นสาเหตุให้เกิดโรคหัวใจ หัวใจเต้นผิดปกติ ในกลุ่มผู้ป่วยที่เป็นโรค อีไต อีไต และกลุ่มคนงานที่ต้องสัมผัสกับแคดเมียมจะพบอาการของโรคโลหิตจางด้วย

(4.2.5) ความเป็นพิษต่อดับ มีรายงานค่อนข้างน้อยเกี่ยวกับความเป็นพิษต่อดับในคน แต่จากการทดลองในสัตว์ทดลอง พบว่า แคดเมียมในปริมาณน้อย(ในน้ำดื่ม 1 ppm) มีผลทำให้การทำงานของเอ็นไซม์ในตับเปลี่ยนไป

(4.2.6) จากการทดลองในสัตว์ พบว่า แคดเมียมยังเป็นสารก่อมะเร็ง โดยทำให้เกิดมะเร็งของเนื้อเยื่อที่อยู่ลึก (Sarcomar) เช่น กล้ามเนื้อกระดูกในหนูทดลอง

จากความเป็นพิษของโลหะหนักแคดเมียมที่กล่าวมา ยังมีโลหะหนัก อื่นอีกหลายชนิดซึ่งไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อม เช่น ตะกั่ว สารหนู รอท โครเมียม เป็นต้น เนื่องจากโลหะหนักต่างๆ เหล่านี้ ยังมีความจำเป็นต่อชีวิตประจำวัน อยู่ การใช้โลหะหนักเหล่านี้ จะทำให้โลหะหนักมีโอกาสที่จะแพร่กระจายอยู่ในสิ่งแวดล้อมและปนเปื้อนเข้าสู่ห่วงโซ่อาหารได้ การศึกษาพิษวิทยาของโลหะหนักจึงมีความสำคัญเพื่อหาแนวทาง ป้องกันอันตรายที่อาจเกิดขึ้นในอนาคตต่อไป (มนตรี ไชแก้ว, 2545)

(5) ค่ามาตรฐานของแคดเมียมในน้ำ

ค่ามาตรฐานในการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยประกาศจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2539) ดังแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้งของแคดเมียมจากโรงงานอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย
แคดเมียม (Cd)	0.03	มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539

## 8) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับสังกะสี

### (1) คุณลักษณะของสังกะสี (Zinc : Zn)

สังกะสี เป็นโลหะที่มีสีขาวปนเทา มีความแข็งแรงแต่เปราะแตกหักได้ง่าย อีกทั้งยังไม่ทนต่อการกัดกร่อน โดยเมื่อละลายในกรดจะให้แก๊สไฮโดรเจน สังกะสีบริสุทธิ์นั้นจะถูกนำไปชุบเคลือบผิวเหล็กหล่อและเหล็กเหนียว เพื่อป้องกันการกัดกร่อนของบรรยากาศ

นอกจากนั้น สังกะสียังสามารถนำไปผสมกับโลหะชนิดอื่นๆ ได้อีกด้วย ทั้งนี้ เพื่อให้คุณสมบัติของสังกะสีเปลี่ยนแปลงไปตามที่เราต้องการ เช่น การนำสังกะสีไปผสมกับทองแดงและนิกเกิล จะทำให้โลหะผสมดังกล่าวมีความแข็งแรงมากขึ้น (มนตรี ไขแก้ว, 2545)

### (2) คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของสังกะสี

สัญลักษณ์	Zn
เลขอะตอม	30 เป็นธาตุที่ 1 ของ หมู่ 2B ในตารางธาตุ
น้ำหนักอะตอม	65.38
จุดหลอมเหลว	907 องศาเซลเซียส
เลขออกซิเดชัน	+2
การละลาย	ไม่ละลายในน้ำ สามารถละลายได้ในกรดไฮโดรคลอริกและกรดไนตริก

### (3) ประโยชน์ของสังกะสี

(3.1) โลหะสังกะสีใช้ในการเคลือบเหล็กไม่ให้ขึ้นสนิม ทำเป็นแผ่นทองเหลือง และสังกะสีใช้หมุงหลังคา

(3.2) ซิงค์ ออกไซด์ (ZnO) ใช้ทำสีขาวในอุตสาหกรรมเซรามิกและสีเทา

(3.3) ซิงค์คาร์บอเนต (ZnCO<sub>3</sub>) ใช้ในอุตสาหกรรมยาและเภสัชกรรม เช่น คาร์รามาย โลชั่นสำหรับรักษาอาการคันของผิวหนัง

(3.4) ซิงค์ซัลไฟด์ (ZnS) ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตจอภาพโทรทัศน์เพื่อเคลือบจอภาพโทรทัศน์

(3.5) ซิงค์ไฮดรอกไซด์ (Zn(OH)<sub>2</sub>) ใช้ในอุตสาหกรรมการทำยาง เพื่อให้ยางมีความเหนียว

(3.6) ซิงค์คลอไรด์ (ZnCl<sub>2</sub>) ใช้ในการป้องกันเชื้อรา ในอุตสาหกรรมกระดาษ และไม่กัด

(3.7) ซิงค์ไพริดีนไทโอน (Zinc pyridinethione) ใช้เป็นส่วนผสมในการป้องกันรังแคในอุตสาหกรรมการผลิตแชมพูสระผม

(4) การเข้าสู่ร่างกายของสังกะสี

สังกะสีสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่

(4.1) ทางเดินหายใจ โดยการสูดดมฝุ่นสังกะสีเข้าสู่ปอดและกระจายสู่ส่วนต่างๆ ของร่างกาย

(4.2) ทางเดินอาหาร อาหารและน้ำที่เรารับประทานและดื่มเข้าไป อาจมีสังกะสีปะปนอยู่กับแหล่งอาหาร

(4.3) ทางผิวหนัง สังกะสีเข้าสู่ร่างกายโดยการสัมผัส ทำให้เกิดอาการแพ้

(5) ความเป็นพิษของสังกะสี

สังกะสีเป็นธาตุที่จำเป็นต่อร่างกาย แต่ต้องการในปริมาณที่น้อยมาก การได้รับสังกะสีเข้าไปในร่างกายในปริมาณมาก จะไปสะสมที่ตับและไต การสัมผัสสังกะสี-คลอไรด์เป็นเวลานานๆ จะทำให้เกิดความเป็นพิษต่อผิวหนัง เมื่อหายใจเอาฝุ่นของสังกะสีคลอไรด์ และสังกะสีออกไซด์เข้าไป จะทำให้เกิดอาการมีไข้ คลื่นไส้ อาเจียน คอแห้ง ใจ อ่อนเพลีย ปวดเมื่อยกล้ามเนื้อ มีพิษต่อปอด สังกะสีบางส่วนจะถูกขับออกจากร่างกายทางอุจจาระ ปัสสาวะ และเหงื่อ

นอกจากนี้ สังกะสียังเป็นพิษต่อสัตว์น้ำโดยเฉพาะปลา โดยที่สังกะสีจะเข้าไปทำลายบริเวณเซลล์เหงือกของปลา มีผลต่อการวางไข่และตัวอ่อนของปลา ทำให้การเจริญเติบโตช้าลง สังกะสีในรูปสารประกอบจะเป็นพิษมากกว่าในรูปธาตุหรืออ็อกไซด์ (วิกันดา ชัยบุตร, 2541)

(6) การแพร่กระจายของสังกะสีสู่สิ่งแวดล้อม

สำหรับการแพร่กระจายของสังกะสี สังกะสีสามารถแพร่กระจายเข้าสู่สิ่งแวดล้อมโดยกระบวนการทางธรรมชาติ และจากการกระทำของมนุษย์ พบว่าการชะล้างของน้ำฝนจากบ้านที่มุงหลังคาด้วยโลหะที่มีสังกะสีเคลือบ การทิ้งขยะหรือของเสียต่างๆ ลงในแหล่งน้ำ ล้วนแต่ทำให้สังกะสีมีโอกาสปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำได้ สังกะสีถ้ามีในปริมาณมากจะเป็นพิษต่อพืชและสัตว์ ซึ่งสามารถถ่ายทอดไปตามห่วงโซ่อาหารได้ และจากการศึกษาพบว่าในฤดูที่มีน้ำน้อยจะพบปริมาณสังกะสีสูงกว่าฤดูอื่น

## (7) ค่ามาตรฐานของสังกะสีในน้ำ

ค่ามาตรฐานในการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยประกาศจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ.2529) ดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้งของสังกะสีจากโรงงานอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย
สังกะสี (Zn)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539

## 8) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแมงกานีส

## (1) คุณลักษณะของแมงกานีส (Manganese : Mn)

แมงกานีสเป็นโลหะชนิดหนึ่ง ซึ่งมีสีขาวคล้ายเงิน แข็งและเปราะพบได้ในธรรมชาติ แต่จะเกิดร่วมกับธาตุอื่นๆ ได้หลายรูป ดังนั้น ถ้าต้องการโลหะแมงกานีสจึงต้องถลุงอีกที แร่แมงกานีส ที่เกิดในธรรมชาติที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมอยู่ในรูป Oxide และ Carbonate ที่สำคัญที่สุดคือ  $MnO_2$  หรือ Pyrolusit

## (2) คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของแมงกานีส

สัญลักษณ์	Mn
หมายเลข	25
อนุกรมเคมี	โลหะทรานซิชัน
หมู่, คาบ, บล็อก	7, 4, d
มวลอะตอม	54.938049 (9) กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	$[Ar] 3d^5 4s^2$
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 13, 2
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.)	7.21 ก./ซม. <sup>3</sup>
ความหนาแน่นของของเหลวที่ m.p.	5.95 ก./ซม. <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	1519 K(1246 °C)
จุดเดือด	2334 K(2061 °C)

ความร้อนของการหลอมเหลว	12.91 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	221 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 26.32 J/(mol·K)

### (3) ประโยชน์ของแมงกานีส

ในทางโลหกรรม โดยนำแมงกานีสมาผสมกับเหล็ก เพื่อให้เหล็กนั้น มีความเหนียว ยืดหยุ่น และคงทนยิ่งขึ้น เช่น รางรถไฟ หัวชุด หัวเจาะ เหล็กทุบ ฯลฯ นอกจากนี้ ยังใช้ประโยชน์ในการทำให้เหล็กบริสุทธิ์ยิ่งขึ้น ใช้ในทางอโลหะกรรม ได้แก่

(3.1) อุตสาหกรรมประกอบถ่านหินไฟฉาย

(3.2) อุตสาหกรรมเคมีบางประเภท เช่น ในการเตรียมต่างทังทิมซึ่งใช้เป็นยาฆ่าเชื้อโรค ยารักษาเนื้อไม้ให้คงทนถาวรเตรียมสารที่ใช้ในการฟอกหนังย้อมหนังและใช้ผสมเข้าไปในอาหารไก่การ

(3.3) ผลิตภัณฑ์เคมี จำต้องใช้แร่แมงกานีสเป็นตัวสำคัญ เช่น การทำสี ปุ๋ยสังเคราะห์ ผสมในการทำอิฐแมงกานีสจะทำให้อิฐทนความร้อนสูง

### (4) ทางเข้าสู่ร่างกายของแมงกานีส

แมงกานีส สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่

(4.1) ทางจมูก โดยสูดหายใจใน เอาผงหรือไอระเหยของแมงกานีสเข้าสู่ปอด แล้วกระจายไปทั่วร่างกาย ซึ่งเป็นทางเข้าที่สำคัญที่สุด

(4.2) ทางปาก โดยการรับประทานเข้าไป ส่วนมากพบได้น้อยมาก มักจะเป็นอุบัติเหตุปะปนกับอาหารและน้ำดื่ม

(4.3) ทางผิวหนัง แมงกานีสบางส่วนสามารถดูดซึมเข้าทางผิวหนังได้

### (5) อาการพิษของแมงกานีส

พิษแมงกานีสในการอุตสาหกรรมส่วนมากเป็นชนิดเรื้อรัง อาการค่อย ๆ เป็น ค่อย ๆ ไป แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

(5.1) ทำลายระบบประสาทส่วนกลาง ได้แก่ สมอง ทำให้เกิดอาการเป็นระยะ ดังนี้คือ

ระยะเริ่มแรก ผู้ที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่ จะเกิดอาการในระหว่าง 6 เดือน ถึง 2 ปี อาจเริ่มด้วยอาการเป็นไข้ปวดศีรษะ กล้ามเนื้อไม่มีเรี่ยวแรง เบื่ออาหาร ไม่สนใจในสภาพสิ่งแวดล้อมถึงแม้ว่าจะมีอะไร เปลี่ยนแปลงก็ไม่สนใจ ไม่ดีใจหรือเสียใจ นอนไม่ค่อยหลับเป็นครั้งคราว พุดจ้าน้อย ความรู้สึกทางเพศเสื่อมถอย

ระยะกลาง ระยะนี้อาการเป็นมากขึ้น เป็นตะคริวบ่อยขึ้น ปวดกล้ามเนื้อบ่อยๆ ไม่ค่อยพูดจาหรือเวลาพูดเป็นเสียงเดียวไม่มีเสียงสูงเสียงต่ำ พูดช้าและไม่ชัดเจน หน้าตาย ไม่แสดงความยินดียินร้าย เวลาหัวเราะ กล้ามเนื้อเกร็งไปทั่วใบหน้าเฉื่อยชา เวลาเดินเริ่มมีอาการกระตุก ๆ

ระยะเต็มทีในระยะนี้อาการต่างๆ จะรุนแรงยิ่งขึ้น เวลาเดินจะมีอาการกระตุกมากขึ้น ท่าเดินแกว่งไปแกว่งมา ก้าวขาสั้นๆ เดินจะมีอาการกระตุกมากขึ้น หกล้มบ่อยๆ จะเดินลักษณะคล้ายไก่หรือเป็ด มีการสั่นกระตุกของปลายแขน ปลายขา บางรายมีอาการไม่แน่นอน บางครั้งหัวเราะ บางครั้งร้องไห้ กลืนน้ำลายลำบาก ทำให้น้ำลายยืดตลอด เวลาพูดไม่มีเสียงหรือเสียงแหบเหมือนเป็ด บางครั้งมีอาการเป็นอัมพาตของร่างกายบางส่วน

(5.2) ประเภทที่เกี่ยวกับปอด เกิดจากการสูดหายใจเอาผงหรือไอระเหยของแมงกานีสเข้าไป อาจทำให้เกิดอาการปอดบวมได้โดยมีอาการเริ่มต้นเจ็บคอ เป็นไข้ ไอมีเสมหะ ต่อมาเริ่มเป็นไข้สูง ไอมากขึ้น แน่นอึดอัดหายใจไม่ออก เมื่อแยกออกจากสถานที่ทำงานและให้การรักษาถูกต้องแล้วจะหายเป็นปกติได้

#### (6) การควบคุมและป้องกัน

(6.1) ติดตั้งเครื่องดูดอากาศเฉพาะที่ ให้บริเวณที่เกี่ยวข้องกับแมงกานีส เช่น ที่มีการบัด การร่อน การบรรจุ หรือบริเวณที่มีการหลอมเหลวเหนียวผสมแมงกานีส เพื่อการดูดฝุ่นหรือไอระเหยของแมงกานีสออกไปจากบริเวณปฏิบัติงาน

(6.2) เครื่องบดแร่ ควรปิดให้มิดชิดและควรเป็นแบบอัตโนมัติ เพื่อมิให้ฝุ่นของแมงกานีสฟุ้งกระจายออกมาในที่ทำงาน

(6.3) จัดให้มีการระบายอากาศทั่วไปให้เพียงพอ เพื่อให้อากาศบริสุทธิ์จากข้างนอกเข้าไปในบริเวณทำงานให้มากขึ้น

(6.4) ห้องปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับแมงกานีส ควรแยกออกจากห้องปฏิบัติงานอื่นๆ เพื่อลดจำนวนคนงานที่รับพิษให้น้อยลง และต้องหมั่นดูแลรักษาบริเวณให้สะอาด เป็นระเบียบเรียบร้อยอยู่เสมอ

(6.5) จัดห้องเปลี่ยนเสื้อผ้า ห้องอาบน้ำให้คนงานได้เปลี่ยนเสื้อผ้า และอาบน้ำชำระร่างกาย เมื่อเสร็จจากการปฏิบัติงานเป็นประจำทุกวัน

(6.6) ในการทำงานเหมืองแร่แมงกานีส ที่มีการเจาะหินหน้าเหมืองควรใช้วิธีเจาะโดยใช้น้ำช่วยเพื่อลดปริมาณของฝุ่นในอากาศ (สุชาติดา ไชยสวัสดิ์และคณะ, 2542)

## (7) ค่ามาตรฐานของแมงกานีสในน้ำ

ค่ามาตรฐานในการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยประกาศจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่3 (พ.ศ.2529) ดังแสดงในตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้งของแมงกานีสจากโรงงานอุตสาหกรรม

ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย
แมงกานีส (Mn)	5.0	มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539

## 9) ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับเหล็ก

## (1) คุณลักษณะของเหล็ก (Iron : Fe)

แร่เหล็ก ประเทศไทยมีแหล่งแร่เหล็กหลายแห่งด้วยกัน ทั้งที่กำลังมีการผลิตที่ผลิตไปหมดแล้ว และแหล่งที่น่าสนใจที่อาจเป็นแหล่งที่มีค่าในอนาคต แหล่งแร่เหล็กที่มีหรือเคยมีการผลิต ได้แก่ ที่หัวหวาย อำเภอตากดี จังหวัดนครสวรรค์ ที่เขาทับควาย ที่อำเภอโคกสำโรง จังหวัดลพบุรี ที่เขาชีโอน-ชีจัน อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี และที่อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช ส่วนแหล่งแร่ที่น่าสนใจได้แก่ แหล่งภูยาง ภูเหล็ก และภูเี้ยะ อำเภอเชียงคาน แหล่งภูอ่าง อำเภอเมือง จังหวัดเลย แหล่งอิมคริม อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี แหล่งหนองบอน อำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา แหล่งแม่โถ อำเภอแม่แจ่ม จังหวัดเชียงใหม่ แหล่งเถิน อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง แหล่งซำไม้แดง เขาเหล็ก อำเภอหนองไผ่ จังหวัดเพชรบูรณ์ แหล่งปรกฟ้า อำเภอบ้านบึง จังหวัดชลบุรี แหล่งเกาะม่วง-เกาะเหล็ก อำเภอเกาะลันตา จังหวัดกระบี่ นอกจากนี้ยังพบแร่เหล็กทั่วไปทุกจังหวัด (สุชาติา ไชยสวัสดิ์และคณะ, 2542)

## (2) คุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของเหล็ก

สัญลักษณ์	Fe
หมายเลข	26
อนุกรมเคมี	โลหะทรานซิชัน
หมู่, คาบ, บล็อก	8, 4, d
มวลอะตอม	55.845(2) กรัม/โมล
การจัดเรียงอิเล็กตรอน	[Ar] 3d <sup>6</sup> 4s <sup>2</sup>
อิเล็กตรอนต่อระดับพลังงาน	2, 8, 14, 2
สถานะ	ของแข็ง
ความหนาแน่น (ใกล้ r.t.)	7.86 ก./ซม. <sup>3</sup>
ความหนาแน่นของของเหลวที่m.p.	6.98 ก./ซม. <sup>3</sup>
จุดหลอมเหลว	1811 K(1538 °C)
จุดเดือด	3134 K(2861 °C)
ความร้อนของการหลอมเหลว	13.81 กิโลจูล/โมล
ความร้อนของการกลายเป็นไอ	340 กิโลจูล/โมล
ความร้อนจำเพาะ	(25 °C) 25.10 J/(mol·K)

## (3) ประโยชน์ของเหล็ก

ประโยชน์ของแร่เหล็กที่สำคัญคือ เป็นสินแร่เหล็ก ซึ่งถลุงเอาโลหะมาใช้ในงานอุตสาหกรรมต่างๆ ตลอดจนเครื่องมือใช้ประจำวันแทบทุกชนิด ส่วนการใช้แร่ภายในประเทศนั้นใช้แร่เหล็กเปอร์เซ็นต์ต่ำที่ผลิตได้ในการผลิตซีเมนต์ภายในประเทศทั้งสิ้น ส่วนแร่เปอร์เซ็นต์สูงก็นำไปถลุง ส่วนหินลูกรังหรือศิลาแลงก็ใช้ในการถมถนนหรือเป็นหินประดับ

## (4) ทางเข้าสู่ร่างกายของเหล็ก

เหล็ก สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ 3 ทาง ได้แก่

(4.1) ทางจมูก โดยสุดท้ายใน เออผงหรือไอระเหยของเหล็กออกไซด์เข้าสู่ปอด แล้วกระจายไปทั่วร่างกาย ซึ่งเป็นทางเข้าที่สำคัญที่สุด

(4.2) ทางปาก โดยการรับประทานเข้าไป ส่วนมากพบได้น้อยมาก มักจะเป็นอุบัติเหตุปะปนกับอาหาร น้ำดื่ม

(4.3) ทางผิวหนัง เหล็กบางส่วนสามารถดูดซึ่งเข้าทางผิวหนังได้ (สุชาติ ไชยสวัสดิ์และคณะ, 2542)

### (5) ค่ามาตรฐานของเหล็กในน้ำ

ค่ามาตรฐานในการควบคุมการระบายน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม โดยประกาศจากกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ (พ.ศ.2529) ดังแสดงในตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 มาตรฐานของคุณภาพน้ำทิ้งของเหล็กจากโรงงานอุตสาหกรรม

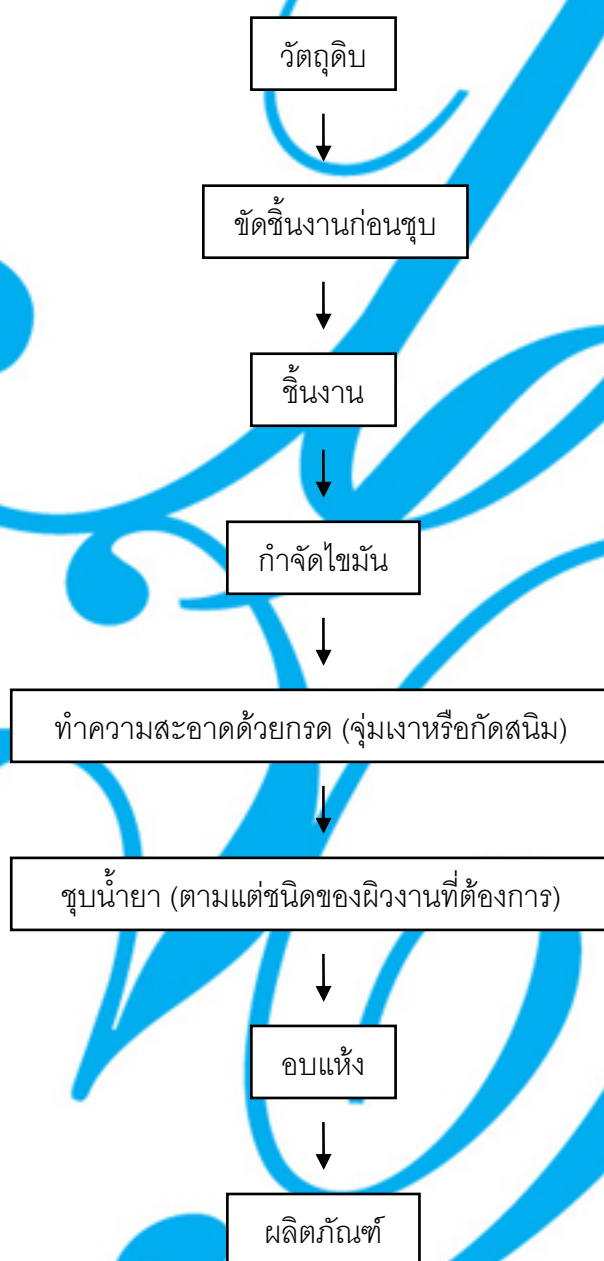
ดัชนีคุณภาพน้ำทิ้ง	ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทิ้ง	หน่วย
เหล็ก (Fe)	10.0	มิลลิกรัมต่อลิตร

ที่มา : กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2539

### ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับการชุบโลหะ

#### 1. การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

ตัวนำไฟฟ้า สามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มคือ “กลุ่มที่หนึ่ง” เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเอง ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นเพียงสะพานเพื่อให้ไฟฟ้าผ่านได้เท่านั้น เช่น โลหะต่างๆ และ แกรไฟต์ และ “กลุ่มที่สอง” เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยแยกสลายตัวเองออกเป็นอนุภาคเล็กๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน เช่น น้ำเจือกรด และสารละลายของเกลือต่างๆ เป็นต้น ตัวนำไฟฟ้ากลุ่มที่ 2 นี้ถูกเรียกว่า สารอิเล็กโทรไลต์ (Electrolytes) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการชุบเคลือบผิวโลหะด้วยไฟฟ้าโดยตรง คือ เมื่อเราผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไปในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ที่ใช้ผ่านแพลตตินัมเป็นขั้วอิเล็กโทรด อนุภาคเล็กๆพวกหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแอโนด (Anode) หรือขั้วบวกส่วนอนุภาคเล็กๆอีกพวกหนึ่งของอิเล็กโทรไลต์จะวิ่งไปยังแคโทด (Cathod) หรือขั้วลบ อนุภาคเล็กๆที่วิ่งไปยังขั้วบวกหรือขั้วลบเรียกว่า อีออน (Ions) แต่ละอีออนจะมีประจุไฟฟ้าประจำตัวทุกตัว อีออนที่วิ่งไปยังขั้วบวกเรียกว่า แอนไอออน (Anions) จะมีประจุไฟฟ้าลบประจำตัว อีออนที่วิ่งไปยังขั้วลบเรียกว่า แคทไอออน (Cathions) จะมีประจุไฟฟ้าบวก ประจำตัว แผนภาพการเกิดเหตุการณ์ดังกล่าวแสดงในภาพที่ 2 ซึ่งขณะที่เกิดการแยกสลายดังกล่าวในสารละลายนั้น เราจะมองไม่เห็นปฏิกิริยาใดๆ เกิดขึ้นในสารละลาย แต่จะเห็นปฏิกิริยาในขั้วลบหรือขั้วบวก ตัวอย่างเช่น ในสารละลายของอิเล็กโทรไลต์บางชนิดที่ใช้ผ่านแพลตตินัมเป็นขั้วบวกและขั้วลบ เมื่อต่อผ่านทั้งสองเข้าแบตเตอรี่ให้ครบวงจรจะปรากฏว่ามีฟองแก๊สออกซิเจนเกิดขึ้นที่ขั้วบวก และฟองแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้นที่ขั้วลบ เป็นต้น



ภาพที่ 2.1 ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย  
ที่มา : เพิ่มพงษ์ พุ่มวิเศษ, 2541

## 2. การชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

การชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน (Galvanizing Process) หมายถึง วิธีการชุบสังกะสีที่ส่งผลต่อความหนาผิวเคลือบสังกะสี โดยจากเดิม เมื่อจุ่มชิ้นงานลงในบ่อสังกะสีหลอมเหลวแล้ว จะแช่ชิ้นงานไว้ในบ่อสังกะสีหลอมเหลว เพื่อให้ผิวเคลือบสังกะสีได้ความหนาตามข้อกำหนด ซึ่งระยะเวลาในการแช่จะใช้คาดคะเนจากประสบการณ์ (สมคิด ภิรมย์ภักดี, 2549)

ประสิทธิภาพของกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน หมายถึง การนำเอาค่าที่วัดจากผลผลิตมาทำการคำนวณเชิงสถิติ 2 ด้าน คือ

(1) ด้านคุณภาพชิ้นงานชุบสังกะสีจุ่มร้อน เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM123 (American Society For Testing and Materials) หมายถึง การมีค่ากำหนดการยอมรับผิวเคลือบสังกะสี คือ ชิ้นงานที่นำมาชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนหนามากกว่าหรือเท่ากับ 6 มิลลิเมตร ความหนาของผิวเคลือบสังกะสี ต้องไม่ต่ำกว่า 100 ไมครอน และไม่สูงกว่า 120 ไมครอน และชิ้นงานที่นำมาทำการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนที่มีความหนาน้อยกว่า 6 มิลลิเมตร ความหนาผิวเคลือบสังกะสีจะต้องไม่ต่ำกว่า 86 ไมครอน และไม่สูงกว่า 96 ไมครอน

(2) ด้านความสามารถของการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน หมายถึง การใช้ค่าดัชนีเป็นตัวชี้วัดความสามารถของกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน โดยการเก็บข้อมูลด้วยการวัดค่าความหนาของผิวเคลือบสังกะสี แล้วนำค่าที่ได้มาทำการคำนวณทางวิชาการ ทางสถิติ และหาค่าดัชนี (Cp) ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบ (ตารางที่ 2.7)

ตารางที่ 2.7 ความสามารถของกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

ค่าดัชนี(Cp)	ความสามารถของกระบวนการ
$2.00 \leq Cp$	ดีเลิศ
$1.67 \leq Cp < 2.00$	ดีมาก
$1.33 \leq Cp < 1.67$	ดี
$1.00 \leq Cp < 1.33$	พอใช้
$0.67 \leq Cp < 1.00$	ควรปรับปรุง
$Cp < 0.67$	ต้องปรับปรุง

ที่มา: กิตติศักดิ์ พลอยพาณิชย์เจริญ, 2546

## กระบวนการชุบโลหะ

กระบวนการชุบโลหะแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะและข้อกำหนดของชิ้นงานที่นำมาชุบ ลักษณะของงานชุบและสารเคมีที่ใช้ และวัตถุประสงค์ในการชุบ เป็นต้น สามารถสรุปในขั้นตอนการชุบโลหะทั่วไปออกได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 กระบวนการทั่วไปของการชุบโลหะ

กระบวนการ	ลักษณะของกระบวนการ
1.Polishing	การกำจัดสนิมที่ผิวของชิ้นงาน และการเตรียมผิวชิ้นงาน
2.Degreasing	การขจัดความสกปรกในรูปไขมันฝุ่น หรือรอบขีดข่วนที่ผิวของชิ้นงาน การขจัดไขมันนี้สามารถทำได้หลายวิธีคือ ใช้ตัวทำละลาย (Solvent degreasing) ใช้สารละลายด่าง (Alkaline degreasing) และใช้สารอิเล็กโทรไลต์ในสารละลายด่าง (Electrolytes in an alkaline liquid)
3.Acid-cleaning	การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยกรดเป็นการเตรียมผิวชิ้นงานโดยการขจัดออกไซด์บางๆที่ผิวชิ้นงานออก โดยทั่วไปจะใช้กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) หรือกรดไฮโดรคลอริก (HCl)
4.Plating	การชุบผิวชิ้นงาน เป็นการสร้างผิวบางๆของโลหะที่ผิวชิ้นงานจากขั้วไฟฟ้าลบของสารละลายเกลือของโลหะนั้น ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้สารเคมีในปริมาณมากและหลายชนิดขึ้นกับชนิดของการชุบโลหะนั้นๆ
5.Rinsing	การนำชิ้นงานขึ้นจากน้ำยาเคมีและล้างน้ำยาเคมีออกจากชิ้นงานโดยใช้น้ำสะอาดซึ่งในขั้นตอนนี้จะมีวิธีล้างได้หลายแบบแล้วแต่ความสะดวกและความเหมาะสมในการทำงาน
6.Drying	การนำชิ้นงานที่ผ่านการล้างน้ำเย็นและอุ่นไปทำให้แห้ง โดยผ่านอากาศร้อน หรือใช้ Centrifugal seperater กรณีที่เป็นชิ้นงานขนาดเล็ก

ที่มา : สุริย์พร ชนะภัยกุล, 2547

## การชุบสังกะสี

จุดประสงค์ของการทำการชุบสังกะสี เพื่อป้องกันการเกิดสนิม ทั้งนี้เป็นเพราะเหล็กและเหล็กกล้าจะเกิดสนิมได้ง่ายเมื่อสัมผัสอากาศ เกิดเป็นเหล็กออกไซด์และออกไซด์ตัวนี้ก็ไม่ได้ป้องกันเหล็กไม่ให้เกิดออกไซด์อีก ออกไซด์จะเกิดขึ้นเรื่อยๆ หมายถึงเหล็กจะเป็นสนิมมากขึ้นเรื่อยๆ เนื้อเหล็กก็จะค่อยๆ หดไป ดังนั้นจึงต้องหาวิธีที่จะทำให้ไม่เกิดการกัดกร่อนขึ้น เช่น ทาสีหรือการหาโลหะหรือวัสดุต่างๆ ที่จะนำมาเคลือบผิวเหล็กเพื่อไม่ให้เหล็กสัมผัสกับอากาศโดยตรง

การชุบเคลือบผิวเหล็กด้วยสังกะสี เป็นกรรมวิธีหนึ่งที่จะใช้สังกะสีเคลือบผิวเหล็กเพื่อป้องกันการเหล็กสัมผัสกับอากาศโดยตรง ผิวสังกะสีที่ได้จากการชุบสังกะสีจะป้องกันผิวหน้าของเหล็กหรือเหล็กกล้าได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่าการทาสีหรือการเคลือบผิวด้วยพลาสติก

การชุบเคลือบผิวเหล็กด้วยสังกะสี โดยทั่วไปที่นิยมทำกันคือ การชุบสังกะสีเคลือบผิวเหล็กด้วยไฟฟ้า (Electroplating) และการชุบสังกะสีเคลือบผิวเหล็กด้วยการจุ่มร้อน (Hot dip galvanizing) ซึ่งทั้ง 2 วิธี จะมีข้อดีและข้อเสียต่างกัน ดังนั้นการเลือกใช้วิธีใดขึ้นอยู่กับสภาพการใช้งานที่แตกต่างกัน และกระบวนการชุบสังกะสีที่แตกต่างกัน

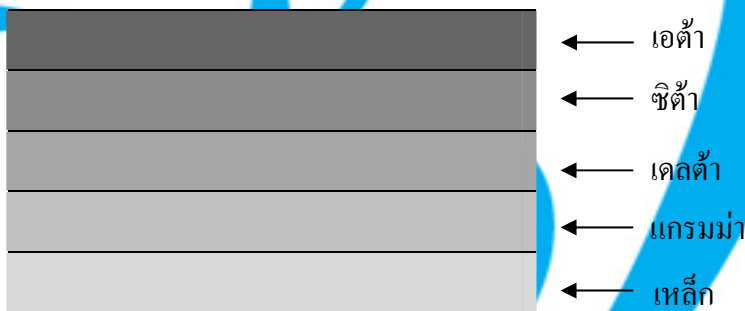
1. การชุบด้วยไฟฟ้า (Electroplating) เป็นการชุบเคลือบผิวโลหะเหล็กโดยไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้นเมื่อโลหะต่างชนิดกัน 2 ชนิด จุ่มลงในสารละลายเกลือหรือกรดเจือจาง มีลวดไฟฟ้าต่อเข้ากับโลหะทั้งสองซึ่งจะเกิดการไหลกระแสไฟฟ้า แ่งโลหะหนึ่งจะเกิดเป็นขั้ว Anode ส่วนอีกขั้วหนึ่งจะเป็น Cathode แ่งโลหะที่มีค่าแรงดันไฟฟ้าเคมีต่ำกว่าจะผุกร่อนเป็นรูปไอออนเคลื่อนที่ไปเคลือบ Cathode

จะเห็นได้ว่า หลักการดังกล่าวในทางอุตสาหกรรมนำมาใช้ชุบพวกชิ้นงานที่ต้องการความสวยงาม แต่ชิ้นงานที่นำมาทำการชุบจะเป็นชิ้นงานที่มีขนาดเล็กๆ ซึ่งหากต้องการเคลือบผิวชิ้นงานที่เป็นอลูมิเนียม สังกะสี นิกเกิล ก็จะเปลี่ยนจากแผ่นทองแดงเป็นแผ่นโลหะ อลูมิเนียม สังกะสี นิกเกิล ซึ่งโลหะดังกล่าวจะแตกตัวเป็นไอออนแล้วไหลไปจับชิ้นงานเกิดเป็นผิวเคลือบที่ชิ้นงาน ซึ่งเป็นหลักการการเกิดการกัดกร่อนประเภท การกัดกร่อนจากไฟฟ้าเคมี คือ โลหะที่ใช้งานทุกชนิดจะอยู่ในสภาพไม่เสถียร เพราะโลหะจะพยายามทำปฏิกิริยารวมตัวกัน เช่น เกิดเป็นออกไซด์หรือซัลไฟด์ที่เป็นสารมลทินและกัดกร่อนไปเรื่อยๆ การกัดกร่อนจากไฟฟ้าเคมี การกัดกร่อนนี้เกิดขึ้นเมื่อโลหะต่างกันสองชนิดที่จุ่มอยู่ในของเหลวที่นำกระแสไฟฟ้า เช่น สารละลายเกลือหรือกรดเจือจาง ต่อโลหะทั้งสองด้วยลวดจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นในลวดธาตุที่จุ่มในสารละลายนี้เรียกว่าธาตุกัลวานไนซิง ธาตุที่จุ่มในสารละลายอาจเป็น Anode (ขั้วบวก) และโลหะอีกชนิดจะเป็น Cathode (ขั้วลบ) ธาตุที่มีความคงทนน้อยกว่าเป็นธาตุที่มีแรงดัน

ทางไฟฟ้าเคมีต่ำ ซึ่งจะละลายตัวออกที่ละน้อยก็คือจะถูกกัดกร่อนไปที่ละน้อย (มานพ ตันตระบัณฑิตย์, 2542)

2. การชุบโดยวิธีการจุ่มร้อน (Hot dip galvanizing process) หรือการทำกัลวานไนซ์เป็นกระบวนการที่เหล็กหรือเหล็กกล้าถูกทำให้มีความทนทานต่อการกัดกร่อน โดยการจุ่มชิ้นงานที่เป็นเหล็กลงในบ่อโลหะหลอมเหลว ซึ่งจะเรียกว่าการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนหรือแบบกัลวานไนซ์ และหลักการนี้ยังคงใช้อยู่โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนถึงปัจจุบัน เพราะได้มีการทำการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนมาตั้งแต่ 150 ปีก่อน (วชิรา ขริษฐบุตร, 2537)

ชิ้นงานส่วนใหญ่ที่นำมาทำการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนจะเป็นเหล็กหรือเหล็กกล้า แต่เนื่องจากสังกะสีหลอมเหลวจะไม่ทำปฏิกิริยากับเหล็กหรือเหล็กกล้าที่มีคราบสนิม คราบไขมัน คราบน้ำมัน ดังนั้นก่อนการนำเหล็กหรือเหล็กกล้าไปทำการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนต้องผ่านการทำความสะอาดเหล็กหรือเหล็กกล้ามีด้วยกันหลายวิธี เช่น การพ่นทราย การใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ การใช้กรดไฮโดรคลอริก เมื่อชิ้นงานสะอาดดีแล้วก็ต้องจุ่มน้ำยาประสาน (น้ำฟลักซ์) เพื่อช่วยให้การทำปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและสังกะสีหลอมเหลว เกิดเป็นผิวเคลือบขึ้นเป็นโลหะผสมกับพื้นโลหะเดิม ดังนั้นการทำการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนซึ่งมีความทนทานทางกายภาพมากกว่าการทาสี ลักษณะของผิวเคลือบสังกะสีจะแบ่งออกเป็นชั้นๆ โดยในแต่ละชั้นมีส่วนผสมของสังกะสีและเหล็กต่างกันไป



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของผิวเคลือบสังกะสี

ที่มา: วชิรา ขริษฐบุตร, 2537

จากภาพที่ 2.2 ในแต่ละชั้นจะมีส่วนผสมของสังกะสีและเหล็ก ดังนี้

ชั้นเอต้า	ประกอบด้วยสังกะสี	ร้อยละ 100
ชั้นซีต้า	ประกอบด้วยสังกะสี	ร้อยละ 94 เหล็ก ร้อยละ 6
ชั้นเดลต้า	ประกอบด้วยสังกะสี	ร้อยละ 90 เหล็ก ร้อยละ 10
ชั้นแกมมา	ประกอบด้วยสังกะสี	ร้อยละ 75 เหล็ก ร้อยละ 25

ส่วนความหนาของผิวเคลือบสังกะสีก็จะขึ้นอยู่กับข้อกำหนดของลูกค้า แต่ที่นิยมใช้ เป็นมาตรฐานควบคุม คือ มาตรฐาน ASTM A123 ในการทำการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน เพื่อให้ ชิ้นงานที่ทำการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนได้ความหนาของผิวเคลือบสังกะสีตามข้อกำหนดนั้น ในขณะที่แช่ชิ้นงานในบ่อสังกะสีหลอมเหลวจะต้องควบคุมให้มีความสัมพันธ์กันระหว่างอุณหภูมิ ของสังกะสีหลอมเหลว เวลาที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงาน และอัตราความเร็วในการยกชิ้นงานขึ้นจาก บ่อสังกะสีหลอมเหลว

โดยทั่วไปกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน จะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ คือ

- 1) การกำจัดคราบไขมัน โดยการล้างด้วยโซดาไฟ
- 2) การกำจัดคราบสนิมและการกระตุ้นผิวชิ้นงานโดยการจุ่มในบ่อกรดกำมะถันหรือ กรดไฮโดรคลอริก หรือกรดไฮโดรเจนฟลูออไรด์
- 3) จุ่มฟลักซ์เพื่อกระตุ้นผิวให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างเหล็กและสังกะสี โดยใช้แอมโมเนียม คลอไรด์กับซิงค์คลอไรด์ผสมกัน
- 4) ทำการชุบสังกะสีในบ่อสังกะสีหลอมเหลว
- 5) จุ่มน้ำเพื่อระบายความร้อน
- 6) ตรวจสอบคุณภาพ
- 7) ตกแต่งและบรรจุ

ในกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อนยังแบ่งเป็น 2 แบบ คือ

(1) แบบ Wet process คือ เมื่อชิ้นงานผ่านการจุ่มกรดกระตุ้นแล้ว จะนำมาล้างน้ำ แล้วจุ่มผ่านฟลักซ์ที่ลอยบนผิวหน้าของสังกะสีหลอมเหลว

(2) แบบ Dry process คือ เมื่อชิ้นงานผ่านการจุ่มกรดกระตุ้นผิวแล้ว จะนำไปจุ่ม ในบ่อน้ำฟลักซ์ก่อนแล้วปล่อยให้ฟลักซ์แห้งบนชิ้นงาน หลังจากนั้นจึงนำชิ้นงานไปจุ่มใน บ่อสังกะสีหลอมเหลว

สารเคมีที่ใช้กันทั่วไปในกระบวนการชุบสังกะสีแบบจุ่มร้อน

(1) สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดไขมัน

สารเคมีที่ใช้	:	โซเดียมไฮดรอกไซด์หรือโซดาไฟ NaOH (ร้อยละ50)
ส่วนผสม	:	โซดาไฟ 4.5-6.8 กิโลกรัม ผสมกับน้ำ 45 ลิตร
ความเข้มข้น	:	ร้อยละ 5-7 wt (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
อุณหภูมิ	:	80-85 องศาเซลเซียส

## (2) สารเคมีที่ใช้ในการกำจัดคราบสนิมและกระตุ้นผิว

สารเคมีที่ใช้	:	ไฮโดรคลอริก HCl (ร้อยละ 32)
ความเข้มข้น	:	ร้อยละ 10-15 wt (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
อุณหภูมิ	:	25 องศาเซลเซียส

## (3) สารเคมีที่ใช้เป็นตัวประสาน

สารเคมีที่ใช้	:	ซิงค์แอมโมเนียคลอไรด์หรือฟลักซ์สำเร็จรูป $ZnCl_2 \cdot 3NH_4Cl$ (ร้อยละ 35)
ความถ่วงจำเพาะ	:	1.15-1.16
ความเข้มข้น	:	ร้อยละ 45-48 wt (ร้อยละโดยน้ำหนัก)
อุณหภูมิ	:	80-85 องศาเซลเซียส

## (4) สังกะสีที่ใช้ในการทำลวไนซ์ประกอบด้วย

สารเคมีที่ใช้	:	ร้อยละ 98.5
ตะกั่ว	:	ไม่เกินร้อยละ 1.3
เหล็ก	:	ไม่เกินร้อยละ 0.025
แคดเมียม	:	ไม่เกินร้อยละ 0.4

จะเห็นได้ว่าปัญหาคือ ความหนาของผิวเคลือบไม่สม่ำเสมอ มีทั้งความหนาที่สูงกว่าข้อกำหนดและต่ำกว่าข้อกำหนด ซึ่งสามารถแก้ไขได้ด้วยการหาเวลาในการแช่ชิ้นงานในบ่อสังกะสีหลอมเหลวที่มีความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของสังกะสีหลอมเหลว เวลาที่ใช้ในการจุ่มชิ้นงาน และอัตราความเร็วในการยกชิ้นงานขึ้นจากบ่อสังกะสีหลอมเหลว (สมคิด ภิรมย์ภักดี, 2549)

### น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ

#### 1. ประเภทของน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ

น้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมชุบโลหะ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท

##### 1) น้ำล้างทำความสะอาดชิ้นงาน

ชิ้นงานที่ชุบด้วยไฟฟ้าควรมีผิวที่สะอาดจะได้ไม่เกิดปัญหาของผิวชุบ และหลังชุบแล้ว ยังต้องการมีการล้างทำความสะอาดน้ำยาชุบที่ติดมากับผิวของชิ้นงาน ดังนั้นน้ำที่ใช้ในการทำความสะอาดจึงแบ่งได้เป็น 2 ส่วน

### (1) น้ำล้างก่อนชุบ

น้ำล้างก่อนชุบเป็นน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการเตรียมผิวของชิ้นงาน ดังนั้นคุณสมบัติของน้ำล้างก่อนชุบจะขึ้นกับวัสดุชิ้นงาน เช่น กรรมวิธีในการขึ้นรูป ชิ้นงานที่เป็นโลหะที่ผ่านการขึ้นรูปแบบงานปั๊ม งานกลึง มักมีน้ำมันหล่อลื่นติดบนผิวงาน ชิ้นงานที่ผ่านการขัดก็จะมีไขมันจากยาขัดติดบนผิวงานหรือชิ้นงานขนาดเล็กที่ผ่านการตะไบตกแต่ก็จะมีเศษผงติดบนผิวชิ้นงาน ชิ้นงานที่มีไขมันหรือน้ำมันติดอยู่มาก มักจะล้างด้วยตัวทำละลาย (Solvent) เพื่อละลายไขมันบนผิวงานออกชั้นหนึ่งก่อนแล้วจึงนำไปล้างในน้ำยาต่างต่อไป ด้วยตัวทำละลายไขมันส่วนใหญ่ เป็นสารประกอบเอทิลีนและอีเทน เป็นต้น ชิ้นงานที่เป็นหลักหากเป็นสนิมจะเอาสนิมออกโดยแช่ชิ้นงานในกรดไฮโดรคลอริก นอกจากนี้ยังมีการใช้กรดซัลฟูริก ทำความสะอาดชิ้นงานที่เป็นพลาสติก หรือโลหะก่อนเข้าถึงชุบหรืออาจมาการล้างโดยใช้การล้างด้วยสารละลายต่างในเครื่องอัลตราโซนิก ดังนั้น คุณสมบัติของน้ำล้างก่อนการชุบโดยทั่วไปจึงมีการปนเปื้อนของไขมัน น้ำมัน ตะกอนแขวนลอยของผงวัสดุของชิ้นงาน ตลอดจนสารเคมีที่เข้มข้น และค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำล้าง มักมีสภาพเป็นกรดเป็นด่างสูง รวมทั้งมีความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำ (Dissolved solids) อยู่มาก (สุริย์พร ชนะภัยกุล, 2547)

### (2) น้ำล้างหลังชุบ

คุณสมบัติของน้ำล้างหลังชุบโดยทั่วไป จะมีโลหะตามชนิดของการชุบชิ้นงาน นั้น มีค่าความเข้มข้นของของแข็งละลายน้ำสูง น้ำ Drag out หรือ น้ำจุ่มล้างชิ้นงานน้ำแรกจะมีระดับความเข้มข้นของโลหะอยู่สูง หลังจากนั้นชิ้นงานจะผ่านการล้างทำความสะอาด อีก 1-2 ครั้ง เรียกว่า Rinse water น้ำใช้ในขั้นตอนนี้จะมามีปริมาณมาก และมีค่าความเข้มข้นของโลหะต่ำ ในกรณีของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดเล็ก จะไม่มีการแบ่งแยกถัง Drag out ออกจากถัง Rinse ถังล้างทำความสะอาด ส่วนใหญ่จะมีการปล่อยน้ำเข้าตลอดเวลา หรือบางแห่งการล้างทำความสะอาดจะใช้วิธีเปิดน้ำล้างบนชิ้นงาน และปล่อยให้ไหลลงท่อระบายทิ้ง การชุบที่มีขั้นตอนการเตรียมผิวโลหะหลายขั้นตอน น้ำทิ้งก็จะมี การปนเปื้อนของโลหะหลายตัว เช่น การชุบโครเมียมบนชิ้นงานที่เป็นเหล็กต้องมีการชุบเตรียมผิวด้วยทองแดงต่าง ชุบนิกเกิล แล้วจึงชุบโครเมียม เป็นต้น การชุบต่างจะมีไซยาไนด์ปนเปื้อนอยู่ด้วย ซึ่งจำเป็นต้องกำจัดออก และน้ำยาชุบส่วนใหญ่จะใหญ่จะมีการใส่ Additives อื่นๆ ที่มีคุณสมบัติเป็นสารอินทรีย์ ซึ่งจะทำให้น้ำทิ้งนี้มีค่า COD สูง ดังนั้นในการศึกษาเรื่องการลดปริมาณของเสีย (Waste minimization) ในอุตสาหกรรมการชุบไฟฟ้า จึงให้ความสนใจการใช้น้ำในจุดนี้ (สุริย์พร ชนะภัยกุล, 2547)

## 2) น้ำยาชุบและน้ำยาล้างที่หมดสภาพแล้ว

โดยปกติน้ำยาที่ใช้ชุบ ควรมีการบำรุงรักษา มีการควบคุมให้อัตราส่วนต่างๆ อยู่ในพิสัยที่กำหนดไว้ น้ำยาชุบบางประเภท อาจมีการจับตัวเป็นผลึกของโลหะชุบแทนที่จะอยู่ในสภาพสารละลาย ซึ่งอาจก่อให้เกิดปัญหาในการชุบหลายๆ ด้าน ตัวอย่างเช่น ผลึกลอยไปเกาะชิ้นงาน ทำให้ผิวชิ้นงานหยาบไม่สวยงาม หรือไปก่อตัวอยู่ที่ตัวล่อ (Anode) ทำให้ตัวล่อไม่ทำงานขณะทำการชุบ ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการดูแลโดยการกรองน้ำยาให้สะอาดอยู่เสมอ และมีการดูแลไม่ให้เกิดสารละลายในน้ำยาชุบเข้มข้นมากเกินไป นอกจากนี้ น้ำยาชุบยังสามารถถูกปนเปื้อนจากโลหะที่ใช้ทำขั้วบวก การตรวจวัดคุณภาพของน้ำยาชุบ อาจใช้วิธีการตรวจวัดวิเคราะห์ส่วนประกอบและการตรวจวัดความหนาแน่นของน้ำยาชุบ โดยใช้ไฮโดรมิเตอร์ ตลอดจนการตรวจสอบ โดยวัดค่าความเป็นกรดเป็นด่าง นอกจากนั้นยังมีสารอินทรีย์ปนเปื้อนมาก ต้องกำจัดสารอินทรีย์ต่างๆ ที่มีอยู่ในน้ำยาชุบออก

อย่างไรก็ดี เมื่อมีการใช้น้ำยาชุบไประยะหนึ่ง จำเป็นต้องมีการเปลี่ยนถ่ายโดยระยะเวลาในการเปลี่ยนถ่ายน้ำยาชุบ จะขึ้นอยู่กับสารปนเปื้อนในน้ำยาชุบ โดยปกติจะนานกว่า 2 เดือน แต่โรงงานที่มีการบำรุงรักษาอยู่ตลอดเวลา จะสามารถยืดอายุการใช้งานของน้ำยา โดยจะมีการเปลี่ยนถ่ายทุก 1 ปี น้ำยาชุบที่ถูกถ่ายทิ้ง จะมีความเข้มข้นของสารต่างๆ โดยเฉพาะโลหะหนักที่ใช้ในการชุบในปริมาณสูง จึงจำเป็นต้องมีถังเก็บก่อนนำไปจัดการโดยวิธีใดวิธีหนึ่งต่อไป (สุรียพร ชนะภักกุล, 2547)

## 3) น้ำเสียจากการเตรียมน้ำใช้

น้ำที่ใช้เตรียมน้ำยาชุบ ควรเป็นน้ำกลั่นหรือน้ำที่ปราศจากไอออน (Distilled or Deionized water) และในส่วนของน้ำปราศจากไอออน สามารถผลิตได้โดยผ่านเรซินชนิดประจุบวกและประจุลบต่อเนื่องกัน ในอุตสาหกรรมที่มีการผลิตต่ำหรือผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดเล็ก สามารถที่จะสั่งซื้อน้ำปราศจากไอออนจากผู้ผลิตได้ ในอุตสาหกรรมชุบโลหะมักจะทำน้ำปราศจากไอออนเป็นน้ำ Rinse ทำความสะอาดชิ้นงานหลังชุบด้วย และนำน้ำ Rinse กลับมาใช้ใหม่โดยการผ่านถังเรซินดังกล่าว การใช้เรซินแลกเปลี่ยนประจุ เพื่อผลิตน้ำปราศจากไอออนนั้น เมื่อใช้งานไประยะหนึ่งจะต้องมีการฟื้นฟู ประสิทธิภาพ (Regeneration) ถ้าเป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุบวกจะใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) และถ้าเป็นเรซินแลกเปลี่ยนประจุลบจะใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) จากนั้นทั้ง 2 แบบจะต้องตามด้วยน้ำสะอาดครั้งหรือสองครั้ง ซึ่งน้ำทิ้งจากการฟื้นฟูประสิทธิภาพนี้ จะมีสภาพความเป็นกรดเป็นด่างสูงและจำเป็นต้องผ่านการบำบัดโดยการปรับสภาพให้เป็นกลางก่อนจะเปลี่ยนทิ้ง (สุรียพร ชนะภักกุล, 2547)

ดังนั้นในน้ำล้างหลังการชุบนี้เทียบตามมาตรฐานน้ำทิ้งอุตสาหกรรมของประเทศไทย  
ที่จะต้องพิจารณามีดังนี้

- (1) โลหะหนัก ดังตารางที่ 1-6
- (2) ค่าความเป็นกรดเป็นด่าง มีค่ามาตรฐานเท่ากับ 5-9
- (3) ของแข็งละลายน้ำ (Dissolved solid) ไม่มากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือตามที่พนักงานเจ้าหน้าที่เห็นสมควรแต่ต้องไม่เกิน 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตร
- (4) ตะกอนแขวนลอย (Suspended solid) ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมระหว่างน้ำทิ้งกับน้ำในลำน้ำสาธารณะ

(5) ไชยาไนต์ (กรณีน้ำยาชุบมีไชยาไนต์) ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากข้อมูลดังกล่าวข้างต้นแสดงให้เห็นว่าน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ จะมีสารมลพิษสูงที่ต้องบำบัดเจือปนอยู่ ซึ่งหากมลพิษเหล่านี้ถูกปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม จะสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระบบนิเวศบำบัดน้ำเสียชุมชน โดยเฉพาะพิษจากโลหะและส่งผลกระทบต่อมนุษย์ทั้งทางตรงและทางอ้อม ดังแสดงในตารางที่ 2.9 และ 2.10

ตารางที่ 2.9 แหล่งกำเนิดสารพิษจากกระบวนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

สารที่เป็นพิษ		แหล่งกำเนิด
ชนิดสารที่เป็นพิษ	ประเภทของสารที่เป็นพิษ	
น้ำมัน	สารประเภทไขมัน	การเตรียมชิ้นงานก่อนชุบ
ของแข็ง	ยาขัด, ทราาย	การขัด
ต่าง	โซเดียมคาร์บอเนต, โซเดียมซัลเฟต, โซเดียมฟอสเฟต, โซดาไฟ	ต้มล้างไขมัน, ทำให้เป็นกลาง, กัดผิว อลูมิเนียม
กรด	กรดกำมะถัน, กรดเกลือ, กรดไนตริก, กรดกำมะถัน, กรดฟอสฟอริก, กรดน้ำส้ม	การจุ่มกรดกระตุ้นผิว, การขัดเงาด้วยสารเคมี
ไชยาไนต์	สารประกอบไชยาไนต์ต่างๆ	ล้างด้วยไฟฟ้าหรือถังชุบ
โลหะหนักในรูปของไอออน	โลหะที่มีค่า, ทองแดง, นิกเกิล, เหล็ก, แคดเมียม, สังกะสี, อลูมิเนียม, แมงกานีส	อยู่ในน้ำยาชุบและจากการเตรียมก่อนชุบ
กรดโครมิก	กรดโครมิก	น้ำยาชุบ, การทำโครเมต
ไอออนเชิงซ้อน	ไอออนเชิงซ้อนของทองแดง, นิกเกิล	น้ำยาชุบ

ที่มา : สุรีย์พร ชนะภัยกุล, 2547

ตารางที่ 2.10 แหล่งที่มาของโลหะหนัก ผลกระทบของโลหะหนักที่มีต่อสุขภาพของมนุษย์

โลหะหนัก	แหล่งที่มา	ความเป็นพิษ
ทองแดง	โรงงานชุบโลหะ โรงงานทำถ่านไฟฉาย โรงงานเชื่อมโลหะ โรงงานย้อมผ้า	ถ้าร่างกายได้รับปริมาณมากจะทำให้เป็นโรคโลหิตจาง แต่ถ้าร่างกายขาดสารนี้จะมีผลต่อการเจริญเติบโต การสร้างกระดูก การสืบพันธุ์การทำงานของหัวใจ การสร้างเม็ดโลหิต
โครเมียม	โรงงานชุบโลหะ โรงงานย้อมผ้า	โครเมียม(III)มีความเป็นพิษต่อร่างกายน้อย ในขณะที่โครเมียม (VI)เป็นพิษต่อร่างกายมากกว่า ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนัง การสูดดมไอ จะเป็นอันตรายต่อระบบทางเดินหายใจ
นิกเกิล	โรงงานชุบโลหะ โรงงานทำกระป๋อง โรงงานผลิตโลหะผสมอัลลอยด์	เป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งในระบบทางเดินหายใจ ยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ แต่โลหะชนิดนี้จะไม่ถูกดูดซึมผ่านทางเดินอาหาร
แคดเมียม	โรงงานชุบโลหะ โรงงานทำแบตเตอรี่	มีผลต่อระบบทางเดินหายใจ ระบบการสร้างเม็ดเลือด และทำให้เกิดโรคโลหิตจาง
สังกะสี	โรงงานชุบโลหะ โรงงานย้อมผ้า	มีผลต่อระบบทางเดินอาหาร โดยทำให้เกิดอาการคลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องร่วง ตะคริว และมีผลต่อระบบการเจริญเติบโต ทำให้ร่างกายแคระแกร็น

ที่มา : สุรีย์พร ชนะภัยกุล, 2547

## 2. คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ

คุณลักษณะของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะทั้งการชุบโครเมียม ชุบทอง และชุบฮาร์ดโครม พบว่า มี คุณลักษณะของน้ำเสีย คือ มีค่าความเป็นกรดเป็นด่างอยู่ในช่วง 1.86-11.49, 0.97-8.50 และ 0.74-2.20 ตามลำดับ ค่าของแข็งละลายน้ำทั้งหมด (TDS) มีค่าอยู่ในช่วง 303-47,203, 191-9,794 และ 3,026-15,028 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าน้ำมันและไขมัน (O&G) มีค่าอยู่ในช่วง 30-6,080, 25-156 และ 65-258 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าโครเมียม มีค่าอยู่ในช่วง 0.01-27.16 และ 0.58-1,616 0.58-1,616 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่าทองแดง มีค่าอยู่ในช่วง 0.08-31.13 และ 0.25-92.38 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ค่านิเกิล มีค่าอยู่ในช่วง 0.39-140.43 และ 0.11-43.27 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ และค่าไซยาไนด์ มีค่าอยู่ในช่วง 0.02-0.24 และ 0.51-28.79 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 คุณลักษณะของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

ประเภทของ โรงงานชุบโลหะ	pH	TDS (mg/l)	O&G (mg/l)	Cr (mg/l)	Cu (mg/l)	Ni (mg/l)	CN (mg/l)
1. ชุบโครเมียม	1.86- 11.49	303-47,203	30-6,080	0.01- 27.16	0.08- 31.13	0.39- 140.43	0.02-0.24
2. ชุบทอง	0.97-8.50	191-9,794	25-156	-	0.25- 92.38	0.11-43.27	0.51- 28.79
3. ชุบฮาร์ดโครม	0.74-2.20	3,026- 15,028	65-258	0.58- 1,616	-	-	-

ที่มา : สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และคณะ, 2542

## ซิกซ์ ซิกม่า

ซิกซ์ ซิกม่า เป็นหลักการของวิธีทางสถิติที่ถูกนำมาใช้กับกระบวนการทางธุรกิจ เพื่อเป็นการพัฒนาประสิทธิภาพในการปฏิบัติงาน โดยวิธีการซิกซ์ ซิกม่ามีจุดมุ่งหมายประการสำคัญต่อการปฏิบัติงานที่ปราศจากความผิดพลาด และยังสามารถคืนกำไรต่อองค์กรได้

### 1. ความหมายของซิกซ์ ซิกม่า

อูษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ได้กล่าวถึงความหมายของซิกซ์ ซิกม่าไว้ 3 ความหมาย ดังนี้

1.1 กลยุทธ์ทางธุรกิจซึ่งทำให้เกิดการได้เปรียบทางการแข่งขัน กล่าวคือ ถ้าสามารถปรับปรุงระดับซิกซ์ ซิกม่าในกระบวนการแล้วจะมีผลทำให้เกิดการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และมีต้นทุนที่ต่ำลงโดยผลที่ตามมา คือ ความพึงพอใจของลูกค้าที่มีมากขึ้น

1.2 ปรัชญาที่ทำให้สามารถทำงานได้ด้วยความฉลาดมากขึ้น ซึ่งจะหมายความว่าสามารถลดข้อผิดพลาดให้น้อยลงในทุกๆ ด้านจากการผลิตสินค้าเพื่อตอบสนองยอดขายสั่งซื้อเราจะสามารถค้นพบและลดแหล่งที่มาของความแปรปรวนในกระบวนการซึ่งทำให้ระดับซิกม่าสูงขึ้น อันหมายถึง การปรับปรุงของความสามารถของกระบวนการ (Process capability) โดยมีผลให้ข้อผิดพลาดหรือของเสียไม่เกิดขึ้น

1.3 เครื่องมือวัดทางสถิติซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ การบริการ หรือกระบวนการมีคุณภาพเป็นอย่างไร วิธีการของซิกซ์ ซิกม่าจะทำให้เปรียบเทียบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ การบริการ หรือกระบวนการที่มีลักษณะคล้ายกันหรือต่างกันได้

ซิกซ์ ซิกม่า จะเป็นสัญลักษณ์ซึ่งแสดงความเสถียร (Stability) ของกระบวนการ เช่น ถ้าบอกว่ากระบวนการมีสมรรถภาพเท่ากลับ ซิกซ์ ซิกม่า อันหมายถึง กระบวนการนั้นในระยะยาว มีโอกาสที่จะเกิดของเสียไม่เกิน 3.4 พีพีเอ็ม (PPM)

### 2. ไตรศาสตร์ด้านคุณภาพ (The Quality Trilogy)

อูษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ได้กล่าวถึงนิยามของการบริหารคุณภาพไว้ว่า “การบริหารคุณภาพ” (Quality Management : QM) หมายถึง กระบวนการในการชี้บ่งและบริหารกิจกรรมต่างๆ ที่มีความจำเป็นอย่างยิ่งต่อการดำเนินการ เพื่อสามารถบรรลุจุดประสงค์ด้านคุณภาพขององค์กร (The process of identifying and administering the activities needed to achieve the quality objective of an organization) ซึ่งเป็นกระบวนการในการชี้บ่งและการบริหารกิจกรรมประกอบไปด้วย 3 กระบวนการหลักๆ คือ การวางแผนคุณภาพขององค์กร และการประกันคุณภาพ (QA) หมายถึง การสร้างความเชื่อมั่นให้เกิดแก่ลูกค้า

## 2.1 การวางแผนคุณภาพ (Quality Planning : QP)

การวางแผนคุณภาพ หมายถึง การกำหนดซึ่งเป้าหมายที่จะบรรลุสู่ความคาดหวังของลูกค้าที่กำหนดแล้วทำการจัดสรรทรัพยากรที่มีจำกัดต่อวิธีการที่จะทำให้เกิดความมั่นใจว่าผลจากวิธีการดังกล่าวทำให้ลูกค้ามีความพึงพอใจ

## 2.2 การควบคุมคุณภาพ (Quality Control : QC)

การควบคุมคุณภาพ หมายถึง การเข้าพินิจผลกระบวนการเพื่อจะทำการเปรียบเทียบกับความหมายของลูกค้า ถ้าหากพบว่าผลการดำเนินการตามกระบวนการมิได้เป็นไปตามความคาดหวังที่ส่งผลให้ลูกค้าเกิดความไม่พอใจแล้วจะต้องค้นหาสาเหตุของความไม่พอดังกล่าวเพื่อจะแก้ไขให้ถูกต้อง

## 2.3 การปรับปรุงคุณภาพ (Quality Improvement : QI)

การปรับปรุงคุณภาพ หมายถึง การคาดการณ์ความคาดหวังใหม่ของลูกค้าสำหรับผลิตภัณฑ์เดิมหรือการค้นหาความจำเป็นของลูกค้าสำหรับการพิจารณาผลิตภัณฑ์ใหม่แล้วทำการวางแผนใหม่ตลอดจนการควบคุมใหม่เพื่อให้บรรลุตามเป้าหมายใหม่

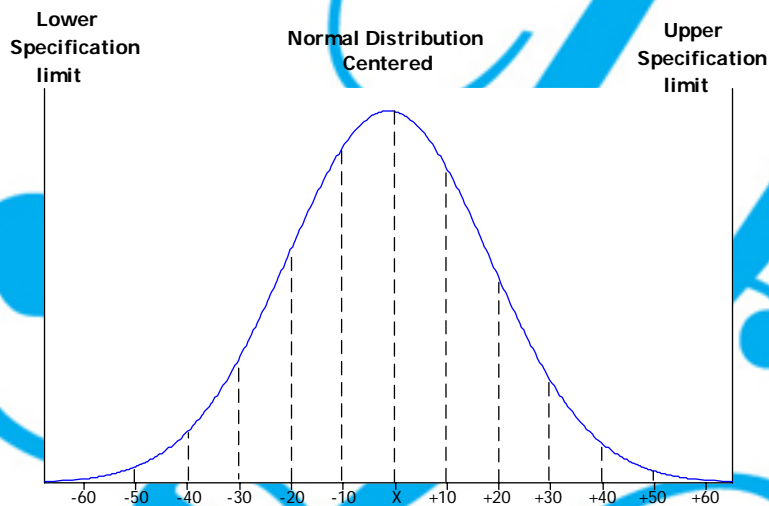
## 2.4 การประกันคุณภาพ (Quality Assurance : QA)

การประกันคุณภาพ หมายถึง การดำเนินการใดๆ เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นต่อลูกค้าภายใต้แนวความคิดของไตรศาสตร์ด้านคุณภาพนี้ กระบวนการบริหารคุณภาพจะเริ่มต้นจากการวางแผนคุณภาพ โดยจะคาดหวังว่าคุณภาพควรจะอยู่ที่ระดับหนึ่งภายใต้การออกแบบระบบคุณภาพและเรียกสาเหตุของปัญหาจากระบบที่ออกแบบนี้ว่า “สาเหตุของปัญหาเรื้อรัง (Chronic waste)” ซึ่งดำเนินการภายใต้การควบคุมคุณภาพเป็นลำดับต่อมา กล่าวคือ จะเป็นการดำเนินการที่พยายามให้คุณภาพเป็นไปตามเป้าหมายคุณภาพที่วางแผนไว้และเรียกสภาวะของกระบวนการแบบนี้ว่า “สภาวะเสถียร” โดยจะทำการกำจัด “ปัญหาแบบครั้งคราว (Sporadic spike)” ซึ่งคุณสมบัติของปัญหาแบบนี้ คือ ไม่สามารถคาดการณ์ได้ภายใต้สภาวะเสถียรจะทำให้สามารถคาดการณ์สมรรถนะของกระบวนการที่ควรจะเป็นได้ การปรับปรุงคุณภาพจึงถูกนำมาบทเรียนที่ได้รับมาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนคุณภาพต่อไป (วสันต์ ฝาสุก, 2549)

## 3. เป้าหมายของซิกซ์ ซิกมา

อูษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ซึ่งได้กล่าวในกระบวนการผลิตหรือบริการโดยทั่วๆ ไป ลักษณะของผลิตภัณฑ์มักจะกระจายตัวแบบปกติ คือ มีระดับของความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ  $\pm 3\sigma$  ซึ่งสามารถคิดเป็น%ของผลิตภัณฑ์ที่จะได้รับการยอมรับ (% ของความแน่นอน) ซึ่งจะได้เท่ากับ 99.73% ซึ่งที่ระดับความเบี่ยงเบนมาตรฐาน  $\pm 3\sigma$  นี้จะทำให้โอกาสที่จะเกิดของเสียถึง

2,700 พีพีเอ็ม (PPM) นั่นคือ ในผลิตภัณฑ์หนึ่งล้านหน่วยจะมีโอกาสเป็นของเสียเท่ากับ 2,700 หน่วย โดยยังถือได้ว่าไม่เป็นระดับที่ลูกค้าพอใจ เพราะลูกค้ามีความต้องการให้โอกาสในการเกิดของเสียใกล้เคียงศูนย์มากที่สุด ดังภาพที่ 2.3 ซึ่งแสดงลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสียที่ความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลระดับต่างๆ



Spec Limit	Percent	Defective Kg
$\pm 1\sigma$	68.27	317300
$\pm 2\sigma$	95.45	45500
$\pm 3\sigma$	99.73	2700
$\pm 4\sigma$	99.9937	63
$\pm 5\sigma$	99.999943	0.57
$\pm 6\sigma$	99.9999998	0.002

ภาพที่ 2.3 ลักษณะการกระจายตัวแบบปกติ และระดับของเสีย  
ที่มา : วสันต์ ฝาสุก, 2549

จากความพยายามพัฒนาคุณภาพของกระบวนการผลิตโดยมีเป้าหมายให้ของเสียใกล้เคียงจำนวนศูนย์มากที่สุด โดยมีการนำซิกซ์ ซิกม่ามาใช้ในการปรับปรุงกระบวนการผลิตหรือบริการโดยมีเป้าหมายอยู่ที่ระดับของความเบี่ยงเบนมาตรฐานอยู่ที่ระดับ  $\pm 6\sigma$

#### 4. ขั้นตอนการดำเนินงานตามวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

จากแนวทางการแก้ไขปัญหาการเกิดของเสียจากการซบดั่งกะสี โดยการดำเนินงานแก้ไขปัญหาด้วยวิธีการซิกซ์ ซิกม่า ประกอบไปด้วย 5 ขั้นตอน อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ดังนี้คือ

##### 4.1 การกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น (Define phase)

ในขั้นตอนนี้จะเริ่มจากการศึกษาความต้องการของลูกค้า อาจได้จากการสำรวจความต้องการหรือข้อมูลการเรียนรู้โดยนำความต้องการของลูกค้ามากระจายเป็นปัจจัยคุณภาพที่สำคัญของกระบวนการปัญหาคุณภาพต่างๆ ที่ตรงกับความต้องการของลูกค้ารวมถึงปัญหาที่ไม่สามารถแก้ไขได้ในหน่วยงานปกติก็จะถูกจัดเรียงลำดับความสำคัญและถูกเลือกดำเนินการแก้ไขปรับปรุงเมื่อ สามารถกำหนดโครงการได้แล้วก็จะร่วมกันกำหนดขอบเขตการดำเนินงานและคณะทำงานต่อไป

สิ่งสำคัญที่จะได้จากขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วยหัวข้อโครงการ รายละเอียดของปัญหา ขอบเขตการดำเนินงาน เป้าหมายโครงการ แผนการดำเนินงาน ของการวิจัย

##### 4.2 การวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา (Measure phase)

ในส่วนขั้นตอนนี้ ผู้วิจัยได้ร่วมกันในการกำหนดแนวทางในการวัดประสิทธิภาพของกระบวนการทำการศึกษาระบบงานโดยละเอียด กำหนดปัจจัยที่ได้รับจากกระบวนการหรือตัวแปรตอบสนองของกระบวนการ และปัจจัยนำเข้าต่างๆ ของกระบวนการ การกำหนดแนวทางในการวัดปัจจัยทำการวิเคราะห์ระบบการวัดหากผลการวิเคราะห์ระบบการวัดให้ดีเสียก่อน เมื่อยอมรับได้แล้วจึงทำการศึกษาประสิทธิภาพการดำเนินงานในปัจจุบันกำหนดปัจจัยนำเข้าที่สำคัญที่น่าจะส่งผลกระทบต่อระดับคุณภาพของ Output ของกระบวนการเพื่อจะดำเนินการศึกษาและวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้ต่อไป

สิ่งสำคัญที่จะได้จากขั้นตอนนี้ประกอบไปด้วย ปัจจัยนำเข้าของกระบวนการและสาเหตุที่จะทำการวิเคราะห์เพื่อพิสูจน์หาข้อเท็จจริง

##### 4.3 การวิเคราะห์หาสาเหตุของปัญหา (Analysis phase)

ขั้นตอนนี้จะนำเข้าของกระบวนการมาทำการวิเคราะห์ เพื่อดูว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อกระบวนการอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาสาเหตุที่แท้จริงของปัญหา หากปัจจัยใดที่ทดสอบแล้วพบว่ามีนัยสำคัญก็จะนำไปดำเนินการปรับปรุงในขั้นตอนนี้ต่อไป

จากการดำเนินงานในขั้นตอนนี้ทำให้เข้าใจในกระบวนการมากขึ้น และมาตรฐานการทำงานต่างๆ จะถูกทบทวนและปรับปรุงใหม่ ตัวแปรต่างๆ จะถูกกำหนดและศึกษาและทำให้ทราบว่าปัจจัยใดมีผลต่อปัญหาจริง และนำปัจจัยเหล่านี้ไปทำการปรับปรุงอย่างเหมาะสม

#### 4.4 การปรับปรุงแก้ไขกระบวนการ (Improve phase)

ขั้นตอนนี้เป็นการปรับปรุงกระบวนการโดยการป้อนปัจจัยนำเข้า เพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย และเพื่อให้การดำเนินการปรับปรุงกระบวนการให้มีประสิทธิภาพ

สิ่งสำคัญที่จะได้รับการดำเนินการขั้นตอนนี้ คือ แนวทางการปรับปรุงกระบวนการที่ดีที่สุด กระบวนการที่ได้รับการปรับปรุงจนเหมาะสม และปัจจัยสำหรับการดำเนินการควบคุม

#### 4.5 การควบคุมตัวแปรต่างๆ (Control phase)

เมื่อทำการปรับปรุงกระบวนการแล้ว ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบวิธีการควบคุมปัจจัยต่างๆ เพื่อให้พนักงานสามารถควบคุมได้ด้วยตัวเอง แล้วทำการประเมินความสามารถของกระบวนการผลิตอีกครั้งเปรียบเทียบกับเป้าหมายในตอนแรก ถ้าหากยังไม่ได้ตามเป้าหมายก็ต้องย้อนกลับไปทำตามขั้นตอนก่อนหน้านี้อีกครั้ง นอกจากนี้แล้วจะต้องมีการประเมินผลการดำเนินงาน โดยวัดจากระดับคุณภาพที่เปลี่ยนไป และประเมินความสามารถในการลดต้นทุน หรือความพึงพอใจของลูกค้าที่เปลี่ยนไปหลังจากปรับปรุงกระบวนการ

สิ่งสำคัญที่ได้รับจากขั้นตอนนี้ คือ แผนการควบคุมกระบวนการ หลักฐานการปรับปรุงกระบวนการ บทสรุปการดำเนินงาน และกระบวนการที่ดีขึ้น

### 5. เครื่องมือสำหรับวิธีการซิกซ์ ซิกม่า

เครื่องมือหลักสำหรับวิธีการซิกซ์ ซิกม่านั้นจะประกอบไปด้วย เครื่องมือทางสถิติต่างๆ และเครื่องมือทางคุณภาพ (Quality staement) เป็นหลัก นอกจากนั้นยังมีเทคนิคพิเศษอีกหลายอย่างในการช่วยสร้างความสะดวกในการดำเนินงาน ซึ่งจะกล่าวถึงเครื่องมือที่นิยมใช้ในขั้นตอนต่างๆ อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ดังขั้นตอนต่อไปนี้

#### 5.1 ขั้นตอนการกำหนดปัญหา (Define phase)

การกำหนดปัญหา (Problem statement) ในขั้นตอนนี้จะทำการระบุปัญหาที่ต้องการทำการศึกษาและแก้ไข ซึ่งปัญหานั้นจะต้องสัมพันธ์ในส่วนที่มีผลกระทบต่อลูกค้า หรือทางด้านคุณภาพ (CTQ's : Critical To Quality)

## 5.2 ขั้นตอนการวัดเพื่อระบุสาเหตุของปัญหา (Measure phase)

5.2.1 แผนภาพกระบวนการผลิต (Process map) ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญอย่างยิ่งในการที่จะหาสาเหตุของปัญหา ซึ่งในการสร้างแผนภาพของกระบวนการผลิตจะต้องทำอย่างละเอียดทุกขั้นตอนในการประกอบผลิตภัณฑ์ เพื่อที่จะได้สามารถระบุถึงตัวแปรที่สำคัญในกระบวนการผลิต (Process input) รวมทั้งผลลัพธ์ในกระบวนการผลิต (Process output) ซึ่งขั้นตอนนี้จึงเป็นการตรวจวิเคราะห์ของกระบวนการผลิต ซึ่งอาจจะทำให้เราทราบถึงสิ่งผิดปกติหรือทราบสาเหตุที่แท้จริงของความบกพร่องในการผลิตที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งขั้นตอนนี้อาจเป็นขั้นตอนที่จะนำไปสู่การวิเคราะห์ปัญหาโดยการทดลองและการตั้งสมมติฐาน หรือ โดยการใช้ข้อมูลทางสถิติที่มีการเก็บรวบรวมอย่างถูกวิธีการสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์ต้องใช้ในการระดมสมอง และทีมงานที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์เพื่อที่จะได้รายละเอียดที่สำคัญและครบถ้วนของกระบวนการผลิต ซึ่งแผนภาพการไหลนั้นจะต้องสามารถบอกถึงสาเหตุแห่งความบกพร่องของผลิตภัณฑ์ (Cause of Poor Quality : COPQ) เพื่อนำมาสร้างแผนการไหลของผลิตภัณฑ์จำเป็นอย่างยิ่งในการระบุที่มาของข้อบกพร่องและสิ่งที่ซ่อนในกระบวนการผลิต (Hidden factory) ซึ่งสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้สูญเสียเวลา เงิน ทรัพยากร และพื้นที่ในการจัดเก็บ

5.2.2 ผังแสดงเหตุและผล (Cause and effect diagram) ผังแสดงเหตุและผล คือ ผังที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะทางคุณภาพกับปัจจัยต่างๆ ที่มีความเกี่ยวข้อง กล่าวคือ คุณลักษณะทางคุณภาพ คือ ผลที่เกิดขึ้นจากเหตุ คือ ปัจจัยต่างๆ ที่เป็นต้นตอของคุณลักษณะอันนั้น การสร้างผังแสดงเหตุและผลที่เอื้อประโยชน์ต่อการแก้ไขปัญหาได้จริง ไม่ใช่เรื่องง่ายผู้ที่สามารถสร้างผังแสดงเหตุและผลได้ถูกต้อง คือ ผู้ที่มีโอกาสจะแก้ปัญหาด้านคุณภาพได้ถูกต้องเช่นเดียวกัน ข้อสังเกตเกี่ยวกับผังแสดงเหตุและผลจะต้องทำการแยกแยะและเลือกสรรเพื่อหาปัจจัยอันเป็นสาเหตุแห่งปัญหานั้นควรใช้การปรึกษาหารือในกลุ่มคนหลายๆความคิดมาร่วมกันเพราะการละเว้นหรือมองข้ามปัจจัยบางอย่างไปจะก่อผลเสียภายหลังได้ (อาจทำให้การแก้ปัญหามีจุดได้) เลือกคุณลักษณะของปัญหาและปัจจัยสาเหตุในรูปของขนาดหรือปริมาณที่สามารถใส่หน่วยวัดลงไปได้ เพราะในที่สุดแล้วผลสรุปจากผังก้างปลาจะต้องนำไปแก้ไขปรับปรุงตัวแปรต่างๆ ก่อนสรุปปัญหาควรใส่น้ำหนักหรือคะแนนให้กลับปัจจัยสาเหตุแต่ละตัวเพื่อจะได้ใช้การจัดลำดับความสำคัญของปัญหา ซึ่งแนวทางเสนอแนะนี้จะนำไปผังแสดงเหตุผลและผล

### 5.2.3 การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการ (FMEA process)

การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบในกระบวนการหรือ FMEA process เพื่อช่วยเพิ่มความเที่ยงตรง (Reliability) ของกระบวนการเพื่อผลิตหรือออกแบบ การควบคุมกระบวนการมี 5 กระบวนการ ดังนี้

#### 5.2.3.1 จุดประสงค์ของ FMEA คือ

- (1) สามารถจะพิจารณาและประเมินโอกาสที่จะเกิดภาวะความผิดพลาดของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการและผลกระทบต่างๆ
- (2) แบ่งแยกกิจกรรมซึ่งสามารถที่จะกำจัดหรือลดโอกาสที่จะเกิดความผิดพลาด
- (3) กระบวนการเตรียมเอกสารต่างๆ เพื่อส่งเสริมกิจกรรมดังกล่าวมาข้างต้น

5.2.3.2 ประโยชน์ในการประยุกต์ใช้วิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบอย่างเหมาะสม อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545) ได้กล่าวไว้ว่า เมื่อมีการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์ภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบอย่างเหมาะสม ประโยชน์ของการใช้จะมีดังต่อไปนี้

- (1) ทำให้มีความรู้เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์มากยิ่งขึ้น เนื่องมาจากวิธีการต่างๆ ของการทำงานของภาวะความผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะใช้ผู้เชี่ยวชาญจากหลายหน่วยงาน ดังนั้น ความเข้าใจที่ดีขึ้นร่วมกันในการออกแบบและใช้งานจะเป็นสิ่งที่ทำให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ
- (2) ลดเวลาการทำงานหากภาวะความผิดพลาดและสาเหตุได้ถูกค้นพบก่อนที่จะมีการสร้างชิ้นงานต้นแบบหรือประกอบชิ้นงาน จะสามารถลดเวลาในการทดสอบชิ้นงานที่ได้รับการออกแบบอย่างไม่เหมาะสมไปได้มาก
- (3) ลดต้นทุนการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบที่ไม่เหมาะสม มักจะถูกออกแบบใหม่ที่ดีกว่าอยู่บ่อยครั้ง ดังนั้นหากมีการพบความผิดพลาดอย่างรวดเร็วก็จะสามารถลดจุดด้อยได้ก่อน อันจะทำให้มีการสร้างผลิตภัณฑ์ต้นแบบนี้บ่อยครั้ง เป็นผลให้ต้นทุนการผลิตลดลง

(4) ลดต้นทุนการรับประกันการซ่อม และเรียกกลับมาซ่อมหรือปรับปรุง การปรับปรุงให้การออกแบบและผลิตมีประสิทธิภาพสามารถลดปริมาณความเสียหาย ซึ่ง เกี่ยวเนื่องโดยตรงกับต้นทุนการรับประกันการซ่อมและการเรียกกลับมาซ่อม ซึ่งจะลดต้นทุน โดยรวมของผลิตภัณฑ์ และเป็นการส่งเสริมภาพลักษณ์ของบริษัทให้ดียิ่งขึ้น

(5) คุณภาพสูงขึ้น สิ่งทีกล่าวมาข้างต้นทั้งหมดล้วนแต่เป็นองค์ประกอบ ที่ช่วยให้คุณภาพของผลิตภัณฑ์ดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเป็นผลให้ผู้ใช้มีความพึงพอใจมากยิ่งขึ้น

(6) สามารถเก็บข้อมูลดียิ่งขึ้น การสร้างและเก็บข้อมูลที่เหมาะสมของ ภาวะผิดพลาดและการวิเคราะห์ผลกระทบจะเป็นสิ่งที่ต้องมีการเก็บข้อมูลในการออกแบบ ผลิตภัณฑ์ไว้ทั้งหมด ซึ่งจะป้องกันความผิดพลาดซึ่งจะเคยเกิดขึ้นในอดีตอันเกิดจากความตั้งใจที่ ดี นอกเหนือจากนั้นการเก็บข้อมูลการปรับปรุงและวิเคราะห์ต่างๆ จะช่วยให้การออกแบบขั้นต่อไป ในอนาคตมีความสะดวกยิ่งขึ้น

5.2.3.3 การคำนวณค่า RPN มาจากผลคูณค่าพารามิเตอร์ 3 ตัว คือ  $O \times S \times D$  เมื่อ

$S = \text{Severity}$  คือ เกณฑ์การให้ลำดับชั้นผลกระทบของความรุนแรง

$O = \text{Occurrence}$  คือ การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

$D = \text{Detection}$  คือ โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

ค่า  $S$ ,  $O$  และ  $D$  นิยมใช้เป็นตัวเลขจำนวนเต็มมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 10 ดังนั้นเมื่อค่าระดับ ความเสี่ยงต่ำสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า  $RPN = 1$  ซึ่งมาจาก  $1 \times 1 \times 1$  หมายความว่า ความถี่ ของการเกิดปัญหานี้มีน้อยมากเช่นกันและสามารถตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่งมอบให้แก่ลูกค้า อย่างสมบูรณ์ส่วนค่าระดับความเสี่ยงสูงสุดของการเกิดปัญหา คือ ค่า  $RPN = 1000$  ซึ่งมาจาก  $10 \times 10 \times 10$  หมายความว่าความถี่ของการเกิดปัญหานี้มีมาก เช่น กระบวนการผลิตต้องหยุด ทั้งหมด หรือลูกค้า ต้องยกเลิกสัญญาสั่งซื้อ เป็นต้น และยังไม่มียุทธวิธีการตรวจจับปัญหานี้ได้ก่อนส่ง มอบให้แก่ลูกค้า

ทั้งนี้การให้คะแนนค่า  $S$ ,  $O$  และ  $D$  ซึ่งประเมินค่าโดยมีการลำดับความสำคัญ ดังตารางที่

2.12-2.14

ตารางที่ 2.12 เกณฑ์การให้ลำดับชั้นผลกระทบของความรุนแรง

เกณฑ์ (ผลกระทบของระดับความรุนแรง)	ลำดับที่ (Rank)
อาจจะทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้ปฏิบัติงานอย่างสูง	10
อาจทำให้เกิดอันตรายกับเครื่องจักรอื่นหรือกับผู้ปฏิบัติงาน	9
ทำให้การผลิตหยุดชะงักอย่างมาก และผลิตจำนวน 100% อาจจะต้องกลายเป็นผลิตภัณฑ์เสีย (Scrapped 100%)	8
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก (<100% เป็นผลิตภัณฑ์เสีย)	7
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์มีเสีย <100% แต่อาจไม่ต้องนำมาเลือก	6
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวน <100% อาจจะต้องมาผลิตอีกครั้ง (Reworked 100%)	5
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการนำมาเลือกบางส่วนที่เสียออก แล้วนำส่วนที่เหลือมาทำอีกครั้ง (Reworked 100%)	4
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100% อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต แต่ภายนอกสถานประกอบการผลิต	3
ทำให้การผลิตหยุดชะงักบ้าง ผลิตภัณฑ์จำนวนน้อยกว่า 100% อาจจะต้องนำมาทำใหม่ในสายการผลิต และภายในสถานประกอบการผลิต	2
ไม่มีผลกระทบ	1

ที่มา : ุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545)

ตารางที่ 2.13 การให้ลำดับโอกาสเกิดความผิดพลาด

โอกาสในการเกิดความผิดพลาด (Occurrence opportunity of failure)	อันตรายความเป็นไปได้ในการเกิด ความผิดพลาด (Possible failure rate)	ลำดับที่ (Rank)
สูงมาก (ความผิดพลาดเกิดขึ้นเกือบ แน่นอน)	มากกว่าหรือเท่ากับ 1 ใน 2	10
	1 ใน 3 ถึง 1 ใน 2	9
สูง (ความผิดพลาดมีบ่อยครั้ง)	1 ใน 8 ถึง 1 ใน 3	8
	1 ใน 20 ถึง 1 ใน 8	7
ปานกลาง (ความผิดพลาดเกิดขึ้นบ้าง)	1 ใน 80 ถึง 1 ใน 20	6
	1 ใน 400 ถึง 1 ใน 80	5
	1 ใน 2,000 ถึง 1 ใน 400	4
ต่ำ (ความผิดพลาดมีเกิดขึ้นน้อยครั้ง)	1 ใน 15,000 ถึง 1 ใน 2,000	3
	1 ใน 150,000 ถึง 1 ใน 15,000	2
ต่ำมาก (ความผิดพลาดมีโอกาสเกิดได้ น้อยมาก)	มากกว่า 1 ใน 1,500,000 ถึง 1 ใน 150,000	1

ที่มา : ุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว (2545)

ตารางที่ 2.14 โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ

โอกาสการตรวจ (Detection opportunity)	โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (Opportunity of detection by process control)	ลำดับที่ (Rank)
ไม่สามารถตรวจจับได้อย่าง แน่นอน	การควบคุมการออกแบบไม่สามารถตรวจจับโอกาสที่ จะเป็นสาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาด (หรือไม่ มีการควบคุมการออกแบบเลย)	10
มีโอกาสดตรวจจับได้เล็กน้อย ที่สุด	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสดตรวจจับที่จะเป็น สาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อยที่สุด	9
มีโอกาสดตรวจจับได้เล็กน้อย มาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสดตรวจจับโอกาสที่เป็น สาเหตุหรือกลไกการเกิดความผิดพลาดได้เล็กน้อย	8
มีโอกาสดตรวจจับได้ต่ำมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสดตรวจจับโอกาสที่เป็น สาเหตุกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำมาก	7

ตารางที่ 2.14 (ต่อ)

โอกาสการตรวจ (Detection opportunity)	โอกาสที่จะตรวจจับโดยการควบคุมกระบวนการ (Opportunity of detection by process control)	ลำดับที่ (Rank)
มีโอกาสตรวจจับได้ต่ำ	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ต่ำ	6
มีโอกาสตรวจจับได้ปานกลาง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ปานกลาง	5
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างสูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างสูง	4
มีโอกาสตรวจจับได้สูง	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูง	3
มีโอกาสตรวจจับได้สูงมาก	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุกลไกการเกิดความผิดพลาดได้สูงมาก	2
มีโอกาสตรวจจับได้ค่อนข้างแน่นอน	การควบคุมการออกแบบมีโอกาสตรวจจับโอกาสที่เป็นสาเหตุกลไกการเกิดความผิดพลาดได้ค่อนข้างแน่นอน	1

ที่มา : วสันต์ ผาสุก, 2549

### 5.3 ขั้นตอนการปรับปรุงกระบวนการ

5.3.1 การเลือกปัจจัยหรือตัวแปรในกระบวนการผลิต ซึ่งในการผลิตสามารถแบ่งเป็น

(1) ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

(2) ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในการผลิต

การเลือกปัจจัยเพื่อวิเคราะห์ได้ว่า ปัจจัยใดมีผลต่อผลิตภัณฑ์หรือไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยอย่างน้อย 2 ระดับ แล้วจะทำการทดลองจากนั้นจึงวิเคราะห์ผลการทดลอง

### 5.3.2 วัตถุประสงค์ของการเลือกปัจจัย

(1) เพื่อยืนยันข้อเท็จจริง (Confirmation) คือ การพิสูจน์ข้อเท็จจริง หรือความเชื่อจากประสบการณ์ หรือทฤษฎีบางอย่างที่อธิบายเกี่ยวกับกระบวนการผลิต

(2) เพื่อค้นหาข้อเท็จจริง (Exploration) คือ การศึกษาถึงอิทธิพลของเงื่อนไขใหม่ที่มีผลต่อกระบวนการ

### 5.3.3 คำจำกัดความ (Definition)

- (1) อิทธิพลหรือผล (Effect) คือ ผลของตัวแปรต้นที่มีต่อตัวแปรตาม
- (2) ปัจจัย (Factor) คือ สิ่ง que คิดว่ามีอิทธิพลต่อผลการทดลองของคุณสมบัติในตัวผลิตภัณฑ์
- (3) ระดับของปัจจัย (Level of factor) คือ สภาวะต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งๆ ที่ทำการกำหนดในการทดลอง
- (4) ปัจจัยรบกวน (Noise factor) คือ ปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลกระทบเล็กน้อยและไม่สามารถควบคุมได้ (จรัสพงศ์ รักการ, 2543)

### 5.4 ขั้นตอนการควบคุมกระบวนการผลิต (Control chart)

คือ แผนภูมิหรือกราฟที่จัดทำขึ้นล่วงหน้า โดยอาศัยข้อมูลจากขอบเขตที่กำหนด (Specification) สามารถระบุคุณสมบัติทางคุณภาพข้อใดข้อหนึ่งของชิ้นงานที่ดำเนินการผลิตและต้องการควบคุม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการติดตามผลการผลิตจากกระบวนการผลิตขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่ง โดยการตรวจวัดคุณภาพของชิ้นงาน จากนั้นเขียนบันทึกลงในแผนภูมินั้นๆ ซึ่งโดยปกติจะมีเส้นควบคุม 3 เส้น ได้แก่ เส้นขอบเขตกลาง คือ เส้นที่แสดงขนาดหรือจำนวนที่เป็นข้อกำหนดหรือเป้าหมายในการผลิต เส้นขอบเขตควบคุมบนและเส้นขอบเขตควบคุมล่างเป็นค่าที่อนุญาตให้มีความคลาดเคลื่อนในการผลิตเกิดขึ้นได้ และหากอยู่ในขอบเขตนี้ก็ถือว่า ผลการผลิตยอมรับได้ แต่หากค่าที่ได้อยู่นอกเหนือขอบเขตควบคุม (ไม่ว่าในทางมากกว่าหรือต่ำกว่า) ถือว่าการผลิตในขณะนั้นยอมรับไม่ได้จะต้องมีการปรับปรุงแก้ไขจุดบกพร่องโดยทันที

โดยธรรมชาติของกระบวนการผลิตทั้งหลายย่อมมีความผันแปร (Variation) ที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานหรือผลผลิตได้ โดยความผันแปรบางชนิดเป็นเรื่องปกติและอนุญาตหรือยอมให้เกิดขึ้นได้ในการผลิต โดยไม่ก่อความเสียหายต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ แต่ความผันแปรบางชนิดมีผลกระทบมากและมีผลเสียต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ เพราะทำให้ขนาดของชิ้นงานหรือคุณสมบัติบางประการผิดไปจากมาตรฐานที่กำหนด ดังนั้นการเข้าใจในสาเหตุแห่งความผันแปรจึงเป็นสิ่งสำคัญ โดยสาเหตุความผันแปรต่างๆ มีผลมาจากสาเหตุสำคัญ 2 ชนิด คือ

5.4.1 สาเหตุที่เป็นปกติวิสัย หรือเป็นธรรมชาติของการผลิต (Chance cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่ไม่มีความรุนแรง และไม่มีผลต่อสุขภาพของสินค้าที่ผลิตได้เกิดจากความผันแปรหรือความแตกต่างเล็กๆ น้อยๆ ของวัตถุดิบและปัจจัยการผลิตต่างๆ ซึ่งแน่นอน

ว่าไม่มีของสองสิ่งที่เหมือนกันทุกประการวัตถุดิบ 100 ชิ้น ที่มีขนาดตรงกันตามข้อกำหนดทั้ง 100 ชิ้นก็จะมีขนาดแต่ละชิ้นที่แตกต่างกันออกไปเพียงแต่ว่าความแตกต่างเหล่านั้นอยู่ในพิกัดที่ขอบเขตข้อกำหนดได้อนุญาตเอาไว้แล้วในค่าพิภคความเผื่อ (Tolerance) ของชิ้นงาน

ฉะนั้นความผันแปรในคุณภาพผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากสาเหตุที่เป็นปกติวิสัยของการผลิตจำเป็นที่ยอมรับได้ในการควบคุมคุณภาพด้วยแผนภูมินี้ นั่นคือ กระบวนการผลิตที่เขียนแสดงด้วยแผนภูมิควบคุมแล้วไม่มีจุดใดจุดหนึ่งอยู่นอกเส้นเขตควบคุม (The process is in control)

5.4.2 สาเหตุที่ระบุได้หรือสาเหตุที่กำจัดได้ (Assignable cause) เป็นลักษณะสาเหตุของความผันแปรที่เกิดจากความผิดพลาด ความผิดปกติ ความชำรุด ความไม่เป็นเกณฑ์ ฯลฯ ของปัจจัยการผลิตต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์และไม่ใช่เป็นปกติวิสัยหรือธรรมชาติของการผลิตนั้นๆ จำเป็นต้องได้รับการกำจัดหรือแก้ไขจึงจะทำให้คุณภาพของงานผลิตกลับเข้าสู่สภาวะปกติอีกครั้งได้ (อุษณีย์ ถิ่นเกาะแก้ว, 2545)

ในแผนภูมิควบคุมเมื่อมีจุด (ซึ่งเขียนจากการเก็บข้อมูล และวัดค่าชิ้นงาน ตัวอย่างจากการผลิต) ปรากฏว่าอยู่นอกเส้นขอบเขตควบคุมย่อมแสดงได้ว่าเกิดมีสาเหตุที่ระบุได้เกิดขึ้นมาในกระบวนการผลิตนั้นแล้ว และเรียกสภาวะการผลิตนั้นว่ากระบวนการผลิตอยู่นอกควบคุม (The process is out of control) (วสันต์ ฝาสุก, 2549)

แผนภูมิควบคุมควิชี เป็นควิชีเทคนิคอีกชนิดหนึ่งที่ใช้ควบคุมการผลิตในระหว่างการผลิต เพื่อตรวจสอบว่ากระบวนการผลิตมีจุดใดเปลี่ยนแปลงหรือไม่หรือการเปลี่ยนแปลงนั้นๆ ยังอยู่ในพิกัดควบคุมหรือไม่ปกติจะใช้แผนภูมิควบคุมกับระบบการผลิตสภาพปกติหรือมีการผลิตสม่ำเสมอจะไม่ใช้กับการผลิตเป็นแบบเลวๆ หรือมีความผิดปกติโดยเด็ดขาดจุดมุ่งหมายที่ใช้เทคนิคของแผนภูมิควบคุมมีดังนี้

1. เพื่อหาเป้าหมายหรือมาตรฐานของการผลิต
2. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือตรวจสอบว่าการผลิตอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่
3. เพื่อใช้เป็นเครื่องมือเพื่อให้ได้เป้าหมายที่วางแผนล่วงหน้าไว้แล้ว

การนำแผนภูมิควบคุมมาใช้งานก่อนอื่นจำเป็นต้องเข้าใจลักษณะของเส้นควบคุมเสียก่อนคือ เส้นควบคุมข้อกำหนด (Specification limit) หมายถึง ค่าขอบเขตข้อกำหนดของสินค้าหรือชิ้นงานที่โรงงานหรือรัฐบาลเป็นผู้กำหนดขึ้น ทั้งนี้เส้นควบคุมข้อกำหนดขึ้นอยู่กับดุลพินิจของผู้ออกแบบว่าต้องการเสี่ยงหรือความปลอดภัย (Safety factor) ไว้ที่ระดับเท่าใด

เส้นควบคุมความสามารถ (Process capability limit) หมายถึง ค่าขอบเขตจริงของความสามารถกระบวนการโดยทั่วไปคำนวณจากค่าพารามิเตอร์ของประชากรหรือคำนวณจาก

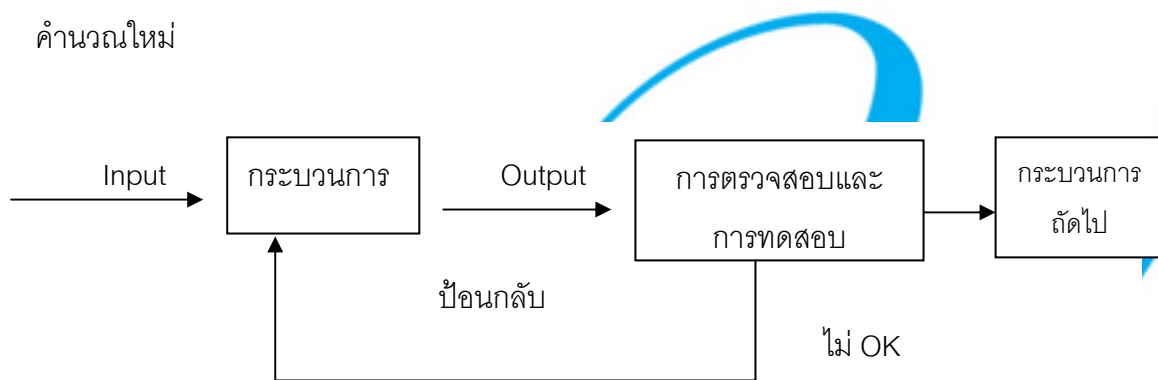
กลุ่มตัวอย่างที่จำนวนมาก เส้นควบคุมขีดความสามารถมีขนาดความกว้างเท่ากับค่าห่างจากค่าเฉลี่ยของประชากร  $\pm 3\sigma$  และกำหนดเส้นขอบเขตควบคุมสำหรับเป็นสัญญาณเตือนว่าการผลิตเริ่มออกจากการควบคุม หรือยังกำหนดในช่วงค่าเฉลี่ย  $\pm 2\sigma$

การใช้งานแผนภูมิควบคุมการใช้แผนภูมิควบคุมในกระบวนการผลิตควรมีเทคนิคต่อไปนี้อย่างไรที่จะควบคุมก่อนอื่นก็คือปัญหาอะไรที่จะต้องทำและเรามีจุดมุ่งหมายอะไรจากการตัดสินใจปัญหาทำให้ทราบทันทีอย่างชัดเจนว่าต้องการข้อมูลอะไรพิจารณาการใช้แผนภูมิควบคุมแบบไหนอาจจะเป็นแผนภูมิ แบบ  $\bar{X}$ -R,  $\bar{x}$ , pn, p, c หรือ u Chart ก็ได้ขึ้นอยู่กับโรงงานและผลิตภัณฑ์แต่ละแห่งทำแผนภูมิควบคุม (วสันต์ ฝาสุก, 2549)

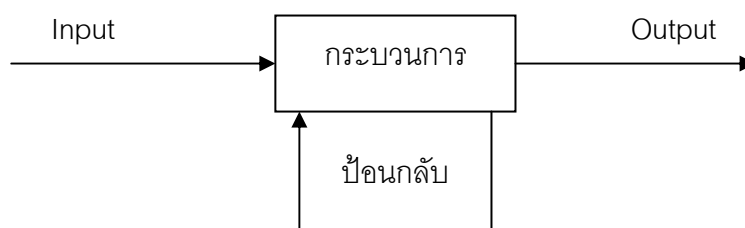
สำหรับการวิเคราะห์เก็บข้อมูลในช่วงเวลาที่เหมาะสมแล้วใช้ข้อมูลที่ผ่านมาทำแผนภูมิถ้ามีจุดใดๆ ผิดปกติต้องทำการค้นหาเหตุผลที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนไปทันทีแล้วทำการแก้ไขสร้างแผนภูมิควบคุมสำหรับการควบคุมในโรงงาน หากว่าต้นเหตุที่ทำให้คุณภาพเปลี่ยนได้ขจัดหมดสิ้นแล้วจากในข้อ 3 และกระบวนการผลิตก็คงที่ให้พิจารณาอีกครั้งว่าผลิตภัณฑ์ได้มาตรฐานตามที่กำหนดไว้หรือไม่ หลังจากนั้นถ้าทุกอย่างเรียบร้อยก็ให้สรุปผลทั้งหมด เพื่อทำมาตรฐานวิธีการทำงาน (Standardize working procedure) หรืออาจจะมีการปรับปรุงให้ดีขึ้น ถ้าจำเป็นต่อเส้นควบคุมของแผนภูมิออกไปจากนั้นพล็อตข้อมูลที่เก็บได้ในแต่ละวันต่อไปควบคุมกระบวนการผลิต ถ้าการทำงานของคนงานและวิธีการผลิตเป็นแบบมาตรฐานแล้ว แผนภูมิควบคุมจะชี้แสดงออกให้เห็นว่าสถานะที่โรงงานอยู่ภายใต้การควบคุม ที่ดีหรือไม่ แต่ถ้าปรากฏว่ามีสิ่งผิดปกติเกิดขึ้นซึ่งจะต้องค้นหาสาเหตุทันทีแล้วแก้ไขให้ถูกต้องเสียค่านิยมเส้นควบคุมใหม่ ถ้าเครื่องจักรหรือมาตรฐานการทำงานเปลี่ยนแปลงเส้นควบคุมต้องนำมาค่านิยมใหม่ถ้าควบคุมของกระบวนการผลิตในโรงงานยังดีตลอดระดับคุณภาพที่แสดงในภาพที่ 2.4 จะปรับดีเพิ่มเติมด้วยในกรณีเช่นนี้ให้สังเกตแผนภูมิควบคุมเป็นระยะในการคำนวณเส้นควบคุมให้สังเกตกฎต่อไปนี้

1. ข้อมูลที่มีจุดผิดปกติซึ่งจะสามารถค้นหาสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไขควรจะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่

2. ข้อมูลที่มีจุดผิดปกติแต่ไม่พบสาเหตุหรือไม่มีการแก้ไขควรที่จะรวมเข้าไปในการคำนวณใหม่



กระบวนการชนิดดักปัญหา (Detection)



ภาพที่ 2.4 วิธีการของการเฝ้าติดตาม

ที่มา : วสันต์ ผาสุก (2549)

### ลักษณะโรงงานที่ทำการศึกษา

#### 1. ข้อมูลทั่วไปของโรงงาน

ชื่อสถานประกอบกิจการ : บริษัทบีสไพพ์ ฟิตติ้ง อินดัสตรี จำกัด

ประเภทสถานประกอบการ : ผลิตและส่งออก

ที่ตั้ง : เลขที่ 107 หมู่ที่ 4 ซอยประสพรัตน์ ถนนเพชรเกษม ตำบลอ้อมน้อย อำเภอ

กระทุ่มแบน จังหวัดสมุทรสาคร 74130 (ภาพที่ 2.5)

ประเภทผลิตภัณฑ์ : อุปกรณ์เชื่อมต่อท่อประปา ชนิดเหล็กหล่อ

ปีที่เริ่มดำเนินการ : พ.ศ. 2521

จำนวนพนักงานทั้งหมด : 593 คน ชาย: 423 คน หญิง : 170 คน

การทำงานมี 1กะ กะละ 8 ชั่วโมง

ระยะเวลาทำงาน : เวลา 8.00 น. ถึง 17.00 น.



ภาพที่ 2.5 แผนที่แสดงที่ตั้งของบริษัทปีสไฟฟ์ ฟิตติ้ง อินดัสตรี จำกัด โดยสังเขป  
 ที่มา : <http://www.bisfitting.com/home.htm>

## 2. ความเป็นมา

บริษัทปีสไฟฟ์ ฟิตติ้ง อินดัสตรี จำกัด (Bis Pipe Fitting Industry Co.,Ltd.) เป็นผู้เชี่ยวชาญในการผลิตผลิตภัณฑ์ Malleable Iron Pipe Fitting ที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่หลากหลายทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยธรรมชาติของผลิตภัณฑ์ในลักษณะนี้คุณภาพของผลิตภัณฑ์และการบริการจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์และความเชี่ยวชาญของพนักงานเป็นประการสำคัญ

บริษัทปีสไฟฟ์ ฟิตติ้ง อินดัสตรี จำกัด ถือนโยบายที่จะต้องมีและรักษาไว้ ซึ่งระบบบริหารคุณภาพที่คงประสิทธิภาพและมีประสิทธิผล นโยบายนี้ครอบคลุมไปถึงการดำเนินการที่จะตอบสนองความต้องการของลูกค้าด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูง

บริษัทปีสไฟฟ์ ฟิตติ้ง อินดัสตรี จำกัด ได้ขอรับการรับรองตามมาตรฐาน ISO 9001:2000 สำหรับการผลิตและจำหน่ายผลิตภัณฑ์ Malleable Iron Pipe Fitting โดยไม่ครอบคลุมถึงการออกแบบและการพัฒนาและการส่งมอบให้ลูกค้า

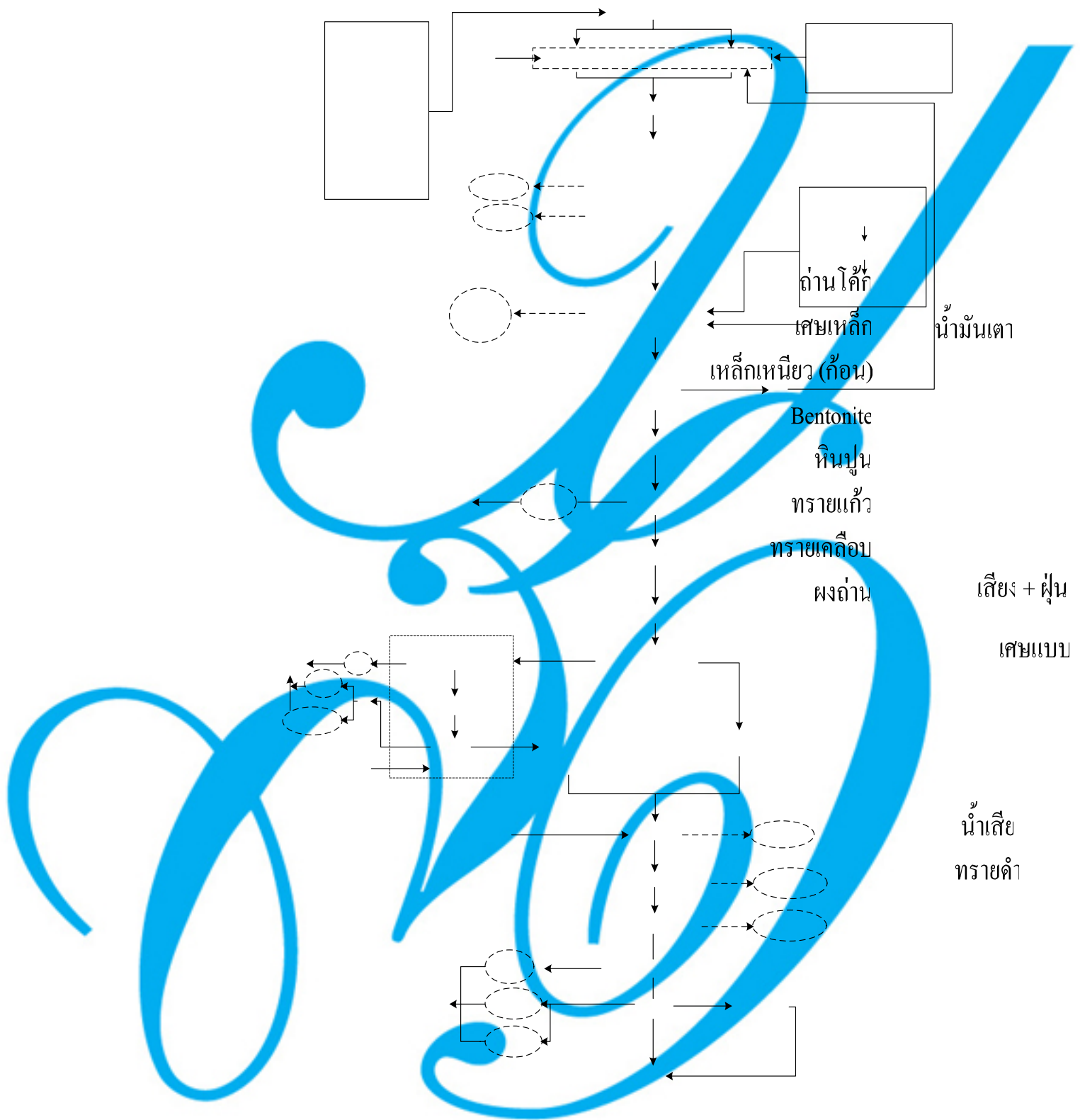


ในส่วนงานที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย ได้แก่ ผู้จัดการทั่วไปที่มีผู้จัดการโรงงานทำหน้าที่บริหาร ควบคุม ดูแล และจัดการเจ้าหน้าที่เขียนแบบ วิศวกรโรงไฟฟ้า ผู้จัดการฝ่ายผลิตหล่อหลอม และผู้จัดการคุณภาพ

โดยเจ้าหน้าที่เขียนแบบ มีงานที่รับผิดชอบ คือ แผนกห้องสร้างแบบ แผนกห้องแบบ แผนกซ่อมบำรุง งานไฟฟ้า แผนกตีแป๋ แผนกชุบ แผนกยูเนียน และวิศวกรซ่อมบำรุง วิศวกรโรงไฟฟ้า มีงานที่รับผิดชอบ คือ แผนกแกนใน E.F. แผนก DISA แผนกเคาะเหล็ก E.F. แผนกเตาหลอม E.F. และแผนกซ่อมบำรุง E.F. ผู้จัดการฝ่ายผลิตหล่อหลอม มีงานรับผิดชอบ คือ วางแผนการผลิต แผนกซ่อมบำรุงหลัง แผนกซ่อมเตา Cupola แผนกปั๊มแบบ แผนกเทน้ำเหล็ก แผนกเคาะเหล็ก แผนกเตาอบ แผนกเจียรนัย และผู้จัดการควบคุมคุณภาพ มีงานรับผิดชอบ คือ แผนกห้องปฏิบัติการ แผนกควบคุมคุณภาพหล่อ แผนกควบคุมคุณภาพสำเร็จรูป และเจ้าหน้าที่สอบเทียบ

#### 4. กระบวนการผลิตของบริษัทอีสท์ไพพ์ พิตติ้ง อินดัสตรี จำกัด

กระบวนการผลิตของบริษัทอีสท์ไพพ์ พิตติ้ง อินดัสตรี จำกัด ประกอบด้วย กระบวนการหล่อโดยใช้เตาหลอมแบบ Cupola และเตาหลอมไฟฟ้า โดยใช้วัตถุดิบ คือ เศษเหล็ก ถ่านโค้ก ซิลิกอน คาร์บอน แมงกานีส และตะกั่ว แล้วเข้าสู่กระบวนการปั๊มแบบ แบ่งเป็น 3 แบบ คือ แบบใช้แรงงานคน ร้อยละ 20 แบบกึ่งอัตโนมัติ ร้อยละ 30 และแบบ Desa automatic ร้อยละ 50 ผลิตทั้งหมด 6 lines มีกำลังการผลิต 100,000 ตัว/ปี แล้วเข้าสู่กระบวนการปั๊มทำแบบ แล้วตัดชิ้นงานที่ดีเข้าสู่กระบวนการชุบแบบกัลวาไนซ์ (Galvanization) จากนั้นเข้าสู่การทำเกลียวและทดสอบการทำเกลียว และบรรจุหีบห่อเพื่อนำไปจำหน่ายต่อไป (ภาพที่ 2.7)



ภาพที่ 2.7 กระบวนการผลิตและวัตถุดิบที่ใช้

## งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สุชาดา ไชยสวัสดิ์ และคณะ (2542) ทำการศึกษาคุณสมบัติน้ำทิ้งในโรงงานชุบโลหะ เพื่อให้ทราบถึงแนวทางการจัดการแก้ไขปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมที่เกิดขึ้นเนื่องจากโรงงานชุบโลหะ จึงได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำทิ้งรวมโดยทำการเลือกศึกษาในโรงงานชุบโลหะประเภทต่างๆ จำนวน 5 โรงงาน และทำการเก็บตัวอย่างน้ำทิ้งมาวิเคราะห์หาค่าของ pH, COD, TS, SS, TDS, Oil & Grease, Cr, Cu, Ni, Au, Ag และไซยาไนด์ จากการศึกษาพบว่า น้ำทิ้งจากโรงชุบโครเมียม มีค่า pH (ในช่วง 1.86 ถึง 11.49), COD (ในช่วง 8 ถึง 1,613 มิลลิกรัม/ลิตร), TS (ในช่วง 328 ถึง 47,298 มิลลิกรัม/ลิตร), SS (ในช่วง 1 ถึง 675 มิลลิกรัม/ลิตร), TDS (ในช่วง 303 ถึง 47,203 มิลลิกรัม/ลิตร), Oil & Grease (ในช่วง 30 ถึง 6,080 มิลลิกรัม/ลิตร), Cr (ในช่วง 0.01 ถึง 27.16 มิลลิกรัม/ลิตร), Cu (ในช่วง 0.08 ถึง 31.13 มิลลิกรัม/ลิตร), Ni (ในช่วง 0.36 ถึง 140.43 มิลลิกรัม/ลิตร) และไซยาไนด์ (ในช่วง 0.02 ถึง 0.24 มิลลิกรัม/ลิตร) ในขณะที่น้ำทิ้งจากโรงชุบทอง มีค่า pH (ในช่วง 0.97 ถึง 8.50), COD (ในช่วง 14 ถึง 685 มิลลิกรัม/ลิตร), TS (ในช่วง 191 ถึง 5,010 มิลลิกรัม/ลิตร), SS (ในช่วง 0 ถึง 186 มิลลิกรัม/ลิตร), TDS (ในช่วง 191 ถึง 9,794 มิลลิกรัม/ลิตร), Oil & Grease (ในช่วง 25 ถึง 156 มิลลิกรัม/ลิตร), Cu (ในช่วง 0.25 ถึง 92.38 มิลลิกรัม/ลิตร), Ni (ในช่วง 0.44 ถึง 43.27 มิลลิกรัม/ลิตร), Au (ในช่วง 0 ถึง 0.51 มิลลิกรัม/ลิตร), Ag (ในช่วง 0.02-0.87 มิลลิกรัม/ลิตร) และไซยาไนด์ (ในช่วง 0.51 ถึง 28.79 มิลลิกรัม/ลิตร) ส่วนน้ำทิ้งจากโรงชุบฮาร์ดโครม มีค่า pH (ในช่วง 0.74 ถึง 2.20), COD (ในช่วง 60 ถึง 1,260 มิลลิกรัม/ลิตร); TS (ในช่วง 3,147 ถึง 15,043 มิลลิกรัม/ลิตร), TDS (ในช่วง 3,026 ถึง 15,028 มิลลิกรัม/ลิตร), Oil & Grease (ในช่วง 65-258 มิลลิกรัม/ลิตร), Cr (ในช่วง 0.58 ถึง 1,616 มิลลิกรัม/ลิตร) ผลจากการศึกษาครั้งนี้ ชี้ให้เห็นว่าน้ำทิ้งจากโรงชุบโลหะหนักและสารพิษในปริมาณสูง ซึ่งหากขาดการจัดการที่ดีจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมได้

ทัศนลักษณ์ จิระภาพันธ์ (2545) ทำการศึกษาน้ำนิกเกิลเกิดจากน้ำเสียโรงงานชุบเคลือบโลหะกลับมาใช้ใหม่ โดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย งานวิจัยนี้ศึกษาการสกัดนิกเกิลออกจากน้ำเสียของโรงงานชุบเคลือบโลหะด้วยตัวทำละลายโดยใช้ตัวสกัด LIX 84-I โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการสกัดด้วยตัวสกัด และกระบวนการสกัดคืบออกจากตัวสกัด รวมถึงศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองเป็นน้ำเสียจริงซึ่งมีปริมาณนิกเกิลประมาณ 1,500 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยทำการทดลองในระบบขวดเขย่า ในกระบวนการสกัดตัวสกัดจะทำงานได้ดีที่สภาวะต่าง ค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุด คือ 8.4 และอัตราส่วนของน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมที่สุดเป็น 10:3 ซึ่งมีประสิทธิภาพในการสกัดนิกเกิล

ออกจากน้ำเสีย 89 เปอร์เซ็นต์ และตัวสกัดจะมีปริมาณนิกเกิลอยู่ 4,610 มิลลิกรัมต่อลิตร ในกระบวนการสกัดกลับออกจากตัวสกัด สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีความเข้มข้น 0.5 นอร์มัล เป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด และสามารถสกัดกลับนิกเกิลออกจากเอกซ์แทรคได้ดีที่สุดที่อัตราส่วนของ สารละลายกรดซัลฟิวริกต่อเอกซ์แทรคเป็น 1:2 โดยมีประสิทธิภาพในการสกัดกลับออกจากตัว สกัด 98 เปอร์เซ็นต์ และได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีปริมาณนิกเกิล 9,068 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่ง สามารถนำกลับไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตได้อีก ในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด LIX 84-I พบว่าตัวสกัดสามารถใช้งานได้ถึง 22 ครั้ง โดยจะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีปริมาณ นิกเกิลเฉลี่ยประมาณ 7,900 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับค่าใช้จ่ายในการนำกลับนิกเกิลโดยวิธีสกัด ด้วยตัวทำละลาย ซึ่งคำนวณจากโซเดียมไฮดรอกไซด์ สำหรับการปรับพีเอช ตัวสกัด LIX 84-I สำหรับการสกัด และกรดซัลฟิวริกสำหรับการสกัดกลับออกจากตัวสกัด รวมเป็นเงิน 6.27 บาทต่อ น้ำเสีย 1 ลิตร หรือประมาณ 5.29 บาทต่อนิกเกิล 1 กรัมที่สกัดได้

มณีนีรัตน์ องค์กรธนดี (2542) ทำการศึกษาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบ โลหะโดยการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์ ในรูปของสารละลายที่เป็นด่าง (SBH) ความเข้มข้น 1.2% ของ  $\text{NaBH}_4$  ใน 4% ของ  $\text{NaOH}$  กำจัดโลหะหนักที่ละลายในน้ำเสีย 4 ประเภท ได้แก่ น้ำเสียจาก การชุบทองแดง น้ำเสียจากการชุบนิกเกิล น้ำเสียจากการชุบโครเมียมและน้ำเสียรวม ซึ่งเป็นน้ำ เสียจริงที่ได้จากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า จากการทดลอง พบว่า การบำบัดน้ำเสียจากการชุบ ทองแดงที่มีความเข้มข้น 550 มิลลิกรัม/ลิตร ทำได้โดยการปรับพีเอชของน้ำเสียด้วยด่างให้มีพีเอช อยู่ในช่วง 4 ถึง 5 แล้วจึงเติม  $\text{NaHSO}_3$  5 เท่าของทองแดง และเติม SBH จนได้พีเอชสุดท้าย ประมาณ 7 จะสามารถกำจัดทองแดงทั้งหมดได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง นอกจากนี้การใช้น้ำปรับ พีเอช จะมีผลให้ทองแดงทั้งหมดที่เหลือในน้ำต่ำกว่า 1 มิลลิกรัม/ลิตร ได้ น้ำเสียจากการชุบนิกเกิล ที่มีความเข้มข้น 380 มิลลิกรัม/ลิตร ให้ปรับพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 8.5 ด้วยด่าง แล้วจึงเติม  $\text{NaHSO}_3$  0.5 เท่าของนิกเกิล และเติม SBH จนได้พีเอชสุดท้ายประมาณ 9 จะสามารถกำจัด นิกเกิลละลายได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง น้ำเสียจากการชุบโครเมียม มีความเข้มข้น โครเมียม นิกเกิล ทองแดง และสังกะสี เท่ากับ 1,460, 180, 145 และ 90 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ การบำบัดขั้น แรกให้ทำปฏิกิริยากับ  $\text{NaHSO}_3$  3 เท่าของโครเมียม หลังจากนั้นปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 8 ด้วย ด่าง เติม SBH ให้ได้พีเอชสุดท้ายประมาณ 9 จะสามารถกำจัดโลหะหนักทุกชนิดที่ละลายในน้ำได้ ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง น้ำเสียรวม มีความเข้มข้นนิกเกิล ทองแดง โครเมียม สังกะสี และเหล็ก เท่ากับ 1,660, 770, 250, 160 และ 140 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ มีขั้นตอนการบำบัด เช่นเดียวกับน้ำเสียจากการชุบโครเมียมโดยใช้ปริมาณ  $\text{NaHSO}_3$  1 เท่าของโครเมียม จากนั้นปรับ

พีเอชของน้ำเสียเป็น 8 ด้วยต่าง เติม SBH จนได้พีเอชประมาณ 9.2 ถึง 9.5 จะสามารถกำจัดโลหะหนักทุกชนิดที่ละลายในน้ำได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้ง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการบำบัดน้ำเสียด้วย SBH สำหรับน้ำเสียจากการชุบทองแดง การชุบนิเกิล การชุบโครเมียม และน้ำเสียรวม คิดเป็นเงิน 133, 247, 446 และ 541 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ซึ่งแยกเป็นค่าสารเคมีเท่ากับ 106, 242, 335 และ 384 บาท ตามลำดับ และเป็นค่าใช้จ่ายในการกำจัดตะกอนเท่ากับ 275, 111 และ 157 บาท ตามลำดับ

สิริชัช วชิรวชิรินทร์ (2547) การนำกลับทองแดงจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการสกัดทองแดงออกจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะโดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยตัวสกัดที่ใช้คือ LIX 84-I และการสกัดกลับทองแดงออกจากตัวสกัดด้วยสารละลายกรดซัลฟิวริก ทำการทดลองในระบบขวดเขย่า โดยน้ำเสียที่ใช้ในการศึกษาเป็นน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีปริมาณทองแดงประมาณ 4,500 มิลลิกรัมต่อลิตร จากการทดลอง พบว่า ในขั้นตอนการสกัด ตัวสกัดจะมีประสิทธิภาพการสกัดได้ดี ในช่วงพีเอช 1 ถึง 3 โดยค่าพีเอชเริ่มต้นของน้ำเสียที่เหมาะสมที่สุด คือ 1.6 และอัตราส่วนน้ำเสียต่อตัวสกัดที่เหมาะสมที่สุด ได้แก่ 10:3 ซึ่งสามารถสกัดทองแดงออกจากน้ำเสียได้ถึง 15,042 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งคิดเป็นประสิทธิภาพการสกัดทองแดงออกจากน้ำเสีย ร้อยละ 99.83 โดยคงเหลือทองแดงในน้ำเสีย 7.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในส่วนของกระบวนการสกัดกลับทองแดงออกจากตัวสกัด พบว่า สารละลายกรดซัลฟิวริกเข้มข้น 10 โมลาร์ ที่อัตราส่วนสารละลายกรดซัลฟิวริกต่อตัวสกัด 1:2 สามารถสกัดกลับทองแดงออกจากตัวสกัดได้ดีที่สุดโดยมีประสิทธิภาพการสกัดกลับร้อยละ 57.8 และในการศึกษาอายุการใช้งานของตัวสกัด LIX 84-I พบว่า ตัวสกัดสามารถนำมาใช้สกัดซ้ำได้ถึง 27 ครั้ง โดยจะได้สารละลายกรดซัลฟิวริกที่มีปริมาณทองแดงเฉลี่ยประมาณ 28,749 มิลลิกรัมต่อลิตร การประมาณการค่าใช้จ่ายในการนำกลับทองแดง โดยวิธีสกัดด้วยตัวทำละลาย โดยคำนวณจากกรดซัลฟิวริกเข้มข้นที่ใช้ในการปรับค่าพีเอช ตัวสกัด LIX 84-I สำหรับการสกัดและกรดซัลฟิวริก สำหรับการสกัดกลับทองแดงออกจากตัวสกัด เป็นเงิน 5.25 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร หรือประมาณ 1.22 บาทต่อทองแดง 1 กรัมที่สกัดได้

ขวัญชิววัน วิริยะเจริญมงคล (2549) ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เทคนิคการใช้ทางไฟฟ้าเคมีมาประยุกต์ใช้ในการแยกโครเมียมและสังกะสี จากน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะขนาดเล็ก รวมทั้งศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดทางไฟฟ้าเคมี ผลการทดลองภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมในการตกตะกอนโครเมียมด้วยไฟฟ้า ( $D_c = 2 \text{ cm}$ ,  $PH_{int} = 4.5$ ) สามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ( $A/m^2$ ) กับอัตราการตกตะกอนโครเมียมรวม

(mg/min) ดังนี้  $C_d = 22.725CR_p - 48.699$  ;  $R = 0.8951$  โดยที่สมการความสัมพันธ์พิจารณาภายใต้สภาวะการทดลองที่สามารถกำจัดโครเมียมรวม จนมีค่าผ่านมาตรฐาน โดยใช้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในการบำบัด ภายในช่วงเวลาที่ทำการทดลอง (60 นาที) ชุดการทดลองที่ดำเนินสภาวะการทดลองครั้งนี้ใช้ขั้วไฟฟ้าแคโทดทำจากแผ่นเหล็ก, ค่าความเป็นกรดต่างเริ่มต้นของน้ำเสียเท่ากับ 2.5 และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 79.62 แอมแปร์ต่อตารางเมตรมีปริมาณสังกะสีเหลือในน้ำเสียหลังการกำจัดเท่ากับ 8.57 มิลลิกรัมต่อลิตร ประสิทธิภาพในการกำจัดเท่ากับ 93.57% ประสิทธิภาพในการนำกลับ (% Deposition ) เท่ากับ 66.06% และประสิทธิภาพกระแสเท่ากับ 0.42% ด้วยค่าใช้จ่ายในการกำจัดเท่ากับ 276.49 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

เพิ่มพงษ์ พุ่มวิเศษ (2541) ทำการศึกษาถึงสภาวะที่เหมาะสม และประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโดยวิธีตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีโดยทำการทดลองสภาวะต่างๆ กัน คือ ความเข้มข้นโครเมียมในน้ำเสีย 10, 100 และ 150 มิลลิกรัม/ลิตร ระดับกระแสไฟฟ้า 1, 2 และ 4 แอมแปร์และระยะเวลาทำปฏิกิริยา 15, 30, 45 และ 60 นาทีแล้วทำการวิเคราะห์ปริมาณความเข้มข้นโครเมียมในน้ำที่ผ่านการกำจัดโครเมียมโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี ผลการศึกษาการกำจัดโครเมียมโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมี พบว่า เมื่อความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีลดลง ในขณะที่เมื่อระดับกระแสไฟฟ้าและระยะเวลาทำปฏิกิริยาเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมในน้ำเสียโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีเพิ่มขึ้น จากการศึกษาครั้งนี้ น้ำที่ผ่านการกำจัดโครเมียมโดยวิธีการตกตะกอนด้วยไฟฟ้าเคมีแล้วจะมีค่าโครเมียมได้ตามมาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ( $< 0.5$  มิลลิกรัม/ลิตร) พบว่าสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมเริ่มต้น 10 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องใช้ระดับกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 15 นาที ขณะที่ความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 100 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องใช้ระดับกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 45 นาที และเมื่อความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้น 150 มิลลิกรัม/ลิตร ต้องใช้ระดับกระแสไฟฟ้า 1 แอมแปร์ ระยะเวลาทำปฏิกิริยา 60 นาที

วสันต์ ผาสุก (2549) ทำการศึกษารลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นและปรับปรุงคุณภาพผิวนานชุบโครเมียมโดยประยุกต์ใช้วิธีการซิกซ์ ซิกม่า โดยมีเป้าหมาย คือ การลดอัตราของเสียที่เกิดขึ้นลง 70 เปอร์เซ็นต์ การดำเนินงานจะเริ่มจากขั้นตอนการกำหนดปัญหาที่เกิดขึ้น โดยระบุขอบเขตปัญหาที่จะทำการแก้ไข และกำหนดตัวชี้วัดการปรับปรุงกระบวนการ โดยอาศัยการวัดความสามารถกระบวนการ พบว่า การเกิดเม็ดหรือตามดบนผิวนานงานเป็นสาเหตุทำให้เกิดของเสียมากที่สุด จึงนำปัญหานี้มาทำการแก้ไข ขั้นตอนที่สองจะเป็นการวัดเพื่อกำหนดสาเหตุของปัญหา

โดยการสร้างแผนที่กระบวนการทำให้ทราบความสัมพันธ์ของปัญหาแต่ละงานในกระบวนการ จากนั้นจะวิเคราะห์สาเหตุที่ก่อให้เกิดปัญหา โดยสร้างแผนภาพและผล ซึ่งจะนำมาเชื่อมโยงกับค่าระดับความเสี่ยงที่ได้จากการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ เพื่อค้นหาสาเหตุที่น่าจะมีผลกระทบต่อปัญหามากที่สุด จากนั้นทำการศึกษาระบบการวัดของพนักงานตรวจสอบชิ้นงานก่อนชุบโครเมียม เพื่อเพิ่มความแม่นยำและความถูกต้องในระบบตรวจสอบ โดยสามารถลดระดับการเกิดของเสียลง 82 เปอร์เซ็นต์ซึ่งบรรลุตามเป้าหมายที่ตั้งไว้

ภาณุวัฒน์ ประเสริฐ (2551) ทำการศึกษาการคัดเลือกสกัด Cr(VI) ด้วยเยื่อแผ่นเหล็กที่พองด้วยเส้นใยกลวง โดยใช้น้ำจากกระบวนการกักกรดในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นเหล็กไร้สนิมเป็นสารละลายป้อน ตัวแปรที่ศึกษา ผลการศึกษาพบว่า Aliquat 336 สามารถเลือกสกัด Cr(VI) ได้มากกว่าไอออน Fe(III) และ Ni(II) ที่ปนอยู่ในสารละลายป้อนความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ระหว่าง 0.01–1 M ความเป็นกรด-ด่างของสารละลายนำกลับระหว่าง 7–12 และอุณหภูมิของการสกัดในช่วง 20 – 50 °C มีผลน้อยต่อเปอร์เซ็นต์การสกัด Cr(VI) จากงานวิจัยนี้เมื่อใช้ภาวะที่เหมาะสม คือ ที่ช่วงความเข้มข้นของ Aliquat 336 5%(v/v) สามารถสกัด Cr(VI) ได้ประมาณ 70 %