

# รายงานการวิจัย

เรื่อง

วิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ หาปริมาณโซยานินด์  
และ  
วิธีการกำจัดโซยานินด์ในน้ำทิ้งของโรงงานซูบโลหะ

โดย

นาง พิชริยา ฉัตรเอก

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ  
พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๓๙

# รายงานการวิจัย

เรื่อง

วิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์

และ

วิธีการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะ

โดย

นาง พัชรีญา ฉัตรทอง

กองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ

พฤษภาคม พ.ศ. ๒๕๓๙

## บทคัดย่อ

ได้นำวิธีการวิเคราะห์ไซยาไนด์ ตามวิธี standard method และ ISO/DIS 6703/1 method มาทดลองเปรียบเทียบ ว่าวิธีใดเหมาะสม ที่จะนำมาใช้ในขั้นตอนการกำจัดไซยาไนด์โดยใช้สารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ จากผลการทดลอง ปรากฏว่า ได้เลือกใช้วิธี standard method จึงนำวิธีนี้มาใช้วิเคราะห์หาไซยาไนด์เริ่มต้นและไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ หลังจากการกำจัดด้วยสารเคมี โดยทำการศึกษาทดลองการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะจาก line ต่างๆ โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (chemical coagulation) โดยใช้สารโซเดียมไฮโปคลอไรต์ และใช้เครื่องกวนสารให้ตกตะกอน ที่เรียกว่า JAR TEST พบว่า line ชุบสังกะสี (Zn) เมื่อใช้ไซยาไนด์เริ่มต้นประมาณ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l หรือ ppm) ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 10.0 และ 11.0 อัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 1.5 : 1 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดภายใน 5 นาที line ชุบนิเกิล (Ni) โครเมียม (Cr) ไซยาไนด์เริ่มต้น 58 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 10.0 และ 11.0 อัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 1.5:1 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดภายใน 1 ชั่วโมง ส่วน line ชุบทองแดง (Cu) ไซยาไนด์ เริ่มต้น 56 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 11.0 อัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 1:1 ขึ้นไป สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดภายใน 2 ชั่วโมง แสดงให้เห็นว่า โรงงานชุบโลหะ line Zn สามารถใช้ NaOCl กำจัดไซยาไนด์ได้ผลดีที่สุด คือใช้เวลาเพียง 5 นาที รองลงมาคือ line ชุบ Ni , Cr ใช้เวลาในการกำจัด 1 ชั่วโมง ส่วน line ชุบ Cu ได้ผลไม่คืบหน้า เพราะใช้เวลานานถึง 2 ชั่วโมง และถ้าจะกำจัดน้ำทิ้งที่มีปริมาณความเข้มข้นของไซยาไนด์สูงกว่านี้จำเป็นต้องทำให้เจือจางด้วยน้ำก่อนนำมากำจัดตามวิธีข้างต้น

ผลจากการศึกษาทดลองนี้ ได้นำไปเผยแพร่ และถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม ประเภทชุบโลหะ ซึ่งมีline การชุบ ดังกล่าวข้างต้น ส่วนโรงงานอุตสาหกรรมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน สามารถนำวิธีหรือข้อมูลเหล่านี้ ไปเป็นแนวทางในการกำจัดไซยาไนด์ในโรงงานของตนเองได้ นอกจากนี้สามารถเผยแพร่ให้เจ้าหน้าที่ภาครัฐและเอกชน โรงงานอุตสาหกรรม ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อม นำข้อมูลที่เป็นประโยชน์ ไปเป็นแนวทางในการกำจัดสารพิษในน้ำทิ้งให้ได้มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 ( พ.ศ. 2515) ก่อนปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ลำน้ำสาธารณะ เพื่อเป็นการลดการเกิดมลพิษในสิ่งแวดล้อมอีกทางหนึ่ง

## สารบัญ

หัวข้อเรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ	
บทที่ 1. บทนำ	1
1.1 มาตรฐานน้ำทิ้ง	2
1.2 วิธีการกำจัดไฮยาไนด์	2
1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย	3
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 การดำเนินงานวิจัย	4
2.1 ตัวอย่างน้ำที่ใช้ในการทดลอง	4
2.2 สถานที่ทำการทดลอง , ระยะเวลาทำการทดลอง	4
2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	4
2.4 การเก็บรักษาตัวอย่าง	5
บทที่ 3 การทดลอง	6
3.1 การดำเนินการ	6
3.2 การทดลอง	6
บทที่ 4 วิเคราะห์และสรุปผลการทดลองทั้งหมด และ ข้อเสนอแนะ	26
กิตติกรรมประกาศ	36
เอกสารอ้างอิง	37
ภาคผนวก	38

## บทที่ 1

### บทนำ

อุตสาหกรรมช่วยพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศได้มาก แต่ในขณะเดียวกันผลกระทบจากโรงงานอุตสาหกรรม ก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นพิษ อุตสาหกรรมแต่ละประเภทจะก่อให้เกิดสารมลพิษแตกต่างกันไป ทั้งชนิดปริมาณ และลักษณะ โดยมลพิษเหล่านี้มักมาจากทางอากาศ และน้ำทิ้งที่ทางโรงงานอุตสาหกรรมปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม ไชยาไนต์เป็นสารประกอบตัวหนึ่ง ที่ก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม โดยการปะปนออกมาจากน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรม ประเภทต่าง ๆ เช่น อุตสาหกรรมประเภทชุบโลหะ การชุบทอง การถ่ายภาพ และสีย้อมต่าง ๆ เป็นต้น นอกจากนี้ยังเป็นอันตรายต่อชีวิตมนุษย์และสัตว์ โดยการสัมผัส สูดดมสารหรือกลืนสารเข้าไป ทำให้เกิดการช็อค หมดสติหรืออาจตายได้ จึงจำเป็นต้องหาวิธีการกำจัดของเหลือใช้ให้หมดไปหรือเหลือน้อยที่สุด

ดังนั้นเพื่อเป็นการสนองนโยบายของภาครัฐตามแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ กองพิสิกส์และวิศวกรรมจึงได้ศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ เกี่ยวกับวิธีการกำจัดไชยาไนต์ในน้ำทิ้งให้หมดไปหรือเหลือน้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ ก่อนที่โรงงานจะปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ลำน้ำสาธารณะหรือสู่สิ่งแวดล้อม และเพื่อเป็นแนวทางให้อุตสาหกรรมที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันนำไปศึกษาหาวิธีการกำจัดที่เหมาะสมหรือเพื่อป้องกันมิให้เกิดมลภาวะในสิ่งแวดล้อมมากขึ้นและเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต จึงได้ทดลองเปรียบเทียบหาวิธีการวิเคราะห์ไชยาไนต์ที่เหมาะสมเพื่อยืนยันความถูกต้องในการวิเคราะห์หาปริมาณไชยาไนต์ ก่อนนำไปใช้วิเคราะห์หาปริมาณในการทดลองเพื่อประสิทธิภาพการกำจัดไชยาไนต์โดยสารเคมี โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (chemical oxidation) โดยใช้เครื่องกวนสารให้ตกตะกอนที่เรียกว่า JAR TEST ซึ่งการตกตะกอนของน้ำทิ้งแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับองค์ประกอบหลายประการ เช่น ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) สารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ส่วนประกอบของสารต่างๆ ในน้ำ ความขุ่น อัตราเร็วของการผสม เป็นต้น แต่การตกตะกอนจะให้ผลดีที่สุดในที่ความเป็นกรด-ด่าง ช่วงหนึ่ง และขึ้นอยู่กับสารเคมีที่ใช้ในการตกตะกอน ผลสรุปที่ได้จากการทดลองสามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะว่าได้หรือไม่ ถ้าไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานจำเป็นต้องหาองค์ประกอบให้เหมาะสมกว่านี้

แต่เนื่องจากผลงานนี้ยังมีได้จัดทำเป็นเอกสารสำหรับเผยแพร่ จึงยังไม่มีภาพถ่ายทอดเทคโนโลยีอย่างเป็นทางการ นอกจากการแนะนำและให้ข้อมูลหรือข้อสังเกตด้วยวาจาตามที่ติดต่อเข้ามาในหน่วยงาน แต่คาดว่าเมื่อได้จัดทำเอกสารให้สมบูรณ์พร้อมที่จะเผยแพร่แล้ว ผู้ที่สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีได้โดยตรง คือ โรงงานอุตสาหกรรมประเภทโรงงานชุบโลหะ

โรงงานที่คล้ายคลึงกัน กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เจ้าหน้าที่ภาครัฐ และภาคเอกชนที่เกี่ยวข้อง นิสิตนักศึกษาที่ต้องการข้อมูล และเป็นแนวทางในการทำผลงาน หรือวิทยานิพนธ์ รวมทั้งผู้ที่ให้ความสนใจด้านสิ่งแวดล้อมอื่นๆ

### 1.1 มาตรฐานน้ำทิ้ง

ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ.2515) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2512 กำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งก่อนปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะ เช่น สารมลพิษในน้ำที่เกิดจากโรงงานชุบโลหะ ดังนี้

ปริมาณ	ไซยาไนด์	คิดเทียบเป็นไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) ไม่มากกว่า	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณ	ทองแดง	ไม่มากกว่า	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณ	นิกเกิล	ไม่มากกว่า	0.2	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณ	โครเมียม	ไม่มากกว่า	0.5	มิลลิกรัมต่อลิตร
ปริมาณ	pH	อยู่ระหว่าง	5 -9	มิลลิกรัมต่อลิตร

### 1.2 วิธีการกำจัดไซยาไนด์

การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งโรงงานอุตสาหกรรม มีหลายวิธี เช่น

1. Oxidation of Cyanides เป็นการใช้ออกซิไดซิงเอเจนต์พวก Chlorine , Ozone และ Electrolytic Oxidation

2. Evaporation Solidification เป็นการระเหยน้ำจน Cyanide เป็นของแข็ง จากนั้น Cyanide จะถูก oxidize แล้วกลายเป็น  $CO_2 + N_2$  โดยความร้อนที่สูงประมาณ  $500^{\circ}$  เซลเซียส ( $^{\circ}C$ )

3. Acid-decomposition ใส่กรดลงในน้ำทิ้ง จะถูกเปลี่ยนเป็น Hydrogen Cyanide ซึ่งจะถูกเผาต่อไปเป็น  $CO_2 + N_2$

จะเห็นได้ว่าวิธีที่ 2 และ 3 เป็นวิธีที่ค่อนข้างยุ่งยาก มีขั้นตอนมากและเป็นอันตรายได้ง่าย ดังนั้นจึงนำวิธีที่ 1 มาใช้

วิธีที่ 1 เป็นการ Oxidation Cyanide โดยใช้สารเคมี (Chemical Oxidation) คือ Chlorine gas หรือ Hypochlorite solution ซึ่งเรียก Chlorition ซึ่งเป็นวิธีที่ง่าย สะดวก และไม่เปลืองค่าใช้จ่าย ส่วนวิธีใช้ Ozone gas เรียก Ozonation เป็นวิธีที่รวดเร็วและค่อนข้างดี แต่ต้องมีการติดตั้งเครื่องมือเข้ากับถัง ozone gas และต้องควบคุมระบบการติดตั้งให้ปลอดภัย และพร้อมที่จะใช้ เพราะเกิดสารพิษระหว่างการทดลอง ดังนั้นวิธีที่นิยมใช้มากสำหรับโรงงานขนาดเล็ก และขนาดกลาง คือวิธี Chemical Oxidation โดยใช้ Chlorine gas หรือ Sodium Hypochlorite หรือ Calcium Hypochlorite เพราะวิธีนี้เป็นการเติมสารเคมีหรือก๊าซผ่านลงในน้ำทิ้งและปรับความเป็นกรดต่างเท่านั้น ก็สามารถหาปริมาณไซยาไนด์ที่ลดลงได้ แต่การจะกำหนดว่าควรใช้สารเคมีในการกำจัด

ปริมาณเท่าใด มีองค์ประกอบ อย่างไรบ้าง จะต้องมีการทดลองในห้องปฏิบัติการด้วยวิธีใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอน (Chemical coagulation) โดยใช้เครื่องกวนสารให้ตกตะกอน ที่เรียกว่า JAR TEST และทดลองตามวิธีการของ JAR TEST

### 1.3 วัตถุประสงค์ในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานศึกษาทดลองหาวิธีการที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ และทดลองการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ (Metal Finishing) ด้วยวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้เครื่องมือ JAR TEST ในชั้นห้องปฏิบัติการ โดยมีวัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

1. เพื่อศึกษาวิธีการวิเคราะห์ที่ได้ทำอยู่ตามหนังสือ standard method for the examination of water and wastewater เปรียบเทียบกับวิธีตาม International organization for standardization / Draft international standard หรือ ISO/DIS 6703/1 เพื่อจะได้นำวิธีการที่เหมาะสมมาใช้ในกระบวนการทดลองกำจัดไซยาไนด์ด้วยสารเคมีต่อไป

2. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะประเภทต่างๆ ที่ใช้สารเคมีโซเดียมไฮโปคลอไรต์ในการกำจัด

3. เพื่อศึกษาอิทธิพลขององค์ประกอบต่างๆ เช่น อัตราส่วนของสารเคมีในการกำจัด และเวลา เป็นต้น

4. เพื่อสรุปเสนอแนะแนวทางในการนำไปใช้กับโรงงานอุตสาหกรรม

### 1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการ โดยแบ่งเป็นขั้นตอนการทำงานดังนี้  
- นำตัวอย่างสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์ และตัวอย่างน้ำทิ้งที่ปราศจากไซยาไนด์ที่เติมสารละลายมาตรฐานมาทำการวิเคราะห์ตามวิธี standard method และ ISO/DIS ทั้งสองตัวอย่าง เพื่อหาวิธีการที่เหมาะสม

- นำตัวอย่างสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์มาทดลองตกตะกอนทางเคมีด้วย เครื่องมือที่เรียกว่า JAR TEST โดยใช้อัตราส่วน NaOCl : KCN ความเป็นกรด-ด่าง (pH) และเวลาต่างๆ กัน

- นำตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะประเภทต่างๆ มาทดลองตกตะกอนทางเคมีด้วยอัตราส่วนของ NaOCl : KCN และ ความเป็นกรด-ด่าง ที่ได้ทดลองตามขั้นต้นว่าเหมาะสมแล้ว

### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ผลจากการศึกษาทดลองที่ดำเนินการได้สำเร็จนี้ สามารถนำไปถ่ายทอดให้กับโรงงานอุตสาหกรรมประเภทชุบโลหะ และโรงงานที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน รวมทั้งเจ้าหน้าที่ภาครัฐและเอกชนที่มีส่วนเกี่ยวข้องในเรื่องมลพิษของสิ่งแวดล้อม เพื่อหาวิธีการป้องกันและการกำจัดมิให้เข้าสู่สิ่งแวดล้อมเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้

## บทที่ 2

### การดำเนินงานวิจัย

#### 2.1 ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ใช้ในการทดลอง

ตัวอย่างน้ำทิ้งที่ได้จากการทดลองเป็นน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ (Metal Finishing) เช่น ประเภทชุบเคลือบ (plating) ซึ่งจะเคลือบโลหะชิ้นงานสำเร็จเป็นโลหะชุบ Zn , Ni , Cr และ Cu น้ำทิ้งเหล่านี้จะมีค่าไซยาไนด์ต่างๆกัน แล้วแต่ process การชุบของแต่ละ line ไป

#### 2.2 สถานที่ทำการทดลอง กรมวิทยาศาสตร์บริการ

วันเวลาที่ทดลอง ตั้งแต่ มีนาคม 2537 - ตุลาคม 2538

#### 2.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

การทดลองขั้นตอนแรกใช้

1. เครื่องกลั่นวิเคราะห์ไซยาไนด์ (cyanide distillation apparatus)
2. Volumetric flask ขนาด 250 ml
3. Microburette ขนาด 1 ml และ 5 ml
4. Burette 25 ml
5. บีกเกอร์ (beaker) สำหรับน้ำยาเคมี
6. Flask ขนาด 50 ml , 100 ml และ 250 ml
7. เครื่องให้ความร้อน (heating mantle)
8. Spectrophotometer วัดที่ 578 nm
9. น้ำยาเคมีต่างๆ

การทดลองขั้นตอนสองและสามใช้

1. เครื่องกวนสารให้ตกตะกอน หรือ JAR TEST
2. บีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร
3. เครื่องชั่งละเอียด
4. Burette 25 ml
5. Microburette 1 ml และ 5 ml
6. Flask ขนาด 50 ml , 100 ml และ 250 ml
7. สารเคมีในการตกตะกอนและการปรับค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)
8. Spectrophotometer วัดที่ 578 nm

#### 2.4 การเก็บรักษาตัวอย่าง (Preservative sample)

ตัวอย่างควรเก็บในขวดพลาสติก ถ้ายังไม่วิเคราะห์ทันที ควรทำให้เป็นด่างโดยเติม โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ปรับความเป็นกรด-ด่าง เป็น 11หรือสูงกว่านี้ และแช่ตู้เย็นที่ อุณหภูมิ 4<sup>0</sup>เซลเซียส (°C)

## บทที่ 3

### วิธีการทดลอง

#### 3.1 การดำเนินการ

การทดลองแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ตาม standard method กับ ISO/DIS 6703/1 method เพื่อนำผลที่ได้จากการทดลองมาสรุปว่าวิธีไหนดีหรือเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ในขบวนการกำจัดไซยาไนด์ด้วยวิธีใช้สารเคมีในการตกตะกอน(chemical coagulation) ด้วยเครื่องกวนสารให้ตกตะกอน ที่เรียกว่า JAR TEST

2. การกำจัดไซยาไนด์ ในสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไซยาไนด์ ด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยเครื่องมือ JAR TEST โดยให้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์(KCN) เป็นตัวกำเนิดไซยาไนด์ เพื่อหาค่าประกอบที่เหมาะสม เช่น สารเคมีที่ใช้ในการกำจัด คือ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) และเวลา (rate of time) ตามวิธีการของ JAR TEST

3. การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะจาก line Zn , Ni - Cr , Cu ด้วยวิธีการตกตะกอนด้วยเครื่องมือ JAR TEST โดยใช้องค์ประกอบที่ทดลองว่าเหมาะสมแล้วตามข้อ 2

#### 3.2 การทดลอง

##### 1. การเปรียบเทียบวิธีวิเคราะห์ตาม standard method กับ ISO/DIS 6703/1 method

การวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์มีหลายรูปแบบแล้วแต่จุดประสงค์ในการวิเคราะห์ เช่น

1. Total cyanide after distillation
2. Cyanide amenable to chlorination
3. Cyanogen chloride
4. Spot test for sample screen
5. Cyanate
6. Thiocyanate

การวิเคราะห์ปริมาณไซยาไนด์จากแหล่งน้ำต่างๆ เช่น จากแม่น้ำลำคลอง น้ำโสโครกและน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ส่วนมากจะวิเคราะห์อยู่ในรูป Total cyanide after distillation ซึ่งจะได้ค่าของไซยาไนด์รวมทั้งหมด (total cyanide) ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีในหนังสือ standard method for the examination of water and wastewater ของ American Public Health Association ซึ่งฝ่ายวิเคราะห์วิจัยสถานะแวดล้อม กองฟิสิกส์และวิศวกรรม กรมวิทยาศาสตร์บริการ ใช้เป็นหนังสือคู่มือ ในการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ และเพื่อให้มีความมั่นใจว่าวิธี

การวิเคราะห์ที่จะใช้ในขั้นตอนการกำจัดไซยาไนด์มีความถูกต้องและเหมาะสมดี จึงได้ทดลองเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์กับหนังสือคู่มือ International Organization for standardization /Draft International standard หรือ ISO/DIS 6703/1 จากการศึกษาพบว่าวิธีการวิเคราะห์ทั้ง 2 วิธีการมีหลักการคล้ายคลึงกัน คือ ต้องผ่านขั้นตอนการกลั่น (รูปที่ 1) เพื่อให้เกิดไซยาไนด์ไอออน หลังจากนั้นนำสารละลายที่ได้มาไทเทรต ด้วยซิลเวอร์ไนเทรต หรือนำมาวัดด้วยเครื่อง Spectrophotometer ที่ 578 nm

#### การเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN)

1. เตรียม stock standard solution ดังนี้

- ละลายโพแทสเซียมไซโครกไซค์ 2 กรัม และโพแทสเซียมไซยาไนด์ 2.51 กรัม ทำให้เป็น 1 ลิตร ด้วยน้ำกลั่น

1 มิลลิลิตร = 1 มิลลิกรัม ไซยาไนด์ (หรือเท่ากับ 1000 ไมโครกรัม)

2. เตรียมสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์ (standard cyanide solution) โดย

- คุดสารละลาย stock standard cyanide มา 10 มิลลิลิตร ทำให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 0.25 N NaOH solution

1 มิลลิลิตร = 10 ไมโครกรัม ไซยาไนด์

- คุดสารละลายข้างต้นมา 10 มิลลิลิตร ทำให้เป็น 100 มิลลิลิตร ด้วย 0.25 N NaOH solution

1 มิลลิลิตร = 1 ไมโครกรัม ไซยาไนด์

ดังนั้นในการทดลองจึงนำตัวอย่างสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์ที่จัดเตรียมขึ้นโดยใช้สารละลายมาตรฐาน KCN เป็นตัวกำเนิดไซยาไนด์ที่ความเข้มข้นในช่วง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) จำนวน 8 ค่า คือ 0.1 , 0.2 , 0.5 , 1.0 , 2.0 , 5.0 , 10.0 และ 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นำน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะที่ไม่มีปริมาณไซยาไนด์ปนอยู่มาเติมไซยาไนด์ที่รู้ค่าความเข้มข้นลงไปในที่นี้ใช้ 10.0 และ 15.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นำตัวอย่างทุกค่ามาผ่านการไทเทรตโดยตรงโดยไม่ผ่านการกลั่น นำตัวอย่างมากลั่นและวิเคราะห์ตามวิธี standard method และ ISO/DIS 6703/1 method เพื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ทั้งหมด และนำผลที่ได้ทั้งสองวิธีมาเขียนเส้นกราฟเปรียบเทียบกับวิธีการไทเทรตโดยตรงโดยไม่ผ่านการกลั่น

และจากหลักการตามหนังสือ standard method ตัวอย่างที่ผ่านการกลั่นแล้ว จะนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ได้จะต้องนำมาไทเทรตก่อนเพื่อหาปริมาณของไซยาไนด์ ถ้าตัวอย่างนั้นมีค่าของไซยาไนด์น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตรควรใช้วิธีวัดสี ( colorimetry ) ด้วยเครื่อง spectrophotometer เพราะจะมีความละเอียดและแม่นยำกว่า ส่วนตัวอย่างที่มีค่าไซยาไนด์มากกว่า

1 มิลลิกรัมต่อลิตรให้ใช้วิธีไทเทรตด้วยซิลเวอร์ไนเตรต ดังนั้นในตารางที่ 1 จึงมีทั้งค่าวิธีวัดสีและค่าของวิธีไทเทรต ส่วนในวิธี ISO/DIS 6703/1 ระบุแต่วิธีไทเทรตเพียงอย่างเดียวจึงมีค่าไทเทรตเพียงอย่างเดียว

การกลั่นและการวิเคราะห์ตาม Standard method

นำตัวอย่างสารละลายที่มีไซยาไนด์มาประมาณ 500 มิลลิลิตร ใส่ขวดกลั่น

- เติม  $H_2SO_4$  สารละลายจะอยู่ในสภาพกรด
- เติม  $MgCl_2$  เพื่อให้ปฏิกิริยาเร็วขึ้น
- ใส่สารละลาย NaOH ลงใน absorber tube เพื่อเป็นตัวรับไซยาไนด์ที่ออกมาในรูป HCN ภายหลังจากการกลั่นโดยใช้ความร้อน

- ปรับอัตราการกลั่นโดยให้ฟองอากาศในสารละลาย NaOH 2 ฟองต่อวินาทีเพื่อให้ค้างจับไซยาไนด์ได้หมด ต้ม 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น

- หลังจากนั้นนำมาไทเทรตด้วย 0.0192 N silver nitrate ( $AgNO_3$ ) โดยใช้ silver-sensitive indicator จุดยุติเปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นชมพูอมส้ม (ใช้ในกรณีตัวอย่างมีไซยาไนด์มากกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร) หรือใช้วิธีวัดสีด้วยเครื่อง spectrophotometer โดยใช้ pyridine-barbituric acid เป็นตัวทำให้เกิดสีแดงม่วง (ใช้ในกรณีตัวอย่างมีไซยาไนด์น้อยกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร)

การกลั่นและการวิเคราะห์ตาม ISO/DIS 6703/1 method

นำตัวอย่างสารละลายที่มีไซยาไนด์มา 500 มิลลิลิตร

- เติมสารละลาย 5M NaOH เพื่อให้สารละลายเป็นด่าง
- เติม phenolphthalene เป็นอินดิเคเตอร์
- เติม tin chloride เพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เร็วขึ้น
- ปรับ ความเป็นกรด-ด่าง = 8 ด้วย 1N NaOH หรือ 1N HCl
- เติม Zinc-Cadmium sulphate เพื่อกำจัดสารรบกวน
- ใส่สารละลาย NaOH ลงใน absorber tube เพื่อเป็นตัวจับไซยาไนด์ที่ออกมาในรูป HCN ภายหลังจากการกลั่นโดยใช้ความร้อน

- ปรับฟองอากาศในสารละลาย NaOH 2 ฟอง/วินาที

นำตัวอย่างสารละลายส่วนบนมา 100 มิลลิลิตรเติมน้ำกลั่น

- เติมสารละลาย tin chloride
- เติม copper sulphate เพื่อกำจัดสารรบกวน
- เติม hydrochloric acid เพื่อให้ตัวอย่างเป็นกรด
- ต้ม 1 ชั่วโมง ทิ้งให้เย็น

- หลังจากนั้นนำมาไทเทรตด้วย 0.0192 N AgNO<sub>3</sub> โดยใช้ silver-sensitive indicator จุดยุติ (end point) เปลี่ยนจากสีเหลืองเป็นสีชมพูอมส้ม

### สูตรการคำนวณหาปริมาณไซยาไนด์

-วิธีไทเทรต

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร ไซยาไนด์} = \frac{(A-B) 1000}{\text{ปริมาณของตัวอย่างที่ใช้}} \times \frac{250}{\text{ปริมาตรสารดูดกลืนที่ใช้}}$$

A=ปริมาตรและสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรดที่ไทเทรตพอดีกับสารละลายดูดกลืนสำหรับตัวอย่างน้ำ

B=ปริมาตรของสารละลายมาตรฐานซิลเวอร์ไนเตรดที่ไทเทรตพอดีกับแบล็งค์

-วิธีวัดสี

$$\text{มิลลิกรัม/ลิตร ไซยาไนด์} = (A \times B) / (C \times D)$$

A = ไมโครกรัมไซยาไนด์ที่อ่านได้จากกราฟมาตรฐาน

B = มิลลิลิตรทั้งหมดของสารละลายดูดกลืนที่ได้จากการปรับสภาพขั้นต้น

C = มิลลิลิตรทั้งหมดของสารละลายตัวอย่างที่ใช้ในการปรับสภาพขั้นต้น

D = มิลลิลิตรของสารละลายดูดกลืนที่ใช้ในการทำให้เกิดสี

จะเห็นได้ว่าการวิเคราะห์นั้นจำเป็นต้องเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) จาก stock standard solution เพื่อนำมาวิเคราะห์โดยการไทเทรตโดยตรงส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งนำมาเจือจางให้มีค่าต่าง ๆ ระหว่าง 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร - 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร นำสารละลายมาตรฐานเหล่านี้มาถ่วงตามวิธี standard method และ ISO/DIS 6703/1 หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์วิธี standard method สารละลายมาตรฐานที่มีไซยาไนด์ตั้งแต่ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร - 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการวิเคราะห์ทั้งวิธีไทเทรตและวัดด้วย spectrophotometer เพื่อเปรียบเทียบค่า และนำค่าที่วิเคราะห์ได้มาทำกราฟเปรียบเทียบวิธีการทั้งสาม (ตามรูปที่ 2) นอกจากนี้ยังนำน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่มีไซยาไนด์เจือปนอยู่มาใส่สารละลายมาตรฐานไซยาไนด์ในปริมาณ 10 และ 15 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ได้แสดงไว้ (ตามตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 ผลการทดลองเปรียบเทียบวิธีการ (method ) ต่างๆ

ตัวอย่างที่	ปริมาณไซยาไนด์ในสารละลายมาตรฐาน mg / l	ปริมาณไซยาไนด์ที่วิเคราะห์ได้ โดยการไทเทรตโดยตรง ไม่ผ่านการกลั่น mg / l	ปริมาณไซยาไนด์ที่วิเคราะห์ได้หลังการกลั่น		
			Standard Method ไซยาไนด์ (เจลีย์)		ISO/DIS 6703/1 ไซยาไนด์ (เจลีย์)
			ไทเทรต mg / l	วัดสี mg / l	ไทเทรต mg / l
1	0.1	0.090	0.071	0.094	0.085
2	0.2	0.186	0.151	0.192	0.178
3	0.5	0.452	0.335	0.470	0.385
4	1.0	0.910	0.805	0.895	0.853
5	2.0	1.885	1.707	-	1.785
6	5.0	4.610	4.302	-	4.351
7	10.0	9.462	8.750	-	8.920
8	20.0	18.850	17.433	-	18.000
	ตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่มี ไซยาไนด์ปนอยู่ในสารละลาย มาตรฐานไซยาไนด์จากการ เตรียมตัวอย่างไว้				
9	10.0	9.400	8.700	-	8.850
10	15.0	14.250	13.803	-	13.920

เนื่องจากวิธี standard method การวิเคราะห์โดยผ่านการกลั่นแบ่งเป็น 2 ช่วง คือ ถ้าความเข้มข้นของไซยาไนด์น้อยกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้วิธีวัดสีโดยเครื่อง spectrophotometer ถ้ามากกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ใช้วิธีไทเทรต ส่วนวิธีตาม ISO/DIS 6703/1 ระบุแต่วิธีไทเทรตเท่านั้น ดังนั้นจากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าวิธีวัดสีของ standard method จะให้ผลดีและใกล้เคียงกับการไทเทรตโดยตรง ในช่วงความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร - 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในช่วงความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร - 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธี ISO/DIS 6703/1 จะให้ผลใกล้เคียงการไทเทรตโดยตรงและดีกว่าวิธี standard method เล็กน้อยเช่นเดียวกับตัวอย่างน้ำเสียที่ไม่มีไซยาไนด์ปนอยู่ในสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์จากการเตรียมตัวอย่างไว้

จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าวิธี standard method และISO /DIS 6703/1 จะให้ผลใกล้เคียงกับการไทเทรตโดยตรงโดยไม่ผ่านการกลั่น ในช่วงความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วนในช่วงความเข้มข้น 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรถึง 20.0 มิลลิกรัมต่อลิตร วิธีISO/DIS 6703/1 จะให้ผลใกล้เคียงกับการไทเทรตโดยตรงและดีกว่าวิธี standard method เล็กน้อย แต่วิธี ISO/DIS 6703/1 นั้น น้ำยาเคมีที่ใช้ในการวิเคราะห์มีจำนวนหลายชนิดบางชนิดต้องเตรียมเพื่อใช้ทันที เก็บไว้นานไม่ได้ ต้องทิ้งเลยจึงเป็นการสิ้นเปลืองสารเคมี และเสียเวลาในการเตรียมน้ำยาทุกครั้งก่อนทำการวิเคราะห์ และวิธี standard method เป็นวิธีที่ใช้อยู่ประจำในห้องปฏิบัติการกรมวิทยาศาสตร์บริการ จึงเห็นว่าควรใช้วิธีวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ โดยวิธี standard method จะง่าย สะดวกรวดเร็วกว่า และประหยัดค่าใช้จ่ายกว่า

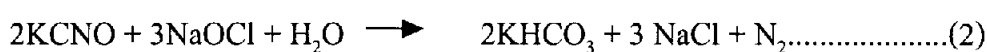
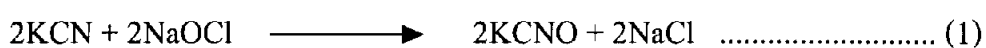
## 2. การกำจัดไซยาไนด์ในสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ด้วยสารเคมีโซเดียมไฮโปคลอไรต์โดยวิธีการของ JAR TEST.

เป็นการทดลองกำจัดไซยาไนด์ โดยวิธีตกตะกอนทางเคมี (Chemical Oxidation หรือ Chemical Coagulation) โดยใช้สารเคมีโซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) ด้วยเครื่องมือที่เรียกว่า JAR TEST ซึ่งเป็นเครื่องกวนขนาดเล็กประมาณ 6 หน่วยเรียงกัน มีการควบคุมความเร็วร่วมกัน สามารถปรับความเร็วในการหมุนได้ถึงกว่า 100 รอบต่อนาที (ดังรูปที่3)และวิธีการกำจัดน้ำทิ้งโดยใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอนนี้จำเป็นต้องศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการเพราะมี factor หรือองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องหลายประการ เช่น

1. ความเข้มข้นของไซยาไนด์ (conc. of  $CN^-$ )
2. ความเข้มข้นของไฮโปคลอไรต์ (conc. of  $OCl^-$ )
3. ความเป็นกรด - ค่าง (pH)
4. อัตราความเร็วของการกวน (rate of time) ซึ่งแบ่งออกเป็น
  - first period มีการกวนเร็ว 100 รอบต่อนาที
  - second period มีการกวนช้า 30 รอบต่อนาที

การกวนเร็วเพื่อให้สารเคมีที่เติมลงไปจับกับไซยาไนด์ เกิดตะกอนเล็กๆขึ้นส่วนการกวนช้าเพื่อให้ตะกอนเล็กๆจับตัวเป็นตะกอนใหญ่ขึ้นและจมตัวนอนกันได้ง่าย สะดวกในการนำน้ำใสส่วนบนไปทิ้งหรือนำมาวิเคราะห์ไซยาไนด์ที่เหลือได้

ได้ทำการทดลองโดยนำสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์(KCN) เป็นตัวกำเนิดไซยาไนด์ และใช้สาร NaOCl เป็นตัว Oxidizing agent ดังสมการ



ปฏิกิริยาที่ 1 จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว โดยใช้เวลาประมาณ 2 นาที และในสภาวะของความเป็นด่างระหว่าง 9-11 ประมาณร้อยละ 80-90 ของไซยาไนด์จะถูกเปลี่ยนเป็นไซยานเท (KCNO) ซึ่งไม่เป็นพิษ หลังจากนั้นไซยานเทจะถูกเปลี่ยนไปเป็นไนโตรเจนตามปฏิกิริยาที่ 2 ที่ความเป็นด่างประมาณ 8.5 ปฏิกิริยานี้ค่อนข้างช้าใช้เวลาประมาณ 1 ชั่วโมง ( ดังนั้นจึงต้องใช้เวลาในการทดลอง 1 ชั่วโมงขึ้นไป)

และเนื่องจากได้สังเกตเห็นปัญหามลพิษของไซยาไนด์ในน้ำเสียของโรงงานชุบโลหะ จึงได้ทำการศึกษาทดลองวิธีการกำจัดสารไซยาไนด์โดยวิธี chemical oxidation โดยแปรค่าปริมาณ NaOCl , ความเป็นกรด-ด่าง และเวลา ที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์ในตัวอย่างนั้น ซึ่งจะทำให้ทราบค่าที่เหมาะสม ที่จะใช้ในการกำจัดไซยาไนด์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ในการกำจัดน้ำทิ้งด้วยวิธีใช้สารเคมีช่วยในการตกตะกอนจำเป็นต้องศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการเพื่อหาสารเคมีและค่าความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสมในการตกตะกอนและรวมทั้งหาประสิทธิภาพในการกำจัดด้วยวิธีการที่ง่ายที่สุดและใช้กันแพร่หลายที่สุดคือ JAR TEST

### วิธีการทดลองแบบ JAR TEST

1. เติมน้ำตัวอย่าง (ในที่นี้คือสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ที่เตรียมไว้ให้มีความเข้มข้นของไซยาไนด์ประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเป็นค่าไซยาไนด์เริ่มต้น) 500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ปรับ ความเป็นกรด-ด่าง ในบีกเกอร์ให้มีค่า 8.5 , 9 , 10 , 11 เติมสารเคมี NaOCl ลงไปจำนวนหนึ่ง เช่น 14 มิลลิลิตร ( ซึ่งค่านี้จะเป็นอัตราส่วนของ NaOCl : KCN = 1 : 1 หรือ 1 เท่า ซึ่งสามารถหาได้จากสมการและการคำนวณ) ในบีกเกอร์ที่มี ความเป็นกรด-ด่าง แต่ค่าทั้ง 4 ค่า และทำเช่นเดียวกันนี้เมื่อเติมสารเคมี NaOCl ลงในปริมาณ 10.5 และ 21.0 มิลลิลิตร ซึ่งเป็นอัตราส่วน NaOCl : KCN = 0.75 : 1 และ 1.5 : 1 ตามลำดับ

2. เดินเครื่องกวนน้ำในบีกเกอร์อย่างรวดเร็วประมาณ 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที แล้วเปลี่ยนมากวนช้า 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ตั้งทิ้งไว้ให้ตกตะกอน รินเอาน้ำใสที่ได้มาวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ว่ายังคงเหลืออยู่หรือหมดแล้ว และเพิ่มเวลาในการกวนช้าต่อไปอีกเป็น 2 , 3 ชั่วโมง แล้วแต่กรณี

3. เมื่อได้ค่า ความเป็นกรด-ด่างที่เหมาะสม และอัตราส่วนของสารเคมีที่เหมาะสมรวมทั้งเวลากวนเร็ว 5 นาที และการกวนช้า 1 ชั่วโมง , 2 ชั่วโมง , 3 ชั่วโมงแล้ว นำตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะจริง จาก line ต่างๆ มาทำการทดลองเช่นเดียวกันกับที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

### การทดลอง

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) เป็นตัวกำเนิดไซยาไนด์ จากสมการ oxidation (ข้างต้น) 1 กรัมของโพแทสเซียมไซยาไนด์จะสมมูลย์พอดีกับโซเดียมไฮโปคลอไรต์ 2.8 กรัม เท่ากับ 28 มิลลิลิตรของโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 10 (10% NaOCl)

จากการเตรียมสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ 1 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร จะมีไซยาไนด์อยู่ประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่เมื่อนำมาไทเทรตโดยตรงกับ  $AgNO_3$  จะได้ไซยาไนด์เริ่มต้นในแต่ละครั้งคือ 378 , 377 , 382 และ 382 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ (ดังตารางที่ 2) ตวงสารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ 500 มิลลิลิตร ลงในบีกเกอร์ขนาด 1 ลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่างด้วยกรดซัลฟิวริกในแต่ละบีกเกอร์เป็น 8.5, 9 ,10 และ 11 ตามลำดับ เติมโซเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 10 ในปริมาณ 10.5 ,14 และ 21 มิลลิลิตรในทุกตัวอย่าง (ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ในปริมาณ 0.75 , 1 , 1.5 เท่าของโพแทสเซียมไซยาไนด์) วัดความเป็นกรด-ด่าง

แล้วปรับค่าให้เท่าเดิม นำตัวอย่างทั้งหมด มาทวนด้วยเครื่องทวน (JAR TEST) โดยทวนด้วยความเร็ว 100 รอบต่อนาที เป็นเวลา 5 นาที คูดตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร มาไทเทรตกับ 0.0192 N ซิลเวอร์ไนเตรต ( $\text{AgNO}_3$ ) โดยมี paradimethyl aminobenzalrhodamine เป็น indicator จำนวนปริมาตรไซยาไนด์ที่เหลือเป็นมิลลิกรัมต่อลิตร ตัวอย่างสารละลายที่เหลือ นำมาปรับความเป็นกรด-ด่าง = 8.5 ทุกตัวอย่าง ในทุกความเป็นกรด-ด่าง แล้วนำมาทวนซ้ำๆ ด้วยความเร็ว 30 รอบต่อนาที เป็นเวลา 1 , 2 ชั่วโมง ตามลำดับ และวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ที่เหลืออีกครั้งหนึ่งโดยการไทเทรตกับ 0.0192 N  $\text{AgNO}_3$

## ตารางที่ 2 ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์ โดยการตกตะกอนด้วย NaOCl ด้วยเครื่องมือ

### JAR TEST

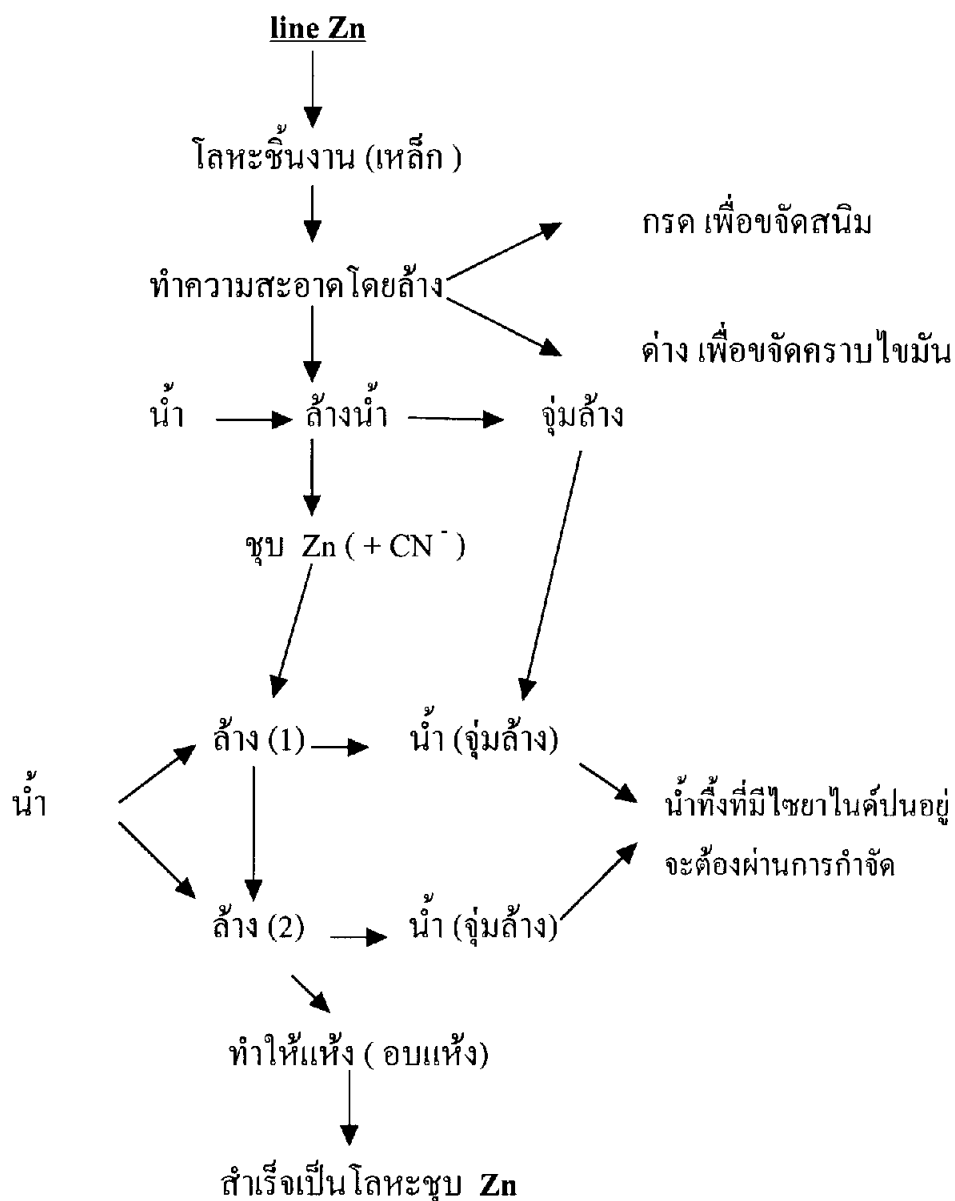
ไซยาไนด์เริ่มต้น mg/l	pHที่ใช้ในการ กำจัดไซยาไนด์	Naocl : KCN	ไซยาไนด์ กวนเร็ววันที่ mg/l	pH ที่ปรับ ก่อนกวนซ้ำ	ไซยาไนด์กวนซ้ำ (mg/l)		pH สุดท้าย
					1 ชั่วโมง	1 ชั่วโมง	
378	8.5	0.75:1	27	8.5	15	8	8.5
	8.5	1:1	20	8.5	14	9	8.4
	8.5	1.5:1	12	8.5	10	7	8.5
377	9.0	0.75:1	32	8.5	16	8	8.5
	9.0	1:1	20	8.5	14	8	8.5
	9.0	1.5:1	19	8.5	12	7	8.5
382	10.0	0.75:1	80	8.5	17	17	8.5
	10.0	1:1	7	8.5	2	2	8.4
	10.0	1.5:1	0	8.5	0	0	8.2
382	11.0	0.75:1	85	8.5	20	9	8.5
	11.0	1:1	2	8.5	1	1	8.3
	11.0	1.5:1	0	8.5	0	0	8.2

ผลที่ได้จากตาราง คือ เมื่อไซยาไนด์เริ่มต้นประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 10 และ 11 อัตราส่วน NaOCl:KCN 1.5:1 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดภายใน 5 นาทีจากผลการทดลอง(ตามตารางที่ 2) สรุปได้ว่า ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์ร้อยละ 10 ควรใช้ในอัตรา 1.5 เท่าของโพแทสเซียมไซยาไนด์ ที่ความเป็นกรด-ด่าง ระหว่าง 10-11 จึงจะกำจัดไซยาไนด์ได้ดี และหมดภายใน 5 นาที

### 3.การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะต่างๆด้วยสารเคมีโซเดียมไฮโปคลอไรต์โดยวิธีการของ JAR TEST

เป็นการทดลองกำจัดไซยาไนด์กับน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะ ซึ่งโรงงานชุบโลหะมีการชุบอยู่ 2 แบบคือ การชุบแข็ง (Hardening) และการชุบเคลือบ (Plating) จากกรรมวิธีการชุบโลหะจะมีสารประกอบไซยาไนด์ เช่น โพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN) โซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) เป็นตัวล้างผิวก่อนชุบโลหะให้เรียบ และช่วยให้สารที่เคลือบกับผิวโลหะติดดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีหม้อนุมูลโลหะต่างๆ ซึ่งเป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิต เช่น อนุมูลทองแดง โครเมต เหล็ก และยังมีพวกไขมัน กรด ค่าง ซึ่งออกมากับน้ำทิ้งของโรงงานประเภทนี้

จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ ใช้น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะประเภทสังกะสี (Zn) ซึ่งมีกระบวนการผลิต (PROCESS) ดังนี้



### การทดลอง

1. หาปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นของตัวอย่างน้ำทิ้งโรงงานชุบโลหะประเภท line ชุบ Zn ที่เก็บมาทดลองก่อนโดยวิธี standard method โดยนำตัวอย่างมาไทเทรตด้วย 0.0192 N  $\text{AgNO}_3$  และใช้ silver sensitive indicator หยกลงไป หาปริมาณไซยาไนด์ เช่นเดียวกับการทดลองในขั้นตอนการกำจัดข้างต้นจะได้ค่าไซยาไนด์เริ่มต้น 6 ค่า คือ 1287 . 650 . 450 . 400 . 350 และ 305 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

2. นำตัวอย่างน้ำทิ้ง ใส่ลงในบีกเกอร์ 1000 มิลลิลิตร ( 1 ลิตร) อย่างละ 500 มิลลิลิตร ปรับความเป็นกรด-ด่าง ด้วยกรดซัลฟิวริกหรือไฮเดียมไฮดรอกไซด์ ในแต่ละบีกเกอร์ เป็น 10 . 11 ตามลำดับ (จากการหาความเป็นกรด-ด่าง ที่เหมาะสมในการทดลองด้วยสารละลายมาตรฐาน โพแทสเซียมไซยาไนด์) เติมไฮเดียมไฮโปคลอไรต์ ร้อยละ 10 ในปริมาณ 1 และ 1.5 เท่าของ โพแทสเซียมไซยาไนด์ในทุกตัวอย่าง วัดความเป็น กรด-ด่าง แล้วปรับให้เท่าเดิม นำตัวอย่างใน บีกเกอร์มากวนด้วยเครื่องกวน โดยกวนด้วยความเร็ว 100 รอบ/นาที เป็นเวลา 5 นาที ดูตัวอย่าง 100 มิลลิลิตร มาไทเทรตด้วย 0.0192 N  $\text{AgNO}_3$  และคำนวณปริมาณไซยาไนด์ที่เหลือเป็น มิลลิกรัม/ลิตรตามวิธีการคำนวณข้างต้น ตัวอย่างที่เหลือในบีกเกอร์ นำมากวนต่อโดยกวนช้าๆ ด้วยความเร็ว 30 รอบ/นาที เป็นเวลา 1 . 2 และ 3 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยในแต่ละครั้งนำมา วิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ที่เหลือ ดังผลการทดลอง (ตามตารางที่ 3)

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์ของโรงงานชุบโลหะ (ชุบ Zn )โดยการตกตะกอนด้วย NaOCl ด้วยเครื่องมือ JAR TEST

ไซยาไนด์เริ่มต้น mg/l	pH ที่ใช้ในการกำจัดเริ่มต้น	NaOCl : KCN	ไซยาไนด์ที่อ่านได้ขณะกวนเร็ว (100 รอบ/นาที)		pH ที่ปรับให้เท่ากับของเดิม (30 รอบ/นาที)	ไซยาไนด์ที่อ่านได้ขณะกวนช้า (30 รอบ/นาที)						pH ที่วัดได้หลังจาก 3 ชั่วโมงแล้ว
			รณที			1 ชั่วโมง		2 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง		
			mg/l	%		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	
1287	10	1:1	750	41.8	8.5	450	65.0	350	72.8	350	72.8	8.4
	10	1.5:1	400	69.0	8.5	250	80.5	250	80.5	250	80.5	8.5
	11	1:1	750	41.8	8.5	450	65.0	300	76.7	300	76.7	8.4
	11	1.5:1	350	72.8	8.5	250	80.5	200	84.5	200	84.5	8.4
650	10	1:1	300	53.8	8.5	210	67.6	180	72.3	150	77.0	8.7
	10	1.5:1	170	73.8	8.5	130	80.0	120	81.5	100	84.6	8.6
	11	1:1	300	53.8	8.5	200	69.2	150	77.0	130	80.0	8.7
	11	1.5:1	170	73.8	8.5	120	81.5	100	84.6	90	86.0	8.7
450	10	1:1	200	55.6	8.5	134	70.2	122	72.9	95	78.9	8.7
	10	1.5:1	90	80.0	8.5	60	86.7	52	88.4	50	88.9	8.8
	11	1:1	100	59.1	8.5	130	71.1	104	76.9	91	79.8	8.8
	11	1.5:1	70	84.4	8.5	58	87.1	50	88.9	42	90.6	8.8
400	10	1:1	140	65.0	8.5	95	76.3	60	85.0	45	88.8	8.7
	10	1.5:1	50	87.5	8.5	38	90.5	35	91.3	24	94.0	8.8
	11	1:1	120	70.0	8.5	90	77.5	55	86.3	36	91.0	8.8
	11	1.5:1	45	88.8	8.5	30	92.5	24	94.0	16	96.0	8.8
350	10	1:1	100	71.5	8.5	40	88.6	20	94.3	10	97.2	8.7
	10	1.5:1	0	100	8.5	0	100	0	100	0	100	8.9
	11	1:1	100	71.5	8.5	40	88.6	20	94.3	10	97.2	8.8
	11	1.5:1	0	100	8.5	0	100	0	100	0	100	8.7
305	10	1:1	42	86.2	8.5	33	89.2	0	100	0	100	8.7
	10	1.5:1	0	100	8.5	0	100	0	100	0	100	8.7
	11	1:1	37	87.9	8.5	27	91.1	0	100	0	100	8.7
	11	1.5:1	0	100	8.5	0	100	0	100	0	100	8.8

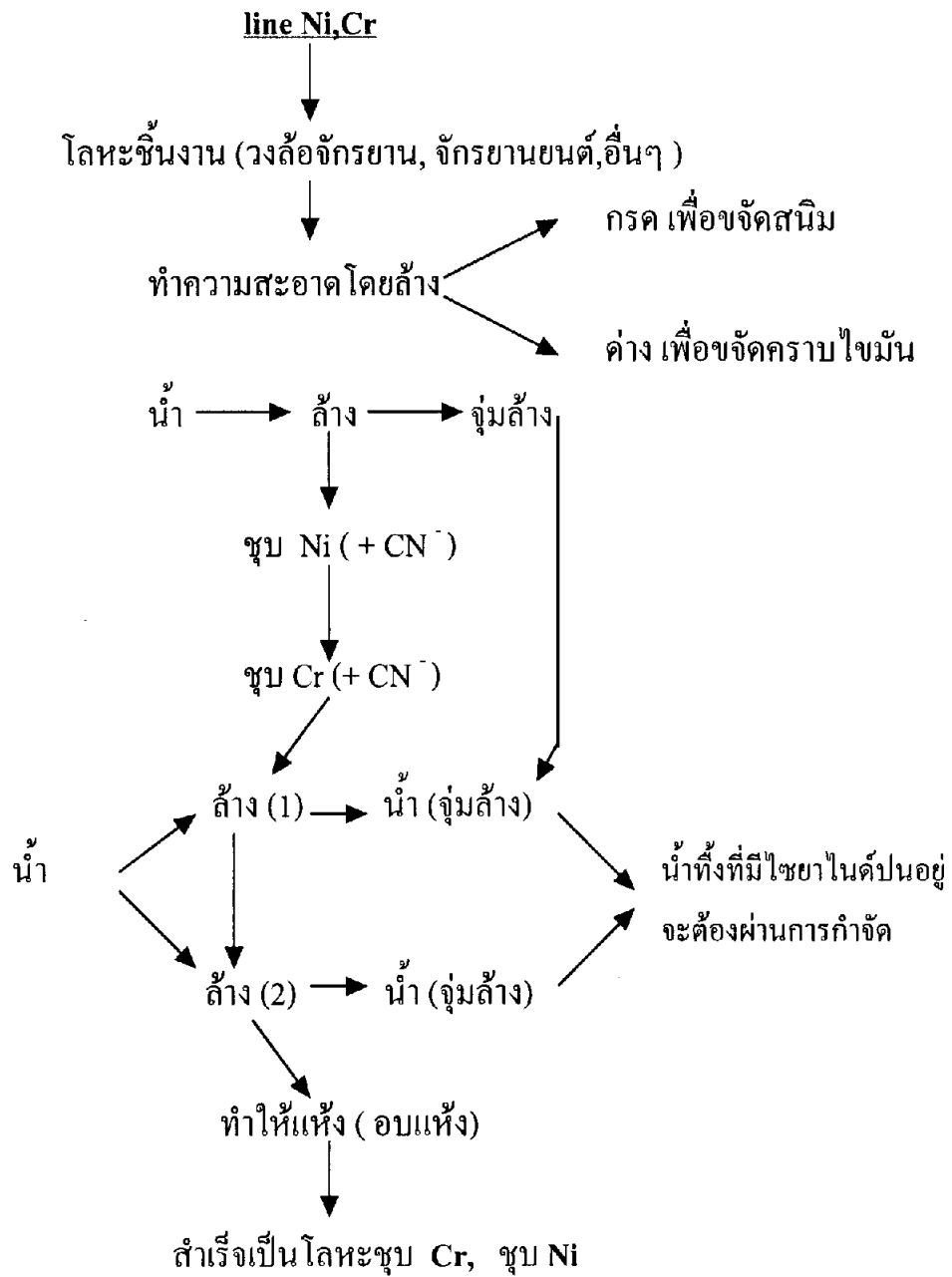
จากการทดลองใช้ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นจำนวน 6 ค่า ตั้งแต่ 305 ถึง 1287 มิลลิกรัมต่อลิตร ( mg/l ) จะเห็นได้ว่าความเข้มข้นของไซยาไนด์ประมาณ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร และ 305 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดในเวลา 5 นาที ความเป็นกรด-ด่างที่ 10 และ 11 อัตราส่วน NaOCl : KCN 1.5 : 1 ส่วนค่าที่สูงกว่า 350 มิลลิกรัมต่อลิตรไม่สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมด จึงสรุปได้ว่าการกำจัดไซยาไนด์ให้ได้ผลดีควรทำการเจือจางตัวอย่างให้มีความเข้มข้นต่ำกว่า 350 มิลลิกรัมต่อลิตรเสียก่อน

ผลการทดลอง(ตามตารางที่3) สรุปได้ว่า ตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะที่มีปริมาณไซยาไนด์สูงกว่า 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็น กรด-ด่าง 10 และ 11 อัตราส่วนของ NaOCl : KCN 1 : 1 หรือ 1.5 : 1 มี เปอร์เซ็นต์ (%) การกำจัดไซยาไนด์ด้วย NaOCl สูงสุดเพียง 88-89 เปอร์เซ็นต์ ในการกวนเร็ว 5 นาที และต้องกวนอย่างน้อย 3 ชั่วโมง จึงจะได้ 94 ถึง 96 เปอร์เซ็นต์ แต่ปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นที่ต่ำกว่า 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 10 และ 11 ต้องใช้อัตราส่วนของ NaOCl : KCN ในปริมาณอย่างน้อย 1.5 : 1 ขึ้นไปจึงจะกำจัดไซยาไนด์ทั้งหมด คือมี เปอร์เซ็นต์การกำจัดของ NaOCl ถึง 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนน้ำทิ้งที่มีปริมาณไซยาไนด์สูงมาก จำเป็นต้องใช้ปริมาณโซเดียมไฮโปคลอไรต์จำนวนมาก (เป็นสัดส่วน ขึ้นไปหรืออาจใช้การทำน้ำทิ้งให้เจือจางก่อนโดยให้มีปริมาณไซยาไนด์ประมาณ 350 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วจึงใส่โซเดียมไฮโปคลอไรต์ในปริมาณอย่างน้อย 1.5 เท่า ของ KCN จึงจะได้ผลดี)

หลังจากนั้นนำตัวอย่างจากโรงงานชุบโลหะ line Ni ,Cr และline Cu มาทดลองเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพของ NaOCl ในการกำจัดน้ำทิ้ง ตามวิธีการเดียวกับที่ทดลองใน line Zn

.ในตัวอย่างน้ำทิ้งจากโรงชุบโลหะ line Ni ,Cr เมื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นจะมีค่าไซยาไนด์ค่อนข้างต่ำ ดังนั้นจึงได้ทดลองกับน้ำทิ้งที่มีไซยาไนด์เริ่มต้น 135 . 58 และ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร เช่นเดียวกับโรงชุบโลหะ line Cu ซึ่งจะมีค่าไซยาไนด์เริ่มต้น 120 . 56 . 92 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลจากการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 4 และ ตารางที่ 5 ตามลำดับ

กรรมวิธีการผลิต ( process ) ของโรงงานชุบโลหะประเภท line Ni, Cr

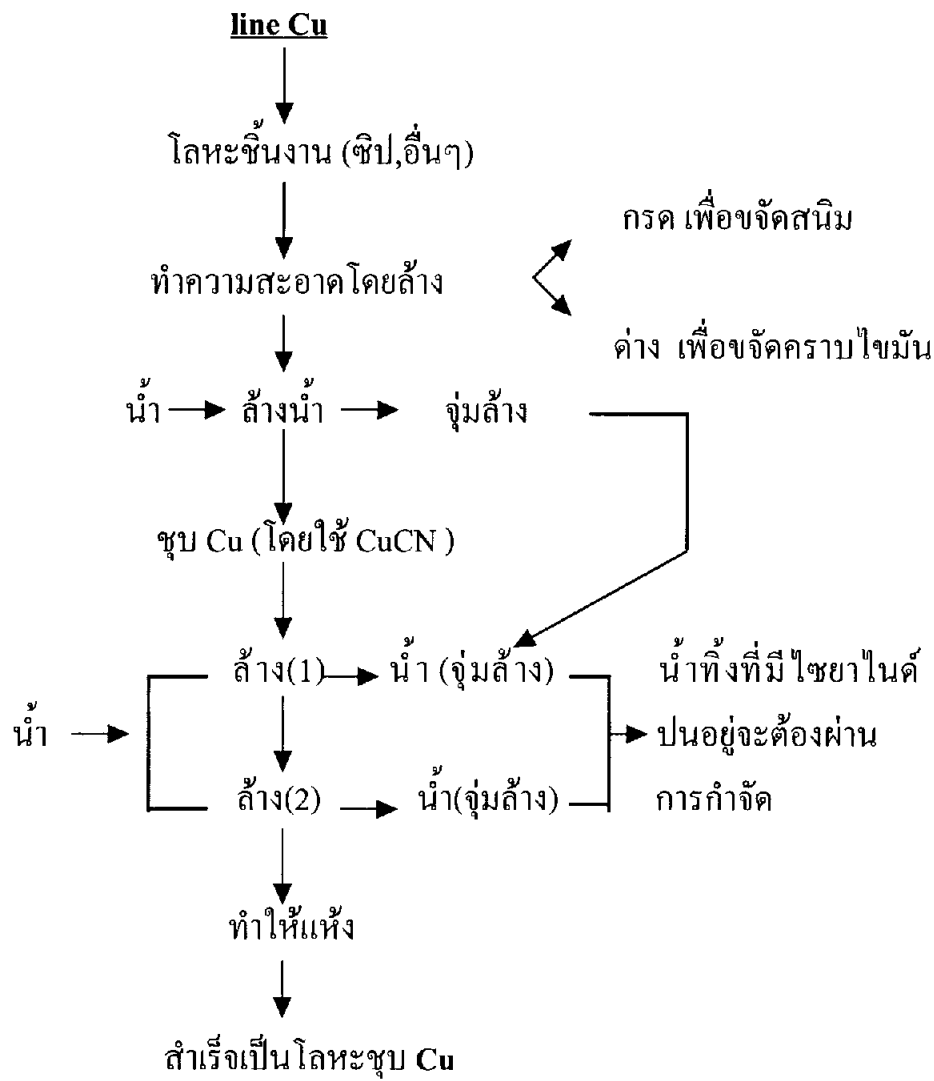


ตารางที่ 4 ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์ของโรงงานชุบโลหะ (ชุบ Ni, Cr)

ไซยาไนด์ เริ่มต้น	pH ที่ใช้ ในการกำจัด เริ่มต้น	NaOCl :KCN	ไซยาไนด์ที่อ่านได้ขณะ กวนเร็ว (100 รอบ/นาที)		pH ที่ปรับ ใหม่ ก่อน กวนช้า  (30 รอบ/นา ที)	ไซยาไนด์ที่อ่านได้ขณะกวนช้า (30 รอบ/นาที)						pH ที่วัด ได้หลัง  จาก 3 ชั่วโมง แล้ว
			รสนที			1 ชั่วโมง		2 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง		
			mg/l	%		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	
135	10	1:1	40	70.4	8.5	10	92.6	0	100	0	100	8.4
	10	1.5:1	36	73.3	8.5	9	93.3	0	100	0	100	8.4
	10	2:1	34	74.8	8.5	8	94.4	0	100	0	100	8.5
	11	1:1	36	73.3	8.5	6	95.6	0	100	0	100	8.8
	11	1.5:1	28	79.26	8.5	5	96.3	0	100	0	100	8.8
	11	2:1	24	82.2	8.5	4	97.0	0	100	0	100	8.9
58	10	1:1	15.5	73.3	8.5	4	93.1	0	100	0	100	8.5
	10	1.5:1	11.0	81.0	8.5	0	100	0	100	0	100	8.4
	10	2:1	9.0	84.5	8.5	0	100	0	100	0	100	8.5
	11	1:1	13.0	77.6	8.5	2.5	95.7	0	100	0	100	8.6
	11	1.5:1	10.0	82.8	8.5	0	100	0	100	0	100	8.6
	11	2:1	8.0	86.2	8.5	0	100	0	100	0	100	8.6
3	10	1:1	0.5	83.3	8.5	0	100	0	100	0	100	8.4
	10	1.5:1	0.3	90.0	8.5	0	100	0	100	0	100	8.5
	10	2:1	0	100	8.5	0	100	0	100	0	100	8.6
	11	1:1	0.4	86.7	8.5	0	100	0	100	0	100	8.6
	11	1.5:1	0.2	93.3	8.5	0	100	0	100	0	100	8.7
	11	2:1	0	100	8.5	0	100	0	100	0	100	8.8

จากการทดลองนี้ ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นจำนวน 3 ค่า ตั้งแต่ 3 มิลลิกรัมต่อลิตร- 135 มิลลิกรัมต่อลิตร (mg/l) จะเห็นได้ว่าปริมาณไซยาไนด์ที่ใช้ 58 มิลลิกรัมต่อลิตรหรือต่ำกว่านี้ ที่ความเป็นกรด-ด่าง 10 และ 11 อัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 1.5 : 1 จะสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดภายใน 1 ชั่วโมง แต่ถ้าความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นสูงกว่า 58 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่องค์ประกอบเดิม จะสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดนานกว่า 1 ชั่วโมง ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของปริมาณไซยาไนด์

กรรมวิธีการผลิต(process)ของโรงงานชุบโลหะประเภท line Cu



ตารางที่ 5 ผลการทดลองการกำจัดไซยาไนด์ของโรงงานชุบโลหะ(ชุบ Cu)

ไซยาไนด์ เริ่มต้น	pH ที่ใช้ ในการกำจัด เริ่มต้น	NaOCl : KCN	ไซยาไนด์ที่อ่านได้ขณะ ความเร็ว (100 รอบ/นาที) 5 นาที		pH ที่ปรับ ใหม่ ก่อน ความช้า (30 รอบ/ นาที)	ไซยาไนด์ที่อ่านได้ขณะความช้า (30 รอบ/นาที)						pH ที่วัดได้ หลังจาก 3 ชั่วโมงแล้ว
						1 ชั่วโมง		2 ชั่วโมง		3 ชั่วโมง		
			mg/l	%		mg/l	%	mg/l	%	mg/l	%	
120	10	1:1	100	16.67	8.5	82	31.7	68	43.3	62	48.3	8.6
	10	1.5:1	80	33.33	8.5	66	45.0	58	51.7	51	57.5	8.6
	10	2:1	65	45.8	8.5	51	57.5	48	60.0	42	65.0	8.6
	11	1:1	90	25.0	8.5	76	36.7	65	45.8	60	50.0	8.6
	11	1.5:1	75	37.5	8.5	60	50.0	51	57.5	48	60.0	8.6
	11	2:1	62	48.33	8.5	50	58.3	46	61.6	40	66.7	8.5
56	10	1:1	40	26.8	8.5	16	71.4	6	89.3	0	100	8.5
	10	1.5:1	30	44.2	8.5	16	71.4	6	89.3	0	100	8.5
	10	2:1	28	50.0	8.5	12	78.6	4	92.9	0	100	8.6
	11	1:1	26	51.8	8.5	12	78.6	0	100	0	100	8.6
	11	1.5:1	24	57.1	8.5	10	82.1	0	100	0	100	8.6
	11	2:1	22	60.7	8.5	10	82.1	0	100	0	100	8.6
9.2	10	1:1	5	45.65	8.5	1.8	80.4	0	100	0	100	8.5
	10	1.5:1	4	55.52	8.5	1.0	89.1	0	100	0	100	8.5
	10	2:1	3	67.39	8.5	1.0	89.1	0	100	0	100	8.6
	11	1:1	3	67.39	8.5	1.0	89.1	0	100	0	100	8.5
	11	1.5:1	3	97.39	8.5	0.9	90.2	0	100	0	100	8.5
	11	2:1	2	78.26	8.5	0.8	91.3	0	100	0	100	8.6

จากการทดลอง ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นต่ำกว่า 56 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ ความ เป็นกรด-ด่าง 11 อัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 1:1 ขึ้นไปจะสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมด ภายใน 2 ชั่วโมง แต่ถ้าความเข้มข้นของไซยาไนด์สูงกว่านี้ต้องทำการเจือจางตัวอย่างให้ต่ำกว่า 56 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะได้ผลดี หรืออาจเปลี่ยนองค์ประกอบให้เหมาะสมขึ้น

ผลการทดลองสรุปได้ว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองตามตารางที่ 4 ปรากฏว่า น้ำทิ้งที่มีปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้น 58 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 10 และ 11 อัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 1.5 : 1 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดภายใน 1 ชั่วโมง และตามตารางที่ 5 ปรากฏว่าน้ำทิ้งที่มีปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้น 56 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 11 อัตราส่วน NaOCl : KCN 1 : 1 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดภายใน 2 ชั่วโมง (หมายเหตุ เนื่องจากน้ำทิ้งโรงงานชุบโลหะ line Ni ,Cr และline Cu ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ด้วย NaOCl ก่อนข้างช้า จึงได้ทดลองเติมสาร NaOCl ในปริมาณที่มากขึ้นเป็นจำนวน 2 เท่าของ KCN ด้วย )

## บทที่ 4

### วิจารณ์ผลและสรุปผลการทดลองทั้งหมด

#### วิจารณ์ผล

การทดลองในขั้นตอนแรก เป็นการเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์หาปริมาณตาม Standard method กับ ISO/DIS 6703/1 เพื่อหาวิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์ และนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ในน้ำเสียที่ผ่านการทดลองกำจัดไซยาไนด์โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี (chemical oxidation) โดยใช้เครื่องมือ JAR TEST และเนื่องจากวิธี standard method ได้กำหนดไว้ว่าถ้าความเข้มข้นของไซยาไนด์ต่ำกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ใช้วิธีวัดสีด้วยสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (spectrophotometer) แต่ถ้าสูงกว่า 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ใช้วิธีไทเทรต ผลจากการทดลองเปรียบเทียบกัน ปรากฏว่าค่าไซยาไนด์เฉลี่ย หรือ ที่ได้ตามวิธี standard method ในการวัดสีช่วงความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร-1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ 0.094 , 0.192 และ 0.470 มิลลิกรัมต่อลิตรมีค่าใกล้เคียงกับวิธีการไทเทรตโดยตรงคือ 0.090 , 0.186 และ 0.452 มิลลิกรัมต่อลิตร และใกล้เคียงกับสารละลายมาตรฐานไซยาไนด์คือ 0.1, 0.2 และ 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร แต่ในช่วง 1 มิลลิกรัมต่อลิตรขึ้นไปวิธี ISO/DIS 6703/1 จะได้ผลที่ใกล้เคียงกับการไทเทรตโดยตรง และคิดว่าวิธี standard method เล็กน้อย แต่เนื่องจากวิธี standard method เป็นวิธีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันในห้องปฏิบัติการกรมวิทยาศาสตร์บริการ และเป็นวิธีมาตรฐานสำหรับน้ำ และน้ำเสียของหน่วยงานต่างประเทศที่ใช้อย่างองอยู่ ส่วนวิธีในการทดลอง คือการกลั่นก่อนนำมาวิเคราะห์ใช้น้ำยาเคมีเพียง 2 ตัว ในขณะที่วิธี ISO/DIS 6703/1 ใช้ถึง 7 ตัว และน้ำยาเคมีบางตัว เช่น tin chloride ต้องเตรียมและใช้ทันทีและต้องเตรียมในปริมาณที่พอใช้เฉพาะครั้งหนึ่งๆ เท่านั้น เพราะเก็บไว้ใช้นานไม่ได้ จะเกิดตะกอนต้องเททิ้งไป ทำให้สิ้นเปลืองสารเคมี และเสียเวลาในการเตรียมน้ำยาเคมีทุกครั้งก่อนการวิเคราะห์ จึงเห็นว่าวิธี standard method ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้อยู่ประจำเหมาะสมแล้ว

ขั้นตอนสอง เป็นการหาค่าองค์ประกอบ (factor) ที่เหมาะสมในการตกตะกอนไซยาไนด์ โดยใช้สารละลายมาตรฐานโพแทสเซียมไซยาไนด์ โดยกำหนดค่า ความเป็นกรด-ด่าง 8.5, 9.0, 10.0 และ 11.0 อัตราส่วนของ NaOCl : KCN เป็น 0.75 : 1 , 1 : 1 และ 1.5 : 1 ใช้เวลาในการกวนเร็ว 5 นาที และการกวนช้า 1, 2 และ 3 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าเมื่อใช้ไซยาไนด์เริ่มต้นประมาณ 400 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรด-ด่าง 8.5 และ 9.0 อัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 0.75 : 1 , 1 : 1 และ 1.5 : 1 ไม่สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมด แต่ที่ความเป็นกรด-ด่าง 10.0 และ 11.0 อัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 1 : 1 และ 1.5 : 1 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ดีจนหมดหรือเกือบหมดในเวลา 5 นาทีขึ้นไป แสดงว่าองค์ประกอบที่เหมาะสม สำหรับปริมาณไซยาไนด์ ประมาณ

400 มิลลิกรัมต่อลิตร ต้องใช้ความเป็นกรด-ด่าง 10.0-11.0 และอัตราส่วน NaOCl : KCN เป็น 1 : 1 และ 1.5 : 1

จึงนำองค์ประกอบข้างต้นนี้มาใช้ในการทดลองกับน้ำทิ้งโรงงานชุบโลหะจริงซึ่งมีสารรบกวน(interfere) ปนอยู่ ปรากฏว่าประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์จะลดลงกว่าเดิมซึ่งใช้สารละลายมาตรฐาน KCN เป็นตัวกำเนิดไซยาไนด์เล็กน้อย(ซึ่งสามารถยืนยันได้จาก ตารางที่ 1 ที่นำน้ำทิ้งที่ไม่มีไซยาไนด์ แต่มีสารรบกวนมาทดลอง) โดยโรงงานชุบโลหะ line Zn จะกำจัดไซยาไนด์ได้หมด(100%) เมื่อความเข้มข้นต่ำกว่า 350 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ ความเป็นกรด-ด่าง 10.0 และ 11.0 อัตราส่วน NaOCl : KCN 1.5 : 1 ใช้เวลา 5 นาทีขึ้นไป ดังตารางที่ 3 ถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้ ควรทำน้ำตัวอย่างให้เจือจางต่ำกว่า 350 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะกำจัดได้ผลดี line Ni, Cr จะกำจัดไซยาไนด์ได้หมด(100%) เมื่อความเข้มข้นต่ำกว่า 58 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 10.0 และ 11.0 อัตราส่วน NaOCl : KCN 1.5 : 1 ใช้เวลา 1 ชั่วโมงขึ้นไป ดังตารางที่ 4 ส่วน line Cu ประสิทธิภาพในการกำจัดค่อนข้างช้ามาก ใช้เวลานานกว่า 2 ชั่วโมงที่ความเป็นกรด-ด่าง 11.0 อัตราส่วน NaOCl : KCN 1 : 1 ขึ้นไป เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์ต่ำกว่า 56 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังตารางที่ 5

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการทดลองกำจัดไซยาไนด์โดยวิธีการตกตะกอนทางเคมี โดยใช้ NaOCl นั้น โรงงานชุบโลหะ line ชุบ Zn จะได้ผลดีที่สุด โดยใช้เวลาน้อยที่สุดในการกำจัด คือ 5 นาที และใช้ปริมาณไซยาไนด์เริ่มต้นสูงกว่า line Ni, Cr และ line Cu รองลงมาคือ line Ni, Cr ซึ่งใช้เวลาในการกำจัด นาน 1 ชั่วโมง ส่วน line Cu จะให้ผลกำจัดที่ไม่ดีนักเมื่อเปรียบเทียบกับ 2 line แรก และใช้เวลานานกว่า 2 ชั่วโมง

ในปัจจุบัน การศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในโรงงานชุบโลหะ เป็นการศึกษาการกำจัดของน้ำทิ้งรวมหรือน้ำทิ้งผสมจากlineต่างๆที่รวมกันออกมาก่อนปล่อยทิ้งลงน้ำสาธารณะไม่ได้ศึกษาทดลองแยกแต่ละline ดังนั้นผลงานนี้จึงน่าจะเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรม และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้องนำไปใช้ประโยชน์ได้หรือเป็นแนวทางในการกำจัดน้ำทิ้งให้ได้มาตรฐานก่อนปล่อยลงสู่ลำน้ำสาธารณะเพื่อลดการเกิด มลพิษในสิ่งแวดล้อม แต่ขณะนี้ยังมิได้มีการจัดทำเป็นเอกสารเผยแพร่ จึงยังไม่มี การถ่ายทอดเทคโนโลยีอย่างเป็นทางการ แต่เมื่อได้รับการพิจารณาให้จัดพิมพ์เป็นเอกสารสำหรับเผยแพร่ได้ โรงงานอุตสาหกรรมประเภทโรงชุบโลหะจะเป็นผู้ได้รับผลประโยชน์โดยตรง โรงงานที่คล้ายคลึงกัน หน่วยงาน และเจ้าหน้าที่ที่เกี่ยวข้อง นิสิตนักศึกษาที่ต้องการข้อมูลในการศึกษาวิจัยจะได้รับการถ่ายทอดทางอ้อม

### สรุปผลการทดลอง

ผลจากการศึกษาทดลองทั้งหมด พอจะสรุปเป็นสาระที่สำคัญซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางปฏิบัติได้จริงทั้งในห้องปฏิบัติการและโรงงานอุตสาหกรรมดังนี้

1. วิธีวิเคราะห์ตาม standard method for the examination of water and wastewater ของ APHA มีความเหมาะสม ที่จะใช้วิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์ในน้ำทิ้งประเภทโรงชุบโลหะ

2. น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะประเภท line Zn เมื่อใช้สารเคมี NaOCl ใสลงไป ปริมาณ 1-1.5 เท่าของ KCN จะมีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ที่มีความเข้มข้นตั้งแต่ 1287 - 305 มิลลิกรัมต่อลิตร ในระยะสั้นคือ 5 นาที ได้ 42-100 เปอร์เซ็นต์ ตามความเข้มข้นของน้ำทิ้ง แต่ถ้าต้องการให้ได้ 100 เปอร์เซ็นต์ จะต้องทำการเจือจางน้ำตัวอย่างให้มีความเข้มข้นต่ำกว่า 350 มิลลิกรัมต่อลิตร (ตามตารางที่ 3 และรูปที่ 4)

3. น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะประเภท line Ni, Cr ประสิทธิภาพในการกำจัดจะค่อนข้างช้า ใช้เวลานานกว่า 1 ชั่วโมงที่ความเป็นกรด-ด่าง 10.0 และ 11.0 ใช้ปริมาณสาร NaOCl 1.5 เท่าของ KCN และความเข้มข้นของไซยาไนด์ต่ำกว่า 58 มิลลิกรัมต่อลิตร จึงจะกำจัดได้ดี (ตามตารางที่ 4 และ รูปที่ 5)

4. น้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะประเภท line Cu ประสิทธิภาพในการกำจัด โดยใช้สารเคมี NaOCl ค่อนข้างช้า และใช้เวลานานมากกว่า 2 line ข้างต้น คือความเข้มข้นของไซยาไนด์ต่ำกว่า 56 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่ความเป็นกรด-ด่าง 11.0 ใช้ปริมาณสาร NaOCl 1 เท่าของ KCN ต้องใช้เวลาในการกำจัดไซยาไนด์นานกว่า 2 ชั่วโมง จึงจะได้ผลดี (ตามตารางที่ 5 และรูปที่ 6)

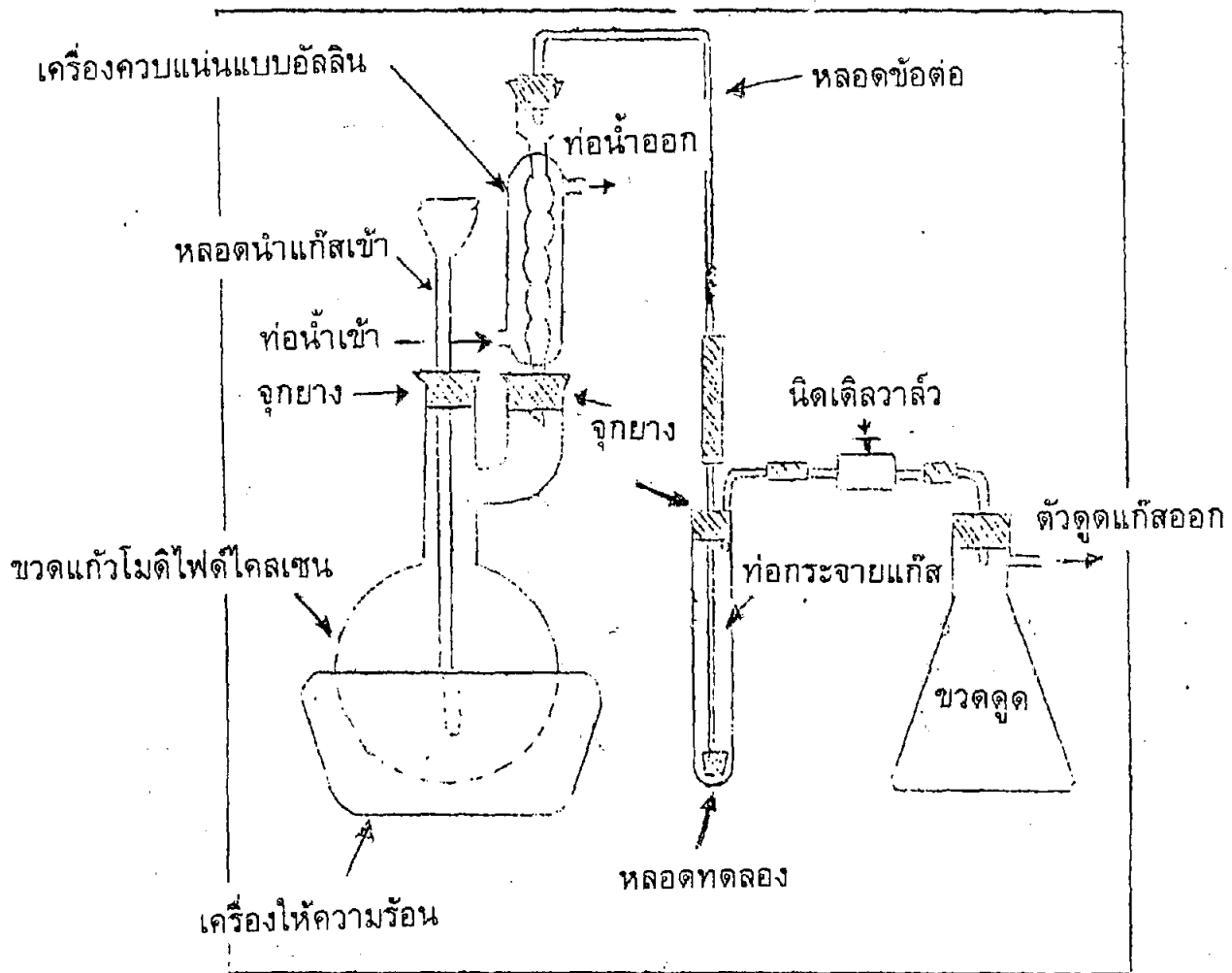
### ผลจากการวิจัย

ผลจากการวิจัยนี้จะเป็นแนวทางในการกำจัดสารมลพิษ คือ ไซยาไนด์ให้ดีขึ้นและได้ตามมาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้กำหนดไว้ นอกจากนี้ยังเป็นแนวทางในการทดลองกับสารมลพิษอื่นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันด้วย และโรงงานอุตสาหกรรมประเภทโรงชุบโลหะนี้สามารถนำผลจากการวิจัยมาทดลองกับโรงงานอุตสาหกรรมของตนเองและหาองค์ประกอบที่เหมาะสมกับน้ำทิ้งของแต่ละโรงงานได้

### ข้อเสนอแนะ

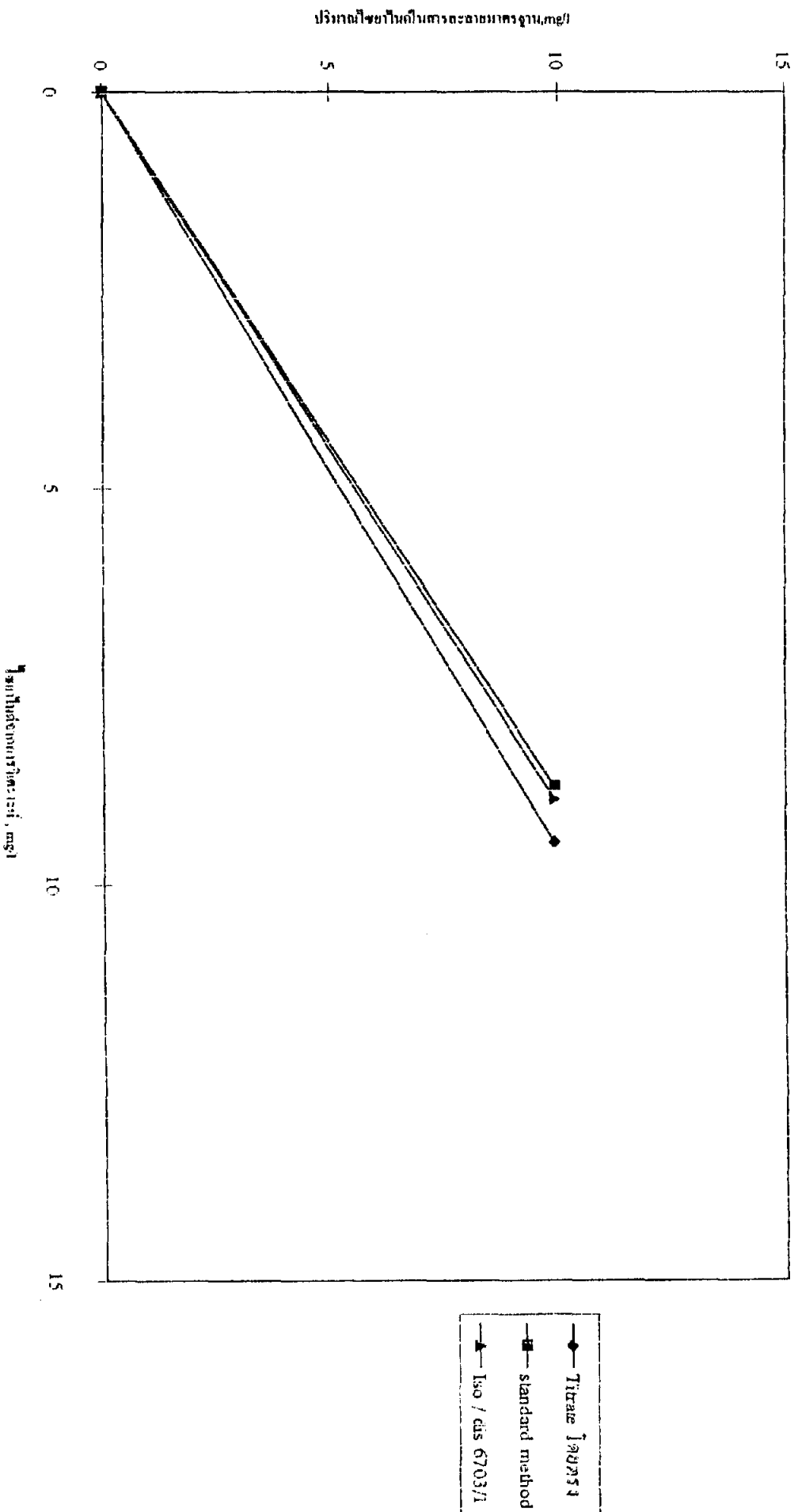
โรงงานอุตสาหกรรมประเภทโรงชุบโลหะ จะมีสารมลพิษปะปนออกมาจากกระบวนการผลิตมากมาย ซึ่งจะต้องหาวิธีการกำจัดทั้งทางเคมี และชีววิทยาก่อนปล่อยทิ้งลงสู่ลำน้ำสาธารณะ มิฉะนั้นอาจจะเกิดเป็นอันตรายต่อสิ่งมีชีวิต และมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นทางโรงงานอุตสาหกรรมควรที่จะร่วมมือกับเจ้าหน้าที่ของรัฐหรือหน่วยงานของรัฐในการศึกษาค้นคว้าหรือวิจัยขั้นต่อไป เพื่อที่จะพัฒนาเทคโนโลยีในการกำจัดให้ดีขึ้นและนำผลที่ได้มาใช้

ประโยชน์ หรือเป็นแนวทางในการกำจัดการมลพิษเหล่านี้ให้เหลือน้อยที่สุดและได้ตาม  
มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ได้กำหนดไว้



รูปที่ 1 เครื่องกลั่นไซยาไนด์

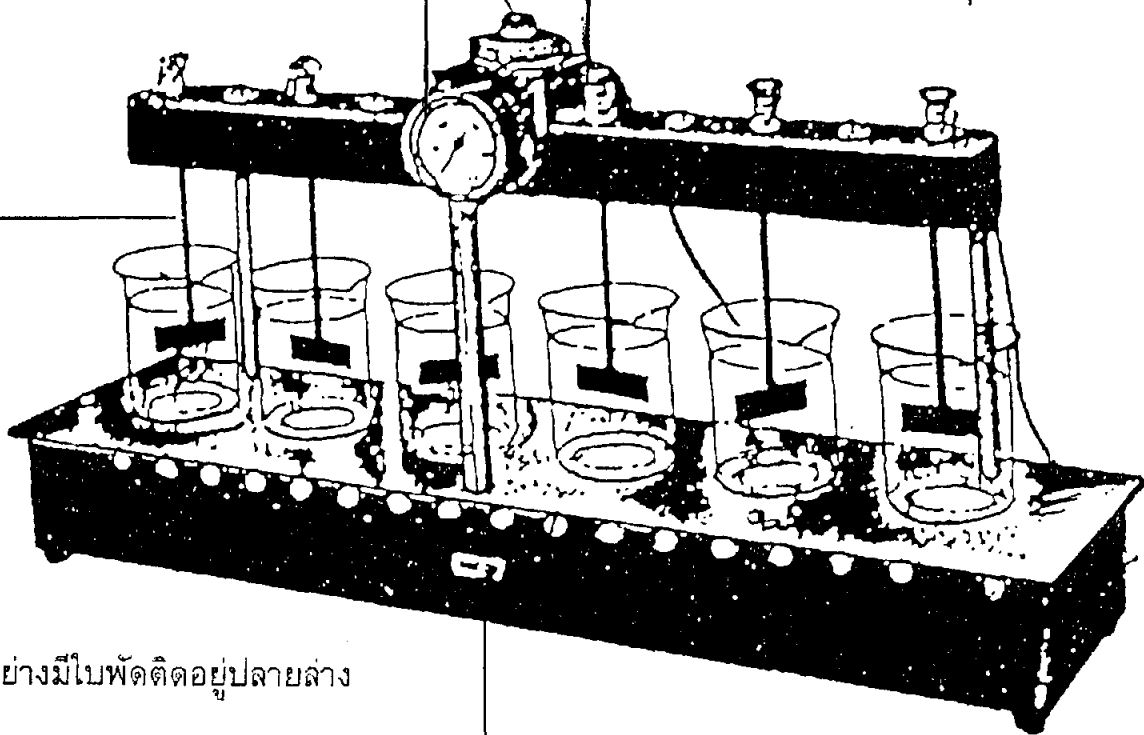
รูปที่ ๒ เปรียบเทียบกราฟการละลายมาตรฐานโซเดียมไซยาไนด์ วิธี (method) ต่างๆ



ผลจากการวิเคราะห์เมื่อนำมาทำเป็นกราฟเปรียบเทียบ จะเห็นได้ว่าวิธี standard method และวิธี ISO/DIS 6703/1 จะให้ผลหรือเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกับวิธีไทเทรตโดยตรงมาก ในช่วงความเข้มข้น 0.1 มย/ล-1.0 มย/ล. ส่วนในช่วง 1.0 มย/ล-20.0 มย/ล. วิธี ISO/DIS 6703/1 จะให้ผลหรือเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกับวิธีไทเทรตโดยตรงและดีกว่าวิธี standard method เล็กน้อย

สวิตช์ปรับความเร็วรอบที่ใช้ในการกวนตัวอย่าง (รอบต่อนาที)  
เกจวัดความเร็วรอบ

สวิตช์ปิด-เปิด การหมุนของแท่งกวนตัวอย่าง

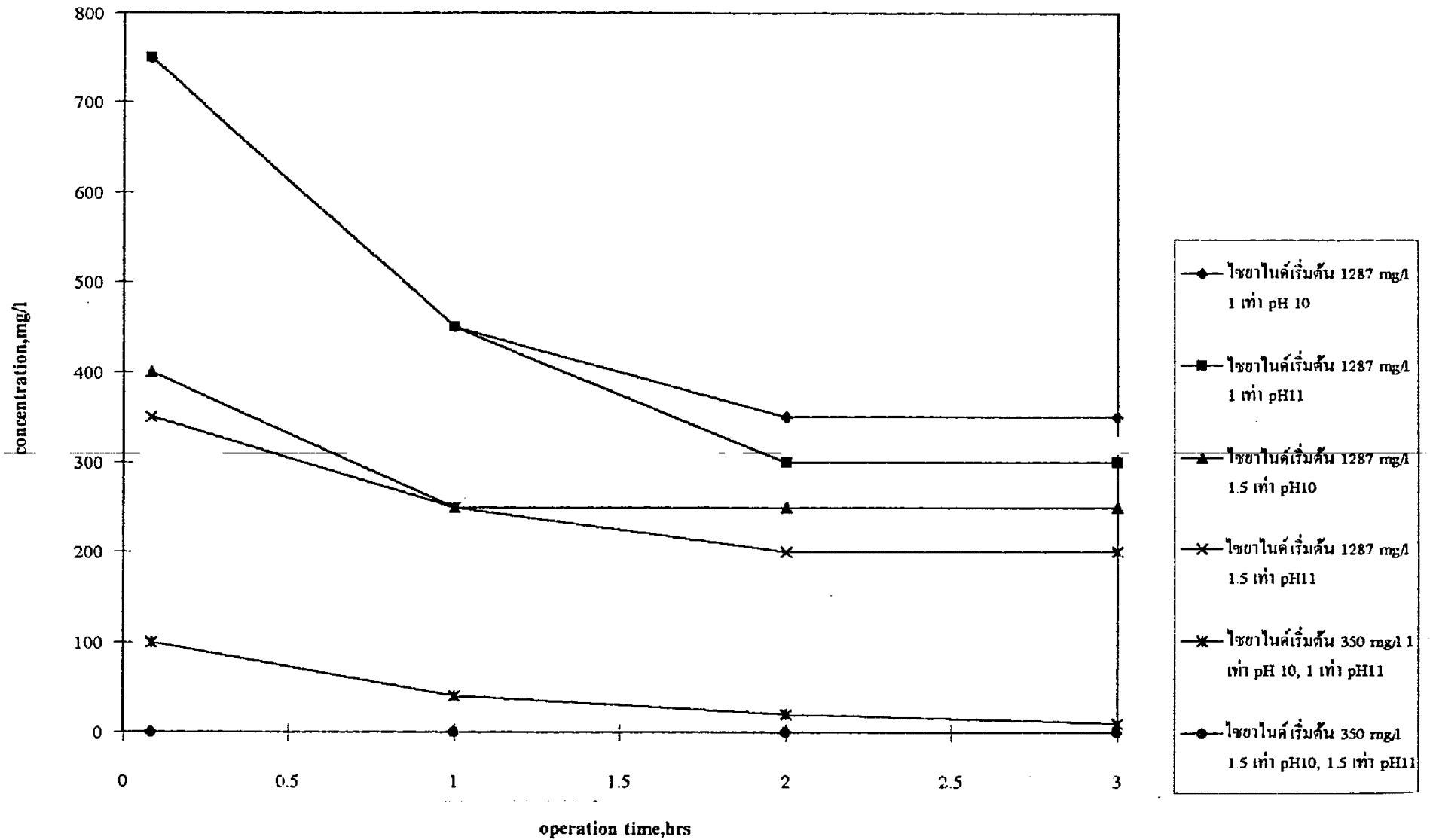


แท่งกวนตัวอย่างมีใบพัดติดอยู่ปลายล่าง

แท่นสำหรับวางภาชนะที่ใส่ตัวอย่างพร้อมกวน

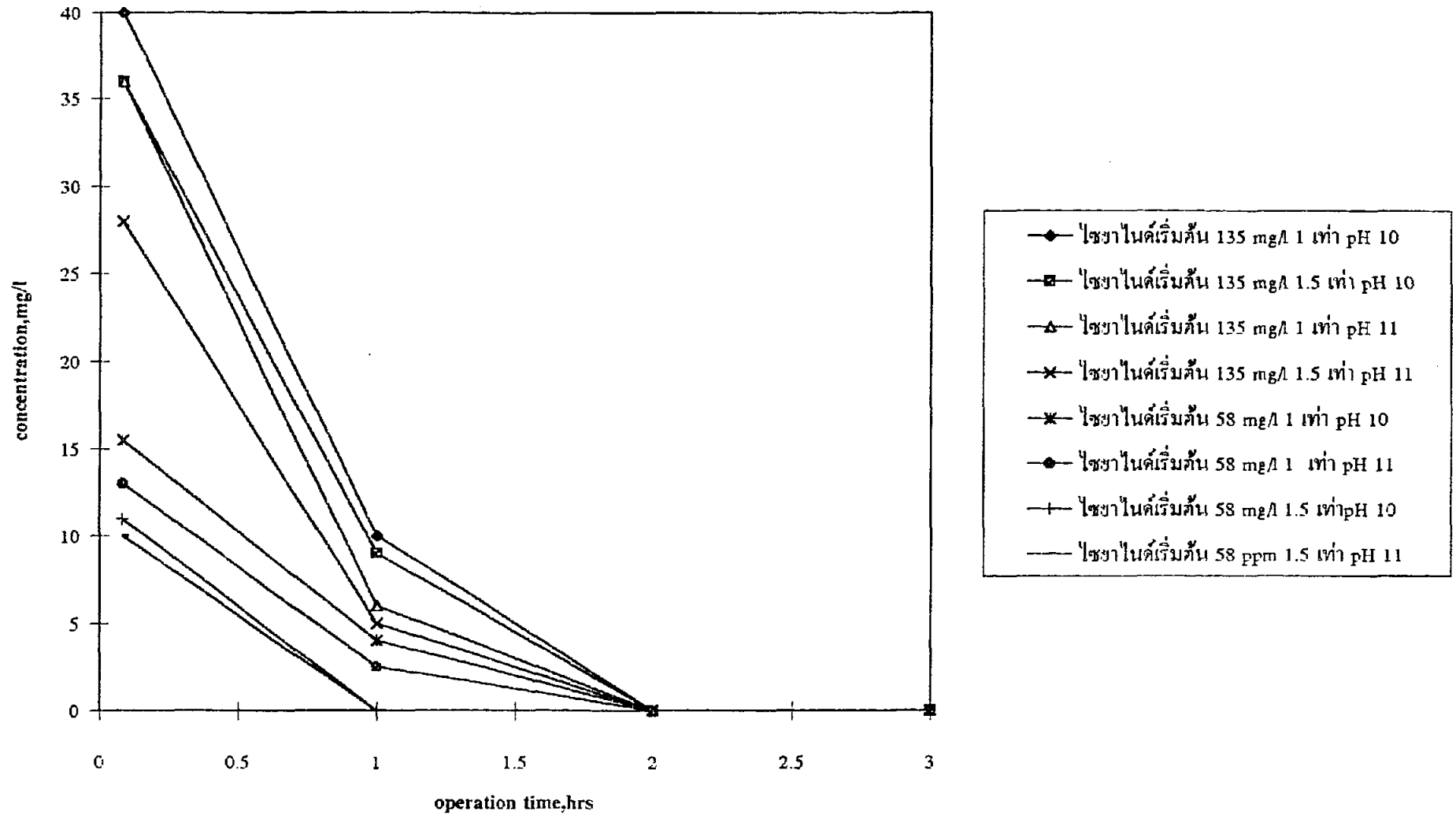
รูปที่ 3 เครื่องจาร์เทสต์

รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการกำจัด กับเวลาในการกำจัดไซยาไนด์ของโรงงานชุบโลหะ line ชุบ Zn



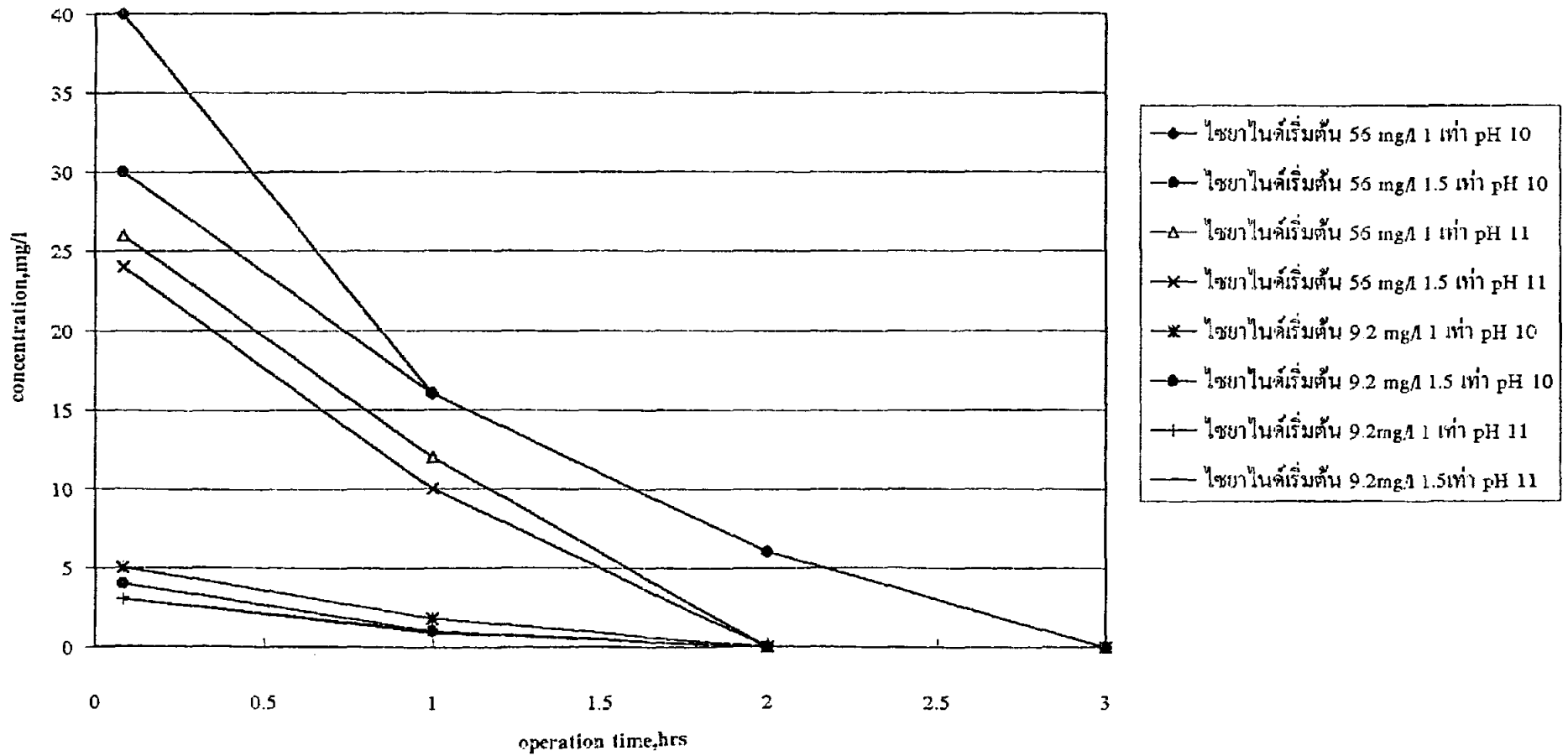
จะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 350 mg/l ใช้ NaOCl ในการกำจัด 1.5 เท่า ของ KCN ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 10 และ 11 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมด ในเวลา 5 นาที

รูปที่ 5 ประสิทธิภาพการกำจัดกับเวลาในการกำจัดไซยาไนด์ของโรงงานชุบโลหะ line ชุบ Ni,Cr



จะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้น 58 mg/l ใช้ NaOCl ในการกำจัด 1.5 เท่าของ KCN ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 10 และ 11 สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมดในเวลา 1 ชั่วโมง

รูปที่ 6 ประสิทธิภาพการกำจัด กับเวลาในการกำจัด ไซยาไนต์ของโรงงานชุบโลหะ Line ชุบ Cu



จะเห็นได้ว่า เมื่อความเข้มข้นของไซยาไนต์เริ่มต้น 56 mg/l ใช้ NaOCl ในการกำจัด 1 เท่าของ KCN ที่ความเป็นกรด-ด่าง (pH) 11 สามารถกำจัดไซยาไนต์ได้หมด ในเวลา 2 ชั่วโมง

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยเรื่อง“วิธีที่เหมาะสมในการวิเคราะห์หาปริมาณไซยาไนด์และวิธีการกำจัดไซยาไนด์  
ในน้ำทิ้งของโรงงานชุบโลหะ” นี้ ได้จัดทำสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีโดยการเอื้อเฟื้อจากหลายท่านเช่น  
เจ้าหน้าที่จากกองสิ่งแวดล้อมโรงงานกรมโรงงานอุตสาหกรรม คุณชัยวุฒิ เลาเวเลิศ  
หัวหน้ากลุ่มงานสิ่งแวดล้อม คุณธิดา เกิดคำไร นักวิทยาศาสตร์ 7 ว. และเจ้าหน้าที่ในกลุ่มงาน  
สิ่งแวดล้อม กองฟิสิกส์และวิศวกรรม ข้าพเจ้าขอขอบคุณทุกท่าน ณ ที่นี้ด้วย

พัชรียา นัทรเท

นักวิทยาศาสตร์ 6 ว

## เอกสารอ้างอิง

1. R Gierzatowicz, L Pawlowski, E Smulkowska. Neutralization of wastewater containing cyanides. Effluent and Water Treatment Journal. 26(1) 1986 : p. 23-26
2. Morris B. Jacobs. Hydrocyanic acid and cyanides. The Analysis Chemistry of Industrial poisons, Hazard Solvent. p. 445
3. Henry K. Eilmann , Ph.D. Hydrocyanic acid. Medicolegal and Industrial Toxicology. p. 20
4. Elsevier Chapter 16. Phosgene , Cynogen and Hydrogen cyanide. Chromatography of Environmental Hazard Vol.1 p. 357
5. Robert H. Dreisbach. Cyanides Handbook of Poisoning. tenth edition p 246
6. Nick H. proctor , Ph.D. Jame p. Haghes , MD Cyanides (Alkali). Chemical Hazards of the Workplace. p. 185
7. Chilton Oxidation-Reduction Agents and Processes Vol.1 - Water pollution. Environmental Engineers Handbook. p. 1358-1387 and 1557-1559
8. เอกสารกรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม เรื่องการกำจัดกากตะกอนพิษ
9. เอกสารกรมโรงงานอุตสาหกรรม เรื่อง ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2515) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2512 เกี่ยวกับการระบายน้ำทิ้ง
10. Standard Method for the Examination of Water and Wastewater 18<sup>th</sup> edition ของ APHA
11. International Organization for standardization / Draft International standard 6703/1
12. คู่มือวิเคราะห์น้ำเสีย โดยคณะกรรมการจัดทำคู่มือน้ำเสีย , สมาคมวิศวกรสิ่งแวดล้อมไทย(สสวท) และ World Environment Center (WEC)

## ภาคผนวก

### คุณสมบัติของไซยาไนด์

ไซยาไนด์ (Cyanides) โดยทั่วไป หมายถึงไซยาไนด์ที่มีอยู่ในสารประกอบต่างๆ โดยแบ่งเป็น

1. สารประกอบไซยาไนด์เชิงเดี่ยว (simple cyanides) ซึ่งได้แก่ สารประกอบไซยาไนด์ของโลหะอัลคาไลด์ (alkali cyanides) เช่น KCN , NaCN ,  $\text{NH}_4\text{CN}$  เป็นต้น สารประกอบเหล่านี้เมื่ออยู่ในสภาพสารละลายจะแตกตัวให้ไซยาไนด์ไอออน ( $\text{CN}^-$ ) ซึ่งเป็นพิษต่อปลาและจุลินทรีย์ในน้ำ

2. สารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อน (alkali metallic cyanides) เช่น  $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$  ,  $\text{K}_4\text{Co}(\text{CN})_4$  สารประกอบเหล่านี้เมื่ออยู่ในสภาพสารละลายจะแตกตัวให้โลหะไซยาไนด์ไอออน (metallic-cyanide ion) ซึ่งค่อนข้างคงตัว ไม่สลายง่าย พิษไม่ค่อยร้ายแรง ความเป็นพิษของสารประกอบเชิงซ้อนนี้ไม่อยู่กับปริมาณของหมู่ไซยาไนด์ที่สามารถเปลี่ยนเป็นสารประกอบไซยาไนด์เชิงเดี่ยว

ไซยาไนด์ในทางการค้า มักอยู่ในรูป KCN และ NaCN ซึ่งทั้งสองชนิดมีลักษณะเป็นผลึก ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น หรือเป็นผงที่ละลายน้ำได้ ทำปฏิกิริยากับกรดจะได้ Hydrocyanic acid (HCN) Hydrocyanic acid เรียกทั่วไปว่า Hydrogen cyanide หรือ Prussic acid (HCN) ถ้าเป็น gas ไม่มีสี แต่มีกลิ่น มีความเป็นพิษสูง มีผลโดยตรงกับสมองสามารถซึมผ่านผิวหนังได้ง่าย ถ้าเป็นของเหลวไม่มีสี แต่สามารถระเหยได้ในอากาศอุ่น (warm dry air) เพราะมี boiling point  $26^\circ\text{C}$  เซลเซียส เบากว่าน้ำ มี specific gravity 0.669

### อันตรายจากสารไซยาไนด์

การสูดหรือดม ไอสารเข้าไปบ่อยๆ จะทำให้เกิดอาการอ่อนเพลีย ปวดหัว น้ำหนักลด มีเมื่อย ใจเต้น ความดันเลือดตกต่ำ มีผลต่อปอดและระบบการหายใจ ถ้ามีการสัมผัสจะถูกดูดซึมเข้าสู่ผิวหนังได้ง่าย การสูดหรือดมสารในปริมาณมาก หรือกลืนกินเข้าไปทำให้เกิดการช็อค ไม่มีสติ และอาจถึงตายได้ใน 1-15 นาที นอกจากนั้นไซยาไนด์ยังไปยับยั้งการใช้ออกซิเจนภายในเซลล์ ในขบวนการ cytochrome oxidase system ทำให้เกิดอาการทางสมองและระบบหายใจ

### วิธีการรักษา

ถ้าโดนสารเล็กน้อย นำไปสูดอากาศบริสุทธิ์ ให้หาพวก Amyl nitrite 1 ampule (0.2ml) ทุกๆ 5 นาที หรือให้ 100% ออกซิเจน หรือตามแพทย์สั่งแล้วแต่กรณี ถ้าเป็นมาก(ร้ายแรง) ควรให้ยาพวก Antidote เช่น sodium nitrite , sodium thiosulfate หรือตามแพทย์สั่ง