

ผลของอิทธิพลต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย โดยวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน
และปฏิกิริยาการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์



นางสาวอุ้มแก้ว เอี่ยมสำอาง

สถาบันวิทยบริการ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6082-5

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EFFECTS OF EDTA ON CYANIDE TREATMENT IN WASTEWATER BY ALKALINE CHLORINATION
AND HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION



Miss U-kaew Iemsam-ang

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2004

ISBN 974-17-6082-5

คู่มือ เยี่ยมสำรวจ : ผลของอีดีทีที่เอตต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย โดยวิธีอัลคาไลน์คลอริเนชันและปฏิกิริยาการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์. (EFFECTS OF EDTA ON CYANIDE TREATMENT IN WASTEWATER BY ALKALINE CHLORINATION AND HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION) อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาพันธุ์
อ.ที่ปรึกษาร่วม : อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ 96 หน้า. ISBN 974-17-6082-5.

การวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของอีดีทีที่เอตต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย โดยวิธีอัลคาไลน์คลอริเนชันและปฏิกิริยาการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความสามารถในการกำจัดไซยาไนด์ เมื่อมีการแปรค่าพีเอช ค่ากำลังไฮดรอกไซด์อัตราส่วนของอีดีทีที่เอตต่อไซยาไนด์ ความเข้มข้นของไฮโปคลอไรท์ และความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โดยใช้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

ผลการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์คือที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.5 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ในเชิงโมลาร์ โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เกิน 10 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าร้อยละ 90 ในกรณีที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นที่ใช้คือ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ ซึ่งใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน 180 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าร้อยละ 90 สำหรับผลการศึกษาค่าพีเอชและกำลังไฮดรอกไซด์พบว่า พีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์คือ 11 ส่วนกำลังไฮดรอกไซด์ที่สูงขึ้นไม่มีผลต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไฮโปคลอไรท์ และเมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์พบว่าได้ผลเช่นเดียวกัน ผลของอีดีทีที่เอตต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์วิธีอัลคาไลน์คลอริเนชันพบว่า อีดีทีที่เอตที่เพิ่มมีค่าขึ้นทำให้ต้องการปริมาณสารเคมีเพิ่มมากขึ้น ส่วนการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นของอีดีทีที่เอตมีผลต่อการเกิดไซยาเนต ทำให้ความเข้มข้นไซยาเนตสูงสุดที่เกิดขึ้นลดลง ในการใช้สารเคมีร่วมกัน 2 ตัวพบว่า มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียว เนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ไม่เป็นแบบผลรวม สำหรับค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัด วิธีอัลคาไลน์คลอริเนชันมีค่าใช้จ่าย 14 บาทต่อลบ.ม. วิธีการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าใช้จ่าย 330 บาทต่อลบ.ม. และการใช้สารเคมีร่วมกัน มีค่าใช้จ่าย 90.5 บาทต่อลบ.ม. ที่ความเข้มข้น 100 มก.ไซยาไนด์ต่อลิตร

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่อนิสิต _____
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____
ปีการศึกษา 2547 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

4570661921 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEY WORD: Cyanide / EDTA / Alkaline Chlorination / Hydrogen peroxide / Electroplating Wastewater

U-KAEW IEMSAM-ANG : EFFECTS OF EDTA ON CYANIDE TREATMENT IN WASTEWATER BY ALKALINE CHLORINATION AND HYDROGEN PEROXIDE OXIDATION. THESIS ADVISOR : KHEMARATH OSATHAPHAN, Ph.D., THESIS COADVISOR : PICHAYA RATCHADAWONG, Ph.D., 96 pp. ISBN 974-17-6082-5.

This research was to investigate effects of EDTA on cyanide treatment in wastewater by alkaline chlorination and hydrogen peroxide oxidation. Comparisons of the efficiency and the ability of cyanide destruction were carried out by varying pH, ionic strength, ratio of cyanide to EDTA, hypochlorite and hydrogen peroxide dosing.

In synthetic wastewater, the optimum hypochlorite dosing was 1.5 times (molar concentration) to the cyanide concentration, with less than 10 minutes of reaction. It yielded more than 90% cyanide removal. For hydrogen peroxide oxidant, we found the optimum dosing was 36 times (molar concentration) to the cyanide concentration, with 180 minutes for more than 90% cyanide removal. The optimum pH for both oxidants was found to be 11. Negligible effects of ionic strength on cyanide oxidation were observed. In presence of EDTA, it was found that higher dosing for hypochlorite needed to remove more than 90% of cyanide. In hydrogen peroxide oxidation, with presence of EDTA, the maximum concentration of cyanate was reduced. When using both chemicals together, the efficiency was lower than individual chemical because the efficiency was not additive. The cost of chemical for the cyanide treatment in alkaline chlorination is 14 baht/m³, hydrogen peroxide oxidation is 330 baht/m³ and combination of 2 chemicals is 90.5 baht/m³ at 100 mg CN/L.

Department Environmental Engineering Student's signature _____

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature _____

Academic year 2004 Co-advisor's signature _____

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบิดา มารดา และพี่สาวที่สนับสนุนในทุกเรื่องและให้ความรักกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร. เขมรัฐ โอสถาปนุ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม เป็นอย่างสูง ที่ให้โอกาสและความกรุณาในการอบรมสั่งสอนให้ความรู้ และให้แนะนำ คำปรึกษาในงานวิจัยจนสำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทถ่ายทอดวิชาการความรู้ทางด้านวิชาการ

ขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มอบเงินทุนสนับสนุนงานวิจัย

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนร่วมจากโครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย คุณรามนรี เนตรวิเชียร และคุณฉันทนา อินทิม เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ขอบคุณคุณบัณฑิต ชูเชิดวัฒน์ศักดิ์ และคุณธนพร อยู่ยั้งยืน ที่ให้คำปรึกษา กำลังใจและความช่วยเหลือด้านการทดลองมาโดยตลอด

ท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ทั้งที่ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมและที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย และเจ้าหน้าที่ธุรการทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลือขณะที่ศึกษาและทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฎ |
| สารบัญรูป..... | ฐ |
| บทที่ 1 บทนำ..... | 1 |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 4 |
| 2.1 กระบวนการชุบโลหะ..... | 4 |
| 2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า..... | 4 |
| 2.1.2 ขั้นตอนในการชุบโลหะ..... | 5 |
| 2.1.3 แหล่งที่มาและลักษณะน้ำเสีย..... | 6 |
| 2.2 ไซยาไนต์..... | 7 |
| 2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไซยาไนต์..... | 7 |
| 2.2.1.1 ไซยาไนต์อิสระ..... | 8 |
| 2.2.1.2 สารประกอบไซยาไนต์เชิงเดี่ยว..... | 8 |
| 2.2.1.3 สารประกอบไซยาไนต์กับโลหะหนัก..... | 9 |
| 2.2.1.4 สารประกอบไซยาไนต์เชิงซ้อน..... | 9 |
| 2.2.1.5 ไซยาโนเจนคลอไรด์..... | 9 |
| 2.2.2 ความเป็นพิษของไซยาไนต์..... | 9 |
| 2.2.3 การวิเคราะห์ไซยาไนต์..... | 10 |
| 2.2.3.1 Total cyanide..... | 10 |
| 2.2.3.2 Weak acid dissociable cyanide..... | 10 |
| 2.2.3.3 Cyanide amenable to chlorination..... | 10 |
| 2.2.3.4 Free cyanide..... | 10 |
| 2.2.4 การกำจัดไซยาไนต์ในน้ำเสีย..... | 12 |
| 2.2.4.1 การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนหรืออัลคาไลนคลอรีเนชั่น..... | 12 |
| 2.2.4.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 14 |

| | หน้า |
|---|------|
| 2.2.4.3 การออกซีไดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์มันганเตต..... | 15 |
| 2.2.4.4 การออกซีไดซ์ด้วยโอโซน..... | 16 |
| 2.2.4.5 การออกซีไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต..... | 17 |
| 2.2.4.6 การสลายตัวด้วยไฟฟ้า..... | 17 |
| 2.2.4.7 วิธีอื่นๆ ที่ใช้ในการบำบัดไฮยาไนต์..... | 19 |
| 2.2.5 กำลังของไอออน | 19 |
| 2.2.6 การป้องกันและความปลอดภัยในการทำการทดลองที่เกี่ยวข้องกับไฮยาไนต์.. | 20 |
| 2.2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไฮยาไนต์..... | 21 |
| 2.3 อีดีทีเอ (Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid, EDTA)..... | 24 |
| 2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอีดีทีเอ..... | 24 |
| 2.3.2 ความเป็นพิษของอีดีทีเอ..... | 24 |
| 2.3.3 การกำจัดอีดีทีเอ..... | 26 |
| 2.3.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอีดีทีเอ..... | 27 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... | 30 |
| 3.1 แผนการวิจัย..... | 30 |
| 3.2 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย..... | 30 |
| 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย..... | 30 |
| 3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย..... | 32 |
| 3.3 การเตรียมสารละลาย..... | 32 |
| 3.3.1 น้ำเสียจริง..... | 32 |
| 3.3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไฮยาไนต์..... | 32 |
| 3.3.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์อีดีทีเอ..... | 32 |
| 3.3.4 การเตรียม Eluent สำหรับเครื่อง IC เพื่อใช้วัดความเข้มข้นไฮยาไนต์..... | 33 |
| 3.3.5 การเตรียม Mobile phase สำหรับเครื่อง HPLC เพื่อใช้วัดค่าอีดีทีเอ..... | 33 |
| 3.4 ขั้นตอนการวิจัย..... | 33 |
| 3.5 การดำเนินการวิจัย..... | 33 |
| 3.5.1 วิเคราะห์น้ำเสียจริงที่ได้จากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม..... | 33 |
| 3.5.2 การทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไฮยาไนต์เพียงอย่างเดียว..... | 33 |

| | หน้า |
|--|------|
| 3.5.2.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่น..... | 33 |
| 3.5.2.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 34 |
| 3.5.3 การทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอีดีทีเอเพียงอย่างเดียว..... | 34 |
| 3.5.3.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่น..... | 34 |
| 3.5.3.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 35 |
| 3.5.4 การทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์และอีดีทีเอ..... | 35 |
| 3.5.4.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่น..... | 35 |
| 3.5.4.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 36 |
| 3.5.4.3 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่นร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์..... | 36 |
| 3.5.5 การทดลองกับน้ำเสียกับน้ำเสียจริงที่ได้จากบริษัทรับกำจัดกาก อุตสาหกรรม..... | 37 |
| 3.5.5.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่น..... | 37 |
| 3.5.5.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 37 |
| 3.5.5.3 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่นร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์..... | 37 |
| 3.6 วิธีการวิเคราะห์..... | 38 |
| 3.6.1 สภาพของเครื่อง IC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไซยาไนด์..... | 38 |
| 3.6.2 สภาพของเครื่อง IC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไซยาเนต..... | 38 |
| 3.6.3 วิธีการวิเคราะห์อีดีทีเอ..... | 39 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย | 40 |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ได้จากบริษัทกำจัดกากอุตสาหกรรม..... | 40 |
| 4.2 ผลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์เพียงอย่างเดียว..... | 41 |
| 4.2.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่น..... | 41 |
| 4.2.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 44 |
| 4.3 ผลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอีดีทีเอเพียงอย่างเดียว..... | 49 |
| 4.3.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่น..... | 49 |
| 4.3.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 50 |

| | หน้า |
|---|------|
| 4.4 ผลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์และอีดีทีเอ..... | 52 |
| 4.4.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน..... | 52 |
| 4.4.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 53 |
| 4.4.3 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์..... | 55 |
| 4.5 ผลการทดลองกับน้ำเสียกับน้ำเสียจริงที่ได้จากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม.. | 56 |
| 4.5.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน..... | 56 |
| 4.5.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 57 |
| 4.5.3 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจน เปอร์ออกไซด์..... | 58 |
| 4.6 การประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น..... | 59 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... | 60 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย..... | 60 |
| 5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์..... | 61 |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ..... | 62 |
| รายการอ้างอิง..... | 63 |
| ภาคผนวก..... | 68 |
| ภาคผนวก ก. ข้อมูลการวิเคราะห์น้ำเสียจริง..... | 69 |
| ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสีย..... | 77 |
| ภาคผนวก ค. การคำนวณ..... | 90 |
| ค.1 การคำนวณความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์..... | 91 |
| ค.1 การคำนวณความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์อีดีทีเอ..... | 91 |
| ค.3 การคำนวณความเข้มข้นของไฮโปคลอไรท์และปริมาณที่ใช้..... | 92 |
| ค.3 การคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และปริมาณที่ใช้..... | 93 |
| ค.5 การคำนวณค่าใช้จ่าย..... | 94 |
| ค.6 กราฟมาตรฐาน..... | 95 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 96 |

สารบัญตาราง

| ตารางที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ..... | 7 |
| 2.2 การวิเคราะห์ ค่า logarithms ของค่าคงที่การแตกตัวเป็นไอออน และความเป็นพิษของ ไซยาไนด์ชนิดต่างๆ..... | 11 |
| 2.3 มาตรฐานต่างๆของไซยาไนด์ที่มีในประเทศไทย..... | 11 |
| 2.4 คุณสมบัติของอดีทีทีเอ..... | 25 |
| 4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม..... | 40 |
| 4.2 ความเข้มข้นของโลหะที่พบในน้ำเสียหนักหลังจากปรับพีเอชเป็น 12.5 | 41 |
| 4.3 ค่าของไออาร์พีที่วัดได้จากการทดลองต่างๆ..... | 43 |
| 4.4 ร้อยละของค่าไซยาไนด์ที่ลดลงที่ปริมาณไฮโปคลอไรท์ต่างๆและแปรอัตราส่วนระหว่าง ไซยาไนด์ต่ออดีทีทีเอ..... | 52 |
| 4.5 ค่าของโลหะหนักบางส่วนที่พบในน้ำเสียหนักหลังจากปรับพีเอชแล้ว..... | 56 |
| ผ1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจริงที่ได้รับจากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม..... | 70 |
| ผ2 ผลการวิเคราะห์โลหะหลังจากปรับพีเอชในน้ำเสียจริงที่ได้รับจากบริษัทรับกำจัดกาก อุตสาหกรรม..... | 75 |
| ผ3 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่ค่ากำลัง ไอออน เท่ากับ 0 พีเอช 11 แปรความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์..... | 78 |
| ผ4 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ที่กำลังไอออน เท่ากับ 0 ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 15 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ แปรค่าพีเอช | 79 |
| ผ5 ข้อมูลการวัดค่าไออาร์พีจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์แปรค่ากำลัง ไอออนและค่าพีเอช ที่ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 15 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์..... | 79 |
| ผ6 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่ค่ากำลัง ไอออน เท่ากับ 0 พีเอช 11 แปรความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์..... | 80 |
| ผ7 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่พีเอช 9.5 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ แปรค่ากำลังไอออน..... | 81 |
| ผ8 ข้อมูลการวัดค่าไซยาเนตจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่พีเอช 9.5 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ แปรค่ากำลังไอออน..... | 82 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

ฎ

ตาราง

หน้า

| | | |
|-----|--|----|
| ผ9 | ข้อมูลการวัดค่าไชยาไนต์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไชยาไนต์ แปรค่ากำลังไอออน..... | 83 |
| ผ10 | ข้อมูลการวัดค่าไชยาเนตจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไชยาไนต์ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไชยาไนต์ แปรค่ากำลังไอออน..... | 84 |
| ผ11 | ข้อมูลการวัดค่าอีดีทีเอจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์อีดีทีเอ ที่พีเอช 11 แปรค่าความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และค่ากำลังไอออน..... | 85 |
| ผ12 | ข้อมูลการวัดค่าไชยาไนต์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไชยาไนต์และอีดีทีเอ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์เท่ากับ 15 เท่าของความเข้มข้นไชยาไนต์ และค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 แปรค่าอัตราส่วนไชยาไนต์ต่ออีดีทีเอ..... | 86 |
| ผ13 | ข้อมูลการวัดค่าไชยาไนต์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไชยาไนต์และอีดีทีเอ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 36 เท่าของความเข้มข้นไชยาไนต์และค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 แปรค่าอัตราส่วนไชยาไนต์ต่ออีดีทีเอ..... | 87 |
| ผ14 | ข้อมูลการวัดค่าไชยาเนตจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไชยาไนต์และอีดีทีเอ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 36 เท่าของความเข้มข้นไชยาไนต์ และค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 แปรค่าอัตราส่วนไชยาไนต์ต่ออีดีทีเอ..... | 88 |
| ผ15 | ข้อมูลการวัดค่าไชยาไนต์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไชยาไนต์และอีดีทีเอ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 0.9 เท่าและความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 9 เท่า ของความเข้มข้นไชยาไนต์ และค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 (3) และ ข้อมูลการวัดค่าไชยาไนต์จากการทดลองกับน้ำเสียจริงด้วยไฮโปคลอไรท์ (1) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (2) และ ใช้สารเคมี 2 ชนิด (4 และ 5)..... | 89 |

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--------|--|
| 2.1 | หลักการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า..... 4 |
| 2.2 | ขั้นตอนการชุบโลหะทั่วไป..... 5 |
| 2.3 | ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไฮยาไนต์ไอออนและกรดไฮโดรไฮยานิคที่พีเอชต่าง ๆ..... 8 |
| 2.4 | ผลของพีเอชที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไฮยาไนต์จนคลอไรด์ไปเป็นไฮยาเนต.. 13 |
| 2.5 | ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับปริมาณไฮโปคลอไรท์ที่เติม..... 14 |
| 2.6 | การทำลายไฮยาไนต์โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อมีการเติมทองแดง 25 มก./ล..... 15 |
| 2.7 | ผลของพีเอชที่มีผลกับการไฮโดรไลซิสของไฮยาไนต์ที่ค่ากำลังไอออนต่างๆ..... 20 |
| 2.8 | โครงสร้างของอดีทีเอ..... 25 |
| 2.9 | ค่า pK_a ของอดีทีเอ ในรูปต่างๆ..... 26 |
| 3.1 | เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี..... 31 |
| 3.2 | เครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิควิดโครมาโตกราฟี..... 31 |
| 4.1 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไฮยาไนต์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ต่างๆ ในขั้นตอนที่ 1 และกำลังไอออนเท่ากับ 0..... 42 |
| 4.2 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไฮยาไนต์ที่กำจัดได้กับพีเอชต่างๆที่ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 15 เท่าของความเข้มข้นไฮยาไนต์ และกำลังไอออนเท่ากับ 0..... 43 |
| 4.3 | ตัวอย่างของโครมาโตแกรมไฮโปคลอไรท์และไฮยาเนตหลังจากลดพีเอชไป 5 นาที..... 44 |
| 4.4 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไฮยาไนต์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ พีเอช 11 กำลังไอออนเท่ากับ 0..... 45 |
| 4.5 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไฮยาไนต์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่พีเอช 9.5 และ 11 เมื่อกำลังไอออนเท่ากับ 0..... 45 |
| 4.6 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไฮยาไนต์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่พีเอช 9.5 และ 11 เมื่อกำลังไอออนเท่ากับ 0.17..... 46 |
| 4.7 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไฮยาไนต์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่พีเอช 9.5 และ 11 เมื่อกำลังไอออนเท่ากับ 0.51..... 46 |
| 4.8 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไฮยาไนต์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส พีเอช 11 ที่ค่ากำลังไอออนต่างๆ..... 47 |
| 4.9 | ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไฮยาไนต์ที่เหลืออยู่ ร้อยละของไฮยาเนตกับเวลาสัมผัส พีเอช 11 ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0..... 48 |

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ ร้อยละของไซยาเนตกับเวลา สัมผัส พีเอช 11 ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0.17..... | 48 |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ ร้อยละของไซยาเนตกับเวลา สัมผัสพีเอช 11 ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0.51..... | 49 |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของอิดีทีเอที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่ปริมาณสารเคมี ต่างๆ วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน ที่พีเอช 11กำลังไอออนเท่ากับ 0..... | 50 |
| 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของอิดีทีเอที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่กำลังไอออนต่างๆ วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน ที่พีเอช 11..... | 50 |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของอิดีทีเอที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่ปริมาณสารเคมี ต่างๆ การออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่พีเอช 11..... | 51 |
| 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของอิดีทีเอที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่กำลังไอออนต่างๆ การออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่พีเอช 11..... | 51 |
| 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์กับเวลาสัมผัสที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่อ อิดีทีเอต่างๆ โดยใช้ไฮโปคลอไรท์ 1, 2, 5, 10 และ 15 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ ที่พีเอช 11 ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0..... | 53 |
| 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่ลดลงกับเวลาสัมผัสที่อัตราส่วนไซยาไนด์ ต่ออิดีทีเอต่างๆ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ ที่พีเอช 11..... | 54 |
| 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาเนตกับเวลาสัมผัส ที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่อ อิดีทีเอต่างๆ ที่พีเอช 11..... | 54 |
| 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่เมื่อเติมไฮโปคลอไรท์ 0.9 เท่า และไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 9 เท่าของค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ เปรียบเทียบกับ ร้อยละของค่าไซยาไนด์ที่เหลืออยู่เมื่อเติมสารเคมีเพียงตัวเดียว..... | 55 |
| 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาของน้ำเสียจริง เปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปริมาณไฮโปคลอไรท์เท่ากัน..... | 56 |
| 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับปริมาณไฮโปคลอไรท์ต่างๆ..... | 57 |
| 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสของน้ำเสียจริง เปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากัน..... | 57 |

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ของน้ำเสียจริงตัวอย่างที่ 1 และ 4 กับเวลาสัมผัส..... | 58 |
| ผ1 โคจรมาโตแกรมและรายละเอียดของไซยาไนด์ที่วัดได้ในน้ำเสียตัวอย่างที่ 1..... | 71 |
| ผ2 โคจรมาโตแกรมและรายละเอียดของไซยาไนด์ที่วัดได้ในน้ำเสียตัวอย่างที่ 2..... | 72 |
| ผ3 โคจรมาโตแกรมและรายละเอียดของไซยาไนด์ที่วัดได้ในน้ำเสียตัวอย่างที่ 3..... | 73 |
| ผ4 โคจรมาโตแกรมและรายละเอียดของไซยาไนด์ที่วัดได้ในน้ำเสียตัวอย่างที่ 4..... | 74 |
| ผ5 กราฟมาตรฐานของไซยาไนด์..... | 95 |
| ผ6 กราฟมาตรฐานของอดีทีเอ..... | 95 |



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

โรงงานชุบโลหะในประเทศไทย เช่น โรงงานชุบนิเกิล โครเมียม ทองแดง สังกะสี เงิน หรือ ทอง จำเป็นต้องใช้สารเคมีหลายชนิดในกระบวนการต่างๆ บางโรงงานอาจจะต้องใช้สารเคมีที่แตกต่างกันถึง 100 ชนิด เพื่อให้ชิ้นงานออกมามีคุณภาพตามที่ลูกค้าต้องการ เมื่อได้ชิ้นงานออกมาแล้ว หลายโรงงานไม่ให้ความสำคัญกับน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่างๆ ว่ามีส่วนประกอบจากสารเคมีชนิดใดบ้าง มีพิษหรืออันตรายร้ายแรงเพียงใด รวมทั้งไม่คำนึงถึงความไม่เข้ากันของสารเคมี (Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center, 1999)

ในโรงงานชุบโลหะ มักใช้ไซยาไนด์เป็นสารเคลือบเพื่อให้อโลหะสามารถละลายน้ำได้ เนื่องจากไซยาไนด์สามารถช่วยให้ใช้กระแสไฟฟ้าได้ในช่วงที่กว้าง สามารถกำจัดสิ่งสกปรกออกจากผิวของวัสดุที่ต้องการจะชุบได้ และยังทำให้เกิดตะกอนของโลหะที่ทนต่อสิ่งเจือปนอื่นๆ ในอ่างชุบ หรือใช้เป็นน้ำยาทำความสะอาดผิวโลหะของชิ้นงานในขั้นตอนการล้างทำความสะอาด แต่ไซยาไนด์เป็นสารที่มีพิษ สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางปาก ทางการหายใจ หรือดูดซึมผ่านผิวหนังและลูกตา การได้รับพิษไซยาไนด์ในปริมาณน้อยจะเกิดอาการพิษแบบสะสม มักพบอาการผิดปกติทางสมองและอาจจะปรากฏอาการทางจิต ประสาทตาเสื่อม/ฝอได้ ผู้ที่ได้รับพิษไซยาไนด์ในปริมาณมากจะเกิดอาการพิษเฉียบพลัน เซลล์ของร่างกายโดยเฉพาะสมองจะขาดออกซิเจน ผู้ป่วยจะมีอาการชักหมดสติ การหายใจผิดปกติ หากแพทย์ให้การรักษาไม่ทันจะเป็นอันตรายถึงแก่ชีวิตได้ น้ำเสียที่มีไซยาไนด์เป็นส่วนประกอบจึงจัดว่าเป็นของเสียอันตราย ดังนั้นโรงงานบางแห่งจึงนำอีดีทีเอ (EDTA) มาใช้แทนไซยาไนด์ เนื่องจากอีดีทีเอสามารถจับกับโลหะหนัก/โลหะทรานซิชัน ทำให้โลหะสามารถละลายน้ำได้ดี นอกจากนี้บางโรงงานยังใช้น้ำยาทำความสะอาดผิวที่มีอีดีทีเอ เป็นสารประกอบหลัก เพื่อใช้ในขั้นตอนการเตรียมผิวด้วยโลหะ ด้วยเหตุนี้ จึงมีความเป็นไปได้ที่จะพบอีดีทีเอในน้ำเสียที่มีไซยาไนด์ การที่มีอีดีทีเอในน้ำเสีย อาจจะทำให้ต้องเพิ่มปริมาณสารเคมีในการบำบัดน้ำเสีย หรืออีดีทีเออาจจะไปจับกับโลหะทำให้โลหะไม่สามารถที่จะตกตะกอนได้ หรือถ้าหากปล่อยน้ำทิ้งที่มีอีดีทีเอลงสู่สิ่งแวดล้อม อาจจะทำให้อีดีทีเอรวมตัวกับโลหะหนักที่อยู่ในตะกอนดิน ทำให้โลหะหนักละลายน้ำ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อคนหรือสัตว์ที่ใช้แหล่งน้ำนั้นในการอุปโภค บริโภค

ตามประกาศของกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ได้กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของโรงงานอุตสาหกรรมในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยอนุญาตให้มีไซยาไนด์ ในน้ำทิ้งได้ไม่เกิน 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2543) แต่สำหรับมาตรฐานของอีดีทีเอ ยังไม่มีหน่วยงานใดกำหนด

วิธีการที่ใช้ในการลดพิษของไซยาไนด์ในน้ำเสียมีหลายวิธี แต่วิธีที่แพร่หลายและได้รับความนิยมคือ วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายและต้นทุนในการบำบัดต่ำ นอกจากนี้วิธีข้างต้น การออกซิไดซ์ด้วยสารเคมีชนิดอื่นก็เริ่มเป็นที่นิยม เช่น การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาหาประสิทธิภาพและสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย-สังเคราะห์ที่มีอีดีทีเอเป็นส่วนประกอบ โดยวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน และปฏิกิริยาการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
2. เพื่อศึกษาผลของกำลังไฮออนและพีเอชที่มีผลต่อการกำจัดไซยาไนด์และอีดีทีเอในน้ำเสียสังเคราะห์
3. เพื่อศึกษาผลของอีดีทีเอที่มีต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน และปฏิกิริยาการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
4. เพื่อนำผลไปประยุกต์ใช้กับน้ำเสียจริงและประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัด

ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการทดลองแบบกะ ตลอดการวิจัย ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย น้ำเสียที่ใช้ในการทดลองจะใช้ทั้งน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงที่ได้จากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม โดยเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และเก็บทั้งสิ้น 4 ครั้ง จากนั้นจะวิเคราะห์หาลักษณะของน้ำเสีย แล้วนำค่าที่ได้มาเฉลี่ย เพื่อใช้เป็นตัวกำหนดลักษณะของน้ำเสียสังเคราะห์

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันโดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ ซึ่งเป็นวิธีที่ทางบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรมใช้อยู่ในปัจจุบัน และการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในการทดลองบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์อัตราส่วนระหว่างสารเคมีต่อไซยาไนด์หาได้จากการคำนวณตาม stoichiometric และแปรให้สูงขึ้น จากนั้นแปรค่า

กำลังไอออนให้ใกล้เคียงกับน้ำเสียจริง และมากกว่าน้ำเสียจริง 3 เท่า เพื่อศึกษาผลของกำลังไอออนต่อการกำจัดไซยาไนด์ ทำการทดลองที่ค่าพีเอช 2 ค่า เพื่อหาค่าพีเอชที่เหมาะสม บันทึกปริมาณสารเคมีที่ใช้ จากนั้นทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอิตีทีเอ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์และอิตีทีเอและน้ำเสียจริง สำหรับอัตราส่วนระหว่างไซยาไนด์ต่ออิตีทีเอ มีค่าเป็น 1:0.01 และแปรเป็น 1:0.1, 1:1 และ 1:2 ตามลำดับ เพื่อเป็นตัวแทนของน้ำเสียไซยาไนด์ที่มีอิตีทีเอเป็นส่วนประกอบ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสถานะที่เหมาะสมในการบำบัดน้ำเสียที่มีไซยาไนด์ด้วยวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน เพื่อเป็นแนวทางการลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในการปฏิบัติงานจริง
2. ทราบถึงความสามารถและประสิทธิภาพของวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันเปรียบเทียบกับปฏิบัติการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียที่มีอิตีทีเอเป็นส่วนประกอบ
3. ทราบถึงผลของอิตีทีเอต่อการกำจัดไซยาไนด์ด้วยวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันและปฏิบัติการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

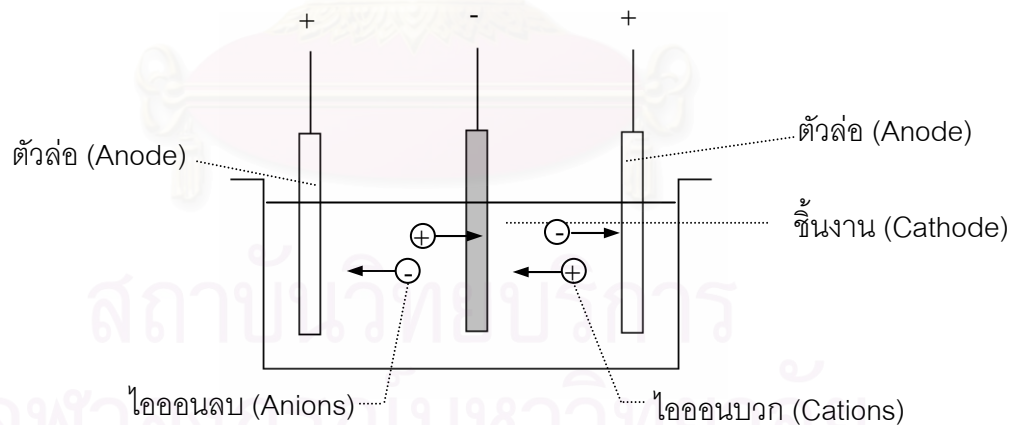
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กระบวนการชุบโลหะ

กระบวนการชุบโลหะแต่ละโรงงานจะแตกต่างกันไป ขึ้นอยู่กับลักษณะและข้อจำกัดของชิ้นงานที่นำมาชุบ วัตถุประสงค์ในการชุบ ลักษณะของงานชุบ และสารเคมีที่ใช้

2.1.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า หมายถึง การนำเอาชิ้นงานหรือวัสดุที่สามารถนำไฟฟ้าได้มาเคลือบผิวด้วยโลหะที่ต้องการโดยใช้ไฟฟ้ากระแสตรงเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา โดยนำเอาชิ้นงานที่ทำกรชุบต่อเข้ากับขั้วลบของแหล่งกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง ส่วนโลหะที่จะไปเคลือบผิวชิ้นงานจะต่อเข้ากับขั้วบวก ซึ่งเรียกว่า ตัวล่อ ซึ่งไม่จำเป็นต้องเป็นโลหะชนิดเดียวกับโลหะที่จะไปเคลือบผิวเสมอไป แล้วนำชิ้นงานและตัวล่อจุ่มในน้ำยาชุบซึ่งมีไอออนของโลหะที่ใช้เคลือบผสมอยู่ ปรับกระแสไฟฟ้าให้เกิดแรงเคลื่อนกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม จะทำให้ไอออนของโลหะที่อยู่ในน้ำยาชุบโลหะเกิดปฏิกิริยา ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการชุบผิวโลหะด้วยไฟฟ้า (สาโรช, 2535)

ที่ขั้วลบ ไอออนของโลหะซึ่งเป็นไอออนบวกในสารละลายจะวิ่งไปรับอิเล็กตรอนที่ขั้วลบ แล้วเกิดเป็นโลหะเคลือบที่ผิวชิ้นงาน ดังสมการ

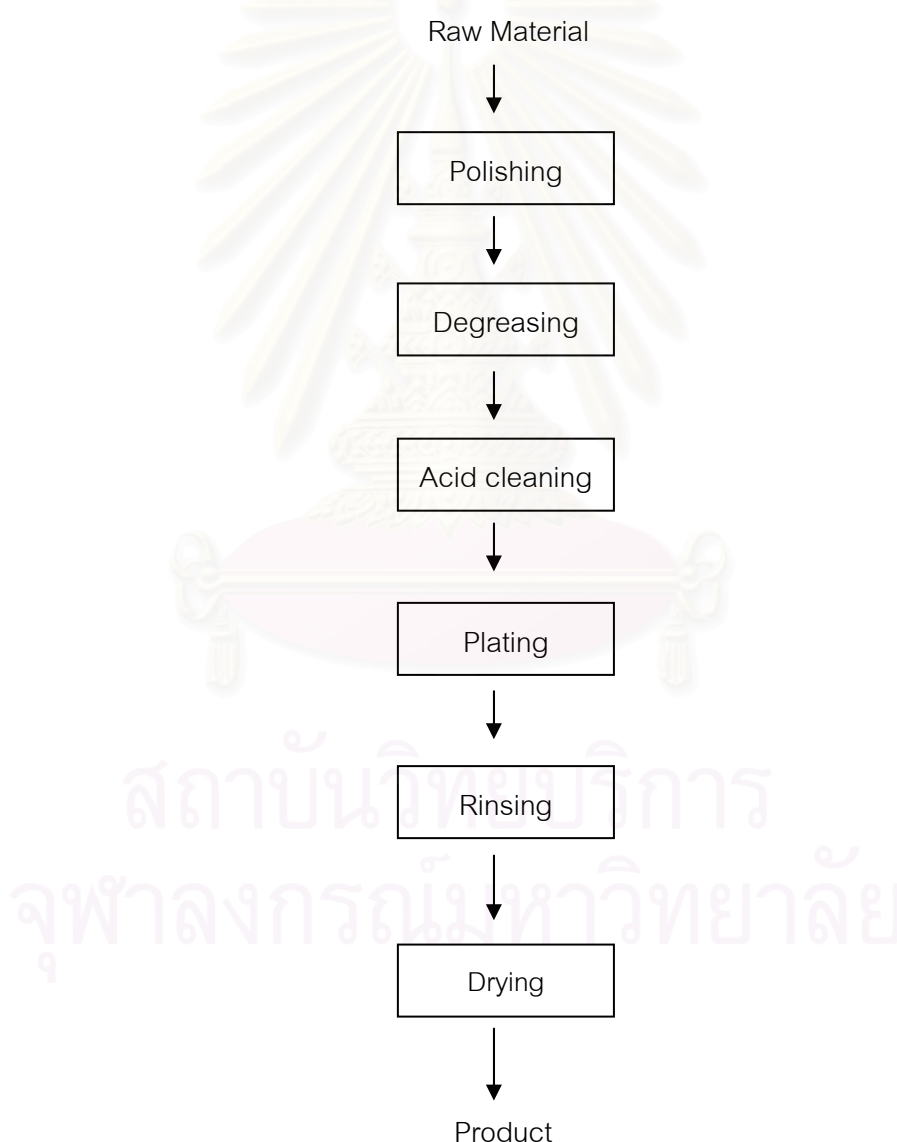


ที่ขั้วบวก ถ้าเป็นโลหะชนิดเดียวกันกับโลหะที่จะไปเคลือบบนชิ้นงาน โลหะนั้นก็จะเกิดการออกซิไดซ์ให้ลิแกนด์รอนกับวงจรรยาณอก และไอออนบวกจะสลายลงสู่สารละลาย ดังสมการ



2.1.2 ขั้นตอนในการชุบโลหะ

ขั้นตอนการชุบโลหะประกอบด้วย การเตรียมชิ้นงาน ซึ่งหมายถึงการขัดผิวชิ้นงานจนได้ขนาดและความเรียบตามต้องการ ทำความสะอาดเพื่อกำจัดไขมัน นำชิ้นงานไปจุ่มในกรดเพื่อเอาสนิมออก จากนั้นจึงนำชิ้นงานไปชุบในน้ำยาซึ่งควบคุมสภาวะการชุบตามกำหนด ต่อไปจึงนำชิ้นงานไปล้างน้ำแล้วนำไปอบแห้ง สุดท้ายได้ชิ้นงานตามต้องการ ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขั้นตอนการชุบโลหะทั่วไป (จารุวรรณ, 2542)

รายละเอียดของแต่ละขั้นตอน อธิบายได้ดังนี้

| | |
|---------------|--|
| Polishing | กระบวนการชุบโลหะจำเป็นต้องมีขั้นตอนก่อนการชุบ เพื่อกำจัดสนิมที่ผิวของชิ้นงานและทำการเตรียมผิวชิ้นงาน |
| Degreasing | เป็นการขจัดความสกปรกในรูปของไขมัน ฝุ่น หรือรอยขีดข่วนที่ผิวของชิ้นงานการขจัดไขมันนี้มีการใช้สารเคมีและมีหลายแบบ เช่น การล้างไขมันแบบใช้ตัวทำละลาย แบบใช้สารละลายต่าง แบบใช้สารละลายอิเล็กโทรไลต์ในสารละลายต่าง |
| Acid cleaning | การทำความสะอาดชิ้นงานด้วยกรด เป็นการเตรียมผิวชิ้นงาน เพื่อขจัดออกไซด์ต่างๆที่ผิวชิ้นงานออก โดยทั่วไปจะใช้กรดซัลฟูริก หรือกรดไฮโดรคลอริก ส่วนกรดอื่นๆที่มีการใช้งาน ได้แก่ กรดโครมิก กรดไฮโดรฟลูออริก กรดไนตริก และกรดฟอสฟอริก อาจจะมีการใช้กรดอินทรีย์ เช่น กรดอะซิติก กรดซิตริก กรดฟอร์มิก และอดีทีทีเอเป็นต้น (Moyer, 1994) ซึ่งกรดอินทรีย์นั้นจะมีความเป็นกรดน้อยกว่า และมีความกัดกร่อนน้อยกว่ากรดอนินทรีย์ |
| Plating | การชุบผิวชิ้นงาน เป็นวิธีการสร้างผิวบางๆของโลหะที่ผิวชิ้นงานจากขั้วไฟฟ้าลบในสารละลายเกลือของโลหะนั้น ทำได้โดยแขวนชิ้นงานไว้ที่ขั้วลบ ในสารละลายที่มีโลหะที่ต้องการชุบ ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดเล็กๆและมีปริมาณมากๆ อาจเลือกใช้ถังกลิ้ง (barrel) ในขั้นตอนนี้จะมีการใช้สารเคมีในปริมาณมากและหลายชนิด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของการชุบโลหะ |
| Rinsing | หลังจากจุ่มชิ้นงานลงในถังน้ำยาเคมีในเวลาที่เหมาะสมแล้ว ต้องนำชิ้นงานขึ้นจากน้ำยาเคมี และจะต้องล้างน้ำยาเคมีออกจากชิ้นงานโดยใช้น้ำสะอาด ซึ่งในขั้นตอนนี้ จะมีวิธีการล้างได้หลายแบบแล้วแต่ความสะดวกในการทำงาน และความเหมาะสมด้านอื่น |
| Drying | ชิ้นงานที่ถูกล้างด้วยน้ำเย็นและน้ำอุ่นแล้ว จะต้องนำไปทำให้แห้งโดยผ่านอากาศร้อนหรือใช้ Centrifugal separator กรณีที่เป็นชิ้นงานขนาดเล็ก |

2.1.3 แหล่งที่มาและลักษณะน้ำเสีย

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะมาจากสาเหตุต่างๆ ดังต่อไปนี้

- น้ำล้างจากขั้นตอนการขจัดไขมัน และน้ำมัน
- น้ำล้างจากขั้นตอนการจุ่มเงา และกำจัดสนิม
- น้ำล้างชิ้นงานภายหลังจากการชุบน้ำยา
- น้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลออกจากภาชนะโดยอุบัติเหตุ

- น้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือ และบริเวณสถานที่

มลพิษปริมาณสูงที่ปล่อยออกมาจากโรงงาน ได้แก่ น้ำล้างจากขั้นตอนการขจัดน้ำมัน และไขมัน น้ำเสียจากขั้นตอนการรุ่มเงาและกำจัดสนิม และน้ำล้างชิ้นงานภายหลังจากการชุบน้ำยา น้ำเสียทั้งสามส่วนนี้จะเกิดอย่างต่อเนื่องในการผลิต ส่วนน้ำเสียเนื่องจากน้ำยาที่เสื่อมคุณภาพหรือไหลออกจากภาชนะเนื่องจากอุบัติเหตุจะมีมลพิษสูง แต่นานๆจึงจะเกิดขึ้นสักครั้งหนึ่ง สำหรับน้ำล้างทำความสะอาดเครื่องมือและบริเวณสถานที่ จะมีความเข้มข้นของสารมลพิษต่ำและปริมาณไม่มากนัก สำหรับตัวอย่างของลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ลักษณะน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ (ประยูรและคณะ, 2542)

| Parameter | หน่วย | ค่า |
|------------------------------|-------|-------------|
| Temperature | °C | 27-29 |
| pH (Cyanide Contaminated WW) | | 11.1-12.5 |
| CN | ppm | 316-442 |
| Total solids | ppm | 4,780-6,600 |
| Suspended Solids | ppm | 290-430 |
| Dissolve Solids | ppm | 4,490-6,170 |
| Volatile Solids | ppm | 1,010-1,810 |
| Fixed solids | ppm | 3,777-4,967 |
| COD | ppm | 299-473 |
| Zn | ppm | 120-190 |

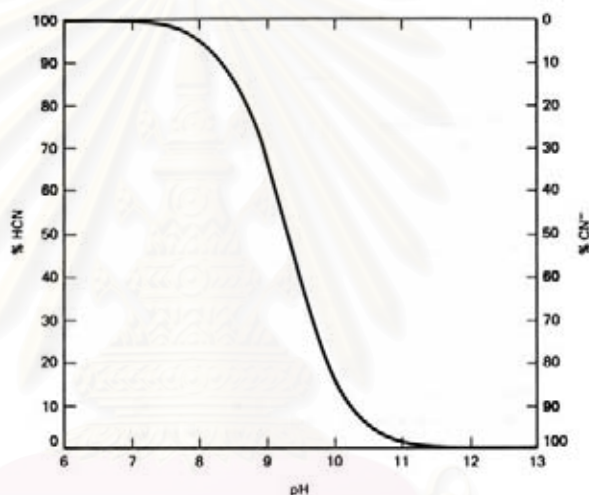
2.2 ไซยาไนต์

2.2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับไซยาไนต์

ไซยาไนต์ หมายถึง หมู่ไซยาไนต์ (CN) ที่มีในสารประกอบ สามารถวิเคราะห์หาปริมาณออกมาได้ในรูปไซยาไนต์ไอออน แต่โดยทั่วไปแล้วไซยาไนต์ไอออนในรูปอิสระจะเกิดขึ้นน้อยมากในธรรมชาติ เนื่องจากโมเลกุลนี้มีคุณสมบัติที่มีอันตรกิริยา (interaction) สูงในสิ่งแวดล้อม ไซยาไนต์จะอยู่ร่วมกับสารประกอบอื่นๆ หรือถูกตรึงอยู่กับโลหะในรูปของสารประกอบเชิงซ้อน (อรอนงค์, 2539:45) ดังนั้นจึงแบ่งสารประกอบไซยาไนต์ออกเป็น ไซยาไนต์อิสระ,

สารประกอบไซยาไนด์เชิงเดี่ยว, สารประกอบไซยาไนด์กับโลหะหนัก และสารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อน

2.2.1.1 ไซยาไนด์อิสระ หมายถึง ไซยาไนด์ในรูปของก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ (HCN) หรือกรดไฮโดรไซยานิก (Hydrocyanic acid) และไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) ไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็นกรดอ่อนที่ระเหยได้ง่าย สัดส่วนของไซยาไนด์ไอออนต่อไฮโดรเจนไซยาไนด์นั้น จะขึ้นอยู่กับค่าพีเอช และค่าคงตัวของการแตกตัวเป็นไอออน (K_a) ของไฮโดรเจนไซยาไนด์ (K_a = 4.6 × 10⁻¹⁰ ที่ 25 °C) ตามสมการ 2-3 ดังนั้นในแหล่งน้ำผิวดินทั่วไป จะพบไซยาไนด์ในรูปของไฮโดรเจนไซยาไนด์



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณไซยาไนด์ไอออน และกรดไฮโดรไซยานิก ที่พีเอชต่าง ๆ (Benfield และคณะ, 1982: 425)

2.2.1.2 สารประกอบไซยาไนด์เชิงเดี่ยว หมายถึง สารประกอบของไซยาไนด์กับโลหะอัลคาไลน์ เช่น โพแทสเซียมไซยาไนด์ (KCN), โซเดียมไซยาไนด์ (NaCN) และแอมโมเนียมไซยาไนด์ (NH₄CN) เป็นต้น มีสูตรทั่วไป คือ A(CN)_x

เมื่อ A = โลหะอัลคาไลน์ หรือแอมโมเนียมไอออน (NH₄⁺)

X = จำนวนวาเลนซ์ของ A ซึ่งเป็นจำนวนของไซยาไนด์ไอออน

สารประกอบเหล่านี้ มักเป็นสารประกอบที่ไม่เสถียร ระเหยได้ง่าย มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ละลายน้ำได้ดี เมื่ออยู่ในสภาพที่เป็นสารละลาย จะแตกตัวให้ไซยาไนด์ไอออน (CN⁻) ซึ่งมีความเป็นพิษสูง มีกลิ่นคล้ายอัลมอนด์

2.2.1.3 สารประกอบไซยาไนด์กับโลหะหนัก เช่น คอปเปอร์ (II) ไซยาไนด์ ($\text{Cu}(\text{CN})_2$) ซิลเวอร์ไซยาไนด์ (AgCN) และซิงค์ไซยาไนด์ ($\text{Zn}(\text{CN})_2$) เป็นต้น เป็นสารประกอบที่ละลายน้ำได้น้อยมาก แต่จะละลายได้ดีขึ้นเมื่ออยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับโลหะ

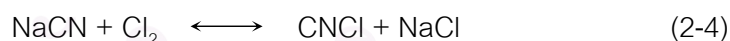
2.2.1.4 สารประกอบไซยาไนด์เชิงซ้อน หมายถึง สารประกอบของไซยาไนด์กับโลหะ อัลคาไลน์และโลหะหนัก เช่น โพแทสเซียมเฟอร์โรไซยาไนด์ ($\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$) และโพแทสเซียมโคบอลต์ไซยาไนด์ ($\text{K}_3\text{Co}(\text{CN})_6$) เป็นต้น แทนด้วยสูตรทั่วไป คือ $\text{A}_x\text{M}(\text{CN})_x$

เมื่อ

- A = โลหะอัลคาไลน์
- Y = จำนวนโลหะอัลคาไลน์ที่มีในสารประกอบ
- M = โลหะหนัก (เช่น Fe, Cd, Cu, Ni, Ag และ Zn)
- X = จำนวนของไซยาไนด์ไอออน ซึ่งเท่ากับวาเลนซ์ของ A รวมกับวาเลนซ์ของโลหะหนัก M

สารประกอบเชิงซ้อนที่พบในน้ำที่อุตสาหกรรมชุบโลหะที่สำคัญ ได้แก่ ทองแดงสังกะสี นิกเกิล และแคดเมียม โลหะแต่ละชนิดจะมีค่าคงที่เสถียรภาพ (stability constant) ต่างกัน ค่าคงที่เสถียรภาพจะบ่งบอกถึงความสามารถของสารประกอบเชิงซ้อนที่แตกตัวให้ไซยาไนด์ไอออนอิสระ ดังนั้นโลหะเชิงซ้อนที่มีเสถียรภาพต่ำจึงเป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมมากกว่า

2.2.1.5 ไซยาโนเจนคลอไรด์ (Cyanogen chloride, CNCl) เป็นสารประกอบที่ระเหยได้ง่าย ละลายน้ำได้เล็กน้อย มีความเป็นพิษสูงมาก เกิดจากการบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยใช้วิธีออกซิเดชันด้วยคลอรีน ตามสมการที่ 2-4



2.2.2 ความเป็นพิษของไซยาไนด์และสารประกอบของไซยาไนด์

- ไซยาไนด์และก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ เป็นพิษต่อมนุษย์และสัตว์ เนื่องจากไซยาไนด์จะจับกับฮีโมโกลบินแทนออกซิเจนทำให้เนื้อเยื่อไม่สามารถที่จะรับเอาออกซิเจนจากเลือดได้ ร่างกายจึงมีสภาพเหมือนขาดออกซิเจน ไซยาไนด์สามารถเข้าสู่ร่างกายได้ทั้งทางปาก ทางการหายใจหรือดูดซึมผ่านผิวหนังและลูกตา ถ้าได้รับก๊าซไซยาไนด์ในปริมาณที่สูงจะเกิดพิษเฉียบพลันต่อระบบประสาทส่วนกลางและหัวใจ หากได้รับไซยาไนด์โดยการกินหรือกลืนในปริมาณที่สูงจะทำให้ผู้ป่วยหายใจลำบาก หัวใจเต้นไม่เป็นปกติ ไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนไหวได้ ช็อก หมดสติ

และอาจจะเสียชีวิตได้หากได้รับการรักษาไม่ทัน ถ้าได้รับไซยาไนด์ในปริมาณน้อย จะมีอาการหายใจลำบาก ปวดหัว กล้ามเนื้อล้า คลื่นไส้ วิงเวียน (Environment Australia, 1998)

- ไซยาเนต ไซยาเนตมีพิษน้อยกว่าไซยาไนด์ประมาณ 1,000 เท่า
- ก๊าซไซยาโนเจนคลอไรด์ ทำให้ระบบทางเดินหายใจขัดข้อง มีความเป็นพิษเทียบเท่ากับก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์

2.2.3 การวิเคราะห์ไซยาไนด์

การวิเคราะห์ไซยาไนด์ในรูปแบบต่างๆ มีอยู่ 4 รูปแบบ (อรอนงค์, 2539: 51) คือ

2.2.3.1 Total cyanide

Total cyanide คือ ปริมาณไซยาไนด์ที่วัดได้หลังจากการรีฟลักซ์ด้วยกรด สารประเภทนี้รวมถึงสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ของเหล็ก และสารประเภท weakly acid dissociable และพวกสารประกอบเชิงซ้อนอื่นๆ ยกเว้น ทอง โคบอลท์ และแพลทตินัม ที่มีค่าคงที่ของการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนสูง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วการวิเคราะห์หาไซยาไนด์นิยมหาในรูปแบบ Total cyanide มากที่สุด

2.2.3.2 Weak acid dissociable cyanide (WAD)

Weak acid dissociable cyanide หมายถึง สารประกอบของไซยาไนด์ที่สามารถแตกตัวได้ง่าย เนื่องจากสมบัติความเป็นกรดอ่อน รวมทั้งพวกไซยาไนด์ไอออนและสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะที่มีเสถียรภาพต่ำ เช่น แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล เงิน และสังกะสี เป็นต้น

2.2.3.3 Cyanide amenable to chlorination (CATC)

Cyanide amenable to chlorination หมายถึง ไซยาไนด์ที่มีความสามารถในการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันกับคลอรีน ค่าที่วิเคราะห์นี้เป็นผลต่างของการวัดปริมาณ total cyanide ก่อนและหลังปฏิกิริยา chlorination ค่าเหล่านี้รวมไปถึงไซยาไนด์ทุกตัว รวมทั้งไทโอไซยาเนต ยกเว้นสารประกอบเชิงซ้อนของเหล็ก

2.2.3.4 Free cyanide

Free cyanide หมายถึง ไซยาไนด์ซึ่งอยู่ในรูปของไซยาไนด์ไอออนและสารประกอบไฮโดรเจนไซยาไนด์

ตารางที่ 2.2 การวิเคราะห์ ค่า logarithms ของค่าคงที่การแตกตัวเป็นไอออน และความเป็นพิษของไซยาไนด์ชนิดต่างๆ (Environment Australia, 1998)

| Term | Analytical type (a) | Species or compound | log equilibrium constant (b) and solubility data | Toxicity to fish (c) (LC ₅₀ in mg/L) |
|--------------------------------|---------------------|---|--|--|
| 1. Free cyanide | free cyanide | CN ⁻ HCN | not applicable 9.2 | ~ 0.1 0.05 to 0.18 |
| 2. Simple compounds | | | | |
| a) readily soluble | free cyanide | KCN(s) [*] NaCN.2H ₂ O(s) Ca(CN) ₂ (s) | sol = 71.6g/100g H ₂ O (25°C) sol = 34.2g/100g H ₂ O (15°C) | 0.02 to 0.08 0.4 to 0.7 - |
| b) relatively insoluble | WAD/CATC/total | CuCN(s) Zn(CN) ₂ (s) Ni(CN) ₂ (s) | -19.5 -15.9 sol = 9.1 x 10 ⁻⁴ g/100g H ₂ O (25°C) | - - - |
| 3. Weak complexes | WAD/CATC/total | Cd(CN) ₄ ²⁻ Zn(CN) ₄ ²⁻ | 17.9 19.6 | - 0.18 |
| 4. Moderately strong complexes | WAD/CATC/total | Ni(CN) ₄ ²⁻ Cu(CN) ₂ ⁻ Cu(CN) ₃ ²⁻ Cu(CN) ₄ ³⁻ Ag(CN) ₂ ⁻ | 30.2 16.3 21.6 23.1 20.5 | 0.42 - 0.71 (24 hours) - - |
| 5. Strong complexes | total | Fe(CN) ₆ ⁴⁻ Fe(CN) ₆ ³⁻ Au(CN) ₂ ⁻ | 35.4 43.6 38.3 | 35.0 (light); 860 to 940 (dark) 35.2 (light); 860 to 1210 (dark) - |
| Thiocyanate | | SCN ⁻ | not relevant | 50-200 |
| Cyanate | | CNO ⁻ | not relevant | 34-54 |

ตารางที่ 2.3 มาตรฐานต่างๆของไซยาไนด์ที่มีในประเทศไทย (กรมควบคุมมลพิษ, 2543)

| มาตรฐาน | ค่ามาตรฐาน (มก./ล.) | ที่มา |
|--|--|--|
| 1. มาตรฐานคุณภาพน้ำใต้ดิน | ต้องไม่เกิน 0.2 | ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 20 (พ.ศ. 2543) |
| 2. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมน้ำบริโภค | 0.2 (เกณฑ์กำหนดสูงสุด) | ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 332 (พ.ศ. 2521) |
| 3. มาตรฐานคุณภาพน้ำดื่มในภาชนะบรรจุที่ปิดสนิท | 0.1 (เกณฑ์อนุโลมสูงสุด) | ประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 135 (พ.ศ. 2534) |
| 4. มาตรฐานคุณภาพน้ำบาดาลที่ใช้บริโภค | ต้องไม่มีเลย (เกณฑ์กำหนดสูงสุด) | ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 12 (พ.ศ. 2542) |
| 5. ค่ามาตรฐานน้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมและนิคมอุตสาหกรรม | ต้องไม่เกิน 0.2 (เกณฑ์กำหนดสูงสุด) | ประกาศกระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม ฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2539) |
| 6. มาตรฐานน้ำทิ้งลงบ่อน้ำบาดาล | 0.2 (เกณฑ์กำหนดสูงสุด) | ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 5 (พ.ศ. 2521) |
| 7. ค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำทะเลชายฝั่ง | แหล่งน้ำประเภทที่ 2 - 4 กำหนดให้ ไม่มากกว่า 0.01 | ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 7 (พ.ศ. 2537) |
| 8. มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน | แหล่งน้ำประเภทที่ 2 - 4 กำหนดให้ ไม่มากกว่า 0.005 (เกณฑ์กำหนดสูงสุด) | ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ. 2537) |

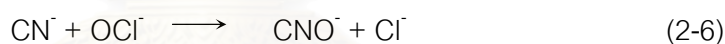
2.2.4 การกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย

ในการกำจัดไซยาไนด์ จะต้องอาศัยกระบวนการออกซิเดชันและรีดักชัน โดยการเติมสารเคมีที่เป็นตัวรีดิวซ์หรือออกซิไดซ์ ซึ่งไซยาไนด์จะถูกออกซิไดซ์ และเปลี่ยนรูปไปเป็นสารอื่นที่มีความเป็นพิษน้อยกว่าหรือไม่เป็นพิษเลย วิธีการต่างๆที่มีการใช้งานนั้นสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

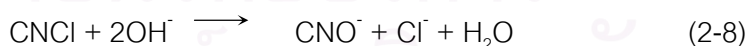
2.2.4.1 การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนหรืออัลคาไลน์คลอรีเนชัน (Alkaline chlorination)

เป็นการทำลายไซยาไนด์โดยการเติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) หรือก๊าซคลอรีนร่วมกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งจะสามารถออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตอย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชมากกว่า 10 โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 5 ถึง 10 นาที จากนั้นไซยาเนตจะถูกออกซิไดซ์ต่อด้วยคลอรีนที่มากเกินไป กลายเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) และก๊าซไนโตรเจน (N₂) ที่พีเอชตั้งแต่ 10 ขึ้นไปจะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานาน แต่หากน้ำเสียนั้นมีพีเอชอยู่ในช่วง 7-8 จะใช้เวลาทำปฏิกิริยาเพียง 2 – 5 นาที (Emerson Process Management, 2001) กลไกของปฏิกิริยาดังกล่าวสรุปได้เป็น 2 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต ซึ่งสมการต่อไปนี้จะใช้ในการคำนวณปริมาณสารเคมีที่ต้องใช้ในปฏิกิริยาขั้นตอนแรก

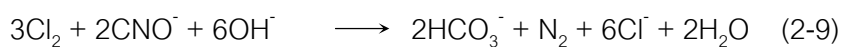


อย่างไรก็ตาม ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจริงซับซ้อนกว่าปฏิกิริยาตามสมการ 2-5 และ 2-6 ซึ่งจะเกิดไซยาโนเจนคลอไรด์ขึ้นก่อน ดังสมการต่อไปนี้

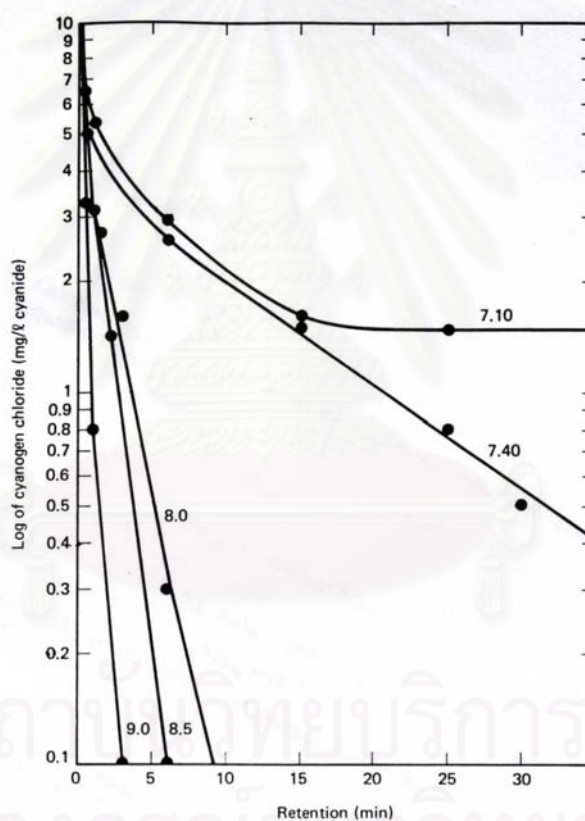


การออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาโนเจนคลอไรด์ สามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วทุกช่วงพีเอช แต่การเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไซยาโนเจนคลอไรด์ไปเป็นไซยาเนต จะเกิดซ้ำที่พีเอชประมาณ 7 แต่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็วเมื่อพีเอชอยู่ในช่วง 8.5-9.0 (รูปที่ 2.4) ดังนั้นปฏิกิริยาในขั้นแรก ควรจะมีพีเอชประมาณ 9-10 เพื่อให้มั่นใจว่าปฏิกิริยาตามสมการ 2-6 นั้นเกิดขึ้นได้อย่างสมบูรณ์

ขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนไซยาเนตไปเป็นไบคาร์บอเนต (HCO_3^-) และไนโตรเจน (N_2) โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วที่พีเอช 8.5 และเมื่อมีคลอรีนมากเกินไป กลไกของปฏิกิริยาเป็นไปตามสมการ 2-9 และ 2-10



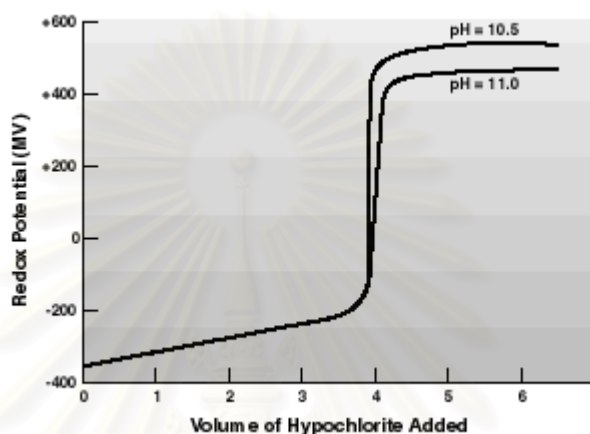
โดยกรดไฮโปคลอรัส (Hypochlorous acid, HOCl) จะเป็น Active Chlorine Species ที่ไปทำลายไซยาเนต กรดไฮโปคลอรัสเพียงเล็กน้อยก็จะสามารถออกซิไดซ์ไซยาเนตได้ เช่น ที่พีเอช 8.5 (มีกรดไฮโปคลอรัสประมาณร้อยละ 10) ไซยาเนตจะถูกออกซิไดซ์เกือบจะทั้งหมดภายใน 10 นาที และถ้าหากพีเอชมีค่าลดลง จะทำให้การออกซิไดซ์เกิดขึ้นได้เร็วยิ่งขึ้น



รูปที่ 2.4 ผลของพีเอชที่มีต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไซยาโนเจนคลอไรด์ไปเป็นไซยาเนต (Benfield และคณะ, 1982: 428)

นอกจากจะใช้ค่าพีเอชเป็นตัวควบคุมปฏิกิริยาแล้ว อีกวิธีหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ในการควบคุมปฏิกิริยา คือ ค่า Oxidation-Reduction potential (โออาร์พี, ORP หรือ Redox potential) ในปฏิกิริยาขั้นที่ 1 ค่าโออาร์พีควรอยู่ในช่วงค่า +325 ถึง +400 มิลลิโวลต์ ส่วนใน

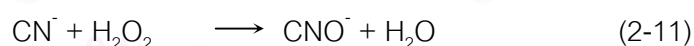
ปฏิกิริยาขั้นที่ 2 ไออาร์พีควรอยู่ในช่วง +600 ถึง +800 มิลลิโวลท์ (U.S. EPA, 2000) ไออาร์พีจะวัดสถานะของปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชันที่เกี่ยวกับการถ่ายเทอิเล็กตรอน จากไอออนที่ถูกออกซิไดซ์ไปยังสารออกซิไดซ์ เช่น คลอรีนรับอิเล็กตรอนจากไซยาไนด์เพื่อที่จะออกซิไดซ์ไซยาไนด์ ถ้าไอออนที่ออกซิไดซ์ เช่น ไฮโปคลอไรท์ รับอิเล็กตรอน จะทำให้ค่าไออาร์พีสูงขึ้น ในทางกลับกัน ไอออนที่รีดิวซ์ เช่น ไซยาไนด์ ให้อิเล็กตรอนจะทำให้ค่าไออาร์พีลดลง ค่าไออาร์พีของปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความเข้มข้นของไอออนที่รีดิวซ์และไอออนที่ออกซิไดซ์ในสารละลาย



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าไออาร์พีกับปริมาณไฮโปคลอไรท์ที่เติม (Honeywell, 2003)

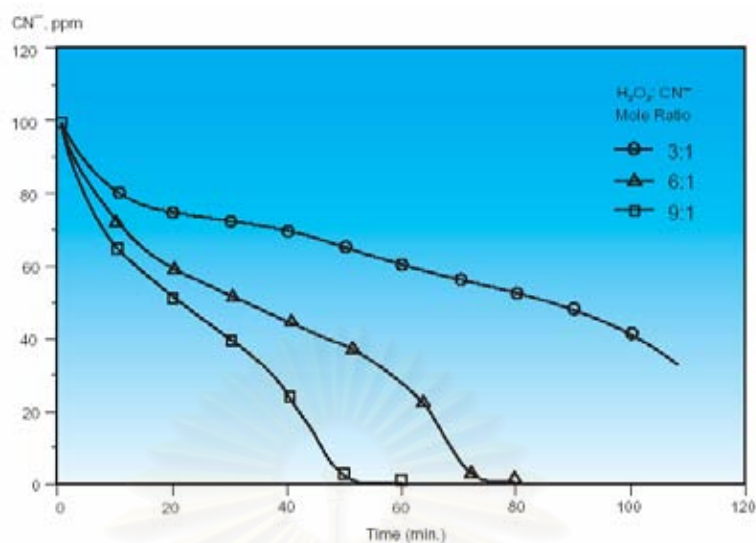
2.2.4.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Hydrogen peroxide oxidation)

โดยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตดังสมการ 2-11



ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นเมื่อพีเอชมีค่าสูงกว่า 9 โดยมีช่วงที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10 ถึง 11 ดังนั้นจึงไม่เกิดก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ที่เป็นพิษ

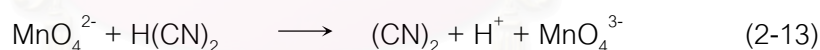
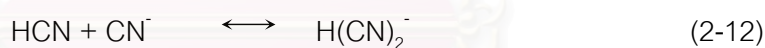
ในการกำจัดไซยาไนด์อิสระ จะต้องใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 3-6 โมล ต่อไซยาไนด์ 1 โมล (Solvay Interox, 2001) ซึ่งอัตราการทำปฏิกิริยาจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของไซยาไนด์ ความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ส่วนเกิน และอุณหภูมิ โดยการใส่ตัวเร่งปฏิกิริยาเช่น ทองแดง จะช่วยเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้น



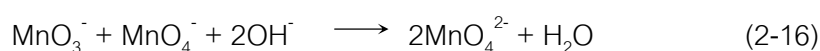
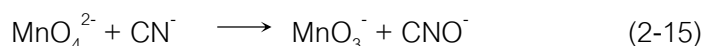
รูปที่ 2.6 การทำลายไซยาไนด์โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เมื่อมีการเติมทองแดง 25 มก./ล. (Solvay Interox, 2001)

2.2.4.3 การออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต (Permanganate oxidation)

การทำลายไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยการออกซิไดซ์ด้วยโพแทสเซียมเปอร์มังกาเนต (KMnO_4) ที่พีเอช 12-14 เนื่องจากที่พีเอชต่ำกว่า 6 จะไม่เกิดปฏิกิริยา และที่พีเอช 6-9 จะเกิดก๊าซไซยาโนเจน ($(\text{CN})_2$) ซึ่งมีความเป็นพิษสูง กลไกของปฏิกิริยาที่พีเอช 6-12 จะเป็นไปตามสมการที่ 2-12 ถึง 2-14 (วิสิทธิ์, 2540)



เมื่อใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ หรือโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช ที่พีเอช 12-14 กลไกของปฏิกิริยาจะเป็นไปตามสมการ 2-15 และ 2-16

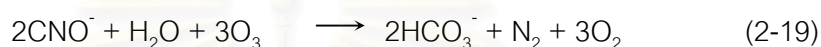
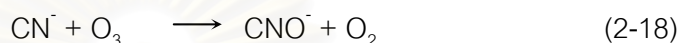


ที่พีเอช 12-14 เช่นเดียวกัน แต่ใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ในการปรับพีเอช จะเกิดแมงกานีสออกไซด์ (MnO_2) ขึ้น และสามารถตกตะกอนได้ตามสมการ 2-17

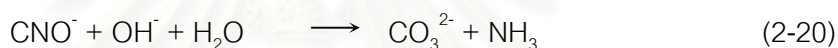


2.2.4.4 การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (Ozonation)

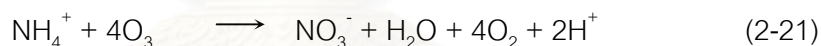
เป็นการทำลายไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยการเติมโอโซน (O_3) โอโซนที่เติมลงไปจะทำปฏิกิริยากับไซยาไนด์ให้เปลี่ยนเป็นไซยาเนต ซึ่ง Selm (1959) และ Tyler และคณะ (1951) เชื่อว่าการออกซิไดซ์ไซยาเนตไปเป็นไนโตรเจน และคาร์บอนไดออกไซด์จะเป็นไปตามปฏิกิริยาดังนี้



ในสารละลายที่มีสภาพเป็นด่าง จะเกิดปฏิกิริยาไฮโดรไลซิสของไซยาเนตดังสมการ



แอมโมเนียที่เกิดขึ้นจะถูกออกซิไดซ์ต่อไปเป็นไนเตรต ซึ่งปฏิกิริยาที่สังเกตได้โดย Singer และ Zilli (1975) เป็นไปดังนี้



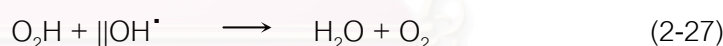
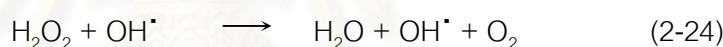
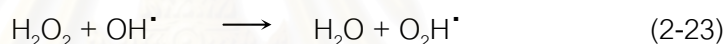
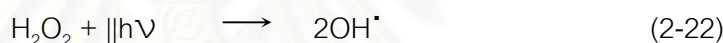
ที่พีเอช 9 -12 จะใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาประมาณ 10 -15 นาที เมื่อเติมทองแดงลงไปเล็กน้อยจะเร่งปฏิกิริยาให้เกิดได้เร็วขึ้น (Patterson, 1985) วิธีนี้จะสามารถทำลายสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับนิเกิล สังกะสี แคดเมียม หรือทองแดงได้ แต่สำหรับสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์กับโคบอลต์ ทอง หรือเหล็กจะทำลายได้ยาก แม้ว่าจะมีการเติมสารเร่งปฏิกิริยา เช่น ทองแดง หรือแมงกานีส แต่การใช้โอโซนร่วมกับรังสีอัลตราไวโอเล็ตจะช่วยให้สามารถออกซิไดซ์สารประกอบเชิงซ้อนเหล่านี้ได้อย่างสมบูรณ์

2.2.4.5 การออกซิไดซ์ด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต (UV oxidation)

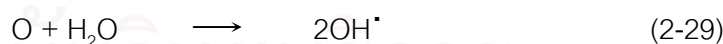
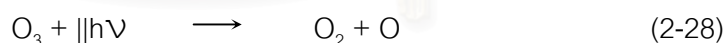
การใช้รังสียูวีจะทำให้สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะละลายน้ำได้บางส่วน เนื่องจากน้ำเสียจะต้องไหลผ่านเพื่อรับรังสียูวีเข้มข้น ทำให้ใช้ได้ดีกับเฉพาะสารละลายที่ค่อนข้างใส วิธีนี้จึงมีข้อจำกัด ส่วนการออกซิไดซ์ด้วยรังสียูวีร่วมกับการใช้โอโซนหรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะช่วยให้สามารถออกซิไดซ์สารประกอบเชิงซ้อนของโลหะได้อย่างสมบูรณ์ การใช้รังสียูวีร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะทำให้เกิดอนุมูล OH^\cdot (Hydroxyl Radical) ซึ่งเป็นสารออกซิไดซ์ที่รุนแรง U.S. EPA (2000) แนะนำว่าแหล่งกำเนิดแสงที่เหมาะสมจะให้แสงในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 280 นาโนเมตร ซึ่งไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโอโซนจะดูดซับรังสีในช่วงนี้ไว้ ข้อดีของการออกซิไดซ์ด้วยรังสียูวี/โอโซน และรังสียูวี/ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ คือ ไม่เกิดสารที่ไม่ต้องการ (เช่น แอมโมเนีย) นอกจากนี้การออกซิไดซ์ด้วยรังสียูวียังสามารถที่จะใช้ร่วมกับ Fenton's reagent และไททานเนียมไดออกไซด์ได้ด้วย

สมการด้านล่างได้สรุปปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น จากการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และโอโซนร่วมกับรังสียูวี (U.S. EPA, 2000)

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ :



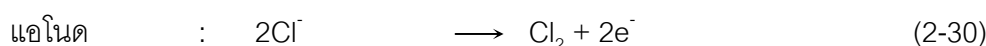
โอโซน :

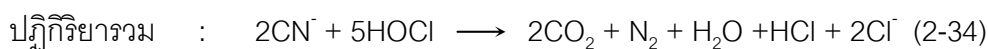
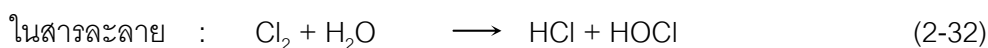
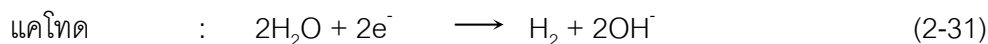


2.2.4.6 การสลายตัวด้วยไฟฟ้า (Electrolytic Decomposition)

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 วิธี

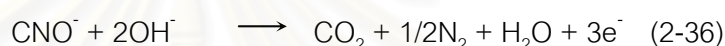
1. วิธีการทางไฟฟ้าเคมีโดยอ้อม ซึ่งเป็นการผลิตไฮโปคลอไรต์ (OCl^-) โดยการเติมโซเดียมคลอไรด์ ไฮโปคลอไรท์ที่เกิดขึ้นจะไปทำลายไซยาไนด์ต่อไป วิธีนี้สามารถใช้ได้ดีกับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของไซยาไนด์น้อยกว่า 500 มิลลิกรัมต่อลิตร ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นไปดังนี้



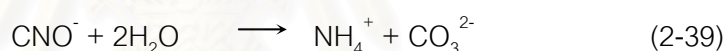
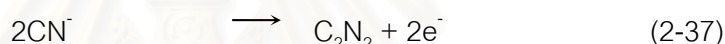


2. การออกซิเดชันที่แอโนดโดยตรง โดยจะเปลี่ยนไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต ซึ่งจะถูกสลายต่อไปได้เป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์หรือออกซาเลตไอออนขึ้นอยู่กับพีเอช (Hwang และคณะ, 1987) เหมาะสำหรับน้ำเสียที่มีความเข้มข้นของไซยาไนด์สูงๆ (มากกว่า 1000 มิลลิกรัมต่อลิตร) ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะเป็นไปดังนี้

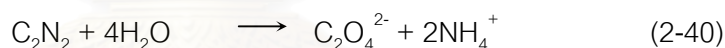
ในสารละลายที่มีความเป็นด่างสูง (พีเอช 12) :



ในสารละลายที่เป็นกลางและเป็นด่างอ่อน (พีเอช 7.0-11.7) :

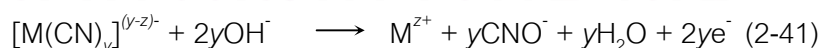


ในสารละลายที่เป็นกรดอ่อน (พีเอช 5.2-6.8) :



น้ำเสียอุตสาหกรรมที่ประกอบไปด้วยโลหะหนักและไซยาไนด์ จะอยู่ในรูปของสารประกอบเชิงซ้อนของโลหะ เช่น แคดเมียม ทองแดง นิกเกิล สังกะสี และเหล็ก ไซยาไนด์จะรวมตัวอย่างรวดเร็วกับไอออนของโลหะหนัก, M^{z+} ได้เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียร, $[\text{M}(\text{CN})_y]^{(y-z)-}$ กลไกในการสลายตัวของสารประกอบเชิงซ้อนนี้ยังไม่มีการยืนยัน แต่ได้มีการเสนอไว้อยู่ 2 กลไกคือ

(1) การออกซิไดซ์โดยตรงของสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนต (เกิดขึ้นที่แอโนด)



(2) การแตกตัวทางเคมีของสารประกอบเชิงซ้อนของไซยาไนด์ในสารละลาย



จากนั้นจึงเกิดการออกซิเดชันของไซยาไนด์อิสระไปเป็นไซยาเนต ดังสมการที่ 2-35 ถึง 2-40 ผลกระทบของโลหะหนักต่อการออกซิเดชันของไซยาไนด์ ได้มีการรายงานไว้หลายราย (Dart และคณะ, 1963; El-Ghaoui และคณะ, 1982; Hine และคณะ, 1986; Ho และคณะ, 1990) สามารถสรุปได้ว่า สังกะสี ทองแดง นิกเกิล และแคดเมียม จะช่วยให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดีขึ้น ในขณะที่เหล็กจะส่งผลเสียต่อเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไซยาไนด์

2.2.4.7 วิธีอื่นๆ ที่ใช้ในการบำบัดไซยาไนด์ แต่มีการใช้งานอยู่น้อย มีดังต่อไปนี้

- กระบวนการคาสโตน (Kastone process) (Patterson, 1985)
- การดูดซับด้วยบนถ่านกัมมันต์ (Patterson, 1985)
- การทำลายด้วยอัลดีไฮด์ (Eilbeck และ Mattock, 1987)
- การทำลายด้วย Fenton's Reagent (Eilbeck และ Mattock, 1987)
- การทำลายด้วย SO₂/Air (INCO, 1993)
- การออกซิไดซ์ด้วยความร้อน (Hartinger, 1994)
- การตกตะกอนไซยาไนด์ด้วยเกลือของ Fe(II) (Hartinger, 1994)
- การทำลายด้วยออกซิเจน (Hartinger, 1994)

2.2.5 กำลังของไอออน (Ionic Strength)

ผลกระทบของไอออนต่อปฏิกิริยาทางเคมีในสารละลาย จะขึ้นอยู่กับความแรงของประจุของไอออน ซึ่งผลของไอออนที่มีอยู่ในสารละลายหรือกำลังของไอออน สามารถหาได้จากสมการดังต่อไปนี้ (Benjamin, 2002)

$$I = \frac{1}{2} \sum_{\text{all ions}} c_i z_i^2 \quad (2-43)$$

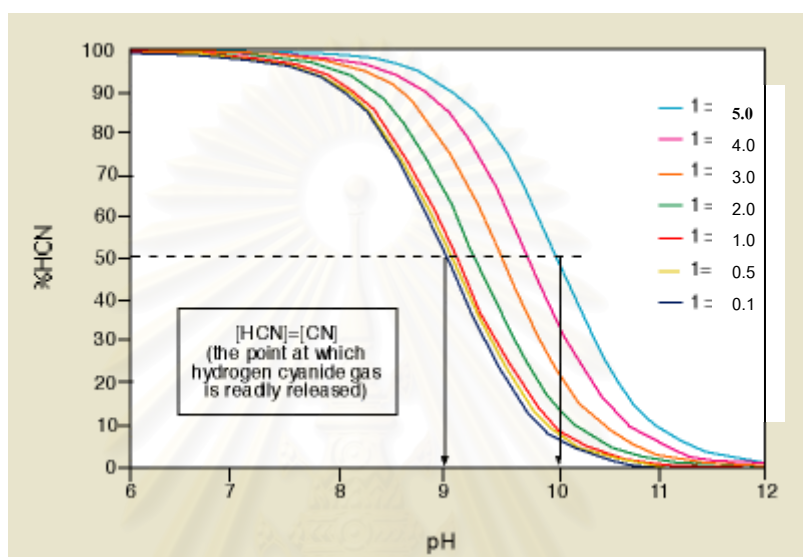
- เมื่อ
- I = กำลังของไอออน, โมลต่อลิตร
 - i = สารใดๆ ที่อยู่ในสารละลาย เช่น Na⁺, NO³⁻
 - c_i = ความเข้มข้นของสาร i , โมลต่อลิตร
 - z_i = ประจุของสาร i

หรือคำนวณจากค่าของแข็งละลายทั้งหมด

$$I = 2.5 \cdot 10^{-5} \cdot \text{TDS} \quad (2-44)$$

เมื่อ I = กำลังของไอออน, โมลต่อลิตร

TDS = ค่าของแข็งละลายทั้งหมด, มิลลิกรัมต่อลิตร



รูปที่ 2.7 ผลของพีเอชที่มีผลกับการไฮโดรไลซิสของไซยาไนด์ที่ค่ากำลังไอออนต่างๆ (Environment Australia, 1998)

2.2.6 การป้องกันและความปลอดภัยในการทำการทดลองเกี่ยวกับไซยาไนด์

เนื่องจากไซยาไนด์และสารประกอบของไซยาไนด์ เช่น ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ และก๊าซไซยาโนเจนคลอไรด์เป็นก๊าซที่มีพิษ สามารถทำอันตรายต่อผู้วิจัย ดังนั้นในการทดลองที่เกี่ยวข้องกับไซยาไนด์ ผู้ทำการทดลองจะต้องมีอุปกรณ์ที่ช่วยในการป้องกันและทำการทดลองในสภาวะที่เหมาะสม โดยต้องทำการทดลองที่พีเอชมากกว่าค่าคงที่การแตกตัวของกรดไฮโดรไซยาเนด (พีเอช มากกว่า 9.25) ในกรณีที่ใช้ไฮโปคลอไรท์ในการบำบัด จะเกิดก๊าซไซยาโนเจนคลอไรด์ในระหว่างขั้นตอนการเปลี่ยนไซยาไนด์เป็นไซยาเนต เพื่อให้ปฏิกิริยานี้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ต้องทำการทดลองที่พีเอชมากกว่า 8.5-9 ในขั้นตอนที่ 2 นอกจากนี้ยังต้องทำการทดลองใน Hood ที่มีประสิทธิภาพ มีอุปกรณ์ป้องกัน เช่น แว่นตากันสารเคมี หน้ากากที่สามารถกันไอระเหยได้ เสื้อคลุม

สำหรับปฏิบัติการในห้องทดลอง รวมทั้งติดฉลากที่ข้างขวดสารเคมีและขวดที่ทำการทดลอง เพื่อให้ผู้ทำการทดลองคนอื่นทราบด้วย

2.2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับไซยาไนด์

สาโรช (2535) ได้ศึกษาแนวทางในการบำบัดน้ำเสียชุบโลหะด้วยไฟฟ้า โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ ครอบคลุมการชุบโครเมียม ทองแดง นิกเกิล และสังกะสี และน้ำเสียจริงจากโรงงาน เป็นกรณีตัวอย่าง โดยเปรียบเทียบการใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ ในการออกซิไดซ์ไซยาไนด์ให้เป็นไซยาเนต โดยไซยาไนด์ในน้ำเสียจะมีความเข้มข้น 200 500 และ 1,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่พีเอช 11 ซึ่งผลการทดลองพบว่า การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ 1.25 เท่าของปริมาณที่ใช้ในทางทฤษฎี สามารถกำจัดไซยาไนด์ได้อย่างสมบูรณ์ และเมื่อเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการบำบัดพบว่า การใช้แคลเซียมไฮโปคลอไรท์จะเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ประมาณ ร้อยละ 50

Futakawa และคณะ (1994) ได้สรุปการดำเนินงานตั้งแต่ปี 1991 ของโรงงานนำร่องที่ Sendai ของบริษัท NPC Sendai Works โดยใช้ระบบ OG-CWO (catalytic wet oxidation) ในการบำบัดน้ำเสียที่มีค่าซีไอดีสูง ซึ่งองค์ประกอบหลักของน้ำเสีย คือ โพลีเอทิลีนเฟอโรไซยาไนด์ ($K_4[Fe(CN)_6]$) หรือ โพลีเอทิลีนเฟอโรไซยาไนด์ ($K_3[Fe(CN)_6]$) มีค่าไซยาไนด์ทั้งหมดอยู่ในช่วง 10,000 - 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร มีความสามารถในการบำบัด 2 ตัน/วัน รับน้ำเสียทั้งหมดจากกระบวนการผลิต Tufftride ซึ่งผลการดำเนินงานพบว่าสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้เหลือน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร

ชลชัย และคณะ (2540) ได้ทำการศึกษาลักษณะที่เหมาะสมที่ใช้ในการบำบัดน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีการปนเปื้อนของโลหะหนักและไซยาไนด์ ซึ่งผลการทดลองบำบัดน้ำเสียจริงจากโรงงานชุบทองที่พีเอช 11 ซึ่งมีความเข้มข้นของไซยาไนด์เท่ากับ 58.78 มิลลิกรัมต่อลิตร จะต้องใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ประมาณ 2.26 เท่าของที่ใช้ในทางทฤษฎี ในการกำจัดไซยาไนด์และตกตะกอนทางเคมีของโลหะหนักโดยทำการขยายเวลาของการออกซิไดซ์ในขั้นที่หนึ่ง จากเดิม 20 นาทีเป็น 1 ชั่วโมงจะทำให้โลหะหนักทั้งคอปเปอร์ และนิกเกิลมีปริมาณที่เหลืออยู่ต่ำกว่ามาตรฐาน และสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมด

มงคล และ จารุวรรณ (2542) แนะนำให้ใช้วิธีอัลคาไลน์ คลอรีเนชัน ในการบำบัดน้ำเสียที่มีสารประกอบของไซยาไนด์อิสระ โดยการเติมไฮโปคลอไรท์ในสารละลายต่าง โดยแนะนำให้ใช้ค่าพีเอชและค่า ORP (oxidation reduction potential) ในปฏิกิริยาขั้นที่แรกและขั้นที่สองเป็น 10.5 , ≥ 300 mv และ 7, 600 mv ตามลำดับ และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาในแต่ละขั้น มากกว่า 10 นาที

Sinbuathong และคณะ (2000) ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการโดยใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ (NaOCl) และแคลเซียมไฮโปคลอไรท์ (Ca(OCl)_2) ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 30 นาที ที่ พีเอช 12.3 ได้ผลิตภัณฑ์คือ ไซยาเนต (CNO^-) ซึ่งสามารถออกซิไดซ์ได้เป็นก๊าซไนโตรเจน วิธีที่ใช้ในการหาปริมาณไซยาไนด์ก่อนได้รับการบำบัด คือวิธี Colorimetric ผลการทดลองพบว่า สามารถกำจัดไซยาไนด์เกือบร้อยละ 100

Olsson (2000) ศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ด้วยโซเดียมไฮโปคลอไรท์ การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และใช้วิธีทางไฟฟ้าเคมี ผลการทดลองพบว่าทั้ง 4 วิธี มีความสามารถในการออกซิไดซ์ใกล้เคียงกัน แต่มีข้อแตกต่างคือ การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์มีผลข้างเคียงคือเกิดค่าความเค็มสูง การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะได้ผลดีเมื่อใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 3 เท่าของที่คำนวณได้จาก stoichiometric การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์ร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะช่วยลดปริมาณสารเคมีเมื่อเทียบกับการใช้วิธีใดวิธีหนึ่งเพียงอย่างเดียว การใช้วิธีทางไฟฟ้าเคมีทำให้สามารถนำทองแดงกลับมาใช้ได้ใหม่และไม่มีสารเคมีตกค้าง

Cheng และคณะ (2002) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของคอปเปอร์ไซยาไนด์ในการทำลายไซยาไนด์ที่พีเอชต่ำ ปฏิกิริยาจะถูกเร่งโดยปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับการดูดซับ $[\text{Cu(CN)}_3]^{2-}$ และ $[\text{Cu(CN)}_3]^{3-}$ ส่วนที่พีเอชสูงจะสังเกตเห็นการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างรวดเร็วเมื่อมีความต่างศักย์ประมาณ 0.75 โวลต์เทียบกับ Hg/HgO อีกทั้งจะเกิดชั้นฟิล์มสีดำของคอปเปอร์ออกไซด์ขึ้น การเกิดการปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีขึ้นเกี่ยวข้องกับการเกิดขึ้นของ Cu(III) ที่ว่องไว และจุดเปลี่ยนแปลงระหว่างที่พีเอชสูงกับพีเอชต่ำ เป็นฟังก์ชันของความเข้มข้นไซยาไนด์กับทองแดง การเกิดอิเล็กโตรไลซิสของสารละลายของคอปเปอร์ไซยาไนด์ที่ความต่างศักย์ 0.90 โวลต์ จะสามารถออกซิไดซ์ไซยาไนด์ไปเป็นไซยาเนตได้เกือบทั้งหมด และพบว่าชั้นฟิล์มของ คอป

เปอร์ออกไซด์จะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาซึ่งจะออกซิไดซ์ไฮดรอกไซด์ไปเป็นออกซิเจนและไฮยาเนตไปเป็นไนเตรต

Dabrowski และคณะ (2002) ได้ทำการศึกษาการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮยาไนต์อิสระโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ และการฉายรังสีอัลตราไวโอเล็ต โดยหาอัตราการออกซิไดซ์ไฮยาไนต์ด้วยแสงที่ความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้น พีเอช ลักษณะของตัวเร่งปฏิกิริยาก๊าซที่ใช้ และอุณหภูมิต่างๆ พบว่าเป็นไปตามจลนศาสตร์อันดับหนึ่งเมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไฮยาไนต์การใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาระหว่างรังสีอัลตราไวโอเล็ตและออกซิเจน จะมีผลให้อัตราการออกซิไดซ์ไฮยาไนต์อิสระเพิ่มขึ้นเป็น 2 เท่า อย่างไรก็ตามอัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันจะไม่ขึ้นกับความดันย่อยของออกซิเจน (0.2 – 1.0 บรรยากาศ) ที่อัตราการไหลของก๊าซในช่วงที่ทำการศึกษา ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิจาก 20 องศาเซลเซียสไปเป็น 35 องศาเซลเซียส จะไม่มีผลต่ออัตราการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของไฮยาไนต์

Parga และคณะ (2003) ได้ทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพในการกำจัดไฮยาไนต์ด้วยวิธีต่างๆ ได้แก่ การออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2) การออกซิไดซ์ด้วยโอโซน (O_3) และการออกซิไดซ์ด้วยแสงโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา โดยในการออกซิไดซ์ด้วยคลอรีนไดออกไซด์ น้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีความเข้มข้นของไฮยาไนต์เริ่มต้นเท่ากับ 250 มิลลิกรัมต่อลิตร ทำการทดลองที่ค่าพีเอชเท่ากับ 2.57, 9.20 และ 11.23 ซึ่งจากผลการทดลองพบว่า ไฮยาไนต์อิสระจะถูกทำลายที่ทุกๆค่าของพีเอช และมีประสิทธิภาพเท่ากับร้อยละ 99.9 แต่สารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์จะถูกทำลายได้ดีเมื่อสารละลายมีพีเอชสูง ประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบเชิงซ้อนของไฮยาไนต์จะเท่ากับร้อยละ 25.2, 58.8 และ 78.8 ที่พีเอช 2.57, 9.20 และ 11.23 ตามลำดับ ผลการทดลองโดยใช้การออกซิไดซ์ด้วยโอโซนพบว่า อัตราการออกซิไดซ์ไฮยาไนต์จะเป็นปฏิกิริยาอันดับหนึ่งเมื่อเทียบกับอัตราการเติมโอโซน และเป็นปฏิกิริยาอันดับศูนย์เมื่อเทียบกับความเข้มข้นของไฮยาไนต์ในน้ำเสีย โดยมีค่าคงที่อัตราประมาณ 10^{-5} โมล/ลิตร-วินาที ส่วนผลการทดลองโดยการออกซิไดซ์ด้วยแสงโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา พบว่าจะเกิดขึ้นได้ดีเมื่อพีเอชมีค่าเท่ากับ 10 โดยน้ำเสียที่ใช้จะเป็นน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมจากโพแทสเซียมเฟอร์ไรไฮยาไนต์ ($\text{K}_3\text{Fe}(\text{CN})_6$) ที่มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 1 มิลลิโมลต่อลิตร

Matsumura และ Kojima (2003) ศึกษาการแตกตัวและสลายตัวของไซยาไนด์และสารประกอบของไซยาไนด์ที่อยู่ในดินที่ปนเปื้อน พบว่าสารประกอบที่แตกตัวเป็นไอออนได้ง่าย เช่น โบตัสเซียมไซยาไนด์จะแตกตัวให้ไซยาไนด์อิสระในสภาพที่เป็นกลาง ส่วนเกลือของไซยาไนด์เฟอเรท เช่น โพแทสเซียมและเหล็ก จะไม่แตกตัวในสภาพที่เป็นกลาง แต่จะแตกตัวในสภาพที่เป็นด่างที่พีเอชมากกว่า 13 นอกจากนี้ยังพบว่า $\text{Fe}(\text{CN})_6^{4-}$ ที่แตกตัวในสภาพต่าง สามารถย่อยสลายเป็นกรดไซยานิค หรือผลิตภัณฑ์ตัวอื่น เมื่อใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

2.3 อีดีทีเอ (Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid, EDTA)

2.3.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับอีดีทีเอ

อีดีทีเอ หรือ Ethylene Diamine Tetra-Acetic Acid (EDTA) (รูปที่ 2.8 ก.) เป็นสารประกอบหลักในน้ำยาทำความสะอาด บ้างก็นำอีดีทีเอมาใช้เป็นสารคีเลชั่น เนื่องจากอีดีทีเอสามารถจับกับโลหะหนัก และโลหะทรานซิชัน ทำให้โลหะสามารถละลายน้ำได้ดี (รูปที่ 2.8 ข.) นอกจากนี้ อีดีทีเอยังใช้เป็นตัวยับยั้งการเน่าเสียของอาหาร โดยเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสียจะจับอยู่กับโลหะทรานซิชัน อีดีทีเอจะจับกับโลหะนั้นแทนทำให้สามารถยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ที่ทำให้อาหารเสียได้ หรือเป็นตัวกำจัดรสขมของโลหะในอาหาร (Benjamin, 2002) โรงงานที่ใช้อีดีทีเอเป็นสารคีเลชั่น คือ โรงงานที่ใช้กระบวนการชุบโลหะแบบ non-cyanide based โรงงานกระดาษและเยื่อกระดาษ โรงงานผลิตสบู่และผงซักฟอก และโรงงานอาหาร

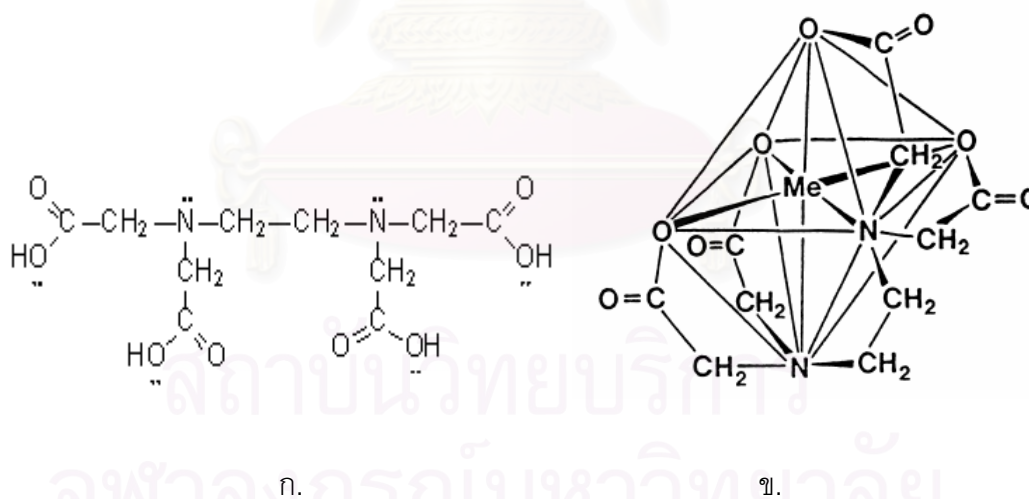
2.3.2 ความเป็นพิษของอีดีทีเอ

อีดีทีเอไม่มีพิษร้ายแรงต่อมนุษย์ หากหายใจเอาละอองหรือฝุ่นของอีดีทีเอเข้าไป ก็จะทำให้ไอและจาม การสัมผัสกับผิวหนังหรือลูกตามีผลเพียงทำให้ผิวหนังบริเวณที่สัมผัสแดงขึ้นเท่านั้น แต่ถ้ากินหรือกลืนเข้าไป จะทำให้รู้สึกร้อนในกระเพาะและคลื่นไส้อาเจียน ถ้าได้รับในปริมาณที่มาก อาจมีผลต่อไตได้ (National Institute for Occupational Safety and Health, 2002) และแม้ว่าจะยังไม่มีกฎหมายหรือมาตรฐานใดๆที่กำหนดค่ามาตรฐานน้ำทิ้งของอีดีทีเอ แต่ทางโรงงานที่นำอีดีทีเอไปใช้ในกระบวนการผลิต ต้องคำนึงคุณสมบัติของอีดีทีเอด้วย เนื่องจาก

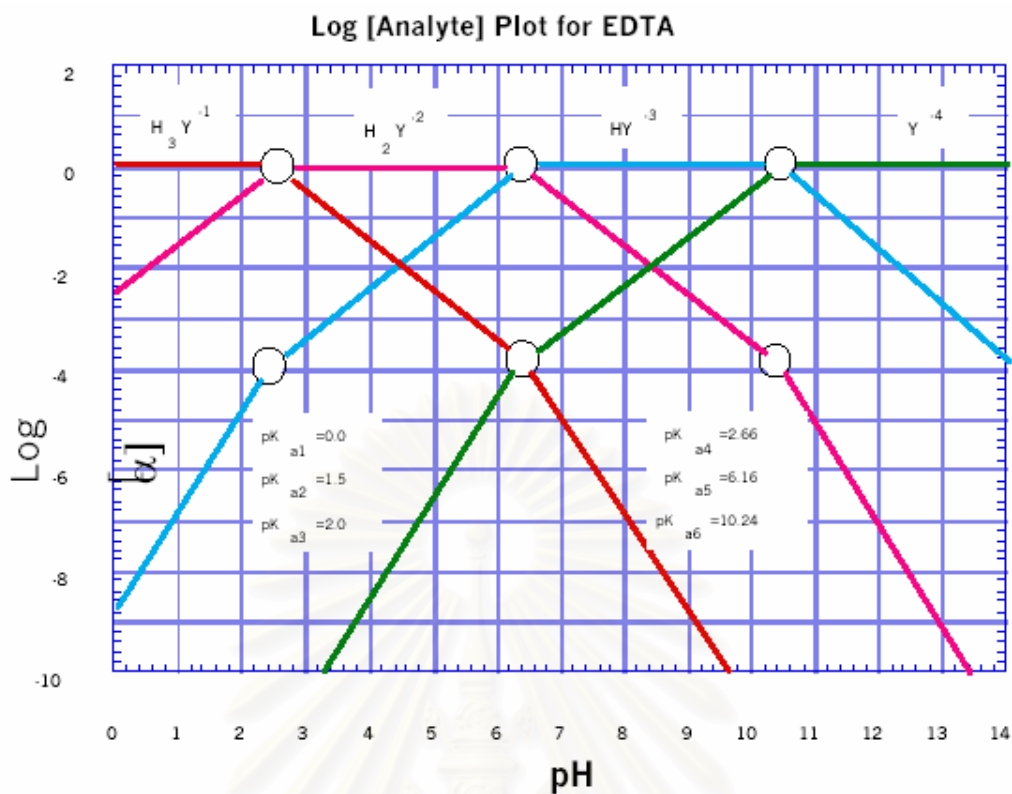
อีดีทีเอสามารถทำให้โลหะหนักที่อยู่ในตะกอนกลับมาเคลื่อนที่ได้อีกครั้ง ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดอีดีทีเอก่อนปล่อยทิ้งลงสู่สิ่งแวดล้อม (Tucker และคณะ, 1999)

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติของอีดีทีเอ (chemicalland21, 2003)

| | |
|-------------------------|-------------------------------------|
| สูตรทางเคมี | $C_{10}H_{16}O_8N_2$ |
| CAS Registry Number | 60-00-4 |
| ลักษณะ | เกล็ดหรือผงสีขาว |
| มวลโมเลกุล | 292.25 |
| พีเอช | 2.5 – 3.0 |
| pK_{a1-6} | 0.0, 1.5, 2.0, 2.66, 6.16 และ 10.24 |
| ความสามารถในการละลายน้ำ | 0.05 g/100 ml |
| ค่า chelation | 3.39 mmol/g |
| จุดหลอมเหลว | 240 องศาเซลเซียส |



รูปที่ 2.8 ก. โครงสร้างของอีดีทีเอ ข. โครงสร้างของอีดีทีเอเมื่อจับกับโลหะ (Rämö และ Sillanpää, 2001)



รูปที่ 2.9 ค่า pK_a ของอีดีทีเอในรูปต่างๆ (Harris, 2002)

2.3.3 การกำจัดอีดีทีเอ

- การทำลายโดยใช้ความร้อน (Motekaitis และคณะ, 1982)
- การใช้ไอโซน (Gilbert และ Hoffmann-Glewe, 1990)
- การออกซิเดชันด้วยแสงโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์เป็นตัวเร่งปฏิกิริยา (Madden และคณะ, 1997; Davis และ Green, 1999; Vohra และ Davis, 2000)
- การออกซิเดชันทางเคมี (Tucker และคณะ, 1999)
- การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (Rämo และ Sillanpää, 2001)
- การใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Chitra และคณะ, 2004)

2.3.4 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอีดีทีเอ

Gilbert และ Hoffmann-Glewe (1990) ศึกษาการทำลาย อีดีทีเอ ด้วยการเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในสารละลาย (ความเข้มข้น 1 มิลลิโมล/ลิตร และอัตราการเติมไฮโดรเจน 10 มิลลิกรัม/ลิตร-นาที) เป็นฟังก์ชันของพีเอช ที่พีเอช 3 ตรวจพบ Ethylenediamine diacetic acid, Iminodiacetic acid, Nitrilotriacetic acid, Glyoxylic-, Oxalic-, Formic acid, Glycine, Ammonia, Nitrate และ H_2O_2 พร้อมทั้งวัดปริมาณเป็นฟังก์ชันของอัตราการใช้อิโคโน ส่วนที่พีเอช 7 ผลิตภัณฑ์ของการออกซิเดชันก็จะเหมือนกัน ยกเว้นกรดฟอร์มิกและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การทำตุลมวลของคาร์บอนแสดงว่าร้อยละ 84 และร้อยละ 68-81 ของคาร์บอนอินทรีย์ ที่พีเอช 3 และ 7 ตามลำดับ อยู่ในรูปของผลิตภัณฑ์ที่สามารถตรวจวัดได้ หลังจากอีดีทีเอถูกทำลายไปร้อยละ 100 แล้ว ผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นสามารถที่จะย่อยสลายทางชีวภาพได้ ในขณะที่เมื่อมี Ca^{2+} และ Cd^{2+} จะมีผลกระทบต่อการทำจืดอีดีทีเอเพียงเล็กน้อย ส่วน Fe^{3+} จะไม่มีผลใดๆ ต่ออัตราการทำลายอีดีทีเอเลย

Nowack และคณะ (1996) ใช้ HPLC ในการตรวจสอบ species ของอีดีทีเอในกลุ่มตัวอย่างที่หลากหลายที่มีความเข้มข้นของอีดีทีเอต่ำ เช่น จากแม่น้ำ น้ำใต้ดิน และน้ำที่ผ่านการบำบัดจากโรงบำบัดน้ำเสีย เพื่อดูความแตกต่างระหว่าง Fe^{3+} EDTA, NiEDTA และอีดีทีเอที่ถูกดูดซับ หลังจากอีดีทีเอรวมตัวกับ Fe^{3+} แล้วสามารถหาค่าของอีดีทีเอในรูปของ Fe^{3+} EDTA ได้ด้วย reversed-phase ion-pair liquid chromatography ที่ความยาวคลื่น 258 นาโนเมตร แต่ถ้าหากเป็นอีดีทีเอที่ถูกดูดซับอยู่กับอนุภาคแขวนลอยหรือตะกอน ต้องทำการ desorption ก่อนที่จะนำไปหาสัดส่วนของอีดีทีเอจากผลการทดลองพบว่า species ที่พบได้มากที่สุดคือ Fe^{3+} EDTA (ร้อยละ 30 - 70) ส่วน NiEDTA พบน้อยกว่าร้อยละ 10

Madden และคณะ (1997) ศึกษาการนำไททาเนียมไดออกไซด์มาใช้ในการออกซิไดซ์ไฮยาโนลด้วยแสง รวมถึงสารประกอบเชิงซ้อนของอีดีทีเอกับโลหะหนัก การทดลองทำโดยใช้ไททาเนียมไดออกไซด์ร้อยละ 0.1 โดยน้ำหนัก มีความเข้มข้นของอีดีทีเอเท่ากับ 0.8 มิลลิโมลต่อลิตรและพีเอชคงที่ ผลการทดลองพบว่า สารประกอบเชิงซ้อนที่ต่างกันจะมีอัตราการออกซิเดชันที่แตกต่างกันอย่างมาก : $Cu(II)$ -EDTA > $Pb(II)$ -EDTA >> อีดีทีเอ > $Ni(II)$ -EDTA \approx $Cd(II)$ -EDTA \approx $Zn(II)$ -EDTA >>> $Cr(III)$ -EDTA ประสิทธิภาพในการกำจัด $Cu(II)$ -EDTA จะมีค่าประมาณร้อยละ 60

Tucker และคณะ (1999) ศึกษาประสิทธิภาพการทำลายคุณลักษณะของการจับกับโลหะ และการดึง หมู่ carboxyl ของอีดีทีเอใน mixed waste ออก ออกซิแดนท์ที่ใช้คือ Mixed oxidants ที่ได้จากการผลิตจากบริษัท MIOX, Fenton's reagent และแสงอัลตราไวโอเล็ต จากการทดลองพบว่า เมื่อใช้ Fenton's reagent เป็นสารออกซิแดนท์ ร้อยละ 72 ของ carboxyl group ของอีดีทีเอจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ ที่พีเอช 4 และเมื่อใช้ mixed oxidants เป็นสารออกซิแดนท์ ร้อยละ 70 ของ carboxyl group ของอีดีทีเอจะเปลี่ยนไปอยู่ในรูปคาร์บอนไดออกไซด์ ที่พีเอช 5 และเมื่อมีปริมาณ Mn^{2+} , Cr^{3+} , หรือ Fe^{3+} เท่ากับปริมาณอีดีทีเอ จะมีผลต่ออัตราการย่อยสลายอีดีทีเอ อย่างไรก็ตาม อัตราการย่อยสลายของอีดีทีเอจะถูกยับยั้งเมื่อมี Mn^{2+} หรือ Cr^{3+} มากกว่าความเข้มข้นของอีดีทีเอ นอกจากนี้ เมื่อบำบัด Co^{2+} -EDTA ด้วย mixed oxidants และรังสียูวี จะทำให้ความสามารถในการจับกับโลหะลดลง เมื่อเทียบกับการใช้รังสียูวี หรือ mixed oxidants เพียงอย่างเดียว ข้อดีของ mixed oxidants คือ ไม่มีสารตกค้างและผลิตภัณฑ์สุดท้ายที่ได้ ไม่เป็นพิษกับแบคทีเรียและสิ่งแวดลอม ไม่เหมือนกับ Fenton's reagent ที่อาจจะยังมีเหล็กตกค้างอยู่

Rodríguez และคณะ (1999) ได้ทดลองทำลายอีดีทีเอในน้ำทิ้งที่ไม่มีคลอรีน โดยใช้ น้ำเสียสังเคราะห์ที่มีส่วนประกอบของ Vanillin, Glycol, Sodium formate, Sodium acetate และอีดีทีเอโดยใช้ O_3 , O_3/H_2O_2 , O_3/UV , UV , UV/H_2O_2 และ $UV/H_2O_2/O_3$ ที่พีเอช 7 และ 11 ซึ่งพบว่า การใช้ O_3 เพียงอย่างเดียวไม่สามารถทำลายอีดีทีเอได้ วิธีที่ให้ประสิทธิภาพดีที่สุดคือการใช้กระบวนการร่วมกันระหว่าง UV/O_3 (พีเอช 7 นาน 15 นาที) และการบำบัดทางชีวภาพ โดยสามารถกำจัดดีแอมท์ได้ร้อยละ 98 และ COD ร้อยละ 95

Rämo และ Sillanpää (2001) ได้ทำการศึกษาการทำลายอีดีทีเอด้วยระบบไหลต่อเนื่องที่พีเอชเป็นด่าง (พีเอช 10-11) และมีสภาวะเหมือนกับที่ใช้ในการฟอกขาวกระดาษ ผลการทดลองซึ่งได้จากการวัดด้วยเครื่อง GC ถูกนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณและค่าของอีดีทีเอที่เหลืออยู่ และมีการประเมินปริมาณของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สลายไป ผลการทดลองพบว่า ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหลืออยู่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 94 ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่สลายไประหว่างการทดลอง มีค่าเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 26 ส่วนอัตราการกำจัด TOC และการเกิดฟอร์มัลดีไฮด์ระหว่างการออกซิเดชันด้วยแสง จะมีค่าคล้ายกับการออกซิเดชันอีดีทีเอด้วยไฟฟ้า นอกจากนี้ยังพบว่า การเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างต่อเนื่องจะช่วยเพิ่มอัตราการออกซิเดชันของ Ni(II)-EDTA ซึ่งเป็นสารที่ย่อยสลายได้ช้า อีกทั้งการที่มี Cu(II) อยู่ในน้ำเสียก็จะมีส่วนช่วยใน

การเร่งให้เกิดการแลกเปลี่ยนลิแกนด์อย่างรวดเร็วจาก Ni(II)-EDTA ไปอยู่ในรูป Cu(II)-EDTA ซึ่งออกซิไดซ์ได้ง่ายกว่า

Kunz และคณะ (2002) ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับแสงยูวีในการย่อยสลายอีดีทีเอและประเมินผลกระทบของพีเอชกับอัตราส่วนโดยโมลของ H_2O_2 :EDTA ต่อประสิทธิภาพในการย่อยสลายอีดีทีเอ การทำงานที่สภาวะการทดลองที่เหมาะสม (พีเอช 2 และอัตราส่วนโดยโมลของ H_2O_2 : EDTA เท่ากับ 10) โดยใช้ Microwave-activated photochemical reactor และตรวจวัดการย่อยสลายอีดีทีเอโดยทำการวัด TOC พบว่าอัตราการย่อยสลายมีค่าสูงกว่าร้อยละ 90 เมื่อปฏิกิริยาเกิดขึ้น 6 นาที

Chitra และคณะ (2004) ศึกษาการกำจัดอีดีทีเอโดยใช้ไอโซน อัลตราซาวนด์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ รังสียูวี และ Fenton's reagent โดยใช้ความเข้มข้นอีดีทีเอเริ่มต้นเท่ากับ 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการทดลองพบว่า ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นปฏิกิริยาลำดับที่ 1 และการใช้อัลตราซาวนด์ที่มีความถี่สูง (130 KHz) ร่วมกับ Fenton's reagent จะมีประสิทธิภาพดีที่สุด โดยใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 6 ชั่วโมง มีค่าคงที่ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 0.40 ส่วนการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียว ใช้เวลา 150 ชั่วโมง และมีค่าคงที่ในการทำปฏิกิริยาเท่ากับ 0.018

Gislaine และคณะ (2004) ศึกษาการกำจัดอีดีทีเอ โดยใช้ Fenton's Reagent และ photo-Fenton ร่วมกับรังสียูวี-เอ ศึกษา 6 กรณีคือ 1:0.25 EDTA:Fe²⁺, 1:1 EDTA:Fe²⁺, 1:1 EDTA:Fe³⁺, 1:1 EDTA:Cu²⁺, 1:(0.4;0.5) EDTA:Fe³⁺ +Cu²⁺, 1:(0.4;0.5) EDTA:Fe²⁺ +Cu²⁺ ที่อีดีทีเอ 5 มิลลิโมลต่อลิตร ทดลองที่พีเอช 3 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดอีดีทีเอ

ในการใช้ Fenton' reagent ซึ่งทดลองในที่มืดและใช้อัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่ออีดีทีเอเป็น 20:1 ผลการทดลองพบว่าที่เวลา 4 ชั่วโมง TOC ลดลงมากที่สุดในกรณี 1:1 EDTA:Fe²⁺ โดยลดลงร้อยละ 31.9 และกรณี 1:1 EDTA:Fe³⁺ ลดลงร้อยละ 13 ส่วนอีดีทีเอลดลงมากกว่าร้อยละ 80 สำหรับกรณีอื่นๆ TOC ลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 4 และอีดีทีเอที่ลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 10 แต่เมื่อใช้วิธี photo-Fenton ร่วมกับรังสียูวี-เอ พบว่าที่เวลา 4 ชั่วโมง TOC ลดลงมีค่ามากกว่าร้อยละ 80 และอีดีทีเอที่ลดลงเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 86 ดังนั้นการใช้ Fenton's reagent ร่วมกับรังสียูวี โดยมี Fe²⁺/Fe³⁺ หรือ Fe²⁺/Fe³⁺ ร่วมกับ Cu²⁺ เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาจึงมีประสิทธิภาพมากกว่า และอัตราการกำจัดอีดีทีเอขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของเหล็ก ปริมาณของตัวออกซิแดนท์และพีเอช

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้ ทำการทดลองที่ห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1 แผนการวิจัย

- 3.1.1 การเตรียมเครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย
- 3.1.2 การเตรียมน้ำเสียจริง น้ำเสียสังเคราะห์และสารละลาย
- 3.1.3 การดำเนินการวิจัยและการวิเคราะห์

3.2 เครื่องมือและสารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 3.2.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย
 - 3.2.1.1 เครื่องไอออนโครมาโตกราฟี (Ion Chromatography, IC) ยี่ห้อ Dionex รุ่น ICS-2500 Automated IC System (รูปที่ 3.1)
 - 3.2.1.2 เครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิกวิดโครมาโตกราฟี (High Performance Liquid Chromatography, HPLC) ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น LC-10 ADvp (ELSD & UV-spectrophotometry Detector) (รูปที่ 3.2)
 - 3.2.1.3 เครื่องวิเคราะห์ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (Total Organic Carbon Analyzer) ยี่ห้อ O.I. Analytical รุ่น 1010
 - 3.2.1.4 เครื่องวัดโลหะ (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer, ICP-OES) ยี่ห้อ VARIAN รุ่น Vista-MPX
 - 3.2.1.5 เครื่องวัดพีเอช (pH Meter) ยี่ห้อ Hach รุ่น sensION3
 - 3.2.1.6 เครื่องวัดโออาร์พี (ORP Meter) ยี่ห้อ Hach รุ่น sensION4
 - 3.2.1.7 เครื่องวัดค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity Meter) ยี่ห้อ Hach รุ่น sensION5
 - 3.2.1.8 ตู้อบความร้อน (Oven) ยี่ห้อ Binder รุ่น FD 115 (E2)
 - 3.2.1.9 เครื่องกวนสารเคมี ยี่ห้อ Thermolyne รุ่น Cimarec 2
 - 3.2.1.10 อ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิพร้อมเครื่องเขย่า ยี่ห้อ GFL รุ่น 1086
 - 3.2.1.11 เครื่องชั่งไฟฟ้าทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartorius รุ่น BP221S
 - 3.2.1.12 อุปกรณ์เครื่องแก้วทั่วไป
 - 3.2.1.13 หน้ากากกันสารเคมี ยี่ห้อ 3M รุ่น 6006



รูปที่ 3.1 เครื่องไฮออนโครมาโตกราฟฟี



รูปที่ 3.2 เครื่องไฮเพอร์ฟอร์แมนซ์ ลิควิดโครมาโตกราฟฟี

3.2.2 สารเคมีที่ใช้ในการวิจัย

- 3.2.2.1 โปตัสเซียมไซยาไนด์ (KCN)
- 3.2.2.2 โปตัสเซียมไซยาเนต (KCNO)
- 3.2.2.3 อีดีทีเอไดโซเดียมซอลท์ไดไฮเดรท ($C_{10}H_{14}N_2Na_2O_8 \cdot 2H_2O$)
- 3.2.2.4 โซเดียมไนเตรต ($NaNO_3$)
- 3.2.2.5 โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH)
- 3.2.2.6 สารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรท์ 10-13% available Cl_2
- 3.2.2.7 สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 30% (H_2O_2)
- 3.2.2.8 โซเดียมฟอร์มเมต (HCOONa)
- 3.2.2.9 กรดฟอร์มิก (HCOOH)
- 3.2.2.10 เฟอร์ริกไนเตรต ($Fe(NO_3)_3 \cdot 9H_2O$)
- 3.2.2.11 เตตระบิวทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ ($C_{16}H_{36}BrN = TBA-Br$)
- 3.2.2.12 อะซิโตรไนตราย (CH_3CN)
- 3.2.2.13 เอธิลีนไดอามีน ($C_2H_8N_2$)

3.3 การเตรียมสารละลาย

3.3.1 น้ำเสียจริง

น้ำเสียจริงได้ทำการเก็บตัวอย่างจากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม โดยทำการเก็บตัวอย่างสัปดาห์ละ 1 ครั้ง และเก็บทั้งหมด 4 ครั้ง ดำเนินการเก็บเมื่อวันที่ 11, 16, 23 และ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2546 ใช้วิธีการเก็บแบบจ้วง ปรับให้เป็นด่างด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พีเอช ประมาณ 12.5 และเก็บรักษาในขวด HDPE ที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเซลเซียส

3.3.2 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์

เตรียมจากสารละลายโปตัสเซียมไซยาไนด์ – Stock solution - 1000 มิลลิกรัม ไซยาไนด์/ลิตร โดยละลายโปตัสเซียมไซยาไนด์ 2.5 กรัม และโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.6 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

3.3.3 การเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์อีดีทีเอ

เตรียมจากสารละลาย Na_2H_2EDTA – Stock solution – $3.84 \cdot 10^{-2}$ โมลต่อลิตร ในน้ำกลั่น โดยละลายโซเดียมอีดีทีเอ 48.899 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร

3.3.4 การเตรียม Eluent สำหรับเครื่อง IC เพื่อใช้วัดความเข้มข้นไซยาไนด์

ละลายโซเดียมอะซิเตท 0.5 โมลต่อลิตร, โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลต่อลิตร และ เอทิลีนไดอะมีน 0.5% ปริมาตรต่อปริมาตร ในน้ำกลั่น

3.3.5 การเตรียม Mobile phase สำหรับเครื่อง HPLC เพื่อใช้วัดความเข้มข้นอีดีทีเอ

ละลายเตตระบิวทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ 0.002 โมลต่อลิตร, โซเดียมฟอร์มเมต 0.01 โมลต่อลิตร, กรดฟอร์มิก 0.030 โมลต่อลิตร และอะซิโตรไนไตรต์ 16% ในน้ำกลั่น

3.4 ขั้นตอนการวิจัย

| การทดลองที่ | ชนิดของน้ำเสีย | ส่วนประกอบของน้ำเสีย | สารเคมีที่ใช้และตัวแปรในการวิจัย |
|-------------|-------------------|----------------------|--|
| 1 | น้ำเสียสังเคราะห์ | ไซยาไนด์ | NaOCl, ความเข้มข้น พีเอช เวลา I |
| 2 | น้ำเสียสังเคราะห์ | ไซยาไนด์ | H ₂ O ₂ , ความเข้มข้น พีเอช เวลา I |
| 3 | น้ำเสียสังเคราะห์ | อีดีทีเอ | NaOCl, ความเข้มข้น พีเอช เวลา I |
| 4 | น้ำเสียสังเคราะห์ | อีดีทีเอ | H ₂ O ₂ , ความเข้มข้น พีเอช เวลา I |
| 5 | น้ำเสียสังเคราะห์ | ไซยาไนด์ + อีดีทีเอ | NaOCl, อัตราส่วน CN:EDTA |
| 6 | น้ำเสียสังเคราะห์ | ไซยาไนด์ + อีดีทีเอ | H ₂ O ₂ , อัตราส่วน CN:EDTA |
| 7 | น้ำเสียสังเคราะห์ | ไซยาไนด์ + อีดีทีเอ | NaOCl + H ₂ O ₂ |
| 8 | น้ำเสียจริง | - | NaOCl |
| 9 | น้ำเสียจริง | - | H ₂ O ₂ |
| 10 | น้ำเสียจริง | - | NaOCl + H ₂ O ₂ |

3.5 การดำเนินการวิจัย

3.5.1 วิเคราะห์น้ำเสียจริงที่ได้จากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม

วิเคราะห์หาลักษณะของน้ำเสีย ได้แก่ ไซยาไนด์อิสระ อีดีทีเอ การนำไฟฟ้าของแข็งละลายทั้งหมด ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน สารอินทรีย์คาร์บอน และโลหะหนัก

3.5.2 การทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์เพียงอย่างเดียว

3.5.2.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร

2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 9.5, 11 และ 12.5 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ (ตรวจสอบค่าไออาร์พีที่เหมาะสม ให้อยู่ในช่วง +325 ถึง + 400 มิลลิโวลต์)
3. ปรับค่ากำลังไออนด้วยโซเดียมไนเตรตให้ได้เป็น 0.17 และ 0.51 มิลต่อลิตร
4. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปของสารละลาย 10% ลงไป โดยใช้อัตราส่วนไฮโปคลอไรท์ต่อไซยาไนด์ในหน่วยโมลาร์ เป็น 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่า เก็บตัวอย่างทุกๆ 10 นาทีถึงเวลาที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์หาค่าไซยาไนด์
5. ลดพีเอช เป็น 8.5 ด้วยกรดซัลฟูริก (ตรวจสอบค่าไออาร์พีที่เหมาะสมให้อยู่ในช่วง +600 ถึง + 800 มิลลิโวลต์)
6. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปของสารละลาย 10% ลงไป โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของสารเคมีต่อไซยาไนด์ เป็น 3:2 เก็บตัวอย่างทุก 10 นาที ถึงเวลาที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นไซยาไนด์และไซยาเนต
7. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ที่ลดลงและเวลา

3.5.2.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 9.5 และ 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. ปรับค่ากำลังไออนด้วยโซเดียมไนเตรต ให้ได้ค่ากำลังไออนเป็น 0.17 และ 0.51 มิลต่อลิตร
4. เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของสารละลาย โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อไซยาไนด์ เป็น 1:1, 3:1 6:1, 9:1 และ 36:1
5. เก็บตัวอย่างทุก 15 นาทีถึงเวลาที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นไซยาไนด์และไซยาเนต
6. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ไซยาเนตและเวลา

3.5.3 การทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีดีทีเอเพียงอย่างเดียว

3.5.3.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ดีทีเอความเข้มข้น 15 กรัมต่อลิตร
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์

3. ปรับค่ากำลังไอออนด้วยโซเดียมไนเตรตให้ได้เป็น 0.17 และ 0.51 โมลต่อลิตร
4. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปของสารละลาย 10% ลงไป โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโปคลอไรท์ต่ออีดีทีเอ เป็น 1, 2 และ 3 เท่า เก็บตัวอย่างทุก 30 นาทีถึงเวลาที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นอีดีทีเอ
5. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นอีดีทีเอที่ลดลงและเวลา

3.5.3.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ อีดีทีเอ
2. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
3. ปรับค่ากำลังไอออนด้วยโซเดียมไนเตรต ให้ได้ค่ากำลังไอออนเป็น 0.17 และ 0.51 โมลต่อลิตร
4. เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของสารละลาย 30% โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อไซยาไนด์ เท่ากับ 1, 2 และ 3 เท่า
5. เก็บตัวอย่างทุก 15 นาทีถึงเวลาที่เหมาะสมนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นอีดีทีเอ
6. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นอีดีทีเอที่ลดลงและเวลา

3.5.4 การทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์และอีดีทีเอ

3.5.4.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร
2. เติมสารละลายอีดีทีเอลงไปในอัตราส่วนโดยโมลระหว่างไซยาไนด์ต่ออีดีทีเอ เป็น 1 : 0.01, 1 : 0.1, 1 : 1 และ 1 : 2 (3.84×10^{-5} , 3.84×10^{-4} , 3.84×10^{-3} และ 7.68×10^{-3} โมลต่อลิตรตามลำดับ)
3. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
4. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปของสารละลาย 10% ลงไป โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลของไฮโปคลอไรท์ต่ออีดีทีเอ เป็น 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่า
5. เก็บตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นไซยาไนด์

6. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์และเวลาที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออีดีทีที่เอต่างๆ

3.5.4.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร
2. เติมสารละลายอีดีทีที่เอลงไปให้อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออีดีทีเอเป็น 1 : 0.01, 1 : 0.1, 1 : 1 และ 1 : 2 (3.84×10^{-5} , 3.84×10^{-4} , 3.84×10^{-3} และ 7.68×10^{-3} โมลต่อลิตรตามลำดับ)
3. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
4. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของสารละลาย 30% โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อไซยาไนด์ เป็น 1, 2 และ 3 เท่า
5. เก็บตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นไซยาไนด์
6. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์และเวลาที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออีดีทีที่เอต่างๆ

3.5.4.3 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. เตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร
2. เติมสารละลายอีดีทีที่เอลงไปให้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไซยาไนด์ต่ออีดีทีเอเป็น 1 : 0.01, 1 : 0.1, 1 : 1 และ 1 : 2 (3.84×10^{-5} , 3.84×10^{-4} , 3.84×10^{-3} และ 7.68×10^{-3} โมลต่อลิตรตามลำดับ)
3. ปรับพีเอชของน้ำเสียสังเคราะห์เป็น 11 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์
4. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปของสารละลาย 10% ลงไป โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโปคลอไรท์ต่อไซยาไนด์เป็น 0.9 เท่า
5. เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของสารละลาย 30% โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อไซยาไนด์ เป็น 9 เท่า
6. เก็บตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นไซยาไนด์
7. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์และเวลาที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออีดีทีที่เอต่างๆ

3.5.5 การทดลองกับน้ำเสียกับน้ำเสียจริงที่ได้จากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม

3.5.5.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน

1. เตรียมน้ำเสียจริง และวัดค่าความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น
2. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปของสารละลาย 10% ลงไป โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างไฮโปคลอไรท์ต่อไซยาไนด์ เป็น 1.5 เท่า เก็บตัวอย่างทุก 10 นาทีถึงเวลาที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์หาค่าไซยาไนด์
3. ลดพีเอช เป็น 8.5 ด้วยกรดซัลฟูริก
4. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปของสารละลาย 10% ลงไป โดยใช้อัตราส่วนโดยโมลระหว่างสารเคมีต่อไซยาไนด์ เป็น 3:2 เก็บตัวอย่างทุก 10 นาที ถึงเวลาที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นไซยาไนด์และไซยาเนต
5. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ที่ลดลงและเวลา

3.5.5.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. เตรียมน้ำเสียจริงและวัดค่าความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น
2. เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของสารละลาย โดยใช้อัตราส่วนระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อไซยาไนด์ เป็น 36 เท่า
3. เก็บตัวอย่างทุก 15 นาทีถึงเวลาที่เหมาะสม นำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นไซยาไนด์และไซยาเนต
4. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์ ไซยาเนตและเวลา

3.5.5.3 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

1. เตรียมน้ำเสียจริงและวัดค่าความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น
2. เติมโซเดียมไฮโปคลอไรท์ในรูปของสารละลาย 10% ลงไป โดยใช้อัตราส่วนไฮโปคลอไรท์ต่อไซยาไนด์เป็น 0.9 เท่า
3. เติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในรูปของสารละลาย 30% โดยใช้อัตราส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อไซยาไนด์ เป็น 9 เท่า
4. เก็บตัวอย่างนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นไซยาไนด์
5. นำข้อมูลที่ได้มาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นไซยาไนด์และเวลาที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออ็อกซิไดซ์ที่เอต่างๆ

3.6 วิธีการวิเคราะห์

| พารามิเตอร์ | วิธีที่ใช้วิเคราะห์ |
|------------------------|---|
| ไซยาไนด์ | IC : Ion Chromatography, Dionex รุ่น ICS-2500 |
| ไซยาเนต | IC : Ion Chromatography, Dionex รุ่น ICS-2500 |
| EDTA | HPLC, Shimadzu รุ่น LC-10 ADvp |
| พีเอช | pH meter, Hach รุ่น sensION3 |
| โออาร์พี | ORP Probe, Hach รุ่น sensION4 |
| การนำไฟฟ้า | Conductivity meter, Hach รุ่น sensION2 |
| ของแข็งละลายน้ำทั้งหมด | Standard Method – 2540C |
| โลหะหนัก | ICP-OES : ยี่ห้อ VARIAN รุ่น Vista-MPXTM |

3.6.1 สภาวะของเครื่อง IC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไซยาไนด์

1. Column : Ion Pac[®] AS7, 4x250 mm.
2. Guard Column : Ion Pac[®] AG7, 4x50 mm.
3. Flowrate : 1 มิลลิลิตรต่อนาที
4. Detector : ED50 Electrochemical Detector
5. Inject Volume : 5 ไมโครลิตร
6. ใช้เวลาในการวัด 1 ตัวอย่าง 10 นาที

3.6.2 สภาวะของเครื่อง IC ที่ใช้ในการวิเคราะห์ความเข้มข้นของไซยาเนต

1. Column : Ion Pac[®] AS16, 4x250 mm.
2. Guard Column : Ion Pac[®] AG16, 4x50 mm.
3. Flowrate : 1 มิลลิลิตรต่อนาที
4. Detector : Conductivity โดยใช้ ASRS-ULTRA 4 mm., Self – Regenerating suppressor
5. Inject Volume : 50 ไมโครลิตร
6. ใช้เวลาในการวัด 1 ตัวอย่าง 10 นาที

3.6.3 วิธีการวิเคราะห์หีดีทีเอ (Nowack, 1996)

1. นำตัวอย่าง 1 มิลลิลิตร ใส่ลงในหลอดทดลองขนาด 10 มิลลิลิตร
2. นำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส จนกว่าจะแห้ง ใช้เวลาประมาณ 10 ชั่วโมง
3. เติมฟอร์มเมตบัฟเฟอร์ (0.005M HCOONa : 0.015M HCOOH) ปริมาณ 1 มิลลิลิตร และ เฟอร์ริกไนเตรต (0.001M + 0.01M HNO₃) ปริมาณ 20 ไมโครลิตร
4. นำตัวอย่างไปเข้าอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสนาน 3 ชั่วโมง
5. ทำให้เย็นลงที่อุณหภูมิห้อง
6. เติมสารละลายเตตระบิวทิลแอมโมเนียมโบรไมด์ (TBA-Br) ในฟอร์มเมตบัฟเฟอร์ (0.05M) ปริมาณ 40 ไมโครลิตร
7. ดูดตัวอย่างใส่ลงในหลอดทดลองสำหรับเครื่อง HPLC และปิดฝาให้เรียบร้อย
8. วัดด้วยเครื่อง HPLC โดยมีสภาวะดังนี้
 - 8.1 คอลัมน์ C-18 ขนาด 4 x 125 mm., column packing Inertsil ODS-3 5 µm.
 - 8.2 Detector : UV Detector โดยใช้ความยาวคลื่น 258 นาโนเมตร
 - 8.3 อัตราส่วน A:B = 50:50
 - 8.4 อัตราการไหลรวม : 1 มิลลิลิตรต่อนาที
 - 8.5 Inject Volume : 200 ไมโครลิตร
 - 8.6 ใช้เวลาในการวัด 1 ตัวอย่าง 30 นาที

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ได้จากบริษัทกำจัดกากอุตสาหกรรม

ผลการวิเคราะห์น้ำเสียที่ได้จากบริษัทกำจัดกากอุตสาหกรรม ได้ผลดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม

| | | | | |
|------------------------------------|--------|--------|-------|-------|
| ปริมาณไฮยาไนต์ในน้ำเสีย (มก./ล.) | 95.28 | 264.72 | 74.38 | 99.44 |
| ปริมาณอิตีทีเอในน้ำเสีย (ก./ล.) | 11.75 | 13.48 | 15.17 | 18.87 |
| ค่าการนำไฟฟ้า (ไมโครซีเมนส์/ซม.) | 12.47 | 11.39 | 16.74 | 13.58 |
| ค่าของแข็งละลายทั้งหมด (ก./ล.) | 6.22 | 5.70 | 8.37 | 6.79 |
| ปริมาณสารอินทรีย์คาร์บอน (มก./ล.) | 111.57 | 244.1 | 248.1 | 672.3 |
| ปริมาณสารอนินทรีย์คาร์บอน (มก./ล.) | 30.27 | 46.17 | 32.03 | 35.33 |

ปริมาณไฮยาไนต์ในน้ำเสียเลือกค่าความเข้มข้นน้ำเสียสังเคราะห์เท่ากับ 100 มิลลิกรัมไฮยาไนต์ต่อลิตร หรือเท่ากับ 3.84×10^{-3} โมลต่อลิตร

ปริมาณอิตีทีเอในน้ำเสียเฉลี่ยได้เท่ากับ 14.82 กรัมต่อลิตรหรือเท่ากับ 0.05 โมลต่อลิตร

ค่าของแข็งละลายทั้งหมดเฉลี่ยได้ 6.77 และจากสูตร ค่ากำลังไอออน = 2.5×10^{-5} X ค่าของแข็งละลายทั้งหมด (มิลลิกรัมต่อลิตร) สามารถคำนวณค่ากำลังไอออนของน้ำเสียได้เท่ากับ 0.17 โมลต่อลิตร

โลหะที่วัดประกอบด้วย เงิน อลูมิเนียม โบรอน แคลเซียม แคดเมียม โคบอลต์ โครเมียม ทองแดง เหล็ก แกลเลียม ลิเทียม แมกนีเซียม แมงกานีส นิเกิล ตะกั่ว สตรอนเทียม และสังกะสี มีค่าดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ความเข้มข้นของโลหะที่พบในน้ำเสียหนักหลังจากปรับพีเอชเป็น 12.5 (หน่วย: ส่วนในล้านส่วน)

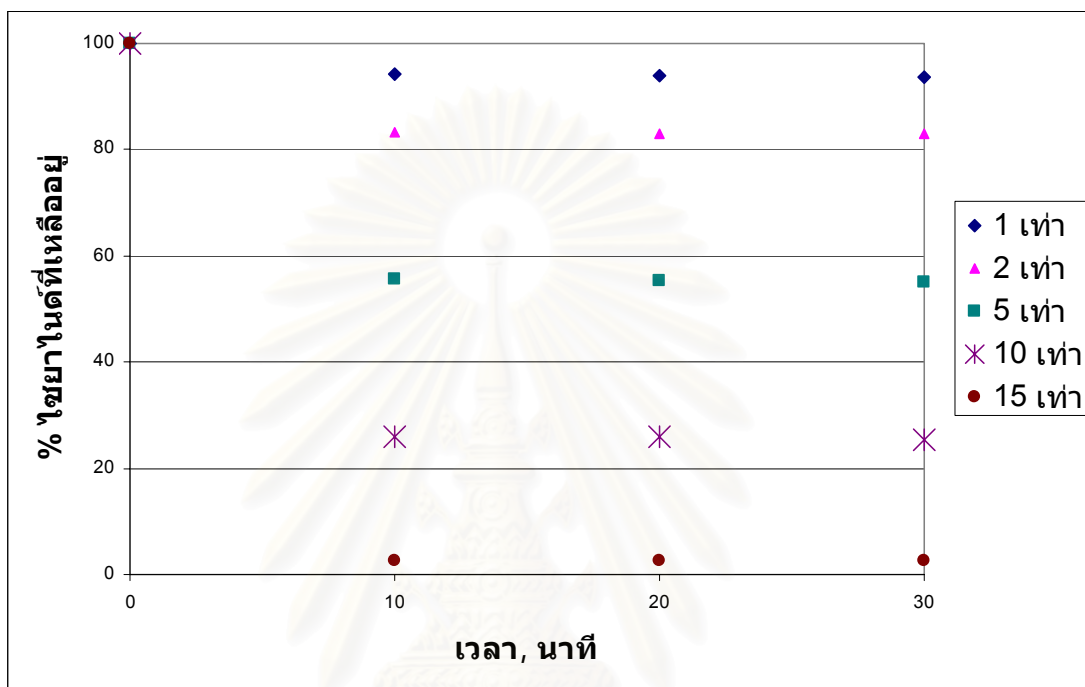
| | ตัวอย่างที่ 1 | ตัวอย่างที่ 2 | ตัวอย่างที่ 3 | ตัวอย่างที่ 4 |
|------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| เงิน (Ag) | 0.71 | 0.01 | 0.02 | 0.11 |
| อะลูมิเนียม (Al) | 0.17 | 0.29 | 0.74 | 0.23 |
| โบรอน (B) | 6.09 | 20.04 | 5.81 | 11.48 |
| แคลเซียม (Ca) | 59.96 | 57.29 | 60.12 | 63.34 |
| แคดเมียม (Cd) | 3×10^{-3} | 1×10^{-3} | 1×10^{-3} | 1×10^{-3} |
| โคบอลต์ (Co) | 0.03 | 0.09 | 0.04 | 0.05 |
| โครเมียม (Cr) | 302.12 | 26.58 | 88.86 | 26.82 |
| ทองแดง (Cu) | 12.69 | 28.68 | 3.87 | 12.47 |
| เหล็ก (Fe) | 0.14 | 0.79 | 2.37 | 0.44 |
| แกดเลียม (Ga) | 0.38 | 0.06 | 0.12 | 0.03 |
| ลิเทียม (Li) | 8×10^{-3} | 0.02 | 0.03 | 8×10^{-3} |
| แมกนีเซียม (Mg) | 0.29 | 0.47 | 3.08 | 0.91 |
| แมงกานีส (Mn) | 0.02 | 0.03 | 0.29 | 0.03 |
| นิกเกิล (Ni) | 30.06 | 93.67 | 17.92 | 31.16 |
| ตะกั่ว (Pb) | 0.01 | 3×10^{-3} | 0.04 | 1×10^{-3} |
| สตรอนเทียม (Sr) | 2.83 | 0.65 | 2.43 | 2.57 |
| สังกะสี (Zn) | 0.51 | 1.33 | 8.17 | 1.25 |

4.2 ผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์เพียงอย่างเดียว

4.2.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน

ในการทดลองหาปริมาณไฮโปคลอไรท์ที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์ โดยมีความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 3.84×10^{-3} โมลต่อลิตร พีเอช 11 ในขั้นตอนที่ 1 การเปลี่ยนไซยาไนด์ให้เป็นไซยาเนต โดยแปรความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ต่อไซยาไนด์เป็น 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่าของปริมาณที่ใช้ในทางทฤษฎี ซึ่งในทางทฤษฎี 1 โมลของไซยาไนด์ต้องการ 1 โมลของไฮโปคลอไรท์ ผลการทดลองพบว่าเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยาประมาณ 10 นาที โดยความเข้มข้นไซยาไนด์ค่อนข้างคงที่ภายหลังจากเวลา 10 นาที ร้อยละของไซยาไนด์ที่ลดลงมีค่าเท่ากับ 5.86, 16.77, 44.39, 74.06 และ 97.34 (รูปที่ 4.1) ดังนั้นจึงเลือก

ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ที่ 1.5 เท่าของความเข้มข้นโซยาไนต์ ซึ่งปริมาณของไฮโปคลอไรท์ที่ใช้นี้ สอดคล้องกับการทดลองของ สาโรช (2535) ที่ใช้ปริมาณของโซเดียมไฮโปคลอไรท์เท่ากับ 1.25 เท่าของปริมาณที่ใช้ในทางทฤษฎี พีเอชที่เหมาะสมคือ 11 และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เกิน 10 นาที

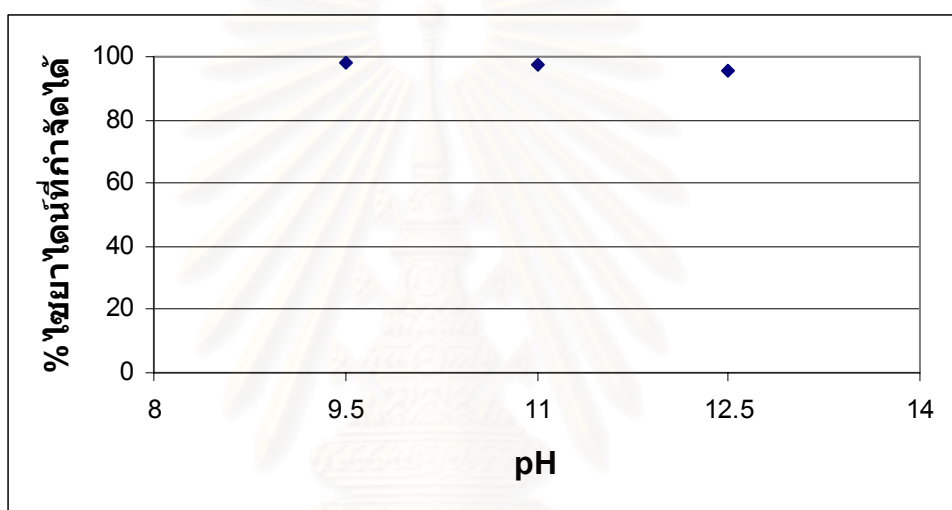


รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของโซยาไนต์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ต่างๆ ในขั้นตอนที่ 1 และกำลังไอออนเท่ากับ 0

จากนั้นทำการทดลองที่พีเอช 9.5, 11 และ 12.5 ที่ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 1.5 เท่า ผลการทดลองที่เวลา 10 นาทีพบว่าร้อยละของโซยาไนต์ที่ถูกทำลายมีค่าใกล้เคียงกัน คือ 98.39, 97.34 และ 95.88 (รูปที่ 4.2) แต่เมื่อพิจารณาจากค่าไออาร์พีแล้ว ที่พีเอช 11 เป็นพีเอชที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากค่าไออาร์พีใกล้เคียงกับค่าไออาร์พีที่เหมาะสม สำหรับค่าไออาร์พีที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ +325 ถึง +400 มิลลิโวลต์ในขั้นตอนที่ 1 และเท่ากับ +600 ถึง +800 มิลลิโวลต์ ในขั้นตอนที่ 2 (Emerson Process Management, 2001) ดังตารางที่ 4.3

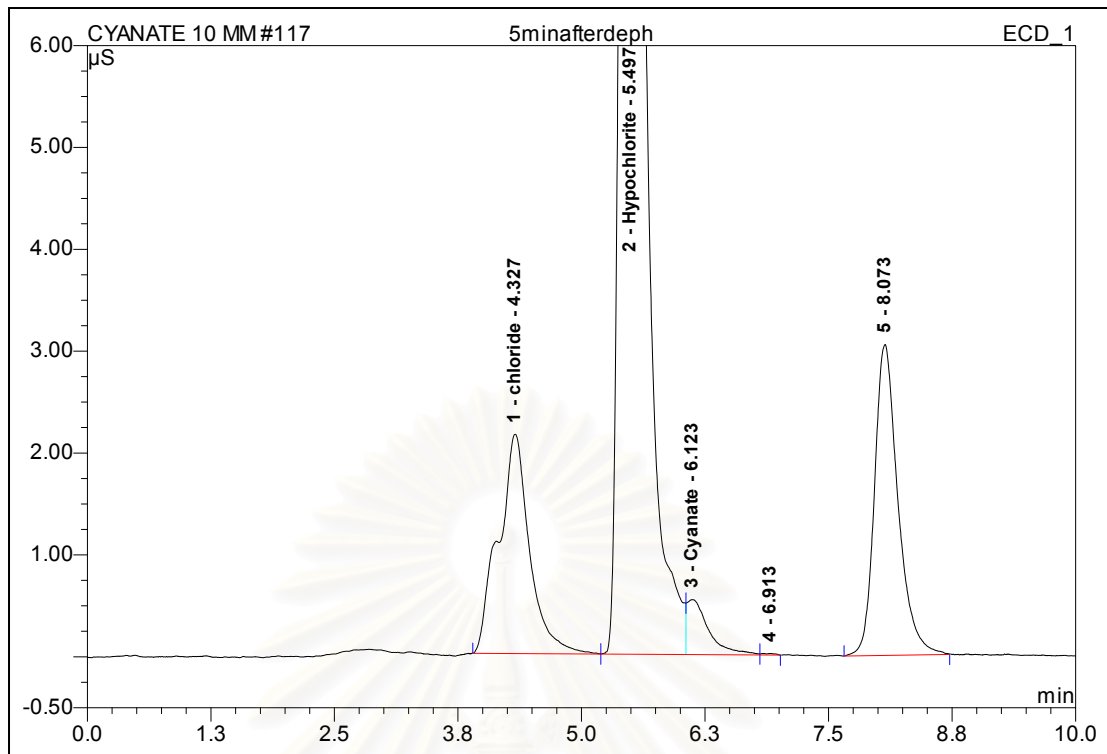
ตารางที่ 4.3 ค่าของโออาร์พีที่วัดได้จากการทดลองต่างๆ

| ค่ากำลังไอออน | ขั้นที่ 1 | | ขั้นที่ 2 | |
|---------------|-----------|---------------|-----------|---------------|
| | พีเอช | โออาร์พี (mV) | พีเอช | โออาร์พี (mV) |
| 0 | 12.5 | 3 | 8.5 | 380 |
| 0 | 11 | 435 | 8.5 | 580 |
| 0.17 | 11 | 56.2 | 8.5 | 126.3 |
| 0.51 | 11 | 35.6 | 8.5 | 113 |
| 0 | 9.5 | 106.3 | 8.5 | 180 |



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่กำจัดได้กับพีเอชต่างๆ ที่ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 1.5 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์และกำลังไอออนเท่ากับ 0

ในขั้นตอนที่ 2 การเปลี่ยนไซยาเนตให้กลายเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ โดยการลดพีเอชลงมาเหลือ 8.5 ด้วยกรดซัลฟูริกเจือจาง ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอออนโครมาโตกราฟพบว่าไม่สามารถแปลผลค่าไซยาเนตออกมาได้ เนื่องจากเกิดการทับซ้อนกันระหว่างโครมาโตแกรมของไซยาเนตและโครมาโตแกรมของคลอไรด์

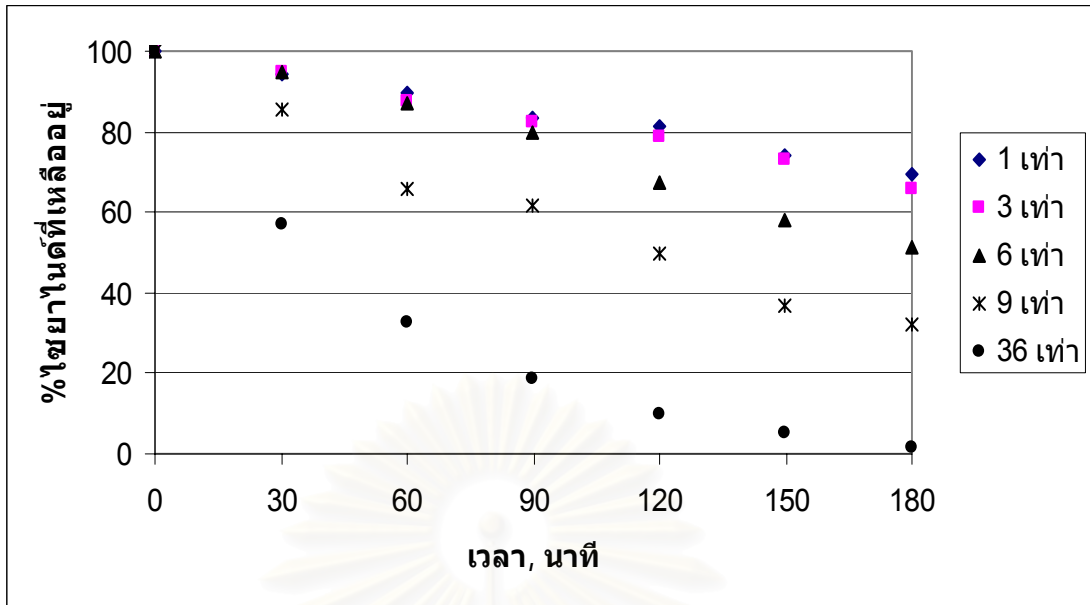


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างของโครมาโตแกรมไฮโปคลอไรท์และไซยาเนตหลังจากลดพีเอชไป 5 นาที

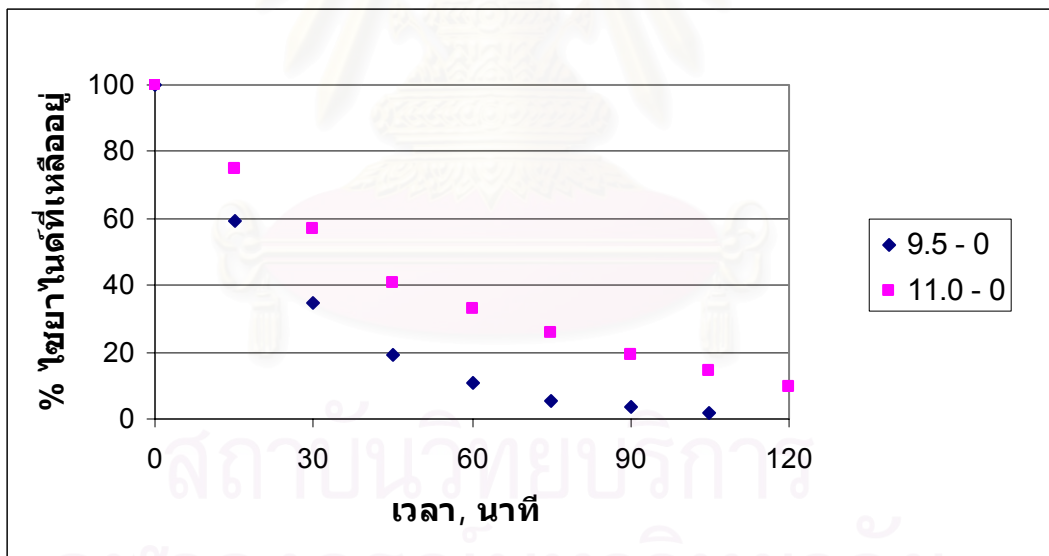
4.2.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

การทดลองหาปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์ โดยมีค่าความเข้มข้นไซยาไนด์เริ่มต้น 100 มิลลิกรัมต่อลิตร หรือ 3.84×10^{-3} โมลต่อลิตร พีเอช 11 โดยแปรความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่อไซยาไนด์เป็น 1, 3, 6, 9 และ 36 เท่า เก็บตัวอย่างทุก 30 นาที จนถึงตัวอย่างที่ 180 นาที ที่เวลาเท่ากับ 180 นาที ร้อยละของไซยาไนด์ที่ลดลงมีค่าเท่ากับ 30.42, 34.34, 48.95, 68.05 และ 98.46 (รูปที่ 4.4) จึงเลือกความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่ 36 เท่าไซยาไนด์

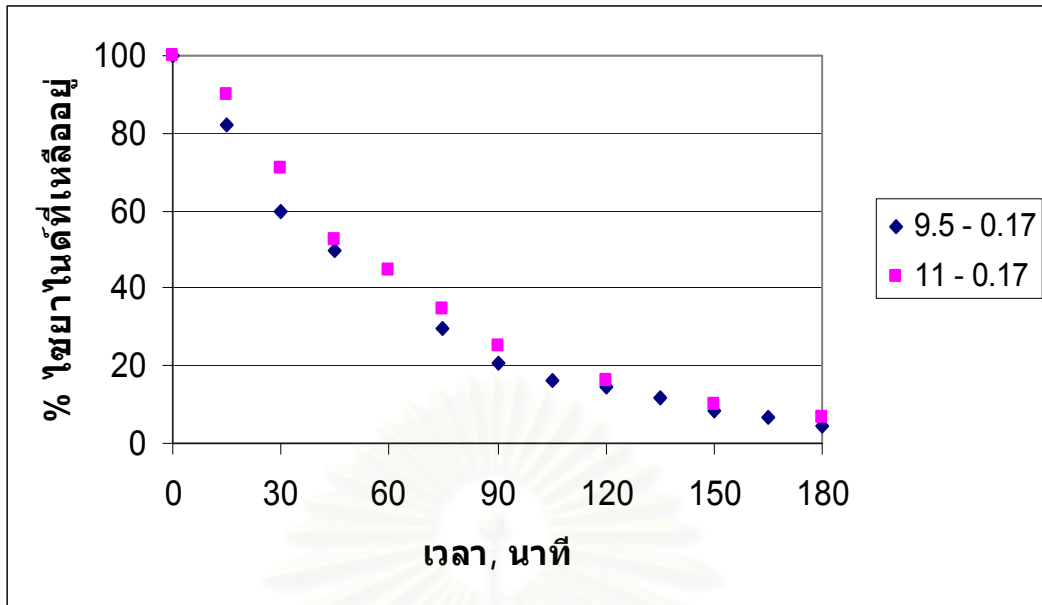
จากนั้นทำการทดลองที่พีเอช 9.5 และ 11 และแปรค่ากำลังไอออนเป็น 0.17 และ 0.51 พบว่าที่พีเอช 9.5 ไซยาไนด์ที่ลดลงจะมากกว่าที่พีเอช 11 เนื่องจากขณะทำการทดลองที่พีเอช 9.5 ไซยาไนด์บางส่วนได้กลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ ซึ่งไม่เป็นผลดี เพราะก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็นก๊าซที่มีความเป็นพิษสูง (ค่าคงตัวของการแตกตัวเป็นไอออน (K_a) ของไฮโดรเจนไซยาไนด์ = 4.6×10^{-10} ที่ 25 °C, $pK_a = 9.25$) ดังรูปที่ 4.5-4.7



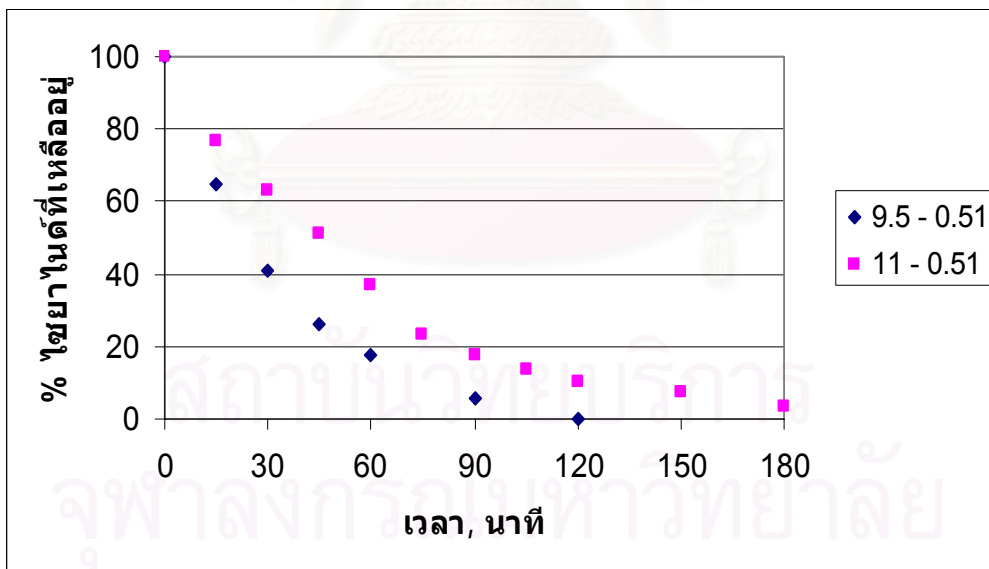
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ต่างๆ พีเอช 11 กำลังไอออนเท่ากับ 0



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่พีเอช 9.5 และ 11 เมื่อกำลังไอออนเท่ากับ 0

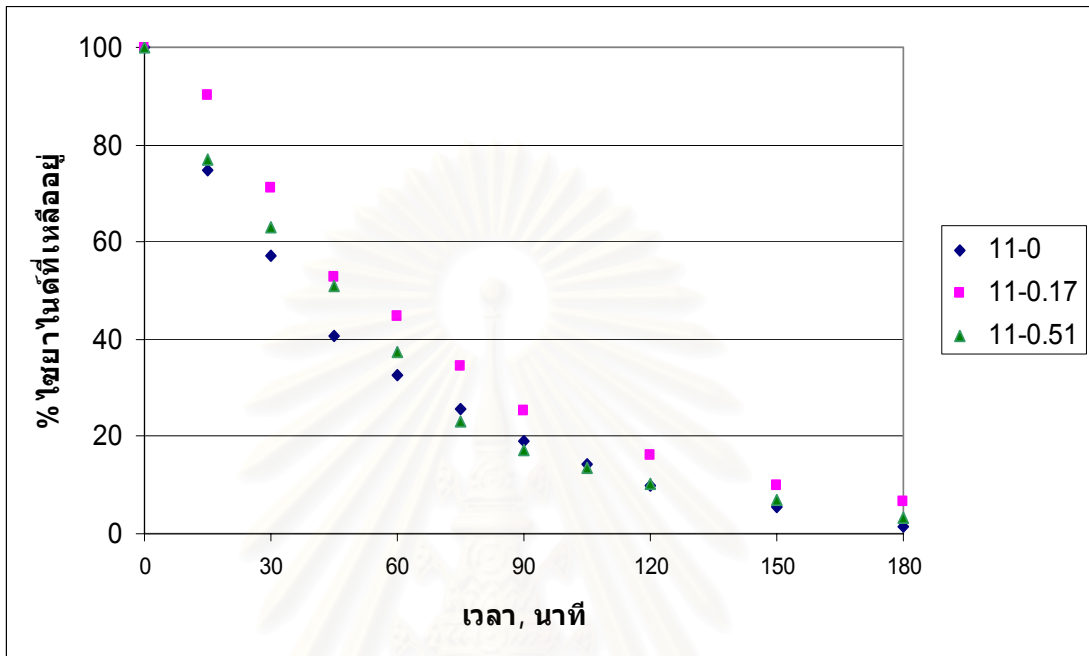


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่พีเอช 9.5 และ 11 ที่กำลังไออนเท่ากับ 0.17



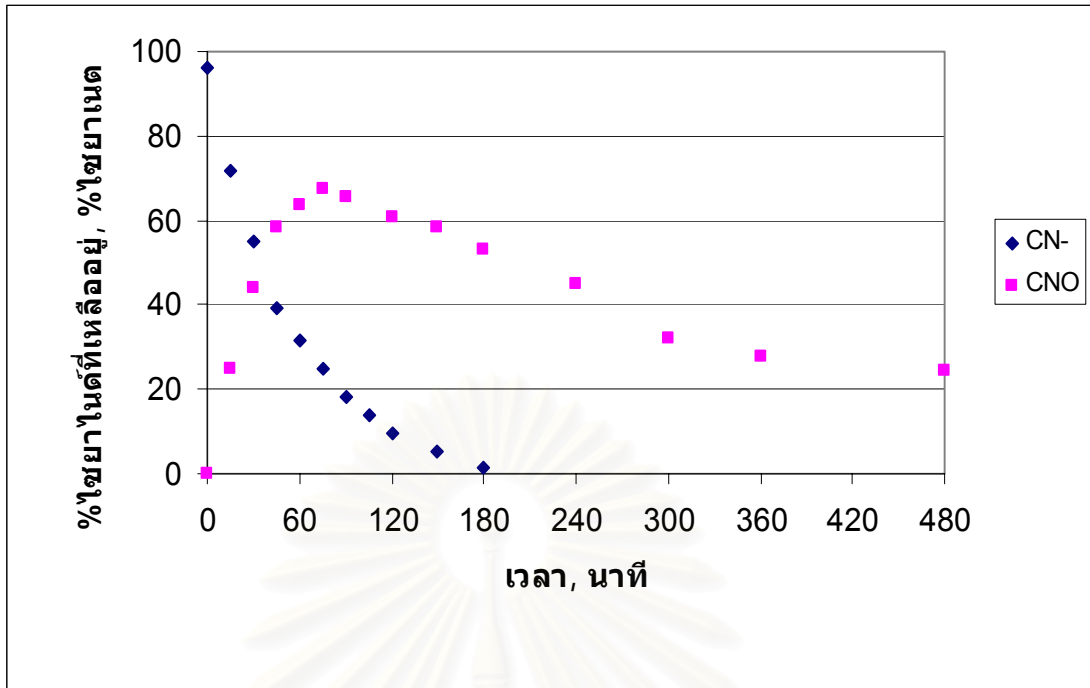
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่พีเอช 9.5 และ 11 ที่กำลังไออนเท่ากับ 0.51

เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละของไซยาไนด์ที่ลดลง ที่ค่าพีเอช 11 โดยแปรค่ากำลังไอออนเป็น 0.17 และ 0.51 ที่เวลา 180 นาทีพบว่ามีความใกล้เคียงกัน (รูปที่ 4.8) จึงสรุปได้ว่าค่าของกำลังไอออนไม่มีผลต่อการกำจัดไซยาไนด์เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

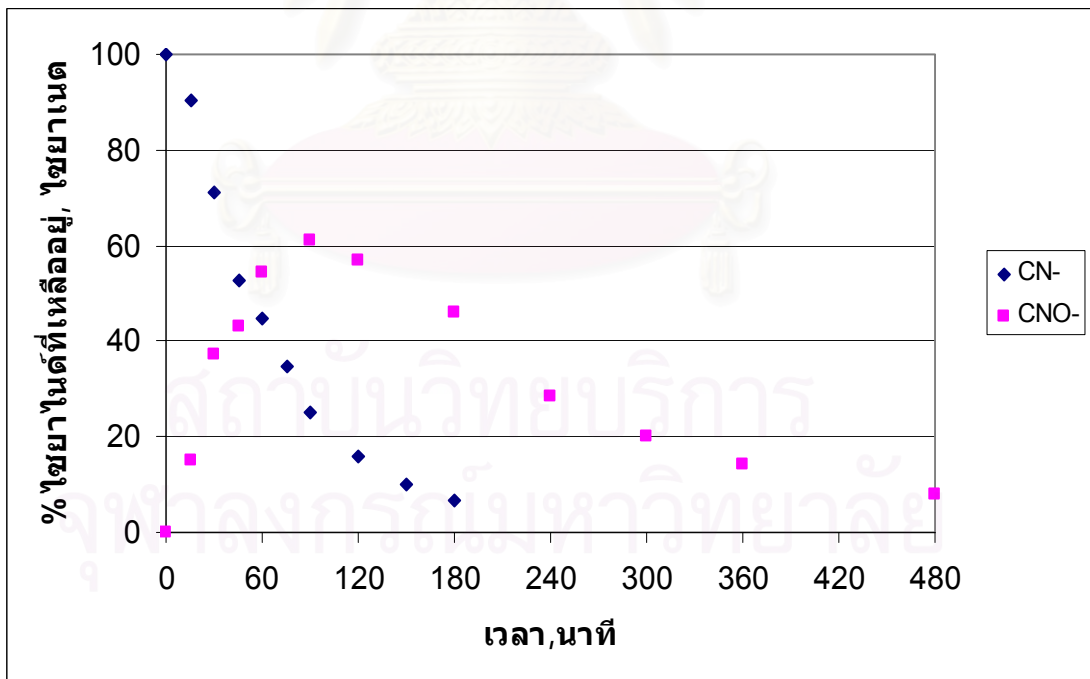


รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส พีเอช 11 ที่ค่ากำลังไอออนต่างๆ

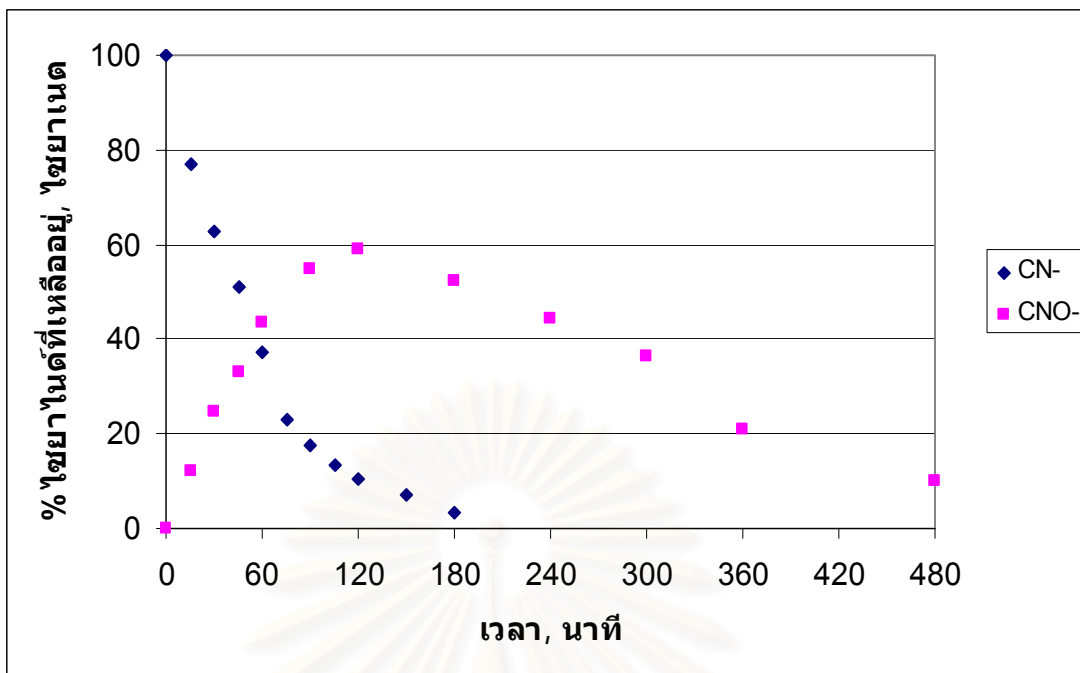
เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับค่าของไซยาเนต พบว่า เส้นกราฟของร้อยละของค่าของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่จะตัดกับเส้นกราฟของไซยาเนตที่เวลาประมาณ 45 – 60 นาที ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 ค่าของไซยาเนตสูงสุดจะอยู่ 75 นาที มีค่าเท่ากับ 67.29 มก.ไซยาเนต/ล. ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0.17 ค่าของไซยาเนตสูงสุดจะอยู่ 90 นาที มีค่าเท่ากับ 61.28 มก.ไซยาเนต/ล. และที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0.51 ค่าของไซยาเนตสูงสุดจะอยู่ 120 นาที มีค่าเท่ากับ 59.10 มก.ไซยาเนต/ล. แสดงให้เห็นว่าค่ากำลังไอออนไม่มีผลต่อไซยาไนด์ที่ลดลงแต่มีผลกับค่าไซยาเนตสูงสุดที่เกิดขึ้น (รูปที่ 4.9 – 4.11)



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ ร้อยละของไซยาเนตกับเวลาสัมผัส พีเอช 11 ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ ร้อยละของไซยาเนตกับเวลาสัมผัส พีเอช 11 ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0.17

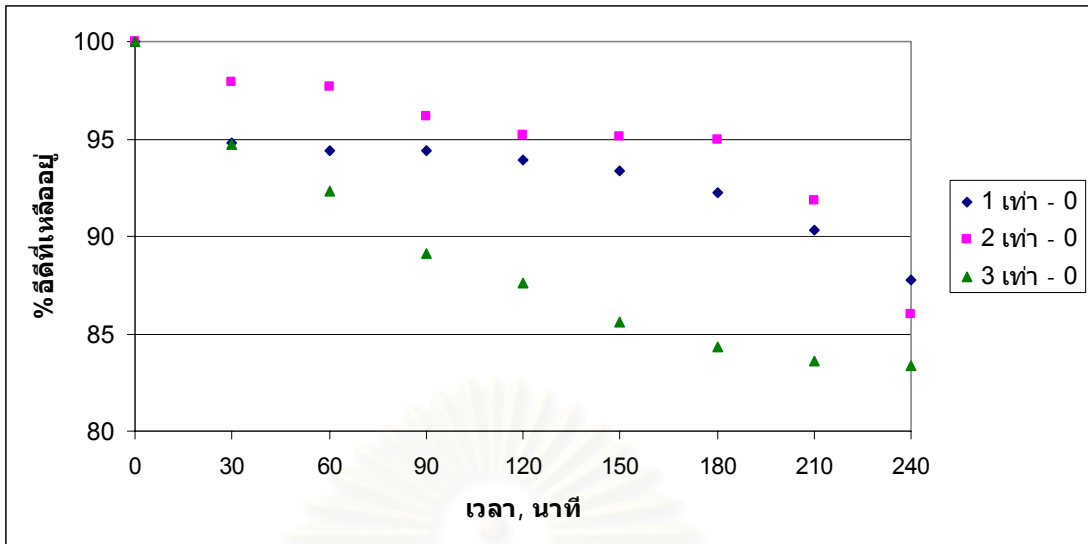


รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ ร้อยละของไซยาเนตกับเวลาสัมผัส พีเอช 11 ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0.51

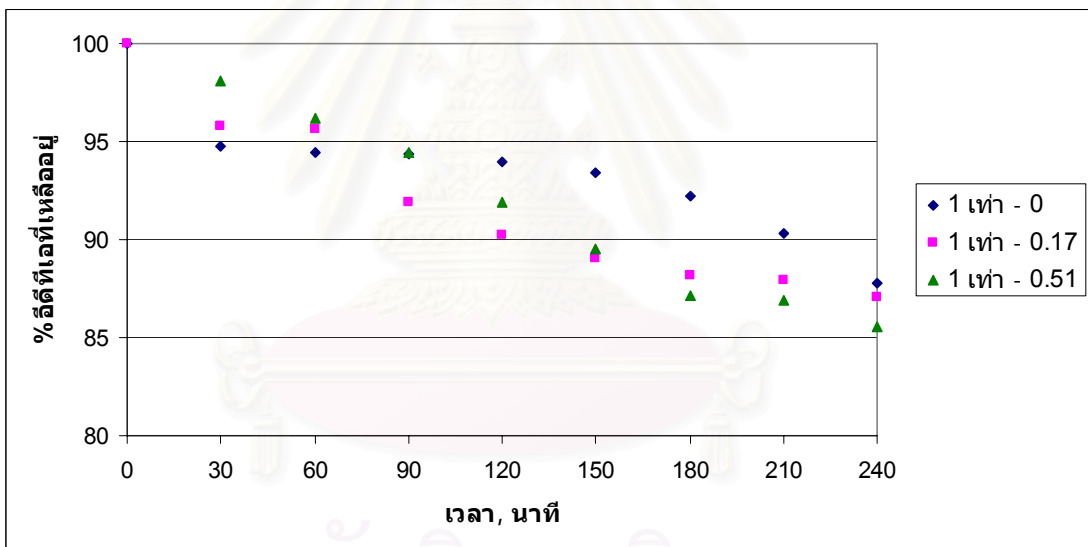
4.3 ผลการทดลองน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีอิตีเอเพียงอย่างเดียว

4.3.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีนชัน

การทดลองหาประสิทธิภาพของไฮโปคลอไรท์และผลของกำลังไอออน ในการกำจัดอิตีเอ ความเข้มข้นของอิตีเอเริ่มต้นคงที่ที่ 14.82 กรัมอิตีเอต่อลิตร หรือ 0.05 โมลต่อลิตร ที่พีเอชเป็น 11 ผลการกำจัดอิตีเอในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไฮโปคลอไรท์พบว่า ปริมาณของสารเคมีมีความสามารถในการกำจัดอิตีเอต่ำ ที่เวลา 240 นาที สามารถกำจัดอิตีเอได้เพียงร้อยละ 12.21, 13.98 และ 16.63 ตามลำดับ (รูปที่ 4.12) และเมื่อพิจารณาผลของกำลังไอออนพบว่า กำลังไอออนที่เพิ่มขึ้น ไม่ค่อยมีผลต่อการกำจัดอิตีเอ โดยประสิทธิภาพที่ได้เท่ากับ 12.92 และ 14.41 สำหรับค่ากำลังไอออนที่ 0.17 และ 0.51 โมลต่อลิตรตามลำดับ (รูปที่ 4.13)



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของอดีดีที่เอที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่ปริมาณสารเคมีต่างๆ วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่น ที่พีเอช 11 กำลังไอออนเท่ากับ 0

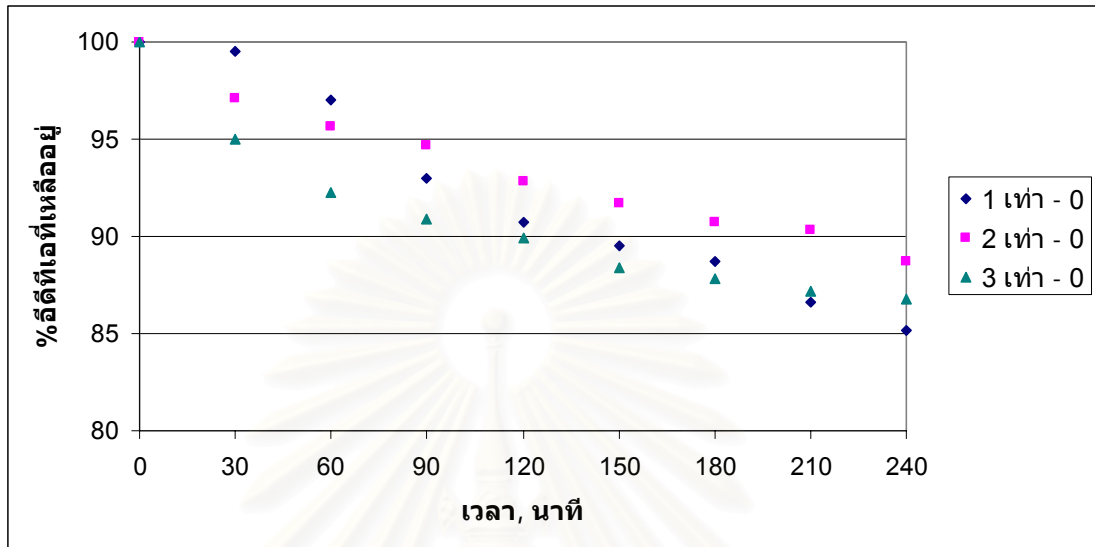


รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของอดีดีที่เอที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่กำลังไอออนต่างๆ วิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชั่น ที่พีเอช 11

4.3.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

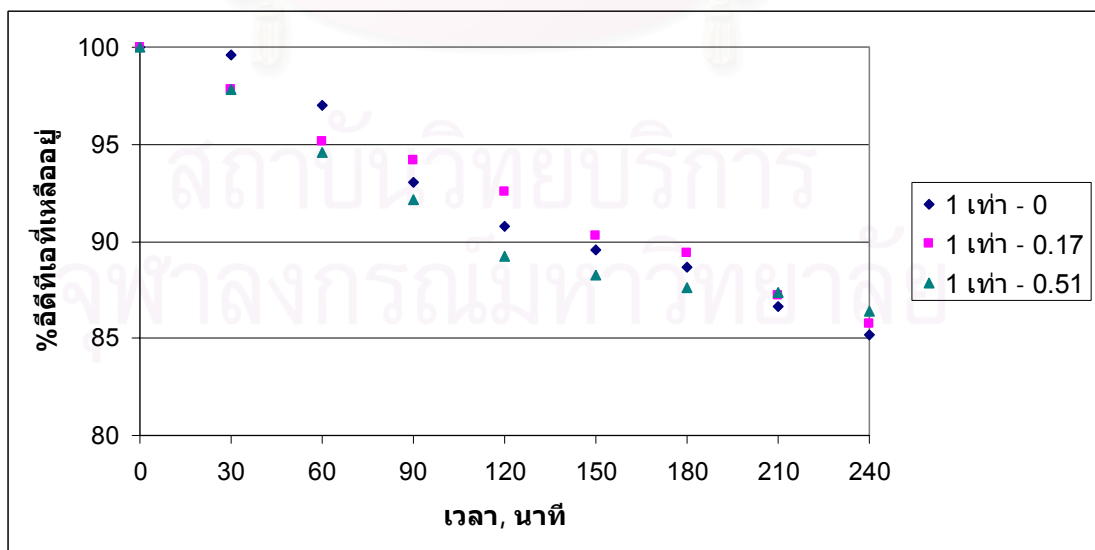
การทดลองหาประสิทธิภาพของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และผลของกำลังไอออนในการกำจัดอดีดีที่เอ ความเข้มข้นของอดีดีที่เอเริ่มต้นคงที่ที่ 14.82 กรัมอดีดีที่เอต่อลิตร หรือ 0.05 โมลต่อลิตร ที่พีเอชเป็น 11 ผลการกำจัดอดีดีที่เอในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์พบว่า ปริมาณของสารเคมีมีความสามารถในการกำจัดอดีดีที่เอต่ำเช่นเดียวกับไฮโปคลอไรท์ ที่เวลา 240 นาที สามารถกำจัดอดีดีได้เพียงร้อยละ 14.81, 11.30 และ 13.25 ตามลำดับ (รูปที่ 4.14)

ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับ Chitra และคณะ (2004) ซึ่งทดลองใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปริมาณ 20 เท่าของโมลของอีดีทีเอ โดยใช้เวลานานถึง 150 ชั่วโมง จึงจะสามารถกำจัดอีดีทีเอที่มีความเข้มข้น 20,000 มิลลิกรัมต่อลิตรได้หมด



รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของอีดีทีเอที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสที่มีปริมาณสารเคมีต่างๆ การออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่พีเอช 11

และเมื่อพิจารณาผลของกำลังไอออนพบว่า กำลังไอออนที่เพิ่มขึ้น ไม่มีผลต่อการกำจัดอีดีทีเอ โดยประสิทธิภาพที่ได้เท่ากับ 14.22 และ 13.57 สำหรับค่ากำลังไอออนที่ 0.17 และ 0.51 โมลต่อลิตรตามลำดับ (รูปที่ 4.15)



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของอีดีทีเอที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัส ที่กำลังไอออนต่างๆ การออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่พีเอช 11

4.4 ผลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์และอีดีทีเอ

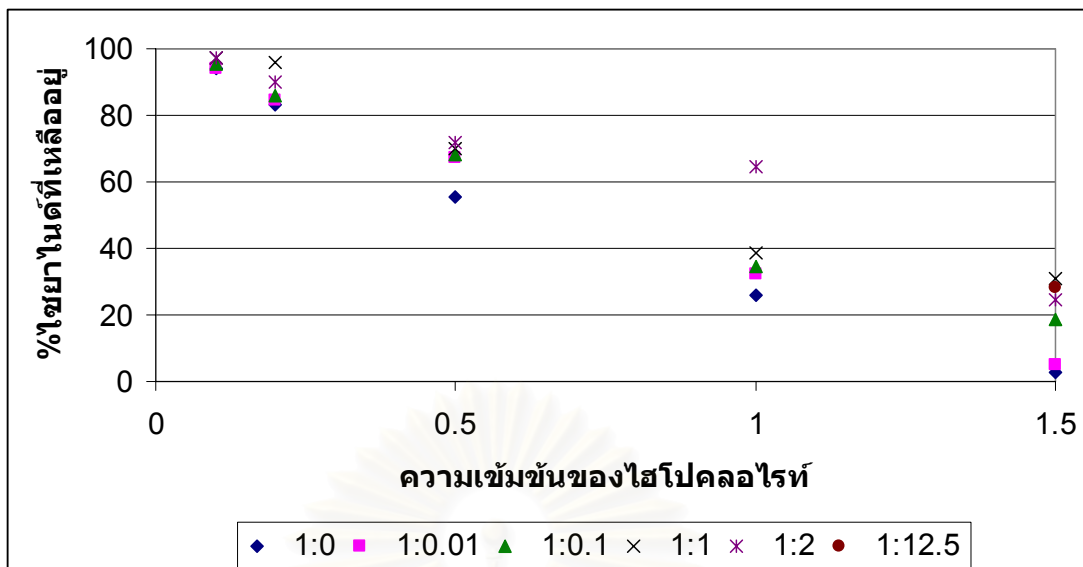
4.4.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีนชัน

ผลการศึกษาผลของอีดีทีเอที่มีต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย ความเข้มข้นของไซยาไนด์ เริ่มต้นคงที่ที่ 100 มก.ไซยาไนด์ต่อลิตร หรือ 3.84×10^{-3} โมลต่อลิตร กำลังไอออนเท่ากับ 0 และ พีเอช 11 แปรอัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออีดีทีเอเป็น 1:0 1:0.01 1:0.1 1:1 และ 2:1 หรือ 0, 3.84×10^{-5} , 3.84×10^{-4} , 3.84×10^{-3} และ 7.68×10^{-3} โมลต่อลิตรตามลำดับ และแปรค่าความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ เป็น 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่า เก็บตัวอย่างที่เวลา 10 นาที ผลเป็นดังตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.16

ตารางที่ 4.4 ร้อยละของค่าไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ที่ปริมาณไฮโปคลอไรท์ต่างๆ และแปรอัตราส่วนระหว่างไซยาไนด์ต่ออีดีทีเอ (หน่วย : มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร)

| CN : EDTA | 0.1 เท่า | 0.2 เท่า | 0.5 เท่า | 1.0 เท่า | 1.5 เท่า |
|-----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1:0 | 94.14 | 83.23 | 55.61 | 25.94 | 2.66 |
| 1:0.01 | 94.22 | 84.67 | 67.05 | 32.33 | 5.08 |
| 1:0.1 | 95.51 | 85.91 | 67.99 | 34.69 | 18.78 |
| 1:1 | 97.25 | 95.71 | 69.85 | 38.46 | 31.12 |
| 1:2 | 97.48 | 89.81 | 71.94 | 64.74 | 24.49 |
| 1:12.5 | - | - | - | - | 28.32 |

จากตารางที่ 4.4 ผลการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณของอีดีทีเอจะทำให้ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่กำจัดได้ลดลง แต่เมื่อปริมาณของอีดีทีเอมากกว่าหรือเท่ากับความเข้มข้นของไซยาไนด์ (อัตราส่วนมากกว่าหรือเท่ากับ 1:1) ปริมาณของอีดีทีเอจะไม่มีผลต่อการกำจัดไซยาไนด์ โดยพิจารณาที่อัตราส่วนระหว่างไซยาไนด์ต่ออีดีทีเอเท่ากับ 1:1, 1:2 และ 1:12.5 พบว่า ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่ลดลงมีค่าใกล้เคียงกัน คือร้อยละ 68.88, 75.51 และ 71.68 ตามลำดับ

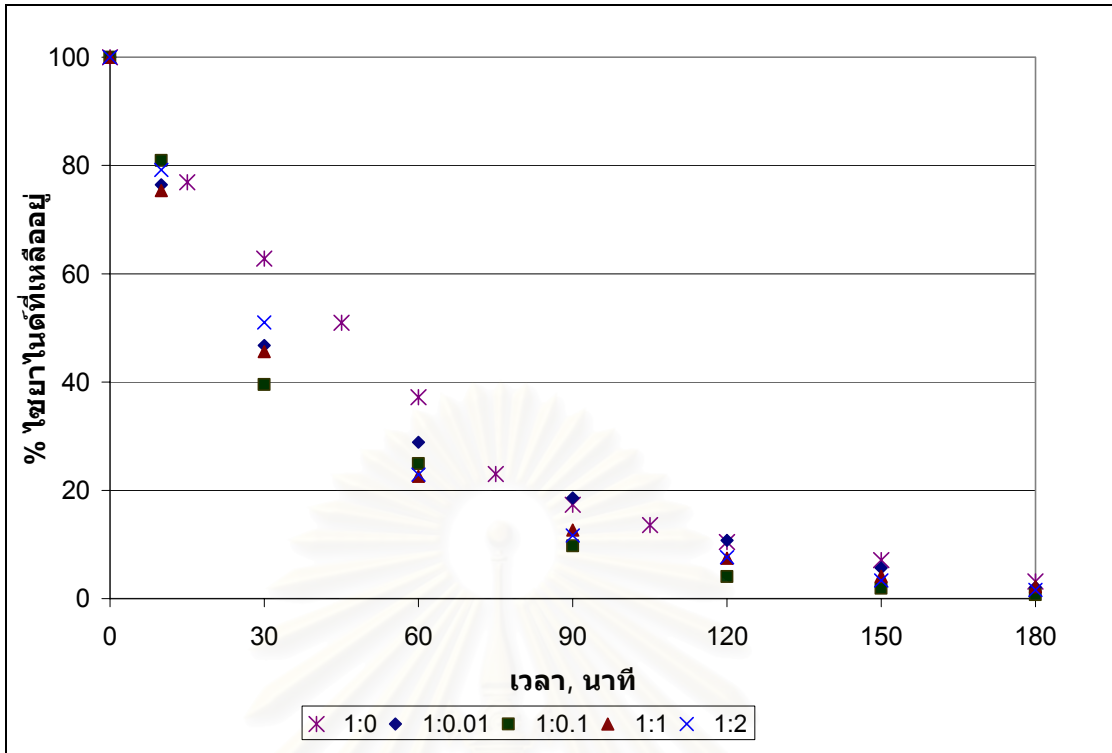


รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์กับความเข้มข้นของไฮโปคลอไรท์ 0.1, 0.2, 0.5, 1.0 และ 1.5 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ ที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออิตีทีเอต่างๆ ที่พีเอช 11 ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0

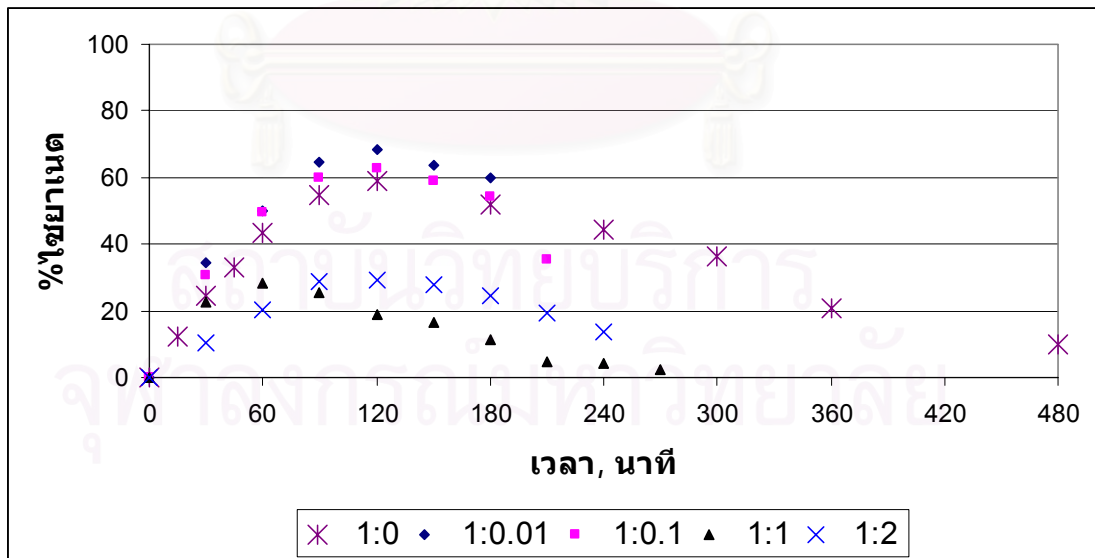
4.4.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ผลการศึกษาผลของอิตีทีเอที่มีต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย โดยความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นคงที่ที่ 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร หรือ 3.84×10^{-3} โมลต่อลิตร กำลังไอออนเท่ากับ 0 และพีเอช 11 แปรอัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออิตีทีเอเป็น 1:0 1:0.01 1:0.1 1:1 และ 2:1 หรือ 0, 3.84×10^{-5} , 3.84×10^{-4} , 3.84×10^{-3} และ 7.68×10^{-3} โมลต่อลิตร ตามลำดับ ที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ โดยเก็บตัวอย่างทุกๆ 30 นาที จนถึงนาทีที่ 180

ผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออิตีทีเอเป็น 1:0 1:0.01 1:0.1 1:1 และ 2:1 ที่เวลา 180 นาที ร้อยละของไซยาไนด์ที่ลดลงมีค่าเท่ากับ 96.86, 97.94, 99.28, 97.76 และ 98.38 % ตามลำดับ (รูปที่ 4.17) ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันแสดงว่าอิตีทีเอไม่มีผลต่อการกำจัดไซยาไนด์ แต่มีผลกับการเปลี่ยนไซยาไนด์ให้กลายเป็นไซยาเนต (รูปที่ 4.18) เนื่องจากที่อัตราส่วนที่มีอิตีทีเออยู่มาก คือ 1:1 และ 1:2 พบว่าความเข้มข้นไซยาเนตสูงสุดที่เกิดขึ้นจะมีค่าต่ำกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ การที่ไซยาเนตมีค่าต่ำ อาจเกิดจากไซยาไนด์บางส่วนเปลี่ยนไปเป็นรูปอื่น โดยไม่เปลี่ยนเป็นไซยาเนต เช่น ไบคาร์บอเนต หรือแอมโมเนีย หรืออาจจะเปลี่ยนรูปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์และไนโตรเจนเลย โดยไม่เปลี่ยนเป็นไซยาเนตก่อน



รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่ลดลงกับเวลาสัมผัส ที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออีดีทีเอต่างๆ โดยใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ ที่พีเอช 11

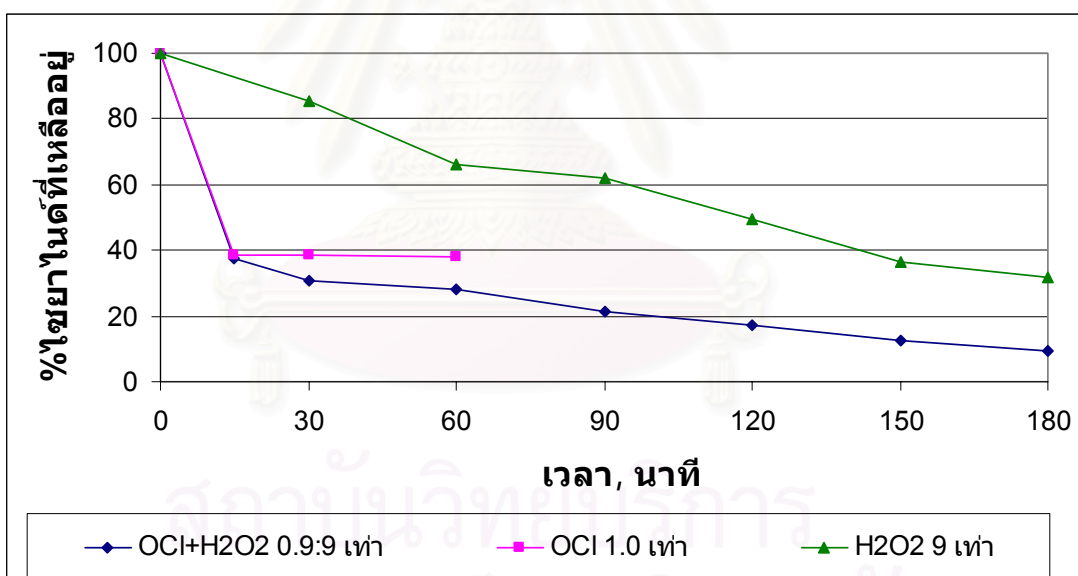


รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์กับเวลาสัมผัส ที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออีดีทีเอต่างๆ ที่พีเอช 11

4.4.3 วิธีอัลคาไลน์คลอรีนชั้นร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ผลการศึกษาที่ความเข้มข้นของไซยาไนด์เริ่มต้นคงที่ที่ 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร หรือ 3.84×10^{-3} โมลต่อลิตร กำลังไอออนเท่ากับ 0 และพีเอช 11 ปริมาณไฮโปคลอไรท์ 0.9 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ และปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 9 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ ที่อัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออิตีทีเอเท่ากับ 1:1 เก็บตัวอย่างทุก 30 นาที จนถึงนาทีที่ 180

ผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ใช้ไฮโปคลอไรท์หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อย่างเดียวพบว่า ประสิทธิภาพของการกำจัดไซยาไนด์ไม่เป็นแบบผลแบบรวม (addition) ดังรูปที่ 4.19 ความเข้มข้นของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ที่เวลา 15 นาทีเมื่อใช้สารเคมี 2 ตัว มีค่าใกล้เคียงกับค่าไซยาไนด์ที่เหลืออยู่เมื่อไฮโปคลอไรท์เพียงอย่างเดียว คือร้อยละ 37.34 และ 38.46 แต่ผลของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในกรณีใช้สารเคมีร่วมกัน กลับลดได้อีกเพียงร้อยละ 27.94 ซึ่งถ้าผลเป็นรวม ไซยาไนด์ควรจะถูกกำจัดทั้งหมด



รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่เมื่อเติมไฮโปคลอไรท์ 0.9 เท่าและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 9 เท่าของค่าความเข้มข้นไซยาไนด์ เปรียบเทียบกับร้อยละของค่าไซยาไนด์ที่เหลืออยู่เมื่อเติมสารเคมีเพียงตัวเดียว

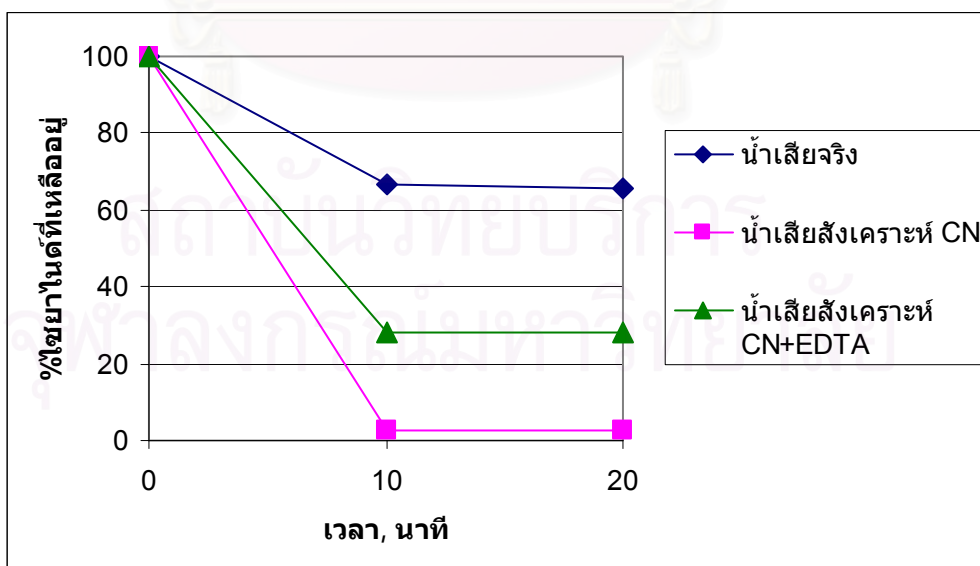
4.5 การทดลองกับน้ำเสียกับน้ำเสียจริงที่ได้จากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม

4.5.1 วิธีอัลคาไลน์คลอรีนชัน

นำน้ำเสียจริงที่ได้รับจากบริษัทกำจัดกากอุตสาหกรรม ตัวอย่างที่ 4 เก็บเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2546 มาวัดค่าไซยาไนด์ ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 97.72 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร เมื่อเติมไฮโปคลอไรท์ 15 เท่าของความเข้มข้นของไซยาไนด์ พบว่าสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้เพียงร้อยละ 34.47 (รูปที่ 4.20) ซึ่งอาจจะเป็นเพราะในน้ำเสียมีอิทธิพลร่วมอยู่ด้วยและไซยาไนด์อาจจะรวมตัวกับโลหะหนัก (ตามตารางที่ 4.5) กลายเป็นสารประกอบเชิงซ้อนไซยาไนด์ที่กำจัดได้ยาก โดยวัดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 0.47 กรัมต่อลิตร

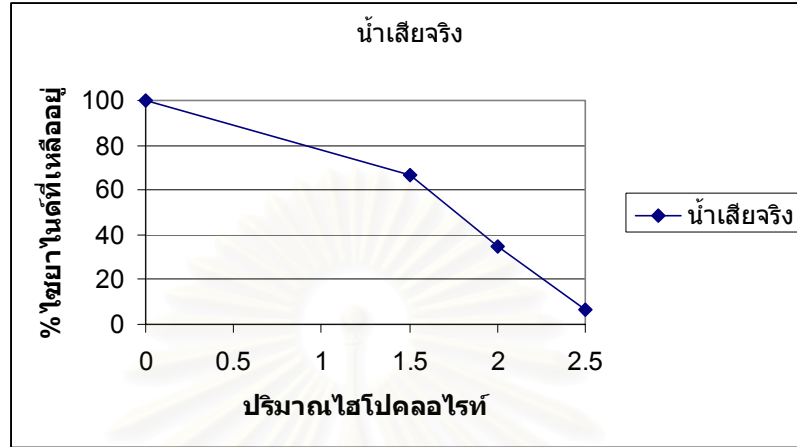
ตารางที่ 4.5 ค่าของโลหะหนักบางส่วนที่พบในน้ำเสียหนักหลังจากปรับพีเอชแล้ว (หน่วย: ส่วนในล้านส่วน)

| โลหะหนัก | ตัวอย่างที่ 1 | ตัวอย่างที่ 4 |
|---------------|---------------|---------------|
| โครเมียม (Cr) | 302.12 | 26.82 |
| ทองแดง (Cu) | 12.69 | 12.47 |
| เหล็ก (Fe) | 0.14 | 0.44 |
| นิกเกิล (Ni) | 30.06 | 31.17 |
| สังกะสี (Zn) | 0.51 | 1.25 |



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสของน้ำเสียจริง เปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณไฮโปคลอไรท์เท่ากัน

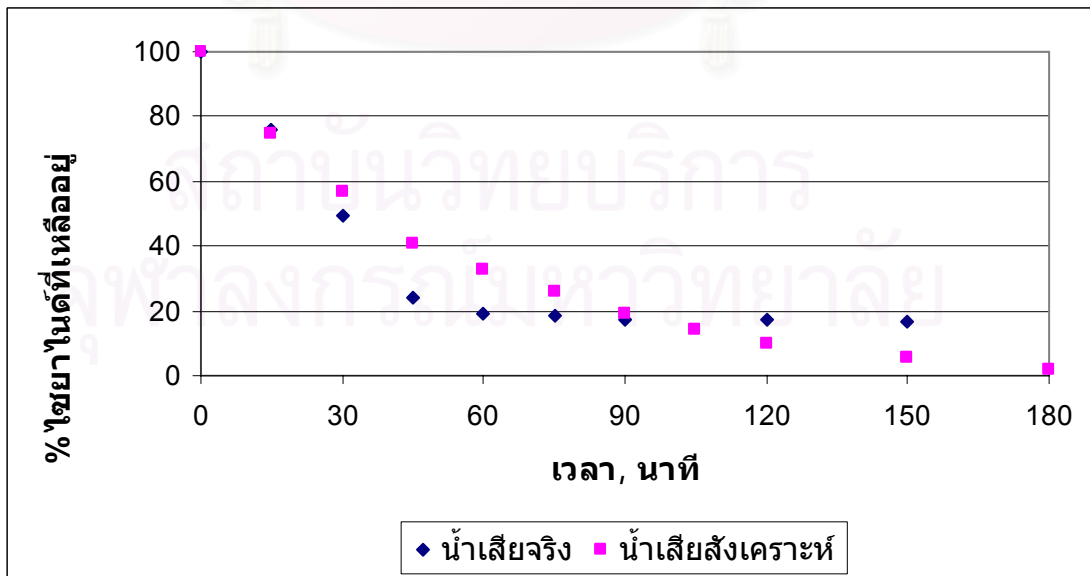
เมื่อทดลองเติมไฮโปคลอไรท์ลงไปเพิ่มอีก 0.5 เท่า กลายเป็น 2.0 และ 2.5 เท่าของปริมาณที่ใช้ในทางทฤษฎี (รูปที่ 4.21) พบว่าสามารถกำจัดไซยาไนด์จนเกือบหมด เหลืออยู่เพียงร้อยละ 6.63



รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับปริมาณไฮโปคลอไรท์ต่างๆ

4.5.2 การออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

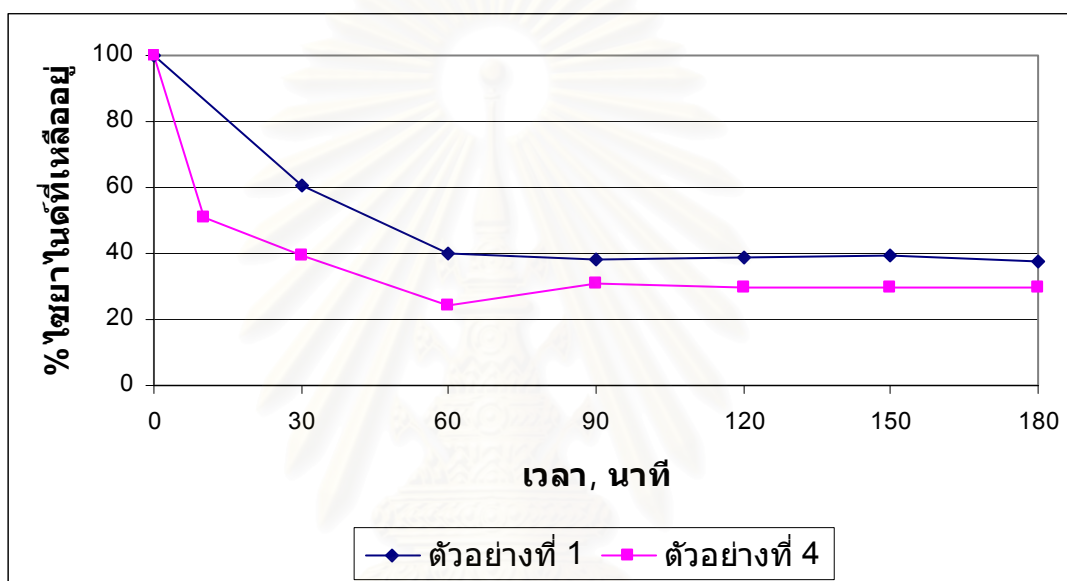
นำน้ำเสียจริงที่ได้รับจากบริษัทกำจัดกากอุตสาหกรรม ตัวอย่างที่ 4 เก็บเมื่อวันที่ 30 ธันวาคม พ.ศ. 2546 มาวัดค่าไซยาไนด์ ได้ความเข้มข้นเท่ากับ 98.34 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร เมื่อเติมไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของไซยาไนด์ พบว่าสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ร้อยละ 80.82 ที่ 60 นาที และไม่สามารถลดลงได้อีก (รูปที่ 4.22) โดยวัดปริมาณตะกอนที่เกิดขึ้นได้เท่ากับ 1.23 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่กับเวลาสัมผัสของน้ำเสียจริง เปรียบเทียบกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากัน

4.5.3 วิธีอัลคาไลน์คลอรีนชั้นร่วมกับการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ผลการศึกษากับน้ำเสียจริง โดยใช้น้ำเสียตัวอย่างที่ 1 (11 ธ.ค. 2546) และน้ำเสียตัวอย่างที่ 4 (30 ธ.ค. 2546) ซึ่งมีความเข้มข้นไซยาไนด์เท่ากับ 95.28 และ 99.44 มิลลิกรัม ไซยาไนด์ต่อลิตรตามลำดับ เมื่อเติมไฮโปคลอไรท์ 0.9 เท่าและไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 9 เท่าของ ไซยาไนด์ พบว่าสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้ร้อยละ 62.73 และ 70.39 ตามลำดับ (รูปที่ 4.23) โดย วัตถุประสงค์ที่เพิ่มขึ้นได้เท่ากับ 2.01 กรัมต่อลิตร



รูปที่ 4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ของน้ำเสียจริงตัวอย่างที่ 1 และ 4 กับเวลาสัมผัส

จากรูปที่ 4.23 ค่าร้อยละของไซยาไนด์จะลดลงอย่างรวดเร็วในช่วง 60 นาทีแรก และคงที่ แสดงให้เห็นว่าโลหะหนักและสารอื่นๆ มีผลกับการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสีย และเมื่อเปรียบเทียบค่าโลหะหนักในน้ำเสียตัวอย่างที่ 1 และตัวอย่างที่ 4 จะพบว่าปริมาณโลหะหนักมีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นโครเมียมที่มีค่าสูงกว่ามาก ซึ่งจะมีโอกาสในการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างไซยาไนด์กับโครเมียมได้มากกว่า จึงทำให้กำจัดไซยาไนด์ได้น้อยกว่า

4.6 การประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

ค่าสารเคมีที่ใช้ในการบำบัดน้ำเสียไฮยาไนด์สังเคราะห์ที่มีความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมไฮยาไนด์ต่อลิตรมีดังต่อไปนี้

1. วิธีอัลคาไลน์คลอรีนชัน

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ คิดเป็น 1.5 เท่าของความเข้มข้นไฮยาไนด์ ซึ่งจะเท่ากับ ปริมาตรประมาณ 3.4 มิลลิลิตรต่อลิตร ไฮเดียมไฮโปคลอไรท์แบบ 10% available Cl_2 ชนิดของเหลว เกรดที่ใช้ในการทดลอง มีราคาอยู่ที่ 900 บาทต่อลิตร ซึ่งสามารถประมาณค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 3 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

ไฮเดียมไฮโปคลอไรท์ แบบของเหลวที่มี 10% available Cl_2 (ไฮคลอร์ 10%) แม้จะมีความบริสุทธิ์น้อยกว่าและต้องใช้ปริมาณสารเคมีต่อความเข้มข้นของไฮยาไนด์มากขึ้น แต่ราคาตามท้องตลาดจะถูกกว่ามาก โดยอยู่ที่กิโลกรัมละ 4 บาท และค่าใช้จ่ายในส่วนของสารเคมีจะประมาณ 14 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

2. การออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปริมาณสารเคมีที่ใช้ คิดเป็น 36 เท่าของความเข้มข้นไฮยาไนด์ ซึ่งจะเท่ากับปริมาตรประมาณ 15 มิลลิลิตรต่อลิตร ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์แบบ 30% เกรดที่ใช้ในการทดลอง มีราคาอยู่ที่ 700 บาทต่อลิตร ซึ่งสามารถประมาณค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 10.5 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

โดยราคาตามท้องตลาดของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์อยู่ที่กิโลกรัมละ 22 บาท และสามารถประมาณค่าใช้จ่ายได้เท่ากับ 330 บาทต่อลูกบาศก์เมตร

3. การใช้ไฮเดียมไฮโปคลอไรท์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

ปริมาณสารเคมีที่ใช้คิดเป็นอย่างละ 0.9 และ 9 เท่าของความเข้มข้นไฮยาไนด์ตามลำดับ ซึ่งจะเท่ากับปริมาตรประมาณ 2 มิลลิลิตรต่อลิตรสำหรับไฮโปคลอไรท์ และเท่ากับ 3.75 มิลลิลิตรต่อลิตร ซึ่งสามารถประมาณค่าใช้จ่ายได้ประมาณ 5 บาทต่อน้ำเสีย 1 ลิตร

เมื่อคิดราคาตามท้องตลาดตามข้อ 2 และ 3 จะมีค่าใช้จ่ายประมาณ 90.5 บาท ต่อลูกบาศก์เมตร

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากผลการทดลองผลของอัตราที่เอต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยวิธีอัลคาไลโนคลอรีเนชันและปฏิกิริยาการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ เมื่อใช้โซเดียมไฮโปคลอไรท์เป็นสารออกซิเดนต์คือที่ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์เท่ากับ 1.5 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ในหน่วยโมลต่อลิตร ใช้เวลาในการทำปฏิกิริยาไม่เกิน 10 นาที และมีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าร้อยละ 90 เมื่อเปรียบเทียบกับสภาวะที่เหมาะสมของในการกำจัดไซยาไนด์เมื่อใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในการออกซิเดชันคือที่ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ในหน่วยโมลต่อลิตร ซึ่งใช้เวลาในการทำปฏิกิริยานานถึง 180 นาที มีประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์มากกว่าร้อยละ 90

2. จากการศึกษาผลของพีเอชในการทดลองพบว่า ถ้าพีเอชมีค่าใกล้เคียงหรือต่ำกว่าค่า pK_a ไซยาไนด์บางส่วนจะกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ สำหรับพีเอชที่เหมาะสมในการกำจัดไซยาไนด์คือ พีเอช 11 โดยตรวจสอบจากค่าไออาร์พีที่เหมาะสม เนื่องจากไออาร์พีจะวัดสถานะของปฏิกิริยาออกซิเดชัน - รีดักชันที่เกี่ยวกับการถ่ายเทอิเล็กตรอน ถ้าไฮโปคลอไรท์มีการรับอิเล็กตรอนจากไซยาไนด์จะทำให้ค่าไออาร์พีสูงขึ้น ถ้าค่าไออาร์พีเป็นบวกมากแสดงว่าเกิด ปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดี

3. จากการศึกษาผลของกำลังไอออนที่มีต่อการกำจัดไซยาไนด์และอัตราที่เอ พบว่ากำลังไอออนที่สูงขึ้นไม่มีผลต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียด้วยไฮโปคลอไรท์ เมื่อพิจารณาจากค่าไออาร์พีที่วัดได้ ส่วนการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์กำลังไอออนก็ไม่มีผลเช่นเดียวกัน ซึ่งในการทดลองกำจัดอัตราที่เอ ผลที่ได้เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

4. ผลของอัตราที่เอต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียสังเคราะห์ วิธีอัลคาไลโนคลอรีเนชัน อัตราที่เอที่เพิ่มมากขึ้นทำให้ต้องการปริมาณสารเคมีเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อเพิ่มปริมาณอัตราที่เอลงไปในน้ำเสียสังเคราะห์ จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ลดลง ส่วนการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้น อัตราที่เอไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดไซยาไนด์ แต่มีผลต่อการเปลี่ยนไซยาเนตให้กลายเป็นไนโตรเจนและคาร์บอนไดออกไซด์ โดย

ค่าของไซยาเนตสูงสุดลดลง อาจเนื่องมาจากไซยาไนด์เปลี่ยนรูปไปเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ และไนโตรเจนเลย หรือเกิดสารตัวอื่นขึ้นมา เช่น ไบคาร์บอเนตหรือแอมโมเนีย

5. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการใช้ไฮโปคลอไรท์กับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ในกรณีที่มีดีทีเอ ถ้าเพิ่มปริมาณของไฮโปคลอไรท์จะสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้หมด ส่วนการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์นั้นจะให้ผลที่เมื่อมีเวลาสัมผัสที่เพียงพอ

6. การใช้ไฮโปคลอไรท์ หรือไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เพียงอย่างเดียวจะให้ผลดีกว่าการใช้สารเคมี 2 ตัวร่วมกัน เนื่องจากไฮโปคลอไรท์มีฤทธิ์เป็นด่างส่วนไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีฤทธิ์เป็นกรด และการใช้สารเคมี 2 ตัวร่วมกัน มีประสิทธิภาพต่ำกว่าการใช้สารเคมีเพียงอย่างเดียวเนื่องจากประสิทธิภาพในการกำจัดไซยาไนด์ไม่เป็นแบบผลรวม

7. ในการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียจริง ซึ่งเป็นน้ำเสียรวมจากโรงงานชุบโลหะ ต้องใช้ปริมาณของไฮโปคลอไรท์เท่ากับ 2.5 เท่าของปริมาณที่ใช้ในทางทฤษฎี จึงจะสามารถกำจัดไซยาไนด์ได้มากกว่าร้อยละ 90

8. การประมาณค่าใช้จ่ายด้านสารเคมีในการบำบัด พบว่าวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชัน มีค่าใช้จ่ายประมาณ 14 บาท ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร ส่วนวิธีการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีค่าใช้จ่ายประมาณ 330 บาท ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ความเข้มข้น 100 มิลลิกรัมไซยาไนด์ต่อลิตร และในกรณีที่ใช้สารเคมีร่วมกัน 2 ชนิด มีค่าใช้จ่ายประมาณ 90.5 บาท ต่อน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ 1 ลูกบาศก์เมตร ที่ความเข้มข้นเดียวกัน

5.2 ความสำคัญทางด้านวิศวกรรมและการนำไปใช้ประโยชน์

จากการศึกษาผลของดีทีเอต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันและปฏิกิริยาออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ดังนี้

1. ทราบถึงเวลาสัมผัสที่ใช้ในการทำปฏิกิริยากำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียของไฮโปคลอไรท์ คือต่ำกว่า 10 นาที เนื่องจากในรายงานโดยทั่วไปจะระบุเวลาที่ใช้ในการทำปฏิกิริยานาน 30 นาทีถึง 2 ชั่วโมง

2. นำไปประเมินปริมาณไฮโปคลอไรท์ที่ต้องใช้ในการบำบัดน้ำเสียไซยาไนด์ได้ โดยจะต้องทำลายไซยาไนด์ให้หมดก่อนในขั้นตอนที่ 1 ที่พีเอช 11 จากนั้นจึงเติมสารเคมีลงไปเพิ่มในขั้นตอนที่ 2 โดยลดพีเอชเหลือ 8.5 เพื่อเปลี่ยนไซยาไนด์ให้กลายเป็นไซยาเนต มิฉะนั้นเมื่อทำการลดพีเอชแล้ว ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่จะกลายเป็นก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์ซึ่งเป็นพิษทางสิ่งแวดล้อม

3. นำไปเป็นข้อมูลตัดสินใจในการเลือกใช้สารเคมีในกรณีที่มีวิธีที่เป็นส่วนประกอบของน้ำเสียอยู่ด้วย

5.3 ข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองผลของวิธีที่เอต่อการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียโดยวิธีอัลคาไลน์คลอรีเนชันและปฏิกิริยาการออกซิเดชันด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ดังนี้

1. การศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในน้ำเสียด้วยสารเคมีชนิดอื่น และ/หรือการออกซิเดชันด้วยวิธีอื่นๆ เช่น การใช้โอโซน การใช้แสงอัลตราไวโอเล็ต การใช้วิธีทางด้านไฟฟ้าเคมี เฟอร์เรท
2. การศึกษาการใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไฮโปคลอไรท์ โดยใช้วิธีที่เรียกว่า singlet oxygen
3. การศึกษาการกำจัดไซยาไนด์ในสลัดจ์
4. การศึกษาผลของตัวแปรอื่นที่มีผลต่อการกำจัดไซยาไนด์ เช่น โลหะหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ควบคุมมลพิษ, กรม. (2543). มาตรฐานคุณภาพน้ำและเกณฑ์ระดับคุณภาพน้ำในประเทศไทย.

พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร : กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.

จารุวรรณ วิระวงษ์นุสร. (2542). การบำบัดน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ. วารสารโรงงาน 17, 3 : 28 – 32.

ชลชัย ไพร์พินธุ์, นันทนา ศิริพันธ์ และ ประทีน กุลละวณิชย์. (2540). การหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนโลหะหนักและกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากโรงงานชุบโลหะ. งานวิจัยสำหรับหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ประยูร ฟองสถิตย์กุล, ชลาศัย ห่วงประเสริฐ, พิทยา จารุพูนผล และ วิสิทธิ์ สุขป้อม. (2542). การบำบัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้งจากกระบวนการชุบโลหะด้วยสังกะสี โดยวิธีออกซิเดชันด้วยสารโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต. วารสารสารานุกรมสุขศาสตร์ 29, 2 : 38 – 46.

มงคล สุทธิวัฒน์กุล และ จารุวรรณ วิระวงษ์นุสร. (2542). วิธีกำจัดไซยาไนด์ในน้ำทิ้ง. วารสารโรงงาน 17, 3 : 25 – 27.

วิสิทธิ์ สุขป้อม. (2540). การบำบัดไซยาไนด์ในน้ำเสียจากกระบวนการชุบโลหะด้วยสังกะสีโดยวิธีการออกซิเดชันด้วยโปตัสเซียมเปอร์มังกาเนต. วิทยานิพนธ์สารานุกรมสุขศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาสุขภาพสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยมหิดล.

สาโรช บุญยกิจสมบัติ. (2535). การบำบัดน้ำเสียโดยวิธีทางเคมีในโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าขนาดกลางและเล็ก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

อรอนงค์ ทรงกิตติ. (2539). ไซยาไนด์ (Cyanide). วารสารโรงงาน 14, 3 : 45 – 51.

ภาษาอังกฤษ

Benefield, L. D.; Judkins, J. F., Jr.; and Weand, B. L. (1982). Process chemistry for water and wastewater treatment. NJ : Prentice-Hall.

Benjamin, M. M. (2002). Water Chemistry. 1st ed. New York: McGraw-Hill.

Chemicaland21. (2003). Chelating Agents. Available from:

<http://www.chemicaland21.com/arokorhi/specialtychem/perchem/CHELATING%20AGENTS.htm> [2003, November 18]

Cheng, S. C.; Gattrell, M.; Guena, T.; and MacDougall, B. (2002). The electrochemical oxidation of alkaline copper cyanide solutions. Electrochimica Acta 47 : 3245 - 3256.

Chitra, S.; Paramasivan, K.; Sinha, P. K.; and Lal, K. B. (2004). Ultrasonic treatment of liquid waste containing EDTA. J. Cleaner Production. 12 : 429 – 435.

Dabrowski, B.; Zaleska, A.; Janczarek, M.; Hupka, J.; and Miller, J. D. (2002). Photo-oxidation of dissolved cyanide using TiO₂ catalyst. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 151 : 201–205.

Dart, M. C.; Gentles, J. D.; and Renton, D. G. (1963). Electrolytic oxidation of strong cyanide wastes. J. Appl. Chem. 17: 55-64.

Davis P.; and Green, D. L. (1999). Photocatalytic oxidation of cadmium-EDTA with titanium dioxide. Environ. Sci. Technol. 33: 609-617

El-Ghaoui, E. A.; Jansson, R. E. W.; and Moreland, C. (1982). Application of the trickle tower to problems of pollution control. II. The direct and indirect oxidation of cyanide. J. Appl. Electrochem. 12 : 669-673.

Eilbeck, W. J.; and Mattock, G. (1987). Chemical processes in wastewater treatment. West Sussex: Ellis Horwood.

Emerson Process Management. (2001). pH and ORP Control Used in Cyanide Destruction [Online]. Available from: http://www.emersonprocess.com/rainhome/documents/Liq_AppData_3300-01_200408.pdf [2004, July 24]

Environment Australia. (1998). Best Practice Environmental Management in Mining : Cyanide Management. Tasmania : Australian government, Department of the Environment and Heritage.

Futakawa, M.; Takahashi, H.; Inoue, G.; and Fujioka, T. (1994). Treatment of concentrated cyanide wastewater. Desalination 98 : 345 – 352.

Gilbert, E.; and Hoffmann-Glewe, S. (1990). Ozonation of ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) in aqueous solution, influence of pH value and metal ions. Water Research 24 : 39-44.

- Gislaine, G.; Wilson, F. J.; Marta, I. L.; and Hector, D. M. (2004). Destruction of EDTA using Fenton and photo-Fenton-like reactions under UV-A irradiation. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 167 : 59 – 67.
- Harris, D. C. (2002). Quantitative Chemical Analysis. 6th Ed. New York: W.H. Freeman.
- Hartinger, L. (1994). Handbook of effluent treatment and recycling for the metal finishing industry. 2nd ed. Herts: Finishing Publications.
- Hine, F.; Yasuda, M.; Iida, T.; and Ogata, Y. (1986). On the oxidation of cyanide solutions with lead oxide coated anode. Electrochimica Acta 31: 1389-1395.
- Ho, S. P.; Wang, Y. Y.; and Wan, C. C. (1990). Electrolytic decomposition of cyanide effluent with an electrochemical reactor packed with stainless steel fiber. Water Research 24: 1317-1321.
- Honeywell Inc. (2003). Cyanide Waste Treatment: Measuring and Controlling pH and ORP Levels [Online]. Available from: <http://www.honeywell.com> [2003, August 22]
- INCO. (1993). Cyanide destruction: The Inco SO₂/Air process. Inco Exploration and Technical Services.
- Kunz, A.; Peralta-Zamora, P.; and Durán, N. (2002). Hydrogen peroxide assisted photochemical degradation of ethylenediaminetetraacetic acid. Advances in Environmental Research 7: 197-202.
- Madden, T. H.; Datye, A. K.; Fulton, M.; Prairie, M. R.; Majumdar, S. A.; and Stange, B. M. (1997). Oxidation of metal-EDTA complexes by TiO₂ photocatalysis. Environ. Sci. Technol. 31: 3475-3481.
- Matsumura, M.; and Kojima, T. (2003). Elution and decomposition of cyanide in soil contaminated with various cyanocompounds. Journal of Hazardous Materials B 97 : 99–110.
- Motekaitis, R. J.; Cox, B.; Taylor, P.; and Martel, A. E. (1982). Thermal degradation of EDTA chelates in aqueous solution. Canadian Journal of Chemistry 6: 1207.
- Moyer, H. R. (1994). Cleaning and degreasing technology report [Online]. Available from: <http://www.dppr.ctc.com/clndegre/tr050494.htm> [2003, May 14]

- National Institute for Occupational Safety and Health. (2002). International Chemical Safety Cards : EDTA. [Online]. Available from: <http://www.cdc.gov/niosh/ipcsneng/neng0886.html> [2003, August 27]
- Nowack, B.; Kari, F. G.; Hilger, S. U.; and Sigg, L. (1996). Determination of Dissolved and Adsorbed EDTA Species in Water and Sediments by HPLC. Anal. Chem. 68 : 561 – 566.
- Olsson, L. (2000). Electrochemical degradation of cyanide. Luleå, Sweden: Luleå University of Technology.
- Pacific Northwest Pollution Prevention Resource Center. (1999). Pollution prevention in metal finishing: Plating. [Online]. Available from: <http://www.pprc.org> [2003, May 6]
- Parga, J.R.; Shukla S.S.; and Carrillo-Pedroza F.R. (2003). Destruction of cyanide waste solutions using chlorine dioxide, ozone and titania sol. Waste Management 23 : 183 – 191.
- Patterson, J. W. (1985). Industrial wastewater treatment technology. 2nd ed. Butterworths.
- Rämö, J.; and Sillanpää, M. (2001). Degradation of EDTA by hydrogen peroxide in alkaline conditions. Journal of Cleaner Production 9 : 191–195.
- Rodríguez, J. B.; Mutis, A.; Yeber, M. C.; Freer, J.; Baeza, J.; and Mansilla, H. D. (1999). Chemical degradation of EDTA and DPTA in a totally chlorine free (TCF) effluent. Wat. Sci. Tech. 40: 267-272.
- Selm, R. P. (1959). Ozone oxidation of aqueous cyanide waste solution in stirred batch reactors and packed tower. In Ozone Chemistry and Technology. Washington: American Chemical Society.
- Sinbuathong, N.; Kongseri, B; Plungklang, B; and Khun-anake, R. (2000). Cyanide Removal from Laboratory Wastewater Using Sodium Hypochlorite and Calcium Hypochlorite. Kasetsart J. (Nat. Sci.) 34 : 74 – 78.
- Singer, P. C.; and Zilli, W. B. (1975). Ozonation of ammonia in waste water. Water Research. 9 : 127-134.
- Solvay Interlox, Inc. (2001). Cyanide Detoxification with Hydrogen Peroxide [Online]. Available from: <http://www.solvayinterlox.com> [2003, June 11]

- Tucker, M. D.; Barton, L. L.; Thomas, B. M.; Wagener, B. M.; and Aragon, A. (1999). Treatment of waste containing EDTA by chemical oxidation. Waste management 19 : 477 – 482.
- Tyler, R. G.; Maske, W.; Westin, M. J.; and Matthews, W. (1951). Ozonation of cyanide wastes. Sewage Ind. Wastes 23 : 1150-1153.
- U.S. Environmental Protection Agency. (2000). Capsule Report- Managing Cyanide in Metal. EPA-625/R-99/009. National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development. U.S.EPA. Cincinnati. Ohio.
- Vohra, M. S.; and Davis, A. P. (2000). TiO₂-assisted photocatalysis of lead-EDTA. Water Research 34: 952-964.

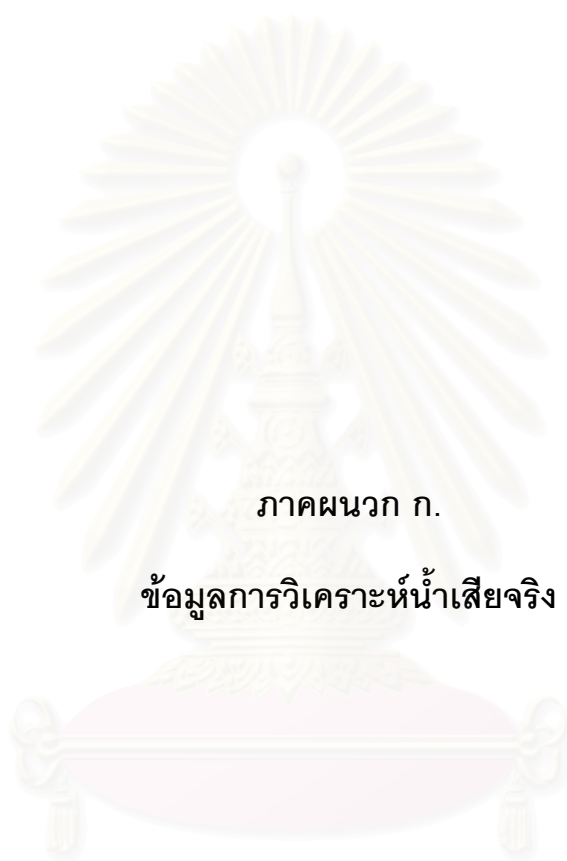


สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

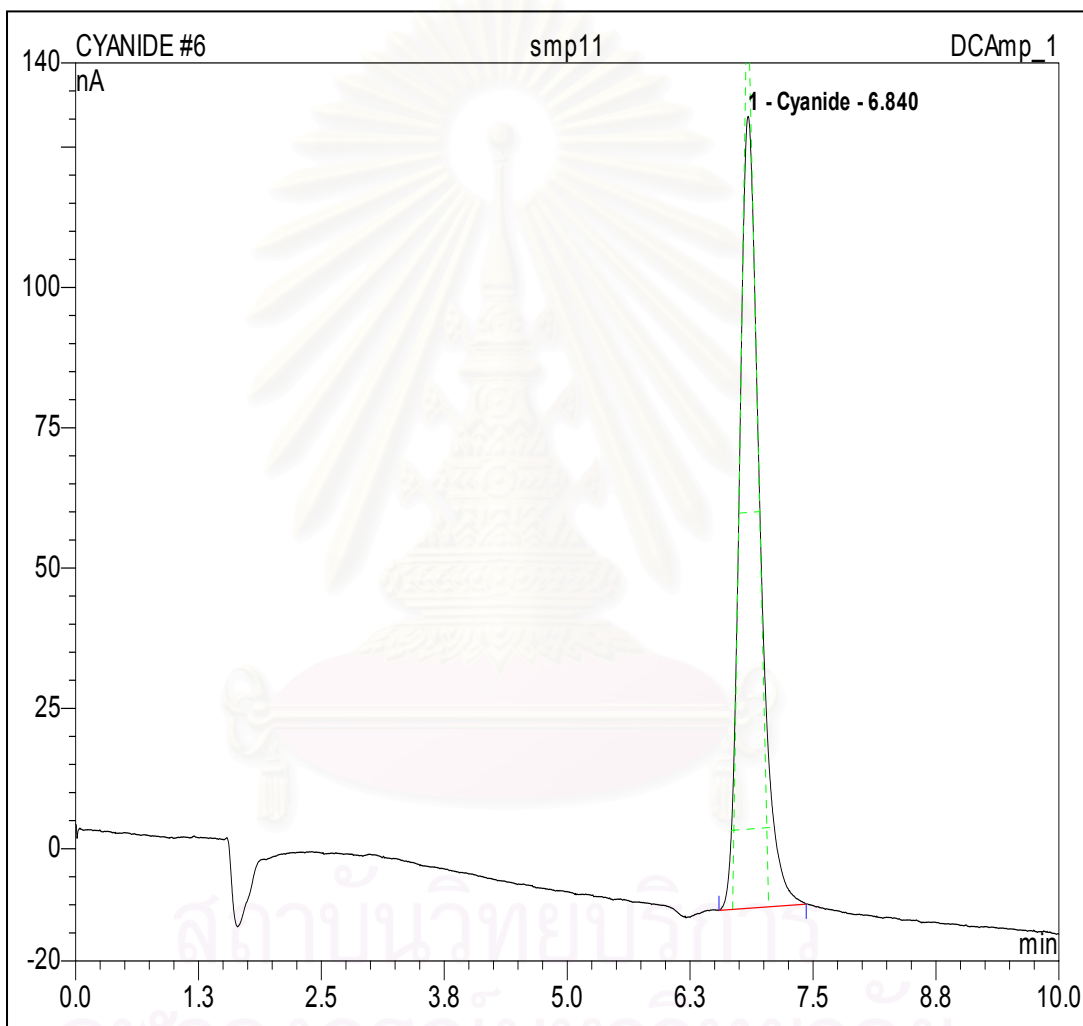
ข้อมูลการวิเคราะห์น้ำเสียจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๘1 ผลการวิเคราะห์น้ำเสียจริงที่ได้รับจากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม

| พารามิเตอร์ที่วัด | น้ำเสียขวดที่ 1 (11/12/46) | น้ำเสียขวดที่ 2 (16/12/46) | น้ำเสียขวดที่ 3 (23/12/46) | น้ำเสียขวดที่ 4 (30/12/46) |
|-------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| ไซยาไนด์ | 95.28 | 264.72 | 74.38 | 99.44 |
| อดีทีเอ | 11.75 | 13.48 | 15.17 | 18.87 |
| Conductivity (mS/cm) | 12.53 | 11.61 | 16.62 | 13.8 |
| | 12.44 | 11.31 | 16.8 | 13.46 |
| | 12.45 | 11.26 | 16.8 | 13.48 |
| เฉลี่ย | 12.47 | 11.39 | 16.74 | 13.58 |
| TDS (g/L) | 6.22 | 5.81 | 8.31 | 6.9 |
| | 6.23 | 5.65 | 8.4 | 9.73 |
| | 6.22 | 5.63 | 8.4 | 6.74 |
| เฉลี่ย | 6.22 | 5.7 | 8.37 | 6.79 |
| TOC (mg/L) | 109.3 | 258.4 | 259.5 | 676.6 |
| | 113 | 241.7 | 300.3 | 667.6 |
| | 112.4 | 233.2 | 292.4 | 672.8 |
| เฉลี่ย | 111.57 | 244.1 | 248.1 | 672.3 |
| TIC (mg/L) | 29.9 | 41.7 | 30.8 | 33 |
| | 29.3 | 55.7 | 32.8 | 33.3 |
| | 31.6 | 41.1 | 32.5 | 39.7 |
| เฉลี่ย | 30.27 | 46.17 | 32.03 | 35.33 |

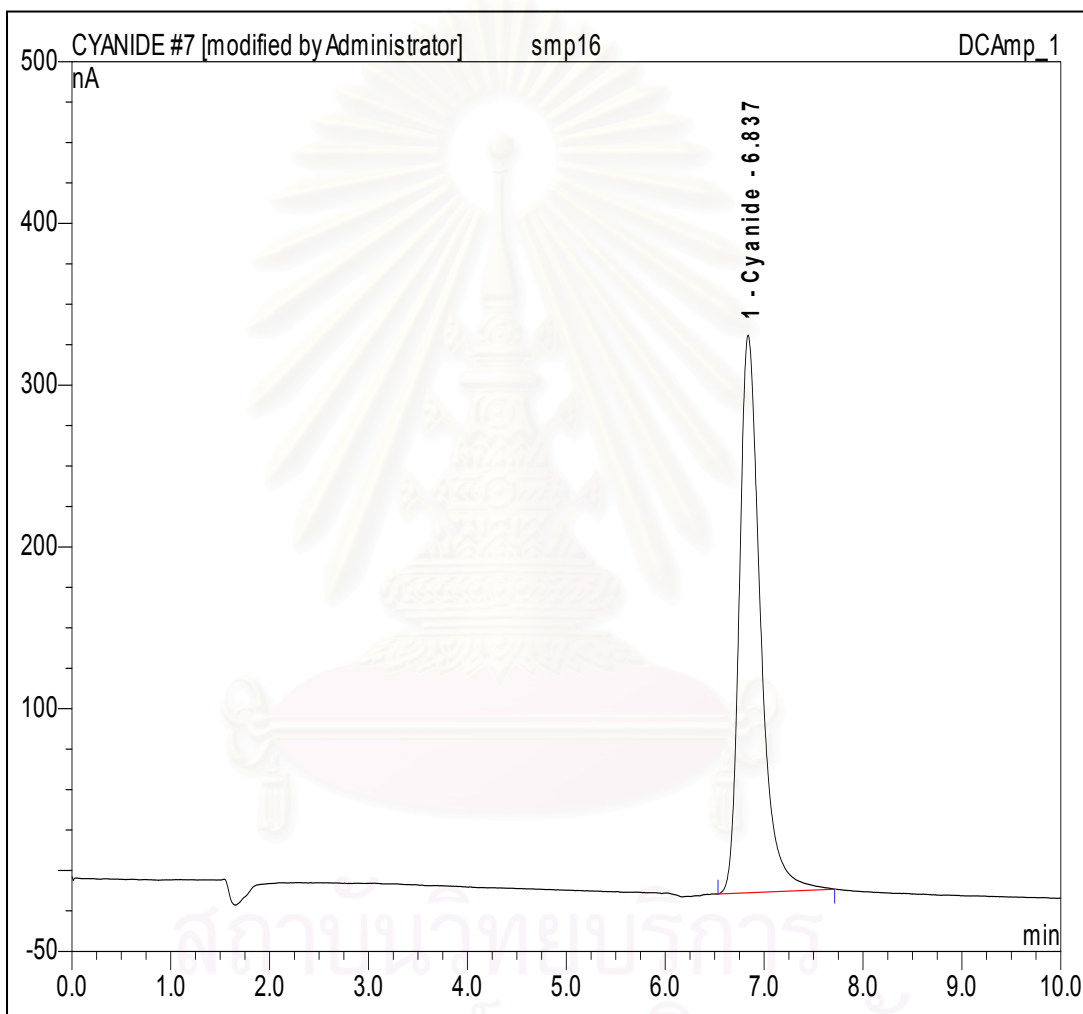
| | | | |
|------------------|------------------|-------------------|----------------|
| Sample Name: | smp11 | Injection Volume: | 5.0 |
| Vial Number: | RA5 | Channel: | DCAmp_1 |
| Sample Type: | unknown | Wavelength: | n.a. |
| Control Program: | cyanide | Bandwidth: | n.a. |
| Quantif. Method: | std cn | Dilution Factor: | 10.0000 |
| | 2/11/2004 | | |
| Recording Time: | 12:24 | Sample Weight: | 1.0000 |
| Run Time (min): | 10.00 | Sample Amount: | 1.0000 |



| No. | Ret.Time min | Peak Name | Height nA | Area nA*min | Rel.Area % | Amount | Resolution (EP) |
|---------------|-----------------|-----------|--------------|----------------|---------------|--------|--------------------|
| 1 | 6.84 | Cyanide | 141.107 | 34.051 | 100.00 | 95.28 | n.a. |
| Total: | | | 141.107 | 34.051 | 100.00 | 95.28 | |

รูปที่ ๘1 โครมาโตแกรมและรายละเอียดของไซยาไนด์ที่วัดได้ในน้ำเสียตัวอย่างที่ 1

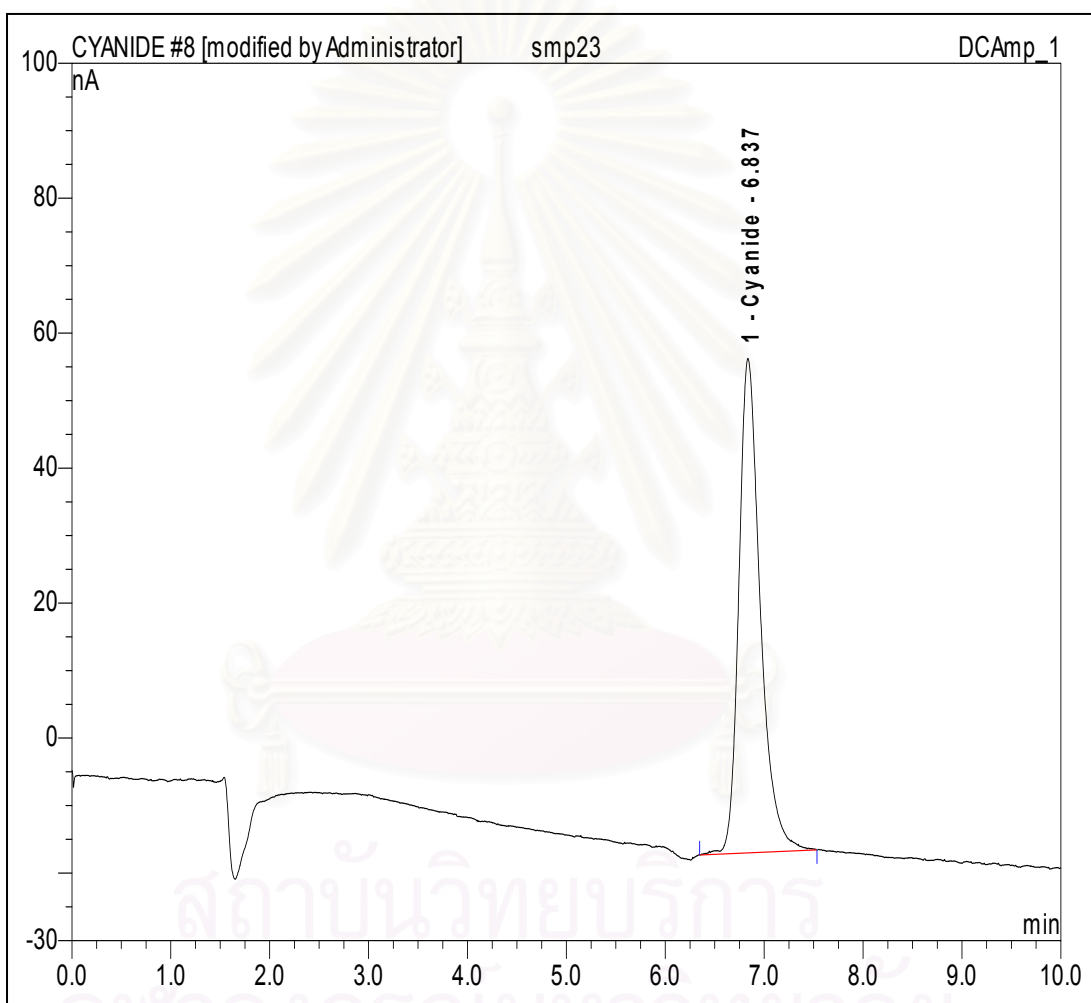
| | | | |
|------------------|------------------------|-------------------|----------------|
| Sample Name: | smp16 | Injection Volume: | 5.0 |
| Vial Number: | RA6 | Channel: | DCamp_1 |
| Sample Type: | unknown | Wavelength: | n.a. |
| Control Program: | cyanide | Bandwidth: | n.a. |
| Quantif. Method: | std cn | Dilution Factor: | 10.0000 |
| Recording Time: | 2/11/2004 12:34 | Sample Weight: | 1.0000 |
| Run Time (min): | 10.00 | Sample Amount: | 1.0000 |



| No. | Ret.Time min | Peak Name | Height nA | Area nA*min | Rel.Area % | Amount | Resolution (EP) |
|--------------|-----------------|-----------|--------------|----------------|---------------|--------|--------------------|
| 1 | 6.84 | Cyanide | 344.701 | 85.472 | 100.00 | 264.72 | n.a. |
| Total | | | 344.701 | 85.472 | 100.00 | 264.72 | |

รูปที่ ๗2 โคโรมาโตแกรมและรายละเอียดของไซยาไนด์ที่วัดได้ในน้ำเสียตัวอย่างที่ 2

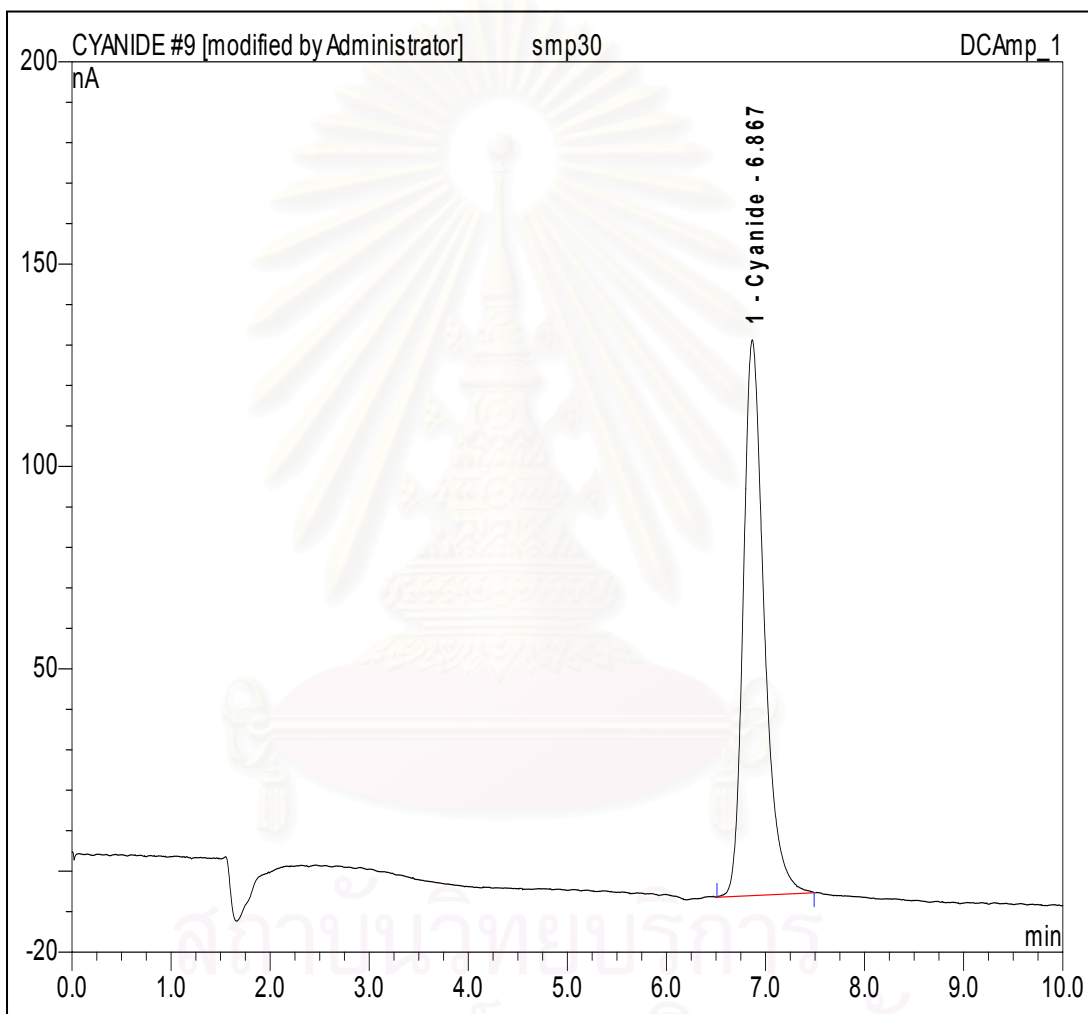
| | | | |
|------------------|------------------|-------------------|----------------|
| Sample Name: | smp23 | Injection Volume: | 5.0 |
| Vial Number: | RA7 | Channel: | DCAmp_1 |
| Sample Type: | unknown | Wavelength: | n.a. |
| Control | | | |
| Program: | cyanide | Bandwidth: | n.a. |
| Quantif. Method: | std cn | Dilution Factor: | 10.0000 |
| | 2/11/2004 | | |
| Recording Time: | 12:45 | Sample Weight: | 1.0000 |
| Run Time (min): | 10.00 | Sample Amount: | 1.0000 |



| No. | Ret.Time min | Peak Name | Height nA | Area nA*min | Rel.Area % | Amount | Resolution) (EP |
|--------------|-----------------|-----------|--------------|----------------|---------------|--------|--------------------|
| 1 | 6.84 | Cyanide | 73.269 | 18.434 | 100.00 | 74.38 | n.a. |
| Total | | | 73.269 | 18.434 | 100.00 | 74.38 | |

รูปที่ ๓3 โคโรมาโตแกรมและรายละเอียดของไซยาไนด์ที่วัดได้ในน้ำเสียตัวอย่างที่ 3

| | | | |
|------------------|------------------------|-------------------|----------------|
| Sample Name: | smp30 | Injection Volume: | 5.0 |
| Vial Number: | RB1 | Channel: | DCamp_1 |
| Sample Type: | unknown | Wavelength: | n.a. |
| Control Program: | cyanide | Bandwidth: | n.a. |
| Quantif. Method: | std cn | Dilution Factor: | 10.0000 |
| Recording Time: | 2/11/2004 12:58 | Sample Weight: | 1.0000 |
| Run Time (min): | 10.00 | Sample Amount: | 1.0000 |



| No. | Ret.Time min | Peak Name | Height nA | Area nA*min | Rel.Area % | Amount | Resolution (EP) |
|--------------|-----------------|-----------|--------------|----------------|---------------|--------|--------------------|
| 1 | 6.87 | Cyanide | 137.318 | 33.572 | 100.00 | 99.44 | n.a. |
| Total | | | 137.318 | 33.572 | 100.00 | 99.44 | |

รูปที่ ๘4 โคโรมาโตแกรมและรายละเอียดของไซยาไนด์ที่วัดได้ในน้ำเสียตัวอย่างที่ 4

ตารางที่ ผ2 ผลการวิเคราะห์โลหะหลังจากปรับพีเอชในน้ำเสียจริงที่ได้รับจากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม (หน่วย : หนึ่งในล้านส่วน)

| nm | 328.068 | 396.152 | 249.678 | 249.772 | 223.061 | 396.847 | 214.439 | 238.892 | 267.716 | 327.395 | 238.204 | 294.363 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| sample | Ag | Al | B | B | Bi | Ca | Cd | Co | Cr | Cu | Fe | Ga |
| 11_1 | 0.69702 | 0.16679 | 5.9019 | 5.4089 | - | 59.193 | 0.00331 | 0.02602 | x | 12.437 | 0.13707 | 0.37154 |
| 11_2 | 0.7148 | 0.18188 | 6.275 | 7.297 | - | 60.717 | 0.00189 | 0.02819 | x | 12.941 | 0.14168 | 0.38144 |
| | 0.70591 | 0.17434 | 6.08845 | 6.35295 | - | 59.955 | 0.0026 | 0.0271 | 302.12 | 12.689 | 0.13938 | 0.37649 |
| 16_1 | 0.01341 | 0.29985 | 20.79 | 18.282 | - | 57.743 | 0.00253 | 0.0935 | 27.264 | 28.679 | 0.82817 | 0.06004 |
| 16_2 | 0.01327 | 0.28584 | 19.288 | 17.252 | - | 56.836 | 0.00031 | 0.0859 | 25.903 | 28.676 | 0.74118 | 0.05688 |
| | 0.01334 | 0.29285 | 20.039 | 17.767 | - | 57.2895 | 0.00142 | 0.0897 | 26.5835 | 28.6775 | 0.78468 | 0.05846 |
| 23_1 | 0.02306 | 0.71886 | 5.1199 | 4.9784 | - | 59.855 | 0.00206 | 0.03966 | x | 3.8304 | 2.2593 | 0.11132 |
| 23_2 | 0.0229 | 0.76199 | 6.4982 | 6.0978 | - | 60.391 | 0.00074 | 0.04047 | x | 3.9024 | 2.492 | 0.11785 |
| | 0.02298 | 0.74043 | 5.80905 | 5.5381 | - | 60.123 | 0.0014 | 0.04006 | 88.857 | 3.8664 | 2.37565 | 0.11459 |
| 30_1 | 0.1076 | 0.23332 | 10.177 | 11.379 | - | 62.751 | 0.00096 | 0.05194 | 25.977 | 12.501 | 0.42925 | 0.03431 |
| 30_2 | 0.10585 | 0.22889 | 12.777 | 12.293 | - | 63.927 | 0.00084 | 0.05409 | 27.654 | 12.432 | 0.44233 | 0.03437 |
| | 0.10673 | 0.23111 | 11.477 | 11.836 | - | 63.339 | 0.0009 | 0.05301 | 26.8155 | 12.4665 | 0.43579 | 0.03434 |
| 11*10 | 0.08587 | 0.08928 | - | - | - | 48.253 | - | 0.0042 | 30.212 | 1.5235 | 0.02393 | 0.02939 |
| 16*10 | 0.00279 | 0.10533 | - | - | - | 37.975 | 0.0007 | 0.00887 | 3.0528 | 3.6269 | 0.07944 | - |
| 23*10 | 0.00377 | 0.14417 | - | - | - | 46.392 | 0.0001 | 0.00538 | 8.8857 | 0.44553 | 0.25865 | - |

ตารางที่ ผ2 ผลการวิเคราะห์โลหะหลังจากปรับพีเอชในน้ำเสียจริงที่ได้รับจากบริษัทรับกำจัดกากอุตสาหกรรม (หน่วย : หนึ่งในล้านส่วน) (ต่อ)

| nm | 230.606 | 410.176 | 766.491 | 670.783 | 279.553 | 257.61 | 589.592 | 231.604 | 220.353 | 407.771 | 190.794 | 213.857 |
|--------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| sample | In | In | K | Li | Mg | Mn | Na | Ni | Pb | Sr | Tl | Zn |
| 11_1 | - | - | x | 0.00813 | 0.29528 | 0.02226 | x | 28.956 | 0.01667 | 2.7918 | 0.00404 | 0.47837 |
| 11_2 | - | - | x | 0.00816 | 0.27553 | 0.01761 | x | 31.165 | 0.01145 | 2.8703 | 0.01605 | 0.53903 |
| | - | - | 42.731 | 0.00815 | 0.28541 | 0.01994 | x | 30.0605 | 0.01406 | 2.83105 | 0.01005 | 0.5087 |
| 16_1 | - | - | x | 0.02251 | 0.49069 | 0.03393 | x | x | 0.00283 | 0.65689 | - | 1.3463 |
| 16_2 | - | - | x | 0.02259 | 0.44564 | 0.02039 | x | x | - | 0.6493 | - | 1.3125 |
| | - | - | 43.94 | 0.02255 | 0.46817 | 0.02716 | x | 93.674 | 0.00283 | 0.6531 | - | 1.3294 |
| 23_1 | - | - | x | 0.02583 | 3.0732 | 0.27794 | x | 17.566 | 0.04412 | 2.4075 | - | 7.7204 |
| 23_2 | 0.00178 | - | x | 0.02546 | 3.0864 | 0.30514 | x | 18.268 | 0.03868 | 2.4552 | 0.00485 | 8.6181 |
| | 0.00178 | - | 39.65 | 0.02565 | 3.0798 | 0.29154 | x | 17.917 | 0.0414 | 2.43135 | 0.00485 | 8.16925 |
| 30_1 | 0.01145 | - | x | 0.00788 | 0.90713 | 0.02598 | x | 30.632 | 0.00087 | 2.5484 | - | 1.2558 |
| 30_2 | - | - | x | 0.00765 | 0.91146 | 0.02453 | x | 31.694 | - | 2.5964 | 0.00652 | 1.2424 |
| | 0.01145 | - | x | 0.00777 | 0.9093 | 0.02525 | x | 31.163 | 0.00087 | 2.5724 | 0.00652 | 1.2491 |
| 11*10 | - | - | 4.2731 | 0.0009 | 0.03571 | 0.00129 | x | 4.5514 | 0.00233 | 0.39801 | - | 0.09838 |
| 16*10 | - | - | 4.394 | 0.00318 | 0.08362 | 0.00685 | x | 9.3674 | - | 0.09643 | - | 0.15645 |
| 23*10 | - | - | 3.965 | 0.00388 | 0.46832 | 0.03033 | x | 2.3098 | 0.00085 | 0.33047 | - | 0.82765 |



ภาคผนวก ข.

ข้อมูลการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ3 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์กับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 พีเอช 11 แปรความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์

| ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ | เวลา (นาที) | ค่าไซยาไนด์ที่วัดได้ (มก./ล. ไซยาไนด์) | %ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ที่กำจัดได้ |
|------------------------|-------------|--|-----------------------|----------------------|
| 1 | 0 | 100.3505 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 94.4664 | 94.1365 | 5.8635 |
| | 20 | 94.3763 | 94.0466 | 5.9534 |
| | 30 | 94.1310 | 93.8022 | 6.1978 |
| 2 | 0 | 98.1926 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 81.7292 | 83.2336 | 16.7664 |
| | 20 | 81.6229 | 83.1253 | 16.8747 |
| | 30 | 81.5939 | 83.0958 | 16.9042 |
| 5 | 0 | 99.5743 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 55.3706 | 55.6073 | 44.3927 |
| | 20 | 55.1668 | 55.4026 | 44.5974 |
| | 30 | 54.8005 | 55.0348 | 44.9652 |
| 10 | 0 | 102.1684 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 26.4979 | 25.9355 | 74.0645 |
| | 20 | 26.4073 | 25.8468 | 74.1532 |
| | 30 | 26.0220 | 25.4697 | 74.5303 |
| 15 | 0 | 98.4486 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 2.6186 | 2.6599 | 97.3401 |
| | 20 | 2.6278 | 2.6692 | 97.3308 |
| | 30 | 2.4774 | 2.5164 | 97.4836 |

ตารางที่ ๘4 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่กำลังไอออนเท่ากับ 0 ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 15 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ แปรค่าพีเอช

| พีเอช | เวลา (นาที) | ค่าไซยาไนด์ที่วัดได้ (มก./ล. ไซยาไนด์) | %ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ที่กำจัดได้ |
|-------|-------------|--|-----------------------|----------------------|
| 9.5 | 0 | 100.3429 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 98.7298 | 98.3924 | 1.6076 |
| | 20 | 98.6297 | 98.2927 | 1.7073 |
| | 30 | 97.9270 | 97.5924 | 2.4076 |
| 11 | 0 | 101.3216 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 98.6284 | 97.3419 | 2.6581 |
| | 20 | 98.8205 | 97.5315 | 2.4685 |
| | 30 | 98.5937 | 97.3077 | 2.6923 |
| 12.5 | 0 | 99.8116 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 95.4735 | 95.8817 | 4.1183 |
| | 20 | 95.2239 | 95.6310 | 4.3690 |
| | 30 | 94.2508 | 94.6537 | 5.3463 |

ตารางที่ ๘5 ข้อมูลการวัดค่าไออาร์พีจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ แปรค่ากำลังไอออน และค่าพีเอช ที่ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 15 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์

| ค่ากำลังไอออน | ขั้นที่ 1 | | ขั้นที่ 2 | |
|---------------|-----------|-------|-----------|-------|
| | pH | ORP | pH | ORP |
| IS = 0 | 12.5 | 3 | 8.5 | 380 |
| IS = 0 | 11 | 435 | 8.5 | 580 |
| IS = 0.17 | 11 | 56.2 | 8.5 | 126.3 |
| IS = 0.51 | 11 | 35.6 | 8.5 | 113 |
| IS = 0 | 9.5 | 106.3 | 8.5 | 180 |

ตารางที่ ๘6 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์กับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่ค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 พีเอช 11 แปรความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

| | เวลา (นาท) | ค่าไซยาไนด์ ที่วัดได้ (mg/L CN) | % ไซยาไนด์ที่ เหลืออยู่ | % ไซยาไนด์ที่ กำจัดได้ | | เวลา (นาท) | ค่าไซยาไนด์ ที่วัดได้ (mg/L CN) | % ไซยาไนด์ที่ เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ ที่กำจัดได้ |
|-----------|---------------|---------------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------|---------------|---------------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 1 เท่า | 0 | 98.2463 | 100 | 0 | 9 เท่า | 0 | 96.9752 | 100 | 0 |
| | 30 | 92.7668 | 94.4227 | 5.5773 | | 30 | 82.9411 | 85.5282 | 14.4718 |
| | 60 | 87.9202 | 89.4896 | 10.5104 | | 60 | 63.9083 | 65.9017 | 34.0983 |
| | 90 | 81.7826 | 83.2424 | 16.7576 | | 90 | 59.9637 | 61.8341 | 38.1659 |
| | 120 | 79.9249 | 81.3516 | 18.6484 | | 120 | 48.0837 | 49.5835 | 50.4165 |
| | 150 | 72.8614 | 74.1620 | 25.8380 | | 150 | 35.5690 | 36.6784 | 63.3216 |
| | 180 | 68.3629 | 69.5832 | 30.4168 | | 180 | 30.9859 | 31.9524 | 68.0476 |
| 3 เท่า | 0 | 97.5379 | 100 | 0 | 36 เท่า | 0 | 96.3150 | 100 | 0 |
| | 30 | 92.4809 | 94.8153 | 5.1847 | | 30 | 54.9883 | 57.0921 | 42.9079 |
| | 60 | 85.4188 | 87.5749 | 12.4251 | | 60 | 31.4464 | 32.6495 | 67.3505 |
| | 90 | 80.5061 | 82.5382 | 17.4618 | | 90 | 18.1719 | 18.8672 | 81.1328 |
| | 120 | 77.0488 | 78.9937 | 21.0063 | | 120 | 9.4313 | 9.7921 | 90.2079 |
| | 150 | 71.3096 | 73.1096 | 26.8904 | | 150 | 5.2170 | 5.4166 | 94.5834 |
| | 180 | 64.0445 | 65.6611 | 34.3389 | | 180 | 1.4869 | 1.5438 | 98.4562 |
| 6 เท่า | 0 | 96.7393 | 100 | | | | | | |
| | 30 | 91.7021 | 94.7930 | 5.2070 | | | | | |
| | 60 | 84.1733 | 87.0105 | 12.9895 | | | | | |
| | 90 | 77.2253 | 79.8282 | 20.1718 | | | | | |
| | 120 | 65.2188 | 67.4171 | 32.5829 | | | | | |
| | 150 | 55.9231 | 57.8080 | 42.1920 | | | | | |
| | 180 | 49.3811 | 51.0456 | 48.9544 | | | | | |

ตารางที่ ๗ ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่พีเอช 9.5 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ แปรค่ากำลังไอออน

| กำลังไอออน | เวลา (นาที) | ค่าไซยาไนด์ที่วัดได้ (มก./ล. ไซยาไนด์) | %ไซยาไนด์ ที่เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ ที่กำจัดได้ |
|------------|----------------|---|---------------------------|--------------------------|
| 0 | 0 | 95.6411 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 15 | 56.5500 | 59.1273 | 40.8727 |
| | 30 | 33.4539 | 34.9786 | 65.0214 |
| | 45 | 18.4110 | 19.2501 | 80.7499 |
| | 60 | 10.4825 | 10.9603 | 89.0397 |
| | 75 | 5.1736 | 5.4094 | 94.5906 |
| | 90 | 3.5121 | 3.6722 | 96.3278 |
| | 105 | 1.9671 | 2.0568 | 97.9432 |
| 0.17 | 0 | 97.3927 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 15 | 80.1503 | 82.2960 | 9.1024 |
| | 30 | 58.3174 | 59.8786 | 40.1212 |
| | 45 | 48.4372 | 49.7339 | 47.7041 |
| | 75 | 28.9954 | 29.7716 | 70.2284 |
| | 90 | 19.9673 | 20.5018 | 79.4982 |
| | 105 | 15.9816 | 16.4094 | 83.5906 |
| | 120 | 14.4134 | 14.7993 | 85.2007 |
| | 135 | 11.2897 | 11.5920 | 88.4080 |
| | 150 | 8.3205 | 8.5433 | 91.4567 |
| | 165 | 6.3831 | 6.5540 | 93.4460 |
| | 180 | 4.2857 | 4.4004 | 95.5996 |
| 0.51 | 0 | 102.0032 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 15 | 65.9275 | 64.6328 | 35.3672 |
| | 30 | 41.8703 | 41.0480 | 58.9520 |
| | 45 | 26.4541 | 25.9346 | 74.0654 |
| | 60 | 17.9203 | 17.5684 | 82.4316 |
| | 90 | 5.8648 | 5.7496 | 94.2504 |
| | 120 | 0.0000 | 0.0000 | 100.0000 |

ตารางที่ ๘ ข้อมูลการวัดค่าไซยานตจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่พีเอช 9.5 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ แปรค่ากำลังไอออน

| IS = 0 | | IS = 0.17 | | IS = 0.51 | |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| เวลา (นาทีก) | ค่าไซยานตที่วัดได้ (มก./ล. ไซยานต) | เวลา (นาทีก) | ค่าไซยานตที่วัดได้ (มก./ล. ไซยานต) | เวลา (นาทีก) | ค่าไซยานตที่วัดได้ (มก./ล. ไซยานต) |
| 0 | 0.000 | 0 | 0.000 | 0 | 0.000 |
| 15 | 18.888 | 10 | 13.286 | 15 | 22.753 |
| 30 | 30.944 | 20 | 29.821 | 30 | 40.551 |
| 60 | 41.521 | 30 | 33.475 | 45 | 57.344 |
| 75 | 50.270 | 40 | 36.279 | 60 | 46.850 |
| 90 | 41.612 | 60 | 41.826 | 90 | 36.496 |
| 105 | 39.897 | 75 | 47.591 | 120 | 36.278 |
| 120 | 39.933 | 90 | 50.490 | 240 | 20.876 |
| 135 | 41.168 | 105 | 39.627 | 270 | 10.119 |
| 150 | 32.979 | 120 | 40.930 | 330 | 4.894 |
| 180 | 21.767 | 135 | 33.270 | 360 | 0.000 |
| 210 | 20.372 | 150 | 28.156 | | |
| 240 | 14.595 | 165 | 24.087 | | |
| 270 | 11.152 | 180 | 21.494 | | |
| 300 | 9.264 | 210 | 14.580 | | |
| 330 | 6.020 | 240 | 9.432 | | |
| 360 | 4.396 | 270 | 5.237 | | |
| 390 | 3.009 | 300 | 4.366 | | |
| 420 | 2.128 | 330 | 2.081 | | |
| 450 | 1.354 | 360 | 0.000 | | |

ตารางที่ ๘9 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ที่พีเอช 11
ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ แปรค่ากำลังไอออน

| กำลังไอออน | เวลา(นาที) | ค่าไซยาไนด์ที่วัดได้ (มก./ล. ไซยาไนด์) | %ไซยาไนด์ที่ เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ที่กำจัดได้ |
|------------|------------|---|---------------------------|----------------------|
| 0 | 0 | 96.3150 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 15 | 71.9080 | 74.6592 | 25.3408 |
| | 30 | 54.9883 | 57.0921 | 42.9079 |
| | 45 | 39.3279 | 40.8326 | 59.1674 |
| | 60 | 31.4464 | 32.6495 | 67.3505 |
| | 75 | 24.7870 | 25.7353 | 74.2647 |
| | 90 | 18.1719 | 18.8672 | 81.1328 |
| | 105 | 13.8682 | 14.3988 | 85.6012 |
| | 120 | 9.4313 | 9.7921 | 90.2079 |
| | 150 | 5.2170 | 5.4166 | 94.5834 |
| | 180 | 1.4869 | 1.5438 | 98.4562 |
| 0.17 | 0 | 99.8053 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 15 | 90.0123 | 90.1879 | 9.8121 |
| | 30 | 71.0479 | 71.1865 | 28.8135 |
| | 45 | 52.5703 | 52.6729 | 47.3271 |
| | 60 | 44.6440 | 44.7311 | 55.2689 |
| | 75 | 34.5097 | 34.5770 | 65.4230 |
| | 90 | 25.0881 | 25.1370 | 74.8630 |
| | 120 | 16.0356 | 16.0669 | 83.9331 |
| | 150 | 10.0294 | 10.0490 | 89.9510 |
| | 180 | 6.6377 | 6.6506 | 93.3494 |
| 0.51 | 0 | 100.0331 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 15 | 76.9188 | 76.8933 | 23.1067 |
| | 30 | 62.8423 | 62.8215 | 37.1785 |
| | 45 | 50.9594 | 50.9425 | 49.0575 |
| | 60 | 37.2134 | 37.2011 | 62.7989 |
| | 75 | 23.0258 | 23.0182 | 76.9818 |
| | 90 | 17.3786 | 17.3728 | 82.6272 |
| | 105 | 13.5862 | 13.5817 | 86.4183 |
| | 120 | 10.4417 | 10.4382 | 89.5618 |
| | 150 | 7.1147 | 7.1123 | 92.8877 |
| | 180 | 3.1412 | 3.1402 | 96.8598 |

ตารางที่ ๘10 ข้อมูลการวัดค่าไซยานตจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์ ที่พีเอช 11
ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 36 เท่าของความเข้มข้นไซยาไนด์ แปรค่ากำลังไอออน

| IS = 0 | | IS = 0.17 | | IS = 0.51 | |
|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|-----------------|---------------------------------------|
| เวลา (นาทีก) | ค่าไซยานตที่วัดได้ (มก./ล. ไซยานต) | เวลา (นาทีก) | ค่าไซยานตที่วัดได้ (มก./ล. ไซยานต) | เวลา (นาทีก) | ค่าไซยานตที่วัดได้ (มก./ล. ไซยานต) |
| 0 | 0.000 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 15 | 24.7120 | 15 | 14.9934 | 15 | 12.2339 |
| 30 | 44.1717 | 30 | 37.3023 | 30 | 24.6383 |
| 45 | 58.2300 | 45 | 43.1263 | 45 | 33.2307 |
| 60 | 63.6816 | 60 | 54.3107 | 60 | 43.4376 |
| 75 | 67.2930 | 90 | 61.2813 | 90 | 54.8513 |
| 90 | 65.4640 | 120 | 56.7236 | 120 | 59.1046 |
| 120 | 60.6122 | 180 | 46.0237 | 180 | 52.1226 |
| 150 | 58.4613 | 240 | 28.6162 | 240 | 44.3563 |
| 180 | 52.9441 | 300 | 20.2050 | 300 | 36.2781 |
| 240 | 45.1038 | 360 | 14.0611 | 360 | 20.8759 |
| 300 | 32.0849 | 480 | 7.9185 | 480 | 10.1188 |
| 360 | 27.6206 | | | | |
| 480 | 24.2916 | | | | |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ๘11 ข้อมูลการวัดค่าไอดีทีที่เอกจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ไอดีทีที่เอ ที่พีเอช 11
 แปลค่าความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ และค่ากำลังไอออน

| | time | area | concentration | | | time | area | concentration | |
|---|------|---------|---------------|----------|---|------|---------|---------------|----------|
| OCI 1 times to molar of CN- IS = 0 | 0 | 2861319 | 14.1636 | 100 | H ₂ O ₂ 1 times to molar of CN- IS = 0 | 0 | 3430773 | 16.9825 | 100 |
| | 30 | 2712024 | 13.4246 | 94.7826 | | 30 | 3415562 | 16.9072 | 99.5564 |
| | 60 | 2701439 | 13.3722 | 94.4127 | | 60 | 3327848 | 16.4730 | 96.9997 |
| | 90 | 2699981 | 13.3650 | 94.3617 | | 90 | 3191205 | 15.7966 | 93.0169 |
| | 120 | 2687836 | 13.3049 | 93.9372 | | 120 | 3113234 | 15.4106 | 90.7442 |
| | 150 | 2671960 | 13.2263 | 93.3824 | | 150 | 3072158 | 15.2073 | 89.5469 |
| | 180 | 2638555 | 13.0610 | 92.2149 | | 180 | 3042065 | 15.0583 | 88.6698 |
| | 210 | 2583428 | 12.7881 | 90.2883 | | 210 | 2972846 | 14.7157 | 86.6522 |
| | 240 | 2511951 | 12.4343 | 87.7902 | | 240 | 2922833 | 14.4681 | 85.1944 |
| OCI 2 times to molar of CN- IS = 0 | 0 | 2987612 | 14.7888 | 100 | H ₂ O ₂ 2 times to molar of CN- IS = 0 | 0 | 3219684 | 15.9376 | 100 |
| | 30 | 2925739 | 14.4825 | 97.9290 | | 30 | 3125038 | 15.4691 | 97.0602 |
| | 60 | 2918862 | 14.4485 | 97.6988 | | 60 | 3080658 | 15.2494 | 95.6818 |
| | 90 | 2872359 | 14.2183 | 96.1423 | | 90 | 3049506 | 15.0952 | 94.7142 |
| | 120 | 2843832 | 14.0771 | 95.1875 | | 120 | 2989023 | 14.7958 | 92.8357 |
| | 150 | 2840889 | 14.0625 | 95.0889 | | 150 | 2951271 | 14.6089 | 91.6632 |
| | 180 | 2837876 | 14.0476 | 94.9881 | | 180 | 2921853 | 14.4633 | 90.7495 |
| | 210 | 2743318 | 13.5795 | 91.8231 | | 210 | 2906993 | 14.3897 | 90.2879 |
| | 240 | 2570068 | 12.7219 | 86.0241 | | 240 | 2855896 | 14.1368 | 88.7009 |
| OCI 3 times to molar of CN- IS = 0 | 0 | 3125541 | 15.4716 | 100 | H ₂ O ₂ 3 times to molar of CN- IS = 0 | 0 | 3041412 | 15.0551 | 100 |
| | 30 | 2959649 | 14.6504 | 94.6921 | | 30 | 2888649 | 14.2989 | 94.9773 |
| | 60 | 2886580 | 14.2887 | 92.3543 | | 60 | 2805568 | 13.8877 | 92.2456 |
| | 90 | 2786603 | 13.7938 | 89.1556 | | 90 | 2763226 | 13.6781 | 90.8535 |
| | 120 | 2737149 | 13.5490 | 87.5733 | | 120 | 2734134 | 13.5341 | 89.8969 |
| | 150 | 2675052 | 13.2416 | 85.5866 | | 150 | 2687836 | 13.3049 | 88.3747 |
| | 180 | 2635603 | 13.0463 | 84.3244 | | 180 | 2671431 | 13.2237 | 87.8353 |
| | 210 | 2612018 | 12.9296 | 83.5699 | | 210 | 2652024 | 13.1276 | 87.1972 |
| | 240 | 2605654 | 12.8981 | 83.3662 | | 240 | 2638555 | 13.0610 | 86.7543 |
| OCI 1 times to molar of CN- IS = 0.17 | 0 | 3201191 | 15.8460 | 100.0001 | H ₂ O ₂ 1 times to molar of CN- IS = 0.17 | 0 | 3402581 | 16.8429 | 100.0001 |
| | 30 | 3065319 | 15.1735 | 95.7557 | | 30 | 3327701 | 16.4723 | 97.7994 |
| | 60 | 3062488 | 15.1594 | 95.6673 | | 60 | 3238617 | 16.0313 | 95.1813 |
| | 90 | 2942828 | 14.5671 | 91.9293 | | 90 | 3204288 | 15.8614 | 94.1723 |
| | 120 | 2889211 | 14.3017 | 90.2544 | | 120 | 3149643 | 15.5909 | 92.5664 |
| | 150 | 2850120 | 14.1082 | 89.0332 | | 150 | 3071410 | 15.2036 | 90.2671 |
| | 180 | 2822841 | 13.9732 | 88.1811 | | 180 | 3043011 | 15.0630 | 89.4325 |
| | 210 | 2815432 | 13.9365 | 87.9496 | | 210 | 2967386 | 14.6887 | 87.2099 |
| | 240 | 2787503 | 13.7983 | 87.0772 | | 240 | 2918605 | 14.4472 | 85.7763 |
| OCI 1 times to molar of CN- IS = 0.51 | 0 | 3693742 | 18.2842 | 100 | H ₂ O ₂ 1 times to molar of CN- IS = 0.51 | 0 | 3507940 | 17.3644 | 100 |
| | 30 | 3616485 | 17.9017 | 98.1014 | | 30 | 3432005 | 16.9886 | 97.8356 |
| | 60 | 3544846 | 17.5471 | 96.1581 | | 60 | 3318909 | 16.4287 | 94.6116 |
| | 90 | 3480209 | 17.2272 | 94.4048 | | 90 | 3232463 | 16.0008 | 92.1473 |
| | 120 | 3387091 | 16.7662 | 91.8788 | | 120 | 3129862 | 15.4929 | 89.2224 |
| | 150 | 3300297 | 16.3366 | 89.5245 | | 150 | 3097109 | 15.3308 | 88.2888 |
| | 180 | 3212929 | 15.9041 | 87.1545 | | 180 | 3074719 | 15.2200 | 87.6505 |
| | 210 | 3204972 | 15.8647 | 86.9387 | | 210 | 3064571 | 15.1697 | 87.3612 |
| | 240 | 3155154 | 15.6181 | 85.5873 | | 240 | 3031995 | 15.0085 | 86.4326 |

ตารางที่ ผ12 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์และอิตีทีเอ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์เท่ากับ 15 เท่าของ ความเข้มข้นไซยาไนด์ และค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 แปรค่าอัตราส่วนไซยาไนด์ต่ออิตีทีเอ

| | | ค่าไซยาไนด์ที่ วัดได้ | %ไซยาไนด์ที่ เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ที่ ลดลง | ค่าไซยาไนด์ที่ วัดได้ | %ไซยาไนด์ที่ เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ที่ ลดลง | ค่าไซยาไนด์ที่ วัดได้ | %ไซยาไนด์ที่ เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ที่ ลดลง |
|--------|-------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------|
| | เวลา (นาที) | 1 เท่า | | | 2 เท่า | | | 5 เท่า | | |
| 1:0 | 0 | 100.3505 | 100.0000 | 0.0000 | 98.1926 | 100.0000 | 0.0000 | 99.5743 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 94.4664 | 94.1365 | 5.8635 | 81.7292 | 83.2336 | 16.7664 | 55.3706 | 55.6073 | 44.3927 |
| 1:0.01 | 0 | 99.5894 | 100.0000 | 0.0000 | 96.9596 | 100.0000 | 0.0000 | 98.9410 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 93.8309 | 94.2178 | 5.7822 | 82.0967 | 84.6710 | 15.3290 | 66.3364 | 67.0464 | 32.9536 |
| 1:0.1 | 0 | 101.4186 | 100.0000 | 0.0000 | 103.6994 | 100.0004 | 0.0000 | 97.6115 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 96.8610 | 95.5062 | 4.4938 | 89.0870 | 85.9092 | 14.0908 | 54.1242 | 67.9854 | 32.0146 |
| 1:1 | 0 | 101.5276 | 100.0000 | 0.0000 | 99.9787 | 100.0000 | 0.0000 | 100.9678 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 98.7358 | 97.2502 | 2.7498 | 95.6871 | 95.7075 | 4.2925 | 70.5294 | 69.8534 | 30.1466 |
| 1:2 | 0 | 97.5276 | 100.0000 | 0.0000 | 101.4267 | 100.0000 | 0.0000 | 103.4659 | 100.0000 | 0.0000 |
| | 10 | 95.0712 | 97.4813 | 2.5187 | 100.0669 | 89.8051 | 10.1949 | 74.4308 | 71.9375 | 28.0625 |
| | เวลา (นาที) | 10 เท่า | | | 15 เท่า | | | 15 เท่า, CN :EDTA = 1:12.5 | | |
| 1:0 | 0 | 102.1684 | 100.0000 | 0.0000 | 98.4486 | 100.0000 | 0.0000 | 95.866 | 100 | 0.0000 |
| | 10 | 26.4979 | 25.9355 | 74.0645 | 2.6186 | 2.6599 | 97.3401 | 25.4334 | 26.5302 | 73.4698 |
| 1:0.01 | 0 | 98.6583 | 100.0000 | 0.0000 | 97.3427 | 100.0000 | 0.0000 | | | |
| | 10 | 31.8969 | 32.3307 | 67.6693 | 4.4505 | 4.5720 | 95.4280 | | | |
| 1:0.1 | 0 | 97.9988 | 100.0000 | 0.0000 | 98.9333 | 100.0000 | 0.0000 | | | |
| | 10 | 33.9969 | 34.6912 | 65.3088 | 18.5838 | 18.7842 | 81.2158 | | | |
| 1:1 | 0 | 100.2765 | 100.0000 | 0.0000 | 102.6839 | 100.0000 | 0.0000 | | | |
| | 10 | 38.5620 | 38.4557 | 61.5443 | 31.9550 | 31.1198 | 68.8802 | | | |
| 1:2 | 0 | 102.4962 | 100.0000 | 0.0000 | 100.1952 | 100.0000 | 0.0000 | | | |
| | 10 | 50.4948 | 64.7379 | 35.2621 | 24.5392 | 24.4914 | 75.5086 | | | |

ตารางที่ ฃ13 ข้อมูลการวัดค่าไชยาไนต์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไชยาไนต์และอีดีทีเอ ทีพีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 36 เท่าของความเข้มข้นไชยาไนต์ และค่ากำล้งไอออนเท่ากับ 0 แปรค่าอัตราส่วนไชยาไนต์ต่ออีดีทีเอ

| เวลา (นาที) | 1:0.01 | | | 1:0.1 | | | 1:1 | | | 1:2 | | |
|----------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|
| | ค่าไชยาไนต์ ที่วัดได้ | %ไชยาไนต์ ที่เหลืออยู่ | %ไชยาไนต์ ที่ลดลง | ค่าไชยาไนต์ที่ วัดได้ | %ไชยาไนต์ที่ เหลืออยู่ | %ไชยาไนต์ ที่ลดลง | ค่าไชยาไนต์ที่ วัดได้ | %ไชยาไนต์ ที่เหลืออยู่ | %ไชยาไนต์ ที่ลดลง | ค่าไชยาไนต์ที่ วัดได้ | %ไชยาไนต์ ที่เหลืออยู่ | %ไชยาไนต์ ที่ลดลง |
| 0 | 100.7392 | 100.0000 | 0.0000 | 98.7281 | 100.0000 | 0.0000 | 147.2265 | 100.0000 | 0.0000 | 134.8171 | 100.0000 | 0.0000 |
| 10 | 76.9837 | 76.4188 | 23.5812 | 79.8829 | 80.9120 | 19.0880 | 110.9462 | 75.3575 | 24.6425 | 106.7750 | 79.1999 | 20.8001 |
| 30 | 47.1087 | 46.7630 | 53.2370 | 39.0574 | 39.5606 | 60.4394 | 67.2182 | 45.6563 | 54.3437 | 68.7641 | 51.0055 | 48.9945 |
| 60 | 29.1302 | 28.9164 | 71.0836 | 24.6379 | 24.9553 | 75.0447 | 33.2527 | 22.5861 | 77.4139 | 30.9079 | 22.9258 | 77.0742 |
| 90 | 18.7512 | 18.6136 | 81.3864 | 9.6086 | 9.7324 | 90.2676 | 18.6303 | 12.6542 | 87.3458 | 15.7390 | 11.6743 | 88.3257 |
| 120 | 10.8341 | 10.7546 | 89.2454 | 4.0429 | 4.0950 | 95.9050 | 11.0289 | 7.4911 | 92.5089 | 10.3363 | 7.6669 | 92.3331 |
| 150 | 5.7055 | 5.6637 | 94.3363 | 1.8779 | 1.9021 | 98.0979 | 6.0688 | 4.1221 | 95.8779 | 4.5373 | 3.3655 | 96.6345 |
| 180 | 2.0742 | 2.0590 | 97.9410 | 0.7069 | 0.7160 | 99.2840 | 3.2986 | 2.2405 | 97.7595 | 2.1823 | 1.6187 | 98.3813 |

ตารางที่ ๘14 ข้อมูลการวัดค่าไชยาเนตจากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไชยาไนต์และอีดีทีเอ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เท่ากับ 36 เท่าของความเข้มข้นไชยาไนต์ และค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 แปรค่าอัตราส่วนไชยาไนต์ต่ออีดีทีเอ

| 1:0.01 | | 1:0.1 | | 1:1 | | 1:2 | |
|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|-----------------|---|
| เวลา (นาทีก) | ค่าไชยาเนตที่วัดได้ (มก./ล. ไชยาเนต) | เวลา (นาทีก) | ค่าไชยาเนตที่วัดได้ (มก./ล. ไชยาเนต) | เวลา (นาทีก) | ค่าไชยาเนตที่วัดได้ (มก./ล. ไชยาเนต) | เวลา (นาทีก) | ค่าไชยาเนตที่วัดได้ (มก./ล. ไชยาเนต) |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 30 | 34.5502 | 30 | 30.8854 | 30 | 22.4973 | 30 | 10.5518 |
| 60 | 50.0548 | 60 | 49.3043 | 60 | 28.1122 | 60 | 20.4153 |
| 90 | 64.8363 | 90 | 59.8803 | 90 | 25.5053 | 90 | 28.6996 |
| 120 | 68.4191 | 120 | 62.7482 | 120 | 18.9003 | 120 | 29.0491 |
| 150 | 63.6347 | 150 | 59.1033 | 150 | 16.5585 | 150 | 27.7323 |
| 180 | 60.0545 | 180 | 54.2383 | 180 | 11.3347 | 180 | 24.6726 |
| | | 210 | 35.2448 | 210 | 4.8484 | 210 | 19.3501 |
| | | | | 240 | 4.3825 | 240 | 13.6152 |
| | | | | 270 | 2.5833 | | |

ตารางที่ ผ15 ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีไซยาไนด์และอีดีทีเอ ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นไฮโปคลอไรท์ 0.9 เท่าและความเข้มข้นไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ 9 เท่า ของความเข้มข้นไซยาไนด์ และค่ากำลังไอออนเท่ากับ 0 (3) และ ข้อมูลการวัดค่าไซยาไนด์จากการทดลองกับน้ำเสียจริงด้วยไฮโปคลอไรท์ (1) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (2) และ ใช้สารเคมี 2 ชนิด (4 และ 5)

| | เวลา(นาทึ) | ค่าไซยาไนด์ที่วัดได้ | %ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ที่ลดลง | | เวลา(นาทึ) | ค่าไซยาไนด์ที่วัดได้ | %ไซยาไนด์ที่เหลืออยู่ | %ไซยาไนด์ที่ลดลง |
|--|------------|----------------------|-----------------------|------------------|--|------------|----------------------|-----------------------|------------------|
| 1.OCl | 0 | 97.717 | 100 | 0 | 3.OCl + H ₂ O ₂ synthesis wastewater OCl 0.9:9 H ₂ O ₂ | 0 | 99.6837 | 100 | 0.0000 |
| | 10 | 64.9419 | 66.45916 | 33.54084 | | 15 | 37.2193 | 37.3374 | 62.6626 |
| | 20 | 64.0339 | 65.52995 | 34.47005 | | 30 | 30.8806 | 30.97859 | 69.02141 |
| 2.H ₂ O ₂ | 0 | 98.3414 | 100 | 0 | | 60 | 27.808 | 27.89624 | 72.10376 |
| | 15 | 74.6801 | 75.93963 | 24.06037 | | 90 | 21.1454 | 21.2125 | 78.7875 |
| | 30 | 48.7301 | 49.55197 | 50.44803 | | 120 | 17.1353 | 17.18967 | 82.81033 |
| | 45 | 23.653 | 24.05193 | 75.94807 | | 150 | 12.2594 | 12.2983 | 87.7017 |
| | 60 | 18.8621 | 19.18022 | 80.81978 | | 180 | 9.3708 | 9.400534 | 90.59947 |
| | 75 | 18.3892 | 18.69935 | 81.30065 | | 210 | 7.4075 | 7.431004 | 92.569 |
| | 90 | 16.9292 | 17.21472 | 82.78528 | 0 | 99.4374 | 100 | 0 | |
| | 120 | 16.9245 | 17.20994 | 82.79006 | 10 | 50.5875 | 50.87372 | 49.12628 | |
| | 150 | 16.6759 | 16.95715 | 83.04285 | 30 | 39.3215 | 39.54397 | 60.45603 | |
| 4.OCl + H ₂ O ₂ sample 11/12/03OCl 0.9:9 H ₂ O ₂ | 0 | 95.2807 | 100 | 0 | 5.OCl + H ₂ O ₂ sample 30/12/03OCl 0.9:9 H ₂ O ₂ | 60 | 24.3054 | 24.44292 | 75.55708 |
| | 30 | 57.9538 | 60.82428 | 39.17572 | | 90 | 30.4544 | 30.62671 | 69.37329 |
| | 60 | 38.3291 | 40.22756 | 59.77244 | | 120 | 29.463 | 29.6297 | 70.3703 |
| | 90 | 36.4274 | 38.23167 | 61.76833 | | 150 | 29.486 | 29.65283 | 70.34717 |
| | 120 | 37.2239 | 39.06762 | 60.93238 | | 180 | 29.4393 | 29.60586 | 70.39414 |
| | 150 | 37.3205 | 39.169 | 60.831 | | | | | |
| | 180 | 35.515 | 37.27408 | 62.72592 | | | | | |



ภาคผนวก ค.

การคำนวณ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.1 การคำนวณความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์ไซยาไนด์

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องไอซีและเลือกความเข้มข้นของไซยาไนด์ในตัวอย่งน้ำเสียที่ 1 และ 4 มาเป็นความเข้มข้นตัวแทนของน้ำเสียสังเคราะห์ เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ไซยาไนด์

ไซยาไนด์ 100 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีไซยาไนด์อยู่เท่ากับ

$$= (100/1000)/(12+14)$$

$$= 3.846 \times 10^{-3} \text{ โมลต่อลิตร}$$

โปตัสเซียมไซยาไนด์ 1 กรัม มีมวลโมเลกุล = $39+12+14 = 65$

เตรียม stock cyanide solution 1 กรัมต่อลิตร ต้องใช้ โปตัสเซียมไซยาไนด์

$$= 1 * (65/26)$$

$$= 2.5 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

ค.2 การคำนวณความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์อีดีทีเอ

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องเอชพีแอลซีและเจลี่ยความเข้มข้นของอีดีทีเอในตัวอย่งน้ำเสียจริง มาเป็นความเข้มข้นของน้ำเสียสังเคราะห์อีดีทีเอ เท่ากับ 15 กรัมต่อลิตร

อีดีทีเอ 15 กรัมต่อลิตรจะมีอีดีทีเออยู่เท่ากับ

$$= (15)/(292.25)$$

$$= 0.051 \text{ โมลต่อลิตร}$$

โซเดียมอีดีทีเอ 1 กรัม มีมวลโมเลกุล = 372.24

เตรียม stock EDTA solution 38.4 โมลต่อลิตร ต้องใช้โซเดียมอีดีทีเอ

$$= 38.46 * (372.24/292.25)$$

$$= 48.988 \text{ กรัมต่อลิตร}$$

ค.3 การคำนวณความเข้มข้นของไฮโปคลอไรท์และปริมาณที่ใช้

วัดปริมาณของคลอรีนในโซเดียมไฮโปคลอไรท์ด้วยวิธี Starch Iodide Method

$$\begin{aligned}
 \text{จากสูตร} \quad \text{mg Cl as Cl}_2/\text{ml} &= \frac{(A \pm B) * N * 35.45}{\text{ml sample}} \\
 &= \frac{(14.5 - 1) * 0.025 * 35.45}{1} \\
 &= 11.9644 \text{ mg Cl as Cl}_2/\text{ml} \\
 11.9644 / 71 &= 0.1685 \text{ mol / L.} \\
 1 \text{ เท่าของปริมาณทางทฤษฎี} &= 3.846 * 10^{-3} \text{ โมลต่อลิตร} \\
 \therefore \text{ต้องใช้ปริมาณของไฮโปคลอไรท์} &= 3.846 * 10^{-3} / (0.1685/1000) \\
 &= 22.82 \text{ มิลลิลิตรต่อลิตร}
 \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.4 การคำนวณความเข้มข้นของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์และปริมาณที่ใช้

$$1 \text{ เท่าของปริมาณทางทฤษฎี} = 3.846 \cdot 10^{-3} \text{ โมล/ลิตร}$$

สารละลายไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นแบบ 30% m/m

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นต้องใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์} &= 3.846 \cdot 10^{-3} / 0.3 \\ &= 0.01282 \text{ โมล/ลิตร} \end{aligned}$$

$$\text{ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีมวลโมเลกุล} = 34.015$$

$$\begin{aligned} \text{ต้องใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์} &= 0.01282 \cdot 34.015 \\ &= 0.4358 \text{ กรัมต่อลิตร} \end{aligned}$$

$$\text{ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มีความหนาแน่น} = 1.12 \text{ กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร}$$

$$\begin{aligned} \therefore \text{ต้องใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์} &= 0.4358 / 1.12 \\ &= 0.389 \text{ มิลลิลิตรต่อลิตร} \end{aligned}$$

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ค.5 การคำนวณค่าใช้จ่าย

1. วิธีอัลคาไลน์คลอรีนชั้น

เมื่อใช้ความเข้มข้น 1.5 เท่าของปริมาณทางทฤษฎีจะใช้ปริมาณไฮโปคลอไรท์ประมาณ 3.4 มิลลิลิตร เมื่อคิดว่าโซเดียมไฮโปคลอไรท์ มีคลอรีนอยู่ 10% ราคาของโซเดียมไฮโปคลอไรท์ที่เป็นเกรดสำหรับการทดลองอยู่ที่ 900 บาทต่อลิตร

$$\begin{aligned} \therefore \text{จะมีค่าใช้จ่าย} &= (900 / 1000) * 3.4 \\ &= 3.06 \text{ บาทต่อลิตร} \\ &\sim 3 \text{ บาทต่อลิตร} \end{aligned}$$

2. วิธีไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ออกซิเดชัน

เมื่อใช้ความเข้มข้น 1.5 เท่าของปริมาณทางทฤษฎีจะใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประมาณ 15 มิลลิลิตร ราคาของไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ที่เป็นเกรดสำหรับการทดลองอยู่ที่ 700 บาทต่อลิตร

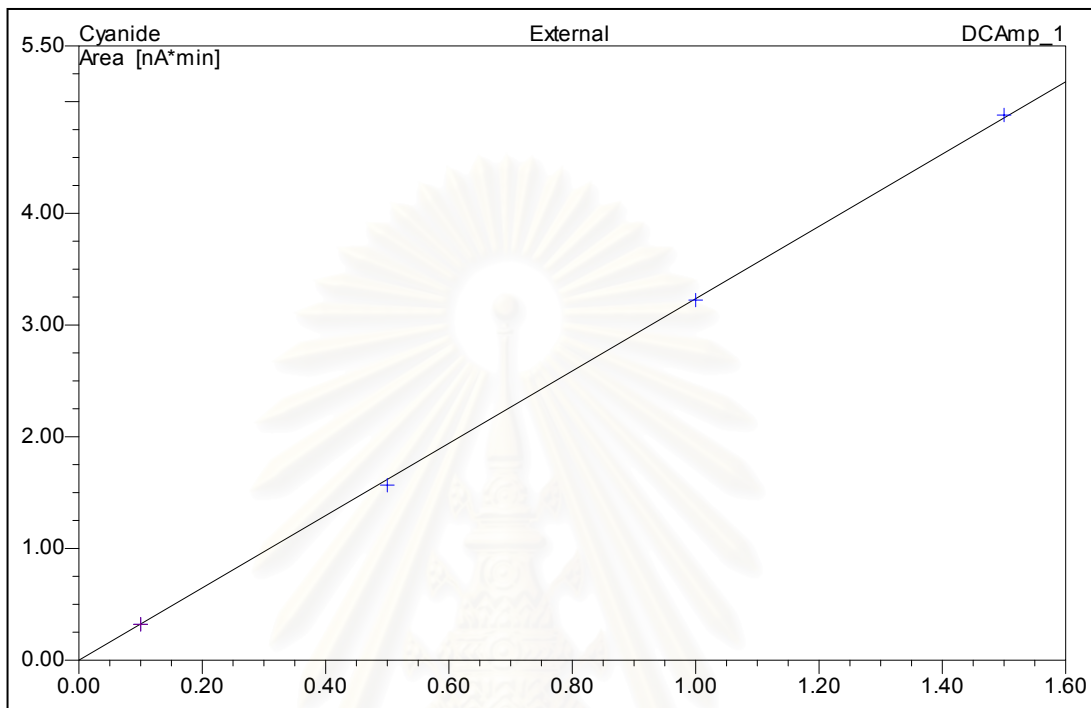
$$\begin{aligned} \therefore \text{จะมีค่าใช้จ่าย} &= (700 / 1000) * 15 \\ &= 10.5 \text{ บาทต่อลิตร} \end{aligned}$$

3. การใช้ไฮโปคลอไรท์ร่วมกับไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

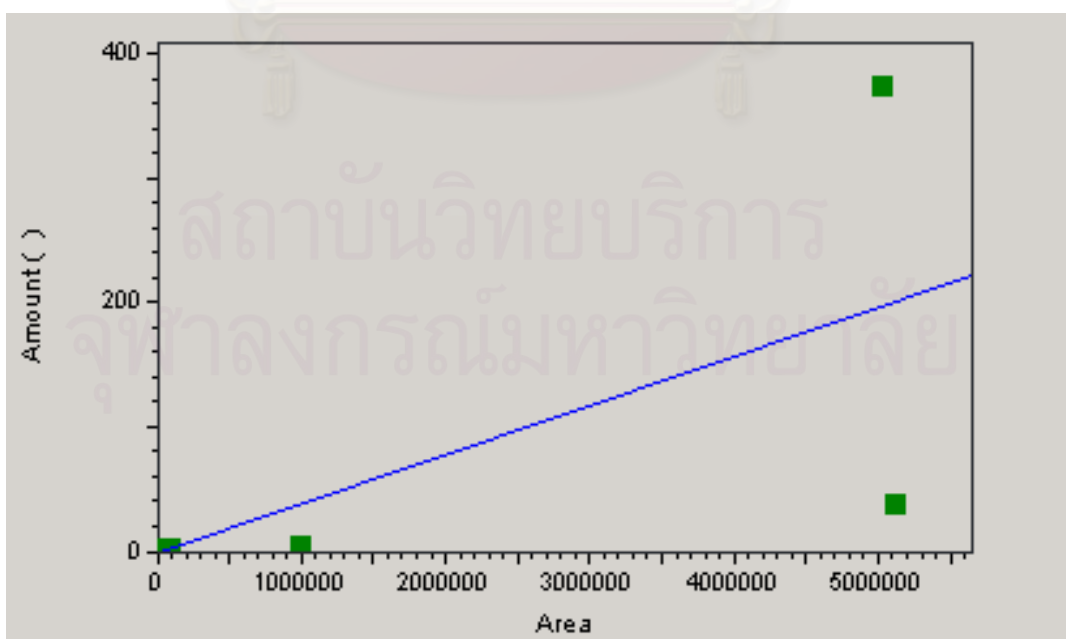
เมื่อใช้ความเข้มข้น 0.9 เท่าของปริมาณทางทฤษฎีจะใช้ปริมาณไฮโปคลอไรท์ประมาณ 2 มิลลิลิตร และ เมื่อใช้ความเข้มข้น 9 เท่าของปริมาณทางทฤษฎีจะใช้ปริมาณไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ประมาณ 3.75 มิลลิลิตร

$$\begin{aligned} \therefore \text{จะมีค่าใช้จ่าย} &= \{[(900 / 1000) * 2] + [(700 / 1000) * 3.75]\} \\ &= 4.425 \text{ บาทต่อลิตร} \\ &\sim 5 \text{ บาทต่อลิตร} \end{aligned}$$

ค.6 กราฟมาตรฐาน



รูปที่ ๕5 กราฟมาตรฐานของไซยาไนด์



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาว อู่แก้ว เขี่ยมสำอาง เกิดเมื่อวันที่ 24 เดือนธันวาคม พ.ศ. 2524 ที่ กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม) จาก ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2544 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีพ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย