

การจัดการน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอกซเรย์ที่หมดสภาพแล้ว  
ของโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ



นางสาว นิดา คีตแสน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-0692-6

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MANAGEMENT OF USED X – RAY FIXER SOLUTION FOR  
NORTHEASTERN HOSPITALS

Miss Nida Seelsaen

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

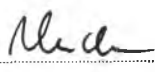
Academic Year 2001

ISBN 974-03-0692-6

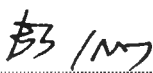
หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดการนำยาหยุดภาพฟิล์มเอกซเรย์ทั้งหมดสภาพแล้วของโรงพยาบาล ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
โดย	นางสาว นิดา ศีลแสน
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเขียว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โถ่หวังศรีวัฒน์

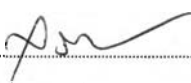
---

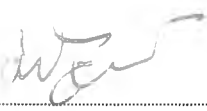
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย  
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

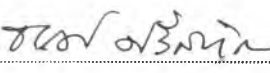
  
.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์  
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
.....ประธานกรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ เกรอต)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเขียว)

  
.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โถ่หวังศรีวัฒน์)

  
.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชีระ ศรีสทิธิย์)

นิตา สีสแสน : การจัดการน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอกซเรย์ที่หมดสภาพแล้วของโรงพยาบาลใน  
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. (MANAGEMENT OF USED X-RAY FIXER SOLUTION  
FOR NORTHEASTERN HOSPITALS ) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเขียว  
อ. ที่ปรึกษาร่วม : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน์, 120 หน้า.

ISBN 974-03-0692-6

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการสกัดเงินออกจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอกซเรย์ที่หมดสภาพการใช้งานแล้ว เพื่อเสนอแนะวิธีการที่เหมาะสมต่อโรงพยาบาลต่าง ๆ ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ โดยคำนึงถึงความสามารถของผู้ที่จะนำไปปฏิบัติและค่าใช้จ่ายต่าง ๆ นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดลักษณะสมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการสกัดเงินแล้ว เพื่อประกอบการเสนอแนะแนวทางในการจัดการน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอกซเรย์ที่หมดสภาพแล้ว ไม่ให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ได้ทำการศึกษาวิธีการสกัดเงินด้วยวิธีต่างๆ คือ (1) การสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์ (2) การสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริก (3) การสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก และ (4) การสกัดเงินด้วยไฟฟ้าโดยมีแผ่นสแตนเลสเป็นขั้วแคโทดและแท่งคาร์บอนเป็นขั้วแอโนด เพื่อเสนอแนะวิธีและสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ในการแยกสกัดเงินออกจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอกซเรย์ที่หมดสภาพแล้ว

น้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอกซเรย์ที่หมดสภาพแล้ว มีความเข้มข้นของเงินเฉลี่ย 2,267 มก./ล. ทีเอช 4.78. COD 83,930 มก./ล. เมื่อนำมาทดลองแยกสกัดเงินด้วยวิธีทั้ง 4 วิธีแล้ว พบว่า การสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์ สามารถสกัดเงินได้ 1.38 กรัมต่อน้ำยา 1 ล. และการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริกสามารถสกัดเงินได้ 1.31 กรัมต่อน้ำยา 1 ล. ในขณะที่การสกัดเงินโดยการแทนที่เหล็ก สามารถสกัดเงินได้ 1.9210 กรัมต่อน้ำยา 1 ลิตร ซึ่งวิธีที่เหมาะสมที่สุด คือ การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า เนื่องจากเป็นวิธีที่สกัดเงินได้มากที่สุดโดยสภาวะที่เหมาะสม คือ ทีเอช 7.5 ค่าความต่างศักย์ 2 โวลท์ ที่กระแสไฟฟ้า 0.5 แอมแปร์ และใช้เวลาในการทำปฏิกิริยา 10 ชั่วโมง ซึ่งสามารถแยกสกัดเงินได้ 2.1972 ก.ต่อน้ำยา 1 ล. และในน้ำทิ้งที่ผ่านการสกัดเงินแล้วจะเหลือความเข้มข้นของเงิน 2.27 มก./ล. ทีเอช 5.92 และ COD 14,520 มก./ล.

สำหรับค่าใช้จ่ายในการสกัดเงินด้วยไฟฟ้าซึ่งคำนวณจาก โซเดียมไฮดรอกไซด์สำหรับปรับพีเอช ค่าไฟฟ้า ค่าอุปกรณ์ และค่าแรงงาน รวมเป็นเงิน 14.28 บาทต่อน้ำยา 1 ล. หรือประมาณ 6.50 บาทต่อเงิน 1 กรัมที่สกัดได้

ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
สาขาวิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม  
ปีการศึกษา 2544

ลายมือชื่อนิตา..... ๒๖๓ สีสแสน  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

## 4170372121 : MAJOR ENVIRONMENTAL ENGINEERING

KEYWORD: SILVER EXTRACTION/SILVER RECOVERY/FIXER SOLUTION/CHEMICAL  
 PRECIPITATION/ELECTROLYTIC EXTRACTION/METALLIC REPLACEMENT  
 NIDA SEELSAEN : MANAGEMENT OF USED X-RAY FIXER SOLUTION FOR  
 NORTHEASTERN HOSPITALS . THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUREE  
 KHAODHIAR, THESIS CO-ADVISOR : ASSIST. PROF. BOONYONG  
 LOHWONGWATANA., 120 pp. ISBN 974-03-0692-6

The extraction of silver from used X-ray fixer solution was carried out in order to propose an appropriate method for northeastern hospitals judging by ability of staffs and costs. Moreover, solution after extraction was also taken into consideration so as not to effect the environment.

The methods used were 1) precipitation by  $\text{Na}_2\text{S}$ , 2) precipitation by Nitric acid, 3) metallic replacement using Iron coil, 4) electrolysis using stainless plate and carbon rod as cathode and anode respectively.

This solution consists of silver 2,267 mg/l, COD 83,930 mg/l, and pH 4.78. The results shown that the four methods can extract silver 1.38 g/l, 1.31 g/l, 1.921g/l, and 2.1972 g/l respectively. From the results, it can be concluded that electrolysis was the most appropriate extraction method operated at pH 7.5, 2 volts, 0.5 ampere, and 10 hours of reaction time. The solution after extraction had silver concentration of 2.27 mg/l, COD 14,520 mg/l. and pH 5.92.

Costs analysis for electrolysis extraction of used X-ray fixer solution at an assumed central treatment facility was evaluated. It presented that the extraction cost was 14.28 Baht/l of solution (6.50 Baht/g of extracted silver).

However, the solution after extraction still had high COD concentration of 14,520 mg/l. then a post treatment should be conducted to reduce organic concentration before discharging.

Department Environmental Engineering Student's signature ..... *Nida Seelsaen* .....

Field of study Environmental Engineering Advisor's signature ..... *S. Khaedh* .....

Academic year 2001 Co-Advisor's signature ..... *B. Lohwongwatana* .....

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเขียว และผู้ช่วยศาสตราจารย์บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ทั้งสอง ท่าน ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในการทำวิจัยมาด้วยดีตลอด และคณะกรรมการ สอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้ให้ข้อคิดเห็นและขัดเกลาวิทยานิพนธ์ให้สมบูรณ์ รวมทั้งเจ้าหน้าที่ ห้องปฏิบัติการและเจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือและ อำนวยความสะดวกระหว่างการทำวิจัย

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่แผนกรังสีวิทยาของโรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ และโรงพยาบาลพญาไท 2 ที่แนะนำให้ความรู้และอนุเคราะห์นํ้ายาหุคภาพฟิล์มเอ็กซเรย์ที่หมดสภาพแล้วเพื่อใช้ในการทดลอง และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้ได้รับมาจากทุนอุดหนุนการวิจัยของ บัณฑิตวิทยาลัย ทบวงมหาวิทยาลัย และกองทุนเพื่อการศึกษามูลนิธิชิน โสภณพนิช รวมทั้งสมาคม วิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทยที่ให้ความเห็นชอบเพื่อเผยแพร่งานวิจัยในการประชุมวิชาการประจำปี ระดับชาติ ครั้งที่ 13 (17-18 พฤษภาคม 2544) จึงขอขอบพระคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณพี่ เพื่อน และน้องทุกคนที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจ

ขอขอบพระคุณ ป้า ลุง น้า พี่ชาย และน้องสาวที่คอยดูแลแทนบุพการีเป็นอย่างดีในระหว่าง ที่ศึกษา

ท้ายนี้ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมา จนสำเร็จการศึกษา

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญรูป	ต
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 บทนำ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
1.3 ขอบเขตการวิจัย	4
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การกำเนิดภาพถ่ายรังสี	6
2.1.1 ส่วนประกอบของฟิล์มถ่ายภาพรังสี	7
2.1.2 การล้างฟิล์มถ่ายภาพรังสี	7
2.1.2.1 การสร้างภาพ	8
2.1.2.2 การล้างฟิล์มด้วยน้ำหรือน้ำยาหยุดปฏิกิริยา	8
2.1.2.3 การทำให้ภาพคงที่	8
2.1.2.4 การล้างฟิล์มขั้นสุดท้าย	9
2.1.2.5 การทำให้ฟิล์มแห้ง	9
2.2 เทคโนโลยีในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนัก	10
2.2.1 การสร้างตะกอนผลึก	10
2.2.2 การรวมตะกอน	10

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.2.3 การตกตะกอน.....	10
2.2.4 การกรอง.....	10
2.2.5 ออกซิเดชันและรีดักชัน.....	11
2.2.6 การแลกเปลี่ยนประจุ.....	11
2.2.7 การระเหย.....	11
2.2.8 รีเวอร์สออสโมซิส.....	11
2.2.9 การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์.....	12
2.2.10 การดูดซับด้วย Activated Alumina.....	12
2.2.11 การแยกด้วยไฟฟ้า.....	12
2.3 หลักในการเลือกใช้กระบวนการต่าง ๆ.....	12
2.4 กรรมวิธีการสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มที่ใช้แล้ว.....	13
2.4.1 การสร้างตะกอนผลึกโดยวิธีทางเคมี.....	14
2.4.2 การแทนที่โลหะ.....	16
2.4.3 การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	19
2.4.4 การแลกเปลี่ยนประจุ.....	20
2.4.5 รีเวอร์สออสโมซิส.....	22
2.5 การศึกษาที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย.....	22
2.6 วิธีการสกัดเงินของผู้ประกอบการกิจการในไทย.....	32
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	34
3.1 การเก็บน้ำตัวอย่างจากโรงพยาบาล.....	35
3.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	37
3.2.1 การเตรียมตัวอย่างน้ำเสีย และวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย.....	37
3.2.2 การสร้างตะกอนผลึกโดยใช้สารเคมี.....	38
3.2.2.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	38



## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.2.2 การทดสอบการสร้างตะกอนผลึกเงิน ด้วยโซเดียมซัลไฟด์.....	38
3.3.2.3 การทดสอบการสร้างตะกอนผลึกเงิน ด้วยกรดไนตริก.....	39
3.2.3 การสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก.....	39
3.2.3.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	39
3.2.3.2 การทดสอบเพื่อหาพีเอชที่เหมาะสม.....	39
3.2.3.3 การทดสอบหาเวลาที่เหมาะสม .....	40
3.2.3.4 การทดสอบประสิทธิภาพของการสกัดเงิน.....	40
3.2.4 การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	41
3.2.4.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	41
3.2.4.2 การทดสอบเพื่อหาพีเอชที่เหมาะสม.....	41
3.2.4.3 การทดสอบเพื่อหาความต่างศักย์ที่เหมาะสม.....	42
3.2.4.4 การทดสอบประสิทธิภาพของการสกัดเงิน.....	42
3.2.5 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย ที่ผ่านการสกัดเงินแล้ว .....	43
3.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เบื้องต้น .....	43
3.3.1 ค่าใช้จ่ายต่อปริมาณเงินที่สกัดได้ .....	43
3.3.1.1 การสร้างตะกอนผลึกด้วยสารเคมี.....	43
3.3.1.2 การแทนที่เหล็ก.....	44
3.3.1.3 การสกัดด้วยไฟฟ้า.....	44
3.3.1.4 ราคาซื้อขายของน้ำยาหุดยภาพิ์มเอ็กซ์เรย์ ทั้งหมดสภาพแล้ว .....	45
3.3.1.5 ค่าขนส่งน้ำยาหุดยภาพิ์มเอ็กซ์เรย์.....	45
3.3.2 การคิดรายรับ.....	45
3.4 การเสนอแนวทางในการจัดการน้ำเสีย .....	46

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิจารณ์ผล .....	47
4.1 ข้อมูลเกี่ยวกับน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว.....	47
4.2 การทดลองในห้องปฏิบัติการ.....	48
4.2.1 การวิเคราะห์ลักษณะสมบัติน้ำเสีย.....	48
4.2.2 การทดสอบการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วย $\text{Na}_2\text{S}$ .....	51
4.2.3 การทดสอบการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรด $\text{HNO}_3$ .....	54
4.2.4 การทดสอบการสกัดเงินด้วยการแทนที่เหล็ก .....	56
4.2.5 การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	65
4.2.6 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้ในรูปต่าง ๆ .....	70
4.2.6.1 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้	
จากการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์.....	70
4.2.6.2 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้	
จากการสร้างตะกอนผลึกด้วยกรดไนตริก .....	72
4.2.6.3 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่สกัดได้จากการแทนที่เหล็ก .....	73
4.2.6.4 การวิเคราะห์ปริมาณเงินที่ได้จากการสกัดด้วยไฟฟ้า.....	74
4.3 ประเมินการค่าใช้จ่ายการสกัดเงินด้วยวิธีต่าง ๆ .....	74
4.3.1 การสกัดเงินโดยการสร้างตะกอนผลึกเงิน	
ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ .....	74
4.3.2 การสกัดเงิน โดยการสร้างตะกอนผลึกเงิน	
ด้วยกรดไนตริก .....	76
4.3.3 การสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก.....	77
4.3.4 การสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	78
4.4 การคิดรายรับจากการขายเงินที่สกัดได้ .....	79
4.5 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง.....	79
4.6 แนวทางในการจัดการน้ำเสีย .....	83

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง .....	86
5.1 สรุปผลการทดลอง .....	86
5.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยที่ควรศึกษาต่อ .....	88
รายการอ้างอิง .....	90
ภาคผนวก .....	94
ภาคผนวก ก .....	95
ภาคผนวก ข .....	102
ภาคผนวก ค .....	106
ภาคผนวก ง .....	108
ภาคผนวก จ .....	113
ภาคผนวก ฉ .....	116
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	120

## สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ช่วงค่าพีเอชที่ลดความเข้มข้นของโลหะหนัก ชนิดต่างๆเหลือต่ำกว่า 0.1 ppm .....	23
ตารางที่ 2.2 ช่วงค่าพีเอชที่ลดความเข้มข้นของโลหะหนัก ชนิดต่างๆเหลือต่ำกว่า 0.1 ppm โดยเปรียบเทียบ ระหว่างการใช้ถ่านกัมมันต์และ DAT.....	24
ตารางที่ 2.3 ลักษณะสมบัติน้ำยาหยุดภาพฟิล์มหลังจากสกัดเงินแล้ว .....	27
ตารางที่ 3.1 จำนวนเตียงผู้ป่วยของโรงพยาบาลประจำจังหวัด ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ .....	36
ตารางที่ 4.1 ข้อมูลอัตราการเกิดน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ และขนาดของโรงพยาบาล .....	47
ตารางที่ 4.2 ลักษณะสมบัติของน้ำเสีย.....	50
ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ได้จากการใช้โซเดียมซัลไฟด์ สร้างตะกอนผลึกเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ ที่หมดสภาพแล้วด้วยเครื่อง XRF.....	52
ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ตะกอนที่ได้จากการใช้กรดไนตริก สร้างตะกอนผลึกเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ ที่หมดสภาพแล้วด้วยเครื่อง XRF .....	54
ตารางที่ 4.5 ข้อมูลการทดลองเพื่อหาสภาพพีเอชที่เหมาะสม ต่อการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก.....	58
ตารางที่ 4.6 ผลการคำนวณหาปริมาณเงิน.....	58
ตารางที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเหล็กในน้ำเสีย ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectro-Photometer (AAs).....	60
ตารางที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเงินในน้ำเสีย ด้วยเครื่อง Atomic Absorption Spectro-Photometer (AAs).....	60
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบหาเวลาที่เหมาะสม ในการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก .....	61

## สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ความเข้มข้นของเงิน ในน้ำยาที่ผ่านการแยกเงินแล้ว .....	61
ตารางที่ 4.11 การทดสอบหาประสิทธิภาพการสร้างตะกอนเงิน ด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่สถานะที่เหมาะสมที่สุด.....	71
ตารางที่ 4.12 การทดสอบหาประสิทธิภาพการสร้างตะกอนเงินด้วย กรดไนตริกที่สถานะที่เหมาะสมที่สุด .....	73
ตารางที่ 4.13 การทดสอบหาประสิทธิภาพของการสกัดเงิน ด้วยการแทนที่เหล็ก.....	73
ตารางที่ 4.14 การทดสอบหาประสิทธิภาพการสกัดเงิน ด้วยไฟฟ้าที่สถานะที่เหมาะสมที่สุด .....	74
ตารางที่ 4.15 ค่าใช้จ่ายของการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วย $\text{Na}_2\text{S}$ .....	75
ตารางที่ 4.16 ค่าใช้จ่ายของการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริก.....	76
ตารางที่ 4.17 ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก.....	77
ตารางที่ 4.18 ค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	78
ตารางที่ 4.19 สมดุลมวลของเงินของวิธีการสกัดต่างๆ.....	80
ตารางที่ 4.20 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของการสกัดเงินจาก น้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ที่หมดสภาพแล้ว ด้วยวิธีต่าง ๆ.....	83
ตารางที่ 4.21 ลักษณะสมบัติน้ำเสียหลังจากการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	84
ตารางที่ 5.1 ผลสรุปการทดลองสกัดเงินจากน้ำยาหุคภาพฟิล์มเอ็กซ์เรย์ ที่หมดสภาพแล้วด้วยวิธีต่างๆ.....	87

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 ภาพถ่ายรังสีของอวัยวะของร่างกาย.....	6
รูปที่ 2.2 ภาพตัดของฟิล์มถ่ายภาพรังสีชนิดที่ ฉาบอิมัลชัน 2 ด้านของแกนฟิล์ม.....	7
รูปที่ 2.3 กระบวนการสร้างและล้างภาพถ่ายรังสี.....	9
รูปที่ 2.4 ความสามารถในการละลายของโลหะซัลไฟด์.....	15
รูปที่ 2.5 วิธีการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก.....	17
รูปที่ 2.6 ผลการทำงานของ Kodak Recovery Cartridge, Junior Model 2.....	18
รูปที่ 2.7 วิธีการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	19
รูปที่ 2.8 แผนผังระบบบำบัดน้ำเสีย.....	23
รูปที่ 2.9 แผนผังในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการของประเทศเดนมาร์ก.....	25
รูปที่ 2.10 ผลการทดลองใช้ Kodak Hickman Cell.....	26
รูปที่ 2.11 ผลการสกัดเงิน โดยใช้กรดไนตริก.....	26
รูปที่ 2.12 การสกัดเงินจากน้ำยาฟอกฟิล์มผสมน้ำยาหยุดภาพฟิล์ม.....	29
รูปที่ 2.13 การสกัดเงินจากน้ำยาหยุดภาพฟิล์ม.....	29
รูปที่ 2.14 ผลการเติม trimercapto -s- triazine (TMT) ในน้ำยาหยุดภาพฟิล์มที่สกัดเงินด้วยไฟฟ้าแล้ว.....	30
รูปที่ 2.15 แผนผังอุปกรณ์ที่ใช้ใน Recovery Unit.....	31
รูปที่ 3.1 ฟังชันคอนดามีนงานวิจัย.....	35
รูปที่ 4.1 ลักษณะน้ำเสีย.....	49
รูปที่ 4.2 ผลการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยโซเดียมซัลไฟด์ที่พีเอชต่างๆ.....	53
รูปที่ 4.3 ผลการสร้างตะกอนผลึกเงินด้วยกรดไนตริกที่เวลาต่างๆ.....	55
รูปที่ 4.4 ขดลวดที่ใช้ในการทดลอง.....	57
รูปที่ 4.5 ผลการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก.....	59
รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบหาเวลาที่เหมาะสม ของการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็ก.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 4.7 ความเข้มข้นของเงินในน้ำยาที่ผ่านการสกัดเงิน โดยการแทนที่เหล็กที่เวลาต่างๆ กัน.....	63
รูปที่ 4.8 แท่งคาร์บอนที่ใช้ในการทดลอง.....	65
รูปที่ 4.9 แผ่นสแตนเลสที่ใช้ในการทดลอง.....	65
รูปที่ 4.10 การจัดอุปกรณ์ที่ใช้ทดลอง.....	66
รูปที่ 4.11 ผลของพีเอชที่มีต่อการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	67
รูปที่ 4.12 ผลของความต่างศักย์ที่มีต่อการสกัดเงินด้วยไฟฟ้า.....	68
รูปที่ 4.13 เวลาที่ปฏิกิริยาการสกัดเงินด้วยไฟฟ้าที่เกิดเริ่มคงที่.....	69
รูปที่ 4.14 ตะกอนผลึก $Ag_2S$ ที่ได้จากการสร้างตะกอนผลึก ด้วยสารละลายไซเดียมซัลไฟด์.....	70
รูปที่ 4.15 ตะกอนผลึก $Ag_2S$ ที่ได้จากการสร้างตะกอนผลึกด้วยกรดไนตริก.....	72