

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การกำจัดโคบอลต์จากน้ำเสียโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาเคมี
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 55570
วัน,เดือน,ปี..... 19 พ.ค. 2548



Removal of Co^{2+} Ions From Wastewater By Ferrite Process



Miss Kanokwan Pandee

Miss Dolrudee Kaewkrajang

A Special project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the

Degree of Bachelor of Science

Department of Chemistry

Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

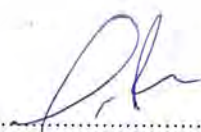
2003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การกำจัดโคบอลต์จากน้ำเสียโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์
นักศึกษา นางสาวกนกวรรณ พันธุ์ดี
 นางสาวดลฤดี แก้วกระจ่าง
ภาควิชา เคมี
สาขาวิชา เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ยุพา ตันทวี

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังอนุมัติให้
 โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

	คณะกรรมการตรวจสอบ	ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	ดร.วิบูลย์ ประดิษฐ์เจียงค้ำ	
กรรมการ	ดร.อุสารัตน์ ภักดีสุสุข	
กรรมการ	อาจารย์กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์	
กรรมการ	อาจารย์ยุพา ตันทวี	



(ผศ.ดร.ประยงค์ ดวงดี)

หัวหน้าภาควิชาเคมี

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการพิเศษ	การกำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์
นักศึกษา	นางสาวกนกวรรณ พันธุ์ดี นางสาวตลฤดี แก้วกระจ่าง
ภาควิชา	เคมี
คณะ	วิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	เคมีทรัพยากรสิ่งแวดล้อม
ปีการศึกษา	2546
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์พา ต้นทวี

บทคัดย่อ

การศึกษากำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์คืออัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตเป็น 1:1, พีเอช 11, อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสและเวลาในการพ่นอากาศ 15 นาทีได้ประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 99.80 และพบว่าเอทิลีนไดเอมีนเป็นสารรบกวนในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์เมื่อเพิ่มความเข้มข้นของเอทิลีนไดเอมีนให้สูงกว่า 10^2 โมลต่อลิตรทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงต่ำกว่าร้อยละ 90 ในขณะที่แอมโมเนียและคลอไรด์ไอออนไม่ส่งผลกระทบต่อเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ และเมื่อทดลองบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดคิดเป็นร้อยละ 21.15 เนื่องจากมีเอทิลีนไดเอมีนเป็นสารรบกวนการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ แต่เมื่อทำการออกซิไดซ์น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ก่อนนำไปบำบัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์พบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการบำบัดได้มากขึ้นประมาณ 2 เท่าคิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 49.68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Project Title	Removal of Co^{2+} Ions From Wastewater by Ferrite Process	
Name	Miss Kanokwan	Pandee
	Miss Dolrudee	Kaewkrajang
Department	Chemistry	
Program	Environment Resource Chemistry	
Academic year	2003	
Special Project Advisor	Mrs. Yupa Tantawee	

ABSTRACT

Study on the removal of cobalt (II) ions from wastewater by ferrite process. The optimum conditions resulted in 99.80% removal efficiency with the mole ratio of Co^{2+} : Fe^{2+} is 1:1, at pH 11, 50°C and 15 minutes of aerated time. Ethylenediamine, ammonia and chloride was used as model for the noise factor. When Ethylenediamine concentration higher than 10^{-2} M decrease removal efficiency below 90%. But ammonia and chloride can not decrease removal efficiency. Experiment of removal of cobalt (II) ions from laboratory wastewater resulted only 21.15% removal efficiency because laboratory wastewater contained ethylenediamine which is noise factor of ferrite process. Oxidation laboratory wastewater by hydrogen peroxide before removal of cobalt (II) ions by ferrite can increase removal efficiency about 2 times. (49.68%)

Key words : Cobalt removal , ferrite process , optimum condition

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลือในการให้คำปรึกษา ข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนดูแลเอาใจใส่ ในการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นจากอาจารย์ยุพา ตันทวี ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาในโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณกรรมการสอบโครงการพิเศษทุกท่าน ที่กรุณาเสนอแนะ และแก้ไขเพิ่มเติม ทำให้โครงการพิเศษนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ชั้น 5 ตึกจุฬารักษ์ 1 ที่คอยให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ขอขอบพระคุณพี่สุรินทร์ เหล้าพระจันทร์ เจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ตึกคณะวิทยาศาสตร์ที่คอยให้ความรู้และช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหาเกี่ยวกับเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สารตัวอย่าง

และขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ห้องปฏิบัติการเคมี ตึกพระเทพฯ ที่ให้สารตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ซึ่งเป็นน้ำเสียโคบอลต์จากห้องปฏิบัติการ และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ผู้จัดทำ

นางสาวกนกวรรณ พันธุ์ดี

นางสาวดลฤดี แก้วกระจ่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ	4
2.1 โลหะหนัก	4
2.1.1 โคบอลต์	4
2.1.2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนใหม่โลหะโคบอลต์	7
2.2 การกำจัดของเสียอันตราย	9
2.3 เทคนิคในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย	11
2.3.1 การทำให้ตกตะกอน	11
2.3.2 การออกซิเดชัน-รีดักชัน	12
2.3.3 การระเหย	13
2.3.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย	13
2.3.5 ไอออนเอ็กซ์เชนจ์	13
2.3.6 อิเล็กโทรโคอูเลชัน	14
2.3.7 รีเวิร์สออสโมซิส	14
2.4 กระบวนการเฟอร์ไรท์	15
2.4.1 โครงสร้างเฟอร์ไรท์	15
2.4.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเฟอร์ไรท์	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 การดำเนินการของกระบวนการเพอร์ไรท์	23
2.4.4 คุณลักษณะเด่นของกระบวนการเพอร์ไรท์	24
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	26
บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย	30
3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง	30
3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง	30
3.3 การดำเนินการทดลอง	31
3.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย	31
3.3.2 แผนการทดลอง	31
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	37
4.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น	37
4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโคบอลต์ ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์	37
4.3 การศึกษาผลของสารบางชนิดต่อการเกิดเพอร์ไรท์ของโคบอลต์	41
4.4 ทดลองการกำจัดโคบอลต์ในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี ด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์	44
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	47
5.1 สรุปผลการทดลอง	47
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก ก	51
ภาคผนวก ข	54
ภาคผนวก ค	55
ภาคผนวก ง	56
ภาคผนวก จ	58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงไอออนโลหะที่สามารถสร้างเฟอร์ไรท์ได้	22
ตารางที่ 2.2 แสดงการจำแนกน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสำหรับกระบวนการเฟอร์ไรท์	23
ตารางที่ 2.3 แสดงข้อดีของกระบวนการเฟอร์ไรท์	25
ตารางที่ 2.4 แสดงข้อเสียของกระบวนการเฟอร์ไรท์และวิธีการแก้ไข	25
ตารางที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ ต่อเฟอร์ริลซัลเฟตที่เหมาะสมในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์	38
ตารางที่ 4.2 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์	39
ตารางที่ 4.3 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์	40
ตารางที่ 4.4 แสดงผลของเวลาในการพ่นอากาศต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์	41
ตารางที่ 4.5 แสดงผลของเอทิลีนไดอามีนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์	42
ตารางที่ 4.6 แสดงผลของแอมโมเนียต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์	42
ตารางที่ 4.7 แสดงผลของคลอไรด์ไอออนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์	43
ตารางที่ 4.8 แสดงผลของการกำจัดโคบอลต์จากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ	45
ตารางที่ 4.9 แสดงผลของการกำจัดสารรบกวนโดยการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ ออกไซด์โดยใช้เฟอร์ริลซัลเฟตเป็นคะตะลิสต์	46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงความสามารถในการละลายน้ำของโคบอลต์ที่พีเอชต่าง ๆ	6
รูปที่ 2.2 แสดงไอออนเชิงซ้อน Hexaaminocobalt (III)	7
รูปที่ 2.3 ไอโซเมอร์แบบเรขาคณิตของ dichlorotetraaminocobalt (III) ion	8
รูปที่ 2.4 การจัดการของเสียอันตราย	10
รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังของระบบกำจัดโลหะหนักสำหรับโรงงานชุบโดยกรมโรงงาน	12
รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างหลักของเฟอร์ไรท์	17
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างเฟอร์ไรท์แบบสไปเนล	17
รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างเฟอร์ไรท์แบบเฮกซะโกนอล	18
รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างเฟอร์ไรท์แบบแรเอิร์ทการีนท์	19
รูปที่ 2.10 แสดงสภาวะในการเกิดเฟอร์ไรท์	21
รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพการกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์	24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของโครงการพิเศษ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีที่ทันสมัยเข้ามามีบทบาทในการดำรงชีวิตของมนุษย์ และเพื่อให้การดำรงชีวิตของมนุษย์ง่ายขึ้นจึงได้มีการศึกษาค้นคว้าและวิจัยในด้านต่าง ๆ อย่างมากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านเคมี ด้านชีววิทยา ด้านฟิสิกส์ เป็นต้น และผลที่ตามมาจากการวิจัยเหล่านี้ นอกจากจะได้รับความรู้และเทคโนโลยีใหม่ ๆ แล้วงานวิจัยยังก่อให้เกิดปัญหาของเสียอันตรายตามมาอีกด้วย โดยเฉพาะงานวิจัยทางด้านเคมีซึ่งมักจะมีสารไวระเหย และทดลองสารเคมีที่ประกอบด้วยโลหะหนักในปริมาณมาก หากปล่อยทิ้งโดยไม่ได้ทำการบำบัดหรือทำการกำจัดไม่ถูกวิธีอาจทำให้เกิดการปนเปื้อนโลหะหนักออกสู่สิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะหากปล่อยลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะย่อมก่อให้เกิดมลพิษทางน้ำที่ร้ายแรงตามมา เนื่องจากโลหะหนักนั้นเป็นพิษกับทั้งมนุษย์และสัตว์ โดยจะส่งผลกระทบต่อระบบประสาท ทางเดินอาหาร กล้ามเนื้อและอื่น ๆ จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งในการกำจัดหรือทำลายฤทธิ์ของโลหะหนักเหล่านี้ก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

วิธีการในการบำบัดโลหะหนักในน้ำเสียก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมมีด้วยกันหลายวิธีเช่น การตกตะกอน การออกซิเดชัน-รีดักชัน การระเหย อีโคไดรไดอะไลซิส และกระบวนการเฟอร์ไรท์ เป็นต้น โดยกระบวนการเฟอร์ไรท์นั้นเป็นกระบวนการที่สามารถแยกไอออนหลักของโลหะหนักออกจากน้ำเสียกลับมาใช้ใหม่ได้ โลหะหนักที่สามารถกำจัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์มีด้วยกันหลายชนิดเช่น ทองแดง นิกเกิล โคบอลต์ แมงกานีส สังกะสี เป็นต้น (Korenega และคณะ, 1994) โดยตะกอนที่ได้จากกระบวนการเฟอร์ไรท์นี้มีคุณสมบัติเสถียรและมีความเป็นแม่เหล็กที่สามารถแยกออกได้โดยการกรองแบบแม่เหล็กและนำกลับมาประยุกต์ใช้ในทางการค้าเช่น ใช้เป็นตัวดูดซับ คลื่นไมโครเวฟ เป็นต้น (Mandaokar, Dharmadhikari และ Dara, 1994)

การทดลองนี้เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดโลหะหนักโคบอลต์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยกระบวนการเฟอร์ไรท์ และทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี โดยในกระบวนการเฟอร์ไรท์นั้นใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดซ์ โดยแปรค่าปริมาณเฟอร์ริซัลเฟต พีเอช และเวลาในการพ่นอากาศ และศึกษาผลของสารบางชนิดที่มีต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะโคบอลต์

1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะโคบอลต์
2. เพื่อศึกษาผลของสารบางชนิดต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะโคบอลต์
3. เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์

1.3 ขอบเขตการวิจัย

1. ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียสังเคราะห์โดยแปรค่าต่าง ๆ
 - 1.1 ศึกษาอัตราส่วนโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมโดยแปรค่าอัตราส่วนเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9 และ 1:10 ตามลำดับ ปรับค่าพีเอชเป็น 10 ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และให้อากาศในอัตรา 1000 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที แล้วหาประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ด้วยเครื่อง AAS
 - 1.2 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมโดยแปรค่าเป็น 9, 10, 11, และ 12 ใช้อัตราส่วนโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมจากข้อ 1.1 ใช้อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และให้อากาศในอัตรา 1000 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที แล้วหาประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ด้วยเครื่อง AAS
 - 1.3 ศึกษาอุณหภูมิโดยแปรค่าเป็น 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียส ใช้อัตราส่วนโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมจากข้อ 1.1, ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากข้อ 1.2 และให้อากาศในอัตรา 1000 มิลลิลิตรต่อนาทีเป็นเวลา 30 นาที แล้วหาประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ด้วยเครื่อง AAS
 - 1.4 ศึกษาเวลาในการฟอกอากาศโดยแปรค่าเป็น 15, 30, 60 และ 120 นาทีใช้อัตราส่วนโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสมจากข้อ 1.1, ค่าพีเอชที่เหมาะสมจากข้อ 1.2 และอุณหภูมิที่เหมาะสมจากข้อ 1.3 ให้อากาศในอัตรา 1000 มิลลิลิตรต่อนาที แล้วหาประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ด้วยเครื่อง AAS
2. ศึกษาผลของสารบางชนิดต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ได้แก่ เอทิลีนไดเอมีน, แอมโมเนียและคลอไรด์ไอออนโดยใช้สภาวะในการเกิดเฟอร์ไรท์ที่เหมาะสมจากข้อ 1 แล้วเติมสารแต่ละชนิดโดยแปรค่าความเข้มข้นเป็น 5×10^{-5} , 5×10^{-4} และ 5×10^{-3} โมลต่อลิตรแล้วหาประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ด้วยเครื่อง AAS
3. ทดสอบประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 1

1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะโคบอลต์
2. ทราบถึงผลของสารบางชนิดต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะโคบอลต์
3. ทราบถึงประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะโคบอลต์ในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์
4. สามารถนำกระบวนการเฟอร์ไรท์ไปใช้ในการกำจัดโลหะโคบอลต์ในน้ำเสียได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 โลหะหนัก

โลหะหนัก หมายถึง โลหะที่มีความหนาแน่นมากกว่า 5 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร เช่น ตะกั่ว แคดเมียม พรอท ทองแดง นิกเกิล เป็นต้น โดยทั่วไปโลหะหนักมีสถานะเป็นของแข็ง ยกเว้นปรอทที่มีสถานะเป็นของเหลวที่อุณหภูมิปกติ โลหะหนักส่วนใหญ่มีสมบัติทางกายภาพคล้ายคลึงกัน ได้แก่ การนำไฟฟ้าและความร้อนได้ดี มีความมันวาว และสามารถนำมาตีเป็นแผ่นบาง ๆ ได้ ส่วนสมบัติด้านเคมีที่สำคัญ คือ สามารถรวมตัวกับสารอื่นเป็นสารประกอบเชิงซ้อนได้หลายรูปที่เสถียกว่โลหะอิสระ

ความเป็นพิษของโลหะหนักเป็นผลเนื่องมาจากการที่มนุษย์ได้รับสารเหล่านี้ในปริมาณที่ต่าง ๆ กันแล้วก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกาย โลหะเหล่านี้เป็นป้อนเข้าสู่สิ่งแวดล้อมในดิน น้ำ อากาศและผลิตผลทางการเกษตร เมื่อเข้าสู่ร่างกายของมนุษย์จะมีผลกระทบต่อเมตาบอลิซึมของเซลล์ของสิ่งมีชีวิต

2.1.1 โคบอลต์ (Cobalt, Co) (พอร์น และ อรุณกร, 2540)

โคบอลต์เป็นชื่อทางเคมีของธาตุหนึ่งมีสัญลักษณ์เป็น "Co" มีเลขอะตอมเท่ากับ 27 น้ำหนักอะตอมเท่ากับ 58.93 เป็นโลหะทรานซิชันที่อยู่หมู่เดียวกับโรเดียมและอิริเดียม และถ้าพิจารณาคาบเดียวกันจะอยู่ระหว่างเหล็กและนิกเกิลซึ่งอยู่คาบที่ 3 ตามปกติจะผลมกับธาตุอื่นเพื่อทำเป็นโลหะผสม (Alloy) มากกว่าจะใช้ในรูปสารบริสุทธิ์

โคบอลต์และ alloy ของโคบอลต์จะต้านทานการสึกหรอและการกัดกร่อนในสภาวะที่อุณหภูมิสูง และเนื่องจากความเป็น paramagnetic ทำให้มีการประยุกต์ใช้ในงานที่เกี่ยวข้องกับแม่เหล็กด้วย ไอโซโทปของโคบอลต์ที่สำคัญคือ ^{60}Co ซึ่งนำมาใช้ทางด้านยา และอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย ใช้เป็นสารให้สีสำหรับทาหรือเขียน (สีน้ำเงินโคบอลต์) และใช้เป็นสีย้อมในอุตสาหกรรมกระดาษ นอกจากนี้ยังมีการใช้โคบอลต์ในผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมี และใช้ทำแม่เหล็กถาวร

โคบอลต์เป็นโลหะที่มีสีขาวปนน้ำเงินเล็กน้อย มีความแข็งและแข็งแรงมาก และค่อนข้างเฉื่อยต่อปฏิกิริยา แต่ก็รวมตัวกับอโลหะได้บ้างเมื่อได้รับความร้อน ตัวอย่างสารประกอบของโคบอลต์ เช่น Co_3O_4 , CoF_2 , CoX_2 ($\text{X} = \text{Cl, Br, I}$) ฯลฯ โลหะโคบอลต์ไม่ละลายในกรดเข้มข้นและในเบส แต่ละลายช้าๆ ในกรดเจือจาง ได้อิออน $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ ซึ่งมีสีชมพู ถ้าเทียบกับธาตุอื่นแล้วโคบอลต์จัด

ว่ามีปริมาณค่อนข้างน้อยในโลก ส่วนใหญ่จะปนกับแร่สารหนูของนิกเกิล ทองแดง และตะกั่ว การถลุงออกมาเป็นโลหะบริสุทธิ์ค่อนข้างยุ่งยากจึงทำให้มีราคาแพง โดยทั่วไปมักใช้วิธีนำสินแร่มาเผาในอากาศเพื่อให้ได้ออกไซด์ผสม Co_3O_4 (หรือ $\text{CoO} \cdot \text{Co}_2\text{O}_3$) แล้วนำไปรีดิวซ์โดยใช้ถ่านหรืออะลูมิเนียม

โคบอลต์มีจุดหลอมเหลวเท่ากับ 1495 องศาเซลเซียส จุดเดือดเท่ากับ 3100 องศาเซลเซียส ความหนาแน่นที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 8.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความสามารถในการต้านทานไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสเท่ากับ 6024 microhm.cm ความแข็งเท่ากับ 225 ซึ่งโคบอลต์จะแข็งแต่เปราะกว่าเหล็ก ความร้อนที่ใช้ในการหลอมเหลวเท่ากับ 259.4 J/g และความร้อนที่ใช้ในการกลายเป็นไอเท่ากับ 6276 J/g

โคบอลต์เป็น para-magnetic ซึ่งมีการจัดเรียงอิเล็กตรอนเป็น $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^7 4s^2$ ที่อุณหภูมิปกติผลึกของโคบอลต์จะเป็นแบบ hexagonal closspacked แต่ที่อุณหภูมิปกติสูงกว่า 417 องศาเซลเซียส จะเป็นแบบ face-centered cubic

โคบอลต์จะไม่ทำปฏิกิริยา และเสถียรต่อออกซิเจนในอากาศ ไม่มีความร้อนแต่จะทำปฏิกิริยาได้ดีกับกรดซัลฟิวริก ไฮโดรคลอริก ไนตริก และซัลฟูริก และซัลฟูริก และฟอสฟอริกส่วนเบส จะทำปฏิกิริยาได้ดีกับพวกแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ และโซเดียมไฮดรอกไซด์ โคบอลต์จะทำปฏิกิริยากับฮาโลเจนและโลหะ เช่น โบรอน คาร์บอนเมื่อได้รับความร้อน

สมบัติทางเคมีส่วนใหญ่ของโคบอลต์จะเป็นสมบัติที่เนื่องมาจากการที่มีเลขออกซิเดชันอยู่ระหว่าง -1 ถึง +4 แต่ส่วนมากจะพบ +2 และ +3 ซึ่งเลขออกซิเดชันที่สูงสุดของโคบอลต์ คือ +4 จะพบใน ซีเซียมเฮกซะฟลูออโรโคบอลเตท (Cesiumhexafluorocobaltate (IV)) (Cs_2CoF_6) ส่วน cobalt (II) oxide (CoO) จะเกิดเมื่อให้ความร้อนกับโคบอลต์ในออกซิเจนที่ 1100 องศาเซลเซียส และ Cobalt (III) oxide (Co_2O_3) จะเกิดเมื่อให้ความร้อนกับสารประกอบโคบอลต์ที่อุณหภูมิต่ำในอากาศ โคบอลต์มีเลขโคออดิเนชัน 6 คือสามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลที่เป็นกลางและ anion ได้ 6 พันธะ ซึ่งพันธะระหว่างโคบอลต์กับอะตอมที่ให้อิเล็กตรอนทั้ง 6 อะตอมจะทำให้โครงสร้างเป็นออกตะฮีดรัล (Octahedral) และเมื่อเติมสารละลายแอมโมเนียมหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ลงในสารละลายที่มี Co^{2+} จะได้ตะกอนสีน้ำเงิน $\text{Co}(\text{OH})_2$ ซึ่งละลายได้ในสารละลายเบสเข้มข้นกลายเป็น $[\text{Co}(\text{OH})_4]^{2-}$ นอกจากนี้ยังละลายในสารละลายแอมโมเนียได้เป็น $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$ ซึ่งเมื่อทิ้งไว้ในอากาศจะถูกออกซิไดซ์ต่อเป็น $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ Co(II) มีความเสถียรมากในสภาวะปกติ แต่ถ้าอยู่ในสารประกอบเชิงซ้อนสภาวะ +3 มักจะเสถียรมากขึ้น ดังเห็นได้จากการเปรียบเทียบค่า E° ดังต่อไปนี้

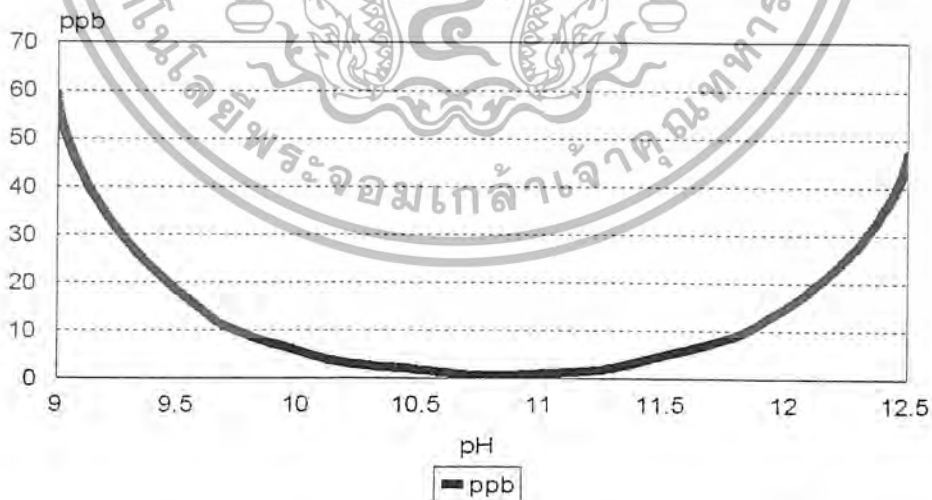
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	E° (V)
$\text{Co}^{3+}(\text{aq}) + e^{-} \longrightarrow \text{Co}^{2+}(\text{aq})$	1.82
$[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+} + e^{-} \longrightarrow [\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{2+}$	0.1
$[\text{Co}(\text{CN})_6]^{3+} + e^{-} \longrightarrow [\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$	0.8

สารประกอบ $[\text{Co}(\text{CN})_6]^{4-}$ สามารถรีดิวซ์น้ำแล้วให้ไฮโดรเจนได้ แสดงว่าเป็นตัวรีดิวซ์ที่แรงมาก แต่ถ้าเป็น aquo complex $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{2+}$ จะเสถียร ส่วน $[\text{Co}(\text{H}_2\text{O})_6]^{3+}$ เป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมาก (จากค่า E° ข้างบน, $E^{\circ} = +1.82 \text{ V}$)

เมื่อนำโคบอลต์เจือกับเหล็ก นิกเกิล และอลูมิเนียมจะได้โลหะเจือ alnico ซึ่งใช้ทำแม่เหล็กถาวร นอกจากนี้ยังใช้เจือกับโลหะอื่นเป็นโลหะเจือที่ให้ความแข็งแรงทนทาน เช่น stellite เป็นโลหะเจือที่ประกอบด้วยโคบอลต์ 55% ทังสเตน 15% โครเมียม 25% และ โมลิบดีนัม 5% มีความแข็งแรงมาก แม้จะเผาจนร้อนแดง ทนต่อการสึกหรอนเป็นอย่างดี นอกจากนี้สารประกอบของโคบอลต์ยังเป็นองค์ประกอบที่สำคัญในคนที่สมบูรณ์ วิตามิน B_{12} ซึ่งมีโครงสร้างค่อนข้างซับซ้อนก็เป็นสารประกอบของโคบอลต์

Solubility of Cobalt vs pH

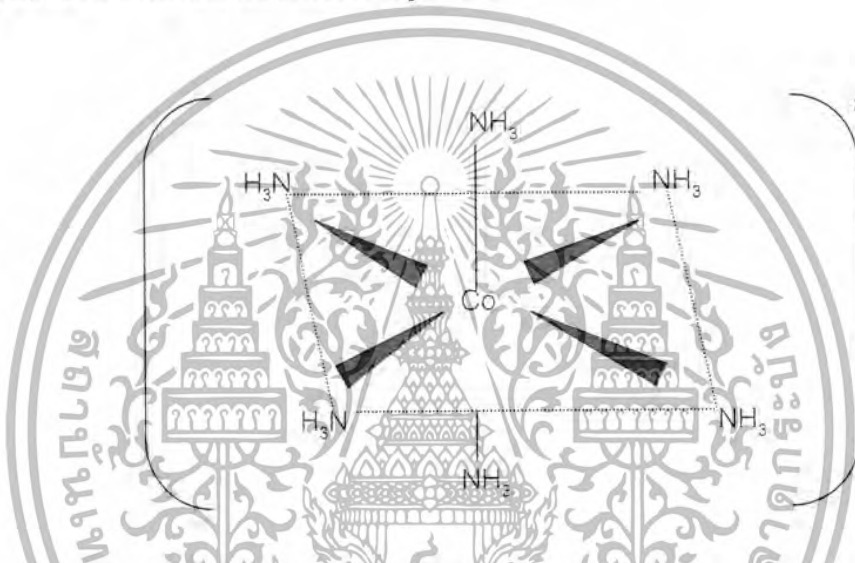


รูปที่ 2.1 แสดงความสามารถในการละลายน้ำของโคบอลต์ที่พีเอชต่าง ๆ กัน
(ที่มา : www.rwaterguy.com)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 การเกิดสารประกอบเชิงซ้อนในโลหะโคบอลต์ (พรทิพย์, 2539)

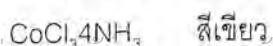
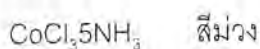
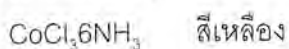
สมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของธาตุทรานซิชันคือสามารถรวมกับไอออนหรือโมเลกุลอื่นเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน (complex compound) ในสารเชิงซ้อนธาตุทรานซิชันจะอยู่ในรูปของไอออนบวกมีไอออนหรือโมเลกุลที่ล้อมรอบไอออนบวกของธาตุทรานซิชันเรียก ลิแกนด์ ตัวอย่างสารประกอบเชิงซ้อนได้แก่ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$ (hexaamminecobalt(III)chloride) ซึ่งมีรูปร่างคณิตเป็นทรงเหลี่ยมแปดหน้าหรือออกตะฮีดรอลตามรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงไอออนเชิงซ้อน Hexaamminecobalt (III)

โดยมีแอมโมเนียหกโมเลกุลล้อมรอบ Co^{3+} โดยที่แอมโมเนียแต่ละโมเลกุลจะให้อิเล็กตรอนคู่หนึ่งคู่แก่ Co^{3+} เพื่อเกิดเป็นพันธะโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์และเนื่องจากคู่อิเล็กตรอนที่ใช้ในการเกิดพันธะระหว่างลิแกนด์กับไอออนบวกของธาตุทรานซิชันมากลิแกนด์เกิดพันธะประเภทโคออร์ดิเนตโคเวเลนต์สารเชิงซ้อนจึงเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า สารประกอบโคออร์ดิเนชัน (Coordination compound)

เวอร์เนอร์ (Alfred Werner) ได้ศึกษาเกี่ยวกับสารประกอบโคออร์ดิเนชันอย่างจริงจังและได้เสนอโครงสร้างของไอออนเชิงซ้อน ซึ่งใช้อธิบายสมบัติของสารเหล่านั้นได้ถูกต้อง พบว่าเมื่อนำ CoCl_3 มาทำปฏิกิริยากับ NH_3 ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันได้ผลิตภัณฑ์หลายชนิด ซึ่งต่างก็มีสีและจากการวิเคราะห์พบสูตรดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

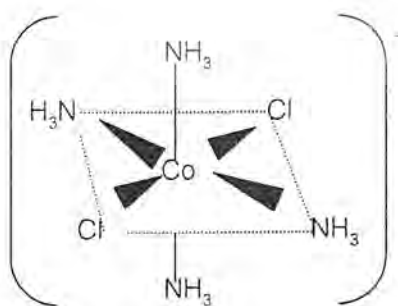
$\text{CoCl}_3 \cdot 4\text{NH}_3$ สีเขียว

เมื่อนำสารประกอบเหล่านี้อย่างละหนึ่งโมลไปทำปฏิกิริยากับสารละลายซิลเวอร์ไนเตรต (AgNO_3) ที่มากเกินไปให้จำนวนโมลของ AgCl แตกต่างดังนี้

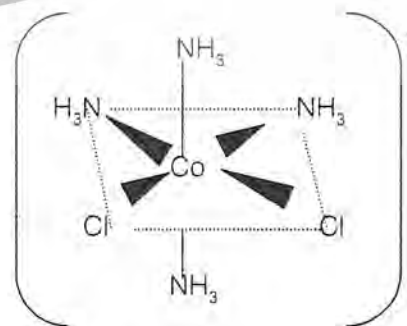


ถ้าคลอรีนในทุกสารประกอบอยู่ในรูปของคลอไรด์ไอออนเมื่อเติม $\text{AgNO}_3 (\text{aq})$ คลอไรด์ทั้งหมดควรตกตะกอนเป็น AgCl แต่ในสมการที่ 2 และ 3 มีคลอรีนตกตะกอนน้อยกว่า 3 โมล แสดงว่าคลอรีนทั้งสามไม่ได้อยู่ในรูปไอออนทั้งหมด เวอร์เนอร์จึงได้เสนอว่าสารประกอบโคบอลต์เหล่านี้ประกอบด้วยโคบอลต์เป็นไอออนของโลหะอยู่ตรงกลาง ล้อมรอบด้วยโมเลกุลของแอมโมเนียและคลอไรด์ไอออน โดยจำนวนโมเลกุลหรือไอออนที่ล้อมรอบเท่ากับหกและได้เสนอสูตรโครงสร้างเป็นดังนี้ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]\text{Cl}_3$, $[\text{Co}(\text{NH}_3)_5]\text{Cl}_2$ และ $[\text{Co}(\text{NH}_3)_4]\text{Cl}_2$

ในไอออนเชิงซ้อน $[\text{Co}(\text{NH}_3)_6]^{3+}$ พบว่า ลิแกนด์ทั้งหกที่เกิดขึ้นระกับ Co^{3+} อาจมีการจัดเรียงรอบโคบอลต์ได้สองแบบตามรูปที่ 2.3 ก มีคลอไรด์ไอออนอยู่ตรงข้ามกัน เรียกไอโซเมอร์ที่ว่า ทรานส์-ไอโซเมอร์ (trans-isomer) ส่วนโครงสร้างตามรูปที่ 2.3 ข มีคลอไรด์ซึ่งอยู่ตรงมุมที่อยู่ด้านเดียวกัน เรียกว่า ซิส-ไอโซเมอร์ (cis-isomer) ซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ เป็นสารต่างชนิดกันมีสมบัติทางเคมีและทางกายภาพต่างกัน ซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์จัดเป็นไอโซเมอร์แบบเรขาคณิต (Geometrical isomerism)



ก. ทรานส์-ไอโซเมอร์



ข. ซิส-ไอโซเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

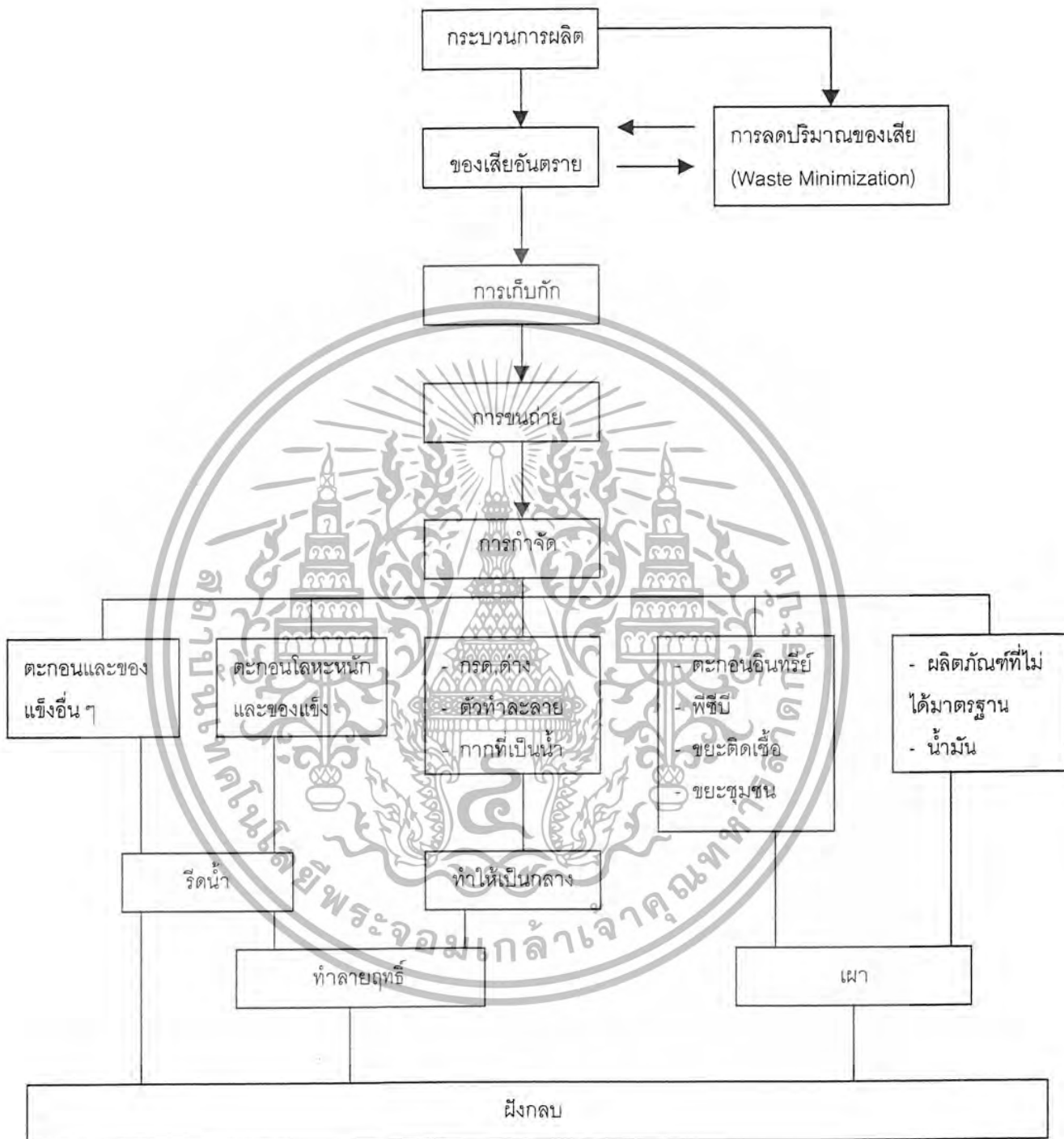
2.2 การจัดการของเสียอันตราย (จันทพร,สายสุนีย์และสิรินันท์ , 2545)

ปัญหาในการจัดการของเสียอันตรายในปัจจุบัน มีสาเหตุมาจากการที่มักไม่มีการแยกของเสียอันตรายออกจากของเสียส่วนอื่น ๆ และมีการจัดการกันเองภายในโรงงานโดยไม่มีการควบคุมเรื่องความปลอดภัย เช่น ใช้วิธีการกองทิ้งไว้ (Open Dumping) หรือเผาในที่แจ้ง (Open Burning) ซึ่งทำให้ของเสียอันตรายสามารถแพร่กระจายสู่สิ่งแวดล้อมได้ง่าย การลดปริมาณของเสียอันตรายนั้นเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพื่อเป็นการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมและป้องกันอันตรายต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิต

สำหรับการจัดการของเสียอันตรายมีแนวทางในการปฏิบัติกว้าง ๆ อยู่ 4 ขั้นตอน คือ

1. แหล่งกำเนิด (Waste generation) เป็นแหล่งกำเนิดของของเสียอันตราย หากทราบประเภท ชนิด ความเป็นพิษ และอันตรายของของเสียนั้น ย่อมสามารถดำเนินการได้ง่าย เช่น การคัดแยก การจัดเก็บ การขนส่ง การทำลาย ณ สถานที่กำจัด (On-site treatment or disposal) หากไม่ทราบลักษณะคุณสมบัติหรือความเป็นมาของเสียเป็นการยากที่จะจัดการกับของเสียนั้น
2. การนำกลับไปใช้ใหม่ (Recovery or recycling) เป็นกระบวนการที่สามารถนำของเสียอันตรายกลับไปใช้ใหม่ตามความเหมาะสมของคุณภาพ ปริมาณ และความต้องการของผู้ใช้ซึ่งเป็นการเพิ่มคุณค่าของของเสียที่ไม่ต้องการ ดังนั้นขั้นตอนนี้ผู้จัดการต้องรับทราบข้อมูลทั้งหมดที่อยู่ใน การดำเนินการที่ทำให้เกิดของเสียนั้นขึ้น ซึ่งอาจจะต้องใช้การแลกเปลี่ยนข้อมูล (Information Exchange) เช่น การแลกเปลี่ยนตัวทำละลาย หรือการฟื้นฟูน้ำมันเก่าที่ใช้แล้วให้เป็นน้ำมันเชื้อเพลิงคุณภาพต่ำ
3. การบำบัด (Treatment) เป็นขั้นตอนการเปลี่ยนแปลง ปรับปรุง คุณสมบัติทางกายภาพ หรือทางเคมีของของเสียอันตรายให้ลดความรุนแรงของอันตรายลง หรืออาจหมดไปได้ซึ่งอยู่ในสภาพที่ง่ายต่อการจัดการซึ่งวิธีบำบัดสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การเผา การปรับเสถียรภาพกากตะกอน การบำบัดทางชีวภาพซึ่งการบำบัดด้วยวิธีนี้จะเหลือส่วนของกากตะกอน หรือเศษของเสียอันตรายจำเป็นต้องนำไปบำบัดต่ออีกขั้นตอนหนึ่ง
4. การกำจัด (Disposal) เป็นขั้นตอนสุดท้ายของการจัดการของเสียอันตรายที่จะต้องกำจัดของเสียในรูปแบบต่าง ๆ ให้หมดไปหรือให้อยู่ในรูปที่ปลอดภัย ไม่ก่อความเดือดร้อนอีกต่อไป เช่น ฝังกลบ (Secure landfill)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 การจัดการของเสียอันตราย
(ที่มา : จันทพร,สายสุนีย์และสิรินันท์,2545)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการกำจัดของเสียอันตรายที่ไม่ถูกวิธีได้แก่

- การทิ้งในทะเลโดยการบรรจุใส่เรือแล้วไปทิ้งกลางทะเล
- การเผาในเตาเผากลางทะเล โดยใช้วิธีการเผาในเรือเพื่อกระจายมลภาวะ วิธีการนี้ไม่เป็นที่ยอมรับเนื่องจากหากมีปริมาณของเสียจำนวนมากจะส่งผลกระทบต่อผู้ที่อยู่บนฝั่งได้
- การนำส่งออกนอกประเทศ แล้วนำไปทิ้ง ณ ประเทศที่ด้อยพัฒนาหรือประเทศที่กำลังพัฒนา เป็นต้น ซึ่งเป็นการย้ายที่ของเสียดังเช่นเหตุการณ์ที่ทำเรือคลองเตยที่ปรากฏของเสียจากประเทศอื่นจำนวนมากจนทางรัฐบาลต้องขนไปกำจัดเอง
- การทิ้งหรือถ่ายเทลงในหลุมฝังกลบมูลฝอยชุมชน หรือตามท่อระบายน้ำเสีย หรือการปล่อยระบายออกสู่อากาศ หรือระบายลงสู่แม่น้ำ ทะเลต่าง ๆ โดยไม่ผ่านการบำบัดก่อน

ดังนั้นวิธีการกำจัดของเสียอันตรายที่ดีและเหมาะสม ควรที่จะการทำลายฤทธิ์ หรือลดสภาพความรุนแรงของของเสียอันตรายก่อน แล้วจึงนำไปฝังกลบรวมกันไว้ ณ สถานที่ที่ปลอดภัยที่สุด

ในขณะที่เป้าหมายของการลดของเสียให้น้อยที่สุดเป็นสิ่งที่ต้องการและมีความจำเป็นอย่างมาก แต่โรงงานอุตสาหกรรมยังคงปล่อยของเสียที่ยากต่อการบำบัดออกสู่สิ่งแวดล้อม เป็นเหตุให้มีอันตรายเกิดขึ้นกับสิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นจึงมีการคิดค้นวิธีการบำบัดให้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การบำบัดทางเคมี ฟิสิกส์ หรือชีววิทยา ในบางกระบวนการบำบัดอาจใช้ประโยชน์จากของเสียที่เกิดขึ้น โดยนำกลับมาใช้ได้อีกและช่วยลดปริมาณของเสียได้อีกด้วย

2.3 เทคนิคในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสีย (ประไพรัตน์ และสมฤทัย , 2538)

2.3.1 การทำให้น้ำตกตะกอน (Precipitation)

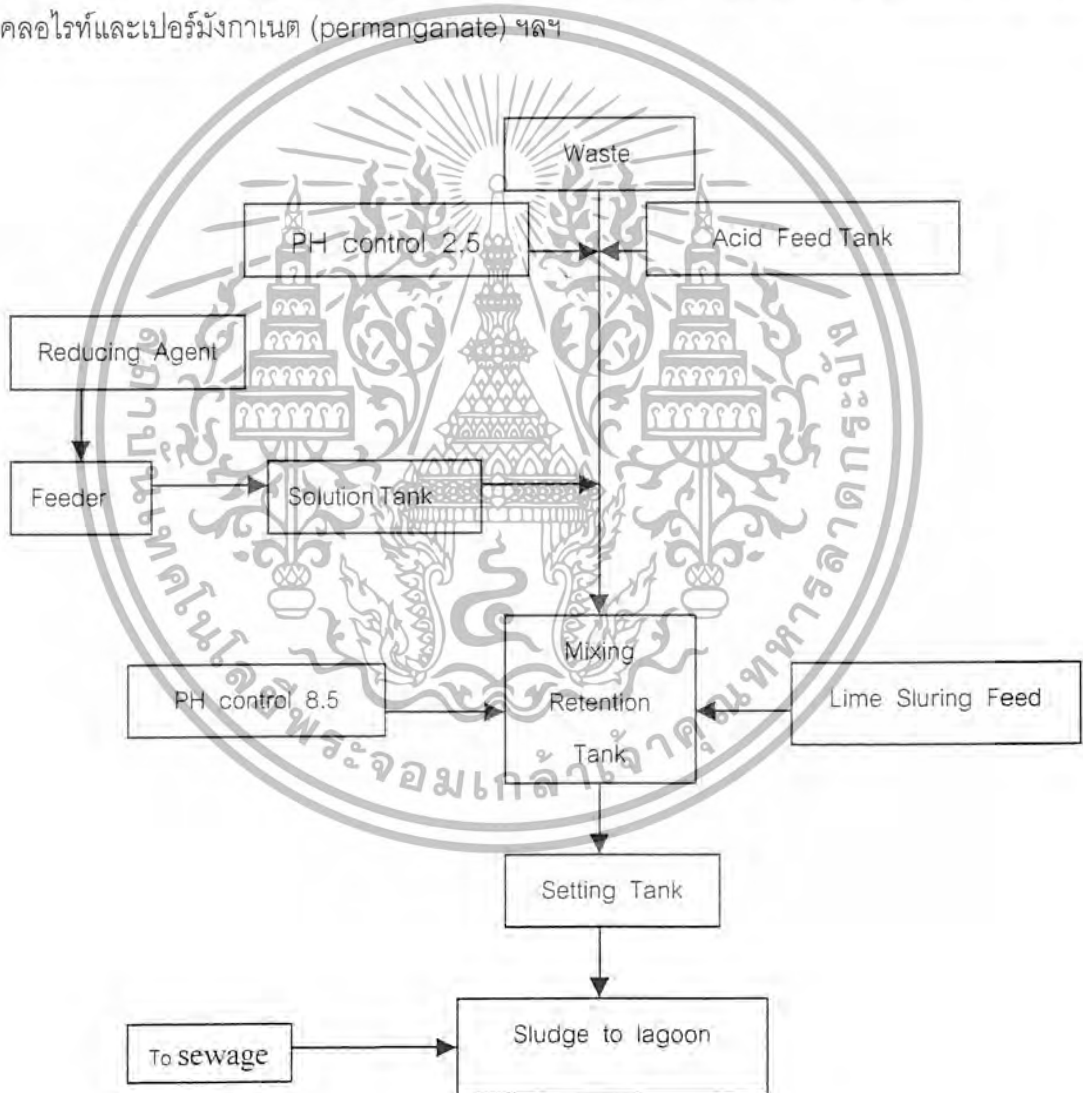
วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มานานแล้ว โดยเติมสารละลายเคมีลงไปในน้ำทิ้ง เพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่ เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ทว่าไปแล้วนิยมตกตะกอนโลหะหนักเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ ด้วยการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) หรือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์มีราคาถูกกว่าจึงนิยมใช้มากกว่า สารเคมีชนิดอื่น ๆ ที่นิยมใช้ถัดมาคือ โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) โลหะหนักแต่ละชนิดสามารถตกตะกอนได้ดีที่ ค่าความเป็นกรด-เบสแตกต่างกัน เช่น แคลเซียมพบว่าจะสามารถตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดีที่ ค่าความเป็นกรด-เบส ระหว่าง 9.5 ถึง 12.5 ตะกั่วตกตะกอนไฮดรอกไซด์ดีที่ ค่าความเป็นกรด-เบสระหว่าง 9.2 ถึง 9.5 (Patterson, 1978) ตะกั่วและซิงค์ ถ้าปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้สูงเกินไปจะเกิดพลัมเบท (plumbate) หรือ ซิงเคท

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(zincate) ซึ่งสามารถกลับไปละลายน้ำได้อีก การตกตะกอนไฮดรอกไซด์จึงจะต้องปรับค่าความเป็นกรด-เบสให้เหมาะสมสำหรับโลหะหนักแต่ละชนิดในน้ำเสีย

2.3.2 ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation – Reduction)

วิธีนี้จะใช้มากในโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบโลหะต่าง ๆ เจือปนอยู่ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไป เพื่อทำปฏิกิริยาออกซิเดชันหรือรีดักชันกับโลหะหนักที่ต้องการกำจัด ทำให้โลหะหนักเปลี่ยนรูปไปเป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจน (oxygen) โอโซน (ozone) คลอรีน (chlorine) ไฮโปคลอไรท์และเปอร์มังกาเนต (permanganate) ฯลฯ



รูปที่ 2.5 แสดงแผนผังของระบบกำจัดโลหะหนักสำหรับโรงงานชุบโดยกรมโรงงาน

(ที่มา : ประไพรัตน์ และสมฤทัย ,2538)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปเกิดปฏิกิริยาดังต่อไปนี้



2.3.3 การระเหย (Evaporation)

เป็นวิธีง่าย ๆ ที่ใช้กันมากวิธีหนึ่ง โดยใช้วิธีกำจัดน้ำออกจากน้ำเสีย แต่จะใช้ผลดีกรณีที่มีปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียปริมาณเท่ากัน ซึ่งวิธีนี้มีข้อเสียเกี่ยวกับราคาที่ต้องลงทุน

2.3.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction)

เป็นวิธีการแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยการเติมตัวทำละลายซึ่งสามารถละลายโลหะหนักนั้นได้ดีกว่า วิธีนี้มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายของตัวทำละลายที่ใช้ในการสกัดค่อนข้างสูง

2.3.5 ไอออนเอ็กซ์เชนจ์ (Ion Exchange)

เทคนิคนี้จะอาศัยเรซิน (resin) เป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายกับไอออนบนผิวเรซิน เรซินที่ใช้เป็น แคทไอออน เอ็กซ์เชนจ์ เรซิน (Cation Exchange Resin) เป็นพวกอินโซลูเบิล ออแกนิค แอซิด (insoluble organic acid) ซึ่งอาจจะเป็นซัลโฟนิคหรือคาร์บอกซิลิก แอซิด (sulfonic or carboxylic acid) กรณีตะกั่วจากรายงานของ Nazaki and Hatotani (1967) ทดลองกำจัดตะกั่วที่อยู่ในรูปของเตตระเอทิลเลด (tetraethyl lead) ด้วยการใช้แคทไอออน เอ็กซ์เชนจ์ เรซิน พวกคาร์บอกซิลิกแอซิด พบว่าสามารถลดปริมาณตะกั่วจากรว 126.7 ส่วนในล้านส่วน (หรือมิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร) ลงเหลือ 0.02 ส่วนในล้านส่วน สำหรับแคดเมียมก็มีการใช้ วิธีนี้ในการกำจัดด้วย แต่เนื่องจากการกำจัดต้องใช้เรซิน ที่มีความเฉพาะเจาะจงจึงไม่ค่อยนิยมใช้นัก วิธีการนี้จึงเหมาะสำหรับกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อยและให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดของน้ำเสีย กล่าวคือถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่ จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเรซินเพื่อควมมีประสิทธิภาพสูงสุด เช่นน้ำเสียมีสารอินทรีย์ปนอยู่ ก็ต้องกำจัดออกก่อนโดยผ่านเข้าไปในแอกติเวเตดคาร์บอนคอลัมน์ (activated carbon column) ก่อนที่จะผ่านน้ำเสียเข้าไปในไอออนเอ็กซ์เชนจ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.6 อิเล็กโตรไดอะไลซิส (Electrodialysis)

วิธีนี้จะแยกโลหะหนักโดยจะให้ผ่านเพอมีเอเบิล เมมเบรน (permeable membrane) โดยกระแสไฟฟ้า ข้อเสียของวิธีการนี้คือแพงฉะนั้นจึงไม่นิยมใช้

2.3.7 รีเวิร์สออสโมซิส (Reverse osmosis)

วิธีนี้ใช้กำจัดโลหะหนักโดยใช้ความดันสูงผ่าน เซมิ เพอมีเอเบิล เมมเบรน (semi-permeable membrane) ซึ่งมีคุณสมบัติที่ยอมให้ออนบางชนิดเท่านั้นที่แพร่ผ่านได้และซึ่งจะต้องใช้ความดันสูงมาก โดยอาจจะสูงกว่า 100 บรรยากาศ และจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเลือกเมมเบรนที่จะต้องให้ทนต่อความดัน ความเป็นกรด-ด่าง ตัวอย่าง เมมเบรนที่ใช้ได้แก่ cellulose acetate , polyamide , polyfuran วิธีนี้ใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุบด้วยไฟฟ้า (electroplating waste water) น้ำเสียจากกระบวนการ การล้างภาพ (photographic processing effluents)

ทั้งวิธีการทำให้ตกตะกอนและวิธีออกซิเดชัน-รีดักชันนี้ เป็นวิธีใช้กันมากในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียในประเทศไทย กล่าวคือในกรณีที่มีโลหะหนักหลายชนิดปนอยู่ด้วยกันในน้ำเสีย การตกตะกอนโลหะหนักพร้อม ๆ กันหลายชนิดด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีนั้น จำเป็นจะต้องปรับ ค่าความเป็นกรด-เบส ให้ต่างกันไปแล้วแตชนิดของโลหะหนัก ซึ่งจะต้องมีการแยกประเภทของโลหะหนักออกมากำจัดทีละชนิด ซึ่งทำให้เกิดความยุ่งยากในทางปฏิบัติ นอกจากนี้ยังมีข้อเสียเกี่ยวกับการตกตะกอนที่เกิดขึ้นได้ช้าและไม่สามารถแยกตะกอนกับน้ำที่จะทิ้งได้เด็ดขาด กล่าวคืออาจจะมิตะกอนบางส่วนไหลกลับไปกับน้ำ หรือละลายกลับไปในน้ำที่จะปล่อยสู่ท่อระบายน้ำ และข้อเสียสุดท้ายซึ่งเป็นส่วนที่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาต่อไปกับสิ่งแวดล้อมในอนาคตอย่างแน่ นอนคือ ตะกอนที่ได้จากการตกตะกอน ซึ่งสามารถละลายได้ใน ค่าความเป็นกรด-เบสที่เหมาะสมในสิ่งแวดล้อม เมื่อน้ำไปทิ้งในถังขยะหรือน้ำไปฝังในที่ดินที่ไม่เหมาะสม อันจะก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมต่อไปได้อีก โดยถ้าพื้นที่ที่ฝังเป็นพื้นที่ลุ่ม (โดยเฉพาะในกรุงเทพฯ) ก็จะทำให้เกิดปัญหากระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน ยิ่งถ้าจุดที่ฝังนั้นสามารถท่วมได้ ก็จะเป็นการแพร่กระจายสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมออกไปได้ง่าย นั่นคือ การเลือกที่ดินในการฝังกากโลหะหนักนั้นจะต้องพิจารณาอย่างดีในเงื่อนไขที่ว่า เมื่อฝังแล้วจะต้องไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีก ซึ่งใช้งบประมาณในส่วนนี้มาก เพื่อแก้ไขปัญหานี้อาจจะกระทำได้ 2 ทางคือ ส่งเสริมการวิจัยให้มีการนำเอาโลหะหนักกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ หรือหาวิธีการกำจัดโลหะหนักให้อยู่ในรูปที่คงตัวในธรรมชาติเพื่อไม่ให้กลับมากระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเฟอร์ไรท์นับเป็นวิธีการซึ่งน่าจะแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นได้ เนื่องจากกระบวนการเฟอร์ไรท์สามารถใช้กำจัดโลหะหนักหลายชนิดที่ปนกันอยู่และมีปริมาณสูงได้ดีทั้งตะกอนเฟอร์ไรท์ที่ได้นั้น จะอยู่ในรูปคงตัวทนทานต่อความเป็นกรด-ด่าง ในธรรมชาติได้ และ Hayashi (1975) พบว่าผลพลอยได้ของตะกอนเฟอร์ไรท์สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อไปเนื่องจากเป็นสารแม่เหล็กที่มีแรงดึงดูดสูง ฉะนั้นจึงนำไปเป็นตัวป้องกันการรบกวนของคลื่นไฟฟ้า เป็นสารที่ใช้กำจัดสารพิษจากมลพิษที่เกิดจากน้ำมันในน้ำหรือเป็นวัสดุที่ใช้ในการสื่อสาร ฯลฯ

2.4 กระบวนการเฟอร์ไรท์

เฟอร์ไรท์เป็นกระบวนการที่ใช้เรียกกลุ่มของสารประกอบที่เป็นแมกเนติกออกไซด์ ซึ่งมีองค์ประกอบสำคัญคือ เหล็กออกไซด์ ตัวอย่างเฟอร์ไรท์ที่รู้จักกันมานานคือ แมกนีไตต์ (magnetite) โครงสร้างของกลุ่มสารประกอบเฟอร์ไรท์ ได้แก่ สปิเนล (spinel) แมกเนโตพลัมไบต์ (magnetoplumbite) และการ์เนท (garnet)

2.4.1 โครงสร้างเฟอร์ไรท์ (กุลยา, 2529)

โครงสร้างของสารประกอบเฟอร์ไรท์และคุณสมบัติความเป็นแม่เหล็กของสารประกอบเฟอร์ไรท์อนุพันธ์ (derivative) แปรผันโดยตรงกับการจัดโครงสร้างของอิเล็กตรอนในไอออน และอันตรกิริยา ของไอออน แม้ว่าโครงสร้างเฉพาะของเฟอร์ไรท์แต่ละชนิดจะแตกต่างกัน แต่โครงสร้างหลักจะประกอบด้วย 2 สับแลตทิซ ได้แก่ ริกซ์ แอนไอออน แลตทิซซึ่งประกอบด้วยออกซิเจนไอออน (oxygen ions) ซึ่งมีขนาดสัมพัทธ์ (relative large) เป็น 0.132 นาโนเมตร สับแลตทิซที่สองคือ ริกซ์ แคทไอออน แลตทิซ (rigid cation lattice) ซึ่งเกิดโดยการแทรกเข้าไปในช่องว่างด้วยแคทไอออนที่มีขนาดเล็กกว่าดังรูปที่ 2.6 โดยโครงสร้างของเฟอร์ไรท์แบ่งได้เป็น

1. สปิเนลเฟอร์ไรท์ (spinel ferrite) เป็นเฟอร์ไรท์ชนิดที่มีความสำคัญสุดทั่วไป AB_2X_4 โดยจะมีโครงสร้างเหมือน $MgAl_2O_4$ ดังแสดงในรูปที่ 2.7 แอนไอออน (x) จะฟอร์มโครงสร้างเป็นคิวบิกไคลสแพกกิง (cubic close packing) A และ B จะเป็นแคทไอออนที่เข้าไปอยู่ในช่องว่างหน่วยเซลล์ที่เล็กที่สุดของโครงสร้างผลึก ในแต่ละหน่วยย่อยจะประกอบด้วยอินเตอร์สติเชียลไซต์ (interstitial site) แบ่งเป็น 2 แบบคือ แบบ 64 เตตระฮีดรอลไซต์ (tetrahedral sites) และ 32 ออกตะฮีดรอลไซต์ (octahedral sites) ค่ารัศมีของออกตะฮีดรอลและเตตระฮีดรอลจะมีค่าดังนี้

$$0.055 < r_{tet} < 0.067 \text{ nanometre}$$

$$0.070 < r_{oct} < 0.075 \text{ nanometre} \quad r = \text{ค่ารัศมี}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณาค่ารัศมีไอออนของโลหะทรานซิชันที่มีการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนใน d ออร์บิทัลช่วงจาก d^0 ถึง d^{10} พบว่าสารประกอบเฟอร์ไรท์ที่มีโครงสร้างแบบสไปเนลสามารถจะเกิดได้อย่างมากมาย คุณสมบัติของความเป็นแม่เหล็กของสารประกอบเฟอร์ไรท์เกิดจากความแตกต่างของสิ่งแวดล้อมของอิเล็กตรอนในเตตระฮีดรอลและออกตะฮีดรอลและปฏิกิริยาระหว่างสิ่งที่อยู่แวดล้อมกับ d อิเล็กตรอนของโลหะทรานซิชัน

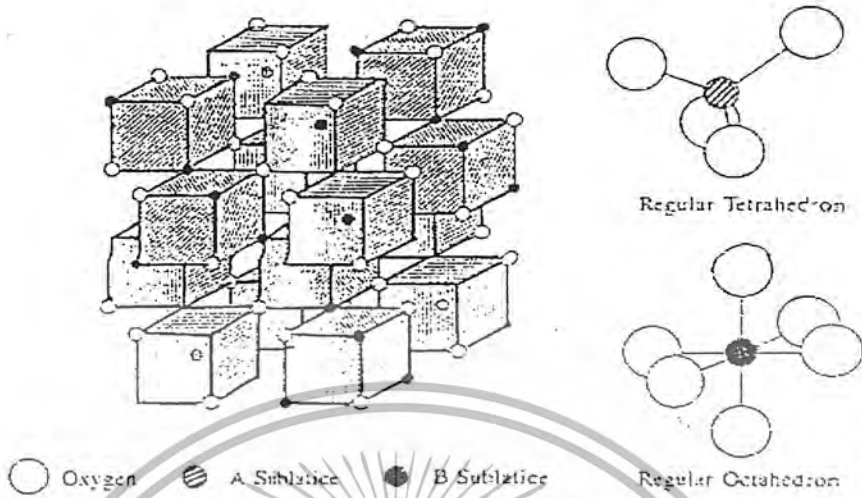
แอนไอออนของเฟอร์ไรท์ที่มีโครงสร้างแบบสไปเนลนี้ อาจจะเป็นซัลเฟอร์ (sulfur) คลอรีน (chlorine) หรือ ออกซิเจน (oxygen) สำหรับแคทไอออนนั้นจะต้องมีขนาดที่พอเหมาะ และทำให้ประจุเป็นกลางจึงจะเกิดขึ้นได้ สูตรอย่างง่ายของเฟอร์ไรท์ที่มีโครงสร้างสไปเนลคือ $A^{m+}B_2^{n+}O_4$ นั่นคือ $m+2n=8$ โครงสร้างแบบสไปเนลที่ได้รับความนิยม คือสารที่เกี่ยวข้องกับการค้าซึ่งเป็นออกไซด์ของเหล็ก สูตรโครงสร้างจะเป็น $M^{2+}Fe_2^{3+}O_4$ โดย M^{2+} คือโลหะทรานซิชันชนิดที่มีรัศมีไอออนขนาดเล็กพอที่จะเข้าไปในช่องว่าง ได้แก่ Mg Mn Fe Co Ni Zn Cu และอื่น ๆ

เฟอร์ไรท์ที่มีโครงสร้างแบบสไปเนลเหล่านี้ มักใช้ประโยชน์ในด้านการทำเป็นสารกึ่งตัวนำและหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีความถี่สูง

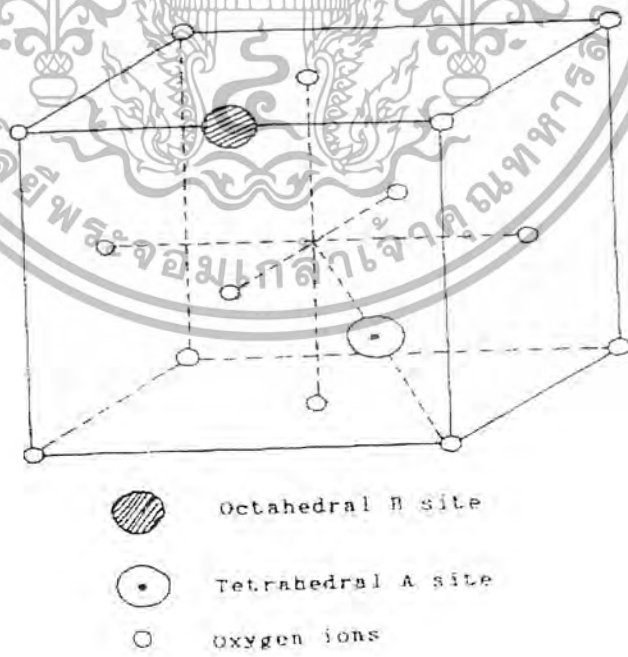
2. เฮกซะโกนอลเฟอร์ไรท์ (Hexagonal Ferrite) ได้แก่ แบเรียมเฟอร์ไรท์ (Barium ferrite) และ "M" compound โดยที่ "M" compound มีสูตรเป็น $A^{2+}0.6B_2^{3+}O_9$ เช่น $AB_{12}O_{19}$ โดยที่ A คือโลหะหนักที่มีประจุบวกสอง (divalent metallic ion) ได้แก่ Ba, Sr หรือ Pb ส่วน B คือโลหะหนักที่มีประจุบวกสาม (trivalent metallic ion) ได้แก่ Al, Ga, Cr หรือ Fe ตัวอย่างเฮกซะโกนอลเฟอร์ไรท์ที่รู้จักกันดีคือ แมกเนโตพลัมไบท์ (Magnetoplumbite) มีสูตรเป็น $PbFe_{12}O_{19}$ และแบเรียมเฟอร์ไรท์มีสูตรเป็น $BaFe_{12}O_{19}$ องค์ประกอบหลักคือกลุ่มออกไซด์ของเฟอร์ไรท์แมกเนติก (Fe_2O_3) กับไดวาเลนท์ออกไซด์ (PbO , BaO หรือออกไซด์ของโลหะทรานซิชันที่เป็นไดวาเลนท์) เฮกซะโกนอลเฟอร์ไรท์นำไปใช้เป็นแม่เหล็กถาวร ดังแสดงในรูปที่ 2.8

3. แรเอิร์ทการ์เนท (Rare earth garnet) เป็นสารแม่เหล็กที่มีโครงสร้างทั่วไปเป็น $M_3^cFe_2^dFe_3^eO_{12}$ ซึ่งมีความสลับซับซ้อนมากสามารถเขียนใหม่ได้เป็น $(3M_2O_3)^c(2Fe_2O_3)^e(3Fe_2O_3)^d$ โดย M คือ rare earth metal ion หรือ yttrium ion ส่วน c,a,d หมายถึง lattis site ไอออนโลหะทุกตัวในผลึกการ์เนทมีประจุบวกสาม การ์เนทที่พบบ่อยคือ $Ca_3^cFe_2^dSi_3^eO_{12}$ โครงสร้างผลึก 1 หน่วยเซลล์ประกอบด้วย 160 อะตอม $M_3Fe_2Fe_3O_{12}$ 8 โมเลกุล หรือ 8 เซลล์ย่อย (subunit) ดังรูปที่ 2.9 a-ion อยู่ที่ body cubic center c และ d อยู่ที่ cube surface เฟอร์ไรท์ชนิดนี้ไม่ได้กล่าวถึงประโยชน์ในการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

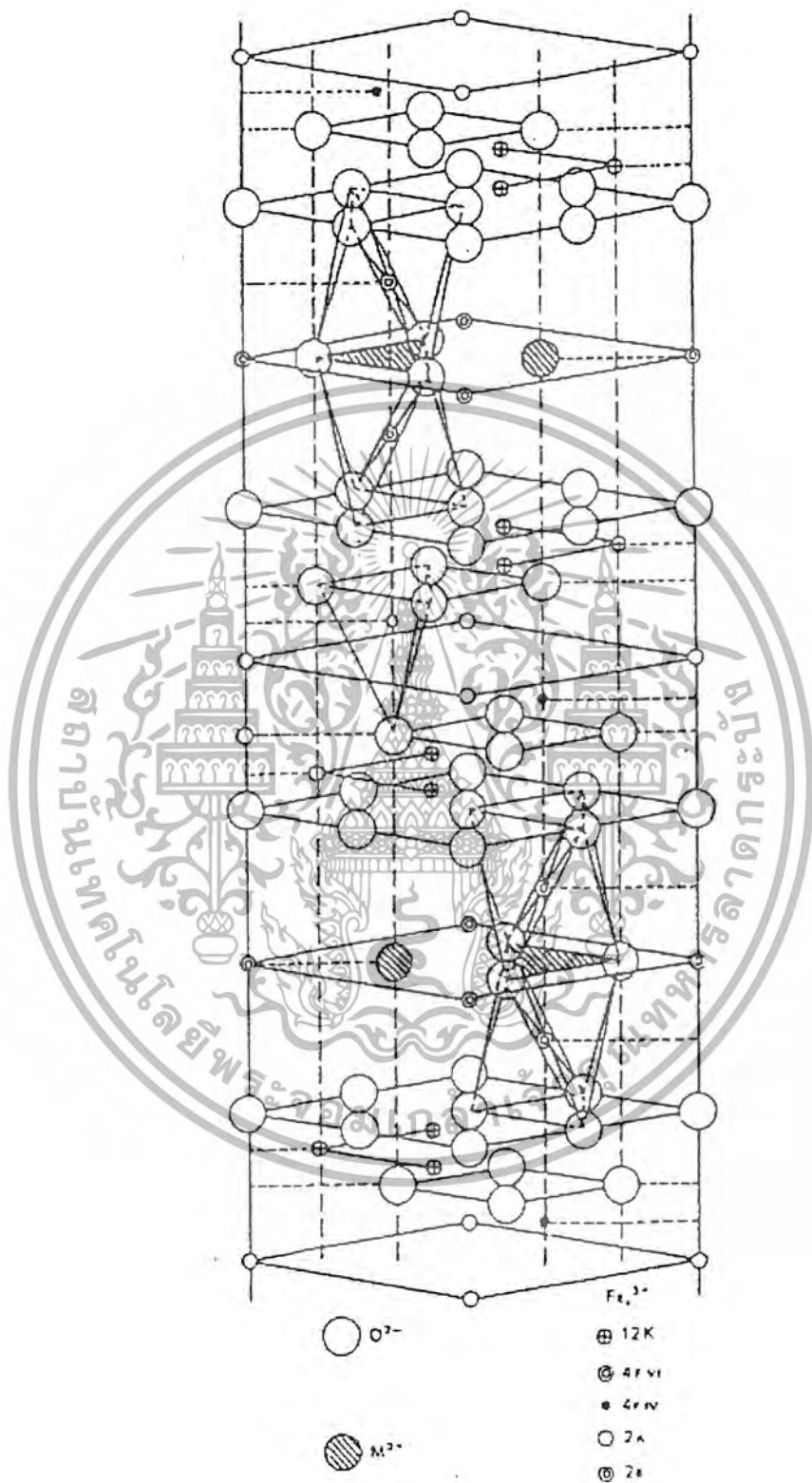


รูปที่ 2.6 แสดงโครงสร้างหลักของเฟอร์ไรท์
 แบบ A เป็น Tetrahedran ถูกล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจน 4 อะตอม
 แบบ B เป็น Octahedran ถูกล้อมรอบด้วยอะตอมของออกซิเจน 6 อะตอม
 (ที่มา : Korenega และคณะ, 1994)



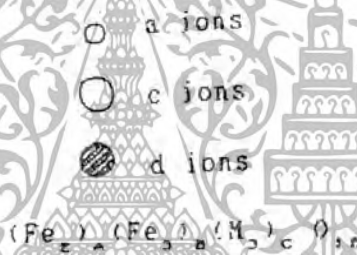
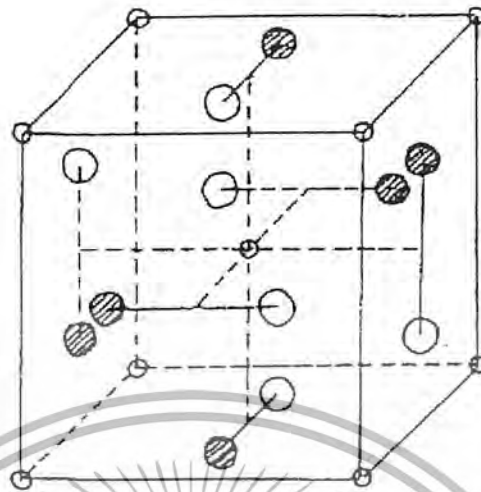
รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างเฟอร์ไรท์แบบสไปเนล (ที่มา : ดร.ณิ , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.8 แสดงโครงสร้างเพอร์ไรท์แบบเฮกซะโกนอล (ที่มา : ดร.ณิ , 2536)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างเฟอร์ไรต์แบบแรเอิร์ทการ์เนท (ที่มา : ดร.ณิ , 2536)

2.4.2 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเฟอร์ไรต์

การเกิดสารประกอบเฟอร์ไรต์ สารประกอบเฟอร์ไรต์ที่เป็นผลพลอยได้จากการกำจัดโลหะหนักจะเกิดได้เมื่อผสม Fe^{2+} กับ M^{2+} เข้าด้วยกัน จากนั้นปรับค่าความเป็นกรด-เบสแล้วทำการออกซิไดซ์ต่อด้วยอากาศภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสม (ค่าความเป็นกรด-เบสและอุณหภูมิ) จะเกิดการรวมตัวเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งเป็นตะกอนเฟอร์ไรต์ดังขั้นตอนแสดงการเกิด

Hayashi (1975) ได้กล่าวถึงกลไกการเกิดสารประกอบเฟอร์ไรต์ ที่คาดว่าน่าจะเป็นไปได้ โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน ดังนี้

เมื่อผสมเบสในสารผสม Fe^{2+} และ M^{2+} ในสารละลายก็จะปรากฏตะกอนสีฟ้าปนขาวซึ่งเป็นพวกอนเฟอโรแมกเนติก ในสารละลายนี้ไฮดรอกไซด์คอมเพล็กซ์ (hydroso complex) ของ M^{2+} และ Fe^{2+} จะถูกละลายได้ในบางส่วนโดยเกิดปฏิกิริยาดังนี้

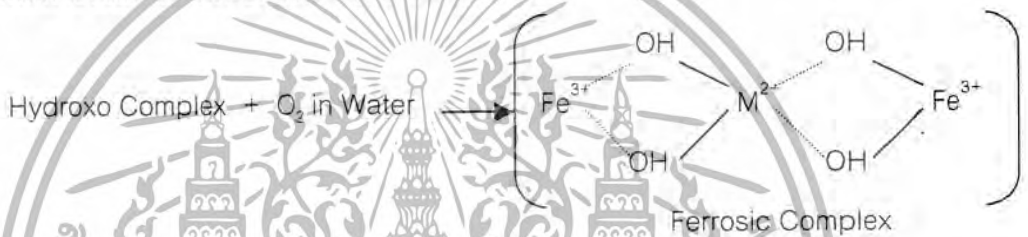
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



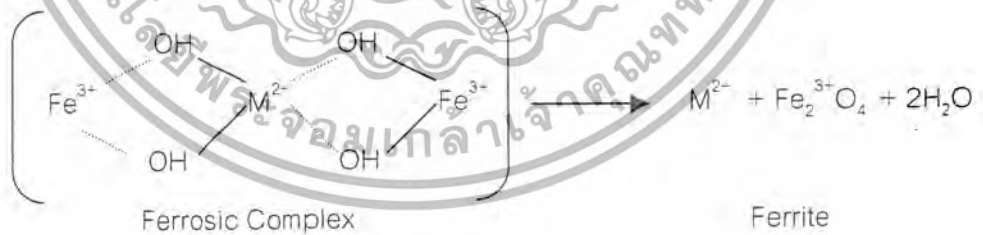
ส่วนของตะกอนนี้จะประกอบด้วยผลึกของสารที่มีโครงสร้างเหมือนกับโครงสร้างเหมือนกับโครงสร้างของ CdI_2 ได้แก่ MO (เช่น Zn และ CuO) ละลายอยู่ใน Solid solution ของ Fe(OH)_2 หรือ M(OH)_2 ละลายอยู่ใน Solid solution ของ Fe(OH)_2 หรือ M(OH)_2

เมื่อผ่านอากาศซึ่งมีก๊าซออกซิเจนผสมอยู่ลงไปในสารละลายซึ่งมี M^{2+} และ Fe^{2+} ไฮดรอกไซด์คอมเพล็กซ์ ออกซิเจนจะละลายในสารละลาย

เมื่อออกซิเจนละลายในน้ำแล้วจะทำปฏิกิริยากับไฮดรอกไซด์คอมเพล็กซ์ ภายใต้อุณหภูมิที่เหมาะสมก็จะเกิดเฟอร์ริคคอมเพล็กซ์



ต่อจากนั้นเฟอร์ริคคอมเพล็กซ์ ก็จะถูกพอลิเมอร์ไรซ์ (Polymerized) ต่อด้วยเบสเกิดเป็นสารประกอบเฟอร์ไรท์



สำหรับกลไกที่เกิดขึ้นนี้สามารถอธิบายพอสังเขปได้ว่า

เมื่อผลม Fe^{2+} กับโลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กซึ่งเป็นไดวาเลนต์ M^{2+} ในสารละลายภายหลังจากที่ใส่เบสปริมาณพอเหมาะ จะเกิดสารผสมไฮดรอกไซด์ซึ่งมีสี่เหลี่ยม ดังสมการต่อไปนี้



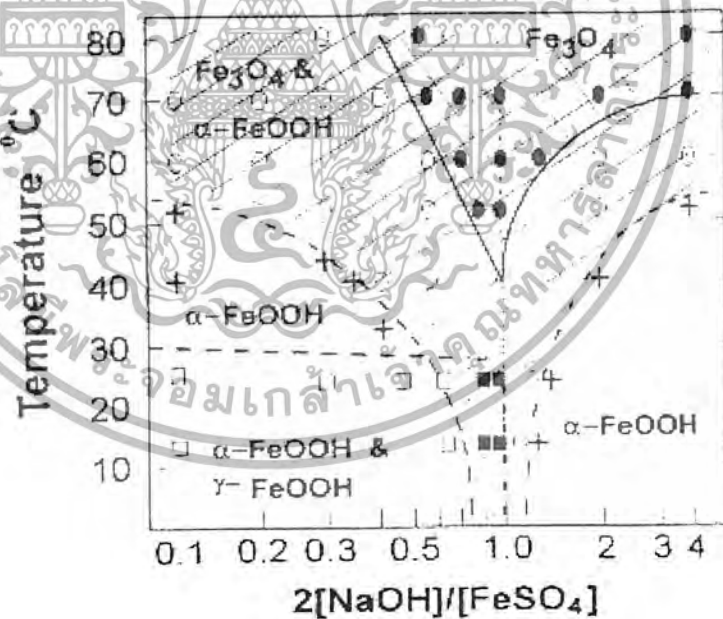
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อออกซิไดส์ต่อด้วยอากาศ ภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสม จะเกิดสารประกอบสีดำ มีลักษณะ เป็นตะกอนหนัก และถูกดูดด้วยอำนาจแม่เหล็กได้ เรียกว่าเฟอร์ไรท์



ปัจจัยในการเกิดกระบวนการเฟอร์ไรท์

- อุณหภูมิสำหรับการออกซิเดชัน
- อัตราส่วนอากาศ
- เศษส่วนโมล (R) ของอัลคาไลน์ต่อเกลือเฟอร์รัส
- ค่าพีเอช



รูปที่ 2.10 แสดงสภาวะในการเกิดเฟอร์ไรท์

(ที่มา : Wang,Xu และ Finch ,1996)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป Black Fe_3O_4 กับ ferromagnetism จะเกิดขึ้นในบริเวณที่มีวงกลมสีดำโดยสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการเกิดเฟอร์ไรท์คือ

$$R = 1$$

$$pH = 9 - 10$$

$$T = 65 - 70 \text{ องศาเซลเซียส}$$

เฟอร์ไรท์จะประกอบด้วยไอออนของโลหะหนักที่รวมตัวกันขึ้นภายใต้สภาวะเดียวกันนี้ ส่วนในบริเวณอื่นนั้นเกิดออกไซด์ไฮดรอกไซด์ที่มีสีเหลืองและน้ำตาลกับสารประกอบของเหล็กที่ไม่มีสมบัติแม่เหล็กซึ่งเป็นผลพลอยได้ที่เกิดขึ้น

กระบวนการเฟอร์ไรท์นั้นสามารถบำบัดโลหะหนักที่เป็นพิษในน้ำเสียได้หลายชนิด ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงไอออนโลหะที่สามารถสร้างเฟอร์ไรท์ได้

วาเลนซ์	ไอออนโลหะ
I	Li Cu Ag
II	Mg Ca Mn Fe Co Ni Cu Zn Cd Sn
III	Al Ti V Cr Mn Fe Ga Rh In Sb
IV	Ti V Mn Ge Sn Mo W
V	V As Sb
VI	Mo W Cr

(ที่มา : Korenega และคณะ, 1994)

อย่างไรก็ตามไม่สามารถกำจัดปรอทได้โดยกระบวนการเฟอร์ไรท์

การจำแนกประเภทน้ำเสีย

น้ำเสียจากห้องปฏิบัติการจากมหาวิทยาลัยไม่ได้มีเฉพาะโลหะหนักเท่านั้น จำเป็นต้องทำการบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะกำจัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์

การที่น้ำเสียมีคุณสมบัติแตกต่างกัน การปล่อยน้ำเสียทั้งหมดกันจะเกิดความยุ่งยากในการบำบัด ดังนั้นใการกำจัดน้ำเสียจึงจำเป็นต้องแยกน้ำเสียออกเป็นหมวดหมู่ตามแหล่งที่ปล่อยน้ำเสียออกมาโดยมีแนวทางการจำแนกประเภทของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการในมหาวิทยาลัยจัดเป็น

หมวดหมู่ดังตารางที่ 2.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์หรือการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.2 แสดงการจำแนกน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสำหรับกระบวนการเฟอร์ไรท์

ประเภท	Object	หมายเหตุ
1. พรอท	พรอทอนินทรีย์และพรอทอินทรีย์	ยกเว้นโลหะพรอท อะมัลกัม
2. ไชยาไนต์	Free cyanide	ยกเว้นไชยาไนต์อินทรีย์ สารเชิงซ้อน
3. ฟลูออไรด์	ฟลูออไรด์	
4. ฟอสเฟต	ฟอสเฟต	
5. โลหะหนัก	โลหะหนักและของผสมกรดโครมิก	ยกเว้นสารประกอบที่เป็นอันตรายต่อมนุษย์
6. กรด	HCl H ₂ SO ₄ HNO ₃ และอื่น ๆ	ไม่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ
7. เบส	NaOH K ₂ CO ₃	ไม่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ

(ที่มา : Korenega และคณะ, 1994)

2.4.3 การดำเนินการของกระบวนการเฟอร์ไรท์

1. การเตรียมการ การกำจัดน้ำเสียโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์หลังจากการนำพรอทไชยาไนต์ ฟลูออไรด์ และฟอสเฟตออกก่อนจะทำให้ได้ง่าย ก่อนการกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์จำเป็นต้องมีการทดสอบอย่างระมัดระวัง เพื่อไม่ให้เกิดเฟอร์ไรท์ที่คุณภาพไม่ดีขึ้นภายใต้สภาวะเดียวกันจึงต้องจัดการกับน้ำเสียดังนี้ คือ

- 1.1 เติม KMnO₄ หรือ FeSO₄ ปริมาณมาก
- 1.2 ทำการผสมที่อัตราส่วนของสารที่ปรับทวนกับปฏิกิริยาเฟอร์ไรท์น้อย ๆ
- 1.3 กำจัดสารรบกวน
- 1.4 การเพิ่มอุณหภูมิและพีเอชของปฏิกิริยาเฟอร์ไรท์

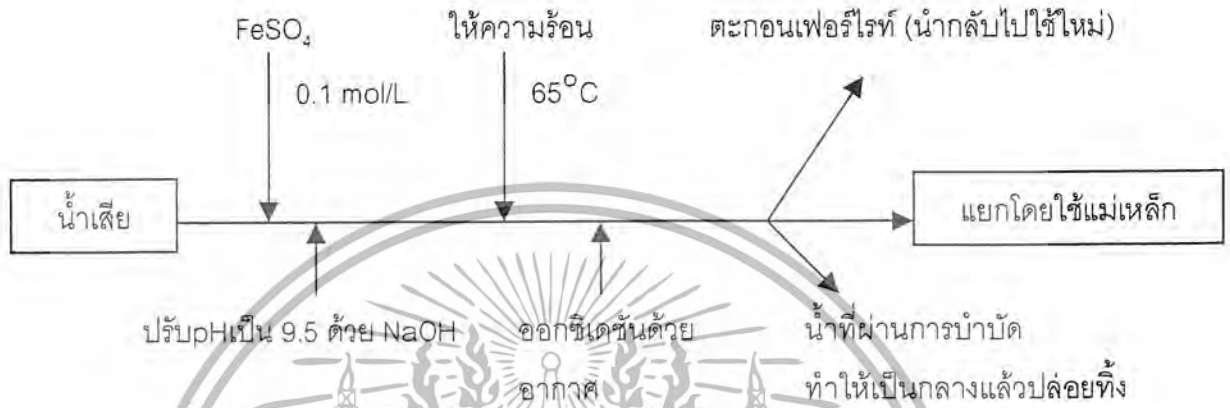
2. ปฏิกิริยาเฟอร์ไรท์ เตรียมน้ำเสียให้มีพีเอช 9.5 – 10.5 โดยเติมโซเดียมไฮดรอกไซด์ หลังจากนั้นน้ำเสียจะถูกออกซิไดซ์ด้วยออกซิเจนในอากาศที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียสเกิดเฟอร์ริสไฮดรอกไซด์ขึ้นตลอดเวลา มีอนุภาคของเฟอร์ไรท์ตกตะกอนระหว่างช่วงเวลา 2 ชั่วโมง

3. การแยกด้วยแม่เหล็ก ใช้แม่เหล็กแยกตะกอนเฟอร์ไรท์ออกจาก ferrite slurry ตะกอนที่ได้มีน้ำประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ เมื่อนำตะกอนไปรีดด้วยเครื่อง filter press และใช้พอลิเมอร์ช่วยจะมีน้ำเหลือประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์

4. ขั้นตอนสุดท้าย หลังจากใช้แม่เหล็กแยกตะกอนเฟอร์ไรท์ออกแล้ว น้ำเสียที่ผ่านการบำบัดจะถูกปรับพีเอชให้เป็น 7 ด้วยกรดซัลฟิวริก แล้วนำไปวิเคราะห์ทางเคมี ถ้าอยู่ในระดับที่ปลอดภัยสามารถปล่อยน้ำทิ้งได้ ถ้าผลไม่ดีต้องนำน้ำไปบำบัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์อีกครั้ง ถ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์การใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิได้อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบเฉพาะปรอทจะใช้ chelate resin หรือ active carbon กำจัดออกแล้วปล่อยทิ้งได้ถ้าอยู่ในระดับที่ปลอดภัย



รูปที่ 2.11 แสดงแผนภาพการกำจัดโดยกระบวนการเฟอร์ไรท์ (ที่มา : Korenega และคณะ, 1994)

2.4.4 คุณลักษณะเด่นของกระบวนการเฟอร์ไรท์

กระบวนการเฟอร์ไรท์ได้ถูกนำไปใช้ในการกำจัดโลหะหนัก ที่มีน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมและห้องปฏิบัติการวิจัยหลายๆ แห่ง เนื่องจากกระบวนการนี้มีลักษณะที่ดีกว่าวิธีอื่น ๆ ดังนี้

1. สามารถกำจัดโลหะหนักที่ปนกันอยู่หลายชนิดในน้ำเสียได้พร้อม ๆ กัน
2. สามารถลดปริมาณโลหะหนักลงได้มาก กล่าวคือมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดโลหะหนัก
3. ตะกอนเฟอร์ไรท์ที่ได้จะมีสีดำ มีน้ำหนักสูงและไม่ละลายน้ำ สามารถกรองแยกจากสารละลายได้ง่าย และแยกออกจากสารละลายได้ง่ายด้วยเครื่องแยกแบบแม่เหล็ก (Magnetic Separator)
4. ของแข็งที่แขวนลอย (suspend solid) สามารถจะถูกกำจัดออกได้ด้วยในขณะเดียวกันกับการกำจัดโลหะหนัก
5. สาร FeSO₄·7H₂O ที่ใช้กำจัดโลหะหนักในกระบวนการเฟอร์ไรท์เป็นสารที่มีราคาถูก และเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตเหล็กและชุบโลหะด้วยไฟฟ้า
6. ตะกอนเฟอร์ไรท์ที่ได้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้อีก โดยอาจใช้เป็นวัสดุดูดซับ

กลิ่นไม่พึงประสงค์หรือวัสดุที่ใช้ในการสื่อสาร เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 แสดงข้อดีของกระบวนการเฟอร์ไรท์

	ลักษณะเด่น	โดยทั่วไป
ปฏิกิริยา	เกิดปฏิกิริยาโดยไม่ต้องรีดิวส์ Cr^{6-}	เป็นการตกตะกอนร่วมพร้อมกับการรีดิวส์ด้วย $FeSO_4$
การแยก	แยกตะกอนออกด้วยแม่เหล็ก	ตะกอนเป็นสารแม่เหล็ก
ตะกอน	จัดการโดยการถมที่และการนำกลับมาใช้ประโยชน์ในหลายๆ ด้าน	ได้ออกไซด์ที่เป็นของแข็งเสถียรมีความถ่วงจำเพาะ ความเป็นแม่เหล็ก การดูดซึม ความคงทน

(ที่มา : Korenega และคณะ,1994)

กระบวนการเฟอร์ไรท์เป็นกระบวนการที่มีข้อดีหลายประการแต่ก็ไม่สมบูรณ์แบบโดยมีข้อเสียหลายประการดังแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 แสดงข้อเสียของกระบวนการเฟอร์ไรท์และวิธีการแก้ไข

ข้อเสีย	วิธีแก้ไข
น้ำเสียที่ยากสำหรับการจัดการด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์	
- ปรอท ไชยาไนต์ ฟลูออไรด์ และฟอสเฟต	- ใช้ chelate resin $NaOCl$ หรือ $CaCl_2$ จัดการน้ำเสียก่อนกระบวนการเฟอร์ไรท์
- โลหะอินทรีย์ สารอินทรีย์แข็งข้อน และสารประกอบอินทรีย์ที่มีความเข้มข้นสูง	- ดักจับโลหะหนักโดยการล้าง นำไปเผาไหม้ได้ก๊าซออกมา
กระบวนการกำจัด	
- ใช้เป็นสารสำหรับการกำจัด	- เป็นของเสียหรือวัสดุราคาถูกจากอุตสาหกรรมการทำเหมือง
- การให้ความร้อนแก่ปฏิกิริยา	- เพิ่ม boiler ตัวเล็ก

(ที่มา : Korenega และคณะ,1994)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของกระบวนการเฟอร์ไรท์นี้จะลดลงเล็กน้อย เมื่อสารประกอบอินทรีย์ไม่ละลายน้ำบางชนิดรวมอยู่ด้วย เช่น Methylisobutylketone (MIBK) มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป หรือ Organic Carboxylic หรือ Alkly Amine แต่สารประกอบอินทรีย์ที่ละลายน้ำบางชนิดก็ไม่มีผลเลย เช่น เอทานอล ถึงแม้จะมีความเข้มข้นถึง 10 เปอร์เซ็นต์ก็ตาม

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kiyama (1978) ได้ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบเฟอร์ไรท์โดยการทดลองผสมโลหะหนักที่เป็นไดวาเลนต์กับเกลือเฟอร์รัสซัลเฟต โลหะหนักดังกล่าวได้แก่ แมงกานีส แมกนีเซียม และโคบอลต์ โดยผสมเกลือเฟอร์รัสซัลเฟตและเกลือแมงกานีสซัลเฟตกับโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้ค่าพีเอช 9 - 10 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส พบว่าโครงสร้างของสารประกอบเฟอร์ไรท์ที่ได้เป็นแบบสไปเนล อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กอีกด้วย นอกจากนี้ยังทำการทดลองใช้กระบวนการเฟอร์ไรท์กับเกลือแมงกานีสซัลเฟต และจากผลการทดลองนี้ยังสรุปต่อไปได้ว่า เงื่อนไขการเกิดสารเฟอร์ไรท์แมกเนติกเป็นเงื่อนไขเดียวกับการเกิดสารแมกเนไตต์

Kondo และ Suzuki (1986) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีปรอทโดยใช้กระบวนการเฟอร์ไรท์ โดยใช้การพ่นอากาศที่ พีเอช 10 - 12 ในการศึกษาครั้งนี้ใช้เฟอร์รัสซัลเฟต 0.05 โมลใสน้ำเสียที่มี ปรอท 14.9 ส่วนในล้านส่วน ปริมาตร 1 ลิตร การสร้างเฟอร์ไรท์เกิดขึ้นที่ พีเอช 12 อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราการพ่นอากาศ 0.5 ลิตร/นาที หลังสิ้นสุดปฏิกิริยานำส่วนใสไปตรวจหาปรอทพบว่ามีปรอทอยู่ 3.7 ppb ถ้าเติม 1 มิลลิกรัม/ลิตรของกรดแอสคอบิก พบว่าส่วนมีปรอทอยู่ 0.29 ppb

Sano และ Nakama (1986) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วยโลหะหนักโดยใช้เกลือเฟอร์รัสที่มีสัดส่วน 2 - 100 เท่า เมื่อเทียบกับโมลโลหะหนักทุกตัวในน้ำเสียใช้สารละลายต่างปรับให้ได้ พีเอช 8 - 12 ทำการออกซิไดซ์เฟอร์รัสออกไซด์ ๆ จะได้ตะกอนแม่เหล็ก ในการศึกษาครั้งนี้ใช้น้ำเสีย 2 ลิตร ที่มี Cu^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} อย่างละ 50 ppm ผสมกับ FeSO_4 0.2 โมล ปรับพีเอชให้เท่ากับ 10 ทำการกวน 4 ชั่วโมง พร้อมกับเติมออกซิเจนในอัตรา 17 มิลลิลิตร/นาที ทำการแยกตะกอนเฟอร์ไรท์ออกมาและนำส่วนใสไปวิเคราะห์หาโลหะหนักพบ ทองแดง 0.05, สังกะสี 0.03, ตะกั่ว 0.1 ppm

Tamura, Katsura และคณะ (1991) ศึกษาการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ สามารถอธิบายกระบวนการเฟอร์ไรท์ได้ดังนี้ ออกซิไดซ์โลหะหนักถูกจับอยู่ที่โครงสร้างผลึกรูปร่างสไปเนล ในขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน Fe (II) การเกิดเฟอร์ไรท์มี 2 วิธีคือ วิธีที่หนึ่งเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะกอนสีเขียว (pH 10.5 – 11) กระบวนการเฟอร์ไรท์เหมาะในการบำบัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ น้ำเสียจากการชุบโลหะ, น้ำชะล้างเหมืองแร่ กากตะกอนเฟอร์ไรท์ที่ได้มีความเป็นแม่เหล็กสูง สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในเชิงวัสดุศาสตร์

Tamura, Tu และคณะ (1991) ศึกษาความเสถียรของ Fe_3O_4 ที่เคลือบบนอิออนโลหะหนัก ในกระบวนการเฟอร์ไรท์ ปฏิกิริยาการเกิดเฟอร์ไรท์ในสารละลายเกิดจากการจับอิออนโลหะหนัก และการออกซิไดส์อิออนเหล็ก(II) ที่อยู่รอบ ๆ อิออนโลหะหนัก การเกิดปฏิกิริยาสามารถแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ

1. การเติมสารละลายเหล็กลงในน้ำเสีย
2. การเป่าอากาศเพื่อให้เกิดออกซิเดชัน ได้สารประกอบ Fe_3O_4 เคลือบอยู่บนอิออนโลหะหนัก

วิธีการนี้สามารถบำบัดน้ำเสียที่ประกอบด้วย อิออนฟลูออไรด์ หรือดินที่มีอิออน แคลเซียมหลังบำบัดแล้วได้เฟอร์ไรท์ที่เสถียรมาก เนื่องจากในสภาพธรรมชาติไม่สามารถชะล้างอิออนโลหะหนักออกมาจากตะกอนเฟอร์ไรท์

Mandaokar, Dharmadhikari และ Dara (1994) ได้ศึกษาการนำไอออนของโลหะหนัก กลับจากสารละลายด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์และการประยุกต์ใช้กระบวนการเฟอร์ไรท์ในการบำบัดน้ำเสีย โดยสภาพที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการเฟอร์ไรท์ของไอออนโลหะหนักในสารละลายขึ้นอยู่กับค่าพีเอช, ความเข้มข้นของ Fe^{2+} , อัตราและเวลาในการพ่นอากาศและอุณหภูมิ โดยทำการควบคุมการพ่นอากาศและปริมาณเฟอร์รัสไอออนที่พีเอช 9.5 – 10.5 และอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส จนกระทั่งได้ตะกอนเฟอร์ไรท์ที่มีลักษณะเป็นแท่งสีดำและมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กแยกออกจากสารละลาย โลหะเฟอร์ไรท์สามารถเกิดขึ้นได้แม้ว่าจะไม่มีการให้ความร้อนและอากาศโดยการผสมโลหะไฮดรอกไซด์ให้ตกตะกอนที่ พีเอช 10 – 11 ซึ่งต้องใช้เวลานาน ในการทดลองในห้องปฏิบัติการได้ทำการสังเคราะห์สารละลายที่มีไอออนของโลหะหนักเช่นเดียวกับน้ำเสียจากโรงงานฟอกหนังและพบว่ามีประสิทธิภาพการบำบัดไอออนของโลหะหนักได้ในระดับ sub-ppm นอกจากนี้โลหะเฟอร์ไรท์ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางการค้าได้ โดยใช้เป็นตัวดูดซับคลื่นไมโครเวฟ, ตะตะลิสต์ และกำจัดโลหะได้อีกด้วย

Wang W., Xu Z. และ Finch J. (1996) ได้ศึกษาทำการศึกษากการบำบัดน้ำทิ้งจากเหมืองแร่ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ที่อุณหภูมิห้อง โดยจากการศึกษาด้วยเครื่อง X-ray diffractionพบว่าสามารถเกิดเฟอร์ไรท์แบบสไปเนลขึ้นได้ที่อุณหภูมิห้องและพีเอช 9 – 10 โดยมีอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมของ $Fe^{3+} : Fe^{2+}$ เป็น 1.75 และจากการศึกษาพบว่า Zn^{2+} และ Cu^{2+} ไม่มีผลต่อคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางแม่เหล็กของตะกอนเฟอร์ไรท์ แต่ความเสถียรของตะกอนจะลดลงเมื่อความเข้มข้นของ Cu^{2+} เพิ่มขึ้น

Barrado และคณะ (1998) ได้นำวิธีการเฟอร์ไรท์มาประยุกต์ใช้ในการสร้าง medium scale reactor สำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักปนอยู่โดยประสิทธิภาพของเครื่องขึ้นอยู่กับ การควบคุมสภาวะต่าง ๆ ให้เหมาะสมโดยควบคุมค่าพีเอชเป็น 10 และควบคุมอัตราส่วนโดยโมล ของเฟอร์รัสไอออนต่อไอออนของโลหะเป็น 15 และพบว่าตะกอนเฟอร์ไรท์ที่ได้มีความเป็นแม่เหล็ก สูงสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานต่าง ๆ ได้อย่างหลากหลาย และมีการใช้ EDTA ในการศึกษา ปัจจัยที่รบกวนการเกิดกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยให้อุณหภูมิ , อัตราการพ่นอากาศและอัตราการ บั่นกวนพอประมาณ พบว่าเมื่อ EDTA มีความเข้มข้นสูงกว่า 10^{-3} M EDTA จะไปบดบังโลหะทำให้ ประสิทธิภาพการบำบัดลดลงต่ำกว่า 99% แต่ภายใต้สภาวะที่เหมาะสมที่เวลา 1 ชั่วโมง , อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราการให้อากาศ 30 ลิตรต่อนาที และอัตราการบั่นกวน 560 รอบต่อนาทีและ ความเข้มข้นของ EDTA ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ที่ไปบดบังโลหะต่ำกว่า 10^{-3} M ประสิทธิภาพการกำจัด จะเป็น 99.9% และตะกอนเฟอร์ไรท์มีความเสถียรทางเคมีโดยมีค่าความเป็นแม่เหล็ก เท่ากับ 83.60

ทิพวรรณ (2540) ศึกษาสภาวะในการกำจัดโลหะหนักซึ่งได้แก่ ตะกั่ว แคดเมียม และ โครเมียม ในน้ำทิ้งด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ การทดลองจะแสดงถึงสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด ประสิทธิภาพการกำจัดและการยืนยันความเป็นแม่เหล็กของตะกอนเฟอร์ไรท์ พบว่าสภาวะที่ เหมาะสมตะกั่วในน้ำเสียสังเคราะห์ คือ พีเอช 9 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสม ในการกำจัดแคดเมียมคือพีเอช 9 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัด โครเมียมคือพีเอช 10 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และโครเมียม พร้อมกันที่ พีเอช 9 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส มีประสิทธิภาพการกำจัด ถึง 99.87%, 99.97% และ 100% ตามลำดับ ส่วนตะกอนที่ได้จากกระบวนการกำจัดโลหะโดยวิธีนี้ ได้สารประกอบหลัก คือ แมกนีไทต์เมื่อนำสภาวะที่หาได้จากน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้นมา ทดลองกับน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมี พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดตะกั่ว แคดเมียม และ โครเมียมอยู่ในช่วง 96.51 – 99.65 % , 97.32 – 99.10% และ 100% ตามลำดับ

Demirel, Yenigun และ Bekbolet (1999) ได้ศึกษาความสามารถในการประยุกต์ใช้ กระบวนการเฟอร์ไรท์ในการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรม โดยเริ่มทำการทดลองกับสารละลายน้ำเสีย ที่สังเคราะห์ขึ้น โดยแบ่งการศึกษาออกเป็นสารละลายที่ประกอบด้วยโลหะไอออนบวกเชิงเดี่ยว (Cu^{2+} , Ni^{2+} และ Zn^{2+}) , สารละลายที่ประกอบด้วยคู่โลหะ (Cu^{2+} กับ Ni^{2+} , Cu^{2+} กับ Zn^{2+} และ Ni^{2+}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับ Zn^{2+}) และสารละลายที่ประกอบด้วยโลหะสามชนิด(Cu^{2+} ร่วมกับ Ni^{2+} และ Zn^{2+}) จากผลการทดลองที่ได้สำหรับสารละลายที่ประกอบด้วยโลหะไอออนบวกเชิงเดี่ยวทำให้ทราบว่า ค่าพีเอชจะมีความสำคัญมากที่สุดต่อการกำจัดโลหะออกซึ่งจะมากกว่าอัตราการให้อากาศและอุณหภูมิ สำหรับสารละลายคู่โลหะให้ผลการทดลองคือ นอกจากพีเอชแล้วอัตราส่วนของไอออนบวกของโลหะหนักต่อ Fe^{2+} มีความสำคัญต่อการกำจัดโลหะออกด้วยเช่นกันและสารละลายโลหะสามชนิดโดยเมื่ออัตราส่วนโดยโมลเป็นดังนี้คือ $Cu^{2+} : Fe^{2+} = 1:4$, $Ni^{2+} : Fe^{2+} = 1:9$ และ $Zn^{2+} : Fe^{2+} = 1:10$ ให้ผลการทดลองคือ ภาวะที่เหมาะสมที่สุดคือที่พีเอช 11 , ระดับอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส , อัตราการให้อากาศ 1000 มิลลิลิตรต่อนาที และเวลาในการให้อากาศ 2 ชั่วโมง

จันทพร,สายสุณี และสิรินันท์ (2545) ได้ศึกษาการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการที่มีโครเมียมและตะกั่วเป็นองค์ประกอบเข้มข้น 2,330 และ 46 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ โดยวิธีตกชั้น-ฟิสิกส์เตชันและกระบวนการเพอร์ไรท์ ปริมาณสารเคมีที่ใช้รีดิวซ์โครเมียม(VI)เป็นโครเมียม(III) คือ 2.5 และ 1.0 เทาทางทฤษฎีสำหรับเพอร์ริสซัลเฟตและโซเดียมเมตาไบซัลไฟด์ตามลำดับ พบว่าการรีดิวซ์และตกตะกอนที่ให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุด คือ ใช้เพอร์ริสซัลเฟตและโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่พีเอช 8.5 โดยสามารถลดปริมาณโครเมียมและตะกั่วในน้ำทิ้งเหลือ 0.027 และ 0.041 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ สำหรับการบำบัดด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ให้ผลการบำบัดที่ดีที่สุดที่อัตราส่วนโมล $Cr/FeSO_4 \cdot 7H_2O$ เป็น 1:9 เวลาพ่นอากาศ 60 นาที ปริมาณโครเมียมและตะกั่วที่เหลือเป็น 0.031 และ 0.121 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ ผลการบำบัดทุกกระบวนการผ่านมาตรฐานน้ำทิ้งและมีประสิทธิภาพการบำบัดมากกว่าร้อยละ 99

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การดำเนินงานวิจัย

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

1. เฟอรัสซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท UNILAB REAGENT
2. โคบอลต์ไนเตรท ($\text{Co}(\text{NO}_3)_2$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
3. โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
4. กรดไนตริกเข้มข้น (conc. HNO_3) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
5. กรดซัลฟิวริกเข้มข้น ($\text{conc. H}_2\text{SO}_4$) เกรดวิเคราะห์ บริษัท FISHER CHEMICALS
6. เอทิลีนไดเอมีน เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT
7. โซเดียมคลอไรด์ (NaCl) เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
8. แอมโมเนียไฮดรอกไซด์ (NH_3OH) เกรดวิเคราะห์ บริษัท LAB SCAN
9. ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) เกรดวิเคราะห์ บริษัท CARLO ERBA REAGENT

3.2 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1. กระจกตวง (measuring cylinder)
2. กระจกทรงเบอร์ 42 และกระจกทรงโยแก้ว ยี่ห้อ WHAT MAN
3. ขวดโพลีโพรพิลีน
4. ขวดวัดปริมาตร (volumetric flask)
5. เครื่องวัดพีเอช (pH meter) บริษัท Denver รุ่น 215 pH Meter
6. เครื่องวัดการนำไฟฟ้า (conduct meter) รุ่น LF 320 Best – Nr 300243 บริษัท WTW
7. เครื่องดูดสูญญากาศ (vacuum pump)
8. เครื่องชั่งสารแบบละเอียด ยี่ห้อ SWISS QUALITY รุ่น PRECISA 205A
9. เครื่องวัดการดูดกลืนแสงของอะตอม บริษัท Shimudzu รุ่น 760
10. เครื่องฟั่นอากาศให้อากาศในอัตรา 1000 มิลลิลิตรต่อนาที
11. ถังระเหย (evaporating bar)
12. บีกเกอร์ (beaker)
13. ชุดกรองบุชเนอร์ (buchner filter)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. เตาไฟฟ้า (hot plate)
15. เทอร์มิเตอร์ (thermometer)
16. ปิเปต (pipette)

3.3 การดำเนินการทดลอง

3.3.1 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

3.3.1.1 น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมโดยใส่โคบอลต์ในเตรทประมาณ 0.31 กรัมลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วยกรดซัลฟิวริกหรือไนตริกจะ ได้สารละลายโคบอลต์ในเตรทนำไปวิเคราะห์หาความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่อง AAS ก่อนบำบัด

3.3.1.2 น้ำทิ้งจากการทดลองเรื่อง การเตรียมซีส-ทรานส์ไอโซเมอร์ของสารประกอบเชิงซ้อน จากห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 4 ตึกเรียนรวมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3.3.2 แผนการทดลอง

3.3.2.1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียสังเคราะห์

3.3.2.1.1 ศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสม

ใส่น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร

เติมเฟอร์รัสซัลเฟตในอัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9 และ 1:10 ตามลำดับ

ปรับ pH เป็น 10 ด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 6 M

ให้อากาศเป็นเวลา 30 นาทีโดยควบคุมอุณหภูมิเป็น 70 °C

ทิ้งให้ตกตะกอน แล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

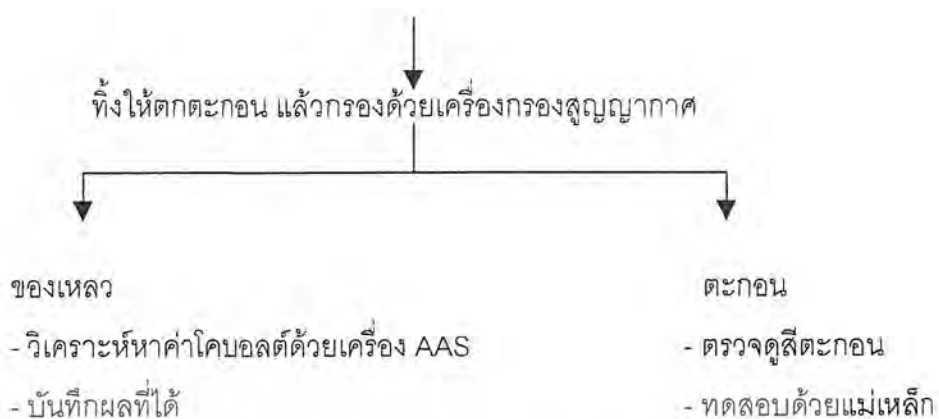
ของเหลว

- วิเคราะห์หาค่าโคบอลต์ด้วยเครื่อง AAS
- บันทึกผลที่ได้

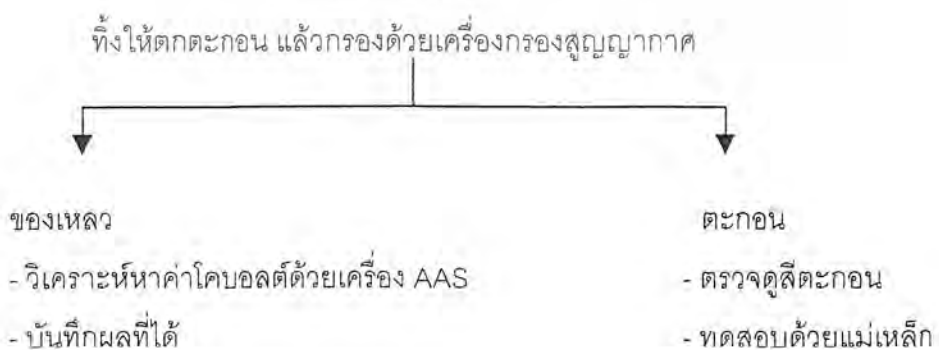
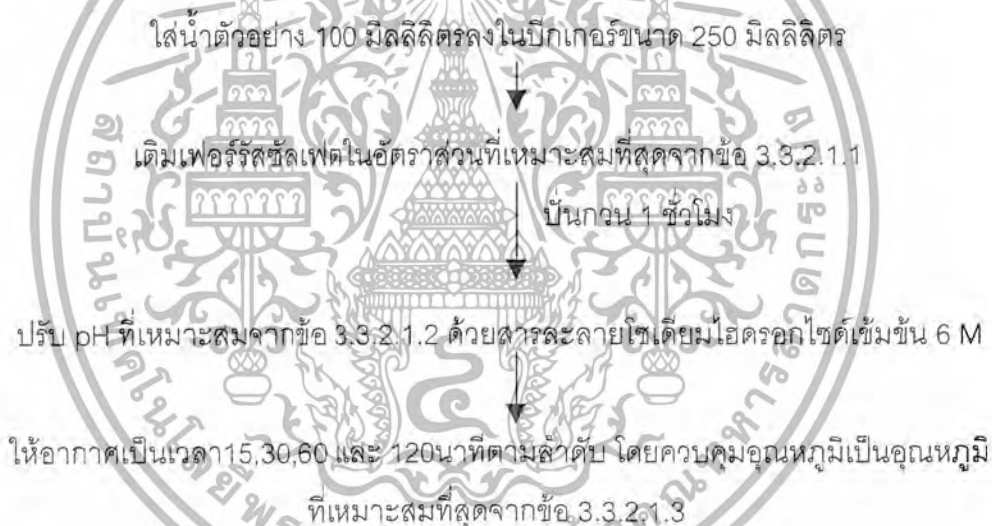
ตะกอน

- ตรวจสอบสีตะกอน
- ทดสอบด้วยแม่เหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



3.3.2.1.3 ศึกษาเวลาในการฟุ้งอากาศที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอริไรท์ของโคบอลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.2 ศึกษาผลของสารบางชนิดต่อการเกิดเฟอริไรท์ของโคบอลต์



* ทดลองเช่นเดียวกันแต่เปลี่ยนจากเอทิลีนไดเอมีนเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์และโซเดียมคลอไรด์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3 ทดลองการกำจัดโคบอลต์ในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์

3.3.2.3.1 ทดลองการกำจัดโคบอลต์ในน้ำทิ้งห้องปฏิบัติการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2.3.2 ทดสอบการกำจัดสารบรอนโดยการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นคะตะลิสต์ (H_2O_2/Fe^{2+})

ใส่น้ำตัวอย่าง 100 มิลลิลิตรลงในบีกเกอร์ขนาด 250 มิลลิลิตร



เติม $FeSO_4$ ความเข้มข้น 0.1 โมลต่อลิตร และ H_2O_2 ความเข้มข้น 5 โมลต่อลิตร

ในอัตราส่วนโดยปริมาตรดังนี้ 0.5:20, 0.5:40, 0.5:60, 1:20, 1:40, 1:60,

2:20, 2:40 และ 2:60

ทิ้งไว้ประมาณ 1 คืน

บำบัดด้วยกระบวนการเพอร์โรทโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมจากข้อ 3.2.2.1

ทิ้งให้ตกตะกอน แล้วกรองด้วยเครื่องกรองสุญญากาศ

- | | |
|---|--|
| <p>ของเหลว</p> <ul style="list-style-type: none"> - วิเคราะห์ค่าโคบอลต์ด้วยเครื่อง AAS - บันทึกผลที่ได้ | <p>ตะกอน</p> <ul style="list-style-type: none"> - ตรวจสอบดูสีตะกอน - ทดสอบด้วยแม่เหล็ก |
|---|--|

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 การสำรวจและรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น

4.1.1 แหล่งที่มาของน้ำเสียที่ใช้ในการทดลอง

4.1.1.1 น้ำเสียสังเคราะห์เตรียมโดยใส่โคบอลต์ในเตรทประมาณ 0.31 กรัมลงในน้ำกลั่น ปรับปริมาตรให้เป็น 1,000 มิลลิลิตร แล้วปรับพีเอชให้น้อยกว่า 2 ด้วยกรดซัลฟิวริก หรือไนตริกจะได้สารละลายโคบอลต์ในเตรท

4.1.1.2 น้ำทิ้งจากการทดลองเรื่อง การเตรียมซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ของสารประกอบเชิงซ้อน จากห้องปฏิบัติการเคมีชั้น 4 ศึกษารวมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4.2 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียสังเคราะห์ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์

4.2.1 ศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่เหมาะสม การศึกษาอัตราส่วนโดยโมลที่เหมาะสมในการกำจัดโคบอลต์ โดยทำการแปรค่าอัตราส่วนโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตเป็น 1:1, 1:2, 1:3, 1:4, 1:5, 1:6, 1:7, 1:8, 1:9 และ 1:10 ตามลำดับ โดยเติมเฟอร์รัสซัลเฟตอัตราส่วนต่าง ๆ ในน้ำเสียสังเคราะห์ นำไปปรับพีเอชให้เป็น 10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปรับอุณหภูมิน้ำเสียเป็น 70 องศาเซลเซียส จากนั้นนำไปพ่นอากาศเป็นเวลา 30 นาที ทิ้งให้ตกตะกอนแล้วกรองด้วยเครื่องกรองสูญญากาศโดยใช้กระดาษกรองใยแก้ว นำส่วนใสไปวิเคราะห์หาปริมาณโคบอลต์ที่เหลือ และบันทึกลักษณะตะกอนที่ได้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1

จากผลการทดลองที่ได้พบว่าตะกอนที่ได้จากการทดลองมีสีดำและมีคุณสมบัติเป็นแม่เหล็กแสดงให้เห็นว่าสามารถเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะโคบอลต์ได้ในทุกอัตราส่วน และมีประสิทธิภาพในการกำจัดมากกว่าร้อยละ 99 ในทุกอัตราส่วน แต่อัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตที่ 1:1, 1:2 และ 1:3 สามารถกำจัดโคบอลต์ได้มากที่สุดโดยเหลือ 0.161 มิลลิกรัมต่อลิตรเท่ากัน คิดเป็นประสิทธิภาพในการกำจัดได้ร้อยละ 99.90 ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วน 1:1 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการกำจัดโคบอลต์เนื่องจากใช้เฟอร์รัสซัลเฟตในปริมาณที่น้อยกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์ริสซัลเฟตที่เหมาะสมในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

อัตราส่วน โคบอลต์ : เฟอร์ริสซัลเฟต	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการ กำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็น แม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
1:1	154	0.161	99.90	ดำ	✓
1:2	154	0.161	99.90	ดำ	✓
1:3	154	0.161	99.90	ดำ	✓
1:4	154	0.197	99.87	ดำ	✓
1:5	154	0.262	99.83	ดำ	✓
1:6	154	0.276	99.82	ดำ	✓
1:7	154	0.284	99.82	ดำ	✓
1:8	154	0.413	99.73	ดำ	✓
1:9	154	0.370	99.76	ดำ	✓
1:10	154	0.413	99.73	ดำ	✓

4.2.2 ศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

การศึกษาค่าพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการหาอัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์ริสซัลเฟตที่เหมาะสม โดยใช้อัตราส่วนโคบอลต์ต่อเฟอร์ริสซัลเฟตเป็น 1:1 และแปรค่าพีเอชเป็น 9,10,11 และ 12 ตามลำดับได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

พีเอช	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการกำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็นแม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
9	197	4.985	97.47	ดำ	✓
10	197	2.019	98.98	ดำ	✓
11	197	0.572	99.71	ดำ	✓
12	197	0.550	99.72	ดำ	✓

จากตารางที่ 4.2 พบว่าที่พีเอช 9, 10, 11 และ 12 สามารถเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ได้และเมื่อค่าพีเอชเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพการกำจัดจะเพิ่มขึ้น โดยที่พีเอช 9 สามารถลดความเข้มข้นของโคบอลต์ได้เหลือ 4.985 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 97.47 อาจเป็นผลเนื่องมาจากเศษส่วนโมลของอัลคาไลน์ต่อเกลือเฟอร์รัสที่มีค่าประมาณ 0.01 ซึ่งเมื่อเทียบกับรูปที่ 2.10 พบว่าเป็นช่วงที่ไม่สามารถเกิดเฟอร์ไรท์ได้ดี และลดความเข้มข้นของโคบอลต์ลงต่ำสุดเหลือ 0.550 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.72 เมื่อพีเอชเป็น 12 แต่ที่พีเอช 11 ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือเป็น 0.572 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดร้อยละ 99.71 ซึ่งไม่แตกต่างจากประสิทธิภาพการกำจัดที่พีเอช 12 ดังนั้นจึงเลือกพีเอช 11 เป็นพีเอชที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ซึ่งที่พีเอช 11 นี้มีเศษส่วนโมลของอัลคาไลน์ต่อเกลือเฟอร์รัสเท่ากับ 1.0 ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์

4.2.3 ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

การศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยปรับพีเอชให้เป็น 11 และแปรค่าอุณหภูมิเป็น 50, 55, 60, 65 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 แสดงผลที่ได้จากการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการ กำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็น แม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
50	96	0.341	99.64	ดำ	✓
55	96	0.500	99.48	ดำ	✓
60	96	0.449	99.53	ดำ	✓
65	96	0.651	99.32	ดำ	✓
70	96	0.773	99.19	ดำ	✓

จากตารางที่ 4.3 พบว่าที่ทุกอุณหภูมิโคบอลต์สามารถเกิดเฟอร์ไรท์ได้ โดยจะมีประสิทธิภาพการกำจัดสูงสุดเมื่ออุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียสคือมีความเข้มข้นของโคบอลต์เหลือ 0.341 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.64 โดยเมื่ออุณหภูมิเป็น 70 องศาเซลเซียสมีความเข้มข้นของโคบอลต์เหลือ 0.773 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.19 ซึ่งมีประสิทธิภาพไม่แตกต่างกันดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์เป็น 50 องศาเซลเซียส

4.2.4 ศึกษาเวลาในการพ่นอากาศที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

การศึกษาเวลาในการพ่นอากาศที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยทำการทดลองเช่นเดียวกับการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยให้ความร้อนแก่น้ำเสียสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และแปรค่าเวลาในการพ่นอากาศเป็น 15,30,60 และ 120 นาทีตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.4 แสดงผลของเวลาในการพ่นอากาศต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการ กำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็น แม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
15	96	0.111	99.88	ดำ	✓
30	96	0.104	99.89	ดำ	✓
60	96	0.255	99.73	ดำ	✓
120	96	0.262	99.73	ดำ	✓

จากตารางที่ 4.4 พบว่าสามารถเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ได้ดีในทุกเวลาที่ทำการทดลอง ที่เวลาในการพ่นอากาศเป็น 15,30,60 และ 120 นาที มีประสิทธิภาพการกำจัดสูงไม่แตกต่างกัน โดยเวลาที่ 15 และ 30 นาทีสามารถกำจัดโคบอลต์ได้เหลือ 0.111 มก./ล.และ 0.104 มก./ล.ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.88 และ 99.89 ตามลำดับ และที่เวลา 60 และ 120 นาทีสามารถกำจัดโคบอลต์ได้ลดลงคือเหลือโคบอลต์เข้มข้น 0.255 มก./ล. และ 0.262 มก./ล.ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้เท่ากันคือร้อยละ 99.73 ดังนั้นเวลาในการพ่นอากาศที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์คือ 15 นาทีเนื่องจากใช้เวลาน้อยกว่า

จากการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์พบว่าสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์มีดังนี้คือ อัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์ริซัลเฟตเป็น 1:1 , มีค่าพีเอชเป็น 11, ให้อุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส และพ่นอากาศเป็นเวลา 30 นาที

4.3 การศึกษาผลของสารบางชนิดต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

4.3.1 ผลของเอทิลีนไดเอมีนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

ศึกษาผลของเอทิลีนไดเอมีนที่มีต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดคืออัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์ริซัลเฟตเป็น 1:1 , มีค่าพีเอชเป็น 11 , ให้อุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส และพ่นอากาศเป็นเวลา 30 นาที และเติมเอทิลีนไดเอมีนให้มีความเข้มข้น 5×10^{-4} , 5×10^{-3} และ 5×10^{-2} โมลต่อลิตรตามลำดับ ได้ผลดังตารางที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.5 แสดงผลของเอทิลีนไดเอมีนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

เอทิลีนไดเอมีน (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการ กำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็น แม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
0.0005	154	3.754	97.56	ดำ	✓
0.0050	154	9.665	93.72	ดำ	✓
0.0500	154	16.288	89.42	น้ำตาล	เล็กน้อย

จากตารางที่ 4.5 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเมื่อความเข้มข้นของเอทิลีนไดเอมีนมากขึ้นโดยเมื่อเอทิลีนไดเอมีนมีความเข้มข้น 5×10^{-4} โมลต่อลิตรพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลงเล็กน้อยคือเหลือโคบอลต์เข้มข้น 3.754 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 97.56 และเมื่อเอทิลีนไดเอมีนมีความเข้มข้น 5×10^{-2} โมลต่อลิตรพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดลดลงต่ำกว่าร้อยละ 99 คือเหลือโคบอลต์เข้มข้น 16.288 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 89.42 ซึ่งอาจเป็นผลเนื่องจากเอทิลีนไดเอมีนนั้นสามารถรวมกับไอออนของโคบอลต์ซึ่งเป็นธาตุทรานซิชันเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมาขัดขวางกระบวนการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยเอทิลีนไดเอมีนนั้นเป็นลิแกนด์ชนิดไบเดนเทตลิแกนด์ซึ่งในหนึ่งโมเลกุลจะประกอบด้วยอะตอมของไนโตรเจนสองอะตอมจึงมีความเสถียรมากเมื่ออยู่ในรูปสารประกอบเชิงซ้อน (พรทิพย์, 2539)

4.3.2 ผลของแอมโมเนียต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

การศึกษาผลของแอมโมเนียต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ทำได้เช่นเดียวกับการศึกษาผลของเอทิลีนไดเอมีนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์แต่เปลี่ยนจากเอทิลีนไดเอมีนเป็นแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลของแอมโมเนียต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

แอมโมเนีย (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการ กำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็น แม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
0.0005	111	0.492	99.56	ดำ	✓
0.0050	111	0.334	99.70	ดำ	✓
0.0500	111	0.399	99.64	ดำ	✓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.6 พบว่าแอมโมเนียไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ แม้จะเพิ่มความเข้มข้นของแอมโมเนียเป็น 5×10^{-2} โมลต่อลิตรแล้วก็ตาม ประสิทธิภาพการบำบัดยังคงมากกว่าร้อยละ 99 เนื่องจากแอมโมเนียนั้นถึงแม้จะสามารถเกิดพันธะกับธาตุทรานซิชันได้สารประกอบเชิงซ้อนเช่นเดียวกับเอทิลีนไดเอมีนแต่เนื่องจากแอมโมเนียเป็นเพียงโมโนเดนเทตลิแกนด์ เมื่อเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโคบอลต์จึงมีความเสถียรน้อยกว่าเอทิลีนไดเอมีนมาก จึงไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยแอมโมเนียที่มีความเข้มข้น 5×10^{-4} , 5×10^{-3} และ 5×10^{-2} โมลต่อลิตร สามารถกำจัดโคบอลต์ได้เหลือความเข้มข้น 0.492, 0.334 และ 0.339 มก./ล.ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.56, 99.70 และ 99.64 ตามลำดับ

4.3.3 ผลของคลอไรด์ไอออนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

การศึกษาผลของคลอไรด์ไอออนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ทำได้เช่นเดียวกับการศึกษาผลของแอมโมเนียต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์แต่เปลี่ยนจากเดิมแอมโมเนียมไฮดรอกไซด์เป็นโซเดียมคลอไรด์แทน ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 แสดงผลของคลอไรด์ไอออนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

คลอไรด์ไอออน (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพในการ กำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็น แม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
0.0005	111	0.672	99.39	ดำ	✓
0.0050	111	0.586	99.47	ดำ	✓
0.0500	111	0.428	99.61	ดำ	✓

จากตารางที่ 4.7 พบว่าคลอไรด์ไอออนไม่มีผลต่อประสิทธิภาพการกำจัดเช่นเดียวกับแอมโมเนีย โดยประสิทธิภาพการบำบัดยังคงมากกว่าร้อยละ 99 แม้จะเพิ่มความเข้มข้นของคลอไรด์ไอออนขึ้นก็ตาม เนื่องจากคลอไรด์ไอออนก็เป็นลิแกนด์ชนิดโมโนเดนเทตลิแกนด์เช่นเดียวกับแอมโมเนียจึงไม่ส่งผลกระทบต่อการศึกษาเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ โดยคลอไรด์ไอออนที่มีความเข้มข้น 5×10^{-4} , 5×10^{-3} และ 5×10^{-2} โมลต่อลิตร สามารถกำจัดโคบอลต์ได้เหลือความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้มข้น 0.672 , 0.586 และ 0.428 มก./ล.ตามลำดับ คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.39 , 99.47 และ 99.61 ตามลำดับ

4.4 ทดลองการกำจัดโคบอลต์ในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการเคมีด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์

4.4.1 ศึกษาลักษณะน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

ทำการศึกษาลักษณะน้ำเสียโดยนำน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีที่มีโคบอลต์(II) เป็นองค์ประกอบมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังนี้

4.4.1.1 ค่าพีเอช (pH)

ค่าพีเอชของน้ำเสียเท่ากับ 8.54

4.4.1.2 ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของน้ำเสียเท่ากับ 24.1 มิลลิซีเมนส์ต่อเซนติเมตร

4.4.1.3 ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำ (Total Dissolve Solids;TDS)

ปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมดเท่ากับ 1,412.4 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

4.4.1.4 ค่าความเข้มข้นของโคบอลต์ในรูปละลายน้ำ

ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 2,458 มิลลิกรัมต่อลิตร

4.4.2 ทดลองกำจัดโคบอลต์จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการ

ทำการทดลองโดยใช้สภาวะที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์คืออัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเพอร์ไรท์เฟดเป็น 1:1 , มีค่าพีเอชเป็น 11 , ให้อุณหภูมิเป็น 50 องศาเซลเซียส และพ่นอากาศเป็นเวลา 30 นาที ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการกำจัดโคบอลต์จากน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ

ครั้งที่	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิภาพการ กำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็น แม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
1	2458	1758	28.47	น้ำตาล	เล็กน้อย
2	2458	2006.5	18.36	น้ำตาล	เล็กน้อย
3	2458	2049.5	16.61	น้ำตาล	เล็กน้อย
เฉลี่ย	2458	1938	21.15		

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.8 พบว่าประสิทธิภาพการกำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีมีค่าต่ำมากคือเหลือความเข้มข้นของโคบอลต์ 1,938 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 21.15 เนื่องจากในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมีเรื่อง การเตรียม ซิส-ทรานส์ไอโซเมอร์ของสารประกอบเชิงซ้อนซึ่งมีองค์ประกอบของเอทิลีนไดเอมีนรวมอยู่ด้วยทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียรกับโคบอลต์จึงส่งผลกระทบต่อการศึกษาของเอทิลีนไดเอมีนต่อการศึกษาของโคบอลต์ดังที่ได้แสดงไว้ในการศึกษาผลของเอทิลีนไดเอมีนต่อการศึกษาของโคบอลต์

4.4.3 ทดสอบการกำจัดสารรบกวนโดยการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นคะตะลิสต์ (H_2O_2/Fe^{2+})

เนื่องจากเมื่อนำสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ที่ได้จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์มาทดลองกับน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการพบว่า ประสิทธิภาพการบำบัดต่ำมากเนื่องจากในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการมีเอทิลีนไดเอมีนรวมอยู่ด้วย ซึ่งเมื่อไปรวมกับโคบอลต์ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียรขึ้น จึงส่งผลกระทบต่อการศึกษาของโคบอลต์ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง ดังนั้นจึงทำการทดลองกำจัดสารรบกวนโดยการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นรีเอเจนต์ (H_2O_2/Fe^{2+}) เพื่อแยกให้โคบอลต์(II)ไอออนกลายเป็นอะตอมอิสระเพื่อง่ายต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ โดยเติมอัตราส่วนโดยปริมาตรของเฟอร์รัสซัลเฟตต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 0.5:20, 0.5:40, 0.5:60, 1:20, 1:40, 1:60, 2:20, 2:40 และ 2:60 ตามลำดับ ก่อนนำไปกำจัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ในสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ได้ผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 4.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการกำจัดสารบวมนโดยการออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์โดยใช้เฟอร์รัสซัลเฟตเป็นคะตะลิสต์

อัตราส่วนเฟอร์รัสซัลเฟตต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์	ความเข้มข้นของโคบอลต์ (มก./ล.)		ประสิทธิผลการกำจัด (ร้อยละ)	สีตะกอน	ความเป็นแม่เหล็ก
	เริ่มต้น	สุดท้าย			
0.5:20	1536.25	968	36.99	น้ำตาล	เล็กน้อย
0.5:40	1536.25	1097	28.59	น้ำตาล	เล็กน้อย
0.5:60	1536.25	1140	25.79	น้ำตาล	เล็กน้อย
1:20	1536.25	773	49.68	น้ำตาล	เล็กน้อย
1:40	1536.25	1011	34.19	น้ำตาล	เล็กน้อย
1:60	1536.25	1032	32.82	น้ำตาล	เล็กน้อย
2:20	1536.25	1227	20.13	น้ำตาล	เล็กน้อย
2:40	1536.25	968	36.99	น้ำตาล	เล็กน้อย
2:60	1536.25	1119	27.16	น้ำตาล	เล็กน้อย

จากตารางที่ 4.9 พบว่าการนำน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการไปออกซิไดส์ก่อนบำบัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ที่สภาวะที่เหมาะสมที่สุดนั้นช่วยให้ประสิทธิผลการบำบัดเพิ่มขึ้นได้มากที่สุดที่อัตราส่วน 1:20 โดยลดความเข้มข้นของโคบอลต์ลงเหลือ 773 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิผลการกำจัดได้ร้อยละ 49.68 โดยเพิ่มจากเดิมคือร้อยละ 21.15 ประมาณ 2 เท่า แต่กระบวนการเฟอร์ไรท์ยังคงมีประสิทธิภาพไม่เพียงพอต่อการนำมากำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่มีเอทิลีนไดเอมีนปนอยู่ เนื่องจากเอทิลีนไดเอมีนในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการสามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะโคบอลต์และเป็นลิแกนด์ชนิดไบเดนเทตลิแกนด์ซึ่งเมื่อจับกับโลหะหนักแล้วจะมีความเสถียรสูง ดังนั้นถึงแม้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์จะเป็นตัวออกซิไดซ์ที่แรงมากแต่ก็ไม่สามารถออกซิไดซ์เอทิลีนไดเอมีนให้หมดไปได้

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาการกำจัดโคบอลต์จากน้ำเสียด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์ โดยทำการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะโคบอลต์ โดยทำการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์และแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟต , ค่าพีเอช , อุณหภูมิ และเวลาในการพ่นอากาศ จากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ในการแปรค่าอัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์รัสซัลเฟตเป็น 1:1,1:2,1:3,1:4,1:5, 1:6,1:7,1:8,1:9 และ 1:10 พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือ 1:1 โดยสามารถลดความเข้มข้นของโลหะโคบอลต์ลงจาก 154 มก./ล.เหลือ 0.161 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้ร้อยละ 99.90 ในการแปรค่าพีเอชของน้ำเสียเป็น 9,10,11 และ 12 พบว่าพีเอชที่เหมาะสมที่สุดคือ 11 โดยสามารถลดความเข้มข้นของโคบอลต์ลงจาก 197 มก./ล.เหลือ 0.572 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.71 ในการแปรค่าอุณหภูมิที่ให้กับน้ำเสียเป็น 50,55,60,65 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดคือ 50 องศาเซลเซียส โดยสามารถลดความเข้มข้นของโคบอลต์ลงจาก 96 มก./ล. เหลือ 0.341 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.64 ในการแปรค่าเวลาในการพ่นอากาศเป็น 15,30,60 และ 120 นาที พบว่าเวลาที่เหมาะสมที่สุดคือ 15 นาที โดยสามารถลดความเข้มข้นของโคบอลต์ลงจาก 96 มก./ล. เหลือ 0.111 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 99.88

การศึกษามลของสารบางชนิดต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ได้แก่เอทิลีนไดเอมีน, แอมโมเนียและคลอไรด์ไอออน ซึ่งเป็นสารที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโคบอลต์ (II) ไอออนได้ โดยพบว่าเอทิลีนไดเอมีนที่มีความเข้มข้นเพิ่มขึ้นสามารถรบกวนการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ได้มากขึ้น โดยเมื่อให้เอทิลีนไดเอมีนมีความเข้มข้นในระดับ 10^{-2} โมลต่อลิตรทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลงต่ำกว่าร้อยละ 90 ในขณะที่แอมโมเนียและคลอไรด์ไอออนไม่ส่งผลต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์แม้จะเพิ่มความเข้มข้นในระดับ 10^{-2} โมลต่อลิตรก็ตาม

การทดลองกำจัดโคบอลต์จากน้ำเสียห้องปฏิบัติการโดยใช้สภาวะที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองกับน้ำเสียสังเคราะห์พบว่าสามารถลดความเข้มข้นของโคบอลต์ลงจาก 2,458 มก./ล. เหลือ 1,938 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการกำจัดได้ร้อยละ 21.15 ซึ่งมีค่าต่ำมากเนื่องจากในน้ำ

เสียจากห้องปฏิบัติการมีเอทิลีนไดเอมีนเป็นองค์ประกอบทำให้รวมตัวกับโคบอลต์ (II) ไอออนเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่มีความเสถียรมาก จึงรบกวนการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์ทำให้ประสิทธิภาพการกำจัดลดลง ดังนั้นจึงได้ทดลองนำไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์มาออกซิไดซ์น้ำเสียก่อนนำไปบำบัดด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์โดยใช้เฟอร์ริซัลเฟตเป็นคะตะลิสต์ พบว่าที่อัตราส่วนโดยปริมาตรของเฟอร์ริซัลเฟตต่อไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็น 1:20 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการกำจัดได้มากที่สุดคือลดความเข้มข้นของโคบอลต์ลงจาก 1,536.25 มก./ล. เหลือ 773 มก./ล. คิดเป็นประสิทธิภาพการบำบัดได้ร้อยละ 49.68 เพิ่มขึ้นจากเดิมประมาณ 2 เท่าแต่ประสิทธิภาพก็ยังคงต่ำมาก ดังนั้นในการใช้กระบวนการเฟอร์ไรท์เพื่อกำจัดโคบอลต์ในน้ำเสียจึงควรหลีกเลี่ยงน้ำเสียที่มีเอทิลีนไดเอมีนหรือสารอื่นที่สามารถเกิดสารประกอบเชิงซ้อนที่เสถียรกับโคบอลต์ได้เป็นองค์ประกอบ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการเตรียมน้ำเสียสังเคราะห์ควรอบโคบอลต์ในเตาทกก่อนซึ่ง เนื่องจากโคบอลต์ในเตาทกมีความชื้นค่อนข้างสูง
2. ควรมีการศึกษาดลองนำน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการที่บำบัดแล้วมาบำบัดซ้ำด้วยวิธีการเดิมใหม่อีกครั้ง
3. ควรมีการศึกษานำกระบวนการเฟอร์ไรท์ไปใช้ในการบำบัดโลหะหลาย ๆ ชนิดรวมกันโดยสร้างเป็นถังปฏิกรณ์
4. ควรมีการศึกษ้อัตราในการพ่นอากาศและอัตราการปั่นกวนที่เหมาะสมในการบำบัดโลหะหนักด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์
5. ควรมีการศึกษาให้ละเอียดถึงผลของสารบางชนิดที่รบกวนการเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะหนักทุกชนิด โดยเฉพาะสารพวกที่สามารถเกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อนกับโลหะหนักได้เช่นพวกไบเดนเตตลิแกนด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

- กุลยา จงศิริลักษณ์. 2529. การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียโดยกระบวนการเพอร์ไรท์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ดรุณี รัตนสุบรรณ. 2530. ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมและนิกเกิลในน้ำเสียด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จริยาภรณ์ เสรีวิสุทธิพงศ์ และเจนจิรา เตชาบุญญะ. 2541. การศึกษาการเกิดสารประกอบเชิงซ้อนระหว่างโคบอลต์และสังกะสีกับกลุ่มสารประกอบที่มีไพริดอกซิลเป็นแกน. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- จันทพร สุนทรเลิศวิณิช, สายสุนีย์ จัรัส และศิริพันธ์ กันศิริ. 2545. การกำจัดโครเมียมและตะกั่วจากน้ำเสียห้องปฏิบัติการ โดยวิธีรีดักชัน-พรีซิพีเตชัน และกระบวนการเพอร์ไรท์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ประไพรัตน์ ผ่องแผ้ว และสมฤทัย วุฒิจาวโรดม. 2538. การกำจัดโลหะหนักในน้ำทิ้งจากห้องปฏิบัติการด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- ทิพวรรณ เจริญจิรัฎฐ์ และยลสรอง อานันธิโก. 2540. การศึกษาเทคนิคการกำจัดโลหะหนักจากน้ำเทียมที่เตรียมขึ้นโดยกระบวนการเพอร์ไรท์. ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พรพรรณ เกียรติบุตร และอัฐกร นภาเกียรติสกุล. 2540. การดูดซับโคบอลต์ไอออนในน้ำเสียโดยซีโอไลต์เอ. ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- พรทิพย์ ศัพทอนันต์. 2539. ปฏิบัติการเคมีทั่วไป. พิมพ์ครั้งที่ 3. โครงการตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 118-124.
- ยุพา ตันทวี. 2547. การควบคุมมลพิษทางน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 1. โครงการตำรา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. หน้า 178-184.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม (ต่อ)

- Barrado E.,Prieto F.,Vega M. and Fernandez-Polanco F. 1998. Optimization of the operational variables of a medium-scale reactor for metal-containing wastewater purification by ferrite formation. *Wat. Res.* 32(10):3055-3061.
- Demirel B.,Yenigun O. and Benkbolet M. 1999. Removal of Cu,Ni and Zn from wastewaters by the ferrite process. *Environmental technology.* 20:963-970.
- Hayashi S. 1975. Heavy metal treatment by ferritization. *Chemical Economy & Engineering Review.* 7(5):332-336.
- Kiyama M. 1973. Condition of the formation of Fe_3O_4 by the air oxidation of $Fe(OH)_2$ suspension. *Bull. Of The Chemical Society of Japan.*47(7):1946-1950.
- Kondo M.and Suzuki A. 1986. Ferrite formation and reduction mercury-containing wastewater. *Chemical Abstracts.* 104(No.55757 H.)
- Korenega T.,Tsukube H.,Shinoda S. and Nakamura I. 1994. *Hazardous waste control in research and education.*CRC Press, pp. 266-274.
- Mandaokar S.S.,Dharmadhikari D.M. and Dara S.S. 1994. Retrieval of heavy metal ions from solution via ferritisation. *Environmental pollution.* 83 : 277-282.
- Sano M. and Nakama H. 1986. Treatment of wastewater containing heavy metals. *Chemical Abstracts.* 104 (No.23805 H.)
- Tamura Y., Kutsura T. and Rojarayanont S. 1991. Ferrites process;Heavy metal ions treatment system. *Water Science Technology.* 23 : 1893-1900.
- Tamura Y.,Tu P.Q.and Rojarayanont S. 1991. Stabilization of hazardous materials into ferrites *Water Science Technology.* 23 : 399-404.
- Wang W.,Xu Z. and Finch J.1996.Fundamental study of an ambient temperature ferrite process in the treatment if acid mine drainage.*Environ.Sci.Tech.* 30:2604-2608.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

การตรวจสอบลักษณะน้ำทิ้งทางเคมี

1. พีเอช (pH)

หลักการหาค่าพีเอชด้วยมาตรฐานพีเอชโดยทั่วไป

1. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างแท่งอิเล็กโทรดให้สะอาด ใช้กระดาษเนื้อละเอียดซับน้ำให้แห้ง
2. ปรับเครื่องมือให้ได้ค่ามาตรฐานตามคำแนะนำในคู่มือของเครื่องมือ นั้น ๆ โดยจุ่มอิเล็กโทรดลงในสารละลายมาตรฐานที่มีค่าพีเอชใกล้เคียงกับค่าของตัวอย่างน้ำที่จะวัด
3. ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างอิเล็กโทรดอีกครั้ง ซับน้ำให้แห้ง
4. วัดค่าพีเอชของตัวอย่างน้ำ (ตัวอย่างน้ำที่จะนำมาหาค่าต้องมีอุณหภูมิใกล้เคียงหรือเท่ากับอุณหภูมิของสารละลายมาตรฐานในข้อ 2)

หมายเหตุ รายละเอียดนอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วนี้หาอ่านได้จากคู่มือประจำเครื่อง

2. สภาพนำไฟฟ้าจำเพาะ(Conductivity,K)สภาพนำไฟฟ้า(Conductance,G)

1. หาค่าคงที่ของเซลล์ (cell constant)

ล้างเซลล์การนำไฟฟ้าด้วยสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลต่อลูกบาศก์ เดซิเมตรอย่างน้อยสองครั้ง ปรับอุณหภูมิของเครื่องให้เท่ากับอุณหภูมิของสารละลายที่อุณหภูมิไม่ต่างกว่า ± 0.1 องศาเซลเซียส วัดความต้านทานของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ และจดอุณหภูมิไว้

$$C = \frac{0.001413R_{KCl}}{1 + 0.0200(t-25)}$$

เมื่อ	C	=	ค่าคงที่ของเซลล์มีหน่วยเป็น ซม. ⁻¹ ที่ t องศาเซลเซียส
	R	=	ความต้านทานของสารละลายโพแทสเซียมคลอไรด์ 0.01 โมลต่อลูกบาศก์ เดซิเมตรที่วัดได้มีหน่วยเป็นโอห์ม
	t	=	อุณหภูมิของสารละลายเป็นองศาเซลเซียส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. วัดความนำไฟฟ้าจำเพาะ

ล้างเซลล์ 1 – 2 ครั้ง ด้วยตัวอย่างน้ำที่จะหาค่า ปรับอุณหภูมิสุดท้ายของตัวอย่างน้ำให้เท่ากับอุณหภูมิของสารละลาย (25 ± 0.1 องศาเซลเซียส) ให้มีอุณหภูมิไม่ต่างกว่า 0.1 องศาเซลเซียส วัดความต้านทานของตัวอย่างและจุดอุณหภูมิไว้

$$G = \frac{1,000,000C}{R[1 + 0.0200(t-25)]}$$

เมื่อ G = การนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นไมโครซีเมนส์ต่อเซนติเมตร
 C = ความคงที่ของเซลล์ที่หามาได้จากข้อ 1
 R = ความต้านทานของตัวอย่างน้ำที่วัดได้ มีหน่วยเป็นโอห์ม
 t = อุณหภูมิเป็นองศาเซลเซียส

ในกรณีที่เครื่องมือวัดได้แต่ค่าการนำไฟฟ้า (Conductance, G) เมื่อจะคำนวณหาค่าการนำไฟฟ้าจำเพาะให้แทนค่า R ด้วย $\frac{1}{\text{ค่าการนำไฟฟ้า}}$ ซึ่งค่าการนำไฟฟ้ามีหน่วยเป็นซีเมนส์-ซม.

3. ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมดหรือทีดีเอส (Total Dissolved Solids, TDS)

1. กรองของแข็งที่สามารถกรองได้ออกทิ้ง หรือใช้น้ำส่วนที่ได้จากการกรอง (filtrate) ที่เหลือจากการหาปริมาณของแข็งแขวนลอย
2. ชั่งจานระเหยที่นำไปอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นลงในโถทำแห้งมาแล้ว จนได้น้ำหนักคงที่ สมมติเป็น A มิลลิกรัม
3. ตวงน้ำส่วนที่ได้จากการกรอง 20 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ปริมาตรของตัวอย่างน้ำขึ้นอยู่กับขนาดของจานระเหย) ใส่ในจานระเหย
4. นำไปตั้งบนเครื่องอังน้ำ ให้น้ำระเหยจนแห้ง
5. นำจานระเหยที่แห้งไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 103 – 105 องศาเซลเซียส อบจนแห้ง 1 ชั่วโมง
6. ปล่อยให้เย็นในโถทำแห้งจนถึงอุณหภูมิห้อง
7. ชั่งจานระเหยทันทีที่เย็นเท่าอุณหภูมิห้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8. ทำซ้ำในข้อ 5,6,7 อีกครั้ง จนซึ่งจนระเหยได้น้ำหนักคงที่หรือน้ำหนักเปลี่ยนแปลงน้อยกว่าร้อยละ 4 สมมติว่าเป็น B มิลลิกรัม

การคำนวณ

$$\text{ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมดหรือ ทีดีเอส มก./ลบ.คม.} = \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B - A) X 1,000}}{\text{ลบ.ทม.ตัวอย่างน้ำ}}$$



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

การเตรียมสารละลายมาตรฐานในการวัดความเข้มข้นด้วยเครื่อง Atomic Adsorption Spectroscopy (AAS)

อุปกรณ์และสารเคมี

1. สารละลายมาตรฐานโคบอลต์เข้มข้น 1,000 ppm
2. น้ำปราศจากไอออน
3. ขวดวัดปริมาตร 50 และ 100 ml
4. บีกเกอร์
5. ปิเปต 5, 10 และ 25 ml

วิธีการเตรียม

1. ปิเปตสารละลายมาตรฐานเข้มข้น 1,000 ppm จำนวน 1 ml เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดปริมาตร 100 ml จะได้สารละลายมาตรฐานโคบอลต์เข้มข้น 10 ppm
2. เตรียมสารละลายมาตรฐานโคบอลต์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm โดยปิเปตสารละลายมาตรฐานโคบอลต์เข้มข้น 10 ppm จำนวน 1, 2, 3, 4 และ 5 ml ตามลำดับ เจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนในขวดวัดปริมาตรขนาด 50 ml
3. เก็บสารละลายมาตรฐานโคบอลต์เข้มข้น 0.2, 0.4, 0.6, 0.8 และ 1.0 ppm ใส่ในขวดพลาสติกเพื่อใช้เป็นสารละลายมาตรฐานในการวัดความเข้มข้นที่แน่นอนด้วยเครื่อง AAS

ภาคผนวก ค

การคำนวณปริมาณเฟอร์ริลซัลเฟตที่ใช้ในการทดลอง



จากสมการ

$$\text{น้ำหนักของ } \text{Co}^{2+} : \text{น้ำหนักของ } \text{Fe}^{2+} = y \text{ กรัม} : x \text{ กรัม}$$

$$\text{โมลของ } \text{Co}^{2+} : 2\text{โมลของ } \text{Fe}^{2+} = \frac{y \text{ กรัม}}{58.93 \text{ กรัม/โมล}} : \frac{2x \text{ กรัม}}{278.02 \text{ กรัม/โมล}}$$

$$\therefore \text{อัตราส่วนโดยโมลของ } \text{Co}^{2+} : \text{Fe}^{2+} = \frac{y/58.93}{2x/278.02}$$

เมื่อ $y =$ น้ำหนักของ Co^{2+} หาได้จากความเข้มข้นของโคบอลต์ในน้ำเสีย $x =$ น้ำหนักของเฟอร์ริลซัลเฟตที่ต้องการ

ภาคผนวก ง
ผลที่ได้จากการวิเคราะห์น้ำเสียห้องปฏิบัติการเคมี
ที่มีโคบอลต์เป็นองค์ประกอบ

1. ค่าพีเอช (pH)

ครั้งที่	พีเอช(pH)
1	8.54
2	8.54
3	8.54
	8.54

2. ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (Conductivity)

ครั้งที่	ค่าสภาพการนำไฟฟ้า (ms/cm)
1	24.1
2	24.1
3	24.1
	24.1

3. ค่าปริมาณของแข็งที่ละลายน้ำได้ (Total Dissolve Solids;TDS)

ครั้งที่	น้ำหนักของจวนระเหย (mg)		
	ก่อนชั่ง	หลังชั่ง	น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น
1	47,465.4	50,259.8	2,794.4
2	39,191.0	41,999.2	2,808.2
3	61,275.1	64,146.7	2,871.6
			2,824.7

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
 \text{ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด (mg/dm}^3\text{)} &= \frac{\text{น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (B-A)} \times 1000}{\text{ลูกบาศก์เซนติเมตรตัวอย่างน้ำเสีย}} \\
 &= \frac{2,824.7 \times 1000}{200} \\
 \text{ปริมาณของแข็งละลายทั้งหมด} &= 1,412.4 \text{ mg/dm}^3
 \end{aligned}$$

4. ค่าปริมาณความเข้มข้นของโคบอลต์ในรูปละลายน้ำ

ครั้งที่	ความเข้มข้น (mg/L)
1	2,285
2	2,479
3	2,609
	2,458

ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่วัดได้มีค่าเท่ากับ 2,458 มิลลิกรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ
 ผลที่ได้จากการทดลองการกำจัดโคบอลต์
 ด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์

1. กราฟมาตรฐานของโลหะโคบอลต์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโลหะโคบอลต์

2.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนโดยโมลของโคบอลต์ต่อเฟอร์ริสซัลเฟตที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

อัตราส่วน โคบอลต์ : เฟอร์ริสซัลเฟต	ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือ(มก./ล.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
1:01	0.147	0.125	0.212	0.161
1:02	0.125	0.168	0.190	0.161
1:03	0.147	0.147	0.190	0.161
1:04	0.168	0.190	0.233	0.197
1:05	0.276	0.233	0.276	0.262
1:06	0.255	0.298	0.276	0.276
1:07	0.255	0.298	0.298	0.284
1:08	0.406	0.428	0.406	0.413
1:09	0.341	0.384	0.384	0.370
1:10	0.406	0.406	0.428	0.413

2.2 ผลการศึกษาพีเอชที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

พีเอช	ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือ(มก./ล.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
9	4.359	4.769	5.827	4.985
10	2.998	1.140	1.918	2.019
11	0.536	0.557	0.622	0.572
12	0.536	0.536	0.579	0.550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ผลการศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือ(มก./ล.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
50	0.341	0.320	0.363	0.341
55	0.536	0.492	0.471	0.500
60	0.428	0.449	0.471	0.449
65	0.536	0.665	0.752	0.651
70	0.622	0.795	0.903	0.773

2.4 ผลการศึกษาเวลาในการพ่นอากาศที่เหมาะสมต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

เวลา (นาที)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือ(มก./ล.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
15	0.060	0.147	0.125	0.111
30	0.104	0.125	0.082	0.104
60	0.168	0.255	0.341	0.255
120	0.298	0.233	0.255	0.262

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลการศึกษาผลของสารบางชนิดต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

3.1 ผลของเอทิลีนไดเอมีนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

เอทิลีนไดเอมีน (โมล/ลิตร)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือ(มก./ล.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.0005	4.359	3.927	2.976	3.754
0.0050	10.579	8.916	9.499	9.665
0.0500	17.577	16.367	14.920	16.288

3.2 ผลของแอมโมเนียต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

แอมโมเนีย (โมลต่อลิตร)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือ(มก./ล.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ค่าเฉลี่ย
0.0005	0.298	0.665	0.514	0.492
0.0050	0.320	0.298	0.384	0.334
0.0500	0.363	0.406	0.428	0.399

3.3 ผลของคลอไรด์ไอออนต่อการเกิดเฟอร์ไรท์ของโคบอลต์

คลอไรด์ไอออน (โมลต่อลิตร)	ความเข้มข้นของโคบอลต์ที่เหลือ(มก./ล.)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
0.0005	0.644	0.881	0.492	0.672
0.0050	0.730	0.514	0.514	0.586
0.0500	0.406	0.428	0.449	0.428

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้