



บทที่ 1

บทนำ

ปัญหาของโลหะหนักที่เป็นสารมลพิษอยู่ในสิ่งแวดล้อม เช่นปรอท ตะกั่ว แคดเมียม แมงกานีส และโลหะหนักอื่น ๆ เป็นเรื่องที่น่าสนใจติดตามศึกษา ทั้งในด้านเกี่ยวกับพิษภัยซึ่งมีต่อมนุษย์และสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ทั้งทางตรงและทางอ้อม การแพร่กระจาย รวมทั้งกระบวนการในการกำจัดซึ่งควรอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษาพัฒนากระบวนการกำจัดโลหะหนักชนิดต่าง ๆ ที่ปะปนออกมากับน้ำเสียให้มีประสิทธิภาพสูงสุด เพื่อไม่ให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมต่อไปได้อีก เนื่องจากปริมาณของโลหะหนักที่ถูกปล่อยในสิ่งแวดล้อมในแต่ละปีนั้นมีปริมาณมาก อีกทั้งมีแนวโน้มว่าจะสูงขึ้นเรื่อย ๆ โดยพิจารณาจากข้อมูลการสำรวจประเภท จำนวนของโรงงานที่ปล่อยมาจากโรงงานอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานคร (ปี 2528) ตามตารางที่ 1.1

จากข้อมูลดังกล่าวพบว่าโรงงานที่มีโอกาสปล่อยโลหะหนักได้มากที่สุดคือ โรงงานชุบโลหะซึ่งจะทิ้งโลหะหนักจากการผลิตได้ถึงปีละประมาณ 12 ตัน และคาดว่าในเขตกรุงเทพมหานครส่วนที่ตรวจสอบและจังหวัดใกล้เคียงจะมีประมาณ 4-6 หมื่นตันต่อปี ฉะนั้นปัญหาการหากระบวนการที่จะกำจัดโลหะหนักอย่างมีประสิทธิภาพ และหาวิธีเก็บตะกอนของโลหะหนักที่แยกออกมาได้ก็จะยังมีอยู่ และคาดว่าปัญหานี้คงจะเพิ่มขึ้นมากขึ้น เนื่องจากประเทศเราเป็นประเทศที่กำลังพัฒนาด้านอุตสาหกรรม

จากรายงานของ Menasaveta (1978) และ จันทรห่องแสง (1984) กล่าวถึงปริมาณของโลหะหนักที่คาดว่าจะก่อให้เกิดปัญหาภัยกับแม่น้ำเจ้าพระยาต่อไปในอนาคตคือ ตะกั่ว และแคดเมียม ซึ่งเป็นโลหะหนักที่มีพิษร้ายแรงทั้งสองชนิด ผลของตะกั่วและแคดเมียมในเจ้าพระยาสูงขึ้นนั้น เกิดจากส่วนที่ปะปนมากับน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมส่วนหนึ่ง และอีกส่วนซึ่งเราไม่ควรมองข้ามคือ จากห้องปฏิบัติการเคมีตามสถานศึกษาต่าง ๆ โดยเฉพาะในมหาวิทยาลัยและหน่วยราชการต่าง ๆ การละเลยต่อการกำจัดโลหะทั้งสองชนิดนี้หรือกำจัดแล้วตะกอนโลหะหนักที่ได้มีผลต่อเนื้ออีกต่อสิ่งแวดล้อม เป็นสิ่งที่ไม่ควรกระทำเพราะจะก่อให้เกิดปัญหาการเพิ่มปริมาณจนถึงขั้นเกิดพิษภัยต่อประชาชน ดังเช่น ตัวอย่างพิษของแคดเมียม (1946) ที่เมืองฟูโช (Fucho Town) ไคยามาชิ (Toyama City) ประเทศญี่ปุ่น

ตารางที่ 1.1 ประเภทและจำนวนโรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโลหะหนักจากโรงงาน
อุตสาหกรรมในกรุงเทพมหานคร (สำนักบริการและกำจัดกากอุตสาหกรรม
2528)

ประเภทโรงงาน	จำนวนโรงงาน	ชนิดโลหะหนัก
ถ่านไฟฉาย	16	แมงกานีส, สังกะสี
แบตเตอรี่	16	ตะกั่ว
หลอดไฟฟลูออเรสเซนต์	5	ปรอท
โซดาไฟ	3	ปรอท
สี	77	เกือบทุกชนิด
เหล็กชุบสังกะสี	15	สังกะสี
ถลุงตะกั่ว	3	ตะกั่ว
ประกอบรถยนต์	15	เกือบทุกชนิด
จักรยานยนต์และจักรยาน	10	เกือบทุกชนิด
ชุบโลหะ	127	เกือบทุกชนิด
ผลิต IC (electric circuit)	6	เกือบทุกชนิด

ประชาชนเกิดโรค "อิตไต-อิตไต (Itai-Itai)" อันเกิดจากเหมืองถลุงแร่สังกะสี ตะกั่ว มีผลให้เกิดโรคกระดูก โรคไต ฯลฯ ทำให้เกิดผลเสียทั้งด้านเศรษฐกิจ สังคมและการเมืองภายในประเทศ สำหรับตัวอย่างพิษตะกั่วที่เกิดในประเทศไทย พบในหมู่บ้านแห่งหนึ่งซึ่งอยู่ในตำบลบางครุ อำเภอพระประแดง สมุทรปราการ เนื่องจากการนำกากแบคเตอริโอไทม์ที่ดินเป็นเหตุให้เกิดการเจือปนของตะกั่วในสิ่งแวดล้อมบริเวณนั้น และเข้าสู่ร่างกายโดยการถ่ายทอดตามลูกโซ่อาหาร (food chain) เกิดพิษภัยต่อร่างกายของผู้เคราะห์ร้ายในที่สุด

1.1 พิษตะกั่วและแคดเมียม

1.1.1 พิษตะกั่วและแคดเมียมต่อมนุษย์

อาการแพ้พิษโลหะหนักมีการศึกษาในรูปของอินทรีย์สารและอนินทรีย์สาร โดยอาจจะเข้าสู่ร่างกายทางการกิน หายใจ หรือทางผิวหนัง ผลกระทบกระเทือนส่วนใหญ่จะเกี่ยวกับระบบประสาท ทางเดินอาหาร และกล้ามเนื้อแข็งเกร็งจนเป็นอัมพาต

1.1.1.1 ตะกั่ว

ชนิดอนินทรีย์ เข้าสู่ร่างกายโดยการกินและหายใจเอาฝุ่น (dust) และไอ (fumes) เข้าไปอันตรายเหล่านี้มักเกิดแก่ผู้ประกอบอาชีพหลอมแผ่นตะกั่วจากแบคเตอริโอไทม์ที่เสียแล้ว ช่างทำตัวพิมพ์, ช่างเรียงพิมพ์, ช่างเคาะพิมพ์สัรยยนต์ ฯลฯ

- อาการทั่วไป : ซีดและอ่อนเพลีย
- ทางเดินอาหาร : คลื่นไส้ อาเจียน ท้องผูกและปวดท้องจุกจิก
- กล้ามเนื้อ : อ่อน เพลียจนถึง เป็นอัมพาตมัก เป็นที่มือมากกว่าที่เท้าต่อไปกล้ามเนื้อจะลีบ

ชนิดอินทรีย์ เข้าสู่ร่างกายโดยการกิน การหายใจ และทางผิวหนัง ซึ่งใช้เป็นสารแอนติ-นอค (anti-knock) ระเบิดได้ดี อันตรายเกิดแก่ผู้ปฏิบัติงานในโรงงานกลั่นน้ำมันตามบ่บ่ อาการเกิดขึ้นรวดเร็ว มีความผิดปกติทางจิตและประสาท เริ่มด้วยอาการอ่อนเพลีย นอนไม่หลับ ปวดศีรษะ กระสับกระส่าย พุดมากประสาทหลอน เพ้อ ซึม หมดสติ และชักในที่สุด

1.1.1.2 แคลเมียม

อันตรายเกิดจากการหายใจเอาไอเข้าไป มักเกิดอาการแก่ผู้ที่ทำงานเกี่ยวข้องกับกระบวนการหลอม ฟัน ฉาบโลหะ เชื่อมโลหะที่มีแคลเมียมเป็นส่วนประกอบ

อาการแพ้ที่เกิดขึ้นทันทีทันใด

- ระบบทางเดินหายใจ จมูก คอ อักเสบ แน่นหน้าอก หายใจขัด
ปอดบวม และตายได้

- ทางเดินอาหาร : คลื่นไส้ อาเจียน

- ทั่วไป : อ่อนเพลีย ปวดเมื่อยตามกล้ามเนื้อ ไข้ หนาวสั่น ถ้าแพ้พิษเรื้อรังจะมีความผิดปกติที่ปอด โดยเยื่อปอดจะถูกทำลาย ถุงลมโป่งพองกลายเป็นคนปอดพิการในที่สุด อาการจะมีไอหอบเหนื่อยง่ายและทำงานไม่ได้ เช่นเดิมต่อไปอีก

1.1.2 พิษตะกั่วและแคลเมียมต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ

ผลกระทบของโลหะทั้งสองชนิดนี้ต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ พบว่าขึ้นกับลักษณะทางฟิสิกส์เคมีของแคลเมียมและตะกั่ว โดยที่ทั้งสองชนิดสามารถเข้าไปในสิ่งมีชีวิตเล็ก ๆ ที่อาศัยอยู่ในน้ำ เช่น ไฟโตแพลงตอน (phytoplankton) ไดอะตอม (diatom) โดยจะแพร่ผ่านเข้าทางเมมเบรน ส่วนปลานั้นสามารถที่จะรับโลหะหนักได้โดยจะผ่านเข้าทางเหงือกได้มากกว่าทางอื่น โลหะหนักบางพวกในน้ำก็เป็นสิ่งจำเป็นของสิ่งมีชีวิตในน้ำกล่าวคือ เป็นสารอาหารของสัตว์ เช่น หอยนางรม (oysters) หอยกาบ (clams) และอื่น ๆ เป็นการลดการตกตะกอนของพวกโลหะหนักในน้ำได้ แต่การที่โลหะหนักจะถูกรับเข้าไปในสิ่งมีชีวิตในน้ำเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับว่าโลหะหนักนั้นอยู่ในรูปแบบใด

ไฟโตแพลงตอน (Phytoplankton) พวกนี้เป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสิ่งมีชีวิตที่มีขนาดใหญ่กว่าในวงจรอาหาร โลหะหนักจะมีผลกระทบต่อไฟโตแพลงตอนได้สองทางคือ โลหะหนักจะถูกส่งต่อในวงจรอาหารเนื่องจากไฟโตแพลงตอนจะถูกกินโดยสิ่งมีชีวิตอื่น ๆ ในน้ำ เช่น ปลา, แล้วจึงเข้าไปอยู่ในร่างกายมนุษย์ทางวงจรอาหารต่อไป ผลกระทบของโลหะหนักอีกทางคือ ปริมาณโลหะหนักที่เข้าไป ถ้าเข้าไประดับหนึ่งแล้วจะทำให้ตายลงได้ เมื่อไฟโตแพลงตอนตายลงก็มีผลทางอ้อมกับระบบนิเวศน์ในน้ำ เนื่องจากเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญ

รูปแบบของโลหะหนักซึ่งสามารถแตกตัวได้อย่างรวดเร็วเมื่ออยู่ใกล้เมมเบรนของปลา คือ ซิมเพลคอมเพลกซ์ (simple complex) และไอออนแพร์ (ion pairs) ส่วนรูปแบบที่สามารถเข้าตัวปลาได้เลยคือ เมทัลสปีซี (metal species)

1.2 แหล่งที่ปล่อยตะกั่วและแคดเมียมลงในน้ำ

ตะกั่วและแคดเมียมถูกปล่อยมาในน้ำได้จากอุตสาหกรรมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งอุตสาหกรรมบางประเภทก็อาจจะทิ้งแคดเมียมหรือตะกั่วเพียงอย่างเดียว บางครั้งอาจอยู่ผสมกันอยู่กับสารเป็นพิษตัวอื่น ๆ ดังตัวอย่างชนิดโรงงานอุตสาหกรรม ตารางที่ 1.2 (Robert, 1980)

1.3 วิธีการจัดโลหะหนักในน้ำเสีย

1.3.1 ไอออนเอ็กซ์เชนจ์ (Ion Exchange) เทคนิคนี้จะอาศัยเรซิน (resin) เป็นตัวแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนในสารละลายกับไอออนบนผิวเรซิน เรซินที่ใช้เป็นแคตไอออนเอ็กซ์เชนจ์ เรซิน (cation exchange resin) เป็นพวกอินโซลูเบิล ออแกนิก แอซิด (insoluble organic acid) ซึ่งอาจจะเป็นซัลโฟนิก หรือคาร์บอกซิลิก แอซิด (sulfonic or carboxylic acid) กรณีตะกั่วจากรายงานของ Nazaki and Hatotani (1967) ทดลองกำจัดตะกั่วที่อยู่ในรูปของเตตราเอทิลเลด (tetraethyl lead) ด้วยการใส่แคตไอออนเอ็กซ์เชนจ์ เรซินพวกคาร์บอกซิลิก แอซิด พบว่า สามารถลดปริมาณตะกั่วจาก 126.7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรลงเหลือ 0.02 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร สำหรับแคดเมียมก็มีการใช้วิธีนี้ในการกำจัดด้วย แต่เนื่องจากการกำจัดต้องใช้เรซินที่มีความเฉพาะเจาะจงจึงไม่ค่อยนิยมใช้นัก วิธีการนี้จะเหมาะสำหรับการกำจัดโลหะหนักที่มีปริมาณน้อย และให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสูง นิยมใช้กับระบบกำจัดน้ำเสียจากโรงงานชุบไฟฟ้า เนื่องจากวิธีนี้มีข้อจำกัดกับชนิดของน้ำเสีย กล่าวคือ ถ้ามีสารปนเปื้อนชนิดอื่นอยู่จะต้องกำจัดออกก่อนที่จะผ่านเข้าเรซิน เพื่อความมีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น น้ำเสียมีสารอินทรีย์ปนอยู่ก็ต้องกำจัดออกก่อนโดยผ่านเข้าในแอคทีเวทแคด คอลัมน์ (activated carbon column) ก่อนที่จะผ่านน้ำเสียเข้าในไอออนเอ็กซ์เชนจ์

1.3.2 การระเหย (Evaporation) เป็นวิธีง่าย ๆ ที่ใช้กันมากวิธีหนึ่งโดยใช้วิธีกำจัดน้ำออกจากน้ำเสีย แต่จะใช้ได้ผลดีกรณีที่มีปริมาณโลหะหนักในน้ำเสียปริมาณมาก เท่านั้น

ตารางที่ 1.2 อุตสาหกรรมหรือหน่วยงานกับขั้นตอนที่เกี่ยวข้องในการปล่อยแคดเมียม และ ตะกั่วในสิ่งแวดล้อม

ประเภทอุตสาหกรรม	ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับสารพิษ	ชนิดสารพิษ
อุตสาหกรรมผลิตเม็ดสีอินทรีย์ (Inorganic Pigment Manufacturing)	- การล้าง	ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม
	- การกรอง	ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม
	- การเหวี่ยงตะกอนแคดเมียม และสารประกอบแคดเมียม	แคดเมียม
	- น้ำทิ้งจากการล้างแก๊ส	ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม ไซยาไนด์
อุตสาหกรรมผลิตสารอนินทรีย์ (Inorganic Chemicals Manufacturing)	- การกรอง	ปรอท ตะกั่ว โครเมียม อาร์เซนิก
	- การเหวี่ยงตะกอน	ปรอท ตะกั่ว โครเมียม อาร์เซนิก
	- น้ำทิ้งจากการล้างแก๊ส	ปรอท ตะกั่ว โครเมียม อาร์เซนิก
	- การเก็บฝุ่นชนิดเบี่ยง	ปรอท ตะกั่ว โครเมียม อาร์เซนิก
อุตสาหกรรมปิโตรเคมีคัล (คาร์โบไฮเดรตและคิริเวทท์) (Petrochemical Industries)	- การล้าง	แคดเมียม
	- การแยก	แคดเมียม
	- การกรอง	แคดเมียม
	- การกลั่นและทำให้เย็นอย่างรวดเร็ว	แคดเมียม
	- การกำจัดกรดและด่าง	แคดเมียม
	- กลั่นไอน้ำ	แคดเมียม
	- น้ำทิ้งจากการล้างแก๊ส	แคดเมียม

ตารางที่ 1.2 (ต่อ)

ประเภทอุตสาหกรรม	ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับสารพิษ	ชนิดสารพิษ
อุตสาหกรรมการผลิตสารอินทรีย์ (Organic Chemicals Manufacturing)	- น้ำล้าง	ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม
	- การกรอง	ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม
อุตสาหกรรมผลิตยา (Pharmaceutical Manufacturing)	- น้ำทิ้งจากการล้างแก้ว	ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม
	- การกรอง	ปรอท ตะกั่ว โครเมียม อาร์เซนิก
	- การแยก	ปรอท ตะกั่ว โครเมียม อาร์เซนิก
	- การผสม	ปรอท ตะกั่ว โครเมียม อาร์เซนิก
	- การล้างแก้ว	ปรอท ตะกั่ว โครเมียม อาร์เซนิก
	- ขบวนการผลิต	ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม อาร์เซนิก
อุตสาหกรรมแก้ว (Glass Manufacturing)	- การบดและการล้าง	แคดเมียม ตะกั่ว
	- การล้างแก้ว	แคดเมียม ตะกั่ว
อุตสาหกรรมโลหะนอนเฟอร์รัส (Nonferrous Metals Manufacturing)	- น้ำล้างแก้ว	ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม อาร์เซนิก
	- การเก็บฝุ่นเปือก	ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม อาร์เซนิก
อุตสาหกรรมเหล็กและเครื่องกล (Metallic Goods Manu- facturing and Machinery Industry)	- อิเล็กโตรไลซิส	โครเมียม
	- การผลิตอิเล็กโตรด	ตะกั่ว แคดเมียม
	- แคดเมียมและตะกั่ว	
	- น้ำทิ้งจากการล้างแก้ว	ปรอท แคดเมียม ตะกั่ว โครเมียม แคดเมียม โครเมียม
การชุบโลหะ (Electroplating Facilities)		
สถาบันหรือห้องปฏิบัติการสำหรับ งานวิจัย, ทดสอบ, และเทคโนโลยี (Institute or Laboratory for Research, Examination Test and Technology)	- การล้าง	ปรอท ตะกั่ว แคดเมียม โครเมียม อาร์เซนิก

วิธีนี้มีข้อเสียเกี่ยวกับราคาที่ต้องลงทุน

1.3.3 รีเวิร์ส ออสโมซิส (Reverse Osmosis) วิธีนี้ใช้กำจัดโลหะหนักโดยใช้ความดันสูงผ่าน เซมิ เพอมีเอเบิล เมมเบรน (semi-permeable membrane) ซึ่งจะยอมให้อิออนบางชนิดเท่านั้นที่แพร่ผ่านได้ และจะต้องใช้ความดันสูงมาก โดยอาจจะสูงกว่า 100 บรรยากาศ (atmosphere) และจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการเลือกเมมเบรนที่จะต้องให้ทนต่อความดัน ความเป็นกรด-ด่าง ตัวอย่างเมมเบรน (membrane) ที่ใช้ได้แก่ เซลลูโลสอะซิเตท (cellulose acetate) โพลีเอไมด์ (polyamide) โพลีฟูแรน (polyfuran) วิธีนี้ใช้กำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมชุบด้วยไฟฟ้า (electroplating wastewaters), น้ำเสียจากขบวนการการล้างภาพ (photographic processing effluents)

1.3.4 การสกัดด้วยตัวทำละลาย (Solvent Extraction) เป็นวิธีการแยกโลหะหนักออกจากสารละลาย โดยการเติมตัวน้ำละลายซึ่งสามารถละลายโลหะหนักนั้นได้ดีกว่า วิธีนี้มีข้อเสียคือ ค่าใช้จ่ายของตัวน้ำละลายที่ใช้ในการสกัดค่อนข้างสูง

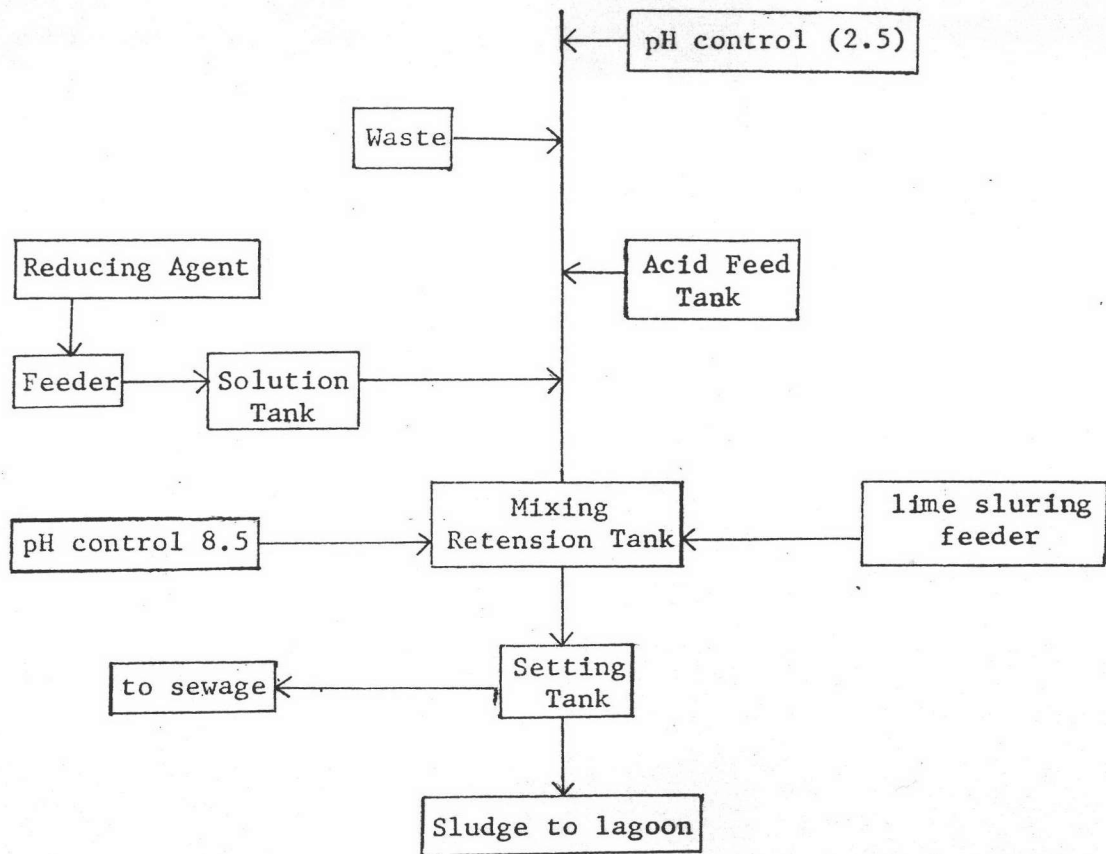
1.3.5 อิเล็กโตรไดอะลิซิส (Electrodialysis) วิธีนี้จะแยกโลหะหนักโดยจะให้ผ่านเพอมีเอเบิล เมมเบรน (permeable membrane) โดยใช้กระแสไฟ ข้อเสียวิธีการนี้คือราคาแพงฉะนั้นจึงไม่นิยมใช้

1.3.6 การทำให้ตกตะกอน (Precipitation) วิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมใช้มานานแล้ว โดยเติมสารเคมีลงไปในน้ำทิ้ง เพื่อไปทำปฏิกิริยากับโลหะหนักที่ละลายอยู่เกิดตะกอนแยกออกจากน้ำได้ ทั่วไปแล้วนิยมตกตะกอนโลหะหนักเป็นตะกอนไฮดรอกไซด์ด้วยการเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (calcium hydroxide) หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ (sodium hydroxide) เนื่องจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ใช้มีราคาถูกกว่าจึงนิยมใช้มากกว่า สารเคมีชนิดอื่นที่นิยมใช้ถัดมาคือ โซเดียมคาร์บอเนต (sodium carbonate) โลหะหนักแต่ละชนิดจะสามารถตกตะกอนได้ที่พีเอชแตกต่างกัน เช่น แคดเมียม พบว่าสามารถตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดีที่พีเอชระหว่าง 9.5-12.5 ตะกั่วตกตะกอนไฮดรอกไซด์ได้ดีที่พีเอช อยู่ระหว่าง 9.2-9.5 (Patterson, 1978) ตะกั่วและซิงค์ (Zinc) พบว่าถ้าปรับพีเอชให้สูงมากเกินไปจะเกิดเป็นพ्लิมเบท (plumbate) หรือ ซิงเคท (zincate) ซึ่งสามารถกลับไปละลายน้ำได้อีก การตกตะกอนไฮดรอกไซด์จึงจะต้องเลือกปรับพีเอชให้เหมาะสมสำหรับโลหะแต่ละชนิดในน้ำเสีย

1.3.7 ออกซิเดชัน-รีดักชัน (Oxidation-Reduction) ใช้มากในโรงงานชุบโลหะ ซึ่งมีสารประกอบโลหะต่าง ๆ เจือปนอยู่ ในการกำจัดต้องเติมสารเคมีลงไปเพื่อทำปฏิกิริยา ออกซิเดชันหรือรีดักชันกับโลหะหนักที่ต้องการกำจัดทำให้โลหะหนัก เปลี่ยนรูปไป เป็นสารประกอบอื่นที่ไม่เป็นพิษหรือตกตะกอนได้ สารเคมีที่เป็นตัวทำให้เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน เช่น ออกซิเจน (oxygen) โอโซน (ozone) คลอรีน (chlorine) ไฮโปคลอไรท์ (hypochlorite) เปอร์แมงกาเนต (permanganate) ส่วนสารเคมีที่ทำให้เกิดปฏิกิริยารีดักชัน ได้แก่ เฟอร์รัสซัลเฟต (ferrous sulfate) โซเดียมเมตาไบซัลไฟท์ (sodium metabisulfite) ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ฯลฯ

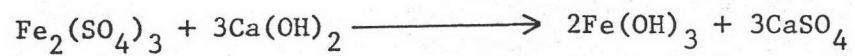
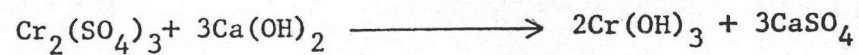
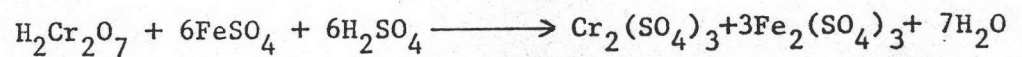
ตัวอย่างวิธีออกซิเดชัน-รีดักชัน และการทำให้ตกตะกอน ซึ่งใช้ควบคู่กันในระบบ การกำจัดโลหะหนักสำหรับโรงงานชุบขนาดเล็กและกลาง กำหนดโดยกรมโรงงาน กระทรวง อุตสาหกรรม ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถทำแบบ Batch Process (ใช้ในงานขจัดเป็นครั้ง ๆ ไม่ ต่อเนื่อง) ขั้นตอนการกำจัดมีดังในรูปที่ 2.1

ทั้งสองวิธีหลังนี้ เป็นวิธีที่ใช้กันมากในการกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียในประเทศไทย โดยเฉพาะวิธีการทำให้ตกตะกอนซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและนิยมใช้กันมานาน แต่มีข้อเสีย กล่าวคือ ในกรณีที่มีโลหะหนักหลายชนิดปนอยู่ด้วยกันในน้ำเสีย การตกตะกอนโลหะหนักพร้อม ๆ กันหลายชนิดด้วยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีนั้น จำเป็นจะต้องปรับ พีเอชให้แตกต่างกันไป แล้วแต่ชนิดของโลหะหนัก ซึ่งจะต้องมีการแยกประเภทของโลหะหนักออกมากำจัดทีละชนิดซึ่ง ทำให้เกิดความยุ่งยากในทางปฏิบัติ นอกจากนั้นยังมีข้อเสียเกี่ยวกับการตกตะกอนที่เกิดขึ้น และไม่สามารถแยกตะกอนกับน้ำที่จะทิ้งได้อย่างเด็ดขาด กล่าวคืออาจจะมีตะกอนบางส่วนไหล กลับไปกับน้ำ หรือละลายกลับไปในน้ำที่จะปล่อยออกสู่ท่อระบายน้ำ และข้อเสียสุดท้ายซึ่งเป็นส่วน ที่น่าจะก่อให้เกิดปัญหาต่อไป กับสิ่งแวดล้อมในอนาคตอย่างแน่นอนคือ ตะกอนที่ได้จากการตก- ตะกอนซึ่งสามารถละลายได้ในพีเอชที่เหมาะสมในสิ่งแวดล้อม เมื่อนำไปทิ้งในถังขยะหรือนำไป ยังในที่ดินที่ไม่เหมาะสมอันจะก่อให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อมต่อไปได้อีก โดยถ้าพื้นที่ที่ฝัง เป็นพื้นที่ ลุ่ม (โดยเฉพาะในกรุงเทพมหานคร) ก็จะทำให้เกิดปัญหากระทบต่อคุณภาพน้ำใต้ดิน ยิ่งถ้าจุด ที่ฝังนั้นน้ำสามารถท่วมได้ก็จะเป็นการแพร่กระจายสารพิษสู่สิ่งแวดล้อมออกไปได้ง่าย นั่นคือ การ เลือกที่ดินที่จะฝังกากโลหะหนักนั้นจะต้องได้รับการพิจารณาอย่างดีในเงื่อนไขที่ว่าเมื่อฝังแล้วจะ ต้องไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกซึ่งคงจะต้องใช้งบประมาณในส่วนนี้มาก เพื่อแก้ไขปัญหา



รูปที่ 1.1 แสดงแผนผังของระบบกำจัดโลหะหนักสำหรับโรงงานชุบกำหนดโดยกรมโรงงาน

ปฏิกิริยาที่เกิด



นี้อาจจะกระทำได้ใน 2 ทางคือ ส่งเสริมการวิจัยให้มีการนำเอาโลหะหนักกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีก หรือหาวิธีการกำจัดโลหะให้อยู่ในรูปที่คงตัวในธรรมชาติเพื่อไม่ให้กลับมากกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในอนาคต

กระบวนการเพอร์ไรท์นับ เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งน่าจะแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นสำหรับวิธีการทำให้โลหะหนักตกตะกอน เป็นไฮดรอกไซด์หรือซัลไฟด์ อันอาจจะก่อให้เกิดปัญหาต่อเนื่องกับสิ่งแวดล้อมต่อ ถ้าไม่มีวิธีการควบคุมหรือป้องกันอันเหมาะสมซึ่งจะต้องใช้งบประมาณอย่างมหาศาล เนื่องจากกระบวนการเพอร์ไรท์นั้นสามารถใช้กำจัดโลหะหนักหลายชนิดที่ปนกันอยู่ และมีปริมาณสูงได้ดีอีกทั้งตะกอนเพอร์ไรท์ที่ได้ก็ยังคงอยู่ในรูปที่คงตัวทนทานต่อความเป็นกรด-ด่างในธรรมชาติได้ และผลพลอยได้ของตะกอนเพอร์ไรท์ Hayashi (1975) พบว่าสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อได้ เนื่องจากเป็นสารแม่เหล็กที่มีแรงสูง ฉะนั้นจึงนำไปเป็นตัวมองเห็นการรบกวนของคลื่นไฟฟ้า, เป็นสารที่ใช้กำจัดสารพิษจากมลพิษที่เกิดจากน้ำมันในน้ำ, วัสดุที่ใช้ในการสื่อสาร ฯลฯ

1.4 จุดประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียโดยกระบวนการเพอร์ไรท์ พร้อมทั้งหาเงื่อนไขที่เหมาะสมและประสิทธิภาพในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมโดยกระบวนการนี้
2. เพื่อทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียมในน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ โดยกระบวนการนี้

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียมโดยทดลองใช้น้ำเสียของตะกั่วและแคดเมียมที่สังเคราะห์ขึ้นมา จากนั้นทดลองกำจัดน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยกระบวนการเพอร์ไรท์ภายใต้เงื่อนไขที่ได้จากการศึกษาในช่วงแรก

1.6 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสม (พีเอช, อุณหภูมิ) ในการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม โดยกระบวนการเพอร์ไรท์ โดยพิจารณาจากประสิทธิภาพของการกำจัดตะกั่วและแคดเมียม รวมถึงความเป็นสารแม่เหล็กของตะกอน เพอร์ไรท์ที่แยกมาได้หลังผ่านกระบวนการนี้แล้ว ของ ตัวอย่างน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาที่ความเข้มข้นของตะกั่วและแคดเมียม 1000, 100, 10, 1 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

2. ศึกษาค่าอัตราส่วนโมลของ $Pb^{2+}/Iron_{total}$ และ $Cd^{2+}/Iron_{total}$ ที่เหมาะสมที่สุด ในการกำจัดโลหะหนักทั้งสองชนิดด้วยกระบวนการเพอร์ไรท์ จากสารละลายผสมตะกั่วและแคดเมียมที่ความเข้มข้น 1000, 100, 50, 10, 1, 0.5 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร โดยใช้เงื่อนไขพีเอช และอุณหภูมิจากผลสรุปในข้อ 1

3. ทดลองใช้เงื่อนไขอุณหภูมิ, พีเอช และอัตราส่วนโมล จากการทดลองในข้อ 1 และ 2 ในการลดปริมาณตะกั่วและแคดเมียมของน้ำเสียจากห้องปฏิบัติการ ในจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. ทดลองกำจัดตะกั่วและแคดเมียม เป็นตะกอนไฮดรอกไซด์โดยใช้กับน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาที่ความเข้มข้น 1000, 100, 10, 1, 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการลดปริมาณโลหะหนักทั้งสองชนิดกับกระบวนการเพอร์ไรท์

5. ศึกษาปริมาณของตะกั่วและแคดเมียมรวมถึงโลหะหนักชนิดอื่น ๆ ถ้ามีใช้ใน ห้องปฏิบัติการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยใช้แบบสอบถามเพื่อให้ทราบถึงแนวโน้มการใช้โลหะหนัก ในช่วงปีการศึกษา 2526-2529

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการพัฒนาเทคนิคในการกำจัดโลหะหนัก โดยเฉพาะตะกั่วและแคดเมียม อย่างมีประสิทธิภาพ

2. เป็นแนวทางในการกำจัดโลหะหนักตัวอื่นที่เป็นพิษต่อไป โดยการใช้กระบวนการนี้

3. ข้อมูลที่ได้ น่าจะก่อให้เกิดประโยชน์ต่อหน่วยราชการที่เกี่ยวข้องในการกำจัดสารพิษอันเนื่องมาจากโลหะหนัก เพื่อใช้พิจารณาในโครงการกำจัดกากสารพิษโดยไม่ต้องใช้พื้นที่ในการฝังกากตะกอนที่กำจัดได้

1.8 การตรวจสอบ เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Kiyama (1973) ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเป็นแมกเนไตต์ (magnetite) มีสูตรเป็น Fe_3O_4 โดยผสมเฟอร์ซัลเฟต ($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) กับโซเดียมไฮดรอกไซด์ เกิดเป็นเฟอร์โรไฮดรอกไซด์ ($\text{Fe}(\text{OH})_2$) จากนั้นออกซิไดซ์ด้วยอากาศ (aerial oxidation) ต่อ พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่จะเกิดเป็นแมกเนไตต์คือ พีเอช ระหว่าง 9-10, อุณหภูมิช่วงระหว่าง $55^\circ - 80^\circ$ ช. และได้ทดสอบเพิ่มโดยผสมไอออนของ โลหะที่เป็นไดวาเลนต์ (divalent metal ions) เช่น Mg^{2+} , Mn^{2+} , Co^{2+} ในสาร เริ่มต้นและวิธีการทดลองวิธีเดียวกัน พบว่าตะกอนที่ได้จะได้ตะกอนที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก (ferromagnetic) มีสูตรโครงสร้างเป็น $\text{M}_x\text{Fe}_{3-x}\text{O}_4$ เงื่อนไขการเกิดนี้พบว่าเหมือนกับการเกิดแมกเนไตต์

Hayashi (1975) รายงานถึงผลการทดลองใช้กระบวนการเฟอร์ไรท์ในการ กำจัดโลหะหนักที่เงื่อนไขพีเอชระหว่าง 9-10, อุณหภูมิ 70° ช. โดยใช้วิธีเดียวกับ Kiyama กับน้ำเสียจากอุตสาหกรรมสีย้อม, อุตสาหกรรมสี, อุตสาหกรรมชุบโลหะ, ห้องปฏิบัติการวิจัย พบว่าสามารถใช้กระบวนการนี้ลดโลหะหนักทุกชนิดที่ผสมอยู่ในน้ำเสียได้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์

Kiyama (1978) ศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมเพื่อให้เกิดเป็นสารประกอบเฟอร์ไรท์ ของแมงกานีสและโคบอลต์ โดยผสมเฟอร์ซัลเฟตกับแมงกานีสซัลเฟต ($\text{MnSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) กับ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ช่วงพีเอชระหว่าง 9-10 อุณหภูมิ 70° ช. พบว่าโครงสร้างสาร ประกอบเฟอร์ไรท์ที่ได้เป็นแบสไพเนล (spinel) อีกทั้งยังมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็กอีกด้วย นอกจากนี้แล้วยังทดลองกระบวนการเฟอร์ไรท์นี้กับโคบอลต์ซัลเฟต ($\text{CoSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) พบว่าผล ที่ได้และเงื่อนไขที่เกิดเหมือนกับแมงกานีส

Masaki, Terutaka, Nobuaki, Takafumi and Kokei (1979) ได้ทดลอง กระบวนการเฟอร์ไรท์กับน้ำเสียของโรงงานชุบ และเหมืองแร่ ซึ่งมีปริมาณสังกะสี (Zn) 588, แคดเมียม (Cd) 900 และแมงกานีส (Mn) 440 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปรับพีเอชเป็น 12 อุณหภูมิ 60° ช. เติมเฟอร์ซัลเฟตปริมาณเฟอร์รัส (Fe^{2+}) ต่อ ไอออนโลหะหนักทั้งหมดเป็น 4 ต่อ 1 และพ่นอากาศเป็นเวลา 94 นาที พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักลดเป็น สังกะสี น้อยกว่า 0.1, แคดเมียมน้อยกว่า 0.1 และ แมงกานีสน้อยกว่า 0.1 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์ เดซิเมตร

Katsura, Tamaura and Sun Chyo (1979) ทดลองศึกษากระบวนการเพอร์ไรท์ที่เกิดกับ Titanium โดยใช้วิธีเดียวกับ Kiyama ที่พีเอช 9 อุณหภูมิ 65° ซ. พบว่าจะได้สารประกอบเพอร์ไรท์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก และมีโครงสร้างเป็นแบบสไปเนล

Kaneko and Katsura (1979) ศึกษาการเกิดสารประกอบเพอร์ไรท์กับแมกเนเซียม(magnesium) ใช้วิธีเดียวกับ Kiyama พบว่าพีเอชที่เกิดได้ดีคือ 9-10 อุณหภูมิ 65° ซ. โครงสร้างสารประกอบเพอร์ไรท์ที่ได้มีโครงสร้างแบบสไปเนล

Iguchi, Kamura and Inoue (1979) พิจารณากระบวนการเพอร์ไรท์เพื่อนำมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักที่ปนมาในน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้า พบว่าสามารถจะลดปริมาณโลหะหนักจากเดิมลงได้มากอีกทั้งมีข้อดีกว่าวิธีธรรมดาอยู่มาก

Berzedits and Wei (1980) ได้รวบรวมรายงานผลการทดลองการกำจัดโลหะหนักโดยกระบวนการเพอร์ไรท์แต่เรียกกระบวนการนี้ว่ากระบวนการรี-อีลิซิไรเซชัน (Re-elixirization process) ซึ่งทดลองโดย Iammartino (1975), Anon (1973), Michell et al (1975) and Okuda et al (1975) โดยทดลองกำจัดโลหะหนักที่ปนมากับน้ำเสียของอุตสาหกรรมการชุบโลหะ, ห้องปฏิบัติการวิจัย พบว่าประสิทธิภาพของวิธีนี้มากกว่า 99 เปอร์เซ็นต์

Toshihiko and Nobuhiro (1980) ทดลองกระบวนการเพอร์ไรท์กับการกำจัดโครเมียมซึ่งเข้มข้น 1000 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร ปรับพีเอชเป็น 10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ พบว่าความเข้มข้นของโครเมียมที่เหลือภายหลังผ่านกระบวนการนี้เท่ากับ 0.5 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

Kazuhiro and Takeshi (1981) ทดลองกระบวนการเพอร์ไรท์จากน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมา ซึ่งประกอบด้วยแมกเนเซียม, แคลเซียม, แมงกานีส, นิกเกิล, ทองแดง, สังกะสี, แคดเมียม และตะกั่ว ปรับพีเอชเป็น 10.4-11.2 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์, อุณหภูมิ 60° ซ. ฟ้นอากาศจนกระทั่งค่าศักย์ออกซิเดชันมีค่าไปถึง 0 ± 100 มิลลิโวลต์ พบว่าโลหะหนักทุกตัวยกเว้นตะกั่วมีประสิทธิภาพการกำจัดได้ดี และตะกอนเพอร์ไรท์ที่ได้สามารถแยกจากสารละลายโดยใช้แท่งแม่เหล็ก

Nippon Electric Co., Ltd (1981) ทดลองกระบวนการเพอร์ไรท์ในการกำจัดน้ำเสียที่สังเคราะห์ขึ้นมาของสารผสม 200 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตรของทองแดงสังกะสี นิเกิล ผสมกับ 0.1 โมลเพอร์สซัลเฟต ปรับพีเอชเป็น 9.5 ตะกอนที่ได้เป็นตะกอนเพอร์ไรท์

Sumitomo Heavy Industries Ltd. (1981) ทดลองกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียโดยกระบวนการเพอร์ไรท์

Tamura, Mechaimonehit and Katsura (1981) ศึกษากระบวนการเพอร์ไรท์กับวานาเดียม (Vanadium) โดยใช้วิธีเดียวกับ Kiyama เงื่อนไขที่จะให้เกิดสารประกอบเพอร์ไรท์ได้ดีคือ พีเอช 11.0 อุณหภูมิ 60⁰ ซ.

Wei-Yong, Wan-Jing and Shan-Wei (1981) ทดลองกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียซึ่งประกอบด้วยอาร์เซนิก (As) 160-180, ตะกั่ว 5-20, แคดเมียม 0.7-4.0 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร จากน้ำเสียโรงงานถลุงโลหะเซียงยาง (Shengyang) ประเทศจีน สรุปได้ว่าประสิทธิภาพการกำจัดโลหะหนักโดยกระบวนการเพอร์ไรท์สูง

Kanzaki, Tonoike and Katsura (1982) ศึกษากระบวนการเพอร์ไรท์กับแคดเมียมที่ความเข้มข้นต่ำ ๆ คือ 10 ไมโครกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร พบว่าสามารถลดปริมาณแคดเมียมลงได้ถึง 90 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังทำการทดลองเปรียบเทียบกับวิธีการกำจัดแคดเมียมวิธีอื่น ได้แก่ ไอออนเอกเชนจ์ การตกตะกอนร่วม และการสกัดด้วยตัวทำละลาย สรุปว่ากระบวนการเพอร์ไรท์มีประสิทธิภาพดีกว่าวิธีการอื่นในแง่การลดปริมาณจะลดได้เป็นสองเท่า และยังสามารถแยกตะกอนเพอร์ไรท์ได้อย่างรวดเร็วโดยใช้การแยกด้วยแม่เหล็ก

NEC Corp. Jpn. (1984) ทดลองกำจัดโลหะหนักโดยกระบวนการเพอร์ไรท์ซึ่งมีทองแดง 160, นิเกิล 60, แมงกานีส 30, ตะกั่ว 20, และอาร์เซนิก 10 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร โดยปรับพีเอชเป็น 10 ด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ 70⁰ ซ. พบว่าความเข้มข้นที่เหลือทองแดง 0.5, นิเกิล 0.3, แมงกานีส 0.2, ตะกั่ว 0.15 และอาร์เซนิก 0.01 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เดซิเมตร

012391

Dianliang, Weiguang, Ruoping and Mingqia (1985) ทดลองกำจัด
น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอันประกอบด้วยโครเมียม, สังกะสี, นิกเกิล และทองแดง
พบว่าสามารถลดปริมาณโลหะหนักได้มาก โดยกระบวนการเฟอร์ไรท์

NEC Corp. Jpn (1985) ทดลองกำจัดโลหะหนักด้วยกระบวนการเฟอร์ไรท์
อันประกอบด้วยซิลิกอน (Si), อลูมิเนียม (Al) ที่พีเอช 5.5-6.5 พบว่าตะกอนเฟอร์ไรท์
ที่ได้มีความเป็นแม่เหล็ก 68 อีเอ็มยูต่อกรัม