หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมา และความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น ซึ่งพบว่าในรายงานโรงงานอุตสาหกรรมของกรมโรงงาน ปี 2538 มีโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กที่มีการจดทะเบียนประมาณ 413 โรงงาน ในกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์เหล็กประเภทต่างๆ นั้น ก่อนเข้าสู่กระบวนการผลิตแต่ละประเภทจะต้องทำความสะอาดแผ่นเหล็ก โดยเข้าสู่วิธีทางเคมีที่กำจัดออกไซด์ของเหล็กและสิ่งสกปรกที่อยู่บนแท่งเหล็ก ในวิธีการนี้จะอาศัยกรดเกลือ (กรดไฮโดรคลอริก, HCl) เป็นตัวล้างออกไซด์ของเหล็กและสิ่งสกปรกออก ซึ่งมีการใช้ปริมาณกรดเกลือค่อนข้างมากประมาณ 360 กิโลกรัม ในการล้างเหล็ก 60 ตันต่อวัน ซึ่งจะทำให้ได้เหล็กเฟอร์รัสในกรดล้างประมาณ 187 กิโลกรัมต่อวัน (บริษัท ไทยสะเปเชียลไวร์ จำกัด, 1996) ดังนั้นของเสียในโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กส่วนใหญ่จึงมีสภาพเป็นกรดที่มีเหล็กเฟอร์รัสละลายอยู่ การบำบัดกรดล้างออกไซด์นี้จึงใช้วิธีปรับสภาพให้เป็นกลางหรือด่าง และนิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวปรับสภาพ ซึ่งมีราคาแพง ค่าใช้จ่ายประมาณ 300,000 บาทต่อเดือน และการปรับสภาพนี้จะทำให้เหล็กเฟอร์รัสบางส่วนตกตะกอนออกมาได้ในปริมาณหนึ่ง ซึ่งยังคงมีเหล็กเฟอร์รัสเหลืออยู่ในปริมาณมากในน้ำเสียประมาณ 50-70 กรัมต่อลิตร ทำให้จะต้องมีการกำจัดเหล็กเฟอร์รัสต่อไป เพื่อให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับให้มีได้ในแหล่งน้ำ คือ ไม่มากกว่า 0.300 มิลลิกรัมต่อลัตร (จัดการคุณภาพน้ำ, 2538)

โรงงานอุตสาหกรรมเหล็กเหล่านี้มีการระบายน้ำเสียจากโรงงานเฉลี่ยประมาณ 200-300 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน และน้ำเสียที่ได้จะมีเกลือของเหล็กในรูปเหล็กเฟอร์รัสเป็นองค์ประกอบอยู่เป็นจำนวนมาก เหล็กเฟอร์รัสบางส่วนที่ละลายอยู่ในน้ำ เมื่อสัมผัสกับอากาศจะถูกออกซิไดซ์ได้ง่ายกลายเป็นเหล็กเฟอร์ริค ซึ่งสามารถตกตะกอนได้ในรูปไฮดรอกไซด์เกิดเป็นตะกอนสนิมเหล็ก (Nippon Electric., Ltd., 1985) ทำให้น้ำมีสีเปลี่ยนไป นอกจากนั้นตะกอนที่ได้มีอนุภาคขนาดเล็กจัดเป็นสารคอลลอยด์ในน้ำ ทำให้ยากต่อการกรอง จึงมีผลต่อปริมาณของแข็งที่แขวนลอยในน้ำมีปริมาณสูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาในการบำบัดน้ำทิ้งก่อนที่จะระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะ

วิธีการกำจัดเหล็กนิยมสร้างระบบบำบัดในลักษณะที่เป็นบ่อตกตะกอน โดยสร้างเป็นบ่อคอนกรีตต่อกันแบบอนุกรมอย่างน้อย 3 บ่อ และปรับสภาพของน้ำโดยการปรับพีเอชให้เป็นกลางหรือด่างเล็กน้อย โดยการเติมตัวช่วยตกตะกอนหรือสารละลายด่างลงไป ส่วนใหญ่นิยมใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์เพื่อให้เกิดการตกตะกอนขึ้น และอาจเติมตัวช่วยให้ตะกอนรวมตัว (floculant) ลงไปด้วย เพื่อให้ตะกอนเกิดการจมตัวได้ดีขึ้น เช่น PAC และปล่อยให้ตะกอนนอนก้น แล้วจึงระบายน้ำส่วนบนออกสู่แหล่งน้ำสาธารณะ ในการปรับพีเอชของน้ำจะทำให้เกิดการตกตะกอนของเหล็กเฟอร์รัสในรูปไฮดรอกไซด์ ($Fe(OH)_2$) ตะกอนที่ได้จัดเป็นตะกอนเบา ดังนั้นวิธีดังกล่าวนี้ใช้เวลาในการเก็บกักน้ำเสียเพื่อให้เกิดตะกอนจมตัวในแต่ละบ่อเป็นเวลานาน ซึ่งไม่เพียงพอต่อการบำบัดน้ำเสียที่ได้ในแต่ละวัน อีกทั้งการระบายน้ำออกสู่แหล่งสาธารณะนั้นไม่มีการควบคุมปริมาณของแข็งทั้งหมด หรือสารแขวนลอย ทำให้มีปริมาณเหล็ก และสารแขวนลอยในน้ำค่อนข้างสูง และวิธีดังกล่าวมีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง (บริษัท ไทยสะเปเชียลไวร์ จำกัด, 1996)

จากการศึกษาโรงงานชุบโลหะแห่งหนึ่ง (วิจัยโลหะและวัสดุ, 2539) พบว่า ในการล้างออกไซด์ของเหล็กจะมีเหล็กเฟอร์รัสละลายอยู่ในกรดล้างประมาณ 191.8 กิโลกรัมต่อวัน ใช้สารละลายด่าง (NaOH) ตกตะกอนเหล็กประมาณ 245 กิโลกรัมต่อวัน โดยมีค่าใช้จ่ายในการกำจัดเหล็กประมาณ 3,000 บาทต่อวัน ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายที่สูงมาก จากการวัดปริมาณเหล็กทั้งหมดที่เหลืออยู่ในน้ำที่ผ่านการตกตะกอนแล้วพบว่ามีปริมาณเหล็กทั้งหมดเฉลี่ยประมาณ 270 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยมีค่ามากกว่าค่ามาตรฐานปริมาณของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ ซึ่งอนุญาตให้มีได้ไม่เกิน 0.300 มิลลิกรัมต่อลิตร (จัดการคุณภาพน้ำ, 2538)

ได้มีการศึกษาเทคโนโลยีต่างๆ ที่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ เช่น การใช้สารแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) การเกิดสารประกอบเชิงซ้อน (complexation) การสกัดด้วยตัวทำละลาย (solvent extraction) การใช้เมมเบรนเยื่อกรองที่ผันกลับได้ (semi-permeable membrane reverse osmosis) เป็นต้น (Metcalf และ Eddy, 1976) แต่พบว่าเทคโนโลยีต่างๆ เหล่านี้ มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง ไม่คุ้มกับการลงทุน เพราะเหล็กสามารถตกตะกอนได้ง่ายในพีเอชที่เป็นกลางหรือเบส โดยตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ หรือคาร์บอเนต (Olson และ Twardowski, 1975) การตกตะกอนของเหล็กกับอนุมูลแอนไอออนต่างๆ มีค่าแตกต่างกัน การตกตะกอนร่วมกับอนุมูลแอนไอออนบางชนิด ตะกอนที่ได้จะไม่อยู่ตัว เช่น เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) หรือ เฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ (Robinson และคณะ, 1987)

การกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย พบว่าสามารถใช้วิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ได้ เนื่องจากเหล็กเฟอร์รัสสามารถถูกออกซิไดซ์กลายเป็นเหล็กเฟอร์ริคได้ง่าย และการตกตะกอนของเหล็กเฟอร์ริคสามารถเกิดการตกตะกอนได้ในช่วงพีเอช 6-8 (Robinson และ Dixon, 1968) ตะกอนที่ได้จะอยู่ในรูปเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ ซึ่งมีความอยู่ตัวและยากต่อการละลาย โดยพิจารณาได้จากค่าคงที่ของการละลายของเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ และเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์มีค่า $8x10^{-16}$ และ $4x10^{-38}$ ตามลำดับ (Lide, 1992)

เมื่อเปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายจากวิธีการบำบัดแบบอื่นๆ พบว่าวิธีการตกตะกอนโดยใช้สารละลายด่างนี้น่าจะมีค่าใช้จ่ายต่ำ และผลที่เกิดขึ้นจากการบำบัดน่าจะมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำ นอกจากนี้ตะกอนเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ที่ได้สามารถนำไปพัฒนาเป็นสารที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจได้ เช่น สารประกอบจำพวกเฟอร์ไรต์ ซึ่งใช้ในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่นต่อไปได้ เนื่องจากมีคุณสมบัติเป็นสารแม่เหล็ก (Kiyama, 1973 ; กุลยา จงศิริลักษณ์, 2530) และตะกอนของเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ไม่มีปัญหาต่อสภาวะแวดล้อม เนื่องจากเหล็กเฟอร์ริคอยู่ในรูปที่ไม่ก่อให้เกิดอันตรายได้ (Casarett และ Doull's,1996) และตะกอนเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์สามารถนำมาเปลี่ยนรูปให้เป็นเฟอร์ริคซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) ได้ (Pigeon และคณะ, 1978) ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้อีกทางหนึ่ง

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ มุ่งเน้นที่วิธีการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียโดยใช้วิธีที่ง่าย และมีค่าใช้จ่ายต่ำ ซึ่งใช้วิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์เป็นวิธีการกำจัดเหล็กในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก โดยเริ่มกำจัดเหล็กในกรดล้างออกไซด์ และศึกษาถึงประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กของชนิดตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอน ในระดับพีเอชต่างๆ ซึ่งจะพิจารณาสภาวะอื่นๆ ร่วมด้วย เช่น ค่าความเป็นเบส ความกระด้าง และปริมาณตัวช่วยให้ตะกอนจมตัว เป็นต้น นอกจากนี้งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีใหม่ที่ยังไม่มีโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กเท่าที่ทราบในปัจจุบันนำวิธีนี้มาใช้ และคาดว่าวิธีการนี้สามารถลดต้นทุนในการกำจัดเหล็กได้อย่างมาก โดยคำนึงถึงสารเคมีที่ใช้ต้องมีราคาถูกและหาซื้อได้ง่ายในเชิงพาณิชย์

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย โดยวิธีออกซิเดชันร่วมกับการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ เช่น ระดับพีเอช ปริมาณตัวช่วยให้ตะกอนจมตัว ค่าความเป็นเบส ความกระด้าง และปริมาณเหล็กทั้งหมด

1.2.2เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียที่ใช้ตัวออกซิไดซ์ 4 ชนิด (อากาศ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และโอโซน) ร่วมกับตัวช่วยตกตะกอน 3 ชนิด (โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์)

1.2.3 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่ใช้ในแต่ละวิธีการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

1.3.1 ระดับพีเอชมีผลต่อปริมาณของตะกอนเหล็กไฮดรอกไซด์

1.3.2 ชนิดของตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนจะมีผลต่อการตกตะกอนของเหล็กไฮดรอกไซด์แตกต่างกัน

1.3.3 ปริมาณของตัวช่วยให้ตะกอนจมตัว และระดับพีเอชมีผลต่อการจมตัวของตะกอนแตกต่างกัน

1.3.4 การกำจัดเหล็กโดยใช้อากาศเป็นตัวออกซิไดซ์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์เป็นตัวช่วยตกตะกอน น่าจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ และราคาถูก

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1ใช้วิธีออกซิเดชัน ร่วมกับการตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ในการกำจัดเหล็ก

1.4.2 เปรียบเทียบตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอนในวิธีการกำจัดเหล็ก

1.4.3 หาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย เช่น ระดับพีเอช ปริมาณตัวช่วยให้ตะกอนจมตัว ค่าความเป็นเบส และความกระด้าง

1.4.4 หาประสิทธิภาพในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสีย

1.4.5 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายในการกำจัด

ทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.4.6 ลักษณะน้ำเสียที่ใช้ศึกษา คือ กรดล้างออกไซด์ของเหล็กจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก และน้ำเสียสังเคราะห์ที่เตรียมขึ้น

1.4.7 ตัวออกซิไดซ์ที่ใช้ 4 ชนิด คือ อากาศ โซเดียมไฮโปคลอไรต์ โพแทสเซียมเปอร์แมงกาเนต และโอโซน

1.4.8 ตัวช่วยตกตะกอนที่ใช้ 3 ชนิด คือ โซเดียมคาร์บอเนต โซเดียมไฮดรอกไซด์ และแคลเซียมไฮดรอกไซด์

1.4.9 ตัวช่วยให้ตะกอนจมตัวที่ใช้ 2 ชนิด คือ สารส้ม และ PAC

1.4.10 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ คือ ระดับพีเอช ค่าความเป็นเบส ความกระด้าง และปริมาณเหล็กทั้งหมด

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการตกตะกอนเหล็กออกจากน้ำเสียของแต่ละชนิดตัวออกซิไดซ์ และตัวช่วยตกตะกอน

1.5.2 สามารถเลือกใช้ตัวออกซิไดซ์ ตัวช่วยตกตะกอนที่เหมาะสมในการกำจัดเหล็กออกจากน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพ และราคาถูก

1.5.3 เป็นแนวทางในการประยุกต์ไปใช้ในการกำจัดโลหะหนักชนิดอื่น

1.5.4 ผลที่ได้จากการกำจัดสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ โดยมีคุณค่าทางเศรษฐกิจ

1.5.5 เป็นแนวทางในการลดมลภาวะทางน้ำ ที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กและโรงงานชุบโลหะได้

1.6 ข้อดีของการวิจัย

1.6.1 เหล็กเฟอร์รัสสามารถถูกออกซิไดซ์ และตกตะกอนในรูปไฮดรอกไซด์ได้ง่าย และให้สมบัติของน้ำเสียที่ผ่านการกำจัดเหล็กแล้วมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานปริมาณของโลหะหนักที่ยอมให้มีได้ในแหล่งน้ำที่กรมโรงงานควบคุมได้

1.6.2 สามารถลดความเป็นพิษของเหล็กเฟอร์รัส ให้อยู่ในรูปเหล็กเฟอร์ริค ที่ไม่เป็นอันตรายได้

1.6.3 เป็นวิธีการที่มีค่าใช้จ่ายในการกำจัดค่อนข้างต่ำ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก และโรงงานชุบโลหะได้

1.6.4 สามารถนำตะกอนเฟอร์ริคไฮดรอกไซด์ที่ได้นำมาแปรรูปเป็นสารประกอบเฟอร์ไรต์ที่นำไปใช้ประโยชน์อื่นได้ เช่น กำจัดไอออนของโลหะหนักต่างๆ หรือใช้เป็นสารแม่เหล็กได้ หรือเปลี่ยนรูปให้เป็นเฟอร์ริคซัลเฟต ($Fe_2(SO_4)_3$) ได้ ซึ่งใช้เป็นสารช่วยให้ตะกอนจมตัว (coagulant)