

บทที่ 3

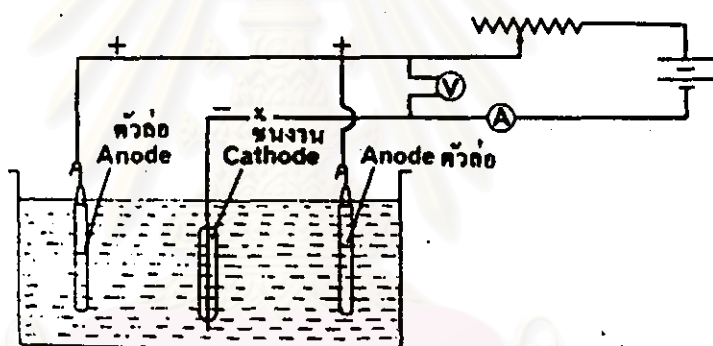
บททวนออกสาร



3.1 การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า

3.1.1 หลักการเบื้องต้นของการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (อนันต์, 2527)

การชุบโลหะด้วยไฟฟ้า คือ การทำให้โลหะ ไปเคลือบเกาะบนโลหะอีกชนิดหนึ่งด้วยกรรมวิธีเคมี-ไฟฟ้า โดยจุ่มชิ้นงานที่จะทำการชุบลงในน้ำยาชุบ แล้วต่อเข้ากับขั้วลบของกระแสไฟฟ้าตรง ซึ่งเรียกว่าขั้วลบ (cathode) และมีตัวล่อหรือขั้วบวก (Anode) ต่อเข้ากับขั้วบวกของเครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า เมื่อไฟฟ้าครบวงจรก็จะเกิดการเกาะจับของโลหะที่ขั้วลบ (ชิ้นงาน) ดังแสดงในรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 วิธีการชุบโลหะด้วยไฟฟ้า (อนันต์, 2527)

จุดประสงค์ของการชุบชิ้นงานเพื่อ

- ความสวยงาม
- เปลี่ยนคุณสมบัติของผิวชิ้นงาน เช่น เพิ่มความแข็ง ป้องกันสนิม
- เพิ่มความหนาของชิ้นงานในกรณีที่ชิ้นงานสึกกร่อน

น้ำยาชุบโลหะ แบ่งได้เป็นสองพวก คือ

พวกที่หนึ่ง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี เป็นเพียงสะพานเพื่อให้กระแสผ่านเท่านั้น เช่น โลหะต่าง ๆ แกรไฟต์ ผงบรอนซ์ เป็นต้น

พวกที่สอง เป็นตัวนำไฟฟ้าโดยตัวเองแยกสลายออกเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ในขณะที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตัวมัน เช่น น้ำเจือกรด และสารละลายของเกลือต่าง ๆ เป็นต้น

3.1.2 ขั้นตอนในการชุบโลหะ

ความซับซ้อนของขั้นตอนในการชุบจะขึ้นอยู่กับชนิดโลหะที่เป็นวัตถุชุบ และชนิดของผิวโลหะที่ต้องการ รูปแบบขั้นตอนการชุบชิ้นงานดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการชุบโลหะด้วยไฟฟ้าอย่างง่าย

การทำทำความสะอาดชิ้นงานเป็นสิ่งที่สำคัญมาก เพราะถ้าชิ้นงานไม่สะอาดอาจทำให้การชุบไม่ดีเท่าที่ควร การทำความสะอาดและกรรมวิธีของการเตรียมงานก่อนการชุบนั้นมีหลายวิธีด้วยกันเช่น

การขัดชิ้นงานก่อนชุบ แบ่งออกเป็น การขัดหยาบและการขัดละเอียด โดยการขัดหยาบเป็นการขัดขั้นแรก ซึ่งจะขัดเอารอยขีดข่วนเล็ก ๆ หรือบริเวณไม่สม่ำเสมอออก ส่วนการขัดละเอียดเป็นการขัดต่อเพื่อลบรอยจากการขัดหยาบทำให้ชิ้นงานเรียบ

การกำจัด ไขมัน หรือการทำทำความสะอาดขั้นแรก เป็นการเอาน้ำมันหรือไขมันออกจากผิวงาน ที่ทำการชุบด้วยการจุ่มชิ้นงานในไตรคลอโรเอทิลีน (trichloroethylene) ที่จุดเดือด 86 °C ซึ่งไอระเหยของไตรคลอโรเอทิลีนจะถูกกลั่นตัวอยู่บนผิวชิ้นงาน และทำการชำระล้างไขมันหรือน้ำมันลงสู่ถัง

การทำทำความสะอาดด้วยกรดหรือจุ่มผง เป็นการกัดสนิมเหล็กบาง ๆ เหล็กกล้า ทองแดง ทองเหลือง นิกเกิลเงิน และทองแดงผสมอื่น ๆ ด้วยกรดกำมะถันเข้มข้น 5-10 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร หรือใช้กรดเกลือในอัตราส่วน กรด 1 ส่วนต่อน้ำ 5 ส่วน

การล้างด้วยน้ำค้ำร้อน หลังจากผ่านการขัดผิวชิ้นงานแล้วควรจะล้างด้วยน้ำร้อนก่อน เพื่อให้ชิ้นงานสะอาดหมดจดในการล้างขั้นต่อไป

การล้างด้วยไฟฟ้า คือการปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านลงในน้ำยาค้างที่ร้อนประมาณ 60-90 °C แบ่งเป็น การล้างโดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วบวก (Anode Clean) เหมาะสำหรับชิ้นงานเหล็ก และการล้างโดยให้ชิ้นงานเป็นขั้วลบ (Cathode Clean) เหมาะสำหรับชิ้นงานที่ไม่ใช่เหล็ก

การทำความสะอาดด้วยเครื่องดูดน้ำไอโซนิค เป็นการทำความสะอาดด้วยระบบคลื่นความถี่สูง ส่วนมากนิยมใช้กับชิ้นงานเล็ก ๆ เช่น ชิ้นส่วนของนาฬิกา กรอบแว่นตา เป็นต้น

3.2 การชุบโลหะประเภทต่าง ๆ

3.2.1 การชุบทองแดง

ทองแดงมีประโยชน์ในการชุบเคลือบผิวชิ้นแรกของโลหะเดิมก่อนที่จะไปชุบอย่างอื่น เช่น ใช้ชุบบางงานที่มีรอยขูดกรีดบดสังกะสีผสมก่อนที่จะชุบนิกเกิล เพราะถ้าหากนำชิ้นงานที่มีรอยขูดกรีดหรืองานที่มีสังกะสีผสมอยู่ สังกะสีจะละลายในนิกเกิลทั้งที่ แต่ถ้านำชิ้นงานไปชุบทองแดงแบบค้างก่อน แล้วชุบด้วยทองแดงแบบกรดและชุบด้วยนิกเกิลเงาตามลำดับ จะทำให้ชิ้นงานนั้นแลดูสวยงามและทนทาน

การชุบทองแดงแบ่งตามสภาพน้ำยาได้ดังนี้

1. การชุบทองแดงแบบต่าง

สารละลายของการชุบทองแดงแบบต่างมีกำลังการเคลือบผิวดีมาก และเกาะจับผิวแน่น เหมาะสำหรับชุบรองผิวชิ้นแรกก่อนที่จะนำไปชุบในทองแดงแบบกรดและนิกเกิลเงา ทองแดงแบบต่างยังแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

- 1) แบบสไตรค์ (Strike Bath)
- 2) แบบร็อกเชล (Rochelle Bath)
- 3) แบบมีประสิทธิภาพสูง (High efficiency Bath)

ส่วนประกอบและหน้าที่ของน้ำยาชุบ

- คอปเปอร์ไซยาไนด์
- โซเดียมหรือโปแตสเซียมไซยาไนด์ เป็นตัวช่วยนำกระแสไฟฟ้า
- โซเดียมหรือโปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ เดิมลงในถังที่มีประสิทธิภาพสูงเพื่อช่วยการนำไฟฟ้าสูงขึ้น และปรับกำลังการเคลือบผิวให้ดีขึ้นพร้อมกันนี้ช่วยการละลายของขั้วบวก

- การบอเนด ช่วยควบคุมค่าพีเอชของน้ำยาไม่ให้เปลี่ยนแปลงได้ง่าย

2. การชุบทองแดงไทโรฟอสเฟต

การชุบทองแดงแบบนี้เหมาะกับชิ้นงานที่ทำด้วยสังกะสีหล่อ เนื่องจากสังกะสีจะชุบในสภาพที่เป็นกรดไม่ได้ น้ำยาที่มีสภาพเป็นกรดจะกัดชิ้นงานทำให้ชิ้นงานละลายในน้ำยาชุบอันเป็นเหตุให้น้ำยาชุบเสีย แต่ น้ำยาชุบทองแดงแบบไทโรฟอสเฟตนี้มีสภาพเป็นด่างและมีน้ำยาเงาด้วย ผลการชุบเหมือนการชุบด้วยทองแดงเงาชนิดกรด

ส่วนผสมของน้ำยา ได้แก่

- คอปเปอร์ไทโรฟอสเฟต
- โซเดียมไทโรฟอสเฟต
- แอมโมเนีย
- น้ำยาเงา

3. การชุบทองแดงแบบกรด

การชุบทองแดงแบบกรด การควบคุมน้ำยาทำได้ง่าย ดันทุนสารเคมีต่ำ ชุบแล้วเป็นเงางามมาก ด้วยเหตุนี้จึงนิยมใช้ชุบเคลือบผิวโลหะเพื่อเพิ่มความหนาของทองแดงรองพื้นก่อนชุบนิกเกิลเงา

ส่วนผสมของน้ำยา ได้แก่

- คอปเปอร์ซัลเฟต
- กรดกำมะถัน
- น้ำยาเงา

3.2.2 การชุบนิกเกิล

นิกเกิลเป็นโลหะสีขาวคล้ายเงิน นิยมนำมาใช้ในการชุบอย่างกว้างขวางที่สุด ประโยชน์ของการชุบนิกเกิลเพื่อรักษาและป้องกันเมื่อโลหะที่ถูกชุบนั้นให้ทนอยู่ได้นานและลดดูสวยงามยิ่งขึ้น ปกติผิวโลหะที่ชุบด้วยนิกเกิลแล้วจะต้องชุบเคลือบทับบาง ๆ ด้วยโครเมียม หรือชุบทับด้วยทองหรือเงินแล้วแต่ต้องการ นิกเกิลจะเป็นตัวรองพื้นไว้ก่อนและนิกเกิลมีตัวยาที่ทำให้เงาใส่ง่ายไปในน้ำยาชุบด้วย ทำให้ชุบขึ้นมาเป็นเงาสวยงามมาก

ส่วนผสมของน้ำยา ได้แก่

- นิกเกิลซัลเฟต เป็นตัวให้นิกเกิลอออน
- นิกเกิลคลอไรด์ ทำให้เกิดนิกเกิลอออน และเพิ่มความนำไฟฟ้าในน้ำยาชุบและช่วยให้ขั้ว

บวกละลายได้ดีขึ้น

• กรดบอริก ทำหน้าที่เป็นตัวปะทะเพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงของค่าพีเอชในน้ำยาชุบ การชุบนิกเกิลสามารถแบ่งออกเป็นหลายประเภทดังต่อไปนี้

1) นิกเกิลด้าน (Dull Nickel) ปัจจุบันการชุบนิกเกิลด้านมีการชุบน้อย และใช้เวลานานที่ไม่เหมาะสมจะชุบนิกเกิลเงา

2) นิกเกิลกึ่งเงา (Semi-bright Nickel) ใช้ชุบรองพื้นก่อนชุบนิกเกิลเงา ซึ่งนิกเกิลกึ่งเงานี้มีความเหนียวดีกว่านิกเกิลเงา และไม่เปราะ เนื่องจากได้มีการใส่สารบางอย่าง เช่น Coumarin เพื่อให้เกิดความเหนียวแน่นบนผิวนิกเกิล

3) นิกเกิลเงา (Bright Nickel) นิยมใช้มากในอุตสาหกรรมชุบโลหะเพราะเป็นตัวชุบรองพื้นก่อนชุบโครเมียม ทองเหลือง เงิน หรือทอง

4) นิกเกิลดำ (Black Nickel) นิยมใช้ในงานประเภทเดียวกับงานรมดำ เช่น อารูธ กรอบแว่นตา เป็นต้น ซึ่งไม่ต้องการให้สะท้อนแสง

5) นิกเกิลซาติน (Satin Nickel) การชุบนิกเกิลชนิดนี้จะได้สีเหลือบเหมือนสีมัทหรือเหลือบเหมือนผิวไข่มุก โดยมากจะใช้กับเครื่องใช้ภายในบ้านซึ่งประสงค์ไม่ให้สะท้อนแสง

6) นิกเกิลแบบหนา (Heavy Electrodeposition of Nickel) การชุบนิกเกิลแบบนี้เป็นการชุบพอกแบบหนา อย่างเช่นให้ชิ้นงานที่สึกหรือกลับมาที่มีความหนาเท่าเดิม ซึ่งใช้ในงานด้านวิศวกรรม

3.2.3 การชุบโครเมียม

โครเมียมเป็นโลหะที่มีสีขาวววล สุกใส ไม่ขุ่นมัว มีความแข็ง มีจุดหลอมตัวสูงที่ 1615 องศาเซลเซียส เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี และไม่เป็นสนิม ประโยชน์ของนิกเกิลก็นำไปผสมกับโลหะอื่น ๆ ในอุตสาหกรรมหล่อหลอมโลหะ และใช้ชุบเคลือบบนผิวโลหะอื่นเพื่อป้องกันไม่ให้โลหะนั้น เกิดสนิมและขุ่นมัว แบ่งการชุบโครเมียมได้เป็น 2 ประเภท คือ

1) การชุบโครเมียมชนิดบางหรือชุบเพื่อความสวยงาม (Decorative Chromium) มีจุดประสงค์เพื่อป้องกันไม่ให้โลหะอื่นเป็นสนิมและให้สวยงาม ทนต่อการเสียดสีและการผุกร่อน การชุบเคลือบชนิดนี้มักจะชุบโครเมียมค่อนข้างบางมาก มีความหนาประมาณ 0.25-0.8 ไมครอน

2) การชุบโครเมียมชนิดหนา (Hard Chromium หรือ Hard Chrome) มีจุดประสงค์เพื่อเพิ่มความหนาในผิวของโลหะนั้น ๆ เช่น ชิ้นส่วนของเครื่องมือหรือเครื่องจักรที่สึกหรือเพราะการใช้งาน ทำให้สามารถนำกลับมาใช้งานได้เหมือนเดิม หรือมีจุดประสงค์เพื่อให้ผิวโลหะนั้น ๆ มีความแข็ง แกร่ง ทนต่อความร้อน ทนต่อการเสียดสี มีความผิวดำ เช่น ก้านไฮดรอลิก การชุบในลักษณะนี้ต้องใช้

เวลามาก ขุบกัณฑ์ความหนาตั้งแต่ 0.001 นิ้วขึ้นไป นิยมใช้ชุบโครเมียมโดยตรงบนเหล็ก โลหะอื่นที่ไม่ใช่เหล็กมักไม่ค่อยทำกัน

น้ำยาชุบโครเมียมแบบธรรมดาจะมีส่วนผสมของกรดโครมิกกับกรดกำมะถันในอัตราส่วน 100 : 1 เสมอ

เนื่องจากโครเมียมเป็นโลหะที่แข็งมากดังนั้นจึงเปราะมาก ถ้าความหนาของโครเมียมหนา 0.02 มม.หรือน้อยกว่าจะได้ผิวโครเมียมที่ไม่มีรอยแตกร้าวแต่จะมีรูพรุนอยู่โดยทั่วไป หากความหนามากกว่า 0.02 มม.ขึ้นไปจะไม่ปรากฏรูพรุนแต่จะมีรอยแตกร้าว ด้วยเหตุที่มีรูพรุนเมื่อเวลาชุบบางนี้เองจึงเป็นเหตุให้โครเมียมป้องกันสนิมได้ไม่เต็มที่ และเพื่อแก้จุดอ่อนในเรื่องนี้การชุบโครเมียมแบบบางจึงมักรองพื้นด้วยทองแดงและนิกเกิลเสียก่อน

1) รองพื้นชิ้นงานด้วยทองแดงก่อนชุบนิกเกิล เพื่อให้ทองแดงเกาะจับชิ้นงานที่เป็นเหล็กเหล็กหล่อ โลหะผสม ได้แน่น

2) รองพื้นด้วยนิกเกิลก่อนชุบโครเมียม นิกเกิลจะเป็นตัวช่วยประสานยึดเหนี่ยวระหว่างทองแดงกับโครเมียมได้เป็นอย่างดี ที่สำคัญนิกเกิลจะช่วยป้องกันไม่ให้สนิมผ่านไปถึงเกาะกินเหล็กได้ นิกเกิลมีโอกาสขุ่นมัวดังนั้นจึงต้องอาศัยโครเมียมเคลือบทับบนนิกเกิลอีกชั้นหนึ่ง

3.3 ผอรรถของน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

น้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะจะมีสารมลพิษสูงเจือปนอยู่ คือ โลหะหนักและไซยาไนด์ ซึ่งการปล่อยมลพิษเหล่านี้สู่สิ่งแวดล้อมจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนและอันตรายต่อสุขภาพมนุษย์โดยตรง

ทองแดง เป็นโลหะที่ร่างกายต้องการเพียงเล็กน้อย ผู้ใหญ่ต้องการประมาณ 2 มก./วัน แต่ถ้าร่างกายได้รับมากเกินไปจะก่อให้เกิดโทษ เช่น รับประทานคอปเปอร์ซัลเฟตในปริมาณ 27 กรัม ทำให้เสียชีวิตได้

นิกเกิล สารประกอบนิกเกิล ไม่มีผลทางสรีระของสัตว์และพืช หรือเป็นพิษในเกณฑ์ที่ต่ำมาก

ตะกั่ว เป็นโลหะที่ร่างกายไม่ต้องการ แต่ร่างกายคนเราสามารถทนต่อตะกั่วได้ดี คนทั่วไปสามารถมีตะกั่วในเลือด 0.25 มก./ล. โดยไม่เป็นอันตราย แต่ถ้าได้รับในปริมาณมากทันทีทันใด เช่น พบในเลือด 0.8 มก./ล. เกิดเป็นพิษเฉียบพลันได้

สังกะสี ถ้าอยู่ในรูปของธาตุจะไม่ปรากฏความเป็นพิษ แต่สารประกอบหลายตัวเป็นพิษแต่อยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำ

โครเมียม สารประกอบโครเมียมประจุบวกสามไม่ปรากฏความเป็นพิษต่อร่างกาย แต่สารประกอบโครเมียมประจุบวกหก ทำให้เกิดอาการคันที่ผิวหนัง ผิวหนังอักเสบกลายเป็นแผลติดเชื้อขึ้นได้ การสูดไอกรดโครมิกเป็นประจำจะทำให้ผื่นงันในจมูกถูกเจาะทะลุ เกิดมะเร็งที่ปอดได้

ไซยาไนด์ ก๊าซไฮโดรเจนไซยาไนด์เป็นพิษอย่างแรง ระคายเคืองต่อระบบทางเดินหายใจ และอาจทำให้เสียชีวิตได้

3.4 กระบวนการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะ

ในการบำบัดน้ำเสียจากโรงงานชุบโลหะนั้นสามารถทำได้โดยอาศัยกระบวนการอย่างใดอย่างหนึ่งหรือหลายอย่างรวมกันดังต่อไปนี้ (Patterson, 1985)

- 1) การตกตะกอนทางเคมี (Precipitation) เป็นการเปลี่ยนรูปจากโลหะที่ละลายน้ำให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำโดยกระบวนการทางเคมี
- 2) การรวมตะกอน (Flocculation) เป็นกระบวนการทำให้ตะกอนรวมตัวกันมีขนาดใหญ่มากขึ้นสามารถตกตะกอนได้เร็ว
- 3) การตกตะกอน (Sedimentation) เป็นกระบวนการที่ใช้แยกของแข็งออกจากน้ำ สารประกอบโลหะหนักมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำสามารถตกตะกอนได้เร็ว โดยกระบวนการนี้มักจะต่อจากกระบวนการตกตะกอนทางเคมีและกระบวนการรวมตะกอน
- 4) การกรอง (Filtration) เป็นการแยกของแข็งออกจากน้ำ เนื่องจากตะกอนบางส่วนที่มีขนาดเล็กและแขวนลอยได้ ไม่สามารถแยกได้โดยการตกตะกอนเพียงอย่างเดียว
- 5) ออกซิเดชันและรีดักชัน (Oxidation/Reduction) เป็นกระบวนการทางเคมีที่มีการเปลี่ยนค่าเลขประจุเพื่อให้มีความเป็นพิษน้อยลงและสามารถกำจัดได้ง่ายขึ้น เช่น ไซยาไนด์ และโครเมียมประจุบวกหก
- 6) กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (Ion exchange) น้ำเสียที่มีโลหะหนักที่มีประจุบวกหรือสารประกอบที่มีประจุลบ เมื่อผ่านเรซินก็จะถูกดักจับไว้บนเรซินทำให้น้ำทิ้งมีคุณภาพดี และได้น้ำที่มีความเข้มข้นของโลหะหนักหรือสารประกอบสูงมาก อาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้หรือกำจัดด้วยวิธีอื่น
- 7) การระเหย (Evaporation) เป็นการใช้ความร้อนในการระเหยน้ำออกไปทำให้ความเข้มข้นสูงขึ้นหรือกลายเป็นกาต้มน้ำ หลังงานที่ใช้มาจากเชื้อเพลิง การถ่ายเทความร้อน หรือใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์

8) รีเวอร์สออสโมซิส (Reverse Osmosis) เป็นการแยกน้ำออกจากน้ำเสียโดยใช้แรงดันอัดน้ำเสียให้ผ่านเยื่อ (Semipermeable membrane) ซึ่งมีคุณสมบัติยอมให้น้ำและสารบางตัวผ่านได้ ดังนั้นจะได้น้ำที่มีความสะอาดและน้ำเสียที่มีความเข้มข้นสูง

9) การดูดซับด้วยถ่านกัมมันต์ (Activated carbon) ถ่านกัมมันต์จะมีรูพรุนมาก มีพื้นที่ผิวต่อน้ำหนักสูง เมื่อสัมผัสกับน้ำเสียจะทำให้มลสารต่างๆ ถูกจับไว้ในช่องรูพรุนทำให้น้ำทิ้งสะอาด

หลักเกณฑ์ในการเลือกใช้กระบวนการต่าง ๆ ต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมดังต่อไปนี้

- ลักษณะของน้ำเสียก่อนบำบัด
- คุณภาพของน้ำทิ้งที่ต้องการ
- พื้นที่ที่ต้องใช้ทั้งหมด
- ค่าใช้จ่ายในการบำบัดน้ำเสียและการตรวจสอบคุณภาพ
- ความยากง่ายในการเดินระบบและความปลอดภัย
- ความเป็นไปได้ในการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ หรือกากที่ต้องกำจัด

3.5 การตกตะกอนทางเคมี (Precipitation)

กระบวนการตกตะกอนทางเคมีจัดว่าเป็นเทคนิคที่นิยมใช้กันมากที่สุดในการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะเจือปน ซึ่งใช้ร่วมกับวิธีออกซิเดชัน/รีดักชัน แต่การตกตะกอนทางเคมียังคงมีข้อจำกัดหลายประการ คือ

- ต้องใช้ปริมาณสารเคมีตามค่าสตอยคิโอเมตริก
- เกิดสแลคจ์ที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบสูง
- กรณีต้องการลดมลสารของน้ำออกให้อยู่ในระดับหนึ่งในล้านของมลสารที่เข้าระบบ จะต้องใช้การตกตะกอนทางเคมี 2 ขั้น (two stage precipitation)
- ไม่เหมาะที่จะนำไปใช้กับน้ำเสียที่มีอัตราไหลต่ำหรือไหลเป็นพัก ๆ
- ประสิทธิภาพในการตกตะกอนร่วม (coprecipitation) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นเริ่มต้นของสิ่งเจือปน และพื้นที่ผิวของฟล็อกขั้นต้น (primary floc)

การตกตะกอนทางเคมีเป็นปรากฏการณ์ที่ค่อนข้างซับซ้อน เนื่องจากมีการเหนียวน้ำให้เกิดสภาวะอิ่มตัวเกินพอ (supersaturation) โดยแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ nucleation, crystal growth และ flocculation การตกตะกอนทางเคมีจะมีประสิทธิภาพสูงในการกำจัดไอออนที่ละลายน้ำ โดยเฉพาะโลหะหนัก เหมาะสำหรับบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมและน้ำได้คินที่ปนเปื้อน และสามารถใช้ในการบำบัดขั้นต้นเพื่อกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียก่อนการย่อยสลายสารประกอบอินทรีย์ที่เป็นพิษ

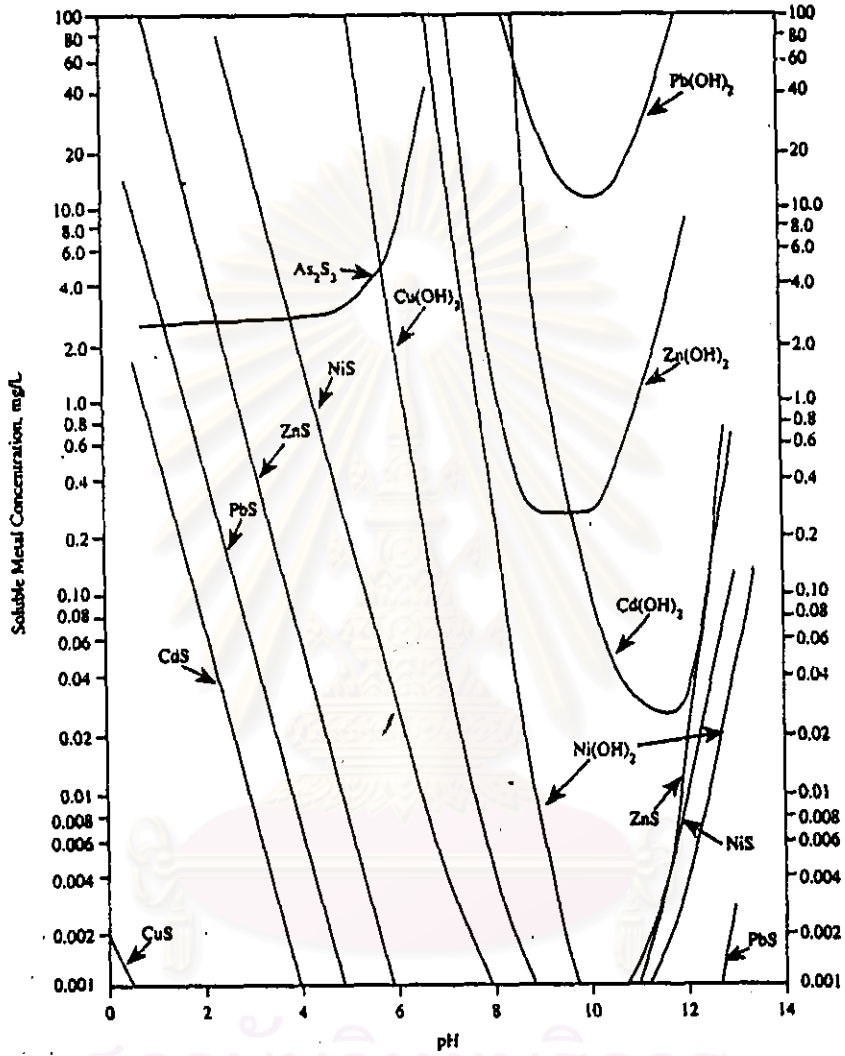
เทคนิคการตกตะกอนทางเคมีแบ่งได้ 5 ประเภทพื้นฐานที่ใช้ในการกำจัดโลหะหนักออกจากสารละลาย ได้แก่ (William, 1994)

- Hydroxide precipitation
- Carbonate precipitation
- Sulfide precipitation
- Xanthate precipitation
- Combined precipitation

3.5.1 Hydroxide Precipitation

ในกระบวนการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ โลหะหนักจะถูกกำจัดออกโดยการเติมสารที่เป็นด่าง เช่น โซดาไฟหรือปูนขาว เพื่อปรับพีเอชของน้ำเสียให้ถึงจุดที่โลหะมีความสามารถในการละลายต่ำสุด โดยทั่วไปความสามารถในการละลายของโลหะไฮดรอกไซด์ในสารละลายจะลดลงเมื่อปรับพีเอชเพิ่มขึ้นจนถึงจุดหนึ่ง (isoelectric point) หลังจากนั้นโลหะจะกลับมาละลายได้อีกเพราะกลายเป็น amphoteric ดังแสดงในรูปที่ 3.3 อย่างไรก็ตามความสามารถในการละลายได้ต่ำสุดทางทฤษฎีจะแตกต่างกันอย่างมากกับทางปฏิบัติเพราะอิทธิพลของ complexing agents, อุณหภูมิ และค่า ionic strength โลหะที่ตกตะกอนเป็นโลหะไฮดรอกไซด์แล้วสามารถกำจัดออกได้โดยการรวมตะกอนและปล่อยให้ตกตะกอน/กรอง การตกตะกอนทางเคมีจะขึ้นอยู่กับค่าความสามารถในการละลาย (K_{sp}) ของโลหะไฮดรอกไซด์, ค่า K_f ของโลหะไฮดรอกไซด์ และค่า K ของ complex agents เช่น EDTA, NTA, citrate, tartrate, gluconic acid, cyanide, ammonia เป็นต้น ส่วนประสิทธิภาพในการแยกของแข็ง/ของเหลวในระบบจะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพ เช่น ขนาด ความหนาแน่นของโลหะไฮดรอกไซด์ เทคนิคนี้เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะมีกระบวนการที่ไม่ซับซ้อน ค่าใช้จ่ายต่ำ และควบคุมได้ง่ายด้วยค่าพีเอช

Clifford และ กณะ (1986) ให้ข้อสังเกตว่า การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหลายชนิดปนกันควรใช้การตกตะกอนที่ละชั้น เพราะความสามารถในการละลายของโลหะแต่ละชนิดเกิดขึ้นที่พีเอชไม่เท่ากัน



รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชของสารละลาย กับ ความสามารถในการละลายของ โลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์ (William, 1994)

Peter และ คณะ (1985) ศึกษาการตกตะกอนไฮดรอกไซด์เพื่อกำจัด Cu, Fe, Ni, Cr และ Pb ออกจากน้ำเสียโรงงานชุบโลหะ พบว่าประสิทธิภาพในการกำจัดจะดีขึ้นเมื่อใช้ปูนขาวหรือโซดาแอช ร่วมกับการเติมซัลเฟตหรือซัลไฟด์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการกำจัดสารประกอบทองแดง/เหล็ก และได้ศึกษาถึงอิทธิพลของ complexing agents ในน้ำเสีย พบว่ามีผลให้เกิดการยับยั้งการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์

3.5.2 Carbonate Precipitation

การตกตะกอนด้วยคาร์บอเนตสามารถทำได้โดยการเติมโซดาแอช (Na_2CO_3) ซึ่งข้อได้เปรียบของเทคนิคนี้เมื่อเทียบกับการตกตะกอนไฮดรอกไซด์ คือ

- จุดที่เหมาะสมในการบำบัดอยู่ที่สภาวะพีเอชต่ำกว่า
- โลหะที่ตกตะกอนมีความหนาแน่นกว่าของเหลว ซึ่งทำให้ง่ายต่อการแยกของแข็ง
- คุณสมบัติขณะในการคั่งน้ำออกจากสลัดจ์ทำได้ดีกว่า

Patterson และ คณะ (1977) พบว่าการกำจัด Ni และ Zn ด้วยการตกตะกอนคาร์บอเนตไม่มีประโยชน์เมื่อเทียบกับการใช้ไฮดรอกไซด์ นั่นคือไม่ได้ช่วยให้สลัดจ์มีความหนาแน่นขึ้นหรือกรองออกได้ดีกว่า แต่จะมีผลดีกับกำจัด Cd และ Pb พบว่าความเข้มข้นของ Cd ที่เหลือเมื่อบำบัดที่พีเอช 2 ค่า การใช้คาร์บอเนตจะให้ความเข้มข้นที่เหลือต่ำกว่าการใช้ไฮดรอกไซด์ ส่วนการกำจัด Pb ที่ประสิทธิภาพเท่ากันจะต้องใช้พีเอชเท่ากับ 10.5 สำหรับ $\text{Pb}(\text{OH})_2$ แต่ใช้พีเอช 7.5 สำหรับ PbCO_3 นอกจากนี้ PbCO_3 เป็นตะกอนที่แน่นซึ่งช่วยการกรองให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับ $\text{Pb}(\text{OH})_2$

3.5.3 Sulfide Precipitation

การตกตะกอนด้วยซัลไฟด์ พบว่าให้ประสิทธิภาพสูงกว่าการใช้ไฮดรอกไซด์ในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำเสียอุตสาหกรรม ข้อดีและข้อจำกัดของการตกตะกอนทั้ง 2 วิธี แสดงดังตารางที่ 3.1

การตกตะกอนด้วยซัลไฟด์แบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ soluble sulfide precipitation (SSP) และ insoluble sulfide precipitation (ISP) ซึ่งจะแตกต่างกันตรงที่ไอออนซัลไฟด์ กระบวนการ SSP จะใช้ซัลไฟด์ในรูปสารละลายซัลไฟด์ เช่น โซเดียมซัลไฟด์ (Na_2S) หรือโซเดียมไฮโดรซัลไฟด์ (NaHS) และควบคุมการเติมสารละลายซัลไฟด์ด้วยวิธี feedback control loop โดยใช้ ion specific electrodes ทำงานได้ทั้งแบบ batch และแบบต่อเนื่อง

ในกระบวนการ ISP เฟอร์รัสซัลไฟด์ (FeS) ที่ละลายน้ำได้น้อยในรูป slurry จะถูกเติมลงในน้ำเสียซึ่งจะให้ไอออนซัลไฟด์ที่ต้องการสำหรับตกตะกอนโลหะหนัก เนื่องจากโลหะหนักส่วนใหญ่จะละลายน้ำได้น้อยกว่าเฟอร์รัสซัลไฟด์ ฉะนั้นจึงสามารถตกตะกอนเป็นโลหะซัลไฟด์ ในทางปฏิบัติ FeS จะเตรียมจากการผสมระหว่าง FeSO_4 และ NaHS ซึ่งข้อดีของกระบวนการ ISP คือ ไม่ทำให้เกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ และยังสามารถรีดิวซ์ Cr^{+6} เป็น Cr^{+3} แต่ข้อเสียก็คือ ต้องใช้สารเคมีในปริมาณที่มากกว่าสตอยชิโอเมตริกและเกิดสลัดจ์จำนวนมากเพราะเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ อัตราการเติมเฟอร์รัสซัลไฟด์ได้จากการทำจาร์เทสต์ ซึ่งตามธรรมดาจะใช้ปริมาณ 2-4 เท่าของสตอยชิโอเมตริกทำให้สิ้นเปลืองค่าสารเคมีจำนวนมากและเกิดสลัดจ์มากด้วย

ในกระบวนการ SSP ความเข้มข้นของซัลไฟด์ที่สูงจะก่อให้เกิดการตกตะกอนโลหะซัลไฟด์อย่างรวดเร็ว (high nucleation rates) ทำให้เกิดอนุภาคที่เล็กละเอียดและอนุภาคแขวนลอยซึ่งตกตะกอนและกรองได้ยาก ในกรณีที่มี chelating agents จะทำการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์ไม่ได้ถึงแม้จะปรับพีเอชสูงขึ้นก็ตาม แต่สามารถกำจัดโลหะหนักได้ด้วยการตกตะกอนซัลไฟด์แทน กรณีที่ไม่มี chelating agents โลหะไฮดรอกไซด์จะเกิดขึ้นเล็กน้อยที่พีเอชต่ำกว่า 6 ส่วนโลหะซัลไฟด์สามารถเกิดได้ที่ช่วงพีเอชกว้างมากตั้งแต่ 2 ถึง 12 เนื่องจากโลหะซัลไฟด์ละลายน้ำได้น้อยกว่าโลหะไฮดรอกไซด์ และเกิดสภาพ amphoteric น้อยกว่าด้วย นอกจากนั้นจะเกิดสลัดจ์โลหะซัลไฟด์น้อยและดึงน้ำออกได้ง่ายกว่า

Peter และ Ku (1985) ศึกษากระบวนการตกตะกอน Cu, Ni, Cr และ Zn จากน้ำเสียสังเคราะห์และน้ำเสียจริงของโรงงานชุบโลหะด้วยไฮดรอกไซด์และซัลไฟด์ เมื่อใช้ปริมาณซัลไฟด์เพิ่มขึ้นจะทำให้ความเข้มข้นของ Cu, Cr และ Zn ที่เหลือลดลง ในขณะที่ความเข้มข้น Ni เพิ่มขึ้นเพราะฟอร์มาลดีนเป็นฟล็อกขนาดเล็ก ที่พีเอชเท่ากับ 10 การบำบัดด้วยซัลไฟด์จะสามารถกำจัด Zn, Cu, Cr และ Ni ได้มากกว่า 97, 98, 55 และ 83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ การเติมซัลไฟด์ในปริมาณที่ต่ำกว่าสตอยชิโอเมตริกนอกจากจะทำให้ความเข้มข้นโลหะเหลือน้อยแล้ว ยังช่วยลดการเกิดก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์และปัญหาความเป็นพิษของซัลไฟด์

ตารางที่ 3.1 ข้อดีและข้อจำกัดของการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์และโลหะซัลไฟด์

Hydroxide precipitation	Sulfide precipitation
<p>ข้อดี</p> <ul style="list-style-type: none"> - ง่ายต่อการควบคุมด้วยพีเอช - การทำงานของระบบค่อนข้างง่าย - ค่าสารเคมีถูก (ปูนขาว) <p>ข้อจำกัด</p> <ul style="list-style-type: none"> - ตะกอนไฮดรอกไซด์มีแนวโน้มที่จะสามารถละลายกลับได้ ถ้าพีเอชสารละลายเปลี่ยนไป - การบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหลายชนิดปนกัน จะให้ประสิทธิภาพที่ไม่ดี - กรณีน้ำเสียมี chelating agents จะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะลดลง - ไม่สามารถกำจัด Cr(VI) ได้ - โซดาไฟ จะรบกวนการตกตะกอนโลหะไฮดรอกไซด์ - คังน้ำออกจากสลักซ์ยาก เนื่องจากโครงสร้างของอนุภาคเป็น amorphous - ที่พีเอช < 6 จะเกิดโลหะไฮดรอกไซด์ได้น้อย - ไม่เหมาะที่จะใช้กับน้ำเสียที่มีอัตราการผลิตสูง และมีความเข้มข้นเปลี่ยนแปลง - เวลาที่ใช้เริ่มเดินและหยุดระบบจะนานกว่ากระบวนการ packed-bed และ เมมเบรน 	<p>ข้อดี</p> <ul style="list-style-type: none"> - สามารถใช้กำจัดโลหะที่พีเอช 2-3 ได้ - ต้องการเวลาดักน้ำในถังปฏิกริยาน้อย เนื่องจากมีอัตราการเกิดปฏิกริยาสูง - สลัดซ์ซัลไฟด์ มีที่อุณสมบัติดีกว่าในแง่ thickening และ dewatering - อิทธิพลของ chelating agents ต่อการตกตะกอนโลหะซัลไฟด์มีน้อย - ปริมาณสลัดซ์โลหะซัลไฟด์เกิดขึ้นน้อยและง่ายต่อการดึงน้ำออก - สามารถเลือกกำจัดโลหะที่ต้องการและ recovery ส่วนที่เหลืออยู่ได้ <p>ข้อจำกัด</p> <ul style="list-style-type: none"> - ทำให้เกิดก๊าซ H₂S - ปัญหาความเป็นพิษของซัลไฟด์ - กระบวนการค่อนข้างซับซ้อน และมีค่าใช้จ่ายสูงเมื่อเทียบกับการตกตะกอนด้วยไฮดรอกไซด์

3.5.4 Xanthate Precipitation

ในการบำบัดด้วยแชนเรต โลหะที่เป็นตัวปนเปื้อนจะแลกเปลี่ยนกับอออนโซเดียมของแชนเรตแล้วฟอร์มตัวในรูปสารประกอบที่ไม่ละลายน้ำ ตามสมการที่ 3.1 หรือ 3.2



แชนเรตเป็นสารประกอบ sulfonated organic ทำหน้าที่เสมือนเป็นตัวแลกเปลี่ยนประจุระหว่างโลหะหนักในสารละลายและแทนที่ด้วย Na หรือ Mg การแยก metal xanthates ออกจากของเหลวทำได้โดยการปล่อยให้ตกตะกอนแล้วกรองออก ซึ่งเมื่อเทียบกับการบำบัดน้ำเสียด้วยไฮดรอกไซด์จะมีข้อดีกว่า คือ

- ประสิทธิภาพในการกำจัดโลหะสูงกว่า
- ไม่ไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพีเอช
- ช่วยทำให้การดึงน้ำออกจากสลัดจ์ดีขึ้น
- สามารถเลือกกำจัดโลหะที่ต้องการได้

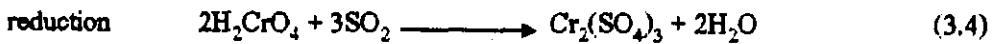
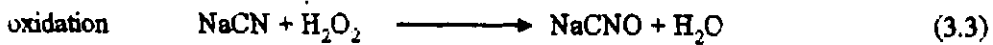
3.5.5 Combined Precipitation

เป็นระบบที่ใช้การตกตะกอนแต่ละประเภทร่วมกัน เช่น MoAnally และคณะ (1984) ได้ศึกษาการใช้ซัลไฟด์ชนิดละลายน้ำและคาร์บอนเนตเพื่อรีดิวซ์นิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ จากผล jar test พบว่า พีเอชที่เหมาะสมสำหรับกำจัดนิกเกิลเท่ากับ 11 และใช้อัตราส่วน S : Ni เป็น 2 และ CO₃ : Ni เท่ากับ 20 (โดยน้ำหนัก) จะได้ความเข้มข้นนิกเกิลที่เหลือ 0.1 มก./ล. ซึ่งคาดว่ากลไกการกำจัดนิกเกิลอาจเกิดจากการตกตะกอนร่วม (coprecipitation)

3.6 Oxidation-Reduction Technology

ออกซิเดชัน-รีดักชัน หรือปฏิกิริยารีดอกซ์มีบทบาทสำคัญในการใช้บำบัดของเสีย เช่น ของเสียที่ปนเปื้อนโลหะ, ซัลไฟด์, ไฮยาไนด์ และโครเมียม รวมทั้งมีการนำไปใช้บำบัดของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ เช่น ฟีนอล, ยาน้ำแมลง และสารประกอบที่มีซัลเฟอร์

ออกซิเดชัน-รีดักชันจะเป็นปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับ oxidation state ของสารที่ทำปฏิกิริยากัน ตัวอย่างเช่น



ปฏิกิริยาที่ 1 อีออนของไซยาไนด์ oxidation state ของไนโตรเจนจะเพิ่มจาก -1 เป็น +1 และ oxidation state ของออกซิเจนจะลดลงจาก -1 เป็น -2

ปฏิกิริยาที่ 2 oxidation state ของโครเมียมจะลดลงจาก +6 เป็น +3 และ oxidation state ของซัลเฟอร์จะเพิ่มจาก +4 เป็น +6

3.6.1 Oxidation

ปฏิกิริยาออกซิเดชันมีใช้กันอย่างแพร่หลายสำหรับบำบัดของเสียที่เป็นอันตรายและไม่เป็นอันตราย โดยจัดว่าเป็นเทคนิคที่ปลอดภัยและสามารถควบคุมติดตามผลได้สะดวก ส่วนมากนิยมใช้กับของเสียที่เป็นของเหลว แต่ก็มีที่นำไปใช้กับของเสียประเภท slurry และ sludge

ตัวอย่างของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ซึ่งนิยมบำบัดด้วยวิธี chemical fixation ได้แก่ ไซยาไนด์ ดังแสดงในตารางที่ 3.2, phenols, amines, mercaptans และ chlorophenols อย่างไรก็ตามสารอินทรีย์บางตัวสามารถทนต่อการถูกออกซิไดซ์ภายใต้อุณหภูมิและความดันบรรยากาศ ฉะนั้นจึงจำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิ, ใช้ตัวกระตุ้น หรือแสง UV

ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้สำหรับออกซิไดซ์ไซยาไนด์

Agent	Oxidation reaction
Sodium hypochlorite	$2\text{NaCN} + 5\text{NaOCl} + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{NaHCO}_3 + 5\text{NaCl}$
Calcium hypochlorite	$4\text{NaCN} + 5\text{Ca(OCl)}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{N}_2 + 2\text{Ca(HCO}_3)_2 + 3\text{CaCl}_2 + 4\text{NaCl}$
Chlorine	$2\text{NaCN} + 5\text{Cl}_2 + 12\text{NaOH} \rightarrow \text{N}_2 + 2\text{Na}_2\text{CO}_3 + 10\text{NaCl} + 6\text{H}_2\text{O}$
Calcium polysulfide	$\text{NaCN} + \text{CaS}_x \rightarrow \text{NaCNS} + \text{CaS}_{x-1}$
Potassium permanganate	$\text{NaCN} + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{KOH} \rightarrow 2\text{K}_2\text{MnO}_4 + \text{NaCNO} + \text{H}_2\text{O}$
Hydrogen peroxide	$\text{NaCN} + \text{H}_2\text{O}_2 \rightarrow \text{NaCNO} + \text{H}_2\text{O}$
Ozone	$\text{NaCN} + \text{O}_3 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaCNO} + \text{O}_2$

Oxidation Reagents

1. Sodium Hypochlorite

จุดประสงค์หลักของการใช้คลอรีนหรือไฮโปคลอไรท์เพื่อบำบัดของเสียที่มีส่วนผสมของไซยาไนด์ เช่น ของเสียจากอุตสาหกรรม metal finishing เป็นต้น

2. Hydrogen Peroxide

ใช้ออกซิไดซ์ของเสียที่มีฟีนอลและบำบัดน้ำทิ้งจากอุตสาหกรรมทำเยื่อกระดาษ รวมถึงใช้เป็นสารตัวเติม (additive) ใน scrubber solution เพื่อกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์, ไนตริกออกไซด์ และ ไนโตรเจนไดออกไซด์

3. Calcium Hypochlorite

ใช้ในการบำบัดของเสียอุตสาหกรรมหลายประเภท เช่น บำบัดสารละลายไซยาไนด์ โดยเฉพาะทองแดงและนิกเกิลไซยาไนด์

4. Potassium Permanganate

ใช้กำจัดเหล็กและแมงกานีสออกจากน้ำ ช่วยกำจัดกลิ่น และใช้ออกซิไดซ์ไซยาไนด์

5. Ozon

ฆ่าเชื้อโรคในการผลิตน้ำประปา และสามารถใช้ร่วมกับแสง UV เพื่อออกซิไดซ์สารประกอบเหล็กไซยาไนด์, polychlorinated biphenyls ช่วยให้เกิดปฏิกิริยาได้อย่างรวดเร็ว

3.6.2 Reduction

chemical reduction สามารถใช้ในการบำบัดของเสียอันตรายได้เช่นกัน ตัวอย่างการบำบัดของเสียที่นิยมใช้เทคนิคนี้ ได้แก่ การรีดิวซ์ Cr(VI) เป็น Cr(III) ซึ่งมีความเป็นพิษน้อยกว่า และสามารถตกตะกอนในรูป Cr(OH)₃ ที่ไม่ละลายน้ำและกำจัดออกได้ง่าย สารเคมีที่ใช้รีดิวซ์ Cr(VI) ดังแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 สารเคมีที่ใช้สำหรับรีดิวซ์ Cr(VI)

Agent	Reduction reaction
Sulfur dioxide	$3\text{SO}_2 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{H}_2\text{SO}_3$ $2\text{CrO}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_3 \rightarrow \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{H}_2\text{O}$
Bisulfite	$4\text{CrO}_3 + 6\text{NaHSO}_3 + 3\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 2\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 3\text{Na}_2\text{SO}_4 + 6\text{H}_2\text{O}$
Ferrous sulfate	$2\text{CrO}_3 + 6\text{FeSO}_4 + 6\text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow 3\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3 + 6\text{H}_2\text{O}$

นอกจากนี้ยังมีเทคนิคที่ใช้รีดิวซ์โลหะให้อยู่ในสถานะพื้นฐาน (elemental state) ซึ่งสามารถนำโลหะกลับมาใช้ใหม่ได้ (recovery) และอาจใช้เป็นมาตรฐานการบำบัดขั้นต้นกรณีที่เกิดอุบัติเหตุที่มีความเข้มข้นมากขึ้น

Reduction Reagents

1. Sulfur Dioxide

ใช้กันอย่างกว้างขวางในการบำบัดโครเมียมเพราะใช้ปริมาณไม่มากเมื่อเทียบกับสารเคมีตัวอื่น ดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปริมาณของสารเคมีที่ใช้รีดิวซ์ Cr(VI)

Chemical	Amount required, lb/lb or kg/kg
Sulfur dioxide	1.9
Sodium bisulfite	3.0
Sodium metabisulfite	2.8
Ferrous sulfate	8.8

2. Sodium Borohydride (NaBH_4)

เทคนิคการบำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมที่มีโลหะหนักเจือปน โดยการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์เป็น reducing agent ปัจจุบันได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นตามกฎหมายสิ่งแวดล้อมที่เพิ่มความเข้มงวดขึ้น เนื่องจากเป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพการกำจัดสูง ซึ่งคุ้มกับค่าใช้จ่ายที่เสียเพราะสามารถนำโลหะหนักในน้ำทิ้งกลับมาใช้ได้อีก การใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์สามารถจะบำบัดแคโทดอนของโลหะในน้ำทิ้งให้เหลือน้อยกว่า 0.1 มก./ล. ได้ (Edward, 1991)

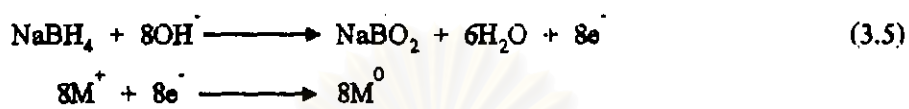
3.7 Borohydride Reduction

โซเดียมโบโรไฮไดรด์ (NaBH_4) มีลักษณะเป็นของแข็งสีขาว ได้จากการทำปฏิกิริยาระหว่าง sodium hydride หรือ sodium methoxide กับ diborane มีคุณสมบัติละลายน้ำได้และจะมีความเสถียรถ้าอยู่ในสถานะที่เป็นค่าง โซเดียมโบโรไฮไดรด์แบ่งออกเป็น 3 แบบ ได้แก่

- granules ขนาด 10-40 mesh
- pellets ขนาด 7/16 นิ้ว
- powder

สารละลายโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (SBH) ที่ใช้เป็น reducing agent สำหรับเปลี่ยนไอออนของโลหะที่ละลายน้ำหรือสารประกอบอินทรีย์โลหะ (organometallic compounds) ให้เป็นโลหะพื้นฐานที่ไม่ละลายน้ำ (insoluble elemental metal) จะอยู่ในรูปของสารละลาย 12 % (w/v) NaBH₄ ใน 40 % (w/v) NaOH

โซเดียมโบโรไฮไดรด์ จะทำปฏิกิริยากับไอออนไฮดรอกไซด์ตามสมการที่ 3.5



ซึ่งแสดงให้เห็นว่า NaBH₄ 1 โมลจะรีดิวซ์ monovalent metal ได้ 8 โมล ตามสมการที่ 3.6



ตารางที่ 3.5 แสดงอัตราส่วนน้ำหนักของโลหะที่ถูกรีดิวซ์ต่อน้ำหนักของโซเดียมโบโรไฮไดรด์ในทางทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติแล้วต้องใช้ปริมาณโซเดียมโบโรไฮไดรด์เพิ่มขึ้นเนื่องจากอาจมีสารประกอบอื่นที่สามารถถูกรีดิวซ์ได้ด้วยโบโรไฮไดรด์ และถ้าในน้ำที่มี strongly complexed metals เช่น สารประกอบไซยาไนด์ จำเป็นจะต้องทำลายสารประกอบเหล่านี้ก่อนที่จะบำบัดด้วยโบโรไฮไดรด์

นอกจากนี้ โซเดียมโบโรไฮไดรด์สามารถใช้รีดิวซ์สารประกอบอินทรีย์ที่มีน้ำและแอสกอสอลเป็นตัวทำละลายได้ด้วย เช่น ketones, organic acids, amides และใช้ในกระบวนการ dehalogenation สารปนเปื้อนที่เป็นสารอินทรีย์

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนโดยน้ำหนักของโลหะที่ถูกรีดิวซ์ต่อจำนวนโซเดียมโบโรไฮไดรด์ที่ใช้

Metal	Valence	Weight ratio*
Lead	Pb ²⁺	22
Cadmium	Cd ²⁺	12
Mercury	Hg ²⁺	21
	Hg ⁺	42
Copper	Cu ²⁺	7
Silver	Ag ⁺	22
Gold	Au ³⁺	14
Nickel	Ni ²⁺	6
Palladium	Pd ²⁺	11
Platinum	Pt ⁴⁺	10
Cobalt	Co ²⁺	6
Rhodium	Rh ³⁺	7
Iridium	Ir ⁴⁺	10

*Weight ratio = maximum kilograms of metal reduced per kilogram of sodium borohydride.

3.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Lindsay และ Hackman (1985) ปรับปรุงกระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีทองแดงเจือปนของโรงงานทำแผงวงจรไฟฟ้า จากระบบเดิมที่ใช้ FeSO_4 ร่วมกับการปรับพีเอชเป็นการใช้ SBH ร่วมกับ NaHSO_3 เนื่องจากการบำบัดด้วย FeSO_4 ไม่สามารถรองรับปริมาณน้ำเสียที่มากขึ้นเมื่อมีการเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงาน จากการทดลองใช้ SBH แทนพบว่า

- 1) ปฏิกริยารีดักชันของทองแดงที่ละลายน้ำจะถูกเปลี่ยนให้อยู่ในรูปของโลหะพื้นฐาน (metallic state) ทำให้เกิดปริมาณตะกอนน้อยกว่าระบบเดิม
- 2) ช่วยเพิ่มความสามารถของระบบบำบัดน้ำเสีย
- 3) สามารถกำจัดทองแดงให้เหลือต่ำกว่า 1 มก./ล.

ปริมาณตะกอนที่เกิดจาก chelating wastes เมื่อบำบัดด้วย SBH จะลดลงถึง 82 เปอร์เซ็นต์ และคิดเป็นปริมาณของแข็งทั้งหมด 55 เปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับ 35 เปอร์เซ็นต์กรณีใช้ FeSO_4 ซึ่งจะเป็นการช่วยลดการทำงานของเครื่องรีดน้ำออกจากตะกอน นอกจากนี้ปริมาณโลหะทองแดงในตะกอนจะเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 80 เปอร์เซ็นต์ ทำให้เหมาะที่จะนำทองแดงกลับมาใช้ใหม่

Cook และคณะ (1980) สรุปรวบรวมการใช้ SBH บำบัดน้ำเสียอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ ได้แก่

1. Removal and recovery lead

ทดลองใช้ SBH กำจัดตะกั่วออกจากน้ำเสียของโรงงานผลิต tetraalkyllead ซึ่งตะกั่วที่ปนเปื้อนจะอยู่ในรูป alkyllead และสารประกอบอินทรีย์ตะกั่ว การบำบัดขั้นแรกจะปรับพีเอชของน้ำเสียเป็น 9 เพื่อตกตะกอนตะกั่วไฮดรอกไซด์บางส่วนก่อนโดยใช้โพแทสเซียมช่วยตกตะกอนร่วมด้วย สามารถลดความเข้มข้นของ Pb เริ่มต้นจาก 500-3500 มก./ล.เหลือ 5-35 มก./ล. หลังจากนั้นจึงบำบัดด้วย SBH ที่พีเอชเท่ากับ 9 โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักของ SBH ต่อ Pb เป็น 0.3-0.5 จะได้ความเข้มข้น Pb ในน้ำออกเหลือต่ำกว่า 0.1 มก./ล.

2. Mercury removal

ทดลองใช้ SBH กำจัดปรอทออกจากน้ำเสียของโรงงานผลิตก๊าซกลอรีนและโซดาไฟ ซึ่งใช้ปรอทเป็นสารอิเล็กทรอนิกส์ มีความเข้มข้นปรอทในน้ำเสีย 10-50 มก./ล. ขั้นแรกจะกำจัดสารออกซิไดซ์ที่ปนเปื้อนในน้ำเสียก่อนด้วยไฮโปซัลไฟต์ แล้วจึงบำบัดด้วย SBH โดยใช้ปริมาณ SBH ที่เกินพอเพื่อช่วยป้องกันหรือออกซิเดชันของปรอท น้ำออกหลังจากผ่านการกรองจะเหลือความเข้มข้นปรอท 0.1-0.8 มก./ล.

3. Silver recovery

การทดลองนำโลหะเงินจากน้ำเสียโรงงานผลิตฟิล์มถ่ายรูปกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งน้ำเสียดังกล่าวจะมีเงินและแคดเมียมเจือปนอยู่ 10-120 มก./ล. และ 5-60 มก./ล. ตามลำดับ เงินจะอยู่ในรูป silver halides ที่ไม่ละลายน้ำและเงินบางส่วนที่ละลายน้ำ การบำบัดขั้นแรกจะเติมเฟอร์ริกคลอไรด์ตามด้วยโซดาไฟเพื่อปรับพีเอชเป็น 11 แล้วจึงใช้ SBH ฟล็อกเฟอร์ริกไฮดรอกไซด์ที่เกิดขึ้นจะช่วยแยกของแข็งออกจากของเหลวได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อใช้โพลีเมอร์แทนจะให้ข้อดีมากกว่าคือตะกอนที่เกิดขึ้นจะสามารถสกัดเอาเงินกลับมาใช้ใหม่ได้ง่ายกว่า น้ำออกขั้นสุดท้ายจะเหลือความเข้มข้นเงินและแคดเมียมประมาณ 0.09 มก./ล.

Lindsay และ Stennick (1986) ศึกษาการใช้โซเดียมโบโรไฮไดรด์รีดิวซ์โลหะที่ปนเปื้อน เช่น ทองแดง นิกเกิล ตะกั่ว โคบอลต์ในระบบบำบัดแบบแบทช์และแบบต่อเนื่อง โดยมีจุดประสงค์หลักเพื่อลดปริมาณตะกอนที่ขึ้น น้ำล้างและน้ำทิ้งที่เป็น chelating และ nonchelating จะบำบัดด้วยโซเดียมโบรไฮไดรด์ร่วมกับโซเดียมโบโรไฮไดรด์ (12% NaBH_4 in 40% NaOH) ภายใต้สภาวะพีเอชและไอออนที่เหมาะสม และใช้โพลีเมอร์เป็นโคแอกกูแลนต์เอ็ด ผลการทดลองจะได้ตะกอนโลหะที่มีคุณสมบัติยึดตัวกันแน่นทำให้รีดน้ำออกได้ง่าย และสามารถนำโลหะในตะกอนกลับมาใช้ใหม่ได้ ส่วนน้ำเสียหลังการบำบัดจะมีปริมาณโลหะต่ำกว่า 1 มก./ล.

Lee และ คณะ (1993) ศึกษาผลของปฏิกิริยาระหว่างไอออนของโลหะกับโบโรไฮไดรด์ภายใต้สภาวะ reductive bleaching โดยใช้ตัวอย่างไอออนของโลหะ ได้แก่ Fe(III) , Cu(II) และ Mn(II) ซึ่งเป็นไอออนที่พบมากในการทำเยื่อกระดาษ

พบว่าไอออนของโลหะเหล่านี้จะตกตะกอนออกมาเมื่อทำปฏิกิริยากับ NaBH_4 และ NaOH หรือเมื่อเติม NaBH_4 เพียงอย่างเดียว และเมื่อตรวจสอบ oxidation state ของโลหะด้วย X-ray photoelectron spectroscopy จะเห็นว่า Fe(III) ถูกรีดิวซ์เป็น Fe(0) เมื่อเติม NaBH_4 + NaOH และรีดิวซ์เป็น Fe(II) เมื่อเติมเฉพาะ NaBH_4 0.038 เปอร์เซ็นต์ (โดยน้ำหนัก) Cu(II) ถูกรีดิวซ์เป็น Cu(I) และบางส่วนกลายเป็น Cu(0) เมื่อเติม NaBH_4 0.038 และ 0.378 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนผลของ Mn(II) ยังไม่แน่ชัด

3.9 น้ำเสียที่ใช้ในการศึกษา

น้ำเสียที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากโรงงานผู้ผลิตและจำหน่ายก้อนน้ำ อุปกรณ์ เครื่องสูบลม และชิ้นส่วนจากทองเหลืองและทองสัมฤทธิ์ชุบโครเมียม โดยกระบวนการผลิตของโรงงานแบ่งได้เป็น 5 ขั้นตอน คือ

- การหล่อ (Casting)
- การกลึง (Machining)
- การขัดผิว (Polishing)
- การชุบ (Plating)
- การประกอบชิ้นงาน (Assembly)

ในงานวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการชุบโลหะเท่านั้น ซึ่งเป็นน้ำเสียที่มีโลหะหนักต่าง ๆ เจือปน ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

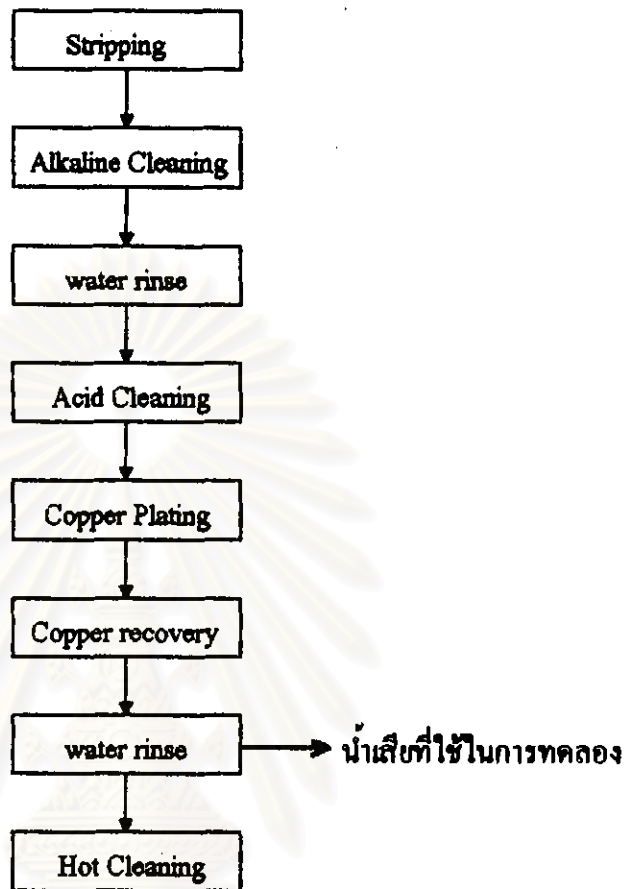
3.9.1 กระบวนการชุบ

กระบวนการชุบผิวชิ้นงานจะแบ่งสาย (lines) การชุบออกเป็น 3 สายด้วยกันคือ

1. สายสำหรับการซ่อมผิวชิ้นงานที่เสีย

กรณีที่มีการชุบชิ้นงานด้วยนิกเกิล-โครเมียมไม่สมบูรณ์ เช่น ผิวชิ้นงานเกิดตามดขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องนำชิ้นงานที่เสียมาทำการลอกผิวใหม่ (stripping) ด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้น แล้วจึงนำไปชุบผิวด้วยทองแดงก่อนที่จะกลับไปชุบนิกเกิล-โครเมียมใหม่อีกครั้ง กระบวนการชุบดังกล่าวจะใช้แรงงานคนในการจัดการ ขั้นตอนการชุบดังแสดงในรูปที่ 3.4 และส่วนประกอบของน้ำอาชุบแสดงไว้ในภาคผนวก ก.1

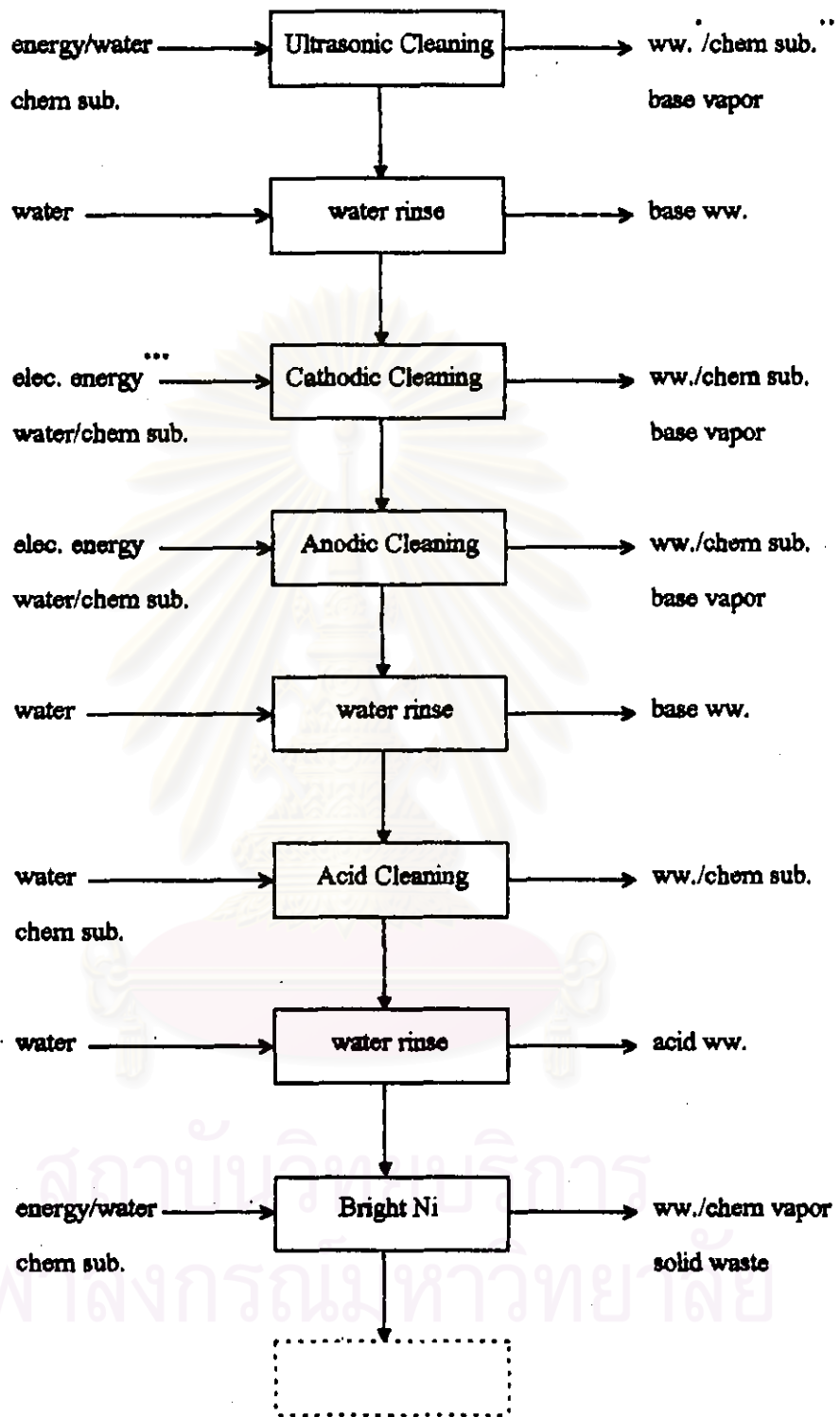
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



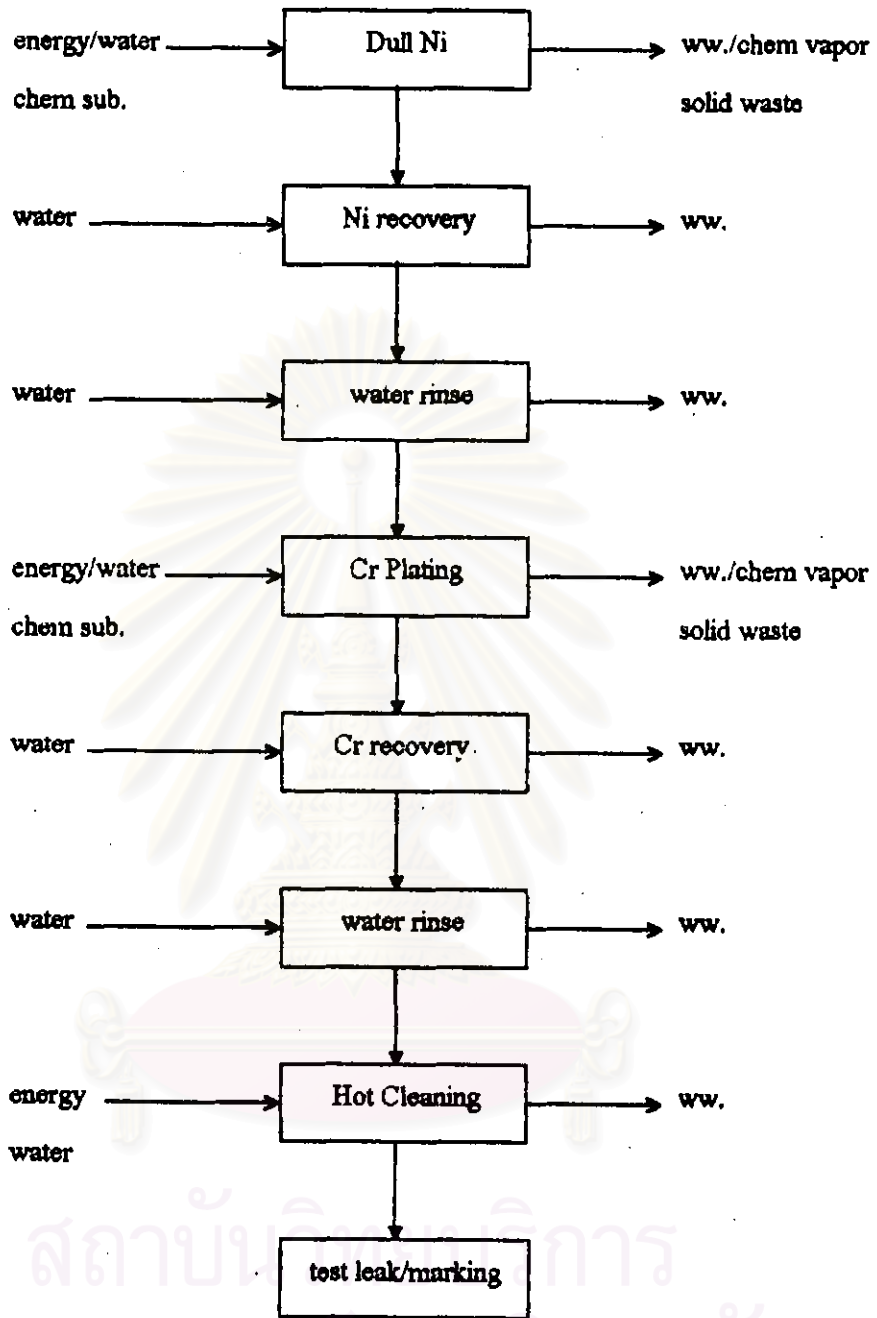
รูปที่ 3.4 ขั้นตอนการชุบทองแดง

2. สายการชุบนิกเกิล-โครเมียม

กระบวนการชุบผิวชิ้นงานด้วยนิกเกิล-โครเมียมใช้เครื่องจักรอัตโนมัติควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ มีขั้นตอนการชุบชิ้นงาน และการเกิดของเสียระหว่างกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 3.5 และส่วนประกอบของน้ำยาชุบแสดงไว้ในภาคผนวก ก.2



รูปที่ 3.5 กระบวนการชุบชิ้นงานด้วยนิกเกิล-โครเมียม



รูปที่ 3.5 กระบวนการชุบชิ้นงานด้วยนิกเกิล-โครเมียม (ต่อ)

ww. = wastewater

** chem sub. = chemical substance

*** elec. energy = electrical energy

3. สาขาการชุบทอง

เปิดชุบเฉพาะกรณีที่ทำเป็นพิเศษ ซึ่งมีไม่มากนัก

3.9.2 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

การศึกษาในครั้งนี้จะสนใจเฉพาะน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนที่เกิดจากสายการชุบทองแดง และสายการชุบนิกเกิล-โครเมียมเท่านั้น ซึ่งแหล่งที่มาของน้ำเสียแบ่งออกเป็น

1. น้ำเสียทองแดง

น้ำเสียทองแดงมาจากน้ำล้างชิ้นงานหลังผ่านการชุบน้ำยา ดังแสดงในรูป 3.4 น้ำเสียที่ใช้ทดลองเก็บในขณะที่เจ้าหน้าที่กำลังทำการชุบชิ้นงานอยู่ ดังนั้นจึงทำให้คุณสมบัติของน้ำเสียดังกล่าวมีค่าแปรอยู่ในช่วงที่กว้าง

2. น้ำเสียนิกเกิล

น้ำเสียนิกเกิลมาจากน้ำล้างเครื่องกรองที่ใช้กรองสิ่งตกปรกออกจากน้ำยาของดังรูป Bright Ni, Dull Ni และน้ำล้างเครื่องกรองที่ใช้กรองน้ำล้างในถัง recovery ดังแรก ซึ่งน้ำเสียจากแหล่งดังกล่าวจะถูกส่งไปรวมที่บ่อพักน้ำเสียนิกเกิล

3. น้ำเสียโครเมียม

น้ำเสียโครเมียมมาจากน้ำที่ใช้ล้างเครื่องกรองและน้ำล้างชิ้นงานชุบโครเมียม น้ำเสียจากแหล่งดังกล่าวจะถูกส่งไปรวมที่บ่อพักน้ำเสียโครเมียม แต่วันที่ทำการเก็บน้ำเสีย น้ำเสียรวมจากบ่อพักค่านนอกซึ่งมีระดับน้ำสูงกว่าได้ไหลเข้ามาปนกับน้ำเสียโครเมียมในบ่อพักที่ทำการเก็บ จึงทำให้น้ำเสียโครเมียมมีโลหะหนักชนิดอื่นเจือปนอยู่ด้วย

4. น้ำเสียรวม

น้ำเสียรวมมาจากน้ำล้างชิ้นงานหลังชุบกรด/เบส และน้ำเสียจากการชุบทองแดง นิกเกิล และโครเมียม

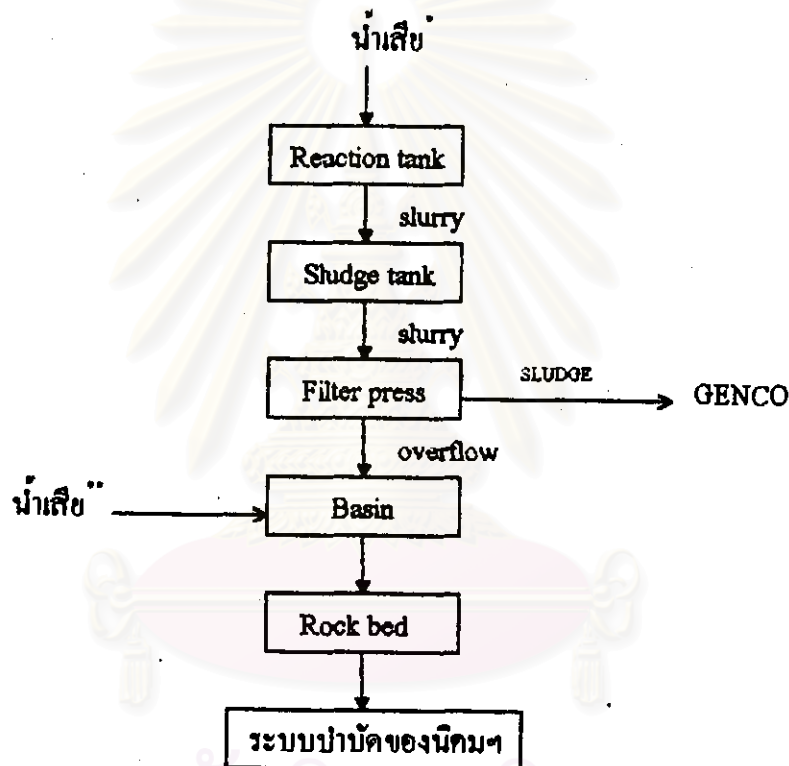
ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นของโรงงานเฉพาะส่วนที่เป็นน้ำเสียโลหะหนักจากแหล่งที่มาดังกล่าวข้างต้นโดยประมาณต่อ 1 เดือนแสดงในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ปริมาณน้ำเสียโดยประมาณ

ประเภทของน้ำเสีย	ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้น (m ³ /เดือน)
จากการชุบทองแดง	27.6
จากการชุบนิกเกิล	20
จากการชุบโครเมียม	30.4
น้ำเสียรวม	78

3.9.3 ระบบบำบัดน้ำเสีย

กระบวนการบำบัดน้ำเสียที่มีโลหะหนักเจือปนของโรงงาน จะใช้วิธีการตกตะกอนทางเคมี ด้วยค่าโดยใช้โซเดียมแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์สำหรับรีดิวซ์โครเมียมประจุบวกหกก่อน แล้วจึงปรับพีเอช ของน้ำเสียเป็น 7 ด้วย NaOH จากนั้นจึงปรับพีเอชต่อด้วย Ca(OH)_2 ให้พีเอชสุดท้ายประมาณ 8-9 แล้วปล่อยให้ตกตะกอนประมาณ 30 นาที แยกน้ำใสส่วนบนส่งต่อระบบบำบัดรวมของนวนคร ส่วน สลัดจ์นำไปรีดน้ำออกด้วย Filter press กากของเสียที่เกิดขึ้นทางบริษัทว่าจ้างบริษัทบริหารและพัฒนา เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (GENCO) เป็นผู้ดำเนินการ ขั้นตอนการบำบัดน้ำเสียดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 กระบวนการบำบัดน้ำเสียของโรงงาน

น้ำเสีย ได้แก่ acid waste water, basic waste water, Ni/Cr waste water และ Cu/Au waste water

น้ำเสีย ได้แก่ acid/basic rinse water (auto line)

ปัญหาที่พบในระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงาน คือ ขนาดของระบบบำบัดไม่สามารถรองรับ ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันได้โดยเฉพาะเมื่อมีการเพิ่มกำลังการผลิต ทำให้บางครั้งคุณภาพน้ำ หลังการบำบัดมีปริมาณโลหะหนักบางตัวไม่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งของการนิคมอุตสาหกรรม และตะกอนที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณมาก ทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายสูงในการจัดการตะกอน