

## ส่วนที่ 2

คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับการแปรรูปเหล็ก  
และกระบวนการกำจัดสนิม

## บทที่ 1

## บทนำ

## 1.1 ข้อมูลทั่วไป

อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กและเหล็กกล้าสามารถแบ่งออกได้เป็นสามระดับได้แก่การผลิตเหล็กขั้นต้น ขั้นกลาง และขั้นปลาย ดังที่ได้แสดงในรูปที่ 1 อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กขั้นต้นประกอบด้วยกรรมวิธีการผลิตสองวิธีได้แก่ (1) การถลุงเหล็ก และ (2) การขจัดออกซิเจนโดยใช้ก๊าซ (Direct Reduction) ซึ่งจะให้ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ในรูปของเหล็กถลุง (Pig Iron) และเหล็กพรุน (Sponge Iron) ตามลำดับ เหล็กที่ผลิตได้นี้จะเป็นวัตถุดิบในการผลิตเหล็กขั้นกลางซึ่งจะผ่านการหลอม และปรับปรุงคุณภาพของน้ำเหล็กแล้วจึงนำมาผลิตเป็น เหล็กแท่งเล็ก (Billet) เหล็กแท่งใหญ่ (Bloom) และเหล็กแท่งแบน (Slab) เหล็กแต่ละชนิดที่ได้จะถูกนำไปผ่านกระบวนการรีดขึ้นรูปเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น เหล็กแท่งเล็กจะผ่านกระบวนการรีดเย็น (cold rolling) เพื่อรีดเป็นเหล็กเส้น เหล็กลวด ลวดเหล็กสำหรับคอนกรีตอัดแรง เหล็กแท่งใหญ่จะถูกรีดเป็นเหล็กรูปโครงสร้างรูปพรรณ ส่วนเหล็กแท่งแบนจะถูกนำไปผลิตเป็นเหล็กแผ่น ในการผลิตขั้นปลาย ผลิตภัณฑ์เหล่านี้จะถูกแปรรูปให้มีคุณสมบัติเหมาะสมกับการใช้งานต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น ท่อ นี้อด สกรู โซ่ แผ่นเหล็กเคลือบสังกะสี เป็นต้น

อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กและเหล็กกล้าในประเทศไทยส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตในขั้นกลางและขั้นปลายดังที่ได้กล่าวในข้างต้น เนื่องจากวัตถุดิบเกือบทั้งหมดถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ การขนส่งและการเก็บรักษาสามารถก่อให้เกิดการเสื่อมคุณภาพของผิวของเหล็กได้ เช่น เกิดการสะสมของสนิม น้ำมัน และฝุ่นอยู่ที่ผิวของโลหะ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการล้างและกำจัดสนิมก่อนที่จะผ่านวัตถุดิบเข้าสู่กระบวนการอื่นต่อไป กระบวนการกำจัดสนิมนี้มีความสำคัญไม่เพียงแต่เฉพาะอุตสาหกรรมเหล็กและเหล็กกล้าเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม (stainless steel) ด้วย ในปัจจุบันประเทศไทยมีโรงงานรีดเหล็กกล้าไร้สนิมอยู่เพียงรายเดียว วัตถุดิบในรูปของเหล็กกล้าแผ่นไร้สนิมที่ผ่านการรีดร้อนจะถูกนำเข้าจากต่างประเทศและจะถูกนำไปผ่านกระบวนการกำจัดสนิมก่อนที่จะถูกรีดเย็นเพื่อให้ได้เหล็กแผ่นที่มีความหนาตามต้องการ เนื่องจากกระบวนการกำจัดสนิมมีการใช้น้ำและสารเคมีใน

ปริมาณมากซึ่งจะก่อให้เกิดของเสียเป็นปริมาณมากเช่นเดียวกัน ซึ่งถ้าหากไม่มีการจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นอย่างเหมาะสมก็จะส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

การประสานงานร่วมกันระหว่างหน่วยงานของรัฐที่ทำหน้าที่พิทักษ์สิ่งแวดล้อมและภาคอุตสาหกรรมการผลิตเหล็กเพื่อดำเนินการจัดทำคู่มือการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมถือเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องดำเนินการ ซึ่งรวมถึงการกำหนดระดับการควบคุมมลพิษที่เป็นที่ยอมรับโดยมีเป้าหมายเพื่อป้องกันการเกิดปัญหาทางด้านสิ่งแวดล้อม การให้ความร่วมมือสนับสนุนจากทุกฝ่ายจะนำไปสู่การพัฒนา “คู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมสำหรับการแปรรูปเหล็กและกระบวนการกำจัดสนิม”

## 1.2 วัตถุประสงค์

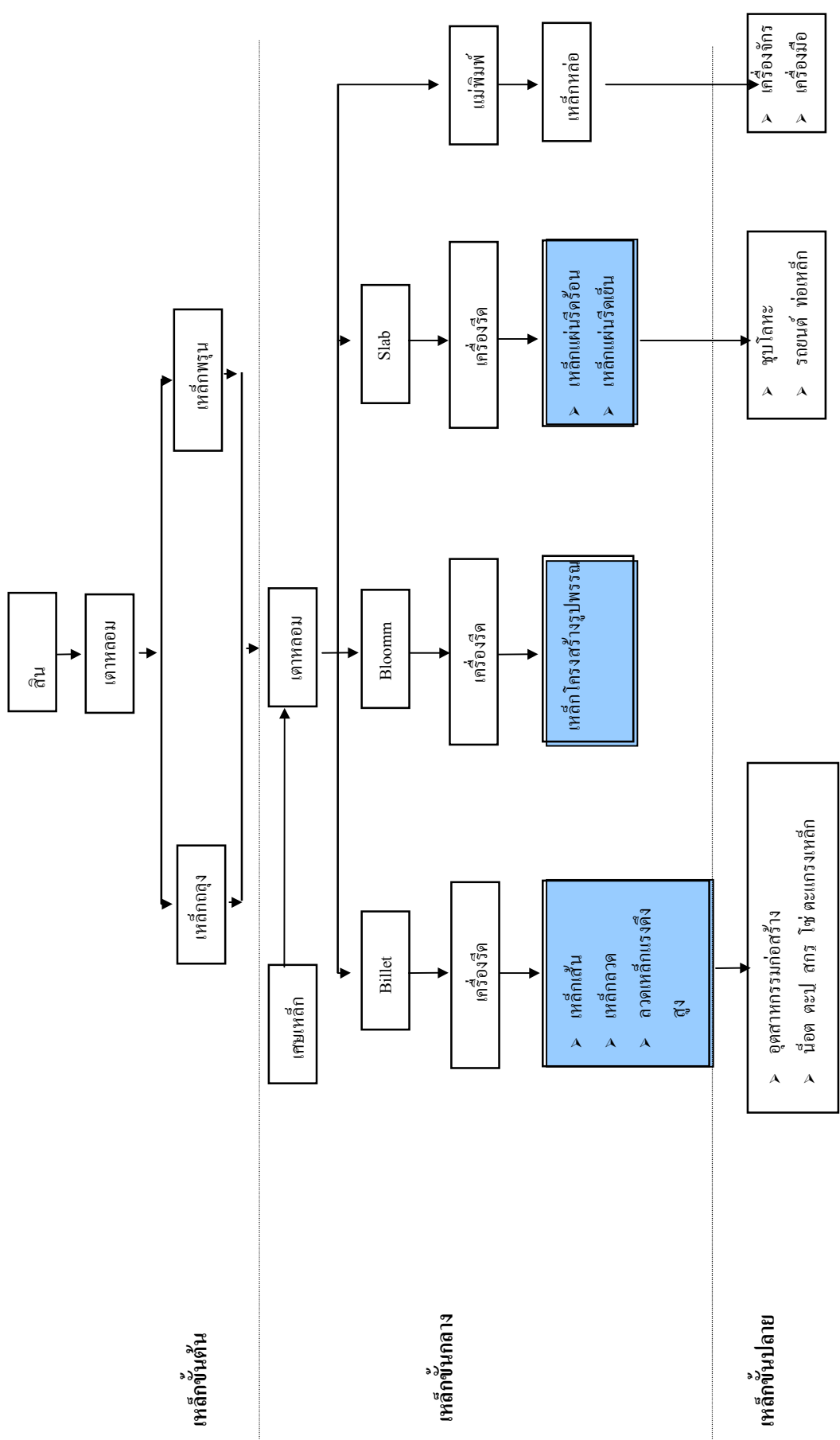
1. เพื่อจัดให้มีคำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และข้อมูลเกี่ยวกับ
  - > ภาพรวมของกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรด และแหล่งกำเนิดของของเสียจากกระบวนการดังกล่าว
  - > ทางเลือกในการลดปริมาณของเสียจากกระบวนการกำจัดสนิม ซึ่งรวมถึงการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่ในกระบวนการและการใช้ประโยชน์จากของเสียในทางอื่น ๆ
  - > การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของทางเลือกของการนำของเสียมาใช้ใหม่
  - > ทางเลือกในการบำบัดของเสีย
  - > ข้อเสนอแนะของค่ามาตรฐานน้ำเสีย/อากาศเสียสำหรับกระบวนการกำจัดสนิม
2. เพื่อกระตุ้นให้เกิดความเข้าใจและเกิดความร่วมมือระหว่างหน่วยงานของรัฐและภาคเอกชน ซึ่งจะนำไปสู่การมีระบบควบคุมมลพิษที่ดีขึ้นและมีทางแก้ไขปัญหามากขึ้นสำหรับปัญหาทางด้านการจัดการสิ่งแวดล้อม

## 1.3 ขอบเขตของคู่มือ

คู่มือฉบับนี้ประกอบด้วยข้อมูลทางด้านเทคนิคที่เกี่ยวข้องกับการจัดการของเสียสำหรับอุตสาหกรรมเหล็กกรีดเย็น (การกำจัดสนิมโดยใช้กรด) โดยถูกแบ่งออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. รายละเอียดของกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรด
2. รายละเอียดของแหล่งกำเนิดของเสีย

3. รายละเอียดของทางเลือกของวิธีการและเทคนิคสำหรับการอนุรักษ์วัตถุโบราณและการลดของเสียในส่วนต่างๆ ของกระบวนการ - ซึ่งรวมถึงระบบการนำเอากรดกลับมาใช้ใหม่
4. รายละเอียดของทางเลือกของวิธีการสำหรับการใช้ และ/หรือ การบำบัด/การทิ้งกากของเสีย
5. การพัฒนาและข้อเสนอแนะของค่ามาตรฐานน้ำเสีย/อากาศเสียสำหรับการแปรรูปเหล็กและกระบวนการกำจัดสนิมในประเทศไทย



รูปที่ 1 สรุปอุตสาหกรรมเหล็ก



= กลุ่มอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดสนิม

แหล่งข้อมูล : ธนาคารแห่งประเทศไทย

## บทที่ 2

## กระบวนการผลิตสำหรับการแปรรูปเหล็กและกระบวนการกำจัดสนิม

## 2.1 ข้อมูลทั่วไป

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงกระบวนการผลิตสำหรับการแปรรูปเหล็กโดยจะเน้นพิเศษในส่วนของกระบวนการกำจัดสนิมซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอนใหญ่ๆ คือ ขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น และขั้นตอนการกำจัดสนิมและสิ่งสกปรกอื่นๆ บนผิวโลหะด้วยสารละลายกรด ในหัวข้อต่อไปจะกล่าวถึงภาพรวมของกระบวนการกำจัดสนิมและรายละเอียดในแต่ละขั้นตอนของกระบวนการ

## 2.2 ภาพรวม: กระบวนการกำจัดสนิม

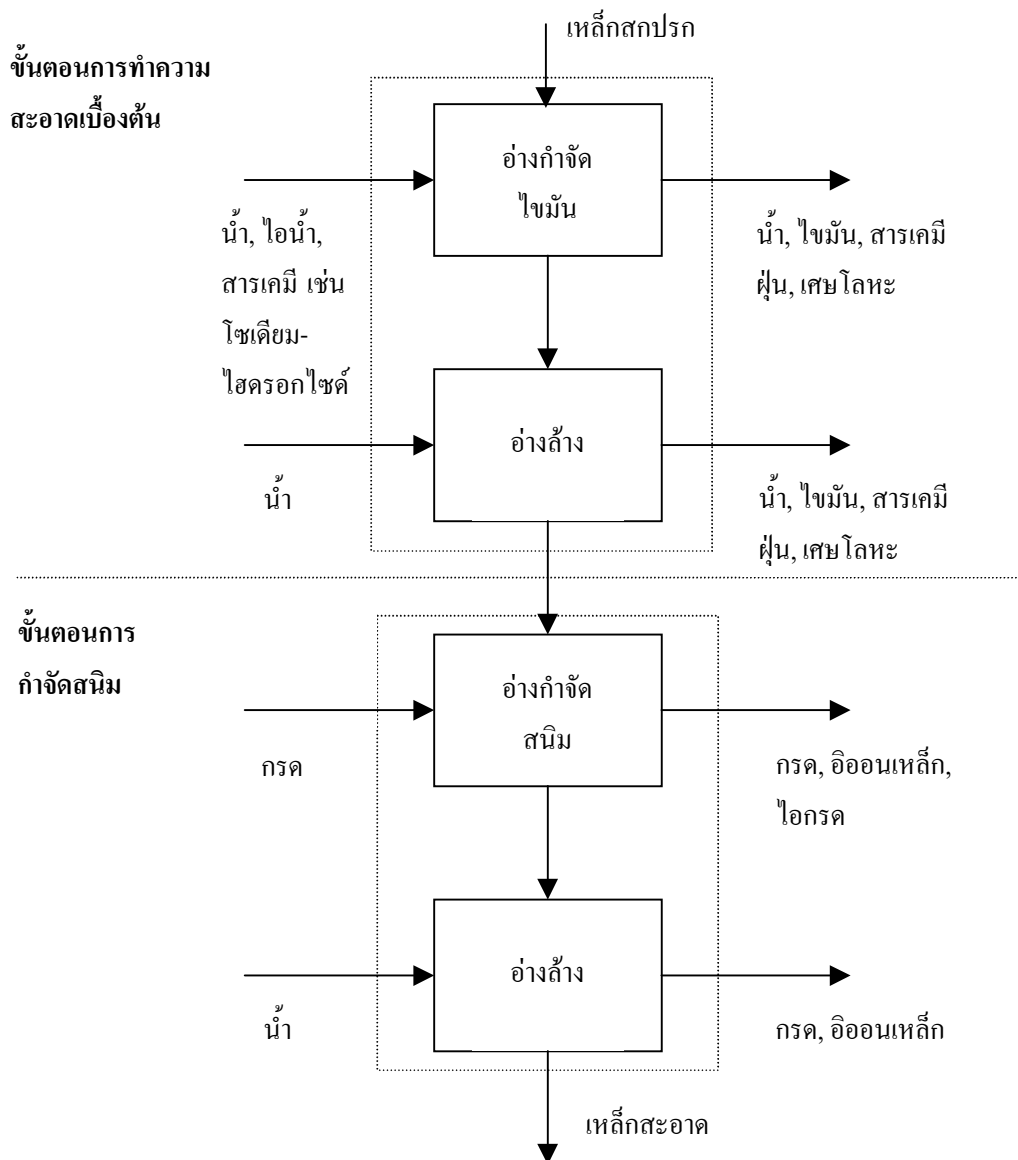
ในระหว่างการรีดร้อนของเหล็กในอากาศจะทำให้เกิดคราบออกไซด์ขึ้นบนผิวของเหล็ก คราบออกไซด์นี้จะต้องถูกกำจัดออกก่อนการแปรรูปหรือการดำเนินการในขั้นตอนต่อไป กระบวนการกำจัดคราบออกไซด์โดยการสัมผัสเหล็กกับสารละลายกรดนั้นเรียกว่า “กระบวนการกำจัดสนิม” การกำจัดสนิมถือว่าเป็นส่วนสำคัญของกระบวนการผลิตเหล็กเกือบทั้งหมด เพราะก่อนที่จะมีการดำเนินการต่อไปกับผิวของเหล็ก เช่น การชุบสังกะสี การเคลือบ การทาสี และการชุบด้วยไฟฟ้า ชิ้นงานในรูปของชิ้นเหล็ก แท่งเหล็กหรือท่อ จะถูกทำความสะอาดก่อน โดยการนำไปจุ่มในอ่างที่มีสารละลายกรดซัลฟูริกหรือกรดไฮโดรคลอริกอยู่ หลังจากทิ้งชิ้นงานในอ่างระยะเวลาหนึ่งซึ่งเพียงพอที่จะกำจัดคราบออกไซด์ ชิ้นงานจะถูกยกขึ้นจากอ่างกำจัดสนิมและจะถูกล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นจึงทำให้แห้ง สำหรับเหล็กโลหะผสมอย่างเช่นเหล็กกล้าไร้สนิม การกำจัดคราบอาจต้องการใช้กรดอื่นๆ เช่น กรดไนตริก หรือกรดไฮโดรฟลูออริก และบางครั้งอาจมีการใช้โซเดียมซัลเฟตด้วย คราบจะถูกกำจัดออกจากชิ้นงานโดยการส่งชิ้นงานผ่านอ่างที่บรรจุสารละลายกรดจำนวนหลายอ่างที่วางเรียงต่อกันแบบอนุกรม จากนั้นชิ้นงานจะถูกล้างและทำให้แห้งหลังจากการกำจัดสนิมแล้ว

ประสิทธิภาพการกำจัดสนิมจะถูกควบคุมโดยตัวแปรหลายตัว เช่น เวลาในการกำจัดสนิม ความเข้มข้น และอุณหภูมิของสารละลายกรดที่ใช้ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม ตัวแปรเหล่านี้จะ

ขึ้นอยู่กับข้อกำหนดต่าง ๆ เช่น เวลาที่ใช้ในการกำจัดสนิม (ในอ่างกำจัดสนิม) ควรจะสั้นในกรณีของการผลิตจำนวนมาก ควรใช้สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นเหมาะสมหรือหลีกเลี่ยงการใช้เวลาในการกำจัดสนิมที่นานเกินไปเพื่อหลีกเลี่ยงการกำจัดสนิมที่มากเกินไปจนถึงเนื้อเหล็ก นอกจากนี้ไม่ควรใช้อุณหภูมิของสารละลายกรดที่สูงเกินไปเพื่อป้องกันการเกิดไฮดรอกไซด์ปริมาณที่สูง ในการที่จะรักษาอัตราการกำจัดสนิมให้พอดีจะต้องทำการเติมกรดใหม่เพื่อชดเชยความเข้มข้นกรดที่ลดลงเนื่องจากการเกิดเกลือของเหล็ก เป็นที่น่าสังเกตว่าการเติมตัวยับยั้ง (inhibitor) ลงในสารละลายกำจัดสนิมจะช่วยลดการกัดของกรดบนเนื้อโลหะได้ การควบคุมการดำเนินการกำจัดสนิมให้มีประสิทธิภาพที่ดีนั้นจำเป็นต้องทราบความเข้มข้นและอุณหภูมิที่เหมาะสม

### 2.3 ขั้นตอนของกระบวนการกำจัดสนิม

รูปที่ 2.1 เป็นแผนผังของกระบวนการกำจัดสนิมในอุตสาหกรรมเหล็กรีดเย็น วัตถุประสงค์จะผ่านการทำทำความสะอาดเบื้องต้นและขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรดตามลำดับ เนื่องจากวัตถุประสงค์ส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตได้ถูกนำเข้ามาจากต่างประเทศ วัตถุประสงค์บางส่วนอาจถูกปล่อยทิ้งไว้ให้สัมผัสกับอากาศทั้งระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษา ซึ่งจะส่งผลให้วัตถุประสงค์เหล่านี้เกิดสนิมขึ้นบนผิวของเหล็ก ในกระบวนการกำจัดสนิมแบบกะ เหล็กจะถูกเขย่าขึ้นเพื่อนำไปจุ่มในสารละลายกรดที่อยู่ในชุดของอ่างที่มีความเข้มข้นของกรดแตกต่างกัน หลังจากเสร็จสิ้นการกำจัดสนิมในแต่ละอ่างจะทำการยกเหล็กขึ้นแล้วทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งเพื่อที่จะให้สารละลายกรดที่เกาะอยู่บนผิวชิ้นงานนั้นหยดกลับลงสู่อ่างเพื่อเป็นการลดการสูญเสียของสารละลายกรดที่ติดไปกับเหล็ก นอกจากนี้ จะมีแผ่นลาดเอียงวางพาดอยู่ระหว่างอ่างเพื่อทำให้สารละลายที่หยดระหว่างกรยกนั้นไหลกลับไปยังอ่างก่อนหน้านี้ สำหรับกระบวนการกำจัดสนิมแบบต่อเนื่อง แผ่นเหล็กจะถูกลำเลียงอย่างต่อเนื่องไปยังอ่างแต่ละอ่างโดยใช้ชุดของลูกกลิ้งช่องว่างระหว่างลูกกลิ้งที่เหมาะสมจะสามารถลดปริมาณสารละลายที่ติดไปกับแผ่นเหล็กได้ รายละเอียดของขั้นตอนการกำจัดสนิมสามารถสรุปดังได้ต่อไปนี้



รูปที่ 2.1 แผนผังกระบวนการกำจัดสนิม

2.3.1 ขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น

ในขั้นตอนทำความสะอาดเบื้องต้น วัตถุจะถูกล้างด้วยน้ำสะอาด ในบางกรณีจะมีการใช้สารเคมี เช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ อัลคาไลน์ซิลิเกต และฟอสเฟต ในน้ำล้างเพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการทำความสะอาด การทำความสะอาดเบื้องต้นที่นิยมจะกระทำโดยการจุ่มวัตถุดิบลงในอ่าง และ/หรือ ฟ่นด้วยสารละลายน้ำล้างบนวัตถุดิบ เมื่อฝุ่นและน้ำมันถูกกำจัดออกจากผิวโลหะแล้ว วัตถุดิบจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการกำจัดสนิม ซึ่งถ้าหากมีน้ำมันติดอยู่บนผิวโลหะ การกำจัดสนิมด้วยกรดจะทำได้ไม่ดี ดังนั้นขั้นตอนทำความสะอาดเบื้องต้นจะต้อง



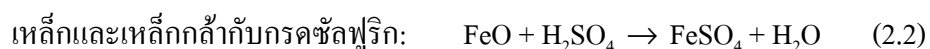
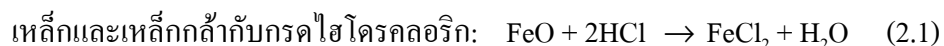
แน่ใจว่าได้กำจัดฝุ่นและโดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำมันออกจากผิวโลหะหมดแล้ว นอกจากสารละลายเคมีแล้ว อุณหภูมิของอ่างทำความสะอาดเบื้องต้นก็เป็นตัวแปรที่สำคัญซึ่งจะช่วยให้การกำจัดน้ำมันออกจากผิวโลหะได้ดียิ่งขึ้น

ขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้นประกอบด้วยสองขั้นตอนย่อยคือ ขั้นตอนการลดไขมัน (degreasing) และขั้นตอนการล้าง (rinsing) ขั้นตอนการลดไขมันอาจไม่จำเป็นถ้าปริมาณของน้ำมันบนผิวโลหะมีน้อย ในขณะที่ขั้นตอนการล้างจะเป็นการกำจัดฝุ่นและสารเคมีออก ทั้งนี้เพื่อให้การกำจัดสนิมในขั้นตอนกำจัดสนิมเกิดขึ้นได้ดี และช่วยให้สารละลายกำจัดสนิมเสื่อมคุณภาพช้าลง ขั้นตอนการลดไขมันและขั้นตอนการล้างอาจประกอบด้วยอย่างมากว่าหนึ่งอ่างต่ออนุกรมกัน เป็นที่น่าสังเกตว่าการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีการใช้เทคนิคการเผาเพื่อกำจัดน้ำมันหรือสารหล่อลื่นอื่น ๆ ออกจากผิวโลหะด้วย

### 2.3.2 ขั้นตอนการกำจัดสนิม

#### ➢ เหล็กและเหล็กกล้า

สารละลายกรดที่ใช้สำหรับกำจัดสนิมของเหล็กและเหล็กกล้าส่วนใหญ่คือกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟูริก ซึ่งกรดทั้งสองต่างมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน เช่นกรดไฮโดรคลอริกเป็นกรดที่มีความสามารถในการกัดกร่อนสูงแต่ก็มีปัญหาเกี่ยวกับปริมาณไอกรดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ความเข้มข้นและอุณหภูมิสูง สำหรับกรดซัลฟูริกนั้น แม้การกัดกร่อนจะไม่ดีเท่ากับกรดไฮโดรคลอริกแต่ปัญหาเรื่องไอกรดก็มีน้อยไปด้วย อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยพบว่ากรดไฮโดรคลอริกจะเป็นที่นิยมมากกว่า ปฏิกริยาระหว่างออกไซด์ของเหล็กและกรดสามารถแสดงโดยสมการเคมีดังนี้



ขั้นตอนการกำจัดสนิมประกอบด้วยขั้นตอนการกำจัดสนิมและขั้นตอนการล้าง ขั้นตอนการกำจัดสนิมคือขั้นตอนการกำจัดสนิมบนผิวโลหะด้วยสารละลายกรดเพื่อทำให้ผิวเหล็กสะอาด จากนั้นสารละลายกรดที่ติดไปกับชิ้นงานจะถูกกำจัดออกจากผิวเหล็กโดยการล้างด้วยน้ำในขั้นตอนการล้างก่อนที่เหล็กจะถูกส่งไปยังกระบวนการอื่นต่อไป เป็นที่สังเกตว่าอ่างกำจัดสนิมและอ่างล้างที่ใช้โดยทั่วไปในขั้นตอนการกำจัดสนิมและขั้นตอนการล้างตามลำดับอาจจะประกอบด้วยชุดของอ่างที่ต่อแบบอนุกรมกันในแต่ละขั้นตอน นอกจากนี้อาจมีการเติมน้ำเข้า

ไปในอ่างเหล่านี้เพื่อเพิ่มอุณหภูมิของสารละลายกรดและน้ำล้างซึ่งจะเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการกำจัดสนิมและการทำความสะอาดด้วย

ขั้นตอนการกำจัดสนิมสามารถดำเนินการได้ที่มีความเข้มข้นและอุณหภูมิของสารละลายกรดที่ต่างกัน ขดเหล็กจะถูกนำไปจุ่มในอ่างกำจัดสนิมจากความเข้มข้นต่ำไปสูง เมื่อความเข้มข้นกรดในอ่างลดลง กรดที่ใช้ในอ่างกำจัดสนิมที่มีความเข้มข้นต่ำกว่าจะถูกปล่อยทิ้งไปบำบัด ในขณะที่สารละลายกรดที่มีความเข้มข้นสูงกว่าจะถูกสูบไปยังอ่างถัดไปที่มีความเข้มข้นต่ำกว่า กรดใหม่จะถูกเติมให้กับอ่างที่มีความเข้มข้นสูงที่สุดเพื่อปรับให้ได้ความเข้มข้นของสารละลายกรดตามที่ต้องการ เนื่องจากมีฟองก๊าซเกิดขึ้นในอ่างระหว่างการกำจัดสนิม ทำให้มีไอและละอองของสารละลายกรดปรากฏขึ้นในอากาศเหนือสารละลายในอ่าง ไอและละอองของสารละลายกรดจะมีมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อดำเนินการภายใต้อุณหภูมิที่สูง ดังนั้นโดยทั่วไปจะมีการติดตั้งเครื่องดักไอกรด (scrubber) ไว้เหนืออ่างกำจัดสนิมเพื่อดักไอกรดและละอองของสารละลายกรดที่เกิดขึ้น เป็นที่สังเกตว่าอาจจะมีการเติมตัวขยับยังการกำจัดสนิมบางอย่าง เช่น แอลกอฮอล์ไม่อิมิตัว สารประกอบฟอสฟอรัส และ ไนโตรเจนเข้าไปในสารละลายกรดในอ่างกำจัดสนิมเพื่อลดปฏิกิริยาระหว่างสารละลายกรดกับเนื้อเหล็ก

กระบวนการกำจัดสนิมสามารถแบ่งออกเป็นกระบวนการแบบกะ (batch) หรือแบบต่อเนื่อง (continuous) โดยทั่วไปกระบวนการแบบต่อเนื่องจะเป็นที่นิยมสำหรับวัตถุดิบที่เป็นแผ่นเรียบต่อเนื่อง ในขณะที่กระบวนการแบบกะจะเป็นที่นิยมสำหรับวัตถุดิบที่เป็นรูปทรงอื่นๆ เช่น ลวด ท่อ และสกรู ตารางที่ 2.1 สรุปปริมาณของสนิมและปริมาณการใช้กรดต่อตันของวัตถุดิบและเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกรดสำหรับกระบวนการกำจัดสนิมจากการสำรวจโรงงานที่ใช้กระบวนการผลิตทั้งสองประเภท จะเห็นได้ว่ากระบวนการแบบต่อเนื่องจะเกี่ยวข้องกับสนิมในปริมาณที่น้อยกว่าในกระบวนการแบบกะมาก ซึ่งทำให้ปริมาณการใช้กรดในการกำจัดสนิมในกระบวนการแบบต่อเนื่องน้อยกว่ากระบวนการแบบกะด้วย จากข้อมูลที่สำคัญมายังพบว่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียกรดจากกระบวนการกำจัดสนิมแบบกะจะสูงกว่ากระบวนการกำจัดสนิมแบบต่อเนื่อง

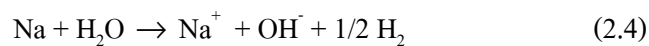
ตารางที่ 2.1 การแจกแจงกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กและเหล็กกล้า

หัวข้อ	แบบต่อเนื่อง	แบบกะ
อ็อกไซด์เหล็ก/เหล็ก (kg/ton)	0.001-0.11	1.8 - 19
การใช้กรด (kg acid/ton Fe)	0.03 - 0.4	3 - 33
การสูญเสียกรด (%)	39 - 43	14 - 186

### ➢ เหล็กกล้าไร้สนิม

กระบวนการกำจัดสนิมสำหรับการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถแบ่งได้เป็นหลายขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 2.2 การกำจัดสนิมโดยใช้ไฟฟ้าจะใช้กระแสไฟฟ้าเพื่อกำจัดออกไซด์โลหะโดยที่ออกซิเจน (ที่ขั้วบวก) และไฮโดรเจน (ที่ขั้วลบ) ที่ถูกสร้างขึ้นจะช่วยในการกำจัดออกไซด์ให้หลุดออกจากผิวโลหะ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นที่ขั้วทั้งสองสามารถเขียนได้ดังนี้

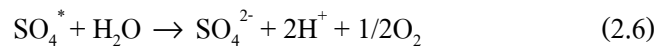
ขั้วลบ:



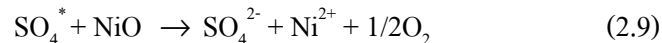
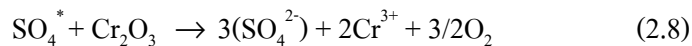
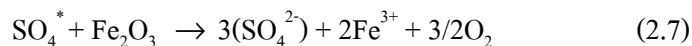
ขั้วบวก:



ทำความสะอาดผิว:



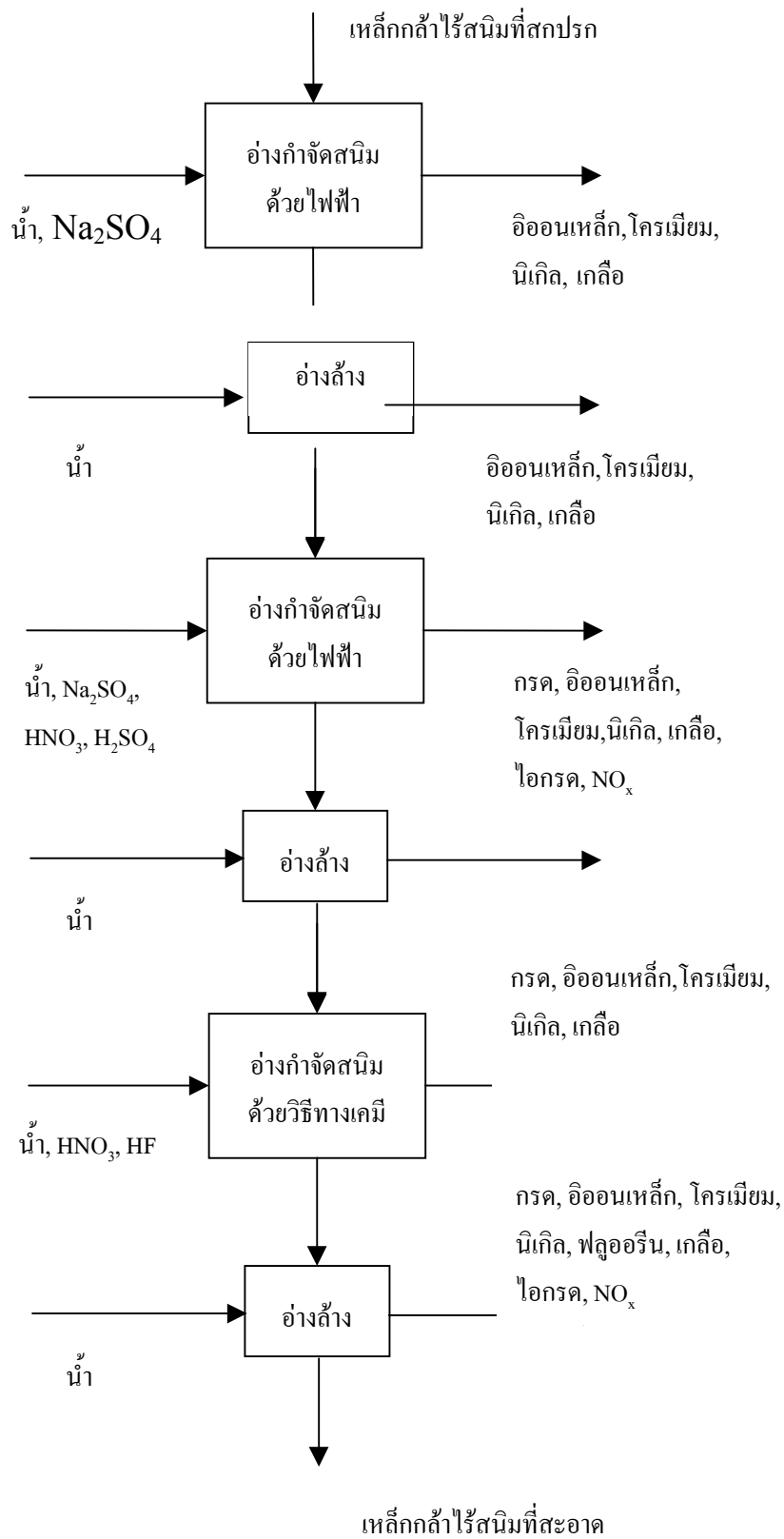
กับออกไซด์:



ขั้นตอนที่สองของการกำจัดสนิมโดยใช้ไฟฟ้าจะเกี่ยวข้องกับการใช้กรดในอ่างกำจัดสนิม ซึ่งปฏิกิริยาระหว่างกรดและสนิมเหล็กและปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสจะเกิดขึ้นพร้อมกันในการกำจัดสนิมนี้ และสำหรับอ่างสุดท้ายจะใช้กรดไนตริกและกรดไฮโดรฟลูออริก (10%  $\text{HNO}_3$  + 3%  $\text{HF}$ ) เป็นสารกำจัดสนิม อุณหภูมิสูงสุดที่ใช้มีค่าประมาณ 60 องศาเซลเซียส อ่างนี้จะสามารถกำจัดออกไซด์บางชนิดซึ่งไม่สามารถกำจัดได้โดยกรดตัวเดียว ตัวอย่างเช่น ปฏิกิริยากำจัดสนิมของเหล็กโครเมต ดังแสดงด้วยสมการเคมีได้ดังนี้



ถึงแม้ว่ากรดไฮโดรฟลูออริกจะใช้ได้ดี แต่จะมีราคาแพงและเป็นอันตราย ไอของเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมประกอบด้วยไอกรด และ  $\text{NO}_x$  ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีกระบวนการบำบัดเฉพาะ



รูปที่ 2.2 กระบวนการกำจัดสนิมสำหรับกระบวนการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม

## บทที่ 3

## แหล่งกำเนิดของเสีย

### 3.1 ข้อมูลทั่วไป

กระบวนการกำจัดสนิมประกอบด้วยขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้นและขั้นตอนการกำจัดสนิม ซึ่งในขั้นตอนการกำจัดสนิมจะมีขั้นตอนย่อยคือขั้นตอนของการกำจัดสนิมและขั้นตอนการล้าง ดังนั้นแหล่งกำเนิดของเสียของกระบวนการกำจัดสนิมสามารถแบ่งออกได้เป็นอ่างทำความสะอาดเบื้องต้น อ่างกำจัดสนิม และอ่างล้าง นอกจากนี้ในคู่มือนี้ยังพิจารณาว่าหน่วยบำบัดน้ำเสียของโรงงานจัดเป็นแหล่งกำเนิดของเสียอีกแหล่งหนึ่งด้วย

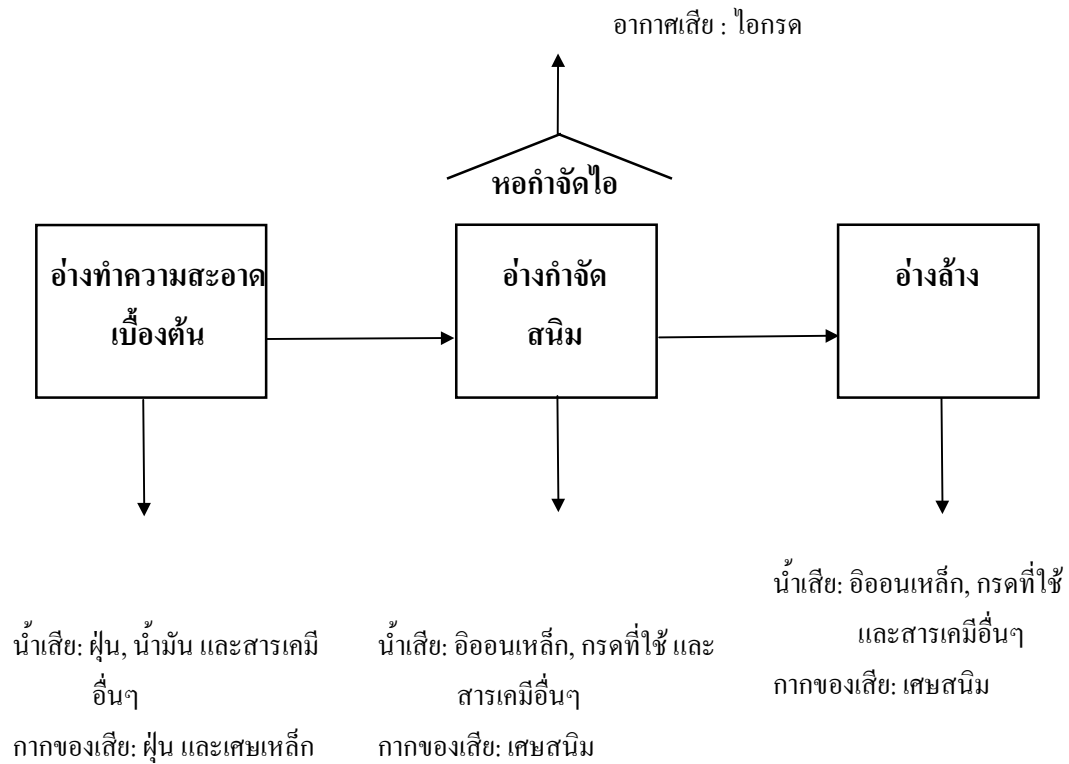
เนื่องจากกระบวนการกำจัดสนิมเป็นกระบวนการกำจัดสนิมและฟิล์มออกไซด์ออกจากผิวโลหะโดยใช้สารละลายกรดและด่างเพื่อที่จะได้ผิวชิ้นงานที่ไม่มีออกไซด์ ของเสียหลักของกระบวนการนี้คือน้ำเสียที่มาจากน้ำล้างและสารละลายที่ใช้กำจัดสนิม อย่างไรก็ตามของเสียยังปรากฏอยู่ในรูปของของแข็งและก๊าซ ของเสียที่อยู่ในรูปของของแข็งนั้นมาจากฝุ่นบนผิวโลหะและเศษโลหะเป็นต้น ฝุ่นและสนิมจะสะสมที่ผิวโลหะระหว่างการขนส่งและการเก็บรักษาวัตถุดิบ สำหรับของเสียที่อยู่ในรูปของก๊าซนั้นส่วนใหญ่จะเป็นไอกรดจากอ่างกำจัดสนิมหรือก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาในอ่างกำจัดสนิม รูปที่ 3.1 เป็นการสรุปชนิดของของเสีย (ตามสถานะ) ที่เกิดขึ้นจากอ่างทำความสะอาดเบื้องต้น อ่างกำจัดสนิม และอ่างล้าง

### 3.2 แหล่งของเสีย

#### 3.2.1 อ่างทำความสะอาดเบื้องต้น

เหล็กและวัตถุดิบที่เป็นเหล็กจะถูกทำความสะอาดเบื้องต้นในอ่างทำความสะอาดเบื้องต้นโดยใช้น้ำเปล่าในการล้างเพื่อกำจัดฝุ่นและน้ำมันหรือจารบีจากผิวโลหะ สารเคมีเช่น โซเดียมไฮดรอกไซด์ อัลคาไลน์ซัลเฟต และฟอสเฟต อาจถูกเติมเข้าไปในน้ำล้างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการล้าง นอกจากนี้การเพิ่มประสิทธิภาพในการล้างยังสามารถทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของน้ำล้าง การทำความสะอาดเบื้องต้นสามารถกระทำโดยการจุ่มเหล็กและวัตถุดิบที่เป็นเหล็กลงในน้ำล้างในอ่างทำความสะอาดเบื้องต้น โดยการพ่นน้ำที่ผิว หรือทั้งสองวิธีร่วม

กัน ของเสียที่เกิดจากการทำความสะอาดเบื้องต้นที่อ้างทำความสะอาดเบื้องต้นคือน้ำเสียที่ประกอบด้วยฝุ่น น้ำมันและจารบีและสารเคมีต่างๆที่เติมลงไป



**รูปที่ 3.1** ส่วนประกอบของเสีย

ของเสียที่เป็นของแข็งจากอ่างทำความสะอาดเบื้องต้น ได้แก่ ฝุ่นที่เกาะอยู่บนผิวโลหะ และเศษเหล็ก ส่วนก๊าซหรือไอที่เกิดที่อ่างทำความสะอาดเบื้องต้นนั้นถือว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดมลพิษ ทั้งนี้เนื่องจากน้ำล้างที่ใช้นั้นประกอบด้วยน้ำและเกลือซึ่งไม่ระเหยแม้อุณหภูมิของน้ำล้างบางครั้งมีค่าสูง เป็นที่สังเกตได้ว่าอุตสาหกรรมแปรรูปเหล็กอาจมีหรือไม่มีการใช้ขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น ทั้งนี้ขึ้นกับคุณภาพของวัตถุดิบ นอกจากนี้ เป็นที่สังเกตได้ว่าวัตถุดิบสำหรับกระบวนการกำจัดสนิมแบบต่อเนื่องมักจะมีปริมาณน้ำมันหรือจารบีมากกว่าวัตถุดิบสำหรับกระบวนการกำจัดสนิมแบบกะซึ่งวัตถุดิบเหล็กนั้นมีผิวที่สกปรกกว่า นอกจากนี้ยังพบว่ากระบวนการกำจัดสนิมเหล็กของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้อยู่ในประเทศไทยในปัจจุบัน ไม่มีการใช้ขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการก่อนหน้ากระบวนการกำจัดสนิมคือกระบวนการอบอ่อน (annealing) มีการใช้อุณหภูมิสูงซึ่งทำให้สารอินทรีย์ต่าง ๆ ได้ถูกกำจัดจากผิวเหล็กไปแล้ว

### 3.2.2. อ่างกำจัดสนิม

ของเสียส่วนใหญ่จากกระบวนการกำจัดสนิมจะเกิดขึ้นในอ่างกำจัดสนิม น้ำเสียของกระบวนการนี้คือสารละลายกรดซึ่งประกอบด้วยกรด ตัวยับยั้ง อีออนเหล็ก และสารเคมีที่ใช้ในอ่างทำความสะอาดเบื้องต้น กระบวนการกำจัดสนิมเกือบทั้งหมดในประเทศไทยใช้กรดไฮโดรคลอริก (HCl) เป็นสารละลายกรดสำหรับกำจัดสนิม อย่างไรก็ตาม บางโรงงานมีการใช้กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) แทน สำหรับการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมจะใช้สารละลายผสมของ  $Na_2SO_4$ , HF,  $HNO_3$  และ  $H_2SO_4$  และสารเคมีเหล่านี้จึงเป็นองค์ประกอบที่อยู่ในน้ำเสียจากอ่างกำจัดสนิมนี้ นอกจากนี้ โครเมียมและนิเกิลซึ่งเป็นส่วนประกอบหนึ่งในเหล็กกล้าไร้สนิมจะเป็นมลพิษที่สำคัญที่ปรากฏอยู่ในน้ำเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมด้วย

กากของเสียจากอ่างกำจัดสนิมอยู่ในรูปเศษสนิมที่ติดอยู่บนผิวโลหะ ในขณะที่ไอของเสียจะอยู่ในรูปของไอกรดที่อยู่เหนือสารละลายกรดหรือละอองของสารละลายกรดที่เกิดขึ้นระหว่างการดำเนินการในกระบวนการกำจัดสนิม ไอกรดจะมีปริมาณมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่ออุณหภูมิของสารละลายที่ใช้ในอ่างกำจัดสนิมนั้นมีค่าสูง สำหรับการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม ไอของเสียจะเกิดขึ้นในการกำจัดสนิมโดยใช้ไฟฟ้า ก๊าซที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาอิเล็กโทรไลซิสจะเป็นการเพิ่มปริมาณของไอเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมด้วย ส่วนประกอบหลักที่อยู่ในของเสียที่เป็นก๊าซคือ ไอกรด อีออนเหล็ก และเกลือที่ละลายน้ำได้ แต่โดยทั่วไปอีออนเหล็กและเกลือที่ละลายน้ำได้จะมีปรากฏอยู่ในไอของเสียในปริมาณเล็กน้อย เป็นที่สังเกตว่าไนโตรเจนออกไซด์คือมลพิษที่สำคัญอีกตัวหนึ่งซึ่งพบในไอของเสีย

### 3.2.3 อ่างล้าง

อ่างล้างมีไว้เพื่อกำจัดสารละลายที่ใช้ในขั้นตอนการกำจัดสนิมที่ติดมากับผิวโลหะออก การล้างนี้ทำโดยการจุ่มเหล็กหรือชิ้นงานที่เป็นเหล็กลงในน้ำในอ่างล้าง โดยฉีดน้ำบนผิวโลหะหรือการใช้ทั้งสองวิธี โดยทั่วไปจะไม่มีการเติมสารเคมีใดๆลงในอ่างล้าง ดังนั้นส่วนประกอบหลักของน้ำเสียจากอ่างล้างจะเหมือนกับของเสียจากอ่างกำจัดสนิม แต่ความเข้มข้นจะน้อยกว่ามาก กากของเสียสามารถพบได้ในอ่างล้างเช่นกันแต่ในปริมาณน้อยมาก

### 3.2.4 โรงบำบัดน้ำเสีย

อุตสาหกรรมแปรรูปเหล็กส่วนใหญ่มีระบบบำบัดน้ำเสียภายในโรงงานเอง กากของแข็งที่เกิดจากโรงบำบัดน้ำเสียจะถือว่าเป็นของเสียจากกระบวนการเช่นกัน ส่วนประกอบหลัก

ของกากของแข็งจากโรงงานบำบัดน้ำเสียได้แก่ไฮดรอกไซด์ของเหล็ก นอกจากนี้ ในโรงงานกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีกากไฮดรอกไซด์ของโลหะอื่นปรากฏอยู่ด้วย

### 3.3 สรุป

ตารางที่ 3.1 เป็นการสรุปชนิดและส่วนประกอบของของเสียในอ่างทั้งสามอ่างในกระบวนการกำจัดสนิม

ตารางที่ 3.1 สรุปชนิดและส่วนประกอบของของเสียในกระบวนการกำจัดสนิม

แหล่งของเสีย	สถานะ	ส่วนประกอบ	
		เหล็กและวัสดุที่เป็นเหล็ก	เหล็กกล้าไร้สนิม
อ่างทำความสะอาดเบื้องต้น	น้ำเสีย	น้ำมัน, โซเดียมไฮดรอกไซด์, อัลคาไลน์-ซิลิเกต และ ฟอสเฟต	-
	กากของเสีย	ฝุ่น, เศษโลหะ	-
อ่างกำจัดสนิม	ไอของเสีย	HCl หรือ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub>
	น้ำเสีย	HCl หรือ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , อีออนเหล็ก, ตัวยับยั้ง	HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , อีออนเหล็ก, อีออน-นิกเกิล, อีออนโครเมียม, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , ตัวยับยั้ง
	กากของเสีย	เศษสนิม	เศษสนิม
อ่างล้าง	ไอของเสีย	-	HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub>
	น้ำเสีย	HCl หรือ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , อีออนเหล็ก, ตัวยับยั้ง	HF, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , HNO <sub>3</sub> , อีออนเหล็ก, อีออนนิกเกิล, อีออนโครเมียม, Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> , ตัวยับยั้ง
	กากของเสีย	เศษสนิม	เศษสนิม
โรงงานบำบัดของเสีย	กากของเสีย	Fe(OH) <sub>x</sub>	Fe(OH) <sub>x</sub> , ไฮดรอกไซด์ของโลหะหนัก



## บทที่ 4

### วิธีการลดปริมาณ และการใช้ประโยชน์จากของเสีย ซึ่งเกิดจากกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรด

#### 4.1 ข้อมูลทั่วไป

วัตถุประสงค์ของการลดปริมาณของเสียและการใช้ประโยชน์จากของเสียคือ เพื่อลดปริมาณของเสียอันเกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรดที่จะต้องถูกบำบัดหรือกำจัดทิ้งต่อไป ดังเป็นที่ทราบกันโดยทั่วไป วิธีการลดปริมาณของเสียที่ดีที่สุดคือการป้องกันการเกิดของเสียตั้งแต่เริ่มแรกก่อนที่วัตถุดิบหรือชิ้นงานจะถูกส่งเข้าสู่กระบวนการกำจัดสนิม โดยมีแนวปฏิบัติที่อาจกล่าวสรุปได้เป็นสามประเด็นคือ

##### (ก) การเก็บรักษาและลำเลียงวัตถุดิบ

เนื่องจากปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรดนี้จะขึ้นอยู่กับสภาพของวัตถุดิบเป็นสำคัญ เช่น ปริมาณของสนิม ความสกปรก ฝุ่น และไขมันที่เกาะอยู่ ดังนั้นความพยายามที่จะรักษาผิวของวัตถุดิบให้อยู่ในสภาพที่สะอาดจึงควรจะได้รับพิจารณาเป็นประการแรกก่อนที่จะมีการพิจารณาถึงการลดปริมาณและการใช้ประโยชน์จากของเสีย ทั้งนี้เนื่องจากสภาพผิวของวัตถุดิบที่ดีย่อมลดปริมาณการกำจัดสนิมด้วยกรดให้น้อยลงและยังนำไปสู่การประหยัดพลังงานและสารเคมีอีกด้วยซึ่งในที่สุดจะมีผลให้ปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นน้อยลงหรืออีกนัยหนึ่งอาจกล่าวได้ว่าการลดปริมาณสิ่งสกปรกบนผิววัตถุดิบให้น้อยลงเทียบได้กับการลดปริมาณสารตั้งต้นที่ใช้ในกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรด โดยปกติแล้วผู้ประกอบการจะต้องเก็บวัตถุดิบให้อยู่ในปริมาณที่เพียงพอเพื่อให้แน่ใจว่าสายการผลิตจะไม่มีปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบเกิดขึ้น ดังนั้นจึงควรจะเป็นข้อปฏิบัติร่วมกันว่าวัตถุดิบทั้งหมดควรจะถูกเก็บไว้ในตัวอาคารหรืออย่างน้อยที่สุดก็ได้รับการป้องกันการเปียกน้ำหรือไม่ให้อยู่ในสถานะแวดล้อมที่ไม่สะอาดถึงแม้ว่าโดยทั่วไปผู้ประกอบการจะไม่สามารถควบคุมให้วัตถุดิบที่รับเข้ามาสู่โรงงานได้รับการปกป้องรักษาสภาพผิวในขั้นตอนการขนส่งจากผู้ผลิตวัตถุดิบได้ แต่อย่างน้อยการเก็บวัตถุดิบซึ่งได้รับมาแล้วในที่ที่เหมาะสมจะไม่ทำให้เกิดสิ่งสกปรกบนผิววัตถุดิบเพิ่มขึ้น นอกจากนี้วิธีการ

ถ้าเสียวัตถุดิบยังมีส่วนช่วยในการลดปริมาณสิ่งสกปรกก่อนที่จะนำชิ้นงานเข้าสู่กระบวนการทำความสะอาดและกำจัดสนิมอีกด้วย ตัวอย่างเช่น สำหรับกรณีของการผลิตท่อและข้อต่อ ในระหว่างการลำเลียงวัตถุดิบอาจมีการเอียงท่อและเขย่าเล็กน้อยเพื่อกำจัดเศษโลหะซึ่งได้หลุดลงไปภายในท่อในระหว่างกระบวนการกลึง เป็นต้น

#### (ข) การวางแผน และลำดับการผลิต

วัตถุประสงค์ของการวางแผนและลำดับการผลิตก็เพื่อให้แน่ใจว่ามีเฉพาะขั้นตอนการปฏิบัติที่จำเป็นเท่านั้นที่ต้องดำเนินการ และไม่มีขั้นตอนการปฏิบัติใดดำเนินการซ้ำโดยปราศจากความจำเป็น ซึ่งจะสามารถทำได้โดยการกำหนดตารางเวลาสำหรับกระบวนการแบบกะ (Batch process) เพื่อที่วัตถุดิบจะได้ถูกป้อนเข้าระหว่างกะโดยไม่มีการติดขัดในสายการผลิต และโดยที่มีระยะเวลาอยู่ในกระบวนการที่น้อยที่สุด เป็นต้น

#### (ค) การฝึกอบรม และการให้คำแนะนำ

พนักงานควรมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับข้อมูลทางด้านเทคนิคในการลดปริมาณการเกิดของเสียในการปฏิบัติงานประจำวัน ซึ่งสิ่งนี้อาจสามารถทำได้โดยการจัดคณะทำงานขึ้นหรือจัดให้มีการฝึกอบรมเพื่อให้พนักงานมีความคุ้นเคยกับวิธีการมาตรฐานซึ่งใช้ในโครงการลดปริมาณของเสีย และเพื่อเป็นการฝึกหัดการใช้อุปกรณ์ต่าง ๆ ให้ถูกต้องและอย่างมีประสิทธิภาพ

แต่อย่างไรก็ตามการลดปริมาณของเสียจะทำได้ไม่สมบูรณ์หากกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรดไม่ได้รับการจัดการทางด้านเทคนิคอย่างเหมาะสม ดังนั้นส่วนที่เหลือของบทนี้จะให้ความสำคัญแก่เทคนิคการพัฒนากระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรด โดยเฉพาะอย่างยิ่งวิธีการทางวิศวกรรมเพื่อลดปริมาณของเสียที่เกิดขึ้นในกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรดรวมไปถึงวิธีการต่าง ๆ เพื่อนำของเสียมาใช้ให้เกิดประโยชน์ เนื้อหาเหล่านี้จะรวมไปถึงการลดปริมาณของเสียจากทั้งขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้นและการกำจัดสนิมด้วยกรด การลดปริมาณการใช้กรดและลดปริมาณของเสียที่เป็นก๊าซและการใช้ประโยชน์จากของเสียเหล่านี้

### 4.2 การลดปริมาณน้ำเสีย

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 3 น้ำเสียนับเป็นองค์ประกอบหลักของของเสียทั้งหมดที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรด ข้อที่พึงพิจารณาเป็นประการแรกคือจะมีวิธีการจัดการน้ำเสียที่มีปริมาณมหาศาลได้อย่างไร ได้มีผู้ให้ข้อเสนอแนะอยู่หลายประการซึ่งข้อที่ชัดเจนที่

สุดท้ายจะเป็นการลดปริมาณการใช้น้ำในกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก เทคนิคในการลดปริมาณการใช้น้ำซึ่งจะนำไปสู่การลดปริมาณน้ำเสียในที่สุดมีอยู่ด้วยกันหลายวิธีขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของแต่ละขั้นตอนของกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กและของเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละขั้นตอนนั้น ดังนั้นการพิจารณากระบวนการทั้งหมดเป็นภาพรวมจึงอาจไม่เหมาะสม เนื้อหาที่จะกล่าวต่อไปในบทนี้จึงได้ถูกแบ่งออกเป็นสองส่วนย่อยคือ ขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้นและขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรด ซึ่งในแต่ละขั้นตอนอาจประกอบด้วยกิจกรรมเพียงหนึ่งลักษณะหรือมากกว่านั้น นอกเหนือไปจากการลดปริมาณการใช้น้ำแล้ว ในแต่ละส่วนย่อยยังจะมีการพิจารณาในรายละเอียดถึงวิธีการลดปริมาณน้ำเสียในรูปแบบต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำมาใช้ได้กับแต่ละขั้นตอนดังกล่าว

#### 4.2.1 การลดปริมาณของเสียซึ่งเกิดจากขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น

ขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น (ซึ่งรวมถึงการกำจัดไขมัน) เป็นขั้นตอนแรกในการเตรียมผิวของวัตถุดิบหรือชิ้นงานสำหรับขั้นตอนต่อ ๆ ไป ขั้นตอนนี้ถูกใช้เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก ไขมัน และไขมันต่าง ๆ ซึ่งเกาะอยู่บนผิวของเหล็ก โดยทั่วไปแล้วการทำความสะอาดจะทำในอ่าง (หรือถัง) ซึ่งบรรจุด้วยสารละลาย โดยการจุ่มหรือพ่นฝอยชิ้นงานด้วยสารละลายในอ่างนี้ หลังจากนั้นจะชะล้างด้วยน้ำ อายุการใช้งานของสารละลายในอ่างและน้ำที่ใช้ชะล้างจะถูกจำกัดด้วยปริมาณสะสมของสิ่งปนเปื้อนซึ่งถูกกำจัดออกจากชิ้นงาน การที่จะต้องเปลี่ยนสารละลายในอ่างเป็นครั้งคราวเพื่อที่จะรักษาคุณภาพของชิ้นงานทำให้เกิดน้ำเสียและมีการใช้สารเคมีและน้ำเพิ่มเติม แต่อย่างไรก็ตามน้ำเสียและการใช้สารเคมีเพิ่มเติมดังกล่าวนี้สามารถถูกทำให้ลดลงได้โดยการยืดอายุการทำงานของอ่างทำความสะอาดและโดยการนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งการทำเช่นนี้อาจเป็นการลดต้นทุนการผลิต การยืดอายุการทำงานของสารละลายที่ใช้สามารถทำได้หลายวิธี ทางเลือกที่มีประสิทธิภาพและเป็นไปได้มากที่สุดจะกำหนดได้โดยปัจจัยหลาย ๆ ประการ ซึ่งรวมถึงปริมาตร จำนวนของอ่าง และประเภทของสิ่งเจือปน เช่น เป็นน้ำมันที่เป็นอิมัลชัน (emulsified oil) ได้หรือไม่ และมีของแข็งที่แขวนลอยซึ่งทำให้อ่างมีคุณภาพที่ลดลงหรือไม่ เทคนิคต่าง ๆ ที่จะนำเสนอต่อไปนี้สามารถใช้เป็นทางเลือกสำหรับการลดปริมาณน้ำเสียอันเกิดจากขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น

##### (ก) การลดสาเหตุที่ทำให้เกิดสิ่งเจือปน

สิ่งเจือปนหลายชนิด เช่น ไขมันหล่อลื่นจากกระบวนการก่อนหน้าควรมีการควบคุมปริมาณการใช้น้ำให้พอเหมาะเพื่อจะสามารถลดปริมาณน้ำมันที่ติดมากับชิ้นงานให้น้อยลง หรือเพิ่มความระมัดระวังในการจัดการระหว่างกระบวนการก่อนหน้าที่จะถึงขั้นตอนการทำความสะอาด การลดปริมาณสิ่งเจือปนจะส่งผลทำให้อายุการใช้งานของสารละลายในอ่างกำจัดไขมันนานขึ้น

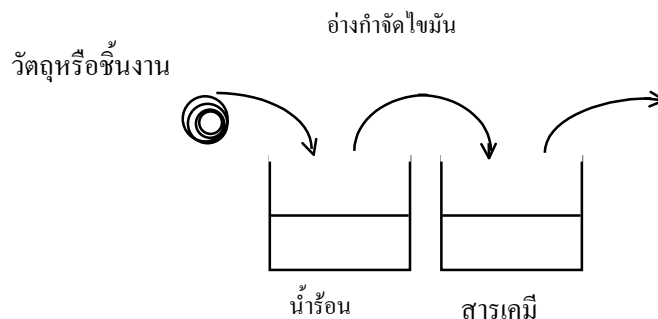
**(ข) การเติมสารละลายในอ่างเพียงบางส่วน**

ผู้ประกอบการสามารถยืดอายุการใช้งานของสารละลายในอ่างได้โดยถ่ายสารละลายที่ถูกใช้แล้วออกไปเพียงบางส่วน (แทนที่จะถ่ายทิ้งทั้งอ่าง) แล้วเติมน้ำและสารเคมีใหม่เข้าไปทดแทน การทำเช่นนี้อาจเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของอ่างทำความสะอาดเบื้องต้นอย่างเพียงพอสำหรับการทำความสะอาดเบื้องต้นต่อไป จนกระทั่งในที่สุดสารเคมีที่จะต้องถูกเติมเข้าไปมีอัตราสูงเกินต้นทุนในการเปลี่ยนสารละลายใหม่ทั้งหมด ซึ่งจุดนี้จะเป็นจุดที่จะกำหนดว่าควรจะมีการเปลี่ยนสารละลายในอ่างใหม่ทั้งหมดเมื่อใด ค่าความถ่วงจำเพาะและ/หรือค่า pH ของสารละลายสามารถใช้เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการตรวจสอบเพื่อควบคุมคุณลักษณะของสารเคมีในอ่างให้มีคุณสมบัติตามที่กำหนดและใช้เป็นตัวบ่งบอกกำหนดเวลาในการถ่ายสารเคมี(บางส่วน) อย่างไรก็ตาม เนื่องจากสารเคมีและชนิดของไขมันในแต่ละโรงงานมีความแตกต่างกัน ผู้ประกอบการจึงควรทำการศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวของสารละลายที่ใช้ในกระบวนการกับปริมาณของไขมันที่สะสมอยู่ในสารละลายเพื่อที่จะทราบถึงค่าของพารามิเตอร์ที่จุดที่ซึ่งปริมาณของไขมันนั้นมีมากจนทำให้ประสิทธิภาพในการล้างไขมันมีค่าต่ำกว่าจุดที่จะยอมรับได้

โดยปกติแล้วไขมันที่สะสมอยู่ในอ่างกำจัดไขมันจะมีความหนาแน่นน้อยกว่าสารละลายซึ่งถ้าปล่อยทิ้งไว้ชั่วขณะ พบว่าครึ่งบนของอ่างจะมีปริมาณของไขมันมากกว่าครึ่งล่างของอ่าง ดังนั้นในการถ่ายสารละลายออกเพียงบางส่วน สามารถกระทำได้โดยการถ่ายส่วนบนของอ่างออกในปริมาณ 1/4 ถึง 1/2 เท่าของปริมาตรของอ่างกำจัดไขมันแล้วจึงค่อยเติมสารเคมีและน้ำใหม่ให้มีปริมาตรและคุณสมบัติของสารละลายที่ใช้กำจัดไขมันตามที่กำหนด

**(ค) การใช้อ่างกำจัดไขมันสองอ่าง**

วิธีการหนึ่งในการยืดอายุของอ่างกำจัดไขมันคือการใช้อ่างกำจัดไขมันสองอ่างสำหรับชะล้างน้ำมันและไขมัน ซึ่งอ่างทั้งสองมีการจัดเรียงดังลักษณะที่แสดงดังรูปที่ 4.1

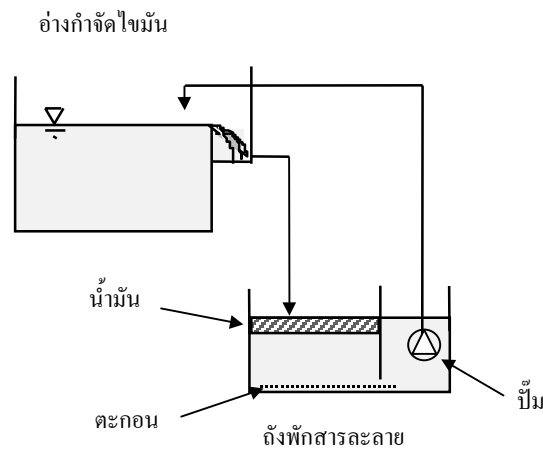


**รูปที่ 4.1** การจัดเรียงตำแหน่งอ่างกำจัดไขมันสองอ่าง

จากรูปอ่างแรกจะถูกบรรจุด้วยน้ำร้อนเท่านั้นในขณะที่อ่างที่สองบรรจุด้วยสารเคมีที่ใช้ทำความสะอาดพื้นผิว ในการทำงาน วัตถุจะถูกจุ่มลงในอ่างน้ำร้อนก่อนเพื่อล้างเอาคราบไขมันที่หลุดออกได้ง่ายออกในเบื้องต้น แล้วจึงนำวัตถุไปแช่ในอ่างที่สองซึ่งไขมันส่วนที่เหลือจะถูกกำจัดออกโดยสารเคมี เวลาในการแช่จะใช้เวลาโดยประมาณ 5 นาที แต่เวลาอาจจะเร็วหรือช้ากว่านี้ขึ้นอยู่กับปริมาณไขมันที่เกาะอยู่ที่ผิวของวัตถุ เทคนิคนี้มีข้อดีคือการยืดอายุการใช้งานของอ่างกำจัดไขมันอ่างที่สองซึ่งประกอบด้วยสารเคมีที่มีราคาแพง ในเชิงปฏิบัติวิธีนี้สามารถกระทำได้โดยการเพิ่มอ่างใส่น้ำร้อนเข้าไปก่อนหน้าอ่างที่ใส่สารเคมี อุณหภูมิของน้ำร้อนที่ใช้จะอยู่ในช่วง 60-80°C การให้ความร้อนแก่อ่างน้ำร้อนอาจทำได้โดยการเผาไหม้เชื้อเพลิงเพื่อให้ความร้อนโดยตรง หรือใช้ไอน้ำ หรือนำความร้อนจากขั้นตอนในกระบวนการอื่นมาใช้ น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากอ่างน้ำร้อนสามารถส่งไปยังถังพักเพื่อปล่อยให้ไขมันแยกชั้นออกมา แล้วจึงแยกส่วนที่เป็นน้ำมันออกเพื่อส่งไปบำบัดต่อไป น้ำที่เหลือจะถูกส่งไปยังระบบบำบัดน้ำเสีย

**(ง) การบำบัดและการนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่**

เทคนิคนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อแยกเอาน้ำมันและสิ่งเจือปนอื่นๆออกจากสารละลายที่ใช้ในการกำจัดไขมัน และนำสารเคมีกลับมาใช้ใหม่ รูปที่ 4.2 แสดงถึงรูปภาพของชุดอุปกรณ์ที่ใช้ในการแยกน้ำมันและสิ่งเจือปน



**รูปที่ 4.2** ถังแยกน้ำมัน

จากรูปได้มีการติดตั้งถังพักสารละลายแยกออกมาต่างหากจากอ่างกำจัดไขมัน โดยที่สารละลายในอ่างกำจัดไขมันจะไหลล้นออกจากอ่างและต่อท่อไปยังถังพักที่ซึ่งน้ำมันจะแยกชั้นออกมาจากสารละลายเนื่องจากความแตกต่างของความหนาแน่นและจะลอยอยู่ที่ผิวหน้าของถังพัก น้ำมันส่วนนี้จะถูกตัดออกจากถังและรวบรวมเก็บไว้เพื่อส่งไปบำบัดต่อไป ในขณะที่สิ่ง

เจือปน (ถ้ามี) จะตกตะกอนอยู่ก้นถังพักและจะถูกกำจัดในรูปของกากของแข็ง สารละลายที่เหลืออยู่ในถังพักจะถูกนำกลับเข้าไปใช้ต่อในอ่างกำจัดไขมัน ถังพักควรจะถูกออกแบบเพื่อป้องกันไม่ให้น้ำมันที่แยกตัวออกมานั้นถูกสูบหมุนเวียนกลับไปยังอ่างกำจัดไขมัน กระบวนการนี้ทำให้อายุการใช้งานของอ่างกำจัดไขมันนานขึ้น ซึ่งส่งผลทำให้ลดปริมาณโดยรวมของของเสียอันเกิดจากกระบวนการกำจัดไขมัน

สำหรับกรณีที่มีน้ำมันอยู่ในรูปของอิมัลชัน (emulsion) ซึ่งไม่แยกตัวออกจากสารละลาย การใช้ถังแยกน้ำมันข้างต้นจะไม่ได้ผล ดังนั้นจึงควรที่จะใช้วิธีการกรองระดับอนุภาค (microfiltration) ที่ซึ่งจะสามารถกำจัดเอาของแข็ง น้ำมันที่ไม่ถูกทำให้เป็นอิมัลชัน และน้ำมันที่ถูกทำให้เป็นอิมัลชันออกได้ วิธีการนี้สามารถกำจัดอนุภาคซึ่งมีขนาดระหว่าง 0.1-5 ไมครอนได้ แต่อาจต้องมีขั้นตอนการกรอง หรือการแยกเบื้องต้นก่อน ระบบการกรองระดับอนุภาคหลายๆระบบมีการใช้ตัวกรองที่ทำด้วยเซรามิกซึ่งจะสามารถทนทานต่ออุณหภูมิที่สูงและสารเคมีที่เกี่ยวข้องกับอ่างทำความสะอาดได้

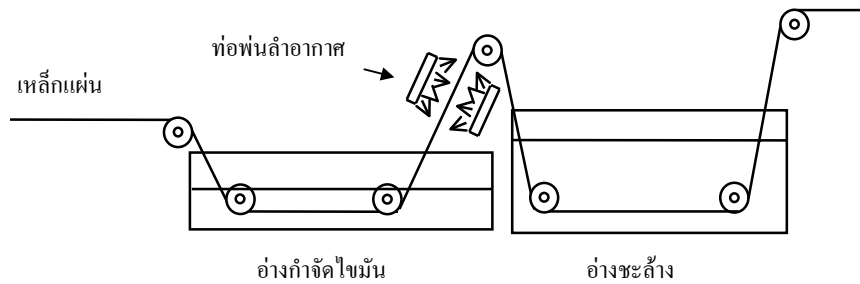
ในกรณีที่เลือกใช้วิธีการกรองระดับอนุภาค ได้มีการศึกษาถึงผลตอบแทนทางเศรษฐศาสตร์ โดย Cushnie (1994) พบว่า สำหรับอ่างขนาด 2,400 แกลลอน และค่าสารเคมีทำความสะอาดราคา 0.42 เหรียญสหรัฐต่อแกลลอน จะมีค่าใช้จ่ายในส่วนของอุปกรณ์และค่าติดตั้ง 27,000 เหรียญสหรัฐ และมีการดำเนินการ 6,250 เหรียญสหรัฐต่อปี จะสามารถประหยัดค่าใช้จ่ายโดยรวมได้ 18,715 เหรียญสหรัฐ และสามารถคืนทุนได้ภายในเวลา 2.1 ปี

#### (จ) การลดปริมาณสารเคมีที่ติดมากับชิ้นงาน (Drag-out Reduction)

เพื่อที่จะลดปริมาณของน้ำเสียอันเกิดจากขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น การยืดอายุการใช้งานของสารละลายที่ใช้เพื่อกำจัดไขมันแต่เพียงอย่างเดียวยังไม่เป็นการเพียงพอ แต่จะต้องยืดอายุการใช้งานของน้ำที่ใช้ในการชะล้าง (Rinsing water) ด้วย อายุของอ่างชะล้างถูกจำกัดด้วยการสะสมของสารเคมีที่ติดมากับชิ้นงานที่ออกมาจากอ่างกำจัดไขมัน ผู้ประกอบการสามารถที่จะลดปริมาณสารเคมีที่ติดมากับชิ้นงานดังกล่าว ได้หลายวิธี เช่น

- ยกชิ้นงานขึ้นจากอ่างอย่างช้าๆและปล่อยให้สารละลายได้หยดกลับไปยังอ่างกำจัดไขมันให้นานเพียงพอที่จะทำให้มีสารละลายหลงเหลือติดไปกับวัตถุให้น้อยที่สุด (โดยประมาณ 30 วินาที) และอาจใช้วิธีการเขย่าวัตถุขึ้นลงเพื่อช่วยเร่งให้สารละลายหยดลงได้เร็วขึ้นและทำให้สารละลายที่ติดอยู่ตามซอกชิ้นงานมีโอกาสดูดสะบัดหลุดออกมา
- การใช้ลูกรีดเพื่อกวาดสารละลายออกจากพื้นผิวของชิ้นงาน (ในกรณีที่เป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง)

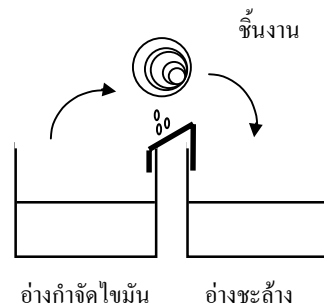
- ใช้การเป่าอากาศ (air knives) บนพื้นผิวของชิ้นงานเพื่อทำให้สารละลายที่ติดมากับชิ้นงานหยดกลับไปยังอ่างกำจัดไขมันได้ดีขึ้น



รูปที่ 4.3 การใช้ลมอากาศเป่าที่ผิวชิ้นงานเพื่อลด drag-out

รูป 4.3 แสดงภาพวาดของท่อพ่นอากาศที่ถูกติดตั้งในบริเวณที่จะสามารถพ่นอากาศไปยังพื้นผิวชิ้นงานหลังจากที่ได้ผ่านการกำจัดไขมันด้วยสารเคมี เพื่อที่จะทำให้สารเคมีที่ติดมากับผิวชิ้นงานได้ไหลกลับไปยังอ่างกำจัดไขมันก่อนที่จะผ่านชิ้นงานสู่อ่างชะล้างต่อไป

- ใช้แผ่นโลหะลาดเอียงวางครอบช่องว่างระหว่างอ่างกำจัดไขมันและอ่างชะล้างเพื่อที่จะดักสารเคมีที่หยดจากชิ้นงาน (เมื่อชิ้นงานถูกย้ายจากอ่างกำจัดไขมันไปยังอ่างชะล้าง) ให้ไหลย้อนกลับไปยังอ่างกำจัดไขมันดังที่แสดงในรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 วางแผ่นลาดเอียงครอบระหว่างอ่างกำจัดไขมันและอ่างชะล้าง

- จัดตำแหน่งของชิ้นงาน (เช่น ท่อ) ในลักษณะที่เอียงลงเพื่อที่จะระบายสารละลายซึ่งอาจถูกกักอยู่ในท่อให้ไหลกลับไปยังอ่างกำจัดไขมันได้ง่ายขึ้น

วิธีดังกล่าวข้างต้นจะช่วยลดปริมาณของสารละลายที่ติดมากับชิ้นงานที่จะถูกส่งไปล้างในอ่างชะล้าง ส่งผลให้อ่างชะล้างมีอายุการใช้งานนานขึ้นทำให้ลดปริมาณโดยรวมของน้ำเสียที่ต้องส่งไปกำจัด

### (ฉ) การนำสารละลายชะล้างที่เข้มข้นกลับเข้าสู่อ่างกำจัดไขมัน

น้ำชะล้างถูกใช้เพื่อกำจัดสารละลายซึ่งปะปนมากับชิ้นงานที่มาจากอ่างกำจัดไขมัน เมื่อความเข้มข้นของสารละลายในอ่างชะล้างมีความเข้มข้นขึ้นถึงระดับที่จะไม่สามารถใช้ในการชะล้างได้น้ำเหล่านี้จะถูกทิ้งไปเป็นน้ำเสีย แทนที่จะทิ้งน้ำเหล่านี้ไปสู่ระบบบำบัดน้ำเสียผู้ประกอบการสามารถนำบางส่วนของน้ำที่จะทิ้งกลับเข้ามาใช้ในอ่างกำจัดไขมันได้ เนื่องจากน้ำชะล้างเหล่านี้ประกอบด้วยสารละลายที่เข้มข้นถึงระดับหนึ่ง ดังนั้นจะทำให้ปริมาณของน้ำเสียและการใช้สารเคมีโดยรวมลดลงได้ ปริมาณของน้ำชะล้างที่นำกลับไปใช้ใหม่ในอ่างกำจัดไขมันสามารถใช้ผสมกับน้ำใหม่หรือใช้แทนน้ำใหม่ทั้งหมดได้เพราะท้ายที่สุดก็ต้องมีการเติมสารละลายใหม่เพิ่มเข้าไปเพื่อให้ได้ข้อกำหนดของคุณสมบัติของสารละลายที่จะใช้ในการกำจัดไขมัน โดยที่ปริมาณของสารเคมีใหม่ที่จะเติมเข้าไปนั้นจะมากน้อยแค่ไหนขึ้นอยู่กับปริมาณของสารละลายที่มีอยู่ในน้ำล้างที่นำกลับมาใช้ใหม่ (ทราบได้โดยการไตเตรด)

อนึ่ง การใช้วิธีการตั้งข้อแนะนำข้อ (ก) ถึง (ฉ) ดังกล่าว แต่ละข้อสามารถที่จะช่วยยืดอายุการใช้งานของอ่างกำจัดไขมันและ/หรืออ่างน้ำล้าง ซึ่งจะส่งผลทำให้ลดปริมาณโดยรวมของน้ำเสียที่จะต้องบำบัด ตลอดจนลดปริมาณสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการ เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพของการลดปริมาณของเสียในกระบวนการให้ดีขึ้น ผู้ประกอบการสามารถประยุกต์ใช้วิธีการในข้อแนะนำดังกล่าวได้หลายวิธีในเวลาเดียวกัน

#### 4.2.2 การลดปริมาณน้ำเสียจากขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรด

น้ำเสียจากขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรดประกอบด้วยสารละลายกรดจากอ่างกำจัดสนิมด้วยกรดและน้ำที่ใช้ล้างเหล็กจากอ่างชะล้าง การลดปริมาณน้ำเสียเหล่านี้สามารถทำได้หลายวิธีดังต่อไปนี้

### (ก) การยืดอายุการใช้งานของน้ำชะล้าง

ดังที่ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 3 น้ำชะล้างถูกใช้เพื่อล้างสารละลายกรดซึ่งปะปนมากับเหล็กจากอ่างกำจัดสนิมด้วยกรด กรดและไอออนของเหล็กเหล่านี้จะสะสมอยู่ในอ่างชะล้างจนกระทั่งความเข้มข้นของกรดและไอออนของเหล็กในน้ำชะล้างสูงขึ้นเกินกว่าระดับที่จะยอมรับได้ โดยทั่วไปจะถูกกำหนดโดยความเข้มข้นของกรดระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 กรัมต่อลิตร ซึ่ง ณ จุดนี้ น้ำดังกล่าวจะไม่สามารถใช้ในการชะล้างได้อีกต่อไป จำเป็นต้องถูกถ่ายออกจากอ่าง และถ่ายน้ำใหม่ที่สะอาดเข้าทดแทนในกรณีของการชะล้างแบบกะ ส่วนในการชะล้างแบบต่อเนื่องอัตราการป้อนน้ำสะอาดเข้าสู่อ่างชะล้างจะต้องเพิ่มขึ้นเพื่อเจือจางน้ำล้างให้มีความเข้มข้นของกรด



และอ็อกซิเจนต่ำกว่าระดับที่กำหนดไว้ เนื่องจากอัตราการใช้น้ำในขั้นตอนการชะล้างจะสูงกว่าในขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรดมาก การลดปริมาณน้ำเสียในขั้นตอนการชะล้างนี้จะส่งผลให้เกิดการลดลงของปริมาณน้ำเสียโดยรวม วิธีการหนึ่งเพื่อที่จะบรรลุวัตถุประสงค์นี้คือการยืดอายุการใช้งานของน้ำชะล้าง ซึ่งหมายถึงการใช้น้ำชะล้างในการปฏิบัติการให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ก่อนที่จะจำเป็นต้องทำการเปลี่ยนน้ำในการปฏิบัติการแบบกะ หรือหมายถึงการลดอัตราการป้อนน้ำสะอาดเข้าสู่อ่างชะล้างให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ในการปฏิบัติการแบบต่อเนื่อง วิธีการที่ง่ายที่สุดคือการลดอัตราการป้อนของน้ำชะล้างโดยการลดสารละลายกรดจากอ่างกำจัดสนิมที่ถูกพาไปกับชิ้นงานด้วยวิธีดังต่อไปนี้

- ยกชิ้นงานขึ้นจากอ่างอย่างช้า ๆ และปล่อยให้สารละลายได้หยดกลับไปยังอ่างกรดให้นานเพียงพอที่จะทำให้มีสารละลายหลงเหลือติดไปกับวัตถุให้น้อยที่สุด และอาจใช้วิธีการเขย่าวัตถุขึ้นลงเพื่อช่วยเร่งให้สารละลายหยดลงได้เร็วขึ้นและทำให้สารละลายที่ติดอยู่ตามซอกชิ้นงานมีโอกาสถูกสะบัดหลุดออกมา
- ริดสารละลายกรดจากผิวของชิ้นงานกลับลงไปในอ่างกรดโดยใช้ลูกกลิ้งริด (ในกรณีที่เป็นกระบวนการผลิตแบบต่อเนื่อง)
- ใช้การเป่าอากาศ (air knives) บนพื้นผิวของชิ้นงานเพื่อทำให้สารละลายที่ติดมากับชิ้นงานหยดกลับไปยังอ่างกำจัดสนิมด้วยกรดได้ดีขึ้น
- จัดการวางตัวของชิ้นงานเพื่อให้สารละลายสามารถหยดออกจากชิ้นงานได้สะดวกที่สุด เช่น โดยการทำให้เกิดการลาดเอียง หลีกเลี่ยงการวางซ้อนกันของชิ้นส่วน วางวัตถุดิบในลักษณะที่ทำให้ไม่เกิดช่องหรือมุมอับอาจก่อให้เกิดการกักขังของสารละลายกรดระหว่างชิ้นงาน และจัดเรียงวัตถุดิบให้มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับผิวหน้าของสารละลายในอ่างกรดน้อยที่สุดในขณะที่ชิ้นงานถูกยกขึ้นเหนืออ่างกำจัดสนิมด้วยกรด
- ใช้อุปกรณ์ยึดจับชิ้นงานที่สะอาด และถูกออกแบบอย่างเหมาะสม อุปกรณ์ยึดจับที่ได้รับการออกแบบอย่างไม่เหมาะสมอาจเพิ่มปริมาณของสารละลายกรดที่ถูกพาไปกับชิ้นงานได้ง่ายเนื่องจากอุปกรณ์ดังกล่าวจะเคลื่อนไปในขั้นตอนต่าง ๆ พร้อมกับชิ้นงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งจากอ่างกรดไปยังอ่างชะล้าง ดังนั้นอุปกรณ์ยึดจับควรได้รับการออกแบบให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างตัวอุปกรณ์กับชิ้นงานน้อยที่สุดเพื่อป้องกันการกักขังของสารละลายที่อาจเกิดขึ้น ณ จุดสัมผัสนั้น ๆ นอกจากนี้พื้นที่ผิวของอุปกรณ์ยึดจับควรถูกออกแบบให้มีพื้นที่น้อยที่สุดเพื่อลดปริมาณสารละลายกรดที่อาจเกาะติดไปกับผิวของอุปกรณ์ยึดจับเมื่อทำการยกชิ้นงานขึ้นจากอ่างกรด ตัวอย่างของการออกแบบอุปกรณ์ยึดจับสำหรับขดลวดเหล็ก ชุดยกและรองรับชิ้นงานอาจ

ประกอบด้วยคนที่สอดเข้ากลางขดลวดเพื่อรองรับชิ้นงานและตะขอเกี่ยวที่แต่ละข้างของคนซึ่งทำจากอลูมิเนียมบรอนซ์เพื่อให้ทนทานต่อการกัดกร่อนของกรด ซึ่งตัวคนดังกล่าวจะถูกออกแบบให้เป็นแท่งทรงกระบอกเพื่อลดพื้นที่ผิวของคนเองและเพื่อลดจุดสัมผัสระหว่างคนกับชิ้นงานด้วย

- ใช้การสเปรย์หรือพ่นน้ำเป็นไอเหนืออ่างกำจัดสนิมเพื่อล้างสารละลายกรดที่เกาะติดที่ผิวของชิ้นงานออกบางส่วนก่อนทำการเคลื่อนย้ายชิ้นงานไปสู่อ่างชะล้าง
- ใช้ถังกักสารละลายที่ติดมากับวัตถุเพื่อที่จะนำสารละลายกรดดังกล่าวกลับมาใช้ในอ่างกำจัดสนิมเหล็กได้ใหม่ ทั้งนี้เปรียบเสมือนถังที่ใช้ชะล้างที่ไม่มีการป้อนน้ำเข้าอย่างต่อเนื่อง ชิ้นงานจะถูกจุ่มลงในถังกักสารละลายก่อนที่จะผ่านกระบวนการชะล้างตามปกติต่อไป และการปั่นกววนอากาศอาจช่วยทำให้การชะล้างมีประสิทธิภาพมากขึ้น การใช้ถังกักสารละลายจะสามารถลดการสูญเสียของน้ำและกรดได้ถึง 50% หรือมากกว่านั้น (USEPA, 1992)
- วิธีการอื่น ๆ เช่น การเติมสารช่วยเพิ่มความเปียก (wetting agents) ตัวอย่างเช่น Aliphatic alcohol phosphate หรือ Aliphatic alcohol ethoxylated เข้าไปในอ่างกำจัดสนิมด้วยกรดเพื่อลดแรงตึงผิวของสารละลาย ซึ่งจะส่งผลให้การปริมาณของสารละลายกรดที่ติดไปกับผิวของชิ้นงานลดลง

เทคนิคที่กล่าวมาข้างต้นในหลาย ๆ ข้อไม่ต้องลงทุนเพิ่มหรืออาศัยการลงทุนเพียงเล็กน้อย แต่มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ผู้ใช้เทคนิคเหล่านี้จะต้องได้รับการฝึกอบรมอย่างถูกต้อง

#### (ข) การนำน้ำชะล้างกลับมาใช้ใหม่

อีกวิธีการหนึ่งซึ่งจะสามารถลดปริมาณน้ำเสียได้คือการใช้เทคนิคการจัดการอ่างน้ำ ซึ่งได้รับการพิจารณาว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ และมีความยืดหยุ่นในการที่จะลดปริมาณการใช้น้ำลงด้วยการนำน้ำชะล้างกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำได้โดยการจัดเรียงสายป้อนเข้าและส่งออกของกระบวนการที่มีอยู่เสียใหม่ หรือการติดตั้งอ่างกำจัดสนิมด้วยกรดหรืออ่างชะล้างเพิ่มเติมในจุดที่เหมาะสม เทคนิคต่าง ๆ ที่จะกล่าวต่อไปนี้เป็นตัวอย่างที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

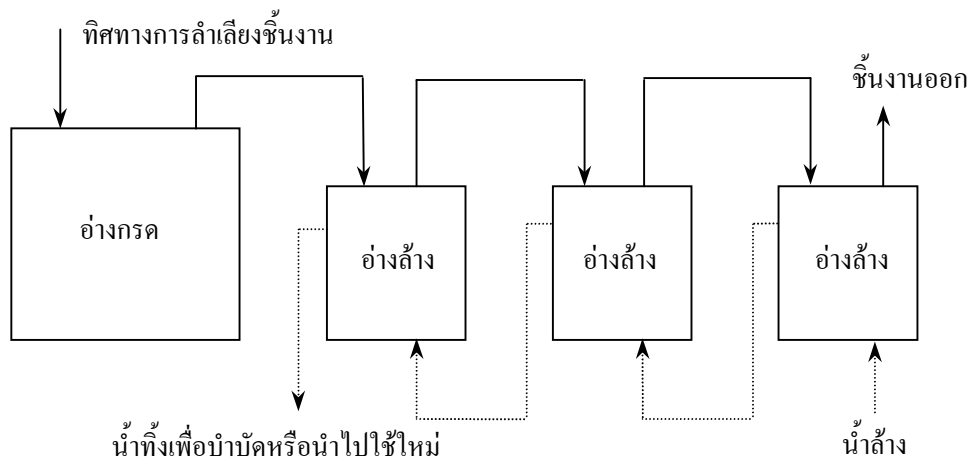
- การนำน้ำชะล้างที่มีความเข้มข้นของกรดสูงกลับเข้าสู่อ่างกำจัดสนิมด้วยกรด

เทคนิคนี้ให้ประโยชน์ในสองทาง คือ (1) ปริมาตรของน้ำเสียจากขั้นตอนการชะล้างจะลดลงได้ในปริมาณเท่ากับน้ำที่ใช้ในอ่างกำจัดสนิมด้วยกรดและ (2) สารละลายกรดบางส่วนที่ถูกพาออกไปพร้อม ๆ กับชิ้นงานจะนำกลับไปยังอ่างกำจัดสนิมด้วยกรดเพื่อนำไปใช้ต่อไป ใน

ทางปฏิบัติแล้ว อาจจำเป็นต้องมีอ่างเพิ่มเติมเพื่อเก็บกักน้ำล้างที่มีความเข้มข้นกรดสูงจากอ่างชะล้างก่อนที่จะป้อนเข้าสู่อ่างกำจัดสนิมด้วยกรด ทั้งนี้เนื่องมาจากความแตกต่างระหว่างอัตราการใช้น้ำของขั้นตอนการกำจัดสนิมและขั้นตอนการชะล้าง (โดยทั่วไปปริมาณน้ำชะล้างจะสูงกว่าปริมาณสารละลายกรด) น้ำชะล้างที่มีความเข้มข้นกรดสูงจะถูกผสมเข้ากับสารละลายกรดใหม่เมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายสารละลายกรดในอ่างกำจัดสนิม อัตราส่วนระหว่างปริมาตรของน้ำชะล้างที่นำกลับมาใช้กับปริมาตรของสารละลายกรดใหม่จะถูกกำหนดโดยให้สารละลายในอ่างกำจัดสนิมมีความเข้มข้นเริ่มต้นตามที่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่สารละลายในอ่างกำจัดสนิมถูกถ่ายเปลี่ยนใหม่ทั้งหมด โดยต้องการให้สารละลายใหม่มีความเข้มข้นของกรดเท่ากับ 120 กรัม/ลิตร ในขณะที่สารละลายกรดใหม่ที่ใช้มีความเข้มข้นเท่ากับ 350 กรัม/ลิตร ถ้าความเข้มข้นของกรดในน้ำชะล้างเข้มข้นมีค่าเท่ากับ 10 กรัม/ลิตร อัตราส่วนโดยปริมาตรของน้ำล้างที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อสารละลายกรดใหม่จะเท่ากับ  $(350-120)/(120-10) = 2.1$

➢ การติดตั้งระบบชะล้างหลายขั้นตอนแบบไหลสวนทางกัน

ในระบบนี้การเคลื่อนที่ของวัตถุคิจะอยู่ในทิศทางที่สวนทางกับการไหลของน้ำที่ใช้ชะล้าง ดังแสดงเป็นตัวอย่างในรูปที่ 4.5 น้ำที่ไหลออกจากถังที่หนึ่ง (ถังสุดท้ายซึ่งชิ้นงานได้ถูกจุ่มลง) จะกลายเป็นสายป้อนของถังที่สอง น้ำสายดังกล่าวจะถูกป้อนเข้าถังที่สาม และเป็นเช่นนี้เรื่อยไปตามลำดับ



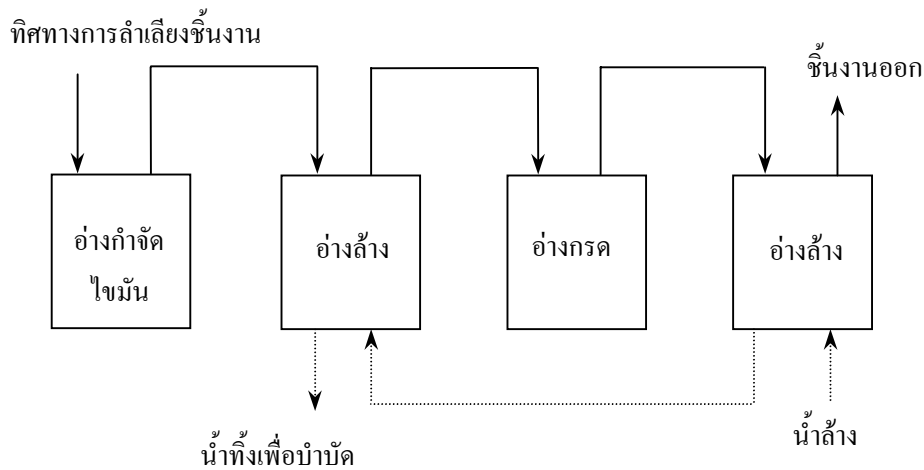
รูปที่ 4.5 ระบบการชะล้างแบบไหลสวนทางกันสามขั้นตอน (USEPA, 1992)

โดยทางเทคนิคแล้วการใช้วิธีการชะล้างหลายขั้นตอนต่อเนื่องกันจะสามารถลดปริมาณการใช้น้ำในแต่ละขั้นตอนการชะล้างได้เป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องมาจากระบบการชะล้างแบบไหลสวนทางกันหลายขั้นตอนช่วยให้ชิ้นงานมีเวลาสัมผัสกับน้ำล้างนานขึ้นและเกิดการแพร่ของกรดเข้าไปในน้ำล้างได้ดียิ่งขึ้น อ้างอิงการศึกษาของ Dahab และคณะ (1994) ซึ่งพบว่าการใช้อ่างชะล้างสองอ่างที่สารละลายไหลสวนทางกันจะสามารถลดปริมาณการใช้น้ำล้างได้ประมาณ 83% ซึ่งจากผลการคำนวณที่แสดงในภาคผนวก ค ก็พบว่าสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Dahab และคณะ นอกจากนี้ผลการคำนวณในภาคผนวก ค ยังแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มจำนวนขั้นตอนขึ้นอีกก็จะทำให้ประหยัดน้ำเพิ่มขึ้นได้อีก แต่ในอัตราของการประหยัดที่ลดลง นั่นคือการชะล้างที่ใช้สามขั้นตอนจะประหยัดน้ำเพิ่มจากการใช้สองขั้นตอนอีก 6.6% ในขณะที่หากใช้แบบสี่ขั้นตอนจะประหยัดน้ำเพิ่มขึ้นจากการใช้แบบสามขั้นตอนอีกเพียง 2% ดังนั้นจะเห็นได้ว่าการใช้วิธีการชะล้างแบบสองอ่างจะให้ประสิทธิภาพการประหยัดน้ำได้สูงสุดซึ่งโรงงานในประเทศไทยปัจจุบัน ได้มีการนำระบบการชะล้างแบบสองขั้นตอนมาใช้บ้างแล้ว

ในกรณีที่มีพื้นที่จำกัด อาจทำการเปลี่ยนอ่างชะล้างให้มีขนาดเล็กลงหรือทำการแบ่งอ่างที่มีอยู่แล้วออกเป็นส่วน ๆ โดยให้น้ำสามารถไหลล้นจากส่วนหนึ่งไปยังอีกส่วนหนึ่งได้ในทิศทางที่สวนทางกับการเคลื่อนย้ายชิ้นงาน วิธีการนี้นอกจากจะช่วยประหยัดน้ำล้างแล้ว ผู้ประกอบการยังได้ประโยชน์จากการจัดการในเรื่องของปริมาณน้ำเสียได้ง่ายขึ้นอีกด้วย

#### ➢ การใช้ประโยชน์จากน้ำล้างในหลาย ๆ ด้าน

น้ำล้างที่มีความเข้มข้นของสิ่งเจือปนสูงเกินกว่าที่จะใช้ในงานล้างชิ้นงานที่เพิ่งจะผ่านการกำจัดสนิมด้วยกรดอาจเป็นประโยชน์สำหรับกระบวนการชะล้างอื่น ๆ ยกตัวอย่างเช่น ในอ่างชะล้างที่อยู่ต่อจากอ่างล้างไขมัน ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าชิ้นงานที่ออกจากอ่างล้างไขมันจะพาเอาสารละลายที่เป็นด่างออกมาด้วย หากทำการล้างชิ้นงานดังกล่าวนี้ในสารละลายที่มีความเป็นกรด สารละลายที่จะติดที่ผิวของชิ้นงานออกไปสู่ขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรดก็อาจถูกทำให้เป็นกลางหรือถูกเปลี่ยนให้มีสภาพที่เป็นกรด ซึ่งจะเห็นว่าหากอ่างชะล้างที่อยู่ต่อจากอ่างล้างไขมันเป็นน้ำเปล่าแล้ว โอกาสที่ชิ้นงานจะพาเอาสารละลายที่มีสภาพเป็นด่างติดไปที่ผิวด้วยไปสู่อ่างกรดก็จะเกิดขึ้นได้ และหากเป็นเช่นนั้น กรดบางส่วนในอ่างกำจัดสนิมหลักก็จะสูญเสียไปโดยไม่จำเป็นในการทำให้สารละลายที่มีสภาพเป็นด่างนี้มีสภาพเป็นกลาง ถ้าระบบการล้างทั้งสองดังกล่าวมีอัตราการไหลของน้ำล้างที่เท่ากัน ปริมาณของน้ำล้างทั้งหมดจะลดลงได้ถึง 50% อย่างไม่ก็ดี ถ้าการใช้น้ำล้างไม่เท่ากัน จะต้องมีถังพักเพื่อใช้ในการเก็บกักน้ำล้างที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ รูปที่ 4.6 แสดงตัวอย่างของการใช้ประโยชน์จากน้ำล้างในหลาย ๆ ด้าน

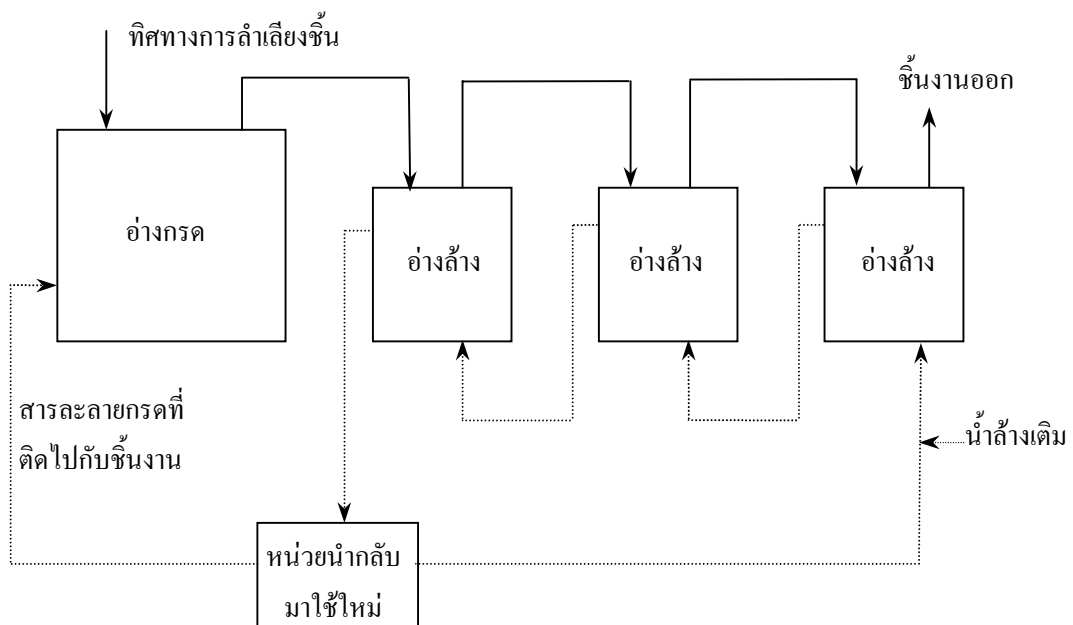


รูปที่ 4.6 การใช้ประโยชน์จากน้ำล้นในหลาย ๆ ด้าน (USEPA, 1992)

> การนำน้ำล้นที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้ใหม่

น้ำล้นสามารถถูกนำกลับมาใช้ใหม่ในระบบปิดซึ่งสายน้ำที่บำบัดแล้วถูกนำกลับมาใช้ในระบบชะล้าง ตัวอย่างของการหมุนเวียนน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วมาใช้เป็นระบบปิดแสดงอยู่ใน

รูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ระบบนำน้ำล้นกลับมาใช้ใหม่ (USEPA, 1992)

### 4.3 การลดปริมาณการใช้กรด

น้ำเสียจากอ่างกำจัดสนิมด้วยกรดหรือน้ำกรดที่ถูกใช้แล้วจะมีองค์ประกอบหลักคือเกลือของโลหะ กรด และน้ำ ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 2 ปริมาณกรดที่ใช้ต่อหน่วยการผลิตของโรงงานในประเทศไทยที่ใช้กระบวนการแบบต่อเนื่อง (เหล็กแผ่น) และกระบวนการแบบกะ (ลาว, ท่อ, ฯลฯ) จะมีความแตกต่างกันอย่างเห็นได้ชัด อย่างไรก็ตามก็พบว่าการใช้กรดในทั้งสองกรณีจะมากเกินความจำเป็นในการกำจัดสนิมเหล็กอยู่มาก โดยมีเปอร์เซ็นต์ของความสูญเสียที่เกิดขึ้นในระบบต่างกันสองเท่า ดังดูได้จากตารางที่ 4.1 เปอร์เซ็นต์การสูญเสียจะมีค่าเท่ากับ 43.5% และ 81.2% สำหรับกระบวนการแบบต่อเนื่องและแบบกะตามลำดับ

ตารางที่ 4.1 การวิเคราะห์ปริมาณกรดที่สูญเสียไปในกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรด

	กระบวนการแบบกะ	กระบวนการแบบต่อเนื่อง
ค่าเฉลี่ยความต้องการกรด (กก.) ต่อตันเหล็ก*	7.74	0.25
ค่าเฉลี่ยการใช้กรด (กก.) ต่อตันเหล็ก*	14.07	0.36
ค่าเฉลี่ยการสูญเสียกรด (%)*	81.2	43.5

\*คำนวณอ้างอิงจากกรดไฮโดรคลอริกบริสุทธิ์

การใช้กรดเกินความจำเป็นนี้ยังหมายถึงการที่กรดในปริมาณมากจะถูกทิ้งสู่ระบบบำบัด และเป็นที่คาดเดาได้ว่ากากของเสียที่เกิดในระบบบำบัดจะมีปริมาณที่สูงตามไปด้วย ดังนั้นถ้าสามารถนำกรดกลับมาใช้ในกระบวนการอีกได้ก็จะเป็นประโยชน์ในแง่ของการควบคุมมลพิษ และการลดต้นทุนการใช้กรดและการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นตามมา ซึ่งในกรณีหลังนี้สามารถพิจารณาทางเศรษฐศาสตร์ดังที่แสดงไว้ในภาคผนวก ง การประหยัดค่าสารเคมี (เช่น กรดไฮโดรคลอริก และ โซเดียมไฮดรอกไซด์) สามารถทำได้ถึง 88% โดยประมาณ (โดยการสมมติว่าสามารถนำกรดไฮโดรคลอริกกลับมาได้สมบูรณ์) สำหรับโรงงานซึ่งยังไม่มีระบบการนำกรดกลับมาใช้

#### 4.3.1 การดึงกรดกลับ

วัตถุประสงค์หลักของการดึงกรดกลับก็คือเพื่อนำกรดซึ่งยังมีประสิทธิภาพในการกำจัดสนิมที่ปนไปกับน้ำทิ้งจากทั้งอ่างกำจัดสนิมด้วยกรดและอ่างชะล้างกรดกลับมาใช้ใหม่ให้ได้มากที่สุด หลักการของการดึงกรดกลับคือการแยกกรดและไอออนของโลหะออกจากกัน โดยที่

กรดจะถูกนำกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรด ในขณะที่ไอออนของโลหะอาจถูกบำบัดหรือกำจัดทิ้งต่อไปหรือขายเพื่อใช้ประโยชน์ในทางอื่น ๆ ดังที่กล่าวถึงในหัวข้อ 4.5 ต่อไป ในทางปฏิบัติประสิทธิภาพของระบบการดั่งกรดกลับจะแตกต่างกันออกไปแล้วแต่วิธีการที่ใช้ ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีที่ใช้สำหรับการดั่งกรดกลับได้แก่ การตกผลึก (สำหรับกรดซัลฟูริกเท่านั้น) การระเหย (สำหรับกรดไฮโดรคลอริก) การรีทาร์เดชัน (retardation) และไพโรไฮโดรไลซิส (pyrohydrolysis) ซึ่งรายละเอียดและข้อเปรียบเทียบต่าง ๆ ได้ถูกแสดงไว้โดย Oswald (1996) ซึ่งจะสามารถนำมาสรุปได้ดังตารางที่ 4.2.

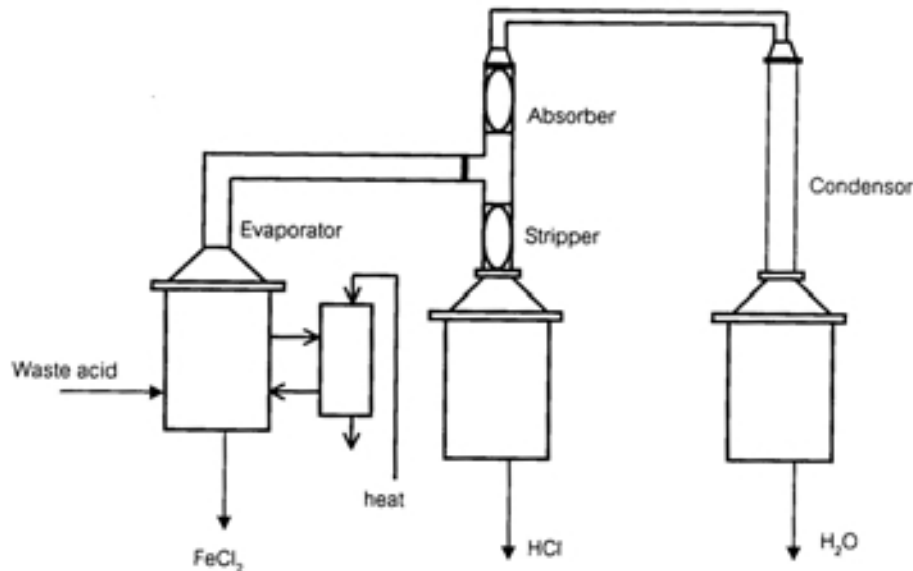
ตารางที่ 4.2 แสดงการเปรียบเทียบระบบการคืนกรดกลับ (Oswald, 1996)

วิธีการ	ใช้สำหรับ	หลักการทำงาน	ผลิตภัณฑ์สุดท้าย	การใช้พลังงาน (ต่อตันของสารละลายกรดใช้แล้ว)	การใช้สารเคมี (ต่อตันของกรดใช้แล้ว)	จุดเด่น	จุดด้อย
การตกผลึก	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ลดอุณหภูมิของสารละลายกรดใช้แล้วลงเหลือ 5 °ซ. แยกเอาผลึกเกลือของ FeSO <sub>4</sub> ·7H <sub>2</sub> O ออก โดยการร่อนแห้ง (screen centrifuge)	กรดที่นำมาใช้ใหม่ได้, เกลือเขียว (FeSO <sub>4</sub> )	28 kW (ความแตกต่างของอุณหภูมิคือ 70 °ซ)	ไม่มี	นำกรดกลับมาใช้ได้ 80%, การสะเทินต้องการน้อยกว่า, ลดตะกอนขี้ปูน Fe มากกว่า 60 g/l และ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> มากกว่า 150 g/l	เงินลงทุนสูง, สารตกค้าง เช่นเกลือของเหล็กซัลเฟต ต้องใช้งานที่ความเข้มข้น Fe มากกว่า 60 g/l และ H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> มากกว่า 150 g/l
การระเหย	HCl	ระเหย HCl และ H <sub>2</sub> O ออกจากอ่างสารละลายกรดใช้แล้ว (อุณหภูมิสูงถึง 125 °ซ)	กรดที่นำมาใช้ใหม่ได้, ตะกอนของเสียของ FeCl <sub>2</sub>	375 kW (ความแตกต่างของอุณหภูมิคือ 90 °ซ)	ไม่มี	นำกรดกลับมาใช้ได้ 90%, การสะเทินต้องการน้อยกว่า	ใช้พลังงานมาก, สารตกค้าง: เหล็กคลอไรด์
Retardation acid adsorption	HCl, H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	ดูดซับไอออนอิสระของกรดโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน, โดยการผ่าน FeCl <sub>2</sub> และ FeSO <sub>4</sub> , น้ำไอออนของกรดกลับมากับน้ำโดยการใช้น้ำ	กรดซึ่งนำมาใช้ใหม่ได้, ของเสียในรูปของ FeCl <sub>2</sub> และ FeSO <sub>4</sub>	8 kW	3.5 ตันของน้ำ	เงินลงทุนต่ำ ขนาดปฏิบัติการปานกลาง ค่าซ่อมบำรุงต่ำ ประสิทธิภาพที่นำกรดกลับได้ 80%	สารตกค้าง: เหล็กคลอไรด์
Retardation iron adsorption	HCl	ออกซิเดชันของ Fe(II) กับ H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> หรือ Cl <sub>2</sub> ได้ Fe(III), การดูดซับของ FeCl <sub>3</sub> ด้วยเรซินแลกเปลี่ยนไอออน, โดยการผ่านไอออนของกรดอิสระ, Fe(III) กลับมาโดยการใช้น้ำชะ	กรดซึ่งนำมาใช้ใหม่ได้, ของเสียในรูปของ FeCl <sub>3</sub>	8 kW	20 ตันของน้ำปราศจากไอออน, 90 ลิ. H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> 35%, 0.19 ตัน HCl 35%	เงินลงทุนต่ำ ขนาดปฏิบัติการปานกลาง ค่าซ่อมบำรุงต่ำ ประสิทธิภาพที่นำกรดกลับได้ 80%	
Pyrohydrolysis	HCl	ให้ความร้อน อบ ออกซิเดชันของ Fe(II) ได้ Fe(III), ทำคลอไรด์ให้เข้มข้นขึ้นในรูปของกรดอิสระ และกรดจำเพาะทางเคมี	กรดจำเพาะทางเคมี และกรด Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ที่ไม่เป็นอันตราย	ประมาณ 1400 kWh	อากาศ	นำกรดกลับมาใช้ทั้งหมด 99% สารตกค้างไม่เป็นอันตราย	เงินลงทุนสูง ต้องใช้พื้นที่มาก ปัญหาด้านสาธารณสุขโลก ใช้พลังงานมาก



➢ การระเหย

หลักการของเทคนิคนี้ก็คือการระเหยทั้งกรดและน้ำซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารละลายกรดให้กลายเป็นไอและไอน้ำโดยใช้เครื่องทำระเหย (ดูรูปที่ 4.8) สารละลายกรดสามารถนำกลับมาได้โดยการทำให้ไอให้เย็น และควบแน่น สารตกค้างหลังจากการระเหยคือ ferrous chloride ความเข้มข้นสูงซึ่งจะต้องถูกนำไปสะเทินต่อไป



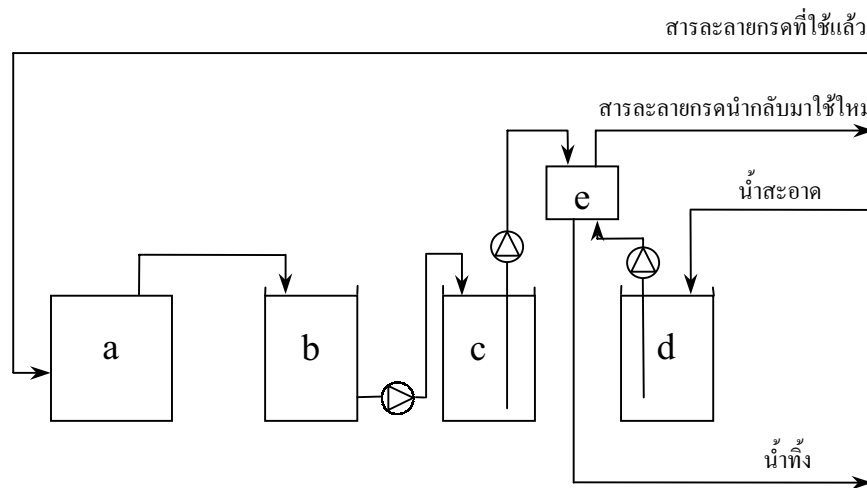
รูปที่ 4.8 แผนภาพแสดงกระบวนการระเหย (Oswald, 1996).

ข้อได้เปรียบของเทคนิคนี้คือการที่ไม่จำเป็นต้องใช้สารเคมีอื่นใด และกรดอิสระสามารถถูกนำกลับมาได้ถึง 90% แต่อย่างไรก็ตามในการทำระเหยต้องใช้พลังงานสูงมาก อัตราการใช้พลังงานได้ถูกประมาณไว้ประมาณ 375 กิโลวัตต์ต่อตันน้ำกรด (ดูตารางที่ 4.2) และนอกจากนี้ยังต้องอาศัยพลังงานในการให้ความเย็นประมาณ 150 กิโลวัตต์ต่อตันของสารละลายกรด เมื่อนำค่าใช้จ่ายเหล่านี้มาประกอบการคำนวณทางเศรษฐศาสตร์ จะพบว่าค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติการจะสูงมาก ทำให้ผลประโยชน์ที่ได้ต่อปีมีค่าน้อย ระยะเวลาในการคืนทุนจึงนานและจะลดลงเพียงเล็กน้อยสำหรับโรงงานที่มีขนาดใหญ่ขึ้น (ดูภาคผนวก ง.2 ในรายละเอียด)

➢ Retardation acid adsorption

ในกระบวนการนี้กรดจะถูกดูดซับในขณะที่สารละลายกรดถูกผ่านเข้าไปยังหอเรซินซึ่งทำให้ได้สารละลายที่มีเกลือของโลหะที่เข้มข้นขึ้นในสายขาออก กระบวนการดูดซับจะดำเนินไปจนกระทั่งความเข้มข้นของกรดในเรซินถึงขีดความสามารถที่เรซินจะรับได้ หลังจากนั้นหอเรซินก็จะถูกชะด้วยน้ำซึ่งจะทำให้ได้สารละลายกรดซึ่งประกอบด้วยเกลือของโลหะในปริมาณที่

ต่ำ ความเข้มข้นของกรดในสารละลายที่นำกลับมาได้จะขึ้นอยู่กับปริมาตรของน้ำที่ใช้ชะล้างเรซิน โดยทั่วไปแล้วปริมาตรของน้ำที่ใช้ในหอจะเท่ากับปริมาตรของน้ำกรดที่ผ่านเข้าไปยังหอ เพื่อการดูดซับทำให้ได้สารละลายกรดกลับมาที่มีความเข้มข้นใกล้เคียงกับความเข้มข้นของสารละลายกรดก่อนผ่านเข้าหอดูดซับ จากการศึกษาโครงการนำร่องนำน้ำกรดกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรมเหล็กของกรมโรงงานอุตสาหกรรมเมื่อพฤษภาคม 2540 พบว่ากระบวนการนี้ไม่เหมาะสมกับกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กแบบต่อเนื่องซึ่งสารละลายกรดที่ใช้แล้วมีความเข้มข้นของกรดและไอออนเหล็กต่ำ แต่สำหรับกรณีที่เป็นกระบวนการแบบกะพบว่าระยะเวลาคืนทุนขึ้นอยู่กับระดับความเข้มข้นของไอออนเหล็กและกรดในสารละลายกรด ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่มีความเข้มข้นของกรดในสารละลายมีค่าเท่ากับ 30 กรัมต่อลิตรและมีปริมาณความเข้มข้นของไอออนเหล็กในสารละลายเท่ากับ 90 กรัมต่อลิตร พบว่าระยะเวลาคืนทุนจะเท่ากับ 5.5 ปี ในขณะที่เมื่อความเข้มข้นของกรดเพิ่มเป็น 50 กรัมต่อลิตรโดยที่ความเข้มข้นของไอออนเหล็กคงที่ ระยะเวลาคืนทุนจะเพิ่มเป็น 9.5 ปี

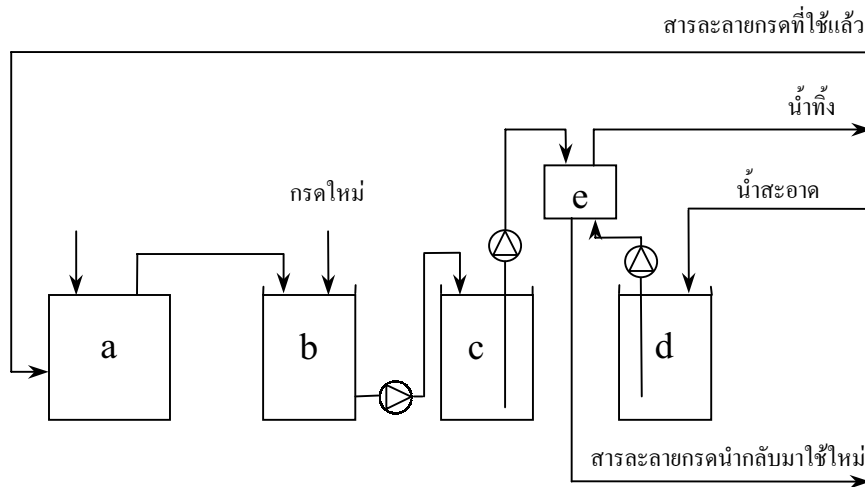


**รูปที่ 4.9** แผนภาพแสดงการดึงกรดกลับ โดยการใช้กระบวนการ retardation acid adsorption; a) การทำความสะอาดสารละลายกรดเบื้องต้น b) ถังสารละลายและถังลดความเข้น c) ถังเก็บสารละลายกรด d) ถังเก็บน้ำ และ e) หอเรซิน (Oswald, 1996)

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์สำหรับระบบการดึงกรดกลับโดยการใช้กระบวนการ retardation acid adsorption ได้ถูกแสดงไว้ในภาคผนวก ง ซึ่งชี้ให้เห็นว่าเทคนิคนี้น่าจะมีเหมาะสมสำหรับการดึงกรดกลับสำหรับทุกขนาดของระบบซึ่งพิจารณาในขอบเขตของขีดความสามารถในการจัดการสารละลายกรดสูงสุดที่ 15 ลบ.ม.ต่อวัน แต่สำหรับวิธีนี้ โรงงานขนาดกลางจะได้เปรียบกว่าโรงงานขนาดเล็กในด้านต้นทุนต่อหน่วยที่ต่ำกว่า ส่งผลให้มีระยะเวลาในการคืนทุนที่ต่ำกว่า

➢ Retardation iron adsorption

การนำกรดกลับมาด้วยวิธีการนี้มีความใกล้เคียงกับการใช้กระบวนการ retardation acid adsorption แต่แทนที่จะดูดซับกรด กลับใช้วิธีการดูดซับโลหะในขณะที่กรดถูกไหลผ่านหอระชัน ก่อนที่จะผ่านสารละลายกรดเข้าสู่หอระชัน สารละลายดังกล่าวจะต้องถูกออกซิไดซ์ด้วยไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ( $H_2O_2$ ) เพื่อที่จะเปลี่ยน ferrous chloride ให้เป็น ferric chloride และเติมให้เต็มด้วยกรดไฮโดรคลอริกเข้มข้นเพื่อที่จะทำให้ความเข้มข้นรวมสูงถึง 200 กรัมของกรดไฮโดรคลอริกต่อลิตรของสารละลาย เพื่อที่จะทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อนประจุลบของคลอไรด์ ( $FeCl_4^-$ ) ข้อเสียเปรียบของกระบวนการนี้ก็คือจะต้องมีการเติมสารเคมีเข้าสู่ระบบดังที่ได้กล่าวมาในข้างต้น ซึ่งจะต้องใช้สารที่ทำให้เกิดการออกซิไดซ์ในปริมาณที่เท่ากับที่ต้องการในโรงงานบำบัดน้ำเสีย และเมื่อพิจารณาว่าความเข้มข้นของสารละลายกรดใช้แล้วมีค่าต่ำ (32 กรัม/ลิตรโดยเฉลี่ย) จึงจำเป็นต้องใช้กรดไฮโดรคลอริกเพิ่มเติมอีกเป็นจำนวนมาก ยิ่งไปกว่านั้นเรซินจะต้องถูกชะล้างด้วยน้ำที่ปราศจากแร่ธาตุซึ่งจะเป็นการเพิ่มการทำงานของโรงงานบำบัดน้ำเสีย ดังนั้นเทคนิคนี้จึงไม่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมจุ่มเหล็กในประเทศไทยในปัจจุบัน เว้นเสียแต่ว่าสารละลายกรดของโรงงานนั้นมีความเข้มข้นของกรดและไอออนของเหล็กที่สูงมาก



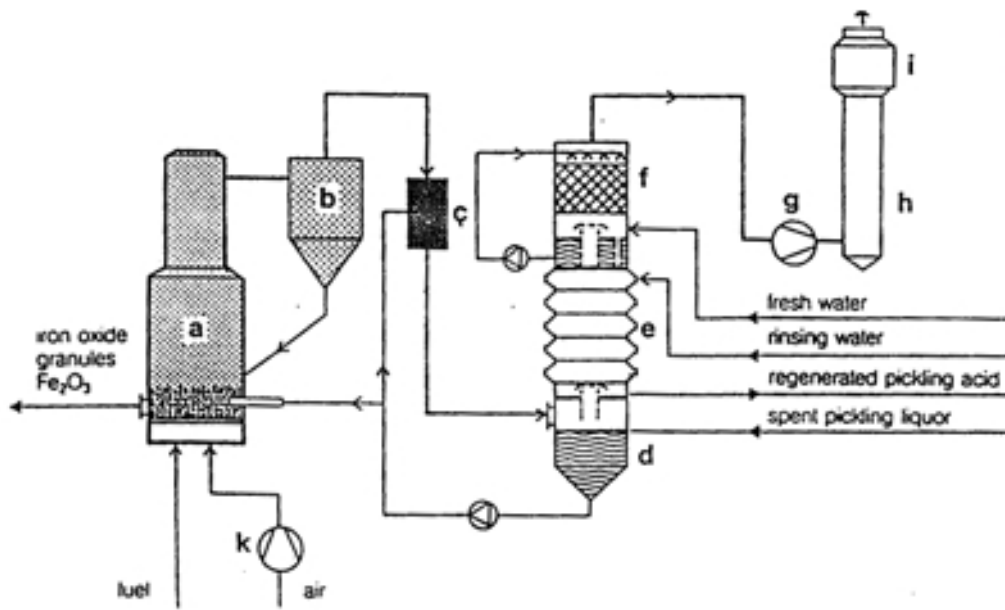
รูปที่ 4.10 แผนภาพแสดงการดึงกรดกลับโดยการใช้กระบวนการ retardation iron adsorption a) ถังออกซิไดซ์ b) ถังผสมกรด c) ถังเก็บสารละลายกรด d) ถังเก็บน้ำ และ e) หอเรซิน

➢ Pyrohydrolysis

เทคนิคนี้ใช้การแยกสลายด้วยความร้อนเพื่อที่จะแยกองค์ประกอบของสารละลายกรดออกจากกัน กระบวนการนี้จะประกอบด้วยเตาเผาซึ่งความร้อนจะทำให้เกิดการแตกตัวของสารละลายกรดทำให้ได้ ferric oxide ( $Fe_2O_3$ ), ไฮโดรคลอริก ( $HCl$ ) และไอน้ำเป็นผลิตภัณฑ์

หน่วยปฏิบัติการนี้อาจถูกออกแบบในลักษณะที่เป็นถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด (fluidised-bed reactor) (แสดงในรูปที่ 4.11) หรือเตาเผาชนิดสเปรย์ (spray roaster) (ไม่ได้แสดงในรูป) เป็นต้น เป็นที่น่าสังเกตว่า ferrous ion ที่เป็นอันตรายจะถูกเปลี่ยนให้เป็นสารประกอบของ ferric ในกระบวนการนี้ และด้วยเหตุนี้เองจึงไม่มีความจำเป็นต้องนำผลิตภัณฑ์ที่ได้ไปผ่านกระบวนการบำบัดใด ๆ ต่อไป (โดยเฉพาะอย่างยิ่งการทำให้เป็นกลางและการทิ้งตะกอน) สารละลายกรดจะถูกผลิตขึ้นจากไอกรดไฮโดรคลอริกและไอน้ำในขณะที่สารเหล่านี้ถูกผ่านเข้าไปยัง scrubber และหอดูดซับ ประสิทธิภาพของการนำกรดกลับมาโดยการใช้เทคนิคนี้ประมาณว่าสูงถึง 99% (Oswald, 1996)

เนื่องจากการลงทุนเบื้องต้นที่สูง เทคนิคนี้จึงไม่เหมาะสมสำหรับโรงงานขนาดเล็กแต่จะเหมาะสมมากกว่ากับโรงงานขนาดใหญ่ที่มีปริมาณการใช้สารละลายกรดในการกำจัดสนิมสูง (ดูภาคผนวก ง.4) ตัวอย่างเช่น ได้มีการนำเอาเทคนิคนี้มาใช้ในประเทศไทยแล้วเพื่อทำการดึงกรดกลับจากสารละลายที่ทิ้งจากอ่างกำจัดสนิมเหล็กในปริมาณที่สูงถึง 38 ลบ.ม.ต่อวัน



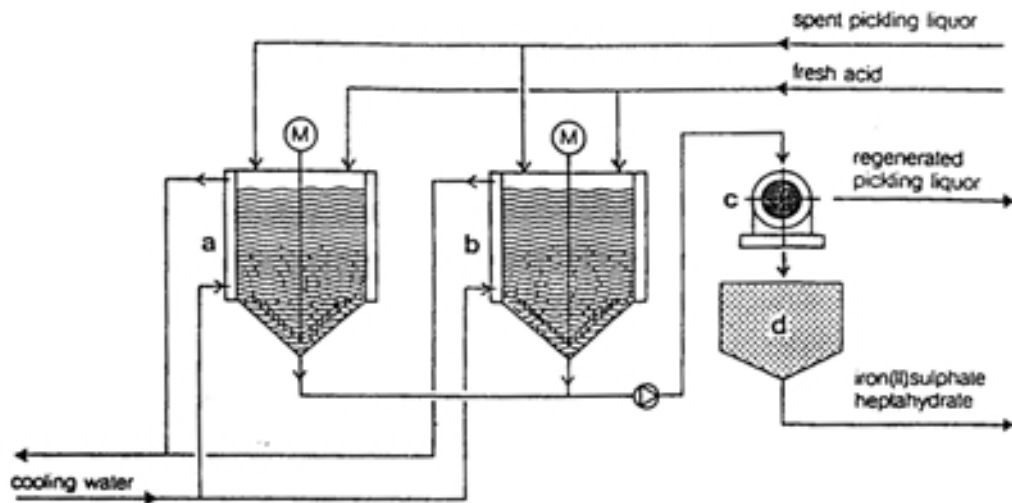
รูปที่ 4.11 แผนภาพแสดงการนำกรดกลับมาโดยการใช้ฟลูอิดไคซ์เบด a) ถังปฏิกรณ์ฟลูอิดไคซ์เบด b)ไซโคลน c) venturi scrubber d)ถังแยก e) หอดูดซับ f) ขั้นตอนการ scrubbing g) เครื่องเป่าก๊าซออก h)ปล่อง i) จุดดักจับละอองน้ำ k)เครื่องเป่าอากาศ (Oswald, 1996)

#### > การตกผลึก

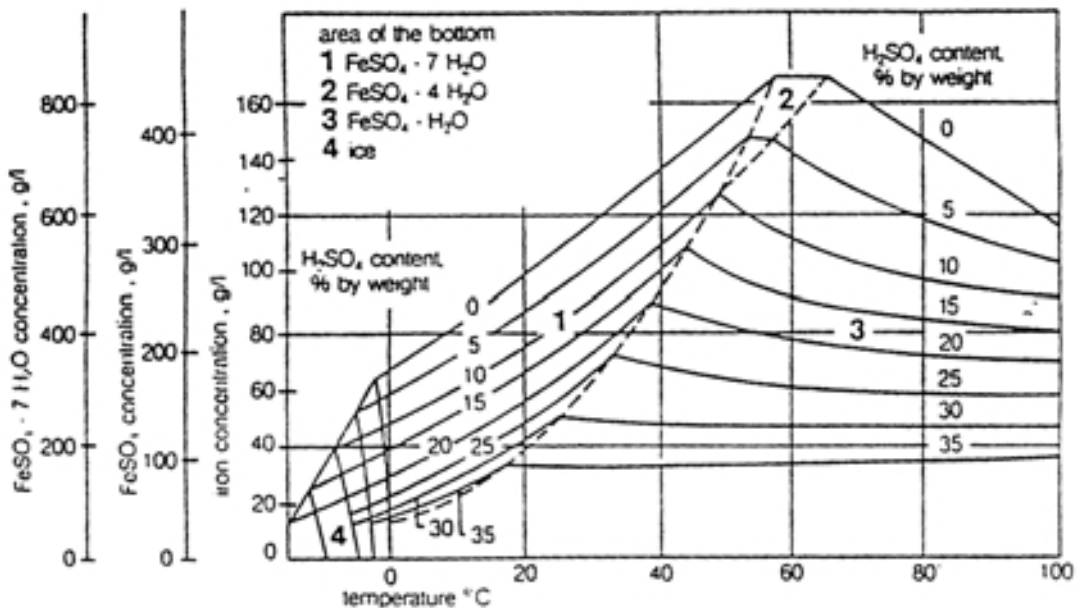
เทคนิคนี้ใช้ได้กับการดึงกรดซัลฟูริกกลับเท่านั้น ตามเทคนิคนี้กรดซัลฟูริกจะถูกนำกลับมาโดยการตกผลึกเกลือของโลหะให้เป็นของแข็งซึ่งอยู่ในรูปของ ferrous sulphate และ

หลังจากนั้นจะถูกรองออกจากสารละลายกรดทำให้ได้น้ำกรดที่มีไอออนของเหล็กในปริมาณที่น้อยลง กระบวนการนี้ประกอบด้วยถังตกผลึกและถังร้อนเหวี่ยงดังแสดงในรูปที่ 4.12

อุณหภูมิซึ่งผลึกของ ferrous sulphate เกิดขึ้นและตกตะกอนจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของทั้งไอออนเหล็กที่ละลายอยู่และกรดซัลฟูริกที่ละลายอยู่ในสารละลายกรดโดยพิจารณาจากค่าการละลายของ ferrous sulphate ดังแสดงในรูปที่ 4.13 จากรูป ผลึกของ ferrous sulphate อาจเกิดขึ้นได้ในสามรูปแบบคือ  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ,  $\text{FeSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  และ  $\text{FeSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  ดังแสดงด้วยบริเวณ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เส้นทึบแสดงถึงความเข้มข้นของกรดซัลฟูริกซึ่งใช้กำหนดขอบเขตต่ำสุดของความเข้มข้นเหล็กที่ผลึกจะก่อตัวขึ้นได้ ดังนั้นจะต้องมีสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการตกตะกอน เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของทั้งกรดและไอออนของเหล็กในสารละลายกรดในโรงงานผลิตโลหะสำเร็จรูปในประเทศไทยซึ่งใช้กรดซัลฟูริก ค่าที่ได้คือ 12 กรัมของกรดซัลฟูริกต่อลิตร และ 50 กรัมของเหล็กต่อลิตรจะอยู่ที่ขอบเขตที่สามารถทำให้เกิดการตกผลึกที่ +5 องศาเซลเซียสได้พอดี ซึ่งเป็นจุดที่ไม่เหมาะสมต่อการใช้งานเนื่องจากโดยทั่วไปความเข้มข้นจะแปรเปลี่ยนไม่คงที่ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถทำการตกผลึกอย่างสมบูรณ์ได้ ดังนั้นการตกผลึกจึงไม่ถูกนำมาพิจารณาในขั้นตอนการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ แต่อย่างไรก็ตามข้อมูลทางเทคนิคเบื้องต้นสำหรับกระบวนการตกผลึกได้ถูกแสดงไว้ในตารางที่ 4.2 เพื่อการอ้างอิง



รูปที่ 4.12 ผังรูปภาพแสดงกระบวนการตกผลึกซึ่งประกอบด้วยถังสองถัง และอุปกรณ์ให้ความเย็นทางอ้อม a) ถังตกตะกอนที่ 1 b) ถังตกตะกอนที่ 2 c) เครื่องหมุนเหวี่ยง d) ถังเก็บ Iron(II)sulphate heptahydrate (Oswald, 1996)



รูปที่ 4.13 ค่าการละลายของ ferrous sulphate ในสารละลายกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิต่าง ๆ (Oswald, 1996)

- การเปรียบเทียบเทคนิคการดึงกรดกลับที่เหมาะสมต่อการใช้งานพิจารณาในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์

กล่าวโดยสรุปในแง่ของการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ (พิจารณาตามวิธีระยะเวลาการคืนทุนเบื้องต้น) กระบวนการ retardation acid adsorption จะเป็นเทคนิคที่มีความเหมาะสมมากกว่าการทำระเหยสำหรับโรงงานที่สามารถรับสารละลายกรดได้ไม่เกิน 15 ลบ.ม. ต่อวัน (ดูตารางที่ 4.3) ระดับการปฏิบัติการของ retardation acid adsorption ตามปกติจะไม่มากไปกว่า 15 ลบ.ม.ต่อวัน ในทางกลับกันการ pyrohydrolysis มีสมรรถนะในการรองรับปริมาณสารละลายกรดที่สูงกว่ามาก จึงเหมาะสำหรับโรงงานขนาดใหญ่ แต่ก็จะไม่คุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ในการประยุกต์ใช้กับโรงงานขนาดเล็กเนื่องจากต้นทุนที่สูง

สำหรับโรงงานขนาดเล็กจำนวนมากอาจรวมตัวกันจัดตั้งศูนย์รวบรวมสารละลายกรดที่ใช้แล้วจากแต่ละโรงงานมาเพื่อทำการดึงกรดกลับ จะช่วยให้ต้นทุนของกระบวนการกลับใช้ใหม่ลดลงเมื่อเทียบกับการลงทุนเองของแต่ละโรงงาน

ตารางที่ 4.3 การเปรียบเทียบระยะเวลาการคืนทุนเมื่อใช้ระบบการระเหย, retardation acid adsorption และ pyrohydrolysis ตามวิธีระยะเวลาการคืนทุนเบื้องต้น

เทคนิค	ปริมาณสารละลายกรดที่รองรับได้ต่อวัน					% การคืนกรดกลับ
	2 ลบ.ม.	5 ลบ.ม.	15 ลบ.ม.	32 ลบ.ม.	38 ลบ.ม.	
การระเหย	9.5 ปี	8.3ปี	7 ปี	-	-	90%
Retardation acid adsorption	6 ปี	3 ปี	2 ปี	-	-	80%
Pyrohydrolysis	-	-	-	6.5 ปี	5.8 ปี	99%

#### 4.3.2 มาตรการอื่น ๆ ในการลดปริมาณการใช้กรด

##### (ก) การใช้ตัวยับยั้ง (inhibitor)

อีกวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการใช้กรดก็คือการใช้ตัวยับยั้งเพื่อควบคุมกิจกรรมการกำจัดสนิมด้วยกรด ทั้งนี้เนื่องจากว่าตัวยับยั้งทำหน้าที่เสมือนตัวหน่วงซึ่งจะทำให้การกัดเหล็กช้าลง และดังนั้นจะทำให้การกำจัดสนิมเหล็กทำได้ทั่วถึงตลอดผิวของชิ้นงาน ข้อดีของการใช้ตัวยับยั้งคือเนื้อเหล็กส่วนเกินที่ถูกกัดจะลดน้อยลง (ปริมาณของกรดที่ถูกใช้จะลดลงด้วย) ตัวอย่างของตัวยับยั้งที่พบได้ทั่วไปได้แก่ organic sulphide และ amine

##### (ข) ระยะเวลาการกำจัดสนิมด้วยกรดที่เหมาะสม

เป็นที่ทราบกันดีว่าถ้ากิจกรรมการกำจัดสนิมด้วยกรดถูกปล่อยให้เนิ่นนานไปเกินจุดที่ออกไซด์ของเหล็กบนผิวของชิ้นงานถูกกำจัดไปอย่างสมบูรณ์แล้ว สารละลายกรดจะเริ่มกัดกร่อนเนื้อแท่งของชิ้นงาน ผลที่ตามมาคือกรดส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปโดยเปล่าประโยชน์ในกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก ดังนั้น ทางหนึ่งที่จะใช้กรดในปริมาณที่เหมาะสมคือการใช้ระยะเวลาการกำจัดสนิมด้วยกรดที่เหมาะสม แต่อย่างไรก็ตามระยะเวลาที่เหมาะสมสำหรับกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรดขึ้นอยู่กับปริมาณของออกไซด์ของเหล็กซึ่งเกาะอยู่บนผิวของชิ้นงาน ซึ่งการที่จะกำหนดระยะเวลาที่เหมาะสมได้ สภาพของผิวชิ้นงานจะต้องได้รับการตรวจสอบเสียก่อน โดยทั่วไปชิ้นงานที่เป็นแผ่นจะได้รับการเก็บในรูปแบบที่เป็นม้วนซึ่งทำให้ผิวส่วนใหญ่สะอาด ระยะเวลาที่ใช้ในการกำจัดสนิมจึงค่อนข้างน้อย (ประมาณ 2-5 วินาที) ในทางกลับกัน

ผิวของชิ้นงานที่อยู่ในรูปอื่น ๆ เช่น ท่อ ลวด เส้น ฯลฯ จะมีสนิมเหล็กมากกว่า และยิ่งไปกว่านั้นด้วยลักษณะโครงสร้างของชิ้นงานประเภทหลังนี้มีความซับซ้อนสูงซึ่งทำให้สารละลายกรดไม่สามารถเข้าไปทำการกำจัดสนิมได้อย่างทั่วถึงในเวลาพร้อม ๆ กันได้ ระยะเวลาโดยรวมที่ใช้ในการกำจัดสนิมของชิ้นงานประเภทหลังนี้จึงค่อนข้างนาน ในกรณีนี้ระยะเวลาในการกำจัดสนิมเหล็กจะอยู่ในช่วงเวลาประมาณ 15 ถึง 50 นาที

#### (ค) การเปลี่ยนถ่ายสารละลายกรดที่ใช้แล้วออกบางส่วน

เมื่อกิจกรรมการกำจัดสนิมเหล็กผ่านไป ความเข้มข้นของกรดในสารละลายจะลดลงเรื่อย ๆ ซึ่งทำให้อัตราการกำจัดสนิมลดลงด้วย เมื่อถึงจุดหนึ่งแล้วจะต้องทำการเปลี่ยนถ่ายสารละลายในอ่างกำจัดสนิม แต่แทนที่จะทำการเปลี่ยนสารละลายใหม่ทั้งหมด โดยทั่วไปจะมีการถ่ายสารละลายในอ่างกำจัดสนิมออกบางส่วนแล้วเติมสารละลายกรดใหม่เข้าไปเพื่อรักษาอัตราการกำจัดสนิมให้อยู่ในเกณฑ์ที่ต้องการ และนอกจากนี้ยังเป็นการลดการสูญเสียกรดไปกับสารละลายที่ถูกถ่ายทิ้งอีกด้วย ปริมาณของการถ่ายออกแต่ละครั้งจะคำนวณได้จากความเข้มข้นของกรดใหม่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของสารละลายกรดในอ่างกำจัดสนิม และความเข้มข้นของกรดในอ่างกำจัดสนิมก่อนที่จะทำการถ่ายออกดังแสดงในตัวอย่างข้างล่างนี้ ถึงแม้ว่าความเข้มข้นของกรดในสารละลายจะได้รับการควบคุมให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ด้วยวิธีการดังกล่าวก็ตาม ปริมาณไอออนของเหล็กก็จะสะสมอยู่ในอ่างกำจัดสนิมด้วย ซึ่งเป็นที่ทราบกันดีว่า ความเข้มข้นของไอออนเหล็กในสารละลายที่ใช้กำจัดสนิมก็มีผลต่อการกำจัดสนิมด้วยเช่นกัน โดยหากสารละลายมีความเข้มข้นของไอออนเหล็กสูงจะทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดสนิมลดลง ดังนั้นการเปลี่ยนถ่ายสารละลายเพียงบางส่วนจะกระทำได้ถึงจุดหนึ่งซึ่งปริมาณ ไอออนเหล็กที่สะสมอยู่ในอ่างมีค่าสูงเกินกว่าที่จะยอมรับได้ (จากโรงงานตัวอย่างจะมีค่าอยู่ระหว่าง 50 ถึง 120 กรัมต่อลิตร) สารละลายในอ่างกำจัดสนิมจะต้องถูกเปลี่ยนถ่ายออกทั้งหมด จำนวนครั้งที่จะสามารถทำการเปลี่ยนถ่ายสารละลายบางส่วนก่อนที่จะต้องทำการเปลี่ยนถ่ายทั้งหมดจึงถูกกำหนดโดยความเข้มข้นสุดท้ายที่จะยอมรับได้ของไอออนเหล็กในสารละลายนั่นเอง ต่อไปเป็นตัวอย่างสำหรับแนวทางในการเปลี่ยนถ่ายสารละลายกรดตามที่อธิบายข้างต้น

#### ตัวอย่าง

สำหรับกระบวนการกำจัดสนิมซึ่งใช้สารละลายกรดไฮโดรคลอริกที่มีความเข้มข้นเริ่มต้น 120 กรัมต่อลิตร เมื่อความเข้มข้นของกรดในอ่างลดลงเหลือ 60 กรัมต่อลิตร จะมีการเติมสารละลายกรดใหม่เข้าไปเพื่อทำให้ความเข้มข้นของกรดในอ่างกำจัดสนิมมีค่าเท่ากับขณะเริ่มต้น ปริมาณสารละลายที่ถ่ายออกจะขึ้นอยู่กับทั้งความเข้มข้นของกรดเริ่มต้นและความเข้มข้น



สุดท้ายที่มีอยู่ในอ่างและความเข้มข้นของกรดใหม่ที่เติมเข้ามา ถ้าความเข้มข้นของสารละลายกรดใหม่มีค่าเท่ากับ 350 กรัมต่อลิตร ปริมาตรของสารละลายที่ถูกถ่ายออกแต่ละครั้งจะมีค่าเท่ากับ 20.7% ของปริมาณสารละลายที่มีอยู่ (คำนวณได้จากสมการ (4-1)) ซึ่งหมายความว่า จะต้องมีการเติมสารละลายกรดใหม่ที่มีความเข้มข้น 350 กรัมของHCl ต่อลิตรเข้ามาในปริมาณที่เท่ากับเพื่อรักษาปริมาณของสารละลายและความเข้มข้นของกรดให้เท่ากับตอนเริ่มต้น

ถัดมา ความเข้มข้นของไอออนเหล็กในสารละลายกรดที่เหลือในอ่าง หลังจากที่มีการถ่ายสารละลายออกไปบางส่วนสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4-2) ผลของการคำนวณได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ความเข้มข้นของไอออนเหล็กในอ่างกำจัดสนิมเหล็ก

จำนวนครั้งของการถ่ายออกบางส่วน	ความเข้มข้นของไอออนเหล็ก (กรัม/ลิตร)
1	36.37
2	65.21
3	83.69
4	102.74
5	117.84

\*\* โดยที่สมการคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการคำนวณได้แก่

$$C_{af}(1-x) + C_{fresh}x = C_{ai} \quad (4-1)$$

ซึ่ง  $C_{ai}$ ,  $C_{af}$  และ  $C_{fresh}$  เป็นความเข้มข้นเริ่มต้น ความเข้มข้นสุดท้าย ของกรดในอ่างและความเข้มข้นของกรดใหม่ตามลำดับ ในขณะที่  $x * 100$  เป็นร้อยละของปริมาตรที่ถูกถ่ายออก

$$C_{iron} = (1-x)(C_{ai} - C_{af}) \times M_{w,iron} / M_{w,HCl} / 2 \quad (4-2)$$

ซึ่ง  $C_{iron}$  เป็นความเข้มข้นของไอออนเหล็กที่เหลือในอ่าง  $M_{w,iron}$  และ  $M_{w,HCl}$  เป็นมวลโมเลกุลของเหล็กและกรดไฮโดรคลอริก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 55.8 และ 36.5 ตามลำดับ

ถ้าความเข้มข้นของไอออนเหล็กที่ยอมรับได้มีค่าไม่เกิน 90 กรัม/ลิตร จากตารางที่ 4.4 จะได้ว่าทุก ๆ ครั้งที่สี่ของการเปลี่ยนถ่ายสารละลายจะต้องทำการเปลี่ยนสารละลายในอ่างทั้งหมด ปริมาณของกรดที่ประหยัดได้ในกรณีนี้เมื่อเปรียบเทียบกับทำการเปลี่ยนถ่ายสารละลายใหม่ทั้งหมดในแต่ละครั้งจะคำนวณได้โดยพิจารณาว่า หากทำการเปลี่ยนสารละลายใหม่ทั้งหมดจะต้องใช้สารละลายกรดใหม่ (เข้มข้น 350 กรัม/ลิตร) ในปริมาตร 34.39% ของปริมาตรอ่างโดยที่เหลือเป็นน้ำสะอาดที่ใช้เจือจางสารละลายให้มีความเข้มข้นเริ่มต้นเท่ากับ 120 กรัมต่อลิตร แต่ทราบแล้วจากการคำนวณก่อนหน้านี้ว่าการเปลี่ยนถ่ายสารละลายบางส่วนจะใช้สารละลายกรด

ใหม่เพียง 20.7% ของปริมาตรอ่าง ซึ่งทำให้ประหยัดสารละลายกรดใหม่ไปได้เท่ากับ  $100 \times (34.39 - 20.7) / 34.39 = 39.8\%$  เมื่อรวมปริมาณของสารละลายกรดใหม่ที่จะประหยัดได้ในการถ่ายออกบางส่วนทั้งสามครั้งก่อนที่จะต้องทำการเปลี่ยนสารละลายใหม่ทั้งหมดจะได้ว่าในกรณีของการถ่ายออกบางส่วนจะประหยัดสารละลายกรดใหม่ได้ถึง 119.4% ของปริมาณที่ใช้ในการเปลี่ยนถ่ายสารละลายใหม่ทั้งหมด

#### 4.4 การลดของเสียที่อยู่ในรูปก๊าซ

ของเสียที่อยู่ในรูปก๊าซจะพบอยู่ในรูปของไอของกรดซึ่งถูกปล่อยออกมาจากอ่างกำจัดสนิมเหล็ก พิจารณาตารางที่ 4.5 สำหรับสารละลายกรดไฮโดรคลอริก และตารางที่ 4.6 สำหรับสารละลายกรดซัลฟูริก ความดันย่อยของไอของกรดทั้งสองมีค่าแปรผันตรงกับอุณหภูมิและความเข้มข้นของกรดในสารละลายซึ่งแสดงให้เห็นว่าไอของกรดจะมีมากขึ้นเมื่ออุณหภูมิและความเข้มข้นกรดสูงขึ้น ดังนั้นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดในการลดของเสียที่อยู่ในรูปของก๊าซคือการใช้อุณหภูมิและความเข้มข้นของสารละลายกรดที่ต่ำ แต่อย่างไรก็ตามสภาวะดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมที่จะใช้ในการกำจัดสนิมเหล็กเพราะต้องใช้ระยะเวลาในการกำจัดสนิม เนื่องจากลักษณะและความสกปรกของชิ้นงานที่จะถูกกำจัดสนิมของแต่ละโรงงานมีความแตกต่างกัน สภาวะที่เหมาะสมเพื่อทำให้มีประสิทธิภาพในการกำจัดสนิมที่ดีและขณะเดียวกันก็มีปริมาณก๊าซเสียเกิดขึ้นน้อยสำหรับโรงงานหนึ่ง อาจไม่เหมาะสมสำหรับอีกโรงงานหนึ่ง ดังนั้นทางโรงงานควรที่จะทำการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการดำเนินการ โดยการศึกษาจะต้องพิจารณาถึงปริมาณความเข้มข้นและอุณหภูมิที่จะส่งผลถึงเวลาที่ใช้ในการกำจัดสนิมและปริมาณก๊าซที่จะเกิดขึ้นควบคู่กับการออกแบบระบบบำบัดอากาศเสียของโรงงาน ทั้งนี้ ถ้าโรงงานเลือกใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงเป็นเกณฑ์ในการดำเนินการจะทำให้การกำจัดสนิมเกิดได้ดีซึ่งทำให้ไม่จำเป็นต้องใช้สารละลายที่มีความเข้มข้นสูง การดำเนินการเช่นนี้จะทำให้มีปริมาณไอเกิดขึ้นค่อนข้างมากแต่มีความเข้มข้นของกรดที่อยู่ในไอต่ำ ถ้าโรงงานเลือกใช้ความเข้มข้นสูงเป็นเกณฑ์ในการดำเนินการ การกำจัดสนิมสามารถที่จะดำเนินการได้ที่อุณหภูมิห้องหรือที่อุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิห้องเล็กน้อย ไอที่เกิดขึ้นจะมีความเข้มข้นของกรดอยู่ในไอค่อนข้างสูงแต่ปริมาณของไอที่เกิดขึ้นน้อย

ตารางที่ 4.5 ความดันย่อยของกรดไฮโดรคลอริก (มม.ปรอท) เหนือสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (Perry and Green, 1997)

อุณหภูมิ (°ซ)	%HCl			
	10	20	30	40
0	.00042	.0316	2.4	130
10	.00134	.084	5.23	233
20	.00395	.205	10.6	399
30	.0111	.48	21.0	627
40	.0282	1.06	39.4	-
50	.069	2.21	71	-
60	.157	4.4	124	-
70	.35	8.5	208	-
80	.73	15.6	340	-
90	1.48	28.1	542	-
100	2.9	49	845	-

ตารางที่ 4.6 ความดันย่อยของกรดซัลฟูริก (มม.ปรอท) เหนือสารละลายกรดซัลฟูริก (Perry and Green, 1997)

อุณหภูมิ (°ซ)	%H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>			
	10	20	30	40
0	.576E-21	.843E-20	.141E-18	.344E-17
10	.634E-20	.874E-19	.131E-17	.276E-16
20	.588E-19	.769E-18	.104E-16	.193E-15
30	.468E-18	.584E-17	.721E-16	.119E-14
40	.324E-17	.389E-16	.441E-15	.649E-14
50	.197E-16	.229E-15	.241E-14	.320E-13
60	.107E-15	.121E-14	.119E-13	.144E-12
70	.526E-15	.581E-14	.535E-13	.592E-12
80	.235E-14	.254E-13	.221E-12	.225E-11
90	.960E-14	.102E-12	.844E-12	.798E-11
100	.353E-13	.381E-12	.300E-11	.264E-10

#### 4.5 การใช้ประโยชน์จากสารละลายกรดที่ใช้แล้ว

เนื่องจากน้ำทิ้งของสารละลายกรดมีราคาถูกและมีองค์ประกอบของเหล็กสูงทำให้สามารถนำมาเป็นประโยชน์ได้หลายทางโดยเฉพาะอย่างยิ่งในการบำบัดน้ำเสียซึ่งประกอบด้วยกระบวนการทำให้เกิดการรวมตัวของอนุภาค (coagulation) เช่น

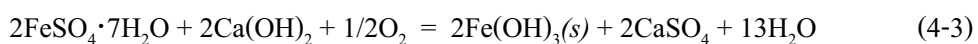
##### (ก) การกำจัดฟอสฟอรัส (Droste, 1997)

การกำจัดฟอสฟอรัสสามารถทำได้โดยการตกตะกอนทางเคมีโดยใช้สารละลายกรดที่ใช้แล้วซึ่งประกอบด้วย ferric chloride หรือ ferrous sulphate อีออนเหล็กจะตกตะกอนฟอสฟอรัสที่อยู่ในรูปของออร์โทฟอสเฟตโดยรวมตัวกันในช่วง pH ที่เหมาะสมประมาณ 6-8.5 เนื่องจากสภาพความเป็นต่างในการตกตะกอน ตะกอนของฟอสเฟตที่เกิดขึ้นจะมีรูปแบบที่หลากหลายอันเกิดจากการรวมตัวกันระหว่างฟอสเฟตและอีออนเหล็ก (เช่น  $Fe_3(PO_4)_2$  และ  $Fe_x(OH)_y(PO_4)_3$ ) และระหว่างอีออนเหล็กและองค์ประกอบอื่น ๆ (เช่น  $Fe(OH)_2$  และ  $Fe(OH)_3$ ) โดยที่อีออนของเหล็กประจุบวกสองบางส่วนถูกออกซิไดซ์เป็นอีออนเหล็กประจุบวกสาม

โดยทั่วไปในการตกตะกอนให้เหลือฟอสฟอรัสที่ละลายอยู่ในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วในระดับความเข้มข้น 1-2 มก./ล. อัตราส่วนโดยโมลระหว่างอีออนของเหล็กและฟอสฟอรัสในน้ำเสียจะเท่ากับ 1:1 และเมื่ออัตราส่วนนี้เพิ่มขึ้นเป็น 1.5 และ 2 ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสในน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจะมีค่าลดลงเหลือ 0.5 และ 0.3 มก./ล. ตามลำดับ

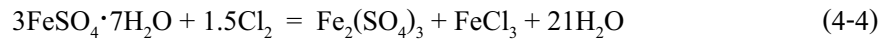
##### (ข) ลดความกระด้างของน้ำ (Hammer, 1986)

ferrous ion เช่น ferrous chloride และ ferrous sulphate ซึ่งเป็นองค์ประกอบของน้ำทิ้งของสารละลายกรดมีความสามารถในการตกตะกอนอยู่ในรูปที่ถูกออกซิไดซ์ของ ferrous hydroxide ดังนั้นอีออนเหล่านี้จึงมีประสิทธิภาพในการลดความกระด้างของน้ำดังแสดงในสมการเคมี



##### (ค) ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับการผลิต ferric chloride

ferric chloride ใช้มากในการบำบัดน้ำ ใช้กัดแผงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นกลาง วิธีการหนึ่งในการผลิต ferric chloride คือการใช้ ferrous sulphate เป็นวัตถุดิบ โดยการทำปฏิกิริยากับคลอรีน ferrous sulphate จะเปลี่ยนบางส่วนเป็น ferric chloride ดังนี้



#### (ง) ใช้เป็นสารละลายทำความสะอาด

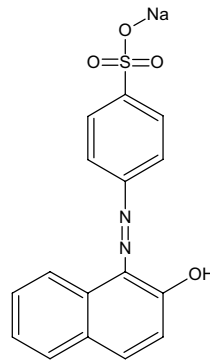
ด้วยลักษณะของความเป็นกรดและความสามารถในการกัดกร่อน ทั้ง ferrous chloride และ ferrous sulphate เปรียบเหมือนกรดอ่อนของกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟูริกตามลำดับ ดังนั้น ภายใต้การใช้งานอย่างระมัดระวัง อนุพันธ์ของเหล็กทั้งสองสามารถใช้สำหรับการทำความสะอาดได้

#### (จ) การบำบัดโครเมียม

ferrous sulphate อาจใช้เป็นสารลดประจุเพื่อเปลี่ยน โครเมียมประจุบวก 6 เป็นโครเมียมประจุบวก 3 (ดูหัวข้อ 5.2.3 ในรายละเอียด)

#### (ฉ) การบำบัด azo compound

azo compound เป็นที่รู้จักในอุตสาหกรรมสิ่งทอเป็นเวลานานพอสมควร โดยใช้เป็นสีย้อมผ้า เช่น สีส้มจาก 4-(2-Hydroxy-1-naphthyl)azobenzenesulfonic acid) (ดูรูปที่ 4.14 ประกอบ)



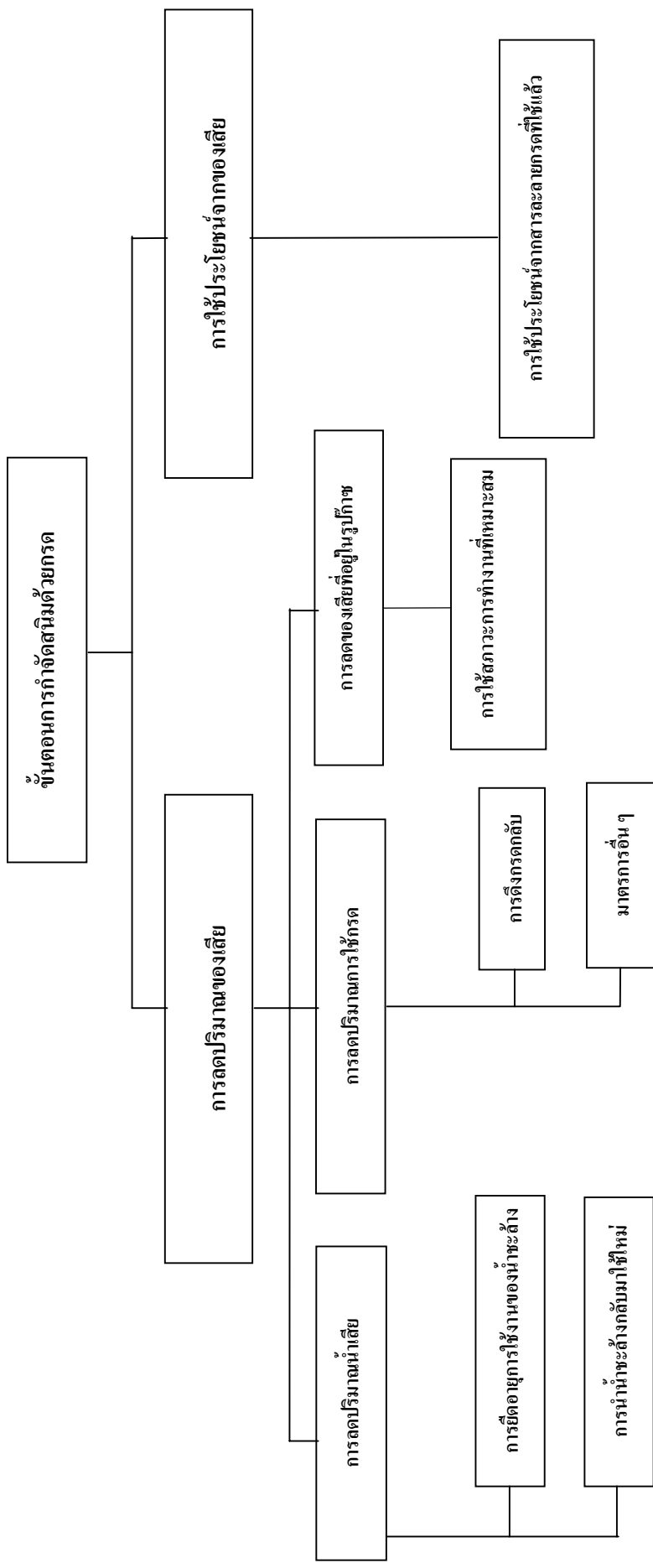
รูปที่ 4.14 โครงสร้างโมเลกุลของ 4-(2-Hydroxy-1-naphthyl)azobenzenesulfonic acid)

การบำบัดน้ำเสียที่มีสารดังกล่าวประกอบอยู่จะต้องทำการแตกพันธะคู่ของไนโตรเจนเสียก่อน แล้วจึงทำการออกซิไดซ์เพื่อให้ได้คาร์บอนไดออกไซด์และน้ำในที่สุดต่อไป พันธะคู่ของไนโตรเจนจะถูกทำให้แตกออกได้โดยใช้สารละลายที่มี ferrous ion ในสถานะที่เป็นกรด

## 4.6 บทสรุป

มาตรการต่าง ๆ ที่กล่าวอธิบายข้างต้นเป็นภาพรวมของวิธีการที่ใช้ในการลดของเสียและแนวทางในการใช้ประโยชน์จากของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กโดยอาจ

สรุปเป็นแผนผังดังแสดงในรูปที่ 4.15 ซึ่งการนำแนวทางดังกล่าวไปใช้จำเป็นต้องพิจารณาถึงความหลากหลายของลักษณะพื้นฐานของกระบวนการที่ผู้ประกอบการแต่ละแห่งใช้ซึ่งนำไปสู่การคัดสรรวิธีการที่เหมาะสมที่สุดกับกระบวนการนั้น ๆ เพื่อแสดงเป็นตัวอย่าง ตารางที่ 4.7 ได้แสดงหลักการเลือกใช้วิธีในการลดของเสียและการใช้ประโยชน์จากของเสียโดยจำแนกกระบวนการที่ใช้ตามชนิดของชิ้นงานออกเป็น (1) เหล็กและเหล็กกล้าและ (2) เหล็กกล้าไร้สนิม



รูปที่ 4.15 สรุปภาพรวมของการลดและใช้ประโยชน์จากของเสียที่เกิดจากขั้นตอนการจัดสเต็มเหล็ก

ตารางที่ 4.7 หลักการเลือกใช้วิธีการลดของเสียและใช้ประโยชน์จากของเสียสำหรับกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กและเหล็กกล้า และเหล็กกล้าไร้สนิม

	เหล็กและเหล็กกล้า	เหล็กกล้าไร้สนิม	ประโยชน์ที่ได้รับ
<b>ขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น</b>			
การลดสาเหตุที่ทำให้เกิดสิ่งเจือปน	✓	✓	
การเติมสารละลายในอ่างเพียงบางส่วน	✓	✓	
การใช้อ่างกำจัดไขมันสองอ่าง	✓	✓	
การบำบัดและนำเคมีกลับมาใช้ใหม่	✓	✓	
การลดปริมาณสารเคมีที่ติดมากับชิ้นงาน	✓	✓	
➢ การยกเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากอ่างกรดอย่างช้า ๆ	✓	✓	
➢ รีดสารละลายกรดจากผิวชิ้นงานด้วยลูกกลิ้ง	✓	✓	
➢ เป่าอากาศ	✓	✓	
➢ วางแผ่นโลหะลาดเอียงครอบช่องว่างระหว่างอ่าง	✓	✓	
➢ จัดชิ้นงานให้การถ่ายของเหลวออกได้สะดวก	✓	✓	
<b>ขั้นตอนการกำจัดสนิมด้วยกรด</b>			
<b>การลดปริมาณน้ำเสีย</b>			
<b>การยืดอายุการใช้งานของน้ำล้าง</b>			
➢ การยกเคลื่อนย้ายชิ้นงานจากอ่างกรดอย่างช้า ๆ	✓ (ก)	✓ (ก)	
➢ รีดสารละลายกรดจากผิวชิ้นงานด้วยลูกกลิ้ง	✓ (ต)	✓ (ต)	
➢ เป่าอากาศ	✓ (ต)	✓ (ต)	
➢ จัดเรียงชิ้นงานให้เหมาะสม	✓ (ก)	✓ (ก)	
➢ ใช้อุปกรณ์จับยึดที่ออกแบบอย่างเหมาะสม	✓ (ก)	✓ (ก)	
➢ ใช้การสเปรย์หรือพ่นน้ำเป็นไอ	✓	✓	
➢ ใช้ถังกักสารละลาย	✓	✓	
➢ ใช้ความเข้มข้นของสารละลายต่ำ	✓	✓	
➢ ใช้อุณหภูมิสูง	✓	✓	
➢ เติมสารช่วยเพิ่มความเปียก	✓	✓	
	<b>เหล็กและเหล็กกล้า</b>	<b>เหล็กกล้าไร้สนิม</b>	<b>ประโยชน์ที่ได้รับ</b>
<b>การนำน้ำชะล้างกลับมาใช้ใหม่</b>			
➢ การนำน้ำล้างเข้มข้นกลับสู่อ่างกรด	✓	✓	



➢ การใช้ระบบล้างหลายขั้นตอนไหลสวนทางกัน	✓	✓	ลดการใช้น้ำ 93% (กรณี 3 อ่าง)
➢ ใช้ประโยชน์จากน้ำล้างในหลาย ๆ ด้าน	✓	X	
➢ การนำน้ำล้างที่ผ่านการบำบัดมาใช้ใหม่	✓	✓	
<b>การลดปริมาณการใช้กรด</b>			
<b>การดิ่งกรดกลับ</b>			
➢ การระเหย	✓ (ส)	X	ดิ่งกรดกลับ 90%
➢ Retardation acid adsorption	✓	X	ดิ่งกรดกลับ 80%
➢ Retardation iron adsorption	X	X	
➢ Pyrohydrolysis	✓	X	ดิ่งกรดกลับ 99%
➢ การตกผลึก	X (ท)	X	
<b>มาตรการอื่น ๆ</b>			
➢ การใช้ตัวขยับยั้ง	✓	✓	
➢ ใช้ระยะเวลาในการกำจัดสนิมที่เหมาะสม	✓	✓	
➢ เปลี่ยนถ่ายสารละลายกรดบางส่วน	✓	✓	
<b>การลดของเสียที่อยู่ในรูปก๊าซ</b>	✓	✓	
<b>การใช้ประโยชน์จากสารละลายกรดที่ใช้แล้ว</b>			
➢ การกำจัดฟอสฟอรัส	✓	X	
➢ ลดความกระด้างของน้ำ	✓	X	
➢ ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิต Ferric chloride	✓ (ท)	X	
➢ ใช้เป็นสารละลายทำความสะอาด	✓	X	
➢ บำบัดโครเมียม	✓ (ท)	X	
➢ บำบัด azo compound	✓	X	

หมายเหตุ (ก) = กระบวนการแบบกะ, (ต) = กระบวนการแบบต่อเนื่อง, (ท) = ซัลฟูริก, (ส) = ไฮโดรคลอริก

จะเห็นว่ามียางกรณีที่ไม่สามารถประยุกต์ใช้กับของเสียที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมได้ โดยเฉพาะการใช้ประโยชน์จากสารละลายที่ใช้กำจัดสนิมแล้ว ทั้งนี้เนื่องมาจากว่าในการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม องค์ประกอบของโลหะที่เจือปนอยู่ในสารละลายกรดนอกจากประกอบด้วยอ็อกไซด์ของเหล็กแล้ว ยังประกอบด้วยอ็อกไซด์ของโครเมียมและนิกเกิลอีกด้วยซึ่งเป็นโลหะหนักที่เป็นพิษ

## บทที่ 5

## วิธีการบำบัดน้ำเสียและมลพิษทางอากาศ

## 5.1 ข้อมูลทั่วไป

โดยทั่วไปสารพิษที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรดจะอยู่ในรูปของสารละลายที่มีน้ำเป็นตัวทำละลาย น้ำเสียนี้ประกอบด้วยสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในขั้นตอนการล้างไขมัน การกำจัดสนิมด้วยกรด และการล้าง ตลอดจนไอออนของโลหะที่เป็นองค์ประกอบของสนิมและเนื้อโลหะ นอกจากนี้ของเสียที่เป็นสารอินทรีย์บางอย่างสามารถเกิดขึ้นได้จากขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้นซึ่งเป็นการกำจัดคราบไขมันออกจากชิ้นงานเหล็ก สารละลายที่ใช้ในการทำ ความสะอาดเบื้องต้นจะมีสภาพเป็นด่าง ส่วนสารละลายที่ใช้กำจัดสนิมจะมีสภาพเป็นกรด ดังนั้นการบำบัดน้ำเสียเหล่านี้จึงเกี่ยวข้องกับกระบวนการทำให้เป็นกลาง นอกจากนี้น้ำเสียที่เกิดจากสารละลายกำจัดสนิมจะมีไอออนเหล็ก ( $Fe^{2+}$ ) ละลายอยู่ในปริมาณมาก ซึ่งถ้าไม่มีการกำจัดออกไป ไอออนเหล็กเหล่านี้จะผ่านการออกซิไดซ์และเปลี่ยนสภาพเป็นเหล็กออกไซด์ที่มีสีน้ำตาล และถ้าน้ำเสียเหล่านี้ถูกปล่อยไปปนกับแหล่งน้ำใช้ของชุมชนก็จะทำให้น้ำในแหล่งน้ำมีสีน้ำตาลไปด้วย ไม่เหมาะกับการใช้สำหรับอุปโภคบริโภค (Hammer 1986)

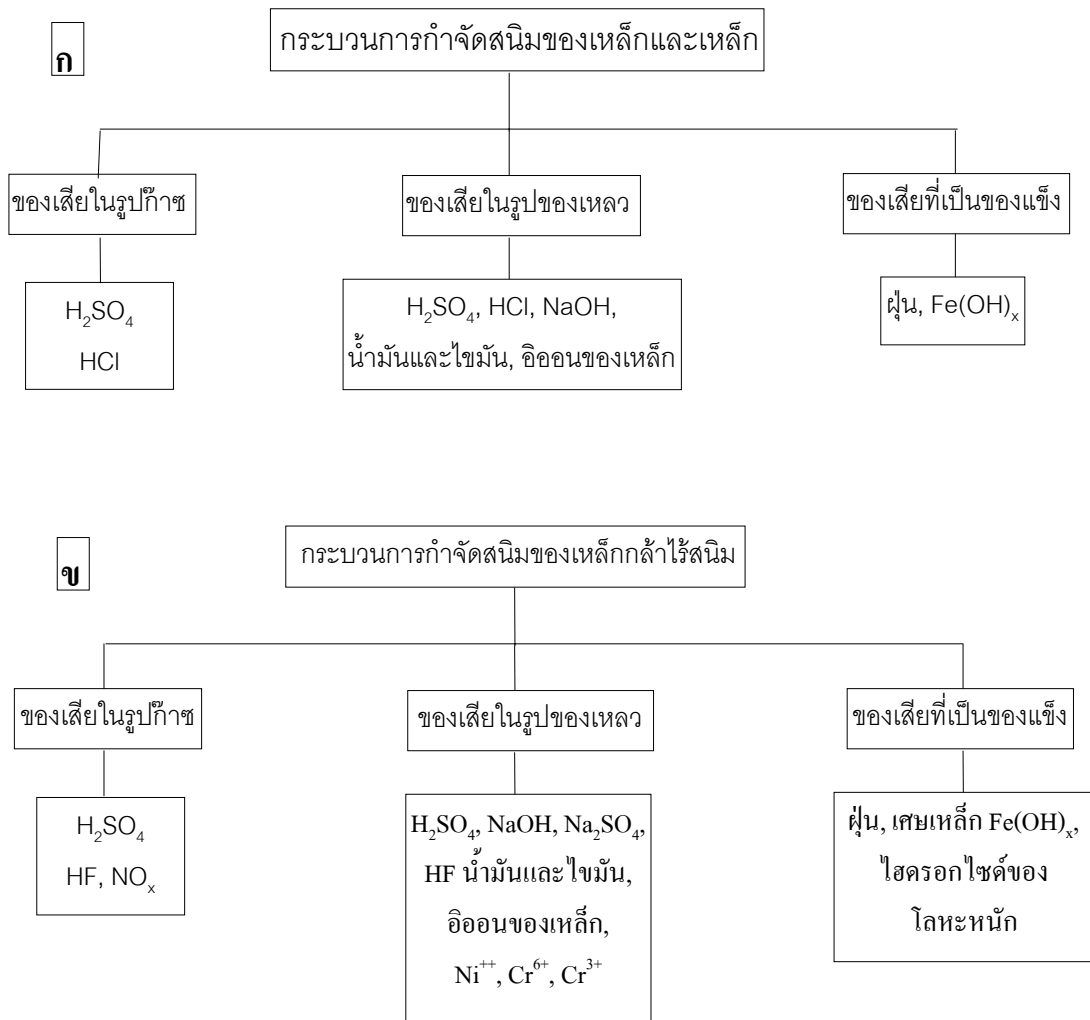
กระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมที่มีลักษณะแตกต่างจากการกำจัดสนิมของเหล็กและเหล็กกล้าทั่วไป ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการที่ใช้เกี่ยวข้องกับการใช้สารละลายผสมของกรดหลายชนิด ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อระบบที่จะนำกรดกลับมาใช้ใหม่ หรือถึงแม้ว่าจะมีระบบที่นำกรดกลับมาใช้ใหม่ได้แต่ก็จะมีราคาแพงมากทำให้ไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ นอกจากนี้เนื่องจากนิเกิลและโครเมียมเป็นสารประกอบภายในเนื้อของเหล็กกล้าไร้สนิม ดังนั้นน้ำเสียจึงมีองค์ประกอบของโลหะหนักเหล่านี้ด้วย

ปัญหามลพิษทางอากาศที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรดมีสาเหตุมาจากการที่กรดบางชนิดมีความสามารถในการระเหยค่อนข้างสูง เช่นในกรณีของการใช้กรดไฮโดรคลอริกร้อนเป็นสารละลายสำหรับกำจัดสนิม ไอระเหยของกรด ( $HCl$  vapour) จะเกิดขึ้นในปริมาณมาก (เนื่องจากกรดนี้มีความสามารถในการระเหยสูง) ส่วนในการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม

นี้จะพบไอผสมของกรดหลายชนิด เช่น HF HNO<sub>3</sub> H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> นอกจากนี้อาจมีส่วนผสมของ NO<sub>x</sub> ด้วย

ของเสียที่เป็นกากของแข็งโดยส่วนใหญ่ไม่ได้เกิดขึ้นโดยตรงจากกระบวนการกำจัด สนิมด้วยกรด แต่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดของแข็งที่ละลายน้ำได้ (dissolved solids) สำหรับกระบวนการผลิตเหล็กกล้าไร้สนิม กากของเสียจะมีองค์ประกอบของโลหะหนักปนอยู่ กากของเสียประเภทนี้ควรถูกบำบัดด้วยวิธีการที่เหมาะสม เช่นการนำไปฝังกลบแบบพิเศษที่มีการป้องกันการไหลซึมของน้ำเสียจากบ่อฝัง (secure landfill)

ชนิดของของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมสามารถสรุปเป็นแผนภาพได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ชนิดของของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิม ก) กระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กและเหล็กกล้า และ ข) กระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม

รายละเอียดของวิธีการบำบัดที่ใช้กันอยู่โดยทั่วไปสำหรับมลพิษที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดสนิมมีดังต่อไปนี้

## 5.2 การบำบัดน้ำเสีย

### 5.2.1 ปริมาณของน้ำเสีย

ปริมาณของน้ำเสียขึ้นอยู่กับคุณภาพของเหล็กที่ผ่านการกำจัดสนิม นั่นคือน้ำเสียจะเกิดขึ้นมากในกรณีที่ขึ้นเหล็กที่ผ่านกระบวนการมีความสกปรกและเป็นสนิมมากและน้ำเสียจะเกิดขึ้นน้อยกว่าในกรณีที่เหล็กที่ผ่านกระบวนการมีความสะอาด ผลิตภัณฑ์เหล็กที่มีลักษณะเป็นแผ่นม้วนซึ่งมีลักษณะเป็นแผ่นเหล็กยาวต่อเนื่องมักจะมีสนิมน้อยและสามารถใช้กระบวนการแบบต่อเนื่องสำหรับการกำจัดสนิมได้ ส่วนผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะไม่ต่อเนื่องเช่นแท่งเหล็กและเหล็กท่อ โดยทั่วไปจะมีสนิมมากกว่าและกระบวนการกำจัดสนิมมักจะเป็นแบบกะ ตารางที่ 5.1 แสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมเมื่อใช้กระบวนการกำจัดสนิมที่มีลักษณะต่างกัน

ตาราง 5.1 ค่าเฉลี่ยของปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมด้วยกรดของเหล็กและเหล็กกล้า

แหล่งน้ำเสีย	กระบวนการแบบต่อเนื่อง		กระบวนการแบบกะ	
	ปริมาณ (ลบ.ม./ตัน <sup>*</sup> )	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)	ปริมาณ (ลบ.ม./ตัน <sup>*</sup> )	ความเข้มข้น (กรัม/ลิตร)
อ่างล้างเพื่อทำความสะอาดเบื้องต้น	0.07	-	0.02	-
อ่างสำหรับการกำจัดสนิม	0.002 - 0.04	[Fe] = 1 - 10 [HCl] = 0.25-14	0.015 - 0.2	[Fe] = 50 - 90 [HCl] = 12 - 110
อ่างน้ำล้าง	0.005 - 0.32	[Fe] = 0.006 - 5.7 [HCl] = 0.01 - 3.7	0.11 - 1.4	[Fe] = 0.21 - 27 [HCl] = 0.001 - 44

\* หน่วยเป็น ลบ.ม.ของน้ำเสียต่อตันของเหล็กที่เข้าสู่กระบวนการกำจัดสนิม

แหล่งข้อมูล: ข้อมูลจากการสำรวจ

หมายเหตุ: ข้อมูลสำหรับเหล็กกล้าไร้สนิมที่ได้จากการสำรวจไม่สามารถนำมาสรุปเป็นตารางได้เนื่องจากกระบวนการทั้งหมดเป็นแบบปิดและมีการวัดเฉพาะข้อมูลของน้ำเสียรวมจากโรงงาน

## 5.2.2 คุณภาพของน้ำเสีย

### (ก) น้ำเสียจากการทำความสะอาดเบื้องต้นและการกำจัดสนิม

น้ำเสียที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการทำความสะอาดเบื้องต้นและการกำจัดสนิมจะมีสารเคมีที่ใช้ในการทำความสะอาดเบื้องต้นและการกำจัดสนิมและอาจมีโลหะที่เกิดขึ้นจากการกำจัดสนิมติดปนมาด้วย สารเคมีสำหรับกำจัดสนิมที่พบในน้ำเสียจากอุตสาหกรรมเหล็กได้แก่ กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) และกรดไฮโดรคลอริก (HCl) นอกจากนี้ยังมีสารอินทรีย์ เช่น ตัวประสาน (emulsifying agent) สารยับยั้งการกัดสนิม (inhibitor) เป็นต้น

น้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมมีความแตกต่างจากน้ำเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กและเหล็กกล้าเนื่องจากสารละลายที่ใช้ในกระบวนการกำจัดสนิมเป็นสารละลายผสมของกรดหลายชนิด ได้แก่ กรดไนตริก ( $HNO_3$ ) กรดไฮโดรคลอริก (HCl) กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) และกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ซึ่งทั้งหมดนี้สามารถปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมได้เมื่อมีการเปลี่ยนถ่ายสารละลายที่ใช้ในการกำจัดสนิม (หมายเหตุ ไม่มีน้ำเสียจากขั้นตอนทำความสะอาดเบื้องต้นของกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมเนื่องจากมีการใช้เทคนิคการเผาเพื่อกำจัดน้ำมันหรือสารหล่อลื่นอื่นๆ ออกจากผิวโลหะ) นอกจากนี้เนื่องจากเหล็กกล้าไร้สนิมเป็นสารอัลลอยด์ที่มีนิกเกิลและโครเมียมเป็นส่วนประกอบร่วมกับเหล็ก ซึ่งสารเหล่านี้สามารถปนเปื้อนไปกับสารละลายที่ใช้ในการกำจัดสนิมได้

### (ข) น้ำเสียจากขั้นตอนการล้าง

ชิ้นงานจากขั้นตอนการกำจัดสนิมจะถูกล้างในอ่างล้างเพื่อทำความสะอาดกรดหรือสนิมที่ติดมาด้วย ดังนั้นน้ำล้างเหล็กนี้จะมีองค์ประกอบเช่นเดียวกับน้ำเสียจากการกำจัดสนิมแต่ความเข้มข้นขององค์ประกอบเหล่านี้จะมีค่าน้อยกว่าค่าที่พบในสารละลายจากอ่างกำจัดสนิม ดังนั้นน้ำล้างนี้จึงสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบเพิ่มเติมส่วนหนึ่งสำหรับสารละลายในอ่างกำจัดสนิมเมื่อต้องมีการเปลี่ยนสารละลายสำหรับกำจัดสนิม อย่างไรก็ตามในกรณีที่การนำน้ำไปใช้แทนในการกำจัดสนิมไม่สามารถทำได้หรือไม่คุ้มค่าทางเศรษฐกิจ ทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากการที่สารละลายนี้มีความเข้มข้นของกรดต่ำเกินไปหรือมีความเข้มข้นของไอออนของเหล็กสูงเกินไป หรืออาจเป็นน้ำกรดผสม (ในกรณีของเหล็กกล้าไร้สนิม) สารละลายจากขั้นตอนนี้จะต้องนำไปผ่านการบำบัดก่อนปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อม

## (ค) น้ำเสียจากกระบวนการดักไอกรด

ไอเสียจากอ่างกำจัดสนิมจะผ่านเข้าไปในเครื่องดักไอกรด (absorber/scrubber) เพื่อกำจัดกรดซึ่งอาจจะหลุดออกไปสู่บรรยากาศภายนอกได้ ดังนั้นสารละลายที่ได้จากเครื่องดักไอกรดจะมีกรดเป็นส่วนประกอบอยู่ ในกรณีของการใช้กรดไฮโดรคลอริกและกรดไฮโดรฟลูออริกเป็นสารละลายสำหรับการกำจัดสนิม ไอกรดที่เกิดขึ้นจะมีจำนวนมากโดยเฉพาะในอ่างแบบเปิด ทั้งนี้เนื่องจากกรดเหล่านี้เป็นกรดที่มีความสามารถในการระเหยค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับกรดซัลฟูริกที่อุณหภูมิเดียวกัน สารละลายที่ใช้ในการดักไอกรดสำหรับกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกรรมาคคือ น้ำ แต่สำหรับการดักไอกรดจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นจะต้องใช้น้ำปูนขาวเป็นสารละลายในเครื่องดักไอกรดเพราะจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการดักไอของกรดไฮโดรฟลูออริก ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากเครื่องดักไอกรดนี้จะมีส่วนประกอบของแคลเซียมฟลูออไรด์ ( $\text{CaF}_2$ ) ด้วย

องค์ประกอบของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิมต่าง ๆ ได้ถูกสรุปไว้ในตารางที่ 5.2

ตาราง 5.2 องค์ประกอบของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิม

แหล่งกำเนิด	กระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กและเหล็กกล้า	กระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม
อ่างล้างทำความสะอาดเบื้องต้น	- น้ำมันและไขมัน - $\text{NaOH}$ , $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$	ไม่มีชั้นตอนนี้
อ่างกำจัดสนิม	- $\text{H}_2\text{SO}_4$ และ/หรือ $\text{HCl}$ - สารยับยั้งประเภทสารอินทรีย์ที่มีอยู่ในปริมาณที่น้อยมาก	- $\text{HNO}_3$ , $\text{HF}$ , $\text{H}_2\text{SO}_4$ , และ $\text{NO}_x^-$
อ่างล้าง	- $\text{H}_2\text{SO}_4$ และ/หรือ $\text{HCl}$	- $\text{HNO}_3$ , $\text{HF}$ , และ $\text{H}_2\text{SO}_4$
การดักไอกรด	- $\text{HCl}$	- $\text{HF}$ , $\text{CaF}_2$

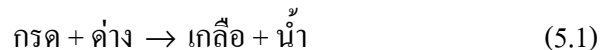
### 5.2.3 วิธีการบำบัดน้ำเสีย

#### (ก) การทำให้เป็นกลาง

กระบวนการทำให้เป็นกลางของน้ำเสียคือการทำให้อ่างค่า pH ของน้ำเสียอยู่ในช่วงค่ามาตรฐานน้ำทิ้งคือระหว่าง 5.5 และ 9 น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไปจะถูกทำให้เป็นกลางก่อนที่จะนำไปบำบัดในขั้นตอนต่อไปเพื่อป้องกันปัญหาการกัดกร่อนของอุปกรณ์ต่าง ๆ

สำหรับกระบวนการกำจัดสนิม น้ำเสียที่เกิดขึ้นจะมีทั้งที่มีสภาพเป็นกรดและเป็นด่าง ทั้งนี้เนื่องจากขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้นเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารละลายที่มีความเป็นด่าง (pH สูง) ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการนี้จะมีสภาพเป็นด่าง ส่วนขั้นตอนการกำจัดสนิมเป็นขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการใช้สารละลายกรดดังนั้นจึงเกิดน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรด (pH ต่ำ)

กระบวนการทำให้เป็นกลางของน้ำเสียสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการผสมน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรดกับน้ำเสียที่มีสภาพเป็นด่าง และการเติมสารเคมีเพื่อให้ทำหน้าที่ในการสะเทินความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำเสีย ในกรณีของกระบวนการกำจัดสนิม การทำให้น้ำเสียมีสภาพเป็นกลางสามารถทำได้โดยผสมน้ำเสียจากขั้นตอนการกำจัดสนิม (สภาพเป็นกรด) กับน้ำเสียจากขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น (สภาพเป็นด่าง) ซึ่งถ้าไม่สามารถทำตามวิธีนี้ได้ก็จะต้องใช้วิธีการเติมสารเคมีเพื่อสะเทินน้ำเสีย ปฏิกริยาการสะเทินที่เกิดขึ้นคือ



สารเคมีที่นิยมใช้ในการทำลายฤทธิ์กรดได้แก่ ปูนขาว ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) หรือ โซดาแอซ ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) เนื่องจากปูนขาวมีราคาถูกที่สุดดังนั้นจึงเป็นที่นิยมใช้มากที่สุด ซึ่งกระบวนการทำให้เป็นกลางนี้สามารถทำได้โดยการเติมปูนขาวลงในน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรดในถังกวนที่มีอุปกรณ์ตรวจวัดหรือควบคุมระดับ pH วิธีนี้เป็นวิธีที่แนะนำสำหรับอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก

น้ำเสียที่มีสภาพเป็นด่างสามารถทำให้เป็นกลางได้โดยใช้กระบวนการเช่นเดียวกับกระบวนการสำหรับน้ำเสียที่มีสภาพเป็นกรดที่กล่าวข้างต้น เพียงแต่เปลี่ยนสารเคมีที่ใช้เป็นกรดแก่ เช่นกรดซัลฟูริก ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) หรือกรดไฮโดรคลอริก ( $\text{HCl}$ )

### (ข) การกำจัดของแข็งที่ละลายในน้ำ

ปริมาณเหล็กที่ละลายอยู่ในน้ำควรที่จะถูกควบคุมให้มีปริมาณน้อยที่สุด เพราะแม้ว่าจะไม่มีค่ามาตรฐานในการควบคุมปริมาณเหล็กที่ถูกปล่อยออกมากับน้ำเสียโดยตรง แต่เหล็กที่ละลายในน้ำจะส่งผลต่อค่าทีดีเอส (TDS) ในน้ำเสีย นอกจากนี้เหล็กที่ถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติอาจเกิดปฏิกิริยาและตกตะกอนที่ก้นแหล่งน้ำนั้นทำให้แหล่งน้ำตื้นเขิน เหล็กออกไซด์ยังทำให้แหล่งน้ำธรรมชาติมีสีน้ำตาลแดงไม่น่าชมรมองและยังก่อให้เกิดปัญหาในการใช้น้ำจากแหล่งน้ำนั้นด้วย

น้ำเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมจะมีส่วนประกอบของไอออนของเหล็ก (2+) อยู่ค่อนข้างมาก ซึ่งไอออนของเหล็ก (2+) นี้มีความสามารถในการละลายน้ำสูง การเติมอากาศในถังเติมอากาศ (aeration tank) เป็นวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการกำจัดไอออนของเหล็กประเภทนี้ โดยที่การเติมอากาศก็คือการทำให้เกิดการออกซิเดชันของไอออนของเหล็กนั่นเอง ออกซิเจนจากอากาศที่ถูกเติมเข้าไปในระบบจะออกซิไดซ์กับเหล็กส่งผลให้เกิดเป็นสารประกอบเหล็กที่มีความสามารถในการละลายน้ำต่ำ ( $Fe^{3+}$ ) และเมื่อ  $Fe^{3+}$  อยู่ในสารละลายต่างจะทำปฏิกิริยากับ  $OH^-$  เกิดเป็น  $Fe(OH)_3$  ซึ่งมีความสามารถในการละลายต่ำมากทำให้ตกตะกอนง่าย

ในการใช้เทคนิคของการเติมอากาศนั้นผู้ประกอบการจะต้องแน่ใจว่ามีปริมาณออกซิเจนในปริมาณที่มากเพียงพอกับน้ำเสีย ซึ่งสามารถทำได้โดยการจ่ายอากาศในอัตราการไหล 40-50 เท่าของอัตราการไหลของน้ำเสีย และจะต้องปล่อยน้ำเสียทิ้งไว้โดยประมาณ 1.5 ถึง 2 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังสามารถใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นตัวทำให้เกิดการออกซิไดซ์ได้ แต่มักนิยมใช้ในกรณีที่มีน้ำเสียในปริมาณไม่มาก แต่อย่างไรก็ตามในที่นี้ การใช้ถังเติมอากาศเป็นกระบวนการที่แนะนำให้ใช้ในการกำจัดเหล็ก

### (ค) การกำจัดสารอินทรีย์

สารอินทรีย์จากกระบวนการกำจัดสนิมประกอบด้วยน้ำมันและไขมันซึ่งถูกล้างออกจากผิวของเหล็กในขั้นตอนการทำความสะอาดเบื้องต้น นอกจากนี้ไขมันและไขมันยังเกิดได้จากการใช้สารยับยั้งการกัดกร่อนซึ่งเป็นสารอินทรีย์ (organic inhibitor) ที่ใช้ในการป้องกันไม่ให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กมากเกินไป น้ำมันและไขมันถ้าถูกปล่อยออกไปพร้อมกับน้ำทิ้งจะสามารถสะสมอยู่บนพื้นดินและถูกดูดซับไว้ ซึ่งถ้ามีน้ำมันและไขมันสะสมบนผิวของดินในจำนวนมากจะทำให้ความสามารถในการให้น้ำซึมผ่านดินลดลง นอกจากนี้ไขมันและไขมันเหล่านี้ยังเป็นปัญหาเรื้อรังเพราะมีความสามารถในการฝังดินแน่นและใช้เวลาในการย่อยสลายโดยธรรมชาติค่อนข้างนาน มาตรฐานสำหรับปริมาณน้ำมันและไขมันในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมเหล็กประเภทที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดสนิมด้วยกรดถูกตั้งไว้ที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร



วิธีการที่ง่ายที่สุดในการแยกน้ำมันและไขมันคือการใช้ถังแยกไขมัน (oil separator) ซึ่งใช้หลักของการแยกโดยใช้แรงโน้มถ่วงของโลก น้ำมันในถังแยกไขมันจะลอยขึ้นที่ผิวของถัง (เนื่องจากมีความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าน้ำ) แล้วจึงถูกคัดออก (Eckenfelder 1989) ความสามารถในการแยกน้ำมันจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและความถ่วงจำเพาะของน้ำมัน เพื่อให้การแยกเป็นไปได้ อย่างมีประสิทธิภาพ เวลาอย่างน้อยที่สุดที่ต้องการสำหรับการแยกตัวของน้ำมันและไขมันคือ 30 นาที

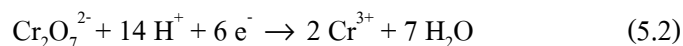
น้ำมันและไขมันที่ได้จากถังแยกน้ำมันถูกพิจารณาให้เป็นสารที่เป็นอันตรายและจะต้องถูกบำบัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ประกาศ ณ วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540 ในพระราชกฤษฎีกาเบกษา เล่ม 114 ตอนพิเศษ 106 ง. ลงวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540

หัวข้อในส่วนต่อไปนี้จะเป็นการที่ใช้น้ำเพื่อจัดการกับของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมเท่านั้น

#### (ง) การกำจัดโครเมียม

การบำบัดน้ำเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมจะรวมถึงการกำจัดสารประกอบโครเมียม ( $\text{Cr}^{6+}$ ) เช่น  $\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ ,  $\text{Na}_2\text{CrO}_4$ , และ  $\text{FeCrO}_4$  เนื่องจากสารประกอบเหล่านี้เป็นสารที่มีความสามารถในการทำลาย DNA อันเป็นสาเหตุทำให้เกิดความผิดปกติทางพันธุกรรมและ/หรือมะเร็งได้ (Ratanasuwon 1992) นอกจากนี้สารประกอบเหล่านี้ยังทำลายเนื้อเยื่อ ซึ่งในระยะยาวจะเป็นอันตรายต่อการสัมผัสของผิวหนังและไต (Tchobanoglous and Burton 1991) สารประกอบโครเมียมสามารถบำบัดได้ด้วยการเปลี่ยนรูปอ็อกไซด์จากประจุ  $6+$  ( $\text{Cr}^{6+}$ ) เป็นรูปของประจุ  $3+$  ( $\text{Cr}^{3+}$ ) ตัวอย่างเช่น  $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$  ซึ่งเป็นรูปที่สามารถตกตะกอนได้ง่าย

ในการเปลี่ยนรูปประจุของโครเมียม ค่า pH ของน้ำเสียจะต้องถูกปรับให้อยู่ในช่วง 2.0 ถึง 2.5 ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเป็นดังนี้ :



สารที่ใช้ในการเกิดรีดักชันโดยทั่วไปจะใช้เหล็กซัลเฟต ( $\text{FeSO}_4$ ) หรือโซเดียมไบซัลเฟต ( $\text{NaHSO}_3$ ) ก็ได้ โดยทั่วไปโซเดียมไบซัลเฟตจะได้มาจากการละลายโซเดียมเมตาไบซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$ ) (ซึ่งอยู่ในรูปของผง) ด้วยน้ำ โซเดียมเมตาไบซัลเฟตปริมาณ 1.75 เท่าของปริมาณที่ควรใช้ทางทฤษฎีจะสามารถเปลี่ยนรูปอ็อกไซด์โครเมียมประจุ  $6+$  ได้หมด ในขณะที่จะต้องใช้

เหล็กซัลเฟตในปริมาณถึง 2.5-3.5 เท่าของปริมาณที่ควรใช้ทางทฤษฎีเพื่อที่จะเปลี่ยนรูป  $Cr^{6+}$  ให้หมดได้

การใช้เหล็กซัลเฟต ( $FeSO_4$ ) เป็นตัวลดค่าประจุส่งผลให้เกิดมีกากของเสียเพิ่มขึ้นเนื่องจากมีการตกตะกอนของเหล็กออกไซด์ ดังนั้นสารเคมีที่จะแนะนำให้ใช้สำหรับการลดประจุของ Cr ได้แก่ โซเดียมไบซัลเฟต นอกจากนี้กากน้ำตาล (molasses) ก็เป็นตัวลดค่าประจุ (reducing agent) ที่น่าสนใจตัวหนึ่งซึ่งสามารถที่จะเปลี่ยนโครเมียมประจุ 6+ ได้โดยไม่ต้องใช้สารเคมีอื่นเพิ่มเติม ซึ่งทางบริษัทจะต้องทำการประเมินทางเลือกของการลดค่าประจุของโครเมียมกับวิธีที่มีอยู่แล้วเพื่อหาความเป็นไปได้ที่จะลดปริมาณของกากของเสีย ซึ่งอาจทำได้โดยการทดสอบในห้องทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม เช่น ค่า pH ความเข้มข้นของสารเคมีที่ใช้ สำหรับการตกตะกอนที่มีประสิทธิภาพ

ภายหลังจากกระบวนการเปลี่ยนรูปแล้ว โครเมียมประจุ 3+ ( $Cr^{3+}$ ) สามารถถูกทำให้ตกตะกอนได้ในรูปของโครเมียมไฮดรอกไซด์โดยการเพิ่มค่า pH สมการที่เกิดขึ้นคือ (Limpaseni และ Chawakitchareon, 1993).



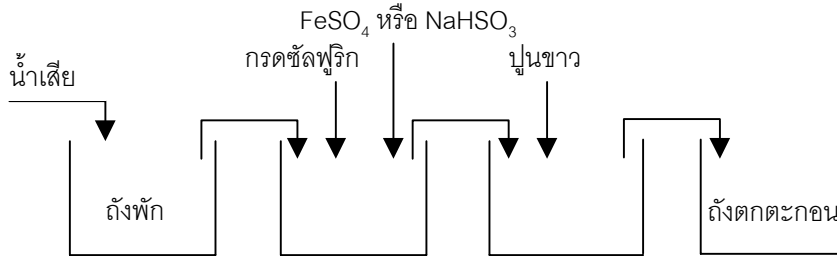
การเพิ่มความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์จะลดความสามารถในการละลายของโลหะหนัก ดังนั้นโลหะหนักส่วนเกินจะถูกกำจัดออกในรูปของโลหะออกไซด์ที่ค่าความเป็นกรด่างสูง สารเคมีที่นิยมใช้ในกระบวนการนี้คือ โซเดียมไฮดรอกไซด์ ( $NaOH$ ) และปูนขาว ( $CaO$ ) และค่า pH ที่เหมาะสมอยู่ในช่วง 8.0-11.0 ดังนั้นเมื่อทำการแยกกากตะกอนออกจากน้ำที่ผ่านการบำบัดแล้วจึงจำเป็นต้องทำการปรับค่า pH โดยใช้กรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) เพื่อให้ของเหลวที่เหลือมีฤทธิ์เป็นกลาง สารเคมีและวิธีการที่ใช้ในการตกตะกอนโลหะหนักได้สรุปไว้ในตารางที่ 5.3

สำหรับโรงงานชุบโลหะขนาดเล็กที่มีปริมาณน้ำเสียน้อยกว่า 114 ลบ.ม.ต่อวัน ระบบการบำบัดที่ประหยัดที่สุดจะเป็นระบบการบำบัดแบบกะที่ประกอบด้วยถังสองถัง โดยแต่ละถังจะมีขนาดใหญ่เพียงพอที่จะรองรับของเสียที่เกิดขึ้นได้ในหนึ่งวัน การดำเนินงานของระบบนี้จะเป็นแบบสลับกล่าวคือในขณะที่น้ำเสียในถังใดหนึ่งถูกบำบัด ถังอีกใบหนึ่งก็จะถูกใช้ในการรองรับน้ำเสียที่เกิดขึ้น (Eckenfelder 1989)

ระบบการบำบัดแบบกะจะไม่คุ้มค่าถ้าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละวันมีปริมาณมากกว่า 114 ลบ.ม. กรณีเช่นนี้ระบบบำบัดควรจะเป็นระบบที่ดำเนินการแบบต่อเนื่อง ระบบนี้ควรจะต้องประกอบด้วยหลายขั้นตอน กล่าวคือควรมีถังสำหรับการทำให้เป็นกรด (acidification) เพื่อลดค่าประจุ และมีถังผสมสำหรับการเติมปูนขาว และถังตกตะกอน ในกรณีที่ปริมาณของโครเมียมในน้ำเสียมีค่าไม่คงที่ ควรจะมีขั้นตอนการปรับค่าความเข้มข้นของโครเมียมให้เท่ากัน

ก่อนที่จะผ่านน้ำเสียนี้เข้าไปในถังลดค่าประจุ (equalisation tank) เพิ่มขึ้นอีก 1 ใบ (ดูรูปที่ 5.2)

ทั้งนี้สามารถทำได้ง่ายโดยการใช้ถังพัก



รูปที่ 5.2 ระบบต่อเนื่องสำหรับการบำบัดน้ำเสียที่มีส่วนประกอบของโครเมียม

(จ) การกำจัดนิเกิล

นิเกิลจัดว่าเป็นโลหะที่มีพิษอีกชนิดหนึ่งซึ่งมีความสามารถในการทำลาย DNA บุคคลที่ได้รับนิเกิลในปริมาณมากจะมีอาการเซื่องซึม ปวดศีรษะ และหายใจขัดข้อง (Ratanasuwon 1992) การกำจัดนิเกิลในน้ำเสียสามารถทำได้โดยวิธีการตกตะกอนโดยใช้โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) หรือปูนขาว (CaO) (Droste 1997) กระบวนการจะคล้ายคลึงกับการตกตะกอนของโครเมียมอ็อกไซด์ประจุ 3+ นั่นคือปฏิกิริยาเกิดได้ดีที่ค่า pH สูง ๆ เนื่องจากจะเป็นสภาพที่ทำให้ความสามารถในการละลายของนิเกิลลดลง ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นคือ:



ตาราง 5.3 วิธีการบำบัดทางเคมีของน้ำเสียที่มีโลหะหนักเป็นองค์ประกอบ

โลหะ	สารเคมีที่ใช้	ช่วง pH ที่ใช้	ค่า pH ที่ดีที่สุด	หมายเหตุ
Cr <sup>6+</sup>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , NaOH	9-11	9.0	การตกตะกอน
Cr <sup>6+</sup>	Na <sub>2</sub> S <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub>	8.5-11	8.5	การตกตะกอน
Cr <sup>6+</sup>	FeSO <sub>4</sub> , NaOH	8-11	8.0	การตกตะกอน
Cr <sup>6+</sup>	FeSO <sub>4</sub> , Ca(OH) <sub>2</sub>	8-11	8.0	การตกตะกอน
Ni <sup>2+</sup>	NaOH	10-11	10.0	การตกตะกอน
Ni <sup>2+</sup>	Ca(OH) <sub>2</sub>	10.5-11	10.5	การตกตะกอน

ขั้นตอนนี้สามารถเกิดขึ้นได้พร้อมกับการตกตะกอนของ โครเมียมดั่งที่ได้กล่าวข้างต้น กระบวนการนี้สามารถดำเนินการในถังเปิดได้ทั้งในแบบกะหรือแบบต่อเนื่อง ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของน้ำเสีย

### (จ) การกำจัดฟลูออไรด์

น้ำดื่มที่มีฟลูออไรด์มากเกินไปจะก่อให้เกิดผลเสียต่อกระดูกและฟัน มีรายงานว่าเด็กที่ดื่มน้ำที่มีฟลูออไรด์ผสมอยู่เพียงแค่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตรจะมีปัญหาเกี่ยวกับเปลือกฟัน ซึ่งนำไปสู่การสูญเสียฟันก่อนเวลาอันควร (Hammer, 1986) นอกจากนี้ฟลูออไรด์ยังมีผลร้ายต่อกระดูก โดยที่ผลที่เกิดขึ้นกับกระดูกนอกจากจะมีลักษณะคล้ายคลึงกับผลที่เกิดกับฟันแล้วยังมีผลข้างเคียงทำให้กระดูกมีการเจริญเติบโตอย่างผิดปกติ (Parker 1978) ทำให้ไม่สามารถเดินได้ตามปกติ

การกำจัดฟลูออไรด์สามารถทำได้โดยการดูดซับด้วยแอคทีเวตเตด อลูมินา (activated alumina) หรือ ถ่านบอน (bone char) โดยให้น้ำเสียที่มีฟลูออไรด์ผสมอยู่ไหลผ่านห่อที่บรรจุด้วยสารเหล่านี้ ฟลูออไรด์ในน้ำเสียจะถูกจับอยู่บนสารเหล่านี้โดยวิธีการแลกเปลี่ยนไอออน (ion exchange) และการดูดซับ (sorption) สารดูดซับเหล่านี้เมื่อถูกใช้งานไปจนกระทั่งไม่มีความสามารถในการดูดซับได้อีกต่อไปจะต้องนำมาทำการปรับปรุงสภาพ (regeneration) โดยกระบวนการทางเคมี การปรับปรุงสภาพสำหรับถ่านบอน (bone char) สามารถทำได้โดยผ่านสารละลายสวนทางกับทิศทางการป้อนน้ำเสียตามปกติ โดยที่สารละลายที่ใช้จะเป็นสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 1 เปอร์เซ็นต์ และหลังจากนั้นจึงล้างด้วยน้ำเปล่าอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งการปรับปรุงสภาพของสารดูดซับอลูมินาสามารถทำได้โดยใช้วิธีที่คล้ายคลึงกัน

วิธีการกำจัดฟลูออไรด์ที่กล่าวมาข้างต้นเป็นวิธีที่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนและค่าใช้จ่ายในการดำเนินการสูง วิธีทางเลือกที่ไม่ต้องการการลงทุนมากคือการกำจัดไอออนของฟลูออไรด์โดยการทำให้ตกตะกอนด้วยปูนขาวในสภาพที่เป็นด่างมาก ๆ (ค่า pH อย่างน้อย 11) ในบางครั้งสารส้ม (alum) ก็สามารถใช้เป็นสารตกตะกอนได้ (ที่ค่า pH ในช่วง 6.5 ถึง 7.5) แต่ประสิทธิภาพในการตกตะกอนจะไม่ดีนัก ดังนั้นจะต้องใช้สารส้มในปริมาณมากซึ่งก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับปริมาณของกากของแข็งที่เพิ่มมากขึ้นไปด้วย (Sawyer และคณะ 1994)

การลดปริมาณฟลูออไรด์ในน้ำเสียโดยการตกตะกอนด้วยปูนขาวจะทำให้เกิดเป็นตะกอนของแคลเซียมฟลูออไรด์ และน้ำเสียที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วจะมีความเข้มข้นของฟลูออไรด์ประมาณ 10 - 20 มิลลิกรัมต่อลิตร มีรายงานว่าประสิทธิภาพของการตกตะกอนอาจจะดีขึ้นกว่านี้ถ้ามีสารประกอบประเภทแมกนีเซียมไฮดรอกไซด์อยู่ด้วย (Eckenfelder, 1989) และในกรณีที่ต้องการให้มีความเข้มข้นของฟลูออไรด์น้อยลงกว่า 20 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถนำเอา

น้ำเสียที่ผ่านการตกตะกอนด้วยปูนขาวนี้ไปป้อนผ่านชั้นของแอกติเวตเตดอลูมินาอีกครั้ง (activated alumina) ซึ่งสามารถลดความเข้มข้นของฟลูออไรด์ลงได้ถึง 2 มิลลิกรัมต่อลิตร (Zabban and Helwick, 1975) แต่จะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายขึ้นอีกมาก

สำหรับโรงงานกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งจะต้องเกี่ยวข้องกับการใช้กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ควรจะมีระบบการบำบัดกรดนี้ให้มีความเข้มข้นอยู่ในระดับที่ยอมรับได้มาตรฐานที่กำหนดขึ้นสำหรับฟลูออไรด์อยู่ที่ 20 mg/l ดังนั้นระบบที่แนะนำจึงเป็นระบบการตกตะกอนฟลูออไรด์ด้วยปูนขาว

### 5.3 การบำบัดมลพิษทางอากาศ

#### (ก) การกำจัดไอกรด

ไอระเหยจากสารละลายกรดจะเกิดขึ้นที่เหนือพื้นผิวของสารละลายที่ใช้ในการกำจัดสนิมโดยจะมีไอกรดเป็นส่วนประกอบ ซึ่งจะเป็นกรดชนิดใดนั้นขึ้นอยู่กับว่ากรดที่เป็นสารละลายกำจัดสนิมนั้นเป็นกรดประเภทใด นั่นคือเมื่อมีการใช้กรดไฮโดรคลอริก ไอของกรดที่เกิดขึ้นจะเป็นไอของกรดไฮโดรเจนคลอไรด์ ความเข้มข้นของไอกรดจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิของสารละลายสูงขึ้นหรือเพิ่มความเข้มข้นของกรดไฮโดรคลอริกและ/หรือของเหล็กคลอไรด์ (Buonicore and Davis 1992) ในกรณีที่ใช้กรดซัลฟูริกเป็นสารละลายกำจัดสนิม ก๊าซที่เกิดขึ้นที่บริเวณเหนือบ่อกำจัดสนิมก็จะมีส่วนผสมของไอของกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) แม้ว่าไอของกรดประเภทนี้จะไม่สามารถเกิดขึ้นได้มากเนื่องจากกรดซัลฟูริกมีความสามารถในการระเหยเป็นไอ น้อยที่สภาวะปกติ แต่ในบางกรณีความเข้มข้นของไอกรดซัลฟูริกสามารถมีมากจนเป็นอันตรายต่อมนุษย์ได้ เช่นเมื่อการกำจัดสนิมทำโดยการพ่นสารละลายกรดเข้าไปยังชิ้นงานเหล็ก ดังนั้นโรงงานที่ใช้กรดต่าง ๆ เป็นสารละลายกำจัดสนิมจึงจำเป็นต้องมีระบบกำจัดไอกรด กรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ที่ใช้ในการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมก็เป็นกรดอีกประเภทหนึ่งซึ่งมีความสามารถในการระเหยค่อนข้างสูงและต้องการกระบวนการบำบัดที่เหมาะสม รายละเอียดสำหรับกรดชนิดนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อต่อไป

กรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟูริกเป็นกรดที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงมาก ดังนั้นจึงสามารถถูกกำจัดออกจากก๊าซได้หลายวิธี (LaGrega 1994) เช่น วิธีการใช้ตัวดูดซับแบบแห้ง (Dry Sorbent Injection, DSI) หรือวิธีการดูดซึมแบบแห้ง (Spray Dryer Absorption, SDA) หรือการใช้เครื่องดักไอแบบเปียก (wet scrubber) ระบบแบบ DSI เป็นระบบที่เกี่ยวข้องกับการป้อนสารอัลคาไลน์ เช่น ปูนขาวหรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ ให้ผสมกับก๊าซเพื่อให้เกิดปฏิกิริยากับไอกรดในก๊าซและเกิดเป็นเกลือซึ่งเป็นของแข็ง เกลือที่เกิดขึ้นจะถูกดักด้วยเครื่องดักฝุ่นผง

(dust collector) วิธีเช่นนี้มีประสิทธิภาพในการจับกรดได้ประมาณ 90% (Buonicore และ Davis 1992) เครื่อง SDA รวมเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอย (spray dryer) และเครื่องดักฝุ่นผงไว้ด้วยกัน ซึ่งสามารถทำให้ประสิทธิภาพในการกำจัดไอน้ำสูงมาก (มากกว่า 95% สำหรับกรดซัลฟูริก และประมาณ 95% สำหรับกรดไฮโดรคลอริก) หลักการทำงานของเครื่องมือนี้ก็คือ การให้ก๊าซไหลผ่านเข้าไปในเครื่องอบแห้งแบบพ่นฝอยเพื่อให้สัมผัสกับละอองของสารละลายที่มีส่วนประกอบของปูนขาว และเมื่อเกิดปฏิกิริยาเสร็จสิ้นภายในเครื่องอบแห้ง น้ำจะถูกระเหยออกไปเหลือแต่เกลือของกรดซึ่งมีลักษณะเป็นผงและจะถูกดักไว้โดยเครื่องดักฝุ่น (เช่นไซโคลน)

วิธีที่จะกล่าวถึงวิธีสุดท้ายสำหรับการบำบัดไอน้ำคือวิธีการดักไอน้ำแบบเปียก (wet scrubber) ซึ่งเป็นวิธีการละลายไอน้ำลงในน้ำที่ป้อนเข้าไปในหอพักไอน้ำนั่นเอง วิธีนี้เป็นวิธีที่ให้ประสิทธิภาพในการบำบัดไอน้ำสูงมากสำหรับกรดไฮโดรคลอริกและกรดซัลฟูริก (ประสิทธิภาพสูงเท่าเทียมกับระบบ SDA เนื่องจากความสามารถในการละลายน้ำของกรดทั้งสองนี้มีค่าสูง) ระบบนี้มีจุดเด่นที่ราคาค่อนข้างถูกเมื่อเปรียบเทียบกับระบบอื่น ๆ และไม่ต้องการเนื้อที่มาก และยังสามารถทำให้ได้ประสิทธิภาพการบำบัดที่สูงมากด้วย จุดด้อยของกระบวนการนี้ก็คือผลิตภัณฑ์ที่ได้จะมีสภาพเป็นกรดและต้องการการบำบัดเพิ่มเติม แต่สำหรับกระบวนการกำจัดสนิมนั้นจะต้องมีระบบที่ใช้ในการบำบัดกรดติดตั้งอยู่แล้ว ดังนั้นจุดด้อยนี้จึงไม่ส่งผลกระทบต่อระบบการกำจัดสนิม และระบบที่เสนอให้ติดตั้งในการบำบัดไอน้ำก็คือระบบการดักไอน้ำแบบเปียก (wet scrubber)

เครื่องดักไอน้ำที่ใช้ในปัจจุบันมีอยู่หลายชนิด เช่น เครื่องดักไอน้ำแบบ venturi ซึ่งเป็นชนิดที่ให้ก๊าซและน้ำไหลทางเดียวกันที่ช่องแคบ venturi หรือเป็นชนิดไหลสวนทางกันในหอพัก ซึ่งหลักการทำงานของเครื่องดักไอน้ำแต่ละชนิดจะเหมือนกันคือ การจับไอน้ำที่อยู่ในก๊าซด้วยน้ำเพื่อให้ก๊าซออกมามีปริมาณไอน้ำลดลง

เครื่องดักไอน้ำแบบ venturi เป็นชนิดที่มีประสิทธิภาพสูง แต่ก็มีค่าความดันลด (pressure drop) สูงด้วย (Kohl and Riesenfeld 1985) ทำให้ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานมีค่าสูง นอกจากนี้ไอน้ำทั้งไฮโดรคลอริกและซัลฟูริกมีความสามารถในการละลายน้ำสูงมาก ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องดักไอน้ำไม่ว่าจะเป็นชนิดใดมีค่าใกล้เคียงกัน การเลือกใช้ชนิดของเครื่องดักไอน้ำจึงควรดูที่จุดอื่นมากกว่าที่ประสิทธิภาพในการทำงาน ซึ่งลักษณะการทำงานโดยทั่วไปของเครื่องดักไอน้ำหลาย ๆ ประเภทสามารถสรุปได้ดังที่แสดงให้เห็นในตารางที่ 5.4 และ 5.5

ตารางที่ 5.4 อัตราส่วนระหว่างอัตราไหลของของเหลวต่อก๊าซในเครื่องดักไอกรดแบบเปียกชนิดต่าง ๆ (Corbitt 1989)

ชนิดของเครื่องดักไอกรด	อัตราส่วนระหว่างอัตราไหลของของเหลวและก๊าซ	
	ลิตร / ลบ เมตร	แกลลอน / 1000 ลบ ฟุต
หอพ่นน้ำ (Spray dryer)	1.30-2.70	9.7-20
ไซโคลน (Cyclone)	0.70-1.30	5.2-9.7
หอพัด (Packed bed)	0.10-0.50	0.75-3.7
หอบแบบเคลื่อนที่ (Moving bed)	1.30-2.70	9.7-20
Impingement plate	0.40-0.70	3.0-5.2
Venturi	0.70-1.00	5.2-7.5

ตารางที่ 5.5 ความดันตกที่พบในเครื่องดักไอกรดแบบต่าง ๆ (Corbitt 1989)

ชนิดของเครื่องดักไอกรด	ความดันตก (kPa)
หอพ่นน้ำ (Spray tower)	0.25-0.5
ไซโคลน (Cyclone)	0.25-0.8
หอพัด (Packed bed)	0.25-2.0
Impingement plate	0.25-2.0
Venturi	1.5-18

จากตารางทั้งสองนี้จะพบว่า ถ้าไม่ดูที่ประสิทธิภาพในการดักไอกรด (ซึ่งไม่แตกต่างกันมาก) แล้ว เครื่องดักไอกรดที่เลือกใช้ควรจะเป็นแบบหอพัด (Packed Bed) ซึ่งเป็นชนิดที่ไม่ก่อให้เกิดความดันตกมาก และยังใช้น้ำน้อยกว่าแบบอื่น ๆ อีกด้วย (ถ้าใช้น้ำมากจะก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการบำบัดน้ำกรดนี้ต่อไป) ถึงแม้ว่าเมื่อเปรียบเทียบทางด้านราคาแล้วหอพัดจะมีราคาสูงกว่าอุปกรณ์ชนิดอื่น ๆ (ตารางที่ 5.6) แต่จะใช้กำลังน้อยกว่าหอดักไอกรดแบบ venturi นั่นคือหอพัดจะมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการดำเนินการต่ำกว่านั่นเอง ดังนั้นวิธีที่แนะนำสำหรับการดักไอกรดในกระบวนการกำจัดสนิมคือการใช้หอพัด

ไอกรดไม่ว่าจะเป็นกรดไฮโดรคลอริก (HCl) หรือกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) มีความสามารถในการละลายน้ำสูงมาก และการละลายน้ำสามารถเกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ดังนั้นน้ำที่ใช้ในเครื่องดักไอกรดสามารถหมุนเวียนกลับมาใช้จนกว่าจะมีค่า pH ต่ำกว่า 1 ซึ่งเป็นค่าที่ควรเปลี่ยนน้ำดักไอกรดตามทฤษฎี แต่ในทางปฏิบัติ ค่า pH ที่ยอมรับได้ของน้ำดักไอกรดจะเป็นค่า pH ที่ไม่ก่อให้เกิดปัญหาการกัดกร่อนของอุปกรณ์ต่าง ๆ ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุที่ใช้ในแต่ละบริษัทเช่นถ้าวัสดุที่ใช้เป็นวัสดุที่มีการเคลือบด้วยพลาสติกประเภท polyamide หรือ polycarbonate หรือ HDPE จะมีความสามารถทนกรดได้ในช่วง pH ต่ำประมาณ 1 น้ำกรดที่ได้จากเครื่องดักไอกรดสามารถนำไปใช้เป็นส่วนประกอบของสารละลายที่ใช้ในการกำจัดสนิมได้

แต่โดยทั่วไปน้ำเสียจากเครื่องดักไอกรดนี้จะมีปริมาณมาก (ความเข้มข้นต่ำเกินไป) และต้องนำไปบำบัด

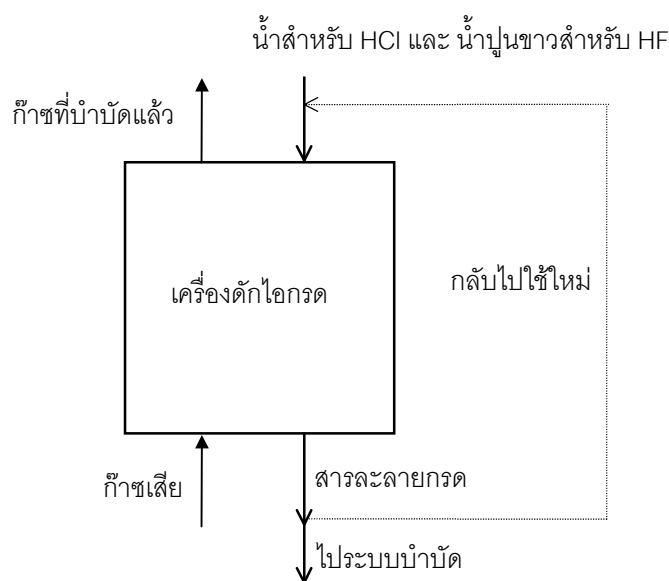
ตารางที่ 5.6 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับเครื่องดักไอกรดแบบต่าง ๆ

ชนิดของเครื่องดักไอกรด	การลงทุน (บาท)	กำลังที่ต้องการ (hp)
หอป่นน้ำ (Spray dryer)	400,000	8
ไซโคลน (Cyclone)	350,000	10
หอบั้ว (Packed bed)	600,000	25
หอบแบบเคลื่อนที่ (Moving bed)	-	-
Impingement plate	-	-
Venturi	300,000	120

ฐานของการคำนวณ: 5000 ลบ.ม. (ก๊าซ) ต่อชั่วโมง

(ข) การกำจัดก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ (เฉพาะในกรณีของเหล็กกล้าไร้สนิม)

การบำบัดก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ที่เกิดจากการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกในการกำจัดสนิมสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการเดียวกับการดักไอกรดไฮโดรคลอริก เพราะกรดทั้งสองนี้เป็นกรดที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูงเช่นเดียวกัน แต่ประสิทธิภาพในการดักไอ HF โดยน้ำจะมีค่าต่ำกว่าการดักไอ HCl สารละลายดักไอกรดที่มีความสามารถในการดักไอ HF สูงกว่าน้ำคือสารละลายปูนขาว ซึ่งเป็นสารละลายที่แนะนำให้ใช้ในการดักไอ HF ในคู่มือนี้



รูปที่ 5.3 เครื่องดักไอกรด



### (ค) การกำจัดละอองกรด

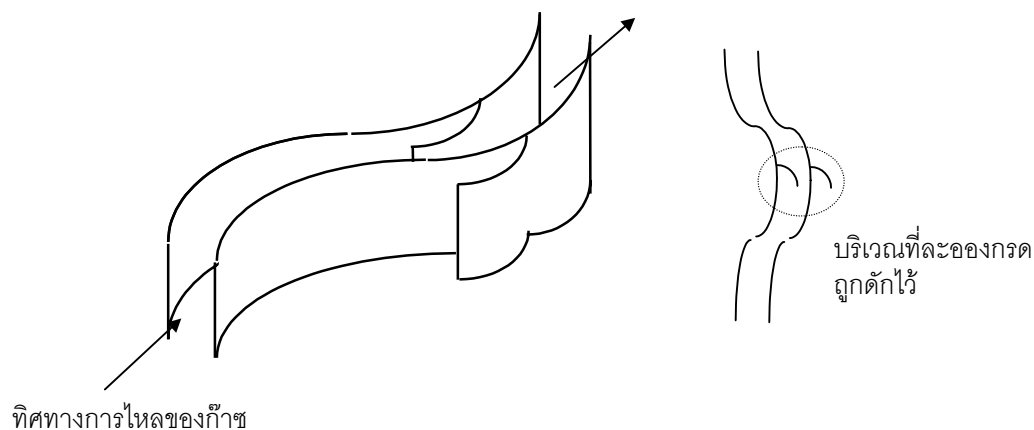
ละอองกรดสามารถเกิดขึ้นได้จากบ่อกรดหรือเกิดจากเครื่องดักไอกรด ซึ่งประสิทธิภาพในการดักไอกรดของเครื่องดักไอกรดนั้นจะขึ้นอยู่กับประสิทธิภาพในการกำจัดละอองกรดนี้ด้วย

เครื่องไอดักกรดหลายแบบจะมีไซโคลนติดอยู่ด้วยเพื่อใช้ในการดักละอองกรดโดยอาศัยแรงเหวี่ยง ละอองกรดจะถูกเหวี่ยงไปกระทบกับผนังของไซโคลนและเกิดการรวมตัวกันเป็นหยดขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งจะไหลลงไปยังด้านล่างของไซโคลนด้วยแรงโน้มถ่วง อันเป็นหลักการเช่นเดียวกับการดักอนุภาคขนาดเล็กออกจากกระแสก๊าซนั่นเอง

เครื่องดักไอกรดชนิดใหม่ ๆ จะมีเครื่องดักละอองกรดที่เรียกว่า เชฟรอน (chevron) ซึ่งติดตั้งในแนวเดียวกับการไหลของก๊าซ (Buonicore และ David 1992) ซึ่งตัวเชฟรอนนี้จะมีลักษณะดังที่แสดงให้รูปที่ 5.4 ก๊าซจะไหลผ่านตัวเชฟรอนนี้ไปได้ ส่วนละอองกรดในก๊าซจะถูกจับอยู่ที่บริเวณเหลี่ยมดังที่แสดงให้เห็นในรูป 5.4 ทางด้านขวา เมื่อมีละอองกรดในปริมาณที่มากพอสมควร หยดกรดเหล่านี้ก็จะไหลลงสู่ท่อเพื่ออีกครั้งด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

ตัวดักละอองกรดที่นิยมอีกประเภทหนึ่งก็คือตะแกรงดักละอองกรด (mesh pad) ซึ่งอาศัยหลักการที่คล้ายกับหลักการดักละอองกรดที่กล่าวถึงข้างต้น นั่นคือละอองกรดในก๊าซจะเกาะอยู่ที่ตะแกรง และเมื่อละอองกรดมีขนาดใหญ่ขึ้นก็จะหยดลงไปยังท่อดักไอกรดอีกครั้ง วัสดุที่ใช้ในการทำตะแกรงหรือเชฟรอนนี้จะต้องมีความสามารถในการทนกรดได้

อุปกรณ์ที่แนะนำสำหรับการดักละอองกรดจากระบบการกำจัดสนิมนั้นสามารถเป็นได้ทั้งแบบเชฟรอนและแบบตะแกรงดักละอองกรด



รูปที่ 5.4 ตัวดักละอองกรดแบบเชฟรอน

### (ง) การกำจัด $\text{NO}_x$ (เฉพาะในกรณีของเหล็กกล้าไร้สนิม)

การผลิตเหล็กกล้าไร้สนิมจะมีการปล่อย  $\text{NO}_x$  ซึ่งอาจจะอยู่ในรูปของไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) ที่ไม่มีสีและไม่เสถียร หรือไนโตรเจนไดออกไซด์ ( $\text{NO}_2$ ) ที่มีสีน้ำตาลแดงและมีกลิ่นแรง  $\text{NO}_2$  ในอากาศจะทำปฏิกิริยากับความชื้นและกลายเป็นกรดไนตริก หรือทำปฏิกิริยากับออกซิเจน ( $\text{O}_2$ ) ทำให้เกิดโอโซน ( $\text{O}_3$ )

การกำจัด  $\text{NO}_x$  ที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิมในระดับอุตสาหกรรมทั่วไปจะใช้หอซักไอกรดแบบห่อแปก (packed bed scrubber) เพื่อเพิ่มระยะเวลาในการถ่ายเทมวลระหว่างของเหลวและก๊าซ โดยสารละลายที่ใช้ในการดักก๊าซคือสารละลาย NaOH และประสิทธิภาพในการบำบัดอยู่ที่ประมาณ 70-80%

### 5.4 การกำจัดกากของแข็ง

กากของแข็งที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิมจะอยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ของโลหะ ซึ่งกากของเสียนี้เกิดขึ้นที่ถังปรับสภาพกรด-ด่างหรือถังพัก (ในกรณีที่มีถังพักแยกออกมาจากถังปรับสภาพกรด-ด่าง ดังแสดงในรูปที่ 5.5 และ 5.6) กากของแข็งที่อยู่ในรูปของไฮดรอกไซด์ของเหล็กสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ เช่น นำกลับมาถลุง ผลิตปูนซีเมนต์ ทำแม่เหล็ก หรือทำศิลาแลงเทียม เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูงจึงทำให้โดยปกติแล้วกากของแข็งที่อยู่ในรูปไฮดรอกไซด์ของเหล็กจะถูกส่งไปฝังในหลุมฝังกลบ หรือถูกบำบัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1 (พ.ศ. 2541) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ประกาศ ณ วันที่ 26 พฤษภาคม พ.ศ. 2541 ในพระราชกฤษฎีกาเบกษา เล่ม 115 ตอนพิเศษ 44 ง. ลงวันที่ 5 มิถุนายน พ.ศ. 2541 อย่างไรก็ตามการฝังกลบธรรมดาจะไม่เหมาะสมสำหรับกากของแข็งที่มาจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม เนื่องจากกากของแข็งประกอบด้วยสารที่เป็นอันตรายได้แก่ สารประกอบโครเมียมและนิเกิล (เป็นสารก่อมะเร็ง) ซึ่งสามารถถูกชะออกจากหลุมฝังกลบธรรมดาได้เมื่อถูกฝังร่วมกับสารประกอบประเภทไบคาร์บอเนตและฟอสเฟต (ซึ่งพบในขยะจากบ้านเรือน) ดังนั้นกากของเสียเหล่านี้จะต้องทำการฝังกลบแบบพิเศษที่มีการป้องกันการไหลซึมของน้ำเสียจากบ่อฝังหรือที่เรียกในที่นี่ว่าการฝังกลบแบบปลอดภัย (secure landfill) (Wilson 1977) หรือต้องถูกนำไปบำบัดตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 ประกาศ ณ วันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2540 ในพระราชกฤษฎีกาเบกษา เล่ม 114 ตอนพิเศษ 106 ง. ลงวันที่ 13 พฤศจิกายน พ.ศ. 2540

ก่อนที่จะทำการฝังกลบ ควรจะทำการแยกน้ำออกจากกากของเสียเหล่านี้ การแยกน้ำสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการตากแห้งของกากของแข็ง (sludge drying bed) หรือ “การตาก

แห้งบนบ่อทราย” (sand bed drying) ซึ่งมักจะใช้ระบบบำบัดกากของเสียจากอุตสาหกรรมที่มีขนาดเล็ก กากของแข็งจะถูกแยกน้ำออกโดยปล่อยให้ น้ำไหลซึมผ่านบ่อทรายและระเหยออกไปเอง คุณลักษณะของการทำให้กากของแข็งแห้งจะขึ้นอยู่กับปริมาณของของแข็งที่มีอยู่ในกากของแข็งและขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของของแข็งนั้นด้วย โดยทั่วไปแล้วสัดส่วนของน้ำที่ไหลซึมผ่านบ่อทรายจะมีค่าโดยประมาณ 20 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์ การออกแบบและการใช้งานของบ่อดักแห้งจะได้รับอิทธิพลจากสภาวะอากาศ บ่อดักแห้งมักจะประกอบด้วยชั้นกรวดหรือหินหนาประมาณ 20 ถึง 45 เซนติเมตร และปกคลุมด้วยชั้นทรายหนาประมาณ 10 ถึง 20 เซนติเมตร ขนาดของเม็ดทรายที่เลือกใช้จะอยู่ในช่วง 0.3 ถึง 1.2 มิลลิเมตร ในขณะที่ขนาดของก้อนกรวดจะมีค่าประมาณ 0.3 ถึง 2.5 เซนติเมตร ที่บ่อดักแห้งจะถูกจัดให้มีช่องระบายน้ำที่ใต้อบโดยที่ท่อระบายน้ำแต่ละท่อจะอยู่ห่างกันประมาณ 2.7 ถึง 6 เมตร โดยกำหนดให้มีความลาดเอียงประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ น้ำที่ไหลออกมาจะถูกส่งกลับไปยังระบบบำบัด กากของเสียที่เปียกจะถูกแผ่กระจายไปบนชั้นทรายให้มีความหนาประมาณ 20 ถึง 30 เซนติเมตร กากของแข็งนี้เมื่อถูกนำออกไปจากบ่อจะมีปริมาณของแข็งอยู่ราว 30 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ เวลาที่ใช้ในการบำบัดนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะอากาศ ในช่วงเวลาที่มีแดดจัดอาจใช้เวลาเพียง 18-24 ชั่วโมง แต่ถ้าในช่วงที่ไม่มีแดดมากนักอาจต้องใช้เวลาราว 1 อาทิตย์ก่อนที่จะได้กากของแข็งที่มีสัดส่วนของของแข็งที่ต้องการ

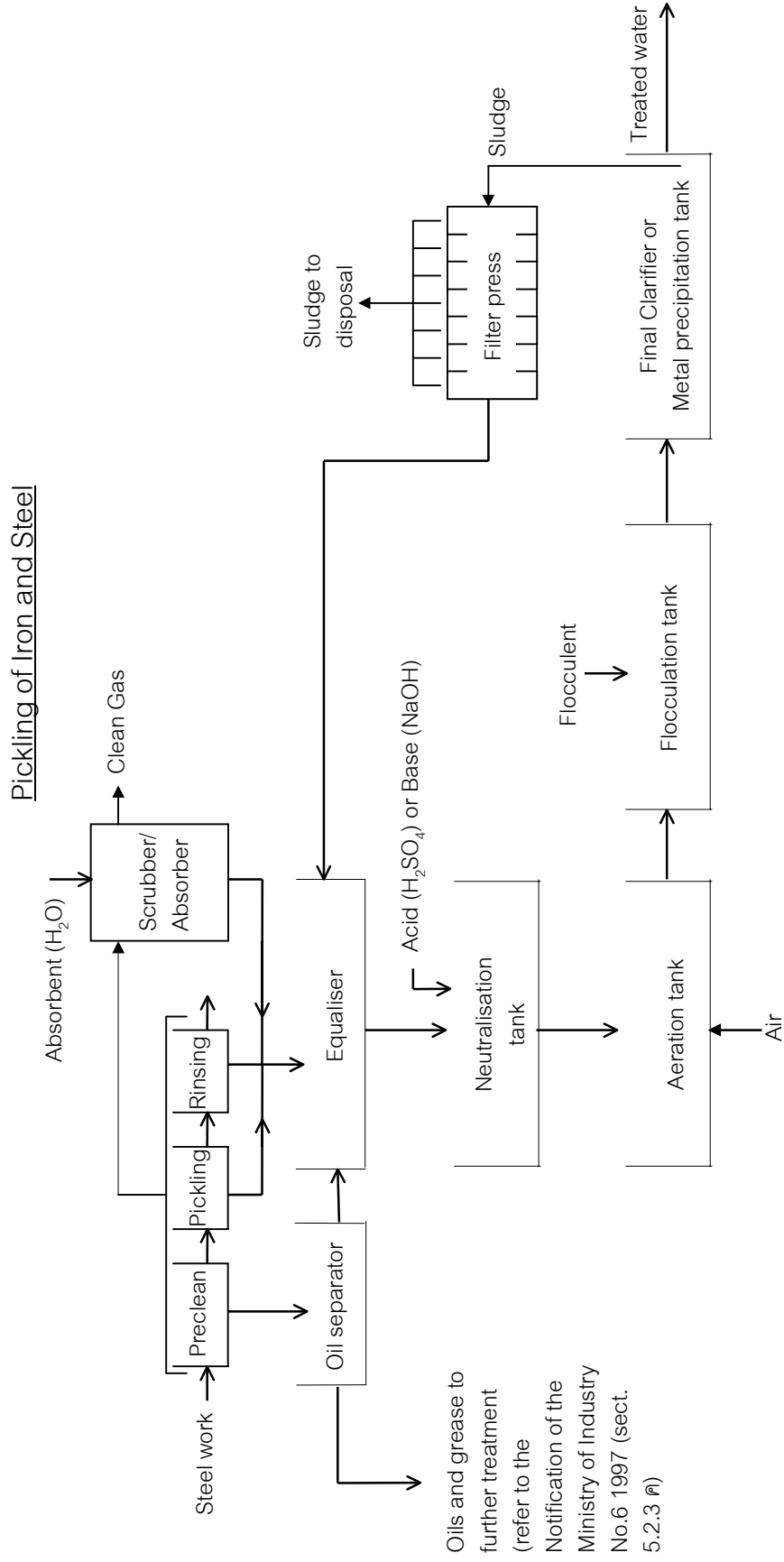
การกรองแบบสูญญากาศก็เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการแยกน้ำออกจากกากของแข็ง น้ำจะถูกแยกออก slurry โดยใช้สูญญากาศดูดผ่านสื่อที่เป็นรูพรุน ซึ่งจะทำให้ส่วนที่เป็นของแข็งติดอยู่ที่ผิวและยอมให้ส่วนที่เป็นของเหลวไหลผ่านออกไปได้ ในการดำเนินการ ถังหมุน (rotary drum) จะถูกหมุนผ่านไปยังถัง slurry ที่ซึ่งของแข็งจะถูกดูดติดไว้ที่พื้นผิวของถัง โดยแรงจากสูญญากาศ สัดส่วนของถังหมุนที่ถูกจุ่มไปใน slurry สามารถทำได้ตั้งแต่ 12 ถึง 60 เปอร์เซ็นต์ น้ำเสียจะถูกดูดผ่านชั้นของของแข็งที่สะสมอยู่ที่ผิวของถังและผ่านทะลุตัวกรองที่ส่วนท้ายของรอบการหมุน ชั้นของแข็งที่เกาะอยู่ที่ผิวของถังหมุนจะถูกปาดออกด้วยใบมีดให้ตกลงไปยังสายพาน และส่วนน้ำที่กรองได้จะถูกส่งไปบำบัดยังระบบบำบัดน้ำเสีย โดยปกติรอบของการหมุนอาจใช้เวลาตั้งแต่ 1 ถึง 6 นาที กากของแข็งที่ได้จะมีสัดส่วนของของแข็งประมาณ 25-40%

การกรองผ่านผ้ากรองโดยใช้ความดัน (pressure filtration or filter press) เป็นวิธีที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางในการแยกของเหลวออกจากกากของแข็ง ส่วนที่เป็นของเหลวจะไหลซึมผ่านผ้ากรองที่ถูกขึงอยู่บนกรอบที่วางเรียงต่อกันหลายชั้น โดยที่ส่วนที่เป็นกากของแข็งจะตกค้างอยู่ในระหว่างกรอบที่เรียงต่อกันนั้น เมื่อช่องว่างระหว่างผ้ากรองถูกเติมเต็มไปด้วยกากของแข็ง กรอบก็จะถูกแยกออกจากกันและกากของแข็งจะถูกนำออกไป ความดันที่ใช้ในการกรองนี้

จะอยู่ในช่วง 345 ถึง 1550 kPa โดยปกติแล้ว slurry จะถูกแยกส่วนที่เป็นน้ำออกไปและจะเหลือกากของแข็งในเป็นสัดส่วนประมาณ 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ แต่อย่างไรก็ตามสัดส่วนนี้จะขึ้นอยู่กับความดันที่ใช้ในการกรอง

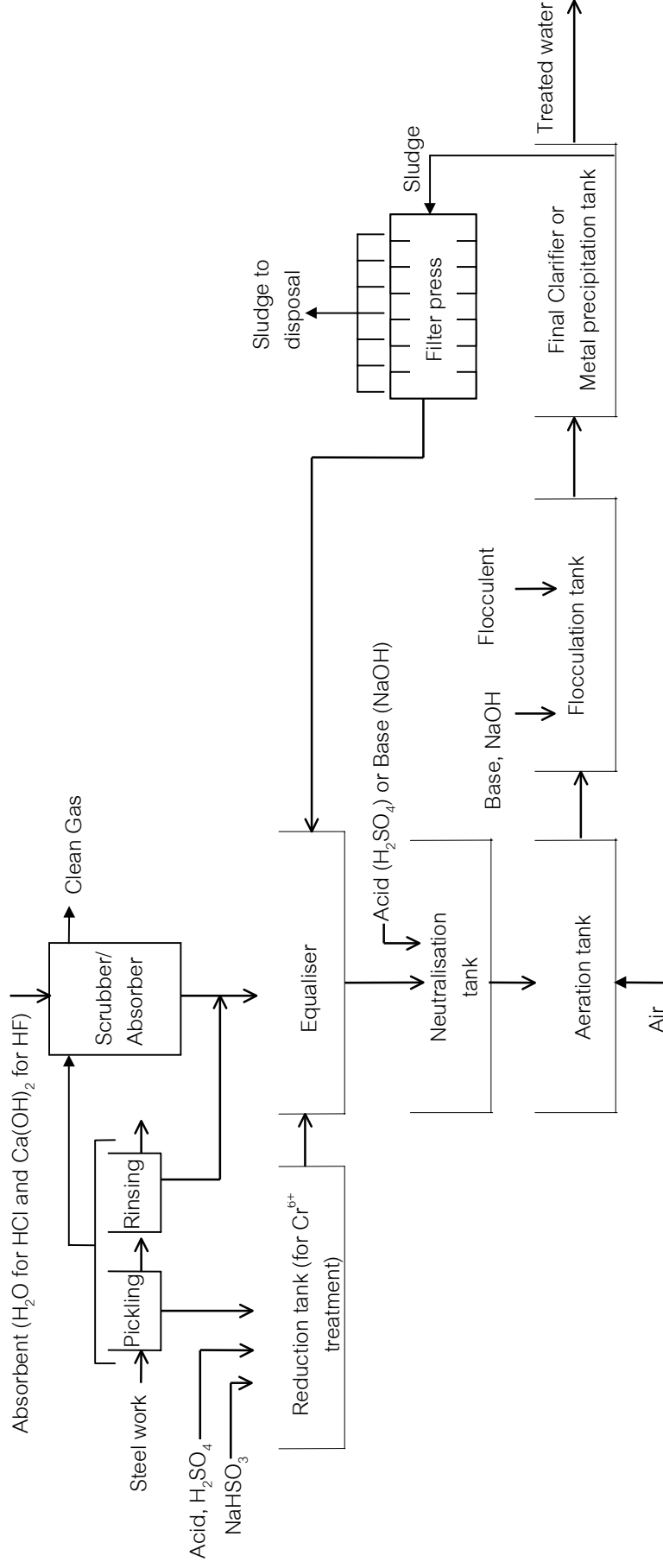
ถึงแม้ว่าวิธีการตากแห้งกากของแข็งจะไม่ซับซ้อนและง่ายต่อการปฏิบัติ แต่วิธีการนี้ก็ขึ้นอยู่กับสภาพอากาศซึ่งถ้ามีฝนตกก็จะไม่สามารถดำเนินการได้ ดังนั้นจึงไม่แนะนำให้ใช้วิธีการนี้ สำหรับวิธีการแยกของแข็งด้วยการกรองผ่านผ้ากรองโดยใช้ความดัน (filter press) จะเป็นวิธีการที่แนะนำให้ใช้เนื่องจากจะให้กากของแข็งที่มีสัดส่วนที่เป็นของแข็งมากกว่าการกรองแบบสุญญากาศ

ดังที่ได้กล่าวข้างต้น กากของแข็งที่เป็นสารอันตรายที่ได้รับจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมจะต้องถูกฝังกลบแบบปลอดภัย ขั้นตอนในการฝังกลบนี้ประกอบด้วยการทำให้กากของเสียมีความเสถียร และการฝังกลบ การทำให้กากของเสียมีความเสถียรมีจุดมุ่งหมายในการป้องกันการชะล้างของโลหะหนักออกจากกากของแข็งและสามารถทำได้โดยผสมกากของแข็งกับปูนขาวเพื่อรักษาระดับ pH ให้สูง การฝังกลบแบบปลอดภัยจะต้องอาศัยพื้นที่ในการฝังกลบซึ่งมีการกั้นขอบเขตด้วยพลาสติกและทราย โดยทั่วไปแล้วการฝังกลบจะต้องทำภายใต้การดูแลของผู้เชี่ยวชาญเพื่อป้องกันการรั่วไหลของสารพิษสู่สิ่งแวดล้อม ทางบริษัทสามารถจัดการส่งกากของเสียเหล่านี้ไปยังศูนย์บำบัดกากของเสีย



รูปที่ 5.5 แผนภาพแสดงกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในการบำบัดของเสียที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิม

Pickling of Stainless Steel



รูปที่ 5.6 แผนภาพแสดงกระบวนการต่างๆ ที่ใช้ในการบำบัดของเสียที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม

## บทที่ 6

## การตรวจวัดและควบคุม

## 6.1 ข้อมูลทั่วไป

เพื่อให้การจัดการสิ่งแวดล้อมตามที่ได้เสนอไว้ในคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อมนี้ประสบความสำเร็จจำเป็นต้องได้รับการสนับสนุนจากผู้ประกอบการตลอดจนมีการทำงานร่วมกับเจ้าหน้าที่ของรัฐอย่างใกล้ชิด เนื้อหาในบทนี้จะเกี่ยวข้องกับประเด็นที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งของการจัดการสิ่งแวดล้อมซึ่งก็คือการดำเนินการตรวจวัดและควบคุมกระบวนการผลิต โดยจะแบ่งออกเป็น การควบคุมในโรงงานและการควบคุมโดยรัฐ

## 6.2 การควบคุมในโรงงาน: กลยุทธ์แบบบนลงล่าง (top-down strategy)

### 6.2.1 ด้านการจัดการ

- ติดตามวัดเพื่อปรับปรุงกระบวนการและทำให้กระบวนการมีเสถียรภาพ
  - ✧ การพัฒนากระบวนการ
  - ✧ การปรับปรุงทักษะการทำงานของพนักงานทั่วไปและผู้ปฏิบัติงานในโรงงาน
  - ✧ การประยุกต์ใช้วิธีที่ดีขึ้นสำหรับการตรวจวัดและควบคุม
- พิจารณาถึงการป้องกันเหตุการณ์ระหว่างการปฏิบัติงานที่อาจคาดไม่ถึง
  - ✧ ติดตั้งเครื่องวัดและระบบสัญญาณเตือนภัยที่เหมาะสม
  - ✧ ติดตั้งการวัดเพื่อป้องกันและควบคุมการรั่วที่อาจเกิดขึ้น
  - ✧ อบรมพนักงานในเรื่องความปลอดภัยและมาตรการการรักษาความปลอดภัยเบื้องต้น

### 6.2.2 ด้านการดำเนินการ

- เข้าใจถึงชนิดและคุณภาพของของเสียที่เกิดขึ้น ตลอดจนตระหนักถึงวิธีการจัดการของเสียที่เกิดขึ้นเหล่านี้
- มีการใช้หลักการทำงานที่ถูกต้อง

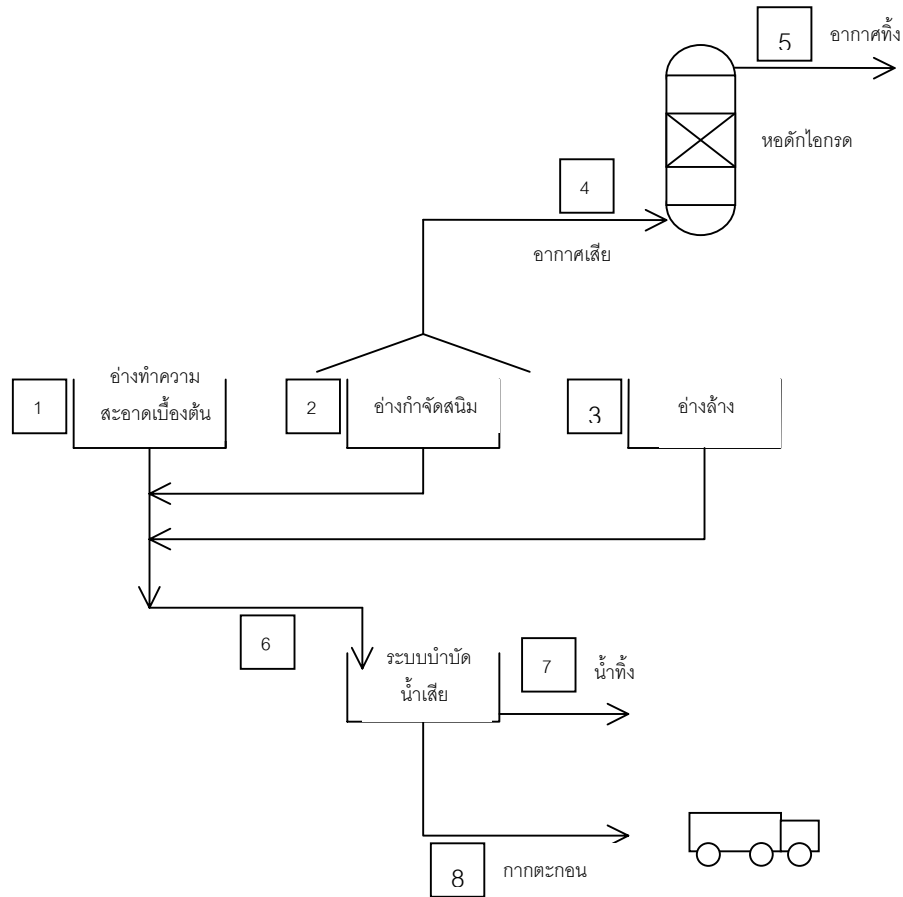
- ✧ นำแผ่นไม้รองรับถังเก็บสารที่ใช้แล้วมาใช้ใหม่
- ✧ แยกของเสียที่เป็นของแข็งออกจากของเหลว
- ✧ แยกของเสียที่เป็นพิษออกจากของเสียที่ไม่เป็นพิษ
- ✧ แยกและชั่งน้ำหนักของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตต่าง ๆ
- ✧ ป้อนสารที่อยู่ในสายยาง หรือท่อต่าง ๆ กลับไปยังถังเก็บสารนั้น ๆ
- ติดตั้งป้ายสัญลักษณ์เพื่อแสดงชื่อของสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิตและอันตรายที่อาจเกิดขึ้น ตลอดจนมีการแนะนำการจัดเก็บสารเคมีที่เหมาะสม
- แนะนำการจัดเก็บวัตถุอันตรายที่เหมาะสมเพื่อลดการเกิดออกไซด์บนผิวเหล็กให้น้อยที่สุด
- มีการปฏิบัติงานที่ดี
  - ✧ ลดการรั่วของท่อต่าง ๆ
  - ✧ ลดการหก เช่น จากการขนส่ง เป็นต้น
- หากเป็นไปได้ ควรจะใช้น้ำล้างเหล็กที่ใช้แล้วส่วนหนึ่งแทนการใช้น้ำใหม่ในการผสมสารละลายในอ่างกำจัดสนิม/ทำความสะอาดเบื้องต้น
- ยกชิ้นงานจากอ่างแล้วปล่อยให้ไวก่อนหนึ่งเพื่อให้กรดหรือด่างที่จะติดไปกับเหล็กได้ตกลงสู่อ่าง
- ทำการวัดและควบคุมปริมาตรของน้ำและสารเคมีที่ได้นำไปใช้ในแต่ละขั้นตอนการผลิต และจดบันทึกสัดส่วนการใช้น้ำและสารเคมีเหล่านี้เพื่อเป็นฐานข้อมูล
- ทำการรวบรวมข้อมูลที่นำเชื่อถือและประเมินผลการบำบัดซึ่งโดยปกติแล้วจะขึ้นกับปัจจัยต่าง ๆ ต่อไปนี้
  - ✧ ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง
 

ตำแหน่งการเก็บตัวอย่าง โดยทั่วไปจะอยู่ที่ทางเข้าและทางออกของกระบวนการ ซึ่งอาจเปลี่ยนแปลงไปตามโรงงาน ตำแหน่งการเก็บตัวอย่างที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดและควบคุมกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กอย่างมีประสิทธิภาพผลมีหลายตำแหน่งดังแสดงไว้ในรูปที่ 6.1 และตารางที่ 6.1 ซึ่งมีรายละเอียดที่แบ่งตามสถานะของของเสียดังนี้คือ:

สำหรับของเสียที่เป็นของเหลว

    - ที่อ่างทำความสะอาดเบื้องต้น
    - ที่อ่างกำจัดสนิม
    - ที่อ่างล้าง





รูปที่ 6.1 แสดงตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดในการเก็บตัวอย่าง

ตำแหน่ง	ชื่อ	ชนิดของเสีย	ความถี่	วิธีเก็บ
1	อ่างทำความสะอาดเบื้องต้น	ของเหลว	ทุกวัน	แบบรวม
2	อ่างกำจัดสนิม	ของเหลว ก๊าซ (สำหรับ อ่างเปิดเท่านั้น)	ทุกวัน ทุก 3 เดือน	แบบรวม แบบจ้วง
3	อ่างล้าง	ของเหลว	ทุกวัน	แบบรวม
4	ทางเข้าหอดักไอนกรด	ก๊าซ	ทุก 3 เดือน	แบบจ้วง
5	ทางออกหอดักไอนกรด	ก๊าซ	ทุก 3 เดือน	แบบจ้วง
6	ทางเข้าระบบบำบัดน้ำเสีย	ของเหลว	ทุกวัน	แบบรวม
7	ทางออกระบบบำบัดน้ำเสีย	ของเหลว	ทุกวัน	แบบรวม
8	กากตะกอนก่อนส่งออกนอก โรงงาน	ของแข็ง	ทุกครั้งที่มีการขนกาก ออกนอกโรงงาน	แบบรวม

- ที่ทางเข้าและทางออกของระบบบำบัดน้ำเสีย

สำหรับของเสียในรูปก๊าซ

- ที่ด้านบนของอ่างกำจัดสนิมเหล็ก (สำหรับอ่างเปิดเท่านั้น)

- ที่ทางเข้า/ออกของหอกำจัดไอกรด

ตำแหน่งเก็บตัวอย่างอาจเป็นตำแหน่งระหว่างอุปกรณ์สองชิ้นที่ต่อเนื่องกันเพื่อลดจำนวนของตัวอย่างและค่าใช้จ่ายของการวิเคราะห์ตัวอย่าง เพราะตัวอย่างที่ออกจากอุปกรณ์ชิ้นแรกจะเป็นตัวอย่างของสารที่เข้าไปยังอุปกรณ์ชิ้นที่อยู่ถัดกัน

#### ◇ วิธีการเก็บตัวอย่าง

โดยพื้นฐานแล้ว วิธีการเก็บตัวอย่างมีสองวิธี คือ การเก็บตัวอย่างแบบจ้วง และการเก็บตัวอย่างแบบรวมหลายจุด ในวิธีการเก็บตัวอย่างแรกนั้น ตัวอย่างจะถูกรวบรวมที่เวลาและตำแหน่งหนึ่งเท่านั้น ข้อดีของวิธีนี้คือความสะดวก แต่มีข้อเสียคือไม่สามารถที่เป็นตัวแทนของระบบได้ เช่นตัวอย่างที่รวบรวมจากวันที่ต่างกันจะมีส่วนประกอบที่แตกต่างกันมาก วิธีที่สองคือการรวมหลายตัวอย่างเข้าด้วยกันซึ่งตัวอย่างได้ถูกรวบรวมที่ช่วงเวลาต่างกัน เช่น ทุกๆ 2 ชั่วโมง วิธีนี้มีความแม่นยำกว่าแต่ใช้เวลามาก

สำหรับกระบวนการกำจัดสนิมในประเทศไทย การรวบรวมตัวอย่างควรทำดังต่อไปนี้

- ที่อ่างกำจัดสนิม ที่อ่างทำความสะอาดเบื้องต้น และที่อ่างล้าง โดยเก็บตัวอย่างแบบรวม (ในรูปของสารละลาย) ทุกวันทำงาน
- ที่หอกำจัดไอกรด ทำการเก็บตัวอย่างแบบจ้วง (ในรูปของไอ) ที่ทางเข้าและทางออก ทุก 3 เดือน รายละเอียดเกี่ยวกับการเก็บตัวอย่างก๊าซดูได้จากภาคผนวก ก
- ที่ระบบบำบัดน้ำเสีย ทำการเก็บตัวอย่างแบบรวม (ในรูปสารละลาย) ที่ทางเข้าและทางออก หนึ่งครั้ง ทุกวันทำงาน
- สำหรับกากของแข็ง ทำการเก็บตัวอย่างแบบรวม โดยควรทำการเก็บตัวอย่างทุกครั้งที่มีการขนส่งกากของเสียไปยังศูนย์บำบัด (หรือก่อนการนำไปถมที่)

✧ การวิเคราะห์ตัวอย่าง

การเก็บรักษาตัวอย่าง การเตรียมตัวอย่าง การวิเคราะห์ตัวอย่าง ต้องทำตามคู่มือสำหรับการวิเคราะห์ตัวอย่างมาตรฐานอย่างเคร่งครัด ซึ่งวิธีการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องทั้งหมดได้แสดงอยู่ในภาคผนวก ก

นอกจากนี้ตัวอย่างสารที่ต้องการการตรวจสอบควรถูกส่งไปยังห้องทดลองให้เร็วที่สุดเท่าที่เป็นไปได้สำหรับทำการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ความถูกต้องของผลการวิเคราะห์มากที่สุด

✧ การบันทึกข้อมูล

ข้อมูลที่ได้รับจากการวิเคราะห์ต้องถูกบันทึกตามเกณฑ์มาตรฐานบางอย่าง เช่น เกณฑ์มาตรฐานที่กล่าวถึงใน “คู่มือของมาตรฐานน้ำทิ้งและการบำบัดน้ำเสีย” ที่ตีพิมพ์โดยกรมควบคุมมลพิษ โดยทั่วไป การรวบรวมข้อมูลจะกระทำตามหมวดหมู่ซึ่งบรรยายข้างล่างนี้

- เอกสารการดำเนินงานประจำวัน -- ข้อมูลจะถูกบันทึกลงในเอกสารที่ออกแบบไว้ล่วงหน้าแล้ว โดยจะมีข้อมูลรายละเอียดส่วนใหญ่เกี่ยวกับกระบวนการ ผู้ปฏิบัติงานหรือผู้ควบคุมโรงงานอาจบันทึกสถานะหรือสถานการณ์ที่สำคัญของระบบทุก ๆ 1 หรือ 2 ชั่วโมง ข้อมูลที่ว่าควรรวมอยู่ในเอกสารได้แก่
  - ปริมาณการใช้พลังงาน
  - ปริมาณการใช้น้ำ
  - ปริมาณการใช้สารเคมี
  - ประสิทธิภาพการบำบัด
  - สถานะการดำเนินงานของหน่วยบำบัดและอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง
- รายงานการดำเนินการประจำวัน -- ข้อมูลจากเอกสารประจำวันจะถูกรวบรวมเป็นข้อมูลเฉลี่ยประจำวันและบันทึกในรายงานการดำเนินการประจำวัน
- รายงานการดำเนินการประจำเดือน -- เป็นการรวบรวมรายงานประจำวันซึ่งส่งให้กับเจ้าหน้าที่ควบคุมมลพิษที่เกี่ยวข้องเป็นเอกสารทางราชการที่สามารถใช้อ้างอิงได้ รายงานการดำเนินการบำบัดควรประกอบด้วยอย่างน้อย 4 ส่วนหลักดังต่อไปนี้
  - ข้อมูลทั่วไป รายงานข้อมูลเฉลี่ย

- หน่วยปฏิบัติการปฐมภูมิและรายงานประสิทธิภาพ
- หน่วยปฏิบัติการทุติยภูมิและรายงานประสิทธิภาพ
- การบำบัดและการกำจัดกากของแข็ง

ตารางที่ 6.2 พารามิเตอร์หลักที่ใส่ไว้ในรายการตรวจสอบ (สำหรับโรงงาน)

กระบวนการ	พารามิเตอร์	หน่วย
กำจัดสนิมเหล็ก	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเป็นกรด-ด่าง</li> <li>- ซีไอดี</li> <li>- เอสเอส</li> <li>- ทีดีเอส</li> <li>- ฟลูออไรด์ (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- นิกเกิล (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- โครเมียม (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> </ul>
- ต่อเนื่อง :	- อัตราการไหล	- ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- กะ :	- ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อกะ	- ลูกบาศก์เมตร
การทำความสะอาดเบื้องต้น	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเป็นกรด-ด่าง</li> <li>- ซีไอดี</li> <li>- ไขมันและน้ำมัน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> </ul>
- ต่อเนื่อง :	- อัตราการไหล	- ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- กะ :	- ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อกะ	- ลูกบาศก์เมตร
การล้าง	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเป็นกรด-ด่าง</li> <li>- ซีไอดี</li> <li>- เอสเอส</li> <li>- ทีดีเอส</li> <li>- นิกเกิล (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- โครเมียม(สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> </ul>
- ต่อเนื่อง :	- อัตราการไหล	- ลูกบาศก์เมตรต่อวัน
- กะ :	- ปริมาณน้ำที่ใช้ต่อกะ	- ลูกบาศก์เมตร

ตารางที่ 6.2 พารามิเตอร์หลักที่ใส่ไว้ในรายการตรวจสอบ(สำหรับโรงงาน) (ต่อ)

<p>หอกำจัดไอ</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ขาเข้า</li> <li>- ขาออก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเป็นกรด-ด่าง</li> <li>- HCl</li> <li>- NO<sub>x</sub> (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- HF (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- อัตราการไหล</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มิลลิกรัมต่อลบ.ม.</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลบ.ม.</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลบ.ม.</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลบ.ม.</li> <li>- ลูกบาศก์เมตรต่อวัน</li> </ul>
<p>อ่างทำให้เป็นกลาง</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- ขาเข้า</li> <li>- ขาออก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเป็นกรด-ด่าง</li> <li>- ไขมันและน้ำมัน</li> <li>- ฟลูออไรด์ (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- นิกเกิล (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- โครเมียม(สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- อัตราการไหล</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- ลูกบาศก์เมตรต่อวัน</li> </ul>
<p>อ่างตกตะกอน/การรวมตัวกัน ของตะกอน</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเป็นกรด-ด่าง</li> <li>- เอสเอส</li> <li>- ทีดีเอส</li> <li>- ฟลูออไรด์ (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- นิกเกิล (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- โครเมียม(สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- อัตราการไหล</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- ลูกบาศก์เมตรต่อวัน</li> </ul>
<p>อ่างพักตกตะกอนอย่างสุดท้าย ก่อนการปล่อยน้ำที่บำบัดแล้ว ออกสู่สิ่งแวดล้อม</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ความเป็นกรด-ด่าง</li> <li>- น้ำมันและไขมัน</li> <li>- เอสเอส</li> <li>- ทีดีเอส</li> <li>- ฟลูออไรด์ (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- นิกเกิล (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- โครเมียม(สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- อัตราการไหล</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- มิลลิกรัมต่อลิตร</li> <li>- ลูกบาศก์เมตรต่อวัน</li> </ul>
<p>กากของแข็ง</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ปริมาณของแข็งเมื่อแห้ง</li> <li>- นิกเกิล (สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- โครเมียม(สำหรับเหล็กไร้สนิม)</li> <li>- ปริมาตร</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- กรัมต่อกิโลกรัม</li> <li>- กรัมต่อกิโลกรัม</li> <li>- กรัมต่อกิโลกรัม</li> <li>- ลูกบาศก์เมตรต่อวัน</li> </ul>

## ตารางที่ 6.2 แสดงพารามิเตอร์หลักซึ่งควรใส่ไว้ในรายการตรวจสอบตัวอย่างของโรงงาน

### 6.3 การควบคุมโดยรัฐ

เจ้าหน้าที่ของรัฐที่รับผิดชอบในส่วนการควบคุมมลพิษในอุตสาหกรรมการแปรรูปเหล็ก (กระบวนการกำจัดสนิม) ต้องมีความรู้เพียงพอและมีความเข้าใจในกระบวนการผลิตต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเป็นอย่างดี เจ้าหน้าที่ควรได้รับการอบรมการจัดการสิ่งแวดล้อมโดยเฉพาะอย่างยิ่งในเรื่องของเทคนิคการลดของเสียและการควบคุมมลพิษ เพื่อที่จะสามารถให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์กับผู้ประกอบการในการจัดการโรงงานในการลดของเสียและควบคุมมลพิษที่จะเกิดขึ้น

ส่วนราชการควรจะแนะนำให้บริษัทปฏิบัติตามข้อเสนอแนะในคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งควรชี้ให้เห็นถึงประโยชน์ในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่โรงงานจะได้รับ เนื่องจากความตระหนักถึงปัญหาสิ่งแวดล้อมของชุมชนต่าง ๆ ในปัจจุบัน ทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดการสิ่งแวดล้อมที่บริษัทจะต้องจ่ายมีค่ามากขึ้นไปเรื่อย ๆ ซึ่งถ้าบริษัททำตามข้อเสนอแนะเหล่านี้จะทำให้มลพิษที่เกิดขึ้นจากกระบวนการต่าง ๆ นั้นถูกจำกัดให้มีค่าน้อยที่สุด นั่นคือการประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดมลพิษที่เกิดขึ้นนั่นเอง นอกจากนี้ การปฏิบัติตามข้อแนะนำด้านสิ่งแวดล้อมของบริษัทจะช่วยลดความจำเป็นที่ทางส่วนราชการจะต้องเข้าไปทำการตรวจสอบอีกด้วย

เจ้าหน้าที่ของรัฐควรโน้มน้าวให้ผู้ประกอบการทำตามคู่มือการจัดการสิ่งแวดล้อม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคนิคการลดของเสียซึ่งเป็นส่วนสำคัญที่จะทำให้บริษัทประหยัดค่าใช้จ่ายในการบำบัดของเสีย รวมทั้งประหยัดสารเคมีที่สิ้นเปลืองไป การบำบัดของเสียจากกระบวนการผลิตควรกระทำในกรณีซึ่งเทคนิคการลดของเสียทั้งหลายไม่สามารถกระทำได้เพิ่มเติมแล้ว

การตรวจวัดและการควบคุมโดยเจ้าหน้าที่ของรัฐสามารถกระทำโดยการใ้รายการตรวจสอบของกิจกรรมต่าง ๆ ของแต่ละโรงงานซึ่งต้องการควบคุม ภาคผนวก ข แสดงตัวอย่างตารางที่ใช้ในการตรวจวัดและควบคุมโดยเจ้าหน้าที่ของรัฐ ซึ่งเนื้อหาหลักในรายการสำหรับกรตรวจสอบมีดังนี้

- สภาวะการทำงานโดยทั่วไป ควรมีการจัดการสิ่งแวดล้อมอย่างเป็นระบบ
- การดำเนินงานทั่วไปของโรงงาน

- ประสิทธิภาพของเทคนิคการลดมลพิษที่นำมาใช้ในกระบวนการ
- ประสิทธิภาพของระบบบำบัด
- ข้อมูลและผลการวิเคราะห์ตัวอย่างที่เก็บมา

นอกจากนี้ การตรวจสอบควรกระทำ 3 - 5 ครั้งต่อปีโดยขึ้นอยู่กับความน่าเชื่อถือของการดำเนินการ

บทที่ 7

คำอธิบายศัพท์และเหตุผลสำหรับข้อกำหนดขั้นต่ำสุดของน้ำทิ้งและอากาศทิ้ง

7.1 ข้อมูลทั่วไป

ข้อกำหนดขั้นต่ำสุดสำหรับของเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมนั้นได้กำหนดขึ้นโดยพิจารณาจาก

- มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ปี พ.ศ. 2539
- มาตรฐานอากาศเสียอุตสาหกรรมของประเทศไทย ปี พ.ศ. 2535
- คู่มือ Handbook of toxic and hazardous chemicals and carcinogen ของ Marshall Sittig
- รายงานโครงการศึกษาวิเคราะห์และกำหนดมาตรฐานอากาศเสียจากอุตสาหกรรม โดยกรมควบคุมมลพิษ
- ค่าคุณภาพน้ำทิ้งและอากาศทิ้งจากการสำรวจโรงงานที่ใช้กระบวนการกำจัดสนิม

7.2 คำอธิบายศัพท์

7.2.1 คำอธิบายศัพท์สำหรับมาตรฐานน้ำทิ้ง

ความเป็นกรดและด่าง	ความเป็นกรดและด่างเป็นค่าที่แสดงถึงความเข้มข้นของอิออนของไฮโดรเจนที่อยู่ในน้ำ
ทีดีเอส	ปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายอยู่ในน้ำ ซึ่งพิจารณาเฉพาะของแข็งที่ละลายเป็นเนื้อเดียวกับน้ำซึ่งจะผ่านเครื่องกรองออกมาได้
สารแขวนลอย	สารแขวนลอยนั้นสามารถวัดได้โดยการกรองน้ำทิ้งปริมาตรหนึ่งโดยผ่านแผ่นกรองที่ทำจากใยแก้ว (Whatman GF/C) จากนั้นจะถูกนำมาอบแห้งและชั่งน้ำหนัก สารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำดิบนั้นมาจากสารอินทรีย์ตลอดจนสารอนินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ
น้ำมันและไขมัน	น้ำมันและไขมันแสดงถึงปริมาณทั้งหมดของสารอินทรีย์ที่ไม่ละลายน้ำ



ซีโอดี	ค่าซีโอดีเป็นค่าพารามิเตอร์รวมตัวหนึ่ง que แสดงถึงปริมาณของออกซิเจนที่ ต้องการในการออกซิไดส์สารอินทรีย์ในน้ำเสีย การออกซิไดส์นั้นทำโดย การใช้โปแตสเซียมไดโครเมต ( $K_2Cr_2O_7$ ) ในสถานะที่เป็นกรดเข้มข้น
นิเกิล	ปริมาณนิเกิลทั้งหมดที่อยู่ในน้ำเสีย
โครเมียม	ปริมาณของโครเมียมทั้งหมดที่อยู่ในน้ำเสีย
ฟลูออไรด์	ปริมาณของฟลูออไรด์ทั้งหมดที่อยู่ในน้ำเสีย

### 7.2.2 คำอธิบายศัพท์สำหรับมาตรฐานอากาศทิ้ง

ไฮโดรเจนคลอไรด์	ไอระเหยของกรดไฮโดรคลอริก
กรดซัลฟูริก	ไอระเหยของกรดซัลฟูริก
ออกไซด์ของไนโตรเจน	ปริมาณทั้งหมดของสารประกอบของออกไซด์ของ ไนโตรเจนในอากาศทิ้ง
ไฮโดรเจนฟลูออไรด์	ไอระเหยของกรดไฮโดรฟลูออริก

### 7.3 คำอธิบายของข้อกำหนดขั้นต่ำสุดของน้ำทิ้ง

#### 7.3.1 ความเป็นกรดและด่าง

เนื่องจากความเข้มข้นของไฮโดรเจนที่สิ่งมีชีวิตสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้นั้น อยู่ในช่วงที่ค่อนข้างจำกัด ดังนั้นการปล่อยน้ำเสียที่มีไฮโดรเจนสูงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรงจะมีผลกระทบต่อความเข้มข้นของไฮโดรเจนในน้ำธรรมชาติ ความเข้มข้นที่สูงนี้มีผลทำให้การบำบัดน้ำด้วยวิธีทางชีวภาพนั้นเป็นไปได้ยาก ซึ่งส่งผลให้เกิดปัญหา ทางด้านสิ่งแวดล้อมขึ้น เนื่องจากน้ำเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมนั้นนั้นมีน้ำกรดเสียเป็น องค์ประกอบหลัก ดังนั้นค่าความเป็นกรดและด่างจึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจาก กระบวนการกำจัดสนิมทุกประเภท ค่าที่เสนอนี้คือค่ามาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือระหว่าง 5.5 ถึง 9 ซึ่งด้วยเทคโนโลยีในปัจจุบันคือการทำให้เป็นกลางโดยใช้ด่างสามารถปรับค่าความ เป็นกรดและด่างให้อยู่ในมาตรฐานนี้ได้

#### 7.3.2 ทีดีเอส

เนื่องจากในกระบวนการกำจัดสนิมนั้นมีการเติมสารเคมี ดังเช่น โซเดียม คัลเซียม และซัล เฟตเข้าสู่ น้ำที่ใช้ในกระบวนการกำจัดสนิม สารซึ่งละลายอยู่ในน้ำเหล่านั้นจะปรากฏอยู่ในน้ำ เสียและส่งผลต่อสภาพความเค็มของน้ำซึ่งถูกปล่อยออกสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ดังนั้นค่าทีดีเอส

จึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากกระบวนการกำจัดสนิม โดยค่าที่เสนอนี้คือค่ามาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบันคือเท่ากับ 3,000 มิลลิกรัมต่อลิตรสำหรับการระบายลงแหล่งน้ำ และเท่ากับ 5,000 มิลลิกรัมต่อลิตรสูงกว่าค่าของแข็งที่ละลายอยู่ในทะเลสำหรับการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่ทะเลหรืออ่าว (ที่มีค่าความเค็มมากกว่า 2,000 มิลลิกรัมต่อลิตร) อย่างไรก็ตามถ้ามีการใช้เทคนิคการชะล้างแบบไหลสวนทางกันหลายชั้นตอนตามที่ได้แนะนำในคู่มือการจัดการด้านสิ่งแวดล้อมเล่มนี้แล้วจะส่งผลให้ที่ติเอสก็จะมีค่าสูงขึ้นและควรมีการพิจารณาค่ามาตรฐานที่ดีเอสที่เหมาะสมใหม่

### 7.3.3 สารแขวนลอย

กระบวนการกำจัดสนิมก่อให้เกิดน้ำเสียซึ่งประกอบด้วยสารแขวนลอยซึ่งได้แก่สิ่งสกปรก เศษเหล็กที่ติดมากับวัตถุคืบ ตลอดจนตะกอนเบาที่เกิดในกระบวนการบำบัดน้ำเสีย ซึ่งสารแขวนลอยที่อยู่ในน้ำนั้นสามารถก่อปัญหาด้านการตกตะกอนในแหล่งน้ำและก่อให้เกิดสถานะของจุลินทรีย์ที่ไม่ต้องการออกซิเจนถ้ามีการปล่อยน้ำเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมนั้นลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ดังนั้นค่าสารแขวนลอยจึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากกระบวนการกำจัดสนิม โดยค่าที่เสนอนี้คือค่ามาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบันคือการใช้วิธีทางเคมีและกายภาพสามารถลดค่าสารแขวนลอยให้อยู่ภายในมาตรฐานนี้ได้

### 7.3.4 น้ำมันและไขมัน

น้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบหนึ่งของน้ำเสียที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิม น้ำและไขมันนั้นติดมาจากวัตถุคืบที่ผ่านกระบวนการกำจัดสนิม ปัญหาสำคัญที่เกิดขึ้นจากการปรากฏอยู่ของน้ำมันและไขมันในน้ำทิ้งจากชุมชนและอุตสาหกรรมคือความยากในการจัดการและการบำบัด เนื่องจากน้ำมันและไขมันมีค่าความสามารถในการละลายที่ต่ำ น้ำมันและไขมันที่แยกจากน้ำและเกาะอยู่ตามท่อและถังด้านในนั้นจะลดความสามารถในการบำบัดน้ำทางชีวภาพเนื่องจากปกคลุมผิวหน้าของน้ำและลดปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ นอกจากนี้ตะกอนที่มีน้ำมันและไขมันเป็นองค์ประกอบอยู่นั้นจะถูกกำจัดได้ยาก ดังนั้นค่าน้ำมันและไขมันจึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากกระบวนการกำจัดสนิม โดยค่าที่เสนอนี้คือค่ามาตรฐานที่ใช้ในปัจจุบันคือ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งด้วยเทคโนโลยีที่ใช้ในปัจจุบันคือการใช้วิธีทางกายภาพสามารถลดค่าน้ำมันและไขมันให้อยู่ภายในมาตรฐานนี้ได้

### 7.3.5 ซีโอดี

เนื่องจากน้ำเสียจากระบบการกำจัดสนิมนั้นประกอบด้วยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่สามารถถูกออกซิไดซ์ได้ ตัวอย่างของสารเหล่านี้ได้แก่ น้ำมันและไขมัน สารยับยั้งการกำจัดสนิม และอ็อกซิเจน เป็นต้น การปล่อยน้ำเสียจากระบบการกำจัดสนิมลงสู่สิ่งแวดล้อมโดยตรงจะส่งผลต่อค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายอยู่ในน้ำ ดังนั้นค่าซีโอดีจึงถูกเสนอให้เป็นมาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบการกำจัดสนิม โดยค่าที่เสนอนี้คือค่ามาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งด้วยเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันสามารถลดค่าซีโอดีให้อยู่ภายในมาตรฐานนี้ได้

### 7.3.6 นิเกิล

แม้ว่านิเกิลนั้นจะมีความเป็นพิษต่อคนต่ำ แต่ก็มีบางหลักฐานที่เสนอว่านิเกิลเป็นสารหนึ่งที่ทำให้เกิดมะเร็งได้ ดังนั้นค่าความเข้มข้นของนิเกิลจึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยค่าที่เสนอนี้คือค่ามาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งด้วยเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือการใช้วิธีทางเคมีสามารถลดค่าความเข้มข้นของนิเกิลให้อยู่ภายในมาตรฐานนี้ได้

### 7.3.7 โครเมียม

สารประกอบของโครเมียมที่อยู่ในสถานะ  $6^+$  นั้นพบว่าเป็นสารที่ก่อให้เกิดการระคายเคืองและกัดกร่อน สารประกอบโครเมียมนั้นสามารถเข้าสู่ร่างกายคนได้โดยการหายใจ การกลืนและผ่านทางผิวหนัง มีหลักฐานว่าการได้รับกรดโครมิกจะก่อให้เกิดปัญหาต่อตับ สำหรับสารประกอบของโครเมียมที่อยู่ในสถานะ  $3^+$  นั้นพบว่ามีความอันตรายที่น้อยกว่าที่อยู่ในสถานะ  $6^+$  เนื่องจากโครเมียมนั้นเป็นองค์ประกอบหลักองค์ประกอบหนึ่งในเหล็กกล้าไร้สนิม ซึ่งออกซิเจนของโครเมียมนั้นจะปรากฏอยู่ในน้ำกรดเสียที่ใช้ในกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม ดังนั้นค่าความเข้มข้นของโครเมียมจึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากระบบการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยค่าที่เสนอนี้คือค่ามาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ 0.75 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับโครเมียม  $3^+$  และ 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร สำหรับโครเมียม  $6^+$  ความเข้มข้นของนิเกิล ซึ่งด้วยเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือการรีดักชันและตกตะกอนด้วยต่างสามารถลดค่าความเข้มข้นของโครเมียมให้อยู่ภายในมาตรฐานนี้ได้

### 7.3.8 ฟลูออไรด์

การสัมผัสฟลูออไรด์ที่ความเข้มข้นระดับต่ำเป็นเวลานานนั้นพบว่าเป็นประโยชน์ในการป้องกันฟันผุ และเป็นประโยชน์ต่อการรักษากระดูก อย่างไรก็ตามการได้รับฟลูออไรด์ที่ระดับความเข้มข้นสูงกว่า 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตรจากน้ำดื่มสามารถก่อให้เกิดปัญหาฟันดำ (dental fluorosis or mottling) และการได้รับฟลูออไรด์ในปริมาณที่สูงมากจากน้ำดื่มหรือจากอากาศยังก่อให้เกิดปัญหาที่กระดูก (Sawyer et al. 1994) เนื่องจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นมีการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกซึ่งก่อให้เกิดฟลูออไรด์ในน้ำทิ้งและเนื่องจากในปัจจุบันนี้ยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานน้ำทิ้งของฟลูออไรด์ ดังนั้นค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์จึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานน้ำทิ้งจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยค่าที่เสนอเท่ากับ 20 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งการตกตะกอนด้วยปูนขาวสามารถลดค่าความเข้มข้นของฟลูออไรด์ให้อยู่ภายในมาตรฐานนี้ได้

## 7.4 คำอธิบายของข้อกำหนดขั้นต่ำสุดของอากาศทิ้ง

### 7.4.1 ไฮโดรเจนคลอไรด์

ไอของกรดไฮโดรคลอริกนั้นก่อให้เกิดการระคายเคืองและมีกลิ่นฉุน ค่าความเข้มข้นขอบเขตของกลิ่น (odour threshold) นั้นมีค่าเท่ากับ 7 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร สำนักงานวางแผนและมาตรฐานของคุณภาพอากาศของ EPA (EPA's Office of Air Quality Planning and Standards, for a hazard ranking under Section 112 (g) of the Clean Air Act Amendments) จัดให้กรดไฮโดรคลอริกนั้นเป็นสารที่เป็นพิษร้ายแรง โดยจัดอันดับไว้ในอันดับที่ 11 (อันดับเริ่มจาก 1 ถึง 100 โดยอันดับที่ 100 นั้นเป็นอันตรายมากที่สุด) ดังนั้นไฮโดรเจนคลอไรด์จึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานอากาศทิ้งจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กและเหล็กกล้าที่ใช้กรดไฮโดรคลอริกเป็นสารกำจัดสนิม โดยค่ามาตรฐานที่เสนอคือ 50 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าดังกล่าวนี้พบว่าสามารถบรรลุได้โดยการใช้เครื่องดักไอกรด

### 7.4.2 กรดซัลฟูริก

ไอของกรดซัลฟูริกนั้นก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อเนื้อเยื่อ เช่น ตา และระบบทางเดินหายใจ นอกจากนี้ยังก่อให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับฟัน ดังนั้นกรดซัลฟูริกจึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานอากาศทิ้งจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กและเหล็กกล้าและจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมที่ใช้กรดซัลฟูริกเป็นสารกำจัดสนิม โดยค่ามาตรฐานที่เสนอคือ

20 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่าดังกล่าวนี้พบว่าสามารถบรรลุได้โดยการใช้เครื่องดักไถกรด

#### 7.4.3 ออกไซด์ของไนโตรเจน

ออกไซด์ของไนโตรเจนเป็นมลพิษอีกตัวหนึ่งที่เกิดจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมซึ่งมีการใช้กรดไนตริก ( $\text{HNO}_3$ ) เป็นสารกำจัดสนิม เนื่องจากก๊าซนี้ก่อให้เกิดปัญหาต่อสุขภาพ ดังนั้นออกไซด์ของไนโตรเจนจึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานอากาศทั้งจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม โดยค่าที่เสนอนี้คือค่ามาตรฐานที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือ 470 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งด้วยเทคโนโลยีที่ใช้อยู่ในปัจจุบันคือการใช้หอดูดซึมสามารถลดค่าออกไซด์ของไนโตรเจนให้อยู่ภายในมาตรฐานนี้ได้ อย่างไรก็ตามควรมีการพิจารณาค่ามาตรฐานใหม่ในอีก 5 ปีข้างหน้า

#### 7.4.4 ไฮโดรเจนฟลูออไรด์

การหายใจรับก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์เข้าไปในร่างกายนั้นก่อให้เกิดอันตรายอย่างรุนแรงต่อระบบทางเดินหายใจของมนุษย์ ซึ่งรวมถึงการระคายเคืองและปัญหาที่ปอด นอกจากนี้ยังมีปัญหาต่อตาและผิวหนังด้วย เนื่องจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิมนั้นมีการใช้กรดไฮโดรฟลูออริกซึ่งก่อให้เกิดไอของไฮโดรเจนฟลูออไรด์ในอากาศทั้งและเนื่องจากในปัจจุบันนี้ยังไม่มีข้อกำหนดมาตรฐานอากาศทั้งของก๊าซไฮโดรเจนฟลูออไรด์ ดังนั้นไฮโดรเจนฟลูออไรด์จึงถูกเสนอให้รวมอยู่ในมาตรฐานอากาศทั้งจากกระบวนการกำจัดสนิมของเหล็กกล้าไร้สนิม ค่ามาตรฐานที่เสนอก็คือ 14 มิลลิกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งค่านี้ได้จากโครงการศึกษา วิเคราะห์และกำหนดมาตรฐานอากาศเสียจากอุตสาหกรรม โดยกรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (พ.ศ. 2537) อย่างไรก็ตามควรมีการพิจารณาค่ามาตรฐานใหม่ในอีก 5 ปีข้างหน้า

## หนังสืออ่านประกอบ

### ภาษาไทย

1. ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ 2535. การสำรวจน้ำเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนัง, กรุงเทพฯ, รายงานการศึกษาเสนอต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, ในโครงการการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียอุตสาหกรรม
2. ชงชัย พรรณสวัสดิ์ และ อรทัย ชวาลภาฤทธิ์ 2536. การศึกษาการคุ้มทุนของการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียฟอกหนังด้วยโรงทดลองนำร่อง, กรุงเทพฯ, รายงานการศึกษาเสนอต่อกรมโรงงานอุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, ในโครงการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียอุตสาหกรรมฟอกหนัง

### ภาษาอังกฤษ

1. 'Clean Technology and Environmental Auditing', World Leather, Shoe Trade Publishing UK Ltd., 1991.
2. Kumar, M., 'Potential of Converting tannery Solid Wastes into Glue and other Utilizable By-Products', Seminar on the Profitability of Clean Technology in the Leather Tanning Industries, 20-21 October 1992, Samutprakarn, Thailand.
3. Meyhoefer, B., 'Treatment of Wastewater in the Leather Tanning Industries', Seminar on the Profitability of Clean Technology in the Leather Tanning Industries, 20-21 October 1992, Samutprakarn, Thailand.
4. 'Reducing the Oxygen Demand: An Overview of Hair Saving Technique', World Leather, Tanning and Environment, August 1993.
5. Skrypski – Mantele and Bridle, T.R., 'Environmentally Sound Disposal of Tannery Sludge', Water Res., Vol. 29, No. 4, pp 1033 – 1039, 1995.
6. 'Tannery Waste Minimization: An Overview of Some Process to Minimize Tannery Waste', World Leather., Shoe Trade Publishing, April / May 1992.
7. The British Leather Confederation 1992, 'Minimizing Tannery Waste', World Leather, Shoe Trade Publishing, April / May 1992.
8. Toward Greener Tannages: An Overview of Substitution of Chrome Tannage, World Leather, Shoe Trade Publishing UK Ltd., 1991.
9. Ullrich, W., Activity Report Environmental Management Guideline for Tanneries, Stuttgart, 39 pp., April 1994.
10. Zhuang, Y., 'Profitability of Protein Recovery from Leather Shavings with High Level Chromium Content', Seminer on the Profitability of Clean Technology in the Leather Tanning Industries, 20 – 21 October 1992, Samutprakarn, Thailand.

## ภาคผนวก ก.

### การนำกากของเสียจากอุตสาหกรรมฟอกหนังมาใช้ประโยชน์

กากของเสียที่เป็นของแข็ง ได้แก่ กากหรือเศษหนังสัตว์ชิ้นเล็กๆ กีบ เศษกระดูก เศษ shavings และ splittings รวมทั้งสตั๊ดจ์และกากตะกอนแห้งจากระบบบำบัดน้ำเสีย

หนังสือพิมพ์ที่นำมาผ่านกระบวนการต่างๆ ในโรงฟอกหนังแล้วจะได้ผลผลิตและผลพลอยได้หลายชนิด ในต่างประเทศได้มีการนำกากหนังสัตว์เหล่านี้ไปใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ส่วนในประเทศไทยได้มีการนำกากหนังสัตว์จากบางกระบวนการผลิตมาทำประโยชน์เช่นกัน เช่น เศษหนังตัดและพังผืดที่มีปูนขาว หนังส่วนล่างที่มีปูนขาว จะถูกนำไปทำเป็นอาหารสัตว์น้ำ และผลิตภัณฑ์ของแทะเล่นสำหรับสุนัข (ค็อกชีว , dog chew) เจลาติน และกาว ตามลำดับ

กากหนังสัตว์เหล่านี้ สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนี้

#### ก) เศษหนังและพังผืดที่มีปูนขาว

เศษหนัง เศษหู พังผืดซึ่งตัดออกจากหนังสือพิมพ์บางส่วนจะถูกขายเพื่อนำไปทำเจลาติน (เอาไปทำเป็น วุ้นเยลลี่ หรือแคปซูลยา ซึ่งนับว่าเป็นการนำของเสียไปใช้ประโยชน์ที่ดีมาก) บางส่วนจะนำไปตากแห้งเพื่อขายทำปุ๋ย บางโรงงานจะขายเศษหนังและพังผืดให้เจ้าของบ่อเลี้ยง ปลา เพื่อนำไปเป็นอาหารสัตว์น้ำโดยตรง (โยนให้ปลากิน) โดยต้องทำการต้มเพื่อไล่เอาซัลไฟด์ที่เป็นพิษต่อปลาออกเสียก่อน ในราคาคันรตละ 200 บาท

หนังสือหนังและพังผืดดังกล่าวยังมีปูนขาวและซัลไฟด์อยู่ ถ้านำมาผ่านกระบวนการผลิตที่เหมาะสมจะสามารถผลิตอาหารสัตว์ที่มีคุณภาพและราคาแพงขึ้นได้ ขั้นตอนการผลิตอาหารจากเศษหนังและพังผืดแสดงในรูปที่ ก.1 ส่วนเศษกีบเท้า เศษหนังพังผืดที่นำไปใช้ประโยชน์ไม่ได้ จะถูกขายไปในราคากิโลกรัมละ 0.50 บาทนำไปบดอัดขึ้นรูปเป็นของแทะเล่นสำหรับสุนัข ดังรูปที่ ก.2

เศษหนังที่มีคุณภาพไม่ดีเช่นเป็นเศษชิ้นเล็กๆ ความหนาไม่คงที่ ไม่สามารถนำไปม้วนเป็นของแทะเล่นสำหรับสุนัขได้โดยตรง จะขายได้ในราคาประมาณกิโลกรัมละ 20 - 25 บาท เพื่อนำไปผลิตเป็นกาวเจลาติน เปลือกใส่กรอก หรือนำไปทำผลิตภัณฑ์ของแทะเล่นสำหรับสุนัขโดยเอาไปขึ้นรูปจากพิมพ์ดังแสดงในรูปที่ ก.2

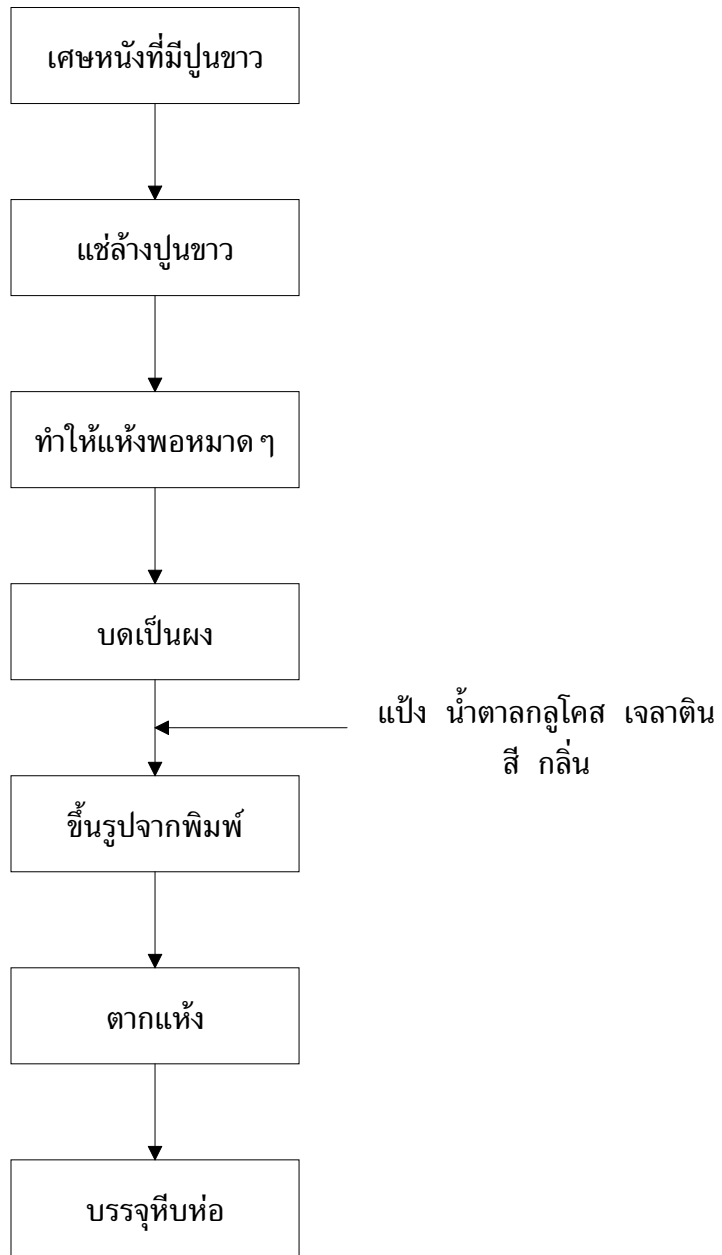
#### ข) หนังส่วนล่างที่มีปูนขาว

โรงงานส่วนใหญ่จะนำหนังส่วนล่างคุณภาพดี (หนาสม่ำเสมอ ผืนใหญ่พอควร) ที่มีปูนขาวนี้ไปล้างปูนและตากแห้ง เพื่อขายในราคากิโลกรัมละประมาณ 30 - 40 บาท หนังส่วนล่างนี้จะถูกนำไปผลิตกาวและเจลาติน รวมทั้งม้วนเป็นรูปต่างๆ เป็นผลิตภัณฑ์ของแทะเล่นสำหรับสัตว์ต่อไป



รูปที่ ก.1 ขั้นตอนการผลิตอาหารปลาจากเศษหนัง





รูปที่ ก.2 การผลิตของแทะเล่นสำหรับสุนัขจากเศษหนังคุณภาพไม่ดี

## ภาคผนวก ข.

### แนวทางการใช้ประโยชน์จากหนังตัดเจียรที่มีโครเมียม

เศษหนังจากการตัดเจียร(chrome shavings) จัดเป็นกากของเสียที่เป็นอันตราย เนื่องจากมีโครเมียมอยู่สูงถึง 1-8% ของน้ำหนักแห้ง เศษหนังตัดเจียรเหล่านี้ไม่ควรนำไปฝังหรือใช้เป็นปุ๋ยโดยตรง เพราะอาจทำให้โครเมียมถูกชะล้างลงสู่น้ำผิวดิน และมีผลต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ได้มีการศึกษาการนำโครเมียมและโปรตีนจากเศษหนังตัดเจียรกลับมาใช้ใหม่ในต่างประเทศโดยวิธีต่างๆ (Zhuang, Y., 1992) โครเมียมที่ได้จะถูกนำกลับไปใช้ในกระบวนการฟอกหนัง โปรตีนที่ได้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตกาว เจลาตินหรืออาหารสัตว์ ส่วนกากที่เหลือจากการแยกโปรตีนและโครเมียมแล้วยังสามารถนำไปทำปุ๋ยอินทรีย์สำหรับพืชที่กินไม่ได้ การวิจัยเรื่องนี้ในประเทศไทยดำเนินการโดยสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้คือ โปรตีนและโครเมียม ที่มีในหนังตัดเจียร ซึ่งหนังตัดเจียรมี 2 ชนิดคือ เป็นแบบละเอียดและแบบแถบยาว ส่วนความชื้นของเศษหนังจะมีความแตกต่างกันมากระหว่าง 2 - 50% วิธีการนำกลับโปรตีนและโครเมียม แสดงในรูปที่ ข.1 โดยนำเศษหนังตัดเจียรที่มีโครเมียมอยู่มาต้มในสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีการกวนตลอดเวลา โปรตีนส่วนใหญ่จะถูกย่อยละลายในสารละลายต่าง ส่วนโครเมียมยังอยู่ในตะกอน นำสารละลายไปกรองด้วยระบบสูญญากาศ สารละลายที่กรองได้จะถูกทำให้เป็นกลางด้วยกรดซัลฟูริก แล้วสามารถใช้ผลิตกาวหรือส่วนผสมอาหารสัตว์ทันทีหรือหลังจากระเหยน้ำออก ตะกอนที่กรองได้จะถูกนำมาเติมกรดซัลฟูริก แล้วตกตะกอนด้วยโซเดียมคาร์บอเนต ซึ่งจะได้สารโครเมียมซัลเฟตซึ่งสามารถนำมาเตรียมน้ำยาฟอกหนังได้ ส่วนกากที่เหลือจากการย่อยโปรตีนและสกัดโครเมียมแล้วยังมีโปรตีนอยู่บ้างและมีโครเมียมอยู่ สามารถขายเป็นปุ๋ยอินทรีย์ในโตรเจนได้

จากผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการสรุปได้ว่า ถ้าใช้เศษหนังตัดเจียรซึ่งมีโปรตีนอยู่ประมาณ 4-5 กรัม มาย่อยสลายด้วยสารละลายแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 2.5 ชม.

จะได้โปรตีนประมาณร้อยละ 60 - 70 ขึ้นกับปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ใช้ ตั้งแต่ 0.6- 1.6 กรัม และถ้าเติมแคลเซียมไฮดรอกไซด์เพิ่มเป็น 1.6 กรัมต่อเศษหนังตัดเจียร 10 กรัม พบว่าได้โปรตีนเพิ่มขึ้นถึง 85% แต่ก็มีปริมาณโครเมียมในโปรตีนเพิ่มขึ้นด้วย ภาวะที่เหมาะสมสูงสุดในกระบวนการนำโปรตีนและโครเมียมกลับมาใช้ คือ

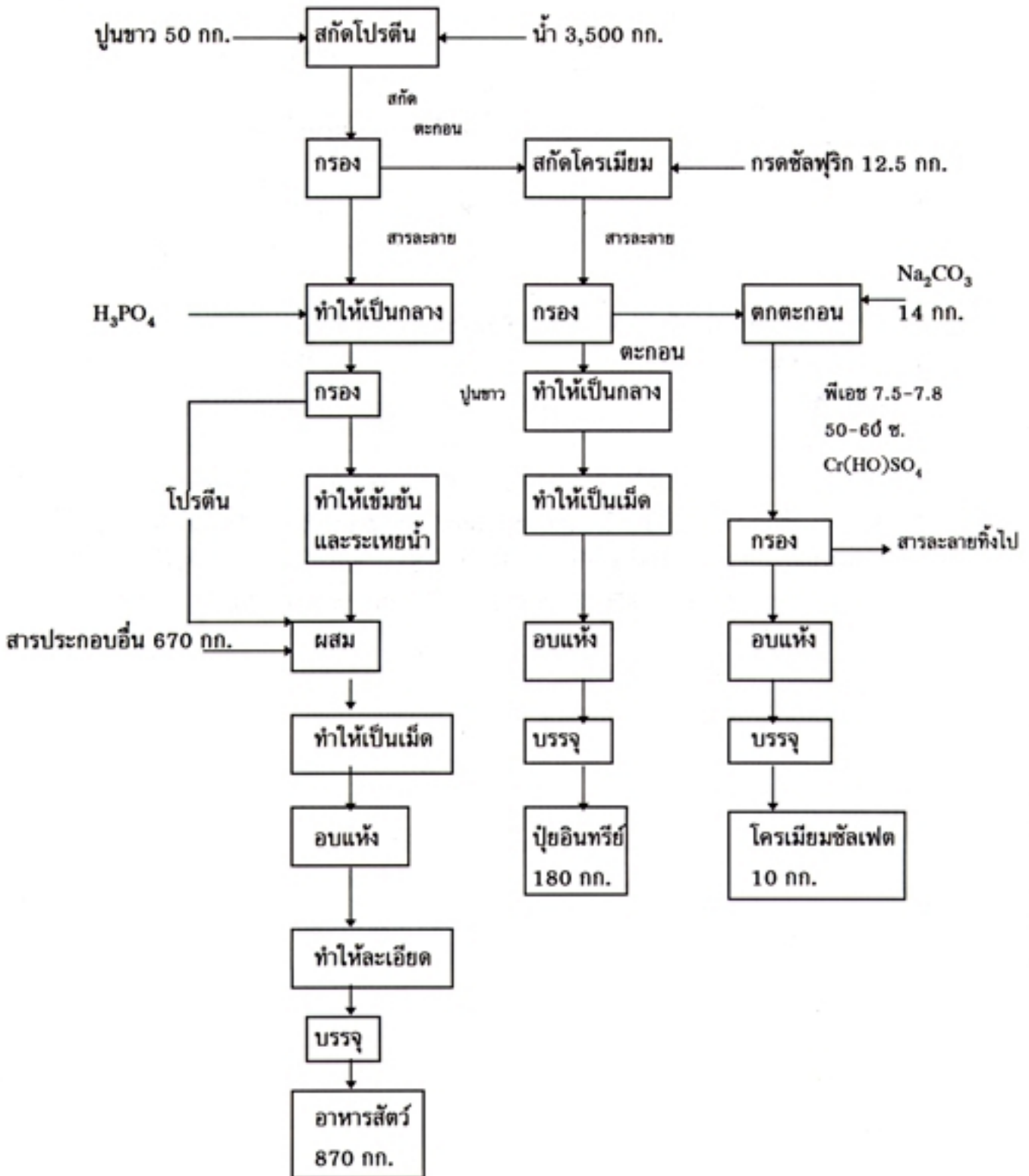
---

\* ที่มา: Zhuang, Y., 'Profitability of Protein Recovery from Leather Shavings with High Level Chromium Content', Seminar on the Profitability of Clean Technology in the Leather Tanning Industries., 20-21 October 1992, Samutprakarn, Thailand.

ระยะเวลาที่ใช้ในการย่อยโปรตีน	= 2.5 ชั่วโมง
อุณหภูมิที่ใช้ในการย่อยโปรตีน	= 100 <sup>0</sup> ซ.
ปูนขาว (CaO)	= 0.15 กรัม/โปรตีนในเศษแห้งตัดเจียร์ 1 กรัม
น้ำ	= 60-100 มล./10 กรัมเศษแห้งตัดเจียร์ (ปริมาณน้ำที่ใช้ขึ้นกับความชื้นของเศษแห้งตัดเจียร์)
เจียร์)	
เวลาที่ใช้ในการสกัดโครเมียม	= 4 ชั่วโมง
อุณหภูมิที่เหมาะสม	= อุณหภูมิห้อง
ความเข้มข้นของกรดซัลฟูริก	= 1:4 (ปริมาณของกรดซัลฟูริก : ปริมาณน้ำ)

จากการศึกษาการนำกลับโปรตีนและโครเมียมด้วยอุปกรณ์อย่างง่ายภายในโรงงานฟอกหนังขนาดเล็กที่มีปริมาณ 100 ฟืนหนังดิบ/วัน และมีเศษแห้งตัดเจียร์ 130 กิโลกรัม/วัน โดยต้นทุนทั้งหมดในการประกอบเครื่องมือประมาณ 170,000 บาท และต้นทุนการดำเนินงานและการดูแลรักษาเครื่องมือต่อปีประมาณ 252,000 บาท และจากการวิเคราะห์ต้นทุน-กำไรของกระบวนการดังกล่าวข้างต้นพบว่า เมื่อพิจารณาการนำโปรตีนและโครเมียมที่ได้ในทางเลือกที่ 1 ช่วงเวลาชำระหนี้เป็น 5 ปีหรือมากกว่า ส่วนทางเลือกที่ 2 จะใช้เวลาการชำระหนี้เป็น 3, 5 และ 7 ปี เนื่องจากผลกำไรจากการขายสูงกว่า (รายละเอียดแสดงในตารางที่ ข.1, ข.2) อย่างไรก็ตามทั้ง 2 วิธีนี้ควรจะได้รับการศึกษา ทดลองทั้งทางด้านเทคนิคและความเป็นไปได้ในเชิงธุรกิจก่อนดำเนินการ

เศษหนังตัดเจียร 1,000 กก.



รูปที่ ข.1 แผนภูมิกระบวนการสกัดโปรตีนและโครเมียมจากเศษหนังเจียร

ตารางที่ ข.1 ค่าความเติบโตของผลิตผลที่ได้จาก shavings 1 ตัน

รายการ	ปริมาณที่ได้ กก/shaving 1 ตัน	ราคาขายต่อหน่วย (บาท/กก)	มูลค่าของผลิตผล ทั้งหมด (บาท)
1) โครเมียมที่ได้ในรูปของสารละลายโครเมียมซัลเฟตหรือในรูปของเกลือโครเมียมซัลเฟต	10	20 (80% ของราคาในท้องตลาด)	200
2) โปรตีนในอาหารปลา (50% โปรตีน)..ทางเลือกที่ 1	268	14* (26**)	6,968***
3) โปรตีนสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมผลิตถั่ว..ทางเลือกที่ 2	(-268)	30 (80% ของราคาในท้องตลาด)	(-8,040)
4) กากที่เหลือใช้ในรูปของปุ๋ยอินทรีย์ในโครงการสำหรับพืชที่กินไม่ได้	78	8.5 (50% ของราคาในท้องตลาด)	663
รวม (ทางเลือกที่ 1):			7,831
รวม (ทางเลือกที่ 2):			8,903

- หมายเหตุ:
- \* ราคาต่อหน่วยของอาหารปลาที่มีโปรตีน 50% = 16 บาท/กก. ในที่นี้ราคาของโปรตีนที่ได้เป็น 80% ของราคาอาหารปลา
  - \*\* รายได้สุทธิของอาหารบดที่มีโปรตีน 50% หรือ 16 บาท/กก. โปรตีนที่ได้
  - \*\*\* มูลค่ารวม = 268 กก x 26 บาท/กก.

ตารางที่ ข.2 การประเมินค่าต้นทุน/กำไรในระบบการนำ shavings กลับมาใช้ประโยชน์

รายการ	ทางเลือกที่ 1*	ทางเลือกที่ 1*	ทางเลือกที่ 2*	ทางเลือกที่ 2*
	บาท/ปี	บาท/ปี	บาท/ปี	บาท/ปี
	ดอกเบี้ย 7%	ดอกเบี้ย 10%	ดอกเบี้ย 7%	ดอกเบี้ย 10%
รายรับ, ต่อปี	305,409	305,409	347,217	347,217
รายจ่าย, ต่อปี***				
ด้านการดำเนินงาน และการดูแลรักษา	252,690	252,690	252,690	252,690
ระยะเวลาการชำระหนี้ 3 ปี	64,780	68,370	64,780	68,370
ระยะเวลาการชำระหนี้ 5 ปี	41,487	44,853	41,487	44,853
ระยะเวลาการชำระหนี้ 7 ปี	31,625	34,925	31,625	34,925
ผลกำไร****				
ระยะเวลาการชำระหนี้ 3 ปี	-12,061	-15,651	29,747	26,157
ระยะเวลาการชำระหนี้ 5 ปี	11,232	7,866	53,040	49,674
ระยะเวลาการชำระหนี้ 7 ปี	21,094	17,794	62,902	59,602

หมายเหตุ: \* ทางเลือกที่ 1 = โครเมียม+โปรตีน+ปุ๋ย

\*\* ทางเลือกที่ 2 = โครเมียม+กาว+ปุ๋ย

\*\*\* ค่ามวนจากสมการดังแสดงข้างต้น

\*\*\*\* กำไร = รายรับ - รายจ่าย

## ภาคผนวก ก.

### การหมุนเวียนโครเมียมจากน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมฟอกหนัง

จากการศึกษาเรื่องการหมุนเวียนใช้โครเมียมจากน้ำทิ้งในอุตสาหกรรมฟอกหนังของภาค วิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย (2536) โดยทดสอบเดินระบบโรง ทดลองนำร่องที่สภาวะต่างๆ พบว่าการตกตะกอนฟล็อกโครเมียมด้วย MgO และแยกน้ำจากตะกอน ฟล็อกโดยทิ้งให้ตกตะกอน 1 ชม. เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุด ทั้งในน้ำเสียที่มีและไม่มีสารช่วยตรึง โครเมียมโดยสามารถนำกลับโครเมียมได้เฉลี่ย 75.9 และ 64.8% (ผลจากการวิเคราะห์ในห้อง ปฏิบัติการ) ซึ่งการเดินระบบในภาวะทั้ง 2 นี้พบว่าสามารถเดินระบบได้ดี ง่ายต่อการควบคุมดูแล และสารละลายโครเมียมที่นำกลับมาใช้ใหม่นี้ไม่มีผลกระทบต่อคุณภาพหนังผลิตภัณฑ์

เมื่อพิจารณาทางด้านเศรษฐศาสตร์พบว่าการใช้ MgO ในน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียม ไม่เหมาะสม เนื่องจากน้ำทิ้งจากการฟอกโครมมีปริมาณโครเมียมต่ำ เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำเสียที่ไม่ มีสารช่วยตรึงโครเมียม โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,541 และ 3,070 มก./ล. ตามลำดับ ดังนั้นค่าใช้จ่ายใน การนำกลับโครเมียมในน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงด้วยระบบนำกลับนี้จึงไม่เหมาะสม แต่ถ้าเป็นน้ำเสีย ที่ไม่มีสารช่วยตรึงพบว่าจะสามารถใช้ระบบการนำกลับโครเมียมได้กำไร 2.28 – 16.38% และคุ้ม ทุนที่ระยะ 3-7 ปี ขึ้นกับการลงทุนในการก่อสร้างระบบนำกลับ ซึ่งถ้าโรงงานฟอกหนังสามารถก่อสร้างระบบนำกลับได้เอง จะสามารถลดเงินทุนได้มาก จะเป็นผลให้ระยะเวลาคุ้มทุนลดลงและมีผล กำไรเพิ่มขึ้น

การทดสอบการนำกลับโครเมียมด้วยโรงทดลองนำร่องนี้ได้ศึกษาผลของสารเคมีที่จะ สะสมในน้ำฟอกโครมและมีผลกระทบต่อคุณภาพหนังผลิตภัณฑ์ด้วย โดยวิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนทั้ง หมด น้ำมันและไขมัน คลอไรด์ เหล็ก และความเป็นด่าง (basicity) ซึ่งพบว่าปริมาณสารต่างๆดังกล่าวไม่ได้เพิ่มสะสมในสารละลายโครเมียมที่นำกลับได้ และจากการศึกษาของผู้เชี่ยวชาญชาว เยอรมัน พบว่าคุณภาพหนังไม่เปลี่ยนแปลงจากการใช้โครมสดทั้งหมด

ผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์โดยการหาอัตราผลตอบแทนลงทุน มีดังนี้ :-

จากการศึกษาการเดินทางระบบโรงทดลองนำร่องโดยใช้ MgO ในน้ำเสียที่มีและไม่มีสาร ช่วยตรึงโครเมียม และวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์โดยวิธีการหาอัตราผลตอบแทนลงทุนสำหรับ กรณีโรงฟอกหนังบูราร์กซ์ พบว่าสำหรับระบบการนำโครเมียมที่ใช้เงินลงทุน 1,310,483 บาท ที่ อัตราดอกเบี้ย 10% และ 15.5% ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้ คือ

#### 1. น้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม

ก. เงินลงทุน 1,310,483 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 10%

อัตราดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นศูนย์เท่ากับ 17.43% หมายความว่าภายใน ระยะเวลา 5 ปี อัตราผลตอบแทนซึ่งเกินจากดอกเบี้ยมาตรฐานเท่ากับ 7.43 (สามารถคืนทุนได้ที่ ระยะเวลา 5 ปี) รายละเอียดแสดงในตารางที่ ก.1

ข. เงินลงทุน 1,310,483 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 15.5%

อัตราดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นศูนย์เท่ากับ 17.78% หมายความว่าภายในระยะเวลา 7 ปี อัตราผลตอบแทนซึ่งเกินจากดอกเบี้ยมาตรฐานเท่ากับ 2.28 (สามารถคืนทุนได้ที่เวลา 7 ปี) รายละเอียดแสดงในตารางที่ ค.2

สำหรับกรณีการเดินระบบโรงทดลองนำร่องของน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมนี้ พบว่าจะสามารถคืนทุนในเวลา 5-7 ปี หรือกำไร 2.28 – 7.43 % ขึ้นกับอัตราดอกเบี้ย

อย่างไรก็ตามเราสามารถลดจำนวนเครื่องมือและอุปกรณ์ในโรงทดลองนำร่องจากของเดิมได้อีก (ไม่มีเครื่องรีดน้ำออกจากสลัดจ์ และใช้ถังตกตะกอนถังเดียว ไม่มีถังละลายตะกอน) ทั้งนี้เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบ ซึ่งมีผลทำให้เงินลงทุนแรกเริ่มลดลงจาก 1,310,483 บาท เป็น 903,648 บาท ดังนั้นภายในระยะเวลา 3 ปี จะสามารถคืนทุน เมื่อคำนวณที่อัตราดอกเบี้ยเงินลงทุน 10% อัตราผลตอบแทนซึ่งเกิดจากดอกเบี้ยมาตรฐานเท่ากับ 16.3 % หรือกำไรเป็นอัตราร้อยละ 16.38 (ตารางที่ ค.3 ) และเมื่อคิดที่อัตราดอกเบี้ยลงทุน 15.5 % อัตราดอกเบี้ยที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันสุทธิเป็นศูนย์เท่ากับ 19.07% หมายความว่า ภายในระยะเวลา 3 ปี อัตราผลตอบแทนเกินจากดอกเบี้ยมาตรฐาน 3.57% หรือกำไรเป็นอัตราร้อยละ 3.7 (ตารางที่ ค.

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในกรณีน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม จะสามารถใช้ระบบการนำกลับโครเมียมได้ผลกำไร 2.28 – 16.38% และคืนทุนที่ระยะเวลา 3 – 7 ปี ขึ้นกับเงินลงทุนในการก่อสร้างระบบนำกลับ ได้เองซึ่งจะสามารถลดเงินลงทุนได้มาก จะเป็นผลให้ระยะเวลาคืนทุนลดลงและมีผลกำไรเพิ่มขึ้นอีก

**2. น้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียม**

สำหรับการนำกลับโครเมียมจากน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงพบว่าไม่มีผลคืนทุนเนื่องจากโครเมียมที่นำกลับได้มีปริมาณน้อยมาก ซึ่งผลการวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโรงทดลองนำร่องแสดงในตารางที่ ค.5 ในกรณีน้ำเสียที่มีสารช่วยตรึงโครเมียมซึ่งมีโครเมียมในน้ำเสียต่ำกว่ากรณีที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียมประมาณ 50% จึงทำให้โครเมียมที่นำกลับได้ต่ำและไม่คืนทุนทางด้านเศรษฐศาสตร์

อย่างไรก็ตาม แม้วิธีการนำกลับโครเมียมในลักษณะนี้จะไม่คืนทุน แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่พึงมี และปัญหาจากการปล่อยทิ้งโครเมียมลงสู่สิ่งแวดล้อม โดยไม่มีการควบคุมดังที่ทำอยู่ในขณะนี้แล้ว การนำกลับโครเมียมก็เป็นสิ่งจำเป็นที่มีอาจหลีกเลี่ยงได้

แต่ถ้าโรงงานดำเนินการก่อสร้างระบบฯ เอง จะเสียค่าใช้จ่ายถูกลง คาดว่าจะเป็นประมาณ 500,000 บาท ซึ่งหากมีดอกเบี้ย 10% และ 15% จะคืนทุนได้ภายใน 2 ปี ดูตารางที่ ค. 6 และ ค. 7



ตารางที่ ค.1 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยเงินลงทุน 1,310,483 บาท ใช้อัตราดอกเบี้ย 10 %  
การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโรงหมอลดน้ำอ้อย

กรณีศึกษา : การลดต้นทุนด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ สำหรับบ้านสีที่ไม่มีสารช่วยยวโรแกรมเมียม

อัตราการผลิต :	3,228 สับหนักต่อปี
ปริมาณสารฟอสโฟโรแกรมเมียม (BCS) :	98.4 สับต่อปี
<b>เงินลงทุนของโรงหมอลดน้ำอ้อย</b>	<b>1,310,483 บาท</b>
<b>ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :</b>	
- ค่าบำรุงรักษา	57,640 บาท
- ค่าสารเคมี	98,903 บาท
- ค่าไฟฟ้า	8,522 บาท
- ค่าน้ำ	323 บาท
- ค่าแรงงาน	51,688 บาท
<b>รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :</b>	<b>217,076 บาท</b>
<b>ผลประโยชน์ (10 % ของเงินลงทุน)</b>	<b>131,048 บาท</b>
<b>รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดประจำปี :</b>	<b>348,124 บาท</b>
<b>รายได้ประจำปี :</b>	
- มูลค่าของสารฟอสโฟโรแกรมเมียมในรูปของสารฟอสโฟโรแกรมเมียม ที่นำกลับมาได้ 15.78 สับ @ 21,000 บาทต่อสับ	331,380 บาท
- ประสิทธิภาพใช้สารฟอสโฟโรแกรมเมียม 12.3 สับ @ 98,000 บาทต่อสับ	1,205,400 บาท
- ลดการใช้สารฟอสโฟโรแกรมเมียมในกระบวนการหมอลดน้ำอ้อย 35.9 สับ @ 21,000 บาทต่อสับ	(774,900)บาท
<b>รวมรายได้ทั้งหมดประจำปี :</b>	<b>761,880 บาท</b>
<b>กำไรสุทธิ :</b>	<b>413,756 บาท</b>

การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุนของโรงหมอลดน้ำอ้อย

แนวทาบเส้นที่ 1 : ใช้อัตราดอกเบี้ย 10 %

ปี	การเฉลี่ยเงินลงทุนสุทธิ	อัตราดอกเบี้ย = 0.15		อัตราดอกเบี้ย = 0.2		อัตราดอกเบี้ย = 0.1743	
		อัตราส่วน	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วน	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วน	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน
0	1,310,483						
1	413,756	0.86956521	359,788	0.83333333	344,797	0.85157114	352,343
2	413,756	0.75614366	312,859	0.69444444	287,331	0.72517342	300,045
3	413,756	0.65751623	272,051	0.57870370	239,442	0.61753676	255,510
4	413,756	0.57175324	236,566	0.48225308	199,535	0.52587649	217,585
5	413,756	0.49717673	205,710	0.40187757	166,279	0.44782124	185,269
รวมทั้งหมด			1,386,974		1,237,384		1,310,770
อัตราส่วน = $\frac{\text{มูลค่าปัจจุบันทั้งหมด}}{\text{การลงทุนแรกเริ่ม}}$			1.06		0.94		1.00

ตารางที่ ค.2 การวิเคราะห์เงินลงทุนด้วยต้นทุน 1,310,483 บาท ให้อัตราดอกเบี้ย 15.5 %

การวิเคราะห์เงินลงทุนด้วยต้นทุนของโครงการขนานวอ

กรณีศึกษา : การศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ของโรงเรียนขอนแก่นวิทยายน

อัตราการผลตอบแทน : 3,228 พันบาทต่อปี

ปริมาณสารฟอสโฟไรต์ (BCS) : 98.4 พันตัน

เงินลงทุนของโครงการ : 1,310,483 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :

- ค่าบำรุงรักษา : 57,640 บาท

- ค่าสารเคมี : 98,903 บาท

- ค่าไฟฟ้า : 8,522 บาท

- ค่าอื่น : 323 บาท

- ค่าแรงงาน : 51,688 บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี : 217,076 บาท

ผลประโยชน์ (15.5 % ของเงินลงทุน) : 203,125 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดประจำปี : 420,201 บาท

รายได้ประจำปี :

- มูลค่าของสารฟอสโฟไรต์ในรูปของสารฟอสโฟไรต์  
ที่นำกลับมาใช้ 15.78 ตัน @ 21,000 บาทต่อตัน : 331,380 บาท

- ระยะเวลาที่ใช้สารฟอสโฟไรต์  
12.3 ตัน @ 98,000 บาทต่อตัน : 1,205,400 บาท

- ระยะเวลาที่ใช้สารฟอสโฟไรต์ในกระบวนการผลิต  
36.9 ตัน @ 21,000 บาทต่อตัน : (774,900)บาท

รวมรายได้ทั้งหมดประจำปี : 761,880 บาท

กำไรสุทธิ : 341,679 บาท

การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุนของโครงการขนานวอ

แนวหารเลือกที่ 2 : ให้อัตราดอกเบี้ย 15.5 %

ปี	กระแสเงินสดสุทธิ	อัตราดอกเบี้ย = 0.15		อัตราดอกเบี้ย = 0.2		อัตราดอกเบี้ย = 0.1778	
		อัตราส่วนผล	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนผล	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนผล	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน
0	1,310,483						
1	341,679	0.86956521	297,112	0.83333333	284,733	0.84904058	290,099
2	341,679	0.75614366	258,358	0.69444444	237,277	0.72086991	246,306
3	341,679	0.65751623	224,659	0.57870370	197,731	0.61204781	209,124
4	341,679	0.57175324	195,356	0.48225308	164,776	0.51965343	177,555
5	341,679	0.49717673	169,875	0.40187757	137,313	0.44120685	150,751
6	341,679	0.43232759	147,717	0.33489797	114,428	0.37460252	127,994
7	341,679	0.37593703	128,450	0.27908164	95,356	0.31805274	108,672
รวมทั้งหมด			1,421,528		1,231,613		1,310,501
อัตราส่วนมูลค่าปัจจุบันทั้งหมดการลงทุนแรกเริ่ม			1.08		0.94		1.00

ตารางที่ ค.3 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยเงินลงทุน 903,648 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 10 %

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโรงทดลองน้ำร้อน

กรณีศึกษา : การศึกษาของหน่วยแอมมิเอียมออกไซด์ สำหรับน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม

อัตราการผลตอบแทน: 3,228 พันบาทต่อบทปี  
ปริมาณสารฟอกโครเมียมดีไอ (BCS) : 98.4 พันต่อปี

เงินลงทุนของโรงทดลองน้ำร้อน 903,648 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :

- ค่าบำรุงรักษา 41,487 บาท  
- ค่าสารเคมี 98,903 บาท  
- ค่าไฟฟ้า 6,643 บาท  
- ค่าน้ำ 323 บาท  
- ค่าแรงงาน 51,688 บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี : 199,044 บาท

ดอกเบี้ย (10 % ของเงินลงทุน) 90,365 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดประจำปี : 289,409 บาท

รายได้ประจำปี :

- มูลค่าของสารฟอกโครเมียมในรูปของสารฟอกโครเมียม  
ที่นำกลับมาได้ 15.78 ตัน @ 21,000 บาทต่อตัน 331,380 บาท  
- ประสิทธิภาพการใส่สารฟอสเฟต  
12.3 ตัน @ 98,000 บาทต่อตัน 1,205,400 บาท  
- ผลการใส่สารฟอกโครเมียมในกระบวนการฟอก  
36.9 ตัน @ 21,000 บาทต่อตัน (774,900)บาท

รวมรายได้ทั้งหมดประจำปี : 761,880 บาท

กำไรสุทธิ : 472,471 บาท

การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุนของโรงทดลองน้ำร้อน

แบบหาผลกำไร 3 : ใช้อัตราดอกเบี้ย 10 %

ปี	กระแสเงินสดสุทธิ	อัตราดอกเบี้ย = 0.15		อัตราดอกเบี้ย = 0.1		อัตราดอกเบี้ย = 0.2638	
		อัตราส่วนออก	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนออก	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนออก	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน
0	903,648						
1	472,471	0.86956521	410,844	0.90909090	429,519	0.79126444	373,850
2	472,471	0.75814366	357,256	0.82644628	390,472	0.62609941	295,814
3	472,471	0.65751623	310,657	0.75131480	354,974	0.49541020	234,067
		รวมทั้งหมด	1,078,758	รวมทั้งหมด	1,174,965	รวมทั้งหมด	903,730
อัตราส่วน = $\frac{\text{มูลค่าปัจจุบันทั้งหมด}}{\text{การลงทุนแรกเริ่ม}}$		=	1.19		1.30		1.00

ตารางที่ ค.4 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยเงินลงทุน 903,648 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 15.5 %

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโรงกลั่นน้ำตาล

กรณีศึกษา : การตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ สำหรับน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยยวโคโรมิยม

อัตราการผลตอบแทน: 3,228 พันหนึ่งสิบต่อปี  
ปริมาณสารฟอกโคโรมิย (BCS) : 98.4 พันต่อปี

เงินลงทุนของโรงกลั่นน้ำตาล \* 903,648 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :

- ค่าบำรุงรักษา 41,487 บาท  
- ค่าสารเคมี 98,903 บาท  
- ค่าไฟฟ้า 6,643 บาท  
- ค่าน้ำ 323 บาท  
- ค่าแรงงาน 51,688 บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี : 199,044 บาท

ดอกเบี้ย (15.5 % ของเงินลงทุน) 140,065 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดประจำปี : 339,109 บาท

รายได้ประจำปี :

- มูลค่าของสารฟอกโคโรมิยในรูปของสารฟอกโคโรมิย  
ที่นำกลับมาได้ 15.78 พัน @ 21,000 บาทต่อตัน 331,380 บาท  
- ประสิทธิภาพใช้สารฟอกโคโรมิย  
12.3 พัน @ 98,000 บาทต่อตัน 1,205,400 บาท  
- ผลการใช้สารฟอกโคโรมิยในกระบวนการฟอก  
36.9 พัน @ 21,000 บาทต่อตัน (774,900)บาท

รวมรายได้ทั้งหมดประจำปี : 761,880 บาท

กำไรสุทธิ : 422,771 บาท

การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุนของโรงกลั่นน้ำตาล

แนวทางเลือกที่ 4 : ใช้อัตราดอกเบี้ย 15.5 %

ปี	กระแสเงินสดสุทธิ	อัตราดอกเบี้ย = 0.15		อัตราดอกเบี้ย = 0.11		อัตราดอกเบี้ย = 0.1907	
		อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน
0	903,648						
1	422,771	0.86956521	367,627	0.90090090	380,875	0.83984210	355,061
2	422,771	0.75614366	319,676	0.81162243	343,130	0.70533476	298,195
3	422,771	0.65751623	277,979	0.73119138	309,127	0.59236984	250,437
		รวมทั้งหมด	965,281	รวมทั้งหมด	1,033,132	รวมทั้งหมด	903,693
อัตราส่วน	มูลค่าปัจจุบันทั้งหมด การลงทุนแรกเริ่ม		1.07		1.14		1.00

ตารางที่ ค.5 การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยเงินลงทุน 1,310,483 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 10 %  
การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโรงพยาบาลนำร่อง

กรณีศึกษา : การคาดคะเนด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ สำหรับน้ำดื่มที่มีสารช่วยคงไตเทียม

อัตราการฟอกหนัง :	3,228 คันพนักปี
ปริมาณสารฟอกโครมาตี (BCS) :	61.5 คันต่อปี
<b>เงินลงทุนของโรงพยาบาลนำร่อง</b>	<b>1,310,483 บาท</b>
<b>ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :</b>	
- ค่าบำรุงรักษา	57,540 บาท
- ค่าสารเคมี	60,600 บาท
- ค่าไฟฟ้า	8,522 บาท
- ค่าน้ำ	323 บาท
- ค่าแรงงาน	51,688 บาท
<b>รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :</b>	<b>178,773 บาท</b>
<b>ดอกเบี้ย (10 % ของเงินลงทุน)</b>	<b>131,048 บาท</b>
<b>รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดประจำปี :</b>	<b>309,821 บาท</b>
<b>รายได้ประจำปี :</b>	
- มูลค่าของสารฟอกโครมาตีในรูปของสารฟอกโครมาตี ที่จ่ายเข้ามาได้ 3.81 คัน @ 21,000 บาทต่อคัน	80,010 บาท
<b>ขาดทุนสุทธิ :</b>	<b>229,811 บาท</b>

ตารางที่ค.6การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยเงินลงทุน 500,000 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 10 %

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโรงหมอลดน้ำรอล

กรณีศึกษา : การตกตะกอนด้วยแมกนีเซียมออกไซด์ จำนวนน้ำเสียที่ไม่มีสารช่วยตรึงโครเมียม

อัตราการผลิต : 3,228 ตันแห้งดิบต่อปี  
 ปริมาณสารฟล็อกโคบาล์ (BCS) : 98.4 ตันต่อปี

เงินลงทุนของโรงหมอลดน้ำรอล 500,000 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :

- ค่าบำรุงรักษา 41,487 บาท  
 - ค่าสารเคมี 98,903 บาท  
 - ค่าไฟฟ้า / 6,643 บาท  
 - ค่าน้ำ 323 บาท  
 - ค่าแรงงาน 51,688 บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี : 199,044 บาท

ดอกเบี้ย (10 % ของเงินลงทุน) 50,000 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดประจำปี : 249,044 บาท

รายได้ประจำปี :

- มูลค่าของสารฟล็อกโคบาล์ในรูปของสารฟล็อกโคบาล์  
 ที่นำกลับมาได้ 15.78 ตัน @ 21,000 บาทต่อตัน 331,380 บาท  
 - ประหยัดการใช้สารเพื่อเติม  
 12.3 ตัน @ 98,000 บาทต่อตัน 1,205,400 บาท  
 - ลดการใช้สารฟล็อกโคบาล์ในกระบวนการหมอลดน้ำ  
 36.9 ตัน @ 21,000 บาทต่อตัน (774,900)บาท

รวมรายได้ทั้งหมดประจำปี : 761,880 บาท

กำไรสุทธิ : 512,836 บาท

การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุนของโรงหมอลดน้ำรอล

แนวทางเงื่อนไข 1 : ใช้อัตราดอกเบี้ย 10 %

ปี	กระแสเงินสดสุทธิ	อัตราดอกเบี้ย = 0.15		อัตราดอกเบี้ย = 0.1		อัตราดอกเบี้ย = 0.0648	
		อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน
0	500,000						
1	512,836	0.86956521	445,944	0.90909090	466,215	0.60679611	311,187
2	512,836	0.75614366	387,778	0.82644628	423,831	0.36820152	188,827
		รวมทั้งหมด	833,722	รวมทั้งหมด	890,046	รวมทั้งหมด	500,014
อัตราส่วน	$\frac{\text{มูลค่าปัจจุบันทั้งหมด}}{\text{การลงทุนแรกเริ่ม}}$		1.67		1.78		1.00

ตารางที่ ค. การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ด้วยเงินลงทุน 500,000 บาท ที่อัตราดอกเบี้ย 15 %

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์ของโรงหกลอขนำร่อง

กรณีศึกษา : การตกตะกอนด้วยแอมกนีเซียมออกไซด์ ลำห้วยน้ำเขียวที่ไม่มีสารช่วยตรึงโคลนเมียม

อัตราการผลิต : 3,228 ตันแห้งดิบต่อปี  
 ปริมาณสารฟล็อกโคมที่ใช้ (BCS) : 98.4 ตันต่อปี

เงินลงทุนของโรงหกลอขนำร่อง 500,000 บาท

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี :

- ค่าบำรุงรักษา 41,487 บาท  
 - ค่าสารเคมี 98,903 บาท  
 - ค่าไฟฟ้า 6,643 บาท  
 - ค่าน้ำ 323 บาท  
 - ค่าแรงงาน 51,688 บาท

รวมค่าใช้จ่ายในการดำเนินการประจำปี : 199,044 บาท

ดอกเบี้ย (15 % ของเงินลงทุน) 75,000 บาท

รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมดประจำปี : 274,044 บาท

รายได้ประจำปี :

- มูลค่าของสารฟล็อกโคมในรูปของสารฟล็อกโคม  
 ที่นำกลับมาได้ 15.78 ตัน @ 21,000 บาทต่อตัน 331,380 บาท  
 - ประหยัดการใช้สารเฟอซีเดียม  
 12.3 ตัน @ 98,000 บาทต่อตัน 1,205,400 บาท  
 - ลดการใช้สารฟล็อกโคมในกระบวนการฟล็อก  
 36.9 ตัน @ 21,000 บาทต่อตัน (774,900)บาท

รวมรายได้ทั้งหมดประจำปี : 761,880 บาท

กำไรสุทธิ : 487,836 บาท

การวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนการลงทุนของโรงหกลอขนำร่อง

แนวทางเลือกที่ 2 : ใช้อัตราดอกเบี้ย 15 %

ปี	กระแสเงินสดสุทธิ	อัตราดอกเบี้ย = 0.15		อัตราดอกเบี้ย = 0.1		อัตราดอกเบี้ย = 0.0589	
		อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน	อัตราส่วนลด	มูลค่าเทียบเท่าปัจจุบัน
0	500,000						
1	487,836	0.86956521	424,205	0.90909090	443,487	0.62932662	307,008
2	487,836	0.75614366	368,874	0.82644628	403,170	0.39605199	193,208
	รวมทั้งหมด		793,079	รวมทั้งหมด	846,658	รวมทั้งหมด	500,217
อัตราส่วน	มูลค่าปัจจุบันทั้งหมดการลงทุนแรกเริ่ม		1.59		1.69		1.00