

ต้นฉบับ หน้าขาดหาย

3.1.3 อัตรากำลังผลิต

อัตรากำลังการผลิตลวดเหล็กทนแรงดึงสูง แสดงดังตารางที่ ง.1 ภาคผนวก ง.

3.1.4 กระบวนการผลิต

กระบวนการผลิตลวดทนแรงดึงสูงสำหรับงานคอนกรีตอัดแรง ชนิดเส้นเดี่ยว มีขั้นตอนการผลิตตามลำดับ

3.1.4.1 กระบวนการขจัดสนิมเหล็ก

นำวัตถุที่ใช้ (Wire rod) ซึ่งเป็นเหล็กลวด PIANO WIRE ROD ชั้นคุณภาพ SWRS 77 BP มาทำความสะอาดผิว โดยแช่ลงในบ่อน้ำกรดเกลือ (Hydrochloric acid) ซึ่งเรียกบ่อบรรจุ pickling acid (แสดงดังรูปที่ 3.1.4.2) ใช้ในกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก โดยบ่อที่บรรจุ pickling acid แบ่งออกเป็น 3 บ่อบรรจุ Hydrochloric acid ที่มีความเข้มข้น แตกต่างกันคือ 15% 8% และ 5% ตามลำดับ โดยทำการจุ่มชิ้นงานในบ่อที่มีความเข้มข้นต่ำสุดก่อน ตามด้วยความเข้มข้นปานกลางและความเข้มข้นสูงสุด (15%) ตามลำดับ

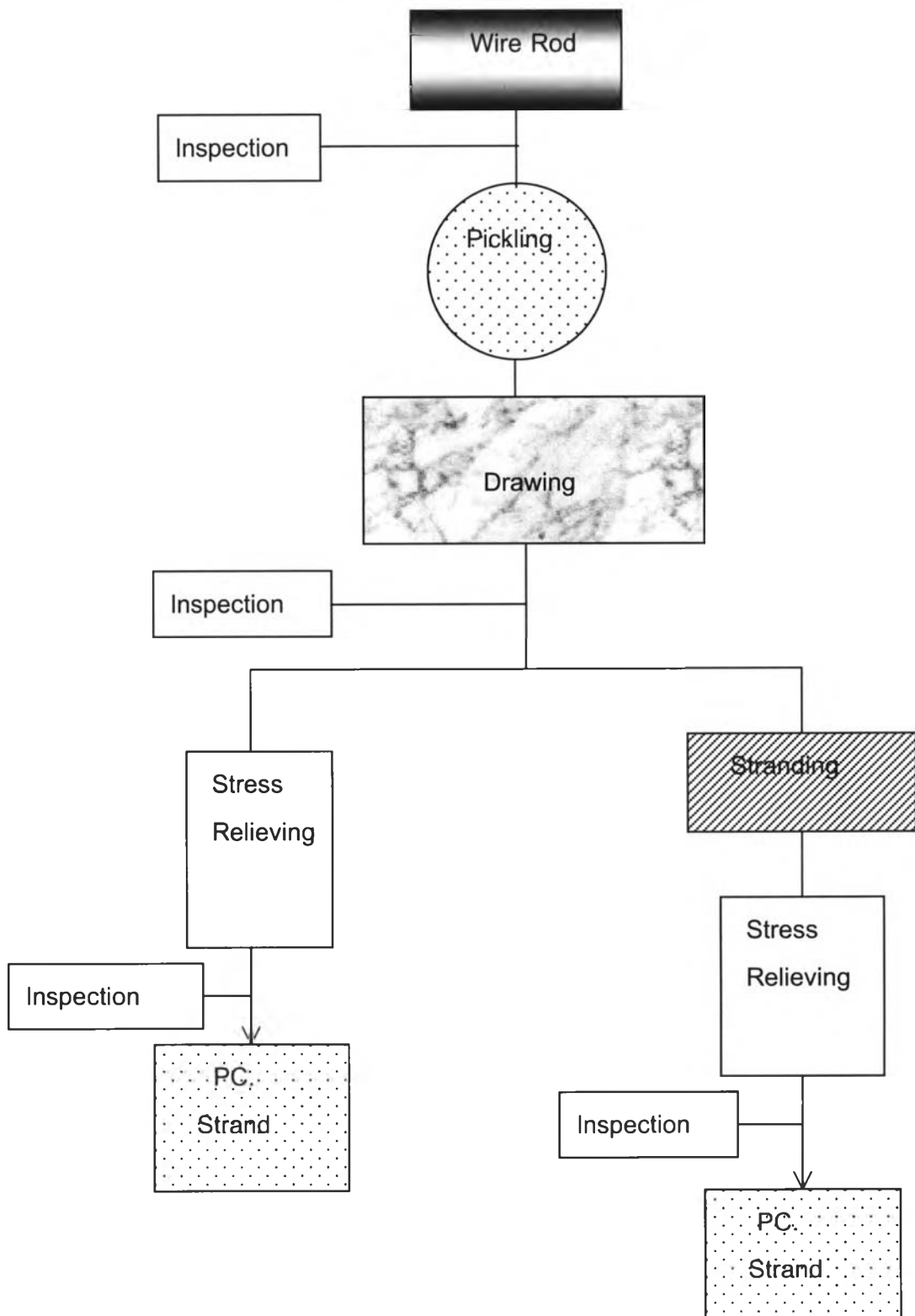
3.1.4.2 การเตรียมชิ้นงานก่อนเข้าเครื่องรีด

นำชิ้นงาน (ลวดเหล็ก) ที่ผ่านกระบวนการกำจัดสนิมเหล็ก ล้างด้วยน้ำสะอาดแล้ว ชุบเคลือบผิวด้วยสารช่วยหล่อลื่นในการรีด ได้แก่ผงหินปูนและน้ำสบู่

3.1.4.3 DRAWING UNIT

นำลวดมารีดให้มีขนาดเล็กลงด้วยเครื่องรีด (DRAWING MACHINE) โดยให้มีขนาดพื้นที่หน้าตัดเล็กลงตามขนาดที่ต้องการผลิตของลูกค้า และมีคุณสมบัติทางกลสูง

3.1.4.4 STRFSS RELIVING UNIT



รูปที่ 3.1.4 แสดงกระบวนการผลิตเส้นลวดทนแรงดึงสูง

นำลวดที่ผ่านการรีดมาทำการคลายแรง โดยนำมาตัดให้ตรง แล้วผ่านความร้อนที่อุณหภูมิวิกฤติ เพื่อให้ลวดที่ผลิตได้มีคุณสมบัติตามมาตรฐานทุกประการ

3.1.5 แหล่งที่มาของน้ำเสีย

3.1.5.1 Pickling Tank

น้ำกรดเกลือ (HCl) เมื่อถูกใช้งานจนปริมาณความเข้มข้นของกรดลดน้อยลงแล้ว จะทำการปล่อยตะกอนออก และเติมกรดเพิ่มเติมเพื่อใช้ทำความสะอาดชิ้นงานได้ต่อไป ส่วนน้ำกรดที่มีไอออนของเหล็กปนเปื้อนอยู่ จะปล่อยออกไปเก็บไว้ใน Acid waste water tank เพื่อทำการบำบัดต่อไป โดยปกติมีปริมาณเฉลี่ย 0.12 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

Ordinary Waste water Tank เป็นน้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดผิวลวดที่ผ่านการแช่ด้วยกรดเกลือมาแล้ว เพื่อให้ปฏิกิริยาการกัดกร่อนของกรดหมดไปจากผิวลวดและทำให้ผิวลวดสะอาด น้ำที่ใช้ล้างลวดแล้วซึ่งยังมีคุณสมบัติคืออยู่ จะทำการสูบและอัดด้วยแรงดันสูงส่งเข้าไปล้างลวดทางด้านกันบ่อตลอดเวลา โดยได้สัมผัสกับผิวลวดโดยตรง ทำให้ล้างลวดได้สะอาดยิ่งขึ้นก่อนปล่อยให้ไหลลงสู่ ordinary waste water tank ของระบบกำจัดน้ำเสียต่อไป โดยเฉลี่ยน้ำทิ้งส่วนนี้ประมาณ 7 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

3.1.5.2 Drawing Unit

น้ำที่ใช้ในการรีดนี้เป็นน้ำที่ใช้ระบายความร้อนภายในเครื่องรีดเท่านั้น (Internal Cooling System) น้ำไม่ได้สัมผัสกับลวดที่ถูกรีดแต่อย่างใด น้ำที่ใช้ระบายความร้อนแล้วจะนำไปทำให้เย็นด้วย cooling tower แล้วนำมาหมุนเวียนกลับมาใช้ระบายความร้อนภายในเครื่องจักรตลอดเวลา จึงไม่มีน้ำทิ้งจากกระบวนการนี้

3.1.5.3 Stress Relieving Unit

น้ำที่ใช้ในกระบวนการนี้ เป็นน้ำระบายความร้อนลวดซึ่งใช้เป็นระบบหมุนเวียน (Circulation system) หลังจากระบายความร้อนลวดแล้วจะทำให้น้ำเย็น

ลงด้วย cooling tower แล้วผ่านการกรองก่อนส่งกลับไปใช้งานที่กระบวนการ Stress Relieving จึงไม่มีน้ำจากหน่วยงานนี้

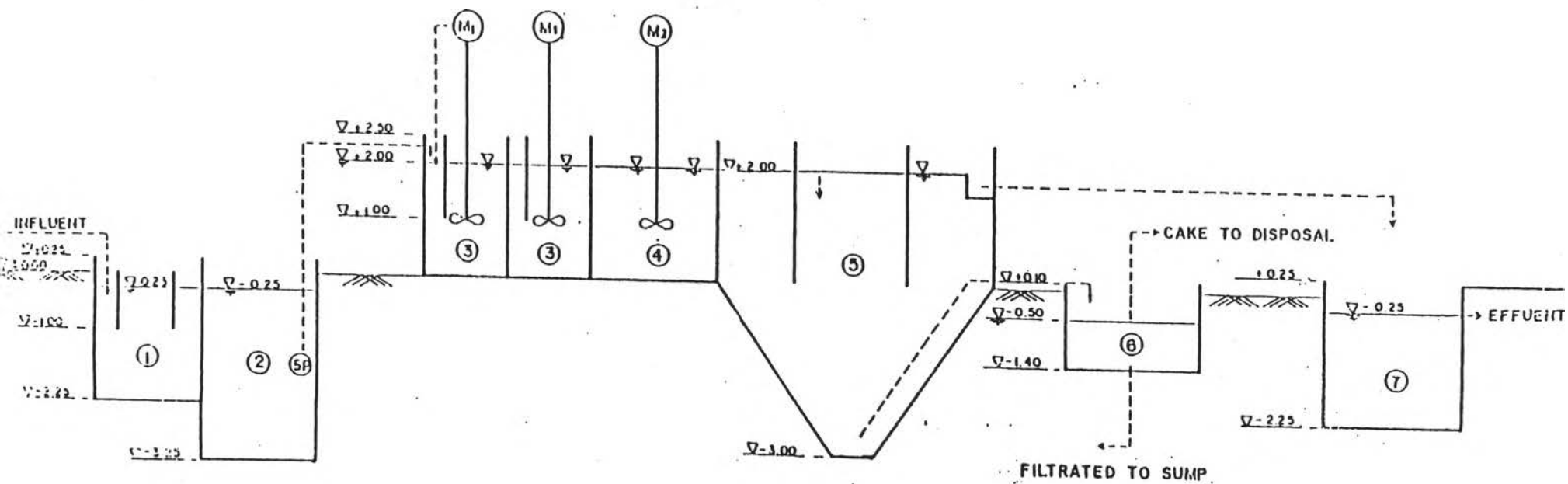
3.1.5.4 ระบบ HCl-gas scrubber

น้ำที่ใช้สำหรับ Scrubbing ไอกรดจะถูกสูบจากส่วนล่างของตัว Scrubber ซึ่งออกแบบไว้เป็นถังพักน้ำ ขึ้นไปดูดซับไอกรดทางด้านบนแล้วตกลงสู่ส่วนด้านล่างของ Scrubber ตามเดิม หมุนเวียนเช่นนี้ตลอดไป โดยมี treated water ที่ออกจากระบบกำจัดน้ำเสียมาคอยเติมเข้าไป เพื่อให้ น้ำในถังพักน้ำของ Scrubber สะอาดตลอดเวลา โดยให้น้ำที่ถูกซับไอกรดแล้วบางส่วนล้นออกไปทางท่อน้ำล้นประมาณ 0.45 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง ลงสู่ Ordinary waste water tank

3.1.6 ระบบบำบัดน้ำเสีย (Waste Water Treatment Plant)

บริษัทได้ออกแบบระบบบำบัดน้ำเสียไว้ให้มีความสามารถรองรับน้ำเสีย Acid waste water 0.102 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และรับน้ำเสีย Ordinary waste water ได้ 20 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง และมาจาก HCl -gas Scrubber ประมาณ 0.45 ลูกบาศก์เมตร/ชั่วโมง

Acid waste water และ Ordinary waste water จะถูกสูบเข้าไปยังบ่อบำบัดซึ่งมีเครื่องกวนและเครื่องเป่าลมช่วยในการผสมทำการ Neutralization โดยควบคุม pH ให้อยู่ระหว่าง 7 ถึง 9 ด้วย 50% โซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งในขั้นตอนนี้จะเกิดการตกตะกอนของไอออนของเหล็กให้อยู่ในรูปเฟอร์รัสไฮดรอกไซด์ แล้วเติม Kurifloc ลงในน้ำเสียก่อนปล่อยน้ำเสียเข้าสู่ถังตกตะกอน ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดของตะกอนและทำให้การตกตะกอนดีขึ้น ในขั้นตอนการตกตะกอนนี้จะใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง น้ำใสที่อยู่ส่วนบนไหลล้นออกด้านบนลงสู่บ่อกักเก็บน้ำที่ผ่านระบบบำบัดแล้ว (Treated Water Tank) และจะสูบกลับไปใช้งานที่ HCl-gas Scrubber และที่บ่อน้ำล้างลวดใน Pickling Unit ได้ต่อไป สำหรับส่วนของเหลวที่อยู่ด้านล่างของถัง จะถูกนำไปกรองตะกอนออกและทำการฝังกลบตะกอนต่อไป (แผนผังการบำบัดแสดงดังรูปที่ 3.1.6.1)



- ① = GREASE TRAP
- ② = SUMP
- ③ = RAPID MIXING TANK
- ④ = SLOW MIXING TANK
- ⑤ = SEDIMENTATION TANK
- ⑥ = SLUDGE DRYING BED
- ⑦ = TREATED TANK

HYDRAULIC PROFILE

รูปที่ 3.1.6.1 แผนผังแสดงวิธีการบำบัดน้ำเสีย



ขั้นตอนโดยละเอียดสำหรับวิธีการบำบัดน้ำเสีย

น้ำเสียที่เกิดจากแหล่งกำเนิดจากส่วนการผลิตต่าง ๆ จะถูกรวมเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสีย จะพบว่าน้ำเสียที่รวบรวมเข้าสู่ระบบบำบัดได้มาจาก บ่อกำจัดสนิมเหล็ก (Pickling) เป็นน้ำเสียปนเปื้อนกรดไฮโดรคลอริกและไอออนของธาตุเหล็ก น้ำที่ใช้ล้างทำความสะอาดชิ้นงานหลังผ่านการกำจัดสนิมเหล็กแล้ว และน้ำที่ใช้สำหรับ Scrubbing ไอกรด

สำหรับการดำเนินการบำบัดน้ำเสีย บริษัทจะใช้ระบบบำบัดทางเคมี-ฟิสิกส์ อันได้แก่

ก. การตกตะกอน (Precipitation)

เมื่อสูบน้ำเสียเข้าระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว จะทำการกวนน้ำเสียให้ผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันโดยใช้ลมและเครื่องกวน เมื่อ Homogenize แล้วจะทำการเติม 50% NaOH เพื่อ Neutralize ความเป็นกรดและเพิ่มลงไปอีกเพื่อตกตะกอน ไอออนของโลหะหนักโดยส่วนใหญ่จะเป็นไอออนเหล็ก ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ในการตกตะกอนก่อนจะอยู่ที่ค่าประมาณ 9-10

กระบวนการตกตะกอนนี้จะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ

- 1) การผสมให้สารเคมี (50% NaOH) เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำเสีย (กระบวนการกวนเร็ว) การเกิดปฏิกิริยาทำให้เกิดเป็นสารที่พร้อมจะยึดติดกัน
- 2) การทำให้สารเหล่านี้ชนกันและเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ (กระบวนการกวนช้า) มีน้ำหนักมากพอพร้อมที่จะจมลงสู่เบื้องล่าง
- 3) การปล่อยให้ น้ำนั้นนิ่งและจมตะกอนลง สารพวกโลหะหนักมักจะแยกออกจากน้ำได้ด้วยขบวนการ Precipitation โดยทำให้อยู่ในรูปที่ไม่ละลายน้ำ (Insoluble)

ข. การรวมตะกอน (Coagulation and Flocculation)

ในกรณีที่ตะกอนตกช้ามาก บางครั้งที่อัตรากำลังผลิตสูงทำให้น้ำเสียที่เข้าระบบบำบัดปริมาณสูงขึ้นไปด้วย จำเป็นต้องเร่งการตกตะกอน บริษัทจะใช้สาร

โพลีเมอร์ที่เรียกทางการค้าว่า คลอรีฟอกซ์ สำหรับช่วยเร่งการตกตะกอน คลอรีฟอกซ์เป็น ตัว Coagulant ที่เติมลงไปเพื่อลด (destabilise) แรงที่กระทำที่ผิวโดยประจุไฟฟ้า ทำให้ อนุภาคเข้าสัมผัสและรวมตัวกันให้ใหญ่ขึ้น

ขั้นตอนการทำงานคือ เมื่อเติม Coagulant ลงไปผสมกันอย่างทั่ว ถึง โดยมีเครื่องกวนเร็วอยู่ตลอดเวลา ระยะเวลาเก็บกักในถังประมาณ 1-30 วินาที จากนั้นน้ำจะถูกส่งไปเข้าถังตกตะกอน โดยมีเครื่องกวนช้าซึ่งหมุนด้วยความเร็วไม่เกิน 0.6 เมตร/วินาที ใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที สารละลายที่ได้จะมีลักษณะเป็นอนุภาคเล็ก ๆ ที่ รวมตัวกันมีขนาดใหญ่ขึ้นและตกตะกอนได้ง่าย

ค. การทำให้เป็นกลาง (Neutralization)

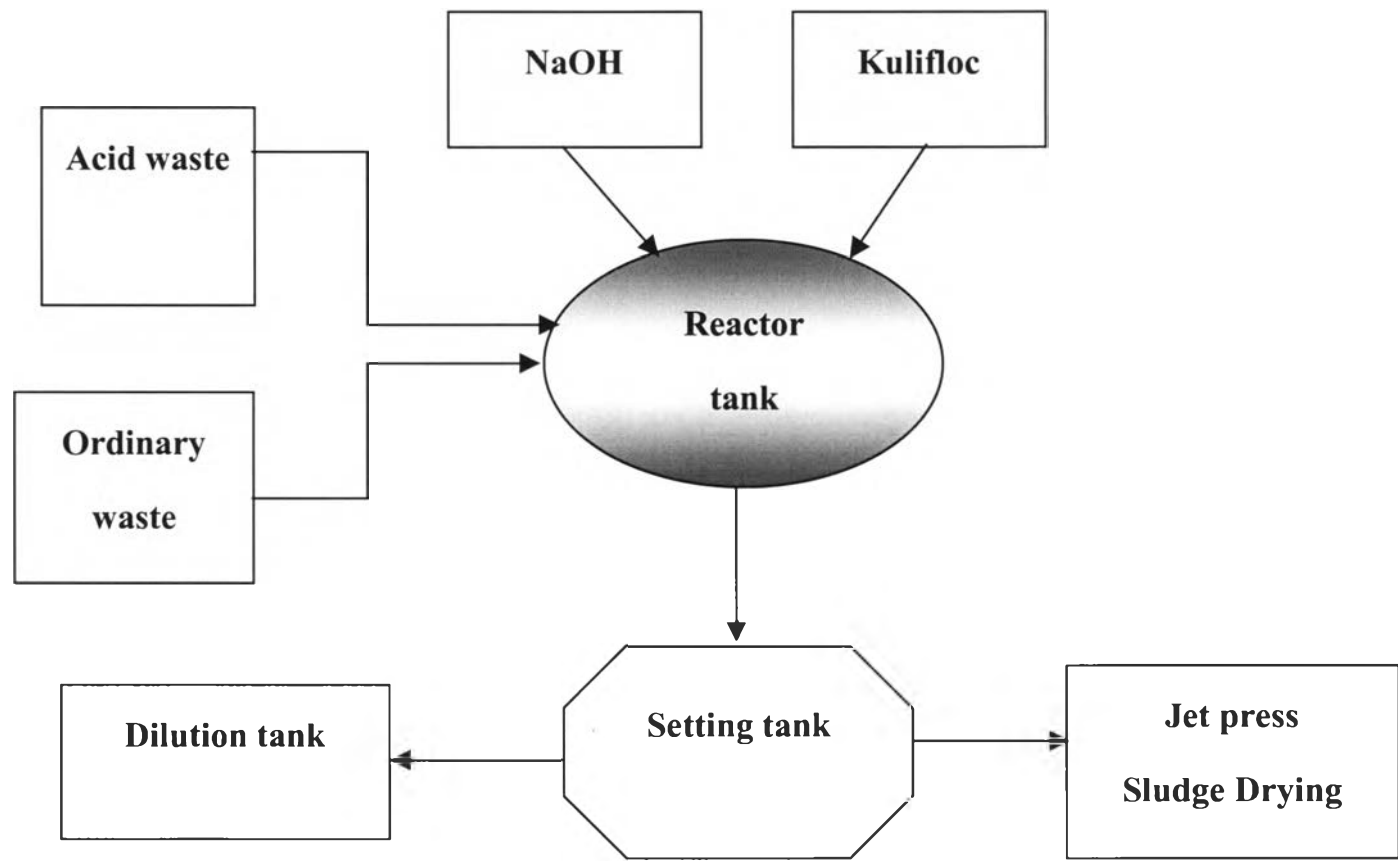
เมื่อกระบวนการตกตะกอนเสร็จสิ้นสมบูรณ์แล้ว จะทำการแยกตก ตะกอนด้วยระบบกรอง (sand Filter) ส่วนน้ำใสที่อยู่ด้านบนจะนำเข้าสู่ reactor ตัวต่อไป เพื่อทำการ Neutralization เนื่องจากน้ำที่ผ่านการบำบัดและปล่อยออกนอกโรงงานต้องมี คุณสมบัติของน้ำทิ้งที่เป็นไปตามมาตรฐานน้ำทิ้งของกระทรวงอุตสาหกรรม คือค่าความ เป็นกรดเป็นด่างที่ 5.5 - 9 ค่าสารแขวนลอย (Suspended Solids) ไม่มากกว่า 50 มิลลิกรัม ต่อลิตร หรืออาจแตกต่างกันที่กำหนดไว้ไม่มากกว่า 150 มิลลิกรัมต่อลิตร (รายละเอียด แสดงดังภาคผนวก ค)

น้ำใสที่ได้จะมีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง อยู่ที่ค่าประมาณ 10 ต้องทำ ให้เป็นกลางที่ค่า pH 5.5-9 ด้วยการปรับด้วย 35% HCL และ 50% NaOH โดยมีเครื่อง กวนช่วยในการผสมระหว่างน้ำยาเคมีกับน้ำทิ้งเกิด โดยสมบูรณ์ที่สุดและระบบควบคุม แบบอัตโนมัติ (pH Controller) ซึ่งควบคุมค่า pH ตามที่ต้องการ

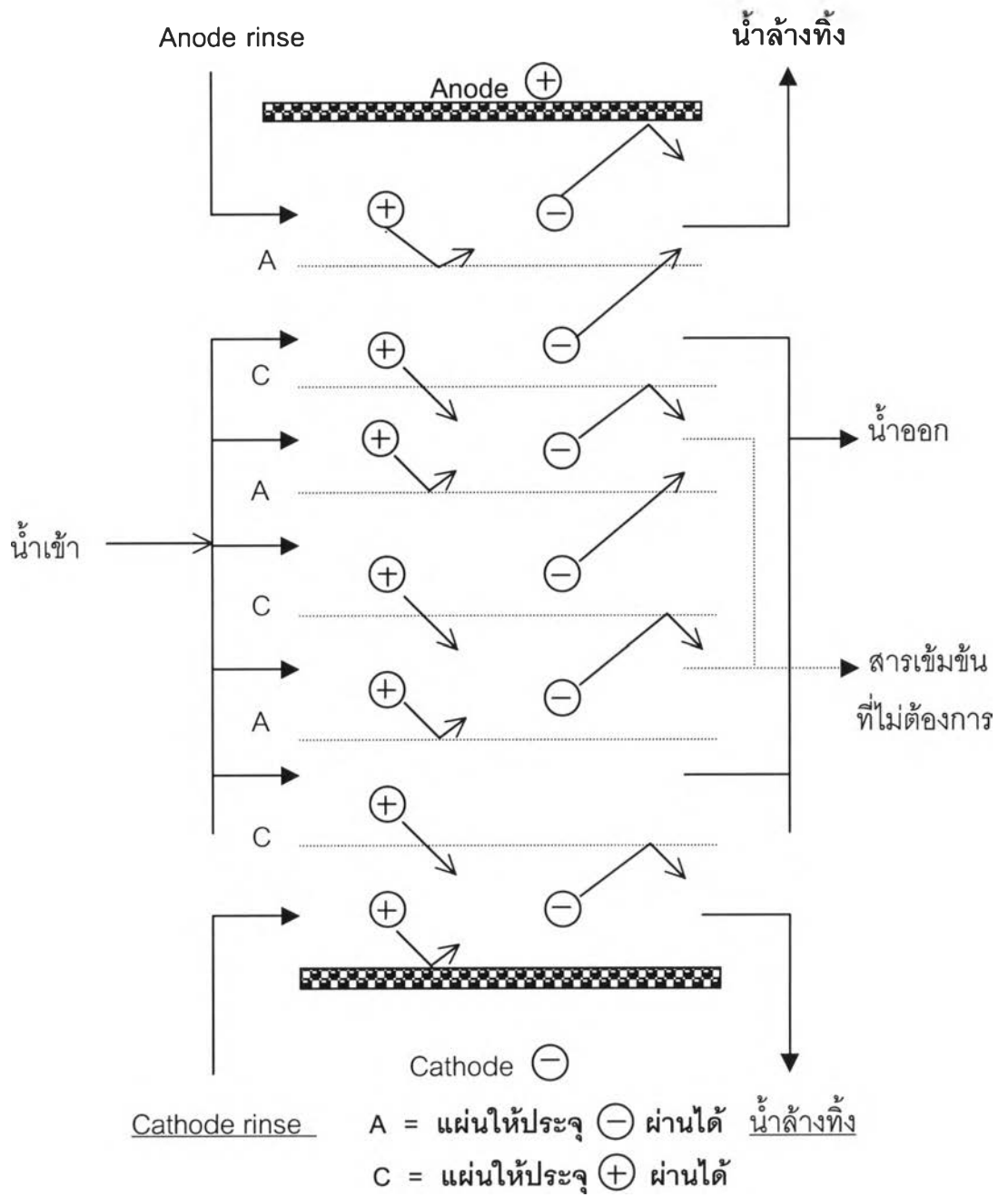
แผนผังแสดงกระบวนการการบำบัดแสดงดังภาพที่ 3.1.6.2

3.2 หลักการพื้นฐานของ Retardation process

กระบวนการ Retardation เป็นการบำบัดน้ำเสียด้วยวิธีทางกายภาพ - เคมี (Phycochemical Unit Process) เป็นกระบวนการที่อาศัยวิธีทางกายภาพและเคมีผสม



รูปที่ 3.1.6.2 กระบวนการบำบัดน้ำเสีย



รูปที่ 3.2.1 ระบบแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange System)

ผสมกัน เป็นวิธีแยกสารที่ปนเปื้อนละลายอยู่ในน้ำทิ้ง โดยการดูดซับแบบแลกเปลี่ยนประจุ

3.2.1 การแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange)

ระบบนี้จะใช้หลักการแลกเปลี่ยนประจุของสารปนเปื้อนที่มีอยู่ในน้ำเสีย เช่น แยก NH_4^+ , Cu^{+2} , CrO_4^{-2} , Zn^{-2} , Ni^{+2} เป็นต้น ซึ่งโดยมากมักจะมีมากในน้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรมบางชนิด โดยอาศัยสารที่เติมลงไปในถังแลกเปลี่ยนประจุ เช่น NaCl หรือ HCl หรือ H_2SO_4 หรือ NaOH เป็นต้น

ถ้าต้องการแยก NH_4^+ ออกจากน้ำเสียอาจใช้สาร Zeolites เติมลงในถังแลกเปลี่ยนประจุ ดังนั้นจำเป็นต้องพิจารณาเลือกใช้ชนิดของสารที่เติมลงไปอย่างเหมาะสม ถังแลกเปลี่ยนประจุจะมีน้ำไหลเข้าแบบไหลลง มีตัวกลาง (Resin) บรรจุอยู่เกือบเต็มถัง การไหลเข้าไปจะใช้แรงดันที่เหมาะสม และน้ำทิ้งจะไหลออกทางส่วนล่างของถัง ระบบนี้ต้องมีการล้างถังอยู่เสมอเมื่อมีตะกอนขังอยู่ภายในมากเกินไป และก็ควรทำการปฏิรูป (regenerate) ตัวกลางบ่อยครั้งด้วย โดยถ้าเป็นตัวกลางแบบประจุบวก (Cation exchange resin) จะใช้กรดแก่เช่น H_2SO_4 หรือ HCl ทำการปฏิรูปตัวกลางและถ้าเป็นตัวกลางแบบประจุลบ (Anion exchange resin) จะใช้ด่าง เช่น NaOH ทำการปฏิรูปตัวกลางระบบ ซึ่งจะมีทั้งตัวกลางของแบบประจุลบและบวกอยู่ภายในถังแลกเปลี่ยนประจุนี้ โดยทั่วไปจะรับน้ำเสียที่กรองแล้วในอัตราไหลเท่ากับ 0.2-0.40 ลบ.ม./(ตร.ม.นาที) และมีความสูงของถังตั้งแต่ 0.75 ถึง 2.0 ม. ซึ่งระบบแลกเปลี่ยนประจุได้แสดงไว้ในรูปที่

3.2.1

ชนิดของตัวกลางแลกเปลี่ยนประจุ

ตัวกลางแลกเปลี่ยนประจุ (Ion Exchange Resins) จะมีขนาดรูปร่างที่แตกต่างกัน บางชนิดมีรูปร่างกลม บางชนิดมีรูปร่างไม่แน่นอนคือไม่กลมไม่เหลี่ยม แต่พบว่ารูปร่างไม่แน่นอนจะมีพื้นที่ผิวมากกว่า และมีช่องว่างระหว่างตัวกลางมากกว่า ทำให้มีการเกิดสูญเสียความดันน้อยกว่า ตัวกลางแลกเปลี่ยนประจุมีอยู่ด้วยกัน 2 ชนิดใหญ่คือ

1. ตัวกลางประจุบวก (Cation Exchange Resins)

ก) ตัวกลางชนิดกรดแก่ (Strong-Acid Exchange Resins (SAC)) ได้แก่ Sulfonic , Methylene Sulfonic เป็นต้น

ข) ตัวกลางชนิดกรดอ่อน (Weak-Acid Exchange Resins (WAC)) ได้แก่ Carboxylic , Phosphonic , Phenolic Hydroxyl เป็นต้น

2. ตัวกลางประจุลบ (Anion Exchange Resins)

ก) ตัวกลางชนิดด่างแก่ (Strong-Base Exchange Resins (SBA)) ได้แก่ Quarternary ammonium (Type I) , Quarternary ammonium (Type II) เป็นต้น

ข) ตัวกลางชนิดด่างอ่อน (Weak-Base Exchange Resins (WBA)) ได้แก่ Primary Amine , Secondary Amine , Tertiary Amine เป็นต้น

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นระหว่างตัวกลางกับสารปนเปื้อนในน้ำเสียจะเป็นปฏิกิริยาเคมีแบบกลับได้ (Reversible) สมการ 3.2.1 ถึง 3.2.8 ได้แสดงปฏิกิริยาเคมีสำหรับตัวกลางชนิดต่าง ๆ

1. กำจัดสาร Na^+ ตัวกลางประจุบวกชนิดกรดแก่



ปฏิรูปตัวกลางด้วยกรด



2. กำจัดสาร Na^+ ด้วยตัวกลางประจุบวกชนิดกรดอ่อน



ปฏิรูปตัวกลางด้วยกรด



3. กำจัดสาร Cl^- ด้วยตัวกลางประจุลบชนิดด่างแก่



ปฏิรูปตัวกลางด้วยด่าง



4. กำจัดสาร Cl ด้วยตัวกลางประจุลบชนิดต่างอ่อน



ปฏิรูปตัวกลางด้วยด่าง



ความสามารถของตัวกลางแลกเปลี่ยนประจุ

ความสามารถของตัวกลางแลกเปลี่ยนประจุคือความสามารถในการกำจัดหรือ แยกสารปนเปื้อนออกจากน้ำเสีย โดยพิจารณาจากปริมาณที่ถูกแลกเปลี่ยนประจุต่อ

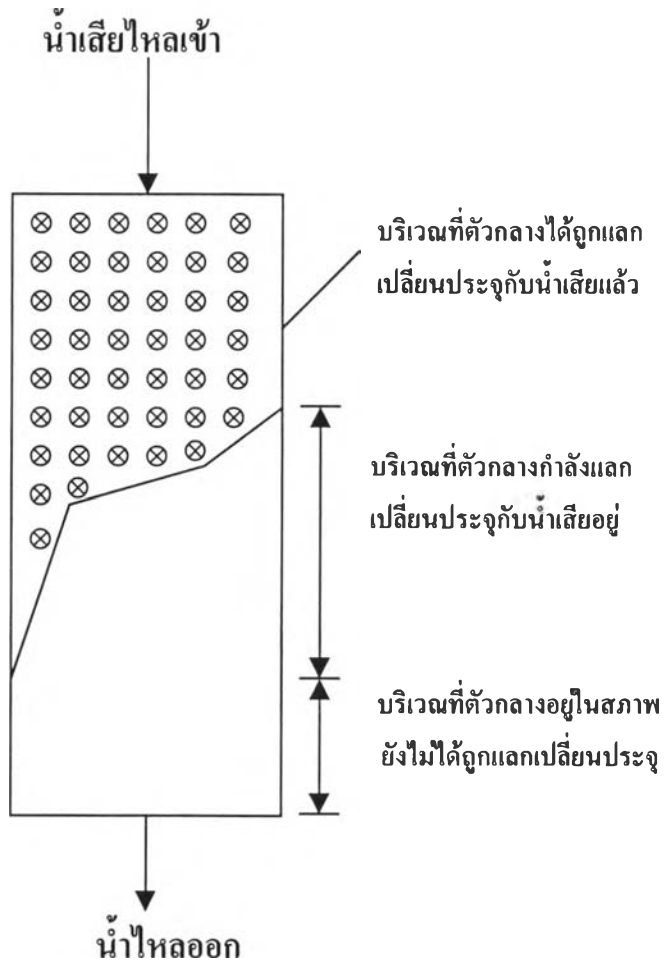
ตารางที่ 3.2.1 ลำดับการถูกแลกเปลี่ยนประจุของสารปนเปื้อนในน้ำเสีย

กลุ่มประจุบวก	$Th^{+4} > Nd^{+3} > Ca^{+2} > Na^+$; $Cs^+ > Rb^+ > K^+ > Na^+ > Li^+$; $Ba^{+2} > Sr^{+2} > Ca^{+2} > Mg^{+2} > Be^{+2}$; $Fe^{+3} > Mg^{+2} > Na^+$
กลุ่มประจุลบ	$PO_4^{-3} > SO_4^{-2} > Cl^{-1}$; $SO_4^{-2} > I^{-1} > NO_3^{-1} > CrO_4^{-2} > Br^{-1}$; $CNS^{-1} > ClO_4^{-1} > I^{-1} > NO_3^{-1} > Br^{-1} >$ $CN^{-1} > HSO_4^{-1} > NO_2^{-1} > Cl^{-1} > HCO_3^{-1} >$ $CH_3COO^{-1} > OH^{-1} > F^{-1}$

มวลแห่งหนึ่งหน่วย (มวลสมมูลต่อกรัม , meq./gm.) โดยทั่วไปความสามารถของตัวกลางแลกเปลี่ยนประจุจะมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 10 meq./gm. แต่ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่า pH ของน้ำเสีย และขึ้นอยู่กับชนิดของสารปนเปื้อน คือถ้ามีค่าวาเลนซ์ยิ่งมากจะถูกเปลี่ยนได้มาก

ตามไปด้วย ดังตารางที่ 3.2.1 ได้แสดงสารปนเปื้อนในน้ำเสียที่แสดงลำดับการถูกแลกเปลี่ยนประจุตั้งแต่ได้มากจนถึงได้น้อย

เพื่อให้เข้าใจถึงการบำบัดสารปนเปื้อนในน้ำเสียด้วยถังทรงกระบอก



รูปที่ 3.2.2 ลักษณะการถูกใช้งานของตัวกลางในถังแลกเปลี่ยนประจุ

แลกเปลี่ยนประจุ รูปที่ 3.2.2 ได้แสดงลักษณะการถูกใช้งานของตัวกลางในถังแลกเปลี่ยนประจุเมื่อมีน้ำเสียไหลเข้าจากด้านบนลงสู่ด้านล่างของถัง

การแยกกรดไฮโดรคลอริก (HCl) ออกจากน้ำเสีย

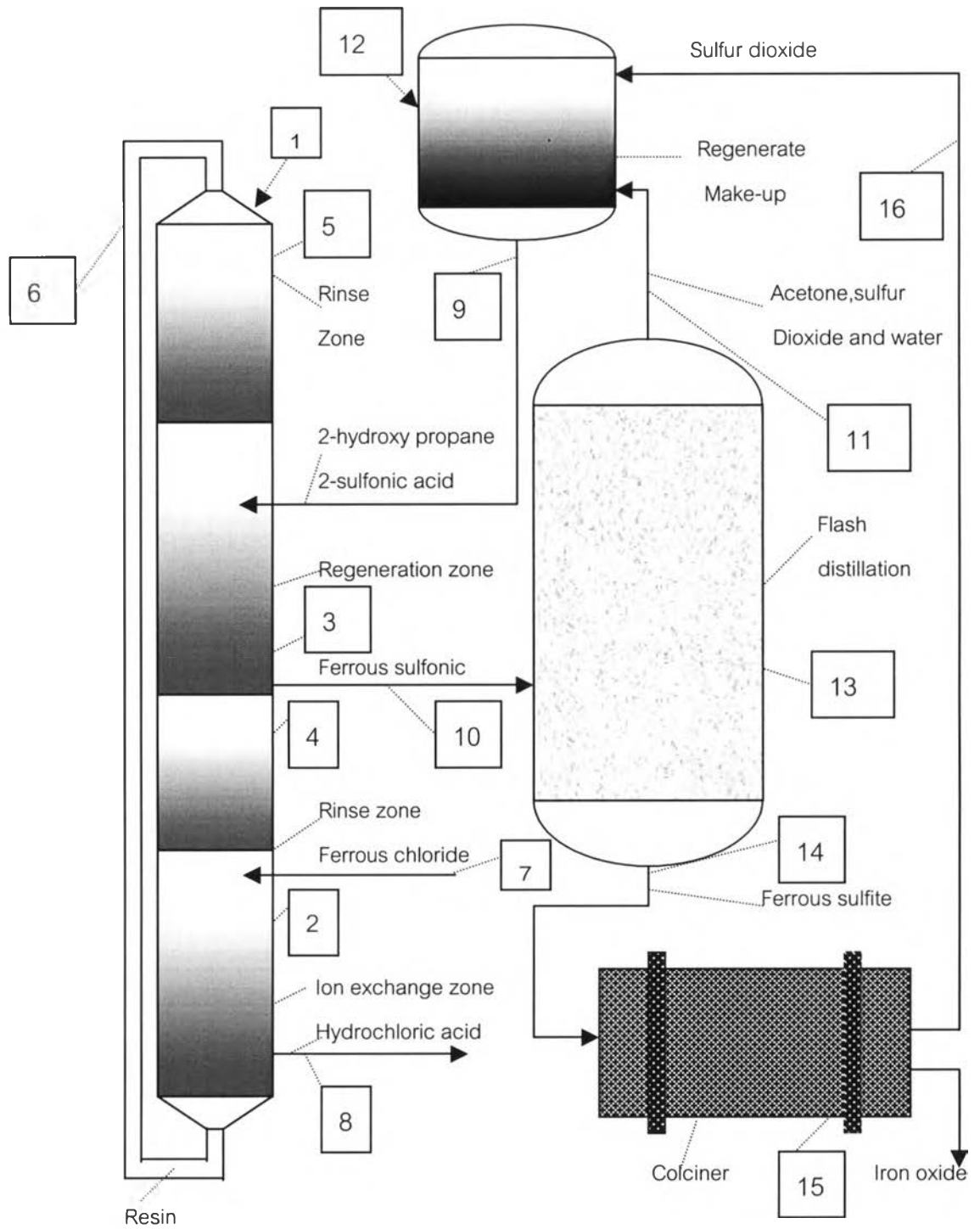
กระบวนการแยกกรดไฮโดรคลอริก (HCL) ออกจากน้ำเสียได้ถูกพัฒนาโดย L.J. Lefever ซึ่งใช้กระบวนการแลกเปลี่ยนประจุ (ion exchange process) ในการ recovery กรดไฮโดรคลอริก ใน hydrochloric acid pickle liquor สำหรับกระบวนการจะเป็นการแลกเปลี่ยนไอออนของสารที่เป็นสารประกอบเชิงซ้อนของกรดซัลฟอนิก

(sulfonic acid) เมื่อแยกไอออนของสารออกไปแล้วจะนำสารละลายไปผ่านกระบวนการบำบัดต่อไป สำหรับกรดไฮโดรคลอริกที่ได้จะเป็นกรดอิสระ สามารถนำกลับไปใช้ในกระบวนการผลิตเหล็กได้ใหม่ การทำงานของกระบวนการแสดงดังรูปที่ 3.2.3

หลักการการทำงานของกระบวนการ คือ จะมีถังแลกเปลี่ยนประจุเป็นระบบวังสวนทางแบบต่อเนื่อง (counter current continuous) เครื่องมือแบ่งแต่ละโซน (zone) ตามนี้

Zone	1	generally indicated
Zone	2	anion exchange zone
Zone	3	a regeneration zone
Zone	4,5	water rinse zone
Zone	6	recycling path
Zone	7	pickling zone
Zone	8	ion exchange zone
Zone	9	complex sulfonic solution
Zone	10	ferrous sulfonic
Zone	11	sulfur dioxide adsorbable solution
Zone	12	vessel
Zone	13	flash distillation
Zone	14	product zone
Zone	15	rotary kiln
Zone	16	sulfur dioxide

จากรูปที่ 3.2.3 กรดไฮโดรคลอริกที่อยู่ในสารละลาย pickling (zone 7) เป็นส่วนแรกที่ดีติดกับตัวแลกเปลี่ยนประจุ (zone 2) ของ continuous reactor 1 ในสารละลาย pickling จะมีส่วนประกอบของเฟอร์รัสคลอไรด์ที่ได้มาจากกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กโดยกรดไฮโดรคลอริก ใน zone 2 ซึ่งเกิดปฏิกิริยาการแลกเปลี่ยนประจุ โดยหลักการจะทำการแยกเฟอร์รัสไอออนที่อยู่ในสารละลายออกจากไฮโดรเจนไอออนให้อยู่ใน

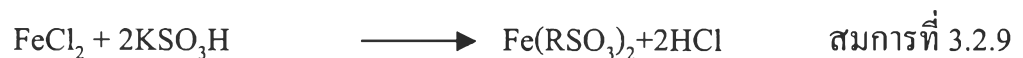


รูปที่ 3.2.3 แสดงกระบวนการ recovery กรดไฮโดรคลอริก

รูปไฮโดรเจนคลอไรด์ ซึ่งไฮโดรเจนคลอไรด์นี้สามารถนำไปใช้ในกระบวนการจัดสนิมเหล็กโดยใช้เป็น pickling agent ต่อไป

ในกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุจะเป็นการแลกเปลี่ยนประจุบวกของ resin ในรูปของไฮโดรเจน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนประจุขึ้นกับปริมาณของไฮโดรเจนไอออน (H^+) ที่มีอยู่แลกเปลี่ยนประจุกับเฟอร์รัสไอออนบวก (Fe^{2+}) ที่อยู่ใน spent pickle liquor ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนประจุบวกของเรซิน โดยทั่วไปจะเป็นเรซินชนิดกรดแก่ (strong acid resins) อันได้แก่ sulfonated styrene - diving benzene copolymer Dowex 50 w-x8 , Amberlite TR - 120 , Ionac C - 240 เหล่านี้เป็นต้น สำหรับเรซินที่ใช้ในกระบวนการนี้คือ Dowex 50 w-x8

สารละลาย pickling ที่ถูกใช้งานแล้วจะนำเข้าบำบัดใน continuous reactor 1 โดย resin จะทำการแยกเฟอร์รัสไอออนปฏิกิริยาเกิดใน ion exchange zone 2 เราสามารถอธิบายการเกิดปฏิกิริยาของ RSO_3^- เมื่อเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวกกับเรซินได้ดังนี้

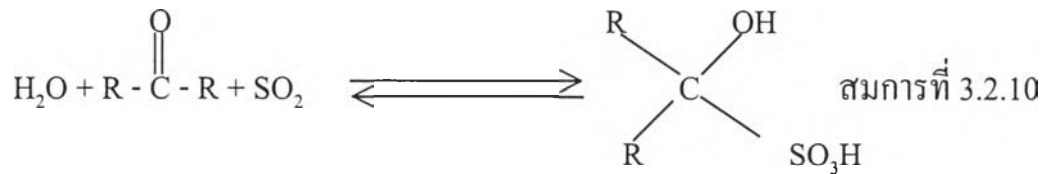


เฟอร์รัสคลอไรด์ ($FeCl_2$) ในสารละลาย pickling ที่ใช้งานแล้ว (7) ถูกเปลี่ยนไปเป็นองค์ประกอบของกรด ซึ่งก็คือกรดไฮโดรคลอริกแยกออกไว้ใน zone 8 เรซินประจุบวกที่ใช้งานการแลกเปลี่ยนประจุไปแล้วใน zone 2 ซึ่งประกอบด้วยเฟอร์รัสไอออน (Fe^{2+}) จะส่งผ่านไปยัง zone 4 ทำการล้างเรซินด้วยน้ำเพื่อป้องกัน cross - contamination ระหว่างกรดไฮโดรคลอริก ในการแลกเปลี่ยนไอออน ใน zone 2 และสำหรับกรดอิสระที่แยกออกแล้วจะถูกนำไปใช้ใน regeneration zone 3

หากไม่ทำการล้างเรซินที่ใช้งานแล้ว จะปรากฏกรดไฮโดรคลอริกอยู่ ทำให้เป็นปัญหาต่อเรซินในเรื่องของการกัดกร่อน ซึ่งจะเป็นปัญหาต่อไปในขั้นตอนการใช้ตัวปรับสภาพ (regenerant) ในการ recovery เรซิน

ใน zone 3 จะเป็นการล้างเรซินหลังเกิดการแลกเปลี่ยนประจุบวก ซึ่งเป็นพันธะไอออนของเฟอร์รัสประจุบวก (Fe^{2+}) โดยให้สัมผัสเรซินด้วยสารละลายกรด

ซัลฟอนิก (sulfonic acid) สารละลายกรดซัลฟอนิกนี้เตรียมโดยการดูดซับซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในสารละลายของ water - soluble aldehyde หรือ ketone ทำให้ได้สารประกอบเชิงซ้อนของกรดซัลฟอนิก ปฏิกิริยาเกิดดังนี้

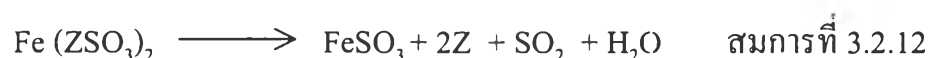


สารละลาย complex sulfonic acid (9) ประกอบด้วยไฮโดรเจนไอออนประจุบวก (H^+) และ ZSO_3^- ซึ่งเป็นประจุลบจะถูกนำมาสัมผัสกับเรซินประจุบวกที่ใช้งานแล้วใน regeneration zone 3 ของ continuous reactor 1 ในปฏิกิริยาของ regeneration เกิดดังนี้ ไฮโดรเจนไอออน (H^+) ของสารละลายกรดซัลฟอนิก จะแลกเปลี่ยนประจุกับเฟอร์รัสไอออนที่ติดอยู่กับเรซินประจุบวกผลิตภัณฑ์ที่ได้จะออกสู่ zone 10 ซึ่งเป็น เฟอร์รัสซัลฟอนेट ซึ่งปฏิกิริยา Cation regeneration แสดงสมการต่อไปนี้



เฟอร์รัสประจุบวกจะถูกแยกออกจากเรซินเป็นซัลฟอนेट และเรซินจะอยู่ในรูปของไฮโดรเจน สามารถนำไปใช้บำบัดสารละลาย pickling ที่ผ่านการใช้งานได้ใหม่ สำหรับเฟอร์รัสซัลฟอนेटที่ละลายอยู่ในน้ำซึ่งเป็น regenerant จะออกไปกับ zone 10 การปรับสภาพของเรซินเพื่อใช้แลกเปลี่ยนประจุใหม่ เกิดขึ้นใน zone 3 ของ continuous reactor 1 การล้างจะผ่านไปยัง zone 5 ซึ่งถูกล้างด้วยน้ำต้องระวังการสูญเสีย residual sulfonic acid ในเรซินด้วยเรซินที่ผ่านการปรับสภาพแล้วจะถูกส่งผ่านจาก zone 5 ผ่าน zone 6 เพื่อนำไปใช้ใหม่ใน zone ต่อไป

เฟอร์รัสซัลฟอนेटจะถูกนำไปปรับสภาพการใช้งานใหม่โดยนำไปกลั่นใน vessel 13 ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส ปฏิกิริยาเกิดดังนี้



ซึ่ง Z คือ aldehyde หรือ ketone ปฏิกิริยาที่เกิดเฟอร์รัสซัลโฟเนตจะถูกสลายไปเป็นเฟอร์รัสซัลไฟต์ (14) จากนั้นเฟอร์รัสซัลไฟต์จะถูกเผาใน rotary kiln 15 ที่อุณหภูมิประมาณ 450 องศาเซลเซียส สลายได้เป็นซัลเฟอร์ไดออกไซด์และเฟอร์รัสออกไซด์ดังนี้



ซึ่งซัลเฟอร์ไดออกไซด์จะถูกนำไปปรับสภาพใน vessel 12 เพื่อเตรียมเป็นสารละลาย cation regenerant เพื่อนำไปใช้งานใหม่

ข้อกำหนดของ Retardation plant

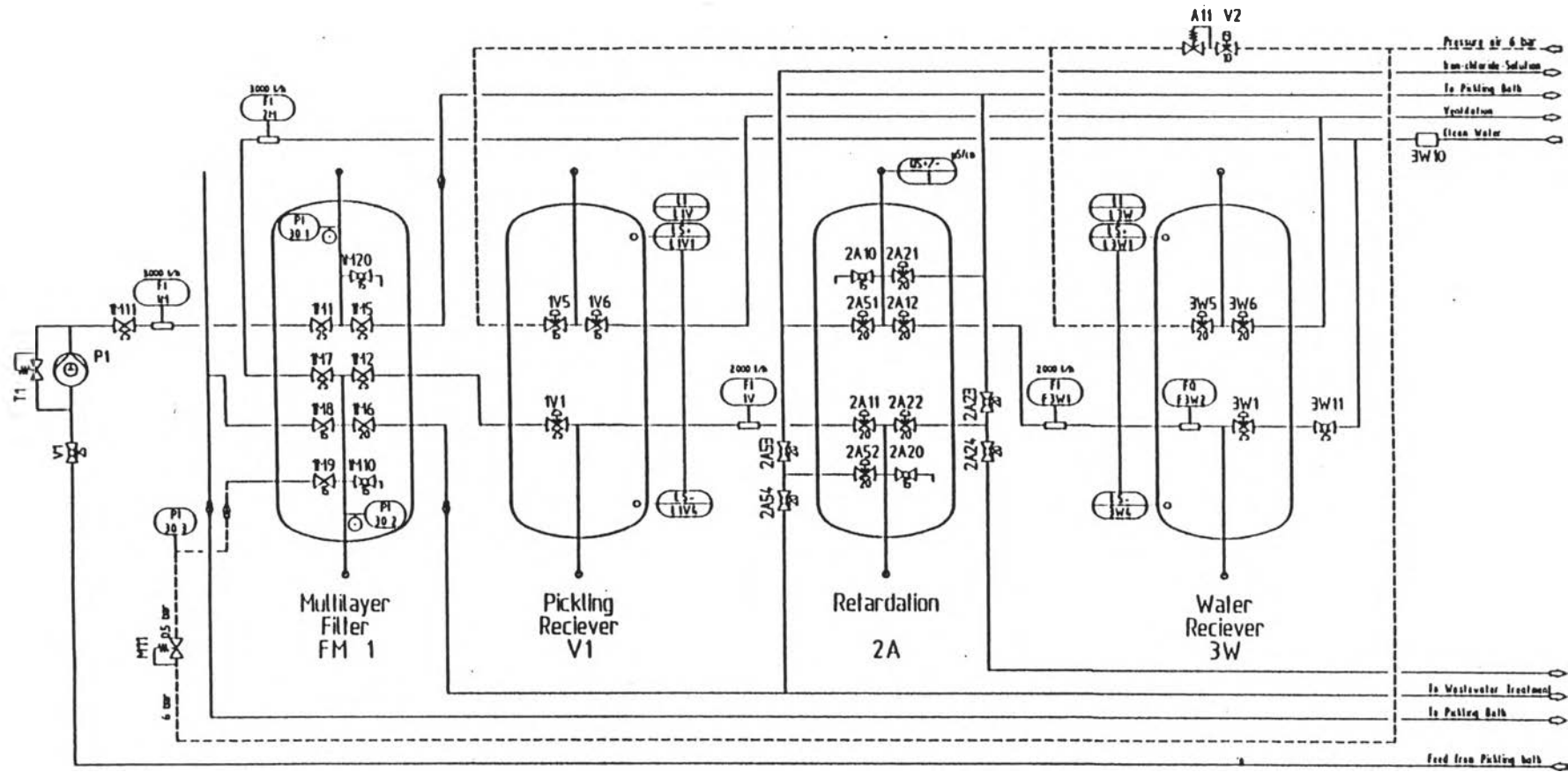
เมื่อนำลวดเหล็กแช่ลงในสารละลาย pickling ที่ความเข้มข้น 15% กรดไฮโดรคลอริก สารละลาย pickling ที่ประสิทธิภาพดี ต้องมีความเข้มข้นของเหล็ก และไอออนของโลหะอื่น รวมอากาศต้องไม่มากกว่า 100 กรัม/ลิตร สารละลายนี้เมื่อกลายเป็นของเสียไม่สามารถใช้งานได้อีกต่อไปคือ มีความเข้มข้นของเกลือโลหะมากกว่า 100 กรัม/ลิตรจะนำเข้าสู่ retardation plant ซึ่งจะทำให้การแยกเหล็กประจุบวกสอง(iron-II-ion) ออกจากกรดไฮโดรคลอริก ด้วย “Retardation Effect” วิธีการนี้จะเป็นการนำกรดไฮโดรคลอริกหมุนเวียนกลับไปใช้ใหม่ในกระบวนการขจัดสนิมเหล็ก (pickling process) ข้อควรระวังสำหรับกระบวนการต้องไม่ให้ Fe^{2+} เกิดการทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจนในอากาศ เพราะจะทำให้เกิดเฟอร์รัสประจุบวกสาม (Fe^{3+})

3.3 หลักการทำงานของ Retardation process

แสดงดังรูปที่ 3.3.1 ดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1

ใช้ปั๊ม (pump) สูบสารละลาย pickling จากบ่อ pickling ส่งเข้า multilayer filter ในถังที่ 1 multilayer filter จะประกอบด้วย anthracite และทราย ที่วางซับซ้อน



รูปที่ 3.3.1 แผนผังแสดง Retardation unit

หลายชั้นที่มีขนาดอนุภาคแตกต่างกัน สารละลาย pickling จะถูกส่งเข้าทางด้านบนกรองผ่านชั้นกรอง ไล่ด้านล่างถึง พอกตะกอน (sludge) และสารแขวนลอย (suspended solid substance) จะถูกกรองออก ข้อควรระวังต้องคอยตรวจสอบความดันระหว่าง in put และ out put ของชั้น multilayer filter เสมอ หากความดันแตกต่างกันสูงเกินกว่า 1 - 1.5 bar ให้ทำความสะอาดต้องกรองได้แล้ว โดยใช้ pressurized air เพื่อทำการปลดปล่อยสารแขวนลอยและตะกอนที่ติดอยู่บนชั้นกรองออก แล้วล้างออกด้วยน้ำนำไปบำบัดในชั้นต่อไป

ขั้นตอนที่ 2

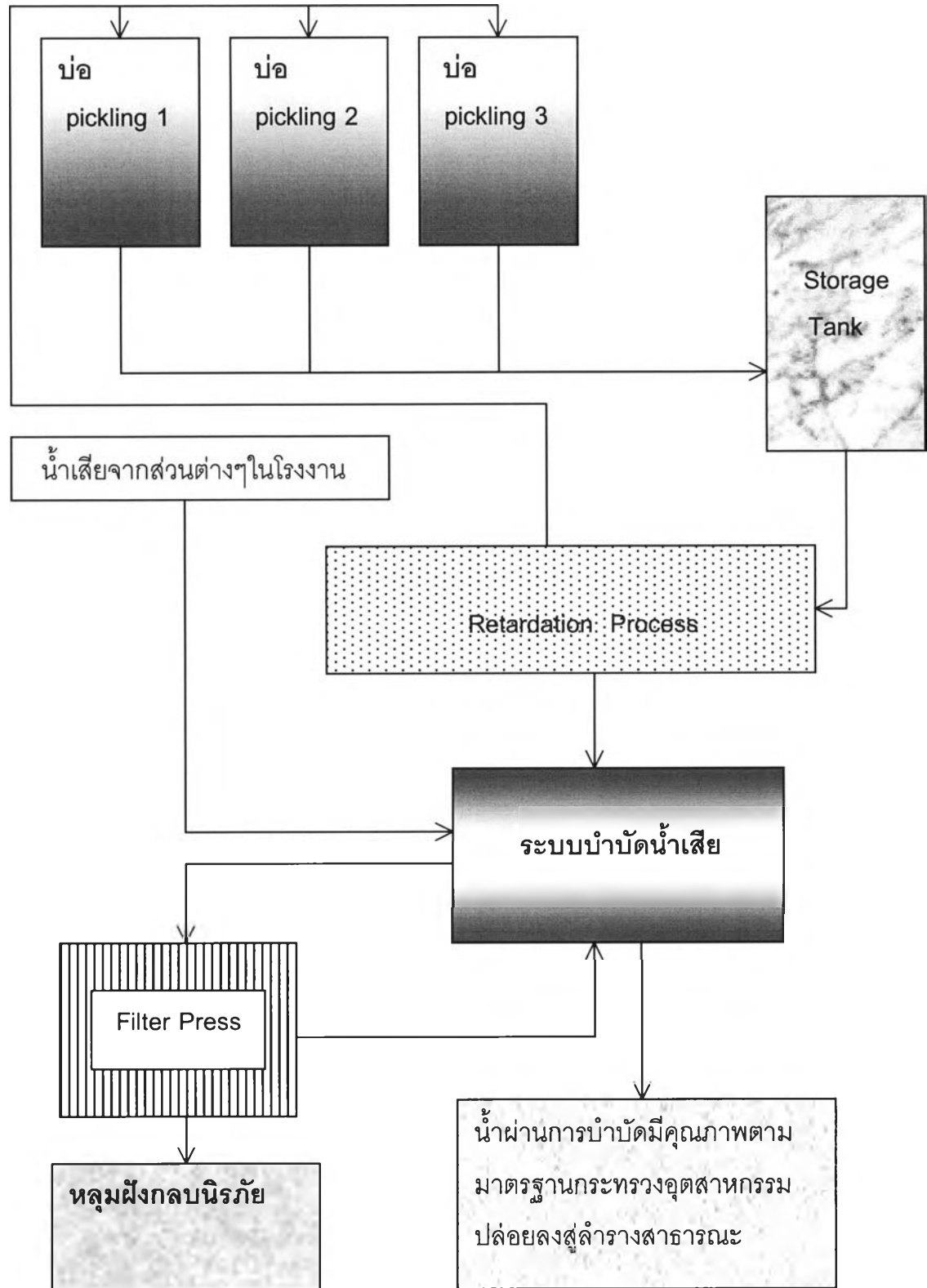
สารละลาย pickling ที่กรองตะกอนออกแล้ว น้ำเข้าถังที่ 2 ซึ่งเป็นถังพักน้ำ pickling หลังจากนั้นนำไปผ่านกระบวนการแลกเปลี่ยนประจุใน retardation process ในถังที่ 3 โดย กรดไฮโดรคลอริกอิสระ (free hydrochloric acid) จะแพร่กระจายสัมผัสกับเรซินประจุบวก (ion exchange resin) สำหรับเกลือเฟอร์รัส (iron -II -salts) ซึ่งไม่เกิดการแลกเปลี่ยนประจุกับเรซินประจุบวก และยังคงอยู่ในสารละลาย pickling จะถูกแยกออกมาแล้วนำไปผ่านระบบบำบัดให้มีคุณภาพเป็นไปตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมต่อไป

ขั้นตอนที่ 3

น้ำที่สูบเข้าเก็บไว้ในถังที่ 4 จะส่งเข้าถังที่ 3 ต่อไป เพื่อปลดปล่อยกรดที่ได้แลกเปลี่ยนไอออนและถูกจับอยู่โดยเรซินออกแล้วนำกรดที่ได้นี้เข้าไปใช้ใหม่ในกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กต่อไป

สำหรับการติดตั้งระบบ Retardation unit เพื่อรองรับน้ำกรดเสียจากกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กโดยเป็นกระบวนการแบบระบบเบต (Batch process) แสดงดังรูปที่ 3.3.2

โดย Spent pickling acid ในบ่อ 1, 2 และ 3 ใช้งานต่อไปไม่ได้แล้วจะนำเข้าเก็บกักใน Storage tank เพื่อรอการบำบัด แต่เมื่อนำเทคโนโลยีในการนำน้ำกรดทิ้งกลับไปใช้งานใหม่นี้มาใช้ ซึ่งจะทำให้การติดตั้ง Retardation unit เพื่อรับน้ำกรดทิ้งจาก Storage tank มาทำการปฏิรูป (Regenerate) โดยน้ำกรดที่ผ่าน Retardation unit แล้วจะนำไปใช้ในกระบวนการกำจัดสนิมเหล็กได้ต่อไป



รูปที่ 3.3.2 การติดตั้งระบบ Retardation process เพื่อรองรับน้ำกรดเสีย

3.4 การศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ

การศึกษาประสิทธิภาพของหน่วยแลกเปลี่ยนประจุ ได้ทำการศึกษาโดยสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ดังอธิบายไว้ในภาคผนวก จ.

ประสิทธิภาพของระบบแลกเปลี่ยนประจุ แสดงได้โดยการคิดเป็นเปอร์เซ็นต์การนำน้ำกรดกลับมาใช้ใหม่ และเปอร์เซ็นต์การกำจัดสนิมเหล็ก ที่อัตราการไหลและความเข้มข้นแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ จ.3 และ จ.4 พบว่าการทำงานของหน่วยแลกเปลี่ยนประจุสามารถฟื้นฟูคุณภาพน้ำกรดได้โดยเฉลี่ย 88.83% แสดงดังตารางที่ จ.5 และสามารถกำจัดเหล็กได้โดยเฉลี่ย 41.89% แสดงดังตารางที่ จ.6 และยังพบว่าอัตราการไหลของสารละลายและปริมาณความเข้มข้นของ Pickling acid ไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์การนำน้ำกรดกลับคืนและเปอร์เซ็นต์การกำจัดเหล็ก แสดงดังรูปที่ จ.3และจ.4