

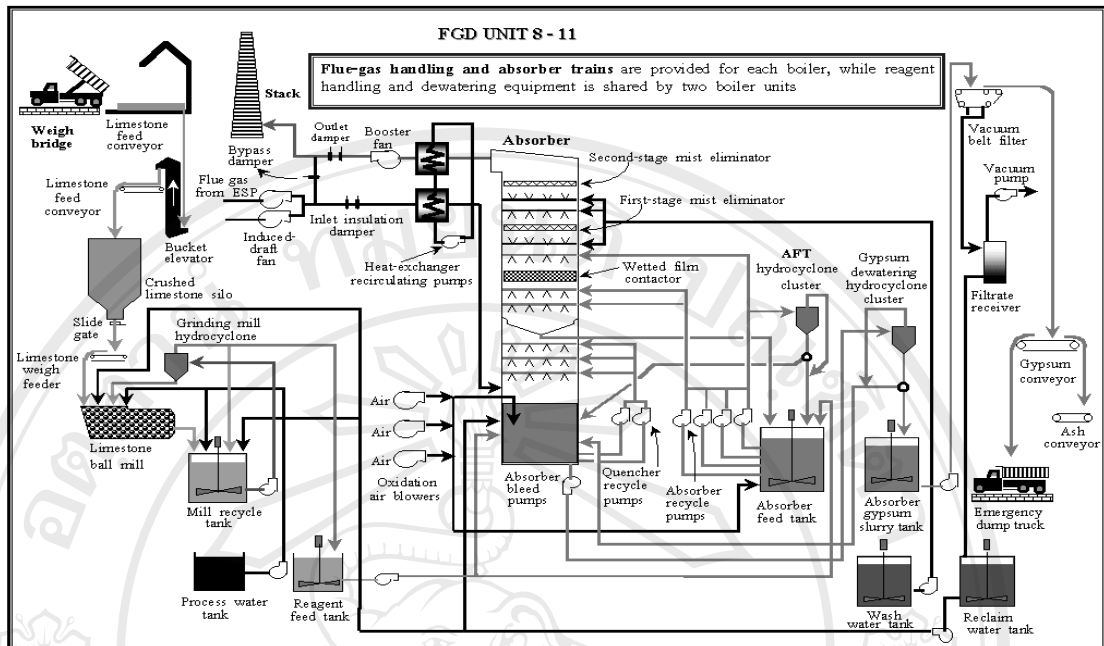
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ ได้แบ่งขั้นตอนการวิจัยออกเป็นสองส่วน ได้แก่ การวิจัยเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ เป็นงานวิจัยเชิงทดลอง เพื่อหาลักษณะสมบัติของเครื่องวัดการไหลแบบช่องอที่มีจุดวัดความดัน และตำแหน่งติดตั้งแตกต่างกัน โดยทดสอบด้วยน้ำยิปซัมที่มีเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้นตามที่ระบุไว้ในขอบเขตงานวิจัย และการออกแบบระบบพีชชีล่อจิก เพื่อควบคุมปริมาณการไหลของน้ำยิปซัม โดยการปรับความเร็วรอบเครื่องสูบน้ำให้เหมาะสม ใช้ข้อมูลจากเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ ที่ติดตั้งในสภาวะการใช้งานจริง เลือกวิจัยที่ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 9 สำหรับ หัวข้อวิธีดำเนินการวิจัยนี้ จะกล่าวถึง การทำงานของระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ คุณสมบัติของน้ำยิปซัมที่นำมาใช้ในการทดลอง การออกแบบระบบท่อทดลอง การดำเนินการทดลอง เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และกระบวนการควบคุมแบบพีชชีล่อจิก ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 8-11 ประกอบด้วยสี่ระบบย่อย คือ ระบบเตรียมน้ำหินปูน (Reagent Preparation System), ระบบท่อนำแก๊สเสีย (Flue Gas Duct), ระบบดูดซับก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Absorption System), และระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม (Gypsum Dewatering System) มีวงจรการทำงานแสดงตามรูปที่ 3.1 ระบบเตรียมน้ำหินปูน ทำหน้าที่บดหินปูนผสมกับน้ำ มีค่าความเข้มข้น ประมาณ 50-55 % โดยน้ำหนัก เมื่อไหลผ่านเครื่องคัดขนาดที่ 74 ไมโครเมตร จะถูกส่งไปที่หอดูดซับ ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เมตรสูง 45 เมตร น้ำหินปูนจะถูกสูบน้ำไปทำปฏิกิริยากับ ก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ในแก๊สเสีย ที่ผ่านเข้ามาทางระบบท่อนำแก๊สเสีย เมื่อปฏิกิริยาเคมีเกิดขึ้นแบบสมบูรณ์ จะได้น้ำยิปซัมรวมตัวกันอยู่ภายในอ่างของหอดูดซับ ด้วยปริมาณเฉลี่ย 45 ตันต่อชั่วโมง ที่กำลังการผลิตไฟฟ้า 300 เมกะวัตต์ และถูกส่งไปยังระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม ก่อนที่จะลำเลียงยิปซัมแห้ง โดยมีความชื้นเหลือไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ด้วยสายพานไปยังที่บ่อจี้ถัดต่อไป



รูป 3.1 แสดงวงจรการทำงาน และองค์ประกอบ ของระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์
โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11 (ที่มา : แผนกวางแผน 1 โรงไฟฟ้าแม่เมาะ, 2539)

3.2 องค์ประกอบและคุณสมบัติของน้ำยิปซัม

น้ำยิปซัมที่นำมาใช้ ได้มาจากหอดูดซับ ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 9 ผ่านอุปกรณ์คัดแยกเอาน้ำหินปูนส่วนเกินออก ได้น้ำยิปซัมเก็บอยู่ในถังสะสม ที่ติดตั้งใบกวนป้องกันการตกตะกอนของยิปซัม โดยมีองค์ประกอบและคุณสมบัติ จากการวิเคราะห์ โดยห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์ ของหน่วยงานเคมีระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ด้วยวิธีการตามที่กำหนดในมาตรฐาน ASTM C471M-96 และ ASTM C1301-95 ดังนี้

3.2.1 องค์ประกอบของของแข็ง ได้แก่

แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต

91 – 97 % โดยน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ย 94 % โดยน้ำหนัก

ซิลิกอนไดออกไซด์

1.4 – 2.9 % โดยน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ย 1.8 % โดยน้ำหนัก

แคลเซียมคาร์บอเนต

0.5 – 2.0 % โดยน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ย 1.1 % โดยน้ำหนัก

และสารแขวนลอยอื่นๆ รวมกัน

ประมาณ 3 % โดยน้ำหนัก

นอกจากนี้ ผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่างน้ำยิปซัม จำนวนสองชุด เพื่อทดสอบหาองค์ประกอบ ด้วยเครื่องมือ XRD, PW3710 (Philip) ของหน่วยงานสถาบันวิจัยโลหะ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย พบว่า มีองค์ประกอบหลักเป็น $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (แคลเซียมซัลเฟตไดไฮเดรต) แต่ไม่สามารถระบุ องค์ประกอบรองได้ ดังเอกสาร แสดงในภาคผนวก ง

3.2.2 ขนาดอนุภาคของแข็ง เล็กกว่า 45 ไมโครเมตร มีปริมาณ 75 – 86 % เฉลี่ย 80 % ผู้วิจัยได้ส่งตัวอย่างจำนวนสองชุด เพื่อใช้ในการทดสอบหาขนาดของอนุภาค ด้วยเครื่องมือ Mastersizer S (Malvern Instruments Limited) ของหน่วยงาน ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุ แห่งชาติ พบว่า น้ำยิปซัมมีของแข็งขนาดอนุภาคเฉลี่ย 27.24 ± 0.62 และ 25.09 ± 1.04 ไมครอน โดยมีจำนวน 90 เปอร์เซนต์ที่มีขนาดเล็กกว่า 58.53 ± 0.72 และ 49.87 ± 1.01 ไมครอน ตามลำดับ ดังเอกสาร แสดงในภาคผนวก ง

3.2.3 ค่าความหนาแน่นน้ำยิปซัม 1,374 – 1,467 กก. ต่อ ลบ.ม. (เทียบเท่าความเข้มข้น ของของแข็ง 51–57 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนัก) วิเคราะห์ค่าโดยวิธีการที่ประยุกต์ตาม KRC Applications Pursuant to German and International Standard

3.2.4 ค่าความหนืดน้ำยิปซัม ก่อนและหลังการทดลอง 75.9 ± 0.75 และ 75.8 ± 0.96 เซนติพอยต์ ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 60°C ได้มาจากการทดสอบหาค่าความหนืด ด้วยเครื่อง Brookfield Viscometer-DV-II+ (Brookfield Engineering) โดยศูนย์เทคโนโลยีโลหะและ วัสดุแห่งชาติ ดังเอกสาร แสดงในภาคผนวก ง

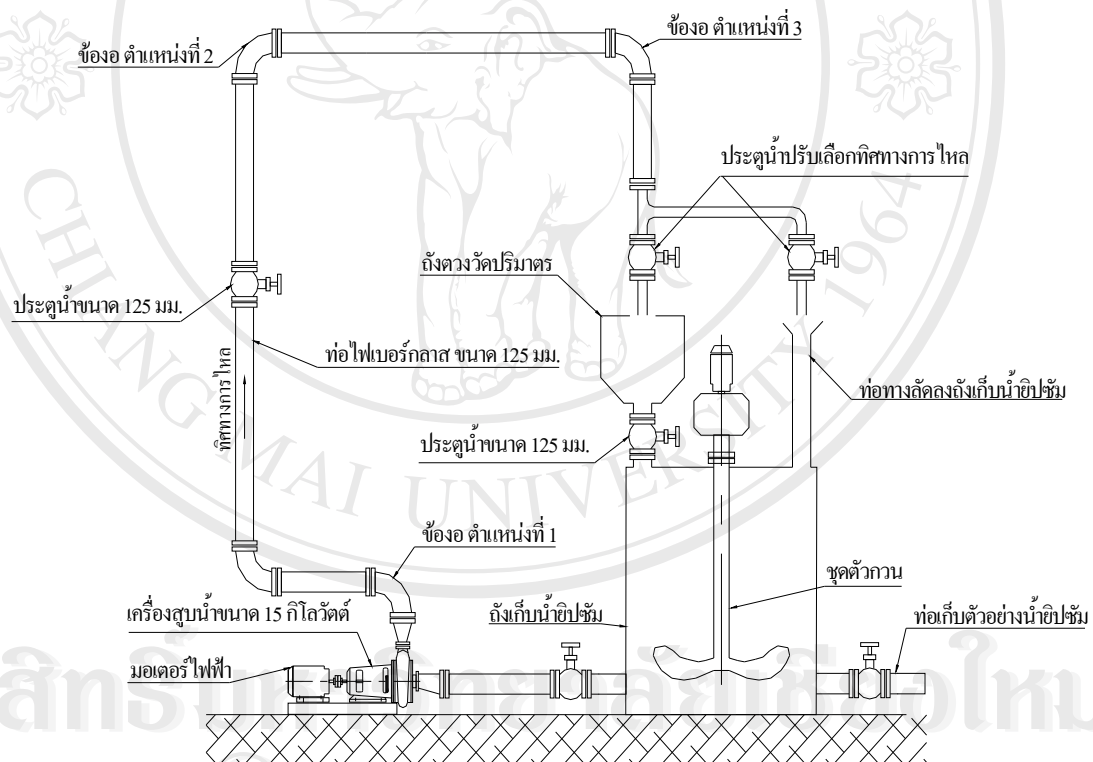
3.2.5 ค่าความเป็น กรด-ด่าง (pH) 6.8–7.3 ค่าเฉลี่ย 7.0 วัดค่าด้วย pH Meter ของ หน่วยงานเคมีระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

3.2.6 อุณหภูมิ $58\text{--}61^\circ\text{C}$ ค่าเฉลี่ย 60°C วัดค่าด้วยเทอร์โมมิเตอร์ แบบดิจิตอล ของ หน่วยงานเคมีระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

3.3 การออกแบบระบบท่อทดลอง

เครื่องวัดอัตราการไหลแบบข้ออ เป็นเครื่องวัดแบบความดันแตกต่าง ที่สถาบันรับรอง มาตรฐานระดับนานาชาติ เช่น International Organization for Standardization มิได้จัดทำเป็น

เครื่องวัดการไหลมาตรฐาน ดังเช่น เครื่องวัดที่ใช้หลักการเดียวกันอื่นๆ ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงนำเอาหลักการ ของเครื่องวัดอัตราการไหลแบบความดันแตกต่าง มาประยุกต์สร้างช่องอ ให้มีลักษณะใกล้เคียงกับมาตรฐานที่มีให้มากที่สุด อาทิเช่น มาตรฐาน ISO 5167 ค.ศ. 2003, ISO 5167-2 ค.ศ. 2003, และ ISO 2186 ค.ศ. 1973 ใช้สำหรับออกแบบเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ และอุปกรณ์ต่อพ่วง ใช้มาตรฐาน ISO 8316 ค.ศ. 1987, ISO/TR 5168 ค.ศ. 1998, DIN 16965 Part 1, DIN 16965 Part 4, และ DIN 16966 Part 2 สำหรับ ออกแบบและสร้างถึงดวงวัดการไหลเชิงปริมาตร, การประเมินความคลาดเคลื่อนของข้อมูลผลการทดลอง, และ การสร้างระบบท่อทดลอง ด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาส (Fiber Reinforced Plastic) โดยแสดงองค์ประกอบของระบบท่อทดลอง ดังรูปที่ 3.2 และมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้



รูป 3.2 แสดงแผนภาพองค์ประกอบ ของระบบท่อทดลอง ที่ใช้ในงานวิจัย

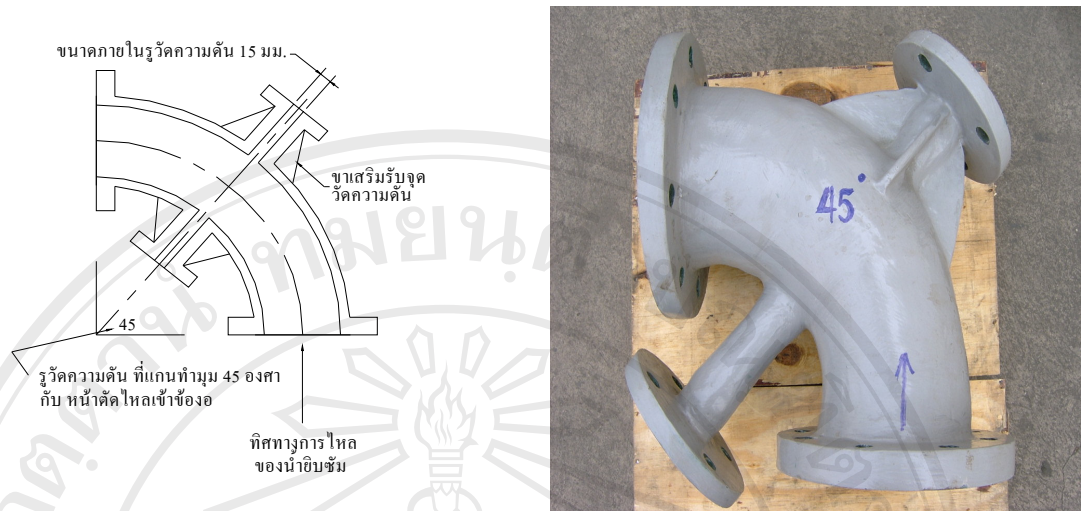
3.3.1 ถังเก็บน้ำยิปซัม เป็นภาชนะขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6.0 เมตร สูง 6.0 เมตร มีปริมาตรสุทธิ 169.65 ลูกบาศก์เมตร ติดตั้งใบกวนแบบไหลตามแกน ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.25 เมตร หนา 0.17 เมตร สูงจากพื้นถึง 0.84 เมตร ดันกำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 7.5 กิโลวัตต์ หมุนด้วยความเร็วรอบคงที่ 34 รอบต่อนาที ติดตั้งวาล์วปีกผีเสื้อ และท่อขนาด 125 มิลลิเมตร ข้าง

ถัง เป็นท่อด้านคูของเครื่องสูบน้ำ และท่อเก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม ด้านบนถังติดตั้งท่อทางลัด เพื่อใช้ในช่วงอ่านค่าอัตราการไหล และถังตรวจวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร

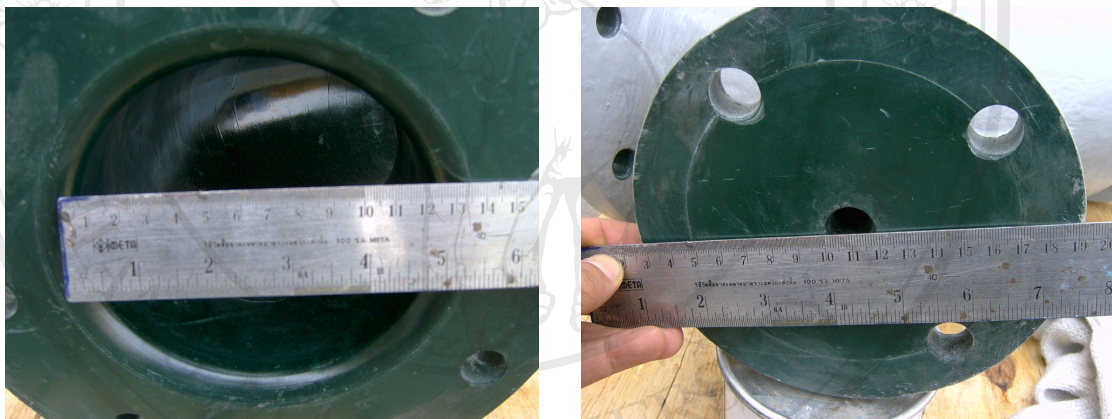
3.3.2 เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ชนิดใบพัดปิด ขนาดท่อด้านคูและส่ง 80 และ 50 มิลลิเมตร ตามลำดับ ดันกำลังขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้าขนาด 15 กิโลวัตต์ ในช่วงที่ทำการทดลอง ปรับท่อบนเครื่องสูบน้ำ ผ่านมู่เล่และสายพานร่อนรูปตัววี ในช่วง 1,445-2,138 รอบต่อนาที ให้ค่าอัตราการไหล 40 ถึง 65 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง

3.3.3 ระบบท่อและข้อต่อ ใช้ท่อตรงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 125 มิลลิเมตร และท่อแยกลงสู่ท่อลัด 50 มิลลิเมตร ผลิตจากวัสดุไฟเบอร์กลาส มีโครงสร้างวัสดุผลิตตามมาตรฐาน DIN 16965-4 มีขนาดตามมาตรฐาน DIN 16965 Part 1 และ DIN 16966 ตามลำดับ สามารถรับแรงดันได้ 9.5 บาร์ ที่อุณหภูมิ 60-70 °C รองรับความเร็วการไหลได้ไม่เกิน 1.5 เมตรต่อวินาที มีค่าความหยาบผิว 50 ไมโครเมตร และมีคุณสมบัติทางกายภาพ ดังแสดงในภาคผนวก ค ติดตั้งจำนวนหุ้มท่อชนิด แคลเซียมซิลิเกต หนา 50 มิลลิเมตร ตลอดแนวท่อตรง

3.3.4 ข้องอที่ใช้เป็นเครื่องวัดอัตราการไหล ผลิตจากวัสดุไฟเบอร์กลาส มีโครงสร้างเช่นเดียวกับท่อ และมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 125 มิลลิเมตร ตามมาตรฐาน DIN 16966 Part 2 มีค่าสัดส่วนรัศมีความโค้ง ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน คงที่ 1.5 ต่อ 1 มีค่าความหยาบผิว 50 ไมโครเมตร และเจาะรูวัดความดันขนาด 15 มิลลิเมตร ที่ผิวโค้งด้านนอกและด้านใน ตำแหน่งที่แกนทำมุม 22.5, 30.0, 37.5, และ 45.0 องศา กับระนาบตั้งฉากกับแกนไหลเข้าข้องอ ดังแสดงในรูปที่ 3.3 ตำแหน่งติดตั้งข้องอ ในระบบท่อมีสองตำแหน่ง และมีระยะติดตั้งดังนี้ ตำแหน่งที่หนึ่งอยู่ติดกับท่อด้านส่งของเครื่องสูบน้ำ และท่อตรงหลังข้องอยาว 3 เมตร, ตำแหน่งที่สองมีระยะท่อตรงในแนวดิ่งก่อนเข้าข้องอ และหลังออกข้องอในแนวระดับยาว 4 เมตร, และตำแหน่งที่สามมีระยะท่อตรงในแนวระดับก่อนเข้าข้องอ 4 เมตร แต่มีระยะท่อตรงในแนวดิ่งหลังออกจากข้องอ 0.8 เมตร ติดตั้งในระบบท่อทดลอง แสดงในรูปที่ 3.2



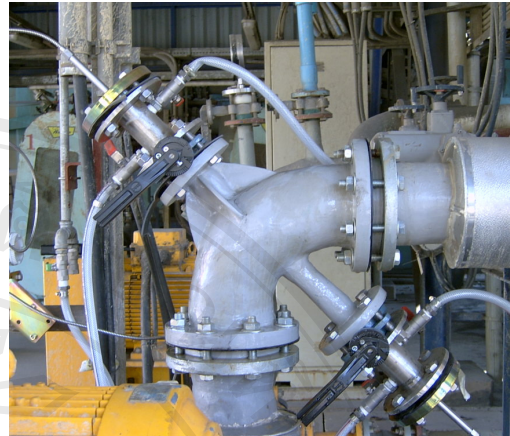
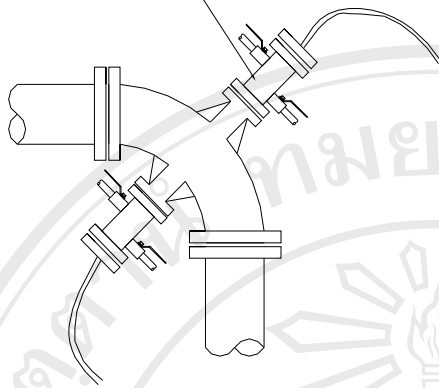
รูป 3.3 แสดงโครงสร้าง ข้องอที่มีจุดวัดความดันที่แกนทำมุม 45 องศา และของจริงที่ใช้ในการวิจัย



รูป 3.4 แสดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในข้องอ และของรูจุดวัดความดัน

3.3.5 ห้องระบายอากาศ ห้องดักตะกอน และห้องกันรั่ว สำหรับงานวิจัยนี้ ออกแบบให้เป็นชุดเดียวกัน ใช้อุปกรณ์ร่วมกันรวมเรียกว่า ชุดต่อเพื่อไล่อากาศ และชะล้างตะกอนตกค้างหน้าไดอะแฟรม โดยติดตั้งวาล์วแบบปีกผีเสื้อ ระหว่างชุดต่อๆ กับรูจุดวัดความดัน ดังแสดงในรูปที่ 3.5 โดยวาล์วระบายอากาศอยู่ในระดับสูงสุด ตรงกันข้ามกับวาล์วระบายตะกอน ที่อยู่ในระดับต่ำสุด และใช้น้ำสะอาดแรงดันประมาณ 6 บาร์ ในการทำความสะอาดตะกอน โดยต่อฟองเข้าทางวาล์วระบายอากาศ เลือกใช้วาล์วแบบลูกบอล เพื่อให้เกิดการไหลได้เต็มหน้าตัดท่อ

ชุดต่อเพื่อไล่อากาศ และชะล้างตะกอนตกค้าง หน้าไดอะแฟรม



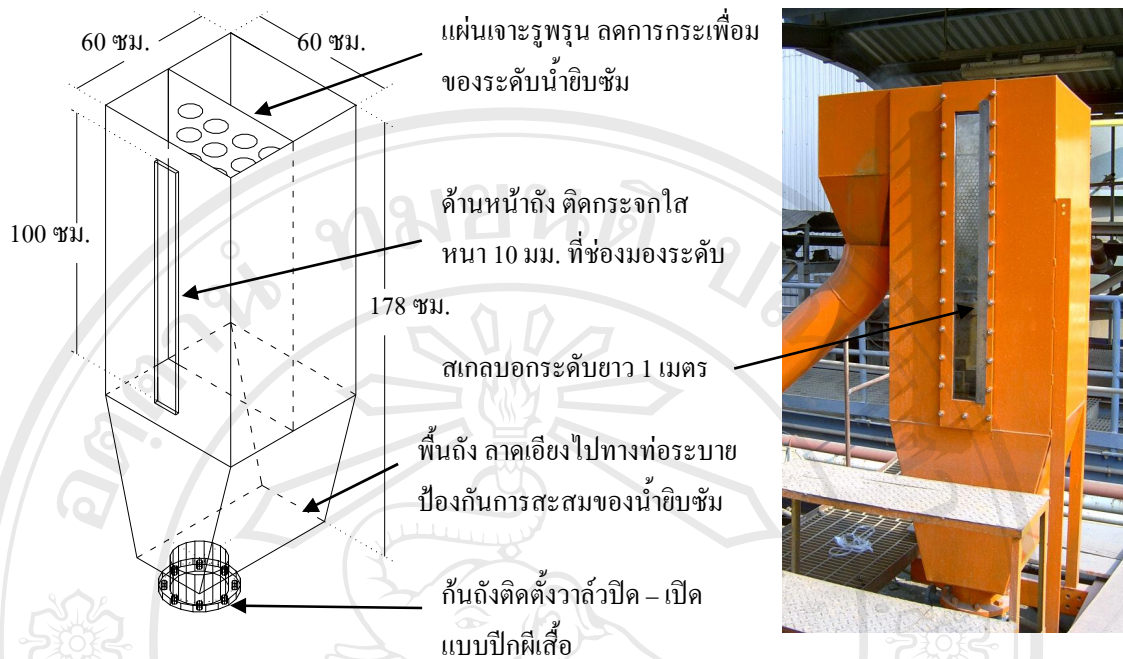
รูป 3.5 แสดงภาพชุดต่อเพื่อไล่อากาศ และชะล้างตะกอนตกค้าง หน้าไดอะแฟรม ที่ใช้ในงานวิจัย

3.3.6 ถังตรวจวัดอัตราการไหลเชิงปริมาตร ผลิตตามข้อกำหนดที่ระบุในมาตรฐาน ISO 8316 ค.ศ. 1987 โดยทำจากวัสดุสแตนเลส เกรด 304 หนา 6 มิลลิเมตร มีขนาดและรูปร่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.6 มีปริมาตรสุทธิ 594 ลิตร รองรับปริมาณน้ำยิปซัม ที่ค่าอัตราการไหลทดลองสูงสุดได้ 33 วินาที ผนังส่วนล่างและพื้นถังเอียงทำมุม 14 องศา กับแนวดิ่ง และ 4 องศา กับแนวระดับ ตามลำดับ เพื่อป้องกันน้ำและตะกอนยิปซัม ตกค้างภายในถัง ผนังด้านข้างติดตั้งกระจกลูกปืน 10 มิลลิเมตร พร้อมสเกลความละเอียด 0.001 เมตร ความยาวรวม 1 เมตร เป็นที่วัดระดับความสูงน้ำยิปซัมในถัง บริเวณกลางภาชนะติดตั้งแผ่นเจาะรูพรุน กั้นระหว่างช่องคูสเกลวัดระดับ และช่องนำน้ำยิปซัมเข้าถังวัด เพื่อลดการกระเพื่อมของระดับน้ำ ในขณะที่อ่านค่าระดับ

3.4 การเตรียมการก่อนการทดลอง

หลังจากการออกแบบ ดำเนินการสร้าง และติดตั้งระบบท่อทดลองที่ใช้ในงานวิจัยแล้ว จำเป็น ต้องตรวจสอบความพร้อมของอุปกรณ์ในระบบท่อ ความพร้อมของเครื่องมือที่ใช้ตรวจวัดค่าตัวแปร และวิธีการหาค่าที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรต่างๆ ที่ต้องการศึกษา ประกอบด้วย

3.4.1 จัดทำความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรกับระดับ (Volume-Level Chart) หลัง - จากดำเนินการสร้างและติดตั้งถัง ในระบบท่อทดลองแล้วเสร็จ ทำการสอบเทียบถังวัด โดยนำ น้ำสะอาด มีค่าความหนาแน่น 0.998 กรัมต่อ ลบ.ซม. มาชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิทัล ความละเอียด 0.01 กิโลกรัม และบรรจุลงในถังครั้งละ 40 ลิตร บันทึกค่าระดับความสูงของสเกล ที่ได้ใน



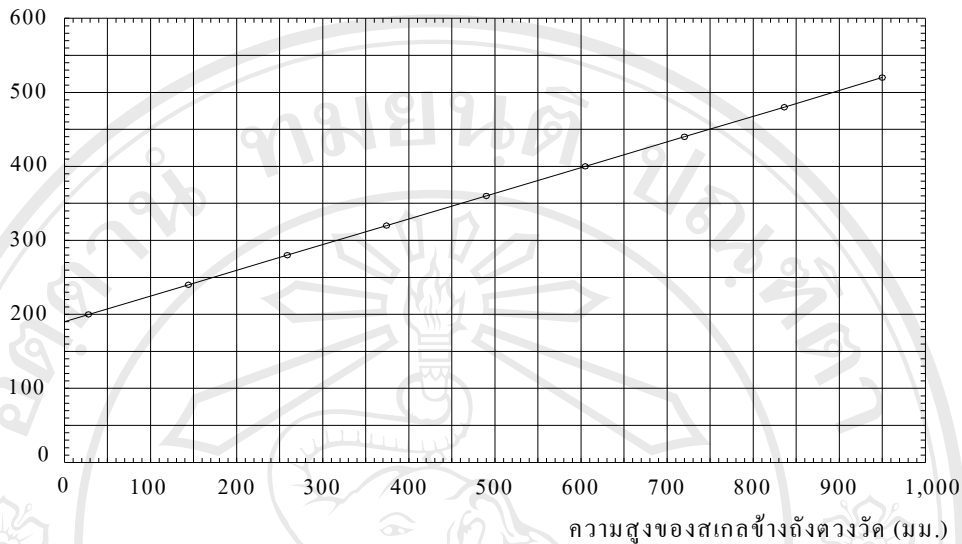
รูป 3.6 แสดงภาพลักษณะที่ออกแบบตามมาตรฐาน ISO 8316 ค.ศ. 1987 สำหรับ ใช้ในการตรวจวัด ปริมาณน้ำยิบซัม

แต่ละครั้ง โดยจำเป็นต้องเติมน้ำลงไปประมาณ 200 ลิตร จึงจะเริ่มมองเห็นระดับน้ำบนสเกล นำ ข้อมูลที่ได้มาจัดทำ กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ปริมาตรและระดับน้ำ แสดงดังในกราฟรูปที่ 3.7 กราฟที่ได้อยู่ในรูปเส้นตรง เมื่อระดับน้ำสูงกว่าผนังเอียงส่วนล่างของถัง ซึ่งกราฟที่ได้นี้ นำมาใช้ในการ แปลผลค่าปริมาตรในถังตรวจวัด จากค่าระดับที่อ่านได้โดยตรง เนื่องจาก เป็นวิธีที่มีความแม่นยำ สูง เพราะไม่ได้รับผลกระทบ จากขนาดทางกายภาพของภาชนะ สำหรับการใช้งานในระหว่างการ ทดลอง ผู้วิจัยได้เลือกขยายสเกลของกราฟ ในช่วงความสูงของสเกล ระหว่าง 350–950 มิลลิเมตร เพื่อความสะดวกในการใช้งาน และลดความคลาดเคลื่อนจากการประมาณค่า

3.4.2 ตรวจสอบการรั่วซึมของถังตรวจวัด และวาล์ว โดยบรรจุน้ำสะอาดลงในภาชนะ ทั้งไว้ 24 ชั่วโมง ตรวจสอบระดับของน้ำ หากระดับน้ำไม่เปลี่ยนแปลง แสดงว่าไม่มีการรั่วซึมของ ภาชนะและวาล์ว วิธีการนี้นำมาใช้ในการตรวจสอบสภาพของอุปกรณ์ทั้งก่อน และในระหว่างการ ทดลอง โดยดำเนินการทุกครั้งหลังเสร็จสิ้นการทดลอง ในแต่ละวัน

Volume - Level Chart

ปริมาตรในถังดวงวัด (ลิตร)



รูป 3.7 แสดงกราฟความสัมพันธ์ ระหว่าง ปริมาตรและระดับ (Volume-Level Chart) ที่ได้จากการสอบเทียบ

3.4.3 การหาค่าความเข้มข้นของน้ำยิปซัม เนื่องจาก วิธีการหาค่ามีความยุ่งยาก ในทางปฏิบัติจะใช้ความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความเข้มข้นกับความหนาแน่น โดยการหาค่าความหนาแน่นแทน และในงานวิจัยนี้ก็ใช้ วิธีการเดียวกัน ซึ่งใช้วิธีการประยุกต์ตามมาตรฐาน KRC Application Pursuant to German and International สำหรับ หาค่าความหนาแน่น ของน้ำยิปซัมสังเคราะห์ ในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ โดยในงานวิจัยนี้แยกตำแหน่งที่ต้องการหาค่า ออกเป็นสองส่วน ได้แก่

3.4.3.1 ค่าความหนาแน่นน้ำยิปซัม ที่กำหนดตามสภาวะการทดลอง โดยการเก็บตัวอย่างจากวาล์วข้างถัง ก่อนเริ่มทำการทดลอง เพื่อให้ได้ค่าตามที่กำหนดในแต่ละสภาวะ และทำการเก็บซ้ำอีกครั้ง ในระหว่างดำเนินการทดลอง แต่เปลี่ยนตำแหน่งเก็บตัวอย่าง โดยการเก็บจากปลายท่อทดลอง ก่อนลงสู่ถังดวงวัด ใช้ภาชนะเก็บตัวอย่างแบบมีฝาปิด ติดฉลากแสดงวันเวลา และตำแหน่งที่เก็บตัวอย่าง นำน้ำยิปซัมเทใส่ภาชนะทรงกระบอกใสที่มีสเกลบอกปริมาตร (ทราบน้ำหนักภาชนะเปล่า) อ่านค่าปริมาตรที่ได้ นำน้ำยิปซัมพร้อมภาชนะไปชั่งหาค่าน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์ ของห้องปฏิบัติการเคมีวิเคราะห์โรงไฟฟ้าแม่เมาะ ที่มีค่าคลาดเคลื่อน ± 0.04 กรัม ในพิกัดน้ำหนัก 2,100 กรัม ที่อุณหภูมิ 20°C ดังแสดงในรูปที่ 3.8 คำนวณค่าความหนาแน่น ด้วยสมการที่แสดงในมาตรฐาน KRC Application Pursuant to German and International โดยข้อมูลแสดงในภาคผนวก ค



รูป 3.8 แสดงภาพขณะเก็บตัวอย่างน้ำขุ่น ภาชนะทรงกระบอกใสมีสเกลปริมาตร และการวัดค่าน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักอิเล็กทรอนิกส์

3.4.3.2 ค่าความหนาแน่นน้ำขุ่น ที่ได้จากการสุ่มเก็บตัวอย่าง ในตำแหน่งจุดวัดความดัน โดยใช้เครื่องมือที่แสดงในข้อ 3.5.5 สอดเข้าไปเก็บตัวอย่างน้ำขุ่น ที่ระยะต่างๆ ของหน้าตัดช่องในตำแหน่งมุมจุดวัดความดัน โดยใช้ภาชนะและเครื่องมือในการหาค่าเหมือนกับหัวข้อ 3.4.3.1 แต่มีจำนวนมากกว่า ดังแสดงในรูปที่ 3.9



รูป 3.9 แสดงภาพภาชนะเก็บตัวอย่างน้ำขุ่น ที่ได้จากระยะต่างๆ ของหน้าตัดช่องในตำแหน่งที่มุมจุดวัดความดัน

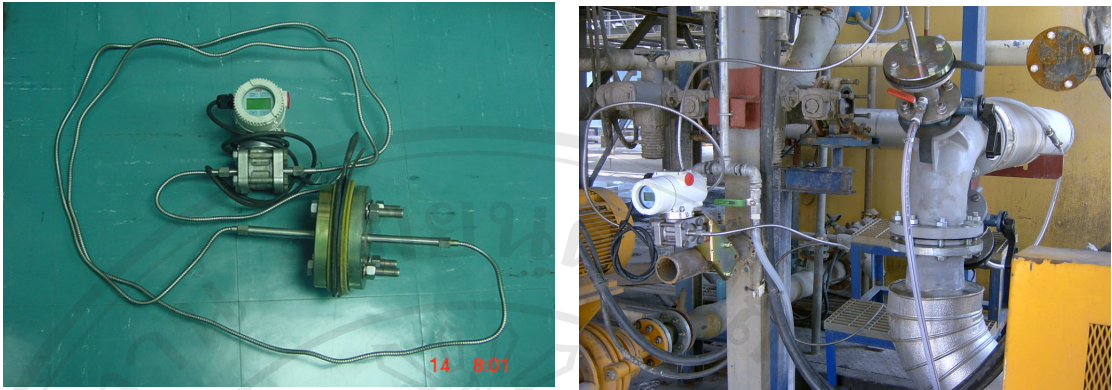
3.4.4 การสอบเทียบเครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่าง ที่ใช้ในงานวิจัย ผ่านการทดสอบ โดยตัวแทนจำหน่ายในประเทศไทย ของบริษัทผู้ผลิต และมีใบรับรองจากผู้ทดสอบ ในช่วง 0–160 inH₂O (0–400 มิลลิบาร์) มีความคลาดเคลื่อนสูงสุด 0.05 เปอร์เซ็นต์ ข้อมูลแสดงในภาคผนวก ข สำหรับ ในช่วงระหว่างดำเนินการทดลอง ทำการสอบเทียบเครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่าง ด้วย Automatic Pressure Calibrator ยี่ห้อ Transmation รุ่น 190 P ของห้องปฏิบัติการสอบเทียบ หน่วยงานภายในโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ดังแสดงในรูปที่ 3.10 โดยผลการสอบเทียบ แสดงในภาคผนวก ข



รูป 3.10 แสดงภาพเครื่องมือสอบเทียบ อุปกรณ์วัดค่าความดันแตกต่างที่ใช้ในการทดลอง

3.5 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย

3.5.1 เครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่าง (Differential Pressure Transmitter) ที่ใช้ เซนเซอร์แบบ เพียโซรีซิสทีฟ (Piezoresistive) รับสัญญาณความดันแตกต่าง ผ่านท่อनाสัญญาณ จาก Flange Type Remote Seal โดยมีแผ่นไดอะแฟรม เป็นแผ่นตัวกลางคั่นระหว่างน้ำยิปซัม และซิลิโคนที่บรรจุในท่อนำสัญญาณยาว 2 เมตร แสดงชุดเครื่องมือดังรูปที่ 3.11 โดยมีรายละเอียด ของคุณลักษณะจำเพาะ แสดงในภาคผนวก จ ในการใช้งานจะนำหน้าแปลนของเครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่าง ติดตั้งเข้ากับหน้าแปลนชุดต่อเพื่อไล่อากาศ และชะล้างตะกอน ทั้งด้านที่รับแรงดันสูง และแรงดันต่ำ ส่วนเซนเซอร์จะถูกติดตั้ง ในระดับใกล้เคียงกับ แนวเส้นผ่านศูนย์กลางของอ ตัดกับ จุดวัดความดัน ดังรูปที่ 3.11



รูป 3.11 แสดงชุดเครื่องมือวัดค่าความดันแตกต่าง และตำแหน่งติดตั้งเครื่องมือ ในขณะที่ทำการทดลอง

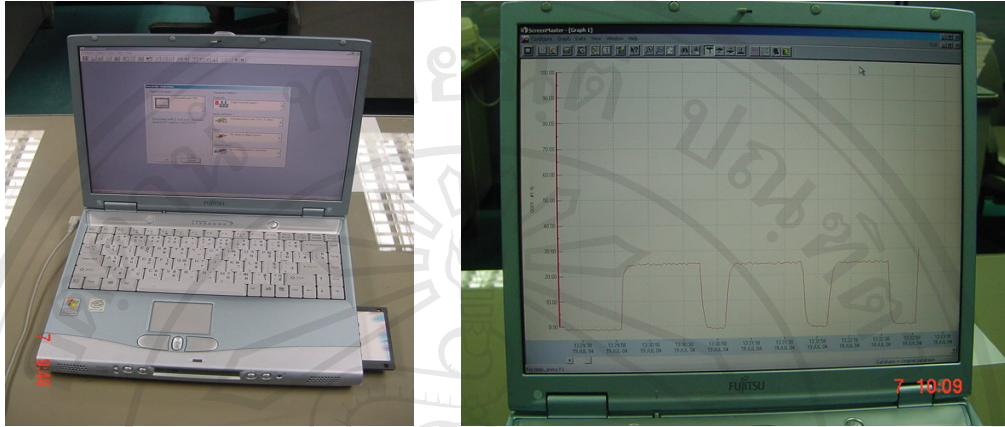
3.5.2 เครื่องบันทึกข้อมูล (Paperless Data Recorder) ยี่ห้อ Penny and Giles รุ่น Minitrend เป็นเครื่องบันทึกผลแบบ 8 ช่องสัญญาณ รับสัญญาณขาเข้าแบบ 4–20 mA. ผ่าน Analogue Input ได้โดยตรง สามารถบันทึกข้อมูลขาออกลงแผ่น Floppy Disk ขนาด 3 ½ นิ้ว ด้วยความเร็ว 250 mS ต่อชุด และแสดงค่าที่บันทึกในแผ่นดิสก์ ได้โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูปของ Penny and Giles รุ่น Trend ViewTM โดยมีลักษณะของเครื่องบันทึกข้อมูล แสดงดังรูปที่ 3.12



รูป 3.12 แสดงภาพอุปกรณ์บันทึกข้อมูล แบบไม่ใช้กระดาษ ที่นำใช้ในงานวิจัย

3.5.3 คอมพิวเตอร์และอุปกรณ์ต่อพ่วง ที่ใช้ในงานวิจัยเป็น Notebook ที่มีหน่วยประมวลผลกลาง (CPU) Intel Pentium III ความเร็ว 800 MHz หน่วยความจำ (Memory

Unit) SDRAM 256 Megabyte และ ฮาร์ดดิสก์ (Hard disk) ขนาด 20 Gigabyte ใช้ในการอ่านและบันทึกข้อมูล จากแผ่นดิสก์ เก็บไว้ในฐานข้อมูลของคอมพิวเตอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.13



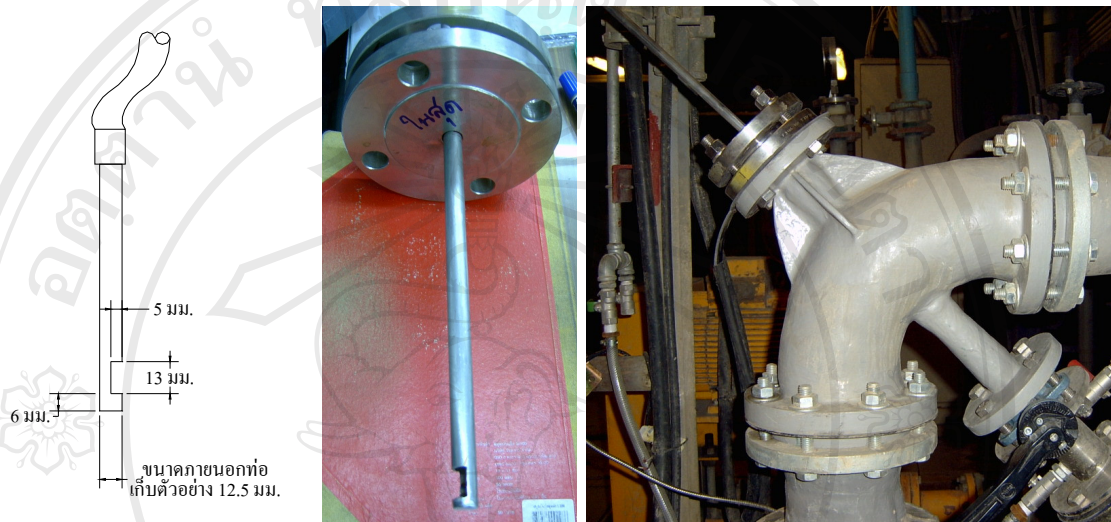
รูป 3.13 แสดงภาพของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย และซอฟต์แวร์สำเร็จรูปที่ติดตั้ง ใช้อ่านข้อมูลที่บันทึกไว้

3.5.4 เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ Center รุ่น 352 ใช้ในการตรวจวัดอุณหภูมิของน้ำยิปซัม ในระบบท่อทดลอง มีความแม่นยำ ± 2 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่อ่านได้ ด้วยความละเอียด 0.1°C สามารถอ่านค่าซ้ำได้ ± 1 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่อ่านได้ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูป 3.14 แสดงภาพเทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตอล ตรวจวัดค่าด้วยรังสีอินฟราเรด ที่นำมาใช้ในงานวิจัย

3.5.5 อุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม เพื่อหาการกระจายความหนาแน่นน้ำยิปซัม ในตำแหน่งจุดวัดความดัน โดยใช้เครื่องมือที่มีขนาด และลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.15 สอดเข้าไปที่ระยะต่างๆ ของหน้าตัดข้องอ ในแกนจุดวัดความดัน โดยทำตามรูปแบบที่ใช้ในงานวิจัยของ Rakesh Mishra, *et al.* (1998) แต่มีขนาดแตกต่าง เพื่อให้ครอบคลุมระยะที่จะลุ่มเก็บตัวอย่าง



รูป 3.15 แสดงขนาด ลักษณะ และการติดตั้งอุปกรณ์เก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

3.5.6 อุปกรณ์วัดความเร็วรอบแบบดิจิทัล (Digital Tachometer) แบบใช้รังสีอินฟราเรด ยี่ห้อ PROVA รุ่น RM-1500 แสดงผลด้วยจอ LCD ใช้สำหรับ วัดค่าความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ และเครื่องสูบน้ำยิปซัม มีความแม่นยำ ± 0.01 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่อ่านได้ ด้วยความละเอียด 0.1 รอบต่อนาที สามารถอ่านค่าซ้ำได้ ± 1 เปอร์เซ็นต์ ของค่าที่อ่านได้ มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.16



รูป 3.16 แสดงภาพเครื่องมือวัดค่าความเร็วรอบการหมุน ของมอเตอร์ และเครื่องสูบน้ำยิปซัม

3.5.7 อุปกรณ์จับเวลาแบบอิเล็กทรอนิกส์ ที่แสดงค่าได้ละเอียดถึง 0.01 วินาที ใช้สำหรับจับเวลาในช่วง เก็บข้อมูลปริมาตรของน้ำยิปซัม ที่ไหลลงสู่ถังตวงวัด เมื่อเปิดและปิดวาล์ว เบี่ยงทิศทางการไหล เพื่อหาค่าอัตราการไหลเชิงปริมาตร

3.6 ขั้นตอนในการทดลอง และการบันทึกผล

จากขอบเขตงานวิจัย กำหนดสภาวะการทดลอง ประกอบด้วย ความเข้มข้นน้ำยิปซัม 51, 54, และ 57 % โดยน้ำหนัก เทียบเท่าความหนาแน่น 1385, 1419, และ 1455 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ค่าอัตราการไหลที่ตัวเลขเรย์โนลด์สประมาณ 2000, 2500, 3000, และ 3500 ติดตั้งเครื่องวัดแบบช่องอที่ตำแหน่ง 1, 2, และ 3 สำหรับช่องอที่มีจุดวัดความดัน ที่แกนทำมุม 22.5, 30.0, 37.5, และ 45.0 องศา กับระนาบตั้งฉากกับแกนไหลเข้าช่องอ เนื่องจาก ตำแหน่งติดตั้งที่จุดใดๆ สามารถติดตั้งช่องอได้เพียงครั้งละ 1 ตัว และช่องอ 1 ตัว มีจุดวัดความดันที่มุมค่าใดค่าหนึ่ง ดังนั้น ต้องทำการเลือกติดตั้งช่องอ ที่ตำแหน่งต่างๆ ให้แล้วเสร็จก่อนเริ่มดำเนินการทดลอง โดยมีขั้นตอนการทดลอง ดังนี้

การเตรียมการก่อนการทดลอง

3.6.1 เก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม จากวาล์วข้างถัง นำไปหาค่าความหนาแน่น ด้วยวิธีการตามข้อ 3.4.3.1 และเก็บค่าอุณหภูมิด้วย ถ้าความหนาแน่นสูงเกินไป ต้องใช้วิธีการเจือจางด้วยน้ำสะอาด แต่กรณีที่มีความหนาแน่นต่ำเกินไป ต้องใช้วิธีการเติมยิปซัมแห้งเข้าไป เพื่อเพิ่มค่าความหนาแน่น จนกระทั่งใกล้เคียงค่าที่ต้องการ

3.6.2 ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล และแหล่งจ่ายไฟฟ้าแรงดัน 24 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์รับสัญญาณความดันแตกต่าง ทำการปรับตั้งค่าความดันแตกต่าง เริ่มต้นให้เป็นศูนย์

3.6.3 ตรวจสอบการรั่วซึมของถังตวงวัด จากสเกลระดับน้ำ

ขั้นตอนการเดินเครื่องสูบน้ำ และหาค่าอัตราการไหล เชิงปริมาตร

3.6.4 เปิดวาล์วด้านส่ง วาล์วด้านดูด และวาล์วท่อทางลัด เพื่อให้ น้ำยิปซัม ไหลลงสู่ถังสะสม

3.6.5 ปิดวาล์วลงสู่ถังตวงวัดปริมาตร วาล์วระบายน้ำได้ถังตวงวัด และวาล์วคร่อมชุดต่อไดอะแฟรม

3.6.6 เดินเครื่องสูบน้ำยิปซัม (Start Gypsum Slurry Pump) อ่านค่าความเร็วรอบจาก Tachometer รอจนกระทั่งความเร็วรอบคงที่

3.6.7 ปิดวาล์วลงสู่ถังตวงวัดปริมาตร พร้อมกับปิดวาล์วท่อทางลัด และเริ่มจับเวลา

3.6.8 ปิดวาล์วลงสู่ถังตวงวัดปริมาตร พร้อมกับเปิดวาล์วท่อทางลัด และหยุดจับเวลา

3.6.9 อ่านสเกลระดับน้ำในถังตวงวัด เปลี่ยนเป็นค่าปริมาตร โดยใช้ Volume-Level Chart และหารด้วยเวลา เป็นค่าอัตราการไหล เชิงปริมาตร บันทึกค่าที่คำนวณได้

3.6.10 เปิดวาล์วระบายน้ำใต้ถังตวงวัด และวาล์วลงสู่ถังตวงวัดปริมาตร พร้อมกับปิดวาล์วท่อทางลัด

3.6.11 เก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม ด้วยภาชนะที่เตรียมไว้ นำมาตรวจวัดค่าอุณหภูมิ และชั่งน้ำหนัก เพื่อคำนวณหาค่าความหนาแน่น

ขั้นตอนการวัดความดันแตกต่าง

3.6.12 เปิดใช้งานเครื่องบันทึกข้อมูล และจ่ายไฟฟ้าแรงดัน 24 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์รับสัญญาณความดันแตกต่าง

3.6.13 เปิดวาล์วคร่อมชุดต่อฯ ทั้งสองชุดอย่างช้าๆ แต่พร้อมกัน และเปิดบอลวาล์วระบายอากาศออกจากชุดต่อฯ รอให้น้ำยิปซัมไหลออกจากชุดต่อฯ จนหมด จึงปิดบอลวาล์วระบายอากาศ

3.6.14 บันทึกค่าความดันแตกต่าง คร่อมช่องลงในเครื่องบันทึกข้อมูล รวมทั้งเวลาที่เริ่มบันทึกค่าความดัน โดยใช้เวลาในการบันทึกค่าประมาณ 60 วินาที

3.6.15 ปิดวาล์วคร่อมชุดต่อฯ ทั้งสองชุดอย่างช้าๆ แล้วเปิดบอลวาล์วระบายตะกอน และบอลวาล์วท่อน้ำสะอาด (พ่วงกับท่อระบายอากาศ) เพื่อชะล้างตะกอนที่ตกค้างในชุดต่อฯ ออกจากบอลวาล์วระบายตะกอนจนหมด แล้วจึงปิดบอลวาล์วท่อน้ำ และบอลวาล์วระบายตะกอน แต่เปิดบอลวาล์วระบายอากาศทิ้งไว้

3.6.16 เปิดวาล์วคร่อมชุดต่อฯ อย่างช้าๆ แต่พร้อมกัน รอให้น้ำยิปซัมไหลน้ำสะอาด และอากาศ ออกจากชุดต่อฯจนหมด จึงปิดบอลวาล์วระบายอากาศ

3.6.17 บันทึกค่าความดันแตกต่าง คร่อมช่อง เป็นครั้งที่สอง รวมทั้งเวลาที่อ่านค่า ทำซ้ำข้อที่ 3.6.15 และ 3.6.16 เพื่อบันทึกค่าความดันแตกต่าง รวมทั้งหมดสามชุด

ขั้นตอนการสูบน้ำ การกระจายค่าความหนาแน่น ในช่อง

3.6.18 หยุดเดินเครื่องสูบน้ำ (Stop Gypsum Slurry Pump) ปิดวาล์วท่อด้านดูด และเปิดวาล์วระบายน้ำยิปซัม ออกจากระบบท่อทดลอง

3.6.19 เปิดวาล์วพร้อมชุดต่อ ๆ และบอกลวาล์วท่อน้ำสะอาด แล้ว ปิดบอกลวาล์วระบายอากาศ เพื่อชะล้างตะกอนที่ตกค้างในรูจุดวัดความดัน และในชุดต่อๆ ออกจากวาล์วระบายน้ำยิปซัม

3.6.20 ปิดวาล์วพร้อมชุดต่อๆ และบอกลวาล์วท่อน้ำสะอาด

3.6.21 ถอดหน้าแปลนวัดความดัน (Remote seal) ที่ติดตั้งด้านโค้งนอกของช่องออกมา

3.6.22 ติดตั้งหน้าแปลนที่มีท่อเก็บตัวอย่าง มาติดตั้งแทนหน้าแปลนวัดความดัน ค่อยๆ ขยับท่อเก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม เข้ามาทางด้านในรูจุดวัดความดัน จนถึง ตำแหน่งที่ทำเครื่องหมายไว้บนท่อเก็บตัวอย่าง (ปลายท่อเก็บตัวอย่าง ยังไม่ยื่นเข้าไปขวางกระแสการไหลในช่อง)

3.6.23 เดินเครื่องสูบน้ำยิปซัม ตามขั้นตอนข้อ 3.6.4 ถึง 3.6.6 แต่เปิดวาล์วลงสู่ถังวัดปริมาตร และวาล์วระบายน้ำได้ถึงดวงวัด

3.6.24 ขยับท่อเก็บตัวอย่าง เข้าไปขวางกระแสการไหลของน้ำยิปซัม จนถึงระยะอ้างอิง 0.1 เท่าของขนาดช่อง

3.6.25 รอให้น้ำยิปซัมไหลทิ้งออกไป ประมาณ 60 วินาที นำภาชนะเก็บตัวอย่าง เข้ามา รับน้ำยิปซัมที่ปลายอีกด้านหนึ่ง ของท่อเก็บตัวอย่าง จนได้น้ำยิปซัมเกือบเต็มภาชนะ ให้ปิดฝาภาชนะให้แน่น

3.6.26 ขยับท่อเก็บตัวอย่างออกมา จนถึงระยะอ้างอิง 0.2 เท่าของขนาดช่อง

3.6.27 ทำตามขั้นตอนข้อ 3.6.25 ถึง 3.6.26 จนกระทั่งเก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม ได้ครบทุก ระยะ (ระยะอ้างอิง 0.1, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, และ 0.9 เท่าของขนาดช่อง)

3.6.28 หยุดเดินเครื่องสูบน้ำ ตามขั้นตอนข้อ 3.6.18

3.6.29 ถอดหน้าแปลนท่อเก็บตัวอย่างออก แล้วประกอบหน้าแปลนวัดความดันแตกต่าง ด้านโค้งนอกของช่อง กลับเข้าตำแหน่งเดิม

เมื่อทำการทดลองแล้วเสร็จหนึ่งสภาวะ หากต้องการดำเนินการทดลองต่อเนื่อง ในสภาวะอื่นๆ ได้แก่ การเปลี่ยนค่าอัตราการไหล โดยการเปลี่ยนขนาดมู่เล่ และ/หรือปรับวาล์ว ด้านส่ง จนได้ค่าอัตราการไหลตามต้องการ และ/หรือเปลี่ยนช่องที่มีมุมมองแตกต่างกัน (22.5, 30.0, 37.5, 45.0) และ/หรือเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งช่อง มาที่ตำแหน่งที่ 2 และ 3 แทน สามารถดำเนินการทดลองต่อได้ โดยไม่ต้องเริ่มขั้นตอนที่ 3.6.1 ถึง 3.6.3 แต่ในกรณี ที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าเข้มข้นของน้ำยิปซัม หรือไม่สามารถดำเนินการทดลองต่อไปได้ เนื่องจาก ความจำเป็นในการใช้งานระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หรือมีเวลาไม่เพียงพอ สำหรับการทดลองต่อเนื่อง การเริ่มต้นดำเนินการทดลองใหม่ ต้องเริ่มจากขั้นตอนที่ 3.6.1 จนถึง 3.6.29 จนครบทุกสภาวะการทดลอง

สำหรับการทดลองเก็บข้อมูล ด้วยน้ำสะอาด มีขั้นตอนการทดลอง เหมือนน้ำยิปซัม ยกเว้นขั้นตอนที่ 3.6.1, 3.6.11, และ 3.6.18 ถึง 3.6.29 ไม่ต้องดำเนินการ ส่วนการทดลองเก็บข้อมูล ทำเฉพาะช่องที่มีจุดวัดความดันที่แกนท่ามุม 45.0 องศา กับระนาบตั้งฉากกับแกนไหลเข้าช่อง และติดตั้งช่องในตำแหน่งที่ 2 เท่านั้น เพื่อใช้เป็นข้อมูล ในการเปรียบเทียบ กับรายงานผลการวิจัย ที่เกี่ยวข้องกับเครื่องวัดการไหลแบบช่อง

3.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ จากผลการทดลอง

3.7.1 อ่านค่าความดันแตกต่างที่บันทึกได้ โดยใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป ซึ่งจะได้อข้อมูล อยู่ในรูปของชุดข้อมูลค่าความดันแตกต่าง ที่แต่ละช่วงเวลาได้อ่านค่า นำข้อมูลมาวิเคราะห์ทางสถิติ เพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ของข้อมูลแต่ละสภาวะการทดลอง

3.7.2 พิจารณาความสัมพันธ์ของความดันแตกต่าง กับค่าอัตราการไหล เปรียบเทียบ ตามมุมของจุดวัดความดันแตกต่างบนช่อง, ตำแหน่งติดตั้งช่องในระบบท่อทดลอง, และค่าความเข้มข้นของน้ำยิปซัม เพื่อหาตำแหน่งติดตั้งช่อง และมุมของจุดวัดความดันแตกต่าง ที่ตอบสนอง ต่อสัญญาณความดัน ที่ดีที่สุด

3.7.3 คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องวัดการไหลแบบช่อง โดยใช้สมการหลักของ ช่อง และข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ค่าอัตราการไหลจากถังตวงวัด, ค่าความดันแตกต่างคร่อมจุดวัด, ขนาดพื้นที่หน้าตัดการไหล, และค่าความหนาแน่นน้ำยิปซัม

3.7.4 พิจารณาความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์ กับตัวเลขเรย์โนลด์ เปรียบเทียบตาม มุมของจุดวัดความดันแตกต่างบนช่อง, ตำแหน่งติดตั้งช่องในระบบท่อทดลอง, และค่าความเข้มข้นของน้ำยิปซัม เพื่อหาแนวโน้มความสัมพันธ์

3.7.5 พิจารณาค่าความหนาแน่น ที่สุ่มเก็บตัวอย่าง ที่ระยะต่างๆ ตามแนวแกนของรู จุดวัดความดัน เทียบกับ ค่าความหนาแน่นในระบบท่อทดลอง เปรียบเทียบตามมุมของจุดวัดความดันแตกต่างบนช่อง และ ตำแหน่งติดตั้งช่องในระบบท่อทดลอง เพื่อหาการกระจายของอนุภาค ในหน้าตัดจุดวัดความดัน และพิจารณาผลกระทบจาก แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางที่กระทำต่ออนุภาค

3.8 การเก็บข้อมูลค่าอัตราการไหล ในช่วงที่ใช้งานจริง

เมื่อได้ข้อสรุปเรื่อง มุมของจุดวัดความดัน และ ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดในระบบท่อ ทดลอง ที่เหมาะสมที่สุดแล้ว นำข้ออมาคิดตั้งเข้ากับระบบท่อ ของระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม ใน ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะหน่วยที่ 9 เพื่อทำการเก็บข้อมูล และนำไปใช้ ในการออกแบบระบบควบคุมอัตราการไหลต่อไป โดยมีขั้นตอน ดังนี้

3.8.1 ตัดต่อท่อเพื่อเตรียมติดตั้งช่องอ ของท่อในระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม ในระยะ ที่สามารถติดตั้ง เครื่องวัดการไหลแบบช่องอได้ทันที

3.8.2 ชะล้างตะกอนที่ค้างอยู่ภายในท่อ ก่อนติดตั้งเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ ใน ระบบท่อ

3.8.3 เตรียมน้ำยิปซัมจากระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 9 จนกระทั่งได้ระดับน้ำในถังสะสมที่ 5.2 เมตร และห้ามเติมน้ำยิปซัม เข้ามาในถังสะสม อีก จนกว่าจะสิ้นสุดการเก็บข้อมูล

3.8.4 เก็บตัวอย่างน้ำยิปซัม จากวาล์วข้างถัง นำไปหาค่าความหนาแน่น โดยต้องการ ค่าความหนาแน่นน้ำยิปซัมประมาณ 1,419 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ความเข้มข้น 54 % โดย น้ำหนัก) ใช้วิธีการตามข้อ 3.6.1

3.8.5 ติดตั้งเครื่องบันทึกข้อมูล และแหล่งจ่ายไฟแรงดัน 24 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์รับ สัญญาณความดันแตกต่าง ทำการปรับตั้งค่าความดันแตกต่าง เริ่มต้นให้เป็นศูนย์

3.8.6 ปิดวาล์วคร่อมชุดต่อไดอะแฟรม เปิดวาล์วด้านส่ง และวาล์วด้านดูดของเครื่อง สูบน้ำ

3.8.7 เดินเครื่องสูบน้ำ (Start Gypsum Slurry Pump) อ่านค่าความเร็วรอบจาก Tachometer รอจนกระทั่งความเร็วรอบคงที่

3.8.8 เปิดเครื่องบันทึกข้อมูล และจ่ายไฟฟ้าแรงดัน 24 โวลต์ ให้กับอุปกรณ์รับ สัญญาณความดันแตกต่าง

3.8.9 เปิดวาล์วคร่อมชุดต่อฯ อย่างช้าๆ แต่ต้องพร้อมกัน และเปิดบอลลวาล์วระบาย อากาศออกจากชุดต่อฯ รอให้น้ำยิปซัมไล่อากาศออกจากชุดต่อฯ จนหมด จึงปิดบอลลวาล์วระบาย อากาศ

3.8.10 บันทึกค่าความดันแตกต่าง คร่อมช่องลงในเครื่องบันทึกข้อมูล รวมทั้งเวลาที่ เริ่มบันทึกค่าความดัน โดยจะบันทึกค่าจนกระทั่ง ระดับน้ำในถังสะสมลดลงมาที่ค่าประมาณ 1.8

เมตร และเครื่องสูบน้ำยิปซัม จะหยุดเดินเครื่องโดยอัตโนมัติ (Permissive Stop Gypsum Slurry Pump)

3.8.11 ปิดวาล์วท่อด้านดูด และเปิดวาล์วระบายน้ำยิปซัม ออกจากระบบท่อ

3.8.12 เปิดบอลลวาล์วระบายตะกอน และบอลลวาล์วท่อน้ำสะอาด เพื่อชะล้างตะกอนที่ตกค้างในชุดต่อๆ ออกทางบอลลวาล์วระบายตะกอนจนหมด แล้วจึงปิดบอลลวาล์วระบายตะกอน เพื่อใช้น้ำสะอาดชะล้างตะกอนที่ตกค้างในรูของจุดวัดความดัน กลับเข้าไปทางข้องอ และระบบท่อ

หลังจากได้ข้อมูลค่าความดันแตกต่าง ในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้า จากเครื่องวัดการไหลแบบข้องอ ที่ติดตั้งในระบบท่อในช่วงใช้งานจริง นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าความดันแตกต่าง และค่าอัตราการไหลจากผลที่ได้จากระบบท่อทดลอง โดยจะนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบระบบควบคุมอัตราการไหล

3.9 การออกแบบระบบควบคุม ค่าอัตราการไหล

การออกแบบระบบควบคุมอัตราการไหล โดยใช้กระบวนการควบคุมแบบพีซีลอจิก เป็นกลไกควบคุมอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ เพื่อปรับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำยิปซัม ให้ได้ค่าอัตราการไหลคงที่ ตามที่ผู้ผลิตสายพานแยกน้ำออกจากยิปซัม กำหนดไว้ มีขั้นตอนดังนี้

3.9.1 แปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นดิจิทัล จากข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่าง ค่าความดันแตกต่าง และค่าอัตราการไหล ในรูปแบบของสัญญาณไฟฟ้าขนาด 4-20 มิลลิแอมป์ ที่ได้จากอุปกรณ์วัดค่าความดันแตกต่าง คร่อมจุดวัดบนเครื่องวัดการไหลแบบข้องอ นำมาแปลงค่าเป็นสัญญาณดิจิทัล และนำมากำหนดเป็นตัวแปรขาเข้าของกระบวนการควบคุม มีค่าเป้าหมายที่ค่าอัตราการไหล 13.9 ลิตรต่อวินาที

3.9.2 ใช้ข้อมูลผลการทดสอบเครื่องสูบน้ำยิปซัม ด้วยความเร็วคงที่ 1,715 รอบต่อนาที จะได้เส้นโค้งคุณลักษณะ แปลงเส้นโค้งโดยอาศัยกฎความเกี่ยวเนื่อง (Affinity Laws) จะทราบช่วงความเร็วรอบ ที่มีค่าอัตราการไหลคงที่ 13.9 ลิตรต่อวินาที กับค่าความถี่ที่ใช้ขับเคลื่อนมอเตอร์ไฟฟ้า ถูกกำหนดให้เป็นตัวแปรขาออก

3.9.3 ใช้ความสัมพันธ์สร้างตัวแปรขาเข้า จากข้อมูลตัวแปรขาเข้าและค่าเป้าหมาย ในรูปของการเปลี่ยนแปลง และอัตราการเปลี่ยนแปลง ความสัมพันธ์ในเชิงภาษา จะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ โดยให้สอดคล้องกับการเปลี่ยนแปลง ของค่าอัตราการไหลจากเริ่มเดินเครื่อง จนถึงค่าอัตราการไหลที่ต้องการ และค่าอัตราการไหลก่อนหยุดเดินเครื่อง กับค่าอัตราการไหลที่ต้องการ

3.9.4 ใช้ข้อมูลความเร็วรอบสร้างตัวแปรขาออก โดยแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ อาศัยการตอบสนองต่อตัวแปรขาเข้า โดยอาจจะต้องมีการปรับปรุง ให้สอดคล้องกับตัวแปรขาเข้า เพื่อให้ได้สัญญาณควบคุมอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ มีความต่อเนื่องมากที่สุด

3.9.5 สร้างกฎการตอบสนอง ของระบบควบคุม จากการตอบสนองแบบขั้นบันได เพื่อลดค่าอัตราการใช้ จากเครื่องสูบน้ำที่เกินความต้องการ และเวลาที่ใช้ในการตอบสนองไปสู่ค่าอัตราการใช้ที่ต้องการ

3.9.6 แปลงกฎควบคุม เป็นสัญญาณควบคุม โดยใช้วิธีค่ากลางของพื้นที่ (Center of Area Method, COA) และวิธีค่าเฉลี่ยสูงสุด (Mean of Maxima, MOM) นำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกัน แต่จะอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิทัล ภายในกลุ่มของตัวแปรเชิงภาษา ดังนั้น เพื่อให้การพิจารณาสัญญาณควบคุมได้โดยง่าย จะใช้ซอฟต์แวร์สำเร็จรูป MATLAB แปลงสัญญาณควบคุม ให้อยู่ในรูปแบบกราฟิก

3.9.7 กำหนดเวลาตอบสนอง ของระบบควบคุมอัตราการใช้ ต่อการเปลี่ยนความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำปั๊ม