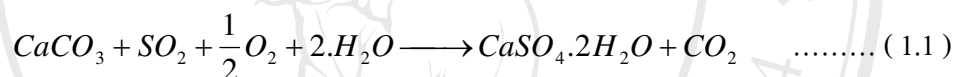


บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ (Flue Gas Desulfurization System, *FGD*) ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11 ทำหน้าที่กำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่เกิดจากการเผาไหม้จากหม้อไอน้ำ โดยใช้หินปูน (Calcium Carbonate, $CaCO_3$) เป็นวัตถุดิบ และได้ยิปซัม (Calcium Sulfate Dehydrate, $CaSO_4 \cdot 2H_2O$) เป็นผลิตภัณฑ์ ดังสมการ (1.1)



ยิปซัมที่เกิดขึ้นในหอกำจัด จะถูกแยกออกจากน้ำหินปูนส่วนเกินโดยเครื่องคัดแยก และไหลลงสู่ถังสะสมยิปซัม ซึ่งจะมีเครื่องสูบน้ำยิปซัม ส่งไปยังสายพานกรองน้ำออกจากยิปซัม (Gypsum Dewatering Vacuum Belt Filter) เพื่อนำน้ำหมุนเวียนกลับมาใช้อีกครั้ง ส่วนยิปซัมที่ได้ซึ่งมีความชื้นไม่เกิน 20 เปอร์เซ็นต์ จะถูกลำเลียงลงบนสายพานเพื่อรอจำหน่าย หรือส่งไปทิ้งบ่อซีเมนต์ ในปฏิริยาเคมีที่สมดุล ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หนึ่งโรงจะผลิตยิปซัมได้เฉลี่ย 47 ตันต่อชั่วโมง ในขณะที่สายพานกรองน้ำ ออกแบบให้สามารถผลิตยิปซัมได้ 65 ตันต่อชั่วโมง เมื่อเครื่องสูบน้ำ ส่งน้ำยิปซัมด้วยค่าอัตราการไหล 13.9 ลิตรต่อวินาที

จากการใช้งานระบบทำยิปซัมให้แห้ง มักจะพบปัญหา ที่ทำให้ระบบใช้งานได้ไม่ต่อเนื่อง บางครั้งจำเป็นต้องลดกำลังผลิตไฟฟ้า โดยมีสาเหตุมาจากยิปซัมที่ผลิตได้ มีความชื้นสูงหรือยิปซัมไม่แห้ง และอุปกรณ์ในระบบชำรุด จากข้อมูลประวัติอุปกรณ์ ของแผนกบำรุงรักษา อุปกรณ์เครื่องกล ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ กองบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าแม่เมาะ 1 ฝ่ายบำรุงรักษาโรงไฟฟ้าแม่เมาะ ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 จนถึง พ.ศ. 2547 ระบบทำยิปซัมให้แห้ง ของระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ หน่วยที่ 8-11 มีความเสียหายของอุปกรณ์เครื่องกล ในระบบรวมทั้งสิ้น 298 ครั้ง ประกอบด้วย สายพานกรองน้ำออกจากยิปซัม 86 ครั้ง, สายพานลำเลียงยิปซัม (Gypsum Discharge Conveyor) 62 ครั้ง, เครื่องดูดสุญญากาศ (Vacuum Pump) 11 ครั้ง,

เครื่องสูบน้ำยิปซัม 16 ครั้ง, เครื่องกวน (Agitator) 14 ครั้ง, และอุปกรณ์อื่นๆ รวม 109 ครั้ง คิดเป็นค่าใช้จ่ายในการซ่อมบำรุง และเปลี่ยนอะไหล่ทั้งสิ้นประมาณ 128 ล้านบาท และจากรายงานข้อมูลความสูญเสีย ของหน่วยงานประสิทธิภาพ ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่ได้รวบรวมไว้ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2542 จนถึง พ.ศ. 2548 ระบบทำยิปซัมให้แห้ง ก่อให้เกิดความสูญเสีย ขณะหยุดซ่อมบำรุง หรือลดกำลังการผลิต และมีค่าเสียโอกาสในการผลิตไฟฟ้าโดยเฉลี่ย ปีละประมาณ 19.6 ล้านบาท คิดเป็น 20.66 เปอร์เซ็นต์ ของความสูญเสียทั้งหมด

เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลความเสียหายของอุปกรณ์ จะพบว่า อุปกรณ์ชำรุดเร็วกว่าที่ผู้ผลิตคาดการณ์ไว้ ทั้งนี้สันนิษฐานว่า เกิดจากการใช้งานอุปกรณ์ ไม่ตรงตามที่ได้ผู้ผลิตได้ออกแบบ ซึ่งจำกัดการใช้งานไว้ในช่วง 0.9-1.1 เท่า ของค่าที่ออกแบบ โดยจากลักษณะการใช้งานจริง พบว่าเครื่องสูบน้ำยิปซัม ถูกควบคุมการเดินเครื่อง โดยใช้ระดับของน้ำยิปซัมในถังสะสมเป็นตัวกำหนด และมีการใช้งานอุปกรณ์ไม่ต่อเนื่อง ขึ้นอยู่กับปริมาณยิปซัมที่ผลิตได้ในหอกำจัด และได้มีการดัดแปลงระบบท่อ ให้สามารถสูบน้ำยิปซัมจาก ระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์สองโรง มาที่สายพานกรอน้ำออกจากยิปซัม เครื่องเดียวกัน โดยให้อีกเครื่องหนึ่งหยุด ในสภาพพร้อมใช้งาน (Standby) ซึ่งทำให้สายพานแยกน้ำออกจากยิปซัม รับภาระเกินกำลัง (Over Load) หรือรับภาระเพียงบางส่วน (Partial Load) บ่อยครั้ง ดังนั้น ในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ จำเป็นต้องทราบข้อมูลการใช้งานของระบบ และควบคุมให้เหมาะสมกับสมรรถนะ ของอุปกรณ์ แต่เนื่องจากในระบบทำยิปซัมให้แห้ง ไม่ทราบค่าอัตราการไหลในช่วงใช้งาน ซึ่งเป็นตัวแปรสำคัญ ในการพิจารณาสถานะการใช้งานว่าตรงตามที่ได้ถูกออกแบบไว้ ดังนั้น จำเป็นต้องหาเครื่องมือวัด หรือวิธีการวัดค่าอัตราการไหล ที่สามารถใช้กับสารทำงานที่มีสภาพกัดกร่อนได้ จาก Flow meter selection table ของ Richard W. Miller (1996) แสดงเครื่องมือวัดอัตราการไหล ที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อค่าเสถียรของระบบ ซึ่งเหมาะสมสำหรับการใช้งานหลายชนิด เช่น เครื่องวัดอัตราการไหล แบบคลื่นแม่เหล็ก (Magnetic Flow Meter) เครื่องวัดอัตราการไหล แบบคลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Flow Meter Doppler Type) แต่เครื่องวัดทั้งสองชนิด มีราคาสูงมากประมาณ 400,000 บาท และ 700,000 บาทต่อชุด ตามลำดับ รวมทั้งต้องเสียค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและค่าดำเนินการสอบเทียบ, มีข้อจำกัดเรื่องตำแหน่งติดตั้ง, และความคลาดเคลื่อนสูงเนื่องจาก ท่อในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ทำจากวัสดุคอมโพสิต (Composite) ได้แก่ ท่อไฟเบอร์กลาส (Fiber Reinforce Plastic) และท่อที่หุ้มภายในด้วยยาง (Steel Rubber Liner) ซึ่งมีปัญหาเรื่องการสะท้อนและดูดซับคลื่น

นอกจากนี้ ยังมีเครื่องวัดอัตราการไหลอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งนำหลักการ การวัดการไหลในช่องอมาประยุกต์ใช้ โดยมีการออกแบบ ติดตั้งใช้งานง่าย ราคาถูก การบำรุงรักษาและสอบเทียบทำ

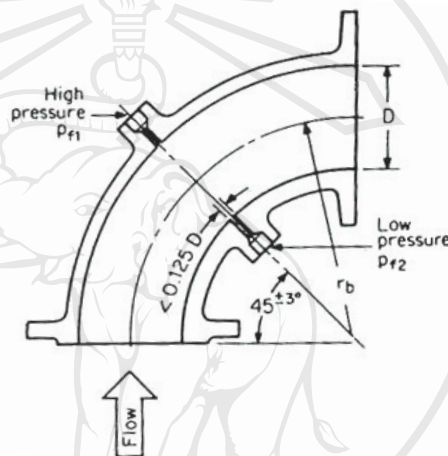
ได้ง่าย ไม่ก่อให้เกิดการสูญเสียพลังงานในระบบท่อมากขึ้น เพราะติดตั้งแทนที่ ข้องอในระบบท่อ เมื่อมีขนาดเท่ากันได้ทันที แต่ต้องศึกษา ข้อจำกัดของการวัด เช่น สภาพการไหลของสารทำงาน, ค่าความดันแตกต่างคร่อมเครื่องวัด, ตำแหน่งติดตั้งเครื่องวัดในระบบท่อ, ค่าสัมประสิทธิ์ข้องอ, และตัวแปรต่างๆ ที่มีผลกระทบ เมื่อทราบค่าอัตราการไหลในสภาพการใช้งานจริง ก็สามารถหาแนวทางในการควบคุมค่าอัตราการไหล ให้เหมาะสมกับการทำงานของอุปกรณ์ได้

ดังนั้น จึงเป็นที่มาของงานวิจัย ลักษณะสมบัติของการวัดการไหล ด้วยเครื่องวัดแบบ ข้องอ สำหรับน้ำยิปซัม ในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11 โดยออกแบบระบบท่อทดลอง และติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลแบบข้องอ ในตำแหน่งต่างๆ ที่ใกล้เคียงกับระบบท่อใช้งานจริง โดยใช้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าอัตราการไหล กับความดันแตกต่างคร่อมจุดวัดบนข้องอ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของข้องอ ครอบคลุมช่วงค่าอัตราการไหล และความเข้มข้นที่ใช้งาน พิจารณาคำแนะนำติดตั้งเครื่องวัดการไหล ที่เหมาะสมในท่อของระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม และนำความสัมพันธ์ระหว่าง สัญญาณความดันที่ได้ กับค่าอัตราการไหลในช่วงใช้งาน มาออกแบบระบบควบคุมแบบพีซีล่อจิก ปรับระดับความเร็วรอบของเครื่องสูบน้ำยิปซัม ผ่านอุปกรณ์อินเวอร์เตอร์ เพื่อให้ได้ค่าอัตราการไหลคงที่ 13.9 ลิตรต่อวินาที ส่งไปยังสายพานแยกน้ำออกจากยิปซัม ในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11

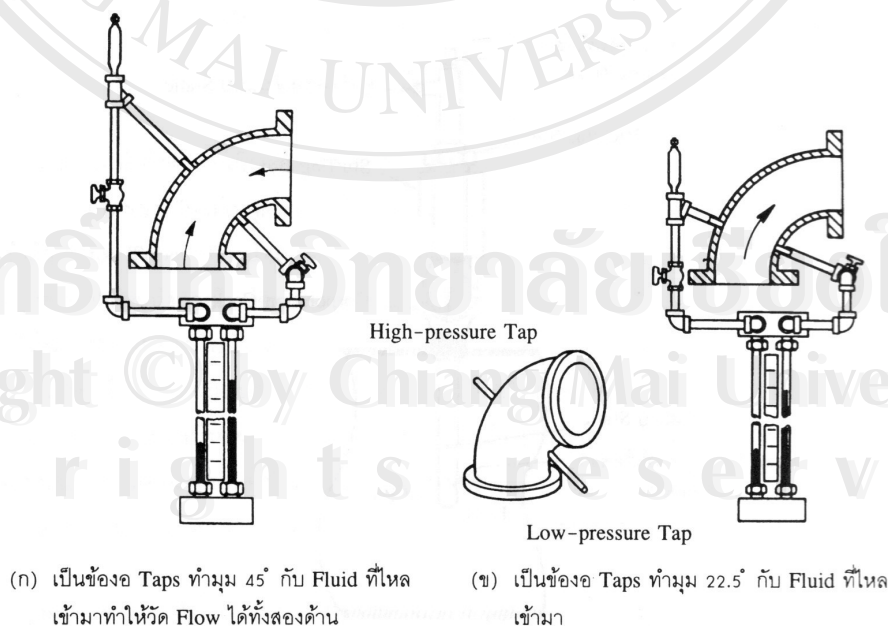
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง

J. W. Murdock, *et al.* (1963) ได้ทำการรวบรวมข้อมูล ที่ได้มาจากการศึกษา และทดสอบข้องอด้วยน้ำสะอาด เพื่อใช้เป็นเครื่องมือวัดอัตราการไหล จากข้อมูลประมาณ 1,500 ชุด โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อประเมิน และเปรียบเทียบกับเครื่องมือวัดชนิดอื่น ที่มีหลักการเหมือนกัน และมีมาตรฐานรองรับ อาทิเช่น ออร์ฟิซ, เวนจูรี, และนอซเซล รวมทั้งพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่มีผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องวัดแบบข้องอ ได้ข้อสรุปว่า ค่าสัมประสิทธิ์ข้องอ อยู่ระหว่าง 0.85–1.08 และใช้ทำนายค่าอัตราการไหล คลาดเคลื่อน ± 10 เปอร์เซ็นต์ ด้วยแนวความคิดว่าไม่เกิดการไหลวนภายในข้องอ แม้ว่าจะไม่มีข้อมูลยืนยันก็ตาม และได้กำหนดเกณฑ์ขั้นต่ำ เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลได้แก่ ค่ารัศมีความโค้งต่อขนาดท่อ, ความต่อเนื่องของรอยต่อท่อกับข้องอ และระยะท่อตรง ทางด้านเข้าของข้องอ ความยาวไม่น้อยกว่า 25 เท่าของขนาดท่อ โดยพบว่า เมื่อค่ารัศมีความโค้งต่อขนาดท่อ มากกว่า 1.5 ต่อ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ข้องอมีแนวโน้มคงที่ นอกจากนี้ จุดวัดความดันที่ผนังด้านใน และนอกของข้องอ ต้องอยู่ในแนวเดียวกัน ที่แกนทำมุม 45 องศา กับระนาบตั้งฉากกับแกนไหลเข้าข้องอ

จากการพิจารณาตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลต่อการวัดการไหล ได้แก่ ตัวเลขเรย์โนลด์์ และลักษณะทางกายภาพ พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ช่องอ้อมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น สำหรับ ตัวเลขเรย์โนลด์์ 50,000-300,000 สัมประสิทธิ์ช่องอ้อมเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อความหยาบของผิวท่อเปลี่ยนไป และ สัมประสิทธิ์ช่องอ้อมไม่ขึ้นอยู่กับ ขนาดของจุดวัดความดัน แต่การทำให้รู้วัดความดัน อยู่ในแนวเดียวกัน จะสามารถใช้งานเครื่องวัดได้ ทั้งสองทิศทางการไหล โดยมุมของจุดวัดความดันเบี่ยงเบน 45 ± 3 องศา ค่าอัตราการไหลต่างกันไม่เกิน ± 2 เปอร์เซ็นต์ และเครื่องวัดที่มีการสอบเทียบ จะมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน ± 4 เปอร์เซ็นต์ และสามารถอ่านค่าซ้ำได้ในช่วง ± 0.2 เปอร์เซ็นต์



รูป 1.1 แสดงภาพเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ้อม (ที่มา : Richard W. Miller, 1996)



รูป 1.2 แสดงภาพเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ้อม (ที่มา : สมศักดิ์ กীরติวุฒิสเรษฐ, 2546)

Indian Standard Institution (1979) สร้างข้อกำหนด สำหรับ วิธีการประเมินของเหลวแบบไม่ขุ่นตัว ไหลภายในช่องปิด ด้วยเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ IS : 9115-1979 โดยให้รายละเอียดทั่วไปเกี่ยวกับ การสร้างและการติดตั้งเครื่องวัด สำหรับวัดการไหลของน้ำสะอาด มีเงื่อนไขว่า ของไหลมีความเร็วไม่น้อยกว่า 1 เมตร ต่อวินาที และระบุว่าจุดวัดความดันแตกต่างกันที่มุม 45 องศา ให้ค่าความดันแตกต่างกันสูงสุด แต่ถ้าตัวเลขเรย์โนลด์มีค่าสูงมากๆ จะเกิดการแยกชั้นการไหล (Flow Separation) ซึ่งจุดวัดความดันที่มุม 22.5 องศา จะให้ค่าความดันแตกต่างกันที่เสถียรมากกว่าที่มุม 45 องศา ค่าสัมประสิทธิ์ช่องอ มีค่าระหว่าง 0.69-1.40 โดยขึ้นอยู่กับค่าสัดส่วนระหว่าง รัศมีความโค้งต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางช่องอ เมื่อผ่านการสอบเทียบ เครื่องวัดจะมีความแม่นยำ ± 5 เปอร์เซ็นต์

J. M. Colwell and C. A. Shook (1989) นำข้อมูลมาตรฐาน มาติดตั้งใกล้ท่อด้านส่งของเครื่องสูบของผสม เนื่องจาก มีการกระจายของความเร็ว และความหนาแน่น สม่าเสมอและสมมาตร ตลอดหน้าตัดท่อ เพื่อหาการผันแปรของสัมประสิทธิ์ช่องอ กับตัวแปรต่างๆ โดยพบว่า เมื่อของไหลมีความเร็วสูง หรือการตกตะกอนของอนุภาคเกิดขึ้นซ้ำ ทำให้การกระจายของอนุภาคสม่าเสมอ สามารถหาค่าสัมประสิทธิ์ช่องอเฉลี่ยได้ 0.76 ในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ ประมาณ 26,000-40,000 ส่วนของไหลที่มีความเร็วต่ำ หรือมีฟองอากาศเกิดขึ้นภายในจุดวัดความดัน ค่าสัมประสิทธิ์ช่องอที่คำนวณได้ มีค่าต่ำกว่าความเป็นจริง ในทางกลับกัน การตกตะกอนของอนุภาค ทำให้คำนวณค่าสัมประสิทธิ์ช่องอได้สูงกว่าความเป็นจริง ขนาดของอนุภาค และความหนาแน่นของของแข็ง ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์ช่องอ จึงสรุปได้ว่า การไหลที่มีความเร็วสูง จะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ช่องอ ที่ใช้กับของผสม มีความน่าเชื่อถือมากกว่า การไหลที่ความเร็วต่ำ โดยต้องไม่มีฟองอากาศ และการตกตะกอนเกิดขึ้น เมื่อเทียบกับข้อมูลของ J. W. Murdock, *et al.* (1963) ค่าสัมประสิทธิ์ช่องอที่ใช้กับของผสม มีค่าต่ำกว่าของน้ำสะอาด ซึ่งอาจเกิดจาก ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องวัดแบบช่องอที่แตกต่างกัน

Jame W. Dally, *et al.* (1993) แสดงหลักการของเครื่องวัดอัตราการไหล ที่อาศัยความแตกต่างของค่าความดัน โดยใช้ช่องอเป็นชิ้นส่วนหลักที่ติดตั้งขวางการไหล ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความเร็ว และความดันของของไหลภายในท่อ โดยใช้สมการของเบอร์นูลลี มาประยุกต์ ใช้กับของไหลไม่ขุ่นตัวในอุดมคติ และจากหลักการอนุรักษ์มวล ค่าอัตราการไหลที่คำนวณได้จากสมการ จะมีค่ามากกว่าค่าอัตราการไหลจริง นำมาคำนวณ ค่าสัมประสิทธิ์ช่องอ ได้ค่าอยู่ระหว่าง 0.56-0.88 แต่ไม่ได้แสดงเงื่อนไข ในการนำค่าสัมประสิทธิ์ช่องอไปใช้ในการคำนวณค่าอัตราการไหล

Richard W. Miller (1996) จำแนกเครื่องวัดอัตราการไหลแบบช่องอ อยู่ในการวัดการไหลที่ก่อให้เกิดความดันแตกต่าง มีจุดวัดความดันอยู่ที่มุม 22.5 หรือ 45 องศา สามารถทำการวัดค่าความดันซ้ำๆ กันได้ มีความแม่นยำในการวัดค่าอัตราการไหล ± 4 เปอร์เซ็นต์ โดยมีเงื่อนไขสำหรับช่องอที่มีค่าสัดส่วนรัศมีความโค้ง ต่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางช่องอ ไม่น้อยกว่า 1.25 และตัวเลขเรย์โนลด์สของท่อ มากกว่า 10,000 ขึ้นไป มีข้อด้อยหลักๆ คือ ความดันแตกต่างมีค่าต่ำมากๆ โดยทั่วไปได้รับอิทธิพลจาก ตำแหน่งและองค์ประกอบของจุดวัดความดัน, ลักษณะทางกายภาพของช่องอ, ระยะท่อตรงทางด้านเข้าและหลังช่องอ, และคุณลักษณะการไหล ดังนั้น ในการคำนวณค่าอัตราการไหลโดยใช้ความดันที่วัดได้ ค่าอัตราการไหลที่ได้จึงสูงกว่าความเป็นจริง ต้องใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของช่องอ เพื่อปรับปรุงค่าอัตราการไหลให้ถูกต้อง และสรุปว่า ค่าความดันแตกต่างที่วัดได้ที่มุม 22.5 องศา ค่อนข้างจะแน่นอน มีความน่าเชื่อถือ และได้รับผลกระทบ จากสภาวะการไหลที่ไม่แน่นอน น้อยกว่าจุดวัดที่มุม 45 องศา เมื่อตัวเลขเรย์โนลด์สมีค่าสูงขึ้น

F. Sanchez Silva, *et al.* (1997) ทำการวิจัยโดยใช้ช่องมาตรฐาน ติดตั้งในแนวระดับ ทดสอบด้วยน้ำสะอาด เปรียบเทียบกับแบบ ออร์ฟิมาตรมาตรฐาน และใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ อธิบายผลของความโค้ง ต่อค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงในแนวรัศมี เพื่อแสดงว่า ค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงตามแนวรัศมีเพียงพอ สำหรับการคำนวณค่าอัตราการไหล โดยพบว่า เมื่อรัศมีความโค้งของช่องอมีค่าลดลง ค่าความดันแตกต่างมีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความดันที่แตกต่างตามแนวรัศมี ใช้ในการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ของช่องอ สามขนาดได้แก่ 40, 25, และ 20 มิลลิเมตร ได้ค่าเท่ากับ 0.056, 0.030, และ 0.014 ตามลำดับ โดยสรุปว่า ค่าความดันที่เปลี่ยนแปลงตามแนวรัศมี ของช่องอ เพียงพอสำหรับการหาอัตราการไหล ค่าสัมประสิทธิ์ช่องอแปรผันตามขนาดของช่องอ ค่ารัศมีความโค้ง เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการวัดค่าอัตราการไหล แม้ว่าเราจะขาดความรู้ในพฤติกรรม การไหลในช่องอ เพื่อหาจุดวัดความดันที่เหมาะสม ผลอิทธิพลของความไม่แน่นอนในการไหล ต่อค่าความดัน ซึ่งจะทำให้ได้คุณลักษณะที่สมบูรณ์ ของเครื่องวัดการไหลแบบช่องอ

สมศักดิ์ กิรติวุฒิสเรษฐ (2546) กล่าวถึง เครื่องวัดการไหลแบบช่องอว่าเป็นการวัดการไหลที่มีความสะดวก ไม่จำเป็นต้องติดตั้งอุปกรณ์วัดเพิ่ม และไม่ทำให้เกิดความดันสูญเสียมากกว่าระบบท่อที่มีอยู่เดิม แต่ได้ความถูกต้องของค่าอัตราการไหลต่ำ มีค่าผิดพลาดระหว่าง ± 5 ถึง ± 10 เปอร์เซ็นต์ เหมาะสำหรับ ใช้กับการวัดค่าอัตราการไหลที่มีค่าสูงๆ เพราะความดันดิฟเฟอเรนเชียล (Differential Pressure) ค่อนข้างต่ำ และรากที่สองของ ความดันดิฟเฟอเรนเชียล แปรผันตามค่าอัตราการไหล

Upp E. L., *et al.* (2003) นำเสนอเครื่องวัดอัตราการไหลแบบช่องอ ที่ผ่านการสอบเทียบ กับเครื่องวัดมาตรฐานชนิดอื่น การนำไปติดตั้งในทางปฏิบัติ ต้องมีระยะท่อตรงก่อนเข้าช่องอ

ไม่น้อยกว่า 10 เท่าของขนาดท่อ และทางด้านออกหลังข้ออไม่น้อยกว่า 5 เท่า และข้ออที่จะนำมาทำเป็นเครื่องวัดอัตราการไหล ต้องมีขนาดเล็กกว่า 9 นิ้ว เพราะความดันแตกต่างกันหน้าตัดข้ออไม่เพียงพอต่อการวัด ทำให้ความแม่นยำในการวัดอัตราการไหลลดลง

จากการค้นคว้าเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง พบว่า เครื่องวัดการไหลแบบข้ออ มีจุดเด่นคือ การสูญเสียความดันในระบบท่อไม่เพิ่มขึ้น โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบใช้งาน ตามเอกสารของ J. W. Murdock, *et al.* (1963) และ Indian Standard Institution (1979) สำหรับน้ำสะอาด ต้องมีสภาวะการไหลเข้าข้ออแบบพัฒนาเต็มที่ (Fully Developed) ส่วนของผสม J. M. Colwell and C. A. Shook (1989) ใช้สภาวะการไหลเข้าข้ออแบบปั่นป่วน เพื่อให้ของแข็งกระจายสม่ำเสมอในของไหล เพราะถ้าเกิดการแยกชั้นการไหล หรือเกิดการตกตะกอน จะไม่สามารถใช้สมการหลัก สำหรับคำนวณค่าอัตราการไหลได้ โดยค่าสัมประสิทธิ์ข้ออเป็นปัจจัยที่สำคัญ ในการหาค่าอัตราการไหล ซึ่งมีความสัมพันธ์กับตัวเลขเรย์โนลด์ และสัดส่วนรัศมีความโค้งต่อขนาดข้ออ โดยงานวิจัยทั้งหมดศึกษาในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์มากกว่า 10,000 สำหรับในงานวิจัยนี้ จะศึกษาเครื่องวัดการไหลแบบข้ออ ที่ใช้กับของผสม ในช่วงตัวเลขเรย์โนลด์ 2,000-3,500 และเปรียบเทียบตำแหน่งติดตั้งข้ออ ที่มีการไหลเข้าแบบปั่นป่วน และแบบพัฒนาเต็มที่

1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.3.1 เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ของเครื่องวัดการไหลแบบข้ออ สำหรับน้ำยิปซัม ในระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11 จากระบบท่อทดลอง

1.3.2 เพื่อหาดำเนิน และจุดวัดความดันที่เหมาะสม สำหรับการติดตั้งเครื่องวัดการไหลแบบข้ออ ในระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม

1.3.3 เพื่อออกแบบระบบควบคุมอัตราการไหล ในระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม

1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับการวิจัย

1.4.1 ทราบค่าอัตราการไหลในช่วงใช้งาน และนำไปใช้ออกแบบระบบควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ ตามค่าที่ออกแบบของอุปกรณ์

1.4.2 นำเครื่องวัดอัตราการไหลแบบข้ออ ติดตั้งใช้งาน ในระบบแยกน้ำออกจากยิปซัม ของระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์ โรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 8-11

1.4.3 นำหลักการของการวัดอัตราการไหลด้วยช่องอ ไปประยุกต์ใช้กับของผสม ในระบบ และหน่วยอื่นๆ ของระบบกำจัดก๊าซซัลเฟอร์ไดออกไซด์

1.4.4 มีระบบท่อที่ใช้ในการสอบเทียบช่องอ ที่ใช้ในการวัดอัตราการไหล

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

1.5.1 ออกแบบระบบท่อทดลอง เพื่อใช้ในการหาค่าสัมประสิทธิ์ของช่องอ โดยมีองค์ประกอบ ดังนี้

1.5.1.1 ใช้ถังสะสมน้ำยิปซัม ที่มีความจุประมาณ 160 ลูกบาศก์เมตร และติดตั้งตัวกวน (Agitator) ป้องกันการตกตะกอน

1.5.1.2 ใช้เครื่องสูบน้ำแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ขนาด 15 กิโลวัตต์ สูบลำน้ำยิปซัมได้ในอัตรา 40 ถึง 65 ลูกบาศก์เมตร ต่อชั่วโมง

1.5.1.3 ใช้ท่อวัสดุไฟเบอร์กลาส ผลิตตามมาตรฐาน DIN 16965-4 ขนาด 125 มม. ระยะท่อตรงด้านเข้าและหลังช่องอ ไม่ต่ำกว่า 2.5 เมตร

1.5.1.4 ใช้ถังวัดปริมาตร ออกแบบและผลิตตามมาตรฐาน ISO 8316 : 1987

1.5.2 เครื่องวัดการไหลแบบช่องอ ทำด้วยวัสดุไฟเบอร์กลาส ผลิตตามมาตรฐาน DIN 16966 Part 2 ขนาด 125 มม. มีสัดส่วนรัศมีความโค้ง ต่อเส้นผ่าศูนย์กลางภายในคงที่ 1.5 ต่อ 1 เจารูวัดความดัน ที่แกนทำมุม 22.5, 30.0, 37.5, และ 45.0 องศา กับระนาบตั้งฉากกับแกนไหลเข้าช่องอ โดยอ้างอิงมาตรฐาน ISO 5167-1: 2003

1.5.3 เครื่องวัดการไหลแบบช่องอติดตั้ง ในระบบท่อทดลอง สามตำแหน่ง ได้แก่ ตำแหน่งติดตั้งใกล้ท่อด้านส่งของเครื่องสูบน้ำ, ตำแหน่งช่องอในท่อแนวตั้งขึ้นไปสู่แนวราบ, และตำแหน่งช่องอในท่อแนวราบลงไปสู่แนวตั้ง

1.5.4 น้ำยิปซัมที่ใช้ในการทดลอง มีคุณสมบัติเช่นเดียวกับ น้ำยิปซัมที่ใช้งานในระบบ แยกน้ำออกจากยิปซัม ของโรงไฟฟ้าแม่เมาะ หน่วยที่ 9 มีความเข้มข้นในถังสะสมประมาณ 51, 54, และ 57 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก

1.5.5 ออกแบบระบบควบคุมแบบพีซีลอคจิก เพื่อควบคุมอัตราการไหลให้คงที่ ด้วยการปรับระดับ ความเร็วรอบของมอเตอร์ขับเคลื่อนเครื่องสูบน้ำยิปซัม