บทที่ 1
บทนำ

การไหลสองเฟสในท่อที่มีทั้งฟองก๊าซและของเหลวสามารถพบเห็นได้ทั่วไปในกระบวนการผลิตและอุปกรณ์ต่าง ๆ ในหลายภาคส่วนของอุตสาหกรรม เช่น การเปลี่ยนเฟสของน้ำหล่อเย็นใน nuclear reactor การเปลี่ยนเฟสใน absorption refrigeration การเกิดก๊าซใน chemical reactor และการเปลี่ยนเฟสของสารทำความเย็นในอีวาโปเรเตอร์ของเครื่องปรับอากาศ เป็นต้น โดยนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรต้องมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานสำหรับการไหลแบบสองเฟสเพื่อช่วยในการออกแบบระบบต่าง ๆ รวมทั้งปรับปรุงสมรรถนะของระบบให้มีประสิทธิภาพดีขึ้น

ความรู้ความเข้าใจของการไหลสองเฟสนี้สามารถศึกษาวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพฤติกรรมของการไหลและทำความเข้าใจฟิสิกส์ของการไหล โดยมีข้อจำกัดตามสมมติฐานที่ตั้งไว้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และความสามารถในการคำนวณของเครื่องคอมพิวเตอร์ซึ่งต้องมีสมรรถนะสูงเพียงพอ สำหรับการศึกษาอีกวิธีการหนึ่งคือ การจำลองการไหลขึ้นมาในห้องปฏิบัติการและทำการวัดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการไหลที่สนใจโดยตรงเพื่อสังเกตพฤติกรรมและพยายามทำความเข้าใจฟิสิกส์ของการไหล โดยวิธีการนี้มีข้อจำกัดในเรื่องเทคนิคการวัดและความสามารถในการจำลองการไหลที่จะสร้างขึ้นมาได้ ถึงแม้ว่าการศึกษาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะดูเหมือนว่ามีความสะดวกและทำได้รวดเร็วกว่า แต่ก่อนที่นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรจะสามารถเชื่อมั่นในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่นำมาใช้นั้น ผลการคำนวณจะต้องถูกนำไปเปรียบเทียบกับพารามิเตอร์ของการไหลที่วัดได้มาจากการทำการทดลอง เพื่อตรวจสอบความแม่นยำของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้พัฒนาขึ้นเสียก่อน ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่างานทั้งสองส่วนมีความสำคัญเท่า ๆ กันและมีความเกี่ยวข้องแยกจากกันไม่ได้ ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคการวัดใหม่ ๆ สำหรับวัดพารามิเตอร์ของการไหลให้ได้หลากหลายและมีความแม่นยำดีขึ้นจึงได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรมาอย่างต่อเนื่อง

พารามิเตอร์ที่มีความสำคัญเพื่อใช้ในการอธิบายพฤติกรรมของการไหลนี้มีจำนวนมาก เช่น อัตราส่วนปริมาณฟองก๊าซต่อของเหลว ขนาดฟองก๊าซ ความเร็วของของไหลทั้งสองเฟส และพื้นที่ผิวของฟองก๊าซ เป็นต้น โดยที่ผ่านมาเทคนิคการวัดหลายแบบได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัดและศึกษาพารามิเตอร์ของการไหลสองเฟสเหล่านี้ เทคนิคเหล่านั้นได้แก่ optical method, probe method, X-ray method, PIV, PTV รวมถึง Wire Mesh Tomography โดยแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียและความสามารถในการวัดพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน สำหรับงานวิจัยนี้ในเบื้องต้นจะมุ่งเน้นพัฒนาเทคนิค Wire Mesh Tomography และเลเซอร์ไดโอด โดยมีรายละเอียดของแต่ละหลักการดังนี้

1.1 Wire Mesh Tomography

สำหรับเทคนิคการวัดแบบวิธี Wire Mesh Tomography (WMT) เป็นเทคนิคการวัดที่ได้เริ่มทำการศึกษาและพัฒนาในโครงการวิจัยนี้ไปบ้างแล้ว (อลงกรณ์ และ ณัฐเดช 2553) ซึ่งเทคนิคการวัดนี้ใช้หลักการของการวัดความแตกต่างของการนำไฟฟ้าของของเหลวและก๊าซแต่ละชนิดที่มีค่าไม่เท่ากัน

ดังนั้นเมื่อขดลวดที่เป็นขั้วคาโทดและอาโนดถูกสร้างให้ซ้อนกันด้วยความละเอียดสูงในลักษณะที่คล้ายกับตาข่ายและนำไปวางขวางการไหล จะทำให้สามารถตรวจสอบได้ว่าในการไหลแบบสองเฟสนั้นมีส่วนไหนในหน้าตัดการไหลบ้างที่เป็นของเหลวหรือก๊าซ และจากข้อมูลที่ได้ ผู้ทดลองจะสามารถคำนวณหาพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการไหลได้ โดยที่นักวิทยาศาสตร์และวิศวกรได้พัฒนาเทคนิคการคำนวณค่าอัตราส่วนปริมาณฟองก๊าซต่อของเหลว ขนาดฟองก๊าซ และความเร็วของฟองก๊าซในการไหลแบบสองเฟสและทดสอบความถูกต้องอย่างต่อเนื่อง และในโครงการวิจัยนี้ในปี 2552 ก็ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์รวมทั้งความรู้ในเรื่องเทคนิคการวัดและพัฒนาโปรแกรมการคำนวณหาพารามิเตอร์ของการไหลสองเฟสนี้ไปแล้วเช่นเดียวกัน

ผลการศึกษาในโครงการปี 2552 เป็นดังนี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณพารามิเตอร์จากข้อมูลที่บันทึกได้จาก WMT ได้ถูกพัฒนาขึ้น และนำผลคำนวณไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพ โดยพารามิเตอร์ที่ศึกษานั้นประกอบด้วย local void fraction ความเร็วของฟองก๊าซ และขนาดฟองก๊าซ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้วพบว่า ข้อมูล void fraction เฉลี่ยทั้งปริมาตรที่สนใจในช่วง void fraction ไม่เกิน 9% มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง ±20% ความเร็วฟองก๊าซเฉลี่ยทั้งปริมาตรที่สนใจในช่วงระหว่าง 250-350 mm/s มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง ± 10% และขนาดฟองก๊าซเฉลี่ยทั้งปริมาตรที่สนใจในช่วงขนาดฟองก๊าซระหว่าง 2-8 mm มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง ±20% นอกจากนั้น การกระจายตัวของขนาดฟองก๊าซระหว่างวิธีการทั้งสองก็ถูกนำมาเปรียบเทียบกันอีกด้วย ซึ่งการกระจายตัวของขนาดฟองก๊าซจะมีความแตกต่างกันพอสมควรในบางสภาวะการไหล

ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล void fraction ขนาดฟองก๊าซ และการกระจายตัวของฟองก๊าซที่ได้จากวิธีการวัดนั้นมีสาเหตุหนึ่งมาจากปัญหาของค่า threshold ที่เหมาะสมในการแบ่งระหว่างฟองก๊าซและของเหลวในโปรแกรมการคำนวณ และการสมมติรูปร่างฟองก๊าซให้เป็นทรงกลมในการคำนวณซึ่งต่างกับรูปร่างในการไหลจริง จึงทำให้เกิดความแตกต่างของข้อมูลฟองก๊าซระหว่างการคำนวณและการวัด และจะส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์ดังกล่าวข้างต้น

นอกจากนั้น ผลกระทบของเครื่องมือวัดที่มีลักษณะขวางการไหลได้ถูกศึกษาในเบื้องต้น โดยผลกระทบที่เห็นเด่นชัด คือ การลดลงของความเร็วของฟองก๊าซ และการแตกออกของฟองก๊าซหลังจากผ่านลวดเซนเซอร์ อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสัญญาณที่ WMT พบว่าการแตกของฟองก๊าซและการลดลงของความเร็วฟองก๊าซนั้นไม่มีผลกับสัญญาณที่บันทึกได้มากนักในช่วงคุณสมบัติของการไหลที่พิจารณาอยู่

ถึงแม้ว่าเทคนิคการวัดแบบวิธี WMT เป็นเทคนิคการวัดที่ให้ข้อมูลได้หลายอย่างและบอกลักษณะการไหลบนตำแหน่งใด ๆ ในหน้าตัดการไหลได้ อย่างไรก็ตามเทคนิคนี้ต้องมีการใส่อุปกรณ์วัดเข้าไปขวางการไหล มีการสร้างความปั่นป่วนให้กับการไหล และมีความยุ่งยากในการใช้งานโดยเฉพาะเมื่อนำมาใช้ในอุตสาหกรรม เนื่องจากต้องมีการเจาะท่อล่าเลียงของไหลเพื่อสอดอุปกรณ์วัดเข้าไป และเซนเซอร์เองก็เปราะบางทำให้อาจจะไม่เหมาะกับสภาวะการไหลที่มีความดันและอุณหภูมิสูง ประกอบกับอุปกรณ์ประมวลผลที่ใช้ในเทคนิคการวัดแบบวิธี WMT นี้ยังมีราคาสูง เพราะต้องใช้ระบบประมวลผลความเร็วสูงเนื่องจากต้องประมวลผลที่รับจากเซนเซอร์ซึ่งมีเป็นจำนวนมาก

เมื่อพิจารณาจากความต้องการเครื่องมือวัดที่เหมาะสมกับอุตสาหกรรมที่ต้องหลีกเลี่ยงการใช้อุปกรณ์วัดที่รบกวนการไหล เทคนิคการวัดแบบอื่น ๆ ที่ไม่รบกวนการไหล อุปกรณ์การวัดไม่ซับซ้อนและมีความคงทนต่อการใช้งานที่สภาวะที่มีความดันและอุณหภูมิสูงจึงน่าจะมีความเหมาะสมมากกว่า ยกตัวอย่างเช่น เทคนิคการวัดอัตราการไหลโดยใช้หลักการความแตกต่างของความดันตกคร่อม วิธีการนี้เป็นเทคนิคการวัดซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการใช้งานในสภาวะที่มีความดันและอุณหภูมิสูง ตัวอย่างของเครื่องมือวัดคือ venturi flow meter หรือ orifice flow meter เทคนิคการวัดเหล่านี้ไม่ซับซ้อน อุปกรณ์ที่ใช้มีความทนทาน ไม่ต้องการซ่อมบำรุง อย่างไรก็ตามเทคนิคการวัดแบบนี้นิยมใช้กับของไหลเฟสเดียว สำหรับของไหลสองเฟสมีนักวิจัยได้ศึกษาการใช้เทคนิคการวัดแบบความดันตกคร่อมควบคู่กับการใช้เทคนิคการวัดแบบใช้รังสี เช่น การใช้รังสีแกมม่า เป็นต้น เพื่อใช้ในการคำนวณหาอัตราการไหลของของไหลสองเฟส อย่างไรก็ตามเทคนิคการวัดแบบใช้รังสีเป็นเทคนิคการวัดที่มีอันตรายต่อสุขภาพของผู้ใช้งาน จึงมีความพยายามในการใช้เทคนิคการวัดอื่น ๆ มาทดแทนข้อด้อยของเทคนิคการวัดแบบใช้รังสี หนึ่งในหลายเทคนิคการวัดนั้นคือเทคนิคการวัดโดยการใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic technique) ซึ่งเป็นเทคนิคการวัดเทคนิคหนึ่งที่ได้รับความนิยมเนื่องจากมีความปลอดภัย ไม่ต้องใส่อุปกรณ์วัดขวางการไหล และราคาไม่แพง

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของโครงการวิจัยนี้คือการพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของของไหลสองเฟสโดยใช้เทคนิคแบบความดันตกคร่อมควบคู่กับเทคนิคการวัดโดยการใช้คลื่นเหนือเสียง อย่างไรก็ตามเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์หลัก จึงได้มีการแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 4 ขั้นตอนประกอบด้วย ขั้นตอนที่ 1 ศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการไหลสองเฟสกับพฤติกรรมของคลื่นเหนือเสียง ขั้นตอนที่ 2 ศึกษาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ของการไหลสองเฟสกับพฤติกรรมของความดันตกคร่อมและคลื่นเหนือเสียง ขั้นตอนที่ 3 พัฒนาเทคนิคการวัดอัตราการไหลของไหลสองเฟสโดยการวัดความดันตกคร่อมร่วมกับเทคนิคการวัดแบบคลื่นเหนือเสียงและเปรียบเทียบกับเทคนิคการวัดแบบวิธี WMT ในส่วนขั้นตอนสุดท้ายคือ การทดลองใช้เทคนิคการวัดแบบนี้กับลักษณะการไหลแบบต่าง ๆ เพื่อศึกษาความถูกต้องและเสถียรภาพ

เนื่องจากข้อจำกัดของระยะเวลา โครงการในปีนี้จะมุ่งเน้นเพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ในการศึกษาขั้นตอนที่ 1 เป็นหลักคือ การศึกษาความสัมพันธ์ของผลของพฤติกรรมของของไหลสองเฟสและคลื่นเหนือเสียงในเบื้องต้น

1.2 เลเซอร์ไดโอด

เทคนิคการวัดที่ไม่ต้องรบกวนการไหลอีกแบบหนึ่งที่ได้มีการศึกษาไปแล้วในปีแรกคือ การใช้เทคนิคทางแสงโดยเป็นระบบที่ประกอบด้วยเลเซอร์และไดโอด ซึ่งได้ถูกพัฒนาเพื่อวัดรัศมีความโค้งของฟองก๊าซโดยอาศัยคุณสมบัติของการหักเหของเลเซอร์บนผิวรอยต่อระหว่างเฟสของของเหลวและก๊าซที่ไม่เหมือนกันสำหรับรัศมีความโค้งของฟองก๊าซที่แตกต่างกัน โดยเทคนิคเลเซอร์ไดโอดนี้จะเหมาะสมกับการไหลที่มีฟองก๊าซจำนวนน้อย

ผลการศึกษาแบบสถิตในปีแรกสามารถสรุปได้ดังนี้ แบบจำลองฟองอากาศที่ทำจากโพลีเมอร์ Polydimethylsiloxane (PDMS) และมีขนาดรัศมีความโค้งต่าง ๆ ได้ถูกสร้างขึ้นและทำการทดสอบแบบสถิตเพื่อหาการตอบสนองของอุปกรณ์เลเซอร์ไดโอดต่อรัศมีความโค้ง จากผลการสอบเทียบเมื่อทำการ

เลื่อนเลเซอร์ไดโอดเริ่มจากปลายยอดฟองอากาศไปยังตำแหน่งต่าง ๆ แล้วตรวจสอบสัญญาณของวงจรเลเซอร์ไดโอด ทำให้ทราบว่าระยะจากปลายยอดฟองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าลดลงจนใกล้ศูนย์จะแปรผกผันกับขนาดของรัศมีความโค้งของผิวฟองอากาศ ซึ่งสามารถสร้างเป็นสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะดังกล่าวและรัศมีความโค้งของผิวฟองอากาศได้ หลังจากนั้นหากนำเอากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระยะจากยอดฟองต่าง ๆ มาทำ normalization ด้วยความต่างศักย์ขาออกจากวงจรเมื่อลำเลเซอร์อยู่เหนือยอดฟอง และทำ normalization ระยะทางด้วยระยะทั้งหมดที่ความต่างศักย์ลดลงจนเป็นศูนย์แล้ว ความสัมพันธ์ในลักษณะนี้ของทุกขนาดฟองอากาศจะสอดคล้องกันหมด ดังนั้นหากนำเอาอุปกรณ์ไปวัดในการไหลจริง ๆ สำหรับกรณีที่ฟองอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ลักษณะการลดลงของสัญญาณของทุกขนาดฟองอากาศก็จะสอดคล้องกันหมด (จากผลการทดลองจริงที่ไม่มีการวัดตำแหน่งเปรียบเทียบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและเวลา ซึ่งหากความเร็วคงที่จะทำให้เวลาและระยะทางแปรผันโดยตรง)

ดังนั้นในเบื้องต้นนี้ ผู้วิจัยคิดว่าจะสามารถใช้อุปกรณ์เลเซอร์ไดโอดแบบลำแสงเดียวในการวัดการไหลจริงได้ 4 แนวทางดังนี้คือ การตรวจสอบว่าขนาดฟอง (อัตราส่วนระหว่างขนาดฟองอากาศต่อขนาดลำแสงเลเซอร์) อยู่ในช่วงที่ทำการสอบเทียบหรือไม่ โดยดูจากข้อมูลความต่างศักย์ที่ลดลงตามเวลาที่ถูก normalization ด้วยช่วงเวลาที่ความต่างศักย์ลดลงจนใกล้ศูนย์ว่าสอดคล้องเป็นแนวโน้มเดียวกันหรือไม่ หากผลการวัดสอดคล้องแล้ว จะสามารถใช้ตรวจสอบว่ามีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นกับการไหลได้ หากแนวโน้มการลดลงของค่าความต่างศักย์มีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไป แต่อย่างไรก็ตามก็อาจจะเป็นไปได้ 2 ลักษณะคือ มีการเปลี่ยนแปลงขนาดฟองหรือการเปลี่ยนแปลงความเร็วของการไหลในลักษณะที่มีความเร่งไม่เท่ากับศูนย์ หรือมีการเปลี่ยนแปลงทั้งสองอย่างพร้อมกัน

นอกจากนั้นสำหรับการไหลที่รู้ขนาดฟองค่อนข้างแน่นอน เช่น การไหลของฟองอากาศแบบ slug flow ในท่อ ซึ่งการไหลแบบนี้จะมีรัศมีความโค้งของฟองใกล้เคียงกับขนาดรัศมีของท่อ เมื่อใช้เลเซอร์ลำเดียววัดอาจจะทราบความเร็วของไหลได้โดยดูจากเวลาที่ความต่างศักย์ลดลงจนเข้าใกล้ศูนย์ และสำหรับการไหลที่รู้ความเร็วฟองแน่นอน จะสามารถทราบขนาดของฟองอากาศได้ด้วยหลักการเดียวกัน อย่างไรก็ตามข้อสันนิษฐานเหล่านี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขว่าความเร็วของการไหลของฟองอากาศต้องมีค่าคงที่

ในส่วนของการศึกษาว่าเหตุใดการลดลงของของสัญญาณความต่างศักย์จึงมีแนวโน้มตามที่ได้จากการทดลอง ผู้วิจัยจึงพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับเรื่องแสงขึ้นมา และทำการเปรียบเทียบผลจากการศึกษาทั้งสองส่วน จากผลการเปรียบเทียบพบว่ากลไกหนึ่งที่น่าจะมีผลโดยตรงคือการที่ปลายยอดของฟองอากาศเคลื่อนที่บังลำเลเซอร์ที่ไปตกกระทบบนไดโอด สำหรับเลเซอร์ที่ไปตกกระทบที่ผิวฟองจะสะท้อนออกไปในทิศทางอื่น และมีพื้นที่ของลำเลเซอร์ส่วนหนึ่งที่ยังพุ่งไปตกบนโฟโต้ไดโอด โดยลักษณะการลดลงของพื้นที่ส่วนนี้จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับพลังงานที่ไดโอดได้รับ และแนวโน้มของการลดลงของพื้นที่นี้จะแตกต่างกันสำหรับฟองอากาศที่มีรัศมีความโค้งต่างๆ และมีลักษณะการลดลงสอดคล้องกับลักษณะการลดลงของสัญญาณความต่างศักย์จากผลการทดลอง

ในส่วนสุดท้าย ผู้วิจัยได้ลองสร้างการไหลของฟองอากาศจริงขึ้นมา แล้วใช้อุปกรณ์เลเซอร์ไดโอดวัดเพื่อพิสูจน์แนวคิดเกี่ยวกับการใช้การวัดรัศมีความโค้งรวมทั้งความเร็วของการไหล หากทราบ

พารามิเตอร์อีกอันหนึ่งอยู่แล้ว ผลการทดลองพบว่าผลการวัดผิดไปจากพารามิเตอร์ของการไหลจริงมาก อย่างไรก็ตามการทดลองดังกล่าวอาจจะยังควบคุมขนาดของฟองอากาศได้ไม่ดีนัก และการไหลอาจจะมีความเร่งค่อนข้างสูงมาก จากผลการศึกษาที่ผ่านมามีแนวคิดว่า ลักษณะการลดลงของสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าจะเป็นฟังก์ชั่นทั้งขนาดฟองอากาศและความเร็วของการไหล รวมทั้งความเร่งด้วย ดังนั้นเมื่อพิจารณาในกรณีที่การเคลื่อนที่ของฟองอากาศมีความเร็วคงที่ เช่น การไหลในท่อที่มีความยาวมาก หากผู้ทดลองสามารถวัดความเร็วของฟองอากาศไปพร้อม ๆ กับการวัดค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าได้ก็อาจจะทำให้อุปกรณ์นี้สามารถวัดขนาดฟองอากาศได้เลย

1.3 แนวทางของการทำงานวิจัยและวัตถุประสงค์

เนื่องจากความต้องการเครื่องมือวัดที่มีความเหมาะสมในการใช้งานในอุตสาหกรรมดังที่ได้กล่าวมาแล้ว การพัฒนาเครื่องมือวัดอัตราการไหลของการไหลทั้งสองเฟสโดยใช้เทคนิคหลายแบบที่ไม่มีการรบกวนการไหลควบคู่กัน อาจเป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาเครื่องมือวัดสำหรับการไหลสองเฟสให้มีความแม่นยำและเหมาะสมมากขึ้นได้ ในงานวิจัยนี้จึงได้มุ่งเป้าหมายในระยะยาวไปที่การใช้เทคนิคการวัดความดันตกคร่อมควบคู่กันเทคนิคการวัดแบบวิธีใช้คลื่นเหนือเสียง และเทคนิคเลเซอร์ไดโอด โดยใช้เทคนิค Wire Mesh Tomography และกล้องวีดีโอเป็นอุปกรณ์วัดสอบเทียบ

เทคนิคที่กล่าวมานั้นยังพัฒนาได้ไม่สมบูรณ์และยังต้องการการพัฒนาต่อไปอีก โดยที่เทคนิค Wire Mesh Tomography จะต้องพัฒนาเทคนิคการคำนวณให้มีความแม่นยำมากขึ้น สำหรับเทคนิคเลเซอร์ไดโอด จะต้องศึกษาเพิ่มเติมเพื่อหาแนวทางให้สามารถวัดความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซได้ และเทคนิคการวัดความดันตกคร่อมควบคู่กับเทคนิคการวัดแบบวิธีใช้คลื่นเหนือเสียงจะต้องศึกษาความสัมพันธ์ของสัญญาณของเทคนิคคลื่นเหนือเสียงกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการไหลในเบื้องต้นก่อน โดยแบ่งเป็นวัตถุประสงค์ในปีนี้ดังนี้

1.3.1 ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้อุปกรณ์คลื่นเหนือเสียงศึกษาผลของพารามิเตอร์ของการไหลสองเฟส โดยอาศัยการวัดแบบ Wire Mesh Tomography เป็นอุปกรณ์สอบเทียบ

1.3.2 พัฒนาเทคนิคเลเซอร์ไดโอดเพื่อศึกษาผลของความเร็วและความเร่งของการไหลของฟองก๊าซต่อลักษณะของสัญญาณ และหาแนวทางในการนำอุปกรณ์เลเซอร์ไดโอดไปใช้งานจริง

1.4 ขอบเขตของโครงการ

1.4.1 พัฒนาเทคนิคการวัดแบบ Wire Mesh Tomography ในส่วนของโปรแกรมที่ใช้สำหรับคำนวณขนาดฟองก๊าซ ความเร็วฟองก๊าซ และอัตราส่วนปริมาตรฟองก๊าซต่อปริมาตรการไหล และใช้เป็นอุปกรณ์สอบเทียบเพื่อหาลักษณะสัญญาณของคลื่นเหนือเสียงต่อพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการไหลสองเฟส

1.4.2 พัฒนาเทคนิคเลเซอร์ไดโอด โดยศึกษาผลของความเร็วและความเร่งของการเคลื่อนที่ของฟองอากาศต่อลักษณะของสัญญาณไฟฟ้าของวงจรโฟโต้ไดโอด

1.5 หลักการของเทคนิคการวัด

วัตถุประสงค์ของโครงการนี้จะใช้ 4 เทคนิคการวัดดังที่กล่าวไว้ตอนต้น อย่างไรก็ตามในส่วนนี้จะกล่าวถึงเฉพาะหลักการที่เพิ่มเติมขึ้นมาจากการศึกษาในปีแรก ได้แก่ หลักการวัดความดันตกคร่อมและหลักการคลื่นเหนือเสียง สำหรับเทคนิคการวัดความดันตกคร่อมมีหลักการดังนี้ สำหรับพื้นที่หน้าตัดใน

ระบบการไหลที่ไม่เท่ากันจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วของของไหลและส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความดันสถิต โดยอัตราการไหลจะสามารถคำนวณได้จากสมการที่เป็นฟังก์ชั่นของความดันตกคร่อม สัดส่วนของพื้นที่หน้าตัดที่เปลี่ยนแปลงไป และค่าคงที่ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นของพารามิเตอร์ทางกลศาสตร์การไหล โดยทั่วไปแล้วเทคนิคการวัดวิธีความดันตกคร่อมจะใช้อุปกรณ์ venturi เนื่องจากมีความดันตกคร่อมน้อย ซึ่งพารามิเตอร์ที่สำคัญคือ ระยะของทางเข้าและทางออก ขนาดของส่วนที่แคบที่สุดของ venturi ความหยาบของผิว และความดันตกคร่อม อย่างไรก็ตามเนื่องจากข้อจำกัดเรื่องระยะเวลาหลักการวัดความดันตกคร่อมนี้จะยังไม่นำมาศึกษาในโครงการวิจัยนี้

หลักการของเทคนิคการวัดแบบวิธีใช้คลื่นหนือเสียงคือ หลักการวัดตามกฎของการเคลื่อนที่ของคลื่นเหนือเสียงในของไหลสองเฟส โดยวัดการส่งคลื่นเหนือเสียงผ่านของไหลสองเฟส เพื่อคำนวณหาอัตราส่วนฟองก๊าซเฉลี่ยทั้งหน้าตัด และขนาดฟองก๊าซ เทคนิคการวัดแบบนี้ใช้อุปกรณ์ 2 ตัว ประกอบด้วย อุปกรณ์ส่งคลื่นเหนือเสียงและเซนเซอร์ที่รับคลื่นเหนือเสียง นอกจากนั้นยังต้องใช้ pulser-receiver เป็นอุปกรณ์กำหนดพลังงานคลื่นเหนือเสียงและรับสัญญาณที่จะนำไปบันทึกค่าสำหรับการวิเคราะห์ หลักการวัดตามกฎของการเคลื่อนที่ของคลื่นเหนือเสียงในของไหลสองเฟสอาศัยการวัดการสะท้อนกลับของคลื่นเหนือเสียงผ่านเฟสของวัดถุที่เปลี่ยนแปลงไป เทคนิคนี้มีการใช้งานแพร่หลายเช่น การวัดโพรงอากาศในของแข็ง (ตัวอย่าง เช่น Moussatov et al., 2001) หรือใช้ในการรักษาโรคบางชนิด (ตัวอย่าง เช่น Simon et al., 1993) เป็นต้น วิธีการนี้ค่อนข้างเป็นที่นิยมเนื่องจากอุปกรณ์ส่งและรับคลื่นแหนือเสียงสามารถประกอบด้วยกันในอุปกรณ์ตัวเดียวทำให้มีขนาดโดยรวมของอุปกรณ์วัดค่อนข้างเล็ก

เมื่อใช้เทคนิคเหล่านี้ร่วมกัน ความสามารถในการตรวจวัดพารามิเตอร์ของการไหลสองเฟสจะมากขึ้น โดยแต่ละเทคนิคจะเหมาะสมกับงานทางวิศวกรรมที่แตกต่างกัน ดังนั้นถ้าความรู้พื้นฐานสำหรับหลากหลายเทคนิคการวัดได้ถูกพัฒนาขึ้นมาในกลุ่มวิจัยเดียวกันแล้ว เทคนิคการตรวจสอบการไหลแบบสองเฟสก็จะถูกพัฒนาขึ้นมาให้เหมาะสมกับงานทางวิศวกรรมต่าง ๆ ได้ในอนาคต

1.6 การทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การทำความเข้าใจปรากฏการณ์ที่มีการไหลแบบสองเฟสมาเกี่ยวข้องนั้น จะต้องทราบพารามิเตอร์เป็นจำนวนมาก เช่น รูปแบบการไหล การกระจายของเฟสต่าง ๆ อัตราส่วนของปริมาณฟองก๊าซ พฤติกรรมการผสม ความเร็ว ตลอดจนขนาดและรูปร่างของฟองก๊าซ โดยที่รูปแบบการไหลของการไหลสองเฟสระหว่างของเหลวและก๊าซได้มีการรวบรวมไว้โดย Hewitt (1978) เป็นต้น นอกจากนั้นแล้ว ยังมีการศึกษาอีกจำนวนมากที่อธิบายกลไกที่สำคัญต่าง ๆ รวมทั้งการพัฒนาเทคนิคการวัดสำหรับงานทางวิศวกรรมในรูปแบบใหม่ ตัวอย่างเช่น การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซจะมีผลต่อความดันตกคร่อมในระบบท่อโดย Tomiyama et al. (2002) การพัฒนาการของการไหลมีความสัมพันธ์กับการรวมกันและการแตกตัวของฟองก๊าซโดย Hibiki and Ishii (1999) การศึกษาผลของขนาดฟองก๊าซต่อความเป็นเทอบิวเลนท์ของการไหลโดย Kanshinsky et al. (1993) การศึกษาผลของพฤติกรรมของฟองก๊าซที่มีขนาดต่างกันต่อความเร็วในการลอยตัวโดย Prasser et al. (2002) ความเร็วในการลอยตัวของฟองก๊าซในของเหลวต่างชนิดโดย Acuña and Finch (2010) ความเร็วเชิงมุมของฟองก๊าซโดย Hoppe et al. (2010) รวมทั้งเทคนิคการวัดแบบใหม่เช่น การตรวจสอบขนาดฟองก๊าซที่เกิดขึ้นในหัวฉีดของ

เครื่องพิมพ์ (printer) ด้วย Synchrotron X-ray โดย Kim et al. (2009) การวัดด้วยหลักการความจุไฟฟ้าสำหรับของเหลวที่ไม่นำไฟฟ้าโดย Hamidipour and Larachi (2010) และ Da Silva et al. (2010) และการบันทึกภาพการเคลื่อนที่ของฟองก๊าซด้วยกล้องความเร็วสูงแบบจมในของเหลวโดย Honkanen et al. (2010) เป็นต้น โดยในงานวิจัยนี้จะพิจารณา 4 เทคนิคคือ เทคนิค Wire Mesh Tomography เทคนิคการใช้คลื่นเหนือเสียง เทคนิควัดความดันตกคร่อม และเทคนิคเลเซอร์ไดโอด

วรรณกรรมที่สำหรับเกี่ยวข้องกับเทคนิคการวัดแบบวิธี Wire Mesh Tomography เริ่มจากการอธิบายส่วนประกอบและหลักการของเซนเซอร์ของ Prasser (1998) โดยใช้หลักการวัดความแตกต่างของความสามารถในการนำไฟฟ้าที่ไม่เท่ากันของก๊าซและของเหลว โดยก๊าซเกือบจะเป็นฉนวนไฟฟ้าแต่ของเหลวจะเป็นตัวกลางในการนำไฟฟ้าที่ดีกว่า สำหรับเทคนิคนี้เซนเซอร์จะบันทึกค่าความแตกต่างของการนำไฟฟ้าแต่ละจุดทั้งพื้นที่หน้าตัดการไหลในช่วงขณะเวลาหนึ่ง แล้วข้อมูลจะถูกแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าและใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แปลงสัญญาณดังกล่าวเป็นอัตราส่วนฟองก๊าซแต่ละจุดในพื้นที่หน้าตัดการไหลในช่วงขณะเวลาหนึ่ง ตัวอย่างงานวิจัยที่แสดงวิธีการคำนวณคือ Prasser (2002) นอกจากนั้นยังมีการอภิปรายเรื่องความแม่นยำของการวัดข้อมูลอัตราส่วนฟองก๊าซและวิธีการคำนวณความเร็วของฟองก๊าซในงานของ Prasser (2005) โดยการวัดความเร็วนี้ใช้หลักการของ cross-correlation ของสัญญาณของเซนเซอร์สองอันที่วางติดกัน และวิธีการคำนวณขนาดฟองก๊าซได้อธิบายไว้ใน Prasser (2001) สำหรับวิธีการคำนวณอัตราส่วนพื้นที่ฟองก๊าซได้อธิบายไว้ใน Prasser (2007) โดยที่วิธีการคำนวณพื้นที่ฟองก๊าซจะคล้ายคลึงกับหลักการที่ใช้ในการคำนวณขนาดและรูปร่างฟองก๊าซ

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวัดแบบวิธีความดันตกคร่อมเริ่มต้นจาก Lockhart et al. (1944) ได้ศึกษาวัดความดันตกคร่อมในท่อแนวนอนของการไหลสองเฟส และได้พัฒนาสมการที่ทำนายความดันตกคร่อมในท่อ แต่สมการดังกล่าวสามารถทำนายได้ไม่ดีนักโดยมีความผิดพลาดประมาณ 30% Lockhart และ Martinelli (1949) ได้เสนอสมการโดยรวมผลกระทบจากหลาย ๆ ปัจจัยเพื่อใช้ในการทำนายความดันตกคร่อมในการไหลสองเฟส ต่อมา Murdock (1962) ได้ทดลองใช้ orifice plate ในการศึกษาเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างการวัดอัตราการไหลของการไหลสองเฟสและความดันตกคร่อม หลังจากนั้น Chisholm (1977) พัฒนาสมการที่ทำนายความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของการไหลสองเฟสและความดันตกคร่อม orifice plate ในภายหลัง Fincke et al. (1999) พัฒนาการวัดการไหลสองเฟสโดยใช้ venturi และเสนอสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลและความดันตกคร่อมขึ้นมา ในภายหลังยังมีการศึกษาถึงผลของการไหลสองเฟสต่อความแปรปรวนของความดันตกคร่อมท่อ venturi โดย Xu et al. (2003) นอกจากนั้นยังมีการใช้ท่อ venturi ร่วมกับเซนเซอร์ที่ใช้วัดการนำไฟฟ้าซึ่งฝังอยู่บนผนังของท่อเพื่อวัดอัตราการไหลของการไหลสองเฟสระหว่างอากาศและน้ำโดย Meng et al. (2010) ซึ่งพบว่ามีความแม่นยำค่อนข้างสูงโดยมีความคลาดเคลื่อนน้อยกว่า 10% สำหรับการไหลในรูปแบบต่าง ๆ

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคการวัดแบบวิธีใช้คลื่นเหนือเสียงมีดังนี้ Warsito et al. (1999) ได้เสนอเทคนิคการวัดอัตราส่วนฟองก๊าซและอัตราส่วนของแข็งที่แต่ละจุดในพื้นที่หน้าตัดการไหลโดยใช้เทคนิคคลื่นเหนือเสียง หลังจากนั้น Marsudi et al. (2001 & 2002) และ Supardan et al. (2003 & 2004) ได้ทดลองส่งสัญญาณคลื่นเหนือเสียงเพื่อใช้ในการวัดอัตราส่วนฟองก๊าซเฉลี่ย และขนาดฟอง

ก๊าซในการไหลสองเฟส โดยใช้เทคนิค neural network ในการวิเคราะห์ข้อมูลและ Supardan et al. (2007) ได้ทำการทดลองส่งคลื่นเหนือเสียงเพื่อใช้ในการวัดอัตราส่วนฟองก๊าซเฉลี่ยและการถ่ายเทมวลในการไหลสองเฟสโดยใช้ neural network เช่นเดียวกัน

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับเทคนิคเลเซอร์และไดโอดเริ่มจาก Mori et al. (1977) ได้นำเทคนิคนี้มาศึกษาความเร็วและขนาดของฟองก๊าซ หลังจากนั้นมีงานเป็นจำนวนมากใช้เทคนิคนี้ในการวัดความเร็วการไหลของฟองก๊าซ รวมถึงโครงสร้างด้านหลังฟองก๊าซในท่อขนาดเล็กระดับมิลลิเมตรจนถึงไมโครเมตร ตัวอย่างเช่น งานของ Colin and Synovec (2002), Ravellin et al. (2006), Ravellin et al. (2008) รวมทั้งงานของ Santos et al. (2008)

1.7 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1.7.1 ความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับเทคนิคการวัดการไหลแบบสองเฟสระหว่างของเหลวและก๊าซ

1.7.2 ต้นแบบเครื่องมือวัดสำหรับงานวิจัยในสถาบันต่าง ๆ และสำหรับงานตรวจวัดในโรงงานอุตสาหกรรมและภาคเกษตรกรรม

1.8 แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

การนำเสนอผลงานในงานสัมมนาทางวิชาการ เช่น การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเครื่องกล และงานประชุมวิชาการทางด้านพลังงาน เป็นต้น การเผยแพร่ผลงานในรูปแบบวารสารวิชาการทั้งภายในและภายนอกประเทศ ตลอดจนเผยแพร่ความรู้ผ่านโครงการอื่นๆที่มีกลุ่มเป้าหมายมาเข้าร่วม เช่น โครงการเทคโนโลยีสะอาด เป็นต้น

1.9 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.9.1 ศึกษาหลักการพื้นฐานและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.9.2 ออกแบบและดัดแปลงชุดทดลองในส่วนอุปกรณ์สร้างการไหลแบบสองเฟส ประสานงานเรื่องการออกแบบและสร้างอุปกรณ์วัดทั้งเทคนิค Wire Mesh Tomography และการติดตั้งระบบคลื่นเหนือเสียงและชุดทดลอง รวมทั้งออกแบบและสร้างชุดสอบเทียบสำหรับเทคนิคเลเซอร์ไดโอด

1.9.3 ทำการสอบเทียบเครื่องมือตามพารามิเตอร์ที่ระบุในวัตถุประสงค์

1.9.4 วิเคราะห์ผลสอบเทียบ และศึกษาหาความสัมพันธ์ของสัญญาณขาออกของอุปกรณ์วัดกับพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของการไหลสองเฟส

1.9.5 สรุปผลการทำทดลอง แล้วจัดทำรายงานและเอกสารเผยแพร่ความรู้