บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาในการทำวิจัย

การไหลแบบสองเฟส คือ การไหลที่ประกอบด้วยของไหลสองสถานะที่อาจจะประกอบด้วยของเหลวกับก๊าซ ของแข็งกับก๊าซ หรือ ของเหลวกับของแข็ง โดยของไหลสถานะหนึ่งอาจไหลอยู่ในของไหลอีกสถานะหนึ่งหรือไหลไปพร้อมกันก็ได้ (Levy,1999) การไหลแบบสองเฟสเป็นการไหลที่สามารถพบได้ทั่วไปในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภท เช่น การไหลของสารทำความเย็นที่ไหลภายในระบบทำความเย็นตามอาคารบ้านเรือนหรืออุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการทำความเย็น, การไหลของน้ำมันดิบในอุตสาหกรรมปิโตรเลียม, การถ่ายเทความร้อนของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เป็นต้น ดังนั้นหากมีความเข้าใจคุณสมบัติหรือปรากฏการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการไหลแบบสองเฟสแล้ว เช่น การเกิดปรากฏการณ์คาวิเตชั่นซึ่งเกิดขึ้นในบริเวณที่ของเหลวมีความเร็วสูง ส่งผลให้ของเหลวมีความดันสถิตต่ำกว่าความดันไอของของเหลวดังกล่าว ซึ่งจะทำให้ของเหลวเปลี่ยนสถานะกลายเป็นไอจำนวนมาก เมื่อฟองก๊าซเหล่านี้เคลื่อนไปยังตำแหน่งที่มีความดันสูง ฟองก๊าซจะแตกออกและของเหลวที่อยู่รอบ ๆ จะเข้ามาแทนที่ช่องว่างอย่างฉับพลัน ทำให้เกิดการกระแทกและกัดกร่อนผิวโลหะในบริเวณนั้น ซึ่งมักจะเกิดที่ปากทางเข้าใบพัดของเครื่องสูบน้ำ (Tong and Tang,1997) ดังนั้นหากเราเข้าใจพฤติกรรมของปรากฏการณ์ดังกล่าวแล้วว่ามีสาเหตุจากอะไร หรือสามารถตรวจพบได้ที่บริเวณไหน เราอาจป้องกันความเสียหายที่จะเกิดขึ้นได้ เป็นต้น

การออกแบบและพัฒนาเทคโนโลยีสมัยใหม่ต้องการความรู้พื้นฐานที่ลึกซึ้งมากขึ้นกว่าในอดีต งานที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีการไหลแบบสองเฟสเองก็มีความซับซ้อนและยังขาดความเข้าใจอย่างลึกซึ้ง ด้วยสาเหตุนี้ นักวิจัยและวิศวกรออกแบบต้องการความรู้พื้นฐานของการไหลสองเฟสที่มีความลึกซึ้งมากขึ้นเพื่อการออกแบบ การควบคุม รวมถึงการปรับปรุงสมรรถนะในระบบต่าง ๆ เหล่านั้นเพื่อทำให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น ที่ผ่านมาได้มีการพยายามศึกษาเพื่อทำให้เกิดความเข้าใจฟิสิกส์ของการไหล และผลกระทบจากการไหลประเภทนี้เป็นจำนวนมาก เช่น การศึกษารูปแบบการไหลและรูปร่างของฟองก๊าซในท่อขนาดเล็กต่อผลการถ่ายเทความร้อนและความดันตกคร่อมในท่อ การศึกษาปริมาณอัตราส่วนก๊าซและขนาดฟองก๊าซต่อการลดแรงเสียดทานในบริเวณใกล้กับผนังยานพาหนะทางน้ำ เป็นต้น

องค์ความรู้ของการไหลสองเฟสสามารถศึกษาได้ทั้งการวิเคราะห์โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายพฤติกรรมของการไหลและการใช้เทคนิคการวัดแบบต่างๆ เพื่อทำให้เกิดความเข้าใจพฤติกรรมของการไหลโดยตรง อย่างไรก็ตาม การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะต้องนำความรู้ที่ได้จากการวัดมาเปรียบเทียบเพื่อทดสอบและปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้มีความแม่นยำในเงื่อนไขต่าง ๆ มากขึ้น ถึงแม้งานทั้งสองส่วนจะมีความสำคัญเท่า ๆ กันและมีความเกี่ยวข้องกันแยกจากกันไม่ได้ การประสบความสำเร็จในการวัดการไหลที่เกิดขึ้น

จริงจะเป็นส่วนขับดันที่สำคัญมากในการพัฒนาองค์ความรู้ใหม่ตลอดจนการประดิษฐ์เทคโนโลยีใหม่ที่มีความเกี่ยวข้องกับการไหลแบบสองเฟสนี้

การทำความเข้าใจพฤติกรรมการไหลแบบสองเฟสนั้น จะต้องมีพารามิเตอร์เป็นจำนวนมากที่เกี่ยวข้อง เช่น รูปแบบการไหล การกระจายของเฟสต่างๆ อัตราส่วนของปริมาณฟองก๊าซ พฤติกรรมการผสม ความเร็ว ตลอดจนขนาดและรูปร่างของฟองก๊าซ ในอดีตที่ผ่านมา ได้มีเทคนิคการวัดเป็นจำนวนมากได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อวัดและศึกษาพารามิเตอร์ของการไหลสองเฟสนี้ เช่น การวัดการดูดซับแสงโดย Serizawa et al. (1975) การวัดค่าการนำไฟฟ้าของการไหลโดย Jones and Delhaye (1976) และการใช้แสงเอกซเรย์โดย Misawa et al. (1999) เพื่อวัดการกระจายของฟองก๊าซโดยเฉลี่ยของการไหล

อย่างไรก็ตาม การทำความเข้าใจพฤติกรรมบางอย่าง เช่น การเคลื่อนที่ของฟองก๊าซแต่ละฟอง การผสมระหว่างของเหลวสองเฟส การแตกและรวมกันของฟองก๊าซแต่ละฟองนั้น การวัดคุณสมบัติที่จุดใด ๆ ของการไหลจะเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก ในอดีตมีงานเป็นจำนวนมากซึ่งใช้เทคนิคแตกต่างกัน เช่น การใช้เซนเซอร์ทางแสงหลายตัวที่พัฒนาโดย Mori et al. (1977) ทำให้สามารถวัดความเร็วและขนาดของฟองก๊าซแต่ละฟองได้ การใช้เทคนิค PIV ในงานของ Hassan (2002) เพื่อวัดปฏิสัมพันธ์ระหว่างเฟสทั้งสอง เป็นต้น โดยแต่ละวิธีจะมีข้อดีและข้อเสียและความสามารถในการวัดที่แตกต่างกัน

ในปัจจุบัน การพัฒนาเทคโลยีของกล้องวีดีโอ CCD ความเร็วสูงได้เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และทำให้การวัดการไหลแบบสองเฟสสามารถทำได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้น แต่ราคาของกล้องแบบนี้ยังมีราคาในระดับหนึ่งล้านบาทขึ้นไป ดังนั้นการตรวจวัดด้วยเทคนิคนี้จึงไม่แพร่หลายและอาจจะไม่เหมาะสมกับการนำไปใช้ในงานตรวจวัดและควบคุมการไหลในภาคอุตสาหกรรมหรือภาคเกษตรกรรม

ในงานวิจัยนี้จึงมีการพัฒนาเทคนิคการวัด 2 แบบคือ เทคนิคการวัดแบบวิธี Wire Mesh Tomography (WMT) โดยใช้หลักการของการวัดความแตกต่างของการนำไฟฟ้าของของไหลทั้งหน้าตัดการไหล แล้วนำไปประมาณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของการไหลได้จากการวัดเพียงครั้งเดียว คือ อัตราส่วนของปริมาณฟองก๊าซ ขนาดฟองก๊าซ และความเร็วของฟองก๊าซ วิธีการนี้ได้รับการพัฒนาและทดสอบความถูกต้องไปบางส่วนแล้ว (Prasser et al. (1998), Richter et al. (2002), Wangjiraniran et al. (2005) และ Fuangworawong et al. (2007)) ในงานวิจัยนี้จะทำการพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นมาและมุ่งเน้นในการหาพารามิเตอร์ของฟองก๊าซให้มีความแม่นยำสูงขึ้น

เทคนิคการวัดแบบที่สองของงานวิจัยนี้คือ การใช้เลเซอร์และไดโอด วิธีการนี้จะคล้ายคลึงกับงานของ Mori et al. (1977) ที่เป็นการศึกษาเรื่องความเร็วและขนาดของฟองก๊าซ งานของ Colin and Synovec (2002) และงานของ Ravellin et al. (2006) ที่ใช้ในการวัดการไหลรูปแบบหนึ่งคือ slug flow ในท่อขนาดไมโครสเกล สำหรับงานวิจัยนี้ อุปกรณ์ที่พัฒนาขึ้นมาจะนำมาใช้วัดรัศมีความโค้งของฟองก๊าซที่ไหลไปพร้อมกับเฟสของเหลว ซึ่งยังไม่มีการศึกษามากนัก

วิธีการทั้งสองเป็นวิธีการที่สามารถพัฒนาขึ้นมาได้เองด้วยงบประมาณซึ่งไม่สูงนักเมื่อเทียบกับเทคนิคอื่น ๆ และยังสามารถวัดพารามิเตอร์ของการไหลแบบสองเฟสได้หลายตัวเมื่อนำวิธีการทั้งสองมาใช้ประกอบกัน โดยเทคนิค WMT จะทำให้ทราบพารามิเตอร์ของการไหลเป็นจำนวนมาก

จากการวัดครั้งเดียว และสามารถวัดฟองก๊าซที่มีความซับซ้อนมากได้ อย่างไรก็ตามวิธีการนี้จะมีเซนเซอร์สัมผัสกับการไหลโดยตรง ดังนั้นลักษณะของการไหลจะเปลี่ยนแปลงไปเมื่อชนกับเซนเซอร์ สำหรับเทคนิคเลเซอร์ไดโอด เป็นการวัดที่เซนเซอร์ไม่สัมผัสกับการไหลโดยตรง แต่วิธีการนี้จะต้องใช้เซนเซอร์หลายตัวหากต้องการวัดพารามิเตอร์หลายตัว และยังจำกัดเฉพาะฟองก๊าซที่มีรูปร่างไม่ซับซ้อนมากนัก ซึ่งหากทั้งสองเทคนิคการวัดได้รับการพัฒนาขึ้นมาในกลุ่มวิจัยเดียวกันแล้ว ผลการวัดทั้งในเรื่องของความเร็วและขนาดฟองก๊าซ รัศมีความโค้งของฟองก๊าซ และอัตราส่วนฟองก๊าซจะถูกนำมาประกอบกันนอกจากข้อมูลที่ได้จะมากขึ้นแล้ว ผลการศึกษานี้อาจจะนำมาสู่องค์ความรู้ใหม่เกี่ยวกับการไหลแบบสองเฟส ที่จะมีประโยชน์ในการนำไปใช้ออกแบบอุปกรณ์ต่าง ๆ ในงานวิศวกรรม เช่น การทำให้มีการถ่ายเทความร้อนที่สูงขึ้น การผสมระหว่างมวลที่รวดเร็วขึ้น หรือการเกิดปฏิกิริยาเคมีที่ดีขึ้นได้

1.2 Wire Mesh Topography

เทคนิคการวัดแบบ Wire Mesh Tomography (WMT) มีหลักการคือการวัดค่าการนำไฟฟ้าระหว่างคู่ของเส้นลวดที่วางขวางกัน หากมีค่าการนำไฟฟ้าของหลายคู่ของเส้นลวดที่วางขวางกันในพื้นที่หน้าตัดของระบบของไหลสองเฟส เราจะสามารถแปลงข้อมูลทางไฟฟ้าเป็นข้อมูลปริมาตรของฟองก๊าซในปริมาตรของเหลวใด ๆ ที่แต่ละตำแหน่งในพื้นที่หน้าตัดของระบบการไหลสองเฟส โดยเทคนิคการวัดนี้พัฒนาโดย Prasser et al. (1998) นอกจากนั้นด้วยการประมวลข้อมูล WMT จะสามารถวัดข้อมูลอัตราส่วนปริมาตรฟองก๊าซและปริมาตรของเหลว ขนาดฟองก๊าซ และความเร็วของฟองก๊าซได้ ซึ่งมีอยู่หลายวิธี หนึ่งในวิธีประมวลผลนั้น Richter et al. (2002) ได้นำเสนอวิธีการและมีการตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการนั้นในการวัดอัตราส่วนของปริมาณฟองก๊าซ ขนาดฟองก๊าซ และความเร็วของฟองก๊าซ โดยเปรียบเทียบกับข้อมูลที่วัดจาก ultra-fast X-ray tomography โดย Prasser et al. (2005)

ดังนั้นการพัฒนาเทคนิคการวัด WMT จะต้องมีการพัฒนา 2 ส่วนหลัก ๆ ประกอบกัน คือ การพัฒนาอุปกรณ์การวัดและการพัฒนาโปรแกรมการประมวลผล เนื่องจากการพัฒนาอุปกรณ์การวัดมีการพัฒนาโดยผู้ผลิตอุปกรณ์ คือ FZR Research Center Rossendorf, Institute of Safety Analysis, Dresden, Germany ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงพยายามจะพัฒนาโปรแกรมการประมวลผลเพื่อให้สามารถนำข้อมูลที่ได้จาก Wire Mesh Sensor (WMS) มาคำนวณหาอัตราส่วนของปริมาณฟองก๊าซ ขนาดฟองก๊าซ และความเร็วของฟองก๊าซได้

1.3 ระบบเลเซอร์ไดโอด

เนื่องจากการไหลแบบสองเฟสเป็นปรากฏการณ์ที่ซับซ้อนและเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ดังนั้นในการศึกษาควรจะต้องใช้เทคนิคที่มีผลการตอบสนองที่ค่อนข้างเร็ว จึงเกิดแนวคิดเกี่ยวกับเทคนิคแบบเลเซอร์ไดโอด เพราะว่าเทคนิคดังกล่าวมีจุดเด่นคือ มีผลการตอบสนองที่ค่อนข้างเร็ว ราคาถูก อีกทั้งเครื่องมือวัดก็ไม่ได้ไปรบกวนการไหล แต่จุดด้อยของเทคนิคนี้ คือ อุปกรณ์หนึ่งชุดจะสามารถเก็บข้อมูลได้ในทิศทางเดียวเท่านั้น หากต้องการเก็บข้อมูลในหลายทิศทางจะต้องใช้อุปกรณ์หลายชุดประกอบกัน

งานของ Ong and Thome (2009) ใช้ระบบเลเซอร์ไดโอดที่พัฒนาโดย Ravellin et al. (2006) ในการศึกษาเกี่ยวกับการเกิด boiling ในท่อขนาดเล็ก เพื่อตรวจสอบลักษณะของการไหลสองเฟสและความเร็วของฟองอากาศที่ไหลในชุดทดลองนั้น โดยหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีระบบเลเซอร์ไดโอด 2 ชุดที่มีระยะห่างระหว่างทั้งสองชุดคงที่ เมื่อฟองอากาศเคลื่อนที่มาตัดกับลำแสงเลเซอร์จะทำให้ลำเลเซอร์เบี่ยงไปและไม่ตกกระทบบนเซนเซอร์ของไดโอด ทำให้รู้ว่าเมื่อไรที่ฟองอากาศเคลื่อนที่มาตัดลำเลเซอร์ ดังนั้นหากสามารถวัดเวลาที่ฟองอากาศเคลื่อนที่จากจุดแรกมาจุดหลังได้ก็จะสามารถคำนวณหาความเร็วของฟองอากาศได้

Hu et al. (2007) พัฒนา flying optical probe ที่ประกอบด้วย LED เป็นแหล่งกำเนิดแสงและ photodiode เป็นตัวรับสัญญาณที่สามารถเคลื่อนที่ได้ เพื่อวัดขนาดฟองอากาศที่เคลื่อนที่ในทิศทางต่าง ๆ ในการไหลที่มีความเป็นเทอบูเลนท์สูง ๆ ซึ่งในการศึกษาไม่ได้กล่าวถึงรายละเอียดของเครื่องมือวัดนักแต่ขนาดของฟองอากาศที่วัดได้อยู่ในช่วง 2-30 mm

Kikutani et al. (2008) เสนอวิธีการใหม่ในการวัดความเร็วของการไหลเฟสเดียวในท่อขนาดเล็ก ซึ่งเป็นหลักการที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงค่าดัชนีหักเหของของเหลวด้วยการให้ความร้อนแก่ของเหลวในบริเวณเล็ก ๆ ด้วยลำแสงเลเซอร์แบบไม่ต่อเนื่อง (pulse laser) และจะเรียกของเหลวที่มีอุณหภูมิสูงขึ้นนี้ว่า "thermal lens" ซึ่งเมื่อเลนส์นี้เคลื่อนที่ไปตัดกับระบบเลเซอร์ไดโอดที่ตำแหน่ง downstream แล้ว เลเซอร์ที่เคลื่อนที่ผ่านเลนส์จะถูกหักเหออกไปจากแนวทางเดิมและไม่ตกลงบนเซนเซอร์ของไดโอด ดังนั้นถ้ากำหนดให้ระยะระหว่างจุดที่ให้ความร้อนและจุดของเลเซอร์ไดโอดคงที่แล้ว และวัดระยะเวลาตั้งแต่ที่เลนส์ไหลจากจุดแรกไปจุดที่สองได้ เราก็จะทราบความเร็วของการไหลได้ ซึ่งวิธีการนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ฟองก๊าซ หรือผงโลหะขนาดเล็กผสมไปกับของเหลวก็ยังสามารถวัดความเร็วของการไหลในท่อขนาดไมครอนได้

จากงานวิจัยเหล่านี้ การใช้งานเลเซอร์ไดโอดยังจำกัดอยู่เฉพาะในเรื่องการตรวจสอบว่ามีฟองอากาศไหลตัดผ่านแนวเลเซอร์และขวางไม่ให้ลำเลเซอร์ไปตกกระทบกับไดโอดเท่านั้น โดยสังเกตจากการลดลงของความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ขาออกของระบบเลเซอร์ไดโอด และไม่ได้สนใจลักษณะการลดลงของสัญญาณดังกล่าวเลย

อย่างไรก็ตามกลไกที่ทำให้เลเซอร์เปลี่ยนแปลงทิศทางไปคือการหักเหของแสงและการสะท้อนกลับหมดเมื่อลำเลเซอร์เคลื่อนผ่านตัวกลางที่มีค่าดัชนีหักเหต่างกัน ดังนั้นหากมีฟองอากาศที่มีรูปร่างความโค้งแตกต่างกันอยู่นิ่งกับที่ แล้วลำเลเซอร์ถูกยิงไปที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนผิวโค้ง มุมที่ลำเลเซอร์เคลื่อนที่หักเหออกไปย่อมจะขึ้นกับมุมเอียงของผิวโค้งที่กระทำกับลำเลเซอร์อยู่ ด้วยแนวคิดนี้ หากนำเลเซอร์ไปตัดผ่านฟองอากาศที่มีรัศมีความโค้ง หรือรูปร่างผิวโค้ง

ที่ต่างกันที่มีการเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากันในของเหลวชนิดเดียวกันแล้ว จึงเกิดคำถามว่าลักษณะการลดลงของปริมาณเลเซอร์ที่ตกกระทบบนไดโอดซึ่งทำให้สัญญาณความต่างศักย์ลดลงนั้นจะเหมือนกันหรือไม่ อย่างไร ด้วยเหตุผลดังกล่าวในโครงงานนี้จึงสนใจที่จะพัฒนาเทคนิคการวัดสำหรับการวัดรัศมีความโค้งเป็นการศึกษาเบื้องต้นก่อน โดยมุ่งเน้นไปที่การสอบเทียบโดยใช้แบบจำลองฟองอากาศที่เรารู้ค่ารัศมีความโค้ง เพื่อนำระบบการวัดดังกล่าวมาทดลองใช้วัดรัศมีความโค้งฟองอากาศต่อไป

1.4 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.4.1 พัฒนาเทคนิค Wire Mesh Tomography และโปรแกรมการคำนวณเพื่อวัดอัตราส่วนฟองก๊าซ ความเร็วฟองก๊าซ และขนาดฟองก๊าซ

1.4.2 พัฒนาเทคนิคเลเซอร์ไดโอด เพื่อวัดรัศมีความโค้งที่ตำแหน่งปลายยอดของฟองก๊าซ

1.5 ขอบเขตของโครงการวิจัยและส่วนประกอบของรายงาน

1.5.1 พัฒนาออกแบบและสร้างอุปกรณ์ Wire Mesh Tomography และทำการสอบเทียบ โดยรายละเอียดทั้งในส่วนความรู้พื้นฐาน หลักการของเครื่องมือวัด ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือวัด และผลการสอบเทียบจะแสดงไว้ในบทที่ 2 ของรายงานฉบับนี้

1.5.2 พัฒนาออกแบบและสร้างอุปกรณ์เลเซอร์ไดโอด และทำการสอบเทียบ ซึ่งรายละเอียดทั้งในส่วนของความรู้พื้นฐาน หลักการของเครื่องมือวัด ส่วนประกอบที่สำคัญของเครื่องมือวัด และผลการสอบเทียบจะแสดงไว้ในบทที่ 3 ของรายงานฉบับนี้