บทที่ 4
สรุปผลการศึกษา

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการพัฒนาอุปกรณ์วัดสำหรับการตรวจสอบคุณสมบัติของการไหลสองเฟส โดยเทคนิคทั้งสองคือ Wire Mesh Tomography และเลเซอร์ไดโอด ซึ่งมีวัตถุประสงค์คือ การพัฒนาเทคนิค Wire Mesh Tomography และโปรแกรมการคำนวณประมวลผล เพื่อวัดอัตราส่วนฟองก๊าซ ความเร็วฟองก๊าซ และขนาดฟองก๊าซ และการพัฒนาเทคนิคเลเซอร์ไดโอดเพื่อวัดรัศมีความโค้งที่ตำแหน่งปลายยอดของฟองก๊าซ

อุปกรณ์วัดแบบแรกคือ Wire Mesh Tomography (WMT) ที่สามารถวัดพารามิเตอร์ของการไหลสองเฟสที่มีลักษณะเปลี่ยนแปลงตามเวลาทั้งพื้นที่หน้าตัดในเวลาเดียวกันได้ โดยเซนเซอร์อาศัยหลักการที่การนำไฟฟ้าของเหลวและก๊าซไม่เท่ากัน ทำให้สามารถแยกได้ว่ามีของเหลวหรือก๊าซอยู่ในบริเวณการวัดเป็นสัดส่วนอย่างไร อุปกรณ์การวัด WMT นี้ประกอบด้วย 2 ส่วนประกอบที่สำคัญ คือ WMS (Wire mesh sensor) และ data acquisition ลักษณะทางกายภาพของ WMS มีขนาดหน้าตัด 20 x 100 mm^2 ประกอบด้วย 3 ชั้นของตาข่ายลวด โดยชั้นตรงกลางจะทำหน้าที่เป็น transmitter plane ประกอบด้วย เส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm จำนวน 8 เส้นขนานกัน ชั้นบนและชั้นล่างทำหน้าที่เป็น receiver plane ประกอบด้วยเส้นลวดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.1 mm จำนวน 32 เส้นขนานกัน ทั้ง 3 ชั้นของตาข่ายจะวางตั้งฉากกันโดยมีระยะห่าง 1.5 mm ตามทิศทางของการไหล ลักษณะ 3 ชั้นของตาข่ายลวดทำให้เกิดชั้น measuring volume 2 ชั้น ประกอบด้วย upstream measuring plane ซึ่งวัดก่อนกึ่งกลาง WMS และ downstream measuring plane ซึ่งการวัดหลังกึ่งกลาง WMS จากจำนวนเส้นลวดทั้ง 3 ชั้นตามทิศทางการไหลของของไหลจะได้ว่า spatial resolution ของ WMS มีค่า 2.22 x 3.03 x 1.5 mm^3 หรือคิดเป็นฟองก๊าซทรงกลมขนาดเล็กที่สุดที่วัดได้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.68 mm

ในงานวิจัยนี้ ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อคำนวณพารามิเตอร์ที่สำคัญจากข้อมูลที่บันทึกได้จาก WMT และเปรียบเทียบผลกับข้อมูลที่ได้จากการถ่ายภาพสำหรับสภาวะการไหลต่าง ๆ โดยพารามิเตอร์ที่สำคัญประกอบด้วย local void fraction ความเร็วของฟองก๊าซและขนาดฟองก๊าซ เมื่อเปรียบเทียบกันแล้ว พบว่า ข้อมูล void fraction เฉลี่ยทั้งปริมาตรที่สนใจในช่วง void fractionไม่เกิน 9% มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง ±20% ความเร็วฟองก๊าซเฉลี่ยทั้งปริมาตรที่สนใจในช่วงระหว่าง 250-350 mm/s มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง ±10% และขนาดฟองก๊าซเฉลี่ยทั้งปริมาตรที่สนใจในช่วงขนาดฟองก๊าซระหว่าง 2-8 mm มีค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วงระหว่าง ±20%

นอกจากนั้น การกระจายตัวของขนาดฟองก๊าซระหว่างวิธีการทั้งสองก็ถูกนำมาเปรียบเทียบกันอีกด้วย ซึ่งการกระจายตัวของขนาดฟองก๊าซจะมีความแตกต่างกันพอสมควรในบางสภาวะการไหล ความคลาดเคลื่อนของข้อมูล void fraction ขนาดฟองก๊าซ และการกระจายตัวของฟองก๊าซที่ได้จากวิธีการวัดมีสาเหตุหนึ่งมาจากปัญหาของการเลือกค่า threshold ที่เหมาะสมในการแบ่งระหว่างฟองก๊าซและของเหลว และการสมมติรูปร่างฟองก๊าซในการคำนวณที่

ต่างกับการไหลจริง จึงทำให้เกิดความแตกต่างของข้อมูลฟองก๊าซส่งผลต่อความคลาดเคลื่อนของพารามิเตอร์ที่กล่าวข้างต้น

นอกจากนั้น WMS ยังเป็นเครื่องมือที่ขวางเข้าไปในการไหลสองเฟส จึงมีผลกระทบกับฟองก๊าซอย่างแน่นอน ในงานวิจัยนี้ จึงทำการศึกษาผลกระทบที่เห็นเด่นชัด คือการลดลงของความเร็วของฟองก๊าซ และการแตกของฟองก๊าซหลังจากผ่าน WMS อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาสัญญาณที่ WMT พบว่าการแตกของฟองก๊าซและการลดลงของความเร็วฟองก๊าซนั้นไม่มีผลกับสัญญาณที่บันทึกได้มากนักในช่วงคุณสมบัติของการไหลที่พิจารณาอยู่

สำหรับอุปกรณ์วัดตัวที่สองคือ เลเซอร์ไดโอด โดยอาศัยหลักการที่แสงจะหักเหไปเมื่อผ่านรอยต่อระหว่างตัวกลางคนละชนิดที่มีดัชนีหักเหทางแสงไม่เท่ากันและปริมาณความต่างศักย์ไฟฟ้าขาออกจากวงจรไดโอดจะแปรผันตามปริมาณพลังงานของเลเซอร์ที่ตกกระทบบนโฟโต้ไดโอด ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบส่วนประกอบต่าง ๆ ของอุปกรณ์เลเซอร์ไดโอดพร้อมกับทดสอบให้ทราบถึงผลของส่วนประกอบต่าง ๆ ต่อสัญญาณความต่างศักย์ไฟฟ้าของอุปกรณ์ และทำการสอบเทียบอุปกรณ์กับรัศมีความโค้งของฟองอากาศขนาดต่าง ๆ ซึ่งในการสอบเทียบนี้ได้สร้างแบบจำลองฟองอากาศขึ้นมาจาก Polydimethylsiloxane (PDMS) ซึ่งเป็นแนวทางใหม่ของการสอบเทียบแบบหนึ่ง หลังจากนั้น จึงทำการทดสอบหาการตอบสนองของอุปกรณ์เลเซอร์ไดโอดสำหรับรัศมีความโค้งต่าง ๆ โดยในการทดลองนี้เลือกใช้เลเซอร์ขนาด 10 mW ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.65 ม.ม. และฟองอากาศมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22, 16, 13, 8, และ 6 ม.ม. และมี spatial resolution ของการตรวจสอบตำแหน่งประมาณ 0.08 ม.ม. และขนาดสัญญาณไฟฟ้าต่อสัญญาณรบกวนประมาณ 190 เท่า

จากผลการสอบเทียบ ทำให้ทราบว่าระยะจากปลายยอดฟองที่ความต่างศักย์ไฟฟ้าลดลงจนใกล้ศูนย์ โดยในการศึกษานี้ระยะดังกล่าวจะแปรผกผันกับขนาดของรัศมีความโค้งของผิวฟองอากาศซึ่งสามารถสร้างเป็นสมการที่ใช้อธิบายความสัมพันธ์ระหว่างระยะดังกล่าวและรัศมีความโค้งของผิวฟองอากาศได้ หลังจากนั้นหากนำเอากราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ระยะจากยอดฟองต่าง ๆ มาทำ normalization ด้วยความต่างศักย์ขณะที่ลำเลเซอร์อยู่เหนือยอดฟองสำหรับค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า และด้วยระยะทั้งหมดที่ความต่างศักย์ลดลงจนเป็นศูนย์สำหรับระยะทางแล้ว ความสัมพันธ์ในลักษณะนี้ของทุกขนาดฟองอากาศจะสอดคล้องกัน ดังนั้นหากนำเอาอุปกรณ์ไปวัดในการไหลจริง ๆ สำหรับกรณีที่ฟองอากาศเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่ ลักษณะการลดลงของสัญญาณของทุกขนาดฟองอากาศก็จะสอดคล้องกันหมด (จากผลการทดลองจริง ที่ไม่มีการวัดตำแหน่งเปรียบเทียบ จะได้ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าและเวลา ซึ่งหากความเร็วคงที่จะทำให้เวลาและระยะทางแปรผันโดยตรง)

ในส่วนการอธิบายว่าเหตุใดการลดลงของของสัญญาณความต่างศักย์จึงมีแนวโน้มตามที่ได้จากการทดลอง งานวิจัยนี้จึงทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับเรื่องแสงขึ้นมา และลองเปรียบเทียบผลจากการศึกษาทั้งจากการทดลองสอบเทียบและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทำให้อาจจะสรุปได้ว่ากลไกหนึ่งที่น่าจะมีผลโดยตรงคือการที่ปลายยอดของฟองอากาศเคลื่อนที่บังลำเลเซอร์ที่ไปตกกระทบบนไดโอด และเลเซอร์ที่ไปตกกระทบที่ผิวฟองจะสะท้อนออกไปในทิศทางอื่น โดยมีเลเซอร์ที่ยังไม่ถูกฟองอากาศบังอยู่บริเวณหนึ่งที่ไปตกกระทบบนโฟโต้ไดโอด เมื่อรัศมี

ความโค้งของฟองอากาศไม่เท่ากันสำหรับขนาดเลเซอร์หนึ่งๆแล้ว จะมีแนวโน้มของการลดลงของพื้นที่ในบริเวณที่เลเซอร์ไม่ถูกบังสอดคล้องกับลักษณะการลดลงของสัญญาณความต่างศักย์ที่ได้จากผลการทดลอง

ในส่วนสุดท้าย การไหลของฟองอากาศจริงถูกจำลองขึ้นและตรวจสอบโดยใช้เทคนิคในการถ่ายภาพในการตรวจสอบทั้งรัศมีความโค้งและความเร็วของการไหลของฟองอากาศไว้ แล้วลองใช้อุปกรณ์เลเซอร์ไดโอดวัดเพื่อพิสูจน์แนวคิดเกี่ยวกับการใช้วัดรัศมีความโค้งรวมทั้งความเร็วของการไหลหากทราบพารามิเตอร์อีกอันหนึ่งอยู่แล้ว พบว่าผลการวัดผิดไปจากพารามิเตอร์ของการไหลจริงที่ตรวจสอบจากการถ่ายภาพมาก อย่างไรก็ตามการทดลองดังกล่าวอาจจะยังควบคุมขนาดของฟองให้คงที่และวัดความเร็วได้ไม่ดีนัก

ผลการศึกษาในงานวิจัยนี้มีความก้าวหน้าในระดับหนึ่ง ถึงแม้จะทำให้ทราบเกี่ยวกับพารามิเตอร์ที่สำคัญของอุปกรณ์วัดทั้งสองแบบที่อาจจะส่งผลต่อผลการวัดได้ รวมทั้งความรู้เกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการไหลเองในบางส่วนก็สามารถสรุปได้จากผลการทดลองในเบื้องต้นนี้ อย่างไรก็ตาม การไหลสองเฟสเป็นการไหลที่ซับซ้อนมาก การศึกษาเพิ่มเติมและการพัฒนาการวัดและการสอบเทียบให้มีความแม่นยำสูงขึ้นก็ยังมีความจำเป็นอยู่ ซึ่งเป็นสิ่งที่ท้าทายต่อไปในอนาคต