บทที่ 5

บทสรุป

งานวิจัยในวิทยานิพนธ์นี้ มุ่งเน้นศึกษาการยืดฟิลาเมนต์สำหรับปัญหาของไหลนิวโตเนียน ณ เวลาต่างๆ กัน โดยทำการจำลองปัญหาด้วยสมการทางคณิตศาสตร์และหาผลเฉลยด้วยระเบียบวิธีชิ้นประกอบอันตะ เพื่อศึกษาและเข้าใจถึงพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหล รวมทั้งทราบถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นจากการเลือกใช้ลักษณะของโครงข่าย ซึ่งเป็นพื้นฐานในการนำร่องไปสู่การศึกษาของไหลวิสโคอีลาสติกที่เป็นวัสดุสำคัญในกระบวนการผลิตต่างๆ ในที่นี้จะพิจารณาการไหลทีละค่าความเครียดของเฮนคีย์ต่างกัน 0.32 และตัวแปรต่างๆ เช่น ความเร็ว ความดัน และความเค้น จะพิจารณาเป็นแบบไร้หน่วย เพื่อสะดวกในการนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลบางส่วนของผู้อื่น

5.1 ข้อสรุปที่สำคัญจากผลการวิจัย (Conclusion)

อิทธิพลของรูปแบบโครงข่ายและการประมาณค่าผิวอิสระเริ่มต้น

รูปแบบโครงข่ายที่มีความละเอียดและมีอัตราการโอนเอียงสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของการไหลมาก เช่น บริเวณใกล้ผิวอิสระ และบริเวณใกล้ขอบด้านบน ซึ่งเป็นขอบที่เคลื่อนที่ จะสามารถอธิบายพฤติกรรมการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของของไหลได้ดีกว่าโครงข่ายที่มีความละเอียดและมีอัตราการโอนเอียงน้อย สังเกตได้จากค่า $R_{\min}$ ที่คำนวณมาจากโครงข่ายที่มีความละเอียดมากที่สุดจะให้ผลใกล้เคียงกับผลเฉลยเชิงวิเคราะห์มากที่สุด และสามารถยืดได้มากที่สุดเพราะมีตัวแทนของตำแหน่งโนดที่จะอธิบายถึงอิทธิพลจากการประมาณค่า เนื่องจากในงานนี้เป็นการประมาณค่าด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ดังนั้นความแม่นยำของผลเฉลยจะขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยโดยเฉพาะจำนวนโนดตัวแทนข้อมูลค่าเริ่มต้นและค่าที่ขอบ

นอกจากนี้ผลเฉลยที่คำนวณยังได้รับอิทธิพลของการประมาณค่าผิวอิสระเริ่มต้น ซึ่งในที่นี้ใช้การส่งเชิงวงรี ถ้าสามารถเลือกใช้การประมาณค่าเริ่มต้นได้ใกล้เคียงกับพฤติกรรมจริงมากขึ้น ผลที่คำนวณได้จะใกล้เคียงกับผลเฉลยมากขึ้น ทั้งนี้ยังมีผลสืบเนื่องมาจากจำนวนโนดที่เป็นตัวแทนในการประมาณค่าด้วย โดยบริเวณที่มีความโค้งมาก เช่นบริเวณใกล้ขอบด้านบนที่เคลื่อนที่ ควรจะมีตัวแทนโนดมากเพื่อรองรับรูปร่างที่มีลักษณะซับซ้อนหรือมีความโค้งงอมาก

ผลของค่าตัวแปรต่างๆ ที่คำนวณได้

ผลการคำนวณเชิงตัวเลขในงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่ารัศมีจะมีค่าแตกต่างกันแบบไม่สม่ำเสมอ (non-uniform) ตลอดความยาวของฟิลาเมนต์ โดยมีระยะน้อยที่สุดที่ขอบด้านล่างและเมื่อทำการยืดต่อไปจะเห็นได้ว่ารัศมีน้อยที่สุดจะมีค่าน้อยลงจนเข้าสู่จุดกลางของฟิลาเมนต์ ก่อนที่จะขาดจากกัน ซึ่งสาเหตุนี้เป็นผลมาจากเงื่อนไขขอบที่บริเวณจุดตัดระหว่างขอบด้านบนและผิวอิสระ ระยะรัศมีน้อยที่สุดจะลดลงใน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลักษณะราบเรียบ (smooth) สอดคล้องตามผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ในช่วงแรก สังเกตได้จากความชันที่เปลี่ยนแปลงอย่างค่อยเป็นค่อยไปและกลายเป็นลาดชันมาก ห่างไกลจากผลเฉลยเชิงวิเคราะห์ก่อนที่ฟิลาเมนต์ จะขาดออก

ความเร็วในแนวแกน r ตลอดผิวอิสระและความเร็วในแนวแกน z ที่เส้นแกนกลางที่คำนวณได้ให้ผลสอดคล้องกับการประมาณการหล่อลื่น จนกระทั่งค่าความเครียดของเฮนคีย์เป็น 1.28 ส่วนค่าความดันที่เกิดขึ้นในช่วงแรกจะเปลี่ยนแปลงตามระยะห่างจากผิวอิสระ และเมื่อค่าความเครียดของเฮนคีย์เพิ่มขึ้นความดันบรรยากาศจะมีผลกระทบมาในโดเมนมากขึ้นโดยเฉพาะที่บริเวณมุมขวาบน

ความเค้นที่บริเวณใกล้ผิวอิสระ จะมีแนวโน้มต่อเนื่องใกล้เคียงพฤติกรรมในธรรมชาติมากขึ้นเมื่อโครงข่ายมีความละเอียดและมีอัตราการโอนเอียงสูงขึ้น ของไหลบริเวณใกล้ขอบด้านล่างจะยืดออกในแนว z และหดลงในแนว r มากที่สุด และผลกระทบจากการดึงในแนวเส้นรอบวงมีน้อยมาก ส่วนผลกระทบจากการเฉือนจะมีความชัดเจนมากที่ค่าความเครียดของเฮนคีย์มีค่าน้อย แสดงให้เห็นว่าของไหลไม่ได้เป็นแบบยืดดึงทางเดียวบริสุทธิ์ แต่เมื่อค่าความเครียดของเฮนคีย์มากขึ้น ผลกระทบของการเฉือนจะมีค่าลดลงจนมีค่าน้อยมากซึ่งไม่นำมาพิจารณาได้ และจะกลายเป็นการไหลแบบอิสระจากการเฉือน

5.2 ข้อจำกัดและเงื่อนไขของงานวิจัย (Limitation and condition)

ในการศึกษาปัญหาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นเรื่องยากที่จะพิจารณาทุกผลกระทบที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ จึงมีข้อสมมติฐานต่างๆ ขึ้นมาเพื่อเจาะจงลักษณะของปัญหาให้ง่ายและสะดวกต่อการคำนวณมากขึ้น ไว้เป็นพื้นฐานที่จะนำไปพัฒนาต่อไป ดังนั้นในทุกงานวิจัยที่ใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขมาช่วยในการหาผลเฉลย จะมีข้อจำกัดและขีดความสามารถของความรู้ในงานวิจัยเสมอ สำหรับงานวิจัยนี้ มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ ดังต่อไปนี้

5.2.1 ระบบพิกัดทรงกระบอก 2 มิติ จะไม่สามารถครอบคลุมถึงธรรมชาติของของไหลซึ่งอยู่ในระบบ 3 มิติ แต่สามารถเข้าใจถึงพฤติกรรมจริงในธรรมชาติได้ เพียงแต่ไม่พิจารณาถึงผลกระทบที่เกิดขึ้นในแนวเส้นรอบวง โดยการมองว่าของไหลไม่ถูกดึงในแนวแกน θ ดังนั้นผลเฉลยที่ได้ยังคงให้ค่าที่ใกล้ความเป็นจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2 เงื่อนไขอุณหภูมิไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา ในความเป็นจริงกระบวนการผลิตต่างๆ ย่อมมีการถ่ายเทความร้อนจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่ง ทำให้การกระจายตัวของอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ เช่น ที่ตำแหน่งขอบกับบริเวณเนื้อในของไหลจะมีค่าอุณหภูมิที่แต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน

5.2.3 การไม่พิจารณาผลกระทบของแรงโน้มถ่วงในความเป็นจริงกระบวนการผลิตต่างๆ ไม่ได้ทำในสุญญากาศ แน่นอนที่แรงโน้มถ่วงจะต้องมีผลกระทบ แต่เมื่อพิจารณาที่ระดับความสูงใกล้เคียงกันอาจจะอนุโลมได้ว่าผลกระทบจากแรงโน้มถ่วงมีค่าน้อย

5.2.4 ไม่มีการลื่นไถลของของไหลที่สัมผัสกับแผ่นโลหะที่เคลื่อนที่ ในความเป็นจริงของไหลจะมีแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างโมเลกุล และในธรรมชาติแต่ละพื้นผิวที่สัมผัสกันจะมีแรงตึงผิวระหว่างกันและกัน แต่เมื่อออกแรงดึงของไหลให้ยืดตัวออกจะทำให้การยึดเหนี่ยวหรือแรงที่กระทำต่อกันและกันเปลี่ยนไป ซึ่งเมื่อยืดออกไปมาก แรงดึงอาจสามารถทำลายแรงยึดเหนี่ยวกันระหว่างโมเลกุลและแรงตึงผิวที่กระทำระหว่างสองวัตถุได้

5.2.5 ข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เนื่องจากในงานวิจัยนี้หาผลเฉลยด้วยระเบียบวิธีชิ้นประกอบอันตะ ดังนั้นจำนวนโนดและจำนวนชิ้นประกอบที่นำมาพิจารณามีผลต่อค่าผลเฉลย ถ้าสามารถทำโครงข่ายให้มีความละเอียดเพียงพอต่อความต้องการของปัญหา ผลเฉลยที่ได้จะให้ความแม่นยำมากขึ้น แต่เป็นที่แน่นอนว่า เวลาที่ใช้ในการคำนวณและประสิทธิภาพของเครื่องคอมพิวเตอร์ต้องสูงมาก ซึ่งค่อนข้างสิ้นเปลืองทั้งค่าใช้จ่ายและเวลา

5.2.6 ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข เป็นเพียงเครื่องมือที่ช่วยในการหาผลเฉลย ซึ่งแต่ละขั้นตอนของการคำนวณจะได้ค่าออกมาเป็นค่าประมาณที่ใกล้เคียงกับผลเฉลยจริง และเมื่อนำค่านั้นไปทำการคำนวณต่อ ความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นจะเป็นความคลาดเคลื่อนแบบสะสม

5.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการศึกษาต่อไป (Suggestion)

ปัญหาที่พิจารณาในวิทยานิพนธ์นี้ ยังอยู่ภายใต้ข้อจำกัดและสมมติฐานมากมาย ผลเฉลยที่คำนวณได้จึงไม่สามารถอธิบายพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงในธรรมชาติได้อย่างชัดเจน เพียงแต่สามารถบอกแนวโน้มของผลเฉลยที่จะเกิดขึ้น ดังนั้นหากทำการศึกษาต่อไป ควรจะลดข้อจำกัดต่างๆ ให้น้อยลง เช่น พิจารณาการไหลในระบบพิกัดทรงกระบอก 3 มิติ คำนึงถึงผลจากแรงโน้มถ่วง เพิ่มผลกระทบของการลื่นไถล ทำการปรับปรุงโครงข่ายให้มีความละเอียดมาก ณ บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าของผลเฉลยมาก อาจพิจารณาโครงข่ายในลักษณะไม่เป็นโครงสร้าง (unstructured mesh) หรืออาจปรับเปลี่ยนลักษณะโครงข่ายทุกๆ ค่าความเครียดของเฮนคีย์ รวมทั้งอาจหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ขึ้นมาใหม่ให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น ซึ่งจะนำไปสู่คุณสมบัติที่แท้จริงของวัสดุได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย