บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

หลายบทที่ผ่านที่มา ได้มีการอภิปรายผลพร้อมกับแสดงผลการเปรียบเทียบต่างๆแล้ว ดังนั้น ในบทนี้จึงเป็นการสรุปผลโดยรวม และให้ข้อเสนอแนะสำหรับการขยายผลการศึกษาต่อไป

6.1 สรุปผลการวิจัย

ปัญหาการไหล สามารถอธิบายได้อยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ ซึ่งประกอบไปด้วย สมการอนุรักษ์มวล สมการอนุรักษ์โมเมนตัม และสมการนาเวียร์-สโตกส์ โดยระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุมนั้น เป็นการดิสครีไทซ์ (Discretize) ลงบนจุดต่างๆ บนปริมาตรควบคุมเพื่อเปลี่ยนรูปสมการเชิงอนุพันธ์นั้นไปเป็นสมการพีชคณิตด้วยการอินทิเกรตสมการเชิงอนุพันธ์ตลอดปริมาตรควบคุม และนำ Numerical scheme มาเพื่อประมาณค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆที่บริเวณ Interface หลังจากนั้นใช้วิธี TDMA (Tri-Diagonal Matrix algorithm) เพื่อหาผลเฉลยของระบบสมการในการแก้ปัญหาสนามการไหลนั้น ซึ่งสมมติว่าทราบค่าบริเวณจุดต่อข้างเคียงและใช้วิธีการคำนวณซ้ำ จนได้ผลลัพธ์ลู่เข้า และใช้ขั้นตอนการคำนวณของวิธี SIMPLE (Semi-Implicit Method for Pressure-linked Equation) ร่วมกับการวางกริดแบบเยื้อง (Staggered grid) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้คำนวณความเร็วและความดัน เพื่อทำให้ค่า u และ v ที่ได้จากสมการโมเมนตัมนั้นสอดคล้องกับสมการอนุรักษ์มวล จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ได้นี้ให้ผลเฉลยสอดคล้องกับผลเฉลยแม่นตรงได้เป็นอย่างดี

การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับปัญหาการไหลแบบราบเรียบผ่าน Backward-facing step พบว่าเกิดบริเวณการหมุนวนขึ้นที่บริเวณผนังขั้นบันได และค่าความยาวของบริเวณการหมุนวนจะเพิ่มขึ้นเมื่อค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์เพิ่มขึ้นในช่วงการไหลแบบราบเรียบ อีกทั้งเมื่อค่าความเค้นเฉือนที่บริเวณผนังมีค่าต่ำ หรือเกิดการไหลย้อนกลับของของไหลมาก พบว่าจะเกิดบริเวณการหมุนวนสั้นลง และ Numerical scheme แบบ Upwind ให้ผลการคำนวณเชิงตัวเลขใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด

การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับปัญหาการไหลผ่านบล็อก (Block) พบว่าเกิดบริเวณการหมุนวนขึ้นที่บริเวณผนังด้านล่าง ซึ่งคล้ายคลึงกับปัญหาการไหลผ่าน Backward-facing step โดยแบบ Upwind สามารถทำนายผลความยาวบริเวณการหมุนวนที่ผนังด้านล่างของปัญหาการไหลผ่านบล็อกได้ใกล้เคียงผลการทดลองมากที่สุด แม้ว่าค่า

ความเร็วตามแนวแกนบริเวณช่วงกลางของช่องทางไหลจะมีค่าน้อยกว่าผลการทดลองก็ตาม แต่ค่าความเร็วบริเวณผนังด้านบนและด้านล่างก็มีความใกล้เคียงกับผลการทดลอง

ส่วนในการการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับปัญหาการไหลผ่านรั้วบาง (Fence) พบว่าเกิดบริเวณการหมุนวนทั้งผนังด้านบนและด้านล่าง ซึ่งแบบ Upwind ให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด แม้ว่าความยาวบริเวณการหมุนวนที่ผนังด้านบนจะมีความแตกต่างจากผลการทดลอง แต่ค่าความเร็วตามแนวแกนก็ให้ผลที่น่าพอใจ

การทำนายการไหลแบบราบเรียบผ่านช่องทางการไหลที่มีสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ตั้งฉากกับการไหลในสภาวะเสมือนคงตัว (Quasi-steady) ซึ่งเมื่อสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ปิดช่องทางไหลมากขึ้น มีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างความเร็วการไหล โดยแบ่งการพิจารณาที่ผนังด้านบน และด้านล่าง พบว่า ที่ผนังด้าน บริเวณการหมุนวนใกล้สิ่งกีดขวางจะมีความยาวบริเวณการหมุนวนและความเค้นเฉือนที่ผนังเพิ่มขึ้น ส่วนบริเวณการหมุนวนตำแหน่งที่สอง จะเกิดใกล้สิ่งกีดขวางมากขึ้น และความเค้นเฉือนจะมีค่ามากขึ้น เมื่อช่องทางไหลปิดแคบลง ที่ผนังด้านล่าง เมื่อสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ลงปิดช่องทางไหลหมุนวนมากขึ้น จะพบการแยกตัวของการไหลที่บริเวณผนังด้านล่างใกล้รั้วบางด้านล่าง 2 ตำแหน่งไหลสวนทางกัน โดยตำแหน่งแรกมีทิศทางการไหลทวนเข็มนาฬิกา และตำแหน่งที่สองมีทิศทางการไหลตามเข็มนาฬิกา อย่างไรก็ตาม หากเปรียบเทียบค่าความเค้นเฉือนที่ผนังกับผลเชิงตัวเลขของ Kerh et al. (1998) ซึ่งให้ผลแตกต่างกัน โดยผลเชิงตัวเลขของ Kerh et al. (1998) ให้ค่าความเค้นเฉือนที่ผนังน้อยเกินไป เมื่อสังเกตลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความเค้นเฉือนที่ผนังกับการเคลื่อนที่ของสิ่งกีดขวาง จะพบว่า เมื่อช่องทางไหลปิดแคบมากขึ้น ค่าความเค้นเฉือนที่ผนังด้านบนของบริเวณการหมุนวนตำแหน่งแรกจะเพิ่มขึ้น ซึ่งค่าความเค้นเฉือนที่ผนังของ Kerh et al. (1998) ที่ตำแหน่งสมดุลใหม่นั้นกลับมีค่าน้อยมากเข้าใกล้ศูนย์ แสดงว่าค่าดังกล่าวที่สิ่งกีดขวางตำแหน่งเริ่มต้นย่อมต้องมีค่าลดน้อยลง ซึ่งไม่สอดคล้องกับทั้งผลการคำนวณค่าความเค้นเฉือนที่ผนังในปัญหานี้ และปัญหาทดสอบก่อนหน้า ดังนั้น หากมีการศึกษาผลการทดลองของปัญหาขอบเขตลักษณะนี้ จะทำให้มั่นใจผลการคำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มากยิ่งขึ้น ซึ่งเราได้ทำการค้นคว้างานวิจัยต่างๆพบว่า งานวิจัยในลักษณะปัญหาการไหลมีอันตรกริยากับวัตถุส่วนใหญ่นั้น มีลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent) หรือมีค่าเรย์โนล์ดนัมเบอร์ของของไหลสูง จึงเป็นการยากที่จะหาผลการทดลอง หรือผลเชิงตัวเลขอื่นในการเปรียบเทียบกับผลการคำนวณนี้

6.2 ข้อเสนอแนะ

เราสามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้จากงานวิทยานิพนธ์นี้ไปใช้ในการศึกษาพฤติกรรมและปรากฏการณ์การไหลผ่านรูปร่างปัญหาที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันหรือมีรูปร่างที่ซับซ้อนกว่า โดยสามารถทำการพัฒนาเพิ่มเติมได้ ดังต่อไปนี้

1) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ให้สามารถวิเคราะห์การไหลแบบปั่นป่วนได้ โดยเพิ่มสมการการไหลแบบปั่นป่วน เช่น แบบจำลอง $k-\varepsilon$ หรือ $k-\omega$ เป็นต้น ซึ่งในการค้นคว้างานวิจัยพบว่า ส่วนใหญ่เป็นปัญหาในลักษณะการไหลแบบปั่นป่วน

2) เนื่องจากปัญหาการไหลผ่านวัตถุเคลื่อนที่นั้น เป็นปัญหาในสภาวะชั่วครู่ ดังนั้นจึงควรพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้ให้สามารถทำนายในสภาวะชั่วครู่ (Transient condition) ได้

3) สืบเนื่องจากข้อสอง จากขอบเขตของปัญหามีการเคลื่อนที่ ดังนั้น เราควรพัฒนากริด ให้สามารถปรับปรุงกริดให้เหมาะสมทุกๆช่วงเวลา ที่วัตถุเคลื่อนที่ เช่น ALE method (Arbitary Lagrangian Eulerian method)

4) การวิเคราะห์ปัญหาลักษณะการไหลผ่านที่มีอันตรกริยากับวัตถุนั้น จะทำศึกษาผลกระทบของการเคลื่อนที่ของวัตถุซึ่งเกิดจากของไหล โดยทำการวิเคราะห์ถึงค่าความสั่นสะเทือนของวัตถุ ดังนั้นเราจึงควรพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ค่าความสั่นเพิ่มเติมด้วย

5) พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์ปัญหาการไหลผ่านวัตถุเคลื่อนที่ที่เคลื่อนที่ในหลายมิติ (Multi-degree of freedom) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ปัญหาที่ใกล้เคียงความจริงมากขึ้น