บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของวิทยานิพนธ์

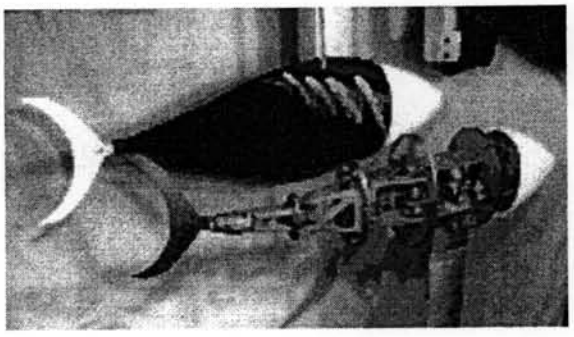
ปัญหาทางวิศวกรรมทางด้านการไหลส่วนใหญ่นั้น จัดว่าเป็นปัญหาที่หาผลเฉลยแม่นตรงได้ยาก เนื่องจากความไม่เป็นเชิงเส้นของสมการเชิงอนุพันธ์ อย่างไรก็ตามเมื่อนำสมการเชิงอนุพันธ์เหล่านั้น มาดัดแปลงด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขแล้ว จะได้สมการในรูปสมการพีชคณิต ซึ่งเมื่อนำสมการที่ได้มาประดิษฐ์เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะสามารถคำนวณหาผลเฉลยของสมการเหล่านั้นได้

จากการศึกษาวิจัยพบว่า ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุมเป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขที่ถูกใช้อย่างกว้างขวางในการวิเคราะห์การไหล และเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบ ถึงแม้ว่าการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านการไหลจะมีน้อยกว่าทางด้านโครงสร้าง แต่จำนวนการวิเคราะห์ปัญหาทางด้านการไหลมีแนวโน้มสูงขึ้น เนื่องจากมีการศึกษาวิธีใหม่ในการวิเคราะห์ปัญหาซึ่งควบรวมปัญหาทางด้านการไหลและด้านโครงสร้างเอาไว้ด้วยกัน ซึ่งถูกเรียกว่าการไหลซึ่งมีอันตรกริยากับวัตถุ (Fluid-structure interaction)

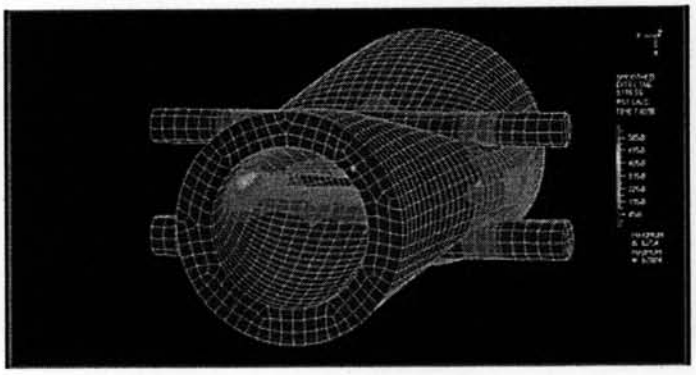
รูปแบบการไหลซึ่งของไหลมีอันตรกริยากับวัตถุที่ไหลผ่าน ถือว่ามีบทบาทสำคัญในหลากหลายปัญหาทางวิศวกรรม เนื่องจากอันตรกริยาของการไหลและโครงสร้าง อาจนำไปสู่ความเสียหายอย่างร้ายแรงต่อโครงสร้างดังกล่าว โดยมีการศึกษาปรากฏการณ์ทางกายภาพต่างๆมากมาย เช่น การไหลที่นำไปสู่การเกิดการสั่น หรือการเกิดเสียงรบกวน เป็นต้น

รูปแบบปัญหาการไหลซึ่งของไหลมีอันตรกริยากับวัตถุที่ไหลผ่านอาจจะแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ลักษณะแรก คือ การไหลที่ของไหลกระทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ คือ ของไหลไหลผ่านวัตถุที่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยของไหลจะถ่ายเทโมเมนตัมไปสู่วัตถุ ทำให้วัตถุเกิดการเคลื่อนที่ ในลักษณะนี้พบว่ามีการศึกษาปรากฏการณ์การไหล เพื่อดูรูปร่างความเร็วของไหลที่ไหลผ่านวัตถุ แรงที่กระทำกับวัตถุซึ่งเกิดจากของไหลกระทำ รวมถึงศึกษาผลจากการสั่นของวัตถุ ตัวอย่างที่เห็นได้ชัดก็คือ กระแสน้ำทะเลที่กระทำกับแท่นขุดเจาะน้ำมันกลางทะเล จะเห็นได้ว่า มีลักษณะของปัญหาเหมือนกับการไหลผ่านวัตถุ ซึ่งทำให้วัตถุเกิดการสั่น โดยทำการศึกษาผลกระทบของแรงที่เกิดจากของไหลที่มากระทำ ซึ่งอาจทำให้เกิดการสั่นสะเทือนต่อโครงสร้างและส่งผลให้เกิดความเสียหายได้

ลักษณะที่สอง คือ วัตถุเคลื่อนที่ส่งผลกระทบต่อการไหลของของไหล ความหมายว่า เมื่อมีการไหลผ่านวัตถุที่เคลื่อนที่ได้จะเกิดการถ่ายเทโมเมนตัมจากวัตถุที่เคลื่อนที่ไปสู่ของไหล มีผลให้การไหลของของไหลเกิดการเปลี่ยนแปลง และของไหลก็ส่งผลกระทบให้เกิดแรงผลักดัน ทำให้วัตถุนั้นเคลื่อนที่ รวมถึงแรงต้านทานและแรงยกตัวอีกด้วย ได้แก่ การว่ายของปลาต่างๆ การบินของนก หรือแม้กระทั่งการขยับของปีกเครื่องบิน ซึ่งลักษณะปัญหาเหล่านี้จะทำการศึกษา แรงผลักดันที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของวัตถุที่ส่งผลกระทบกับการไหลของของไหล ตัวอย่างที่น่าสนใจก็คือ การสร้างหุ่นยนต์ปลา Robotuna ดังรูปที่ 1.1 ขึ้นที่ MIT โดย Barrett (1996) เพื่อศึกษาพฤติกรรมการว่ายน้ำของปลา โดยมีรูปร่างคล้ายปลาทูน่า วัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับยานทางน้ำอื่นๆ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นปัญหาในลักษณะที่วัตถุถ่ายเทโมเมนตัมให้กับของไหล หรือในการศึกษาด้านการแพทย์มีการจำลองการบีบหลอดเลือด เพื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนรูปร่างของหลอดเลือดและความเค้นที่เกิดขึ้น ซึ่งมีความสัมพันธ์ระหว่างความดันในหลอดเลือดซึ่งเกิดจากการไหล และความเค้นจากการบีบ ดังแสดงในรูปที่ 1.2



รูปที่ 1.1 หุ่นยนต์ปลาทูน่า (Robotuna) (Barrett, 1996)



รูปที่ 1.2 การบีบหลอดเลือด (from http://www.childrenshospitalla.org, 2006)

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาปรากฏการณ์การไหลในสภาวะเสมือนคงตัว (Quasi-steady) ผ่านช่องทางไหลในสองมิติ โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจะศึกษารูปร่างความเร็วของการไหลแบบราบเรียบผ่านช่องทางที่มีสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ตั้งฉากกับการ

ไหล ซึ่งปัญหาดังกล่าวเป็นจุดเริ่มต้นในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อแก้ปัญหาทางวิศวกรรมในลักษณะที่ของไหลมีอันตรกริยากับวัตถุต่อไป

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการไหลลักษณะนี้ พบว่ามีการศึกษาตัวแปรต่างๆที่หลากหลาย ซึ่งในขั้นต้นได้ทำการศึกษาการไหลของของไหลผ่านสิ่งกีดขวางที่ติดกับผนังในช่องทางการไหล ดังนี้

Tropea and Gackstatter (1985) ทำการทดลองเกี่ยวข้องกับการไหลผ่านรั้วบาง และบล็อก ที่ติดตั้งภายในช่องการไหลโดยความเร็วที่ทางเข้ามีลักษณะเป็น Fully-developed flow การทดลองกระทำในช่วง Reynolds number ตั้งแต่ 150 ถึง 4500 โดยใช้ Laser-droppler anemometer การไหลนี้จะเป็นฟังก์ชันของ Reynolds number, Blockage ratio (h/H) และอัตราส่วนความยาวต่อความสูง (l/h) โดยผลที่ได้จากการทดลองประกอบด้วย ที่ตั้งและขนาดของบริเวณ Primary และ Secondary recirculation และรูปร่างของความเร็วเฉลี่ย นอกจากนี้ยังแสดงการเปรียบเทียบระหว่างการไหลผ่านสิ่งกีดขวางและการไหลแบบ Backward-facing step

Carvalho et al. (1987) ศึกษาเกี่ยวกับการใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในการทำนายผลของของไหลอัดตัวไม่ได้ ซึ่งเป็นการไหลแบบราบเรียบที่สภาวะคงตัว 2 มิติ ผ่านสิ่งกีดขวางที่ติดตั้งในช่องทางการไหล ผลการทำนายการไหลถูกเปรียบเทียบกับความเร็วที่ได้จากการทดลองโดยใช้ Laser-droppler anemometer วัตถุประสงค์หลักของการศึกษานี้เป็นการเปรียบเทียบ Numerical scheme ที่ต่างกันซึ่งใช้ในการดีสครีไทซ์ (Discretization) เทอมของการพา (Convective term) ในสมการเชิงอนุพันธ์ย่อยของการไหล โดย scheme ที่ใช้ในการทำนายมี 5 แบบ คือ Upwind (UDS), Hybrid central/upwind (CUDS), Hybrid power-law/upwind (PLDS), Hybrid central/skew-upwind (CSUDS) และ Quadratic weighted upstream (QUDSC) นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลอง ซึ่งทำการศึกษาการไหลผ่าน Fence และ Block โดยใช้ค่า Blockage ratio 3 ค่า โดยมีผลสรุปว่า Quadratic weighted upstream ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาการไหลซึ่งมีอันตรกริยากับวัตถุ อาจจะแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะ ตามที่กล่าวมาแล้ว คือ

1.1.1 ปรากฏการณ์การไหลซึ่งวัตถุเคลื่อนที่ส่งผลกระทบต่อการไหล

Nakashima and Ono (1994) จำลองปัญหาการเคลื่อนที่ของครีบปลา หรือปีกเครื่องบิน ซึ่งใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนซ์ในการแก้ปัญหาของไหลอัดตัวไม่ได้ ไหลผ่านวัตถุแกว่งในสองมิติ โดยใช้วิธี SMAC ในการเคลื่อนที่ Curvilinear coordinate grid ซึ่งสามารถใช้ได้กับการไหลผ่านวัตถุแกว่งใดๆ ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบโดยใช้ค่า Thrust

coefficient และค่า Propulsive efficiency กับวิธี Discrete vortex ซึ่งแสดงผลออกมาใกล้เคียงกับวิธี Discrete vortex แบบไม่มี Leading edge suction force

Jia and Nakamura (1996) ทำการศึกษาปัญหาการไหลของของไหลที่อัดตัวไม่ได้ ในสองมิติ ซึ่งไหลผ่านวัตถุเคลื่อนที่หลายอัน โดยใช้ Overlapped unsteady grid ซึ่งประกอบด้วยกริดหลัก และกริดรอง ในการเคลื่อนที่ของวัตถุแต่ละอัน และใช้ QUICK scheme ในการประมาณค่า Convective term และ Semi-implicit second-order two step method เพื่อค่าต่างๆ ในแต่ละช่วงเวลา รวมถึงการใช้ Neumann Poisson ในการหาค่าความดัน ต่อจากนั้นทำการตรวจสอบโดยเปรียบเทียบ Pressure contour line และ Drag coefficient สำหรับ Overset grid และ Single grid ซึ่งผลออกมาเป็นที่น่าพอใจ

Zhu et al. (2002) ทำการศึกษาการควบคุมการไหลของของไหลในการว่ายน้ำของปลาทูน่า และ Giant danio ใน 3 มิติ และไม่มีความหนืดเข้ามาเกี่ยวข้อง โดยใช้วิธี Panel method ซึ่งถูกอธิบายโดย Barrett et al. และ Wolfgang et al. (Cited in Zhu et al.,2002) ในการวิจัยนี้ได้ทำการหาว่าอะไรคือกลไกพื้นฐานที่มีผลกระทบกับหางปลาในการสร้างแรงผลักดันสูงสุด โดยทำการศึกษาปรากฏการณ์การไหลในภาคตัดขวางของปลาทูน่า และ Giant danio สำหรับปลาทูน่า พบว่าที่บริเวณหางมีผลกระทบต่อการไหลมากกว่าบริเวณช่วงลำตัวของมัน แต่สำหรับปลา Giant danio พบว่าการไหลเป็นแบบผสม Longitudinal-transverse ที่บริเวณด้านหลังของลำตัว และทำการศึกษาปฏิสัมพันธ์ระหว่าง Body-generated vorticity และ Tail-generated vorticity ซึ่งมี 2 รูปแบบ คือ แบบที่ 1 แรงผลักดันสูงสุดเกิดจากเมื่อทั้ง Body-generated vorticity และ Tail-generated vorticity เพิ่มสูงขึ้น และแบบที่ 2 ประสิทธิภาพของแรงผลักดันสูงสุดเกิดจากเมื่อ Body-generated vorticity มีค่าต่ำ ส่วน Tail-generated vorticity มีค่าสูง

1.1.2 ปรากฏการณ์การไหลซึ่งของไหลส่งผลกระทบให้วัตถุเคลื่อนที่

Kerh et al. (1997) ศึกษารูปร่างการไหลของของไหลที่ไหลผ่านวาล์วควบคุมในสภาวะชั่วครู่ ซึ่งทำให้วัตถุเกิดการแกว่งใน 1 มิติ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งการไหลเป็นฟังก์ชันของ Sine โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาความสัมพันธ์ของความเร็วของของไหลกับความเร็วของประตูกั้นของวาล์ว

Kerh et al. (1998) ศึกษารูปร่างการไหลแบบราบเรียบของของไหลที่ไหลผ่านวัตถุในสภาวะชั่วครู่ ซึ่งทำให้วัตถุเกิดการแกว่งใน 1 มิติ ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยทำการทดสอบโปรแกรมกับการไหลผ่านสิ่งกีดขวางที่ติดกับผนัง แล้วพัฒนาโปรแกรมเพื่อศึกษากับปัญหาการไหลแบบราบเรียบผ่านวัตถุเคลื่อนที่ ซึ่งกำหนดรูปร่างความเร็วทางเข้าเป็น Fully-

developed flow เรย์โนลด์นัมเบอร์ เท่ากับ 1000 เพื่อทำนายรูปร่างความเร็วการไหล และผลของความเค้นเฉือนที่ผนัง

Bunge et al. (2003) ทำการศึกษาการไหลแบบอัดตัวไม่ได้ในสภาวะปั่นป่วน ซึ่งไหลผ่านวัตถุ โดยทำให้วัตถุเกิดการสั่นใน 1 มิติ ตั้งฉากกับการไหล ในสมการการเคลื่อนที่ของวัตถุใช้วิธีไฟไนต์ดิฟเฟอเรนในการหาค่าการเคลื่อนที่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อสังเกตความเร็วของของไหลซึ่งเกิด Resonance

Jan and Sheu (2004) ศึกษาปรากฏการณ์การไหลของของไหล ซึ่งไหลผ่านวัตถุทรงกระบอกในท่อตรงด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยวัตถุทรงกระบอกสามารถเคลื่อนที่ได้ใน 2 มิติ และทำการตรวจสอบโปรแกรมกับผลการทดลอง โดยใช้ค่า Strouhal number พบว่าได้ผลเป็นที่น่าพอใจ

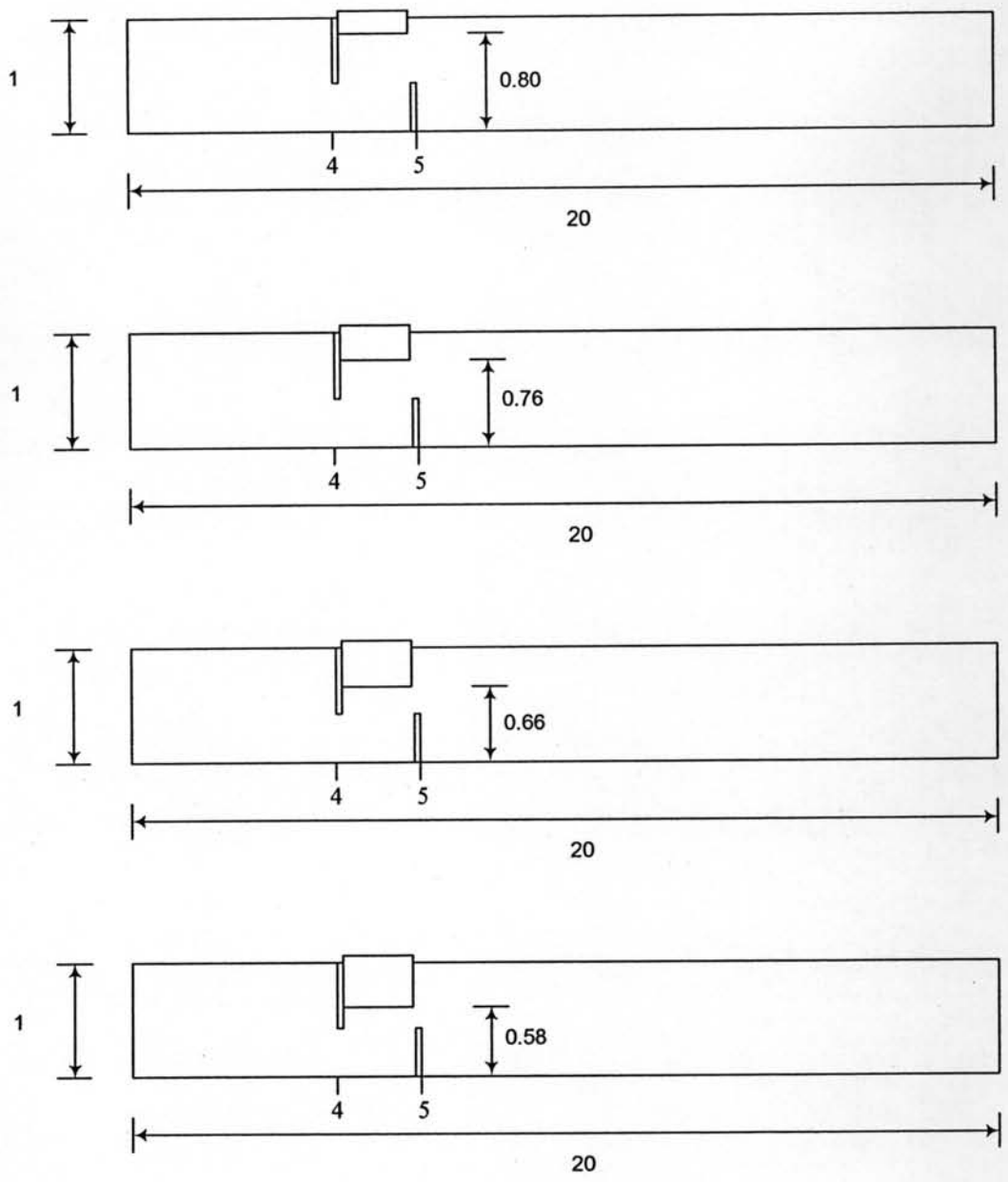
1.2 ลักษณะของปัญหาที่จะทำการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัญหาการไหลผ่านช่องทางไหลที่มีสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ตั้งฉากกับการไหล โดยสิ่งกีดขวางในช่องทางไหล ประกอบด้วยสิ่งกีดขวางหลักที่เคลื่อนที่ตั้งฉากกับการไหล และสิ่งกีดขวางแบบรั้วบางที่ตำแหน่ง X เท่ากับ 4 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งช่องทางไหลมีขนาดยาว 20 และกว้าง 1 โดยรั้วบางมีความหนาเท่ากับ 0.1 และความสูงเท่ากับ 0.6 และ 0.4 ที่รั้วด้านบน (Upper fence) และรั้วด้านล่าง (Lower fence) ตามลำดับ

สิ่งกีดขวางเคลื่อนที่มีตำแหน่งเริ่มต้นที่ Y เท่ากับ 0.80 และเคลื่อนที่ลงมายังจุดสมดุลใหม่ที่ Y เท่ากับ 0.58 โดยทำการศึกษาการไหลซึ่งสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ตั้งฉากการไหล 4 ตำแหน่งคือ y เท่ากับ 0.80, 0.76, 0.66 และ 0.58 ตามลำดับ โดยมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1.3

โดยมีลักษณะของขอบเขตคือ ทางเข้า (Inlet) มีความเร็วคงที่ในทิศทาง X ส่วนความเร็วในทิศทาง Y เท่ากับศูนย์, ทางออก (Outlet) มีฟลักซ์เท่ากับศูนย์, ขอบด้านบนและด้านล่าง (Walls) มีความเร็วทั้งทิศทาง X และ Y เท่ากับศูนย์ (No slip)

ในที่นี้เราทำการศึกษาปัญหาการไหลที่เรย์โนลด์นัมเบอร์ (Re) เท่ากับ 1000 โดยมีรูปร่างความเร็ว $u = 2(Y - Y^2)$ และสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ที่ตำแหน่ง $Y = 0.8$ ซึ่งสามารถเปรียบเทียบผลได้กับ Kerh et al. (1998)



รูปที่ 1.3 ปัญหาการไหลที่ทำการศึกษา

1.3 วัตถุประสงค์ของการทำวิทยานิพนธ์

1.3.1 เพื่อศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุมในการประยุกต์ใช้สำหรับปัญหาพลศาสตร์การไหลแบบราบเรียบที่เงื่อนไขขอบเขตมีการเคลื่อนที่ตั้งฉากตามที่กำหนด

1.3.2 เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีความสอดคล้องกับปัญหาพลศาสตร์การไหลตามข้อ 1.3.1

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน

1.4.1 ศึกษาระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุมสำหรับการแก้ปัญหาพลศาสตร์การไหล รวมทั้งทฤษฎีอื่นๆที่เกี่ยวข้องกับหัวข้อวิทยานิพนธ์

1.4.2 พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์วอลุม สำหรับปัญหาพลศาสตร์การไหลแบบราบเรียบที่เงื่อนไขขอบเขตมีการเคลื่อนที่ตั้งฉากตามที่กำหนด โดยการไหลไม่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ

1.4.3 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นกับปัญหาที่มีการทดลองหรือผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขอื่นๆ

1.4.4 วิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาปรากฏการณ์การไหลดังข้างต้น

1.4.5 สรุปผลและจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์

1.5 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1.5.1 ศึกษาปรากฏการณ์การไหลแบบราบเรียบที่เงื่อนไขขอบเขตมีการเคลื่อนที่ตั้งฉากตามที่กำหนด โดยการไหลไม่มีอิทธิพลต่อการเคลื่อนที่ของวัตถุ

1.5.2 พัฒนาและตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับผลการทดลองหรือผลการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขสำหรับปัญหาการไหลตามข้อ 1.5.1

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถนำโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้นไปใช้วิเคราะห์ปรากฏการณ์การไหลที่เงื่อนไขขอบเขตมีการเคลื่อนที่ตั้งฉากตามที่กำหนด

1.6.2 สามารถนำความรู้ความเข้าใจในเรื่องการไหลที่เงื่อนไขขอบเขตมีการเคลื่อนที่ตั้งฉากตามที่กำหนดไปประยุกต์ในการพัฒนาโปรแกรมในการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมอื่นๆที่เกี่ยวข้องได้