บทที่ 6
ปัจจัยที่ทำให้โปรแกรมสามารถประมวลผลได้

การทดสอบข้อจำกัดของโปรแกรม EasyFEM นี้มีขึ้นเนื่องจากในการทดลองใช้งานโปรแกรมในเบื้องต้นนั้น ผู้วิจัยพบว่า โปรแกรมไม่สามารถประมวลผลการทดสอบในเรื่องการไหลของอากาศได้ในขอบเขตโมเดลบางลักษณะ ซึ่งมีทั้งแบบขอบเขตโมเดลที่ใหญ่ และเล็ก พร้อมทั้งเมื่อความซับซ้อนของโมเดลที่มีมากขึ้นโปรแกรมก็ไม่สามารถประมวลผลได้ ซึ่งความซับซ้อนของรูปแบบโมเดลที่ใช้ทดสอบนั้น จะมีผลโดยตรงต่อขนาด และ จำนวนของเส้น Curves ต่างๆที่ประกอบเป็นโมเดลสำหรับทดสอบในโปรแกรม และนอกนั้น จำนวน และ ขนาดสั้น - ยาวของเส้นต่างๆนี้ จะส่งผลโดยตรงต่อไปอีกถึง จำนวนโนด Nodes จำนวนและขนาดของเอลิเมนต์สามเหลี่ยม Elements ที่มีผลต่อการนำประมวลผล และ วิเคราะห์ผลของโปรแกรม ดังนั้นจึงเป็นที่มาของการทำ Parametric Study เพื่อทำการทดสอบข้อจำกัดในการใช้งานของโปรแกรมนี้สำหรับจำลองการไหลของอากาศในอาคาร เพื่อหาดูว่า ขนาดขอบเขตโมเดลที่ใหญ่-น้อยมากเพียงใด หรือความซับซ้อนของโมเดลเพียงใดโปรแกรมจึงจะสามารถประมวลผลได้ถูกต้อง ซึ่งจากการใช้งานโปรแกรมในเบื้องต้นผ่านมานั้นพอจะตั้งสมติฐานได้ว่า ปัจจัยที่ทำให้โปรแกรมสามารถประมวลผลออกมาได้หรือไม่ได้มีดังนี้

- ผลกระทบจากขนาดของปัญหา
- จำนวนโนดกับจำนวนและขนาดของเอลิเมนต์สามเหลี่ยมที่ใช้ในการประมวลผล
- ผลด้านอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหา และพื้นที่โมเดล

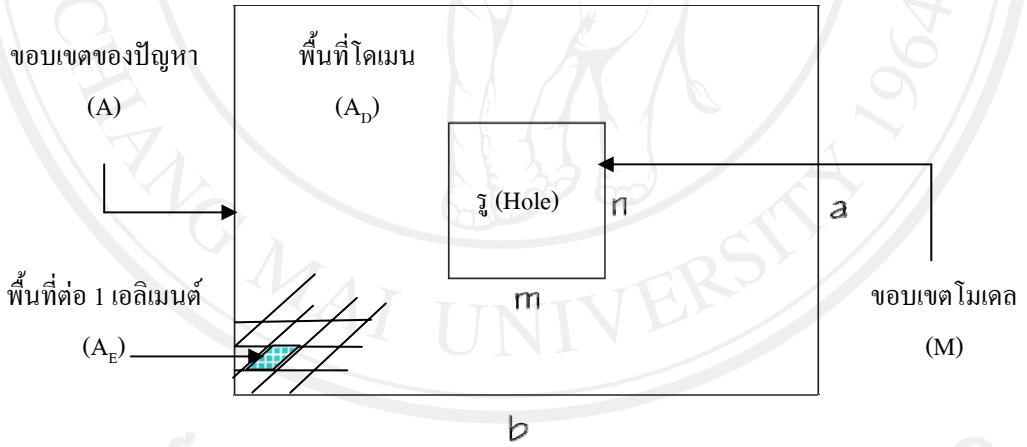
6.1 การทดสอบผลกระทบจากขนาดของปัญหา (Model Scale)

เป็นการทดสอบในความใหญ่-เล็กของขอบเขตโมเดลที่ใช้ในโปรแกรม เพื่อดูกระแสการไหลของอากาศผ่านกล่องทดสอบ เริ่มทดสอบโดยใช้ขนาดโมเดลหนึ่งที่โปรแกรมสามารถประมวลผลได้ก่อนเป็นหลัก แล้วจึงเริ่มปรับเปลี่ยนขนาดโมเดลนั้นให้ใหญ่ขึ้นหรือเล็กลง เพื่อดูว่าเมื่อมีการปรับเปลี่ยนขนาดแล้วจะมีผลเกิดขึ้นอย่างไรบ้าง ซึ่งในการปรับเปลี่ยนนั้นต้องมีข้อจำกัดคือปรับเปลี่ยนขนาดของปัญหาเพียงอย่างเดียว โดยไม่ปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรอื่น หมายความว่า จะทำการกำหนดจำนวนโนด และเอลิเมนต์เท่าเดิม เนื่องจากหากมีการเปลี่ยนไปก็จะเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่จะมีผลต่อการประมวลผลของโปรแกรมเช่นกัน (ซึ่งจะทำการทดสอบการปรับเปลี่ยนจำนวนโนด และเอลิเมนต์ในขั้นต่อไป) แล้วสุดท้ายจะสรุปผลในรูปแบบขนาดพื้นที่ต่อ 1 หน่วยเอลิเมนต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ว่ามีขนาดเท่าใดเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเลือกใช้ขนาดโมเดลที่เหมาะสมที่สุดที่จะสามารถให้โปรแกรมประมวลผลได้สำเร็จ

ดังที่กล่าวไว้แล้วว่าในการทดสอบนั้น จะเริ่มจากการทดสอบกับสัดส่วนของโมเดลก่อน เนื่องจากขั้นตอนนี้มีความสำคัญ เพราะสัดส่วนโมเดลในโปรแกรมจะส่งผลทันทีต่อความสำเร็จในการประมวลผล และอ่านผลของโปรแกรม สำหรับรูปแบบลักษณะของการทดสอบนั้นจะเป็นการจำลองการไหลของผ่านสิ่งกีดขวางรูป 4 เหลี่ยมจัตุรัส โดยกำหนดให้มีขอบเขตพื้นที่การไหลสำหรับไว้แสดงผลของการไหลที่เกิดขึ้นโดยรอบโมเดลทดสอบ เพราะฉะนั้นรูปโมเดลจำลองที่จะทำการสร้างและทดสอบในโปรแกรม EasyFEM นั้นประกอบด้วย ขนาดปัญหาซึ่งเป็นพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด a x b โดยมีโมเดลทดสอบที่เป็นพื้นที่รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสเล็กอยู่ตรงกลางขนาด m x n (ภาพที่ 6.1) ซึ่งในการทดสอบปรับเปลี่ยนความเล็ก-ใหญ่ของโมเดลจำลองนั้นก็คือการทดลองปรับเปลี่ยนขนาดของพื้นที่ทั้งสองดังกล่าว (พื้นที่ปัญหา และพื้นที่โมเดลทดสอบ) เพื่อหาดูว่าเมื่อปรับเปลี่ยนขนาดให้ใหญ่ขึ้น และเล็กลงจนถึงขนาดเท่าไร โปรแกรมจึงจะไม่สามารถประมวลผลได้



ภาพที่ 6.1 ลักษณะปัญหาจำลองที่ใช้ทดสอบในโปรแกรม EasyFEM

หลังจากนั้นจึงมาคำนวณหาอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ปัญหาที่ทำการแบ่งเอลิเมนต์ และจำนวนเอลิเมนต์ เพื่อหาดูว่าขนาดพื้นที่เหมาะสมของ 1 เอลิเมนต์ที่สามารถสั่งให้โปรแกรมประมวลผลได้ดีนั้นควรเป็นเท่าไร โดยใช้สูตรสมการคำนวณดังนี้

$$A_E = \frac{A_D}{E} \tag{6.1}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

A_E คือ ขนาดพื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์

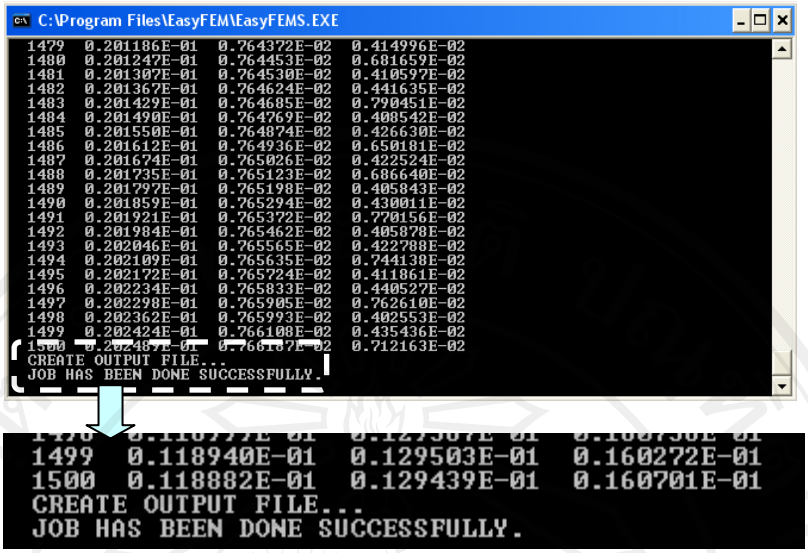
A_D คือ ขนาดพื้นที่ทั้งหมดในโดเมนหลัก

E คือ จำนวณเอลิเมนต์ทั้งหมดในโดเมนหลัก

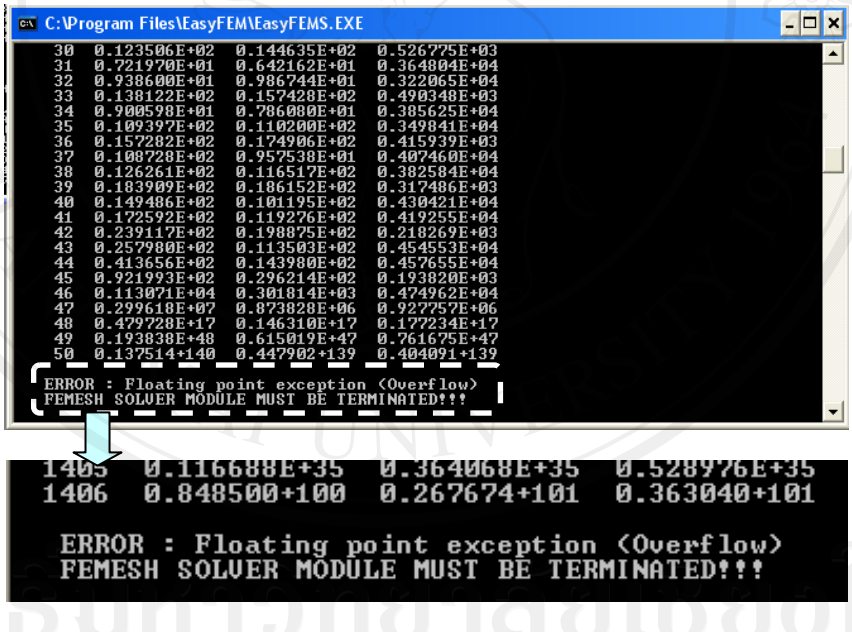
โดยเมื่อได้ค่าของ A_E ในการทดสอบในแต่ละขนาดแล้วก็นำมาสรุปว่าค่า A_E ที่เหมาะสมนั้นจะอยู่ในช่วง (Range) เท่าใด แล้วก็ทำเช่นนี้ไปพร้อมกับการปรับเปลี่ยนขนาดโมเดลทดสอบขึ้นลงไปเรื่อย ๆ จนกว่าไปถึงจุดที่โปรแกรมไม่สามารถคำนวณผลได้

การประมวลผลของโปรแกรม EasyFEM เมื่อสิ้นสุดกระบวนการ จะมีการแจ้งจากหน้าจอว่า การประมวลผลสำเร็จสมบูรณ์หรือไม่สำเร็จ สำหรับลักษณะที่โปรแกรมสามารถประมวลผลได้สำเร็จจะแสดงในขั้นตอนการวิเคราะห์ผล (Analyze) โดยโปรแกรมจะทำการประมวลผลไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะครบรอบของจำนวนครั้งของการวิเคราะห์ปัญหาแบบทำซ้ำ (Iterations) โดยในลักษณะของปัญหาการไหลแบบหนืดนั้นกำหนดให้ค่า Iterations คือ 1,500 รอบ (ปราโมทย์ เดชะอำไพและสุทธิศักดิ์ พงศ์ธนาพาณิช, 2548) ซึ่งถ้าการวิเคราะห์ผลได้สำเร็จก็คือขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาแบบทำซ้ำนั้นได้ทำครบตามจำนวนครั้งตามที่กำหนดไว้ และจะมีข้อความขึ้นมาบอกในสุดท้ายคือ “ CREATE OUTPUT FILE …” “JOB HAS BEEN DONE SUCCESSFULLY.” ซึ่งหมายถึงโปรแกรมสามารถประมวลผลได้เสร็จสมบูรณ์ (ภาพที่ 4.2) แต่ก็มีในบางกรณีที่ในการประมวลผลโปรแกรมสำเร็จสมบูรณ์โดยที่ในขั้นตอนการวิเคราะห์ปัญหาแบบทำซ้ำโปรแกรมทำได้ไม่ครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้ อันเนื่องจากในการประมวลผลของโปรแกรมนั้นได้คำตอบที่ให้ค่าผลลัพธ์ที่นิ่งแล้ว โปรแกรมก็จะหยุดการประมวลผลนั้นเลยพร้อมทั้งขึ้นข้อความเหมือนกับกรณีที่การวิเคราะห์ปัญหาแบบทำซ้ำทำครบจำนวนรอบ แต่ในกรณีที่โปรแกรมไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้สำเร็จเลยนั้นก็คือ ในการวิเคราะห์ปัญหาแบบทำซ้ำโปรแกรมไม่สามารภทำได้ครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้เหมือนกัน แต่จะมีการแสดงข้อความที่แตกต่างจากกรณีที่การวิเคราะห์สำเร็จผล คือ “ERROR : Floating point exception (Overflow)” “FEMESH SOLVER MODULE MUST BE TERMINATED!!!” และมีหน้าต่างบอกความผิดพลาด (ERROR) ขึ้นมาเพิ่ม (ภาพที่ 6.3) หมายความว่าการวิเคราะห์นั้นไม่สามารถประมวลผลต่อได้ ซึ่งอาจเนื่องจากความผิดพลาดจากขั้นตอนการใส่ข้อมูล ขั้นตอนการสร้างรูปโมเดลจำลอง หรือโมเดลจำลองที่สร้างไม่เหมาะสม ซึ่งไม่สามารถรู้ได้อย่างแน่ชัดว่าสาเหตุของการไม่สามารถประมวลผลได้นั้นมาจากอะไร เนื่องจากโปรแกรมได้มีการตั้งคำตอบเพื่อบอกถึงความผิดพลาด (Error) ของการประมวลผลไว้เพียงรูปแบบเดียว ทำให้เมื่อมีความผิดพลาดจนไม่สามารถวิเคราะห์ผลได้โปรแกรมก็แสดงเพียงรูปแบบเดิม ๆ ทุกครั้ง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 6.2 ข้อความที่บอกว่าการวิเคราะห์ผลเสร็จสมบูรณ์



ภาพที่ 6.3 หน้าต่างบอกถึงว่าขั้นตอนวิเคราะห์ปัญหาไม่สำเร็จสมบูรณ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 6.1 สรุปการทดสอบการปรับเปลี่ยนขนาดของปัญหาที่ใช้ทดสอบ

ขนาดปัญหา $A=(a \times b)$ (ม x ม)	ขนาดโมเดล $M=(m \times m)$ (ม x ม)	จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนโนด	A_D $ม^2$	K	A_E $ม^2$ต่อ1เอลิเมนต์	ผลลัพธ์
0.10 x 0.15	0.04 x 0.04	33162	16857	0.0134	9.375	$4.04 E^{-7}$	ได้
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	33158	16855	3.01	9.375	$9.09 E^{-5}$	ได้
1.70 x 2.55	0.68 x 0.68	33142	16847	3.87	9.375	$1.16 E^{-4}$	ได้
1.80 x 2.70	0.72 x 0.72	33156	16854	4.34	9.375	$1.31 E^{-4}$	ได้
2.00 x 3.00	0.80 x 0.80	33124	16836	5.36	9.375	$1.62 E^{-4}$	ได้(ผิด)
2.20 x 3.30	0.88 x 0.88	33086	16819	6.48	9.375	$1.96 E^{-4}$	ได้(ผิด)
2.50 x 3.75	1.00 x 1.00	33156	16854	8.38	9.375	$2.52 E^{-4}$	ได้(ผิด)
2.80 x 4.20	1.12 x 1.12	33162	16854	10.50	9.375	$3.16 E^{-4}$	ได้(ผิด)
2.90 x 4.30	1.16 x 1.16	33178	16865	11.12	9.375	$3.35 E^{-4}$	ได้(ผิด)
3.00 x 4.50	1.20 x 1.20	33178	16865	12.06	9.375	$3.63 E^{-4}$	ไม่ได้

A_D คือ ขนาดพื้นที่ทั้งหมดในโดเมนหลัก

K สัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบทั้งหมด และ พื้นที่โมเดลทั้งหมด

A_E คือ ขนาดพื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์

จากตาราง 6.1 เห็นได้ว่า เป็นการทดสอบที่กำหนดให้จำนวนเอลิเมนต์คงที่ (กำหนดโดยการปรับระยะของโนด) แต่ปรับขนาดของโดเมนไปพร้อม ๆ กับขนาดของปัญหาเพื่อให้ค่า K คงที่ ดังนั้นขนาดของเอลิเมนต์จึงเป็นตัวแปรที่ถูกศึกษาในหัวข้อนี้

สรุปการทดสอบการประมวลผลโปรแกรมด้วยการปรับเปลี่ยนขนาดปัญหาหลัก

จากการทดสอบการประมวลผลการไหลผ่านโปรแกรม EasyFEM โดยการปรับเปลี่ยนขนาดของปัญหานั้น จะเห็นว่าสำหรับขนาดปัญหาที่เล็กลงนั้นโปรแกรมสามารถประมวลผลได้ทั้งหมด แต่ถ้าหากปัญหามีขนาดที่เล็กมากเกินไปอาจให้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้องและผิดจากความเป็นจริงได้ เนื่องจากเมื่อโมเดลการทดสอบเล็กลงช่องเปิดสำหรับให้กระแสลมผ่านก็เล็กตามไปด้วยทำให้กระแสลมไม่สามารถพัดผ่านได้อย่างสะดวกได้ สำหรับการปรับเปลี่ยนขนาดปัญหาให้ใหญ่ขึ้นเรื่อย ๆ นั้นกลายเป็นข้อจำกัด จากการทดสอบการประมวลผลพบว่าโปรแกรมสามารถประมวลผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ไปได้ถึงขนาดปัญหาขนาด 2.90 เมตร x 4.30 เมตร ซึ่งผลที่ได้รับก็ค่อนข้างผิดจากความเป็นจริงมากเช่นกัน ซึ่งจากผลการทดสอบที่ผ่านมาจากข้างบนนั้น เราพอสรุปได้ค่า A_E ที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการเลือกขนาดโมเดลหลักในการทดสอบที่เหมาะสม โดยจากผลลัพธ์จากการทดสอบที่มีความเหมาะสมจะอยู่ในการทดสอบโมเดลหลักในขนาด 1.80 เมตร x 2.70 เมตร ซึ่งสรุปได้ว่า

$$A_E \leq 1.31 \quad \mathrm{E}^{-4} \tag{6.2}$$

โดยระยะห่างระหว่าง 1.31 E^{-4} ถึง 3.39 E^{-4} นั้นคือช่วงค่าที่โปรแกรมสามารถประมวลผลได้แต่อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ถูกต้อง และถ้าค่า A_E มากกว่า 3.39 E^{-4} ขึ้นไปจะทำให้โปรแกรมไม่สามารถประมวลผลได้ เพราะฉะนั้นจึงสรุปว่าขนาดของเอลิเมนต์ A_E ต้องไม่เกิน1.31 E^{-4} ตารางเมตร

ประเด็นที่ต้องทำการทดสอบต่อไปคือ การลดขนาดของเอลิเมนต์ในปัญหาจะช่วยให้ประมวลผลได้หรือไม่ หรือช่วยได้มากน้อยเพียงใด เนื่องจากการลดขนาดก็คือการเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ให้มากขึ้นนั่นเอง

6.2 การทดสอบปรับเปลี่ยนจำนวนโนด และเอลิเมนต์

นอกจากขนาดโมเดลที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมแล้ว อีกตัวแปรที่สำคัญไม่แพ้กันในการใช้โปรแกรมคือ จำนวนโนดและเอลิเมนต์ ซึ่งสิ่งนี้จะมีผลเช่นเดียวกันกับการปรับเปลี่ยนขนาด เพราะเมื่อกำหนดจำนวนโนดมากยิ่งขึ้น จะสังเกตเห็นได้ว่า โปรแกรมประมวลผลได้ช้าลง และเมื่อเพิ่มจำนวนไปจนถึงจุดหนึ่งโปรแกรมจะไม่สามารถประมวลผลได้แล้ว เพราะฉะนั้นในการทดสอบการปรับเปลี่ยนจำนวนโนด-เอลิเมนต์ คือจะปรับเปลี่ยนจำนวนเอลิเมนต์ขึ้นลง เพื่อดูว่าจำวนเอลิเมนต์น้อยจนไปถึงขนาดเท่าใด โปรแกรมจะไม่สามารถประมวลผลได้ และเช่นเดียวกันจำนวนเอลิเมนต์มากจนไปถึงขนาดเท่าใดโปรแกรมจึงหยุดการประมวลผล แต่สิ่งที่ต้องได้กำหนดเหมือนกันกับการทดสอบที่ผ่านมาก็คือ ต้องใช้ขนาดเดิมในการทดสอบเท่านั้น คือจะไม่ปรับเปลี่ยนขนาดทดสอบ เพราะถ้าเปลี่ยนขนาดโมเดลทดสอบแล้วจะสรุปไม่ได้ว่า สาเหตุที่ทำให้โปรแกรมประมวลผลไม่ได้นั้นแท้จริงแล้วเกิดมาจากจำนวนเอลิเมนต์อย่างเดียวหรือไม่ เนื่องจากได้ปรับเปลี่ยนขนาดไปด้วยพร้อมกัน เพราะฉะนั้นในการทดสอบจะต้องไม่เปลี่ยนขนาดโมเดลที่ใช้ ซึ่งผลสุดท้ายเราก็จะสรุปเหมือนกับการทดสอบการปรับเปลี่ยนขนาดโมเดล คือสรุปในรูปแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ขนาดพื้นที่ต่อ 1 หน่วยเอลิเมนต์ว่ามีขนาดเท่าใดเพื่อใช้เป็นมาตรฐานในการเลือกใช้ขนาดจำนวนโนด และเอลิเมนต์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะสามารถให้โปรแกรมประมวลผลได้สำเร็จ

ดังที่กล่าวไปแล้วว่า ในการทดสอบเราจะปรับเปลี่ยนจำนวนโนด และเอลิเมนต์เพียงอย่างเดียวเท่านั้นโดยไม่ปรับเปลี่ยนขนาดโมเดลทดสอบโดยจะใช้ขนาดสัดส่วนที่โปรแกรมสามารถประมวลผลออกมาได้ดีแล้วมาทดสอบ แล้วค่อยๆเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ขึ้นไปเรื่อย ๆ ซึ่งในการเพิ่มจำนวนโนดและเอลิเมนต์นั้น เพียงแค่กำหนดค่าจำนวนโนดเท่านั้น เพราะจำนวนเอลิเมนต์จะขึ้นกับจำนวนโนดที่กำหนด ขอบเขตโมเดลที่ใช้คือขนาด 1.50 เมตร X 2.25 เมตร และมีกล่องสี่เหลี่ยมด้านในสำหรับให้กระแสลมไหลผ่านมีขนาด 0.60 เมตร X 0.60 เมตร ส่วนการกำหนดจำนวนโนดเริ่มจากการกำหนดโนดในด้าน a = 28 โนด ในภาพที่ 5.1 แล้วค่อยๆเพิ่มจำนวนโนดในด้าน a ให้มากขึ้นและ น้อยลงไปเรื่อย ๆ จนกว่าโปรแกรมไม่สามารถประมวลผลได้ หลังจากนั้นจึงมาคำนวณหาอัตราส่วนความสัมพันธ์ระหว่างขนาดพื้นที่ และจำนวนเอลิเมนต์ เพื่อหาดูว่าขนาดพื้นที่เหมาะสมของ 1 เอลิเมนต์ที่สามารถสั่งให้โปรแกรมประมวลผลได้ดีนั้นควรเป็นเท่าไร โดยใช้สมการ (6.1) ที่ได้ทำเหมือนกับการทดสอบขนาดโมเดล

ตาราง 6.2 การทดสอบการปรับเปลี่ยนจำนวนโนด และเอลิเมนต์

ขนาดปัญหา *A=(a x b)* (ม x ม)	ขนาดโมเดล *M=(m x m)* (ม x ม)	จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนโนด	A_D $ม^2$	K	A_E $ม^2$ต่อ1เอลิเมนต์	ผลลัพธ์
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	15168	7755	3.01	9.375	$1.98\ E^{-4}$	ไม่ได้
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	16102	8229	3.01	9.375	$1.87\ E^{-4}$	ได้(ผิด)
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	16928	8649	3.01	9.375	$1.78\ E^{-4}$	ได้(ผิด)
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	23900	12174	3.01	9.375	$1.26\ E^{-4}$	ได้
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	33158	16855	3.01	9.375	$9.09\ E^{-5}$	ได้
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	39750	20186	3.01	9.375	$7.58\ E^{-5}$	ได้
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	42044	21340	3.01	9.375	$7.17\ E^{-4}$	ไม่ได้

A_D คือ ขนาดพื้นที่ทั้งหมดในโดเมนหลัก

K สัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบทั้งหมด และ พื้นที่โมเดลทั้งหมด

A_E คือ ขนาดพื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright © by Chiang Mai University
All rights reserved

<u>สรุปการทดสอบการประมวลผลโปรแกรมด้วยการปรับเปลี่ยนจำนวนโนด และเอลิเมนต์</u>

จากการทดสอบการประมวลผลการไหลผ่านโปรแกรม EasyFEM โดยการปรับเปลี่ยนขนาดจำนวนโนดเอลิเมนต์นั้น เห็นว่าเมื่อลดขนาดจำนวนเอลิเมนต์น้อยลงจนถึงจุดหนึ่งโปรแกรมจะไม่สามารถประมวลผลได้ และในลักษณะเดียวกันเมื่อเพิ่มขนาดเอลิเมนต์ให้มากขึ้นถึงจุดใดหนึ่งโปรแกรมจะไม่สามารถประมวลผลได้เหมือนกัน ซึ่งจากผลการทดสอบที่ผ่านมาจากข้างบนนั้น เราพอสรุปได้ค่า A_E ที่เหมาะสม และสามารถนำไปใช้เป็นมาตรฐานในการเลือกขนาดโมเดลหลักในการทดสอบที่เหมาะสม โดยจากผลลัพธ์จากการทดสอบเห็นว่ามีความเหมาะสมในการทดสอบโมเดลหลักในขนาด 1.50 เมตร x 3.00 เมตร มีจำนวนโนดในด้าน A=28 ซึ่งสรุปได้ดังนี้

$$7.58\mathrm{E}^{-5} \le A_E \le 1.26 \quad \mathrm{E}^{-4} \tag{6.3}$$

โดยระยะห่างระหว่าง 1.26 E^{-4}-1.87 E^{-4} นั้นคือช่วงค่าที่โปรแกรมสามารถประมวลผลได้แต่อาจได้ผลลัพธ์ที่ไม่ชัดเจนผิดเพี้ยนไป ซึ่งถ้าผลลัพธ์ที่ออกมาเพี้ยนเราจะไม่นับเอา และถ้าค่า A_E มากกว่า 1.87 E^{-4} ขึ้นไป และ น้อยกว่า 7.58 E^{-4} จะทำให้โปรแกรมไม่สามารถประมวลผลได้

ในการทดสอบการเพิ่ม-ลดจำนวนเอลิเมนต์นั้นได้พบว่ามีขอบเขตจำกัดอยู่เช่นเดียวกันคือ เมื่อเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ขึ้นไปมากๆแล้วโปรแกรมก็ยังไม่สามารถประมวลผลได้ ซึ่งจากการทดลองทำในหลายครั้งนั้นได้พบว่า เมื่อจำนวนเอลิเมนต์มีจำนวนมากขึ้นไปเกิน 40,000 เอลิเมนต์แล้ว โปรแกรมจะไม่สามารถประมวลผลได้ เพราะฉะนั้นจึงสรุปได้อีกหนึ่งข้อจำกัดของโปรแกรม EasyFEM นี้ คือ จำนวนเอลิเมนต์ที่ใช้การทดสอบต้องมีจำนวนไม่เกิน 40,000 โปรแกรมจึงจะสามารถสามารถประมวลผลได้

$$\mathrm{E} \le 40{,}000 \tag{6.4}$$

6.3 ผลจากอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดล

ในขั้นตอนการประมวลผลของโปรแกรม EasyFEM นั้น จะมีการสร้างรูปจำลองการเพื่อทดสอบการไหล ซึ่งในรูปที่สร้างขึ้นนั้นจะแบ่งเป็นพื้นที่สองส่วนที่แตกต่างกัน ได้แก่ พื้นที่ประกอบด้วยเอลิเมนต์ (พื้นที่ปัญหาทดสอบ) และพื้นที่ไม่มีเอลิเมนต์ (พื้นที่ส่วนที่เป็นช่องหรือ Hole) จากการทดสอบการทำการประมวลผลโปรแกรมเบื้องต้น เห็นว่าอัตราส่วนระหว่างสองพื้นที่นี้มีผลทำให้โปรแกรมไม่สามารถประมวลผลได้ อันเนื่องจากพื้นที่ส่วนที่เป็นช่องอาจมีพื้นที่มากเกินไปเทียบกับสัดส่วนพื้นที่โดเมน เพราะฉะนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการค้นหาอัตราส่วนที่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เหมาะสมที่สุดในด้านสัดส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดลทดสอบ หมายความว่าเป็นการหาสัดส่วนพื้นที่ที่จะสร้างเอลิเมนต์สามเหลี่ยมเพื่อใช้เป็นการประมวลผล

ในการทดสอบจะใช้วิธีสั่งประมวลผลโปรแกรมโดยใช้พื้นที่หลักที่มีขนาดเท่าเดิมตลอด แล้วใช้วิธีปรับเปลี่ยนพื้นที่ขนาดโมเดลขึ้นลง เพื่อหาดูว่าเมื่อเพิ่มขนาดพื้นที่ขึ้นลงจนไปถึงระดับใดโปรแกรมจึงจะไม่สามารถประมวลผลได้ ซึ่งในขณะเดียวกันนี้ต้องกำหนดให้ขนาดโมเดลทดสอบนั้นอยู่นอกเหนือข้อจำกัดที่ได้ทดสอบผ่านมาก่อนหน้านี้ได้แก่ ต้องไม่ให้ขนาดโมเดลใหญ่เกินไป และข้อจำกัดด้านจำนวนเอลิเมนต์ต้องไม่มากเกินข้อจำกัดที่ได้ทดสอบมาแล้ว ในการทดสอบเบื้องต้น จะเริ่มทดสอบในพื้นที่โมเดลข้างในที่ไม่มีการปรับเปลี่ยน แต่ปรับเปลี่ยนเฉพาะขนาดปัญหาทดสอบนอกโดยการค่อยๆปรับลด-เพิ่มขนาดไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะได้ตัวเลขสัดส่วนของพื้นที่ปัญหาทดสอบหลัก และพื้นที่โมเดลที่เหมาะสม โดยนำใช้สมการหาสัดส่วนพื้นที่ทั้งสองคือ

$$K = \frac{A_D}{A_M} \tag{6.5}$$

K คือ อัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบหลัก และพื้นที่โมเดล

A_{D} คือ ขนาดพื้นที่ปัญหาทดสอบ

A_M คือ ขนาดพื้นที่โมเดล

จากสมการจะได้ค่า K ที่เป็นค่าอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างขนาดพื้นที่ทั้งสอง และสามารถนำไปใช้เป็นข้อจำกัดการใช้โปรแกรมได้ และเพื่อให้ความมั่นใจในการทดสอบเพิ่มมากขึ้นจะทำการทดลองเพิ่มโดยการทดสอบในรูปแบบที่แตกต่างไปจากเดิมเพื่อหาดูว่าข้อจำกัดนี้ไม่ใช่เพียงถูกกำหนดในรูปร่างโมเดลทดสอบเฉพาะเท่านั้นแต่หากสามารถนำไปใช้กับรูปร่างอื่นๆได้ที่มีข้อจำกัดอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนดไว้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 6.3 การทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดล

ขนาดปัญหา $A=(a \times b)$ (ม x ม)	ขนาดโมเดล $M=(m \times m)$ (ม x ม)	จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนโนด	A_D $ม^2$	K	A_E $ม^2$ต่อ1เอลิเมนต์	ผลลัพธ์
1.70 x 2.75	1.00 x 1.00	21078	10775	3.675	4.675	$1.74\ E^{-4}$	ไม่ได้
1.80 x 2.75	1.00 x 1.00	21628	11050	3.95	4.95	$1.82\ E^{-4}$	ไม่ได้
1.90 x 2.75	1.00 x 1.00	21508	10990	4.225	5.225	$1.96\ E^{-4}$	ไม่ได้

A คือ ขนาดพื้นที่ปัญหาทดสอบ

K สัดส่วนความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบทั้งหมด และ พื้นที่โมเดลทั้งหมด

A_E คือ ขนาดพื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์

จากการทดสอบมาถึงขั้นตอนนี้ เห็นได้ว่า โปรแกรมยังไม่สามารถประมวลผลได้ ซึ่งอาจยังไม่ใช่เพราะผลทางอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดล แต่อาจเนื่องมาจากผลจากการปรับเพิ่มขนาดปัญหาทดสอบขึ้นแต่จำนวนโนด และเอลิเมนต์ยังเท่าเดิม ทำให้ค่าตัวเลข A_E นั้นมีค่าเกินกว่าข้อจำกัดของโปรแกรมที่ได้ทำการทดสอบผ่านมาก่อนหน้านี้ ซึ่งจากข้อจำกัดทางด้านขนาดของเอลิเมนต์สามารถกำหนดไว้ดังนี้

$$7.58E^{-5} \le A_E \le 1.26 \quad E^{-4} \tag{6.6}$$

เพราะฉะนั้น ถ้าจะเพิ่มขนาดปัญหาทดสอบขึ้นไปเรื่อยๆต่อไปโปรแกรมก็ยังไม่สามารถประมวลผลได้อยู่ดี ซึ่งทางแก้ก็คือต้องทำการปรับเปลี่ยนขนาดสัดส่วนของปัญหา และจำนวนโนดกับเอลิเมนต์เพิ่มตามไปด้วย เพื่อให้ค่า A_E อยู่ในขอบเขตข้อกำหนดโปรแกรม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตาราง 6.4 การทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดล

ขนาดปัญหา $A=(a \times b)$ (ม x ม)	ขนาดโมเดล $M=(m \times m)$ (ม x ม)	จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนโนด	A_D $ม^2$	K	A_E $ม^2$ต่อ1เอลิเมนต์	ผลลัพธ์
1.90 x 2.75	1.00 x 1.00	26094	13323	4.225	5.225	$1.61\ E^{-4}$	ไม่ได้
1.90 x 2.95	1.00 x 1.00	22350	11421	4.605	5.605	$2.06\ E^{-4}$	ไม่ได้
1.90 x 2.95	1.00 x 1.00	39826	20259	4.605	5.605	$1.15\ E^{-4}$	ได้

จากการทดสอบในตารางข้างบนพบว่า ค่า A_E ที่เป็นผลทำให้โปรแกรมประมวลผลได้อยู่ในขอบเขตที่กำหนดไว้ และเมื่อเพิ่มขนาดและจำนวนเอลิเมนต์และปรับเปลี่ยนขนาดปัญหาทดสอบอยู่ที่ 1.90 x 2.95 โปรแกรมก็สามารถประมวลผลได้ ทำให้สามารถสรุปได้ค่า K ซึ่งเป็นค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดล คือ 5.605 แต่ยังเป็นการทดสอบที่ปรับเปลี่ยนขนาดโมเดลข้างในเพียงอย่างเดียว ซึ่งต้องทำการทดสอบด้วยการปรับเปลี่ยนขนาดโดเมนด้วย และนอกนั้นยังต้องทดสอบกับลักษณะรูปแบบโมเดลทดสอบที่แตกต่างกันไปด้วย

ตาราง 6.5 การทดสอบหาอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดล

ขนาดปัญหา $A=(a \times b)$ (ม x ม)	ขนาดโมเดล $M=(m \times m)$ (ม x ม)	จำนวนเอลิเมนต์	จำนวนโนด	A_D $ม^2$	K	A_E $ม^2$ต่อ1เอลิเมนต์	ผลลัพธ์
0.10 x 0.15	0.04 x 0.04	33162	16857	0.0134	9.375	$4.04\ E^{-7}$	ได้
1.50 x 2.25	0.60 x 0.60	23900	12174	3.01	9.375	$1.26\ E^{-4}$	ได้
2.00 x 3.00	0.80 x 0.80	33124	16836	5.36	9.375	$1.62\ E^{-4}$	ได้
1.70 x 2.75	0.90 x 0.90	20122	10565	3.865	5.77	$1.92\ E^{-4}$	ไม่ได้
1.70 x 2.75	0.90 x 0.90	36816	18730	3.865	5.77	$1.04\ E^{-4}$	ได้

สรุปผลการทดสอบหาข้อจำกัดด้านอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดล

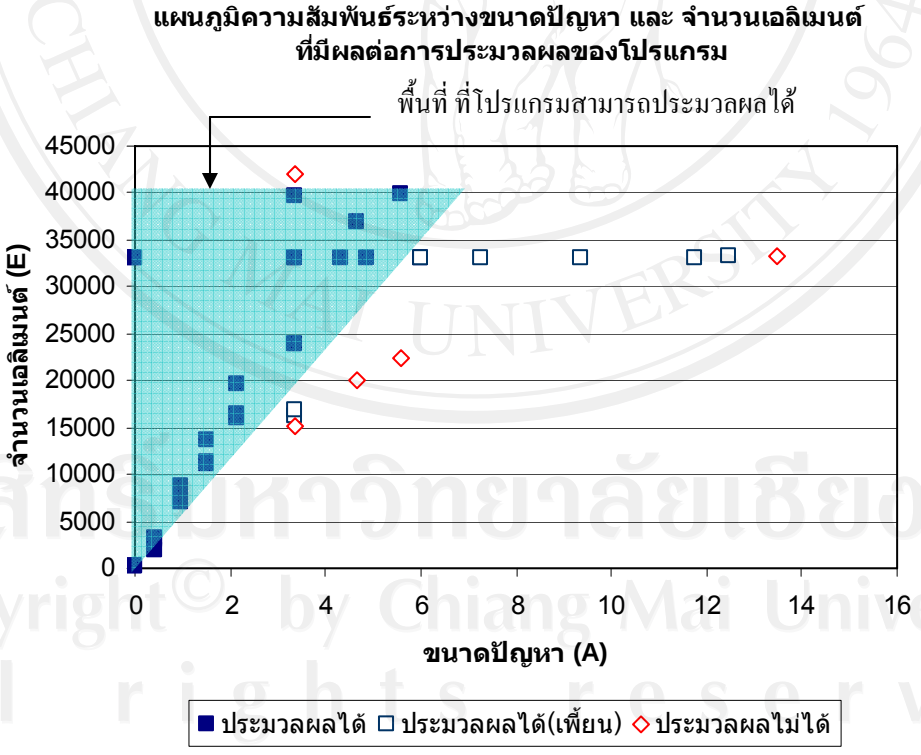
จากการทดสอบการประมวลผลด้านอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดลนั้น พบว่าในการทดสอบในการปรับเปลี่ยนขนาดโมเดลทดสอบนั้นต้องระวังไม่ให้ค่า A_E อยู่นอกขอบเขตการกำหนด ดังที่ได้ทดสอบผ่านมาในเรื่องผลข้อจำกัดทางด้านขนาดโมเดล และ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จำนวณเอลิเมนต์ด้วย เพื่อให้ผลที่ทดสอบนั้นเป็นผลที่เป็นที่มาข้อจำกัดด้านอัตราส่วนระหว่างสองพื้นที่นี้เท่านั้น และนอกจากนั้นก็ต้องทดสอบกับหลายๆลักษณะรูปแบบของโมเดลทดสอบเช่น การปรับเปลี่ยนขนาดปัญหาทดสอบขึ้นลง และการปรับเปลี่ยนขนาดโมเดลข้างในด้วย หรือแม้แต่การปรับเปลี่ยนขนาดของทั้งสองพื้นที่พร้อมกันด้วย ซึ่งจากการทดสอบแล้วสรุปได้ว่า ค่าของอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดลที่ใช้ได้ผลต่อการประมวลผลของโปรแกรมนั้นคือ

$$K \geq 5.60 \tag{6.7}$$

หลังจากกำหนดได้ค่าอัตราส่วนระหว่างพื้นที่ปัญหาทดสอบ และพื้นที่โมเดลที่มากกว่า 5.60 จะนำเอากลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่มีค่า $K \geq 5.60$ เขียนลงในแผนภูมิแบบกระจาย เพื่อจะได้เห็นความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรขนาดสัดส่วน และจำนวนเอลิเมนต์ที่ได้ทดสอบผ่านมานั้นได้อย่างชัดเจน (กลุ่มข้อมูลดูในภาคผนวก ข)



ภาพที่ 6.4 แผนภูมิความสัมพันธ์ระหว่างขนาดปัญหา และ จำนวนเอลิเมนต์ที่มีผลต่อการประมวลผลของโปรแกรม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6.4 การใช้หลักการทางสถิติเพื่อทดสอบตัวแปรต่าง ๆ

เพื่อเพิ่มความมั่นใจว่าข้อสรุปที่ได้จากการทดสอบในหัวข้อ 6.1 ถึง 6.3 ถูกต้อง จึงได้นำข้อมูลทั้งหมดไปทดสอบทางสถิติด้วยวิธี Completely Randomized Design (CRD) ตามตารางที่ 6.6 ซึ่งมีสมมติฐานว่า แต่ละตัวแปรไม่มีผลต่อความสามารถในการประมวลผลของโปรแกรม

ตารางที่ 6.6 แสดงผลการทดสอบเพื่อหาค่าสถิติของตัวแปรที่มีผลต่อการประมวลผลของโปรแกรม EasyFEM ในเรื่องการไหลของอากาศ

ตัวแปร	F	Sig.
ขนาดปัญหา *(A)*	8.889	0.003**
ขนาดโมเดล *(M)*	8.904	0.003**
จำนวนเอลิเมนต์ *(E)*	550.499	0.000**
จำนวนโนด *(N)*	27.789	0.000**
พื้นที่โดเมน *(A_D)*	8.891	0.003**
อัตราส่วนระหว่างขนาดปัญหากับขนาดโมเดล *(K)*	8.879	0.003**
พื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์ *(A_E)*	8.907	0.003**
ผลลัพธ์ *(R)*	8.905	0.003**

** มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

จากตารางที่ 6.6 ผลการทดสอบแบบ CRD พบว่า ขนาดปัญหา *(A)*, ขนาดโมเดล *(M)*, จำนวนเอลิเมนต์ *(E)*, จำนวนโนด *(N)*, พื้นที่โดเมน *(A_D)*, อัตราส่วนระหว่างขนาดปัญหากับขนาดโมเดล *(K)*, พื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์ *(A_E)* และผลลัพธ์ *(R)* เป็นตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพการใช้งานของโปรแกรม EasyFEM ในเรื่องการไหลของอากาศ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

การพยากรณ์สัมประสิทธิ์ของตัวแปรแต่ละตัว ก็เป็นผลอีกด้านหนึ่งที่สามารถทำได้ด้วยวิธีทางสถิติโดยใช้การถดถอยพหุคูณ ดังแสดงในตารางที่ 6.7

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 6.7 แสดงสัมประสิทธิ์ของสมการในการพยากรณ์ผลลัพธ์จากการใช้งานของโปรแกรม EasyFEM ในเรื่อง การไหลของอากาศ

ตัวแบบ	ตัวทำนาย	B	SEB	Beta	t
1	(Constant)	0.71	0.24		2.96**
	พื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์ (A_E)	–3,098.30	0.06	–0.52	–3.14**
	R = 0.524	R^2 = 0.274	Se_{est} = 0.760	F = 9.83**	
2	(Constant)	–1.15	0.45		–2.57*
	พื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์ (A_E)	–3,098.30	756.33	–0.62	–4.85**
	จำนวนเอลิเมนต์ *(E)*	$6.717x10^{-5}$	0.00	0.58	4.54**
	R = 0.776	R^2 = 0.603	Se_{est} = 0.573	F = 18.95**	
3	(Constant)	–2.34	0.46		–5.05**
	พื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์ (A_E)	–3,838.55	600.72	–0.65	–6.39**
	จำนวนเอลิเมนต์ *(E)*	$5.405x10^{-5}$	0.00	0.47	4.44**
	อัตราส่วนระหว่างขนาดปัญหากับขนาดโมเดล *(K)*	0.20	0.05	0.42	3.98**
	R = 0.872	R^2 = 0.760	Se_{est} = 0.454	F = 25.40**	

* หมายถึง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.05$

** หมายถึง มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p < 0.01$

NS หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ $p > 0.05$

จากตารางที่ 6.7 ผลจากการวิเคราะห์การถดถอยพหุคูณแบบขั้นตอน (Stepwise Multiple Regression) พบว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของสมการในการพยากรณ์ผลลัพธ์จากการใช้งานของโปรแกรม EasyFEM ในเรื่องการไหลของอากาศ โดยวิธีการคัดเลือกตัวแปรอิสระแบบขั้นตอน (Stepwise Regression) ซึ่งเป็นวิธีการเพิ่มเติมตัวแปรอิสระแต่ละตัวเข้าสมการถดถอยด้วยการสกัดตัวแปรอิสระอื่น ๆ ที่เข้ามาอยู่ในสมการถดถอย ตัวแปรอิสระตัวล่าสุดที่เพิ่งเข้าไปในสมการตามหลักเกณฑ์ของวิธีสกัดออก โดยกำหนดค่า P enter = 0.05 และ P remove = 0.01 ได้ผลดังนี้

ในตัวแบบที่ 3 พบว่า ผลลัพธ์ *(R)* มีความสัมพันธ์กับตัวแปรที่ใช้ในการหาศักยภาพในการใช้งานของโปรแกรม EasyFEM ในเรื่อง การไหลของอากาศ (ประกอบด้วย ขนาดปัญหา *(A)*, ขนาดโมเดล *(M)*, จำนวนเอลิเมนต์ *(E)*, ขนาดโนด *(N)*, พื้นที่โดเมน (A_D), อัตราส่วนระหว่างขนาดปัญหากับขนาดโมเดล *(K)* และพื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์ (A_E) ร้อยละ 76.00 ($F = 25.40$, $p < 0.01$) โดย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

พื้นที่ต่อ 1 เอลิเมนต์ *(A_E)*, จำนวนเอลิเมนต์ *(E)* และอัตราส่วนระหว่างขนาดปัญหากับขนาดโมเดล *(K)* มีความสัมพันธ์เชิงบวกและสามารถทำนายผลลัพธ์ *(R)* ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยสามารถเขียนสมการจำลองการพยากรณ์ผลลัพธ์ *(R)* จากการใช้งานของโปรแกรม EasyFEM ในเรื่อง การไหลของอากาศ ได้ดังนี้

$$\text{ผลลัพธ์ } (R) = -2.34 - 3{,}838.55\, A_E + (5.405\text{x}10^{-5})\, E + 0.20\, K \qquad (6.8)$$

โดยที่เมื่อแทนค่าตัวแปรทั้งสามทางขวาของสมการแล้ว หากผลลัพธ์ทางซ้ายได้ประมาณ 1 แสดงว่าโปรแกรมจะประสบความสำเร็จในการประมวลผล หากผลลัพธ์ทางซ้ายได้ประมาณ 0 แสดงว่าโปรแกรมจะแสดงผลที่ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง และหากผลลัพธ์ทางซ้ายได้ประมาณ -1 แสดงว่าโปรแกรมจะประมวลผลไม่สำเร็จ

6.5 สรุปผลการทดสอบหาปัจจัยที่มีผลต่อข้อจำกัดในการประมวลผลของโปรแกรม EasyFEM

ถึงแม้ว่าผลสรุปจากการทดสอบทางสถิติด้วยสมการถดถอยดังแสดงในสมการ (6.8) จะระบุว่ามี 3 ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการคาดการณ์ความสำเร็จของโปรแกรมในการประมวลผลก็ตาม แต่ในความเป็นจริงนั้น ทั้งสามตัวแปรเป็นผลมาจากตัวแปรอื่น ๆ ที่ใช้ในการศึกษาด้วย เมื่อพิจารณาอย่างถี่ถ้วนแล้ว สามารถนำมาสร้างเป็นข้อแนะนำสำหรับการใช้โปรแกรมนี้ในการจำลองการไหลของอากาศในอาคารได้ดังต่อไปนี้

1. ในการสร้างภาพปัญหา ควรสร้างให้อยู่ในกรอบปัญหาที่มีความยาวในแนวตั้งคือ *a* ประมาณไม่เกิน 2 หน่วย และความยาวในแนวนอนหรือ *b* ไม่เกิน 3 หน่วย
2. สร้างตัววัตถุหรือภาพโมเดลที่มีพื้นที่เล็กกว่าขอบเขตปัญหาทดสอบ (ค่า *K*) ประมาณ 6 เท่าขึ้นไป ทั้งนี้สำหรับโจทย์ที่มีขนาดใหญ่ ต้องใช้วิธีย่อขนาดลง
3. หลังจากกำหนดโนดและเอลิเมนต์แล้ว ให้ตรวจสอบว่ามีจำนวนเอลิเมนต์ไม่เกิน 40,000 เอลิเมนต์
4. ลองให้โปรแกรมประมวลผลดู
5. หากโปรแกรม Terminate ลองตรวจสอบด้วยการหารพื้นที่ของปัญหา (*a* x *b*) ด้วยจำนวนเอลิเมนต์ ซึ่งจะได้ค่าพื้นที่ของเอลิเมนต์โดยเฉลี่ย (A_E) ซึ่งควรเป็นไปตามสมการ 6.3
6. หากไม่ได้ให้ลองแก้ไขที่การสร้างโนดใหม่ โดยปรับให้โนดถี่ขึ้นหากพื้นที่ของเอลิเมนต์นั้นมากไป หรือปรับให้โนดห่างขึ้นหากพื้นที่ของเอลิเมนต์เล็กเกินไป แต่ต้องเช็คที่จำนวนเอลิเมนต์ว่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไปด้วย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7. หากปรับโนดและพื้นที่เอลิเมนต์แล้วยังไม่ได้ผล ต้องกลับไปสร้างภาพปัญหาใหม่ นั่นคือ การปรับสัดส่วน K

ข้อสรุปที่ได้นี้เป็นผลจากการศึกษาปัญหาที่มีลักษณะดังภาพที่ 6.1 เท่านั้น สำหรับปัญหาอื่น ๆ ที่มีลักษณะแตกต่างกัน ย่อมจะได้ผลที่ต่างกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ความซับซ้อนของโมเดลที่ทดสอบจะมีผลต่อจำนวนเอลิเมนต์ หากโมเดลมีส่วนที่เป็นแง่มุม และมีขนาดเล็กมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับปัญหาทางสถาปัตยกรรมที่เป็นผังอาคาร ซึ่งความหนาของผนังจะน้อยกว่าความยาวของห้องหรืออาคารมาก จะทำให้มีเอลิเมนต์เป็นจำนวนมากตามไปด้วย ดังนั้นความซับซ้อนของโมเดลก็เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่ต้องพิจารณา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved