บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อ วิเคราะห์การดัดของเปลือกบางแบบตื้นรูปไฮปาร์ที่มีสภาพขอบแบบต่างๆกัน แล้วนำผลที่ได้แสดงเป็นกราฟในเทอมไร้มิติ เพื่ออำนวยความสะดวกให้กับผู้ออกแบบ ดังนั้นวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จึงมีความเหมาะสมอย่างมากในการวิเคราะห์ ปัญหานี้มากกว่าวิธีการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์แบบอื่นๆที่ผ่านมา การสร้างชุดสมการไฟไนต์เอลิเมนต์ ได้ใช้วิธีการแปรผันตามหลักการของการหาค่าต่ำสุดของพลังงานศักย์รวมของเอลิเมนต์ เพื่อที่จะได้เมตริกซ์ของความแข็งเกร็งของเอลิเมนต์ โดยแทนค่าเคลื่อนตัว u v ด้วยเทอมโพลิโนเมียล 4 เทอมและค่าเคลื่อนตัว w ด้วยเทอมโพลิโนเมียล 12 เทอม จากนั้นจึงนำผลที่ได้ไปเขียนกราฟในเทอมไร้มิติ แต่เนื่องจากจำนวนกราฟที่ใช้แสดงผลนั้นมีจำนวนมากต่อสภาพขอบ 1 กรณี จึงไม่สะดวกในการจัดพิมพ์ผลทั้งหมดออกมาเพื่อใช้ในการออกแบบ ดังนั้นจึงใช้การพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อใช้ในการแสดงผลแทน ผลของโปรแกรมที่ได้นำไปเปรียบเทียบกับผลของแผ่นแบน ($\frac{f}{h}= 0$) ซึ่งมีผลเฉลยแม่นตรง ปรากฏว่ามีความผิดพลาดน้อยมากเมื่อใช้จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 16x16 จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกับบางกรณีของเปลือกบางที่มีผู้วิจัยหลายท่านก่อนหน้านี้ได้คำนวณไว้ ปรากฏว่าผลที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก แตกต่างกันไม่เกิน 0.05% เมื่อใช้จำนวนเอลิเมนต์เท่ากับ 16x16

ตัวอย่างของกราฟเทอมไร้มิติที่ได้จากการคำนวณได้พิจารณากรณีสภาพขอบที่ต่างกัน 4 แบบ ค่า $\frac{f}{h}$, $\frac{A}{B}$, และ $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ แตกต่างกัน 3 ค่า และแสดงค่า $\frac{wh}{AB}$ N_{xx}/K N_{yy}/K N_{xy}/K $M_{xx}/(P_3AB)$ $M_{yy}/(P_3AB)$ และ $M_{xy}/(P_3AB)$ ซึ่งมีทั้งรูปที่เป็นกราฟที่แสดงความสูงต่ำของค่า (Contour) และรูปการตัดผ่านเปลือกบาง (Section view) แสดงอยู่ในภาคผนวก เพื่อผู้ออกแบบที่ไม่จำเป็นต้องมีคอมพิวเตอร์ และออกแบบเปลือกบางที่มีขนาด แรงกระทำที่ใกล้เคียงกันและสภาพขอบที่เหมือนกัน

จากผลของกราฟสังเกตได้ว่า ค่า $M_{xx}/(P_3AB)$ $M_{yy}/(P_3AB)$ และ $M_{xy}/(P_3AB)$ ไม่ขึ้นอยู่กับค่าของ $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ และ $\frac{f}{h}$ ไม่ว่าค่าทั้งสองจะมีเครื่องหมายอย่างไรถ้ามีขนาดเท่ากัน

โมเมนต์ในเทอมไร้มิติทั้ง 3 จะมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ส่วนค่า N_{xx}/K N_{yy}/K และ N_{xy}/K นั้นจะขึ้นอยู่กับเครื่องหมายของ $\frac{P_3AB}{Eh^2}$ และ $\frac{f}{h}$ ค่า $\frac{wh}{AB}$ ของเปลือกบางจะมีค่าที่ลดลง ในบางกรณีเมื่อค่า $\frac{f}{h}$ มีค่ามากขึ้น ในขณะที่ค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นๆเท่าเดิม และที่เปลือกบางมีขนาดเป็น 2 เท่าของค่า AxB แล้วที่ $\frac{f}{h}$ มีค่ามากขึ้นจะทำให้กราฟ $\frac{wh}{AB}$ มีรูปร่างที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างเห็นได้ชัด

แม้ว่าเมื่อใช้จำนวนเอลิเมนต์มากขึ้นจะทำให้ผลการคำนวณมีความถูกต้องมากขึ้น แต่จะใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้นอย่างมาก และยังจำเป็นต้องมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพสูงและมีหน่วยความจำสูงด้วย ส่วนค่าความถูกต้องนั้นก็มีค่าไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทางวิชาชีพออกแบบ ฉะนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่จะต้องใช้จำนวนเอลิเมนต์เกิน 16x16 ดังนั้นการวิจัยนี้จึงมีข้อจำกัดทางด้านเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับหนึ่ง รวมถึงโปรแกรมที่ใช้แสดงผลก็มีข้อจำกัดอยู่ที่ตัวแปรภาษาที่ไม่สามารถขยายขนาดของหน่วยความจำได้มากนัก ทำให้สามารถแสดงผลที่เอลิเมนต์มีจำนวนไม่เกิน 16x16 ดังนั้นถ้าผู้ออกแบบความถูกต้องมีมากขึ้น จึงควรใช้เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีประสิทธิภาพและหน่วยความจำที่สูง ส่วนโปรแกรมที่ใช้แสดงผลนั้นอาจเขียนขึ้นโดยใช้ภาษาอื่นที่เหมาะสม และเอื้ออำนวยที่แสดงกราฟฟิกที่ละเอียดยิ่งขึ้นได้ หรือเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้คำนวณที่สามารถปรับขนาดของเอลิเมนต์ได้เอง (Adaptive Remeshing Procedure) เพื่อที่จะลดจำนวนเอลิเมนต์ ณ บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆน้อย และไปเพิ่มจำนวนเอลิเมนต์ ณ บริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าต่างๆมากขึ้น

เนื่องจากการใช้เอลิเมนต์แบบไม่สอดคล้องจึงจำเป็นต้องใช้การประมาณค่าในการหาค่าความชันของตัวแปรบางตัว คือ u v $w_{,x}$ และ $w_{,y}$ ทำให้เกิดค่าผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นถ้าเลือกใช้เอลิเมนต์ที่มีความสอดคล้องแล้ว ก็จะช่วยขจัดค่าผิดพลาดนี้ได้อย่างดี

การวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ทางทฤษฎีซึ่งตั้งอยู่บนสมมติฐาน ดังนั้นจึงควรมีการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากโปรแกรมนี้กับผลที่ได้จากการทดลองที่สภาพขอบแบบต่างๆ ขึ้น เพื่อพิสูจน์ความแม่นยำทางทฤษฎีกับสิ่งที่เกิดขึ้นจริง และเพื่อความปลอดภัย ประหยัด และมีประสิทธิภาพสูงสุดสำหรับการสร้างเปลือกบางรูปไฮเปอร์โบลิคพาราโบลอยด์ที่มีสภาพขอบแบบต่าง ๆกันในอนาคต