บทที่ 6
บทสรุป ปัญหาที่พบ และข้อเสนอแนะ

6.1 บทสรุป

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้เริ่มจากการอธิบายถึงความสำคัญและที่มาในการทำวิทยานิพนธ์ ซึ่งมีจุดประสงค์หลักเพื่อคำนวณการเสียรูปและความเค้นของใบพัดกังหันไอน้ำด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยลักษณะของปัญหาดังกล่าวเป็นปัญหาของแข็งที่มีรูปร่างซับซ้อนใดๆในสามมิติ และทำงานภายใต้สภาวะเงื่อนไขขอบเขตที่ต่างๆกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงหลักการวิเคราะห์ปัญหาดังกล่าวด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้อย่างถ่องแท้เป็นขั้นเป็นตอน จึงได้ประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกันขึ้น โดยเริ่มจากปัญหาของแข็งหนึ่งมิติในบทที่ 3 ปัญหาสองมิติในบทที่ 4 และปัญหาสามมิติในบทที่ 5 ซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์ปัญหาใบพัดกังหันไอน้ำที่มีรูปร่างซับซ้อนได้

สำหรับบทที่ 3 ซึ่งเป็นปัญหาของแข็งในหนึ่งมิตินั้น เป็นการวิเคราะห์การเสียรูปของแผ่นวงแหวนบางที่มีการกระจายของอุณหภูมิในแนวรัศมี หลังจากที่ได้ทำการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกันขึ้นมาแล้ว ได้นำผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมไปตรวจสอบกับผลเฉลยแม่นตรงของปัญหานี้ ก่อให้เกิดแนวคิดในการเลือกใช้ฟังก์ชันการประมาณภายในที่เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ การเลือกใช้ฟังก์ชันการประมาณภายในที่เหมาะสมนี้ นอกจากจะช่วยลดจำนวนเอลิเมนต์และจุดต่อที่จำเป็นต้องใช้ในการวิเคราะห์ปัญหานั้นแล้ว ยังช่วยเพิ่มความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ให้สูงมากยิ่งขึ้น แนวคิดที่เกิดขึ้นสำหรับการวิเคราะห์ในบทที่ 3 นี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาทางวิศวกรรมทางด้านอื่นๆที่นอกเหนือไปจากทางด้านของแข็งตามที่อธิบายในวิทยานิพนธ์นี้

แนวคิดและความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในบทที่ 3 ได้ก่อให้เกิดความเข้าใจและความมั่นใจในการวิเคราะห์ปัญหาด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาในสองมิติที่มีความซับซ้อนมากขึ้น บทที่ 4 ได้แสดงการวิเคราะห์การเสียรูปและความเค้นของปัญหาที่มีความสมมาตรรอบแกนภายใต้ความดัน อุณหภูมิ และแรงเหวี่ยงรอบตัวเอง ผลลัพธ์ที่ได้จากการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์จากบทนี้ได้นำมาตรวจสอบกับผลเฉลยแม่นตรงสำหรับปัญหาที่มีรูปร่างอย่างง่ายก่อนนำไปประยุกต์แก้ปัญหาสมมาตรรอบแกนที่มีรูปร่างซับซ้อน นอกจากนั้น ยังพบว่าแนวคิดในการแก้ปัญหาสมมาตรรอบแกนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้มีความเที่ยงตรงมากกว่าและยุ่งยากน้อยกว่าระเบียบวิธีแบบเดิม (Classical method) หลายๆระเบียบวิธีที่เคยใช้กันในอดีต

การวิเคราะห์ปัญหาที่มีความสมมาตรรอบแกนด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในบทที่ 4 นี้ เป็นแนวทางไปสู่การประดิษฐ์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ในบทที่ 5 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์การเสียรูปและความเค้นของปัญหาของแข็งรูปร่างซับซ้อนใดๆในสามมิติ ภายใต้ความดัน อุณหภูมิ และแรงเหวี่ยงรอบตัวเอง เนื้อหาในบทที่ 5 เริ่มจากประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์รวมทั้งโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกัน จากนั้นจึงทำการตรวจสอบความถูกต้องของสมการไฟไนต์เอลิเมนต์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น โดยเริ่มจากการนำไปแก้ปัญหาที่มีผลเฉลยแม่นตรงก่อนนำไปประยุกต์ใช้วิเคราะห์หาการเสียรูปและความเค้นของใบพัดกังหันไอน้ำ ซึ่งทำงานภายใต้ความดัน แรงเหวี่ยงรอบตัวเอง ที่อุณหภูมิสูง ผลจากการวิเคราะห์การเสียรูปและความเค้นของใบพัดกังหันไอน้ำนั้นช่วยให้วิศวกรเกิดความเข้าใจถึงปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น และแนวทางการปรับปรุงสภาวะการทำงานเพื่อให้ใช้งานได้นานขึ้น โดยลักษณะการกระจายของความเค้นที่แสดงเป็นเส้นชั้น (contour lines) ดังแสดงในบทที่ 4 และบทที่ 5 นั้นเป็นความเค้นของเอลิเมนต์ที่ผิววัตถุ ไม่ใช่ความเค้นเฉลี่ยผ่านความหนาของวัตถุ ในขณะเดียวกันการวิเคราะห์ในบทที่ 5 นี้ ไม่ได้จำกัดอยู่เพียงปัญหาใบพัดกังหันไอน้ำเท่านั้น ปัญหาของแข็งในสามมิติที่มีรูปทรงตันทั่วไปอย่างอื่นซึ่งทำงานภายใต้สภาวะความดัน แรงเหวี่ยงรอบตัวเอง อุณหภูมิ แรงกระทำที่ตำแหน่งต่างๆ หรืออย่างใดอย่างหนึ่งก็สามารถใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นในบทที่ 5 วิเคราะห์ได้เช่นกัน

6.2 ปัญหาที่พบในขณะทำวิทยานิพนธ์

ปัญหาที่พบในขณะทำวิทยานิพนธ์ มีดังนี้

1. ปัญหาในการสร้างแบบจำลอง (Modelling) ของรูปแบบที่กำหนดให้ เนื่องจากโปรแกรม NASTRAN ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำงานบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่ผู้วิจัยเลือกใช้ในการช่วยสร้างแบบจำลอง และช่วยแสดงผลกราฟฟิกตั้งแต่เริ่มการศึกษาปัญหา ผู้วิจัยพบว่าโปรแกรมนี้ไม่สะดวกต่อการสร้างแบบจำลองของของแข็งในสามมิติทั่วๆไป อีกทั้งยังไม่สามารถสร้างแบบจำลองของของแข็งในสามมิติที่มีรูปร่างซับซ้อนมากได้ ผู้วิจัยได้ใช้เวลาในการอ่านคู่มือและศึกษาโปรแกรมเป็นเวลานานพอสมควร จนมั่นใจว่าเกิดความไม่สะดวกในการสร้างแบบจำลองของของแข็งที่มีรูปร่างซับซ้อนบนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลโดยใช้โปรแกรม NASTRAN นี้ได้แล้ว จึงได้เปลี่ยนมาใช้โปรแกรม IDEA-S ที่ทำงานบนเครื่องคอมพิวเตอร์สถานีทำงาน (Workstation computer) ซึ่งปฏิบัติการณ์อยู่บนระบบยูนิกซ์ (UNIX) แทน ทำให้ผู้วิจัยต้องใช้เวลาในการทำความคุ้นเคยกับระบบปฏิบัติการณ์ยูนิกซ์ตลอดจนใช้เวลาในการศึกษาการใช้โปรแกรม IDEA-S จากคู่มือและทดลองใช้ จึงสามารถสร้างแบบจำลองของใบพัดกังไอน้ำ และแบบจำลองใบพัดก๊าซเทอร์ไบน์ได้เป็นผลสำเร็จ

2. ปัญหาในการประดิษฐ์โปรแกรม หากลงไปในรายละเอียดของการประดิษฐ์โปรแกรมแล้วพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย เช่น การประดิษฐ์โปรแกรมให้ใช้ข้อมูลที่สอดคล้องกับข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม NASTRAN หรือ IDEA-S โดยเฉพาะข้อมูลด้านความดัน เนื่องจากในคู่มือการใช้โปรแกรมไม่ได้กล่าวลึกถึงรายละเอียดในด้านนี้ ผู้วิจัยต้องใช้เวลาศึกษาข้อมูลของความดันที่ได้ด้วยตนเอง ว่ามีความสัมพันธ์กับแบบจำลองอย่างไร แล้วนำมาประดิษฐ์โปรแกรมให้ได้ทั้งขนาดและทิศทางของความดันที่ถูกต้อง

3. ปัญหาในการคำนวณด้วยโปรแกรม

ปัญหาหลักในการคำนวณด้วยโปรแกรม เนื่องมาจากข้อจำกัดของหน่วยความจำหลัก (Random Access Memory) โดยเฉพาะกับปัญหาของแข็งในสามมิติที่ประกอบด้วยจุดต่อและเอลิเมนต์ที่มีจำนวนมาก ทำให้ต้องใช้หน่วยความจำหลักในการคำนวณมาก ยิ่งรูปร่างของชิ้นงานมีความซับซ้อนมากขึ้น ก็ต้องมีการแบ่งเอลิเมนต์ให้มีขนาดเล็กและจำนวนมากเพียงพอเพื่อให้คำตอบมีความผิดพลาดน้อย

อีกปัญหาหนึ่งที่ผู้วิจัยพบซึ่งเกี่ยวข้องกับหน่วยความจำก็คือ ข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองจะมีค่าครึ่งของความกว้างแถบ (Half-bandwidth) สูง อันเนื่องมาจากหมายเลขตำแหน่งของจุดต่อไม่เหมาะสม การที่ค่าครึ่งของความกว้างแถบสูงนั้นเป็นผลให้การแก้ระบบสมการรวมจำเป็นต้องใช้หน่วยความจำในการคำนวณมากและใช้เวลาคำนวณนานตามมาด้วย

อย่างไรก็ตามโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นดังแสดงในภาคผนวก ก ภาคผนวก ข และภาคผนวก ค ต่างเขียนขึ้นด้วยภาษาฟอร์แทรน ซึ่งเป็นภาษาที่สามารถใช้งานได้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ชนิดต่างๆกัน โดยไม่ต้องเปลี่ยนแปลงส่วนใดๆในตัวโปรแกรม ยกเว้นขนาดของหน่วยความจำที่ต่างๆกันในแต่ละปัญหา

6.3 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากปัญหาหลักในการคำนวณด้วยโปรแกรมดังได้กล่าวไว้ในหัวข้อ 6.2 คือ ปัญหาหน่วยความจำไม่เพียงพออันเนื่องมาจากการแบ่งเอลิเมนต์และจุดต่อจำนวนมากเพื่อให้ได้ผลเฉลยที่แม่นยำยิ่งขึ้น ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางในการลดปัญหาหน่วยความจำไม่เพียงพอออกเป็นสองแนวทาง ดังนี้

แนวทางแก้ปัญหาอีกวิธีแรก คือการพยายามลดค่าครึ่งของความกว้างแถบ (Half-bandwidth) ซึ่งค่าครึ่งของความกว้างแถบนี้จะขึ้นอยู่กับการเรียงหมายเลขของจุดต่อ โดยค่าแตกต่างที่สูงสุดระหว่างหมายเลขของจุดต่อที่อยู่ติดกันจะเป็นตัวกำหนดขนาดของครึ่งของความกว้างแถบ ทางแก้ไขที่จะลดค่าครึ่งของความกว้างแถบก็คือ การใช้โปรแกรมเพื่อเรียงหมายเลขจุดต่อใหม่ (Renumbering) ให้มีค่าแตกต่างระหว่างหมายเลขของจุดต่อ

ที่อยู่ติดกันมีค่าน้อยลง ผลการลดค่าครึ่งของความกว้างแถบจะช่วยให้เมตริกซ์ในการคำนวณมีขนาดลดลงมาก ช่วยให้การใช้หน่วยความจำน้อยลง และช่วยลดเวลาในการคำนวณลงด้วย

ส่วนแนวทางแก้ปัญหาอีกวิธีหนึ่ง คือการพยายามลดขนาดของจำนวนเอลิเมนต์โดยการใช้ระเบียบวิธีการจัดขนาดเอลิเมนต์โดยอัตโนมัติ (Remeshing technique) ซึ่งเทคนิคของวิธีการนี้คือการใช้เอลิเมนต์ขนาดใหญ่ในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเค้นน้อย เพื่อช่วยลดปริมาณของหน่วยความจำและเวลาที่ใช้ในการคำนวณ และขณะเดียวกันคือการใช้เอลิเมนต์ขนาดเล็กในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงของความเค้นสูงเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น

สำหรับข้อเสนอแนะในเชิงการนำไปประยุกต์ใช้กับการวิเคราะห์ปัญหาของใบพัดกังหันไอน้ำ หรือใบพัดก๊าซเทอร์ไบน์นั้น เนื่องจากกังหันโดยทั่วไปจะมีอยู่หลาย stages แนวทางในการวิเคราะห์คือทำการวิเคราะห์ใบพัดกังหันที่แต่ละ stage ซึ่งมีรูปร่างของใบพัดและลักษณะโหลดที่กระทำแตกต่างกันไป เพื่อพิจารณาดูว่าที่ stage ไหนก่อให้เกิดความเค้นสูงที่สุด ทำให้มีแนวโน้มที่ใบพัดจะเกิดความเสียหายก่อน อันจะนำไปสู่การปรับปรุงสภาวะการทำงาน หรือพยายามออกแบบรูปร่างของใบพัดที่ stage นั้นให้เหมาะสม เป็นการลดแนวโน้มของความเสียหายลงได้แนวทางหนึ่ง

อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์ปัญหาของแข็งในสามมิติในบทที่ 5 นั้น ไม่ได้พิจารณาถึงผลของการเสียรูปและความเค้นอันเนื่องมาจาก dynamic load ของของไหลที่มากระทำกับของแข็งตลอดจนไม่ได้คำนึงถึงผลอันเนื่องมาจากความสั่นสะเทือน (vibration) ซึ่งเป็นภาวะที่เกิดขึ้นกับใบพัดกังหันไอน้ำทั่วไป ดังนั้นงานวิจัยซึ่งจะสานต่อจากวิทยานิพนธ์นี้ในระดับสูงขึ้นไป ควรพิจารณาถึงผลดังกล่าวด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย