บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญ และที่มาของวิทยานิพนธ์

ในปัจจุบันการผลิตกระแสไฟฟ้ามีความจำเป็นและมีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์ในด้านต่างๆเป็นอย่างยิ่ง หากส่วนประกอบใดส่วนประกอบหนึ่งของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าเกิดความเสียหายขึ้น จะทำให้เกิดผลเสียหายมากมายตามมา

กระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้ารูปแบบหนึ่ง ได้มาจากการนำไอน้ำไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ (Steam turbine) ซึ่งไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ต่อไปตามลำดับ สำหรับกังหันไอน้ำนั้น ใบพัดกังหันไอน้ำ (Steam turbine blades) ถือเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่ง ซึ่งลักษณะโครงสร้างของใบพัดกังหันไอน้ำโดยทั่วไปนั้นโดยปรกติจะมีความซับซ้อนในสามมิติ ส่วนทางด้านสภาวะการทำงาน (Operating condition) ของใบพัดกังหันไอน้ำนั้นจะต้องทำงานภายใต้ความดันสูง แรงเหวี่ยงรอบตัวเองสูง และอุณหภูมิสูงด้วย [Church, E. F., 1950] ซึ่งภายใต้สภาวะรุนแรงเช่นนี้จะทำให้เกิดความเค้น (Stress) ในใบพัดสูง มีผลทำให้ใบพัดกังหันไอน้ำเสียหายเร็วขึ้น โดยในทางปฏิบัติทางด้านการบำรุงรักษา หากทราบความเค้นสูงสุดที่เกิดกับใบพัดกังหันไอน้ำภายใต้สภาวะการทำงานที่อุณหภูมินั้นๆ สามารถนำความเค้นและอุณหภูมิ ไปทำนายอายุการใช้งานของใบพัดกังหันไอน้ำอย่างคร่าวๆได้ เมื่อทราบอายุการใช้งานจึงสามารถกำหนดช่วงเวลาการหยุดเครื่องจักรได้อย่างถูกต้อง เพื่อนำใบพัดมาตรวจสอบความเสียหาย หรือทำการเปลี่ยนใบพัดใหม่ แต่หากไม่ทราบค่าความเค้นที่เกิดขึ้น จะทำให้สิ้นเปลืองเวลาและค่าใช้จ่ายมาก เพราะการเดินเครื่องจักรใหม่แต่ละครั้ง จะต้องสูญเสียพลังงานเป็นอย่างมากในการที่จะอุ่นเครื่องเพื่อให้น้ำกลายเป็นไอน้ำและเดินเครื่องจนกระทั่งทั้งระบบเข้าสู่สภาวะอยู่ตัว (Steady-state condition)

สำหรับการวิเคราะห์หาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับใบพัดกังหันไอน้ำนั้น การแก้สมการเชิงอนุพันธ์ที่ควบคุมพฤติกรรมของปัญหาเพื่อหาผลเฉลยแม่นตรง (Exact solution) ของความเค้นในใบพัดนั้น ไม่สามารถกระทำได้เนื่องจากใบพัดกังหันไอน้ำมีรูปร่างซับซ้อนและทำงานภายใต้สภาวะเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions) ที่ซับซ้อนมากเช่นกัน ดังนั้นในทางปฏิบัติ ผู้ทำนายอายุการใช้งานจึงใช้การคำนวณอย่างคร่าวๆ ซึ่งการคำนวณอย่างคร่าวๆนี้โดยปรกติก่อให้เกิดความเค้นที่ได้มีค่าสูงเกินความจำเป็น มีผลให้การทำนายช่วงอายุใช้งานนั้นสั้นมากกว่าความเป็นจริง ทำให้ต้องหยุดเครื่องเพื่อทำการตรวจสอบใบพัดบ่อยครั้งขึ้นเกินความจำเป็น

ส่วนการใช้เครื่องมืออุปกรณ์เพื่อวัดการเสียรูป และความเค้นของใบพัดกังหันไอน้ำนั้น แทบจะกล่าวได้ว่าเป็นได้ยากมาก ซึ่งถึงแม้หากทำการทดลองได้ก็จะสิ้นเปลืองเวลาและเสียค่าใช้จ่ายมาก อุปสรรคต่างๆดังกล่าวนี้แสดงให้เห็นถึงความสำคัญของการแก้ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ซึ่งสำหรับงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ [ปราโมทย์ เดชะอำไพ, 2537] มาใช้เพื่อวิเคราะห์หาการเสียรูปและความเค้นที่เกิดขึ้นกับใบพัดกังหันไอน้ำ เนื่องจากระเบียบวิธีนี้สามารถให้ค่าผลเฉลยโดยประมาณที่มีความถูกต้องสูงหากใช้จำนวนเอลิเมนต์มาก และสามารถวิเคราะห์ได้แม้ว่ารูปร่างของชิ้นงานจะมีรูปร่างที่ซับซ้อนและทำงานภายใต้เงื่อนไขขอบเขตที่ต่างๆกัน

อนึ่งนอกจากใบพัดกังหันไอน้ำ ไฟไนต์เอลิเมนต์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้ประดิษฐ์ขึ้นจากงานวิจัยชิ้นนี้ ยังสามารถใช้วิเคราะห์หาการเคลื่อนตัวและความเค้นของของแข็งรูปทรงตันใดๆ ซึ่งทำงานภายใต้ความดัน อุณหภูมิ และแรงเหวี่ยงรอบตัวเองได้

1.2 วัตถุประสงค์ของวิทยานิพนธ์

1. ศึกษาทฤษฎีและระบบสมการเชิงอนุพันธ์ ซึ่งอธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในปัญหาของแข็งที่มีความยืดหยุ่น (Elastic solids) ได้

2. ประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกัน โดยทำการศึกษาและประดิษฐ์อย่างเป็นขั้นเป็นตอน เพื่อให้เกิดความเข้าใจและมีศักยภาพในการพัฒนาระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ได้ด้วยตนเอง โดยเริ่มจากปัญหาในหนึ่งมิติ สองมิติ จนไปถึงปัญหาของใบพัดกังหันไอน้ำซึ่งเป็นปัญหาของแข็งรูปทรงตันในสามมิติทั่วไป ตามลำดับ ซึ่งทำงานภายใต้ ความดันสูง แรงเหวี่ยงรอบตัวเองสูง และอุณหภูมิสูง

3. วิทยานิพนธ์นี้จะแสดงขั้นตอนการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกันอย่างละเอียดและเป็นขั้นเป็นตอน จากปัญหาในหนึ่งมิติ สองมิติ ไปจนถึงปัญหาในสามมิติ เพื่อให้ผู้สนใจสามารถศึกษาและทำความเข้าใจตามขั้นตอนที่ได้อธิบายอย่างละเอียด ซึ่งสามารถใช้เป็นพื้นฐานเพื่อนำไปสู่การทำวิจัยในระดับสูงขึ้นไป

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1. ประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ โดยใช้วิธีการถ่วงน้ำหนักเศษตกค้าง (Method of weighted residuals) ของกัลเลอร์คิน (Galerkin) [Cook, R. D., Malkus, D. S. and Plesha M. E., 1989] เพื่อนำไปประดิษฐ์โปรแกรมคอมพิวเตอร์ สำหรับวิเคราะห์การเสียรูปและความเค้นที่เกิดขึ้นกับใบพัดกังหันไอน้ำขณะทำงานภายใต้สภาวะอยู่ตัว โดยการคำนวณจะตั้งอยู่บนรากฐานของ Linear elasticity ทั้งนี้เพราะการออกแบบใบพัดในทางปฏิบัติ ผู้ออกแบบจะไม่ให้ส่วนใดๆของใบพัดมีค่าความเค้นถึงจุดกำลังคราก (Yield strength) นอกจากนั้นระยะห่างระหว่าง Case กับปลายใบพัดจำเป็นต้องมีช่องว่างน้อยมาก

ในระหว่างการเดินเครื่อง การออกแบบในปัจจุบันจึงป้องกันไม่ให้เกิดสภาวะการทำงานเลยไปถึงช่วงของการเป็นพลาสติก (Plasticity) หรือเกิดการคืบ (Creep) มากๆ ซึ่งจะก่อให้เกิดความเสียหายจากการที่ปลายของใบพัดไปสัมผัสกับ Case ได้

2. ผลเฉลยที่ได้จากโปรแกรมจะอยู่ในรูปของการเสียรูปและความเค้นในทิศทางต่างๆ รวมทั้งการแสดงผลของความเค้นให้อยู่ในรูปแบบของความเค้นแบบฟอนมิสเซส (Von Mises stress) [Hoffman, O. and Sachs, G., 1953] ด้วย

3. การตรวจสอบความถูกต้องของแต่ละโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น จะทำโดยนำผลเฉลยที่ได้จากโปรแกรมไปเปรียบเทียบกับผลเฉลยแม่นตรงของปัญหาสำหรับตัวอย่างที่มีรูปร่างอย่างง่าย ซึ่งสามารถหาผลเฉลยแม่นตรงได้ก่อนนำโปรแกรมไปประยุกต์ใช้กับปัญหาซับซ้อนมากขึ้นไป

4. โปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับใบพัดกังหันไอน้ำที่มีรูปทรงตันทั่วไป ซึ่งทำงานภายใต้ความดัน แรงเหวี่ยงรอบตัวเอง และอุณหภูมิสูงได้

1.4 ขั้นตอนดำเนินงานทางวิทยานิพนธ์

เพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงหลักการวิเคราะห์ปัญหาโดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ รวมทั้งวิธีการปรับปรุงความเที่ยงตรงของผลลัพธ์ ก่อนที่จะไปสู่การแก้ปัญหาใบพัดกังหันไอน้ำ ซึ่งเป็นปัญหาของแข็งรูปทรงซับซ้อนในสามมิติและทำงานภายใต้สภาวะที่ซับซ้อน จึงได้ทำการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกันอย่างเป็นขั้นตอน จากปัญหาพื้นฐานในหนึ่งมิติ ไปจนถึงปัญหาที่มีรูปร่างซับซ้อนในสามมิติ ดังต่อไปนี้

ก) วิเคราะห์ปัญหาของแข็งยืดหยุ่นได้ในหนึ่งมิติ โดยปัญหาที่ใช้วิเคราะห์คือ การวิเคราะห์การเสียรูป (Deformation) ของแผ่นทรงกลมที่มีการกระจายของอุณหภูมิในแนวรัศมี (Circular disc with radial temperature variation) การวิเคราะห์ปัญหาหนึ่งมิติด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นี้ ก่อให้เกิดแนวความคิดต่างๆในการปรับปรุงระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ ซึ่งจะทำให้ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นมีความเที่ยงตรงมากขึ้นกว่าระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ที่ใช้กันทั่วไป แนวความคิดดังกล่าวจะเป็นประโยชน์ต่อการประยุกต์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้นไป

ข) วิเคราะห์ปัญหาของแข็งที่ยืดหยุ่นได้ในสองมิติ โดยปัญหาที่เลือกใช้วิเคราะห์คือ การวิเคราะห์การเคลื่อนตัวและความเค้นของปัญหาที่มีความสมมาตรรอบแกน (Axisymmetric problem) ซึ่งรับภาระความดัน อุณหภูมิ และแรงเหวี่ยงรอบตัวเอง ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นจากการประดิษฐ์ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์สำหรับปัญหาในสองมิตินี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้กับปัญหาหลายๆชนิดอันจะก่อให้เกิดผลลัพธ์ที่มีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับระเบียบวิธีแบบเดิม (Classical method) [Ugural, A. C. and Fenster, S. K., 1977] ต่างๆที่เคยใช้กันมาในอดีต

ค) วิเคราะห์ปัญหาของแข็งยืดหยุ่นได้ในสามมิติ ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของงานวิจัยชิ้นนี้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาใบพัดกังหันไอน้ำที่มีรูปทรงดันทั่วไป ซึ่งรับภาระความดัน อุณหภูมิ และแรงเหวี่ยงรอบตัวเองได้

การดำเนินงานวิจัยสำหรับแต่ละปัญหาดังกล่าวนั้น ประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้

1. ขั้นตอนการศึกษาทฤษฎี และแบบสมการเชิงอนุพันธ์ที่อธิบายปรากฏการณ์ของปัญหา
2. ขั้นตอนการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ (Derivation of finite element equations)
3. ขั้นตอนการประดิษฐ์โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์
4. ขั้นตอนการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่ประดิษฐ์ขึ้น
5. ขั้นตอนการนำโปรแกรมไปประยุกต์ใช้กับชิ้นงานที่มีรูปร่างซับซ้อนมากขึ้น
6. สรุปผลที่เกิดขึ้นจากวิทยานิพนธ์นี้รวมทั้งข้อเสนอแนะ เพื่อการขยายผลจากวิทยานิพนธ์นี้ไปสู่งานวิจัยระดับสูงขึ้นไป
7. เขียนและพิมพ์วิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์

1. วิทยานิพนธ์นี้แสดงขั้นตอนการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สอดคล้องกันอย่างละเอียดและเป็นขั้นเป็นตอน จากปัญหาง่ายในหนึ่งมิติ ไปสู่ปัญหาที่ยากขึ้นในสองมิติ และสามมิติตามลำดับ ทำให้เกิดประโยชน์ในเชิงวิชาการ เนื่องจากผู้สนใจสามารถศึกษาและทำความเข้าใจจากรายละเอียดขั้นตอนต่างๆ อันจะนำไปสู่ความเข้าใจระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ รวมทั้งการพัฒนาต่อไปได้

2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นได้เขียนโดยใช้ภาษา FORTRAN ซึ่งสะดวกแก่การทำความเข้าใจและสามารถใช้งานได้ตั้งแต่คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลไปจนถึงซูเปอร์-คอมพิวเตอร์ โดยไม่ต้องทำการแก้ไขส่วนใดๆในโปรแกรม ขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์นี้สอดคล้องกับขั้นตอนการประดิษฐ์สมการไฟไนต์เอลิเมนต์ในข้อที่ 1 ผู้สนใจสามารถทำความเข้าใจได้โดยง่าย รวมทั้งสามารถนำไปเป็นโปรแกรมต้นแบบเพื่อแก้ไขดัดแปลงในการทำวิจัยระดับสูงขึ้นไปได้โดยง่าย

3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถประยุกต์ใช้ได้กับการวิเคราะห์ปัญหาของแข็งในสามมิติใดๆที่รับภาระความดัน อุณหภูมิ และแรงเหวี่ยงรอบตัว เมื่อนำมาวิเคราะห์กับปัญหาใบพัดกังหันไอน้ำ จะช่วยให้การทำนายอายุของใบพัดกังหันไอน้ำมีความแม่นยำมากยิ่งขึ้น หรือช่วยในการตัดสินใจปรับเปลี่ยนสภาวะการทำงาน (Operating condition) ให้เหมาะสมมากขึ้น เพื่อป้องกันความเสียหายและทำให้มีอายุการใช้งานนานยิ่งขึ้น