บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความนำ

วัตถุประสงค์ในการออกแบบโครงสร้างของผู้ออกแบบคือ ต้องการที่จะออกแบบให้ประหยัดและสามารถใช้งานได้โดยไม่เกิดปัญหา วิธีออกแบบจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเรื่อย ๆ เช่น การออกแบบโดยวิธีอีลาสติก-พลาสติก การออกแบบโดยทฤษฎีกำลังประลัย ซึ่งทำให้สามารถลดขนาดของวัสดุก่อสร้างลงแต่สามารถพิสูจน์ได้ว่ามีความปลอดภัยเหมือนเดิม การลดขนาดของวัสดุลงจะมีผลทำให้สติฟเนส (Stiffness) ของโครงสร้างลดลงและจะเกิดการโก่งตัวมากขึ้น บางครั้งอาจจะทำให้การวิเคราะห์แบบเชิงเส้น (Linear Analysis) เกิดการผิดพลาดจากพฤติกรรมของโครงสร้างจริงมากเกินกว่าที่จะยอมรับได้โดยเฉพาะโครงสร้างพิเศษ เช่น เสาไฟฟ้าแรงสูง หรือโครงสร้างที่มีความชะลูดมาก ดังนั้นการตรวจสอบจึงเป็นสิ่งสำคัญ

พฤติกรรมไม่เชิงเส้น (Nonlinear Behavior) ของโครงสร้างที่เกิดขึ้นมีอยู่ 2 ชนิดด้วยกัน ชนิดแรกคือพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางวัสดุ (Material Nonlinearity) และชนิดที่สองคือพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometrical Nonlinearity) ซึ่งรายงานการศึกษาฉบับนี้จะศึกษาทั้งสองกรณี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางวัสดุ (Material Nonlinearity) คือการเปลี่ยนแปลงทางคุณสมบัติของวัสดุ (ค่าอัตราส่วนของความเค้นต่อความเครียดไม่คงที่) ส่วนพฤติกรรมไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต (Geometrical Nonlinearity) คือการที่โครงสร้างรับน้ำหนักบรรทุกจนกระทั่งถึงพิกัดความเสถียร (Stability Limit) ซึ่งจะทำให้เกิดการเคลื่อนที่มาก ถึงแม้ว่าโครงสร้างจะอยู่ในช่วงอีลาสติกก็ตาม

การออกแบบอีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 กับอันดับที่ 2 เป็นการออกแบบที่น่าสนใจ เพราะเป็นการออกแบบที่ทำให้ประหยัดมาก การออกแบบอีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 1 คือการ

ออกแบบที่คำนึงถึงผลของความไม่เชิงเส้นทางวัสดุแต่ไม่คำนึงถึงผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต หรือการออกแบบที่ยอมให้วัสดุรับแรงเกิดจุดคลากได้ โดยจะมีการสมมติว่าจุดที่รับแรงเกินจุดคลากนั้นเกิดเป็นจุดหมุนพลาสติก เมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกหลายจุดจนกระทั่งโครงสร้างไม่เสถียรภาพก็จะถือว่าโครงสร้างนั้นเกิดการวิบัติ น้ำหนักที่กระทำตอนนั้นจะเป็นน้ำหนักบรรทุกสูงสุด (รายละเอียดกล่าวไว้ในบทที่ 2) ข้อเสียของการวิเคราะห์วิธีนี้คือให้ค่าการเคลื่อนที่มากเกินไป มักจะทำให้โครงสร้างเกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะ (Buckling) ก่อน จึงได้มีการพัฒนาวิธีการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่ 2 ขึ้นมา

การวิเคราะห์อีลาสติกพลาสติกอันดับที่ 2 คือการวิเคราะห์ที่คำนึงถึงผลทั้งความไม่เชิงเส้นทางวัสดุและความไม่เชิงเรขาคณิต สามารถหาน้ำหนักบรรทุกประลัยได้เหมือนการวิเคราะห์อันดับที่ 1 แต่มีข้อดีตรงที่ว่า ถ้าเกิดการโก่งเดาะ (Buckling) ก่อนการวิบัติจะไม่มีการวิเคราะห์หาจุดหมุนถัดไป คำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่คำนึงถึงผลของการโก่งเดาะ (Buckling) ของโครงสร้างด้วย ฉะนั้นงานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะศึกษาวิธีการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สอง รวมถึงการพัฒนาตัวอย่างโปรแกรมขึ้นมาเพื่อใช้ศึกษาพฤติกรรมทางด้านการเคลื่อนที่ของโครงสร้าง และโปรแกรมดังกล่าวสามารถนำไปวิเคราะห์โครงสร้างแผ่นบางของสามมิติได้ด้วย

1.2 ภูมิหลังงานวิจัย

ในปี ค.ศ.1968 Connor เสนอวิธีวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งสามมิติ สมมติฐานในการวิเคราะห์ คือชิ้นส่วนเกิดการเคลื่อนที่น้อย (small deflection) แต่โครงสร้างเกิดการเคลื่อนที่มาก (Large Deflection) เพื่อที่จะใช้สมมติฐานของ (Beam Column) หลักในการหาสติฟเนส สติฟเนสจะหาได้โดยใช้ทฤษฎีพลังงานภายนอกที่กระทำเท่ากับพลังงานความเครียดภายในที่เปลี่ยนไป แล้วแก้สมการโดยใช้วิธีแคลคูลัส (Integrate By Part) จะได้สมการความสัมพันธ์ระหว่างแรงกับฟังก์ชันการเคลื่อนที่ ต่อจากนั้นแทนฟังก์ชันการเคลื่อนที่ด้วยฟังก์ชันเสถียรภาพ ฟังก์ชันที่ใช้คือฟังก์ชันมุมหมุนระยะโก่งซึ่งคิดผลกระทบเนื่องจากแรงในแนวแกนแล้ว สมการที่ได้ในตอนนี้จะเป็นสติฟเนสเส้นสัมผัส (Tangent Stiffness) ของชิ้นส่วน เมื่อนำสติฟเนสเส้นสัมผัส (Tangent Stiffness) มาวิเคราะห์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน ผลการวิเคราะห์เมื่อเปรียบเทียบกับการทดลองจริง จะให้ค่าน้ำหนักบรรทุกสูงสุดต่ำกว่าผลที่ได้จากการทดลอง โดย

จะแสดงอยู่ในรูปกราฟ ในงานวิจัยนี้ไม่ได้คำนึงถึงผลของสติฟเนสที่เปลี่ยนแปลงเนื่องจากแรงบิดและความยาวใหม่ที่เกิดขึ้นหลังการเคลื่อนที่

ในปี ค.ศ. 1968 Jenning เสนอวิธีการวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งระนาบ โดยใช้วิธีการหาสติฟเนสเมตริกซ์จากการสมมติระยะโก่งของชิ้นส่วนให้อยู่ในรูปฟังก์ชันโพลิโนเมียล ซึ่งรูปแบบของฟังก์ชันที่ได้จะอยู่ในรูปฟังก์ชันการเคลื่อนที่ สำหรับการเคลื่อนที่ของโครงข้อแข็งระนาบจะมีการเคลื่อนที่ของจุดข้อต่อในระนาบและการหมุนของจุดข้อต่อ Jenning ได้หาความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างมุมหมุนของชิ้นส่วนที่ยังไม่ได้เคลื่อนที่กับชิ้นส่วนที่เคลื่อนที่ไปแล้ว และนำสมการที่ได้มาหาอนุพันธ์จะได้เมตริกซ์แปลงแกนของพิกัดลากรานจ์กับพิกัดออยเลอร์ ซึ่งเมตริกซ์ที่ได้จะนำมาใช้ในการแปลงสติฟเนสของชิ้นส่วนให้เป็นสติฟเนสเส้นสัมผัส (Tangent Stiffness) เพื่อจะใช้ในการวิเคราะห์โดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน คำตอบที่ได้คือ น้ำหนักบรรทุกวิกฤติ (Critical Load) และค่าของการเคลื่อนที่ ณ แรงกระทำต่าง ๆ ซึ่งได้พิจารณาผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตเอาไว้ด้วย จากผลการวิเคราะห์ Jenning ได้สรุปว่าถ้ามีการแบ่งชิ้นส่วนของโครงสร้างให้เหมาะสม จะทำให้ได้คำตอบน้ำหนักบรรทุกวิกฤติที่ใกล้เคียงกับการวิเคราะห์โดยวิธีของออยเลอร์ ในงานวิจัยนี้มีการเสนอแนะให้มีการพิจารณาถึงผลของความไม่เชิงเส้นทางวัสดุเพิ่มเติม

ในปี ค.ศ. 1973 Oran เสนอวิธีการหาสติฟเนสเส้นสัมผัสของโครงข้อแข็งระนาบและโครงข้อแข็งสามมิติ ซึ่งการวิเคราะห์หาค่าสติฟเนสเส้นสัมผัสนี้ได้พัฒนามาจากวิธีของ Connor โดยมีการพิจารณาเพิ่มเติมถึงผลของการหดตัวในแนวแกนเนื่องจากการหมุนและการเคลื่อนที่ของจุดข้อต่อ สำหรับวิธีวิเคราะห์หาค่าสติฟเนสเส้นสัมผัสจะใช้ฟังก์ชันเสถียรภาพมาหาค่าสติฟเนสที่คำนึงถึงผลของการหดตัวในแนวแกนเนื่องจากแรงในแนวแกนและผลของการหดตัวเนื่องจากโมเมนต์ แต่สติฟเนสที่ได้นี้ยังเป็นสติฟเนสที่อยู่ในพิกัดออยเลอร์จึงต้องมีการแปลงแกนให้อยู่ในพิกัดโครงสร้าง ซึ่ง Oran ได้เสนอเมตริกซ์การแปลงจากพิกัดออยเลอร์ไปสู่พิกัดโครงสร้าง

เมตริกซ์การแปลงจากพิกัดออยเลอร์ไปสู่พิกัดโครงสร้าง สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างในระนาบจะได้คำตอบที่ถูก แต่ในการวิเคราะห์โครงสร้างสามมิติจะได้เพียงค่าโดยประมาณ เพราะตำแหน่งแกนที่เคลื่อนไปสามารถเขียนในเทอมของฟังก์ชันการเคลื่อนที่ได้หลายเทอม ผลของงานวิจัยจะได้สติฟเนสเส้นสัมผัสของโครงข้อแข็งระนาบและสามมิติ ซึ่งสติฟเนสดังกล่าวยังไม่ได้คำนึงถึงผลของแรงบิดต่อการเปลี่ยนแปลงของสติฟเนส

ในปี ค.ศ. 1986 Yang เสนอวิธีหาค่าสติฟเนสของการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นของชิ้นส่วนประเภทแผ่นบาง เช่น เหล็กรูปพรรณต่าง ๆ โดยใช้ทฤษฎีพลังงาน (สมการที่ใช้เป็นสมการพื้นฐานธรรมดาของกลศาสตร์) ส่วนการแปลงแกนในระบบพิกัดออยเลอร์ พิกัดลากรานจ์และพิกัดโครงสร้างจะใช้วิธีประยุกต์พิกัดลากรานจ์ (Updated Green-Lagrange Coordinates) นำทฤษฎีพลังงานและวิธีประยุกต์พิกัดลากรานจ์ มาหาสมการพื้นฐาน (Governing Equation) แล้วแก้สมการโดยใช้ไฟไนต์เอเลเมนต์ ผลที่ได้จะเป็นสติฟเนสสองส่วน ส่วนแรกเป็นสติฟเนสเชิงเส้น อีกส่วนหนึ่งเป็นสติฟเนสอันเนื่องมาจากผลของความไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต สติฟเนสดังกล่าวสามารถพิจารณาถึงผลจากความไม่สม่ำเสมอของแรงบิด (Nonuniform Torsion) ได้ ผลสรุปที่สำคัญของงานวิจัยนี้คือ การแสดงถึงความสามารถในการเปลี่ยนของโมเมนต์การหมุนที่จุดต่อไปสู่โมเมนต์บิดได้ ในงานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่ค่อนข้างเข้าใจยาก และผลที่ได้จากการวิเคราะห์ยังคงเป็นค่าโดยประมาณเหมือนกับงานวิจัยอื่น ๆ เพราะมีการตัดพจน์ที่ซับซ้อนออกไปเพื่อช่วยให้หาคำตอบได้ง่ายขึ้น

ในปี ค.ศ. 1991 Kassimali เสนอวิธีวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นของโครงข้อแข็งสามมิติโดยอาศัยสติฟเนสและฟังก์ชัน รวมถึงวิธีต่าง ๆ ที่ใช้ในการหาสติฟเนสของ Oran โดยเพิ่มเติมผลกระทบของแรงบิดต่อการยืดหดในแนวแกน ทำให้สติฟเนสที่ได้มีผลของความไม่เชิงเส้นเนื่องจากแรงบิดด้วย หลังจากนั้นใช้วิธีของนิวตัน-ราฟสันในการวิเคราะห์ ซึ่ง Kassimali ได้แสดงตัวอย่างในการวิเคราะห์เอาไว้ 4 ตัวอย่าง ผลการวิเคราะห์ที่ได้มีความใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น ๆ เมตริกซ์การแปลงแกนยังคงเป็นเมตริกซ์การแปลงแกนโดยประมาณเช่นเดิม

ในปี พ.ศ.2531 สมชาย ตั้งจิตเพิ่มความดี วิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของโครงข้อแข็งระนาบโดยใช้วิธีการของ Jenning ซึ่งเขาได้สร้างสติฟเนสในพิกัดออยเลอร์ โดยสมมติการโก่งตัวของคานในรูปพหุนามกำลังสามและแปลงสติฟเนสในพิกัดออยเลอร์ให้อยู่ในพิกัดลากรานจ์ มีการนำไปประยุกต์ใช้กับคานโค้ง เป็นการวิเคราะห์เพิ่มเติมจากผลงานวิจัยของ Jenning แล้วนำผลที่ได้มาเขียนโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ สำหรับค่าความผิดพลาดในการวิเคราะห์หาน้ำหนักบรรทุกวิกฤติของงานวิจัยนี้ (Critical Load) มีค่าความผิดพลาดประมาณ 3% เมื่อเปรียบเทียบกับการวิเคราะห์โดยวิธีของออยเลอร์ และในงานวิจัยนี้ไม่สามารถหาพฤติกรรมในช่วงที่เกิดการสูญเสียเสถียรภาพได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ในปี พ.ศ.2535 สัญญา เพชรเนียม ได้เสนอหลักการวิเคราะห์ผลการตอบสนองของโครงสร้างแบบอิลาสติก-พลาสติกของโครงข้อแข็งระนาบ โดยพิจารณาถึงผลของ P-Δ รวมกับการวิเคราะห์โครงสร้างอันดับแรก ซึ่งเป็นการพิจารณาถึงผลกระทบของแรงในแนวแกนของชิ้นส่วนที่มีผลต่อกำลังพลาสติกโมเมนต์และเสถียรภาพในระนาบ สติฟเนสที่ใช้เป็นสติฟเนสในทฤษฎีมุมหมุนระยะโก่งทั่วไป ผลของการวิเคราะห์ให้ค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยอื่น ๆ แต่เนื่องจากสติฟเนสที่ได้ยังคงเป็นการประมาณจึงจะต้องมีการศึกษาต่อเพื่อความถูกต้องยิ่งขึ้น

ในปี ค.ศ. 1967 Bruinette K.E. เสนอวิธีวิเคราะห์โครงสร้างอีลาสติก-พลาสติกของโครงสร้างสามมิติ ผลงานวิจัยที่สำคัญคือ ได้เสนอการหาค่าโมเมนต์พลาสติกของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าที่มีการสมมาตรทั้งสองแกน และเสนอแนะวิธีการหาค่าโมเมนต์พลาสติกของรูป WF โดยหลักการรวมผล (Principle of Superposition) ของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลายรูป หลักการในการหาโมเมนต์พลาสติกของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าโดยใช้วิธีการสมมติค่าเส้นแกนสะเทินให้อยู่ในรูปฟังก์ชัน แล้วนำมาวิเคราะห์หาค่าความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์กับแรงในแนวแกน แล้วนำสมการที่ได้ไปใช้ในการวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยในโครงเหล็กข้อแข็ง

ในปี ค.ศ. 1990 Ram Chandra ได้เสนอการวิเคราะห์โครงสร้างไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตและไม่เชิงเส้นทางวัสดุ โดยอาศัยการหาสติฟเนสไม่เชิงเส้นของ Oran แต่ได้แก้ไขเมตริกซ์การแปลงแกนจากพิกัดออยเลอร์เป็นพิกัดลากรานจ์ ผลที่ได้ยังคงเป็นเมตริกซ์แปลงโดยประมาณ สำหรับวิธีการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นจะใช้วิธีเพิ่มทีละขั้น (Direct Increment Method) และการหาค่าโมเมนต์พลาสติกของเหล็กรูปพรรณ WF ได้ใช้หลักการรวมผล (Principle of Superposition) ของรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าหลายรูปตามข้อเสนอแนะของ Bruinette จากนั้นนำผลมาวิเคราะห์หาค่าความปลอดภัยในโครงข้อแข็ง ผลลัพธ์ที่ได้ยังไม่มีการเปรียบเทียบกับงานวิจัยที่ผ่านมา ส่วนเมตริกซ์การแปลงแกนจากพิกัดออยเลอร์ไปสู่พิกัดลากรานจ์ที่งานวิจัยนี้ได้เสนอนั้น นำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นแบบอื่น ๆ ได้ยาก เนื่องจากได้สมมติให้แกนทั้งสามที่หมุนไปไม่ตั้งฉากซึ่งกันและกัน (Orthogonal)

ในปี พ.ศ.2538 วินัย แก้วกุลชล เสนอการวิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองของโครงเหล็กข้อแข็งระนาบ ในงานวิจัยนี้มีการวิจัยเพิ่มจากงานวิจัยของ Goto and Chen ที่วิเคราะห์อีลาสติกอันดับที่สองทำให้วิเคราะห์อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองได้ ทฤษฎีในการวิเคราะห์ของ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

งานวิจัยนี้คือการหาค่าสติฟเนสของชิ้นส่วนจะใช้อนุกรมกำลังของ Goto and Chen ที่ประยุกต์มาจากฟังก์ชันเสถียรภาพ เมื่อได้สติฟเนสแล้วจึงนำมาแปลงให้อยู่ในพิกัดโครงสร้าง จากนั้นแก้สมการที่ไม่เชิงเส้นโดยวิธีนิวตัน-ราฟสัน และตรวจสอบการลู่เข้าโดยค่ายูคลิเดียนนอร์ม สำหรับผลการวิเคราะห์มีความแตกต่างจากงานวิจัยที่ผ่านมา 5 % ตัวอย่างโปรแกรมที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นมาสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างในระนาบด้วยวิธีอีลาสติกอันดับที่หนึ่ง อีลาสติกอันดับที่สอง อีลาสติก-พลาสติกอันดับที่หนึ่ง และอีลาสติก-พลาสติกอันดับที่สองได้

1.3 งานที่ทำในงานวิจัยนี้

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาโดยนำเอาหลักการสร้างสติฟเนสไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิตของ Jenning มาใช้ประยุกต์จากสองมิติให้เป็นสามมิติ และได้ดัดแปลงเมตริกซ์การแปลงสติฟเนสจากพิกัดที่เคลื่อนที่แล้วมาสู่พิกัดก่อนเคลื่อนที่ โดยการสมมติการหมุนของแกนและทำการหาเมตริกซ์ [B] (ดูในสมการที่ 12 เมตริกซ์ [B]) เพิ่มเติมจากของ Ram Chandra ทำให้สามารถหาสติฟเนสเส้นสัมผัส (Tangent Stiffness) ตามวิธีของนิวตัน-ราฟสัน เพื่อประโยชน์ในการติดตามการเคลื่อนที่ของโครงสร้างได้ดีขึ้น นอกจากนั้นงานวิจัยนี้ยังได้แสดงวิธีการหาจุดหมุนพลาสติกในชิ้นส่วน WF ตามข้อเสนอแนะของ Bruinette ที่ได้วิเคราะห์การหาค่าจุดหมุนพลาสติกในรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า

1.4 วัตถุประสงค์

1.4.1 ศึกษาวิธีวิเคราะห์ไม่เชิงเส้นทั้งในทางเรขาคณิต และไม่เชิงเส้นในทางวัสดุสำหรับโครงข้อแข็งสามมิติ

1.4.2 พัฒนาตัวอย่างโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เพื่อการวิเคราะห์ดังกล่าว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.5 ข้อสมมติฐานที่ใช้

1.5.1 ชิ้นส่วนที่ประกอบเป็นโครงสร้างก่อนการเปลี่ยนรูปต้องมีลักษณะเป็นท่อนตรง มีพื้นที่หน้าตัดคงที่ และมีโมเมนต์อินเนอร์เชียเท่ากันตลอดความยาวของชิ้นส่วน

1.5.2 วัสดุที่ใช้ประกอบขึ้นเป็นแต่ละชิ้นส่วน ต้องเป็นวัสดุชนิดเดียวกันและมีคุณสมบัติเหมือนกันตลอดความยาวของชิ้นส่วน

1.5.3 วัสดุที่ใช้ต้องมีพฤติกรรมแบบอีลาสติก-พลาสติก โดยสมบูรณ์ (Elastic-Perfectly Plastic)

1.5.4 แรงกระทำหรือน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้าง จะกระทำเฉพาะที่จุดต่อของชิ้นส่วนเท่านั้น

1.5.5 การเปลี่ยนรูปเนื่องจากแรงเฉือนมีค่าน้อยมาก ไม่จำเป็นต้องพิจารณา

1.5.6 การยืดหดในแนวแกนเนื่องจากแรงบิดมีค่าน้อยมาก ไม่จำเป็นต้องพิจารณา

1.5.7 การกระจายของหน่วยแรงในแนวแกน (Normal Stress) เนื่องจากโมเมนต์ แรงในแนวแกน และแรงบิด ในกรณีที่เกิดจุดหมุนพลาสติกมีการกระจายเหมือนการกระจายของ pure moment, pure axial force, pure torsion แต่มีขนาดลดลง

1.6 ขั้นตอนและวิธีการศึกษา

ขั้นตอนการทำวิจัยแบ่งเป็นหัวข้อใหญ่ ๆ ได้ 6 หัวข้อหลัก

1.6.1 ศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์หาค่าสติฟเนสของชิ้นส่วนไม่เชิงเส้นทางเรขาคณิต

1.6.2 ศึกษาทฤษฎีการวิเคราะห์หาค่าสติฟเนสของชิ้นส่วนไม่เชิงเส้นทางวัสดุ

1.6.3 ศึกษาการหาสมการการเกิดจุดหมุนพลาสติกของเหล็กรูปพรรณ WF โดยจะคำนึงถึงผลของแรงในแนวแกน และผลของแรงบิดต่อโมเมนต์พลาสติก

1.6.4 ศึกษาการวิเคราะห์ในเชิงตัวเลข (Numerical Method) สำหรับการวิเคราะห์หาค่าการเคลื่อนที่ของการวิเคราะห์แบบไม่เชิงเส้น

1.6.5 พัฒนาโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์

1.6.6 เปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ของงานวิจัยฉบับนี้กับผลงานวิจัยที่ผ่านมา

1.7 ขอบข่ายการศึกษา

1.7.1 ในงานวิจัยนี้จะศึกษาถึงพฤติกรรมการเคลื่อนที่และน้ำหนักบรรทุกประลัยของโครงข้อแข็งสามมิติ โดยจะพิจารณาถึงคุณสมบัติไม่เชิงเส้นแล้วนำไปเขียนตัวอย่างโปรแกรมไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งสามารถนำไปใช้วิเคราะห์หาคำตอบในทางตัวเลขได้

1.7.2 ศึกษาการเปรียบเทียบความถูกต้องของคำตอบ โดยจะเปรียบเทียบกับผลการศึกษาของผู้อื่นเท่าที่มีอยู่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย