หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บททั่วไปและความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาการออกแบบโครงสร้างสะพานมากขึ้น เพื่อให้ได้มาซึ่งระบบโครงสร้างที่เหมาะสมตามสภาพการใช้งาน ภูมิประเทศและมีประสิทธิภาพหรือขีดความสามารถในการใช้งานที่ดี อีกทั้งยังต้องมีความสวยงามเป็นพื้นฐาน ในระบบโครงสร้างสะพานแบบต่างๆ มีระบบโครงสร้างสะพานแบบหนึ่งซึ่งเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายคือแบบบ๊อกซเกอร์เดอร์ คุณสมบัติที่สำคัญอันเป็นสาเหตุที่นักออกแบบเลือกใช้ระบบโครงสร้างสะพานแบบนี้ (1) ก็คือ

ก. คุณสมบัติหน้าตัดของระบบโครงสร้างแบบบ๊อกซเกอร์เดอร์มีประสิทธิภาพดีกว่าระบบโครงสร้างชนิดอื่นในการรับการโก่งดัดและการบิดของหน้าตัด อีกทั้งจากรูปแบบหน้าตัดของโครงสร้างทำให้ลดน้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ไม่จำเป็นได้อีกมากอันเป็นการประหยัดค่าใช้จ่าย

ข. ด้วยลักษณะรูปแบบของระบบโครงสร้างสะพานแบบบ๊อกซเกอร์เดอร์ทำให้แลดูสวยงามและยังสามารถใช้ช่องว่างภายในหน้าตัดเป็นประโยชน์ในการติดตั้งสาธารณสมบัติต่างๆ อาทิเช่น การเดินท่อประปา ท่อไฟฟ้า และท่อแก๊สเป็นต้น

ในการวิเคราะห์หาพฤติกรรมของระบบโครงสร้างสะพานแบบบ๊อกซเกอร์เดอร์ภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำ มีวิธีการวิเคราะห์3 วิธี (2) กล่าวคือ

1.1.1 ทฤษฎีคาน (Beam Theory) แยกออกได้เป็น

ก. วิธีคานสมมูลย์ (Equivalent Beam Method)

ข. วิธีคานวางบนพื้นรองรับอีลาสติค (Beam-On-Elastic-Foundation Method)

ค. วิธีกริดสมมูลย์ (Equivalent Grid Method)

1.1.2 การวิเคราะห์แบบการรวมค่าสติฟเนสที่สอดคล้องกันโดยตรง (Direct Stiffness Harmonic Analysis) แยกออกได้เป็น

ก. วิธีแผ่นพับ (Folded Plate Method)

ข. วิธีไฟไนท์สทริป (Finite Strip Method)

1.1.3 วิธีไฟไนท์เอเลเมนท์ (The Finite Element Method)

การวิเคราะห์ระบบโครงสร้างสะพานแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์ในแต่ละวิธีดังกล่าวนี้ต่างก็มีข้อดีและขีดจำกัดแตกต่างกัน (2) ปัจจุบันการพัฒนาหน้าตัดโครงสร้างสะพานแบบบ๊อกซ์-เกอร์เดอร์ให้มีความเหมาะสมกับการใช้งานเป็นเหตุให้หน้าตัดแต่ละแห่งของโครงสร้างมีคุณ-สมบัติไม่เหมือนกันและในบางครั้งแนวของจุดรองรับตัวสะพานก็อาจต้องเฉียงเป็นมุมองศาต่างๆ กับตัวสะพาน การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีคานหรือการวิเคราะห์แบบการรวมค่าสติฟเนสที่สอด-คล้องกันโดยตรงจึงให้ผลลัพธ์ไม่ดีพอ ส่วนวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์เป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ได้จากการแทนโครงสร้างจริงด้วยโครงสร้างสมมติแล้วแบ่งโครงสร้างสมมติออกเป็นชิ้นส่วนย่อยจำ-นวนหนึ่งซึ่งมีการจำลองฟังก์ชั่นแทนการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนย่อยที่จุดขั้ว (Node) แล้วนำคุณสมบัติทางด้านสติฟเนสของชิ้นส่วนย่อยที่สอดคล้องกันมารวมเข้าด้วยกัน จะได้ค่าสติฟเนสรวมของโครงสร้างต่อจากนั้นก็นำค่าน้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อโครงสร้างกับค่าสติฟเนสรวมของโครงสร้างพร้อมทั้งเงื่อนไขขอบเขตของโครงสร้างนั้นมาแก้สมการหาค่าการเคลื่อนที่ที่จุดขั้วของชิ้นส่วนย่อยโดยอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์จึงสามารถนำไปวิเคราะห์โครงสร้างประเภทใดก็ได้ ผลลัพธ์ที่ได้จะมีค่าใกล้กับโครงสร้างจริงมากน้อยเพียงใดย่อมขึ้นอยู่กับรูปลักษณะ จำนวนและฟังก์ชั่นแทนการเคลื่อนที่ของชิ้นส่วนย่อยนั้น รวมถึงขีดความสามารถของคอมพิวเตอร์ที่ใช้

นักวิจัยที่ผ่านมาต่างก็พยายามหาฟังก์ชั่นแทนการเคลื่อนที่ที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างแต่ละประเภทประกอบกับวิวัฒนาการทางด้านคอมพิวเตอร์เจริญขึ้นมากทำให้สามารถใช้วิธีไฟไนท์เอเลเมนท์วิเคราะห์โครงสร้างขนาดใหญ่ที่สลับซับซ้อนได้ละเอียดขึ้น ดังนั้นในการวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาพฤติกรรมของโครงสร้างสะพานแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์ปลายเฉียงด้วยวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์

1.2 บททบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์สร้างขึ้นครั้งแรกในทวีปยุโรป (3) ในระยะแรกสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์จะมีความยาวช่วงเดียวและจะมีปลายทั้งสองข้างยื่นเลยออกไปจากจุดรองรับทำให้ค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นในตัวสะพาน ณ ตำแหน่งต่าง ๆ มีค่าไม่ต่างกันมากนักอันเป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

ในสหรัฐอเมริกาเริ่มมีสะพานคอนกรีตเสริมเหล็กแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์เป็นครั้งแรกเมื่อพ.ศ. 2480 (3) หลังจากนั้นก็ได้มีการพัฒนารูปแบบ ลักษณะหน้าตัดของสะพานให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานเป็นผลให้การวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีพื้นฐาน เช่น ทฤษฎีคาน ให้ผลการวิเคราะห์ไม่ละเอียดพอ จึงจำเป็นต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ขั้นสูงขึ้นไปอีก เช่น การวิเคราะห์แบบการรวมค่าสติฟเนสที่สอดคล้องกันโดยตรง วิธีไฟไนท์เอเลเมนท์

การวิเคราะห์สะพานแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์โดยวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์ในตอนแรกใช้ชิ้นส่วนย่อยพื้นฐานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าอันเป็นกรณีเฉพาะของ Q23 ซึ่งมีฟังก์ชั่นแทนการเคลื่อนที่ในแนวระนาบและนอกระนาบรวมกัน ต่อมา Lim et al(4) และ Sisodiya et al (5) ได้วิเคราะห์โดยใช้ชิ้นส่วนย่อยพื้นฐาน Q33

ในปี พ.ศ. 2516 ได้มีบทความของ William G. Godden และ Mohammad Aslam เรื่องการศึกษาแบบจำลองสะพานแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์ปลายเฉียงชนิดหลายเซล (Model Studies of Skew Multicell Girder Bridges) (6) บทความนี้ได้กล่าวถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาด้วยวิธีการทดลองสะพานจำลองแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์ปลายเฉียงภายใต้น้ำหนักบรรทุกสถิต (Static Load) โดยมีจุดมุ่งหมาย 2 ประการคือ

ก. ปรับปรุงข้อมูลการทดลองให้เพียงพอที่จะศึกษาแนวทางพฤติกรรมของสะพานแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์ปลายเฉียงในช่วงอีลาสติค

ข. ปรับปรุงข้อมูลการทดลองให้ละเอียดเพียงพอที่จะตรวจสอบเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ที่เสนอมาสำหรับโครงสร้างประเภทนี้

บทความของ William G. Godden และ Mohammad Aslam นี้ ได้เสนอแนวความคิดว่า ในการออกแบบสะพานแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์ปลายเฉียงอาจใช้วิธีการวิเคราะห์อย่างง่าย ๆ เช่น ทฤษฎีคาน ในการที่จะประมาณค่าแรงลัพธ์ต่าง ๆ ในโครงสร้าง กล่าวคือ

ก. โมเมนต์ดัดตามยาวที่หน้าตัดกึ่งกลางช่วงความยาวตัวสะพานสามารถหาได้โดยอาศัยช่วงความยาวประสิทธิผล (Effective Span) พร้อมทั้งได้ค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงตามยาวของแผ่นพื้นที่หน้าตัดกึ่งกลางช่วงความยาวตัวสะพาน

ข. การกระจายของหน่วยแรงตามยาวจะมีรูปแบบลักษณะการกระจายที่แน่นอนและขึ้นอยู่กับฟังก์ชั่นของช่วงความยาว (Span) และมุมเฉียง (Skew Angle)

ค. การกระจายของโมเมนต์ดัดตามขวางเป็นฟังก์ชั่นที่ไม่ขึ้นอยู่กับช่วงความยาว (Span) หรือมุมเฉียง (Skew Angle)

ในปีเดียวกัน C. Philip Johnson, T.Thepchatri และ Kenneth M. Will (7) ได้ทำการวิจัยโดยนำเอาวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์มาใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างสะพานโดยการจำลองโครงสร้างสะพานเป็นแบบโครงสร้างเปลือกบาง (Shell-Type Structure) และในการวิเคราะห์จะแทนโครงสร้างเปลือกบางนี้ด้วยชิ้นส่วนย่อยแผ่นบาง (Flat Plate Element) จำนวนหนึ่งมาต่อกันเข้าเป็นรูปของโครงสร้างเปลือกบางนั้น สำหรับคุณสมบัติของชิ้นส่วนย่อยแผ่นบางนี้ใช้เป็นประเภทที่ขั้ว (Node) แต่ละขั้วมี 5 ดีกรีความอิสระ (Degree of Freedom)

ต่อมาในปี พ.ศ. 2518 K.R. Moffatt และ P.T.K. Lim (8) ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์สะพานแบบบ๊อกซ์เกอร์เดอร์โดยใช้ Higher Order Finite Elements Q43 ประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยพื้นฐานเป็นรูปสี่เหลี่ยมใด ๆ และมี 4 ขั้ว แต่ละขั้วจะมี 7 ดีกรีความอิสระ (Degree of Freedom) คือ

u, v, $\frac{\partial v}{\partial x}$ และ $\frac{\partial u}{\partial x}$ เป็นดีกรีความอิสระในระนาบ (Extensional Degree of Freedom)

θ_x, θ_y และ θ_z เป็นดีกรีความอิสระนอกระนาบ (Flexural Degree of Freedom)

ในปี พ.ศ. 2520 Zeinkiewicz (9) ได้เสนอบทความเกี่ยวกับการวิเคราะห์โครงสร้างเปลือกบางด้วยวิธีไฟไนท์เอเลเมนท์อันประกอบด้วยชิ้นส่วนย่อยแผ่นบางที่มี 5 ดีกรีความอิสระในแต่ละจุดขั้ว แล้วเพิ่มค่าดีกรีความอิสระตัวที่ 6 เข้าไปเพื่อขจัดปัญหาในการแก้สมการ 0 = 0 ของเครื่องคอมพิวเตอร์ ปรากฏว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ มีค่าเป็นที่น่าพอใจ

1.3 <u>วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย</u>

งานวิจัยนี้จะประกอบด้วยการนำคอมพิวเตอร์โปรแกรม SHELL (7) มาแก้ไขและเพิ่มเติมให้แต่ละขั้วของชิ้นส่วนย่อยพื้นฐานมี 6 ดีกรีความอิสระ ต่อจากนั้นจะได้นำคอมพิวเตอร์โปรแกรมนี้มาวิเคราะห์หาพฤติกรรมของสะพานแบบบ็อกซ์เกอร์เดอร์ปลายเฉียงภายใต้การรับน้ำหนักบรรทุกคงที่และน้ำหนักบรรทุกจรพร้อมทั้งหาค่ามุมวิกฤตหรือมุมที่เหมาะสม หลังจากนั้นจึงทำการทดลองสะพานจำลองแบบบ็อกซ์เกอร์เดอร์ที่มีปลายเฉียงเท่ากับมุมวิกฤตหรือมุมที่เหมาะสมนั้น แล้วทำการเปรียบเทียบพฤติกรรมที่ได้จากการทดลองและการวิเคราะห์ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสะพานชนิดนี้ต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย