กราฟการออกแบบคานเหล็กโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก สำหรับหน้าตัดเหล็กในประเทศไทย

Design-Chart for Steel Beam with Load & Resistance Factor Method for Steel Sections in Thailand

ทักษกร พรบุญญานนท์[1,*] ภัทรพงศ์ พรหมเพ็ญ[2] และ ธีรนาฏ เวียงอินทร์[3]

[1,2,3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรมและการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จ.นครศรีธรรมราช
**Corresponding author; E-mail address: Thaksakorn.p@rmutsv.ac.th*

บทคัดย่อ

การออกแบบคานเหล็กโดยทั่วไปแล้วจะมีขั้นตอนในการออกแบบหลายขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบประเภทของหน้าตัด การคำนวณกำลังรับแรงดัดระบุของหน้าตัด ซึ่งขึ้นอยู่กับ การคราก การโก่งเดาะทางด้านข้างเนื่องจากแรงบิด รวมไปถึงการโก่งเฉพาะที่ของหน้าตัด โดยจะมีสูตรการคำนวณตามชนิดของหน้าตัด เพื่อที่จะช่วยลดขั้นตอน ระยะเวลา และความผิดพลาดจากการคำนวณที่อาจเกิดขึ้น งานวิจัยนี้จึงนำเสนอกราฟการออกแบบคานเหล็กโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD) ตามมาตรฐานการออกแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย สำหรับหน้าตัดเหล็กรูปตัว W, C และ HSS ที่นิยมใช้และมีขายในประเทศไทยตามมาตรฐาน มอก. โดยในงานวิจัยนี้จะพัฒนากราฟสำหรับหน้าตัดเหล็กชนิดอัดแน่นเท่านั้น ผลจากการวิจัยจะได้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวค้ำยันและค่าโมเมนต์ดัดออกแบบของหน้าตัด

คำสำคัญ: กราฟการออกแบบคานเหล็ก, การออกแบบโดยวิธีตัวคูณต้านทานและน้ำหนักบรรทุก, การออกแบบคานเหล็กอย่างง่าย

Abstract

Steel beam design generally has many stages: checking the type of cross-section, determine the nominal flexural strength of cross-sections which depends on yielding, lateral-torsional buckling, as well as local buckling of cross-sections. There are many formulas based on cross-section type. To solve the problems that concern on a long determination process, waste the time, and error of calculation. This article presents the design charts of steel beams according to the load and resistance factor design (LRFD) based on the design standards of the Engineering Authority of Thailand. For the most popular W, C, and HSS steel cross-sections available in Thailand according to TIS standards. This article will only develop graphs for compact sections. The results of this study were to obtain the design-charts of the relationship between the unbraced length and the design flexural strength.

Keywords: Design-Chart for Steel Beam Design, Load and Resistance Factor Design, Simple Steel Beam Design

1. บทนำ

โดยทั่วไปการออกแบบโครงสร้างเหล็ก ไม่ว่าจะเป็นองค์อาคารรับแรงดัดหรือองค์อาคารรับแรงประเภทอื่นๆ ในแต่ละประเทศก็จะมีมาตรฐานการออกแบบที่แตกต่างกันไปตามข้อกำหนดภายในประเทศนั้นๆ แต่โดยส่วนมากก็จะอ้างอิงตามมาตรฐาน Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360) [1] ซึ่งเป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมาตรฐานตัวนี้ก็จะมีสมการคำนวณและพารามิเตอร์ต่างๆมากมาย ซึ่งทำให้การคำนวณโดยไม่มีโปรแกรมช่วยจะใช้ระยะเวลาในการคำนวณค่อนข้างนาน ดังนั้นจึงได้มีงานวิจัยที่พัฒนาการออกแบบโครงสร้างเหล็กให้มีความง่ายในขั้นตอนการออกแบบมากขึ้น โดยแปลงสมการคำนวณต่างๆ ให้เป็นตารางหรือกราฟ [2,3] แต่ทั้งนี้ก็ยังเป็นการอ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบและขนาดของเหล็กรูปพรรณที่มีขายภายในประเทศนั้นๆ ไม่ได้อิงตามมาตรฐานและขนาดเหล็กที่มีขายในประเทศไทย ทำให้ไม่สามารถใช้อ้างอิงในประเทศไทยได้

ในส่วนของประเทศไทยนั้นจะมีมาตรฐานการออกแบบที่สามารถใช้อ้างอิงได้ คือ คู่มือการออกแบบอาคารเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ ของกรมโยธาธิการและผังเมือง [4] และมาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก ของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย [5] ซึ่งทั้งสองมาตรฐานนี้ จะมีการตรวจสอบกำลังและความแข็งแรงขององค์อาคารหลายขั้นตอน ไม่ว่าจะเป็นกำลังรับแรงดัดระบุของหน้าตัด ความยาวที่ไม่มีการค้ำยันทางด้านข้างของคาน พฤติกรรมการโก่งตัวของคานทั้งในแนวแกนหลักและแกนรอง รวมไปถึงกำลังรับแรงเฉือนระบุและระยะโก่งที่ยอมให้ โดยการคำนวณและตรวจสอบความแข็งแรงของคาน จะต้องคำนวณตามสมการที่กำหนดโดยมาตรฐานการออกแบบ และทั้งสองมาตรฐานการออกแบบก็จะมีสมการที่หลากหลายตามประเภทของหน้าตัดเหล็กและความยาวของคาน มีตัวแปรหรือค่าพารามิเตอร์ต่างๆ หลายตัว เหมือนข้อกำหนดในมาตรฐานการออกแบบอื่นๆ

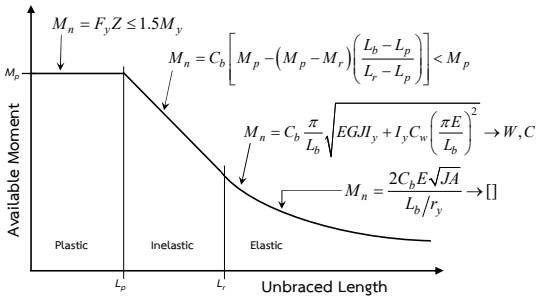
เพื่อที่จะลดระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบคานเนื่องจากการคำนวณและตรวจสอบตามข้อกำหนดในมาตรฐานการออกแบบ และเพื่อเป็นการพัฒนานวัตกรรมทางการศึกษา โดยการสร้างแนวทางใหม่ๆ สำหรับการออกแบบองค์อาคารโครงสร้างเหล็ก งานวิจัยนี้จะทำการสร้างกราฟสำหรับการออกแบบคานเหล็กโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกอ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย เพื่อให้ได้กราฟกำลังรับแรงดัดออกแบบสำหรับหน้าตัดเหล็กรูปพรรณรีดร้อนที่นิยมใช้และมีจำหน่ายภายในประเทศไทย

2. การออกแบบคานเหล็กโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (LRFD)

ในการออกแบบอาคารหรือโครงสร้างเหล็กจะมีวิธีออกแบบและคำนวณอยู่สองวิธี คือ การออกแบบด้วยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Strength Design, ASD) และการออกแบบด้วยวิธีตัวคูณน้ำหนักบรรทุกและความต้านทาน (Load and Resistance Factor Design, LRFD) ซึ่งทั้งสองวิธีนี้จะมีความแตกต่างกันในส่วนของการคำนวนผลเนื่องจากแรงกระทำต่อองค์อาคารและตัวคูณปรับแก้กำลังขององค์อาคาร นอกจากนี้ก็ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่อาจจะส่งผลต่อการออกแบบอาคารหรือโครงสร้างเหล็กอีก ไม่ว่าเป็นในส่วนของชั้นคุณภาพของเหล็กที่ใช้ ซึ่งจะเป็นตัวกำหนดกำลังของเหล็ก คุณสมบัติต่างๆ ของหน้าตัดเหล็กที่เลือกใช้ รวมไปถึงการออกแบบองค์อาคารให้มีขนาดหน้าตัดที่เล็กเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง แต่ยังคงไว้ซึ่งความแข็งแรงและปลอดภัยตามมาตรฐานการออกแบบ

มาตรฐานการออกแบบคานเหล็กโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยนั้น จะอ้างอิงมาจากมาตรฐาน Specification for Structural Steel Buildings (AISC 360) ของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยในการออกแบบคานเหล็กตามมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยมีปัจจัยหลักที่ต้องพิจารณาสำหรับหน้าตัดเหล็กที่จะใช้อยู่ 3 ปัจจัย คือ ชั้นคุณภาพของเหล็ก ประเภทของหน้าตัดเหล็ก และระยะความยาวที่ไม่มีการค้ำยันทางด้านข้าง ซึ่งปัจจัยเหล่านี้จะส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงดัดของหน้าตัดเหล็กนั้นๆ สำหรับหน้าตัดเหล็กที่มีขายในประเทศไทย ก็จะมีมาตรฐานที่ใช้ควบคุมคุณสมบัติของหน้าตัดเหล็กบังคับใช้อยู่ด้วย [6,7] และโดยส่วนมากหน้าตัดเหล็กรูปพรรณที่ผลิตขายในประเทศไทยก็จะเป็นหน้าตัดประเภทอัดแน่น (Compact Section) ซึ่งสามารถตรวจสอบได้จากสมการที่ระบุไว้ในมาตรฐานการออกแบบ [5] ดังนั้นกราฟที่เสนอในงานวิจัยนี้จะเป็นกราฟสำหรับหน้าตัดเหล็กที่นิยมใช้ประเภทอัดแน่นเท่านั้น

ในส่วนของสมการกำลังรับแรงดัดระบุของหน้าตัด สามารถสรุปตามความยาวขององค์อาคารได้ดังรูปที่ 1 ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบ [5] โดยจะเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะความยาวที่ไม่มีการค้ำยันทางด้านข้างขององค์อาคารและค่ากำลังรับแรงดัดระบุของหน้าตัด



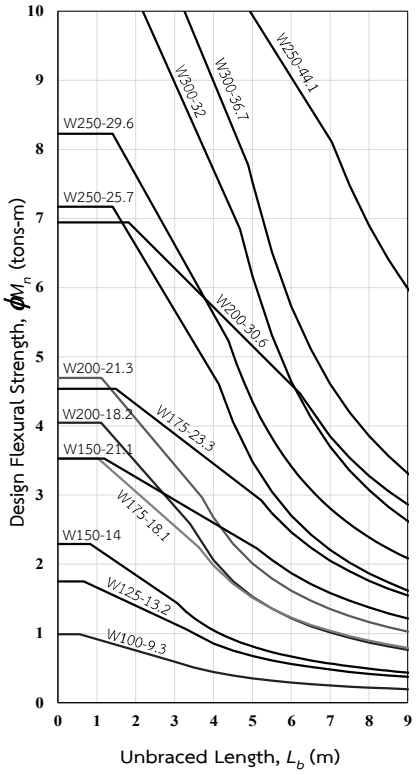
รูปที่ 1 กำลังรับแรงดัดขององค์อาคาร

โดย M_n คือ กำลังรับแรงดัดระบุของหน้าตัด, M_p คือ โมเมนต์ดัดพลาสติก, M_y คือ โมเมนต์ที่ทำให้เกิดการคราก, L_b คือ ระยะที่ไม่มีการค้ำยันทางด้านข้างขององค์อาคาร, L_p และ L_r คือ ขีดจำกัดของระยะที่ไม่มีการค้ำยันทางด้านข้าง จากกราฟจะเห็นได้ว่าคานที่มีความยาวไม่มากนั้นสามารถรับแรงดัดได้จนถึงค่าโมเมนต์ดัดพลาสติกก่อนที่จะมีการวิบัติในหน้าตัดเกิดขึ้น แต่เมื่อความยาวของคานเพิ่มขึ้นจนถึงช่วงหนึ่ง คานจะมีพฤติกรรมการวิบัติอีกรูปแบบเพิ่มขึ้น นั่นคือการโก่งเดาะทางด้านข้างและการบิด (Lateral-Torsional Buckling, LTB) เนื่องจากคานมีความชะลูดมากขึ้น ดังนั้นทำให้สมการคำนวณค่ากำลังรับแรงดัดของคานในแต่ละช่วงจึงมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ตามมาตรฐานการออกแบบโดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย สำหรับหน้าตัดเหล็กรูปพรรณประเภทไวด์แฟรงค์ (Wide Flange) และเหล็กตัวซี (Channel) จะคำนวณกำลังรับแรงดัดระบุจากสมการเดียวกัน แต่ในช่วงพฤติกรรมแบบ Elastic ค่ากำลังรับแรงดัดระบุของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณเหล็กกล่องแบน (Rectangular Tube) จะมีสมการคำนวณที่แตกต่างจากหน้าตัดประเภทไวด์แฟรงค์ (Wide Flange) และเหล็กตัวซี

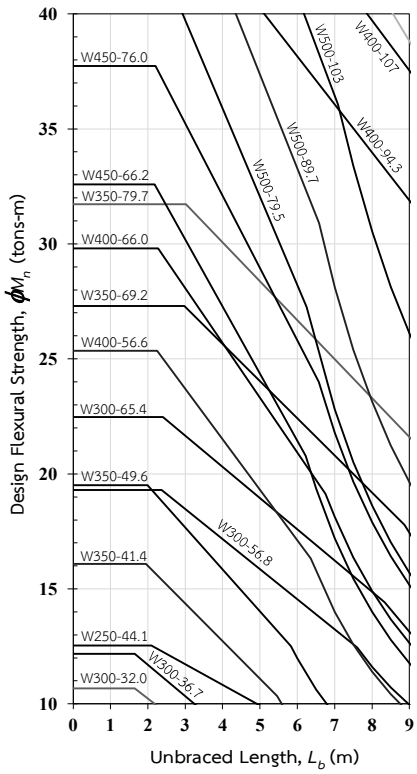
โดยค่ากำลังรับแรงดัดระบุที่ได้จากกราฟนั้นเมื่อนำมาคูณกับตัวคูณความต้านทานสำหรับแรงดัด (ϕ) จะได้ค่ากำลังรับแรงดัดออกแบบ ซึ่งจะต้องมากกว่าค่ากำลังแรงดัดในองค์อาคารเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก จึงจะสามารถใช้หน้าตัดขนาดนั้นๆ ได้

3. กราฟสำหรับออกแบบคานเหล็ก

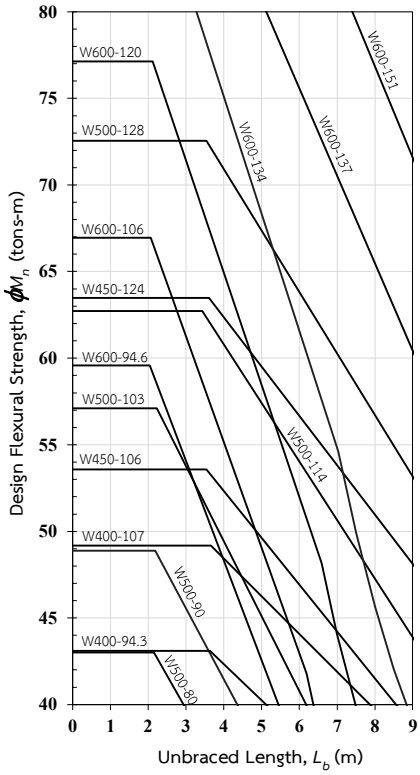
โดยทั่วไปแล้วเหล็กรูปพรรณรีดร้อนที่นิยมใช้ในการออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดหรือคานและมีขายในประเทศไทยจะนิยมใช้หน้าตัดเหล็กประเภทไวด์แฟรงค์ (Wide Flange) เหล็กกล่องแบน (Rectangular Tube) และเหล็กตัวซี (Channel) โดยกราฟสำหรับการออกแบบคานเหล็กรูปพรรณหน้าตัดต่างๆแสดงดังรูปที่ 2-10 โดยชั้นคุณภาพของเหล็กที่ใช้คือ SM400 ซึ่งจะมีค่าหน่วยแรงครากต่ำสุดเท่ากับ 245 MPa และในงานวิจัยนี้จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการดัดขึ้นอยู่กับรูปแบบของโมเมนต์ดัดเท่ากับ 1 (C_b = 1) สำหรับในการออกแบบคานกรณีที่ค่า C_b ไม่เท่ากับ 1 ก็ยังสามารถใช้กราฟนี้ได้ โดยปรับแก้ค่ากำลังรับแรงดัดออกแบบด้วยค่า C_b ตามกรณีนั้นๆ



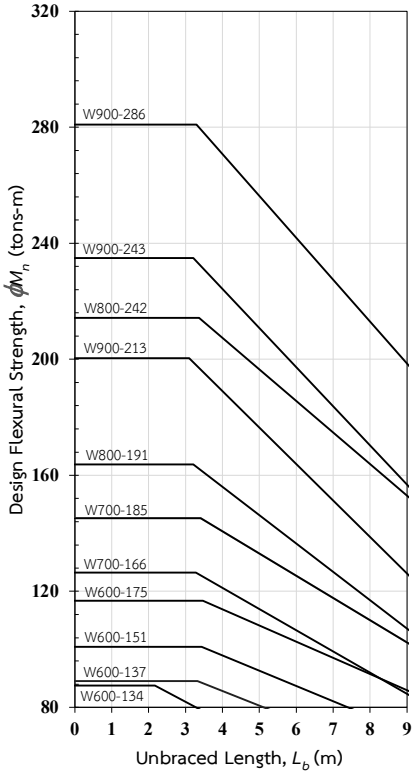
รูปที่ 2 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Wide Flange



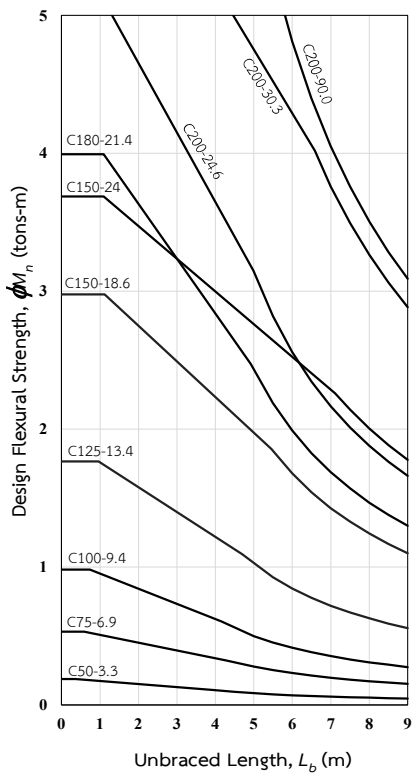
รูปที่ 3 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Wide Flange



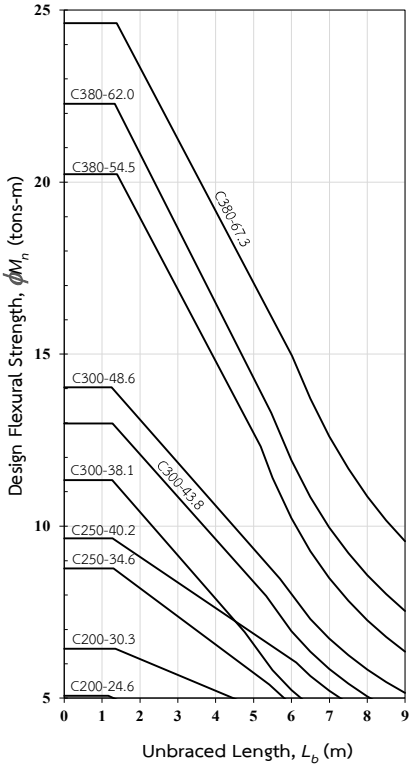
รูปที่ 4 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Wide Flange



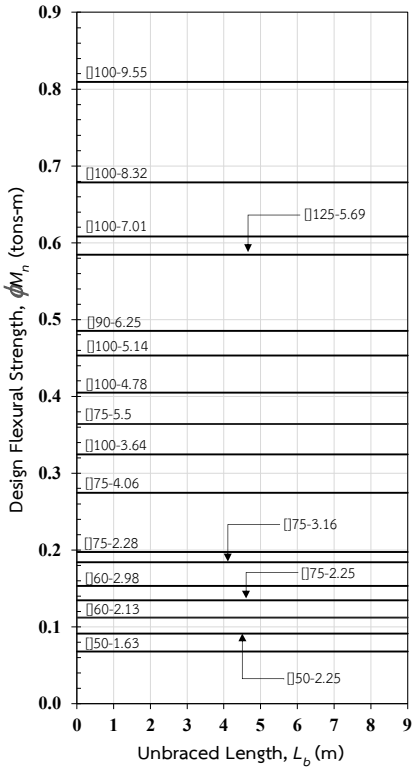
รูปที่ 5 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Wide Flange



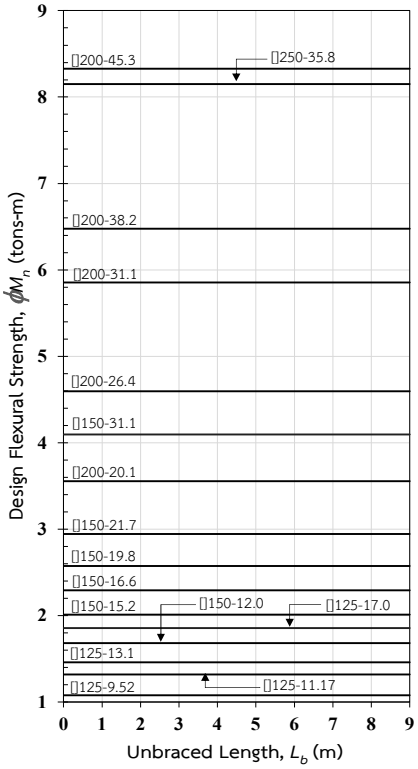
รูปที่ 6 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Channel



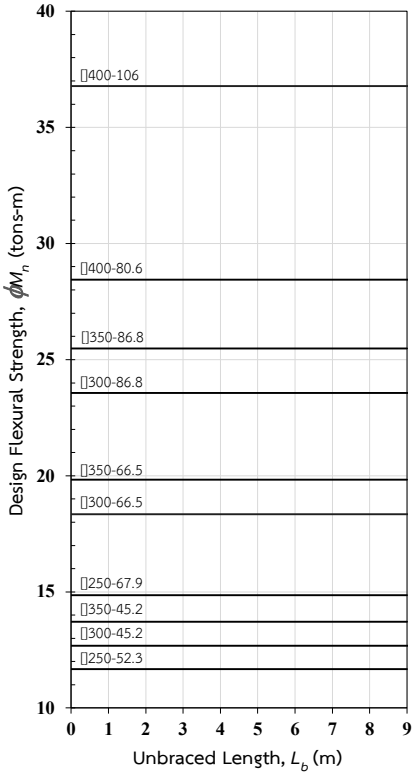
รูปที่ 7 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Channel



รูปที่ 8 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Rectangular Tube



รูปที่ 9 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Rectangular Tube



รูปที่ 10 กราฟกำลังรับแรงดัดเหล็กรูปพรรณหน้าตัด Rectangular Tube

กราฟกำลังรับแรงดัดของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณแต่ละขนาดจะมีชื่อกำกับอยู่เหนือเส้นกราฟ โดยจะเรียงตามลำดับคือ ประเภทของหน้าตัด (W = Wide Flange, C = Lipped Channel, [] = Rectangular Tube) ขนาดของหน้าตัด และน้ำหนักต่อความยาว 1 เมตร ตัวอย่างเช่น W200-21.3 นั่นหมายถึง หน้าตัดเหล็กรูปพรรณประเภทไวด์แฟรงค์ ขนาด 200 mm. มีน้ำหนักต่อความยาว 21.3 kg/m เมื่อนำค่าไปเปิดตารางเหล็กรูปพรรณจะได้ค่าดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของหน้าตัดเหล็ก

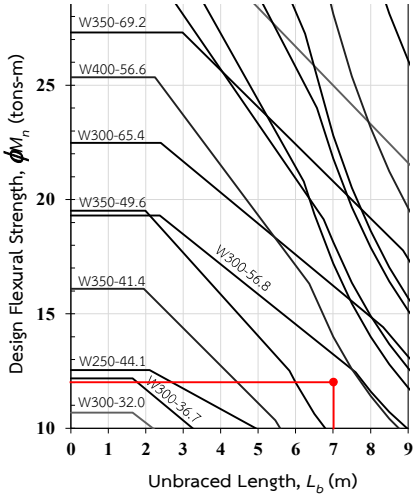
Section Index		200 x 100	Area (cm^2)		27.16
Weight (kg/m)		21.3	Moment of Inertia (cm^4)	I_x	1,840
Section Dimension (mm)	d	200		I_y	134
	b	100	Radius of Gyration (cm)	r_x	8.24
	t_w	5.5		r_y	2.22
	t_f	8	Modulus of Section (cm^3)	S_x	184
	r	11		S_y	26.8

จากรูปที่ 2-7 จะเห็นได้ว่าหน้าตัดเหล็กรูปพรรณประเภท ไวด์แฟรงค์ และหน้าตัดตัวซี จะมีลักษณะเส้นกราฟที่ใกล้เคียงกับรูปที่ 1 อย่างชัดเจน แต่ในส่วนของหน้าตัดเหล็กรูปพรรณประเภทเหล็กกล่องแบน ในรูปที่ 8-10 จะมีลักษณะเกือบเป็นเส้นตรง ทั้งนี้เนื่องจากว่า หน้าตัดประเภทเหล็กกล่องแบน จะมีลักษณะเป็นหน้าตัดรูปแบบปิด (Closed Section) ทำให้ค่าคงที่การบิดสำหรับหน้าตัด J (Torsional Constant) จะมีค่าสูงมาก เมื่อเปรียบเทียบกับหน้าตัดประเภทอื่นที่มีขนาดใกล้เคียงกัน ตัวอย่างเช่น ค่าคงที่การบิดของ []200-20.1 (ขนาด 200x100) มีค่าประมาณ 1,100 cm^4 ส่วน W200-21.3 (ขนาด 200x100) มีค่าประมาณ 5 cm^4 ซึ่งค่าค่าคงที่การบิดสำหรับหน้าตัดจะเป็นค่าที่ลดผลของการเกิดการวิบัติแบบโก่งเดาะทางด้านข้างและการบิด (Lateral Torsional Buckling, LTB) หรือสามารถบอกได้ว่า ค่าคงที่การบิดสำหรับหน้าตัดที่สูงขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังดัดระบุของหน้าตัดมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นสำหรับหน้าตัดเหล็กกล่องแบนค่ากำลังรับแรงดัดออกแบบจะมีค่าลดลงในอัตราส่วนที่น้อยกว่าหน้าตัดประเภทอื่น ส่งผลให้ในกรณีที่องค์อาคารมีความยาวมากๆ การใช้หน้าตัดประเภทเหล็กกล่องแบนไม่จำเป็นจะต้องมีการค้ำยันทางด้านข้างมากนัก

4. การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดโดยใช้กราฟ

ในการใช้กราฟสำหรับออกแบบองค์อาคารรับแรงดัด จำเป็นที่จะต้องรู้ค่าแรงดัดสูงสุดที่องค์อาคารนั้นจะต้องรับ และค่าความยาวระยะค้ำยันทางด้านข้างขององค์อาคาร โดยนำค่าทั้ง 2 ไปหาตำแหน่งบนกราฟ ซึ่งถ้าตำแหน่งอยู่เหนือเส้นกราฟของหน้าตัด แสดงว่าไม่สามารถใช้หน้าตัดนั้นได้ เนื่องจากแรงดัดที่องค์อาคารต้องรับมีค่ามากกว่าแรงดัดออกแบบของหน้าตัด ดังนั้นในการเลือกขนาดหน้าตัดจะต้องเลือกหน้าตัดที่เส้นกราฟอยู่เหนือตำแหน่ง และควรจะเลือกหน้าตัดที่เส้นกราฟใกล้ตำแหน่งเพราะจะได้ขนาดหน้าตัดที่เล็กและประหยัด

ตัวอย่างเช่น คานยาว 7 m. รับโมเมนต์ดัดสูงสุด 12 tons-m. ในกรณีที่เลือกใช้หน้าตัดประเภทไวด์แฟรงค์ พิจารณาจากรูปที่ 11 โดยลากเส้นระหว่างโมเมนต์ดัดออกแบบและความยาวขององค์อาคารจะได้จุดตัดของเส้น จะเห็นได้ว่าตำแหน่งของจุดตัดหรือที่จุดต้องการจะอยู่ระหว่างเส้นกราฟ W350-49.6 และ W300-56.8 ซึ่งในกรณีนี้จะไม่สามารถใช้หน้าตัด W350-49.6 ได้ถึงแม้ว่าจะมีขนาดความลึกที่มากกว่า แต่ค่าแรงดัดออกแบบไม่เพียงพอต่อค่าแรงดัดที่องค์อาคารต้องรับ ดังนั้นควรเลือก W300-56.8 เพราะเส้นกราฟอยู่เหนือตำแหน่งหรือพูดได้ว่าค่าแรงดัดออกแบบของหน้าตัดมีค่ามากกว่าแรงดัดที่องค์อาคารจะต้องรับ นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของหน้าตัด W400-56.6 ก็จะใกล้เคียงกับตำแหน่ง แต่ถ้าเลือกหน้าตัดนี้ก็จะเป็นการสิ้นเปลืองมากกว่า



รูปที่ 11 การออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดโดยใช้กราฟ

5. สรุปผลและการนำไปใช้

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาและนำเสนอกราฟการสำหรับออกแบบองค์อาคารรับแรงดัดเพื่อใช้ในการออกแบบคานเหล็กที่สามารถใช้งานได้ง่าย อ้างอิงตามมาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุกของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย โดยเสนอกราฟออกแบบสำหรับเหล็กรูปพรรณหน้าตัดประเภท เหล็กไวด์แฟรงค์ เหล็กตัวซี และเหล็กกล่องแบน ชั้นคุณภาพ SM400 โดยเส้นกราฟแต่ละเส้นจะแสดงค่ากำลังรับแรงดัดออกแบบสำหรับหน้าตัด โดยในพื้นฐานการออกแบบและเลือกหน้าตัดเหล็ก เส้นกราฟกำลังรับแรงดัดออกแบบนั้นจะต้องอยู่เหนือค่ากำลังรับแรงดัดที่องค์อาคารนั้นต้องรับ ทั้งนี้เส้นกราฟของหน้าตัดเหล็กที่อยู่ทางขวาจะหมายถึงระยะค้ำยันทางด้านข้างที่ยาวมากขึ้นด้วย ดังนั้นในการออกแบบหรือเลือกขนาดหน้าตัดเหล็ก เส้นกราฟที่อยู่ด้านบนและอยู่ทางด้านขวาของจุดที่ต้องการ จะเป็นหน้าตัดเหล็กที่สามารถใช้ได้อย่างปลอดภัย และยิ่งเส้นกราฟอยู่ใกล้จุดที่ต้องการมากก็จะยิ่งประหยัดมากขึ้น ซึ่งจากการทดลองนำไปใช้สามารถช่วยลดระยะเวลาในการออกแบบชิ้นส่วนองค์อาคารได้อย่างมาก เนื่องจากลดระยะเวลาในการคำนวนและตรวจสอบในแต่ละขั้นตอนตามสมการที่ระบุไว้ในมาตรฐานการออกแบบ

เอกสารอ้างอิง

[1] American Institute of Steel Construction (2016). *ANSI/AISC 360-16 Specification for Structural Steel Buildings*. An American National Standard, pp.44-69.

[2] Dewobroto, W., Hidayat, L. and Yeltsin. (2015). A Chart-based Method for Steel Beam Designs Using the Indonesian Section. *Procedia Engineering*, 125, pp. 857-864.

[3] Tesfaldet, H. G. (2018). The Development of Chart Based Method for Steel Beam Designs Using the Russian Sections. *Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings*, 14(6), pp. 495-501.

[4] กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย (2558). *คู่มือการออกแบบอาคารเหล็ก โครงสร้างรูปพรรณ*. สำนักงานควบคุมและตรวจสอบอาคาร กรมโยธาธิการและผังเมือง, หน้า 26-50.

[5] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2556). *มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็กรูปพรรณ โดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก*. โกบอล กราฟฟิค จำกัด, หน้า 45-50.

[6] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2558). *มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม เหล็กโครงสร้างรูปพรรณรีดร้อน มอก. 1227-2558*. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพ.

[7] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2561). *มาตราฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ท่อเหล็กกล้าคาร์บอนสำหรับงานโครงสร้างทั่วไป มอก. 107-2561*. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพ.