การพัฒนาโปรแกรมภาษา Python สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็ก 3 มิติ
Development of Python Program for Analysis and Design of Steel Structures in 3-D

ธนาธรณ์ ธัญญเจริญ[1] ธนเสฏฐ์ นพัทราธรณ์[2] ศ.ดร.ธีรพงศ์ เสนจันทร์ฒิไชย[3] และ ผศ.ดร.วัฒนชัย สมิธากร[4]

[1,2,3,4] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

โครงงานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างด้วยภาษาไพทอน สำหรับการออกแบบโครงสร้างเหล็ก โดยออกแบบตามมาตรฐาน American Institute of Steel Construction ร่วมกับแนวคิดการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุเป็นแนวทางในการพัฒนา เพื่อความสะดวกในการเข้าใช้งานชุดคำสั่งของโปรแกรม ซึ่งทำให้การพัฒนาโปรแกรมนั้นเป็นไปด้วยความราบรื่น และด้วยความสามารถของภาษาไพทอนที่ถูกพัฒนาให้มีชุดคำสั่งในการใช้โปรแกรมที่ง่ายต่อการทำความเข้าใจ เนื่องจากมีโครงสร้างภาษาที่เรียบง่ายและกระชับ อีกทั้งยังมี Library สนับสนุนที่มีประสิทธิภาพสูงเป็นจำนวนมาก ทำให้มีความสามารถในการคำนวณงานทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ได้เป็นอย่างดี ด้วยคุณสมบัติที่กล่าวมาทั้งหมดนี้ ส่งผลให้สามารถพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพสูงมากยิ่งขึ้นได้ในอนาคต ทั้งนี้ ขอบเขตความสามารถของโปรแกรมในงานวิจัยฉบับนี้ คือ สามารถวิเคราะห์และออกแบบโครงข้อหมุน และโครงข้อแข็ง โดยใช้หน้าตัดเหล็กท่อกลม (Round HSS) ได้ โดยในบทความฉบับนี้ จะยกตัวอย่างการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างเหล็กสามมิติที่มีหน้าตัดเป็นเหล็กท่อกลม ด้วยโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นในโครงงานนี้

คำสำคัญ: ภาษาไพทอน, มาตรฐาน American Institute of Steel Construction, การออกแบบโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็ง, เหล็กท่อกลม

Abstract

This project provides an alternative for the analysis and design of steel structures with a computer program developed by Python language and conforming with the American Institute of Steel Construction specifications. The program's code, applying the concept of Objected Oriented Programing (OOP), is much easier to modify and maintain. Moreover, Python language provides many comprehensible commands, which makes it easy to use and very flexible. Python also has many high-efficient libraries that can be implemented with the program to improve the obtained results. Besides, Python supports scientific calculations and compatible with many platforms. Developing a structural analysis and design program with python language is thus a simple and efficient method that can be used as a prototype for those who are interested in further development. In this paper, the design examples of truss and frame structures with round HSS sections obtained from the developed program are presented.

Keywords: Python language, American Institute of Steel Construction Specification, Design of truss and frame structures, Round HSS

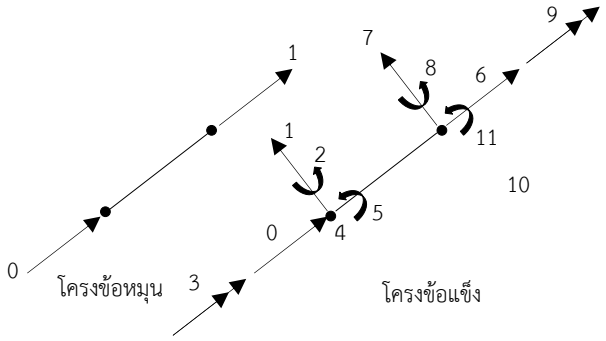
1. บทนำ

ความรู้ทางวิศวกรรมโยธานั้นถูกพัฒนามาเป็นเวลาอย่างยาวนานตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบัน เริ่มตั้งแต่ยุคสมัยที่การคำนวณทางด้านวิศวกรรมโยธายังมีข้อจำกัดอยู่ด้วยความสามารถของมนุษย์ ซึ่งได้ถูกพัฒนามาเรื่อย ๆ จนเป็นมาตรฐานที่หลากหลายให้เราได้เห็นกันในทุกวันนี้ เนื่องด้วยความซับซ้อนของการคำนวณที่มากขึ้น เมื่อวิทยาการความรู้ทางด้านคอมพิวเตอร์ได้ถือกำเนิดขึ้นมา ก็ได้มีการนำเทคโนโลยีเหล่านั้นมาช่วยในการทำงานทางด้านวิศวกรรมโยธา ซึ่งโปรแกรมต่าง ๆ เหล่านี้ก็ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาที่หลากหลาย ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการพัฒนางานวิจัยที่มีอยู่แล้ว ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างของโครงข้อหมุน และโครงข้อแข็งสามมิติ นำมาพัฒนาต่อยอดเพิ่มความสามารถในการพิจารณาออกแบบหน้าตัดเพิ่มเข้าไป และด้วยพื้นฐานของโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้นด้วยภาษาไพทอน[1-3]นั้น ทำให้สะดวกต่อการทำความเข้าใจตัวโปรแกรมที่มีอยู่ ซึ่งเป็นทางเลือกสำหรับบุคคลที่สนใจจะนำไปพัฒนาต่อเพื่อนำไปใช้ประกอบการเรียนการสอนหรือในการประยุกต์ใช้ในงานทางวิศวกรรมโยธา

2. งานวิจัยในอดีตและมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยในอดีต

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่พัฒนามาจากงานวิจัยที่มีอยู่แล้ว ซึ่งเป็นงานวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาโปรแกรมภาษาไพทอนเพื่อวิเคราะห์โครงข้อหมุน และโครงข้อแข็งใน 3 มิติ[4] ที่ใช้วิธีสติฟเนสโดยตรงในการวิเคราะห์โครงสร้าง ประกอบกับใช้แนวคิดการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ ซึ่งวิธีการสติฟเนสโดยตรงเป็นวิธีการที่เหมาะสมในการนำมาเป็นพื้นฐาน สำหรับการพัฒนาโปรแกรมด้วยภาษาคอมพิวเตอร์ เนื่องจากรูปแบบการวิเคราะห์ที่ถูกนำไปประยุกต์กับการคำนวณด้วยระบบเมตริกเป็นหลัก โดยแยกโครงสร้างออกเป็นส่วน ย่อย ๆ คือ จุดต่อ (nodes) และชิ้นส่วน (elements) โดยจำนวน Degree of freedom จะถูกกำหนดตามประเภทของจุดต่อดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็ง

การคำนวณโดยโปรแกรมได้ถูกแสดงไว้อย่างชัดเจนและเป็นระบบ อีกทั้งยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับวิธีการทางเมตริกซ์ต่าง ๆ เช่น Gauss elimination ได้เป็นอย่างดี รวมไปถึงการใช้แนวคิดการเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุเป็นพื้นฐานในการเขียนโปรแกรม โดยมองว่าระบบมีคลาส (Class) เป็นต้นแบบในการสร้างวัตถุขึ้นมา โดยวัตถุนั้นจะมีคุณสมบัติ (Attributes) และการทำงาน (Method) พื้นฐานตามคลาสนั้น ๆ ทำให้โปรแกรมเดิมนั้นถูกจัดเรียงไว้อย่างเป็นระบบ และสะดวกในการศึกษาเพื่อพัฒนาส่วนต่าง ๆ เข้าไปเพิ่มเติมด้วยหลักการเดียวกัน และผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ของโปรแกรมเดิมนั้นมีค่าสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้จากการวิเคราะห์ผ่านโปรแกรม SAP2000[5] ซึ่งเป็นโปรแกรมวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้างที่มีมาตรฐานและได้รับการยอมรับทั่วโลก ทำให้มั่นใจได้ว่าข้อมูลที่ถูกนำมาใช้เพื่อออกแบบหน้าตัดในงานวิจัยนี้นั้นมีความถูกต้องและน่าเชื่อถือ

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 การออกแบบโครงข้อหมุน

การออกแบบหน้าตัดของชิ้นส่วนรับแรงดึงนั้นจะใช้ตามข้อกำหนดในมาตรฐาน American Institute of Steel Construction (AISC)[6] ในส่วนของการรับแรงดึงจะใช้มาตรฐานใน Chapter D : Design of members for tension โดย Slenderness ratio ต้องมีค่าไม่เกิน 300 ในส่วนนี้จะทำให้ทราบค่า radius of gyration (r) ขั้นต่ำที่ต้องการ จากนั้นหาค่า Tensile strength (P_n) ที่น้อยที่สุดระหว่าง Tensile yielding กับ Tensile rupture ดังสมการต่อไปนี้

$$P_n = F_y A_g \quad (1)$$

$$P_n = F_u A_u \quad (2)$$

เมื่อ F_y คือ Specified minimum yield stress A_g คือ Gross area of member F_u คือ Specified minimum tensile strength และ A_u คือ Effective net area จากนั้นนำค่า Tensile strength (P_n) ที่ได้ไปคำนวณหาหน้าตัดที่เหมาะสม

ในส่วนของการออกแบบหน้าตัดของชิ้นส่วนรับแรงอัดจะใช้มาตรฐาน AISC Chapter E : Design of members for compression โดยค่า Effective slenderness ratio จะต้องมีไม่เกิน 200 ซึ่งค่านี้จะใช้ในการคำนวณค่า r ต่ำที่สุดที่ใช้ได้ต้องการ เพื่อนำไปใช้หาค่า Elastic buckling stress (F_e) จากสมการข้างล่าง

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(L_c/r)^2} \quad (3)$$

เมื่อ E คือ Modulus of elasticity of steel และ L_c คือ Effective length of member เพื่อหาค่า P_n จากสมการต่อไปนี้

$$P_n = F_{cr} A_g \quad (4)$$

เมื่อ A_g คือ Gross cross-sectional area of member โดยหาค่า Critical stress (F_{cr}) จากกรณีดังต่อไปนี้

กรณี $\frac{F_y}{F_e} \leq 2.25$

$$F_{cr} = (0.658^{F_y/F_e})F_y \quad (5)$$

กรณี $\frac{F_y}{F_e} > 2.25$

$$F_{cr} = 0.877F_e \quad (6)$$

2.2.2 การออกแบบโครงข้อแข็ง

การออกแบบหน้าตัดสำหรับโครงสร้างข้อแข็ง จะมีปัจจัยที่จะต้องพิจารณามากกว่าโครงข้อหมุน เนื่องจากจะต้องพิจารณาแรงหลาย ๆ ประเภททั้งแรงอัด, แรงดึง, แรงเฉือน, แรงดัด และแรงบิด ประกอบการคำนวณ โดยจะออกแบบตามมาตรฐาน AISC Chapter H : Design members for combined forces and torsion และค่า Torsional strength (T_c) หาได้จากการคูณค่าคงที่ของ torsion ตามวิธี ASD หรือ LRFD กับค่าของ T_n ที่ได้จากสมการนี้

$$T_n = F_{cr}C \quad (7)$$

เมื่อ C คือ HSS torsional constant และใช้ F_{cr} ที่มากกว่าระหว่างสมการดังต่อไปนี้

$$F_{cr} = \frac{1.23E}{(\sqrt{L/D})(D/t)^{5/4}} \quad (8)$$

และ

$$F_{cr} = \frac{0.60E}{(D/t)^{3/2}} \quad (9)$$

เมื่อ D คือ Outside diameter L คือ Length of member และ t คือ Wall thickness โดยค่า F_{cr} ที่นำไปใช้จะต้องไม่เกิน $0.6F_y$

การหาค่า Shear strength (V_c) ทำได้โดยการคูณค่าคงที่ของ shear ตามวิธี ASD หรือ LRFD กับค่าของ V_n ที่ได้จากสมการ

$$V_n = \frac{F_{cr}A_g}{2} \quad (10)$$

โดยใช้ F_{cr} ที่มากกว่าระหว่างสมการดังต่อไปนี้

$$F_{cr}=\frac{1.60E}{(\sqrt{L_v/D})(D/t)^{5/4}} \quad (11)$$

และ $$F_{cr}=\frac{0.78E}{(D/t)^{3/2}} \quad (12)$$

เมื่อ L_v คือ distance from maximum to zero shear force และค่าที่ใช้ได้จะต้องไม่เกิน $0.6F_y$

ลำดับถัดมาเป็นการหาค่า Flexural strength (M_c) จากการคูณค่าคงที่ของ flexural ตามวิธี ASD หรือ LRFD กับค่าของ M_n ที่ได้จากกรณีดังต่อไปนี้

กรณีเกิด Yielding

$$M_n=M_p=F_yZ \quad (13)$$

กรณีเกิด Local buckling แบบหน้าตัด noncompact

$$M_n=(\frac{0.021E}{D/t}+F_y)S \quad (14)$$

กรณีเกิด Local buckling สำหรับหน้าตัดที่มี slender wall

$$M_n=(\frac{0.33E}{D/t})S \quad (15)$$

เมื่อ D คือ Outside diameter of round HSS และ t คือ Wall thickness โดยใช้ค่า M_n ที่น้อยที่สุดที่คำนวณจากกรณี yielding และ local buckling

ในขั้นตอนต่อไปหาค่า Tensile or compressive strength (P_c) จากการคูณค่าคงที่ตามวิธี ASD หรือ LRFD กับค่าของ P_n ซึ่งจะต้องพิจารณาก่อนว่าชิ้นส่วนของโครงสร้างนั้น ๆ รับแรงประเภทใด แล้วจึงคำนวณหา P_n ด้วยสมการในหัวข้อ 2.2.1 เมื่อรวมกับข้อมูลที่ได้จากโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้าง จะสามารถนำค่าทั้งหมดมาพิจารณาร่วมกันเพื่อตรวจสอบความสามารถการรับแรงของหน้าตัดนั้น ด้วยสมการ

$$\left(\frac{P_r}{P_c}+\frac{M_r}{M_c}\right)+\left(\frac{V_r}{V_c}+\frac{T_r}{T_c}\right)^2 \le 1.0 \quad (16)$$

โดยสมการ (16) จะมีเงื่อนไขว่า T_r จะต้องมีค่ามากกว่า 20% ของ T_c ในกรณีที่ T_r มีค่าน้อยกว่า 20% ของ T_c ให้ตัดผลของแรงบิดออก และให้ใช้สมการดังต่อไปนี้

เมื่อ $\frac{P_r}{P_c} \ge 0.2$

$$\frac{P_r}{P_c}+\frac{8}{9}\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}}+\frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \le 1.0 \quad (17)$$

เมื่อ $\frac{P_r}{P_c} < 0.2$

$$\frac{P_r}{2P_c}+\left(\frac{M_{rx}}{M_{cx}}+\frac{M_{ry}}{M_{cy}}\right) \le 1.0 \quad (18)$$

ท้ายที่สุด ถ้าผลลัพธ์ที่ได้จากสมการถูกต้อง หรือผลรวมของแรงต่าง ๆ น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 แสดงว่า หน้าตัดที่นำมาตรวจสอบนั้นมีขนาดและคุณสมบัติที่เพียงพอในการรับแรงอัด, แรงดึง, แรงเฉือน, แรงบิด และแรงดัด

2.2.3 คุณสมบัติเหล็กท่อกลม

การออกแบบโครงสร้างหน้าตัดเหล็กในงานวิจัยชิ้นนี้นั้น ใช้หน้าตัดเหล็กท่อกลม (Round HSS) โดยหน้าตัดเหล็กท่อกลมแต่ละขนาดก็จะมีคุณสมบัติที่ต่างกันออกไป โดยมีตัวอย่างคุณสมบัติหลัก ๆ เช่น ขนาด, น้ำหนัก, พื้นที่หน้าตัด, โมดูลัสของหน้าตัด, โมดูลัสพลาสติก และรัศมีไจเรชัน ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของหน้าตัดเหล็กท่อกลม[7]

ขนาด	น้ำหนัก	Area	S	Z	r
	kg/m	cm^2	cm^3	cm^3	cm
15	0.972	1.24	0.56	0.71	0.70
65	7.13	9.09	15.6	19.8	2.56
80	8.39	10.69	21.8	27.7	3.01
100	12.2	15.52	41.0	52.1	3.89

2.2.4 ภาษาไพทอน

ภาษาไพทอนเป็นภาษาการเขียนโปรแกรมระดับสูง ที่ถูกพัฒนาโดยเอาข้อดีของภาษาที่มีอยู่มารวมกัน ถึงแม้จะเป็นภาษาการเขียนโปรแกรมระดับสูงแต่ตัวภาษาไพทอนถูกออกแบบมาให้เข้าใจได้ง่าย และมีไวยกรณ์ที่ช่วยให้เขียนโปรแกรมได้สั้นกว่าภาษาอื่น ๆ มีการจัดการหน่วยความจำอัตโนมัติ อีกทั้งยังมีระบบสนับสนุนการเขียนโปรแกรมอย่าง การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ, การเขียนโปรแกรมเชิงคำสั่ง, การเขียนโปรแกรมเชิงฟังก์ชั่น และการเขียนโปรแกรมเชิงกระบวนการ ภาษาไพทอนยังเป็นภาษาที่สามารถทำงานร่วมกับภาษาอื่นได้ พร้อมทั้ง Library ที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก พร้อมทั้งความสามารถในการทำงานได้ในทุกระบบปฏิบัติการของคอมพิวเตอร์ และที่สำคัญและทำให้เข้าถึงได้ทุกคน คือ เป็นภาษาที่มีโปรแกรมแบบ Open source ที่สามารถใช้ได้ฟรี เหมาะทั้งการทำโปรแกรมตั้งแต่ขั้นพื้นฐานไปยังการเขียนโปรแกรมระดับสูง และด้วยเหตุผลเหล่านี้เองภาษาไพทอนจึงเหมาะสมที่จะเป็นภาษาที่ถูกใช้ในการพัฒนางานวิจัยชิ้นนี้ต่อไป

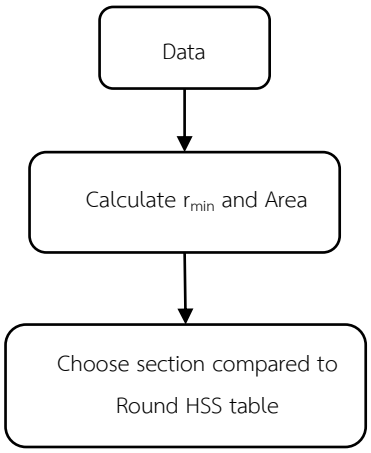
3. องค์ประกอบของโปรแกรม

งานวิจัยในอดีต[1]ใช้การเขียนคำสั่งในการทำงานของโปรแกรมด้วยการแบ่งออกเป็น Class ต่าง ๆ ซึ่งมีการทำงานที่แตกต่างกันออกไป และมีการเชื่อมโยงข้อมูลในแต่ละ Class เข้าด้วยกันอย่างเป็นระบบ ในส่วนของงานวิจัยชิ้นนี้ได้ต่อยอด โดยการเพิ่ม Class เข้าไปในตัวโปรแกรม และแก้ไข Class เดิมที่มีอยู่ให้ใช้งานได้สะดวกและหลากหลายมากขึ้น ซึ่งจะมีแต่ละ Object ที่เก็บคุณสมบัติต่าง ๆ ของโครงสร้างที่เราต้องการไว้ จากนั้นนำข้อมูลแต่ละส่วนดึงเข้าไปทำงานใน Class ต่าง ๆ เพื่อวิเคราะห์และออกแบบ ทั้งนี้โปรแกรมต้องอาศัยความเข้าใจและเงื่อนไขต่าง ๆ ให้ครบถ้วนก่อนการใช้โปรแกรม เนื่องจากบางข้อมูลผู้ใช้จำเป็นที่จะต้องใส่ข้อมูลเข้าไปเพิ่มเอง เช่น Load combination และค่าของ Load factor ที่ต้องการ, ตัวคูณเชียร์แลก (Shear lag factor, U) ที่มีค่าเริ่มต้นเป็น 1 และค่าสัมประสิทธิ์ความยาวประสิทธิผล (K) ที่มีค่าเริ่มต้นเป็น 1 เช่นกัน ซึ่งในขั้นตอนการออกแบบจะเริ่มวิเคราะห์จากหน้าต้นพื้นฐานก่อนในเบื้องต้น จากนั้นจะนำข้อมูลหน้าตัดที่ได้ไปออกแบบโดยคิดน้ำหนักขององค์อาคารร่วมด้วย เพื่อให้การวิเคราะห์มีความแม่นยำและมีข้อมูลที่ครบถ้วนสุดท้ายจะได้ผลลัพธ์เป็นหน้าตัดที่ผ่านเงื่อนไขทั้งหมด หรือถ้าหน้าตัดที่กำหนดไว้ ไม่ผ่านเงื่อนไขการออกแบบ ก็สามารถใช้ฟังก์ชันเพื่อเพิ่มหน้าตัดที่ขนาดใหญ่ขึ้นสำหรับออกแบบให้สามารถรองรับการใช้งานจริงได้ นอกจากนี้ ยังมีฟังก์ชันที่สามารถแบ่งกลุ่มชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบเป็นกลุ่มได้อีกด้วย โดยส่วนประกอบหลัก ๆ ที่มีความสำคัญในโปรแกรมมีดังนี้

3.1 การออกแบบโครงข้อหมุน

3.1.1 Class Tension

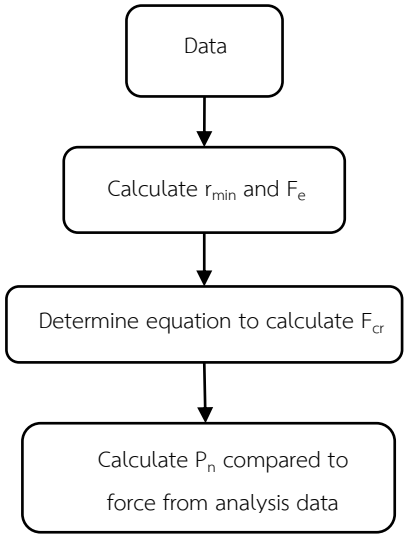
การทำงานของ Class Tension จะพิจารณาชิ้นส่วนของโครงสร้างที่มีแรงภายในมีค่ามากกว่าศูนย์ แล้วนำค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ไปคำนวณหาหน้าตัดที่เล็กที่สุดที่สามารถรับแรงดึงได้ โดยยึดตามมาตรฐานของ AISC Chapter D โดยสามารถเลือกทั้งวิธี ASD และ LRFD ได้ในขั้นตอนของการป้อนข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของ Class Tension

3.1.2 Class Compression

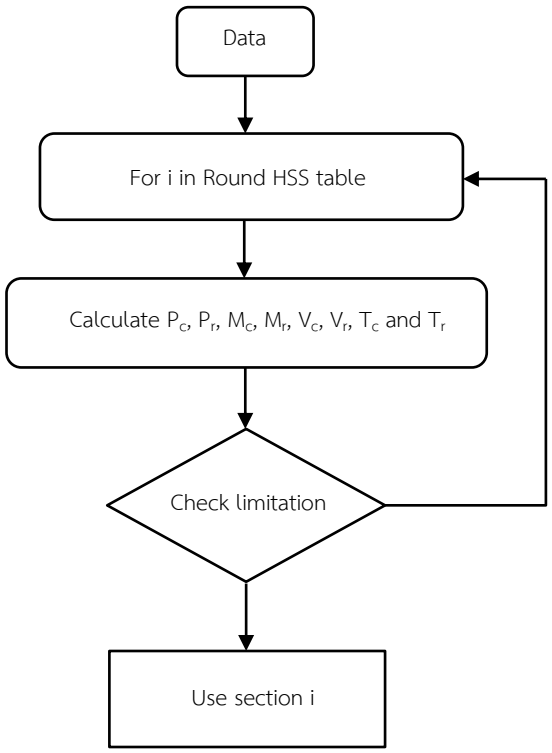
การทำงานในส่วนของ Class Compression จะพิจารณาชิ้นส่วนของโครงสร้างที่มีแรงภายในมีค่าน้อยกว่าศูนย์ จากนั้นนำค่าความยาวของชิ้นส่วนนั้น ๆ ไปคำนวณหารัศมีไจเรชันขั้นต่ำ ต่อด้วยการนำหน้าตัดที่เล็กที่สุดที่มีค่ารัศมีไจเรชันมากกว่าค่ารัศมีไจเรชันขั้นต่ำ ไปคำนวณหาค่าของ F_e (Elastic buckling stress) เพื่อนำไปหาค่า F_{cr} (Critical stress) และสุดท้ายจะได้ค่า P_n (Nominal compressive strength) นำไปเปรียบเทียบกับค่าแรงภายในที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้าง โดยยึดตามมาตรฐานของ AISC Chapter E



รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานของ Class Compression

3.2 การออกแบบโครงข้อแข็ง

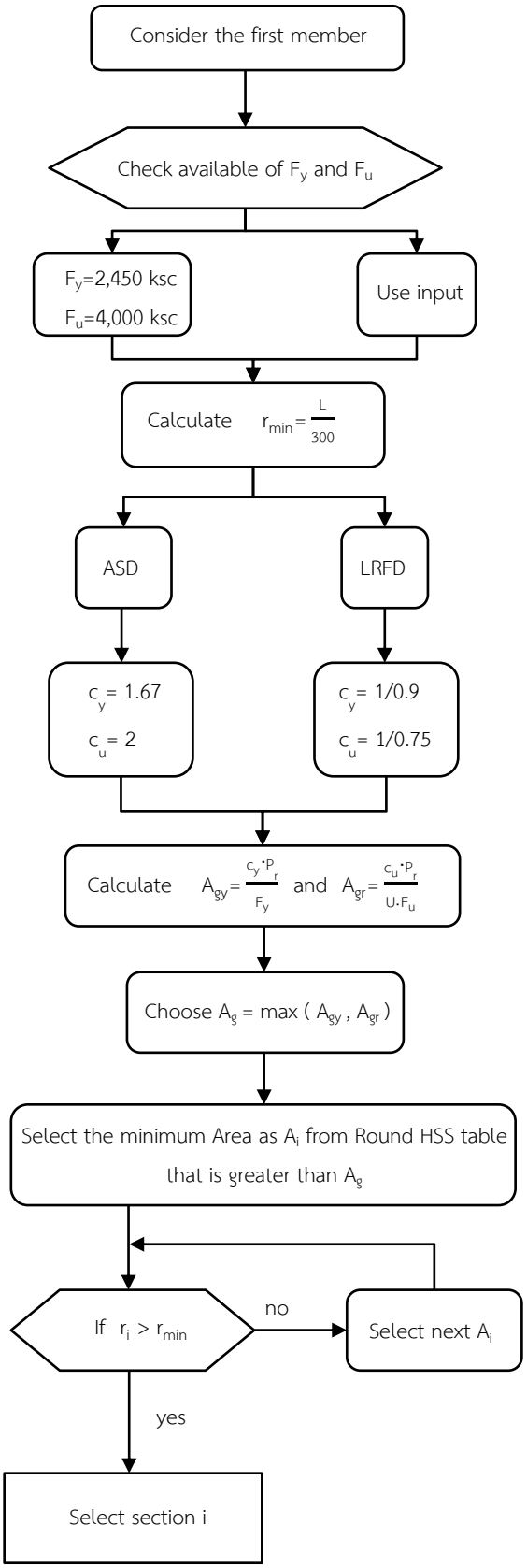
ในส่วนของการออกแบบหน้าตัดสำหรับโครงสร้างข้อแข็ง นั้นจะใช้ตัว Class DesignFrame เป็นหลัก เริ่มจากการคำนวณหา F_{cr} พร้อมกับดึงค่า C (HSS torsional constant) ของหน้าตัดจาก Class MemberRef เพื่อนำไปหาค่า T_c (Torsional strength) ถัดมาหาค่า V_c (Shear strength) จาก F_{cr} จากอีกสมการ ตามมาด้วยการหา M_c (Flexural strength) ซึ่งพิจารณาตามข้อจำกัดด้าน Yielding หรือ Local buckling หลังจากนั้นหาค่าแรงต่าง ๆ จากข้อมูลที่ถูกวิเคราะห์ด้วย Class Frame และหา Pc ด้วยวิธีการเดียวกับการออกแบบโครงข้อหมุน จากนั้นพิจารณาเปรียบเทียบค่า T_c และ T_r (Required torsional strength) ถ้าสามารถผ่านเงื่อนไขนี้ไปได้จะรวมแรงทั้งหมดผ่านสมการ เพื่อตรวจสอบการรับแรง ในกรณีที่ตรงกับเงื่อนไขทั้งหมด ก็จะเลือกหน้าตัดนั้น ๆ มาใช้ ถ้าไม่ก็จะเลือกหน้าตัดตัวต่อไปจาก Class MemberRef มาพิจารณาผ่านกระบวนการทั้งหมดใหม่อีกครั้งตามมาตรฐานของ American Institute of Steel Construction Chapter H



รูปที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของ Class DesignFrame

3.3 ตัวอย่างขั้นตอนการทำงานของ Class Tension

การทำงานในส่วนของ Class Tension ถูกออกแบบมาเพื่อให้ง่ายต่อการทำความเข้าใจ โดยมีขั้นตอนการทำงานของตัวโปรแกรมอย่างชัดเจน พร้อมทั้งสามารถปรับเปลี่ยนค่าพื้นฐานของตัวโปรแกรม หรือใส่เพิ่มเข้าไปได้อย่างอิสระ พร้อมทั้งคลอบคลุมทั้งวิธี ASD และ LRFD โดยการเลือกใช้ทีละหน้าตัดจากข้อมูลที่มี ซึ่งเรียงตามลำดับขนาดหน้าตัดจากเล็กไปหาใหญ่เป็นหลัก



รูปที่ 5 ขั้นตอนการทำงานของการออกแบบชิ้นส่วนที่รับแรงดึง

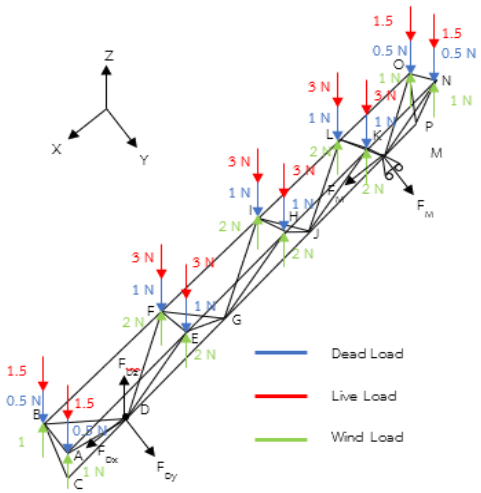
เมื่อ c_y คือ Coefficient of tension yielding และ c_u คือ Coefficient of tension rupture

4. ผลการดำเนินงาน

การวิเคราะห์และออกแบบหน้าตัดโครงสร้างเหล็กด้วยโปรแกรมภาษาไพทอนที่ถูกเขียนขึ้นนี้ จะต้องมีการป้อนข้อมูล (Input) เพื่อกำหนดลักษณะของโครงสร้างดังนี้ การกำหนดพิกัดจุดต่อ (Node) การสร้างชิ้นส่วนของโครงสร้างที่เชื่อมระหว่างจุดต่อ (Member) การใส่แรงที่จุดต่อ (Point Load) การกำหนดประเภทของจุดรับแรง (Support) กำหนดมาตรฐานที่ใช้ในการออกแบบ กำหนดตัวปรับแก้แรงรูปแบบต่าง ๆ (Load case and Factor) และยังสามารถเพิ่มหน้าตัดที่ต้องการเข้าไปได้อีกด้วย จากนั้นจึงผ่านกระบวนการวิเคราะห์และออกแบบโครงสร้าง ซึ่งจะได้ผลวิเคราะห์และออกแบบ (Output) ที่ได้เพิ่มเติมจากโปรแกรมที่มีอยู่เดิมคือขนาดหน้าตัดของแต่ละชิ้นส่วนในโครงสร้าง

4.1 ตัวอย่างโครงข้อหมุน 3 มิติ

รูปที่ 6 แสดงแบบจำลองของตัวอย่างโครงข้อหมุน 3 มิติซึ่งประกอบไปด้วย จุดเชื่อม, ประเภทของจุดรับแรง และน้ำหนักที่กระทำในแต่ละจุดเชื่อม โดยในตัวอย่างนี้มีเป็นน้ำหนักที่กระทำเป็นจุดซึ่งมีอยู่ 3 ประเภท คือ น้ำหนักบรรทุกคงที่, น้ำหนักบรรทุกจร และ แรงลม



รูปที่ 6 ตัวอย่างแบบจำลองโครงข้อหมุน 3 มิติ

ผลลัพธ์จากการออกแบบด้วยโปรแกรมแสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ตัวอย่างหน้าตัดที่ได้จากการออกแบบโครงข้อหมุน

Load Factor	1	1
Member Name	Group	Pipe Section
AE	Top	No.65, 7.13 kg/m
CD	Bottom	No.100, 12.2 kg/m
AC	Diagonal	No.80, 8.39 kg/m
EF	Horizontal	No.15, 0.972 kg/m

เมื่อนำข้อมูลการออกแบบหน้าตัดที่ได้จากโปแกรมไพทอนไปใส่ในโปรแกรม SAP2000 เพื่อดูอัตราส่วนของกำลังที่ออกแบบเทียบกับกำลังที่หน้าตัดรับได้ (PMM ratio) จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 3

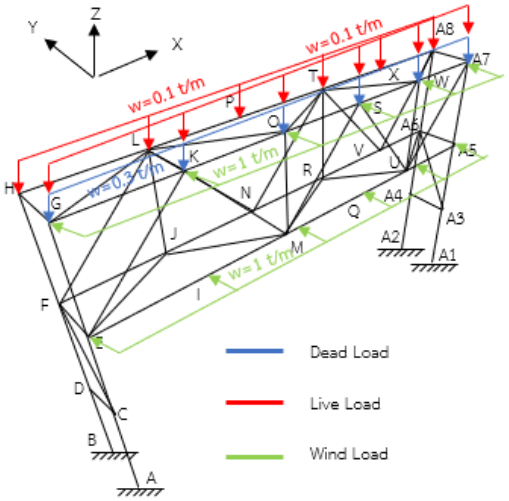
ตารางที่ 3 ค่า PMM ratio ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP 2000

Group	Design Section	Max PMM ratio
Top	No.65, 7.13 kg/m	0.783
Bottom	No.100, 12.2 kg/m	0.848
Diagonal	No.80, 8.39 kg/m	0.548
Horizontal	No.15, 0.972 kg/m	0.743

จากตารางที่ 3 ข้างต้นจะเห็นได้ว่าตัวแทนหน้าตัดของแต่ละกลุ่มนั้นมีความสามารถในการรับแรงได้ ด้วยอัตราส่วนของกำลังที่ออกแบบเทียบกับกำลังที่หน้าตัดรับได้น้อยกว่า 1 แสดงให้เห็นว่าตัวโปรแกรมนี้สามารถออกแบบหน้าตัดให้สามารถรับกำลังที่เกิดขึ้นจริงได้

4.2 ตัวอย่างโครงข้อแข็ง 3 มิติ

รูปที่ 7 แสดงแบบจำลองของตัวอย่างโครงข้อแข็งหมุน 3 มิติซึ่งประกอบไปด้วยจุดเชื่อม, ประเภทของจุดรับแรง และน้ำหนักที่กระทำในแต่ละชิ้นส่วน โดยในตัวอย่างนี้มีน้ำหนักแบบแผ่สม่ำเสมอจากน้ำหนักบรรทุกคงที่, น้ำหนักบรรทุกจร และ แรงลม



รูปที่ 7 ตัวอย่างแบบจำลองโครงข้อแข็ง 3 มิติ

ผลลัพธ์จากการออกแบบด้วยโปรแกรมแสดงไว้ในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ตัวอย่างหน้าตัดที่ได้จากการออกแบบโครงข้อแข็ง

Load Factor	1	1	1
Member Name	Group	Pipe Section	
AG	Column	No.100, 12.2 kg/m	
GA7	Beam	No.100, 15.0 kg/m	
CD	Brace	No.90, 9.63 kg/m	

ตารางที่ 5 ค่า PMM ratio ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม SAP 2000

Group	Design Section	Max PMM ratio
Column	No.100, 12.2 kg/m	0.973
Beam	No.100, 15.0 kg/m	0.300
Brace	No.90, 9.63 kg/m	0.559

เมื่อนำข้อมูลการออกแบบหน้าตัดที่ได้จากโปแกรมไพทอนไปใส่ในโปรแกรม SAP2000 จะได้ผลลัพธ์ดังแสดงในตารางที่ 5 จะเห็นได้ว่าเช่นเดียวกันกับในกรณีของโครงข้อหมุน หน้าตัดที่ได้จากการเลือกด้วยโปรแกรมในโครงงานนี้สามารถใช้ในการออกแบบโครงข้อแข็ง 3 มิติ ที่มีหน้าตัดเป็นเหล็กท่อกลมได้อย่างปลอดภัย

5. บทสรุป

การพัฒนาโปรแกรม Python เพื่อช่วยวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบหน้าตัดโครงสร้างเหล็กสามมิติสำหรับโครงข้อหมุนและโครงข้อแข็งในโครงงานนี้ สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดสำหรับผู้ที่สนใจต่อไปได้ เนื่องจากประสิทธิภาพของภาษาไพทอนนั้น สามารถพัฒนาโปรแกรมให้สามารถวิเคราะห์โครงสร้างที่ซับซ้อนมากกว่า linear-elastic และ static problem ได้ เช่น การแก้ปัญหาโครงสร้างแบบ non-linear และการทำโครงสร้างย่อย sub-structuring เป็นต้น นอกจากนั้น ไพทอนยังเป็นภาษาที่เรียนรู้ได้ง่าย สามารถใช้งานได้จริงในทางปฏิบัติ ทั้งยังเป็นภาษาที่มีโครงข่ายผู้ใช้งานค่อนข้างมาก เหมาะกับการนำไปพัฒนาโปรแกรมวิเคราะห์โครงสร้างและออกแบบหน้าตัดนี้ได้ต่อไป

สำหรับการพัฒนาโปรแกรมในอนาคต สามารถศึกษาหลักการทำงานของโปรแกรม และจัดรูปแบบการทำงานให้มีประสิทธิภาพและกระชับมากยิ่งขึ้น เช่น การจัดระเบียบคลาสของโปรแกรม เพิ่มความหลากหลายของหน้าตัดประเภทต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบเพื่อให้เหมาะสมและสามารถในไปใช้งานจริง อีกทั้งยังสามารถนำ Library ต่าง ๆ ของไพทอน เพื่อนำมาพัฒนา Graphical User Interface (GUI) ในการใส่ข้อมูล (input) เพื่อความสะดวกต่อการใช้งาน ทั้งยังสามารถพัฒนาการแสดงผลในรูปแบบโมเดล 3 มิติ ร่วมกับการแสดงผลการวิเคราะห์และรูปแบบการเคลื่อนตัวของโครงสร้างในรูปแบบของ Graphic ได้อีกด้วย

เอกสารอ้างอิง

[1] กิตติภณ พละการ สมชาย ประสิทธิ์จูตระกูล และ สุกรี สินธุภิญโญ *python ๑๐๑*, ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ.2561

[2] ทำความรู้จักกับภาษาไพทอน. (ออนไลน์). 2563. แหล่งที่มา: https://www.borntodev.com/ (10 พฤษภาคม 2564)

[3] ทำไม Python ถึงเป็นภาษาที่ฮอตที่สุดใน พ.ศ. นี้. (ออนไลน์). 2561. แหล่งที่มา: https://www.mor.company/ (10 พฤษภาคม 2564)

[4] Chanon and Natchaya. (2020). Development of Structural Analysis Program for Truss & Frame in 3-D. (Civil Engineering, Chulalongkorn University).

[5] Ashraf Habibullah. (2021). SAP2000. Computers and Structures Inc.

[6] American Institute of Steel Construction [AISC]. (2017). Steel Construction Manual, 15th edition. (n.p.)

[7] ทักษิณ เทพชาตรี และ อัครวัชร เล่นวารี *พฤติกรรมและการออกแบบโครงสร้างเหล็ก* สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, พ.ศ.2562.