

การวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครงเหล็กข้อแฉ่งด้วยวิธีอิลาสติก - พลาสติก



นายวิริยะ สารพา

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2535

ISBN 974-579-870-3

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

017972
117163274

Elastic - Plastic Analysis and Design of Steel Rigid Frames

Mr. Wiriya Sarapa

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1992

ISBN 974-579-870-3

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครงเหล็กข้ออ้อยด้วยวิธี

อีลาสติก - พลาสติก

โดย

นายวิริยะ สารพา

ภาควิชา

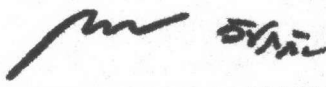
วิศวกรรมโยธา

อาจารย์ที่ปรึกษา


ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี



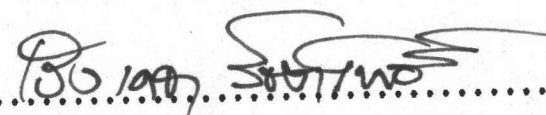
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

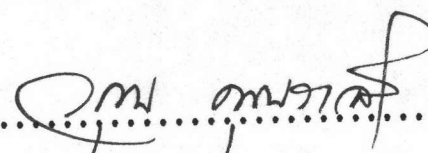

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรภักย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาตรี)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เรืองเดชา รัชตโพธิ์)


..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ วรณ คุณวาสี)

วิธีเยาะ สารพา : การวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครง เหล็กข้อแข็งด้วยวิธี
อีลาสติก-พลาสติก (ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS AND DESIGN OF STEEL RIGID
FRAMES) อ. ที่ปรึกษา : ศ.ดร. ทักษิณ เทพชาตรี, 90 หน้า. ISBN 974-579-870-3

งานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการวิเคราะห์และการคำนวณออกแบบโครง เหล็กข้อแข็งด้วยวิธี
อีลาสติก-พลาสติก ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ขั้นต้นแรก ทั้งนี้คำนึงถึงอันตรกิริยาระหว่างแรงในแนวแกน
กับแรงดัดและน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกกระทำได้ทั้งแบบจุดและแบบกระจายสม่ำเสมอ โดยใช้สูตรความ
สัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวแกนกับแรงดัดในแง่ของกำลัง (Strength) และความ เสถียรในระนาบ
(in-plane Stability) ของ AISC (4) ในการกำหนดเงื่อนไขการเกิดจุดหมุนพลาสติก นอกจากนี้
ยังคำนึงถึงความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน เนื่องจากการปรับปรุงขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนด้วย จากการ
อิงมาตรฐาน AISC (4) ในการคำนวณออกแบบ ขนาดหน้าตัดของชิ้นส่วนจะถูกเลือกเพื่อให้ได้ค่า
ตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกเมื่อเกิดจุดหมุนพลาสติกจุดแรก และจุดสุดท้ายที่โครงสร้าง เกิดการวิบัติตามที่
ผู้ออกแบบต้องการ ทั้งนี้คำนึงถึงกำลังของชิ้นส่วน ความ เสถียรในระนาบ หน่วยแรงลัพท์ ณ จุดคลาก
และพิภักการโก่งตัวที่น้ำหนักบรรทุกใช้งาน แรง เฉือน ตลอดจนการโก่ง เคาะ เฉพาะที่

ผลของการวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วนที่ เสนอในงานวิจัยนี้
ให้ค่าการวิเคราะห์กำลังประลัยของโครงสร้างต่ำกว่าค่าที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธี
อีลาสติก-พลาสติก โดยใช้ความยาวประสิทธิผลจากรูปแบบสภาพการยึดรั้งที่ปลายเสาของ CRC
ประมาณ 0-52 เปอร์เซ็นต์ และในการคำนวณออกแบบที่เสนอในงานวิจัยนี้ จะได้น้ำหนักของ เหล็กทั้ง
โครงสร้างมากกว่าการคำนวณออกแบบอย่างเหมาะสมที่สุดโดยวิธีพลาสติก ประมาณ 27-138 เปอร์เซ็นต์



ภาควิชา.....วิศวกรรมโยธา
สาขาวิชา.....วิศวกรรมโยธา
ปีการศึกษา..... 2534

ลายมือชื่อนิติ.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

WIRIYA SARAPA : ELASTIC-PLASTIC ANALYSIS AND DESIGN OF STEEL RIGID
FRAMES. THESIS ADVISOR : PROF. THAKSIN THEPCHATRI, Ph.D. 90 PP.
ISBN 974-579-870-3

This research presents a first-order method for elastic-plastic analysis and design of steel rigid frames. The method considers the interaction between axial force and bending moment and permits concentrated and uniformly distributed loads to be placed on the frames. The method utilizes the AISC(4) interaction formulae in setting up conditions of plastic hinge formation. Both strength and in-plane stability effects are considered. In addition, the change in the effective length of each member due to modified member size is also taken into consideration. Following the AISC Specifications, member sizes are obtained from load factors corresponding to the formation of the first plastic hinge and the last plastic hinge at collapse with due regard to the effects of strength, in-plane stability, yield stresses and the limit on deflection at working loads, shear forces and local buckling.

It was shown that the predicted maximum loads using the proposed method are about 0-52 % less than those obtained by elastic-plastic analysis while using effective length under the CRC guide line. With the proposed design, the total weight of steel is about 27-138 % more than that obtained by optimum plastic design.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา.....
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา.....
ปีการศึกษา2534.....

ลายมือชื่อนิติ
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม



กิตติกรรมประกาศ

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ทักษิณ เทพชาติ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้ความรู้และคำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์ ในระหว่างการทำวิทยานิพนธ์ รวมทั้งความกรุณาตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงไปอย่างสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ ท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ อันประกอบด้วย ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เรืองเดชา รัชตโพธิ์ และ ศาสตราจารย์ วรณ คุณวาสี ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำและตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิริยะ สารพา



สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ญ |
| สารบัญรูป | ฎ |
| สัญลักษณ์ | ฏ |
| บทที่ | |
| 1. บทนำ | 1 |
| 1.1 ความนำ | 1 |
| 1.2 งานวิจัยที่ผ่านมา | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 4 |
| 1.4 ขอบเขตของการวิจัย | 4 |
| 1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย | 5 |
| 2. วิธีการวิเคราะห์และวิธีการคำนวณออกแบบ | 6 |
| 2.1 สมมติฐาน | 6 |
| 2.2 วิเคราะห์โครงสร้างด้วยวิธีการเปลี่ยนตำแหน่ง | 6 |
| 2.3 ตัวประกอบความยาวประสิทธิผลของชิ้นส่วน | 10 |
| ก) สมการลักษณะเฉพาะ โครงข้อแข็งที่ไม่มีการเซ | 11 |
| ข) สมการลักษณะเฉพาะ โครงข้อแข็งที่มีการเซ | 12 |

| | | |
|------|--|----|
| ค) | การปรับค่าสตีเฟนสของคานเพื่อสอดคล้องกับสภาพ ของจตุรรองรับ และค่า G ของเสาที่ฐานรองรับ | 12 |
| ง) | การหาคำตอบของสมการลักษณะเฉพาะของโครง ข้อแข็ง | 13 |
| 2.4 | เงื่อนไขในการเกิดจุดหมุนพลาสติก | 14 |
| 2.5 | การคำนวณค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก | 15 |
| 2.6 | การคำนวณผลลัพท์สะสม | 17 |
| 2.7 | การเปลี่ยนแปลงสตีเฟนสของชิ้นส่วน | 18 |
| 2.8 | แรงยึดแน่นที่ปลายของชิ้นส่วนเนื่องจากแรงกระทำภายใน ชิ้นส่วน | 19 |
| 2.9 | การตรวจสอบการวิบัติของโครงข้อแข็ง | 24 |
| 2.10 | หน่วยแรงลัพท์ ณ จุดกลางของชิ้นส่วน | 24 |
| 2.11 | เกณฑ์ในการออกแบบโครงเหล็กข้อแข็งด้วยวิธี อีลาสติก - พลาสติก | 25 |
| 2.12 | การคำนวณออกแบบขนาดชิ้นส่วนในโครงเหล็กข้อแข็ง | 26 |
| ก) | การหาขนาดหน้าตัดเริ่มแรกของชิ้นส่วน | 26 |
| ข) | การเลือกขนาดหน้าตัดขนาดของชิ้นส่วนในโครงเหล็ก ข้อแข็ง | 28 |
| ค) | การกำหนดชุดของชิ้นส่วนที่เหมือนกัน | 29 |
| ง) | การคำนวณค่าการโก่งตัวของชิ้นส่วน | 29 |
| จ) | ผลของแรงเฉือนต่อแรงดัดพลาสติก | 31 |
| ฉ) | การโก่งเดาะเฉพาะที่ | 31 |
| 3. | ผลการวิเคราะห์ การคำนวณออกแบบและการเปรียบเทียบ | 33 |
| 4. | สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 40 |

| | | |
|-----------------------|---|----|
| 4.1 | สรุปผลการวิจัย | 40 |
| 4.2 | ข้อเสนอแนะ | 42 |
| เอกสารอ้างอิง | | 43 |
| ภาคผนวก | | 46 |
| ก) | รายการตารางประกอบ | 46 |
| ข) | รายการรูปประกอบ | 52 |
| ค) | แผนภาพขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม | 71 |
| ง) | คุณสมบัติของเหล็กหน้าตัดปีกกว้าง w ที่ใช้ในงานวิจัย | 75 |
| จ) | ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 1 | 79 |
| ฉ) | ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 2 | 81 |
| ช) | ผลลัพธ์จากโปรแกรมของตัวอย่างที่ 3 | 84 |
| ประวัติผู้เขียน | | 90 |

สารบัญตาราง

| | หน้า |
|--------------|---|
| ตารางที่ 3.1 | คุณสมบัติของชิ้นส่วนในโครงเหล็กข้อแฉ่งของตัวอย่างที่ 1 47 |
| ตารางที่ 3.2 | ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติของ ตัวอย่างที่ 1 48 |
| ตารางที่ 3.3 | คุณสมบัติของชิ้นส่วนในโครงเหล็กข้อแฉ่งของตัวอย่างที่ 2 49 |
| ตารางที่ 3.4 | ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่โครงสร้างเกิดการวิบัติของ ตัวอย่างที่ 2 50 |
| ตารางที่ 3.5 | หน้าตัดของชิ้นส่วน ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก และ น้ำหนักของเหล็กหน้าตัด P ทั้งโครงสร้างของตัวอย่างที่ 3 51 |

สารบัญรูป

| | หน้า | |
|--------------|--|----|
| รูปที่ 2.2.1 | ชิ้นส่วนของโครงข้อแข็งระนาบ | |
| | ก) ระบบพิกัดเฉพาะที่ | |
| | ข) ระบบพิกัดวงกว้าง | 53 |
| รูปที่ 2.2.2 | รูปแบบต่าง ๆ ของการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายชิ้นส่วน | 53 |
| รูปที่ 2.3.1 | ชิ้นส่วนรับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน | 54 |
| รูปที่ 2.3.2 | โครงสร้างที่มีฐานรองรับแบบอิลาสติกและไม่มีการเซ | 55 |
| รูปที่ 2.3.3 | โครงสร้างที่มีฐานรองรับแบบอิลาสติกและมีกการเซ | 55 |
| รูปที่ 2.3.4 | Modified Regula Falsi Method | 56 |
| รูปที่ 2.7.1 | แรงและการเปลี่ยนตำแหน่งที่ปลายของชิ้นส่วนคุณสมบัติคงที่ | 57 |
| รูปที่ 2.7.2 | การโก่งตัวเนื่องจากการเปลี่ยนตำแหน่ง 1 หน่วยที่ปลายชิ้นส่วน ... | 57 |
| รูปที่ 2.8 | แรงยึดแน่นที่ปลายของชิ้นส่วนเนื่องจากแรงกระทำ | 58 |
| รูปที่ 3.1 | ลักษณะ โครงสร้างของตัวอย่างที่ 1 | 61 |
| รูปที่ 3.2 | ตำแหน่งและลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกในโครงเหล็กข้อแข็ง ของตัวอย่างที่ 1 | 62 |
| รูปที่ 3.3 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุด หมุนพลาสติกจุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติของ ตัวอย่างที่ 1 | 63 |
| รูปที่ 3.4 | ลักษณะ โครงสร้างของตัวอย่างที่ 2 | 64 |
| รูปที่ 3.5 | ตำแหน่งและลำดับการเกิดจุดหมุนพลาสติกในโครงเหล็กข้อแข็ง ของตัวอย่างที่ 2 | 65 |
| รูปที่ 3.6 | ตำแหน่งจุดหมุนพลาสติกในโครงเหล็กข้อแข็งของวิโรจน์ (21) ของตัวอย่างที่ 2 | 65 |

| | | |
|-------------|--|----|
| รูปที่ 3.7 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุด หมุนพลาสติกจุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ ของตัวอย่างที่ 2 | 66 |
| รูปที่ 3.8 | ลักษณะโครงสร้างของตัวอย่างที่ 3 | 67 |
| รูปที่ 3.9 | ตำแหน่งของการเกิดจุดหมุนพลาสติกในโครงเหล็กข้อแฉ่ง ของตัวอย่างที่ 3 | 68 |
| รูปที่ 3.10 | ความสัมพันธ์ระหว่างแรงกระทำกับการเปลี่ยนตำแหน่งตั้งแต่จุด หมุนพลาสติกจุดแรกจนถึงจุดสุดท้ายที่โครงสร้างเกิดการวิบัติ ของตัวอย่างที่ 3 | 70 |

สัญลักษณ์

- [A] = เมตริกซ์แปลงการ เปลี่ยนตำแหน่ง
- [A]^t = ทรานสโพสของเมตริกซ์ [A]
- A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน
- A_k = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นส่วน k
- b_f = ความกว้างของปีก
- C = อัตราส่วนความชะลูด
- C_u = $\sqrt{2\pi^2 E/F_y}$
- C_m = สัมประสิทธิ์ตัวลดค่าแรงดัด
- d = ความลึกของหน้าตัดชิ้นส่วน
- d_w = ความลึกของเอว
- D_i^j = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j
- D_{e1}^j = ค่าการเปลี่ยนตำแหน่งสะสมที่ข้อต่อ i ในวงรอบการทำงานที่ j
- E = โมดูลัสยืดหยุ่น
- { f } = เวกเตอร์แรงยึดแน่นปลายของชิ้นส่วนในระบบนิกัดเฉพาะที่
- F_u = หน่วยแรงอัดที่ยอมให้
- FS = $5/3 + (3/8)(C/C_u) - (1/8)(C/C_u)^2$
- F_y = กำลังคลากของวัสดุ
- G = $\frac{\sum(I_x/L_x)}{\sum(I_y/L_y)}$
- H = ความสูงของ โครงข้อแข็ง
- I = โมเมนต์อินเนอร์เซีย
- I_e = โมเมนต์อินเนอร์เซียของเสา
- I_c = โมเมนต์อินเนอร์เซียของคาน
- [k] = สติฟเนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนในระบบนิกัดเฉพาะที่

- $[\bar{k}]$ = สติเฟนสเมตริกซ์ของชิ้นส่วนในระบบพิกัดวงกว้าง
 $[K]$ = สติเฟนสเมตริกซ์ของโครงข้อแข็งที่ประกอบด้วยชิ้นส่วน m ชิ้นส่วน
 k = ตัวประกอบความยาวประสิทธิผล
 L = ความยาวของชิ้นส่วน
 l = ความยาวของชิ้นส่วน
 L_s = ความยาวของเสา
 L_c = ความยาวของคาน
 M = แรงดัดของชิ้นส่วน
 M_p = แรงดัดพลาสติกของชิ้นส่วน
 M_y = แรงดัดคลาก
 M_{pc} = แรงดัดประสิทธิผล
 M_{pk} = แรงดัดพลาสติกของชิ้นส่วน k
 M_{pk}^n = แรงดัดพลาสติกค่าใหม่ของชิ้นส่วน k
 M_{pk}^o = แรงดัดพลาสติกค่าเก่าของชิ้นส่วน k
 M_{ik} = แรงดัดที่ตำแหน่ง i ของชิ้นส่วน k
 M_{ik}^j = แรงดัดที่ตำแหน่ง i ของชิ้นส่วน k เนื่องจากแรงภายนอกกระทำในวงรอบการทำงานที่ j
 M_{c1k}^j = แรงดัดสะสมที่ตำแหน่ง i ของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j
 $\{ P \}$ = เวกเตอร์แรงกระทำในระบบพิกัดวงกว้างซึ่งประกอบด้วยแรงกระทำที่ข้อต่อและแรงยึดแน่นปลายของชิ้นส่วน
 P = แรงในแนวแกนของชิ้นส่วน
 P_c = แรงกระทำแบบจุด
 P_{cr} = แรงที่ทำให้เกิดการโก่งเดาะทางแกนที่เกิดการดัด
 P_{crk} = P_{cr} ของชิ้นส่วน k
 P_u = แรงออยเลอร์ทางแกนที่เกิดการดัด
 P_{uk} = P_u ของชิ้นส่วน k

P_k^j = แรงในแนวแกนของชิ้นส่วน k เนื่องจากแรงภายนอกกระทำในวงรอบการทำงานที่ j

$P_{\Sigma k}^j$ = แรงในแนวแกนสะสมของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j

P_v = $F_v A$

P_{vk} = $F_v A_k$

r = รัศมีใจเรชัน

$\{ S \}$ = เวกเตอร์แรงภายในที่ข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะที่

$\{ \bar{S} \}$ = เวกเตอร์แรงภายในที่ข้อต่อของชิ้นส่วนในระบบพิกัดวงกว้าง

S = โมดูลัสหน้าตัด

t_f = ความหนาของปีก

t_w = ความหนาของแผ่นเอา

$\{ V \}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนรูปร่างของชิ้นส่วนในระบบพิกัดเฉพาะที่

$\{ \bar{V} \}$ = เวกเตอร์การเปลี่ยนตำแหน่งของข้อต่อในระบบพิกัดวงกว้าง

$\{ V \}^c$ = ทรานสโพสของเวกเตอร์ $\{ V \}$

$\{ \bar{V} \}^c$ = ทรานสโพสของเวกเตอร์ $\{ \bar{V} \}$

V_u = แรงเฉือนประลัย

w = แรงกระทำแบบแผ่กระจายสม่ำเสมอ

$y(x)$ = ระยะโค้งตัวที่ตำแหน่ง x ของชิ้นส่วน

Z = โมดูลัสพลาสติก

λ = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุก

λ_{Σ}^j = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกสะสม ในวงรอบการทำงานที่ j

λ_{ik}^j = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่ตำแหน่ง i ของชิ้นส่วน k ในวงรอบการทำงานที่ j

$\lambda_{\Sigma m}^j$ = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกที่น้อยที่สุด ในวงรอบการทำงานที่ j

λ_{ik}^n = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกค่าใหม่ที่ตำแหน่ง i ของชิ้นส่วน k

λ_{ik}^o = ค่าตัวประกอบน้ำหนักบรรทุกค่าเก่าที่ตำแหน่ง i ของชิ้นส่วน k

- $\theta(x)$ = มุมลาดเอียงที่ตำแหน่ง x ของชิ้นส่วน
- Δ_H = ค่าการโก่งตัวทางราบตามทฤษฎีอิลาสติก
- Δ_V = ค่าการโก่งตัวทางตั้งตามทฤษฎีอิลาสติก
- ϵ_f = ค่าที่ยอมให้ของฟังก์ชัน