

การวิเคราะห์หาค่าตัวคุณลดกำลังสำหรับองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก  
ตามสภาพการก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร

นายอภัย อมาตยกุล



ศูนย์วิทยทรัพยากร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2531

ISBN 974-569-370-7

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

014374

117 4374 231

ANALYSIS OF CAPACITY REDUCTION FACTORS FOR REINFORCED CONCRETE  
MEMBERS AS CONSTRUCTED IN BANGKOK METROPOLITAN AREA

Mr. Att AMATAYAKUL

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Engineering  
Department of Civil Engineering

Graduate School  
Chulalongkorn University

1988

ISBN 974-569-370-7

หัวข้อวิทยานิพนธ์      การวิเคราะห์หาค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก  
ตามสภาพการก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร  
โดย                              นายอัคร์ อมาตยกุล  
ภาควิชา                        วิศวกรรมโยธา  
อาจารย์ที่ปรึกษา          ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ

---

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย      อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดี      บัณฑิตวิทยาลัย  
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชรราษฎร์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ  
(ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา  
(ศาสตราจารย์ ดร.เอกสิทธิ์ ลิ้มสุวรรณ)

.....กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุธรรม สุริยะมงคล)

.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เริงเดชา รัชตโน้)



อัญญ์ อมาตยกุล : การวิเคราะห์หาค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับองค์อาคารคอนกรีตเสริม เหล็ก  
ตามสภาพการก่อสร้างในกรุงเทพมหานคร (ANALYSIS OF CAPACITY REDUCTION  
FACTORS FOR REINFORCED CONCRETE MEMBERS AS CONSTRUCTED IN BANGKOK  
METROPOLITAN AREA) อ.ที่ปรึกษา : ศ.ดร.เอกสิทธิ์ สัมสุวรรณ, 175 หน้า.

ในการวิเคราะห์กำลังของโครงสร้างคอนกรีตเสริม เหล็กโดยทฤษฎีกำลังประลัย จะต้องใช้ตัวคูณ  
ลดกำลังปรับค่า เพื่อให้สอดคล้องกับความแปรปรวนต่าง ๆ ทั้งที่เกี่ยวข้องกับวัสดุ ขนาด ศีมือการก่อสร้าง  
และทฤษฎีการคำนวณออกแบบ เพื่อให้ได้ความปลอดภัยที่พอเพียง การศึกษาวิจัยนี้ได้เก็บรวบรวมข้อมูล  
เกี่ยวกับตัวแปรที่มีผลโดยตรงต่อกำลังการรับแรงขององค์อาคารคอนกรีตเสริม เหล็กที่ก่อสร้างในกรุง เทพ-  
มหานคร แล้วนำมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยถือข้อมูลตามสภาพการก่อสร้างที่เกิดขึ้นจริง หลังจากนั้นได้  
จำลองแบบข้อมูล โดยใช้วิธีการสุ่มของมอนติ-คาร์โล ให้เป็นไปตามรูปแบบการกระจายที่เหมาะสม เพื่อให้  
ได้ค่าทางสถิติของกำลังรับแรงประเภทต่าง ๆ การศึกษาวิเคราะห์เพื่อหาค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงแต่ละ  
ประเภท ได้ใช้ทฤษฎีของความน่าเชื่อถือทางโครงสร้าง โดยยึดถือค่าดัชนีความปลอดภัยตามมาตรฐานการ  
ออกแบบสากล และยึดเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนตามการศึกษาของ Grant, Mirza และ  
MacGregor ซึ่งได้เสนอแนะเพื่อใช้ในมาตรฐานการออกแบบของ ACI

จากการศึกษาวิจัยข้อมูลสำหรับตัวแปรของกำลังการรับแรงพบว่า กำลังคลากของเหล็กเสริมที่ได้  
จริงมีค่ามากกว่าที่กำหนดประมาณ 15%-30% กำลังอัดของคอนกรีตที่สูงกว่า 200 กก./ซม.<sup>2</sup> จะมีค่าเฉลี่ย  
ต่ำกว่าที่กำหนดประมาณ 20 กก./ซม.<sup>2</sup> ขนาดหน้าตัดขององค์อาคารจะมีความ เบี่ยงเบนในทางบวกประมาณ  
0.2-0.5 ซม. ความลึกประสิทธิภาพมีค่าน้อยกว่าที่กำหนดประมาณ 0.1-1.8 ซม.

การวิเคราะห์ตามทฤษฎีความน่าเชื่อถือทางโครงสร้าง ให้ค้ค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงตัดตามปริมาณ  
เหล็กเสริมและกำลังวัสดุ โดยมีค่าประมาณ 0.77-0.95 ในขณะที่คูณลดกำลังรับแรงอัดและตัวคูณลดกำลัง  
รับแรงเฉือน จะมีค่าประมาณ 0.60-0.70 และ 0.75-0.85 ตามลำดับ ค่าจากการวิเคราะห์ได้เปรียบ  
เทียบกับผลการศึกษาในสภาพวัสดุ และการก่อสร้างในอเมริกาเหนือ พบว่าให้ค่าที่สอดคล้องกันในทุกกรณี  
ขององค์อาคาร เมื่อพิจารณาประกอบกับแนวโน้มการใช้กำลังวัสดุในการก่อสร้างแล้ว ค่าตัวคูณลดกำลัง  
รับแรงตัด แรงอัด และแรงเฉือน ควรพิจารณาใช้ที่ 0.8, 0.65 และ 0.8 ตามลำดับ ทั้งนี้ยังมีได้  
พิจารณาตัวคูณสำหรับน้ำหนักบรรทุกประกอบด้วย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา ..... 2530

ลายมือชื่อนิสิต .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... 5

ATT AMATAYAKUL : ANALYSIS OF CAPACITY REDUCTION FACTORS FOR REINFORCED CONCRETE MEMBERS AS CONSTRUCTED IN BANGKOK METROPOLITAN AREA. THESIS ADVISOR : PROF.EKASIT LIMSUWAN,Ph.D. 175 pp.

In analysis of reinforced concrete members using ultimate strength theory, the capacity reduction factors are required to control some variations of materials, sizes workmanship and design method. In this study, the number of variables which would directly affect the strength capacity of reinforced concrete members were collected from several construction sites in Bangkok Metropolitan area. Monte-Carlo simulation method was employed in modelling some major random variables to obtain the statistical values for structural reliability analysis. The safety index and the prediction error as recommended by Grnat, Mirza and MacGregor and adopted by ACI Standard were used in the analysis.

The major variables which affect the strength of reinforced concrete members as collected have shown that the actual yield strength of reinforcing steel is 15-30% higher than the specified value. For concrete compressive strength higher than 200 kh/cm<sup>2</sup>, the average value is about 20 kg/cm<sup>2</sup> less than the specified value. The member cross-sections tend to about 0.2-0.5 cm larger than those shown on the construction drawings. The effective depths are 0.1-1.8 cm less than the specified values.

The capacity reduction factors obtained from reliability analysis were found to be 0.77-0.85 for shear. These capacity reduction factors have shown very good agreement with the study conducted for the materials and construction in North America. By considering the materials and construction qualities in Bangkok area, the capacity reduction factors of 0.80, 0.65 and 0.80 may be appropriate for flexure, compression and shear, respectively, without considering the load factors.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
สาขาวิชา ..... วิศวกรรมโยธา  
ปีการศึกษา ..... 2530

ลายมือชื่อผู้พิมพ์ .....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..... 5

## กิตติกรรมประกาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. เอกสิทธิ์  
ลิ้มสุวรรณ ที่ได้กรุณาให้ความดูแลเอาใจใส่ให้คำแนะนำและคำปรึกษาต่าง ๆ และขอกราบพระ  
คุณท่านคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่านอันประกอบไปด้วย ศ.ดร. ทักษิณ เทพชาตรี ผศ.  
ดร. เรืองเดชา รัชตโพธิ์ และ รศ.ดร. สุธรรม สุริยมงคล นอกจากนี้ขอขอบพระคุณวิศวกรที่  
ควบคุมงานในสถานที่ก่อสร้างต่าง ๆ ที่ได้อนุญาตและอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูล โรง  
งานผลิตเหล็กที่ได้กรุณาให้ข้อมูลแก่ผู้เขียน เพื่อน ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูล  
และจัดทำเอกสาร และผู้ที่จะขาดเสียมิได้คือ บิดามารดาที่ได้ให้กำลังใจและสนับสนุนการศึกษา  
มาโดยตลอด

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

|  | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย .....  | ง    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....   | จ    |
| กิตติกรรมประกาศ .....  | ฉ    |
| สารบัญภาพ .....  | ญ    |
| สารบัญตาราง .....  | ต    |
| สัญลักษณ์ที่ใช้ .....  | ถ    |
| บทที่  |      |
| 1. บทนำ.....   | 1    |
| 1.1 ความนำ.....  | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์.....  | 2    |
| 1.3 งานวิจัยที่ผ่านมา .....  | 2    |
| 1.4 ขอบข่ายของงานวิจัย.....  | 3    |
| 1.5 ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....                                    | 3    |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....                                       | 4    |
| 2. ทฤษฎี   |      |
| 2.1 ทฤษฎีของความน่าจะเป็น .....  | 5    |
| 2.1.1 ตัวแปรสุ่มและการกระจายของความน่าจะเป็น .....                       | 5    |
| 2.1.2 MAIN DESCRIPTORS ของตัวแปรสุ่ม .....                               | 7    |
| 2.1.3 ฟังก์ชันของตัวแปรสุ่มและการกระจายของตัวแปรสุ่ม ..                  | 8    |
| 2.2 ทฤษฎีทางสถิติ .....  | 10   |
| 2.2.1 การหาฟังก์ชันของการกระจายสะสมและฟังก์ชันของ<br>ความน่าจะเป็น ..... | 10   |
| 2.2.2 ฟังก์ชันของการกระจายสะสม .....                                     | 11   |

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 2.3   | ทฤษฎีของความน่าเชื่อถือทางโครงสร้าง .....             | 13 |
| 2.3.1 | หลักการทั่วไป .....                                   | 13 |
| 2.3.2 | การวิเคราะห์โดยวิธีประมาณอันดับที่หนึ่ง.....          | 16 |
| 2.3.3 | วิธีโมเมนต์ที่สองอันดับที่หนึ่ง.....                  | 20 |
| 3.    | ข้อมูลและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ .....             | 25 |
| 3.1   | กำลังที่จุดกลางของเหล็กเสริม .....                    | 27 |
| 3.2   | เส้นผ่านศูนย์กลางและพื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริม ..... | 28 |
| 3.3   | กำลังอัดประลัยของคอนกรีต .....                        | 30 |
| 3.4   | ความกว้างของคาน .....                                 | 31 |
| 3.5   | ความลึกของคาน .....                                   | 32 |
| 3.6   | ความหนาของพื้น .....                                  | 33 |
| 3.7   | ขนาดหน้าตัดของเสา .....                               | 34 |
| 3.8   | ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่าง .....         | 34 |
| 3.9   | ตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบน .....                      | 36 |
| 3.10  | ระยะเรียงของเหล็กปลอกในคาน.....                       | 37 |
| 3.11  | ระยะเรียงของเหล็กเสริมในพื้นที่.....                  | 37 |
| 3.12  | ความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมในเสา.....             | 38 |
| 3.13  | การเปรียบเทียบข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรรับแรง.....        | 38 |
| 4.    | วิธีคำนวณกำลังขององค์อาคารประเภทต่างๆ .....           | 39 |
| 4.1   | องค์อาคารรับแรงดัด .....                              | 39 |
| 4.2   | องค์อาคารรับแรงเฉือน .....                            | 40 |
| 4.3   | องค์อาคารรับแรงอัด .....                              | 40 |
| 4.4   | องค์อาคารรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด .....                 | 41 |



|   |     |
|---|-----|
| 5. ความคลาดเคลื่อนของการคำนวณค่ากำลังขององค์อาคารประเภทต่างๆ        | 42  |
| 5.1 องค์อาคารรับแรงดัด รับแรงอัด และรับแรงดัดร่วมกับแรงอัด...       | 42  |
| 5.2 องค์อาคารรับแรงเฉือน.....                                       | 44  |
| 6. การวิเคราะห์กำลังขององค์อาคารประเภทต่างๆ .....                   | 45  |
| 6.1 องค์อาคารรับแรงดัด.....   | 45  |
| 6.2 องค์อาคารรับแรงอัด และองค์อาคารรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด...        | 48  |
| 6.3 องค์อาคารรับแรงเฉือน.....                                       | 50  |
| 6.4 การเปรียบเทียบกำลังรับแรง.....                                  | 51  |
| 7. การวิเคราะห์ค่าความน่าจะเกิดการวิบัติ และค่าดัชนีความปลอดภัย.... | 53  |
| 7.1 องค์อาคารรับแรงดัด.....   |     |
| 7.2 องค์อาคารรับแรงอัด และกำลังรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด.....          |     |
| 7.3 องค์อาคารรับแรงเฉือน.....                                       |     |
| 8. การวิเคราะห์ค่าตัวคูณลดกำลัง.....                                | 58  |
| 8.1 กำลังรับแรงดัด.....   | 58  |
| 8.2 กำลังรับแรงอัด และกำลังรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด.....              | 60  |
| 8.3 กำลังรับแรงเฉือน.....   | 61  |
| 8.4 การเปรียบเทียบค่าตัวคูณลดกำลัง.....                             | 62  |
| 9. บทสรุป .....   | 63  |
| เอกสารอ้างอิง .....   | 66  |
| ประวัติผู้เขียน .....   | 175 |

## สารบัญภาพ

|             |   | หน้า |
|-------------|---|------|
| รูปที่ 2.1  | ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวเลขสุ่มและตัวแปรสุ่ม.                            | 68   |
| รูปที่ 2.2  | ฟังก์ชันของการกระจายสะสมของตัวเลขสุ่มและตัวแปรสุ่ม.....                                   | 68   |
| รูปที่ 2.3  | กราฟของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติ.....         | 69   |
| รูปที่ 2.4  | กราฟของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบปกติ-มาตรฐาน..... | 69   |
| รูปที่ 2.5  | กราฟของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่มที่มีการกระจายแบบล็อก-ปกติ.....    | 69   |
| รูปที่ 2.6  | ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของ X และ Y.....                                       | 70   |
| รูปที่ 2.7  | ผลของความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของ X และ Y.....  | 70   |
| รูปที่ 2.8  | ผลของการกระจายของ X และ Y.....  | 70   |
| รูปที่ 2.9  | กราฟของฟังก์ชันการใช้งานบนแกนปกติ.....  | 71   |
| รูปที่ 2.10 | กราฟของฟังก์ชันการใช้งานบนแกนของตัวแปรลดทอน.....  | 71   |
| รูปที่ 2.11 | รูปแบบของกราฟฟังก์ชันการใช้งาน.....   | 72   |
| รูปที่ 3.1  | ค่าเฉลี่ยของกำลังที่จุดกลางของเหล็กเสริม.....   | 73   |
| รูปที่ 3.2  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังที่จุดกลางของเหล็กเสริม.....                               | 74   |
| รูปที่ 3.3  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของเหล็กเสริม....                          | 74   |
| รูปที่ 3.4  | ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต.....   | 75   |
| รูปที่ 3.5  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังอัดประลัยของคอนกรีต.....                                   | 76   |
| รูปที่ 3.6  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของความกว้างคาน.....   | 76   |
| รูปที่ 3.7  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของความลึกคาน.....   | 77   |
| รูปที่ 3.8  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของความหนาแน่น.....  | 78   |
| รูปที่ 3.9  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของขนาดหน้าตัดเสา.....   | 78   |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| รูปที่ 3.10 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของความหนาคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริม<br>ด้านล่าง.....   | 79 |
| รูปที่ 3.11 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบน.....   | 80 |
| รูปที่ 3.12 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของระยะเรียงของเหล็กปลอกในคาน....  | 81 |
| รูปที่ 4.1  | การกระจายของหน่วยการยึดหดตัวและหน่วยแรงบนหน้าตัดขององค์<br>อาคารรับแรงดัด.....  | 82 |
| รูปที่ 4.2  | คานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงเฉือน.....  | 82 |
| รูปที่ 4.3  | การกระจายของหน่วยการยึดหดตัวและหน่วยแรงบนหน้าตัดของเสา<br>รับแรงอัดและแรงดัดร่วมกัน.....  | 82 |
| รูปที่ 5.1  | ค่าเฉลี่ยของอัตราส่วนกำลัง.....   | 83 |
| รูปที่ 5.2  | ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนของอัตราส่วนกำลัง.....   | 84 |
| รูปที่ 5.3  | ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงเฉือนที่ทดสอบได้และกำลังรับแรงเฉือน<br>จากการคำนวณ สำหรับคานที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน.....                                       | 85 |
| รูปที่ 5.4  | ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนระหว่างกำลัง<br>รับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบต่อกำลังที่ได้จากการคำนวณ<br>สำหรับคานที่ไม่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน..... | 86 |
| รูปที่ 5.5  | ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วนระหว่างกำลัง<br>รับแรงเฉือนที่ได้จากการทดสอบต่อกำลังที่ได้จากการคำนวณ<br>สำหรับคานที่มีเหล็กเสริมรับแรงเฉือน.....    | 87 |
| รูปที่ 6.1  | อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังรับแรงดัดเฉลี่ยต่อค่ากำลังที่ออกแบบ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....  | 88 |
| รูปที่ 6.2  | อัตราส่วนระหว่างค่ากำลังรับแรงดัดเฉลี่ยต่อค่ากำลังที่ออกแบบ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....  | 89 |
| รูปที่ 6.3  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังรับแรงดัดสำหรับการก่อสร้าง<br>ที่มีวิศวกรควบคุม.....   | 90 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| รูปที่ 6.4  | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังรับแรงดัดสำหรับการก่อสร้าง<br>ที่มีวิศวกรควบคุม.....                             | 91  |
| รูปที่ 6.5  | เปรียบเทียบกำลังรับแรงดัดสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม<br>และการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....       | 92  |
| รูปที่ 6.6  | อัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยของเสาต่อกำลังที่ออกแบบที่กำลังวัสดุต่ำ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม..... | 93  |
| รูปที่ 6.7  | อัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยของเสาต่อกำลังที่ออกแบบที่กำลังวัสดุสูง<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม..... | 94  |
| รูปที่ 6.8  | อัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยของเสาต่อกำลังที่ออกแบบที่กำลังวัสดุต่ำ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....       | 95  |
| รูปที่ 6.9  | อัตราส่วนของกำลังเฉลี่ยของเสาต่อกำลังที่ออกแบบที่กำลังวัสดุสูง<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....       | 96  |
| รูปที่ 6.10 | เปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยของเสาต่อกำลังที่ออกแบบ<br>ที่ปริมาณเหล็กเสริมเท่ากับ 3.3%.....           | 97  |
| รูปที่ 6.11 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังเสา ที่กำลังวัสดุต่ำ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....            | 98  |
| รูปที่ 6.12 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังเสา ที่กำลังวัสดุสูง<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....            | 99  |
| รูปที่ 6.13 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังเสา ที่กำลังวัสดุต่ำ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....                  | 100 |
| รูปที่ 6.14 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังเสา ที่กำลังวัสดุสูง<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....                  | 101 |
| รูปที่ 6.15 | อัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ยต่อกำลังที่ออกแบบ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....            | 102 |
| รูปที่ 6.16 | อัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ยต่อกำลังที่ออกแบบ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....                  | 103 |

|             |  |     |
|-------------|--|-----|
| รูปที่ 6.17 | เปรียบเทียบอัตราส่วนของกำลังรับแรงเฉือนเฉลี่ยต่อกำลังที่ออกแบบ<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกร<br>ควบคุม..... | 104 |
| รูปที่ 6.18 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังรับแรงเฉือน<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....  | 105 |
| รูปที่ 6.19 | สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังรับแรงเฉือน<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....  | 106 |
| รูปที่ 6.20 | เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังรับแรงเฉือน<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุมและการก่อสร้างที่มีวิศวกร<br>ควบคุม.....          | 107 |
| รูปที่ 7.1  | ค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับองค์อาคารรับแรงดัด<br>ในอาคารที่จอดรถของห้างสรรพสินค้า.....   | 108 |
| รูปที่ 7.2  | ค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับองค์อาคารรับแรงดัด<br>ในอาคารมหาวิทยาลัย.....   | 108 |
| รูปที่ 7.3  | ค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับองค์อาคารรับแรงดัด<br>ในอาคารสำนักงาน.....  | 109 |
| รูปที่ 7.4  | ค่าดัชนีความปลอดภัยสำหรับองค์อาคารรับแรงดัด<br>ในอาคารสถานีขนส่ง.....  | 109 |
| รูปที่ 7.5  | ค่าดัชนีความปลอดภัยขององค์อาคารรับแรงอัดและองค์อาคารรับแรงอัด<br>ร่วมกับแรงดัด ในอาคารที่จอดรถของห้างสรรพสินค้า.....                               | 110 |
| รูปที่ 7.6  | ค่าดัชนีความปลอดภัยขององค์อาคารรับแรงอัดและองค์อาคารรับแรงอัด<br>ร่วมกับแรงดัด ในอาคารมหาวิทยาลัย.....   | 110 |
| รูปที่ 7.7  | ค่าดัชนีความปลอดภัยขององค์อาคารรับแรงอัดและองค์อาคารรับแรงอัด<br>ร่วมกับแรงดัด ในอาคารสำนักงาน.....  | 111 |
| รูปที่ 7.8  | ค่าดัชนีความปลอดภัยขององค์อาคารรับแรงอัดและองค์อาคารรับแรงอัด<br>ร่วมกับแรงดัด ในอาคารสถานีขนส่ง.....  | 111 |

|             |   |     |
|-------------|---|-----|
| รูปที่ 7.9  | ค่าดัชนีความปลอดภัยขององค์อาคารรับแรงเฉือน<br>ในอาคารที่จอดรถของห้างสรรพสินค้า..... | 112 |
| รูปที่ 7.10 | ค่าดัชนีความปลอดภัยขององค์อาคารรับแรงเฉือน<br>ในอาคารมหาวิทยาลัย.....               | 112 |
| รูปที่ 7.11 | ค่าดัชนีความปลอดภัยขององค์อาคารรับแรงเฉือน<br>ในอาคารสำนักงาน.....                  | 113 |
| รูปที่ 7.12 | ค่าดัชนีความปลอดภัยขององค์อาคารรับแรงเฉือน<br>ในอาคารสถานีขนส่ง.....                | 113 |
| รูปที่ 8.1  | ค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงดัด.....  | 114 |
| รูปที่ 8.2  | ค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด และแรงอัดร่วมกับแรงดัด<br>(เสาปลอกเดี่ยว).....            | 115 |
| รูปที่ 8.3  | ค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด และแรงอัดร่วมกับแรงดัด<br>(เสาปลอกเกลียว).....            | 116 |
| รูปที่ 8.3  | ค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงเฉือน.....  | 117 |
| รูปที่ 8.4  | การเปรียบเทียบค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงดัด.....  | 118 |
| รูปที่ 8.5  | การเปรียบเทียบค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด และแรงอัดร่วมกับแรงดัด                      | 119 |
| รูปที่ 8.6  | การเปรียบเทียบค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงเฉือน.....                                      | 120 |

## สารบัญตาราง

|  | หน้า |
|--|------|
| ตารางที่ 3.1 กำลังที่จุดกลางของเหล็กเสริมเกรด SR24 .....   | 122  |
| ตารางที่ 3.2 กำลังที่จุดกลางของเหล็กเสริมเกรด SD30.....  | 123  |
| ตารางที่ 3.3 กำลังที่จุดกลางของเหล็กเสริมเกรด SD40.....  | 124  |
| ตารางที่ 3.4 สรุปกำลังที่จุดกลางของเหล็กเสริมที่ใช้ในการวิเคราะห์.....   | 125  |
| ตารางที่ 3.5 เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมเกรด SR24.....  | 126  |
| ตารางที่ 3.6 เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมเกรด SD30.....  | 127  |
| ตารางที่ 3.7 เส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมเกรด SD40.....  | 128  |
| ตารางที่ 3.8 สรุปขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเหล็กเสริมที่ใช้ในการวิเคราะห์.   | 129  |
| ตารางที่ 3.9 กำลังอัดประลัยของคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกร<br>ควบคุม.....                               | 130  |
| ตารางที่ 3.10 กำลังอัดประลัยของคอนกรีตสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.  | 130  |
| ตารางที่ 3.11 ค่าทางสถิติของความกว้างของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัท<br>วิศวกรควบคุม.....                         | 131  |
| ตารางที่ 3.12 ค่าทางสถิติของความกว้างของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกร<br>ควบคุม.....                               | 132  |
| ตารางที่ 3.13 สรุปค่าทางสถิติของความกว้างของคานที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม..... | 133  |
| ตารางที่ 3.14 สรุปค่าทางสถิติของความกว้างของคานที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....       | 133  |
| ตารางที่ 3.15 ค่าทางสถิติของความลึกของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัท<br>วิศวกรควบคุม.....                           | 134  |
| ตารางที่ 3.16 ค่าทางสถิติของความลึกของคานสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกร<br>ควบคุม.....                                 | 135  |

|               |  |     |
|---------------|--|-----|
| ตารางที่ 3.17 | สรุปค่าทางสถิติของความลึกของคานที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....     | 136 |
| ตารางที่ 3.18 | สรุปค่าทางสถิติของความลึกของคานที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....           | 136 |
| ตารางที่ 3.19 | ค่าทางสถิติของความหนาของพื้นสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัท<br>วิศวกรควบคุม.....                            | 137 |
| ตารางที่ 3.20 | ค่าทางสถิติของความหนาของพื้นสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกร<br>ควบคุม.....                                  | 137 |
| ตารางที่ 3.21 | สรุปค่าทางสถิติของความหนาของพื้นที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....    | 138 |
| ตารางที่ 3.22 | สรุปค่าทางสถิติของความหนาของพื้นที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....          | 138 |
| ตารางที่ 3.23 | ค่าทางสถิติของขนาดหน้าตัดของเสาสำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัท<br>วิศวกรควบคุม.....                         | 139 |
| ตารางที่ 3.24 | ค่าทางสถิติของขนาดหน้าตัดของเสาสำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกร<br>ควบคุม.....                               | 139 |
| ตารางที่ 3.25 | สรุปค่าทางสถิติของขนาดหน้าตัดของเสาที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม..... | 140 |
| ตารางที่ 3.26 | สรุปค่าทางสถิติของขนาดหน้าตัดของเสาที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....       | 140 |
| ตารางที่ 3.27 | ค่าทางสถิติของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่าง<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....   | 141 |
| ตารางที่ 3.28 | ค่าทางสถิติของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่าง<br>สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....         | 142 |



|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| ตารางที่ 3.29 | สรุปค่าทางสถิติของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่าง<br>ที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.. | 143 |
| ตารางที่ 3.30 | สรุปค่าทางสถิติของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมด้านล่าง<br>ที่ใช้ในการวิเคราะห์สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....    | 143 |
| ตารางที่ 3.31 | ค่าทางสถิติของตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนสำหรับการก่อสร้าง<br>ที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....                                   | 144 |
| ตารางที่ 3.32 | ค่าทางสถิติของตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนสำหรับการก่อสร้าง<br>ที่มีวิศวกรควบคุม.....   | 145 |
| ตารางที่ 3.33 | สรุปค่าทางสถิติของตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนที่ใช้ในการ<br>วิเคราะห์สำหรับการก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....           | 146 |
| ตารางที่ 3.34 | สรุปค่าทางสถิติของตำแหน่งของเหล็กเสริมด้านบนที่ใช้ในการ<br>วิเคราะห์สำหรับการก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....                 | 147 |
| ตารางที่ 3.35 | ค่าทางสถิติของระยะ เรียงของเหล็กปลอก ในคานสำหรับการ<br>ก่อสร้างที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....                                 | 148 |
| ตารางที่ 3.36 | ค่าทางสถิติของระยะ เรียงของเหล็กปลอก ในคานสำหรับการ<br>ก่อสร้างที่มีวิศวกรควบคุม.....                                       | 149 |
| ตารางที่ 3.37 | ค่าทางสถิติของระยะห่างของเหล็กเสริม ในพื้นที่สำหรับการก่อสร้าง<br>ที่มีบริษัทวิศวกรควบคุม.....                              | 149 |
| ตารางที่ 3.38 | สรุปค่าทางสถิติของความหนาของคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมในเสา..  | 150 |
| ตารางที่ 3.39 | สรุปค่าทางสถิติของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์<br>ตัวประกอบความปลอดภัย.....  | 151 |
| ตารางที่ 3.40 | การเปรียบเทียบข้อมูลเกี่ยวกับตัวแปรรับแรง.....  | 152 |
| ตารางที่ 6.1  | องค์อาคารรับแรงดัดที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ (1).....  | 154 |
| ตารางที่ 6.2  | องค์อาคารรับแรงดัดที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ (2).....  | 155 |
| ตารางที่ 6.3  | องค์อาคารรับแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ (1)  | 156 |
| ตารางที่ 6.4  | องค์อาคารรับแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ (2)  | 157 |

|               |   |     |
|---------------|---|-----|
| ตารางที่ 6.5  | องค์อาคารรับแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์ (3)  | 158 |
| ตารางที่ 6.6  | องค์อาคารรับแรงเฉือนที่เลือกใช้ในการวิเคราะห์.....  | 159 |
| ตารางที่ 6.7  | กำลังรับแรงดัดที่วิเคราะห์ได้ (1).....  | 160 |
| ตารางที่ 6.8  | กำลังรับแรงดัดที่วิเคราะห์ได้ (2).....  | 161 |
| ตารางที่ 6.9  | กำลังรับแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่วิเคราะห์ได้ (1).....   | 162 |
| ตารางที่ 6.10 | กำลังรับแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่วิเคราะห์ได้ (2).....   | 163 |
| ตารางที่ 6.11 | กำลังรับแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่วิเคราะห์ได้ (3).....   | 164 |
| ตารางที่ 6.12 | กำลังรับแรงอัดร่วมกับแรงดัดที่วิเคราะห์ได้ (4).....   | 165 |
| ตารางที่ 6.13 | กำลังรับแรงเฉือนที่วิเคราะห์ได้.....  | 166 |
| ตารางที่ 6.14 | การเปรียบเทียบกำลังรับแรง.....  | 167 |
| ตารางที่ 8.1  | การหาค่าตัวคูณลดกำลังสำหรับองค์อาคารรับแรงดัด.....  | 169 |
| ตารางที่ 8.2  | การหาค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด และรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด<br>$f'_c = 200$ กก./ซม. <sup>2</sup> $f_y = 2400$ กก./ซม. <sup>2</sup><br>$p = 0.033$ (เสาปลอกเดี่ยว)..... | 170 |
| ตารางที่ 8.3  | การหาค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด และรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด<br>$f'_c = 280$ กก./ซม. <sup>2</sup> $f_y = 4000$ กก./ซม. <sup>2</sup><br>$p = 0.033$ (เสาปลอกเดี่ยว)..... | 171 |
| ตารางที่ 8.4  | การหาค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด และรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด<br>$f'_c = 200$ กก./ซม. <sup>2</sup> $f_y = 2400$ กก./ซม. <sup>2</sup><br>$p = 0.033$ (เสาปลอกเกลียว)..... | 172 |
| ตารางที่ 8.5  | การหาค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงอัด และรับแรงอัดร่วมกับแรงดัด<br>$f'_c = 280$ กก./ซม. <sup>2</sup> $f_y = 4000$ กก./ซม. <sup>2</sup><br>$p = 0.033$ (เสาปลอกเกลียว)..... | 173 |
| ตารางที่ 8.6  | การหาค่าตัวคูณลดกำลังรับแรงเฉือน.....   | 174 |

## สัญลักษณ์ที่ใช้

- $A_u$  = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงดึง  
 $A'_u$  = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงอัด  
 $A_{ST}$  = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กในแนวยื่นทั้งหมดในเสา  
 $A_v$  = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน  
 $a$  =  $k_1 c$   
 $B$  = อัตราส่วนระหว่างกำลังที่ได้จริงต่อกำลังที่ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ใช้ในการออกแบบ  
 $\bar{B}$  = อัตราส่วนระหว่างกำลังเฉลี่ยที่ได้จริงต่อกำลังเฉลี่ยที่ได้จากการคำนวณโดยสมการที่ใช้ในการออกแบบ  
 $b$  = ความกว้างของคาน  
 $c$  = ระยะทางจากผิวรับแรงอัดถึงแกนสะเทินของหน้าตัด  
 $C$  = ตัวคูณเพื่อเปลี่ยนจากน้ำหนักบรรทุกทุกไปเป็นแรงที่กระทำกับองค์อาคาร  
 $C_c$  = แรงอัดจากคอนกรีต  
 $C_u$  = แรงอัดจากเหล็กเสริมรับแรงอัด  
 $D$  = น้ำหนักบรรทุกคงที่  
 $D'$  = แรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกคงที่  
 $\bar{D}$  = น้ำหนักบรรทุกคงที่เฉลี่ย  
 $D_n$  = น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่กำหนดให้ใช้ในการออกแบบ  
 $d$  = ความลึกประสิทธิภาพ  
 $d'$  = ระยะทางจากผิวรับแรงอัดถึงจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมรับแรงอัด  
 $E_u$  = โมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริม  
 $e$  = ระยะเยื้องศูนย์กลางของแรงกระทำ  
 $e_b$  = ระยะเยื้องศูนย์กลางสมดุล  
 $F_N(n)$  = ฟังก์ชันการกระจายสะสมของตัวเลขสุ่ม  $N$   
 $F_X(x)$  = ฟังก์ชันการกระจายสะสมของตัวแปรสุ่ม  $X$

|           |   |
|-----------|---|
| $F_Y(y)$  | = ฟังก์ชันการกระจายสะสมของตัวแปรสุ่ม $Y$  |
| $f'_c$    | = หน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีต   |
| $f_u$     | = หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงดึง   |
| $f'_u$    | = หน่วยแรงในเหล็กเสริมรับแรงอัด   |
| $f_y$     | = กำลังคดลากของเหล็กเสริม   |
| $f_N(n)$  | = ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวเลขสุ่ม  |
| $f_X(x)$  | = ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม $X$  |
| $f_Y(y)$  | = ฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของตัวแปรสุ่ม $Y$  |
| $k_1$     | = มีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับหน่วยแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ไม่เกิน 280 กก./ซม. <sup>2</sup> และจะมีค่าลดลง 0.05 เมื่อค่าหน่วยแรงอัดประลัยเพิ่มขึ้นทุกๆ 70 กก./ซม. <sup>2</sup> |
| $L$       | = น้ำหนักบรรทุกจร   |
| $L'$      | = แรงเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกจร   |
| $\bar{L}$ | = น้ำหนักบรรทุกจรเฉลี่ย   |
| $L_n$     | = น้ำหนักบรรทุกจรที่กำหนดให้ใช้ในการออกแบบ  |
| $M$       | = โมเมนต์ที่หน้าตัดที่พิจารณา   |
| $M'_u$    | = โมเมนต์ประลัยของหน้าตัด   |
| $N$       | = ตัวเลขสุ่ม  |
| $P(A)$    | = ความน่าจะเป็นที่เหตุการณ์ $A$   |
| $P_X(x)$  | = ความน่าจะเป็นที่ $X$ จะมีค่าเท่ากับ $x$   |
| $P'_u$    | = แรงอัดประลัยของหน้าตัด  |
| $p$       | = อัตราส่วนระหว่างปริมาณเหล็กเสริมรับแรงดึงต่อพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีต  |
| $p'$      | = อัตราส่วนระหว่างปริมาณเหล็กเสริมรับแรงอัดต่อพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีต  |
| $p_b$     | = อัตราส่วนของปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลย์ต่อพื้นที่หน้าตัดประสิทธิผลของคอนกรีต   |

- $p_v$  = อัตราส่วนของเหล็กเสริมรับแรงเฉือน
- $p_F$  = ความน่าจะเป็นเกิดการวิบัติ
- $R$  = กำลังรับแรง
- $\bar{R}$  = กำลังรับแรงเฉลี่ยที่คำนวณได้จากสมการที่ใช้ออกแบบ
- $\bar{R}_r$  = ค่าเฉลี่ยของกำลังรับแรงที่ได้จริง =  $\bar{R}$  x อัตราส่วนกำลัง
- $R_n$  = กำลังรับแรงที่ออกแบบไว้
- $s$  = ระยะเรียงของเหล็กปลอกในคาน
- $T_e$  = แรงดึงจากเหล็กเสริมรับแรงดึง
- $t$  = ความลึกรวมของคาน
- $V$  = แรงเฉือนที่หน้าตัดที่พิจารณา
- $v_c$  = หน่วยแรงเฉือนที่รับโดยคอนกรีต
- $v_s$  = หน่วยแรงเฉือนที่รับโดยเหล็กเสริม
- $v_u$  = หน่วยแรงเฉือนประลัยของหน้าตัด
- $\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม  $X$
- $\bar{X}_1^N$  = ค่าเฉลี่ยของการกระจายแบบปกติ-เทียบเท่า ของตัวแปรสุ่ม  $X$
- $\bar{X}_E$  = ค่าเฉลี่ยของตัวแปร  $X$  โดยคำนวณจากสมการ
- $X_n$  = ค่าของตัวแปร  $X$  ที่ใช้ในการออกแบบ
- $\bar{Y}$  = ค่าเฉลี่ยของตัวแปรสุ่ม  $Y$
- $\lambda, \xi$  = ค่าพารามิเตอร์ของการกระจายแบบล็อก-ปกติ
- $\sigma_x$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่ม  $X$
- $\sigma_y$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรสุ่ม  $Y$
- $\sigma_B$  = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของอัตราส่วน  $B$
- $\delta_x$  = สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม  $X$
- $\delta_y$  = สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของตัวแปรสุ่ม  $Y$
- $\delta_B$  = สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของอัตราส่วน  $B$
- $\delta_R$  = สัมประสิทธิ์ความแปรปรวนของกำลังขององค์อาคาร
- $\Delta$  = ความผิดพลาดในการทำนาย

- $\Delta_1$  = ความผิดพลาดในการทำนายเนื่องจากค่าของข้อมูลไม่เท่ากับค่าจริง  
 $\Delta_2$  = ความผิดพลาดในการทำนายค่าเฉลี่ย  
 $\Delta_R$  = ความผิดพลาดในการทำนายกำลังรับแรง  
 $\Omega_X$  = ความไม่แน่นอนรวมของตัวแปรสุ่ม X  
 $\Omega_Y$  = ความไม่แน่นอนรวมของตัวแปรสุ่ม Y  
 $\Omega_R$  = ความไม่แน่นอนรวมของกำลังรับแรง  
 $\gamma_D$  = ตัวคูณลดกำลังสำหรับน้ำหนักบรรทุกคงที่  
 $\gamma_L$  = ตัวคูณลดกำลังสำหรับน้ำหนักบรรทุกจร  
 $\phi (-)$  = ค่าฟังก์ชันของความหนาแน่นของความน่าจะเป็นสำหรับการกระจายแบบปกติ  
 $\Phi (-)$  = ค่าฟังก์ชันของการกระจายสะสมสำหรับการกระจายแบบปกติ  
 $\beta$  = ค่าดัชนีความปลอดภัย  
 $\bar{\phi}$  = ค่าตัวคูณลดกำลังที่ใช้คูณกับค่ากำลังประลัยเฉลี่ย  
 $\phi_n$  = ตัวคูณลดกำลังที่ใช้คูณกับค่ากำลังประลัยที่คำนวณได้ในการออกแบบ  
 $\alpha_{x_i}$  = โคไซน์ทิศทางบนแกนของตัวแปรสุ่ม  $X_i$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย