



## การกระจายทางสถิติของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง คสล.

STATISTICAL DISTRIBUTIONS OF THE FACTORS AFFECTING REINFORCED  
CONCRETE MEMBER RESISTANCESดร. ฉัตร สุจินดา (Chatr Suchinda)<sup>1</sup><sup>1</sup>อาจารย์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม chatr.su@spu.ac.th

**บทคัดย่อ :** มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กวิธีกำลัง วสท. 1008-38 ได้คัดลอกค่าส่วนเผื่อที่ใช้ในการออกแบบต่าง ๆ อันได้แก่ ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) และ ตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factor) มาจากมาตรฐาน ACI318 ซึ่งส่วนเผื่อเหล่านี้ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งอาจเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้สำหรับการก่อสร้างในประเทศไทยก็ได้ หากมีการหาส่วนเผื่อต่าง ๆ เหล่านี้โดยอาศัยข้อมูลทางสถิติที่เก็บในประเทศไทย ก็ย่อมจะเหมาะสมมากกว่า ข้อมูลทางสถิติดังกล่าวได้แก่ (1) การกระจายของน้ำหนักบรรทุก ซึ่งจะมีผลต่อแรงภายในของชิ้นส่วนโครงสร้าง (Load Effect) และ (2) การกระจายของขนาดของหน้าตัดคอนกรีต ขนาดของเหล็กเสริม กำลังของวัสดุที่ใช้ทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม รวมไปถึงตำแหน่งของการวางเหล็กเสริม ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการรับแรง (Resistance) บทความนี้เสนอถึงการเลือกชนิดของการกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมที่สุด (Fit Distribution) สำหรับข้อมูลความกว้างของคาน ขนาดของเสา ความกว้างและความยาวของฐานราก แรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้น กำลังประลัยของคอนกรีต ความลึกประสิทธิภาพของหน้าตัดคาน และฐานราก ซึ่งได้เก็บมาจากสถานที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในเขต กทม. และปริมณฑล ผลของการวิเคราะห์นี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้น สำหรับการเลือกส่วนเผื่อที่เหมาะสมสำหรับมาตรฐานออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับประเทศไทยต่อไปในอนาคต

**ABSTRACT :** EIT. 1008-38 Reinforced Concrete Design Standards adopted the design margins including load factors and strength reduction factors from the ACI318 standards. These design margins are based on American statistical data. The adoption of these margins may or may not suitable for the designing of structures in Thailand. It would be more appropriate to select the design margins based on the statistical data collected in Thailand itself. These data include (1) distributions of the loads which affect the internal forces of the structural members and (2) the distributions of the member sectional sizes, rebar sizes, concrete and steel strengths and also the location of the rebars which affect the load capacity (Resistance) of the members. This paper presents the selection of the most suitable standard distributions (Fit Distribution) including beam width, column size, footing width and length, actual size and yield load of rebars, ultimate strength of concrete, effective depth of beams and footings. These data were collected from the residential construction sites in Bangkok metropolitan area. The result from this analysis will be preliminary used for the selection of the appropriate design margins for Thailand reinforced concrete standards in the future.

**KEYWORDS :** Thailand Construction Data, Reinforced Concrete Standards, Design Margins, Load Factors, Strength Reduction Factors, Resistance Factors

## 1. คำนำ

มาตรฐานการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กวิธีกำลัง วสท. 1008-38[1] ได้คัดลอกค่าส่วนเพื่อที่ใช้ในการออกแบบต่าง ๆ อันได้แก่ Load Factor และ Strength Reduction Factor มาจากมาตรฐาน ACI318[2] ซึ่งส่วนเพื่อเหล่านี้ได้มาจากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งอาจจะเหมาะสมหรือไม่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้สำหรับการก่อสร้างในประเทศไทยก็ได้ หากมีการวิเคราะห์เพื่อหาส่วนเพื่อต่าง ๆ เหล่านี้โดยอาศัยข้อมูลทางสถิติที่เก็บในประเทศไทย ก็ย่อมจะเหมาะสมมากกว่า ข้อมูลดังกล่าวได้แก่ การกระจายของน้ำหนักบรรทุก ซึ่งจะมีผลต่อแรงภายในของชิ้นส่วน (Load Effect) และการกระจายของ ขนาดของหน้าตัดคอนกรีต ขนาดของเหล็กเสริม กำลังของวัสดุที่ใช้ทั้งคอนกรีตและเหล็กเสริม รวมไปถึงตำแหน่งของการวางเหล็กเสริม ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถในการรับแรง (Resistance) บทความนี้จะเสนอถึงการเลือกชนิดของการกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมที่สุด (Fit Distribution) โดยวิธี Chi-square สำหรับข้อมูลความกว้างของคาน ขนาดของเสา ความกว้างและความยาวของฐานราก แรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้น กำลังประลัยของคอนกรีต ความลึกประสิทธิผลของหน้าตัดคาน และฐานราก ซึ่งได้เก็บมาจากสถานที่ก่อสร้างบ้านพักอาศัยในเขต กทม. และปริมณฑล ผลของการวิเคราะห์นี้จะนำไปใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการเลือกส่วนเพื่อ ที่เหมาะสมสำหรับมาตรฐานออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กสำหรับประเทศไทยต่อไปในอนาคต

## 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 หลักการออกแบบโดยทั่วไป

การออกแบบโครงสร้างโดยทั่วไป ผู้ออกแบบจะต้องกำหนดความสามารถในการรับแรง (Resistance) ของโครงสร้าง ให้มีค่ามากกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก (Load Effect) ซึ่งวิธีการออกแบบทั้งวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design) และวิธีกำลัง (Strength Design Method) ต่างก็มีการกำหนดส่วนเพื่อของการออกแบบ (Design Margin) ไว้ในลักษณะที่แตกต่างกัน ส่วนเพื่อเหล่านี้ มีไว้เพื่อสำหรับความไม่แน่นอนที่อาจเกิดขึ้นกับโครงสร้าง สำหรับวิธีหน่วยแรงใช้งาน มาตรฐานจะกำหนดหน่วยแรงที่ยอมให้ (Allowable Stress) ซึ่งมักจะใช้ค่าที่ต่ำกว่า

หน่วยแรงสูงสุดที่วัสดุจะรับได้ (Ultimate or Yield Stress) ส่วนวิธีกำลัง มาตรฐานจะกำหนด ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) เพื่อใช้เป็นส่วนเพื่อสำหรับความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกที่จะเกิดขึ้นกับโครงสร้าง และกำหนดตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factor หรือ Resistance Factor) เพื่อใช้เป็นส่วนเพื่อสำหรับความไม่แน่นอนของ “กำลัง” ซึ่งก็หมายถึงความสามารถในการรับแรงนั่นเอง จะเห็นได้ว่า ส่วนเพื่อสำหรับวิธีกำลังนั้น ได้ถูกกำหนดไว้อย่างสมเหตุสมผลกว่าวิธีหน่วยแรงใช้งาน เนื่องจากวิธีกำลังได้แยกตัวคูณน้ำหนักบรรทุกออกเป็นหลายประเภท เช่นตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตายตัว (Dead Load Factor) ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกจร (Live Load Factor) ฯลฯ ซึ่งค่าของตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเหล่านี้อาจไม่เท่ากัน อันเป็นเหตุมาจากความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกแต่ละประเภท ซึ่งอาจไม่เท่ากันนั่นเอง ในขั้นตอนของการวิเคราะห์โครงสร้าง ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเหล่านี้ จะถูกนำไปคำนวณเพื่อที่ใช้หาน้ำหนักบรรทุกที่ผ่านการคูณแล้ว (Factored Load) ซึ่งมาตรฐานการออกแบบจะกำหนดค่าเอาไว้ตายตัวตามมาตรฐานกลาง เช่นทั้งในมาตรฐานการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก ACI318-08[2] และ มาตรฐานการออกแบบอาคารเหล็ก ANSI/AISC 360-05[3] ได้กำหนดตัวคูณน้ำหนักบรรทุกตามมาตรฐาน ASCE/SEI7-02[4] สำหรับส่วนเพื่ออีกประเภทคือตัวคูณลดกำลัง ตามหลักการจะเป็นส่วนเพื่อเนื่องจากความไม่แน่นอนของความสามารถในการรับแรง ซึ่งจะรวมไปถึง (1) ความไม่แน่นอนเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ (2) ความไม่แน่นอนเนื่องจากคุณภาพการก่อสร้างและ (3) ความไม่แน่นอนเนื่องจากสูตรที่ใช้ออกแบบ จะเห็นได้ว่า ขั้นตอนในการกำหนดค่าของตัวคูณลดกำลังที่เหมาะสมซึ่งจะใช้เป็นส่วนเพื่อเนื่องจากความไม่แน่นอนทั้งสามอันที่ได้กล่าวมาข้างต้น จะต้องมีการวิเคราะห์ทางสถิติซึ่งจะกล่าวไว้ในส่วนถัดไป

### 2.2 ขั้นตอนในการวิเคราะห์เพื่อหาตัวคูณลดกำลังที่เหมาะสม

หลักการสำคัญในการออกแบบด้วยวิธีกำลังนี้ ก็จะต้องออกแบบให้มีความเชื่อมั่นของโครงสร้าง (Structure Reliability) อยู่ในระดับที่ยอมรับได้ หรือพูดอีกนัยหนึ่งคือ มีความน่าจะเป็นอยู่น้อยในระดับที่ยอมรับได้ ที่ความสามารถในการรับแรงสูงกว่าผลของน้ำหนักบรรทุก ซึ่งตามที่ได้กล่าวมาแล้วว่าส่วน

เมื่อส่วนแรกก็คือตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเป็นค่าที่ถูกกำหนดตายตัวโดยมาตรฐานกลางเช่น ASCE/SEI7-02[4] ดังนั้นการจะทำให้ความเชื่อมั่นของโครงสร้างอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ จึงจะต้องไปปรับค่าของตัวคูณลดกำลัง ซึ่งมีขั้นตอนซึ่งได้ให้รายละเอียดไว้ [5] ดังนี้

1. กำหนดความเชื่อมั่นของโครงสร้างโดยใช้ค่าเชิงปริมาณคือดัชนีความเชื่อมั่นเป้าหมาย  $\beta_T$  (Target Reliability Index) เช่นใน Building Code Requirements for Minimum Design Loads in Buildings and Other Structures: American National Standards A58[6] ได้กำหนด  $\beta_T$  ไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ดัชนีความเชื่อมั่นเป้าหมายที่ใช้ใน American National Standards A58 [6]

แรงภายใน และประเภทของชิ้นส่วน	$\beta_T$
โมเมนต์ดัด คอนกรีตเสริมเหล็ก	3.0
โมเมนต์ดัด คอนกรีตอัดแรงหล่อในโรงงาน	3.0
โมเมนต์ดัด คอนกรีตอัดแรงหล่อในที่	3.0
พังเนื่องจากแรงอัด เสาปลอกเดี่ยว	3.5
พังเนื่องจากแรงอัด เสาปลอกเกลียว	3.0
แรงเฉือน	3.5

2. ลองผิดลองถูก (Trial & Error) เลือกค่าตัวคูณลดกำลัง  $\phi$  เพื่อใช้ในการคำนวณความสามารถในการรับแรง ที่จะออกแบบ หรือ Nominal Resistance ตามสูตร

$$R_n = \frac{\sum_i^n \alpha_i S_i}{\phi} \quad (1)$$

เมื่อ

$R_n$  คือ ความสามารถในการรับแรง “ปกติ” (Nominal Resistance) หมายถึงความสามารถในการรับแรงในกรณีที่คุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ คุณภาพการก่อสร้าง และสูตรคำนวณที่ใช้ออกแบบเป็นไปอย่างสมบูรณ์

$\alpha_i$  คือ ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (Load Factor) ประเภทที่  $i$

$S_i$  คือ น้ำหนักบรรทุก (Load) ประเภทที่  $i$

$\phi$  คือ ตัวคูณลดกำลัง (Strength Reduction Factor หรือ Resistance Factor)

เช่นหากกำลังพิจารณาผลรวมของโมเมนต์ดัด ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกรวม (Load Combination) ซึ่งเป็นผลรวมของน้ำหนักตายตัวและน้ำหนักจร จะหาความสามารถในการรับโมเมนต์ดัดปกติ (Nominal Moment) สำหรับการออกแบบตามมาตรฐาน ASCE/SEI7-02[4] ได้จากสมการที่ (2) เป็นต้น

$$M_n = \frac{1.2M_d + 1.6M_l}{\phi} \quad (2)$$

3. ทำการจำลอง (Simulation) โดยวิธีสุ่มผลของน้ำหนักบรรทุก,  $Q$  (Load Effect) ให้มีชนิดของการกระจาย (Distribution Type) และค่าพารามิเตอร์ของการกระจาย (Distribution Parameter) ที่ได้จากการเก็บข้อมูลทางสถิติ เพื่อคำนวณค่าพารามิเตอร์ของการกระจายของผลของน้ำหนักบรรทุก อันได้แก่ ค่าเฉลี่ยของผลของน้ำหนักบรรทุก,  $\mu_Q$  และค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) ของผลของน้ำหนักบรรทุก,  $\sigma_Q$  ซึ่งข้อมูลการกระจายของน้ำหนักบรรทุกนี้ จะได้จากการสำรวจน้ำหนักบรรทุก (Load Survey) เช่นในงานวิจัยของชูชัย สุจิวิกุลและคณะ [7]

4. ทำการจำลอง เพื่อหาการกระจายทางสถิติของความสามารถในการรับแรง,  $R$  (Resistance) ซึ่งจะได้ค่าพารามิเตอร์อันได้แก่ ค่าเฉลี่ยของความสามารถในการรับแรง,  $\mu_R$  และความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการรับแรง,  $\sigma_R$  ซึ่งต้องคำนวณได้จากสูตรที่ใช้ในการออกแบบ เมื่อ  $R$  จะขึ้นอยู่กับตัวแปรอื่น ๆ เช่น ขนาดของหน้าตัด ตำแหน่งของเหล็กเสริม และคุณสมบัติทางกลของวัสดุ เช่นหากต้องการหาความสามารถในการรับโมเมนต์ของแต่ละเหตุการณ์ อาจจะใช้สูตร

$$M = A_s f_y \left( d - \frac{a}{2} \right) \quad (3)$$

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f_c' b} \quad (4)$$

เมื่อ

$M$  คือ ความสามารถในการรับโมเมนต์ของแต่ละเหตุการณ์

$A_s$  คือ พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมของแต่ละเหตุการณ์

$f_y$  คือ หน่วยแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเสริมของแต่ละเหตุการณ์

$d$  คือ ความลึกประสิทธิภาพผลของแต่ละเหตุการณ์

$b$  คือ ความกว้างของหน้าตัดของแต่ละเหตุการณ์

ซึ่งค่าของ  $A_y$ ,  $f_y$ ,  $d$  และ  $b$  ของหนึ่งเหตุการณ์นี้จะได้มาจากการสุ่ม (Random) ตามชนิดและพารามิเตอร์ของการกระจายที่ศึกษาได้จากกรเก็บตัวอย่าง เช่นการกระจายของความกว้างของหน้าตัด,  $b$  อาจมีชนิดของการกระจายเป็น Logistic ซึ่งมีค่าเฉลี่ยเป็น  $\mu_b = 1.006688$  และมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเป็น  $\sigma_b = 0.015905$  เป็นต้น ในการจำลองขั้นตอนที่ 3 และ 4 นี้จะต้องสุ่มเพื่อคำนวณค่าของ  $Q$  และ  $R$  ในเหตุการณ์ต่าง ๆ กันหลายเหตุการณ์ เพื่อให้เพียงพอที่จะเป็นตัวแทนของการกระจายโดยรวมได้ ซึ่งจำนวนเหตุการณ์ที่ใช้จากมากถึง 10,000 ก็ได้

5. ปรับแก้ค่าของ  $\mu_R$  และ  $\sigma_R$  เนื่องจากความเพี้ยนและความไม่แน่นอนของสูตรที่ใช้ออกแบบ โดยใช้ Professional Factor ตามสมการ (5) ถึง (7)

$$\mu_R^* = \lambda_p \times \mu_R \quad (5)$$

$$\sigma_p = \lambda_p \times V_p \quad (6)$$

$$\sigma_R^* = \sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_p^2} \quad (7)$$

เมื่อ  $\mu_R^*$  คือค่าเฉลี่ยของความสามารถในการรับแรง ที่ปรับแก้ค่าความเพี้ยนเนื่องจากสูตรที่ใช้ออกแบบแล้ว

$\sigma_R^*$  คือค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความสามารถในการรับแรง ที่ปรับแก้ค่าความเพี้ยนเนื่องจากสูตรที่ใช้ออกแบบแล้ว

$\lambda_p$  คือ ค่าเฉลี่ยของ Professional Factor ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่าเฉลี่ยของความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างที่จะออกแบบได้จริง ต่อค่าเฉลี่ยของความสามารถในการรับแรงของโครงสร้างที่ได้จากสูตรที่ใช้ในการออกแบบ

$V_p$  คือค่า Coefficient of Variation (COV) ของ Professional Factor ตารางที่ 2 แสดงค่า  $\lambda_p$  และ  $V_p$  ที่ให้ไว้โดย Nowak และ Szerszen [8]

6. จาก  $\mu_Q$ ,  $\sigma_Q$ ,  $\mu_R^*$ ,  $\sigma_R^*$  คำนวณดัชนีความเชื่อมั่นสำหรับค่า  $\phi$  ที่ได้ทดลองเลือกไว้ในขั้นตอนที่ 2 โดยวิธี First-Order Second-Moment method (FOSM) [5],[6]

ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ทางสถิติของ Professional factor สำหรับชิ้นส่วนโครงสร้างประเภทต่าง ๆ [8]

ประเภทของชิ้นส่วน โครงสร้าง	$\lambda_p$	$V_p$
คาน รับโมเมนต์ดัด	1.02	0.06
คาน รับแรงเฉือน	1.075	0.10
พื้น	1.02	0.06
เสา ปลอกเดี่ยว	1.00	0.08
เสา ปลอกเกลียว	1.05	0.06

$$\beta = \frac{\mu_R - \mu_Q}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_Q^2}} \quad (8)$$

7. เปรียบเทียบค่า  $\beta$  ที่ได้จากขั้นตอนที่ 6 กับค่าดัชนีความเชื่อมั่นเป้าหมาย  $\beta_T$  จากขั้นตอนที่ 1 แล้วทดลองปรับแก้ค่า  $\beta$  ใหม่ (อาจเพิ่มหรือลดทีละ 0.05 ก็ได้) จนว่าจะได้ค่า  $\phi$  ที่ทำให้ค่า  $\beta$  ใกล้เคียงกับค่า  $\beta_T$  มากที่สุด ซึ่งหมายถึงเป็นการเลือกตัวคูณลดกำลัง ที่ทำให้โครงสร้างที่ออกแบบมีความเชื่อมั่นใกล้เคียงกับความเชื่อมั่นที่เหมาะสม (เป้าหมาย) มากที่สุด

จะเห็นได้ว่าในขั้นตอนที่ 3 และ 4 นั้นจะต้องอาศัยข้อมูลจากการศึกษาทางสถิติของตัวแปร ทั้งที่เป็นผลของน้ำหนักบรรทุกและที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรง ซึ่งในส่วนถัดไปจะอธิบายถึงการเก็บข้อมูลทางสถิติ ที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรง

### 3. การเก็บข้อมูล

ผู้แต่งได้ให้นักศึกษาทำโครงการ ในระดับปริญญาตรี [9],[10] เก็บข้อมูลขนาดของโครงสร้างบ้านพักอาศัยในเขต กทม. และปริมาตรทั้งหมดจำนวน 6 หลัง ซึ่งแสดงไว้ในตารางที่ 3 ส่วนตารางที่ 4 แสดงจำนวนขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างที่วัดมาได้

ผู้แต่งได้ให้นักศึกษาระดับปริญญาตรีทำโครงการ [11] เก็บตัวอย่างเหล็กเส้นจากโครงสร้างบ้านพักอาศัย 100 แห่งในเขต กทม. และปริมาตร และนำไปทดสอบเพื่อหาแรงดึงที่จุดคราก

(Yield Load) และจากโครงการงานของนักศึกษาในระดับปริญญาตรี [12],[13],[14] ซึ่งได้เก็บตัวอย่างคอนกรีตจากสถานที่ก่อสร้างจริงที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพจำนวน 30 แห่งในเขต กทม. และปริมณฑล เพื่อนำมาหาค่ากำลังประลัยที่ 28 วัน สรุปไว้ในตารางที่ 5 ดังนี้

ตารางที่ 3 รายละเอียดของโครงสร้าง คสล. ที่เก็บตัวอย่าง

หลังที่	สถานที่ตั้ง	ลักษณะอาคาร
1	ซอยปากเกร็ด-แจ้งวัฒนะ 17 [9]	บ้านพักอาศัย 2 ชั้น
2	ซอยลาดปลาเค้า 78 [9]	บ้านพักอาศัย 4 ชั้น
3	ซอยพวงทอง ถนนเกษตร-นวมินทร์ [9]	บ้านพักอาศัย 4 ชั้น
4	ถนนนวลจันทร์ [9]	บ้านพักอาศัย 3 ชั้น
5	เขตคลองชั้น [10]	บ้านพักอาศัย 2 ชั้น
6	ลำลูกกาคลอง 4 [10]	บ้านพักอาศัย 2 ชั้น

ตารางที่ 4 จำนวนขนาดของชิ้นส่วนโครงสร้างที่วัดมาได้ [9],[10]

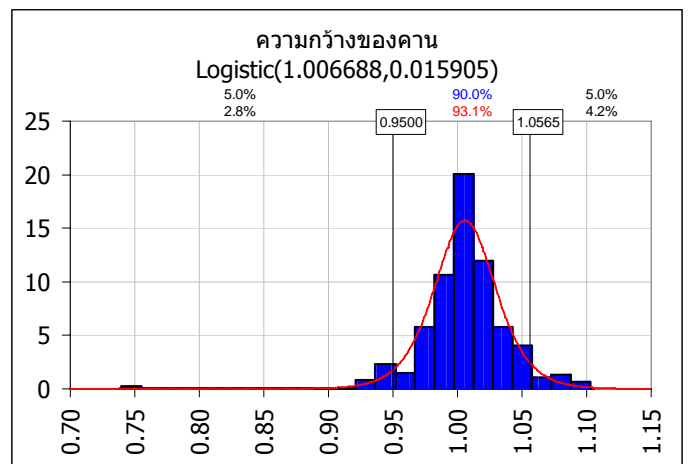
ประเภทของชิ้นส่วน	ชนิดของข้อมูล	จำนวนข้อมูล (Observations)
คาน	ความกว้าง	310
	ความลึกประสิทธิภาพ	342
	ระยะเรียงเหล็กปลอก	110
เสา	ขนาด	158
ฐานราก	ความกว้าง	292
	ความยาว	92
	ความลึกประสิทธิภาพ	192

ตารางที่ 5 จำนวนข้อมูลของคุณสมบัติทางกลของวัสดุเหล็กและคอนกรีต

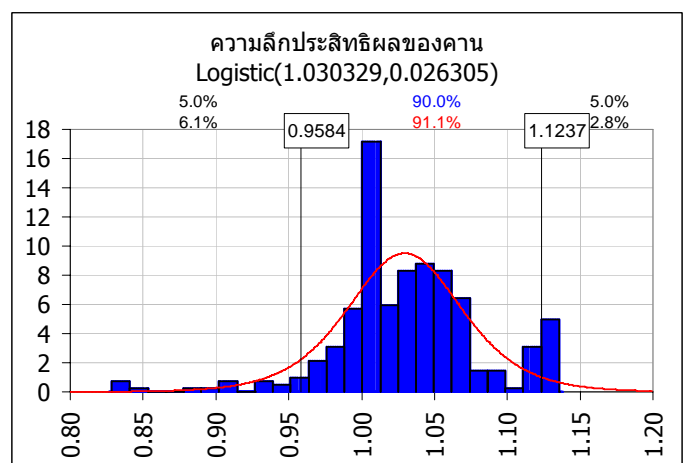
ชนิดของข้อมูล	จำนวนข้อมูล (Observations)
แรงดึงที่จุดคราก RB6-SR24 [11]	97
แรงดึงที่จุดคราก RB9-SR24 [11]	97
แรงดึงที่จุดคราก DB12-SD30 [11]	92
แรงดึงที่จุดคราก DB16-SD30 [11]	64
$f'_c$ ของคอนกรีต (150 ksc) [12],[13],[14]	820

#### 4. ขั้นตอนและผลการวิเคราะห์

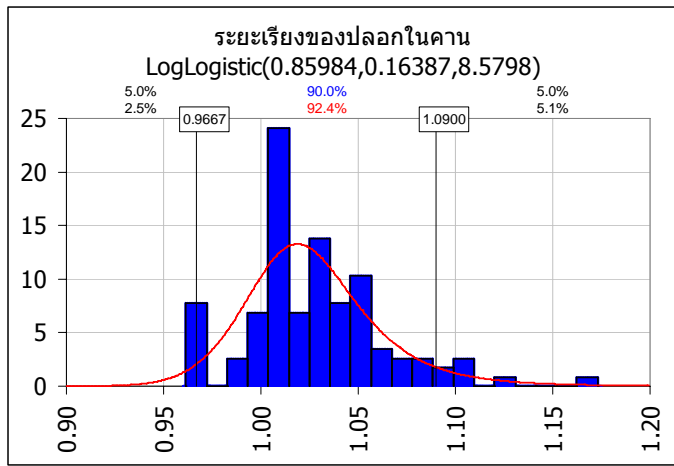
จากข้อมูลตามที่ได้รวบรวมมา ผู้แต่งได้นำมาคำนวณหาอัตราส่วนของค่าที่วัดได้ต่อค่าที่ระบุไว้ตามแบบ หรือตามมาตรฐาน ซึ่งอัตราส่วนนี้จะใช้เป็นค่าตัวปรับหรือ Bias Factor สำหรับการจำลองต่อไป จากนั้นจึงรวบรวมค่า Bias Factor แล้วนำไปทดสอบ เพื่อหาชนิดของการกระจายทางสถิติที่เหมาะสมที่สุด (Fit Distribution) ซึ่งได้ทดลองกับการกระจายทางสถิติมาตรฐานทั้งหมด 22 ชนิดและเลือกชนิดของการกระจายที่ให้ค่า Chi-square,  $\chi^2$  ต่ำสุด จะได้ชนิดของการกระจายและกราฟแท่งความถี่ (Histogram) ดังแสดงในภาพที่ 1 ถึงภาพที่ 12



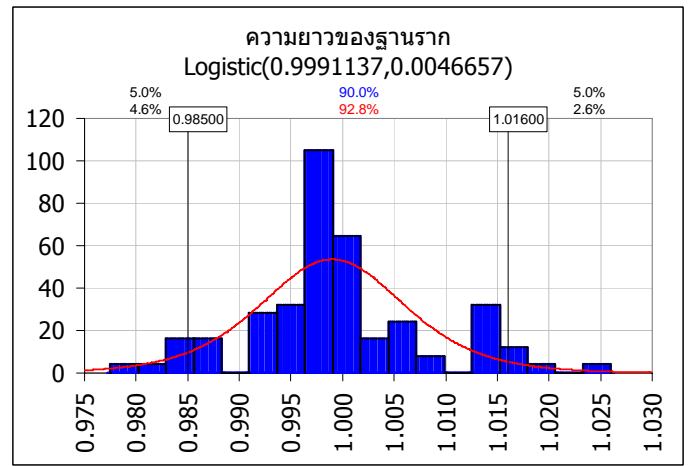
ภาพที่ 1 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของความกว้างของคาน



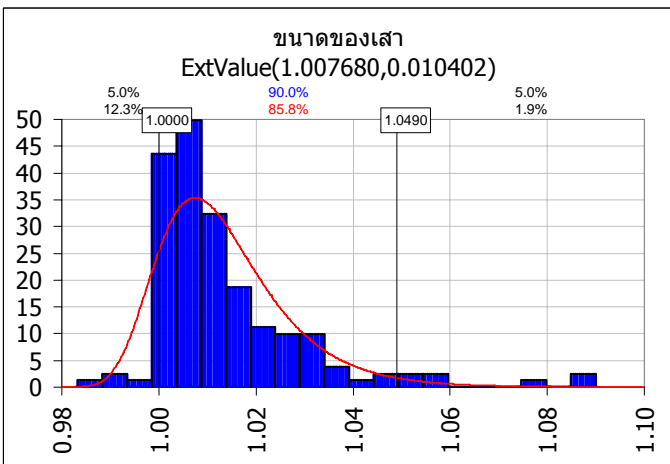
ภาพที่ 2 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของความลึกประสิทธิภาพของคาน



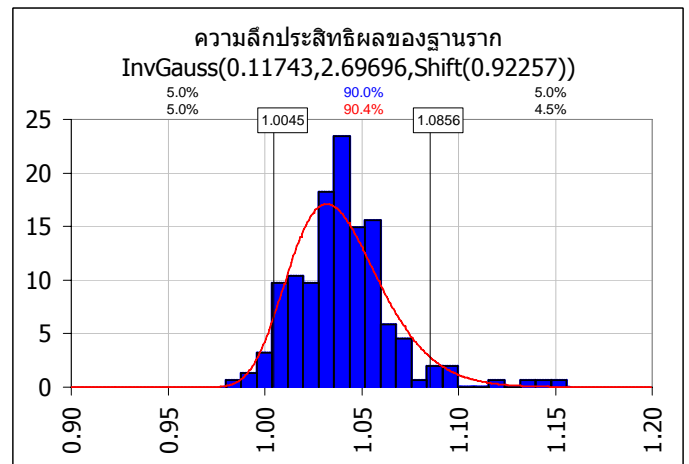
ภาพที่ 3 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของระยะเรียงของปลอกในคาน



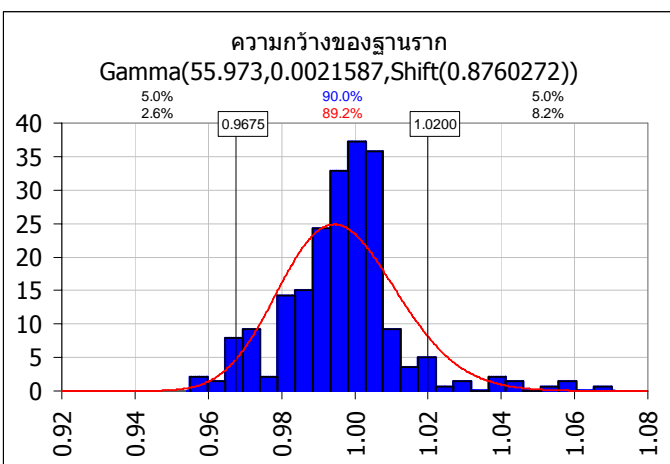
ภาพที่ 6 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของความยาวของฐานราก



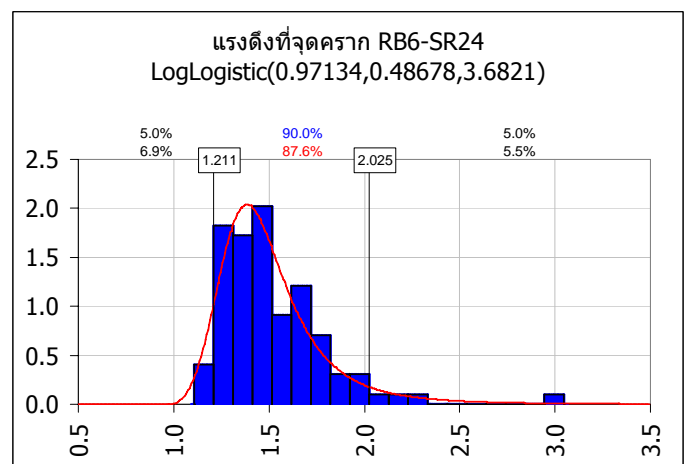
ภาพที่ 4 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของขนาดของเสา



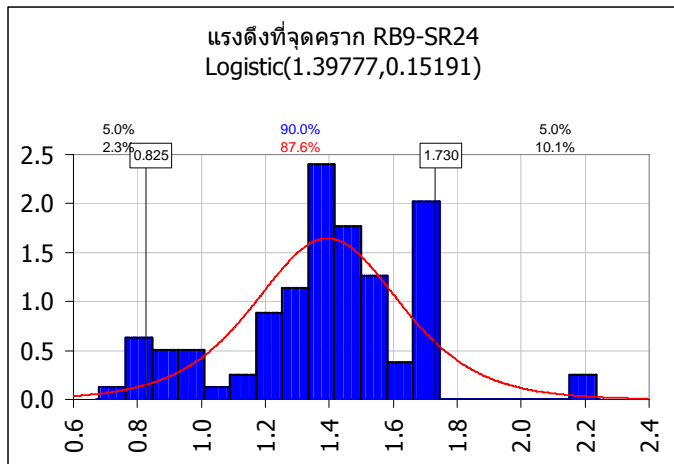
ภาพที่ 7 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของความลึกประสิทธิภาพของฐานราก



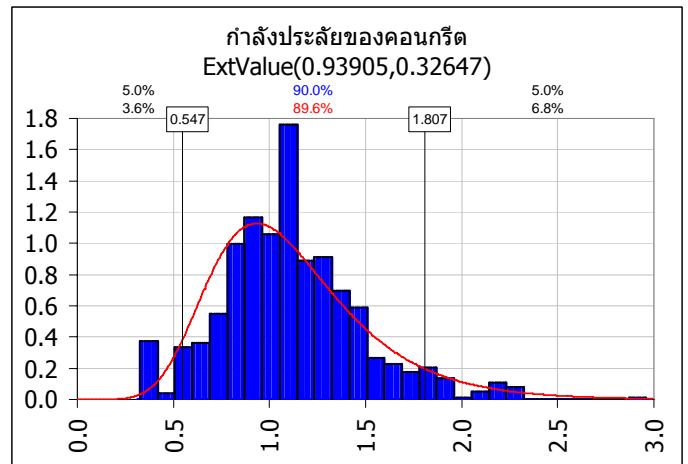
ภาพที่ 5 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของความกว้างของฐานราก



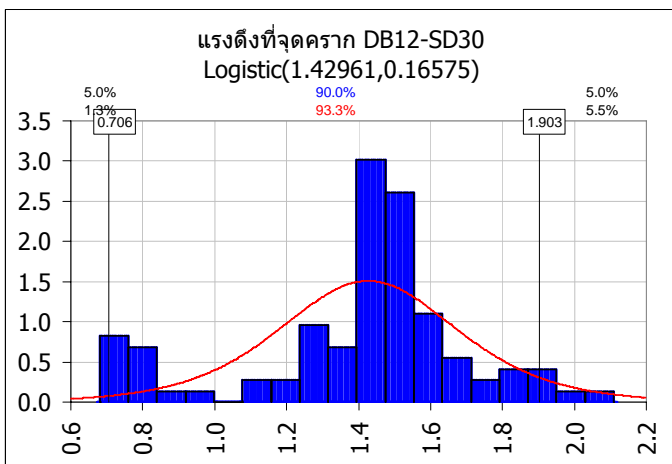
ภาพที่ 8 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้น RB6 ชั้นคุณภาพ SR24



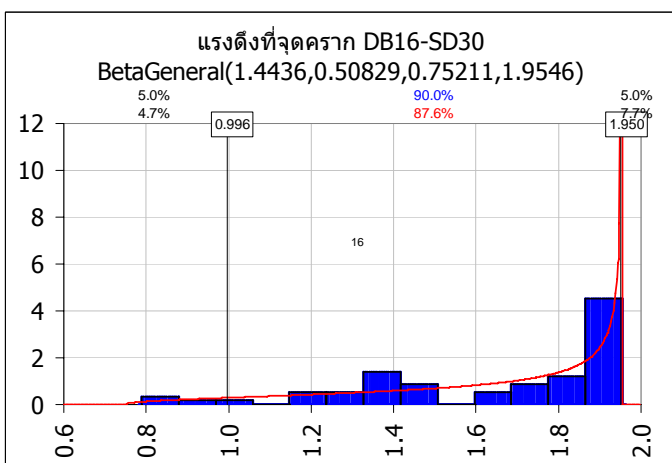
ภาพที่ 9 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้น RB9 ชั้นคุณภาพ SR24



ภาพที่ 12 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของข้อมูลกำลังประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน กำลังเป้าหมาย 150 ksc



ภาพที่ 10 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้น DB12 ชั้นคุณภาพ SD30



ภาพที่ 11 การกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมของ Bias Factor ของแรงดึงที่จุดครากของเหล็กเส้น DB16 ชั้นคุณภาพ SD30

## 5. อภิปรายผล

จากภาพที่ 1 ถึงภาพที่ 12 เส้นกราฟแท่งแสดงถึง Histogram ของข้อมูลที่เก็บมาได้ ในขณะที่เส้นโค้งแสดงถึงเส้นของชนิดการกระจายมาตรฐานที่ได้จาก Fit Distribution จะสังเกตเห็นว่า ชนิดของการกระจายมาตรฐานส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Logistic เช่น ความกว้างและความลึกประสิทธิภาพของคาน ความยาวของฐานราก แรงดึงที่จุดครากของเหล็ก RB9-SR24 และ DB12-SD30 ส่วนข้อมูลที่มีการกระจายแบบมาตรฐานชนิด LogLogistic ได้แก่ ระยะเรียงของเหล็กปลอกในคาน และแรงดึงที่จุดครากของเหล็ก RB6-SR24 ขนาดของเสา และกำลังประลัยของคอนกรีต มีการกระจายแบบ ExtValue ส่วนที่เหลือมีการกระจายมาตรฐานแบบแตกต่างกับออกไปเช่น Gamma (ความกว้างของฐานราก), InvGauss (ความลึกประสิทธิภาพของฐานราก) และ BetaGeneral (แรงดึงที่จุดคราก DB16-SD30)

จากข้อมูลที่รวบรวมมาได้ เมื่อนำมาหาค่า Bias Factor และ Coefficient of Variation (COV) และเปรียบเทียบกับบทความในวารสาร ACI ของ Nowak [8] ซึ่งเป็นผู้แต่งหนังสือ Reliability of Structures ที่เป็นที่ยอมรับกันในสาขาวิชานี้ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 5

จากตารางที่ 5 เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลขนาดของชิ้นส่วน เช่น ความกว้าง และความลึกประสิทธิภาพของคาน และ ขนาดของเสา ระหว่างข้อมูลที่เก็บได้ในประเทศไทย กับประเทศสหรัฐอเมริกา จะเห็นได้ว่าไม่มีความแตกต่างมากนัก ทั้งในส่วนของ Bias Factor และ COV แต่เมื่อเปรียบเทียบข้อมูลกำลังของวัสดุทั้งเหล็กเส้นและคอนกรีต (ซึ่งที่ผู้แต่งได้รวบรวมมาส่วนใหญ่มี

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบข้อมูลของประเทศไทย และ USA

ข้อมูล		ประเทศไทย		USA	
		[9] ถึง [14]		[8]	
		Bias Factor	COV	Bias Factor	COV
คาน	ความกว้าง	1.006	0.032	1.01	0.04
	ความลึก	1.031	0.048	0.99	0.04
	ประสิทธิภาพ				
เสา	ขนาด	1.014	0.016	1.005	0.04
แรงดึงที่จุดคราก		1.38	0.20	1.20 <sup>+</sup>	0.041 <sup>*</sup>
9 มม(ไทย)/9.5 มม(USA)		97 ข้อมูล		72 ข้อมูล	
แรงดึงที่จุดคราก		1.40	0.22	1.145 <sup>+</sup>	0.066 <sup>*</sup>
12(ไทย)/12.5 มม(USA)		92 ข้อมูล		79 ข้อมูล	
แรงดึงที่จุดคราก		1.65	0.19	1.125 <sup>+</sup>	0.041 <sup>*</sup>
16(ไทย)/15.5 มม(USA)		64 ข้อมูล		116 ข้อมูล	
กำลังประลัยคอนกรีต		1.113	0.330	1.35	0.102
150ksc(ไทย)		820 ข้อมูล		330 ข้อมูล	
/210ksc(USA)					

+ คำนวณจาก Bias Factor ของข้อมูล  $f_y$  และขนาดของเหล็กเส้นรวมกัน

\* คำนวณจาก COV ของข้อมูล  $f_y$  และขนาดของเหล็กเส้นรวมกัน

จำนวนข้อมูลมากกว่าของ Nowak [8] ด้วยซ้ำ ข้อมูลในประเทศไทยจะมีค่า COV สูงกว่าประเทศสหรัฐอเมริกา 3 ถึง 5 เท่า

## 6. สรุป

จากการรวบรวมข้อมูลทางสถิติ ของปัจจัยที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง คสล. เพื่อนำมาหาชนิดของการกระจายมาตรฐานที่เหมาะสมที่สุด (Fit Distribution) โดยเลือกชนิดของการกระจายที่มีค่า Chi-square ต่ำสุด จากการกระจายมาตรฐาน 22 แบบ นำมาสรุปพร้อมกับพารามิเตอร์ของการกระจายนั้น ๆ ไว้ในตารางที่ 6 อย่างไรก็ตาม ข้อมูลที่ผู้แต่งรวบรวมมายังมีอยู่จำกัด ซึ่งยังจะต้องสะสมข้อมูลเพิ่มเติม หลังจากนั้นจึงจะนำข้อมูลไปใช้สำหรับการจำลองเพื่อเลือกตัวคูณลดกำลังต่อไป

อนึ่งค่า Coefficient of Variation (COV) ของกำลังวัสดุที่เก็บในประเทศไทย มีค่าสูงกว่าประเทศสหรัฐอเมริกา 3 ถึง 5 เท่า จึงคาดว่าตัวคูณลดกำลัง ที่วิเคราะห์ได้จะแตกต่างจากของ ACI318 อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งผู้แต่งจะได้นำเสนอต่อไปในโอกาสหน้า

ตารางที่ 6 ชนิดและพารามิเตอร์ของการกระจายทางสถิติของข้อมูลที่มีผลต่อความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง คสล.

ข้อมูล		ชนิดและพารามิเตอร์ของการกระจายทางสถิติ
คาน	ความกว้าง	Logistic(1.006688,0.015905)
	ความลึก	Logistic(1.030329,0.026305)
	ประสิทธิภาพ	
เสา	ระยะเรียงเหล็กปลอก	LogLogistic(0.85984,0.16387,8.5798)
	ขนาด	ExtValue(1.007680,0.010402)
	ความกว้าง	Gamma(55.973,0.0021587,Shift(0.8760272))
ฐาน	ความยาว	Logistic(0.9991137,0.0046657)
	ความลึก	InvGauss(0.11743,2.69696,Shift(0.92257))
ราก	ประสิทธิภาพ	
	แรงดึงที่จุดคราก	LogLogistic(0.97134,0.48678,3.6821)
RB6-SR24		
แรงดึงที่จุดคราก		Logistic(1.39777,0.15191)
RB9-SR24		
แรงดึงที่จุดคราก		Logistic(1.42961,0.16575)
DB12-SD30		
แรงดึงที่จุดคราก		BetaGeneral(1.4436,0.50829,0.75211,1.9546)
DB16-SD30		
$f'_c$ ของคอนกรีต (150 ksc)		ExtValue(0.93905,0.32647)

## 7. บรรณานุกรม

- [1] คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา ประจำปี 2537-2538, 2538. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง ว.ส.ท. 1008-38. กทม : วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.
- [2] ACI Committee 318, 2008. Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI318-08) and Commentary (ACI318R-08). Farmington Hill, Michigan : American Concrete Institute.
- [3] AISC Committee 360, 2005. Specification for Structural Steel Buildings (ANSI/AISC 360-05). Chicago, Illinois: American Institute of Steel Construction, Inc.
- [4] ASCE/SEI Committee 7, 2002. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (SEI/ASCE 7-02). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
- [5] Nowak, A. S. and Collins, K. R., 2000. Reliability of Structures. New York : McGraw-Hill.



- [6] Ellingwood, B., Galambos, T. V., MacGregor J. G. and Cornell, C. A., 1980. Development of a Probability Based Load Criterion for American National Standards A58. NBS Special Reports 577, US. Department of Commerce, National Bureau of Standards
- [7] สุชัย สุจิรวกุล และคณะ, 2551. การศึกษาน้ำหนักบรรทุกของที่พักอาศัยและตึกแถว. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 4, โรงแรมลายทอง อำเภอเมือง จ. อุบลราชธานี.
- [8] Nowak, A. S. and Szerszen, M. M., 2003. Calibration of Design Code for Building (ACI318): Part 1 – Statistical Models for Resistance. ACI Structural Journal, V. 100(3) : 377-382.
- [9] สุวิทย์ กาวรรณ์ และคณะ, 2552. การศึกษาเชิงสถิติของความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นส่วนโครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) ในอาคารบ้านพักอาศัยในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล. โครงการงานระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [10] บัณฑิต คงสมคิด และคณะ, 2551. การศึกษาเชิงสถิติของความคลาดเคลื่อนของขนาดชิ้นส่วน โครงสร้าง คอนกรีตเสริมเหล็ก (คสล.) ในอาคารบ้านพักอาศัยในเขต กรุงเทพฯ และปริมณฑล. โครงการงานระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [11] อภิเดช ต้นไพศาล และคณะ, 2548. ผลกระทบของเหล็กเสริมไม่ได้มาตรฐานที่มีต่อพฤติกรรมและกำลังขององค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กที่รับแรงดัด. โครงการงานระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [12] สุวรรณรัตน์ พิภทอง และคณะ, 2547. การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพในเขตปริมณฑล. โครงการงานระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [13] สุรัชย์ สุจิรวรรณ และคณะ, 2549. การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพในเขตปริมณฑล. โครงการงานระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม.
- [14] มุกชามีนา กาเร็งसानา และคณะ, 2549. การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพในเขตปริมณฑล. โครงการงานระดับปริญญาตรี มหาวิทยาลัยศรีปทุม.