

ตารางหน้าตัดสำเร็จรูป สำหรับออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง Prefabricated Cross-Section Table for The Design of Reinforced Concrete Beams by Strength Design Method

รัตนพงษ์ แก้วจู้* ทักษิณา ทานต์วิรุฬห์ อริสรา สุดเจริญ และ สรกานต์ ศรีทองอ่อน

ภาควิชาเทคโนโลยีวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพมหานคร

*Corresponding author; E-mail address: s63030616175@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้แนะนำเสนอการทำตารางสำเร็จรูปแบบแสดงหน้าตัดสำหรับออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง เพื่อช่วยออกแบบคานหรือตรวจสอบคานที่ออกแบบมาแล้ว โดยมีขอบเขตไว้คือใช้ $f_c' 5$ แบบคือ 240, 320, 420, 500 และ 600 ksc เหล็กเสริมหลัก SD-50 6 ขนาด คือ 12, 16, 20, 25, 28 และ 32 mm เหล็กดัดใช้ขนาด 6 mm SR-24 และ 10 mm SD-50 คานใช้ความกว้าง 4 ขนาดคือ 15, 20, 25 และ 30 cm ความลึก 11 ขนาดคือ 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70 และ 80 cm รวมจัดได้ 60 รูปแบบ ในแต่ละรูปแบบกำหนดจำนวนเหล็กเสริมหลักให้รับแรงดึงเท่านั้น คือ $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ โดยมีข้อพิจารณาเพิ่มเติมคือ ระยะเรียงเหล็กเสริมต้องเป็นไปตามมาตรฐาน และเหล็กดัดเสริมแบบเดี่ยวเท่านั้น การสร้างตารางทำโดยพัฒนาโปรแกรมด้วยไมโครซอฟต์วิซวลเบสิกเพื่อช่วยคำนวณและแสดงรายละเอียดของหน้าตัดคาน ซึ่งในแต่ละหน้าตัดจะแสดงรายละเอียดขนาดหน้าตัดคาน จำนวนเหล็กเสริม และแสดงค่าตัวเลขของ $d, \rho, M_{u,max}$ และ $V_{u,max}$ ผลที่ได้คือตารางออกแบบคานจำนวน 4,993 หน้าตัด ในรูปแบบไฟล์ pdf สามารถเปิดดูได้ผ่านคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์พกพาอื่น ซึ่งวิศวกรผู้ออกแบบหรือควบคุมงานสามารถนำไปใช้ได้โดยสะดวก และเป็นแนวทางในการทำตารางคานโดยใช้เหล็กเสริมชั้นคุณภาพอื่นต่อไป

คำสำคัญ: ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก, ตารางหน้าตัดสำเร็จรูป, วิธีกำลัง

Abstract

This article presents a prefabricated cross-sectional table for the design of reinforced concrete beams using the strength design method, to help the design of beams or evaluate the strength of beam sections that has already been designed. The scope is to use $f_c' 5$ types: 240, 320, 420, 500, and 600 ksc; 6 sizes of SD-50 main reinforcing steel: 12, 16, 20, 25, 28, and 32

mm; and 6 mm SR-24 and 10 mm. SD-50 beams use 4 widths: 15, 20, 25, and 30 cm, depths in 11 sizes: 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60, 65, 70, and 80 cm. All scopes can be arranged in 60 forms. With additional considerations, each form determines the number of main reinforcements to receive tensile strength only, which is $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$. The reinforcement spacing must be standard, and only single stirrup may be used. The table was created by developing a program in Microsoft Visual Basic to help calculate and graphically display the cross-section of the beam. Each section will show beam cross-sectional size and the graphic amount of reinforcing steel. and show the numerical values of $d, \rho, M_{u,max}$, and $V_{u,max}$. The result is a beam design table, including 4,993 cross-sections in pdf file format that can be viewed through computers or other portable devices. Which engineers who design or supervise work can use it conveniently and as a way to make a table of beams by using other grades of reinforcing steel.

Keywords: Design of Reinforced Concrete Beams, Prefabricated Cross-section Table, Strength Design Method

1. บทนำ

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังมีขั้นตอนที่ตายตัว โดยอาศัยหลักการ $M_u \leq \phi M_n$ และ $V_u \leq \phi V_n$ ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ ดังนั้น เมื่อกำหนดหน้าตัดคาน และจำนวนเหล็กเสริม รวมถึงค่า f_c' และ f_y ก็สามารถออกแบบได้ ซึ่งค่า ϕM_n และ ϕV_n สามารถคำนวณทำเป็นตารางออกแบบไว้ล่วงหน้าได้

จากการศึกษาพบว่า ส่วนใหญ่แล้ว ตารางออกแบบเท่าที่มีใช้ในหน่วยงานออกแบบของประเทศไทย มักจะเป็นการออกแบบวิธีหน่วยแรงใช้

งานซึ่งแสดงเป็นตารางตัวเลข [1] หรือมีบ้างในวิธีกำลังแต่ก็แสดงเป็นตารางตัวเลขเพียงอย่างเดียวทำให้อาจเกิดความผิดพลาดได้มากในการนำไปใช้ [2] ซึ่งทำให้การนำไปใช้งานจริงยังมีความยุ่งยากอยู่บ้างในการเลือกใช้ให้เหมาะสม

ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น คณะผู้วิจัยจึงเห็นควรที่จะจัดทำตารางออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง โดยให้อยู่ในรูปแบบรายละเอียดแสดงขนาดหน้าตัดคาน จำนวนเหล็กเสริม และค่าตัวเลขที่จำเป็นนี้ขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้งานเห็นภาพของหน้าตัดคานและเกิดความเข้าใจได้ง่ายขึ้น

2. วัตถุประสงค์

สร้างตารางออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังเพื่อ

1. ใช้ในการช่วยออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
2. ตรวจสอบการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. แก้ไขปัญหาในการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กในงานก่อสร้าง เช่น การเปลี่ยนขนาดเหล็ก การเปลี่ยนหน้าตัด เป็นต้น

3. สัญลักษณ์และความหมาย

สัญลักษณ์และความหมายที่ใช้ในบทความนี้ แสดงดังตารางที่ 1 [3]

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์และนิยาม

สัญลักษณ์	ความหมาย
a	ความลึกของหน่วยแรงเทียบเท่าสี่เหลี่ยมผืนผ้า
A_s	เนื้อที่ของเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึง
b	ความกว้างของผิวด้านรับแรงอัดขององค์อาคาร
d	ระยะจากขอบนอกสุดด้านรับแรงอัดไปยังเซนทรอยด์ของเหล็กเสริมตามยาวรับแรงดึง
f'_c	กำลังอัดที่กำหนดของคอนกรีต
f_y	กำลังครากที่กำหนดของเหล็กเสริม
h	ความหนาแน่นทั้งหมด ความสูงหรือความลึกขององค์อาคาร
M_n	กำลังดัดระบุที่หน้าตัด
M_u	โมเมนต์ที่คูณด้วยแฟกเตอร์ที่หน้าตัด
V_c	กำลังเฉือนระบุที่ให้โดยคอนกรีต
V_s	กำลังเฉือนระบุที่ให้โดยเหล็กเสริมรับแรงเฉือน
V_u	แรงเฉือนที่คูณด้วยแฟกเตอร์ที่หน้าตัด
β_1	แฟกเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับความลึกของหน่วยแรงอัดรูปกล่องสี่เหลี่ยมผืนผ้าเทียบเท่ากับความสัมพันธ์จากผิวบนของคาน
ρ	อัตราส่วนของ A ต่อ bd
ρ_b	อัตราส่วนของ A ต่อ bd ซึ่งทำให้เกิดสภาวะความเครียดได้ดุล
ϕ	แฟกเตอร์ลดกำลัง

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ตารางคานที่จัดทำ จะพิจารณาเป็นการวิเคราะห์คานเสริมเหล็กรับแรงดึงเท่านั้น โดยอ้างอิงตาม มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง (มาตรฐาน วสท. 011008-21) [4] ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

สิ่งที่ต้องทราบ

- f'_c
- f_y เหล็กเสริมหลักใช้เหล็ก SD-50 , $f_y = 5000$ ksc
- f_y เหล็กลูกตั้ง แบ่งเป็น
 - ก) เหล็ก RB 6 mm ใช้ SR-24, $f_y = 2400$ ksc
 - ข) เหล็ก DB 10 mm ใช้ SD-50 , $f_y = 5000$ ksc
- E_s ใช้เท่ากับ 2.04×10^6 ksc
- ขนาดหน้าตัดคาน
- ขนาดและจำนวนเหล็กเสริมหลัก
- ขนาดและระยะเรียงเหล็กลูกตั้ง

ขั้นตอนการวิเคราะห์

- หาค่าพารามิเตอร์

$$\rho_{min} = 14 / f_y$$

$$\rho_b = \frac{\beta_1 0.85 f'_c 6120}{f_y (6120 + f_y)}$$

β_1 หาได้จาก

$$\text{ถ้า } f'_c \leq 280 \text{ ksc , } \beta_1 = 0.85$$

$$\text{ถ้า } f'_c > 280 \text{ ksc , } \beta_1 = 0.85 - 0.05[(f'_c - 280)/70]$$

โดยถ้า $\beta_1 < 0.65$ ให้เท่ากับ 0.65

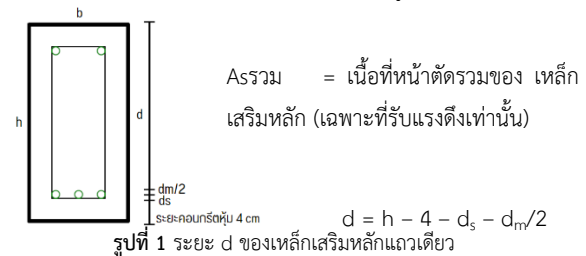
$$\rho_{max} = 0.75 \rho_b$$

- หา d

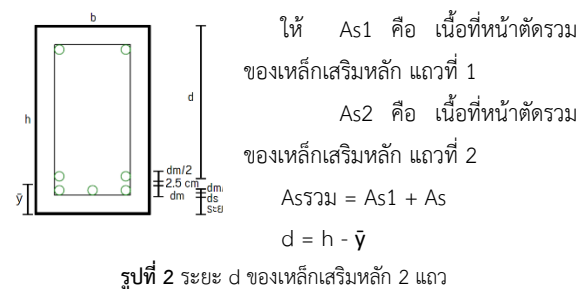
ให้ d_m คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กเสริมหลัก

d_s คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเหล็กลูกตั้ง

ถ้าเหล็กเสริมหลักมีแถวเดียว หา d ได้ ดังรูปที่ 1



ถ้าเหล็กเสริมหลักมี 2 แถว หา d ได้ดังรูปที่ 2



- หา M_u

$$1. A_s = A_{s\text{รวม}}$$

$$2. \rho = A_s/bd$$

โดยตรวจสอบว่า $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$

ถ้าไม่ผ่าน แสดงว่าขนาดหน้าตัดคานกับจำนวนเหล็กเสริมหลัก

ไม่สมดุล ต้องเปลี่ยนค่า

$$3. a = \rho f_y d / 0.85 f'_c$$

$$4. M_n = A_s f_y (d - a/2)$$

$$5. M_u = \phi M_n$$

- หา V_u

$$1. V_c = 0.53\sqrt{f'_c} b_w d \text{ โดย } b_w = b$$

$$2. V_s = A_v f_y d/s$$

กรณีเหล็กดัดเดียว (สองขา) , $A_v = 2A_s = 2\pi ds^2/2$

f_y ในที่นี้ คือ f_y ของเหล็กดัด

s คือ ระยะเรียงเหล็กดัด ต้องไม่เกิน $d/2$

$$3. V_u = \phi (V_c + V_s)$$

5. แนวทางการจัดทำตารางออกแบบคาน

5.1 กำหนดค่าเริ่มต้นของการจัดทำตารางไว้ดังนี้

ก) f'_c มี 5 ค่าคือ 240, 320, 420, 500 และ 600 ksc

ข) เหล็กเสริมหลัก ใช้ชนิด SD-50 ซึ่งมีค่า $f_y = 5000$ ksc

ค) เหล็กเสริมหลัก ใช้ 6 ขนาดคือ 12, 16, 20, 25, 28 และ 32 mm

ง) เหล็กดัด ใช้ 2 ขนาดคือ RB-6 mm ชนิด SR-24 มีค่า f_y เท่ากับ 2400 ksc และ DB-10 mm ชนิด SD-50 มีค่า f_y เท่ากับ 5000 ksc

จากข้อมูลข้างต้น ทำให้สามารถแบ่งได้เป็น 60 รูปแบบดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 รูปแบบของตารางคาน

รูปแบบที่	f'_c (ksc)	เหล็กเสริมหลัก	เหล็กดัด
1	240	DB 12 mm	RB 6 mm
2	240	DB 16 mm	RB 6 mm
3	240	DB 20 mm	RB 6 mm
4	240	DB 25 mm	RB 6 mm
5	240	DB 28 mm	RB 6 mm
6	240	DB 32 mm	RB 6 mm
7	240	DB 12 mm	DB 10 mm
8	240	DB 16 mm	DB 10 mm
9	240	DB 20 mm	DB 10 mm
10	240	DB 25 mm	DB 10 mm
11	240	DB 28 mm	DB 10 mm

ตารางที่ 2 รูปแบบของตารางคาน (ต่อ)

รูปแบบที่	f'_c (ksc)	เหล็กเสริมหลัก	เหล็กดัด
12	240	DB 32 mm	DB 10 mm
13	320	DB 12 mm	RB 6 mm
14	320	DB 16 mm	RB 6 mm
15	320	DB 20 mm	RB 6 mm
16	320	DB 25 mm	RB 6 mm
17	320	DB 28 mm	RB 6 mm
18	320	DB 32 mm	RB 6 mm
19	320	DB 12 mm	DB 10 mm
20	320	DB 16 mm	DB 10 mm
21	320	DB 20 mm	DB 10 mm
22	320	DB 25 mm	DB 10 mm
23	320	DB 28 mm	DB 10 mm
24	320	DB 32 mm	DB 10 mm
25	420	DB 12 mm	RB 6 mm
26	420	DB 16 mm	RB 6 mm
27	420	DB 20 mm	RB 6 mm
28	420	DB 25 mm	RB 6 mm
29	420	DB 28 mm	RB 6 mm
30	420	DB 32 mm	RB 6 mm
31	420	DB 12 mm	DB 10 mm
32	420	DB 16 mm	DB 10 mm
33	420	DB 20 mm	DB 10 mm
34	420	DB 25 mm	DB 10 mm
35	420	DB 28 mm	DB 10 mm
36	420	DB 32 mm	DB 10 mm
37	500	DB 12 mm	RB 6 mm
38	500	DB 16 mm	RB 6 mm
39	500	DB 20 mm	RB 6 mm
40	500	DB 25 mm	RB 6 mm
41	500	DB 28 mm	RB 6 mm
42	500	DB 32 mm	RB 6 mm
43	500	DB 12 mm	DB 10 mm
44	500	DB 16 mm	DB 10 mm
45	500	DB 20 mm	DB 10 mm
46	500	DB 25 mm	DB 10 mm
47	500	DB 28 mm	DB 10 mm
48	500	DB 32 mm	DB 10 mm
49	600	DB 12 mm	RB 6 mm
50	600	DB 16 mm	RB 6 mm

ตารางที่ 2 รูปแบบของตารางคาน (ต่อ)

รูปแบบที่	f'_c (ksc)	เหล็กเสริมหลัก	เหล็กลูกตั้ง
51	600	DB 20 mm	RB 6 mm
52	600	DB 25 mm	RB 6 mm
53	600	DB 28 mm	RB 6 mm
54	600	DB 32 mm	RB 6 mm
55	600	DB 12 mm	DB 10 mm
56	600	DB 16 mm	DB 10 mm
57	600	DB 20 mm	DB 10 mm
58	600	DB 25 mm	DB 10 mm
59	600	DB 28 mm	DB 10 mm
60	600	DB 32 mm	DB 10 mm

5.2 ขนาดหน้าตัดที่กำหนด

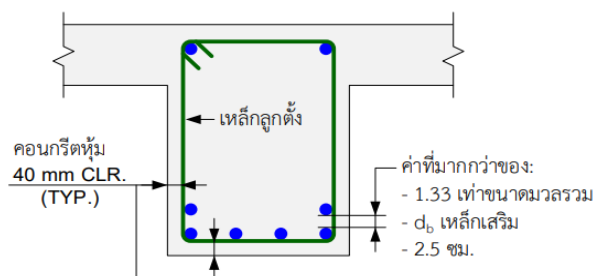
ตารางที่จะจัดทำขึ้น ได้กำหนดขนาดของหน้าตัดคานไว้ 28 ขนาด แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดหน้าตัดคานที่ใช้ในตาราง

ขนาดหน้าตัด b x h (cmxcm)			
15 x 25	20 x 30	25 x 40	30x45
15 x 30	20 x 35	25 x 45	30x50
15 x 35	20 x 40	25 x 50	30x55
15 x 40	20 x 45	25 x 55	30x60
15 x 45	20 x 50	25 x 60	30x65
15 x 50	20 x 55	25 x 65	30x70
15 x 55	20 x 60	25 x 70	30x80

5.3 การพิจารณาจำนวนเหล็กเสริมจากระยะเรียงเหล็ก

ในแต่ละความกว้างคาน การใส่เหล็กเสริมหลักแถวเดียวมีข้อพิจารณาคือ ใส่ตั้งแต่ 2 เส้นขึ้นไปโดยเหล็กจะต้องมีจำนวนไม่มากเกินไปที่จะทำให้ระยะห่างน้อยกว่าค่ามาตรฐาน และเหล็กแถวสองกำหนดใส่เพียง 2 เส้นเท่านั้นเพื่อกำหนดเหล็กลูกตั้งใส่เพียงเส้นเดียว โดยระยะห่างของเหล็กเสริมในคานนั้น มีข้อที่ต้องพิจารณาคือ ระยะหุ้มคอนกรีต และระยะเรียงเหล็กเสริมตามมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 3 [5]



รูปที่ 3 ระยะหุ้มคอนกรีตและระยะเรียงเหล็กเสริมหลัก

5.4 จำนวนเหล็กเสริมหลักในแต่ละขนาดความกว้างคาน

ตารางนี้กำหนดขนาดความกว้างคานไว้ 4 ขนาดคือ 15, 20, 25 และ 30 cm ซึ่งเมื่อพิจารณาตามข้อกำหนดในหัวข้อ 5.3 จะได้จำนวนเหล็กเสริมหลักสูงสุดของแต่ละหน้าตัดคานตามตารางที่ 4 และ 5

ตารางที่ 4 จำนวนเหล็กเสริมสูงสุดของแต่ละความกว้างคาน เมื่อใช้เหล็กลูกตั้งขนาด RB 6 mm

b (cm)	จำนวนเหล็กมากที่สุด ใน 1 แถว					
	M12,S10	M16,S6	M20,S6	M25,S6	M28,S6	M32,S6
15	2	2	-	-	-	-
20	3	3	2	2	2	2
25	5	4	4	3	3	2
30	6	5	5	4	4	3

หมายเหตุ : M คือ เหล็กเสริมหลัก, S คือ เหล็กลูกตั้ง

ตารางที่ 5 จำนวนเหล็กเสริมสูงสุดของแต่ละความกว้างคาน เมื่อใช้เหล็กลูกตั้งขนาด DB 10 mm

b (cm)	จำนวนเหล็กมากที่สุด ใน 1 แถว					
	M12, S10	M16, S10	M20, S10	M25, S10	M28, S10	M32, S10
15	-	-	-	-	-	-
20	3	3	2	2	2	2
25	4	4	3	3	3	3
30	6	5	5	4	4	3

หมายเหตุ : M คือ เหล็กเสริมหลัก, S คือ เหล็กลูกตั้ง

5.5 การใช้สเปรดชีตช่วยตรวจสอบชุดข้อมูล

เมื่อทราบข้อมูลเริ่มต้นต่าง ๆ ขนาดหน้าตัดคาน และจำนวนเหล็กเสริมมากที่สุดในแต่ละแถวตามมาตรฐานแล้ว จะมีการพิจารณาจำนวนเหล็กเสริมจากค่า ρ โดยใช้สเปรดชีตช่วยคำนวณค่าต่างๆ ในรูปแบบตัวเลข ซึ่งการเสริมเหล็กจะมีการเสริม 2 รูปแบบคือ เสริมแถวเดียว และเสริมสองแถวโดยแถวที่สองวางเหล็ก 2 เส้น จากนั้นคำนวณค่า ρ และตรวจสอบค่าให้อยู่ระหว่าง $\rho_{min} < \rho < \rho_{max}$ ถ้าค่า ρ ตรงตามเงื่อนไขแสดงว่าข้อมูลชุดนั้นนำไปใช้งานได้ ถ้าไม่ตรงตามเงื่อนไขจะตัดข้อมูลชุดนั้นออก ตัวอย่างดังรูปที่ 4

f'_c	240	ksc			$b1$	0.85	use b1	0.85	
Main Steel, f_y	5000	ksc			p_b		0.0191		
DB	12	mm	1.2	cm ²	p_{min}		0.0028		
Stirrup, f_y	2400	ksc			p_{max}		0.0143		
RB	6	mm	0.6	cm ²					
covering	4	cm			V_c	$0.53\sqrt{f'_c}/bd$			
phiM	0.9				V_s	$A_v f_y S_{tripp} / (s d)$			
phiV	0.85				V_u	$\phi V_c (V_c + V_s)$			
หน้าตัด (cm)	จำนวนเหล็กเสริม	แถว	รวม	A_s	d (cm)	p	$p_{min} < p$	$p < p_{max}$	
B (cm)	H (cm)	แถว	รวม		H - Ybar				
15	25	2	0	2	2.262	19.80	0.0076	OK	OK
15	25	2	2	4	4.524	17.95	0.0168	OK	False
15	30	2	0	2	2.262	24.80	0.0061	OK	OK
20	45	2	2	4	4.524	37.95	0.0060	OK	OK
20	45	3	2	5	5.655	38.32	0.0074	OK	OK
20	50	2	0	2	2.262	44.80	0.0025	False	OK
20	50	3	0	3	3.393	44.80	0.0038	OK	OK

รูปที่ 4 ตัวอย่างการใช้สเปรดชีตช่วยตรวจสอบชุดข้อมูล

5.6 การพิจารณาระยะเรียงเหล็กกูดตั้ง

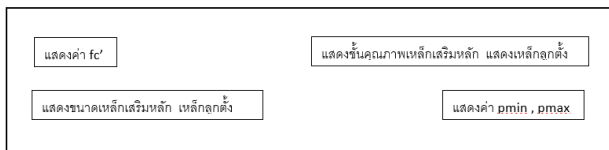
เมื่อได้ชุดข้อมูลคือขนาดหน้าตัดคานและจำนวนเหล็กเสริมหลักตามค่ากำลังวัสดุต่างๆ แล้ว จึงมาพิจารณาระยะเรียงเหล็กกูดตั้ง ให้อยู่ระหว่าง 5 cm ถึง $d/2$ โดย d คือ ความลึกประสิทธิภาพโดยประมาณ ดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 การพิจารณาระยะเรียงเหล็กกูดตั้ง

d	ระยะเรียงเหล็กกูดตั้ง (cm)									
	5.0	7.5	10	12.5	15	17.5	20	22.5	25	30
20	✓	✓	✓							
25	✓	✓	✓	✓						
30	✓	✓	✓	✓	✓					
35	✓	✓	✓	✓	✓	✓				
40	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓			
45	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		
50	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
55	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
60	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓

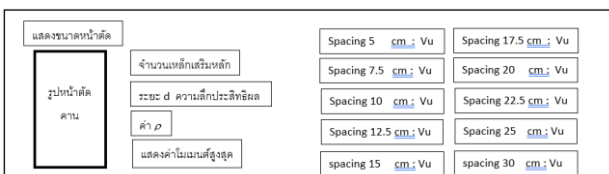
5.7 การออกแบบการแสดงผล

ออกแบบให้แต่ละหน้า ที่หัวตารางจะมีการแสดงค่าพารามิเตอร์ในการออกแบบคาน โดยแสดงค่า f'_c ขนาดเหล็กเสริมหลักและเหล็กกูดตั้ง ชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมหลักและเหล็กกูดตั้ง และแสดงค่า ρ_{min} , ρ_{max} ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ออกแบบหัวกระดาษของตารางแต่ละหน้า

ในแต่ละคาน จะแสดงรายละเอียดขนาดของหน้าตัดและจำนวนเหล็กเสริม ค่าตัวเลขของ จำนวนเหล็กเสริมหลัก ความลึกประสิทธิภาพ (d) อัตราส่วนระหว่าง A_s และ bd (ρ) โมเมนต์สูงสุด (M_u, max ซึ่งให้เท่ากับ ϕM_n) และค่าแรงเฉือนสูงสุด (V_u, max ซึ่งให้เท่ากับ ϕV_n) ของแต่ละระยะเรียงเหล็กกูดตั้งในหน้าออกแบบให้แสดงจำนวนคานสูงสุดเท่ากับ 4 คานดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ออกแบบการแสดงผลของแต่ละคาน

5.8 การสร้างตารางหน้าตัดสำเร็จรูป

เมื่อพิจารณาชุดข้อมูลได้ครบถ้วน และออกแบบตารางได้สมบูรณ์แล้ว จึงนำมาสร้างตารางสำเร็จรูปแบบแสดงหน้าตัดสำหรับออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง ซึ่งผู้วิจัยใช้การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic [6] เพื่อช่วยสร้างรายละเอียดขนาดของหน้าตัดและคำนวณค่าต่างๆ ขึ้น เพื่อให้ได้รายละเอียดขนาดของหน้าตัดที่มีสเกลตามสัดส่วนและสร้างตารางได้รวดเร็วขึ้น

6. ตารางหน้าตัดสำเร็จรูปออกแบบคาน

6.1 สรุปจำนวนชุดข้อมูลคาน

เมื่อสร้างตารางออกแบบคานครบตามชุดข้อมูลคานที่ออกแบบไว้พบว่า ตารางออกแบบคานแบ่งออกเป็นไฟล์ pdf ได้ 60 ไฟล์ตามจำนวน 60 รูปแบบที่ออกแบบไว้ โดยมีรูปแบบของชื่อไฟล์ดังนี้

ลำดับไฟล์_ค่า f'_c _ขนาดเหล็กเสริมหลัก_ขนาดเหล็กกูดตั้ง_หน้าเริ่มต้น-หน้าสิ้นสุด_จำนวนชุดข้อมูลคาน

ตัวอย่างเช่น N01_fc240_DB12_RB6_0001-0033_130 หมายถึง ไฟล์ที่ 1 กำลังอัดประลัยของคอนกรีต 240 ksc เหล็กเสริมหลัก DB 12 mm เหล็กกูดตั้ง RB 6 mm หน้าเริ่มต้น 1 หน้าสิ้นสุด 33 จำนวน 133 ชุดข้อมูลคาน

สรุปออกมาได้ 1,271 หน้า และ 4,993 ชุดข้อมูลคาน โดยมีรายละเอียดจำนวนชุดข้อมูลคานของแต่ละรูปแบบแสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 จำนวนชุดข้อมูลคานของแต่ละรูปแบบ

f'_c (ksc)	240	320	420	500	600
M, S					
DB 12 mm, RB 6 mm	130	131	131	131	131
DB 16 mm, RB 6 mm	122	128	130	131	131
DB 20 mm, RB 6 mm	93	105	109	111	111
DB 25 mm, RB 6 mm	45	62	73	76	80
DB 28 mm, RB 6 mm	31	47	61	66	72
DB 32 mm, RB 6 mm	14	24	32	36	39
DB 12 mm, DB 10 mm	117	118	118	118	118
DB 16 mm, DB 10 mm	112	117	117	118	118
DB 20 mm, DB 10 mm	84	93	96	97	97
DB 25 mm, DB 10 mm	45	62	72	76	80
DB 28 mm, DB 10 mm	30	47	61	66	93
DB 32 mm, DB 10 mm	14	22	32	36	36
รวม (หน้า)	837	956	1,032	1,062	1,106
รวมทั้งหมด (หน้า)	4,993				

หมายเหตุ : M คือ เหล็กเสริมหลัก, S คือ เหล็กกูดตั้ง

6.2 การแสดงผลของแต่ละหน้า

รูปแบบการแสดงผลชุดข้อมูลคานของแต่ละหน้า จะแสดงผลสูงสุด

ใน 4 ชุดข้อมูลคาน แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 7

คู่มือการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีกำลัง		T32	
$f'_c = 240 \text{ ksc}$		Main Steel $f_y = 5000 \text{ ksc}$, Stirrup $f_y = 2400 \text{ ksc}$	
M DB 12 mm, S RB6 mm		$\rho_{\text{Min}} = 0.0028$, $\rho_{\text{Max}} = 0.0143$	
0.30 x 0.70 m	M 7	@ 5 cm : $V_u = 28053 \text{ kg}$	@ 17.5 cm : $V_u = 17548 \text{ kg}$
	d = 63.74 cm	@ 7.5 cm : $V_u = 23151 \text{ kg}$	@ 20 cm : $V_u = 17023 \text{ kg}$
	p = 0.0041	@ 10 cm : $V_u = 20699 \text{ kg}$	@ 22.5 cm : $V_u = 16614 \text{ kg}$
	Mu = 21557 kg-m	@ 12.5 cm : $V_u = 19229 \text{ kg}$	@ 25 cm : $V_u = 16287 \text{ kg}$
		@ 15 cm : $V_u = 18248 \text{ kg}$	@ 30 cm : $V_u = 15797 \text{ kg}$
0.30 x 0.70 m	M 8	@ 5 cm : $V_u = 28111 \text{ kg}$	@ 17.5 cm : $V_u = 17584 \text{ kg}$
	d = 63.88 cm	@ 7.5 cm : $V_u = 23199 \text{ kg}$	@ 20 cm : $V_u = 17058 \text{ kg}$
	p = 0.0047	@ 10 cm : $V_u = 20742 \text{ kg}$	@ 22.5 cm : $V_u = 16649 \text{ kg}$
	Mu = 24502 kg-m	@ 12.5 cm : $V_u = 19269 \text{ kg}$	@ 25 cm : $V_u = 16321 \text{ kg}$
		@ 15 cm : $V_u = 18286 \text{ kg}$	@ 30 cm : $V_u = 15830 \text{ kg}$
0.30 x 0.80 m	M 6	@ 5 cm : $V_u = 32919 \text{ kg}$	@ 17.5 cm : $V_u = 20592 \text{ kg}$
	d = 74.80 cm	@ 7.5 cm : $V_u = 27166 \text{ kg}$	@ 20 cm : $V_u = 19976 \text{ kg}$
	p = 0.0030	@ 10 cm : $V_u = 24290 \text{ kg}$	@ 22.5 cm : $V_u = 19496 \text{ kg}$
	Mu = 21995 kg-m	@ 12.5 cm : $V_u = 22564 \text{ kg}$	@ 25 cm : $V_u = 19113 \text{ kg}$
		@ 15 cm : $V_u = 21414 \text{ kg}$	@ 30 cm : $V_u = 18537 \text{ kg}$
0.30 x 0.80 m	M 6	@ 5 cm : $V_u = 32376 \text{ kg}$	@ 17.5 cm : $V_u = 20252 \text{ kg}$
	d = 73.57 cm	@ 7.5 cm : $V_u = 26718 \text{ kg}$	@ 20 cm : $V_u = 19646 \text{ kg}$
	p = 0.0031	@ 10 cm : $V_u = 23890 \text{ kg}$	@ 22.5 cm : $V_u = 19175 \text{ kg}$
	Mu = 21618 kg-m	@ 12.5 cm : $V_u = 22192 \text{ kg}$	@ 25 cm : $V_u = 18798 \text{ kg}$
		@ 15 cm : $V_u = 21061 \text{ kg}$	@ 30 cm : $V_u = 18232 \text{ kg}$

รูปที่ 7 ตัวอย่างรูปแบบการแสดงผลชุดข้อมูลคานของแต่ละหน้า

6.3 คำอธิบายการแสดงผลของแต่ละหน้า

ในหัวตารางของแต่ละหน้า จะประกอบด้วยเลขหน้าที่มีมุมบนขวาขึ้นต้นด้วย T ซึ่งหมายถึง Table (ตาราง) แล้วตามด้วยเลขหน้า และแสดงค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการออกแบบคานได้แก่ ค่ากำลังอัดของคอนกรีต (f'_c), ค่าชั้นคุณภาพของเหล็กเสริมหลักและเหล็กลูกตั้ง, ขนาดของเหล็กเสริมหลักและเหล็กลูกตั้ง และค่า ρ_{min} , ρ_{max} ตัวอย่างดังรูปที่ 8

แสดงค่า f'_c	แสดงชั้นคุณภาพเหล็กเสริมหลัก, เหล็กลูกตั้ง
คู่มือการออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก วิธีกำลัง	T32
$f'_c = 240 \text{ ksc}$	Main Steel $f_y = 5000 \text{ ksc}$, Stirrup $f_y = 2400 \text{ ksc}$
M DB 12 mm, S RB6 mm	$\rho_{\text{Min}} = 0.0028$, $\rho_{\text{Max}} = 0.0143$
ขนาดเหล็กเสริมหลัก, เหล็กลูกตั้ง	แสดงค่า ρ_{min} , ρ_{max}

รูปที่ 8 ค่าพารามิเตอร์ที่แสดงในหัวตาราง

ในส่วนของแต่ละชุดข้อมูลคาน แสดงรายละเอียดขนาดของหน้าตัดและจำนวนเหล็กเสริมซึ่งมีสเกลที่ได้สัดส่วน แสดงค่าตัวเลขของจำนวนเหล็กเสริมหลัก ความลึกประสิทธิผล (d) ค่า ρ (A_s/bd) โมเมนต์

เพิ่มค่าสูงสุด (M_u) และค่าแรงเฉือนเพิ่มค่าสูงสุด (V_u) ของแต่ละระยะเรียงเหล็กเสริม ตัวอย่างดังรูปที่ 9

ขนาดหน้าตัดคาน		ระยะเรียงเหล็กลูกตั้ง : ค่าแรงเฉือน			
0.30 x 0.70 m	M 8	@ 5 cm : $V_u = 28111 \text{ kg}$	@ 17.5 cm : $V_u = 17584 \text{ kg}$		
	d = 63.88 cm	@ 7.5 cm : $V_u = 23199 \text{ kg}$	@ 20 cm : $V_u = 17058 \text{ kg}$		
	p = 0.0047	@ 10 cm : $V_u = 20742 \text{ kg}$	@ 22.5 cm : $V_u = 16649 \text{ kg}$		
	Mu = 24502 kg-m	@ 12.5 cm : $V_u = 19269 \text{ kg}$	@ 25 cm : $V_u = 16321 \text{ kg}$		
		@ 15 cm : $V_u = 18286 \text{ kg}$	@ 30 cm : $V_u = 15830 \text{ kg}$		

0.30 x 0.70 m	M 8	← จำนวนเหล็กเสริมหลัก
d = 63.88 cm		← ความลึกประสิทธิผล
p = 0.0047		← ค่า ρ
Mu = 24502 kg-m		← โมเมนต์สูงสุด

รูปที่ 9 ตัวอย่างการแสดงผลของแต่ละชุดข้อมูลคาน

7. ตัวอย่างการใช้งานตาราง

7.1 ตัวอย่างที่ 1 กรณีออกแบบ

ข้อมูลที่ทราบ

$$f'_c = 240 \text{ ksc}$$

ขนาดหน้าตัดคาน 0.25 x 0.50 m

$$M_u \text{ จากการวิเคราะห์} = 16 \text{ 341 kg-m}$$

$$V_u \text{ จากการวิเคราะห์} = 10 \text{ 413 kg}$$

การใช้ตาราง ถ้าเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก DB 16 mm และเหล็กลูกตั้ง RB 6 mm

เปิดตารางชื่อไฟล์ N02_fcu240_DB16_RB6_0034-0064_122 หน้า T46 จะได้เหล็กเสริมหลัก 5-DB 16 mm และ เหล็กลูกตั้ง RB 6 mm @0.15 m ดังรูปที่ 10

0.25 x 0.50 m	M 5	@ 5 cm : $V_u = 17407 \text{ kg}$	@ 17.5 cm : $V_u = 10327 \text{ kg}$
	d = 42.96 cm	@ 7.5 cm : $V_u = 14103 \text{ kg}$	@ 20 cm : $V_u = 9973 \text{ kg}$
	p = 0.0094	@ 10 cm : $V_u = 12451 \text{ kg}$	
	Mu = 17205 kg-m	@ 12.5 cm : $V_u = 11460 \text{ kg}$	
		@ 15 cm : $V_u = 10799 \text{ kg}$	

รูปที่ 10 ใช้เหล็กเสริมหลัก DB 16 mm และเหล็กลูกตั้ง RB 6 mm

จากรูป จะได้ว่า

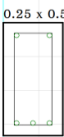
$$M_u \text{ (ซึ่งหมายถึง } \phi M_n) = 17 \text{ 205} > 16 \text{ 341 kg-m} \quad \text{ok}$$

$$V_u \text{ (ซึ่งหมายถึง } \phi V_n) = 10 \text{ 799} > 10 \text{ 413 kg} \quad \text{ok}$$

แต่ถ้าเลือกใช้เหล็กเสริมหลัก DB 20 mm และเหล็กลูกตั้ง RB 6

mm

เปิดตารางชื่อไฟล์ N03_fcu240_DB20_RB6_0065-0088_093
หน้า T69 จะได้เหล็กเสริมหลัก 3-DB 20 mm และ เหล็กดัด RB 6 mm
@0.175 m ดังรูปที่ 11

	M 3	@ 5 cm : Vu = 17991 kg	@ 17.5 cm : Vu = 10674 kg
	d = 44.40 cm	@ 7.5 cm : Vu = 14576 kg	@ 20 cm : Vu = 10308 kg
	p = 0.0085	@ 10 cm : Vu = 12869 kg	
	Mu = 16871 kg-m	@ 12.5 cm : Vu = 11844 kg	
		@ 15 cm : Vu = 11161 kg	

รูปที่ 11 ใช้เหล็กเสริมหลัก DB 16 mm และเหล็กดัด RB 6 mm

จากรูป จะได้ว่า

$$M_u \text{ (ซึ่งหมายถึง } \phi M_n) = 16\,871 > 16\,341 \text{ kg-m} \quad \text{ok}$$

$$V_u \text{ (ซึ่งหมายถึง } \phi V_n) = 10\,674 > 10\,413 \text{ kg} \quad \text{ok}$$

7.2 ตัวอย่างที่ 2 กรณีตรวจสอบแบบ

ข้อมูลที่ทราบ

$$f'_c = 240 \text{ ksc}$$

จากแบบขยายคานพบว่า ใช้ขนาดหน้าตัด 0.25 x 0.50 m เหล็ก
เสริมหลัก 4-DB 12 mm และเหล็กดัด RB 6 mm @0.175 m


$$\text{วิเคราะห์ } M_u \text{ ได้ } = 8314 \text{ kg-m}$$

$$\text{วิเคราะห์ } V_u \text{ ได้ } = 10\,413 \text{ kg}$$

การใช้ตาราง

เปิดตารางชื่อไฟล์ N01_fcu240_DB12_RB6_0001-0033_130

หน้า T14 ดังรูปที่ 12

	M 4	@ 5 cm : Vu = 18153 kg	@ 17.5 cm : Vu = 10770 kg
	d = 44.80 cm	@ 7.5 cm : Vu = 14707 kg	@ 20 cm : Vu = 10401 kg
	p = 0.0040	@ 10 cm : Vu = 12985 kg	
	Mu = 8669 kg-m	@ 12.5 cm : Vu = 11951 kg	
		@ 15 cm : Vu = 11262 kg	

รูปที่ 12 กรณีตรวจสอบแบบ

จากรูป จะได้ว่า

$$M_u \text{ (ซึ่งหมายถึง } \phi M_n) = 8669 > 8314 \text{ kg-m} \quad \text{ok}$$

$$V_u \text{ (ซึ่งหมายถึง } \phi V_n) = 10\,770 > 10\,413 \text{ kg} \quad \text{ok}$$

แสดงว่าคานนี้รับน้ำหนักได้อย่างปลอดภัย

7.3 ตัวอย่างที่ 3 กรณีต้องการเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริมจาก

ข้อมูลที่ทราบ


$$f'_c = 320 \text{ ksc}$$

จากแบบขยายคานพบว่า ใช้ขนาดหน้าตัด 0.30 x 0.50 m เหล็ก
เสริมหลัก 2-DB 20 mm และเหล็กดัด RB 10 mm @0.175 m

ต้องการเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริมหลักไปใช้ขนาด DB 16 mm

การใช้ตาราง


เปิดตารางชื่อไฟล์ N21_fcu320_DB20_DB10_0402-0425_093
หน้า T413 ดังรูปที่ 13

	M 2	@ 5 cm : Vu = 69385 kg	@ 17.5 cm : Vu = 27423 kg
	d = 44.00 cm	@ 7.5 cm : Vu = 49803 kg	@ 20 cm : Vu = 25325 kg
	p = 0.0048	@ 10 cm : Vu = 40011 kg	
	Mu = 11896 kg-m	@ 12.5 cm : Vu = 34137 kg	
		@ 15 cm : Vu = 30220 kg	

รูปที่ 13 ค่า M_u และ V_u จากข้อมูลเดิม

จากรูป จะได้ว่า $M_u = 11\,896 \text{ kg-m}$ และ $V_u = 27\,423 \text{ kg}$

จากนั้น เปิดตารางชื่อไฟล์ N20_fcu320_DB16_DB10_0372-
0401_117 เพื่อเลือกขนาดหน้าตัดคาน 0.30 x 0.50 m แล้วเลือกจำนวน
เหล็กเสริมหลัก DB 16 mm เหล็กดัด RB 10 mm ให้ได้ค่า M_u และ V_u
ใกล้เคียงกับค่าเดิม ซึ่งเลือกได้ในหน้า T391 ดังรูปที่ 14

	M 4	@ 5 cm : Vu = 69701 kg	@ 17.5 cm : Vu = 27547 kg
	d = 44.20 cm	@ 7.5 cm : Vu = 50029 kg	@ 20 cm : Vu = 25440 kg
	p = 0.0061	@ 10 cm : Vu = 40193 kg	
	Mu = 15105 kg-m	@ 12.5 cm : Vu = 34292 kg	
		@ 15 cm : Vu = 30358 kg	

รูปที่ 14 ค่า M_u และ V_u จากข้อมูลใหม่

จากรูป จะได้ว่าเลือกใช้ 4-DB 16 mm แทน 2-DB 20 mm และ
เหล็กดัด RB 10 mm @0.175 m ซึ่งเป็นขนาดและระยะเรียงเดิม ได้ค่า
 $M_u = 15\,105 \text{ kg-m}$ และ $V_u = 27\,547 \text{ kg}$ ซึ่งใกล้เคียงกับค่าเดิม ใช้ได้

8. บทสรุป

ผลการศึกษพบว่า ทำตารางสำเร็จรูปแบบแสดงหน้าตัดสำหรับ
ออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลังที่คณะผู้วิจัยพัฒนาขึ้นนี้
สามารถทำได้ตามวัตถุประสงค์คือ ช่วยออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก
ช่วยตรวจสอบความถูกต้องคานคอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบมาแล้ว และ
ช่วยในการพิจารณาปรับเปลี่ยนขนาดเหล็กเสริมหรือขนาดหน้าตัดคาน
คอนกรีตเสริมเหล็กที่ออกแบบมาแล้วได้อย่างรวดเร็ว ตามตัวอย่างการใช้
งานตารางที่ได้นำเสนอไปในหัวข้อที่ 7

อย่างไรก็ตาม ตารางสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นนี้ ยังมีข้อจำกัดในการใช้งาน
อยู่ คือ ใช้ได้กับเหล็กเสริมหลักชั้นคุณภาพ SD-50 เท่านั้น อีกทั้งจำนวนชุด
ข้อมูลคานที่มากถึง 4,993 ชุด อาจถูกพิจารณาจากผู้ใช้งานบางท่านว่ามาก
เกินความจำเป็น จึงสามารถที่จะพัฒนางานในรูปแบบที่คล้ายกันนี้ให้ใช้งาน
ได้ดียิ่งขึ้นได้อีกต่อไป

9. ข้อเสนอแนะ

คณะผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะดังนี้

- 9.1 จัดทำตารางสำเร็จรูปแบบแสดงหน้าตัดสำหรับออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง โดยใช้เหล็กเสริมหลักชั้นคุณภาพอื่น คือ SD-30 และ SD-40
- 9.2 จัดทำตารางสำเร็จรูปแบบแสดงหน้าตัดสำหรับออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง ออกเป็น 2 ชุด ชุดแรกคือจำนวนชุดข้อมูลคานที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งมีจำนวนชุดมาก ชุดที่สองคือ เลือกจำนวนชุดข้อมูลคานโดยใช้ค่า ρ ที่เป็นค่ากลางๆ ระหว่าง ρ_{\min} และ ρ_{\max} ซึ่งทำให้มีจำนวนชุดน้อยลง
- 9.3 จัดทำตารางสำเร็จรูปแสดงหน้าตัดสำหรับออกแบบองค์อาคารคอนกรีตเสริมเหล็กอื่น ด้วยวิธีกำลัง ได้แก่ แผ่นพื้น บันได เสา และฐานราก
- 9.4 จัดทำตารางสำเร็จรูปแบบแสดงหน้าตัดสำหรับออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีกำลัง โดยกำหนดค่า f'_c ตามที่บริษัทคอนกรีตผสมเสร็จมีจำหน่ายเพิ่มเติมให้มากกว่างานวิจัยนี้ เช่น 180, 210, 240, 250, 280, 300, 320, 350, 380, 400, 420, 450, 500, 550, 600 และ 800 เป็นต้น
- 9.5 สำหรับการออกแบบคานให้เสริมเหล็กแบบรับแรงดึงและแรงอัด ซึ่งคณะผู้จัดทำไม่ได้นำมาพิจารณานั้น เนื่องจากมีความเห็นว่าเป็นโดยวิธีกำลังแล้ว คานขนาดหน้าตัดแบบทั่วไปที่ใช้งานกันดังเช่นที่กำหนดไว้ในตารางออกแบบนี้ ซึ่งเป็นการเสริมเหล็กแบบรับแรงดึงเท่านั้น มีความเพียงพอต่อการต้านทานน้ำหนักบรรทุกที่กระทำแล้ว ส่วนการเสริมเหล็กแบบรับแรงดึงและแรงอัดนั้น มักเกิดในกรณีที่ต้องลดความลึกคานลงมาด้วยเหตุผลทางด้านสถาปัตยกรรม ซึ่งเป็นกรณีเฉพาะ แต่อย่างไรก็ตาม หากจะนำมาทำเป็นตารางสำเร็จรูปนั้น สามารถทำได้แต่ควรทำแยกเป็นกรณีเฉพาะ และควรต้องคำนวณระยะแอนท์ที่เกิดขึ้นด้วย ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานหรือไม่ เพราะคานมีความลึกที่น้อยกว่าปกติ

- [5] มงคล จิรวรรณ (2559). *คู่มือการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง*. เอ็มแอนด์เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์, หน้า 14.
- [6] สรกานต์ ศรีทองอ่อน (2559). *คู่มือการพัฒนาซอฟต์แวร์ในงานวิศวกรรมโยธา เล่ม 1*. เอ็มแอนด์เอ็ม เลเซอร์พริ้นต์, หน้า 99-134.

เอกสารอ้างอิง

- [1] เกียรติศักดิ์ อุดมสินโรจน์ (2552). *ตารางออกแบบโครงสร้างอาคาร*. ม.ป.ท., หน้า 134-563.
- [2] วินิต ช่อวิเชียร (2540). *การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง*. ป. สัมพันธ์พาณิชย์, หน้า 536-539.
- [3] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2564). *มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง*. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 5-16.
- [4] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ (2564). *มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง*. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 53-96.