บทที่ 3

แบบจำลองโครงข้อแข็ง แรงลม แรงแผ่นดินไหวแบบแรงสถิตเทียบเท่า และการวิเคราะห์โครงสร้าง

3.1 แบบจำลองโครงข้อแข็ง

แบบจำลองโครงข้อแข็งของอาคารที่ใช้ในการวิเคราะห์มีอยู่ 3 ลักษณะกล่าวคือ

3.1.1 โครงข้อแข็ง 4 ชั้น 3 ช่วงเสา ซึ่งเป็นลักษณะของอาคารพาณิชย์ตึกแถวที่มีอยู่ทั่วไปในกรุงเทพฯ โดยมีระยะช่วงเสาและระยะช่วงโครงข้อแข็ง (bay) เท่ากับ 4.00 เมตร ความสูงของชั้นพร้อมทั้งขนาดเสา คาน และคุณสมบัติวัสดุได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.1

3.1.2 โครงข้อแข็ง 10 ชั้น 3 ช่วงเสาสูง 31.50 เมตร โดยมีระยะช่วงเสาและระยะช่วงโครงข้อแข็งเท่ากับ 6.00 เมตร ความสูงระหว่างชั้น ขนาด เสา คาน พร้อมทั้งคุณสมบัติวัสดุได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.2

3.1.3 โครงข้อแข็ง 20 ชั้น 3 ช่วงเสา สูง 69.10 เมตร โดยมีระยะช่วงเสาและระยะช่วงโครงข้อแข็งเท่ากับ 8.00 เมตร ความสูงระหว่างชั้น ขนาดเสา คาน พร้อมทั้งคุณสมบัติวัสดุได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3

สำหรับโครงข้อแข็ง 20 ชั้นนี้ ได้พิจารณา 2 กรณี โดยที่มิติทางเรขาคณิตและขนาดเสาเหมือนกัน แต่ขนาดคานต่างกัน คือ คานในกรณีแรกค่อนข้างอ่อน ส่วนคานในกรณีที่สองให้มีสติฟเนสมากกว่ากรณีแรกราว 150 % ดังนั้นโครงข้อแข็งกรณีแรกจึงแทนกรณีของโครงอ่อน (flexible frame) ส่วนโครงข้อแข็งกรณีที่ 2 แทนกรณีของโครงที่มีสติฟเนสมากกว่าที่พบโดยปกติเล็กน้อย

โครงข้อแข็งที่ใช้ทำการวิเคราะห์ทั้ง 3 ลักษณะนี้จะพิจารณาเฉพาะโครงข้อแข็งช่วงในเท่านั้น และฐานของเสาชั้นล่างถือว่าเป็นสภาพแบบยึดแน่น ส่วนน้ำหนักบรรทุก (Gravity load) ที่กระทำต่อโครงข้อแข็งแยกออกได้เป็น 2 ประเภท กล่าวคือ

ก. น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead load) ของอาคาร 4 ชั้น ประกอบด้วยน้ำหนักเสา คาน พื้น ผนังก่ออิฐครึ่งแผ่น เต็มทุกชั้นในโครงที่รับแรงลม

สำหรับกรณีอาคาร 10 และ 20 ชั้น นอกจากน้ำหนักคงที่ของตัวโครงสร้างแล้ว ยังคิดน้ำหนักของฝ้า ท่อต่าง ๆ และการแต่งผิวพื้น รวมทั้งน้ำหนักผนังกั้นห้อง คิดเป็นค่าเฉลี่ยรวม 200 กก./ตร.ม. ของพื้นที่พื้น (ในระนาบราบ) แต่ละชั้น

ข. น้ำหนักบรรทุกจร (Live load) ใช้ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร (9) โดยถือว่าโครงข้อแข็งที่ใช้ในการวิเคราะห์ทุกลักษณะเป็นอาคารพาณิชย์ซึ่งรับน้ำหนักบรรทุกจรเฉลี่ย 300 กก./ตร.ม. สำหรับพื้นชั้นทั่ว ๆ ไป และ 100 กก./ตร.ม. สำหรับพื้นชั้นดาดฟ้า

เพื่อให้ง่ายแก่การคำนวณน้ำหนักบรรทุกคงที่ตามข้อ (ก) และ (ข) สมมติว่าน้ำหนักกระทำแบบแผ่สม่ำเสมอเทียบเท่า

3.2 <u>แรงลม</u>

แรงลมในพื้นที่บริเวณกรุงเทพฯ ที่กระทำด้านข้างต่อโครงสร้างได้ใช้ตามข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร (9) โดยมีรายละเอียดตามตารางที่ 3.1 ซึ่งแรงลมที่กระทำต่อโครงข้อแข็ง 4, 10 และ 20 ชั้น ในแต่ละชั้นได้คำนวณและแสดงไว้ในตารางที่ 3.6

3.3 <u>แรงแผ่นดินไหวแบบแรงสถิตเทียบเท่า</u>

3.3.1 แรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคารที่คิดแบบแรงสถิตเทียบเท่า ได้ใช้วิธีการตาม Uniform Building Code (UBC) (22) ซึ่งให้คำนวณแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ดังนี้

$$V = ZIKCSW \qquad \text{..... (3.1)}$$

เมื่อ V เป็นแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

Z เป็นสัมประสิทธิ์ความเข้มของแผ่นดินไหวตามเขต มีค่าเท่ากับ 0, 3/16, 3/8, 3/4, และ 1 สำหรับเขต 0, 1, 2, 3 และ 4 ตามลำดับ

I เป็นตัวคูณเกี่ยวกับความสำคัญของอาคารที่ใช้ ดูตารางที่ 3.3

K เป็นสัมประสิทธิ์ของโครงสร้างอาคารที่รับแรงในแนวราบ ดูตารางที่ 3.4

C เป็นสัมประสิทธิ์ขึ้นอยู่กับคาบธรรมชาติของโครงสร้าง หาค่าได้จากหัวข้อ 3.3.4

S เป็นสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ธรรมชาติของแผ่นดินไหวกับโครงสร้างอาคาร หาค่าได้จากหัวข้อ 3.3.5 โดยผลคูณของ C กับ S ต้องไม่มากกว่า 0.14

W เป็นน้ำหนักของตัวอาคารทั้งหมดรวมกับร้อยละ 25 ของน้ำหนักบรรทุกจรทุกชั้น

3.3.2 ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคารในแนวราบที่ระดับพื้นชั้นต่าง ๆ นั้น ให้คำนวณโดยกระจายแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน ออกเป็นแรงในแนวราบ ที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

(ก) แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคาร ให้คำนวณดังนี้

$$F_t = 0.07\ TV \qquad \text{ถ้า } T > 0.7 \text{ วินาที}$$

และ $$F_t = 0 \qquad \text{เมื่อ } T \leq 0.7 \text{ วินาที} \ldots\ (3.2)$$

(ข) แรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นต่าง ๆ ของอาคาร รวมทั้งชั้นบนสุดของอาคารด้วย ให้คำนวณดังนี้

$$F_x = \frac{(V - F_t)\ w_x\ h_x}{\sum_{i=1}^{n} w_i\ h_i} \qquad \ldots\ (3.3)$$

เมื่อ F_t เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นบนสุดของอาคารและต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 25 ของแรงเฉือนในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

F_x เป็นแรงในแนวราบที่กระทำต่อพื้นชั้นที่ x ของอาคาร

T เป็นคาบธรรมชาติของอาคาร หาค่าได้จากหัวข้อ 3.3.3

V เป็นแรงเฉือนทั้งหมดในแนวราบที่ระดับพื้นดิน

w_x, w_i เป็นส่วนน้ำหนักของ W ที่คิดที่พื้นอาคารชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

h_x, h_i เป็นความสูงจากระดับพื้นดินถึงพื้นชั้นที่ x และชั้นที่ i ตามลำดับ

$\sum_{i=1}^{n} w_i h_i$ เป็นผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับความสูงจากพื้นคิดจากพื้นชั้นที่ 1 ถึงชั้นที่ n

n เป็นจำนวนชั้นทั้งหมดของอาคาร

3.3.3 ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ให้ใช้คาบธรรมชาติของอาคาร T ดังต่อไปนี้

(ก) สำหรับอาคารทั่วไปทุกชนิด ให้คำนวณคาบธรรมชาติของอาคารตามสูตร

$$T = \frac{0.09\ h_n}{\sqrt{D}} \qquad \text{.....} \qquad (3.4)$$

โดยที่ h_n เป็นความสูงของอาคารชั้นสูงสุดวัดจากระดับพื้นดิน มีหน่วยเป็นเมตร

D เป็นความกว้างของอาคารในทิศทางขนานกับแรงแผ่นดินไหว มีหน่วยเป็นเมตร

(ข) สำหรับอาคารที่ประกอบด้วยโครงข้อแข็งเสปซ และสามารถต้านทานแรงในแนวราบทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ รวมทั้งโครงสร้างมิได้เชื่อมต่อกับโครงสร้างอื่นที่แข็งแรงกว่า ให้คำนวณคาบธรรมชาติของอาคารตามสูตร

$$T = 0.1\ N \qquad \text{.....} \qquad (3.5)$$

ในเมื่อ T เป็นคาบธรรมชาติของอาคาร มีหน่วยเป็นวินาที

N เป็นจำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่อยู่เหนือระดับพื้นดิน

3.3.4 ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคาร

ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ C ดังนี้

$$C = \frac{1}{15\sqrt{T}} \leq 0.12 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.6)$$

3.3.5 ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารหรือส่วนต่าง ๆ ของอาคาร ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ของแผ่นดินไหวกับความถี่ธรรมชาติของอาคารดังต่อไปนี้

(ก) เมื่อ T มีค่าตั้งแต่ 0.3 ถึง 0.5 วินาที ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ S ตามสูตร

$$S = 1.0 + \frac{T}{T_s} - 0.5\left(\frac{T}{T_s}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.7)$$

(ข) เมื่อ T มีค่ามากกว่า 0.5 ถึง 2.5 วินาที ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ S เท่ากับ 1.5

(ค) เมื่อ T มีค่ามากกว่า 2.5 วินาที ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ S ตามสูตร

$$S = 1.2 + 0.6\left(\frac{T}{T_s}\right) - 0.3\left(\frac{T}{T_s}\right)^2 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.8)$$

โดยที่ S เป็นค่าสัมประสิทธิ์ของการประสานความถี่ของแผ่นดินไหวกับความถี่ธรรมชาติของอาคาร ซึ่งต้องไม่น้อยกว่า 1.0

T_s เป็นคาบของแผ่นดินไหวซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของบริเวณที่พิจารณา (Characteristic site period) ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 วินาที ถึง 2.5 วินาที

สำหรับแรงแผ่นดินไหวแบบแรงสถิตเทียบเท่าที่ให้กระทำกับอาคาร ในการวิจัยนี้พิจารณาว่ากรุงเทพฯ และบริเวณใกล้เคียงอยู่ในเขต 1 ตามการจำแนกของ ดร. สิริลักขณ์ (8) ดังนั้นค่าความเข้มของแผ่นดินไหว Z = 3/16 น้ำหนักอาคาร ค่า V และแรงในแนวราบที่กระทำแต่ละชั้นของโครงข้อแข็งต่าง ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.5, 3.2 และ 3.7 ตามลำดับ

3.4 การวิเคราะห์โครงสร้าง

สำหรับระบบโครงสร้างใด ๆ สมการของการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ คือ

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = -[M]\{\ddot{u}_g\} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (3.9)$$

โดยที่

$[M]$ เป็นเมตริกซ์ของมวล

$[C]$ เป็นเมตริกซ์ของความหน่วง (Damping matrix)

$[K]$ เป็นสติฟเนสเมตริกซ์

$\{u\},\{\dot{u}\},\{\ddot{u}\}$ เป็นเวคเตอร์การเคลื่อนที่สัมพัทธ์ ความเร็วสัมพัทธ์และความเร่งสัมพัทธ์ตามลำดับ

$\{\ddot{u}_g\}$ เป็นเวคเตอร์ความเร่งของพื้นดิน (แผ่นดินไหวจำลอง)

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมไฟไนต์เอเลเมนต์ FEAP (23) ที่ได้ทำการปรับปรุงให้วิเคราะห์โครงข้อแข็งระนาบภายใต้การกระทำของแรงสถิตและแรงจลได้ (24) ชิ้นส่วนของโครงสร้างถูกพิจารณาเป็นแบบเอเลเมนต์ของคาน (Beam element) สติฟเนสของโครงสร้างหาโดยวิธีรวมสติฟเนสโดยตรง (Direct stiffness method) ในการวิเคราะห์ทางพลศาสตร์นั้นได้ สมมุติอัตราส่วนความหน่วงในแต่ละโมด (mode) ของการสั่นสะเทือนเท่ากับ 5% และสมมุติมวลเป็นแบบมวลลัมพ์ (Lumped mass) วิธีการเชิงเลขที่ใช้เป็นวิธีการอินทิเกรตโดยตรงเป็นขั้น ๆ (step-by-step direct integration) โดยใช้ช่วงขั้นเวลา (time step) 0.04 วินาที

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แรงลมในพื้นที่บริเวณกรุงเทพมหานคร

ความสูงของอาคารหรือส่วนของอาคาร	หน่วยแรงลม อย่างน้อย(กก./ตร.ม.)
ส่วนของอาคารที่สูงไม่เกิน 10 เมตร	50
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 10 เมตร แต่ไม่เกิน 20 เมตร	80
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 20 เมตร แต่ไม่เกิน 40 เมตร	120
ส่วนของอาคารที่สูงกว่า 40 เมตร	160

ตารางที่ 3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ในสมการ 3.1 และค่าแรงเฉือน V ของโครงข้อแข็ง 4, 10 และ 20 ชั้น

อาคาร	Z	I	K	C	S	W	V=ZIKCSW
4 ชั้น	3/16	1.00	1.0	0.1126	1.21	122	3.1
10 ชั้น	3/16	1.25	1.0	0.0816	1.50	751	21.55
20 ชั้น							
กรณี 1	3/16	1.25	1.0	0.0592	1.50	2753	57.26
กรณี 2	3/16	1.25	1.0	0.0592	1.50	3066	63.77

หมายเหตุ W และ V มีหน่วยเป็นตัน

ตารางที่ 3.3 ค่าตัวคูณ I เกี่ยวกับความสำคัญของอาคารที่ใช้

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
(1) อาคารที่สำคัญ เช่น โรงเรียน โรงพยาบาล เป็นต้น	1.50
(2) อาคารซึ่งเป็นที่ชุมนุมชนครั้งหนึ่ง ๆ มากกว่า 300 คน หรือมีความสูงเกินกว่า 5 ชั้น	1.25
(3) อาคารอื่น ๆ	1.00

ตารางที่ 3.4 ค่า K สัมประสิทธิ์ของโครงสร้างที่รับแรงในแนวราบ

ชนิดโครงสร้างรับแรงในแนวราบ	ค่าของ K
(1) โครงอาคารระบบอื่น ๆ ยกเว้นโครงอาคารตามที่กล่าวไว้ในข้างล่างนี้	1.00
(2) อาคารที่มีโครงแกงแนง (Braced Frames) ในแนวราบ หรือกำแพงรับแรงเฉือน (Shear Walls)	1.33
(3) อาคารที่ประกอบด้วยโครงข้อแข็งเสปซ และมีกำแพงรับแรงเฉือนหรือแกงแนง ซึ่งมีข้อกำหนดในการออกแบบดังนี้ (ก) โครงที่มีกำแพงรับแรงเฉือนหรือโครงที่มีแกงแนงและสามารถต้านทานแรงในแนวราบได้ทั้งหมด (ข) กำแพงรับแรงเฉือนของโครงแกงแนง ซึ่งทำหน้าที่เป็นอิสระจากส่วนของโครงข้อแข็งเสปซและสามารถต้านทานแรงในแนวราบได้ทั้งหมด (ค) โครงข้อแข็งเสปซสามารถต้านทานแรงในแนวราบที่เกิดขึ้นได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25	0.80
(4) อาคารที่ประกอบด้วยโครงข้อแข็งเสปซ และออกแบบให้รับแรงในแนวราบได้ทั้งหมด	0.67
(5) หอถังรวมทั้งของไหลบรรจุเต็มรองรับโดยเสาซึ่งมิใช่เสาของอาคารจำนวนไม่น้อยกว่าสี่ต้นและมีแกงแนงยึดอยู่	2.50
(6) สะพาน โครงสร้างยื่นเช่นถังน้ำที่มีเสาต้นเดียว ปล่องไฟ เป็นต้น	2.00

ตารางที่ 3.5 น้ำหนักบรรทุกของอาคาร W ของโครงข้อแข็ง 4, 10 และ 20 ชั้น

อาคาร / ชั้น	4 ชั้น	10 ชั้น	20 ชั้น	
			กรณี 1	กรณี 2
1	34	81	153	174
2	32	79	149	170
3	30	79	149	170
4	26	77	149	170
5		75	149	170
6		75	149	170
7		74	149	170
8		73	147	168
9		73	140	152
10		65	140	152
11			140	152
12			135	147
13			131	143
14			131	143
15			131	143
16			127	140
17			124	136
18			124	136
19			124	136
20			112	124
รวม	122	751	2,753	3,066

หมายเหตุ น้ำหนักบรรทุกของอาคารคิดจากน้ำหนักตายตัว + 25% ของน้ำหนักจร หน่วยเป็นตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.6 แรงลมที่กระทำแต่ละชั้นต่อโครงข้อแข็ง 4, 10 และ 20 ชั้น

ชั้น \ อาคาร	4 ชั้น	10 ชั้น	20 ชั้น	
			กรณี 1	กรณี 2
1	0.75	1.12	1.58	1.58
2	0.60	0.90	1.36	1.36
3	0.78	1.17	1.67	1.67
4	0.48	1.44	2.18	2.18
5		1.44	2.18	2.18
6		1.80	2.66	2.66
7		2.16	3.26	3.26
8		2.16	3.26	3.26
9		2.16	3.26	3.26
10		1.08	3.26	3.26
11			3.26	3.26
12			3.87	3.87
13			4.35	4.35
14			4.35	4.35
15			4.35	4.35
16			4.35	4.35
17			4.35	4.35
18			4.35	4.35
19			4.35	4.35
20			2.18	2.18
รวม	2.61	15.43	64.43	64.43

หมายเหตุ แรงหน่วยเป็นตัน

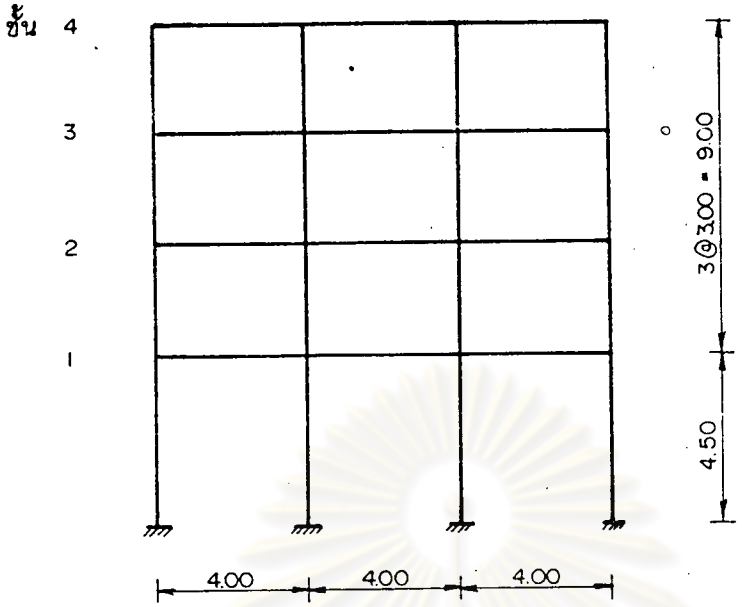
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.7 แรงแผ่นดินไหวตามข้อกำหนด ยู.บี.ซี. ที่กระทำแต่ละชั้นต่อโครงข้อแข็ง 4, 10 และ 20 ชั้น

โครงข้อแข็ง / ชั้น	4 ชั้น	10 ชั้น	20 ชั้น	
			กรณี 1	กรณี 2
1	0.44	1.57	0.37	0.42
2	0.68	0.92	0.63	0.73
3	0.90	1.29	0.90	1.04
4	1.08	1.62	1.18	1.36
5		1.93	1.45	1.67
6		2.28	1.72	1.98
7		2.60	2.00	2.30
8		2.90	2.24	2.58
9		3.24	2.39	2.61
10		4.20	2.64	2.89
11			2.90	3.18
12			3.04	3.34
13			3.19	3.51
14			3.43	3.78
15			3.67	4.04
16			3.79	4.22
17			3.93	4.35
18			4.15	4.60
19			4.38	4.85
20			9.25	10.32
รวม	3.10	21.55	57.26	63.77

หมายเหตุ แรงหน่วยเป็นตัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



คุณสมบัติวัสดุ

ความหนาแน่น ρ = 2,400 กก/ลบ.ม.

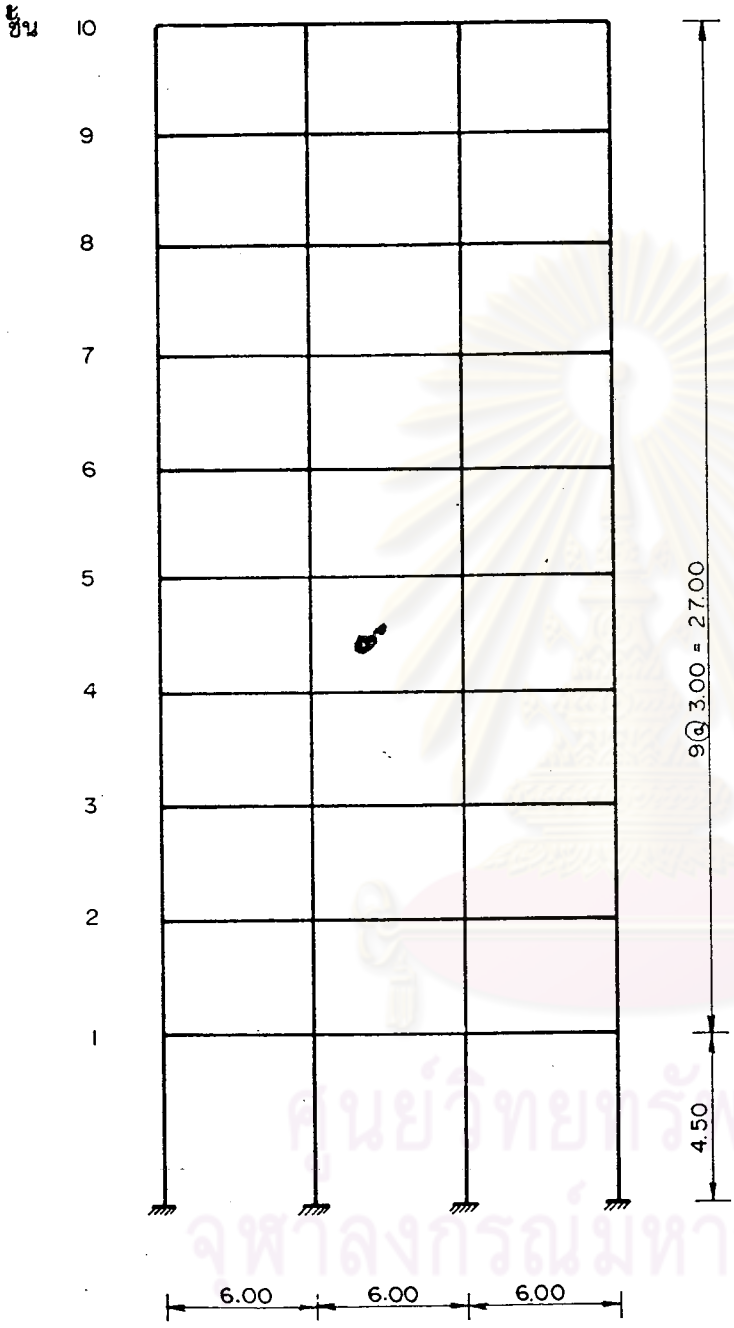
โมดูลัสความยืดหยุ่น E = 2.04×10^9 กก/ตร.ม.

ขนาดของชิ้นส่วน

ชั้น	ขนาดเสา (ม. X ม.)	ขนาดคาน (ม.X ม.)
1	0.3 X 0.3	0.2 X 0.4
2	0.3 X 0.3	0.2 X 0.4
3	0.2 X 0.2	0.2 X 0.4
4	0.2 X 0.2	0.2 X 0.4

รูปที่ 3.1 โครงข้อแข็ง 4 ชั้น คุณสมบัติวัสดุ และขนาดชิ้นส่วน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



คุณสมบัติวัสดุ

ความหนาแน่น ρ = 2,400 กก./ตร.ม.

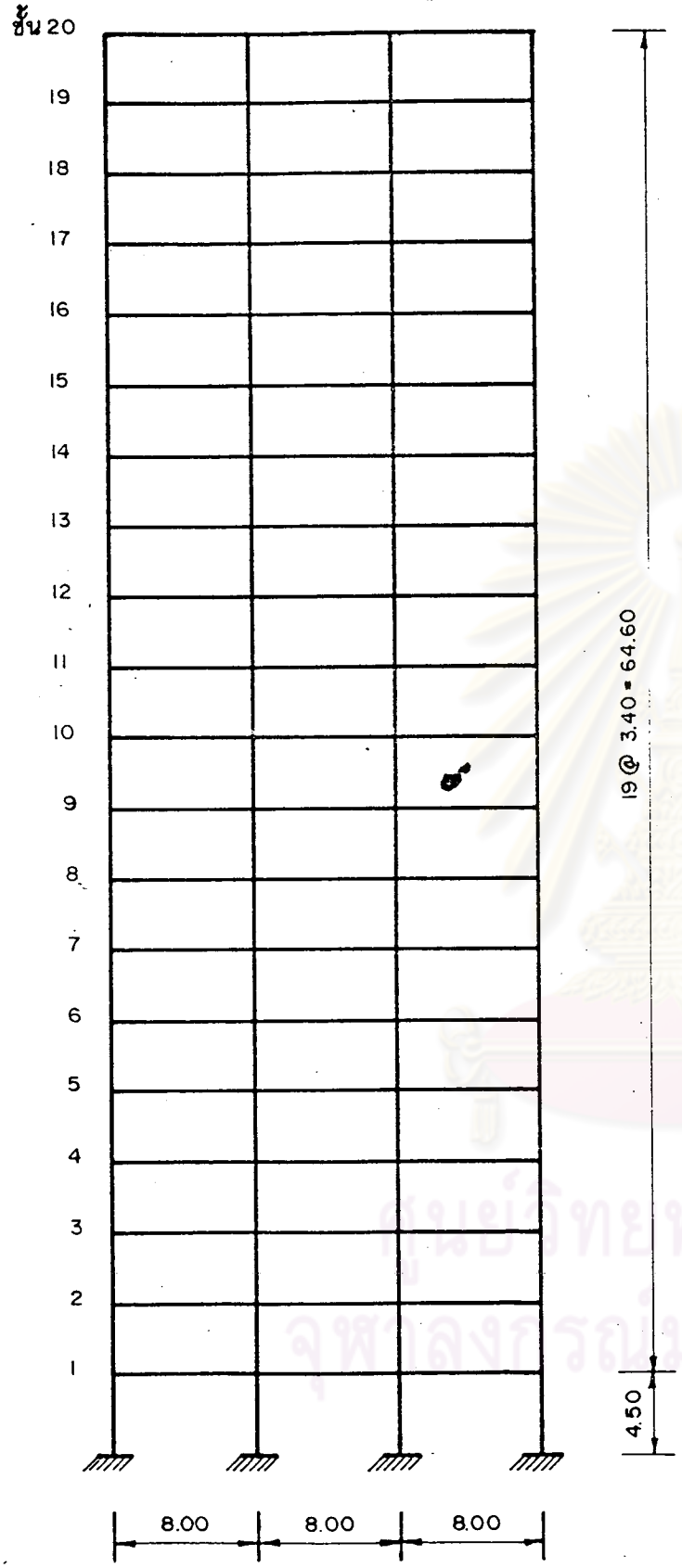
โมดูลัสความยืดหยุ่น E = 2.36×10^9 กก./ตร.ม.

ขนาดชิ้นส่วน

ชั้น	ขนาดเสา (ม. X ม.)	ขนาดคาน (ม. X ม.)
1	0.6 X 0.6	0.25 X 0.50
2-4	0.6 X 0.6	0.25 X 0.50
5-7	0.4 X 0.6	0.25 X 0.50
8-10	0.4 X 0.4	0.25 X 0.50

รูปที่ 3.2 โครงข้อแข็ง 10 ชั้น คุณสมบัติวัสดุ และขนาดชิ้นส่วน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



คุณสมบัติวัสดุ

ความหนาแน่น ρ = 2,400 กก./ลบ.ม.

โมดูลัสความยืดหยุ่น E = 2.36×10^9 กก./ตร.ม.

ขนาดชิ้นส่วน

ชั้น	ขนาดเสา (ม. X ม.)	ขนาดคาน (ม. X ม.) กรณี 1.	กรณี 2.
1–8	0.8 X 1.0	0.30X0.60	0.45X0.75
9–12	0.8 X 0.8	0.30X0.50	0.40X0.60
13–16	0.6 X 0.6	0.30X0.50	0.40X0.60
17–20	0.4 X 0.4	0.30X0.50	0.40X0.60

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.3 โครงข้อแข็ง 20 ชั้น คุณสมบัติวัสดุและขนาดชิ้นส่วน