



๒๐/๘.

หลักสูตร การออกแบบโครงสร้างอาคารสูง

ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

Structural Systems for High - Rise

โดย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ร่วมกับ

ฝ่ายการศึกษาต่อเนื่อง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารประกอบการบรรยาย

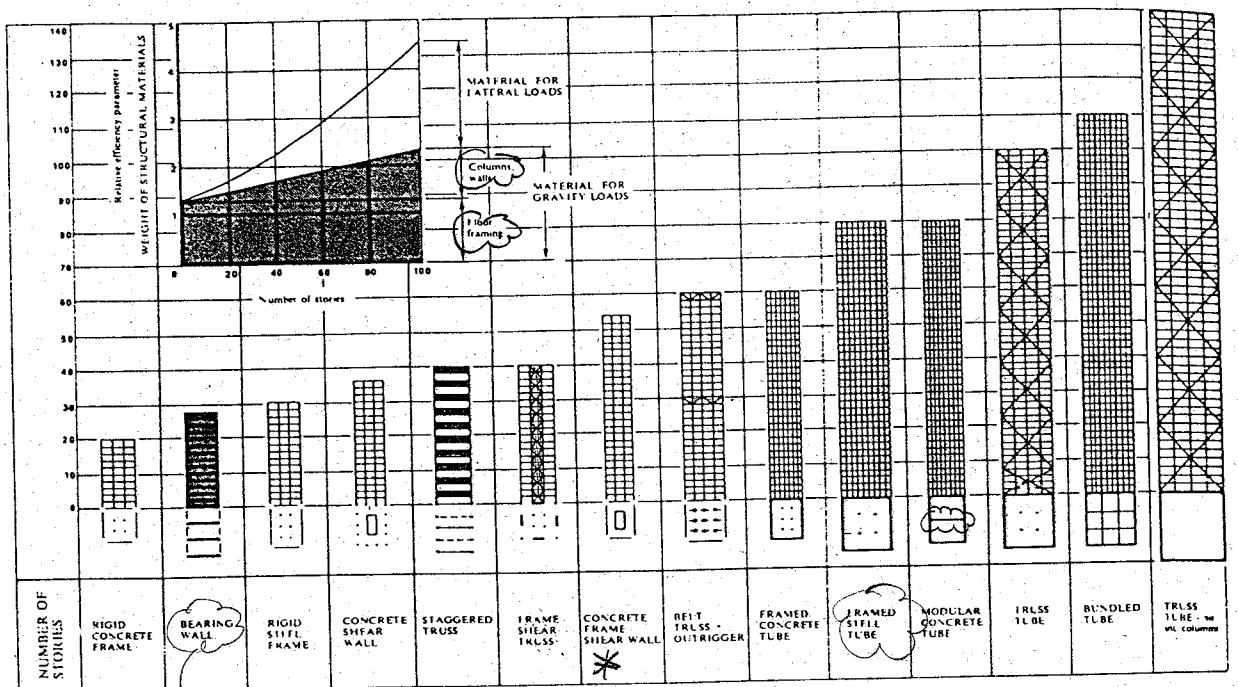
"การออกแบบโครงสร้างอาคารสูง"

Structural Systems for High - Rise Buildings

ศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณ เทพชาตรี

1. คำนำ

อาคารโดยทั่วไปจะต้องได้รับการออกแบบให้สามารถต้านทานแรงกระทำทั้งในแนวตั้ง และในแนวด้านข้างได้อย่างปลอดภัย สำหรับอาคารขนาดความสูงไม่เกิน 10 ชั้น แรงกระทำในแนวตั้งจะเป็นค่ากำหนดขนาดของหน้าตัดเสา ในขณะที่อาคารที่มีความสูงเพิ่มขึ้น แรงกระทำด้านข้าง เช่น แรงลม ฯลฯ จะมีความสำคัญในการกำหนดขนาดของเสาและผนังกำแพงมากขึ้นตาม ในอาคารสูงการเลือกใช้ระบบโครงสร้าง และการวางตำแหน่งของโครงสร้างหลักเพื่อรับแรงกระทำด้านข้างจึงมีความสำคัญ เพื่อให้เกิดความมั่นคงแข็งแรงแก่อาคาร ตลอดจนถึงการช่วยลดขนาดขององค์อาคารในแนวตั้งอีกด้วย



รับน้ำหนัก Gravity load

รูปที่ 2.1 ระบบโครงสร้างอาคารสูงประเภทต่าง ๆ

2. ระบบโครงสร้างอาคารสูง

ระบบโครงสร้างที่มักนิยมใช้กับอาคารสูงได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.1 ซึ่งแต่ละระบบจะเหมาะสมกับความสูงของอาคารในแต่ละระดับ จากเส้นกราฟ (มุมนบนซ้ายในรูปที่ 2.1) จะพบว่าน้ำหนักขององค์อาคารที่ใช้สำหรับรับแรงกระทำในแนวดิ่ง (gravity loads) จะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสูง โดยที่น้ำหนักขององค์อาคารในแนวราบจะมีค่าค่อนข้างคงที่ ในขณะที่น้ำหนักขององค์อาคารในแนวดิ่ง อันได้แก่ เสา ผนังกำแพง เป็นต้น จะแปรผันเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความสูงของอาคาร และสำหรับอาคารที่มีความสูงไม่เกิน 40 ชั้น จะสังเกตเห็นว่าน้ำหนักขององค์อาคารในแนวราบจะมีค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของน้ำหนักของอาคารทั้งหมด อย่างไรก็ตาม ในขณะที่อาคารมีความสูงเพิ่มขึ้น แรงกระทำด้านข้าง (lateral loads) บ่อยจะมีผลต่อความแข็งแรงของโครงสร้าง จึงทำให้น้ำหนักขององค์อาคารในแนวดิ่งมีค่ามากขึ้นตาม โดยปกติจะมีค่าแปรผันตามความสูงยกกำลังสองโดยประมาณ

เมื่อทำการเปรียบเทียบระหว่างน้ำหนักขององค์อาคารที่ต้องใช้สำหรับรับแรงกระทำในแนวดิ่งและในแนวราบ จะพบว่าในกรณีอาคารสูงปานกลาง (ระหว่างความสูง 20 - 30 ชั้น) ถ้าหากเลือกระบบโครงสร้างที่ถูกต้องเหมาะสมแล้ว ผลของแรงกระทำในแนวราบจะมีผลน้อยมาก กล่าวคือน้ำหนักขององค์อาคารที่ใช้ในการต้านทานแรงด้านข้าง จะมีค่าเพียงประมาณ 10 % ของน้ำหนักขององค์อาคารทั้งหมด ในขณะที่อาคารมีความสูงเพิ่มขึ้น น้ำหนักขององค์อาคารที่ต้องใช้ในการต้านทานแรงกระทำด้านข้างจะมีค่ามากขึ้นอย่างเด่นชัด กล่าวคือเมื่ออาคารมีความสูงประมาณ 100 ชั้น น้ำหนักขององค์อาคารรับแรงด้านข้างเกือบจะมีค่าเท่ากับน้ำหนักขององค์อาคารที่ใช้ในการรับแรงกระทำในแนวดิ่ง

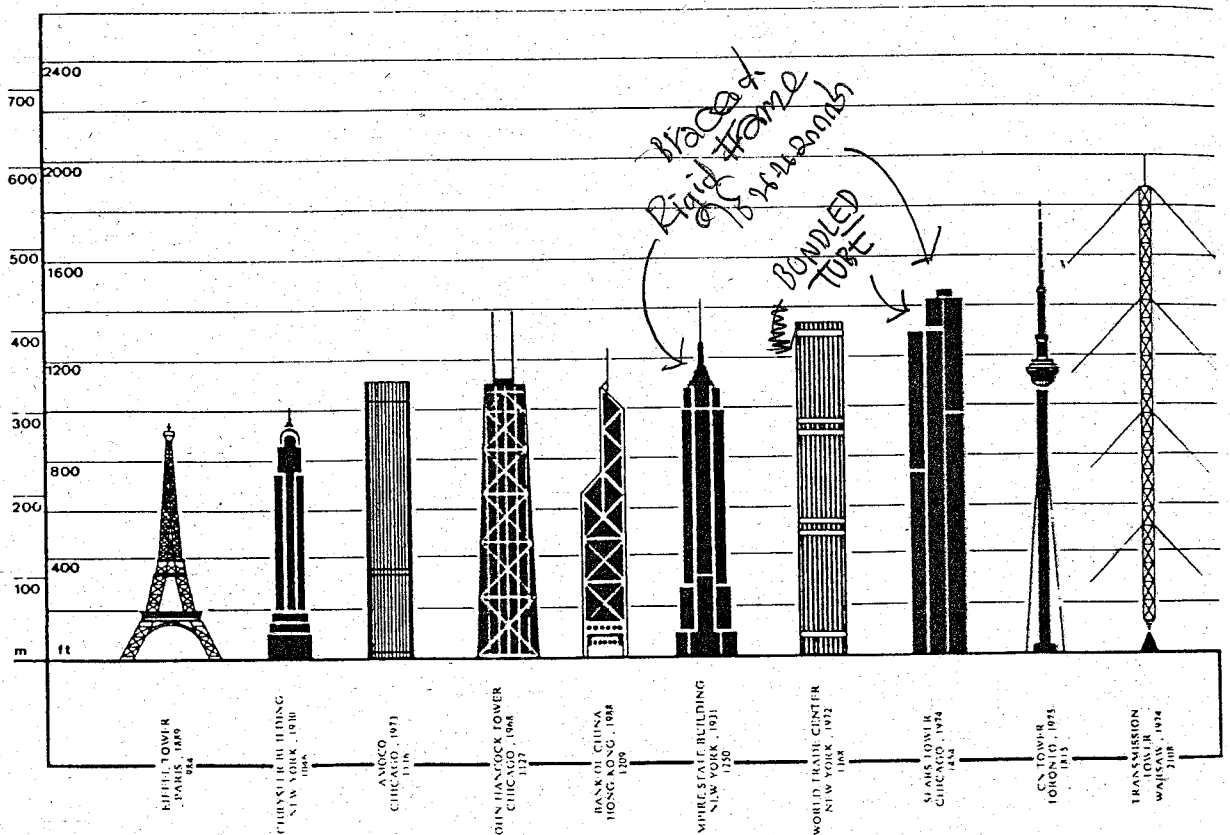
ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบน้ำหนักของอาคารสูง (Steel Structures)

Building Cases	Year	Stories	Height/ Width	psf	Structure System
→ Empire State Building, New York	1931	102	9.3	42.2	Braced rigid frame
John Hancock Center, Chicago	1968	100	7.9	29.7	Trussed tube
World Trade Center, New York	1972	110	6.9	37.0	Framed tube
Sears Tower, Chicago	1974	109	6.4	33.0	Bundled tubes
* Chase Manhattan, New York	1963	60	7.3	55.2	Braced rigid frame
U.S. Steel Building, Pittsburgh	1971	64	6.3	30.0	Shear walls + out- riggers + belt trusses
I.D.S. Center, Minneapolis	1971	57	6.1	17.9	
Boston Co. Building, Boston	1970	41	4.1	21.0	K-braced tube
Alcoa Building, San Francisco	1969	26	4.0	26.0	Latticed tube
Low Income Housing, Brockton, Mass.	1971	10	5.1	6.3	

การเลือกใช้ระบบโครงสร้างที่ถูกต้องกับระดับความสูงของอาคาร มีความสำคัญมากในการช่วยลดน้ำหนักขององค์อาคารรวมที่ประกอบขึ้นเป็นน้ำหนักทั้งหมดของโครงสร้าง ในอดีตระบบโครงสร้างประเภทโครงข้อแข็ง (rigid frame) เป็นระบบที่นิยมใช้กันทั่วไปในการออกแบบอาคารสูง ตามด้วยระบบโครงสร้างผสม ประกอบด้วยระบบโครงข้อแข็ง กับผนังรับแรงเฉือน (rigid frame + shear wall) อย่างไรก็ตาม ระบบโครงสร้างดังกล่าวจะเหมาะกับความสูงของอาคารเพียงระดับหนึ่งเท่านั้น (ดูรูปที่ 2.1) Mr. Fazlur Khan วิศวกรโครงสร้างผู้มีชื่อเสียงระดับโลกผู้หนึ่ง เป็นผู้ที่มีความคิดริเริ่มในการบุกเบิกระบบโครงสร้างใหม่ ๆ เพื่อใช้กับอาคารสูง เช่น ระบบ Truss Tube, Bundled Tube เป็นต้นเขาเป็นวิศวกรโครงสร้างอาคาร John Hancock Center, Chicago U.S.A. ในปี ค.ศ. 1968 โดยมีความสูงถึง 100 ชั้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับอาคาร Empire State, New York, U.S.A. ซึ่งสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1931 และมีความสูง 102 ชั้น จะพบว่าน้ำหนักอาคารต่อตารางพื้นที่ของอาคาร John Hancock Center มีค่าเท่ากับ 29.7 ปอนด์/ตารางฟุต ใน

ขณะที่น้ำหนักของอาคาร Empire State มีค่าเท่ากับ 42.2 ปอนด์/ตารางฟุต (ดูตารางที่ 2.1) สาเหตุที่ราคาค่าก่อสร้างแตกต่างกันมาก เป็นเพราะอาคาร John Hancock Center ใช้ระบบโครงสร้างประเภท Truss Tube ในขณะที่ตึก Empire State ใช้ระบบโครงสร้างประเภทโครงข้อแข็ง (Braced Rigid Frame)

จากตารางที่ 2.1 อาคาร Sears Tower, Chicago ซึ่งเป็นตึกที่มีความสูงที่สุดในโลก (สูง 109 ชั้น) ใช้ระบบโครงสร้างประเภท Bundled Tube จะมีน้ำหนัก 33.0 ปอนด์/ตารางฟุต ในขณะที่อาคาร Chase Manhattan, New York (สูง 60 ชั้น) ใช้ระบบโครงสร้างประเภท Braced Rigid Frame มีน้ำหนักถึง 55.2 ปอนด์/ตารางฟุต



รูปที่ 2.2 อาคารประเภทต่าง ๆ ที่สูงที่สุดในโลก

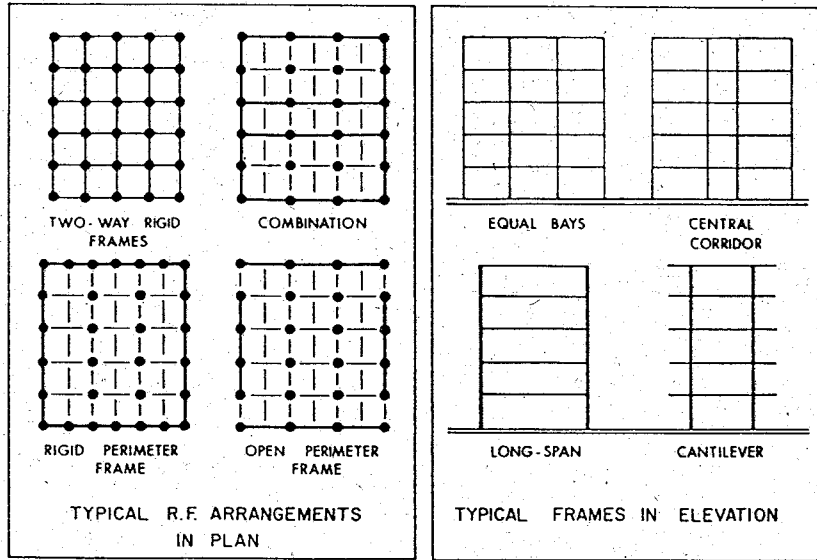
3. ประเภทระบบโครงสร้างอาคารสูง

ระบบโครงสร้างที่นิยมใช้กับอาคารสูงในปัจจุบันสามารถแยกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังนี้

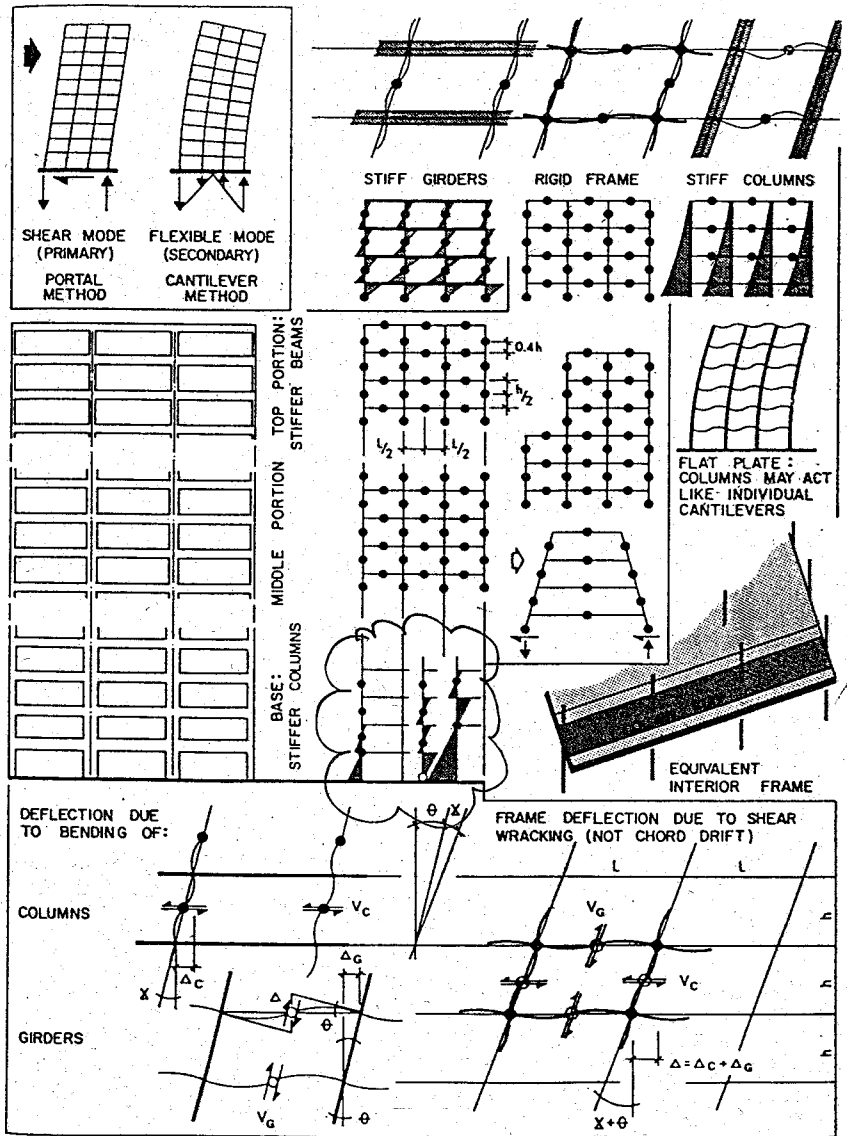
- ก. Rigid Frame (โครงสร้างข้อแข็ง)
- ข. Shear Wall (ผนังรับแรงเฉือน)
- ค. Frame + Shear Wall (โครงสร้างข้อแข็ง + ผนังรับแรงเฉือน)
- ง. Belt Truss Outrigger
- จ. Framed Tube
- ฉ. Trussed Tube
- ช. Bundled Tube

3.1 Rigid Frame (โครงสร้างข้อแข็ง)

เป็นระบบโครงสร้างที่เหมาะสมกับความสูงอาคารประมาณ 20 - 30 ชั้น (ดูรูปที่ 2.1) หากอาคารมีความสูงมากกว่านี้ การใช้ระบบโครงสร้างข้อแข็ง จะเป็นการสิ้นเปลืองวัสดุมาก รูปที่ 3.1 แสดงวิธีการวางตำแหน่งของโครงสร้างข้อแข็งในลักษณะต่าง ๆ กัน ส่วนรูปที่ 3.2 แสดงพฤติกรรมของโครงสร้างข้อแข็ง ภายใต้แรงกระทำด้านข้าง ในกรณีที่ต้องอาคารในแนวราบเป็นระบบพื้นไร้คาน (Flat Plate) พฤติกรรมของโครงสร้างข้อแข็งจะเข้าไปใกล้พฤติกรรมของผนังรับแรงเฉือน (shear wall) กล่าวคือเสาจะมีลักษณะเป็นแบบเสายื่น (cantilever beam) ซึ่งจะมีผลให้เกิดระยะโค้งในแนวราบสูงกว่าระบบ พื้น-คาน (Slab-Beam) ทั่วไป



รูปที่ 3.1 โครงข้อแข็ง (Rigid Frames)



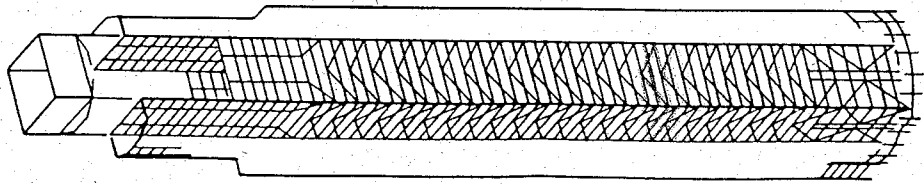
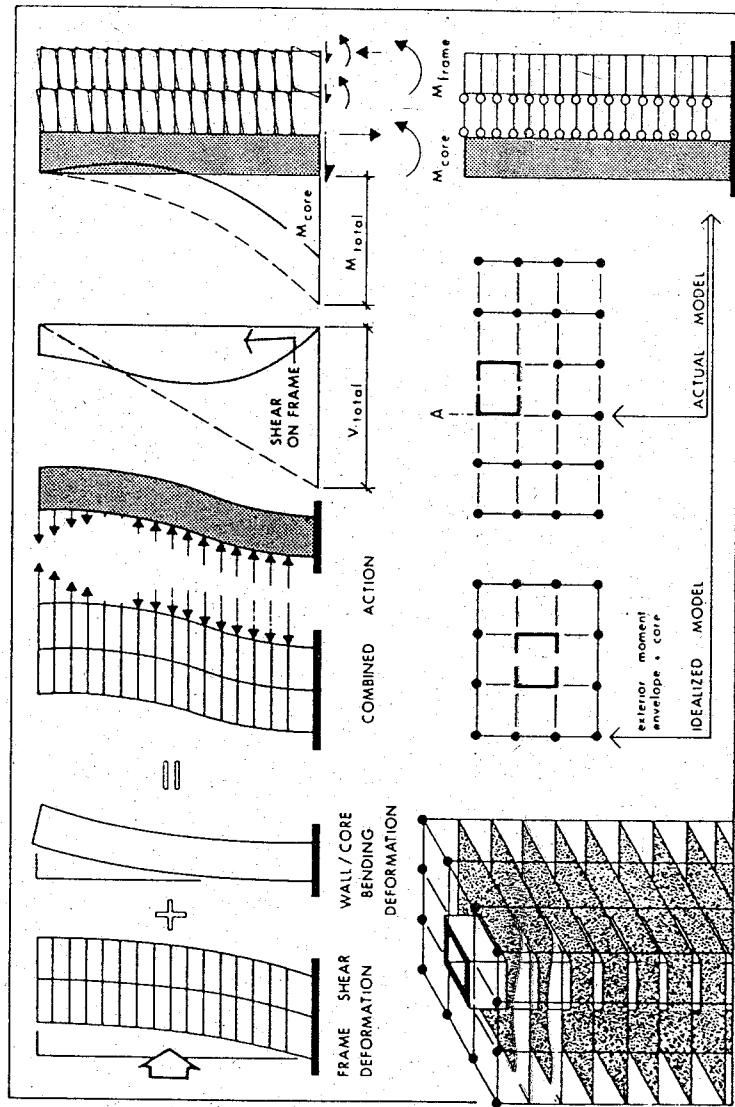
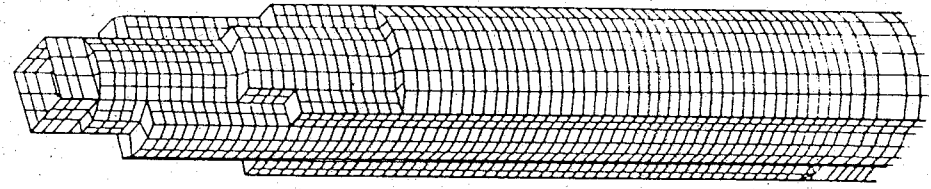
รูปที่ 3.2 โครงข้อแข็งภายใต้แรงกระทำด้านข้าง

3.2 Frame + Shear Wall (โครงข้อแข็ง + พนักรับแรงเฉือน)

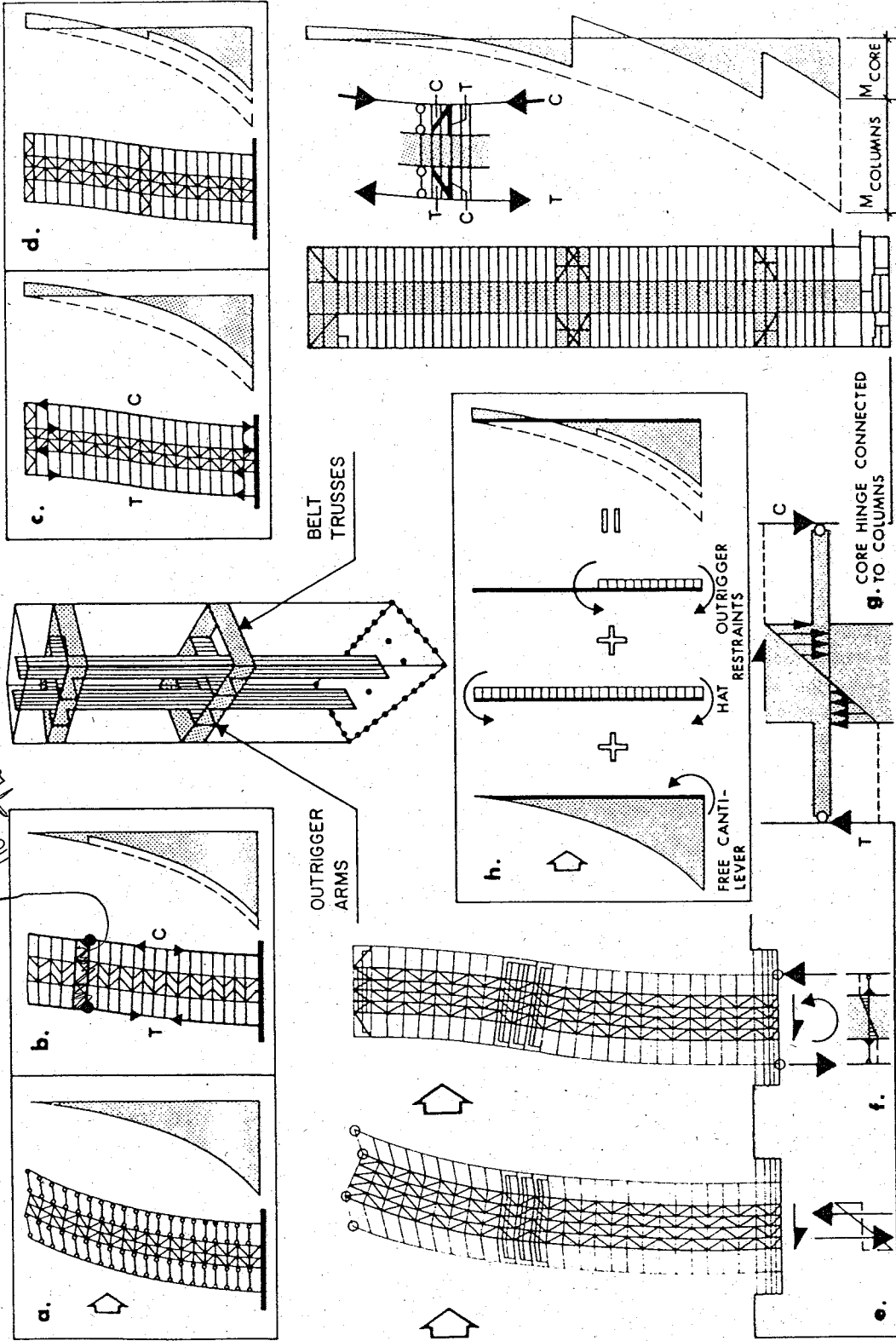
เป็นระบบโครงสร้างที่สามารถใช้กับอาคารที่มีความสูงประมาณ 40 - 50 ชั้น รูปที่ 3.3 แสดงพฤติกรรมการรับแรง ด้านข้างของโครงอาคารระบบนี้ ในระบบโครงข้อแข็งอย่างเดียว พฤติกรรมการรับแรงด้านข้างจะมีลักษณะเป็นแบบ shear mode ในขณะที่ระบบพนักรับแรงเฉือนอย่างเดียวจะมีพฤติกรรมเป็นแบบ bending mode เมื่อรวมพฤติกรรมของทั้งสองระบบเข้าด้วยกัน จะพบว่ามีความแข็งแรงเกิดขึ้นที่ระหว่างผิวของแต่ละระบบโครงสร้าง กล่าวคือที่บริเวณส่วนบนของอาคารจะเกิดแรงผลัดในโครงข้อแข็ง ขณะเดียวกันจะเกิดดึงกลับในพนักรับแรงเฉือน ซึ่งจะมีผลทำให้ระยะโก่งในแนวราบของระบบโครงสร้างรวมมีค่าน้อยลง รูปที่ 3.3 ยังแสดงวิธี idealize โครงสร้างเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างด้วยคอมพิวเตอร์ต่อไป

3.3 Belt Truss Outrigger

เป็นระบบโครงสร้างที่สามารถใช้กับอาคารที่มีความสูงประมาณ 60 ชั้น (ดูรูปที่ 2.1) พฤติกรรมการรับแรงกระทำด้านข้างของโครงสร้างระบบได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.4 โครงถัก (truss) ที่ยื่นออกมาจาก core ถึงเสาต้วนอก จะทำหน้าที่ถ่ายแรงในแนวดิ่งจาก core ไปยังเสาต้วนอก ทำให้โครงสร้างมีพฤติกรรมเป็นแบบ cantilever tube-in-tube ซึ่งจะเห็นการลดค่าระยะโก่งในแนวราบ และลดค่าโมเมนต์ที่ core ได้เป็นอย่างมาก เราสามารถเพิ่มตำแหน่งของโครงถักได้ ซึ่งตรงตำแหน่งที่มีโครงถัก ค่าโมเมนต์ใน core จะลดลงทุกครั้ง



รูปที่ 3.3 ระบบ โครงข้อแข็ง + ผนังรับแรงเฉือน (Frame + Shear Wall)



Handwritten note: 99M couple Moment
 100% Couple Moment

รูปที่ 3.4 ระบบโครงสร้าง Belt Truss Outrigger

3.4 Framed Tube

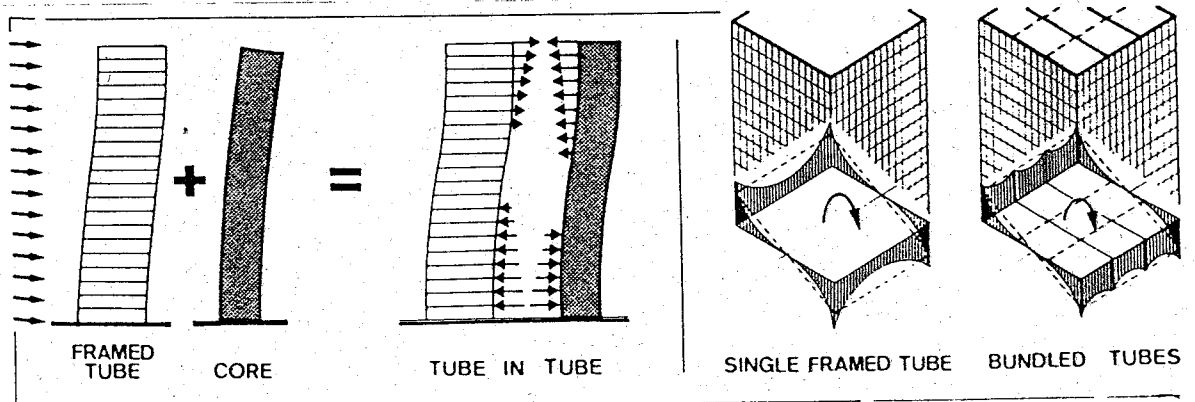
เป็นระบบโครงสร้างที่มีประสิทธิภาพกับอาคารสูงในระดับ 80 - 90 ชั้น ลักษณะของโครงสร้างประกอบด้วยเสารอบนอกที่อยู่ชิดกัน โดยปกติจะห่างกันไม่เกิน 5.00 เมตร และมีคานยึดเสารอบนอกแต่ละตัวเข้าด้วยกัน รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของระบบโครงสร้างดังกล่าว และพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างจะเป็นแบบคานยื่น โดยมีรูปตัดเป็นกล่อง แต่เนื่องจากมีช่องว่างระหว่างเสาดังกล่าวจึงทำให้การกระจายของแรงไม่เป็นเส้นตรง การกระจายของแรงตามขอบของกล่องที่เป็นเส้นโค้งนี้เป็นผลเนื่องมาจาก Shear Lag นั่นเอง

3.5 Trussed Tube

เป็นระบบโครงสร้างที่ใช้กับอาคารสูงในระดับ 100 ชั้น รูปที่ 3.6 แสดงอาคารที่ใช้ระบบโครงสร้างดังกล่าว การเสริมโครงถักในแนวขอบช่วยให้โครงสร้างสามารถรับแรงด้านข้างได้ดีมากขึ้นจึงทำให้เป็นการประหยัดและสามารถลดค่าระยะโก่งในแนวราบให้อยู่ในค่าที่กำหนดได้

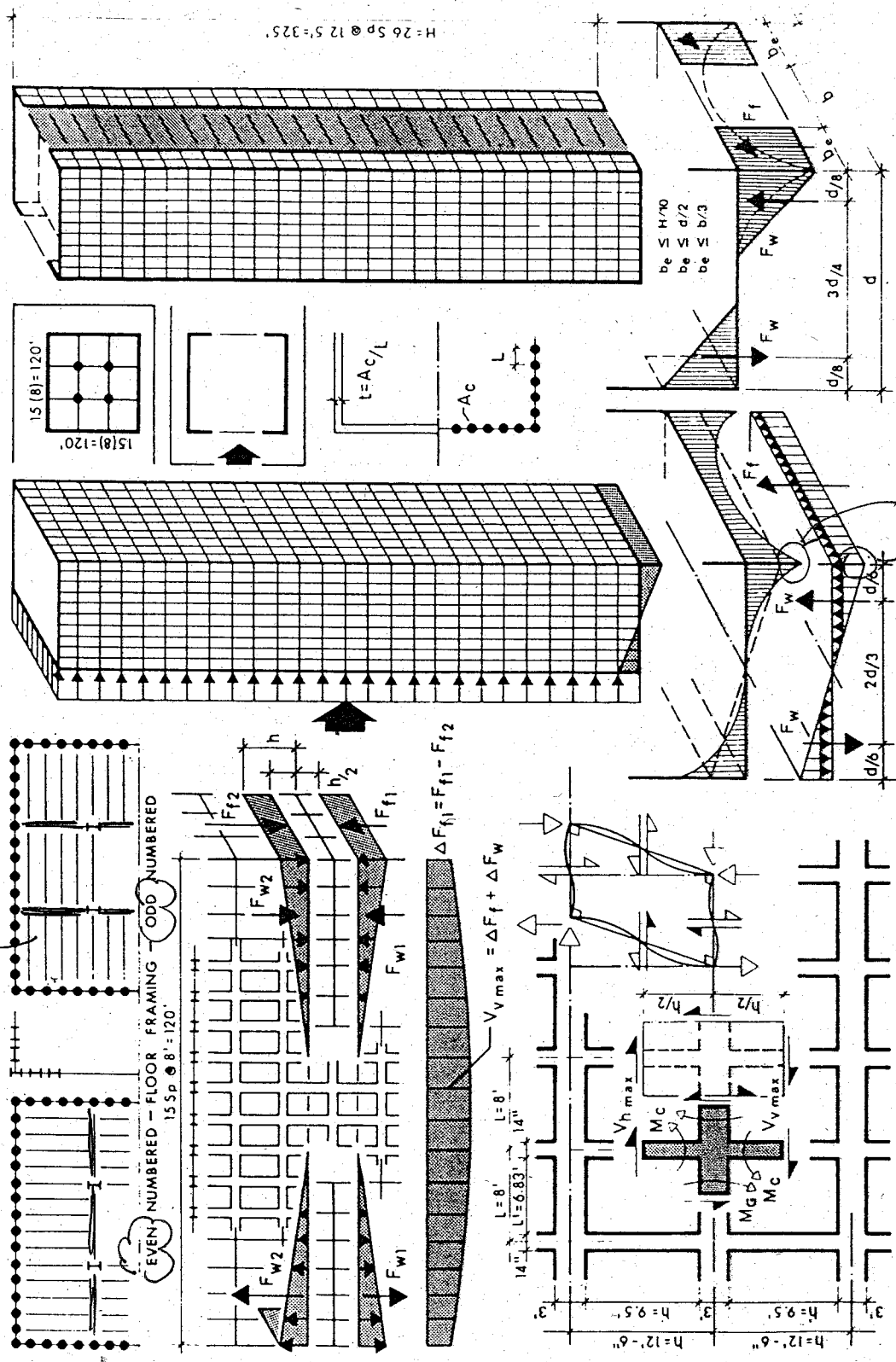
3.6 Bundled Tube

เป็นระบบโครงสร้างที่ใช้กับอาคารสูงกว่า 100 ชั้น ขึ้นไป อาคาร Sears Tower, Chicago เป็นอาคารที่สูงที่สุดในโลก ณ ปัจจุบันนี้ ก็เป็นอาคารที่ใช้ระบบ Bundled Tube รูปที่ 3.7 แสดงพฤติกรรมการรับแรงกระทำด้านข้างของโครงสร้างระบบดังกล่าว



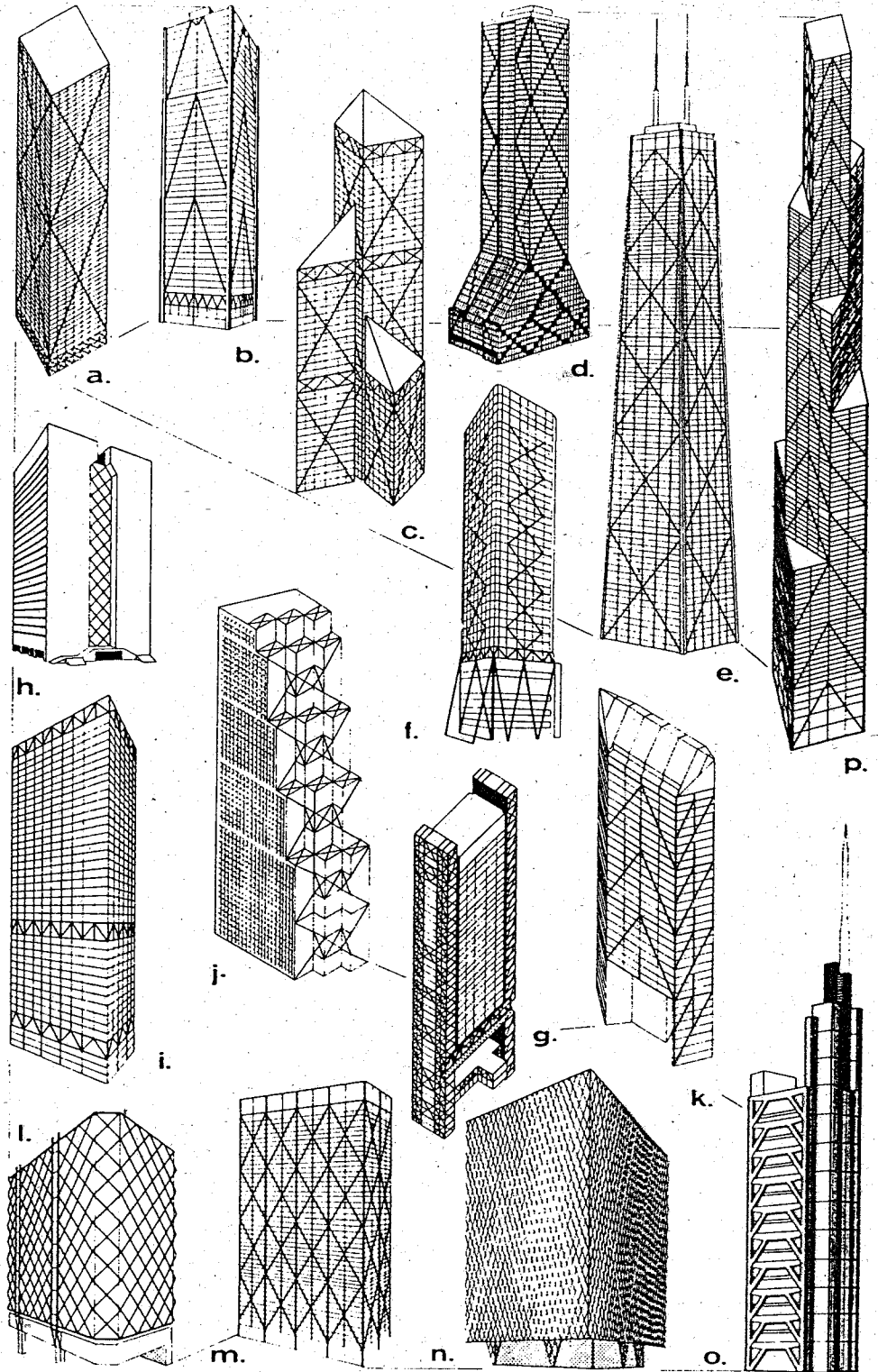
รูปที่ 3.7 ระบบโครงสร้าง Bundled Tube

floor system \rightarrow 2100 W.L.



26% (Perm)

รูปที่ 3.5 ระบบโครงสร้างประเภท Framed Tube



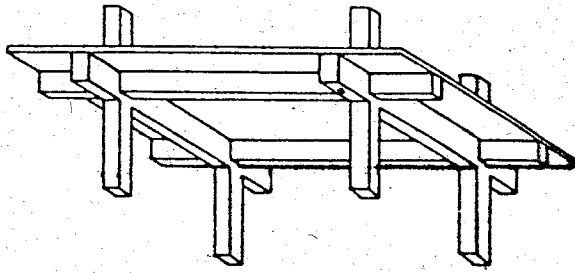
รูปที่ 3.6 ระบบโครงสร้างประเภท Trussed Tube

4. ระบบพื้น

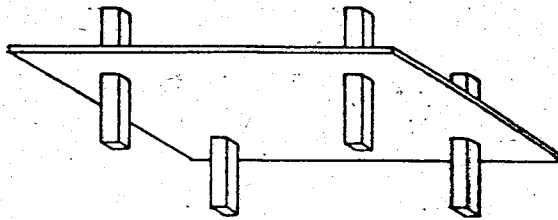
ในอาคารสูง พื้นนอกจากจะทำหน้าที่ถ่ายน้ำหนักบรรทุกในแนวดิ่งแล้ว ยังต้องทำหน้าที่เป็นตัวยึดโครงอาคารเข้าด้วยกัน (diaphragm) เพื่อถ่ายแรงกระทำด้านข้างอีกด้วย ระบบพื้นต่าง ๆ ที่นิยมใช้ได้แก่

- ก. One - way Slab
- ข. Two - way slab with beams
- ค. Flat Plate, Flat Slab
- ง. Waffled Slab
- จ. Ribbed Slab
- ฉ. Post - tensioned Slab
- ช. Composite Slab

รูปที่ 4.1 ถึง 4.6 แสดงลักษณะของพื้นระบบต่าง ๆ เหล่านี้

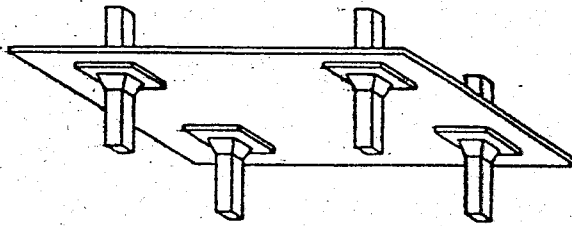


(a) Two - Way Slab



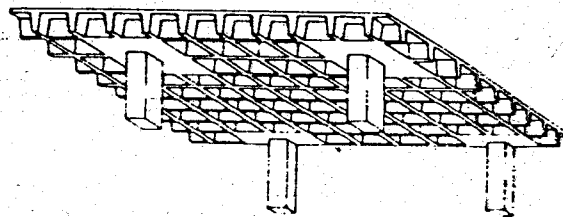
(b) Flat Plate

$t \geq L/45$



(c) Flat Slab

การ Analysis & Design ในพื้นที่นี้

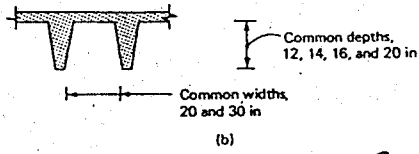
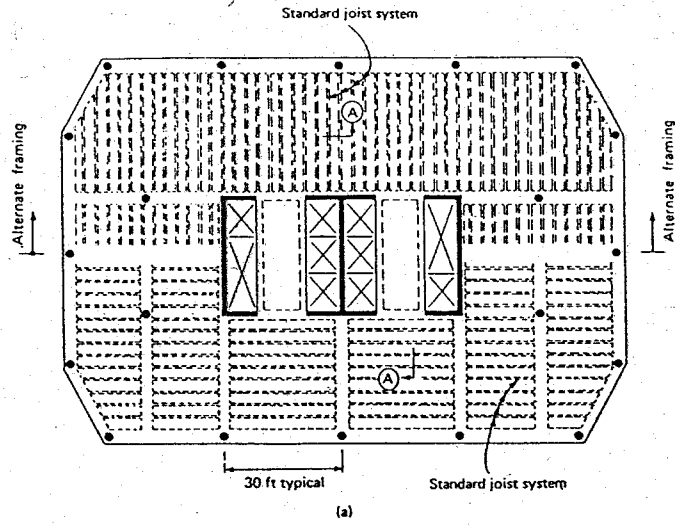


(d) Waffle Slab (Two - Way joist Slab)

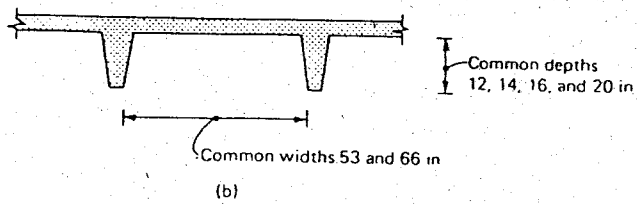
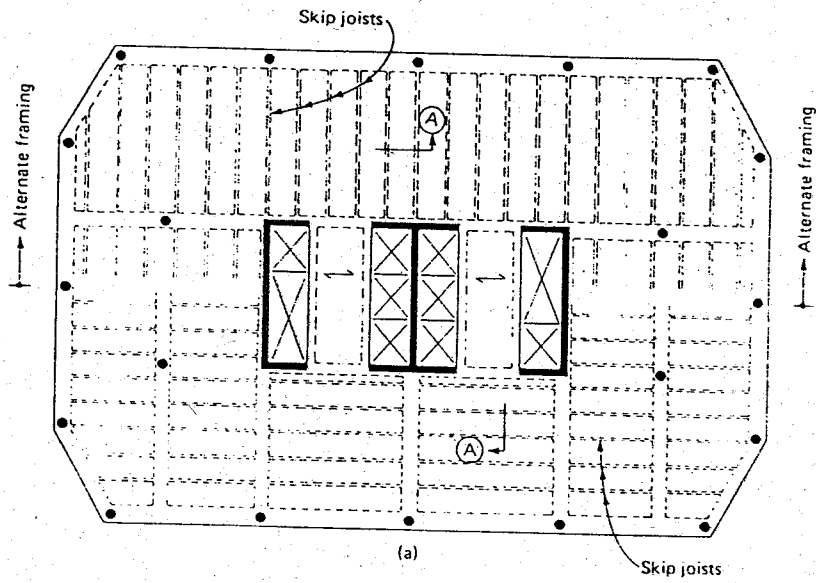
→ ใช้ DL₁

→ Depth $\leq L/20$

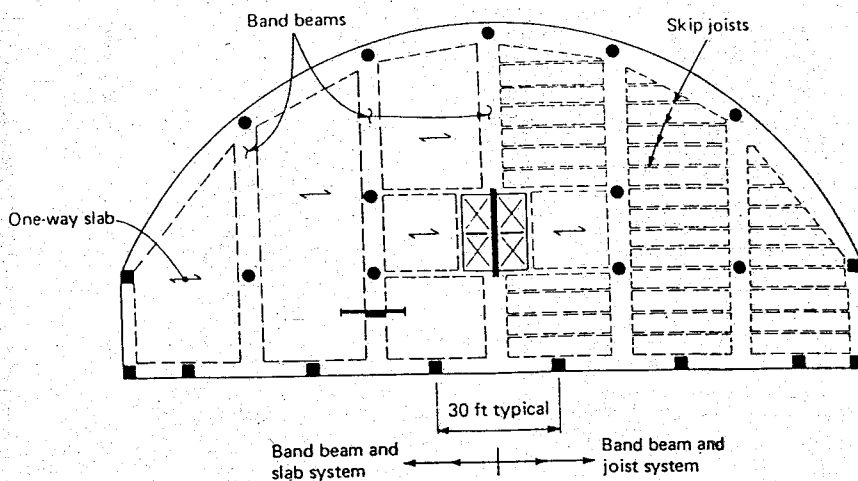
4.1 ระบบพื้นสองทาง



4.2 ระบบพนัก One - way joist system (span > 16.00 m.)

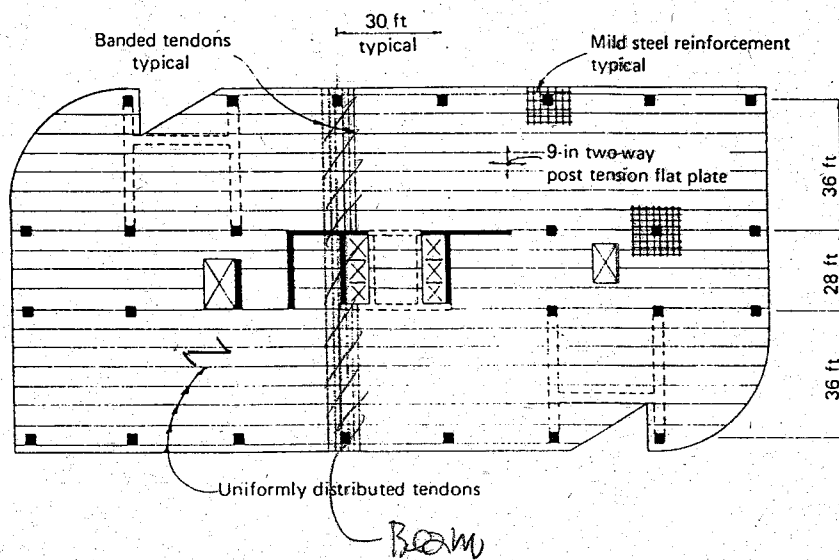


4.3 ระบบพนัก Skip joist system

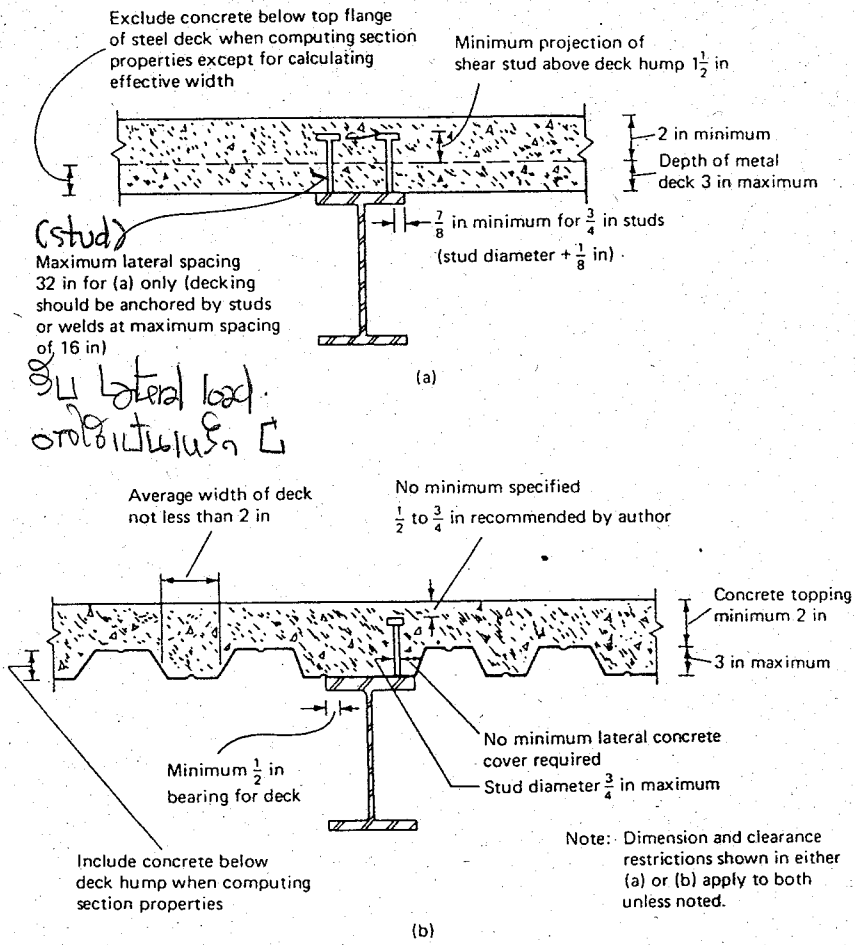


4.4 *ရေပူ* Band beam system

(ဖွဲ့စည်းပုံ band beam စနစ်)



4.5 *ရေပူ* Two - way post - tensioned slab



8.4 lateral load
0.000121653 6

4.6. ระบบ Composite slab

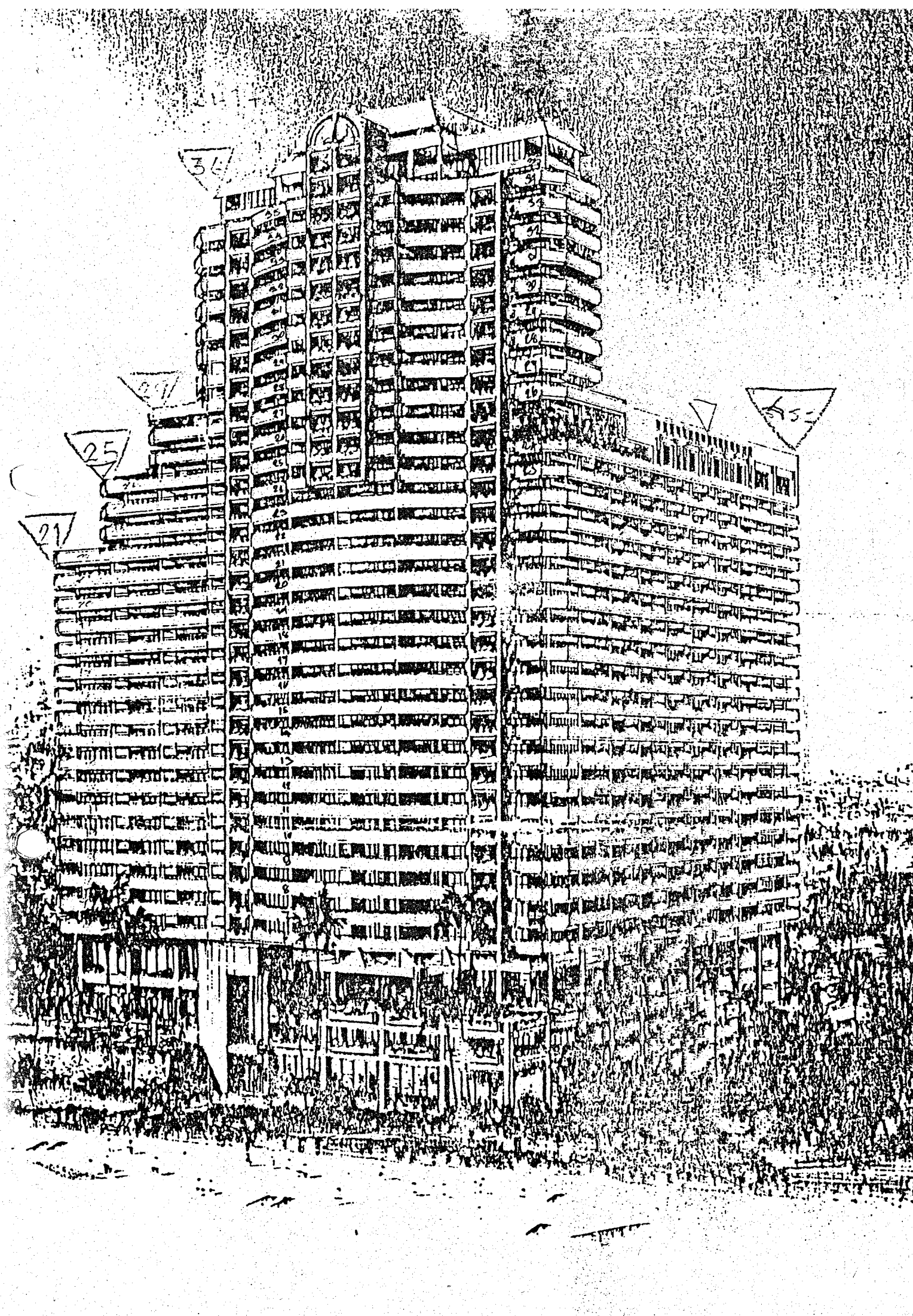
→ Time
→ Solution

5. สรุป

ปัจจุบันระบบโครงสร้างที่ใช้กับอาคารสูงจะมีความสลับซับซ้อนและยุ่งยากมากขึ้น เนื่องจากความต้องการทางด้านรูปทรงและความสวยงาม ในขณะที่เดียวกันความสามารถในการวิเคราะห์โครงสร้างก็ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและความถูกต้องมากขึ้นตาม ยิ่งไปกว่านั้นวิวัฒนาการความรู้ด้านอุโมงค์ลม (windtunnel) ก็มีส่วนช่วยให้การศึกษาค้นคว้าของอาคารภายใต้แรงลมสามารถทำได้อย่างละเอียด ซึ่งเป็นผลให้การคำนวณออกแบบโครงสร้างทำได้ถูกต้อง แต่อย่างไรก็ตามการเลือกใช้ระบบโครงสร้างที่ถูกต้องและเหมาะสมกับอาคารในแต่ละประเภท ย่อมจะมีความสำคัญในเบื้องต้นที่จะช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างได้มาก

References :

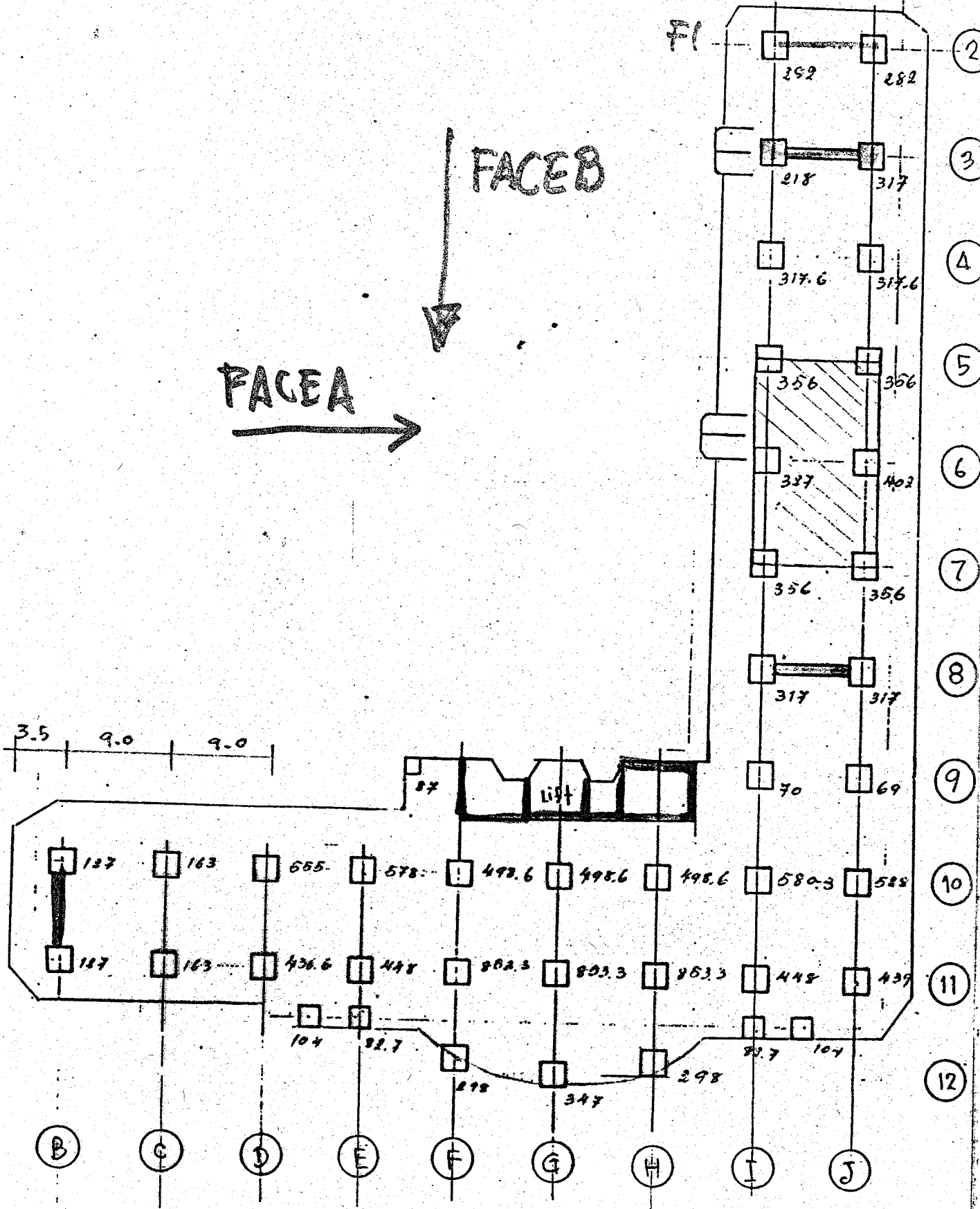
1. "The Vertical Building Structure" by Wolfgang Schueller, Van Nostrand Reinhold, 1990.
2. "Structural Analysis & Design of Tall Buildings" by Bungale S Taranath, Mc-Graw Hill, 1988.
3. "Handbook of Concrete Engineering" Edited by Mark Fintel Van Nostrand Reinhold, 1974.



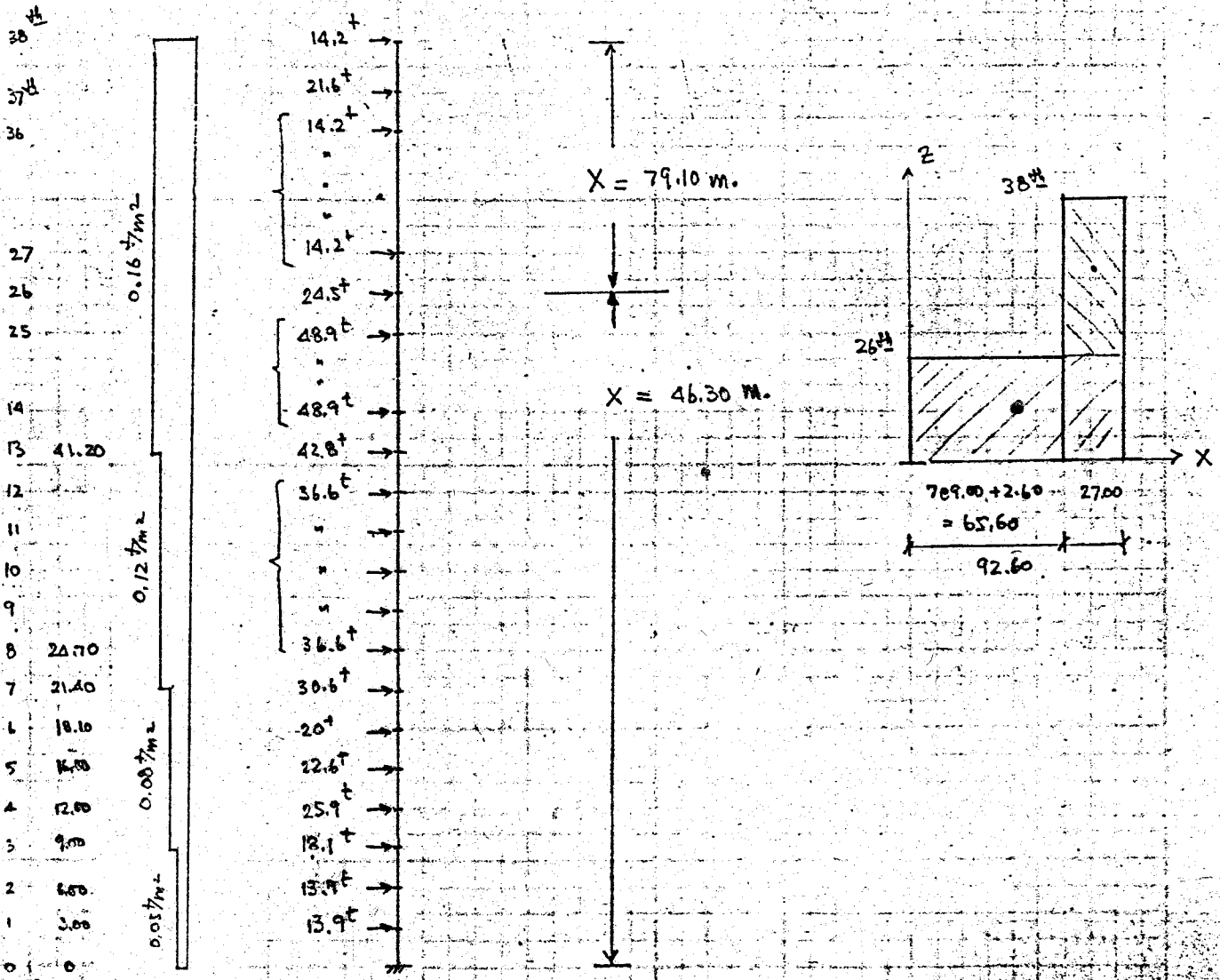
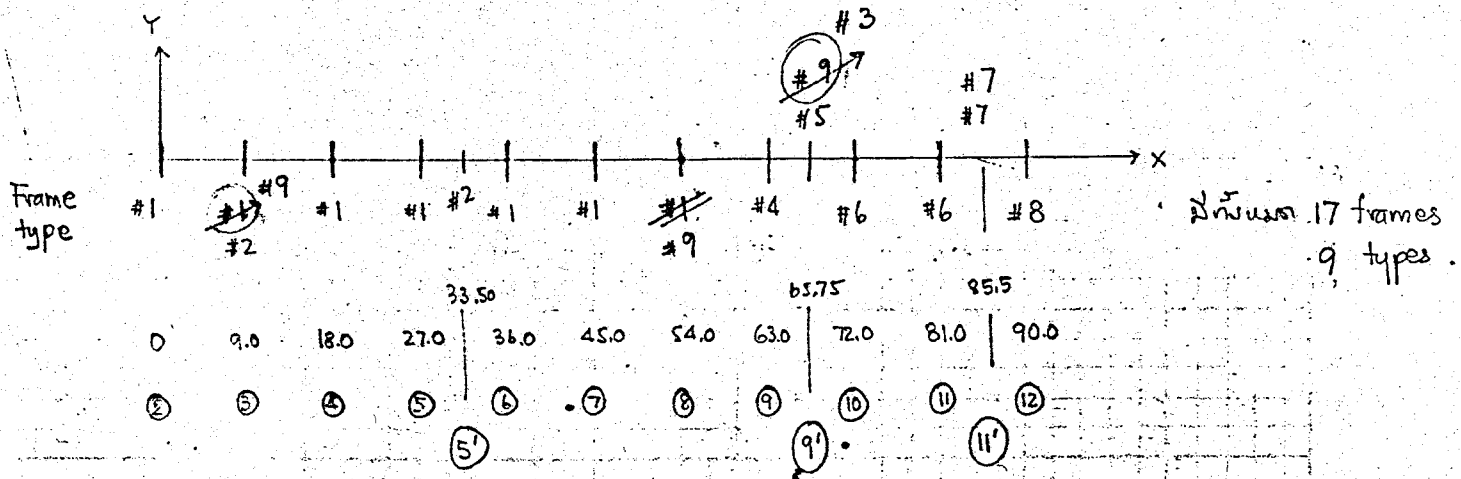
FACE A



FACE B

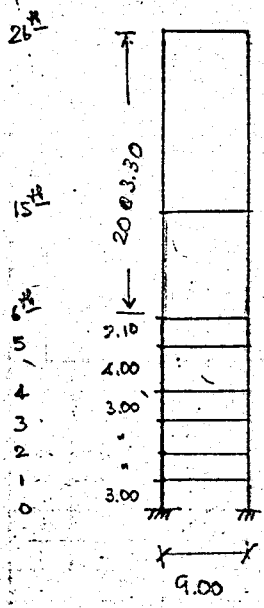


Face A



Face A

#1



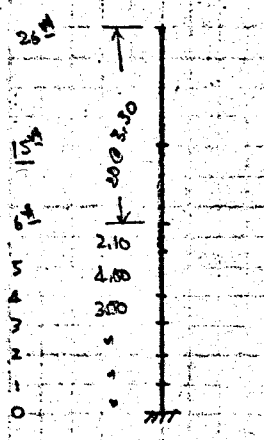
Col. size : $1^{\text{st}} - 6^{\text{th}}$ (1.00 x 1.20) $A_c = 1.20 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.144 \text{ m}^4$ ←

$7^{\text{th}} - 15^{\text{th}}$ (0.80 x 1.00) $A_c = 0.80 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.067 \text{ m}^4$ ←

$16^{\text{th}} - 26^{\text{th}}$ (0.80 x 0.80) $A_c = 0.64 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.034 \text{ m}^4$

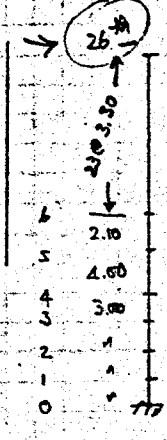
Beam Size : 0.40 x 0.80 $A_b = 0.32 \text{ m}^2$
 $I_b = 0.017 \text{ m}^4$

#2

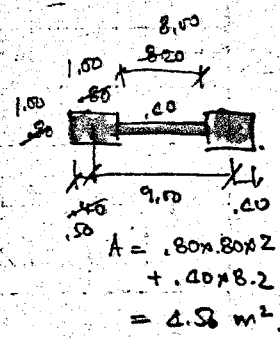


Stair Core (t=0.30)
 (line 3,6)
 $A_c = 4.90 \text{ m}^2$
 $I_c = 10.50 \text{ m}^4$

#4



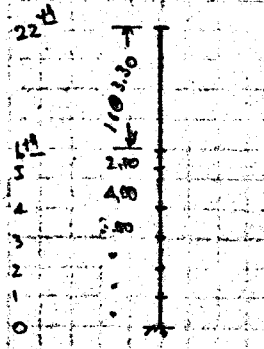
shear wall
 $A = 4.56 \text{ m}^2$
 $I = 44.4 \text{ m}^4$



$$A = .80 \times .80 \times 2 + .40 \times 8.2 = 4.56 \text{ m}^2$$

$$I_x = \frac{1}{12} (.4)(8.2)^3 + 2 \left\{ \frac{1}{12} (.8)^4 + .8 \times .8 (4.5)^2 \right\} = 44.4 \text{ m}^4$$

#3



Stair Core (t=0.30)
 (line 9')
 $A_c = 4.90 \text{ m}^2$
 $I_c = 21.50 \text{ m}^4$

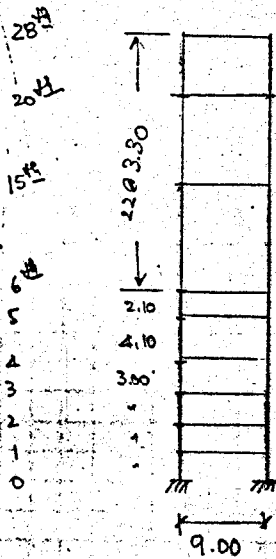
for 1.60 x 1.60

$$A = 1.62 + .4 \times 8 = 5.2$$

$$I_x = \frac{1}{12} (.4)(8)^3 + 2 \left\{ \frac{1}{12} (.8)^4 + 1 \times 1 (4.5)^2 \right\} = 17.07 + 40.7 = 57.8 \text{ m}^4$$

Face A

#4



Col. Size: $1^{st} - 3^{rd}$ (1.60 x 1.00) $b \times d$
 $A_c = 1.60 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.133 \text{ m}^4$

$4^{th} \rightarrow 6^{th}$ (1.40 x 1.00)
 $A_c = 1.40 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.117 \text{ m}^4$

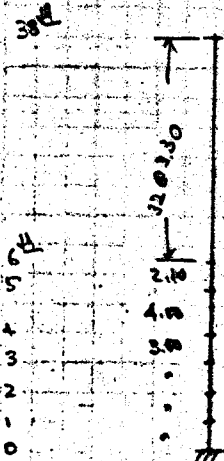
$7^{th} - 15^{th}$ (1.20 x 1.00)
 $A_c = 1.20 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.10 \text{ m}^4$

$16^{th} \rightarrow 20^{th}$ (1.00 x 0.80)
 $A_c = 0.80 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.043 \text{ m}^4$

$21^{th} - 28^{th}$ (0.80 x 0.80)
 $A_c = 0.64 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.034 \text{ m}^4$

Beam Size: $.40 \times .80 \rightarrow A_b = 0.32 \text{ m}^2$
 $I_b = 0.017 \text{ m}^4$

#5



Main Core ($t = 0.30$)

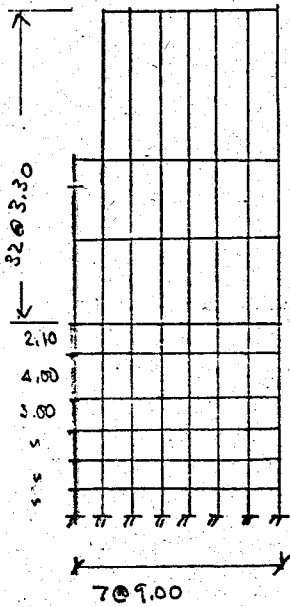
$A_c = 20.70 \text{ m}^2$

$I_c = 800.0 \text{ m}^4$

Face A

#6

38th
29th
20th
11th
5th
5
4
3
2
1
0



Col. size: 1st-3rd (1.60x1.00) $A_c = 1.60 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.133 \text{ m}^4$

4th-6th (1.40x1.00) $A_c = 1.40 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.117 \text{ m}^4$

7th-15th (1.20x1.00) $A_c = 1.20 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.10 \text{ m}^4$

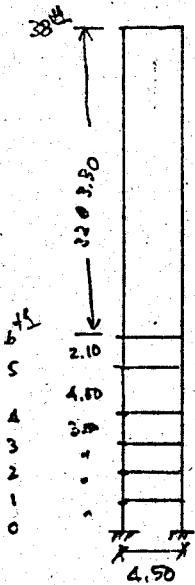
16th-20th (1.50x0.80) $A_c = 0.80 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.043 \text{ m}^4$

21st-38th (0.80x0.80) $A_c = 0.64 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.034 \text{ m}^4$

Beam size: .40x.80 $\Rightarrow A_b = 0.32 \text{ m}^2$
 $I_b = 0.017 \text{ m}^4$

#7

2nd floor (at the end of the column)



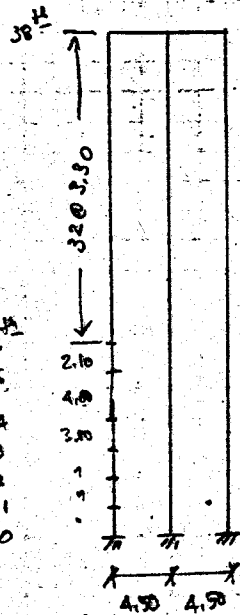
Col. size:

1.60x1.00 #6

Beam size:

.40x.80 $\Rightarrow A_b = 0.32 \text{ m}^2$
 $I_b = 0.017 \text{ m}^4$

#8



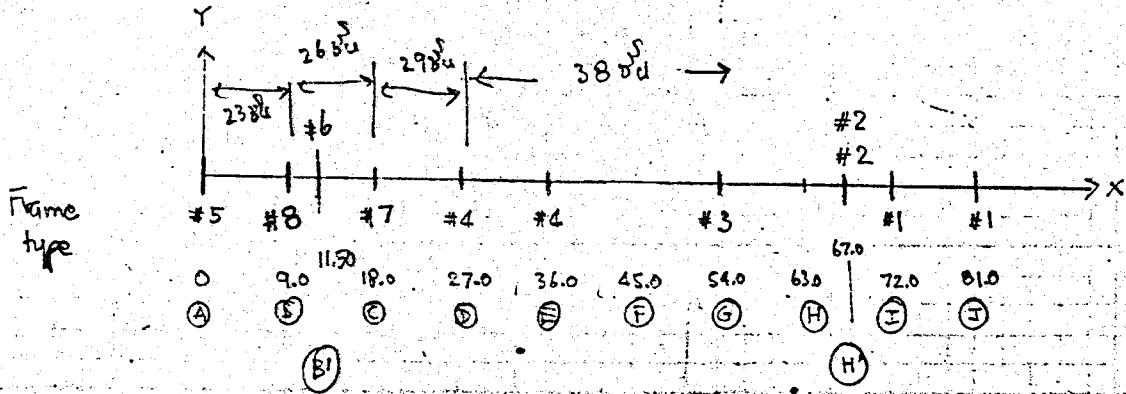
Col. size:

1.60x1.00 #6

Beam size:

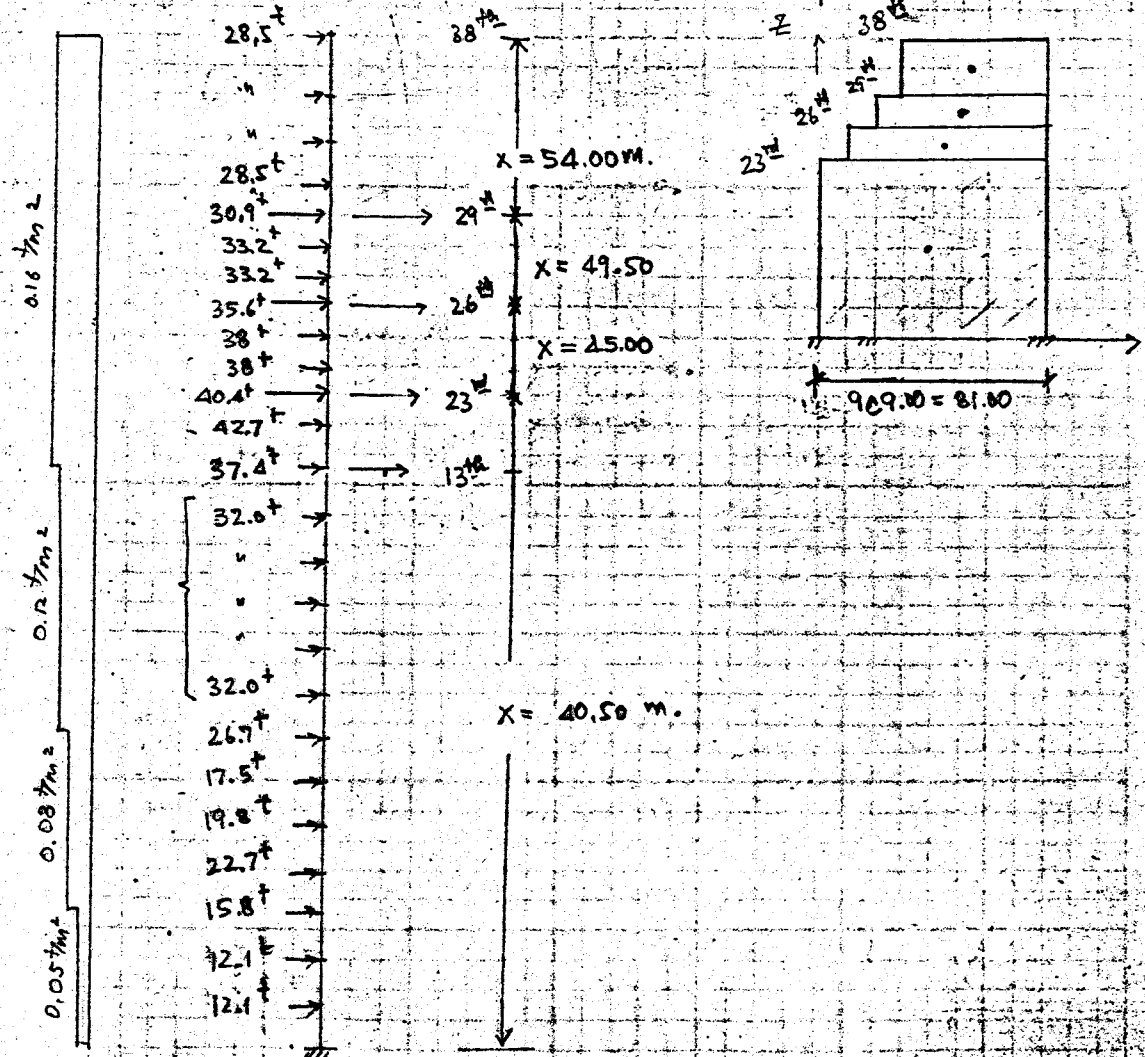
.40x.80 $\Rightarrow A_b = 0.32 \text{ m}^2$
 $I_b = 0.017 \text{ m}^4$

FACES



8 types of frames

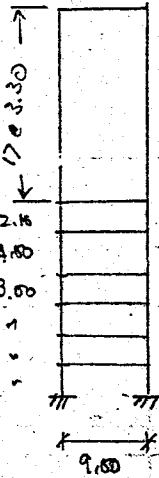
- 38th
- 37th
- 36
- 30
- 29
- 28
- 14
- 13 4.20
- 12
- 11
- 10
- 9
- 8 24.70
- 7 21.00
- 6 18.10
- 5 16.00
- 4 12.00
- 3 9.00
- 2 6.00
- 1 3.00
- 0 0



Face B

#5

23rd



Col. size :

10x10x4 #1

lines 7 → 9

Beam size :

10x1.80

$$\Rightarrow A_b = 0.32 \text{ m}^2$$

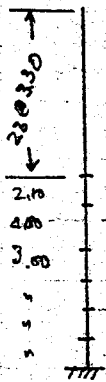
$$I_b = 0.017 \text{ m}^4$$

6
5
4
3
2
1
0

#6

← ผนังในห้องนอน 26 ชั้น

26th



Stair Core : (t=0.20)

$$A_c = 4.90 \text{ m}^2$$

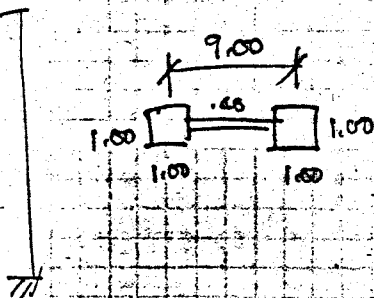
$$I_c = 10.5 \text{ m}^4$$

6
5
4
3
2
1
0

#8

(9 #9 on Face A)

26th

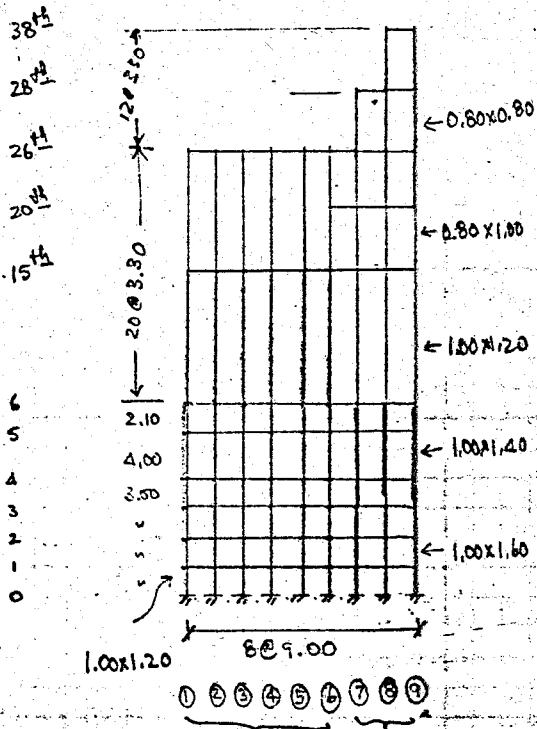


$$A = 5.2 \text{ m}^2$$

$$I = 57.8 \text{ m}^4$$

Face B

#1



Col. size: 1st-6th (1.00x1.20) $A_c = 1.20 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.144 \text{ m}^4$

7th-15th (0.80x1.20) $A_c = 0.96 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.115 \text{ m}^4$

16th-26th (0.80x0.80) $A_c = 0.64 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.034 \text{ m}^4$

1st-3rd (1.00x1.60) $A_c = 1.60 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.340 \text{ m}^4$

4th-6th (1.00x1.40) $A_c = 1.40 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.229 \text{ m}^4$

7th-15th (1.00x1.20) $A_c = 1.20 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.144 \text{ m}^4$

16th-20th (0.80x1.00) $A_c = 0.80 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.067 \text{ m}^4$

21st-38th (0.80x0.80) $A_c = 0.64 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.034 \text{ m}^4$

for lines ① → ⑥

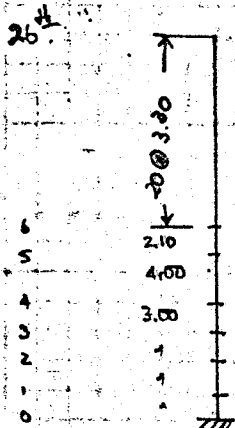
for lines ⑦ → ⑨

Beam Size: 0.40x0.80
 $A_b = 0.32 \text{ m}^2$
 $I_b = 0.017 \text{ m}^4$

#2

Stair Cove (t = 0.30)

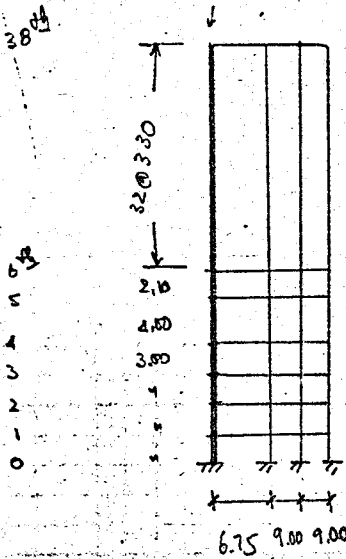
$A_c = 2.90 \text{ m}^2$
 $I_c = 21.50 \text{ m}^4$



Face B

rigid length = 2.75 m.

#3



Main Core : (t = 0.30)

$A_c = 20.70 \text{ m}^2$
 $I_c = 70.50 \text{ m}^4$

Col. Size : 1st - 3rd (1.00 x 1.60)
 (38a)

$A_c = 4.80 \text{ m}^2$
 $I_c = 1.02 \text{ m}^4$

4th - 6th (1.00 x 1.40)

$A_c = 4.2 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.69 \text{ m}^4$

7th - 15th (1.00 x 1.20)

$A_c = 3.6 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.432 \text{ m}^4$

16th - 20th (.80 x 1.00)

$A_c = 2.4 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.20 \text{ m}^4$

21st - 38th (.80 x .80)

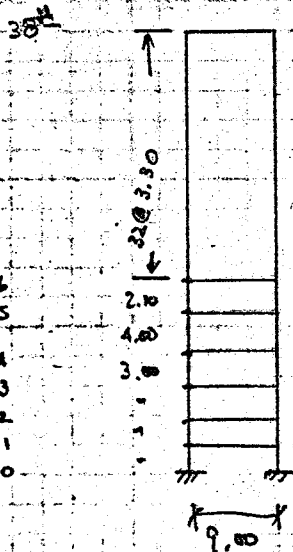
$A_c = 1.92 \text{ m}^2$
 $I_c = 0.102 \text{ m}^4$

Beam Size : 0.40 x 0.80

(38a)

$A_b = 0.96 \text{ m}^2$
 $I_b = 0.051 \text{ m}^4$

#4



Col. Size : 11x10 #1 lines 7 → 9

Beam size : .40 x .80 ⇒ $A_b = 0.32 \text{ m}^2$
 $I_b = 0.017 \text{ m}^4$

#7

11x10 #4 11x10 29 8u

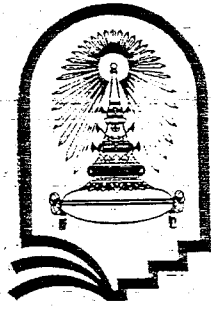
#8

~~11x10 #4 11x10 26 8u~~

#5

11x10 #4 11x10 23 8u

๒๗/๘



หลักสูตร การออกแบบโครงสร้างอาคารสูง

ดร.การุญ จันทรางศุ (๒)

โดย

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ร่วมกับ

ฝ่ายการศึกษาต่อเนื่อง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย