

# အင်ဂျင်နီယာ နည်းပညာ အခြေခံအုတ်မြစ်

→ HIGH RISE BUILDING TECHNOLOGY

→ DESIGN & TESTING & ANALYTICAL

→ HIGHWAY & TRANSPORTATION

**Book 1 of 3**

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page.

งานวิศวกรรมโยธาเป็นสาขาวิชาชีพ ที่ต้องอาศัยเหตุผล ความถูกต้อง  
 ความหลักวิชาการ ทั้งในทางทฤษฎีและปฏิบัติ อีกทั้งประสพการณ์ความชำนาญอยู่เสมอ  
 เป็นที่ทราบกันดีว่า งานของวิศวกรโยธา เป็นส่วนสำคัญในการช่วย  
 พัฒนาประเทศไทยเจริญรุดหน้า จึงตกเป็นภาระหน้าที่ของวิศวกรโยธาทุกคน ที่ต้องกระหนัก  
 และพร้อมที่จะปฏิบัติภารกิจอันยิ่งใหญ่ นั้น วิศวกรที่ก็จะต้องมีความตั้งใจแน่วแน่ มีกำลังความ  
 ลึก ความสามารถในเชิงวิชาการ ทั้งหลักการทางทฤษฎีและเทคนิคปฏิบัติ มีไหวพริบและ  
 ทักษะในการตัดสินใจ แต่ถึงกระนั้นก็ตาม ความก้าวหน้าของวิทยาการและเทคโนโลยีในโลก  
 ปัจจุบัน ก็ผลักดันให้งานวิศวกรรมโยธาพัฒนาเปลี่ยนแปลงไปอย่างไม่หยุดยั้ง วิศวกรที่ดีจึง  
 จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องสนใจคนกว่า ติดตามสิ่งแปลกใหม่เหล่านั้น เพื่อความก้าวหน้าของ  
 ตนเอง และผลงานที่ปรากฏโดยส่วนรวม

ปัญหาหนึ่งที่วิศวกรส่วนใหญ่ประสบคือ การขาดแคลนแหล่งความรู้ทางวิชา  
 การ ขาดแคลนสื่อความนึกคิด ขาดแคลนแรงจูงใจที่จะคิดสร้างสรรค์ และแม้กระทั่งขาด  
 แคลนการประชาสัมพันธ์ที่ดีเหล่านี้ล้วนเป็นอุปสรรคสำคัญที่ชักขวางความเจริญก้าวหน้าของ  
 วิศวกรและงานวิศวกรรมโยธาอยู่เสมอ

หวัง เป็นอย่างยิ่งว่า ผลงาน " **ทฤษฎีการโยธา** " นี้จะช่วยเป็นสื่อ  
 กลางความนึกคิด ที่จะเผยแพร่วิทยาการ เทคโนโลยีที่จำเป็น ช่วยจรรโลง ทักษะที่ดี  
 ก่องานในสาขาวิชาชีพวิศวกรรมโยธา ทั้งช่วยผลักดันให้เกิดการสร้างสรรในทางที่ดี  
 ตลอดจนเป็นประโยชน์ในการศึกษาค้นคว้า และแม้กระทั่งในการทำงาน

หนทางความสำเร็จของวิศวกรคือ ความศรัทธาในวิชาชีพ รอบคอบตั้งใจ  
 ทำงาน อุตุน เคารพในเหตุผล คล่องแคล่วฉับไว รักการศึกษาค้นคว้า และรู้จักประเมิน  
 ตนเองและผู้อื่น งานหวัง เป็นอย่างยิ่งว่าวิศวกรในอนาคตทุกท่าน ย่อมคงได้รับประโยชน์  
 จากหนังสือเล่มนี้ตามสมควร

ปรารภนาถี

กฤษณ์พัชร์คำ  
๑

Faint, illegible text, possibly bleed-through from the reverse side of the page. The text is arranged in several paragraphs, but the characters are too light and blurry to be transcribed accurately.

1844  
1845

### HIGH RISE BUILDING TECHNOLOGY

- การเพิ่มแรงต้านระบบน้ำใช้ในอาคาร (1) - (5)
- การวิเคราะห์แรงลมในโครงอาคารหลายชั้น (6) - (10)
- การคำนวณเลือกใช้ขนาดท่อจ่ายน้ำและท่อระบายน้ำในอาคาร (11) - (15)
- เทคโนโลยีในการยึดเกาะงานก่อสร้าง (16) - (19)
- คอนกรีตปัมป์คือจริงหรือ (20) - (23)
- TOWER CRANE (24) - (26)
- การออกแบบ SKEW HYPER (27) - (30)
- แบนคินโท (31) - (45)
- การรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ (46) - (50)
- ปัญหาออกเบี่ยงในงานวิศวกรรม (51) - (54)

### DESIGN & TESTING & ANALYTICAL

- ค่าตั้งคานาทนแรงอัดของคอนกรีตผสมขี้ (1) - (3)
- ความดัดของ (4) - (12)
- การออกแบบคำนวณคาน ค. ส. ด. (13) - (17)
- การจัดแบบเหล็กเสริมที่ค้ำที่สุดสำหรับฐานรากบนเสาเข็ม (18) - (23)
- การทำฐานรากบนทรายควยวิธี (24) - (27)
- ค่าตั้งแรงค้ำของคานไม้เนื้อแข็ง (28) - (34)
- การทำเข็มเจาะขนาดใหญ่ (35) - (41)
- PRELOAD STRUT FOR SHEET PILE AND OBSERVATION OF SHEET PILE MOVEMENT (42) - (51)

### HIGHWAY & TRANSPORTATION

- การก่อสร้างทางหลวงในชนบท 1 - 5
- การสำรวจและออกแบบสำหรับชนบท 6 - 15
- ข้อเสนอแนะการใช้เครื่องมือกลัดดินและปัจจัยที่เกี่ยวข้อง  
ความสภาพของดินท้องถิ่น 16 - 22

- สะพานและท่อในทางหลวงชนบท	<u>23 - 30</u>
- การออกแบบบึงกวนที่มีปริมาณน้อย	<u>31 - 36</u>
- ขนพาหนะในการก่อสร้าง	<u>37 - 41</u>
- ที่นํ้าในการสำรวจในการวางแนวทางระบบขนส่งมวลชน	<u>42 - 47</u>
- การออกแบบโครงสร้างบึงทางโคยวิถี	<u>48 - 52</u>
- การใช้ PENETRATION RESISTANCE ในการคุมงานสร้างถนนในชนบท	<u>53 - 57</u>

---

DESIGN & DETAIL & ANALYSIS

1 -	2 -	3 -	4 -	5 -	6 -	7 -	8 -	9 -	10 -
11 -	12 -	13 -	14 -	15 -	16 -	17 -	18 -	19 -	20 -
21 -	22 -	23 -	24 -	25 -	26 -	27 -	28 -	29 -	30 -

FIELD TEST FOR SHEET PILE

AND OBSERVATION ON SHEET PILE BEHAVIOR

HIGHWAY & TRANSPORTATION

31 -	32 -	33 -	34 -	35 -	36 -	37 -	38 -	39 -	40 -
41 -	42 -	43 -	44 -	45 -	46 -	47 -	48 -	49 -	50 -
51 -	52 -	53 -	54 -	55 -	56 -	57 -	58 -	59 -	60 -

ที่ถนนที่เข้าสู่อาคารโดยตรง และท่อซึ่งต่อ  
ออกจากเครื่องสูบน้ำจะต่อร่วมกับท่อเมนเดิม  
ทางด้านหลังของลิ้นก้นกบ (Check valve)

หลักการที่วาง สมมุติว่าในอาคาร  
นั้นต้องการใช้น้ำซึ่งมีแรงดัน 2.5 บาร์ แต่  
น้ำที่มาจากท่อเมนเข้าสู่อาคารมีแรงดันไม่  
คงที่ โดยอยู่ระหว่าง 2 - 2.5 บาร์ ดังนั้น  
เมื่อใกล้ต้นท่อน้ำที่จ่ายท่อเมนมีแรงดัน 2.5 บาร์  
น้ำจะไหลผ่านท่อเมนเข้าสู่อาคารโดยตรง แต่  
เมื่อใกล้ที่แรงดันของน้ำในท่อเมนลดต่ำลง  
เช่น 0 บาร์ หรือต่ำกว่าที่ปรับสวิทช์แรงดันไว้  
๗ ช่วงปิดสวิทช์ (Cut-in) เครื่องสูบน้ำจะเริ่ม  
ทำงานจนกระทั่งแรงดันของน้ำในท่อสูงถึง  
จุดที่ปรับสวิทช์ไว้ ๗ ช่วงเปิดสวิทช์ (Cut-out)  
เครื่องสูบน้ำจะหยุดทำงาน ขณะนี้ลิ้นก้นกบที่  
ติดตั้งในท่อเมน จะป้องกันไม่ให้น้ำภายใน  
ท่อ ซึ่งมีแรงดันสูงขึ้นไหลย้อนกลับไปยัง  
ท่อเมนจ่ายน้ำนอกอาคารได้

การเลือกขนาดของเครื่องสูบน้ำและมอ-  
เตอร์ การปรับสวิทช์แรงดันช่วงเปิดสวิทช์และ  
ปิดสวิทช์ จะพิจารณาจากส่วนประกอบต่าง ๆ  
เช่น ปริมาณและแรงดันของน้ำที่ต้องการ  
ความสูงของอาคาร เป็นต้น

การติดตั้งเครื่องสูบน้ำจำเป็นต้องใช้ข้อ  
ต่อที่ยืดหยุ่น (Flexible connection) ต่อไว้ใน  
ระบบที่ทุกครั้งที่ เพื่อช่วยป้องกันการสั่น  
สะเทือนที่เกิดขึ้นขณะเครื่องสูบน้ำทำงานไม่ให้  
ผ่านไปยังระบบท่อ ซึ่งจะทำให้ท่อแตกหัก  
หรือชำรุด นอกจากนี้อุปกรณ์ประกอบต่างๆ  
จะต้องยึดติดอยู่บนโครงสร้างให้แข็งแรง

จุดอ่อนของระบบนี้คือที่ไว้สามารถให้  
ได้ผลดีในอาคารที่ต้องการใช้น้ำปริมาณสูง  
และน้ำซึ่งจ่ายไปใช้ความจุต่าง ๆ จะไหลไม่  
สม่ำเสมอ แต่แปรเปลี่ยนไปตามจังหวะการ  
ทำงานของเครื่องสูบน้ำ และแรงดันของน้ำใน  
ท่อเมน

### 2. ระบบถังน้ำแรงดัน (Pneumatic Tank Water Supply System)

การเพิ่มแรงดันของน้ำโดยใช้ระบบถัง  
น้ำแรงดันนี้เหมาะสำหรับอาคารทั่ว ๆ ไป  
และอาคารขนาดใหญ่ที่ต้องการใช้น้ำจำนวน  
มาก ถังน้ำแรงดันสามารถติดตั้งไว้ ๗ ตำแหน่ง  
ใดในอาคารหรือบริเวณใกล้เคียง อาจ  
เป็นชั้นล่างสุดหรือชั้นใต้ดินที่ไม่ต้องการให้  
มองเห็นก็ได้ เป็นการแก้ปัญหาเรื่องสร้างที่  
ให้เป็นที่พิเศษ ไม่ต้องเสริมสร้างเสาเข็ม  
ของอาคาร และป้องกันไม่ให้อุณหภูมิของระบบ  
น้ำเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมมาก

จากท่อเมนจ่ายน้ำที่ต่อเข้าอาคารจะต่อ  
ท่อแยกออกมาผ่านใบเขี้ยวระบบถังน้ำแรงดัน  
เพื่อเพิ่มแรงดันน้ำให้สูงขึ้น แล้วต่อท่อจ่าย  
จากถังไปรวมกับท่อเมนจ่ายน้ำเข้าสู่อาคาร  
ที่ลดทางด้านหลังของลิ้นก้นกบ แรงดัน  
ของน้ำจะเพิ่มขึ้นโดยอาศัยเครื่องสูบน้ำและ  
การอัดตัวของอากาศในถังเป็นส่วนประกอบ  
สำคัญ

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบนี้คือเครื่องสูบน้ำ  
และมอเตอร์ ซึ่งสามารถควบคุมการทำงาน  
ได้โดยอัตโนมัติโดยสวิทช์แรงดันเป็นตัวควบคุม

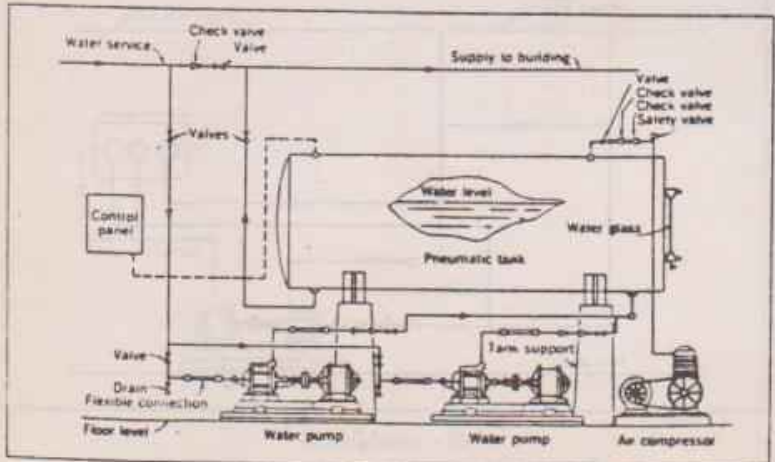
ถังบรรจุน้ำซึ่งเป็นถังปิดสามารถป้องกันการ  
รั่วของอากาศได้ ถ้าเป็นระบบที่สมบูรณ์  
ขนาดใหญ่จะมีเครื่องอัดอากาศ (Air com-  
pressor) ร่วมอยู่ด้วย

ถังบรรจุน้ำซึ่งมีลักษณะเป็นถังปิด จะ  
มีข้อต่อ (Fitting) สำหรับต่อกับระบบท่อ  
และอุปกรณ์ ได้แก่ เกจวัดความดัน (Pres-  
sure gauge) สวิทช์แรงดัน (Pressure - switch)  
หลอดแก้วบอกระดับน้ำ (Water glass) ถ้า  
เป็นถังขนาดเล็กอาจไม่มีหลอดแก้วบอกระดับ  
น้ำก็ได้

การทำงานของระบบนี้มีดังนี้ เนื่อง  
จากอากาศมีคุณสมบัติในการอัดตัวได้ (Com-  
pressible) ซึ่งต่างจากน้ำที่ไม่สามารถอัดตัว  
ได้ เราจึงนำหลักการอัดตัวของอากาศมาใช้  
เพิ่มแรงดันของน้ำเมื่อปิดสวิทช์เครื่องสูบน้ำ  
จะสูบน้ำเข้าไปเก็บในถังทางด้านล่าง น้ำจะเข้าไป  
แทนที่อากาศซึ่งมีอยู่ด้านบนในถัง อากาศ  
จะถูกอัดตัวให้มีปริมาตรเล็กลงจากเดิมเป็น  
สัดส่วนกับจำนวนน้ำที่เข้าไปแทนที่ เป็น  
ผลให้ภายในถังมีแรงดันสูงขึ้นเรื่อย ๆ เช่น  
ถ้าแรงดันภายในถังเป็น 3.5 บาร์ เกจ หรือ  
4.5 บาร์สมบูรณ์ แสดงว่าอากาศในถังขณะ  
นั้นมีปริมาตรลดลง 4.5 เท่าและมีแรงดัน  
สูงขึ้น 4.5 เท่าด้วย ในถังจะมีอากาศอยู่ข้าง  
บน ๓ ส่วน น้ำ 3.5 ส่วน แรงดันภายใน  
ถังได้จากหลักความดันที่คิดไว้ด้านบนของ  
ถัง ถังแรงดันนี้สูงถึงจุดที่ปรับสวิทช์แรงดันไว้  
๗ ช่วงเปิดสวิทช์ (Cut-out) สวิทช์จะตัดกระแส  
ไฟฟ้าไม่ให้ผ่านขั้วมอเตอร์ เครื่องสูบน้ำจะหยุด  
ทำงาน

ขณะที่อากาศซึ่งอัดตัวอยู่ในถังจะดัน  
น้ำที่บรรจุอยู่ภายในออกทางท่อจ่ายน้ำไปสู่  
อาคารโดยตรง ถ้าเปิดน้ำใช้ในอาคาร แรงดัน  
ของน้ำและอากาศภายในถังรวมทั้งในในระบบ  
ท่อจ่าย จะค่อย ๆ ลดลงตามจำนวนน้ำที่ใช้จน  
ถึงจุดที่ปรับสวิทช์แรงดันไว้ ๗ ช่วงเปิดสวิทช์  
(Cut-in) มอเตอร์และเครื่องสูบน้ำจะเริ่มทำงาน  
อีกเป็นเช่นนี้เรื่อยไปเป็นปกติ

ช่วงระยะเวลาปิดสวิทช์ถึงเปิดสวิทช์ของ  
สวิทช์แรงดันที่ควบคุมการทำงานของเครื่อง  
สูบน้ำนั้น สามารถปรับได้ตามความเหมาะสม  
โดยพิจารณาจากส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น  
แรงดันน้ำที่ต้องการ ความสูงของอาคาร โดย  
ทั่วไปสำหรับอาคาร 2 ชั้นจะปรับไว้ระหว่าง  
0.5 - 3.5 บาร์ เกจ ซึ่งสามารถอัดอากาศใน



รูปที่ 2 ระบบถังน้ำแรงดัน

# การเพิ่มแรงดันระบบน้ำใช้ในอาคาร

## สวสันทัด อุตกฤษฎี

### บทกัศย่อ

ระบบน้ำใช้ในอาคารนับเป็นสิ่งจำเป็น และมีความสำคัญมากระบบหนึ่ง อาคารบ้านเรือนต่าง ๆ ถ้าปราศจากน้ำใช้ หรือระบบน้ำใช้ในอาคารไม่เหมาะสม เช่น อัดราไหลไม่สม่ำเสมอ แรงดันน้ำไม่คงที่ หรือแรงดันของน้ำแต่ละชั้นในอาคารแตกต่างกันมาก อาคารนั้นจะมีคุณค่าลดลงสำหรับผู้ใช้หรือผู้อาศัย บทความนี้ได้เสนอวิธีเพิ่มแรงดันของระบบน้ำใช้ 3 ลักษณะ คือ ระบบไม่ใช้ถังพัก ระบบใช้ถังน้ำแรงดัน และระบบใช้ถังสูง

การเลือกใช้ระบบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอาคารแต่ละแห่ง จะต้องพิจารณาส่วนประกอบอื่น ๆ ควบคู่กันไปด้วย

### บทนำ

ระบบน้ำใช้ในอาคารมีอยู่หลายอย่าง เช่น ระบบน้ำเย็นหรือน้ำใช้ (Cold Water Systems) ที่รู้จักกันทั่วไปว่าน้ำประปา ระบบน้ำร้อน (Hot Water Systems) ระบบน้ำดื่ม

\* วิศวกรโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา (เกียรตินิยม) ภาควิชาโยธา ในปี 2517 และศาสตราจารย์ ภาควิชาโยธา ในปี 2522 จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาโยธาในโยธาจุฬาลงกรณ์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

(Drinking Water Systems) หรือในโรงงานทันสมัยบางแห่งที่อยู่ในไกลจากทะเลสาบก็อาจมีระบบน้ำทะเล (Salt Water Systems) อีกด้วย

นอกจากระบบน้ำใช้ที่กล่าวมาแล้ว ภายในอาคารยังมีระบบน้ำทิ้ง (Building Drainage Systems) บางแห่งจะมีระบบน้ำดับเพลิง (Building Fire Protection)

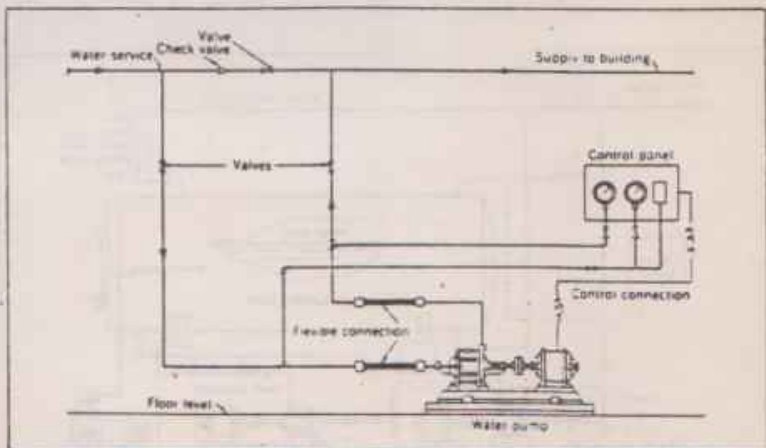
การเพิ่มแรงดันระบบน้ำใช้ในอาคารในบทความนี้กล่าวถึงเฉพาะการเพิ่มแรงดันของระบบน้ำเย็น หรือน้ำใช้ทั่วไป (Cold Water Systems) ซึ่งระบบนี้จำเป็นคือมีแรงดันของน้ำภายในท่อให้เหมาะสม ไม่สูงหรือต่ำมากเกินไป เพื่อจะเป็นประโยชน์แก่

ผู้ใช้ หรืออยู่อาศัยอย่างเต็มที่ เพราะหากแรงดันของน้ำสูงเกินไปอาจทำให้เกิดการเสียหายกับเครื่องสุขภัณฑ์ และสิ้นเปลืองค่าต่าง ๆ และหากต่ำเกินไปจะไม่สามารถส่งน้ำไปขึ้นชั้นสูง ๆ ได้

### 1. ระบบไม่ใช้ถังพัก (Tankless Water Supply System)

ระบบนี้เหมาะสำหรับอาคารที่มีอัตราการใช้ไม่มากนัก และน้ำที่ต่อจากท่อเมนเข้าสู่อาคารมีแรงดันไม่สม่ำเสมอ

อุปกรณ์ที่ใช้ในระบบจะใช้เฉพาะเครื่องสูบลมและมอเตอร์ซึ่งควบคุมการทำงานอัตโนมัติ โดยใช้สวิทช์แรงดัน (Pressure switch) การต่อท่อเข้าเครื่องสูบลมจะต่อแยกออกจาก



รูปที่ 1 ระบบไม่ใช้ถังพัก





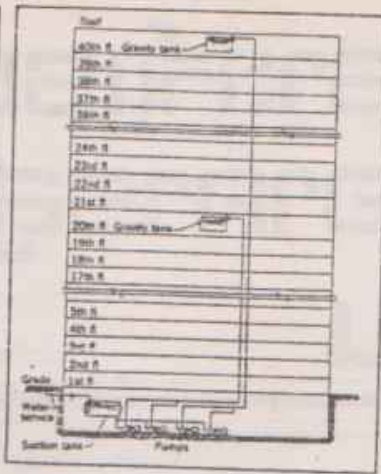


ต่างสุด ซึ่งจะเป็นผลเสียกับระบบสุขภัณฑ์ ภายในอาคารชั้นล่าง เช่น ระบบท่อน้ำอัดโนรมิตีแบบถูกลอยของถังชักโครก เพราะในชั้นล่างแรงดันน้ำจะสูงมากเกินความต้องการ

วิธีป้องกันแรงดันน้ำไม่ให้เกิดต่างกัน มากอีกวิธีหนึ่ง โดยไม่ต้องเพิ่มถังกับน้ำระหว่างชั้นกลางของอาคาร ทำได้โดยใช้ ถิ่นลดแรงดันน้ำ (Pressure reducing valve) ลดแรงดันของน้ำจากที่ถาวรจ่ายน้ำแต่ละชั้น ทำให้ไม่เปลืองเนื้อที่สำหรับถังกับน้ำใน ชั้นกลางของอาคาร นอกจากนี้ยังปรับแรงดันของน้ำในแต่ละชั้นได้ตามความต้องการ อีกด้วย

ถ้าเป็นอาคารขนาดใหญ่ซึ่งจุดที่จะใช้น้ำแต่ละแห่งอยู่ห่างกันมาก และรวมเป็นกลุ่ม ๆ อาจใช้ถังกับน้ำบนหลังคาอาคารหลาย ๆ จุด แล้วต่อท่อจ่ายน้ำลงมาใช้เป็นชุด ซึ่งจะทำให้สะดวกในการเดินท่อน้ำภายในอาคาร

ข้อดีของระบบนี้ก็คือ แรงดันของน้ำจะไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก และถ้าสมมติว่ากระแสไฟฟ้าจะขัดข้องบ้างเป็นบางครั้ง ก็สามารถ



รูปที่ ๘ ระบบถังสูงสำหรับอาคารหลายชั้น.

ใช้น้ำภายในอาคารไปได้อีกชั่วระยะหนึ่งจนกว่าน้ำที่สำรองไว้จะหมดถึง

ข้อเสียก็คือ ถ้าคิดติดตั้งกับน้ำไว้บนอาคาร อาคารนั้นต้องออกแบบสร้างมาเพื่อไว้รับน้ำหนักน้ำในถังด้วย ซึ่งจะทำให้โครงสร้างอาคารมีขนาดใหญ่ขึ้น อีกประการหนึ่ง อุณหภูมิของน้ำจะเปลี่ยนแปลงง่ายกว่าระบบ

อื่น จากทั้ง ๓ ระบบที่ได้กล่าวมานี้ อาจเลือกใช้ระบบใดระบบหนึ่ง เพื่อเพิ่มแรงดันน้ำในอาคารตามต้องการ โดยพิจารณาถึงความเหมาะสม และส่วนประกอบอื่น ๆ ตามคู่กันไปด้วย สำหรับอาคารบางแห่งที่ไม่สามารถสูบน้ำได้จากท่อเมนโดยตรง เช่น ท่อเมนจ่ายน้ำจากการประปาจะต้องใช้ถังพักน้ำ (Suction tank) สำหรับเก็บน้ำที่จ่ายมาจากท่อเมนครึ่งหนึ่งก่อนแล้วจึงสูบน้ำจากถังพักจ่ายเข้าระบบเพิ่มแรงดันของน้ำในอาคารต่อไป

เอกสารอ้างอิง

๑. บุญญศักดิ์ โจจงกิจ *คณิตศาสตร์ว่านอนุกรมคณิตศาสตร์* ๖ โรงพิมพ์สถาปนิกเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ถนน ๒๕๒๑ หน้า ๑๙๘-๒๑๙.  
๒. Blendeman, L. "Design of Plumbing and Drainage System." Second Edition, Industrial Press Inc., 1963, pp 281-286.  
๓. Gassner, A. and Appold, H. "Fachkenntnisse Sanitärinstallateure" Verlag Handwerk und Technik G.m.b.H. Hamburg. 1979, s 178-180.

# การวิเคราะห์แรงลม ในโครงสร้างสูง หลายชั้น

รศ. ดร. ทักษิณ เทพชาติ ★

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### คำนำ

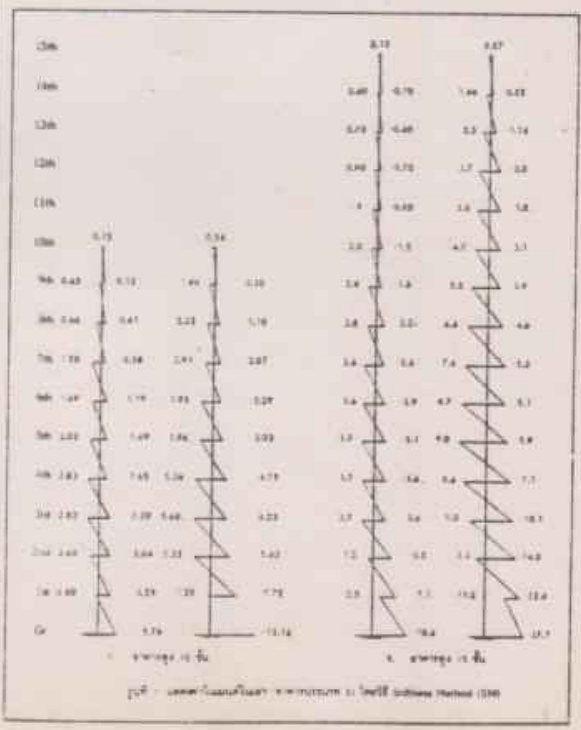
การวิเคราะห์แรงลมในโครงสร้างสูงหลายชั้นสามารถทำได้หลายวิธี เช่นวิธี Slope, Distribution, Stiffness, Portal, cantilever เป็นต้น ในสามวิธีแรกการวิเคราะห์จำเป็นต้องอาศัยเครื่องคอมพิวเตอร์ช่วย ในขณะที่วิธี Portal และ Cantilever สามารถทำการวิเคราะห์ได้ด้วยมือ จึงเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม เป็นที่ทราบกันดีว่า ในสองวิธีหลัง การสมมติให้จุดค้ำยัน (inflection point) ในเสาเกิดตรงจุดกึ่งกลางความสูงของเสานั้น ไม่สามารถใช้ได้กับเสาทุกชั้นไม่ โดยเฉพาะในเสาชั้นล่างสุด ซึ่งจุดค้ำยันอาจจะไม่เกิดขึ้นในระหว่างชั้นก็ได้ ในกรณีเช่นนี้ ค่าโมเมนต์ที่คำนวณได้จากข้อสมมุติฐานดังกล่าว จะให้ค่าที่ไม่สอดคล้อง ในบทความนี้จะได้แสดงผลการศึกษาและเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์แรงลมที่ใช้วิธี Portal (PM), Cantilever (CM) และ Stiffness (SM) พร้อมทั้งเสนอวิธีการกำหนดของจุดค้ำยันโดยประมาณของเสาชั้นต่างสุด และเมื่อนำค่านี้ไปใช้ร่วมกับค่าแรงเฉือนในเสา ซึ่งคำนวณจากวิธี Portal แล้วจะให้ได้ค่าโมเมนต์ในเสาที่ใกล้เคียงกับค่าที่วิเคราะห์ได้จากวิธี Stiffness ซึ่งในที่นี้ถือว่าเป็นวิธีวิเคราะห์ที่ให้ผลลัพธ์ที่มีค่าถูกต้องที่สุด

### ลักษณะโครงสร้าง ที่ใช้ในการศึกษา

เป็นโครงข้อแข็งสูง 10 ชั้นและ 15 ชั้น มี 3 ช่วงเสา แต่ละช่วงเสายาว 5.00 ม. ทั้งทางด้านขวางและด้านยาว รับแรงลมขนาด 0.1 ตันต่อตารางเมตร แยกออกเป็นโครงข้อแข็ง 4 ประเภทดังนี้

- ก. โครงข้อแข็ง 10 ชั้น (รูป 1 ก)
- คาน ขนาด 0.20 x 0.40 ทุกชั้น ทุกประเภท

- ประเภท 1 ขนาดเสา 0.40 x 0.40 ทุกชั้น สูง 3.00 ม. ทุกชั้น
- ประเภท 2 ขนาดเสาด้านนอก 0.40 x 0.40 ทุกชั้น เสาด้านใน 0.50 x 0.50 ทุกชั้น สูง 3.00 ม. ทุกชั้น
- ประเภท 3 ขนาดเสาด้านนอกชั้น 7-10 ใช้ 0.20 x 0.20 ชั้น 4-7 ใช้ 0.30 x 0.30 ชั้น 4 ลงมาใช้ 0.40 x 0.40 สูง 3.00 ม. ทุกชั้น  
ขนาดเสาด้านในชั้น 7-10 ใช้ 0.30 x 0.30 ชั้น 4-7 ใช้ 0.40 x 0.40 ชั้น 4 ลงมาใช้ 0.50 x 0.50 สูง 3.00 ม. ทุกชั้น
- ประเภท 4 เหมือนประเภท 3 แต่เพิ่มความสูงชั้นล่างสุดเป็น 4.50 ม.



ข. โครงข้อแข็ง 15 ชั้น (รูป 1 ข.)

ขนาดคาน 0.20 x 0.40 ทุกชั้น ทุกประเภท

- ประเภท 1 ขนาดเสา 0.50 x 0.50 ทุกชั้นสูง 3.00 ม. ทุกชั้น
- ประเภท 2 ขนาดเสาด้านนอก 0.50 x 0.50 ทุกชั้น เสาต้นใน 0.70 x 0.70 ทุกชั้น สูง 3.00 ม. ทุกชั้น
- ประเภท 3 ขนาดเสาด้านนอกชั้น 11-15 ไร่ 0.20 x 0.20 ชั้น 7-11 ไร่ 0.30 x 0.30 ชั้น 3-7 ไร่ 0.40 x 0.40 ชั้น 3 ลงมา ไร่ 0.50 x 0.50 สูง 3.00 ม. ทุกชั้น ขนาดเสาด้านในชั้น 11-15 ไร่ 0.30 x 0.30 ชั้น 7-11 ไร่ 0.40 x 0.40 ชั้น 3-7 ไร่ 0.60 x 0.60 ชั้น 3 ลงมาไร่ 0.70 x 0.70 สูง 3.00 ม. ทุกชั้น
- ประเภท 4 เหมือนประเภท 3 แต่เพิ่มความสูงชั้นล่างสุดเป็น 4.50 ม.

ค่าแรงเฉือนในเสา

ในรูป 2 ได้แสดงค่าของแรงเฉือนในเสาในอาคารสูง 10 ชั้น ประเภท 3 ส่วนรูป 3 แสดงค่าแรงเฉือนในเสาในอาคารสูง 15 ชั้น ประเภท 4 การศึกษาพบว่า แรงเฉือนทั้งในเสาด้านนอกและตัวในที่ได้จากการวิเคราะห์โดยวิธี Portal และ Cantilever มีค่าใกล้เคียงกันและเพื่อความสะดวกในการเปรียบเทียบและอ้างอิงภายหลัง ค่าของแรงเฉือนในเสาทุกชั้นของโครงอาคารทุกประเภทที่ใช้ในการศึกษานี้ ได้ถูกนำมารวบรวมไว้ในตารางที่ 1 ถึง 4

ในตารางที่ 1-2 ผู้อ่านจะพบว่า ในโครงอาคารสูง 10 ชั้น วิธี Portal จะให้ค่าแรงเฉือนในเสาที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากวิธี Portal ยกเว้นในโครงอาคารประเภท 1 ซึ่งในเสาด้านนอกชั้นล่างสุด วิธี Portal จะให้ค่าที่น้อยกว่าประมาณ 24 % ในขณะที่ในเสาด้านในชั้นล่างสุดให้มากกว่าประมาณ 18 % วิธี Cantilever ให้ค่าใกล้เคียงกับวิธี Portal ยกเว้นในโครงอาคารประเภท 4 ซึ่งมีความสูงของเสาชั้นล่างเปลี่ยนจาก 3.00 ม. เป็น 4.50 ม. อันมีผลทำให้ค่า

ตารางที่ 1 แสดงค่าแรงเฉือนในเสาอาคารสูง 10 ชั้น

ชั้น	แรงเฉือนในเสา (ตัน)											
	ประเภท 1				ประเภท 2				ประเภท 3			
	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM
10	0.00	0.12	0.11	0.11			0.07			0.07		
9	0.07	0.27	0.24	0.24			0.18			0.18		
8	0.12	0.41	0.36	0.36			0.27			0.27		
7	0.17	0.57	0.49	0.49			0.36			0.36		
6	0.22	0.72	0.63	0.63			0.45			0.45		
5	0.27	0.87	0.75	0.75			0.54			0.54		
4	0.32	1.02	0.87	0.87			0.63			0.63		
3	0.37	1.17	0.99	0.99			0.72			0.72		
2	0.42	1.32	1.11	1.11			0.81			0.81		
1	0.47	1.47	1.23	1.23			0.90			0.90		

ชั้น	วิธี	แรงเฉือนในเสา (ตัน)											
		ประเภท 1				ประเภท 2				ประเภท 3			
		SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM
10	0.00	0.12	0.11	0.11	0.12	0.27	0.24	0.24	0.12	0.27	0.24	0.24	
9	0.07	0.27	0.24	0.24	0.18	0.42	0.36	0.36	0.18	0.42	0.36	0.36	
8	0.12	0.41	0.36	0.36	0.27	0.57	0.49	0.49	0.27	0.57	0.49	0.49	
7	0.17	0.57	0.49	0.49	0.36	0.72	0.63	0.63	0.36	0.72	0.63	0.63	
6	0.22	0.72	0.63	0.63	0.45	0.87	0.75	0.75	0.45	0.87	0.75	0.75	
5	0.27	0.87	0.75	0.75	0.54	1.02	0.87	0.87	0.54	1.02	0.87	0.87	
4	0.32	1.02	0.87	0.87	0.63	1.17	0.99	0.99	0.63	1.17	0.99	0.99	
3	0.37	1.17	0.99	0.99	0.72	1.32	1.11	1.11	0.72	1.32	1.11	1.11	
2	0.42	1.32	1.11	1.11	0.81	1.47	1.23	1.23	0.81	1.47	1.23	1.23	
1	0.47	1.47	1.23	1.23	0.90	1.62	1.35	1.35	0.90	1.62	1.35	1.35	

1. Silliness Method (SM) 2. Portal Method (PM) 3. Cantilever Method (CM)

รูปที่ 2 แสดงค่าแรงเฉือนในเสาอาคารสูง 10 ชั้น (ต่อตารางที่ 1)

ชั้น	วิธี	แรงเฉือนในเสา (ตัน)											
		ประเภท 1				ประเภท 2				ประเภท 3			
		SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM
10	0.00	0.12	0.11	0.11	0.12	0.27	0.24	0.24	0.12	0.27	0.24	0.24	
9	0.07	0.27	0.24	0.24	0.18	0.42	0.36	0.36	0.18	0.42	0.36	0.36	
8	0.12	0.41	0.36	0.36	0.27	0.57	0.49	0.49	0.27	0.57	0.49	0.49	
7	0.17	0.57	0.49	0.49	0.36	0.72	0.63	0.63	0.36	0.72	0.63	0.63	
6	0.22	0.72	0.63	0.63	0.45	0.87	0.75	0.75	0.45	0.87	0.75	0.75	
5	0.27	0.87	0.75	0.75	0.54	1.02	0.87	0.87	0.54	1.02	0.87	0.87	
4	0.32	1.02	0.87	0.87	0.63	1.17	0.99	0.99	0.63	1.17	0.99	0.99	
3	0.37	1.17	0.99	0.99	0.72	1.32	1.11	1.11	0.72	1.32	1.11	1.11	
2	0.42	1.32	1.11	1.11	0.81	1.47	1.23	1.23	0.81	1.47	1.23	1.23	
1	0.47	1.47	1.23	1.23	0.90	1.62	1.35	1.35	0.90	1.62	1.35	1.35	

1. Silliness Method (SM) 2. Portal Method (PM) 3. Cantilever Method (CM)

รูปที่ 3 แสดงค่าแรงเฉือนในเสาอาคารสูง 15 ชั้น (ต่อตารางที่ 2)

ชั้น	วิธี	แรงเฉือนในเสา (ตัน)											
		ประเภท 1				ประเภท 2				ประเภท 3			
		SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM
15	0.00	0.12	0.11	0.11	0.12	0.27	0.24	0.24	0.12	0.27	0.24	0.24	
14	0.07	0.27	0.24	0.24	0.18	0.42	0.36	0.36	0.18	0.42	0.36	0.36	
13	0.12	0.41	0.36	0.36	0.27	0.57	0.49	0.49	0.27	0.57	0.49	0.49	
12	0.17	0.57	0.49	0.49	0.36	0.72	0.63	0.63	0.36	0.72	0.63	0.63	
11	0.22	0.72	0.63	0.63	0.45	0.87	0.75	0.75	0.45	0.87	0.75	0.75	
10	0.27	0.87	0.75	0.75	0.54	1.02	0.87	0.87	0.54	1.02	0.87	0.87	
9	0.32	1.02	0.87	0.87	0.63	1.17	0.99	0.99	0.63	1.17	0.99	0.99	
8	0.37	1.17	0.99	0.99	0.72	1.32	1.11	1.11	0.72	1.32	1.11	1.11	
7	0.42	1.32	1.11	1.11	0.81	1.47	1.23	1.23	0.81	1.47	1.23	1.23	
6	0.47	1.47	1.23	1.23	0.90	1.62	1.35	1.35	0.90	1.62	1.35	1.35	
5	0.52	1.62	1.35	1.35	0.99	1.77	1.47	1.47	0.99	1.77	1.47	1.47	
4	0.57	1.77	1.47	1.47	1.08	1.92	1.59	1.59	1.08	1.92	1.59	1.59	
3	0.62	1.92	1.59	1.59	1.17	2.07	1.71	1.71	1.17	2.07	1.71	1.71	
2	0.67	2.07	1.71	1.71	1.26	2.22	1.83	1.83	1.26	2.22	1.83	1.83	
1	0.72	2.22	1.83	1.83	1.35	2.37	1.95	1.95	1.35	2.37	1.95	1.95	

ตารางที่ 3. บริเวณคานาบริเวณคานาชั้น 3 (ช่วง 3) (ม)

ชั้น	บริเวณคานาชั้น 3 (ม)											
	GROUP 1			GROUP 2			GROUP 3			GROUP 4		
	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM
4-10	1.03	0.71	0.71	0.79			0.94			0.85		
3-14	1.14	0.87	0.84	0.86			0.84			0.84		
2-11	1.09	0.80	0.84	0.80			0.81			0.83		
1-10	0.85	0.67	0.79	0.82			0.81			0.87		
0-11		1.1	1.07	1.08			1.12			1.13		
4-10	1.0	0.7	0.74	0.85			1.15			1.25		
3-14	1.02	0.74	0.84	0.84			1.02			1.02		
2-11	0.88	0.67	0.81	0.81			1.13			1.12		
1-10	0.74	0.51	0.81	0.89			0.79			0.78		
0-11	1.0	1.17	1.14	1.24			1.23			1.24		
4-10	1.0	0.77	0.74	0.84			1.0			1.0		
3-14	1.07	0.81	0.84	0.84			0.97			0.97		
2-11	0.79	0.67	0.84	0.84			1.0			1.0		
1-10	0.87	0.72	0.81	0.81			0.85			0.81		
0-11	1.0	1.17	1.14	1.24			1.27			1.27		
4-10	1.0	0.81	0.84	0.84			0.87			0.84		

แรงเฉือนที่ได้จากวิธี Cantilever เปลี่ยนไปมาก

จากตาราง 3-4 ในโครงอาคารสูง 15 ชั้น วิธี Portal และ Cantilever จะมีค่าน้อยกว่าวิธี Stiffness แต่ในโครงอาคารประเภทที่ 1 วิธี Portal กลับให้ค่าน้อยกว่า สำหรับเสาดัดในแรงเฉือนที่ไว้จากวิธี Portal มีค่าน้อยกว่าวิธี Stiffness ประมาณ 12 % ยกเว้นในโครงอาคารประเภทที่ 1 วิธี Cantilever ค่อนข้างจะใกล้เคียงกับวิธี Portal ในโครงอาคารสูง 15 ชั้นนี้ แต่ไม่มากนัก ดังนั้น เมื่อคำนึงถึงความยากง่ายของขั้นตอนต่างๆ ในการวิเคราะห์แรงลมแล้ว ผู้เขียนนิยมใช้วิธี Portal เพราะสามารถใช้หาแรงเฉือนในเสาได้ง่าย และรวดเร็วกว่าวิธี Cantilever มาก

ผลที่ได้รับจากการศึกษาครั้งนี้ ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือ ในวิธี Stiffness พบว่า การเปลี่ยนแปลงขนาดเสาทั้งทางสูงและทางข้าง ไม่มีผลมากนักต่อค่าแรงเฉือนในเสา ซึ่งทำให้วิธี Portal เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีหนึ่งในการวิเคราะห์แรงลมในโครงอาคารสูง

**ค่าโมเมนต์ในเสา**

รูป 1 แสดงค่าโมเมนต์ในเสาของโครงอาคารประเภท 3 โดยวิธี Stiffness พบว่าในโครงอาคารสูง 10 ชั้น (รูป 1 ก) ตำแหน่งจุดดัดกลับของเสาทั้งตัวในและนอก จะอยู่ประมาณกึ่งกลางความสูงของเสา ยกเว้นในเสาชั้นล่างสุดซึ่งตำแหน่งจุดดัดกลับจะอยู่เกือบปลายบนของเสา ส่วนในโครงอาคารสูง 15 ชั้น (รูป 1 ข) ตำแหน่งจุดดัดกลับของเสาในเสาชั้นล่างสุดไม่อยู่ในตัวเสา เมื่อเป็นเช่นนี้ การคำนวณค่าโมเมนต์ในเสาโดยวิธี Portal และ Cantilever จะให้ค่าที่ผิดไปจากวิธี Stiffness มาก เพราะในทั้งสองวิธีนี้สมมติว่า ตำแหน่งจุดดัดกลับของเสาอยู่ที่จุดกึ่งกลางความสูงของเสาทุกชั้น อย่างไรก็ตาม จะพบว่า ข้อสมมุติฐานนี้ใช้ได้กับเสาทุก

ตารางที่ 4. บริเวณคานาบริเวณคานาชั้น 3 (ช่วง 3) (ม)

ชั้น	บริเวณคานาชั้น 3 (ม)											
	GROUP 1			GROUP 2			GROUP 3			GROUP 4		
	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM	SM	PM	CM
4-10	0.41	0.27	0.26	0.16			0.30			0.30		
3-14	0.79	0.57	0.79	0.74			0.87			0.87		
2-11	1.24	1.0	1.0	1.0			1.0			1.0		
1-10	1.0	0.79	0.84	0.84			1.0			1.0		
0-11	1.07	1.17	1.14	1.24			1.24			1.24		
4-10	0.74	0.57	0.84	0.84			1.07			1.07		
3-14	1.0	0.81	0.84	0.84			1.0			1.0		
2-11	0.79	0.67	0.84	0.84			1.0			1.0		
1-10	0.74	0.51	0.84	0.89			0.79			0.79		
0-11	1.0	1.17	1.14	1.24			1.27			1.27		
4-10	1.0	0.81	0.84	0.84			1.0			1.0		
3-14	1.07	0.81	0.84	0.84			0.97			0.97		
2-11	0.79	0.67	0.84	0.84			1.0			1.0		
1-10	0.87	0.72	0.84	0.84			0.85			0.85		
0-11	1.0	1.17	1.14	1.24			1.27			1.27		
4-10	1.0	0.81	0.84	0.84			1.0			1.0		

ตารางที่ 5. บริเวณคานาบริเวณคานาชั้น 3 (ช่วง 3) (ม)

ชั้น	วิธี	GROUP 1		GROUP 2		GROUP 3		GROUP 4		
		SM	PM	SM	PM	SM	PM	SM	PM	
V	V <sub>max</sub>	0.11	0.07	0.07	0.19	0.17	0.19	0.19	0.17	0.17
	V <sub>avg</sub>	0.07	0.07	0.07	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04
	M <sub>max</sub>	1.06	0.84	1.13	0.86	0.71	0.86	0.86	0.86	0.86
M <sub>avg</sub>	M <sub>I</sub>	0.84	0.84	0.84	0.74	0.68	0.74	0.74	0.74	0.74
	M <sub>II</sub>	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	M <sub>III</sub>	0.72	0.72	0.87	0.87	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ค่า I.P. จากวิธี Portal		0.84		0.86		0.86		0.86		0.86
ค่า I.P. จากวิธี Stiffness		0.72		0.74		0.74		0.74		0.74

- 100% (ตาม)

ตารางที่ 6. บริเวณคานาบริเวณคานาชั้น 3 (ช่วง 3) (ม)

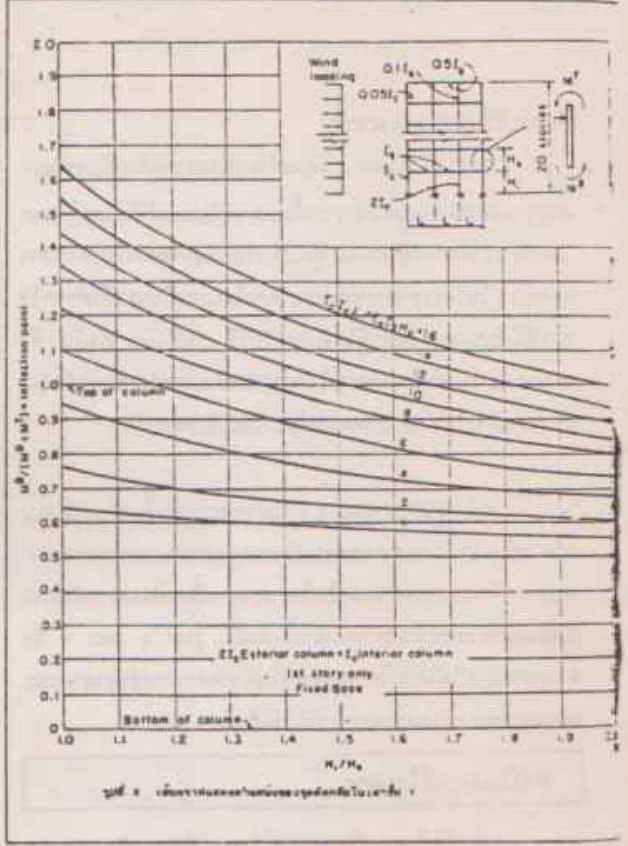
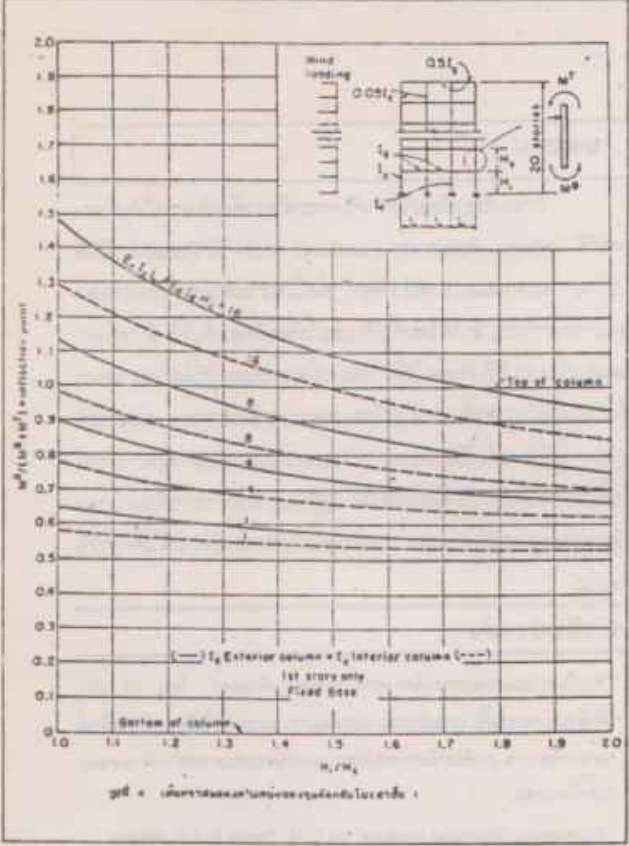
ชั้น	วิธี	GROUP 1		GROUP 2		GROUP 3		GROUP 4		
		SM	PM	SM	PM	SM	PM	SM	PM	
V	V <sub>max</sub>	0.04	0.02	0.02	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07	0.07
	V <sub>avg</sub>	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02
	M <sub>max</sub>	1.06	0.84	1.13	0.86	0.71	0.86	0.86	0.86	0.86
M <sub>avg</sub>	M <sub>I</sub>	0.84	0.84	0.84	0.74	0.68	0.74	0.74	0.74	0.74
	M <sub>II</sub>	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84	0.84
	M <sub>III</sub>	0.72	0.72	0.87	0.87	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
ค่า I.P. จากวิธี Portal		0.84		0.86		0.86		0.86		0.86
ค่า I.P. จากวิธี Stiffness		0.72		0.74		0.74		0.74		0.74

- 100% (ตาม)

ชั้น ยกเว้นเสาตัวล่างๆ โดยเฉพาะเสาตัวล่างสุด

ตารางที่ 5 และ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าโมเมนต์ในเสาชั้นล่างสุด สำหรับโครงอาคารทุกประเภทที่ใช้ในการศึกษานี้ จะพบว่า ในโครงอาคารประเภท 3 วิธี Portal ให้ค่าโมเมนต์ในเสาที่ปลายน้อยกว่าวิธี Stiffness ถึง 48 % และ 53 % สำหรับความสูง 10 ชั้น และ 15 ชั้น ตามลำดับ ดังนั้น การออกแบบเสาตัวล่างสุด โดยใช้ค่าโมเมนต์ที่ได้จากวิธี Portal จึงเป็นการไม่ปลอดภัย

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษานี้พบว่า ค่าแรงเฉือนในเสาที่คำนวณได้จากวิธี Portal เป็นค่าที่ขอมรับได้ ดังนั้น ถ้าหากสามารถหาค่าตำแหน่งจุดดัดกลับที่มีค่าใกล้เคียงกับของวิธี Portal



Stiffness ได้ ก็จะทำให้สามารถคำนวณหาค่าโมเมนต์ในเสาที่ใกล้เคียงได้เช่นเดียวกัน

**ตำแหน่งจุดดัดกลับของเสาชั้นล่างสุด**

รูป 4 และ 5 แสดงเส้นกราฟ เพื่อใช้ในการหาจุดดัดกลับของเสาชั้นล่างสุดเมื่อโมเมนต์ชั้นนี้เรียขงเสาด้านนอกเท่ากับเสาด้านใน และเป็นครึ่งหนึ่งของเสาด้านในตามลำดับ เส้นกราฟเหล่านี้แสดงการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของจุดดัดกลับในเสา โดยมีตัวแปรเป็นค่าของค่าสูงของเสาชั้นที่ 1 และ 2 และค่าสติเฟนของเสา ( $E_c I_c / H_1$ ) เทียบกับของคาน ( $E_g I_g / L$ )

ตัวอย่างการคำนวณหาตำแหน่งจุดดัดกลับของเสาชั้นล่างสุดในโครงการ 15 ชั้น ประเภท 2 มีดังนี้

- กำหนดให้ ขนาดเสาด้านใน  $0.70 \times 0.70$  ( $I_c = 20.02 \times 10^6 \text{ m}^4$ )
- ขนาดเสาด้านนอก  $0.50 \times 0.50$  ( $I_c = 5.21 \times 10^6 \text{ m}^4$ )
- ขนาดคาน  $0.20 \times 0.40$  ( $I_g = 1.70 \times 10^6 \text{ m}^4$ )
- ความสูง 3.00 ม.
- ช่วงเสาห่าง 5.00 ม.

ได้  $I_c / I_g = 3.84$   
 $E_c I_c L / E_g I_g H_1 = 8.12$   
 $H_1 / H_2 = 1.0$

จากรูปที่ 4 และ 5 และอาศัยหลักการ extra polation จะได้

ตำแหน่งจุดดัดกลับของเสาด้านนอก

$$= 1.23 + (1.23 - 1.14) \times 1.84 = 1.40$$

และตำแหน่งจุดดัดกลับของเสาด้านใน

$$= 1.23 + (1.23 - 0.99) \times 1.84 = 1.67$$

แรงเขื่อนจากวิธี Portal ในเสาด้านนอก 3.62 ตัน  
 แรงเขื่อนจากวิธี Portal ในเสาด้านใน 7.25 ตัน

ดังนั้น โมเมนต์ที่โคนเสาด้านนอก

$$= -3.62 \times 1.40 \times 3.0 = -15.20 \text{ ตัน-เมตร}$$

และ โมเมนต์ที่โคนเสาด้านใน

$$= -7.25 \times 1.67 \times 3.0 = -36.32 \text{ ตัน-เมตร}$$

จากผลลัพธ์ที่ได้จะพบว่า ค่าโมเมนต์ที่โคนเสามีค่าใกล้เคียง

เดียวกับวิธี Stiffness มากขึ้น

ตารางที่ 5 และ 6 แสดงตำแหน่งของจุดดัดกลับของเสาตัวล่างสุดซึ่งมีจากโคนเสารวมทั้งแสดงค่าโมเมนต์ที่ได้โดยการเอาแรงเฉือนที่ได้จากวิธี Portal คูณกับระยะของจุดดัดกลับดังกล่าวจะพบว่า ในโรงอาหารทุกประเภทค่าโมเมนต์ในเสาที่ได้จากวิธีการที่ผู้เขียนเสนอให้ค่าที่ใกล้เคียงกับวิธี Stiffness ดังนั้น จึงสามารถนำไปใช้เป็แนวทางในการออกแบบหารานาคอนกรีตของเสาอื่นที่จะไปทำการวิเคราะห์อย่างละเอียดต่อไป

อนึ่ง รูปที่ 4 และ 5 ถึงแม้ว่าจะถูกทำขึ้นสำหรับโรงอาหารช่วงเสา 3 ช่วง แต่ละช่วงมีความสูงเท่ากัน แต่การศึกษาพบว่า จำนวนช่วงเสาในโรงอาหารมีผลน้อยมากกับการเปลี่ยนแปลงของเส้นกราฟเหล่านี้ ดังนั้น รูปที่ 4 และ 5 จึงสามารถนำไปใช้ได้กับโรงอาหารที่ไม่จำกัดจำนวนช่วงเวลา และความยาวของช่วงเสาแตกต่างกันไม่เกิน 25 %

**ค่าโมเมนต์ในคาน**

เมื่อได้ค่าโมเมนต์ในเสาแล้ว โมเมนต์ในคานก็สามารถหาได้โดยวิธี Static

**บทสรุป**

การเปรียบเทียบวิธีการวิเคราะห์โครงข้อแข็งภายใต้แรงลมโดยวิธี Stiffness, Portal และ Cantilever พบว่า วิธี Portal เป็นวิธีที่ใช้ง่าย สะดวกและรวดเร็วที่สุด ทั้งนี้เพราะค่าแรงเฉือนในเสาสามารถคำนวณหาได้โดยทันที และให้ค่าที่ยอมรับได้ สำหรับค่าโมเมนต์ในเสา วิธี Portal ได้ค่าโมเมนต์ในเสาที่ยอมรับได้ในเสาแต่ละชั้น ยกเว้นในเสาชั้นล่างๆ โดยเฉพาะเสาตัวล่างสุด อย่างไรก็ตาม ด้วยวิธีการที่ผู้เขียนเสนอ ค่าโมเมนต์ในเสาตัวล่างสุดสามารถคำนวณหาได้อย่างใกล้เคียงกับวิธี Stiffness โดยการหาตำแหน่งจุดดัดกลับของเสาตัวล่างสุด แล้วคูณกับค่าแรงเฉือนที่ได้จากวิธี Portal

**หนังสืออ้างอิง**

1. "การวิเคราะห์แรงลมของโรงอาหารโดยคอมพิวเตอร์" โดย พ. ศ. พัทธิน เทพชาติ, นายธีรชัย ประมุขมาก และนายวิเชียร ศรีพานิชย์ เอกสารวิชาการ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
2. "Elementary Structural Analysis" by C.H. Norris & J.B. Wilbur.
3. "Frame Constants for Lateral Loads on Multistory Building" PCA.



# การคำนวณ-เลือกใช้ขนาด

## ท่อจ่ายน้ำและท่อระบายน้ำในอาคาร

ผศ.สว.สันติ อุตกฤษณ์\*

### คำนำ

การคำนวณหาขนาดท่อจ่ายน้ำใช้ในอาคารเพื่อให้ได้ปริมาณและแรงดันการใช้น้ำจากสุขภัณฑ์ต่าง ๆ ตลอดจนการคำนวณหาขนาดท่อระบายน้ำเพื่อให้มีการระบายน้ำออกจากอาคารให้เหมาะสม มีวิธีการคำนวณและเลือกใช้ขนาดท่อได้หลายวิธี อาจเป็นแบบฉบับของยุโรป (เยอรมัน) แบบฉบับของอเมริกา หรือแบบฉบับอื่น ๆ ในบทความนี้ผู้เขียนขอเสนอการคำนวณหาขนาดท่อตามแบบฉบับอเมริกันวิธีหนึ่งซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยากนัก สามารถนำมาใช้กับอาคารสำนักงานหรือที่อยู่อาศัยที่ไม่จำเป็นต้องใช้ปริมาณน้ำจำนวนมากในเวลาเดียวกัน ซึ่งมีหลักเกณฑ์และลำดับขั้นดังนี้

### ท่อจ่ายน้ำ

สิ่งที่จะต้องทราบก่อนเพื่อใช้ในการคำนวณ

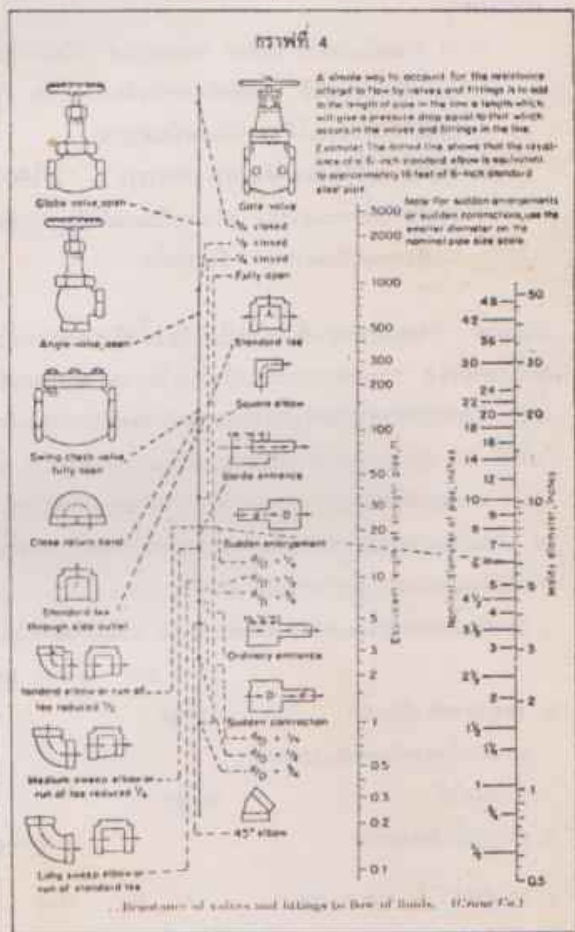
- แรงดันน้ำจากท่อเมนหรือจากจุดที่ต้องการต่อท่อแยกออกมาใช้
- ปริมาณน้ำใช้ที่ต้องการต่อหนึ่งหน่วยเวลา
- ความยาวท่อจากจุดที่ต้องการต่อท่อแยกนั้นไปจนถึงปลายก๊อกที่อยู่ไกลสุด
- ความสูงของก๊อกนำจุดสูงสุดวัดจากระดับที่ต้องการต่อท่อแยกไปใช้นั้น
- จำนวนข้อต่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ประกอบในการเดินท่อนั้น โดยคิดเทียบเป็นความยาวท่อตามกราฟที่ 4 (ถ้ามีจำนวนไม่มากนักอาจไม่ต้องนำมาคิดก็ได้)

ลำดับขั้นในการคำนวณมีดังนี้

1. หาแรงดันสูงสุดของน้ำจากจุดที่ต้องการต่อท่อออกมาใช้นั้น โดยวัดเป็นความสูงของน้ำในลำค้ำมีหน่วยเป็นฟุต (หากค่าเป็นปอนด์ต่อตารางนิ้วให้คูณด้วย 2.3)
2. นำค่าที่ได้จากข้อ 1 หักลบด้วยค่าต่าง ๆ คือ
  - 2.1 ค่าความสูงของก๊อกนำจุดสูงสุด
  - 2.2 ค่าความเหมาะสมของแรงดันน้ำที่ไหลจากก๊อก ซึ่งจะมี

ค่าระหว่าง 3-10 ฟุตตามแรงดันของน้ำจากก๊อกที่ต้องการ

3. นำค่าที่ได้จากข้อ 2 คูณด้วย 100
4. นำความยาวของท่อทั้งหมดที่วัดได้จริงจากท่อแยกไปจนถึงปลายท่อที่ไกลสุดไปหารค่าที่ได้ตามข้อ 3 ค่าที่ได้นี้เรียกว่า Conductance factor (หากต้องการคิดแรงดันสูญเสียเนื่องจากข้อต่อและอุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ ให้นำมารวมกับความยาว



\* ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำสำนักพัฒนาเทคโนโลยีทางการศึกษาเพื่อการศึกษาด้านเทคนิค สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิชาเกษตรพระนครเหนือ

ตารางที่ 1  
WATER DEMANDS FOR FIXTURES  
Gallons Per Minute

FEATURE	PRIVATE Dwellings	PUBLIC AND SEMI-PUBLIC
Lavatory or wash stand	2	5
Bath tub	5	10
Separate shower head or stall	5	10
Bathroom group, flush tank	10	14
Water closet, flush tank	3	5
pressure valve flush	10	15
Urinal, pedestal		10
wall or stall, with tank		3
with pressure valve		5
Slop sink, plain	3	6
Kitchen sink	4	8
Laundry tray set	4	
Sill cock, hose bibb	5	

ตารางที่ 2  
WATER DEMANDS FOR SMALL BUILDINGS  
Gallons Per Minute

<b>SINGLE FAMILY DWELLINGS</b>	
With 1 bathroom	12
With 2 bathrooms	16
With 3 bathrooms and 2 sinks	20
<b>SMALL APARTMENT HOUSES</b>	
With 4 bathrooms and 4 kitchens	25
With 8 bathrooms and 8 kitchens	35
With 16 bathrooms and 16 kitchens	50 to 55
<b>SILL COCKS OR HOSE BIBBS</b>	
1	5
2	3
3	12
4	14
For each one when 5 or more	3

ท่อที่วัดได้จริงแล้วจึงนำไปหาร)

5. นำค่า Conductance factor จากข้อ 4 ไปเลือกพิกขนาดท่อที่เหมาะสมจากตาราง 3 จะได้นาขนาดท่อที่เหมาะสมตามต้องการ

**หมายเหตุ**

- ก. ค่า Conductance factor จากตาราง 3 ให้ใช้ค่าที่ตรงกับค่าที่คำนวณได้ หรือค่าที่ต่ำกว่าเพียง 1 ชั้น (ในกรณีที่ค่าคำนวณได้ไม่ตรงกับค่าในตาราง)
- ข. ค่าปริมาณน้ำสูงสุดที่ต้องการจากตาราง 3 ให้ใช้ค่าที่ตรงกับค่าที่กำหนดจริง หรือค่าปริมาณน้ำที่สูงกว่าต้องการที่แสดงไว้ในตาราง 1 ชั้นเท่านั้น

**ตัวอย่าง** อาคารที่พักอาศัยแห่งหนึ่งมีห้องน้ำซึ่งประกอบด้วยสุขภัณฑ์ต่างๆ รวมอัตราการใช้น้ำทั้งหมดได้ 15 แกลลอนต่อ นาที ก๊อกน้ำของสุขภัณฑ์จุดสูงสุดอยู่สูงกว่าจุดที่จะต่อท่อแยกไปใช้นี้ 20 ฟุต ความยาวท่อจากจุดแยกถึงก๊อกน้ำไกลสุดราว 40 ฟุต หากแรงดันน้ำจากท่อเมนจุดที่ต้องการต่อท่อแยกนั้นวัดได้ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จงหาขนาดท่อเมนที่ต่อแยกเข้าอาคารนั้น หากไม่คิดแรงดันสูญเสียจากข้อต่อและอุปกรณ์ต่างๆ

1. แรงดันน้ำจากท่อเมนจุดที่ต้องการต่อท่อ 20 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว  
 $20 \times 2.3 = 46$  ฟุต
2. จุดสูงสุดของก๊อกน้ำ 20 ฟุต  
แรงดันน้ำจากก๊อกที่ต้องการกำหนดให้ 10 ฟุต
3. แรงดันน้ำที่คงเหลือ 16 ฟุต
4. แรงดันน้ำ  $16 \text{ ฟุต} \times 100 = 1600$
5.  $1600 \div 40 = 40$
6. จากตาราง 3 อัตราไหลสูงสุดของน้ำเมื่อค่า Conductance f 40 จะได้ปริมาณน้ำ 10 หรือ 20 เลือกใช้ค่า 20 แกลลอน

ต่อมาที่จะได้ขนาดท่อ 1 นิ้ว

ดังนั้นท่อที่เหมาะสมเพื่อใช้ส่งน้ำเข้าอาคารนั้นคือท่อ Nominal size 1 นิ้ว

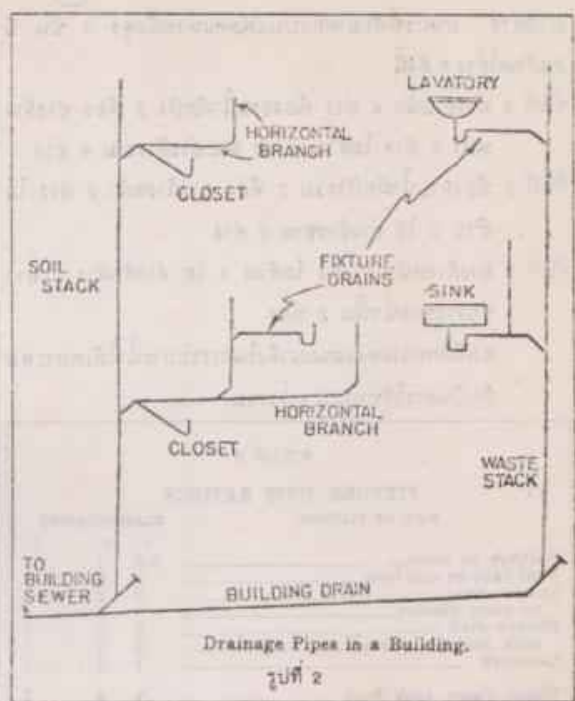
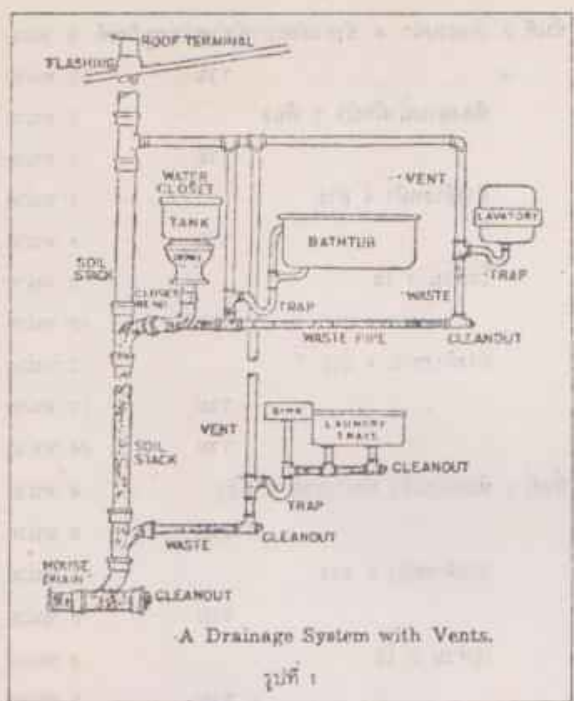
การคำนวณหาขนาดท่อด้วยวิธีนี้สามารถนำไปใช้หาขนาดท่อที่ต้องการแยกออกตามจุดต่างๆ หรือขนาดท่อที่แยกจากท่อเมนสาธารณะเข้าสู่อาคารที่เรียกว่า Service pipe ก็ได้ สำหรับงานเดินท่อที่ต้องใช้ข้อต่อและอุปกรณ์จำนวนมาก ควรนำค่าแรงดันสูญเสียเนื่องจากการไหลของน้ำผ่านข้อต่อต่างๆ ไปคิดรวมด้วย โดยต้องสมมติขนาดท่อที่ใกล้เคียงไว้ก่อนเพื่อจะได้เทียบหาค่าแรงดันสูญเสียได้ แล้วจึงนำไปเทียบค่าจากตารางดังกล่าวแล้ว จะได้ขนาดท่อที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

**ท่อระบายน้ำ**

ระบบท่อระบายน้ำในอาคารแบ่งลักษณะการทำงานเป็น

ตารางที่ 3  
MAXIMUM WATER FLOW  
Gallons Per Minute in Pipes of Given Size

CONDUCTANCE FACTOR	NOMINAL DIAMETER OF PIPE—INCHES							
	1/2	3/4	1	1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3
10	1	2	5	9	19	29	50	90
15	1 1/2	3	6	11	23	35	60	112
20	1 1/2	3	7	13	23	40	72	130
25	2	4	8	15	30	47	80	150
30	2	4	9	16	33	50	90	160
40	2 1/2	5	10	20	40	60	105	190
50	3	5	12	22	44	68	125	220
65	3 1/2	6	13	25	50	80	140	255
80	4	7	15	29	55	88	150	290
100	4 1/2	8	17	31	65	100	180	315
125	5	9	19	35	73	110	200	370
150	5 1/2	10	20	40	80	125	220	405
200	6	12	25	46	98	150	270	470
200	8	15	30	60	120	180	315	
400	9	17	36	68	140	210	380	
500	10	19	40	78	155	240	410	
600	11	21	45	84	175	275	470	
800	13	25	52	100	200	310	500	
1000	15	29	60	110	230	365		



2 ส่วน ส่วนแรกเป็นท่อส่วนที่ใช้ระบายเฉพาะน้ำ สิ่งโสโครก ที่มีลักษณะเป็นของเหลว เช่น น้ำทิ้ง น้ำโสโครกจากสุขภัณฑ์ ชนิดต่างๆ ส่วนที่สองเป็นท่อส่วนที่มีเฉพาะอากาศอยู่ภายใน ซึ่งจะทำหน้าที่ระบายเฉพาะอากาศที่อยู่ภายในระบบท่อระบายน้ำ ออกสู่บรรยากาศภายนอก และทำให้เกิดการไหลหมุนเวียนของอากาศภายในท่อ เป็นประโยชน์ในการป้องกันไม่ให้น้ำที่อยู่ในท่อกับปลักดินของสุขภัณฑ์ หรือตามช่องระบายน้ำที่พื้นห้อง ไหลหนีออกไป ไม่ว่าจะถูกแรงดันจากน้ำ (Siphon) ทั้งทางตรงและทางอ้อมหรือจากแรงดันบวกกลับ (Back Pressure) ภายในท่อกับตาม นอกจากนี้การที่อากาศภายในท่อระบายน้ำสามารถ หมุนเวียนออกสู่บรรยากาศภายนอกได้จะช่วยป้องกันไม่ให้เกิดระบบ ท่ออุดตันได้ง่าย ระบบท่อทั้งสองส่วนจะค้องอิงกันดังรูป

ท่อระบายน้ำส่วนแรกแบ่งเป็นท่อน้ำโสโครกซึ่งใช้ระบาย จากสุขภัณฑ์ประเภทที่รองรับสิ่งโสโครกจากร่างกายมนุษย์ เช่น โถส้วม โถบัสสวะ และท่อน้ำทิ้งซึ่งใช้ระบายน้ำจากสุขภัณฑ์อื่นๆ นอกเหนือจากท่อน้ำโสโครก ท่อส่วนที่สองซึ่งมีเฉพาะอากาศ นั้นเรียกว่าท่อระบายอากาศ

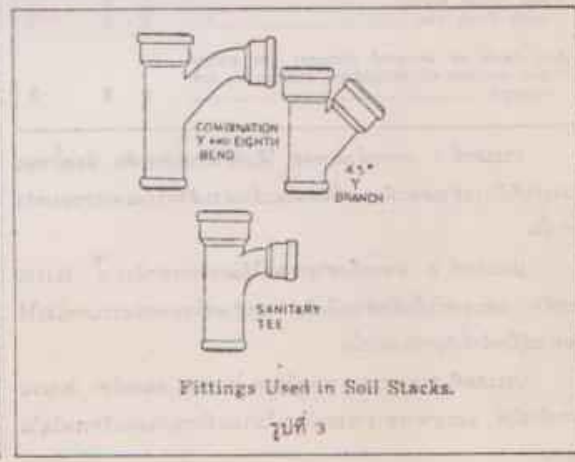
ท่อน้ำโสโครก (Soil pipe) ท่อน้ำทิ้ง (Waste pipe) และท่อระบายอากาศ (Vent pipe) จะมีทั้งท่อในแนวตั้ง (Stack) และท่อในแนวนอน (Branch) เช่นท่อโสโครกแนวตั้ง (Soil stacks) ท่อน้ำทิ้งแนวตั้ง (Waste stack) ท่อน้ำทิ้งแนวนอน

(Waste branch) ท่อระบายอากาศ แนวตั้ง (Vent stack) และท่อระบายอากาศแนวนอน (Vent branch)

การเลือกใช้ขนาดท่อระบายน้ำมีข้อพิจารณา 3 ประการดังนี้

1. ปริมาณน้ำทิ้ง น้ำโสโครกที่ระบายลงสู่ท่อนั้น
2. ชนิดของข้อต่อท่อต่าง ๆ ที่ใช้
3. ปริมาณน้ำทิ้ง น้ำโสโครกจากท่อแยกแนวนอนในแต่ละชั้นของอาคาร

ข้อพิจารณาข้อแรกและข้อที่ 3 จะเลือกได้จากตารางข้างท้าย ส่วนข้อพิจารณาที่ 2 นั้นอยู่กับชนิดของข้อต่อที่เลือกใช้ดังรูป ซึ่งสามารถไปเลือกค่าที่เหมาะสมจากตารางได้เช่นกัน



ตัวกว้าง อาคารที่พักอาศัยแบบแฟลตแห่งหนึ่งสูง 3 ชั้น มี  
สุขภัณฑ์ต่าง ๆ ดังนี้

ชั้นที่ 3 อ่างอาบน้ำ 4 อ่าง ห้องอาบน้ำฝักบัว 2 ห้อง อ่างล้าง  
หน้า 4 อ่าง โถส้วม 4 โถ และอ่างล้างชาม 4 อ่าง

ชั้นที่ 2 ห้องอาบน้ำฝักบัวรวม 2 ห้อง อ่างล้างหน้า 2 อ่าง โถ  
ส้วม 2 โถ อ่างล้างชาม 2 อ่าง

ชั้นที่ 1 อ่างล้างหน้า 1 อ่าง โถส้วม 1 โถ อ่างชักล้าง 2 อ่าง  
ช่องระบายน้ำพื้น 2 ช่อง

จงเลือกขนาดท่อเมนแนวดิ่งในการระบายน้ำให้เหมาะสม  
ถึเป็นการใช้ท่อระบายน้ำรวม

ตารางที่ 5

**FIXTURE UNIT RATINGS**

KIND OF FIXTURE	CLASSIFICATION		
	1	2	3
Bath tub or bidet	2-3	4	4
Foot bath or sitz bath	2	2	2
Shower head	2	3	3-4
in gang shower	2	5	5
Shower stall	2	3	3
with multiple sprays	4	6	6
Lavatory	1	2	2
Water closet, tank flush	3	5	6
Water closet, valve flush	6	10	10
Urinal, wall hung or stall type	4	4	4-5
Urinal, pedestal and blowout types	5	5	5-10
Slop sink or service sink, plain	3	3	3
with jet or flushing rim	6	6	
<b>Bathroom groups</b>			
Lavatory, water closet and bathtub, with or without overhead shower head	6-8		
Lavatory, water closet and shower stall	6-8		
Lavatory, water closet, bathtub and shower stall in same bathroom	7-10		
<b>Sink, kitchen, dishwasher or pantry</b>	2-3		
glass or silver		3	
vegetable		6	
pot		8	
bar type, lunch counter		6	
bar type, soda fountain		1 1/4	
Drinking fountain		1/4	1/4
Laundry trays, 1, 2 or 3	3		
Combination tray-sink fixture	3		
Floor drain, plain	1	1	1
with flush rim	3	3	3
Any tank or unrated fixture: per gallon per minute of estimated maximum dis- charge	2	2	2

ประเภทที่ 1 อาคารส่วนบุคคล ได้แก่อาคารที่พักอาศัย ห้องประชุม  
โรงแรมที่มีประจำแต่ละห้อง มีลักษณะเป็นส่วนตัวหรือเฉพาะครอบครัว  
เท่านั้น

ประเภทที่ 2 อาคารที่สาธารณะ ได้แก่อาคารสำนักงาน โรงงาน  
หอพัก และอาคารอื่นที่คล้ายคลึงกัน สุขภัณฑ์ในอาคารประเภทนี้จะใช้  
เฉพาะผู้มีหน้าที่เกี่ยวข้องเท่านั้น

ประเภทที่ 3 อาคารสาธารณะ ได้แก่ โรงเรียน สนามกีฬา โรงแรม  
สถานีรถไฟ และอาคารสาธารณะอื่น ๆ ไม่ว่าจะมีบริการกับครัวเรือนหรือไม่  
ก็ตาม

ชั้นที่ 3 อ่างอาบน้ำ 4 อ่าง แต่ละอ่างมีค่าหน่วยสุขภัณฑ์ 3 หน่วย

รวม 12 หน่วย

ห้องอาบน้ำฝักบัว 2 ห้อง

รวม 4 หน่วย

อ่างล้างหน้า 4 อ่าง

รวม 4 หน่วย

โถส้วม 4 โถ

รวม 12 หน่วย

อ่างล้างชาม 4 อ่าง

รวม 44 หน่วย

ชั้นที่ 2 ห้องอาบน้ำ ฝักบัวรวม 2 ห้อง

รวม 8 หน่วย

อ่างล้างหน้า 2 อ่าง

รวม 2 หน่วย

โถส้วม 2 โถ

รวม 6 หน่วย

อ่างล้างชาม 2 อ่าง

รวม 22 หน่วย

ชั้นที่ 1 อ่างล้างหน้า 1 อ่าง

รวม 1 หน่วย

โถส้วม 1 โถ

รวม 3 หน่วย

อ่างชักล้าง 2 อ่าง

รวม 6 หน่วย

ช่องระบายน้ำพื้น 2 ช่อง

รวม 2 หน่วย

รวม 12 หน่วย

รวมหน่วยสุขภัณฑ์ในอาคารทั้งหมด 78 หน่วย

จากตาราง 6 ถ้าใช้ข้อต่อแบบตัววายจะต้องเลือกใช้ท่อขนาด

ตารางที่ 6

**STACK CAPACITIES—TOTAL FIXTURE UNITS**

STACK DIAM Inches	TOTAL LENGTH FEET (Max.)	MAXIMUM FIXTURE UNITS	
		With Only V Ratings	With Sanitary Tees
1 1/4	50	1	1
1 1/2	65	12	8
2	85	36	16
3	212	72	48
4	300	384	256
5	399	1020	680
6	510	2070	1384
8	750	5400	3600

4 นิ้ว ถึงแม้ว่าค่าที่คำนวณได้จะมีค่าใกล้เคียงกับ 72 หน่วยซึ่งใช้ที่ขนาด 3 นิ้วก็ตาม เพราะจะต้องเลือกค่าที่สูงกว่าเท่านั้น แสดงว่าท่อเมนแนวตั้งชั้นล่างสุดต้องใช้ขนาด 4 นิ้ว

ลำดับต่อไปให้เลือกท่อเมนชั้นถัดขึ้นมาว่าจะมีขนาดเท่าใด จากตาราง 7 หน่วยสุขภัณฑ์สูงสุดของแต่ละชั้นที่ระบอบลงท่อแยกแนวนอนก่อนที่จะต่อรวบรวมกับท่อเมนแนวตั้ง จากตารางในชั้นนี้พบว่าอาจเลือกใช้ที่ขนาด 3 นิ้วซึ่งใช้กับหน่วยสุขภัณฑ์ได้สูงสุด 45 หน่วย แต่เมื่อพิจารณาตารางต่อไปจะพบว่า ท่อแนวนอนที่ใช้เป็นท่อไฮโดรกรขนาด 3 นิ้ว อนุญาตให้ระบายไฮโดรมาได้เพียง 4 โยเท่านั้น จึงต้องเลือกใช้ที่ขนาดถัดมาคือ 4 นิ้ว เมื่อเลือกใช้ที่ขนาด 4 นิ้วแล้วท่อแนวตั้งถัดลงมาจะต้อง

ตารางที่ 7

STACK DIAM.	MAXIMUM FIXTURE UNITS IN ONE INTERVAL—8 FT. LENGTH	
	With Only Y-Attinches	With Sanitary Tees
Inches		
1 1/4	1	1
1 1/2	4	2
2	15	9
3	45	24
4	240	144
5	540	324
6	1120	670
8	3480	2088

ตารางที่ 8

Size of Piping for Branch and Soil Wastes

Maximum number of fixture units permitted	Maximum number of water closets permitted	Diameter of branch (inches)
2	—	1 1/2
9	—	2
20	—	2 1/2
35	1	3
100	1 1/2	4
250	2 1/2	5

ตารางที่ 9

SANITARY BUILDING DRAIN AND SEWER CAPACITIES

PIPE DIAM.	Maximum Fixture Units Allowed					
	ON SAME LEVEL			NOT ON SAME LEVEL		
	1/4 in. Pitch	1/2 in. Pitch	3/4 in. Pitch	1/4 in. Pitch	1/2 in. Pitch	3/4 in. Pitch
1 1/4	1	1	1	1	1-2	1-2
1 1/2	2	2	3	2	2 1/2-5	3 1/2-7
2	6	6	8	7	9-21	12-26
2 1/2	12	15	18	17	21	27
3 a	24	27	36	33-36	42-45	50-72
3 b	18	18	21	24-27	27-36	36-48
4	82	95	112	114-180	150-215	210-250
5	180	234	280	270-400	370-480	540-560
6	330	440	580	610-600	720-790	940-1050
8	870	1150	1680	1300-1600	1850-1900	2200-2600
10	1740	2500	3600	2500-2700	3250-3600	3750-5250
12	3000	4200	6500	4200-4400	5000-6700	6000-9000

a—No water closets. b—Not more than 2 water closets.

ตารางที่ 10

STACK DIAM. INCHES	FIXTURE UNITS	DIAMETER OF VENT IN INCHES							
		1 1/4	1 1/2	2	2 1/2	3	4	5	6
1 1/4	1 max. 45								
1 1/2	8 max. 35	60							
2	18 max. 30	60	90						
2 1/2	36 max. 25	45	75	105					
3		12	34	120	180	212			
		18	70	180	212				
		24	12	80	130	212			
		36	8	35	93	212			
		48	7	32	80	212			
4		72	6	25	65	212			
		24		25	110	200	300	340	
		48		16	65	115	300	340	
		96		12	45	54	300	340	
		144		9	36	72	300	340	
5		192		8	30	54	282	340	
		264		7	20	56	245	340	
		384		5	18	47	206	340	
		72				40	65	280	300
		144				30	47	180	300
6		288				20	32	124	300
		432				16	24	94	300
		720				10	16	70	225
		1020				8	13	58	180
		144						27	108
6		288						15	70
		576						10	43
		864						7	33
		1296						6	26
		2070						4	21
8		320							42
		640							30
		960							22
		1600							16
		2500							12
	4160							7	

มีขนาดไม่เล็กกว่าท่อแนวนอนคือ 4 นิ้วด้วย จากตาราง 8 ท่อเมนแนวตั้งขนาด 4 นิ้วอนุญาตให้ยาวได้ไม่เกิน 300 ฟุต ดังนั้นจึงเลือกใช้ท่อเมนไฮโดรกรแนวตั้งขนาด 4 นิ้วยาวตลอดจากชั้นล่างสุดจนถึงชั้นพื้นเหนือหลังคา

การเลือกใช้ขนาดท่ออื่น ๆ สามารถเลือกดูได้จากตารางสำเร็จที่แสดงไว้ในท้ายบทความนี้ได้เช่นกัน จากตัวอย่างการเลือกใช้ขนาดท่อจะพบว่าท่อระบายน้ำในระบบเป็นท่อแบบรวม ซึ่งจะรวมทั้งน้ำทิ้ง น้ำไฮโดรกรไว้ในท่อเดียวกัน ผู้เขียนมีความเห็นว่าโดยหลักการดังกล่าวนี้จะสามารถนำไปใช้กับระบบระบายน้ำแบบแยกได้เช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

1. Babbit, E.H., PLUMBING. MCGRAW-HILL BOOK COMPANY, THIRD EDITION, 1960
2. Jules Oravetz, Sr. PLUMBERS and PIPE FITTERS LIBRARY, THEODORE AUDEL & CO. 1968
3. MANLY, H.P., PLUMBING INSTALLATION and REPAIR. FREDERICK J. DRAKE & CO. CHICAGO 1965

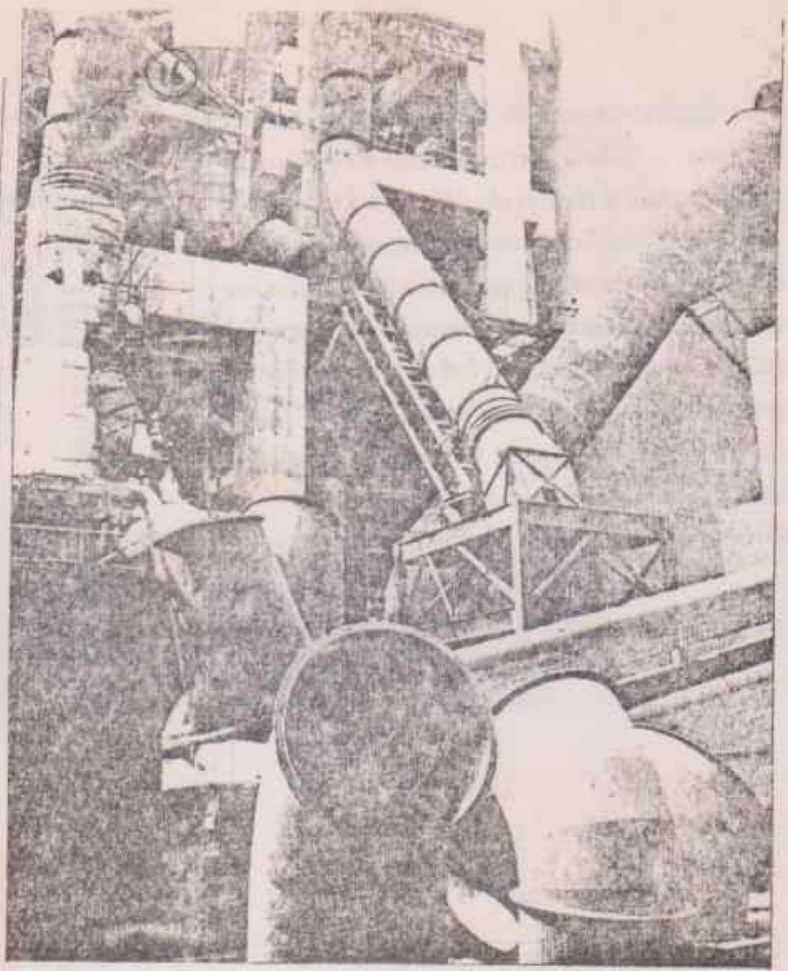
จากวิวัฒนาการทางเทคโนโลยีด้านยึดเกาะสิ่งของหรือวัสดุให้เป็นติดกัน (fastening) โดยเฉพาะการเจาะ (Drilling) และการยึด (Anchoring) ทำให้วิศวกรมีความคล่องตัวมากขึ้นในการยึดเกาะวัสดุเข้ากับคอนกรีตโดยไม่จำเป็นต้องทุบหรือรื้อคอนกรีตที่มีอยู่เดิม หรือเชื่อมเหล็กเสริมภายในคอนกรีตเป็นการขจัดปัญหาการวางและปรับแนวของส่วนที่จะไปเกาะยึดเข้ากับคอนกรีตก่อน จะมีการเทคอนกรีตเข้ากับแบบจริง ๆ การเกาะยึดวัสดุเข้ากับคอนกรีตในปัจจุบันนี้สามารถกระทำได้ เพียงแต่เจาะรูเล็ก ๆ เท่านั้น ซึ่งไม่ทำความเสียหายกระทบกระเทือนต่อความแข็งแรงของคอนกรีตแต่ประการใด ปลั๊กยึดคอนกรีตสมัยใหม่ได้วิวัฒนาการทั้งทางด้านรูปแบบสมรรถนะ ตลอดจนความเชื่อใจวางใจได้กว่าในอดีตเป็นอย่างมาก

กรรมวิธีในด้านเทคโนโลยีการยึดวัสดุได้พัฒนาไปพร้อม ๆ กับตัวยึด จากการวิจัยและค้นคว้าการเกาะยึดคอนกรีตโดยมหาวิทยาลัยต่าง ๆ ทั้งในสหรัฐอเมริกาและยุโรป ส่งผลให้มีการใช้ปลั๊กคอนกรีตในอุตสาหกรรมก่อสร้างกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในรูปแบบของการเจาะและยึด (Drilling and Anchoring)

**เซพตีแฟคเตอร์ในกาออกแบบระบบยึดเกาะ**

ในขณะที่ย่อแบบระบบยึดเกาะ สิ่งสำคัญที่สุดที่จะต้องหารายละเอียดคือผลของการทดลองน้ำหนัก ซึ่งผู้ผลิตได้แนะนำมา ในบางครั้งบริษัทผู้ผลิตจะให้ค่า Mean Ultimate Value สำหรับปลั๊กยึดของเขา บางแห่งก็ให้รายละเอียดทางสถิติ เช่นการเบี่ยงเบนจากมาตรฐานซึ่งวิศวกรเคยใช้ในการคำนวณเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกที่นำเชื่อถือได้ในด้านความปลอดภัย

ความปลอดภัยสำหรับน้ำหนักบรรทุกของปลั๊กของแต่ละประเทศจะแตกต่างกันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับ Code of Practice ของแต่ละท้องถิ่น ในอเมริกา น้ำหนักบรรทุกที่ปลอดภัยจะเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของการ



# เทคโนโลยีการเกาะยึดในงานก่อสร้าง

ทดสอบที่พิสูจน์แล้ว ซึ่งเป็นไปอย่างเหมาะสมของ Federal Specifications F-S 325 แต่ในยุโรปส่วนมากน้ำหนักบรรทุกที่ปลอดภัยจะแสดงได้โดยสูตร

$$\text{Safe Working Load (SWL)} = \frac{\bar{X} - 2S}{n}$$

- เมื่อ  $\bar{X}$  = ค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่สามารถจะรับได้ของปลั๊ก
- S = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานซึ่งได้จากการทดสอบ
- n = ค่าความปลอดภัยที่ใช้ ส่วนมากจะเป็น 3

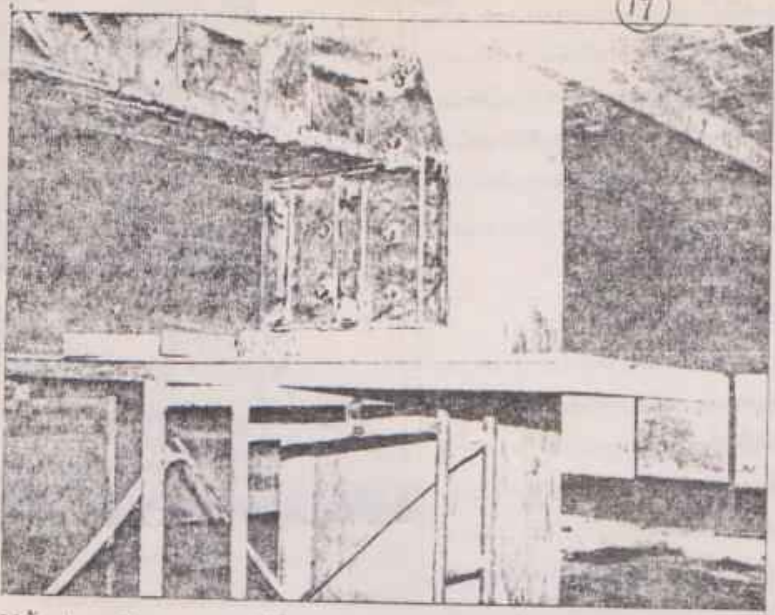
**ชนิดของปลั๊กคอนกรีต**

ปลั๊กคอนกรีตแบ่งออกได้เป็นชนิด ๆ

ตามขนาดกำลังความสามารถในการรับน้ำหนักของมัน

(1) **ปลั๊กคอนกรีตชนิดใช้ฐานขนาดเบา** ปลั๊กคอนกรีตชนิดนี้น้ำหนักที่จะรับได้ส่วนมากจะน้อย ต่ำกว่า 1KN ปลั๊กชนิดนี้รวมทั้งปลั๊กพลาสติก ปลั๊กเหล็กขนาดเล็ก ตลอดจนปลั๊กที่ใช้งานเฉพาะอย่าง ดังพื้นฐานเช่น คอนกรีตเบา ๆ อิฐ อิฐบล็อก เป็นต้น ปลั๊กคอนกรีตขนาดเล็กละนี้ใช้ในโครงการทั่ว ๆ ไป ที่ยึดเกาะท่อ ท่อขนาดเล็ก กรอบหน้าต่างอลูมิเนียม และวัสดุชนิดอื่นต่าง ๆ เช่น Rock wool หรือ Wood-wool ในอาคารพาณิชย์สูง ๆ และอพาร์ทเมนต์

(2) **ปลั๊กคอนกรีตชนิดขนาดกลาง** ปลั๊กคอนกรีตชนิดนี้สามารถรับน้ำหนัก

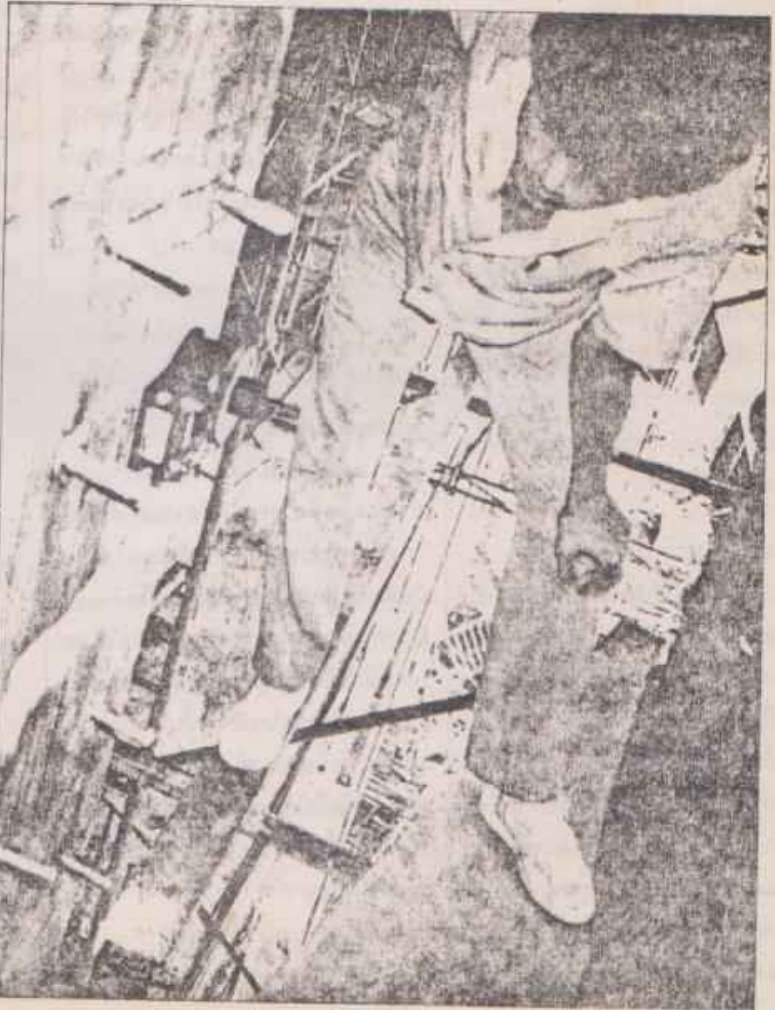


ได้ตั้งแต่ 1kN ถึง 15kN และใช้ทั่ว ๆ ไปในงานยึดเกาะผ้าเททาน สารเคมีต่าง ๆ ท่อดับเพลิง และท่อสุขภัณฑ์ ที่แขวนสำหรับมือจับของบันไดเลื่อนตลอดจนมาอนลูมิเนียมที่เป็นแผงบังแดดสำหรับอาคารสูง ๆ

(3) **ปลั๊กคอนกรีตขนาดใช้งานหนัก** ปลั๊กคอนกรีตชนิดนี้ใช้ในงานก่อสร้างทั่ว ๆ ไป และการยึดเกาะเครื่องจักรกลหนัก ๆ เช่น ปั่นจัม เป็นสิ่งที่น่าได้รับความสนใจจากวิศวกรโครงสร้างเป็นพิเศษ เพราะมันสามารถยึดติดกับคอนกรีตที่มีอยู่แล้วกับโครงสร้างใหม่ได้ การรับน้ำหนักอย่างปลอดภัยของปลั๊กชนิดนี้ค่อนข้างสูง เช่น ปลั๊กของฮิตตี (Hit) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 24 มม. สามารถรับน้ำหนักได้ถึง 254.64 kN 25 N/mm<sup>2</sup>

ปลั๊กคอนกรีตสำหรับงานหนักที่น่าสนใจสำหรับวิศวกรโครงสร้างอีกชนิดหนึ่งคือ Adhesive หรือ Chemical anchor ปลั๊กแบบนี้ประกอบด้วยส่วนของปลั๊กที่เจาะเข้าไปในคอนกรีตแล้วอุดด้วย Adhesive mortar ในขณะที่ปลั๊กแบบอื่น ๆ ใช้วิธีตอกเข้าไปในคอนกรีตโดยวิธีกล ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความเค้น (Stress) ต่อคอนกรีตที่เป็นฐานยึด แต่ Adhesive Anchor สามารถรับน้ำหนักได้โดยการเกาะระหว่างส่วนของปลั๊กที่มีลงเข้าไปกับ

tar หรือน้ำมันหนึ่งชั้นระหว่าง adhesive mortar กับคอนกรีต โดยที่ไม่เกิดแรงเครียดทางกลที่กระทำต่อฐานคอนกรีต ระยะห่าง



ระหว่างปลั๊กคอนกรีตแบบนี้จึงน้อยกว่าแบบของตัวพาดกล

ฉะนั้นปลั๊กคอนกรีตชนิดนี้จึงเหมาะกับการยึดเกาะโครงสร้างขนาดเล็กซึ่งมีอุปสรรคเกี่ยวกับที่จะไปยึดเกาะก็มีไม่เพียงพอ ความจริงแล้ว Adhesive anchor ก็เป็นวิธี grout คอนกรีตกับเหล็กที่ได้รับความนิยมกัน และส่งผลกระทบต่อเคมีที่จะยึดเข้าไปในรูที่เจาะด้วย ในปัจจุบันนี้วิศวกรเริ่มจำนวนมากขึ้นมาใช้วิธีทาง Adhesive Anchor แทนวิธี grout แบบธรรมดาวิธีแบบเดิม ทั้งนี้เพราะกรรมวิธีที่ง่ายกว่าและสามารถควบคุมคุณภาพของการยึดเกาะได้ดีกว่า

**การเลือกปลั๊กคอนกรีตที่ถูกต่อ**

ในการเลือกใช้ปลั๊กคอนกรีตให้ใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ วิศวกรควรจะต้องคำนึงถึงสิ่งต่าง ๆ เหล่านี้ คือ

- ขนาดของน้ำหนักบรรทุก
- ชนิดของวัสดุฐาน (Base material)
- ชนิดของน้ำหนักบรรทุกคงที่, สั่นสะเทือน, กระแทก
- สิ่งแวดล้อมต่างๆ
- ข้อมูลทางเทคนิคที่เชื่อถือได้
- การบริการ ณ สถานที่ทำงาน

ต่อมาพิจารณาสิ่งต่างๆ ดังกล่าวแล้วขอ

### ขนาดของน้ำหนักบรรทุก

แรงที่ปลั๊กคอนกรีตได้ออกแบบมาเพื่อต้านแรงเหล่านี้ จะเป็นตัวกำหนดชนิดของปลั๊กคอนกรีตที่จะนำมาใช้งานสำหรับน้ำหนักบรรทุกที่มากหรือวิกฤตไม่ควรเลือกปลั๊กคอนกรีตที่สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้เฉพาะแรงเสียดทาน เช่น ปลั๊กพลาสติกทุกชนิด และปลั๊กที่อัดสมัย

### ชนิดของวัสดุฐาน

นอกเหนือจากน้ำหนักบรรทุกแล้ว สิ่งสำคัญที่จะต้องคำนึงถึงคือวัสดุฐานที่เป็นฐานสำหรับติดตั้ง ความสามารถในการรับน้ำหนักของปลั๊กจะขึ้นอยู่กับแรงอัด (compressive strength) ของวัสดุฐาน คอนกรีตปลั๊กที่สามารถรับน้ำหนักเกาะยึดได้ในคอนกรีต อาจจะไม่สามารถรับน้ำหนักได้ในวัสดุฐานเกาะชนิดอื่น การยึดเกาะสำหรับวัสดุฐานดังกล่าวอาจจะต้องมีการพิจารณากันเป็นราย ๆ

### ชนิดของน้ำหนักบรรทุก

ชนิดของปลั๊กที่จะเลือกไม่ใช่คำนึงเฉพาะขนาด แต่จะต้องคำนึงถึงลักษณะน้ำหนักบรรทุกด้วยเช่นกัน วิศวกรผู้เข้าใจถึงหลักเบื้องต้นของแรงที่มีผลต่อสมรรถนะของปลั๊กจะทราบได้ว่าน้ำหนักบรรทุกเพียงอย่างเดียว ไม่ใช่เป็นตัวตัดสินการเลือกใช้ปลั๊ก แรงสั่นสะเทือนที่เกิดจากมอเตอร์อัดลมและเครื่องจักรกลต่างๆ สามารถทำให้เกิดแรงมากกว่าน้ำหนักคงที่หลายเท่าตัวทีเดียว และเมื่อออกแบบการยึดเกาะภายใน

ๆ ไม่คงที่ ดังนั้นสำหรับรถขนส่งมวลชน หรือเพดานของอุโมงค์รถไฟใต้ดิน สิ่งที่ต้องคำนึงอย่างมากคือแรงลมที่เกิดจากรถไฟขณะวิ่งผ่านด้วยแรงกระแทกก็เป็นอีกอันหนึ่งที่จะต้องคำนึงถึง ปลั๊กในโกดังเก็บสินค้าจะต้องทนแรงกระแทกอันเกิดจากการกระแทกของรถบรรทุกหรือรถยก

### ชนิดของสิ่งแวดล้อม

บ่อยครั้งที่วิศวกรมองข้ามความสำคัญของสิ่งแวดล้อมที่จะมีผล ต่อปลั๊กและไม่ได้เผื่อน้ำหนักบรรทุกเอาไว้ วิศวกรควรจะตั้งองค์การคำนึงถึงองค์ประกอบเหล่านี้อย่างจริงจัง องค์ประกอบที่สำคัญ ๆ ก็มี 1) อุณหภูมิสูงมากอาจทำให้ความเสถียรต่อการยึดเหนี่ยวของปลั๊กได้ 2) สารเคมีจากโรงงานหรือสภาวะของโรงงานอุตสาหกรรม อาจทำให้เกิดการผุกร่อนของปลั๊กได้ง่าย **ทิศทางของน้ำหนักบรรทุก**

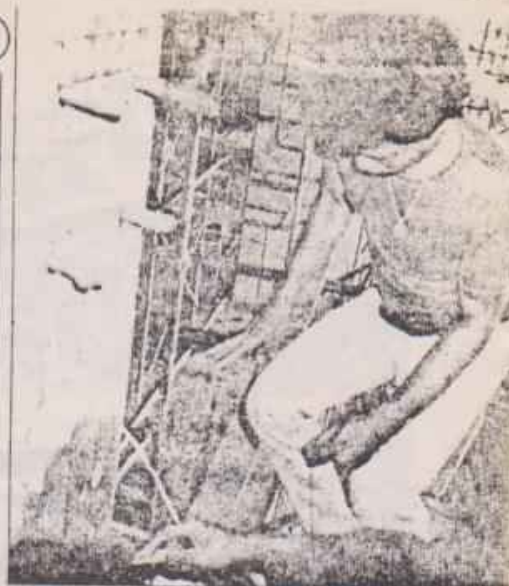
ทิศทางของน้ำหนักบรรทุกจะเป็นตัวกำหนดความสำคัญสมรรถนะ Tensile หรือ lateral load ของปลั๊กที่จะเลือกใช้ ถ้าหากว่าสมรรถนะทาง Tensile load เท่านั้นบริษัทผู้ผลิตปลั๊กจะพอใจ วิศวกรไม่ควรใช้ค่าในการออกแบบสำหรับ lateral load ทั้งนี้เพราะค่าทั้งสองต่างกัน ค่า Bending moment ที่กระทำต่อปลั๊กก็ควรจะคำนึงมาพิจารณาอย่างละเอียดรอบคอบด้วย

### ข้อมูลทางเทคนิคที่หาได้

จากที่กล่าวมาแล้ว จะเห็นว่าข้อมูลทางเทคนิคที่อาจหาได้มีความสำคัญต่อการออกแบบของวิศวกรเป็นอย่างมาก มีปลั๊กที่จำหน่ายในท้องตลาดเป็นจำนวนมากที่ไม่สามารถหาข้อมูลจำเพาะได้โดย โดยที่น้ำหนักบรรทุกที่จะต้องรับโดยปลั๊ก บางครั้งอาจถึงจุดวิกฤติ ดังนั้นวิศวกรผู้ออกแบบจึงจำเป็นต้องอ้างอิงที่จะต้องมีการทดสอบที่เชื่อถือได้จากผู้ผลิต ก่อนที่จะกำหนดชนิดของปลั๊กที่จะใช้ โดยเฉพาะการยึดเกาะที่สำคัญมาก ๆ

### การบริการแนะนำที่หาได้

แม้ว่าวิศวกรผู้ออกแบบจะพึงพิถีพิถัน



หรือมีความรอบคอบในการออกแบบเพียงใดก็ตาม ในเวลาติดตั้งจริง ๆ ปัญหาที่ติดตามมาจะมีอยู่เสมอ ๆ จากเหตุนี้จึงมีความจำเป็นและสำคัญที่สุดที่ควรเลือกปลั๊กจากผู้ผลิตหรือผู้จำหน่ายที่มีบริการให้คำปรึกษาแนะนำในสถานที่ก่อสร้างอย่างดีด้วย ผู้แทนจำหน่ายผลิตภัณฑ์นั้นในท้องที่จะต้องพร้อมที่จะส่งบุคลากรที่มีความรู้ความชำนาญส่งไปยังสถานที่ก่อสร้างหากมีปัญหายุ่งยากที่ไม่สามารถแก้ไขได้โดยผู้ติดตั้งได้ **ข้อควรคำนึงในการออกแบบระบบปลั๊ก**

ในการออกแบบระบบปลั๊ก วิศวกรผู้ออกแบบควรจะได้อ้างอิงถึงสิ่งต่างๆ เหล่านี้ คือ

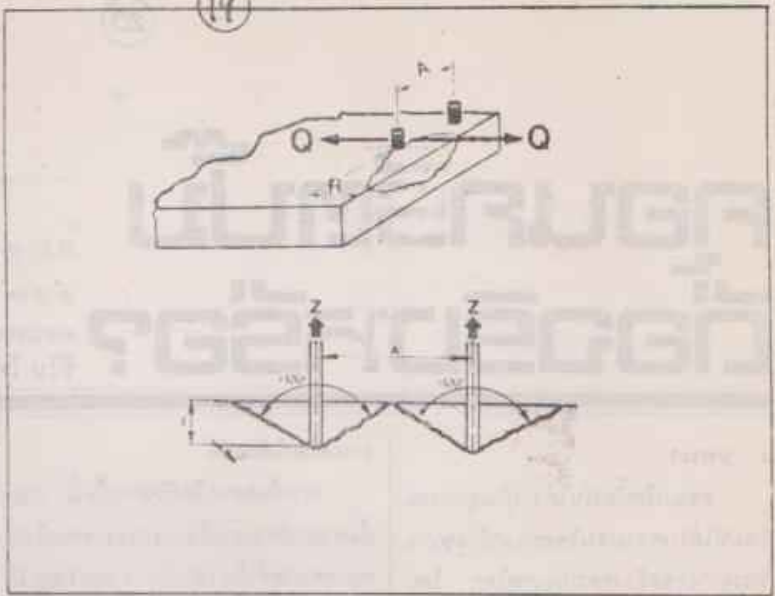
- 1) ขนาดของน้ำหนักบรรทุก
- 2) มุมของน้ำหนักบรรทุกที่จะกระทำทิศทางของแรง
- 3) ความแข็งแรงของฐานคอนกรีต
- 4) ความหนาของฐานคอนกรีต
- 5) ระยะห่างของปลั๊ก
- 6) ระยะห่างของปลั๊กจากขอบของคอนกรีต
- 7) แรงจะมีทิศทางเข้าหรือออกจากขอบของคอนกรีต

ความจำเป็นในการพิจารณาสำหรับ 4 ข้อแรกได้กล่าวย่อ ๆ มาแล้ว แต่ 3 ข้อหลังคือระยะห่างระหว่างปลั๊ก ยังไม่ได้กล่าวถึง



ระยะห่างระหว่างปลั๊ก (A)

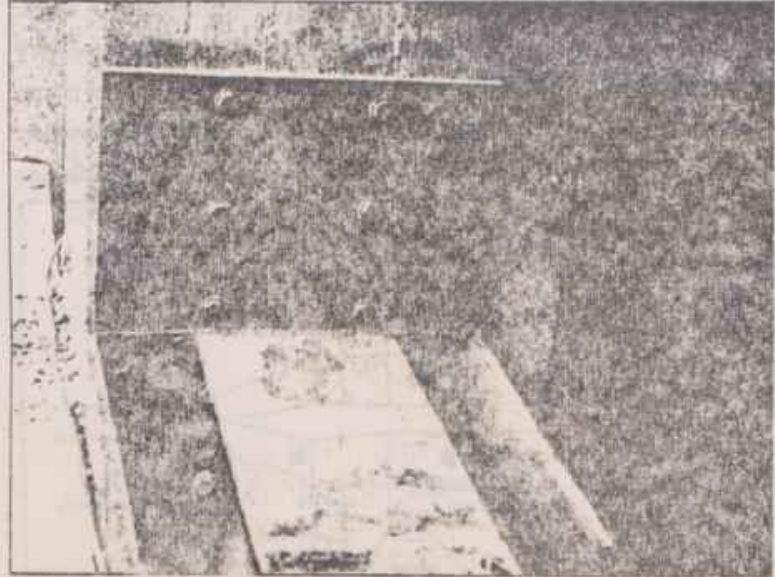
ระยะห่างระหว่างปลั๊กฝังคอนกรีต (A) คือระยะต่ำสุดระหว่างศูนย์กลางของปลั๊กฝังคอนกรีตคู่หนึ่ง ๆ ทั้ง ๆ ไป (A) จะเป็นระยะทวีคูณของความลึกที่ปลั๊กฝังเข้าไปในคอนกรีต ( ) ระยะ ( ) อาจจะแตกต่างกันไปตามชนิดของปลั๊กฝังคอนกรีต และตามารตลระยะตั้งกล่าวลงมาได้โดยใช้วิธีการต่าง ๆ จากการวิบัติของปลั๊กฝังคอนกรีตเนื่องจากการวิบัติหรือแตกของคอนกรีต คอนกรีตที่แตกแยกออกไปจะรักษารูปลักษณะเป็นกรวย โดยไม่ทำให้เกิดการกระทบกระเทือนต่อปลั๊กฝังคอนกรีตอื่น ๆ



ระยะจากขอบ (R)

(R) คือระยะต่ำสุดจากจุดศูนย์กลางของปลั๊กฝังคอนกรีตกับขอบของสิ่งก่อสร้าง โดยไม่ทำให้เกิดการวิบัติของสิ่งก่อสร้าง เนื่องจากน้ำหนักที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกที่ใช้ปลั๊กฝังคอนกรีต ต่างกับผลกระทบที่เกิดขึ้นเนื่องจากระยะระหว่างปลั๊กฝังคอนกรีต (A) ระยะจากขอบของสิ่งก่อสร้าง จะต้องนำมาพิจารณาในการคำนวณทิศทางของน้ำหนักบรรทุกด้วยหากทิศทางของการกระทำของน้ำหนักบรรทุกอื่น ๆ ที่มีระยะจากขอบของสิ่งก่อสร้างที่เท่า ๆ กัน

(System approach)



จากน้ำหนักบรรทุกที่ปลั๊กฝังคอนกรีต สมัยใหม่สามารถรองรับได้ จึงมีความสำคัญมากที่รัฐที่จะเข้าไปในคอนกรีต เพื่อที่ฝังคอนกรีตจะต้องมีขนาดที่ถูกต้องและแม่นยำ ดังนั้นเพื่อให้รู้และปลั๊กฝังคอนกรีตตรงตามที่ทางผู้ผลิตได้แนะนำมา ผู้ปรณี่จะใช้ในการเจาะรูในคอนกรีต หรือสว่านเจาะ ควรจะใช้ผู้ปรณี่เหล่านี้ จาก ผู้ผลิตปลั๊กฝังคอนกรีตนั้น ๆ จากการ ใช้ผู้ปรณี่ในการเจาะและปลั๊กฝังคอนกรีต ของผู้ผลิตทั้งหมดเหล่านี้จะสามารถจัดปัญหา ความวิบัติของปลั๊กฝังคอนกรีตได้ อันจะยังผลให้ปัญหาการติดตั้งผู้ปรณี่มีผิดพลาด

หมดไปได้

สรุป

จากการที่มีการก่อสร้างอาคารสูง ๆ เพิ่มขึ้นอย่างมากมาในปัจจุบันนี้ ทำให้วิศวกรจำเป็นต้องใช้การยึดเกาะฝังคอนกรีตด้วยกรรมวิธีทันสมัยตามมาด้วย การยึดเกาะไม่ใช่มีเพียงห้อย หรือแขวนจากเพดานอย่างเดียวเท่านั้น แต่มีการยึดเกาะโครงสร้างที่เป็นเหล็กแข็งแรงและหนักมากกับคอนกรีตที่มีอยู่เดิมด้วย จากวิวัฒนาการในการยึดเกาะโครงสร้างที่เป็นเหล็กแข็งแรงและหนักมากกับคอนกรีตที่มีอยู่เดิมด้วย จากวิวัฒนาการในการยึดเกาะคอนกรีตด้วยปลั๊กฝังคอนกรีตเรื่อยมา ทำให้วิศวกรสามารถใช้ปลั๊กฝังคอนกรีตได้อย่างสะดวกและเชื่อถือได้ แต่ในเวลาเดียวกันวิศวกรจะต้องใช้ความรอบคอบในการพิจารณาตัดสินใจเลือกใช้ปลั๊กฝังคอนกรีตให้ตรง ถูกต้องกับวัตถุประสงค์ของงาน เพื่อให้แน่ใจว่าข้อปัญหาต่างๆ ได้มาใช้ในการพิจารณาแล้ว เพื่อเป็นการช่วยการตัดสินใจเข้า ในปัจจุบันนี้มีผู้ผลิตปลั๊กฝังคอนกรีตที่เชื่อถือได้หลายรายสามารถให้ข้อมูลต่างๆ ได้คือผู้แล้ว

อ้างอิง : Modern Anchoring Technology in Building construction : K.T.Phua, Hilti Far East Pte. Ltd.

# คอนกรีตปั๊ม ต้องรีบหรือ?

ดร. บอวิทย์ บุญเหลือ ★

B.E. (Sydney), PhD (New South Wales),  
ดำรงตำแหน่งผู้จัดการทั่วไป บริษัท ซีโน-ไทย  
คอนสตรัคชั่น เซอร์วิสเซส จำกัด (เดิมบริษัท  
ซีโน-ไทย อควิล่า จำกัด)

## 1. บทนำ

คอนกรีตปั๊ม นับได้ว่าเป็นอุปกรณ์ใหม่ที่ได้รับความสะดวกอย่างกว้างขวางในวงการก่อสร้างของประเทศไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในยุคซีซีของซีซีวอล์คเกอร์ อาคารชุดที่เรียกว่าคอนโดมิเนียมในระยะ 2 ปีที่ผ่านมา ทั้งนี้เนื่องจากการใช้คอนกรีตปั๊มอำนวยความสะดวกอย่างมากในการทำงานคอนกรีตในที่สูง ในที่ลึก ในที่กว้าง ในที่แคบ และในที่ที่ต้องการความรวดเร็วในการเทคอนกรีต

ความจริงคอนกรีตปั๊มมีใช้เครื่องมือใหม่ หากจะให้มีการนับอายุตามมนุษย์วิสัยแล้วคอนกรีตปั๊มรุ่นแรก ๆ ก็คงมีอายุใกล้ครบเกษียณคือ 50 กว่าปีขึ้นไป แต่คอนกรีตปั๊มจัดได้ว่าเป็นเครื่องมือที่มีการวิวัฒนาการค่อนข้างช้า เพราะเหตุที่ว่าในการพัฒนาต้องใช้เวลานานถึง 30 ปี คอนกรีตปั๊มจึงเริ่มเดินได้ กล่าวคือ คอนกรีตปั๊มเพิ่งได้รับการติดตั้งบนรถพร้อมอุปกรณ์ส่งคอนกรีตในลักษณะข้อพับ (Boom) ครั้งแรกเมื่อประมาณ 10 กว่าปีมานี้เอง การเคลื่อนที่ได้โดยสะดวกนี้ทำให้คอนกรีตปั๊มมีวิธีการใช้งานที่เปลี่ยนไป และได้รับความนิยมอย่างสูงบนเส้นทางเศรษฐกิจของสภาวะปัจจุบัน

คอนกรีตปั๊มมีความแตกต่างอย่างมากจากเครื่องปั๊มน้ำ เปรียบได้กับปลาและวัวเหือง หรือถ้าจะกล่าวถึงคอนกรีตปั๊มเป็นเครื่องมือที่ถือต่อการใช้งานก็เห็นจะไม่มีผิดนัก ผู้ใช้งานจะต้องฉลาดด้วยความรอบรู้ และประสบการณ์จึงจะสามารถบังคับใช้

## งานเครื่องได้ผลที่ดี

การไม่คอนกรีตปั๊มใช้การไม่มา การปั๊มคอนกรีตหมายถึงการส่งของผสมซึ่งมีหลายขนาดทั้งจิว เล็ก กลาง และใหญ่ มีหลายสภาวะทั้งแข็ง เหลว และหนืด ของผสมที่อาจส่งไปตามท่อได้นั้นจะต้องมีสัดส่วนที่พอดีจึงจะสามารถเคลื่อนที่เป็นกลุ่มไปด้วยกันได้ดีสำเร็จ การแยกตัวของสิ่งที่มีผลอาจหมายถึงการเกาะตัวของส่วนที่แข็งในขณะที่ส่วนอื่นพยายามไหลซึมแยกออกไป ดังนั้นคอนกรีตที่มีสัดส่วนการผสมไม่เหมาะสำหรับกลไกการส่งโดยคอนกรีตปั๊มจะไม่สามารถใช้งานกับคอนกรีตปั๊มได้เลย เพราะจะมีปัญหาอุดตันเกิดขึ้น ซึ่งนี่นี้ต่างจากการปั๊มน้ำโดยที่ปั๊มดังกล่าวมีพฤติกรรมที่ไม่ดีต่อหน้าทุกประเภท

บทความนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะแจกแจงกลไกและหลักการอย่างย่อในการส่งคอนกรีตด้วยเครื่องคอนกรีตปั๊ม จัดจำกัดของสมรรถนะในหน้างาน การอ่านปัญหาเพื่อแก้ไข และการลดปัญหาด้วยข้อเสนอ

## แนะทั่วไป

## 2. เครื่องมือและอุปกรณ์ (Equipment and Accessories)

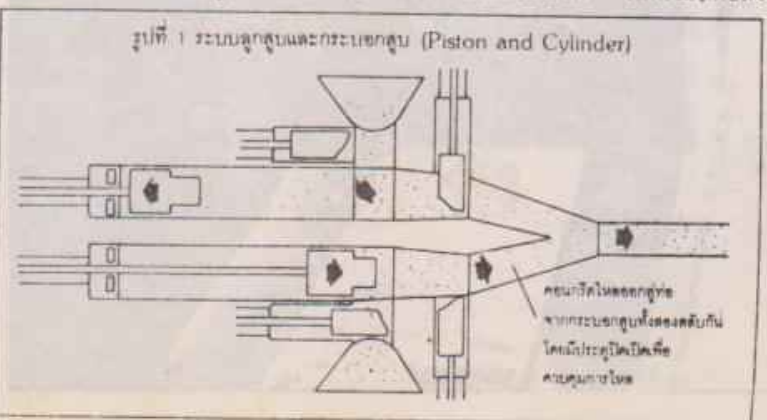
### 2.1 เครื่องมือและหลักการ

กลไกในการเคลื่อนคอนกรีตนั้น อาจจัดแบ่งได้เป็น 2 ระบบ

### 1. ระบบลูกสูบ (Piston)

ระบบนี้มีลักษณะเช่นเดียวกับลูกสูบและกระบอกสูบ (Piston & Cylinder) ของเครื่องยนต์ทั่วไป การเคลื่อนที่ของลูกสูบกระทำโดยระบบทางกล (Mechanical) หรือระบบน้ำมันไฮดรอลิก (Hydraulic) ลักษณะเครื่องส่วนใหญ่ประกอบด้วยลูกสูบ 2 ชุด ทำหน้าที่ประสานงานในการดันคอนกรีตเข้าสู่ท่อส่งเดียวกัน โดยมีการดันสลับกันอย่างต่อเนื่อง (ดูรูปที่ 1) ในการดันแต่ละครั้งจะมีเสียงดังคล้ายลักษณะการยิงภายในท่อ การสั่นสะเทือนของท่อจึงมีเป็นระยะ ๆ ทุกครั้งที่ลูกสูบเคลื่อนที่ สำหรับระบบขับเคลื่อนแบบไฮดรอลิกนั้น สามารถติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันของน้ำมันได้สะดวก ในกรณีที่ท่อส่ง

รูปที่ 1 ระบบลูกสูบและกระบอกสูบ (Piston and Cylinder)



คอนกรีตมีการหดตัว แรงดันของน้ำจึงสูงกว่าปกติเป็นสัญญาณเตือนให้ทราบล่วงหน้า ส่วนระบบทางกลนั้นแรงดันไม่สม่ำเสมอเนื่องจากใช้ระบบข้อเหวี่ยง (Crank and Connection Rod) ในกรณีข้อเหวี่ยงและในกรณีที่เกิดการหดตัวขึ้นไม่สามารถลดแรงดันได้เช่นเดียวกับระบบไฮดรอลิก ด้วยเหตุนี้ระบบขับเคลื่อนแบบไฮดรอลิกจึงได้รับความนิยมอย่างแพร่หลาย

**2. ระบบบีบ (Squeeze)**

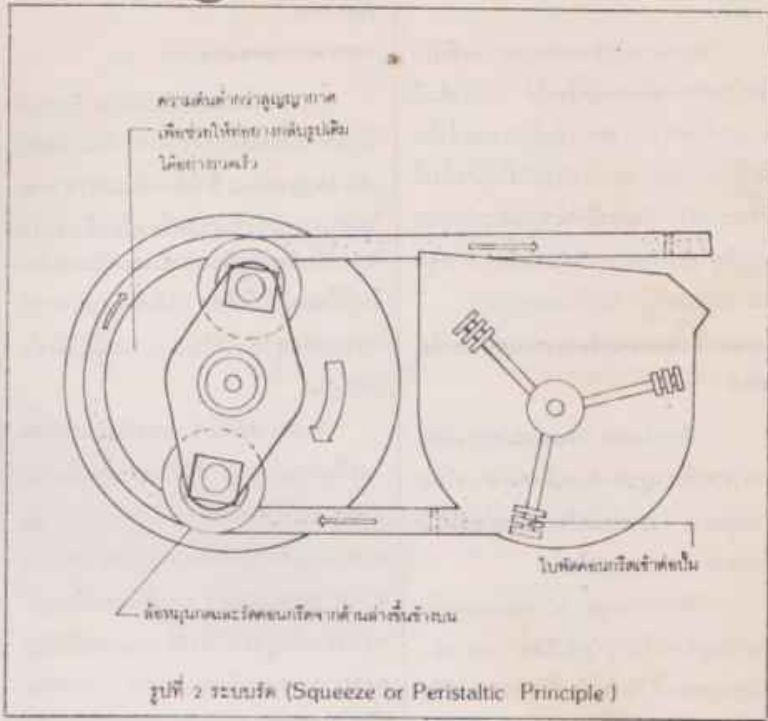
ระบบนี้มีลักษณะคล้ายการบีบยาสิฟันออกจากหลอด ลักษณะเครื่องมือประกอบด้วยห้องสูญญากาศที่มีข้อยางอ่อนส่งคอนกรีตอยู่ในภายใน การขับเคลื่อนกระทำโดยล้อหมุน ซึ่งจะกวัดคอนกรีตในท่อจากด้านล่างขึ้นด้านบน (ดูรูปที่ 2) ท่อที่ถูกบีบแล้วจะขยายตัวกลับรูปเดิมอย่างรวดเร็วเนื่องจากคอนกรีตที่ไหลเข้าแทนที่ในท่อ

มีความดันสูงกว่าความดันของห้องสูญญากาศภายนอกท่อ กลไกชนิดนี้ไม่ต้องใช้ประตูเปิดปิด (Valve) ในการส่งคอนกรีต การสึกหรอของประตูเปิดปิดจึงไม่มี การรั่วซึมของน้ำปูนที่ประตูเปิดปิดจึงไม่มีเช่นกัน แต่การสึกหรอของท่ออย่างสูง คอนกรีตมีประเภทที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตเหลวและใช้ทดแทนหินที่มีเหลี่ยมคมเพื่อลดการสึกหรอของท่ออย่าง การส่งคอนกรีตในแนวตั้งของเครื่องประเภทนี้มีขีดความสูงจำกัดเพียงประมาณ 40 เมตร เมื่อเปรียบเทียบกับแบบระบบลูกสูบซึ่งอาจส่งได้สูงถึงกว่า 300 เมตร ในบางกรณี

**2.2 ท่อและอุปกรณ์ประกอบ**

**ท่อเหล็ก (Steel Pipeline)**

ใช้สำหรับส่งคอนกรีตมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่างๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของผู้ผลิต โดยทั่วไป ท่อขนาดเล็ก (7.5 ซม. ถึง 10 ซม.) มีน้ำหนักเบาจึงช่วยให้งานติดตั้งกระทำได้รวดเร็วทำให้เหมาะสำหรับการส่งคอนกรีตในแนวตั้ง ส่วนท่อขนาดใหญ่ (10 ซม. ถึง 18 ซม.) เหมาะสำหรับงานใน



รูปที่ 2 ระบบบีบ (Squeeze or Peristaltic Principle)

แนวขนหรืองานที่คอนกรีตมีแรงเสียดทาน (Friction) สูง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของท่อควรใหญ่กว่าขนาดใหญ่สุดของหิน 3 ถึง 4 เท่าตัว

**ท่อน้ำ (Flexible Hose)**

ชนิดปลายท่อเหล็กเพื่อความคล่องตัวในการเคลื่อนที่หรือกระจายคอนกรีตไปสู่บริเวณข้างเคียง

**ข้อต่อท่อ (Pipe Coupling)**

ใช้สำหรับประกอบชิ้นส่วนต่างๆ ของท่อเข้าด้วยกัน ข้อควรระวังจะต้องประกอบด้วยห่วงยางกันซึม สาเหตุสำคัญอย่างหนึ่งที่ทำให้เกิดการอุดตันในท่อ (Blockage) นั้นสืบเนื่องมาจากการซึมออกของน้ำปูนที่ข้อต่อ

**ประตูปิดท่อ (Shut off Valve)**

ใช้สำหรับติดตั้งบริเวณจุดต่ำสุดของท่อแนวตั้งเพื่อรับแรงดันจากน้ำหนักของคอนกรีตในท่อ ในกรณีการปั๊มสู่ที่สูงเมื่อเครื่องหยุดปั๊มเป็นระยะเวลาสั้นๆ เพื่อการหยุดพักหรือระงับการส่งคอนกรีตก็ตามจะต้องใช้ประตูปิดไว้แล้วถ่ายคอนกรีตใน

ท่อออกเสียก่อน จึงเดินเครื่องใหม่ได้ มิฉะนั้นแรงดันจากน้ำหนักคอนกรีตในท่อจะสูงเกินกว่าสมรรถนะของเครื่องมือเริ่มขับเคลื่อนใหม่ และจะทำให้มีการสึกหรอสูง

**ปืนล้างท่อ (Wash-out gun)**

เป็นท่อขนาดสั้นมีปลายด้านหนึ่งปิด มีท่อต่อเข้าสู่เครื่อง Air Compressor และท่อน้ำ ใช้สำหรับล้างท่อให้สะอาดทุกครั้งเมื่อเครื่องหยุดการใช้งาน การล้างท่อกระทำโดยการใช้ลูกบอลของน้ำที่บีบอัดรอบบ้านที่สูมน้ำบรรจุไว้เป็นปืนล้างท่อและใช้ Compressed air ไล่ให้เคลื่อนที่ทำความสะอาดภายในท่อ (ดูรูปที่ 3)

**3. คอนกรีตที่ควรถูกใช้กับเครื่องปั๊ม (Pumpable Concrete)**

ตามที่กล่าวแล้วในบทนำคอนกรีตที่จะใช้กับงานคอนกรีตปั๊มได้นั้นจะต้องมีคุณสมบัติของส่วนผสมที่เหมาะสม ส่วนผสมดังกล่าวได้แก่ส่วนผสมที่สามารถผ่านกำลังดันของเครื่องไปสู่จุดต่างๆ ของท่อได้มากกว่าแรงต้านทานของคอนกรีตที่มีอยู่ในช่องท่อและจากน้ำหนักของคอนกรีต

ภายใน

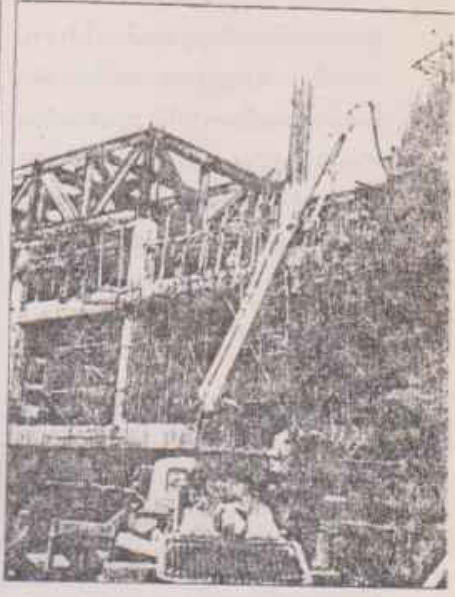
โดยหลักการของเหลวเท่านั้นที่เป็น  
สื่อผ่านกำลังดันของเครื่องได้ กำลังดันนี้  
จะถูกส่งต่อไปยังส่วนที่เป็นของแข็งใน  
ลักษณะของการเกาะกลุ่มกันไปโดยไม่มี  
การแยกตัว ในกรณีที่มีน้ำปูนแยกตัวออก  
จากหิน (Bleeds or Segregate) การอุดตัน  
(Blockage) จะเป็นผลตามมา  
คุณสมบัติของคอนกรีตที่เหมาะสมกับงานบ่ม  
ได้แก่

1. มีารไหลตัว (Workability) เพียงพอที่จะเปลี่ยนรูปร่างและทิศทางไหลผ่านจุดต่างๆ ภายในเครื่องได้โดยไม่มีทำให้เกิดแรงต้านทานมากเกินไป
2. มีเกาะกัน (Cohesiveness) เพียงพอที่จะไม่ทำให้เกิดการแยกตัว (Segregation) และเมื่อปาดผิวคอนกรีตด้วยกรวยหรือมีชั้นน้ำปูน (Film of Layer of Cement Paste) ให้เห็นเพียงพอในการใช้หล่อขึ้นรูป
- ลักษณะ 2 ประการนี้ยังไม่มียังวิธีการทดสอบที่สามารถทำนายคุณสมบัติดังกล่าวได้อย่างน่าเชื่อถือ การทดสอบที่ใช้เป็นหลักในปัจจุบันได้แก่
  1. การทดสอบการยุบตัว (Slump Test)
  2. การวัดช่องโพรง (Voidmeter)
  3. การวิเคราะห์ขนาด (Sieve

Analysis)

จากผลการทดสอบพบว่า

1. ส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์น้อยกว่าปริมาณของช่องโพรงในมวลของแข็ง (Aggregate) ซึ่งได้แก่หินและทรายจะไม่สามารถใช้งานกับเครื่องบ่มได้ และไปทางกลับกันถ้าปริมาณซีเมนต์มีมากเกินไปก็มิผลทำให้เกิดการเสียดทานผิวภายในช่องท่อสูงทำให้ไม่สามารถบ่มได้เช่นเดียวกัน
  2. ขนาดต่างๆ ของหินและทรายในปริมาณต่างๆ กันที่ประกอบเข้าเป็นส่วนผสมมีอิทธิพลอย่างสูงต่อความสามารถในการบ่มได้ของคอนกรีต ปริมาณต่างๆ ของหินและทรายจะต้องพบปะกันจะบรรจุเข้าสู่ช่องโพรงซึ่งกันและกันนับแต่ขนาดใหญจนถึงขนาดเล็ก การขาดปริมาณของหินและทรายบางขนาดหมายถึงการทำให้เกิดช่องโพรงเพิ่มขึ้นจึงมีผลโดยตรงต่อการสังแรงดันของเครื่องสูบลมคอนกรีต การควบคุมสัดส่วนของขนาดหินและทราย (Gradation) จึงมีความสำคัญยิ่งต่อการบ่ม นอกจากนี้ลักษณะของหินยังมีส่วนทำให้เกิดช่องโพรงที่แตกต่างกันอีกด้วย เช่นหินลักษณะแบนและคมทำให้มีช่องว่างมากกว่าหินกรวด เป็นต้น
- การควบคุมคุณสมบัติที่กล่าวนี้จะต้องแตกต่างกันไปตามผลการทดสอบของผู้ผลิต

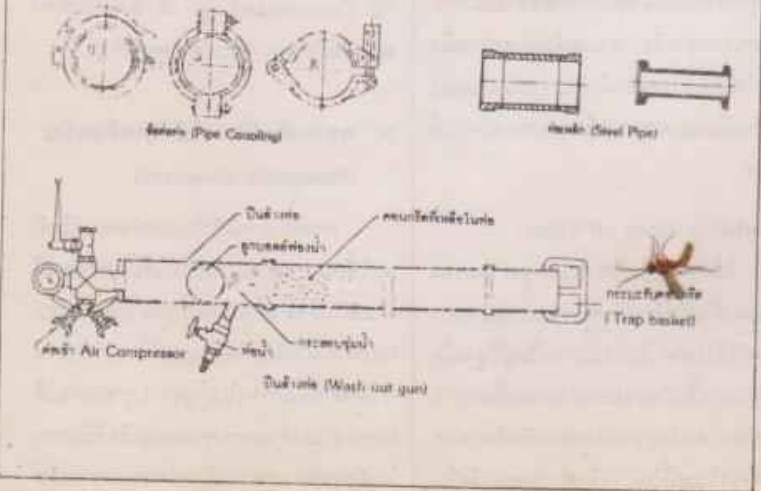


เครื่อง ซึ่งจะให้ข้อมูลประเภทนี้ในคู่มือแก่ผู้ใช้บริการ

ความเข้าใจที่ว่าคอนกรีตสำหรับงานบ่มจะต้องใส่สารผสม (Admixture) เพิ่มในจึงตลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง การใช้สารผสมมีส่วนช่วยทำให้คุณสมบัติการไหลตัวและการแข็งตัวของคอนกรีตดีขึ้นเพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะการทดสอบบ่ม แต่จะไม่ช่วยแก้ปัญหาให้คอนกรีตบ่มได้เสมอไป หรือความเข้าใจที่ว่าคอนกรีตสำหรับงานบ่มจะต้องบ่มปูนมากก็ไม่เป็นความจริงเสมอไป ด้วยเหตุนี้ว่าการใช้ปูนมากเกินไปปริมาณช่องโพรงของหินและทรายมีผลเสียต่อการใช้บ่มเช่นเดียวกัน

ปัญหาใหญ่คือผู้ส่งคอนกรีตสำเร็จควรให้ความสนใจกับการปรับสัดส่วนของหินทรายให้เป็นไปตามข้อกำหนด (Specification) ของเครื่องบ่ม แหล่งผสมคอนกรีต (Batching Plant) ควรจัดช่องแยกหินทรายออกเป็นหลายขนาด เพื่อเมื่อรวมแล้วจะได้สัดส่วนของหินทรายอยู่ในข้อกำหนดของเครื่อง ในปัจจุบันแหล่งผสมหลายแห่งจัดช่องแยกหินและทรายไม่เพียงพอคือมีเพียง 2 หรือ 3 ช่อง การควบคุมสัดส่วนจึงมักไม่เป็นไปตามหลักการที่ควรเป็น มีผลทำให้เครื่องบ่มคือคอนกรีตที่หน้างานบ่อยครั้ง ผลกระทบนี้เองจากความคลาดเคลื่อนนี้จะมี

รูปที่ 3 ท่อและอุปกรณ์ประกอบ



แสดงออกชัดเจนเมื่อมีการส่งคอนกรีตขึ้นสู่ระดับสูงเกิน 40 เมตรขึ้นไป หากปัญหานี้ได้รับความสนใจแก้ไขคอนกรีตปั๊มก็น่าที่จะเป็นเด็กใหม่ที่มือนาคดในวงการต่อไป มีฉะนั้นขนาดจะมีแนวโน้มตามคติพจน์ที่ว่า "ไม่ตายก็เลี้ยงไม่โต"

4. ข้อเสนอแนะในการใช้คอนกรีตปั๊ม

ผู้ใช้คอนกรีตปั๊มจะต้องมีความเข้าใจดีในหลักการดังต่อไปนี้

- 1. กลไกของการเดินเครื่องปั๊ม
- 2. วิธีการต่อท่อส่งคอนกรีต

คิด การตรวจสอบชิ้นส่วนที่อาจสึกหรอของลูกสูบและประตูปิดเปิด เป็นต้น ผู้ใช้จะต้องตามการแยกกระบวนต่าง ๆ ได้โดยไม่มีสับสน การตรวจสอบเพื่อค้นหาปัญหาที่เกิดขึ้นให้กระทำเป็นระบบ ๆ ไป

การต่อท่อคอนกรีต ให้รู้จักวิธีต่อท่อโดยไม่ให้น้ำปูนรั่ว การติดตั้งท่อในแนวนอนและแนวตั้ง การทำแท่นรับท่อ การเกาะผนังหรือเกาะค้ำยันของท่อตั้ง การติดตั้งห้องงอเพื่อช่วยรับแรงคั่นกักตัวของน้ำหนักคอนกรีตในท่อ การใช้ท่อขยายที่ปลายท่อเหล็ก การติดตั้งท่อระหว่างการ

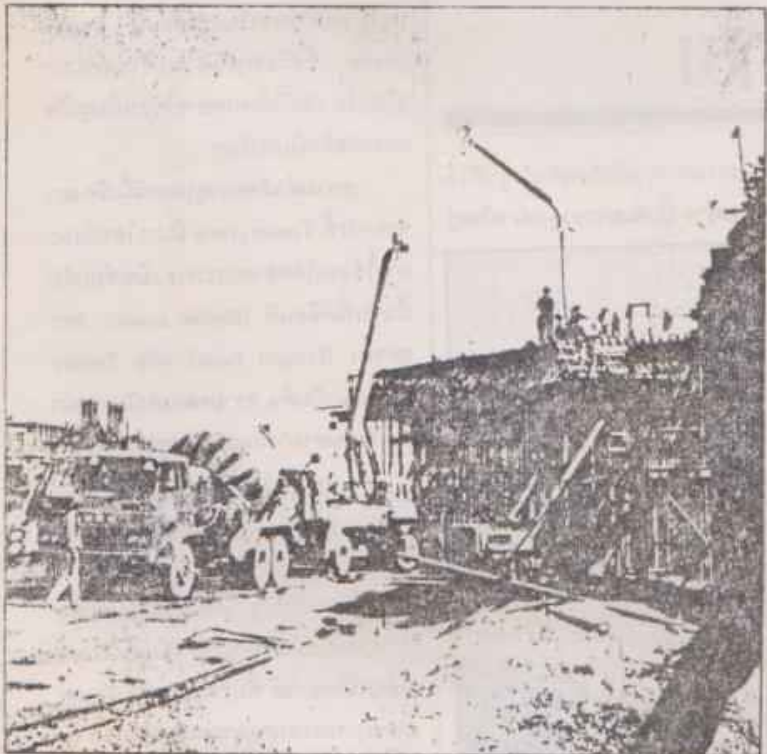
ครั้งที่มีความบกพร่องมีส่วนมาจากส่วนผสมของคอนกรีตที่มีการควบคุมไม่ดีพอ และไม่ได้ได้รับความสนใจที่จะใช้ส่วนผสมตามที่ผู้ผลิตระบุไว้ อย่างไรก็ตามแม้ว่าผู้ควบคุมเครื่องจะมีความชำนาญสูง เครื่องคอนกรีตปั๊มก็ยังมีขีดจำกัดของสมรรถนะโรงงานทำให้มีโอกาเสที่จะเกิดขีดข้องขึ้นในระหว่างปฏิบัติงานได้ ด้วยเหตุนี้จึงขอแนะนำว่าในการเทคอนกรีตด้วยเครื่องปั๊มให้มีการจัดเตรียมการหยุดเงินไว้ด้วยเสมอ สำหรับหน่วยงานที่มี Tower Crane ประจำปัญหานี้จะลดลงและที่สำคัญก็จะต้องมีระบบสื่อสารที่กระหว่างแหล่งผสมปูนและผู้อยู่หน้างาน ในกรณีที่มีเหตุขัดข้องจะต้องหยุดการส่งรณได้ทันที การส่งรณในระยะเริ่มเครื่องไม่ควรให้เกินกว่า 2 คน เมื่อเครื่องเดินเป็นที่พอใจเรียบร้อยแล้วจึงค่อยให้ปล่อยรณผสมคอนกรีตมเพิ่มขึ้น ปัญหาความเสียหายของคอนกรีตที่มารอนี้เป็นปัญหาซึ่งเกิดขึ้นบ่อยครั้ง และควรได้รับความสนใจดูแลเป็นพิเศษเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาดังกล่าว

5. บทสรุป

การบริหารงานก่อสร้างในภาวะเศรษฐกิจปัจจุบัน มีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องใช้เครื่องมือและอุปกรณ์เข้าช่วยทำงาน เพื่อให้ประหยัดเวลาและประหยัดแรงงาน การใช้คอนกรีตปั๊มมีทั้งข้อดีและข้อเสียในดัว แต่ถ้าผู้ใช้มีความเข้าใจถึงกลไกและหลักการที่เกี่ยวข้องชนิดจำกัดของสมรรถนะโรงงาน ปัญหาในการใช้ก็จะลดน้อยลงและที่สำคัญก็คือถ้าคอนกรีตสำเร็จมีคุณภาพที่ควบคุมได้ตามขั้นระบุของผู้นผลิตเครื่องแล้วคำว่า "เครื่องปั๊มคอนกรีตคือสิ่งหรือ?" ก็คงจะไม่มีให้เป็นข้อสงสัย

เอกสารอ้างอิง

- 1. Guide to concrete pumping, Department of the Environment Building Reserch Establishment, SBN 11 670503 5
- 2. Put - meister Field report No. BP. 184 2 D/GB
- 3. Concrete for pumping, Put & meister BP 192 (B) GB
- 4. Put & meister, Site report No. BP 766 GB



3. ลักษณะของคอนกรีตที่ใช้ปั๊มได้และไม่ได้

สำหรับกลไกการเดินเครื่องปั๊มเครื่องปั๊มส่วนใหญ่จะประกอบด้วยลูกสูบและกระบอกสูบ ระบบน้ำมันไฮดรอลิค ปั๊มไฮดรอลิคระบบไฟฟ้าและระบบเครื่องชนิดสำหรับเครื่องปั๊มไฮดรอลิค การบำรุงรักษา การตรวจสอบแต่ละระบบ ควรกระทำด้วยความสม่ำเสมอ เช่นการตรวจสอบได้กรองน้ำมันไฮดรอลิค การตรวจสอบน้ำมันเครื่อง การตรวจสอบการรั่วของสายไฮโดร

เทคอนกรีต การใช้ประตูปิดท่อ (Shut off Valve) สำหรับการส่งคอนกรีตแนวตั้งที่มีความสูงมาก ๆ การตรวจการจุดดินในท่อ การล้างท่อ ทั้งหมดนี้เป็นสิ่งที่จะต้องเรียนรู้ชกจากทฤษฎีที่ทั่วไปแล้วยังต้องใช้ไหวพริบและประสบการณ์จากหน้างานมาประกอบอีกด้วย

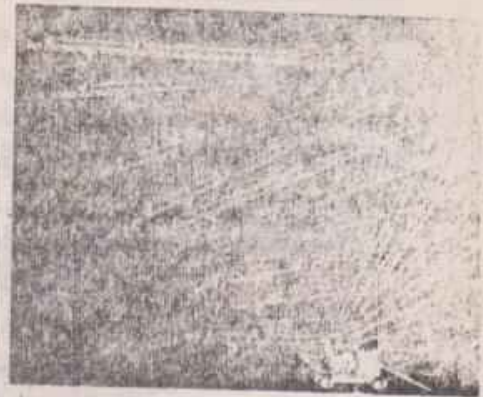
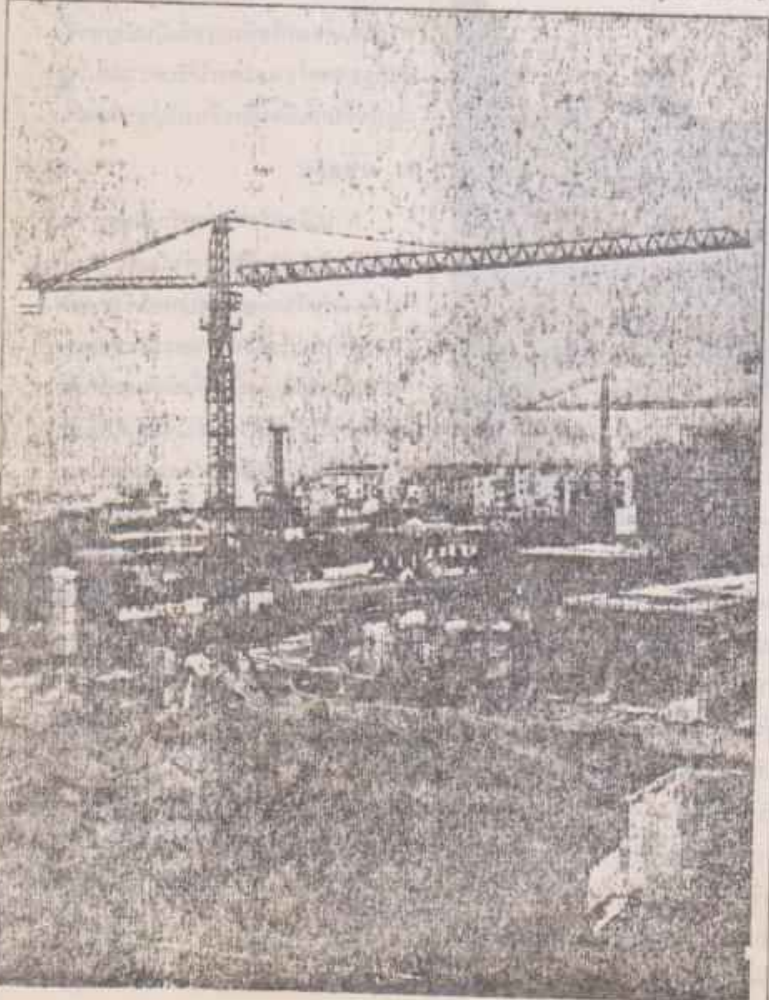
การให้คำแนะนำในลักษณะของคอนกรีตที่ดีและไม่ดีสำหรับคอนกรีตปัมนั้น นับเป็นหัวใจที่มีความสำคัญ สูงสุดในการใช้คอนกรีตปั๊ม ทั้งนี้เนื่องมาจากมีข้อย

The Advantages of Tower Cranes with Horizontal Jib in the Building Yard  
by Eric T. Tucker Chief Project Engineer of Alfa Cranes S.P.A. of Italy

# Tower Crane

## ปั้นจั่นยกของสูง ที่มีประสิทธิภาพ

ในบรรดาอุปกรณ์สำหรับยกย้าย ก่อสร้างธรรมดา ๆ หรือวัสดุสำเร็จรูปที่ใช้  
สิ่งของในการก่อสร้าง ไม่ว่าจะเป็นวัสดุ ในการก่อสร้าง ปั้นจั่นยกของสูงขนาดในญ

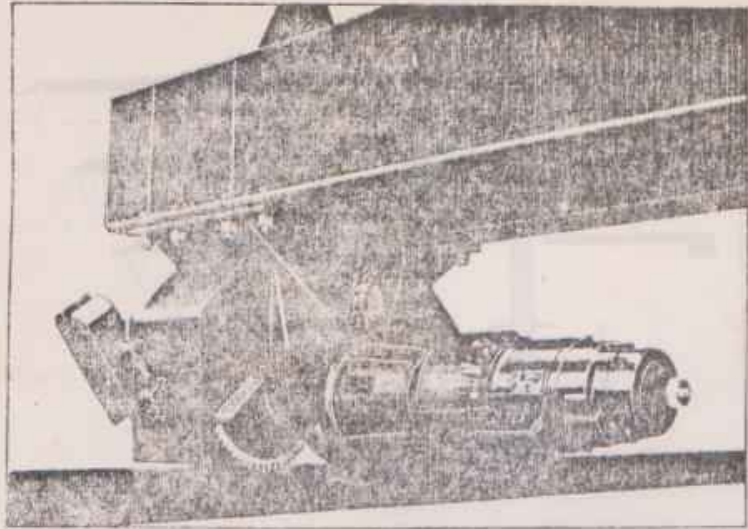


ซึ่งเรียกว่า Tower crane ที่มีแขนกางตั้ง  
ฉาก (Jib) ตามแนวนอนเป็นอุปกรณ์ที่มี  
บทบาทอย่างมากในงานด้านนี้ Tower  
crane ซึ่งถือกำเนิดในประเทศแถบ  
ยุโรปนั้น บัดนี้ได้แพร่หลายใช้งานในธุรกิจ  
การก่อสร้างไปทั่วโลก

ความล้ำเลิศของอุปกรณ์นี้เนื่องมา  
จากการที่ Tower crane มีประโยชน์และ  
การใช้งานได้หลายประการ เมื่อเทียบกับ  
ปั้นจั่นที่เคลื่อนที่ (Mobile crane), รถก  
ยกของ (Freight hoist) หรือ Trolley  
elevator เป็นต้น ความคล่องตัวในการนำ  
มาใช้งานสามารถแยกกล่าวย่อ ๆ ดังนี้

- ใช้พื้นที่สำหรับติดตั้งเพียงเล็กน้อย  
แต่สามารถครอบคลุมพื้นที่ภายใน  
งานมาก

ในกรณีที่มีฐานรองรับเป็นคอนกรีต  
ถาวรหรือมีรางสำหรับใช้ Tower crane  
เคลื่อนที่ไปมาได้ พื้นที่ที่แขนของ Tower  
crane จะครอบคลุมอยู่ระหว่าง 150 ถึง  
250 เท่าของพื้นที่สำหรับเป็นฐานติดตั้ง  
ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของอุปกรณ์ด้วย ถ้า  
สมารถแก้ปัญหาเรื่องที่ว่าข้างต้นให้ Tower  
crane เคลื่อนที่ไปมาได้แล้ว พื้นที่ที่แขน  
(Jib) จะครอบคลุมเพื่อการใช้งานจะทวีคูณ  
ขึ้นเป็นสองเท่าของความยาวของแขน  
ของ Tower crane นอกเหนือจากนี้หากว่า  
รางสำหรับการเคลื่อนอุปกรณ์สามารถทำ  
ไปได้ถึงลิ้นชักได้ด้วยแน่นอนที่เดียวที่พื้นที่  
การใช้งานจะต้องเพิ่มขึ้นอีกมากมาย ข้อ  
สำคัญที่เป็นคุณสมบัติพิเศษอีกประการ  
หนึ่งก็คือ Tower crane เคลื่อนที่ไปบนราง



Tower crane 394 ALFA ซึ่งมีอุปกรณ์ควบคุม SECAS (Special Electronic Control) ควบคุมที่ฐานของ  
เป็นจันสำหรับเคลื่อนย้ายเป็นจัน

พร้อม ๆ กับวัสดุที่จะยกย้าย แต่ทั้งนี้จะต้องมีวิศวกรที่มีความสามารถสูงพอควรที่เดียว

เป็นจันเคลื่อนที่ (Mobile crane) จะใช้งานในพื้นที่ที่จำกัด เพราะการขยับตัวของแขนของเป็นจันจะถูกจำกัด ทั้งนี้เพื่อที่จะรักษาจุดยกเว้นและเพื่อป้องกันการรบกวนทิศทางของบริเวณรอบ ๆ ที่มีความสูงระดับปานกลาง นี้อิสถานะสำคัญที่ทำให้เป็นจันเคลื่อนที่จำกัดใช้งานเฉพาะบริเวณแคบ ๆ เช่น การยกสิ่งของที่หนัก ๆ ด้วยความสูงเพียงเล็กน้อยและระยะสำหรับการยกย้ายไม่กี่เมตรมากนัก เหมาะสำหรับการใช้งานในระยะสั้น ๆ และเป็นภาระชั่วคราว การดำเนินการชั่วคราวจึงเป็นวิธีที่ดีที่สุดสำหรับผู้ใช้

เป็นจันเคลื่อนที่ (Mobile crane) ใช้งานหลาย ๆ จุดบนบริเวณของ ... สำหรับเคลื่อนย้ายและมีการจัดสรรที่ง่ายและสะดวก ซึ่งในบางครั้งบริเวณใช้งานหรือบริเวณก่อสร้างจะไม่เพียงพอ นอกจากนั้นความสามารถในการยกสิ่งของพร้อม ๆ กับการเคลื่อนตัวของเป็นจันก็ไม่สามารถกระทำได้เต็มที่ หรือถูกจำกัดหรือไม่ได้อย่างดี

เป็นการยกที่จะเปรียบเทียบถึงการยกสิ่งของด้วยรถยกในแนวตั้งหรือแนวตั้งที่อยู่กับที่ ทั้งนี้เพราะอุปกรณ์นี้ไม่สามารถจะแยกแขนและจันวัสดุที่ยกได้ ดังนั้นจึงต้องมีการยกย้ายบนพื้นดินพร้อม ๆ กับสิ่งของที่มีวางสำหรับการเคลื่อนที่ที่ง่ายและต้องปลดวางวัสดุที่ยกย้ายด้วยมือหรืออุปกรณ์อื่นใดมากรองรับ

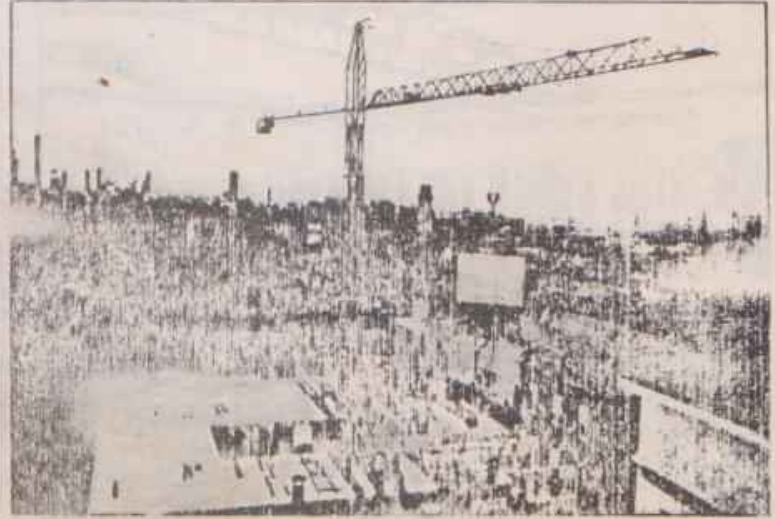
- การเคลื่อนที่ของรถยกที่จะยกย้ายไม่สะดวกสักใด
- โครงสร้างของ Tower crane ที่มี

แขนในแนวระนาบ ไม่จำเป็นต้องเปลี่ยนรูปร่างหรือขนาดของมันในขณะที่มันตั้งไว้ในแนวตั้ง ๆ Tower crane กับแขนของมันจะตั้งฉากอยู่ตลอดเวลา โดยมีวงกลิ้งที่เปลี่ยนรูปร่าง วัสดุเนื้อแข็งจะยกกับจะเคลื่อนที่ขึ้น ลงหรือเลื่อนไปมาในทิศทางใด ๆ ก็ตาม จะไม่ทำให้กระทบกระเทือนต่อการทรงตัวของ Tower crane แต่ประการใด

คุณลักษณะคล้าย ๆ กันไม่มีในจันเคลื่อนที่ เพราะการเคลื่อนตัวของวัสดุที่จะยกย้ายในแนวระนาบจะถูกจำกัดด้วยที่วางภายใต้แขนของเป็นจันเคลื่อนที่ที่มีโมเมนต์น้ำหนัก ซึ่งเสถียรเทียบเท่ากับในจันเคลื่อนที่คือ ขนาดของอุปกรณ์ต่าง ๆ ของเป็นจันทำให้บางครั้งต้องใช้พื้นที่ที่ประมาณ 14 x 12 เมตร เพื่อที่จะวางตั้งวางยังเพื่อการรองรับ ดังนั้น เป็นจันเคลื่อนที่จึงเหมาะสำหรับการใช้งานทั่ว ๆ ไปที่เคลื่อนที่ไปมาตามท้องถนน แต่ในบริเวณงานก่อสร้างแล้ว เป็นจันเคลื่อนที่จะอยู่กับที่เท่านั้น จึงไม่สามารถที่จะใช้ประโยชน์ในการยกย้ายที่ใช้ระยะไกล ๆ ได้

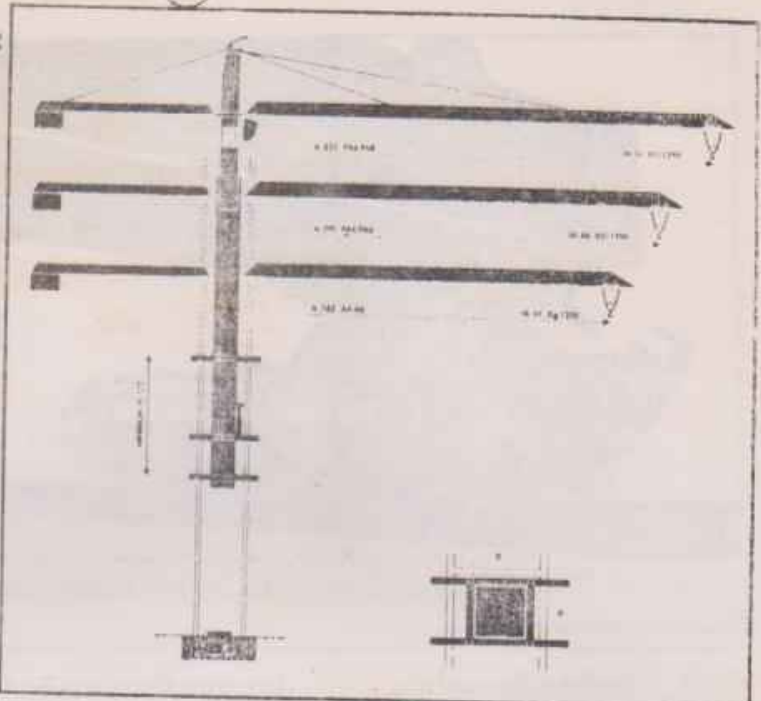
- ควบคุมการทำงานด้วยพนักงานเพียงคนเดียว
- แม้จะควบคุมการทำงานจะติดตั้งไว้บนส่วนสูงสุดของหอคอย (Tower) ภายในห้องควบคุมที่ผู้ควบคุมสามารถมองเห็นสิ่ง

Tower crane 395 ALFA ในขณะที่กำลังทำงานในบริเวณก่อสร้าง



การที่จะยกตัวโดยใช้สองมือ... จากกรณีนี้... (Remote control) ได้ดีกว่า ในบริเวณการทำงานที่...

Tower crane สามารถควบคุมและบังคับด้วยอุปกรณ์ระยะไกล (Remote control) ได้ดีกว่า ในบริเวณการทำงานที่... สามารถควบคุมความเร็วของการยกย้ายด้วย ผู้ควบคุมบังคับของ Tower crane...



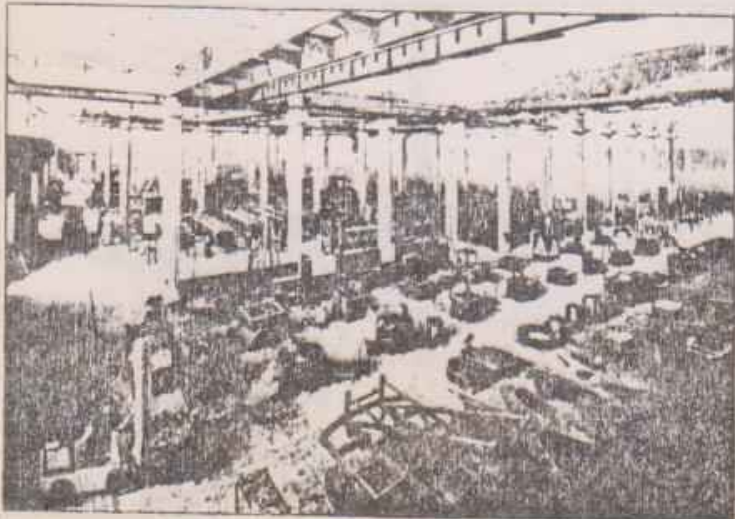
ในการแก้ปัญหาของ Tower crane สมัยใหม่ก็คือการที่สามารถเลือกใช้แขน (Jib) สามารถติดตั้งอุปกรณ์เพื่อการเคลื่อนย้ายด้วยล้อ 4 หรือ 6 ล้อ และมอเตอร์ 1, 2 หรือ 4 ตัวเพื่อการเคลื่อนย้ายบนรางในทางตรงหรือทางโค้ง และสามารถเปลี่ยนแปลง Crane จากการที่ต้องติดตั้งอยู่กับที่หรือเคลื่อนไปมาบนรางได้เป็นแบบไต่ระดับ (Climbing) ทำให้ประสิทธิภาพของการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างมาก

โครงสร้างของ Tower crane ที่สามารถเคลื่อนเสาสถาหรือส่วนประกอบต่างๆ ได้นี้ เป็นสิ่งพึงประสงค์ของผู้ใช้งานเป็นอย่างมาก การเพิ่มความสูงโดยการติดตั้ง Tower crane ไว้บนสิ่งก่อสร้างที่สูงโตๆ ทำให้ Tower crane สามารถใช้งานกับการก่อสร้างสะพานสูงๆ หรือสิ่งก่อสร้างที่สูงมากๆ ที่ความสูง 200 เมตรหรือมากกว่านั้นได้เป็นอย่างดี จากการใช้ Tower crane ใช้แบบแยกส่วน (Modular) ทั้งโครงสร้างที่เป็นหอคอยทางตั้งและแขนของปั้นจั่นประกอบด้วยการมีอุปกรณ์เพิ่มเติม เช่น รางสำหรับเคลื่อนตัวของปั้นจั่น เราสามารถเพิ่มส่วนตัวของ หรือส่วนของเครื่องจักรกลอื่น ๆ เช่นมอเตอร์และรถจ้ำไปในระบบได้ด้วย

ปัจจุบันเป็นการยากที่จะหาอุปกรณ์หรือเครื่องจักรเพียงตัวเดียวที่มีความสามารถและความคล่องตัวในการทำงานให้แก่ผู้รับเหมาก่อสร้างได้สูง จากที่กล่าวมาแล้วคงจะเป็นที่ประจักษ์แล้วว่า ความคล่องตัวของ Tower crane ที่มีแขนในแนวนอนทำให้อุปกรณ์ชนิดนี้เป็นสิ่งที่ไม่สามารถมองข้ามไป เมื่องานนั้นๆ ต้องการความเร็วแม่นยำ และประหยัด

สถานีของแยกส่วนได้ (Module)

ภาพภายในโรงงานประกอบเป็นจันท์ชื่อ ALFA ที่ประเทศอิตาลี





# การออกแบบ SKEW HYPERBOLIC PARABOLOID

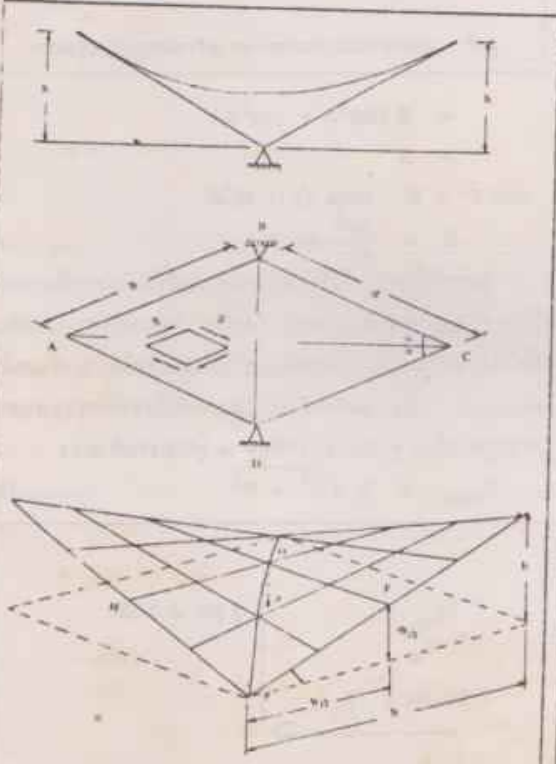
สุวิทย์ พรอภุคญพัฑ

## คำนำ

ลักษณะของ Skew hyper ที่กล่าวถึงในบทความนี้เป็น โครงสร้างที่เห็นลักษณะเบี่ยงเบนในระนาบแนวราบ มีจุดรองรับ 4 ที่ ๓ มุมตรงกันข้ามดังรูป 1. โดยทั่วไปมักจะพบเห็นการใช้ประโยชน์ของ Skew hyper เป็นหลังคาของโรงจอดรถ, ห้องอาหาร หรือการแสดงสินค้า Skew hyper นี้จัดเป็นโครงสร้างลักษณะประเภท Hyperbolic paraboloid บทความนี้เสนอแนวคิดและวิธีหนึ่งในการวิเคราะห์เพื่อออกแบบหลังคาประเภทนี้

## การวิเคราะห์

จากรูปที่ 1 พิจารณา Skew hyper ที่สมมาตร ภายใต้ระนาบในแนวราบรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูนที่มีจุดรองรับ 2 จุด ๓ มุมตรงกันข้าม จะได้แรงปฏิกิริยาในแนวตั้ง แต่ละจุดที่รองรับ  $\frac{wb^2}{2} \sin 2\alpha$  และแรงรวมมากที่สุดที่แนวแกนของคานารัดขอบ



รูปที่ 1 แสดงลักษณะของ Skew hyper

ซึ่งเกิดขึ้น ณ จุดรองรับ แต่ละจุดมีค่า  $\frac{wb^2}{\cos \phi}$  ดังนั้น แรงรวมมากที่สุดที่เกิดจากแรงในแนวแกนของคานารัดขอบทั้ง 2 คานในแนวตั้งได้

$$\frac{2 F_b}{\cos \phi} \sin \phi = 2 F_b \tan \phi = 2 F_h$$

$$\therefore 2 F_h = \frac{wb^2}{2} \sin 2\alpha$$

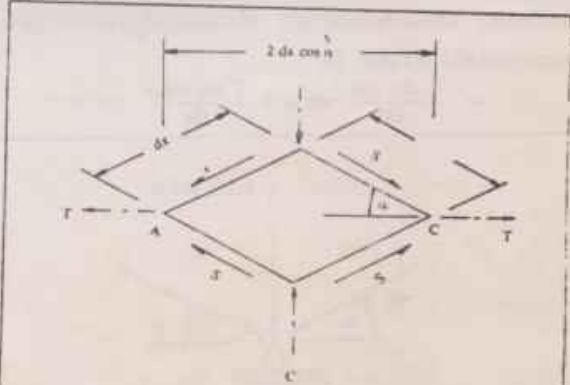
$$F = \frac{wb^2}{4h} \sin 2\alpha \quad \dots\dots(1)$$

ค่า F นี้เป็นแรงในแนวแกนที่เกิดขึ้นในคานารัดขอบ ซึ่งจะต้องเป็นแรงอัด ทั้งนี้เพื่อให้สมดุลกับแรงปฏิกิริยาในแนวตั้งของจุดรองรับ ดังนั้น แรง F จึงมีทิศทางพุ่งเข้าหาจุดรองรับ และมีแรงย่อยในแนวตั้งมีทิศทางพุ่งลง พิจารณาส່วนเล็ก ๆ ของโครงสร้างผิวบางรูปสี่เหลี่ยมขนมเปียกปูน (Rhomboidal shell element) ภายใต้อิทธิพลของ pure shear ดังรูป 2 ซึ่งจะได้ความเค้นหลัก (Principal force) ในแนว BD และ AC ดังนี้

$$C = \frac{2Sdx \sin \alpha}{2dx \cos \alpha} = S \tan \alpha \quad \dots\dots(2)$$

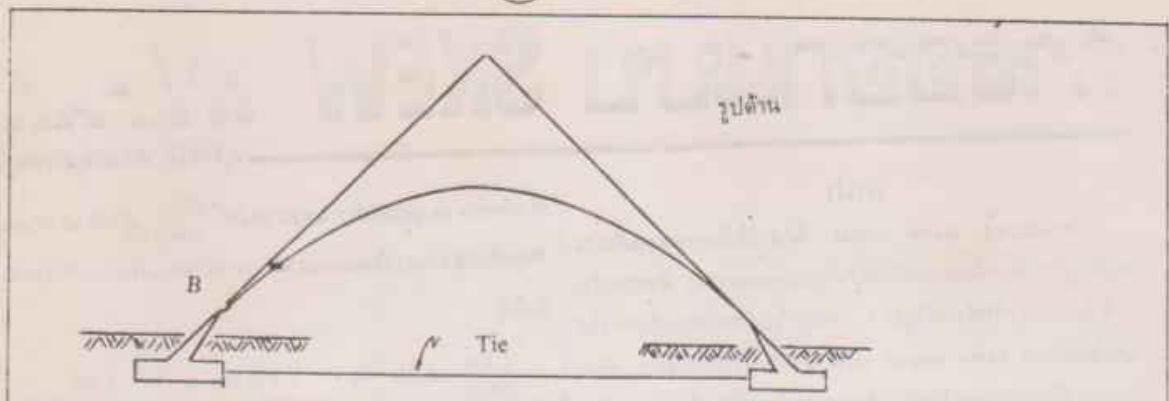
$$T = S \cot \alpha \quad \dots\dots(3)$$

และสามารถสรุปได้ว่า แต่ละ element ภายใต้อิทธิพลของแรงเฉือนจะมีความเค้นหลักในทิศทาง BD เป็นแรงอัด และทิศทาง AC เป็นความเค้นดึง ดังนั้น ในการออกแบบเหล็ก

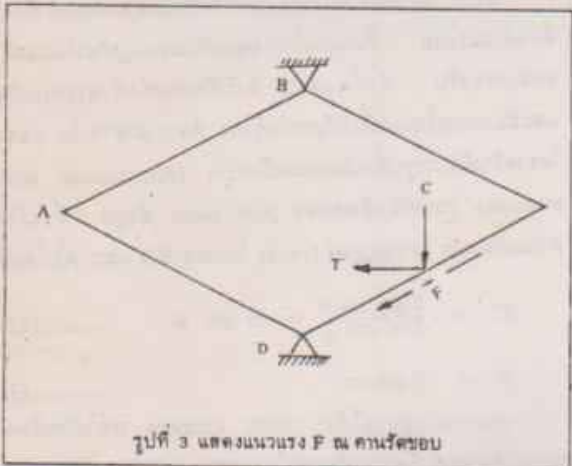


รูปที่ 2 แสดง element ภายใต้อิทธิพล Pure Shear

\*ตามวิทยุศากร ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า วิชาเขตธนบุรี.



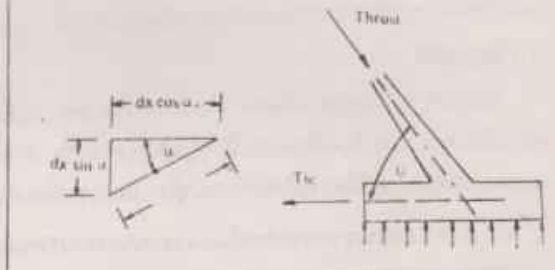
เสริม จึงต้องเป็นไปตามคุณสมบัติด้วย คือ เหล็กเสริมที่ต้องการจะเสริมอยู่ในแนว AC ของโครงสร้างผิวบางของครึ่งคานในแนว BD เป็นเพียงเหล็กเสริมกันการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ



รูปที่ 3 แสดงแนวแรง F ณ คานวัดขอบ

จากรูป 3 เมื่อพิจารณา element ในรูป 2 กระทำที่แนวคานวัดขอบ แสดงผลคือตามว่า คานวัดขอบเกิดแรงอัดกระทำในแนวแกนจริง ซึ่งได้ค่า คือ

$$F = \frac{C dx \cos \alpha}{dx} \sin \alpha + \frac{T dx \sin \alpha}{dx} \cos \alpha$$



รูปที่ 4 แสดงส่วนประกอบของโครงสร้างและรูปขยายฐานราก

$$= S (\sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha)$$

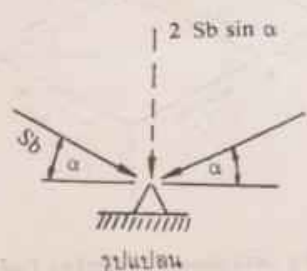
$$= S$$

แทน  $F = S$  ลงใน (\*) จะได้

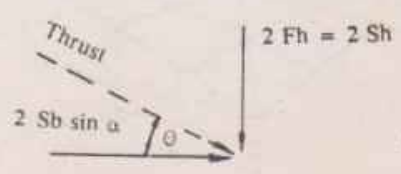
$$S = \frac{wb^2}{4h} \sin 2\alpha \quad \dots\dots\dots(4)$$

ในกรณีนี้เราจะเว้นไม่คิดความเค้นหลักในทิศทางตั้งฉากกับ Center line ของคานวัดขอบ ดังนั้น ในการออกแบบจะต้องเชื่อได้ว่า คานวัดขอบสามารถรับแรงในแนวแกนได้ S ค่าแรงในแนวแกนนี้ พิจารณาจะเห็นว่าเป็นแรงที่เกิดจากการสะสมจากปลายสูงมาเรื่อย ๆ และจะมากที่สุด ณ จุดรองรับทั้งสอง

$$F_{max} = S \sqrt{b^2 + h^2} \quad \dots\dots\dots(5)$$



รูปประกอบ



รูปที่ 5 แสดงรูปแรงย่อย ณ จุดต่อเสา

จะต้องพิจารณาถึงการเอียงศูนย์กลางของแรงอัดนี้ด้วย ซึ่งขึ้นอยู่กับ Centroidal axis ของคานเอง ซึ่งไม่ควรจะละเลยเสีย ทั้งนี้ อาจจะทำให้เกิดรอยร้าว (tensile crack) ขึ้นได้

ส่วนการออกแบบเสารองรับ ควรให้แนวแกนของเสาอยู่ในแนวเดียวกับแรง Thrust ของส่วนโครงสร้างที่อยู่เหนือดินทั้งหมด ดังรูป 4 โดยเสานั้นเอียงทำมุม  $\alpha$  กับแนวราบ ซึ่งจะได้แรงย่อยจากแรงอัดในคานวัดขอบที่มากที่สุด มีค่า  $Sb$  ในแต่ละคาน ดังนั้น เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 5 จะได้แรงย่อยทั้งหมดในแนวราบในทิศทางเส้นทะแยงมุม BD มีค่า  $2Sb \sin \alpha$

$$\therefore \theta = \tan^{-1} \frac{2Sh}{2Sb \sin \alpha}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\tan \phi}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (6)$$

$$\text{Magnitude ของ Thrust} = 2S \sqrt{h^2 + b^2 \sin^2 \alpha} \dots \dots \dots (7)$$

$$\text{แรงแรง Tensile force ใน Tie} = 2 Sb \sin \alpha \dots \dots \dots (8)$$

ผลจากการวิเคราะห์ที่แสดงไว้นี้ เป็นตามแนวทางของผู้เขียนที่ขอเสนอให้พิจารณาการใช้ Vertical equilibrium ของโครงสร้างทั้งหมด ประกอบกับ State of pure shear ของโครงสร้างคานบาง ก็น่าจะเพียงพอที่จะให้ความมั่นใจในการออกแบบได้

ตัวอย่าง ให้ออกแบบ Skew hyper ค้างมีข้อมูลต่อไปนี้

$b = 10m.$ ,  $2\alpha = 60^\circ$ ,  $h = 2m$ , ความหนาของ shell =  $6cm$ ,  $LL = 100 \text{ kg/m}^2$ , Total surface load =  $244 \text{ kg/m}^2$

$$S = \frac{wb^2}{4h} \sin 2\alpha = \frac{244 \times 10^2}{4 \times 2} \sin 60^\circ$$

$$= 2641.38 \text{ kg/m}$$

$$C = S \tan \alpha = 2641.38 \times \tan 30^\circ$$

$$= 1525.00 \text{ kg/m}$$

$$T = S \cot \alpha = 2641.38 \times \cot 30^\circ$$

$$= 4575.01 \text{ kg/m}$$

$$F_{\max} = S \sqrt{b^2 + h^2} = 2641.38 \sqrt{10^2 + 2^2}$$

$$= 26936.90 \text{ kg/m}$$

$$\text{Thrust} = 2S \sqrt{h^2 + b^2 \sin^2 \alpha}$$

$$= 2 \times 2641.38 \sqrt{2^2 + 10^2 \sin^2 30^\circ}$$

$$= 28448.53 \text{ kg}$$

$$\text{Tie} = 2Sb \sin \alpha = 2 \times 2641.38 \times 10 \sin 30^\circ$$

$$= 26413.80 \text{ kg}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\tan \phi}{\sin \alpha} = \tan^{-1} 0.40 = 21^\circ.48$$

$$\text{Vertical load transferred to each Looting} = 2Sh$$

$$= 2 \times 2641.38 \times 2 = 10565.52 \text{ kg}$$

$$\text{เหล็กเสริมที่ต้องการในแนวเส้นทะแยงมุม AC} = \frac{4575.01}{1200}$$

$$= 3.81 \text{ cm}^2/\text{m}$$

ใช้  $\phi$  8 mm @

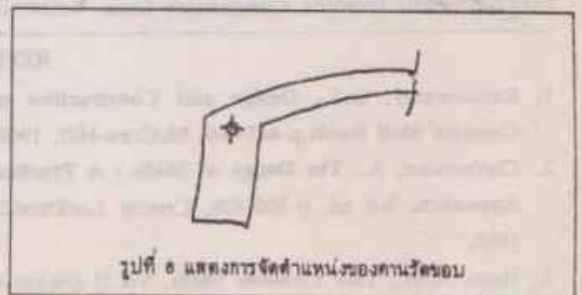
$$\text{เหล็กเสริมที่ต้องการในแนวเส้นทะแยงมุม BD} = \frac{1525}{1200} =$$

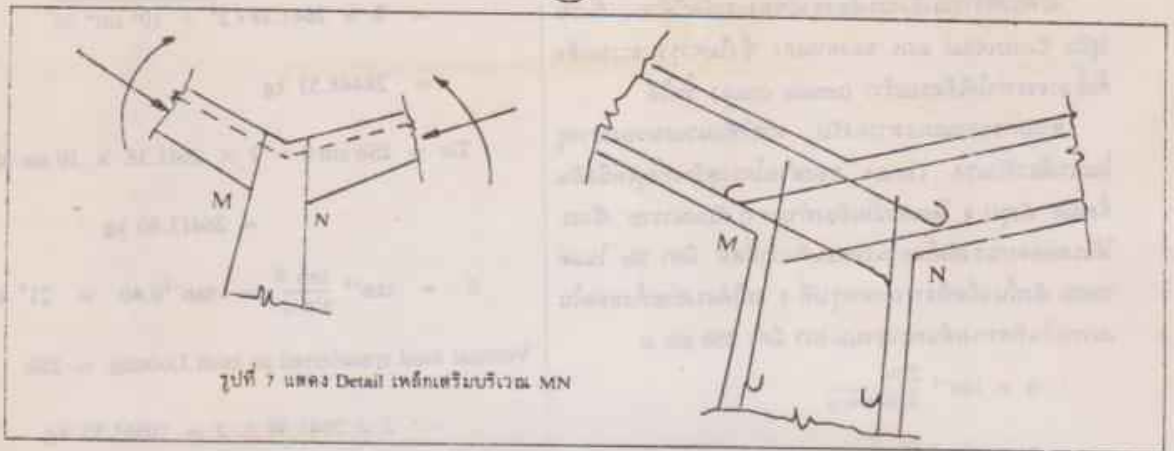
ใช้  $\phi$  8 mm @

$$\text{เหล็กเสริมใน Tie} = \frac{26413.80}{1200} = 22.01 \text{ cm}^2$$

ใช้  $\phi$  25 mm

สำหรับการออกแบบลักษณะคาน, เสา หรือฐานราวจะเป็นอย่างไร คงจะไม่มีปัญหาอะไร เพราะเป็นการออกแบบคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา แต่จากตัวอย่างนี้มีข้อสังเกต คือ ไม่ได้คิดน. ของคานวัดขอบ และ น. ของ support รวมไปถึงด้วย ซึ่งผิดกับตัวอย่างการออกแบบ Simple inverted umbrella โดย Dr. Ramaswamy (1) เหตุผลก็คือ ไม่ยุติธรรมเลยที่จะนำน้ำหนักของคานวัดขอบไปรวมกับน้ำหนักของโครงสร้างคานบาง แล้วออกแบบเหล็กเสริมรับ สิ่งที่น่าพิจารณา คือ น้ำหนักส่วนนี้จะไปเพิ่มแรงอัดในคานวัดขอบเพิ่มแรง Thrust, แรงดึงใน Tie



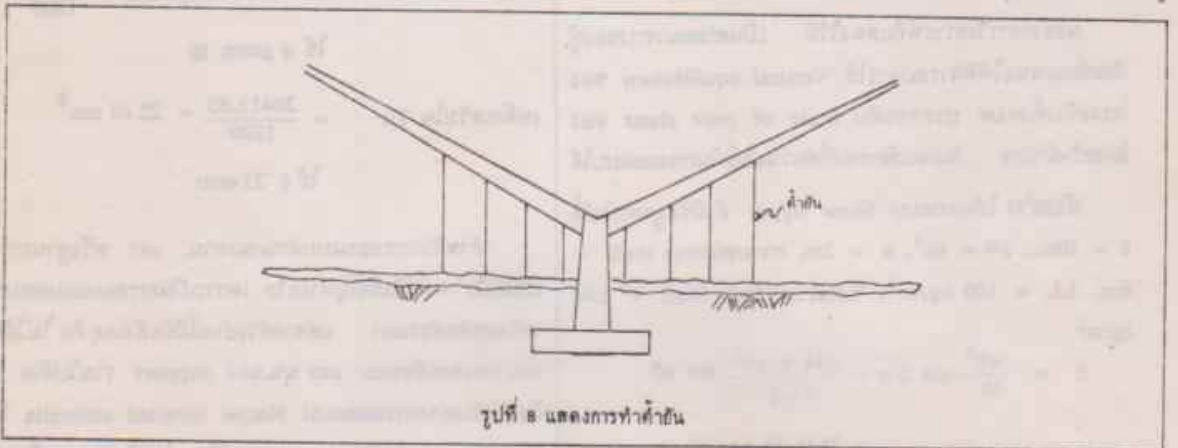


รูปที่ 7 แสดง Detail เหล็กเสริมบริเวณ MN

และมุม  $\theta$  เปลี่ยนไป แต่ก็เปลี่ยนไปแบบน้อยมาก ดังนั้นวิธีการ  
คือ ควรจะปรับค่าที่ได้มาจากการออกแบบตอนแรก ในการ  
พิจารณาวันสุดท้ายโดยต้องคำนึงถึงเหล็กเสริมในโครงสร้างผิวบาง  
ลักษณะของคานารัดขอบของ Skew hyper นี้ เป็นลักษณะของ  
คานายื่นภายใต้ นน. ของตัวเอง และมีแรงอัด อัดเกิดจากโครง

บริเวณจุดต่อของคานากับเสา MN ตกอยู่ในสภาพ tension ดังนั้น  
บริเวณนี้ต้องจัดเหล็กเสริมเพื่อป้องกันผลอันนี้ด้วย ดังรูป 7.

สำหรับจุดอ่อนของ Skew hyper แบบนี้คือ การกำหนด  
จุด Coordinates ของ surface ในการก่อสร้าง และ Stability  
ในการรับแรงลม ซึ่งก็ไม่ยากอะไรนัก ถ้าผู้ออกแบบมีความรู้



รูปที่ 8 แสดงการทำตัวค้ำยัน

สร้างผิวบางด้วย ดังนั้น การจัดตำแหน่งของคานาควรจัดดังรูป 8  
เพื่อให้สอดคล้องกับ Combined stresses ที่เกิดขึ้น และยัง  
เป็นผลดีต่อการระบายน้ำฝนจากหลังคาอีกด้วย แต่คานานี้จะต้อง  
ตกอยู่ในสภาพของ eccentric Compressive force ซึ่งจะทำให้

เกี่ยวกับ Geometry ของ hyper ส่วนในการรับแรงลมนั้น  
ขอแนะนำให้ทำตัวค้ำยันดังรูป 8 จะทำอย่างไรมากน้อยแค่ไหน  
ทำด้วยอะไร และอย่างไร ขอให้อยู่ในดุลยพินิจของวิศวกร และ  
สถาปนิกผู้ออกแบบจะไม่ขอกล่าวในที่นี้

REFERENCES

1. Ramaswamy, G.S., Design and Construction of Concrete Shell Roofs, p 443-446, McGraw-Hill, 1968.
2. Chronowicz, A., The Design of Shells : A Practical Approach, 3rd ed, p 306-308, Crosby Lockwood, 1968.
3. Haas, A.M., Thin Concrete Shells, Vol.II (Negative Curvature Index), p 52-53, John Wiley, 1967.
4. Parme, A.L., Elementary Analysis of Hyperbolic Paraboloid Shells, Bull 4, International Association for Shell Structures, Madrid, 1960.
5. M.L.P Ladavan, Lecture note "Thin Concrete Shell", Academic Year 1973, KMIT.

# แผ่นดินไหว

ศอ.สิทธิศักดิ์ จันทร์ทอง

นายกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย

## สถิติแผ่นดินไหวและวิวัฒนาการของเทคโนโลยี

แผ่นดินไหวเป็นภัยธรรมชาติอย่าง

หนึ่งที่ยศกษาความพิ้นาคนชีวิตและทรัพย์สินของมนุษย์ทั่วโลกมาแต่อดีตตั้งแต่บรรพแล้ว มีนักธรณีวิทยาและวิศวกรได้รวบรวม

สถิติของแผ่นดินไหวทั่วโลกไว้เพื่อการศึกษาหาทางป้องกัน หรือบรรเทาภัยจากแผ่นดินไหวนับตั้งแต่ พ.ศ. 2298 ดังนี้

วัน เดือน ปี	แผ่นดินไหว
1 พฤศจิกายน 2298	ที่ลิสบอน โอลิเมนต์ ตาย 60,000 คน
3 กุมภาพันธ์ 2326	ที่ควาลาเบรีย อิตาลี ตาย 50,000 คน
14 ธันวาคม 2354	ที่นิวแมคริค สหรัฐอเมริกา
16 มิถุนายน 2367	ที่บูซุ จีนตึก
14 ธันวาคม 2400	ที่เซววันชอกชองเนปอล อิตาลี
2423	มีการประดิษฐ์เครื่องวัด (Seismograph) โดยอาร์มีเลียน และชิวัง
2426-2427	กังเนิมมาตราวัดแผ่นดินไหว (Richter's)
28 ตุลาคม 2434	ที่มิโน โอวาจิ ญี่ปุ่น ตาย 7,000 คน
2439	มีการตั้งสถานีหลายแห่งเพื่อวัดความรุนแรงของแผ่นดินไหวของโลก
12 มิถุนายน 2440	ที่ซินเดีย
2445	มีการพัฒนาเครื่องวัดและก้านนิมาตราวัดแผ่นดินไหวใหม่ของเมอร์คอลลี (G. Mercalli) ในอิตาลี
2446	มีการตั้งสถานีวัดความถี่แผ่นดินไหวระหว่างประเทศเพื่อพัฒนาการวัดและรายงานแผ่นดินไหว
14 เมษายน 2448	ที่ซานฟรานซิสโก สหรัฐอเมริกา ตายกว่า 8,000 คน
2449	มีการประดิษฐ์เครื่องวัดแบบแม่เหล็กไฟฟ้าของวิลเซีย

28 ธันวาคม 2451	ที่เมสสินา อิตาลี ตาย 100,000 คน
8 ตุลาคม 2452	ที่โคโรเซีย และพบว่าความถี่ของคลื่น ความสะเทือนเปลี่ยนแปลงที่หน้าแผ่นดินผ่านในลพิวปี
14 ธันวาคม 2463	ที่กิงชู ประเทศจีน ตาย 100,000 คน
1 กันยายน 2466	ที่กรวนโละ (โตเกียว, โยโกฮาม่า) ญี่ปุ่น ตาย 127,000 คน
2466-2467	ตั้งสถานีวัดแผ่นดินไหวที่โตเกียว ค้นคว้าเรื่องแผ่นดินไหว ที่โตเกียว
18 พฤศจิกายน 2482	ที่แกรนด์แบงค์ คานาดา
10 มีนาคม 2476	ที่ลอสแอนเจลิส สหรัฐอเมริกา
31 ตุลาคม 2478	ที่เฮลเนา มอนตานา
2483	ที่เฮล เซนโตร
21 กรกฎาคม 2495	ที่เคอน คาวบตี แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา
22 มีนาคม 2500	ที่คูชานไกลด์กันท์ แคลิฟอร์เนีย สหรัฐอเมริกา
17 สิงหาคม 2502	ที่ทะเลสาบฮอนกัน มอนตานา
29 กุมภาพันธ์ 2503	ที่อาคาบอร์ มอรอคโค
21 พฤษภาคม 2503	ที่ภาคกลางและภาคใต้ของประเทศไทย ตาย 1,711 คน
9 กุมภาพันธ์ 2514	ที่บริเวณเขื่อนพาดชองมา แคลิฟอร์เนีย
กุมภาพันธ์ 2518	ที่โตเกียว ประเทศจีน ไม่มีคนตาย เพราะพยากรณ์ได้แม่นยำ อพยพพลเมืองออกจากบ้านเสียก่อนได้ทัน

สถิติแผ่นดินไหวเหล่านี้เป็นของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มาก่อน

## 2. ลักษณะของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่บางแห่ง

### 2.1 แผ่นดินไหวที่นิวแมคริค สหรัฐอเมริกา พ.ศ. 2354 ถึง พ.ศ. 2355

นิวแมคริคเป็นเมืองเล็กๆ ในตอนกลางของประเทศสหรัฐอเมริกา เป็นเมืองชายแดนของรัฐ 4 รัฐ คืออิลลินอยซ์ มิสซูรี เทนเนสซี และเคนตักกี มีพลเมือง 800 คน มีถนน 10 สาย ตัดขนานกันแม่น้ำและอีก 18 สายตัดฉากกับแม่น้ำ อาคารในเมืองสมัยนั้นส่วนใหญ่เป็นอาคารไม้ (Log

House) ภูมิประเทศเป็นทุ่งนา ประมาณ 2 น.ของวันที่ 16 ธันวาคม 2354 ชาวบ้านถูกปลุกให้ตื่นขึ้นกลางดึก เพราะเสียงสนั่นของบ้านที่กำลังพัง เครื่องเรือนล้มระเนระนาด ปล่องไฟถูกโค่นล้ม พังลงด้วยแรงของแผ่นดินไหว เขาต้องหนีออกไปอยู่กลางแจ้งนอกอาคาร ท่ามกลางอากาศหนาวจัด จะกลับเข้าอาศัยในซากปรักหักพังของบ้านก็กลัว เพราะแผ่นดินไหวเป็นระลอกแล้วระลอกอีก วันละหลายเวลา เหตุการณ์เช่นนี้เกิดขึ้นเนื่องกันอยู่เรื่อยๆ เป็นเวลากว่าปี มีคลื่นแผ่นดินไหวที่

รุนแรงเท่า ๆ กับวันแรกอยู่ 2 วัน คือวันที่ 23 มกราคม 2355 และวันที่ 7 กุมภาพันธ์ 2355

คลื่นแผ่นดินไหวครั้งนั้นกระจายไปทั่วอาณาบริเวณ ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 2.5 ล้านตาราง กม. ตั้งแต่นิวออลีนส์ไปจนถึงประเทศแคนาดาและฝั่งทะเลด้านตะวันออกของสหรัฐอเมริกา

เมื่อแผ่นดินไหวสงบแล้ว นิวแมคริคอยู่ในสภาพที่พังยับเยินไปทั้งเมือง ถนนหลายสายถล่มหายไปใต้มัน้ำ ทุ่งนาที่เคยเพาะปลูกได้ก็หมดสภาพไป สภาพพื้นดินในลุ่ม

แม่น้ำมิสซิสซิปปีบริเวณนั้นก็เปลี่ยนไปหมด ซึ่งเป็นที่ดอนทรายก็กลายเป็นทะเลสาบใหญ่มีน้ำขังตลอดปี มีการถล่มทลายใหญ่ ๆ ของพื้นดินหลายแห่ง บริเวณที่สูงซึ่งเป็นป่าไม้ใหญ่ถูกรวมไหลลงไปยังอ่าวใต้ น้ำลึกราว 10 เมตร

อนึ่งในบริเวณเมืองแมดริสไนด์เป็นบริเวณที่เคยเกิดแผ่นดินไหวขนาดเล็กรวมกันได้ก่อให้เกิดความเสียหายแต่อย่างใดเลย อยู่เฉยๆมาเป็นเวลาถึง 150 ปีมาแล้ว ก่อนที่จะเกิดแผ่นดินไหวครั้งนี้ได้มีการระเบิดทำลายอาคารสาธารณะขนาดใหญ่ที่ชำรุดเล็กให้ทั่วใกล้ ๆ เมือง จึงเชื่อกันว่าแรงสั่นสะเทือนจากการทำลายอาคารนั้นเป็นแรงกระตุ้นให้เกิดแรงเฉือนระหว่างเนื้อวัสดุสองข้างของรอยร้าวที่มีอยู่แต่ในเปลือกโลก จนในที่สุดที่เนื้อวัสดุจะสามารถยึดประสานรอยร้าวนั้นไว้ รอยร้าวนั้นจึงแตกแยกและเลื่อนไถลจากกันไป เกิดเป็นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่และเล็กต่อเนื่องกันไปตามที่ปรากฏอยู่แล้วนั้น

2.2 แผ่นดินไหวที่ซานฟรานซิสโก พ.ศ. 2449

แผ่นดินไหวที่ซานฟรานซิสโกนี้ เกิดขึ้นเมื่อ 18 เมษายน 2449 นอกจากอาคารบ้านเรือนจะพังพินาศไปเพราะแรงสั่นสะเทือนแล้ว ยังเกิดไฟไหม้ใหญ่ตามติดมาด้วยเป็นเวลา 3 วัน น้ำจะดับไฟก็ไม่มี เพราะท่อส่งน้ำขาดไปเสียก่อนเนื่องจากแรงแผ่นดินไหว แผ่นดินไหวที่ซานฟรานซิสโกนี้ได้แสดงลักษณะหลายประการให้เห็นได้อย่างชัดเจน โดยเฉพาะการแยกหลุดของเปลือกโลก (Fault) ที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวครั้งนี้ปรากฏเป็นแนวไปจากเทือกแซนแอนเดรียสยาวกว่า 400 ไมล์ เมืองต่าง ๆ ในระยะ 30 กม. เหนือทุกเมืองพังพินาศ นักธรณีวิทยาบางคนอธิบายว่ารอยแตกหลุดของเปลือกโลกแห่งนี้มีอายุประมาณถึง 150 ล้านปีแล้ว รอยแยกของเปลือกโลก(เดิม)สองข้างนั้นได้เคลื่อนแยกห่างจากกันไปแล้วประมาณ 480 กม. แต่ร่องที่เกิดจากรอยแตกนั้น ได้

ถูกรวมชาติถล่มจนเต็มไปหมดแล้ว เหตุการณ์แผ่นดินไหวได้เริ่มขึ้นเมื่อ 5.12 น. ในขณะที่ชาวคนซานฟรานซิสโกส่วนมากยังหลับอยู่ โดยเกิดมีการสั่นสะเทือนอย่างรุนแรงที่สุดที่เคปพอร์ตา ประชาชนถูกปลุกให้ตื่นตัวเสียงของบ้านเรือนที่พังทลายลงจากแรงของแผ่นดินไหว ระหว่างในโบสถ์ก็แกว่งไกวทำให้เกิดเสียงดังสนั่น ชาวบ้านเป็นอันมากหนีออกจากบ้านไม่ทันก็โดนถูกฝังทั้งเป็นอยู่ใต้ซากปรักหักพัง ถนนที่สร้างไว้บนดินถมถูกแรงแผ่นดินไหวบิดเป็นคลื่นและคดไปคดมา ทำให้คอนกรีต พื้นถนน และทางระบายพังแตกเป็นร่องซ้ากว้าง ใช้การไม่ได้

ในตอนแรกที่แผ่นดินเริ่มไหว ความแกว่งไกวไม่สู้มาก แต่ได้เพิ่มความรุนแรงขึ้นจนถึงที่สุดในตอนปลาย ภายในเวลาประมาณ 40 วินาที แล้วก็หยุดไปประมาณ 10 วินาที จึงเริ่มใหม่ ครั้งนี้ยิ่งรุนแรงกว่าครั้งเดิมและแผ่นดินแกว่งไกวอยู่ประมาณ 25 วินาทีจึงยุติลงเป็นยกแรกของการสั่นสะเทือน และเป็นยกสำคัญเพราะเป็นยกที่มีแรงสั่นสะเทือนแรงที่สุด (Main Shock) จากยกนี้แล้วยังมียกต่อ ๆ ไป (After Shocks) ซึ่งไม่รุนแรงเท่ายกแรกติดตามาอีกหลายครั้ง

แผ่นดินไหวที่ซานฟรานซิสโกครั้งนี้มีชื่อเสียงได้ว่าบนเนินสูงอาคารที่วางรากฐานอยู่บนเนินแข็งได้รับความเสียหายเล็กน้อย เพียงแต่ปล่องไฟของอาคารล้ม หน้าต่างกระจกแตก เครื่องเรือนจานชามและสิ่งติดตั้งต่าง ๆ ถูกทำลายไป แต่โครงสร้างของอาคารยังสามารถตั้งอยู่ได้ ในพื้นที่ต่ำระหว่างสันของเนินเขาอาคารที่สร้างด้วยการก่ออิฐ ส่วนในบริเวณท่าเรือ อาคารได้รับความเสียหายมาก แต่ลักษณะของความเสียหายแตกต่างกันในพื้นที่ระหว่างสันเนินบ้าง กล่าวคืออาคารส่วนมากมิได้พังทลายลง แต่หลุดตัวลงและเสียหายมากจนผู้คนไม่สามารถอาศัยอยู่ได้

ตามรอยแตกของเปลือกโลก (Fault)

แซนแอนเดรียส ปรากฏรอยเลื่อนไถลอย่างชัดเจนว่า ความเคลื่อนตัวของรอยแยกเป็นการเคลื่อนตัวในทางระดับ ทางด้านมหาสมุทรแปซิฟิกเลื่อนไปทางเหนือของด้านในฝั่งแผ่นดิน ระยะที่เลื่อนไปนี้วัดได้ 6 เมตรเศษที่ใกล้ฝั่งทะเล่าวโคมาลอสซึ่งตั้งอยู่กลางของแนวแยกนั้น ระยะเคลื่อนนี้ลดน้อยไปทางปลายของแนวแยก 2 ข้างนั้น

2.3 แผ่นดินไหวที่ทวนโคะ พ.ศ. 2466

แผ่นดินไหวที่มณฑลทวนโคะในประเทศญี่ปุ่น เกิดขึ้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2466 มีจุดเกิด (Focus) อยู่ใต้ยาวซากามิฮากาในมืองเล็ก ๆ ที่ตั้งอยู่ริมอ่าวทุกเมือง ถูกทำลายไป 50 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ อาคารที่สร้างอยู่บนที่มุดดินอ่อนได้รับความเสียหายสูงสุด ที่สร้างอยู่บนเขาเสียหายน้อยกว่า บางเมืองพินาศด้วยแผ่นดินไหว แต่ยังถูกซ้ำเติมโดยเกิดไฟไหม้ติดตามมา บางเมืองก็ถูกคลื่นยักษ์ซึ่งเป็นผลจากแผ่นดินไหวซ้ำเติมอีกด้วย

ในบริเวณศูนย์กลางเกิด (Epicenter) แรงแผ่นดินไหวได้บีบเข้าใต้ดินให้พุ่งขึ้นมาเป็นน้ำพุปนทรายทุก ๆ ครั้งทีคลื่นแผ่นดินไหวผ่านมาเช่นเดียวกับที่ได้เกิดที่นิวแมดริส สหรัฐอเมริกามาแล้ว

ถึงแม้ว่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวจะสูงสุดในบริเวณอ่าวซากามิ แต่ปรากฏว่ามีผู้คนเสียชีวิตน้อย ทั้งนี้เพราะไม่มีอาคารในเมืองเหล่านี้ ราษฎรอยู่กระจัดกระจายกันในบริเวณที่กว้าง สามารถหนีภัยได้ทัน

เมืองโยโกฮาม่าซึ่งอยู่ห่างออกไป 60 กม. ก็ได้รับความเสียหายมากคือ คนตาย 27,000 คน บาดเจ็บ 40,000 คน อาคารพัง 70,000 หลัง ผู้ที่รอดตายผู้หนึ่งแจ้งว่าเขาได้ยินเสียงแผ่นดินไหวความสั่นมาก่อนและในทันใดนั้นแผ่นดินก็ไหวอย่างแรงทันที ทำให้ประมาณ 1 ใน 5 ของอาคารในเมืองพัง แผ่นดินไหวเวลาประมาณก่อนเที่ยงขณะเตรียมอาหารเสร็จ พอบ้านพังก็เกิดไฟไหม้ติดตามมาทันที ไม่อาจดับไฟได้เพราะ

คลื่นพลังก็สูญเสียไปในแผ่นดินไหว  
ระลอกน้ำก็แตก การสื่อสารทุกชนิดขาด  
๗

ที่ใดก็อยู่ที่อยู่ห่างออกไปอีกเล็กน้อย  
พวงเสี้ยวหายตัวแผ่นดินไหวบ่อยกว่าที่  
จะยามา ที่นั้นประชาชนสามารถออก  
อาคารได้ก่อนไฟไหม้ แต่ก็ไปไหนไม่  
ได้เพราะเส้นทางถูกปิดด้วยซากปรักหักพัง  
และไฟที่คร่าชีวิตเสียมาก แผ่นดินไหวที่  
เกิดขึ้นมีคนตายกว่า 100,000 คน บาด  
เจ็บอีก 40,000 คน อาคารพังทลายไป  
๖๐,๐๐๐ หลัง

ภายในเดือนกันยายน 24๘6 นั้นเอง  
มีแผ่นดินไหวขนาดเล็ก (After Shocks)  
ตามมาเป็นระลอก ๆ อีกหลายระลอก  
สภาพที่มีความรุนแรงพอรู้สึกได้ชัดเจนก็มี  
ถึง 237 ครั้ง และที่เครื่องวัดของสถานีวัด  
แผ่นดินที่โตเกียวสามารถจับได้ในเดือน  
กันยายนนั้น ก็มีถึง 1,256 ครั้ง

แผ่นดินไหวครั้งนี้มีรอยแตกเลื่อนไกล  
(fault) ให้เห็นได้ว่ามีแนวขึ้นไปทางเหนือ  
ตะวันตก และทางตะวันออกของอ่าวซากามิ  
อีกแนวหนึ่ง สามารถวัดได้ว่าพื้นดินบริเวณ  
นั้นได้เคลื่อนไปทางทิศตะวันออกเป็นระยะ  
ประมาณ 4.5 เมตร และยังปรากฏว่าระดับ  
ที่ทะเลสาบกลางของอ่าวซากามิลดต่ำลง  
ไปตั้งแต่ 90 ถึง 120 เมตร แต่ที่องศาเงา  
เหนือของอ่าวถูกยกสูงขึ้นถึง 225 เมตร

**2.4 แผ่นดินไหวที่อากาศเคอร์ ๒๐-  
๒๕๓๒ พ.ศ. 25๐3**

เมืองอากาศเคอร์เป็นเมืองริมอ่าวที่มี  
มากอยู่มากแห่งหนึ่งในโลก อากาศเคอร์  
และทางทรายสวยงามยาว 5 กม.เป็นสวรรค์  
ของนักท่องเที่ยวจากยุโรปในเดือนกุมภาพันธ์  
ของทุกปี บ้านเมืองก็น่าสนใจ หากดูได้  
ที่ศิลปะโบราณโคโคโบราณและสมัยใหม่ อาก  
เคอร์จึงได้ชื่อว่าเป็น "โบฮีเมียแห่งเอพิคา  
เนีย" อากาศเคอร์มีพลเมือง 33,000 คน

วันที่ 29 กุมภาพันธ์ 25๐3 ก่อนเที่ยง  
คืนเล็กน้อย เมืองที่สวยงามน่าไปเที่ยว  
แห่งนี้ถูกทำลายเกือบหมดด้วยธรรมชาติคือ

แผ่นดินไหวภายในเวลาเพียง 15 วินาที  
บริเวณเมืองเก่า อาคารทุกหลังถูกทำลาย  
ราบเป็นหน้ากลอง ในบริเวณเมืองใหม่ซึ่ง  
เป็นแหล่งธุรกิจและโรงแรมที่ทันสมัย ถูกทำ  
ลายไปกว่าครึ่ง โรงแรมทันสมัยและอาคาร  
สำนักงานใหญ่ ๆ หลายแห่งพังทลาย กำ  
แพงหลุดออกจากโครงสร้าง พื้นขึ้นบน  
พังลงบนพื้นชั้นล่าง ทำให้พังต่อกันไปทุก  
ชั้น อาคารที่สร้างด้วยวัสดุก่อทั้งหมดไม่มี  
เหลือ ประมาณว่ามีคนถูกฝังทั้งเป็นประ  
มาณ 12,๐๐๐ คน อีก 12,๐๐๐ คน บาดเจ็บ  
ทั้งนี้จากประชาชน 33,๐๐๐ คน

แผ่นดินไหวที่อากาศเคอร์นี้มีสถานี  
ตรวจแผ่นดินไหวที่ออกสตาวา จันและบันทึกลง  
คลื่นไว้ได้ อานจากคลื่นได้ว่าเป็นแผ่นดิน  
ไหวที่มีความรุนแรงน้อยกว่าแผ่นดินไหว  
ที่เกาะซาลิวเซียนเมื่อ 13 พฤศจิกายน 25๐3  
เสียอีก ทั้ง ๆ ที่ทั้งสองแห่งมีระยะห่างจาก  
สถานีวัดเท่ากัน และแผ่นดินไหวที่ซาลิวเซียน  
ไม่ทำค่าความเสียหายให้เลย จากผลการสำรวจ  
ที่อากาศเคอร์ พบว่าศูนย์กลางแผ่นดินไหว  
(Focus) อยู่ตื้นเพียง 3 กม.เท่านั้น และ  
เกือบจะอยู่ใต้เมืองอากาศเคอร์นั่นเอง ความ  
รุนแรงของแผ่นดินไหวในความลึกน้อย ๆ  
เช่นนี้มีผลในทางทำลายในระยะใกล้เท่านั้น  
คลื่นแผ่นดินไหวเช่นนี้จะลดขนาดลงภายใน  
ระยะที่สั้น

อากาศเคอร์ไม่เคยประสบความพินาศ  
จากภัยแผ่นดินไหวมาครั้งหนึ่งเมื่อปี พ.ศ.  
2294 หลังจากนั้นก็มีแต่แผ่นดินไหวขนาดเล็ก  
ซึ่งไม่ทำค่าความเสียหาย ประชาชนจึง  
ชะล่าใจ อีกทั้งกิจการท่องเที่ยวกำลังเจริญ  
จึงมีการเร่งรีบก่อสร้างอาคารใหญ่ ๆ ขึ้น  
มากมาย คำนี้ถึงแต่ความรวดเร็วของการ  
ก่อสร้างเท่านั้น อาคารต่าง ๆ จึงไม่มั่นคง  
พอที่จะรับแรงจากแผ่นดินไหวในครั้งหลัง  
นี้ได้

**2.5 แผ่นดินไหวที่ฮิชิ พ.ศ. 25๐3**

แผ่นดินไหวเริ่มไหวเมื่อ 6 น.เศษ  
ของวันที่ 21 พฤษภาคม 25๐3 (เสาร์)  
มีความรุนแรงมาก ทำความเสียหายให้แก่

เมืองคองเซปซิออง ที่แหลมซารโกมาก  
แต่ยังไม่ถึงขั้นพินาศ แผ่นดินไหวครั้งนี้มี  
ศูนย์กลางอยู่ภายใต้ของแหลมซารโกนั่นเอง  
แต่คงจะอยู่ลึกมาก (ประมาณ 60 กม.) ต่อ  
จากนั้นยังมีแผ่นดินไหวขนาดย่อมกว่าติด  
ตามมาอีกในวันเดียวกันนั้น มีศูนย์กลางอยู่  
ในบริเวณเดียวกับครั้งแรก แต่คลายความ  
รุนแรงลง ครั้นวันที่ 22 พฤษภาคม 25๐๓  
เวลาบ่าย 3 โมง แผ่นดินไหวอีก มีความ  
รุนแรงกว่าครั้งแรก ทุกคนในบริเวณที่สัน  
สะเทือนหนีไปอยู่กลางถนนกันหมด ซึ่งนับ  
ว่าเคราะห์ดีมากที่ยังมีได้กลับเข้าอาคาร  
เพียง 11 นาทีต่อมา แผ่นดินไหวระลอก  
ใหญ่แรงกว่าระลอกก่อนประมาณ 20 เท่าก็  
เกิดขึ้น คลื่นของการไหวครั้งนี้ มีลักษณะ  
เป็นคลื่นผสมคือ เป็นคลื่นไหวโคลงคด  
ความถี่ประมาณ 10 ถึง 20 วินาที ผสม  
ด้วยคลื่นสั้นสะเทือนที่มีความถี่สูงกว่า ไหว  
อยู่กว่า 3 นาที ต่อจากนั้นก็มีการไหวตาม  
(Aftershocks) หลายระลอกลักษณะเดียว  
กันนี้อยู่ตลอดเวลา 1 ชั่วโมง

คลื่นลักษณะนี้ทำค่าความเสียหายใน  
บริเวณซาลโกลั้ ๆ เท่านั้น ห่างออกไปลักษณะ  
การไหวด้วยคลื่นไปเป็นคลื่นความถี่สูงและ  
แรงขึ้น แผ่นดินไหวครั้งนี้ทำค่าความเสียหาย  
ให้แก่บริเวณริมฝั่งทะเลตั้งแต่เปอร์โตซาวา  
ถึง ฮิสลาซิโร และตามรอยแยกวิธองศาไว้ใน  
บริเวณทะเลสาบคิลเลียน ในบริเวณทะเลสาบ  
เกิดแผ่นดินเลื่อน (Landslides) หลายพัน  
แห่ง ถล่มลงกันแม่น้ำ เกิดคลื่น (Seiches)  
สูงเกือบ 12 เมตรในทะเลสาบบางแห่ง ใน  
บริเวณริมฝั่งทะเลแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดิน  
ไหวรุนแรงที่สุด ที่ฮิสลาซิโรมีรอยแยกบน  
พื้นดินหลายแห่ง ต้นไม้ใหญ่ในที่ลุ่มลุ่ม  
ถอนรากถอนโคนด้วยแรงแผ่นดินไหว

เกือบตลอดบริเวณความสั้นสะเทือน  
สูง แรงสะเทือนทำให้พื้นดินขึ้นค่างซึ่งเป็น  
ดินปนทรายละเอียดและชุ่มน้ำกลายเป็น  
ดินเหลว ไม่สามารถที่จะรับน้ำหนักใด ๆ  
ได้ เกิดเหตุกรณีลู่บ้านและรถยนต์หลาย  
แห่ง และเมื่อมีรอยแตก ดินเหลวนี้ก็ไหล

ทะเลลึกขึ้นมาเป็นสารโคลน ที่เป๋ยโตมจนต์ คิมหลวนมีไหลสู่ท่าเรือ และล้อมรอบเรือโดย สารซึ่งหอคลสมออยู่ไม่สามารถจะเคลื่อน ออกได้ ต้องคิดแปลงเรือนั้นเป็นโรงแรม

หลังแผ่นดินไหวแล้วปรากฏว่าระดับ ของพื้นดินเปลี่ยนแปลงไปมาก ทางฟาก ตะวันตกของแหลมฮารอโก พื้นดินถูกยกสูง ขึ้น 120 ซม. ทำให้เกิดหาดทรายริมทะเล เด รันใหม่ และที่ฮิสลาโมซา พื้นดินถูกยกสูง 2 เมตรกว่า ทำให้พื้นอุ้เรือสูงพ้นน้ำ ส่วน บริเวณริมฝั่งทะเลส่วนมากพื้นดินจะทรุด ตึงลง ที่ว่าลติเวียซึ่งเป็นเมืองท่าในแม่น้ำ ห่างจากทะเลหลายกิโลเมตร ระดับห้อง แม่น้ำทรุดตัวลง จนน้ำเค็มไหลเข้าท่วม แผ่นดินภายในอย่างถาวร

ซึลลีเป็นแผ่นดินที่มีภูเขาไฟมาก ภูเขา ไฟลูกหนึ่งซึ่งดับไปแล้วตั้งแต่ศ. 2448 เกิด ระเบิดขึ้นใหม่หลังจากแผ่นดินไหวแล้ว 48 ชั่วโมง หนึ่งโถน้ำและที่เก่าขึ้นไปสูงกว่า 6,000 เมตร อยู่เป็นเวลาหลายอาทิตย์กว่า จะสงบลงได้ เทื่อว่าเป็นผลสืบเนื่องมาจาก แผ่นดินไหวในครั้งนี้ด้วย

แผ่นดินไหวที่ซึลลียังก่อให้เกิดผลติด ตามมาอีกก็เกิดคลื่นสึนามิ (Tsunami) กล่าวคือหลังจากแผ่นดินไหวยกสั ตัญ (Main Shock) แล้วไม่นาน ประชาชนที่ยังมีฝั่ง ทะเลเห็นระดับน้ำทะเลลดลงโดยรวดเร็ว ชอบชายน้ำเลือนออกไปจากฝั่งไกลมาก ทางทะเลยังมีประสพการณ์ในเรื่องนี้มาก่อน จึงอพยพหลบเมืองขึ้นไปอยู่ที่สูง ต่อมาอีก ประมาณ 10 ถึง 20 นาที น้ำทะเลกลับขึ้น มาพร้อมด้วยคลื่นยักษ์สูงกว่า 6 เมตร กวาด ต่ำงและทำลายบ้านเรือน สัตว์เลี้ยงและ ผู้คนที่อพยพไปไม่ทันเสียสิ้น เมื่อคลื่นลูก แรกผ่านไปแล้ว ชอบทะเลก็เดินออกไปและ เลือนเข้ามาอีกพร้อมด้วยคลื่นใหญ่เช่นนั้น เป็นคลลชเวลาของบ่าวันนั้น คลื่นลูกที่ 3 หรือที่ 4 จัดว่าเป็นคลื่นลูกที่ใหญ่ที่สุด มีผู้คนถูกคลื่นกลืนเสียชีวิตไปมากเพราะ ความประมาท กลับสู่ฝั่งทะเลเร็วเกินไป คลื่นยักษ์สึนามินี้เคลื่อนจากฝั่ง

ทะเลซึลลีสู่มหาสมุทรแปซิฟิก โดยมีได้ลห พลังลงไปโดยด้วยความเร็วว่า 600 กม/ชม ผ่านฮาวายซึ่งทราบล่วงหน้าและได้อพยพ ผู้คนไปสู่ที่ปลอดภัยแล้ว คลื่นยักษ์ที่เข้าฝั่ง ฮาวายเล็กกว่าที่คาดไว้มาก แต่คลื่นที่เข้าฝั่ง เกาะไฮโล (Hilo) คลื่นกลับขยายโตกว่าที่ คาด คือคลื่นลูกแรกสูงกว่าระดับเฉลี่ยของ ทะเล 1.20 ม. ลูกที่ 2 สูง 2.70 ม. ลูกที่ 3 สูง 11 ม. คลื่นนี้ทำลายเรือนกับคลื่น ฮาซาร ต่างๆ ริมฝั่งทะเลเสียสิ้น คลื่นนี้เคลื่อนเข้าสู่ ฝั่งประเทศญี่ปุ่นซึ่งอยู่ห่างถึง 17,000 กม. และได้ทำความเสียหายให้แก่เกาะฮอนชู และฮอกไกโดมากมาย เรือหาปลาขนาด 2,000 ถึง 3,000 คัน หลายลำถูกยกข้าม ทำจอดเรือไปไว้บนฝั่งไกลถึง 45 ม. มีคน ตายไปเพราะคลื่นยักษ์นี้ 180 คน

**3. ลักษณะแผ่นดินไหวในประเทศ ไทย**

แผ่นดินไหวในประเทศไทยที่เกิดขึ้น ในอดีตนั้น เข้าใจว่าจะไม่มีผู้ใดสนใจบันทึก ไว้เลย คงจะเป็นพระภิกษุบาง ๆ จึงจะเกิดขึ้น สักครั้งหนึ่ง แม้จะเกิดขึ้นก็เป็นแผ่นดิน ไหวขนาดเล็ก มีได้ก่อให้เกิดอันตรายแก่ชีวิต และทรัพย์สิน เท่าที่จำได้ เกิดแผ่นดินไหว ครั้งหนึ่งเมื่อประมาณ 20 นาทีการของวันที่ 6 พฤษภาคม 2473 สามารถรู้สึกได้อย่างชัดเจนในกรุงเทพฯ ในครั้งนั้นยังไม่มีอาคารสูง เลย แผ่นดินไหวทำให้ประชาชนพากันรู้สึก วิงเวียนไปชั่วขณะ และทำให้น้ำกระชอก ออกจากสระได้เท่านั้น

ต่อมาเมื่อ 8 ปีมาแล้ว เกิดแผ่นดิน ไหวอีกครั้งหนึ่งเมื่อวันที่ 19 สิงหาคม 2518 เวลาประมาณเที่ยงวัน ระยะเวลาที่แผ่นดิน ไหวนานพอสมควร(เกือบนาที) ทำให้ประ ชาชนที่อยู่เ็นอาคารสูงตื่นตกใจกันมาก แผ่นดินไหวในครั้งนั้นทำให้พื้นอาคาร 23 ชั้นแกว่งไกวโคลงเคลงถึงกับถ่วงกานเฟ้ เลื่อนหล่นจากโต๊ะได้ ความรู้สึกขณะที่มีง ึก้าชื้ออยู่ชั้นบนของอาคาร 8 ชั้นนั้น คล้าย กับนั่งอยู่บนเครื่องบินโดยสารขนาดใหญ่ เม็ดบินผ่านบริเวณที่มีอากาศแปรปรวน

เพียงพาดานสั้นดังเทียบช้ำยต่ออยู่ตลอดเวลา เกือบนาทีนั้น อย่างไรก็ดีไม่ปรากฏความ เสียหายแก่อาคารใดในกรุงเทพฯ ได้ทราบ ว่าศูนย์กลางการเกิดแผ่นดินไหวในครั้งนี้ อยู่ ที่กลางทะเลอันดามัน ทางทิศตะวันตกของ ประเทศไทย แต่ไม่ทราบความรุนแรงตาม มาตราสากล

เมื่อวันที่ 15 เมษายน 2526 เวลา ประมาณ 16 น.เศษ เกิดแผ่นดินไหว รู้สึกได้ในกรุงเทพฯ อีกครั้งหนึ่ง มีความรุนแรง พอสมควร แต่ยังไม่เท่าเมื่อครั้งที่ 18 สิงหาคม 2518

ครั้งนี้วันที่ 22 เมษายน 2526 เกิด แผ่นดินไหว 2 ครั้ง ในวันเดียวกัน ครั้งแรก เวลาประมาณ 7.40 น. ครั้งที่ 2 เวลา ประมาณ 11 น. สำหรับครั้งแรกนั้น กรมอุตุนิยมวิทยารวัดความรุนแรงได้ 5.6 หน่วยมาตราสากล(ริชเตอร์) และไหวอยู่ ประมาณ 30 วินาที ความรุนแรงของแผ่นดิน ไหวครั้งนี้เท่าที่สังเกตได้คือบ้านประตูเลื่อน ของตู้หนังสือซึ่งตั้งอยู่บนชั้นที่ 5 ของอาคาร สูง 8 ชั้นได้กระดอนพลาดจากรางตกลอยถึง พื้น 1 บาน และพื้นห้องตรงนั้นทรุดต่ำลง 7.5 มม.อย่างถาวร นอกจากนั้นยังทราบว่ ระหว่างที่เขวบนของค้พระปฐมเจดีย์ถล่ม จากที่เขวบนลงมาแตกโดยไม่ปรากฏความ เสียหายแก่องค์พระปฐมเจดีย์ ฉนวนอาคาร บางแห่งในกรุงเทพฯ ที่ปรากฏความ แตกกว้างให้เห็นได้อย่างชัดเจน โดยที่โครงสร้างของอาคารนั้นก็ยังมีได้ทั้งทะลายลง หลังแผ่นดินไหวครั้งนี้ ลิฟท์ที่กรมโยธาธิการ สูง 6 ชั้นยังใช้ได้ แต่เกิดคลาดเคลื่อนลง ชั้น กทม.จะขึ้นลิฟท์ไปชั้น 5 แต่ลิฟท์กลับ ลงเพียงแค่นั้น 4

ผู้ที่อยู่บนตึกสูงต่างต้องตระหนก ตกใจเกรงจะได้รับอันตรายจากตึกพัง ส่วน ผู้ที่อยู่บนพื้นดิน ก็รู้สึกวิงเวียนเพราะการ แกว่งไกวของแผ่นดินเท่านั้น

แผ่นดินไหวในวันที่ 15 เมษายน 2526 นี้ชาวเรียกได้ว่าเป็นการไหวเตือน (Warning Shock) ส่วนแผ่นดินไหวในวัน



ปี พ.ศ. 2526 ตอนเช้ามันมีความรุนแรงที่สุดในจุดของแผ่นดินไหวครั้งนี้ เรียกว่าเป็นการไหว หลักสำคัญ (Main Shock) ระยะเวลา 11 น. เศษนั้น เรียกว่าเป็น "อาฟเตอร์ช็อก" (After Shock) มีความรุนแรงลดลง ทั้ง 3 ครั้งนี้มีจุดเกิดที่รอยแตกแยก (Faulting) เดียวกันคือ เทือกเขาตะนาวศรี จังหวัดศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี จุดเกิดที่มีความลึกเท่าใดไม่ปรากฏ

แผ่นดินไหวในประเทศไทยนี้จะมีแนวโน้มไปในรูปใด ทางใด ไม่อาจพยากรณ์ได้เพราะข้อมูลแผ่นดินไหวในประเทศไทยมีอยู่ไม่มากนัก

4. สาเหตุที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหว

แต่เดิมมาเราเข้าใจกันว่าแผ่นดินไหวเกิดจากเหตุต่างๆ คือ พื้นดินผิวโลกเลื่อนไถล (Land Slides) หรือการถล่มของพื้นดินผิวโลก (Collapse) หรือการที่มีดาวตกลงมาชนพื้นโลก (Impact of Meteor) หรือการระเบิดของภูเขาไฟ (Volcanic) นั้น ต่อมาเมื่อเรากับสถิติแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่เกิดขึ้นแล้วในอดีตไว้ได้มากพอสมควร จึงได้มีการวิเคราะห์วิจัยในเรื่องนี้แล้ว ก็พบเหตุผลการณ์ต่าง ๆ เหล่านี้ น่าจะมีสาเหตุที่ก่อให้เกิดแผ่นดินไหวเสียแล้ว จึงอยู่เหตุเหล่านี้ อาจทำให้เกิดความสั่นสะเทือนแก่เปลือกโลกได้ แต่ก็ไม่รุนแรงพอที่จะเรียกว่าแผ่นดินไหว

สำหรับพื้นดินผิวโลกเลื่อนไถล (Land Slides) นั้น ถ้าเราพิจารณาให้ต้องแท้แล้ว เห็นว่าแผ่นดินเลื่อนไถลนั้น น่าจะเป็นผลสืบเนื่องมาจากแผ่นดินไหวมากกว่า และการถล่มของพื้นดิน (Collapse) นั้นก็ไม่น่าจะเป็นสาเหตุของแผ่นดินไหวได้ เช่นเดียวกัน สำหรับเรื่องดาวตก (Impact of Meteor) นั้นเมื่อ พ.ศ. 2451 มีดาวตกที่ไซบีเรีย เกิดคลื่นชกอากาศ วัตถุที่ล่อนดอนแต่ไม่ปรากฏว่ามีคลื่นแผ่นดินไหวที่วัตถุได้ทิ้งตัวลงว่าเป็นแผ่นดินไหวที่ไหนเลย

ถ้าเราบันทึกบริเวณที่เกิดแผ่นดินไหวในแผนที่โลก เราจะพบว่าบริเวณที่เกิดแผ่นดิน

ไหวนั้นเป็นบริเวณใกล้เคียงกับที่มีภูเขาไฟระเบิด ความจริงข้อนี้อาจทำให้เข้าใจผิดไปว่าการระเบิดของภูเขาไฟเป็นสาเหตุของแผ่นดินไหว

ในกลางเดือนพฤศจิกายน 2502 มีการระเบิดของภูเขาไฟคิลาอูอี ที่ฮาวาย เครื่องวัดความสั่นสะเทือนของแผ่นดินเริ่มวัดความสั่นสะเทือนของแผ่นดินได้ตั้งแต่วันที่ 25 เดือนสิงหาคม 2502 แผ่นดินไหวครั้งนี้มีจุดเกิด (Focus) ลึก 90 กม. และพบว่ามีหินละลายอยู่ในระดับลึก ในกลางเดือนสิงหาคมนั้นเองกับบันทึกความสั่นสะเทือนเล็กๆ ได้จำนวนจากความลึกประมาณ 8 กม. ซึ่งหมายความว่าหินละลายนั้นได้ไหลมาใกล้จะถึงผิวโลกแล้ว ความสั่นสะเทือนขนาดเล็ก ๆ นี้มีจำนวนถึง 22,000 ระยะเวลา ในระยะเวลา 3 เดือน และมีความสั่นสะเทือนน้อยมาก ต้องตั้งเครื่องวัดใกล้ศูนย์ทำลาย (Epicenter) จริง ๆ จึงจะวัดได้

ก่อนที่จะเกิดภูเขาไฟระเบิดในหมู่เกาะฮินดีเยตวันตัก ก็มีการวัดความสั่นสะเทือนของแผ่นดินขนาดเล็กจำนวนมากได้เช่นเดียวกับที่ฮาวายนี้

ฉะนั้นภูเขาไฟจึงอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวได้ แต่ว่าแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นเป็นแผ่นดินไหวที่ไม่มีความรุนแรง และถึงแม้ว่าจะเกิดการระเบิดของภูเขาไฟขึ้นอย่างทันทีทันใดโดยไม่คาดฝันมาก่อน ความรุนแรงของแผ่นดินไหวก็จะมีอยู่เฉพาะบริเวณระเบิดเท่านั้น ดังเช่นแผ่นดินไหวที่ฟองโตมาเซียในเกาะชิลี เมื่อปี พ.ศ. 2454 ซึ่งเกิดจากภูเขาไฟระเบิด และมีอาณาบริเวณที่ได้รับคามเสียหายกว้างเพียง 1 กม. และยาวเพียง 5 กม. เท่านั้น สาเหตุแท้จริงที่ทำให้เกิดแผ่นดินไหวนั้น นักธรณีวิทยาเชื่อกันว่าเนื่องมาจากโลกเรามีได้แตกแยกออกจากดวงอาทิตย์ออกมาโคจรอยู่ในสุริยจักรวาลร่วมกับดาวนพเคราะห์ดวงอื่น ๆ เป็นเวลานานนับล้าน ๆ ปีมาแล้ว โลกเรามีมีสัณฐานกลม เปลือกโลกภายนอกเย็นลงเป็นแผ่นดินแข็ง เรียกว่า

แผ่นทวีป (Continental Plates) หลายแผ่นลอยอยู่บนใจกลางซึ่งยังร้อนจัดหลอมตัวเป็นของเหลวอยู่ แผ่นทวีปเหล่านี้เคลื่อนตัวอยู่ตลอดเวลา แยกห่างจากกันบ้าง เข้าประชิดติดกันบ้าง เมื่อยเคลื่อนเข้าประชิดติดกันพลังงานจากความเฉื่อยของการเคลื่อนไหวก็เปลี่ยนเป็นพลังงานของความเครียด และความดันของแรงสะสมอยู่ในตัวเนื้อดินของแผ่นทวีป พลังงานนี้จะถูกสะสมเพิ่มขึ้นอยู่เรื่อย ๆ จนในที่สุดเมื่อเกินกำลังของดินแผ่นทวีปนั้นจะรับได้ก็เกิดเป็นรอยแตก (Fault) ขึ้น พลังงานที่สะสมไว้ก็ถูกปลดปล่อยออกในรูปของคลื่นแผ่นดินไหวแผ่กระจายออกไปทุกทิศทาง

ลักษณะรอยแตกนี้มีอยู่หลายลักษณะด้วยกันคือ

- 1) รอยเฉือน (Strike Slip)
- 2) รอยมุด (Under Thrust)
- 3) รอยไถลลง (Normal)
- 4) รอยงัด (Over Thrust)

รอยแตกของพื้นดินซึ่งเป็นจุดปลดปล่อยพลังงานนั้น เรียกว่า "จุดเกิด" (Focus หรือ Hypocenter) ของแผ่นดินไหว จุดนี้ อาจมีได้อยู่บนผิวโลกก็ได้ จุดบนผิวโลกที่อยู่ตรงดิ่งเหนือ "จุดเกิด" นี้เป็นจุดเริ่มต้นของการทำลายสิ่งก่อสร้างบนพื้นดิน เรียกว่า "ศูนย์กลางทำลาย" (Epicenter)"

๕. ความลึกของจุดเกิดแผ่นดินไหว (Depth of Focus)

จุดเกิดแผ่นดินไหวหรือจุดที่เกิดรอยแตก (Fault) นั้น อาจอยู่ใต้ดินแดนพื้นดิน จนถึง 600 กม.ก็มี ถ้าจุดเกิดอยู่ในระดับตื้นแม้จะเป็นแผ่นดินไหวขนาดเล็ก ๆ มีพลังงานปลดปล่อยออกน้อย ก็อาจมีกำลังอำนาจการทำลายสูง แต่ความรุนแรงก็คงจำกัดบริเวณอยู่ในบริเวณของศูนย์กลาง (Epicenter) เท่านั้น โกลออกไปบนระดับพื้นดินความรุนแรงของการทำลายก็จะลดลงโดยรวดเร็ว ถ้าจุดเกิดอยู่ในระดับลึกมาก อำนาจทำลายจะขึ้นอยู่กับพลังงานที่ปล่อยออกมาจากรอยแตก ถ้าเป็นแผ่นดินไหวขนาดใหญ่มีความสั่นสะเทือนมาก ความรุนแรงของการทำลายก็จะแผ่ออกเป็นบริเวณที่กว้างมาก

จากสถิตินับตั้งแต่ พ.ศ. 2298 มาจนถึงปัจจุบันนี้ มีแผ่นดินไหวที่มีจุดเกิดอยู่ชั้นขนาดที่แนวรอยแตกพอสั่งกดได้บนพื้นดินนั้นมีอยู่ไม่ถึง 60 ครั้ง และ 16 ครั้งเป็นแผ่นดินไหวในสหรัฐอเมริกา

๖. ลักษณะของคลื่นแผ่นดินไหว

คลื่นแผ่นดินไหวที่กระจายออกไปทุกทิศทาง มีลักษณะความสั่นสะเทือนแบ่งได้เป็น 3 ลักษณะคือ

ก. คลื่นประธาน (Preliminary)

คลื่นลักษณะนี้สามารถเดินทางผ่านเปลือกโลกไปด้วยความเร็วเท่า ๆ กับความเร็วของเสียง เป็นคลื่นแกว่งตัวตามยาว หรือคลื่นเกิดจากความกดของแรง (Compressional) เมื่อดาวลุดเปลือกโลกจะเคลื่อนที่เข้าไปมาในทิศทางเดียวกับกระแสคลื่น

ข. คลื่นรอง (Secondary) คลื่น

ลักษณะนี้เดินทางไปด้วยความเร็วต่ำกว่าคลื่นประธาน เป็นคลื่นตามขวางกับทิศของการตั้งฉากกับกระแสคลื่น อาจเรียกได้ว่าเป็นคลื่นแรงเฉือน (Shear Wave)

ค. คลื่นยาว (Surface or Long

Wave) เป็นคลื่นที่เกิดขึ้นในแผ่นดินไหวที่มีจุดเกิดอยู่ในระดับตื้น และเกิดขึ้นเพราะ

ความเหนียวน้ำ (Induced) ของคลื่นประธานและคลื่นรอง คลื่นยาวนี้เกิดบนผิวของโลกและกระจายออกทุกทิศทางจากศูนย์กลางทำลาย ความเร็วต่ำกว่าคลื่นประธานและคลื่นรอง แต่มีระยะแกว่งไกล (Amplitude) มากกว่าคลื่นทั้งสองนั้น และเมื่อกระจายห่างศูนย์กลางออกก็กระจายหายไปโดยรวดเร็ว

คลื่นประธานและคลื่นรองนั้นมีเส้นทางเดียวกันและมีอัตราส่วนของความเร็วคลื่นที่คงที่ตลอดทาง ด้วยเหตุนี้คลื่นทั้งสองจึงเดินทางจากจุดเกิด (Focus) ไปถึงสถานที่ตั้งเครื่องวัดในเวลาต่างกัน ดังนั้นเราสามารถที่จะใช้ความจริงข้อนี้คำนวณหาระยะทางจากสถานีถึงจุดที่เกิดของแผ่นดินไหวนั้นได้ หากเรามีสถานีวัดความสั่นสะเทือนสัก 3 แห่งประสานงานกัน วัดระยะเวลาที่แตกต่างระหว่างคลื่น ก และ ข ดังกล่าวแล้ว

ความจริงอีกข้อหนึ่งที่นำสังเกตคือ เมื่อคลื่นความสั่นสะเทือนผ่านจากสื่อแข็ง (หิน) เข้า สื่ออ่อน (ดินที่บดอัดไม่ถึงขนาด) ระยะแกว่ง (Amplitude) ของอนุในวัสดุอ่อนจะขยายใหญ่ขึ้นกว่าเมื่ออยู่ในสื่อแข็ง ซึ่งหมายความว่า ฐานรากของอาคารที่อยู่ในดินอ่อนจะได้รับแรงแผ่นดินไหวสูงกว่าที่อยู่ในดินแข็งหรือหิน

๗. ความรุนแรงของแผ่นดินไหว

ความรุนแรงของแผ่นดินไหวนั้นวัดกันได้ที่ ระยะแกว่งไกล (Amplitude) ของคลื่นความสั่นสะเทือนที่กระจายออกจากจุดเกิดแผ่นดินไหว และอัตราเร่ง (Acceleration) ของความเร็วในการแกว่งไกล สำหรับวิศวกรโครงสร้างผู้รับผิดชอบในความปลอดภัยของโครงสร้างในกรณีแผ่นดินไหวนั้น ย่อมจะสนใจในเรื่องอัตราเร่งมากกว่า ทั้งนี้เพราะอัตราเร่งนั้นเป็นเครื่องชี้บอกถึงความรุนแรงของแรงที่กระทำต่อโครงสร้างด้วยสมการ

F = ma = Wa/g

F คือแรงที่เกิดขึ้นคิดเป็น gn. ตามทิศทางของอัตราเร่ง

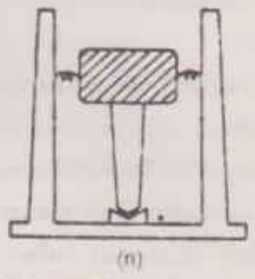
m คือมวลของวัตถุ (เป็นส่วนของอาคารมีน้ำหนัก W gn.)

a คืออัตราเร่งคิดเป็น (mm/sec<sup>2</sup>) หรือค่าตามหน่วยของ

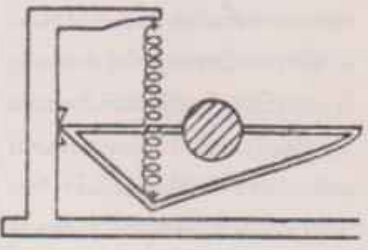
g คืออัตราเร่งของแรงดึงดูดของโลก (980 mm/sec<sup>2</sup>)

อย่างไรก็ดีเครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนที่นักธรณีวิทยาได้ประดิษฐ์ขึ้นนี้ สามารถให้ได้ทั้งค่าของระยะแกว่ง และอัตราเร่งของความเร็วในการแกว่งไกล ณ สถานีตรวจวัดแผ่นดินไหว

๘. เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือน (Seismometer)



(ก)



(ข)

ก. เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนมีลักษณะเป็นลูกตุ้มแกว่งตัวที่ตั้งไว้บนล้อหมุนด้วยสปริง ใช้สำหรับวัดระยะแกว่งในทิศทางระดับราบ

ข. เครื่องมือวัดความสั่นสะเทือนมีลักษณะลูกตุ้มแกว่งระดับ มีสปริงรับน้ำหนักลูกตุ้มไว้ใช้สำหรับวัดระยะแกว่งในทางตั้ง

เพื่อป้องกันมิให้ลูกตุ้มแกว่งไปตามธรรมชาติของมัน เมื่อได้บันทึกระยะแกว่งของคลื่นสั่นสะเทือนลูกแรกแล้ว จำเป็นต้องมีเครื่องระงับการแกว่งตามธรรมชาติคือ แขนบังคับของลูกตุ้ม (Damper) ไว้ด้วย เพื่อให้ลูกตุ้มหยุดนิ่งพร้อมที่จะบันทึกระยะแกว่งของคลื่นลูกต่อไป

เครื่องที่ใช้จริงในสนามนั้นจะต้องมีส่วนประกอบที่พิสดารกว่านี้มาก

๘ มาตราส่วนสำหรับวัดความรุนแรงของแผ่นดินไหว

มาตราส่วนแรกที่ใช้สำหรับวัดความรุนแรงของแผ่นดินไหว คือมาตราส่วน "R-SI พอยเปล" ซึ่งใช้มาตั้งแต่ พ.ศ. ๒๔๖๕ และส่วนนี้กำหนดความรุนแรงตามลำดับความเสียหายที่เกิดขึ้นตั้งแต่หน่วยไปประมาณด้วยตัวเลขโรมันตั้งแต่ I ถึง X

มาตราส่วนที่ใช้ทดแทนมาตราส่วนแรกก็คือมาตราส่วน "เมอร์คัลลี" ซึ่งเป็นลักษณะการของมาตราส่วนแรกเมื่อ พ.ศ. ๒๕๓๑ และมาตราส่วนเมอร์คัลลีซึ่งถูกแก้ไขต่อมาอีกครั้งเมื่อ พ.ศ. ๒๕๔๕ โดยกำหนดความรุนแรงตามลำดับความเสียหายเช่นเดียวกับมาตราส่วน "รอสซี พอยเปล" แต่ได้กำหนดความรุนแรงไว้ 12 ขึ้นด้วยตัวเลขโรมันเช่นเดียวกัน

ในการศึกษาแผ่นดินไหวในแคลิฟอร์เนียได้ วิเคราะห์ได้เสนอแนะมาตราส่วนใหม่ซึ่งนำหลักวิทยาศาสตร์มากขึ้นโดยถือความรุนแรงตามระยะแอมพลิจูด (Amplitude) ของความสั่นสะเทือนเป็นหลัก และได้ให้สมการแสดงความสัมพันธ์ไว้ดังต่อไปนี้

$$M = \log A - \log A_0$$

M คือค่าความรุนแรงของแผ่นดินไหวในครั้งนั้น

A คือระยะแอมพลิจูดซึ่งวัดที่สถานีใดก็ได้

A<sub>0</sub> คือระยะแอมพลิจูดของคลื่นแผ่นดินไหวที่เล็กที่สุดซึ่งวัดได้ที่ศูนย์ที่หลายในขณะที่ยังคงความสั่นสะเทือนซึ่งวัดตั้งอยู่ที่สถานีที่ระยะวัดไม่ได้

การหาค่าของ M ตามมาตราส่วนวิเศษณ์นี้ ความถูกต้องจึงอยู่ที่การหาค่าของ A<sub>0</sub> ซึ่งเป็นค่าเฉพาะของสถานีและเกี่ยวข้องกับระยะทางจากจุดเกิดแผ่นดินไหวและอัตราการสูญเสียพลังงานความสั่นสะเทือนของคลื่นแผ่นดินไหว

มาตราส่วนนี้เป็นมาตราส่วนที่หาใช้เปรียบเทียบความรุนแรงของแผ่นดินไหวที่เกิดขึ้นในประเทศต่างๆ ได้เพราะเป็นค่าของความรุนแรงที่จุดเกิดของแผ่นดินไหว

ครั้งต่างๆ เหนือมันโดยตรง

10. แอชท์กะท่าต่ออาคาร

ได้กล่าวแล้วว่าแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารนั้นเป็นแรงที่เกิดจากความเฉื่อยของมวลน้ำหนักต่างๆ ที่บรรจุอยู่บนอาคาร (F = ma) บทบัญญัติของประเทศต่างๆ เกี่ยวกับกรการสร้างอาคาร จึงกำหนดอัตราเร่งของความสั่นสะเทือนไว้ใช้ในการคำนวณออกแบบอาคารเพื่อความปลอดภัยของผู้ใช้สอยอาคาร ตามความรุนแรงของคลื่นสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหวที่เคยมีมาแล้วในแต่ละประเทศ และบางประเทศก็กำหนดค่าลิกซ์อย่างลงไปจนถึงอัตราเร่งที่จะใช้ต่อส่วนประกอบอื่น ๆ ของอาคารด้วย บทบัญญัติของญี่ปุ่นซึ่งอยู่ในบริเวณลึกลับแหลมต่อแผ่นดินไหวมาก กำหนดอัตราเร่งสูงกว่านั้นมาก แต่การกำหนดเช่นนี้ก็มักว่าปลอดภัยพอสมควร เพราะค่าที่กำหนดไว้สำหรับโครงสร้างที่ไหวตัวได้ดี มีอัตราลดหย่อน (Damping factor) อยู่มากพอสมควร

อาคารที่มีโครงสร้างเป็นเชิงท่อนจะมีความมั่นคงปลอดภัยต่อแรงแผ่นดินไหว เพราะไม่มีกระชอนตัวไหลตามคลื่น และเชิงเป็นวัสดุที่เปราะ ไม่มีความทนต่อการไหวตัวไปมาหลายรอบได้

อาคารที่สร้างด้วยโครงเหล็กรูปพรรณจะมั่นคงต่อแรงแผ่นดินไหวมาก เพราะไหวตัวตามแรงแผ่นดินไหวได้พอสมควร และเหล็กเป็นวัสดุที่เหนียว (Ductile)

แรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่ออาคารนั้นมีหลายลักษณะตามคลื่นของความสั่นสะเทือนซึ่งมีอยู่เป็น ๓ ลักษณะ อาคารที่คงทนต่อคลื่นลักษณะหนึ่งอาจไม่ปลอดภัยเมื่อรับแรงของคลื่นลักษณะอื่น นอกจากนั้นแผ่นดินไหวยังก่อให้เกิดอาการแทรกซ้อน เช่น ทำให้พื้นดินฐานรากเสียคุณสมบัติในการรับน้ำหนักของอาคาร เป็นเหตุให้อาคารต้องพังทะลายลงได้เหมือนกัน

11. ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งกับความรุนแรงของแผ่นดินไหว

โดยที่วิศวกรสนใจในอัตราเร่งของ

คลื่นแผ่นดินไหวมากกว่าระยะแอมพลิจูดของคลื่น ดังนั้นหลังจากที่ได้ศึกษาเรื่องแผ่นดินไหวมาเป็นเวลานาน วิศวกรจึงได้เสนอแนะสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเร่งกับความรุนแรงของแผ่นดินไหวตามมาตราส่วนของเมอร์คัลลีไว้ดังนี้

$$\log a = \left(\frac{1}{3}\right) - \left(\frac{1}{2}\right)$$

a คือ อัตราเร่ง คิดเป็น ซม./วินาที/วินาที  
l คือ ความรุนแรงของแผ่นดินไหวตามมาตราส่วนเมอร์คัลลี

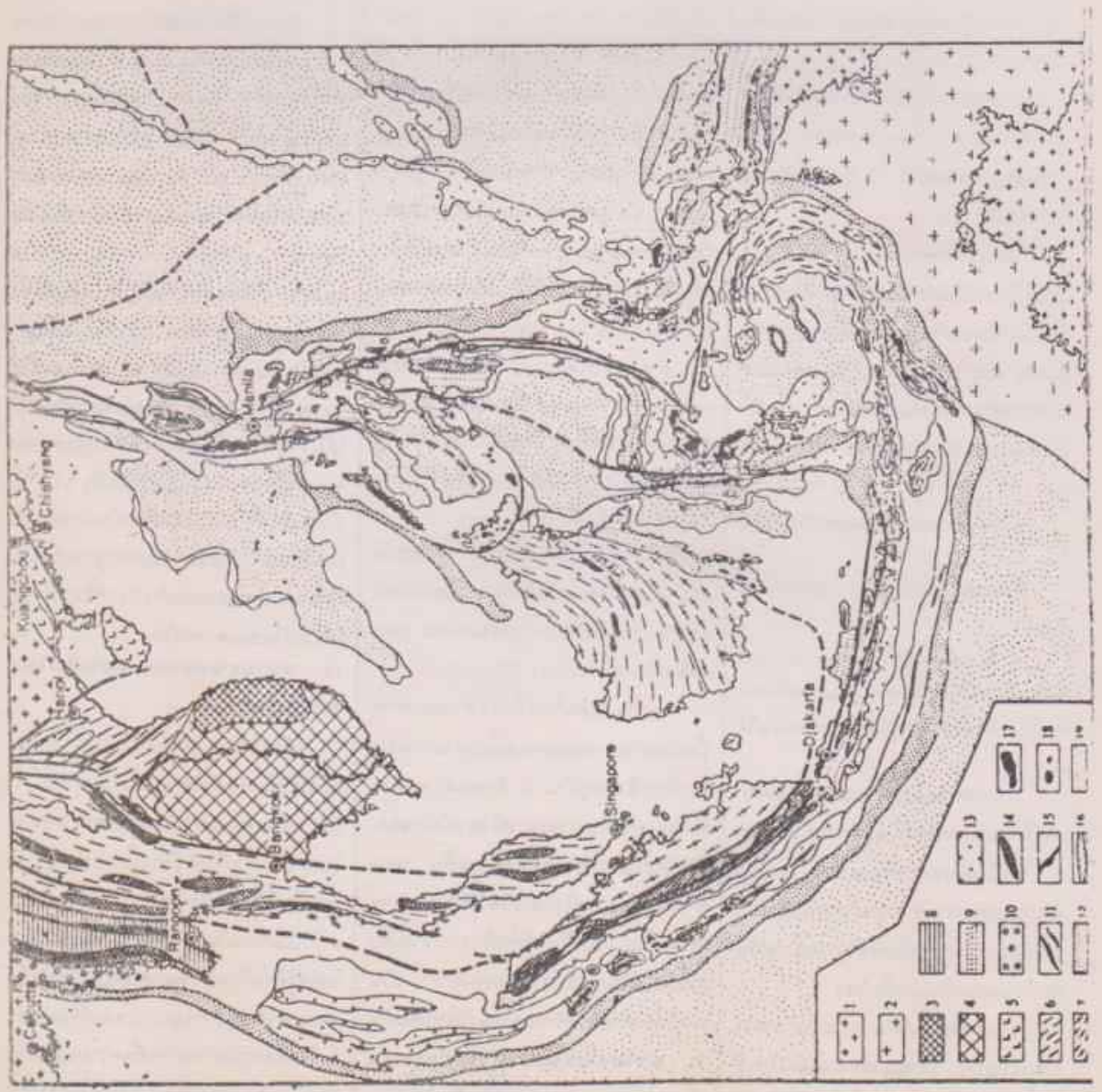
สมการนี้ให้ค่าอัตราเร่งสูงกว่าที่เคยทำได้แต่ก่อนตามตารางแนบนี้ โดยเฉพาะสำหรับค่า l ที่สูงๆ ในตอนท้ายๆ ของตารางแนบนี้ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเหตุผลหลายประการ เช่น ความหนาของมาตราส่วนเมอร์คัลลี ลักษณะของคลื่นอินมีผลในการทำลายต่างกัน ลักษณะและชนิดของอาคารที่ทนต่อแรงแผ่นดินไหวได้ต่างกัน และค่าอัตราเร่งตามตารางเป็นค่าต่ำสุด เป็นต้น อย่างไรก็ตามอัตราเร่งที่ได้จากสมการข้างบนนี้ วิศวกรในแง่ว่าเป็นค่าที่ได้มาจากกรเปรียบเทียบความรุนแรงของแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ครั้งที่แล้ว ๆ มา จึงน่าจะเชื่อถือและใช้เป็นหลักในการพิจารณา กำหนด และวางมาตรฐานสำหรับคำนวณแรงของแผ่นดินไหวที่กระทำต่อโครงสร้างของอาคารได้

12. ความรุนแรงของแผ่นดินไหวในประเทศไทย

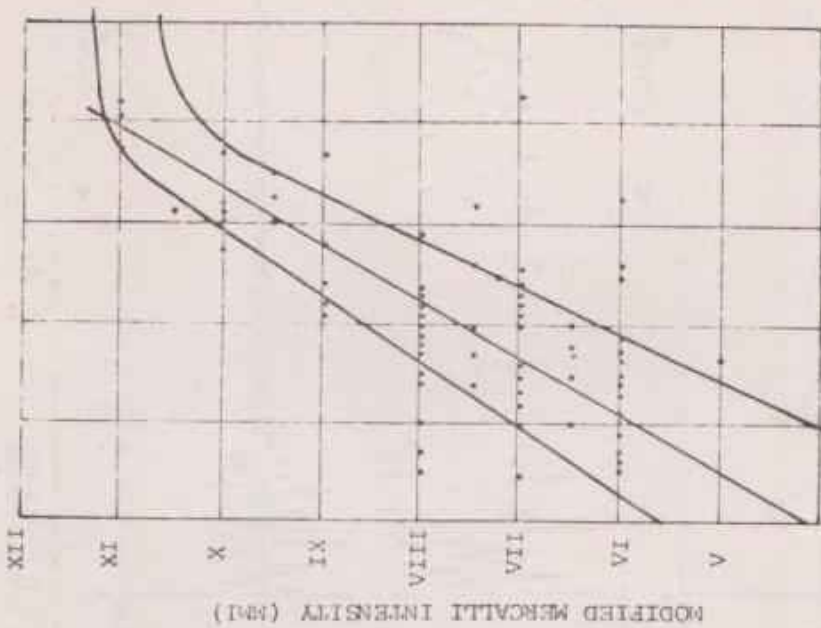
ในประเทศไทยนั้น แต่เดิมมาเราไม่สนใจสนใจในเรื่องวิถีกับแผ่นดินไหวกัน ทั้งนี้อาจเป็นเพราะการก่อสร้างอาคารขนาดใหญ่ และสูงเพิ่งจะมีขึ้นเมื่อประมาณ 10 กว่าปีมานี้เอง และนาน ๆ ระเบิดกับแผ่นดินไหวสักครั้งหนึ่ง ทั้งแผ่นดินไหวที่รู้สึกได้ในนครหลวงของประเทศก็มิได้เคยทำความเสียหายมากมายอะไรเลย เราจึงมิได้คิดจะมีมาตรการเพื่อความปลอดภัยของชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนในเรื่องนี้เลย แผ่นดินไหวเมื่อวันที่ 22 เมษายน

Fig. 1 Diagrammatic map showing the general floor physiography and the tectonics of the islands of Indonesia, Philippines and fold areas of different ages

- 1—ancient platform
- 2—same below sea level
- 3—outcrops of basement of young platforms and median masses
- 4—same buried beneath sedimentary cover
- 5—Caledonian fold areas
- 6—late Paleozoic-Mesozoic fold areas of northern Indochina, Burma and Malay Peninsula
- 7—same buried under sedimentary cover (Sumatra and Kalimantan)
- 8—late Cretaceous and Paleogene fold areas
- 9—Neogene fold areas of Sumatra, Java and other large islands
- 10—Neogene foredeep
- 11—anticlines
- 12—deep sea trenches and their continuations on land
- 13—young anticlines up to island arcs
- 14—anticlines with slight uplift
- 15—deep sea rift fault
- 16—Sumatra and tectonophyllic structures
- 17—grabens, rifts
- 18—profundities
- 19—shoals and banks
- 20—reefs



HORIZONTAL STRONG GROUND MOTION  
ACCELERATION (MM/SEC<sup>2</sup>)

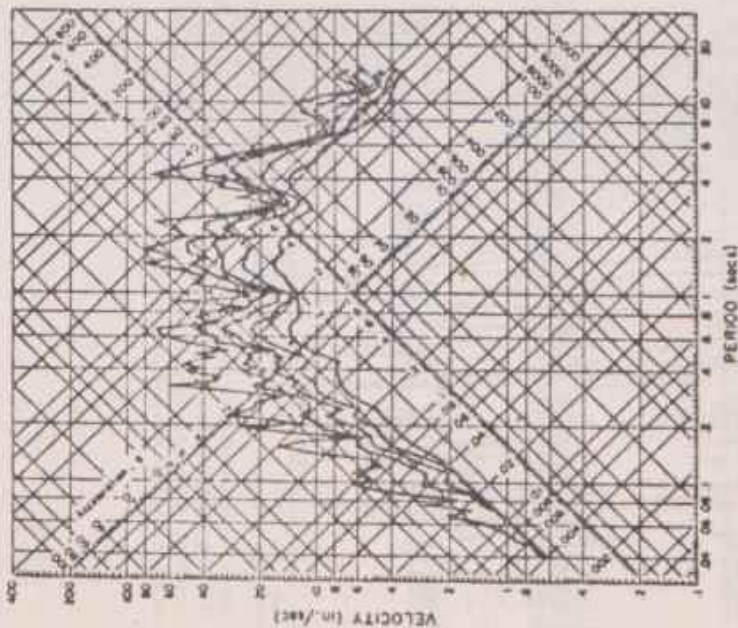


RICHTER MAGNITUDE

EARTHQUAKE MAGNITUDE-INTENSITY  
RELATIONSHIP

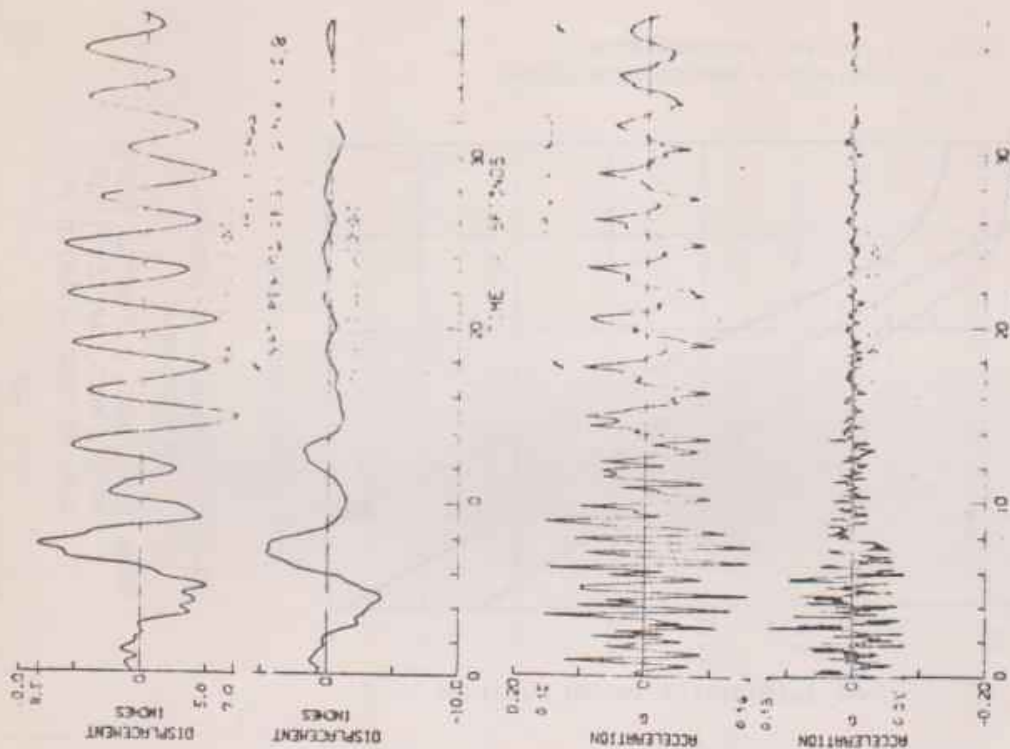
FROM W.B. CLARK, C.J. HAUGE (1971)  
WOOD, HECK, APPELEY (1966)  
C.F. RICHTER (1958) p.353

FIG 3

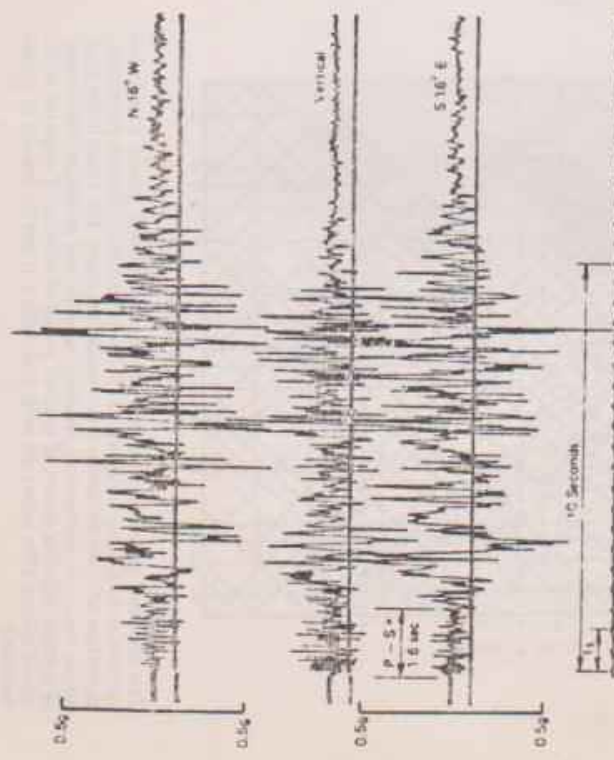


This response spectrum, calculated from the north-south ground acceleration recorded at the Holiday Inn during the 1971 San Fernando, California, earthquake, shows how effective the motion is in vibrating structures. The values in the graph are the maximum acceleration, maximum velocity, and maximum displacement of a simple vibrating system of specified period of vibration if subjected to the ground motion. (The curves are for 0, 0.02, 0.05, 0.1, and 0.2 fraction of critical damping.)

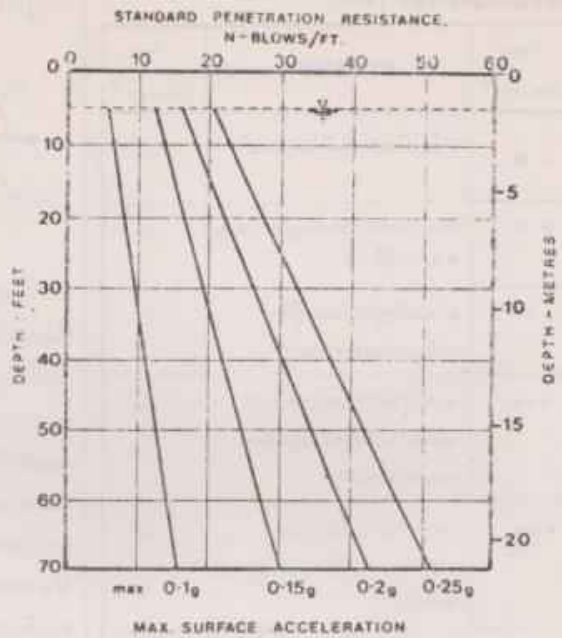
FIG 2



These earthquake motions were recorded in a moderately strong ground motion station in a 50-story building.

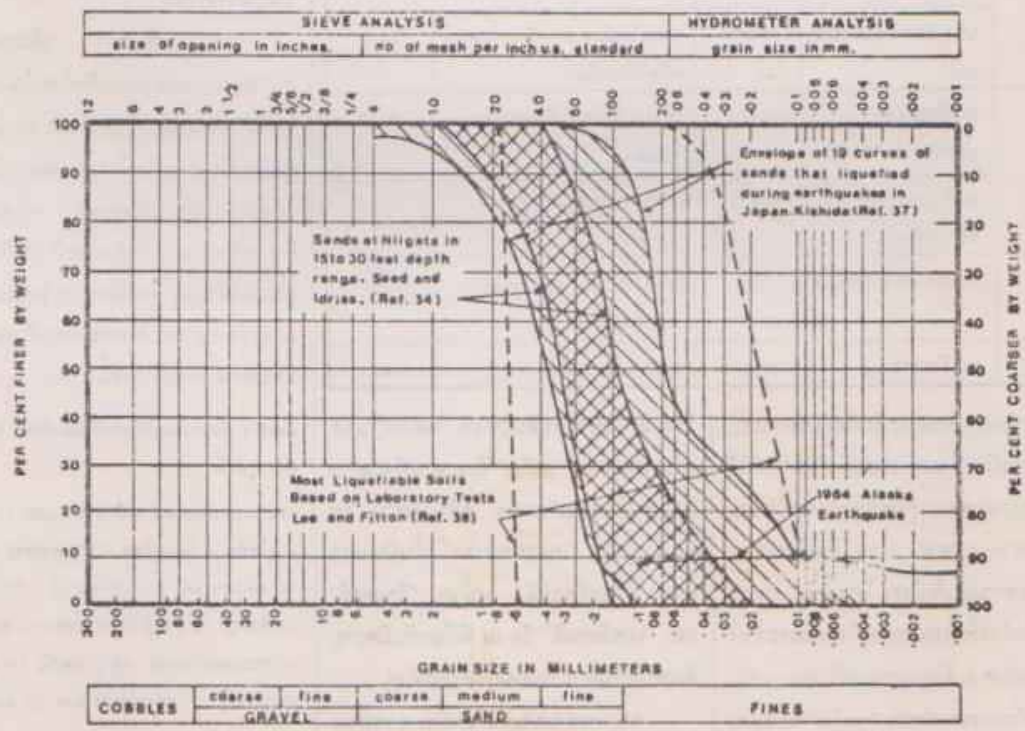


This accelerogram was recorded above the causative fault at the center of energy release during the 1971 magnitude 6.5 San Fernando earthquake. This very intense ground shaking was recorded on the side of a steep hill. More than \$500 million (1971 dollars) in damage was caused by this intermediate-sized earthquake.



Standard penetration resistance values above which liquefaction is unlikely to occur under any conditions (after Seed and Idriss<sup>16</sup>)

Figure 6

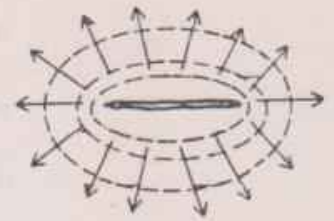


Liquefaction potential related to particle size (after Shannon et al.<sup>33</sup>)

Figure 7

จีทีเอส	เมอร์คอลลี	"MM mm/sec <sup>2</sup>	ความรุนแรง	"R mm/sec <sup>2</sup>
2	I ไม่แสดง ความรุนแรง	< 10	เครื่องมีเพ่งเห็นที่จับคลื่นได้	
	II ไม่รุนแรง	> 10	คนประสาทไวระณะอยู่อย่างสงบ สามารถรู้สึกได้	15
3	III มีความรุนแรง เล็กน้อย	> 25	ทุกคนที่รู้สึกอย่างสมบูรณ์ เบลอหรือบรรเทาทุกวิมมาน	32
	IV มีความรุนแรงพอ ประมาณ	> 50	ทุกคนรู้สึกได้ในขณะที่กำลัง เคลื่อนไหววัตถุที่มีโดยที่วัตถุจะ ชักหรือโยนได้	68
4	V ค่อนข้างรุนแรง	> 100	คนหลับก็ตื่น จากคนแตก ระฆังดังทง นาฬิกา (ลูกตุ้ม) หยุดเดิน	147
5	VI รุนแรง	> 250	ทุกคนรู้สึกตกใจ อหิวา เริ่มเสียหาย ภูเขา แตกวิว	316
6	VII รุนแรงมาก	> 500	คนอยู่ในรถยนต์รู้สึก อหิวา ที่ไม่แข็งแรงเสียหายตกใจกัน ทั่วไป	681
	VIII เกิดความเสียหาย	> 1000	ปล่องไฟล้มอาคารเสียหายหนัก เครื่องเวียนล้ม	1469
7	IX เสียหายอย่าง ย่อยยับ	> 2500	โครงสร้างพื้นดินแตกแยก พ่นแตก	3162
	X เสียหาย อย่างหนัก	> 5000	อาคารจำนวนมากพัง	6813
8	XI เสียหายใกล้พิทาศ	> 7500	โครงสร้างสามารถตั้งอยู่ได้ ไม่กี่แห่ง	14689
8.5	XII พิทาศสิ้น	> 9800	ทุกอย่างพิทาศสิ้น	31623

เป็นรูปวงรี



ความรุนแรงของคลื่นสั้นจะเหมือน  
ที่ลดลงไปตามระยะทางได้รวดเร็วเพียงใด  
นั้นขึ้นอยู่กับรูปแบบของคลื่น, จีทีเอส,  
ความยาวของระยะแตกของเปลือกโลก และ  
คุณสมบัติของพื้นดินซึ่งเป็นสื่อในการกระ  
จากของคลื่น ในดินแข็งหรือหินความรุน  
แรงนี้จะลดลงรวดเร็วกว่าในดินอ่อน รูป  
ที่ 8 แสดงการลดความรุนแรงของคลื่นสั้น  
ละเทือนจากจุดเกิดแผ่นดินไหวขนาดใหญ่ที่  
เคยส่งผลกระทบต่อประเทศไทย  
มาแล้ว และรูปที่ 9 เป็นแผนที่ส่วนหนึ่งของ  
ประเทศไทยแสดง "เส้นบอกเขต" ความ  
รุนแรง (isoseismal Lines) ของแผ่นดินไหว  
ในประเทศไทย

จากแผนที่แสดง "เส้นบอกเขต"  
ความรุนแรงของแผ่นดินไหวในประเทศไทย  
พอจะทำนายได้ว่าในอนาคต หากเกิดแผ่นดิน  
ไหวขึ้นมีจุดเกิดที่ "รอยแตก" ในทะเล  
อันดามันหรือประเทศพม่า หรือประเทศ  
จีน หรือแม้จาก "รอยแตก" ในกิ่งอ่าว  
ศรีวิชัยก็แล้ว จังหวัดต่างๆ ในประเทศไทย  
คงจะต้องถูกกระทบกระเทือนด้วยความรุน  
แรงแตกต่างกันไปดังนี้

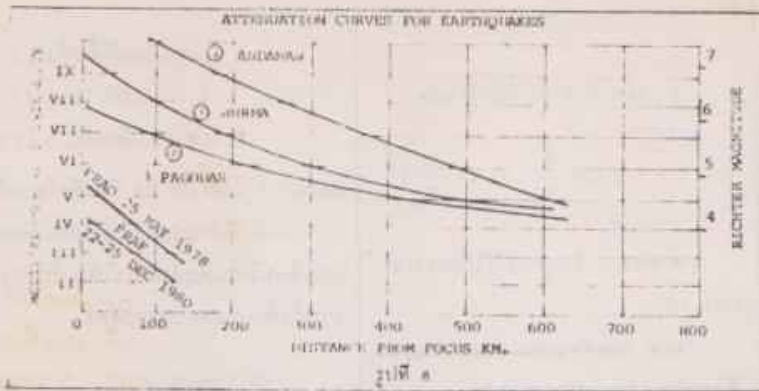
- เขต 1 เกิดความเสียหายขึ้นเล็กน้อย ในจังหวัด  
ต่างๆ ดังนี้
- 1) ยาน 2) เชียงใหม่ 3) ลำปาง 4) พะ 5) อุตรดิตถ์
  - 6) สุโขทัย 7) พิษณุโลก 8) กำแพงเพชร 9) พิจิตร
  - 10) นครสวรรค์ 11) อุทัยธานี 12) ชัยนาท
  - 13) สิงห์บุรี 14) ลพบุรี 15) ราชบุรี 16) สุพรรณบุรี
  - 17) พระนครศรีอยุธยา 18) ปทุมธานี 19) นครปฐม
  - 20) นครเทวี 21) กรุงเทพมหานคร 22) ฉะเชิงเทรา
  - 23) สมุทรปราการ 24) ราชบุรี 25) สมุทรสาคร
  - 26) สมุทรสงคราม 27) เพชรบุรี 28) ประจวบคีรีขันธ์
  - 29) ชุมพร 30) สุราษฎร์ธานี 31) พังงา
  - 32) ภูเก็ต

2526 ทำให้เราตื่นตัวระลึกถึงภัยของแผ่น  
ดินไหวกันเป็นครั้งแรก และทางราชการก็ได้  
เริ่มพิจารณาออกกฎกระทรวงควบคุมพรบ.  
ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ขึ้นเพื่อความ  
ปลอดภัยจากแผ่นดินไหว โดยเฉพาะอาคาร  
ต่างๆ ที่สร้างขึ้นในประเทศไทยนั้นจะต้อง  
มีความมั่นคงแข็งแรงของคลื่นความสั่น  
สะเทือนที่แผ่กระจายจาก "จุดเกิด" ของแผ่น  
ดินไหวได้ทุกโอกาส

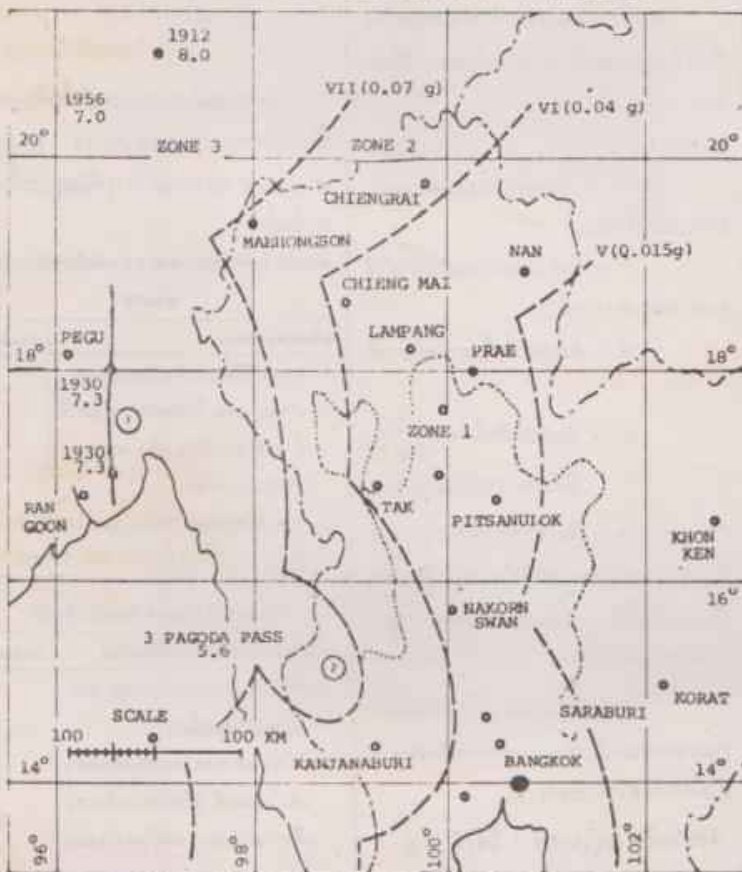
"ความรุนแรง" ของคลื่นความสั่น  
สะเทือนจะมากขึ้นเรื่อยๆ ใดนั้นขึ้นอยู่กับ

"ขนาด" ของแผ่นดินไหวที่ "จุดเกิด" และ  
ระยะทางจาก "จุดเกิด" ถึงอาคารที่จะสร้าง  
ขึ้น หน่วยของ "ขนาด" คลื่นวัดเป็น "ริช  
เตอร์" ส่วน "ความรุนแรง" นั้นมีหน่วย  
เรียก "เมอร์คอลลี" หน่วย "ริชเตอร์"  
และ "เมอร์คอลลี" วัด ณ ที่เกี่ยวกับมีความ  
สัมพันธ์กันตามที่แสดงไว้ด้วยกราฟ  
ขนาดของแผ่นดินไหวนั้น อาจบอก  
ได้จากความยาวของรอยแตกของเปลือก  
โลก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดแรงสั่น  
สะเทือนกระจายออกไปโดยรอบในลักษณะ





EARTHQUAKE INTENSITY IN CHAO PRAYA VALLEY THAILAND.



41  
41.1

ในจังหวัดเหล่านี้ ควรใช้ขีดแรง 0.04

ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวในทิศทางระดับ

เขต 2 เกิดความเสียหายปานกลาง ในจังหวัดต่างๆ ดังนี้ :

1) เชียงราย 2) แม่ฮ่องสอน 3) ลำปาง  
4) กาญจนบุรี

ในจังหวัดเหล่านี้ ควรใช้ขีดแรง 0.07 (g)

ในการคำนวณแรงแผ่นดินไหวในทิศทางระดับ

13. การคำนวณออกแบบอาคารเพื่อความปลอดภัยจากแผ่นดินไหวในประเทศไทย

13.1 ได้กล่าวในข้อ 7 แล้วว่าแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่อโครงสร้างของอาคารนั้นเป็นแรงเฉื่อยของมวลที่บรรจุอยู่บนอาคาร ซึ่งรวมทั้งน้ำหนักของอาคารและน้ำหนักจลนเฉื่อยนี้จะมากขึ้นหรือน้อยขึ้นขึ้นอยู่กับอัตราเร่งของคลื่นแผ่นดินไหว ที่กระทำต่อโครงสร้างทุกส่วนของอาคารทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ดิน (โครงสร้าง) และใต้พื้นดิน (ฐานราก)

แรงเฉื่อยนี้เกิดขึ้นเมื่อคลื่นแผ่นดิน

ไหวกระจากมากระทบโครงสร้างและฐานรากของอาคารทั้งในทางระดับและทางตั้ง แรงในทางระดับจะรุนแรงกว่าแรงในทางตั้ง ซึ่งมีความรุนแรงเพียง  $\frac{1}{2}$  ถึง  $\frac{2}{3}$  ของแรงทางระดับ แต่ก็มีความสำคัญซึ่งไม่อาจมองข้ามไปได้

13.2 แอ่งดินสะเทือนของดิน

โพรง อาจแสดงความรุนแรงต่อดินฐานรากที่เป็นทรายละเอียดซึ่งชุ่มน้ำและพื้นดินเหนียวปนอยู่บ้าง ด้วยการเพิ่มแรงอัดของน้ำในโพรงของเม็ดทรายทำให้สูญเสียกำลังรับน้ำหนักจนถึงกันทรายนั้นไหลได้อย่างของเหลว (Liquefaction) เป็นเหตุให้อาคารทรุดพังได้ตั้งได้กล่าวไว้ใน ข้อ 2.5 เรื่องแผ่นดินไหวที่ ซิดนีย์ พ.ศ. 2503

ดินฐานรากอาคารในบริเวณกรุงเทพฯ นั้น มีคุณสมบัติที่อาจเกิดการไหลได้เหมือนกัน แต่โชดดีที่แผ่นดินไหวที่แล้วๆ มายังมีความรุนแรงไม่ถึงขนาด อีกประการหนึ่งดินทรายที่เราใช้เป็นรากฐานนั้นก็อยู่ลึกพอสมควร จึงไม่เกิดขึ้นครายขึ้น สำหรับที่อื่นในประเทศไทยที่อาจมีการวางรากฐานบนพื้นทรายในระดับดินตื้น รูปที่ 7 แสดง ขนาดของเม็ดทรายที่อาจไหวได้ง่าย ควรจะหลีกเลี่ยงไม่วางรากฐานที่ตื้นๆ บนทรายชนิดนั้น ส่วนรูปที่ 6 แสดงเกณฑ์สำหรับกำหนดความลึกของดินทรายที่จะใช้เป็นฐานรากเพื่อความปลอดภัยจากความรุนแรงของแผ่นดินไหว ที่จะเกิดขึ้น

13.3 คลื่นแผ่นดินไหว ที่มีความรุนแรงสูงนั้นมักจะมี "ระยะเวลาแกว่ง" (Period) อยู่ระหว่าง 0.5 ถึง 2.5 วินาที ฉะนั้น ถ้าปะทะกับโครงสร้างของอาคารที่มี "ระยะเวลาแกว่งธรรมชาติ" (Natural Period) ที่อยู่ในระยะนี้ แรงที่เกิดขึ้นต่อโครงสร้างนั้น ก็จะทวีความรุนแรงขึ้นด้วย "การประสานแรงได้" (Resonance) และจะรุนแรงมากเพียงใดนั้นขึ้นอยู่กับ "ระยะเวลา" (Duration) ที่คลื่นนั้นยังแสดงความรุนแรงอยู่และคุณสมบัติของโครงสร้างอาคารที่เกี่ยวข้องกับ "แค้นปี" (Damping)

รูปที่ 5 แสดงรูปของคลื่นแผ่นดินไหว ที่ปะทะอาคาร 17 ชั้น แห่งหนึ่งในนครริชมอริก้า อาคารสั้นไหวไปมาไม่ถึงกับพียงจากรูปถึงแม้ว่า "ระยะเวลาแห่งธรรมชาติ" ของอาคารจะไม่ตรงกับ "ระยะเวลาแกว่ง" ของแผ่นดิน ความรุนแรงของการสั่นสะเทือน (ทั้งระยะแกว่งและทิศทาง) ที่ขึ้นบนสุดของอาคารก็สูงกว่าที่พื้นดินมาก

ถ้า S เป็นสัมประสิทธิ์ของ "การประสานแรงได้"

$T_u$  เป็น "ระยะเวลาแกว่ง" ของแผ่นดินไหว (วินาที)

T เป็น "ระยะเวลาแห่งธรรมชาติ" ของอาคาร (วินาที)

ซึ่งอาจคำนวณได้จาก:

$$T = \frac{0.09 h}{D} \quad (13.1)$$

$h_u$  เป็นความสูงของพื้นอาคารชั้นสูงสุด (เมตร)

D เป็นความกว้างของอาคารในทิศทางของแรง (เมตร)

สำหรับอาคารที่มีโครงสร้าง 3 มิติ ประกอบขึ้นด้วยวัสดุที่เหนียวชนิด (Ductile) สามารถทนแรงในแนวนอนทั้งหมดที่เกิดขึ้นได้ และโครงสร้างนี้มีได้เชื่อมต่อกับโครงสร้างอื่นที่แข็งแรงกว่า อาจคำนวณ "ระยะเวลาแห่งธรรมชาติ" ได้โดย :

$$T = 0.1 N \quad (13.2)$$

เมื่อ N = จำนวนชั้นของอาคารทั้งหมดที่ยึดเหนี่ยวติดกัน

ค่าของสัมประสิทธิ์เกี่ยวกับ "การประสานแรงได้" (S) นี้ อาจคำนวณได้ดังนี้ :

ก) เมื่อ  $0.3 \leq T \leq 0.5$  วินาที หรือ  $T \leq T_u$

$$S = 1.0 + \left(\frac{T}{T_u}\right) - 0.5 \left(\frac{T}{T_u}\right)^2 \quad (13.3)$$

ข) เมื่อ  $0.5 \leq T \leq 2.5$  วินาที หรือ  $T = T_u$

$$S = 1.5 \quad (13.4)$$

ค) เมื่อ  $T \geq 2.5$  วินาที หรือ  $T > T_u$

$$T_u = 1.0$$

$$S = 1.2 + 0.6 \left(\frac{T}{T_u}\right) - 0.3 \left(\frac{T}{T_u}\right)^2 \quad (13.5)$$

ค่าของ S ในทุกกรณีไม่ควรจะต่ำกว่า 1.0

13.4 การคำนวณแรงแผ่นดินไหว

ที่จะกระทำต่อส่วนบนของอาคาร

แรงเฉือนในแนวระดับบนโครงสร้างส่วนที่ยึดเหนี่ยวพื้นดินอาจคำนวณได้โดยสมการ :

$$V = ZIKCSW \quad (13.6)$$

เมื่อ V = แรงเฉือนทั้งหมดในแนวระดับที่ชั้นพื้นดิน

I = แฟกเตอร์เกี่ยวกับการใช้อาคารตามตารางที่ 1

K = สัมประสิทธิ์ ตามตารางที่

$$C = \text{สัมประสิทธิ์} = \frac{1}{15\sqrt{T}}$$

ซึ่งไม่ควรจะเกิน 0.12

S = สัมประสิทธิ์เกี่ยวกับ "การประสานแรงได้ธรรมชาติ" ของแผ่นดินไหวกับโครงสร้าง (ค่าของผลคูณของ CS ไม่ควรเกิน 0.14)

Z = สัมประสิทธิ์เกี่ยวกับความรุนแรงของแผ่นดินไหวในเขตจังหวัดต่าง ๆ ที่ได้กำหนดไว้ในข้อที่ 12

จังหวัดที่ตกอยู่ในเขต 1 ให้ใช้  $z = \frac{3}{10}$

จังหวัดที่ตกอยู่ในเขต 2 ให้ใช้  $z = \frac{2}{10}$

W = น้ำหนักของอาคารทั้งหมด (ตัน)

13.5 การเฉลี่ยแรงแผ่นดินไหวระดับ

ให้กับพื้นชั้นต่าง ๆ อาจทำได้โดยสูตรต่อไปนี้

$$V = F_1 + \sum_{i=1}^n F_i \quad (13.6)$$

เมื่อ  $F_1$  = แรงเฉือนที่พื้นชั้นบนสุด

ของอาคาร

$F_1$  = แรงเฉือนที่พื้นชั้นที่ 1

$$F_1 = 0.07 TV \quad (13.7)$$

$F_1$  ไม่ควรจะมีค่าเกิน 0.25 V

และถ้า T น้อยกว่า 0.7 วินาที ก็อาจถือว่า  $F_1 = 0$  ได้ ส่วนของแรงเฉือนที่เหลือจากแรงเฉือนที่ชั้นพื้นดินแบ่งให้แก่ชั้นต่าง ๆ รวมทั้งชั้นบนสุดด้วยตามสูตร

$$F_i = \frac{(V - F_1)w_i h_i}{\sum_{i=1}^n w_i h_i} \quad (13.8)$$

แรงเฉือนในแนวระดับที่พื้นชั้นต่าง ๆ นั้นถือว่ากระทำที่จุดศูนย์กลาง (Center of gravity) ของมวลต่าง ๆ ที่มีอยู่บนพื้นแต่ละชั้นนั้น

ตาราง 1 ค่าของ I แฟกเตอร์เกี่ยวกับการใช้อาคาร

ชนิดของอาคาร	ค่าของ I
1) อาคารที่มีความจำเป็นต่อความเป็นอยู่ เช่น โรงพยาบาล สถานีตำรวจ สถานีดับเพลิง อาคารหน่วยบรรเทาภัย	1.5
2) อาคารที่ชุมชนมากกว่า 300 คน	1.25
3) อื่น ๆ	1.0

ตาราง 2 ค่าของสัมประสิทธิ์ K

ชนิดโครงสร้างรับแรงแผ่นดินไหวระดับ	ค่าของ K
1) มีกำแพงรับแรงแผ่นดินไหวระดับ หรือกำแพงรับแรงเฉือน	1.33
2) มีทั้งกำแพงและโครงสร้างรับแรงเฉือนได้ 100% และโครงสร้างรับแรงได้ 25%	0.08
3) โครงสร้างที่เหนียวชนิดรับแรงได้ 100%	0.67
4) โครงสร้างระบบอื่น ๆ	1.00
5) หอคิงน้ำ	2.50
6) โครงสร้างที่ไม่ใช่อาคาร	2.00

เมื่อได้แรงเฉือนตามพื้นต่าง ๆ แล้ว ก็อาจคำนวณแรงแผ่นดินไหวและโมเมนต์ในทุก ๆ ชั้นส่วนของโครงสร้างและออกแบบอาคารให้ทนทานต่อแรงแผ่นดินไหวได้

14. ขั้นตอนนำในการคำนวณออกแบบอาคาร

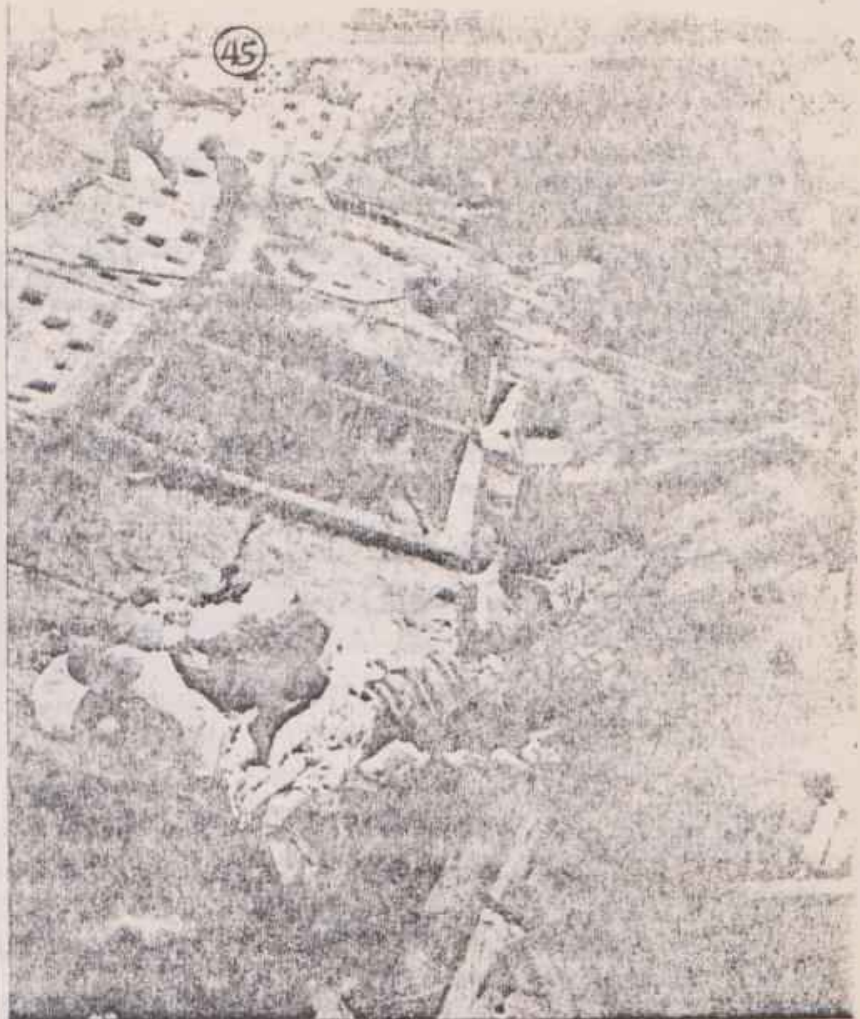
14.1 ควรออกแบบให้คานถึงจุดประ-  
สงค์ก่อนเสมอ เพราะเสานั้นเป็นโครงสร้าง  
ส่วนสำคัญที่สุด หากเสาต้องประลัยลง  
อาคารส่วนอื่น ๆ อาจพังลงมาทั้งหมด หาก  
คานต้องประลัยก็อาจเกิดการพังทลายของ  
อาคารเฉพาะส่วนที่คานตัวที่ประลัยไปแล้ว  
ได้แบกน้ำหนักเอาไว้เท่านั้น การออกแบบ  
เสาจึงควรทำโดยกำหนดอัตราส่วนปลอดภัย  
ให้สูงกว่าการออกแบบคาน

สำหรับโครงสร้างคอนกรีตเสริม  
เหล็กนั้น ควรใช้เหล็กเหนียว (Mild Steel)  
เป็นเหล็กเสริมตามยาวของคานและใช้  
เหล็กเหนียวแรงสูงในเสา สำหรับเหล็ก  
ปลอกเสา (Column Ties) ควรใส่ให้ระ-  
บอบที่จะรับแรงจากการบ่งตัวออกทางด้าน  
ข้างของคอนกรีตเมื่อเสาได้รับน้ำหนักเพิ่ม  
ขึ้น เหล็กปลอกนั้นนอกจากจะต้องจัดให้รับ  
เหล็กทุกเส้นที่ยื่นเป็นแกนเสาแล้ว จะต้อง  
จัดให้มีขาของเหล็กปลอกที่จะยึดรั้งเหล็กทุก  
เส้นที่อยู่ตรงกันข้ามในแกนเสาไว้เป็นคู่ ๆ  
อีกด้วย

14.2 การประเมินของคานนั้นควรให้  
เกิดขึ้นเนื่องจากแรงดัดของคานก่อน  
เนื่อง การที่จะให้มันบิดได้ตามนี้มัน ก็  
ต้องออกแบบให้ความดันของเหล็กเสริมสำหรับ  
รับดัดจนถึงขีดยึดก่อนเหล็กเสริมสำหรับ  
แรงเฉือนคือเหล็กดัดตั้ง แรงเฉือนในคานนั้น  
เป็นแรงแกว่งไกวไม่กระทบแก่การใช้เหล็ก  
คาน

14.3 ข้อพึงระวังของชิ้นส่วนของ  
โดยย่อ เช่น คานและคานโดยเฉพาะข้อต่อ  
ของคานกับเสาตรงรอยต่ออาคารนั้นเป็นจุด  
อ่อนต่อแหลมที่จะเกิดการประลัยเนื่องจาก  
แผ่นดินไหวก่อนจุดอื่น ๆ ในโครงสร้าง ควร  
เสริมเหล็กสำหรับแรงดัดตรงและแรงเฉือนสูง  
ที่อาคารรับทางไว้ด้วย

14.4 โครงอย่างที่มีคุณลักษณะของ  
ในความเหนียวเหนียว (Ductile) เป็นที่พึง  
การมากกว่าประแรงแข็ง (Brittle) เพราะวัสดุ



เหนียวชนิดสามารถทนทานต่อแรงและ  
ความดันที่กดทับทิศทางอยู่ตลอดเวลาในการ  
ของแผ่นดินไหวได้ดี นอกจากนี้เมื่อเกิด  
ความดันสูงจนถึงกับผ่าน "ขีดยึด" ไปแล้ว  
วัสดุนั้นก็ยังสามารถรับความดันจากแรง  
แผ่นดินไหวในรอบต่อไปได้

ส่วนวัสดุประเภทประแรงแข็งนั้น เมื่อความ  
เค้นถึงขีดแล้วก็เกิดการประลัยไปเลย ไม่  
สามารถจะรับความดันสูงที่จะนำมากในรอบ  
ต่อไปได้

วัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นชิ้นส่วน  
ในการก่อสร้างเพื่อให้อาคารมีความคงทน  
ต่อแรงแผ่นดินไหวควรเป็นวัสดุเหนียว  
เหนียว มีจุดประลัยสูงและมีน้ำหนักเบา

14.5 ลักษณะและรูปอย่างของอา-  
คาศ มีผลในความทนทานต่อแรงแผ่นดิน  
ไหวอยู่มาก อาคารที่มีโครงสร้างเป็นโครง  
รูป (Frame work) ง่าย ๆ ทุกชั้นมี  
ลักษณะเหมือนกัน (Somewhat) ทั้งในพื้น

ราบและรูปตัดและมีการเปลี่ยนแปลงใกล้จะเป็น  
รูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะให้ความทนทานต่อ  
แรงแผ่นดินไหวได้ดีกว่าอาคารที่มีเสาชั้นบน  
ไม่ตรงกับชั้นล่าง หรือมีความกว้างแตกต่างกัน  
กับความยาวมาก

14.6 การคำนวณตามวิธีในอัตรา  
มีขอบเขตของการใช้สำหรับอาคารที่สูงไม่  
เกิน 60 เมตรเท่านั้น เพราะเป็นวิธีที่ได้มา  
จากการวิเคราะห์ "ความถี่ธรรมชาติ" ของ  
การแกว่งไกวของอาคารเพียง 3 "โหมดพื้น  
ฐาน" (Fundamental Modes) เท่านั้น  
การคำนวณแรงแผ่นดินไหวที่กระทำต่อ  
อาคารที่สูงกว่า 60 เมตร ควรที่จะต้องมีการ  
คำนวณผลของการแกว่งไกวใน "โหมด" ที่  
สูงกว่านั้นเพื่อความปลอดภัยด้วย นอกจาก  
นั้นอาคารสูงกว่า 60 เมตร ชั้นบนอาคาร  
แกว่งไกวได้กว้างจนไม่เป็นที่พึงประสงค์  
ของผู้อยู่อาศัยนั้นก็ได้

# กำลังรับน้ำหนัก ของเสาคอนกรีต เสริมด้วยไม้ไฟ

ดร.วินิต ช่อวิเชียร\*

## บทนำ

ทราบกันดีว่าไม้ไฟเป็นวัสดุภายในประเทศที่หาได้ง่ายและมีราคาถูก อีกทั้งยังมีกำลังรับแรงอัดและแรงดึงได้สูงพอสมควร และมีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตค่อนข้างต่ำ ดังนั้นหากเลือกใช้ไม้ไฟเป็นวัสดุเสริมแทนเหล็กเส้นในองค์อาคารคอนกรีต ก็จะช่วยให้ได้โครงสร้างราคาถูก โดยเฉพาะการใช้ไม้ไฟเสริมในเสาคอนกรีต สำหรับบ้านพักอาศัยที่ไม่ต้องรับแรงมากเท และไม่ต้องคำนึงถึงปัญหาของแรงยึดเหนี่ยว อันเป็นทางหนึ่งของการพัฒนาชนบท เนื่องจากลักษณะสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและหน่วยการยืดตัวของไม้ไฟ  $\epsilon_u$  จุดประลัยไม่เหมือนกับของเหล็กเสริม ดังนั้นการคำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไฟ จึงแตกต่างไปจากรีการคำนวณออกแบบเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก<sup>(1)</sup>

## วัตถุประสงค์และขอบเขต

เพื่อเสนอแนะวิธีการวิเคราะห์และออกแบบเสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไฟ เมื่อรับแรงเฉือนคูล่งต่างๆ กัน โดยคัดแปลงจากทฤษฎีกำลังประลัยในมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย<sup>(2)</sup>

การวิเคราะห์ทางทฤษฎีได้นำมาเปรียบเทียบกับผลการทดลองเสาคอนกรีตปลอกเดี่ยวเสริมด้วยไม้ไฟที่แต่ละมุมยังมีขนาดหน้าตัดของเสาเท่ากับ  $12.5 \times 12.5$  ซม. ยาว 115 ซม. จำนวนทั้งสิ้น 8 ต้น โดยให้รับแรงเฉือนคูล่งแตกต่างกันที่มีอัตราส่วนของระยะเฉือนคูล่งต่อความหนาของเสาตั้งแต่ 0 ถึง 1.2

## ทฤษฎีวิเคราะห์

### สมมติฐาน

- 1. ที่กำลังประลัย หน่วยแรงในคอนกรีตไม่เป็นสัดส่วนกับ

หน่วยการยืดหดตัว รูปแบบของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตสมมุติให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า โดยให้ขนาดของหน่วยแรงอัดในคอนกรีตมาค่าเท่ากับ  $0.85f'_c$  รูปการแผ่หน่วยแรงอัดสมบูรณ์ล้อมรอบโดยขอบของหน้าตัดและเส้นตรงที่ลากขนานกับแกนสะเทินมีระยะห่างจากการที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดเท่ากับ  $K_1c$  โดยที่  $c$  เป็นระยะจากขอบที่มีหน่วยการหดตัวสูงสุดถึงแกนสะเทินโดยวัดในทิศทางตั้งฉากกับแกนสะเทิน และค่า  $K_1$  มีค่าเท่ากับ 0.85 สำหรับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต ( $f'_c$ ) ที่มีค่าเท่ากับหรือน้อยกว่า 280 กก./ซม.<sup>2</sup> และค่าจะลดลงตามลำดับในอัตรา 0.05 สำหรับกำลังในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทุก ๆ 70 กก./ซม.<sup>2</sup> เมื่อคอนกรีตมีค่า  $f'_c$  สูงกว่า 280 กก./ซม.<sup>2</sup>

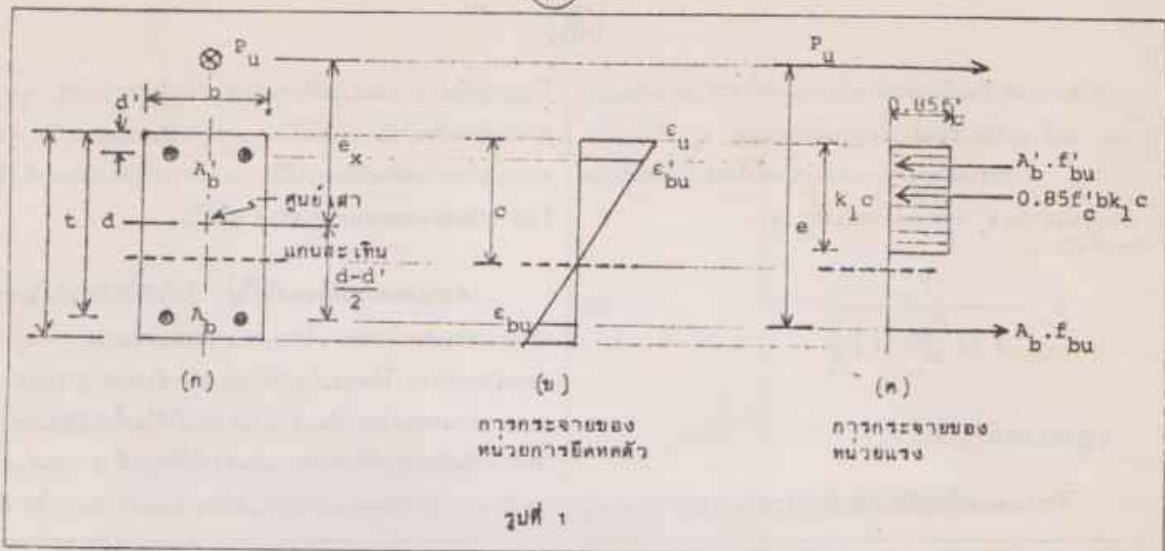
2. หน่วยการยืดหดตัวที่เกิดขึ้นในคอนกรีตเป็นสัดส่วนโดยตรงกับระยะจากแกนสะเทินและให้หน่วยการหดตัวสูงสุดของคอนกรีตที่ขอบรับแรงอัด  $\epsilon_{cu}$  จุดประลัย ( $\epsilon_{cu}$ ) มีค่าเท่ากับ 0.003 สำหรับหน่วยการยืดหดตัวในไม้ไฟที่มีค่าเท่ากับหน่วยการยืดหดตัวของคอนกรีต  $\epsilon_c$  ตำแหน่งเดียวกัน

- 3. ไม้วิเคราะห์ออกแบบให้คอนกรีตรับแรงดึง
- 4. หน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัดในไม้ไฟ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับหน่วยการยืดตัวและหดตัวในไม้ไฟตามค่าโมดูลัสยืดหยุ่น  $E_b$  และ  $E'_b$  จนถึงหน่วยแรงดึงสูงสุด ( $f_b$ ) และหน่วยแรงอัดสูงสุดของไม้ไฟ ( $f'_b$ ) ตามลำดับ
- 5. ไม้ไฟที่ใช้เสริมมีค่าผันตรงตลอดความยาวของเสา ตลอดจนมีแรงยึดเหนี่ยวกับคอนกรีตอย่างสมบูรณ์ในขณะที่ยับรับแรง จนกว่าจะถึงจุดประลัย

## การวิเคราะห์และออกแบบ

แบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีที่เสารับแรงตามแนวนอน และกรณีที่เสารับแรงเฉือนคูล่ง

\*รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 1

1. เสารับแรงตามแนวแกน

ในกรณีที่สมมุติว่าหน่วยแรงอัดเกิดขึ้นในเนื้อคอนกรีตอย่างสม่ำเสมอทั้งหน้าตัดของเสา โดยมีหน่วยแรงอัดสูงสุดเป็น  $0.85f_c$  และหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในไม้ไผ่มีค่าสูงสุดเท่ากับ  $f_b$  ฉะนั้น กำลังรับน้ำหนักปฏิกิริยาของเสาเมื่อรับแรงตามแนวแกน ( $P_{u0}$ ) คำนวณได้จากสมการต่อไปนี้

$$P_{u0} = 0.85f_c \cdot A_c + f_b \cdot A_{st} \quad (1)$$

ในที่นี้  $A_c$  เป็นเนื้อที่หน้าตัดสุทธิของคอนกรีต และ  $A_{st}$  เป็นเนื้อที่หน้าตัดทั้งหมดของไม้ไผ่ที่ใช้เสริม

2. เสารับแรงเบี่ยงศูนย์กลางแกนเดียว

พิจารณาเสาคอนกรีตเสริมไม้ไผ่ที่มีรูปตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า  $b \times t$  โดยมีไม้ไผ่เสริมในด้านรับแรงอัดเป็น  $A'_s$  และด้านรับแรงดึงเป็น  $A_s$  เรียงขนานกับแกนคด ตามรูปที่ 1 (ก) เมื่อเสารับแรงอัดประตัย  $P_u$  ซึ่งกระทำเบี่ยงศูนย์กลางจากศูนย์กลางของไม้ไผ่ด้านที่รับแรงดึงเป็นระยะ  $e$  ให้การกระจายของหน่วยการหดตัวและหน่วยแรงที่หน้าตัดวิกฤตเป็นไปตามรูปที่ 1 (ข) และ (ค) ตามลำดับ

สมการทั่วไปที่ใช้วิเคราะห์หากำลังรับน้ำหนักของเสาได้จากการพิจารณาความสมดุลของแรงและโมเมนต์ ฉะนั้นจากรูปที่ 1 (ค) จะได้

$$P_u = 0.85k_1 f_c b c + A'_s \cdot f_{bu} - A_s \cdot f_{bu} \quad (2)$$

$$\text{และ } M_u = P_u \cdot e = 0.85k_1 f_c b c (d - 0.5k_1 c) + A'_s \cdot f_{bu} (d - d) \quad (3)$$

ในที่นี้  $f_{bu}$  และ  $f_{bu}$  เป็นหน่วยแรงดึงและหน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นในไม้ไผ่ มีค่าเท่ากับ  $E_b \cdot \epsilon_u \cdot (\frac{d}{c} - 1)$  และ  $E'_b \cdot \epsilon_u \cdot (1 - \frac{d}{c})$  ตามลำดับ

ถ้าสมมุติว่าการบีบตัวของเสาเกิดขึ้นได้เป็นสองแบบ คือแบบทรงคิง เมื่อเสารับแรงที่มีระยะเบี่ยงศูนย์กลางมาก หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดวิกฤตของเสาจะมีทั้งแรงอัดและแรงดึง และแบบแรงอัด เมื่อเสารับแรงที่มีระยะเบี่ยงศูนย์กลางน้อย หน่วยแรงที่เกิดขึ้นบนหน้าตัดวิกฤตของเสาจะมีแต่แรงอัด ซึ่งการบีบตัวของเสาแบบนี้สมมุติให้เกิดขึ้นได้จนกระทั่งถึงจุดที่หน่วยแรงในไม้ไผ่ด้านที่รับแรงดึง เริ่มเปลี่ยนจากหน่วยแรงอัดเป็นหน่วยแรงดึง นั่นคือ  $f_{bu}$  มีค่าเป็นศูนย์ และตำแหน่งแกนสะเทินอยู่ที่ระยะ  $d$  ฉะนั้นจะหาความสัมพันธ์ของแรง  $P'_u$  และโมเมนต์  $M'_u$  (ซึ่งเท่ากับ  $P'_u \cdot e'$ ) ของเสาที่จะยังคงพิบัติแบบแรงอัดได้ตามสมการที่ (4) และ (5) หรือน้อยหนึ่งจะได้ระยะเบี่ยงศูนย์กลาง  $e'$  ที่มากที่สุดของเสาที่จะยังคงเกิดการพิบัติแบบแรงอัด

$$P'_u = 0.85k_1 f_c b d + A'_s \cdot E'_b \cdot \epsilon_u (1 - \frac{d}{d}) \quad (4)$$

$$M'_u = P'_u \cdot e' = 0.85k_1 f_c b d^2 (1 - 0.5k_1) + A'_s \cdot E'_b \cdot \epsilon_u \cdot d (1 - \frac{d}{d})^2 \quad (5)$$

หากให้ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและโมเมนต์ ในช่วง

การคิดแบบแรงอัดเป็นเส้นตรงนับจากจุดที่เสารับแรงตามแนวแกน จนถึงจุดที่เสารับแรงเอียงศูนย์เป็นระยะ  $c_x$  ซึ่งเท่ากับ  $c - \frac{d-d'}{2}$  กำลังรับน้ำหนักของเสาในช่วงนี้ที่กระทำโดยมีระยะเอียงศูนย์เท่ากับ  $c_x$  จะหาได้จากสมการ (6)

$$P_u = \frac{P_{uo}}{1 + \left[ \frac{P_{uo}}{P_u^*} - 1 \right] \frac{c_x}{c_x}} \quad (6)$$

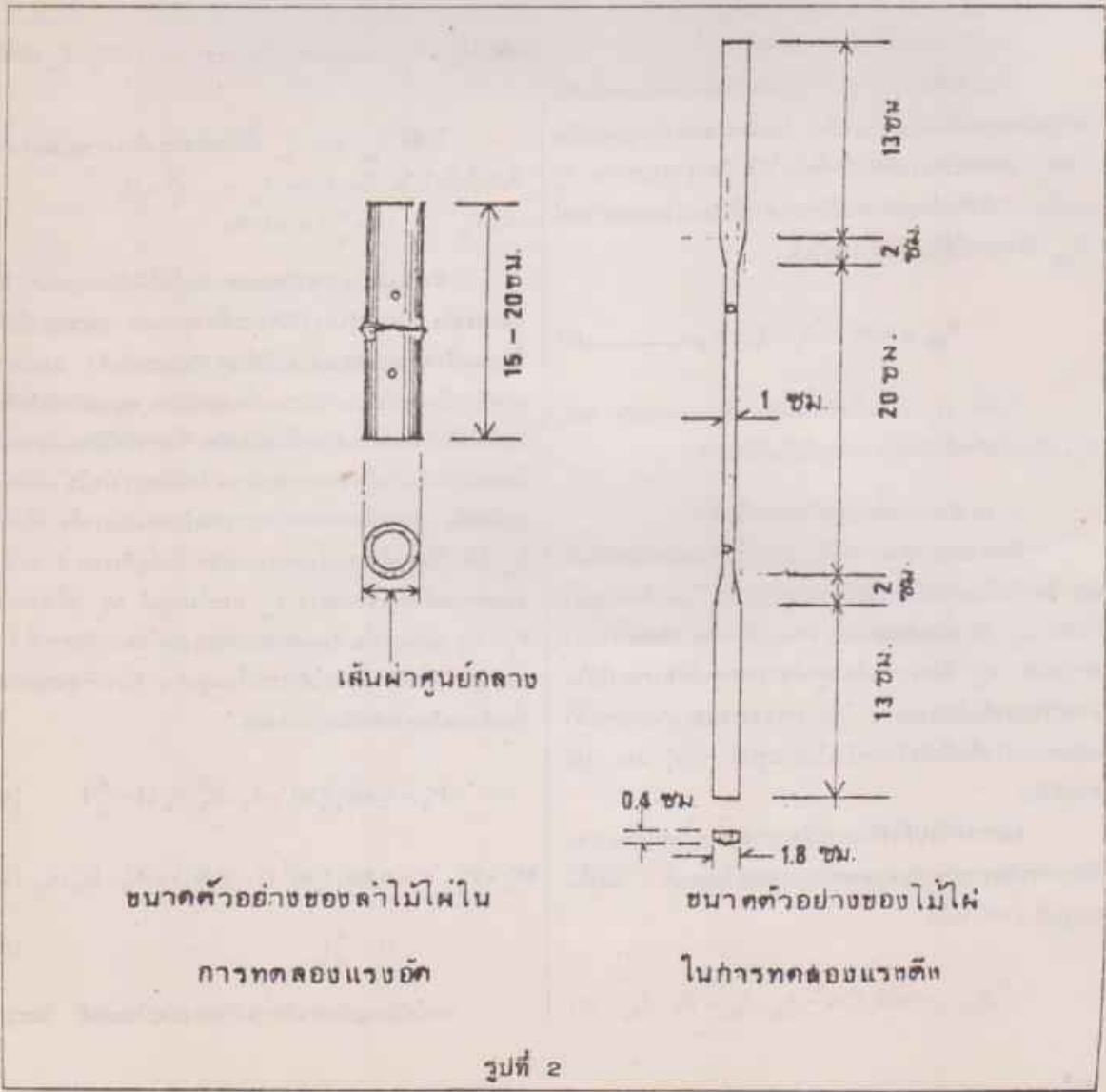
**การทดลอง**

การทดลองเพื่อเปรียบเทียบกับวิธีการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

ได้กระทำขึ้น ณ ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทดลองแบ่งออกเป็นสองตอน คือ การทดลองเพื่อหาคุณสมบัติของไม้ไผ่ และการทดลองเพื่อหากำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไผ่

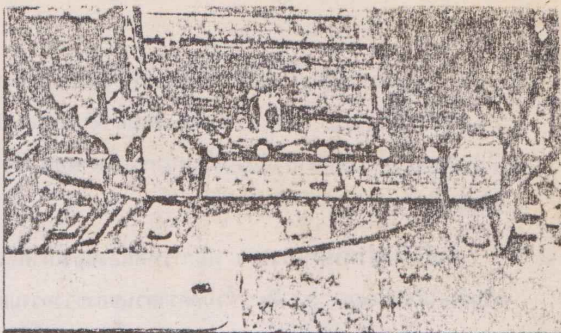
**การหาคุณสมบัติของไม้ไผ่** ไม้ไผ่ที่ใช้เป็นชนิดไผ่รวก

(*Thyrstachys Oliveri Gambic*) มีอายุประมาณ 1 - 1½ ปี ก่อนนำมาทดลองได้ตากแห้งเป็นเวลา 4-8 สัปดาห์ การทดสอบหาความต้านทานต่อแรงอัดและแรงดึงของไม้ไผ่ทั้งที่มีข้อและไม่มีข้อ ใช้ชิ้นตัวอย่างที่มีขนาดตามที่แสดงไว้ในรูปที่ 2 รวมทั้งสิ้น 40 ตัวอย่าง ทำการทดสอบโดยใช้เครื่อง Amsler ขนาด 20 ตัน



และวัดหาการหดตัว และการยืดตัวโดยใช้เกจ (Mechanical Strain Gage) ที่มีระยะเกจ 5 ซม. และ 20 ซม. ตามลำดับ

**การหากล้างรับน้ำหนักของเสา** ใช้เสาคอนกรีตจำนวน 8 ต้น ที่มีขนาดรูปตัด 12.5 x 12.5 ซม.<sup>2</sup> ยาวเท่ากับ 115 ซม. เสริมด้วยไม้ไผ่ที่คัดเลือกให้มีขนาดหน้าตัดใกล้เคียงกันที่แต่ละมุมของเสา ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางกลางภายนอกของลำไม้ไผ่แต่ละอันได้จากค่าเฉลี่ยของการวัด 6 ครั้ง คือที่หัวท้ายและกึ่งกลาง แห่งละ 2 ครั้ง ส่วนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในได้จากค่าเฉลี่ยของการวัด 6 ครั้ง คือที่หัวท้าย แห่งละ 3 ครั้ง ปริมาณของไม้ไผ่ที่ใช้เสริมด้านที่รับแรงอัดและแรงดึงในเสาแต่ละต้น แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยมีระยะคอนกรีตหุ้มประมาณ 2.5 ซม. ปลอกเสาทำด้วยเปลือกไม้ไผ่ขนาด 1.2 x 0.15 ซม.<sup>2</sup> ยึดกับลำต้นไม้ไผ่ด้วยลวดขนาด 0.1 ซม. โดยมีระยะห่างของปลอกเท่ากับ 12.5 ซม. ที่หัวท้ายของเสาทำเป็นบ่าเสาเสริมด้วยเหล็กเสริม ทั้งนี้เพื่อให้รับแรงเยื้องศูนย์ได้ หล่อเสาทุกต้นในแนวนอนด้วยคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ประเภทสาม ขณะเดียวกันได้หล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงบอขนขนาด 15 x 30 ซม. จำนวน 3 แท่ง สำหรับเสาแต่ละต้นเพื่อใช้หากล้างอัดประลัยของคอนกรีตในเสา การทดสอบเพื่อหากล้างรับน้ำหนักของเสา คอนกรีตเสริมไม้ไผ่กระทำในแนวนอน เมื่อเสาแต่ละต้นมีอายุครบ 7 วัน ดังรูปที่ 3 โดยใช้แรงกดจากแม่แรงที่กระทำโดยมีระยะเยื้องศูนย์ต่อความหนาของเสาต่าง ๆ กัน ตั้งแต่ 0 จนถึง 1.2 แรงกดกระทำเพิ่มขึ้นทีละ 10-15 เปอร์เซ็นต์ของกำลังประลัยของเสาที่คาดคะเนไว้ก่อน จนกระทั่งถึงประมาณครึ่งหนึ่งของ



รูปที่ 3 การทดสอบเสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไผ่

กำลังรับน้ำหนักของเสา การเพิ่มแรงกดจะลดเหลือ 500-2,000 กก. จนกระทั่งเสาพิบัติ

**ผลการทดลอง**

**กลสมบัติของไม้ไผ่** พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดหรือแรงดึงกับการหดตัวหรือยืดตัวของไม้ไผ่มีลักษณะเป็นเส้นตรงตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงจุดประลัย ค่าความต้านทานต่อแรงอัดของไม้ไผ่ทั้งที่มีข้อและไม่มีข้อโดยเฉลี่ยเท่ากับ 530.84 กก./ซม.<sup>2</sup> โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 70.50 กก./ซม.<sup>2</sup> และ 13.28% ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสยืดหยุ่นในด้านรับแรงอัดเท่ากับ  $2.28 \times 10^5$  กก./ซม.<sup>2</sup> โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ  $4.10 \times 10^4$  กก./ซม.<sup>2</sup> และ 17.98% ตามลำดับ สำหรับค่าความต้านทานแรงดึงของไม้ไผ่ทั้งที่มีข้อและไม่มีข้อโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1,572.43 กก./ซม.<sup>2</sup> โดยมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ 264.35 กก./ซม.<sup>2</sup> และ 16.18% ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสยืดหยุ่นในด้านรับแรงดึงเท่ากับ  $2.33 \times 10^5$  กก./ซม.<sup>2</sup>

ตารางที่ 1

เสา	$\frac{e_x}{t}$	รายละเอียดการเสริมไม้ไผ่				กำลังอัด $f'_c$ กก./ซม. <sup>2</sup>	$P_u$ ทดลอง ตัน	$P_u$ วิเคราะห์ ตัน	$\frac{P_u \text{ ทดลอง}}{P_u \text{ วิเคราะห์}}$	ลักษณะ พิบัติ
		d' ซม.	d ซม.	$\frac{A_b}{bt}$	$\frac{A_b}{bt}$					
C1	0	3.65	8.85	0.0362	0.0406	285.27	43.12	41.35	1.04	แบบแรงอัด
C2	0.1	3.47	9.03	0.0273	0.0277	299.54	33.63	31.99	1.05	แบบแรงอัด
C3	0.2	3.52	8.98	0.0303	0.0314	283.52	25.18	23.55	1.07	แบบแรงดึง
C4	0.4	3.51	8.99	0.0319	0.317	263.71	11.12	11.25	0.99	แบบแรงดึง
C5	0.6	3.53	8.97	0.0323	0.0297	292.57	6.89	7.43	0.93	แบบแรงดึง
C6	0.8	3.50	9.00	0.0320	0.0257	286.72	4.27	5.09	0.84	แบบแรงดึง
C7	1.0	3.48	0.02	0.0288	0.290	255.78	3.20	3.90	0.82	แบบแรงดึง
C8	1.2	3.47	0.03	0.0261	0.0254	285.59	2.72	3.31	0.82	แบบแรงดึง

โดยวิธีหาค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานและสัมประสิทธิ์การแปรผันเท่ากับ  $4.5 \times 10^4$  กก./ชม.<sup>2</sup> และ 20.60% ตามลำดับ ค่าเฉลี่ยที่ได้ นำไปใช้วิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาคอนกรีตเสริม ไม้ไฟต่อไป

**กำลังรับน้ำหนักของเสา** ผลการทดลองของเสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไฟจำนวน 8 ต้น ซึ่งมีอัตราส่วนของช่วงความยาวต่อความหนาของเสา ประมาณ 9 และรับแรงเฉือนศูนย์กลาง ๆ กัน โดยใช้อัตราส่วน  $e'/t$  ตั้งแต่ 0 จนถึง 1.2 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยรายละเอียดของการเสริมไม้ไฟ ถ้าสังเกตประติมากรรมของคอนกรีต ค่ากำลังรับน้ำหนักสูงสุดของเสา และลักษณะการพิบัติจากการดัดงอจะเห็นว่ากำลังรับน้ำหนักของเสาจะลดลงเมื่ออัตราส่วนของศูนย์กลางเพิ่มขึ้น การพิบัติของเสา 2 ต้นแรก ที่รับแรงเฉือนศูนย์กลางน้อย ๆ เป็นแบบแรงอัด ในขณะที่เสาเริ่มพิบัติแบบนี้สังเกตเห็นว่าผิวคอนกรีตด้านที่รับแรงอัดมีรอยแตกกว้างเกิดขึ้น แต่ไม่มีรอยแตกกว้างเกิดขึ้นทางด้านตรงข้าม สำหรับเสาคอนกรีตเสริมไม้ไฟอีก 6 ต้น ที่รับแรงเฉือนศูนย์กลางมากขึ้น มีลักษณะการพิบัติแบบแรงดึงโดยมีรอยแตกกว้างปรากฏขึ้นทั้งสองด้าน

### การเปรียบเทียบผลการทดลองกับการวิเคราะห์ทางทฤษฎี

เมื่อกำหนดให้หน่วยการทดสอบสูงสุดของคอนกรีต  $c_u$  เท่ากับ 0.003 และนำค่าเฉลี่ยความต้านทานต่อแรงอัดและแรงดึงของไม้ไฟ ค่าเฉลี่ยความต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับเสาแต่ละต้น ซึ่งได้จากการทดลองไปแทนลงในสมการที่ใช้วิเคราะห์หาค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาคอนกรีตเสริมไม้ไฟดังกล่าวข้างต้น จะได้ผลการวิเคราะห์ทางทฤษฎีดังปรากฏในตารางที่ 1 :

รูปที่ 4 เสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไฟภายหลังการทดสอบ



ในการวิเคราะห์เสาแต่ละต้นที่รับแรงเฉือนศูนย์กลาง ยื่นแรกต้องหาค่า  $P_u$  และ  $M_u$  โดยใช้สมการที่ (4) และ (5) แล้วเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วน  $e$  กับค่า  $e'$  ซึ่งเป็นอัตราส่วนของค่า  $M_u$  กับ  $P_u$  หากอัตรา  $e$  น้อยกว่า  $e'$  ก็คำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาตามสมการที่ (6) แต่ถ้าอัตรา  $e$  มากกว่า  $e'$  การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาจะเป็นไปตามสมการที่ (2) และ (3) ซึ่งจะต้องหาค่าแห่งของแกนสะเทิน (ระยะ  $c$ ) ก่อนโดยวิธี Trial & Error แล้วจึงคำนวณหาค่ากำลังรับน้ำหนักของเสาโดยใช้สมการที่ (2) การคำนวณดังกล่าวข้างต้นใช้เครื่องคิดเลข TI Programmable 59 และเครื่องพิมพ์ PC-100C

เมื่อเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์กับผลการทดลองจะเห็นได้ว่า การวิเคราะห์ทางทฤษฎีให้ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาใกล้เคียงกัน ผลการทดลอง เมื่อเสารับแรงตามแนวแกนหรือมีแรงกระทำเฉือนศูนย์กลางน้อย ๆ ผลการวิเคราะห์ให้ค่าต่ำกว่าผลการทดลองประมาณ 5% และเมื่อเสารับแรงกระทำเฉือนศูนย์กลางมากขึ้น ผลการวิเคราะห์ให้ค่าเฉลี่ยสูงกว่าผลการทดลองประมาณ 10% อย่างไรก็ตาม หากใช้ตัวคูณลดค่ากำลังประลัยของเสาคอนกรีตปลอดภัยตามที่มามาตรฐาน ว.ส.ท. ได้กำหนดไว้เท่ากับ 0.70 จะพบว่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาที่วิเคราะห์ได้ มีค่าต่ำกว่ากำลังรับน้ำหนักประลัยจริงทั้งสิ้น ซึ่งนับว่าอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

### บทสรุป

จากการนำทฤษฎีกำลังประลัยสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กตามที่มาตรฐานของ ว.ส.ท. ได้เสนอไว้มาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไฟและจากการเปรียบเทียบกับผลการทดลองเสาคอนกรีตเสริมด้วยไม้ไฟที่มีแรงเฉือนศูนย์กลางแกนเดียวกระทำตามอัตราส่วน  $e'/t$  ตั้งแต่ 0 จนถึง 1.2 พบว่าวิธีวิเคราะห์นี้สามารถใช้คาดคะเนกำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาคอนกรีตเสริมไม้ไฟ และหากใช้ตัวคูณลดค่ากำลังประลัยประกอบด้วย จะทำให้การคาดคะเนอยู่ในเกณฑ์ปลอดภัย

### หนังสืออ้างอิง

1. Chovichen, V., "Analysis of Reinforced Concrete Columns Under Sustained Load," ACI Journal, Proceedings V.70, No.10, Oct. 1973, pp.692-699.
2. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย : มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก พ.ศ. 2517



# ปัญหาดอกเบี้ย กับงานวิศวกรรม

ชัยโรจน์ จักรไพศาล\*

## บทนำ

ในปัจจุบันได้เกิดปัญหาเศรษฐกิจตกต่ำไปเกือบทั่วโลก เกิดปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติหลาย ๆ ด้าน โดยเฉพาะทางด้านพลังงาน ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งที่กำลังประสบกับปัญหานี้เช่นกัน

โครงการทางด้านวิศวกรรมต่าง ๆ ที่ยังมีได้ดำเนินการได้ ถูกนำมาทบทวนเพื่อหาหนทางที่จะเป็นไปได้ และให้เกิดผลคุ้มค่าที่สุด

การวิเคราะห์เชิงเศรษฐศาสตร์เพื่อเปรียบเทียบคุณค่าของผลงานกับค่าใช้จ่าย จึงเข้ามามีบทบาทกับงานวิศวกรรมมากขึ้น

เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม (Engineering Economy) เป็นวิชาหนึ่งที่ว่าด้วยการวิเคราะห์คัดเลือกโครงการหรือบริการ ซึ่งสามารถสนองความต้องการของมนุษย์โดยมีหลักเกณฑ์พิจารณาให้ประโยชน์ต่อผู้บริโภคมากที่สุด และเสียค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด หรืออีกนัยหนึ่งได้ผลกำไรมากที่สุด

การวิเคราะห์โดยใช้หลักเศรษฐศาสตร์ ผู้วิเคราะห์จำเป็นต้องรู้และเข้าใจเกี่ยวกับค่าของเงิน ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามเวลา และการคิดคำนวณดอกเบี้ยให้ตีเสียก่อน บทความนี้จะกล่าวถึงการคำนวณดอกเบี้ยแบบต่าง ๆ เพื่อเป็นพื้นฐานประกอบการพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์ต่องานวิศวกรรมต่อไป

## 2. ดอกเบี้ย (Interest)

ดอกเบี้ย คือ จำนวนเงินซึ่งจ่ายตอบแทนให้เป็นผลประโยชน์เมื่อมีการกู้ยืมเงิน ในแง่ของการลงทุนอาจจะพิจารณาได้ว่า ดอกเบี้ย คือ ผลประโยชน์หรือกำไรที่จะได้รับหลังจากผลผลิตสินค้าออกสู่ท้องตลาดแล้ว

## สูตรดอกเบี้ย (Interest Formulas)

- สัญลักษณ์ในการคำนวณดอกเบี้ย มีดังนี้
- P หมายถึง เงินต้น หรือเงินกู้ หรือค่าเงินปัจจุบัน (Present worth)
- i หมายถึง อัตราดอกเบี้ยต่อระยะเวลา ซึ่งเป็นวัน เดือน หรือ ปี (Rate of interest per interest period)
- n หมายถึง ระยะเวลาที่ตกลงกู้ยืมเงินกันที่มีการคิดดอกเบี้ย (Number of interest period)
- F หมายถึง เงินรวมที่ปลายปีที่ n ซึ่งประกอบด้วยเงินต้นส่วนหนึ่ง และอีกส่วนหนึ่งเป็นดอกเบี้ยของเงินต้นนั้น (Future worth)
- A หมายถึง จำนวนเงินที่จ่ายหรือรับเป็นงวด ๆ และมีค่าเท่ากันตลอดระยะเวลาที่มีการกู้ยืมเงิน ซึ่งประกอบด้วยเงินต้นส่วนหนึ่งและอีกส่วนหนึ่งเป็นดอกเบี้ยของเงินต้นที่ยังค้างอยู่ (Annual payment)

### ดอกเบี้ยเชิงเดี่ยว (Simple Interest)

การคิดดอกเบี้ยเชิงเดี่ยวนำคำนวณได้จากสูตร

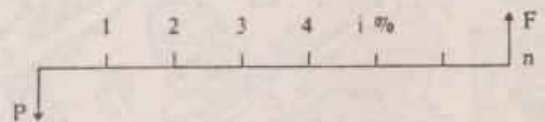
$$F = P(1 + in) \quad (1)$$

หรือ เงินรวม = เงินต้น (1 + อัตราดอกเบี้ย × จำนวนปี)

การคิดดอกเบี้ยเชิงเดี่ยวนี้นี้ ไม่ว่าเวลาจะผ่านไปเท่าไรก็ตาม จะไม่นำดอกเบี้ยมาทบกับเงินต้น

### ดอกเบี้ยเชิงซ้อนหรือดอกเบี้ยทบต้น (Compound Interest)

เราสามารถหาสูตรการคำนวณได้ดังนี้



\*ว.บ. (เข็รคณินน) จุฬร ว.บ. (จุฬร)

ปัจจุบันทำงานที่แผนกบำรุงรักษาโทรศร กองกลาง ฝ่ายปฏิบัติการ การไฟฟ้าฝ่ยผลิตแห่งประเทศไทย อ.นนทบุรี

ในปีที่ 1 ได้เงินรวม  $F_1 = P(1+i)$

ในปีที่ 2 เงินรวม  $F_2 = P(1+i)(1+i)$   
 $= P(1+i)^2$

ทำนองเดียวกัน

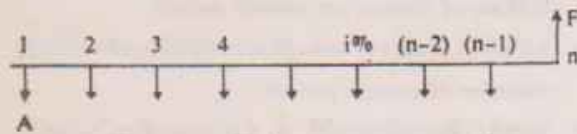
ในปีที่  $n$   $F_n = P(1+i)^n$

∴ เงินรวมของดอกเบี้ยทบต้นในปลายปีที่  $n$ ,

$$F = P(1+i)^n \quad (2)$$

หรือ  $P = F \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (3)$

ความหมายของสูตรที่ 2 ก็คือ ถ้าเงินกู้เงินวันนี้  $P$  บาท ในอัตราดอกเบี้ย  $i$  ต่อปี คิดดอกเบี้ยทบต้นทุกสิ้นปี เมื่อครบเวลา  $n$  ปี จะต้องจ่ายเงินคืนผู้มี  $F$  บาท ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $P(1+i)^n$  ระบบการจ่ายเป็นงวดเท่ากันตลอด (Uniform Annual Series System)



สมมติว่าเราสะสมเงินเป็นงวด ๆ งวดละ  $A$  เป็นเวลา  $n$  ในอัตราดอกเบี้ย  $i$  เมื่อครบกำหนดเวลา  $n$  จะได้เงินรวมทั้งเงินต้นและดอกเบี้ยของทุก ๆ งวด ดังนี้

$$\begin{aligned} F &= A(1+i)^{n-1} + A(1+i)^{n-2} + \dots \\ &+ A(1+i) + A \\ &= A + [1 + (1+i) + (1+i)^2 + \dots \\ &+ (1+i)^{n-2} + (1+i)^{n-1}] \end{aligned} \quad (4)$$

คูณสมการที่ (4) ด้วย  $(1+i)$  จะได้

$$\begin{aligned} F(1+i) &= A[1 + (1+i) + (1+i)^2 + \dots \\ &+ (1+i)^n + (1+i)^n] \end{aligned} \quad (5)$$



สมการที่ (5) ลบสมการที่ (4) จะได้

$$Fi = A[(1+i)^n - 1]$$

$$F = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i} \right] \quad (6)$$

หรือ  $A = F \left[ \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (7)$

ความหมายของสมการที่ (6) คือ ถ้าต้องการเงินรวม  $F$  บาท เมื่อสิ้นสุดเวลาที่  $n$  ปี ในอัตราดอกเบี้ย  $i$  ทบต้นทุกปีจะต้องฝากเงินเป็นจำนวน  $A$  บาททุกสิ้นปีจนถึงปีที่  $n$

จากสูตรที่ (7) เราสามารถนำมาประยุกต์หาสูตรการผ่อนชำระหนี้สินเป็นงวด ๆ งวดละเท่า ๆ กันได้ดังนี้ คือ เปลี่ยนเงินรวมที่ปลายปีที่  $n$  มาเป็นเงินต้นโดยการแทนค่าของ  $F$  ในสมการที่ (2) ลงสมการที่ (7) ซึ่งจะได้

$$\begin{aligned} A &= P(1+i)^n \left[ \frac{i}{(1+i)^n - 1} \right] \\ A &= P \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \end{aligned} \quad (8)$$

หรือ  $P = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (9)$

ความหมายของสูตรที่ (8) คือ ถ้ากู้เงิน  $P$  บาทวันนี้ ในอัตราดอกเบี้ย  $i$  ต่อปี จะต้องผ่อนชำระหนี้ปีละครั้งครั้งละ  $A$  บาท เป็นเวลา  $n$  ปี

**อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง (Effective Interest Rate)**

โดยทั่ว ๆ ไปเรามักจะคุ้นเคยกับการคิดดอกเบี้ยต่อปี แต่ในวงการธุรกิจมักจะมีการคิดดอกเบี้ยให้มากกว่า 1 ครั้งใน 1 ปี สมมติว่ามีการกู้ยืมเงินในอัตราดอกเบี้ย 12% ต่อปี แต่จ่ายดอกเบี้ยให้เดือนละครั้งเช่นนี้มิได้หมายความว่า อัตราดอกเบี้ยต่อเดือนจะเท่ากับ  $\frac{12}{12} = 1\%$  เพราะเมื่อมีการจ่ายดอกเบี้ยทุกเดือน เดือนละครั้งจะเกิดดอกเบี้ยทบต้นขึ้น ทำให้อัตราดอกเบี้ยจริงๆ มากกว่า 12% ต่อปี

อัตราดอกเบี้ยใหม่นี้เรียกว่า อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง (Effective Interest Rate) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$i_e = \left(1 + \frac{i}{m}\right)^m - 1 \quad (10)$$

เมื่อ  $i_e$  = อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงต่อปี

$i$  = อัตราดอกเบี้ยตามตัวเลขต่อปี

$m$  = การคิดดอกเบี้ยทบต้น  $m$  ครั้งใน 1 ปี

ดังนั้น ในตัวอย่างที่กล่าวมาแล้ว เมื่อ  $i = \frac{12}{100} = 0.12$

และ  $m = 12$

ดังนั้น

$$i_c = \left(1 + \frac{0.12}{12}\right)^{12} - 1 = 0.1268$$

หรืออัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง = 12.68% ต่อปี

### ๕ ตัวอย่างปัญหาดอกเบี้ย

**ตัวอย่างที่ 1** บริษัทรับเหมาก่อสร้างแห่งหนึ่งกู้เงินมาซื้อเครื่องจักรหนึ่งเป็นเงิน 25,000 บาท โดยเสียดอกเบี้ยร้อยละ 15 ต่อปี ชำระคืนภายใน  $1\frac{1}{2}$  ปี อยากทราบว่าเมื่อครบกำหนดแล้ว บริษัทนี้จะต้องชำระเงินคืนธนาคารเป็นเงินเท่าไร กรณีที่ธนาคารคิด

ก. ดอกเบี้ยเชิงเดี่ยว

ข. ดอกเบี้ยเชิงซ้อน

ค. ดอกเบี้ยทบต้นปีละ 2 ครั้ง

วิธีทำ (ก) จากสมการที่ (1)  $F = P(1 + in)$ แทนค่า เงินต้น  $P = 25,000$  บาทอัตราดอกเบี้ย  $i = 15\%$  ต่อปี = 0.15จำนวนปี  $n = 1\frac{1}{2} = 1.5$  ปีแทนค่า เงินรวม  $F = 25,000(1 + 0.15 \times 1.5) = 30,625$  บาท

∴ ต้องคืนเงิน = 30,625 บาท

(ข) ดอกเบี้ยทบต้น  $F = P(1 + i)^n$ แทนค่า  $F = 25,000(1 + 0.15)^{1.5}$ 

= 25,000 × 1.233

∴ ต้องคืนเงิน = 30,830 บาท

(ค) ถ้าคิดทบต้นปีละ 2 ครั้ง จากสูตรที่ (10)

อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง  $i_c = \left(1 + \frac{i}{m}\right)^m - 1$  $m = 2$   $i_c = \left(1 + \frac{0.15}{2}\right)^2 - 1 = 0.1556$ จากสมการที่ (2)  $F = P(1 + i)^n$  $F = 25,000(1 + 0.1556)^{1.5}$ 

= 31,057.42 บาท

∴ ต้องใช้เงินคืน = 31,057.42 บาท

**ตัวอย่างที่ 2** ก.วิศวกรผู้หนึ่งกู้เงินจากธนาคารเพื่อนำมาเข้าหุ้นจัดตั้งบริษัทรับเหมากับเพื่อน ๆ เป็นเงิน 20,000 บาท

ในอัตราดอกเบี้ย 8% ต่อปี โดยผ่อนชำระเป็นรายปีตั้งแต่เท่า ๆ กันเป็นเวลา 5 ปี อยากทราบว่าจะต้องผ่อนชำระเป็นเงินงวดละเท่าไร

วิธีทำ ก. จากสูตรที่ (9)  $A = P \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$ แทนค่า  $P = 20,000$  บาท,  $i = 8\% = 0.08$  $n = 5$  ปี,  $A = ?$ 

$$A = 20,000 \left[ \frac{0.08(1+0.08)^5}{(1+0.08)^5 - 1} \right]$$

∴ ต้องผ่อนชำระปีละ = 5010 บาท เป็นเวลา 5 ปี

ข. หากวิศวกรผู้นี้จะผ่อนชำระเป็นรายเดือนทุกเดือน เดือนละเท่า ๆ กันเป็นเวลา 5 ปี เท่าเดิมเขาจะต้องผ่อนชำระเป็นเงินเดือนละเท่าไร (ยังคงคิดดอกเบี้ยทบต้นปีละครึ่ง)

วิธีทำ ข. ในกรณีนี้ อัตราดอกเบี้ยจะเท่ากับ  $\frac{8}{12} = 0.667\%$  ต่อเดือน

$$i = \frac{0.667}{100} = 0.00667$$

 $n = 5 \times 12 = 60$  เดือน

แทนค่าในสูตร (8) A

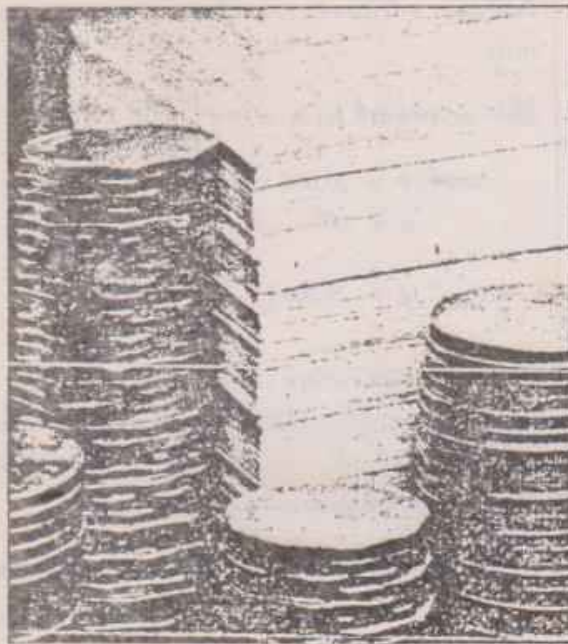
$$= 20,000 \left[ \frac{0.00667(1+0.00667)^{60}}{(1+0.00667)^{60} - 1} \right]$$

∴ ต้องผ่อนชำระเดือนละ = 405.64 บาท เป็นเวลา 60 เดือน หรือ 5 ปี

**หมายเหตุ** ในกรณีที่ 2 เงินรวมของการผ่อนชำระจะน้อยกว่ากรณีแรก ทั้งนี้เพราะมีการผ่อนชำระถี่ขึ้น เงินต้นของงวดถัดไปจึงลดลงเร็ว ทำให้เสียดอกเบี้ยน้อยลง

**ตัวอย่างที่ 3** ตัวอย่างนี้เป็นตัวอย่างการผ่อนชำระที่นิยมคิดกันในการกู้ยืมเงินอย่างไม่เป็นทางการ โดยคิดดอกเบี้ยทั้งหมดตลอดระยะเวลาที่มีการกู้ยืมแล้วเอาไปรวมกับเงินต้น การผ่อนชำระเป็นรายงวดก็ใช้วิธีเฉลี่ยโดยเอาระยะเวลาหาร วิธีนี้จะทำให้ผู้ขอกู้เสียเปรียบ เพราะอัตราดอกเบี้ยที่แท้จริงจะมากกว่าอัตราดอกเบี้ยที่กำหนดไว้ในตอนแรก

สมมติว่า นาย ก. เข้าซื้อรถยนต์คันหนึ่งในราคาเงินต้น 20,000 บาท โดยมีกรผ่อนชำระเป็นรายเดือน เดือนละเท่า ๆ กัน ในอัตราดอกเบี้ย 6% ต่อปี ใช้วิธีคิดดอกเบี้ยครึ่งเดียว แล้วนำไปเฉลี่ยใช้คืนรวมกับเงินต้น อยากทราบว่า นาย ก. จะเสียดอกเบี้ยที่แท้จริงในอัตราเท่าไร



วิธีทำ เงินต้น = 20,000 บาท  
 ดอกเบี้ย =  $0.06 \times 20,000 = 1,200$  บาท  
 รวมเงินต้น + ดอกเบี้ย = 21,200 บาท

∴ จะต้องจ่ายเงินชำระเดือนละ =  $\frac{21,200}{12} = 1766.67$  บาท

จากสมการที่ (8)  
 แทนค่า  $P = 20,000$  บาท,  $A = 1766.67$  บาท  
 $n = 12$  เดือน,  $i = ?$

$$\frac{A}{P} = \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$$

$$= \frac{1766.67}{20,000}$$

$$= 0.08833$$

วิธีการหาอัตราดอกเบี้ย  $i$  อาจจะใช้วิธี Trial & Error

โดยสมมติ  $i = 1\%$  จะได้  $\frac{R}{P} = 0.08885$   
 $i = 3/4\%$  จะได้  $\frac{R}{P} = 0.08745$

และจากการ Interpolation จะได้อัตราดอกเบี้ยที่แท้จริง  $i = 0.907\%$  ต่อเดือน หรือประมาณ 11% ต่อปี ซึ่งมากกว่าอัตราดอกเบี้ยที่กำหนดไว้ คือ 6%

ตัวอย่างที่ 5 นายสุชาติเช่าซื้อบ้านจัดสรรหลังหนึ่งในราคา 150,000 บาท ในอัตราดอกเบี้ย 13% ต่อปี โดยผ่อนชำระเป็น

รายเดือนเดือนละเท่า ๆ กัน เป็นเวลา 10 ปี ต่อมาเมื่อนายสุชาติผ่อนชำระไปได้ 4 ปีแล้ว บังเอิญนายสุชาติมีโชคถูกลอตเตอรี่รางวัลที่ 1 ขึ้นมา นายสุชาติจึงต้องการชำระหนี้ให้หมด เพื่อที่จะได้โอนกรรมสิทธิ์บ้านเป็นของตนเอง อยากทราบว่านายสุชาติจะต้องจ่ายเงินจำนวนที่ยังค้างชำระอีกเท่าไร

วิธีทำ หาจำนวนเงินที่ผ่อนชำระเป็นรายเดือนก่อน

จากสูตรที่ (8)  $A = P \left[ \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right]$

แทนค่า  $P = 150,000$  บาท

$i = \frac{0.13}{12} = 0.01083$  ต่อเดือน

$n = 10 \times 12 = 120$  เดือน

$$A = 150,000 \left[ \frac{0.01083(1+0.01083)^{120}}{(1+0.01083)^{120} - 1} \right]$$

$$= 150,000 \times 0.01493$$

∴ ต้องผ่อนชำระเดือนละ = 2239.62 บาท

เพราะว่าได้ผ่อนชำระไป 4 ปี หรือ 48 งวดแล้ว จึงต้องผ่อนชำระอีก 6 ปี หรือ 72 งวด งวดละ 2239.62 บาท

ดังนั้น จำนวนเงินที่ยังค้างชำระอยู่จะเท่ากับเงินต้นของเงินผ่อนเดือนละ 2239.62 บาท จำนวน 72 งวด

แทนค่าจากสูตรที่ (9)  $P = A \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right]$

$A = 2239.62$  บาท  $i = 0.01083$ ,  $n = 72$  เดือน

$$P = 2239.62 \left[ \frac{(1+0.01083)^{72} - 1}{0.01083(1+0.01083)^{72}} \right]$$

∴ จะต้องจ่ายเงินที่ค้างอีกเป็นเงิน = 111,579.60 บาท

บรรณานุกรม
1. วิเศษฐ์ ลิ้มสุวรรณ, กิตติ อินทรานนท์, และธนากร เกียรติบรรดิธ "เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ฉบับพัฒนา", ตุลาคม 2522
2. วันชัย วิจิรวณิช, ชลุม พลอยมีค่า, "เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม", 2513
3. คณะกรรมการวิชาการเขต 2 การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, "คู่มือเทคนิคเล่ม 6 เศรษฐศาสตร์เบื้องต้น", กรกฎาคม 2521
4. Peurefoy, R.L., "Construction Planning Method & Equipment", 2 <sup>nd</sup> edition.