

2

วิธีการออกแบบและข้อกำหนด

2.1 วัตถุประสงค์ในการออกแบบ

วิศวกรโครงสร้างเป็นหนึ่งในทีมงานออกแบบอาคาร สะพาน และโครงสร้างต่างๆ ในกรณีของอาคารสถาปนิกมักเป็นผู้จัดเตรียมแบบของอาคาร โดยรวมเกี่ยวกับรูปลักษณะภายนอกและรูปแบบการใช้งานภายใน จากนั้นจึงแจกจ่ายให้วิศวกรงานระบบไฟฟ้า ระบบเครื่องกล ระบบสุขาภิบาล และวิศวกรโครงสร้างทำการออกแบบ

ในเชิงวิศวกรรมโครงสร้างผู้ออกแบบควรคำนึงถึงปัจจัยหลักห้าประการคือ

เสถียรภาพ ความมั่นคงของโครงสร้างโดยรวม ซึ่งถือเป็นปัจจัยที่สำคัญที่สุดที่ต้องคำนึงถึงเป็นอันดับแรกในการออกแบบ เพราะอาจทำให้โครงสร้างวิบัติพังทลายได้

ความปลอดภัย ส่วนต่างๆของโครงสร้างจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอในการรองรับน้ำหนักบรรทุกได้อย่างปลอดภัย

ความสามารถในการใช้งาน โครงสร้างจะต้องอยู่ในสภาพที่ใช้งานได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน โดยไม่มีการแอ่นตัวเอียง สั่นสะเทือน หรือแตกร้าว ที่มากเกินไปจนไม่สามารถใช้งานได้

ความประหยัด ราคาของโครงสร้างไม่ควรเกินงบประมาณที่ตั้งไว้ โดยผู้ออกแบบควรคำนึงถึงหลายปัจจัยเช่น ปริมาณวัสดุ ค่าแรงงาน ความยากง่ายในการก่อสร้าง ระยะเวลา ความสะดวกในการขนส่ง การบำรุงรักษาหรือซ่อมแซม

สิ่งแวดล้อม โครงสร้างที่ดีควรจะเข้ากันได้กับสถานะแวดล้อมในบริเวณนั้น และมีความสวยงาม

2.2 ข้อกำหนดในการออกแบบ

วิศวกรผู้ออกแบบจะทำงานโดยอ้างอิงมาตรฐานหรือข้อกำหนดในการออกแบบอยู่เสมอ ข้อกำหนดเหล่านี้ถูกจัดทำขึ้นโดยองค์กรต่างๆเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในการออกแบบ โดยอาจแบ่งได้เป็นสองประเภทคือ ข้อกำหนดที่มีผลบังคับใช้ทางกฎหมายและข้อกำหนดที่แนะนำโดยองค์กรวิชาชีพ

ข้อกำหนดที่มีผลบังคับใช้ทางกฎหมายเป็นข้อบังคับที่มีไว้เพื่อให้มั่นใจในความปลอดภัยของสาธารณชนซึ่งผู้ออกแบบจะต้องปฏิบัติตาม มิฉะนั้นจะมีความผิดตามกฎหมาย ข้อกำหนดประเภทนี้จะแตกต่างกันไปตามพื้นที่ สำหรับประเทศไทยมีพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 มีกฎกระทรวงฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2527), กฎกระทรวง ฉบับที่ 49 (พ.ศ. 2540) ในภาคผนวก ง และข้อกำหนดในแต่ละท้องถิ่นที่เช่น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร หรือเทศบัญญัติ

สำหรับองค์กรวิชาชีพในประเทศไทยที่ออกข้อกำหนดทางด้านวิศวกรรมคือ วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (ว.ส.ท.) โดยข้อกำหนดที่เกี่ยวกับคอนกรีตเสริมเหล็กจะมีสองฉบับคือ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (ว.ส.ท. 1007-34) และ มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง (ว.ส.ท. 1008-38) โดยข้อกำหนดที่ใช้จะนำมาจาก Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary ของ American Concrete Institute (ACI)

ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและก่อสร้างอาคาร โครงสร้างคอนกรีตจะอยู่ในความดูแลของ ACI Committee 318 ซึ่งจะพัฒนาปรับปรุงมาตรฐานออกมาเป็นระยะๆคือ โดยมีเลขสองตัวสุดท้ายคือปีที่เริ่มใช้ เช่น ACI318-89 เริ่มใช้ในปี ค.ศ. 1989 ซึ่งจะตรงกับของ ว.ส.ท. 1008-38 จากนั้นก็จะเป็น ACI 318-95 จนมาถึง ACI 318-05 ในปัจจุบัน

2.3 แนวคิดและวิธีการในการออกแบบ

การออกแบบโครงสร้างคือขั้นตอนในการเลือกวัสดุและจัดขนาดวัสดุส่วนขององค์ประกอบต่างๆของโครงสร้างตามหลักการทางด้านวิศวกรรม เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์โครงสร้างจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไขทางด้านความปลอดภัย การใช้งาน ความประหยัด และเข้ากับสภาพแวดล้อม

การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design, WSD) เป็นวิธีเก่าที่ใช้มาตั้งแต่ต้นยุค 1900 ถึงช่วงต้นยุค 1960 ต่อมาได้มีการพัฒนา วิธีกำลังประลัย (Ultimate Strength Design, USD) ซึ่งต่อมาเปลี่ยนชื่อเป็น วิธีกำลัง (Strength Design Method, SDM) ในประเทศไทยยังคงใช้วิธีหน่วยแรงใช้งานกันอยู่บางส่วน แต่สำหรับอาคารขนาดใหญ่ควรใช้วิธีกำลังเพราะมีข้อได้เปรียบหลายประการซึ่งจะได้กล่าวถึงต่อไป ในหนังสือฉบับนี้จะกล่าวถึงทั้งสองวิธีโดยจะแยกหัวข้อออกจากกันอย่างชัดเจนเพื่อป้องกันความสับสน

2.4 วิธีหน่วยแรงใช้งาน (Working Stress Design Method)

ในวิธีหน่วยแรงใช้งานส่วนโครงสร้างจะถูกออกแบบให้หน่วยแรงที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกขณะใช้งาน ไม่เกินค่าที่ยอมให้ โดยที่คุณสมบัติทางกลศาสตร์ของส่วนโครงสร้างเป็นแบบอีลาสติก น้ำหนักบรรทุกใช้งาน ได้แก่ น้ำหนักบรรทุกคงที่ (น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง) น้ำหนักบรรทุกจร ได้แก่ ผู้โดยสาร สิ่งของที่สามารเคลื่อนย้ายได้ หิมะ ลม และแผ่นดินไหว ซึ่งจะถูกสมมุติให้เกิดขึ้นเมื่อโครงสร้างถูกใช้งาน

วิธีหน่วยแรงใช้งานอาจถูกแสดงได้ดังนี้

$$f \leq [\text{หน่วยแรงที่ยอมให้ } f_{allow}] \quad (2.1)$$

เมื่อ f = หน่วยแรงอีลาสติกที่คำนวณได้ เช่น จากสูตรการตัด $f = Mc/I$ สำหรับคาน

f_{allow} = หน่วยแรงที่จำกัดโดยมาตรฐานอาคารเป็นเปอร์เซ็นต์ของกำลังรับแรงอัด f'_c สำหรับคอนกรีตหรือของหน่วยแรงจุดคราก f_y สำหรับเหล็กเสริม

อุปสรรคบางอย่างของวิธีหน่วยแรงใช้งานมีดังนี้

1. เนื่องจากข้อจำกัดอยู่ที่หน่วยแรงทั้งหมดคอยู่ภายใต้น้ำหนักใช้งานจึงไม่มีวิธีง่ายๆ ที่จะใช้กับระดับความไม่แน่นอนของน้ำหนักหลายๆชนิด โดยทั่วไปการประมาณน้ำหนักคงที่จะทำได้แม่นยำกว่าน้ำหนักจรซึ่งจะประมาณจากลักษณะการใช้งานของอาคารและอาจจะมีภาระกระจายตัวที่แปรเปลี่ยนหรือไม่แน่นอนได้

2. ความเค้นและการหดตัวซึ่งเป็นผลจากเวลาที่ผ่านไปที่สำคัญในโครงสร้างจะไม่สามารถแสดงได้ไม่ง่ายโดยการคำนวณแบบอีลาสติคของหน่วยแรง
3. หน่วยแรงในคอนกรีตไม่เป็นสัดส่วนกับหน่วยการยืดหดจนถึงกำลังวิกฤติทำให้ไม่สามารถรู้ความปลอดภัยที่แฝงอยู่ได้ เมื่อเปอร์เซ็นต์ของ f_c' ถูกใช้เป็นหน่วยแรงที่ยอมรับ

2.5 วิธีกำลัง (Strength Design Method)

ในวิธีกำลังน้ำหนักบรรทุกทุกใช้งานจะถูกเพิ่มขึ้นโดยตัวคูณน้ำหนักเกิน (Overload factors) เพื่อให้ได้น้ำหนักขณะเกิดการวิกฤติ น้ำหนักนี้จะถูกเรียกว่า น้ำหนักประลัย (Ultimate load) โครงสร้างหรือส่วนโครงสร้างจะถูกกำหนดสัดส่วนให้มีกำลังประลัย (Ultimate strength) เพื่อด้านทานน้ำหนักประลัย การคำนวณของกำลังประลัยนี้จะอาศัยสมมติที่ไม่เป็นเส้นตรงระหว่างหน่วยแรงและความเครียด

วิธีกำลังสามารถถูกแสดงได้ดังนี้

$$\text{กำลังที่ใช้ในการออกแบบ} \geq \text{กำลังที่ต้องการเพื่อรับน้ำหนักประลัย} \quad (2.2)$$

เมื่อ กำลังที่ใช้ในการออกแบบ (เช่นกำลังรับโมเมนต์) ถูกคำนวณตามกฎและสมมุติฐานของพฤติกรรมโดยมาตรฐานอาคาร และ กำลังที่ต้องการ คือ ที่ได้จากการวิเคราะห์โครงสร้างโดยใช้น้ำหนักประลัย

เมื่อใช้วิธีกำลังเปรียบเทียบระหว่างกำลังที่ออกแบบและกำลังที่ต้องการ (นั่นคือ แรงแนวแกน แรงเฉือน หรือ โมเมนต์บิดที่เกิดจากน้ำหนักประลัย) ไม่ได้หมายความว่าวัสดุใดๆจะครากหรือวิบัติภายใต้น้ำหนักใช้งานในความเป็นจริงที่สภาวะใช้งาน พฤติกรรมของโครงสร้างยังคงเป็นอีลาสติคอยู่ การใช้คำว่า กำลังจะเกิดการวิบัติ ภายใต้ น้ำหนักประลัยเป็นเพียงเครื่องช่วยในการกำหนดตัวแปรความปลอดภัยอย่างเพียงพอ

2.6 ข้อกำหนดความปลอดภัย

การที่เราจะบอกว่าโครงสร้างหนึ่งๆนั้นมีความปลอดภัยมากน้อยเพียงใด อาจแสดงให้เห็นได้โดยใช้ ส่วนเกินความปลอดภัย (Safety margin, M) มีค่าเท่ากับ

$$M = S - Q > 0 \quad (2.3)$$

เมื่อ S คือกำลังต้านทานของโครงสร้าง และ Q คือความต้องการจากน้ำหนักบรรทุกทุกอย่างก็ตาม S และ Q เป็นตัวแปรที่มีความไม่แน่นอน ในวิธีกำลังจะพิจารณาความไม่แน่นอนจากกำลังและน้ำหนักบรรทุกทุกแยกกันโดยเขียนในรูปความสัมพันธ์ใหม่คือ

$$\phi S \geq \gamma Q \quad (2.4)$$

โดยที่ ϕ คือ ตัวคูณลดกำลัง (Strength reduction factor) และ γ คือ ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก (Load factor) หมายความว่ากำลังที่ถูกลดมาแล้วก็ยังคงต้องมากกว่าน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มค่าขึ้นมา ตัวคูณลดกำลังมีเพื่อแทนความไม่แน่นอนของกำลังวัสดุคุณภาพในการก่อสร้างและความสำคัญของส่วนโครงสร้างนั้นๆ ส่วนตัวคูณเพิ่มน้ำหนักจะแทนความไม่แน่นอนของน้ำหนักบรรทุกซึ่งแต่ละชนิดจะมีความไม่แน่นอนต่างกัน

ACI ได้แบ่งข้อกำหนดความปลอดภัยเป็นตัวคูณ U สำหรับการเพิ่มน้ำหนักและตัวคูณ ϕ สำหรับการลดกำลัง สมการน้ำหนักเกินสำหรับโครงสร้างในตำแหน่งและสัดส่วนที่ผลของลมและแผ่นดินไหวอาจถูกละเลย

$$U = 1.4D + 1.7L \quad (2.5)$$

เมื่อ U = กำลังที่ต้องการ (ขึ้นกับน้ำหนักเกินที่เป็นได้)

D = น้ำหนักบรรทุกคงที่ภายใต้สภาวะใช้งาน

L = น้ำหนักบรรทุกจรภายใต้สภาวะใช้งาน

น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่จะได้แก่ น้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง น้ำหนักผนัง เพดาน และวัสดุปูพื้น ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยง่าย และแม่นยำจากแบบและหน่วยน้ำหนักของวัสดุ ส่วนน้ำหนักบรรทุกจรอาจใช้ตาม พ.ร.บ. ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2522 ในภาคผนวก ง

ตัวคูณ ϕ สำหรับการลดกำลังตาม ACI ถูกแสดงดังนี้

- การตัดร่วมกับแรงดึงหรือไม่มีแรงดึง	$\phi = 0.90$
- แรงดึงตามแนวแกน	$\phi = 0.90$
- แรงเฉือนและแรงบิด	$\phi = 0.85$
- แรงอัดในเสาปลอกเกลียว	$\phi = 0.75$
- แรงอัดในองค์อาคารอื่น ๆ	$\phi = 0.70$
- แรงกดบนคอนกรีต	$\phi = 0.70$

2.7 ข้อกำหนดน้ำหนักประลัยสำหรับน้ำหนักร่วมกระทำต่างๆ

นอกจากข้อกำหนดพื้นฐานของตัวคูณน้ำหนักของน้ำหนักคงที่บนน้ำหนักจรใน สมการ (2.5) น้ำหนักใช้งานอื่นอาจมาร่วมกระทำได้ สำหรับแรงลม W กระทำร่วมกับน้ำหนักอื่น ACI กำหนดว่า

$$U = 0.75 (1.4D + 1.7L + 1.7W) \quad (2.6)$$

เนื่องจากลมมีลักษณะกระทำไม่ต่อเนื่องตามธรรมชาติและกระทำด้วยน้ำหนักสูงสุดในช่วงเวลาสั้น จึงมีการยอมให้หน่วยแรงเกินได้ 33.33% ภายใต้วิธีน้ำหนักใช้งานผลเช่นเดียวกันสามารถได้มาโดยใช้ตามในสี่ของน้ำหนักประลัยเมื่อรวมผลของลม บางครั้งสถานการณ์ที่ร้ายแรงกว่าของแรงลมเกิดขึ้นเมื่อน้ำหนักจรหายไป ความเป็นไปได้นี้ต้องถูกพิจารณาเมื่อไม่มีน้ำหนักจร สมการ (2.6) กลายเป็น

$$U = 1.05D + 1.275W \quad (2.7)$$

นอกจากนั้นสำหรับสถานการณ์ที่น้ำหนักคงที่เป็นตัวน้ำหนักถ่วงเพื่อสร้างเสถียรภาพเมื่อถูกแรงลมกระทำ (เช่น หอคอยหรือกำแพง) ความเป็นไปได้ที่จะลดน้ำหนักคงที่ต้องถูกพิจารณาแทนที่จะเป็นน้ำหนักประลัย ดังนั้น ACI ก็ยังกำหนดให้

$$U = 0.9D + 1.3W \quad (2.8)$$

เมื่อแรงดันดินด้านข้าง H เข้ามาเกี่ยวข้องด้วยจะถูกคิดเป็นน้ำหนักจร ดังนั้น

$$U = 1.4D + 1.7L + 1.7H \quad (2.9)$$

แต่เมื่อน้ำหนักคงที่หรือน้ำหนักจร(หรือทั้งสอง)ลด ผลของแรงดันดินด้านข้าง

$$U = 0.9D + 1.7H \quad (2.10)$$

สำหรับ แรงดันของของเหลว F มีความสูงที่ควบคุมได้สมการ (2.9) และ (2.10) จะถูกใช้ยกเว้น $1.7H$ ถูกเปลี่ยนเป็น $1.4F$ เนื่องจากความหนาแน่นของเหลวมีค่าแน่นอนแรงดันจึงถูกคิดเหมือนน้ำหนักคงที่ โดยใช้ตัวคูณ 1.4 ในทางตรงข้ามแรงดันดินมีคุณสมบัติแปรเปลี่ยนมากกว่า จึงถูกคิดเป็นน้ำหนักจร โดยใช้ตัวคูณ 1.7 เมื่อผลของโครงสร้าง T ของการทรุดตัวต่างกัน ความคืบ การหดตัวหรือการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอาจจะมีผลสำคัญ ก็จะถูกรวมเข้าไปกับน้ำหนักคงที่

$$U = 0.75 (1.4D + 1.4T + 1.7L) \quad (2.11)$$

แต่ต้องไม่น้อยกว่า
$$U = 1.4 (D + T) \tag{2.12}$$

ตัวคูณ 0.75 ถูกใช้เพื่อระลึกว่ามีความน่าจะเป็นที่จะเกิดน้ำหนักพร้อมกันมีน้อย

ค่าตัวคูณลดกำลังและตัวคูณเพิ่มน้ำหนักที่ได้กล่าวมาแล้วทั้งหมดนั้นเป็นค่าเท่าเพื่อให้ตรงกับที่ ว.ส.ท. กำหนด สำหรับค่าใหม่ตามมาตรฐาน ACI 318-05 จะเป็นดังนี้

ตารางที่ 2.1 ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก U ตามมาตรฐาน ACI 318-05

กรณีบรรทุก	ตัวคูณเพิ่มน้ำหนัก
พื้นฐาน	$U = 1.2D + 1.6L$
น้ำหนักคงที่และของไหล	$U = 1.4(D + F)$
หิมะ, ฝน, อุณหภูมิ, และลม	$U = 1.2(D + F + T) + 1.6(L + H) + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$ $U = 1.2D + 1.6(L_r \text{ or } S \text{ or } R) + (1.0L \text{ or } 0.8W)$ $U = 1.2D + 1.6W + 1.0L + 0.5(L_r \text{ or } S \text{ or } R)$ $U = 0.9D + 1.6W + 1.6H$
แผ่นดินไหว	$U = 1.2D + 1.0E + 1.0L + 0.2S$ $U = 0.9D + 1.0E + 1.6H$

ตารางที่ 2.2 ตัวคูณลดกำลัง ϕ ตามมาตรฐาน ACI 318-05

กรณีกำลัง	ตัวคูณลดกำลัง
หน้าตัดรับแรงดึง	0.90
หน้าตัดรับแรงอัด	
องค์อาคารใช้ปลอกเกลียว	0.70
องค์อาคารอื่น	0.65
การเลื่อนและการบิด	0.75
การกดทับบนคอนกรีต	0.65

2.8 ขนาดและความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

แม้ว่าในการออกแบบจะพิจารณาถึง ขนาด ระยะช่องว่าง และตำแหน่งของเหล็กเสริมที่แน่นอน ในทางปฏิบัติอาจเกิดความคลาดเคลื่อนขึ้นได้บ้าง ถือเป็นความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

ขนาดทั้งหมดของคอนกรีตเสริมเหล็กจะถูกกำหนดโดยวิศวกรเป็นจำนวนเต็มเช่นติเมตร สำหรับคาน เสา และผนัง บางครั้งใช้ครึ่งเช่นติเมตรสำหรับพื้นบาง และบ่อยครั้งที่เพิ่มทีละ 10 เช่นติเมตร ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้สำหรับการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดของเสาและคาน และในความหนาของพื้นและผนังจะ +1.0 ซม.และ -0.5 ซม. เมื่อขนาดที่กำหนดมากกว่า 30 ซม. แต่ไม่เกิน 90 ซม. สำหรับคอนกรีตฐานรากการแปรเปลี่ยนของขนาดแปลนจะเป็น +5.0 ซม. และ -1.0 ซม. ขณะที่ความหนายอมรับความคลาดเคลื่อน -5% ของความหนากำหนด ตัวคูณลดกำลัง ϕ ดังนี้จะถูกใช้ในสถานะการซึ่งความคลาดเคลื่อนหลายตัวอาจมารวมกัน ทำให้กำลังลดลงจากที่คำนวณโดยใช้ขนาดที่กำหนด

โดยปกติเหล็กเสริมจะถูกกำหนดความยาวเพิ่มทีละ 10 ซม. และความคลาดเคลื่อนในการวางเหล็กถูกกำหนดใน ACI Code สำหรับระยะหุ้มของคอนกรีตและความลึกประสิทธิผล d (ระยะจากหน้ารับแรงอัดถึงศูนย์กลางของเหล็กรับแรงดึง) ในส่วน โครงสร้างรับแรงดัน ผนัง และส่วน โครงสร้างรับแรงอัด ความคลาดเคลื่อนที่กำหนดดังนี้

ตารางที่ 2.3 ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ในการวางเหล็กเสริม

ความลึกประสิทธิผล (d , ซม.)	ความคลาดเคลื่อน	
	ของความลึก (ซม.)	ของระยะหุ้ม (ซม.)
$d \leq 20$	± 1.0	-1.0
$d > 20$	± 1.2	-1.2

โดยไม่คำนึงถึงความคลาดเคลื่อนที่กำหนดระยะหุ้มที่ได้ไม่ควรน้อยกว่าสองในสามของระยะหุ้มน้อยสุดตามที่กำหนดในแบบ เนื่องจากความลึกประสิทธิผลและระยะหุ้มเป็นส่วนประกอบของความลึกทั้งหมด เมื่อความคลาดเคลื่อนของการจัดวางเหล็กและระยะหุ้มมารวมกันความคลาดเคลื่อนทั้งหมดของขนาดอาจจะเกิน ดังนั้นการปรับแก้ในที่ก่อสร้างอาจจะต้องทำซึ่งอาจจะสำคัญเป็นพิเศษสำหรับหน้าตัดที่บางมาก สำหรับตำแหน่งของเหล็กตามยาวของขนาด และของการงอเหล็ก ความคลาดเคลื่อนคือ ± 5 ซม. ยกเว้นปลายที่ไม่ต่อเนื่องซึ่งความคลาดเคลื่อนจะเป็น ± 1.2 ซม.

2.9 น้ำหนักบรรทุก

ข้อกำหนดเกี่ยวกับน้ำหนักบรรทุกในสหรัฐอเมริกาจะระบุอยู่ใน Building Code ของแต่ละพื้นที่อาจแตกต่างกันไป ข้อกำหนดรวมอาจหาได้จาก Uniform Building Code (UBC), International Building Code (IBC) และ ASCE Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures (ASCE 7-02) สำหรับประเทศไทยมีการกำหนดน้ำหนักบรรทุกจรไว้บ้างในกฎกระทรวง ฉบับที่ 6 (ดูภาคผนวก ง) แต่เป็นการกำหนดไว้นานแล้วดังนั้นจึงค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับความเป็นจริง ดังนั้นในการพิจารณาจึงควรใช้วิจารณ์ตามประกอบตามความเหมาะสม

น้ำหนักบรรทุกคงที่ (Dead Loads)

น้ำหนักบรรทุกคงที่หรือน้ำหนักบรรทุกตายตัวคือไม่มีการเปลี่ยนแปลง ได้แก่ น้ำหนักตัวโครงสร้างเอง และน้ำหนักวัสดุที่ถูกติดตั้งถาวรกับโครงสร้างเช่น ผนัง วัสดุปูพื้น วัสดุผนังหลังคา ฝ้าเพดาน

ตารางที่ 2.4 หน่วยน้ำหนักของวัสดุ

น้ำหนักวัสดุ	ก.ก./ม. ³
คอนกรีต	2,320
คอนกรีตเสริมเหล็ก	2,400
ไม้	500-1,200
เหล็ก	7,850
น้ำหนักวัสดุผืน	ก.ก./ม. ²
กระเบื้องลอนคู่	14
กระเบื้องซีแพค โมเนีย	50

เหล็กรีดลอน, สังกะสี	5
ซีเมนต์ขัดมันหนา 2.5 ซม.	50
กระเบื้องปูพื้น	100
พื้นปูหินอ่อน, หินแกรนิต	150
น้ำหนักผนัง	ก.ก./ม.²
ผนังอิฐมวลฉนวนแผ่นฉาบปูน	180
ผนังอิฐมวลฉนวนเต็มแผ่นฉาบปูน	360
ผนังอิฐบล็อกหนา 7 ซม.	120
ผนังอิฐบล็อกหนา 9 ซม.	160

น้ำหนักบรรทุกจร (Live Loads) เนื่องจากการใช้งาน

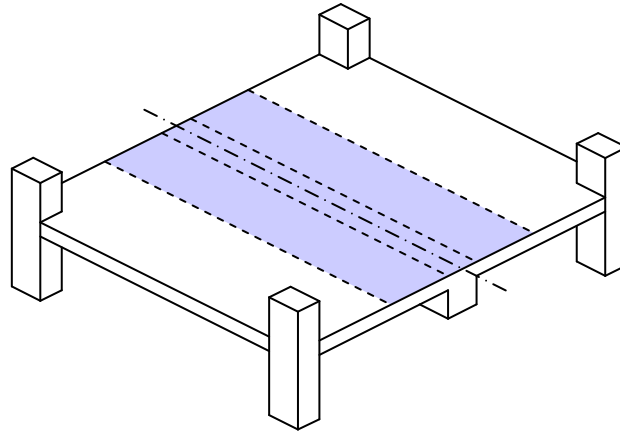
ในข้อกำหนดอาคารส่วนใหญ่จะมีตารางน้ำหนักจรไว้เพื่อความสะดวกในการออกแบบ โดยจะระบุเป็นน้ำหนักแผ่คงที่ต่อพื้นที่อาคาร ของประเทศไทยดูได้ในกฎกระทรวงฉบับที่ 6 น้ำหนักบรรทุกจรในอาคารจะขึ้นกับลักษณะการใช้งาน

ตารางที่ 2.5 น้ำหนักบรรทุกจร L_0 ตามข้อกำหนด ASCE 7-02

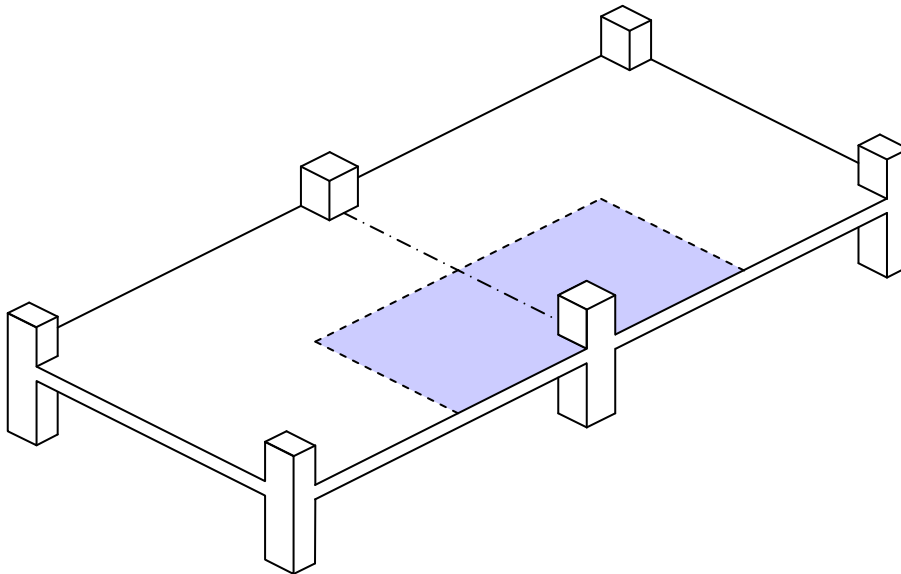
ลักษณะการใช้งาน	น้ำหนักแผ่ ก.ก./ม. ²	น้ำหนักเป็นจุด ก.ก.
ที่พักอาศัย	200	
อาคารสำนักงาน		
ลิบบีและทางเดินชั้นแรก	500	900
สำนักงาน	250	900
ทางเดินชั้นบน	400	900
โรงเรียน		
ห้องเรียน	200	450
ทางเดินชั้นบน	400	450
ทางเดินชั้นแรก	500	450
บันไดและทางออก	500	
โกดังเก็บสินค้า		
สินค้าเบา	600	
สินค้าหนัก	1,200	

การลดน้ำหนักบรรทุกจร (Reduction in Live Loads)

น้ำหนักบรรทุกจรที่ให้ไว้ในตารางเป็นค่ามากที่สุดที่คาดว่าจะเกิดขึ้น เมื่อพื้นที่รับน้ำหนักบรรทุกมีขนาดใหญ่ขึ้น โอกาสที่น้ำหนักบรรทุกจะถึงค่ามากที่สุดนั้นจะลดลง จึงมีการใช้ *ตัวคูณลดค่าน้ำหนักบรรทุกจร (Live-load reduction factor)* ใน ASCE 7 ได้กำหนดให้ตัวคูณนี้ขึ้นกับ *พื้นที่รับน้ำหนัก (Tributary area, A_T)* ซึ่งจะขยายจากคานหรือเสาไปยังตำแหน่งที่แรงเฉือนเป็นศูนย์โดยรอบของค้ำอาคารที่พิจารณา เพื่อความสะดวกอาจใช้ระยะครึ่งหนึ่งระหว่างจุดรองรับเช่นในคานดังในรูปที่ 2.1ก และน้ำหนักลงเสาดังในรูปที่ 2.2ข



(ก) คานภายใน



(ข) เสาต้นริม

รูปที่ 2.1 พื้นที่รับน้ำหนัก

ASCE 7 ยอมให้ใช้น้ำหนักจรลดค่า L จากค่า L_0 จากตารางที่ 2.5 ในการออกแบบของค้ำอาคาร ขึ้นกับพื้นที่ A_T รับน้ำหนัก

$$L = L_0 \left[0.25 + \frac{4.57}{\sqrt{K_{LL} A_T}} \right] \quad (2.13)$$

ค่าแฟกเตอร์ K_{LL} ขึ้นกับลักษณะของส่วนประกอบโครงสร้างดังนี้

เสากภายในและเสากภายนอกที่ไม่มีพื้นยื่น $K_{LL} = 4$

เสากภายนอกที่มีพื้นยื่น $K_{LL} = 3$

เสามุมที่มีพื้นยื่น	$K_{LL} = 2$
เสาภายในและคานาขอบที่ไม่มีพื้นยื่น	$K_{LL} = 2$
องค์อาคารอื่น	$K_{LL} = 1$

แรงลม (Wind Loads)

แรงดันที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามความเร็วลมยกกำลังสอง เมื่อพัดผ่านพื้นผิวที่มีความขรุขระทำให้เกิดความแปรปรวนนั่นคือมีส่วนที่เป็นความเร็วลมเฉลี่ยบวกกับส่วนที่แปรปรวนที่เรียกว่า *ลมกรรโชก (Gust)* ตามมาตรฐาน ASCE ค่าแรงดันจากความเร็วลมพื้นฐานคำนวณได้จาก

$$q_z = 0.00483 K_z K_{zt} K_d V^2 I \text{ (ก.ก./ม.}^2\text{)} \quad (2.14)$$

เมื่อ V = ความเร็วลมพื้นฐานเฉลี่ยในช่วง 3 วินาทีมีหน่วยเป็น กิโลเมตรต่อชั่วโมง ที่ความสูง 10 เมตร

K_z = ตัวคูณระดับความสูงและความขรุขระของพื้นผิวกำหนดจาก

สำหรับ $z < 4.57$ เมตร, $K_z = 2.01(4.57 / z_g)^{2/\alpha}$

สำหรับ $4.57 \text{ เมตร} \leq z < z_g$, $K_z = 2.01(z / z_g)^{2/\alpha}$

ค่า z_g และ α ขึ้นกับลักษณะภูมิประเทศ ดูได้จากตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าคงที่ตามลักษณะภูมิประเทศ

ภูมิประเทศ	ลักษณะ	α	z_g (เมตร)
A	ศูนย์กลางเมืองใหญ่ อาคารส่วนใหญ่สูงเกิน 21.3 เมตร	5.0	457
B	แหล่งชุมชน ชานเมือง	7.0	366
C	พื้นที่เปิดโล่ง มีสิ่งกีดขวางกระจัดกระจาย	9.5	274
D	พื้นที่ราบเรียบ ไม่มีสิ่งกีดขวาง พื้นน้ำ ชายฝั่งทะเล	11.5	213

K_{zt} = ตัวคูณสำหรับการเพิ่มความเร็วเมื่อพัดผ่านภูเขา

K_d = ตัวคูณทิศทางลมเท่ากับ 0.85 สำหรับตึกสี่เหลี่ยม และ 0.90 ถึง 0.95 สำหรับตึกกลม

I = ตัวคูณความสำคัญของอาคารมีค่า = 0.87 สำหรับอาคารที่มีผลเสียหายต่อชีวิตมนุษย์ต่ำ,
 = 1.00 สำหรับอาคารปกติ และ
 = 1.15 สำหรับอาคารที่มีผลเสียหายต่อชีวิตมนุษย์สูง

ตามวิธีการคำนวณของ ASCE แรงดันลมบนอาคารสำหรับระบบต้านทานแรงลมที่เป็นหลักคำนวณได้จาก

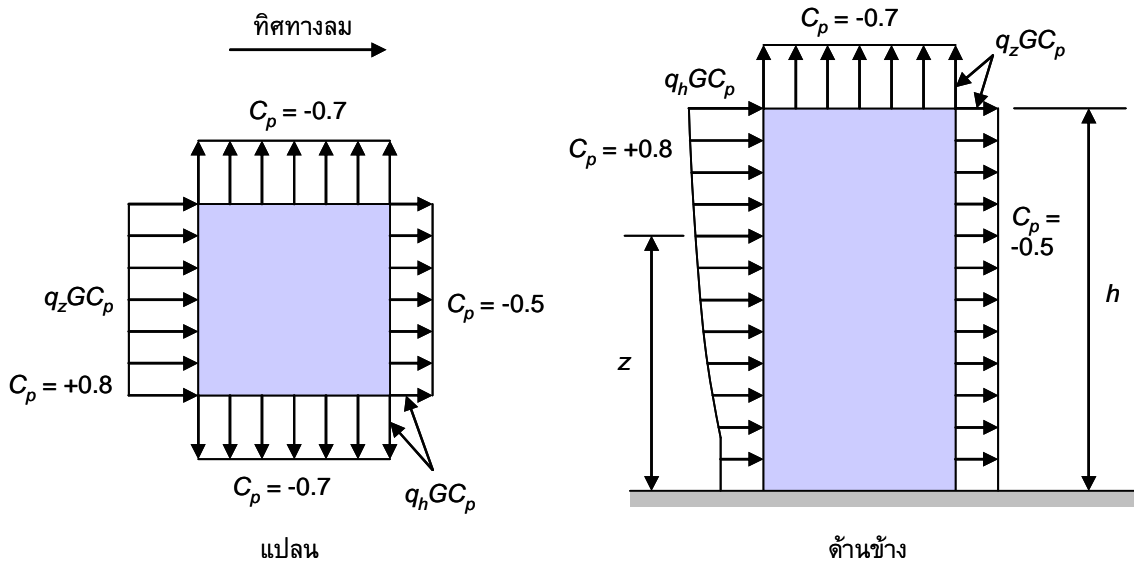
$$p = q G C_p - q_i G C_{pi} \quad (2.15)$$

เมื่อ $q = q_z$ แรงดันจากสมการ (2.14) กำหนดที่ความสูง z เหนือพื้นดินบนผนังด้านปะทะลม

= q_h แรงดันบนด้านหลังคา, ผนังด้านหลบลม และผนังด้านข้าง

ตัวคูณตอบสนองการกรรโชก (Gust response factor, G) จะขึ้นกับคุณสมบัติเชิงพลศาสตร์ของลมและโครงสร้าง สำหรับอาคารที่มีความยืดหยุ่นจะต้องการคำนวณตามขั้นตอน สำหรับอาคารส่วนใหญ่ที่ไม่สูงยืดหยุ่นจะใช้ค่าเท่ากับ 0.85

สัมประสิทธิ์ความดันภายนอก (External pressure coefficient, C_p) เมื่อลมพัดผ่าน โครงสร้าง จะทำให้เกิดความดันบวกบนผนังด้านปะทะลม และความดันลบบนผนังด้านหลบลม ด้านข้าง และหลังคา ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความดันลมบนผนังอาคาร

2.10 วิธีการวิเคราะห์โครงสร้าง

องค์อาคารทุกตัวในโครงสร้างจะได้รับการออกแบบมาเพื่อรองรับผลที่มากที่สุดของน้ำหนักประลัย ซึ่งพิจารณาโดยทฤษฎีการวิเคราะห์แบบอิลาสติก หรืออาจใช้ค่าประมาณของโมเมนต์และแรงเฉือนสำหรับการออกแบบคานต่อเนื่องและพื้นทางเดียว ซึ่งค่าประมาณที่ได้จะเผื่อค่อนข้างมากในกรณีที่ต้องอาคารค้ำคั้นเป็นส่วนหนึ่งของ โครงข้อแข็ง เนื่องจากรูปแบบน้ำหนักบรรทุกที่แตกต่างกัน

ACI ได้กำหนดสัมประสิทธิ์เพื่อใช้ในการประมาณค่ามากที่สุดของ โมเมนต์และแรงเฉือนในคานและพื้นทางเดียว ต่อเนื่อง โมเมนต์จะมีค่าเท่ากับผลคูณของสัมประสิทธิ์และ $w_u l_n^2$ เมื่อ w_u คือน้ำหนักประลัยต่อหน่วยความยาว และ l_n คือระยะห่างระหว่างผิวในของที่รองรับสำหรับการหาโมเมนต์บวก หรือค่าเฉลี่ยของสองช่วงคานที่ติดกันสำหรับโมเมนต์ลบ แรงเฉือนจะหาได้โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์คูณกับ $w_u l_n / 2$ ตารางที่ 2.7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ต่างเช่นเดียวกับในรูปที่ 2.3

ค่าสัมประสิทธิ์ ACI เหล่านี้ได้มาจากการวิเคราะห์แบบอิลาสติก โดยพิจารณาเล็อกวางน้ำหนักจรเพื่อให้ได้โมเมนต์บวกหรือลบมากที่สุดที่หน้าตัดวิกฤติ ซึ่งจะใช้ได้ภายใต้เงื่อนไขดังนี้

1. มีช่วงคานตั้งแต่ 2 ช่วงขึ้นไป
2. มีช่วงยาวเท่ากัน โดยประมาณ โดยช่วงที่ติดกันมีความยาวต่างกันไม่เกิน 20%
3. รับน้ำหนักแผ่สม่ำเสมอเต็มทุกช่วง
4. น้ำหนักจรไม่เกิน 3 เท่าของน้ำหนักบรรทุกคงที่
5. องค์อาคารมีลักษณะเป็นปริซึมหน้าตัดคงที่

ตารางที่ 2.7 ค่าโมเมนต์และแรงเฉือนโดยใช้สัมประสิทธิ์ของ ACI

(ก) โมเมนต์บวก

คานช่วงปลาย

- ปลายไม่ต่อเนื่องไม่ยึดรั้งกับที่รองรับ $w_u l_n^2 / 11$
- ปลายไม่ต่อเนื่องหล่อเป็นเนื้อเดียวกันกับที่รองรับ $w_u l_n^2 / 14$

คานช่วงใน

$w_u l_n^2 / 16$

(ข) โมเมนต์ลบ

โมเมนต์ลบที่ขอบนอกของที่รองรับตัวในครั้งแรก

- เมื่อมี 2 ช่วง $w_u l_n^2 / 9$
- เมื่อมีมากกว่า 2 ช่วง $w_u l_n^2 / 10$

โมเมนต์ลบที่ขอบของที่รองรับตัวในอื่นๆ

$w_u l_n^2 / 11$

โมเมนต์ลบที่ขอบของที่รองรับทุกแห่งสำหรับ

- พื้นที่มีช่วงยาวไม่เกิน 3.00 ม. และ $w_u l_n^2 / 12$
- คานที่มีอัตราส่วนสตีเฟนสของเสาต่อคาน > 8 $w_u l_n^2 / 12$

โมเมนต์ลบที่ขอบในของที่รองรับตัวริมที่หล่อเป็นเนื้อเดียวกับที่รองรับ

- เมื่อที่รองรับเป็นคานขอบ $w_u l_n^2 / 24$
- เมื่อที่รองรับเป็นเสา $w_u l_n^2 / 16$

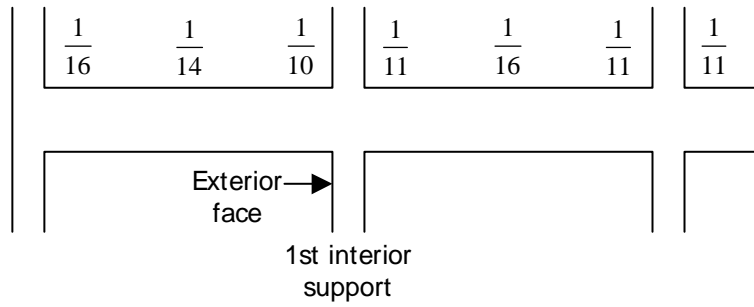
(ค) แรงเฉือน

แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวในแรก

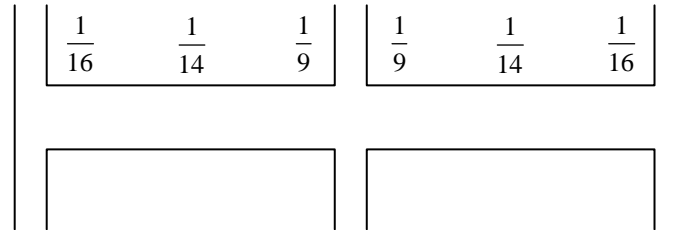
$1.15 w_u l_n / 2$

แรงเฉือนที่ขอบของที่รองรับตัวอื่นๆ

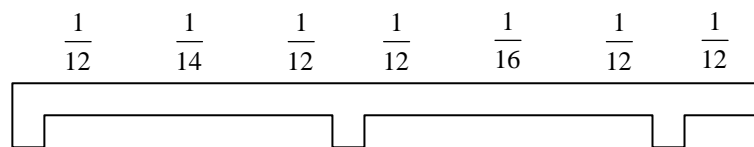
$w_u l_n / 2$



(a) Continuous beam with more than 2 spans



(b) Continuous beam with 2 spans



(c) Slab with span not exceeding 3 m and column/beam stiffness ratio > 8

รูปที่ 2.3 (a) คานต่อเนื่องมากกว่าสองช่วง (b) คานต่อเนื่องสองช่วง (c) พื้นช่วงยาวไม่เกิน 3 เมตร