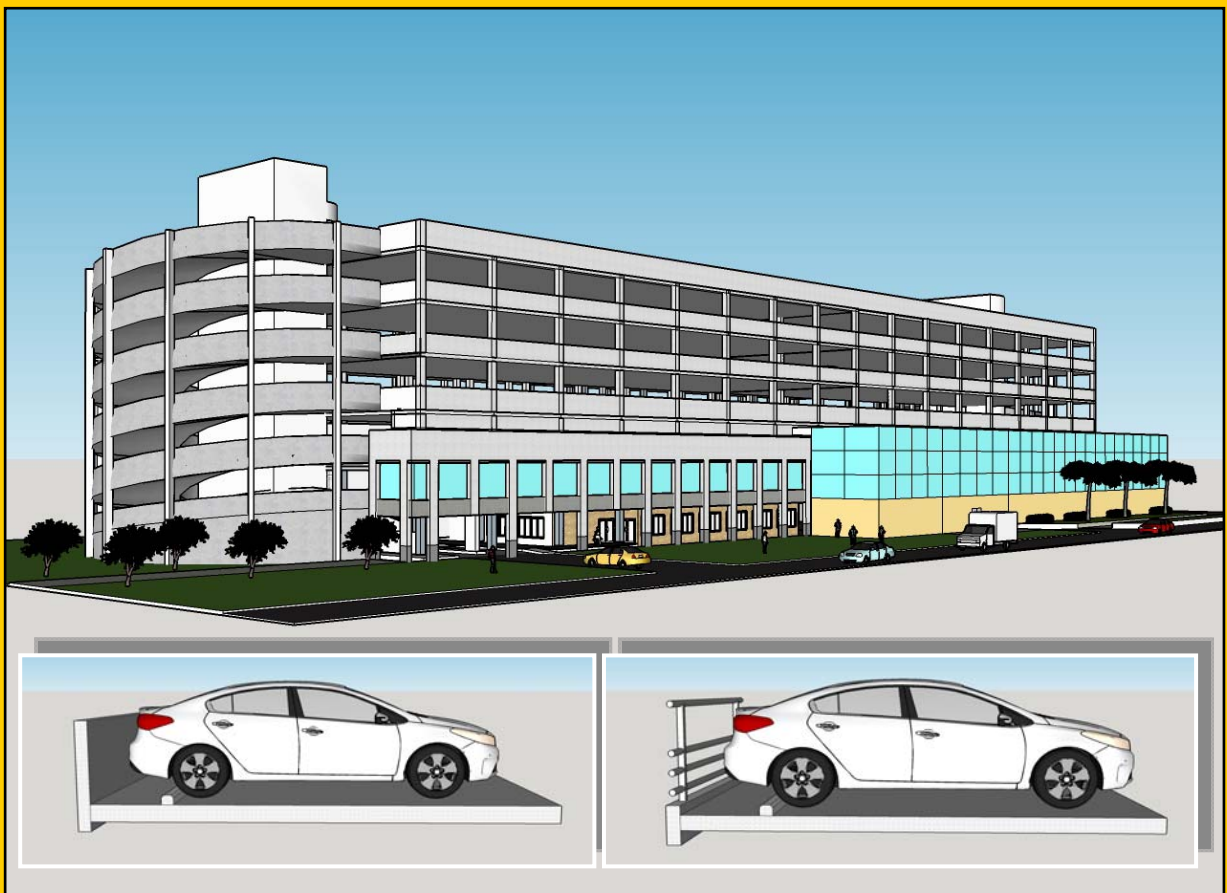


มยพ. 1321 · 61

มาตรฐานการออกแบบสวนที่ติด ในอาคารจอดรถยนต์



**กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย
พ.ศ. 2561**



มาตรฐานการออกแบบบราวกันตก
ในอาคารจอดรถยนต์

มยผ. 1321-61
กรมโยธาธิการและผังเมือง
กระทรวงมหาดไทย

คำนำ

ปัจจุบันมีอุบัติเหตุรถยนต์ตกจากอาคารจอดรถยนต์ที่ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชน ซึ่งสาเหตุหนึ่งอาจเกิดจากการก่อสร้างราวกันตกของอาคารจอดรถยนต์ที่ยังไม่มีรูปแบบหรือมาตรฐานกำหนดที่ชัดเจน ทำให้รถยนต์มีความเสี่ยงที่จะตกจากอาคารได้เมื่อเกิดอุบัติเหตุ

กรมโยธาธิการและผังเมืองในฐานะที่เป็นหน่วยงานหนึ่งที่มีภารกิจในการพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐาน ทั้งการออกแบบ การก่อสร้าง การบูรณะ และการบำรุงรักษา ได้ตระหนักถึงความสำคัญของประชาชนในการเข้าใช้อาคารจอดรถยนต์ที่จะต้องได้รับความปลอดภัยอย่างเพียงพอ จึงได้ทำการศึกษาเรื่องการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์และจัดทำมาตรฐานฉบับนี้ขึ้น อันประกอบด้วยข้อกำหนดในการออกแบบและก่อสร้าง หลักการในการคำนวณแรงกระทำ และตัวอย่างการออกแบบราวกันตก เป็นต้น

กรมโยธาธิการและผังเมืองหวังเป็นอย่างยิ่งว่า “มาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์” จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและก่อสร้างราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์ หรือผู้สนใจทั่วไป เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบและก่อสร้าง ให้มีความถูกต้องตามมาตรฐานสากล และปลอดภัยสูงสุดต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนต่อไป



(นายมนทล สุตประเสริฐ)

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

คณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการออกแบบบราวกันตกในอาคารจอตระยยนต์

๔ ที่ปรึกษา

นายมนทล สุดประเสริฐ

อธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

นายโอฬาร ศักยโรจน์กุล

รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

นางสมจิต ปิยะศิลป์

รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

นายทวีเกียรติ ศรีสกุลเมธี

สถาปนิกใหญ่

นายสมชาย เมธวัฒน์ธรากุล

รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

นายอนวัช สุวรรณเดช

รองอธิบดีกรมโยธาธิการและผังเมือง

๕ ที่ปรึกษาคณะกรรมการ

ดร.เสถียร เจริญเหรียญ

วิศวกรใหญ่

๖ ประธานคณะกรรมการ

นายสินธิ์ บุญสิทธิ์

ผู้อำนวยการสำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

๗ คณะทำงาน

นายวิบูลย์ สัมพัฒน์กิจ

วิศวกรโยธาเชี่ยวชาญ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

ดร.ทยากร จันทรางศุ

วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นางสาวธิดา อัครรังษี

สถาปนิกชำนาญการ

สำนักสถาปัตยกรรม

ดร.ธนิต ใจสอาด

วิศวกรโยธาชำนาญการ

สำนักสนับสนุนและพัฒนาตามผังเมือง

นางสาวอดิษฐ์ สิ้นศิลาเกตุ

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

นายชัยรัช กัญฐวิจิตร

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักวิศวกรรมโครงสร้างและงานระบบ

๘ คณะทำงานและเลขานุการ

ดร.สุธาสนี อาทิตย์เที่ยง

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

๙ คณะทำงานและผู้ช่วยเลขานุการ

นายวรกร ชณะรัตน์

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

นายชานนท์ โตเบญจพร

วิศวกรโยธาปฏิบัติการ

สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

สารบัญ

	หน้าที่
บทนำ	1
1. ขอบข่าย	1
2. นิยามและสัญลักษณ์	2
3. ประเภทราวก้นตงในอาคารจอดรถยนต์	3
4. ข้อกำหนดในการออกแบบและก่อสร้างราวก้นตงในอาคารจอดรถยนต์	4
5. หลักการในการคำนวณแรงกระทำสำหรับออกแบบราวก้นตงในอาคารจอดรถยนต์	5
6. ตัวอย่างการคำนวณแรงกระทำสำหรับการออกแบบราวก้นตง	9
7. การหาค่าแรงกระทำที่กระทำต่อราวก้นตงโดยใช้กราฟความสัมพันธ์	10
8. ข้อเสนอแนะในการกำหนดแรงกระทำที่มากกระทำสำหรับการออกแบบราวก้นตง	13
9. ตัวอย่างการออกแบบและคำนวณราวก้นตงประเภทแข็งเกร็ง	13
บรรณานุกรม	19

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้าที่
1. รวากันตกประเภทแข็งเกร็ง (rigid barrier)	4
2. รวากันตกประเภทยืดหยุ่น (flexible barrier)	4
3. แรงกระแทกที่กระทำต่อรวากันตกในแนวนอน (F)	5
4. การทดสอบรถยนต์กระแทกกับรวากันตก	7
5. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อรวากันตกประเภทแข็งเกร็งและความเร็วของรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนรวากันตก	11
6. กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อรวากันตกประเภทยืดหยุ่นและผลรวมค่าการยุบตัวของรถยนต์และรวากันตก กรณีรถยนต์เคลื่อนที่เข้าชนรวากันตกด้วยความเร็ว 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	12

มาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์

มยผ. 1321-61

บทนำ

อุบัติเหตุรถยนต์ตกจากอาคารจอดรถยนต์ก่อให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน โดยมีสาเหตุหลักมาจากการขับขึ้นรถยนต์ด้วยความประมาท และอีกหนึ่งสาเหตุมาจากราวกันตกของอาคารจอดรถยนต์ที่ออกแบบไว้ไม่แข็งแรง ไม่ปลอดภัย วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างไม่สามารถรับแรงกระแทกได้ ซึ่งบริเวณที่เสี่ยงต่อการเกิดอุบัติเหตุรถยนต์ตกจากอาคารมีอยู่ 3 บริเวณด้วยกัน คือ บริเวณที่รถยนต์ถอยหลังเข้าจอด บริเวณปลายทางวิ่ง และบริเวณทางวิ่งขึ้นลงระหว่างชั้น ซึ่งหากการออกแบบราวกันตกไม่แข็งแรงเพียงพอ ย่อมจะเป็นอันตรายและมีความเสี่ยงที่รถยนต์จะตกลงไปกระแทกพื้นด้านล่างของอาคารได้ ทั้งนี้อุบัติเหตุรถยนต์ตกจากอาคารสามารถลดลงได้หากมีการออกแบบตามมาตรฐานที่ถูกต้อง โดยมาตรฐานนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เป็นหลักเกณฑ์ในการออกแบบราวกันตกของอาคารจอดรถยนต์ให้มีความปลอดภัยเพียงพอที่จะสามารถรองรับแรงกระแทกได้ตามมาตรฐานสากล

1. ขอบข่าย

มาตรฐานการออกแบบราวกันตกนี้ ใช้สำหรับคำนวณแรงกระแทกในการออกแบบราวกันตกที่ใช้เป็นโครงสร้างส่วนหนึ่งของอาคารจอดรถยนต์ที่มีใช้อยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ ราวกันตกชนิดแข็งเกร็ง (rigid barrier) และราวกันตกชนิดยืดหยุ่น (flexible barrier) เพื่อให้สามารถรองรับแรงกระแทกได้อย่างเหมาะสมกับมวลและความเร็วของรถยนต์ภายในอาคารจอดรถยนต์ โดยมีข้อกำหนดในการออกแบบและการก่อสร้าง รายละเอียดการคำนวณแรง พร้อมทั้งแนะนำแนวทางการออกแบบ เพื่อให้การก่อสร้างราวกันตกของประเทศไทยเป็นไปอย่างถูกต้องตามหลักวิชาการ มีมาตรฐานเดียวกัน สามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดความปลอดภัยสูงสุดต่อชีวิตและทรัพย์สินของประชาชนที่ใช้อาคารจอดรถยนต์ มาตรฐานนี้ได้นำข้อมูลส่วนหนึ่งจากมาตรฐานของต่างประเทศที่มีความเป็นสากล รวมถึงบทความทางวิชาการที่เกี่ยวข้อง มาประยุกต์ใช้ให้เหมาะสมกับสภาพการเข้าใช้งานอาคารจอดรถยนต์ของประเทศไทย ทั้งนี้ การคำนวณแรงกระแทกในมาตรฐานฉบับนี้ เป็นกรณีการใช้งานตามปกติของอาคารจอดรถยนต์ ซึ่งเป็นเพียงข้อกำหนดขั้นต่ำ ไม่ครอบคลุมกรณีการเกิดอุบัติเหตุจากรถยนต์ ที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็วผิดปกติเกินกว่าที่ได้ออกแบบไว้

2. นิยามและสัญลักษณ์

2.1 นิยาม

“อาคารจอดรถยนต์” หมายความว่า อาคารหรือส่วนของอาคารที่ใช้สำหรับจอดรถยนต์ หรือมีพื้นที่จอดรถทางวิ่ง และที่กั้ลบริดในอาคาร

“ราวกันตก” หมายความว่า โครงสร้างส่วนหนึ่งของอาคารจอดรถยนต์ ที่ทำหน้าที่หยุดรั้งรถยนต์ไม่ให้ตกออกนอกอาคาร

“คอนกรีต” หมายความว่า วัสดุที่ประกอบขึ้นด้วยส่วนผสมของวัสดุประสาน เช่น ซีเมนต์หรือซีเมนต์ผสมวัสดุพอกโซลาน เป็นต้น มวลรวมละเอียด เช่น หินทราย เป็นต้น มวลรวมหยาบ เช่น หินหรือกรวด เป็นต้น และน้ำ โดยมีหรือไม่มีสารผสมเพิ่ม

“คอนกรีตเสริมเหล็ก” หมายความว่า คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมฝังภายในโดยที่คอนกรีตและเหล็กเสริมทำงานร่วมกันในการต้านทานแรงต่างๆที่เกิดขึ้น

“คอนกรีตอัดแรง” หมายความว่า คอนกรีตที่มีเหล็กเสริมอัดแรงฝังภายในที่ทำให้เกิดหน่วยแรง โดยมีขนาดและการกระจายของหน่วยแรงตามต้องการเพื่อที่จะหักล้างหรือลดหน่วยแรงอันเกิดจากน้ำหนักบรรทุก

“คอนกรีตหล่อในที่” หมายความว่า คอนกรีตที่ต้องตั้งแบบ ผูกเหล็ก และเทคอนกรีตบริเวณตำแหน่งที่จะก่อสร้าง

“เหล็กเสริม” หมายความว่า เหล็กที่ใช้ฝังในเนื้อคอนกรีตเพื่อเสริมกำลังขึ้น

“แรงกระแทก” หมายความว่า แรงกระทำอันเนื่องมาจากวัตถุเคลื่อนมากระทบ

“ทางลาด” หมายความว่า ทางลาดขึ้นลงสำหรับระหว่างชั้น ลาดชันได้ไม่เกินร้อยละ 15

“ที่กั้ลล้อ (wheel stops)” หมายความว่า อุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อยุดล้อรถยนต์ ไม่ให้รถยนต์ชนกับราวกันตกของอาคาร

“การออกแบบโดยวิธีกำลัง (strength design)” หมายถึง วิธีการออกแบบเพื่อหาขนาดสัดส่วนของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานที่คูณด้วยตัวคูณน้ำหนักบรรทุกที่เหมาะสมไม่เกินกว่ากำลังระบุที่คูณด้วยตัวคูณลดกำลัง (หรือเรียกว่า “การออกแบบโดยวิธีตัวคูณความต้านทานและน้ำหนักบรรทุก (load and resistance factor design)” สำหรับการออกแบบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ)

“การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (working stress design)” หมายถึง วิธีการออกแบบเพื่อหาขนาดสัดส่วนของชิ้นส่วนโครงสร้าง โดยหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในชิ้นส่วนที่คำนวณจากทฤษฎียืดหยุ่นภายใต้น้ำหนักบรรทุกใช้งานไม่เกินกว่าหน่วยแรงใช้งาน (หรือเรียกว่า “การออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงที่ยอมให้ (allowable stress design)” สำหรับการออกแบบเหล็กโครงสร้างรูปพรรณ)

2.2 สัญลักษณ์

F	หมายถึง แรงกระทำที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน มีหน่วยเป็น นิวตัน
W	หมายถึง แรงสถิตยเทียบเท่ากระทำตั้งฉากแบบกระจายสม่ำเสมอ (uniformly distributed) มีหน่วยเป็น นิวตัน
m	หมายถึง มวลของรถยนต์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม
v	หมายถึง ความเร็วของรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนราวกันตก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
δ_c	หมายถึง ค่าการยุบตัวของรถยนต์ มีหน่วยเป็น เมตร
δ_b	หมายถึง ค่าการยุบตัวของราวกันตกเมื่อมีการชนกระแทก มีหน่วยเป็น เมตร
k_b	หมายถึง สติฟเนส (stiffness) ของราวกันตก มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร

3. ประเภทราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์

โดยทั่วไปราวกันตกนั้นสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภทหลักคือ

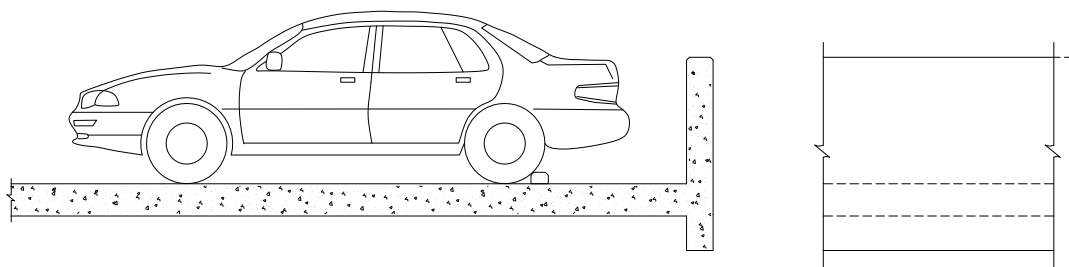
3.1 ราวกันตกประเภทแข็งเกร็ง (rigid barrier) เป็นราวกันตกแบบไม่เสียรูปมาก จึงต้องออกแบบรับแรงกระแทกขนาดใหญ่ได้ เป็นโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก

3.2 ราวกันตกประเภทยืดหยุ่น (flexible barrier) ราวกันตกชนิดนี้สามารถเปลี่ยนรูปได้มาก (large deformation) และสามารถสลายพลังงานจากการกระแทก ลดแรงกระแทกได้ เป็นโครงสร้างโลหะซึ่งเป็นวัสดุที่มีความยืดหยุ่นและความเหนียว

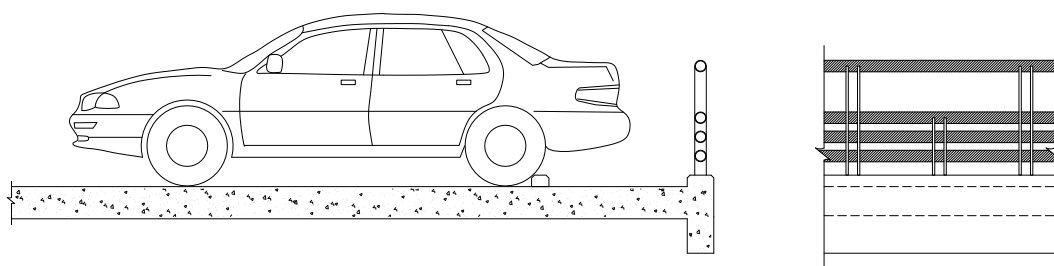
โดยทั่วไปประเภทของโครงสร้างราวกันตกที่นิยมก่อสร้างในอาคารจอดรถยนต์ มีดังต่อไปนี้ เช่น

- (1) ราวกันตกคอนกรีตหล่อในที่แบบกำแพงยื่น (cantilever walls)
- (2) ราวกันตกคอนกรีตสำเร็จรูปแบบคานขอบ (precast concrete spandrel beams acting at barrier walls)
- (3) ราวกันตกแบบเคเบิล (multi-strand steel cables)
- (4) ราวกันตกเหล็กgrupพรรณ (steel members)

โครงสร้างราวกันตกจะมีคุณลักษณะเฉพาะในแต่ละวัสดุ ราวกันตกที่เป็นโครงสร้างเหล็กจะมีความเหนียวสามารถออกแบบรูปร่างได้หลากหลาย เพื่อให้รับการเสียรูปและการคราก (yield) เมื่อมีแรงมากระทำ โครงสร้างราวกันตกคอนกรีตหล่อในที่และคอนกรีตสำเร็จรูปแบบคานขอบ จะมีความแข็งแรงซึ่งไม่มีการเสียรูปเมื่อมีแรงมากระทำ หากเป็นราวกันตกแบบลวดเคเบิลและเหล็กgrupพรรณ จะมีความยืดหยุ่นซึ่งจะมีการเสียรูปและโค้งตัวของวัสดุที่ใช้เป็นโครงสร้างราวกันตก



รูปที่ 1 ตัวอย่างราวกันตกประเภทแข็งเกร็ง (rigid barrier)



รูปที่ 2 ตัวอย่างราวกันตกประเภทยืดหยุ่น (flexible barrier)

4. ข้อกำหนดในการออกแบบและก่อสร้างราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์

ข้อกำหนดในการออกแบบและก่อสร้างราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์นั้น มีดังต่อไปนี้

4.1 ในการคำนวณแรงกระแทกให้ใช้หลักการพลังงาน เพื่อใช้ในการออกแบบโครงสร้างราวกันตก

4.2 ราวกันตกควรมีความสูงไม่น้อยกว่า 1.10 เมตร และควรติดตั้งสัญลักษณ์ เครื่องหมาย หรือวัสดุสะท้อนแสง เพื่อให้ผู้ขับขี่รถยนต์สามารถมองเห็นราวกันตกจากด้านหลังได้

4.3 จุดต่อ (connection) หรือข้อต่อ (joint) ระหว่างราวกันตกกับโครงสร้างที่รองรับ (เช่น แผ่นพื้น เสา หรือคาน) ต้องมีความมั่นคงแข็งแรง สามารถถ่ายแรงกระแทกจากราวกันตกไปสู่โครงสร้างดังกล่าวได้อย่างปลอดภัย

4.4 ราวกันตกไม่ควรทำด้วยอิฐก่อหรือคอนกรีตบล็อก เพราะจะทำให้โครงสร้างไม่แข็งแรง และไม่สามารถต้านแรงกระแทกได้

4.5 ราวกันตกที่ทำด้วยเหล็กรูปพรรณและคอนกรีตสำเร็จรูป ให้พิจารณาออกแบบจุดต่อให้สามารถยึดติดกับโครงสร้างอาคารได้อย่างมั่นคงแข็งแรง

4.6 ราวกันตกที่ทำด้วยคอนกรีต ควรเป็นคอนกรีตหล่อในที่ มีความหนาเป็นไปตามการออกแบบที่คำนวณได้ตามมาตรฐานนี้ และเสริมเหล็กยื่นที่ฝังยึดเข้ากับพื้นโครงสร้างเป็น 2 ชั้น ทั้งผิวด้านนอกและผิวด้านใน ไม่ควรเสริมเหล็กยื่นเพียงชั้นเดียว

4.7 ในกรณีที่เป็นราวกันตกคอนกรีตเสริมเหล็ก ควรใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 21 เมกะปาสกาล (210 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

4.8 ในกรณีที่มีความเสี่ยงเนื่องจากรถยนต์อาจชนราวกันตก ให้ติดตั้งที่กั้นล้อ (wheel stops) โดยกำหนดให้มีขนาดสูงระหว่าง 0.09-0.1 เมตร และมีความยาว 1.60 เมตรขึ้นไป และยึดติดกับพื้น ในกรณีถอยหลังเข้าจอด ระยะจากราวกันตกถึงที่กั้นล้อด้านที่ล้อรถยนต์มาชิด ควรมีระยะตั้งแต่ 1.10 เมตร ขึ้นไป

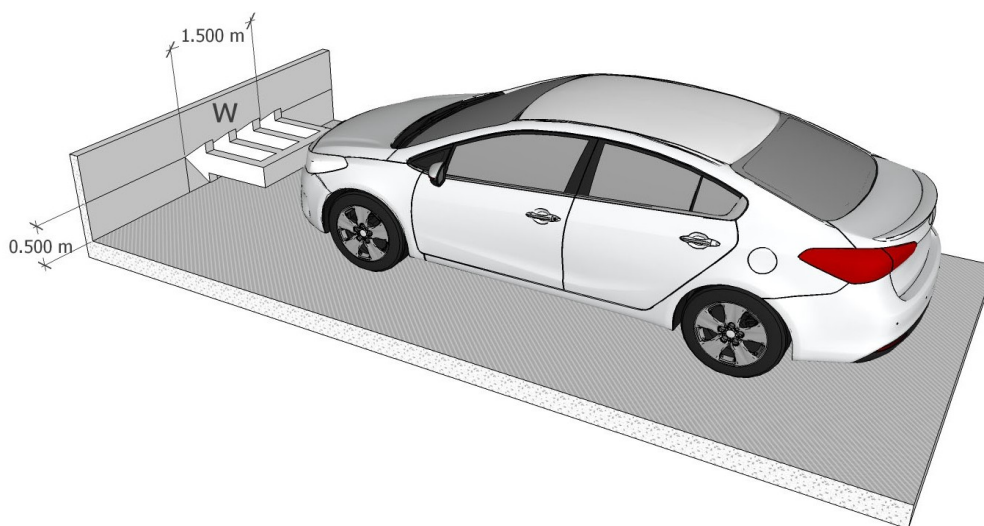
4.9 ในอาคารจอดรถรถยนต์ควรติดตั้งป้ายจำกัดความเร็ว

5. หลักการในการคำนวณแรงกระแทกสำหรับออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์

เมื่อรถยนต์มาปะทะกับราวกันตก จะเกิดแรงกระแทก (impact force) ซึ่งเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของโมเมนตัม หากราวกันตกนั้นไม่สามารถต้านทานแรงกระแทกดังกล่าวได้ จะทำให้รถยนต์ที่วิ่งมาปะทะนั้นตกจากอาคารจอดรถยนต์ได้

ในกรณีที่พื้นของอาคารจอดรถยนต์สูงกว่าพื้นดินเกิน 0.6 เมตร ควรมีราวกันตกที่สามารถหยุดหรือเบี่ยงเบนเส้นทางการเคลื่อนที่ของรถยนต์ที่มีมวล 2,500 กิโลกรัมได้ โดยความเร็วขั้นต่ำที่ใช้ในการออกแบบของรถยนต์คือ 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เมื่อรถยนต์วิ่งมาปะทะกับราวกันตก จะเกิดแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) ซึ่งแรงกระแทกดังกล่าว จะถูกแปลงเป็นแรงสถิตย์เทียบเท่ากระทำตั้งฉากแบบกระจายสม่ำเสมอ (uniformly distributed) (W) ในระยะ 1.5 เมตร ใด ๆ ของราวกันตก ในแนวนอนที่ความสูง 0.5 เมตร เหนือพื้นลานจอดรถยนต์ โดยคำนึงถึงตำแหน่งที่ทำให้เกิดค่าแรงสูงสุดในการออกแบบ

กรณีทางลาดลงหรือทางวิ่งตรงที่มีความยาวมากกว่า 20 เมตร ให้เพิ่มแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) เป็นสองเท่า หรือพิจารณาความเร็วของรถยนต์ที่วิ่งปะทะเพื่อการคำนวณแรง



รูปที่ 3 แรงสถิตย์เทียบเท่ากระทำตั้งฉากแบบกระจายสม่ำเสมอ (uniformly distributed) (W)

5.1 หลักการพลังงานที่ใช้ในการคำนวณแรงกระแทก

เมื่อรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว จะทำให้เกิดพลังงานจลน์ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$KE = \frac{mv^2}{2} \quad (1)$$

เมื่อ m คือ มวลของรถยนต์ และ v คือ ความเร็วของรถยนต์ในขณะที่เคลื่อนที่เข้าชนราวกันตก พลังงานจลน์ดังกล่าวจะสลายไปจากการยุบตัวของรถยนต์และการยุบตัวของราวกันตก ทั้งนี้ จากกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation Law) สามารถคำนวณแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) ซึ่งเป็นแรงกระแทกที่สมำเสมอปรกติ ดังสมการต่อไปนี

$$F = \frac{0.5 mv^2}{(\delta_c + \delta_b)} \quad (2)$$

เมื่อ	F	คือ แรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน มีหน่วยเป็น นิวตัน
	m	คือ มวลของรถยนต์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม
	v	คือ ความเร็วของรถยนต์ในขณะที่เคลื่อนที่เข้าชนราวกันตก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
	δ_c	คือ ค่าการยุบตัวของรถยนต์ มีหน่วยเป็น เมตร
	δ_b	คือ ค่าการยุบตัวของราวกันตกเมื่อมีการชนกระแทก มีหน่วยเป็น เมตร

ผลลัพธ์ของแรงกระแทกที่ได้จากสมการนี้จะไม่ใช่แรงที่สูงสุดที่กระทำต่อราวกันตกในช่วงวินาทีที่รถยนต์มาปะทะ แต่แรงนี้จะเป็นค่าเฉลี่ยของแรงในระหว่างการชนปะทะและเคลื่อนที่ย้อนกลับเท่านั้น ซึ่งตัวแปรในสมการทั้งหมด มีความสำคัญต่อค่าแรงกระแทกที่กระทำในแนวนอน (F)

5.2 ข้อกำหนดมวลของรถยนต์

ในการออกแบบโครงสร้างราวกันตกของอาคารจอดรถยนต์ มวลของรถยนต์ให้รวมถึงมวลผู้โดยสารและสัมภาระที่ใช้ในการคำนวณ และกำหนดให้สอดคล้องลักษณะการใช้งานจริงของอาคารจอดรถยนต์ โดยให้ใช้ค่าไม่ต่ำกว่า 1,500 กิโลกรัม ทั้งนี้ หากไม่มีข้อมูลให้ใช้มวลของรถยนต์รวมกับมวลผู้โดยสารและสัมภาระอย่างน้อย 2,500 กิโลกรัม

5.3 ข้อกำหนดความเร็วของรถยนต์

ความเร็วของรถยนต์เป็นตัวแปรที่มีความสำคัญ เพราะมีผลต่อค่าแรงกระแทก เนื่องจากเป็นความเร็วที่รถยนต์วิ่งปะทะ ในการคำนวณแรงจะกำหนดความเร็วของรถยนต์ขั้นต่ำไว้ที่ 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ทั้งนี้ การคาดคะเนความเร็วนั้นจะขึ้นอยู่กับระยะทางและความลาดเอียงของพื้นอาคารขณะที่รถยนต์เร่งเครื่องก่อนที่จะชนกับราวกันตก

5.4 การยุบตัวของรถยนต์เมื่อชนปะทะกับราวกันตก

เมื่อรถยนต์กระแทกกับราวกันตกจะเกิดขึ้นในช่วงเสี้ยววินาที จากนั้นจะเกิดการกระแทก ย้อนกลับจากราวกันตก ชิ้นส่วนของรถยนต์จะเสียรูปไป เกิดการงอหรือบุบเข้าไป ทำให้ความยาวของรถยนต์ลดลง ค่าการยุบตัวของรถยนต์ (δ_c) ขึ้นอยู่กับวัสดุในการผลิตรถยนต์รุ่นต่างๆ สำหรับค่าการยุบตัวของรถยนต์นั้น National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ได้ทำการทดสอบรถยนต์ โดยทดสอบรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 56.32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (35 ไมล์ต่อชั่วโมง) กระแทกกับราวกันตก เพื่อวิเคราะห์หาค่าการยุบตัวที่เกิดจากการกระแทกนั้น



รูปที่ 4 การทดสอบรถยนต์กระแทกกับราวกันตก

(ที่มา: National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA))

จากผลการทดสอบ สมการสำหรับการคำนวณค่าประมาณของค่าการยุบตัวของรถยนต์ (δ_c) มีหน่วยเป็นเมตร ในกรณีที่รถยนต์เคลื่อนที่มากกระแทกกับราวกันตกประเภทแข็งเกร็ง ดังนี้

$$\delta_c = \frac{\sqrt{v}}{6.6} \quad (3)$$

เมื่อ v คือ ความเร็วของรถยนต์ในขณะกระแทก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที

ทั้งนี้ หากไม่ประสงค์จะใช้สมการที่ (3) ให้ใช้ค่าความเป็นจริงที่พิสูจน์ได้

5.5 การเสียรูปของราวกันตกเมื่อถูกรถยนต์ปะทะ

ขณะเกิดการชนกระแทก พลังงานจลน์ได้ถ่ายไปยังราวกันตก ขึ้นอยู่กับประเภทของราวกันตก ในบางโครงสร้างราวกันตก อาจมีพลังงานที่ถูกซึมซับในลักษณะอีลาสติก (elastic) ถ่ายไปยังโครงสร้างของอาคารจอดรถยนต์ ในบางโครงสร้างราวกันตกอาจเกิดการคราก (yield) จนปริมาณพลังงานจะถูกซึมซับพร้อมกับการเสียรูปของโครงสร้าง

5.5.1 การเสียรูปของโครงสร้างรอกันตกชนิดแข็งเกร็ง

โครงสร้างรอกันตกชนิดแข็งเกร็งสามารถรับแรงกระทำที่รุนแรงสูงได้ ไม่เกิดการเสียรูป ดังนั้น รอกันตกประเภทแข็งเกร็งจึงไม่พิจารณาค่าการยุบตัวของรอกันตก (δ_b) โดยกำหนดให้มีค่าเท่ากับศูนย์

5.5.2 การเสียรูปของโครงสร้างรอกันตกประเภทยืดหยุ่น ซึ่งมีรูปแบบโครงสร้างหลากหลาย เมื่อมีแรงกระทำจากรถยนต์โครงสร้างจะเกิดการเสียรูปหรือมีค่าการยุบตัวมาก จึงต้องพิจารณาจากค่าการเสียรูปของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างนั้น สมการในการคำนวณค่าการยุบตัวของรอกันตก (δ_b) มีหน่วยเป็นเมตร ดังนี้

$$\delta_b = \frac{F}{k_b} \quad (4)$$

ในการคำนวณสมการที่ (4) ตัวแปร k_b คือ สติฟเนส (stiffness) ของรอกันตก มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร ดังนั้น ในสมการที่ (2) เมื่อนำค่าการยุบตัวของรอกันตก (δ_b) ไปแทนค่าจะได้แรงกระทำที่กระทำต่อรอกันตกในแนวนอน (F) มีหน่วยเป็น นิวตัน (N) สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังนี้

$$F = 0.5k_b \left(-\frac{\sqrt{v}}{6.6} + \sqrt{\frac{2mv^2}{k_b} + \frac{v}{43.56}} \right) \quad (5)$$

เมื่อ	F	คือ แรงกระทำที่กระทำต่อรอกันตกในแนวนอน มีหน่วยเป็น นิวตัน
	m	คือ มวลของรถยนต์ มีหน่วยเป็น กิโลกรัม
	v	คือ ความเร็วของรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนรอกันตก มีหน่วยเป็น เมตรต่อวินาที
	k_b	คือ ค่าสติฟเนส (stiffness) ของรอกันตก มีหน่วยเป็น นิวตันต่อเมตร

5.6 ตัวคูณน้ำหนักบรรทุก (load factor)

ในการคำนวณแรงกระทำให้ใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกเท่ากับ 1.0 สำหรับการออกแบบโดยวิธีกำลัง (strength design) และเท่ากับ 0.7 สำหรับการออกแบบโดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน (working stress design)

6. ตัวอย่างการคำนวณแรงกระแทกสำหรับการออกแบบราวกันตก

ตัวอย่างที่ 1 รถยนต์มวล 2,500 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (4.44 เมตรต่อวินาที) เข้าชนราวกันตกประเภทแข็งเกร็งที่ทำจากคอนกรีตเสริมเหล็ก สามารถคำนวณแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) ได้ดังนี้

ราวกันตกประเภทแข็งเกร็งกำหนดให้ δ_b เป็นศูนย์

$$\text{จากสมการที่ (3) กำหนดให้ } \delta_c = \frac{\sqrt{v}}{6.6} = \frac{\sqrt{4.44}}{6.6} = 0.319 \text{ m}$$

สามารถคำนวณแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกโดยใช้สมการที่ (2) จะได้

$$F = \frac{mv^2}{2(\delta_c + \delta_b)} = \frac{2,500(4.44)^2}{2(0.319 + 0)} = 77,250 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอนมีค่าเท่ากับ 77.30 กิโลนิวตัน

ตัวอย่างที่ 2 รถยนต์มวล 2,500 กิโลกรัม เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (4.44 เมตรต่อวินาที) เข้าชนราวกันตกประเภทยืดหยุ่นซึ่งทำจากท่อเหล็ก โดยกำหนดให้ท่อเหล็กมีค่าสตีเฟเนส (stiffness) ของราวกันตก k_b เท่ากับ 1.5×10^6 นิวตันต่อเมตร สามารถคำนวณแรงกระแทกราวกันตก (F) ได้ดังนี้

จากสมการที่ (5)

$$F = 0.5k_b \left(-\frac{\sqrt{v}}{6.6} + \sqrt{\frac{2mv^2}{k_b} + \frac{v}{43.56}} \right)$$

แทนค่าในสมการจะได้

$$F = 0.5(1.5 \times 10^6) \left[-\frac{\sqrt{4.44}}{6.6} + \sqrt{\frac{2(2,500)(4.44^2)}{1.5 \times 10^6} + \frac{4.44}{43.56}} \right] = 67,689 \text{ N}$$

ดังนั้น แรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอนมีค่าเท่ากับ 67.69 กิโลนิวตัน

7. การหาค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกโดยใช้กราฟความสัมพันธ์

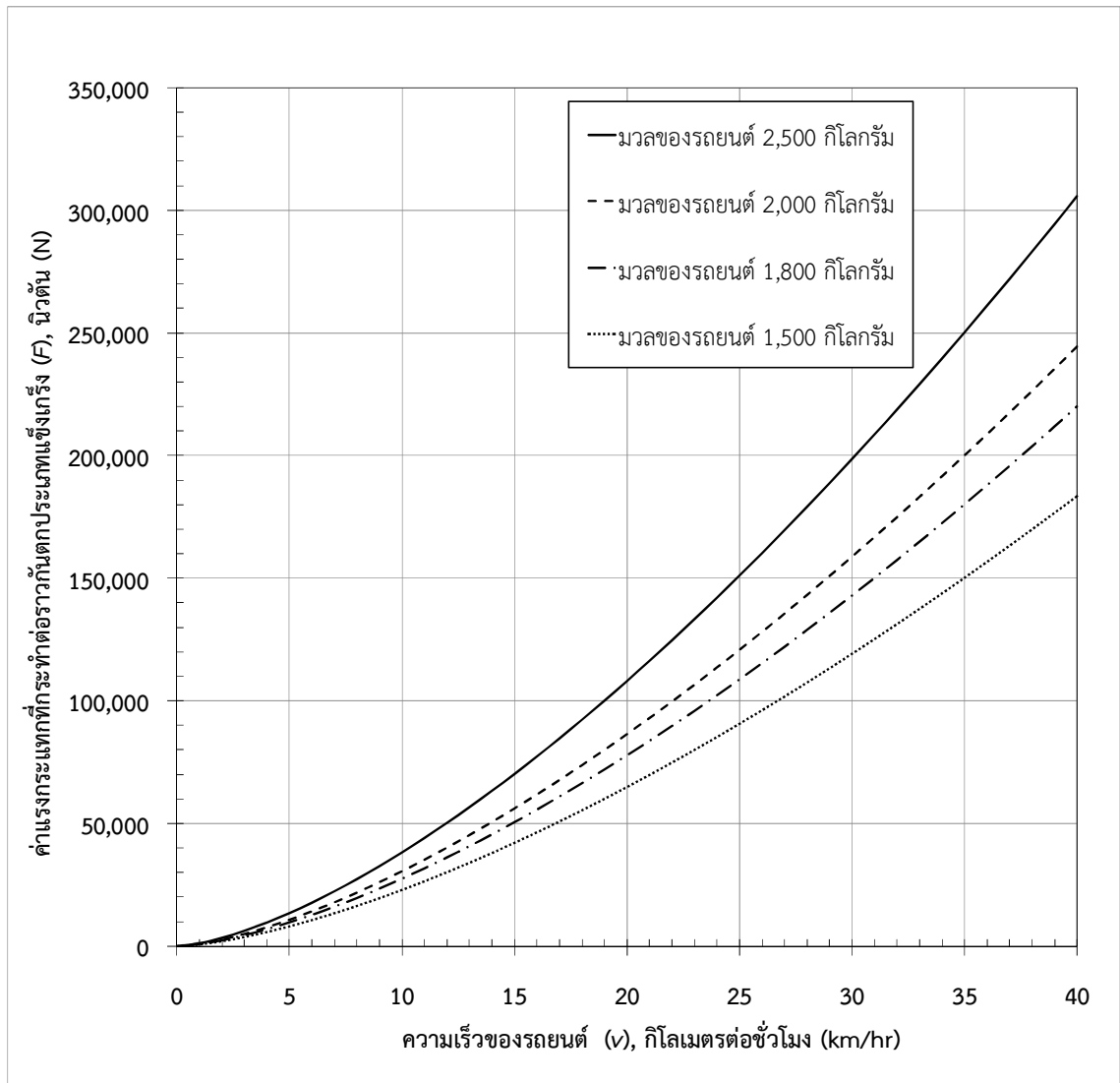
ในกรณีที่ไม่ต้องการใช้สมการที่ (2) ในการคำนวณค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) สามารถใช้กราฟความสัมพันธ์เพื่อหาค่าแรงกระแทกได้ ดังต่อไปนี้

7.1 แรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอนโครงสร้างราวกันตกประเภทแข็งแรง

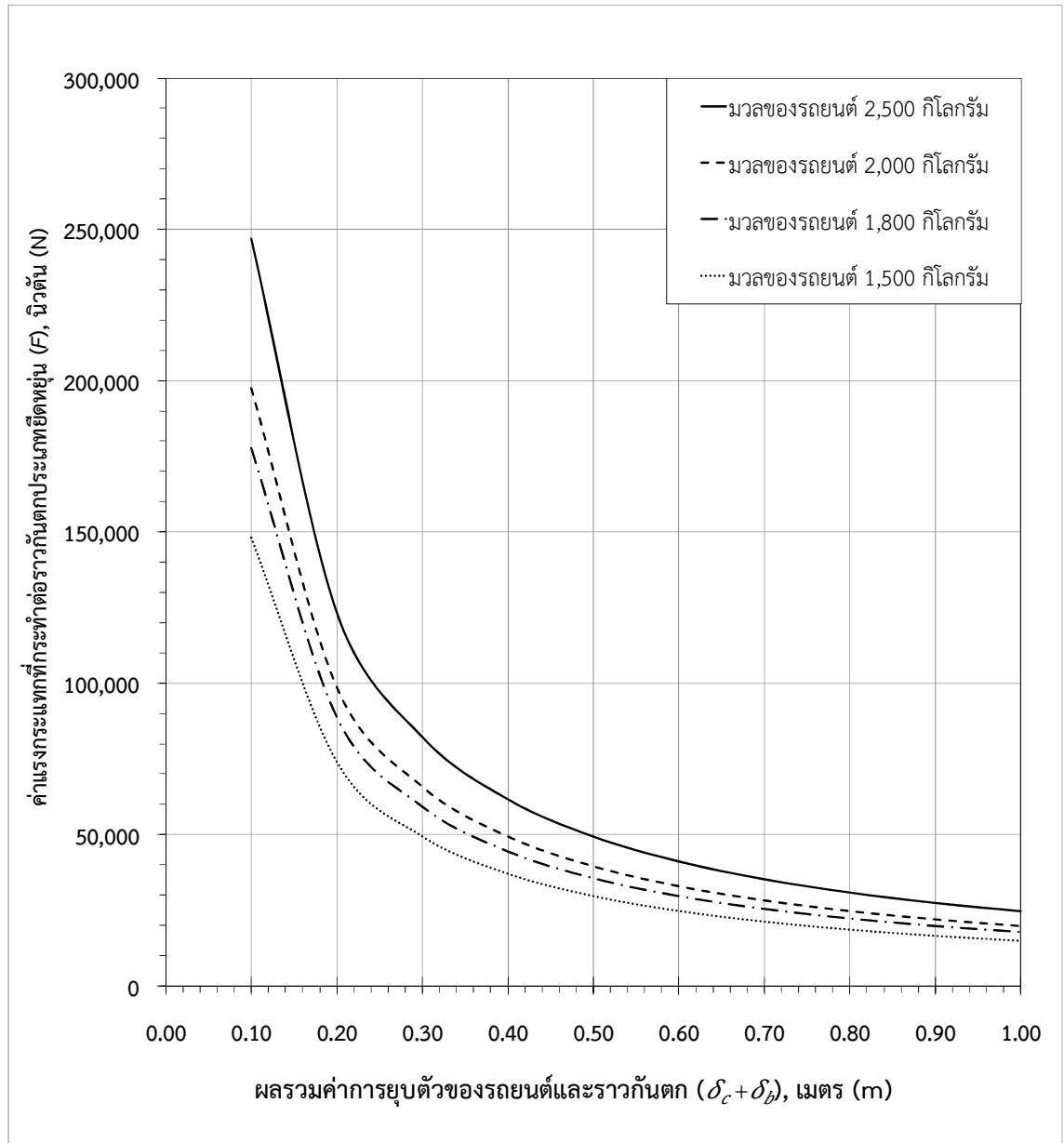
กรณีรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนราวกันตกประเภทแข็งแรง สามารถหาค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) มีหน่วยเป็นนิวตัน (N) ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกประเภทแข็งแรง และความเร็วของรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนราวกันตก ดังแสดงในรูปที่ 5

7.2 แรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอนโครงสร้างราวกันตกประเภทยืดหยุ่น

กรณีรถยนต์เคลื่อนที่เข้าชนราวกันตกประเภทยืดหยุ่นด้วยความเร็ว 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง สามารถหาแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) โดยใช้กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกประเภทยืดหยุ่นและผลรวมค่าการยุบตัวของรถยนต์และราวกันตก ($\delta_c + \delta_b$) ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกประเภทแข็งเกร็ง และความเร็วของรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนราวกันตก

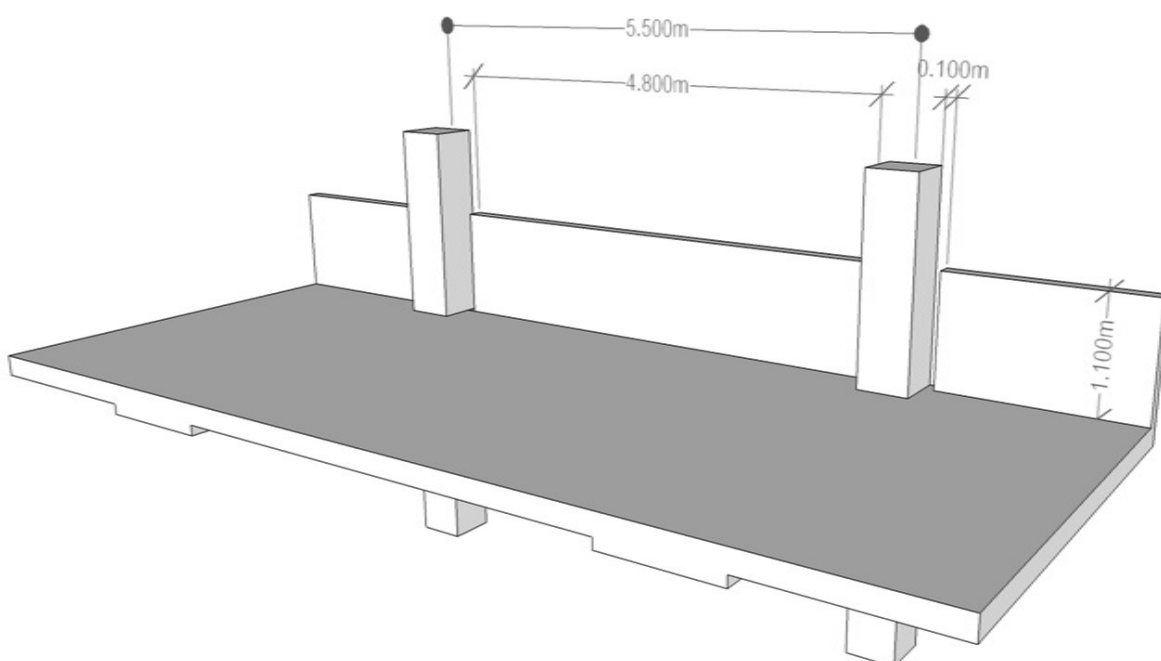


รูปที่ 6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกประเภทยืดหยุ่น และผลรวมค่าการยุบตัวของรถยนต์และราวกันตก กรณีรถยนต์เคลื่อนที่เข้าชนราวกันตกด้วยความเร็ว 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

8. ข้อเสนอแนะในการกำหนดแรงกระทำที่มากกระทำสำหรับการออกแบบราวกันตก

ในกรณีทั่วไปวิศวกรควรออกแบบแรงกระทำที่มากกระทำต่อราวกันตกโดยใช้ความเร็วอย่างน้อย 16 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และมวลของรถยนต์ 2,500 กิโลกรัม มาคำนวณออกแบบ หรือหากไม่มีข้อมูลอ้างอิง ค่าแรงกระทำที่มากกระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) ไม่ควรใช้ค่าต่ำกว่า 77 กิโลนิวตัน

9. ตัวอย่างการออกแบบและคำนวณราวกันตกประเภทแข็งเกร็ง



รูปที่ 7 ตัวอย่างผนังราวกันตกคอนกรีตเสริมเหล็ก

ตัวอย่างการออกแบบและคำนวณผนังราวกันตกคอนกรีตเสริมเหล็กยาว 4.800 เมตร สูง 1.100 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 7 ราวกันตกยึดเข้ากับโครงสร้างแผ่นพื้นลานจอดรถยนต์ ต้านทานแรงกระทำเท่ากับ 77.30 กิโลนิวตัน (7,882 กิโลกรัมแรง) โดยแรงกระทำกระทำตั้งฉากในแนวนอนที่ความสูง 0.500 เมตรเหนือพื้นลานจอดรถยนต์ และแรงกระทำดังกล่าว ให้กระจายแบบสม่ำเสมอ (W) ในช่วงระยะ 1.500 เมตร ใด ๆ การออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กใช้วิธีกำลังและมียาลงของวัสดุเป็นดังนี้

- กำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกมาตรฐานที่อายุ 28 วัน ไม่น้อยกว่า 21 เมกะปาสกาล (210 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร)

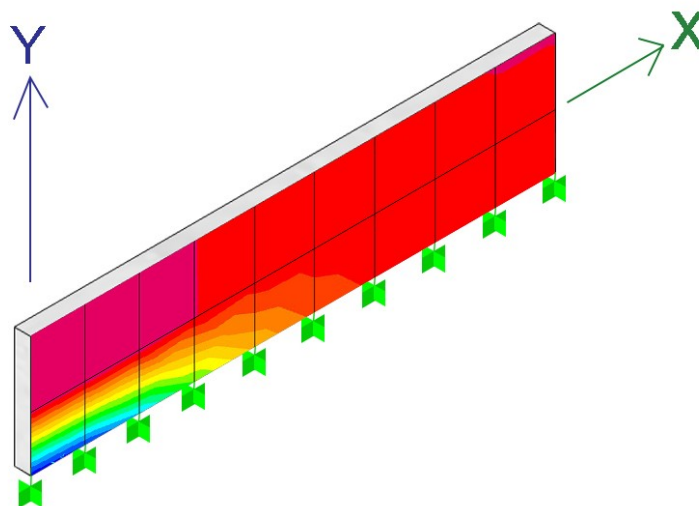
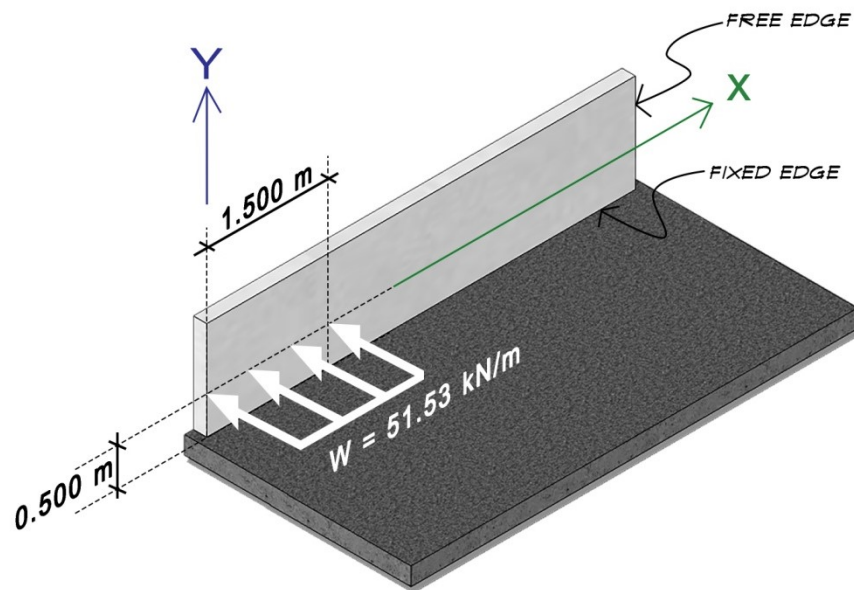
- เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต ให้ใช้เหล็กเส้นข้ออ้อย SD - 40 (ความต้านแรงดึงที่จุดคราก ไม่น้อยกว่า 390 เมกะปาสกาล (4,000 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร))

- เหล็กเส้นมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 200,000 เมกาปาสกาล (2.04×10^6 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร) และใช้ตัวคูณน้ำหนักบรรทุกสำหรับแรงกระทำเท่ากับ 1.0

$$W = 77.30/1.500 = 51.53 \text{ กิโลนิวตันต่อเมตร (5,255 กิโลกรัมแรงต่อเมตร)}$$

กำหนดให้แรงกระทำกระทำที่ขอบและที่กึ่งกลางของราวกันตก เพื่อคำนวณหาค่าหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดขึ้นในราวกันตกตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

(1) แรงกระทำกระทำที่ขอบของราวกันตก

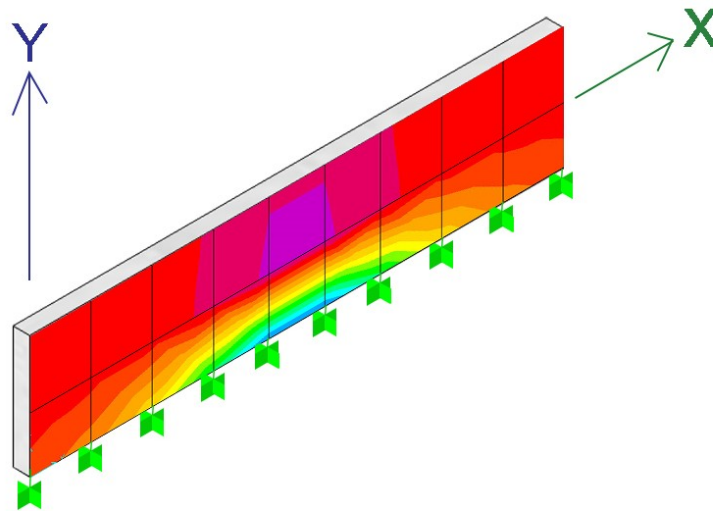
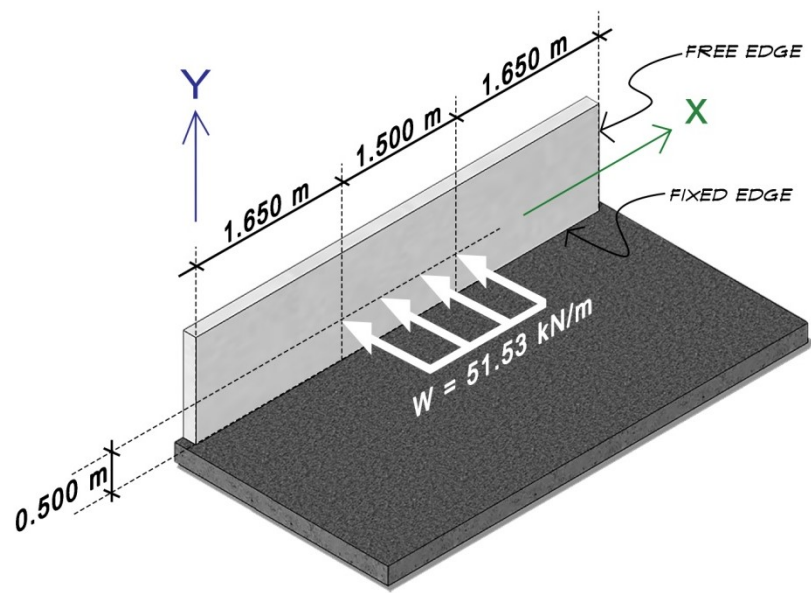


$$M_u \text{ แนวตั้งสูงสุด (@ } x = 0 \text{ ม., } y = 0 \text{ ม.)} = 22.60 \text{ กิโลนิวตัน-เมตร/เมตร}$$

$$M_u \text{ แนวนอนสูงสุด (@ } x = 0 \text{ ม., } y = 0 \text{ ม.)} = 4.320 \text{ กิโลนิวตัน-เมตร/เมตร}$$

$$V_u \text{ สูงสุด (@ } x = 0 \text{ ม., } y = 0 \text{ ม.)} = 45.85 \text{ กิโลนิวตัน/เมตร}$$

(2) แรงกระทำกระทำทำที่กึ่งกลางราวกันตก



$$\begin{aligned}
 M_u \text{ แนวตั้งสูงสุด (@ } x = 2.400 \text{ ม., } y = 0 \text{ ม.)} &= 15.07 \text{ กิโลนิวตัน-เมตร/เมตร} \\
 M_u \text{ แนวนอนสูงสุด (@ } x = 2.400 \text{ ม., } y = 0 \text{ ม.)} &= -3.413 \text{ กิโลนิวตัน-เมตร/เมตร} \\
 V_u \text{ สูงสุด (@ } x = 2.400 \text{ ม., } y = 0 \text{ ม.)} &= 32.95 \text{ กิโลนิวตัน/เมตร}
 \end{aligned}$$

ใช้ความหนาของผนังราวกันตกเท่ากับ 125.0 มิลลิเมตร โดยมีค่าความลึกประสิทธิภาพเท่ากับ 95.00 มิลลิเมตร

9.1 เหล็กเสริมในแนวตั้งต่อความยาวผนัง 1.000 เมตร

โมเมนต์ที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว $M_u = 22.60$ กิโลนิวตัน-เมตร หรือ 22.60×10^6 นิวตัน-มิลลิเมตร

$$จาก \quad M_u \leq \phi M_n = \phi A_s f_y \left(d - \frac{a}{2} \right) \quad (6)$$

เมื่อ M_n = กำลังโมเมนต์ดัดระบุ (นิวตัน-มิลลิเมตร)

ϕ = ตัวคูณลดกำลังสำหรับแรงดัด = 0.9

f_y = กำลังครากของเหล็กเสริม = 390 เมกาปาสกาล

A_s = พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต (ตารางมิลลิเมตร)

d = ความลึกประสิทธิภาพ = 95 มิลลิเมตร

a = ความลึกของ Whitney stress block ซึ่งสามารถคำนวณได้จาก

$$a = \frac{A_s f_y}{0.85 f'_c b} \quad (7)$$

เมื่อ b = ความกว้างของผนัง = 1,000 มิลลิเมตร

f'_c = กำลังอัดประลัยของคอนกรีต = 21 เมกาปาสกาล

แทนค่า a จากสมการ (7) ลงในสมการที่ (6) จะได้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม

$$A_s = 742 \text{ ตารางมิลลิเมตร}$$

เลือกใช้เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต $\phi 12$ มิลลิเมตร @125 มิลลิเมตร ($A_s = 905$ ตารางมิลลิเมตร)

ปริมาณเหล็กเสริมสูงสุดของหน้าตัด ($\rho_{\max}$) คำนวณได้จาก

$$\rho_{\max} = 0.75 \rho_b \quad (8)$$

เมื่อ ρ_b เป็นปริมาณเหล็กเสริมที่ภาวะสมดุลซึ่งสามารถหาได้จาก

$$\rho_b = \frac{0.85 f'_c \beta_1}{f_y} x \frac{0.003 E_s}{0.003 E_s + f_y} \quad (9)$$

โดย β_1 ให้ใช้เท่ากับ 0.85 ดังนั้นจะได้

$$\rho_{\max} = 0.75 \frac{(0.85)(21)(0.85)}{390} x \frac{0.003(200,000)}{0.003(200,000) + (390)} = 0.0177$$

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดของหน้าตัด ($\rho_{\min}$) คำนวณได้จาก

$$\rho_{\min} = \frac{1.4}{f_y} = \frac{1.4}{390} = 0.0036 \quad (10)$$

เหล็กเสริม $\phi 12$ มิลลิเมตร @125 มิลลิเมตร มีปริมาณเหล็กเสริม

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{905}{1000(95.0)} = 0.0095$$

ดังนั้น

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$

O.K.

9.2 เหล็กเสริมในแนวนอนต่อความสูงผนัง 1.000 เมตร

โมเมนต์ที่คูณด้วยตัวคูณแล้ว $M_u = 4.320$ กิโลนิวตัน-เมตร หรือ 4.320×10^6 นิวตัน-มิลลิเมตร

จากการแทนค่า a จากสมการ (7) ลงในสมการที่ (6)

จะได้พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริม $A_s = 132$ ตารางมิลลิเมตร

เลือกใช้เหล็กเส้นเสริมคอนกรีต $\phi 12$ มิลลิเมตร @250 มิลลิเมตร ($A_s = 452.0$ ตารางมิลลิเมตร)

ปริมาณเหล็กเสริมสูงสุดของหน้าตัด ($\rho_{\max}$) คำนวณได้จากสมการที่ (8) = 0.0177

ปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุดของหน้าตัด ($\rho_{\min}$) คำนวณได้จากสมการที่ (10) = 0.0036

เหล็กเสริม $\phi 12$ มิลลิเมตร @250 มิลลิเมตร มีปริมาณเหล็กเสริม

$$\rho = \frac{A_s}{bd} = \frac{452}{1000(95)} = 0.0048$$

ดังนั้น

$$\rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max}$$

O.K.

แรงเฉือนต่อความยาวผนัง 1.000 เมตร

จาก

$$V_u \leq \phi V_n$$

เมื่อ V_u = แรงเฉือนประลัยที่กระทำ ณ หน้าตัดวิกฤต = 45.85 กิโลนิวตัน

V_n = กำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุด

ϕ = ตัวคูณลดกำลังสำหรับแรงเฉือน = 0.85

$$V_n = \frac{V_u}{\phi} = \frac{45.85}{0.85} = 53.94 \text{ กิโลนิวตัน}$$

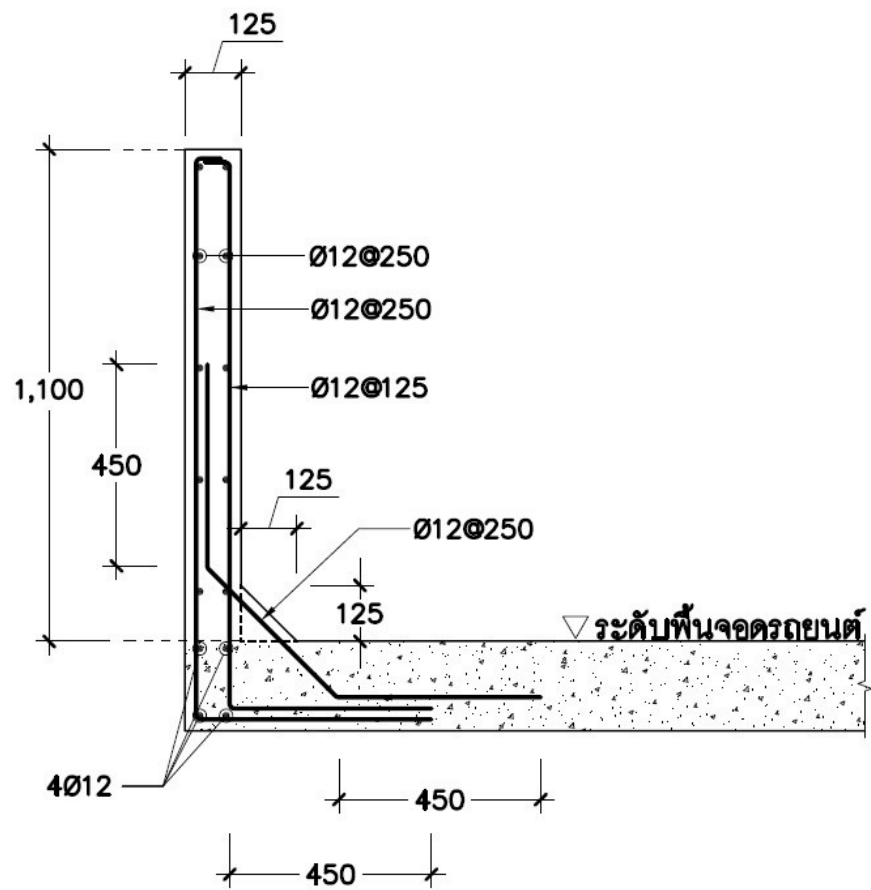
กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีต V_c ได้จาก

$$V_c = \frac{1}{6} \sqrt{f'_c} b_w d$$

$$= \frac{1}{6} \sqrt{21}(1000)(95) = 72,557 \text{ นิวตัน หรือ } 72.56 \text{ กิโลนิวตัน} > V_n = 53.94 \text{ กิโลนิวตัน O.K.}$$

ดังนั้น กำลังต้านทานแรงเฉือนของคอนกรีตเพียงพอสำหรับกำลังต้านทานแรงเฉือนสูงสุด

ตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กแสดงในรูปที่ 8 และมีการเสริมเหล็กพิเศษที่มุมด้านในข้อต่อของผนังร้าวกันตักกับพื้น เพื่อให้สามารถถ่ายแรงกระทำไปสู่โครงสร้างได้อย่างปลอดภัย



หน่วยเป็นมิลลิเมตร
NOT TO SCALE

รูปที่ 8 ตัวอย่างรายละเอียดการเสริมเหล็กผนังรวกันตงประเภทแข็งเกร็ง

บรรณานุกรม

- [1] ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร เรื่อง ควบคุมอาคาร พ.ศ. 2544
- [2] ศาสตราจารย์ ดร. อมร พิมานมาศ, “แนวทางการออกแบบที่กั้นอาคารจอดรถ”, (<http://eitprblog.blogspot.com>) EITPRBlog วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, วารสารวันที่ 17 กุมภาพันธ์ 2015
- [3] Australian/New Zealand Standard (AS/NZS), “Parking facilities Part 1 : Off-street car parking (AS/NZS 2890.1)”, 2004
- [4] Australian/New Zealand Standard (AS/NZS), “Structural Design Actions Part 1: Permanent, Imposed and Other Actions – Victoria (NZS 1170.1)”, 2002
- [5] British standard (BS), “British standard: Barriers in and about buildings - code of practice (BS 6180)”, 1999
- [6] British standard (BS), “British standard: Loading for buildings. Part 1: Code of practice for dead and imposed loads (BS 6399.1)”, 1996
- [7] Mohammad Iqbal, D. Sc., P.E., S.E., Esq., “Design Deficiencies in Edge Barrier Walls in Parking Structures”, STRUCTURE magazine article : Page 25-26, April 2014
- [8] Mohammad Iqbal, D. Sc., P.E., S.E., Esq., “A Rational Method to Design Vehicular Barriers”, STRUCTURE magazine article : Page 22-24, September 2010
- [9] Mohammad Iqbal, D. Sc., P.E., S.E., Esq., “Designing Edge Barriers in Parking Structures”, STRUCTURE magazine article : Page 24-26, October 2008



สำนักควบคุมและตรวจสอบอาคาร

กรมโยธาธิการและผังเมือง

ถนนพระรามที่ 6 แขวงพญาไท

เขตพญาไท กรุงเทพฯ 10400

โทร. 0-2299-4321 โทรสาร 0-2299-4321