การวิเคราะห์สมรรถนะการต้านทานแรงเฉี่ยวชนของกำแพงกันชนคอนกรีตบนทางพิเศษ
The Evaluation Performance of Concrete Barrier to Resist the Collision Force on the Expressway

ธราดล หงส์อติกุล[1,*] นันทวรรณ พิทักษ์พานิช[2] เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[3] และ สัณห์ พันธ์อุไร[4]

[1] วิศวกรระดับปฏิบัติการ 6 แผนกทดสอบ ควบคุมคุณภาพและพัฒนามาตรฐาน กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[2] หัวหน้าแผนกทดสอบ ควบคุมคุณภาพและพัฒนามาตรฐาน กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[3] ผู้อำนวยการ กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
[4] หัวหน้าแผนกวางแผนบำรุงรักษาทาง กองบำรุงรักษาทาง ฝ่ายบำรุงรักษา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย
**Corresponding author; E-mail address: titharadon@gmail.com*

บทคัดย่อ

จากปัญหาอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนทางพิเศษในหลาย ๆ สายทางที่ผ่านมา พบว่า มีสาเหตุมาจากการใช้ความเร็วเกินกฎหมายกำหนดของผู้ใช้ทาง ส่งผลให้เกิดความสูญเสียต่อชีวิตและทรัพย์สิน เพื่อเป็นการลดระดับความรุนแรงของอุบัติเหตุ ป้องกันยานพาหนะตกจากทางยกระดับ จึงมีการติดตั้งใช้งานกำแพงกันชนคอนกรีตบนทางยกระดับเพื่อป้องกันการตกหล่นของยานพาหนะดังกล่าว และเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้ทาง ปัจจุบันบนทางพิเศษได้มีการติดตั้งใช้งานกำแพงกันชนคอนกรีต 2 รูปแบบ สำหรับใช้ป้องกันการตกหล่นของยานพาหนะจากการเฉี่ยวชน คือ กำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier และกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ F-Shape Barrier ในการศึกษาวิจัยนี้ พิจารณาวิเคราะห์สมรรถนะของกำแพงกันชนคอนกรีตแต่ละรูปแบบที่ได้มีการติดตั้งใช้งานบนทางพิเศษ เพื่อประเมินสมรรถนะกำลังในการต้านทานแรงจากการเฉี่ยวชน โดยพิจารณาจำลองการเฉี่ยวชนด้วยความเร็วที่ 80 – 140 กิโลเมตร/ชั่วโมง ของยานพาหนะกระทำในทิศทางการเฉี่ยวชนทำมุม 15 องศา 20 องศา และ 25 องศา ซึ่งเป็นทิศทางการเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นจริงบนทางพิเศษ และอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบการเฉี่ยวชนจริง NCHRP 350 ซึ่งในการจำลองแรงเฉี่ยวชนจะอยู่ในรูปแบบของแรงกระทำแบบสถิต (Static Load) สำหรับใช้วิเคราะห์สมรรถนะกำลังต้านทานของกำแพงกันชนคอนกรีตต่อแรงเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้น และการเสริมกำลังกำแพงกันชนคอนกรีตในกรณีที่มีกำลังต้านทานแรงเฉี่ยวชนไม่เพียงพอ

คำสำคัญ: การเฉี่ยวชน, กำแพงกันชนคอนกรีต, สมรรถนะกำลัง, การเสริมกำลัง

Abstract

From past to present, many car accidents caused by over speed limit on the expressway is the key source of damages that have occurred. These causes of damage affect on properties and risk of life. In order to decrease the severity of the accident and prevent the vehicle falling, it is important to increase the road safety. Recently, there are two types of the concrete barriers constructed on the expressway to prevented the car crash; “the New Jersey Safety-Shape barrier” and “ F-Shape barrier”. This paper aims to study the evaluation of concrete barrier performance in each type to analyze the strength resisting the collision force from the vehicle. The simulation model was used to calculate the collision force of vehicle with speed between 80 - 140 km/hr. The crash directions were 15, 20 and 25 degree which were the actual direction of the collision on the concrete barrier and based on the actual crash test standard NCHRP 350. The collision force simulation was in the form of static load to evaluate the performance of the concrete barrier strength and reinforcement. The evaluation of reinforcement was used in case lack of the collision force occurred.

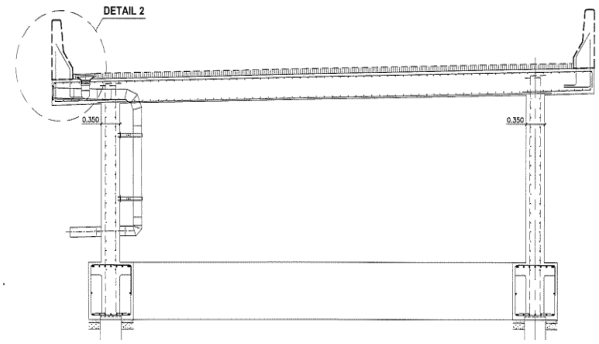
Keywords: Collision, Concrete Barrier, Performance, Reinforcement

1. บทนำ

การทางพิเศษแห่งประเทศไทยเป็นหน่วยงานในสังกัดกระทรวงคมนาคมที่มีภารกิจในการดำเนินการสร้างทางพิเศษ ตลอดจนการบำรุงและรักษาทางพิเศษ โดยให้มีจุดมุ่งหมายเพื่ออำนวยความสะดวกด้านการจราจร และความปลอดภัยในการให้บริการทางพิเศษแก่ผู้ใช้ทาง

จากปัญหาการเกิดอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนทางพิเศษ ในหลาย ๆ เหตุการณ์นั้น พบว่า เป็นอุบัติเหตุจากการเฉี่ยวชนของยานพาหนะที่มีสาเหตุจากการใช้อัตราความเร็วที่สูงเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด ส่งผลทำให้เกิดความเสียหายต่อชีวิต และทรัพย์สินของผู้ใช้ทางดังแสดงในรูปที่ 1

สำหรับโครงสร้างทางยกระดับของทางพิเศษจะมีการติดตั้งกำแพงกันชนคอนกรีต (Concrete Barrier) ดังแสดงในรูปที่ 2 และรูปที่ 3 เพื่อใช้ในการป้องกันอุบัติเหตุจากการพลิกคว่ำ และป้องกันการตก หล่นของยานพาหนะจากโครงสร้างทางยกระดับสู่บริเวณพื้นทางด้านล่าง



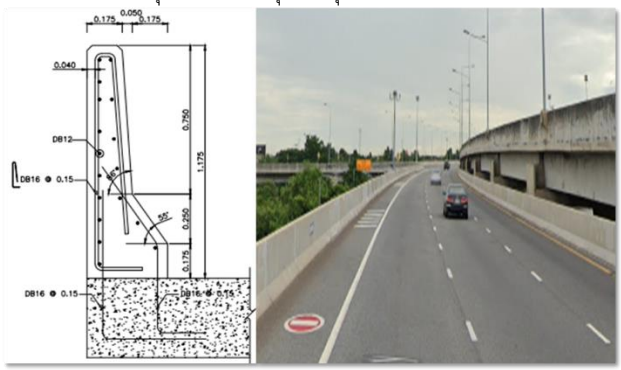
รูปที่ 2 รูปแบบการติดตั้งกำแพงกันชนคอนกรีตบริเวณโครงสร้างทางยกระดับของทางพิเศษ



รูปที่ 3 ลักษณะทางกายภาพของการติดตั้ง และใช้งานกำแพงกันชนคอนกรีตบนโครงสร้างทางยกระดับของทางพิเศษ

ในการศึกษาวิจัยนี้จะวิเคราะห์ถึงสมรรถนะของกำแพงกันชนคอนกรีต (Concrete Barrier) ที่ติดตั้งใช้งานกำแพงกันชนแบบแข็งเกร็ง (Rigid Type) บนทางพิเศษ ซึ่งมี 2 รูปแบบ คือ รูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier และรูปแบบ F-Shape Barrier โดยการจำลองการเฉี่ยวชนของยานพาหนะบนทางพิเศษที่ความเร็วตั้งแต่ 80 -140 กิโลเมตร/ชั่วโมง กระทำในทิศทางการเฉี่ยวชนของยานพาหนะกระทำในทิศทางการเฉี่ยวชนทำมุม 15 องศา 20 องศา และ 25 องศา ที่เป็นทิศทางการเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นจริงบนทางพิเศษ และอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบการเฉี่ยวชนจริง NCHRP 350 [1] เพื่อวิเคราะห์สมรรถนะของกำแพงกันชนคอนกรีตดังกล่าวว่าจะสามารถต้านทานแรงเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นได้หรือไม่ เพื่อนำมาใช้พิจารณาถึงความเหมาะสมของรูปแบบของกำแพงกันชนที่ติดตั้งใช้งานและการเสริมกำลังของโครงสร้างกำแพงกันชนต่อไป

การติดตั้งใช้งานกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier ที่ออกแบบมาใช้งานบริเวณพื้นที่ทางยกระดับที่มีการใช้ความเร็วของยานพาหนะสูงดังแสดงในรูปที่ 4 และกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ F-Shape Barrier ได้นำมาติดตั้งบริเวณพื้นที่ทางระดับดิน และบริเวณพื้นที่หน้าด่านจัดเก็บค่าผ่านทางพิเศษที่มีการใช้ความเร็วของยานพาหนะต่ำดังแสดงในรูปที่ 5 โดยทั้งสองรูปแบบจะมีขนาดความกว้างของฐานกำแพงกันชนคอนกรีตประมาณ 0.40 - 0.45 เมตร ความสูงตั้งแต่ 0.812 – 1.175 เมตร และความหนาของกำแพงส่วนบนตั้งแต่ 0.175 – 0.325 เมตร โดยมีมุมความชันส่วนฐานประมาณ 55 องศา และมุมความชันส่วนของกำแพงประมาณ 84 - 86 องศา สำหรับใช้ในการรองรับแรงกระแทกการเฉี่ยวชนของยานพาหนะที่กระทำด้วยความเร็วสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ช่วยป้องกันการหลุด ตกหล่นออกจากทางยกระดับ และช่วยลดความเสียหายและความรุนแรงเมื่อเกิดอุบัติเหตุการเฉี่ยวชนขึ้นบนทางพิเศษ



รูปที่ 4 ลักษณะทางกายภาพของการติดตั้งใช้งานกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier บริเวณทางยกระดับ



รูปที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของการติดตั้งใช้งานกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ F-Shape Barrier บริเวณทางระดับดิน

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 รูปแบบของอุปกรณ์กั้นแนวเขตทางที่ติดตั้งใช้งานในปัจจุบัน

การติดตั้งใช้งานอุปกรณ์กั้นแนวเขตทางจะพิจารณาออกแบบบนพื้นฐานของอันตรายข้างทาง ปริมาณจราจร ลักษณะทางกายภาพของถนน และระยะห่างแนวเขตอันตรายข้างทางถึงขอบถนนหลัก เพื่อเป็นการลดความรุนแรงของอุบัติเหตุ และเพิ่มความปลอดภัยให้แก่ผู้ใช้เส้นทาง จึงนำมาสู่การคิดค้นพัฒนารูปแบบของอุปกรณ์กั้นสำหรับใช้ในการติดตั้งใช้งานในปัจจุบันตามมาตรฐานสากล สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท โดยอ้างอิงจากคู่มือแนะนำการติดตั้งอุปกรณ์กั้นและสิ่งอำนวยความปลอดภัย [2] มีรายละเอียดดังนี้

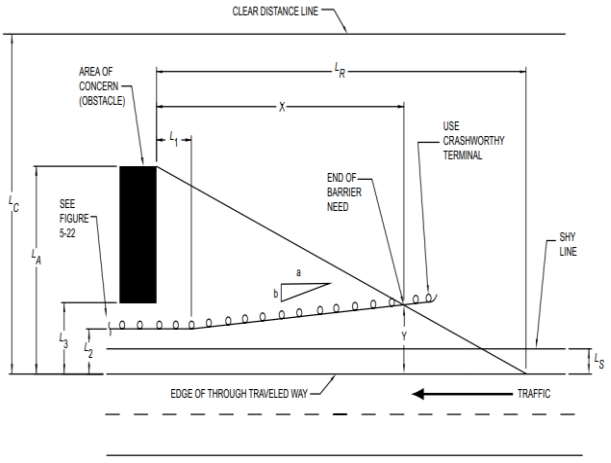
1) อุปกรณ์กั้นแบบยืดหยุ่น (Flexible System) อาทิเช่น ราวกั้นแบบขึงลวดเคเบิล (Guard Cable) ในการออกแบบต้องพิจารณาคุณสมบัติของระยะการแอ่นตัว (Dynamic Deflection) ซึ่งสามารถรองรับการชน และมีการแอ่นตัวได้สูงสุดอยู่ที่ 3,500 มิลลิเมตร โดยตามมาตรฐาน ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3] ได้กำหนดระดับความรุนแรงการทดสอบการเฉี่ยวชนที่สามารถรองรับได้อยู่ที่ระดับ TL-3 ที่ระดับความเร็วยานพาหนะอยู่ที่ประมาณ 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง

2) อุปกรณ์กั้นแบบกึ่งแข็ง (Semi-Rigid Systems) อาทิเช่น ราวกั้นแบบแผ่นเหล็ก (Steel Beam Guard Rail หรือ ราวเหล็ก Box Beam) ในการออกแบบต้องพิจารณาคุณสมบัติระยะการแอ่นตัว (Dynamic Deflection) ซึ่งสามารถรองรับการชน และมีการแอ่นตัวได้สูงสุดอยู่ที่ 500-2,100 มิลลิเมตร ขึ้นอยู่กับวัสดุที่นำมาใช้ โดยตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3] ได้กำหนดระดับความรุนแรงการทดสอบการเฉี่ยวชนที่สามารถรองรับได้อยู่ที่ระดับ TL-4 ที่ระดับความเร็วยานพาหนะอยู่ที่ประมาณ 70 กิโลเมตร/ชั่วโมง

3) อุปกรณ์กั้นแบบแข็ง (Rigid Systems) อาทิเช่น กำแพงกันชนคอนกรีต (Concrete Barrier) เป็นที่นิยมนำมาติดตั้งใช้งานเนื่องจากสามารถป้องกันการชนของรถวิ่งสวนทางกันได้ดี ราคาไม่แพง คงทนถาวร ซ่อมแซมง่าย ช่วยลดความเสียหายของรถที่ชนกำแพง ซึ่งสามารถรองรับการชน และไม่มีการแอ่นตัว ในปัจจุบันมีการพัฒนานำมาใช้ติดตั้งทั้งสิ้น 4 รูปแบบ คือ รูปแบบ New Jersey Safety- Shape Barrie, F-Shape Barrier, Vertical Concrete Barrier และ Single Slope Barrier โดยตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3] ได้กำหนดระดับความรุนแรงการทดสอบการเฉี่ยวชนที่สามารถรองรับได้อยู่ที่ระดับ TL-4 ที่ระดับความเร็วยานพาหนะโดยสารทั่วไปที่ประมาณ 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง และที่ระดับความเร็วของรถบรรทุกขนาดเล็กประมาณ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง

2.2 การพิจารณาออกแบบช่วงความยาวในการติดตั้งอุปกรณ์กั้นแนวเขตทาง

การพิจารณาช่วงความยาวในการติดตั้งอุปกรณ์กั้น เพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่อันตรายข้างทาง และป้องกันไม่ให้ยานพาหนะหลุดออกจากขอบทาง ตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3] โดยปัจจัยที่มีผลต่อความยาวในการติดตั้งอุปกรณ์กั้น ได้แก่ ความเร็วของรถยนต์ ปริมาณการจราจร ระยะทางจากขอบทางถึงขอบหลังของวัตถุข้างทาง (Lateral Extent of the Area of Concern, L_A) และ ระยะทางจากขอบด้านใกล้ของวัตถุข้างทางจนถึงจุดสมมติที่รถเริ่มหลุดออกจากทาง (Run Out of Length, L_R) ดังรูปที่ 6 ทั้งนี้ สามารพิจารณาค่าระยะ L_R แนะนำได้ดังตารางที่ 1



รูปที่ 6 ช่วงระยะความยาวในการพิจารณาติดตั้งอุปกรณ์กั้นอ้างอิงตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3]

ตารางที่ 1 ระยะ L_R แนะนำตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3]

ความเร็วที่ออกแบบ (km/h)	ปริมาณจราจร (ADT), คัน/วัน			
	<10,000	5,000-10,000	1,000-5,000	>1,000
	ระยะ L_R ที่แนะนำ, (m)			
130	143	131	116	101
110	110	101	88	76
100	91	76	64	61
80	70	58	49	46
60	49	40	34	30
50	34	27	24	21

การกำหนดระยะช่วงความยาวในการติดตั้งอุปกรณ์กั้นด้วยวิธีการคำนวณ ใช้สำหรับทางตรง และมีการผายออกบริเวณด้านปลาย สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (1)

$$X = \frac{L_A + \left(\frac{b}{a}\right)(L_1) - L_2}{\left(\frac{b}{a}\right) + (L_A / L_R)} \quad (1)$$

และสำหรับในกรณีที่ไม่มีการผายออกบริเวณด้านปลาย สามารถคำนวณได้ด้วยสมการที่ (2)

$$X = \frac{L_A - L_2}{(L_A / L_R)} \quad (2)$$

เมื่อ a และ b คือ อัตราการส่วนการผายออก (Flare Rate) ซึ่งสามารถพิจารณาใช้ตามข้อแนะนำตามตารางที่ 2

L_1 คือ ระยะของอุปกรณ์กั้นจากขอบด้านใกล้ของวัตถุอันตรายถึงจุดที่อุปกรณ์เริ่มผายออกอย่างน้อยควรมีระยะประมาณ 5.7 เมตร

L_2 คือ ระยะจากขอบทางถึงแนวที่มีการติดตั้งอุปกรณ์กั้น หน่วย ; เมตร

L_3 คือ ระยะจากขอบทางถึงขอบด้านหน้าของวัตถุข้างทาง หน่วย ; เมตร

L_A คือ ระยะจากขอบทางถึงขอบหลังสุดของวัตถุข้างทาง หน่วย ; เมตร

L_R คือ ระยะจากขอบด้านใกล้ของวัตถุข้างทางถึงจุดสมมติที่รถเริ่มหลุดออกจากถนน (E_R) หน่วย ; เมตร

อัตราส่วนการผายออกของอุปกรณ์กั้น (Flare Rate) เป็นการพิจารณาพื้นที่ในการติดตั้งอุปกรณ์กั้นซึ่งลักษณะการผายออกจะอยู่ในช่วงปลายอุปกรณ์กั้นที่มีระยะไล่ออกไปจากขอบทาง เพื่อลดความยาวที่ต้องการติดตั้งอุปกรณ์กั้น และลดผลกระทบทางความรู้สึกในการขับขี่ของผู้ใช้ทางที่เมื่อต้องมีระยะขับขี่ยานพาหนะใกล้กับอุปกรณ์กั้น ในการพิจารณาอัตราการผายออกของอุปกรณ์กั้นจะขึ้นอยู่กับความเร็วออกแบบและประเภทของอุปกรณ์กั้นโดยอ้างอิงตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อัตราการผายออกตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3]

ความเร็วที่ออกแบบ (km/h)	อัตราการผายออกของอุปกรณ์กั้นที่ติดตั้งใน (Shy line, a:b)	อัตราการผายออกของอุปกรณ์กั้นที่ติดตั้งนอก (Shy Line) a:b	
		อุปกรณ์กั้นแบบแข็ง (Rigid System)	อุปกรณ์กั้นแบบกึ่งแข็ง (Semi-Rigid System)
110	30:1	20:1	15:1
100	26:1	18:1	14:1
90	24:1	16:1	12:1
80	21:1	14:1	11:1
70	18:1	12:1	10:1
60	16:1	10:1	8:1
50	13:1	8:1	7:1

ระยะห่างจากขอบทางอุปกรณ์กั้นควรติดตั้งให้ห่างจากขอบทางในระยะที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย ฉะนั้นในการติดตั้งจึงควรติดตั้งอุปกรณ์กั้นในตำแหน่งที่ห่างจากระยะแนะนำในการติดตั้งอุปกรณ์กั้น (Shy-Line Offset, L_s) โดยระยะห่างระหว่างขอบทางจนถึงระยะที่เหมาะสมในการติดตั้งอุปกรณ์กั้นที่จะไม่เกิดผลกระทบต่อผู้ขับขี่จะขึ้นอยู่กับความเร็วที่ออกแบบ ซึ่งอ้างอิงตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3] ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ระยะห่างจากขอบทางที่แนะนำ (Shy-Line Offset, L_s) ตามมาตรฐานของ ROADSIDE DESIGN GUIDE (AASHTO, 2011) [3]

ความเร็วที่ออกแบบ (km/h)	ระยะห่างจากขอบทางที่แนะนำ (Shy-Line Offset, L_s) (m)
130	3.7
120	3.2
110	2.8
100	2.4
90	2.2
80	2.0
70	1.7
60	1.4
50	1.1

2.3 การประเมินสมรรถนะของกำแพงคอนกรีตในการต้านทานการเฉี่ยวชน

ในการประเมินสมรรถนะการต้านทานการเฉี่ยวชนของกำแพงกันชนคอนกรีต (Concrete Barrier) ตามมาตรฐานการทดสอบการเฉี่ยวชนจริงของ NCHRP 350 [1] ในการทดสอบจะติดตั้งกำแพงกันชนคอนกรีตยาว 30.50 เมตร โดยใช้รูปแบบของกำแพงกันชนคอนกรีตแบบ New Jersey Safety- Shape Barrier ขนาดความสูง 813 มิลลิเมตร ความหนาฐานส่วนล่าง 381 มิลลิเมตร ความหนาส่วนบน 152 มิลลิเมตร ทดสอบที่ระดับความรุนแรงของการทดสอบ Test Level 3 (TL-3) โดยใช้รถกระบะ (Pickup Truck) น้ำหนัก 2,000 กิโลกรัม เฉี่ยวชนที่ความเร็ว 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง มุมการเฉี่ยวชน 25 องศา ระดับความสูงในการชนอยู่ที่ระดับ 655 มิลลิเมตร โดยภายหลังจากการเฉี่ยวชนรถกระบะพบว่า กำแพงสามารถต้านทานแรงเฉี่ยวชนได้โดยที่รถไม่หลุดออกนอกกำแพงกันชน และไม่มีการแตกแยกของชิ้นส่วนของกำแพงกันชน โดยจะมีเพียงล่องรอยของการเฉี่ยวชนที่กำแพงกันชนคอนกรีตที่ระยะ 0.5 เมตร ความยาวตลอดแนว 6.80 เมตร สำหรับสภาพความเสียหายของตัวรถเกิดขึ้นบริเวณของมุมข้างรถด้านขวา 560 mm. บริเวณห้องผู้โดยสารของตัวรถมีการเสียรูปสูงสุดอยู่ที่ 84 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ลักษณะการเฉี่ยวชนที่ได้มีการทดสอบการเฉี่ยวชนจริงอ้างอิงจากมาตรฐาน NCHRP 350 [1]

นอกจากนี้ตามมาตรฐานการทดสอบการเฉี่ยวชนจริงของ NCHRP 350 [1] ได้แบ่งระดับความรุนแรงของการเฉี่ยวชนออกเป็น 6 ระดับความรุนแรงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 การทดสอบการเฉี่ยวชนของกำแพงกันชนคอนกรีตที่ระดับความรุนแรงต่าง ๆ ตามมาตรฐานการทดสอบการเฉี่ยวชนจริงของ NCHRP 350 [1]

ระดับความรุนแรงการทดสอบ (Test Level, TL)	ประเภทยานพาหนะ	เงื่อนไขของการทดสอบการเฉี่ยวชน		
		น้ำหนักของยานพาหนะที่กระทำ (kg)	ความเร็วของการเคลื่อนที่เฉี่ยวชน (km/h)	มุมการเฉี่ยวชน (องศา)
TL-1	รถยนต์ส่วนบุคคล	820	50	20
	รถกระบะ	2,000	50	25
TL-2	รถยนต์ส่วนบุคคล	820	70	20
	รถกระบะ	2,000	70	25
TL-3 (Basic Level)	รถยนต์ส่วนบุคคล	820	100	20
	รถกระบะ	2,000	100	25
TL-4	รถยนต์ส่วนบุคคล	820	100	20
	รถกระบะ	2,000	100	25
	รถบรรทุก	8,000	80	15
TL-5	รถยนต์ส่วนบุคคล	820	100	20
	รถกระบะ	2,000	100	25
	รถกึ่งพ่วงแบบตู้คอนเทนเนอร์	36,000	80	15
TL-6	รถยนต์ส่วนบุคคล	820	100	20
	รถกระบะ	2,000	100	25
	รถกึ่งพ่วงแบบแทงค์	36,000	80	15

2.4 หลักการพิจารณาแรงเฉี่ยวชนสำหรับใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะกำลังของกำแพงกันชน

2.4.1 การวิเคราะห์โดยใช้หลักการของพลังงานในการคำนวณแรงเฉี่ยวชน

การวิเคราะห์คำนวณแรงกระแทกเมื่อยานพาหนะเคลื่อนเข้าปะทะกับราวกันตก ซึ่งตามมาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์ มยผ.1321-61 [4] ได้ใช้หลักการของพลังงานในการคำนวณแรงกระแทกเมื่อยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วจะทำให้เกิดพลังงานจลน์ ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 3

$$KE = \frac{mv^2}{2} \quad (3)$$

เมื่อ *KE* คือ พลังงานจลน์ของรถยนต์ หน่วย ; จูล
m คือ มวลของของรถยนต์ หน่วย ; กิโลกรัม
v คือ ความเร็วของของรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนราวกันตก หน่วย ; เมตร/วินาที

ในขณะที่ยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าชนราวกันตกพลังงานจลน์จะถูกสลายไปจากการยุบของราวกันตก ซึ่งจากกฎอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation Law) สามารถคำนวณแรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน ได้ดังสมการที่ 4

$$F = \frac{0.5mv^2}{\delta_c + \delta_b} \quad (4)$$

เมื่อ *F* คือ แรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน หน่วย ; นิวตัน
m คือ มวลของของรถยนต์ หน่วย ; กิโลกรัม
v คือ ความเร็วของของรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนราวกันตก หน่วย ; เมตร/วินาที
คือ ค่าการยุบตัวของรถยนต์ หน่วย ; เมตร
คือ ค่าการยุบตัวของราวกันตกเมื่อมีการชนกระแทก หน่วย ; เมตร

การยุบตัวของยานพาหนะเคลื่อนที่เข้าชนปะทะกับราวกันตกซึ่งจะเกิดขึ้นในช่วงเสี้ยววินาที จากนั้นจะเกิดการกระแทกย้อนกลับจากราวกันตก ชิ้นส่วนของยานพาหนะจะมีการเสียรูปเกิดขึ้นอาทิเช่น เกิดการงอ หรือ ยุบเข้าไป ทำให้ความยาวของรถยนต์ลดลง ค่าการยุบตัวของรถยนต์ ( ) ขึ้นอยู่กับวัสดุในการผลิตรถยนต์รุ่นต่าง ๆ สำหรับค่าการยุบตัวของรถยนต์นั้น National Highway Traffic Safety Administration (NHSTA) ได้ทำการทดสอบรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 56.32 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (35 ไมล์ต่อชั่วโมง) กระแทกกับราวกันตก เพื่อวิเคราะห์หาค่าการยุบตัวที่เกิดจากการกระแทกเท่านั้น จากผลการทดสอบ สมการสำหรับการคำนวณค่าประมาณของค่าการยุบตัวของรถยนต์ ( ) มีหน่วยเป็นเมตร ในกรณีที่รถยนต์เคลื่อนที่มากระแทกกับราวกันตกประเภทแข็งเกร็ง ดังสมการที่ 5

$$\delta_c = \frac{\sqrt{v}}{6.6} \quad (5)$$

สำหรับการเสียรูปของโครงสร้างราวกันตกชนิดแข็งเกร็ง สามารถรับแรงกระแทกที่รุนแรงสูงได้ โดยไม่เกิดการเสียรูป ดังนั้น ราวกันตกประเภทแข็งเกร็งจึงไม่พิจารณาค่ายุบตัวของราวกันตก ( ) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0

และสำหรับโครงสร้างกันตกชนิดยืดหยุ่น เป็นรูปแบบโครงสร้างที่จะเกิดการเสียรูป หรือ มีค่าการยุบตัว จึงต้องพิจารณาจากค่าการเสียรูปของวัสดุที่นำมาใช้ทำโครงสร้างนั้น ซึ่งสมการในการคำนวณค่าการยุบตัวของราวกันตก ( ) ได้ดังสมการที่ 6

$$\delta_b = \frac{F}{k_b} \quad (6)$$

โดยที่แรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน (F) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 7

$$F = 0.5k_b\left(-\frac{\sqrt{v}}{6.6} + \sqrt{\frac{2mv^2}{k_b} + \frac{v}{43.56}}\right) \quad (7)$$

เมื่อ *F* คือ แรงกระแทกที่กระทำต่อราวกันตกในแนวนอน หน่วย ; นิวตัน
*m*คือ มวลของของรถยนต์ หน่วย ; กิโลกรัม
v คือ ความเร็วของของรถยนต์ในขณะเคลื่อนที่เข้าชนราวกันตก หน่วย ; เมตร/วินาที
คือ ค่าสติฟเนส (Stiffness) ของราวกันตก หน่วย ; นิวตัน/เมตร
คือ ค่าการยุบตัวของราวกันตกเมื่อมีการชนกระแทกหน่วย ; เมตร

2.4.2 การวิเคราะห์โดยใช้หลักการของวิธี Yield Line Analysis

ในการวิเคราะห์สมรรถนะกำลังในการต้านทางแรงของกำแพงกันชนคอนกรีต (Concrete Barrier) จะพิจารณาโดยการวิเคราะห์ด้วยวิธี (Yield Line Analysis) ซึ่งตามมาตรฐาน AASHTO LRFD Bridge Design Specification [5] จะสามารถพิจารณาแรงต้านทาน (R_w) ของกำแพงกันชนคอนกรีตจากแรงกระแทกที่กระทำบริเวณตำแหน่งพื้นที่ประสิทธิผลของผนังกำแพงกันชนคอนกรีตจากการเฉี่ยวชนของยานพาหนะได้ดังสมการที่ (8)

$$R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t}\right)\left(8M_b + 8M_w + \frac{M_c L_c^2}{H}\right) \quad (8)$$

สำหรับแรงต้านทานแรงกระแทกของกำแพงกันชนคอนกรีตบริเวณช่วงพื้นที่ริมผนัง หรือ บริเวณรอยต่อ (Rw) จะพิจารณาได้ดังสมการที่ 9

$$R_w = \left(\frac{2}{2L_c - L_t}\right)(M_b + M_w + \frac{M_c L_c^2}{H}) \quad (9)$$

โดยช่วงวิกฤติของความยาวผนังที่รับแรงกระทำจากแรงเฉี่ยวชน (L_c) สำหรับการวิเคราะห์โดยใช้วิธี (Yield Line Analysis) จะพิจารณาได้ดังสมการที่ 10

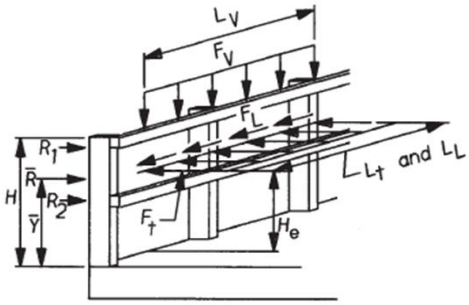
$$L_c = \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2}\right)^2 + \frac{8H\left(M_b + M_w\right)}{M_c}} \quad (10)$$

และสำหรับช่วงวิกฤติของความยาวบริเวณริมผนังที่รับแรงกระทำจากแรงเฉี่ยวชน (L_c) จะพิจารณาได้ดังสมการที่ 11

$$L_c = \frac{L_t}{2} + \sqrt{\left(\frac{L_t}{2}\right)^2 + H\left(\frac{M_b + M_w}{M_c}\right)} \quad (11)$$

เมื่อ F_t คือ แรงกระทำทิศทางตามขวาง หน่วย ; กิโลกรัม
F_L คือ แรงกระทำในทิศทางตามยาว หน่วย ; กิโลกรัม
F_V คือ แรงกระทำในทิศทางแนวดิ่ง หน่วย ; กิโลกรัม
L_t คือ ระยะช่วงที่แรงกระทำทิศทางตามขวาง หน่วย ; เมตร
L_L คือ ระยะช่วงที่แรงกระทำทิศทางตามยาว หน่วย ; เมตร
L_v คือ ระยะช่วงที่แรงกระทำทิศทางแนวดิ่ง หน่วย ; เมตร
H_e คือ ค่าระยะความสูงประสิทธิผลที่แรงกระทำ หน่วย ; เมตร
H คือ ค่าระยะความสูงต่ำสุดของกำแพงกั้นที่ต้องการ หน่วย ; เมตร
R_w คือ แรงต้านทานของกำแพงกันชน หน่วย ; กิโลกรัม
M_b คือ กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดด้านบนของกำแพงกันชนคอนกรีต หน่วย ; กิโลกรัม-เมตร
M_c คือ กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดบริเวณของริมผนังกำแพงกันชนคอนกรีต หน่วย ; กิโลกรัม-เมตร
M_w คือ กำลังต้านทานโมเมนต์ดัดแนวแกนดิ่งของกำแพงกันชนคอนกรีต หน่วย ; กิโลกรัม-เมตร

แรงกระทำบริเวณกำแพงกันชนสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบด้วยวิธี Yield Line Analysis จะพิจารณาได้ดังรูปที่ 8 และค่าแรงกระทำบริเวณกำแพงกันชนคอนกรีตสามารถพิจารณาได้ดังตารางที่ 5



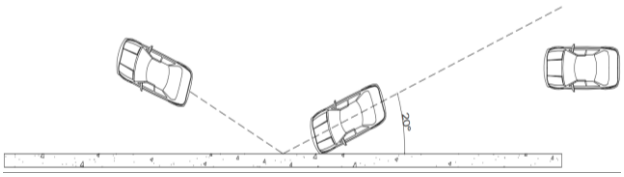
รูปที่ 8 รูปแบบของแรงที่กระทำบริเวณกำแพงกันชนอ้างอิงจาก AASHTO LRFD Bridge Design Specification [5]

ตารางที่ 5 ค่าแรงที่กระทำบริเวณกำแพงกันชนตามมาตรฐาน AASHTO LRFD Bridge Design Specification [5]

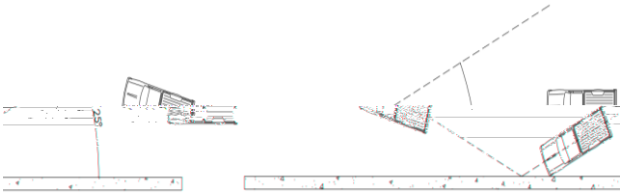
แรงสำหรับพิจารณาออกแบบและเงื่อนที่เกี่ยวข้อง	ระดับความรุนแรงของการเฉี่ยวชน					
	TL-1	TL-2	TL-3	TL-4	TL-5	TL-6
F_t (kg)	6,123	12,247	24,494	24,494	56,245	79,378
F_L (kg)	2,041	4,082	8,165	8,165	18,597	26,308
F_V (kg)	2,041	2,041	2,041	8,165	36,287	36,287
L_t และ L_L (m)	1.22	1.22	1.22	1.07	2.44	2.44
L_V (m)	5.49	5.49	5.49	5.49	12.19	12.19
H_e (m)	0.46	0.51	0.61	0.81	1.067	1.42
H (m)	0.69	0.69	0.69	0.81	1.067	2.29

3. การวิเคราะห์สมรรถนะกำลังต้านทานแรงเฉี่ยวชนของกำแพงกันชนคอนกรีตบนทางพิเศษ

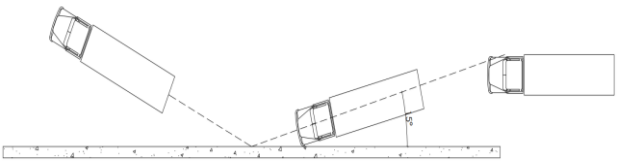
ในการวิเคราะห์สมรรถนะกำลังต้านทานของกำแพงกันชนคอนกรีต (Concrete Barrier) ที่ติดตั้งใช้งานบนทางพิเศษ ซึ่งได้ติดตั้งใช้งานกำแพงกันชนคอนกรีตแบบแข็งเกร็ง (Rigid Type) ในรูปแบบของ New Jersey Safety Shape Barrier และรูปแบบ F-Shape Barrier โดยลักษณะทางกายภาพของทางพิเศษได้ถูกออกแบบให้รองรับการใช้ความเร็วของยานพาหนะตั้งแต่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง ประกอบกับในปัจจุบันได้มีกฎหมายกำหนดอัตราการใช้ความเร็วบนทางพิเศษไม่เกิน 110 กิโลเมตร/ชั่วโมง และสำหรับรถบรรทุกกำหนดอัตราความเร็วบนทางพิเศษไม่เกิน 90 กิโลเมตร/ชั่วโมง จากข้อมูลรายงานสถิติปริมาณจราจร รายได้ค่าผ่านทางพิเศษ และอุบัติเหตุ [6] พบว่า อุบัติเหตุที่เกิดขึ้นบนทางพิเศษส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากการใช้ความเร็วของยานพาหนะที่เกินกว่ากฎหมายกำหนด ในการวิเคราะห์แรงเฉี่ยวชนจึงทำการวิเคราะห์ยานพาหนะ 3 ประเภท ประกอบด้วยรถยนต์ส่วนบุคคล น้ำหนัก 820 กิโลกรัม รถกระบะน้ำหนัก 2,000 กิโลกรัม จะพิจารณาการเฉี่ยวชนที่ช่วงความเร็ว 80 – 140 กิโลเมตร/ชั่วโมง และรถบรรทุกน้ำหนัก 8,000 กิโลกรัม จะพิจารณาการเฉี่ยวชนที่ช่วงความเร็ว 80 – 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ซึ่ง เทียบเท่ากับการทดสอบที่ระดับความรุนแรง TL-4 ตามมาตรฐานการทดสอบการเฉี่ยวชนจริงของ NCHRP 350 [1] โดยมีทิศทางการเฉี่ยวชนของรถยนต์ส่วนบุคคลกระทำในทิศทาง 20 องศา รถกระบะเฉี่ยวชนกระทำในทิศทาง 25 องศา และรถบรรทุกกระทำในทิศทาง 15 องศา ดังแสดงในรูป 9 – 11



รูปที่ 9 ลักษณะการจำลองทิศทางของการเฉี่ยวชนระหว่างรถยนต์ส่วนบุคคลกับกำแพงกันชนคอนกรีตทำมุมที่ 20 องศา



รูปที่ 10 ลักษณะการจำลองทิศทางของการเฉี่ยวชนระหว่างรถกระบะกับกำแพงกันชนคอนกรีตทำมุมที่ 25 องศา



รูปที่ 11 ลักษณะการจำลองทิศทางของการเฉี่ยวชนระหว่างรถบรรทุกกับกำแพงกันชนคอนกรีตทำมุมที่ 15 องศา

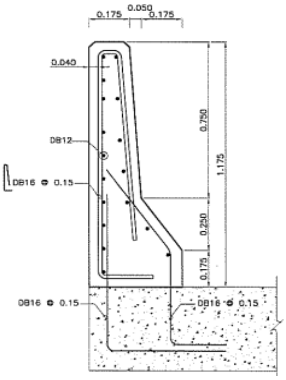
การคำนวณแรงกระแทกเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นจะคำนวณจากหลักการของพลังงานยานพาหนะเกิดขึ้นที่ระดับความเร็วข้างต้น ที่กระทำบริเวณกำแพงกันชนคอนกรีตแบบแข็งเกร็ง (Rigid Systems) ทั้ง 2 รูปแบบ ได้โดยปราศจากค่าการยุบตัวของกำแพงกันชน ( ) จึงมีค่าเท่ากับ 0 แรงกระแทกเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นของยานพหานะแต่ละขนาดจะแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 แรงกระแทกเฉี่ยวชนของยานพาหนะแต่ละขนาดสำหรับใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะของกำแพงกันชนคอนกรีตที่ระดับความรุนแรงต่าง ๆ

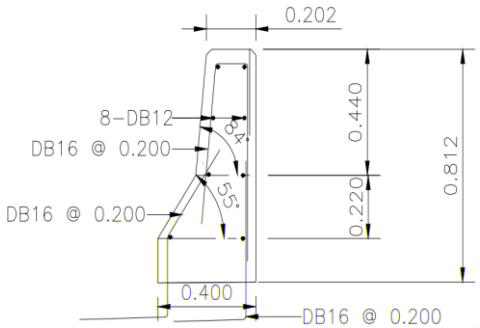
ประเภทยานพาหนะ	เงื่อนไขของการทดสอบการเฉี่ยวชน			
	น้ำหนักของยานพาหนะ (kg)	ความเร็วของการเคลื่อนที่เฉี่ยวชน (km/h)	มุมการเฉี่ยวชน (องศา)	แรงกระแทกทิศทางที่ปะทะ (kg)
รถยนต์ส่วนบุคคล	820	80	20	9,883.07
		110	20	15,934.77
		140	20	22,879.62
รถกระบะ	2,000	80	25	29,785.47
		110	25	48,024.01
		140	25	68,954.32
รถบรรทุก	8,000	80	15	72,964.63
		90	15	87,064.51
		100	15	101,971.17

ในการวิเคราะห์สมรรถนะกำลังต้านทานของกำแพงกันชนคอนกรีตทั้ง 2 รูปแบบ ที่ติดตั้งใช้งานบนทางพิเศษเป็นกำแพงกันชนคอนกรีตแบบแข็งเกร็ง (Rigid Type) โดยติดตั้งใช้งานกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบของ New Jersey Safety Shape Barrier มีขนาดความกว้างของฐาน 0.40 เมตร

ขนาดความสูง 1.175 เมตร และขนาดความกว้างส่วนบน 0.175 เมตร ดังรูปที่ 11 และรูปแบบ F-Shape Barrier ขนาดความกว้างของฐาน 0.40 เมตร ขนาดความสูง 0.812 เมตร และขนาดความกว้างส่วนบน 0.20 เมตร ดังรูปที่ 12



รูปที่ 11 รูปแบบของกำแพงกันชนคอนกรีตแบบ New Jersey Safety Shape Barrier สำหรับใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะกำลัง



รูปที่ 12 รูปแบบของกำแพงกันชนคอนกรีตแบบ F-Shape สำหรับใช้ในการวิเคราะห์สมรรถนะกำลัง

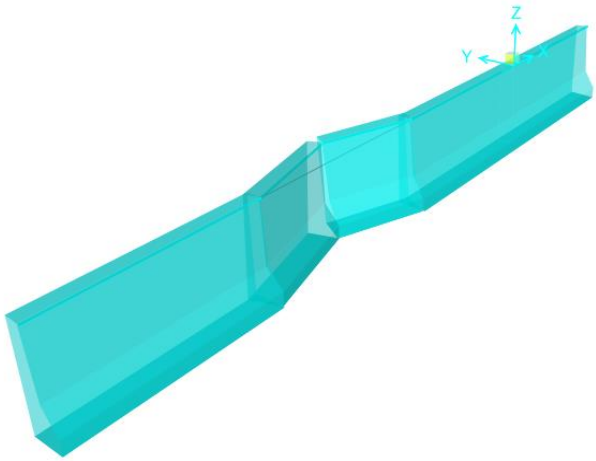
ในการวิเคราะห์กำแพงกันชนคอนกรีตจะพิจารณาในกรณีที่ติดตั้งความยาว 10 เมตร จำนวน 4 ช่วง ช่วงละ 2.50 เมตร สำหรับจำลองการเฉี่ยวชนเทียบเท่าที่ระดับความรุนแรง TL-4 ซึ่งมีระยะของช่วงที่แรงกระทำเฉี่ยวชนประมาณ 1.00 เมตร ความสูงของระยะประสิทธิผลของแรงที่กระทำประมาณ 0.81 เมตร ผลการวิเคราะห์แรงปฏิกิริยา และระยะการโก่งตัวที่เกิดขึ้นของกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier และรูปแบบ F-Shape Barrier ดังแสดงในตารางที่ 7 – 8 และมีลักษณะของการเสียรูปดังแสดงรูปที่ 13

ตารางที่ 7 แรงปฏิกิริยาและระยะการโก่งตัวของกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier ที่แต่ละระดับความเร็ว

ประเภทของยานพาหนะ	ความเร็วของการเคลื่อนที่เฉี่ยวชน (km/h)	แรงกระแทกทิศทางที่ปะทะ (kg.)	ค่าระยะการโก่งตัวที่เกิดขึ้น (mm.)	โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น Mu, (kg-m.)	แรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น Vu, (kg)
รถยนต์ส่วนบุคคล	80	9,883.07	0.0023	3,493.56	11,188.87
	110	15,934.77	0.0037	5,632.77	18,040.14
	140	22,879.62	0.0053	8,087.70	25,902.58
รถกระบะ	80	29,785.47	0.0069	10,528.84	33,720.86
	110	48,024.01	0.0111	16,975.96	54,369.16
	140	68,954.32	0.0159	24,374.60	78,064.88
รถบรรทุก	80	72,964.63	0.0169	25,792.20	82,605.05
	90	87,064.51	0.0201	30,776.35	98,567.87
	100	101,971.17	0.0236	36,045.69	115,444.07

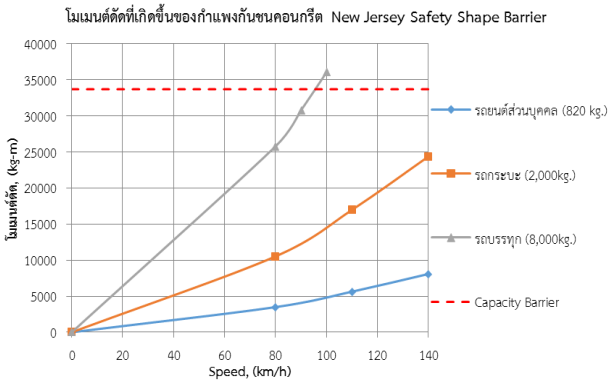
ตารางที่ 8 แรงปฏิกิริยาและระยะการโก่งตัวของกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ F-Shape Barrier ที่แต่ละระดับความเร็ว

ประเภทของยานพาหนะ	ความเร็วของการเคลื่อนที่เฉี่ยวชน (km/h)	แรงกระแทกทิศทางที่ปะทะ (kg.)	ค่าระยะการโก่งตัวที่เกิดขึ้น (mm.)	โมเมนต์ดัดสูงสุดที่เกิดขึ้น Mu, (kg-m.)	แรงเฉือนสูงสุดที่เกิดขึ้น Vu, (kg)
รถยนต์ส่วนบุคคล	80	9,883.07	0.0024	3,492.77	11,188.24
	110	15,934.77	0.0038	5,631.51	18,039.14
	140	22,879.62	0.0055	8,085.88	25,901.13
รถกระบะ	80	29,785.47	0.0072	10,526.48	33,718.98
	110	48,024.01	0.0120	16,972.16	54,366.12
	140	68,954.32	0.0170	24,639.14	78,060.51
รถบรรทุก	80	72,964.63	0.0180	25,736.42	82,600.43
	90	87,064.51	0.0210	30,769.46	98,562.36
	100	101,971.17	0.0250	36,037.62	115,437.61

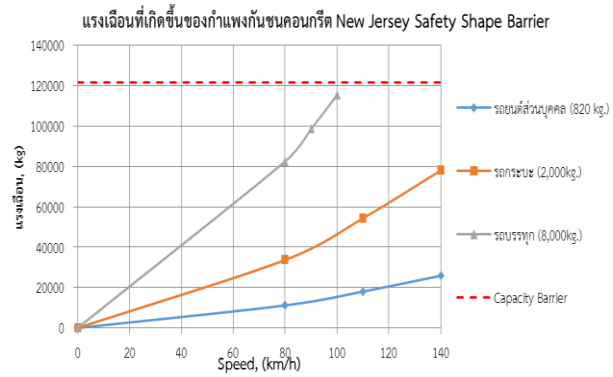


รูปที่ 13 ลักษณะของการเสียรูปของกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier และรูปแบบ F - Shape Barrier

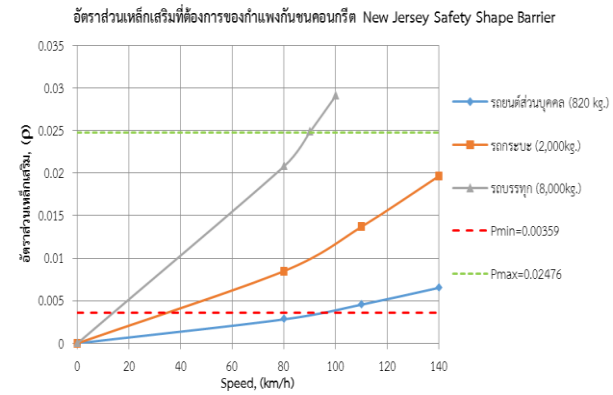
จากผลการวิเคราะห์สมรรถนะกำลังต้านทานแรงเฉี่ยวชนของกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบของ New Jersey Safety Shape Barrier ที่ออกแบบติดตั้งใช้งานบนทางพิเศษ พบว่า จะมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัด (ØMn) เท่ากับ 33,702.56 กิโลกรัม-เมตร และกำลังต้านแรงเฉือน (ØVn) เท่ากับ 121,665.04 กิโลกรัม ซึ่งจะเห็นได้ว่าโครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีตสามารถรองรับแรงเฉี่ยวชนที่ระดับความเร็ว 80-140 กิโลเมตร/ชั่วโมง ได้อย่างเพียงพอสำหรับกรณีของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถกระบะ และสามารถรองรับการเฉี่ยวชนของรถบรรทุกที่ระดับความเร็ว 80-90 กิโลเมตร/ชั่วโมง เท่านั้น โดยไม่สามารถรองรับการเฉี่ยวชนที่ระดับความเร็ว 100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ดังกราฟแสดงรูปที่ 14 – 16



รูปที่ 14 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่กำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier

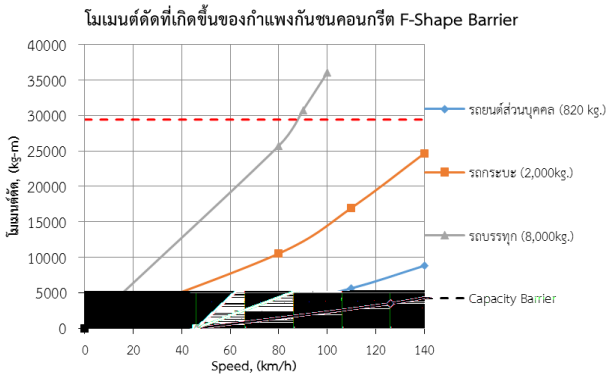


รูปที่ 15 กราฟแสดงค่าเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่กำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier

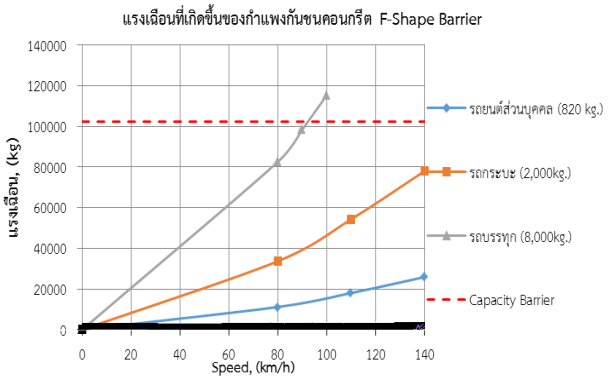


รูปที่ 16 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ New Jersey Safety Shape Barrier

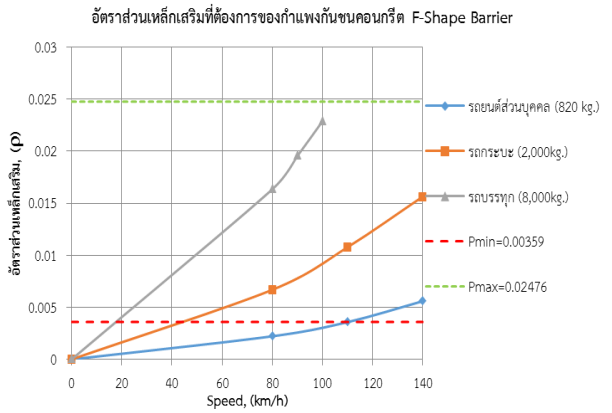
สำหรับกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบของ F-Shape Barrier ที่ออกแบบติดตั้งใช้งานบนทางพิเศษ พบว่า จะมีกำลังต้านทานโมเมนต์ดัด (ØMn) เท่ากับ 29,426.74 กิโลกรัม-เมตร และกำลังต้านแรงเฉือน (ØVn) เท่ากับ 102,357.86 กิโลกรัม จะเห็นได้ว่าโครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีตสามารถรองรับแรงเฉี่ยวชนที่ระดับความเร็ว 80-140 กิโลเมตร/ชั่วโมง ได้อย่างเพียงพอสำหรับกรณีของรถยนต์ส่วนบุคคลและรถกระบะ และสำหรับกรณีของการเฉี่ยวชนของรถบรรทุกจะสามารถรองรับการเฉี่ยวชนได้ที่ระดับความเร็วของรถบรรทุกที่ 80 กิโลเมตร/ชั่วโมงเท่านั้น โดยไม่สามารถรองรับการเฉี่ยวชนที่ระดับความเร็ว 90-100 กิโลเมตร/ชั่วโมง ดังกราฟแสดงในรูปที่ 17 – 19



รูปที่ 17 กราฟแสดงค่าโมเมนต์ดัดที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่กำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ F - Shape Barrier



รูปที่ 18 กราฟแสดงค่าเฉือนที่เกิดขึ้นบริเวณพื้นที่กำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ F - Shape Barrier



รูปที่ 19 กราฟแสดงค่าอัตราส่วนของเหล็กเสริมที่ต้องการสำหรับกำแพงกันชนคอนกรีตรูปแบบ F - Shape Barrier

อย่างไรก็ตามจากผลการวิเคราะห์ข้างต้นในกรณีที่โครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีตไม่สามารถรองรับแรงเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นได้อาจต้องมีการพิจารณาเสริมกำลัง อาทิเช่น การเสริมเหล็กเส้นเพิ่มในโครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีต เพื่อเสริมสมรรถนะกำลังของโครงสร้างให้มีความมั่นคงแข็งแรงสามารถรองรับแรงเฉี่ยวชนได้อย่างเพียงพอ และมีประสิทธิภาพ

4. บทสรุป

จากการวิเคราะห์สมรรถนะกำลังต้านทานแรงเฉี่ยวชนของโครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีตเสริมเหล็กที่ได้ติดตั้งใช้งานบนทางพิเศษทั้ง 2 รูปแบบที่ออกแบบให้อยู่ในรูปแบบแข็งเกร็ง (Rigid Type) กล่าวคือไม่เกิดการเสียรูปเมื่อมีการเฉี่ยวชน โดยจะเห็นได้ว่าโครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีตแบบ New Jersey Safety Shape Barrier และ F-Shape Barrier จะสามารถรองรับแรงเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นที่ระดับความเร็วของรถยนต์ส่วนบุคคล และรถกระบะที่ระดับ 80-140 กิโลเมตร/ชั่วโมง และสำหรับแรงเฉี่ยวชนของรถบรรทุกที่ระดับความเร็วที่ 80-90 กิโลเมตร/ชั่วโมง โครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีตแบบ New Jersey Safety Shape Barrier จะสามารถรองรับแรงเฉี่ยวชนได้ดีกว่าแบบ F-Shape Barrier ที่รองรับแรงเฉี่ยวชนของรถบรรทุกได้เพียงที่ระดับความเร็ว 80 กิโลเมตร/ชั่วโมง นอกจากนี้จากผลจากการวิเคราะห์ยังแสดงให้เห็นว่าในกรณีรถบรรทุกที่กระทำที่ระดับความเร็วสูงตั้งแต่ 100 กิโลเมตร/ชั่วโมงขึ้นไป โครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีตจะไม่สามารถต้านทานแรงเฉี่ยวชนดังกล่าวได้ ซึ่งอาจต้องมีการพิจารณาเสริมกำลังของโครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีต อาทิเช่น การเสริมเหล็กเส้นเพิ่มในโครงสร้างกำแพงกันชนคอนกรีตเพื่อเพิ่มสมรรถนะกำลังในการต้านทานแรงเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นได้อย่างเพียงพอ และมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้จากผลการศึกษาวิจัยนี้อาจพัฒนาเพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาออกแบบเลือกใช้รูปแบบของกำแพงกันชนคอนกรีต เพื่อให้เหมาะสมกับลักษณะของกายภาพของทางยกระดับ สามารถรองรับการใช้ความเร็วของยานพาหนะในสายทางที่จะก่อสร้างในอนาคตได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสำหรับโครงสร้างของกำแพงกันชนคอนกรีตที่ติดตั้งใช้งานในปัจจุบันสามารถใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเสริมกำลังของกำแพงกันชนคอนกรีตในกรณีที่โครงสร้างฯ มีกำลังไม่เพียงพอในการต้านทานการเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่พนักงานกองวิจัยและพัฒนา และเจ้าหน้าที่กองบำรุงรักษาทางการทางพิเศษแห่งประเทศไทย และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ได้ให้คำปรึกษา และช่วยเหลือในการค้นคว้าข้อมูลวิจัยจนการศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์ที่วางไว้

เอกสารอ้างอิง

[1] Ross, H. E., Jr., D. L. Sicking, and R. A. Zimmer. (1993). *National Cooperative Highway Research Report 350: Recommended Procedures for the Safety Performance Evaluation of Highway Features*, Inc., pp.3 - 61.

[2] สำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวง (2564). *คู่มือแนะนำการติดตั้งอุปกรณ์กั้นและสิ่งอำนวยความปลอดภัย*, กรุงเทพฯ, หน้า 3-21 - 3-50.

[3] AASHTO. (2012). *ROADSIDE DESIGN GUIDE*, American Association of State Highway and Transportation Officials (CESB8), Prague, Czech Republic, 4 Feb 2012, pp.9-1 – 9-24.

[4] กรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย (2561). *มาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์*, มยผ.1321-61, ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, หน้า 2-18.

[5] AASHTO. (2017). *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications. American Association of State Highway and Transportation Officials (CESB8)*, 8 Sep 2017, pp. 13-1 – 13-24.

[6] การทางพิเศษแห่งประเทศไทย (2562). *รายงานสถิติปริมาณจราจร รายได้ค่าผ่านทาง และอุบัติเหตุบนทางพิเศษ*, ปีงบประมาณ 2562, , กรุงเทพฯ, หน้า 88-100.