การออกแบบและประเมินสมรรถนะของจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ

The Design and Evaluation Performance Connection Support of Toll Booth Prototype

ธราดล หงส์อติกุล[1,*] นันทวรรณ พิทักษ์พานิช[2] เทพฤทธิ์ รัตนปัญญากร[3]

[1,2,3] กองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย แขวงเสนานิคม เขตจตุจักร กรุงเทพมหานคร

**Corresponding author; E-mail address: titharadon@gmail.com*

บทคัดย่อ

จากปัญหาการเสื่อมสภาพของตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษเดิมที่ติดตั้งใช้งานบนทางพิเศษจึงเป็นที่มาของการพัฒนาและออกแบบต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ให้มีความทนทานต่อสภาพแวดล้อม แข็งแรงปลอดภัยและทันสมัย โดยการออกแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จะต้องคำนึงถึงการป้องกันกรณีการเกิดอุบัติเหตุต่าง ๆ ให้รอบด้าน จึงเป็นที่มาของการออกแบบจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ในบทความนี้ได้กล่าวถึงกรณีรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ (น้ำหนัก 15 ตัน) มีการเฉี่ยวชนในทิศทางที่ 0 องศา และ 45 องศาซึ่งเป็นองศาที่อาจเกิดการเฉี่ยวชนขึ้นจริงกับตู้เก็บค่าผ่านทาง เพื่อคำนวณหาจุดยึดที่มีความสามารถในการต้านทานแรงกระทำต่อการเฉี่ยวชน และหาลักษณะการเสียรูปของจุดยึดในองศาการเฉี่ยวชนดังกล่าวด้วยวิธี Finite Element ผ่านโปรแกรมการวิเคราะห์แบบจำลอง ซึ่งผลจากการวิเคราะห์แบบจำลองแสดงให้เห็นว่า สมรรถนะของจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ สามารถต้านทานแรงกระทำจากการเฉี่ยวชนที่องศาดังกล่าวได้อย่างมีประสิทธิภาพ และจากการเฉี่ยวชนจะเกิดแรงอัดที่ส่งผลต่อสลักเกลียวกับแผ่นเหล็กซึ่งทำให้เกิดการฉีกขยายของแผ่นเหล็กเพียงเล็กน้อยเท่านั้น

คำสำคัญ: การเฉี่ยวชน, จุดยึดติดตั้ง, ต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ

Abstract

A new version of toll booth was established because of the deteriorated of previously toll booth one. A new toll booth was designed for more resistance to the environment, strong, safely and modern. The toll booth design was concern



รูปที่ 1 อุบัติเหตุการเฉี่ยวชนตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จากรถบรรทุกขนาดใหญ่

ในการติดตั้งต้นแบบตู้ค่าผ่านทางจะต้องคำนึงถึงความแข็งแรง และความปลอดภัยของพนักงานจัดเก็บค่าผ่านทางฯ จึงมุ่งเน้นการออกแบบให้มีความมั่นคงแข็งแรง สามารถรองรับแรงการเฉี่ยวชนในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุบริเวณหน้าด่านได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยการจำลองวิเคราะห์สมรรถนะความแข็งแรงของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ และจุดยึดติดตั้งบริเวณฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทาง เพื่อประเมินประสิทธิภาพของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ และหาจุดที่อาจจะมีการวิบัติ หรือ บริเวณที่อาจมีความเสียหายของชิ้นส่วนโครงสร้างตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เกิดขึ้น เพื่อให้ตู้เก็บค่าผ่านทางฯ สามารถต้านทานแรงปะทะที่เกิดจากการเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นได้โดยปราศจากการสร้างความเสียหายในชีวิตและทรัพย์สินของพนักงานจัดเก็บค่าผ่านทางฯ

งานวิจัยนี้จะศึกษาการเฉี่ยวชนของรถบรรทุกขนาด 6 ล้อที่เฉี่ยวชนตู้เก็บค่าผ่านทางในแต่ละองศา เพื่อนำมาวิเคราะห์และออกแบบจุดยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ที่มีความแข็งแรงและเหมาะสมสำหรับนำไปใช้ยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ใช้งานจริงตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษที่สุด

2. วัตถุประสงค์และประโยชน์ที่จะได้รับ

2.1 วัตถุประสงค์

1) เพื่อศึกษาและออกแบบจุดยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ที่มีความมั่นคงแข็งแรง สามารถรองรับแรงกระแทกจากการเฉี่ยวชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2) เพื่อประเมินประสิทธิภาพของจุดยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ และหาจุดที่อาจจะมีการวิบัติ หรือ บริเวณที่อาจมีความเสียหายของชิ้นส่วนของจุดยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เกิดขึ้น

2.2 ประโยชน์ที่จะได้รับ

1) ได้วิธีการพิจารณาออกแบบจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ให้มีความมั่นคงแข็งแรง สามารถรองรับแรงกระทำจากการเฉี่ยวชนจากรถบรรทุกได้อย่างเพียงพอ

2) ช่วยลดความเสียหายจากการเกิดอุบัติเหตุจากการพลิกคว่ำหลุดออกจากฐานของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เนื่องจากการเฉี่ยวชนตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จากรถบรรทุก

3) รูปแบบของจุดยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ที่มีความมั่นคงแข็งแรง และเหมาะสำหรับนำไปใช้ยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ใช้งานจริง

3. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 การพิจารณาแรงกระทำจากการเฉี่ยวชนสำหรับวิเคราะห์สมรรถนะของชิ้นส่วนโครงสร้าง

จากการศึกษาแนวทางพิจารณาแรงกระทำสำหรับใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบจุดยึดติดตั้งฐานโครงสร้างตู้จัดเก็บค่าผ่านทางฯ ซึ่งมี 2 วิธีการคิดที่จะเสนอเพื่อพิจารณาแรงกระทำจากการเฉี่ยวชน ดังนี้

วิธีการคิดแบบที่ 1 จะพิจาณาจากแรงกระทำของยานพาหนะที่เคลื่อนที่เข้าชนกับกำแพงกันชน (Concrete Barrier) สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างรับแรงกระแทกจากการเฉี่ยวชนจะพิจารณาอยู่ในรูปแบบของแรงสถิตย์เทียบเท่า (Equivalent Static Design Force) Philip Terry และ Michael Tholen [1] ได้แนะนำให้ใช้สูตรพื้นฐานในการคำนวณแรงกระทำสำหรับออกแบบ (F) ดังสมการที่ (1)

$$F=ma \quad (1)$$

เมื่อ m คือ มวลของยานพาหนะที่พิจารณา (kg)
a คือ ค่าอัตราความหน่วงของยานพาหนะที่พิจารณา (m/s^2)

ในกรณีที่พิจารณาแรงกระทำตามมาตรฐาน AASHTO (1977) [2] ได้แนะนำหลักการคำนวณแรงกระทำจากข้อมูลที่ได้โดยการทดสอบการชนของยานพาหนะกับกำแพงกันชนคอนกรีต (Concrete Barriers) เพื่อพิจารณาหาค่าอัตราความหน่วงความเร็วสูงสุด (Maximum Deceleration) ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการคำนวณหาแรงกระทำสูงสุดที่เกิดขึ้นในขณะที่เกิดการชน ซึ่งค่าอัตราความหน่วงความเร็วสูงสุด (Maximum Deceleration) ที่เหมาะสมสำหรับช่วงที่ปลอดภัยต่อผู้ขับขี่ (Life Safety) คือระหว่าง 17.7 m/s^2 ถึง 135.3 m/s^2 หรือ ที่ช่วงความเร็ว 12.7 km/hr ถึง 97.5 km/hr โดยค่าแนะนำจะอยู่ที่ประมาณ 117.7 m/s^2 (12g) หรือที่ความเร็วประมาณ 23.54 m/s (85 km/hr) ภายในช่วงระยะเวลาที่เกิดการชนที่ 0.2 s

วิธีการคิดแบบที่ 2 มยผ.1321-61 [3] ได้แนะนำให้พิจารณาแรงกระทำสำหรับออกแบบอันเนื่องมาจากการเฉี่ยวชนของยานพาหนะปะทะกับราวกันตก จากการคำนวณตามหลักการของพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) ที่เกิดจากยานพาหนะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร ดังสมการที่ (2)

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

เมื่อ m คือ มวลของยานพาหนะที่พิจารณา (ton)
V คือ ความเร็วของยานพาหนะที่พิจารณาในขณะเคลื่อนที่เข้าชน (m/s)

โดยพลังงานจลน์ดังกล่าวจะสลายไปจากการยุบตัวของรถยนต์และจากการยุบตัวของราวกันตก ซึ่งจากกฎการอนุรักษ์พลังงาน (Energy Conservation Law) จะสามารถคำนวณแรงกระทำต่อกำแพงกันชนในแนวราบที่เป็นแรงกระทำที่สม่ำเสมอ (F) ดังสมการที่ (3)

$$F = \frac{0.5mv^2}{(\delta_c+\delta_b)} \qquad (3)$$

เมื่อ m คือ มวลของยานพาหนะที่พิจารณา (ton)
V คือ ความเร็วของยานพาหนะที่พิจารณาในขณะเคลื่อนที่เข้าชน (m/s)
δ_c คือ ค่าการยุบตัวของรถยนต์ (m)
δ_b คือ ค่าการยุบตัวของราวกันตกเมื่อมีการชนกระแทก (m)

การยุบตัวของยานพาหนะเมื่อเคลื่อนที่เข้าชนปะทะกับราวกันตกจะเกิดขึ้นในช่วงเสี้ยววินาที และจะเกิดการกระแทกย้อนกลับ ส่งผลทำให้ชิ้นส่วนของยานพานหนะเกิดการเสียรูป อาทิเช่น การงอ การบุบเข้าไปเป็นต้น ซึ่งค่าการยุบตัวนี้จะขึ้นกับวัสดุที่ใช้ในการผลิตยานพาหนะรุ่นต่างๆ โดยอ้างอิงตาม National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) ที่ได้ทำการทดสอบรถยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 56.32 km/hr กระแทกกับราวกันตก เพื่อวิเคราะห์หาค่าการยุบตัวที่เกิดจากการชนปะทะ ซึ่งจะใช้สมการในการคำนวณค่าประมาณการยุบตัวของรถยนต์(δ_c) ดังสมการที่ (4)

$$\delta_c = \frac{\sqrt{v}}{6.6}\delta_c \qquad (4)$$

เมื่อ V คือ ความเร็วของยานพาหนะในขณะชนปะทะ (m/s)

การพิจารณาการเสียรูปของโครงสร้างราวกันตกจะสามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ 1) การเสียรูปของโครงสร้างราวกันตกแบบชนิดแข็งเกร็ง ที่สามารถรับแรงชนปะทะที่รุนแรงสูงได้ โดยไม่เกิดการเสียรูป จึงไม่พิจารณาค่าการยุบตัวของราวกันตก (δ_b) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0 และ 2) การเสียรูปของโครงสร้างราวกันตกแบบชนิดยืดหยุ่น จะเกิดการเสียรูปหรือมีค่าการยุบตัวมาก ซึ่งสามารถพิจารณาค่าการเสียรูปของวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้าง (δ_b) ดังสมการที่ (5)

$$\delta_b = \frac{F}{k_b} \qquad (5)$$

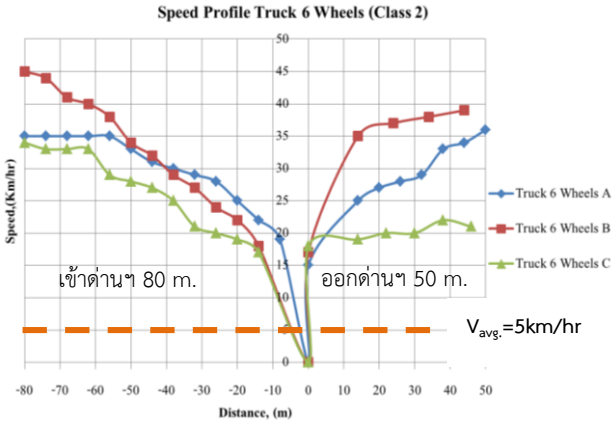
เมื่อ k_b คือ สติฟเนส (Stiffness) ของราวกันตก (N/m)
F คือ แรงกระแทกที่กระทำกับราวกันตกในแนวนอน (N)

3.2 ความเร็วที่ใช้ในการพิจาณาแรงกระทำจากการเฉี่ยวชนเพื่อวิเคราะห์ออกแบบจุดยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ

ในการวิเคราะห์หาแรงการเฉี่ยวชนเพื่อออกแบบยึดติดตั้งที่ฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ที่เหมาะสม จะต้องมาจากการเก็บข้อมูลความเร็วของรถบรรทุกที่เข้า – ออกจากหน้าด่านเก็บค่าผ่านทางฯ โดยการเก็บข้อมูลความเร็วแบบจุด (Spot Speed) ซึ่งเป็นการวัดความเร็วโดยตรงจากปืนตรวจจับความเร็ว (Speed Gun) หรือ ปืนเรดาร์ (Radar Gun) ณ บริเวณด่านฯ บางแก้ว 1 แสดงดังรูปที่ 2 เนื่องจากด่านฯ บางแก้ว 1 เป็นด่านฯ ที่มีปริมาณรถบรรทุกขนาดใหญ่มากที่สุดจึงเลือกที่จะเก็บข้อมูลความเร็วจากด่านฯ นี้ โดยเก็บข้อมูลความเร็วของรถบรรทุกในขณะเข้าด่านฯ (ที่ระยะ 80 เมตรจากตู้เก็บค่าผ่านทางฯ) และออกด่านฯ (ที่ระยะ 50 เมตรจากตู้เก็บค่าผ่านทางฯ) ทั้งหมด 3 ตัวอย่างที่แต่ละช่วงเวลาแสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 การเก็บข้อมูลความเร็วตัวอย่างรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ



รูปที่ 3 ข้อมูลความเร็วตัวอย่างรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ

ในการประเมินอัตราเร่งและอัตราหน่วงของความเร็วจะพิจารณาจากข้อมูลความเร็วของรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ ที่ได้ทำการเก็บข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที คำนวณหาความเร่งของความเร็วบนพื้นฐานของสมการอย่างง่ายด้วยวิธี Linear Regression ดังสมการที่ 6

$$V = U + at \quad (6)$$

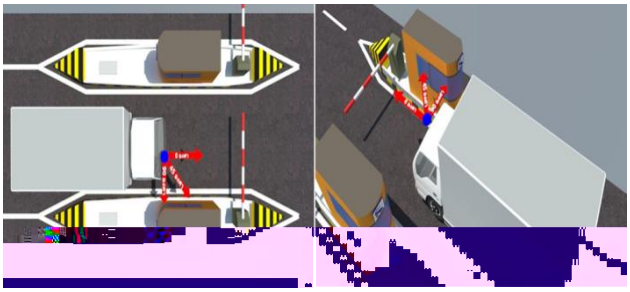
เมื่อ U คือ ความเร็วต้น (m/s)
V คือ ความเร็วปลาย (m/s)
a คือ ค่าอัตราความเร่ง (m/s^2)
t คือ ระยะเวลา (s)

การหาอัตราความเร่งและความหน่วงความเร็วได้จากการเก็บข้อมูลความเร็วตัวอย่างรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ ทั้ง 3 ตัวอย่าง ขณะเข้าด่านฯ และออกด่านฯ พบว่าความเร็วเฉลี่ยของรถบรรบรรทุกอยู่ที่ประมาณ 5 km/hr (1.38 m/s) เมื่อพิจารณาจำลองการเฉี่ยวชนของรถบรรทุกเกิดขึ้นภายในช่วงระยะเวลา 0.2 s จะมีค่าอัตราเร่งและอัตราหน่วงความเร็วประมาณ 6.9 m/s^2 (0.70g)

4. การวิเคราะห์และออกแบบจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ

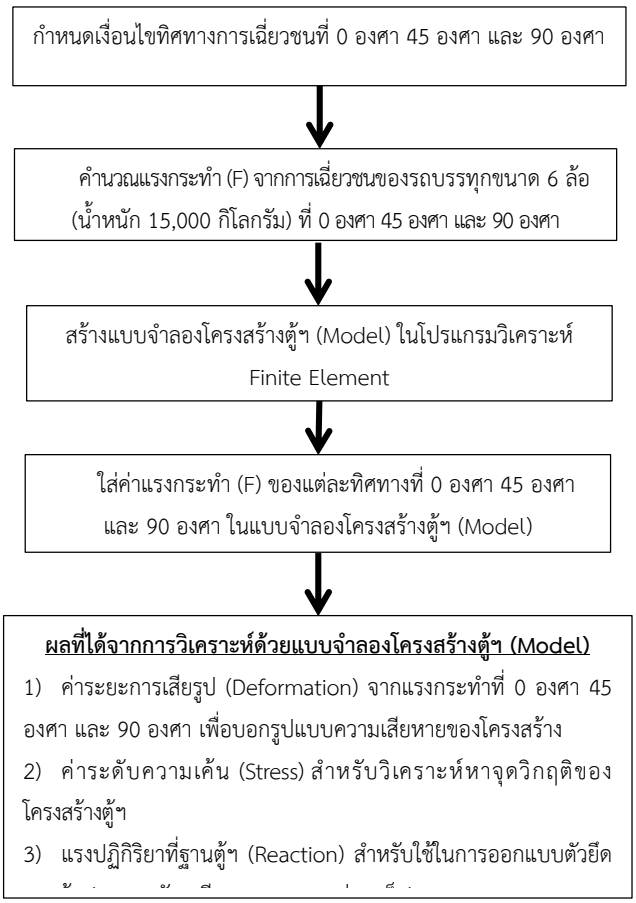
***4.1** การวิเคราะห์แรงกระทำจากการเฉี่ยวชนต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ*

เพื่อออกแบบหาขนาดตัวยึดต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จะคำนวณออกแบบจากการวิเคราะห์แบบจำลองด้วยวิธี Finite Element Analysis โดยจำลองแรงกระทำจากรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ น้ำหนัก 15 ตัน วิ่งชนด้วยความเร็ว 5 กิโลเมตรต่อชั่วโมง (1.38 เมตรต่อวินาที) โดยอ้างอิงตามมาตรฐาน BS EN 1317-3 [4] (Road Restraint Systems) จากการชนใน 3 ทิศทาง คือ 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 การจำลองการเฉี่ยวชนของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ

ขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง (Model) สำหรับวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5 แสดงขั้นตอนการสร้างแบบจำลอง (Model) สำหรับวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element

<u>กรณีที่ 1</u> แรงเฉี่ยวชนจากรถบรรทุกในทิศทาง 0 องศา ที่จะเป็นการเฉี่ยวชนจากรถบรรทุกที่มีการบรรทุกเกินขนาด โดยมีการบรรทุกสินค้ายื่นล้ำออกจากรถบรรทุกส่งผลทำให้เกิดการเฉี่ยวชนเข้ากับตู้เก็บค่าผ่านทางขึ้นในทิศทางดังกล่าวในขณะที่รถบรรทุกเคลื่อนที่ เข้า-ออก จากด่านฯ ซึ่งมีค่าแรงกระทำ F = 5 ตัน โดยกำหนดให้ระยะปลอดภัยการเสียรูปของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เท่ากับ 0.70 เมตร จะพิจารณาแรงจากการเฉี่ยวชนและการเคลื่อนที่เสียรูปของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ดังแสดงในรูปที่ 6 และรูปที่ 7

จาก พลังงานจลน์ (Dynamic Kinetic Energy) $E = \frac{1}{2}mv^2$

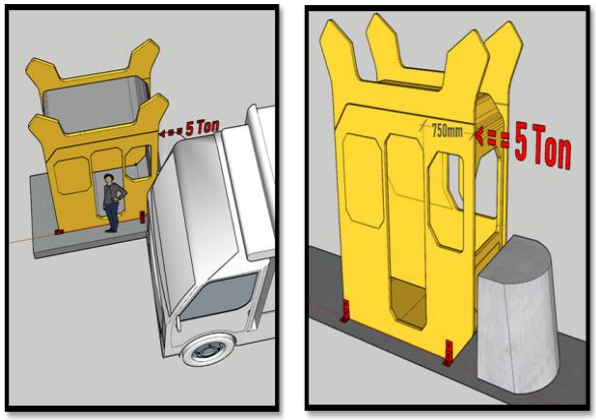
งาน (Work Done by Impact Force) $W = \frac{1}{2}Fs$

$E = W$

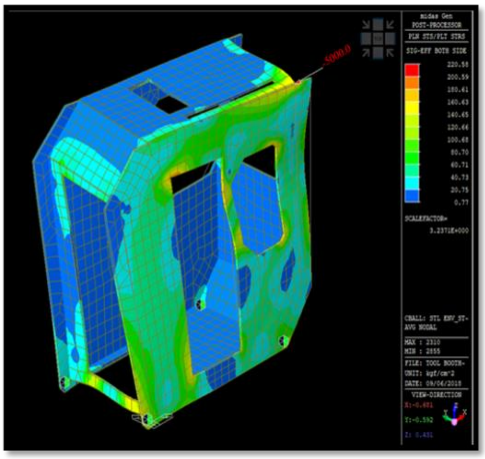
$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}Fs$$

$F = mv^2/s = (15{,}000)x(1.38^2)/0.7 = 40.8$ kN

F= 5 ton



รูปที่ 6 ลักษณะการเฉี่ยวชนของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ในทิศทาง 0 องศา



รูปที่ 7 แสดงการเสียรูปและตำแหน่งจุดวิกฤติของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จากการเฉี่ยวชนในทิศทาง 0 องศา

<u>กรณีที่ 2</u> แรงเฉี่ยวชนจากรถบรรทุกในทิศทาง 45 องศา มีค่าแรงกระทำ F = 3.54 ตัน โดยกำหนดให้ระยะปลอดภัยการเสียรูปของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เท่ากับ 0.76 เมตร จะพิจารณาแรงจากการเฉี่ยวชนและการคลี่นที่เสียรูปของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ดังแสดงในรูปที่ 8 และรูปที่ 9

จาก พลังงานจลน์ (Dynamic Kinetic Energy) $E = \frac{1}{2}mv^2$

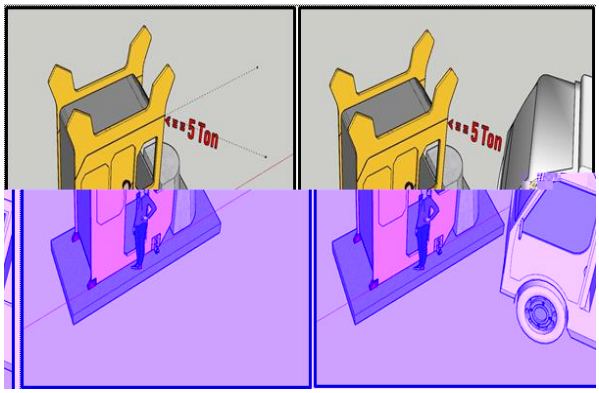
งาน (Work Done by Impact Force) $W = \frac{1}{2}Fs$

$E = W$

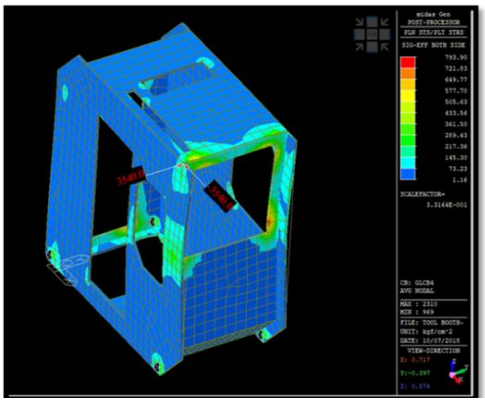
$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}Fs$$

$F = mv^2/s = [(15{,}000)x(1.38^2)/0.7]xCos(45°) = 28.86$ kN

F= 3.54 ton



รูปที่ 8 ลักษณะการเฉี่ยวชนของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ในทิศทาง 45 องศา



รูปที่ 9 แสดงการเสียรูปและตำแหน่งจุดวิกฤติของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จากการเฉี่ยวชนในทิศทาง 45 องศา

<u>กรณีที่ 3</u> แรงเฉี่ยวชนจากรถบรรทุกในทิศทาง 90 องศา มีค่าแรงกระทำ F = 10 ตัน โดยกำหนดให้ระยะปลอดภัยการเสียรูปของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เท่ากับ 0.30 เมตร ดังแสดงในรูปที่ 10

จาก พลังงานจลน์ (Dynamic Kinetic Energy) $E = \frac{1}{2}mv^2$

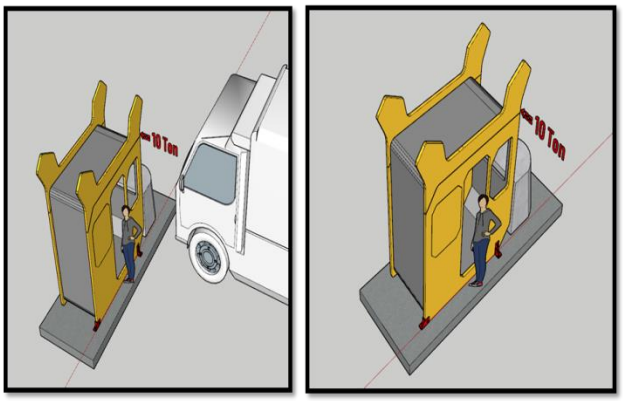
งาน (Work Done by Impact Force) $W = \frac{1}{2}Fs$

$E = W$

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{1}{2}Fs$$

$F = mv^2/s = (15{,}000)x(1.38^2)/0.3 = 95.3$ kN

F= 10 ton



รูปที่ 10 ลักษณะการเฉี่ยวชนของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ในทิศทาง 90 องศา

ผลจากการวิเคราะห์แรงการเฉี่ยวชน และการเคลื่อนที่เสียรูปของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ที่เกิดขึ้นจากการจำลองทิศทางการเฉี่ยวชนสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์แรงเฉี่ยวชนสำหรับออกแบบ และระยะการเคลื่อนที่เสียรูปของโครงสร้างต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ

กำหนดทิศทางการเฉี่ยวชน (องศา)	แรงเฉี่ยวชน (F) สำหรับวิเคราะห์ออกแบบโครงสร้างตู้ฯ (ตัน)	กำหนดระยะปลอดภัยของการเสียรูปสูงสุดที่ยอมให้ (เซนติเมตร)	ระยะการเสียรูปวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element (เซนติเมตร)	ค่าระดับความเค้นของตู้วิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)	ค่าแรงปฏิกิริยาที่ฐานตู้วิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element (ตัน)
0	5	70	7	0.77 - 220.58	3
45	3.54	76	46	1.16 – 793.90	3
90	10	30	30	ไม่มีการจำลองเนื่องจากมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย	ไม่มีการจำลองเนื่องจากมีโอกาสเกิดขึ้นน้อย

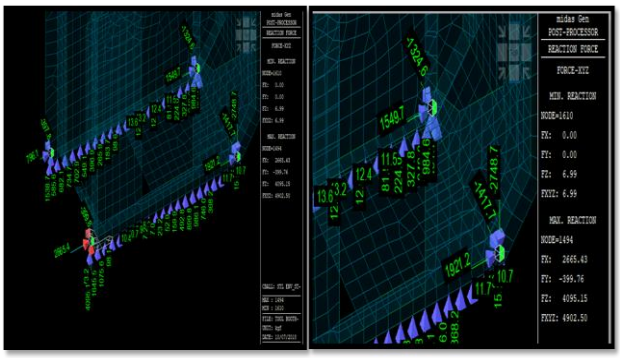
จากตารางแสดงทิศทางการเฉี่ยวชนทั้ง 3 ทิศทาง คือ 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา โดยตั้งสมมติฐานว่าใช้รถบรรทุกขนาด 6 ล้อ (น้ำหนัก 15 ตัน) การเฉี่ยวชนในทิศทาง 0 องศา เป็นการจำลองการเฉี่ยวชนที่รุนแรงน้อยที่สุดที่เกิดจากกรณีที่รถบรรทุกเกินขนาด โดยมีการบรรทุกสินค้ายื่นล้ำออกจากรถบรรทุกส่งผลทำให้เกิดการเฉี่ยวชนเข้ากับตู้เก็บค่าผ่านทาง พิเศษในขณะเข้า-ออก จากด่านฯ และมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากที่สุด ด้วยแรงกระทำ (F) ขนาด 5 ตัน พบว่าจะมีระยะการเสียรูป (Deformation) ของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เท่ากับ 7 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าค่าระยะปลอดภัยที่ยอมให้

การเฉี่ยวชนในทิศทาง 45 องศา ระยะการเสียรูป (Deformation) ของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เท่ากับ 46 เซนติเมตร ซึ่งน้อยกว่าค่าระยะปลอดภัยที่ยอมให้ แสดงว่าหากเกิดการเฉี่ยวชนที่ 0 และ 45 องศา พนักงานจัดเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ปฏิบัติงานภายในต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษจะไม่ได้รับอันตรายจากการเฉี่ยวชนจากรถบรรทุก

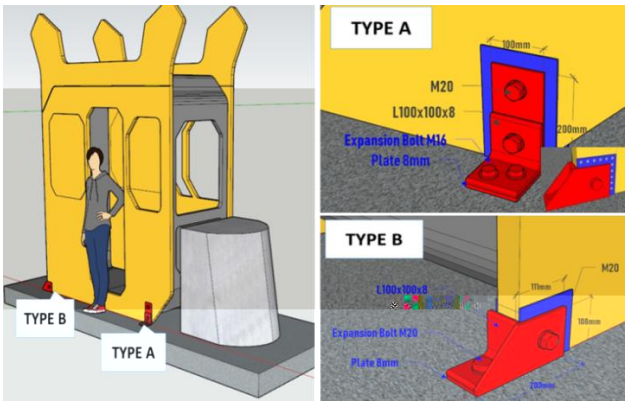
ในขณะที่ทิศทางการชนที่ 90 องศา เป็นการจำลองการชนที่รุนแรงที่สุดด้วยแรงกระทำ (F) ขนาด 10 ตัน ซึ่งมีโอกาสเกิดขึ้นน้อยที่สุด พบว่ามีระยะการเสียรูป (Deformation) ของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เท่ากับ 30 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ในค่าระยะปลอดภัยที่ยอมให้ โดยการชนที่ 90 องศานี้จะเหลือระยะปลอดภัยก่อนถึงตัวพนักงานจัดเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ปฏิบัติงานภายในต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ 30 เซนติเมตร ซึ่งจะไม่ได้รับอันตรายจากการเฉี่ยวชนจากรถบรรทุก

4.2 การวิเคราะห์ออกแบบจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ

ในการพิจารณาออกแบบขนาดของแผ่นเหล็กยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จะพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite Element Analysis ที่จำลองให้แรงกระทำจากการเฉี่ยวชนในแต่ละทิศทางกระทำต่อต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ พบว่าแรงปฏิกิริยาสูงสุดที่เกิดขึ้นที่ฐานของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จะมีค่าประมาณ 3 ตัน โดยจากการพิจารณาออกแบบการเจาะยึดติดตั้งของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จะทำการยึด 2 จุด คือ จุดที่ 1 ยึดส่วนหน้า (Type A) และจุดที่ 2 ยึดส่วนหลัง (Type B) โดยการยึดส่วนหน้าและส่วนหลังออกแบบใช้เหล็กฉาก L ขนาด 100x100x8 มิลลิเมตร และแผ่นเหล็ก (Steel Plate) ขนาดหนา 8 มิลลิเมตร เหล็กเกรด SS 400 มีหน่วยแรงคราก (fy) เท่ากับ 2,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งจะเจาะยึดด้วยสลักเกลียว (Expansion Bolt) 2 ขนาดในการเจาะยึดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ คือ ขนาด M16 และ M20 ที่เป็นสลักเกลียวชนิด A325 มีหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ (Ft) เท่ากับ 3,100 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 11 และ รูปที่ 12

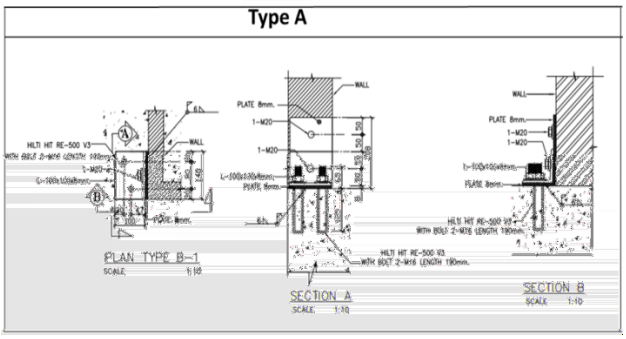


รูปที่ 11 แรงปฏิกิริยาที่ฐานตู้ฯ จากการวิเคราะห์แบบจำลองการเฉี่ยวชนสำหรับใช้ออกแบบขนาดเหล็กยึดฐานตู้เก็บค่าผ่านทางฯ

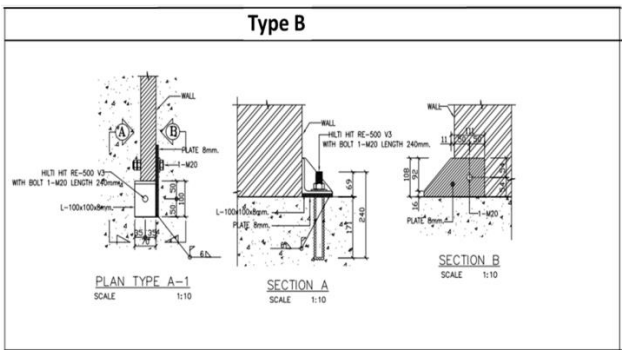


รูปที่ 12 ลักษณะการยึดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ของรูปแบบ Type A และรูปแบบ Type B

โดยมีรูปแบบรายละเอียดของชุดแผ่นเหล็กยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ และสลักเกลียว สำหรับใช้ในการยึดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ดังแสดงในรูปที่ 13 และรูปที่ 14



รูปที่ 13 ลักษณะและขนาดของเหล็กยึดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ รูปแบบ Type A



รูปที่ 14 ลักษณะและขนาดของเหล็กยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ รูปแบบ Type B

ในการเจาะยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เข้ากับพื้นปูนที่มีความลึกประมาณ 12.50 เซนติเมตร กรณียึดติดตั้งในรูปแบบ A และ 17 เซนติเมตร สำหรับกรณียึดติดตั้งในรูปแบบ B เพื่อใส่สลักเกลียวยึดติดเข้ากับฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ โดยใส่น้ำยาเจาะเสียบเหล็กอีพ็อกซี่ (HILTI HIT RE-500 V3) เพื่อช่วยยึดประสานระหว่างสลักเกลียวกับเนื้อปูนให้มีความยึดแน่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 15 และรูปที่ 16



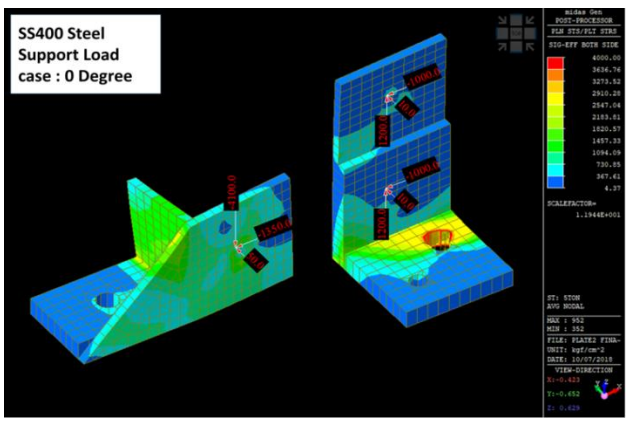
รูปที่ 15 การเจาะรูแผ่นพื้นคอนกรีตเพื่อใส่สลักเกลียวยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ (รูปแบบ A)



รูปที่ 16 การเจาะรูแผ่นพื้นคอนกรีตเพื่อใส่สลักเกลียวยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ (รูปแบบ B)

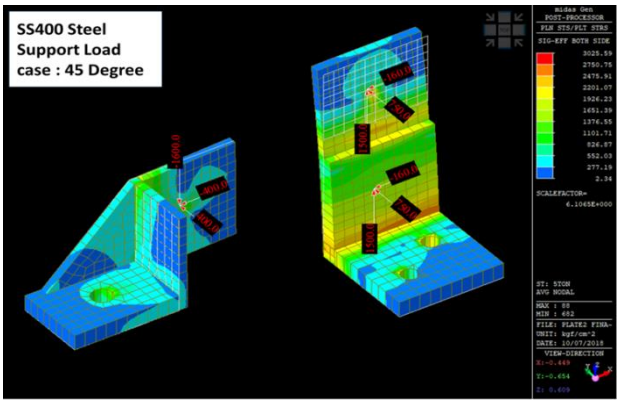
4.3 การประเมินสมรรถนะของจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษที่ออกแบบใช้งาน

ในการวิเคราะห์ออกแบบเหล็กยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ เกรด SS400 เพื่อพิจารณาค่าระดับความเค้น (Stress) สำหรับพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณเหล็กยึดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จากการวิเคราะห์จำลองแรงจากการเฉี่ยวชนของรถบรรทุก 6 ล้อ ขนาด 15 ตันที่กระทำในแต่ละทิศทาง ได้แก่ 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา ด้วยวิธี Finite Element Analysis ดังแสดงในรูปที่ 17 ถึง รูปที่ 19

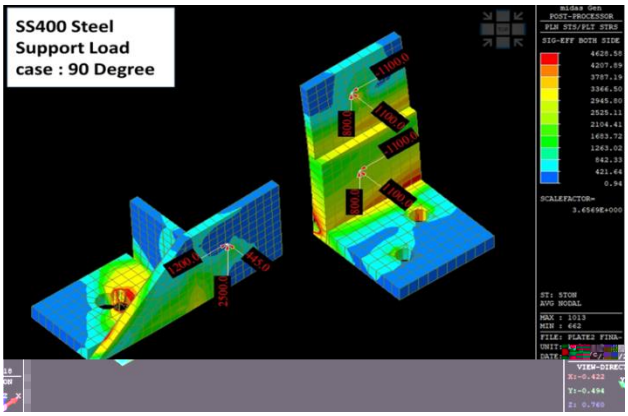


รูปที่ 17 ผลการวิเคราะห์ค่าระดับความเค้นสำหรับพิจารณาความเสียหายที่

เกิดขึ้นบริเวณแผ่นเหล็กยึดฐานตู้เก็บค่าผ่านทางฯ แรงกระทำในทิศทางการเฉี่ยวชน 0 องศา



รูปที่ 18 ผลการวิเคราะห์ค่าระดับความเค้นสำหรับพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณแผ่นเหล็กยึดฐานตู้เก็บค่าผ่านทางฯ แรงกระทำในทิศทางการเฉี่ยวชน 45 องศา



รูปที่ 19 ผลการวิเคราะห์ค่าระดับความเค้นสำหรับพิจารณาความเสียหายที่เกิดขึ้นบริเวณแผ่นเหล็กยึดฐานตู้เก็บค่าผ่านทางฯ แรงกระทำในทิศทางการเฉี่ยวชน 90 องศา

ผลจากการวิเคราะห์แผ่นเหล็กยึดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ โดยแบบจำลองแรงจากการเฉี่ยวชนของรถบรรทุกที่กระทำในแต่ละทิศทาง ได้แก่ 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา ด้วยวิธี Finite Element Analysis ชุดแผ่นเหล็กยึดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ที่ออกแบบมีความแข็งแรงเพียงพอสามารถรองรับแรงกระทำจากการเฉี่ยวชนที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยแผ่นเหล็กยึดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จะมีความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการฉีกขาดของรูเจาะยึดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น ซึ่งหมายความว่าหากมีการเฉี่ยวชนจากรถบรรทุกเกิดขึ้นพนักงานจัดเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ปฏิบัติงานภายในต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษจะไม่ได้รับอันตรายจากการเฉี่ยวชนจากรถบรรทุก โดยที่ต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษจะไม่เกิดการพลิกคว่ำของตู้หลุดออกจากฐาน

5. บทสรุป

จากการออกแบบจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ โดยจำลองออกแบบจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ภายใต้แรงกระทำจากการเฉี่ยวชนจากรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ (น้ำหนัก 15 ตัน) กระทำที่ฐานยึดต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ด้วยแรง 3 ตัน ในทิศทางการเฉี่ยวชนที่ 0 องศา 45 องศา และ 90 องศา แบ่งการออกแบบเป็น 2 รูปแบบ ประกอบด้วย 1) ชุดเหล็กแบบ Type A สำหรับยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ในส่วนหน้าด้วยสลักเกลียวขนาด M16 และชุดเหล็กแบบ 2) ชุดเหล็กแบบ Type B สำหรับยึดติดฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ส่วนหลังด้วยสลักเกลียวขนาด M20 ซึ่งทั้ง 2 รูปแบบจะออกแบบใช้เหล็กฉากขนาด L-100x100x8 mm. เมื่อประเมินสมรรถนะของจุดยึดติดตั้งฐานต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ที่ได้ออกแบบโดยประเมินผ่านแบบจำลอง ภายใต้การวิเคราะห์ทาง Finite Element พบว่าจุดยึดติดตั้งนี้จะสามารถต้านทานแรงกระทำสูงสุดจากการเฉี่ยวชนได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความเสียหายที่เกิดขึ้นจากการฉีกขาดของรูเจาะยึดเพียงเล็กน้อยเท่านั้น นั่นคือหากเกิดเหตุการณ์รถบรรทุกเฉี่ยวชนต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ จะปราศจากความเสียหายเนื่องจากการพลิกคว่ำหลุดออกจากฐานของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางฯ ในขณะที่ความเสียหายของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษภายใต้จุดยึดติดตั้งฐานตู้ฯ ที่ได้พิจารณาออกแบบจะช่วยลดความเสียหายที่เกิดขึ้นกับต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ กล่าวคือ มีค่าระยะการเสียรูป (Deformation) ของต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษไม่เกินค่าระยะปลอดภัยที่ยอมให้เมื่อมีการเฉี่ยวชนจากรถบรรทุก โดยพนักงานจัดเก็บค่าผ่านทางฯ ที่ปฏิบัติงานอยู่ภายในต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษจะไม่ได้รับอันตราย และต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษจะไม่เกิดการพลิกคว่ำของตู้หลุดออกจากฐาน

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัท เอสซีจี เคมิคอลส์ จำกัด ที่ได้ให้ความร่วมมือในด้านการวิจัยและพัฒนาต้นแบบตู้เก็บค่าผ่านทางพิเศษ และเจ้าหน้าที่พนักงานกองวิจัยและพัฒนา การทางพิเศษแห่งประเทศไทย และผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้คำปรึกษา เสียสละเวลาอันมีค่าช่วยเหลือให้การศึกษาวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงตามวัตถุประสงค์

เอกสารอ้างอิง

[1] Terry, P., and Tholen, M. (2006). Security barrier design. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 11(2), pp. 105-111.

[2] AASHTO, (1997). Guide for Selecting, Locating, and Designing Traffic Barriers, GTB-1. American Association of Highway Officials. Washington, D.C.

[3] กรมโยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย (2561). มาตรฐานการออกแบบราวกันตกในอาคารจอดรถยนต์, มยผ.1321-61, ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ, หน้า 3-15

[4] BS EN 1317-3, (2010). Road restraint systems - Part3 : Performance Classes, impact test acceptance criteria and test methods for crash cushions, British standard. UK.