กรมการขนส่งทางราง
Department of Rail Transport

มขร. – R – 005 -2566

ข้อกำหนดสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนในรถขนส่งทางราง
(Crashworthiness requirements for rail vehicles)

กองมาตรฐานความปลอดภัยและบำรุงทาง

514/1 Lan Luang Road, Dusit, Bangkok, Thailand 10300
http://www.drt.go.th/
Facebook/DRT.OfficialFanpage

รายนามคณะกรรมการจัดทำมาตรฐานการขนส่งทางราง

คณะกรรมการ

๑.	นายพิเชฐ คุณาธรรมรักษ์ กรมการขนส่งทางราง	ประธานกรรมการ
๒.	นายอธิภู จิตรานุเคราะห์ กรมการขนส่งทางราง	รองประธานกรรมการ
๓.	นายพุฒิพงศ์ คงเจริญ สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	กรรมการ
๔.	นายมนต์ชัย ชุ่มอินทรจักร์ สำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร	กรรมการ
๕.	นายอภิชาติ พันธ์สุโต การรถไฟแห่งประเทศไทย	กรรมการ
๖.	นายสุพพัต พิพัฒนกุล การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	กรรมการ
๗.	นายเจษฎา อุปโยคิน บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด	กรรมการ
๘.	นายภณสินธุ์ ไพทีกุล สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	กรรมการ
๙.	นายสุธี โอฬารฤทธินันท์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	
๑๐.	นายวิรุณ เล้าพรพิชยานุวัฒน์ สถาบันมาตรวิทยาแห่งชาติ	กรรมการ
๑๑.	นายสราวุธ กาญจนพิมาย สมาคมสถาปนิกสยาม ในพระบรมราชูปถัมภ์	กรรมการ
๑๒.	นายประจักษ์ ทรัพย์มณี สภาอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย	
๑๓.	นายทินกฤต สุขสงวน บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	กรรมการ
๑๔.	นายหลักฐาน ทองนพคุณ บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	กรรมการ
๑๕.	นางสาวณัฐสุดา กองศร สมาคมวิศวกรที่ปรึกษาแห่งประเทศไทย	กรรมการ
๑๖.	นายทยากร จันทรางศุ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และเลขานุการ
๑๗.	นางสาวอนาอีส อารีย์ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

๑๘.	นายยรรยงค์ ยิ้มแย้ม กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ
๑๙.	นายพงศธร ศิริจันทร์เพ็ญ กรมการขนส่งทางราง	กรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

****

รายนามคณะอนุกรรมการจัดทำมาตรฐานด้านเครื่องกลและตัวรถขนส่งทางราง

คณะอนุกรรมการ

๑.	นายอธิภู จิตรานุเคราะห์ กรมการขนส่งทางราง	ประธานอนุกรรมการ
๒.	นายวิฑูรย์ บุญเฟื่องฟู การรถไฟแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
๓.	นายสุพพัต พิพัฒนกุล การรถไฟฟ้าขนส่งมวลชนแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
๔.	นายธนา ภู่เผือกรัตน์ บริษัท ท่าอากาศยานไทย จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
๕.	นางสาวพัชริญา เพชรผ่อง สถาบันวิจัยและพัฒนาเทคโนโลยีระบบราง (องค์การมหาชน)	อนุกรรมการ
๖.	นายเจษฎา อุปโยคิน บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด	อนุกรรมการ
๗.	นายหลักฐาน ทองนพคุณ บริษัท ทางด่วนและรถไฟฟ้ากรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
๘.	นายวรรณวุฒิ วรรณสนิท บริษัท ระบบขนส่งมวลชนกรุงเทพ จำกัด (มหาชน)	อนุกรรมการ
๙.	นายธีรพล ด่านวิริยะกุล บริษัท เอเชีย เอรา วัน จำกัด	อนุกรรมการ
๑๐.	นายบุญพงษ์ กิจวัฒนาชัย วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์	อนุกรรมการ
๑๑.	นายอาณัติ หาทรัพย์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย	อนุกรรมการ
๑๒.	นายเอกรัตน์ ไวยนิตย์ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ	อนุกรรมการ
๑๓.	นายจักรกฤษณ์ คล้ายปักษี กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และเลขานุการ
๑๔.	นางสาวอนาอีส อารีย์ กรมการขนส่งทางราง	อนุกรรมการ และผู้ช่วยเลขานุการ

****

มขร – R – 005 – 2566
ข้อกำหนดสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนในรถขนส่งทางราง
(Crashworthiness requirements for rail vehicles)

1 ทั่วไป

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 มาตรฐานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อแสดงถึงข้อกำหนดระบบความปลอดภัยเชิงแก้ไข (passive safety) ในการลดผลกระทบที่เกิดจากเหตุการณ์ชนกันของรถขนส่งทางราง มีจุดมุ่งหมายเพื่อลดความรุนแรงของการเกิดข้อผิดพลาดในระบบความปลอดภัย (active safety) และแสดงถึงกรอบการพิจารณาเงื่อนไขการชนที่ตัวรถขนส่งทางรางถูกออกแบบให้สามารถทนได้ โดยคำนึงถึงการชนทั่วไปและความเสี่ยงที่เกี่ยวข้อง

1.1.2 มาตรฐานฉบับนี้รวมมาตรฐานความแข็งแรงพื้นฐาน EN 12663-1:2010+A1:2014 โดยมีข้อกำหนดระบบความปลอดภัยเชิงแก้ไขของโครงสร้างเพิ่มเติม เพื่อยกระดับความปลอดภัยของผู้โดยสารในกรณีที่เกิดการชนกัน โดยคำนึงถึงความสมบูรณ์ของตัวรถ การลดความเสี่ยงในการเกิดการเกยกัน (overriding) และขีดจำกัดการหน่วงความเร็ว (deceleration)

อย่างไรก็ตาม การป้องกันในมาตรฐานนี้ไม่รวมถึงความสัมพันธ์ระหว่างผู้โดยสารและตัวรถภายในหรือบุคคลภายนอกที่อยู่ในรถคันอื่น

1.2 ขอบเขต

มาตรฐานฉบับนี้ระบุข้อกำหนดสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนที่ใช้สำหรับการออกแบบใหม่ดังนี้

1. หัวรถจักร (locomotive)

2. รถขนส่งทางรางที่ใช้นำขบวน (driving vehicles) รถไฟโดยสาร (passenger trains) และรถไฟบรรทุกสินค้า (freight trains)

3. รถขนส่งทางรางที่ใช้สำหรับขนส่งผู้โดยสาร เช่น รถราง (tram) รถไฟใต้ดิน (metro) รถไฟสายหลัก (mainline train)

มาตรฐานฉบับนี้ได้ระบุสิ่งกีดขวางอ้างอิง (reference obstacle) สำหรับการใช้ในสภาวะการชน (design collision scenarios) รวมถึงระบุข้อกำหนดและวิธีการบรรลุวัตถุประสงค์ของระบบความปลอดภัยเชิงแก้ไข โดยการเปรียบเทียบกับการออกแบบเดิมที่ผ่านการพิสูจน์ การจำลองทางคณิตศาสตร์ (numerical simulation) การทดสอบส่วนประกอบหรือการทดสอบขนาดเต็ม (component or full-size tests) หรือโดยการรวมกันของทุกวิธีที่ได้กล่าวมา

1.3 เอกสารอ้างอิง

1.3.1 EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

1.3.2 EN 12663-1:2010+A1:2014, Railway applications – Structural requirements of railway vehicle bodies – Part 1: Locomotives and passenger rolling stock (and alternative method for freight wagons)

1.3.3 EN 15663:2017+A1:2018, Railway applications – Vehicle reference masses

1.3.4 prEN 17343:2019, Railway applications – General terms and definitions

1.4 นิยาม

ระบบความปลอดภัยเชิงป้องกัน (active safety) คือ ระบบและมาตรการซึ่งมีการดำเนินการเพื่อป้องกันการเกิดการชน

มวลการชน (collision mass) คือ มวลยังผลหรือมวลรวมของรถขนส่งทางราง (effective vehicle mass) ใช้สำหรับการจำลองการชน

ความเร็วการชน (collision speed) v_C คือ ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างตัวรถไฟกับสิ่งกีดขวางในขณะที่เริ่มชน

สมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน (crashworthiness) คือ ความสามารถในการลดผลที่เกิดจากการชนในลักษณะภายใต้การควบคุม รวมถึงลดความเสี่ยงในการเกิดอันตรายต่อผู้โดยสาร

ส่วนรับแรงกระแทก (crumple zone) คือ ส่วนของตัวรถ (โดยส่วนมากจะเป็นช่วงหัวและท้ายคันรถ) ซึ่งถูกออกแบบมาเพื่อตั้งใจให้เกิดการยุบตัวในลักษณะภายใต้การควบคุม รวมถึงดูดซับพลังงานจากการชน

สภาวะการชน (design collision scenario) คือ สภาวะรูปแบบการชนที่ใช้สำหรับการออกแบบและการประเมิน

อุปกรณ์ดูดซับพลังงาน (energy-absorbing device) คือ อุปกรณ์ที่ติดตั้งไว้กับโครงสร้างของรถขนส่งทางราง ซึ่งถูกออกแบบเพื่อให้เกิดการยุบตัวในลักษณะภายใต้การควบคุม รวมถึงดูดซับพลังงาน

การทดสอบขนาดเต็ม (full-size test) คือ การทดสอบที่ชิ้นงานทดสอบนำมาจากส่วนประกอบขนาดจริงของรถขนส่งทางรางเฉพาะส่วนที่ใช้ในการประเมิน

ขอพ่วงสำหรับงานหนัก (heavy duty coupler) คือ ข้อต่อสำหรับเชื่อมระหว่างคัน (centre couplers) ซึ่งมีความสอดคล้องกับหลักการของ Willison หรือ Janney เช่น ขอพ่วงแบบ SA3 (Willison) ขอพ่วงแบบ AAR (Janney)

หัวขบวนรถ (leading end) คือ ด้านปลายของรถขนส่งทางรางที่นำขบวนการเดินรถในรูปแบบปกติได้

ความเร็วทางตัดผ่านเสมอระดับ (level crossing speed) v_{LC} คือ ความเร็วของรถไฟที่วิ่งตัดผ่านถนน

ชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟ (lifeguard) คือ โครงสร้างชิ้นส่วนที่อยู่ด้านหน้าของล้อเพื่อป้องกันสิ่งกีดขวางขนาดเล็กผ่านระหว่างล้อและราง

อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (obstacle deflector) คือ อุปกรณ์ที่ถูกติดตั้งไว้ที่หัวขบวนรถของรถขนส่งทางรางเพื่อลดการปะทะของสิ่งกีดขวางบนทางราง

ระบบความปลอดภัยเชิงแก้ไข (passive safety) คือ ระบบและมาตรการในลักษณะการออกแบบโครงสร้างเพื่อลดผลกระทบจากการชน

พื้นที่ปลอดภัย (survival space) คือ พื้นที่สำหรับผู้โดยสารและพนักงานภายในรถไฟ ในสภาวะการชน (design collision scenario)

รถไฟอ้างอิง (reference train) คือ รูปแบบการจัดวางขบวนรถไฟที่ใช้ในการประเมินและการตรวจสอบของหัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลัง (power head) รถคุมขบวน (driving trailer) และตู้โดยสาร (coach) ซึ่งไม่ได้อยู่ในลักษณะของชุดขบวนรถ (train set)

2 การออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนในตัวรถ

2.1 หลักการออกแบบทั่วไป

เนื่องด้วยความเสี่ยงในการเกิดการชนถูกควบคุมโดยระบบความปลอดภัยเชิงป้องกัน (active safety) นั้น มีความปลอดภัยไม่เพียงพอและไม่ครอบคลุมในบางสถานการณ์ สมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนในตัวรถ (structural crashworthiness) จึงเป็นส่วนหนึ่งของระบบความปลอดภัยเชิงแก้ไข (passive safety) ที่ช่วยลดผลกระทบจากการเกิดอุบัติเหตุ

อย่างไรก็ตาม การออกแบบโครงสร้างตัวรถนี้ไม่สามารถป้องกันผู้โดยสารจากทุกความเป็นไปได้ของการเกิดอุบัติเหตุหรือรูปแบบการจัดขบวนของตัวรถที่มีการออกแบบตามมาตรฐานและไม่มีการออกแบบตามมาตรฐานฉบับนี้

สำหรับระบบควบคุมรถขนส่งทางราง (train control system) ที่แยกออกจากระบบจราจรบนถนนหรือมีการทำงานของระบบอาณัติสัญญาณที่แยกออกจากโครงสร้างพื้นฐานสิ่งก่อสร้าง เช่น ไม่มีทางตัดผ่านเสมอระดับ (level crossing) สามารถปฏิบัติตามข้อกำหนดตามย่อหน้าถัดไป

สภาวะการชนและปัจจัยที่เหมาะสมในการออกแบบถูกระบุไว้ในหัวข้อ 3.3 และภาคผนวก ก แสดงข้อมูลเพิ่มเติมถึงแหล่งที่มาของสภาวะการชนนั้น รวมถึงได้อธิบายวิธีการดำเนินการและสภาวะที่จำเป็นต่อการแก้ไขหรือดัดแปลง ในกรณีที่เงื่อนไขสภาวะการชนนั้นไม่สามารถเกิดขึ้นได้หรือหากมีหลักฐานว่าความเสี่ยงอยู่ในเกณฑ์ระดับต่ำที่ยอมรับได้ สามารถละเว้นการพิจารณาในส่วนของสภาวะการชนนี้ได้ ทั้งนี้ เงื่อนไขนี้จำเป็นต้องมีการระบุอยู่ในคุณสมบัติของตัวรถ (vehicle specification) นั้น ๆ

ในกรณีที่มีความเสี่ยงในการชนลักษณะเฉพาะซึ่งไม่ได้ระบุไว้ในสภาวะการชนของมาตรฐานนี้ จำเป็นต้องพิจารณาในส่วนของสภาวะการชนเพิ่มเติมที่ระบุอยู่ในคุณสมบัติของตัวรถนั้น ๆ

ข้อกำหนดมาตรฐานฉบับนี้ใช้กับตัวรถและส่วนประกอบทางกลที่เกี่ยวข้อง ซึ่งใช้ในการดูดซับพลังงานจากการชน เช่น ขอพ่วง (couplers) ข้อต่อส่งแรง (drawgear) และระบบกันชน (buffer systems) แต่ไม่รวมถึงความปลอดภัยของประตู หน้าต่าง ระบบส่วนประกอบย่อยหรือลักษณะภายในตัวรถ ยกเว้นส่วนที่มีความเกี่ยวข้องกับการคงสภาพพื้นที่ปลอดภัย (survival space)

ทั้งนี้ กำหนดให้โครงสร้างขบวนรถไฟโดยสาร (passenger train) ที่ออกแบบขึ้นมาใหม่มีความสอดคล้องกับมาตรฐานฉบับนี้

2.2 วัตถุประสงค์ของการออกแบบ

เพื่อเป็นการป้องกันผู้โดยสารบนรถขนส่งทางรางในกรณีที่เกิดเหตุการณ์การชนกัน มีข้อกำหนดที่คำนึงถึงจุดประสงค์ ดังนี้

1. การดูดซับพลังงานจากการชนอยู่ในลักษณะภายใต้การควบคุม
2. การลดความเสี่ยงของการเกยกัน (overriding)
3. การคงสภาพพื้นที่ปลอดภัยและความสมบูรณ์ของโครงสร้างพื้นที่ใช้งาน (occupied area)
4. ขีดจำกัดการหน่วงความเร็ว
5. การลดความเสี่ยงของการตกราง (derailment) และผลกระทบที่เกิดจากการกระแทกกับสิ่งกีดขวางทางราง

โดยที่ข้อกำหนดจำเพาะและเกณฑ์การประเมินเพื่อแสดงถึงวัตถุประสงค์ที่กล่าวมานี้ระบุอยู่ในหัวข้อที่ 3 4 และ 5 ตามรายละเอียดหัวข้อ 2.3

ผลพลอยได้ในการป้องกันผู้โดยสารนี้ยังสามารถลดระดับการเกิดความเสียหายต่อตัวรถในอุบัติเหตุ หากมีข้อจำกัดเพิ่มเติมสำหรับความเสียหายที่เกิดจากสภาวะการชนที่ระบุไว้ในหัวข้อที่ 3 จำเป็นต้องระบุอยู่ในคุณสมบัติของตัวรถ ซึ่งไม่จำเป็นต้องอยู่ในข้อกำหนดความปลอดภัยในมาตรฐานฉบับนี้

2.3 ขั้นตอนการประเมินการออกแบบ

กระบวนการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนสำหรับรถขนส่งทางรางที่ออกแบบใหม่มีดังนี้

2.3.1 การจำแนกประเภทของการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน ตามรายละเอียดหัวข้อ 3.1

2.3.2 การพิจารณาวิธีการประเมินตัวรถไฟที่เกี่ยวข้อง ตามรายละเอียดหัวข้อ 3.2 และภาคผนวก ง และการพิจารณาสภาวะการชนทางปฏิบัติ ตามรายละเอียดหัวข้อ 3.3 และ 3.4 หากในกรณีที่เป็นสภาวะการชนที่ไม่ได้รับรองมาตรฐาน ควรอ้างอิงวิธีการและปรับตามความเหมาะสมตามรายละเอียดของภาคผนวก ก

2.3.3 การตรวจสอบการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน ตามรายละเอียดหัวข้อ 5 และภาคผนวก ข

2.3.4 การประเมินสภาวะการชนทางปฏิบัติที่เป็นไปตามเกณฑ์การออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน ตามรายละเอียดหัวข้อ 3.4 หัวข้อ 4 และภาคผนวก ค

3 ข้อกำหนดการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน

3.1 ประเภทของการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนในรถขนส่งทางราง

มาตรฐานฉบับนี้จำแนกประเภทตัวรถขนส่งทางรางไว้ในประเภทของการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน โดยขึ้นอยู่กับลักษณะเฉพาะของโครงสร้างพื้นฐานเครือข่ายรถไฟและรูปแบบของการเดินรถ การจำแนกประเภทเหล่านี้ต้องถูกระบุไว้ในคุณสมบัติของตัวรถด้วย

รถขนส่งทางรางตามมาตรฐานฉบับนี้แบ่งได้เป็น 4 ประเภทตามตารางที่ 1 พร้อมกับคำชี้แจงรูปแบบการเดินรถและชนิดของรถไฟที่เกี่ยวข้องโดยทั่วไปในแต่ละประเภท

ตารางที่ 1 ประเภทการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนในรถขนส่งทางราง

ประเภท	นิยาม	ตัวอย่างชนิดของรถไฟ
C-I	รถขนส่งทางราง (ยกเว้นรถขนส่งทางรางในเมือง (urban vehicles) และรถราง (trams)) ซึ่งถูกออกแบบเพื่อเดินรถระหว่างประเทศหรือระดับภูมิภาค	หัวรถจักร ตู้โดยสาร (coaches) และขบวนรถไฟ
C-II	รถขนส่งทางรางในเมือง ซึ่งถูกออกแบบไว้ใช้ในเครือข่ายรถไฟโดยเฉพาะ ที่ไม่มีทางตัดผ่านเสมอระดับ (level crossing) และไม่มีการเชื่อมต่อกับการจราจรบนถนน	รถไฟขนส่งมวลชน (metro vehicles)
C-III	รถขนส่งทางรางซึ่งถูกออกแบบเพื่อเดินรถในตัวเมืองและ/หรือใช้ในระดับภูมิภาค (regional networks) ระบบการเดินรถที่ใช้รางร่วม (track-sharing operation) และมีการเชื่อมต่อกับการจราจรบนถนน	รถไฟกึ่งรถราง (Tram-trains) รถรางชานเมือง (peri-urban trams)
C-IV	รถราง (Trams)	

3.2 วิธีการประเมินตัวรถขนส่งทางราง

3.2.1 วิธีการประเมินขบวนรถขนส่งทางราง (complete train set method)

วิธีนี้ใช้ในการประเมินรถขนส่งทางรางที่อยู่ในรูปแบบชุดขบวน เช่น ขบวนรถไฟ รถไฟฟ้า และขบวนรถที่สามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตนเอง (multiple train)

1) การประเมินขบวนรถที่มีโครงสร้างตัวรถแตกต่างกันที่ปลายขบวนแต่ละด้าน ให้พิจารณาการชนที่ปลายทั้งสองด้าน สำหรับการปะทะระหว่างขบวนรถที่มีรูปแบบเดียวกัน 2 ขบวน ให้พิจารณาเฉพาะปลายขบวนที่ชนทั้ง 2 ด้านเท่านั้น

2) การประเมินขบวนรถที่มีการเดินรถในทิศทางเดียวและมีโครงสร้างตัวรถแตกต่างกันที่ปลายแต่ละด้าน ให้พิจารณาการชนด้านหน้า (head-on collision impacts) และการชนด้านหลัง (rear-on collision) ของหัวขบวนรถ (leading ends)

3) การประเมินขบวนรถที่สามารถประกอบและใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ของโครงสร้างได้ ให้พิจารณาขบวนรถที่สั้นและยาวที่สุด เช่น ขบวนรถสามารถกำหนดให้จัดได้ 4 ถึง 8 คัน ในรูปแบบการจัดขบวนรถที่มีความยาวขบวน 4 คันและ 8 คันจะได้รับการประเมิน

4) การประเมินขบวนรถที่สามารถต่อพ่วงได้ตั้งแต่ 2 ขบวนขึ้นไป ให้ประเมินเพียงขบวนเดียว ทั้งนี้ หากขบวนรถที่มีระบบขอพ่วงแบบยืดหดหรือพับได้ (retractable or foldable coupler systems) ต้องประเมินขบวนรถ 2 ขบวนนั้น

หมายเหตุ ในกรณีที่เกิดเหตุการณ์ชนกัน อุปกรณ์ดูดซับพลังงาน (energy absorbtion device) ของขอพ่วงจะกระจายการดูดซับพลังงานไปยังหัวขบวนรถของแต่ละขบวนที่มีระบบขอพ่วงแบบยืดหดและพับได้ ดังนั้นพฤติกรรมของขอพ่วงบริเวณที่กึ่งกลางด้านปลาย (intermediate ends) ในขณะการชนของขบวนรถ 2 ขบวนขึ้นไป จึงสามารถแสดงพฤติกรรมได้จากการประเมินขบวนรถ 2 ขบวนนี้

5) การประเมินขบวนรถที่ถูกออกแบบให้ต่อพ่วง 2 ขบวนขึ้นไปเป็นประจำ ให้พิจารณาจำนวนขบวนรถไฟขั้นต่ำในการจัดขบวนนั้น ๆ

ขบวนรถบางขบวนไม่มีตู้ควบคุมการเดินรถ (control cab) เพื่อนำรถไฟที่ปลายขบวนทั้งสอง เช่น มีการควบคุมผ่านแผงควบคุม (panel) สำหรับเขตการสับเปลี่ยน (shunting) แต่ขบวนรถนี้มีจุดประสงค์ในการเดินรถทั้งสองทิศทาง ดังนั้นระบบการควบคุมการเดินรถดังกล่าวจะมีตู้ควบคุมประจำอยู่ขั้นต่ำที่ปลายแต่ละด้าน

3.2.2 วิธีการประเมินตามรถไฟอ้างอิง (reference train method)

วิธีนี้ใช้ในการประเมินหัวรถจักร (locomotives) หัวรถจ่ายกำลัง (power heads) รถคุมขบวน (driving trailers) และตู้โดยสาร ซึ่งมีการใช้กับการจัดขบวนผสมภายในขบวนรถไฟ สำหรับการประเมินตามรถไฟอ้างอิงนี้และข้อกำหนดการประเมินของรถไฟชนิดต่าง ๆ ระบุตามรายละเอียดภาคผนวก ง

3.2.3 สรุปวิธีการประเมินตัวรถขนส่งทางราง

วิธีการประเมินตัวรถที่อ้างอิงตามรายละเอียดภาคผนวก ง ระบุดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชนิดของรถไฟและวิธีการประเมินตัวรถ

ชนิดของรถไฟ	วิธีในการประเมิน
ขบวนรถไฟ (train sets) รถไฟฟ้า และขบวนรถที่สามารถขับเคลื่อนได้ด้วยตนเอง (railcars)	วิธีการประเมินขบวนรถขนส่งทางราง (complete train set method)
หัวรถจักร	วิธีการประเมินตามรถไฟอ้างอิง (reference train method) ตามรายละเอียดภาคผนวก ง.2
หัวรถจ่ายกำลังและรถคุมขบวน	วิธีการประเมินตามรถไฟอ้างอิง (reference train method) ตามรายละเอียดภาคผนวก ง.3
ตู้โดยสาร	วิธีการประเมินตามรถไฟอ้างอิง (reference train method) ตามรายละเอียดภาคผนวก ง.4 และ ง.5

3.3 สภาวะการชน (design collision scenarios)

สภาวะการชนนี้กำหนดไว้ 4 แบบ โดยรายละเอียดในภาคผนวก ก ระบุแหล่งที่มาและข้อมูลเพิ่มเติมของสภาวะการชนนี้

3.3.1 สภาวะการชนที่ 1 การปะทะของหัวขบวนรถระหว่างขบวนรถแบบเดียวกันสองขบวน ซึ่งเป็นขบวนรถที่กำลังเคลื่อนที่ปะทะกับขบวนที่หยุดนิ่ง ให้มีการประเมินในทั้งสองขบวนรถนั้น โดยที่สภาวะการชนนี้รวมถึงการชนในรถไฟที่คล้ายคลึงกันที่มีการติดตั้งระบบขอพ่วงร่วมด้วย

3.3.2 สภาวะการชนที่ 2 การปะทะของหัวขบวนรถระหว่างขบวนรถที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับประเภทของรถไฟที่ถูกประเมินปะทะกับรถไฟระหว่างเมือง (regional train) ที่ติดตั้งขอพ่วงศูนย์กลาง (central coupler) หรือตู้บรรทุกสินค้า (wagon) สภาวะการชนนี้รวมถึงการชนกับรถขนส่งทางรางอื่น ๆ (rolling stock) หรือชนกับตัวกั้นการชน (buffer stop) หากชนิดของรถขนส่งทางรางนี้ไม่ได้ถูกระบุไว้ในสิ่งกีดขวางอ้างอิง (reference obstacle) ให้พิจารณาสิ่งกีดขวางที่เหมาะสมตามรายละเอียดภาคผนวก ก

3.3.3 สภาวะการชนที่ 3 การปะทะของหัวขบวนรถกับยานพาหนะบนถนน ขบวนรถที่จะถูกประเมินเป็นขบวนรถที่ชนกับสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่บนทางตัดผ่านเสมอระดับ (level crossing) หรือชนกับสิ่งกีดขวางทางจราจรในตัวเมือง รวมถึงยานพาหนะขนาดใหญ่บนถนน (large road vehicle)

3.3.4 สภาวะการชนที่ 4 การปะทะของหัวขบวนรถกับสิ่งกีดขวางระดับล่าง (low obstacle) คือ การปะทะกับสิ่งกีดขวางที่มีศูนย์กลางมวล (centre of mass) ต่ำกว่าหัวขบวนรถ เช่น รถยนต์บนทางตัดผ่านเสมอระดับ (level crossing) สัตว์หรือเศษซากต่าง ๆ ทั้งนี้ อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (obstacle deflector) และชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟ (lifeguard) บนขบวนรถจะถูกประเมินตามเกณฑ์ความแข็งแรงและคุณสมบัติการทำงานที่ระบุไว้ในตารางที่ 6 และในตารางที่ 7

ในกรณีที่รถขนส่งทางรางนั้นไม่สามารถวิ่งได้ตามความเร็วการชน (collision speed) ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานฉบับนี้ เช่น หัวรถจักรในการสับเปลี่ยน (shunting locomotives) ไม่จำเป็นต้องใช้มาตรฐานสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนนี้

ในกรณีที่ไม่สามารถเป็นไปตามข้อกำหนดในฉบับนี้ระบุไว้ สภาวะที่เหมาะสมและการจำกัดการออกแบบกรณีต่าง ๆ ต้องระบุไว้ในคุณสมบัติของตัวรถ ตามรายละเอียดในภาคผนวก ก

สำหรับตารางที่ 3 ได้สรุปสภาวะการชนนี้ไว้กับประเภทการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนชนิดต่าง ๆ รวมถึงสิ่งกีดขวาง ลักษณะเฉพาะการเดินรถและความเร็วรถที่เกี่ยวข้อง

3.4 วิธีการประเมินสภาวะการชน

3.4.1 ทั่วไป

1) ทุกประเภทของการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนและรถขนส่งทางรางทุกชนิดให้ใช้ข้อกำหนดการประเมินนี้ โดยสภาวะการชนนี้ต้องได้รับการประเมินด้วยการรวมกันของวิธีการดังต่อไปนี้

- การจำลองทางคณิตศาสตร์ (numerical simulations) หรือ การคำนวณ (calculations)
- และการทดสอบทางกายภาพ (physical testing)

2) ขบวนรถที่ชน ขบวนรถที่หยุดนิ่งและสิ่งกีดขวางอยู่ในสภาวะที่ไม่มีการห้ามล้อบนทางตรงและรางในแนวระดับ อีกทั้งสิ่งกีดขวางการชน (รถไฟ ตู้บรรทุกสินค้า หรือสิ่งกีดขวาง) อยู่ในสภาวะหยุดนิ่ง และเงื่อนไขการชนสำหรับตู้บรรทุกสินค้าหรือสิ่งกีดขวางเป็นไปตามที่ระบุไว้ในภาคผนวก ค

3) สำหรับสภาวะการชนที่ 1 และทุกประเภทของรถไฟ ต้องมีระยะตั้งฉากในแนวดิ่งเริ่มต้น (initial vertical offset) ระหว่างจุดสัมผัสของขบวนรถที่หยุดนิ่ง ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าขบวนรถที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ 40 มิลลิเมตร และระบบขอพ่วงด้านหน้า (front coupler systems) สามารถถูกพิจารณาให้มีการประสานกันในขณะอยู่ในสถาวะการชนที่ 1 ซึ่งไม่กำหนดระยะตั้งฉากในแนวดิ่งเริ่มต้นของบริเวณที่กึ่งกลางด้านปลาย (intermediate ends) ในแต่ละขบวนรถไฟ

4) มวลการชน (collision mass) คือ มวลสำหรับการออกแบบสภาวะการชนนี้ตามมาตรฐาน EN 15663:2017+A1:2018 บวกเพิ่มอีกร้อยละ 50 ของมวลผู้โดยสารที่นั่ง (seated passengers) โดยไม่ต้องคำนึงถึงจุดศูนย์ถ่วง (centres of gravity) ของมวลของพนักงานและมวลผู้โดยสารที่นั่ง ทั้งนี้ สามารถรวมมวลดังกล่าวเข้าไปในมวลของโครงสร้างตัวรถโดยตรง

5) สภาวะการชนและข้อกำหนดสำหรับประเภทการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน C-I ถึง C-IV ได้ถูกกำหนดไว้ในหัวข้อ 3.4.2 ถึง 3.4.5 และบทสรุปในหัวข้อ 3.4.6 และตามตารางที่ 3

3.4.2 สภาวะการชน สำหรับรถประเภท C-I

รถขนส่งทางรางทุกชนิดของประเภทการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน C-I ยกเว้น ตู้โดยสาร มีการประเมินดังต่อไปนี้

1) สภาวะการชนที่ 1 ใช้ความเร็วการชน (collision speed) 36 กม./ชม. แต่สำหรับหัวรถจักรที่มีการติดตั้งขอพ่วงสำหรับงานหนัก (heavy duty coupler) จะประเมินสภาวะการชนที่ 1 ด้วยความเร็วการชน (collision speed) 20 กม./ชม.

2) สภาวะการชนที่ 2 การปะทะกับตู้บรรทุกสินค้าหนัก 80 ตันที่มีการติดตั้งกันชนด้านข้าง (side buffer) ใช้ความเร็วการชน (collision speed) 36 กม./ชม. ตามรายละเอียดภาคผนวก ค.1 แต่สำหรับหัวรถจักรที่มีการติดตั้งขอพ่วงสำหรับงานหนัก (heavy duty coupler) ปะทะกับตู้บรรทุกสินค้าหนัก 80 ตัน จะประเมินสภาวะการชนที่ 2 ด้วยความเร็วการชน (collision speed) 20 กม./ชม. ตามรายละเอียดภาคผนวก ค.2

3) สภาวะการชนที่ 3 การชนที่หัวขบวนรถกับสิ่งกีดขวางเปลี่ยนรูปได้ (deformable obstacle) หนัก 15 ตันบนทางตัดผ่านเสมอระดับ ตามรายละเอียดภาคผนวก ค.4 ซึ่งความเร็วการชน (collision speed) ต้องน้อยกว่า v_{LC}- 50 กม./ชม. หรือ น้อยกว่า 110 กม./ชม. โดยที่ v_{LC} คือความเร็วทางตัดผ่านเสมอระดับ (level crossing speed) ที่มีค่าน้อยกว่า

(1) ความเร็วสูงสุดของรถไฟ (maximum train speed) และ

(2) ความเร็วเส้นทางที่กำหนดบนทางตัดผ่านเสมอระดับ (designated line speed)

หากมีความต้องการอื่นร่วมด้วย การประเมินในสภาวะการชนที่ 3 นี้ จะใช้เฉพาะกับทางรถไฟผ่านถนนเสมอระดับที่อยู่ในเส้นทางรางที่เปิดใช้งานเท่านั้น

4) สภาวะการชนที่ 4 การชนที่หัวขบวนรถกับสิ่งกีดขวางระดับล่างหัวขบวนรถต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการทำงานสำหรับอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (obstacle deflector) และชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟ (lifeguard) ตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ประเภทการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน C-I ในส่วนของตู้โดยสารจะถูกประเมินตามรายละเอียดข้อกำหนดในภาคผนวก ง.4 หรือ ง.5 ซึ่งเทียบได้กับการประเมินรถประเภท C-I ในสภาวะการชนที่ 1 โดยไม่มีการประเมินในสภาวะการชนในการออกแบบอื่น ๆ

3.4.3 สภาวะการชน สำหรับรถประเภท C-II

รถขนส่งทางรางทุกชนิดของประเภทการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน C-II จะถูกประเมินในสภาวะการชนที่ 1 ด้วยความเร็วการชน (collision speed) 25 กม./ชม.

หมายเหตุ สำหรับสภาวะการชนอื่น ๆ ไม่ใช้กับประเภทรถ C-II

3.4.4 สภาวะการชน สำหรับรถประเภท C-III

รถขนส่งทางรางทุกชนิดของประเภทการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน C-III มีการประเมินดังต่อไปนี้

1) สภาวะการชนที่ 1 ใช้ความเร็วการชน (collision speed) 25 กม./ชม.

2) สภาวะการชนที่ 2 สำหรับการชนระหว่างขบวนรถไฟที่แตกต่างกันในกรณีต่อไปนี้

- สำหรับระบบการเดินรถที่ใช้รางร่วมที่ติดตั้งกันชนด้านข้าง (side buffer) และมีการชนกับบรรทุกสินค้าหนัก 80 ตัน ด้วยความเร็วการชน (collision speed) 25 กม./ชม. ตามรายละเอียดภาคผนวก ค.1
- สำหรับระบบการเดินรถที่ใช้รางร่วมที่ติดตั้งขอพ่วงศูนย์กลาง (central coupler) และมีการชนกับรถไฟระหว่างเมือง (regional train) 129 ตัน ด้วยความเร็วการชน (collision speed) 10 กม./ชม. ตามรายละเอียดภาคผนวก ค.3

3) สภาวะการชนที่ 3 การชนที่หัวขบวนรถกับสิ่งกีดขวางเปลี่ยนรูปได้หนัก 15 ตัน บนทางตัดผ่านเสมอระดับ ด้วยความเร็วการชน (collision speed) 25 กม./ชม. ตามรายละเอียดภาคผนวก ค.4

4) สภาวะการชนที่ 4 หัวขบวนรถของขบวนรถนั้นต้องเป็นไปตามข้อกำหนดการทำงานสำหรับอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (obstacle deflector) และชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟ (lifeguard) ตามรายละเอียดในหัวข้อ 4.5 และ 4.6 ตามลำดับ

ข้อกำหนดสภาวะการชนของรถประเภท C-III แสดงความปลอดภัยของเครือข่ายเดินรถราง (tram network operation) เพียงพอที่จะไม่ต้องแสดงสภาวะการชนในรถประเภท C-IV แยกต่างหาก

3.4.5 สภาวะการชน สำหรับรถประเภท C-IV

รถขนส่งทางรางทุกชนิดของประเภทการออกแบบสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน C-IV มีการประเมินดังต่อไปนี้

1) สภาวะการชนที่ 1 ใช้ความเร็วการชน (collision speed) 15 กม./ชม.

2) สภาวะการชนที่ 3 สำหรับการประเมินหัวขบวนรถของขบวนรถในกรณีดังต่อไปนี้

- การปะทะกับสิ่งกีดขวางแข็งเกร็งบนถนนหนัก 3 ตันซึ่งทำมุม 45 องศากับราง ด้วยความเร็วการชน (collision speed) 25 กม./ชม. ตามรายละเอียดสิ่งกีดขวางอ้างอิง (reference obstacle) ในภาคผนวก ค.5
- การปะทะกับสิ่งกีดขวางบนถนนหนัก 7.5 ตันซึ่งทำมุม 90 องศากับทางราง และมีระยะตั้งฉากด้านข้าง (lateral offset) ของจุดศูนย์ถ่วงของสิ่งกีดขวางที่มีพิกัดความเผื่อกับแกน x ±1000 มิลลิเมตร ด้วยความเร็วการชน (collision speed) 15 กม./ชม. ตามรายละเอียดสิ่งกีดขวางอ้างอิงในภาคผนวก ค.6

3.4.6 สรุปสภาวะการชน

สภาวะการชนในหัวข้อ 3.4.2 ถึง 3.4.5 สามารถสรุปได้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สภาวะการชนและสิ่งกีดขวางการชน

ประเภทของรถขนส่งทางราง (หัวข้อ 3.1)		สภาวะการชน (หัวข้อ 3.3) และความเร็วการชน (collision speed) v_C						
		1	2		3			4
		การปะทะของหัวขบวนรถระหว่างขบวนรถแบบเดียวกัน	การปะทะของหัวขบวนรถระหว่างขบวนรถที่แตกต่างกัน		การปะทะของหัวขบวนรถกับยานพาหนะบนถนนขนาดใหญ่			การปะทะของหัวขบวนรถกับสิ่งกีดขวางระดับล่าง
ประเภท (ตารางที่ 1)	ข้อกำหนดที่ระบุไว้	รถไฟแบบเดียวกัน	ตู้บรรทุกสินค้า น้ำหนัก 80 ตัน (ภาคผนวก ค.1 และ ค.2)	รถไฟระหว่างเมือง น้ำหนัก 129 ตัน (ภาคผนวก ค.3)	สิ่งกีดขวางเปลี่ยนรูปได้ น้ำหนัก 15 ตัน (ภาคผนวก ค.4)	สิ่งกีดขวาง น้ำหนัก 7.5 ตัน (ภาคผนวก ค.6)	สิ่งกีดขวางแข็งเกร็ง น้ำหนัก 3 ตัน (ภาคผนวก ค.5)	อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (obstacle deflector) และชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟ (lifeguards)
C-I	3.4.2	36 กม./ชม.*	36 กม./ชม.*	-	= (v_{LC} - 50 กม./ชม.) ≤ 110 กม./ชม.	-	-	หัวข้อ 4.5 และ 4.6
C-II	3.4.3	25 กม./ชม.	-	-	-	-	-	-
C-III	3.4.4	25 กม./ชม.	25 กม./ชม.	10 กม./ชม.	25 กม./ชม.	-	-	หัวข้อ 4.5 และ 4.6
C-IV	3.4.5	15 กม./ชม.	-	-	-	15 กม./ชม.	25 กม./ชม.	-
หมายเหตุ (–) หมายถึง ไม่ได้กำหนด								
*สำหรับหัวรถจักรประเภท C-I ที่มีการติดตั้งขอพ่วงสำหรับงานหนัก (heavy duty couplers) ของสภาวะการชนที่ 1 และ 2 จะมีความเร็วการชน (collision speed) 20 กม./ชม.								

4 ข้อกำหนดความปลอดภัยเชิงแก้ไข (passive safety)

4.1 ข้อกำหนดการประเมินความปลอดภัยเชิงแก้ไขสำหรับสภาวะการชน

4.1.1 ทั่วไป

สำหรับตัวรถขนส่งทางรางที่ถูกประเมินต้องมีการแสดงให้เห็นตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ ดังนี้

1) การเกยกัน (overriding) ในหัวข้อ 4.2

2) พื้นที่ปลอดภัย (survival space) ในหัวข้อ 4.3 และ

3) ระดับการหน่วงความเร็ว (deceleration levels) ในหัวข้อ 4.4

ทั้งนี้หากการประเมินผ่านเงื่อนไขข้างต้น จะต้องแสดงถึงการดูดซับพลังงานจากการชนในลักษณะภายใต้การควบคุม โดยข้อกำหนดสำหรับการเกยกัน พื้นที่ปลอดภัยและระดับการหน่วงความเร็วจะนำมาใช้ในการประเมินขบวนรถไฟหรือตู้รถไฟ แต่ไม่รวมรถขนส่งทางรางที่ถูกใช้เป็นสิ่งกีดขวางตามรายละเอียดในภาคผนวก ค หรือชิ้นส่วนของรถไฟอ้างอิง (reference train) เพื่อจำลองสภาวะการชนนี้

4.1.2 ข้อมูลเพิ่มเติม

ส่วนของโครงสร้างรถที่เป็นส่วนรับแรงกระแทก (crumple zone) และระบบขอพ่วง ซึ่งมีจุดประสงค์ทำให้มีการเสียรูปในระหว่างการชน ควรมีพฤติกรรมดังต่อไปนี้

1) ดูดซับและกระจายพลังงานจากการชนโดยการเสียรูป การยุบ หรือทรุดลงตามที่ได้กำหนดไว้ล่วงหน้า

2) กระจายพลังงานการชนที่เหลือไปยังโครงสร้างตัวรถโดยปราศจากการเสียรูปหรือยุบตัวที่ควบคุมไม่ได้

3) มีการยุบตัวตามลำดับที่กำหนดไว้ล่วงหน้าหากมีชิ้นส่วนการยุบตัวหลายชิ้น

ในทางปฏิบัติแรงยุบตัวในโครงสร้างสามารถเบียงเบนจากที่กำหนดไว้มาก ซึ่งโดยทั่วไปจะเป็นแนวโน้มที่สูงขึ้น จึงมีความจำเป็นต้องจำกัดขอบเขตคุณสมบัติของวัสดุให้มีค่าสูงขึ้นและต่ำลง เพื่อให้พฤติกรรมในการยุบตัวมีความสอดคล้องกัน

หมายเหตุ

1. สำหรับสภาวะการชนที่ 1 ควรแสดงกระบวนการการดูดซับพลังงานที่มีเสถียรภาพด้วยค่าระยะตั้งฉากเริ่มต้นในแนวดิ่งเริ่มต้น (initial vertical offset) ที่จุดสัมผัสระหว่างขบวนรถที่หยุดนิ่ง ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าขบวนรถที่กำลังเคลื่อนที่ 40 มิลลิเมตร ตามรายละเอียดในข้อกำหนดการเกยกัน หัวข้อ 4.2.1

2. ระยะตั้งฉากในแนวดิ่งสามารถเกิดได้จากการสึกหรอของล้อ การลาดเอียง หรือความต่างระหว่างน้ำหนักบรรทุกของรถ

3. ระยะตั้งฉากด้านข้าง (lateral offset) มีความสำคัญน้อยกว่าระยะตั้งฉากในแนวดิ่งโดยหากการดูดซับพลังงานภายใต้การควบคุมมีระยะตั้งฉากในแนวดิ่งตามที่กำหนดแล้ว การออกแบบนี้มีความเสถียรภาพเพียงพอสำหรับการใช้ค่าระยะตั้งฉากด้านข้างทั่วไป

4.2 การเกยกัน (overriding)

4.2.1 ข้อกำหนด

การเกยกันจากการชนเกิดจากการต้านทานระหว่างส่วนท้ายหรือระหว่างกลางของรถขนส่งทางรางที่ได้รับผลกระทบนั้น การต้านทานการเกยกันนี้สามารถทดสอบได้จากการจำลองสภาวะการชนที่ 1 สำหรับแบบจำลองในส่วนอื่นของส่วนรับแรงกระแทก (crumple zone) บริเวณท้ายตัวรถ อาจใช้มวลสมมูล (equivalent mass) และความแข็ง (stiffness) อย่างง่ายในการจำลอง ซึ่งต้องสามารถแสดงพฤติกรรม

ของพื้นที่ปลอดภัย (survival space) และจลศาสตร์การชน (global kinematics of the collision) ได้อย่างถูกต้อง ตามรายละเอียดในหัวข้อ 5.2.3

ทั้งนี้ ต้องมีการแสดงให้เห็นถึงการต้านทานการเกยกันที่เพียงพอหากหน้าสัมผัส (effective contact) อยู่บนรางตลอดการจำลองการชน และต้องพิจารณาถึงการกระจัดในแนวดิ่ง (vertical displacement) เหนือรางของชุดล้อ (wheelset) อย่างน้อย 2 ชุด ให้สูงไม่เกินร้อยละ 75 ของขนาดความสูงบังใบล้อ (nominal flange height) โดยที่ชุดล้อ 2 ชุดนี้ต้องไม่อยู่ในแคร่ (bogie) เดียวกัน

หากหน้าสัมผัสไม่ได้คงอยู่บนรางตลอดการจำลองการชน การต้านทานการเกยกันที่ยอมรับได้ต้องผ่านข้อกำหนดตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ลักษณะการป้องกันการปีน (anti-climb features) ของตัวรถที่ได้รับผลกระทบต้องทำงานเต็มรูปแบบในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการจำลองการชน

2) การทำงานของการป้องกันการปีนนี้ ต้องมีลักษณะการประสานกัน (interlocking feature) ที่มีความเสถียรระหว่างตัวรถที่ได้รับผลกระทบกับแรงสูงสุดที่จุดต่อ (maximum interface force) ซึ่งถูกเหนี่ยวนำและส่งผ่านการประสานกันนี้

3) ล้อถูกยกสูงไม่เกิน 100 มิลลิเมตร

หมายเหตุ

(1) สำหรับสภาวะการชนที่ 1 กำหนดระยะตั้งฉากในแนวดิ่งเริ่มต้น (initial vertical offset) ระหว่างขบวนรถที่หยุดนิ่ง ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าขบวนรถที่กำลังเคลื่อนที่ไว้ที่ 40 มิลลิเมตร ตามรายละเอียดในข้อกำหนดการเกยกัน หัวข้อ 3.4.1

(2) สำหรับรถขนส่งทางรางที่ใช้แคร่ร่วมกันระหว่างตู้ (articulated vehicle) หรือมีชุดล้ออิสระต่อกัน (independent wheelsets) อาจมีชุดล้อเพื่อรองรับน้ำหนัก (supporting wheelsets) ติดกันหรือใช้ร่วมกับคันที่อยู่ติดกันได้

4.2.2 ข้อมูลเพิ่มเติม

1) การเกยกันจากการชนกันจะมีการกระจัดในแนวดิ่งสัมพัทธ์ (relative verticle displacement) ของรถหนึ่งคันเพียงพอที่จะขึ่เหนือรถคันใกล้เคียงกันหรือทะลุผ่านเนื่องจากการยุบตัวหรือการแตกหักของโครงสร้างส่วนบน (superstructure) ของรถคันใกล้เคียง

2) ข้อจำกัดการเกยกันมีความจำเป็นเพื่อจำกัดการกระจัดในแนวดิ่งตรงส่วนที่ติดต่อกันและต้านแรงในแนวดิ่งเหล่านั้น เพื่อให้น้ำหนักถ่วงของการชนถูกส่งไปยังโครงสร้างดูดซับพลังงาน ซึ่งการกระจัดและแรงในแนวดิ่งนี้เกิดจากระยะตั้งฉากระหว่างจุดเชื่อมต่อ/จุดเกิดปฏิกิริยา (reaction points) และแรงเฉื่อยเนื่องด้วยการหน่วงและความเร่งของตัวรถ

ข้อจำกัดในการเกยกันอาจมีลักษณะการป้องกันการปีน (anti-climb feature) ที่มีตัวอย่างดังต่อไปนี้

1) อุปกรณ์ป้องกันการปีนที่มีการยุบตัวหรือการเฉือนของขอพ่วง

2) แท่งขอพ่วง (bar coupler) ระหว่างคันรถที่มีการจำกัดการเคลื่อนไหว

ทั้งนี้ อาจรวมถึงข้อจำกัดจากรูปแบบของรถไฟ เช่น รถขนส่งทางรางที่ใช้แคร่ร่วมกันระหว่างตู้ (articulated vehicle) ตรงกลางระหว่างจุดเชื่อมต่อคัน

4.3 พื้นที่ปลอดภัย (survival space) การรุกล้ำ (intrusion) และช่องทางออก (egress)

4.3.1 ข้อกำหนดทั่วไป

1) เพื่อคำนึงถึงการคงสภาพของพื้นที่ปลอดภัยนี้ โครงสร้างของตัวรถต้องสามารถต้านแรงกระทำสูงสุดระหว่างการเกิดลำดับการยุบตัวของชิ้นส่วนที่ดูดซับพลังงานได้

2) ประตูหรือหน้าต่างทางออกฉุกเฉินจะต้องคงสภาพอย่างน้อย 1 เส้นทางของทุก ๆ พื้นที่ปลอดภัยนั้น และการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้สภาวะการชนในการออกแบบที่กำหนดต้องไม่ขัดขวางเส้นทางอพยพนั้น

3) ด้านในของกระจกบังลมด้านหน้า (front windscreen) และกระจกด้านข้าง (side window) ของส่วนปลายคันรถแต่ละคัน ซึ่งคาดการณ์ว่าจะแตกจากสภาวะการชน ต้องมีการเสริมโครงสร้างตามกรอบกระจกเพื่อจำกัดการรุกล้ำขณะเกิดการชน

4.3.2 ข้อกำหนดพื้นที่ปลอดภัยสำหรับพื้นที่ผู้โดยสาร (passenger areas)

สำหรับแต่ละสภาวะการชนที่ประเมินใช้เกณฑ์ต่อไปนี้ในพื้นที่ปลอดภัยของผู้โดยสาร

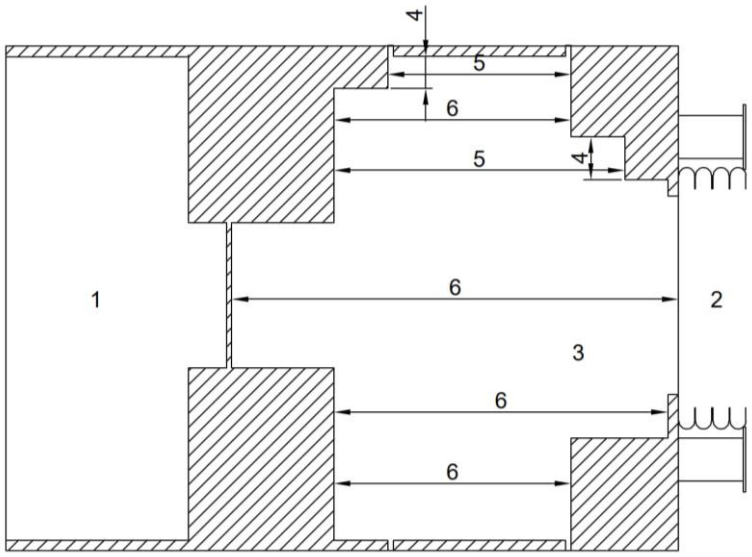
1) การลดความยาวของพื้นที่ปลอดภัยในบริเวณที่นั่งของผู้โดยสารต้องไม่เกิน 50 มิลลิเมตรจากความยาวใด ๆ 5 เมตร หรือความเครียดแบบพลาสติก (plastic strain) ในพื้นที่ปลอดภัยผู้โดยสารจะต้องไม่เกินค่าต่ำที่สุดที่ร้อยละ 10 และไม่เกินความเครียดประลัยของวัสดุ (ultimate strain)

2) ระยะ 5 เมตรของส่วนท้ายของโครงสร้างตัวรถอาจลดความยาวลงได้ถึง 100 มิลลิเมตร

3) ในส่วนพื้นที่ใช้งานชั่วคราว เช่น โถงทางเข้าประตูหรือพื้นที่ยืนที่ไม่มีที่นั่ง ซึ่งถูกใช้เป็นส่วนรับแรงกระแทก (crumple zone) ระยะตามยาวในพื้นที่ที่มีขนาดความกว้างมากกว่า 250 มิลลิเมตร ต้องถูกลดขนาดไม่เกินร้อยละ 30 ของพื้นที่นั้น

4. ทางเชื่อมระหว่างตู้รถไฟ (gangway) กำหนดให้เป็นพื้นที่ไม่มีการใช้งานและไม่รวมอยู่ในข้อกำหนดพื้นที่ปลอดภัยนี้

รูปที่ 1 แสดงถึงภาพร่างของท้ายตู้โดยสารและตัวอย่างพื้นที่ที่มีการใช้ข้อกำหนดการยุบตัวตามแนวยาวและพื้นที่ยกเว้น



1 คือ พื้นที่ผู้โดยสารนั่ง (พื้นที่ปลอดภัยของผู้โดยสาร)
2 คือ พื้นที่ทางเดินระหว่างคันรถ (พื้นที่ว่าง)
3 คือ พื้นที่อาศัยชั่วคราว
4 คือ ขนาดด้านข้างกว้างไม่เกิน 250 มิลลิเมตร
5 คือ ระยะห่างตามยาวที่ไม่จำเป็นต้องมี
6 คือ ระยะห่างตามยาวที่จำเป็นต้องมี

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ 1 ตัวอย่างข้อกำหนดพื้นที่ว่างของส่วนที่รับแรงกระแทกในพื้นที่ใช้งานชั่วคราว เช่น ห้องโถง

4.3.3 ข้อกำหนดพื้นที่ปลอดภัยสำหรับห้องคนขับ

พื้นที่ปลอดภัยสำหรับห้องคนขับต้องคงสภาพและเป็นไปตามเกณฑ์อย่างน้อย 1 ใน 2 ข้อดังต่อไปนี้

1) รอบที่นั่งคนขับแต่ละที่นั่งต้องมีพื้นที่ปลอดภัยคงสภาพอยู่สำหรับคนขับรูปร่างเล็กที่สุดและใหญ่ที่สุด โดยคำนึงถึงตำแหน่งที่นั่งและขนาดของคนขับตามที่จำกัดความไว้ที่หัวข้อ 4.3.5

2) พื้นที่ปลอดภัยรอบข้างที่นั่งคนขับต้องคงสภาพด้วยขนาดความยาวและความกว้างอย่างน้อย 0.75 เมตร และมีขนาดพื้นที่ร้อยละ 80 ของความสูงจากระดับพื้นถึงเพดาน หากไม่คำนึงถึงจำนวนของที่นั่งให้ใช้พื้นที่ปลอดภัยรอบข้างที่นั่งคนขับ 1 พื้นที่ต่อห้องคนขับ

4.3.4 ข้อมูลเพิ่มเติม

1) การเสียรูปของโครงสร้างไม่ควรทำให้ชิ้นส่วนหรืออุปกรณ์ของตัวรถ เช่น โต๊ะคนขับ กระจกบังลม รุกล้ำเข้าไปในพื้นที่ปลอดภัยที่กำหนดในขณะเกิดการชนและโครงสร้างที่อยู่ด้านหน้าพื้นที่ปลอดภัยของคนขับไม่ควรยุบหรือเกิดความเสียหายให้เป็นอันตรายเพิ่ม อีกทั้ง ควรหลีกเลี่ยงพื้นผิวแตกร้าวและส่วนที่ยื่นออกมา

2) พื้นที่ปลอดภัยล้อมรอบคนขับมีจุดมุ่งหมายเพื่อกำหนดตำแหน่งที่ใกล้เคียงที่สุดสำหรับส่วนบนของร่างกายคนขับรูปร่างเล็กให้มีความสัมพันธ์กับโต๊ะคนขับและกระจกบังลม และส่วนขาของคนขับรูปร่างใหญ่ให้มีพื้นที่เหมาะสมกับใต้โต๊ะคนขับ โดยถูกกำหนดว่าพื้นที่นั่งของคนขับในและ นอกขอบเขตการใช้งานจะถูกปรับให้เหมาะสม ดังนั้นพื้นที่ปลอดภัยจริงจะยังคงสภาพอยู่

3) วิธีการพิจารณาตำแหน่งอ้างอิงสำหรับเสาสัญญาณ (sighting signal) เช่น ข้อกำหนดในมาตรฐาน EN 16186-1 [9] ได้ให้นิยามและคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับตำแหน่งที่นั่ง

หมายเหตุ ข้อกำหนดสำหรับส่วนรองรับของกระจกบังลม (windscreen support) ไม่ได้กำหนดว่ากระจกบังลมจะต้องคงสภาพหรือไม่แตกขณะเกิดการชน

4.3.5 คำจำกัดความของพื้นที่ปลอดภัยล้อมรอบที่นั่งคนขับ

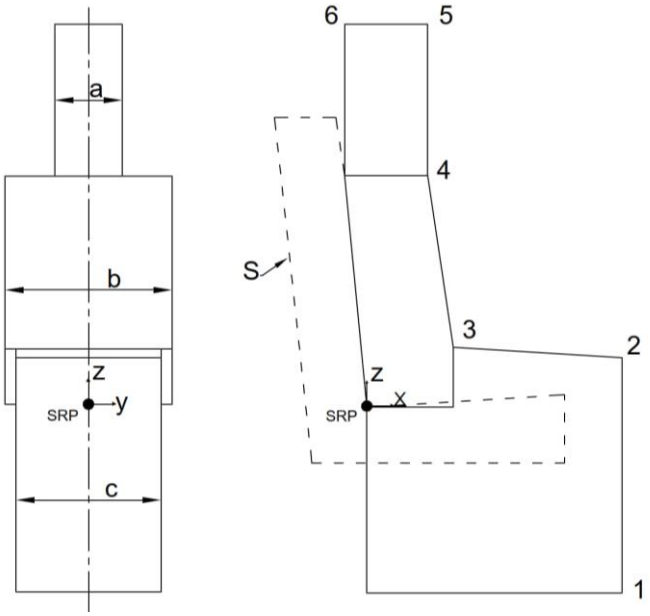
การให้คำจำกัดความสำหรับพื้นที่ปลอดภัยล้อมรอบที่นั่งคนขับ สมมติฐานให้คนขับนั่งประจำตำแหน่งที่นั่งที่กำหนด ซึ่งกำหนดให้ตำแหน่งที่นั่งของคนขับเหมือนกับตำแหน่งอ้างอิงสำหรับเสาสัญญาณ (sighting signal) เช่น ข้อกำหนดในมาตรฐาน EN 16186-1 [9]

จุดอ้างอิงที่นั่ง (Seat Reference Point: SRP) สำหรับเสาสัญญาณจะพิจารณาดังต่อไปนี้

1) ผู้หญิงเปอร์เซ็นไทล์ที่ 5 เพื่อเป็นตัวแทนของคนขับรูปร่างเล็ก

2) ผู้ชายเปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 เพื่อเป็นตัวแทนของคนขับรูปร่างใหญ่

สำหรับในแต่ละกรณีจะใช้จุดอ้างอิงที่นั่ง SRP เป็นฐานอ้างอิง (datum) ที่เหมาะสม ซึ่งพื้นที่ปลอดภัยล้อมรอบที่นั่งในจุดที่ 1 ถึง 6 พิจารณาจากข้อมูลในตารางที่ 4 และสำหรับขนาดความกว้าง a b และ c ตามรูปที่ 2 ภาพสามมิติของพื้นที่ปลอดภัยของที่นั่งคนขับแสดงในรูปที่ 3 โดยที่ที่นั่งคนขับอนุญาตให้มีขนาดพื้นที่เกินพื้นที่ปลอดภัยที่กำหนดนี้ได้



x คือ ทิศทางตามแนวยาว (longitudinal direction)
y คือ ทิศทางตามแนวขวาง (lateral direction)
z คือ ทิศทางตามแนวดิ่ง (vertical direction)
S คือ ที่นั่งคนขับ
SRP คือ จุดอ้างอิงที่นั่ง
a ถึง c ดูตารางที่ 4
1 ถึง 6 ดูตารางที่ 4

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ 2 พื้นที่ปลอดภัยของที่นั่งคนขับ

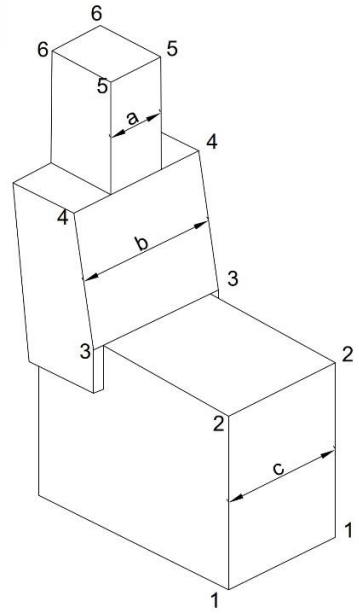
ตารางที่ 4 ระยะสำหรับพื้นที่ปลอดภัยล้อมรอบที่นั่งคนขับ

หน่วยเป็น มิลลิเมตร

ตำแหน่งและมิติขอบเขต		คนขับขนาดเล็กที่สุด (เปอร์เซ็นไทล์ที่ 5 ของผู้หญิง)		คนขับตัวสูงที่สุด (เปอร์เซ็นไทล์ที่ 95 ของผู้ชาย)	
พิกัดตามจุดอ้างอิงที่นั่ง (SRP)		x	z	x	z
1	ตำแหน่งขาด้านหน้า	545	พื้นหรือระดับที่วางเท้า*	665	พื้นหรือระดับที่วางเท้า*
2	ตำแหน่งหัวเข่าด้านบน	545	105*	665	125*
3	ตำแหน่งต้นขาด้านบนและลำตัวส่วนล่าง (ตำแหน่งด้านหน้า)	183	127	246	168

4	ลำตัวส่วนบน (ตำแหน่งด้านหน้า)	128	495	140	599
5	ตำแหน่งศีรษะด้านหน้า	128	820	140	985
6	ตำแหน่งศีรษะด้านหลัง	ด้านหลังของที่นั่ง	820	ด้านหลังของที่นั่ง	985
ขอบเขต		ความกว้าง		ความกว้าง	
a	ศีรษะ	142		155	
b	ช่วงไหล่	358		475	
c	ช่วงสะโพก	307		404	
* อนุญาตให้พื้นหรือระดับที่วางเท้า (จุดที่ 1) สูงขึ้นในแนวดิ่งได้เนื่องจากการเสียรูประหว่างการชนโดยกำหนดให้ระยะห่างระหว่างที่วางเท้า (จุดที่ 1) กับจุดหัวเข่าด้านบน (จุดที่ 2) เป็นไปตามระยะที่กำหนดในตารางข้างต้น					

หมายเหตุ ข้อมูลสัดส่วนร่างกายส่วนมากได้มาจากค่าในข้อกำหนดมาตรฐาน EN 16186-1 [9] ร่วมกับข้อมูลจากอุปกรณ์ทดสอบสัดส่วนร่างกายตามเกณฑ์เปอร์เซ็นไทล์ที่ 5 และ 95 และในส่วนของจุดที่ 4 และจุดที่ 5 กำหนดระยะระนาบที่ 50 มิลลิเมตรในด้านหน้าของตำแหน่งระดับสายตาคนขับ ซึ่งระนาบนี้ไม่ขึ้นกับการปรับหรือการเอียงตัวของพนักพิง



a ถึง c ดูตารางที่ 4
1 ถึง 6 ดูตารางที่ 4

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ 3 ภาพสามมิติของพื้นที่ปลอดภัยของที่นั่งคนขับ

4.4 ขีดจำกัดการหน่วงความเร็ว (deceleration limit/collision pulse)

4.4.1 ข้อกำหนด

1) สำหรับสภาวะการชนที่ 1 และ 2 รถขนส่งทางรางแต่ละคันที่ถูกประเมินต้องมีค่าเฉลี่ยการหน่วงความเร็ว (mean deceleration) ที่เฉลี่ยจากการวิ่งรถตั้งแต่เริ่มจนจบการชน และค่าสูงสุดค่าเฉลี่ยการหน่วงความเร็วที่คำนวณในช่วงเวลา 30 มิลลิวินาที และ120 มิลลิวินาที ต้องไม่เกินค่าที่กำหนดในตารางที่ 5 โดยที่จุดเริ่มต้นของการชนหมายถึง จุดที่มีความต่างระหว่างแรงกระทำตามแนวยาว (longitudinal force) กระทำต่อด้านท้ายของรถขนส่งทางรางมีค่ามากกว่าศูนย์ในครั้งแรก และจุดสิ้นสุดการชนหมายถึง จุดที่รถขนส่งทางรางที่เกี่ยวข้องมีความเร็วเท่ากัน มีผลต่างสัมพัทธ์ (relative difference) น้อยกว่าร้อยละ 1 ของความเร็วเริ่มต้น (initial velocity) หรือเมื่อพลังงานร้อยละ 95 ถูกดูดซึมเข้าไป

ตารางที่ 5 ระดับค่าเฉลี่ยการหน่วงความเร็วที่อนุญาต

ช่วงเวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่	การหน่วงความเร็วเฉลี่ยที่อนุญาต
30 มิลลิวินาที	10g
120 มิลลิวินาที	5g

เมื่อ g คือค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วง (the acceleration of gravity)

2) ความแข็งแรงสูงสุด (ultimate strength) ของอุปกรณ์ขอพ่วงต้องสอดคล้องกับระดับค่าเฉลี่ยสูงสุดการหน่วงความเร็วที่รถขนส่งทางรางเคลื่อนที่ในช่วงเวลา 120 มิลลิวินาทีที่สภาวะการชนในการออกแบบที่ 1 และ 2

3) สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วงที่ทำจากวัสดุเหนียว (ductile material) และออกแบบตามมาตรฐาน EN 12663-1:2010+A1:2014 ที่มีความเร่งตามแนวยาว (longitudinal acceleration) อย่างน้อย 3g ซึ่งมีการทดสอบเสมือนการใช้งานจริง (Proof Load) เทียบกับจุดคราก (yield) ในประเภท L และ P-I ถึง P-III อาจสมมติได้ว่า อุปกรณ์เหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดความแข็งแรงสำหรับจังหวะการหน่วงความเร็วที่อนุญาต (permissible deceleration pulse)

4) สำหรับอุปกรณ์ขอพ่วงที่ทำจากวัสดุเหนียว ที่มีความเร่งตามแนวยาวอย่างน้อย 2g โดยมีการทดสอบเสมือนการใช้งานจริงเทียบกับจุดครากในประเภท P-IV ถึง P-V อาจสมมติได้ว่าอุปกรณ์เหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นไปตามข้อกำหนดความแข็งแรงสำหรับการหน่วงความเร็วเฉลี่ยที่ไม่สูงเกิน 3.3g ในช่วงเวลาเฉลี่ยในการเคลื่อนที่ 120 มิลลิวินาที

4.4.2 ข้อมูลเพิ่มเติม

1) การคำนวณหาการหน่วงความเร็วเฉลี่ย (mean deceleration) มีหลายวิธี เช่น หาจากการอ้างอิงกับแรงสัมผัสสุทธิ (net contact force) ที่กระทำบนโครงตัวรถหรือค่าการหน่วงความเร็วในตำแหน่งหนึ่งหรือหลายตำแหน่งที่แสดงถึงพฤติกรรมของทั้งตัวรถที่ใช้ในการประเมิน โดยที่แรงสัมผัสสุทธิ คือ ผลรวมเชิงพีชคณิตของแรงตามแนวยาวที่กระทำบนรถขนส่งทางรางในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง

2) ไม่มีการใช้ขีดจำกัดในการหน่วงความเร็วในสภาวะการชนที่ 3 เนื่องจากสภาวะการชนนี้มีไว้เพื่อยืนยันความสมบูรณ์ของห้องคนขับเป็นหลัก ซึ่งแรงกระแทกและจังหวะการชน (collision pulse) ที่เกิดขึ้นในสภาวะการชนนี้เป็นการทำงานลักษณะเฉพาะของสิ่งกีดขวางเปลี่ยนรูปได้ (deformable obstacle)

3) ข้อกำหนดความแข็งแรงสูงสุด (ultimate strength) ที่สอดคล้องกับระดับค่าเฉลี่ยการหน่วงความเร็วข้างต้น อาจมีค่ามากกว่าข้อกำหนดความแข็งแรงที่ระบุไว้ในมาตรฐาน EN 12663-1:2010+A1:2014

4.5 อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (obstacle deflector)

4.5.1 ข้อกำหนด

1) ในกรณีที่สามารถแสดงให้เห็นว่าโครงสร้างส่วนปลายของตัวรถเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางแล้วนั้น ไม่จำเป็นต้องมีอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางแยกต่างหาก

2) รถประเภท C-III ให้เป็นไปตามข้อใดข้อหนึ่งดังต่อไปนี้

2.1) ขอพ่วงด้านหน้า (front coupler) อยู่ในตำแหน่งความสูงที่มีพื้นที่ครอบคลุมตำแหน่งของศูนย์กลางภาระลัพธ์ (centre load resultant) ดังรูปที่ 4 หรือ

2.2) โครงส่วนปลายของตัวรถติดตั้งอยู่ด้านหน้าของเพลาด้านนำ มีการขยายออกไปตามความกว้างของส่วนปลายนั้นที่ระดับความสูงของโครงสร้างด้านข้างในรถยนต์ทั่วไปและสามารถรับภาระที่กำหนดไว้ตามตารางที่ 6

3) ขอบด้านล่างของอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางต้องอยู่ใกล้กับรางเท่าที่เขตพิกัดโครงสร้างของรถ (vehicle gauge) จะอนุญาต ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

3.1) ในการผลิตและการประกอบชิ้นส่วน อนุญาตให้มีค่าความคลาดเคลื่อน (tolerance) 30 มิลลิเมตรจากตำแหน่งขอบล่างสุดของอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (nominal position) ไปจนถึงแนวเขตพิกัดโครงสร้างของรถ (vehicle gauge line) ดังภาคผนวก จ และอนุญาตให้ขอบล่างสุดของอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางนี้ติดตั้งอยู่ในแนวนอน (horizontal) ถ้าส่วนหน้า (front point) ของขอบล่างนี้อยู่ในพิกัดที่อนุญาต

3.2) หากมีแผ่นปิดสำหรับอากาศพลศาสตร์ (aerodynamic cover) ใต้อุปกรณ์กีดกันสิ่งกีดขวางนี้ อนุญาตให้เพิ่มระยะห่างระหว่างแนวเขตพิกัดโครงสร้างของรถ (vehicle gauge line) กับอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางนี้ได้ 10 มิลลิเมตร

3.3) หากแนวเขตพิกัดโครงสร้างของรถ (vehicle gauge line) มีพื้นที่ว่าง (cut-outs) สำหรับรางชนิดต่าง ๆ และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง (track feature) เช่น รางนำไฟฟ้า (conductor rail) รางกันตก (check rail) หรืออุปกรณ์อาณัติสัญญาณ (signalling equipment) โดยหากความกว้างของพื้นที่อุปกรณ์เหล่านั้น ครอบคลุมพื้นที่อย่างน้อยร้อยละ 20 ของขนาดความกว้างราง (track gauge) จะอนุญาตให้ขอบล่างสุดของอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางมีระดับความสูงเท่ากับส่วนที่ยกสูงขึ้นของอุปกรณ์ดังกล่าว (raised portion)

4) อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางจะต้องได้รับการประเมินสำหรับแรงสถิตย์ (static load) ที่ระบุไว้ในตารางที่ 6 โดยในแต่ละแรงสถิตย์จะกระทำอย่างอิสระตามทิศทางแนวยาวของรถขนส่งทางราง (vehicle longitudinal direction) มีรายละเอียดดังนี้

4.1) แรงตามแนวยาว (longitudinal force) กระทำลงบนระนาบพื้นที่ความกว้าง 500 มิลลิเมตรและสูงจากขอบล่างของอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง 500 มิลลิเมตร

4.2) แนวแรงที่กระทำตามแนวยาวจะต้องอยู่ในแนวนอนและกระทำผ่านศูนย์กลางพื้นที่รับภาระที่ความสูงสูงสุด 500 มิลลิเมตร เหนือระดับราง ตามรูปที่ 4

4.3) อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางต้องไม่มีการเสียรูปอย่างถาวรที่เป็นผลจากการกระทำของแต่ละแรงสถิตย์ที่กระทำแยกกัน อ้างอิงตามมาตรฐาน EN 12663-1:2010+A1:2014 โดยที่อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางนี้ต้องยึดกับตัวรถ (car body)

หมายเหตุ

(1) โครงสร้างด้านข้างในรถยนต์ทั่วไปถูกออกแบบมาสำหรับการเสริมแรงรับน้ำหนัก (load-bearing reinforcement) ที่ความสูงเหนือพื้นผิวถนนตั้งแต่ 250 มิลลิเมตร ถึง 635 มิลลิเมตร การเปรียบเทียบรูปทรงและการออกแบบของโครงสร้างตัวรถขนส่งทางรางกับความสูงระดับนี้ถือว่าเพียงพอที่จะกวาดเศษขยะจากการกระแทกเริ่มต้น และลดความเสี่ยงที่เศษซากจะเข้าไปอยู่ข้างใต้อุปกรณ์หรือกีดขวางล้อรถ

(2) อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางนี้ต้องมีขนาดและความแข็งแรงเพียงพอที่จะปัดสิ่งกีดขวางออกจากชุดขับเคลื่อน (running gear) ที่หัวขบวนรถ (leading end) โดยพื้นผิวด้านหน้าของอุปกรณ์นี้ควรเป็นแนวกั้นยาว (continuous barrier) และภาพฉายด้านบนมีลักษณะเป็นรูปตัววี (V) ที่มีมุมไม่เกิน 160 องศา

ตารางที่ 6 ข้อกำหนดประสิทธิภาพของอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง

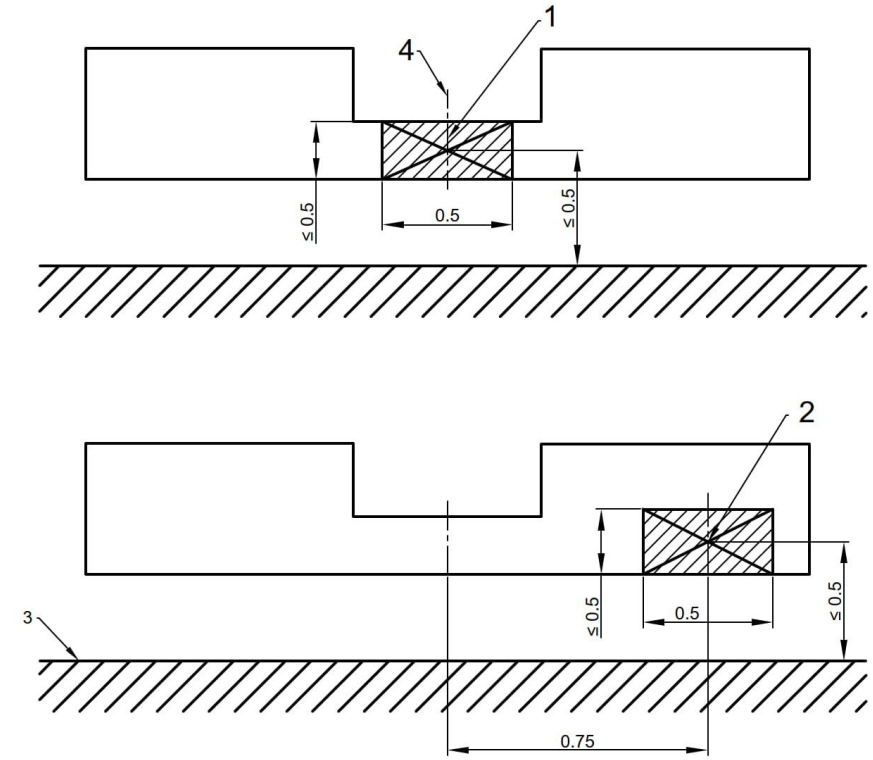
ความเร็วในการให้บริการ* (operational speed)	≥160 กม./ชม.	140 กม./ชม.	120 กม./ชม.	100 กม./ชม.	≤80 กม./ชม.
ข้อกำหนดแรงสถิตย์ (static load requirements)					
แรงสถิตย์ตามแนวยาวที่แนวศูนย์กลาง (static longitudinal load at centre line)	300 กิโลนิวตัน	240 กิโลนิวตัน	180 กิโลนิวตัน	120 กิโลนิวตัน	60 กิโลนิวตัน
แรงสถิตย์ตามแนวยาวที่ระยะห่างด้านข้าง 750 มิลลิเมตรจากแนวศูนย์กลาง** (static longitudinal load at 750 mm lateral distance from centre line)	250 กิโลนิวตัน	200 กิโลนิวตัน	150 กิโลนิวตัน	100 กิโลนิวตัน	50 กิโลนิวตัน
ข้อกำหนดบรรทุกเกินพิกัด (overload requirements)					
เช่น การพิสูจน์ด้วยพลังงานที่ถูกดูดซับที่ศูนย์กลางน้ำหนัก	36.0 กิโลจูล	28.8 กิโลจูล	21.6 กิโลจูล	14.4 กิโลจูล	7.2 กิโลจูล

***** สำหรับความเร็วในการให้บริการที่ต่างจากค่าในตาราง ค่าของแรงและพลังงานอาจเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้น

****** สำหรับรถขนส่งทางรางที่มีขนาดความกว้างรางน้อยกว่า 1.435 เมตร (standard gauge) หรือ Narrow gauge อนุญาตให้ระยะห่างด้านข้างจากแนวศูนย์กลางสามารถปรับเป็นครึ่งหนึ่งของขนาดความกว้างราง

เมื่ออุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางรับภาระเกินพิกัดที่กำหนดไว้ ต้องไม่เปลี่ยนรูปในลักษณะที่แยกออกจากกันจนเกิดอันตราย และอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางนี้ต้องไม่ขวางทางรางหรือโครงสร้างพื้นฐานอื่น ๆ โดยต้องแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์สามารถเป็นไปตามการดูดซับพลังงานในตารางที่ 6 และกระทำตามแรงแนวยาวในรูปที่ 4

หน่วยเป็น เมตร



คือ ภาพฉายหน้าตัดของพื้นที่รับภาระ ≤ 0.25 ตารางเมตร

1 คือ ตำแหน่งศูนย์กลางรับภาระลัพธ์ (laod resultant)

2 คือ ตำแหน่งภาระลัพธ์ด้านข้างทั้งสองด้าน

3 คือ สันราง

4 คือ ช่องของขอพ่วง (coupler clearance) (ถ้ามี)

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ 4 ภาระที่กระทำต่ออุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง

4.5.2 ข้อมูลเพิ่มเติม

อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางนี้ควรติดตั้งให้ใกล้กับหน้าขบวนรถ เพื่อให้สามารถกวาดเศษขยะจากการกระแทกและลดความเสี่ยงที่เศษซากจะเข้าไปอยู่ข้างใต้อุปกรณ์หรือกีดขวางล้อรถ หากมีการติดตั้งอุปกรณ์หนึ่งไว้ใต้โครงตัวรถระหว่างเพลาหน้าขบวนรถกับอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง อุปกรณ์ที่ติดตั้งนี้จะถูกป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายจากเศษขยะที่ลอดเข้ามา

4.6 ชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟ (lifeguards)

4.6.1 ข้อกำหนด

1) ชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟจะต้องติดตั้งไว้ด้านหน้าแต่ละล้อของชุดล้อนำขบวน (leading wheelset) ทั้งนี้ ในกรณีที่ขอบล่างของอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางมีความสูงจากสันรางน้อยกว่า 130 มิลลิเมตร

ในทุกสภาวะ ชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟนี้ไม่จำเป็นต้องใช้ เนื่องจากอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางเป็นไปตามข้อกำหนดสำหรับชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟ

2) ชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟอาจติดตั้งไว้ที่หม้อเพลา หรือกล่องเพลาล้อ (axle box) แคร่ (bogie) หรือที่โครงตัวรถ ซึ่งต้องเป็นไปตามเกณฑ์ระยะห่างส่วนล่างของชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟในระยะเหนือสันรางขั้นต่ำ 30 มิลลิเมตรและสูงสุด 130 มิลลิเมตร ในทุกสภาวะ ซึ่งมีการคำนึงถึงการสึกหรอของล้อและการเคลื่อนที่ของระบบกันสะเทือน (suspension movement)

3) ชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟและส่วนที่ต่อกับชุดรองรับเพลา แคร่หรือโครงตัวรถต้องออกแบบให้มีความทนทานกับแรงสถิตย์ตามยาว (longitudinal static force) ขั้นต่ำได้ โดยปราศจากการเสียรูปถาวรตามตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ข้อกำหนดประสิทธิภาพของชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟ

ความเร็วในการให้บริการ* (operational speed)	≥160 กม./ชม.	120 กม./ชม.	80 กม./ชม.	≤40 กม./ชม.
แรงสถิตย์ตามยาว (longitudinal static force)	20 กิโลนิวตัน	15 กิโลนิวตัน	10 กิโลนิวตัน	5 กิโลนิวตัน
* สำหรับความเร็วในการให้บริการที่ต่างจากค่าในตาราง ค่าของแรงและพลังงานอาจเปลี่ยนแปลงในเชิงเส้น				

เมื่อชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟรับภาระเกินพิกัดที่กำหนดไว้ ต้องไม่เปลี่ยนรูปในลักษณะที่ไปกีดขวางรางหรือชุดขับเคลื่อน (running gear) และมีผลต่อล้อรถไฟที่อาจทำให้เกิดความเสี่ยงในการตกราง

4) ชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟนี้ต้องทำจากวัสดุโลหะที่มีค่าการยืดตัวประลัย (ultimate elongation) ไม่น้อยกว่าร้อยละ 6

4.6.2 ข้อมูลเพิ่มเติม

ในบางสภาพการทำงานที่มีความเสี่ยงในการตกรางจากสิ่งกีดขวางจำนวนมากที่ผ่านเข้ามาใต้อุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางและผ่านระหว่างล้อกับรางซึ่งเป็นเหตุให้เกิดการยกตัวของล้อ เพื่อแก้ไขความเสี่ยงนี้อาจมีการติดตั้งชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟที่ด้านหน้าของล้อนำโดยตรง

5 การตรวจสอบการประเมินสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชน (validation of crashworthiness)

5.1 แผนการตรวจสอบ (validation programme)

5.1.1. แผนการตรวจสอบต้องแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (numerical model) สามารถตรวจสอบได้อย่างถูกต้องและเป็นไปตามมาตรฐานฉบับนี้ โดยมีภาคผนวก ข แสดงถึงการทดสอบและข้อกำหนดการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งนี้ การใช้การจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างเดียวเพียงพอสำหรับการทำนายพฤติกรรมของโครงสร้างที่มีการเสียรูป โดยในพื้นที่ที่มีการเสียรูปถาวร เช่น อุปกรณ์ดูดซับพลังงานโดยเฉพาะหรือส่วนรับแรงกระแทก (crumple zone) ต้องมีการทวนสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (numerical model) ด้วยการทดสอบที่เหมาะสม

5.1.2. ในสภาวะการชนของขบวนรถขนส่งทางราง (complete train) หรือรถไฟอ้างอิง (reference train) ไม่สามารถประเมินพฤติกรรมโดยการทดสอบทางกายภาพได้ (physical testing) ดังนั้นจึงต้องมีการจำลองการเคลื่อนที่ (dynamic simulation) ร่วมด้วยเพื่อให้สอดคล้องในแต่ละสภาวะการชน

5.1.3. ข้อกำหนดสภาวะการชนที่ 4 ของอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวางและชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟสามารถตรวจสอบโดยตรงจากการทดสอบทางกายภาพหรือการจำลอง (simulation) เพียงอย่างเดียว

สำหรับรถขนส่งทางรางที่มีการดัดแปลงการออกแบบซึ่งได้รับการตรวจสอบคุณสมบัติหลักในการดูดซับพลังงานแล้ว สามารถใช้แผนการตรวจสอบแบบย่อ (reduced validation programme) ในหัวข้อ 5.3 โดยที่แผนการตรวจสอบแบบองค์รวม (combined validation programme) อธิบายไว้ในหัวข้อ 5.2

5.2 แผนการตรวจสอบแบบองค์รวม (combined validation programme)

5.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การทดสอบอุปกรณ์ดูดซับพลังงานและส่วนรับแรงกระแทก (test of energy absorbing devices and crumple zones)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบบนชิ้นการทดสอบขนาดเต็ม (full-size specimens) เพื่อยืนยันประสิทธิภาพของส่วนประกอบโครงสร้างป้องกันการชนและกำหนดตัวแปร ข้อมูล (inputs) ในการสอบเทียบ (calibration) ของแบบจำลอง โดยการทดสอบต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังต่อไปนี้

1) เป็นแบบอย่างหนึ่งในสภาวะการชน

2) อำนวยความสะดวกในการสอบเทียบ

3) มีประโยชน์ต่อความสามารถในการดูดซับพลังงานสูงสุด

4) แสดงพฤติกรรมของโครงสร้างการออกแบบ

อนุญาตให้ตรวจสอบประสิทธิภาพของส่วนประกอบที่ไม่ต่อกันโดยการทดสอบขนาดเต็มแยกในแต่ละชิ้น เช่น อุปกรณ์เชื่อมระหว่างตัวรถ (inter-vehicle device) ส่วนประกอบดูดซับพลังงานและอุปกรณ์ป้องกันการปีน (anti-climbing device)

หมายเหตุ เพื่อลดความเสี่ยงที่จะเกิดข้อผิดพลาดในการทดสอบ แนะนำให้มีการจำลอง (simulation) ก่อนการทดสอบนี้ ตามรายละเอียดข้อแนะนำเพิ่มเติมในภาคผนวก ข.1.1

5.2.2 ขั้นตอนที่ 2 การสอบเทียบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (test calibration of the numerical model)

หลังจากดำเนินการทดสอบบนชิ้นการทดสอบขนาดเต็มที่ระบุไว้ในขั้นตอนที่ 1 แล้ว แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ต้องมีการสอบเทียบ โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบกับการจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สอดคล้องกัน และอาจมีการปรับแก้เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ยอมรับได้ ตามรายละเอียดข้อแนะนำเพิ่มเติมในภาคผนวก ข.1.2 และ ข.2.1

ปัจจัยสำคัญที่ใช้สำหรับการเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบและการจำลองทางคณิตศาสตร์ของการตรวจสอบแบบจำลองนี้มี 2 ประการ ได้แก่

1) พฤติกรรมของชิ้นส่วนดูดซับพลังงาน และ/หรือส่วนรับแรงกระแทกและลำดับการชน

2) ระดับแรงกระทำและการกระจัดของชิ้นส่วนดูดซับพลังงาน

5.2.3 ขั้นตอนที่ 3 การจำลองทางคณิตศาสตร์ของสภาวะการชน (numerical simulation of the design collision scenarios)

จำเป็นต้องมีการสร้างแบบจำลองสามมิติของโครงสร้างรถขนส่งทางรางในแต่ละประเภทที่จะถูกทำให้เสียรูปอย่างถาวร โดยแบบจำลองสามมิตินี้ต้องมีแบบจำลองจากการสอบเทียบในขั้นตอนที่ 2 และแบบจำลองสามมิติของโครงสร้างส่วนที่เหลือของตัวรถรวมอยู่ด้วย รายละเอียดเพิ่มเติมระบุไว้ในภาคผนวก ข.2

การจำลองพฤติกรรมทำได้โดยการคำนวณข้อมูลรายละเอียดแบบจำลองของส่วนที่รับแรงกระแทก (crumple zone) บริเวณท้ายตัวรถ ทั้งนี้ อนุญาตให้มีการสร้างแบบจำลองในส่วนอื่นจากการใช้มวลสมมูล (equivalent mass) และความแข็ง (stiffness) อย่างง่ายในการจำลอง ซึ่งต้องสามารถแสดงพฤติกรรมของพื้นที่ปลอดภัย (survival space) และจลศาสตร์การชน (global kinematics) อย่างถูกต้อง

โดยทั่วไปแล้ว เฉพาะตู้รถขนส่งทางรางคันแรกหรือสองคันแรกเท่านั้นที่จำเป็นต้องมีรายละเอียดชิ้นส่วนดูดซับพลังงานและโครงสร้างรับการเสียรูปในการสร้างแบบจำลอง ในส่วนที่เหลือสามารถแสดงเป็นพฤติกรรมโดยรวม เช่น ระบบรวมมวลจุดเดียว (lamped mass) หรือระบบสปริง เป็นต้น

หมายเหตุ

(1) แคร่และชุดขับเคลื่อนสามารถรวมอยู่ในแบบจำลองสามมิติหรือแสดงเป็นแบบจำลองรวมมวลสปริงจุดเดียว (lamped mass spring model) อย่างง่าย ขึ้นอยู่กับจุดประสงค์ของสภาวะการชนและพฤติกรรมของจลศาสตร์การชน

(2) อนุญาตให้ไม่ต้องคำนึงถึงผลของมวลเคลื่อนที่แบบหมุน (rotating mass) ของชุดล้อ (wheelsets) ขบวนขับเคลื่อน (drive trains) เป็นต้น

(3) อนุญาตให้พิจารณาแบบจำลองเพียงครึ่งเดียว หากโครงสร้างตัวรถและสภาวะการชนในการออกแบบมีความสมมาตรรอบแกนตามแนวยาว (longitudinal centre line)

(4) การจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับแต่ละสภาวะการชน ต้องเป็นไปตามมาตรฐานฉบับนี้ เว้นแต่เป็นการทดสอบโดยตรง และแบบจำลองขบวนรถขนส่งทางราง (complete train model) ต้องถูกตรวจสอบตามรายละเอียดแบบจำลองในหัวข้อ 5.2.2

5.3 แผนการตรวจสอบแบบย่อ (reduced validation programme)

ในการใช้แผนการตรวจสอบแบบย่อนี้ต้องได้รับการพิสูจน์เชิงเทคนิค โดยแสดงให้เห็นว่าแผนการที่ใช้นั้นเทียบเท่ากับแผนการตรวจสอบแบบองค์รวมตามที่ระบุไว้ข้างต้น

อนุญาตให้ใช้แผนการตรวจสอบแบบย่อ หากผ่านการออกแบบคุณสมบัติหลักในการดูดซับพลังงานนั้นได้ผ่านการตรวจสอบมาก่อนแล้วและเป็นไปตามเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งดังต่อไปนี้

1) การดัดแปลงใด ๆ ไม่ได้เปลี่ยนกลไกการทำงานของระบบความปลอดภัยเชิงแก้ไข (passive safety) หรือ

2) ความปลอดภัยที่อยู่นอกเหนือตามข้อกำหนดจะต้องมีการรองรับความไม่แน่นอนต่อเหตุการณ์ที่อาจจะเกิดขึ้น

และสำหรับการตรวจสอบแบบย่อสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนนี้ต้องตรวจสอบโดยรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) โดยการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ใกล้เคียงกัน เช่น การเขียนแบบทางวิศวกรรม (engineering drawing) ผลการทดสอบ (test result) และข้อมูลเชิงเทคนิค (technical data)

2) การรวมกันของการจำลองทางคอมพิวเตอร์ (computer simulation) กับการคำนวน เช่น การวิเคราะห์ความแข็งแรงของชิ้นส่วน (Finite Element Analysis) หรือการสร้างแบบจำลองหลายส่วน (multi-body modelling) และการทดสอบอื่นตามความเหมาะสม

ข้อมูลจากการทดสอบกึ่งสถิตย์ (quasi-static test) ใช้เพื่อบ่งบอกพฤติกรรมของชิ้นส่วนดูดซับพลังงานเท่านั้น ในกรณีที่ผลลัพธ์นั้น ไม่แปรผันตามอัตราต่าง ๆ (rate dependent) หรือสามารถปรับค่าและตรวจสอบตามความเหมาะสมเพื่อให้แน่ใจว่าเป็นไปตามคุณลักษณะเชิงพลวัตที่ถูกต้อง (dynamic characteristics)

5.4 ความสอดคล้องกันในการประเมินการตรวจสอบ (conformity assessment)

ทุกการจำลองสภาวะการชนต้องจัดทำรายงานผลการคำนวณที่มีคำอธิบายของสภาวะการชน สิ่งกีดขวางและแบบจำลองรถขนส่งทางราง (rolling stock modelling) รวมถึงขั้นตอนการตรวจสอบแบบจำลองนั้น (model validation) จากการทดสอบโดยตรงหรือการอ้างอิงถึงเอกสารอื่น ๆ

ทั้งนี้ การจัดทำเอกสารรายงานผลการจำลองในแต่ละสภาวะการชนนี้ต้องเป็นในรูปแบบที่สามารถชี้วัดได้ รวมทั้งแสดงถึงพฤติกรรมโดยรวมของรถขนส่งทางรางตามคุณสมบัตินั้น ๆ

ภาคผนวก ก ปัจจัยในสภาวะการชน

ก.1 บทนำ

เพื่อให้ข้อกำหนดสมรรถนะของโครงสร้างป้องกันการชนของรถขนส่งทางรางสามารถประเมินได้ จำเป็นที่สภาวะการชนจะถูกพิจารณาในรูปแบบของความเร็วในการปะทะ (impact speed) ชนิดและมวลของสิ่งกีดขวางการชน โดยปัจจัยของสภาวะการชนที่เกี่ยวข้องสำหรับแต่ละประเภทของรถขนส่งทางรางระบุไว้ในหัวข้อที่ 3

สภาวะการชนที่ 1 ใช้เมื่อเกิดเหตุการณ์การชนกันของตัวรถไฟต่อตัวรถไฟที่มีผลทำให้เกิดความเสียหายร้ายแรง โดยพิจารณาการชนจากขบวนรถไฟที่มีลักษณะเหมือนกัน

สภาวะการชนที่ 2 แสดงการชนกับรถขนส่งทางรางที่มีกันชน (classical buffered rolling stock) หรือชนกับแป้นปะทะ (buffer stop) ในสภาพแวดล้อมการจราจรที่หลากหลาย

สภาวะการชนที่ 3 เป็นเหตุการณ์การชนที่ระบบความปลอดภัยเชิงป้องกันควบคุมได้ยาก โดยสถานการณ์การชนนี้ขึ้นอยู่กับทางตัดผ่านเสมอระดับ ความเร็วในการให้บริการ อัตราการห้ามล้อฉุกเฉินของขบวนรถ และระยะการมองเห็น (sighting distance)

สภาวะการชนที่ 4 ใช้เมื่อเกิดการชนกับสิ่งกีดขวางที่มีจุดศูนย์กลางมวลต่ำกว่าระดับของโครงตามขวางส่วนปลายของขบวนรถไฟ (headstock) ซึ่งการลดความเสี่ยงในการตกรางทำได้โดยจากการติดตั้งอุปกรณ์กีดกันสิ่งกีดขวางและชิ้นส่วนป้องกันที่ล้อรถไฟบนตัวรถ

หมายเหตุ

(1) ข้อจำกัดการออกแบบในแต่ละสภาวะการชน ขึ้นอยู่กับระบบควบคุมขบวนรถ (train control) ระบบความปลอดภัยเชิงป้องกัน ลักษณะของโครงสร้างพื้นฐาน รวมถึงมวลและความเร็วในการให้บริการของตัวรถ

(2) ในบางกรณีที่สภาวะการชนและปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการเดินรถถูกระบุอยู่ในข้อบังคับ (regulation) ในกรณีเช่นนี้ให้ใช้ข้อบังคับนั้นก่อนและอาจถือได้ว่าเป็นกรณีที่มีข้อจำกัดหนึ่ง (limiting case)

(3) หากข้อบังคับนั้นไม่มีการระบุถึงเงื่อนไขที่มีข้อจำกัดและปัจจัยสภาวะการชนในตารางที่ 2 ไม่สามารถใช้ได้ ควรมีการจัดการที่เหมาะสมและเพียงพอเพื่อป้องกันผู้โดยสารและพนักงานจากความเสี่ยง และควรมีเทคนิคที่เหมาะสมในการประเมินความน่าจะเป็นของแต่ละสภาวะการชน ความรุนแรงของแต่ละสภาวะการชนและการลดความเสี่ยง ซึ่งทำได้โดยการใช้แต่ละองค์ประกอบของระบบป้องกันการชนเชิงป้องกันและเชิงแก้ไขที่ถูกวางแผนไว้

4) ไม่มีข้อกำหนดสำหรับการชนด้านข้างและการดีดออกหรือการรุกล้ำของโครงสร้างด้านข้าง

ก.2 การกำหนดสภาวะการชนสำหรับความเสี่ยงการชนที่แตกต่างจากมาตรฐานฉบับนี้

ก.2.1 สภาวะการชน (design collision scenarios)

ในหัวข้อย่อยนี้แสดงแนวทางการกำหนดสภาวะการชนเมื่อปัจจัยสภาวะการชนนี้ในหัวข้อที่ 3 ใช้ไม่ได้และข้อบังคับอื่นไม่ได้ระบุไว้ ทั้งนี้ให้อ้างอิงรูปแบบสภาวะการชนโดยยึดตามหัวข้อที่ 3

การกำหนดกรณีที่มีข้อจำกัดในแต่ละสภาวะการชน จำเป็นต้องวิเคราะห์ความเสี่ยงอิงจากลักษณะของขบวนรถ ลักษณะของสิ่งกีดขวางการชน ณ จุดที่ปะทะกันและความน่าจะเป็นของการชนกันในบริบทของระบบรางนั้น ๆ ซึ่งความน่าจะเป็นของสภาวะการชนจำเพาะนั้น ได้มาจากการพิจารณา

ชนิดของระบบราง ลักษณะการเดินรถและส่วนของระบบความปลอดภัยการชนเชิงป้องกัน (active collision protection system)

ลักษณะของแต่ละสภาวะการชนถูกกำหนดจากปัจจัยดังต่อไปนี้

1. รูปแบบของขบวนรถไฟ
2. มวลของขบวนรถไฟ
3. ลักษณะทางกลของรถขนส่งทางรางที่ประกอบขึ้นเป็นขบวนรถไฟ รวมถึงความแข็ง (stiffness) ระบบขอพ่วง (coupling system) ความสามารถในการดูดซับพลังงาน ฯลฯ
4. ความเร็วที่ปะทะ
5. ลักษณะสิ่งกีดขวางการชน

ก.2.2 การวิเคราะห์ความเสี่ยง

จุดประสงค์หลักสำหรับการวิเคราะห์ความเสี่ยง เพื่อให้แน่ใจว่าความเสี่ยงที่เกิดจากการชนของรถขบวนใหม่ได้มีการทำความเข้าใจอย่างถี่ถ้วนและความเสี่ยงนั้นไม่สูงไปกว่าขบวนรถที่มีอยู่ ทั้งนี้ทุกการกระทำควรมีเหตุมีผลและลดความเสี่ยงจากการชนได้

1. การวิเคราะห์ความเสี่ยงในแต่ละสภาวะการชนที่อาจเกิดขึ้นควรเป็นไปตามข้อกำหนดของข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง

2. การประเมินความเสี่ยงควรพิจารณาความเสี่ยงในการชนจากระบบรางเต็มรูปแบบที่ถูกออกแบบเพื่อมีการเดินรถ รวมถึงระบบควบคุมและอาณัติสัญญาณซึ่งเป็นระบบความปลอดภัยเชิงป้องกัน (active safety)

3. ในกรณีที่ไม่มีข้อบังคับ ควรมีการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่เหมาะสมเพื่อกำหนดสภาวะการชนในการออกแบบขึ้น ซึ่งการวิเคราะห์นี้ควรอิงจากลักษณะของระบบรางและสิ่งกีดขวาง รวมไปถึงคำนึงถึงสถิติการเกิดอุบัติเหตุ สภาพทัศนวิสัย (visibility conditions) และความเร็วในการให้บริการ

ข้อแนะนำ

(1) ใช้การวิเคราะห์ความเสี่ยงเชิงสาเหตุ (causative risk analysis) และการวิเคราะห์ความเสี่ยงผลสืบเนื่อง (consequential risk analysis) อิงจากวิธีการในมาตรฐาน EN 50126-1 และคำนึงถึงการวิเคราะห์เชิงสถิติของข้อมูลประวัติการชนที่เกี่ยวข้องในหัวข้อ ก.2.5

(2) เทคนิคการวิเคราะห์ความเสี่ยงที่สามารถใช้ได้ ได้แก่ Hazard and Operability Studies (HAZOP) Failure Modes and Effects Analysis (FMEA) และ Fault Tree Analysis (FTA)

(3) หากการวิเคราะห์ที่มีอยู่สามารถใช้กับรถขนส่งทางรางที่คล้ายกันและทำงานในบริบทที่คล้ายกัน การทบทวนข้อปฏิบัติของการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ก็เพียงพอแล้ว

ก.2.3 ปัจจัยในการพิจารณาการประเมินความเสี่ยง

ปัจจัยที่อาจมีผลกับความเร็วในการปะทะของขบวนรถไฟ ได้แก่

1. ความเร็วสูงสุดในการให้บริการของขบวนรถไฟ
2. ประเภทการเดินรถ ระยะการเห็นของเสาสัญญาณ (signal sighting) และระยะห้ามล้อของขบวน
3. ระบบอาณัติสัญญาณ รวมถึงลักษณะของระบบความปลอดภัยเชิงแก้ไข

การใช้ระบบป้องกันอัตโนมัติ (Automatic Train Protection: ATP) อาจมีการควบคุมความเร็วในการแล่นเข้าหาขบวนรถและสิ่งกีดขวางอื่น ๆ ให้อยู่ในขีดจำกัดที่ต่ำ ควรพิจารณาการจำกัดความเร็วหลังจากระบบควบคุมล้มเหลว

ปัจจัยอื่นที่พึงพิจารณา ได้แก่

1. ช่วงของระบบรางที่มีการเดินรถสองทิศทาง (bi-directional running)
2. ลักษณะของระบบควบคุมการเดินรถ (operational control system)
3. ระยะมองเห็นเสาสัญญาณและอันตราย (signal and hazard sighting distances)
4. อัตราการห้ามล้อฉุกเฉินสูงสุด (maximum emergency braking rate)

ปัจจัยที่อาจมีผลกับชนิดสิ่งกีดขวางการชนที่พึงพิจารณา ได้แก่

1. เป็นระบบรางแบบปิด (closed rail system) หรือไม่ เช่น ระบบขนส่งมวลชนเร็ว (rapid transit system) ที่มีขบวนรถประเภทเดียว
2. เป็นระบบรางแบบเปิด (open rail system) ที่มีการจราจรที่หลากหลายหรือไม่
3. มีทางรถผ่านเสมอระดับหรือไม่ หากไม่มี ไม่จำเป็นต้องพิจารณาสภาวะการชนที่มีถนนตัดผ่าน (road crossing)
4. ระบบรถรางมีการเดินรถบนถนนหรือไม่
5. ระบบรางมีการป้องกันผู้บุกรุกหรือไม่
6. มีรั้วกั้นหรือไม่ ปลอดภัยหรือไม่ สามารถป้องกันสัตว์ใหญ่เข้ามาได้หรือไม่
7. มีประวัติที่เกี่ยวข้องกับคนวางสิ่งกีดขวางบนเส้นทาง ไม่ว่าจะโดยบังเอิญหรือเจตนาร้าย หรือไม่ สิ่งกีดขวางประเภทใดและมีขนาดเท่าใด
8. มีประวัติที่เกี่ยวข้องกับสิ่งกีดขวางทางรางที่เกิดโดยธรรมชาติในบริเวณใกล้เคียงกับระบบราง หรือไม่

ก.2.4 การตกรางจากการชน

การตกรางจากการชนกันของรถขนส่งทางรางเป็นเหตุการณ์ไม่ปกติซึ่งไม่สามารถคาดการณ์พฤติกรรมขบวนรถที่ตกรางได้อย่างแม่นยำ หรือไม่สามารถกำหนดสภาวะการชนที่เกี่ยวข้องในกรณีที่มีข้อจำกัดได้ การป้องกันภายใต้มาตรฐานฉบับนี้จะช่วยลดผลกระทบจากเหตุการณ์ดังกล่าว ทั้งนี้ การพิจารณาผลกระทบนอกเหนือจากนี้อยู่นอกขอบเขตมาตรฐานฉบับนี้

ก.2.5 บรรณานุกรมข้อมูลอุบัติเหตุที่เกี่ยวข้อง

เอกสารที่เก็บข้อมูลประวัติการชนที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

1. สำหรับรถขนส่งทางรางประเภท C-I เอกสารที่ [1] [2] และ [3]
2. สำหรับรถขนส่งทางรางประเภท C-III และ C-IV เอกสารที่ [4] [5] [6] และ [7]

ตัวอย่างเหล่านี้อาจใช้เป็นพื้นฐานสำหรับคำจำกัดความของสภาวะการชนของขบวนรถใหม่ แต่การวิเคราะห์ความเสี่ยงต้องแน่ใจว่าสภาวะและความเสี่ยงที่จะตามมานั้นเหมาะสมกับสภาพการเดินรถจริงและลักษณะของขบวนรถใหม่

ภาคผนวก ข ข้อกำหนดในแผนการตรวจสอบ

ข.1 คุณสมบัติการทดสอบ (test specification)

ข.1.1 แผนการทดสอบ (test programme)

จุดประสงค์ของแผนการทดสอบ เพื่อตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้แสดงการจำลองพฤติกรรมของกลไกการดูดซับพลังงานได้อย่างถูกต้อง และแสดงข้อกำหนดการดูดซับพลังงานของสภาวะการชนที่ 1 และ 2 ที่ใช้ในการออกแบบนี้ ทั้งนี้ ข้อกำหนดนี้ไม่ต้องใช้ในสภาวะการทดสอบจริง

การสอบเทียบ (calibration test) ต้องทำกับแต่ละประเภทของชิ้นส่วนท้ายรถขนส่งทางรางที่มีความเกี่ยวข้องกับการดูดซับพลังงาน โดยหากส่วนปลายที่มีหลักการดูดซับพลังงานเหมือนกัน ไม่จำเป็นต้องทำการสอบเทียบแยก และอนุญาตให้ทดสอบแยกในชิ้นส่วนดูดซับพลังงานที่ใช้งานแยกส่วนกัน แต่ในทุกกลไกการดูดซับพลังงานที่มีการทำงานร่วมกันต้องรวมอยู่ในการทดสอบเดียวกัน

โดยทั่วไป การทดสอบต้องมีการดูดซับอย่างน้อยร้อยละ 80 ของพลังงานสูงสุดที่ต้องการในการดูดซับจากชิ้นการทดสอบ (test specimen) หากการทดสอบมีค่าการดูดซับต่ำกว่านี้ ต้องมีความเหมาะสมและไม่น้อยกว่าร้อยละ 50 ของพลังงานที่กำหนด

การทดสอบขนาดเต็ม (full-size test) ต้องมีพลังงานเพียงพอเพื่อให้แน่ใจตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. ทุกกลไกในการทดสอบเริ่มทำงานได้

2. ในการทดสอบการเคลื่อนที่ (dynamic test) มีความเร็วปะทะอย่างน้อยร้อยละ 50 ของความเร็วเริ่มต้นในสภาวะการชน

3. กลไกทั้งหมดที่ไม่ได้ผ่านการตรวจสอบขนาดเต็มได้รับการพิสูจน์ในการทดสอบนี้

ข้อมูลเพิ่มเติม

1) การทดสอบโครงสร้างหรือส่วนประกอบที่ติดตั้งที่กึ่งกลางด้านปลาย (intermediate ends) ควรใช้ความเร็วไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50 ของความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างปลายนั้น ๆ

2) การทดสอบบนส่วนประกอบที่มีพฤติกรรมไวต่อความเร็ว เช่น ชิ้นส่วนลดการสั่นสะเทือน (viscous damper elements) ควรมีความเร็วใกล้เคียงกับความเร็วปะทะเพื่อให้สอดคล้องกับความเร็วของส่วนประกอบในสภาวะการชนที่พิจารณา

ข.1.2 เกณฑ์ที่ยอมรับได้ในการสอบเทียบและการตรวจสอบ

ในการตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถขนส่งทางราง การทดสอบต้องดำเนินการด้วยความแม่นยำ มีการวัดค่าตัวชี้วัดที่สามารถเทียบได้และมีการเก็บผลการทดสอบอย่างครบถ้วน การทดสอบที่ยอมรับได้จะรวมถึงเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. การวัดแรง ความเร็วการชน (collision speed) การหน่วงความเร็วและการเสียรูป สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ เช่น พลังงาน การเสียรูป ฯลฯ ของอุปกรณ์และกลไกดูดซับพลังงานขณะการทดสอบโครงสร้างและส่วนประกอบ

2. การวัดขนาดก่อนและหลังการทดสอบในพื้นที่ที่กำหนดตามข้อตกลงก่อนการทดสอบ

3. การบันทึกรูปแบบการทดสอบ มุมมองโดยรวมและการเขียนแบบโดยละเอียด ซึ่งหากจำเป็นวิดีโอความเร็วสูง (high-speed video) สามารถนำมาเปรียบเทียบระหว่างจลศาสตร์ (kinematics) ในการทดสอบกับการจำลอง (simulation) ที่สอดคล้องกัน

4. ความเร็วของการปะทะต้องวัดได้อย่างน้อย ±0.5 กม./ชม. และมวลของรถในการทดสอบต้องวัดได้อย่างน้อยร้อยละ ±5

5. ความคลาดเคลื่อนในการวัดจริงที่สอดคล้องกับปัจจัยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในขณะการทดสอบนี้ต้องมีการแสดงปริมาณและปรากฏในรายงาน

6. สัญญาณในการทดสอบควรกรองด้วยตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำ (low pass filter) ด้วยความถี่อย่างน้อย 1000 เฮิร์ตซ์

ข้อแนะนำ ค่าอ้างอิงหลักของความเร็ว แรงและการกระจัด สามารถได้รับการยืนยันโดยระบบบันทึกค่าที่แยกกันอย่างน้อย 2 ระบบ และทำสำเนาการบันทึกที่สำคัญอื่น ๆ ไว้ด้วย เช่น เวลาในการปะทะ ความเร่ง ความเร็ว

ข.2 การจำลองทางคณิตศาสตร์ (numerical simulations)

ข.2.1 การตรวจสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (numerical model validation)

แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองสภาวะการชนต้องอิงจากเทคนิคการสร้างแบบจำลองเดียวกันกับที่ใช้ในการเปรียบเทียบกับการทดสอบ โดยที่การตอบสนองความถี่สูงใด ๆ ต้องถูกผ่านตัวกรองความถี่ต่ำให้มีความถี่ไม่ต่ำกว่า 180 เฮิร์ตซ์

การสร้างแบบจำลองที่ยอมรับได้เมื่อเทียบกับการทดสอบ ต้องเป็นไปตามเกณฑ์ดังต่อไปนี้

1. มีลำดับเหตุการณ์แบบเดียวกันเกิดขึ้นระหว่างการชน เช่น การดูดซับพลังงานหลายขั้นเกิดขึ้นอย่างสอดคล้องกัน

2. มีรูปแบบการเสียรูปที่สังเกตได้แบบเดียวกันเกิดขึ้น (deformation pattern)

3. มีระดับการกระจายพลังงานของแบบจำลองไม่เกินร้อยละ 10 ของค่าการทดสอบ

4. การจำลองนี้สร้างกราฟแนวแรง (global force curve) มีจุดสุด (peak) จุดต่ำสุด (trough) และแนวระดับ (level) ฯลฯ ซึ่งแสดงลักษณะทั่วไปเหมือนกับที่วัดจากการทดลอง

เมื่อพลังงานที่ถูกดูดซับจากการชนโดยกลไกแบบเฉพาะจำนวนหนึ่ง เกณฑ์การเปรียบเทียบที่ต้องใช้ในแต่ละส่วนและโดยรวมมีดังต่อไปนี้

1. การกระจัดรวม (overall displacement: stroke) ของการจำลองไม่เกินร้อยละ 10 ของค่าการทดสอบ

2. แรงโดยเฉลี่ยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการกระจัด ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 10 ของค่าการทดสอบ

ข้อมูลเพิ่มเติม

1) การกระจัดรวม (overall displacement: stroke) พิจารณาจากการวัดขนาดของชิ้นส่วนดูดซับพลังงานในทิศทางแนวยาว (longitudinal direction) ของรถขนส่งทางรางก่อนและหลังการทดสอบตามลำดับการทดสอบจำลองการชน (simulated crash test)

2) ความคลาดเคลื่อนในการวัดระหว่างการทดสอบควรแสดงปริมาณและปรากฏในรายงานการตรวจสอบ รวมไปถึงความแตกต่างใด ๆ ของการจำลองและผลการทดสอบ

3) ผลลัพธ์ที่ดีของการทดสอบและการจำลองขึ้นอยู่กับคุณภาพของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และความแม่นยำของจลศาสตร์ในการทดสอบเป็นหลัก

4) คุณสมบัติของวัสดุในส่วนรับแรงกระแทก (crumple zone) ควรแสดงถึงพฤติกรรมจริงของวัสดุที่ใช้ โดยค่าวัสดุ (nominal material values) สามารถใช้ในส่วนอื่น ๆ ของแบบจำลองได้

5) ในกรณีอุดมคติ ควรปรับเฉพาะมวลและความเร็วในการจำลองเพื่อให้ตรงกับผลการสอบเทียบ

ข.2.2 การสร้างแบบจำลอง (simulation modelling)

การจำลองสภาวะการชนต้องแสดงจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จำลองรูปทรงเรขาคณิตของโครงสร้างและอุปกรณ์ดูดซับพลังงานอย่างถูกต้อง โดยต้องแสดงผลและพฤติกรรมจากการชนของขอพ่วง (coupler) และกันชน (buffer)

หมายเหตุ

(1) การเยื้องศูนย์และการเคลื่อนที่ระหว่างรถขนส่งทางรางอาจทำให้เกิดแรงและโมเมนต์เพิ่มเติมในข้อพ่วงและกันชน ซึ่งอาจส่งผลกับการทำงานระหว่างข้อพ่วงกับโครงสร้างรถ

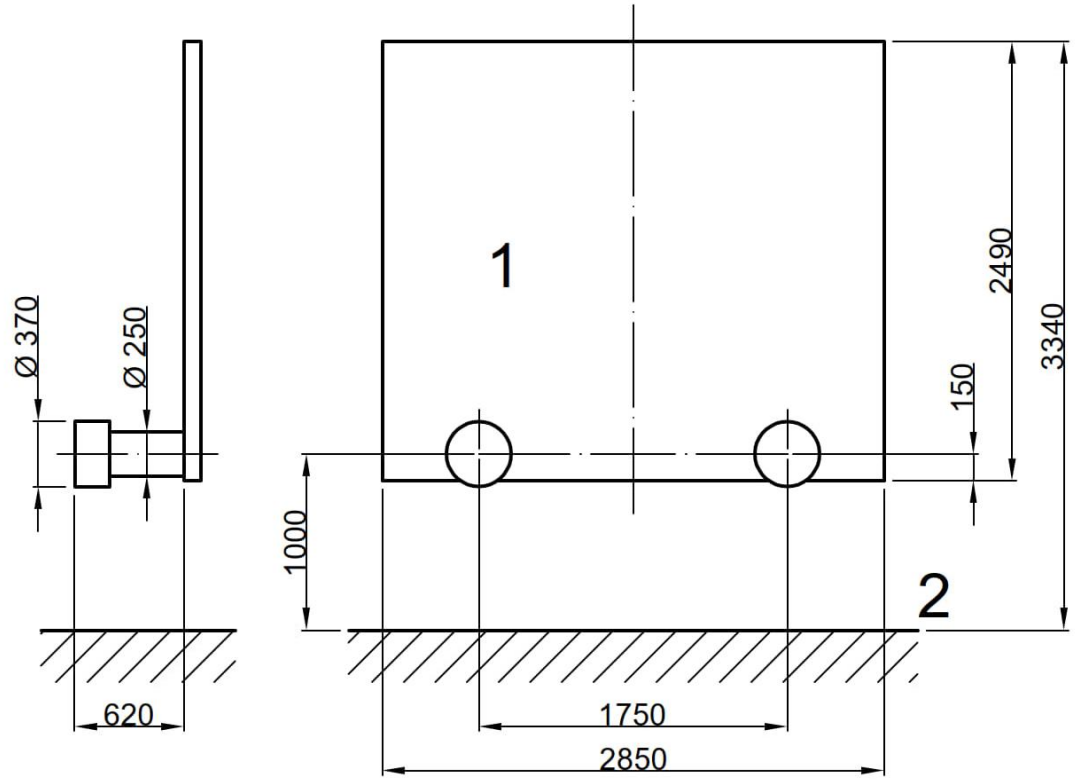
(2) ในกรณีที่มีลักษณะการดูดซับพลังงานแบบผันกลับได้ (reversible energy absorption) ของขอพ่วงหรือกันชนที่ขึ้นอยู่กับความเร็ว เช่น ระบบกันสั่นสะเทือนแก๊สไฮดรอลิค (gas hydraulic damper) ผลกระทบเหล่านี้ต้องมีการรายงานไว้

ภาคผนวก ค นิยามสิ่งกีดขวางอ้างอิง (reference obstacle definitions)

ค.1 ตู้บรรทุกสินค้าหนัก 80 ตันที่มีการติดตั้งกันชนด้านข้าง (side buffer)

สำหรับการชนระหว่างขบวนรถไฟและตู้บรรทุกสินค้าที่มีการติดตั้งกันชนด้านข้าง กำหนดให้ตู้บรรทุกสินค้านี้หนัก 80 ตัน ซึ่งมีการเคลื่อนที่เสรี (degree of freedom) เป็น 1 ในทิศทางแกน X โดยมีรูปทรงการเชื่อมต่อ (interface geometry) และการติดตั้งกันชนด้านข้างที่มีขนาดเริ่มต้น ดังรูปที่ ค.1 โดยกำหนดให้ผนังด้านท้ายเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (rigid) และลักษณะความสัมพันธ์แรงกับการกระจัดในระยะ 105 มิลลิเมตร (stroke) เป็นไปตามรูปที่ ค.2 โดยที่มีความจุการดูดซับพลังงานรวมของกันชนด้านข้างทั้งสอง 62 กิโลจูลล์

หน่วยเป็น มิลลิเมตร

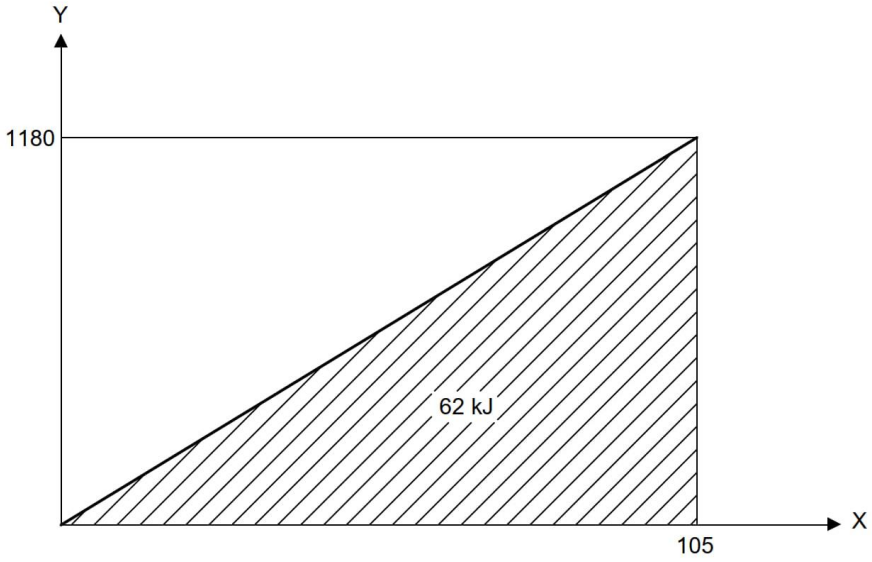


1 คือ ท้ายบรรทุก

2 คือ สันราง

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.1 การเชื่อมต่อตู้บรรทุกสินค้าที่มีกันชน



Y คือ ผลรวมแรงของทั้งสองกันชน ในหน่วย กิโลนิวตัน

X คือ การกระจัด ในหน่วย มิลลิเมตร

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

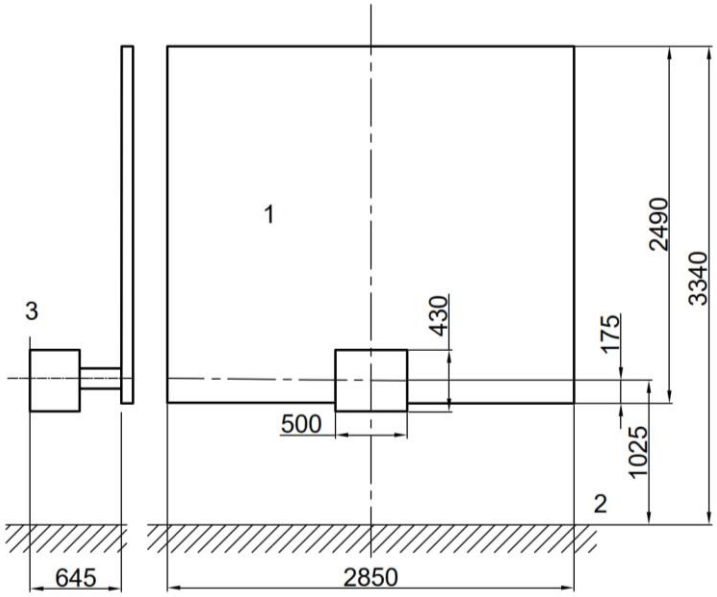
รูปที่ ค.2 ลักษณะแรงและการกระจัดของกันชนตู้บรรทุกสินค้า

ค.2 ตู้บรรทุกสินค้าหนัก 80 ตันที่มีการติดตั้งขอพ่วงสำหรับงานหนัก (heavy duty coupler)

สำหรับการชนระหว่างขบวนรถไฟและตู้บรรทุกสินค้าที่มีการติดตั้งขอพ่วงสำหรับงานหนักทั้ง 2 ด้าน กำหนดให้ตู้บรรทุกสินค้านี้หนัก 80 ตัน ซึ่งมีการเคลื่อนที่เสรี (degree of freedom) เป็น 1 ในทิศทางแกน X โดยมีรูปทรงการเชื่อมต่อ (interface geometry) ดังรูปที่ ค.3 โดยกำหนดให้ผนังด้านท้ายและรูปทรงหัวขอพ่วงเป็นวัตถุแข็งเกร็ง (rigid) ซึ่งถูกติดตั้งขอพ่วงศูนย์กลาง ที่มีลักษณะความสัมพันธ์แรงกับการกระจัดในระยะการกระจัด (stroke) 110 มิลลิเมตร เป็นไปตามรูปที่ ค.4 โดยที่มีความจุการดูดซับพลังงานรวมของขอพ่วงนี้ 77 กิโลจูลล์

รูปทรงหัวขอพ่วงและความสูงจากสันรางต้องมีขนาดเดียวกับขบวนรถไฟที่ชน (impacting train) และมีระยะตามแนวยาว (longitudinal distance) ของระนาบขอพ่วงถึงผนังด้านท้ายของตู้บรรทุกสินค้าเท่ากับ 645 มิลลิเมตร ซึ่งอนุญาตให้มีการจำลองหัวขอพ่วงโดยใช้รูปทรงและความสูง ดังรูปที่ ค.3

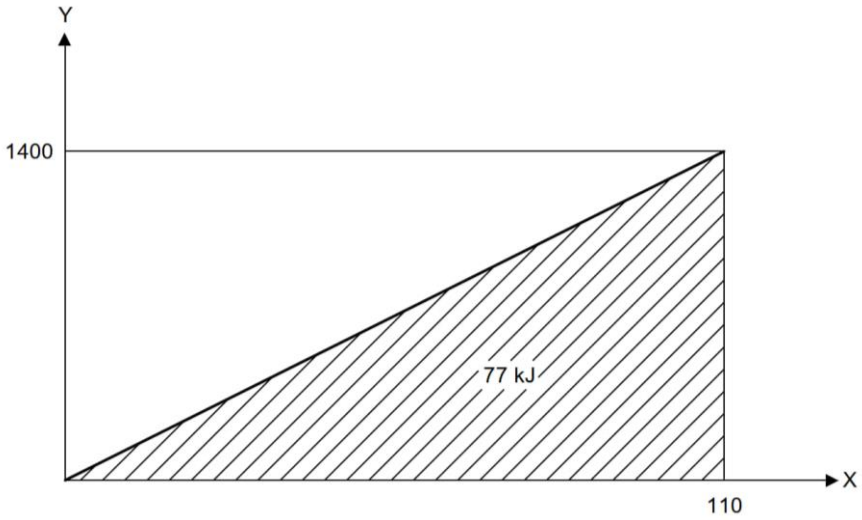
หน่วยเป็น มิลลิเมตร



1 คือ ท้ายบรรทุก
2 คือ สันราง
3 คือ ระนาบขอพ่วง

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.3 การเชื่อมต่อตู้บรรทุกสินค้าที่มีขอพ่วงศูนย์กลาง



Y คือ แรงในขอพ่วง ในหน่วย กิโลนิวตัน
X คือ การกระจัด ในหน่วย มิลลิเมตร

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

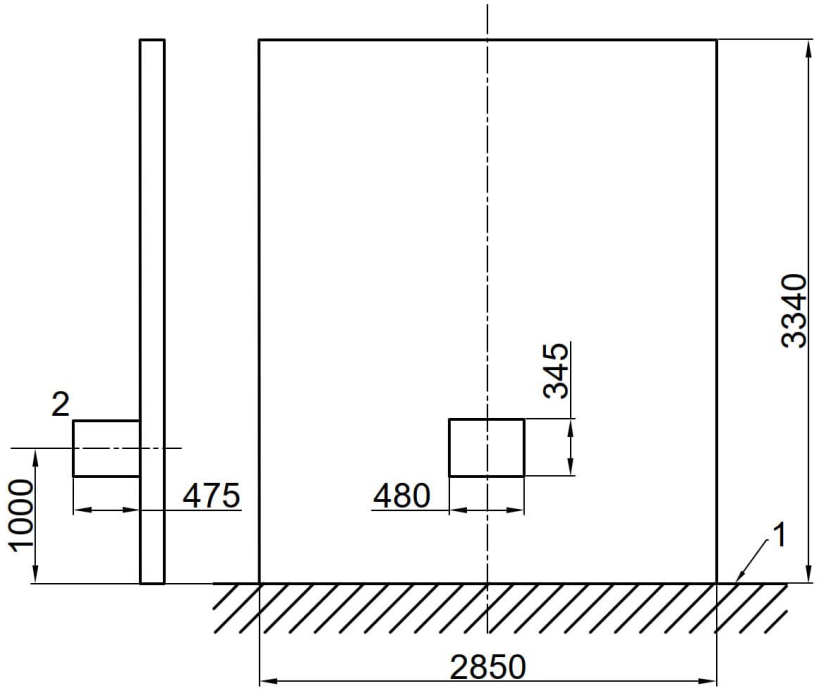
รูปที่ ค.4 ลักษณะแรงและการกระจัดของขอพ่วงตู้บรรทุกสินค้า

ค.3 รถไฟระหว่างเมือง (regional train) หนัก 129 ตัน

รถไฟระหว่างเมืองจะถูกแสดงเป็นมวลแข็งเกร็ง (rigid mass) หนัก 129 ตัน ซึ่งมีการเคลื่อนที่เสรี (degree of freedom) เป็น 1 ในทิศทางแกน X โดยที่มีรูปร่างและขนาดของขอพ่วงศูนย์กลางดังรูปที่ ค.5

ความสูงของขอพ่วงขบวนอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระยะ 1000 มิลลิเมตรจากสันรางและมีลักษณะความสัมพันธ์แรงกับการกระจัดของขอพ่วง เป็นไปตามรูปที่ ค.6 โดยที่มีความจุการดูดซับพลังงาน 530 กิโลจูลล์

หน่วยเป็น มิลลิเมตร

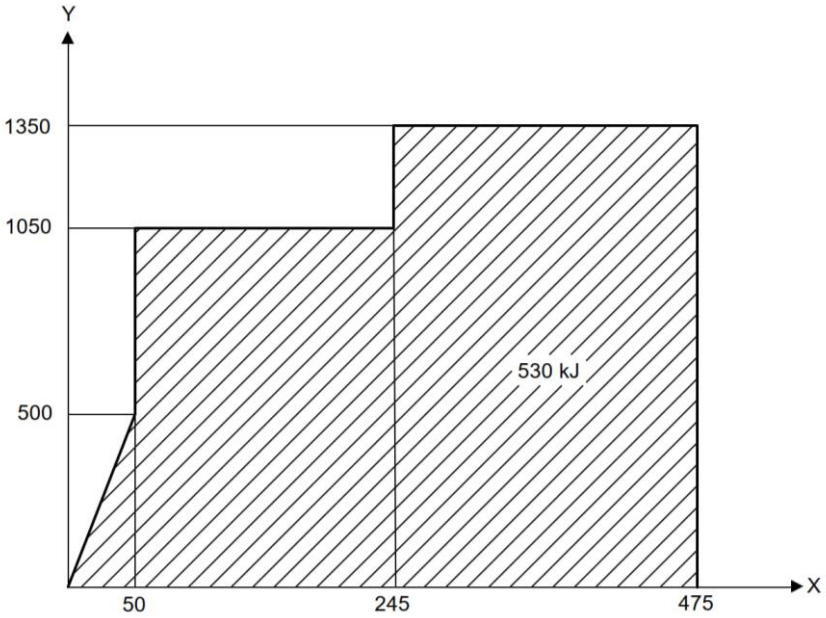


1 คือ สันราง

2 คือ ตำแหน่งอ้างอิงขอพ่วง

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.5 รถไฟระหว่างเมืองหนัก 129 ตัน



Y คือ แรง ในหน่วย กิโลนิวตัน

X คือ การกระจัด ในหน่วย มิลลิเมตร

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.6 ลักษณะแรงและการกระจัดของขอพ่วง

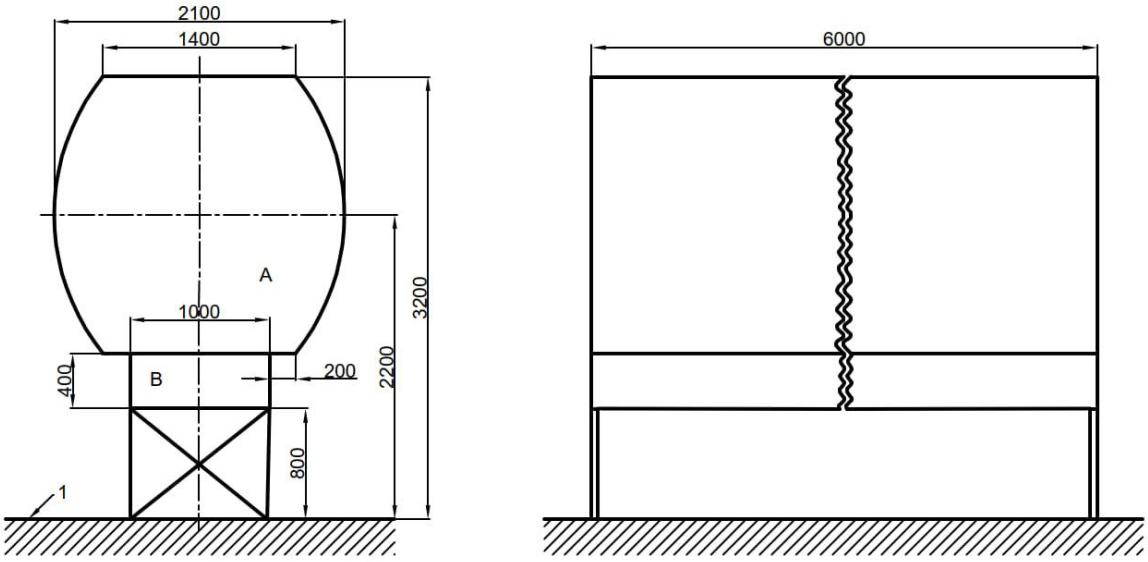
ค.4 สิ่งกีดขวางเปลี่ยนรูปได้ (deformable obstacle) หนัก 15 ตัน บนทางตัดผ่านเสมอระดับ (level crossing)

สำหรับการชนระหว่างขบวนรถไฟกับสิ่งกีดขวางขนาดใหญ่ที่ทางตัดผ่านเสมอระดับ สิ่งกีดขวางเปลี่ยนรูปได้ต้องอยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงในซอฟต์แวร์การจำลองการชนโดยเฉพาะ

สิ่งกีดขวางที่จะใช้แสดงดังรูที่ ค.7 และมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) รูปทรงดังรูปที่ ค.7
2) มีมวล 15,000 กิโลกรัม
3) จุดศูนย์กลางมวลที่ตำแหน่ง 1,750 มิลลิเมตร เหนือระดับราง
4) ส่วน A และ B อาจสร้างแบบจำลองโดยมีหรือไม่มีฝาปิดก็ได้ (cover sheet)
5) มีความสม่ำเสมอของความหนาแน่นและความแข็งตามแนวแกนอย่างต่อเนื่อง
6) ไม่มีแรงเสียดทานกับพื้น
7) หากมีแรงเสียดทานระหว่างพื้น กำหนดให้มีค่า 0.2
8) ไม่มีการใช้ขอพ่วงศูนย์กลางที่ส่วนท้ายของห้องโดยสารในการจำลองสิ่งกีดขวางนี้
9) ความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางอาจเปลี่ยนแปลงไปในทิศทาง Z และความแข็งอาจเปลี่ยนไปในทิศทาง X เพื่อให้เป็นไปตามคุณสมบัติที่กำหนด

หน่วยเป็น มิลลิเมตร

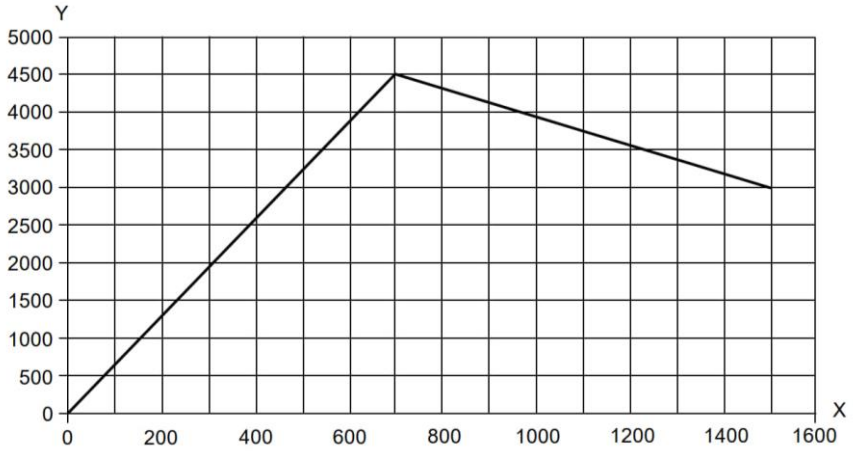


1 คือ สันราง

A และ B คือ ส่วนของสิ่งกีดขวาง

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.7 สิ่งกีดขวางเปลี่ยนรูปได้หนัก 15 ตัน บนทางตัดผ่านเสมอระดับ (level crossing)



Y คือ แรงตามแนวยาว (longitudinal force) ในหน่วย กิโลนิวตัน

X คือ การกระจัดของทรงกลมในทิศทาง x ในหน่วย มิลลิเมตร

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.8 ลักษณะแรงและการกระจัดตามยาวของทรงกลม

สิ่งกีดขวางนี้ต้องมีคุณลักษณะตรงกับแรงและการกระจัดตามยาวดังรูปที่ ค.8 เมื่อถูกปะทะที่จุดศูนย์กลางโดยทรงกลมมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) รูปร่างของสิ่งกระทบ (impactor) คือ ทรงกลมทึบและสม่ำเสมอ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 เมตร ที่มีจุดศูนย์กลางมวลที่ระยะ 1.5 เมตร เหนือระดับราง

2) สิ่งกระทบนี้มีมวล 50,000 กิโลกรัม

3) ความเร็วปะทะเริ่มต้นที่ 30 เมตรต่อวินาที

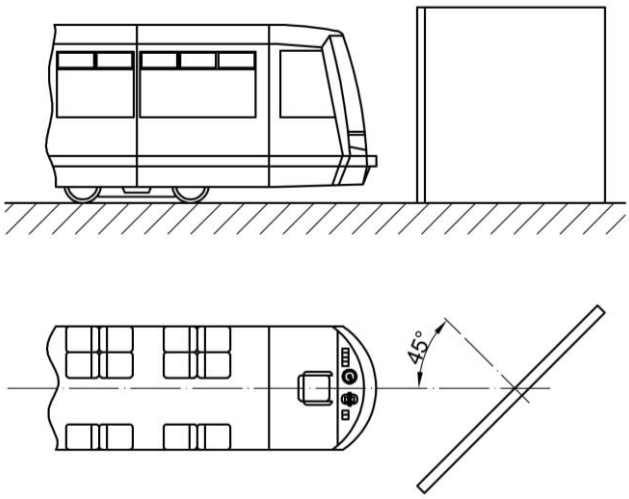
4) สิ่งกระทบมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามแนวยาวในทิศทาง X เท่านั้น

5) มีคุณลักษณะแรงและการกระจัดตามยาวต้องอยู่เหนือกราฟในรูป ค.8

คุณลักษณะแรงและการกระจัดอาจถูกกรองด้วยตัวกรองสัญญาณความถี่ต่ำที่ 60 เฮิร์ตซ์เพื่อให้ได้ตามเงื่อนไขข้างต้น โดยไม่มีการกำหนดเงื่อนไขสำหรับชิ้นส่วนในแนวดิ่ง (vertical component) ในแนวแรงสัมผัส (contact force)

ค.5 สิ่งกีดขวางแข็งเกร็งบนถนนในเมืองหนัก 3 ตัน

สำหรับการชนระหว่างรถราง (tram) กับสิ่งกีดขวางการจราจรบนถนนในเมืองทั่วไป สิ่งกีดขวางนี้ทำมุมดังรูปที่ ค.9



ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.9 สิ่งกีดขวางการจราจรทำมุมบนถนนในเมืองหนัก 3 ตัน

จุดมุ่งหมายของการประเมินนี้ เพื่อตรวจสอบพฤติกรรมของส่วนหน้าของรถ ข้อกำหนดนี้จึงใช้กับหัวโครงสร้างรถที่ศูนย์กลางแคร่ด้านนำเท่านั้น และสิ่งกีดขวางจะต้องเป็นวัตถุแข็งเกร็งและครอบคลุมส่วนภาพฉายตัดขวางของตัวรถทั้งหมด มีการเคลื่อนที่เสรี (degree of freedom) เป็น 2 ในทิศทาง X และ Y ซึ่งไม่มีอิสระในการหมุน และมีมวล 3,000 กิโลกรัม

ข้อมูลเพิ่มเติม

1) เงื่อนไขนี้ใช้กับการจราจรบนถนนที่ขับรถขวามือ (right hand road traffic) หากเป็นถนนที่ขับทางด้านซ้ายมือ สิ่งกีดขวางจะต้องหันไปทางอีกฝั่ง นั่นคือ -45°

2) สำหรับการจำลองอย่างง่าย ตัวรถของรถรางอาจถูกควบคุมไม่ให้มีอิสระในทิศทาง Y ในจุดโครงรถหลักจุดเชื่อมต่อกับแคร่และส่วนต่อพ่วง โดยที่แรง ความเค้น (stress) และการเสียรูปที่เกิดขึ้นจากข้อจำกัดนี้จะไม่เป็นส่วนหนึ่งของการประเมินนี้

ค.6 สิ่งกีดขวางบนถนนหนัก 7.5 ตัน

สำหรับการชนระหว่างรถรางกับสิ่งกีดขวางบถนนในเมืองขนาดใหญ่ต้องอยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่แสดงในซอฟต์แวร์การจำลองการชนโดยเฉพาะ

สิ่งกีดขวางที่จะใช้แสดงดังรูปที่ ค.10 และมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1) รูปทรงดังรูป ค.10 และมุมโครงสร้างอาจโค้งในรัศมี 25 มิลลิเมตร

2) มีมวล 7,500 กิโลกรัม

3) จุดศูนย์กลางมวลที่ตำแหน่ง 1,300 มิลลิเมตร เหนือระดับราง

4) ชิ้นส่วนจำลองอาจมีหรือไม่มีฝาปิดก็ได้

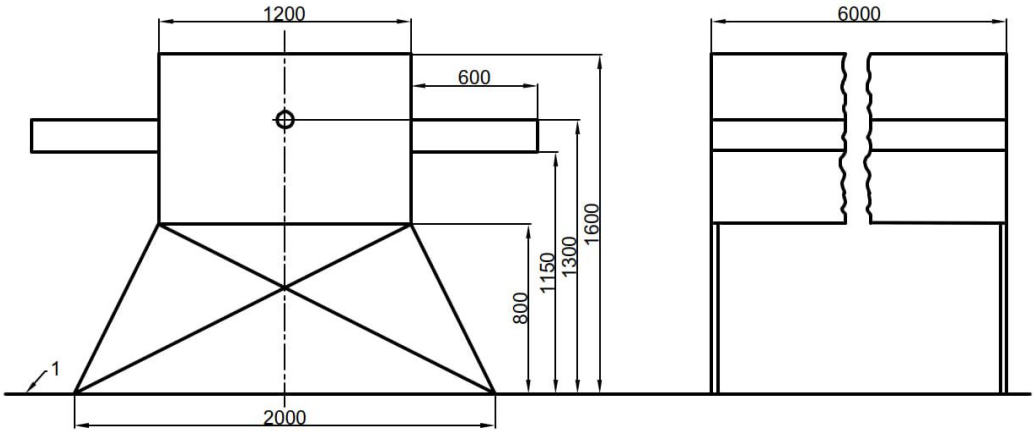
5) มีความสม่ำเสมอของความหนาแน่นและความแข็งตามแนวแกนอย่างต่อเนื่อง

6) ไม่มีแรงเสียดทานกับพื้น

7) หากมีแรงเสียดทานระหว่างพื้น กำหนดให้มีค่า 0.2

8) ความหนาแน่นของสิ่งกีดขวางอาจเปลี่ยนแปลงไปในทิศทาง Z และความแข็งอาจเปลี่ยนไปในทิศทาง X เพื่อให้เป็นไปตามคุณสมบัติที่กำหนด

หน่วยเป็น มิลลิเมตร



1 คือ สันรางและถนน

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.10 สิ่งกีดขวางบนถนนหนัก 7.5 ตัน

สิ่งกีดขวางนี้ไม่มีการจำกัดในการเคลื่อนที่ สามารถเคลื่อนที่และหมุนได้ในทุกทิศทาง ซึ่งความแข็ง (stiffness) ของสิ่งกีดขวางนี้ ต้องมีคุณลักษณะตรงกับแรงและการกระจัดตามยาวดังรูปที่ ค.11 เมื่อถูกปะทะทำมุม 90 ° กับระยะการกระจัดที่จุดศูนย์กลางของทรงกระบอก โดยมีลักษณะดังต่อไปนี้

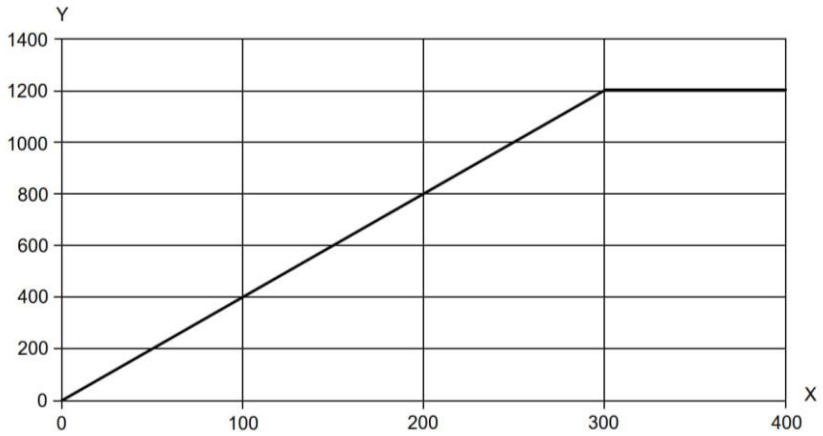
1) รูปร่างของสิ่งกระทบ คือ ทรงกระบอกในแนวตั้ง มีความทึบและสม่ำเสมอ ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2,400 มิลลิเมตร และความสูง 2,600 มิลลิเมตร นั่นคือ มีจุดศูนย์กลางมวลที่ระยะ 1,300 มิลลิเมตร เหนือระดับราง

2) สิ่งกระทบมีมวล 40,000 กิโลกรัม

3) ความเร็วปะทะเริ่มต้นที่ 40 เมตรต่อวินาที

4) สิ่งกระทบมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามแนวยาวในทิศทาง X เท่านั้น

5) มีคุณลักษณะแรงและการกระจัดตามยาวต้องอยู่เหนือกราฟในรูป ค.11



Y คือ แรงตามแนวยาว (longitudinal force) ในหน่วย กิโลนิวตัน

X คือ การกระจัดของทรงกระบอกในทิศทาง x ในหน่วย มิลลิเมตร

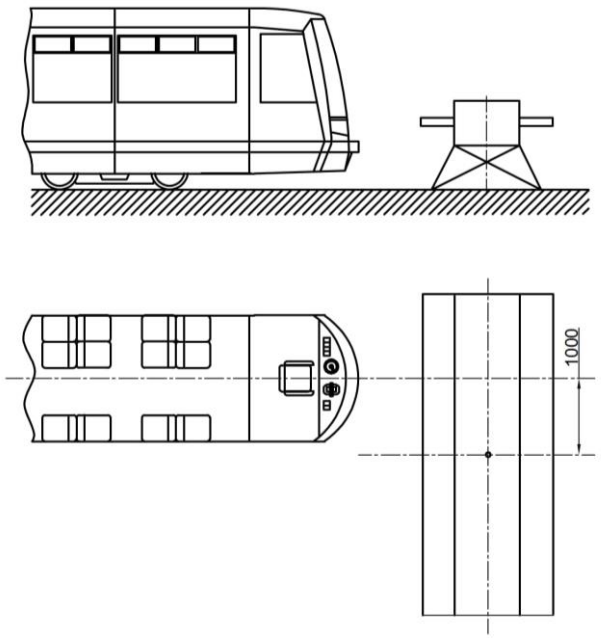
ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.11 ลักษณะแรงและการกระจัดตามยาวของทรงกระบอก

อนุญาตให้ใช้เป็นวัตถุแข็งเกร็ง (rigid body) แทนสิ่งกีดขวางเปลี่ยนรูปได้ (deformable obstacle) โดยที่ลักษณะการชนที่ต้องตรวจสอบ มีดังต่อไปนี้

1) การชนด้านหน้า (frontal collision) ที่มีระยะตั้งฉากด้านข้าง (lateral offset) ของจุดศูนย์ถ่วงของสิ่งกีดขวางเยื้องไปทางด้านขวา ตามรูปที่ ค.12

- มีระยะตั้งฉากด้านข้างของจุดศูนย์ถ่วงของสิ่งกีดขวางเทียบกับแกน X ของรถรางเยื้องไปทางด้านขวา 1,000 มิลลิเมตร
- มีมุมปะทะระหว่างแกนตามแนวยาวของสิ่งกีดขวางกับแกน X ของรถราง 90°
- มีความเร็วการชน (collision speed) 15 กม./ชม.



ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ค.12 การชนด้านหน้ากับสิ่งกีดขวางบนถนนหนัก 7.5 ตัน ที่มีระยะตั้งฉากของจุดศูนย์ถ่วงของสิ่งกีดขวาง เยื้องไปทางด้านขวา

2) การชนด้านหน้าที่มีระยะตั้งฉากด้านข้าง (lateral offset) ของจุดศูนย์ถ่วงของสิ่งกีดขวางเยื้องไปทางด้านซ้าย ลักษณะคล้ายรูปที่ ค.12

- มีระยะตั้งฉากด้านข้างของจุดศูนย์ถ่วงของสิ่งกีดขวางเทียบกับแกน X ของรถรางเยื้องไปทางด้านซ้าย 1,000 มิลลิเมตร
- มีมุมปะทะระหว่างแกนตามแนวยาวของสิ่งกีดขวางกับแกน X ของรถราง 90°
- มีความเร็วการชน (collision speed) 15 กม./ชม.

ข้อมูลเพิ่มเติม

1) หากรูปแบบรถรางมีความสมมาตรตามระนาบ X-Z ทั้งในส่วนของโครงสร้างตัวรถและพื้นที่ปลอดภัยของคนขับ (driver survival space) แล้วนั้น การตรวจสอบเพียง 1 ใน 2 ของลักษณะการชนข้างต้นนั้นเพียงพอแล้ว

2) สำหรับการจำลองอย่างง่าย ตัวรถของรถรางอาจถูกควบคุมไม่ให้มีอิสระในทิศทาง Y ในจุดโครงรถหลัก จุดเชื่อมต่อกับแคร่และส่วนต่อพ่วง โดยที่แรง ความเค้น (stress) และการเสียรูปที่เกิดขึ้นจากข้อจำกัดนี้จะไม่เป็นส่วนหนึ่งของการประเมินนี้

ภาคผนวก ง นิยามรถไฟอ้างอิง (reference train definitions)

ง.1 รถไฟอ้างอิงสำหรับหัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลัง รถคุมขบวนและตู้โดยสาร

รถไฟอ้างอิงต้องใช้ในการออกแบบของหัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลัง รถคุมขบวนและตู้โดยสารที่ไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของรูปแบบขบวนตายตัว (fixed formation) และใช้ในรถขนส่งทางรางที่มีการประกอบกันของหัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลัง รถคุมขบวนและตู้โดยสาร ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดในภาคผนวก ง.2 ง.3 และ ง.4 สามารถจัดว่าเป็นขบวนรถไฟ (train set) ในมาตรฐานนี้ ทั้งนี้ การสร้างแบบจำลองที่ระบุไว้ในภาคผนวก ข ต้องมีการนำมาใช้ในการจำลองที่มีรถไฟอ้างอิง

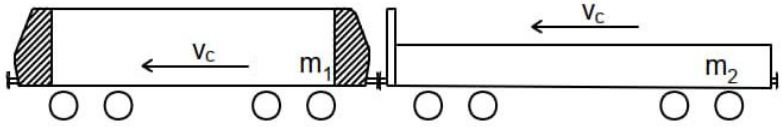
ง.2 การออกแบบหัวรถจักร

การออกแบบรถไฟอ้างอิงสำหรับหัวรถจักรต้องเป็นลักษณะหัวรถจักรที่มีการต่อพ่วงกับส่วนบรรทุกสินค้าเดี่ยว (single rigid wagon) ดังรูปที่ ง.1 โดยที่ใช้ในหัวรถจักรที่มีการเดินรถสินค้า (freight operations) และการเดินรถโดยสาร (passenger operations)

หมายเหตุ

(1) หากหัวรถจักรเดินรถได้สองทิศทาง ส่วนท้ายของทั้งสองด้านนั้นต้องมีลักษณะการดูดซับพลังงานเป็นไปตามสภาวะการชนที่ 2 และข้อกำหนดโครงสร้างป้องกันการชนของรถไฟโดยสาร

(2) กำหนดให้ส่วนบรรทุกสินค้านี้เป็นวัตถุแข็งเกร็งและมีส่วนเชื่อมต่อตามคุณลักษณะ ค.1 และ ค.2



▨ คือ ส่วนท้ายของคันที่ดูดซับพลังงาน

m_1 คือ มวลจริงในการชนของหัวรถจักรที่จะถูกประเมิน

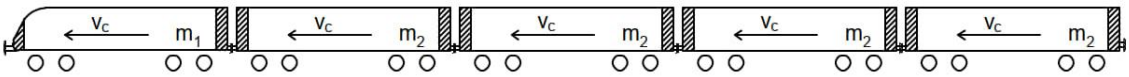
m_2 คือ มวลหนัก 80 ตัน

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ง.1 รถไฟอ้างอิงสำหรับหัวรถจักร

ง.3 การออกแบบหัวรถจ่ายกำลังและรถคุมขบวน

การออกแบบรถไฟอ้างอิงสำหรับหัวรถจ่ายกำลังและรถคุมขบวนต้องเป็นลักษณะตู้รถต่อกัน 4 คัน หลังรถที่จะออกแบบ ตามรูปที่ ง.2 โดยที่ส่วนเชื่อมต่อด้านหน้าของแต่ละคันต้องมีความสามารถในการดูดซับพลังงาน



▨ คือ ส่วนท้ายของคันที่ดูดซับพลังงาน

m_1 คือ มวลจริงในการชนของหัวรถที่จะถูกประเมิน

m_2 คือ มวลการชนเฉลี่ยของประเภทตู้โดยสารที่หนักที่สุดในการให้บริการ หากไม่มีข้อมูลในส่วนนี้ อาจสมมติให้หนักเท่ากับ m_1 และหาก m_1 คือ หัวรถจ่ายกำลังที่หนักมากกว่า 50 ตัน m_2 สามารถใช้น้ำหนัก 50 ตัน สำหรับการเดินรถในรถไฟสายประธานโดยส่วนใหญ่

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ง.2 รถไฟอ้างอิงสำหรับหัวรถจ่ายกำลังและรถคุมขบวน

ลักษณะระหว่างแรงกับการกระจัด (force-displacement characteristic) ต้องสอดคล้องกับการจัดเรียงการต่อพ่วง (coupling arrangement) และประเภทของรถขนส่งทางรางที่กำลังพิจารณา

ทั้งนี้ คุณลักษณะของกึ่งกลางด้านปลาย (intermediate ends) ของหัวรถจ่ายกำลังและรถคุมขบวนอาจใช้ในรถไฟอ้างอิงนี้ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลอื่น

หมายเหตุ

(1) สำหรับสภาวะการชนที่ 1 ต้องมีระยะตั้งฉากในแนวดิ่งเริ่มต้น (initial vertical offset) ระหว่างจุดสัมผัสของขบวนรถไฟอ้างอิงที่หยุดนิ่ง ซึ่งอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าขบวนรถไฟอ้างอิงที่กำลังเคลื่อนที่อยู่ 40 มิลลิเมตร และไม่มีระยะตั้งฉากเริ่มต้นในแนวดิ่งของแต่ละกึ่งกลางด้านปลาย (intermediate ends) ของขบวนนรถไฟ

(2) คุณลักษณะของรถไฟอ้างอิงนี้ไม่ได้ระบุถึงข้อกำหนดใดๆ ในโครงสร้างการป้องกันการชนของตู้โดยสาร เพียงแต่ใช้เป็นเงื่อนไขการจำลองที่เป็นมาตรฐานสำหรับการออกแบบโครงสร้างป้องกันการชนของหัวรถจ่ายกำลังและรถคุมขบวนเท่านั้น

ง.4 การออกแบบตู้โดยสาร

การออกแบบรถไฟอ้างอิงสำหรับตู้โดยสารต้องเป็นลักษณะรถที่สมมาตรในอุดมคติ (ideal symmetry) ตามสภาวะการชนที่ 1 โดยที่การออกแบบตู้โดยสารต้องสามารถอยู่ในตำแหน่งใดก็ได้ในรูปขบวนที่ต่อหลังหัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลังหรือรถคุมขบวน สมมติฐานได้ว่าตำแหน่งหลังคันนำเป็นกรณีที่รุนแรงที่สุด (worst case)

การจัดขบวนแสดงตามรูปที่ ง.3 ต้องมีความเร็วเริ่มต้นที่ครึ่งนึงของความเร็วการชน (collision speed) ในสภาวะการชนที่ 1 เพื่อแสดงถึงความสมมาตรในอุดมคติ (ideally symmetry) และต้องประกอบด้วย

ก) คุณลักษณะของคันนำที่มีการต่อพ่วง

1) คันนำที่ลดความเร็วจนถึงหยุดนิ่งโดย

- การเคลื่อนที่ที่กำหนดไว้มีค่าเท่ากับการหน่วงความเร็วตามแนวยาวคงที่ (longitudinal deceleration) 5g หรือ
- แรงกระทำที่ทำให้ความเร็วลดลงอย่างน้อย 5g
- จุดที่ใช้ในการบังคับการเคลื่อนที่หรือจุดที่วัดความเร็วลัพธ์ต้องอยู่ที่ครึ่งหลังของคันนำ

2) ปลายต่อพ่วง (trailing end) ของคันนำต้องมีคุณลักษณะการชน (crash characteristic) เหมือนกับปลายตู้โดยสารข้างเคียงในการประเมิน โดย

- อย่างน้อยที่สุดในทุกกันชน ขอพ่วงและการดูดซับพลังงานที่ออกแบบไว้ต้องรวมอยู่ในรายละเอียดระดับเดียวกันกับตู้โดยสารที่จะประเมิน
- พื้นผิวสัมผัสอื่น ๆ อย่างน้อยต้องแสดงเป็นรูปทรงเรขาคณิตแข็งเกร็ง (rigid geometry)
- โครงสร้างที่เหลือของคันด้านนำอาจสร้างแบบจำลองดังนี้
  1. มีความคล้ายกับตู้โดยสารที่จะประเมิน หรือ
  2. ลักษณะเป็นมวลก้อน (lumped mass) ที่มีความแข็งไม่น้อยกว่าตู้โดยสารที่จะประเมิน หรือ
  3. มีลักษณะเป็นวัตถุแข็งเกร็ง
- ชิ้นส่วนทั้งหมดที่ไม่ได้สร้างแบบจำลองอาจจำกัดการเคลื่อนไหวใน 1 มิติ ตามแนวยาว (longitudinal)
- หากมีการสร้างแบบจำลองโครงสร้างที่เปลี่ยนรูปได้ ให้ใช้เกณฑ์การคงสภาพพื้นที่ปลอดภัย

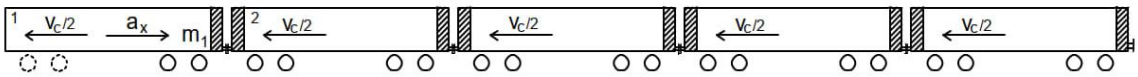
ข) ขบวนตู้โดยสารพ่วงตามที่มีลักษณะเหมือนกัน จำนวน 4 ตู้ (รวมตู้โดยสารที่ใช้ในการประเมิน)

- ตู้โดยสารที่จะถูกประเมินตามข้อกำหนดในข้อ 4.1.1 คือตู้แรกของขบวนตู้โดยสารพ่วงตาม ทั้งนี้ ตู้โดยสารอื่นไม่ได้ใช้ในการประเมินนี้และอาจถูกออกแบบให้ง่ายขึ้น

หมายเหตุ

(1) เนื่องจากตู้โดยสารที่จะประเมินไม่ได้ถูกออกแบบมาให้วิ่งในตำแหน่งหัวขบวน การกำหนดคันนำอ้างอิงจึงมีความสำคัญ โดยคันนำอ้างอิงดังกล่าว จะถูกออกแบบให้ใช้ส่วนรับแรงกระแทก (crumple zone) เช่นเดียวกันกับตู้โดยสารที่จะประเมิน

(2) ไม่มีการกำหนดระยะตั้งฉากเริ่มต้นในแนวดิ่งของกึ่งกลางด้านปลาย (intermediate ends) ในรถไฟอ้างอิงนี้



คือ ส่วนท้ายของคันที่ดูดซับพลังงาน

1 คือ คันนำ

2 คือ ตู้โดยสารที่จะประเมิน

a_x คือ อัตราหน่วงตามแนวยาวของคันนำ ซึ่ง $a_x \geq 5g$

$v_c/2$ คือ ความเร็วครึ่งหนึ่งของความเร็วการชน (collision speed) ในสภาวะการชนที่ 1

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

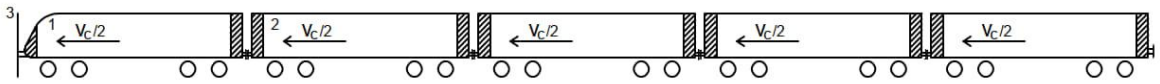
รูปที่ ง.3 รถไฟอ้างอิงสำหรับตู้โดยสาร

ง.5 การออกแบบตู้โดยสารที่มีคันนำแบบเฉพาะ

หากตู้โดยสารมีการเดินรถในขบวนที่มีหัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลังและรถคุมขบวนแบบเฉพาะเท่านั้น เป็นที่อนุญาตให้ประเมินตู้โดยสารนี้โดยมีคันนำเป็นหัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลังหรือรถคุมขบวนและมีตู้โดยสารพ่วงตามจำนวน 4 ตู้

จำเป็นต้องมีการแสดงการชนของขบวนรถไฟอ้างอิงนี้กับกำแพงทึบที่อยู่กับที่ด้วย ความเร็วการชน (collision speed) $v_C/2$ ของสภาวะการชนที่ 1 โดยตู้โดยสารที่จะถูกประเมินตามข้อกำหนดในข้อ 4.1.1 คือ ตู้แรกของขบวนตู้โดยสารพ่วงตาม ตู้โดยสารอื่นไม่ได้ใช้ในการประเมินนี้และอาจถูกออกแบบให้ง่ายขึ้น

การจัดขบวนรถไฟอ้างอิงเป็นไปตามรูปที่ ง.4



คือ ส่วนท้ายของคันที่ดูดซับพลังงาน

1 คือ คันนำแบบเฉพาะ (หัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลังหรือรถคุมขบวน)

2 คือ ตู้โดยสารที่จะประเมิน

3 คือ กำแพงทึบในลักษณะหยุดนิ่ง

$v_c/2$ คือ ความเร็วครึ่งหนึ่งของความเร็วการชน (collision speed) ในสภาวะการชนที่ 1

ประยุกต์ภาพจาก EN 15227:2020, Railway applications – Crashworthiness requirements for rail vehicles

รูปที่ ง.4 การจัดขบวนรถไฟอ้างอิงสำหรับตู้โดยสารที่มีคันนำแบบเฉพาะ

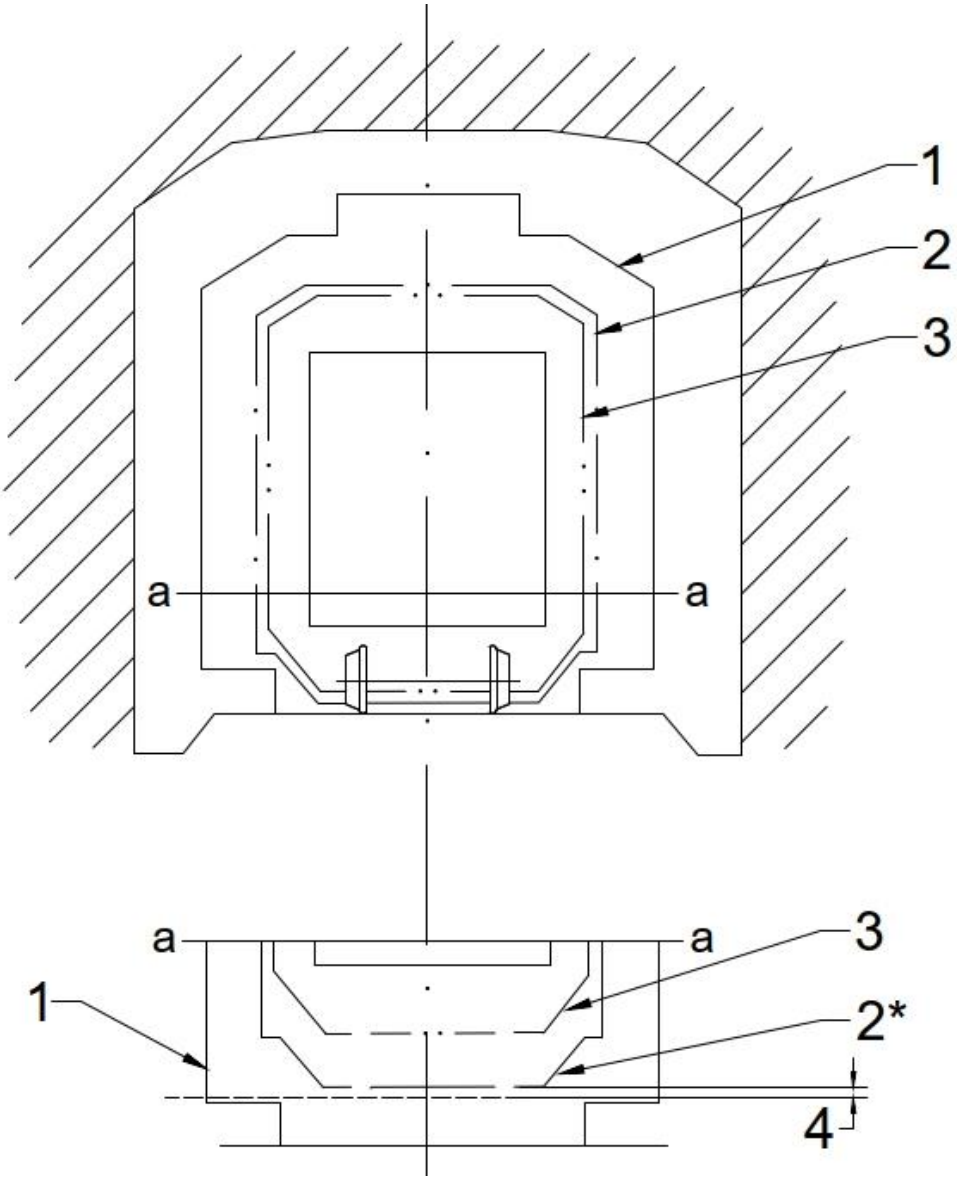
หมายเหตุ

(1) เนื่องจากคันนำไม่ได้เป็นส่วนหนึ่งของการประเมิน จึงไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงระยะตั้งฉากในแนวดิ่งเริ่มต้นที่จุดสัมผัส (point of contact) โดยที่การจำลองการชนที่กำแพงแข็งก็เพียงพอแล้ว

(2) ไม่มีการกำหนดระยะตั้งฉากในแนวดิ่งเริ่มต้นของกึ่งกลางด้านปลาย (intermediate ends) ในรถไฟอ้างอิงนี้

ตู้โดยสารที่ประเมินข้างต้นเป็นไปตามข้อกำหนดของหัวรถจักร หัวรถจ่ายกำลังและรถคุมขบวน ที่ระบุในมาตรฐานฉบับนี้เท่านั้น โดยไม่ขึ้นอยู่กับความยาวของขบวนรถไฟ

ภาคผนวก จ ตัวอย่างระยะความคลาดเคลื่อน (tolerance) การติดตั้งอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (obstacle deflector)



1 คือ เขตโครงสร้าง (structure gauge)

2 คือ เขตพิกัดโครงสร้างของรถ (vehicle gauge)

* คือ แนวเขตพิกัดโครงสร้างของรถ (vehicle gauge line)

3 คือ พิกัดขอบเขตตัวรถ (loading gauge)

4 คือ ค่าความคลาดเคลื่อน (tolerance) ไม่เกิน 30 มิลลิเมตร

ประยุกต์ภาพจาก EN 15273 – 1 :2009, Railway applications – Gauges – Part 1: General – Common rules for infrastructure and rolling stock และ Modern Railway Track, second edition Coenraad Esveld

รูปที่ จ.1 ตัวอย่างระยะค่าความคลาดเคลื่อน (tolerance) การติดตั้งอุปกรณ์กันสิ่งกีดขวาง (obstacle deflector)

บรรณานุกรม

[1] ERRI B205.1/DT357 – Report: Analysis of Collision Accidents – *Statistical Analysis of Collision Accidents in Europe during 1991 – 1995. Sponsoring body: UIC Passenger Commission. November 1997*

[2] SAFETRAIN – *Train Crashworthiness for Europe, Sub-task 1.1 collision Risk Analysis, Final report*

[3] RAILWAY SAFETY. *HSE's Annual Report on the safety record of the railways in Great Britain during*. The Stationery Office, 2000

[4] SAFETRAM – *Technical Report Of the WP 1: LRV Statistics, December 2000*

[5] SAFETRAM – *Technical Report Of the WP 1: Identification of Reference Accident Scenarios for City and Periusban Trams, July 2002*

[6[SAFETRAM – Technical Report Of the WP 1: *Statistical and Risk Analysis of Accidents for Periurban Trams, January 2002 (DB) and February 2002 (SNCF)*

[7] Dissertation, University of Hannover – *Theoretical Observations of Collisions on Level Crossings, Fuser, S; Shaker Verlag Aachen, 2002*

[8] EN 50126-1, *Railway applications – The specification and demonstation of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS) – Part 1: Basic requirements and generic process*

[9] EN 16186-1, *Railway applications – Driver's cab – Part 1: Anthropometric data and visibility*

[10] prEN 16186-5:2019, *Railway applications – Driver's cabs – Part 5: External visibility for tram vehicles*

[11] prEN 15273 – 1 :2009, *Railway applications – Gauges – Part 1: General – Common rules for infrastructure and rolling stock*

[12] prModern Railway Track, second edition Coenraad Esveld