

บทที่ 2

ข้อมูลพื้นฐาน ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ลักษณะและข้อมูลของรถยนต์โดยสาร

กรมการขนส่งทางบกได้แบ่งรถยนต์โดยสาร ที่ใช้ขนส่งผู้โดยสารออกเป็นหลายลักษณะ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 7 มาตรฐานตามขนาดและการใช้งาน โดยมาตรฐานทั้ง 7 มาตรฐานตามกฎหมายกระทรวงฉบับที่ 4 (พ.ศ. 2524) ออกตามความในพระราชบัญญัติการขนส่งทางบก พ.ศ. 2522 มีดังนี้

มาตรฐานที่ 1 คือ รถปรับอากาศพิเศษ

มาตรฐานที่ 2 คือ รถปรับอากาศ

มาตรฐานที่ 3 คือ รถที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

มาตรฐานที่ 4 คือ รถสองชั้น

มาตรฐานที่ 5 คือ รถพ่วง

มาตรฐานที่ 6 คือ รถกึ่งพ่วง

มาตรฐานที่ 7 คือ รถโดยสารเฉพาะกิจ

โดยรายละเอียดของลักษณะรถยนต์โดยสารในแต่ละมาตรฐานมีดังนี้

2.1.1 มาตรฐานที่ 1 รถปรับอากาศพิเศษ

2.1.1.1 มาตรฐาน 1 ก เป็นรถปรับอากาศพิเศษจะไม่มีที่ยืน ห้องผู้โดยสารแยกจากห้องคนขับ โดยจัดวางที่นั่งผู้โดยสารขนานกับความกว้างของตัวรถไม่เกินแถวละ 3 ที่นั่ง มีที่เตรียมอาหารและเครื่องคัม มีอุปกรณ์ให้เสียงและประชาสัมพันธ์ มีห้องสุขภัณฑ์และที่เก็บสัมภาระ

2.1.1.2 มาตรฐาน 1 ข เป็นรถปรับอากาศคล้ายกับมาตรฐานที่ 1 ก แต่จะต่างกันที่มาตรฐานที่ 1 ข ห้องผู้โดยสารจะไม่แยกออกจากห้องคนขับ ที่นั่งต่อแถวไม่ได้จำกัด

2.1.2 มาตรฐานที่ 2 รถปรับอากาศทั่วไป

2.1.2.1 มาตรฐาน 2 ก เป็นรถปรับอากาศที่มีที่นั่งผู้โดยสารเกิน 30 ที่นั่ง ไม่มีที่ยืนที่เตรียมอาหารและเครื่องคัม ที่เก็บสัมภาระ อุปกรณ์ให้เสียงและประชาสัมพันธ์หรือไม่ก็ได้แต่ไม่มีห้องสุขภัณฑ์

2.1.2.2 มาตรฐาน 2 ข มีลักษณะที่คล้ายกับมาตรฐาน 2 ก แต่มาตรฐานนี้จะมีที่ยืน แต่จะไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องคัม

2.1.2.3 มาตรฐาน 2 ค เป็นรถปรับอากาศที่มีที่นั่งผู้โดยสาร 21-30 ที่นั่ง จะไม่มีที่ยืนห้องสุขภัณฑ์ ที่เก็บสัมภาระและอุปกรณ์ให้เสียง ส่วนที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่มมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.2.4 มาตรฐาน 2 ง มีลักษณะที่คล้ายกับมาตรฐานที่ 2 ค มีที่ยืนแต่ไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม

2.1.2.5 มาตรฐาน 2 จ เป็นรถปรับอากาศซึ่งมีที่นั่งผู้โดยสารไม่เกิน 20 ที่นั่ง ไม่มีที่ยืน ส่วนที่เก็บสัมภาระจะมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.3 มาตรฐานที่ 3 รถยนต์โดยสารที่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

2.1.3.1 มาตรฐาน 3 ก เป็นรถโดยสารที่มีที่นั่งผู้โดยสารเกิน 30 ที่นั่ง มีที่ยืนแต่ไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม ไม่มีห้องสุขภัณฑ์และที่เก็บสัมภาระ

2.1.3.2 มาตรฐาน 3 ข มีลักษณะคล้ายกับมาตรฐาน 3 ก จะต่างกันที่ไม่มีที่ยืนแต่มีที่เก็บสัมภาระ

2.1.3.3 มาตรฐาน 3 ค เป็นรถโดยสาร 21-30 ที่นั่งและมีที่ยืน ไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม ไม่มีห้องสุขภัณฑ์และที่เก็บสัมภาระ

2.1.3.4 มาตรฐาน 3 ง มีลักษณะที่คล้ายกับมาตรฐาน 3 ค มีที่เก็บสัมภาระแต่ไม่มีที่ยืน

2.1.3.5 มาตรฐาน 3 จ มีที่นั่งผู้โดยสาร 13-24 ที่นั่ง ส่วนที่ยืนของผู้โดยสารและที่เก็บสัมภาระมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.3.6 มาตรฐาน 3 ฉ มีที่นั่งผู้โดยสารไม่เกิน 12 ที่นั่ง ไม่มีที่ยืนที่เก็บสัมภาระมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.4 มาตรฐานที่ 4 รถยนต์โดยสารสองชั้น

2.1.4.1 มาตรฐาน 4 ก เป็นรถสองชั้นปรับอากาศ ชั้นล่างมีผู้โดยสารยืนไม่มีที่เก็บสัมภาระและห้องสุขภัณฑ์ ไม่มีที่เตรียมอาหารและเครื่องดื่ม

2.1.4.2 มาตรฐาน 4 ข เป็นรถยนต์โดยสารลักษณะเช่นเดียวกับมาตรฐาน 4 ก แต่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

2.1.5 มาตรฐานที่ 5 รถยนต์โดยสารแบบพ่วง

2.1.5.1 มาตรฐาน 5 ก เป็นรถพ่วงปรับอากาศจะมีที่ยืนหรือไม่มีก็ได้ที่เก็บสัมภาระและห้องสุขภัณฑ์ ที่เตรียมอาหารและอุปกรณ์ให้เสียง จะมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.5.2 มาตรฐาน 5 ข ลักษณะคล้ายกับมาตรฐาน 5 ก แต่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ



2.1.6 มาตรฐานที่ 6 รถยนต์โดยสารแบบกึ่งพ่วง

2.1.6.1 มาตรฐาน 6 ก เป็นรถพ่วงปรับอากาศ มีที่ยืนหรือไม่มีก็ได้ ที่เตรียมอาหารและอุปกรณ์ให้เสียง ที่เก็บสัมภาระและห้องสุขภัณฑ์ จะมีหรือไม่มีก็ได้

2.1.6.2 มาตรฐาน 6 ข เช่นเดียวกับมาตรฐาน 6 ก แต่ไม่มีเครื่องปรับอากาศ

2.1.7 มาตรฐานที่ 7 รถยนต์โดยสารแบบเฉพาะกิจ

2.1.7.1 เป็นรถพิเศษเพื่อใช้ในกิจการใดกิจการหนึ่งโดยเฉพาะเช่น รถถ่ายทอดวิทยุหรือโทรทัศน์ รถพยาบาล รถบริการไปรษณีย์และรถบริการธนาคาร เป็นต้น ซึ่งในแต่ละมาตรฐานได้นำมาแสดงรายละเอียดเชิงเปรียบเทียบเป็นตาราง สามารถดูได้จากตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลและรายละเอียดของรถยนต์โดยสารแต่ละมาตรฐาน [1]

มาตรฐาน	เครื่องปรับอากาศ	จำนวนที่นั่ง	ที่ยืนบนรถ	ที่เตรียมอาหารเครื่องดื่ม	ที่เก็บสัมภาระ	อุปกรณ์ให้เสียง	ห้องสุขภัณฑ์
1 ก	มี	24- 32	ไม่มี	มี	มี	มี	มี
1 ข	มี	24- 32	ไม่มี	มี	มี	มี	มี
2 ก	มี	เกิน 30	ไม่มี	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่มี
2 ข	มี	เกิน 30	มี	ไม่มี	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่มี
2 ค	มี	21-30	ไม่มี	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่มี
2 ง	มี	21-30	มี	ไม่มี	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่มี
2 จ	มี	ไม่เกิน 20	ไม่มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
3 ก	ไม่มี	เกิน 30	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
3 ข	ไม่มี	เกิน 30	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
3 ค	ไม่มี	21-30	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
3 ง	ไม่มี	21-30	ไม่มี	ไม่มี	มี	ไม่กำหนด	ไม่มี

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลและรายละเอียดของรถยนต์โดยสารแต่ละมาตรฐาน (ต่อ)





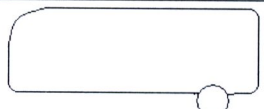


มาตรฐาน	เครื่องปรับอากาศ	จำนวนที่นั่ง	ที่ยืนบนรถ	ที่เตรียมอาหารเครื่องดื่ม	ที่เก็บสัมภาระ	อุปกรณ์ให้เสียง	ห้องสุขภัณฑ์
3 จ	ไม่มี	13-24	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
3 ฉ	ไม่มี	ไม่เกิน 12	ไม่มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	ไม่กำหนด	ไม่กำหนด
4 ก	มี	ไม่กำหนด	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
4 ข	ไม่มี	ไม่กำหนด	มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่กำหนด	ไม่มี
5 ก	มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้
5 ข	ไม่มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้
6 ก	มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้
6 ข	ไม่มี	ไม่กำหนด	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้	มีหรือไม่มีก็ได้
7	เป็นรถที่ใช้เฉพาะกิจ เช่น รถพยาบาล รถบริการธนาคาร ฯลฯ						

จากตารางที่ 2.1 เป็นการแสดงประเภทรถยนต์โดยสารที่แบ่งตามมาตรฐานแต่ละชนิด ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานของกรมการขนส่งทางบกกำหนดไว้ในแต่ละประเภท และนอกจากนี้ทั้งขนาดและสัดส่วนของรถยนต์โดยสารยังได้ถูกกำหนดให้เป็นไปตามกฎกระทรวงฉบับที่ 9, 31 และ 40 ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2.2 ซึ่งเป็นการแสดงขนาดและสัดส่วนของรถยนต์โดยสารแต่ละประเภทดังกล่าว

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลจำเพาะของขนาดรถยนต์โดยสารตามมาตรฐาน [1]

สัดส่วนของรถยนต์โดยสาร	มาตรฐานรถยนต์โดยสารตามกรมการขนส่งทางบก	ขนาดที่กำหนด
ความกว้าง	ทุกมาตรฐาน และรถขนาดเล็ก	ไม่เกิน 2.5 เมตร
ความยาว	มาตรฐาน 1, 2ก, 2ข, 3ก, 3ข, 4 และ 7	ไม่เกิน 12 เมตร
	มาตรฐาน 1, 2ก, 2ง, 2จ, 3ก, 3ง, 3จ, 5 และรถขนาดเล็ก	ไม่เกิน 10 เมตร
	มาตรฐาน 6	ไม่เกิน 18 เมตร
ส่วนยื่นหน้า	ทุกมาตรฐาน (ยกเว้นมาตรฐาน 6)	ไม่เกิน 1/2 ของช่วงล้อ
	มาตรฐาน 6	ไม่เกิน 1/2 ของช่วงล้อหน้า
ส่วนยื่นท้าย	รถมาตรฐานต่างๆ โดยทั่วไป	ไม่เกิน 2/3 ของช่วงล้อ
	มาตรฐาน 6	ไม่เกิน 1/2 ของช่วงล้อตอนท้าย
	รถที่มีประตูขึ้นลงด้านท้าย	ไม่เกิน 1/2 ของช่วงล้อ
ความสูงภายใน	มาตรฐาน 2ข, 2ง, 3ก, 3ค, 4ง และ 4จ	ไม่น้อยกว่า 1.75 เมตร
	มาตรฐาน 5 และ 6	ไม่น้อยกว่า 0.9 เมตร
	มาตรฐาน 1ก, 1ข, 2ก, 2ค และ 2จ	ไม่เกิน 1.6 เมตร
	มาตรฐาน 3ข, 3ง, 3จ, 3ค, 4ก และ 4ข	ไม่น้อยกว่า 1.2
ความสูงภายนอก	มาตรฐาน 1ก, 1ข, 2ก, 2ข, 3ก, 3ข, 5 และ 6	ไม่เกิน 3 เมตร
	มาตรฐาน 2ค, 2ง, 2จ, 3ค, 3ง, 3จ, 3ค และรถขนาดเล็ก	ไม่เกิน 3.2 เมตร
	มาตรฐาน 4ก, 4ข, 4ค, 4ง, 4จ, 4ค, และ 7	ไม่เกิน 4.5 เมตร

ตารางที่ 2.3 พิกัดน้ำหนักรวมสูงสุดและน้ำหนักลงเพลตามกรมทางหลวงกำหนด [2]

ภาพลักษณะรถโดยสาร	การวางเพลาท้าย และยาง	พิกัดน้ำหนักสูงสุด (kg)	
		น้ำหนักลง เพลาท้าย	น้ำหนักรวม สูงสุด
 2 เพลา 4 ล้อ	เพลาเดี่ยว+ยางเดี่ยว	6,800	8,500
	เพลาเดี่ยว+ยางคู่	9,100	-
 3 เพลา 6 ล้อ	เพลาคู่+ยางเดี่ยว	12,200	15,300
	เพลาคู่+ยางคู่	16,400	21,000
 3 เพลา 6 ล้อ	เพลาเดี่ยว+ยางเดี่ยว	6800	10,500
	เพลาเดี่ยว+ยางคู่	9,100	14,000
 4 เพลา 8 ล้อ	เพลาคู่+ยางคู่	16,400	25,200
	เพลาคู่+ยางเดี่ยว	12,200	18,800
 รถกึ่งพ่วง เพลาเดี่ยว 2 ล้อ	เพลาเดี่ยว+ยางเดี่ยว	6800	10,500
	เพลาเดี่ยว+ยางคู่	9,100	14,000
 รถกึ่งพ่วง เพลาคู่ 4 ล้อ	เพลาคู่+ยางเดี่ยว	12,200	-
	เพลาคู่+ยางคู่	16,400	-
 รถพ่วง 2 เพลา 4 ล้อ	เพลาเดี่ยว+ยางเดี่ยว	6,800	13,600
	เพลาเดี่ยว+ยางคู่	9,100	18,200

จากตารางที่ 2.3 แสดงข้อมูลจำเพาะของขนาดน้ำหนักรถและลักษณะการวางเพลลาและล้อของรถยนต์โดยสาร ซึ่งจะแบ่งตามขนาดและลักษณะที่กรมการขนส่งทางบกกำหนดไว้

นอกจากนี้ในแต่ละปีประเทศไทยยังได้มีการผลิตรถโดยสารเป็นจำนวนมาก ซึ่งประเภทของรถยนต์โดยสารสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ตามลักษณะของธุรกิจที่ประกอบการ ได้แก่ 1) รถยนต์โดยสารประจำทาง 2) รถยนต์โดยสารไม่ประจำทางและ 3) รถยนต์โดยสารส่วนบุคคล โดยแต่ละประเภทนั้นได้มีสถิติในการจดทะเบียนรถใหม่กับกรมการขนส่งทางบก ดังในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 สถิติจำนวนรถยนต์โดยสารที่จดทะเบียนใหม่ระหว่างปี 2534-2548 [3]

ปี พ.ศ.	รถโดยสารประจำทาง	รถโดยสารไม่ประจำทาง	รถโดยสารส่วนบุคคล	รวมรถยนต์โดยสาร (คัน)
2534	4,006	1,525	536	6,067
2535	4,644	1,750	606	7,000
2536	3,296	1,140	565	5,001
2537	3,646	1,381	656	5,683
2538	4,014	1,463	558	6,035
2539	3,065	1,496	493	5,054
2540	2,921	1,375	553	4,849
2541	2,325	733	190	3,248
2542	1,111	387	162	1,660
2543	1,154	376	398	1,928
2544	1,568	837	406	2,811
2545	2,446	1,007	507	3,960
2546	4,993	2,178	556	7,727
2547	3,945	2,773	648	7,366
ม.ค. - มิ.ย. 2548	1,394	958	290	2,642



จากข้อมูลในตารางที่ 2.4 พบว่า มีจำนวนรถยนต์โดยสารประเภทต่างๆ จดทะเบียนในแต่ละปีเป็นจำนวนมาก โดยหลังจากปี พ.ศ.2542 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ล่าสุดในปี พ.ศ. 2546-2547 พบว่า มีรถโดยสารจดทะเบียนมากถึงประมาณกว่า 7,000 คันในทุกๆปี



2.2 มาตรฐานสากลในการทดสอบรถยนต์

ในการศึกษาการเสียหายของโครงสร้างยานยนต์นั้น ได้มีการศึกษาวิจัยอย่างจริงจังและแพร่หลายในต่างประเทศ โดยมีมาตรฐานการทดสอบการชนแบบต่างๆ หรือแม้แต่ในการทดสอบการชนจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ นอกจากนี้ในประเทศอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ยังได้มีการกำหนดมาตรฐานในการทดสอบรถยนต์ไว้หลายมาตรฐาน เช่น มาตรฐานด้านความปลอดภัยของสหพันธ์ยานยนต์ (Federal Motor Vehicle Safety Standard, FMVSS) มาตรฐานการประเมินและการทดสอบรถยนต์ใหม่ (New Car Assessment Program, NCAP) และมาตรฐานด้านความปลอดภัยบนทางด่วน (Insurance Institute for Highway Safety, IIHS) ซึ่งอาจกล่าวได้ว่า การศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างยานยนต์ภายใต้การชนกระแทกนั้นมีความสำคัญอย่างมากในปัจจุบัน ดังจะได้อธิบายในรายละเอียดแต่ละมาตรฐานดังนี้

2.2.1 มาตรฐานความปลอดภัยของสหพันธ์ยานยนต์ (FMVSS)

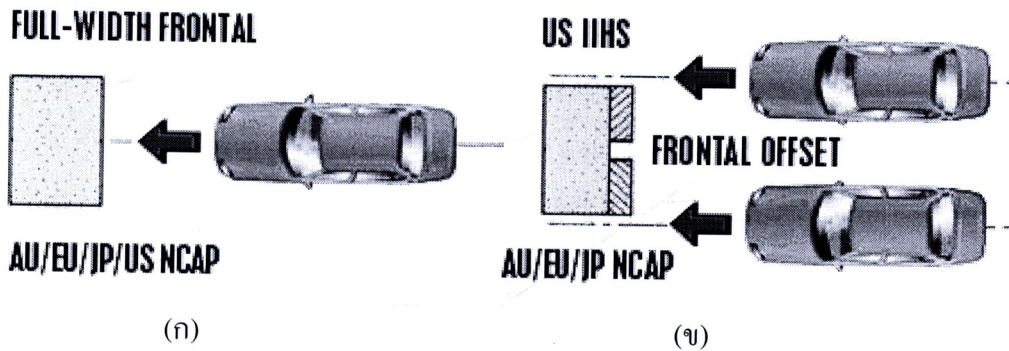
เป็นมาตรฐานด้านความปลอดภัยทางรถยนต์และเริ่มมีใช้ที่ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งเป็นมาตรฐานในการทดสอบระบบต่างๆ ของรถยนต์และเริ่มใช้ครั้งแรกในปี 1968 โดยมาตรฐานที่ใช้มีหลายประเภท ตัวอย่างเช่น มาตรฐานที่ 116 (Motor Vehicle Brake Fluids) ซึ่งเป็นข้อกำหนดเกี่ยวกับระบบเบรกในรถยนต์ โดยมาตรฐานที่มีการใช้ครั้งแรกคือ มาตรฐานที่ 209 ซึ่งกล่าวถึงความปลอดภัยในการใช้เข็มขัดนิรภัยกับผู้โดยสารทั้งรถยนต์ส่วนบุคคล รถบรรทุก และรถยนต์โดยสาร เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีมาตรฐานการทดสอบแบบอื่นๆ อีกหลายข้อที่ไม่ได้กล่าวถึง ซึ่งเน้นเรื่องของคุณภาพความปลอดภัยเป็นหลัก

2.2.2 มาตรฐานการประเมินและการทดสอบรถยนต์ใหม่ (NCAP)

มาตรฐานการประเมินและทดสอบรถยนต์ใหม่นี้มีใช้หลายประเทศ ในหลายทวีป เช่น ทวีปอเมริกา ยุโรป ญี่ปุ่นและออสเตรเลีย โดยมีวิธีการทดสอบการชนในหลายลักษณะดังนี้

2.2.2.1 การทดสอบโดยการชนด้านหน้าแบบชนเต็ม (Full frontal crash) ในการทดสอบนี้จะใช้ความเร็วในการชน 64 km/h (40 mph) โดยให้รถยนต์พุ่งเข้าชนกำแพงแบบเต็มหน้าด้วยความเร็วที่กำหนดเพื่อดูความสามารถในการต้านทานความเสียหายและลักษณะของการเสียหายเพื่อวิเคราะห์ดูความแข็งแรงและเป็นข้อมูลในการผลิตต่อไป ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ก)

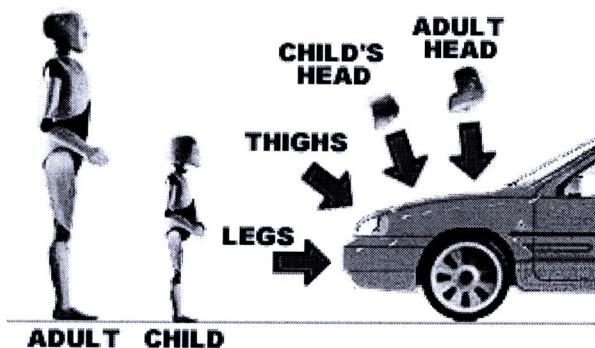
2.2.2.2 การทดสอบโดยการชนด้านหน้าแบบครึ่งหนึ่ง (Offset frontal crash) การทดสอบการชนแบบนี้จะใช้ความเร็วในการชน 56 km/h (35 mph) มีวิธีการทดสอบคือ ให้รถวิ่งชนกำแพงด้วยความเร็วตามกำหนดโดยจะชนเพียงซีกเดียวเท่านั้น ดังแสดงในภาพที่ 2.1 (ข)



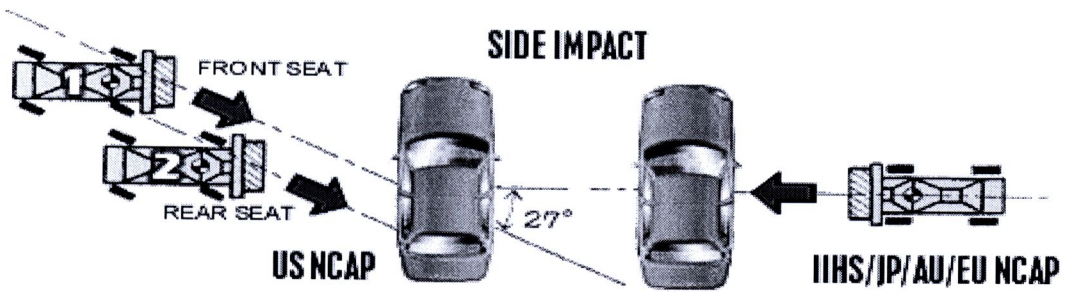
ภาพที่ 2.1 แสดงลักษณะการทดสอบการชนด้านหน้าตามมาตรฐานการทดสอบรถยนต์ใหม่ (ก) การทดสอบการชนแบบเต็มและ (ข) การทดสอบการชนแบบครึ่ง [4]

2.2.2.3 การทดสอบโดยการชนคนเดินเท้า ในการทดสอบนี้ความเร็วที่ใช้ประมาณ 40 km/h (25 mph) เป็นการทดสอบการชนคนเดินเท้าโดยสร้างหุ่นจำลองจากนั้นให้รถวิ่งเข้าชนตามความเร็วที่กำหนดเพื่อสังเกตจุดที่จะเกิดอันตรายกับร่างกายในส่วนต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.2

2.2.2.4 การทดสอบโดยการชนด้านข้าง มีวิธีการทดสอบคือ ให้รถวิ่งเข้าชนรถยนต์อีกคันหนึ่งด้วยความเร็ว 50 km/h (30 mph) ไปในทิศทางด้านข้างของรถทดสอบและในทิศทางมุมที่ต่างกันโดยรถคันที่ชนจะใช้เป็นลักษณะ Rigid Body ดังแสดงในภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.2 แสดงมาตรฐานการทดสอบการชนคนเดินเท้าของการทดสอบรถยนต์ใหม่ [4]



ภาพที่ 2.3 แสดงมาตรฐานการทดสอบการชนด้านข้างของการทดสอบรถยนต์ใหม่ [4]

2.2.3 มาตรฐานความปลอดภัยบนทางด่วน (IIHS)

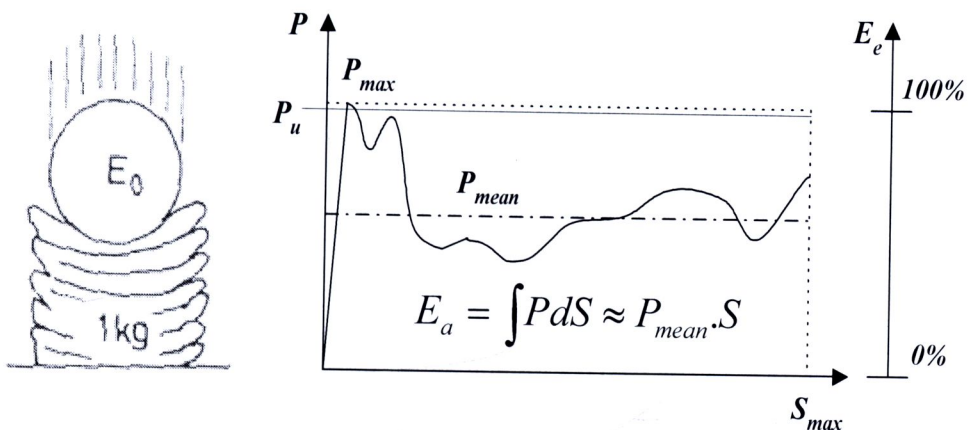
การทดสอบแบบนี้มีวิธีการทดสอบที่คล้ายกับการทดสอบรถยนต์ใหม่ ในหัวข้อที่ 2.2.2 ได้แก่ การทดสอบการชนด้านข้างแนวตั้งฉากและแนวทแยงมุม การทดสอบการชนด้านหน้าแบบเต็มและแบบครึ่งหน้ารถ โดยใช้ความเร็วที่ต่างกัน

2.3 การศึกษาชิ้นส่วนรับแรงกระแทก

การศึกษาโครงสร้างที่รับการชนแรงกระแทก (Crashworthiness) มีทฤษฎีและตัวแปรที่เกี่ยวข้องหลายตัวด้วยกัน ซึ่งตัวแปรต่างๆ เหล่านี้มักอ้างอิงมาจากกราฟของภาระที่กระทำและระยะยวบตัว (Load-Displacement Curve) ที่เกิดขึ้นตลอดการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2.4 โดยค่า ตัวแปรต่างๆ ของโครงสร้างภายใต้การรับแรงกระแทกจะได้ออกจากการคำนวณเช่น ค่าภาระเฉลี่ยและค่าพลังงานดูดซับ ซึ่งได้มาจากการทดสอบหรือจากการจำลองด้วยคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจึงต้องทราบถึงรายละเอียดและคุณสมบัติของตัวแปรที่ใช้แต่ละตัวก่อน โดยตัวแปรสำคัญที่นิยมใช้ในการศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างภายใต้การชน มีรายละเอียดดังนี้

2.3.1 ภาวะวิกฤติหรือภาระเสียหาย

ภาวะวิกฤติ (Critical load or Collapse load), P_{cr} หมายถึง ภาระครั้งแรกที่ทำให้ชิ้นงานเกิดการเสียหายอย่างสังเกตเห็นได้ ณ จุดนี้เป็นตำแหน่งที่เส้นกราฟในภาพที่ 2.4 เริ่มตกลงหลังจากที่กราฟขึ้นสูงสุดในช่วงแรก ซึ่งภาวะวิกฤตินี้มีความสำคัญมากกับการออกแบบเพื่อไม่ให้ชิ้นงานเกิดการเสียหายก่อนช่วงเวลาที่เหมาะสม แต่ในบางครั้งภาวะวิกฤติอาจจะมีค่าเท่ากับภาระสูงสุด (P_{max}) ก็ได้ ในกรณีของภาพที่ 2.4 นี้จะเห็นว่าภาระสูงสุดมีค่าเท่ากับภาวะวิกฤติหรืออาจกล่าวได้ว่าค่าภาวะวิกฤติก็คือ ค่าภาระที่สูงที่สุดครั้งแรกก่อนที่เส้นกราฟจะตกลงและหลังจากช่วงนี้อาจมีค่าภาระสูงสุดที่สูงกว่าจุดนี้ก็ได้



ภาพที่ 2.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าภาระและระยะยุบตัว (Load - Displacement Curve) [5]

2.3.2 ภาระสูงสุด

ภาระสูงสุด (Maximum load), P_{max} หมายถึง ภาระสูงสุดที่เกิดขึ้นในกราฟของค่าภาระและระยะยุบตัวตลอดช่วงเวลาการเสียหายของชิ้นงาน ซึ่งค่าของภาระสูงสุดควรจะอยู่ในช่วงที่เหมาะสมและไม่ต้องสูงมากจนเกินไปเพราะจะทำให้อัตราแรงไม่คงที่ เช่น การลดความเร็วอย่างทันทีทันใด อาจทำให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ด้วย

2.3.3 ภาระเฉลี่ย

ภาระเฉลี่ย (Mean crushing load), P_{mean} หมายถึง ค่าของภาระเฉลี่ยตลอดการเสียรูปของโครงสร้างภายใต้การชนกระแทกจนถึงสิ้นสุดการยุบตัว โดยมักเปรียบเทียบกับระยะยุบตัวของชิ้นงาน ซึ่งค่าภาระเฉลี่ยนี้มีความสัมพันธ์โดยตรงกับค่าพลังงานที่โครงสร้างสามารถดูดซับได้ โดยทั่วไปแล้ว ค่าภาระเฉลี่ยควรมีค่าสูงเพื่อให้ได้ค่าพลังงานดูดซับที่สูงตามไปด้วย

2.3.4 พลังงานดูดซับ

พลังงานดูดซับ (Energy absorption), E_a หมายถึง ค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ตลอดการชนกระแทกหรือการยุบตัว ซึ่งหาได้จากผลรวมพื้นที่ใต้กราฟระหว่างภาระที่ใช้กับระยะยุบตัวที่ได้จากการชนกระแทกของชิ้นงานหรือโครงสร้าง จากภาพที่ 2.4 เป็นกราฟแสดงค่าภาระที่ใช้และระยะยุบตัวจากตัวอย่างการทดสอบการชนของเหล็กชนิดหนึ่ง จากกราฟแสดงค่าตัวแปรที่เกิดขึ้นระหว่างการทดสอบ คือ ค่าการดูดซับพลังงานจากการชนของชิ้นงาน สามารถหาได้จากสมการที่ (2.1)

$$E_a = \int P dS \quad (2.1)$$

โดยที่ E_a = พลังงานที่ชิ้นงานดูดซับไว้ได้
 P = ภาระที่กระทำกับวัสดุชิ้นงาน
 dS = การเปลี่ยนแปลงระยะยวบตัวของชิ้นงาน

จากภาพที่ 2.4 เนื่องจากเส้นกราฟของภาระและระยะการยวบตัวไม่คงที่สม่ำเสมอตลอดระยะเวลาที่เกิดการชนกระแทก ดังนั้นในทางปฏิบัติจึงแนะนำให้ใช้การประมาณจากค่าภาระเฉลี่ยตามหลักของ mean - value theorem ในการหาค่าการดูดซับพลังงานของวัสดุ [6] จากการชนกระแทก ซึ่งหาค่าได้โดยใช้สมการที่ (2.2)

$$E_a = P_{mean} \cdot S \quad (2.2)$$

2.3.5 พลังงานดูดซับจำเพาะ

พลังงานดูดซับจำเพาะ (Specific energy absorption), E_s หมายถึง ค่าการดูดซับพลังงานของโครงสร้างหนึ่งๆ เทียบกับน้ำหนักของตัวโครงสร้างเอง ในการหาค่าการดูดซับพลังงานจำเพาะที่เกิดจากการชนกระแทกนั้น ต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่างที่มีอิทธิพลต่อการชน ปกติทั่วไปชิ้นงานจะสามารถดูดซับพลังงานได้ตามความสามารถของตัวเอง เมื่อชิ้นงานเริ่มดูดซับพลังงานจากการชนกระแทก ตัวมันเองจะเริ่มยวบตัวหรือพับตัวจนกระทั่งไม่สามารถยวบตัวต่อได้อีก ลักษณะเช่นนี้หมายถึง วัสดุชิ้นงานนั้นได้ดูดซับพลังงานได้เต็มที่แล้ว ดังนั้นแรงที่เหลืออยู่ก็จะถูกส่งไปยังชิ้นส่วนที่เราต้องการปกป้องให้ความปลอดภัย เช่นร่างกายของมนุษย์ในห้องผู้โดยสาร ปกติแล้วเรามักพิจารณาการดูดซับพลังงานโดยเทียบกับมวลของตัวโครงสร้างเอง เพื่อไม่ให้ชิ้นงานมีมวลมากเกินไปกล่าวคือ แม้ว่าชิ้นงานจะสามารถดูดซับพลังงานได้มากแต่ถ้าชิ้นงานมีมวลที่มากเกินไปก็อาจไม่เหมาะสมกับโครงสร้างบางชนิด ตัวอย่างเช่น โครงสร้างของรถยนต์หรือยานพาหนะอื่นๆ ซึ่งค่าพลังงานดูดซับจำเพาะสามารถหาได้จากสมการที่ (2.3)

$$E_s = \frac{\int PdS}{mass} \approx \frac{P_{mean} \cdot S}{mass} \quad (2.3)$$

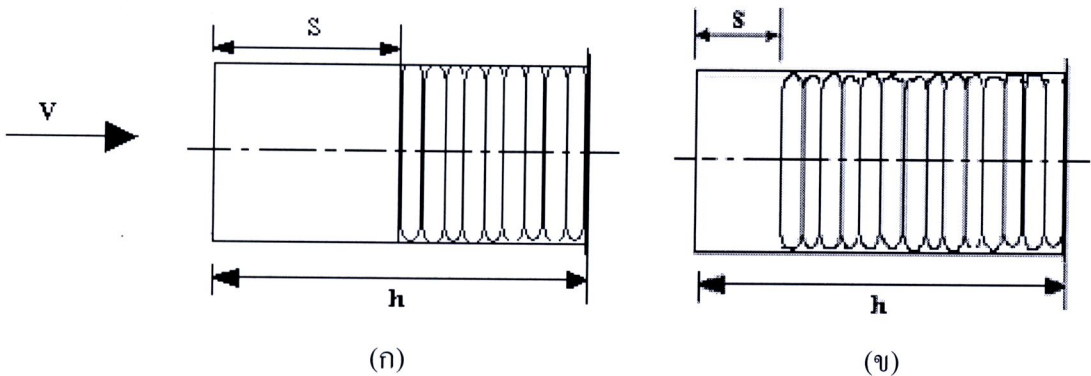
โดยที่ E_s = การดูดซับพลังงานจำเพาะ
 P_{mean} = ภาระเฉลี่ย
 S = ระยะที่วัสดุชิ้นงานยวบตัวได้จากเริ่มต้นจนถึงจุดสุดท้าย

2.3.6 ประสิทธิภาพการยวบตัว

ประสิทธิภาพของการยวบตัว (Stroke efficiency), S_e หมายถึง ความสามารถในการยวบตัวจากการชนกระแทกจนชิ้นงานไม่สามารถยวบตัวได้อีก ซึ่งหาได้จากอัตราส่วนของระยะยวบตัวของชิ้นงานกับความยาวเดิมของชิ้นงาน ซึ่งหาได้จากสมการที่ (2.4)

$$S_e = \frac{S}{h} \quad (2.4)$$

โดยที่ S_e = ประสิทธิภาพของการยวบตัวของชิ้นงาน
 S = ระยะยวบตัวของโครงสร้างตั้งแต่เริ่มจนสิ้นสุดการยวบตัว
 h = ความยาวเดิมของชิ้นงาน



ภาพที่ 2.5 แสดงระยะยวบตัวของชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันอยู่ภายใต้เงื่อนไขขอบเขตเดียวกัน
 (ก) ชิ้นงานที่มีความหนาน้อย (ข) ชิ้นงานที่มีความหนาเพิ่มมากขึ้น

ประสิทธิภาพการยวบตัวของโครงสร้างนั้น เป็นค่าที่แสดงถึงความสามารถในการยวบตัวของโครงสร้างโดยที่ยังคงสามารถรับพลังงานจากการชนกระแทกได้ โดยทั่วไปขนาดและรูปทรงมักเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติในข้อนี้ เช่น ชิ้นงานที่มีความหนาแตกต่างกันภายใต้เงื่อนไขและขอบเขตตัวแปรเดียวกันหรือมีความยาวเริ่มต้นเท่ากัน ชิ้นงานที่มีค่าความหนามากย่อมจะทนแรงกระแทกได้ดีแต่จะยวบตัวได้น้อย ซึ่งจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของการยวบตัวของชิ้นงานน้อยลงด้วย สำหรับด้านความปลอดภัยแล้ว เมื่อชิ้นงานสิ้นสุดการยวบตัวที่เร็วเกินไปอาจมีผลให้เกิดอันตรายกับชิ้นส่วนที่ต้องการปกป้องได้หากชิ้นงานนั้นยังดูดซับพลังงานการกระแทกได้ไม่หมด ดังนั้นจึงต้องหาความเหมาะสมที่สุดในการเลือกใช้วัสดุ โดยปกติแล้วถ้าระยะยวบตัวของชิ้นงานมีค่ามากจะส่งผล



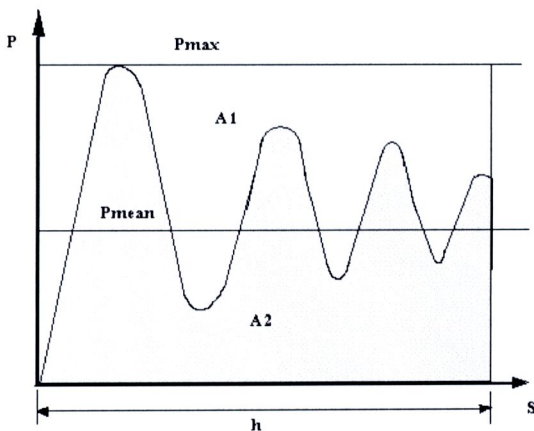
ให้ค่าประสิทธิภาพของการยุบตัวมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย จากภาพที่ 2.5 แสดงชิ้นงานที่มีความหนาน้อย ซึ่งสามารถยุบตัวได้มากกว่าชิ้นงานที่มีความหนามากและถ้าชิ้นงานยุบตัวได้มาก ค่าประสิทธิภาพของการยุบตัวก็จะมีค่าสูงด้วย

2.3.7 ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ

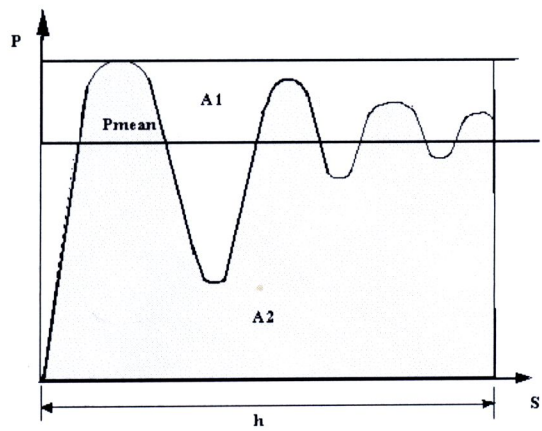
ประสิทธิภาพพลังงานดูดซับ (Energy efficiency), E_e หมายถึง ค่าประสิทธิภาพของพลังงานที่โครงสร้างดูดซับได้จริงเทียบกับพลังงานที่โครงสร้างควรดูดซับได้ จากการเกิดภาระสูงสุด สามารถหาได้จากอัตราส่วนของพื้นที่ใต้กราฟของกราฟภาระและระยะยุบตัว โดยเขียนเป็นความสัมพันธ์ได้ตามสมการที่ (2.5) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$E_e = \frac{A}{P_{\max} h} = \frac{E_a}{P_{\max} h} \quad (2.5)$$

- เมื่อ
- E_e = ประสิทธิภาพของพลังงาน
 - E_a = พลังงานที่ดูดซับได้
 - A = พื้นที่ใต้กราฟของภาระการชน
 - P_{\max} = ภาระสูงสุด
 - h = ระยะยุบตัวของชิ้นงานจากภาระการกระแทก



(ก)



(ข)

ภาพที่ 2.6 แสดงเส้นกราฟของการยุบตัวภายใต้ภาระการชนกระแทก (ก) กราฟภาระสูงสุดและภาระเฉลี่ยที่มีช่วงห่างกันมาก (ข) กราฟของภาระสูงสุดและภาระเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกัน

จากภาพที่ 2.6 แสดงประสิทธิภาพพลังงานดูดซับซึ่งหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟของเส้นภาระเฉลี่ย (A_2) หารด้วยพื้นที่ใต้กราฟของภาระสูงสุด ($A_1 + A_2$) ภาพที่ 2.6 (ก) เป็นเส้นกราฟที่เกิดจากภาระการชนกระแทกที่มีความแตกต่างกันมากระหว่างภาระสูงสุดและภาระเฉลี่ย การแกว่งของเส้นกราฟลักษณะนี้มีช่วงกว้างมากเมื่อแทนค่าในสมการที่ (2.5) จะทำให้ประสิทธิภาพของพลังงานลดลงเมื่อเทียบกับกราฟในภาพที่ 2.6 (ข) โดยจากภาพสามารถหาค่าประสิทธิภาพของพลังงานได้จากสมการที่ (2.5) เช่นเดียวกันและเมื่อเปรียบเทียบกัน 2 กรณีพบว่า ในสภาวะที่เกิดการชนและมีค่าภาระเฉลี่ยกับภาระสูงสุดห่างกันมากจะส่งผลให้ประสิทธิภาพพลังงานลดลงด้วย

2.3.8 ประสิทธิภาพของภาระ

ประสิทธิภาพของภาระ (Load efficiency), P_e หมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่าภาระเฉลี่ยกับค่าภาระสูงสุด ซึ่งมีวิธีการหาได้ในลักษณะเดียวกันกับค่าประสิทธิภาพของพลังงาน

2.4 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการศึกษา

ในการทดสอบวัสดุที่ใช้ทำโครงสร้างในการศึกษานี้ ได้ทำการทดสอบดึงชิ้นงานโดยให้ชิ้นทดสอบถูกดึงจนขาดจากกันในเวลาอันสั้นด้วยอัตราเร็วคงที่ ซึ่งผลจากการทดสอบจะเก็บข้อมูลคุณสมบัติของวัสดุที่จำเป็น เพื่อใช้ในโปรแกรม FEA โดยค่าตัวแปรต่างๆ สามารถวิเคราะห์ได้จากกราฟความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด (Stress-Strain Curve) ซึ่งได้ตัวแปรที่สำคัญดังนี้

2.4.1 ความเค้นทางวิศวกรรม

ค่าความเค้นทางวิศวกรรม (Engineering Stress) คือ ความเค้นที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างวัสดุ ซึ่งสามารถหาได้จากการนำค่าภาระที่ได้จากการทดสอบดึงชิ้นงานในแต่ละช่วงมาหารด้วยพื้นที่หน้าตัดเดิมของชิ้นงานก่อนทำการทดสอบ โดยผลที่ได้จากการทดสอบจะนำมาคำนวณหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้น โดยใช้สมการที่ (2.6) ในการคำนวณ

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.6)$$

โดยที่ σ = ความเค้นทางวิศวกรรม

F = ค่าแรงที่กระทำตามแนวแกน

A_0 = พื้นที่หน้าตัดขวางเริ่มต้น

2.4.2 ความเครียดทางวิศวกรรม

ความเครียดทางวิศวกรรม (Engineering Strain) หมายถึง การเปลี่ยนแปลงของความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิมของชิ้นทดสอบที่ได้จากการทดสอบดึง สามารถคำนวณได้จากการนำระยะที่เปลี่ยนแปลงหารด้วยความยาวเดิมของชิ้นงานทดสอบ ค่าความเครียดทางวิศวกรรมหาได้จากสมการที่ (2.7)

$$\varepsilon = \frac{l - l_0}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0} \quad (2.7)$$

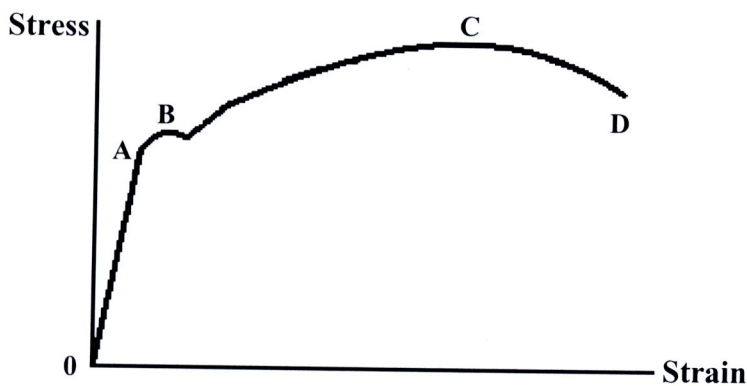
โดยที่ ε = ค่าความเครียดทางวิศวกรรม

l = ความยาวสุดท้าย

l_0 = ความยาวเดิมของชิ้นทดสอบ

Δl = การเปลี่ยนแปลงความยาวจากการยืดตัว

จากสมการที่ (2.6) และสมการที่ (2.7) จะได้ค่าความเค้นและค่าความเครียดจากการทดสอบ ซึ่งเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบมาเขียนเป็นกราฟจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดตามภาพที่ 2.7 ซึ่งจุดต่างๆ มีความสำคัญที่ใช้ในการทดสอบการชนต่อไป



ภาพที่ 2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของความเค้นและความเครียด

โดยที่ จุด A คือ ขีดจำกัดการแปรผันตรง (Proportional limit)

จุด B คือ ขีดจำกัดสภาพยืดหยุ่น (Elastic limit)

จุด C คือ จุดสูงสุดความเค้น (Ultimate Strength)

จุด D คือ จุดแตกหัก (Breaking point) ซึ่งเป็นจุดที่วัสดุขาดจากกัน

2.4.3 โมดูลัสความยืดหยุ่น

ค่าความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) คือ ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นระหว่างสัดส่วนความเค้นและความเครียดเมื่อวัตถุมมีการเปลี่ยนแปลงตามความยาว โดยโมดูลัสความยืดหยุ่นของวัสดุต่างชนิดกันจะมีค่าต่างกันและจากภาพที่ 2.7 สามารถหาค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ (E) ซึ่งเป็นค่าที่เกิดขึ้นระหว่างช่วง 0 ถึง A และเป็นช่วงที่ความเค้นและความเครียดเป็นสัดส่วนโดยตรงต่อกัน สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2.8)

$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (2.8)$$

โดยที่ σ = ค่าความเค้นทางวิศวกรรม

E = ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น

ε = ค่าความเครียดทางวิศวกรรม

2.4.4 ความเค้นที่เกิดขึ้นจริง

ค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริง (True Stress) เป็นค่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริงในช่วงเวลาที่ทำการทดสอบนั้น โดยขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานที่ใช้ในการคำนวณจะเป็นพื้นที่ ณ ช่วงเวลาที่ภาระขณะนั้นกระทำอยู่ ดังนั้นจึงนิยามความเค้นแบบนี้ว่าความเค้นที่เกิดขึ้นจริง สามารถหาได้จากสมการที่ (2.9)

$$\sigma' = \frac{F}{A} \quad (2.9)$$

โดยที่ σ' = ค่าความเค้นจริง

F = ค่าภาระที่กระทำ

A = พื้นที่จริงที่เกิดขึ้นในช่วงเวลาสั้นๆ ตลอดการทดสอบ

2.4.5 ความเครียดที่เกิดขึ้นจริง

ค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจริง (True Strain) เป็นค่าความเครียดที่เกิดขึ้นจริงจากการทดสอบวัสดุและในการคำนวณจะมีความสัมพันธ์กับความเครียดทางวิศวกรรมดังแสดงในสมการที่ (2.10) ซึ่งเป็นสมการที่ใช้ในการคำนวณ

$$\varepsilon' = \int_0^l \frac{dl}{l} = \ln \frac{l}{l_0} = \ln(1 + \varepsilon) \quad (2.10)$$

โดยที่ ε' = ความเครียดจริง
 l = ความยาวที่เพิ่มขึ้น
 l_0 = ความยาวก่อนการทดสอบ

2.4.6 Plastic Strain

เป็นค่าการเปลี่ยนแปลงของความเครียด ซึ่งเกิดขึ้นจากช่วงจุดล้าของวัสดุ (yield point) ไปจนถึงช่วงความเค้นสูงสุด (maximum stress) ที่ได้จากการทดสอบ สำหรับในโปรแกรม FEA (ABAQUS) จำเป็นต้องใส่ค่าคุณสมบัตินี้ เพื่อให้โปรแกรมสามารถคำนวณได้อย่างถูกต้อง ซึ่งหาโดยการกำหนดจุดต่างๆ บนกราฟของความเค้นและความเครียดโดยกำหนดจากจุดล้าตัวจนถึงจุดภาระสูงสุด ซึ่งสามารถหาได้จากสมการที่ (2.11) โดยได้แสดงวิธีการหาอย่างละเอียดไว้ในบทที่ 3

$$\varepsilon^{pl} = \left(\varepsilon' - \frac{\sigma'}{E} \right) \quad (2.11)$$

โดยที่ ε^{pl} = การเปลี่ยนแปลงของความเครียด
 ε' = ความเครียดจริง
 σ' = ความเค้นจริง
 E = ค่าความยืดหยุ่นของวัสดุ

2.5 ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์

2.5.1 พื้นฐานทางไฟไนต์เอลิเมนต์

ไฟไนต์เอลิเมนต์เป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลข ที่ใช้คำนวณหาผลเฉลยโดยประมาณของปัญหา โดยทำการแบ่งรูปร่างขอบเขตของปัญหาออกเป็นชิ้นส่วนย่อยๆ ซึ่งเรียกว่าเอลิเมนต์ (element) จากนั้นสร้างสมการของแต่ละเอลิเมนต์ให้สอดคล้องกับสมการเชิงอนุพันธ์ของปัญหานั้น โดยเอลิเมนต์เหล่านี้จะเชื่อมต่อกันที่จุดต่อ (node) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่ใช้คำนวณหาค่าของตัวแปรตามที่ต้องการ [7] สำหรับตัวอย่างของสมการเช่น เอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมในสองมิติที่อยู่บนระนาบ x-y เป็นเอลิเมนต์ที่มีจุดต่อ 3 จุดต่อ โดยที่จุดต่อเหล่านี้เป็นตำแหน่งของตัวที่ไม่ทราบค่า

(nodal unknowns) สมมติให้เป็นค่าการเคลื่อนตัวเนื่องจากการเสียรูป (ϕ) ซึ่งประกอบไปด้วย ϕ_1 , ϕ_2 และ ϕ_3 ซึ่งเป็นตัวแปรที่จุดต่อที่ 1 ถึง 3 ตามลำดับ ลักษณะการกระจายของตัวไม่รู้ค่านี้อาจเขียนให้อยู่ในรูปแบบของฟังก์ชันการประมาณภายในและตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = N_1(x, y)\phi_1 + N_2(x, y)\phi_2 + N_3(x, y)\phi_3 \quad (2.12)$$

โดยที่ $N_i(x, y)$, $i = 1, 2, 3, \dots, n$ แทนฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์
 ϕ = ค่าการเคลื่อนตัวของจุดต่อ

จากสมการที่ (2.12) สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ได้ดังนี้

$$\phi(x, y) = [N_1 N_2 N_3] \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} \quad (2.13)$$

$$\phi(x, y) = [N] \{\phi\} \quad (2.14)$$

โดยที่ $[N]$ แทนเมทริกซ์แถวอนนของฟังก์ชันการประมาณภายในเอลิเมนต์
 $\{\phi\}$ แทนเวกเตอร์เมทริกซ์แถวตั้งที่ประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าที่จุดต่อของเอลิเมนต์นั้น

จากสมการที่ (2.12) และ (2.13) เมื่อทำการสร้างสมการจากเอลิเมนต์แบบสามเหลี่ยมดังกล่าวให้อยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ ซึ่งมีรูปแบบดังนี้

$$\begin{bmatrix} k_{11} & k_{12} & k_{13} \\ k_{21} & k_{22} & k_{23} \\ k_{31} & k_{32} & k_{33} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \phi_1 \\ \phi_2 \\ \phi_3 \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \end{Bmatrix} \quad (2.15)$$

สามารถเขียนย่อได้เป็น

$$[K]_{\text{sys}} \{\phi\}_{\text{sys}} = \{F\}_{\text{sys}} \quad (2.16)$$

โดยที่ ตัวห้อย sys หมายถึง เมทริกซ์นั้นๆ เป็นเมทริกซ์ของระบบสมการรวม

จากสมการที่ 2.16 จะทำการประยุกต์เงื่อนไขและขอบเขต (boundary conditions) ลงในระบบสมการจากนั้นทำการแก้ระบบสมการเพื่อหาตัวแปรที่ไม่รู้ค่าต่อไป ตัวไม่ทราบค่าที่จุดต่อในที่นี้หมายถึงค่าการเคลื่อนที่จากการเสียดรูปในของแข็ง และเมื่อได้ตัวแปรที่ไม่ทราบค่าครบแล้วก็จะคำนวณหาค่าอื่นๆ ต่อไปได้เช่น การคำนวณค่าความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้น เป็นต้น

2.5.2 วิธีการคำนวณในโปรแกรมไฟไนท์เอลิเมนต์

ในการคำนวณสมการเชิงอนุพันธ์ในรูปแบบของวิธีการเชิงตัวเลขนั้นมี 2 วิธี คือ ระเบียบวิธีแบบชัดแจ้ง (explicit method) และระเบียบวิธีแบบปริยาย (implicit method) ความแตกต่างของวิธีทั้งสองคือ การสร้างสมการเชิงตัวเลขที่เป็นเชิงเส้นของความสัมพันธ์ระหว่างโหนดหรือเอลิเมนต์เพื่อแทนความสัมพันธ์ของสมการเชิงอนุพันธ์ กล่าวคือระเบียบวิธีแบบชัดแจ้งตัวรู้ค่าถูกสร้างเป็นความสัมพันธ์เพื่อหาตัวไม่รู้ค่าหนึ่งตัวของเอลิเมนต์ต่อไป แต่ในระเบียบวิธีแบบปริยายสมการหนึ่งสมการจะประกอบด้วยตัวไม่รู้ค่าในเอลิเมนต์ต่อไปมากกว่าหนึ่งตัว ซึ่งในการศึกษาและทดสอบของงานวิจัยนี้ ได้ใช้วิธีการคำนวณแบบชัดแจ้ง เป็นหลัก

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางไฟไนท์เอลิเมนต์ชื่อ ABAQUS โดยใช้วิธีการคำนวณแบบ explicit กระบวนการทำงานของโปรแกรมมีระเบียบวิธีการทำงาน 3 ขั้นตอน ซึ่งการทำงานของโปรแกรมในการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์ มีรายละเอียดดังนี้

(1) ขั้นตอนการประมวลผล (pre-processor) เป็นขั้นตอนของการกำหนดรูปร่างลักษณะรวมถึงเงื่อนไขและขอบเขตของปัญหาที่พิจารณาและในขั้นตอนนี้เป็นการแบ่งปัญหาที่ต้องการวิเคราะห์ออกเป็นช่องตาข่ายเล็กๆ เพื่อสร้างเอลิเมนต์สำหรับทดสอบ

(2) ขั้นตอนการคำนวณ (simulation ABAQUS/Explicit) ในขั้นตอนนี้หลังจากที่ทำการประมวลผลตามข้อ (1) เสร็จแล้ว โปรแกรมจะทำการคำนวณผลตามที่ได้กำหนดเงื่อนไขต่างๆ ไว้ด้วยวิธีไฟไนท์เอลิเมนต์

(3) ขั้นตอนการแสดงผล (post-processor) เป็นขั้นตอนการแสดงผลเฉลยหรือแสดงการจำลองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นของปัญหาซึ่งอยู่ในรูปแบบของระดับแถบสี (contour) หรืออาจแสดงในลักษณะของเวกเตอร์ก็ได้ โดยในกระบวนการนี้เป็นการเก็บข้อมูลของตัวแปรต่างๆ ที่กำหนดไว้เพื่อนำมาใช้ในการหาผลที่ต้องการต่อไป

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 1 ว่าโครงสร้างหลักของยานพาหนะต่างๆ นั้นโดยส่วนมากมักประกอบด้วยโครงสร้างที่เป็นลักษณะแผ่นและเปลือก ที่มีหน้าตัดต่างๆ กัน เนื่องจากโครงสร้างลักษณะดังกล่าวมีคุณสมบัติของการเป็นโครงสร้างกันการชนที่ดี ความหมายของการดูดซับพลังงาน

จากการชนกระแทกที่คือนั้นหมายถึง ความสามารถในการยุบตัวของโครงสร้างที่เหมาะสมเมื่อเกิดการชนกระแทก โดยในการยุบตัวนั้นโครงสร้างที่ดีควรจะสามารถดูดซับแรงกระแทกได้ในปริมาณมากเมื่อเทียบกับมวลของตัวมันเอง [8], [9], [10] ทั้งนี้เนื่องจากยานพาหนะนั้นมักไม่ต้องการให้โครงสร้างมีมวลมากจนเกินไป ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการสิ้นเปลืองพลังงานเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นอีกด้วย นอกจากนี้คุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งของโครงสร้างป้องกันการชนที่ดี ควรที่จะมีอัตราส่วนการยุบตัว (Stroke Ratio) จากการชนที่สูงด้วย อันหมายถึง ความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชนที่ดีนั่นเอง แต่อย่างไรก็ตามในการดูดซับภาระการกระแทกจากการชนของโครงสร้างต่างๆ นั้น ไม่ควรก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความเร่งหรือความหน่วง (Acceleration or Deceleration) ของโครงสร้างมากเกินไป เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงของความเร่งที่มากเกินไปอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อร่างกายมนุษย์ (Body -Tolerance) ได้ [11], [12], [13]

ความสามารถในการรับแรงกระแทกของตัวถังรถยนต์นั้นมักแยกการพิจารณาโครงสร้างเป็นชิ้นๆ ไป เช่น ศึกษาการเสียหายเฉพาะโครงด้านหน้า [14] การศึกษาการเสียหายจากการชนของคานกลางผนังบางแบบต่างๆ [15], [16], [17], [18] การศึกษาโครงสร้างกลวงแบบ Double - Hat และ Top - Hat [19] การศึกษาการเสียหายของแกนโครงรถยนต์ [20] เป็นต้น แต่อย่างไรก็ดียังมีปัจจัยอื่นๆ อีกมากที่มีผลต่อคุณสมบัติของโครงสร้างภายใต้แรงกระแทก อย่างเช่น ผลของแรงเฉื่อย (Inertia Effect) [21] ผลของคุณสมบัติของวัสดุ [22] ผลของการยึดต่อปลายหรือเงื่อนไขขอบเขต [23], [24], [25], [26], [27], [28] และผลของการเปลี่ยนแปลงความหนาของผนังโครงสร้าง [29], [30], [31] รวมถึงการเลือกชิ้นงานที่มีหน้าตัดแตกต่างกันไป ซึ่งลักษณะการเปลี่ยนแปลงหน้าตัดหรือมุมของชิ้นงานสามารถทำให้ความหนาของชิ้นงานลดลงได้โดยที่ความแข็งแรงยังคงเท่าเดิม [32], [33]

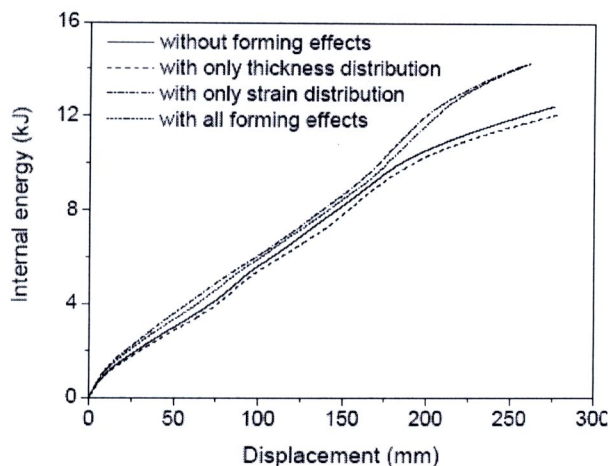
ในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างของยานพาหนะนั้น นอกจากต้องคำนึงถึงคุณสมบัติที่สำคัญแล้ว ยังต้องพิจารณาระยะเวลาที่โครงสร้างใช้ในการหยุดการเคลื่อนที่หลังจากการชนด้วย ซึ่งจะสัมพันธ์กับปริมาณหนึ่งๆ ที่เรียกว่าค่าความหน่วง โดยค่าความหน่วงนี้จะต้องมีค่าไม่สูงเกินกว่าที่ร่างกายมนุษย์สามารถรับได้ (Body Tolerance of Impact) โดยผลการศึกษาที่เกี่ยวกับความสามารถในการต้านทานค่าอัตราเร่งและอัตราหน่วงของอวัยวะส่วนต่างๆ ของร่างกายนั้น อาจหาได้จากผลการศึกษาก่อนหน้านี้ [11], [12]

จะเห็นว่าในการออกแบบชิ้นส่วนโครงสร้างหลักของยานพาหนะต่างๆ นั้นต้องพิจารณาคุณสมบัติหลายประการประกอบกันด้วย โดยสำหรับค่าความสามารถในการดูดซับพลังงานจำเพาะ (E_s) และค่าอัตราส่วนการยุบตัว (Stroke Ratio) นั้นมีปัจจัยที่สำคัญอีกหลายปัจจัยที่มีผลกระทบต่อตัวมันเองเช่น รูปทรงของโครงสร้าง (Geometry) รูปแบบการยึดประกอบโครงสร้างได้แก่ การเชื่อม

แบบต่างๆ (Butt Welding, Spot Welding) การยึดหมุด (Pinning, Bolted) และการเข้าตะเข็บ (Seam) สำหรับตัวอย่างคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ เช่นการผ่านกระบวนการทางความร้อน (Heat Treatments) รูปแบบการกระจายตัวของความหนาของผนัง (Wall Thickness Profile) เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ล้วนแฝงอยู่ในขั้นตอนของรูปแบบและวิธีการสร้างชิ้นส่วนต่างๆ ของโครงสร้างทั้งสิ้น ดังนั้นหากสามารถศึกษาหาข้อสรุปให้ได้ว่า ปัจจัยและคุณสมบัติแต่ละตัวมีผลต่อการป้องกันการเสียหายจากการชนมากน้อยอย่างไรก็จะทำให้สามารถคัดเลือกวิธี รวมถึงปรับปรุงพัฒนาเทคนิคในการประกอบผลิตสร้างโครงสร้างรถยนต์โดยสารในประเทศให้เหมาะสมขึ้นได้ ทั้งนี้อาจจำเป็นต้องมีการศึกษาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ ที่มีการศึกษามาแล้วรวมทั้งต้องมีการพัฒนาแนวคิดทฤษฎีและวิธีการที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับวัสดุดิบและความต้องการของประเทศให้มากที่สุด สำหรับตัวอย่างการศึกษาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทางด้านการชนของโครงสร้าง ได้มีผู้ทำการศึกษาดังนี้

2.6.1 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการศึกษาการชนของชิ้นส่วนโครงสร้างรถยนต์

H. Huh และคณะ [34] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับชิ้นส่วนโครงสร้างด้านหน้าของรถยนต์โดยพิจารณาถึงกระบวนการผลิตขึ้นรูปชิ้นงาน โดยพิจารณาผลของความหนาที่ไม่คงที่และผลของการเปลี่ยนแปลงความเครียดที่เกิดขึ้น โดยเรียกรวมๆ ว่ากรรมวิธีการผลิต เพื่อศึกษาว่าในการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ที่ผ่านมาได้คำนึงถึงผลปัจจัยเหล่านี้เพียงใด และจำเป็นต้องคำนึงถึงค่าตัวแปรต่างๆ เหล่านี้ด้วยหรือไม่ วิจัยทดสอบทำโดยการใส่ค่าของตัวแปรต่างๆ ที่ได้จากการทดสอบตัวอย่างชิ้นงานของโครงสร้างลงในโปรแกรมการวิเคราะห์ทาง FEA (LS-DYNA 3D) จากนั้นทำการเคลื่อนผนังมวล 200 kg ชนด้วยความเร็วเริ่มต้น 48 km/hr แล้วทำการวิเคราะห์ผลของรูปแบบการเสียหายที่เกิดขึ้นจากการชน โดยเปรียบเทียบกับทดสอบที่ไม่คิดคำนึงถึงกรรมวิธีการผลิตและปัจจัยต่างๆ ที่กล่าวมา



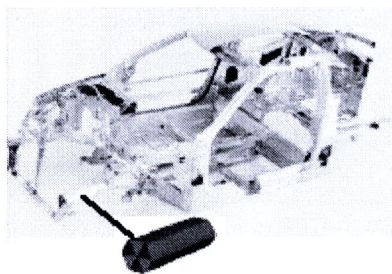
ภาพที่ 2.8 แสดงกราฟของพลังงานภายในเทียบกับระยะขยับตัวเมื่อเกิดการชน [34]

ผลจากการทดสอบกับโปรแกรม FEA ของชิ้นส่วนด้านหน้าของรถยนต์ที่รับภาระแรงกระแทก ตามภาพที่ 2.8 จะเห็นว่าค่าพลังงานที่ได้จากการชนมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาเฉพาะผลของการเปลี่ยนแปลงความเครียด และมีค่าลดลงเล็กน้อยเมื่อพิจารณาเฉพาะผลของการเปลี่ยนแปลงความหนาของชิ้นงานและเมื่อพิจารณาตัวแปรและปัจจัยที่เกี่ยวข้องต่างๆ ของกระบวนการผลิตแล้ว ผลการศึกษาสรุปลงได้ว่าควรต้องพิจารณาผลของตัวแปรเหล่านี้ในกรรมวิธีการผลิตชิ้นส่วนด้วย

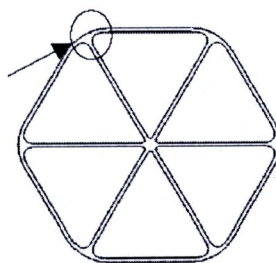
Toru Kawano และ Yuta Urushiyama [35] ได้ศึกษาวิจัยเกี่ยวกับความเสียหายของโครงสร้างรถยนต์ ซึ่งทำจากกล่องอลูมิเนียมรูปทรงหกเหลี่ยม เพื่อหาความสามารถในการดูดซับพลังงานจากการชน โดยทดสอบจากเครื่องทดสอบการกระแทก ลักษณะชิ้นงานได้แสดงในภาพที่ 2.9 โดยชิ้นงานมีรัศมีความโค้งที่แตกต่างกันในแต่ละอันดังแสดงในตารางที่ 2.5 ซึ่งทำการทดสอบภายใต้ภาระ 2 แบบคือ ภาระการคด (Bending load) และภาระการกด (Crushing load) ผลการศึกษาสรุปลงได้ว่า บริเวณมุมของชิ้นงานที่มีรัศมีมากจะทำให้รับภาระได้มาก จากภาพที่ 2.10 เป็นการแสดงเส้นกราฟของผลที่ได้จากการทดสอบ โดยชิ้นทดสอบชนิด C มีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้มากที่สุด เมื่อเทียบกับชิ้นทดสอบ A และ B

ตารางที่ 2.5 แสดงค่ารัศมีส่วนโค้งของมุมชิ้นงานทดสอบที่ตำแหน่งต่างๆ ของกล่องอลูมิเนียม

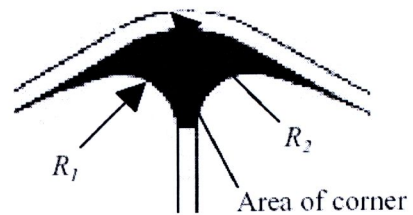
ชิ้นทดสอบ	รัศมีภายใน (R_1 , mm)	รัศมีภายนอก (R_2 , mm)	พื้นที่ของมุม (mm^2)
A	2	11	894
B	3	18	907
C	4.5	30	914



(ก)

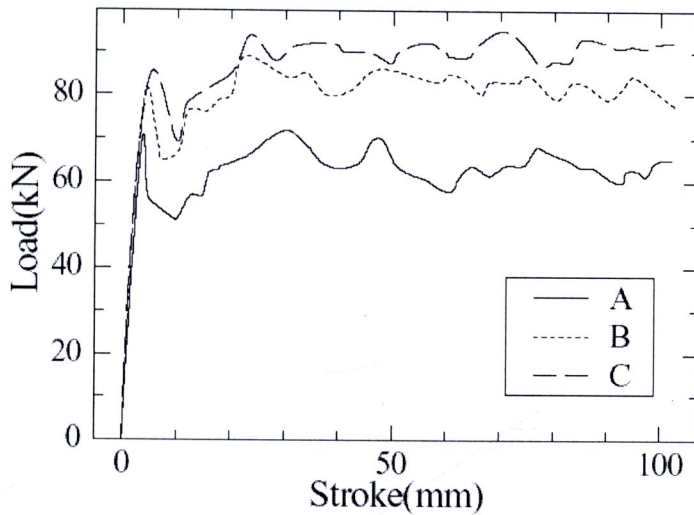


(ข)



(ค)

ภาพที่ 2.9 แสดงชิ้นส่วนที่ทดสอบและบริเวณจุดที่พิจารณา (ก) ชิ้นส่วนที่พิจารณาจากโครงสร้างของรถยนต์ (ข) มุมของชิ้นงานที่พิจารณาและ (ค) รัศมีส่วนโค้งที่เปลี่ยนแปลง [34]

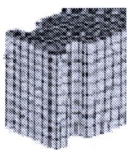


ภาพที่ 2.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของภาระและระยะยุบตัว [34]

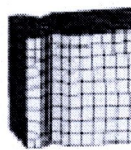
Wang Hongyan และคณะ [36] ได้ทำการศึกษาวิจัยชิ้นส่วนโครงสร้างด้านหน้าของรถยนต์ที่มีการเซาะร่องที่ปลายของชิ้นงานในลักษณะที่แตกต่างกันดังแสดงในภาพที่ 2.11 เพื่อหาค่าพลังงานที่ชิ้นงานสามารถดูดซับได้ โดยสังเกตดูผลการทดลองและรูปแบบการเสียหายของชิ้นงานที่มีการเปลี่ยนตำแหน่งของการเซาะร่องโดยมีระยะที่ห่างจากปลายแตกต่างกัน ตามตารางที่ 2.6 จากการศึกษพบว่าผลของการเซาะร่องชิ้นงานมีผลกับความสามารถในการดูดซับพลังงานน้อยมาก ดังนั้นในกระบวนการผลิตไม่จำเป็นต้องนำมาพิจารณา

ตารางที่ 2.6 แสดงระยะเซาะร่องและพลังงานดูดซับที่ได้เมื่อเปลี่ยนระยะการเซาะร่องชิ้นงาน

ระยะห่างของร่องที่เซาะวัดจากปลาย (mm)	พลังงานที่ดูดซับได้ (%)
25	45.56
36	56.29
50	56.32



(ก) Square



(ข) V-shape

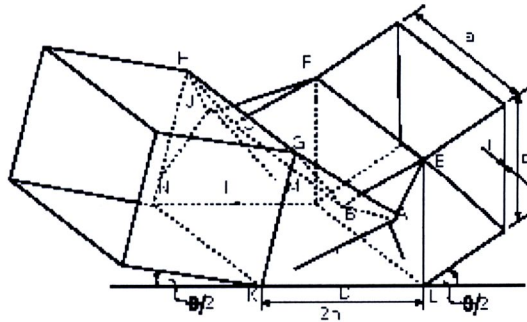


(ค) Semicircle

ภาพที่ 2.11 แสดงรูปลักษณะของการเซาะร่องชิ้นงานที่ใช้ในการทดสอบ [35]

Wang Hongyan และ Xiao Fan [37] ได้ทำการศึกษารายการชนด้านหน้าของรถยนต์ เพื่อวิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารขณะเกิดการชน และผลจากอันตรายที่จะเกิดขึ้นในห้องผู้โดยสารด้วยวิธีการจำลองทาง FEA เพื่อดูการเคลื่อนที่และอันตรายที่เกิดกับศีรษะและคอของหุ่นจำลองโดยใช้เข็มขัดนิรภัยแบบ 3 จุด โดยทดลองให้รถยนต์วิ่งชนกำแพงด้วยความเร็ว 50 km/hr ผลการศึกษาพบว่า ห้องผู้โดยสารสามารถปกป้องผู้โดยสารได้ดีเมื่อเกิดการชน และผลที่ได้จากการทดลอง คือ $HIC = 783.73$ (HIC คือค่าการบาดเจ็บของหัวหุ่นภายในห้องโดยสารซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดอีกครั้งในหัวข้อถัดไป) ซึ่งค่ามาตรฐานความปลอดภัยกำหนดให้ไม่เกิน 800 ซึ่งถือว่าผลการทดสอบอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้

Kum Cheol และ Jung Ju Lee [38] ได้ศึกษาเกี่ยวกับการชนและการค้ำของท่ออลูมิเนียมรูปทรงจตุรัส เพื่อหาค่าพลังงานที่วัสดุจะสามารถดูดซับได้ภายใต้แรงกระแทกโดยการใช้ทฤษฎีของ Kecman's [39] โดยผู้วิจัยได้เสนอกฎการพับตัวของท่ออลูมิเนียมรูปทรงจตุรัสดังภาพที่ 2.24 และใช้หลักทางพลังงานในการคำนวณหาค่าพลังงานดูดซับ



ภาพที่ 2.12 แสดงเส้นรอยพับของชิ้นงาน โลหะรูปสี่เหลี่ยมตามทฤษฎีของ Kecman's [38]

ในสมการที่ (2.17) และสมการที่ (2.18) ใช้หาค่าของพลังงานดูดซับและโมเมนต์ค้ำบนเส้นจุดหมุนรอบรอยพับ

$$w(\theta) = \sum_1^9 w_i(\theta) \quad (2.17)$$

$w(\theta)$ = ค่าผลรวมพลังงานที่ได้จากการค้ำที่องศาการพับรอบเส้นจุดหมุนต่างๆ

$w_i(\theta)$ = พลังงานที่ได้จากแต่ละเส้นองศาการค้ำ



$$M(\theta) = \frac{M(\theta + \Delta\theta) - M(\theta)}{\Delta\theta} \quad (2.18)$$

โดยที่ $M(\theta)$ = ค่าโมเมนต์ค้ำครวมเมื่อมุมเปลี่ยนไป
 $\Delta\theta$ = การเปลี่ยนแปลงของมุมค้ำ

Tae Seong Lim และ Dai Gil Lee [40] ศึกษาการเสียหายของวัสดุที่ใช้ผลิตประตูด้านข้างของห้องโดยสารรถยนต์ส่วนที่ใช้เป็นคานป้องกันการชนด้านข้าง โดยใช้วัสดุผสมมีน้ำหนักเบาเปรียบ เทียบกับเหล็กที่ใช้อยู่แบบเดิม โดยการทดสอบการค้ำของชิ้นส่วนด้านข้างประตูรถยนต์โดยสารภายใต้มาตรฐาน ASTM D3039 ชิ้นงานมีความยาว 540 มิลลิเมตร วัสดุที่ใช้กดชิ้นงานเป็นทรงครึ่งวงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลางยาว 305 มิลลิเมตร ทดลองโดยวิธี FEA ผลจากการศึกษาพบว่าวัสดุผสมที่สร้างขึ้น สามารถลดน้ำหนักของชิ้นส่วนลงได้เมื่อเทียบกับเหล็กที่เคยใช้แบบเดิมและผลการทดลองมีความสอดคล้องกับการทดสอบด้วยวิธี FEA โดยมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น 20%

Dong-Kuk Kim และคณะ [41] ศึกษาพฤติกรรมการเสียรูปและพลังงานที่ชิ้นงานดูดซับได้ภายใต้แรงกระแทก วัสดุที่ใช้เป็นอลูมิเนียมอัลลอยมีส่วนผสมทางเคมีดังนี้ 1.12 Mg, 0.65 Si, 0.23 Fe, 0.015 Mn, 0.19 Cu, 0.09 Cr, 0.023 Ti, 0.18 Zn, 0.014Ca. โดยมีการสร้างชิ้นงานด้วยการดัดขึ้นรูป ซึ่งชิ้นงานมีหน้าตัดเป็นสี่เหลี่ยมและวงกลมโดยมีความหนา 3 ขนาดคือ 1.2, 2.0 และ 3.0 มิลลิเมตร โดยใช้อุณหภูมิ 480-500 °C ด้วยความเร็วในการดัดขึ้นรูปชิ้นงาน 30 ชม/วินาที โดยใช้ Servo – Hydraulic machine มีค่าความเค้นสูงสุด = 226 MPa และความเค้นที่จุดคราก = 186 MPa เปอร์เซนต์การยืดตัว = 11.7% โดยในการทดสอบจะดูที่อัตราส่วนระหว่าง (T/W) และ (T/D) ว่ามีผลอย่างไรกับชิ้นงาน ผลการศึกษาพบว่า ถ้าจะให้ชิ้นงานยุบตัวเป็นแบบสมมาตร (Symmetric folds) จะต้องเพิ่มอัตราส่วน (T/W) สำหรับชิ้นงานทอสี่เหลี่ยม และจะต้องลดอัตราส่วน (T/D) ลงในชิ้นงานที่เป็นท่อกลม

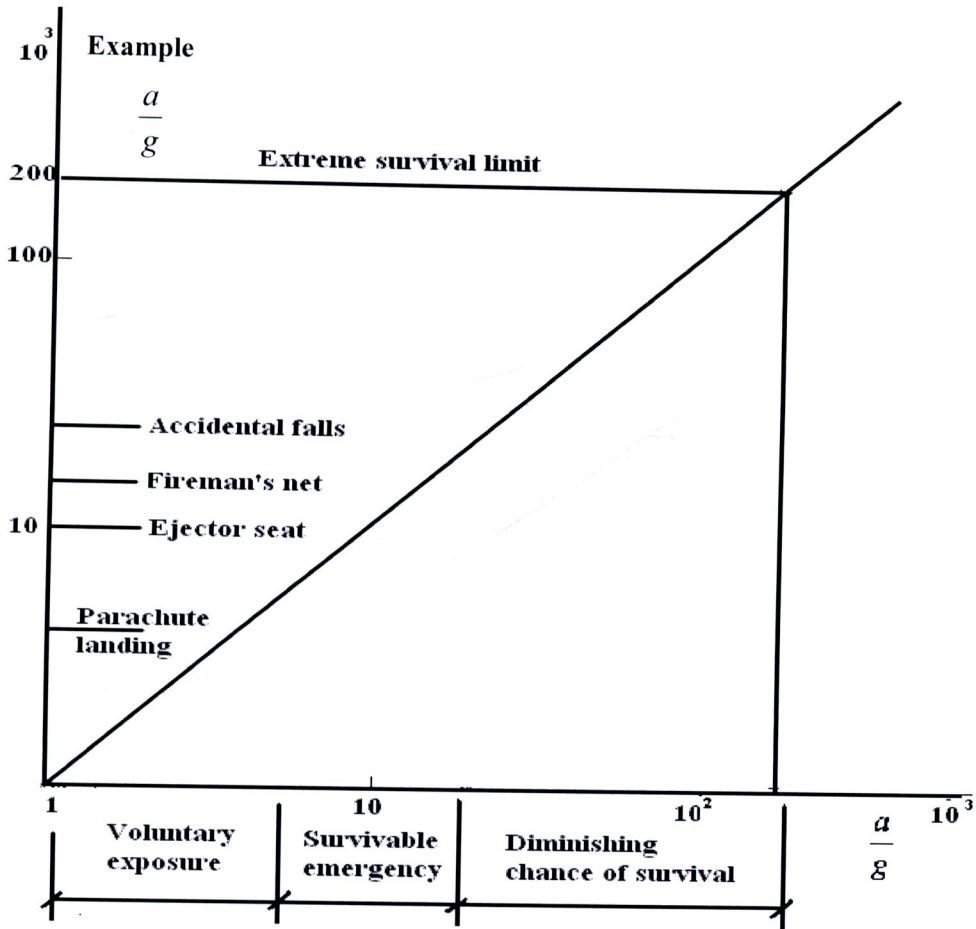
Dong-Kuk Kim และ Sunghak Lee [42] ได้ศึกษาและทำการทดลองโดยใช้วัสดุอลูมิเนียมเบอร์ 6061 ที่มีหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าทั้งหมด 8 ชิ้นงานและหน้าตัดวงกลม 6 ชิ้นงาน เพื่อหาพลังงานที่วัสดุสามารถดูดซับไว้ได้เมื่อเกิดการกระแทก จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมเพิ่มขึ้นความแข็งแรงจะเพิ่มขึ้นแต่ไม่มีความสัมพันธ์กับอัตราส่วนความหนาคต่อความกว้าง (T/W) คือ แม้ว่าอัตราส่วน (T/W) จะเพิ่มขึ้นแต่ก็ไม่ได้ทำให้ความแข็งแรงเพิ่มขึ้นและภายใต้เงื่อนไข (T/W) และ (T/D) ที่มีค่าเท่ากันพบว่า ท่อทรงกระบอกสามารถดูดซับพลังงานต่อตารางมิลลิเมตรได้มากกว่าท่อน้ำตัดสี่เหลี่ยม แต่ท่อรูปสี่เหลี่ยมสามารถรับแรงได้มากกว่าท่อกลมเมื่อรัศมีที่ขอบของชิ้นงานรูปสี่เหลี่ยมมีขนาดเล็กเป็นผลให้มีการฉีกขาดตามแนวตะเข็บของชิ้นงาน

เมื่อเกิดการกระแทก ชิ้นงานหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าจะมีรูปแบบการพับเกิดขึ้นตรงข้ามกับฐานที่เชื่อมยึด ส่วนชิ้นงานหน้าตัดวงกลมจะมีรูปแบบการพับบริเวณที่ฐานและด้านบนเป็นแบบสมมาตร

D.Mohan และคณะ [43] ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับคุณลักษณะการชนของรถโดยสารสามล้อโดยการจำลองด้วยวิธี FEA เพื่อศึกษาอันตรายที่อาจเกิดขึ้นกับคนขับและผู้โดยสาร ซึ่งเป็นแนวทางในการพัฒนาเกี่ยวกับความปลอดภัย โดยใช้โปรแกรมการวิเคราะห์ ชื่อ Madymo 5.1 3D เป็นเครื่องมือในการทดสอบ โดยให้รถโดยสารสามล้อพุ่งเข้าชนกับรถบั๊ส ซึ่งได้แบ่งวิธีการทดสอบออกเป็น 2 กรณี คือ 1) แบบโครงสร้างมาตรฐานเดิม 2) แบบโครงสร้างปรับปรุงออกแบบใหม่ ผลจากการศึกษาพบว่า การชนของโครงสร้างแบบเดิมใช้ความเร็วที่ 20 km/h จะให้ค่า $HIC = 800$ สำหรับคนขับและ 985 สำหรับผู้โดยสาร ส่วนการชนของโครงสร้างที่ปรับปรุงโครงสร้างใหม่จะให้ค่า $HIC = 512$ สำหรับคนขับและ 904 สำหรับผู้โดยสาร ซึ่งจะเห็นว่าโครงสร้างที่ออกแบบใหม่สามารถลดค่า HIC ของทั้งผู้โดยสารและคนขับได้

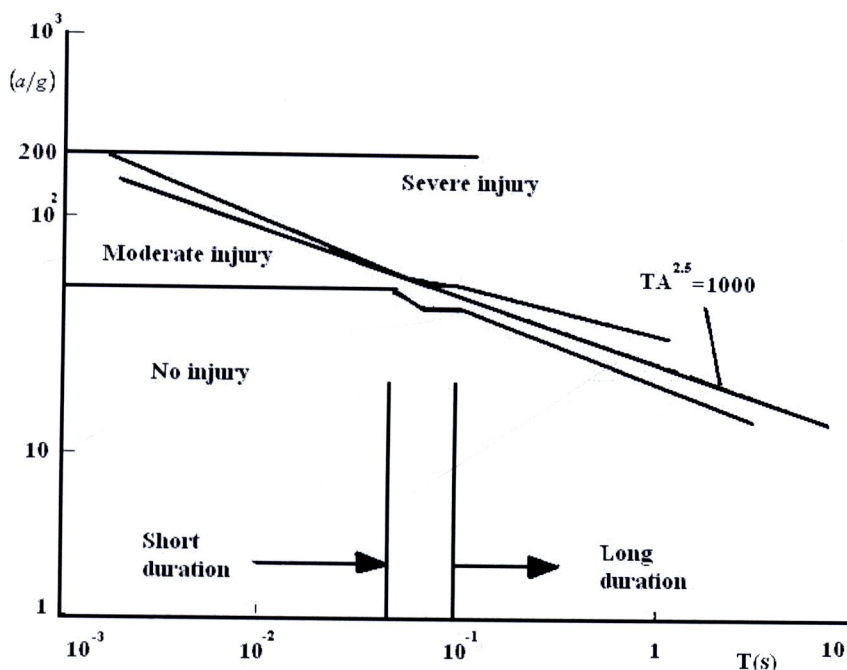
2.6.2 การศึกษาเกี่ยวกับการบาดเจ็บจากแรงกระแทก

Jones, N. [44] ได้ศึกษาและรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวกับความปลอดภัยของร่างกายมนุษย์ภายใต้สภาวะการกระแทก ซึ่งมีผู้ศึกษาและวิจัยทางด้านนี้มากมายและได้มีนักวิจัยพยายามหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของร่างกายมนุษย์เมื่ออยู่ภายใต้แรงกระแทกหรือเมื่อรถยนต์เกิดอุบัติเหตุตัวอย่างเช่น ห้องผู้โดยสารของรถยนต์ต่างๆ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากที่ต้องทราบความสามารถในการรับแรงกระแทกของโครงสร้าง เพราะเมื่อเกิดการชนอาจมีอันตรายที่เกิดกับร่างกายมนุษย์ภายในห้องโดยสารได้ แต่อย่างไรก็ตามเป็นการยากที่จะกำหนดให้แน่ชัดว่าที่ความเร็วเท่าใดจึงจะปลอดภัยจากภาพที่ 2.13 แสดงค่าความสามารถของร่างกายมนุษย์ในการรองรับแรงกระแทกที่อัตราเร่งต่างๆ กัน



ภาพที่ 2.13 กราฟแสดงความสามารถของร่างกายมนุษย์ในการรองรับแรงกระแทกจากเหตุการณ์ที่ต่างกัน เมื่อเกิดอัตราเร่ง [44]

จากภาพที่ 2.13 เป็นกราฟแสดงความสามารถการทนของร่างกายมนุษย์ในการรับแรงกระแทก โดยแสดงออกมาในลักษณะความสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเร่งต่อแรงดึงดูดของโลก (a/g) จากกราฟจะสามารถแบ่งกราฟออกได้เป็น 3 ช่วง คือ ช่วงแรกเป็นช่วงอันตรายเล็กน้อย (Voluntary exposure) เป็นช่วงที่มีค่า (a/g) ประมาณ 1 ถึง 7 ตัวอย่างของช่วงนี้ ได้แก่ การลงจอดของร่มชูชีพเป็นต้น ในช่วงนี้ถือเป็นผู้ยังมีอันตรายน้อยร่างกายสามารถรองรับได้โดยไม่บาดเจ็บมาก ช่วงที่สองเป็นช่วงอันตรายมาก (Survivable emergency) เป็นช่วงที่มีอัตราความเร่งสูงขึ้นไปอีกกล่าวคือ มีค่า (a/g) ประมาณ 7 ถึง 25 ซึ่งเป็นค่าที่สูงมากพอที่จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายมนุษย์ได้ ตัวอย่างของช่วงนี้เช่น การติดตัวของเก้าอี้นักรบ การกระโดดลงมายังตาข่ายหนิไฟ และการตกจากที่สูงเป็นต้น ช่วงที่สามเป็นช่วงเสี่ยงชีวิต (Diminishing chance of survival) เป็นช่วงที่มีอัตราส่วนความเร่งต่อแรงดึงดูดของโลกสูงสุด คือ ประมาณ 25 ถึง 250 ช่วงนี้เป็นช่วงที่มีอัตราและมีความเสี่ยงชีวิตสูงสุด



ภาพที่ 2.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน (a/g) กับเวลาในการรับแรงกระแทก

นอกจากค่า (a/g) ที่มีผลต่อร่างกายมนุษย์แล้วยังมีปัจจัยอื่นๆ อีก เช่น ระยะเวลาของการชนกระแทก (Pulse duration) ซึ่งมีผลกระทบต่ออัตราการบาดเจ็บอีกด้วย จากภาพที่ 2.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน (a/g) กับเวลาในการรับแรงกระแทกของร่างกายมนุษย์โดยแบ่งช่วงกราฟออกได้เป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกเป็นส่วนที่มีระยะเวลาการชนกระแทกสั้นๆ (Short Duration) เวลาของการกระแทกมีค่าประมาณ 0.001 วินาทีจนถึงประมาณ 0.04 วินาที เมื่อลากเส้นขึ้นไปในแกนตั้งและขนานกับเส้นของอัตราส่วน (a/g) ประมาณ 80 จะพบเส้นกราฟในแนวนอนเส้นแรก ซึ่งหากต่ำจากเส้นนี้ลงมาเป็นช่วงที่ไม่มีการบาดเจ็บ (No injury) และถัดจากเส้นนี้สูงขึ้นไปเป็นช่วงบาดเจ็บปานกลาง (Moderate Injury) และหากสูงขึ้นไปอีกผ่านเส้นสุดท้ายจะเป็นช่วงที่เกิดการบาดเจ็บมาก (Severe Injury) โดยเหตุการณ์ทั้งหมดที่เกิดขึ้นจะเป็นแบบช่วงสั้นๆ

ส่วนที่สองคือ ส่วนที่มีเวลาในการกระแทกนาน (Long Duration) ซึ่งมีค่าอยู่ที่ 0.1 วินาทีถึงประมาณ 10 วินาที เมื่อลากเส้นตรงขึ้นไปขนานกับเส้นอัตราส่วน (a/g) จะเห็นว่าเส้นที่ลากขึ้นไปจะตัดกับเส้นกราฟทั้ง 3 เส้นดังได้กล่าวมาแล้วในส่วนแรกและผลที่ได้ก็คือจะอยู่ในส่วนของกราฟที่บ่งบอกถึงช่วงของการบาดเจ็บมาก ในการหาค่าการบาดเจ็บเนื่องจากผลของระยะเวลาที่ร่างกายรับแรงกระแทกนั้นจะสัมพันธ์กับอัตราส่วนของความเร่งและแรงดึงดูดของโลก (a/g) ด้วย จากกราฟจะเห็นว่า ถึงแม้เวลาที่เกิดการชนกระแทกจะมีช่วงเวลาที่ยาวนานแต่ถ้าอัตราส่วน (a/g)

มีค่าไม่มาก ซึ่งค่าการบาดเจ็บที่ได้จะอยู่ในช่วงปลอดภัยเช่นกันและได้แบ่งช่วงของกราฟใหม่ คือ ช่วงบาดเจ็บปานกลางกับช่วงที่บาดเจ็บมาก โดยเส้นตรงที่ลากเฉลี่ยแบ่งช่วงทั้งสองนี้สามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (2.19)

$$TA^{2.5} = 1000 \quad (2.19)$$

โดยที่ T = ช่วงเวลาของการกระแทก (Pulse duration)

A = อัตราส่วนของ (a/g) เมื่อ a คือ ความเร่งหรือความหน่วงของร่างกายมนุษย์ และค่า g คือ ค่าความเร่งเนื่องจากแรงดึงดูดของโลก

ในขณะที่เกิดการชนกระแทกกับร่างกายนั้นส่วนของร่างกายที่เสี่ยงต่ออันตรายมากที่สุดก็คือ บริเวณศีรษะและคอเนื่องจากเป็นจุดที่มีข้อต่อเปราะบางจึงมีการคิดค้นตัวชี้วัดที่ใช้บ่งบอกการบาดเจ็บของศีรษะและคอ (Head Injury Criterion, HIC) ซึ่งหมายถึง ค่าการทนต่อการบาดเจ็บที่เกิดกับศีรษะ โดยสามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (2.20)

$$HIC = (T_2 - T_1) \left[\int_{T_1}^{T_2} A \cdot dt \right]^{2.5} (T_2 - T_1) \quad (2.20)$$

โดยที่ HIC = ค่าการบาดเจ็บของศีรษะมนุษย์เมื่อเกิดการชนกระแทก

A = อัตราส่วนความเร่งและแรงดึงดูดของโลก (a/g)

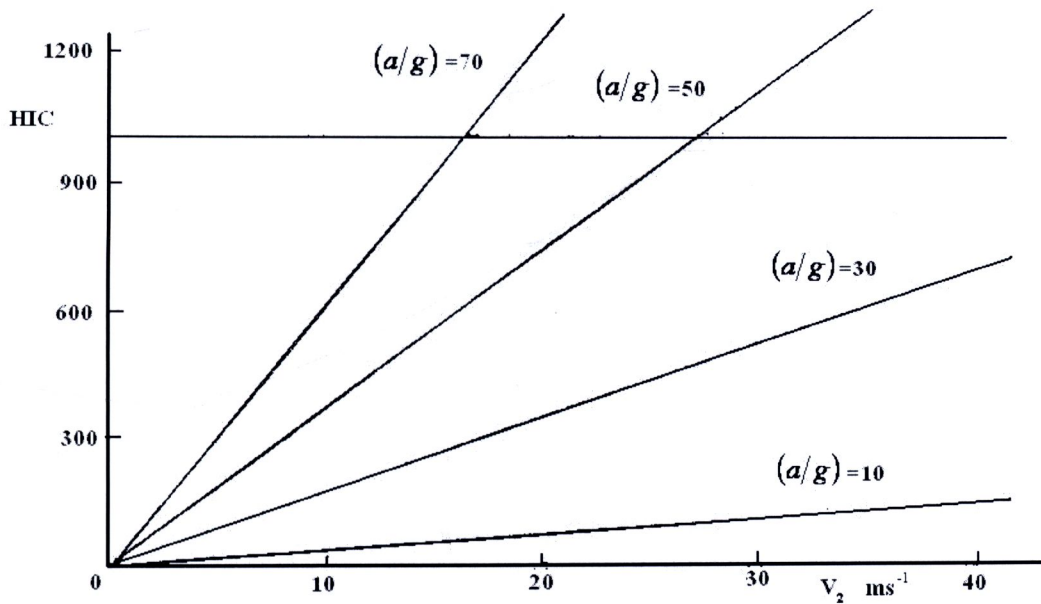
$T_2 - T_1$ = ผลต่างเวลาที่ใช้ในการชนกระแทก

จากภาพที่ 2.15 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบาดเจ็บของศีรษะกับความเร็วในการชนกระแทกซึ่งมีผลต่ออัตราส่วน (a/g) จากกราฟในแกนตั้งเป็นค่าของ HIC โดยมีเส้นประลากผ่านที่ค่า $HIC = 1000$ ซึ่งถ้ามีค่ามากกว่าแนวเส้นประนี้แล้วจะเป็นช่วงที่เกิดอันตรายกับศีรษะถ้าต่ำลงมาความปลอดภัยก็จะเพิ่มมากขึ้น ซึ่งค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของ (a/g) ด้วยเมื่อความเร่งหรือความหน่วงและแรงที่ชนกระแทกอยู่ในสภาวะคงที่ โดยทำการแก้สมการที่ (2.20) แล้วแทนค่าต่างๆ จะได้เป็นสมการที่ (2.21) ซึ่งสามารถหาค่าของ HIC ได้จากสมการนี้

$$HIC = \frac{V_2 a^{1.5}}{g^{2.5}} \quad (2.21)$$



โดยที่ HIC = ค่าความปลอดภัยของศีรษะมนุษย์
 v_2 = ความเร็วในการชน
 g = ความเร่งจากแรงดึงดูดของโลก
 a = ความเร่งของร่างกายมนุษย์



ภาพที่ 2.15 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการบาดเจ็บของศีรษะ HIC กับความเร็วในการชน กระแทก V_2 และอัตราส่วนความเร่งกับแรงดึงดูดของโลก (a/g)

Kathleen M. Smith และ Peter Cummings [45] ได้ทำการศึกษาวิจัยความสัมพันธ์ของตำแหน่งเบาะนั่งผู้โดยสารกับการเสี่ยงต่อการตายหรือบาดเจ็บเมื่อเกิดอุบัติเหตุทางจราจร โดยใช้ข้อมูลปี ค.ศ. 1993-2000 จากระบบข้อมูลการเสียหายของการจัดการความปลอดภัยการจราจรทางด่วนแห่งชาติ สหรัฐอเมริกา โดยการเปรียบเทียบระหว่างที่นั่งผู้โดยสารเบาะหลังกับที่นั่งผู้โดยสารเบาะหน้าของรถยนต์ต่ออัตราการเสี่ยงจากการตายหรือการบาดเจ็บจากการจราจรผลการศึกษาพบว่า อัตราการเสี่ยงต่อการตายของผู้โดยสารที่นั่งด้านหลังเมื่อเกิดการชนมีค่าเท่ากับ 0.61 (95% ช่วงความเชื่อมั่น 0.46-0.81) โดยอัตราการเสียชีวิตของผู้โดยสารที่นั่งตำแหน่งข้างหลังมีโอกาสน้อยกว่าผู้โดยสารที่นั่งด้านหน้า โดยมีอัตราเสี่ยงเท่ากับ 0.67 (95% ช่วงความเชื่อมั่น 0.57-0.78) ผลการศึกษาที่ได้อาจจะช่วยลดความเสี่ยงของการเสียชีวิตลงประมาณ 39% หรือลดการบาดเจ็บลงประมาณ 33% เมื่อเปรียบเทียบกับผู้โดยสารที่นั่งด้านหน้า