

รายงานฉบับสมบูรณ์

โครงการวิจัย เรื่อง การศึกษาผลของลักษณะการนั่งมอเตอร์ไซด์เด็กต่อความ
รุนแรงของการบาดเจ็บที่เกิดจากการชนของมอเตอร์ไซด์

มูลนิธิไทยโรดส์

วิศวกรรมการประเมินและความปลอดภัยยานยนต์
บัณฑิตวิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์นานาชาติสิรินธร ไทย-เยอรมัน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

สารบัญ

บทที่		หน้า
1	บทนำ	1
	1.1 หลักการและเหตุผล	1
	1.2 วัตถุประสงค์	5
	1.3 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย	5
	1.4 ขอบเขตการวิจัย	5
2	ผลการสุ่มสำรวจการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนจากกลุ่มตัวอย่าง 3 โรงเรียนในเขตบางซื่อ	7
	2.1 บทนำ	7
	2.2 กระบวนการเก็บข้อมูล	9
	2.3 ผลการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์	11
	2.4 สรุปและวิจารณ์ผล	20
3	การทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์ในห้องปฏิบัติการ	21
	3.1 บทนำ	21
	3.2 รูปแบบการทดสอบการชนรถมอเตอร์ไซด์	22
	3.3 เครื่องมือวัดและเครื่องบันทึกค่าต่างๆ	24
	3.4 ชุดทดสอบในการชน	29
	3.5 ผลการทดสอบ	39
	3.6 สรุปผลการทดสอบ	45
4	การจำลองการชนเชิงตัวเลขของรถมอเตอร์ไซด์ที่มีผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็ก	46
	4.1 บทนำ	46
	4.2 แผนผังการดำเนินงานในการจำลองการชนเชิงตัวเลข	46
	4.3 แบบจำลองเชิงตัวเลขของรถมอเตอร์ไซด์	50
	4.4 การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของประตูและส่วนหน้าของรถยนต์	53
	4.5 แบบจำลองเชิงตัวเลขหุ่นทดสอบผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็ก	56
	4.6 การจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 1 กรณีศีรษะเด็กชนด้านข้างของรถยนต์	59
	4.7 การจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 2 กรณีตัวรถมอเตอร์ไซด์ชนกับด้านข้างของ รถยนต์	64

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.8 การจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 3 กรณีหุ่นเด็กชนที่แกนบังคับเลี้ยวรถมอเตอร์ไซด์	68
4.9 ผลสรุปของการจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการชนรถมอเตอร์ไซด์ที่มีผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็ก	74
5 บทสรุปของโครงการ	75
เอกสารอ้างอิง	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	จำนวนนักเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร ปีการศึกษา 2558	8
2.2	ขนาดความสูงมาตรฐานเด็กไทยแบ่งตามอายุและประถมศึกษา	9
2.3	จำนวนนักเรียนของโรงเรียนที่สุ่มตัวอย่าง 3 โรงเรียนประจำปีการศึกษา 2558	10
2.4	รายละเอียดการเก็บข้อมูลการเดินทางโดยใช้มอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียน	10
2.5	การเปรียบเทียบผลการเก็บข้อมูล 2 ครั้งที่โรงเรียนประชาศรัทธาธรรม	11
2.6	ผลการเก็บข้อมูลจากโรงเรียนในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 โรงเรียน	13
2.7	สัดส่วนของนักเรียนที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์ในการเดินทางของโรงเรียนกลุ่มตัวอย่าง	14
2.8	ร้อยละของจำนวนรถมอเตอร์ไซด์แต่ละโรงเรียนที่มีการโดยสารเด็กนักเรียน	14
2.9	ช่วงเวลาและความถี่การใช้รถมอเตอร์ไซด์ทั้ง 3 โรงเรียน	16
3.1	ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AIS กับค่า HIC สำหรับผู้ใหญ่	21
3.2	รูปแบบการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 13232	22
3.3	ขนาดมิติของหุ่นทดสอบ P6 รุ่น M.AI	32
3.4	คุณลักษณะของรถมอเตอร์ไซด์ Yamaha Legenda 115Z	33
4.1	จำนวนเอลิเมนต์ และ จุดทั้งหมดที่ใช้ประกอบในการจำลองรถมอเตอร์ไซด์	52
4.2	ตำแหน่งและเวลาที่ศีรษะหุ่นเด็กเริ่มสัมผัสกระจกมองข้างจนถึงตำแหน่งเคลื่อนที่สูงสุด	62
4.3	การคำนวณค่าความรุนแรงของศีรษะหุ่นเด็กจากการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลข	63
4.4	การเปรียบเทียบตัวชี้วัดความรุนแรงของผู้โดยสารเด็กจากการจำลองการชนของรถมอเตอร์ไซด์ชนที่ด้านข้างรถยนต์ด้วยความเร็ว 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง	74

สารบัญภาพ

ภาพประกอบที่	หน้า
1.1 รูปแบบการนั่งของเด็กนักเรียนที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์ในประเทศไทยแบบซ้อนหน้าและหลัง	2
1.2 การทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์รุ่นใหญ่แบบเต็มสเกล	4
1.3 การทดสอบการชนมอเตอร์ไซด์รุ่นเล็กแบบเต็มสเกล	4
1.4 การนั่งซ้อนท้ายของเด็กโดยมีการใช้สายรัดตัวเข้ากับผู้ขี่	4
1.5 ที่นั่งเด็กแบบต่างๆ สำหรับติดตั้งกับรถมอเตอร์ไซด์	4
2.1 การสัมภาษณ์ผู้อำนวยการโรงเรียนเรื่องการใช้อุปกรณ์รับส่งเด็กนักเรียนจังหวัดบุรีรัมย์	7
2.2 การใช้รถกระบะรับจ้างในการรับส่งนักเรียนแท่นรถจักรยานยนต์ในจังหวัดเพชรบูรณ์	7
2.3 ตำแหน่งโรงเรียนภายในสังกัดกรุงเทพมหานคร เขตบางซื่อที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง	9
2.4 แผ่นบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการใช้อุปกรณ์ของเด็กนักเรียน	10
2.5 ภาพจากกล้องบันทึกทางเข้าโรงเรียนลำดับที่ 1: โรงเรียนวัดประชาศรีทธาธรรม	11
2.6 ภาพจากกล้องบันทึกทางเข้าโรงเรียนลำดับที่ 2: โรงเรียนวัดมัชฌันติการาม	11
2.7 ภาพจากกล้องบันทึกทางเข้าโรงเรียนลำดับที่ 3: โรงเรียนวัดบางโพธิ์มาวาส	11
2.8 ตัวอย่างการทวนสอบผลจากกล้องบันทึกข้อมูล	12
2.9 การนั่งของเด็กนักเรียน 3 คน: หน้า 1 คน หลัง 2 คน	14
2.10 การนั่งของเด็กนักเรียน 3 คน: หลัง 3 คน	15
2.11 การใช้มอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียน 4 คน: หน้า 2 คน หลัง 2 คน	15
2.12 ความหนาแน่นจราจรของโรงเรียนวัดประชาศรีทธาธรรมในวันที่เก็บข้อมูล	17
2.13 ความหนาแน่นจราจรของโรงเรียนวัดมัชฌันติการามในวันที่เก็บข้อมูล	18
2.14 ความหนาแน่นจราจรของโรงเรียนวัดบางโพธิ์มาวาสในวันที่เก็บข้อมูล	19
3.1 รูปแบบการทดสอบการชนรถมอเตอร์ไซด์กับยานยนต์ตามมาตรฐาน ISO 13232	23
3.2 ผลการทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์ที่ส่วนหน้าของรถยนต์	24
3.3 การจำลองการชนด้านข้างและตำแหน่งศีรษะกระแทกด้านข้างของรถ	24
3.4 ตำแหน่งการติดตั้งกล้องความเร็วสูงจากการทดสอบการชนเยื้องศูนย์ของ Euro NCAP และรูปแบบการทดสอบในมุมมองด้านบน (Top view) สำหรับการชนมอเตอร์ไซด์และตำแหน่งการติดตั้งกล้องความเร็วสูง (Cam)	25

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
3.5	อุปกรณ์วัดอัตราหมุนสำหรับติดตั้งในหุ่นเด็ก	27
3.6	เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger รุ่น DIS-506A	27
3.7	การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดภายในหุ่นทดสอบเด็ก	28
3.8	อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วและตัวอย่างการแสดงผลของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซค์บริษัท Kyowa รุ่น ES2100TN ในหน่วยของความเร็วกิโลเมตรต่อชั่วโมง	28
3.9	การกระตุ้นตัวจับสัญญาณของเครื่องตรวจจับความเร็วก่อนชนโดยใช้ล้อของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซค์	29
3.10	หุ่นทดสอบต่างๆ ในอุตสาหกรรมยานยนต์	30
3.11	หุ่นทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซค์	31
3.12	การประยุกต์ใช้หุ่นทดสอบรถมอเตอร์ไซค์ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุต่างๆ	31
3.13	หุ่นเด็ก 6 ขวบรุ่น P6 - M.AI จากบริษัท Humanetics	31
3.14	รถมอเตอร์ไซค์ Yamaha รุ่น Yamaha Lagenda 115Z จากประเทศมาเลเซีย	33
3.15	รถยนต์ (OV) ยี่ห้อ Perodua Myvi 2014 น้ำหนักสุทธิอยู่ที่ 950 กิโลกรัม	34
3.16	โครงสร้างขับเคลื่อนมอเตอร์ไซค์ (บนซ้าย) ตำแหน่งที่ใช้ในการพลัดดัน (บนขวา) รอกวางเลื่อนรับแรงดึงมาจากต้นกำเนิดความเร็วที่เป็นเครื่องยนต์ผ่านลวดสลิง (ล่าง)	36
3.17	ต้นกำลังเครื่องยนต์ผ่านลวดสลิงสำหรับชุดขับเคลื่อนรถมอเตอร์ไซค์	36
3.18	ระบบควบคุมการเบรกของชุดขับเคลื่อนรถมอเตอร์ไซค์	37
3.19	อุปกรณ์รับแรงกระแทกของการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนรถมอเตอร์ไซค์ (ชุดสีฟ้า)	37
3.20	การติดตั้งหุ่นที่ทำการทดสอบในขณะที่เด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่	38
3.21	การติดตั้งหุ่นที่ทำการทดสอบในขณะที่เด็กนั่งอยู่ด้านหน้า	38
3.22	ความเสียหายของชุดอุปกรณ์รับแรงกระแทก (สีแดง) และ การรั้งที่ขาด้านขวาของหุ่นคนขับ (สีเหลือง) ในกรณีที่เด็กผู้โดยสารนั่งหลังผู้ขับขี่	39
3.23	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นเด็กในขณะกระแทกด้านข้างในกรณีที่เด็กนั่งโดยสารด้านหลังจากกล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูงด้านหน้าของรถยนต์	40
3.24	ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นเด็กในขณะกระแทกด้านข้างในกรณีที่เด็กนั่งโดยสารด้านหลังจากกล้องความเร็วสูงด้านบนของรถยนต์	40
3.25	ตำแหน่งสุดท้ายหลังจากการทดสอบในกรณีที่เด็กนั่งโดยสารที่ด้านหลังผู้ขับขี่	40

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
3.26	ผลอัตราห่วงสมบูรณ์ของศีรษะหุ่นในกรณีเด็กนั่งด้านหลังของผู้ขับขี่
3.27	การติดตั้งยางรถยนต์เพื่อเป็นวัสดุเสริมรับแรงกระแทกจากชุดขับเคลื่อน มอเตอร์ไซด์ในครั้งที่ 2
3.28	การเคลื่อนที่อย่างอิสระของมอเตอร์ไซด์หลังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์เริ่มหยุด การเคลื่อนที่
3.29	การโอนเอียงของตัวรถมอเตอร์ไซด์ขณะเคลื่อนที่อิสระก่อนกระแทกรถยนต์ใน การทดสอบครั้งที่ 2
3.30	ลำดับการเกิดการกระแทกของหุ่นผู้โดยสารเด็กที่ด้านหน้าจากกล้องความเร็วสูง ด้านข้างของรถยนต์: การกระแทกครั้งแรกที่หน้าอก (วงกลมสีแดง) การ กระแทกครั้งที่สอง (วงกลมสีเหลือง)
3.31	ลำดับการเกิดการกระแทกของหุ่นผู้โดยสารเด็กที่ด้านหน้าจากกล้องความเร็วสูง ด้านบนของรถยนต์: การกระแทกครั้งแรกที่หน้าอก (วงกลมสีแดง) การกระแทก ครั้งที่สอง (วงกลมสีเหลือง)
3.32	ตำแหน่งสุดท้ายหลังจากการทดสอบในกรณีเด็กนั่งด้านหน้าของผู้ขับขี่
3.33	ผลอัตราห่วงสมบูรณ์ของศีรษะหุ่นในกรณีเด็กนั่งด้านหน้าของผู้ขับขี่
4.1	แผนผังของการจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 1 กรณีศีรษะเด็กชนด้านข้างของ รถยนต์
4.2	แผนผังของการจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 2 กรณีตัวรถมอเตอร์ไซด์ชนกับ ด้านข้างของรถยนต์
4.3	แผนผังของการจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 3 กรณีหุ่นเด็กชนที่แกนบังคับเลี้ยว รถมอเตอร์ไซด์
4.4	แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของรถจักรยานยนต์และแกนยึดล้อหน้าเพื่อใช้ทำ การวิเคราะห์การชน
4.5	ประตुरถยนต์ก่อนที่นำมาใช้ในการทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์
4.6	เครื่องถ่ายภาพ 3 มิติยี่ห้อ ATOM Compact SCAN
4.7	แบบพื้นผิวจำลองประตुरถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ แบบจำลองที่ได้จากเครื่อง สแกน (ซ้าย) แบบจำลองที่ทำการปรับผิวเพื่อเตรียมทำการวิเคราะห์ใน กระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์ (ขวา)
4.8	แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของประตูด้านข้างของรถยนต์เพื่อรองรับการชน
4.9	แบบจำลองเชิงตัวเลขของโครงรถยนต์ส่วนหน้าและการกำหนดตำแหน่งจุดยึด

สารบัญญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
4.10	แบบจำลองเชิงตัวเลขกระจกมองข้างของรถยนต์ที่ใช้ทดสอบ	56
4.11	การติดตั้งแบบจำลองกระจกมองข้างในแบบจำลองส่วนหน้าของโครงรถยนต์	56
4.12	ลักษณะท่ามาตรฐานของแบบจำลองหุ่น Hybrid III ก) หุ่นสำหรับคนขับในรถยนต์ ข) หุ่นสำหรับคนเดินถนนในท่ายืนที่มีให้โปรแกรม LS DYNA	57
4.13	การปรับเปลี่ยนท่าทางการยืนของหุ่นทดสอบการชนมาเป็นท่านั่งขับขึ้นในขั้นตอนที่ 3	58
4.14	แบบจำลองเชิงตัวเลขของหุ่นเด็กมาตรฐานที่ใช้ในขั้นตอนที่ 3 และศีรษะเด็กในขั้นตอนที่ 1	58
4.15	การปรับลักษณะท่านั่งของแบบจำลองหุ่นเด็กที่ส่วนหน้าของแบบจำลองผู้ขับขี่ในขั้นตอนที่ 3	59
4.16	การเปรียบเทียบผลของการจำลองศีรษะในขณะรับแรงกระแทกจากภาพด้านหน้าของผู้ขับขี่	59
4.17	การเปรียบเทียบผลของการจำลองศีรษะในขณะรับแรงกระแทกจากภาพด้านข้างของผู้ขับขี่	61
4.18	อัตราเร่งที่วัดได้จากการจำลองการกระแทกของศีรษะของหุ่นเด็ก	63
4.19	ผลเปรียบเทียบอัตราเร่งของศีรษะหุ่นเด็กระหว่างการจำลองเชิงตัวเลขและการทดสอบ	63
4.20	ลักษณะการเคลื่อนที่ของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ในขณะกระแทกกับประตู	64
4.21	ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองรถมอเตอร์ไซด์ในขณะเริ่มกระแทกจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดของการกระแทก	65
4.22	ระยะยุบตัวสูงสุดของประตูรถยนต์จากการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลข	66
4.23	มุมการบิดตัวสูงสุดของแกนล้อบังคับเลี้ยวจากการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลข	66
4.24	ความเร็วที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ช่วงเริ่มต้นถึงช่วงสุดท้ายของการกระแทก	67
4.25	อัตราเร่งที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ช่วงเริ่มต้นจนถึงช่วงสุดท้ายของการกระแทก	67
4.26	อัตราเร่งที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ช่วงเริ่มต้นจนถึงช่วงสุดท้ายของการกระแทก	68

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพประกอบที่	หน้า
4.27 จุดเริ่มต้นการกระแทกของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ในกรณีที่เด็กนั่ง อยู่ทางด้านหน้า	70
4.28 จุดสิ้นสุดการกระแทกของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ ที่ด้านหน้า	70
4.29 การยุบตัวที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหน้าขณะเริ่มสัมผัสกับแกน บังคับเลี้ยว (หน่วย มิลลิเมตร)	71
4.30 อัตราหน่วงที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหน้าขณะเริ่มสัมผัสจนถึงจุด สุดท้ายกับแกนบังคับเลี้ยว (หน่วย มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง)	71
4.31 แบบจำลองท่านั่งในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่	72
4.32 อัตราหน่วงที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหลังขณะเริ่มกระแทกแกน บังคับเลี้ยว (หน่วย มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง)	73
4.33 การยุบตัวที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหลังขณะเริ่มกระแทก (หน่วย มิลลิเมตร)	73

บทที่ 1

บทนำ

1.1 หลักการและเหตุผล

จากการที่รัฐบาลได้ตระหนักถึงการสูญเสียจากอุบัติเหตุ การบาดเจ็บ และการพิการซึ่งเป็นรากฐานของปัญหาของประเทศ และ องค์การสหประชาชาติได้เรียกร้องให้ประเทศสมาชิกดำเนินการตามกรอบปฏิญญามอสโก เพื่อให้แต่ละประเทศกำหนดทิศทาง และ มาตรการแก้ไขปัญหาคืออุบัติเหตุทางถนน โดยมีเป้าหมายลดอัตราการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทั่วโลกให้ได้ร้อยละ 50 ภายในปี พ.ศ. 2563 โดยองค์การอนามัยโลกระบุว่าสาเหตุการตายเป็นอันดับสองมาจากเด็กอายุระหว่าง 5-14 ปี และหนึ่งในกลุ่มผู้เสียชีวิตซึ่งมากกว่าร้อยละ 50 จากอุบัติเหตุจากท้องถนนคือกลุ่มผู้ใช้รถมอเตอร์ไซด์ และผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์ ดังนั้น คณะรัฐมนตรีได้มีมติกำหนดให้ปี พ.ศ. 2554 – 2563 เป็นทศวรรษแห่งความปลอดภัยทางถนน (Decade of Action for Road Safety) โดยกำหนดให้ ศูนย์อำนวยการความปลอดภัยทางถนนจัดทำแผนปฏิบัติการ เพื่อให้ทุกภาคส่วนมีทิศทางดำเนินการแก้ไขปัญหาคืออุบัติเหตุทางถนนประสบผลสำเร็จเป็นรูปธรรม

หนึ่งแนวทางการดำเนินงานภายใต้กรอบทศวรรษความปลอดภัยทางถนนโลกคือ การดำเนินการเพื่อให้มีผลต่อพฤติกรรมของผู้ใช้ถนนทุกกลุ่ม (Influence road user Behavior) ส่วนประเทศไทยได้ใช้แผนแม่บทความปลอดภัยทางถนน พ.ศ. 2552-2555 ซึ่งเป็นแผนเชิงมหภาคในการบริหารจัดการปัญหาคืออุบัติเหตุทางถนน โดยมุ่งวางรากฐานให้เกิดระบบที่เอื้อต่อความปลอดภัย (Safe System) และนำไปสู่วัฒนธรรมความปลอดภัย (Safe Culture) นอกเหนือจากนี้ ประเทศไทยได้กำหนดให้มีคณะกรรมการนโยบายป้องกันและลดอุบัติเหตุทางถนนแห่งชาติ (นปถ.) เป็นองค์กรหลักในการกำหนดนโยบาย ทิศทางและกรอบแนวทางการดำเนินงานด้านความปลอดภัยทางถนนของประเทศ โดยจัดทำแผนที่นำทางเชิงกลยุทธ์ทศวรรษแห่งความปลอดภัยทางถนน พ.ศ. 2554-2563 และ แผนแม่บทความปลอดภัยทางถนน พ.ศ. 2556-2559 เพื่อให้ขับเคลื่อนการป้องกันและลดอุบัติเหตุทางถนนของประเทศเป็นไปในทิศทางเดียวกันอย่างมีประสิทธิภาพ

ถึงแม้ว่าแผนแม่บทความปลอดภัยทางถนน พ.ศ. 2556-2559 และ แผนที่นำทางเชิงกลยุทธ์ทศวรรษแห่งความปลอดภัยทางถนน พ.ศ. 2554-2563 ได้กำหนดกรอบแนวทางการดำเนินงานในเชิงมหภาค การสร้างวัฒนธรรมความปลอดภัยและความเข้าใจของผู้ใช้รถใช้ถนนโดยเฉพาะกลุ่มเด็กนักเรียนที่เป็นผู้ใช้รถมอเตอร์ไซด์และผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์ยังมีความจำเป็นเพิ่มขึ้นตามสถานการณ์การปรับเปลี่ยนการใช้รถยนต์มาเป็นรถมอเตอร์ไซด์ในช่วงไม่กี่ปีที่ผ่านมา เนื่องจากปัญหารถติดและจราจรที่หนาแน่นในช่วงชั่วโมงเร่งด่วนและการเติบโตของสังคมเมือง ทำให้พฤติกรรมการใช้รถใช้ถนนจะมีความแตกต่างกัน เช่น การส่งเด็กเล็กเข้าโรงเรียนโดยปรับเปลี่ยนการใช้รถยนต์มาเป็นรถมอเตอร์ไซด์เพื่อลดค่าใช้จ่ายของน้ำมันเชื้อเพลิงที่แพงขึ้น และ ระยะเวลาที่รวดเร็วในการเดินทาง อีกทั้งราคารถมอเตอร์ไซด์มีความถูกมากกว่ารถยนต์หลายเท่า หรือ การปรับเปลี่ยนการใช้รถโดยสารที่จะต้องใช้เวลาในการเดินทางนานกว่ารถมอเตอร์ไซด์ ด้วยเหตุนี้เอง รถมอเตอร์ไซด์เป็นพาหนะที่ได้รับความนิยมอย่างมากในประเทศไทยโดย ผู้ขับขี่หรือผู้โดยสารรถมอเตอร์ไซด์จัดอยู่ในกลุ่มไร้สิ่งป้องกันมี

ความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บและเสียชีวิตสูงกว่าผู้โดยสารอื่น ๆ ทั้งนี้เพราะด้วยลักษณะรถที่ผู้ขับขี่ต้องทรงตัวบนสองล้อและไม่มีโครงสร้างห้องโดยสารป้องกันการกระแทกเหมือนรถยนต์ เมื่อเกิดการชนหรือเบรคอย่างกะทันหันผู้ขับขี่มักจะล้มหรือถูกเหวี่ยงหลุดออกจากตัวรถและกระแทกกับพื้นหรือวัตถุที่เป็นของแข็งอื่นๆ ทำให้ได้รับบาดเจ็บรุนแรง ในปัจจุบันมักจะพบเห็นเด็กเล็กโดยสารมากับรถมอเตอร์ไซด์จนเป็นที่คุ้นตาตาดังแสดงในรูปที่ 1.1 โดยเฉพาะในเวลาเร่งด่วนในสังคมเมืองลักษณะการโดยสารรถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนั้นมีหลายรูปแบบ บางครั้งซ้อนด้านหลังและบ่อยครั้งจะเห็นการซ้อนอยู่ด้านหน้าผู้ขับขี่ ซึ่งผู้ขับขี่มักจะมีความรู้สึกว่าการที่เด็กอยู่ระหว่างแขนสองข้างของผู้ขับขี่จะเกิดความปลอดภัยต่อเด็กมากกว่าซึ่งเป็นความเข้าใจที่อาจจะไม่ถูกต้อง



รูปที่ 1.1 รูปแบบการนั่งของเด็กนักเรียนที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์ในประเทศไทยแบบซ้อนหน้าและหลัง

จากการเก็บข้อมูลอุบัติเหตุทางรถมอเตอร์ไซด์ทั้งหมด 723 เหตุการณ์อย่างละเอียดในกรุงเทพมหานคร ระหว่างวันที่ 30 ธันวาคม 1998 ถึง 29 ธันวาคม 1999 เป็นระยะเวลา 1 ปี พบว่าความผิดพลาดของผู้ขับขี่จะเป็นสาเหตุส่วนใหญ่ในการเกิดอุบัติเหตุจราจรที่มียานยนต์เกี่ยวข้องทั้งที่เป็นแบบคันเดียวและแบบหลายคัน ลักษณะตำแหน่งของการบาดเจ็บที่ทำให้เกิดการเสียชีวิตจะเกิดที่ศีรษะ หน้าอกและคอ ส่วนการบาดเจ็บที่ทำให้เกิดทุพพลภาพจะอยู่ส่วนแขนและขา [1] หลังจากนั้น ได้มีการเก็บข้อมูลตั้งแต่ปี 2003 -2006 ในกรุงเทพฯ จำนวน 214 เหตุการณ์ที่เสียชีวิตจากรถมอเตอร์ไซด์โดยวิธีการชันสูตรศพที่โรงพยาบาลรามาธิบดี ตั้งแต่ พบว่ามีการชนของรถมอเตอร์ไซด์กับรถยนต์นั่ง รถแท็กซี่ และ รถปิกอัพรวมกันอยู่ที่ร้อยละ 53.3 การเสียชีวิตจะเกิดที่ศีรษะร้อยละ 51.4 และที่บาดเจ็บหลายจุด (Multiple injuries) ร้อยละ 31.8 [2] ลักษณะของการชนของรถมอเตอร์ไซด์ที่ด้านข้างของรถยนต์ เช่นการชนที่ทางแยกจากรถเลี้ยวจะเกิดการบาดเจ็บสูงกว่าลักษณะการชนรูปแบบอื่น [3] ดังนั้นการทดสอบการชนจริงของรถมอเตอร์ไซด์ดังแสดงในรูปที่ 1.2-1.3 มาใช้เป็นเกณฑ์ในการทดสอบความรุนแรงจากการชนด้านข้างของผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์ อย่างไรก็ตามการทดสอบการชนโดยมีผู้โดยสารนั่งยังไม่มีข้อมูลทางวิชาการประกอบการทดสอบ แต่จากข้อมูลการวิเคราะห์การเกิดอุบัติเหตุการเสียชีวิตของผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์จากการชนด้านข้าง 84 เหตุการณ์ในประเทศจีนแสดงให้เห็นว่าผู้ขับขี่เสียชีวิตจากการกระแทก 68% และ คนซ้อนท้ายจะเสียชีวิตจากการกลิ้งบาดเจ็บ (Tumbling injury) มากกว่าคนขับขี่ [4] ในประเทศอิหร่าน เด็กที่นั่งเป็นผู้โดยสารบนรถมอเตอร์ไซด์มากกว่า 11% (67 เหตุการณ์ที่เสียชีวิตจากทั้งหมด 592 ครั้ง) อายุต่ำกว่า 10 ปี [5] ในประเทศไต้หวัน การเก็บข้อมูลเชิงสถิติว่าพฤติกรรมการใช้รถ

มอเตอร์ไซด์ส่งลูกไปโรงเรียนโดยมีการเก็บข้อมูลตำแหน่งการนั่งของเด็กที่ด้านหน้าและด้านหลังของผู้ขับขี่ ผลการเก็บข้อมูลว่ามีสัดส่วนใกล้เคียงกันจากทั้งหมด 193 กลุ่มตัวอย่างที่มีเด็กนั่งในรถมอเตอร์ไซด์ [6]

ในประเทศไทย จากรายงานฉบับสมบูรณ์ของโครงการวิจัยเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสวมหมวกกันน็อกของเด็กนักเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร ของมูลนิธิเมาไม่ขับ เมื่อเดือน กุมภาพันธ์ 2011 พบว่า 50 เขต 50 โรงเรียน มีจำนวนนักเรียนที่สวมและไม่สวมหมวกนิรภัยทั้งหมด 7,300 คน คิดเป็นสัดส่วนระหว่างสวมกับไม่สวมอยู่ที่ร้อยละ 7.5 และ 92.5 ตามลำดับ [7] อย่างไรก็ตามจากบทความของมูลนิธิ Save the Children เมื่อวันที่ 26 มีนาคม 2015 ได้ชี้ให้เห็นว่าเด็กไทยประมาณ 1 ล้าน 3 แสนคน ที่เดินทางด้วยรถมอเตอร์ไซด์มีเพียงร้อยละ 7 เท่านั้นที่สวมหมวกนิรภัย และจำนวนเด็กที่เสียชีวิตเฉลี่ยอยู่ปีละ 2600 คน และมากกว่า 72,000 คน ได้รับการบาดเจ็บและพิการจากอุบัติเหตุบนท้องถนน [8] นอกเหนือจากนี้บทความรณรงค์การสวมหมวกนิรภัยจากศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็กระบุว่า การบาดเจ็บของเด็กร้อยละ 15 ปีที่มารับการรักษาในห้องฉุกเฉินของโรงพยาบาล 4 แห่งในกรุงเทพมหานครจากจำนวน 101 ราย มีเด็กโดยสารร้อยละ 53.4 ผู้โดยสารนี้ใช้หมวกนิรภัยเพียงร้อยละ 12 ถ้าเด็กเล็กระหว่าง 0-4 ปีใช้หมวกนิรภัยเพียงร้อยละ 8 ในกลุ่มเด็กเล็กนี้ ร้อยละของผู้ขับขี่จากบิดา มารดา และ รถมอเตอร์ไซด์รับจ้างอยู่ที่ 35, 18 และ 11ตามลำดับ [9] จากทะเบียนผู้ป่วยอุบัติเหตุของโรงพยาบาลขอนแก่นปี 2003 พบว่าเด็กต่ำกว่า 5 ขวบมีจำนวน 106 คน เด็กอายุระหว่าง 6 ถึง 10 ปี เป็นผู้ขับขี่หรือซ้อนท้ายรถมอเตอร์ไซด์จำนวน 109 คน [10] อย่างไรก็ตามข้อมูลการวิจัยเชิงวิศวกรรมจากการนั่งของผู้โดยสารเด็กที่ด้านหน้าและด้านหลังยังไม่มีการศึกษาวิจัยในกลุ่มประเทศที่กำลังพัฒนา ส่วนการศึกษาวัยในในกลุ่มประเทศที่พัฒนาแล้วจะมุ่งเน้นไปที่รถยนต์นั่งที่มีเบาะเด็ก เช่น การกำหนดรูปแบบการประเมินการป้องกันความปลอดภัยผู้โดยสารเด็กในรถยนต์นั่ง [11]

ความเข้าใจและการรู้ถึงความเสี่ยงของผู้ขับขี่ที่อยาก让孩子เล็กนั่งรถมอเตอร์ไซด์ยังมีอยู่น้อยและไม่เข้าใจถึง การนั่งของเด็กที่เหมาะสม อีกทั้งผู้ผลิตกลุ่มอุตสาหกรรมสำหรับรถมอเตอร์ไซด์ได้เริ่มมีการผลิตชิ้นส่วนอุปกรณ์เสริมสำหรับรถมอเตอร์ไซด์ต่างๆ เช่น การใช้เข็มขัดรัดตัวเด็กไว้กับผู้ใหญ่ในขณะที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์เพื่อป้องกันการหล่นของเด็กดังในรูปที่ 1.4 ในระยะหลังเริ่มมีการทำที่นั่งสำหรับเด็กขึ้นมาประกอบหรือดัดแปลงเข้ากับตัวรถมอเตอร์ไซด์ ซึ่งมีอยู่หลายรูปแบบดังแสดงในรูปที่ 1.5 อย่างไรก็ตามยังไม่มีการศึกษาอย่างจริงจังในเชิงวิชาการว่าตำแหน่งการนั่งของเด็กเล็กและการใช้ที่นั่งมาประกอบกับรถมอเตอร์ไซด์สามารถลดความรุนแรงจากการบาดเจ็บเมื่อเกิดอุบัติเหตุการชนได้



รูปที่ 1.2 การทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์รุ่นใหญ่แบบเต็มสเกล [12] [13]



รูปที่ 1.3 การทดสอบการชนมอเตอร์ไซด์รุ่นเล็กแบบเต็มสเกล [14]



รูปที่ 1.4 การนั่งซ้อนท้ายของเด็กโดยมีการใช้สายรัดตัวเข้ากับผู้ขี่ [15]



รูปที่ 1.5 ที่นั่งเด็กแบบต่างๆ สำหรับติดตั้งกับรถมอเตอร์ไซด์ [16] [17]

ดังนั้น โครงการวิจัยนี้จะทำการศึกษาผลของลักษณะการนั่งรถมอเตอร์ไซด์เด็กต่อความรุนแรงของการบาดเจ็บที่เกิดจากการชนของรถมอเตอร์ไซด์ ผลของการศึกษาวิจัยดังกล่าวอาจจะเป็นส่วนหนึ่งของกิจกรรมที่

เสริมแผนแม่บทและแผนที่นำทางดังกล่าวเพื่อให้เกิดความเข้าใจกลไกการบาดเจ็บ (ลักษณะการเกิดการบาดเจ็บ) และความรุนแรงจากการนั่งรถมอเตอร์ไซด์ของเด็กเล็กที่เหมาะสม และลดอุบัติเหตุการสูญเสียชีวิตซึ่งเป็นปัญหาของประเทศไทยในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษากลศาสตร์การเคลื่อนที่หลังชน ลักษณะการเกิดการบาดเจ็บ และความรุนแรงที่เกิดจากลักษณะการนั่งรถมอเตอร์ไซด์ของเด็กเล็กรูปแบบต่างๆ

1.2.2 เพื่อกำหนดลักษณะการนั่งที่เหมาะสมสำหรับเด็กเล็กในรถมอเตอร์ไซด์

1.3 ผลประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษาวิจัย

1.3.1 ผลการวิจัยสามารถทราบถึงลักษณะกลไกการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารรถมอเตอร์ไซด์ที่เป็นเด็กจากตำแหน่งการนั่งต่างๆ ของเด็กเล็กในรถมอเตอร์ไซด์

1.3.2 ผู้ใช้รถใช้ถนนโดยเฉพาะคนขับขี่รถมอเตอร์ไซด์เข้าใจถึงระดับความรุนแรงจากลักษณะการนั่งของเด็กเล็กในสังคมเมืองไทยสามารถสังเกตเห็นได้จากบันทึกการทดสอบการชนจริงของหุ่นทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1.3.3 ผลจากการศึกษารวมทั้งแบบจำลองเชิงตัวเลขที่สร้างขึ้นดังกล่าวสามารถนำมาใช้เป็นข้อมูลประกอบเพื่อเป็นโครงการต่อยอดในการหาแนวทางการป้องกันและลดความรุนแรงจากการชนจากผู้โดยสารเด็กจากการใช้รถมอเตอร์ไซด์ในประเทศไทยต่อไปได้ เป็นต้น

1.4 ขอบเขตการวิจัย

1.4.1 รถมอเตอร์ไซด์ขนาดเครื่องยนต์ไม่เกิน ๑๒๕ CC

1.4.2 อายุเด็กอยู่ระหว่าง ๕-๘ ปี

1.4.3 การวิเคราะห์การชนโดยการจำลองเชิงตัวเลขระหว่างรถมอเตอร์ไซด์กับรถยนต์นั่งจะเป็นแบบการชน ด้านข้างของรถยนต์ภายใต้ตำแหน่งที่นั่งเด็กในส่วนด้านหน้าระหว่างวงแขนของผู้ขับขี่และหลังคนขับขี่โดยไม่มีอุปกรณ์เสริมใดๆ

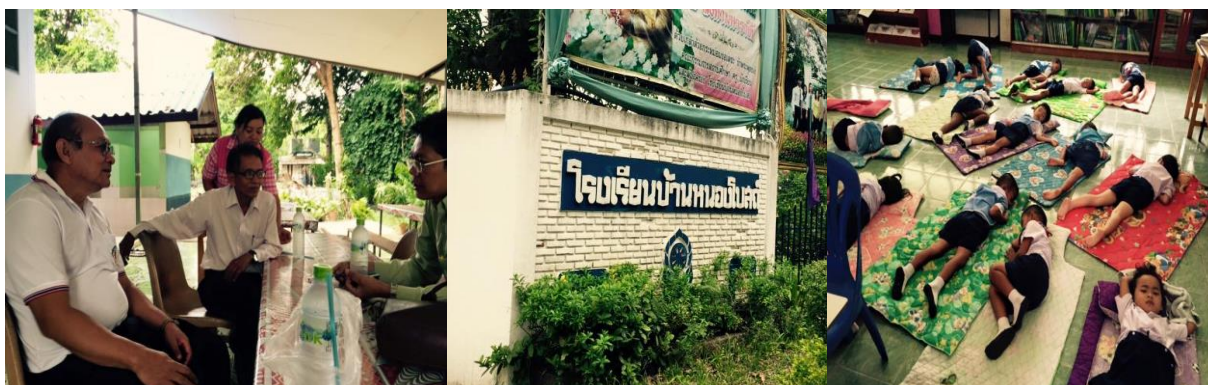
- 1.4.4 การทดสอบการชนจริงจะเป็นการชนของรถมอเตอร์ไซด์กับด้านข้างของรถยนต์ จะกระทำ 2 ครั้ง โดยครั้งที่หนึ่งจะทำโดยให้ตำแหน่งที่นั่งหุ่นเด็กอยู่ที่ส่วนด้านหลังโดยไม่มีอุปกรณ์ใดเสริมระหว่างวงแขนคนขับซ้ำ ครั้งที่สองจะทำการทดสอบการชนโดยให้หุ่นเด็กอยู่หน้าผู้ขับขี่โดยไม่มีอุปกรณ์เสริมใดๆ ในการนั่งของเด็ก
- 1.4.5 ความเร็วที่ใช้ในการชนจะไม่เกิน 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ภายใต้เงื่อนไข วิธีการทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์เพื่อประเมินการป้องกันผู้ขับขี่ [17] รวมทั้ง ข้อกำหนดของห้องปฏิบัติการทดสอบการชนที่ Malaysian Institute of Road Safety Research (MIROS) มาเลเซีย

บทที่ 2

ผลการสำรวจการใช้มอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนจากกลุ่มตัวอย่าง 3 โรงเรียนในเขตบางซื่อ

2.1 บทนำ

ในประเทศไทยพฤติกรรมการใช้มอเตอร์ไซด์ในการรับส่งเด็กนักเรียนรวมทั้งการสวมหมวกนิรภัยสามารถสังเกตเห็นได้ในสังคมเมืองหลวงซึ่งไม่ได้มีสาเหตุหลักๆ มาจากความยากจนของครอบครัวนั้นๆ จากการวิจัยความสัมพันธ์ระหว่างความยากจนของคนไทยและเศรษฐกิจ ประเทศไทยยังมีการพัฒนาและการแก้ไขความยากจนอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี 2543 อยู่ที่ร้อยละ 20.98 และลงมาอยู่ที่ร้อยละ 8.48 ในปี 2550 โดยกรุงเทพมหานครมีคนจนอยู่ร้อยละ 1.2 ของคนจนทั้งประเทศ [19] ความนิยมใช้รถจักรยานยนต์ในเมืองหลวงก็ยังมีจำนวนเพิ่มขึ้นเนื่องจากสภาพปัญหาจากการใช้รถใช้ถนนในช่วงเวลาเร่งด่วนมีปริมาณมากและเรื้อรังมาเป็นเวลานานซึ่งภาครัฐได้ตระหนักและพยายามแก้ไขปัญหาทางจราจรจากจำนวนรถยนต์ที่เพิ่มโดยการสร้างถนนเพิ่ม สร้างอุโมงค์เพิ่ม เป็นต้น [20] ในทางกลับกัน จากการสำรวจและสัมภาษณ์กับผู้อำนวยการของโรงเรียนที่มีเด็กเล็กโดยสุ่มไปที่โรงเรียนบ้านหนองโบสถ์ จังหวัดบุรีรัมย์ การใช้รถจักรยานยนต์ในการรับส่งไม่มีพบเห็น แต่จะมีรถกระบะส่วนตัวในการรับส่งส่วนใหญ่ดังแสดงในรูปที่ 2.1 หรือ รถกระบะรับจ้างในจังหวัดเพชรบูรณ์ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ในการรับส่งเด็กนักเรียนเนื่องจากการจราจรมีความคล่องตัวมากกว่าเมืองหลวงทำให้ผู้ปกครองจะให้รถรับจ้างในรูปแบบรถกระบะดัดแปลง



รูปที่ 2.1 การสัมภาษณ์ผู้อำนวยการโรงเรียนเรื่องการใช่มอเตอร์ไซด์รับส่งเด็กนักเรียนจังหวัดบุรีรัมย์



รูปที่ 2.2 การใช้รถกระบะรับจ้างในการรับส่งนักเรียนแทนรถจักรยานยนต์ในจังหวัดเพชรบูรณ์

จากข้อมูลสำนักงานสถิติแห่งชาติ สถานศึกษาแบบจัดชั้นเรียนที่เป็นโรงเรียนเอกชนประเภทสามัญศึกษา ภายใต้การดูแลของสำนักงานคณะกรรมการส่งเสริมการศึกษาเอกชน ณ ปีพ.ศ. 2556 มีจำนวน 3543 โรงเรียนทั่วประเทศ ส่วนโรงเรียนประเภทสามัญศึกษาภายใต้สำนักงานคณะกรรมการศึกษาขั้นพื้นฐานของรัฐบาลจะมีอยู่ที่ 30,927 โรงเรียนทั่วประเทศ [21] สำหรับกรุงเทพมหานคร จำนวนนักเรียนในสังกัดประเภทสามัญศึกษา จำแนกตามชั้นประถมศึกษาตั้งแต่ปีที่ 1 ถึง ปีที่ 6 และ ทิศทางของพื้นที่ในกรุงเทพฯและกรุงเทพมหานครจะแสดงอยู่ในตารางที่ 1.1 โดยยอดรวมจำนวนนักเรียนในแต่ละชั้นปีอยู่ระหว่าง 33,000 ถึง 37,000 คน [22] จากส่วนหนึ่งของงานวิจัย ศรีกาญจนา จตุพัฒน์โรดม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ได้ทำการเก็บข้อมูลขนาดตัวมาตรฐานเด็กไทยตามอายุระหว่าง 1 ถึง 14 ปี ระหว่างเด็กผู้ชายกับเด็กผู้หญิง ซึ่งมีความสอดคล้องกับช่วงอายุของเด็กไทยระหว่างประถมศึกษาปีที่ 1 ถึง 6 ได้ โดยอยู่ที่ 6 ปี ถึง 11 ปี ดังแสดงในตารางที่ 2.2 [23]

ตารางที่ 2.1 จำนวนนักเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร ปี การศึกษา 2558 [22]

จำนวนโรงเรียน	ประถมปีที่ 1	ประถมปีที่ 2	ประถมปีที่ 3	ประถมปีที่ 4	ประถมปีที่ 5	ประถมปีที่ 6	รวมทั้งสิ้น
กรุงเทพกลาง (41)	2,441	2,397	2,441	2,416	2,524	2,579	14,798
กรุงเทพใต้ (59)	3,874	3,838	3,872	4,053	4,253	4,098	23,988
กรุงเทพเหนือ (45)	5,766	5,640	5,887	5,777	6,188	5,903	35,161
กรุงเทพตะวันออก (130)	10,400	10,540	10,483	10,838	11,547	10,822	64,630
กรุงเทพเหนือ (89)	4,296	4,121	4,286	4,225	4,344	4,478	25,750
กรุงเทพใต้ (70)	7,282	7,062	7,305	7,440	7,777	7,354	44,220
ยอดรวมทั้งหมด	34,059	33,598	34,274	34,749	36,633	35,234	208,547

ตารางที่ 2.2 ขนาดความสูงมาตรฐานเด็กไทยแบ่งตามอายุและประถมศึกษา [23]

		ระยะหน่วย (เซนติเมตร)					
ระยะ/เพศ		ประถมปี ที่ 1	ประถมปี ที่ 2	ประถมปี ที่ 3	ประถมปี ที่ 4	ประถมปี ที่ 5	ประถมปี ที่ 6
		อายุ 6 ปี	อายุ 7 ปี	อายุ 8 ปี	อายุ 9 ปี	อายุ 10 ปี	อายุ 11 ปี
ความสูง	ชาย	116.00	121.00	127.00	132.00	135.50	143.50
	หญิง	115.00	121.00	125.00	133.00	139.00	145.00
ความยาว ใต้ท้องขา	ชาย	38.50	40.50	42.50	44.50	46.50	48.50
	หญิง	38.50	40.50	42.50	44.50	46.50	48.50

2.2 กระบวนการเก็บข้อมูล

2.2.1 การเลือกกลุ่มตัวอย่าง

ด้วยจำนวนของโรงเรียนในกรุงเทพมหานครที่มีมากกว่า 400 โรงเรียน และจำนวนเด็กนักเรียนทุกชั้นปีของประถมศึกษาในกรุงเทพฯ มากกว่าสองแสนคน [21] จึงมีความจำเป็นที่ต้องทำการศึกษาและเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของผู้ปกครองที่รับส่งเด็กนักเรียน อย่างไรก็ตามในโครงการวิจัยนี้ ทีมวิจัยที่ศึกษาผลลักษณะการนั่งมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนต่อความรุนแรงของการบาดเจ็บที่เกิดจากชนได้ทำการสำรวจเก็บข้อมูลเบื้องต้นของผู้ปกครองที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์รับส่งเด็กนักเรียนเบื้องต้นจำนวน 3 โรงเรียนในเขตบางซื่อดังแสดงในรูปที่ 2.3 และจำนวนนักเรียนในตารางที่ 2.3 วันเวลาในการเก็บข้อมูลจะแสดงในตารางที่ 2.4 วันและเวลาในการเก็บข้อมูลจะเป็นการสุ่มตัวอย่างในแต่ละครั้งในแต่ละโรงเรียนเพียงเท่านั้นและจะเลือกเพียงช่วงเวลาเข้าเรียนตอนเช้าเพียงเท่านั้น เนื่องจากการเก็บข้อมูลในช่วงหลังเลิกเรียนจะไม่สะท้อนความเป็นจริง และ บางครอบครัวในสังคมกรุงเทพฯ จะให้เด็กนักเรียนเรียนพิเศษเพื่อยืดเวลาในการรับเด็กนักเรียน ดังนั้น ข้อมูลจะไม่สะท้อนเท่ากับตอนไปส่งนักเรียนตอนเช้า



รูปที่ 2.3 ตำแหน่งโรงเรียนภายในสังกัดกรุงเทพมหานคร เขตบางซื่อที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง

ตารางที่ 2.3 จำนวนนักเรียนของโรงเรียนที่สุ่มตัวอย่าง 3 โรงเรียนประจำปีการศึกษา 2558 [22]

โรงเรียน	ประถมปีที่ 1	ประถมปีที่ 2	ประถมปีที่ 3	ประถมปีที่ 4	ประถมปีที่ 5	ประถมปีที่ 6	รวมทั้งสิ้น
โรงเรียนวัดประชาศรัทธาธรรม	36	36	37	25	31	21	186
โรงเรียนวัดมณีพัฒนิการาม	48	57	55	48	59	65	332
โรงเรียนวัดบางโพโอมาวาส	92	89	91	74	94	86	526

ตารางที่ 2.4 รายละเอียดการเก็บข้อมูลการเดินทางโดยใช้มอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียน

ลำดับ	ชื่อโรงเรียน	วันที่เก็บข้อมูล	ช่วงเวลาเก็บข้อมูล	ช่วงชั้นของนักเรียน
1	โรงเรียนวัดประชาศรัทธาธรรม	25 กันยายน 2558	06:15 ถึง 08:30	อนุบาล-ป.6
2	โรงเรียนวัดมณีพัฒนิการาม	9 พฤศจิกายน 2558	06:15 ถึง 08:30	อนุบาล-ม.3
3	โรงเรียนวัดบางโพโอมาวาส	11 พฤศจิกายน 2558	06:15 ถึง 08:30	อนุบาล-ป.6

2.2.2 การเลือกปัจจัยที่ระบุพฤติกรรมการใช้มอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนในกลุ่มตัวอย่าง

ตัวแปรที่ใช้ในการเก็บข้อมูลเพื่อทำการวิเคราะห์พฤติกรรมการใช้มอเตอร์ไซด์ได้แก่ การใช้รถมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็กนักเรียนนั่งด้วยในเวลาเร่งด่วน การโดยสารของเด็กนักเรียนที่นั่งอยู่ด้านหลังและด้านหน้าของผู้ขับขี่ การใช้หมวกนิรภัยของเด็กที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์ จำนวนผู้โดยสารที่เป็นเด็กนักเรียนในรถมอเตอร์ไซด์หนึ่งคัน และการใช้ที่วางพนักเท้าของผู้โดยสารที่เป็นเด็กนักเรียน ซึ่งใช้วิธีบันทึกด้วยกล้องวิดีโอ และ กรองข้อมูลในแผ่นบันทึกข้อมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ตำแหน่งที่ติดตั้งกล้องบันทึกวิดีโอของโรงเรียนลำดับที่ 1-3 จะอยู่ที่หน้าประตูทางเข้าโรงเรียนดังแสดงในรูปที่ 2.5-2.7



Motorcycle Survey (Children accompanied by Parents to Schools)

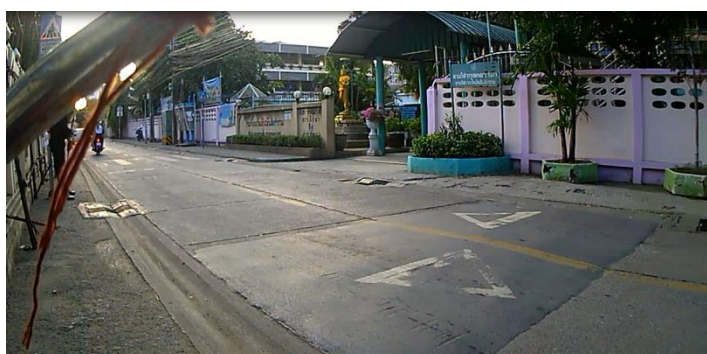
Name of School: _____

No. of MCs	Child at Front	Footrest	Helmet	Child at Back	Footrest	Helmet	No. of Children on MC
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							

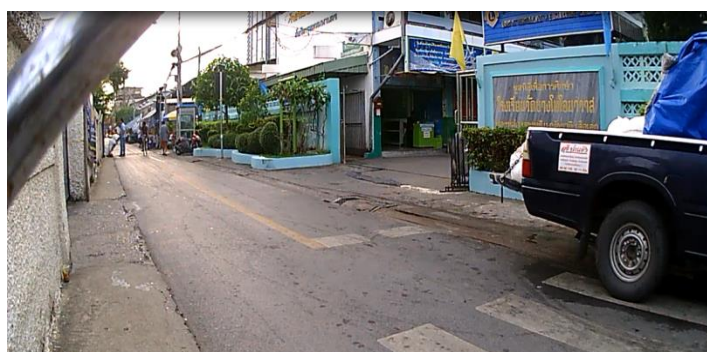
รูปที่ 2.4 แผ่นบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการเก็บข้อมูลการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียน



รูปที่ 2.5 ภาพจากกล้องบันทึกทางเข้าโรงเรียนลำดับที่ 1: โรงเรียนวัดประชาศรีธารธรรม



รูปที่ 2.6 ภาพจากกล้องบันทึกทางเข้าโรงเรียนลำดับที่ 2: โรงเรียนวัดมณีนิลธาราม



รูปที่ 2.7 ภาพจากกล้องบันทึกทางเข้าโรงเรียนลำดับที่ 3: โรงเรียนวัดบางโพธิ์มาวาส

2.3 ผลการเก็บข้อมูลและการวิเคราะห์

2.3.1 ผลการเก็บข้อมูล

เพื่อเพิ่มความถูกต้องในการเก็บข้อมูลด้วยการจดบันทึกของผู้สังเกตที่ยืนข้างตำแหน่งที่ตั้งกล้องวิดีโอ แผ่นเอกสารบันทึกข้อมูลจะถูกทวนสอบโดยคณะวิจัยผ่านภาพจากกล้องบันทึกวิดีโอเก็บข้อมูลดังตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.8 เนื่องจากระยะเวลาการรับส่งนักเรียนของผู้ปกครองสั้นและรายละเอียดในการบันทึกมีหลายประเด็นที่ต้องการศึกษา เช่น ลักษณะการวางเท้าของเด็กนักเรียนในขณะที่นั่งข้างหน้าและข้างหลังดังแสดงวงกลมสีเขียว สีเหลืองและสีแดงในรูปที่ 2.8 อีกทั้งปัจจัยเรื่องพฤติกรรมในแต่ละวันของการรับส่งนักเรียนจะถูกตรวจสอบซ้ำอีกครั้ง เช่น การเก็บข้อมูลจากโรงเรียนวัดประชาศรีธารธรรม ลำดับที่ 1 ในวันศุกร์ที่ 25

กันยายน 2558 จะถูกเปรียบเทียบกับผลการเก็บข้อมูลของโรงเรียนเดียวกันในวันอังคารที่ 29 กันยายน 2558 การเปรียบเทียบผลของข้อมูลชี้ให้เห็นว่าพฤติกรรมการใช้รถมอเตอร์ไซด์ในการรับส่งเด็กนักเรียนไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในตารางที่ 2.5 ผลการเก็บข้อมูลพฤติกรรมการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนในโรงเรียนในกลุ่มตัวอย่างจะแสดงอยู่ในตารางที่ 2.6



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการทวนสอบผลจากกล้องบันทึกข้อมูล

ตารางที่ 2.5 การเปรียบเทียบผลการเก็บข้อมูล 2 ครั้งที่โรงเรียนประชาศรัทธาธรรม

ประเด็นในการเก็บข้อมูลของโรงเรียน วัดประชาศรัทธาธรรม	จำนวนหน่วยจากข้อมูล วันที่ 25 กันยายน	จำนวนหน่วยจากข้อมูล วันที่ 29 กันยายน
จำนวนนักเรียนที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์	94	93
จำนวนรถมอเตอร์ไซด์ที่ใช้รับนักเรียน	65	61
จำนวนนักเรียนที่ยืนอยู่ด้านหน้า	13	10
จำนวนนักเรียนที่นั่งอยู่ด้านหน้า	27	24
จำนวนนักเรียนที่นั่งอยู่ด้านหลัง	54	59
จำนวนนักเรียนที่สวมหมวกนิรภัย	6	6

ตารางที่ 2.6 ผลการเก็บข้อมูลจากโรงเรียนในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 โรงเรียน

หัวข้อ	โรงเรียนวัด ประชาฯ จาก จำนวนเด็กที่ใช้ มอเตอร์ไซด์ 94 คนและจำนวน มอเตอร์ไซด์ 65 คัน	โรงเรียน วัดมัสลินฯ จาก จำนวนเด็กที่ใช้ มอเตอร์ไซด์ 140 คนและจำนวน มอเตอร์ไซด์ 123 คัน	โรงเรียนวัดบาง โพฯ จาก จำนวนเด็กที่ใช้ มอเตอร์ไซด์ 259 คนและ จำนวนมอเตอร์ ไซด์ 205 คัน
จำนวนเด็กฯ ที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์	ร้อยละ 100	ร้อยละ 100	ร้อยละ 100
จำนวนเด็กฯ ที่ยืนอยู่ด้านหน้า	ร้อยละ 13	ร้อยละ 2	ร้อยละ 1
จำนวนเด็กฯ ที่นั่งอยู่ด้านหน้า	ร้อยละ 28	ร้อยละ 27	ร้อยละ 31
จำนวนเด็กฯ ที่นั่งอยู่ด้านหลัง	ร้อยละ 57	ร้อยละ 70	ร้อยละ 67
จำนวนเด็กฯ ที่สวมหมวกนิรภัย	ร้อยละ 6	ร้อยละ 2	ร้อยละ 2
จำนวนเด็กฯ ที่เท้าวางอยู่ที่พิก	ร้อยละ 79	ร้อยละ 71	ร้อยละ 56

2.3.2 การวิเคราะห์ผลการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียน

เมื่อพิจารณาจำนวนนักเรียนที่ใช้มอเตอร์ไซด์ทั้งหมดระหว่างชั้นประถมที่ 1 ถึง 6 ของแต่ละโรงเรียน จำนวนนักเรียนทั้ง 3 โรงเรียนมีการใช้รถมอเตอร์ไซด์อยู่ระหว่างร้อยละ 40 ถึง 50 ของจำนวนนักเรียนทั้งหมด ดังแสดงในตารางที่ 2.7 นอกเหนือจากนี้ จากข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2.6 จำนวนนักเรียนที่สวมหมวกนิรภัยมีมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 6 และน้อยสุดอยู่ที่ร้อยละ 2 ถ้าพิจารณาลักษณะการนั่งระหว่างด้านหน้าและด้านหลังของผู้ขี่มอเตอร์ไซด์ สัดส่วนการนั่งของนักเรียนจะโดยสารถัดด้านหลังจะมากกว่าด้านหน้าเกินครึ่งโดยนักเรียนที่ นั่งอยู่ด้านหลังอยู่ที่ร้อยละ 57, 70 และ 67 ตามลำดับจากทั้ง 3 โรงเรียน และการยืนของนักเรียนที่ด้านหน้า ของรถมอเตอร์ไซด์จะน้อยสุดเมื่อเทียบกับการนั่งรถมอเตอร์ไซด์

การวิเคราะห์สัดส่วนรถมอเตอร์ไซด์ที่มีการโดยสารเด็กนักเรียนตั้งแต่ 1 คนถึง 4 คน จะแสดงในตาราง ที่ 2.8 ส่วนใหญ่ทั้ง 3 โรงเรียนจะมีสัดส่วนไม่น้อยกว่าร้อยละ 14 และมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 28 สำหรับจำนวน เด็กที่นั่งอยู่ 2 คนต่อคัน อย่างไรก็ตาม การใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียน 3 คน ต่อคันยังมีพบเห็นมากกว่า 1 โรงเรียนในกลุ่มตัวอย่างทั้ง 3 สำหรับการใช้มอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนจำนวน 4 คนต่อคันอยู่ในรูปที่ 2.9- 2.11 ตามลำดับ ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของความสูงและรูปร่างของนักเรียน

ตารางที่ 2.7 สัดส่วนของนักเรียนที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์ในการเดินทางของโรงเรียนกลุ่มตัวอย่าง

ชื่อโรงเรียน	จำนวนนักเรียนทั้งหมด	จำนวนนักเรียนที่ใช้รถมอเตอร์ไซด์	ร้อยละ
โรงเรียนวัดประชาศรีธรรม	186	94	50.5
โรงเรียนวัดมัชฌันติการาม	332	140	42.2
โรงเรียนวัดบางโพโสมาวาส	526	259	49.2

ตารางที่ 2.8 ร้อยละของจำนวนรถมอเตอร์ไซด์แต่ละโรงเรียนที่มีการโดยสารเด็กนักเรียน

ลักษณะการโดยสาร มอเตอร์ไซด์	โรงเรียนวัดประชา ศรีธรรม จากจำนวนรถ มอเตอร์ไซด์ 65 คัน	โรงเรียนวัดมัชฌันติ การาม จากจำนวนรถมอเตอร์ ไซด์ 123 คัน	โรงเรียนวัดบางโพโ มาวาส จากจำนวนรถมอเตอร์ ไซด์ 205 คัน
รถมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็ก 1 คน	ร้อยละ 64	ร้อยละ 86	ร้อยละ 76
รถมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็ก 2 คน	ร้อยละ 28	ร้อยละ 14	ร้อยละ 22
รถมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็ก 3 คน	ร้อยละ 6	ร้อยละ 0	ร้อยละ 2
รถมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็ก 4 คน	ร้อยละ 2	ร้อยละ 0	ร้อยละ 0



รูปที่ 2.9 การนั่งของเด็กนักเรียน 3 คน: หน้า 1 คน หลัง 2 คน



รูปที่ 2.10 การนั่งของเด็กนักเรียน 3 คน: หลัง 3 คน



รูปที่ 2.11 การใช้มอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียน 4 คน: หน้า 2 คน หลัง 2 คน

2.3.3 การวิเคราะห์ผลการเก็บข้อมูลกับความหนาแน่นจราจรกับการใช้มอเตอร์ไซด์

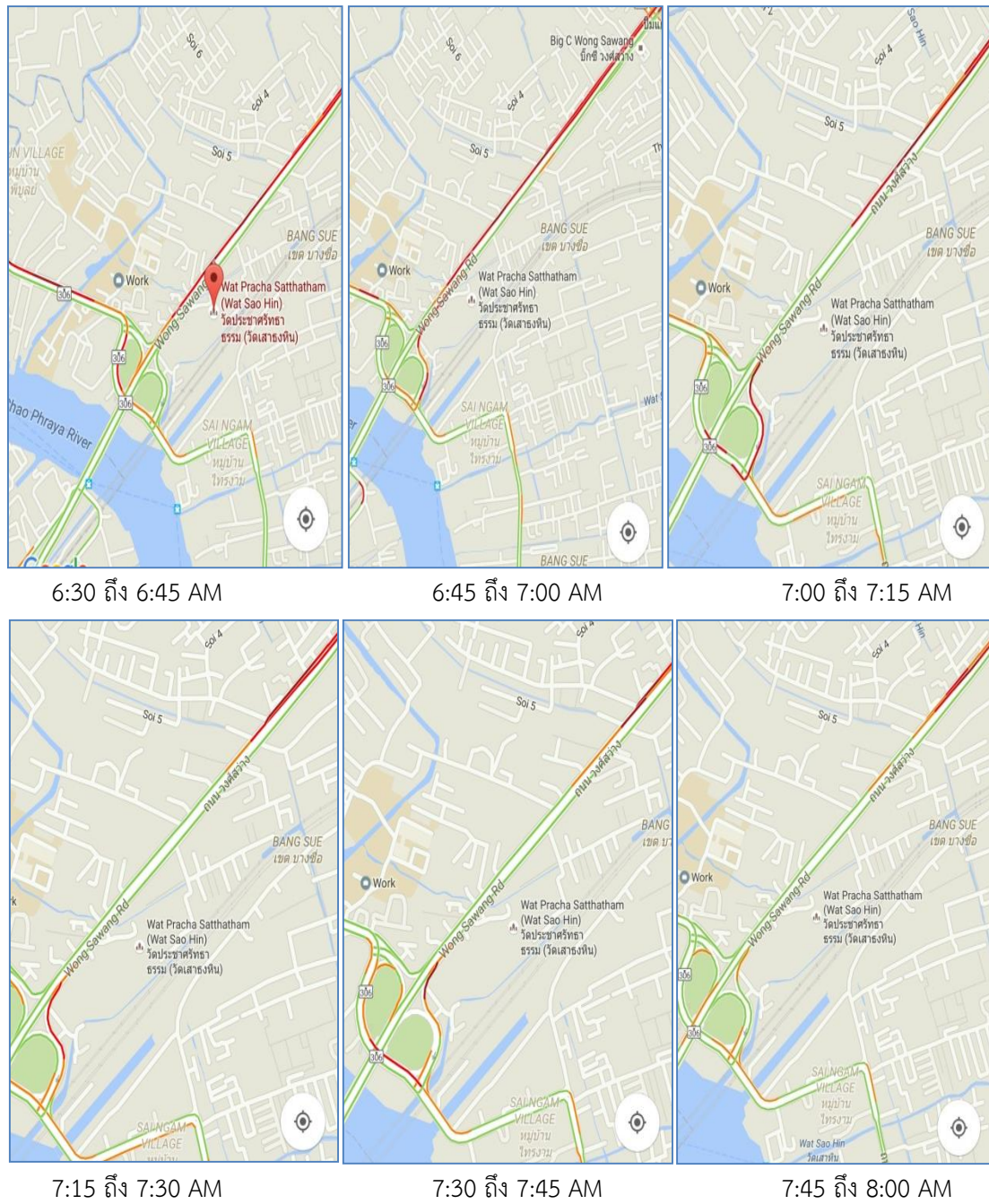
เนื่องจากการเก็บข้อมูลการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนจะอยู่ระหว่าง 6.15 ถึง 8.30 นาฬิกา การตรวจสอบความถี่ของจำนวนรถมอเตอร์ไซด์ทุกๆ 15 นาทีและอัตราความหนาแน่นจราจรโดยใช้ Google Traffic Application ซึ่งรับข้อมูล GPS จากผู้ใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆของลูกค้านำมาเปิด Traffic information มาประมวลผลหาความหนาแน่นของจราจร หลักการดังกล่าวทาง Google Inc. ได้เป็นผู้ขอรับสิทธิบัตร หมายเลข PCT/US2005/047245 [24] ดังนั้นข้อมูลของความหนาแน่นจราจรจะนำมาเป็นประกอบการพิจารณา จากผลการวิเคราะห์ความถี่ของการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของทั้ง 3 โรงเรียนจะมีแนวโน้มเดียวกัน คือ ช่วงเวลา 6.15 ถึง 6.45 น. และ ช่วงเวลา 7.45 ถึง 8.30 น. จะมีจำนวนรถมอเตอร์ไซด์ใช้น้อยที่สุด ส่วนช่วงเวลา 6.45 ถึง 7.45 น. จะมีปริมาณการใช้รถมอเตอร์ไซด์ค่อนข้างสูงดังแสดงในตารางที่ 2.9 เมื่อทำการเปรียบเทียบกับอัตราความหนาแน่นของจราจรจาก Google Traffic Application จะเห็นได้ว่า โรงเรียนวัดประชาศรัทธาธรรมจะมีการจราจรหนาแน่นในฝั่งตรงข้ามของโรงเรียนตั้งแต่ช่วงเวลา 6.30 ถึง 8.00 น. และ มี

ความหนาแน่นมากที่สุดบนถนนวงรีสว่างในช่วงเวลา 6.45 ถึง 7.00 น. ถ้าผู้ปกครองใช้รถยนต์ในการรับส่งเด็กนักเรียนจะมีความลำบากในการกลับรถยนต์เพื่อมาส่งที่โรงเรียนดังแสดงในรูปที่ 2.12

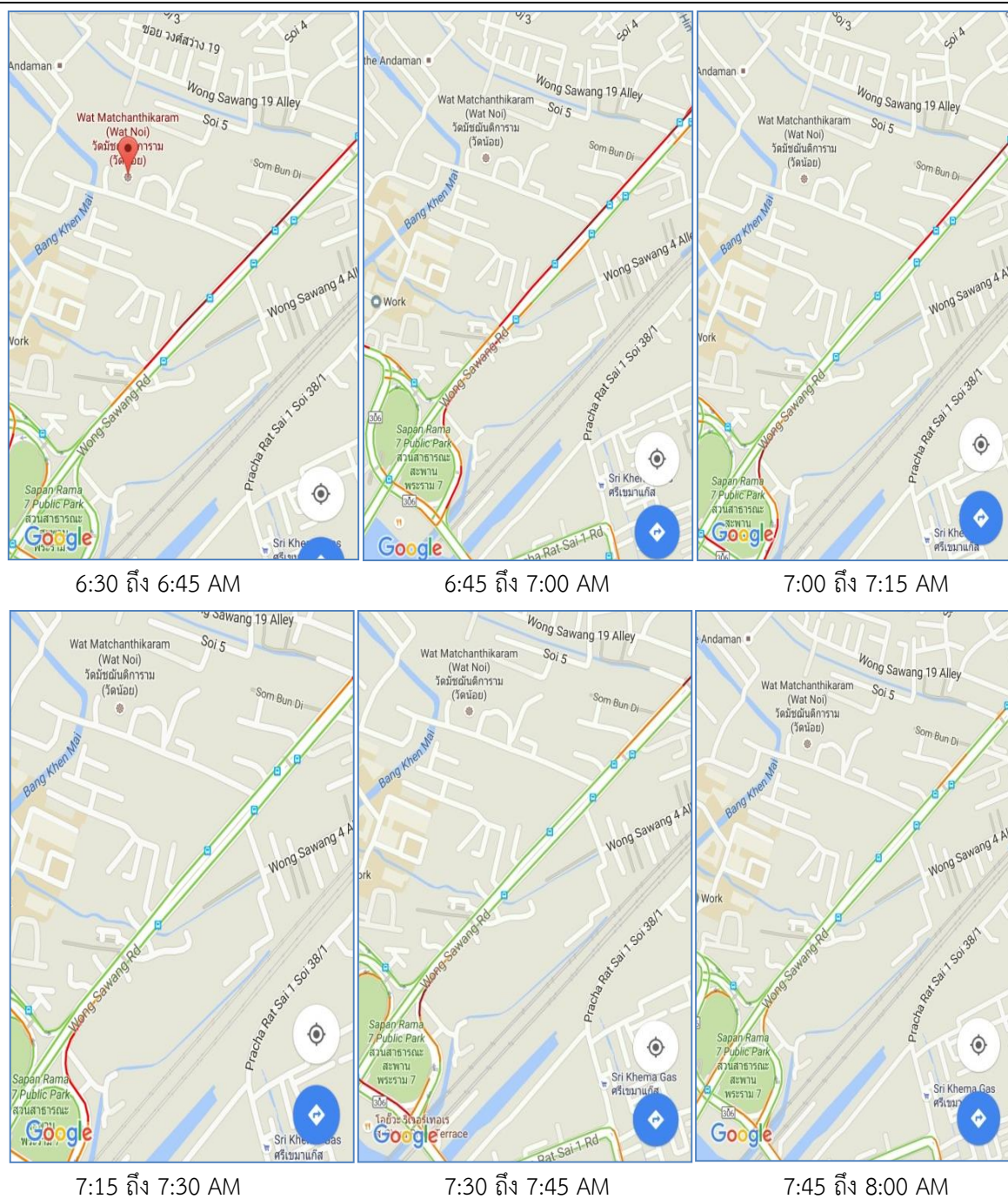
สำหรับโรงเรียนวัดมัชฌันติการาม การจราจรบนถนนวงรีสว่างจะมีความหนาแน่นตั้งแต่ช่วงเวลา 6.30 ถึง 7.15 น. ในฝั่งเดียวกับโรงเรียนดังแสดงในรูปที่ 2.13 ซึ่งผู้ปกครองต้องใช้ถนนวงรีสว่างเป็นเส้นทางหลักเดียวกับโรงเรียนประชาธิปไตยธรรม จากการเก็บการจราจรทั้ง 2 โรงเรียนดังกล่าว ช่วงเวลาของความหนาแน่นของการจราจรมีความแตกต่างกันบนถนนเดียวกัน แสดงให้เห็นว่าความหนาแน่นของการจราจรขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น อุบัติเหตุจราจร รวมทั้งเทคนิคในการควบคุมสัญญาณไฟจราจรของเจ้าหน้าที่หรือระบบคอมพิวเตอร์เพื่อที่จะลดความหนาแน่นของการจราจร [25] สำหรับโรงเรียนวัดบางโพธิ์มาวาสในวันที่เก็บข้อมูลการจราจรเริ่มมีความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 7.00 ถึง 8.00 น.ดังแสดงในรูปที่ 2.14 ดังนั้น ผลจากการสุ่มเก็บข้อมูลเพียงครั้งเดียวของแต่ละโรงเรียน ช่วงเวลาความหนาแน่นของการจราจรกับช่วงเวลาในการส่งเด็กนักเรียนโดยใช้มอเตอร์ไซด์ไม่สามารถนำมาหาความสัมพันธ์กันได้

ตารางที่ 2.9 ช่วงเวลาและความถี่การใช้มอเตอร์ไซด์ทั้ง 3 โรงเรียน

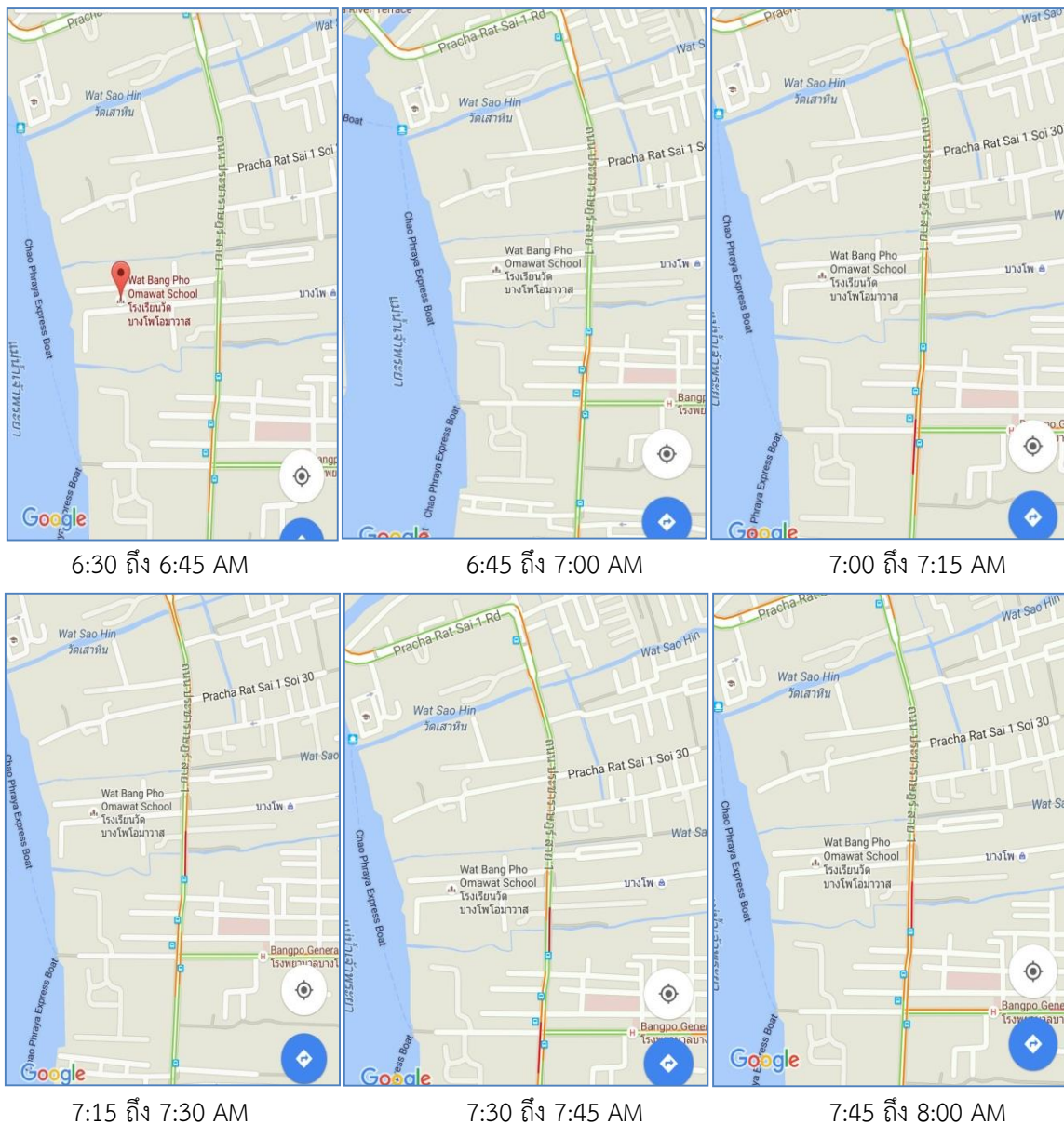
ช่วงเวลาในตอนเช้า	จำนวนมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็กนักเรียนโดยสาร		
	โรงเรียนวัดประชาธิปไตยธรรมจากจำนวนมอเตอร์ไซด์ 65 คัน	โรงเรียนวัดมัชฌันติการามจากจำนวนมอเตอร์ไซด์ 123 คัน	โรงเรียนวัดบางโพธิ์มาวาสจากจำนวนมอเตอร์ไซด์ 205 คัน
6:15 ถึง 6:30	ร้อยละ 3	ร้อยละ 0	ร้อยละ 0
6:30 ถึง 6:45	ร้อยละ 9	ร้อยละ 8	ร้อยละ 7
6:45 ถึง 7:00	ร้อยละ 12	ร้อยละ 20	ร้อยละ 11
7:00 ถึง 7:15	ร้อยละ 18	ร้อยละ 16	ร้อยละ 22
7:15 ถึง 7:30	ร้อยละ 14	ร้อยละ 27	ร้อยละ 25
7:30 ถึง 7:45	ร้อยละ 28	ร้อยละ 15	ร้อยละ 23
7:45 ถึง 8:00	ร้อยละ 11	ร้อยละ 12	ร้อยละ 12
8:00 ถึง 8:30	ร้อยละ 5	ร้อยละ 2	ร้อยละ 0



รูปที่ 2.12 ความหนาแน่นจราจรของโรงเรียนวัดประสาธน์ธรรมในวันเก็บข้อมูล



รูปที่ 2.13 ความหนาแน่นจราจรของโรงเรียนวัดมัชฌันติกการามในวันที่เก็บข้อมูล



รูปที่ 2.14 ความหนาแน่นจราจรของโรงเรียนวัดบางโพธิ์อมาวาสในวันที่เก็บข้อมูล

2.4 สรุปและวิจารณ์ผล

จากการสุ่มเก็บข้อมูลโรงเรียนทั้งหมด 3 โรงเรียนสำหรับเขตบางซื่อที่มีจำนวนเด็กนักเรียนอยู่ที่ 1044 คน จากชั้นประถมศึกษาปีที่ 1 ถึงปีที่ 6 จำนวนการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 50.5 และน้อยที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 42.2 นอกเหนือจากนี้ รูปแบบและจำนวนเด็กนักเรียนในการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนมีความหลากหลาย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการนั่งหน้าและหลังของมอเตอร์ไซด์ เด็กนักเรียนจะนั่งที่ด้านหลังมากกว่าด้านหน้าเกินครึ่งหนึ่งทั้งหมด

สัดส่วนจำนวนมอเตอร์ไซด์ทั้งหมดที่รับส่งเด็กนักเรียนไม่น้อยกว่าร้อยละ 14 จนถึงร้อยละ 28 มีการให้เด็กนักเรียนนั่งมอเตอร์ไซด์ 2 คน อย่างไรก็ตามการนั่งของเด็กนักเรียน 3 คนสามารถพบเห็นได้ในบางโรงเรียนสูงสุดถึงร้อยละ 6 และมีแค่เพียง 1 รายที่มีการให้เด็กนักเรียนนั่งทั้งหมด 4 คน อีกทั้ง ในวันที่เก็บข้อมูล ช่วงเวลาของการส่งนักเรียนโดยใช้รถมอเตอร์ไซด์ไม่สามารถหาความสัมพันธ์กับช่วงเวลาความหนาแน่นของการจราจรได้ ดังนั้น ข้อมูลตัวเลขดังกล่าวข้างต้นไม่ได้สะท้อนพฤติกรรมการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนอย่างแท้จริง เนื่องจากข้อมูลดังกล่าวเป็นผลมาจากการสุ่มเก็บข้อมูลเพียงครั้งเดียว ดังนั้น ความจำเป็นต่อการศึกษาเก็บข้อมูลเพิ่มเติมในทางสถิติ นอกเหนือจากผลวิจัยโครงการวิจัยนี้จึงมีความสำคัญ

บทที่ 3

การทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์ในห้องปฏิบัติการ

3.1 บทนำ

บทนี้จะประกอบไปด้วยรูปแบบการทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์ที่อ้างอิงตามมาตรฐานสากล ISO 13232 [26] รายละเอียดอุปกรณ์เครื่องมือพร้อมหุ่นทดสอบ และการเตรียมความพร้อมการทดสอบการชนมอเตอร์ไซด์ รวมทั้งรูปแบบความร่วมมือกับ ASEAN NCAP [27] ที่ให้ดำเนินการทดสอบ และผลการทดสอบการชน

ในการทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็กนั่งอยู่ด้านหน้าและด้านหลังของผู้ขับขี่ ระดับความรุนแรงของการกระแทกที่ศีรษะจะพิจารณาจากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งในหุ่นเด็กดังที่จะกล่าวในหัวข้อ 3.3.2 การวัดระดับเกณฑ์การบาดเจ็บของศีรษะ HIC (Head Injury Criteria) จะนำมาใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ซึ่งสามารถคำนวณจากค่าความเร่งของเครื่องวัดอัตราเร่งโดยใช้สมการที่ 3.1 ภายในช่วงเวลามากกว่า 3 และน้อยกว่า 36 มิลลิวินาที [28] หมายเหตุ ค่า HIC เท่ากับ 1000 จะทำให้เกิดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บอยู่ร้อยละ 20 ของระบบการจัดระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บในวงการแพทย์ (Abbreviated Injury Scale, AIS) มากกว่าหรือเท่ากับ 3 [29] ซึ่งจะใช้เป็นเกณฑ์ในการกำหนดความรุนแรงของการบาดเจ็บที่ศีรษะของผู้โดยสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ความสัมพันธ์ระหว่างค่า HIC ในอุตสาหกรรมยานยนต์และ ค่า AIS ทางวงการแพทย์สามารถหาความสัมพันธ์ได้ดังแสดงในตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ดังกล่าวอยู่บนพื้นฐานงานวิจัยที่วัดระดับความรุนแรงในผู้ใหญ่เพียงเท่านั้น สำหรับเด็กการวัดสัมพันธ์ระหว่างค่า HIC และ AIS ยังไม่พบหลักฐานงานวิจัยในฐานข้อมูลทางวิชาการอย่างชัดเจน อย่างไรก็ตาม ในการทดสอบการชนที่มีเด็กนั่งอยู่ด้านหน้าและด้านหลัง เกณฑ์ HIC วัดได้จากอุปกรณ์เครื่องมือวัดที่เกิดขึ้นในศีรษะของหุ่นทดสอบเด็กดังกล่าว จะถูกนำมาประกอบการพิจารณาระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บ

$$HIC = \max_{t_1, t_2} \left[(t_2 - t_1) \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^{2.5} \right] < 1000 \quad (3.1)$$

ตารางที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า AIS กับค่า HIC สำหรับผู้ใหญ่ [30]

AIS	Injury entity	Fatality percent	HIC index Values ranges	Head Injury
0	None	0	0 – 134	None
1	Minor	0 – 7	135 – 519	Headache or dizziness
2	Moderate	7 – 18	520 – 899	Unconscious less than 1 hour; linear fracture
3	Serious, without life danger	18 – 42	900 – 1254	Unconscious 1 to 6 hours Depressed fracture
4	Severe with life danger	42 – 70	1255 – 1574	Unconscious 6 to 24 hours; Open fracture
5	Critical (uncertain survival)	70 – 87	1575 – 1859	Unconscious more than 24 hours; large haematoma.
6	Fatal	87 - 100	> 1860	Non-survivable

3.2 รูปแบบการทดสอบการชนรถมอเตอร์ไซด์

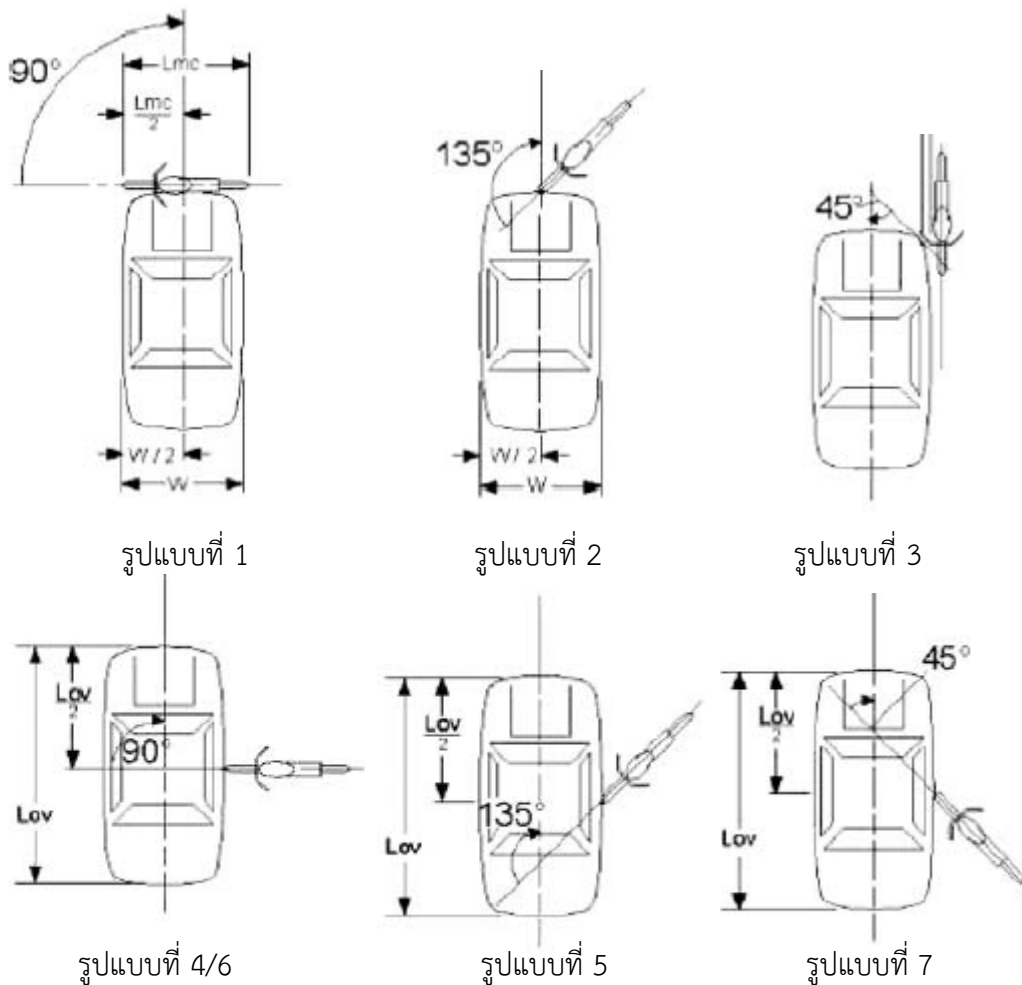
ในการทดสอบความปลอดภัยของรถมอเตอร์ไซด์ มาตรฐานที่เป็นที่นิยมใช้คือมาตรฐานสากล ISO 13232 ที่ว่าด้วยการทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์ (Motorcycle, MC) กับรถยนต์ที่รับแรงกระแทก (Opposite Vehicle, OV) เพื่อทำการประเมินอุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยของผู้ขับขี่ที่ติดตั้งในมอเตอร์ไซด์ โดยรูปแบบและมุมของรถยนต์ที่รับแรงกระแทกมีอยู่ 7 รูปแบบดังแสดงในตารางที่ 3.2 และรูปที่ 3.1

ตารางที่ 3.2 รูปแบบการทดสอบตามมาตรฐาน ISO 13232

รูปแบบการทดสอบ	ตำแหน่งที่ชนของรถยนต์ (OV)	มุมที่ทิศทางการเคลื่อนที่สัมผัสของรถมอเตอร์ไซด์ (MC) กับรถยนต์ (OV)	ความเร็วของรถยนต์ กับมอเตอร์ไซด์ในหน่วย (OV/MC) เมตร/วินาที	ระยะเพื่อที่ตำแหน่งปะทะของรถยนต์ (OV) ในหน่วยเซนติเมตร
1	ด้านหน้า	90 องศา	9.8/0	5
2	ด้านหน้า	135 องศา	6.7/13.4	10
3	ด้านหน้าเป็นมุม	180 องศา	0/13.4	3
4	ด้านข้าง	90 องศา	0/13.4	5
5	ด้านข้าง	135 องศา	6.7/13.4	15
6	ด้านข้าง	90 องศา	6.7/13.4	15
7	ด้านข้าง	45 องศา	6.7/13.4	15

จากรายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ที่มีการวิเคราะห์อุบัติเหตุของรถมอเตอร์ไซด์อย่างละเอียดในกรุงเทพมหานคร ปี 2001 โดยเก็บข้อมูลผู้ขับขี่มอเตอร์ไซด์ 723 คน ผลรายงานชี้ให้เห็นว่าการบาดเจ็บตามร่างกายทั้งหมด 3,192 ครั้ง บริเวณที่เกิดการบาดเจ็บมากที่สุดคือส่วนที่เป็นบริเวณช่วงล่างของร่างกายคิดเป็น 1,126 ครั้ง (ร้อยละ 35.27) บริเวณที่ศีรษะเกิดขึ้นเพียง 261 ครั้งซึ่งคิดเป็นร้อยละ 8.18 ของจำนวนครั้งของการบาดเจ็บตามร่างกายทั้งหมด นอกเหนือจากนี้ การเสียชีวิตเนื่องจากศีรษะเกิดขึ้นเพียง 5 ครั้งเท่านั้นจากการบาดเจ็บที่ศีรษะ 261 ครั้ง ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 1.91 ซึ่งเป็นอันสองรองจากทรวงอกที่ก่อให้เกิดการเสียชีวิต อย่างไรก็ตาม จำนวนครั้งที่เกิดระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บที่ศีรษะจะเกิดขึ้นมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับส่วนต่างๆของร่างกาย [31] ในปี 2015 รายงานสถิติการเสียชีวิตจากอุบัติเหตุจราจรโดย WHO ใช้ข้อมูลปี 2012 ระบุว่าประเทศไทยมีสัดส่วนการเสียชีวิตจากยานพาหนะ 2 ล้อ หรือ 3 ล้ออยู่ที่ร้อยละ 73% จากจำนวนผู้เสียชีวิตของผู้ใช้รถใช้ถนนที่เกิดในประเทศไทย [32] ในต่างประเทศ งานวิจัยที่มีการทดสอบการชนรถมอเตอร์ไซด์กับราวกันกระแทกที่เป็นโลหะแสดงให้เห็นว่า กลไกการบาดเจ็บของที่ศีรษะของผู้ขับขี่มอเตอร์ไซด์จะขึ้นอยู่กับการกระแทกครั้งแรก (First impact) มากกว่าการกระแทกครั้งที่สอง (Second impact) ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการบาดเจ็บสูงกว่าจากการวัดค่าอัตราหน่วยที่ศีรษะ [33] อีกทั้ง การทดสอบการชนรถมอเตอร์ไซด์ที่ด้านหน้าของรถยนต์ในห้องปฏิบัติการของบริษัท ADAC (Allgemeiner Deutscher Automobil-Club e.V.)

ที่ประเทศเยอรมนี แสดงให้เห็นว่าผู้ขับขี่เคลื่อนตัวข้ามส่วนหน้าของรถยนต์และกระแทกที่พื้นโดยที่ศีรษะไม่ได้
กระแทกกับพื้น [34] การกระแทกครั้งที่สองมีโอกาสน้อยกว่าที่ศีรษะจะรับแรงกระแทกที่พื้นดังแสดงในรูปที่
3.2 แต่ถ้ารถมอเตอร์ไซด์เข้าปะทะที่ด้านข้างของรถยนต์ในส่วนขอบบริเวณประตู การบาดเจ็บของผู้ขับขี่จะมี
โอกาสสูงเนื่องจากศีรษะของผู้ขับขี่จะได้รับการกระแทกที่บริเวณด้านข้างส่วนบนสุดของรถยนต์ซึ่งโดยทั่วไป
เป็นโครงสร้างรถยนต์ที่มีความแข็งแรงสูงในการรองรับการพลิกคว่ำของรถยนต์ ตำแหน่งการกระแทกของ
ศีรษะผู้ขับขี่กับโครงสร้างรถยนต์จะแสดงในรูปที่ 3.3 [35]



รูปที่ 3.1 รูปแบบการทดสอบการชนรถมอเตอร์ไซด์กับยานยนต์ตามมาตรฐาน ISO 13232 [35]

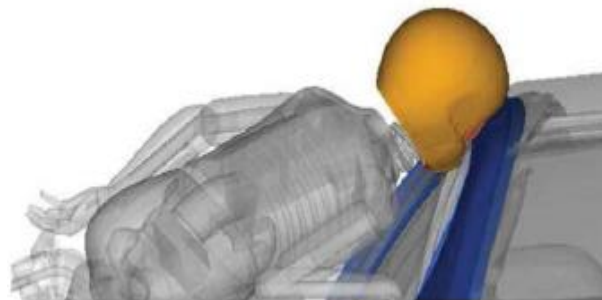
เนื่องจากข้อจำกัดของห้องปฏิบัติการทดสอบยานยนต์ของ ASEAN NCAP ในการจัดรูปแบบของการชน
แบบต่างๆ และ โอกาสที่จะเกิดความรุนแรงสูงจากการกระแทกในครั้งแรกของผู้โดยสารเด็กทั้งที่นั่งด้านหน้า
และด้านหลัง การทดสอบการชนในโครงการวิจัยนี้จะใช้รูปแบบที่ 4 เพียงอย่างเดียวดังแสดงในตารางที่ 3.1
ประกอบกับหลักการและเหตุผลของโครงการวิจัยดังกล่าวในบทที่ 1 หัวข้อ 1.1 ดังนั้น การทดสอบการชนใน
ห้องปฏิบัติการของ ASEAN NCAP จะมีทั้งหมด 2 ครั้ง คือ

ครั้งที่ 1: ผู้โดยสารเด็กอยู่ทางด้านหลังผู้ขับขี่ ขับขี่ด้วยความเร็ว 13.4 เมตร/วินาที (48.24 กม/ชม)
กระแทกที่ด้านข้างกึ่งกลางความยาวรถยนต์

ครั้งที่ 2: ผู้โดยสารเด็กอยู่ทางด้านหน้าผู้ขับขี่ ขับขี่ด้วยความเร็ว 13.4 เมตร/วินาที (48.24 กม/ชม)
กระแทกที่ด้านข้างกึ่งกลางความยาวรถยนต์



รูปที่ 3.2 ผลการทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์ที่ส่วนหน้าของรถยนต์ [34]



รูปที่ 3.3 การจำลองการชนด้านข้างและตำแหน่งศีรษะกระแทกด้านข้างของรถ [35]

3.3 เครื่องมือวัดและเครื่องบันทึกค่าต่างๆ

3.3.1 กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูง

ในการทดสอบการชน เครื่องมือวัดพื้นฐานที่สำคัญประกอบไปด้วยเครื่องวัดอัตราหมุนในขณะรับแรงกระแทก และ กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูง จากข้อมูลการทดสอบความปลอดภัยของ EURO NCAP กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูงจะต้องมีความเร็วในการบันทึกภาพไม่ต่ำกว่า 500 เฟรมต่อวินาที โดยตำแหน่งที่ติดตั้งกล้องจะทำการบันทึกภาพการเคลื่อนไหวของหุ่นทดสอบในขณะรับแรงกระแทก ในการทดสอบการชนที่ด้านหน้าของรถยนต์ที่ใช้ในการประเมินจะประกอบไปด้วยกล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูงทั้งหมด 9 ตัว ภายนอกทั้งหมด 7 ตัว เพื่อสังเกตการเคลื่อนที่และการยุบตัวของโครงสร้างและการเคลื่อนตัวของหุ่นทั้งด้านหน้าด้านข้างและด้านบน ส่วนกล้องที่อยู่ภายในห้องโดยสารอีก 2 ตัวจะทำการบันทึกการเคลื่อนไหวของหุ่นภายในห้องโดยสารดังแสดงในรูปที่ 3.4 [36] ดังนั้นโครงการทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็กนั่งอยู่จะประกอบไปด้วยกล้องความเร็วสูง 5 ตัวดังนี้

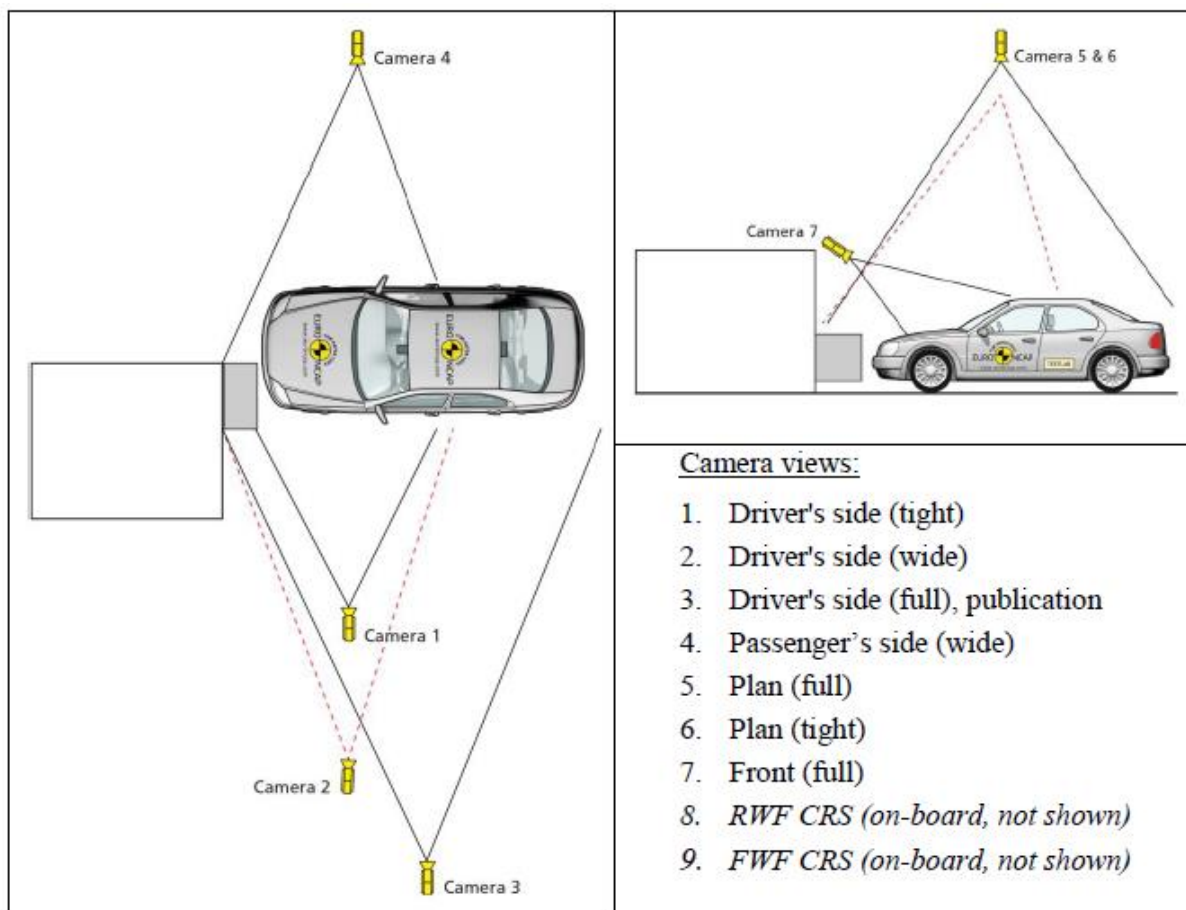
กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูงตัวที่ 1 (Cam1): ติดตั้งที่ด้านหน้าของรถยนต์ที่มอเตอร์ไซด์รับแรงกระแทกเพื่อดูการยุบตัวของรถยนต์ในขณะรับแรงกระแทก

กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูงตัวที่ 2 (Cam2): ติดตั้งที่ด้านข้างของผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์เพื่อดูพฤติกรรมเคลื่อนที่

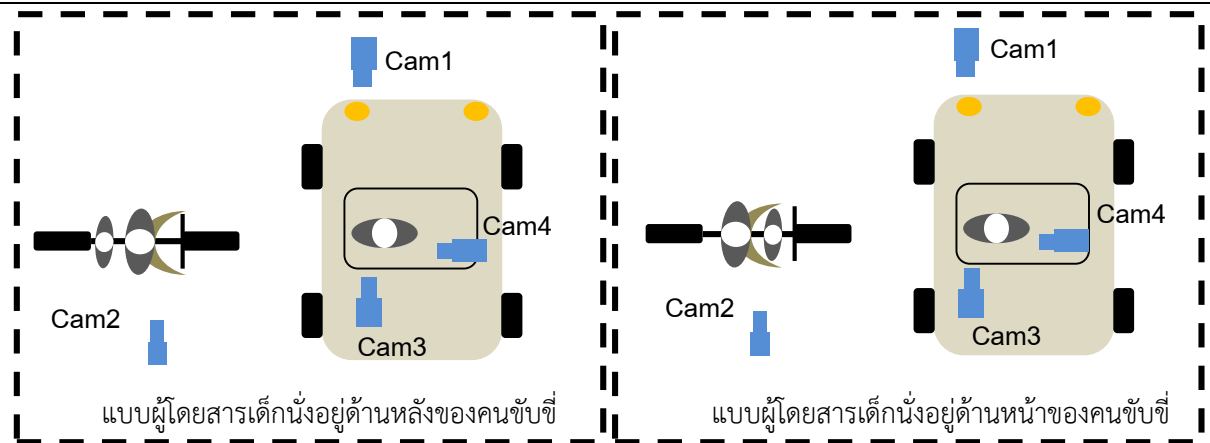
กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูงตัวที่ 3 (Cam3): ติดตั้งที่ภายในห้องโดยสารของรถยนต์เพื่อดูพฤติกรรมเคลื่อนที่ของผู้โดยสารในรถยนต์

กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูงตัวที่ 4 (Cam4): ติดตั้งที่ภายในห้องโดยสารเพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของรถมอเตอร์ไซด์จากภายใน

กล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูงตัวที่ 5 (Cam5): ติดตั้งที่ด้านบนของรถยนต์เพื่อสังเกตการเคลื่อนที่ของรถมอเตอร์ไซด์จากภายนอก



รูปที่ 3.4 ตำแหน่งการติดตั้งกล้องความเร็วสูงจากการทดสอบการชนเอียงศูนย์ของ Euro NCAP [36] และรูปแบบการทดสอบในมุมมองด้านบน (Top view) สำหรับการชนรถมอเตอร์ไซด์และตำแหน่งการติดตั้งกล้องความเร็วสูง (Cam)

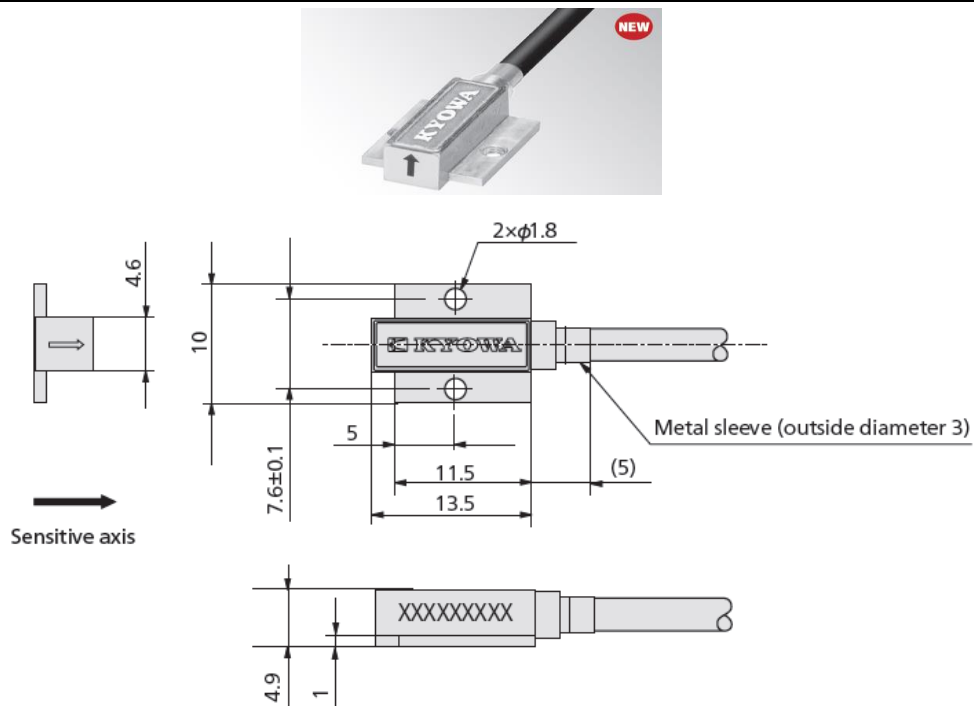


รูปที่ 3.4 (ต่อ) ตำแหน่งการติดตั้งกล้องความเร็วสูงจากการทดสอบการชนเยื้องศูนย์ของ Euro NCAP [36]
และรูปแบบการทดสอบในมุมมองด้านบน (Top view) สำหรับการชนรถมอเตอร์ไซด์และตำแหน่งการติดตั้ง
กล้องความเร็วสูง (Cam)

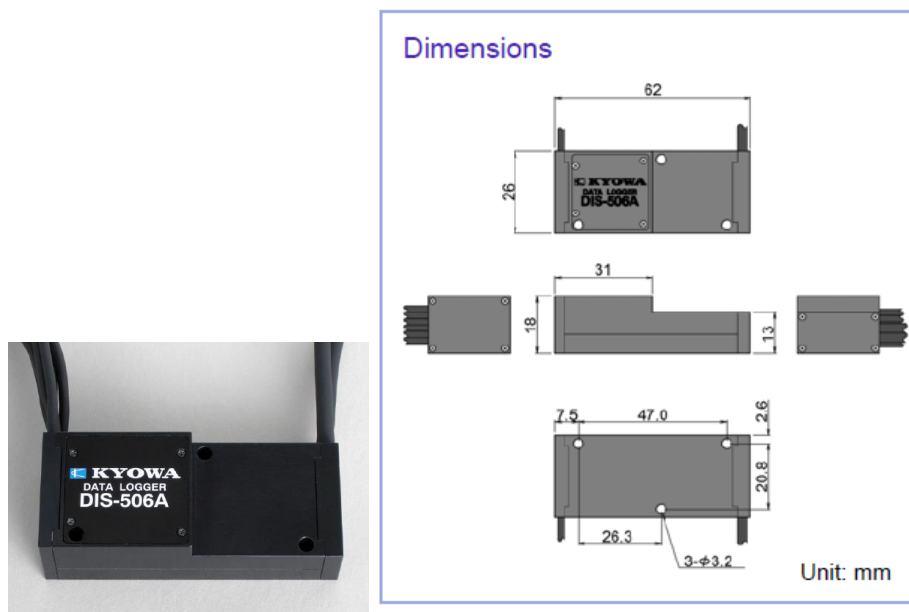
3.3.2 ตัวจับสัญญาณอัตราหนึ่งของศีรษะในหุ่นเด็ก

การวัดระดับการบาดเจ็บของผู้โดยสารในการประเมินความปลอดภัยทางวิศวกรรมยานยนต์จะพิจารณาจากเครื่องมือวัดอัตราหนึ่งที่เกิดขึ้นจากหุ่นทดสอบการชน ในการประเมินการทดสอบการชนเยื้องศูนย์จาก EURO NCAP และ ASEAN NCAP คุณลักษณะของเครื่องมือวัดอัตราหนึ่งจะถูกระบุไว้ เช่น ที่ศีรษะจะต้องมีเครื่องมือวัดอัตราหนึ่งได้อย่างต่ำที่สุด 250 G หรือ 250 เท่าของอัตราหนึ่งของโลกทั้งสามแกนมิติ [27] [36] ดังนั้น ในโครงการวิจัยการทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์นี้ ศีรษะของหุ่นทดสอบการชนสำหรับเด็กจะติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราหนึ่งรุ่น ASDE-A ซึ่งจะวัดได้สูงสุดถึง ± 1000 G โดยมีขนาดและมิติในหน่วยมิลลิเมตรดังแสดงในรูปที่ 3.5 และการบันทึกข้อมูลโดยใช้ชุด Data Logger รุ่น DIS-506A ซึ่งสามารถบันทึกข้อมูลได้ 12 วินาทีที่อัตรา 20 kHz พร้อมอุปกรณ์จ่ายไฟในตัว เครื่องมืออุปกรณ์นี้ได้รับการสนับสนุนจากบริษัท Kyowa ประเทศไทยดังแสดงในรูปที่ 3.6 [37]

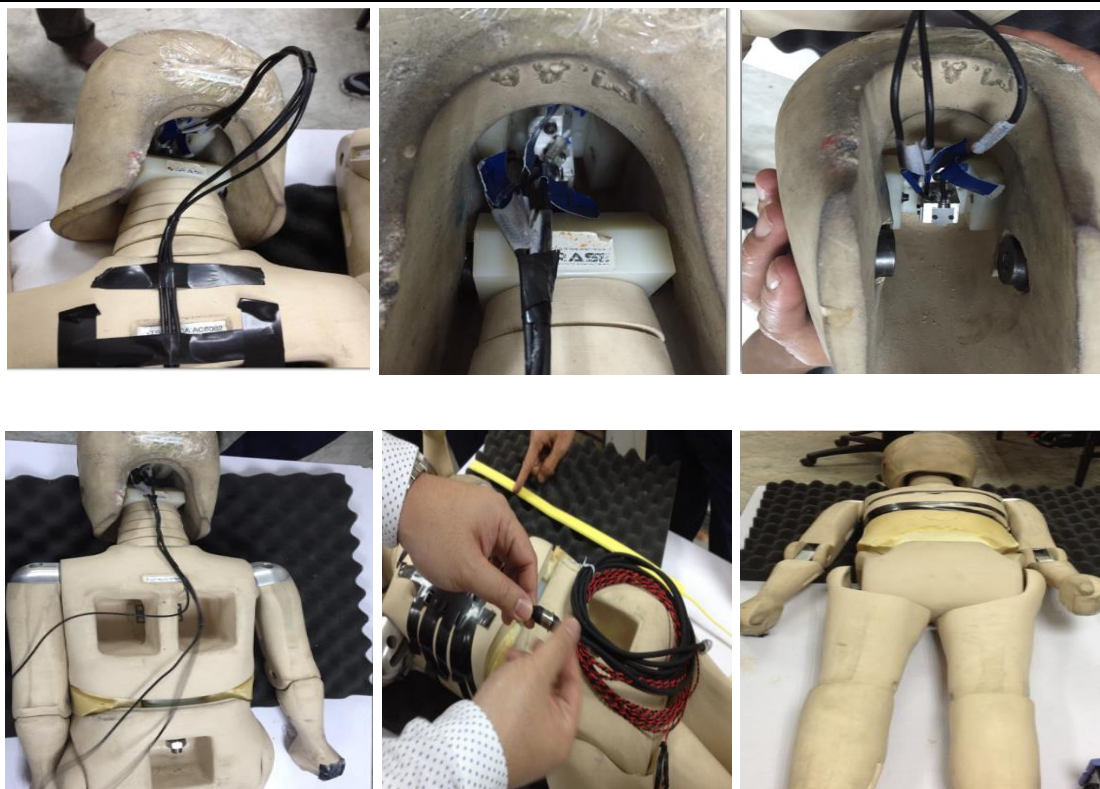
การติดตั้งเครื่องมือวัดอัตราหนึ่งจะติดตั้งที่ด้านในศีรษะของหุ่นเด็ก การเชื่อมสัญญาณจากเครื่องมือวัดอัตราหนึ่งจะทำผ่านสายสัญญาณเพื่อเก็บข้อมูลจากการวัดไว้ในชุด Data Logger ที่ด้านหลังหุ่นทดสอบเด็กดังแสดงในรูปที่ 3.7 การเริ่มต้นเก็บข้อมูลจะถูกกระตุ้นผ่านสายสัญญาณไปที่ด้านหน้ารถมอเตอร์ไซด์ในขณะที่เริ่มต้นรับแรงกระแทก



รูปที่ 3.5 อุปกรณ์วัดอัตราเร่งสำหรับติดตั้งในหุ่นเด็ก [37]



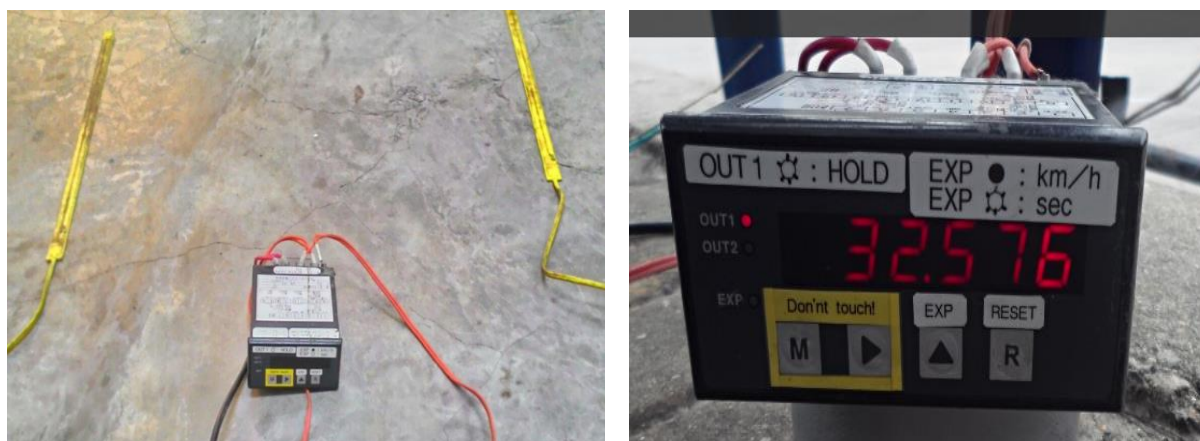
รูปที่ 3.6 เครื่องบันทึกข้อมูล Data logger รุ่น DIS-506A [37]



รูปที่ 3.7 การติดตั้งอุปกรณ์เครื่องมือวัดภายในหุ่นทดสอบเด็ก

3.3.3 เครื่องตรวจจับความเร็วก่อนชน

การตรวจจับความเร็วของการทดสอบก่อนกระแทกจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.8 โดยที่ตัวรับสัญญาณจะเป็นแท่งสี่เหลี่ยมจะถูกติดตั้งอยู่ที่พื้น 2 จุดห่างกันเป็นระยะทาง 1 เมตร ตัวแสดงผลจากตัวรับสัญญาณจะเป็นกล่องแสดงผลในรูปที่ 3.8 บริษัท Kyowa รุ่น ES2100 TN ให้ค่าความแม่นยำอยู่ที่ ± 0.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เครื่องจับสัญญาณจะถูกกระตุ้นโดยการทับของล้อจากชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์ในหัวข้อ 3.4.4 ลักษณะของการกระตุ้นสัญญาณจากการทับของล้อบนเครื่องตรวจจับความเร็วจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 อุปกรณ์ตรวจจับความเร็วและตัวอย่างการแสดงผลของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์บริษัท Kyowa รุ่น ES2100TN ในหน่วยของความเร็วกิโลเมตรต่อชั่วโมง



รูปที่ 3.9 การกระตุกตัวจับสัญญาณของเครื่องตรวจจับความเร็วก่อนชนโดยใช้ล้อของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์

3.4 ชุดทดสอบในการชน

ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การประเมินความปลอดภัยของผู้ใช้รถใช้ถนนจะกระทำโดยใช้หุ่นที่สามารถวัดระดับการกระแทก การยุบตัวของร่างกาย การตัด หรือ อัตราหน่วงที่เกิดขึ้นในร่างกายเพื่อสะท้อนความรุนแรงหรือการบาดเจ็บในการทดสอบความปลอดภัยเชิงรับ (Passive Safety) แทนผู้โดยสาร ผู้ขับขี่ หรือ คนเดินถนน หุ่นดังกล่าวจะถูกพัฒนาให้สามารถใช้งานซ้ำและมีเสถียรภาพได้ซึ่งสอดคล้องกับ มิติของร่างกาย และเพศ เป็นต้น [38] ในอุตสาหกรรมยานยนต์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์หุ่นทดสอบเริ่มต้นในประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ทศวรรษปี 1970 เพื่อใช้ในการทดสอบทางการบินและสามารถผลิตหุ่นเพื่อการจัดจำหน่ายไปทั่วโลกเพื่อการทดสอบความปลอดภัยยานยนต์เชิงรับดังแสดงในรูปที่ 3.10 [39] ในประเทศที่มีอุตสาหกรรมยานยนต์และสินค้ายานยนต์ของประเทศเป็นจำนวนมาก การผลิตสินค้าที่เกี่ยวข้องกับความปลอดภัยของผู้ใช้จำเป็นต้องมีหุ่นทดสอบดังนั้นในประเทศญี่ปุ่นจึงมีอุตสาหกรรมการผลิตหุ่นทดสอบยานยนต์เพื่อใช้ในการประเมินความปลอดภัยยานยนต์ [40] เช่นเดียวกับอุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศเยอรมนี [41]

3.4.1 หุ่นคนขับขี่

สำหรับการทดสอบมอเตอร์ไซด์ หุ่นที่ใช้ในการทดสอบจะมีความแตกต่างจากหุ่นที่ทดสอบในอุตสาหกรรมยานยนต์รถนั่งเนื่องจากลักษณะการนั่งในการขับขี่ รวมทั้ง เครื่องมือวัดและการบันทึกที่จะต้องสามารถการบันทึกได้ในหุ่นทดสอบ ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3.11 (Motorcycle Anthropometric Test Dummy, MATD) หุ่น MATD สามารถทำการบันทึกข้อมูลจากข้อมูลทั้งหมด 48 ช่องสัญญาณซึ่งใช้ในการวัดค่าจาก อัตราหน่วงที่ศีรษะ แรงบิดที่หน้าแข้งส่วนบนและล่าง การยุบตัวของส่วนบนและล่างทั้งสองข้างของหน้าอก การบิดและแรงกระแทกตัวที่สะโพก และ แรงกระแทกและแรงบิดที่คอส่วนบน จากการทบทวน

วรรณกรรมจุดประสงค์ของการใช้หุ่นทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์เพื่อลดความรุนแรงจากการชน [42] เช่น การออกแบบถุงลมนิรภัยเพื่อสวมใส่สำหรับผู้ขับขี่เพื่อลดความรุนแรงจากการบาดเจ็บ [43] การวิจัยทดสอบจากการชนเพื่อป้องกันการบาดเจ็บที่ขาของผู้ขับขี่ [44] หรือการหาทิศทางเคลื่อนที่หลังจากการเบรก และชนเป็นมุมในกรณีมีคนขับและคนซ้อนท้ายดังแสดงในรูปที่ 3.12 [45] เป็นต้น

3.4.2 หุ่นเด็กทดสอบ

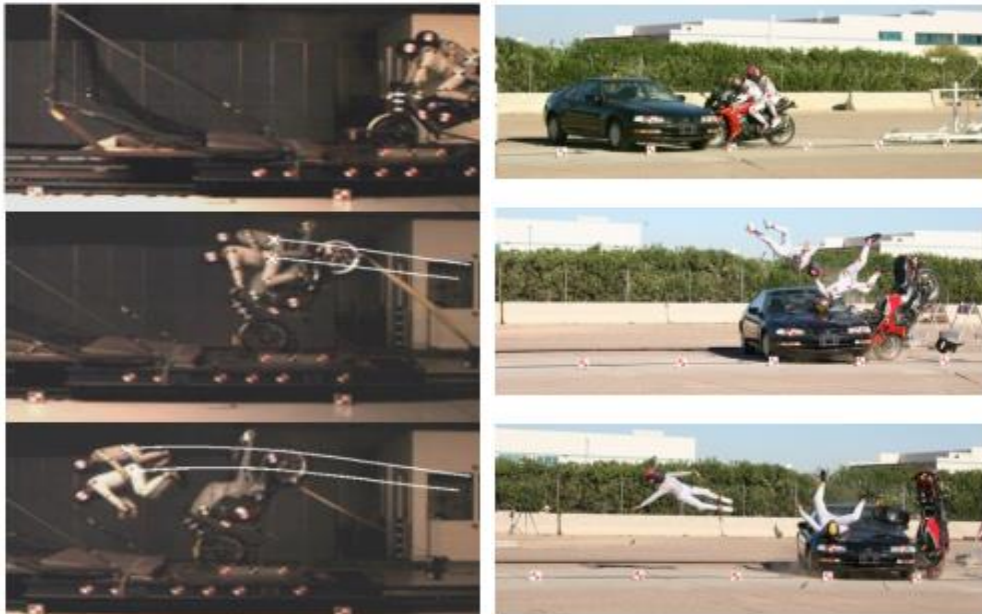
ในการทดสอบการชนมอเตอร์ไซด์เพื่อจำลองการนั่งของเด็กอยู่ที่ด้านหน้าและด้านหลัง หุ่นเด็ก 6 ขวบ รุ่น P6 - M.AI จากบริษัท Humanetics จะถูกนำมาใช้เพื่อติดตั้งเครื่องมือวัดดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.3 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 [39] เนื่องจากการทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์ไม่สามารถใช้เครื่องมือวัดเดิมที่ติดมากับหุ่นทดสอบนี้ได้ และ หุ่นเด็กรุ่นนี้ได้ถูกออกแบบมาให้ใช้ภายในห้องโดยสารเพื่อทดสอบการชนของรถยนต์นั่งเท่านั้น ขนาดและมิติของเด็ก 6 ขวบจะแสดงอยู่ในตารางที่ 3.3



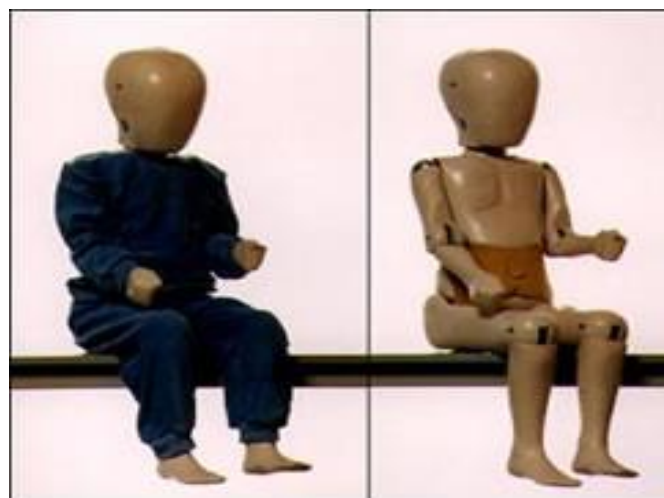
รูปที่ 3.10 หุ่นทดสอบต่างๆ ในอุตสาหกรรมยานยนต์ [39]



รูปที่ 3.11 หุ่นทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์ [46]



รูปที่ 3.12 การประยุกต์ใช้หุ่นทดสอบรถมอเตอร์ไซด์ในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุต่างๆ [45]



รูปที่ 3.13 หุ่นเด็ก 6 ขวบรุ่น P6 - M.AI จากบริษัท Humanetics [39]

ตารางที่ 3.3 ขนาดมิติของหุ่นทดสอบ P6 รุ่น M.AI

มิติของหุ่นทดสอบ P6 - M.AI น้ำหนัก 22 กิโลกรัม	หน่วย (มม.)
- ระยะจากด้านหลังถึงหัวเข่า	375±5
- ความกว้างของศีรษะ	140±5
- ความยาวของศีรษะ	175±5
- ความกว้างของสะโพก	230±10
- ความกว้างของไหล่	290±10
- ระยะความสูงในขณะนั่ง	635±10
- ความสูงทั้งหมด	1170±10

3.4.3 มอเตอร์ไซด์และรถยนต์

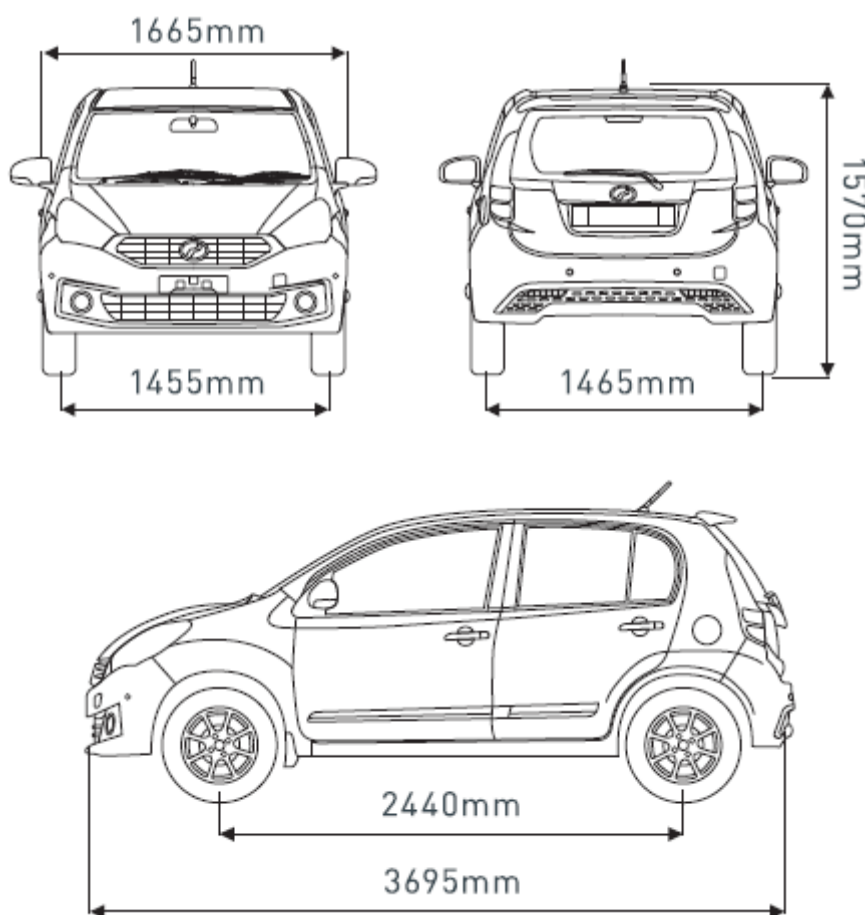
มอเตอร์ไซด์และรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบการชนเพื่อหาความรุนแรงในการบาดเจ็บจากลักษณะการนั่งของเด็กในมอเตอร์ไซด์ คือ รถมอเตอร์ไซด์ยี่ห้อ Yamaha รุ่น Lagenda 115Z ที่ผลิตในประเทศมาเลเซียซึ่งจะมีคุณลักษณะใกล้เคียงกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของมอเตอร์ไซด์ดังกล่าวในบทที่ 2 โดยข้อมูลทางเทคนิคของมอเตอร์ไซด์จะแสดงในตารางที่ 3.4 และรูปที่ 3.14 ส่วนรถยนต์ที่ใช้รับแรงกระแทก (Opposite Vehicle, OV) จะเป็นผลิตภัณฑ์ของประเทศมาเลเซียโดยใช้รถยนต์เก๋งนั่งขนาดเล็กยี่ห้อ Perodua Myvi 2014 ดังแสดงในรูปที่ 3.15

ตารางที่ 3.4 คุณสมบัติของรถมอเตอร์ไซด์ Yamaha Legenda 115Z [47]

เครื่องยนต์	
แบบ	4 จังหวะ สูบเดี่ยว SOHC ระบายความร้อนด้วยอากาศ
ปริมาตรกระบอกสูบ	113.7 ซีซี.
อัตราส่วนกำลังอัด	9.3 : 1
กระบอกสูบ x ระยะชัก	50.0 มม. x 57.9 มม.
คาร์บูเรเตอร์	หัวฉีด
ระบบจุดระเบิด	ทีซีไอ (Transistor Control Ignition)
ระบบคลัตช์	แบบควบคุมด้วยคนขับ
ระบบเกียร์	คอนสแตนท์เมช เกียร์วัน 4 ระดับ
ความจุถังน้ำมันเชื้อเพลิง	4.05 ลิตร
ความจุน้ำมันเครื่อง	1.0 ลิตร
โครงรถ	
กว้าง x ยาว x สูง	680 x 1,935 x 1,065 มม.
ความสูงจากพื้นถึงเบาะ	765 มม.
ระยะห่างจากพื้นถึงเครื่อง	125 มม.
ช่วงศูนย์กลาง ระหว่างล้อหน้า - หลัง	1,240 มม.
น้ำหนักสุทธิ	100 กก.
ระบบกันสะเทือน	
หน้า	เทเลสโกปิก
หลัง	สวิงอาร์ม ใช้อัตว์คู่
ระบบเบรก	
รูนดิสก์เบรก	ดิสก์เบรก ลูกสูบคู่ / ดรัมเบรก
รูนดรัมเบรก	ดรัมเบรก / ดรัมเบรก
ยาง	
หน้า	70/90 - 17 38 P
หลัง	80/90 - 17 50 P



รูปที่ 3.14 รถมอเตอร์ไซด์ Yamaha รุ่น Yamaha Legenda 115Z จากประเทศมาเลเซีย [47]



รูปที่ 3.15 รถยนต์ (OV) ยี่ห้อ Perodua Myvi 2014 น้ำหนักสุทธิอยู่ที่ 950 กิโลกรัม [23]

3.4.4 ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์

จากมาตรฐานสากล ISO 13232 การทดสอบการชนของมอเตอร์ไซด์ (Motorcycle, MC) กับรถยนต์ที่รับแรงกระแทก (Opposite Vehicle, OV) จะต้องเคลื่อนที่ด้วยความเร็วเท่ากับ 13.4 เมตรต่อวินาที หรือเท่ากับ 48.24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อย่างไรก็ตามการทดสอบการชนไม่สามารถทำให้มอเตอร์ไซด์ถูกขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ของรถเองได้เนื่องจากความซับซ้อนในการควบคุมและการติดตั้งหุ่นทดสอบ ดังนั้นชุดขับเคลื่อนที่จะผลักดันตัวรถมอเตอร์ไซด์จึงมีความสำคัญ ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์จะประกอบไปด้วย โครงสร้างขับเคลื่อน และ รอกวางเลื่อนดังแสดงในรูปที่ 3.16 โครงสร้างขับเคลื่อนได้ถูกออกแบบมาเพื่อทำหน้าที่ผลักดันผ่านทางที่จับสำหรับควบคุมการขับขี่ของมอเตอร์ไซด์ และประคองตัวรถในขณะทำการทดสอบ ตัวโครงสร้างจะถูกผลักดันผ่านรอกวางเลื่อนด้วยลวดสลิงผ่านต้นกำลังที่ใช้เครื่องยนต์เป็นตัวขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 3.17 ต้นกำลังเครื่องยนต์จะถูกควบคุมเพื่อให้สามารถทำความเร็วตามที่กำหนด อย่างไรก็ตาม การทดสอบครั้งนี้การควบคุมความเร็วก่อนชนจะทำผ่านชุดควบคุมอัตราเร่งของชุดต้นกำลังซึ่งจะต้องอาศัยวิธีการทดลองผ่านการทดสอบเพื่อหาค่าที่เหมาะสม ดังนั้นการประมาณความเร็วของก่อนชนจะต้องอาศัยประสบการณ์ในการควบคุมต้นกำลังเครื่องยนต์ประกอบกับค่าของมวลที่เคยใช้ในการลากจูงของชุดขับเคลื่อนดังกล่าวด้วย

นอกเหนือจากนี้ โครงสร้างของชุดขับเคลื่อนจะประกอบไปด้วยชุดระบบห้ามล้อซึ่งทำงานด้วยระบบไฮดรอลิกส์และนิวแมติกส์ที่ใช้แรงดันลมเป็นต้นกำหนดพลังงานในการชะลอความเร็วของโครงสร้างของชุดขับเคลื่อนหลังจากต้นกำลังเครื่องยนต์ลากชุดขับเคลื่อนดังกล่าวจนถึงความเร็วที่ต้องการก่อนที่จะปล่อยให้รถมอเตอร์ไซด์เคลื่อนที่อย่างอิสระในความเร็วที่กำหนดเพื่อเข้าชนที่ด้านข้างของรถยนต์ ชุดระบบห้ามล้อของโครงสร้างชุดขับเคลื่อนดังกล่าวจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.18 ถึงแม้ว่าโครงสร้างชุดขับเคลื่อนจะมีระบบห้ามล้อดังกล่าว พลังงานที่เกิดจากความเร็วมียังมีพลังงานจลน์สูงมาก ระบบห้ามล้อดังกล่าวจะไม่เพียงพอที่สามารถลดพลังงานที่เกิดขึ้นได้ การติดตั้งอุปกรณ์รับแรงปะทะของโครงสร้างชุดขับเคลื่อนจึงมีความสำคัญและติดตั้งที่บริเวณชุดปล่อยให้รถมอเตอร์ไซด์เคลื่อนที่อิสระตามความเร็วที่กำหนดก่อนปะทะด้านข้างของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 3.19

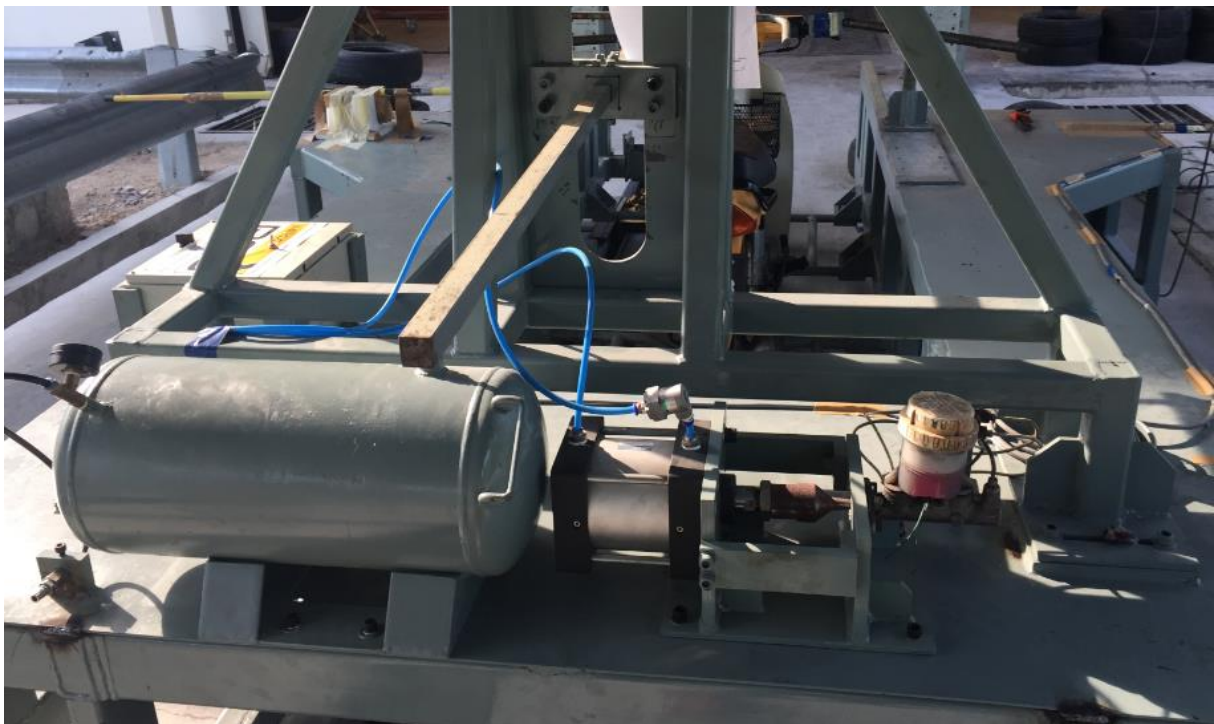
รูปแบบของการติดตั้งหุ่นเด็กทดสอบและหุ่นผู้ขับขี่จะสอดคล้องกับวิธีการทดสอบ โดยการทดสอบครั้งที่ 1 ผู้โดยสารเด็กอยู่ที่ด้านหลังผู้ขับขี่และใช้ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์ให้ทำความเร็ว 13.4 เมตร/วินาที (48.24 กม/ชม) ก่อนให้เคลื่อนที่อิสระเพื่อกระแทกที่ด้านข้างกึ่งกลางความยาวรถยนต์ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.20 ส่วนการทดสอบครั้งที่ 2 ผู้โดยสารเด็กอยู่ที่ด้านหน้าผู้ขับขี่และใช้ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์ให้ทำความเร็ว 13.4 เมตร/วินาที (48.24 กม/ชม) ก่อนให้เคลื่อนที่อิสระเพื่อกระแทกที่ด้านข้างกึ่งกลางความยาวรถยนต์ซึ่งจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.21 การติดตั้งหุ่นเด็กทดสอบและหุ่นผู้ขับขี่จะใช้เทปกาวยึดติดเพื่อทำการประกอบลักษณะการนั่งที่เหมาะสมเนื่องจากหุ่นทดสอบดังกล่าวเคลื่อนที่ได้อิสระและไม่มีกล้ามเนื้อเพื่อประคองหรือต้านการเคลื่อนคล้ายกับมนุษย์



รูปที่ 3.16 โครงสร้างขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์ (บนซ้าย) ตำแหน่งที่ใช้ในการพลิกตัว (บนขวา) รอกวางเลื่อนรับแรงดึงมาจากต้นกำเนิดความเร็วที่เป็นเครื่องยนต์ผ่านลวดสลิง (ล่าง)



รูปที่ 3.17 ต้นกำลังเครื่องยนต์ผ่านลวดสลึงสำหรับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์



รูปที่ 3.18 ระบบควบคุมการเบรกของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์



รูปที่ 3.19 อุปกรณ์รับแรงกระแทกของการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์ (ชุดสีฟ้า)



รูปที่ 3.20 การติดตั้งหุ่นที่ทำการทดสอบในขณะที่เด็กนั่งอยู่ทางด้านหลังผู้ขับขี่



รูปที่ 3.21 การติดตั้งหุ่นที่ทำการทดสอบในขณะที่เด็กนั่งอยู่ทางด้านหน้า

3.5 ผลการทดสอบ

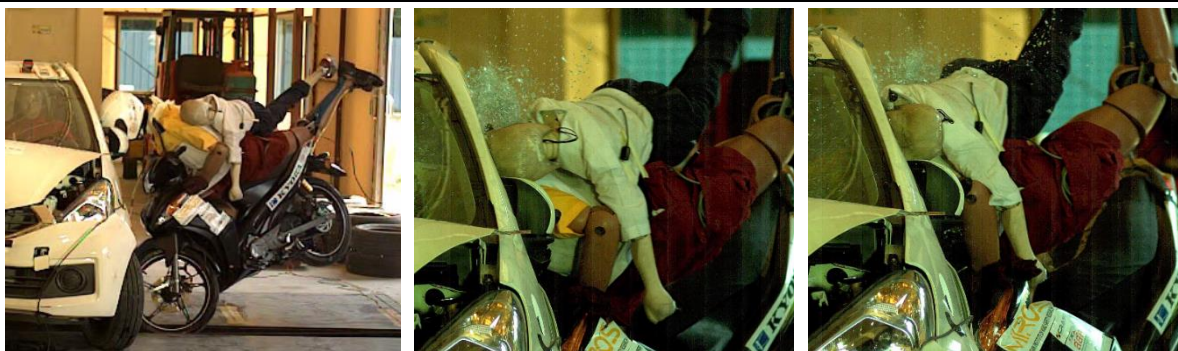
3.5.1 ครั้งที่ 1 ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่

สำหรับผลของการทดสอบในกรณีผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังของผู้ขับขี่ ความเร็วของรถมอเตอร์ไซด์ก่อนทำการกระแทกด้านข้างของรถยนต์อยู่ที่ 42.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งต่ำกว่ามาตรฐานที่กำหนดไว้อยู่ที่ 48.24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกเหนือจากนี้ อุปกรณ์รับแรงกระแทกของการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนรถมอเตอร์ไซด์เสียหายเนื่องจากมวลและความเร็วของชุดดังกล่าวก่อให้เกิดพลังงานจลน์มากกว่าพลังงานของชุดระบบควบคุมการเบรกทำได้ ด้วยเหตุนี้เอง ขาด้านขวาของหุ่นทดสอบถูกรั้งจากอุปกรณ์รับแรงกระแทกทำให้เสียการทรงตัวของหุ่นผู้ขับขี่ก่อนกระแทกที่ด้านข้างของรถยนต์ดังแสดงในรูปที่ 3.22 นอกเหนือจากนี้ ล้อหลังของรถจักรยานยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเคลื่อนที่ขึ้นเป็นวิถีโค้งมากกว่าการเคลื่อนที่ของล้อหน้าหลังจากปล่อยให้เคลื่อนที่อิสระ สาเหตุการเกิดของพฤติกรรมเคลื่อนที่ของรถมอเตอร์ไซด์เป็นวิถีโค้งลักษณะนี้มาจากแรงที่ใช้การผลักของชุดขับเคลื่อนรถมอเตอร์ไซด์ผ่านระบบบังคับเลี้ยวมีมากกว่าและอยู่ที่ตำแหน่งสูงกว่าแรงเฉื่อยจากศูนย์กลางมวลของรถมอเตอร์ไซด์ อีกทั้งระยะเวลาในการรักษาความเร็วของชุดขับเคลื่อนมีน้อยที่จะทำให้แรงเฉื่อยอยู่ในสภาวะสมดุลในขณะที่เคลื่อนที่ (Static equilibrium)

อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการทดสอบสามารถอธิบายลักษณะที่เกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่แบบวิถีโค้งของผู้ขับขี่และผู้โดยสารได้ดังแสดงในรูปที่ 3.12 ในขณะที่รถมอเตอร์ไซด์เริ่มต้นรับแรงกระแทก ศีรษะของหุ่นผู้ขับขี่จะกระแทกที่กระจกด้านข้างของรถยนต์ผ่านเข้าไปในห้องโดยสาร และ หุ่นเด็กผู้โดยสารจะเคลื่อนที่ไปตามผู้ขับขี่ส่งผลให้ศีรษะของหุ่นเด็กรับแรงกระแทกสูงที่เสาด้านหน้าของโครงสร้างรถยนต์ที่ส่วนใหญ่จะเป็นโลหะที่มีความแข็งแรงสูงในการรับแรงกระแทกจากการชน อีกทั้ง คอของเด็กผู้โดยสารจะรับแรงบิดจากการกระแทกดังแสดงในรูปที่ 3.23 และ 3.24 ตำแหน่งสุดท้ายของหุ่นผู้ขับขี่และหุ่นเด็กจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.25



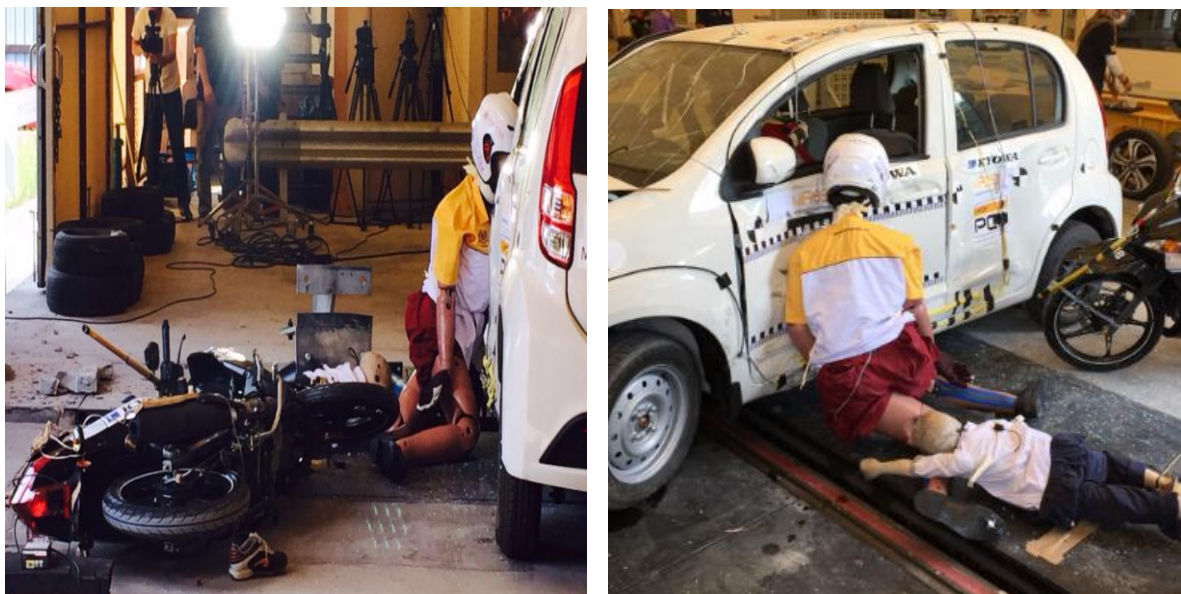
รูปที่ 3.22 ความเสียหายของชุดอุปกรณ์รับแรงกระแทก (สีแดง) และการรั้งที่ขาด้านขวาของหุ่นคนขับขี่ (สีเหลือง) ในกรณีที่เด็กผู้โดยสารนั่งหลังผู้ขับขี่



รูปที่ 3.23 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นเด็กในขณะกระแทกด้านข้างในกรณีที่ได้กนั่งโดยสารด้านหลังจากกล้อง
บันทึกวิดีโอความเร็วสูงด้านหน้าของรถยนต์

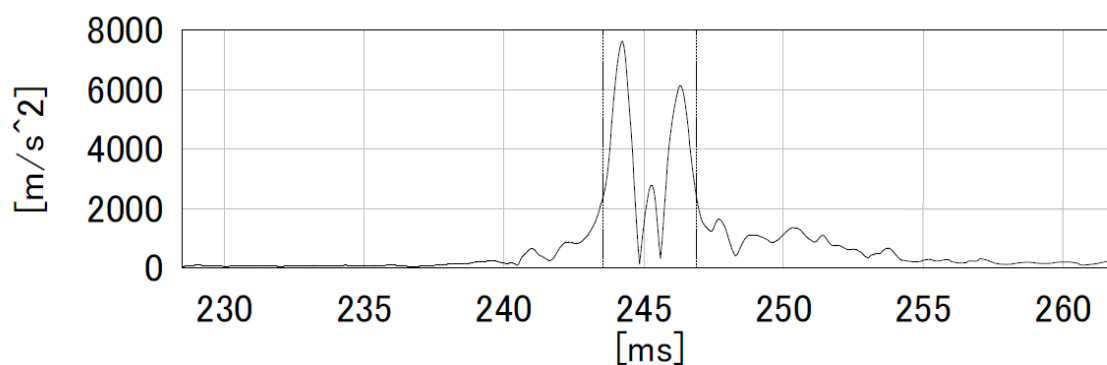


รูปที่ 3.24 ลำดับการเคลื่อนที่ของหุ่นเด็กในขณะกระแทกด้านข้างในกรณีที่ได้กนั่งโดยสารด้านหลังจากกล้อง
ความเร็วสูงด้านบนของรถยนต์



รูปที่ 3.25 ตำแหน่งสุดท้ายหลังจากการทดสอบในกรณีเด็กนั่งโดยสารที่ด้านหลังผู้ขับขี่

อัตราหน่วยสมบรูณ์ที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่ในศีรษะหุ่นเด็กในขณะรับแรงกระแทกมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 7,630.41 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง หรือ เท่าเทียบกับ 777.82 เท่าของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ($777.82 G$; $G = 9.81$ เมตรต่อวินาทีกำลังสอง) กราฟที่ความเร่งสมบรูณ์ในขณะรับแรงกระแทกของศีรษะหุ่นจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.26 ผลการวัดระดับเกณฑ์การบาดเจ็บของศีรษะ HIC (Head Injury Criteria) จากการทดสอบจะอยู่ที่ 7127.9 ซึ่งมากกว่าเกณฑ์พิจารณาที่ 1000 หรือเทียบเท่ากับค่า AIS 6 ในวงการแพทย์สำหรับผู้ใหญ่



รูปที่ 3.26 ผลอัตราหน่วยสมบรูณ์ของศีรษะหุ่นในกรณีเด็กนั่งด้านหลังของผู้ขับขี่

3.5.2 ครั้งที่ 2 ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ทางด้านหน้าผู้ขับขี่

เนื่องจาก ชุดอุปกรณ์รับแรงกระแทกของการเคลื่อนที่ของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์เกิดความเสียหายจากการทดสอบในครั้งที่ 1 และการทำงานของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอที่จะใช้ในการทดสอบที่ความเร็วที่กำหนดได้ ความเร็วในการทดสอบการชนในครั้งที่ 2 จึงถูกกำหนดให้ต่ำกว่าการทดสอบการชนในครั้งที่ 1 ซึ่งไม่เกินกว่าความเร็ว 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง นอกเหนือจากนี้ การใช้วัสดุเสริมเพื่อรับแรงกระแทกของชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์นอกเหนือจากชุดระบบเบรกจะถูกติดตั้งที่บริเวณด้านข้างก่อนถึงรถยนต์ที่ถูกกระแทกดังแสดงในรูปที่ 3.27 สำหรับผลของการทดสอบในกรณีผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ทางด้านหน้าของผู้ขับขี่ ความเร็วของมอเตอร์ไซด์ก่อนทำกระแทกด้านข้างของรถยนต์อยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

การเคลื่อนที่อย่างอิสระของมอเตอร์ไซด์จะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรง (Translation motion) หลังชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์เริ่มหยุดการเคลื่อนที่ การยกตัวของล้อหลังไม่เกิดขึ้นเนื่องจากระยะเวลาในการผลักดันของชุดขับเคลื่อนนานพอที่จะทำให้เกิดสภาวะสมดุลในขณะเคลื่อนที่ อีกทั้งความเร็วที่กำหนดต่ำพอที่จะทำให้การทำงานของระบบเบรกของชุดขับเคลื่อนรองรับพลังงานการเคลื่อนที่ได้ดังแสดงในรูปที่ 3.28 อย่างไรก็ตาม การโอนเอียง (Tilt motion) ของมอเตอร์ไซด์ขณะเคลื่อนที่อิสระจะเกิดขึ้นเนื่องจากการทรงตัวจากการเคลื่อนที่จากการหมุนเชิงมุม (Gyroscopic motion) ดำเนินการรักษาสถิติของการขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์โดยทั่วไป ดังแสดงในรูปที่ 3.29

อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้จากการทดสอบสามารถอธิบายลำดับเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้จากการเคลื่อนที่ของผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็กที่อยู่ด้านหน้า กล่าวคือ มอเตอร์ไซด์จะถูกหน่วงจากการกระแทกแล้วส่งผลทำให้หุ่นผู้

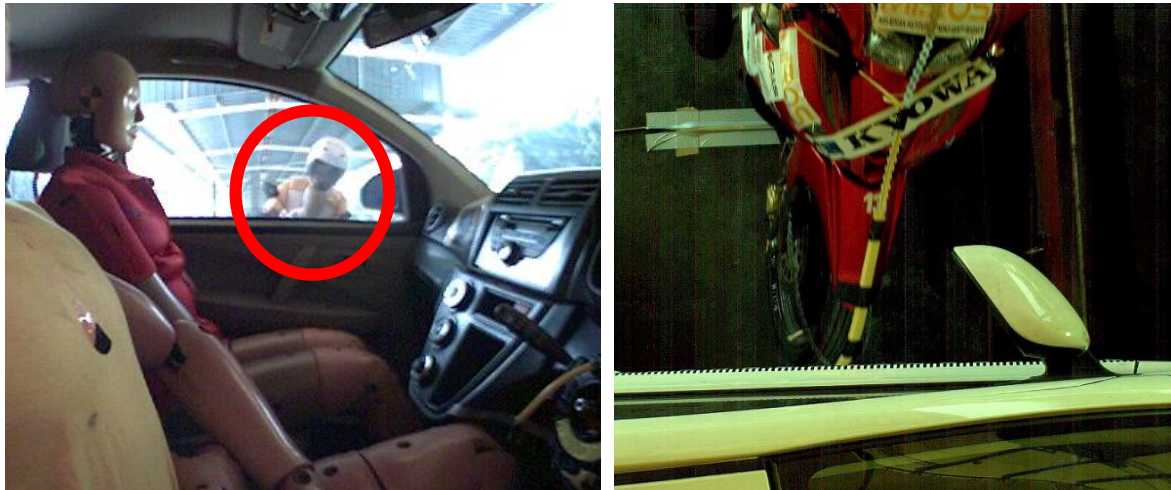
ขับขี่และหุ้่นผู้โดยสารเด็กเคลื่อนที่ไปด้านหน้าตามความเร็วในการเคลื่อนที่อย่างอิสระ หน้าอกของหุ้่นเด็กจะเคลื่อนที่กระทบกับระบบบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ แรงที่เกิดจากการกระทบนี้เป็นผลจากการชนของตัวหุ้่นเด็กกับระบบบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ในครั้งแรก (First impact effect) ระดับของแรงกระทบนี้ขึ้นอยู่กับมวลของหุ้่นเด็กเองและความเร็วในการเคลื่อนที่อิสระก่อนกระทบ หลังจากนั้นการเคลื่อนที่ของหุ้่นคนขับขี่เคลื่อนที่กระทบกับหุ้่นเด็กทำให้เกิดแรงกระทบที่เกิดขึ้นกับศีรษะและหน้าอกของเด็กผู้โดยสารเป็นครั้งที่ 2 (Second Impact effect) ดังแสดงในรูปที่ 3.30 และ รูปที่ 3.31 ตำแหน่งสุดท้ายของการกระทบจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.32



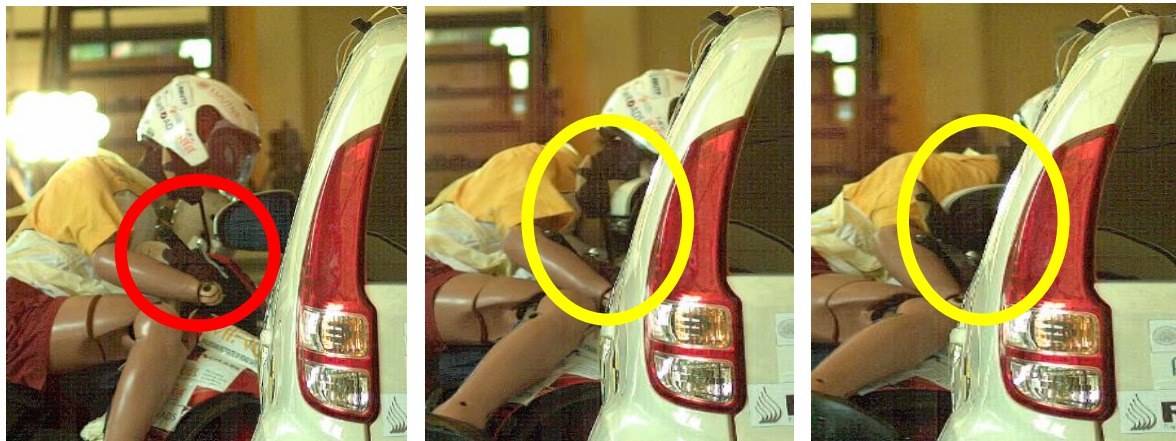
รูปที่ 3.27 การติดตั้งยางรถยนต์เพื่อเป็นวัสดุเสริมรับแรงกระแทกจากชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไฮดรอลิกครั้งที่ 2



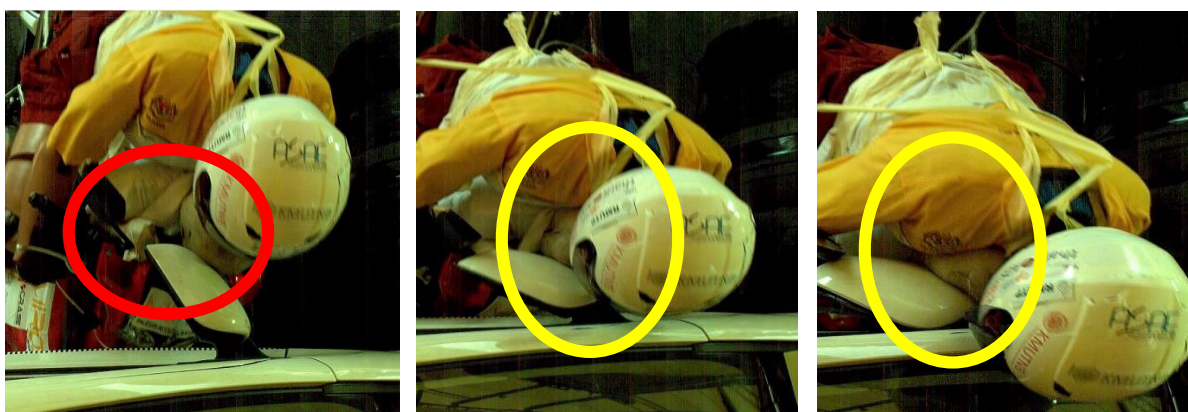
รูปที่ 3.28 การเคลื่อนที่อย่างอิสระของมอเตอร์ไซค์หลังซดซับเคลื่อนมอเตอร์ไซค์เริ่มหยุดการเคลื่อนที่



รูปที่ 3.29 การโอนเียงของตัวรถมอเตอร์ไซด์ขณะเคลื่อนที่อิสระก่อนกระแทกรถยนต์ในการทดสอบครั้งที่ 2



รูปที่ 3.30 ลำดับการเกิดการกระแทกของหุ่นผู้โดยสารเด็กที่ด้านหน้าจากกล้องความเร็วสูงด้านข้างของ
รถยนต์: การกระแทกครั้งแรกที่หน้าอก (วงกลมสีแดง) การกระแทกครั้งที่สอง (วงกลมสีเหลือง)

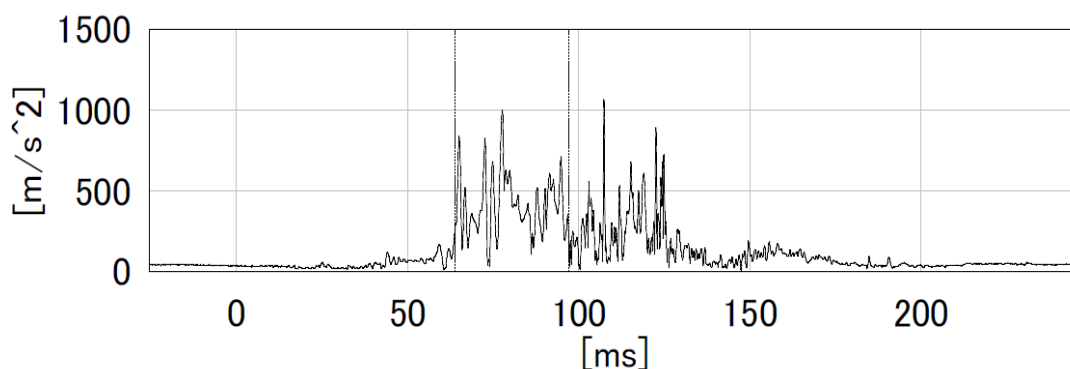


รูปที่ 3.31 ลำดับการเกิดการกระแทกของหุ่นผู้โดยสารเด็กที่ด้านหน้าจากกล้องความเร็วสูงด้านบนของรถยนต์:
การกระแทกครั้งแรกที่หน้าอก (วงกลมสีแดง) การกระแทกครั้งที่สอง (วงกลมสีเหลือง)

อัตราพลังงานที่วัดได้จากเครื่องมือวัดที่ติดตั้งอยู่ในศีรษะหุ่นเด็กในขณะรับแรงกระแทกมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 1069.62 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง หรือ เท่าเทียบกับ 109.03 เท่าของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก (109.03 G) กราฟที่ความเร่งสมบูรณ์ในขณะรับแรงกระแทกของศีรษะหุ่นจะแสดงอยู่ในรูปที่ 3.33 ผลการวัดระดับเกณฑ์การบาดเจ็บของศีรษะ HIC (Head Injury Criteria) จากการทดสอบจะอยู่ที่ 175.3 ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์พิจารณาที่ 1000 หรือเทียบเท่ากับค่า AIS ระดับ 1 สำหรับผู้ใหญ่ อย่างไรก็ตาม ถึงแม้ว่าหุ่นเด็กที่ใช้ในการทดสอบมีเกณฑ์ต่ำกว่าระดับการบาดเจ็บของศีรษะก็ตาม แต่ระดับแรงกระแทกของศีรษะมีสูงถึง 100 เท่าของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก หรือเทียบเท่ากับแรงที่เกิดจากน้ำหนักศีรษะเด็ก 100 เท่า และโอกาสที่จะได้รับการบาดเจ็บที่หน้าอกมีสูงซึ่งในการทดสอบนี้ไม่ได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดค่าการกระแทกที่หน้าอกของหุ่นทดสอบ เนื่องจากข้อจำกัดของลักษณะทางกายภาพของหุ่นไม่สามารถติดตั้งเครื่องมือวัดและอุปกรณ์บันทึกในบริเวณหน้าอกของหุ่นเด็กได้ อีกทั้งในอุตสาหกรรมยานยนต์ไม่มีการทดสอบการใช้หุ่นเด็กสำหรับการทดสอบการชนในรถมอเตอร์ไซด์



รูปที่ 3.32 ตำแหน่งสุดท้ายหลังจากการทดสอบในกรณีเด็กนั่งด้านหน้าของผู้ขับขี่



รูปที่ 3.33 ผลอัตราพลังงานสมบูรณ์ของศีรษะหุ่นในกรณีเด็กนั่งด้านหน้าของผู้ขับขี่

3.6 สรุปผลการทดสอบ

ในการทดสอบครั้งที่ 1 กรณีที่ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังของผู้ขับขี่ ความเร็วของรถมอเตอร์ไซด์ก่อนทำการชนด้านข้างของรถยนต์อยู่ที่ 42.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การเคลื่อนที่ของรถมอเตอร์ไซด์เคลื่อนที่เป็นวิถีโค้งซึ่งสามารถสะท้อนลักษณะของการชนกระแทกด้านข้างของรถยนต์ที่ความเร็วสูงได้ ผู้โดยสารเด็กที่นั่งด้านหลังผู้ขับขี่จะมีระดับเกณฑ์การบาดเจ็บของศีรษะ HIC (Head Injury Criteria) มากกว่าเกณฑ์ระดับการบาดเจ็บสูงสุด 7 เท่าซึ่งเท่ากับ 7127.9 หรือแรงกระแทกที่ศีรษะเท่ากับ 777.82 เท่าของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ค่าดังกล่าวเทียบเท่ากับค่า AIS ระดับ 6 สำหรับผู้ใหญ่ แรงบิดที่คอของหุ่นทดสอบสามารถสังเกตเห็นได้จากภาพการกระแทกด้วยกล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูง

ในกรณีที่หุ่นเด็กโดยสารด้านหน้าสำหรับการทดสอบครั้งที่ 2 ถึงแม้ความเร็วที่ใช้ในการทดสอบต่ำกว่าครั้งแรกอยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อัตราหน่วงที่เกิดจากการกระแทกมีสูงถึง 100 เท่าของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก แต่ผลการวัดระดับเกณฑ์การบาดเจ็บของศีรษะ HIC (Head Injury Criteria) ที่วัดได้อยู่ที่ 175.3 ต่ำกว่า 1000 หรือเทียบเคียงได้กับค่า AIS ระดับ 1 สำหรับผู้ใหญ่ นอกเหนือจากนี้ การกระแทกของหุ่นเด็กจะมีอยู่ 2 ครั้ง ในครั้งแรกเกิดจากมวลของตัวหุ่นเด็กที่กระแทกกับระบบบังคับเลี้ยวของมอเตอร์ไซด์ซึ่งจะเกิดที่หน้าอกของหุ่นเด็ก การกระแทกครั้งที่สองจะเกิดขึ้นจากมวลของหุ่นผู้ขับขี่ซึ่งจะทำให้หุ่นเด็กได้รับแรงกระแทกที่บริเวณศีรษะและหน้าอก

จากผลการทดสอบทั้งสองครั้งทั้งนี้ทั้งที่ด้านหน้าและด้านหลัง เด็กผู้โดยสารที่นั่งด้านหลังโอกาสจะเสียชีวิตสูงในการกระแทกครั้งแรกที่ศีรษะเด็กมากกว่ากรณีที่เด็กผู้โดยสารนั่งด้านหน้า อย่างไรก็ตาม กรณีที่เด็กนั่งด้านหน้าการกระแทกที่ศีรษะจะมีความรุนแรงน้อยกว่ากรณีที่เด็กนั่งด้านหลังก็ตาม แต่หน้าอกของเด็กผู้โดยสารที่นั่งหน้าจะได้รับแรงกระแทกในครั้งที่สองจากมวลของผู้ขับขี่ทำให้โอกาสเกิดการบาดเจ็บที่หน้าอกสูงเช่นกัน

ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์สามารถใช้ในการขับเคลื่อนมอเตอร์ไซด์ให้เคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ แต่ความเร็วไม่สามารถทำได้สูงเนื่องจากข้อจำกัดของตำแหน่งในการผลักดันที่ระบบบังคับเลี้ยว และ ระยะทางและเวลาในการรักษาสมดุลการเคลื่อนที่มันน้อยทำให้ไม่สามารถทำการทดสอบในครั้งที่ 2 ด้วยความเร็วที่กำหนดได้

บทที่ 4

การจำลองการชนเชิงตัวเลขของรถมอเตอร์ไซด์ที่มีผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็ก

4.1 บทนำ

เนื้อหาในบทนี้จะประกอบไปด้วยการจำลองเชิงตัวเลขเทียบผลกับการทดลอง ขั้นตอนการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจำลองการชนของรถมอเตอร์ไซด์ที่มีผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็ก ข้อจำกัดของการจำลองเชิงตัวเลข เกณฑ์ในการคัดเลือกผลการทดสอบ รวมทั้งวิธีการทวนสอบผลการจำลองกับผลการทดสอบการชนของรถจักรยานยนต์ในห้องปฏิบัติการ

การจำลองการชนเชิงตัวเลขโดยใช้กระบวนการทางวิศวกรรมรวมทั้งการทวนสอบผลกับการทดลองจะมีทั้งหมด 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 จะเป็นการจำลองการชนของศีรษะเด็กกับด้านข้างของรถยนต์รวมทั้งกระจกมองข้าง ขั้นตอนที่ 2 คือการจำลองในส่วนของตัวรถมอเตอร์ไซด์กับประตูด้านข้างของรถยนต์ ขั้นตอนที่ 3 จะเป็นการจำลองการกระแทกหน้าอกของหุ่นเด็กในขณะที่นั่งด้านหน้าของผู้ขับขี่ รวมทั้งเด็กนั่งที่ด้านหลังผู้ขับขี่ ผลที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลขจะถูกนำมาวิเคราะห์ความรุนแรงจากการชนในกรณีที่เด็กนั่งด้านหน้าและด้านหลัง

4.2 แผนผังการดำเนินงานในการจำลองการชนเชิงตัวเลข

จากผลการทดสอบการชนรถมอเตอร์ไซด์ที่ด้านข้างของรถยนต์ทั้งสองครั้งในห้องปฏิบัติการ การทดสอบครั้งแรกในกรณีที่เด็กนั่งด้านหลังผู้ขับขี่ทำความเร็วก่อนกระแทกได้อยู่ที่ 42.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยขาด้านขวาของหุ่นทดสอบถูกรั้งจากอุปกรณ์รับแรงกระแทกทำให้เกิดการเสียหลักในการทรงตัวของหุ่นผู้ขับขี่ก่อนกระแทกที่ด้านข้างของรถยนต์ ครั้งที่สองทดสอบในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ด้านหน้าผู้ขับขี่ทำความเร็วก่อนกระแทกได้อยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง รถมอเตอร์ไซด์พร้อมทั้งหุ่นทดสอบผู้ขับขี่และหุ่นเด็กเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นก่อนชนกับด้านข้างของประตูรถยนต์ การตรวจสอบระดับความรุนแรงที่เกิดขึ้นจากการชนที่ศีรษะ สามารถตรวจวัดได้จากการผลการทดสอบโดยตรง แต่การตรวจวัดระดับความรุนแรงในการบาดเจ็บที่หน้าอกของเด็กจากการนั่งของเด็กด้านหน้าไม่สามารถตรวจวัดจากการทดสอบในห้องปฏิบัติการ อีกทั้ง โครงการวิจัยต่อเนื่องเพิ่มเติมถึงคุณภาพหมวกนิรภัยเด็กภายใต้สภาวะที่เกิดแรงกระแทกจากการชนด้วยความเร็ว 42.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ไม่สามารถทำได้จากผลการทดสอบโดยตรง ด้วยเหตุนี้เอง การจำลองเชิงตัวเลขในโครงการวิจัยนี้จึงมีความสำคัญในการตรวจสอบระดับความรุนแรงจากการกระแทกที่หน้าอกของเด็กในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ด้านหน้าเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ดังนั้น แผนผังการดำเนินงานในการจำลองเชิงตัวเลขของการชนรถมอเตอร์ไซด์ที่มีเด็กนั่งอยู่ด้านหน้า และ ด้านหลัง จะใช้ผลลัพธ์จากชนที่ประตูของรถยนต์และการบิดตัวของแกนยึดล้อหน้าของรถมอเตอร์ไซด์ในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ด้านหน้าของผู้ขับขี่ที่ความเร็วก่อนชนอยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และผลลัพธ์จากการกระแทกศีรษะของหุ่นเด็กในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ด้านหลังที่ความเร็ว 42.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง โดยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

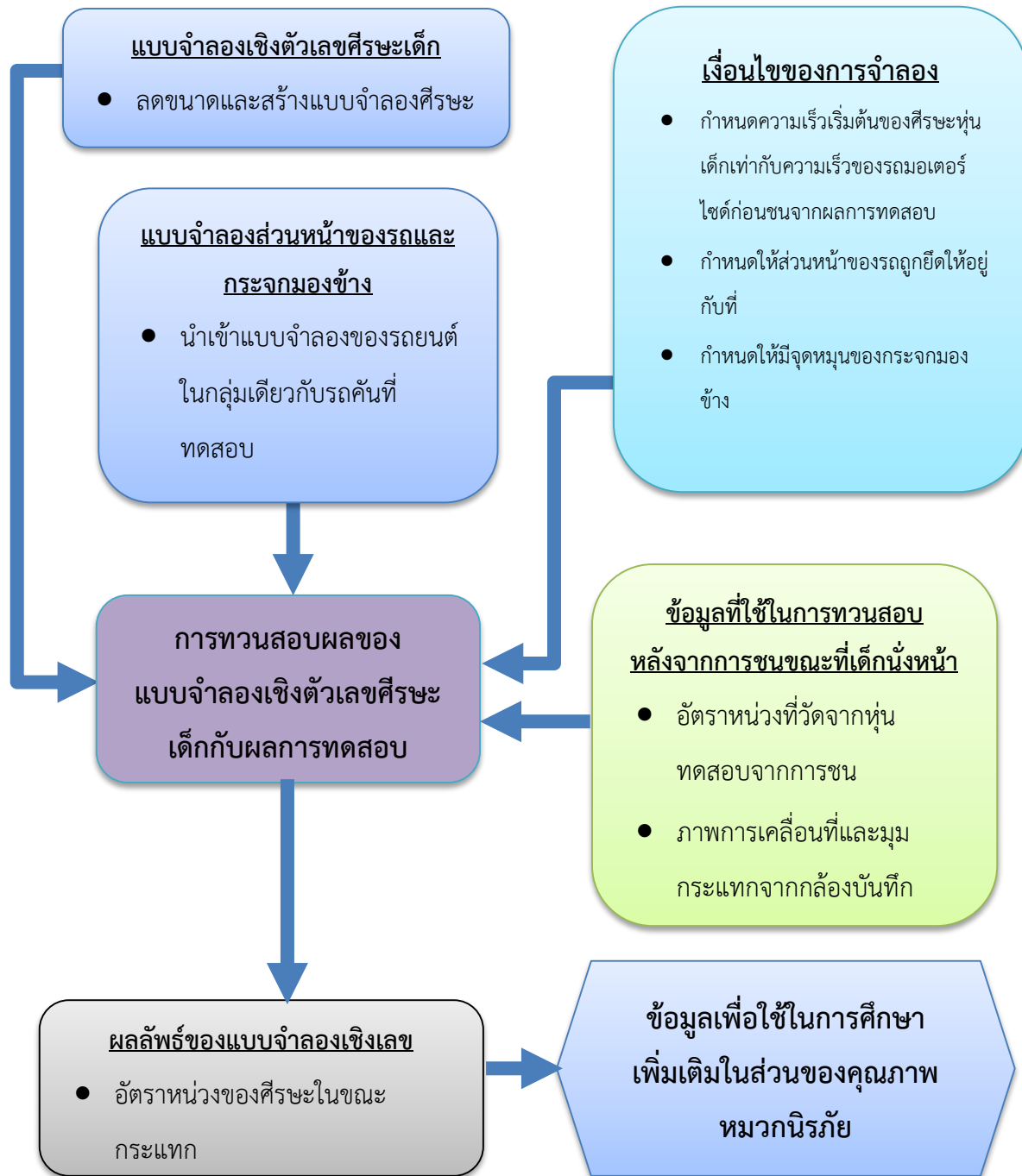
ขั้นตอนที่ 1 คือการจำลองเชิงตัวเลขของศีรษะเด็กชนที่ด้านข้างของรถยนต์เพื่อใช้ในการทวนสอบการจำลองการกระแทกศีรษะเด็กจากการโดยสารของเด็กในขณะที่นั่งด้านท้ายผู้ขับขี่ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเชิง

สามารถนำไปศึกษาต่อยอดงานวิจัยในการออกแบบหมวกนิรภัยของเด็กเพื่อลดการกระแทกที่อาจจะเกิดขึ้นได้ กระบวนการจำลองนี้เริ่มต้นจากการลดขนาดศีรษะของแบบจำลองให้ได้ตามขนาดและมิติตามที่กำหนด รวมทั้งแบบจำลองจากส่วนหน้าของรถยนต์ที่มีขนาดและมิติใกล้เคียงกับรถทดสอบซึ่งรวมทั้งแบบจำลองของกระจกมองข้าง เงื่อนไขของการจำลองคือ การกำหนดความเร็วเริ่มต้นของศีรษะหุ่นเด็กเท่ากับความเร็วของรถมอเตอร์ไซด์ก่อนชนจากผลการทดสอบในขณะที่เด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่ซึ่งมีค่าเท่ากับ 42.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่วนหน้าของแบบจำลองจะถูกยึดและสามารถเคลื่อนที่พบได้ตามลักษณะของการทำงานของกระจกมองข้าง การทวนสอบความถูกต้องของการจำลองจะให้ผลการวัดอัตราหมุนที่เกิดขึ้นจากการทดสอบการชนกรณีที่เด็กนั่งอยู่ที่ด้านหลังผู้ขับขี่ในห้องปฏิบัติการ รวมทั้งลักษณะการเคลื่อนที่มุมกระแทกจากกล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูง กระบวนการทั้งหมดในขั้นตอนนี้จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.1

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการวิเคราะห์หาอัตราหมุนที่เกิดขึ้นที่ตัวรถมอเตอร์ไซด์ในขณะที่รับแรงกระแทก เนื่องจากรถมอเตอร์ไซด์มีโครงสร้างรวมล้อสามารถรับแรงกระแทกจากการชนได้ทำให้อัตราหมุนที่ส่งผลต่อผู้ขับขี่เปลี่ยนแปลงตามลักษณะของโครงสร้างรถมอเตอร์ไซด์ ดังนั้น แบบจำลองของประตูด้านข้างของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบและแบบจำลองชิ้นส่วนหลักของรถมอเตอร์ไซด์ทั้งหมดที่มีผลต่อการรับแรงกระแทกจะถูกสร้างขึ้น เช่น ล้อ แกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ โครงสร้างหลัก เป็นต้น เงื่อนไขของการจำลองเชิงตัวเลขคือ ความเร็วก่อนชนจะเท่ากับความเร็วที่วัดได้จากการทดสอบการชนในขณะที่เด็กนั่งอยู่ด้านหน้าของผู้ขับขี่ซึ่งมีความเร็วเท่ากับ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง การทวนสอบผลความถูกต้องของแบบจำลองโครงสร้างรถมอเตอร์ไซด์จะต้องอาศัยหลักการเปรียบเทียบผลกับการทดสอบภายใต้ขอบเขตที่ยอมรับได้ในกระบวนการทางวิศวกรรม เช่น ระดับการยุบตัวของประตูด้านข้างของรถยนต์และการบิดตัวของแกนยึดล้อหน้าของรถมอเตอร์ไซด์ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองเชิงตัวเลข เช่น อัตราหมุน และ ความเร็วที่เปลี่ยนไปของโครงสร้างรถมอเตอร์ไซด์จะนำมาใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นเพื่อหาระดับการบาดเจ็บที่เกิดขึ้นกับหน้าอกของหุ่นเด็กในขั้นตอนที่ 3 กระบวนการทั้งหมดในขั้นตอนนี้จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.2

สำหรับการหาระดับความรุนแรงจากการนั่งของผู้โดยสารเด็กที่ด้านหน้าของผู้ขับขี่ในขั้นตอนที่ 3 แบบจำลองเชิงตัวเลขของหุ่นเด็กทั้งตัวจะถูกนำมาใช้ในการจำลองโดยปรับขนาดและมิติให้ได้เท่ากับหุ่นทดสอบในห้องปฏิบัติการพร้อมกับการปรับทำนองในลักษณะเดียวกับการทดสอบ นอกจากนี้ แบบจำลองเชิงตัวเลขของแกนบังคับรถมอเตอร์ไซด์จะถูกสร้างเพื่อจำลองการกระแทก ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์อัตราหมุนที่ได้จากโครงสร้างรถมอเตอร์ไซด์ในขั้นตอนที่ 2 จะถูกใช้เพื่อกำหนดเงื่อนไขของการจำลองโดยความเร็วของแกนบังคับจะแปรผันตามเวลาในขณะกระแทก ความเร็วเริ่มต้นก่อนชนของแบบจำลองหุ่นเด็กในกรณีเด็กนั่งหน้าผู้ขับขี่จะถูกกำหนดให้เท่ากับ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เช่นเดียวกับความเร็วของผู้ขับขี่ซึ่งจะกำหนดให้เป็นแบบมวลก่อนเพื่อลดเวลาในการคำนวณเชิงตัวเลข การทวนสอบผลการจำลองการชนในกรณีเด็กนั่งหน้าจะใช้ข้อมูลจากภาพลักษณะของการเคลื่อนที่ของหุ่นเด็กกระแทกที่บริเวณลำตัวกับแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ ผลลัพธ์ของการจำลองเชิงตัวเลขในขั้นตอนที่ 3 นี้จะประกอบไปด้วย อัตราหมุนและระยะยุบตัวของหน้าอก หุ่นเด็ก ค่าระดับการบาดเจ็บที่หน้าอก และ กลไกการเคลื่อนที่ของเด็กในขณะกระแทก ข้อมูลที่ได้จากผลลัพธ์

ดังกล่าวจะสามารถนำมาใช้ศึกษาวิจัยเพิ่มเติมต่อยอดจากโครงการวิจัยนี้ในการออกแบบที่นั่งเด็กสำหรับ รถ
มอเตอร์ไซด์ในเชิงพาณิชย์ได้ในอนาคต กระบวนการทั้งหมดในขั้นตอนนี้จะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.1 แผนผังของการจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 1 กรณีศีรษะเด็กชนด้านข้างของรถยนต์



รูปที่ 4.2 แผนผังของการจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 2 กรณีตัวรถมอเตอร์ไซด์ชนกับด้านข้างของรถยนต์



รูปที่ 4.3 แผนผังของการจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 3 กรณีหุ่นเด็กชนที่แกนบังคับเลี้ยวรถมอเตอร์ไซด์

4.3 แบบจำลองเชิงตัวเลขของรถจักรยานยนต์

แบบจำลองเชิงตัวเลขของรถจักรยานยนต์ได้ถูกสร้างบนพื้นฐานหลักการทางฟิสิกส์และการคำนวณทางคณิตศาสตร์โดยใช้ระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite Element Method) ซึ่งเป็นระเบียบวิธีเชิงตัวเลขวิธีหนึ่ง ที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปัญหาทางวิศวกรรม เช่น การวิเคราะห์ความแข็งแรงของโครงสร้างหรือชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์เมื่อรับแรงทางกายภาพหรือมาจากกลศาสตร์การเคลื่อนที่ [49] ซึ่งสามารถจำลองการเสียรูป

การยุบตัว หรือการเสียหายของโครงสร้างหรือชิ้นส่วนขณะรับแรงแบบสถิตย์ หรือรับแรงแบบพลศาสตร์ เช่น แรงกระแทกหรือแรงแบบซ้ำๆ ที่ขึ้นกับเวลา หลักการทางฟิสิกส์และวิศวกรรมที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของรถมอเตอร์ไซด์ ได้แก่ หลักสมมูลของแรงและความสัมพันธ์ของแรงกับการเสียรูปวัสดุ (Constitutive relations) ในโครงการวิจัยนี้การวิเคราะห์การชนของรถจักรยานยนต์โดยที่ลักษณะแรงที่กระทำเมื่อเกิดการชนจะเป็นแรงกระแทกในช่วงเวลาสั้นๆ การสร้างแบบจำลองจะใช้หลักสมมูลแบบพลศาสตร์ (Dynamics equilibrium) อีกทั้งรถจักรยานยนต์จะมีการเสียรูปสูงมากในขณะรับแรงกระแทก ผลลัพธ์คือการตอบสนองของวัสดุในขณะมีแรงกระแทกสูงจะเป็นแบบไม่เชิงเส้น [50] ดังนั้น การหาผลเฉลยของแบบจำลองการชนส่วนใหญ่จะใช้เทคนิคเอ็กพริซิท (Explicit) โดยใช้โปรแกรมไฟไนต์เอลิเมนต์เชิงพาณิชย์ LS DYNA [51]

การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์นั้นจะต้องมีแบบวาดทางคอมพิวเตอร์ (CAD) ของชิ้นส่วนต่างๆ ที่มีขนาดและรูปร่างสัณฐานตามจริง ซึ่งทีมวิจัยได้ถอดประกอบชิ้นส่วนรถจักรยานยนต์เพื่อทำการวาดแบบตามหลักวิศวกรรมของชิ้นส่วนที่สำคัญในการรับแรงกระแทกได้แก่ ชิ้นส่วนหลักที่เป็นท่อเหล็กต่อเป็นโครงสร้างรถจักรยานยนต์ ล้อรวมขอบล้อ ยาง และซี่ล้อ เครื่องยนต์ ถังน้ำมัน เบาะที่นั่ง โครงบังลมด้านหน้า ไซค์อ็อป และแกนยึดล้อหน้าควบคุมทิศทางรถ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

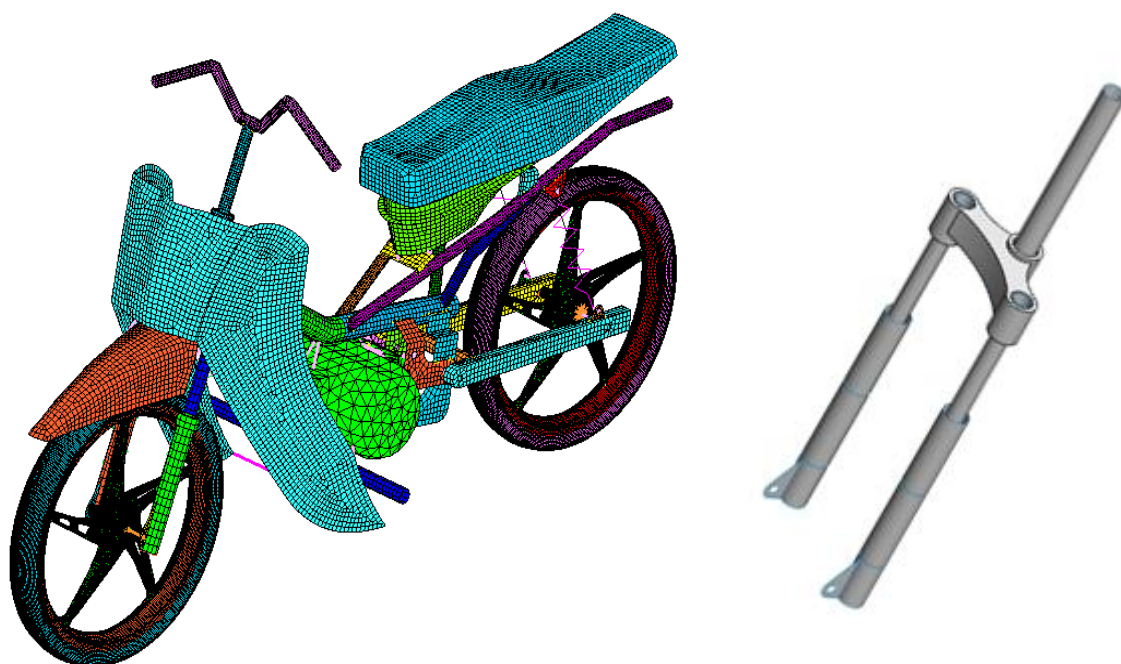
แบบวาดของชิ้นส่วนรถมอเตอร์ไซด์จะถูกนำมาเข้ามาในโปรแกรมเพื่อดำเนินการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ตามขั้นตอนต่อไปนี้

- ทำการแบ่งชิ้นส่วนเหล่านี้ออกเป็นเอลิเมนต์ย่อยๆ รูปสี่เหลี่ยมต่อกันที่จุดต่อตามมุมของสี่เหลี่ยมดังแสดงในรูปที่ 4.4 และทำการกำหนดคุณสมบัติวัสดุและประเภทของเอลิเมนต์ให้เหมาะสมกับชิ้นส่วนแต่ละชิ้นดังนี้ โครงสร้างหลักที่เป็นท่อเหล็กต่อเป็นเฟรมเลือกใช้เอลิเมนต์เปลือกบาง (Shell element) และคุณสมบัติวัสดุเป็นเหล็ก ขอบล้อและยางเลือกใช้เอลิเมนต์เปลือกบางคุณสมบัติวัสดุเป็นอลูมิเนียมและยางตามลำดับ ส่วนล้อเลือกใช้เป็นเอลิเมนต์รูปเหลี่ยมที่เสียรูปได้และวัสดุเป็นอลูมิเนียมทั้งนี้เพราะ ล้อมีความสำคัญมากและเป็นจุดรับแรงจุดแรกของการกระแทก เครื่องยนต์กำหนดเป็นเอลิเมนต์แข็งแรงแรงนั้นคือไม่มีการเสียรูปขณะรับแรงเนื่องจากเครื่องยนต์มีขนาดใหญ่ แข็งและเสียหายน้อยมากเมื่อเกิดการชน เบาะที่นั่ง ถังน้ำมันเลือกใช้เอลิเมนต์เปลือกบางทำจากเหล็ก เบาะที่นั่ง โครงบังลมด้านหน้า ไซค์อ็อป เลือกใช้เอลิเมนต์เปลือกบางผสมกับรูปเหลี่ยม แกนจับควบคุมทิศทางบังคับเลี้ยวรถมอเตอร์ไซด์ที่มีลักษณะเป็นท่อเลือกใช้เอลิเมนต์เปลือกบางซึ่งทำมาจากวัสดุเหล็กกล้า แต่ส่วนที่ใช้บังคับเลี้ยวจะเป็นเอลิเมนต์รูปเหลี่ยมคุณสมบัติวัสดุที่ไม่เสียรูป
- ทำการประกอบชิ้นส่วนแต่ละชิ้นเป็นรถจักรยานยนต์ตามลักษณะการประกอบจริง โดยใช้เอลิเมนต์ไม่ต่อเนื่อง (Discrete element) เอลิเมนต์คาน และฟังก์ชันการจำกัดการเคลื่อนที่แบบรอยเชื่อม (Spot-weld)
- ทำการกำหนดคู่สัมผัสของคู่ชิ้นส่วนแต่ละชิ้นที่สัมผัสกัน

ในการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของจักรยานยนต์ จำนวนจุด (Node) ต่อรวม และจำนวนเอลิเมนต์ของ
เอลิเมนต์แต่ละประเภทที่ใช้สามารถสรุปและแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 จำนวนเอลิเมนต์ และ จุดทั้งหมดที่ใช้ประกอบในการจำลองรถมอเตอร์ไซด์

รายการ	จำนวน
จุดในการจำลองรถมอเตอร์ไซด์ทั้งหมด	79,930
เอลิเมนต์ทั้งหมดในการจำลองรถมอเตอร์ไซด์ทั้งหมด	165,516
เอลิเมนต์ที่เป็นวัตถุแข็งเกร็ง	113,530
เอลิเมนต์ที่เป็นเปลือกบาง	51,479
เอลิเมนต์ที่เป็นคาน	289
เอลิเมนต์ที่ไม่ต่อเนื่อง	4
เอลิเมนต์ที่เป็นรอยเชื่อม	213



รูปที่ 4.4 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของรถจักรยานยนต์และแกนยึดล้อหน้าเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การชน

4.4 การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของประตู่และส่วนหน้าของรถยนต์

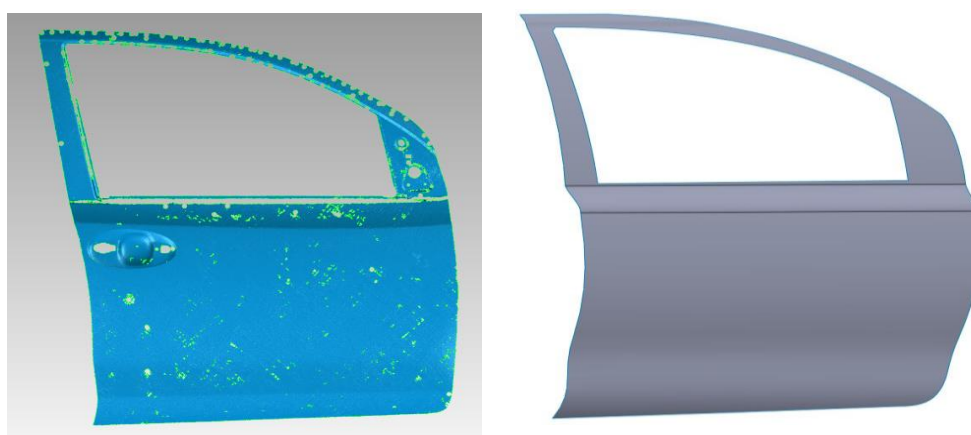
ในการสร้างแบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของประตู่ที่ใช้การทดสอบการชนในห้องปฏิบัติการ แบบประตู่รถยนต์ที่ใช้ก่อนทำการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.5 จะถูกสแกนพื้นผิวโดยใช้เครื่องถ่ายภาพ 3 มิติ (3D Scanner) เพื่อใช้ในการวัดและการเก็บข้อมูลพื้นผิวของชิ้นงานเพื่อนำมาสร้างแบบวาดเชิงตัวเลขดังแสดงในรูปที่ 4.6 จากนั้น แบบวาดประตู่ตามขนาดและมิติของประตู่รถยนต์จะถูกสร้างขึ้น ซึ่งประกอบไปด้วยผิวด้านนอกด้านใน และคานโครงสร้างเสริมภายใน พื้นผิวที่ได้จากการวัดจะถูกปรับแต่งเพื่อความสมบูรณ์ในการทำเอลิเมนต์ดังแสดงในรูปที่ 4.7 ชิ้นงานต่างๆ เหล่านี้จะถูกแบ่งออกเป็นเอลิเมนต์แบบเปลือกบางย่อยเชื่อมต่อกันที่จุดขอบ การเชื่อมต่อชิ้นส่วนย่อยๆ ของประตู่จะเชื่อมต่อโดยใช้ฟังก์ชันรอยเชื่อม ขอบด้านนอกของบานประตู่ทั้งหมดจะถูกกำหนดไม่ให้เคลื่อนที่ดังแสดงในรูปที่ 4.8 ดังนั้นบานประตู่รถยนต์จำนวนเอลิเมนต์แบบเปลือกซึ่งประกอบไปด้วย 4 จุดจะมีทั้งหมด 6,020 เอลิเมนต์



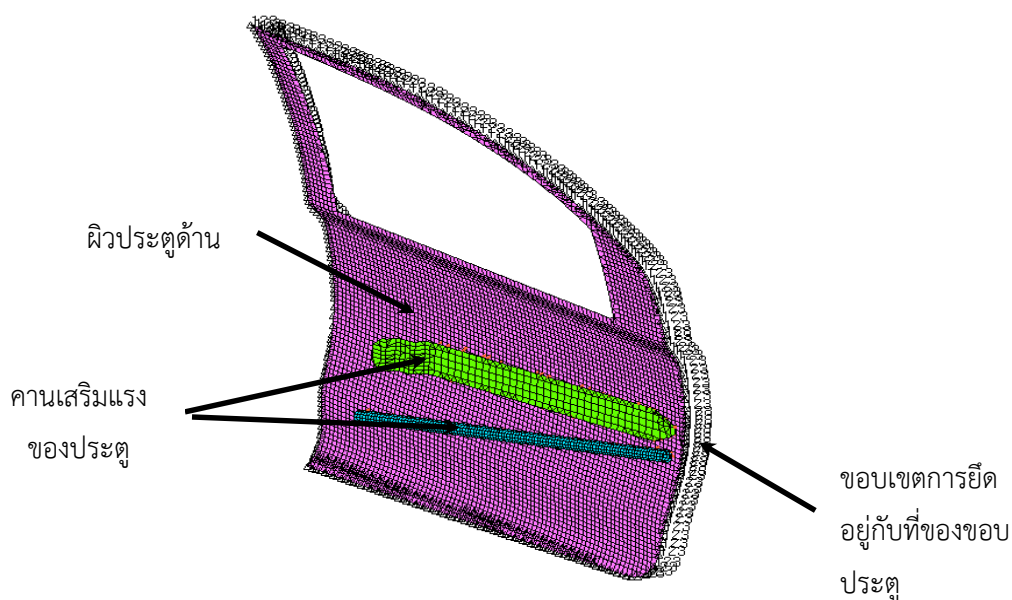
รูปที่ 4.5 ประตู่รถยนต์ก่อนที่นำมาใช้ในการทดสอบการชนของรถมอเตอร์ไซด์



รูปที่ 4.6 เครื่องถ่ายภาพ 3 มิติยี่ห้อ ATOM Compact SCAN [52]

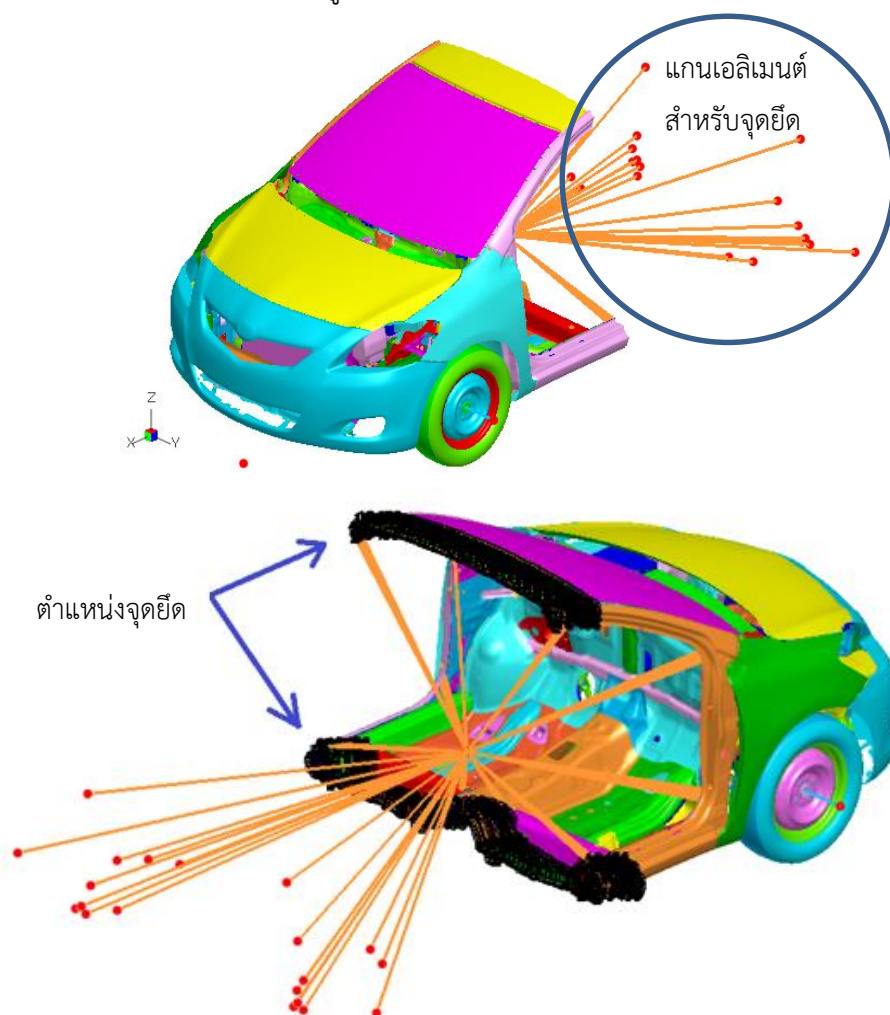


รูปที่ 4.7 แบบพื้นผิวจำลองประตูรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ แบบจำลองที่ได้จากเครื่องสแกน (ซ้าย)
แบบจำลองที่ทำการปรับผิวเพื่อเตรียมทำการวิเคราะห์ในกระบวนการไฟไนต์เอลิเมนต์ (ขวา)

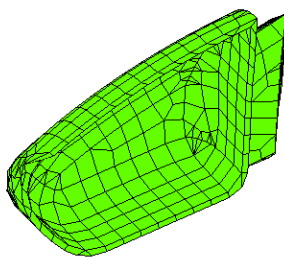


รูปที่ 4.8 แบบจำลองไฟไนต์เอลิเมนต์ของประตูด้านข้างของรถยนต์เพื่อรองรับการชน

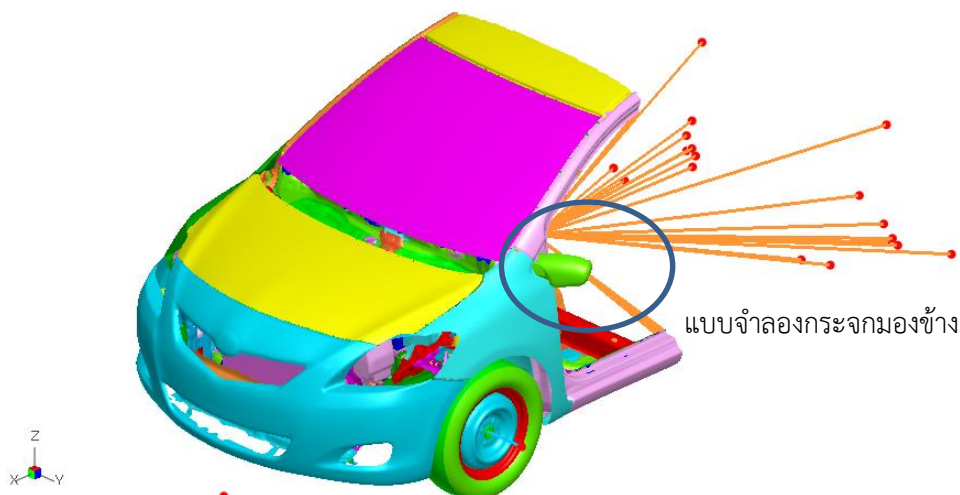
ในการจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 1 กรณีที่เป็นศีรษะหุ่นเด็กกระทบที่ด้านข้างของรถยนต์ แบบจำลองรถยนต์ทั้งคันจากฐานข้อมูล National Crash Analysis Centre [53] จะถูกนำใช้ทดแทนรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบเนื่องจากมิติและขนาดของรถยนต์ในแบบจำลองมีความสอดคล้องกับรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบ โดยส่วนหน้าของรถยนต์ดังกล่าวจะแบ่งจากแบบจำลองรถยนต์ทั้งคันเพื่อให้ง่ายต่อการจำลองเชิงตัวเลขดังแสดงในรูปที่ 4.9 อีกทั้งการกระทบของศีรษะหุ่นเด็กจะอยู่ที่กระจกมองข้างของรถยนต์ ดังนั้น แบบจำลองส่วนหน้าของรถยนต์ดังกล่าวจะถูกติดตั้งด้วยแบบจำลองของกระจกด้านข้างตามแบบของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบดังแสดงในรูปที่ 4.10 ดังนั้น แบบจำลองส่วนหน้าของโครงสร้างรถยนต์จะถูกติดตั้งด้วยแบบจำลองของกระจกมองข้างดังแสดงในรูปที่ 4.11 จำนวนเอลิเมนต์ของโครงสร้างส่วนหน้าของรถยนต์และกระจกมองข้างที่ใช้การวิเคราะห์นี้จะมีจำนวนเท่ากับ 371,611 เอลิเมนต์ เงื่อนไขของการเคลื่อนที่ของบานพับกระจกมองข้างจะถูกกำหนดให้มืองศาการเคลื่อนที่อิสระในทิศทางเดียวกับการพับของกระจกรถยนต์ สำหรับแบบจำลองส่วนหน้าของรถยนต์ เงื่อนไขการเคลื่อนที่ของแบบจำลองดังกล่าวจะถูกยึดอยู่กับที่ตามหลักการวิเคราะห์กระบวนการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในทางวิศวกรรมดังแสดงในรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.9 แบบจำลองเชิงตัวเลขของโครงสร้างรถยนต์ส่วนหน้าและการกำหนดตำแหน่งจุดยึด



รูปที่ 4.10 แบบจำลองเชิงตัวเลขกระดูกมองข้างของรถยนต์ที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 4.11 การติดตั้งแบบจำลองกระดูกมองข้างในแบบจำลองส่วนหน้าของโครงรถยนต์

4.5 แบบจำลองเชิงตัวเลขหุ่นทดสอบผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็ก

การใช้หุ่นทดสอบเป็นกระบวนการอย่างหนึ่งทางด้านวิศวกรรมการประเมินความปลอดภัยยานยนต์ (Automotive Safety Assessment Engineering) โดยหุ่นที่ใช้ในการทดสอบจะต้องสะท้อนพฤติกรรมทางกายภาพและการเคลื่อนที่ของมนุษย์ การหาพฤติกรรมเคลื่อนที่ของร่างกายมนุษย์จะอาศัยหลักทางพลศาสตร์รวมทั้งข้อจำกัดของการเคลื่อนที่ของแต่ละชิ้นส่วน เช่น ข้อต่อ ขนาดมิติ และ องศาอิสระของการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom) [54] หุ่นทดสอบที่ถูกพัฒนาขึ้นจะต้องสามารถนำมาทำการทดสอบซ้ำได้โดยให้ค่าความเชื่อมั่นคงเดิม หุ่นจำลองสรีระมนุษย์ที่ใช้ในการทดสอบ (Anthropomorphic Test Device, ATDs) หรือเป็นที่รู้จักในนามที่ชื่อว่าหุ่นทดสอบการชน (Crash Test Dummies) [55]

การสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขของหุ่นทดสอบการชนเป็นการจำลองตัวหุ่นทดสอบในห้องปฏิบัติการสำหรับการชนรถยนต์ที่ประกอบด้วยชิ้นส่วนต่างๆ ทางกายภาพ ซึ่งมีทั้งที่เป็นท่อนโลหะ ยาง และชิ้นที่ทำจากวัสดุที่ใกล้เคียงกระดูก เช่น หน้าแข้ง ที่นำมาต่อกันโดยใช้ข้อต่อทางกล (Mechanical joint) เพื่อกำหนดองศาอิสระของการเคลื่อนที่ของแขนและขา ดังนั้น แบบจำลองเชิงตัวเลขของหุ่นทดสอบในการวิเคราะห์โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์จะต้องมีความคล้ายคลึงและสะท้อนคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาประกอบเป็นหุ่นทดสอบนั้นๆ ได้ ด้วยกระบวนการดังกล่าว โปรแกรมวิเคราะห์ทางวิศวกรรมชื่อ LS DYNA ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองเชิงตัวเลขของหุ่นทดสอบไว้หลายรูปแบบซึ่งสามารถนำมาใช้ในการจำลองการทดสอบการชนโดยใช้กระบวนการ

ทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในทางวิศวกรรมได้หลากหลายแตกต่างกัน เช่น แบบจำลองหุ่นเชิงตัวเลขที่ใช้ในการวิเคราะห์การบาดเจ็บของผู้โดยสารที่เป็นผู้ใหญ่ หรือ เด็ก สำหรับการชนด้านหน้า (Hybrid III) ด้านข้าง (EuroSID / SID / USSID) ด้านหน้า หรือ คนเดินถนน เป็นต้น [51]

Hybrid III Rigid-FE Adults

Hybrid III 50th percentile FAST

Hybrid III 5th percentile detailed

Hybrid III 50th percentile detailed

Hybrid III 50th percentile standing

Hybrid III 6-year-old

EuroSID 2

EuroSID 2re

SID-IIs Revision D

USSID

4.5.1 แบบจำลองเชิงตัวเลขหุ่นผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์

ในการสร้างแบบจำลองเชิงตัวเลขหุ่นผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์ การปรับทำนองให้เหมาะสมเป็นส่วนหนึ่งของการจำลองการขับขี่ ในโปรแกรมหุ่นคนขับในรถยนต์ซึ่งอยู่ในทำนองดังแสดงในรูปที่ 4.12 ก) ไม่สามารถปรับทำได้ตามต้องการ ดังนั้นการเลือกแบบจำลองหุ่นทดสอบที่เป็นหุ่นคนเดินถนนในทำนองยืน (Hybrid III 50th percentile standing) มาใช้ในโครงการวิจัยนี้เพราะหุ่นดังกล่าวสามารถทำการปรับเปลี่ยนทำนองในการขับขี่รถมอเตอร์ไซด์ให้เหมาะสมได้ โดยหุ่นที่เลือกใช้มีความสูงเท่ากับ 175 เซนติเมตร น้ำหนัก 77 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 4.12 ข) โดยหุ่นคนเดินถนนในทำนองยืนจะถูกปรับเปลี่ยนท่าทางเพื่ออยู่ในท่าการขับขี่รถจักรยานยนต์ดังแสดงในรูปที่ 4.13 โดยทำนองนี้จะถูกนำมาใช้ในการจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 3



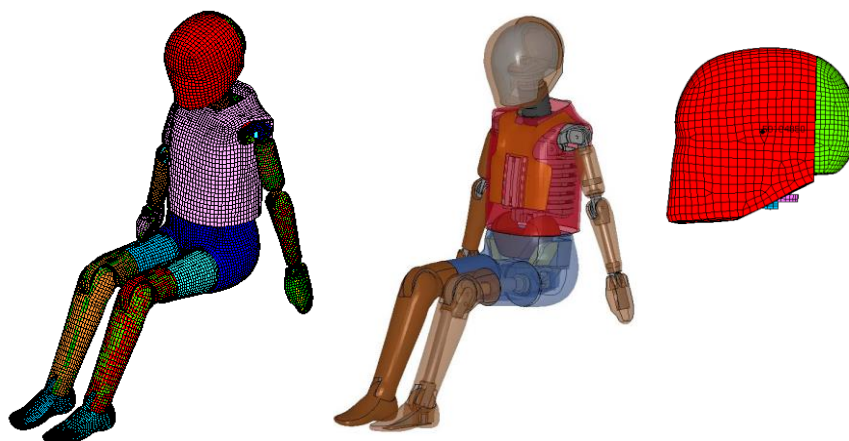
รูปที่ 4.12 ลักษณะท่ามาตรฐานของแบบจำลองหุ่น Hybrid III ก) หุ่นสำหรับคนขับในรถยนต์
ข) หุ่นสำหรับคนเดินถนนในทำนองยืนที่มีให้ในโปรแกรม LS DYNA



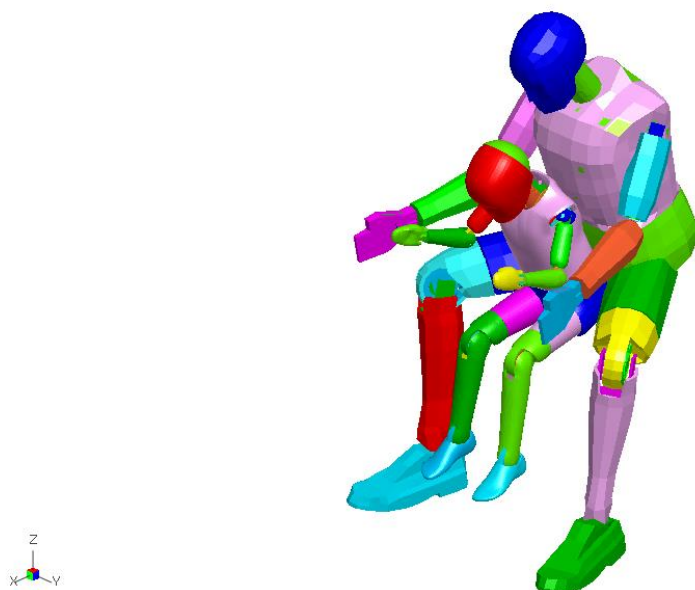
รูปที่ 4.13 การปรับเปลี่ยนท่าทางการยืนของหุ่นทดสอบการชนมาเป็นท่านั่งขับขึ้นขั้นตอนที่ 3

4.5.2 แบบจำลองเชิงตัวเลขหุ่นผู้โดยสารเด็กในรถมอเตอร์ไซด์

ในโปรแกรม LS DYNA มีแบบจำลองหุ่นเด็กอายุ 6 ขวบซึ่งเป็นหุ่นท่านั่งมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบการชนของรถ มีน้ำหนักอยู่ที่ 23.4 กิโลกรัมและความสูงอยู่ที่ 115 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.14 อย่างไรก็ตาม การนำหุ่นจำลองเชิงตัวเลขนี้มาใช้เป็นผู้โดยสารรถมอเตอร์ไซด์จำเป็นต้องปรับทำให้เหมาะสมกับการนั่งด้านหน้าของผู้ขับขี่ นอกจากนี้การนั่งด้านหน้าจำเป็นต้องปรับลดมิติลง 5% ให้เหลือที่ความสูงที่ 109 เซนติเมตรและมีน้ำหนักอยู่ที่ 22.2 กิโลกรัม เพื่อให้หุ่นรถมอเตอร์ไซด์ รูปแบบการปรับท่านั่งของแบบจำลองหุ่นเด็กเชิงตัวเลขที่ส่วนด้านหน้าของแบบจำลองผู้ขับขี่เชิงตัวเลขจะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.15



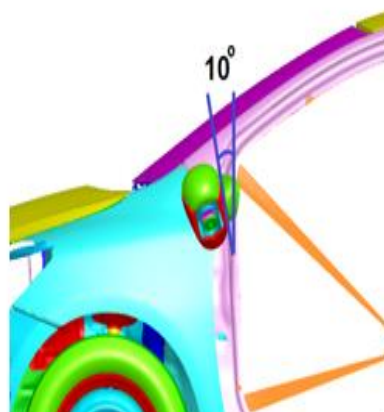
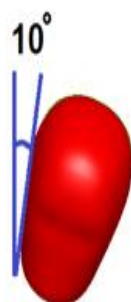
รูปที่ 4.14 แบบจำลองเชิงตัวเลขของหุ่นเด็กมาตรฐานที่ใช้ในขั้นตอนที่ 3 และศีรษะเด็กในขั้นตอนที่ 1



รูปที่ 4.15 การปรับลักษณะทำนั่งของแบบจำลองหุ่นเด็กที่ส่วนหน้าของแบบจำลองผู้ขับขี่ในขั้นตอนที่ 3

4.6 การจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 1 กรณีศีรษะเด็กชนด้านข้างของรถยนต์

ในขั้นตอนการจำลองเชิงตัวเลขของศีรษะ เงื่อนไขและตำแหน่งและมุมปะทะก่อนกระทบของศีรษะหุ่นเด็กจะถูกกำหนดในมุมเดียวกับผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการดังนี้ มุมเอียงไปทางด้านซ้ายมือในการปะทะของศีรษะจะอยู่ที่ 10 องศาจากแนวตั้งดังแสดงในรูปที่ 4.16 มุมเงยของศีรษะของหุ่นเด็กจะอยู่ที่ 59 องศาจากระดับพื้น และ มุมของกระจกมองข้างอยู่ที่ 57 องศากับตำแหน่งความสูงของศีรษะจะขนานกับกระจกมองข้างดังแสดงในรูปที่ 4.17 อีกทั้งทิศทางการเคลื่อนที่ของศีรษะหุ่นเด็กจะถูกกำหนดให้เคลื่อนที่ด้วยความเร็วเริ่มต้นอยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมงก่อนกระทบ



รูปที่ 4.16 การเปรียบเทียบผลของการจำลองศีรษะในขณะรับแรงกระทบจากภาพด้านหน้าของผู้ขับขี่

ผลการจำลองเชิงตัวเลขสามารถแสดงอยู่ในรูปของตำแหน่งของการเคลื่อนที่ในขณะรับแรงกระทบระหว่างเวลาที่ศีรษะของหุ่นเด็กเริ่มสัมผัสกระจกมองข้างจนถึงเวลาที่ศีรษะหุ่นเด็กเคลื่อนที่มากที่สุด กล่าวคือระหว่างเวลา 0 มิลลิวินาที (ms) ถึง 25 มิลลิวินาที (ms) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 การวัดอัตราเร่งสมมูล (Resultant Acceleration) ที่เกิดขึ้นกับศีรษะของหุ่นเด็กกับระยะเวลาที่เริ่มสัมผัสกระจกมองข้างสามารถ

คำนวณได้ดังแสดงในรูปที่ 4.18 ค่าที่คำนวณได้ดังกล่าวที่เกิดขึ้นแสดงให้เห็นว่า ระดับการเพิ่มขึ้นและลดลงของอัตราเร่งสมบูรณ์ในขณะกระแทกกับกระจกมองข้างจะเกิดขึ้น 3 ช่วง ดังนี้ ช่วงแรกระหว่างศีรษะของหุ่นเด็กเริ่มกระแทกกับกระจกมองข้างจนกระจกมองข้างเริ่มพับตามองศาการเคลื่อนที่ (Degree of Freedom) ของกระจก การเริ่มพับตัวของกระจกมองข้างจะแสดงให้เห็นดังแสดงในตารางที่ 4.2 เวลาที่ 3 ms หลังจากนั้นอัตราเร่งสมบูรณ์จะลดลงเนื่องจากการพับตัวของกระจกมองข้าง ช่วงที่สองศีรษะของหุ่นเด็กเริ่มเลื่อนไปทางด้านขวาซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้จากรูปภาพในตารางที่ 4.2 เวลาที่ 11 ms และ 17 ms อัตราเร่งสมบูรณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้เป็นผลมาจากการต้านทานการเคลื่อนที่ของกระจกมองข้างในขณะเริ่มพับเทียบกับระยะทางการเคลื่อนที่ของศีรษะหุ่นเด็ก ช่วงที่ 3 อัตราเร่งสมบูรณ์ของศีรษะของหุ่นเด็กจะเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเนื่องจากกระจกมองข้างไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระ กล่าวคือเกิดการพับตัวสูงสุดในขณะที่ศีรษะของหุ่นเด็กยังเคลื่อนที่ต่อเนื่องทำให้อัตราเร่งสมบูรณ์ที่เกิดขึ้นในช่วงนี้จะสูงกว่าช่วงขึ้นทั้งหมด รูปภาพการพับตัวสูงสุดของกระจกสามารถสังเกตเห็นได้จากภาพในตารางที่ 4.2 เวลาที่ 25 ms ผลการคำนวณเชิงตัวเลขของอัตราเร่งของศีรษะหุ่นเด็กตลอดช่วงเวลาของการกระแทกเทียบการทดสอบในห้องปฏิบัติการจะไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญดังแสดงในรูปที่ 4.19

ในกระบวนการทางวิศวกรรมการประเมินความปลอดภัยยานยนต์ การคำนวณความรุนแรงจากกระแทกของศีรษะหุ่นเด็กตลอดช่วงของการกระแทกจะใช้ค่าจาก HIC (Head Injury Criteria) ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 4.3 จากผลการจำลองเชิงตัวเลขของศีรษะของหุ่นเด็ก โปรแกรม LS DYNA สามารถคำนวณได้อยู่ที่ 303.6 เมื่อเปรียบเทียบกับผลจากการวัดค่า HIC จากการทดสอบในห้องปฏิบัติการโดยการคำนวณจากสมการดังกล่าวจะอยู่ที่ 157.5 ดังแสดงในตารางที่ 4.3 ดังนั้นการจำลองเชิงตัวเลขของศีรษะหุ่นเด็กสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิจัยต่อเนื่องถึงคุณภาพและการออกแบบหมวกนิรภัยสำหรับผู้โดยสารที่เป็นเด็กได้

$$HIC = \left[(t_2 - t_1) \left\{ \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right\}^{2.5} \right] \quad (4.1)$$

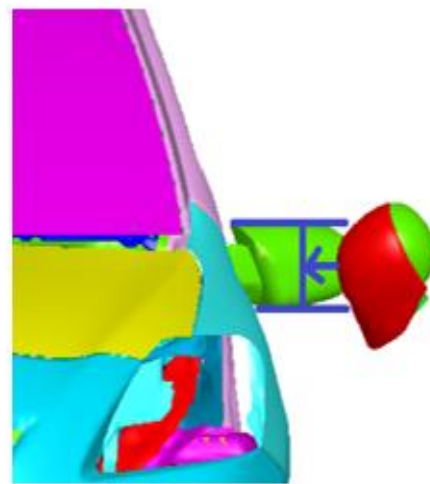
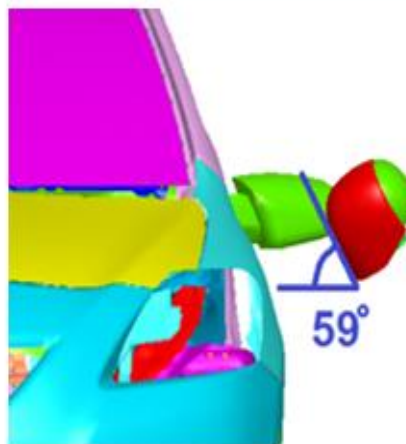
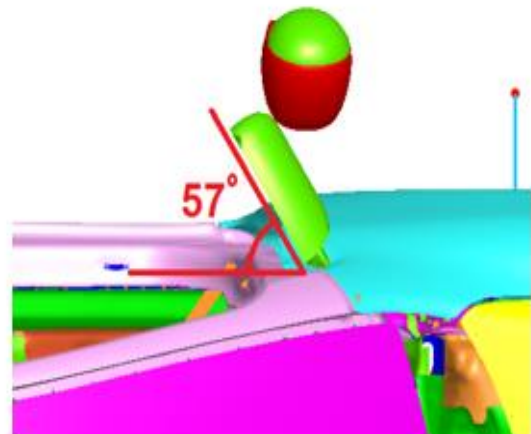
โดยที่

HIC = ค่าความรุนแรงจากการกระแทกที่ศีรษะโดยพิจารณาจากค่าสูงสุดในช่วงเวลามากกว่า 3 มิลลิวินาที

t_1 = เวลาที่พิจารณาเริ่ม

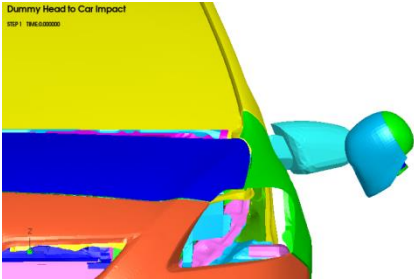
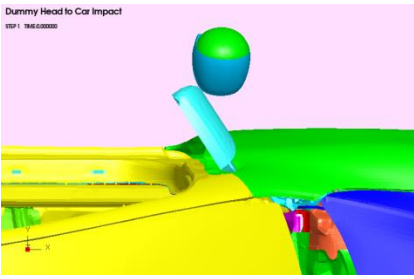
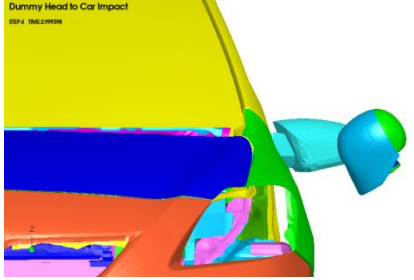
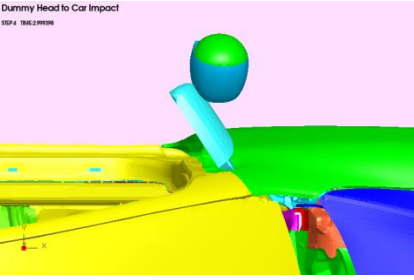
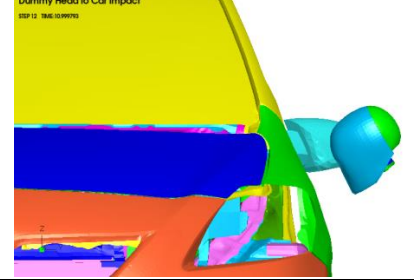
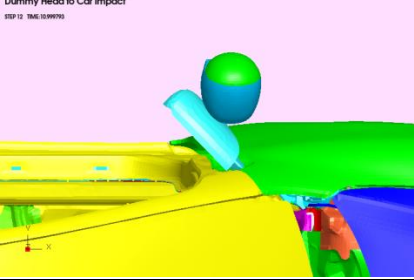
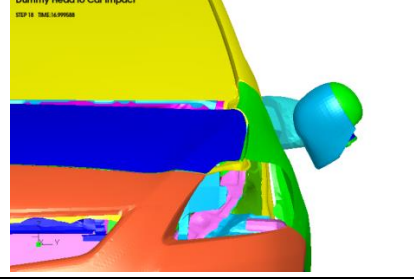
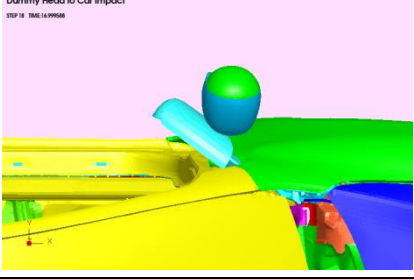
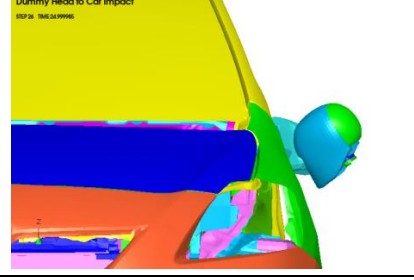
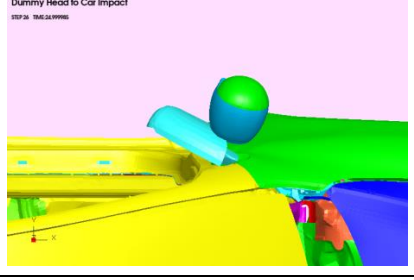
t_2 = เวลาที่สิ้นสุดของการพิจารณา

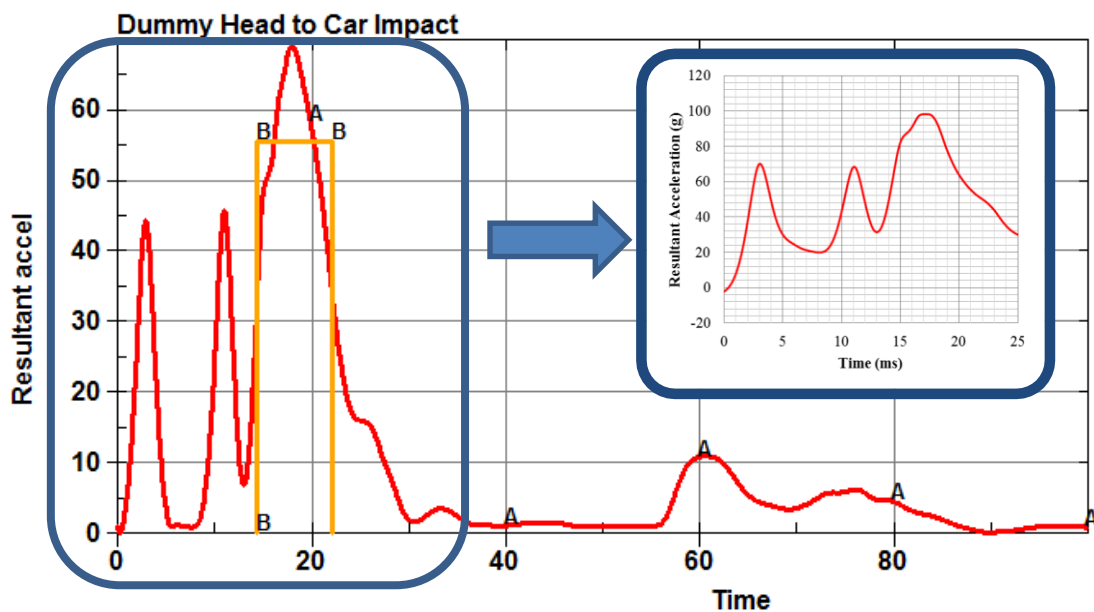
$a(t)$ = อัตราเร่งสมบูรณ์ที่เป็นฟังก์ชันของเวลา



รูปที่ 4.17 การเปรียบเทียบผลของการจำลองศีรษะในขณะรับแรงกระแทกจากภาพด้านข้างของผู้ขับขี่

ตารางที่ 4.2 ตำแหน่งและเวลาที่ศีรษะหุ่นเด็กเริ่มสัมผัสกระจกมองข้างจนถึงตำแหน่งเคลื่อนที่สูงที่สุด

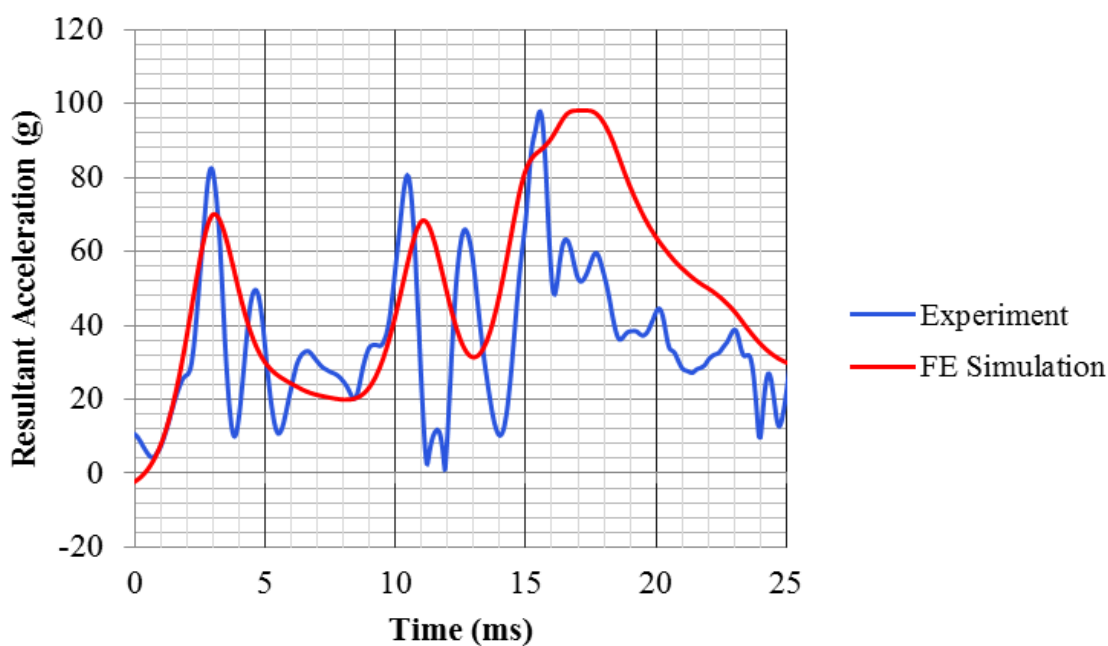
เวลา	ภาพด้านข้าง	ภาพด้านบน
0 ms		
3 ms		
11 ms		
17 ms		
25 ms		



รูปที่ 4.18 อัตราเร่งที่วัดได้จากการจำลองการกระแทกของศีรษะของหุ่นเด็ก

ตารางที่ 4.3 การคำนวณค่าความรุนแรงของศีรษะหุ่นเด็กจากการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลข

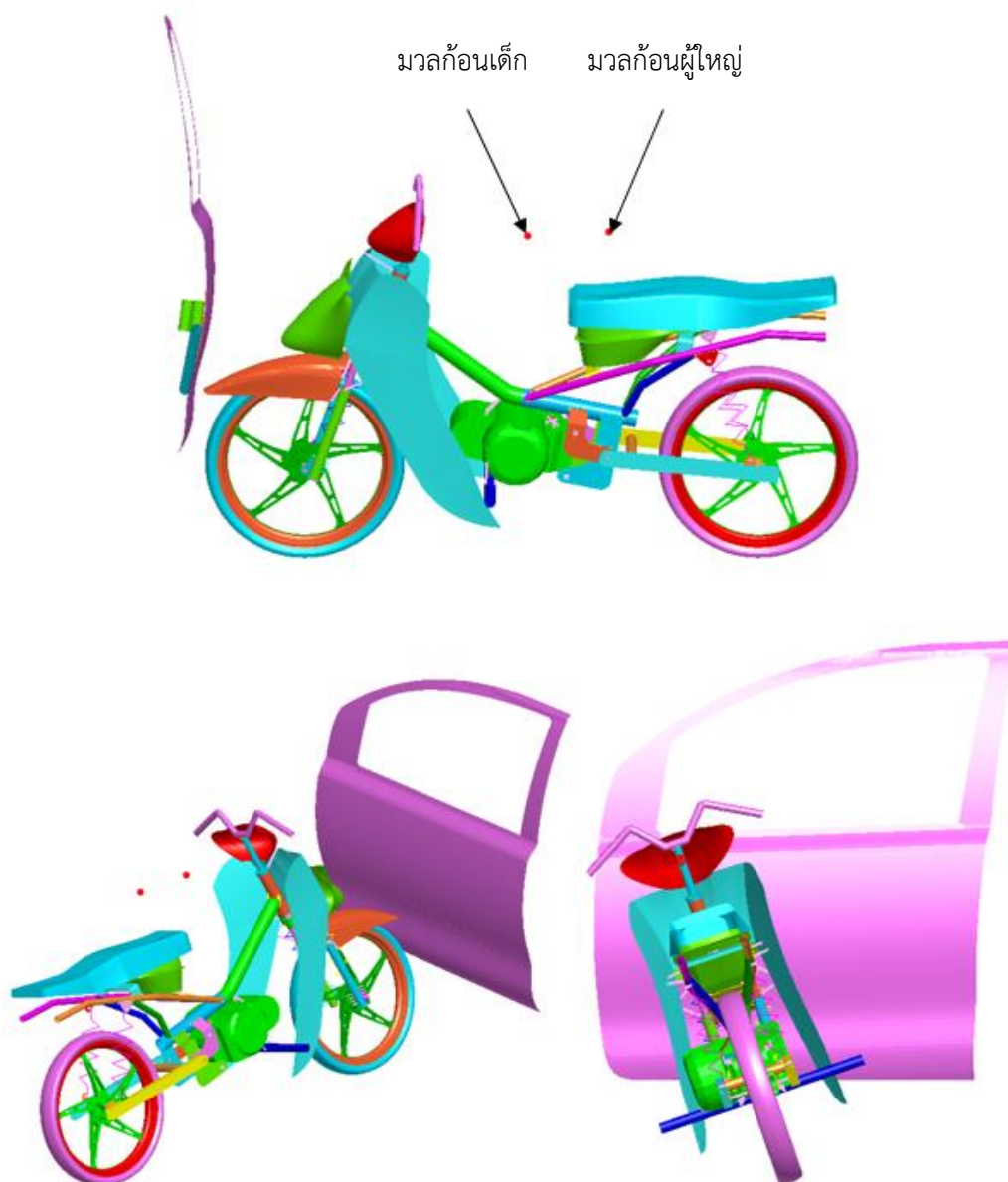
Head Injury Criteria (HIC)	ผลการคำนวณจาก การทดสอบใน ห้องปฏิบัติการ	ผลการคำนวณจาก การจำลองศีรษะของ หุ่นเด็ก
HIC	175.3	157.5



รูปที่ 4.19 ผลเปรียบเทียบอัตราเร่งของศีรษะหุ่นเด็กระหว่างการจำลองเชิงตัวเลขและจากการทดสอบ

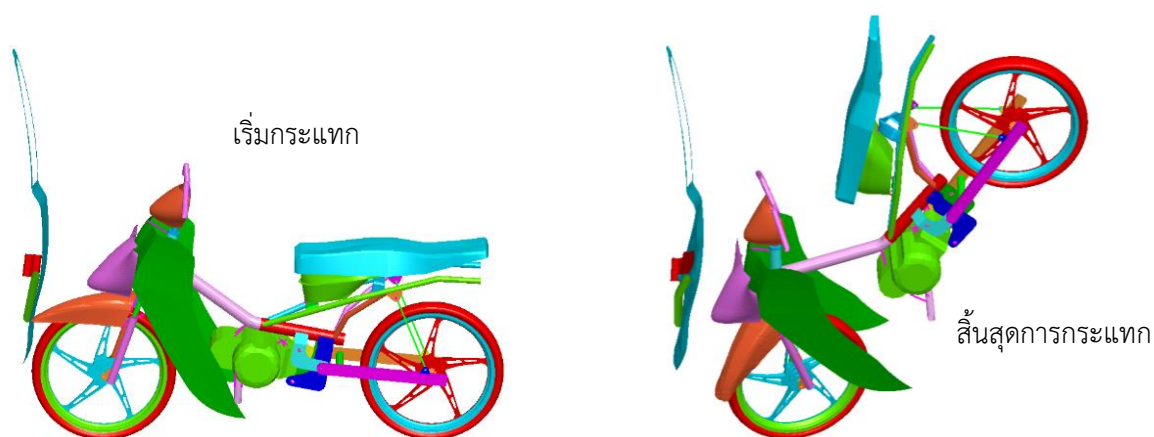
4.7 การจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 2 กรณีตัวรถมอเตอร์ไซด์ชนกับด้านข้างของรถยนต์

แบบจำลองของประตูด้านข้างของรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบและแบบจำลองชิ้นส่วนหลักของรถมอเตอร์ไซด์รวมทั้งตำแหน่งที่จุดศูนย์กลางมวลในขณะนั่งรถมอเตอร์ไซด์และมวลก้อนของแบบจำลองหุ่นทดสอบผู้ขับขี่ที่ 77 กิโลกรัม และผู้โดยสารเด็กที่ 22.2 กิโลกรัม จะถูกสร้างและกำหนดโดยใช้หลักการทางวิศวกรรมภายใต้เงื่อนไขและผลการทดสอบการชนโดยมีผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ทางด้านหน้าของผู้ขับขี่ อีกทั้ง มุมเอียงของตำแหน่งรถมอเตอร์ไซด์ก่อนประทะกับด้านข้างของประตูจะอยู่ที่ 19 องศา และความเร็วของของรถมอเตอร์ไซด์จะถูกกำหนดไว้ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมงเพื่อหาลักษณะการเคลื่อนที่ของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ในขณะกระแทกกับประตูดังแสดงในรูปที่ 4.20



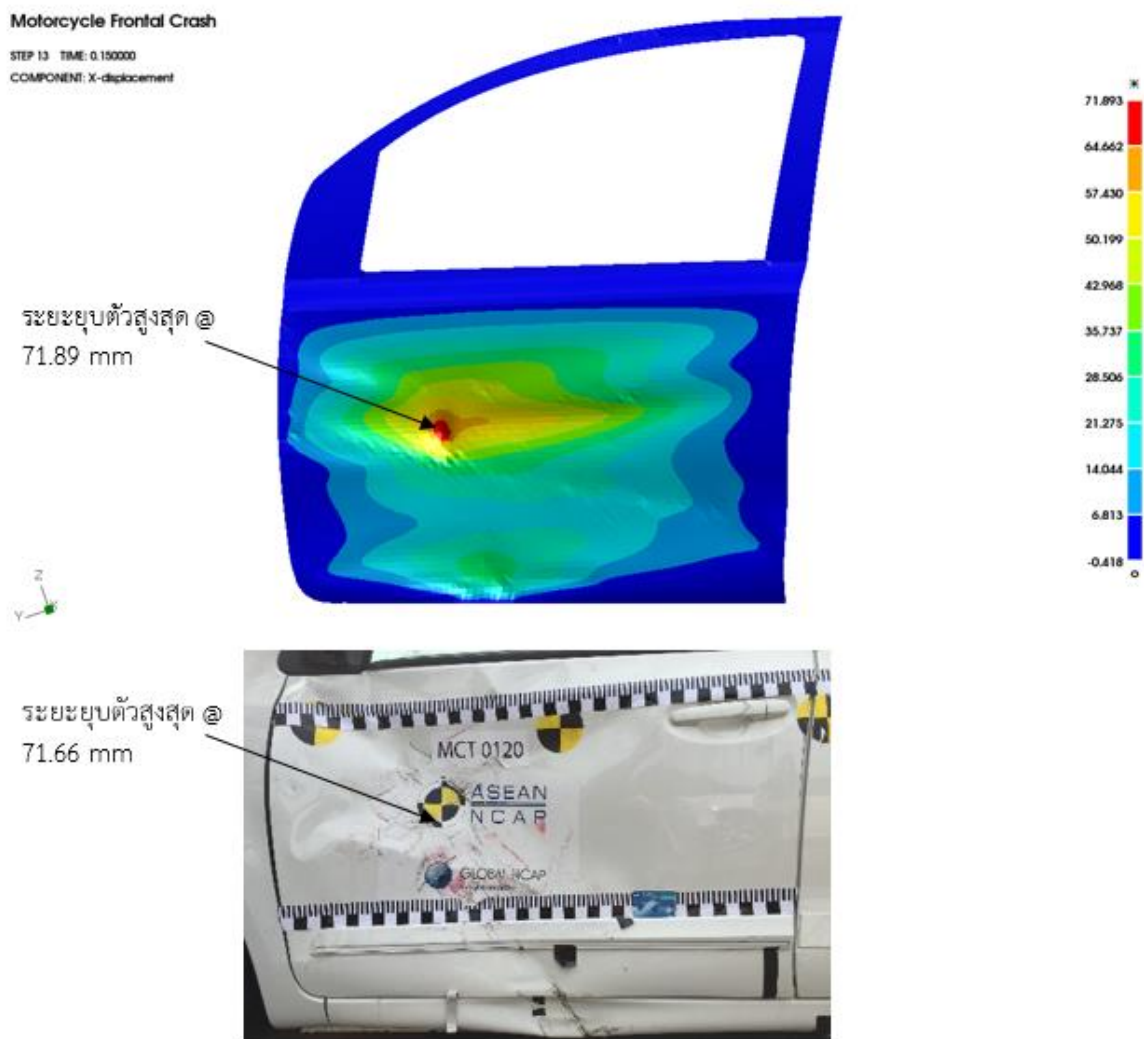
รูปที่ 4.20 ลักษณะการเคลื่อนที่ของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ในขณะกระแทกกับประตู

การกำหนดลักษณะของการกระแทก การเคลื่อนที่ และคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในแบบจำลองของรถมอเตอร์ไซด์และประตูด้านข้างถือว่าเป็นส่วนของการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ ผลของการกำหนดลักษณะ และ เงื่อนไขต่างๆดังกล่าวที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์จะต้องนำมาเปรียบเทียบกับผลการทดสอบจริงในห้องปฏิบัติการเพื่อทวนสอบความถูกต้องภายใต้ขอบเขตตามหลักกระบวนการทางวิศวกรรม ด้วยเหตุนี้เอง รูปที่ 4.21 แสดงให้เห็นผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองรถมอเตอร์ไซด์ในขณะเริ่มกระแทกจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดของการกระแทก ในขณะเริ่มต้นของการกระแทก ล้อหน้าของรถมอเตอร์ไซด์จะสัมผัสที่ประตูด้านข้างของรถยนต์ซึ่งตำแหน่งดังกล่าวจะอยู่ต่ำกว่าจุดศูนย์กลางมวลของรถมอเตอร์ไซด์ ดังนั้น ในช่วงสุดท้ายของการกระแทกด้านท้ายของรถมอเตอร์ไซด์จะถูกยกตัวสูงขึ้น และ ล้อด้านหลังของรถดังกล่าวจะลอยตัวสูงขึ้นเหนือผิวสัมผัส ค่าการคำนวณการยุบตัวสูงสุดที่ประตูด้านข้างของรถยนต์และการบิดตัวของแกนยึดล้อหน้าของรถมอเตอร์ไซด์ที่วัดได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์จะถูกเปรียบเทียบกับผลการทดสอบการชนในห้องปฏิบัติการดังแสดงอยู่ในรูปที่ 4.22 และ 4.23 ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนที่ประตูด้านข้างและแกนยึดล้อหน้าจะมีค่าอยู่ที่ร้อยละ 0.32 และ 3.51 ตามลำดับ ซึ่งเพียงพอสำหรับความแม่นยำในการจำลองทางคณิตศาสตร์โดยระเบียบวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์

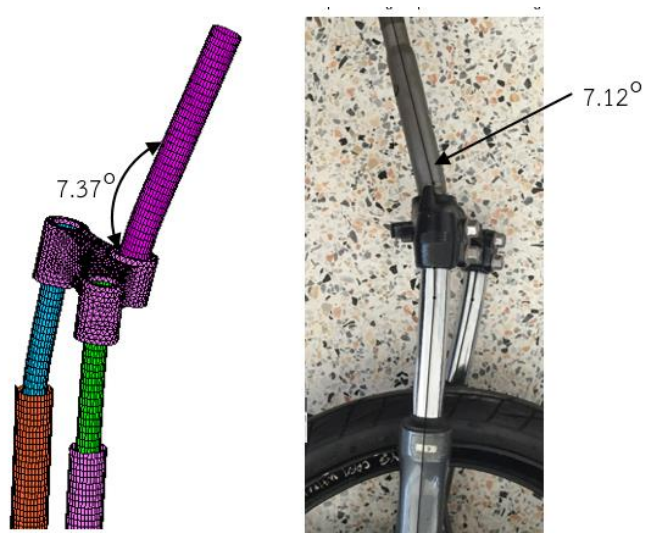


รูปที่ 4.21 ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์ของแบบจำลองรถมอเตอร์ไซด์ในขณะเริ่มกระแทกจนถึงระยะเวลาสิ้นสุดของการกระแทก

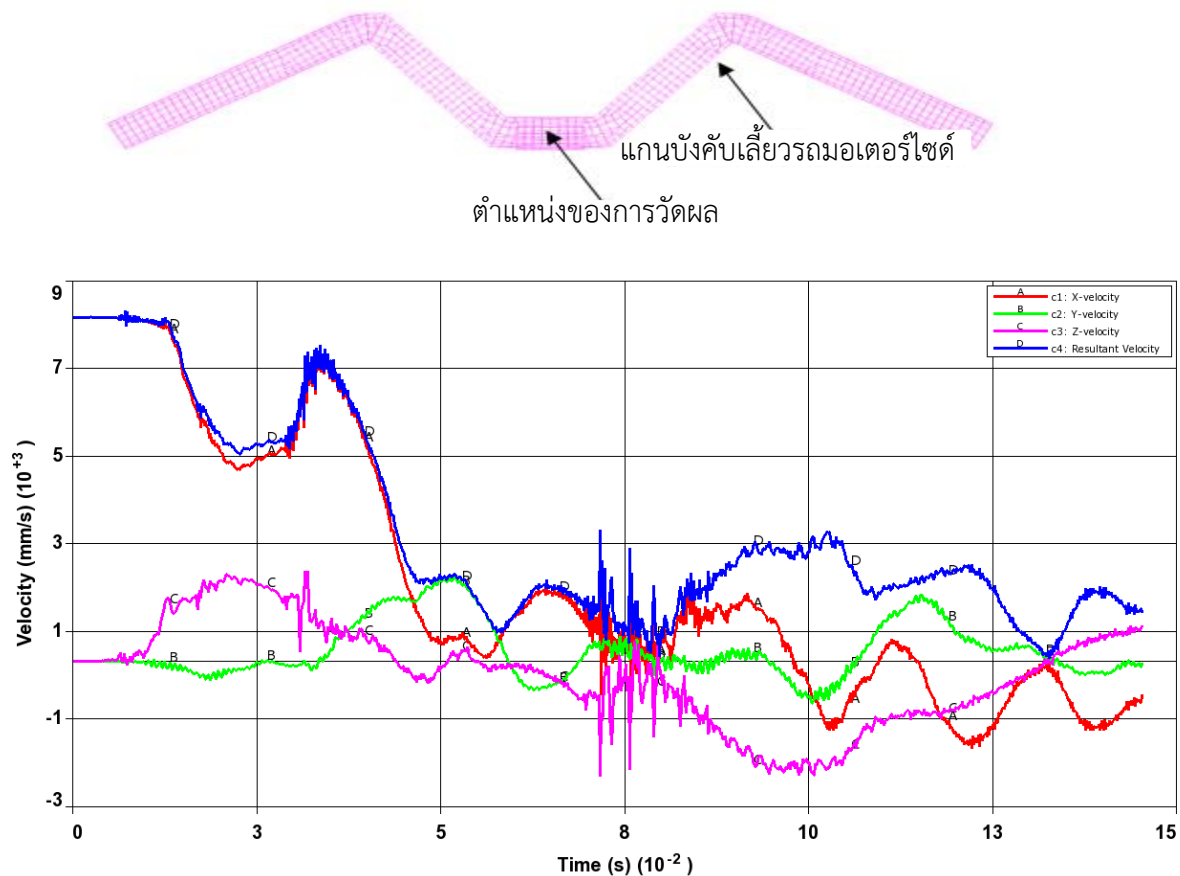
เมื่อพิจารณาช่วงเริ่มต้นจนถึงช่วงสุดท้ายของการกระแทกของรถมอเตอร์ไซด์ ตำแหน่งกึ่งกลางของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์จะเคลื่อนที่เริ่มต้นด้วยความเร็วอยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ ลดลงตามช่วงเวลาในขณะกระแทกดังแสดงในรูปที่ 4.24 อีกทั้ง อัตราหมุนที่เกิดขึ้นที่และระยะทางการเคลื่อนที่ของแกนบังคับเลี้ยวในช่วงเวลาดังกล่าวจะแสดงอยู่ในรูปที่ 4.25 และ 4.26 ตามลำดับ ดังนั้น ผลการจำลองทางคณิตศาสตร์แสดงให้เห็นว่าผู้โดยสารรถมอเตอร์ไซด์ขณะที่นั่งด้านหน้ามีโอกาสเคลื่อนที่กระแทกที่แกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ได้ เนื่องจากในขณะชนกระแทกที่ด้านข้างของประตูด้านข้างผู้โดยสารที่เป็นเด็กกับผู้ขับซึ่งจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่เชิงเส้นเท่ากับความเร็วของรถมอเตอร์ไซด์ก่อนชน



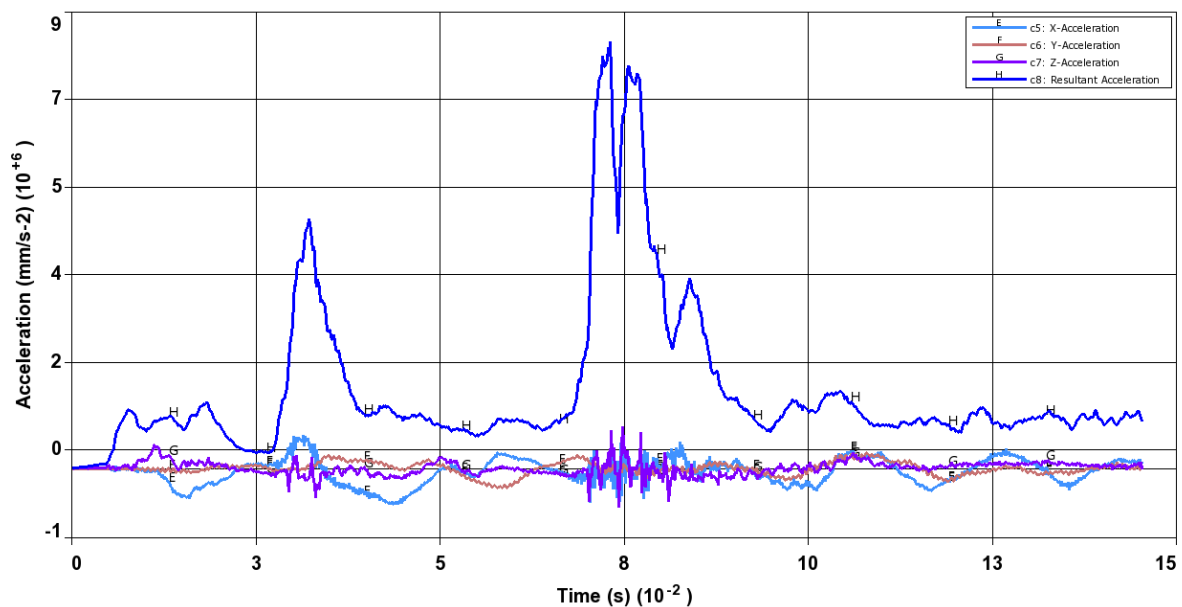
รูปที่ 4.22 ระยะยุบตัวสูงสุดของประตูดรยยนต์จากการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลข



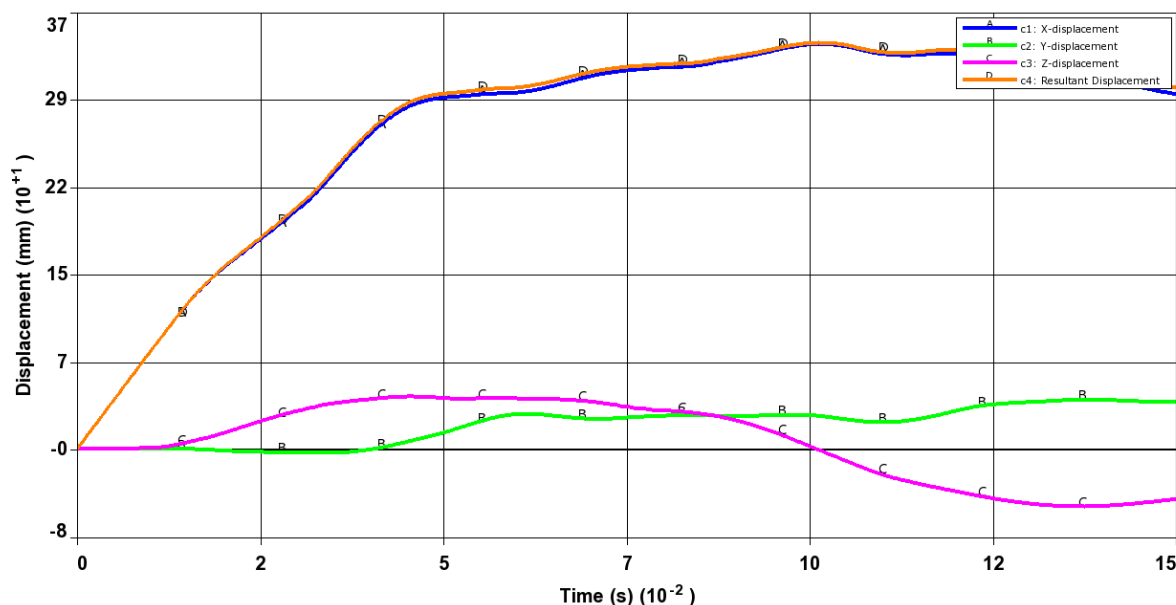
รูปที่ 4.23 มุมการบิดตัวสูงสุดของแกนล้อบังคับเลี้ยวจากการทดสอบและการจำลองเชิงตัวเลข



รูปที่ 4.24 ความเร็วที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ช่วงเริ่มต้นถึงช่วงสุดท้ายของการ
กระแทก



รูปที่ 4.25 อัตราเร่งที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ช่วงเริ่มต้นจนถึงช่วงสุดท้าย
ของการกระแทก



รูปที่ 4.26 อัตราหน่วยที่ตำแหน่งกึ่งกลางของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ช่วงเริ่มต้นจนถึงช่วงสุดท้ายของการกระแทก

4.8 การจำลองเชิงตัวเลขขั้นตอนที่ 3 กรณีหุ่นเด็กชนที่แกนบังคับเลี้ยวรถมอเตอร์ไซด์

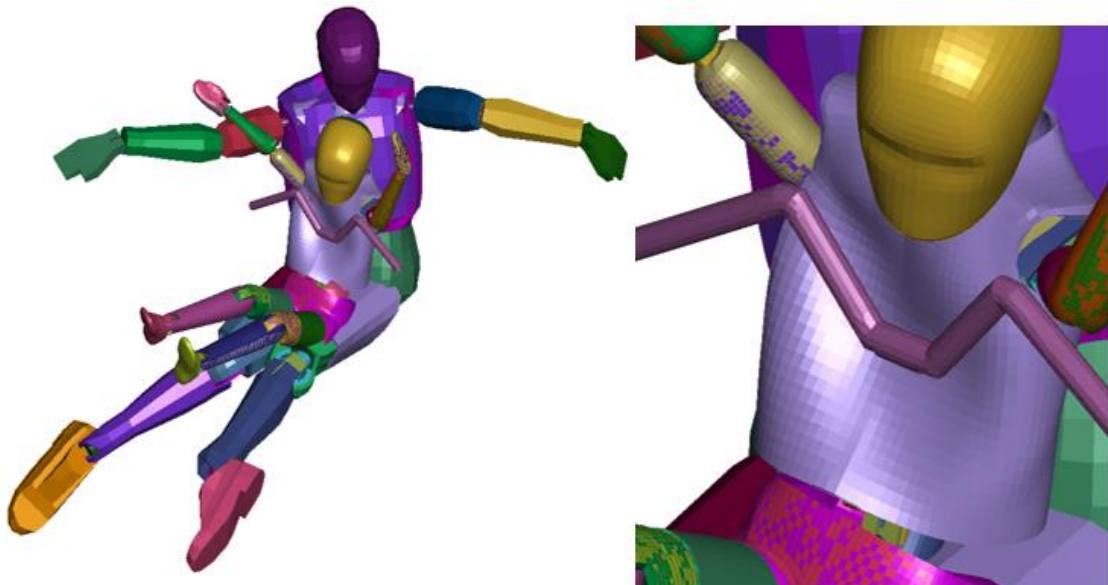
เนื่องจากข้อจำกัดของทรัพยากรของคอมพิวเตอร์ที่ใช้การประมวลผลและเวลาในการประมวลผล การคำนวณระดับความรุนแรงของผู้โดยสารเด็กนั่งที่ด้านหน้าของผู้ขับขี่ที่กระแทกกับแกนบังคับเลี้ยวรถมอเตอร์ไซด์นั้น จะใช้แบบจำลองเชิงตัวเลขของแกนบังคับเลี้ยวรถมอเตอร์ไซด์เพียงชิ้นเดียว และแบบจำลองหุ่นผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็ก อีกทั้ง การปรับลักษณะท่าทางของแบบจำลองหุ่นเด็กให้เหมือนกับส่วนหน้าของแบบจำลองผู้ขับขี่ดังแสดงในรูปที่ 4.15 จะนำมาใช้ประกอบในการวิเคราะห์ ดังนั้น คุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของแกนบังคับเลี้ยวจะถูกกำหนดในลักษณะเดียวกันกับหัวข้อ 4.7 เงื่อนไขความเร็วและตำแหน่งเริ่มต้นของแบบจำลองเชิงตัวเลขของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์และหุ่นผู้โดยสารที่เป็นเด็กและผู้ขับขี่จะถูกกำหนดดังแสดงในรูปที่ 4.24 เพื่อจำลองการกระแทกของแกนบังคับเลี้ยวรถมอเตอร์ไซด์กับหุ่นผู้โดยสารที่เป็นเด็กกับผู้ใหญ่ภายใต้เงื่อนไขการเคลื่อนที่ของรถมอเตอร์ไซด์ชนที่ด้านข้างของประตูรถยนต์

การกำหนดรูปแบบและเงื่อนไขความเร็วและตำแหน่งของการเคลื่อนที่ของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์มาจากการที่ได้จากการจำลองทางคณิตศาสตร์ในการชนของรถมอเตอร์ไซด์ที่ด้านข้างของประตูรถยนต์โดยที่มีมวลผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ทางด้านหน้าผู้ขับขี่ในหัวข้อที่ 4.7 ดังแสดงในรูปที่ 4.22 ถึง 4.24 สำหรับแบบจำลองเชิงตัวเลขของหุ่นผู้โดยสารที่เป็นเด็กและผู้ขับขี่ รูปแบบและเงื่อนไขความเร็วจะกำหนดให้มีการเคลื่อนที่เป็นเชิงเส้นขนานกับพื้นถนนโดยมีค่าเริ่มต้นอยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

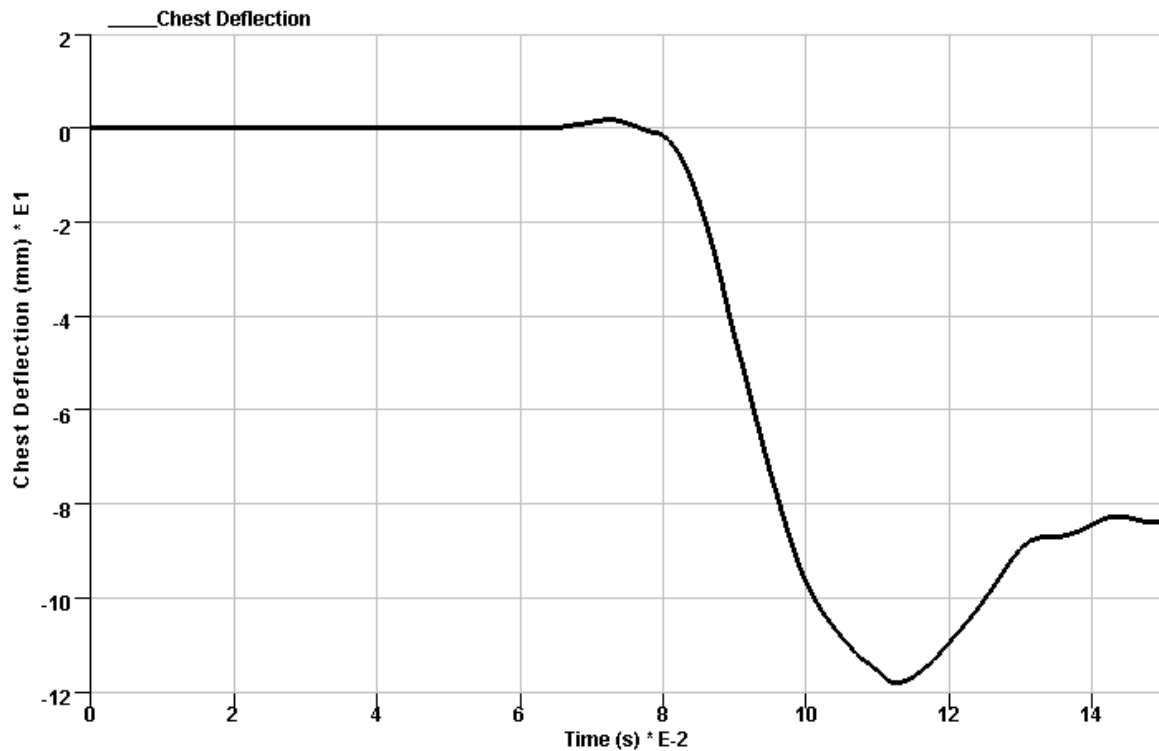
ดังนั้น ผลการจำลองโดยใช้ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์สามารถแสดงให้เห็นถึงการเริ่มต้น
กระแทกของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ที่หน้าอกของหุ่นเด็กจนถึงสิ้นสุดของการกระแทกดังแสดงใน
รูปที่ 4.27 และ 4.28 ตามลำดับ การยุบตัวที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหน้าจะเพิ่มตามระยะเวลาที่
หน้าอกเริ่มสัมผัสกับแกนบังคับเลี้ยวดังแสดงในรูปที่ 4.29 นอกเหนือจากนี้ อัตราหน่วงที่เกิดขึ้นในช่วง
ระยะเวลากระแทกจะแสดงได้ในรูปที่ 4.29 ในกระบวนการทางวิศวกรรมการประเมินและความปลอดภัยของ
รถยนต์ใหม่ (New Car Assessment Program, NCAP) ความรุนแรงที่เกิดจากการกระแทกหน้าอกจะ
พิจารณาจากการยุบตัวที่หน้าอกของผู้โดยสารซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 22 ถึง 50 มิลลิเมตร เทียบเท่ากับร้อยละ 5
และ 50 ของความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บของในวงการแพทย์ (Abbreviated Injury Scale, AIS) มากกว่าหรือ
เท่ากับ 3 ดังนั้น ผลจากจำลองเชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่าแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์กระแทกที่หน้าอก
ของหุ่นเด็กเกินค่าพิคคบนของขีดจำกัดบนในการยุบตัวที่หน้าอกของผู้โดยสารอยู่ที่ 118 มิลลิเมตร หรืออยู่ที่
2.36 เท่า โอกาสเสี่ยงที่ทำให้เกิดการบาดเจ็บที่หน้าอกของผู้โดยสารที่เป็นเด็กสูงจนถึงขั้นเสียชีวิตได้
นอกเหนือจากนี้ อัตราหน่วงที่เกิดขึ้นที่หน้าอกของผู้โดยสารที่เป็นเด็กสูงสุดจะอยู่ที่ 765.837 เมตรต่อวินาที
กำลังสอง หรือ 78.06 G (1 G เท่ากับค่าแรงโน้มถ่วงของโลกซึ่งมีค่าอยู่ที่ 9.81 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง) ผลคูณ
ของอัตราหน่วงนี้กับมวลของผู้โดยสารที่เป็นเด็ก (22.2 กิโลกรัม) สามารถเทียบเท่ากับแรงกระแทก 17001.5
นิวตัน หรือ 1733.08 กิโลกรัม กระทำที่หน้าอกของผู้โดยสารที่เป็นเด็ก กล่าวคือ แรงกระแทกที่หน้าอกของ
ผู้โดยสารที่เป็นเด็กจะสัมพันธ์กับอัตราหน่วงที่เป็นค่าเทียบเท่ากับแรงดึงดูดของโลก (1G เท่ากับ 9.81 เมตรต่อ
วินาทีกำลังสอง) หรือ แรงกระแทกจะมีค่าเท่ากับ 78.06 เท่าของน้ำหนักตัวผู้โดยสารเด็ก



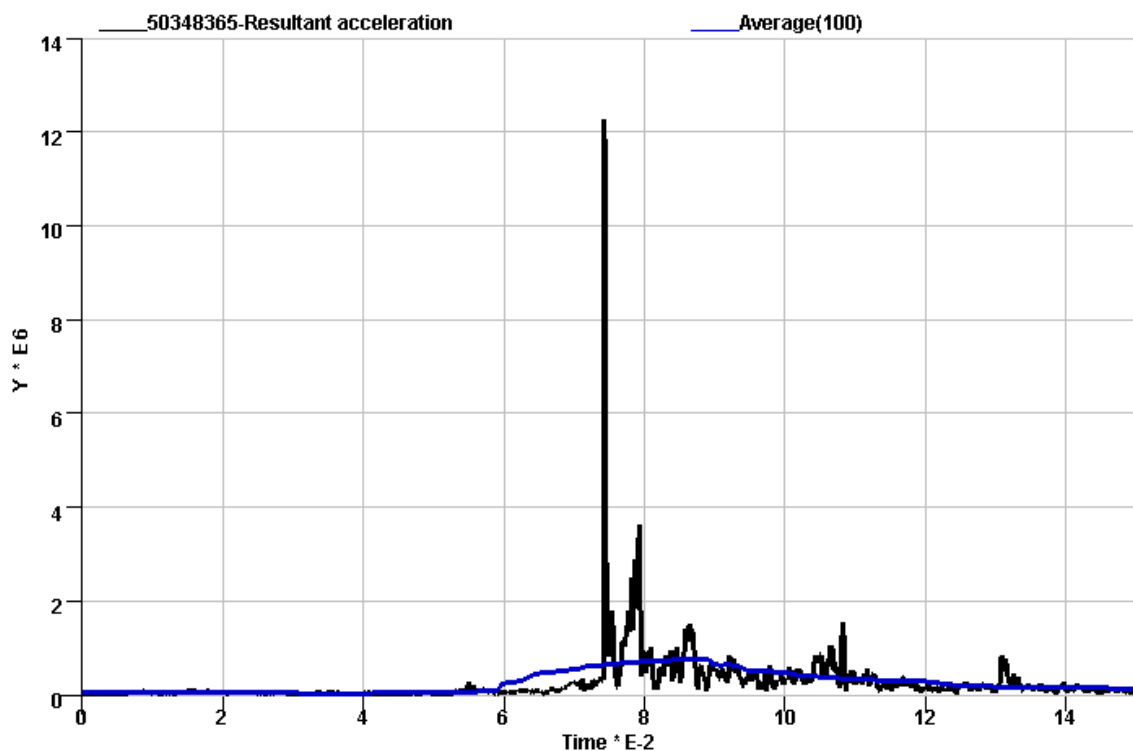
รูปที่ 4.27 จุดเริ่มต้นการกระแทกของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ที่ด้านหน้า



รูปที่ 4.28 จุดสิ้นสุดการกระแทกของแกนบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ที่ด้านหน้า



รูปที่ 4.29 การยุบตัวที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหน้าขณะเริ่มสัมผัสกับแกนบังคับเลี้ยว (หน่วย มิลลิเมตร)

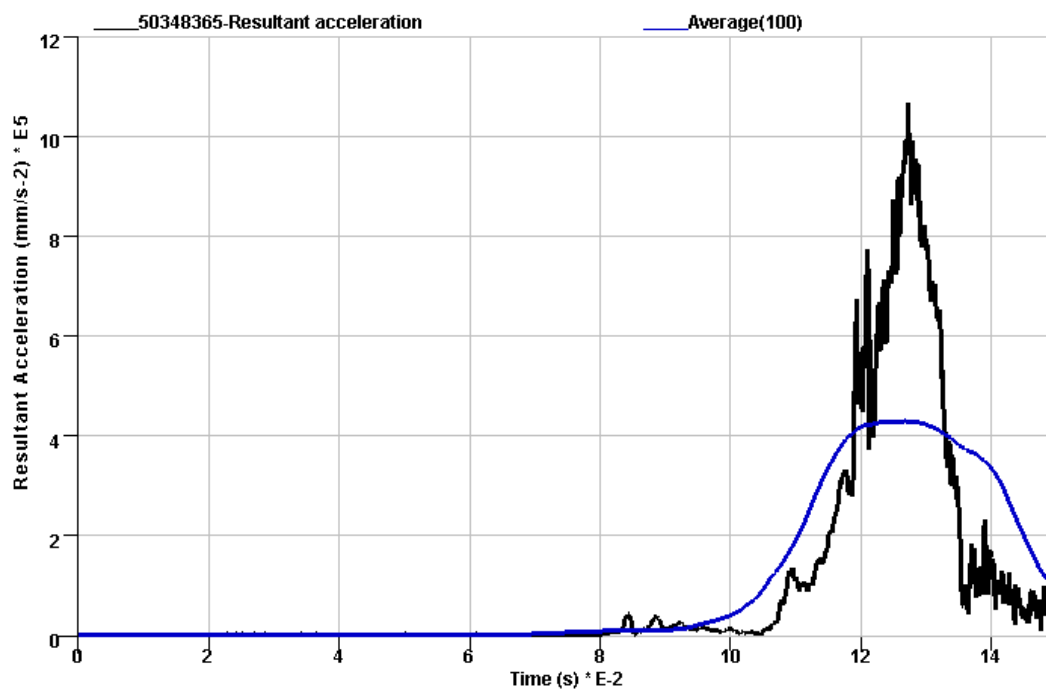


รูปที่ 4.30 อัตราเร่งที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหน้าขณะเริ่มสัมผัสจนถึงจุดสุดท้ายกับแกนบังคับเลี้ยว (หน่วย มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง)

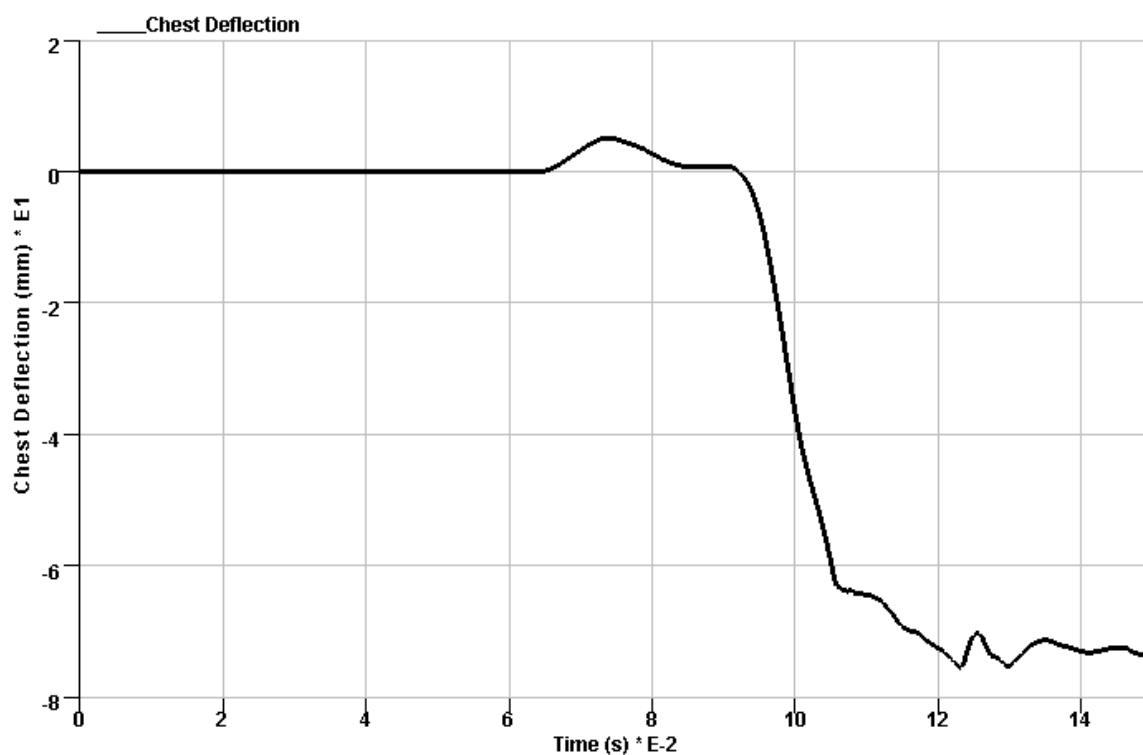
ภายใต้เงื่อนไขความเร็วของแกนบังคับเลี้ยวเคลื่อนที่ช้าเนื่องจากการกระแทกของรถมอเตอร์ไซด์ที่ประตูด้านข้างรถยนต์ด้วยความเร็ว 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และการเคลื่อนที่ของผู้โดยสารเป็นการเคลื่อนที่เชิงเส้น การจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้ระเบียบวิธีการทางไฟไนต์เอลิเมนต์ในกรณีที่ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่จะถูกนำมาวิเคราะห์ดังแสดงในรูปที่ 4.31 วัตถุประสงค์ของการจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำการเปรียบเทียบความรุนแรงที่หน้าอกของผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลัง ผลการคำนวณแสดงให้เห็นกราฟอัตราเร่งและการยุบตัวของผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่ในขณะเริ่มกระแทกจนถึงสิ้นสุดการกระแทกดังแสดงในรูปที่ 4.32 และ 4.33 ตามลำดับ การยุบตัวสูงสุดบริเวณที่หน้าอกผู้โดยสารเด็กในกรณีที่นั่งอยู่ด้านหลังจะมีค่าเท่ากับ 75.5 มิลลิเมตร ซึ่งทำให้เกิดการบาดเจ็บอย่างรุนแรง แต่การบาดเจ็บน้อยกว่าเด็กนั่งหน้า นอกเหนือจากนี้อัตราเร่งที่เกิดขึ้นสูงสุดจะอยู่ที่ 429.227 เมตรต่อวินาทีกำลังสอง หรือ 43.75 G แรงกระแทกที่เกิดขึ้นที่ตัวเด็กจะมีค่าเท่ากับ 43.75 ของน้ำหนักตัวผู้โดยสารเด็ก นอกเหนือจากนี้ ค่าความรุนแรงจากการกระแทกที่ศีรษะ HIC ในกรณีที่ผู้โดยสารเด็กนั่งที่ด้านหลังจะมีค่าสูงสุดอยู่ที่ 210.7 ซึ่งใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากผู้โดยสารเด็กนั่งด้านหน้า



รูปที่ 4.31 แบบจำลองท่านั่งในกรณีที่เด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่



รูปที่ 4.32 อัตราหน่วยที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหลังขณะเริ่มกระแทกแกนบังคับซ้าย (หน่วย มิลลิเมตรต่อวินาทีกำลังสอง)



รูปที่ 4.33 การยุบตัวที่หน้าอกของหุ่นจำลองเด็กที่นั่งอยู่ด้านหลังขณะเริ่มกระแทก (หน่วย มิลลิเมตร)

4.9 ผลสรุปของการจำลองเชิงตัวเลขสำหรับการชนรถมอเตอร์ไซด์ที่มีผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็ก

ผลสรุปของการจำลองการชนเชิงตัวเลขจะประกอบไปด้วยผลของการคำนวณในขั้นตอนที่ 1 ที่เป็นการวิเคราะห์ค่าความรุนแรงจากการกระแทกที่ศีรษะ HIC ในกรณีผู้โดยสารเด็กนั่งที่ด้านหน้าของผู้ขับขี่ กับขั้นตอนที่ 3 เป็นผลการวิเคราะห์ค่าการยุบตัวของหน้าอกของผู้โดยสารที่เป็นเด็กในกรณีเดียวกัน รวมทั้ง ค่า HIC และค่าการยุบตัวที่หน้าอกในกรณีที่ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่ นอกเหนือจาก ผลสรุปดังกล่าวจะทำการเปรียบเทียบภายใต้เงื่อนไขและสภาพเดียวกันโดยที่ความเร็วเริ่มต้นก่อนรถมอเตอร์ไซด์ชนด้านข้างของประตुरถยนต์จะถูกกำหนดไว้ให้มีค่าเท่ากับ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ตารางที่ 4.4 แสดงให้เห็นผลของการเปรียบเทียบค่าตัวชี้วัดที่ใช้พิจารณาความรุนแรงที่ศีรษะและการยุบตัวที่หน้าอกของผู้โดยสารเด็กนั่งในรถมอเตอร์ไซด์จากการชนโดยใช้กระบวนวิธีการไฟไนต์เอลิเมนต์ทั้งสองกรณี กล่าวคือ จากผลการเปรียบเทียบทั้งสองกรณีโดยใช้ตัวชี้วัดเดียวกัน ในกรณีที่มีผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังการบาดเจ็บที่ศีรษะจะสูงกว่าร้อยละ 33.77 ซึ่งค่าความแตกต่างของตัวชี้วัดของการบาดเจ็บที่ศีรษะไม่มีนัยสำคัญต่อระดับการบาดเจ็บรุนแรงที่ค่า HIC 1000 ในตัวชี้วัดความรุนแรงการบาดเจ็บอื่น การยุบตัวหน้าอกเด็กนั่งที่อยู่ด้านหน้าจะสูงกว่าเด็กนั่งหลังที่ร้อยละ 56.29 ดังนั้น ลักษณะการนั่งของเด็กที่เหมาะสมควรให้ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์ซึ่งสามารถลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บได้มากกว่าการให้ผู้โดยสารเด็กนั่งที่ด้านหน้า อย่างไรก็ตาม การสวมหมวกนิรภัยของผู้โดยสารและการจัดหาที่นั่งเด็กที่เหมาะสมจะเป็นสิ่งสำคัญเพื่อลดความเสี่ยงที่ศีรษะเด็กจากการกระแทกพื้นหรือบางส่วนโครงสร้างของรถยนต์ อีกทั้งที่นั่งที่เหมาะสมของเด็กควรมีการป้องกันไม่ให้ส่วนใดส่วนของร่างกายเด็กเลื่อนไถลไปกับพื้นหลังจากการชน

ตารางที่ 4.4 การเปรียบเทียบตัวชี้วัดความรุนแรงของผู้โดยสารเด็กจากการจำลองการชนของรถมอเตอร์ไซด์ชนที่ด้านข้างรถยนต์ด้วยความเร็ว 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

ตัวชี้วัดความรุนแรงการบาดเจ็บ	ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ที่ ด้านหน้าผู้ขับขี่	ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ที่ ด้านหลังผู้ขับขี่	ร้อยละ ผลต่างของตัวชี้วัด
การบาดเจ็บที่ศีรษะ (HIC ชัดสูงสุดอยู่ที่ 1000)	157.5	210.7	33.77 เทียบกับเด็กนั่งหน้า
การยุบตัวที่หน้าอก (ชัดสูงสุด 50 มิลลิเมตร)	118.0	75.50	56.29 เทียบกับเด็กนั่งหลัง

บทที่ 5

บทสรุปของโครงการ

ในการสุ่มเก็บข้อมูลโรงเรียนทั้งหมด 3 โรงเรียนสำหรับเขตบางซื่อที่มีจำนวนเด็กนักเรียนอยู่ที่ 1044 คนจากชั้นประถมปีที่ 1 ถึง ปีที่ 6 จำนวนการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนมากที่สุดอยู่ที่ร้อยละ 50.5 และน้อยสุดอยู่ที่ร้อยละ 42.2 นอกเหนือจากนี้ รูปแบบและจำนวนเด็กนักเรียนในการใช้รถมอเตอร์ไซด์ของเด็กนักเรียนมีความหลากหลาย เมื่อเปรียบเทียบระหว่างการโดยสารของเด็กนั่งที่ด้านหน้าและด้านหลังของรถมอเตอร์ไซด์ เด็กนักเรียนจะนั่งที่ด้านหลังมากกว่าด้านหน้าเกินครึ่งหนึ่งทั้งหมด

สำหรับการทดสอบการชนรถมอเตอร์ไซด์ที่ด้านข้างของรถยนต์ในห้องปฏิบัติการที่ประเทศมาเลเซีย รวมทั้งข้อจำกัดเกี่ยวกับเงื่อนไขที่ใช้ในจัดเตรียมอุปกรณ์ในการปล่อยรถมอเตอร์ไซด์ ความเร็วก่อนกระแทกที่ใช้ในการทดสอบครั้งแรกในกรณีที่เด็กนั่งด้านหลังผู้ขับขี่สามารถทำได้อยู่ที่ 42.2 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ในขณะที่ปล่อยให้รถมอเตอร์ไซด์วิ่งเข้าชนประตูด้านข้าง ขาด้านขวาของหุ่นทดสอบถูกรั้งจากอุปกรณ์รับแรงกระแทกทำให้เกิดการเสียหลักในการทรงตัวของหุ่นผู้ขับขี่ ผลลัพธ์ที่ได้คือ หุ่นทดสอบเด็กลอยกระแทกที่เสาโครงสร้างรถยนต์ ส่งผลให้ค่าความรุนแรงของการบาดเจ็บที่ศีรษะ (Head Injury Criteria, HIC) อยู่ที่ 7127.9 หรือแรงกระแทกที่ศีรษะเท่ากับ 777.82 เท่าของค่าแรงโน้มถ่วงของโลก ค่าดังกล่าวเทียบเท่ากับค่า AIS ระดับ 6 สำหรับผู้ใหญ่ แรงบิดที่คอของหุ่นทดสอบสามารถสังเกตเห็นได้จากภาพการกระแทกด้วยกล้องบันทึกวิดีโอความเร็วสูง

ในการทดสอบการชนที่ห้องปฏิบัติการครั้งที่สองกรณีที่ผู้โดยสารเด็กนั่งหน้าภายใต้ข้อจำกัดอุปกรณ์ในการปล่อยรถมอเตอร์ไซด์ ความเร็วของรถมอเตอร์ไซด์ก่อนทำการกระแทกด้านข้างของรถยนต์จะถูกกำหนดให้ต่ำกว่า 30 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ซึ่งค่าที่ได้จากการตรวจวัดจะอยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง ส่งผลให้ค่าความรุนแรงของการบาดเจ็บที่ศีรษะ (Head Injury Criteria, HIC) อยู่ที่ 175.3 ซึ่งน้อยกว่าเกณฑ์พิจารณาที่ 1000 หรือเทียบเท่ากับค่า AIS ระดับ 1 การกระแทกของหุ่นเด็กจะมีอยู่ 2 ครั้ง ในครั้งแรกเกิดจากมวลของตัวหุ่นเด็กที่กระแทกกับระบบบังคับเลี้ยวของรถมอเตอร์ไซด์ซึ่งจะเกิดที่หน้าอกของหุ่นเด็ก การกระแทกครั้งที่สองจะเกิดขึ้นจากมวลของหุ่นผู้ขับขี่ซึ่งจะทำให้หุ่นเด็กได้รับแรงกระแทกที่บริเวณศีรษะและหน้าอก

ในการจำลองเชิงตัวเลขของรถมอเตอร์ไซด์ที่มีผู้ขับขี่และผู้โดยสารเด็กชนที่ด้านข้างของรถยนต์ด้วยความเร็วก่อนชนอยู่ที่ 29.7 กิโลเมตรต่อชั่วโมง กระบวนการวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์รวมทั้งกระบวนการทวนสอบผลการคำนวณกับผลการทดสอบการชนในห้องปฏิบัติการสามารถนำมาใช้ในการตรวจสอบผลของความรุนแรงจากการกระแทกของผู้โดยสารที่เป็นเด็กในกรณีที่นั่งหน้าและนั่งหลังผู้ขับขี่ได้ ดังนั้น ผลการจำลองเชิงตัวเลขโดยใช้ตัวชี้วัดความรุนแรงการบาดเจ็บที่ศีรษะและหน้าอกของหุ่นเด็กภายใต้เงื่อนไขและสภาวะการชนเดียวกันแสดงให้เห็นว่า เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีที่ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังการบาดเจ็บที่ศีรษะในกรณีที่เด็กนั่งจะไม่มีแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ และ การยุบตัวหน้าหน้าอกเด็กนั่งหน้าจะสูงกว่ากรณีเด็กนั่งหลังร้อยละ 56.29 ดังนั้น ลักษณะการนั่งของเด็กที่เหมาะสมควรให้ผู้โดยสารเด็กนั่งอยู่ด้านหลังผู้ขับขี่รถมอเตอร์ไซด์ซึ่ง

สามารถลดความเสี่ยงต่อการบาดเจ็บได้มากกว่าการให้ผู้โดยสารเด็กนั่งที่ด้านหลัง อย่างไรก็ตามการสวมหมวกนิรภัยของผู้โดยสารและการจัดหาที่นั่งเด็กที่เหมาะสมจะเป็นสิ่งสำคัญเพื่อลดความเสี่ยงที่ศีรษะเด็กจากการกระแทกพื้นหรือบางส่วนโครงสร้างของรถยนต์ อีกทั้งที่นั่งที่เหมาะสมของเด็กควรมีการป้องกันไม่ให้ส่วนใดส่วนหนึ่งของร่างกายเด็กกลิ้งไถไปกับพื้นหลังจากการชน

เอกสารอ้างอิง

- [1] V. Kasantikul, "Motorcycle Accident Causation and Identification of countermeasures in Thailand Volume I: Bangkok study," *Chulalongkorn Univ. Thail.*, 2001.
- [2] N. Wittayarungruengsri, "Causes of Fatalities and Injuries from Motorcycle Accidents in Bangkok by Autopsy Investigation," Faculty of Science, Mahidol University, Bangkok, 2007.
- [3] C.-W. Pai and W. Saleh, "Exploring motorcyclist injury severity in approach-turn collisions at T-junctions: Focusing on the effects of driver's failure to yield and junction control measures," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 40, no. 2, pp. 479–486, Mar. 2008.
- [4] H. Zhao, R. Chen, G. Deng, Z. Yin, G. Yang, S. Liu, H. Chen, and Z. Wang, "Comparison of injuries sustained by drivers and pillion passengers in fatal head-on motorcycle collision accidents," *Forensic Sci. Int.*, vol. 207, no. 1–3, pp. 188–192, Apr. 2011.
- [5] A. Tavakoli Kashani, R. Rabieyan, and M. M. Besharati, "A data mining approach to investigate the factors influencing the crash severity of motorcycle pillion passengers," *J. Safety Res.*, vol. 51, pp. 93–98, Dec. 2014.
- [6] H.-P. Fan, M.-R. Lin, C.-H. Bai, P.-W. Huang, Y.-H. Chiang, and W.-T. Chiu, "Validation of the Chinese-language brief sensation seeking scale: Implications for risky riding behaviors of parental motorcyclists and their child passengers," *Accid. Anal. Prev.*, vol. 73, pp. 333–339, Dec. 2014.
- [7] มวลนิธิเมาไม่ขับ, "เอกสารโครงการวิจัยเพื่อศึกษาพฤติกรรมการสวมหมวกกันน็อกของเด็กนักเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร." [Online]. Available: www.ddd.or.th. [Accessed: 17-Feb-2016].
- [8] Save the Children, "เด็กต่ำกว่า 2 ปีไม่ควรนั่งมอเตอร์ไซด์ และกวดขันกฎหมายหมวกกันน็อกในเด็ก | Thailand | Save the Children." [Online]. Available: <https://thailand.savethechildren.net/news/>. [Accessed: 17-Feb-2016].
- [9] ศูนย์วิจัยเพื่อสร้างเสริมความปลอดภัยและป้องกันการบาดเจ็บในเด็ก, "เด็กไทย...ไม่ต้องใส่หมวกกันน็อก?" [Online]. Available: http://www.csip.org/csip/autopause/print.php?h=145&s_id=14&d_id=15&page=1. [Accessed: 17-Feb-2016].
- [10] สำนักงานพัฒนาระบบข้อมูลข่าวสารสุขภาพ, "สถานการณ์อุบัติเหตุในเด็กและเยาวชน." [Online]. Available: [http://www.hiso.or.th/hiso/picture/reportHealth/pro-6_Chapter2\(1\).pdf](http://www.hiso.or.th/hiso/picture/reportHealth/pro-6_Chapter2(1).pdf). [Accessed: 17-Feb-2016].

- [11] Euro New Car Assessment Program (Euro NCAP), “Protocols | Euro NCAP - For safer cars crash test safety rating,” 2014. [Online]. Available:
<http://www.euroncap.com/technical/protocols.aspx>. [Accessed: 09-Dec-2014].
- [12] Tom Roderick Jul and 2012, “Riding Safe: Crash Avoidance.” [Online]. Available:
<http://www.motorcycle.com/rider-safety/riding-safe-crash-avoidance-91333.html>.
[Accessed: 08-Dec-2014].
- [13] “Foto-Show: Innovative Schutzbekleidung im Crashtest - Motorradfotos - MOTORRAD online,” *MOTORRAD*. [Online]. Available:
<http://www.motorradonline.de/testsfahrberichte/foto-show-innovative-schutzbekleidung-im-crashtest/359855>. [Accessed: 08-Dec-2014].
- [14] *Malaysia MIROS 1st Motorcycle Outdoor Crash Test MMC0001*. 2010.
- [15] “Moto-Grip is designed to let motorcycle passengers hang on better.” [Online]. Available:
<http://www.gizmag.com/moto-grip-motorcycle-passenger-harness/19477/>. [Accessed: 08-Dec-2014].
- [16] “Child Seat Baby Ride GIVI S650 - Xavi Racing.” [Online]. Available:
<http://www.xaviracing.es/en/accessories-motorcycles/9-child-seat-baby-ride-givi-s650.html>. [Accessed: 08-Dec-2014].
- [17] Roberta Cunha Valente, “as motos tem ate cadeirinha pra bebe,” 12-Jan-2011. [Online]. Available: <https://www.flickr.com/photos/robertavalente/5373829926/>. [Accessed: 08-Dec-2014].
- [18] “ISO 13232-8:2005 - Motorcycles -- Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles -- Part 8: Documentation and reports.” [Online]. Available:
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=37428. [Accessed: 12-Dec-2014].
- [19] P. Kabinlapat, N. Panthamit, and P. Jariyapan, “The Relationship between Poverty and Economic Variables of Thailand,” *WMS J. Manag.*, vol. 1, no. 1, pp. 20–28, 2012.
- [20] สนิดา อ่อนหนู และ นพดล อุดมวิศวกุล, “นโยบาย เชิง สัญลักษณ์ เพื่อ การ แก้ ปัญหา จราจร: กรณี ศึกษา โครงการ ต่างๆ เกี่ยว กับ จักรยาน ใน เขต พระนคร กรุงเทพมหานคร,” *วารสาร วิทย บริการ มหาวิทยาลัย สงขลา นครินทร์ Acad. Serv. J. Prince Songkla Univ.*, vol. 24, no. 2, 2013.
- [21] สำนักงานสถิติแห่งชาติ, “จำนวนสถานศึกษา (แบบจัดชั้นเรียน) จำแนกตามสังกัด ทัวราชอาณาจักร ปี การศึกษา 2548-2556,” 2556. [Online]. Available:
http://service.nso.go.th/nso/web/statseries/tables/00000_Whole_Kingdom/institute-public-private-56.xls.

- [22] สำนักงานการศึกษา กรุงเทพมหานคร, “จำนวนนักเรียนสังกัดกรุงเทพมหานคร ปี การศึกษา 2558 จำแนก
รายโรงเรียน (ข้อมูล ณ 10 มิถุนายน 2558 ปรับปรุงเมื่อ 27 สิงหาคม 2558),” 2558. [Online].
Available: <http://www.bangkokeducation.in.th/stat.php?year=2558>. [Accessed: 12-Nov-
2015].
- [23] ศรีกาญจนา จตุพัฒน์วิโรตม, “ขนาดตัวมาตรฐานเด็กไทย (Thai children standard sizes),” in
Cluster fashion RMUTT มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2558.
- [24] H. Rowley and S. Baluja, *Personalized navigation routing : Patent No. WO2006073997 A1*.
Google Patents, 2006.
- [25] M. Papageorgiou, C. Diakaki, V. Dinopoulou, A. Kotsialos, and Y. Wang, “Review of road
traffic control strategies,” *Proc. IEEE*, vol. 91, no. 12, pp. 2043–2067, Dec. 2003.
- [26] “ISO 13232-8:2005 - Motorcycles -- Test and analysis procedures for research evaluation
of rider crash protective devices fitted to motorcycles -- Part 8: Documentation and
reports.” [Online]. Available:
http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=37428. [Accessed: 12-Dec-2014].
- [27] ASEAN NCAP, “NEW CAR ASSESSMENT PROGRAM for ASEAN.” [Online]. Available:
<http://www.aseancap.org/contact-us/>. [Accessed: 21-Jul-2015].
- [28] H.-W. Henn, “Crash tests and the head injury criterion,” *Teach. Math. Its Appl.*, vol. 17,
no. 4, pp. 162–170, 1998.
- [29] Euro New Car Assessment Program (Euro NCAP), “Protocols | Euro NCAP - For safer cars
crash test safety rating,” 2014. [Online]. Available:
<http://www.euroncap.com/technical/protocols.aspx>. [Accessed: 09-Dec-2014].
- [30] G. Bellavia and G. V. Mariotti, “DEVELOPMENT OF AN ANTHROPOMORPHIC MODEL FOR
VEHICLE-PEDESTRIAN CRASH TEST-,” *Ingegn Autoveicolo*, vol. 62, no. 3–4, pp. 48–56,
2009.
- [31] V. Kasantikul, “Motorcycle Accident Causation and Identification of countermeasures in
Thailand Volume I: Bangkok study,” *Chulalongkorn Univ. Thail.*, 2001.
- [32] World Health Organization, *Global status report on road safety 2015: supporting a
decade of action*. Geneva, Switzerland: WHO, 2015.
- [33] F. A. Berg, P. Rucker, M. Gartner, J. Konig, R. Grzebieta, and R. Zou, “Motorcycle impacts
into roadside barriers-Real-world accident studies, crash tests and simulations carried out
in Germany and Australia,” in *Proceedings of the Nineteenth International Conference
on Enhanced Safety of Vehicles*, Washington, DC, 2005.

- [34] “Helite Motorcycle Airbag ADAC Crash Test - YouTube.” [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=JgzxxlcbbFI>. [Accessed: 22-Jul-2015].
- [35] D. Barbani, N. Baldanzini, and M. Pierini, “Development and validation of an FE model for motorcycle-car crash test simulations,” *Int. J. Crashworthiness*, vol. 19, no. 3, pp. 244–263, May 2014.
- [36] “Euro NCAP | Official Site of The European New Car Assessment Programme.” [Online]. Available: <http://www.euroncap.com/en/>. [Accessed: 22-Jul-2015].
- [37] “Kyowa Electronic Instruments Co., Ltd.” [Online]. Available: <http://www.kyowa-ei.com/eng/company/index.html>. [Accessed: 22-Jul-2015].
- [38] U. W. Seiffert and L. Wech, *Automotive safety handbook*. 2007.
- [39] “Humanetics ATD: Anthropomorphic Test Device.” [Online]. Available: <http://www.humaneticsatd.com/>. [Accessed: 24-Jul-2015].
- [40] “JASTI CO., LTD. Anthropomorphic Test Device.” [Online]. Available: <http://www.jasti.co.jp/en/about.html>. [Accessed: 24-Jul-2015].
- [41] “BGS - Böhme & Gehring GmbH.” [Online]. Available: <http://www.boehme-gehring.de/>. [Accessed: 24-Jul-2015].
- [42] Dynamic Research, Inc. - Special Purpose Experimental Devices in Support of Services, “ISO MATD (Motorcycle Anthropometric Test Device).” [Online]. Available: http://www.dynres.com/prod_crashtestdummy.html. [Accessed: 24-Jul-2015].
- [42] R. Capitani, S. S. Pellari, and R. Lavezzi, “Design and numerical evaluation of an airbag-jacket for motorcyclists,” *BERICHTE Bundesanst. FUER Strassenwes. UNTERREIHE FAHRZEUGTECHNIK*, no. 77, 2010.
- [44] S. Sakamoto, “Research History of Motorcycle Leg Protection,” SAE International, Warrendale, PA, SAE Technical Paper 900755, Feb. 1990.
- [45] T. A. Frank, J. W. Smith, D. C. Hansen, and S. M. Werner, “Motorcycle rider trajectory in pitch-over brake applications and impacts,” SAE Technical Paper, 2008.
- [46] T. Smith, J. Zellner, and N. M. Rogers, “A three dimensional analysis of riding posture on three different styles of motorcycle,” in *International Motorcycle Safety Conference-March*, 2006.
- [47] HongLeong Yamaha Motor, “Product Specification of Yamaha Lagenda 115Z.” [Online]. Available: <http://www.yamaha-motor.com.my/products-details.php?id=5>. [Accessed: 25-Jul-2015].

- [48] Perodua Malaysia Motor, “Product specification of Myvi 2014.” [Online]. Available: <http://www.perodua.com.my/ourcars/myvi>. [Accessed: 25-Jul-2015].
- [49] J. E. Dolbow, Finite Elements in Analysis and Design; An International Journal for Innovations in Computational Methodology and Application. Elsevier.
- [50] A. Gravouil and A. Combescure, “Multi-time-step explicit–implicit method for non-linear structural dynamics,” Int. J. Numer. Methods Eng., vol. 50, no. 1, pp. 199–225, Jan. 2001.
- [51] Livermore Software Technology Corporation, “LSTC Dummy Models Overview.” [Online]. Available: <http://www.lstc.com/products/models/dummies>. [Accessed: 19-Jul-2015].
- [52] “ATOS Compact Scan: GOM.” [Online]. Available: <http://www.gom.com/metrology-systems/atos/atos-compact-scan.html>. [Accessed: 05-Jul-2016].
- [53] D. Marzougui, R. R. Samaha, C. Cui, C. Kan, and K. S. Opiela, “Extended validation of the finite element model for the 2010 Toyota Yaris passenger Sedan,” Working Paper, NCAC 2012-W-005, 2012.
- [54] K. Abdel-Malek and J. Arora, Human Motion Simulation: Predictive Dynamics. Elsevier Science, 2013.
- [55] S. H. Backaitis and H. J. Mertz, Hybrid III: The First Human-like Crash Test Dummy. Society of Automotive Engineers, 1993.