การพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

DEVELOPMENT OF RECYCLED PLASTIC GUARDRAIL

กีร์ติกร อินทรักษ์[1] ชลัท ทิพากรเกียรติ[2] นันทชัย ชูศิลป์[3] และ จรูญ เจริญเนตรกุล[4]
[1]นักศึกษาระดับปริญญาโท, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย, 2/4 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000,
keetikorn52@hotmail.com
[2, 3, 4]อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี
ราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถ.ราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา 90000,
[2]chalat.t@rmutsv.ac.th, [3]nuntachai.c@rmutsv.ac.th, [4]charoon.c@rmutsv.ac.th

Keetikorn Intarak[1], Chalat Tipakornkiat[2] Nuntachai Chusilp[3] and Charoon Charoennetkul[4]
[1]Master Student, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala
University of Technology Srivijaya Songkhla Campus, 2/4 Ratchadamnoennok Rd.,
Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand, Keetikorn52@hotmail.com
[2, 3, 4]Lecturer, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Rajamangala
University of Technology Srivijaya Songkhla Campus, 2/4 Ratchadamnoennok Rd.,
Boyang Sub-district, Muang District, Songkhla 90000, Thailand,
[2]chalat.t@rmutsv.ac.th, [3]nuntachai.c@rmutsv.ac.th, [4]charoon.c@rmutsv.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาวัสดุทดแทนราวกันอันตราย (Guardrail) จากพลาสติกรีไซเคิล โดยเริ่มจากใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ Robot Structural Analysis ทำแบบจำลองราวกันอันตรายขึ้นมา ประกอบด้วยพลาสติกชนิดต่างๆ ดังนี้ 1) High Density Polyethylene (HDPE) 2) Low density polyethylene (LDPE) 3) Polypropylene (PP) 4) Polystyrene (PS) 5) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพราวกันอันตราย ตามมาตรฐาน NCHRP 350 (TL-3) จากผลการวิเคราะห์จากโปรแกรม พบว่า พลาสติกชนิด ABS และชนิด PS มีค่า Deformation ที่น้อยกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ จึงนำพลาสติกทั้งคู่ไปพัฒนาขึ้นรูปเป็นราวกันอันตรายพลาสติกตัวต้นแบบ ด้วยเครื่อง Single Screw Extruder ให้เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.0 m X 0.3 m X 0.01 m จำนวนทั้งหมด 40 ชิ้น นำชิ้นงานไปทดสอบแรงดัด (Flexural Strength Test) พบว่า ราวกันอันตรายชนิด ABS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.099 kN/mm และชนิด PS ได้กำลังดัด

เฉลี่ยเท่ากับ 0.672 kN/mm และชนิด ABS + PS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.496 kN/mm จากนั้นนำไปทดสอบด้วยวิธีการชนหรือ โมเมนตัม (Momentum Test) ด้วยลูกตุ้มที่มีมวลขนาด 101 kg ความเร็วในการทดสอบ 20 km/h พบว่าชนิด ABS มีระยะ Deflection เฉลี่ยอยู่ที่ 86.99 mm ชนิด PS มีระยะ Deflection เฉลี่ยอยู่ที่ 57.08 mm และชนิด ABS + PS ได้ระยะ Deflection เฉลี่ยเท่ากับ 101.31 mm และสามารถประคองลูกตุ้มให้กลับสู่ตำแหน่งเดิมได้หลังจากทำการทดสอบโดยไม่ทะลุผ่านราวกันกันอันตราย

คำสำคัญ: ราวกันอันตราย, NCHRP 350, การทดสอบโมเมนตัม

ABSTRACT

The objective of this research is to study the replacement of Guardrail from recycled plastic. It started by using a computer program Robot Structural Analysis to make a model of the guardrail. It consists of various types of plastics as follows: 1) High Density Polyethylene (HDPE) 2) Low density polyethylene (LDPE) 3) Polypropylene (PP) 4) Polystyrene (PS) 5) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) to analyze the guardrail performance. according to NCHRP 350 (TL-3) standard, the results of the program analysis showed that ABS and PS plastics had lower deformation values than other plastics. Therefore, both pairs of plastic were used to develop plastic forming with a Single Screw Extruder into a rectangular shape with dimensions of 1.0 m X 0.3 m X 0.01 m Total amount of 40 pieces were taken to test the Flexural Strength Test, found that The ABS type has an average Flexural Strength of 1.099 kN/mm, and the PS type has an average Flexural Strength of 0.672 kN/mm and the ABS + PS type has an average Flexural strength of 1.496 kN/mm The momentum test was performed with a pendulum with a mass of 101 kg The test speed was 20 km/h It was found that the ABS type had an average deflection distance of 86.99 mm The PS type had an average deflection distance of 57.08 mm and the ABS + PS type has an average deflection distance of 101.31 mm and able to redirect the pendulum to its original position after testing without breaking through the guardrail

KEYWORDS: Guardrail**,** NCHRP 350, Momentum Test

1. บทนำ

ร่างแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติฉบับที่ 13 (พ.ศ.2566-2570) [1] ได้ให้ความสำคัญเกี่ยวกับความปลอดภัยในการจราจรและการใช้รถใช้ถนนของประชากรวัยเด็กและวัยแรงงาน โดย

ให้ทุกภาคส่วนหาแนวทางในการป้องกันและจัดการกับปัญหาอุบัติเหตุทางถนนอย่างมีประสิทธิภาพ เพราะในปี พ.ศ.2563 ประเทศไทยถูกจัดอันดับให้เป็นประเทศที่มีอัตราการเสียชีวิตสูงเป็นอันดับที่สองของโลก โดยมีอัตราการเสียชีวิตอยู่ที่ 32.7 ต่อประชากรหนึ่งแสนคน [2] หากจำแนกตามการเกิดอุบัติเหตุ โดยประเมินจากการจำแนกความเสียหายของทรัพย์สิน ของกรมทางหลวงในปีพ.ศ.2563 [3] พบว่า ผู้ประสบเหตุประเภทหลุดออกข้างทางจะไปชนราวกันอันตราย รั้วริมทาง หลักกั้นโค้ง และอุปกรณ์กันชน เกิดอุบัติเหตุรวมกันถึง 2,274 ครั้ง ซึ่งเป็นปัจจัยในการเพิ่มความรุนแรง อันนำไปสู่การเสียชีวิตถึง 81 ราย ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อุบัติเหตุบนทางหลวง จำแนกตามความเสียหายทรัพย์สิน ของกรมทางหลวงในปี 2563 [3]

ประเภททรัพย์สิน	อุบัติเหตุที่ทรัพย์สินเสียหาย	
	อุบัติเหตุ (ครั้ง)	เกิดการตาย (ราย)
ป้ายจราจร/ป้ายทางหลวง	2,564	110
ราวกันอันตราย/รั้วริมทาง/หลักกันโค้ง/อุปกรณ์กันชน	2,274	81
อุปกรณ์ไฟฟ้าและไฟฟ้าแสงสว่าง	3,858	148
อุปกรณ์สัญญาณและสัญญาณไฟจราจร	668	25
ผิวจราจร/คันทาง	140	8
สะพาน	104	8
หลัก กม./หลักเขตทาง	511	29
เกาะ/รั้วกั้นกลางถนน	509	19
ต้นไม้	293	11
ศาลาทางหลวง	103	4
อื่นๆ	60	5
รวมรายการทรัพย์สินที่ถูกชน	11,084	448

ปัจจุบันมีนวัตกรรมลดความรุนแรงจากอุบัติเหตุข้างทาง โดยใช้วัสดุพลาสติกนำมาประกอบเป็นราวกันอันตรายที่ใช้งานจริงได้ในต่างประเทศได้แก่ 1) สาธารณรัฐประชาชนจีน 2) สาธารณรัฐเกาหลี 3) ประเทศไต้หวัน [4-6] โดยมีข้อดีดังต่อไปนี้ ประการที่หนึ่ง ต้นทุนในการผลิตมีราคาที่ถูก

กว่าราวกันอันตรายที่ทำจากเหล็ก ประการที่สอง ลักษณะทางกายภาพมีความยืดหยุ่นกว่าเหล็ก ดังนั้นจึงดูดซับแรงกระแทกจากการชนของยานพาหนะทำให้ไม่เกิดความเสียหายอย่างมาก ประการที่สาม ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศ นอกจากนี้ยังมีข้อดีของพลาสติก เช่น สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้ และช่วยลดปัญหาขยะจากพลาสติกที่เกิดขึ้นในประเทศ ประกอบกับปัญหาขยะในประเทศไทยมีปริมาณขยะสูงขึ้นต่อเนื่องขึ้นทุกปี

ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดโครงการพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิลโดยมี เป้าหมายเพื่อสร้างนวัตกรรมที่ลดการบาดเจ็บและเสียชีวิตจากอุบัติเหตุทางถนน และร่วมลดปัญหาขยะจากพลาสติกโดยการนำกลับมาพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่สร้างคุณค่าในตัววัสดุเองและช่วยชุมชนให้ปลอดภัยมากยิ่งขึ้น โดยจะทำการพัฒนาให้เป็นราวกันอันตรายตัวต้นแบบ ที่เหมาะสำหรับบริเวณถนนที่ผ่านเขตชุมชน และใช้รถในการสัญจรด้วยความเร็วต่ำโดยมีหลักในการทดสอบการชนของอุปกรณ์จากการทดสอบจากการจำลองด้วยโปรแกรมและนำไปสู่การทดสอบจริงในภาคสนาม

การทดสอบการชน (Crash Test) เป็นกระบวนการสำคัญเพื่อประเมินถึงประสิทธิภาพความปลอดภัยของ อุปกรณ์กั้นและอุปกรณ์ลดความรุนแรง โดยจำเป็นจะต้องมีการกำหนดปัจจัยและตัวแปรต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เพื่อให้ผลการทดสอบการชนมีความเหมาะสมและได้รับการยอมรับจากทุกฝ่าย ทั้งนี้ ในสหรัฐอเมริกากำหนดให้อุปกรณ์กั้นจะต้องผ่านการทดสอบการชนตามมาตรฐาน NCHRP 350 ในขณะที่สหภาพยุโรปเลือกใช้มาตรฐาน EN 1317 ในการทดสอบนั้น มีปัจจัยที่เป็นตัวควบคุมในการทดสอบ (Testing Conditions) ได้แก่ ประเภทและน้ำหนักของรถทดสอบ ความเร็ว มุมชน ตำแหน่งที่ปะทะของอุปกรณ์ เนื่องจากการนำรถมาชนกับอุปกรณ์ราวกันอันตรายจริงในสนามเป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายที่สูง ทางผู้วิจัยจึงเลือกใช้การจำลองด้วยโปรแกรม Robot Structural Analysis เพื่อเป็นการวิเคราะห์ในทางกลศาสตร์แทน โดยทำการแปลงน้ำหนักรถ ความเร็ว และมุมการชน โดยใช้ทฤษฎีทางฟิสิกส์มาทำการศึกษาผลของค่าการโก่งตัวของราวกันอันตรายจากโปรแกรม จากนั้นจึงจำไปสู่การทดสอบในสนามอีกครั้ง

2. วัตถุประสงค์ของโครงการ

2.1) เพื่อศึกษาเปรียบเทียบสมบัติเชิงกลของพลาสติกรีไซเคิล

2.2) เพื่อพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

การวิจัยนี้ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนได้แก่

1) การวิเคราะห์การออกแบบราวกันอันตรายด้วยโปรแกรม Robot Structural Analysis จะทำการวิเคราะห์ออกแบบโดย ทางผู้วิจัยเลือกใช้มาตรฐาน NCHRP 350 ที่ระดับ (TL-3) เนื่องจากผู้วิจัยเลือกการจำลองเป็นราวกันอันตรายรูปตัว W แบบเพิ่มประสิทธิภาพโดยใช้เสาแบบอ่อน (Modified W-Beam Weak Post Guardrail) ราวกันอันตรายประเภทนี้เป็นแบบเพิ่มประสิทธิภาพและเป็นอุปกรณ์กั้นแบบยืดหยุ่น และคัดเลือกชนิดของพลาสติกชนิดที่เหมาะสมที่สุด โดยมีกลุ่มพลาสติกตัวอย่างดังนี้ 1) High Density Polyethylene (HDPE) 2) Low density polyethylene (LDPE) 3) Polypropylene (PP) 4) Polystyrene (PS) 5) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) การวิเคราะห์หาค่าการโก่งตัวทางด้านข้างของราวกันอันตราย ต้องทราบค่าของแรงและมุมที่กระทำต่อแนวระนาบราวกันอันตราย โดยที่มาตรฐาน NCHRP 350 ที่ระดับการชน TL3 ได้กำหนดค่ามาตรฐานในการทดสอบ ซึ่งจะให้ค่าน้ำหนักของรถ มุมที่กระทำต่อแนวระนาบราวกันชนและความเร็ว จะเห็นได้ว่าไม่มีค่าของแรงให้มากับมาตรฐานการทดสอบ ดังนั้นในการที่จะทราบค่าของแรงที่กระทำต่อราวกันอันตรายจึงจำเป็นต้องใช้ทฤษฎีดังนี้

$$\text{โมเมนตัม} = \text{มวล} \times \text{ความเร็ว} \tag{1}$$

2) กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบ Extrusion ให้เป็นราวกันอันตราย เป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.0 m X 0.3 m X 0.01m

3) การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength Test) ชนิดพลาสติก 1) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) 2) Polystyrene (PS) และ 3) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) + Polystyrene (PS) แต่ละชนิดจำนวน 5 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมด 15 ชิ้น

4) การทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum test) ชนิดพลาสติก 1) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) 2) Polystyrene (PS) และ 3) Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) + Polystyrene (PS) แต่ละชนิดจำนวน 5 ตัวอย่าง รวมตัวอย่างทั้งหมด 15 ชิ้น โดยมีรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนดังนี้

3.1 การวิเคราะห์การออกแบบราวกันอันตรายด้วยโปรแกรม Robot Structural Analysis

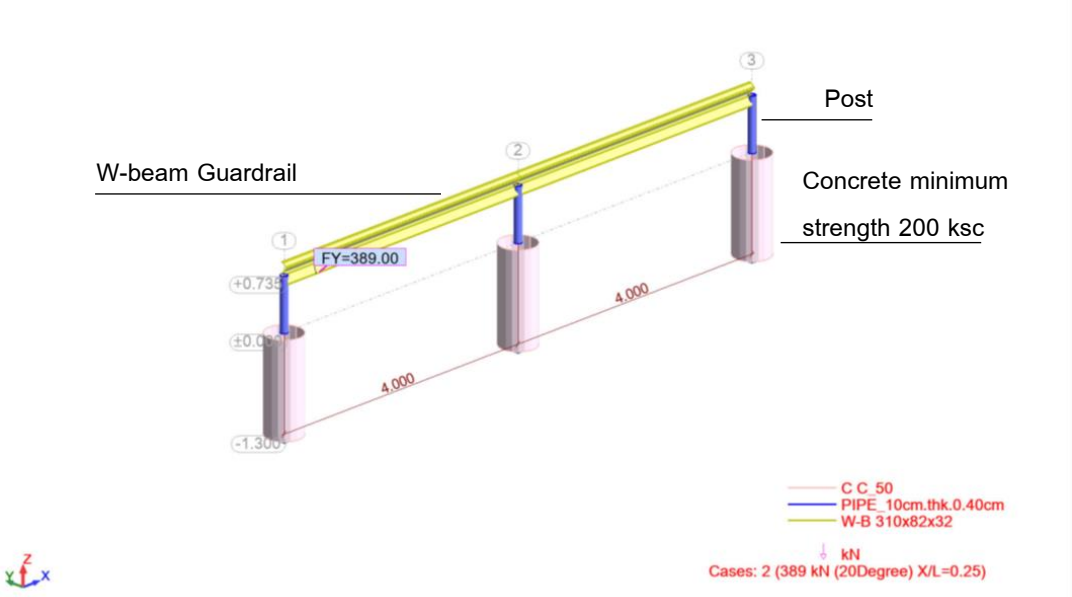
กระบวนการวิเคราะห์การออกแบบราวกันอันตราย จะทำการวิเคราะห์ออกแบบโดยใช้โปรแกรม Robot Structural Analysis [7, 8] เพื่อใช้เป็นแนวทางการวิเคราะห์ข้อมูลว่าพลาสติกชนิดใดเหมาะสมสำหรับการนำไปพัฒนาเป็นราวกันอันตรายได้อย่างเหมาะสม โดยนำค่าคุณสมบัติของ plastic property ไปป้อนลงในโปรแกรมโดยทำการคัดเลือกชนิดพลาสติกมาป้อนข้อมูลทั้งหมด 5 ชนิดได้แก่พลาสติกชนิด 1) High Density Polyethylene (HDPE) 2) Low density polyethylene (LDPE) 3) Polypropylene (PP) 4) Polystyrene (PS) 5) Acrylonitrile Butadiene

Styrene (ABS) และกำหนดแรงที่กระทำต่อราวกันอันตรายตามมาตรฐาน TL-3 ของมาตรฐาน NCHRP 350 [9] โดยขอบเขตแรงที่กระทำดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งการทำงานของโปรแกรมสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ ได้แก่ 1) การระบุค่าพารามิเตอร์ของวัสดุและแรงกระทำ 2) ผลการวิเคราะห์ทางกล

Loads - Cases

Case	Label	Case name	Nature
1	DL 1	SW (Self Weight)	Dead
2	LL 1	389 kN (20 Degree) X/L=0.25	Live
3	LL 2	456 kN (20 Degree) X/L=0.25	Live
4	LL 21	1112 kN (20 Degree) X/L=0.25	Live
5	LL 211	1112 kN (25 Degree) X/L=0.25	Live
6	LL 2111	389 kN (20 Degree) X/L=0.50	Live

รูปที่ 1 ขอบเขตแรงที่กระทำต่อราวกันอันตราย



รูปที่ 2 แบบจำลองราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

จากการวิเคราะห์แบบจำลองราวกันอันตรายโดยใช้โปรแกรม Robot Structural Analysis ทางผู้วิจัยได้จัดกลุ่มตัวแปรที่สัมพันธ์กับค่าระยะ Deflection ได้แก่ ความหนาของ W-Beam แบ่งออกเป็น 2 แบบ ได้แก่ 0.32 cm และ 0.65 cm อัตราส่วนระหว่างระยะที่ชนต่อความยาวแบบจำลอง

ราวกันอันตราย แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ ได้แก่ 0.25 และ 0.5 ความสูงเสาเหล็กวัดจากระดับพื้น แบ่งออกเป็น 3 ระดับ ได้แก่ 73.5 cm 80 cm และ 86.5 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเหล็ก แบ่งออกเป็น 3 ขนาด ได้แก่ 10 cm. 12.5 cm และ 15 cm แรงและมุมการชนโดยหาได้จากสมการที่ (2) แบ่งออกเป็น 4 ขนาด ได้แก่ 1) 389 kN 2) 456 kN 3) 1,112 kN ที่มุม 20 องศา และ 4) 1,112 kN ที่มุม 25 องศา และตัวอย่างรถยนต์ที่นำมาทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3

$$m\Delta v = F\Delta t \tag{2}$$

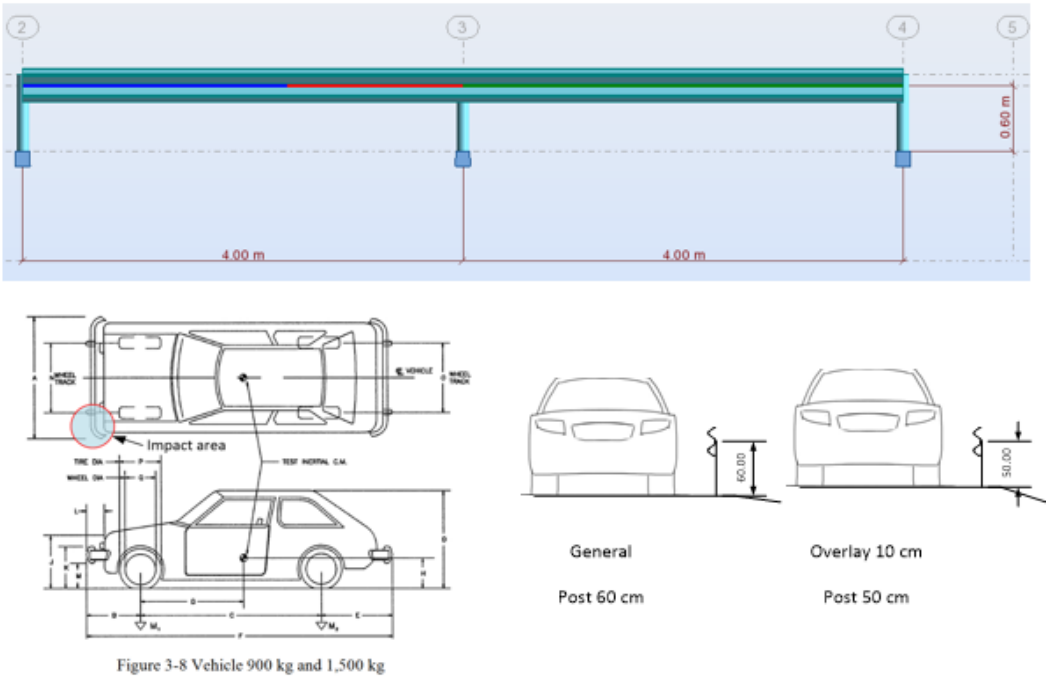
โดยที่

m = มวล (kg)

v = ความเร็ว (m/s)

F = แรง (N)

t = เวลา (s)



รูปที่ 3 ตัวอย่างแบบจำลองราวกันอันตรายและรถยนต์ที่ใช้ในการทดสอบการชน

3.2 กระบวนการขึ้นรูปพลาสติกแบบ Extrusion

เป็นกระบวนการขึ้นรูปสำหรับเทอร์โมพลาสติก โดยเม็ดพลาสติกจะเข้าสู่เครื่องทาง Hopper จากนั้นจะถูกหลอมภายในเครื่องอัดรีด (extruder) โดยอาศัยทั้งความร้อน แรงเฉือน และความดัน พลาสติกหลอมจะถูกดันออกสู่แม่พิมพ์ (mold) ที่บริเวณปลายเปิด (Die) เพื่อขึ้นรูปตามต้องการ พลาสติกหลอมที่ออกจากหน้า Die เรียกว่า extrudate ในบางกระบวนการจะมีการให้ความเย็น (cooling) หลังจากพลาสติกออกจากหน้า Die แล้วเพื่อให้คงรูปตามที่ต้องการ ทางผู้วิจัยจึงได้นำเม็ดพลาสติกรีไซเคิล ชนิด Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) และ Polystyrene (PS) ไปผสมผ่านเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder) [10] โดยใช้อุณหภูมิสภาวะของเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวที่เหมาะสมของชนิดพลาสติกในการผลิตได้แก่ ชนิด Acrylonitrile butadiene styrene (ABS) ใช้อุณหภูมิในการผลิตอยู่ที่ 190°C - 290°C และชนิด Polystyrene (PS) ใช้อุณหภูมิในการผลิตอยู่ที่ 220°C - 270°Cให้เป็นชิ้นงานรูปทรงสีเหลี่ยมผืนผ้าขนาด 1.0 m x 0.3 m x 0.01 m

รูปที่ 4 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder)

รูปที่ 5 ราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล ชนิด Polystyrene (PS)

รูปที่ 6 ราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล ชนิด **Acrylonitrile butadiene styrene (ABS)**

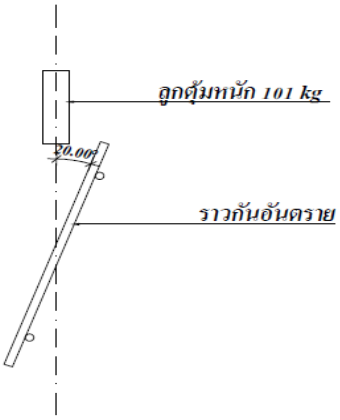
3.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength Test)

ผู้วิจัยใช้เครื่องมือทดสอบอเนกประสงค์ (Universal Testing Machine) ทำการทดสอบกับชิ้นงานตัวอย่าง โดยวางบน Simple Support และใช้น้ำหนักกระทำแบบ Center Point Loading ผลของค่ากำลังต้านทานแรงดัดจะอยู่ในรูปของโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) โดยเป็นค่าหน่วยแรงดึงสูงสุด ณ จุดแตกร้าวในชิ้นงานที่ทำการทดสอบ การทดสอบแรงดัดนั้นผู้วิจัยได้แบ่งกลุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ ราวกันอันตรายชนิด ABS จำนวน 5 ชิ้น ราวกันอันตรายชนิด PS จำนวน 5 ชิ้น และราวกันอันตรายชนิด ABS+PS จำนวน 5 ชิ้น จากนั้นนำไปทดสอบหาค่ากำลังดัด [11]

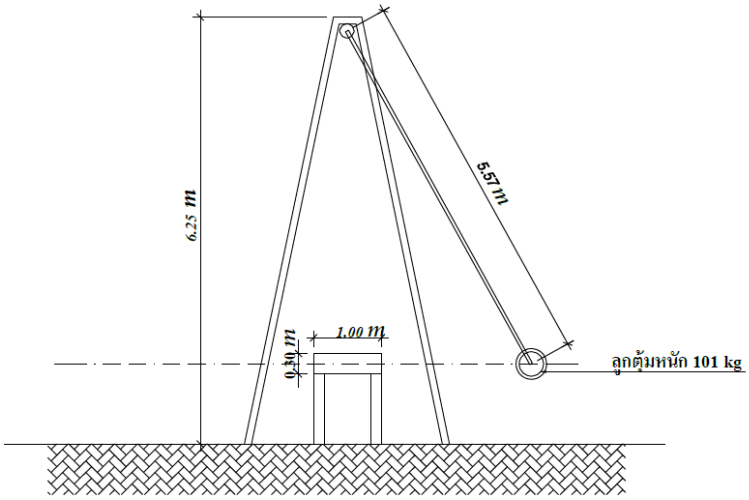
รูปที่ 7 การทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด **(Flexural Strength Test)**

3.4 การทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum test)

ผู้วิจัยทำการทดสอบราวกันอันตรายโดยประยุกต์วิธีเพื่อหาพลังงานที่มากระทำให้ราวกันอันอันตรายแตกหักโดยวิธี simple pendulum [12] โดยมีวิธีการทดสอบด้วยการนำราวกันอันตรายไปติดตั้งที่จุดศูนย์กลาง และให้ชิ้นงานทำมุม 20 องศา กับแนวลูกตุ้ม จากนั้นทำการยกลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 101 kg มุมองศาในการยก 45 องศา ได้ระยะทางสูง 2.631 m จากพื้นดินและทำการปล่อยลูกตุ้มเพื่อให้ได้ความเร็วเท่ากับ 20 km/h [13] โดยใช้การวิเคราะห์จากสมการที่ (3) - (6) และแบ่งทำการทดสอบเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ราวกันอันตรายพลาสติกชนิด ABS จำนวน 5 ชิ้น ราวกันอันตรายชนิด PS จำนวน 5 ชิ้น และชนิด ABS+PS จำนวน 5 ชิ้น รวมเป็น 15 ชิ้นมาทำการทดสอบ และใช้ไม้สต๊าฟ (Staff) วัดระยะDeflection ที่เกิดขึ้น



(ก) การทดสอบโมเมนตัม (ภาพด้านบน)



(ข) การทดสอบโมเมนตัม (ภาพด้านข้าง)

รูปที่ 8 การทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum test)

รูปที่ 9 เครื่องมือทดสอบการทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum Test)

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2 \tag{3}$$

$$(g)(l - l\cos\theta) = \frac{1}{2}v^2 \tag{4}$$

$$v = \sqrt{2gh} \tag{5}$$

$$P = mv \tag{6}$$

โดยที่

m = มวล (kg)

g = ค่าความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก 9.81 m/s²

l = ความยาวแขนของลูกตุ้ม (m)

h = ความสูงระยะยกของลูกตุ้มวัดจากพื้น (m)

v = ความเร็ว (m/s)

P = โมเมนตัม (kg m/s)

(ก) การติดตั้งราวกันอันตรายชนิด PS

(ข) การติดตั้งราวกันอันตรายชนิด ABS

(ค) การติดตั้งราวกันอันตรายชนิด ABS+PS

รูปที่ 10 การติดตั้งราวกันอันตรายชนิด PS,ABS,ABS + PS

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Robot structure analysis พบว่าชนิดของพลาสติกและความหนาของ Guardrail มีผลต่อระยะ Deformation โดยความหนาที่น้อยกว่า มีค่า Deformation ที่มากกว่าโดยในแบบแรกจากพลาสติกทุกชนิดที่มีความหนา 0.32 cm มีระยะ Deformation อยู่ระหว่าง 10 – 569.4 m ในขณะที่แบบที่สองมีความหนา 0.65 cm มีระยะ Deformation มากที่สุดที่ 279.6 m ซึ่งมีค่า Deformation น้อยกว่าแบบแรกถึง 49% จากผลการทดลองดังกล่าวสรุปได้ว่า ความหนาที่มากขึ้นมีผลต่อระยะ Deformation ที่ลดลง และชนิดของพลาสติก ABS และ PS มีความเหมาะสมที่จะนำไปขึ้นรูปเป็นราวกันอันตราย เนื่องจากมีระยะ Deformation ที่น้อยกว่าพลาสติกชนิดอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 13 และ 14

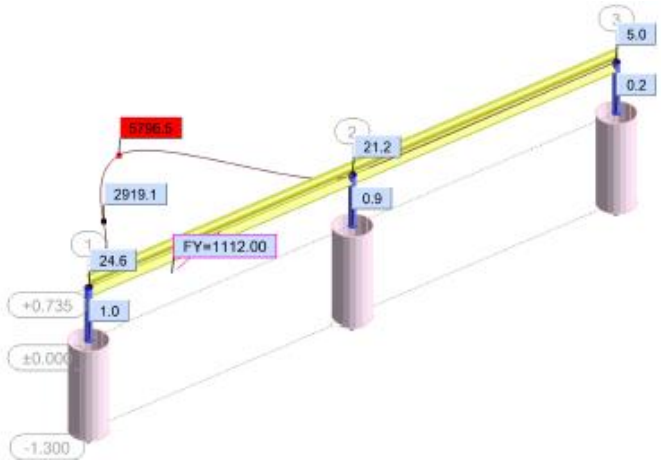
เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมจากข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองราวกันอันตรายจำนวน 720 แบบจำลอง สามารถอธิบายโดยใช้หลัก Multiple Regression สร้างความสัมพันธ์ของตัวแปร โดยกำหนดตัวแปรตามคือ ค่า Deflection ตัวแปรต้นประกอบด้วย ความหนาของ Guardrail

(Thickness) ระยะ x/L ความสูงของเสา (Height) เส้นผ่านศูนย์กลางเสา (Diameter) และแรงที่ชน Guard Rail (Force) ของทุกประเภทจะได้ดังสมการ (7)

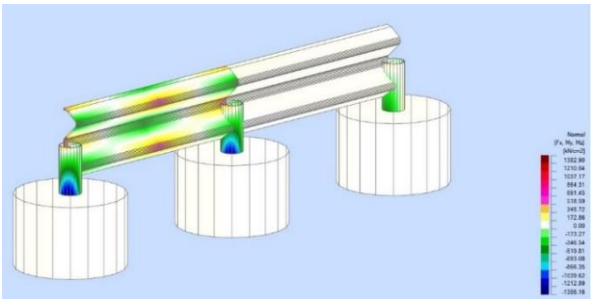
$$\text{Deformation} = 96.58 - (12.81 \times \text{Thickness}) - (44.87 \times x/L) + (1.35 \times \text{Height}) - (7.55 \times \text{Diameter}) + (12.11 \times \text{Force}) \quad (7)$$

จากสมการ (7) ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรทั้งหมด แสดงให้เห็นว่า ความหนาของ W-Beam มากขึ้น ค่า Deformation จะน้อยลง โดยดูจากสัมประสิทธิ์ -12.18 ระยะ x/L ยิ่งมีค่าเข้าใกล้ L ค่า Deformation จะลดลง โดยดูจากสัมประสิทธิ์ -44.87 ความสูงของเสาเหล็กวัดจากระดับพื้นยิ่งมีความสูงมาก ค่า Deformation จะยิ่งมาก โดยดูจากสัมประสิทธิ์ +1.35 ด้านตัวแปรเส้นผ่านศูนย์กลางและความหนาของเสาเหล็ก ยิ่งเส้นผ่านศูนย์กลางของเสามาก ค่า Deformation จะยิ่งน้อยลง โดยดูจากสัมประสิทธิ์ -7.55 และตัวแปรสุดท้าย คือ Force ให้ค่าสัมประสิทธิ์ +12.11 แปลว่า ยิ่งแรงมาก ค่า Deformation ยิ่งมากขึ้นตามไปด้วย

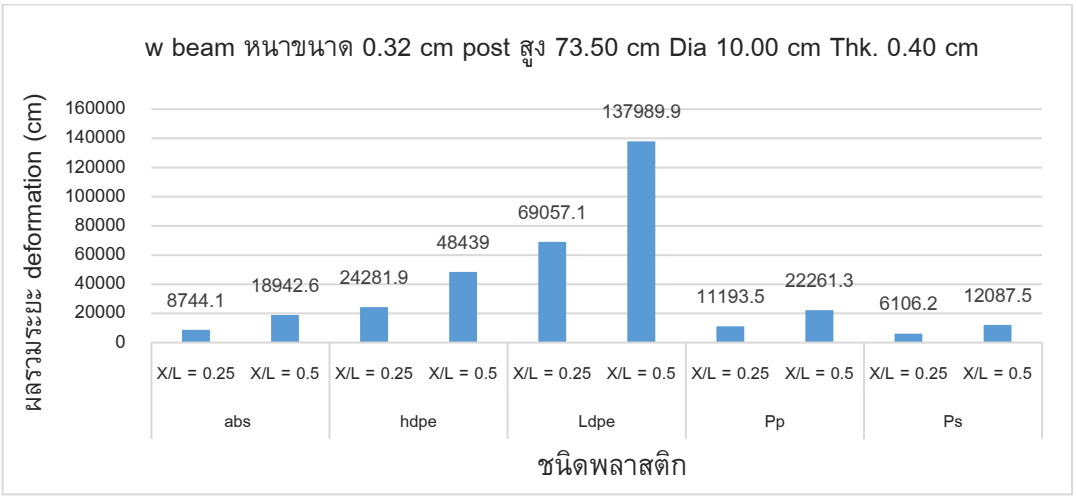
เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์แล้ว พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ที่มีผลทำให้ค่า Deformation น้อยที่สุด คือ x/L , W-Beam Thickness และ Diameter and Thickness of Steel Post ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาในเฉพาะของตัวอุปกรณ์ราวกันอันตรายนั้น ความหนาของตัวราวกันอันตรายมีผลต่อการลดลงของ Deformation และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของเสา ตามลำดับ



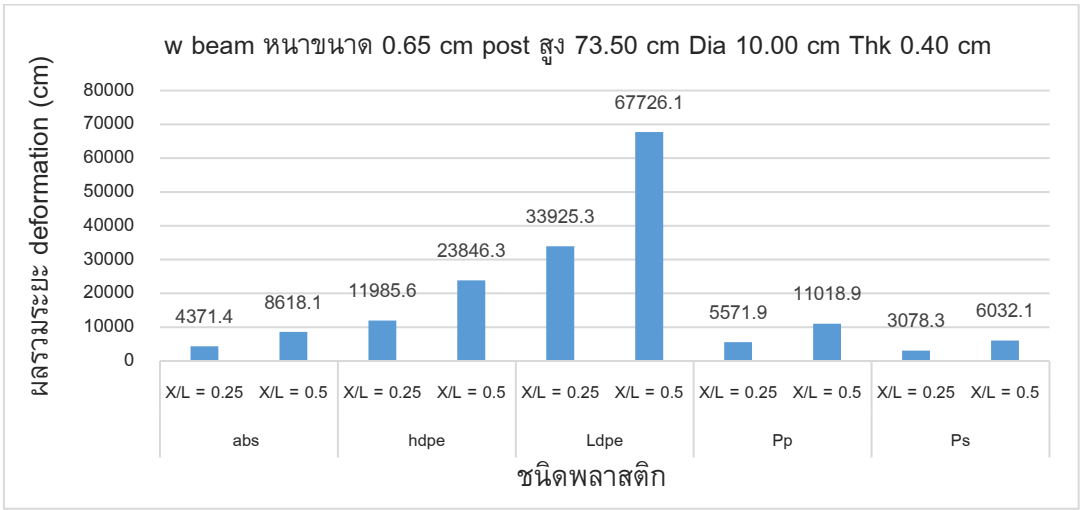
รูปที่ 11 ผลการวิเคราะห์การชนจากโปรแกรม Robot Structure Analysis (Linear line)



รูปที่ 12 ผลการวิเคราะห์การชนจากโปรแกรม **Robot Structure Analysis (contour line)**



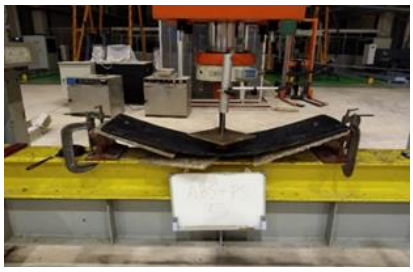
รูปที่ 13 ผลรวมแรงกระทำต่อราวกันอันตราย ที่ความหนา **0.32 cm**



รูปที่ 14 ผลรวมแรงกระทำต่อราวกันอันตราย ที่ความหนา **0.65 cm**

4.2 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงดัด (Flexural Strength Test) พบว่า ราวกันอันตรายทั้ง 3 รูปแบบ ได้ผลคือ ราวกันอันตรายชนิด ABS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.099 kN/mm ราวกันอันตรายชนิด PS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 0.672 kN/mm และ ราวกันอันตราย ชนิด ABS + PS ได้กำลังดัดเฉลี่ยเท่ากับ 1.496 kN/mm เมื่อเปรียบเทียบกำลังดัดจะพบว่า ราวกันอันตรายชนิด ABS+PS ให้ค่ากำลังดัด ที่สูงที่สุดเนื่องจากมีการเสริมเป็นราวกันอันตรายซ้อนกัน 2 ชั้น และในส่วนของ ราวกันอันตรายชนิด ABS มีค่ากำลังดัดที่รองลงมาแต่มากกว่าชนิด PS เนื่องจากพลาสติกชนิด ABS มีกำลังแรงดัดที่ดีกว่า และมีสภาพที่ยืดหยุ่นกว่า (Flexible) โดยไม่เกิดความเสียหายหลังจาก Load cell กระทำจนสุดแรงดัด

ตารางที่ 3 ลักษณะความเสียหายจากการทดลองแรงดัด (Flexural Strength Test)

ชนิดพลาสติก	การทดสอบแรงดัด	ผลการทดลอง (kN/mm)	ค่าเฉลี่ย (kN/mm)
ABS		1.090 1.173 0.934 1.160 1.142	1.099
PS		0.443 0.579 0.587 0.961 0.791	0.672
ABS + PS		1.459 1.630 1.540 1.410 1.440	1.496

4.3 ผลการทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum Test) ที่ทำให้ราวกันอันตรายเกิดความเสียหาย จากการทดสอบพบว่า แรงที่กระทำต่อราวกันอันตรายขนาดเท่ากับ 20 km/h โดยใช้ลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 101 kg ระยะยก θ ที่ 45° ความสูงที่ 2.631 m วัดจากพื้นดิน พบว่าระยะ Deflection ของแต่ละชนิดพลาสติกมีดังนี้ ABS ได้ระยะ Deflection เฉลี่ยอยู่ที่ 86.99 mm ชนิด PS ระยะ Deflection เฉลี่ยอยู่ที่ 57.1 mm และชนิด ABS + PS ได้ระยะ Deflection เฉลี่ยเท่ากับ 101.31 mm ดังแสดงในตารางที่ 4

(ก) ชนิด PS

(ข) ชนิด ABS

(ค) ชนิด ABS + PS

รูปที่ 15 การวัดค่าระยะ Deflection ที่ได้จากการโก่งตัวของราวกันอันตรายชนิด PS, ABS และ ABS+PS

ตารางที่ 4 ลักษณะความเสียหายจากการทดสอบการทดสอบการชน หรือ โมเมนตัม (Momentum Test)

ชนิดพลาสติก	การทดสอบการชน	ผลการทดลอง (mm)	ค่าเฉลี่ย (mm)
ABS		90.29 81.55 81.13 96.27 85.72	86.99 (กลุ่มตัวอย่างแตกหัก)
PS		64.14 59.61 45.44 55.81 60.44	57.08 (กลุ่มตัวอย่างแตกหัก)
ABS + PS		93.56 103.00 103.36 103.34 103.31	101.31 (กลุ่มตัวอย่างแตกหักบางส่วน)

4.3 การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตราวกันอันตราย

ตารางที่ 5 ต้นทุนการผลิตราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล

ชนิดพลาสติก	ราคาเม็ดพลาสติก (บาท)	ค่าแบบ (บาท)	ค่าไฟ (บาท)	รวม (บาท)
ABS	260	1,000	13.163	1,273.163
PS	200	1,000	13.163	1,213.163
ABS+PS	460	1,000	26.330	1,486.330

ราคาของราวกันอันตรายทั้ง 3 รูปแบบคิดต่อความยาวที่ 1 เมตร โดยที่ค่าเม็ดพลาสติกชนิด ABS มีราคาต่อกิโลกรัมละ 52 บาทโดยใช้ไปต่อชิ้นอยู่ที่ 5 kg ชนิด PS อยู่ที่กิโลกรัมละ 40 บาท โดยใช้ไปต่อชิ้นอยู่ที่ 5 kg และชนิด ABS+PS ใช้ปริมาณต่อชิ้นที่ 10 kg และอัตราค่าไฟบริการคิดต่อ 1 ชิ้นในการผลิตใช้เวลาเฉลี่ย 1 ชั่วโมงต่อชิ้นงาน โดยที่เครื่องฉีดพลาสติกใช้พลังงานไฟฟ้า 2 kW และคิดค่าไฟเฉลี่ยที่ 3.9 บาท/หน่วย โดยใช้ไฟไป 3.375 หน่วย

5. สรุปผลการทดลอง

ค่าระยะ Deformation จากโปรแกรม Robot Structure Analysis พบว่า ราวกันอันตรายพลาสติก ชนิด Acrylonitrile Butadiene Styrene (ABS) และชนิด Polystyrene (PS) มีค่า Deformation ที่น้อยกว่า พลาสติกชนิดอื่นๆ ดังนั้นพลาสติกชนิด ABS และ PS จึงเหมาะสมที่พัฒนาเป็นราวกันอันตราย การขึ้นรูปพลาสติกด้วยเครื่อง Single Screw Extruder ให้เป็นชิ้นงานตัวอย่างของราวกันอันตราย ยังมีข้อบกพร่องอยู่ จึงแนะนำให้พัฒนาการขึ้นรูปพลาสติกในรูปแบบอื่น ๆ งานวิจัยนี้เป็นต้นแบบในการพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล จึงทำการพัฒนากระบวนการขึ้นรูปให้เป็นตัวอย่าง อย่างง่าย แนะนำให้ทำการพัฒนาเป็นรูปแบบ ราวกันอันตรายที่มีรูปทรงตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

ค่ากำลังดัด ของราวกันอันตราย ชนิด ABS + PS มากกว่า ชนิด PS อยู่ที่ 73% และมากกว่าชนิด ABS อยู่ที่ 28% แสดงให้เห็นว่าพลาสติกชนิด ABS + PS มีค่ากำลังต้านทานแรงดัดที่เห็นสมควรว่าพลาสติก 2 ชนิดนี้มีความยืดหยุ่นสูงและคุณสมบัติที่เหมาะแก่การนำไปพัฒนาต่อเป็นราวกันอันตรายได้

พลังงานโมเมนตัมที่ทำให้ราวกันอันตรายเสียหายจากมวลของลูกตุ้ม 101 kg ความเร็ว 20 km/h ทำให้ราวกันอันตรายชนิด ABS+PS มีค่าระยะ Deflection ที่สูงกว่าชนิด ABS และ PS แต่ไม่เกิดความเสียหายจากการทดสอบ ดังนั้นราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิลชนิด ABS+PS สามารถประคองลูกตุ้มไม่ให้ทะลุผ่านราวกันอันตรายไปได้และเปลี่ยนเส้นทาง (Redirect) ลูกตุ้มให้กลับเส้นทางเดิม จากการทดลองการชนหรือโมเมนตัมราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล เหมาะสำหรับถนนที่ผ่านเขตชุมชนเมือง หรือบริเวณที่ผ่านสถานที่มีผู้คนสัญจรมากเช่น โรงเรียน โรงพยาบาล หรือสถานที่ราชการเพราะรถจะต้องสัญจรไปมาด้วยความเร็วต่ำและมีการควบคุมการใช้ความเร็ว และทางผู้วิจัยเห็นสมควรที่ในอนาคตควรคัดเลือกชนิดพลาสติกชนิดอื่น ๆ ที่สามารถนำกลับมารีไซเคิล และมีคุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการพัฒนาเป็นราวกันอันตรายเพิ่มเติม

การทดลองนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเรื่องการพัฒนาราวกันอันตรายจากพลาสติกรีไซเคิล โดยมีแนวคิดที่จะพัฒนาและสร้างคุณประโยชน์จากสิ่งของเหลือใช้ในชุมชน นำกลับมาพัฒนาให้เกิดมูลค่า ซึ่งยังมีข้อบกพร่องอยู่หากจะนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์จริงในอนาคต โดยจะต้องมีการวิเคราะห์ผลของการของการทดลองให้ละเอียดมากขึ้นกว่านี้ และยังต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งใน

ส่วนของการพัฒนาขึ้นรูปของชิ้นงานพลาสติกให้เป็นรูปแบบที่เหมาะสมกับการพัฒนาเป็นราวกันอันตราย รวมไปถึงการทดสอบการชนจริง เพราะหากจะต้องพัฒนาเป็นราวกันอันตรายและเกิดการใช้งานจริงและเป็นที่ยอมรับตามมาตรฐานจากกรมทางหลวง จะต้องมีการเพิ่มเติมในส่วนของการทดลองการชนจริงขึ้น ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐาน NCHRP 350 จากทางสหรัฐอเมริกา หรือ EN 1317 จากสหภาพยุโรป ว่าสามารถเปลี่ยนเส้นทาง (Redirect) รถยนต์เมื่อมาชนกับราวกันอันตรายให้กลับไปอยู่ในช่องจราจรเดิมเมื่อเกิดอุบัติเหตุ และไม่เกิดความเสียหายต่อชีวิตผู้โดยสาร

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่เอื้อเฟื้อสถานที่ใช้ในการผลิต และทดสอบงานวิจัยในครั้งนี้

Reference

[1] Office of the National Economic and Social Development Council. The 13th economic development and nationality plan 2023 - 2027. Bangkok, Thailand: Office of the National Economic and Social Development Council; 2022. (In Thai)

[2] Nation online [Internet]. Bangkok: WebMD; c2013-2022. Statistics of pedestrians killed by a car Thailand ranked in the TOP 10 worlds. [cited 2021 dec 15]. Available from: https://www.nationtv.tv/news/378861447/. (In Thai)

[3] Bureau of Highway Safety. Traffic accident on national highways in 2020. Bangkok, Thailand: Department of Highways; 2021. (In Thai)

[4] Made in China [Internet]. Shandong Guanxian Huaan, China: Shandong Guanxian Huaan Traffic Facilities Co., Ltd; WebMD; c1998-2022. Highway safety Barrier Painted Plastic Guardrail; [cited 2021 dec 15]. Available from: https://highwayguardrail.en.made-in-china.com/.

[5] Tradekorea [Internet]. South Korea: carisguardrail; WebMD; c2015-2022. Plastic Resin PVC Guardrail; [cited 2021 dec 15]. Available from: https://www.tradekorea.com/product/detail/P676516/Plastic-Resin-PVC-Guardrail,-Safety-Barrier,-Multy-Color.html

[6] Amp-taiwan [Internet]. Taiwan: APLUS MOLDS & PLASTICS CO., Ltd; WebMD; c2013-2022. Road warning safety plastic guardrail; [citied 2021 dec 16]. Available from: https://catalog.prm-taiwan.com/?lang=en&id=308&catalog_id=2284#p-1

[7] Brahmasakha P. Robot structural analysis 2020. Bangkok, Thailand: Panithi Brahm Publishing; 2021. (In Thai)

[8] Kongsutruo J, Banchanon T, Muangthong S. Safer guardrail modelling deverlopment for thailand by finite element method. [thesis]. Songkhla, Thailand: Rajamangala University of Technology Srivijaya; 2018. (In Thai)

[9] Bureau of Highway Safety. Instruction manual for installation of barrier device and facilities. 2011. Bangkok, Thailand: Department of Highways; 2011. (In Thai)

[10] Liampipat P. Plastic. Bangkok, Thailand: Por Samphan Printing Services; 2002. (In Thai)

[11] Reaplerthiran S. Mechanical testing of plastics: Basic & Data Interpretation 2014. Bangkok: gto corporation company limited; 2014. (In Thai)

[12] Ploypatta M. Producing of guide posts to reduce the severity from collisions. [thesis]. Songkhla, Thailand: Rajamangala university of technology srivijaya; 2015. (In Thai)

[13] Brown CM. Pendulum testing of an FRP composite guardrail. georgetown pike, Virginia: Department of Transportaion (US), Federal Highway Administration; 1998 Mar. Report No.: FHWA-RD-98-017.

ประวัติผู้เขียนบทความ

กีร์ติกร อินทรักษ์ นักศึกษาระดับมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถนนราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000
E-mail: keetikorn52@hotmail.com โทรศัพท์ 093-7568828
งานวิจัยที่สนใจ: งานด้านการวางแผนด้านการจราจรและขนส่ง วิศวกรรมจราจร

ชลัท ทิพพากรเกียรติ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถนนราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000
E-mail: chalat.t@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 088-340-3799
งานวิจัยที่สนใจ: งานวิจัยด้านวิศวกรรมความปลอดภัยทางถนน วิศวกรรมจราจรและวางแผนการขนส่ง และงานด้านวัสดุวิศวกรรม

นันทชัย ชูศิลป์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถนนราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000
E-mail: nuntachai.c@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 081-9796859
งานวิจัยที่สนใจ: Green Concrete, Green Technology Eco-Efficient Concrete Waste Materials and By-Products in Concrete การพัฒนาไม้ยางพาราสำหรับงานโครงสร้างอาคาร การพัฒนาเทคโนโลยี สำหรับการก่อสร้างสมัยใหม่ การศึกษาความคงทนของโครงสร้างในสภาวะแวดล้อมรุนแรง

จรูญ เจริญเนตรกุล สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 2/4 ถนนราชดำเนินนอก ต.บ่อยาง อ.เมือง จ.สงขลา รหัสไปรษณีย์ 90000
E-mail: charoon.c@rmutsv.ac.th โทรศัพท์ 084-3124477
งานวิจัยที่สนใจ: สาขาวิชาทางด้านการทดสอบวัสดุและวัสดุวิศวกรรม สาขาวิชาทางด้านความคงทนของโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก และโครงสร้างเหล็กที่สัมผัสน้ำทะเล

Article History:
Received: February 22, 2022
Revised: April 28, 2022
Accepted: April 29, 2022