

บล็อกถนนอัจฉริยะจากขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนรีไซเคิล

SMART PLASTIC ROAD BLOCK FROM RECYCLED
POLYPROPYLENE WASTE



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2562

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SMART PLASTIC ROAD BLOCK FROM RECYCLED
POLYPROPYLENE WASTE



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
BACHELOR OF CIVIL ENGINEERING
DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING, FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
ACADEMIC YEAR 2019

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกถนนอัจฉริยะจากขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน

นายศุภณัฐ	คำศรีสุข	รหัสนักศึกษา 59011326
นายศุภวิชญ์	บุญศิลป์	รหัสนักศึกษา 59011339
นายสัจจงพงศ์	ศรีอรุโณทัย	รหัสนักศึกษา 59011380

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชดชนก อัทธพงษ์
ปีการศึกษา 2562

บทคัดย่อ

ในทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศไทยผลิตขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนเป็นจำนวนมาก ประกอบกับพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนมีคุณสมบัติด้านการรับกำลังที่ดี อีกทั้งพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนต ยังเพิ่มคุณสมบัติด้านกำลังบางส่วนได้ จึงศึกษาอัตราส่วนผสมของพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนรีไซเคิลกับแคลเซียมคาร์บอเนต สำหรับใช้เป็นวัสดุต้นแบบของบล็อกถนนจากขยะพลาสติก โดยผสมเม็ดพอลิโพรไพลีนและผงแคลเซียมคาร์บอเนต ในอัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 0, 5, 10 และ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักด้วยเครื่อง Single screw extruder จากนั้นขึ้นรูปตัวอย่างทดสอบแรงกด แรงดึง แรงดัด และกำลังต้านทานต่อแรงกระแทก ด้วยเครื่อง Injection molding และเครื่อง Compression ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM พบว่าในอัตราส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดประลัยมีค่าลดลงเล็กน้อย และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวลดลง จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดึงประลัยมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แต่มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่ลดลง ส่งผลให้มอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงดัดที่การโก่ง 6 มิลลิเมตร ค่ามอดูลัสของแรงดัดและค่ากำลังต้านทานแรงกระแทกมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้ คุณสมบัติที่แตกต่างกันไม่ชัดเจนและไม่เป็นแนวโน้มเดียวกันบางตำแหน่ง อาจเกิดจากขั้นตอนการผสมวัสดุที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากพอ เนื่องจากขนาดเม็ดพลาสติกและอนุภาคของแคลเซียมคาร์บอเนตที่แตกต่างกันมาก และการตัดแต่งตัวอย่างในตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงกด อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของทุกอัตราส่วนผสม ยังคงมากกว่าค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการสำหรับงานถนน

คำสำคัญ: ถนนพลาสติก, พอลิโพรไพลีน, แคลเซียมคาร์บอเนต

Smart Plastic Road Block from Recycled Polypropylene Waste

Mr. Supanat Kamsrisuk Student ID. 59011326

Mr. Suppawit Boonsin Student ID. 59011339

Mr. Satchapong Sriarunotai Student ID. 59011380

Advisor: Asst. Prof. Dr. Chodchanok Attaphong

Academic Year 2019

ABSTRACT

In the last decade, Thailand was manufacture many polypropylene waste which high mechanical properties. Polypropylene in additional of calcium carbonate also increase in mechanical properties of it's composite. Therefore, a study of the ratio of polypropylene and calcium Carbonate that affect to the mechanical properties of it's composite for use as prototype material for plastic road block. Mix polypropylene pellet with 0, 5, 10 and 15 %wt of calcium carbonate particle by single screw extruder and mold compression, tensile, flexural and impact resistance sample by injection molding machine and compression machine for mechanical testing according to ASTM standard. The results shown that in additional ratio of calcium carbonate, compressive strength slightly decrease while deformation decrease so that elastic modulus for compression increase tensile strength not different while elongation decrease so that elastic modulus for tensile increase flexural strength at 6 mm deflection flexural modulus and impact resistance not different. The result that not different in data and not follow the trend line may happen by customizing of compression sample and non homogeneous effect from sample preparation because the size of polypropylene pellet larger than calcium carbonate particle. However, compressive strength of each ratio still over than 325 ksc according to department of rural road.

KEYWORDS: Plastic road, Polypropylene, Calcium carbonate

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาโทเล่มนี้สำเร็จลงได้ เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ผศ.ดร.ชลิดา อุตะเกา และ ผศ.ดร.ชดชนก อัทธพงษ์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง แนะนำช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา ให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือจนสำเร็จได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐาน โดยคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้อย่างดีเยี่ยม ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการ รวมถึงตลอดระยะเวลาที่ได้เรียนรู้ศึกษาในภาควิชาโยธาตลอดมา

ขอขอบคุณ บริษัท โกลบอล พลาส เซ็นเตอร์ จำกัด และ บริษัท แซนด์แอนด์ชอยล์ อุตสาหกรรม จำกัด สำหรับการสนับสนุนวัสดุส่วนผสมของทดสอบ ตลอดจนคำแนะนำต่างๆ

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

ศุภณัฐ คำศรีสุข
ศุภวิชญ์ บุญศิลป์
สัจจพงศ์ ศรีอรุณทัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ขอบเขตการวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 สถานการณ์ขยะพลาสติกของประเทศไทย.....	3
2.2 ชนิดของพลาสติก.....	4
2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic).....	4
2.2.2 เทอร์โมเซตติง (Thermosetting).....	4
2.3 พอลิโพรไพลีน (Polypropylene ; PP).....	5
2.3.1 ความเป็นมา.....	5
2.3.2 ข้อมูลทั่วไป.....	5
2.3.3 สูตรโครงสร้างทางเคมี (Chemical Structure).....	5
2.3.4 การสังเคราะห์.....	6
2.3.5 คุณสมบัติ.....	6
2.3.6 การใช้งาน.....	7
2.4 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate: CaCO ₃).....	7
2.4.1 ความเป็นมา.....	7
2.4.2 ข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.4.3 สูตรโครงสร้างทางเคมี (Chemical Structure).....	8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.4 การสังเคราะห์.....	9
2.4.5 คุณสมบัติ.....	10
2.4.6 การใช้งาน.....	10
2.5 กระบวนการแปรรูปพลาสติก.....	11
2.5.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder).....	11
2.5.2 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding).....	12
2.5.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding).....	14
2.6 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติก (Mechanical Properties Testing).....	14
2.6.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ASTM D638.....	14
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	21
3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง.....	21
3.3 ดัชนีอักษรย่อ.....	21
3.4 ขั้นตอนการทดลอง.....	22
3.4.1 เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบ.....	22
3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical Properties Testing).....	23
3.5 แผนการดำเนินงาน.....	25
บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการ.....	26
4.1 การทดสอบแรงอัด (Compression testing) ASTM D695.....	27
4.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile testing) ASTM D638-10.....	30
4.3 การทดสอบแรงดัด (Flexural testing) ASTM D790-10.....	33
4.4 การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance testing) ASTM D256-10.....	35
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ.....	37
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2 สรุปผลการดำเนินงาน.....	37
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	37
บรรณานุกรม.....	39
ภาคผนวก.....	41
ประวัติผู้เขียน.....	59



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 3.1 อักษรย่อและอัตราส่วนสารผสมของตัวอย่าง.....	22
ตารางที่ 3.2 แผนการดำเนินงานวิจัย.....	25
ตารางที่ 4.1 ลักษณะของตัวอย่างที่ช่วงอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	27
ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่ารับแรงอัดที่จุดประลัย, ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัด และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างวัสดุผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ.....	29
ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่ารับแรงดึงที่จุดประลัย, ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของตัวอย่างวัสดุผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ.....	32
ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่ารับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตร และค่ามอดูลัส ยืดหยุ่นของแรงดัดของตัวอย่างวัสดุผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ.....	34
ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่ารับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตร และค่ามอดูลัส ยืดหยุ่นของแรงดัดของตัวอย่างวัสดุผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรไพลีน.....	5
รูปภาพที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิโพรไพลีนทั้ง 3 รูปแบบ.....	6
รูปภาพที่ 2.3 สูตรทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	8
รูปภาพที่ 2.4 Hexagonal β -CaCO ₃ (Calcite).....	9
รูปภาพที่ 2.5 Orthorhombic λ -CaCO ₃ (Aragonite).....	9
รูปภาพที่ 2.6 Hexagonal μ -CaCO ₃ (Vaterite).....	9
รูปภาพที่ 2.7 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว.....	12
รูปภาพที่ 2.8 เครื่องฉีดขึ้นรูป.....	13
รูปภาพที่ 2.9 กราฟความเค้น - ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง.....	15
รูปภาพที่ 2.10 รูปร่างตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่ใช้ทดสอบความเค้นและความเครียด.....	16
รูปภาพที่ 2.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น - ความเครียด.....	16
รูปภาพที่ 2.12 ลักษณะของตัวอย่างและวิธีการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก....	17
รูปภาพที่ 2.13 การทดสอบการโค้งงอของพอลิเมอร์ (bend test).....	18
รูปภาพที่ 2.14 ชุดทดสอบ Compression test (ASTM D695).....	18
รูปภาพที่ 3.1 ขนาดของตัวอย่างทดสอบแรงดึง.....	23
รูปภาพที่ 3.1 ผังแสดงขั้นตอนการทดลอง.....	24
รูปภาพที่ 4.1 เครื่องอบลมร้อน MEMMERT แบบมีพัดลม.....	26
รูปภาพที่ 4.2 การห่อมตัวอย่างทดสอบในตู้อบลมร้อน.....	26
รูปภาพที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	28
รูปภาพที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	28
รูปภาพที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยุบตัวกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	29
รูปภาพที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงประลัยกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

	หน้า
รูปภาพที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงกับ เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	31
รูปภาพที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยึดตัวกับ เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	32
รูปภาพที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตรกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	33
รูปภาพที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของแรงดัดกับ เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	34
รูปภาพที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อแรงกระแทก กับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต.....	35
รูปภาพที่ 5.1 คุณลักษณะเบื้องต้นของบล็อกถนนพลาสติก.....	38

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในทศวรรษที่ผ่านมา ประเทศไทยผลิตขยะพลาสติกปีละประมาณ 12 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณขยะทั้งหมด หรือประมาณ 2 ล้านตัน สามารถนำเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลได้ประมาณ 500,000 ตัน เหลือขยะพลาสติกอีกกว่า 1.5 ล้านตันที่ไม่ได้เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล ส่วนหนึ่งเป็นพลาสติกประเภทใช้ครั้งเดียว อาทิ ถ้วยร้อนชนิดใส แก้วกาแฟร้อน และบรรจุภัณฑ์อาหารแปรรูปที่ทนความร้อน ซึ่งทำมาจากพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน ขยะพลาสติกเหล่านี้จะถูกกำจัดด้วยการฝังกลบ ซึ่งใช้เวลานานในการย่อยสลาย สิ้นเปลืองทั้งงบประมาณและพื้นที่ฝังกลบ อีกวิธีหนึ่งคือกำจัดด้วยการเผาด้วยอุณหภูมิสูง ซึ่งต้องใช้เงินลงทุนและงบประมาณระหว่างการดำเนินงานที่สูงอีกเช่นกัน อีกทั้งยังมีขยะพลาสติกบางส่วนที่ถูกกำจัดอย่างไม่ถูกวิธี โดยการเทกอง การเผากลางแจ้ง และการลักลอบทิ้งในที่สาธารณะประโยชน์ ก่อให้เกิดปัญหามลพิษและความรำคาญ และหากปนเปื้อนลงสู่แหล่งน้ำ ยังส่งผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิต และระบบนิเวศทางทะเลอีกเป็นวงกว้าง

พลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน มีคุณสมบัติเหนียว ทนต่อความเค้นและแรงกระแทก ทนต่อเคมี และมีจุดหลอมเหลวสูง นอกจากนี้เมื่อนำพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนผสมกับแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโน ยังสามารถเพิ่มคุณสมบัติด้านกำลังได้

การก่อสร้างถนนในประเทศไทยมีวิธีการที่นิยม 2 รูปแบบ คือ การปูพื้นถนนแบบแข็ง หรือถนนคอนกรีต และ การปูพื้นถนนแบบยืดหยุ่น หรือถนนลาดยาง ในปี 2561 ธุรกิจเคมีคอลส์ เอสซีจีร่วมมือกับ กลุ่มบริษัท ดาว ประเทศไทย ได้เปิดตัวต้นแบบถนนพลาสติกกรีซเคิลที่มีส่วนผสมของยางมะตอยกับพลาสติกที่ใช้แล้วได้สำเร็จ ที่นิคมอุตสาหกรรมอาร์ไอแอล จังหวัดระยอง

ดังนั้น ทางกลุ่มผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการศึกษาอัตราส่วนผสมของพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนรีไซเคิลกับแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม สำหรับใช้ประโยชน์ทางด้านวิศวกรรม เป็นวัสดุต้นแบบของบล็อกถนนจากขยะพลาสติก ซึ่งจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการรีไซเคิลขยะพลาสติก และเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของวิธีการก่อสร้างถนน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของพอลิโพรไพลีนและแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุผสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. วัสดุผสมใช้สำหรับเป็นวัสดุของเปลือกถนนพลาสติกรีไซเคิล ออกแบบสำหรับทดแทนช่องจราจรขนาด 3.5 เมตร น้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานไม่เกิน 21 ตัน อุณหภูมิใช้งานไม่เกิน 130 องศาเซลเซียส และออกแบบเพื่อใช้งานภายในสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2. ตัวอย่างทดสอบหลอมอัดรีดเป็นเม็ดพลาสติกด้วยเครื่อง Single screw extruder จากนั้นฉีดและอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding และ Compression ที่ช่วงอุณหภูมิ 180 – 190 องศาเซลเซียส

3. การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง หมายถึง การทดสอบแรงอัด แรงดึง แรงดัด และความต้านทานต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D695, D638, D790 และ D256-10 ตามลำดับ ที่ห้องปฏิบัติการพอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

ขั้นที่ 1 ศึกษาทฤษฎี เอกสาร และงานวิจัยต่างๆ ให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจน เพื่อให้ทราบถึงข้อมูลเบื้องต้น และเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิจัย

ขั้นที่ 2 เรียบเรียงข้อมูล และเขียนเค้าโครงงานวิจัย

ขั้นที่ 3 เตรียมเม็ดพลาสติกและผงแคลเซียมคาร์บอเนต จากนั้นฉีดและอัดขึ้นรูปตัวอย่างสำหรับทดสอบที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ขั้นที่ 4 ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่าง

ขั้นที่ 5 สรุปผลการวิจัย เรียบเรียง และจัดทำรายงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพิ่มแนวทางในการนำขยะพลาสติกมาเข้าสู่ระบบรีไซเคิล
2. ลดปริมาณขยะพลาสติกและเพิ่มมูลค่าให้ขยะพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สถานการณ์ขยะพลาสติกของประเทศไทย

ในช่วงปี 2550 - 2560 ประเทศไทยผลิตขยะพลาสติกปีละประมาณ 12 เพอร์เซ็นต์ของปริมาณขยะทั้งหมด หรือประมาณ 2 ล้านตัน เป็นขยะพลาสติกที่สามารถนำเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลได้ประมาณ 500,000 ตัน เหลือขยะพลาสติกอีกกว่า 1.5 ล้านตันที่ไม่ได้นำเข้าสู่กระบวนการรีไซเคิล ส่วนใหญ่เป็นพลาสติกประเภทใช้งานระยะสั้นหรือใช้ครั้งเดียว (Single used plastics : SUP) อาทิ ถ้วยร้อน ถ้วยเย็น ถ้วยหิ้ว แก้วพลาสติก หลอดพลาสติก กล่องโฟมบรรจุอาหาร พลาสติกเหล่านี้มีอายุยาวนาน แต่มีอายุการใช้งานที่สั้นมาก เมื่อถูกทิ้งเป็นขยะมูลฝอยจะถูกกำจัดด้วยวิธีการฝังกลบ แต่เนื่องจากขยะพลาสติกมีความคงทนและทนทานต่อแรงอัดสูง ดังนั้นจึงต้องใช้พื้นที่สำหรับฝังกลบที่มากกว่าขยะมูลฝอยประเภทอื่น และใช้เวลานานนับร้อยปีในการย่อยสลาย ทำให้ต้องสิ้นเปลืองงบประมาณและพื้นที่ฝังกลบ การกำจัดอีกวิธีหนึ่งคือการเผา โดยใช้อุณหภูมิสูง จึงต้องใช้งบประมาณลงทุนและค่าใช้จ่ายระหว่างดำเนินการที่สูง และหากเผาอย่างไม่ถูกต้องจะก่อให้เกิดสารพิษ

ในปี 2561 มีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นจำนวน 27.93 ล้านตัน เป็นขยะพลาสติกประมาณ 2 ล้านตัน สามารถนำเข้าสู่ระบบรีไซเคิลประมาณ 500,000 ตัน ส่วนใหญ่เป็นขวดพลาสติก ส่วนที่เหลือจะกลายเป็นขยะพลาสติกอีก 1.5 ล้านตัน ประกอบด้วยถุงพลาสติกประมาณ 1.2 ล้านตัน ที่เหลือเป็นพลาสติกอื่นๆ เช่น แก้ว กล่อง ถาด ขวด ฝาจุก ยังมีขยะมูลฝอยอีกกว่า 7.32 ล้านตัน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นขยะพลาสติก ที่มีการกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง โดยเฉพาะการกำจัดแบบเทกองหรือเผากลางแจ้งในสถานที่กำจัดขยะมูลฝอย การกองทิ้งเอาไว้หรือลักลอบทิ้งในพื้นที่สาธารณประโยชน์ ทำให้ขยะพลาสติกส่วนหนึ่งกระจัดกระจายทั่วไป เกิดการอุดตันตามท่อระบายน้ำ ส่งผลให้น้ำท่วมเมื่อฝนตกหนัก เมื่อขยะพลาสติกถูกกัดกร่อนโดยสารเคมีหรือแสงแดดยังแตกตัวออก เกิดปัญหาเศษขยะพลาสติกและไมโครพลาสติก ขยะจากบนบกส่วนหนึ่งถูกชะล้าง ไหลลงสู่แหล่งน้ำ รวมถึงการลักลอบทิ้งลงสู่แหล่งน้ำโดยตรง ทำให้มีขยะมูลฝอยจากบกปะปนและตกค้างอยู่ในทะเล ส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศทางทะเล ห่วงโซ่อาหาร และการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตในระบบนิเวศ แพร่กระจายสู่ระบบนิเวศอื่นๆ ตลอดจนปนเปื้อนกลับเข้าสู่ระบบห่วงโซ่อาหารของมนุษย์

จากการรวบรวมและจำแนกประเภทของขยะตามวิธีมาตรฐาน International Coastal Cleanup (ICC) โดยจัดกิจกรรมจัดเก็บขยะที่ตกค้างบริเวณชายหาด ปะการัง และป่าชายเลน ในพื้นที่ 24 จังหวัด 48 พื้นที่ สามารถเก็บรวบรวมขยะตกค้างได้ทั้งสิ้น 569,657 ชิ้น น้ำหนักรวมประมาณ 33 ตัน โดย 10 อันดับ ขยะตกค้างที่พบมากที่สุด ได้แก่ ถูพลาสติกร้อยละ 18.9 ขวดเครื่องดื่มพลาสติก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ร้อยละ 8.6 ถูกรื้อถอนแล้วร้อยละ 8.4 ถ้วยหรือจานโพลีโพรไพลีนร้อยละ 6.9 ขวดเครื่องดื่มแก้วร้อยละ 6.6 ถูกรื้อถอนหรืออาหารสำเร็จรูปร้อยละ 6.1 หลอดหรือที่คนเครื่องดื่มร้อยละ 4.6 เศษโพลีโพรไพลีนร้อยละ 4.4 กล่องโพลีโพรไพลีนร้อยละ 3.8 และแก้วพลาสติกร้อยละ 3.6 ที่เหลือร้อยละ 28.1 เป็นขยะอื่นๆ จะเห็นได้ว่า ขยะส่วนมากเป็นขยะพลาสติกทั้งสิ้น (กรมควบคุมมลพิษ, 2562)

2.2 ชนิดของพลาสติก

พลาสติกสามารถแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และ เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting) โดยมีรายละเอียดแต่ละชนิด ดังนี้

2.2.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

เทอร์โมพลาสติก เป็นพลาสติกที่ได้รับความนิยมอย่างมากและใช้กันอย่างแพร่หลาย เทอร์โมพลาสติกเมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัว และเมื่อเย็นก็จะเกิดการแข็งตัว สามารถที่จะเปลี่ยนแปลงรูปได้ โดยพลาสติกในรูปแบบนี้โครงสร้างโมเลกุลจะเป็นลักษณะโซ่ตรง มีการเชื่อมต่อระหว่างโซ่พอลิเมอร์ค่อนข้างน้อยมากจึงสามารถที่จะหลอมเหลว เมื่อผ่านการอัดแรงมากจะไม่ทำลายโครงสร้างเดิม เช่นเดิม เม็ดพลาสติกประเภทนี้สามารถขึ้นรูปได้โดยการฉีดในขณะที่พลาสติกถูกนำมาทำให้อ่อนตัวและไหลไปด้วยความดันและความร้อน โดยพลาสติกที่อยู่ในประเภทเทอร์โมพลาสติก สามารถจัดแบ่งได้ดังต่อไปนี้

- พอลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)
- พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS)
- SAN (styrene-acrylonitrile)
- ABS (acrylonitrile-butadiene-styrene)
- พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC)
- พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Polyethylene terephthalate: PET)
- ไนลอน (Nylon)
- พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate: PC)
- พอลิโพรไพลีน (Polypropylene: PP)

2.2.2 เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting)

เทอร์โมเซตติ้ง เป็นพลาสติกที่จะมีโครงสร้างเป็นร่างแห มีสมบัติพิเศษ คือสามารถที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิและสามารถทนต่อปฏิกิริยาทางเคมีได้เป็นอย่างดี อีกทั้งยังเกิดรอยเปื้อนได้ยาก ทนความร้อนและทนความดัน เปลี่ยนแปลงรูปร่างไม่ได้ ไม่มีการอ่อนตัว เมื่อเจออุณหภูมิสูงก็จะไหม้และแตกเป็นขี้เถ้าสีดำ พลาสติกประเภทนี้จะเกิดรอยเปื้อนและคราบได้ยาก การที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะทำให้พลาสติกประเภทนี้ให้เป็นรูปร่างต่างๆจะต้องใช้ความร้อนที่สูง แรงอัดที่มาก เทอร์โมเซตติ้ง พลาสติกสามารถจัดแบ่งออกได้ดังต่อไปนี้

- เมลามีน ฟอรัมาลดีไฮด์ (melamine formaldehyde)
- ฟีนอลฟอรัมาลดีไฮด์ (phenol-formaldehyde)
- อีพ็อกซี (epoxy)
- พอลิเอสเตอ์ (polyester)
- ยูรีเทน (urethane)
- พอลิยูรีเทน (polyurethane)

2.3 พอลิโพรไพลีน (Polypropylene ; PP)

จากการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและปริมาณขยะพลาสติก ทางผู้ทำวิจัยจึงเลือกพลาสติกชนิด พอลิโพรไพลีน (Polypropylene) มาใช้เป็นวัสดุหลักในการรับแรงของถนนและศึกษาข้อมูลจำเพาะเพิ่มเติม

2.3.1 ความเป็นมา

พอลิโพรไพลีน หรือ PP สูตรเคมี (C_3H_6)_n (รูปที่ 2.1) เป็นพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ขึ้น โดย Giulio Natta และนักเคมีชาวเยอรมัน Karl Rehn ในเดือนมีนาคม ปี ค.ศ. 1954 ในประเทศ สเปน โดย PP ที่สังเคราะห์ขึ้นเป็นพอลิเมอร์ที่มีโครงสร้างแบบผลึกชนิด isotactic การค้นพบครั้งนี้ เป็นการบุกเบิกนำไปสู่การผลิตเพื่อการค้าต่อมาในปี 1957 Giulio Natta และผู้ร่วมงานยังสามารถสังเคราะห์ PP ชนิด syndiotactic ขึ้นเป็นครั้งแรก

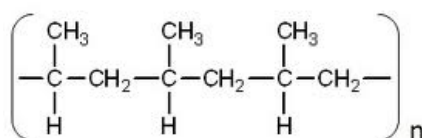
2.3.2 ข้อมูลทั่วไป

ชื่อทางเคมี (Chemical Name) : Poly(1-methylethylene)

ชื่อพ้อง (Synonyms) : Polypropylene, Polypropene 25 [USAN],

Propylene polymers, 1-Propene homopolymer

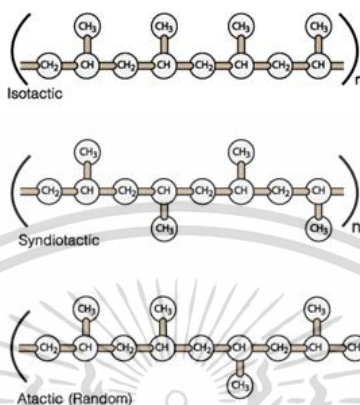
2.3.3 สูตรโครงสร้างทางเคมี (Chemical Structure)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทางเคมีของพอลิโพรไพลีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอลิโพรไพลีน หรือ PP เป็นเทอร์โมพลาสติกประเภทพอลิโอเลฟิน ผลิตจากโพรไพลีน เป็นของแข็ง ไม่มีสี มีทั้งโปร่งใสและโปร่งแสง ผิวเป็นมันเงา ทนกรด-เบส และสารเคมีต่างๆ ยกเว้นไฮโดรคาร์บอนและคลอรีเนเตดไฮโดรคาร์บอน แบ่งตามโครงสร้างได้เป็น 3 ได้แก่ ไอโซ-แทกติกพอลิโพรไพลีน ซินดีโอแทกติกพอลิโพรไพลีน และแอแทกติกพอลิโพรไพลีน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 โครงสร้างของพอลิโพรไพลีนทั้ง 3 รูปแบบ

(ที่มา : Polypropylene: the definitive user's guide and databook

โดย Clive Maier, Teresa Calafut)

การผลิต PP ให้มีโครงสร้างแบบไอโซแทกติก เป็นสิ่งที่ผู้ผลิตต้องการเพราะจะทำให้ PP มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี ได้แก่ ความแข็งแรง ความแข็งแรงดึง และความทนทานความร้อน เป็นต้น

2.3.4 การสังเคราะห์

การสังเคราะห์โดยกระบวนการ “สเฟียร์โพล” (Spheripol) ของโสมอนท์ สหรัฐอเมริกาเป็นเทคโนโลยีที่สามารถควบคุมอัตราการเกิดและกำจัดตัวให้ได้ PP ที่มีแทกติกิตี้ (Tacticity) สูง ทั้งนี้เนื่องจากความสำเร็จในการพัฒนาตัวเร่งปฏิกิริยาซีเกลอแนตตา (Ziegler Natta Catalyst) นอกจากนี้ PP ที่ผลิตได้จะมีลักษณะเป็นเม็ดกลม จึงไม่ต้องผ่านการตัดเม็ด

การผลิต PP ด้วย “Gas Phate Process” จากเทคโนโลยีของ Union Carbide และใช้ตัวเร่งปฏิกิริยาของบริษัท Shell จะใช้ขั้นตอนน้อย และไม่จำเป็นต้องกำจัดตัวเร่งปฏิกิริยาหลังการสังเคราะห์ เนื่องจากใช้ตัวเร่งทำปฏิกิริยาที่มีความไวสูงมาก

2.3.5 คุณสมบัติ

พลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน มีความหนาแน่นระหว่าง 895 – 920 kg/m³ หมู่มกิล ทำให้โมเลกุลอยู่ห่างกัน แต่ยังคงมีความแข็งแรงสูง ทำให้มีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีมาก โดยมีกำลังรับแรงดึง 357- 408 ksc ที่จุดคราก และ 204 – 408 ksc ที่จุดประลัย ค่ามอดูลัสของยังระหว่าง 11217 –

18355 ksc ค่าการยืดตัวที่จุดประลัย 150 – 600 % และมอดูลัสของการโค้งงอมีค่าระหว่าง 12237 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 18355 ksc จุดอ่อนของ PP คือมีความเปราะที่อุณหภูมิต่ำ เนื่องจากอุณหภูมิกการเปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้วอยู่ที่ $-17 - 0^{\circ}\text{C}$ แต่มีจุดหลอมเหลวอยู่ระหว่าง $130 - 175^{\circ}\text{C}$ จึงสามารถทนอุณหภูมิ น้ำเดือดได้ เหมาะกับการใช้งานที่อุณหภูมิสูงคือใช้ทำถุงร้อน และยังมี การนำไปใช้ในผลิตภัณฑ์อื่นอย่าง แพร์หลาย อาทิ ถุงร้อน ฝาขวดน้ำ ถ้วยพลาสติก สิ่งทอ อุปกรณ์การเรียน เครื่องมือพลาสติก ไปจนถึง ส่วนประกอบของยานยนต์ นอกจากนี้ PP ยังทนไขมันและน้ำมันได้ดี เสถียรภาพของ PP ต่อแสง อัลตราไวโอเล็ตและออกซิเจนค่อนข้างต่ำ จึงไม่เหมาะที่จะใช้กลางแจ้ง เนื่องจากจะทำให้เปราะ แตกร้าว สีซีดจางได้ง่าย ดังนั้นก่อนนำ PP ไปใช้งาน ต้องใส่สารแอนติออกซิแดนต์ (Anti-Oxidant) สารเพิ่มเสถียรภาพUV (UV Stabilizer) และสารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabilizer) อื่นๆก่อน

2.3.6 การใช้งาน

งานฉีดแบบ (Injection Molding) ใช้ทำกล่องแบตเตอรี่ ถังน้ำมันในรถยนต์ กันชน รถยนต์ ลังใส่ขวด กระดาษตันไม้ ของเด็กเล่น ดำแปรงสีฟัน ฝาจุพลาสติก เฟอร์นิเจอร์ เครื่องมือทางการแพทย์ เช่น กระบอกฉีดโดยใช้ครั้งเดียวทิ้ง

งานเป่าแบบ (Blow Molding) ใช้ทำผลิตภัณฑ์เช่นเดียวกับ HDPE เช่น ขวด ถัง หรือ ภาชนะที่ต้องการความทนทานสูง

งานสิ่งทอ (Textile) ซึ่งต้องการความแข็งแรงสูง แต่ยืดน้อย รับแรงได้มากๆ ใช้ทำ เส้นใยกระสอบสาน เชือกฟาง แห อวน ผ้าใบป้องกันพืชสวน

งานเป่าถุง (Blown Film) งานเป่าถุงระบายความร้อนด้วยน้ำ ทำให้ได้ฟิล์มใส เนื่องจากเย็นตัวอย่างรวดเร็วจึงมีส่วนที่เป็นข้อฐานมากเกิดผลึกน้อย แต่ความแข็งแรงจะเสียไป บ้าง ใช้ทำพลาสติกหุ้มซองบุหรี่ ซองเสื้อเชิ้ต ถุงร้อน ถุงเย็น งานเป่าถุงระบายความร้อนด้วยอากาศ จะค่อนข้างทึบแสง ชุ่นเล็กน้อย เนื่องจากโมเลกุลมีโอกาสจัดเรียงตัวได้มากกว่า ในระหว่างที่อุณหภูมิ ผ่าน T_m และ T_g จึงมีความแข็งแรง และทนแรงดึงสูง

2.4 แคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate: CaCO_3)

ผู้ทำวิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่มคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนและพบว่า การผสมแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโนกับพอลิโพรไพลีน ส่งผลให้มีคุณสมบัติด้านกำลังโดยรวมดีขึ้น

2.4.1 ความเป็นมา

แคลเซียมคาร์บอเนตเป็นสารประกอบทางเคมีที่อยู่ในรูปสูตรเคมี CaCO_3 (รูปที่ 2.3) มีสารผสมหลัก 3 ธาตุได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน และแคลเซียม โดยทั่วไปสามารถพบสารชนิดนี้ได้ในหิน ซึ่งส่วนมากพบในหินปูน อีกทั้งยังเป็นส่วนประกอบในสิ่งมีชีวิตในทะเล หอยทาก ลูก่อหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

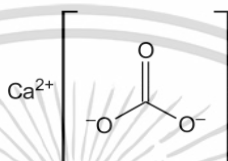
ไข่มุก และเปลือกไข่ แคลเซียมคาร์บอเนตที่มีอยู่ในเทอร์โมพลาสติกในแต่ละชนิดจะมีความหลากหลายขึ้นอยู่กับตัวแปรของวัตถุ

2.4.2 ข้อมูลทั่วไปที่เกี่ยวข้อง

ชื่อทางเคมี (Chemical Name) : Calcium Carbonate

ชื่อพ้อง (Synonyms) : Calcite, Aragonite, Vaterite, Chalk

2.4.3 สูตรโครงสร้างทางเคมี (Chemical Structure)



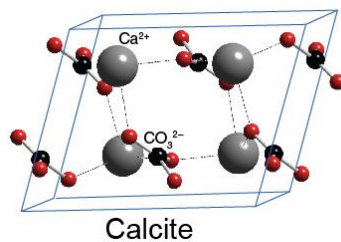
รูปที่ 2.3 สูตรทางเคมีของแคลเซียมคาร์บอเนต

ทางเทอร์โมไดนามิกส์ รูปแบบที่เสถียรของแคลเซียมคาร์บอเนตภายใต้สภาวะปกติคือ hexagonal β -CaCO₃ (แร่ Calcite) ในรูปแบบอื่นที่สังเคราะห์ได้เช่น orthorhombic λ -CaCO₃ (แร่ Aragonite) และ hexagonal μ -CaCO₃ (แร่ Vaterite)

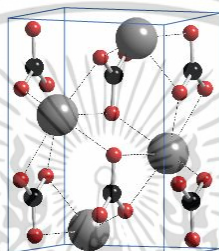
แร่ธาตุต่างๆที่มีสูตรโครงสร้างเป็น CaCO₃

1. แคลไซต์ (Calcite) เป็นแร่คาร์บอเนตที่มีความเสถียรภาพมากที่สุดในกลุ่มแคลเซียมคาร์บอเนต มีออกซิเจนอะตอมรวมกันอยู่ 6 อะตอม (รูปที่ 2.4)
2. อราโกไนท์ (Aragonite) เป็นหนึ่งในแร่ที่พบมากในธรรมชาติในรูปโครงสร้างแคลเซียมคาร์บอเนตเกิดจากกระบวนการทางชีวภาพและกายภาพรวมทั้งการตกตะกอนจากสิ่งแวดล้อมในทะเล มีออกซิเจนอะตอมอยู่รวมกัน 9 อะตอม สามารถสังเคราะห์ได้จากการตกตะกอนที่อุณหภูมิมากกว่า 85 °C รูปที่ 2.5
3. วาเทอร์ไรท์ (Vaterite) เป็นแร่ที่มีสูตรโครงสร้างทางเคมี ที่มีเสถียรภาพน้อยกว่าแร่แคลไซต์และอราโกไนท์ สามารถสังเคราะห์ได้จากการตกตะกอนที่อุณหภูมิ 60 °C พบได้ตามธรรมชาติ เช่น เนื้อเยื่ออินทรีย์ รูปที่ 2.6

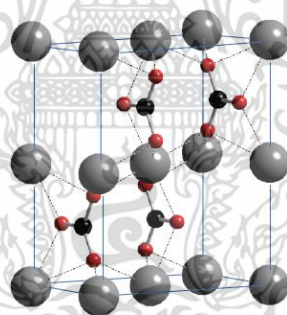
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 Hexagonal β -CaCO₃ (Calcite)



รูปที่ 2.5 Orthorhombic λ -CaCO₃ (Aragonite)



รูปที่ 2.6 Hexagonal μ -CaCO₃ (Vaterite)

2.4.4 การสังเคราะห์

โดยส่วนมากแคลเซียมคาร์บอเนตที่ใช้ในอุตสาหกรรมสกัดได้จากการทำเหมืองแร่หรือการขุดเจาะหิน แคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอาหารและยา สามารถผลิตจากการขุดเจาะจากหินอ่อนได้ อีกทางหนึ่งแคลเซียมคาร์บอเนตที่ถูกสังเคราะห์จากปูนเผา (Calcium oxide) ทำปฏิกิริยากับน้ำได้ผลิตภัณฑ์ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)₂) จากนั้นคาร์บอนไดออกไซด์ (CO₂) จะผ่านมาสู่กระบวนการนี้ทำให้ตกตะกอนได้แคลเซียมคาร์บอเนต (CaCO₃) ที่ต้องการ

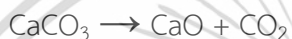
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการสังเคราะห์แคลเซียมคาร์บอเนต



2.4.5 คุณสมบัติ

แคลเซียมคาร์บอเนตบริสุทธิ์มีลักษณะเป็นผงละเอียดสีขาวไม่มีกลิ่นไม่ติดไฟ โดยมีมวลโมเลกุล 100.087 g/mol โดยมีความหนาแน่นของแคลเซียมคาร์บอเนตในรูปแร่ Calcite 2.71 g/cm³ และ Aragonite 2.83 g/cm³ เป็นสารที่ไม่ละลายน้ำและมีสภาพเสถียรในอุณหภูมิปกติ หากให้ความร้อนสูงในการเผาจะย่อยสลายจากแคลเซียมออกไซด์ปล่อยออกเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ ด้วยปฏิกิริยา enthalpy 178 kJ/mol ดังสมการ



แคลเซียมคาร์บอเนตยังปล่อยสารคาร์บอนไดออกไซด์หากทำปฏิกิริยากับกรดดังสมการ



แคลเซียมคาร์บอเนตจะทำปฏิกิริยากับน้ำหากอิมิตัวด้วยคาร์บอนไดออกไซด์จะให้สาร Calcium bicarbonate salt ดังสมการ



2.4.6 การใช้งาน

1. อุตสาหกรรม การใช้งานแคลเซียมคาร์บอเนตในอุตสาหกรรมหลักคือ อุตสาหกรรมการก่อสร้าง อีกทั้งใช้งานเป็นวัสดุหรือมวลรวมในการสร้างถนนเพื่อเป็นส่วนผสมของซีเมนต์ แต่อุปสรรคในการใช้งานสภาพอากาศที่ทำให้เกิดฝนกรดจึงทำให้ไม่ได้ใช้แคลเซียมคาร์บอเนตในปัจจุบัน ใช้เป็นเพียงสารขั้นต้นในการก่อสร้างเท่านั้น ในอุตสาหกรรมน้ำมันแคลเซียมคาร์บอเนตถูกใช้ในการเติมในเครื่องขุดเจาะหลวเพื่อเพิ่มความหนาแน่นของน้ำมันหลวการเจาะเพื่อควบคุมความดันในการเจาะ นิยมอย่างมากในอุตสาหกรรมพลาสติกโดยเฉพาะพอลิโพรพิลีนจะเติมแคลเซียมคาร์บอเนตเพื่อเพิ่มความแข็งแรงโดยส่วนมากจะผสมที่ 20 – 40 %wt

2. อุตสาหกรรมยา ในอุตสาหกรรมยาแคลเซียมคาร์บอเนตถูกใช้อย่างแพร่หลาย อย่างเช่นในยาแก้ท้องเฟ้อ และยังใช้แคลเซียมออกไซด์ในการผลิตยาสีฟัน สารกันบูดของอาหาร

3. เกษตรกรรม ใช้เป็นสารผสมเพื่อแก้ดินที่มีค่าความเป็นกรดเพื่อความเหมาะสมต่อการเพาะปลูก

4. ครีวเรื้อน ใช้น้ำยาทำความสะอาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 กระบวนการแปรรูปพลาสติก

ผลิตภัณฑ์พลาสติกมีความจำเป็นสำหรับการใช้งานในหลายรูปแบบ เราจะพบเห็นการใช้พลาสติกในอุตสาหกรรมเกือบทุกประเภท และเกือบทุกกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับชีวิตประจำวัน โดยที่ชิ้นงานพลาสติกเหล่านี้ จะต้องผ่านกระบวนการแปรรูปพลาสติกต่างๆ การเลือกกระบวนการแปรรูปที่เหมาะสมกับชนิดพลาสติก ลักษณะและสมบัติของชิ้นงาน จะต้องอาศัยความรู้ความเข้าใจในเทคโนโลยีการแปรรูปพลาสติกแบบต่างๆ และความรู้พื้นฐานอื่นๆ

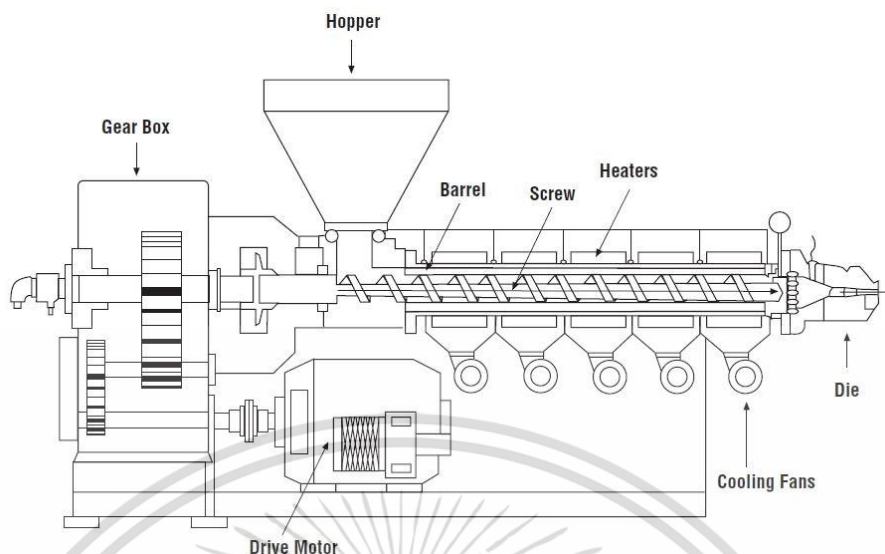
2.5.1 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (Single screw extruder)

เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว (รูปที่ 2.7) ทั่วไปเป็นประเภท Plasticating extruders หมายถึง เครื่องอัดรีดที่ใส่วัสดุเริ่มต้นในสถานะของแข็งเข้าไปและทำให้เกิดการหลอมในเครื่องอัดรีดแล้วส่ง พอลิเมอร์หลอมไปยังหัวอัดรีด เครื่องอัดรีดชนิดนี้มีความสำคัญมากที่สุดเนื่องจากมีราคาค่อนข้างต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องอัดรีดชนิดอื่น และมีการออกแบบไม่ยุ่งยากซับซ้อน โดยมีความแข็งแรงทนทานและเชื่อถือได้ นอกจากนี้ยังมีอัตราส่วนระหว่างประสิทธิภาพกับราคาที่น่าพอใจ

ลักษณะของสกรูในเครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยวสามารถจำแนกได้ตามจำนวนของส่วนกดอัด (Compression section) ได้ 2 แบบ ได้แก่ สกรูระยะเดียว (Single stage screw) หมายถึง สกรูที่มี ส่วนของระยะกดอัดเพียงบริเวณเดียว (Screw with one compression section) และสกรูที่มีส่วนของระยะกดอัดมากกว่าบริเวณเดียว (Multi stage screw) ซึ่งสกรูประเภทนี้ โดยส่วนใหญ่จะใช้ในกรณีที่มีจุดประสงค์ในการระบายไอหรือสารระเหยออกจากเครื่องอัดรีด

สกรูในเครื่องอัดรีดจะมีการออกแบบได้หลายลักษณะ แต่โครงสร้างพื้นฐานมักจะแบ่งออกได้ เป็น 3 บริเวณที่แตกต่างกัน ได้แก่

1. ส่วนป้อนส่งสาร (Feeding section) ในส่วนนี้ สกรูจะมีสันสกรู (Flight) ที่มีความลึกมากที่สุดเทียบกับส่วนอื่น และวัสดุในบริเวณนี้ส่วนใหญ่จะยังคงอยู่ในสถานะของแข็ง
2. ส่วนกดอัด (Transition section) สันสกรูในส่วนนี้ จะมีความลึกลดลงเป็นเส้นตรงจากส่วนป้อนส่งสารไปจนถึงส่วนส่งรีดวัสดุ พอลิเมอร์ในบริเวณนี้จะถูกเปลี่ยนจากสถานะของแข็งไปเป็นพอลิเมอร์หลอม
3. ส่วนส่งรีด (Metering section) ในส่วนนี้ สันสกรูจะมีความตื้นมากที่สุดเทียบกับส่วนอื่น พอลิเมอร์หลอมจากส่วนกดอัด จะถูกลำเลียงมาที่บริเวณนี้เพื่อส่งเข้าหัวอัดรีดต่อไป



รูปที่ 2.7 เครื่องอัดรีดแบบสกรูเดี่ยว

(ที่มา: courtesy of Dr. Harold Giles)

เมื่อวัสดุซึ่งถูกใส่ผ่านกรวยเติมสารตกลงมายังกระบอกหุ้มสกรูนั้น วัสดุจะอยู่ระหว่างช่องว่างระหว่างสกรูและกระบอกหุ้มสกรู ซึ่งล้อมรอบโดยสันสกรู ทั้งข้างหน้า ข้างหลัง ช่องว่างบริเวณนี้เรียกว่าช่องสกรู (Screw channel) เนื่องจากในขณะนั้นสกรูมีการหมุนไปเรื่อยๆ ในขณะที่กระบอกหุ้มสกรูอยู่นิ่งไม่มีการเคลื่อนที่ ดังนั้นจะมีแรงเสียดทานกระทำกับวัสดุจากกระบอกหุ้มสกรูและสกรูซึ่งแรงเสียดทานนี้เอง เป็นตัวการสำคัญในการส่งถ่ายวัสดุไปข้างหน้า トラบเท่าที่วัสดุยังอยู่ในลักษณะของแข็ง เมื่อวัสดุถูกผลักดันให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้า โดยแรงเสียดทานนั้นแล้วก็จะมีความร้อนเกิดขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจาก ความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเสียดทาน (Frictional heat generation) ความร้อนซึ่งเกิดขึ้นจากการนำความร้อนจากแผ่นให้ความร้อนที่อยู่ทีกระบอกหุ้มสกรู ดังนั้น เมื่อวัสดุเคลื่อนที่ไปข้างหน้ามากขึ้น ปริมาณของพอลิเมอร์ในสถานะของแข็งก็จะค่อยๆลดลงจนเป็นศูนย์ ที่บริเวณปลายของส่วนกดอัด และเข้าสู่ส่วนสุดท้ายคือส่วนส่งรีดเพื่อบีบวัสดุเข้าสู่หัวฉีด เพื่อขึ้นเป็นรูปร่างที่ต้องการ

2.5.2 เครื่องฉีดขึ้นรูป (Injection Molding)

เครื่องฉีดขึ้นรูป (รูปที่ 2.8) เป็นเครื่องขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โดยใช้การฉีดพลาสติกที่กำลังหลอมเหลวเข้าสู่แบบพิมพ์ด้วยความดันสูง เครื่องจักรที่ใช้มีขนาดที่ค่อนข้างใหญ่ เป็นที่นิยมแพร่หลาย

7. ชุดควบคุมกลาง (Central control) เป็นชุดควบคุมเครื่องจักรรวมทุกส่วน ได้แก่ อุปกรณ์จ่ายกระแสไฟฟ้า อุปกรณ์วัดและควบคุมความดัน และอุปกรณ์ตั้งเวลา

2.5.3 เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

เครื่องอัดขึ้นรูป เป็นเครื่องขึ้นรูปผลิตภัณฑ์โพลีเมอร์โดยใช้แรงอัดด้วยเครื่องจักรระบบไฮดรอลิก มีแม่พิมพ์ 2 ส่วนคือ ส่วนบนและส่วนล่าง โดยแม่พิมพ์ส่วนล่างจะมี เบ้าพิมพ์ และใช้แม่พิมพ์ส่วนบนปิดทับ ซึ่งมี Pin ที่ติดอยู่กับแม่พิมพ์ส่วนบนเป็นตัวล๊อคไม่ให้เคลื่อนไหว ขณะได้รับแรงอัด พลาสติกก็จะไหลเต็มเบ้าพิมพ์ และจะมีการควบคุมอุณหภูมิและเวลาของเครื่องจักรอย่างคงที่ ซึ่งความร้อนจากแม่พิมพ์ก็จะทำให้วัสดุเปลี่ยนรูปตามแบบที่ต้องการ ถ้าหากต้องการผสมสารเพื่อปรับปรุงคุณภาพ จะต้องเข้ากระบวนการเตรียมวัสดุก่อน สามารถแบ่งได้ 2 กรรมวิธีคือ กรรมวิธีหลอมเหลว และกรรมวิธีผสมโดยเติมของเหลว

2.6 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของพลาสติก (Mechanical Properties Testing)

คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุเป็นข้อมูลมีความสำคัญเป็นอย่างสูงต่อการนำวัสดุไปใช้งาน เนื่องจากไม่ว่าจะใช้งานพลาสติกในการทำผลิตภัณฑ์ใดก็ตาม ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นย่อมที่จะต้องมีการรับแรงกระทำไม่มากก็น้อย ซึ่งการที่ผู้ออกแบบทราบถึงสมบัติเชิงกลของพลาสติกที่นำมาใช้งานจะช่วยให้สามารถออกแบบผลิตภัณฑ์ได้อย่างถูกต้อง เลือกไปใช้งานได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย

การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล คือ การตรวจวัดสมบัติของพลาสติกในการรับแรงกระทำในลักษณะต่างๆ ในเชิงปริมาณ เพื่อให้ผู้ใช้งานสามารถนำค่าดังกล่าวไปใช้เพื่อประโยชน์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์นั้น ไม่ว่าจะเป็นการตรวจสอบคุณภาพ การเปรียบเทียบ หรือการจัดลำดับ ดังนั้นผลทดสอบต้องสามารถเปรียบเทียบกันได้ แม้จะทดสอบจากห้องปฏิบัติการที่แตกต่างกัน

2.6.1 การทดสอบแรงดึง (Tensile Test) ASTM D638

การออกแบบส่วนใหญ่จะใช้ค่าจากการทดสอบนี้ ไปใช้ในการคำนวณเพื่อกำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นงาน โดยทำการดึงชิ้นงานทดสอบจนขาดออกจากกัน บันทึกแรงที่ใช้ในการดึงและระยะยืดของชิ้นทดสอบด้วยเครื่องบันทึก การทดสอบนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบความแข็งแรงของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง ถ้าทำการดึงชิ้นงานที่มีสมบัติแข็งแรงอย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งวัสดุแตกหัก ผลจากการวัดแรงที่มากระทำต่อวัสดุ ณ ตำแหน่งที่เกิดการแตกหัก เรียกว่า ความเค้นสูงสุดเนื่องจากแรงดึง (Ultimate Tensile Stress) หรือ ความต้านทานแรงดึง (Tensile Strength)

ตามกฎของฮุก (Hook's Law) สำหรับวัสดุในอุดมคติที่มีสมบัติยืดหยุ่น ความเค้นเป็นสัดส่วนกับความเครียด อัตราส่วนระหว่างความเค้นและความเครียดนี้เป็นค่าคงที่ เรียกว่า มอดูลัส (Modulus : E) สำหรับการให้ความเค้นใดๆ กับวัสดุที่มีมอดูลัสต่ำ วัสดุนั้นจะแสดงค่า

ความเครียดหรือระยะยืดหรือการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงานได้สูงกว่าวัสดุที่มีมอดูลัสสูง ดังนั้น มอดูลัสเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของวัสดุจึงหมายถึง ความสามารถในการต้านทานต่อการสูญเสียรูปร่างของชิ้นงาน ในความเป็นจริง พลาสติกและอีลาสโตเมอร์ส่วนใหญ่ จะประพฤติตัวตามแบบฮุกเกียน (Hookean's Behavior) เฉพาะเมื่อทำการทดสอบด้วยอัตราเร็วในการยืดตัวต่ำ บางครั้งเรียกมอดูลัสของสภาพยืดหยุ่นว่า อีลาสติกมอดูลัส (Elastic Modulus) หรือ มอดูลัสของยังส์ (Young's Modulus) การวัดมอดูลัสนี้ทำได้โดยการสร้างเส้นตรงสัมผัสกับช่วงต้นของเส้นโค้งความเค้น-ความเครียด จากนั้นคำนวณค่าความชันของเส้นสัมผัส ดังสมการที่ 1

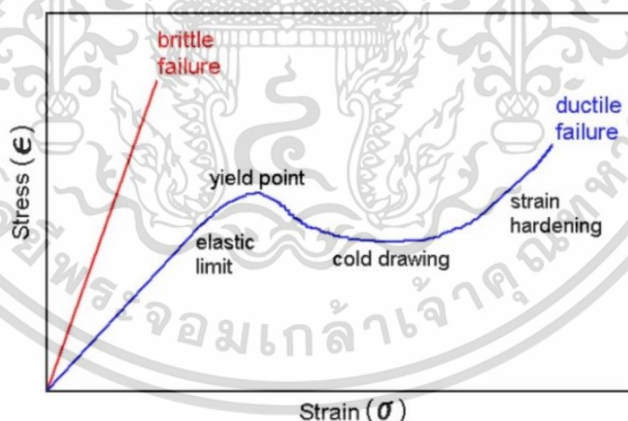
$$E = \Delta\sigma / \Delta\varepsilon \tag{1}$$

E = Elastic Modulus (Pa)

$\Delta\sigma$ = ความแตกต่างของความเค้นระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

$\Delta\varepsilon$ = ความแตกต่างของความเครียดระหว่างสองตำแหน่งบนเส้นตรง

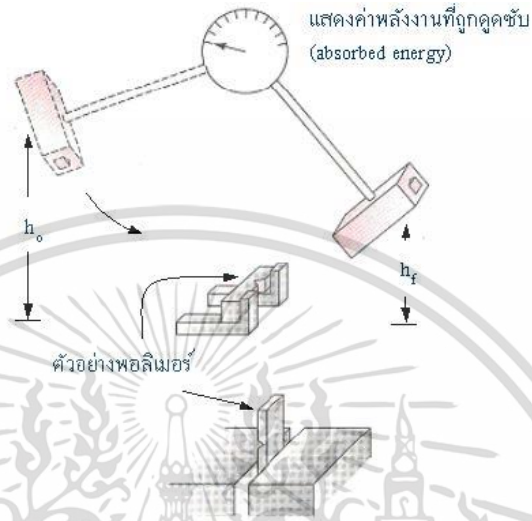
การเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแรงดึงของพอลิเมอร์แต่ละชนิด ไม่ว่าจะเป็นเทอร์โมพลาสติกเทอร์โมเซต พอลิเมอร์ผสม พอลิเมอร์คอมโพสิต และ อีลาสโตเมอร์ จะแตกต่างกันตามลักษณะการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์ สมบัติด้านความเป็นผลึก และความแข็งแรงในการยึดติดกันระหว่างผิวสัมผัสของพอลิเมอร์แต่ละชนิดกับวัสดุผสม (Adhesive Strength of Interface) ซึ่งแสดงให้เห็นความแตกต่างจากกราฟความเค้น - ความเครียด ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กราฟความเค้น - ความเครียด แสดงพฤติกรรมของวัสดุเมื่อได้รับแรงดึง

เนื่องจากพฤติกรรมความเค้นและความเครียดของวัสดุเป็นลักษณะที่ขึ้นกับเวลา อัตราเร็วที่ความเค้นหรือแรงที่ให้กับตัวอย่างจึงมีผลต่อการยืดตัวของตัวอย่าง หรือความเครียดเป็นอย่างมาก เช่น เมื่อนำตัวอย่างประเภทเส้นใยมาทดสอบ โดยใช้แรงดึงอย่างรวดเร็วจนทำให้เส้นใยขาดออกโดยง่าย แต่เมื่อใช้แรงขนาดเดิมแต่ดึงอย่างช้าๆ จะทำให้เส้นใยยืดออกและทนต่อแรงดึงอยู่ได้

โดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ การเหวี่ยงลูกตุ้ม (Pendulum) จากความสูงต่างๆ ให้กระแทกตัวอย่าง พอลิเมอร์ ดังรูปที่ 2.12 หรือการปล่อยก้อนหินหนักจากระดับความสูงต่างๆ ให้ตกลงมากระแทก ตัวอย่าง โดยเพิ่มน้ำหนักหรือแรงกระแทกจนตัวอย่างพอลิเมอร์แตก ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบนี้ สามารถใช้เพื่อเปรียบเทียบค่า Toughness โดยต้องคำนึงถึงขนาดและความหนาของตัวอย่างด้วย



รูปที่ 2.12 ลักษณะของตัวอย่างและวิธีการทดสอบความทนต่อแรงกระแทก

2.6.3 การทดสอบแรงดัด (Flexural Test) ASTM D790

ความสามารถของวัสดุที่จะสามารถทนต่อแรงที่ทำให้ตัวอย่างโค้งงอ โดยไม่เกิดการแตกหรือเสียรูปของตัวอย่างเมื่อหยุดให้แรง เป็นปัจจัยสำคัญสำหรับพอลิเมอร์ที่ถูกนำไปใช้งานบางประเภท เช่น ยางล้อรถ ล้อเฟือง โครงสร้างของยานยนต์ เรือ และเครื่องบิน เป็นต้น วิธีการทดสอบ แสดงดังสมการที่ 2 และค่า Flexural strength สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2

$$\text{Flexural strength} = \frac{3FL}{2Wh^2} \quad (2)$$

เมื่อ F = น้ำหนักที่ทำให้เกิดการแตกของพอลิเมอร์

L = ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของวัสดุที่รองรับตัวอย่าง

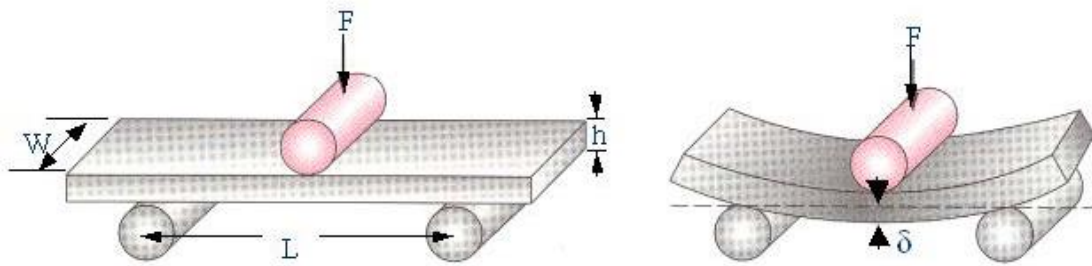
W = ความกว้างของตัวอย่าง

h = ความสูงของตัวอย่าง

และโมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3 โดยวางชิ้นตัวอย่างพาดจุดรองรับ 2 จุด และให้แรงตรงกลางดังรูปที่ 2.13

$$\text{Flexural modulus} = \frac{L^3 F}{4Wh^3 \delta} \quad (3)$$

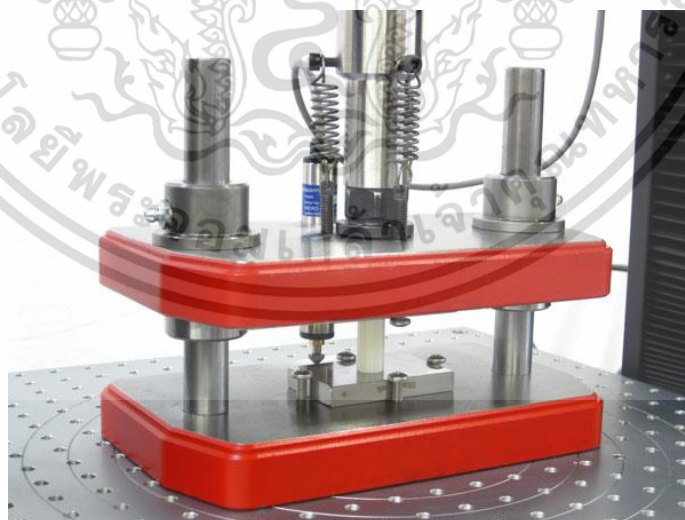
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 การทดสอบการโค้งงอของพอลิเมอร์ (bend test)

2.6.4 การทดสอบแรงอัด (Compression test) ASTM D695

การทดสอบแรงอัด (รูปที่ 2.14) เป็นการทดสอบที่มีลักษณะการใส่แรงกระทำในแนวขนานกับความยาวของชิ้นทดสอบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12.7 มิลลิเมตร สูง 25.4 มิลลิเมตร หรือรูปทรงปริซึมขนาด $12.7 \times 12.7 \times 25.4$ มิลลิเมตร กดอัดชิ้นทดสอบโดยใช้ความเร็วในการกดต่ำ และคงที่ตลอดการทดสอบ โดยความยาวของชิ้นทดสอบไม่ควรมากเกินไป เนื่องจากจะทำให้เกิดการแตกหักแบบโก่งเดาะ (Buckling) ในทางกลับกัน ถ้าอัตราส่วนความยาวต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางค่อนข้างน้อยจะทำให้ความแข็งแรงปรากฏของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลมาจากแรงเสียดทานระหว่างหน้าสัมผัสของชิ้นทดสอบกับแท่นทดสอบ โดยความยาวไม่ควรเกินสองเท่าของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบ และส่วนปลายของชิ้นทดสอบควรเรียบขนาน และตั้งฉากกัน คุณสมบัติที่ได้จากการทดสอบแรงกดประกอบด้วย ความเค้นอัด โมดูลัสความยืดหยุ่น ความเค้นคราก และการเปลี่ยนรูปของวัสดุ



รูปที่ 2.14 ชุดทดสอบ Compression test (ASTM D695)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 ข้อกำหนดมาตรฐานงานผิวจราจรแบบคอนกรีต (มทข.231-2545)

วัสดุ

1. วัสดุปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 15 : มาตรฐานปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์
2. วัสดุน้ำให้เป็นไปตาม มทข. 101-2545 : มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก
3. วัสดุชนิดเม็ดหยาบให้เป็นไปตาม มทข. 216-2545 : มาตรฐานวัสดุชนิดเม็ด (Aggregates) สำหรับผิวจราจรคอนกรีต
4. วัสดุชนิดเม็ดละเอียดให้เป็นไปตาม มทข. 216-2545 : มาตรฐานวัสดุชนิดเม็ด (Aggregates) สำหรับผิวจราจรคอนกรีต
5. วัสดุเหล็กเส้นเสริมคอนกรีตให้เป็นไปตาม มทข. 217-2545 : มาตรฐานเหล็กเส้นเสริมคอนกรีต
6. คอนกรีตที่ผสมขึ้นเองหรือคอนกรีตผสมเสร็จ (Ready Mixed Concrete) ที่จะนำมาใช้นั้นต้องมีปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ผสมคอนกรีต ไม่น้อยกว่า 350 กิโลกรัม ต่อหนึ่งลูกบาศก์เมตร และเมื่ออายุครบ 28 วัน ต้องมีค่าความต้านแรงอัดของแท่งคอนกรีตมาตรฐาน $15 \times 15 \times 15$ เซนติเมตร ไม่น้อยกว่า 325 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือตามที่กำหนดไว้ในแบบ

2.8 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Daniel Eiras และ Luiz Antonio Pessan (2552) ได้ศึกษาผลของแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาค นาโนที่ผสมอยู่ในพอลิโพรไพลีน ในปริมาณ 3, 5, 7, และ 9 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่าการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโนในปริมาณน้อยส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น ความเค้นที่จุดคราก และความต้านทานต่อแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการเพิ่มปริมาณของอนุภาคนาโนต่อไปไม่ได้ส่งผลให้คุณสมบัติด้านกำลังดังกล่าวเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม และ อุณหภูมิที่เปลี่ยนคุณสมบัติจากเปราะเป็นเหนียวมีค่าลดลง ในปริมาณของอนุภาคนาโนที่ผสมเพิ่มมากขึ้น

Chi-Ming Chan และคณะ (2545) ได้ศึกษาวัสดุผสมระดับนาโนของพอลิโพรไพลีนและแคลเซียมคาร์บอเนต โดยแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโนมีขนาดประมาณ 44 นาโนเมตร และจะกระจายตัวได้ดีในพอลิโพรไพลีนเมื่อใส่น้อยกว่า 9.2 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร ผลการทดสอบแรงดึงพบว่าค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นประมาณ 85 เปอร์เซ็นต์ ในขณะที่ความเค้นและความเครียดทั้งที่จุดประลัยและจุดครากไม่ได้รับผลจากแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโนมากนัก อีกทั้งการทดสอบความต้านทานแรงกระแทก พบว่ากำลังต้านทานแรงกระแทกมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญถึง 300 เปอร์เซ็นต์โดยประมาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

M. Y. A Faud และคณะ (2553) ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุนาโนของพอลิโพรไพลีน และแคลเซียมคาร์บอเนตที่ตกตะกอนนาโน ซึ่งเตรียมด้วยเครื่องผสมแบบปิด และเครื่องอัดรีดแบบสกรูคู่ พบว่าที่อัตราส่วนผสมอนุภาคนาโนต่ำกว่า 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การผสมด้วยเครื่องผสมแบบปิดจะให้กำลังต้านทานแรงกระทำของวัสดุสูงกว่า และที่อัตราส่วนผสมอนุภาคนาโนสูงกว่า 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก การผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่จะให้กำลังต้านทานแรงกระทำของวัสดุสูงกว่า มอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าสูงกว่าเมื่อผสมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่ มอดูลัสแรงดัดของวัสดุนาโนมีค่าเพิ่มขึ้นสำหรับการผสมทั้งสองวิธี กำลังรับแรงดึงของวัสดุนาโนที่เตรียมด้วยเครื่องอัดรีดสกรูคู่จะมีค่าที่สูงกว่า และทุกอัตราส่วนผสมให้ค่าที่สูงกว่าพอลิโพรไพลีนบริสุทธิ์

E. Takatori (2557) ได้ศึกษาคุณสมบัติของพอลิโพรพิลีนหลังผ่านกระบวนการรีไซเคิล พบว่ามีจุดหลอมเหลวที่ต่ำกว่าพอลิโพรไพลีนบริสุทธิ์ ด้านสมบัติเชิงกลพบว่ามีค่ากำลังรับแรงดึงลดลง กำลังรับแรงดัดลดลง ความต้านทานแรงกระทำลดลง และการยืดตัวจากแรงดึงลดลง

จากงานวิจัยข้างต้น พบว่าการผสมแคลเซียมคาร์บอเนตอนุภาคนาโนกับพอลิโพรไพลีนส่งผลให้มีคุณสมบัติด้านกำลังโดยรวมดีขึ้น และพอลิโพรไพลีนที่ผ่านกระบวนการรีไซเคิลจะมีคุณสมบัติเชิงกลที่ด้อยลงจากพอลิโพรไพลีนบริสุทธิ์เล็กน้อย

บทที่ 3

วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยชิ้นนี้ เป็นประเภททดลอง (Experimental research) โดยจะทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างวัสดุผสมระหว่างเม็ดพลาสติกชนิดโพลิโพรไพลีนรีไซเคิลกับผงแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนผสมต่างๆ เพื่อหาอัตรางานวิจัยส่วนผสมที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุดสำหรับเป็นวัสดุต้นแบบของบล็อกถนนอัจฉริยะจากขยะพลาสติกชนิดโพลิโพรไพลีนรีไซเคิล

3.1 วัสดุและสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

- 3.1.1 เม็ดพลาสติกรีไซเคิลชนิดโพลิโพรไพลีน (Polypropylene)
- 3.1.2 ผงแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium carbonate)

3.2 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

- 3.2.1 แบบหล่อทดสอบแรงดึง ตามมาตรฐาน ASTM D638
- 3.2.2 แบบหล่อทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก ตามมาตรฐาน ASTM D256-10
- 3.2.3 แบบหล่อทดสอบแรงดัด ตามมาตรฐาน ASTM D790
- 3.2.4 แบบหล่อทดสอบแรงอัด ตามมาตรฐาน ASTM D695
- 3.2.5 Single screw extruder machine
- 3.2.6 Injection molding machine
- 3.2.7 Compression machine
- 3.2.8 Universal testing machine
- 3.2.9 Izod impact testing machine
- 3.2.10 เครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล

3.3 ดัชนีอักษรย่อ

งานวิจัยนี้มีการศึกษาวัสดุผสมในอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน เพื่อให้ผู้อ่านได้เข้าใจถึงความหมาย จึงขอแสดงรายละเอียดอักษรย่อและอัตราส่วนสารผสมของตัวอย่างต่างๆ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อักษรย่อและอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง

อักษรย่อ	พอลิโพรไพลีน PP (%wt)	แคลเซียมคาร์บอเนต CaCO ₃ (%wt)
PP	100	-
PP/CaCO ₃ 5	95	5
PP/CaCO ₃ 10	90	10
PP/CaCO ₃ 15	85	15

3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบ

เตรียมตัวอย่างวัสดุผสมสำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกล ดังตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมละ 5 ตัวอย่าง

(ก) เตรียมเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต

นำเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนแบบรีไซเคิลผสมกับผงแคลเซียมคาร์บอเนต คลุกเคล้าให้เข้ากัน ตั้งอุณหภูมิเครื่อง Single screw extruder ในช่วง 180 – 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเครื่อง 30 นาที จากนั้นเทวัสดุผสมลงไปแล้วเดินเครื่อง จะได้เม็ดวัสดุผสม

(ข) เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงอัด

ตั้งอุณหภูมิของเครื่อง Compression ที่ 180 - 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเครื่องนาน 30 นาที เตรียมแบบหล่อโดยใช้แผ่นเหล็กกลวงเรียงต่อกันให้หนามากกว่า 12.7 มิลลิเมตร จากนั้นนำเม็ดพลาสติกใส่ในแบบหล่อ นำไปวางไว้บนเครื่องนาน 10 นาที จากนั้นนำแผ่นเหล็กที่บิดมาปิดทับและเริ่มอัดขึ้นรูปนาน 20 นาที จะได้แผ่นวัสดุผสม นำมาตัดแต่งให้ได้ขนาดตามมาตรฐาน

(ค) เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบแรงดึง แรงดัด และความต้านทานต่อแรง

กระแทก

ติดตั้งแบบหล่อตัวอย่างทดสอบแรงดึง แรงดัด และความต้านทานต่อแรงกระแทก ตั้งอุณหภูมิของเครื่อง Injection molding ที่ 180 – 190 องศาเซลเซียส อุณหภูมิเครื่องนาน 30 นาที เทเม็ดวัสดุผสมลงไปและเดินเครื่อง จะได้ตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน

3.4.2 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล (Mechanical properties testing)

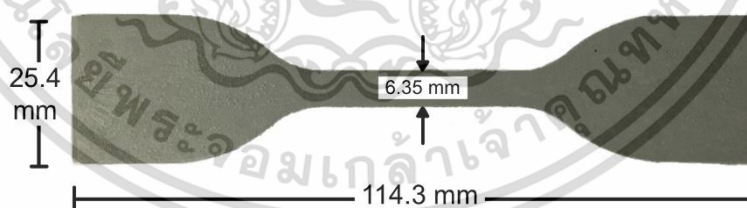
ทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ดังต่อไปนี้ วิเคราะห์ และสรุปผลการทดสอบ

(ก) การทดสอบแรงอัด (Compression testing) ASTM D695

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่าความต้านทานแรงอัด (Compressive strength) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัว (%Deflection) โดยใช้ตัวอย่างทดสอบทรงปริซึมสี่เหลี่ยม ขนาด 12.7×12.7×25.4 มิลลิเมตร ความเร็วในการกด 5 mm/min

(ข) การทดสอบแรงดึง (Tensile testing) ASTM D638-10

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal testing machine (UTM) ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่ากำลังรับแรงดึง (Tensile strength) ค่ามอดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of elasticity) และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว (%Elongation) โดยใช้ตัวอย่างทดสอบขนาดแสดงดังรูปที่ 3.1 หน้า 3.18 mm ความเร็วในการดึง 100 mm/min ระยะจับ 30 mm



รูปที่ 3.1 ขนาดของตัวอย่างทดสอบแรงดึง

(ค) การทดสอบแรงดัด (Flexural testing) ASTM D790-10

ทดสอบด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่าความต้านทานแรงดัด (Flexural strength) ค่ามอดูลัสแรงดัดโค้ง (Flexural modulus) โดยกำหนดระยะห่างจุดรองรับ (Support span length) 48 mm โดยใช้ตัวอย่างทดสอบทรงสี่เหลี่ยมแบนขนาด 127×12.7×3.2 mm ความเร็วในการกด 5 mm/min

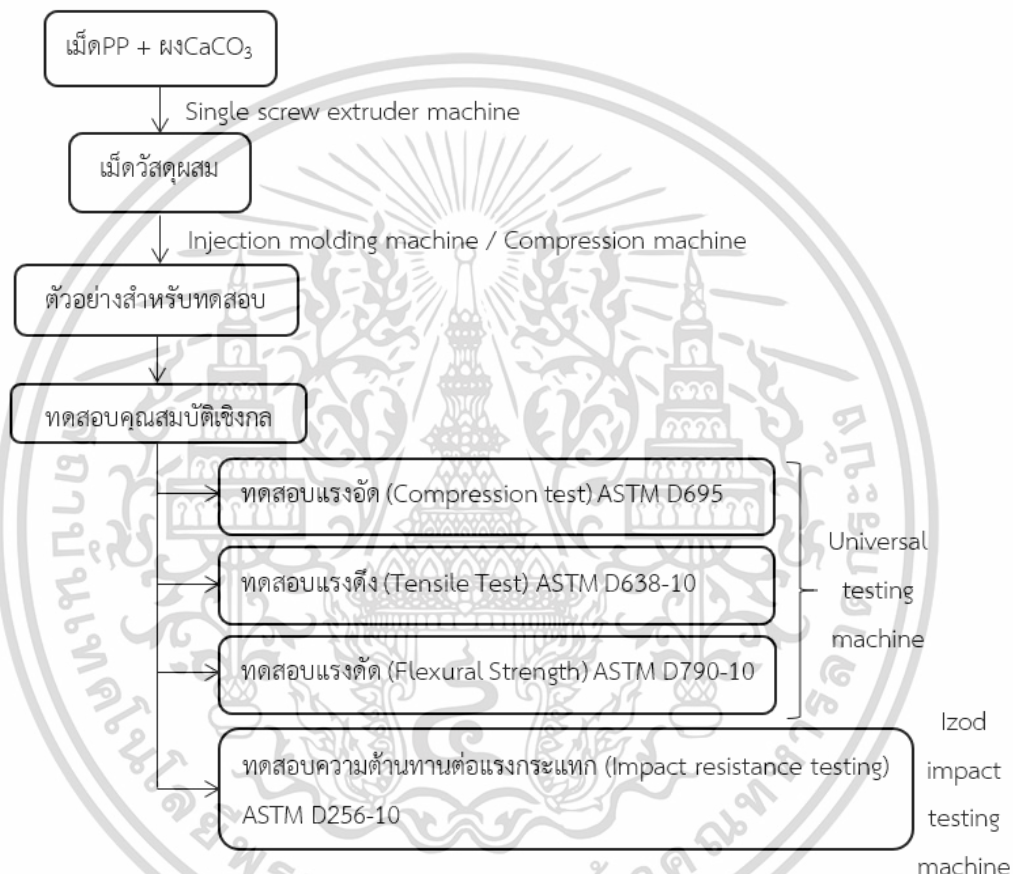
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ง) การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance testing)

ASTM D256-10

ทดสอบด้วยเครื่อง Izod impact testing ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาค่าล้างต้านทานแรงกระแทก (Impact Resistance Test) โดยใช้ตัวอย่างทดสอบทรงสี่เหลี่ยมแบนขนาด 63.5×12.7×3.2 mm

สรุปขั้นตอนการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลได้ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ผังแสดงขั้นตอนการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 แผนการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงานวิจัยแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แผนการดำเนินงานวิจัย

ลำดับ	การดำเนินการ/เดือน	ปี 2562				ปี 2563			
		ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.	หาข้อมูลเบื้องต้น	←→							
2.	จัดหาและเตรียม เม็ดพลาสติกกรีไซเคิล			←→					
3.	ฉีดยาและอัดขึ้นรูปตัวอย่าง					←→			
4.	ทดสอบคุณสมบัติเชิงกล						←→		
5.	ออกแบบตามหลักวิศวกรรม					←→			
6.	จัดทำรายงาน					←→			

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินโครงการ

ในเบื้องต้น กลุ่มผู้วิจัยได้ศึกษาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการหลอมพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีน โดยทดลองหลอมเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนในตู้อบลมร้อน ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 เป็นเวลา 6 ชั่วโมง พบว่าที่อุณหภูมิ 180 - 190 องศาเซลเซียส เม็ดพลาสติกสามารถหลอมเป็นเนื้อเดียวกัน แต่จะส่งกลิ่นเหม็นรุนแรง และมีสีที่เปลี่ยนไป ทั้งนี้เมื่อครบ 6 ชั่วโมง จะต้องค่อยๆลดอุณหภูมิของตัวอย่างจนถึงอุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 12 - 14 ชั่วโมง ซึ่งหากใช้อุณหภูมิที่สูงกว่านี้ ตัวอย่างพลาสติกจะไหม้ได้ และจะหลอมเหลวไม่หมดหากใช้อุณหภูมิต่ำกว่านี้ ดังแสดงในตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.1 เครื่องอบลมร้อน MEMMERT แบบมีพัดลม



รูปที่ 4.2 การหลอมตัวอย่างทดสอบในตู้อบลมร้อน

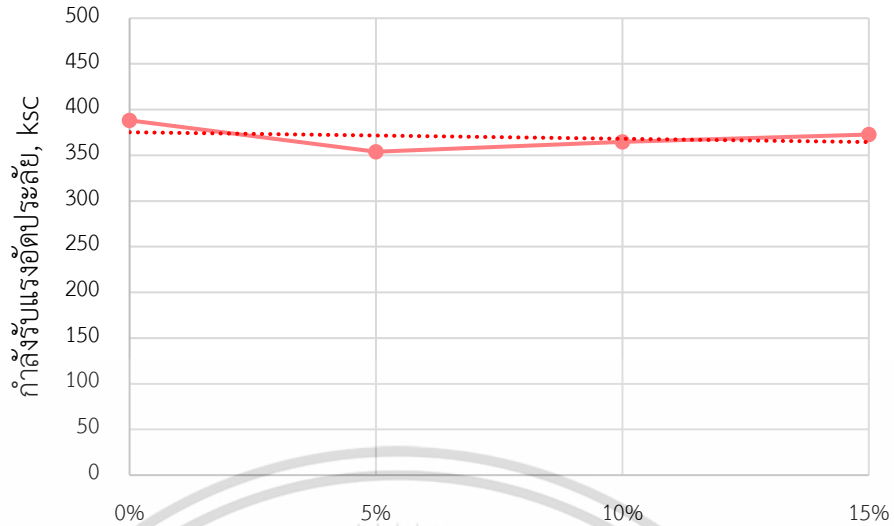
ตารางที่ 4.1 ลักษณะของตัวอย่างที่ช่วงอุณหภูมิในการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ	ลักษณะของตัวอย่าง
< 180 °C	ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน
180 – 190 °C	เป็นเนื้อเดียวกัน
> 190 °C	ไหม้

เนื่องจากขั้นตอนการหลอมพลาสติกข้างต้นจะส่งกลิ่นเหม็น ตัวอย่างมีสีที่เปลี่ยนไป และได้รับความร้อนอย่างไม่ทั่วถึง อีกทั้งใช้เวลานานทั้งในการหลอมและลดอุณหภูมิ และยังไม่สามารถผสมพอลิโพรไพลีนเข้ากับแคลเซียมคาร์บอเนตได้สม่ำเสมอ โดยศึกษาอัตราส่วนผสมระหว่างเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนรีไซเคิลกับผงแคลเซียมคาร์บอเนตในอัตราส่วนผสมต่างๆ จึงเลือกใช้เครื่อง Single screw extruder ในการผสมเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนกับผงแคลเซียมคาร์บอเนต จากนั้นฉีดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Injection molding หรืออัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression และนำไปทดสอบคุณสมบัติเชิงกล เพื่อหาอัตราส่วนผสมที่มีคุณสมบัติเชิงกลที่เหมาะสมที่สุด สำหรับเป็นวัสดุต้นแบบของบล็อกถนนอัจฉริยะจากขยะพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนรีไซเคิล ประกอบไปด้วย การทดสอบแรงอัด (Compression testing) ตามมาตรฐาน ASTM D695, การทดสอบแรงดึง (Tensile testing) ตามมาตรฐาน ASTM D638-10, การทดสอบแรงดัด (Flexural testing) ตามมาตรฐาน ASTM D790-10 และ การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance testing) ตามมาตรฐาน ASTM D256-10 โดยมีผลการทดสอบดังแสดงในบทนี้

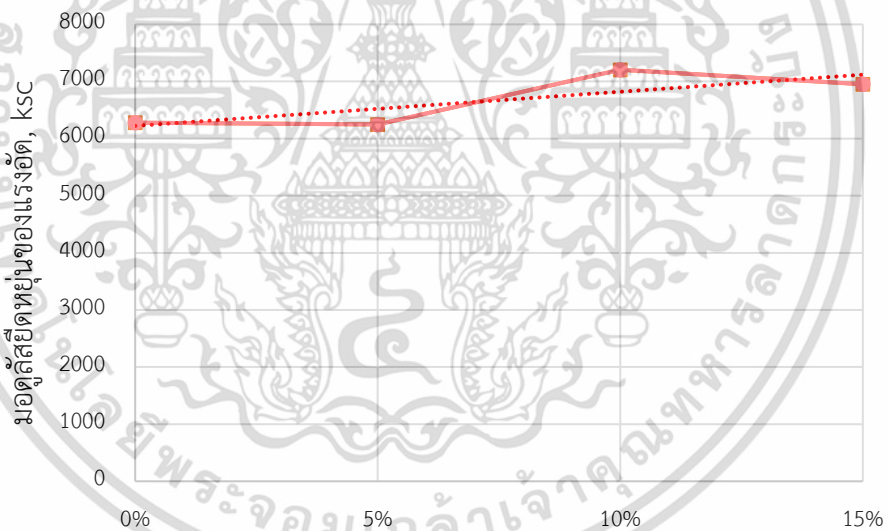
4.1 การทดสอบแรงอัด (Compression testing) ASTM D695

การทดสอบแรงอัดของตัวอย่างวัสดุผสมระหว่างพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนกับแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดแสดงดังรูปที่ 4.3 ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัด แสดงดังรูปที่ 4.4 และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัว แสดงดังรูปที่ 4.5



เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

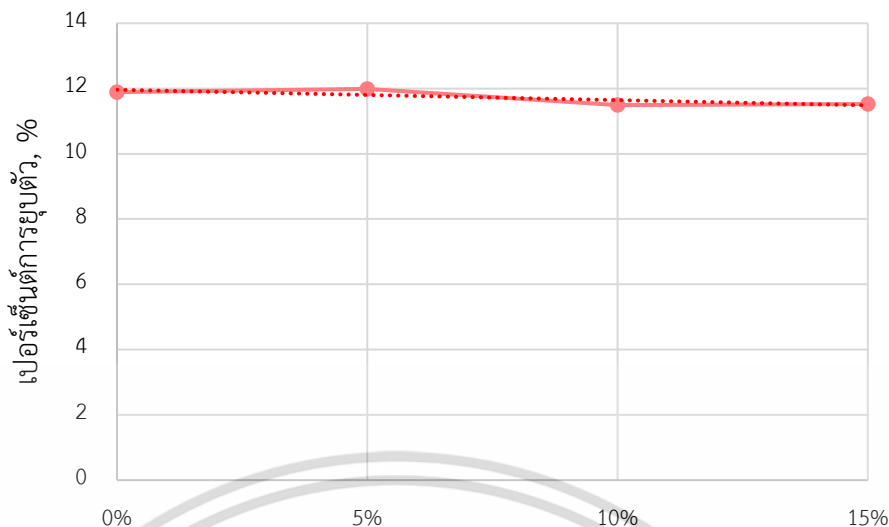
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดประลัยกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต



เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยุบตัวกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงค่ารับแรงอัดที่จุดประลัย, ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัด และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวของตัวอย่างวัสดุผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ตัวอย่าง	กำลังรับแรงอัดประลัย, ksc	มอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัด, ksc	เปอร์เซ็นต์การยุบตัว, %
PP	388.249	6276.501	11.888
PP/CaCO ₃ 5	353.893	6428.001	11.988
PP/CaCO ₃ 10	364.596	7206.525	11.491
PP/CaCO ₃ 15	372.752	6953.473	11.524

จากตารางที่ 4.2 การทดสอบแรงอัดของตัวอย่าง PP หากำลังรับแรงอัดที่จุดประลัยเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (Compressive strength) ได้ 388.249 ksc ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 6276.501 ksc และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (%Deflection) 11.888 %

ตัวอย่าง PP/CaCO₃5 หากำลังรับแรงอัดที่จุดประลัยเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (Compressive strength) ได้ 353.893 ksc ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 6248.001 ksc และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (%Deflection) 11.988 %

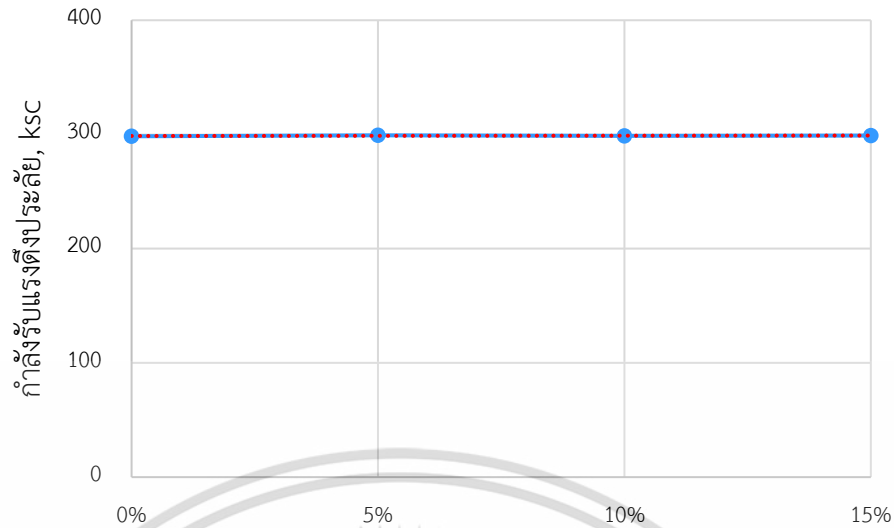
ตัวอย่าง PP/CaCO₃10 หาค่ากำลังรับแรงอัดที่จุดประลัยเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (Compressive strength) ได้ 364.596 ksc ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 7206.525 ksc และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (%Deflection) 11.491 %

ตัวอย่าง PP/CaCO₃15 หาค่ากำลังรับแรงอัดที่จุดประลัยเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (Compressive strength) ได้ 372.752 ksc ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 6953.473 ksc และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเฉลี่ย 4 ตัวอย่าง (%Deflection) 11.524 %

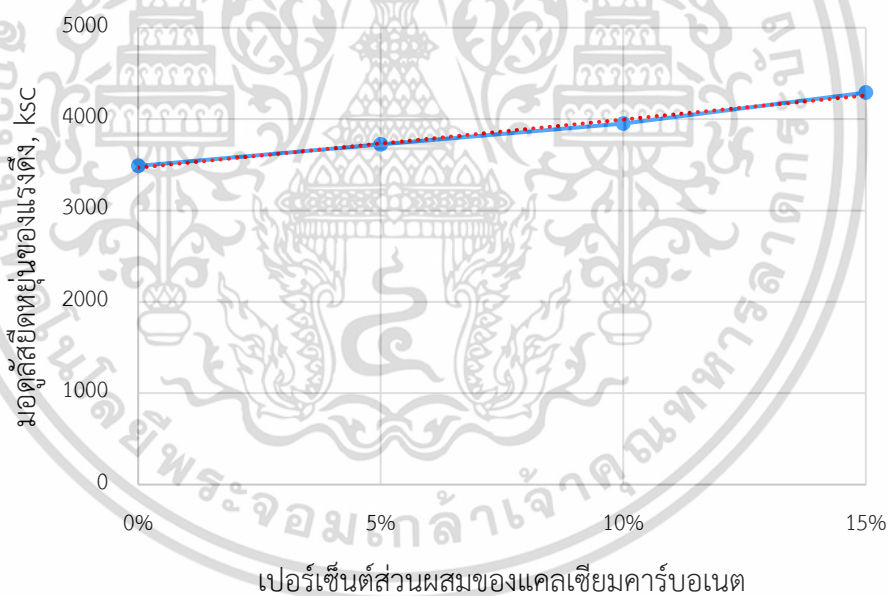
จากการผลการทดสอบแรงอัดเมื่อพิจารณาจากเส้นแนวโน้ม (เส้นประ) รูป 4.3, 4.4 และ 4.5 และตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต กำลังรับแรงอัดประลัยลดลงเล็กน้อย ในขณะที่ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวจะลดลง จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ทั้งนี้หากพิจารณาค่ากำลังรับแรงอัดประลัยในแต่ละอัตราส่วนผสมจะพบว่าผลการทดลองมีค่าลดลงที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 5 เปอร์เซ็นต์ และเพิ่มขึ้นหลังจากนั้น ซึ่งขัดแย้งกับเส้นแนวโน้มที่มีค่าลดลง และเมื่อพิจารณาค่ามอดูลัสของแรงอัดผลการทดลองที่อัตราส่วนผสม 15 เปอร์เซ็นต์ ลดลงจากอัตราส่วนผสม 10 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งขัดแย้งกับเส้นแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น อันเนื่องมาจากขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างโดยการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่อง Compression ซึ่งแม่พิมพ์มีขนาดแตกต่างจากมาตรฐาน ASTM D695 จึงต้องปรับแต่งให้ได้ขนาดส่งผลให้ขนาดของแต่ละตัวอย่างมีค่าคลาดเคลื่อน

4.2 การทดสอบแรงดึง (Tensile testing) ASTM D638-10

การทดสอบแรงดึงของตัวอย่างวัสดุผสมระหว่างพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนกับแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีผลต่อกำลังรับแรงดึง แสดงดังรูปที่ 4.6 ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึง แสดงดังรูปที่ 4.7 และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว แสดงดังรูปที่ 4.8

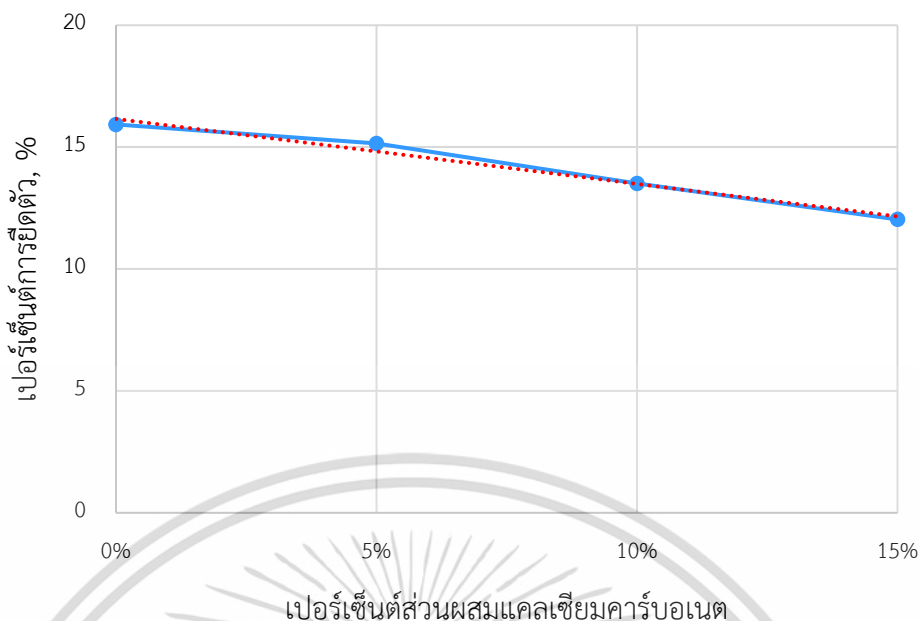


รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดึงเฉลี่ยกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การยืดตัวกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.3 ตารางแสดงค่ารับแรงดึงที่จุดประลัย, ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึง และค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวของตัวอย่างวัสดุผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ตัวอย่าง	กำลังรับแรงดึงประลัย, ksc	มอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึง, ksc	เปอร์เซ็นต์การยืดตัว, %
PP	298.410	3487.898	15.931
PP/CaCO ₃ 5	299.236	3725.171	15.152
PP/CaCO ₃ 10	298.822	3952.589	13.510
PP/CaCO ₃ 15	298.974	4290.196	12.034

จากตารางที่ 4.3 การทดสอบแรงดึงของตัวอย่าง PP หาค่ากำลังรับแรงดึงที่จุดประลัยเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Tensile strength) ได้ 298.410 ksc ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 3487.898 ksc และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (%Elongation) 15.931 %

ตัวอย่าง PP/CaCO₃5 หาค่ากำลังรับแรงดึงที่จุดประลัยเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Tensile strength) ได้ 299.236 ksc ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 3725.171 ksc และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (%Elongation) 15.152 %

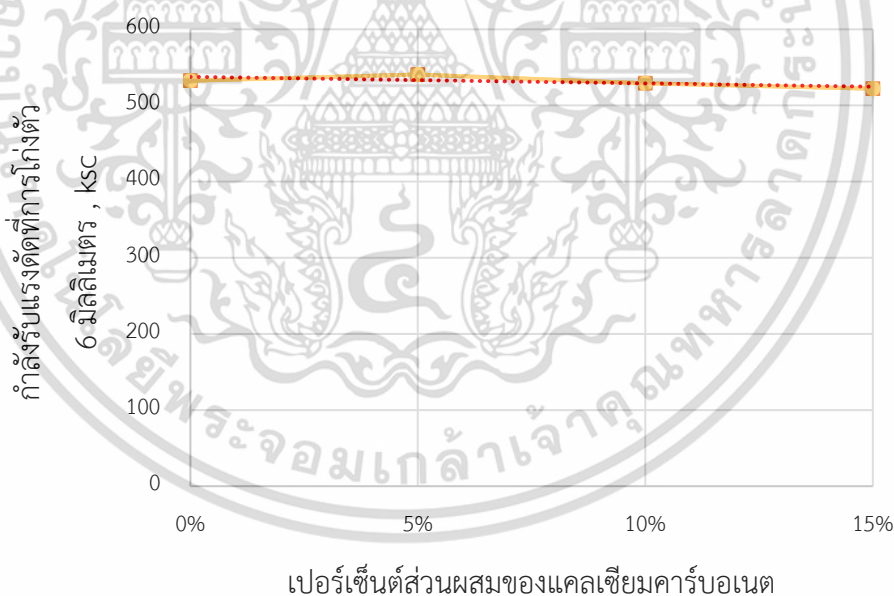
ตัวอย่าง PP/CaCO₃10 หาค่ากำลังรับแรงดึงที่จุดประลัยเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Tensile strength) ได้ 298.822 ksc ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 3952.589 ksc และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (%Elongation) 13.510 %

ตัวอย่าง PP/CaCO₃15 หาค่ากำลังรับแรงดึงที่จุดประลัยเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Tensile strength) ได้ 298.974 ksc ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 4290.196 ksc และ ค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัวเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (%Elongation) 12.034 %

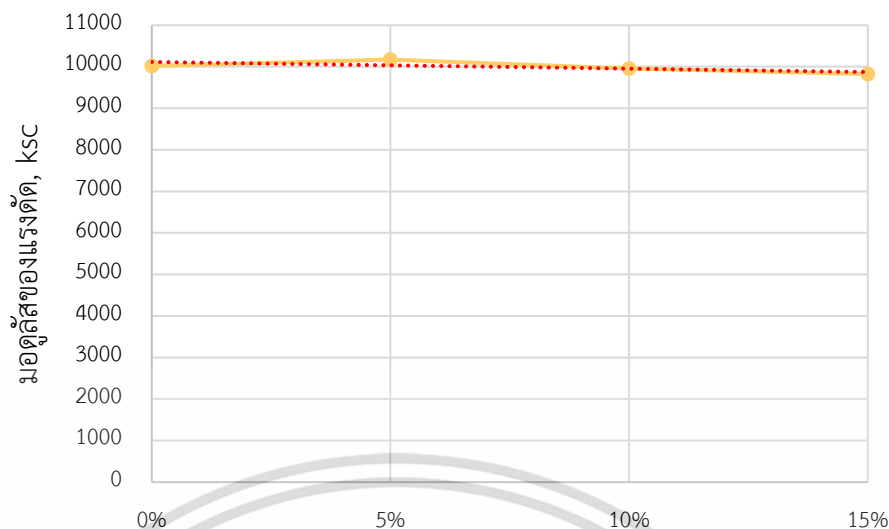
จากผลการทดสอบแรงดึงเมื่อพิจารณาจากเส้นแนวโน้ม (เส้นประ) รูปที่ 4.6, 4.7 และ 4.8 และตารางที่ 4.3 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต กำลังรับแรงดึงประลัย มีค่าไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่และเปอร์เซ็นต์การยืดตัวมีค่าลดลง จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างคงที่ เนื่องจากการผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตทำให้ตัวอย่างทดสอบมีความเปราะมากขึ้นสอดคล้องกับงานวิจัยของ Daniel Eiras และ Chi – Ming Chan

4.3 การทดสอบแรงดัด (Flexural testing) ASTM D790-10

การทดสอบแรงอัดของตัวอย่างวัสดุผสมระหว่างพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนกับแคลเซียมคาร์บอเนต ที่มีผลต่อกำลังรับแรงดัด แสดงดังรูปที่ 4.9 และค่ามอดูลัสของแรงดัด แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตรกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต



เปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ามอดูลัสของแรงดัดกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.4 ตารางแสดงค่ารับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตร และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดัดของตัวอย่างวัสดุผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ตัวอย่าง	กำลังรับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตร, ksc	มอดูลัสของแรงดัด, ksc
PP	532.692	10021.823
PP/CaCO ₃ 5	540.590	10173.029
PP/CaCO ₃ 10	529.217	9958.664
PP/CaCO ₃ 15	522.014	9824.194

จากตารางที่ 4.4 การทดสอบแรงดัดของตัวอย่าง PP หาค่ากำลังรับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตรเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Flexural strength) ได้ 532.692 ksc และ ค่ามอดูลัสของแรงดัดเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 10021.823 ksc

ตัวอย่าง PP/CaCO₃5 หาค่ากำลังรับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตรเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Flexural strength) ได้ 540.590 ksc และ ค่ามอดูลัสของแรงดัดเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 10173.029 ksc

ตัวอย่าง PP/CaCO₃10 หาค่ากำลังรับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตรเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Flexural strength) ได้ 529.217 ksc และ ค่ามอดูลัสของแรงดัดเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 9958.664 ksc

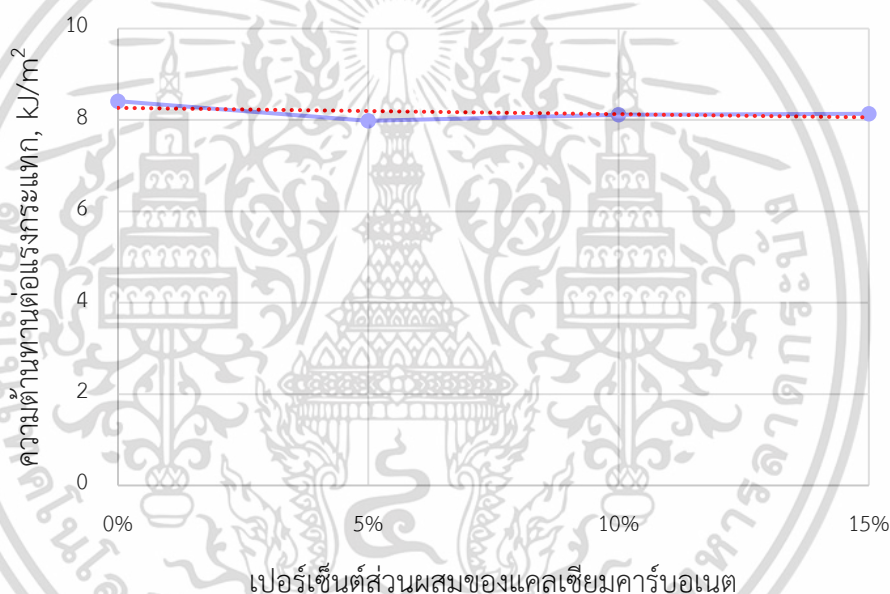
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่าง PP/CaCO₃15 ท้าค่ากำลังรับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตรเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Flexural strength) ได้ 522.014 ksc และ ค่ามอดูลัสของแรงดัดเฉลี่ย 5 ตัวอย่าง (Modulus of elasticity) ได้ 9824.194 ksc

จากผลการทดสอบแรงดัดเมื่อพิจารณาจากเส้นแนวโน้ม (เส้นประ) รูปที่ 4.9 และ 4.10 และ ตารางที่ 4.4 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต โดยการทดสอบจะทดสอบ ที่การโก่ง 6 มิลลิเมตร ค่ากำลังรับแรงดัดและค่ามอดูลัสของแรงดัด ไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งขัดแย้งกับ งานวิจัยของ M. Y. A Faud เนื่องจากขั้นตอนการผสมตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่อง Single screw extruder ให้ผลที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน

4.4 การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก (Impact resistance testing)

ASTM D256-10



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกกับเปอร์เซ็นต์ส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต

ตารางที่ 4.5 ตารางแสดงค่ารับแรงดัดที่การโก่งตัว 6 มิลลิเมตร และค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดัดของตัวอย่างวัสดุผสมที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ตัวอย่าง	กำลังต้านทานแรงกระแทก, kJ/m ²
PP	8.411
PP/CaCO ₃ 5	7.980
PP/CaCO ₃ 10	8.117
PP/CaCO ₃ 15	8.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 การทดสอบความต้านทานต่อแรงกระแทก หากำลังต้านทานแรงกระแทกเฉลี่ย (Impact Resistance) ของตัวอย่าง PP, PP/CaCO₃5, PP/CaCO₃10 และ PP/CaCO₃15 ได้ 8.411, 7.980, 8.117 และ 8.135 kJ/m² ตามลำดับ

เมื่อพิจารณาจากเส้นแนวโน้ม (เส้นประ) รูปที่ 4.11 และจากตารางที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนต กำลังต้านทานแรงกระแทกมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ซึ่งขัดแย้งกับงานวิจัยของ Daniel Eiras เนื่องจากขั้นตอนการผลิตตัวอย่างทดสอบด้วยเครื่อง Single screw extruder ให้ผลที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการดำเนินโครงการและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

จากการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดประลัยลดลงเล็กน้อย และค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวลดลง จึงส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงอัดเพิ่มขึ้น กำลังรับแรงดึงประลัยมีค่าไม่เปลี่ยนแปลง แต่มีเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่น้อยลง ส่งผลให้ค่ามอดูลัสยืดหยุ่นของแรงดึงมีค่าเพิ่มขึ้น ในอัตราส่วนผสมของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงดัดที่การโก่ง 6 มิลลิเมตร ค่ามอดูลัสของแรงดัดและค่ากำลังต้านทานแรงกระแทกมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ทั้งนี้ คุณสมบัติด้านการรับแรงอัดที่แตกต่างกันไม่ชัดเจนและไม่เป็นแนวโน้มเดียวกัน เนื่องจากขั้นตอนการผสมวัสดุที่อาจไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากพอ อย่างไรก็ตาม ค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของทุกอัตราส่วนผสม ยังคงมากกว่าค่ากำลังรับแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการสำหรับงานถนน

5.2 ปัญหาและอุปสรรคที่พบ

- ขั้นตอนการหลอมพลาสติกโดยใช้ตู้อบลมร้อน เมื่อเพิ่มอุณหภูมิถึงจุดหลอมเหลว จะส่งผลให้ตัวอย่างพลาสติกส่งกลิ่นเหม็น และมีสีที่เปลี่ยนไป ความร้อนที่เข้าถึงตัวอย่างไม่เท่ากันทุกด้าน ส่งผลให้วัสดุดิบของตัวอย่างได้รับความร้อนและหลอมเหลวไม่เท่ากัน และเมื่อหลอมเหลวแล้ว ยังต้องใช้เวลาดูดอุณหภูมิในตู้อบเป็นเวลามากกว่า 12 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างเย็นลงโดยไม่แตกร้าว
- การผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตเข้ากับเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนด้วยเครื่อง Single screw extruder ยังมีความไม่เป็นเนื้อเดียวกันมากพอ ส่งผลให้ค่าที่ได้จากการทดลองคลาดเคลื่อนได้
- ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างทดสอบแรงอัด ด้วยเครื่อง Compression ไม่สามารถให้ชิ้นงานที่มีขนาดเท่ากับตัวอย่างทดสอบตามมาตรฐาน ASTM จึงต้องตัดแต่งตัวอย่างให้มีขนาดเหมาะสมด้วยเครื่องมือที่มีในห้องปฏิบัติการ ส่งผลให้ตัวอย่างทดสอบมีรูปร่างที่ไม่สมบูรณ์ตามมาตรฐาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

- ปรับปรุงขั้นตอนการผสมผงแคลเซียมคาร์บอเนตเข้ากับเม็ดพลาสติกชนิดพอลิโพรไพลีนให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากขึ้นโดยทำให้เม็ดพลาสติกมีขนาดเล็กเพื่อเพิ่มพื้นที่ในการจับกับผงแคลเซียมคาร์บอเนต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ทางผู้วิจัยได้ออกแบบคุณลักษณะของบล็อกถนนพลาสติกในเบื้องต้น ดังรูปที่ 5.1 โดยกำหนดความกว้าง 3.5 เมตร เพื่อใช้แทนถนนขนาด 1 ช่องจราจร ยึดต่อกันด้วยลึ้น ทำผิวถนนให้มีความหยาบเพื่อเพิ่มแรงเสียดทาน และมีช่องสำหรับรองรับระบบไฟฟ้าและประปา ความยาวและความลึกของบล็อกถนนจำเป็นต้องออกแบบเพิ่มเติมในรายละเอียด



รูปที่ 5.1 คุณลักษณะเบื้องต้นของบล็อกถนนพลาสติก

- การออกแบบสำหรับใช้งานจริง ควรทดสอบคุณสมบัติเชิงกลด้วยจำนวนชิ้นตัวอย่างที่มากขึ้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนของผลการทดสอบ และปรับปรุงขั้นตอนการผลิตให้มีความเป็นเนื้อเดียวกันมากที่สุด และศึกษาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบบล็อกถนนจากพลาสติกนี้ และคำนวณความคุ้มค่าเปรียบเทียบระหว่างการใช้บล็อกถนนพลาสติกกับการก่อสร้างถนนวิธีปกติ

บรรณานุกรม

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2560. แผนจัดการขยะพลาสติกอย่างบูรณาการ (พ.ศ. 2560 – 2564).

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2562. สรุปสถานการณ์มลพิษ ของประเทศไทย ปี 2561.

กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. 2562. Road map การจัดการขยะพลาสติก พ.ศ.2561-2573.

บริษัท เดอะ คอร์ พลาส จำกัด. 2560. เหตุใดพอลิโพรไพลีน จึงเป็นวัสดุที่ดีที่สุด.

บริษัท วัฒนพันธุ์แพคเกจจิ้งซิสเต็ม จำกัด. POLYPROPYLENE หรือ PP คืออะไร

ผศ.ดร.พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์และศ.ดร.นิธิยา รัตนานนท์. พอลิโพรไพลีน

ศูนย์นวัตกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. COMPRESSION MOULDING MACHINE

ASTM International, West Conshohocken, PA. 2553. **Standard Test Method for Compressive Properties of Rigid Plastics.** [Online]. Available : <https://www.astm.org/DATABASE.CART/HISTORICAL/D695-10.htm>

ASTM International, West Conshohocken, PA. 2557. **Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics** [Online]. Available : <https://www.astm.org/Standards/D638.htm>

ASTM International, West Conshohocken, PA. 2560. **Standard Test Methods for Flexural Properties of Unreinforced and Reinforced Plastics and Electrical Insulating Materials** [Online]. Available : <https://www.astm.org/Standards/D790.htm>

ASTM International, West Conshohocken, PA. 2561. **Standard Test Methods for Determining the Izod Pendulum Impact Resistance of Plastics.** [Online]. Available : <https://www.astm.org/Standards/D256.htm>

Chi-Ming Chan et al. 2545. “Polypropylene/calcium carbonate nanocomposites” **Polymer.** 43 : 2981-2992.

M.Y.A. Faud et al. 2553. “Polypropylene/calcium carbonate nanocomposites – effects of processing techniques and maleated polypropylene compatibiliser” **eXPRESS Polymer Letters.** 4(10) : 611-620

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Daniel Eiras and Luiz Antonio Passan. 2552. "Mechanical Properties of Polypropylene/ Calcium Carbonate Nanocomposites" **Materials Research**. 12(4) : 517-522

E. Takatori et al. 2557. "Inner Structure and Mechanical Properties of Recycled Polypropylene" **Nihon Reoroji Gakkaishi**. 41(3) : 173-178

KINGKAEW OFFICE. พลาสติกพอลิโพรไพลีน Polypropylene (PP)

Pradyot Patnaik. Handbook of Inorganic Chemicals. McGraw-Hill, 2545, ISBN 0-07-049439-8

Wepackage. พลาสติกพอลิโพรไพลีน (Polypropylene: PP)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1 ขนาดของตัวอย่างทดสอบแรงอัดและแรงดึง

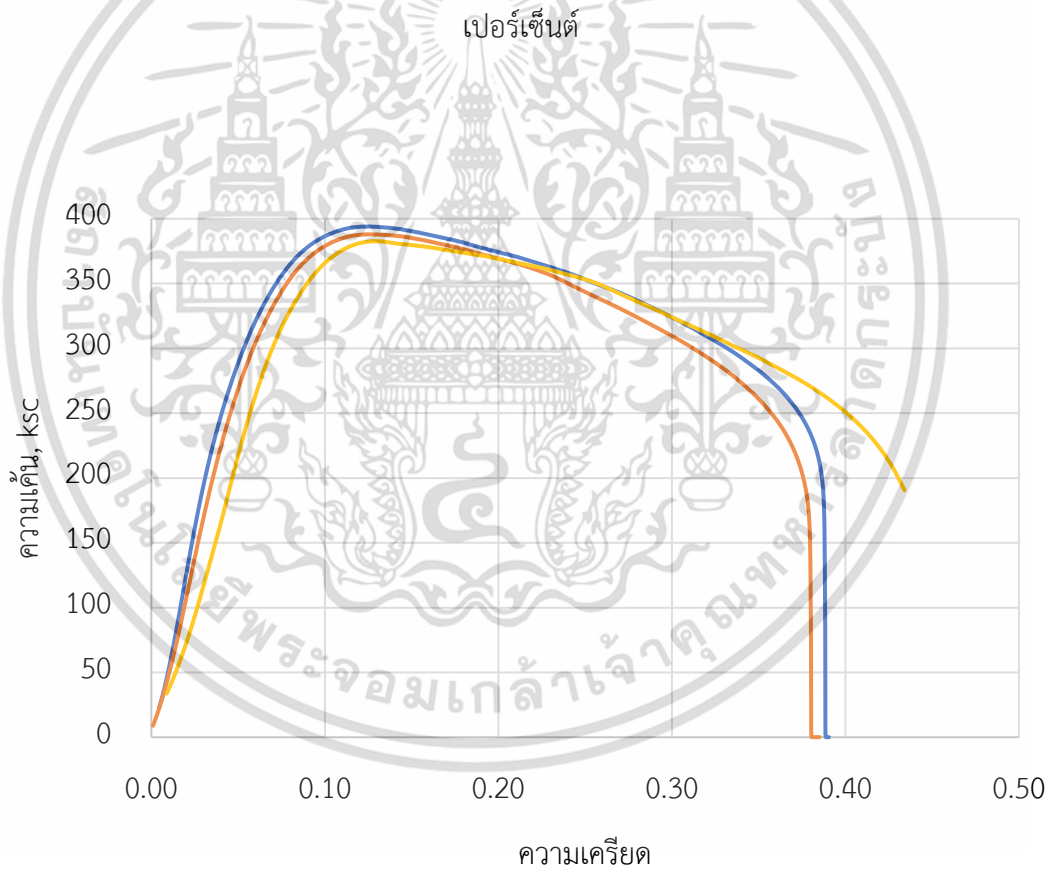
%CaCO ₃	ตัวอย่างที่	ทดสอบแรงอัด									ทดสอบแรงดึง		
		ด้าน1 บน (mm)	ด้าน1 กลาง (mm)	ด้าน1 ล่าง (mm)	เฉลี่ยด้าน1 (mm)	ด้าน2 บน (mm)	ด้าน2 กลาง (mm)	ด้าน2 ล่าง (mm)	เฉลี่ยด้าน2 (mm)	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	หนา (mm)	กว้าง (mm)	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)
0%	1	10.32	10.70	10.62	10.55	10.86	11.20	10.90	10.99	115.87	3.36	5.80	19.49
	2	10.98	11.00	10.94	10.97	11.22	11.18	11.18	11.19	122.83	3.36	5.80	19.49
	3	11.30	11.50	11.50	11.43	10.90	10.80	10.60	10.77	123.10	3.36	5.80	19.49
	4	11.18	11.28	11.32	11.26	10.60	10.64	10.56	10.60	119.36	3.36	5.80	19.49
	5	11.48	11.40	11.30	11.39	11.00	11.00	10.88	10.96	124.87	3.30	5.80	19.14
5%	1	9.78	10.04	10.20	10.01	10.30	10.70	10.50	10.50	105.07	3.36	5.80	19.49
	2	10.40	10.58	10.66	10.55	10.10	10.10	10.00	10.07	106.17	3.30	5.80	19.14
	3	10.00	10.10	10.16	10.09	10.32	10.40	10.40	10.37	104.63	3.36	5.80	19.49
	4	10.44	10.70	10.80	10.65	9.90	9.92	10.00	9.94	105.83	3.36	5.80	19.49
	5	9.82	9.84	9.98	9.88	10.00	10.48	10.44	10.31	101.83	3.36	5.80	19.49
10%	1	9.52	9.48	9.34	9.45	10.00	10.18	9.74	9.97	94.21	3.30	5.80	19.14
	2	10.38	10.48	10.48	10.45	10.50	10.62	10.62	10.58	110.53	3.30	5.80	19.14
	3	9.58	9.60	9.70	9.63	10.40	10.70	10.76	10.62	102.24	3.30	5.80	19.14
	4	9.50	9.62	9.60	9.57	10.70	10.90	10.50	10.70	102.43	3.30	5.80	19.14
	5	9.60	9.62	9.90	9.71	10.10	10.48	10.40	10.33	100.24	3.30	5.80	19.14
15%	1	11.34	11.50	11.60	11.48	10.90	11.00	11.00	10.97	125.90	3.24	5.80	18.79
	2	11.18	11.30	10.88	11.12	10.50	10.90	11.12	10.84	120.54	3.24	5.80	18.79
	3	11.10	11.00	10.78	10.96	10.80	10.98	10.90	10.89	119.39	3.24	5.80	18.79
	4	11.10	11.48	11.40	11.33	10.70	10.90	10.80	10.80	122.33	3.24	5.80	18.79
	5	11.00	11.50	11.38	11.29	10.62	10.74	10.72	10.69	120.76	3.24	5.80	18.79

ตารางที่ ผ.2 ขนาดของตัวอย่างทดสอบแรงตัดและกำลังต้านทานแรงกระแทก

%CaCO ₃	ตัวอย่าง ที่	ทดสอบแรงตัด									ทดสอบกำลังต้านทานแรงกระแทก								
		หนา1 (mm)	หนา2 (mm)	หนา3 (mm)	หนา เฉลี่ย (mm)	กว้าง 1 (mm)	กว้าง 2 (mm)	กว้าง 3 (mm)	กว้าง เฉลี่ย (mm)	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)	หนา1 (mm)	หนา2 (mm)	หนา3 (mm)	หนา เฉลี่ย (mm)	กว้าง 1 (mm)	กว้าง 2 (mm)	กว้าง 3 (mm)	กว้าง เฉลี่ย (mm)	พื้นที่ หน้าตัด (mm ²)
0%	1	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	2	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	3	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	4	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	5	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
5%	1	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	2	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	3	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	4	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	5	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
10%	1	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	2	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	3	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	4	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	5	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
15%	1	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	2	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	3	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	4	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84
	5	3.40	3.40	3.40	3.40	12.86	12.86	12.86	12.86	43.72	3.40	3.40	3.40	3.40	12.60	12.60	12.60	12.60	42.84

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	av		E	6,276.501	ksc		av elongasion at max str, %	12.675							
2	av	max strength		388.249	ksc										
3															
4	No1	slope	A =	1.1587	cm^2		No2	slope	A =	1.2283	cm^2		No3	slope	A =
5	max strength	7,423.416	E	7,423.416	ksc		max strength	6,276.132	E	6,276.132	ksc		max strength	6,716.603	E
6	LoadCell1	Stress	394.027	ksc	Displacement1	Time1	Strain1	LoadCell2	Stress	387.996	ksc	Displacement2	Time2	Strain2	LoadCell3
7	N	ksc		mm	Sec			N	ksc		mm	Sec			N
8	-	-	-	-	-	-	-0.055	-	-	-	-	-	-	-	-0.055
9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	0.0001	0.0600	0.0000	-0.055	-	-	0.0001	0.0600	0.0000	-0.055	-	-
11	-	-	-	0.0036	0.1200	0.0002	-0.055	-	-	0.0014	0.1200	0.0001	-0.055	-	-
12	-	-	-	0.0088	0.1700	0.0004	-0.055	-	-	0.0078	0.1800	0.0004	-0.055	-	-
13	-	-	-	0.0131	0.2300	0.0007	-0.054	-	-	0.0132	0.2400	0.0007	-0.054	-	-
14	0.3071	0.0270	0.0182	0.2900	0.0009	-0.054	-	-	-	0.0183	0.2900	0.0009	-0.054	0.1536	0.0127
15	1.0750	0.0946	0.0232	0.3400	0.0012	-0.054	-	-	-	0.0224	0.3400	0.0011	-0.054	0.3839	0.0318
16	1.5357	0.1351	0.0274	0.3900	0.0014	-0.054	-	-	-	0.0266	0.3900	0.0013	-0.054	-	-
17	2.2268	0.1959	0.0317	0.4400	0.0016	-0.053	0.3071	0.0255	0.0309	0.4400	0.0015	-0.053	-	-	-
18	3.5322	0.3107	0.0366	0.5000	0.0018	-0.053	0.3839	0.0319	0.0351	0.4900	0.0018	-0.053	-	-	-
19	4.2232	0.3715	0.0408	0.5500	0.0020	-0.053	0.5375	0.0446	0.0401	0.5500	0.0020	-0.053	-	-	-
20	4.6072	0.4053	0.0450	0.6000	0.0023	-0.053	0.7679	0.0637	0.0442	0.6000	0.0022	-0.053	-	-	-
21	4.6072	0.4053	0.0500	0.6600	0.0025	-0.053	0.7679	0.0637	0.0484	0.6500	0.0024	-0.053	-	-	-
22	4.6072	0.4053	0.0542	0.7100	0.0027	-0.052	0.7679	0.0637	0.0534	0.7100	0.0027	-0.052	-	-	-
23	4.6072	0.4053	0.0583	0.7600	0.0029	-0.052	0.7679	0.0637	0.0576	0.7600	0.0029	-0.052	-	-	-
24	4.6072	0.4053	0.0633	0.8200	0.0032	-0.052	0.7679	0.0637	0.0618	0.8100	0.0031	-0.052	-	-	-
25	4.6072	0.4053	0.0675	0.8700	0.0034	-0.052	0.9214	0.0765	0.0668	0.8700	0.0033	-0.052	-	-	-

รูปที่ ผ.1 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงอัด อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 0

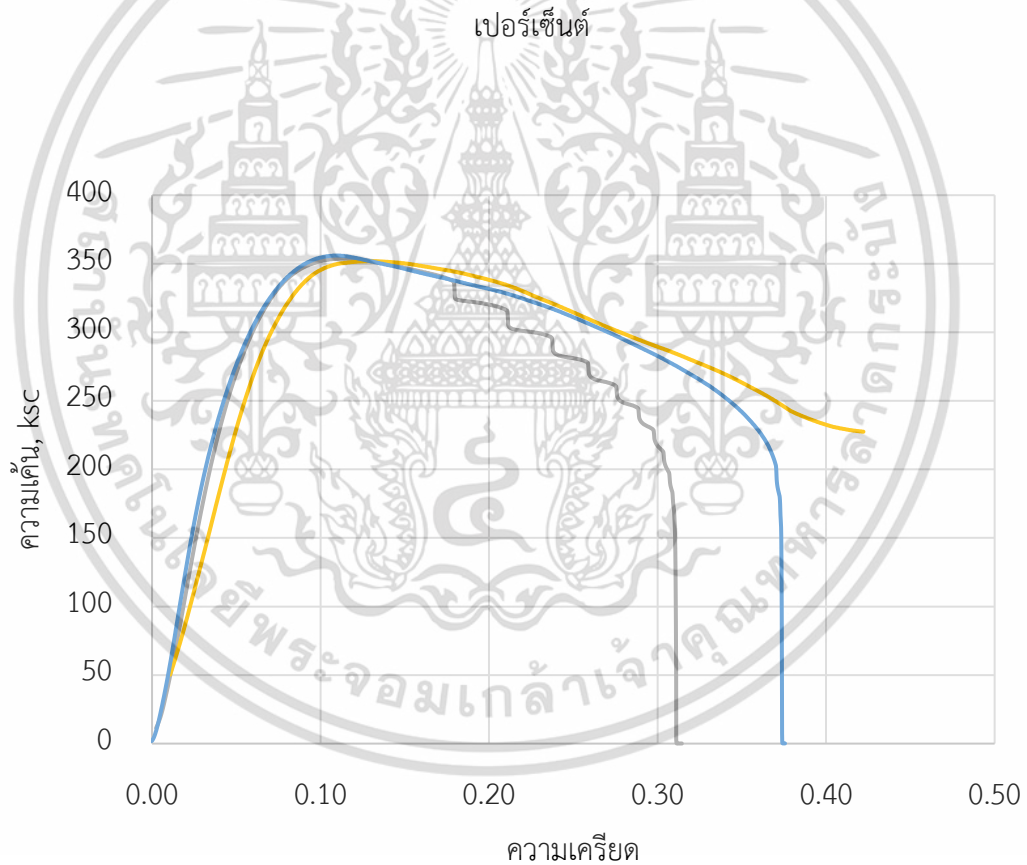


รูปที่ ผ.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงกดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 0 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O				
1	av		E	6,248.001	ksc		av elongation at max str, %	12.033											
2	av	max strength		353.893	ksc														
3																			
4	No1	slope	A =	1.0507	cm^2		No2	A =	1.0617	cm^2		No3	slope	A =	1.0463				
5	max strength	6,003.615	E	6,003.615	ksc		slope	6,514.129	E	6,514.129	ksc	max strength	6,726.809	E					
6	LoadCell1	Stress	316.871	ksc	Displaceme	Time1	Strain1	LoadCell2	Stress	379.941	ksc	Displacem	Time2	Strain2	LoadCell3	Stress	353.768	ksc	Displacem
7	N	ksc		mm	Sec			N	ksc		mm	Sec			N	ksc		mm	
8																			
9																			
10				0.0001	0.0600	0.0000	-0.036			0.0001	0.0600	0.0000	-0.032	0.3839	0.0374				
11				0.0021	0.1200	0.0001	-0.036			0.0018	0.1200	0.0001	-0.032	0.3839	0.0374			0.0001	
12		0.2304	0.0223	0.0083	0.1800	0.0004	-0.036			0.0077	0.1700	0.0004	-0.032	0.3839	0.0374			0.0048	
13		0.3839	0.0372	0.0134	0.2400	0.0007	-0.035	0.3839	0.0369	0.0123	0.2300	0.0006	-0.031	0.3839	0.0374			0.0103	
14		0.9214	0.0894	0.0184	0.2900	0.0009	-0.035	0.3839	0.0369	0.0174	0.2900	0.0009	-0.031	0.3839	0.0374			0.0145	
15		1.5357	0.1490	0.0226	0.3400	0.0011	-0.035	0.3839	0.0369	0.0224	0.3400	0.0011	-0.031	0.3839	0.0374			0.0186	
16		1.6125	0.1564	0.0268	0.3900	0.0013	-0.035	0.3839	0.0369	0.0266	0.3900	0.0013	-0.031	0.3839	0.0374			0.0237	
17		2.0732	0.2011	0.0309	0.4400	0.0015	-0.034	0.3839	0.0369	0.0308	0.4400	0.0015	-0.030	0.3839	0.0374			0.0279	
18		2.3036	0.2235	0.0351	0.4900	0.0018	-0.034	0.3839	0.0369	0.0358	0.5000	0.0018	-0.030	0.3839	0.0374			0.0322	
19		2.6107	0.2533	0.0401	0.5500	0.0020	-0.034	0.6143	0.0590	0.0401	0.5500	0.0020	-0.030	0.3839	0.0374			0.0371	
20		3.3786	0.3278	0.0443	0.6000	0.0022	-0.034	0.7679	0.0737	0.0442	0.6000	0.0022	-0.030	0.3839	0.0374			0.0413	
21		3.9161	0.3799	0.0484	0.6500	0.0024	-0.034	0.7679	0.0737	0.0492	0.6600	0.0025	-0.030	0.3839	0.0374			0.0454	
22		4.2232	0.4097	0.0534	0.7100	0.0027	-0.033	1.6125	0.1548	0.0533	0.7100	0.0027	-0.029	0.3839	0.0374			0.0504	
23		4.2232	0.4097	0.0576	0.7600	0.0029	-0.033	1.9197	0.1843	0.0575	0.7600	0.0029	-0.029	0.3839	0.0374			0.0546	
24		4.2232	0.4097	0.0618	0.8100	0.0031	-0.033	2.4572	0.2359	0.0625	0.8200	0.0031	-0.029	0.3839	0.0374			0.0588	
25		4.2232	0.4097	0.0668	0.8700	0.0033	-0.033	3.5322	0.3391	0.0667	0.8700	0.0033	-0.029	0.3839	0.0374			0.0638	

รูปที่ ๓.3 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงอัด อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 5

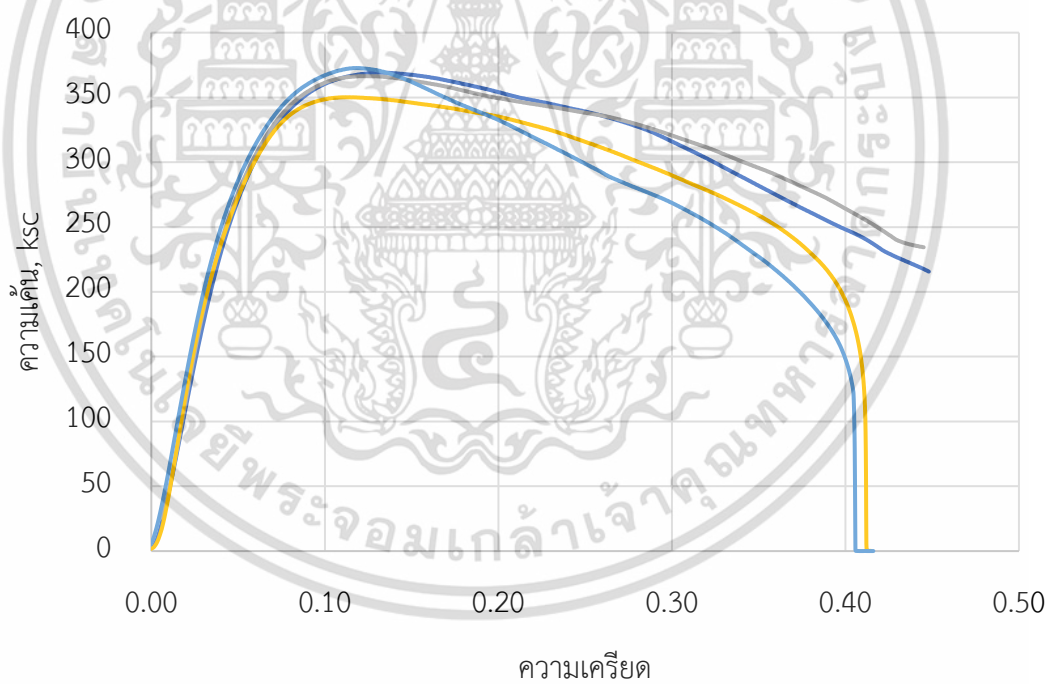


รูปที่ ๓.๔ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงกดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	av	E	7,206.525	ksc	av elongation at max str, %			12.147						
2	av	max strength	364.596	ksc										
3														
4	No1	A =	0.9421	cm^2	No2	A =	1.1053	cm^2	No3	A =	1.0224			
5	slope	6,595.233	E	6,595.233	ksc	slope	5,149.277	E	5,149.277	ksc	slope	7,204.865	E	7,204.865
6	max strength	369.124	ksc		max strength	310.542	ksc		max strength	366.417	ksc			
7	LoadCell1	Stress	Displaceme	Time1	Strain1	LoadCell2	Stress	Displacem	Time2	Strain2	LoadCell3	Stress	Displacem	
8	N	ksc	mm	Sec		N	ksc	mm	Sec		N	ksc	mm	
9	-	-	-	-	-	-0.052	-	-	-	-	-	-	-	-
10	-	-	-	0.0600	-	-0.052	-	-	0.0600	-	-0.042	-	-	0.0001
11	(0.3839)	(0.0415)	0.0001	0.1200	0.0000	-0.052	-	0.0001	0.1200	0.0000	-0.042	-	-	0.0045
12	(0.3839)	(0.0415)	0.0049	0.1800	0.0002	-0.052	0.7679	0.0708	0.0047	0.1800	0.0002	-0.042	(0.6143)	(0.0613)
13	(0.3839)	(0.0415)	0.0103	0.2400	0.0005	-0.051	1.1518	0.1062	0.0101	0.2400	0.0005	-0.041	(0.7679)	(0.0766)
14	(0.3839)	(0.0415)	0.0145	0.2900	0.0007	-0.051	1.1518	0.1062	0.0144	0.2900	0.0007	-0.041	(0.6143)	(0.0613)
15	(0.3839)	(0.0415)	0.0196	0.3500	0.0010	-0.051	1.1518	0.1062	0.0194	0.3400	0.0010	-0.041	(0.3839)	(0.0383)
16	(0.3839)	(0.0415)	0.0239	0.4000	0.0012	-0.051	1.1518	0.1062	0.0236	0.3900	0.0012	-0.041	(0.3839)	(0.0383)
17	(0.3839)	(0.0415)	0.0281	0.4500	0.0014	-0.051	1.2286	0.1133	0.0279	0.4400	0.0014	-0.041	(0.3839)	(0.0383)
18	(0.3839)	(0.0415)	0.0332	0.5100	0.0017	-0.050	1.5357	0.1416	0.0321	0.4900	0.0016	-0.040	(0.3839)	(0.0383)
19	(0.3839)	(0.0415)	0.0373	0.5600	0.0019	-0.050	2.1500	0.1983	0.0363	0.5400	0.0018	-0.040	(0.3839)	(0.0383)
20	(0.3839)	(0.0415)	0.0414	0.6100	0.0021	-0.050	2.3036	0.2125	0.0414	0.6000	0.0021	-0.040	(0.3839)	(0.0383)
21	(0.3839)	(0.0415)	0.0464	0.6700	0.0023	-0.050	2.3036	0.2125	0.0454	0.6500	0.0023	-0.040	(0.6911)	(0.0690)
22	(0.3839)	(0.0415)	0.0506	0.7200	0.0025	-0.049	2.9179	0.2691	0.0496	0.7000	0.0025	-0.040	(0.7679)	(0.0766)
23	(0.1536)	(0.0166)	0.0548	0.7700	0.0027	-0.049	3.0715	0.2833	0.0545	0.7600	0.0027	-0.039	(0.7679)	(0.0766)
24	0.3839	0.0415	0.0598	0.8300	0.0030	-0.049	3.1482	0.2904	0.0588	0.8100	0.0029	-0.039	(0.5375)	(0.0536)
25	0.3839	0.0415	0.0640	0.8700	0.0032	-0.049	3.4554	0.3187	0.0629	0.8600	0.0031	-0.039	(0.3839)	(0.0383)

รูปที่ ผ.5 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงอัด อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 เปอร์เซ็นต์

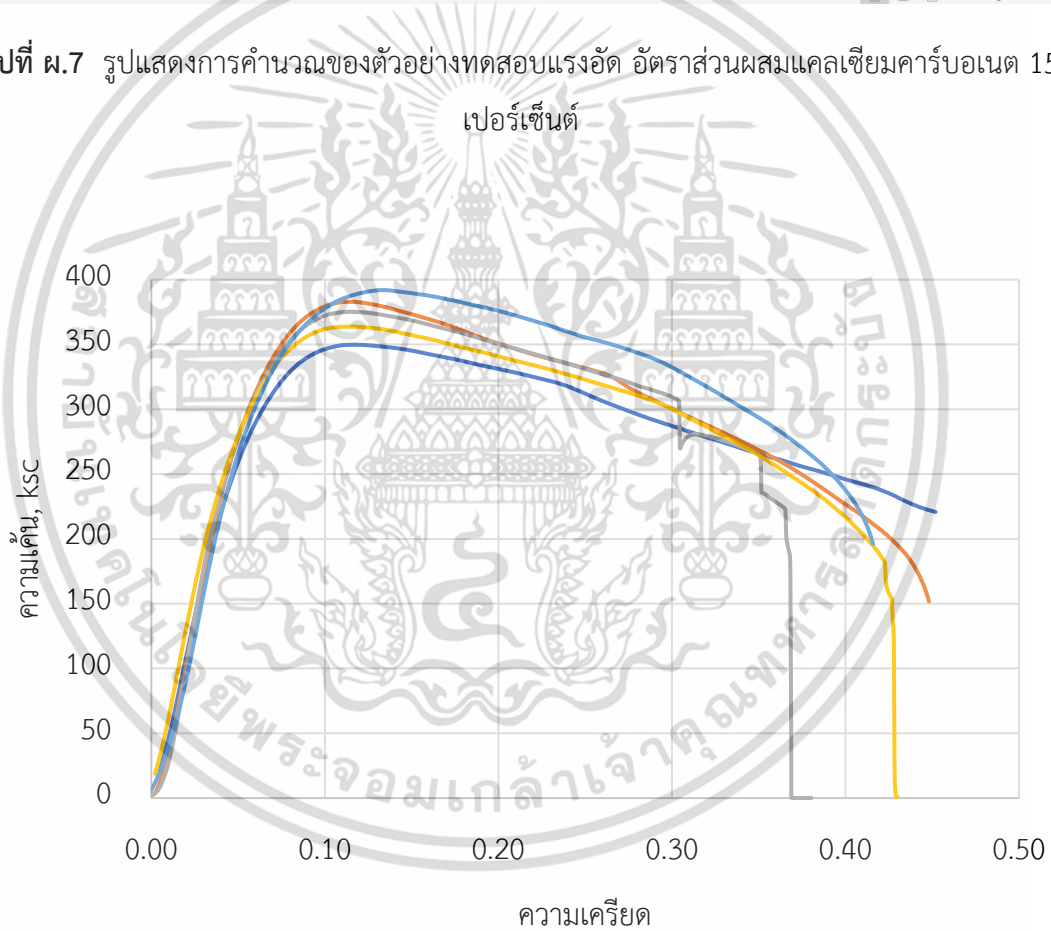


รูปที่ ผ.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงอัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	av		E	6,953.473	ksc			av elongation at max str, %	11.924						
2	av	max strength		372.752	ksc										
3															
4	No1	slope	A =	1.2590	cm^2		No2	A =	1.2054	cm^2		No3	A =	1.1939	
5	max strength	6,386.666	E	6,386.666	ksc		slope	7,160.587	E	7,160.587	ksc	slope	7,683.810	E	
6		349.845	ksc				max strength	382.956	ksc			max strength	375.171	ksc	
7	LoadCell1	Stress	Displaceme	Time1	Strain1		LoadCell2	Stress	Displacem	Time2	Strain2	LoadCell3	Stress	Displacem	
8	N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec		N	ksc	mm	
9															
10															
11															
12	1.7661	0.1430	0.0088	0.1700	0.0004										0.0004
13	2.9179	0.2363	0.0131	0.2200	0.0007										0.0118
14	4.3768	0.3544	0.0174	0.2800	0.0009										0.0168
15	4.9911	0.4041	0.0224	0.3300	0.0011										0.0210
16	4.9911	0.4041	0.0266	0.3800	0.0013										0.0253
17	4.9911	0.4041	0.0316	0.4400	0.0016										0.0295
18	4.9911	0.4041	0.0367	0.5000	0.0018										0.0336
19	4.9911	0.4041	0.0409	0.5500	0.0020										0.0386
20	4.9911	0.4041	0.0450	0.6000	0.0023										0.0428
21	4.9911	0.4041	0.0500	0.6600	0.0025										0.0469
22	4.9911	0.4041	0.0541	0.7100	0.0027										0.0519
23	4.9911	0.4041	0.0583	0.7600	0.0029										0.0561
24	4.9911	0.4041	0.0633	0.8200	0.0032										0.0603
25	4.9911	0.4041	0.0674	0.8700	0.0034										0.0653

รูปที่ ผ.7 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงอัด อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 15 เปอร์เซ็นต์

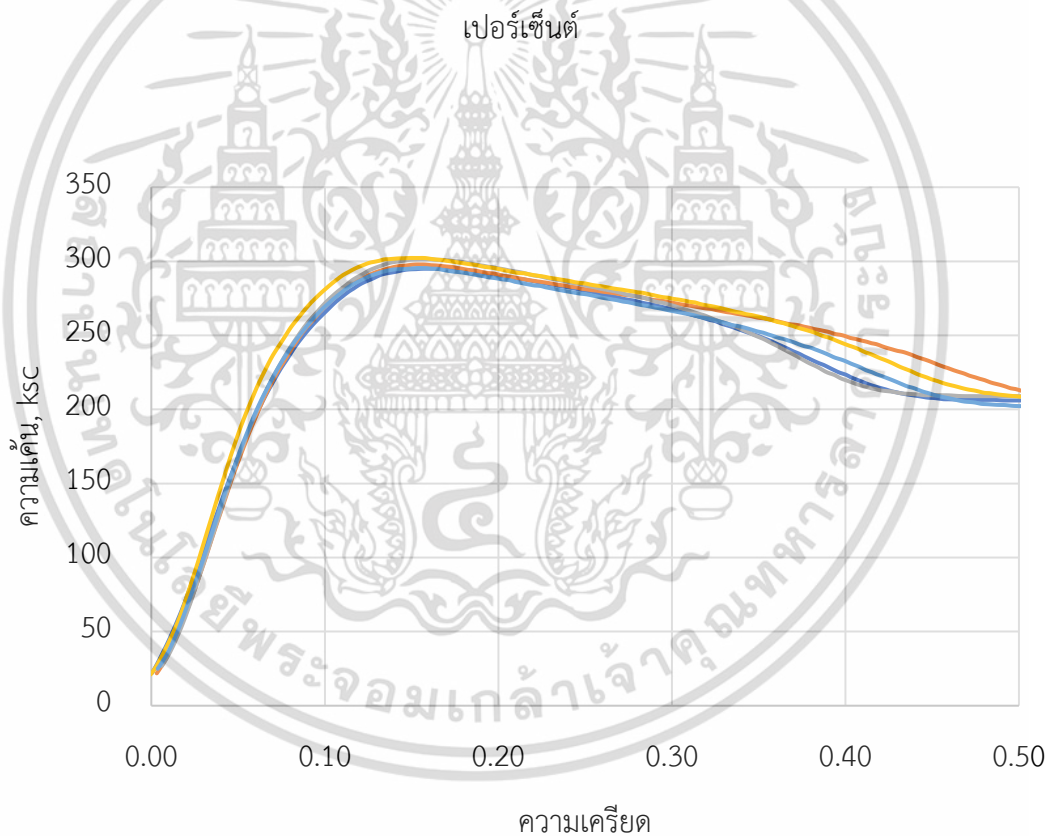


รูปที่ ผ.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงอัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	av		E	3,487.898	ksc	av elongation at max str, %				15.931					
2	av	max strength	E	298.410	ksc										
3															
4	No1	A =	0.1949	cm ²	No2	A =	0.1949	cm ²	No3	A =	0.1949	cm ²			
5	slope	3254.102	E	3254.102	ksc	slope	3416.106	E	3416.106	ksc	slope	3588.589	E	3588.589	ksc
6	max strength	295.213	ksc			max strength	297.823	ksc			max strength	301.358	ksc		
7	LoadCell1	Displacement	Time1	strain1	stress	LoadCell2	Displacement	Time2	strain2	stress	LoadCell3	Displacement	Time3	strain3	stress3
8	N	mm	Sec		ksc	N	mm	Sec		ksc	N	mm	Sec		ksc
9	1.9197	-	-	-	1.0041	(0.0120)	1.1518	-	-	-	0.6025	(0.0450)	1.3822	-	-
10	8.9840	0.0809	0.0600	0.0027	4.6993	(0.0093)	1.5357	0.0830	0.0500	0.0028	0.8033	(0.0422)	1.3822	0.0828	0.0500
11	19.4269	0.1758	0.1200	0.0059	10.1617	(0.0061)	1.5357	0.1824	0.1100	0.0061	0.8033	(0.0389)	1.3822	0.1654	0.1000
12	30.7913	0.2742	0.1800	0.0091	16.1062	(0.0029)	1.5357	0.2818	0.1700	0.0094	0.8033	(0.0356)	1.3822	0.2651	0.1600
13	42.3093	0.3735	0.2400	0.0125	22.1309	0.0004	1.9197	0.3648	0.2200	0.0122	1.0041	(0.0328)	1.6893	0.3482	0.2100
14	53.4433	0.4565	0.2900	0.0152	27.9548	0.0032	2.3036	0.4643	0.2800	0.0155	1.2049	(0.0295)	1.7661	0.4478	0.2700
15	68.1863	0.5560	0.3500	0.0185	35.6665	0.0065	2.9179	0.5643	0.3400	0.0188	1.5263	(0.0262)	1.7661	0.5309	0.3200
16	80.6256	0.6388	0.4000	0.0213	42.1732	0.0093	3.9161	0.6473	0.3900	0.0216	2.0484	(0.0234)	1.7661	0.6140	0.3700
17	94.3704	0.7214	0.4500	0.0240	49.3628	0.0120	5.0679	0.7301	0.4400	0.0243	2.6509	(0.0207)	1.7661	0.6966	0.4200
18	111.5705	0.8212	0.5100	0.0274	58.3597	0.0154	7.9090	0.8295	0.5000	0.0277	4.1370	(0.0174)	1.7661	0.7795	0.4700
19	126.9278	0.9041	0.5600	0.0301	66.3927	0.0181	9.9054	0.9123	0.5500	0.0304	5.1813	(0.0146)	1.7661	0.8791	0.5300
20	143.2833	0.9870	0.6000	0.0329	74.9479	0.0209	14.5126	0.9951	0.6000	0.0332	7.5912	(0.0118)	1.7661	0.9619	0.5800
21	163.7852	1.0868	0.6600	0.0362	85.6719	0.0242	19.7341	1.0949	0.6600	0.0365	10.3224	(0.0085)	1.7661	1.0449	0.6300
22	180.3711	1.1698	0.7100	0.0390	94.3475	0.0270	24.4948	1.1781	0.7100	0.0393	12.8126	(0.0057)	1.7661	1.1446	0.6900
23	197.4176	1.2524	0.7600	0.0417	103.2642	0.0297	29.2556	1.2609	0.7600	0.0420	15.3029	(0.0030)	1.7661	1.2274	0.7400
24	218.7642	1.3519	0.8200	0.0451	114.4300	0.0331	34.9378	1.3603	0.8200	0.0453	18.2751	0.0003	1.7661	1.3104	0.7900
25	235.8876	1.4349	0.8700	0.0478	123.3868	0.0358	41.7718	1.4433	0.8700	0.0481	21.8498	0.0031	1.7661	1.4099	0.8500

รูปที่ ผ.9 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงดึง อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 0 เปอร์เซ็นต์

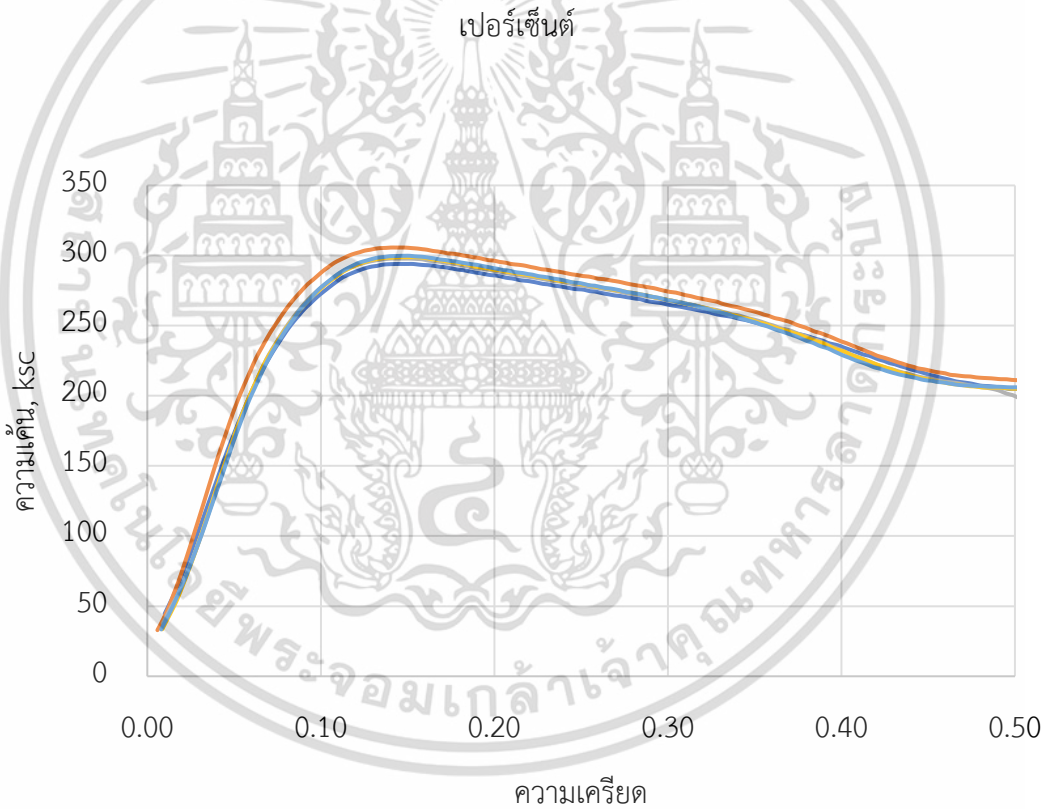


รูปที่ ผ.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงดึงที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 0 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	av		E	3,725.171	ksc	av elongation at max str, %		15.152							
2	av	max strength		299.236	ksc										
3															
4	No1	A =	0.1949	cm ²		No2	A =	0.1914	cm ²		No3	A =	0.1949	cm ²	
5	slope	3450.725		ksc		slope	4008.236		ksc		slope	3781.391		ksc	
6	max strength	294.008	ksc			max strength	305.692	ksc			max strength	297.823	ksc		
7	LoadCell1	Displacement1	Time1	strain1	stress	LoadCell2	Displacement2	Time2	strain2	stress	LoadCell3	Displacement3	Time3	strain3	stress3
8	N	mm	Sec		ksc	N	mm	Sec		ksc	N	mm	Sec		ksc
9	1.6125	-	-	-	0.8435	-0.073	1.3822	-	-	-	0.7361	-0.104	1.5357	-	-
10	1.9197	0.0994	0.0600	0.0033	1.0041	-0.070	1.8429	0.0939	0.0600	0.0031	0.9815	-0.101	1.5357	0.0830	0.0500
11	1.9197	0.1825	0.1200	0.0061	1.0041	-0.067	2.3036	0.1757	0.1100	0.0059	1.2269	-0.098	1.6893	0.1661	0.1000
12	1.9197	0.2820	0.1700	0.0094	1.0041	-0.064	2.5339	0.2750	0.1700	0.0092	1.3495	-0.095	1.9197	0.2659	0.1600
13	1.9197	0.3651	0.2200	0.0122	1.0041	-0.061	2.6875	0.3579	0.2200	0.0119	1.4313	-0.092	2.2268	0.3489	0.2100
14	2.3036	0.4649	0.2800	0.0155	1.2049	-0.058	3.8393	0.4574	0.2800	0.0152	2.0448	-0.089	2.3036	0.4481	0.2700
15	2.3804	0.5479	0.3300	0.0183	1.2451	-0.055	4.2232	0.5402	0.3300	0.0180	2.2492	-0.086	2.9947	0.5312	0.3200
16	2.6875	0.6306	0.3800	0.0210	1.4058	-0.052	4.2232	0.6231	0.3800	0.0208	2.2492	-0.083	3.0715	0.6143	0.3700
17	2.7643	0.7136	0.4300	0.0238	1.4459	-0.049	4.2232	0.7061	0.4300	0.0235	2.2492	-0.080	3.0715	0.6971	0.4200
18	3.2250	0.7966	0.4800	0.0266	1.6869	-0.046	4.2232	0.8056	0.4900	0.0269	2.2492	-0.077	3.0715	0.7801	0.4700
19	3.6090	0.8792	0.5300	0.0293	1.8878	-0.044	4.2232	0.8885	0.5400	0.0296	2.2492	-0.074	3.0715	0.8798	0.5300
20	3.8393	0.9791	0.5900	0.0326	2.0082	-0.040	4.2232	0.9717	0.5900	0.0324	2.2492	-0.072	3.1482	0.9627	0.5800
21	3.9929	1.0621	0.6400	0.0354	2.0886	-0.038	4.2232	1.0714	0.6500	0.0357	2.2492	-0.068	4.1465	1.0456	0.6300
22	4.2232	1.1450	0.6900	0.0382	2.2091	-0.035	4.2232	1.1543	0.7000	0.0385	2.2492	-0.066	5.2983	1.1451	0.6900
23	4.4536	1.2446	0.7500	0.0415	2.3296	-0.032	4.2232	1.2370	0.7500	0.0412	2.2492	-0.063	6.9108	1.2280	0.7400
24	5.2215	1.3275	0.8000	0.0443	2.7312	-0.029	4.2232	1.3366	0.8100	0.0446	2.2492	-0.059	10.1358	1.3109	0.7900
25	6.8340	1.4103	0.8500	0.0470	3.5747	-0.026	4.2232	1.4193	0.8600	0.0473	2.2492	-0.057	12.9001	1.4107	0.8500

รูปที่ ผ.11 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงดึงที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 5

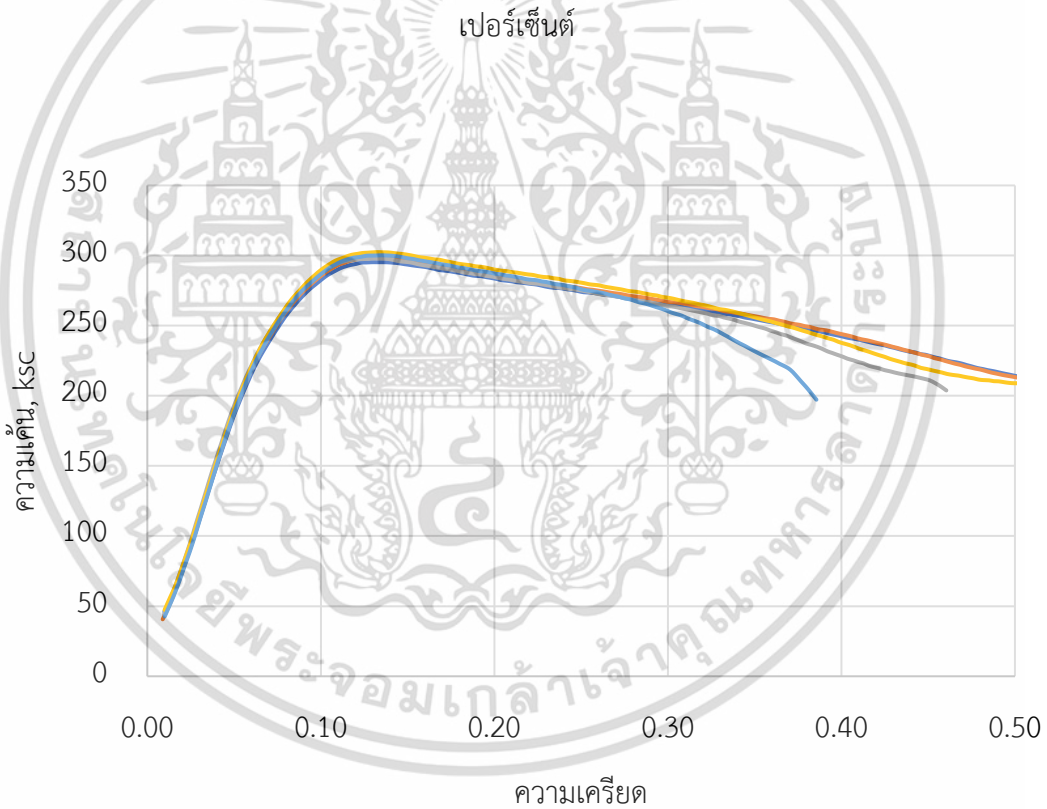


รูปที่ ผ.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงดึงที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S					
1	av		3,952.589					av elongation at max str, %																
2	av	max strength	298.822	ksc						13.510														
3																								
4	No1	A =	0.1914	cm^2				No2	A =	0.1914	cm^2			No3	A =	0.1914	cm^2			No4				
5	slope	3805.146	E	3805.146	ksc			slope	4044.180	E	4044.180	ksc		slope	3985.051	E	3985.051	ksc		slope				
6	ax strength	295.264	ksc					max strength	298.331	ksc				max strength	297.922	ksc				max strength				
7	Load/Cell1	Displacement1	Time1	Strain	stress			Load/Cell2	Displacement2	Time2	Strain2	stress		Load/Cell3	Displacement3	Time3	Strain3	stress		Load/Cell4	Displacement4	Time4	Strain4	stress4
8	N	mm	Sec		ksc			N	mm	Sec		ksc		N	mm	Sec		ksc		N	mm	Sec		ksc
9	1.4589	-	-	-	0.7770	-0.068	1.3054	-	-	-	-	0.6952	-0.162	1.3822	-	-	-	-	0.7361	-0.243	2.1	-	-	
10	3.0715	0.0951	0.0600	0.0032	1.6358	-0.065	1.5357	0.0976	0.0600	0.0033	0.8179	-0.159	2.3036	0.0966	0.0600	0.0032	1.2269	-0.240	3.3					
11	3.8393	0.1936	0.1200	0.0065	2.0448	-0.062	1.6125	0.1802	0.1100	0.0060	0.8588	-0.156	2.6875	0.1789	0.1100	0.0060	1.4313	-0.237	3.4					
12	3.8393	0.2930	0.1800	0.0098	2.0448	-0.058	1.9197	0.2795	0.1700	0.0093	1.0224	-0.153	2.6875	0.2783	0.1700	0.0093	1.4313	-0.234	3.4					
13	3.9161	0.3926	0.2400	0.0131	2.0857	-0.055	2.1500	0.3791	0.2300	0.0126	1.1451	-0.149	3.0715	0.3614	0.2200	0.0120	1.6358	-0.231	3.4					
14	4.3768	0.4758	0.2900	0.0159	2.3310	-0.052	2.6875	0.4786	0.2900	0.0160	1.4313	-0.146	3.0715	0.4609	0.2800	0.0154	1.6358	-0.228	3.4					
15	4.6072	0.5586	0.3400	0.0186	2.4537	-0.049	2.6875	0.5616	0.3400	0.0187	1.4313	-0.143	3.3786	0.5438	0.3300	0.0181	1.7994	-0.225	3.6					
16	4.6072	0.6413	0.3900	0.0214	2.4537	-0.047	2.6875	0.6611	0.4000	0.0220	1.4313	-0.140	3.4554	0.6266	0.3800	0.0209	1.8403	-0.222	4.5					
17	4.9911	0.7244	0.4400	0.0241	2.6582	-0.044	2.6875	0.7440	0.4500	0.0248	1.4313	-0.137	3.4554	0.7096	0.4300	0.0237	1.8403	-0.219	4.6					
18	5.3750	0.8239	0.5000	0.0275	2.8627	-0.041	2.6875	0.8269	0.5000	0.0276	1.4313	-0.134	3.3786	0.7925	0.4800	0.0264	1.7994	-0.217	5.3					
19	5.3750	0.9070	0.5500	0.0302	2.8627	-0.038	2.6875	0.9269	0.5500	0.0309	1.4313	-0.131	3.0715	0.8756	0.5300	0.0292	1.6358	-0.214	5.3					
20	5.3750	0.9901	0.6000	0.0330	2.8627	-0.035	2.6875	1.0099	0.6000	0.0337	1.4313	-0.128	3.0715	0.9754	0.5900	0.0325	1.6358	-0.210	5.3					
21	5.6822	1.0897	0.6600	0.0363	3.0262	-0.032	2.6875	1.0927	0.6500	0.0364	1.4313	-0.126	3.0715	1.0583	0.6400	0.0353	1.6358	-0.208	5.3					
22	6.0661	1.1724	0.7100	0.0391	3.2307	-0.029	2.6875	1.1923	0.7100	0.0397	1.4313	-0.122	3.0715	1.1411	0.6900	0.0380	1.6358	-0.205	5.6					
23	6.9108	1.2554	0.7600	0.0418	3.6806	-0.026	2.6875	1.2751	0.7600	0.0425	1.4313	-0.119	3.0715	1.2406	0.7500	0.0414	1.6358	-0.202	5.7					
24	7.3715	1.3550	0.8200	0.0452	3.9259	-0.023	2.6875	1.3578	0.8100	0.0453	1.4313	-0.117	3.0715	1.3237	0.8000	0.0441	1.6358	-0.199	5.7					
25	8.9840	1.4378	0.8700	0.0479	4.7847	-0.020	2.6875	1.4576	0.8700	0.0486	1.4313	-0.113	3.0715	1.4064	0.8500	0.0469	1.6358	-0.196	5.7					
26	11.3644	1.5209	0.9100	0.0507	6.0525	-0.017	2.6875	1.5407	0.9200	0.0514	1.4313	-0.111	3.0715	1.5063	0.9100	0.0502	1.6358	-0.193	5.7					
27	14.3590	1.6206	0.9700	0.0540	7.6474	-0.014	2.6875	1.6236	0.9700	0.0541	1.4313	-0.108	3.0715	1.5893	0.9600	0.0530	1.6358	-0.190	5.8					
28	18.3519	1.7034	1.0300	0.0568	9.7740	-0.011	2.8411	1.7232	1.0300	0.0574	1.5131	-0.105	3.0715	1.6720	1.0100	0.0557	1.6358	-0.187	6.5					
29	23.9573	1.8029	1.0900	0.0601	12.7593	-0.008	3.0715	1.8063	1.0800	0.0602	1.6358	-0.102	3.0715	1.7717	1.0600	0.0591	1.6358	-0.184	6.6					
30	32.4038	1.9026	1.1400	0.0634	17.2578	-0.005	3.0715	1.9055	1.1400	0.0635	1.6358	-0.098	3.0715	1.8548	1.1200	0.0618	1.6358	-0.181	7.2					

รูปที่ ผ.13 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงดึงที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10

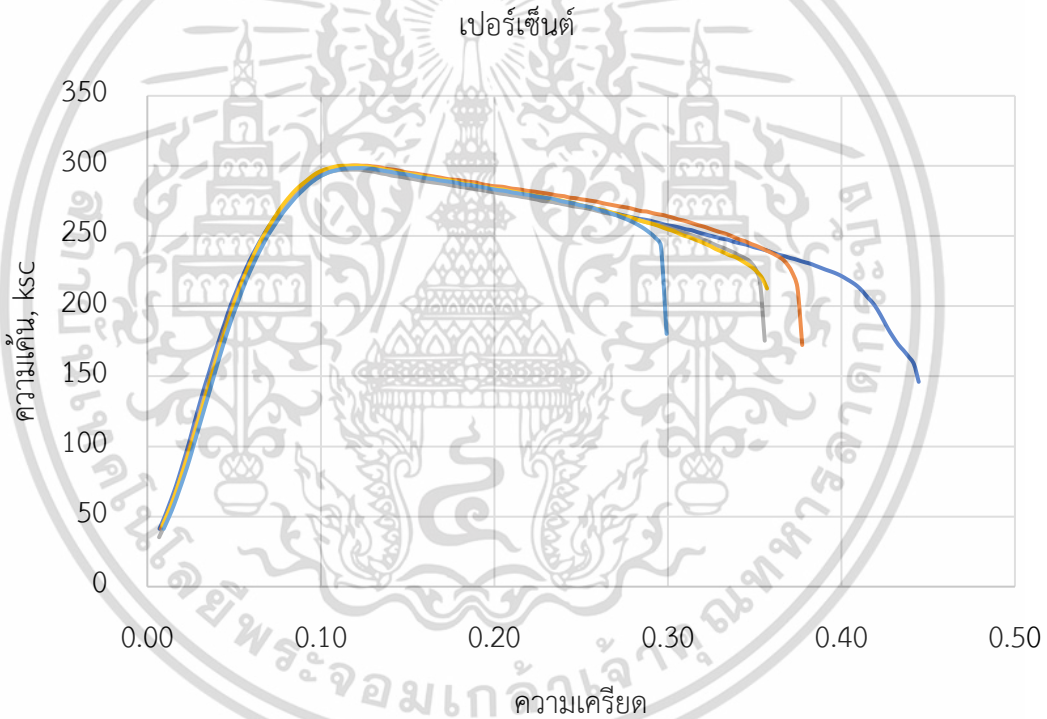


รูปที่ ผ.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงดึงที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	av		4,290.196	ksc	av elongation at max str, %			12.034							
2	av	max strength	298.974	ksc											
3															
4	No1	A =	0.1879	cm^2	No2		A =	0.1879	cm^2	No3		A =	0.1879	cm^2	
5	slope	4463.365	E	4463.365	ksc	slope	4225.714	E	4225.714	ksc	slope	4380.593	E	4380.593	ksc
6	max strength	298.649	ksc			max strength	300.315	ksc			max strength	297.358	ksc		
7	LoadCell1	Displacement1	Time1	strain1	stress	LoadCell2	Displacement2	Time2	Strain2	stress	LoadCell3	Displacement3	Time3	Strain3	Stress3
8	N	mm	Sec		ksc	N	mm	Sec		ksc	N	mm	Sec		ksc
9	8.2929	0.0000	0.0000	0.0000	4.4985	(0.0110)	5.5286	0.0000	0.0000	0.0000	2.9990	-0.0139	4.4536	0.0000	0.0000
10	18.5823	0.0936	0.0600	0.0031	10.0799	(0.0079)	13.1305	0.0918	0.0600	0.0031	7.1226	-0.0108	13.5144	0.0879	0.0600
11	26.1841	0.1755	0.1100	0.0059	14.2035	(0.0052)	18.8894	0.1734	0.1100	0.0058	10.2465	-0.0081	22.4216	0.1851	0.1100
12	37.0110	0.2747	0.1700	0.0092	20.0765	(0.0018)	26.7216	0.2727	0.1700	0.0091	14.4951	-0.0048	30.5610	0.2675	0.1700
13	47.0700	0.3576	0.2200	0.0119	25.5330	0.0009	35.5521	0.3722	0.2300	0.0124	19.2851	-0.0015	41.6182	0.3668	0.2300
14	61.7362	0.4571	0.2800	0.0152	33.4887	0.0042	47.4539	0.4717	0.2900	0.0157	25.7413	0.0018	52.1379	0.4498	0.2800
15	76.0952	0.5401	0.3300	0.0180	41.2777	0.0070	60.4308	0.5546	0.3400	0.0185	32.7806	0.0046	64.9612	0.5328	0.3200
16	90.7614	0.6229	0.3800	0.0208	49.2333	0.0098	76.0185	0.6541	0.4000	0.0218	41.2360	0.0079	81.4703	0.6322	0.3800
17	107.1937	0.7058	0.4300	0.0235	58.1470	0.0125	90.0704	0.7369	0.4500	0.0246	48.8585	0.0107	97.9026	0.7152	0.4300
18	124.2403	0.7888	0.4800	0.0263	67.3939	0.0153	105.5812	0.8198	0.5000	0.0273	57.2723	0.0134	115.1027	0.7980	0.4800
19	143.3601	0.8716	0.5300	0.0291	77.7654	0.0181	126.4671	0.9196	0.5600	0.0307	68.6018	0.0168	137.6011	0.8976	0.5400
20	168.5460	0.9714	0.5900	0.0324	91.4274	0.0214	145.5101	1.0028	0.6100	0.0334	78.9316	0.0195	158.9477	0.9808	0.5900
21	190.1229	1.0546	0.6400	0.0352	103.1318	0.0242	166.6263	1.0857	0.6600	0.0362	90.3861	0.0223	180.4479	1.0640	0.6400
22	213.6195	1.1374	0.6900	0.0379	115.8775	0.0269	192.5801	1.1852	0.7200	0.0395	104.4647	0.0256	206.4016	1.1634	0.7000
23	240.9555	1.2369	0.7500	0.0412	130.7058	0.0302	213.8499	1.2681	0.7700	0.0423	116.0024	0.0284	229.3607	1.2462	0.7500
24	262.8396	1.3198	0.8000	0.0440	142.5768	0.0330	235.5036	1.3509	0.8200	0.0450	127.7484	0.0311	251.7823	1.3290	0.8000
25	283.0344	1.4024	0.8500	0.0467	153.5314	0.0357	261.3038	1.4504	0.8700	0.0483	141.7437	0.0344	278.1968	1.4285	0.8600

รูปที่ ผ.15 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงดึงที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 15

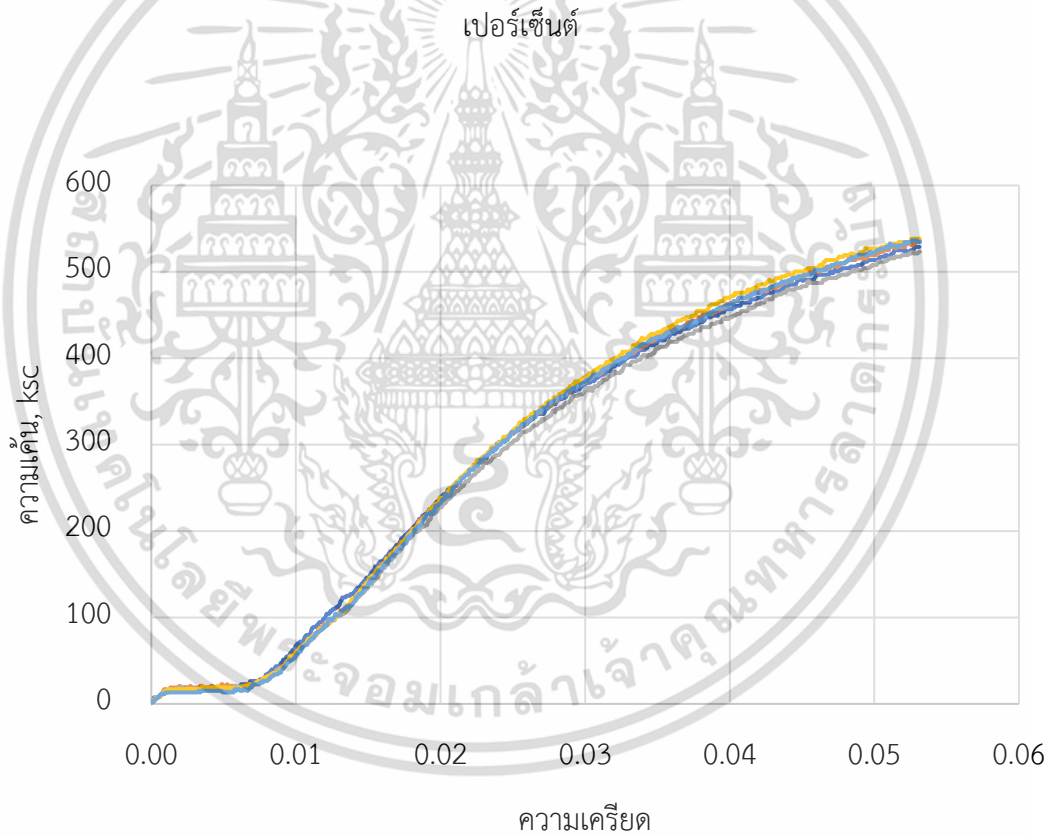


รูปที่ ผ.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงดึงที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1			av E, ksc													
2			10,021.823													
3			av max str, ksc													
4			532.629													
5	No1	L =	4.8000	cm	d =	all same	No2						No3			
6		b =	1.286			0.34	cm									
7	max str.	528.838	ksc	ทรงตัวสูง	0.600	cm	max str.	536.420	ksc	ทรงตัวสูง	0.600	cm	max str.	523.152	ksc	ทรงตัวสูง
8	max Load	10.919	kg	E	9954	ksc	max Load	11.076	kg	E	10091	ksc	max Load	10.802	kg	E
9																
10	LoadCell1	Stress	Displacement	Time1	Strain		LoadCell2	Stress	Displacem	Time2	Strain		LoadCell3	Stress	Displacem	Time3
11	N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec
12	0.1536	0.7582	-	-	-		0.3839	1.8955	-	-	-		0.1536	0.7582	-	-
13	0.6911	3.4119	0.0042	0.0500	0.0000		0.3839	1.8955	0.0049	0.0600	0.0000		0.3839	1.8955	0.0050	0.0600
14	0.7679	3.7910	0.0084	0.1000	0.0001		0.3839	1.8955	0.0091	0.1100	0.0001		0.3839	1.8955	0.0093	0.1100
15	0.7679	3.7910	0.0135	0.1600	0.0001		0.5375	2.6537	0.0142	0.1700	0.0001		0.3839	1.8955	0.0144	0.1700
16	1.3822	6.8237	0.0184	0.2200	0.0002		0.7679	3.7910	0.0184	0.2200	0.0002		0.5375	2.6537	0.0185	0.2200
17	1.5357	7.5819	0.0234	0.2800	0.0002		0.7679	3.7910	0.0234	0.2800	0.0002		0.7679	3.7910	0.0234	0.2800
18	1.5357	7.5819	0.0283	0.3400	0.0003		0.7679	3.7910	0.0276	0.3300	0.0002		0.7679	3.7910	0.0276	0.3300
19	1.5357	7.5819	0.0326	0.3900	0.0003		0.9214	4.5491	0.0317	0.3800	0.0003		1.3822	6.8237	0.0318	0.3800
20	1.5357	7.5819	0.0367	0.4400	0.0003		1.3822	6.8237	0.0358	0.4300	0.0003		1.5357	7.5819	0.0359	0.4300
21	1.5357	7.5819	0.0417	0.5000	0.0004		1.5357	7.5819	0.0400	0.4800	0.0004		1.5357	7.5819	0.0401	0.4800
22	1.5357	7.5819	0.0459	0.5500	0.0004		1.5357	7.5819	0.0442	0.5300	0.0004		1.5357	7.5819	0.0442	0.5300
23	1.5357	7.5819	0.0501	0.6000	0.0004		1.5357	7.5819	0.0483	0.5800	0.0004		1.5357	7.5819	0.0493	0.5900
24	1.5357	7.5819	0.0551	0.6600	0.0005		1.5357	7.5819	0.0533	0.6400	0.0005		1.5357	7.5819	0.0534	0.6400
25	1.8429	9.0983	0.0593	0.7100	0.0005		1.5357	7.5819	0.0575	0.6900	0.0005		1.5357	7.5819	0.0576	0.6900

รูปที่ ๑๗.๑๗ รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงดัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 0

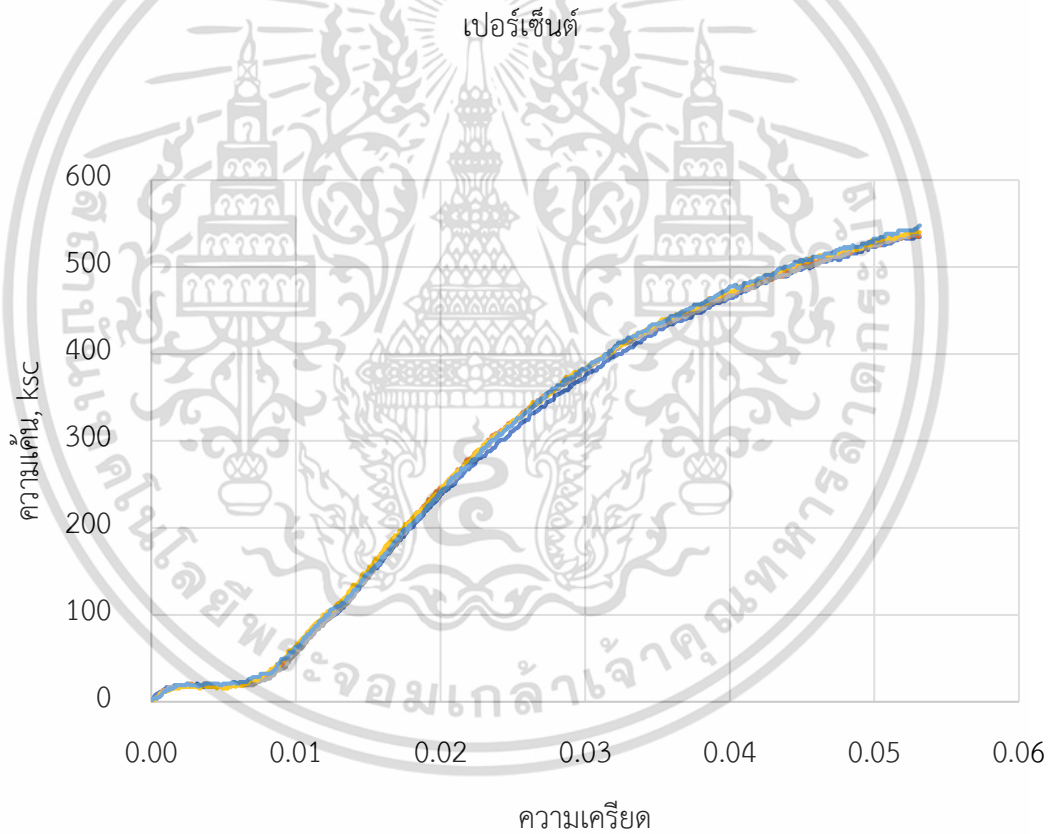


รูปที่ ๑๗.๑๘ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงดัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 0 เปอร์เซนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1			av E, ksc														
2			10173.029														
3			av max str, ksc														
4			540.590														
5	No1	L =	4.8000	cm	same		No2						No3				
6		b =	1.286		d =	0.34	cm										
7	max str.	536.420	ksc	โก่งตัวสูง	0.600	cm	max str.	538.316	ksc	โก่งตัวสูง	0.600	cm	max str.	540.211	ksc	โก่งตัวสูง	0.6
8	max Load	11.076	kg	E	10092	ksc	max Load	11.115	kg	E	10132	ksc	max Load	11.154	kg	E	10168
9																	
10	LoadCell1	Stress	Displacem	Time1	Strain		LoadCell2	Stress	Displacem	Time2	Strain		LoadCell3	Stress	Displacem	Time3	Strai
11	N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec	
12	0.3071	1.5164	-	-	-		0.3071	1.5164	-	-	-		0.3839	1.8955	-	-	-
13	0.3839	1.8955	0.0042	0.0500	0.0000		0.3839	1.8955	0.0050	0.0600	0.0000		0.3839	1.8955	0.0041	0.0500	0.00
14	0.3839	1.8955	0.0084	0.1000	0.0001		0.3839	1.8955	0.0099	0.1200	0.0001		0.3839	1.8955	0.0083	0.1000	0.00
15	0.3839	1.8955	0.0134	0.1600	0.0001		0.3839	1.8955	0.0149	0.1800	0.0001		0.3839	1.8955	0.0133	0.1600	0.00
16	0.9982	4.9282	0.0174	0.2100	0.0002		0.3839	1.8955	0.0198	0.2400	0.0002		0.3839	1.8955	0.0183	0.2200	0.00
17	1.1518	5.6864	0.0224	0.2700	0.0002		0.6143	3.0328	0.0240	0.2900	0.0002		0.3839	1.8955	0.0233	0.2800	0.00
18	1.4589	7.2028	0.0266	0.3200	0.0002		0.7679	3.7910	0.0283	0.3400	0.0003		0.6143	3.0328	0.0283	0.3400	0.00
19	1.5357	7.5819	0.0308	0.3700	0.0003		0.7679	3.7910	0.0324	0.3900	0.0003		0.7679	3.7910	0.0324	0.3900	0.00
20	1.5357	7.5819	0.0350	0.4200	0.0003		0.7679	3.7910	0.0374	0.4500	0.0003		0.7679	3.7910	0.0367	0.4400	0.00
21	1.7661	8.7192	0.0392	0.4700	0.0003		0.7679	3.7910	0.0416	0.5000	0.0004		0.7679	3.7910	0.0416	0.5000	0.00
22	1.9197	9.4774	0.0442	0.5300	0.0004		0.7679	3.7910	0.0457	0.5500	0.0004		0.7679	3.7910	0.0457	0.5500	0.00
23	1.9197	9.4774	0.0483	0.5800	0.0004		0.9214	4.5491	0.0507	0.6100	0.0004		0.9214	4.5491	0.0499	0.6000	0.00
24	1.9197	9.4774	0.0524	0.6300	0.0005		1.1518	5.6864	0.0549	0.6600	0.0005		1.1518	5.6864	0.0549	0.6600	0.00
25	1.9197	9.4774	0.0574	0.6900	0.0005		1.1518	5.6864	0.0590	0.7100	0.0005		1.1518	5.6864	0.0591	0.7100	0.00

รูปที่ ๑๙.๑ รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงดัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 5

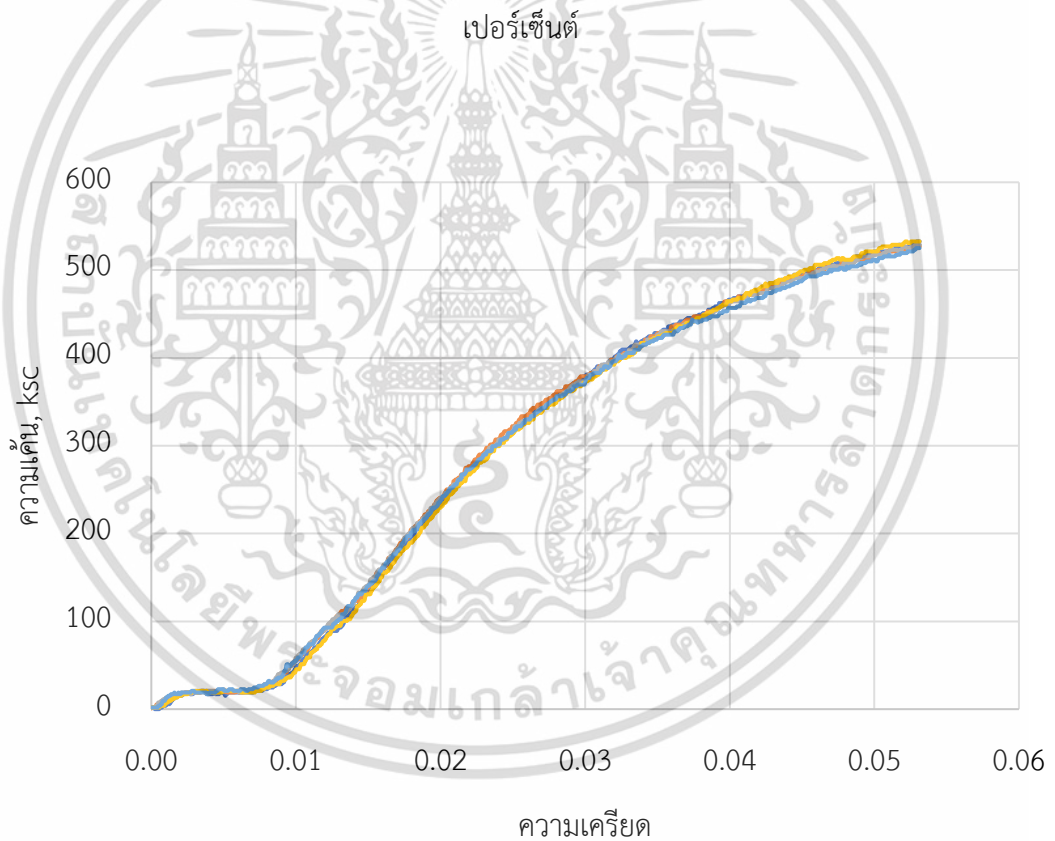


รูปที่ ๑๙.๒ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงดัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 5 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1			av E, ksc	9,958.664													
2			av max str, ksc	529.217													
3																	
4	No1	L =	4.8000	cm	same		No2						No3				
5		b =	1.286		d =	0.34	cm										
6																	
7	max str.	532.629	ksc	โคงตัวสูง	0.600	cm	max str.	526.943	ksc	โคงตัวสูง	0.600	cm	max str.	528.838	ksc	โคงตัวสูง	0.
8	max Load	10.997	kg	E	10023	ksc	max Load	10.880	kg	E	9916	ksc	max Load	10.919	kg	E	9948
9																	
10	LoadCell1	Stress	Displaceme	Time1	Strain		LoadCell2	Stress	Displacem	Time2	Strain		LoadCell3	Stress	Displacem	Time3	Strain
11	N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec	
12	0.3839	1.8955	-	-	-		0.1536	0.7582	-	-	-		0.3839	1.8955	-	-	-
13	0.3839	1.8955	0.0050	0.0600	0.0000		0.3839	1.8955	0.0042	0.0500	0.0000		0.3839	1.8955	0.0044	0.0500	0.0
14	0.3839	1.8955	0.0092	0.1100	0.0001		0.3839	1.8955	0.0084	0.1000	0.0001		0.3839	1.8955	0.0087	0.1000	0.0
15	0.3839	1.8955	0.0141	0.1700	0.0001		0.3839	1.8955	0.0134	0.1600	0.0001		0.3839	1.8955	0.0137	0.1700	0.0
16	0.3839	1.8955	0.0183	0.2200	0.0002		0.3839	1.8955	0.0175	0.2100	0.0002		0.3839	1.8955	0.0187	0.2200	0.0
17	0.3839	1.8955	0.0233	0.2800	0.0002		0.3839	1.8955	0.0226	0.2700	0.0002		0.3839	1.8955	0.0236	0.2800	0.0
18	-	-	0.0274	0.3300	0.0002		0.3839	1.8955	0.0268	0.3200	0.0002		0.3839	1.8955	0.0279	0.3300	0.0
19	-	-	0.0316	0.3800	0.0003		0.3839	1.8955	0.0310	0.3700	0.0003		0.3839	1.8955	0.0321	0.3800	0.0
20	-	-	0.0358	0.4300	0.0003		0.4607	2.2746	0.0351	0.4200	0.0003		0.6911	3.4119	0.0363	0.4300	0.0
21	-	-	0.0399	0.4800	0.0004		1.0750	5.3073	0.0393	0.4700	0.0003		0.7679	3.7910	0.0405	0.4800	0.0
22	-	-	0.0441	0.5300	0.0004		0.8446	4.1700	0.0434	0.5200	0.0004		0.7679	3.7910	0.0455	0.5400	0.0
23	-	-	0.0483	0.5800	0.0004		0.7679	3.7910	0.0484	0.5800	0.0004		1.0750	5.3073	0.0496	0.5900	0.0
24	-	-	0.0533	0.6400	0.0005		0.7679	3.7910	0.0526	0.6300	0.0005		1.5357	7.5819	0.0538	0.6400	0.0
25	-	-	0.0574	0.6900	0.0005		0.7679	3.7910	0.0567	0.6800	0.0005		1.5357	7.5819	0.0588	0.7000	0.0

รูปที่ ผ.21 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงดัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10

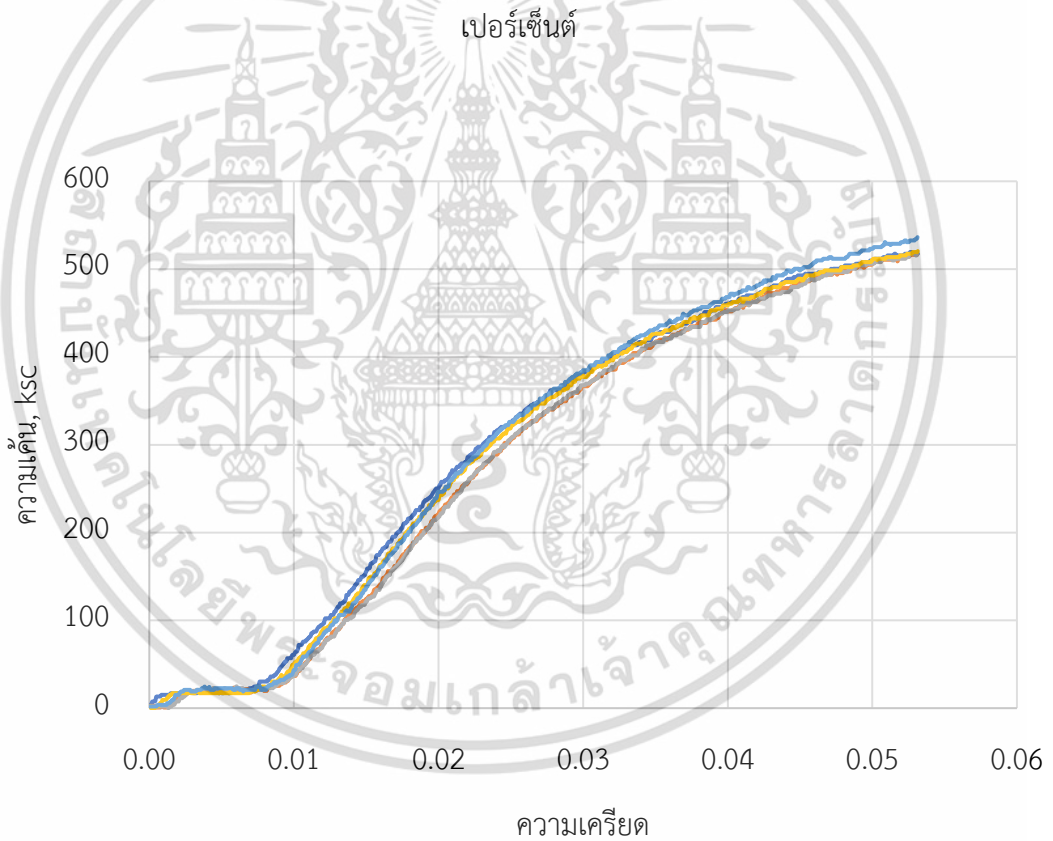


รูปที่ ผ.22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงดัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอเนต 10 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1			av E, ksc	9,824.194													
2			av max str, ksc	522.014													
3																	
4	No1	L =	4.8000	cm	same		No2						No3				
5		b =	1.286		d =	0.34	cm										
6																	
7	max str.	519.361	ksc	โคงตัวสูง	0.600	cm	max str.	516.328	ksc	โคงตัวสูง	0.600	cm	max str.	517.465	ksc	โคงตัวสูง	0.
8	max Load	10.723	kg	E	9772	ksc	max Load	10.661	kg	E	9719	ksc	max Load	10.684	kg	E	9740
9																	
10	LoadCell1	Stress	Displaceme	Time1	Strain		LoadCell2	Stress	Displacem	Time2	Strain		LoadCell3	Stress	Displacem	Time3	Strain
11	N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec			N	ksc	mm	Sec	
12	0.2304	1.1373	-	-	-		0.1536	0.7582	-	-	-		0.3839	1.8955	-	-	-
13	0.3839	1.8955	0.0041	0.0500	0.0000		0.2304	1.1373	0.0009	0.0500	0.0000		0.3839	1.8955	0.0043	0.0500	0.0
14	0.7679	3.7910	0.0091	0.1100	0.0001		0.5375	2.6537	0.0063	0.1100	0.0001		0.3839	1.8955	0.0093	0.1100	0.0
15	0.7679	3.7910	0.0133	0.1600	0.0001		0.5375	2.6537	0.0108	0.1700	0.0001		0.3839	1.8955	0.0143	0.1700	0.0
16	1.2286	6.0655	0.0183	0.2200	0.0002		0.5375	2.6537	0.0159	0.2200	0.0001		0.3839	1.8955	0.0193	0.2300	0.0
17	1.5357	7.5819	0.0233	0.2800	0.0002		0.5375	2.6537	0.0200	0.2700	0.0002		0.3839	1.8955	0.0244	0.2900	0.0
18	1.5357	7.5819	0.0275	0.3300	0.0002		0.5375	2.6537	0.0243	0.3200	0.0002		0.3839	1.8955	0.0286	0.3400	0.0
19	1.5357	7.5819	0.0316	0.3800	0.0003		0.5375	2.6537	0.0284	0.3700	0.0003		0.3839	1.8955	0.0328	0.3900	0.0
20	1.5357	7.5819	0.0358	0.4300	0.0003		0.5375	2.6537	0.0326	0.4200	0.0003		0.3839	1.8955	0.0377	0.4500	0.0
21	1.5357	7.5819	0.0399	0.4800	0.0004		0.5375	2.6537	0.0376	0.4800	0.0003		0.3839	1.8955	0.0418	0.5000	0.0
22	1.5357	7.5819	0.0441	0.5300	0.0004		0.5375	2.6537	0.0418	0.5300	0.0004		0.3839	1.8955	0.0460	0.5500	0.0
23	1.8429	9.0983	0.0483	0.5800	0.0004		0.5375	2.6537	0.0461	0.5800	0.0004		0.3839	1.8955	0.0509	0.6100	0.0
24	2.6107	12.8892	0.0533	0.6400	0.0005		0.5375	2.6537	0.0510	0.6400	0.0005		0.3839	1.8955	0.0551	0.6600	0.0
25	2.6875	13.2683	0.0574	0.6900	0.0005		0.2304	1.1373	0.0552	0.6900	0.0005		0.3839	1.8955	0.0593	0.7100	0.0

รูปที่ ผ.23 รูปแสดงการคำนวณของตัวอย่างทดสอบแรงดัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอนเนต 15



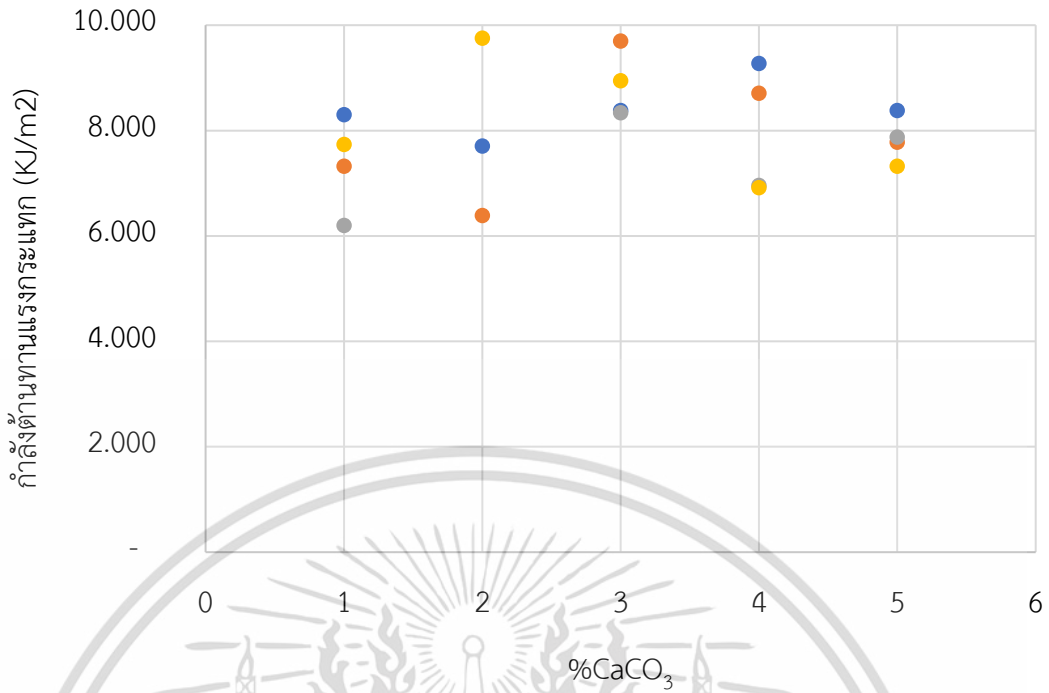
รูปที่ ผ.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างทดสอบแรงดัดที่อัตราส่วนผสมแคลเซียมคาร์บอนเนต 15 เปอร์เซ็นต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

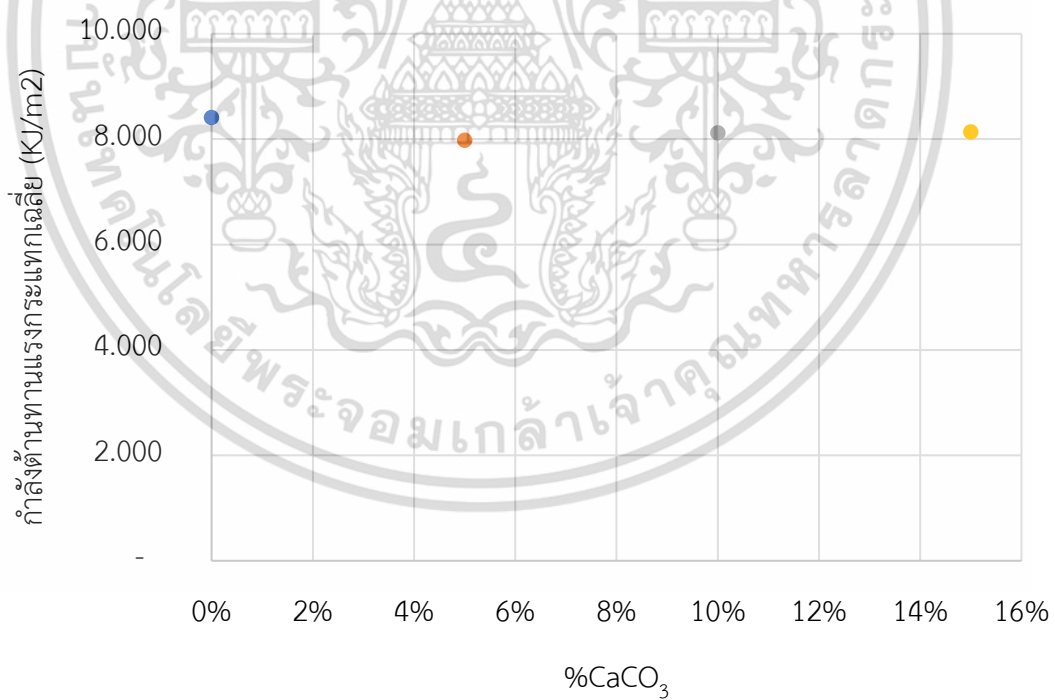
ตารางที่ ผ.3 กำลังต้านทานแรงกระแทกของทุกตัวอย่าง

%CaCO ₃	ตัวอย่างที่	กำลังต้านทานแรง กระแทก (KJ/m ²)	กำลังต้านทานแรง กระแทกเฉลี่ย (KJ/m ²)
0%	1	8.304	8.411
	2	7.708	
	3	8.383	
	4	9.276	
	5	8.383	
5%	1	7.322	7.980
	2	6.391	
	3	9.696	
	4	8.710	
	5	7.782	
10%	1	6.202	8.117
	2	11.210	
	3	8.337	
	4	6.962	
	5	7.874	
15%	1	7.736	8.135
	2	9.753	
	3	8.945	
	4	6.917	
	5	7.324	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ ๒.๒๕ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกระแทกของตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงกระแทกที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ ๒.๒๖ กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงกระแทกเฉลี่ยของตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงกระแทกที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล นายศุภณัฐ คำศรีสุข
วัน เดือน ปีเกิด 11 กันยายน 2540
ที่อยู่ 414 หมู่2 ต.บ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย 57100
โทร 084-6106119
Email natxnatty@gmail.com
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2558 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนเทศบาล 6 นครเชียงราย อ.เมือง จ.เชียงราย
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล นายศุภวิชญ์ บุญศิลป์
วัน เดือน ปีเกิด 1 มกราคม 2541
ที่อยู่ 99/62 หมู่3 ถ.พ่อขุนทะเล10 ซ.5 ต.มะขามเตี้ย อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี
84000
โทร 095-6655158
Email boss254156@gmail.com
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2558 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนสุราษฎร์พิทยา อ.เมือง จ.สุราษฎร์ธานี
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล นายสัจจพงศ์ ศรีอรุโณทัย
วัน เดือน ปีเกิด 12 กันยายน 2540
ที่อยู่ 54/12 ถ.เทพาพัฒนา ต.ในเมือง อ.เมือง จ.เพชรบูรณ์ 67000
โทร 081-9136231
Email guntduang@live.com
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2558 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนจุฬารัตนราชวิทยาลัย พิษณุโลก อ.เมือง จ.พิษณุโลก
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้