

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมขยะประเภท
ถุงพลาสติก

Physical property test of interlocking concrete paving block mixed Plastic bags
waste



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมขยะประเภท
ถุงพลาสติก

Physical property test of interlocking concrete paving block mixed Plastic bags
waste



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

PHYSICAL PROPERTY TEST OF INTERLOCKING CONCRETE PAVING BLOCK MIXED
PLASTIC BAGS WASTE



KOMCHAN WONGSANGPHET
NACHAKAMOL TIPNUN
SIRIKARN PEAJAN

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 2018

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

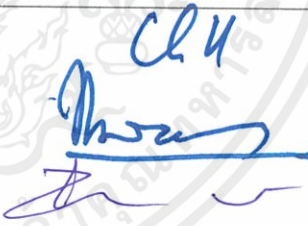
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองโครงการพิเศษ

หัวข้อโครงการพิเศษ การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสม
ขยะประเภทถุงพลาสติก
Physical property test of interlocking concrete paving block
mixed plastic bags waste

นักศึกษา นายคมชาญ วงษ์แสงเพชร รหัสประจำตัว 58010147
นางสาวณชกมล ทิพนันท์ รหัสประจำตัว 58010332
นางสาวสิริกานต์ เพ็ญจันทร์ รหัสประจำตัว 58011316

หลักสูตร วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร.ชลิตา อุตะเกา

คณะกรรมการสอบโครงการพิเศษ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.ชลิตา อุตะเกา	
รศ.ดร.แหลมทอง เหล่าคงถาวร	
ผศ.สมเกียรติ ขวัญพฤษ์	

ภาควิชาวิศวกรรมโยธารับรองแล้ว



(ผศ.ดร.อาทิตย์ เพชรศศิธร)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธา

วันที่.....

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ผสมขยะประเภทถุงพลาสติก

นายคมชาญ	วงศ์แสงเพชร	รหัสประจำตัว	58010147
นางสาวณชกมล	ทิพนันท์	รหัสประจำตัว	58010332
นางสาวสิริกรานต์	เพ็ญจันทร์	รหัสประจำตัว	58011316

อาจารย์ที่ปรึกษา ผศ.ดร. ชลิตา อุตะเภา

ปีการศึกษา 2561

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดและอัตราส่วนที่เหมาะสมของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมขยะประเภทถุงพลาสติก โดยมีการนำเอาถุงพลาสติกประเภท HDPE มาเป็นองค์ประกอบหนึ่งในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งมี 2 ขนาด คือ 4 เซนติเมตร โดยมีอัตราส่วนผสมของพลาสติก อยู่ 0, 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และขนาด 6 เซนติเมตร มีอัตราส่วนผสมของพลาสติก อยู่ 0, 0.1, 0.2, และ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก มีระยะเวลาบ่มที่ 7, 14, และ 28 วัน จากนั้นได้ทำการทดลองโดยนำเอาอัตราส่วนผสมที่เตรียมไว้มาผสมให้เข้ากันและนำไปขึ้นรูป และได้ทำการบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน หลังจากนั้นนำชิ้นตัวอย่างไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน มอก.827-2531 ผลการศึกษาพบว่า คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ความหนา 4 เซนติเมตร อัตราส่วนผสมของพลาสติกที่ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (6.615 กรัม) ระยะเวลาบ่ม 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกเป็น 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (8.873 กรัม) กำลังรับแรงอัดของบล็อกมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลง และที่ความหนา 6 เซนติเมตร เมื่อผสมพลาสติกเข้าไปกำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง ซึ่งมีกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่พลาสติกผสมอยู่ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก (9.620 กรัม) และได้ทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยทำการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน พบว่ามีอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 7-8 เปอร์เซ็นต์เท่ากัน

Physical property test of interlocking concrete paving block mixed plastic bags waste

MR. KOMCHAN WONGSANGPHET 58010147

MISS. NACHAKAMOL TIPNUN 58010332

MISS. SIRIKARN PEAJAN 58011316

Asst. Prof. Dr.CHALIDA U-TAPAPAO

Academic Year 2018

ABSTRACT

The purposes of this research were to study the compressive strength and the ratio absorption of interlocking concrete paving blocks mixed with plastic bags waste. With apply of waste HDPE plastic bags, that one element in the production of interlocking concrete Paving block, with two different sizes of 4 cm, with a ratio of plastic are 0, 0.1, 0.2, 0.3 and 0.4 percent by weight and 6 cm with a ratio of plastic is 0. 0.1, 0.2, and 0.3 percent by weight. The curing period is 7, 14, and 28 days. After that, the experiment was conducted by mixing the prepared ingredients together and forming. After that curing at 7 days, 14 days and 28 days. The samples are from the testing compressive strength according to TIS 827-2531 standard. The results revealed that interlocking concrete paving blocks at the thickness of 4 cm and the plastic mixture ratio of 0.3 percent by weight (6.615 g) and then curing of 28 days had the maximum compressive strength. When the plastic is increasing 0.4 percent by weight (8.873 g), the compressive strength of the blocks with the compressive strength decreased. And the thickness 6 cm, when mixed with plastic bags waste, the result that compressive strength decreases. And the maximum compressive strength was 0.3 percent by weight (9.620 g) And tested the absorption rate of interlocking concrete

paving blocks by testing the absorption rate at 28 days and results revealed that the absorption rate was 7-8 percent the same.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากความอนุเคราะห์ช่วยเหลืออย่างยิ่งจาก ผศ.ดร.ชลิตา อุตะภา ที่กรุณาให้คำแนะนำ ปรีกษาปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่อง คอยช่วยเหลือในการแก้ไขปัญหา คอยให้ความรู้ เอาใจใส่ ตลอดจนให้ความช่วยเหลือสำเร็จไปได้ด้วยดี พวกเราผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในความอนุเคราะห์จากท่านอาจารย์ และขอขอบพระคุณอย่างสูง

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ให้ความรู้ในทุก ๆ รายวิชาที่ศึกษาเพื่อเป็นพื้นฐานโดยท่านคณาจารย์ท่านต่าง ๆ ได้ถ่ายทอดความรู้ทั้งทางด้านวิชาการ ความรู้ทั่วไป และประสบการณ์ต่าง ๆ จนสามารถนำมาใช้ในการทำงานและการดำเนินชีวิตได้ดียิ่งขึ้น ตลอดจนขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ร่วมเป็นกรรมการในการทดสอบ

ขอขอบพระคุณเพื่อน ๆ ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา ที่คอยให้คำแนะนำ ช่วยเหลือซึ่งกันและกันในการทำโครงการ

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดาอันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งเป็นผู้ให้ความรักและกำลังใจในการสนับสนุนการศึกษาเล่าเรียนของคณะผู้จัดทำมาโดยตลอด ทำให้คณะผู้จัดทำมีวันนี้ได้ คณะผู้จัดทำรู้สึกซาบซึ้งในพระคุณเป็นอย่างสูง

คมชาญ วงษ์แสงเพชร

ณชกมล ทิพนันท์

สิริการต์ เพี้ยจันทร์

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ขั้นตอนในการทำงานวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 พลาสติก.....	4
2.2 ปูนซีเมนต์.....	11
2.3 มวลรวม.....	19
2.4 น้ำ.....	21
2.5 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531)	22
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	27
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน.....	29
3.1 ขั้นตอนการศึกษา.....	29
3.2 วัสดุ.....	30
3.3 สัดส่วนการผสม.....	30
3.4 การเตรียมตัวอย่าง.....	31
3.5 การเก็บข้อมูล.....	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน.....	43
4.1 ผลการทดสอบการรับกำลังรับแรงอัด.....	43
4.2 อัตราการดูดซึมของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	47
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ.....	48
5.1 บทสรุป.....	48
5.2 ปัญหาที่พบ.....	49
5.3 ข้อเสนอแนะ.....	49
บรรณานุกรม.....	50
ภาคผนวก.....	55
ประวัติผู้เขียน.....	62

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์.....	12
ตารางที่ 2.2 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ.....	26
ตารางที่ 2.3 หน่วยมิลลิเมตร.....	16
ตารางที่ 2.4 ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด.....	22
ตารางที่ 3.1 ปริมาณหินน้อยสุดตามขนาดหิน.....	37
ตารางที่ 3.2 ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด.....	42
ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่ไม่มีพลาสติกผสม.....	43
ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 7 วัน.....	43
ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 14 วัน.....	44
ตารางที่ 4.4 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 28 วัน.....	44
ตารางที่ 4.5 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่ไม่มีพลาสติกผสม.....	45
ตารางที่ 4.6 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 7 วัน.....	45
ตารางที่ 4.7 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 14 วัน.....	46
ตารางที่ 4.8 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 28 วัน.....	46
ตารางที่ 4.9 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของขนาดความหนา 6 เซนติเมตร.....	47
ตารางที่ 4.10 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของขนาดความหนา 4 เซนติเมตร.....	47

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่แสดงถึงพลาสติกแต่ละชนิด ตามตัวเลขที่สามารถรีไซเคิลได้.....	8
รูปที่ 2.2 อัตราการเกิดความร้อนในปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C2S และ C3S.....	16
รูปที่ 2.3 การลบลูม.....	23
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแผ่นกด วัสดุช่วยกดและวัสดุรองกด และตำแหน่งทดสอบ.....	25
รูปที่ 3.1 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	32
รูปที่ 3.2 ตะแกรงเบอร์ 8.....	32
รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องมือหาสภาพอ้อมตัวผิวแห้งของวัสดุละเอียด.....	36
รูปที่ 3.4 เครื่องสำหรับชั่งหินในน้ำ.....	39
รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต.....	42
รูปที่ 4.1 ผิวหน้าบล็อกคอนกรีตที่พลาสติกผสม 0.4 เปอร์เซ็นต์ (8.873 กรัม).....	44

บทที่ 1

บทนำ

1. ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันถุงพลาสติกเป็นหนึ่งในปัญหาสิ่งแวดล้อมที่นับวัน ยิ่งทวีความรุนแรงขึ้นเพราะมีการใช้ถุงพลาสติกกันมาก ซึ่งพลาสติกส่วนใหญ่ใช้เวลาย่อยสลายนานกว่า 500 ปี ความสามารถในการกำจัดไม่เพียงพอ แต่มีจำนวนการใช้มหาศาล ซึ่งมีข้อมูลใช้ชีวิตประจำวันของคน เห็นได้จากการซื้อสินค้าที่ห้างสรรพสินค้าและร้านสะดวกซื้อ ก็จะได้ถุงพลาสติกกลับมาเป็นจำนวนมาก แม้แต่การซื้อเครื่องดื่มหรือของชิ้นเล็กชิ้นน้อย ก็ยังมีถุงหิ้วพลาสติกด้วย

ในประเทศไทย ยังไม่มีมาตรการโดยรวมที่ชัดเจนจากภาครัฐเพื่อจัดการปัญหาขยะพลาสติก มีเพียงหน่วยงานเอกชนบางแห่งที่ให้ความสำคัญกับเรื่องนี้ เช่น ใน พ.ศ. 2558 ห้างสรรพสินค้า 16 แห่ง ประกาศงดบริการถุงพลาสติกแก่ลูกค้าทุกวันที 15 ของเดือน ผลที่ได้คือเพียงวันเดียวสามารถลดจำนวนถุงพลาสติกถึง 1.8 ล้านใบ ความเคลื่อนไหวล่าสุด ภาครัฐ คือ กรมการแพทย์ กระทรวงสาธารณสุข ได้ประกาศยกเลิกถุงพลาสติกสำหรับใส่ยาของทุกหน่วยงานในสังกัด เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคมนี้ พร้อมขอความร่วมมือให้ประชาชนนำถุงผ้ามาใส่ยากลับบ้าน แทน คาดว่ามาตรการนี้จะช่วยลดการใช้ถุงพลาสติกในโรงพยาบาลสังกัดกรมการแพทย์ ได้มากถึงปีละ 9 ล้านใบ ในส่วนภาคเอกชนก็เริ่มต้นตัวกับปัญหาขยะพลาสติก ทั้งการจัดกิจกรรมลดการใช้ถุงพลาสติกของบรรดาห้างสรรพสินค้าและร้านสะดวกซื้อ การรณรงค์ใช้ถุงผ้า โปรโมชันแจกแต้มสะสมสำหรับใช้เป็นส่วนลดหรือแลกซื้อสินค้า เมื่อลูกค้าปฏิเสธที่จะรับถุงพลาสติกขณะชำระเงิน

แต่อย่างไรก็ตามถุงพลาสติกก็ยังคงมีใช้กันอยู่มาก และปัญหาขยะพลาสติกก็ยังไม่หมดไป เราจึงได้นำเอาขยะประเภทพลาสติกมาผสมเข้ากับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เนื่องจากคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เป็นวัสดุก่อสร้างที่ไม่ได้ใช้เพื่อรับน้ำหนักมาก เช่น รับน้ำหนักจากตัวอาคาร หรือจากโครงสร้างต่างๆ เพียงนำมารับน้ำหนักจร จากผู้ที่สัญจรไปมา อีกทั้งเป็นเพียงวัสดุที่ใช้อยู่ภายนอกอาคาร ไม่ได้ต้องการรูปลักษณ์ที่สวยงามมาก และเรื่องการติดไฟของขยะประเภทถุงพลาสติก เราจึงได้นำขยะพลาสติกมาผสมกับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เพื่อศึกษากำลังรับแรงอัดว่าสามารถรับกำลังแรงอัดได้เท่าไร เพื่อลดจำนวนขยะประเภทถุงพลาสติกแล้วนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์มากยิ่งขึ้น และเพื่อความสะดวกสบายต่อการใช้งานจึงได้ทดลองทำให้มีน้ำหนักที่เบาลง

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อนำขยะประเภทพลาสติกมาผสมในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และศึกษากำลังกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีขยะประเภทพลาสติกผสมอยู่ 0.1%, 0.2% และ 0.3% ของน้ำหนักทั้งหมด

2.2 เพื่อลดน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยทำให้มีลักษณะที่บางลงเหลือ 4 เซนติเมตร ให้สะดวกต่อการใช้งานและการขนย้าย

3. ขอบเขตของงานวิจัย

3.1 ขอบเขตของวัสดุที่ใช้

- 3.1.1. ปูนซีเมนต์ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- 3.1.2. ทราย เป็นทรายที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป
- 3.1.3. หิน เป็นหินเกล็ดที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป
- 3.1.4. น้ำ เป็นน้ำประปา สะอาด
- 3.1.5. ขยะ เป็นขยะประเภทพลาสติก ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 (0.25 มม.)

3.2 ขอบเขตของการบ่มตัวอย่าง

- 3.2.1. 7 วัน
- 3.2.2. 14 วัน
- 3.2.3. 28 วัน

3.3 ขอบเขตของการทดสอบตัวอย่าง

3.3.1 ทดสอบตัวอย่างด้วยเครื่องทดสอบกำลังแรงอัดของคอนกรีต (compressive strength machines)

4. ขั้นตอนในการทำงานวิจัย

- 4.1 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง
- 4.2 หาอัตราการดูดซึ่มของหินเกล็ด และทราย
- 4.3 หาค่าอัตราส่วน w/c ที่เหมาะสม
- 4.4 นำขยะประเภทพลาสติกที่ได้มาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8
- 4.5 ทำการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผสมกับขยะประเภทพลาสติก
- 4.6 บ่มตัวอย่างที่ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน
- 4.7 ทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ 7 วัน, 14 วัน และ 28 วัน

- 4.8 บันทึกผลการทดสอบ
- 4.9 สรุปผลการดำเนินงานวิจัย
- 4.10 ทำเล่มสรุปผลการดำเนินงาน

5. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

5.1 สามารถลดจำนวนขยะประเภทพลาสติกที่ไม่สามารถย่อยสลายเองได้หรือใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นเวลานานได้ด้วยการนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์อีกครั้งโดยไม่ส่งผลเสียต่อสภาพสิ่งแวดล้อม

5.2 สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยไปต่อยอดในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ในอุตสาหกรรมต่างๆ ได้



บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1. พลาสติก

ประวัติพลาสติก

พลาสติกทั่วไปที่เราคุ้นเคยและใช้กันอยู่ในปัจจุบันนี้ได้ถูกสังเคราะห์ขึ้นด้วยฝีมือมนุษย์ในช่วงร้อยกว่าปีที่ผ่านมานี้เองสำหรับการใช้งานในด้านต่าง ๆ เช่นบรรจุภัณฑ์ อุปกรณ์ของใช้ และเครื่องมือต่าง ๆ ประวัติการสังเคราะห์พลาสติกชนิดแรกของโลก เริ่มต้นที่ปี ค.ศ. 1863 เมื่อบริษัทผลิตลูกบิลเลียดในประเทศสหรัฐอเมริกาได้ประกาศให้รางวัล 10,000 เหรียญแก่ผู้ที่สามารถหาวัสดุทดแทนงาช้างเพื่อใช้ในการทำลูกบิลเลียด ซึ่งในขณะนั้นเป็นกีฬาที่ได้รับความนิยมสูง จึงเป็นเหตุให้ช่างป่าในแถบแอฟริกาจำนวนมากถูกล่าเพื่อเอางาจนเกือบสูญพันธุ์ นายจอห์น เวสลีย์ ไฮเอตต์ (John Wesley Hyatt) ช่างไม้ชาวอเมริกาก็เป็นบุคคลหนึ่งที่สนใจและพยายามค้นหาวัสดุที่สามารถนำมาใช้แทนงาช้าง หลังจากทำการทดลองอยู่หลายปี คืบหนึ่งเขาได้รับอุบัติเหตุจากของมีคมบาดมือขณะทำการผสมขี้ผึ้งกับกาว เขาจึงใส่แผลด้วยคอลอเดียน (colodion) ยาสมานแผลซึ่งทำจากไนโตรเซลลูโลสละลายอยู่ในอีเธอร์และแอลกอฮอล์ และด้วยความบังเอิญเขาได้ทำยาทาลงบนพื้นโต๊ะ เมื่อกลับมาดูอีกครั้งพบว่า ยาแห้งเป็นแผ่นเหนียวๆ

นายไฮเอตต์ทำการทดลองต่อจนพบว่าหากเติมการบูรลงไปของผลสมอีเธอร์จะได้วัสดุซึ่งต่อมาเรียกว่าเซลลูลอยด์ (celluloid) ซึ่งเป็นวัสดุที่มีสมบัติเหมาะสมในการนำมาทำเป็นลูกบิลเลียดและผลิตภัณฑ์ต่างๆ เนื่องจากมีสมบัติทนทานต่อน้ำมัน น้ำและกรด ใส หรือทำให้มีสีสนสวยงามได้ง่าย และมีราคาถูก นิยมนำมาทำเป็นลูกบิลเลียด และกี๋เปียโนแทนงาช้างหรือทำหัวแทนกระดองสัตว์ จึงถือว่าเซลลูลอยด์เป็นพลาสติกกึ่งสังเคราะห์ชนิดแรกของโลกที่เกิดจากการปรับปรุงโครงสร้างของเซลลูโลสซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติ นับเป็นจุดเริ่มต้นของอุตสาหกรรมพลาสติก

ต่อมาในปี ค.ศ. 1907 นักเคมีชื่อ นายลีโอ เบคแลนด์ (Leo Baekeland) ได้ค้นพบวิธีการผลิตเบคเคอไลต์ (Bekelite) ซึ่งได้ชื่อว่าเป็นพลาสติกสังเคราะห์ชนิดแรกของโลกขึ้นเป็นครั้งแรกจากสารอินทรีย์โมเลกุลเล็กๆ ซึ่งเกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างฟอร์มัลดีไฮด์และฟีนอล เบคเคอไลต์ เป็นพลาสติกแข็ง ทนความร้อนได้ดี และสามารถขึ้นรูปให้มีรูปร่างต่าง ๆ ได้ตามแม่พิมพ์โดยใช้ความร้อน

ในช่วงทศวรรษที่ 30-40 จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1942 ซึ่งเป็นช่วงที่เกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 เบเคอไลต์ถูกนำมาผลิตเป็นโทรศัพท์ แวนตาสำหรับนักบิน และด้ามอาวุธต่าง ๆ จากผลิตภัณฑ์ที่มีสีสันต่าง ๆ ที่เคยมีมากมายกลับ กลายเป็นสีดำ จนกระทั่งสงครามสิ้นสุดลง เทคโนโลยีการฉีดขึ้นรูปพลาสติก (injection mold) ได้ถูกพัฒนาขึ้น และพลาสติกชนิดใหม่ ๆ เช่นไนลอน (nylon) ไวนิล (vinyl) หรืออะคริลิก (acrylic) ได้ถือกำเนิดขึ้นจากการค้นคว้าวิจัยของนักวิทยาศาสตร์ จึงมีการใช้เบเคอไลต์น้อยลง

2.1.1 พลาสติก

พลาสติกเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติใต้ผิวดินซึ่งนำมาใช้โดยผ่านกระบวนการผลิตจากปิโตรเลียม เริ่มจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนขนาดเล็กที่เกิดจากการกลั่นลำดับส่วนของน้ำมันดิบมาทำปฏิกิริยากันทำให้ได้สายโพลีเมอร์ที่ยาวเรียกว่า โพลีเมอร์ ซึ่งประกอบด้วยธาตุคาร์บอน ไฮโดรเจน ออกซิเจน และธาตุอื่นๆ ซึ่งพอลิเมอร์จะมีคุณสมบัติแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับวัตถุดิบตั้งต้น โพลีเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกและผลิตภัณฑ์ต่างๆ ต่อไป (สิตาวีร์ ธีรวิรุฬห์, 2560)

พลาสติกที่นิยมใช้ในปัจจุบันถูกออกแบบให้มีคุณสมบัติตามการใช้งานที่หลากหลาย โดยสามารถแบ่งประเภทของพลาสติกที่นิยมใช้ในปัจจุบัน ได้ดังนี้

1. พอลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) มีลักษณะขาวขุ่น โปร่งแสง ยืดตัวได้ไม่มีกลิ่น ไม่ติดแม่พิมพ์ มีความเหนียว ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมีได้ดี เป็นฉนวนไฟฟ้า ผลิตภัณฑ์ที่ทำด้วยพอลิเอทิลีน ได้แก่ขวดใส่สารเคมีขวดใส่น้ำ ของเล่น เด็กถุงเย็บ ชิ้นส่วนแบตเตอรี่ ชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์
2. พอลิโพรพิลีน (Polypropylene : PP) มีลักษณะขาวขุ่น ทึบแสงกว่าพอลิเอทิลีน มีความหนาแน่นในช่วง 0.89 – 0.90 สามารถลอยน้ำได้ ลักษณะอื่น ๆ คล้ายกับพอลิเอทิลีน ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากพอลิโพรพิลีน ได้แก่ ปกแฟ้มเอกสาร กล่องและตลับเครื่องสำอาง อุปกรณ์ทางการแพทย์ กระสอบข้าว และถุงบรรจุปุ๋ย
3. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride : PVC) มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า ไม่ติดไฟมีลักษณะขุ่นทึบ เป็นทั้งของแข็งคงรูปและอ่อนนุ่ม สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น ผนังเทียม สำหรับหุ้มเบาะเก้าอี้ที่อ่อนนุ่ม อ่างน้ำ ประตูหน้าต่าง เป็นต้น

4. พอลิไวนิลแอซีเตต (Polyvinylacetate : PVA) เป็นพอลิเมอร์ที่มีแขนงหนาแน่น มีลักษณะโมเลกุลแบบบออะแทกติก ไม่เป็นผลึก มีลักษณะเป็นของเหลวข้นหนืด ไม่สามารถหล่อขึ้นรูปด้วยวิธีแม่พิมพ์ได้ ใช้ทำกาวในรูปของอีมีลชันสำหรับติดไม้ กระดาษ ผ้าและหนังเทียมมักเรียกกาวชนิดนี้ว่า “กาวลาเท็กซ์”

5. พอลิสไตรีน (Polystyrene: PS) มีความแข็ง เปราะแตกง่าย แต่สามารถทำให้เหนียวขึ้นได้ โดยการผสมสารบิวทาไดอีน เรียก สไตรีนทนแรงอัดสูง (High impact styrene) สามารถใช้เป็นโคพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพและสมบัติของพอลิเมอร์ อื่น เช่น เพิ่มความเหนียวและความแข็ง เพิ่มการทนความร้อน เป็นต้น

6. พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) เป็นพลาสติกที่มีความโปร่งใส และแข็งแรงมาก ด้านทานการขีดข่วนได้ดีจึงมักใช้ทำผลิตภัณฑ์แทนแก้วหรือกระจก

7. ไนลอน (Nylon) มีคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้า มีสีขาวขุ่นโปร่งแสง ไนลอนใช้ทำเสื้อผ้า เชือก เฟืองเกียร์ ลูกปืนในเครื่องจักรกลที่ไม่ต้องใช้น้ำมันหล่อลื่น

8. พอลิเทระฟลูออโรเอทิลีน (Polytetrafluoroethylene : PTFE) หรือ เทฟลอน มีคุณสมบัติทนความร้อนได้สูง 300 องศาเซลเซียส ทนต่อการกัดกร่อนของสารเคมี

9. เมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ (Melamine Formaldehyde) เป็นพอลิเมอร์ที่ได้จากปฏิกิริยาคอนเดนเซชันของเมลามีนกับฟอร์มัลดีไฮด์มีโครงสร้าง เป็นโครงข่ายร่างแหหนาแน่นทั้งสามมิติที่แข็งแรง คล้ายฟีนอลฟอร์มัลดีไฮด์ ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากเมลามีนฟอร์มัลดีไฮด์ได้แก่ จาน ชาม ถ้วย กาแฟ เครื่องใช้ภายในครัว

พลาสติกที่ถูกแบ่งตามประเภทการใช้งาน แบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) และเทอร์โมเซตติง (Thermosetting)

1.เทอร์โมพลาสติก เทอร์โมพลาสติกเป็นพอลิเมอร์ (Polymer) ที่มีโครงสร้างเป็นแบบเส้นตรงหรือ แบบกิ่งสั้นๆ โครงสร้าง ภายในโมเลกุลยึดเหนี่ยวกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุลด้วยพันธะทุติยภูมิ สามารถละลายได้ดีในตัวทำละลายบางชนิด เช่น โทลูอิน (Toluene) คาร์บอนเตตระคลอไรด์(Carbon tetrachloride) เมื่อถูกความร้อน สามารถหลอมตัวได้และเมื่อเย็นจะแข็งตัวสามารถนำกลับมาหลอมและทำให้แข็งตัวได้หลายครั้ง โดยไม่ทำให้ สมบัติทางเคมีและทางกายภาพ

เปลี่ยนไป สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อยได้ 2 กลุ่ม คือ เทอร์โมพลาสติก อสังฐาน (Amorphous thermoplastics) และ เทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Partial crystalline thermoplastics)

เทอร์โมพลาสติกอสัญฐาน เป็นพอลิเมอร์ที่มีลักษณะแข็งและเปราะ ตัวอย่างเช่น พอลิสไตรีน (Polystyrene) พอลิเมธิลเมธาครีเลต (Polymethyl methacrylate) พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride) พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate) เป็นต้น

เทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน พอลิเมอร์ประเภทนี้มีโครงสร้างของโซโมเลกุลเป็นระเบียบ ทำให้เรียงตัวได้ดี จึงมีความเป็นผลึกในส่วนที่เป็นอสัญฐาน ทำให้พอลิเมอร์ชนิดนี้มีความเหนียวและยืดหยุ่น ตัวอย่างเช่น พอลิเอทิลีน (Polyethylene) พอลิพรอพิลีน (Polypropylene) พอลิเอไมด์ (Polyamide) พอลิเอทิลีนเทเรฟทาลเลต (Polyethylene terephthalate) เป็นต้น พอลิเมอร์ชนิดนี้มีข้อเสียและข้อจำกัดของการใช้งาน คือ ไม่สามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ เพราะอาจเกิดการบิดเบี้ยวเสียรูปทรงได้ง่าย

2. เทอร์โมเซตติง พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งสามารถหลอมเหลวขึ้นรูปได้เพียงครั้งเดียว เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตโดยใช้ความร้อนหรือความดัน เกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง ระหว่างสายโซโมเลกุล มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ (Covalent bond) ระหว่างสายโซโมเลกุล ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ไม่สามารถนำกลับมาหลอมใหม่ได้อีกครั้ง พอลิเมอร์ชนิดนี้จะแข็งตัวเมื่อได้รับความร้อนและสามารถเอา ออกจากแม่พิมพ์ได้โดยไม่ต้องรอให้เย็นก่อนเนื่องจากพลาสติกจะแข็งตัวอยู่ในแม่พิมพ์ ถ้าให้ความร้อนสูงเกินไป พอลิเมอร์จะเกิดการไหม้และสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม เนื่องจากพันธะระหว่างโมเลกุลแตกออก ความเป็นพอลิเมอร์จึงไม่มีอีกต่อไป พลาสติกชนิดนี้ได้แก่ ฟีนอลิกเรซิน (Phenolic resins) อีพอกซีเรซิน (Epoxy resins) พอลิเอสเทอร์เรซินชนิดไม่อิ่มตัว (Unsaturated polyester resin) เป็นต้น

พอลิเมอร์มีหลายชนิดให้เลือกใช้งาน ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและผลิตภัณฑ์ที่จะนำไปใช้งาน การรีไซเคิล พลาสติกเป็นวิธีที่วิธีหนึ่งในการลดปริมาณพลาสติก แต่ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็มีคุณภาพด้อยลงกว่าผลิตภัณฑ์ก่อน การรีไซเคิล ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรีไซเคิลไม่สามารถนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์เดิมได้

(สมจิต ตั้งชัยวัฒนา ,2558)

2.1.2 พลาสติกรีไซเคิล

พลาสติกรีไซเคิลเป็นเทคโนโลยีหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณขยะพลาสติก และยังเป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่าอีกด้วย สมาคมอุตสาหกรรมพลาสติกแห่งอเมริกา (The Society of the Plastics Industry, Inc) จึงได้กำหนดสัญลักษณ์มาตรฐานของพลาสติกยอตนิยมกลุ่มต่าง ๆ ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่หรือการ รีไซเคิล (Recycle) (ดังรูปที่ 1.1)



รูปที่ 2.1 สัญลักษณ์ที่แสดงถึงพลาสติกแต่ละชนิด ตามตัวเลขที่สามารถรีไซเคิลได้
เทอร์โมพลาสติกที่นำมารีไซเคิลแบ่งออกเป็น 7 ชนิด คือ

1. โพลีเอทิลีนเทเรฟทาลเลต (Polyethylene terephthalate; PET) เป็นพอลิเมอร์ใสไม่มีสี แข็ง ทนทานต่อแรงกระแทก จึงนิยมใช้ทำขวดน้ำดื่ม และเนื่องจากมีสมบัติในการป้องกันการแพร่ผ่านของ ก๊าซได้ดี จึงนำมาใช้ทำขวดบรรจุน้ำอัดลม สามารถนำมารีไซเคิลได้โดยการทำเป็นเส้นใยพอลิเอสเตอร์ (Polyester)
2. โพลีเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene; HDPE) การจัดเรียงตัวของโมเลกุล ภายในโครงสร้างมีความเป็นระเบียบ และมีปริมาณโครงสร้างผลึกสูง มีความขุ่น ทนกรดและด่างได้ดี จึงนิยม ใช้ทำภาชนะบรรจุสารเคมี, ถังขยะ, ถังน้ำ HDPE สามารถป้องกันการแพร่ผ่านของ ความชื้นได้ดี จึงนำมาใช้ทำขวดนม นิยมนำมารีไซเคิลเป็นม้านั่ง ขวดใส่น้ำยาซักผ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. โพลีไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl chloride; PVC) เนื่องจากมีคลอรีนอะตอมอยู่ในสายโซ่ จึงทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลสูง ทำให้มีความแข็งแรงมาก นิยมใช้ทำท่อน้ำประปา ผนังเทียม ฉนวนหุ้มสายไฟ ถ้าเติม พลาสติกไซเซเซอร์ (Plasticizer) ลงไปจะทำให้นิ่ม นำมาทำเป็นโฟม สายยาง ม้วน พลาสติกชนิดนี้ถูกนำมารีไซเคิลเป็น ท่อน้ำประปาเพื่อการเกษตร
4. โพลีเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene; LDPE) โครงสร้าง LDPE มีกิ่งก้านสาขา จำนวนมาก จึงทำให้มีปริมาตรสูง มีความหนาแน่นต่ำ มีความโปร่งแสง นิยมใช้ทำสายหุ้มทองแดง ภาชนะบรรจุอาหาร แผ่นฟิล์ม สามารถรีไซเคิลเป็นถุงใส่ขยะได้
5. โพลีพรอพิลีน (Polypropylene; PP) มีสมบัติคล้ายกับ PE แต่มีความหนาแน่นสูงกว่า PE เป็นพลาสติกที่เบาที่สุด แต่มีความแข็งแรง ทนทานต่อแรงกระแทกสูง นิยมทำบานพับ และฝาขวดที่มีการเปิดปิดเป็นประจำ ทำภาชนะบรรจุอาหาร เป็นฉนวนไฟฟ้าได้ดี เนื่องจากมีโครงสร้างเป็นผลึก สามารถนำกลับมารีไซเคิล เป็นกล่องแบตเตอรี่รถยนต์ กันชนได้
6. โพลิสไตรีน (Polystyrene; PS) โพลีเมอร์ในเชิงการค้าอยู่ในรูปของอสังฐาน มีลักษณะแข็ง ใส แต่เปราะ ข้อดีของ PS คือ สามารถผลิตเป็นรูปร่างต่างๆได้ง่าย นิยมใช้งานขึ้นรูปด้วยการฉีด นำมาทำเป็นภาชนะ บรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง ทำถาดโฟมบรรจุอาหาร นำมารีไซเคิลเป็น กล5องวิตโอ ไม้แขวนเสื้อ
7. พลาสติกชนิดอื่น ๆ ที่ไม่ใช่ 6 ชนิดแรก เช่น โพลีคาร์บอเนต (Polycarbonate; PC) โพลีเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแรงสูง ทนทานต่อแรงกระแทกสูง ทนอุณหภูมิได้ดี นิยมใช้ทำ หมวกนิรภัย แวนนิรภัย ขวดนมเด็กฝา ครอบไฟรถยนต์ ไฟจราจร ป้ายโฆษณา

2.1.3 สารประกอบในพลาสติกที่เป็นอันตรายต่อสุขภาพ

สารพิษในพลาสติกแม้จะยังไม่ถูกพิจารณาให้เป็นปัญหาหลักของระบบสาธารณสุข แต่การใช้งานผลิตภัณฑ์จากพลาสติกที่ไม่ถูกต้องและไม่ปลอดภัยโดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับการอาหารแลเครื่องดื่ม อาจน มาซึ่งการสะสมสารพิษและความเสี่ยงต่อการเกิดโรคเรื้อรังต่าง ๆ ของผู้บริโภค สารประกอบบางชนิดที่เป็นสาเหตุของการเกิดโรค ได้แก่

1. สาร Phthalate เป็น plasticizer ที่เติมลงไป ในการผลิตพลาสติกชนิด Polyvinylchloride เพื่อให้ พลาสติกมีคุณสมบัติที่อ่อนนุ่มและสามารถยืดหยุ่น ได้ดีสารนี้ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสุขภาพ เนื่องจากเป็นสารที่มีกลไกทำงานคล้ายฮอร์โมน จึงไปรบกวนการทำงานของ ฮอร์โมนตามธรรมชาติ (Endocrine disruption) จากการศึกษาในสัตว์ทดลองทำให้ทราบผลที่แน่ชัดว่า Phthalate ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงระดับฮอร์โมน และการคลอดลูกในหนูทดลองผิดปกติ แต่ การศึกษาในคนยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน IARC จึงจัดให้ Phthalate เป็นสารก่อมะเร็งกลุ่ม 2B (Possible carcinogen) คือ สารที่อาจทำให้เกิดมะเร็งในคนได้

สาร Phthalate เป็นสารที่หลุดออกจากพลาสติกได้ง่ายเนื่องจากการจับตัวของสารนี้กับพรีซี ไม่ได้เป็นแบบ Covalent bond โดยเฉพาะอย่างยิ่งพลาสติกที่สัมผัสความร้อนและผ่านการใช้งานมา

2. สาร Vinyl chloride เป็นวัตถุดิบในการผลิตเม็ด Polyvinylchloride Resin หรือ PVC Resin ที่ความดันบรรยากาศปกติ จะเป็นแก๊สไม่มีสี แต่ส่วนใหญ่ จะบรรจุอยู่ในรูปของแก๊สที่อัดอยู่ใน รูปของเหลว (compressed liquefied gas) นิยมใช้ทำท่อน้ำ สายไฟฟ้า ของเด็กเล่นชนิดเป่าลม และ เฟอร์นิเจอร์ จากรายงานของ IARC พบว่า สาร Vinyl chloride เป็นสาเหตุให้เกิดมะเร็งตับชนิด angiosarcoma จึงจัดให้ Vinyl chloride เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 1

3. สาร Styrene เป็นสารตั้งต้นของการผลิตพลาสติกชนิดพอลิสไตรีนที่เรารู้จักกันดี คือ ก่อ้งโฟม สาร Styrene ซึ่งเป็นสารอันตรายส่งผลกระทบต่อระบบประสาทส่วนกลางและระบบเม็ดเลือด อีกทั้งยังมีผลต่อ DNA และโครโมโซม จากรายงานการวิจัยพบว่า สารนี้ทำให้เกิดมะเร็งในสัตว์ทดลอง อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อสรุปที่ยืนยันว่าสารนี้ทำให้เกิดโรคมะเร็งในมนุษย์ ดังนั้น IARC จึงจัดให้ Styrene เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 2B เนื่องด้วยสาร Styrene เป็นสารที่ละลายในน้ำมันและ แอลกอฮอล์ อีกทั้งทำปฏิกิริยากับความร้อนดังนั้นการใช้ก่อก่อโฟมบรรจุอาหารโดยเฉพาะ อาหารประเภททอดร้อน ๆ เช่น ข้าวกระเพราไข่ดาว หอยทอด หรือแม้แต่แก้วโฟมที่บรรจุเครื่องดื่มร้อน เป็น ต้น จึงควรเพิ่มความระมัดระวังมากขึ้นเพื่อป้องกันสาร Styrene ละลายออกมาจากภาชนะและ ปนเปื้อนสู่อาหาร

4. สาร Bisphenol A ใช้ในการผลิตพลาสติก ชนิด Polycarbonate ซึ่งใช้ทำขวดนมเด็ก ขวด น้ำดื่ม แบบใส สาร Bisphenol A เป็นสารที่ทำหน้าที่คล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจน สามารถรบกวนการ ทำงานของ ฮอร์โมนธรรมชาติ (Endocrine disruption) จาก รายงานของ Li D. et. al (2010) พบว่า คนงานเพศชายซึ่งทำงานอยู่ในโรงงานที่ผลิตสาร Bisphenol A ในประเทศจีน มีความเสี่ยงต่อการมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮอริโมนเพศที่ผิดปกตินอกจากนี้การศึกษาอันตรายของ Bisphenol A ในระดับเซลล์และสัตว์ทดลอง พบว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดมะเร็งเต้านมและมะเร็งต่อมลูกหมาก อย่างไรก็ตามยังไม่มีข้อยืนยันที่ชัดเจนว่า สารนี้ก่อให้เกิดโรคมะเร็งในคน IARC จึงจัดให้ Bisphenol A เป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 2B

จากคุณสมบัติของพลาสติกที่มีลักษณะใสและคงทนทำให้มีผู้นิยมนำไปทำขวดน้ำชนิดแบบใช้ซ้ำ(Reuse) และยังมีนิยมนำไปเคลือบบนผิวในของกระป๋องที่ใช้บรรจุอาหารหรือเครื่องดื่ม เพื่อไม่ให้ อาหารหรือเครื่องดื่มนั้นติดกระป๋อง อย่างไรก็ตาม สาร Bisphenol A สามารถละลายออกมาเมื่อสัมผัสกับความร้อน หรือน้ำยาล้างจานที่เป็นกรด ในกรณีการนำขวดน้ำดื่มมาใส่ซ้ำ ไม่ควรวางไว้ในรถ เนื่องจากอาจทำให้น้ำในขวดร้อนขึ้นและสาร Bisphenol A ละลายออกมาได้นอกจากนี้ควรต้องให้ความใส่ใจเป็นพิเศษหากจำเป็นต้องใช้ผลิตภัณฑ์ชนิดนี้กับเด็ก เนื่องจากเด็กมีความไวต่อสารพิษ ดังนั้นการใช้ขวดนมที่ทำด้วยพลาสติกชนิดนี้จึงไม่ควรทำความสะอาดด้วยวิธีใช้ความร้อนในการต้มหรืออบ หรือใช้สารดีเทอร์เจนแบบรุนแรง แต่ควรทำความสะอาดด้วยน้ำเย็นผึ่งให้แห้ง

5. สาร Formaldehyde อาจปนเปื้อนสู่อาหาร จากการใช้ภาชนะที่ทำจาก Melamine ไม่ถูกวิธี เช่น นำไปใช้กับไมโครเวฟหรือเตาอบอุณหภูมิสูง โดยสารฟอรัมาลดีไฮด์ที่ถูกปลดปล่อยออกมา จะอยู่ทั้งในรูปของสารละลายและในรูปของแก๊ส ฟอรัมาลดีไฮด์ ซึ่งอุณหภูมิที่ปลอดภัยในการใช้เมลามีนจะอยู่ที่ระดับ 70-80 องศาเซลเซียส จากรายงาน ของ Luoping Z. et al. (2009) พบว่าสาร Formaldehyde อาจเป็นสาเหตุให้เกิดโรคมะเร็งเม็ดเลือดขาวได้ และจากรายงานของ IARC Formaldehyde จัดเป็นสารก่อมะเร็งในกลุ่ม 1

2.2.ปูนซีเมนต์

2.2.1 องค์ประกอบเคมีของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์จะประกอบไปด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

- 1) ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO , SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณ 90% ของปูนซีเมนต์
- 2) ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO , Na_2O , K_2O , TiO_2 , P_2O_5 และยิปซัม ปริมาณออกไซด์ต่าง ๆ ที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แสดงในตารางที่ 2.1

ออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
ออกไซด์หลัก	
CaO	60-67
SO ₂	17-25
Al ₂ O ₃	3-8
Fe ₂ O ₃	0.5-0.6
ออกไซด์รอง	
MgO	0.1-5.5
Na ₂ O + K ₂ O	0.5-1.3
TiO ₂	0.1-0.4
P ₂ O ₅	0.1-0.2
SO ₃	1-3

ตาราง 2.1 ค่าออกไซด์ต่างๆที่เป็นองค์ประกอบของปูนซีเมนต์

2.2.2 คุณสมบัติของสารประกอบหลัก

สารประกอบหลักของปูนซีเมนต์คือ C_3S C_2S C_3A และ C_4AF เนื่องจากมีปริมาณมากถึงกว่าร้อยละ 90 จึงเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติและคุณภาพของปูนซีเมนต์

- 1) ไตรแคลเซียมซิลิเกต (C_3S) มีอยู่มากที่สุดในปูนซีเมนต์ร้อยละ 45-55 มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมเตาแก๊ทที่อุณหภูมิในเตาเผา 1250 องศาเซลเซียส C_3S สามารถสลายตัวได้ ซึ่งการสลายตัวนี้ค่อนข้างช้าและเมื่ออุณหภูมิลดต่ำกว่า 700 องศาเซลเซียส C_3S จะมีเสถียรภาพและจะไม่เปลี่ยนแปลงสภาพ เมื่อผสม C_3S กับน้ำจะเกิดการก่อตัวและแข็งตัวและทำให้กำลังค่อนข้างดีโดยเฉพาะในช่วง 7 วันแรก ปฏิกิริยาระหว่าง C_3S กับน้ำทำให้เกิดความร้อนปานกลางประมาณ 500 จูล/กรัม ความร้อนที่คายออกมาเรียกว่าความร้อนของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Heat of hydration)
- 2) ไดแคลเซียมซิลิเกต (C_2S) มีอยู่ในปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 15-35 C_2S บริสุทธิ์มีอยู่ 4 รูปแบบ คือ αC_2S ซึ่งเกิดที่อุณหภูมิ 1,450 องศาเซลเซียส และเมื่อเย็นตัวลงจะแปลงสภาพเป็น ∞C_2S ซึ่งเปลี่ยนเป็น βC_2S ที่อุณหภูมิต่ำลงและแปลงสภาพเป็น C_2S ที่ 14 อุณหภูมิปกติแต่เนื่องจากในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ C_2S อยู่ในสภาพที่ไม่บริสุทธิ์ สารแปลกปลอมอื่นและอัตราการลดลงของอุณหภูมิทำให้การแปลงสภาพจาก βC_2S เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

C_2S ไม่เกิดขึ้น ดังนั้น βC_2S จะมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิปกติ C_2S มีลักษณะเป็นเม็ดกลม และแสดงลักษณะทวินนิง (Twinning) เมื่อผสมกับน้ำสามารถทำปฏิกิริยากับความร้อนขึ้น ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_2S ค่อนข้างต่ำ มีค่าประมาณ 250 จูล/กรัม และการพัฒนากำลังของ C_2S ค่อนข้างช้าและช้ากว่า C_3S มากคือให้เริ่มกำลังหลัง 4 สัปดาห์ขึ้นไป

- 3) ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (C_3A) มีอยู่ในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประมาณร้อยละ 7 ถึง 15 ลักษณะรูปร่างเป็นเหลี่ยมมีสีเทาอ่อน ปฏิกิริยากับน้ำมีความรุนแรงมากและทำให้เฟสตก่อนที่ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าสูงมาก คือ 880 จูล/กรัม การพัฒนากำลังของ C_3A จะเร็วมาก คือ สามารถพัฒนาได้ภายในวันเดียวแต่กลับประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำมากเมื่อเปรียบเทียบกับ C_3S หรือ C_2S
- 4) เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (C_4AF) มีอยู่ในปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประมาณ ร้อยละ 5 ถึง 10 และอยู่ในสภาพของสารละลายแข็ง (Solid solution) เมื่อผสมกับน้ำจะทำปฏิกิริยาและทำให้เฟสตกอย่างรวดเร็ว ความร้อนเนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าประมาณ 420 จูล/กรัม โดย C_4AF พัฒนากำลังได้เร็วมาก เช่นเดียวกับ C_3A แต่กำลังประลัยที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำและต่ำกว่า C_3A เล็กน้อย (ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ , 2551)

2.2.3 คุณสมบัติสารประกอบรอง

สารประกอบรองหมายถึงสารประกอบที่มีอยู่ในปูนซีเมนต์ที่นอกเหนือจากสารประกอบหลักทั้ง 4 อย่าง สารประกอบรองเหล่านี้มีอยู่ในจำนวนที่น้อยก็จริง แต่สารประกอบบางตัวมีผลกระทบต่อซีเมนต์เฟสหรือคอนกรีตทั้งขณะที่ยังไม่แข็งตัวและที่แข็งตัวแล้ว

- 1) ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ จะบดปูนเม็ดกับยิปซัมเพื่อป้องกันการก่อตัวเร็วเกินไปของซีเมนต์เฟส ในทางตรงกันข้ามถ้ามีปริมาณของยิปซัมมากเกินไปจะทำให้ซีเมนต์เฟสที่แข็งตัวแล้วเกิดการขยายตัวและแตกร้าวได้
- 2) ปูนขาวอิสระ (Free lime , CaO) โดยทั่วไปปูนซีเมนต์จะมีปูนขาวอิสระอยู่ประมาณร้อยละ 0.5-1.0 เนื่องจากอุณหภูมิของการสลายตัวของ $CaCO_3$ ประมาณ 900 องศาเซลเซียส แต่อุณหภูมิของปูนซีเมนต์สูง 1400 – 1600 องศาเซลเซียสจะทำให้ปูนขาวถูกเผาจนเกรียม

เป็นผลทำให้ปูนขาวอิสระรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้าๆ ซึ่งการรวมตัวของปูนขาวอิสระกับน้ำจะเกิดขึ้นหลังจากที่ซีเมนต์เพสต์ก่อตัวแล้ว ถ้าปูนขาวอิสระมีมากพออาจทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ก่อตัวขยายตัวและแตกร้าวได้

- 3) แมกนีเซียมออกไซด์ วัสดุสำหรับผลิตปูนซีเมนต์มีแมกนีเซียมคาร์บอเนต ($MgCO_3$) ผสมอยู่เล็กน้อย เมื่อเผาวัตถุดิบ $MgCO_3$ จะสลายตัวเป็นแมกนีเซียมออกไซด์ (MgO) แมกนีเซียมออกไซด์บางส่วนจะอยู่ในรูปผลึกอิสระและรวมตัวกับน้ำได้อย่างช้ามากกินเวลานานับปี เช่นเดียวกับปูนขาวอิสระ การรวมตัวกับน้ำจะเกิดขึ้นหลังจากที่ซีเมนต์เพสต์ก่อตัวแล้ว การมีแมกนีเซียมออกไซด์ผสมอยู่อาจทำให้เกิดความไม่คงตัว และเนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างแมกนีเซียมออกไซด์กับน้ำช้ามาก ดังนั้นการทดสอบเพื่อหาความไม่คงตัวของแมกนีเซียมออกไซด์จะใช้วิธีการทดสอบอโตคลอว์ (autoclave) เพื่อเร่งปฏิกิริยาให้เกิดเร็วขึ้นซึ่งเป็นการวัดผลรวมของความไม่คงตัวที่เกิดจาก MgO และ CaO
- 4) ออกไซด์ของอัลคาไล มีอยู่ประมาณร้อยละ 0.5-1.3 ในปูนซีเมนต์แต่จะมีบทบาทสำคัญในกรณีที่มีมวลรวม ซึ่งได้แก่ รายและหิน สามารถทำปฏิกิริยากับอัลคาไล มวลรวมจำพวกนี้เป็นพวกซิลิกาที่ว่องไวและทำปฏิกิริยาบออกไซด์ของอัลคาไลได้ จึงเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาอัลคาไลซิลิกา (Alkali-silica reaction) ปฏิกิริยานี้ทำให้เกิดอัลคาไลเจล (Alkali-silica gel) ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวและอาจทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้
- 5) ฟอสฟอรัสเพนทอกไซด์ (P_2O_5) มีอยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ทำปูนซีเมนต์บางแหล่งส่วนมากมาจากหินปูนและมักมีอยู่ไม่เกินร้อยละ 0.1 – 0.2 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ สารนี้ทำให้ปูนซีเมนต์แข็งตัวช้าเนื่องจาก P_2O_5 ทำให้ C_3S สลายตัวเป็น C_2S กับ CaO (ปริญญา จินดาประเสริฐ และคณะ , 2551)

2.2.4 การเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์

ปฏิกิริยาไฮเดรชันในซีเมนต์เป็นปฏิกิริยาที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของซีเมนต์ ไปสู่สภาพของการเป็นวัสดุเชื่อมประสานซึ่งแข็ง แน่น และมีมวลมาก โดยจะเกิดขึ้นเมื่อมีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องหรือสัมผัสกับน้ำ สารประกอบหลักจำพวกซิลิเกต (Silicate) และอลูมิเนต (Aluminate) จะทำปฏิกิริยากับน้ำก่อให้เกิดผลผลิตจากการไฮเดรชัน (Hydration Products)

1) ปฏิกิริยาของ C_3S และ C_2S (Tri – and Bi- Calcium Silicate)

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S และ C_2S เป็นปฏิกิริยาที่ให้ผลผลิตสำคัญ คือ CSH หรือ Calcium Silicate Hydration ($C_3S_2H_3$) และ CH หรือ Calcium Hydroxide ($Ca(OH)_2$) โดยเขียนเป็นสมการได้ดังนี้



จากสมการด้านบนที่ให้ พบว่าความร้อนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S นั้นเป็นปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนสูง ในขณะที่ของ C_2S จะเป็นปฏิกิริยาที่ให้ความร้อนต่ำ อัตราเร็วของการเกิดปฏิกิริยาเป็นลักษณะปานกลางจนถึงช้า

กระบวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S และ C_2S นั้นเป็นกระบวนการที่ไม่คงที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา นอกจากนี้ยังมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่รุนแรง (Exothermic Reaction) อัตราการเกิดความร้อนวัดได้ในรูปของความร้อนที่เกิดขึ้นต่อมวลหนึ่งหน่วยในปฏิกิริยาแต่ละครั้ง ไม่ว่าจะเป็นการแยกตัวกัน (Breaking bond) หรือรวมตัวกัน (Making Bond) ในกรณีของ C_3S ในช่วง 36 ชั่วโมงแรกเป็นไปดังรูปที่ 2.5 พบว่าอัตราการเพิ่มขึ้นของความร้อนที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงทำให้เกิดจุดสูงสุดถึงสองครั้ง จุดสูงสุดแรก หรือ stage 1 จะเรียกว่าช่วงการเพิ่มความร้อนอย่างรวดเร็ว (Rapid evolution of heat) เกิดขึ้นเมื่อผิวของเม็ดปูนแห้งสัมผัสกับน้ำและปล่อย Calcium ion และ Hydroxide ion ออกมาอย่างทันทีทันใด ช่วงนี้ระยะเวลาจะสั้นมาก จากนั้นกระบวนการเกิดความร้อนจะเริ่มช้าลงจนเกือบหยุด ซึ่งถือช่วงที่ 2 นี้เป็นช่วงสงบ (Dormant หรือ Induction Period) เป็นช่วงที่ซีเมนต์จะคงอยู่ในสถานะเหลวและคงความสามารถในการทำงานได้ (Workable) จะกินเวลาประมาณ 2-3 ชั่วโมง ช่วงที่ 3 และ 4 ถัดมาเป็นช่วงที่ผิวของเม็ดปูนเริ่มมีการแตกตัวอีกครั้งเนื่องจากการขยายตัวของ CSH จากภายในเม็ดปูน ปฏิกิริยาไฮเดรชันเริ่มขึ้นอีกครั้งเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของความร้อน ช่วงนี้เป็นช่วงเริ่มต้นของการก่อตัว (Setting) โครงสร้างของ CSH เริ่มฟอร์มตัว มีปริมาตรของแข็งขยายตัวเพิ่มขึ้นและเริ่มสัมผัสกัน ทำให้สูญเสียความสามารถในการทำงาน อัตราการเกิดความร้อนในช่วงนี้จะเข้าสู่จุดสูงสุดครั้งที่ 2 ในช่วงเวลาประมาณ 4-10 ชั่วโมง จากนั้นก็จะลดลงอย่างช้า ๆ เข้าสู่ช่วงที่ 5 กระบวนการเกิด CSH จะยังคงดำเนินไปอย่างช้า ๆ ราบใต้อย่างมีอนุภาค C_3S และ C_2S ที่ยังไม่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและน้ำหลงเหลืออยู่

ผลผลิตตัวที่ 2 เรียกสั้นๆว่า โมโนซัลโฟลูมิเนต (Monosulfo-aluminate) เป็นองค์ประกอบพื้นฐานของปัญหาการถูกรบกวนจากซัลเฟต โดยตัวมันเองจะทำปฏิกิริยากับซัลเฟตที่มาจากภายนอกเกิดเป็น Ettringite อีกตัวที่มีการขยายตัวสูง โดยที่ Monosulfo-aluminate นี้สามารถป้องกันไม่ให้เกิดหรือให้เกิดขึ้นได้น้อย

2) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_4AF

ผลผลิตจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_4AF นั้นจะเหมือนกับที่ได้จากของ C_3A โดยที่ไม่มียิปซัมเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังแสดงด้านล่าง



ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นค่อนข้างช้าและให้ความร้อนที่ต่ำซึ่งแทบจะไม่มีผลต่อความร้อนของปฏิกิริยาของซีเมนต์โดยรวม การเติมยิปซัมเข้าไป ยิ่งไปชะลอการเกิดปฏิกิริยาให้ช้าออกไปอีกได้มากกว่าในกรณีของ C_3A สมการด้านบนวงเล็บ (A,F) หมายความว่าผลผลิตที่ได้อาจจะอยู่ได้ทั้งในรูปของเหล็ก (Ferrite) และอลูมินา (Alumina) ซึ่งกรณีที่โมโนซัลโฟลูมิเนตที่ได้ อยู่ในรูปของ Ferrite จะพบว่าการเกิดปฏิกิริยากับซัลเฟตจากภายนอกก็จะลดลง ทั้งนี้สันนิษฐานกันว่า น่าจะเนื่องมาจากการที่โมโนซัลโฟลูมิเนตในรูปของ Ferrite (Iron-substituted Monosulfo-aluminate) นั้น อาจจะทำให้ปฏิกิริยากับซัลเฟตเกิดเป็น Ettringite ไม่ได้ (ปิติ สุคนธสุขกุล. 2556)

2.2.5 ประเภทของปูนซีเมนต์

สมาคมทดสอบวัสดุอเมริกัน (ASTM C 150) และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 15) แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภท ดังต่อไปนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีต หรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ที่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และสำหรับใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ที่ไม่อยู่ในภาวะอากาศที่รุนแรง หรือในที่ที่มีอันตรายจากซัลเฟตพิเศษ หรือความร้อนที่เกิดจากการรวมตัวกับน้ำจะไม่ทำให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงขั้นอันตรายที่คอนกรีตจะแตกร้าวเสียหาย

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified Portland Cement) สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตได้ปานกลาง เช่น งานสร้างเขื่อนคอนกรีต กำแพงกันดินหนาๆ หล่อท่อคอนกรีตขนาดใหญ่ ตอม่อสะพาน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงต่ำกว่าปูนซีเมนต์ประเภท 1

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์แข็งเร็ว (High – early Strength Portland Cement) หรือที่เรียกว่าซูเปอร์ซีเมนต์ ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทนี้ให้กำลังรับแรงสูงในระยะแรก เร็วกว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 มีเนื้อเป็นผงละเอียดกว่าปูนซีเมนต์แลนต์ธรรมดา ผลิตโดยการเปลี่ยนสัดส่วนผสม (เพิ่ม C_3S และ C_2S) หรือโดยการเติมสารอื่น โดยการบดให้ละเอียดยิ่งขึ้น หรือโดยการเผาให้ดีขึ้น มีประโยชน์สำหรับทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานเร็ว หรือรีบแบบเร็ว เช่น เสาค้ำคอนกรีต ถนนพื้นและคาน ที่ต้องถอดแบบเร็ว เป็นต้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ยังเหมาะกับการทำคอนกรีตในอากาศหนาว คอนกรีตที่หล่อด้วยปูนซีเมนต์ประเภทนี้เพียง 3 วัน จะมีกำลังเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ธรรมดาที่หล่อแล้วได้ 28 วัน

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำสุด อัตราการเกิดกำลังคอนกรีตเป็นไปอย่างช้าๆ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ใช้มากในการก่อสร้างคอนกรีตหนา เช่น เขื่อน เนื่องจากอุณหภูมิของคอนกรีตต่ำกว่าปูนซีเมนต์ชนิดอื่นขณะก่อตัวและแข็งตัว

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตได้สูง (Sulfate – Resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ชนิดที่ต้านทานซัลเฟตได้สูงกว่าปูนซีเมนต์ประเภทอื่นๆ (มี C_3A ต่ำสุด) สำหรับใช้กับโครงสร้างที่อยู่ในที่ที่มีการกระทำของซัลเฟตรุนแรง เช่น น้ำ หรือดินที่มีค่า (Alkaline) สูง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มีระยะเวลาการแข็งตัวช้ากว่าประเภทที่ 1

ตารางที่ 2.2 ปริมาณร้อยละของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทต่างๆ (วินิต ช่อวิเชียร , 2544)

สารประกอบ	ประเภทที่ 1	ประเภทที่ 2	ประเภทที่ 3	ประเภทที่ 4	ประเภทที่ 5
ไตรซิลเซียมซิลิเกต : C_3S	49	46	56	30	43
ไดซิลเซียมซิลิเกต : C_2S	25	29	15	46	36
ไตรซิลเซียมอลูมิเนต : C_3A	12	6	12	5	4
เทรากลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ : C_4AF	8	12	8	13	12

2.3. มวลรวม

มวลรวมที่ใช้ในคอนกรีตมีหลายขนาด ตั้งแต่ขนาดใหญ่ไปจนถึงขนาดเล็ก โดยสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้ดังนี้

- 1) มวลรวมละเอียด (Fine Aggregates) โดยทั่วไปมีขนาดตั้งแต่ 75 μm จนถึง 4.75 mm (ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 และค้างบนตะแกรงเบอร์ 200) ส่วนมากเป็นวัสดุจำพวกทราย โดยแบ่งออกเป็น ทรายหยาบ ทรายละเอียด ฝุ่นผง และดินเหนียว ตามขนาด
- 2) มวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) โดยมากเป็นวัสดุจำพวกกรวด หิน ที่มีขนาดมากกว่า 4.75 mm ขึ้นไป

2.3.1 คุณสมบัติของมวลรวม

มวลรวม ควรีคุณสมบัติที่ทำให้คอนกรีตนั้นมีความสามารถที่ได้ง่าย แข็งแรง คงทน และมีราคาประหยัด นอกจากนี้ มวลรวมควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้ คือ

- 1.ความแข็งแรง (Strength) มวลรวมจะต้องมีความสามารถรับแรงกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังของคอนกรีตที่ต้องการ ซึ่งปกติมวลรวมที่ใช้โดยทั่วไปจะมีความสามารถรับแรงกดได้สูงกว่าคอนกรีตมาก คือจะรับแรงได้ 700-3500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ขึ้นกับประเภทของมวลรวมที่ใช้
- 2.ความต้านทานต่อแรงกระแทกและการขัดสี (Impact and Abrasion Resistance) ความสามารถในการต้านทานแรงกระแทกและการขัดสีของมวลรวม เป็นคุณสมบัติที่สามารถใช้เป็นตัวชี้บอกถึง

คุณภาพของมวลรวม และมีความสำคัญมากสำหรับมวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีตที่ต้องรับแรงกระแทกหรือการขัดสี

3.ความคงทนต่อปฏิกิริยาเคมี (Chemical Stability) มวลรวมจะต้องไม่ทำปฏิกิริยาเคมี กับปูนซีเมนต์หรือกับสิ่งแวดล้อมภายนอก ในบางพื้นที่มวลรวมบางประเภทสามารถ ทำปฏิกิริยากับด่าง (Alkali) ในปูนซีเมนต์ได้ ก่อให้เกิดเป็นวัณและขยายตัวจนเกิดรอย แตกร้าวกระจายอยู่ที่บริเวณผิวหน้าคอนกรีต ซึ่งเรียกปฏิกิริยานี้ว่า ปฏิกิริยาระหว่าง ด่างกับมวลรวม (Alkali-Aggregation Reaction)

4.รูปร่างและลักษณะผิว (Particle Shape and Surface Texture) รูปร่างและลักษณะผิว ของมวลรวม มีอิทธิพลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมากกว่าคุณสมบัติของคอนกรีต แข็งตัวแล้ว มวลรวมที่ผิวหยาบ มีรูปร่างแบน หรือมีรูปร่างเรียวยาว จะทำให้คอนกรีตมีความต้องการปริมาณซีเมนต์เพสต์มากกว่าที่ใช้มวลรวมรูปร่างกลม หรือเหลี่ยม ที่ระดับความสามารถเท่าได้ (Workability) เดียวกัน (คมสัน มาลีสี ,2559)

2.3.2 ความชื้นและการดูดซึมของมวลรวม

โครงสร้างในแต่ละก้อนของมวลรวม ประกอบด้วยเนื้อของแข็งและช่องว่าง (Void) หรือรูพรุน (Pore) ซึ่งบางส่วนอยู่ในเนื้อวัสดุและบางส่วนอยู่ที่ผิววัสดุ ช่องว่างเหล่านั้นจะดูดความชื้นในอากาศเข้าไปเก็บไว้ สภาพความชื้นของมวลรวมแบ่งได้เป็น 4 แบบ

- 1.แห้งด้วยเตาอบ (Oven dry : D) หรือแห้งสนิทโดยตลอด เนื่องจากความชื้นถูกขับออกหมดด้วยความร้อนในเตาอบ ในสภาวะนี้วัสดุผสมสามารถดูดซึมความชื้นได้เต็มที่
- 2.แห้งด้วยอากาศ (Air dry : A) หรือแห้งที่ผิว มีความชื้นอยู่บ้างภายในช่องว่างในปริมาณที่น้อยกว่าสภาวะ อิ่มตัวและผิวแห้ง ดังนั้นวัสดุผสม จึงอาจดูดซึมความชื้นได้อีก
- 3.อิ่มตัวและผิวแห้ง (Saturated Surface – dry : SD) เป็นสภาวะที่ดีที่สุด มีความชื้นอยู่เต็มภายในช่องว่างแต่ผิวรอบนอกแห้ง ในสภาวะนี้วัสดุผสมจะไม่คายน้ำออกหรือดูด
- 4.น้ำจากคอนกรีตขึ้นหรือเปียก (Damp or Wet : W) เป็นสภาวะที่ปริมาณความชื้นสูงมากเกินไป โดยมีความชื้นอยู่เต็มภายในช่องว่างและมีน้ำเกาะหรือหุ้มที่ผิวของก้อนวัสดุอยู่ด้วย วัสดุผสมยิ่งละเอียด ความชื้นที่ผิวยิ่งมาก (วินิต ช่อวิเชียร , 2544)

2.4. น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญยิ่งในการผลิตคอนกรีต เพราะนอกจากจะมีผลกระทบต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตสดและต่อกำลังงานความทนทานของคอนกรีตเมื่อแข็งตัวแล้ว หากแบ่งประเภทของน้ำตามการใช้งาน จะได้แก่ 1) น้ำสำหรับผสมคอนกรีตให้มีความชื้นเลวทำงานง่าย 2) น้ำสำหรับบ่มคอนกรีตให้แข็งตัวและมีกำลังรับแรงได้ตามต้องการ 3) น้ำสำหรับล้างวัสดุผสมให้สะอาดก่อนใช้ผสมคอนกรีต (วินิต ช่อวิเชียร , 2544)

น้ำสำหรับผสมคอนกรีต (Mixing water) น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2000 ppm. ปราศจากกรด ต่าง และน้ำมันและสารอินทรีย์อื่นๆ ในปริมาณที่จะเป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม

หน้าที่หลักของน้ำผสมคอนกรีต

1. ทำหน้าที่ผสมเข้ากับปูนซีเมนต์และทำปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดความร้อน ที่เรียกว่า heat of hydration
2. ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียก เพื่อให้ปูนซีเมนต์เข้าเกาะโดยรอบและแข็งตัวยึดติดกันแน่น
3. ทำหน้าที่หล่อลื่นให้วัสดุทั้ง 3 อย่างนี้ เกิดความเลว สามารถเทและกระทุง หรือเขย่าแบบหล่อให้เป็นรูปต่างๆได้

น้ำสำหรับบ่มคอนกรีต (water for curing concrete) น้ำที่มีสารเจือปนผสมอยู่พอสมควร อาจใช้ในการบ่มคอนกรีตได้โดยไม่ทำให้เกิดรอยเปื้อนหรือสีบนผิวคอนกรีตมากนัก น้ำที่มีกรดหรือสารอินทรีย์เจือปนจะต้องได้รับการตรวจสอบก่อนนำไปใช้ จะต้องระวังสารอินทรีย์พวกกรดแทนนิก (tannic acid) กลีของแร่เหล็ก เพราะอาจก่อให้เกิดรอยเประบนผิวคอนกรีต

น้ำสำหรับล้างวัสดุมวลรวม (washing water) การใช้น้ำที่มีสารเจือปนล้างวัสดุมวลรวมให้สะอาดก่อนที่จะนำมาใช้ผสมทำคอนกรีตนั้น สารเจือปนเหล่านี้จะไปเคลือบอยู่บนผิวของวัสดุมวลรวม และอาจเป็นสาเหตุให้เนื้อคอนกรีตผุกร่อน คอนกรีตแข็งตัวช้าหรือกำลังลดลง

2.5.มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (มอก.827-2531)

2.5.1 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า “บล็อก” หมายถึง ก้อนคอนกรีตตันที่สามารถนำมาเรียงประสมกันได้อย่างต่อเนื่อง มีสีตามธรรมชาติ หรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งบล็อก หรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าและจะมีรูปร่างแบบใดก็ได้ เหมาะสำหรับใช้ปูพื้น เช่น ถนน ทางเท้า ลาดจอดรถ และลานกองเก็บวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรออกแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้น ให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน

ชั้นผิวหน้า หมายถึง ชั้นผิวของบล็อกส่วนที่รับการเสียดสี และอาจมีการลบมุมด้วยก็ได้

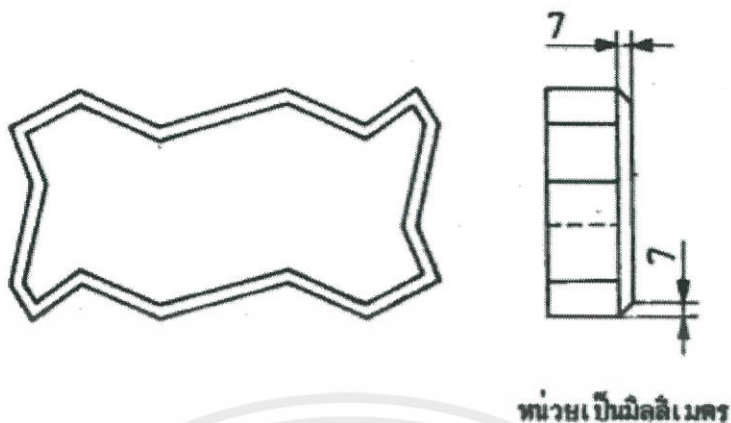
ความได้ฉาก (Squareness) หมายถึง ความได้ฉากของด้านข้างโดยรอบกับพื้นผิวล่างของบล็อก และการขนานกันของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่าง

2.5.2 ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อน

มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของบล็อก ให้เป็นไปตามตารางที่ 2.3 การลบมุม (ถ้ามี) ต้องไม่เกิน 7 มิลลิเมตร (ดูรูปที่ 5.1)

ตารางที่ 2.3 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของบล็อก หน่วยมิลลิเมตร

มิติ	เกณฑ์ที่กำหนด	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้างและความยาว	ไม่เกิน 295	±2
ความหนา	60	±2
	80	±2
	100	±3
	120	±3
ความหนาของชั้นผิวหน้า (เฉพาะชั้นผิวหน้าที่ทำเป็นสี)	ต่ำสุด 3	



รูปที่ 2.3 การลบบวม

2.5.3 คุณลักษณะที่ต้องการ

1) ลักษณะทั่วไป

บล็อกต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าว และสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ การทดสอบให้ทำโดยการตรวจพินิจ

2) ความได้ฉาก

1. บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

2. บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาเกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

3) ความต้านแรงอัด

ความต้านแรงอัดของบล็อกแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะพาสคัล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะพาสคัล

2.5.4 การทดสอบ

1. มิติ

1.1) ความกว้างและความยาว

ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียด 1.0 มิลลิเมตร วัดความกว้างและความยาวของบล็อกตัวอย่างบริเวณที่กว้างและยาวมากที่สุด

1.2) ความหนา

1. ความหนาของบล็อก ใช้เครื่องวัดที่วัดได้ละเอียด 1.0 มิลลิเมตร วัดความหนาของบล็อก ตัวอย่าง (รวมชั้นผิวหน้า) 4 แห่งแล้วรายงานผลเป็นค่าเฉลี่ย
2. ความหนาของชั้นผิวหน้า หักบล็อกตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบความต้านแรงอัดแล้วออกเป็น 2 ชิ้น แล้ววัดความหนาของชั้นผิวหน้าของชิ้นตัวอย่างด้วยเครื่องวัดที่วัดได้ละเอียดถึง 0.5 มิลลิเมตร โดยวัดอย่างน้อย 4 แห่ง

หมายเหตุ ชิ้นตัวอย่าง ที่นำมาวัดความหนาของชั้นผิวหน้า อย่างน้อยต้องมีพื้นที่ 1 ใน 4 ของ ชิ้นตัวอย่างเต็มก้อน และตำแหน่งที่วัดแต่ละตำแหน่งควรเป็นบริเวณที่มีความหนาของชั้นผิวหน้าสม่ำเสมอ และไม่เป็นบริเวณที่มีการลอบมุม

2. การลอบมุม (ถ้ามี)

ใช้เครื่องวัดที่วัดละเอียดถึง 1.0 มิลลิเมตร

3. ความได้ฉาก

3.1. ความได้ฉากของด้านข้างโดยรอบกับพื้นผิวล่างของบล็อก

3.1.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) พื้นเรียบสม่ำเสมอและได้ระดับ
- (2) เครื่องวัดแบบสอด
- (3) เหล็กฉาก

3.1.2. วิธีวัด

วัดความเบี่ยงเบนของความได้ฉากของด้านข้างกับพื้นผิวล่างของบล็อกตัวอย่างทุกๆด้าน ด้านละ 1 แห่ง

3.2. ความได้ฉากของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่างของบล็อก

3.2.1. เครื่องมือและอุปกรณ์

- (1) พื้นเรียบสม่ำเสมอและได้ระดับ
- (2) เครื่องวัดแบบมีหน้าปัด พร้อมขาตั้ง

3.2.2. วิธีวัด

วางบล็อกตัวอย่างด้านที่เรียบและสม่ำเสมอพื้นเรียบสม่ำเสมอและได้ระดับ แล้วใช้เครื่องวัดแบบมีหน้าปัดวัดความเบี่ยงเบนของความได้ฉากของพื้นผิวหน้ากับพื้นผิวล่าง

4. ความต้านแรงอัด

4.1. เครื่องมือ

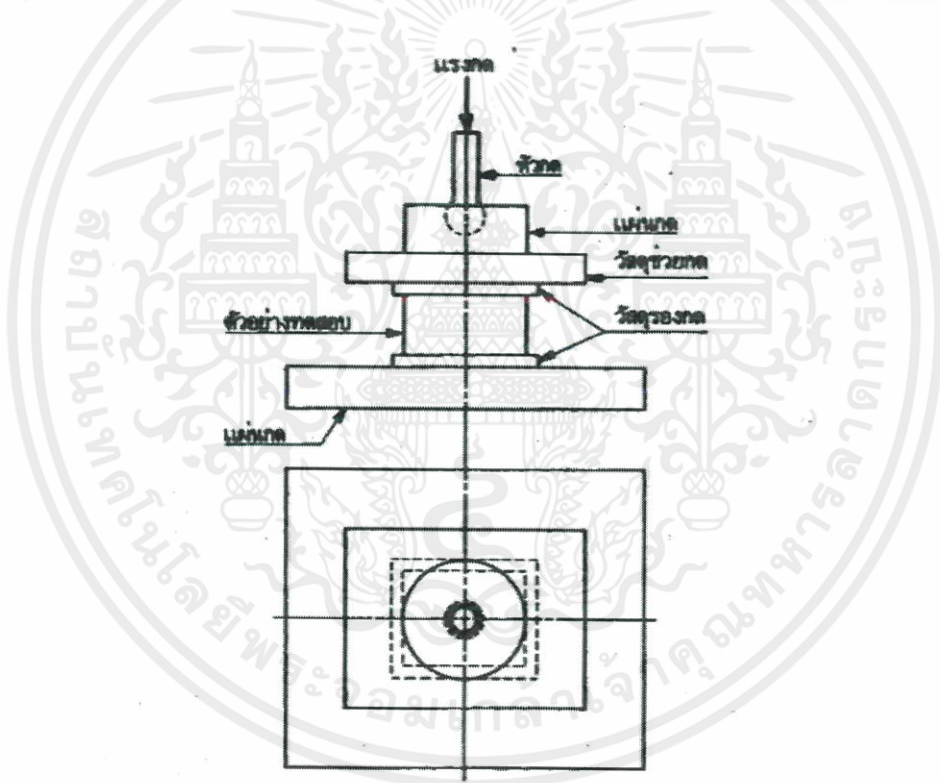
4.1.1 เครื่องทดสอบแรงกดที่ให้แรงกดได้ไม่น้อยกว่า 1000 กิโลนิวตัน และสามารถปรับความเร็วในการเพิ่มแรงกดได้

4.1.2 แผ่นกด (ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.2)

แผ่นกดแต่ละแผ่นต้องหนาไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร ทำด้วยวัสดุที่มีความแข็งไม่น้อยกว่า 60 HRC สำหรับแผ่นกดบนสามารถปรับหมุนได้ทุกทิศทาง และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร

4.1.3 วัสดุช่วยกด (ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.2)

ในกรณีที่พื้นที่ของแผ่นกดแผ่นบน ไม่ครอบคลุมพื้นที่ของบล็อกตัวอย่างได้ทั้งหมด ให้ใช้วัสดุช่วยกดที่หนาไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตร และมีความแข็งไม่น้อยกว่า 60 HRC ช่วยกด



รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแผ่นกด วัสดุช่วยกดและวัสดุรองกด และตำแหน่งทดสอบ

4.1.4 วัสดุรองกด (ดังตัวอย่างในรูปที่ 5.2)

วัสดุรองกดที่ใช้ต้องเป็นกระดาษแข็งหรือไม้อัด หรือไม้อัด หรือไม้เนื้ออ่อน หรือแผ่นยาง หนาไม่น้อยกว่า 4 มิลลิเมตร และต้องมีพื้นที่ครอบคลุมพื้นที่บล็อกตัวอย่าง

4.2 วิธีทดสอบ

4.2.1. จัดแนวศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่าง (ในกรณีที่รูปทรงสมมาตร ศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่างคือจุดรวมมวล) หัวกด แผ่นกด และวัสดุช่วยกด (ถ้ามี) ให้อยู่ในแนวเดียวกัน (ดูรูปที่ 5.2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.2. กดบล็อกตัวอย่าง โดยเพิ่มแรงกดในอัตราที่สม่ำเสมอจนได้แรงกดประมาณครึ่งหนึ่งของแรงกดสูงสุดที่คาดว่าบล็อกตัวอย่างจะรับได้ เพิ่มแรงกดในอัตราที่สม่ำเสมอจนถึงแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้ ภายในเวลา 1 ถึง 2 นาที บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้

4.2.3. วิธีคำนวณ

คำนวณหาค่าความต้านแรงอัดของบล็อก เป็นเมกะพาสคัลจากสูตร

$$P = \frac{F \times C}{A}$$

เมื่อ P คือ ความต้านแรงอัด เป็นเมกะพาสคัล

F คือ แรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้ เป็น นิวตัน

C คือ ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด

A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่รับแรงกดของบล็อกตัวอย่าง เป็นตารางมิลลิเมตร

หมายเหตุ 1. ในกรณีที่คำนวณพื้นที่ผิวหน้า ที่รับแรงกดของบล็อกตัวอย่างได้ยาก อาจใช้วิธีหาพื้นที่ดังนี้ วางแผ่นพลาสติกใสทาบบนผิวหน้าบล็อกตัวอย่าง ใช้ปากกาเขียนพลาสติกขีดตามเส้นรอบรูปของผิวหน้า แล้วนำแผ่นพลาสติกใสไปลอกลงบนกระดาษคาร์ดขนาด 100 มิลลิเมตร ยาว 200 มิลลิเมตร ด้วยกระดาษคาร์บอน หลังจากนั้นใช้กรรไกรตัดตามเส้นที่ขีดไว้อย่างประณีต แล้วนำแผ่นกระดาษคาร์ดที่ได้ไปชั่ง และอ่านค่าให้ละเอียดถึง 0.01 กรัม แล้วคำนวณหาพื้นที่ จากสูตร

$$A = 20\,000M/M_1$$

เมื่อ A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่รับแรงกดของบล็อกตัวอย่าง เป็นตารางมิลลิเมตร

M คือ มวลของกระดาษคาร์ดที่แสดงพื้นที่ผิวหน้าแบบเดียวกับบล็อกตัวอย่าง เป็นกรัม

M1 คือ มวลของกระดาษคาร์ด วัสดุห่อหุ้มเป็นกรัม

2. ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัดให้เป็นไปตามตารางที่

ตารางที่ 2.5 ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด

ความหนาของบล็อก มิลลิเมตร	ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด	
	ไม่มีการลวมุม	มีการลวมุม
60	1.00	1.03
80	1.12	1.18
100	1.18	1.24
120	1.21	1.27

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Natarajan Venugopal (2552) ได้ทำการศึกษาคำแนะนำเอาขยะพลาสติกมาแทนที่มวลรวมหายาบในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยการนำเอาขยะพลาสติกที่ร่อนานตะแกรงเบอร์ 8 (หรือ ผ่าน 2.36 มิลลิเมตร) โดยใช้ขยะพลาสติกที่ 0% 2% 4% 6% 8 และ 10% แทนที่มวลรวมหายาบ และได้นำเอาตัวอย่างมาทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ได้ข้อสรุปว่า ยิ่งเปอร์เซ็นต์ของพลาสติกที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 มาก กำลังรับแรงอัดก็จะลดลง ดังนั้นงานวิจัยการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมขยะประเภทถุงพลาสติก จึงนำเอาขยะพลาสติกที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 มาใช้ในงานวิจัย

Laddawan Lapcharasangroj ได้ศึกษาคำแนะนำเอาขยะพลาสติกและผักตบชวามาแทนที่วัสดุในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งผู้วิจัยได้ทำการนำเอาขยะพลาสติก มาใช้แทนที่ในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ไม่ได้กำหนดขนาดของขยะพลาสติกที่ใช้ในการผสม โดยใช้เปอร์เซ็นต์ขยะพลาสติกในการผสมมีดังนี้ 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4 ละ 0.5 และได้นำเอาตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ได้ข้อสรุปว่า การผสมขยะพลาสติกที่ 0.2 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุด

อาทร ชูพลสัต์ย์และคณะ (2556) ได้ทำการศึกษาล็อกประสานปูพื้นขยะคอนกรีต ว่ามีความเหมาะสมกับการใช้ในงานก่อสร้างหรือไม่ โดยทำการเปรียบเทียบกับบล็อกประสานโดยทั่วไป ที่อัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ต่อฝุ่นต่อนินเท่ากับ 1:5, 1:7 และ 1:8 โดยน้ำหนัก ทดสอบหลังการอัดที่ระยะเวลา 3 วัน 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน จากการศึกษาพบว่าบล็อกประสานที่ผลิตได้จากฝุ่นหินมีค่าความสามารถรับกำลังอัด การดกกลืน ความหนาแน่นแห้ง การสึกหรอ และการนำความร้อน มีค่าอยู่

ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้เมื่อเปรียบเทียบกับบล็อกประสานโดยทั่วไป ตามเกณฑ์ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนบล็อกประสาน มผข. 602-2547 กระทรวงอุตสาหกรรม โดยอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อคอนกรีตเก่าส่วนผสมที่ 1 เท่ากับ 1:5 มีค่ากำลังอัดสูงสุดเฉลี่ย 105.58 ksc ที่อายุ 28 วัน อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อฝุ่นหินส่วนผสมที่ 2 เท่ากับ 1:7 มีค่ากำลังอัดสูงสุดเฉลี่ย 87.37 ksc. ที่อายุ 28 วัน อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อคอนกรีตเก่าส่วนผสมที่ 3 เท่ากับ 1:3 82.12 ksc. ที่อายุ 28 วัน จากมาตรฐานการผลิตตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนบล็อกประสาน มผข. 602-2547 กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนดเกณฑ์บล็อกประสานอัดแรงได้เท่ากับ 70 ksc. เพราะฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าฝุ่นหินสามารถนำมาใช้ผลิตบล็อกประสานได้อย่างดีในทุก ๆ อัตราส่วนผสม จึงนับว่าการนำเอาวัสดุเหลือทิ้งมาสร้างมูลค่าเพิ่ม และเป็นการลดวัสดุเหลือทิ้งที่ทำให้ลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

เพชรพร เชาวกิจเจริญ และคณะ (2555) งานวิจัยนี้ศึกษาการนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุแทนที่ในทรายบางส่วนที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยใช้ผงหินปูนร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ตลอดจนศึกษา ลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมี เช่น การกระจายขนาดคละของมวลรวม ความสามารถในการชะละลาย กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำโดยเปลี่ยนอัตราส่วน ผสมในทราย โดยใช้ของเสียประเภทฉลากกระดาษเป็นร้อยละ 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 7.5, 10 และ 20 โดยน้ำหนักของทราย และแปรผันอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้สัดส่วนต่อทรายต่อหินเกล็ดในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คือ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนวัสดุของของเสียประเภทฉลากกระดาษที่ร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักของทราย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การศึกษาการนำขยะพลาสติกนำมาผสมลงในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งขยะพลาสติกเป็นขยะที่มีจำนวนมาก และใช้เวลานานให้การย่อยสลาย เพื่อเพิ่มทางเลือกในการนำขยะพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์ โดยที่นำขยะพลาสติกมาผสมกับซีเมนต์ ทราย หิน น้ำ และศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผสมขยะพลาสติก

3.1 ขั้นตอนการศึกษา



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 วัสดุ

วัสดุ

1. ซีเมนต์ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1ที่ใช้กันทั่วไปในงานโครงสร้างทั่วไป
2. พลาสติก เป็นพลาสติกที่ผ่านการใช้งานแล้ว ประเภทถุงพลาสติก ไม่ได้ผ่านกระบวนการรีไซเคิลใด ๆ แต่ทำการบั่นฉีกให้มีขนาดเล็กลง โดยซื้อจากร้านขายของเก่าทั่ว นำขยะที่ผ่านการบั่นฉีกมา ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์8 และที่ผ่านตะแกรงเบอร์8ไปใช้ผสม
3. หินเกล็ด เป็นหินเกล็ดที่มีตามท้องตลาดทั่วไป
4. ทรายหยาบ เป็นทรายที่ขายตามท้องตลาดทั่วไป โดยที่นำมาผสมใช้ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8
5. น้ำ เป็นน้ำประปาสะอาด

3.3 สัดส่วนการผสม

1. อัตราส่วนของ ซีเมนต์ : หินเกล็ด : ทราย ใช้อัตราส่วนอยู่ที่ 1 : 2.7 : 2.3 (อ้างอิงอัตราส่วนของ SCC) โดยมี 2 ขนาด คือความหนา 4 เซนติเมตร และ 6 เซนติเมตร
2. อัตราส่วนน้ำ (w/c) ทำการสูบน้ำปริมาณน้ำเพื่อหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพราะ ถ้าหากปริมาณน้ำมากหรือน้อยเกินไปจะทำให้หน้าตัวอย่างออกจากแบบไม่ได้
3. อัตราส่วนพลาสติก ใช้ 0.1 % 0.2 % 0.3 % โดยน้ำหนัก

3.3.1 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น 1 ตัวอย่าง

1. ความหนา 6 เซนติเมตร จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 0.51 กิโลกรัม หินเกล็ด 1.377 กิโลกรัม ทราย 1.173 กิโลกรัม น้ำ 127.5 มิลลิลิตร (ตาม w/c=0.25) พลาสติก 0.1% เท่ากับ 3.207 กรัม พลาสติก 0.2% เท่ากับ 6.414 กรัม พลาสติก 0.3% เท่ากับ 9.621 กรัม
2. ความหนา 4 เซนติเมตร จะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 0.35 กิโลกรัม หินเกล็ด 0.949 กิโลกรัม ทราย 0.805 กิโลกรัม น้ำ 87.5 มิลลิลิตร (ตาม w/c=0.25) พลาสติก 0.1% เท่ากับ 2.205 กรัม พลาสติก 0.2% เท่ากับ 4.410 กรัม พลาสติก 0.3% เท่ากับ 6.615 กรัม

3.4 การเตรียมตัวอย่าง

เป็นการเตรียมตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งจะเป็นการผสมแบบแห้งใช้น้ำในปริมาณที่น้อยโดยน้ำที่ได้มาจากกลุ่มหาค่าที่เหมาะสมเพื่อให้สามารถยกตัวอย่างออกจากแบบได้

อุปกรณ์

1. เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
2. เกรียงใบโพธิ์
3. ตู้อบ
4. เครื่องชั่งที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม
5. บีกเกอร์
6. ตะแกรง เบอร์ 8 เบอร์ 30
7. ถาดผสม

ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง

1. เตรียมปูนซีเมนต์ ทราย หินเกล็ด น้ำและพลาสติก
2. ผสมปูนซีเมนต์กับทราย โดยใช้เกรียงคลุกเคล้าให้เข้ากัน
3. นำพลาสติกที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 มาผสม ปูนซีเมนต์ และทรายโดยใช้เกรียงคลุกเคล้าให้เข้ากัน
4. นำหินเกล็ดมาผสมเข้ากับปูนซีเมนต์ทรายและพลาสติกที่ผสมไว้โดยใช้เกรียงคลุกเคล้าให้เข้ากัน
5. นำน้ำมาผสมกับปูนซีเมนต์ทรายพลาสติกและหินเกล็ดและคลุกเคล้าให้เข้ากัน
6. นำส่วนผสมไปเข้าเครื่องอัดบล็อกคอนกรีตประสานปูพื้น



รูปที่ 3.1 เครื่องอัดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น



รูปที่ 3.2 ตะแกรงเบอร์ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การเก็บข้อมูล

3.5.1 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด

ASTM C 128 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทรายที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัมหรือ 0.1% ของน้ำหนักทรายที่ใช้ทดสอบโดยใช้ค่าที่ละเอียดเป็นเกณฑ์
2. ขวดทดลองรูปชมพู่ (Volumetric Flask) ขนาดความจุ 500 ลบ. มีความแม่นยำในการวัดผิดพลาดไม่เกิน 0.1 ลบ.ซม.
3. กรวยตัดเส้นศูนย์กลางภายในด้านบน 40 ± 3 มม. สูง 75 ± 3 มม. และความหนาอย่างน้อย 0.8 มม.
4. เหล็กกระทุ้ง (Tampers) ที่มีขนาดน้ำหนัก 340 ± 3 มม. เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 ± 3 มม.
5. ตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
6. เทอร์โมมิเตอร์
7. ถาดแอสตนเลส

การเตรียมตัวอย่าง

1. ใช้ทรายตัวอย่างประมาณ 1,000 กรัม อบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ และปล่อยให้อุณหภูมิของตัวอย่างเย็นลง
2. นำทรายไปแช่น้ำทิ้งไว้ 24 ชม. แล้วค่อยๆรินน้ำออกจากภาชนะบรรจุตัวอย่าง โดยระวังไม่ให้ทรายไหลออกไปก้นน้ำ
3. นำทรายมาผึ่งให้ความร้อนและคลุกเคล้าทรายโดยสม่ำเสมอ จนกระทั่งใกล้ถึงจุดอิ่มตัวผิวแห้งได้ โดยวาง กรวยด้านเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่บนพื้นผิวเรียบและไม่ดูดซับน้ำ ใส่ทรายที่เตรียมไว้ในกรวยให้ล้น ใช้มือที่จับยอดกรวยป้องกรวยทรายไว้ไม่ให้หล่นออกจากยอดกรวย ปล่อยให้เหล็กด้าลงบนทรายที่ยอดกรวย 25 ครั้ง โดยแต่ละครั้งให้เหล็กด้าสูงจากระดับผิวด้านบนทรายครั้งล่าสุด 5 มม. และปล่อยให้เหล็กด้าตกอย่างอิสระตามแรงดึงดูดของโลก จากนั้นปาดให้พอดีระดับปากกรวย นำทรายที่หล่น รอบฐานกรวยออกให้หมด ยกกรวยขึ้นตรงๆถ้าทรายยังเปียกอยู่ทรายเริ่มเกิดการพังทลาย แสดงว่าทรายนั้นเข้าสู่สภาพอิ่มตัวผิวแห้งแล้ว

วิธีทดสอบ

1. ชั่งน้ำหนักทรายตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวดินแห้งประมาณ 500 ± 10 กรัม บันทึกค่าน้ำหนักทราย S
2. เททรายลงในขวดทดลองรูปชมพู่ (Volumetric Flask) ใช้น้ำฉีดล้างทรายที่ภาชนะลงไปให้หมดจากนั้นเติมน้ำเพิ่มถึงระดับประมาณ 90% ของปริมาตรขวดทดลอง
3. ใส่ฟองอากาศภายในให้หมด โดยอาศัยในให้หมด โดยอาศัยการหมุนคว่ำและเขย่า
4. ใช้น้ำฉีดล้างทรายที่คอขวดด้านในแล้วเติมน้ำจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ นำไปชั่งน้ำหนักบันทึกเป็นค่า C
5. เททรายออกจากขวดภาชนะนำเข้าตุ้บ อบให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียสทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องประมาณ $1\frac{1}{2} - 1\frac{1}{2}$ ชม.
6. นำทรายมาชั่งน้ำหนักจะได้ค่า A
7. เติมน้ำใส่ขวดเปล่าจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ชั่งน้ำหนักจะได้ค่า B

การคำนวณ

1. Bulk Specific Gravity (สภาพแห้ง)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักรทรายที่มีปริมาตรเท่ากับเนื้อทราย+Voidในทราย}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักรทรายอบแห้ง}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักรทรายอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักรทรายอบแห้ง} - (\text{น้ำหนักรทราย} + \text{ทราย} + \text{น้ำเต็มขวด})} \\
 &= \frac{A}{B+S-C}
 \end{aligned}$$

2. Blk Specific Gravity (อิมตัวผิวแห้ง)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{น้ำหนักทรายSSD}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับเนื้อทราย+Voidในทราย}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักทรายSSD}}{(\text{น้ำหนักขวด+น้ำ})+(\text{น้ำหนักทรายSSD})-(\text{น้ำหนักขวด+ทราย+น้ำเต็มขวด})} \\
 &= \frac{S}{B+S-C}
 \end{aligned}$$

น้ำหนักทราย SSD = น้ำหนักทรายแห้ง+น้ำหนักน้ำในVoid

3. Apparent Specific Gravity

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับ เนื้อทรายโดยไม่รวม Void ในทราย}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}}{(\text{น้ำหนักขวด+น้ำ})+(\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง})-(\text{น้ำหนักขวด+น้ำ+ทรายเต็มขวด})} \\
 &= \frac{A}{B+A-C}
 \end{aligned}$$

4. เปอร์เซ็นต์การดูดซึม (Adsorption %)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{น้ำหนักอยู่ในVoidของทราย}}{\text{น้ำหนักทรายอบแห้ง}} \times 100 \\
 &= \frac{(S-A)}{A} \times 100
 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.3 ชุดเครื่องมือหาสภาพอิ่มตัวผิวแห้งของวัสดุละเอียด

3.5.2 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบ

มาตรฐานที่ใช้ ASTM C 127 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งทรายที่อ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัมหรือ 0.1% ของน้ำหนักทรายที่ใช้ทดสอบโดยใช้ค่าที่ละเอียดเป็นเกณฑ์
2. ตะกร้าสำหรับชั่งหินในน้ำ
3. ถังใส่น้ำ
4. ตะแกรงเบอร์ 4
5. เทอร์โมมิเตอร์ ความละเอียดในการอ่าน 0.1 องศาเซลเซียส

การเตรียมตัวอย่าง

1. จัดหาตัวอย่างหินให้ได้ปริมาณตามต้องการตามข้อที่ 5
2. นำหินมาร่อนบนตะแกรงเบอร์ 4 ทั้งส่วนที่ผ่านตะแกรงไป
3. ล้างสิ่งสกปรกหรือสารอื่น ๆ ที่เคลือบผิวให้สะอาด

4. อบมวลรวมให้แห้งจนน้ำหนักคงที่ ณ อุณหภูมิ 110 ± 5 องศา
5. ชั่งน้ำหนักให้ได้ตามข้อกำหนดต่อไปนี้

ตารางที่ 3.1 ปริมาณหินน้อยสุดตามขนาดหิน

ขนาดตัวอย่างใหญ่สุด มม.(นิ้ว)	น้ำหนักของตัวอย่างอย่างน้อยที่ใช้ทดสอบ (กก.)
$12.5 \frac{1}{2}$ หรือเล็กกว่า	2
$19.0 \left(\frac{3}{4}\right)$	3
25.0(1)	4
$37.0 \left(1\frac{1}{2}\right)$	5

6. แช่ตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง

วิธีทดสอบ

1. เทน้ำทิ้งผ่านตะแกรงเบอร์ 16 หรือเล็กกว่าและเขี่ยน้ำที่เคลือบผิวตัวอย่างด้วยผ้าให้แห้งจนอยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวดแห้ง (Saturated Surface Dry) นำมาชั่งน้ำหนักจะได้ค่า B
2. ชั่งน้ำหนักตะกร้าในน้ำ และในน้ำ และชั่งน้ำหนักตัวอย่างทดสอบรวมตะกร้าในน้ำ โดยรักษาให้น้ำมีอุณหภูมิ 23 ± 1.7 องศาเซลเซียส ผลต่างของน้ำหนักทั้งสองคือน้ำหนักตัวอย่างทดสอบสภาพอิ่มตัวชั่งในน้ำ C
3. อบหินจนน้ำหนักคงที่ ณ อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส ปล่อยให้เย็นลงมีอุณหภูมิประมาณ 50 องศาเซลเซียส แล้วนำหินมาชั่งน้ำหนักแห้ง A

การคำนวณ

1. Bulk Specific Gravity (สภาพแห้ง)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับหิน+Voidในหิน}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำหินSSDชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักหินSSDชั่งในน้ำ}} \\
 &= \frac{A}{B-C}
 \end{aligned}$$

2. Bulk Specific Gravity (อิมตัวผิวแห้ง)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{น้ำหนักหิน SSD}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับหิน+Void หิน}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในอากาศ}}{\text{น้ำหนัก SSD ชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในน้ำ}} \\
 &= \frac{B}{B-C}
 \end{aligned}$$

3. Apparent Specific Gravity

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับเนื้อหินไม่รวม Void ในหิน}} \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง} - \text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในน้ำ}} \\
 &= \frac{A}{A-C}
 \end{aligned}$$

4. เปอร์เซ็นต์การดูดซึม (Adsorption %)

$$\begin{aligned}
 &= \frac{\text{น้ำหนักอยู่ใน Void ของ sbo}}{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}} \times 100 \\
 &= \frac{\text{น้ำหนักหิน SSD ชั่งในอากาศ} - \text{น้ำหนักหินอบแห้ง}}{\text{น้ำหนักหินอบแห้ง}} \times 100 \\
 &= \frac{B-A}{A} \times 100
 \end{aligned}$$



รูปที่ 3.4 เครื่องสำหรับชั่งหินในน้ำ

3.5.3 การทดสอบหาปริมาณความชื้นที่ผิว

มาตรฐานที่ใช้ ASTM C 70 Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งซึ่งอ่านได้ละเอียดถึง 0.5 กรัม
2. ขวดทดลองที่มีปริมาตร 500 มก.

วิธีการทดสอบ

1. เตรียมตัวอย่างปริมาณไม่น้อยกว่า 200 กรัม นำมาชั่งน้ำหนักบันทึกค่า W_1
2. เติมน้ำลงในขวดทดลองเปล่าให้ถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้ แล้วชั่งน้ำหนักบันทึกค่า W_2
3. เติมตัวอย่างลงในขวดทดลองเปล่าแล้วต้องเติมน้ำจนท่วมตัวอย่างทำการเขย่าขวดทดลองเพื่อไล่ฟองอากาศ
4. เติมน้ำจนถึงระดับที่ทำเครื่องหมายไว้แล้วชั่งน้ำหนักบันทึกค่า W_3
5. ปริมาณน้ำซึ่งตัวอย่างแทนที่ มีค่าเท่ากับ

$$W = W_1 + W_2 - W_3$$

น้ำหนักน้ำที่มีปริมาตรเท่ากับทรายที่มีความชื้น

= (น้ำหนักทรายที่มีความชื้นที่ผิว)+(น้ำหนักน้ำ)-น้ำหนัก(น้ำ+ทราย)

6. คำนวณหาความชื้นผิวโดยอ้างอิงจากสภาพอิมตัวผิวแห้ง(SSD)

$$P_s = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ผิว(Free Water)}}{\text{น้ำหนักทรายที่สภาพSSD}} \times 100$$

$$= \frac{W - V_d}{W_1 - W} \times 100$$

$$V_d = \frac{W_1}{SPGRSSD}$$

7. คำนวณหาค่าความชื้นที่ผิวโดยอ้างอิงจากสภาพอบแห้ง (Oven-Dry)

$$P = P_s \left(1 + \frac{P}{100} \right)$$

P_s = ค่าการดูดซึมน้ำของทราย

3.5.4 การทดสอบหาค่าความต้านแรงอัด

มาตรฐานที่ใช้ มอก827-2531 โดยที่บล็อกที่นำมาทดสอบจะต้องมีอายุไม่ต่ำกว่า 7 วัน

อุปกรณ์

1. เครื่องทดสอบแรงกดที่ให้แรงกดได้ไม่น้อยกว่า 1,000 กิโลนิวตัน และสามารถปรับความเร็วในการเพิ่มแรงกดได้
2. แผ่นกด แผ่นกดแต่ละแผ่นต้องหนาไม่น้อยกว่า 12 มิลลิเมตรทำด้วยวัสดุที่มีความแข็งแรงไม่น้อยกว่า 60 HRC สำหรับแผ่นกดแผ่นบนสามารถปรับหมุนได้ทุกทิศทาง และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 150 มิลลิเมตร

วิธีการทดสอบ

1. จัดแนวศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่าง(ในกรณีที่มีรูปทรงสมมาตร ศูนย์กลางของบล็อกตัวอย่างคือจุดรวมมวล) หัวกดแผ่นกด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. กตบล็อกตัวอย่าง โดยเพิ่มแรงกดในอัตราที่สม่ำเสมอจนได้แรงกดประมาณครึ่งหนึ่งของแรงสูงสุดที่บล็อกคาดว่าจะรับได้ เพิ่มแรงกดในอัตราที่สม่ำเสมอจนถึงแรงสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้ ภายในเวลา 1 ถึง 2 นาที บันทึกค่าแรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้

วิธีการคำนวณ

คำนวณหาค่าความต้านแรงอัดของบล็อก เป็นเมกะพาสคัลจากสูตร

$$P = \frac{F \times C}{A}$$

P คือ ความต้านแรงอัด เป็นเมกะพาสคัล

F คือ แรงกดสูงสุดที่บล็อกตัวอย่างรับได้ เป็นนิวตัน

C คือ ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด

A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่ได้รับแรงกดของบล็อกตัวอย่าง เป็น ตารางมิลลิเมตร

การทำพื้นที่หน้าตัดของบล็อกตัวอย่าง มีวิธีดังนี้

วางแผ่นพลาสติกใสทาบบนผิวหน้าบล็อกตัวอย่าง ใช้ปากกาเขียนพลาสติกขีดตามเส้นรอบรูปของผิวหน้า แล้วนำพลาสติกใสไปลอกลงบนกระดาษการ์ดขนาดกว้าง 210 มิลลิเมตร 297 มิลลิเมตร ด้วยกระดาษคาร์บอน หลังจากนั้นใช้กรรไกรตัดตามเส้นที่ขีดไว้ประณีต แล้วนำแผ่นกระดาษการ์ดที่ได้ไปชั่ง และอ่านค่าให้ละเอียดถึง 0.01 กรัม แล้วคำนวณพื้นที่ จากสูตร

$$A = \frac{62370M}{M_1}$$

A คือ พื้นที่ผิวหน้าที่ได้รับแรงกดของบล็อกตัวอย่างเป็นตารางมิลลิเมตร

M คือ มวลของกระดาษการ์ดที่แสดงพื้นที่ผิวหน้า แบบเดียวกับบล็อกตัวอย่างเป็นกรัม

M₁ คือ มวลของกระดาษการ์ด รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเป็นกรัม

ตารางที่ 3.2 ตัวประกอบปรับค่าความต้านแรงอัด

ความหนาของบล็อก มิลลิเมตร	ตัวประกอบปรับค่าความต้านทานแรงอัด	
	ไม่มีการลบมุม	มีการลบมุม
60	1.00	1.03
80	1.12	1.18
100	1.18	1.24
120	1.21	1.27



รูปที่ 3.5 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นผสมขยะประเภทถุงพลาสติก โดยมีการทดสอบกำลังรับแรงอัดประลัย และอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ซึ่งมี 2 ขนาด คือ 4 เซนติเมตร มีอัตราส่วนผสมของพลาสติก อยู่ที่ 0.1, 0.2, 0.3 และ 0.4 เปอร์เซ็นต์ และ 6 เซนติเมตร มีอัตราส่วนผสมของพลาสติกอยู่ที่ 0.1, 0.2 และ 0.3 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7, 14, 28 วัน โดยมีผลการทดสอบดังแสดงในบทนี้

4.1 ผลการทดสอบการรับกำลังรับแรงอัด

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คือความสามารถในการรับน้ำหนักในรูปแบบของแรงอัดประลัย ซึ่งกำลังรับแรงอัดประลัยควรเป็นไปตามค่ามาตรฐานเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการนำไปใช้งาน ในที่นี้ทดสอบเพื่อศึกษาว่าการผสมพลาสติกมีผลอย่างไรต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงอัดของขนาดหนา 4 เซนติเมตร

no	% plastic bags waste (g)	วัน	Compressive strength (Mpa)
1	0	7	47.599
2	0	14	51.353
3	0	28	55.189

ตารางที่ 4.1 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่ไม่มีพลาสติกผสม

no	% plastic bags waste (g)	วัน	compressive strength (Mpa)
1	0.1 (2.205)	7	41.371
2	0.2 (4.410)	7	48.956
3	0.3 (6.615)	7	52.701
4	0.4 (8.873)	7	34.836

ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

no	% plastic bags waste	วัน	compressive strength (Mpa)
1	0.1 (2.205)	14	47.994
2	0.2 (4.410)	14	49.825
3	0.3 (6.615)	14	61.348
4	0.4 (8.873)	14	46.429

ตารางที่ 4.3 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 14 วัน

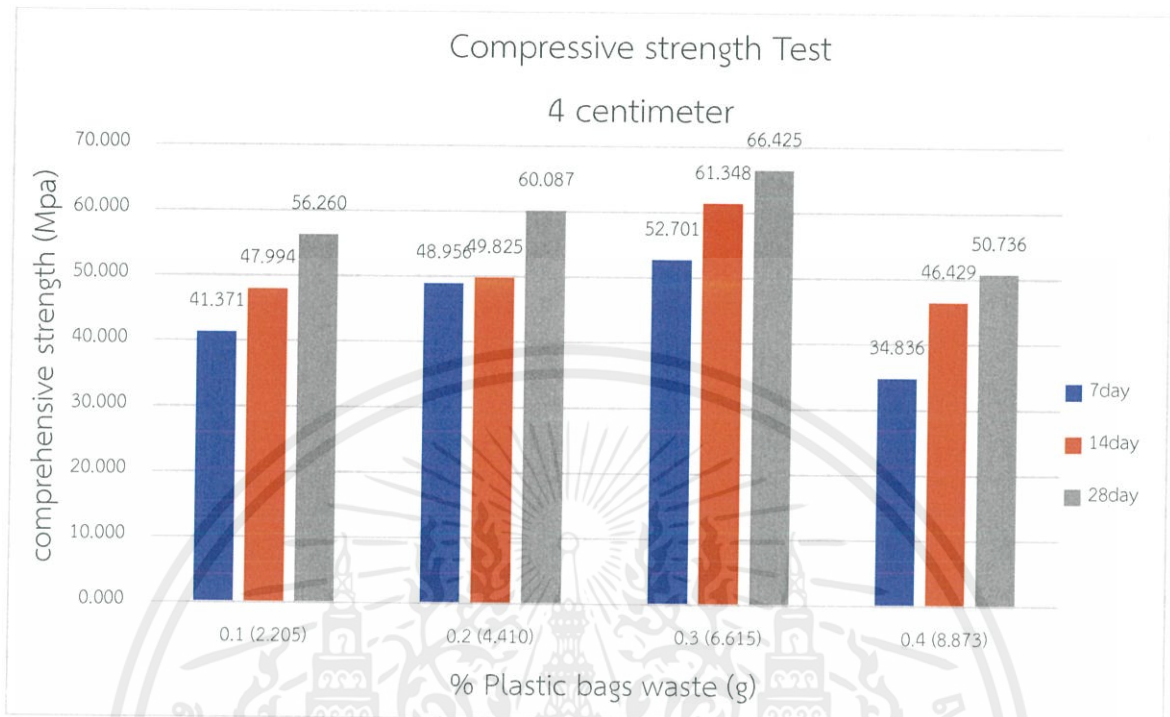
no	% plastic bags waste	วัน	compressive strength (Mpa)
1	0.1 (2.205)	28	56.260
2	0.2 (4.410)	28	60.087
3	0.3 (6.615)	28	66.425
4	0.4 (8.873)	28	50.736

ตารางที่ 4.4 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 28 วัน

จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดหน้ากว้าง 4 เซนติเมตรที่มีขยะพลาสติกผสมอยู่ตั้งแต่ 0.1-0.4 เปอร์เซ็นต์ พบว่าสัดส่วนที่ทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าสูงสุดคือ 0.3 เปอร์เซ็นต์คือมีค่า 66.425 เมกะพาสคาล ทดสอบที่ 28 วัน และ เมื่อเพิ่มอัตราส่วนของขยะพลาสติก พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงอย่างชัดเจน



รูปที่ 4.1 ผิวหน้าบล็อกคอนกรีตที่พลาสติกผสม 0.4 เปอร์เซ็นต์ (8.873 กรัม)



กราฟที่ 4.1 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ขนาดหนา 4 เซนติเมตร

ตารางแสดงค่ากำลังรับแรงอัดของขนาดความหนา 6 เซนติเมตร

no	% plastic bags waste (g)	วัน	compressive strength (Mpa)
1	0	7	23.522
2	0	14	32.561
3	0	28	39.565

ตารางที่ 4.5 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่ไม่มีพลาสติกผสม

no	% plastic bags waste (g)	วัน	compressive strength (Mpa)
1	0.1 (3.207)	7	23.359
2	0.2 (6.414)	7	23.231
3	0.3 (9.620)	7	24.908

ตารางที่ 4.6 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 7 วัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

no	% plastic bags waste (g)	วัน	comprehensive strength (Mpa)
1	0.1 (3.207)	14	26.521
2	0.2 (6.414)	14	28.630
3	0.3 (9.620)	14	31.293

ตารางที่ 4.7 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 14 วัน

no	% plastic bags waste (g)	วัน	comprehensive strength (Mpa)
1	0.1 (3.207)	28	30.916
2	0.2 (6.414)	28	30.932
3	0.3 (9.620)	28	33.917

ตารางที่ 4.8 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดที่มีพลาสติกผสมทดสอบที่ 28 วัน



กราฟที่ 4.2 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ขนาดหนา 6 เซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

จากสมมุติฐานพลาสติกเป็นวัสดุที่ไม่ดูดซึมน้ำ แต่ในขั้นตอนนี้ศึกษาว่าถ้าคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีพลาสติกผสมอยู่ค่าอัตราการดูดซึมน้ำจะมีค่าเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ ผลการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำมีผลแสดงดังตารางดังต่อไปนี้

no	% plastic bags waste (g)	% absorption
1	0	8.091
2	0.1 (3.207)	7.188
3	0.2 (6.414)	8.837
4	0.3 (9.620)	8.491

ตาราง 4.9 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของขนาดความหนา 6 เซนติเมตร

no	% plastic bags waste (g)	% absorption
1	0	7.598
2	0.1 (2.205)	7.427
3	0.2 (4.410)	7.129
4	0.3 (6.615)	7.552
5	0.4 (8.873)	8.345

ตาราง 4.10 แสดงอัตราการดูดซึมน้ำของขนาดความหนา 4 เซนติเมตร

จากการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น นำตัวอย่างที่ผ่านการบ่มที่ 28 วัน นำมาแช่น้ำ 24 ชั่วโมงเพื่อหาอัตราการดูดซึมน้ำและสังเกตการเปลี่ยนแปลงของตัวอย่างว่าเมื่อเจอน้ำหรือแช่น้ำจะมีผลกระทบอย่างไร หากอยู่ในสภาวะใช้การใช้งานจริงพบว่าตัวอย่างไม่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเจอน้ำและค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการดูดซึมน้ำมีค่าใกล้เคียงกันอยู่ที่ 7-8 เปอร์เซ็นต์ทั้งขนาดความหนา 4 เซนติเมตรและ 6 เซนติเมตร

บทที่ 5

สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

งานวิจัยเล่มนี้เป็นการศึกษาและทดสอบหาคุณสมบัติการรับกำลังแรงอัดปะลัยและอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผสมพลาสติก โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน มีอัตราส่วนของซีเมนต์:หินเกล็ด:ทราย คือ 1:2.7:2.3 และมีอัตราส่วนซีเมนต์ต่อน้ำ คือ 0.25 โดยที่ความหนา 4 เซนติเมตรผสมพลาสติก 0.1 เปอร์เซ็นต์ หรือ 2.205 กรัม, 0.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ 4.410 กรัม, 0.3 เปอร์เซ็นต์ หรือ 6.615 กรัม, 0.4 เปอร์เซ็นต์ หรือ 8.873 กรัม ที่ความหนา 6 เซนติเมตร ผสมพลาสติก 0.1 เปอร์เซ็นต์ หรือ 3.207 กรัม, 0.2 เปอร์เซ็นต์ หรือ 6.414 กรัม, 0.3 เปอร์เซ็นต์ หรือ 9.620 กรัม โดยที่พลาสติกที่นำมาผสมเป็นพลาสติกที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 หรือขนาด 2.36 มิลลิเมตร

จากการทดสอบรับกำลังแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีสองขนาดคือ 4 เซนติเมตร และ 6 เซนติเมตรโดยพบว่าโดยที่ความหนา 4 เซนติเมตร กำลังรับแรงอัดที่ผสมพลาสติกได้ผล ดังนี้ เมื่อผสมพลาสติกเข้าไปมีผลกำลังรับแรงอัดสูงสุดของคอนกรีตบล็อกที่ 28 วัน มีค่าสูงสุดที่ปริมาณพลาสติกที่ 0.3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หรือ 6.615 กรัม และ เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกเป็น 0.4 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก หรือ 8.873 กรัม ปรากฏว่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกมีค่ากำลังรับแรงอัดตกลงอย่างชัดเจน และที่ขนาดความหนา 6 เซนติเมตร เมื่อผสมพลาสติกเข้าไปปรากฏว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงจากที่ไม่ผสมพลาสติก และ กำลังรับแรงอัดปะลัยของคอนกรีตบล็อกที่มีพลาสติกผสมอยู่ พบว่ามีกำลังรับแรงอัดสูงสุดเมื่อมีพลาสติกผสมอยู่ 0.3 เปอร์เซ็นต์ หรือ 9.620 กรัม และ จากการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยทำการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำที่ 28 วัน ทั้งความหนา 4 เซนติเมตร และ 6 เซนติเมตร พบว่า มีอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 7-8 เปอร์เซ็นต์

5.2 ปัญหาที่พบ

1. ผิวหน้าของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นไม่เรียบเนื่องจากพลาสติกที่ผสมเข้าไป
2. การนำขยะพลาสติกมาใช้คือใช้พลาสติกที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 8 และค้ำตะแกรงเบอร์ 30 เนื่องจากต้องการนำฝุ่นหรือเศษดินหรือสิ่งปนเปื้อนมาออก แต่ก็ยังมีฝุ่นที่ขนาดอยู่ระหว่างตะแกรงเบอร์ 8 และเบอร์ 30 อยู่ทำให้มีฝุ่นปะปนไปกับพลาสติกที่นำไปผสมกับคอนกรีต

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ผิวหน้าของคอนกรีตบล็อกจะมีพลาสติกอยู่ผิวจะไม่เรียบ ถ้านำไปใช้หรือไปใช้งานควรมีการทำหน้าทับอีก 1 ชั้นเพื่อความสวยงาม หรือ ขณะอัดบล็อกคอนกรีตควรปาดหน้าให้พลาสติกขึ้นมาอยู่ที่ผิวหน้าน้อยที่สุด แต่ถ้าต้องการทำเป็นจำนวนมากก็จะทำให้เสียเวลาในการผลิต
2. ในการศึกษาข้างต้นคือ การศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ผสมพลาสติกเข้าไปโดยไม่ได้เพิ่มหรือลดสัดส่วนอื่น ๆ เพียงแต่เพิ่มปริมาณพลาสติกสามารถศึกษาเพิ่มเติมโดยการลดประมาณมวลรวมและเพิ่มปริมาณพลาสติกเพิ่มขึ้น อาจจะช่วยทำให้น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกมีน้ำหนักเบาขึ้น
3. ขนาดความหนา 6 เซนติเมตร การรับกำลังรับแรงอัดมีค่าน้อยกว่า 35 Mpa ดังนั้นจึงควรนำไปใช้เป็นวัสดุตกแต่ง หรือ ใช้ในส่วนที่ไม่ต้องรับน้ำหนักมาก เช่น ทางที่มีคนเดินสัญจรไปมาในปริมาณที่น้อยหรือใช้ในสวน

บรรณานุกรม

คมสัน มาลีสี. 2559. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ห้างหุ้นส่วนจำกัด มีน เซอร์วิส ซัพพลาย.

ชัชวาล เศรษฐบุตร์ และคณะ. 2548. Cement and Applications. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ: ผู้จัดพิมพ์ SCG.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2551. ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต. กรุงเทพฯ: สมาคมคอนกรีตไทย.

ปิติ สุนทรสุขกุล. 2556. พิมพ์ครั้งที่ 2. คอนกรีต. ปทุมธานี: สำนักพิมพ์วรรณกรี.

วินิต ช่อวิเชียร. 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพฯ: ผู้จัดพิมพ์ ดร.วินิต ช่อวิเชียร.

เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ และคณะ. การนำของเสียประเภทพลาสติกกระดาดมาใช้ประโยชน์ในการทำ คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน-ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน. วารสารวิชาการ พระจอมเกล้าพระนครเหนือ. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. ปีที่ 22 ฉบับที่ 1 ม.ค - เม.ย 2555.

อาทร ชูพลสัตย์ และคณะ . 2556. บล็อกประสานจากขยะคอนกรีต . ปรินญาณินพนธ์. กรุงเทพฯ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์.

Laddawan Lapcharatsangroj. The effect of waste plastic bags and water hyacinth as replacement material in paver blocks. ภาควิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2560.

V.Natrajan and M.Praba . Utilisation of Waste Plastics as a Partial Replacement of Coarse Aggregate in Concrete Blocks. Department of Civil Engineering, Sathyabama University, 2015.

ศุภสิพร แสงกระจ่าง และคณะ.[ออนไลน์]. 2556. “วารสารพิษวิทยาไทย”.
เข้าถึงจาก : <http://www.thaitox.org>

สำนักวิชาการ สำนักเลขาธิการสภาผู้แทนราษฎร. [ออนไลน์]. 2559. “ขยะพลาสติก : ภัยใกล้ตัว”.
เข้าถึงจาก : <http://www.paliament.go.th/library>.

อลิสรา คูประสิทธิ์. [ออนไลน์]. 2560. “ประเภทของขยะพลาสติก”.
เข้าถึงจาก : <http://www.tistr.or.th>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดปะลัย

ตารางที่ ผ.1.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 4 เซนติเมตรไม่มีพลาสติกผสม

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	20996	2.14	7	1009590	48.085	490.166	47.599
2	20541	2.141	7	912440	44.420	452.807	
3	20378	2.062	7	1050540	51.552	525.503	
4	21315	2.155	14	1134940	53.247	542.779	51.353
5	20547	2.155	14	1151030	56.020	571.048	
6	20589	2.16	14	986400	47.908	488.362	
7	20790	2.155	28	1095670	52.702	537.225	55.189
8	20790	2.167	28	1168230	56.192	572.802	
9	20790	2.167	28	1178230	56.673	577.706	

ตารางที่ ผ.1.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 4 เซนติเมตรมีพลาสติกผสม 0.1 เปอร์เซ็นต์

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	20831	2.182	7	843660	40.500	412.840	41.371
2	20295	2.185	7	838170	41.299	420.992	
3	20914	2.193	7	889840	42.548	433.722	
4	21553	2.18	14	1131290	52.490	535.064	47.994
5	20668	2.184	14	912920	44.170	450.253	
6	20870	2.197	14	958090	45.907	467.957	
7	20668	2.171	28	1174790	56.842	579.427	56.260
8	20590	2.175	28	1246250	60.526	616.978	
9	20471	2.171	28	1126260	55.018	560.836	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1.3 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 4 เซนติเมตรมีพลาสติกผสม 0.2 เปอร์เซ็นต์

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	20831	2.171	7	983350	47.205	481.196	48.956
2	20790	2.154	7	940240	45.226	461.015	
3	20622	2.152	7	988460	47.932	488.599	
4	20992	2.181	14	1013220	48.266	492.012	49.825
5	20830	2.184	14	1116330	53.591	546.294	
6	20709	2.178	14	1131600	54.643	557.018	
7	20830	2.175	28	1393180	66.882	681.775	60.087
8	21350	2.185	28	1213030	56.817	579.175	
9	21155	2.177	28	1196300	56.550	576.452	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1.4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 4 เซนติเมตรมีพลาสติกผสม 0.3 เปอร์เซ็นต์

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	20625	2.158	7	1241750	60.205	613.712	52.701
2	21036	2.135	7	1010110	48.018	489.481	
3	21360	2.15	7	1065420	49.880	508.463	
4	21073	2.169	14	1305600	61.957	631.573	61.348
5	20990	2.17	14	1246760	59.398	605.485	
6	21035	2.161	14	1318610	62.688	639.018	
7	20790	2.174	28	1349880	64.929	661.868	66.425
8	21030	2.173	28	1424210	67.722	690.333	
9	20989	2.181	28	1326370	63.194	644.183	

ตารางที่ ผ.1.5 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 4 เซนติเมตรมีพลาสติกผสม 0.4 เปอร์เซ็นต์

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	20709	2.148	7	790530	38.173	389.121	34.836
2	20749	2.153	7	672490	32.411	330.383	
3	20383	2.148	7	691480	33.924	345.811	
4	20021	2.177	14	1001830	50.038	510.068	46.429
5	20586	2.178	14	925200	44.944	458.141	
6	20790	2.177	14	930090	44.737	456.038	
7	20264	2.165	28	1045900	51.613	526.129	50.736
8	21115	2.172	28	1078300	51.067	520.559	
9	20709	2.182	28	1025580	49.524	504.831	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1.6 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 6 เซนติเมตรไม่มีพลาสติกผสม

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	21566	3.249	7	499810	23.176	236.246	23.002
2	21447	3.257	7	489068	22.803	232.448	
3	20708	3.264	7	476850	23.028	234.735	
4	21425	3.283	14	688189	32.120	327.423	32.561
5	21159	3.257	14	688960	32.550	331.806	
6	20985	3.246	14	692932	33.020	336.598	
7	21568	3.129	28	874896	40.565	413.506	39.565
8	21085	3.127	28	834220	39.646	404.137	
9	20975	3.130	28	807171	38.483	392.283	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1.7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 6 เซนติเมตรมีพลาสติกผสม 0.1 เปอร์เซ็นต์

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	21879	3.204	7	498601	22.789	232.304	23.359
2	21288	3.199	7	497270	24.287	247.574	
3	20976	3.198	7	482217	22.989	234.343	
4	21324	3.187	14	540120	25.329	258.196	26.521
5	21327	3.185	14	553990	25.976	264.787	
6	21609	3.187	14	610640	28.259	288.066	
7	21549	3.147	28	667028	30.954	315.535	30.916
8	21334	3.146	28	659550	31.984	326.035	
9	21457	3.146	28	639655	29.811	303.884	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1.8 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 6 เซนติเมตรมีพลาสติกผสม 0.2 เปอร์เซ็นต์

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	21288	3.204	7	494980	23.252	237.020	23.341
2	20873	3.199	7	489490	23.451	239.053	
3	21699	3.198	7	506050	23.321	237.727	
4	20945	3.187	14	575359	27.470	280.020	28.630
5	21078	3.185	14	603450	29.511	300.826	
6	21453	3.187	14	620464	28.922	294.822	
7	20957	3.147	28	659684	31.478	320.877	30.932
8	21163	3.146	28	654630	31.173	317.768	
9	21178	3.146	28	638411	30.145	307.288	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ผ.1.9 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหนา 6 เซนติเมตรมีพลาสติกผสม 0.3 เปอร์เซ็นต์

Sample no	Section area (cm ²)	Weight (kg)	Age (days)	Ultimate load (KN)	Compressive Strength		average
					(Mpa)	(ksc)	
1	20707	3.200	7	487070	23.522	239.772	24.908
2	21115	3.215	7	514610	24.371	248.432	
3	20955	3.207	7	562250	26.831	273.505	
4	20668	3.210	14	652252	31.559	321.702	31.296
5	21081	3.195	14	659750	30.038	306.198	
6	20830	3.189	14	617995	29.668	302.426	
7	20830	3.185	28	728334	34.965	356.422	33.917
8	20914	3.172	28	709350	33.340	339.857	
9	21155	3.176	28	707562	33.447	340.948	

ผ.2 การทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำ

ตารางที่ ผ.2.1 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ความหนา 4 เซนติเมตร

Simple no	% plastic	Age (days)	น้ำหนัก อิมตัว	น้ำหนักแห้ง	% absorption	average
1	0	28	2.321	2.155	7.70302	7.59767
2	0	28	2.331	2.167	7.56807	
3	0	28	2.33	2.167	7.52192	
4	0.1	28	2.334	2.171	7.50806	7.42694
5	0.1	28	2.329	2.175	7.08046	
6	0.1	28	2.338	2.171	7.69231	
7	0.2	28	2.336	2.175	7.4023	7.12889
8	0.2	28	2.338	2.185	7.00229	
9	0.2	28	2.329	2.177	6.98209	
10	0.3	28	2.334	2.174	7.35971	7.55215
11	0.3	28	2.342	2.173	7.77727	
12	0.3	28	2.345	2.181	7.51949	
13	0.4	28	2.332	2.165	7.71363	8.34466
14	0.4	28	2.374	2.172	9.30018	
15	0.4	28	2.357	2.182	8.02016	

ตารางที่ ผ.2.2 อัตราการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ความหนา 6 เซนติเมตร

Simple no	% plastic	Age (days)	น้ำหนัก อิมตัว	Weight (kg)	% absorption	average
1	0	28	3.395	3.142	8.05	8.09
2	0	28	3.381	3.127	8.12	
3	0	28	3.366	3.114	8.10	
4	0.1	28	3.374	3.147	7.21	7.19
5	0.1	28	3.348	3.125	7.12	
6	0.1	28	3.371	3.143	7.25	
7	0.2	28	3.401	3.124	8.88	8.84
8	0.2	28	3.424	3.146	8.84	
9	0.2	28	3.396	3.121	8.81	
10	0.3	28	3.384	3.129	8.15	8.49
11	0.3	28	3.450	3.180	8.49	
12	0.3	28	3.419	3.142	8.83	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล นายคมชาญ วงษ์แสงเพชร
วัน เดือน ปีเกิด 26 กันยายน 2539
ที่อยู่ 171 หมู่ 3 ตำบลสวนแตง อำเภอเมือง จังหวัดสุพรรณบุรี 72210
โทร 092-2151528
Email Komchan26@gmail.com
ประวัติการศึกษา พ.ศ.2558 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนกาญจนาภิเษกวิทยาลัย สุพรรณบุรี
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล นางสาว ณชกมล ทิพนันท์
วัน เดือน ปีเกิด 9 มิถุนายน 2540
ที่อยู่ 10/747 หมู่บ้านสินธานี ซอยนวมินทร์ 93 แยก6 ถนนนวมินทร์ แขวงนวมินทร์ เขตบึงกุ่ม กทม.10240
โทร 083-0155530
Email Nachakamol_40@hotmail.com
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2558 จบการศึกษาระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนบดินทรเดชา (สิงห์ สิงหเสนี)
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

ประวัติส่วนตัว

ชื่อ-นามสกุล นางสาวสิริกานต์ เพี้ยจันทร์
วัน เดือน ปีเกิด 15 เมษายน 2539
ที่อยู่ 253 หมู่ 10 ตำบลโสกนกเต็น อำเภอฟล จังหวัดขอนแก่น 40120
โทร 095-1691920
Email ning1504@hotmail.com
ประวัติการศึกษา พ.ศ. 2558 จบการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย
โรงเรียนเมืองพลพิทยาคม จ.ขอนแก่น
ปัจจุบันกำลังศึกษาอยู่ที่ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมโยธา ชั้นปีที่ 4

