

ความคงทนต่อสถานะเปื่อยสลายแห่งของบล็อกดินลูกรังที่ใช้
เปลือกหอยเชอรี่บดและปูนซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสาน



นายสมเกียรติ ชูประทีป

โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2557

ความคงทนต่อสถานะเปื่อยสลายแห่งของบล็อกดินลูกรังที่ใช้ เปลือกหอยเชอรี่บดและปูนซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงการฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงการ

(รศ. ดร.อวิรุทธิ์ ชินกุลกิจนิวัฒน์)

ประธานกรรมการ

(ศ. ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ)

(ผศ. ดร.รัฐพล ภู่มุขพาพันธ์)

กรรมการ

(อ. ดร.ชนากร ภูเงินคำ)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

สมเกียรติ ชูประทีป : ความคงทนต่อสภาวะเปียกสลับแห้งของบล็อกดินลูกรังที่ใช้เปลือก
หอยเชอร์รี่บดและปูนซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสาน (DURABILITY AGAINST
WETTING–DRYING CYCLES OF LATERITIC SOIL BLOCK USING CRUSHED
GOLDEN APPLE SNAIL SHELL AND CEMENT AS A BINDER) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลสุข

งานวิจัยนี้ศึกษาความคงทนต่อสภาวะเปียกสลับแห้งของบล็อกดินลูกรังที่ใช้เปลือกหอย
เชอร์รี่บดและปูนซีเมนต์เป็นสารเชื่อมประสาน ดินลูกรังและเปลือกหอยเชอร์รี่บดได้จากอำเภอโพธิ
ทราย จังหวัดร้อยเอ็ด การศึกษาครั้งนี้ใช้อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6 และ
1:8 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้กันทางปฏิบัติ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอร์รี่บดมีค่าเท่ากับ 100:0,
90:10, 80:20, 70:30 และ 60:40 จำนวนรอบของสภาวะเปียกสลับแห้งเท่ากับ 0, 1, 3, 6, 9 และ 12
รอบ ผลการศึกษาพบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างดินลูกรัง-เปลือกหอยเชอร์รี่บด-ปูนซีเมนต์ที่
อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอร์รี่บดเท่ากับ 100:0, 90:10 และ 80:20 มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 9
(ค่ายอมให้ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย สำหรับบล็อกรับและไม่รับน้ำหนัก) อัตราส่วน
ปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอร์รี่บดที่เหมาะสมคือ 100:0, 90:10 และ 80:20 ซึ่งให้กำลังอัดของตัวอย่าง
ดินลูกรัง-เปลือกหอยเชอร์รี่บด-ปูนซีเมนต์สูงกว่า 2.5 เมกะปาสคาล (ค่ายอมให้ สำหรับบล็อก
ไม่รับน้ำหนัก ตามมาตรฐานอุตสาหกรรมไทย) ที่รอบเปียกสลับแห้งเท่ากับ 12 รอบ เมื่อ
พิจารณาที่รอบเปียกสลับแห้งเท่ากับ 12 รอบ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอร์รี่บดเท่ากับ
80:20 ให้กำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอร์รี่บดเท่ากับ 100:0 เนื่องจากเปลือก
หอยเชอร์รี่บดทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ และได้ผลิตภัณฑ์แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-
S-H) งานวิจัยนี้แสดงให้เห็นถึงการประยุกต์ใช้หอยเปลือกหอยเชอร์รี่ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งให้เกิด
คุณค่าทางวิศวกรรมโยธา อันก่อให้เกิดประโยชน์ทั้งในทางวิศวกรรม เศรษฐศาสตร์ และ
สิ่งแวดล้อม

สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา

ปีการศึกษา 2557

ลายมือชื่อนักศึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา _____

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม _____

SOMKIET CHOOPRATEEP: DURABILITY AGAINST WETTING–
DRYING CYCLES OF LATERITIC SOIL BLOCK USING CRUSHED
GOLDEN APPLE SNAIL SHELL AND CEMENT AS A BINDER.
ADVISOR : PROF. SUKSUN HORPIBULSUK, Ph.D., P.E.

This research studies durability against wetting-drying cycles of lateritic soil-crushed golden apple snail shell cement block. The lateritic soil and golden apple snail shell were obtained from Phon Sai District, Roi Et Province. The cement to lateritic soil ratios studied are 1:6 and 1:8, which are commonly used in practice. The cement to crushed golden apple snail shell ratios studied are 100:0, 90:10, 80:20, 70:30 and 60:40. The number of wet-dry (w-d) cycles was 0, 1, 3, 6, 9 and 12. The test results show that water absorption of lateritic soil-crushed golden apple snail shell-cement samples at cement to crushed golden apple snail shell ratios of 100:0, 90:10 and 80:20 is lower than 9% (allowable value for both bearing and non-bearing masonry units specified by Thailand Industrial standard) The optimal cement to crushed golden apple snail shell ratios are found at 100:0, 90:10 and 80:20, which provide compressive strengths after 12 cycles higher than 2.5 MPa (allowable strength for non-bearing masonry units specified by Thailand Industrial standard). After 12th cycle, the compressive strength of sample at cement to crushed golden apple snail shell ratio of 80:20 is higher than that of 100:0 because the crushed golden apple snail shell can react with calcium hydroxide and hence the obtained calcium silicate hydrate (C-S-H). The usage of crushed golden apple snail shell, which is a waste, in civil engineering application is viable in this research. This research is significant in term of engineering, economical and environmental perspectives.

School of Civil Engineering
Academic Year 2014

Student's Signature _____
Advisor's Signature _____
Co-Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

โครงการศึกษานี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความรู้อย่างยิ่งจาก ศาสตราจารย์ ดร.สุสันต์ หอพิบูลสุข และ อ. ดร.เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ แนะนำแนวทางการทำงานเพิ่มเติม และให้ความเอาใจใส่ ความเมตตา กรุณาถ่ายทอดความรู้แก่ศิษย์เป็นอย่างดี ทั้งยังปลูกฝังให้ผู้ศึกษามีความอดทน มีวินัย มั่นคั่นคว้าหาความรู้เพิ่มเติม ผู้ศึกษาจึงขอขอบพระคุณไว้ ณ โอกาสนี้

ผู้ศึกษาขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ในหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต การบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ให้แก่ผู้ศึกษา ซึ่งเป็นความรู้และประสบการณ์ที่มีค่าและมีประโยชน์ในการทำงานของผู้ศึกษาต่อไป ผู้ศึกษาขอระลึกถึงพระคุณบิดาและมารดา ที่ได้อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี รักการศึกษา และหมั่นหาความรู้เพิ่มเติม และไม่ย่อท้อต่อปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ขอขอบพระคุณกรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่นที่ได้ส่งเสริมและเห็นความสำคัญให้มีโครงการศึกษาต่อระดับมหาบัณฑิต แก่บุคลากรท้องถิ่น และองค์การบริหารส่วนตำบลหนองยายพิมพ์ อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ ที่มอบทุนการศึกษาและโอกาสแก่ผู้ศึกษาในครั้งนี้ และท้ายสุดขอขอบคุณเพื่อน ๆ ทุกคนที่คอยช่วยเหลือ และให้กำลังใจตลอดการทำงานศึกษานี้เป็นอย่างดี

สมเกียรติ ชูประทีป

สารบัญ

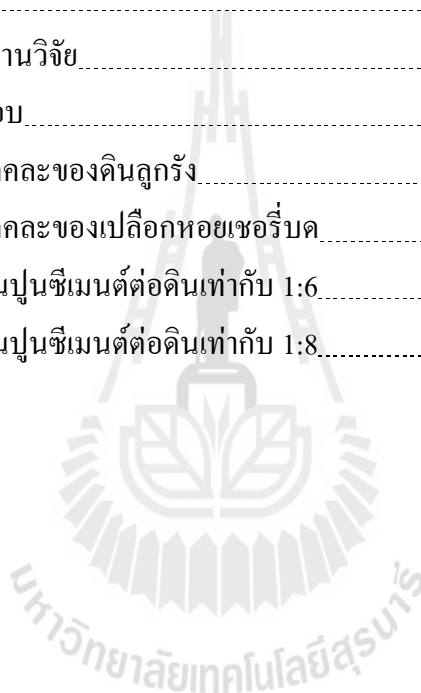
	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ช
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 บทนำ.....	4
2.2 หอยเชอรี่.....	4
2.3 ดินลูกรัง.....	11
2.4 ปูนซีเมนต์.....	14
2.5 น้ำ.....	16
2.6 การทดลองการบดอัดดิน.....	18
2.7 วิธีการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน.....	21
2.8 วิธีทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ.....	26
2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
3 วิธีดำเนินการทำโครงการ.....	32
3.1 วัสดุและอุปกรณ์.....	32
3.2 วิธีเตรียมตัวอย่างดินและเปลือกหอย.....	32
3.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบ.....	33
3.4 สัญลักษณ์การทดลอง.....	34

4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	36
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง และเปลือกหอยเชอรี่บด.....	36
4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่น.....	38
4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ.....	39
4.4 ผลการทดสอบกำลังอัด.....	40
4.5 ผลการทดสอบการสูญเสีย.....	43
5 สรุปผลการทดสอบ.....	45
5.1 สรุปผลงานโครงการวิจัย.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะในการทำโครงการวิจัยต่อไป.....	46
เอกสารอ้างอิง.....	47
ภาคผนวก ก มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน.....	49
ประวัติผู้เขียน.....	53



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกหอยเชอรี่.....	11
2.2 มวลกละผ่านตะแกรงมาตรฐาน.....	14
2.3 ปริมาณที่ยอมให้ของสารเจือปนในน้ำ.....	17
2.4 อุปกรณ์ที่ใช้และข้อกำหนดในการทดลอง.....	21
2.5 ขนาดกละของวัสดุ.....	28
3.1 อัตราส่วนผสมของงานวิจัย.....	33
3.2 สัญลักษณ์การทดสอบ.....	34
4.1 ผลการคำนวณขนาดกละของดินลูกรัง.....	36
4.2 ผลการคำนวณขนาดกละของเปลือกหอยเชอรี่บด.....	37
4.3 ค่ากำลังอัดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6.....	41
4.4 ค่ากำลังอัดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:8.....	42



สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะทั่วไปของหอยเชอรี่.....	6
2.2 ลักษณะทางชีววิทยาของเปลือกหอยเชอรี่.....	7
2.3 โครงสร้างของชั้นเปลือกหอยเชอรี่.....	7
2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่าปริมาณความชื้น.....	20
3.1 ตัวอย่างดินลูกรังและเปลือกหอยเชอรี่บดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40.....	33
4.1 ขนาดละเอียดของดินลูกรัง เปลือกหอยเชอรี่บด.....	37
4.2 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นและปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บดต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:6.....	38
4.3 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นและปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บดต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:8.....	39
4.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำเปลือกหอยเชอรี่บดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6.....	40
4.5 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำเปลือกหอยเชอรี่บดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:8.....	40
4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดเปลือกหอยเชอรี่บดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6.....	42
4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดเปลือกหอยเชอรี่บดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:8.....	43
4.8 ผลการทดสอบการสูญเสียเปลือกหอยเชอรี่บดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6.....	44
4.9 ผลการทดสอบการสูญเสียเปลือกหอยเชอรี่บดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:8.....	44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ที่อยู่อาศัยก็เป็นหนึ่งในปัจจัย 4 ที่สำคัญ ถึงแม้ว่าวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างที่อยู่อาศัยจะมีราคาสูงขึ้นแต่มนุษย์ก็จำเป็นต้องมีที่อยู่อาศัยจะเห็นได้ว่าการก่อสร้างหรือธุรกิจก่อสร้างที่อยู่อาศัยในสภาวะปัจจุบัน วัสดุก่อสร้างอย่างเช่น เหล็ก หิน ปูนซีเมนต์ ทราย เป็นต้น มีราคาสูงขึ้นตามสภาวะทางเศรษฐกิจทำให้การที่จะมีที่อยู่อาศัยเป็นเรื่องที่ยากขึ้นมากกว่าแต่ก่อน

บล็อกประสาน คือ วัสดุก่อสร้างอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นทางเลือกใหม่ของการก่อสร้างที่อยู่อาศัยในประเทศไทย เทคโนโลยีบล็อกประสานสามารถที่จะทำให้คนที่ต้องการมีที่อยู่อาศัยสามารถมีที่อยู่อาศัยได้ในราคาที่ประหยัด และเหมาะสมกับสภาวะเศรษฐกิจในปัจจุบันมีความเหมาะสมผลในตัวของบล็อกประสานนั้นเองทั้งในด้านของราคาก่อสร้างและความสวยงามเป็นธรรมชาติของอาคาร บล็อกประสานเป็นวัสดุที่เกิดจากดินลูกรังและปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลัก ทำให้บล็อกประสานเกิดความแข็งแรงและมีสีที่สวยงามเหมือนธรรมชาติ

การผลิตบล็อกประสานให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช. ๖๐๒/๒๕๔๙) ต้องอาศัยองค์ประกอบหลายๆอย่างทั้งจากทางด้านแรงงาน เครื่องจักรที่ใช้ และคุณภาพของวัตถุดิบส่วนผสมหลักของหรือวัสดุที่นำมาผลิตเป็นบล็อกประสานต้องได้คุณภาพด้วย โดยทั่วไปวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตบล็อกประสาน มีดังนี้ คือ

1. ดิน
2. ปูนซีเมนต์
3. น้ำสะอาด
4. ทรายละเอียดหรือหินฝุ่น

ทั้งนี้ ในการศึกษาเพื่อพัฒนาคุณภาพของบล็อกประสาน มีความจำเป็นที่จะต้องทำการทดสอบและจัดหาวัตถุดิบอื่นๆ ที่มีอยู่ในท้องถิ่นหรืออาจจะเป็นของเหลือใช้จากครัวเรือนเพื่อนำมาเป็นส่วนผสมในการทำบล็อกประสานเพื่อนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีเพื่อให้ได้อัตรส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด เพื่อเป็นการลดต้นทุนในการก่อสร้าง และเพื่อพัฒนาให้มีคุณภาพมากขึ้นกว่าเดิมในพื้นที่ของผู้วิจัยนั้นได้มีการจับหอยเชอรี่เพื่อนำมาคัมนื้อหอยเชอรี่เพื่อนำไปประกอบอาหารและส่งขายจึงทำให้มีขยะที่เป็นเปลือกหอยเชอรี่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อเป็นการแก้ปัญหามาจากเปลือกหอยเชอรี่ที่มีเป็นจำนวนมากทางผู้วิจัยจึงสนใจที่จะนำเปลือกหอยเชอรี่มาเป็นส่วนประกอบในการผลิตบล็อกประสานเพื่อทดสอบว่าถ้านำเปลือก

หอยเชอร์รี่เป็นส่วนประกอบในการผลิตบล็อกประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะสามารถเพิ่มกำลังการรับแรงอัดได้คือน้อยเพียงใด งานวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของสภาวะเปียกสลับแห้งต่อกำลังอัดของบล็อกประสานเปลือกหอยเชอร์รี่ ซึ่งเป็นคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่สำคัญในการออกแบบความคงทนของวัสดุก่อสร้าง โดยแปรผันตัวแปรควบคุม ซึ่งได้แก่ อัตราส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม และจำนวนรอบของสภาวะเปียกสลับแห้ง ผลการศึกษาสามารถนำมาใช้ในการประมาณค่ากำลังอัดของบล็อกประสานจากเปลือกหอยเชอร์รี่ที่อายุการใช้งานต่าง ๆ

1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษากำลังอัดของบล็อกประสานจากเปลือกหอยเชอร์รี่ เมื่อทำการทดสอบเปียกสลับแห้งและเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน วัสดุบล็อกประสาน มพข. ๖๐๒/๒๕๔๗ มาเป็นส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสาน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาผลที่เกิดขึ้นกับบล็อกประสานจากเปลือกหอยเชอร์รี่ หลังจากทำการทดสอบเปียกสลับแห้ง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

แนวทางและวิธีการทำโครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำเปลือกหอยเชอร์รี่มาเป็นส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสาน โดยศึกษาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดโดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการและเปรียบเทียบกับกับบล็อกประสานซีเมนต์วัตถุที่ใช้ในการศึกษามีทั้งสิ้น 4 ชนิดคือ

- เปลือกหอยเชอร์รี่จากอำเภอโพธารามจังหวัดร้อยเอ็ด
- ดินลูกรังจากอำเภอโพธารามจังหวัดร้อยเอ็ด
- ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
- น้ำประปา

ในการศึกษานี้ผู้วิจัยจะกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุเชื่อมประสาน (ปูนซีเมนต์และเปลือกหอยเชอร์รี่) ต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:6 และ 1:8 โดยแปรผันตามอัตราส่วนระหว่างการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 ของปูนซีเมนต์โดยใช้น้ำตามปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content ; OMC) จากการทำ Compaction Test ด้วยวิธี Modified Proctor Test ของแต่ละอัตราส่วนผสม ตัวอย่างมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง

5 เซนติเมตร สูง 10 เซนติเมตร แล้วนำไปทำการทดสอบเปียกสลับแห้ง จำนวนรอบที่ทำการทดสอบ คือ 0, 1, 3, 6, 9, และ 12 รอบ

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบถึงความเป็นไปได้ในการนำเปลือกหอยเชอรี่มาเป็นส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสาน
- 1.4.2 ทราบถึงอิทธิพลที่เกิดกับอิฐบล็อกประสานจากเปลือกหอยเชอรี่บดเมื่ออยู่ในสภาวะเปียกสลับแห้ง
- 1.4.3 สามารถนำขยะเหลือทิ้งจากชุมชนมาใช้ประโยชน์



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

บล็อกประสานคือ วัสดุที่รับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรู และเดือบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 10 วัน จะได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแรง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ หรือก่อเป็นถึงเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป

วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม หรือ มวลรวมละเอียดของบล็อกประสานควรมีขนาดเล็กกว่า 4 มม. ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย และเถ้าลอย(Fly ash)จากโรงงานผลิตไฟฟ้า โดยมวลรวมละเอียดที่ใช้ควรมีลักษณะตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพดินและมวลรวม สำหรับงานก่อสร้างทางหลวง (ASTM D3282 Standard Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes) คือมีฝุ่นดิน ไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก หรือทดสอบเบื้องต้นโดยนำดินใส่ขวดครึ่งหนึ่ง เติมน้ำแล้วเขย่าให้เข้ากัน เมื่อหยุดเขย่า สังเกตส่วนที่ตกตะกอนทันทีแล้วขีดเส้นไว้ รอจนตกตะกอนทั้งหมดจนน้ำใส แล้ววัดตะกอนฝุ่นไม่ควรเกินร้อยละ 15 โดยปริมาตร ถ้าวัตถุดิบมีมวลหยาบผสมอยู่มากสามารถใช้เครื่องบดร่อนจะทำให้ผิวบล็อกเรียบขึ้น

ปูนซีเมนต์สำหรับงานบล็อกประสาน คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ปูนโครงสร้าง) จะให้ก้อนบล็อกประสานมีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี การใช้ปูนซีเมนต์ผสม (ปูนก่อฉาบ) คุณภาพจะต่ำกว่าทำให้ต้องใช้ปริมาณปูนมากขึ้น เพื่อให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งจะทำให้ต้นทุนสูงขึ้น

ส่วนผสมของบล็อกประสานที่เหมาะสมควรทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่มีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1 : 6 ถึง 1 : 7 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก

2.2 หอยเชอรี่

หอยเชอรี่มีถิ่นกำเนิดในทวีปอเมริกาใต้เช่น ชิลี อาร์เจนตินา บราซิล อุรุกวัย ในทวีปอเมริกาเหนือ เช่น มลรัฐฟลอริดาและเท็กซัสของสหรัฐอเมริกา ในแถบอเมริกากลาง เช่น จาไมกา คิวบา ตรินิแดด โดมินิกัน เป็นต้น มีการนำหอยเชอรี่จากประเทศญี่ปุ่นและฟิลิปปินส์มา

สู่ประเทศไทยประมาณ พ.ศ. 2525-2526 เพื่อเลี้ยงเป็นการค้า โดยเลี้ยงขายเป็นหอยสวยงามในตู้ปลา นอกจากนั้นยังมีการทำฟาร์มเลี้ยงเพื่อหวังส่งออกเป็นอาหาร เมื่อหาตลาดไม่ได้ ประกอบกับหอยเจริญเติบโตและสืบพันธุ์ได้รวดเร็ว จึงเพิ่มปริมาณมากและแพร่กระจายไปสู่แหล่งน้ำ ลำคลอง และแม่น้ำ ในที่สุดได้แพร่ไปสู่นาข้าวในท้องที่รอบๆ กรุงเทพมหานคร และต่อไปสู่ที่ราบภาคกลาง อันเป็นอู่ข้าวอู่น้ำของประเทศ ปัจจุบันพบหอยเชอรี่ระบาดไปทั่วประเทศ ทำความเสียหายแก่ต้นข้าวและพืชน้ำต่างๆ ในท้องที่เกือบทุกจังหวัด หอยเชอรี่ทำลายพืชเศรษฐกิจต่างๆ ของประเทศเป็นมูลค่ามหาศาลเช่นเดียวกันกับที่ประเทศญี่ปุ่นและฟิลิปปินส์ประสบมาแล้วเมื่อ พ.ศ.2526 และ พ.ศ. 2528 ในปัจจุบันหอยเชอรี่นับว่าเป็นปัญหาระดับโลก เนื่องจากสาธารณรัฐสังคมนิยมเวียดนามได้ร้องขอความช่วยเหลือเป็นทางการจากองค์การอาหารและเกษตรแห่งสหประชาชาติ ตั้งแต่ พ.ศ. 2538 เป็นต้นมา ปัญหาหอยเชอรี่ระบาดในประเทศแถบเอเชีย ซึ่งเป็นแหล่งปลูกข้าวและส่งออกข้าวรายใหญ่ของโลกนับเป็นเรื่องที่องค์การนานาชาติหลายแห่งให้ความสนใจอย่างยิ่ง นอกจากประเทศไทย ญี่ปุ่น ฟิลิปปินส์ และเวียดนามแล้ว ประเทศที่มีปัญหาเช่นเดียวกันนี้อีก ได้แก่ ลาว กัมพูชา มาเลเซีย อินโดนีเซีย ไต้หวัน จีน ซาบาร์ ปาปัวนิวกินี มลรัฐฮาวายของสหรัฐอเมริกา ฮองกง ออสเตรเลีย เป็นต้น

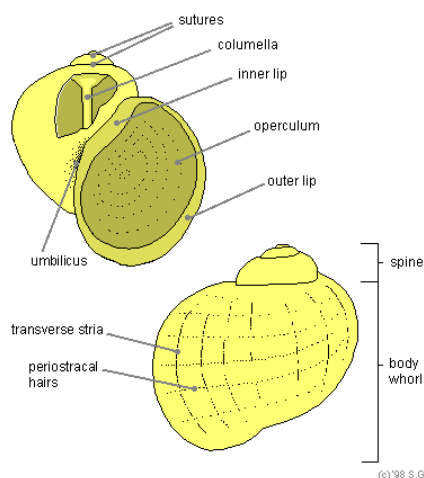
รูปร่างลักษณะหอยเชอรี่ (*Pomacea canaliculata* Lamarck) เป็นหอยฝาเดียว รูปร่างค่อนข้างใหญ่ เปลือก (shell) เรียบ มีฝาปิด (operculum) เป็นแผ่นแข็งสีน้ำตาลเข้มและใส ซึ่งตัวหอยสามารถหลบเข้าอยู่ในเปลือกแล้วปิดฝาเพื่อป้องกันอันตราย หอยเชอรี่มีรูปร่างและขนาดคล้ายกับหอยโข่ง (apple snail, *Pila* spp.) ซึ่งเป็นหอยประจำถิ่นของประเทศไทยนั่นเอง แต่เปลือกบางกว่า และมีร่อง (suture) ลึกกว่า ส่งผลให้ส่วนยอดของเปลือกหอยนูนสูงขึ้น ฝาปิดของหอยโข่งจะหนาแข็งมากและมีมุกเคลือบเห็นเป็นสีขาว เมื่อหงายขึ้นส่วนวงปาก (mouth) ในหอยเชอรี่จะกลมกว้างกว่า ระยะแรก que เริ่มระบาดในประเทศไทยพบหอยเชอรี่เป็นสองกลุ่มคือ กลุ่มเปลือกสีเหลืองปนน้ำตาล เนื้อและหนวดสีเหลือง กับเปลือกสีเขียวเข้มปนดำและมีแถบสีดำจางๆ พาดตามความยาว เนื้อและหนวดมีสีน้ำตาลอ่อน แต่ในปัจจุบัน สีของเปลือกและเนื้อมีการแปรเปลี่ยนและผสมผสานกันมากกว่าเดิม เช่น พบหอยเปลือกเขียวเข้มเกือบดำมีเนื้อสีดำ และเปลือกดำมีเนื้อสีเหลืองมีปริมาณมากกว่าชนิดที่มีเปลือกสีเหลืองน้ำตาลทองและเนื้อสีเหลืองสวยงาม ซึ่งกลายเป็นกลุ่มที่หาได้ยาก หอยเชอรี่มีเปลือกหมุนเป็นเกลียววนขวา (dextral) เมื่อโตเต็มที่ มีขนาดความสูงเฉลี่ย 80 มิลลิเมตร



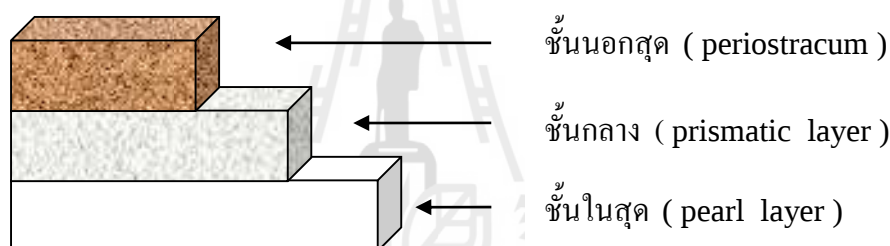
รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของหอยเชอริ

หนัก 112 กรัม หอยเชอริขนาดใหญ่สุดที่เคยพบสูง 94.5 มิลลิเมตร หนัก 170 กรัม หอยเคลื่อนที่โดยใช้ (foot) ซึ่งมีลักษณะเป็นกล้ามเนื้อหนา อาจยืดยาวหรือกว้างแบนใช้คืบคลานสามารถคลานไปตามพื้นดินใต้น้ำ หรือปล่อยตัวลอยไปตามกระแสน้ำ หรือขึ้นสู่ผิวน้ำได้ เมื่อถูกรบกวนจะหดตัวพร้อมทั้ง (foot) เข้าไปในเปลือก ส่วนหัวประกอบด้วยตาเล็กๆ ตั้งอยู่บนก้านสั้นๆ 1 คู่ และมีหนวดติดอยู่ด้านข้างก้านตาแต่ละ 1 เส้น ส่วนปากมีแผ่นริมฝีปากแผ่กว้างออกรอบปาก และมีหนวดอีกด้านละ 1 เส้นไว้ใช้อาหารเข้าปาก

การเจริญเติบโตของหอยที่ฟักออกมาจากไข่มีรูปร่างเหมือนกับตัวแม่แต่มีขนาดเล็กกว่าหอยเจริญเติบโตโดยมีการสร้างเปลือกต่อจากเดิมทางด้านขอบปาก ซึ่งอยู่ด้านล่างตรงข้ามกับยอดแหลม (spire) ทำให้ขนาดของเปลือกเพิ่มขึ้นโดยรูปร่างไม่มีการเปลี่ยนแปลง เปลือกมี 3 ชั้น ชั้นนอกสุดคือชั้นเพริโอสตราคัม (periostracum) ประกอบด้วยสารโปรตีนที่แข็งแรงเหมือนโปรตีนของเขาสัตว์ มีชื่อว่า คอนคิโอลิน (conchiolin) ประกอบด้วยเม็ดสีซึ่งทำให้เปลือกหอยมีสีต่างๆ ชั้นนี้ทำหน้าที่ป้องกันกรดในน้ำ ชั้นกลาง (prismatic layer) เป็นชั้นที่แข็งแรงเพราะประกอบด้วยแคลเซียม โดยปกติไม่มีเม็ดสีจึงมีสีขาว แต่เปลือกที่มีอายุมาก เม็ดสีจากชั้นนอกจะเคลื่อนย้ายมาที่ชั้นกลางอย่างช้าๆ และชั้นในสุดเป็นผลึกของแคลเซียมคาร์บอเนตที่เป็นแผ่นแบนบางมีความมันวาวเรียงซ้อนอยู่คือชั้นมุก การสร้างเปลือก เกิดจากการทำงานของเนื้อเยื่อแมนเทิล ซึ่งอยู่ติดกับเปลือกรอบช่องลำตัวหรือโพรงแมนเทิล เกิดมีการจัดเรียงตัวกันของชั้นผลึกและการทับถมของผลึก มีสารอินทรีย์ถูกสกัดออกมาก่อนการทับถมของเปลือกด้านใน แล้วจึงมีการเติมแคลเซียมคาร์บอเนตลงไปสลับกับสารอินทรีย์ ระยะแรกๆ มีลักษณะเป็นผลึกเล็กๆ จนในที่สุดเกิดเป็นชั้นของผลึกชั้นกลางขึ้นมาจากนั้นขอบด้านริมของเยื่อแมนเทิล ซึ่งสกัดทั้งสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ทำให้ขอบของเปลือกเจริญและเปลือกจะหนาขึ้น โดยเซลล์ชั้นผิวของแมนเทิลที่มีแคลเซียมคาร์บอเนตเรียงตัวกัน เป็นชั้นที่หักเหได้คล้ายปริซึม จึงทำให้มีความมันวาว



รูปที่ 2.2 ลักษณะทางชีววิทยาของเปลือกหอยเชอรี่



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของชั้นเปลือกหอยเชอรี่

การกินอาหาร หอยเชอรี่เป็นสัตว์ที่กินทั้งพืชและสัตว์ (omnivores) สามารถกินพืชน้ำได้เกือบทุกชนิดที่มีลักษณะใบอ่อนนุ่ม เช่น แหน แหนแดง จอก จอกหูหนู ใสน้ำ ผักบุ้ง ผักกะเฉด ต้นแห้ว กระเจี๊ยบ ใบบัว สาหร่ายต่างๆ ยอดอ่อนผักตบชวา ต้นข้าวกล้า ต้นหญ้าที่อยู่ริมน้ำ รวมถึงซากพืชซากสัตว์ที่เน่าเปื่อยในน้ำที่อยู่ใกล้ๆ ตัว สามารถกินได้รวดเร็ว เฉลี่ยวันละ 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัว และกินได้ตลอด 24 ชั่วโมง ในเวลากลางวันที่มีแดดจัดจะหลบอยู่ใต้ร่มเงาของพืชน้ำต่างๆ หรืออาศัยอยู่ใต้ร่มเงาของต้นไม้ใหญ่ริมแหล่งน้ำหรือน้ำขำวนั้นๆ แล้วกินอาหารตลอดเวลา การกินอาหารต้องอยู่ในน้ำ กล่าวคือ มีน้ำช่วยพุงให้ตัวลอยขึ้นแล้วใช้ส่วนขากรรไกร (jaw) กัดชิ้นส่วนของพืชให้ขาดจากกันแล้วส่งเข้าในช่องปาก ซึ่งอยู่ระหว่างยางค์ที่แผ่ออกเป็นแผ่นกล้ามเนื้อทางด้านส่วนหัว ภายในปากมีกรามขนาดใหญ่ 1 คู่ใช้กัดกินอาหาร ถัดจากกรามเข้าไปภายในเป็น แรคูลา ซึ่งแข็งแรงเป็นเส้นบางคล้ายโซ่เต็มไปด้วยฟันแหลม มีลักษณะเป็นฟันซี่เล็กๆ สีแดงเรียงซ้อนกันอยู่ 5 แถว มีจำนวนหลายร้อยซี่เรียงเป็นแถวขวาง มีรูปร่างและขนาด

แตกต่างกันระหว่างสัตว์ตรงกลางและริม ทำหน้าที่บดอาหารโดยกล้ามเนื้อรอบๆ จะทำงานให้ส่วนเร
 คูลาขยับไปมา ขูดไปบนอาหาร ต่อมาจะถูกส่งผ่านไปถึงหลอดอาหาร (esophagus) และไปสู่
 กระเพาะซึ่งจะเริ่มมีการย่อยอาหารที่นั่น ส่วนที่ไม่ย่อยจะผ่านออกไปทางทวารหนัก ซึ่งอยู่ใกล้ส่วน
 หัว

การสืบพันธุ์ หอยเชอร์รี่มีเพศแยก เพศผู้และเพศเมีย ภายนอกสังเกตได้จากความนูนมาก
 น้อยของแผ่น (operculum) ถ้าหากนูนมากเป็นหอยเพศผู้ มีอวัยวะสืบพันธุ์ (gonad) เป็นก้อนเดี่ยว
 อันจะมีลักษณะเป็นท่อที่ยื่นออกได้เพื่อสอดส่งสเปิร์ม (sperm) เข้าไปผสมกับไข่ก่อนที่จะมีการ
 สร้างเปลือก หอยโตเต็มวัยพร้อมจะขยายพันธุ์มีอายุประมาณ 3 เดือน น้ำหนัก 5 กรัม มีขนาดเปลือก
 สูงประมาณ 25 มิลลิเมตร หอยจะจับคู่เพื่อถ่ายสเปิร์มได้ตลอดเวลา หลังจากนั้น 1-2 วัน ตัวเมียจะ
 วางไข่ ส่วนมากเป็นเวลากลางคืน ตั้งแต่ดวงอาทิตย์ตกเป็นต้นไป จนถึงประมาณ 7.00 น. โดยคลาน
 ขึ้นไปวางไข่ตามที่แห้งเหนียว เช่น ตามกิ่งไม้ที่ปักในบ่อ ดันหลักริมน้ำ โคนไม้ริมน้ำ ข้างๆ คันนา
 และตามต้นข้าวในนา ใช้เวลาในการออกไข่ตั้งแต่ 1-6 ชั่วโมงแล้วแต่นาของกุ่มไข่ ไข่จะเคลื่อน
 ออกมาที่ละฟองบนกล้ามเนื้อ (foot) ซึ่งขยับเป็นระลอก ดันส่งไข่ให้ขึ้นไปซ้อนเข้าได้ฟองที่ออกมา
 ก่อนเป็นชั้นๆ ไข่ที่ออกมาใหม่ๆ จะอ่อนนุ่มและมีเมือกติด หลังจากนั้นจึงเริ่มแห้งและแข็งขึ้น ไข่มี
 สีชมพูสดดูสวยงามเกาะติดกันเป็นกลุ่มยาว 5-8 เซนติเมตร แต่ละกลุ่มประกอบด้วยไข่ 388-3,000
 ฟอง ขึ้นกับขนาดของแม่หอย ไข่แต่ละฟองมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0-2.5 มิลลิเมตร ไข่ที่มีสีชมพูสด
 จะชัดเจนจนเกือบเป็นสีขาวภายใน 7-12 วัน แล้วแตกออก ลูกหอยภายในซึ่งมีขนาดเท่าหัวเข็ม
 หมุดเล็กๆ หนักประมาณ 1.7 มิลลิกรัม และมีลักษณะเหมือนตัวแม่ทุกอย่าง แต่เปลือกนุ่ม จะร่วงลง
 น้ำเริ่มกินพืชพวกสาหร่ายต่างๆ แล้วเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยเปลือกจะแข็งหลังหล่นลงน้ำ
 2 วัน และเริ่มสืบคลานได้เมื่อมีขนาด 2-5 มิลลิเมตร อัตราการฟักของไข่สูงมากคือ 77-91 เปอร์เซ็นต์
 ที่อุณหภูมิประมาณ 34 องศาเซลเซียส หลังจากวางไข่ 4-10 วัน ตัวเมียจะวางไข่ได้อีก และสามารถ
 วางไข่ได้ตลอดทั้งปี ตลอดอายุขัย 2-3 ปี

การจำศีล โดยทั่วไปหอยเชอร์รี่ไม่จำเป็นต้องจำศีล (aestivation) หากมีน้ำและอาหารอุดม
 สมบูรณ์ การจำศีล คือ การที่หอยลดกระบวนการสร้างและกระบวนการทำลายภายในร่างกายลงเพื่อ
 ความอยู่รอดทั้งนี้โดยมีความแห้งแล้งเป็นสาเหตุ ดังนั้น หอยเชอร์รี่ที่อาศัยในนาข้าว เมื่อน้ำแห้งก็จะ
 ปิดฝาแล้วหมกตัวอยู่ในโคลน เป็นการทำให้รอดจากความแห้งแล้ง ในประเทศญี่ปุ่นเมื่อน้ำจะ
 แห้งจนดินแตกระแหเป็นเวลานาน 3-4 เดือน หอยก็ยังสามารถอยู่ได้มากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ แต่ถ้า
 อยู่ตามพงหญ้าก็จะรอดตายเพียงประมาณ 40 เปอร์เซ็นต์ และหอยเชอร์รี่สามารถมีชีวิตอยู่รอดผ่าน
 ฤดูหนาวที่มีหิมะปกคลุมได้จากการทดสอบโดยนำหอยใส่ตู้อบที่ตั้งอุณหภูมิ 0-3 องศาเซลเซียส
 และ -6 องศาเซลเซียสพบว่าหอยจะตายภายใน 25 วัน 3 วัน และ 1 วัน ตามลำดับ แสดงว่าในเขต

อบอุ้น หอยจะทนอยู่ในฤดูหนาวได้หรือไม่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิว่าต่ำกว่า 0 องศาเซลเซียส เพียงใด หอยขนาด 20-30 มิลลิเมตร จะมีความทนทานต่ออุณหภูมิต่ำมากกว่าหอยขนาดใหญ่ ในประเทศ ญี่ปุ่นประชากรหอยจะเพิ่มขึ้น 3-9 เท่าต่อปี แม้ว่าจะผ่านฤดูหนาว สำหรับประเทศไทยไม่มีฤดูหนาว ดังนั้น ในท้องที่ที่มีน้ำตลอดปีหอยจึงไม่มีการจำศีล คาดว่าประชากรของหอยน่าจะเพิ่มขึ้นมากกว่า 9-10 เท่าต่อปี นอกจากนี้ความแข็งของดิน น้ำแห้งเร็วหรือช้า ล้วนเป็นปัจจัยสำคัญต่อการจำศีล ด้วย

ในประเทศไทยเคยพบหอยขนาดใหญ่ 59.2 คูณ 63.4 มิลลิเมตร สามารถจำศีลอยู่ในดินแห้งนานถึง 7 เดือน โดยปิดฝาเมื่อน้ำเริ่มแห้งและคว่ำอยู่ในดินเพียงครึ่งตัว จากการทดลองในห้องปฏิบัติการเมื่อปล่อยให้หอยจำศีลโดยฝังตัวในดินแห้ง พบว่าฝังลึกไม่เกิน 4 เซนติเมตร แม้ว่าเวลาจะผ่านไปนานถึง 16 เดือน หอยเชอร์รี่ก็ยังมีชีวิตรอดอยู่ได้ เฉลี่ย 7.87 เปอร์เซ็นต์ และน้ำหนักเนื้อหอยลดลง 84.31 เปอร์เซ็นต์แต่ความชื้นในดินและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศไม่มีอิทธิพลต่อการรอดชีวิต เฉพาะช่วงเวลาการจำศีลเท่านั้นที่มีความสัมพันธ์กับการรอดชีวิต กล่าวคือยิ่งจำศีลนานเปอร์เซ็นต์การตายก็จะยิ่งเพิ่มขึ้น

ที่อยู่อาศัย หอยเชอร์รี่อยู่ทั่วไปได้ตามแหล่งน้ำทุกประเภท ได้แก่ บึง สระ หนอง คลอง แม่น้ำ ลำธาร กล่าวคือ อยู่ได้ทั้งในที่น้ำไหลและใสสะอาด มีออกซิเจนสูงพอๆ กับในน้ำนิ่งและน้ำตื้นเพียงไม่กี่เซนติเมตร เต็มไปด้วยเศษพืช หรือเกือบไม่มีออกซิเจนอยู่เลยก็ยังเจริญเติบโตได้ดี ขอเพียงแต่มีอาหารบ้างและสภาพน้ำไม่เป็นกรดมากนัก อุณหภูมิที่พอเหมาะประมาณ 18-30 องศาเซลเซียส ในอุณหภูมิต่ำหอยจะมีอายุขัยนานประมาณ 3 ปี หากอยู่ในที่อุณหภูมิสูง เช่น ในนาข้าวจะมีอายุประมาณ 12-16 เดือน สังเกตพบว่าในคูที่แม่น้ำจะเน่าจนสีเกือบดำ หอยก็ยังมีชีวิตอยู่ได้ เพียงแต่อาจเจริญเติบโตไม่ดีและออกไขน้อยครั้งกว่าปกติ

การเป็นพาหะนำโรค เนื่องจากหอยเชอร์รี่อยู่ในวงศ์เดียวกับหอยโข่ง (*Pila* sp.) จึงอาจเป็นเจ้าบ้านตัวกลาง (intermediate host) ของหนอนพยาธิตัวกลม (nematode) เช่นเดียวกับหอยโข่ง นั่นคือพยาธิ (*Angiostrongylus cantonensis* Chen) ซึ่งผ่านเข้าสู่คนโดยการกินเนื้อหอยดิบๆ เช่น ปลาหรือยำหอย ถ้าหอยมีพยาธิอยู่ ตัวอ่อนระยะที่ 1 ของพยาธิก็เข้าสู่คน ถ้าหากไปอยู่ที่สมองจะมีอาการเยื่อหุ้มสมองอักเสบ (Eosinophilic meningo-encephalitis) คือ ปวดศีรษะ ปวดท้อง คลื่นไส้ อาเจียน คอแข็ง มีอัมพาตของส่วนใดส่วนหนึ่ง ถ้าพยาธิไชเข้าสู่ดวงตาจะทำให้ตาบอด นอกจากนี้ยังอาจเป็นตัวนำเจ้าบ้านตัวกลางของหนอนพยาธิ (*Echinostoma ilocanum* Gerrison) ซึ่งเป็นพยาธิใบไม้ในลำไส้ เมื่อคนกินหอยที่มีตัวอ่อนพยาธิเข้าไปจะเกิดอาการของกระเพาะอาหารและลำไส้ เช่น ปวดท้อง ท้องเดิน เป็นต้น เช่นเดียวกับการบริโภคหอยโข่ง

ศัตรูธรรมชาติ โดยทั่วไปศัตรูของหอยเชอรี่ในประเทศไทยมีหลายชนิด เช่น นกกะปูดใหญ่ (Greater Coucal, *Centropus sinensis*) นกกะปูดเล็ก (Lesser Coucal, *Centropus bengalensis*) ซึ่งพบทั่วทุกภาค หากินตามชายทุ่งและสวน ทำรังตามพุ่มไม้เตี้ยๆ มักอยู่ตามพื้นดินและกินสัตว์เล็กๆ เป็นอาหาร รวมทั้งกินหอยโข่งและหอยเชอรี่ แต่เป็นนกที่หากินเดี่ยว อาจพบเป็นฝูงเล็กไม่เกิน 4-5 ตัว จึงไม่มีผลในการกำจัดหอยเชอรี่มากนัก อีกชนิดคือนกปากห่าง (Asian openbill, *Anastomus oscitans*) มีขนาดใหญ่ ปากใหญ่ยาวและแข็งแรง ส่วนที่ค่อนมาทางปลายจะมีช่องว่างระหว่างปากบนและล่างเพื่อใช้ประโยชน์ในการคาบหอย หากินตามทุ่งนาและแหล่งน้ำต่างๆ เป็นนกที่อพยพเข้ามาประมาณ 6 หมื่น ถึง 8 หมื่นตัวต่อปี กินหอยเชอรี่เป็นอาหารหลักเกือบ 100 เปอร์เซ็นต์ ในการใช้ปากจิกหอยทางด้านฝาปิดจนเปิดออก แล้วกินเฉพาะส่วนเท้าหอยได้ทุกขนาดที่ใหญ่กว่า 10 มิลลิเมตรขึ้นไป ออกหากินทั้งวันเป็นฝูงใหญ่หลายร้อยตัว กินหอยเชอรี่ได้ 70-120 ตัวต่อวัน ในช่วงที่เลี้ยงลูกอ่อนจะกินหอยมากขึ้นเพื่อนำมาสำรองป้อนลูกนก นับเป็นศัตรูหอยเชอรี่ที่สำคัญช่วยกำจัดหอยได้มาก

นอกจากนี้ยังมีปลาไน (common carp, *Cyprinus carpio*) ซึ่งเป็นปลาน้ำจืดวงศ์เดียวกับปลาคะเพียน มีถิ่นกำเนิดในจีน กินพืชและแมลงเป็นอาหาร อาศัยตามแม่น้ำ หนอง บึง หรือแหล่งน้ำขนาดใหญ่ และปลานิล (Nile Tilapia, *Oreochromis niloticus*) ซึ่งเข้าสู่ประเทศไทยครั้งแรก เมื่อ พ.ศ.2508 โดยเจ้าชายอาภิสิโต มกุฎราชกุมารแห่งประเทศญี่ปุ่นในขณะนั้น จัดส่งเข้ามาทูลเกล้าฯ ถวายพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัว ต่อมาพระราชทานชื่อว่า ปลานิล กรมประมงได้เลี้ยงขยายพันธุ์และแจกจ่ายไป รวมทั้งปล่อยลงแหล่งน้ำต่างๆ ที่เห็นว่าเหมาะสม ปลานิลกินอาหารได้ทุกชนิด เช่น ไรน้ำ ตะไคร่น้ำ ตัวอ่อนของแมลงและสัตว์น้ำเล็กๆ ปลาทั้ง 2 ชนิดนี้มีผู้ทดสอบแล้วว่าสามารถกินลูกหอยเชอรี่เป็นอาหาร แต่ปลาไนกินได้ดีกว่าและเร็วกว่า ลูกปลาไนที่มีน้ำหนัก 5 กรัม จะกินลูกหอย 338 ตัว ใน 24 ชั่วโมง

ชนิดของหอยเชอรี่ หอยเชอรี่เป็นหอยทากน้ำ (freshwater snail) ชื่อวิทยาศาสตร์ *Pomacea canaliculata* (Lamarck) บางครั้งเรียกว่าหอยโข่งอเมริกาใต้ หรือเป้าฮื้อน้ำจืด ชื่อสามัญคือ golden apple snail อยู่ในไฟลัม มอลลัสคา (Mollusca) คลาส แกสโตรโพอดา (Gastropoda) อันดับ มีโซแกสโตรโพอดา (Mesogastropoda) วงศ์ แอมพูลลาริอิดี (Ampullariidae) ทั่วโลกมีหอยเชอรี่ประมาณ 150 ชนิด มีผู้ศึกษาและรายงานว่ ในประเทศไทยพบหอยเชอรี่ 3 ชนิด คือ *Pomacea canaliculata* (Lamarck), *P. insularis* (Orbigny) และ *Pomacea* sp. แต่ต่อมาใน พ.ศ. 2547-2548 มีรายงานว่า มีเพียงชนิดเดียวเท่านั้นแม้ว่าจะมีเปลือกหลายสีก็ตาม

ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของเปลือกหอยเชอรี่ (ทนงศักดิ์ และคณะ 2552)

องค์ประกอบทางเคมี		ร้อยละ
Silica	(SiO ₂)	17.67
Alumina	(Al ₂ O ₃)	1.10
Ferric Oxide	(Fe ₂ O ₃)	0.29
Titanium Dioxide	(TiO ₂)	0.01
Calcium Oxide	(CaO)	68.99
Magnesium Oxide	(MgO)	2.43
Potassium Oxide	(K ₂ O)	0.04
Sodium Oxide	(Na ₂ O)	0.53
LOI		8.94

2.3 ดินลูกรัง

ดินลูกรังเกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศชื้นและมีอุณหภูมิสูง มีคุณสมบัติเฉพาะตัวคือสามารถแข็งตัวได้เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศ และมักมีสีแดง เพราะมีออกไซด์ของเหล็กปะปนอยู่ คุณสมบัติของดินลูกรังจะขึ้นอยู่กับชนิดของต้นกำเนิด ชนิดของหินเดิม ส่วนประกอบทางเคมี และสภาพภูมิอากาศ ดินลูกรังเมื่อนำมาบดอัดจะสามารถรับแรงเฉือนได้สูงขึ้น และมักนิยมใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานวิศวกรรม เช่น เป็นชั้นทางวัสดุงานทาง เป็นดินถมในคันทางดินถมในเขื่อนดินและในงานฐานรากเพราะมีราคาถูก และหาง่ายในธรรมชาติ

ลักษณะของดินลูกรัง ดินลูกรัง (lateritic soil) ลักษณะของดินลูกรังจัดอยู่ในประเภท (skeletal soil) ดินที่มีเศษหินขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 มิลลิเมตร หรือใหญ่กว่าอยู่ในดินเป็นปริมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ หรือมากกว่าโดยปริมาตรที่มีความลึกไม่เกิน 50 เซนติเมตรจากผิวดิน เป็นได้ทั้งดินทราย (sandy - skeletal) ดินร่วน (loamy - skeletal) และดินเหนียว (clay - skeletal) เกิดได้ทุกสภาพพื้นที่

ดินลูกรังโดยทั่วไปสามารถแยกได้เป็น 2 ชนิด ที่พบในชั้นของดิน ที่สามารถแยกได้ชัดเจน คือประเภทดินลูกรังร่วน (ดินลูกรังสเปรค) หรือเป็นก้อนเกาะเป็นแผ่นแน่นที่บลูกรังร่วน (ดินลูกรังก้อน) โดยปกติแล้วจะมีขนาดแตกต่างกันมาก ตั้งแต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 ถึง 4-5 เซนติเมตร รายละเอียดของ 2 แบบ สามารถแยกได้ดังนี้คือ แบบแรกเมื่อใช้มือบิออกจะเห็นลักษณะ Concentric lamination Characteristic แต่แบบที่ 2 จะไม่เห็น โดยทางปฏิบัติแบบแรก เรียกว่า True laterite หรือ ground water laterite ส่วนแบบหลัง เรียกว่า pseudo laterite โดยทั่วไปจะพบ laterite

ทั้ง 2 แบบปะปนในชั้นดินเสมอ แต่จะมีชนิดหนึ่งชนิดใดมากกว่ากันขึ้นอยู่กับลักษณะและหรือบริเวณที่อยู่ในดิน เช่น Pseudo มักจะพบที่ส่วนบนสุดของที่ลาดเอียง มีขนาดค่อนข้างสม่ำเสมอ ปกติแล้วมีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อยกว่า 2 เซนติเมตร แบบที่สองของหินลูกรังเป็นชนิดแผ่นแน่นทึบ แต่ถ้าแบ่งย่อยต่อไปจะแยกได้ชัดว่ามี 3 ชนิด คือ แบบ Honey comb ซึ่งเป็นแบบที่ลูกรังร่วนเกาะกันแน่นหรือเป็นหินก้อนกรวดมาชิดกันมากกว่าจะเป็น Laterite การเกิดของหินเหล่านี้แต่ละรูปแบบยังไม่แน่นอนนัก เชื่อว่า Honey comb เกิดขึ้นมาจากแร่ธาตุที่มีเหล็กผสมอยู่มาก หรือ Plinthite ถูกยกขึ้นบนผิวดิน และ นักวิทยาศาสตร์อื่นๆ ได้อธิบายเพิ่มเติมว่า Plinthite สามารถที่จะแข็งตัวได้ หากเกิดสภาพแห้งและเปียกสลับกันในช่วงเวลาพอสมควรทั้ง ๆ ที่ไม่ต้องถูกอากาศ สำหรับอีก 2 ชนิด ต้องเกิดจากการเชื่อมติดกันของลูกรังร่วนและกรวดหินมากกว่าการเชื่อมของหินลูกรังโดยธาตุเหล็ก อย่างไรก็ตามสภาวะสิ่งแวดล้อมทางกายภาพที่จะอำนวยให้เกิดเหตุการณ์เหล่านี้ยังเป็นที่ถกเถียงกันอยู่ โดยธรรมชาติดินลูกรังชนิดที่เป็นแผ่นเกาะกันแน่น จะพบในชั้นดินในรูปแบบหักหรือแตก หรือแบบที่เป็นชั้นหรือหิน เป็นแผ่นต่อเนื่องกัน ดังนั้นแผ่นแข็งมีขนาดแตกต่างกันไป ตั้งแต่เส้นผ่าศูนย์กลาง 2-3 เมตร ถึง 1-2 กิโลเมตร

ประเทศไทยมีพื้นที่ดินลูกรังประมาณ 68,765 ตารางกิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 13.4 ของพื้นที่ทั้งประเทศ พบแพร่กระจายอยู่ทั่วประเทศ ในบริเวณตะพักลำน้ำ ที่ลาดเชิงเขา เนินตะกอนรูปพัด ต่อเนื่องพื้นที่เหลือค้างจากการชะล้างหน้าดิน (Erosion surface) เนินเขาและภูเขา พื้นที่ส่วนใหญ่ของดินนี้อยู่ทางตอนเหนือของภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ตอนกลางของภาคเหนือ และภาคตะวันออก และพบเล็กน้อยในภาคกลางและภาคใต้

สีของดินลูกรัง ดินลูกรังส่วนใหญ่จะมีสีแดง และจะมีสีแดงเข้มหรือสีแดงอ่อน ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบของเหล็กออกไซด์ อลูมินัม ดิคาเนียม และแมงกานีส โดยทั่วไปสีของดินลูกรังจะเกิดจาก

1. สารอินทรีย์ ดินจะมีสีดำ สีนํ้าตาลและสีเทา
2. แร่ธาตุๆที่เป็นส่วนประกอบของดินลูกรัง
 - 2.1 แร่เหล็ก ดินมีสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีนํ้าเงิน และสีเขียว
 - 2.2 แคลเซียม แมกนีเซียม และโปแตสเซียม ดินจะมีสีขาว
 - 2.3 อลูมิเนียม ดินจะมีสีขาว
 - 2.4 แมงกานีส ดินจะมีสีดำ และสีนํ้าตาล

ซึ่งจะสังเกตได้ว่าถ้าเป็นบริเวณเชิงลาดสูงสุดของเนินเขาที่มีการระบายน้ำดี ดินลูกรังจะมีสีแดงไปจนถึงนํ้าตาลแกมแดง หรือสีแดงสด หรือสีแดงแกมม่วง ซึ่งสีแดงเหล่านี้แสดงถึง การมีเหล็กออกไซด์ประเภทเฮมาไทท์ในดิน แต่ถ้าในบริเวณตอนกลางของเนินเขาและที่ต่ำลงมา การ

ระบายน้ำจะน้อยกว่าบริเวณสูงสุดของเนินเขาทำให้ดินมีความชื้นนาน และปริมาณน้ำที่เป็นส่วนประกอบของเหล็กในดินมากขึ้น ดินลูกรังจะมีสีน้ำตาล หรือสีเหลืองมากกว่าสีแดง เหล็กออกไซด์ในรูปของดินลูกรังบริเวณนี้ส่วนใหญ่จะเป็น จีโอไทด์ และลิโมนิต์ แสดงให้เห็นว่ายิ่งต่ำลงมาดินจะเปลี่ยนจากสีน้ำตาลแกมแดงมาเป็นสีน้ำตาล หรือสีน้ำตาลแกมส้ม จนถึงน้ำตาลแกมเหลือง หรืออาจเป็นสีเหลืองแกมน้ำตาล ส่วนบริเวณที่มีการระบายน้ำไม่ดีดินจะมีสีเทาปนน้ำเงิน

ในการสำรวจหาแหล่งดินลูกรังที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างนั้น จะต้องเริ่มจากศึกษาข้อมูลของดินลูกรังที่พบอยู่ในประเทศ โดยอาศัยข้อมูลจากแผนที่ภูมิประเทศเพื่อเป็นแนวทางในการหาแหล่งดินลูกรังที่จะนำมาเป็นวัสดุในงานวิศวกรรม เมื่อพบแหล่งดินลูกรังที่ต้องการแล้วก็จะทำการสำรวจเพื่อหาขอบเขตของพื้นที่ที่มีดินลูกรังในการสำรวจแหล่งวัสดุเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้างทางสามารถแบ่งขั้นตอนการปฏิบัติงานออกได้ 2 ขั้นตอน คือ

1. การหาแหล่งหรือบริเวณที่คาดว่าจะมีวัสดุ โดยปกติการหาแหล่งวัสดุที่จะใช้ในงานก่อสร้างจะพยายามหาให้ได้ในบริเวณที่ใกล้เคียงกับงานก่อสร้างทางมากที่สุด เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง การหาแหล่งวัสดุโดยทั่วไปจะต้องเริ่มต้นจากการศึกษาแผนที่ภูมิประเทศ (topographic map) เสียก่อน บริเวณที่จะมีแหล่งลูกรังมักจะมีเส้นชั้นความสูงปานกลาง ฉะนั้นควรให้ความสนใจแก่แนวทางการไหลของน้ำในปัจจุบัน เพื่อเป็นแนวทางในการกำหนดแนวทางของลำน้ำเก่าหลังจากที่ได้กำหนดจุดสำรวจอันได้แก่บริเวณที่เป็นเนินและบริเวณที่คาดว่าน่าจะเป็นลำน้ำเก่าแล้ว คณะสำรวจก็จะออกสำรวจโดยการเจาะส้อมบริเวณต่างๆ ตามที่ได้กำหนดในแผนที่การสังเกตลักษณะพืชพันธุ์สามารถใช้เป็นแนวทางในการสำรวจแหล่งลูกรังได้ นอกจากนี้คณะผู้สำรวจอาจสอบถามจากชาวบ้านที่อาศัยอยู่ในบริเวณที่เข้าไปทำการสำรวจอันจะทำให้เข้าถึงจุดที่ต้องการจะสำรวจได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น
2. การหาอาณาบริเวณและปริมาณวัสดุของแหล่งวัสดุ เมื่อทราบว่าแหล่งวัสดุอยู่ ณ ที่แห่งใดแล้ว ก็ทำการเจาะสำรวจเพื่อหาปริมาณและขอบเขตที่มีวัสดุ การเจาะจะเจาะชุด โดยใช้ รถแบคโฮในการเจาะตรวจสอบความหนาของชั้นหน้าดินและความหนาของชั้นดินลูกรังในทุกหลุมที่เจาะเจาะ อย่างไรก็ดีตาม ก่อนที่จะทำการเจาะสำรวจเพื่อครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ให้เก็บตัวอย่างมาตรวจสอบคุณภาพของวัสดุดินลูกรังเพื่อใช้ในการในงานวิศวกรรม

มาตรฐานการทดสอบวัสดุก่อสร้างทางประเภทดินลูกรังซึ่งกำหนดคุณสมบัติดังนี้
คุณสมบัติ

1. ปราศจากก้อนดินเหนียว (Clay Lump) Shale) รากไม้ หรือวัชพืชอื่นๆ

2. ขนาดวัสดุใหญ่สุดต้องไม่โตกว่า 5 เซนติเมตร
3. ขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ไม่มากกว่า $\frac{2}{3}$ ของขนาดผ่านตะแกรง เบอร์ 40
4. ค่าขีดเหลว (Liquid Limit) ไม่มากกว่า 35
5. ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index) อยู่ในระหว่าง 4-11
6. ค่าจำนวนส่วนร้อยละของความสึกหรอ (Percentage of wear) ไม่มากกว่า 60
7. ค่า ซี.บี.อาร์.จากห้องทดลองไม่น้อยกว่า 30 หรือน้อยกว่าที่กำหนดไว้ในแบบ
8. มีมวลคละผ่านตะแกรง ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.2 มวลคละผ่านตะแกรงมาตรฐาน

ขนาดของตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ			
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.	ชนิด ง.
2"	-	-	-	-
1"	100	100	100	100
3/8"	50-85	60-100	-	-
เบอร์ 4	25-65	50-85	55-100	70-100
เบอร์ 10	25-50	40-70	40-100	55-100
เบอร์ 40	15-30	25-45	20-50	30-70
เบอร์ 200	8-15	8-25	8-20	8-25

2.4 ปูนซีเมนต์ (Cement)

ปูนซีเมนต์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ด ซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆจนรวมตัวผสมกันสุกพอดี มีส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญ คือ แคลเซียม และอลูมิเนียมซิลิเกต ปูนซีเมนต์ที่กล่าวถึงนี้จะหมายถึง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland Cement) ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic Cement) ที่เมื่อผสมกับน้ำตามส่วนแล้วสามารถก่อตัวและแข็งตัวในน้ำได้เนื่องจากปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับส่วนประกอบของปูนซีเมนต์นั้น การทำปฏิกิริยาดังกล่าวเรียกว่า ไฮเดรชัน (Hydration) คำหรับของชื่อปูนซีเมนต์ที่เรียกกันว่า”ปอร์ตแลนด์”นี้ได้มาจากการตั้งชื่อของนายโจเซฟ แอสปดิน โดยที่ในปี ค.ศ.1824 เขาได้ทำการจดทะเบียนวิธีการผลิตปูนซีเมนต์อย่างหนึ่ง ซึ่งได้จากการเผาส่วนผสมระหว่างหินปูนและดินเหนียวและเมื่อนำมาบดจะได้เนื้อปูนซีเมนต์มีสีเหลือง – เทา คล้ายกับหินในเกาะของเมืองปอร์ตแลนด์ ประเทศอังกฤษ เขา

จึงตั้งชื่อว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตได้ในตอนแรกนี้ยังมีคุณภาพต่ำมาก ทั้งนี้เนื่องจากการเผาส่วนผสมดังกล่าวใช้ความร้อนต่ำ ซึ่งทำให้หินปูนกับดินเหนียวยังรวมตัวไม่ดี

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญที่สุดในการก่อสร้างทางวิศวกรรมปัจจุบัน โดยที่เมื่อผสมกับ หิน กรวด ทรายและน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้เป็นคอนกรีต ซึ่งเมื่อแข็งตัวแล้วจะแข็งแรงทนทานคล้ายหิน ตัวอย่างสิ่งก่อสร้างคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้แก่ ฐานราก คอม่อ เขื่อน กำแพงกันดิน พื้นและถนน เมื่อเสริมด้วยเหล็กเสริมจะเป็นคอนกรีตเสริมเหล็ก สำหรับพื้น หลังคา สะพาน อาคาร อุโมงค์ และอื่นๆหรือเมื่อผสมรวมกับทรายและปูนขาวจะเป็นปูนฉาบสำหรับการก่ออิฐหรือหิน เป็นต้น

ประเภทของปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะผลิตตามมาตรฐานของ อเมริกา (ASTM C. 150) และของอังกฤษ (British Standard ; B.S.) ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 15 ของไทยได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภท คือ

1. ประเภทหนึ่ง (Normal Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะกับงานก่อสร้างคอนกรีตทั่วไปที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม เช่น คาน เสา พื้น ถนน ค.ส.ล. เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับเกลือซัลเฟต ผลึกภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราช้าง เพชร(เม็ดเดียว) พญานาคเขียว TPI (แดง) ภูเขา และดาวเทียม
2. ประเภทสอง (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดัดแปลงเพื่อให้สามารถต้านทานเกลือซัลเฟตได้ปานกลาง และจะเกิดความร้อนปานกลางในช่วงหล่อ เหมาะกับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น คอม่อ สะพาน ท่าเทียบเรือ เขื่อน เป็นต้น ผลึกภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่เคยมีจำหน่ายได้แก่ ตราพญานาคเจ็ดเศียร (ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)
3. ประเภทสาม (High-early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่สามารถให้กำลังได้รวดเร็วในเวลาอันสั้น หลังจากเทแล้วสามารถใช้งานได้ภายใน 3-7 วัน เหมาะกับงานที่เร่งด่วน เช่น คอนกรีตอัดแรง เสาเข็ม พื้นถนนที่จราจรคับคั่ง เป็นต้น ผลึกภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราเอราวัณ สามเพชร TPI(ดำ) และพญานาคแดง
4. ประเภทสี่ (Low-heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดพิเศษที่มีอัตราความร้อนต่ำกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้า ๆ ซึ่งส่งผลดีทำให้การขยายตัว

น้อยช่วยลดการแตกร้าว เหมาะกับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในประเทศไทยยังไม่มีผลิตจำหน่าย

5. ประเภท 5 (Sulfate-resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ทนต่อเกลือซัลเฟตได้สูงเหมาะกับการก่อสร้างบริเวณดินเค็ม หรือใกล้กับทะเล ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราปลาฉลาม TPI(ฟ้า) และตราช้างฟ้า(ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)

นอกจากปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภทแล้ว ยังมีปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นมาโดยดัดแปลงเพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน และราคาถูกลง ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปได้แก่

- ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement) เป็นการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมกับทรายหรือหินบดละเอียด ประมาณ 25-30% ซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ลดการแตกร้าว เหมาะกับการก่ออิฐ ฉาบปูน ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราเสือภูเขา นกอินทรี TPI (เขียว)
- ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีส่วนผสมหลัก คือ หินปูน และวัตถุดิบอื่น ๆ ที่มีปริมาณของแร่เหล็กน้อยกว่า 1% ลักษณะของผงสีปูนที่ได้จะเป็นสีขาว สามารถผสมกับสีฝุ่นเพื่อทำให้เป็นปูนซีเมนต์สีต่างๆ ตามต้องการ จึงนิยมใช้ในงานตกแต่งต่าง ๆ เพื่อความสวยงาม ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตในประเทศไทย ได้แก่ ตราช้างเผือก ตราเสือเผือก และ ตรามังกร

2.5 น้ำ

น้ำเป็นปัจจัยที่สำคัญยิ่งในการทำคอนกรีต น้ำในนี้อาจแบ่งได้ออกเป็น น้ำสำหรับผสมคอนกรีตให้มีความชื้นเหลวทำงานง่าย น้ำสำหรับบ่มคอนกรีตให้แข็งแรง และมีกำลังรับแรง ได้ตามต้องการ น้ำสำหรับล้างวัสดุผสมที่จะใช้ผสมคอนกรีตให้สะอาด

น้ำสำหรับผสมคอนกรีต (Mixing water)

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต ต้องสะอาด มีความขุ่นไม่เกิน 2,000 ppm. (ส่วนในล้าน) ปราศจากกรดด่าง น้ำมันและสารอินทรีย์อื่น ๆ ในปริมาณที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีตหรือเหล็กเสริม โดยปกติน้ำประปาและน้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำทิ้งจากอาคาร บ้านเรือนหรือโรงงานอุตสาหกรรมถือว่ามีความปลอดภัยสำหรับงานคอนกรีต ในกรณีที่สงสัยให้ทำแท่งทดสอบโดยใช้ น้ำที่สงสัยและเปรียบเทียบกับกำลังอัดแท่งทดสอบที่ทำจากน้ำที่มีคุณภาพดี

หน้าที่ของน้ำที่ผสมคอนกรีต คือ

1. ทำหน้าที่เคลือบหินและทรายให้เปียกเพื่อปูนซีเมนต์จะเข้าเกาะโดยรอบและแข็งตัวยึดให้ติดกันได้
2. ทำหน้าที่หล่อลื่นในวัสดุทั้ง 3 อย่างนี้เกิดความเหลว สามารถเทและกระทุ้งหรือเขย่าเข้าแบบหล่อให้เป็นรูปต่างๆได้
3. ทำหน้าที่ผสมกับปูนซีเมนต์ทางปฏิกิริยาเคมีแล้วเกิดความร้อนที่เรียกว่า heat of hydration ทำให้ผงซีเมนต์นั้นกลายเป็นวุ้น และเป็นซีเมนต์เหนียวซึ่งเป็นตัวประสานผิวระหว่างเม็ดของวัสดุผสม เกาะยึดแน่นเมื่อแข็งตัว

สารเจือปนอยู่ในน้ำ ซึ่งจะทำให้คุณภาพของคอนกรีตเสียไปได้แก่ ฝุ่นหรือผง (Silt) น้ำมัน กรด ด่าง เกลือต่าง สารอินทรีย์ต่างๆ น้ำที่จากอาคารบ้านเรือนและโรงงานอุตสาหกรรม ปริมาณสารต่างๆที่เจือปนอยู่ในน้ำจะต้องไม่เกินกว่าปริมาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 ปริมาณที่ยอมให้ของสารเจือปนในน้ำ

สารเจือปน	ปริมาณที่ยอมให้สูงสุดส่วนต่อล้าน
เกลือ	
โซเดียมคาร์บอเนตและไบคาร์บอเนต	1,000
แคลเซียมและแมกนีเซียมคาร์บอเนต	400
แมกนีเซียมซัลเฟตและคลอไรด์	40,000
โซเดียมคลอไรด์	20,000
โซเดียมซัลเฟต	10,000
กรด	
เกลือของแร่เหล็ก	40,000
ฝุ่นหรือผงหรืออนุภาคลอยตัว	2,000
น้ำทะเล	35,000
น้ำเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม	4,000
น้ำโสโครก	400
น้ำตาล	500
ตะไคร่น้ำ	1,000

2.6 การทดสอบการบดอัดดิน

การบดอัดดินให้ได้ความแน่นสูง ตามความต้องการหรือตามจุดประสงค์ของการใช้งาน จะต้องอาศัยน้ำ เป็นตัวประสานเชื่อม แต่ถ้ามีน้ำมีอยู่มากเกินไปน้ำจะไปหุ้มเคลือบรอบๆ มวลดิน ทำให้อณูของเม็ดดินแยกตัวห่างจากกัน หรือถ้ามีน้ำ อยู่น้อยเกินไป การประสานเชื่อมไม่ดีพอที่จะช่วยให้ การบดอัดเม็ดดินเบียดชิดกัน เท่าที่ควร ด้วยเหตุผลและข้อเท็จจริงดังกล่าว RR. Proctor (1933) ได้กำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับความแน่นของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการซึ่ง ต่อมาได้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ทดสอบการบดอัดดินในงานก่อสร้างโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีทดสอบ มาตรฐาน (Standard Proctor Test) โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมงานก่อสร้างถนน สนามบิน เขื่อนดิน พื้นโรงงาน ฯลฯ ในปัจจุบัน ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้วิวัฒนาการมีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว พลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นจะต้องเพิ่มขึ้นด้วย จึงได้มีการกำหนดวิธีทดสอบการบดอัดดินโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้นเพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูง รับน้ำหนักได้มากเรียกว่าวิธีทดสอบแบบโมดิฟายด์ (Modified Proctor Test) สำหรับพื้นที่จริงพลังงานที่ใช้ในการบดอัดเปรียบได้กับจำนวนครั้งที่เครื่องจักรบดอัดวิ่งผ่านแต่สำหรับในห้องปฏิบัติการทดลองจะถูกเปลี่ยนมาเป็นการกระทำตามวิธีการทดลองของ Proctor โดยค่าพลังงานในการบดอัดนั้นจะขึ้นอยู่กับน้ำหนักของค้อนกระทุ้ง ความสูงของระยะปล่อย จำนวนชั้นของการบดอัด จำนวนครั้งที่กระทุ้งต่อชั้น และปริมาตรของโมล

การบดอัดดินคือ การปรับปรุงคุณภาพดินโดยการประยุกต์ใช้พลังงานเชิงกล ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินปริมาณความชื้นที่มีความเหมาะสมที่สุด สำหรับดินที่ไม่มี ความแน่นจะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีการบดอัดโดยอาศัยการสั่นสะเทือนและสำหรับดินเม็ดละเอียด สามารถทดสอบการบดอัดดินได้ในห้องปฏิบัติการ โดยวิธีของ Proctor แต่ถ้าเป็นในสนามสามารถเลือกใช้เครื่องจักรบดอัดชนิดต่างๆกัน โดยพิจารณาความเหมาะสมตามชนิดของดินจุดประสงค์ของการบดอัดดินก็เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของมวลดิน ซึ่งก่อให้เกิดประโยชน์หลายข้อดังนี้

1. ลดการทรุดตัวของดิน
2. เพิ่มกำลังต้านทานแรงเฉือนของดินและปรับปรุงเสถียรภาพความลาดชัน
3. ปรับปรุงกำลังต้านทานน้ำหนักของพื้นทาง
4. ไม่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของปริมาตร เช่น สาเหตุจากการบวมตัวและการหดตัวของดิน
5. ลดการซึมผ่านของน้ำในดิน

พื้นฐานการบดอัดดินที่มีความแน่นสูง ได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R. Proctor ในปี 1933 โดยเริ่มต้น เมื่อมีการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำ ใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบด

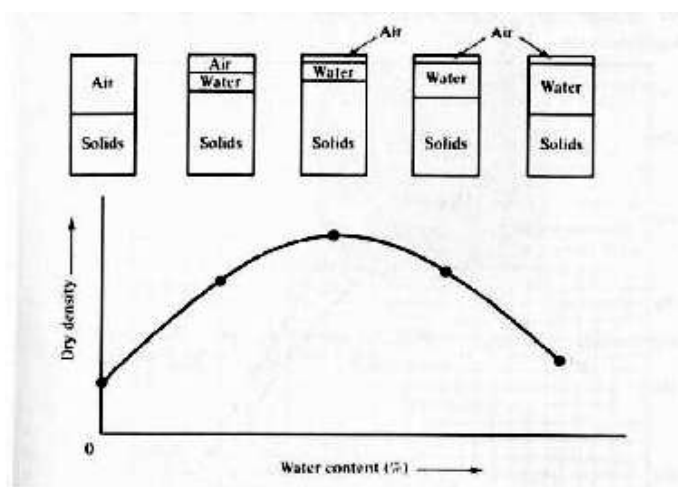
อัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (Proctor, 1933) แล้วนำ วิธีการทดสอบนี้ไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีการดังกล่าวว่า Proctor Test ซึ่งมีวิธีการทดสอบ 2 แบบคือ การบดอัดแบบมาตรฐาน และการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยที่ Proctor ได้กล่าวไว้ว่า ในการบดอัดดิน มักจะมีตัวแปรควบคุมอยู่ 4 ตัวคือ

1. ความหนาแน่นแห้ง
2. ปริมาณความชื้น
3. พลังงานในการบดอัด
4. ชนิดของดิน

การบดอัดสามารถแยกได้ 2 ส่วน ดังนี้

1. การบดอัดดินในสนามโดยใช้เครื่องจักรมี 3 ลักษณะดังนี้
 - 1.1 วิ่งรถบดอัดไปมา เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ
 - 1.2 ประเภทรถล้อหรือเข่า เช่น รถบดล้อสะเทือน เครื่องสั่นแบบแผ่นแบนและเครื่องสั่นแบบกระแทก
 - 1.3 ประเภทกระทิ้ง เช่น ส่องเกลอ สามเกลอ กบกระโดด หรือเครื่องกระทิ้งที่ใช้กำลังจากเครื่องบด
2. การบดอัดดินในห้องทดลอง มี 3 วิธีดังนี้
 - 2.1 วิธีบดอัดทางพลศาสตร์ วิธีนี้จะทำ โดยการใช้ก้อนเหล็กปล่อยตกบดอัดดินในแบบโมล ซึ่งใช้กันทั่วไป
 - 2.2 วิธีบดอัดแบบนิวตันวิธีนี้เหมาะกับการเตรียมตัวอย่างดิน สำหรับทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compression Test)
 - 2.3 วิธีบดอัด ทางสถิติศาสตร์วิธีนี้เหมาะสำหรับการเตรียมตัวอย่างดินเพื่อการทดสอบแรงอัด 3 แกนและการอัดตัวคายน้ำ วิธีนี้ทำได้ 2 ประเภทคือ
 - 2.3.1 การบดอัดแบบมาตรฐาน
 - 2.3.2 การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ค่าพลังงานต่อปริมาณของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน จะมีค่าสูงกว่าการบดอัดแบบมาตรฐานเท่ากับ 4.5 เท่า แต่การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานจะให้ความหนาแน่นแห้งสูงกว่าการบดอัดแบบมาตรฐานเพียง 10% เท่านั้นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง และค่าความชื้นจากผลการบดอัดในห้องทดลอง การบดอัดในห้องทดลอง โดยทำการบดอัด 4-6 ครั้งครอบคลุมค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด



รูปที่ 2.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่าปริมาณความชื้น

ความหนาแน่นของดินที่บดอัดแล้ว นอกจากปริมาณน้ำ ที่ใช้ในการบดอัดแล้ว ยังขึ้นอยู่กับวิธีการบดอัดและพลังงานที่ใช้ในการบดอัด สำหรับการบดอัดดินชนิดเดียวกัน โดยใช้ปริมาณน้ำที่เท่ากันแต่พลังงานในการบดอัดต่างกัน จะได้ความหนาแน่นที่ต่างกันด้วย ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง ปริมาณน้ำ และพลังงาน เมื่อใช้พลังงานในการบดอัดเพิ่มขึ้นจะได้ความหนาแน่นแห้งสูงขึ้น ,ความชื้นที่เหมาะสมลดลง, ความหนาแน่นแห้งจะเพิ่มมากขึ้นในด้านที่แห้งและความหนาแน่นแห้งในด้านที่เปียกจะเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อย

การทดลองความแน่นแบบมาตรฐานและการทดลองความหนาแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐานมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบคือ

1. D 1140 - 54 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort [12,400 ft- lb / ft³ (600 kN- m / m³)]
2. D 1557 – 00 Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort [56,000 ft- lb / ft³ (2,700 kN- m / m³)]

ตารางที่ 2.4 อุปกรณ์ที่ใช้และข้อกำหนดในการทดลอง

วิธีทดสอบ	แบบขนาด		น้ำหนัก	จำนวนชั้น	ระยะยก	จำนวนการ	แบบ
	เส้นผ่าศูนย์กลาง ซม.	ความสูง ซม.	ก้อนอัด กก.		ก้อนสูง ซม.	บดอัด แต่ละชั้น ครั้ง	
โมล มาตรฐาน	10.16	11.68	2.5	3	30	25	แบบ1
	15.24	12.70	2.5	3	30	56	แบบ2
โมลสูงกว่า มาตรฐาน	10.16	11.68	4.5	5	45	25	แบบ1
	15.24	12.70	4.5	5	45	56	แบบ2

2.7 วิธีการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test) มทข.(ท)

501.2-2545

ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัดในแบบที่กำหนดขนาดไว้ด้วยดัมหนัก 4.54 กก.(10ปอนด์)ระยะปล่อยดัมตกกระแทกสูง 457 มม. (18 นิ้ว) วิธีทดสอบ มี 4 วิธี ต่าง ๆ กันดังนี้

วิธี ก. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีพร็อกเตอร์แบบสูงกว่ามาตรฐาน(modified proctor)

วิธี ข. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) ตามวิธีแอสโต ที่ 180 (AASHTO T 180)

วิธี ค. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีพร็อกเตอร์แบบสูงกว่ามาตรฐาน

วิธี ง. ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) และดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ตามวิธีแอสโต ที่ 180 การใช้วิธีทดสอบวิธีใดให้เป็นไปตามรายการที่กำหนดไว้ในแบบก่อสร้าง ถ้าไม่ระบุวิธีการทดสอบให้ใช้ วิธี ก.

วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- แบบ (mold) ทำด้วยโลหะมีลักษณะทรงกระบอกกลวง ผนังแข็งแรงมี 2 ขนาด มีปลอกที่สามารถถอดได้สูง 60 มม.(2 3/8 นิ้ว) เพื่อให้สามารถบดอัดดินให้สูง และมีปริมาตรตามต้องการ แบบและปลอกต้องยึดกันได้อย่างมั่นคงกับฐานแบบซึ่งสามารถถอดได้ ทำด้วยวัสดุชนิดเดียวกับ
- แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) สูง 116.43 ± 0.127 มม. (4.584 ± 0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 101.6 ± 0.406 มม. (4.000 ± 0.016 นิ้ว) โดยมีขนาดความจุ 0.000943 ± 0.000008 ลบ.ม (0.0333 ± 0.0003 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)
- แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) สูง 116.43 ± 0.127 มม. (4.584 ± 0.005 นิ้ว) มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในแบบ 152.4 ± 0.6604 มม. (6.000 ± 0.026 นิ้ว) โดยมีขนาดความจุ 0.002124 ± 0.000021 ลบ.ม. (0.07500 ± 0.00075 ลบ.ฟ.) และมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 60 มม. (2 3/8 นิ้ว)
- ทุ้ม (rammer) ทำด้วยโลหะทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 ± 0.127 มม. (2.000 ± 0.005 นิ้ว) น้ำหนักรวมทั้งด้ามถือ 2.5359 ± 0.0081 กก. (10.00 ± 0.05 ปอนด์) มีปลอกบังคับให้ยกได้สูง 457.2 ± 1.524 มม. (18.00 ± 0.06 นิ้ว) เหนือระดับดินที่บดอัดโดยทุ้มตกลงกระทบได้อย่างอิสระ ปลอกบังคับต้องระบุระบายอากาศอย่างน้อย 4 รูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มม. (3/8 นิ้ว) ทำมุมกัน 90 องศา และห่างจากปลายปลอกทั้งสองข้างประมาณ 19 มม. (3/4 นิ้ว)
- เครื่องดันตัวอย่างออกจากแบบ (sample extruder) ประกอบด้วยแม่แรง (jack) ก้านโยกแม่แรง โครงเหล็กจับแบบขณะดันตัวอย่างออกจากแบบ ใช้ดันตัวอย่างที่บดอัดในแบบแล้วออกจากแบบ หรืออาจใช้เครื่องมืออย่างอื่น ที่สามารถขุดและตัวอย่างดินออกจากแบบก็ได้
- เครื่องชั่ง (balance and scale) สามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 11.5 กก. และอ่านละเอียดได้ถึง 5 กรัม 1 เครื่อง และสามารถชั่งน้ำหนักได้อย่างน้อย 1,000 กรัมอ่านละเอียดได้ถึง 0.01 กรัม อีก 1 เครื่อง
- ตู้อบ (oven) สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110 ± 5 องศาเซลเซียส (230 ± 9 องศาฟาเรนไฮต์) สำหรับอบดินชื้นให้แห้ง

- เหล็กปาดดิน (strainght edge) ทำด้วยเหล็กชุบแข็ง (hardened steel) มีขอบเรียบยาวไม่น้อยกว่า 254 มม. (10 นิ้ว) มีขอบที่ลบมุมด้านหนึ่งเรียบตรงตลอดความยาวของเหล็กปาดดิน โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 0.1 (0.01 นิ้วต่อความ ยาว 10 นิ้ว) ในช่วงที่ใช้ปาดแต่งผิวดินในแบบ
- ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 203 มม.(8 นิ้ว) สูง 50.8 มม. (2 นิ้ว) มี 2 ขนาด คือ 19.0 มม. (3/4 นิ้ว) และ 4.75 มม. (เบอร์ 4)
- เครื่องผสมดิน (mixing tool) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการคลุกผสมดินให้เข้ากันได้แก่ ถาดใส่ดิน ช้อนตักดิน พลั่ว เกรียง ถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ เป็นต้น หรืออาจเป็น เครื่องผสมดินที่ทำงานด้วยเครื่องจักร ซึ่งสามารถคลุกเคล้าผสมตัวอย่างดินให้เข้ากับ น้ำที่ผสมเพิ่มลงไปในตัวอย่างดินที่ละน้อย ๆ ได้
- คลับบรรจุดิน (container) ทำด้วยโลหะมีฝาปิดป้องกันความชื้นระเหยออกไปก่อนชั่ง น้ำหนัก หรือระหว่างการชั่งน้ำหนักเพื่อหาความชื้นในดิน

การเตรียมตัวอย่าง

- ถ้าตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบชื้นให้ผึ่งให้แห้งจนสามารถใช้เกรียงบดให้ร่วนได้หรือ ใช้ ด้วบอบดินให้แห้งก็ได้แต่ต้องใช้อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส(140 องศาฟา เรนไฮต์) แล้วบดให้มีเม็ดดินหลุดออกจากกัน โดยไม่ทำให้เม็ดดินแตก
- ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุดโตกว่า 19.0 มม.(3/4 นิ้ว)ร่อนเอาดินที่ค้าง บนตะแกรงนี้ออกแล้วแทนด้วยดินที่ร่อนผ่านตะแกรงนี้แล้วค้ำบนตะแกรงขนาด4.75 มม. (เบอร์ 4) จำนวนน้ำหนักเท่ากันใส่ลงแทนแล้วคลุกเคล้าให้ทั่วทำการแบ่งสี่ (quartering) หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)
- ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุดไม่โตกว่า 19.0 มม.(3/4นิ้ว) ให้แบ่งตัว อย่างตามวิธีการแบ่งสี่หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง
- ในกรณีที่ทำการทดสอบตามวิธี ก. หรือ ง. ให้ใช้ตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) เท่านั้น ส่วนที่ค้ำบนตะแกรงนี้ให้ทิ้งไป
- ให้เตรียมตัวอย่างหนักประมาณ 6,000 กรัม (14 ปอนด์) สำหรับการทดสอบวิธี ข. และ ง. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง และหนักประมาณ 3,000 กรัม (7 ปอนด์) สำหรับ การทดสอบวิธี ก. และ ค. ต่อการทดสอบ 1 ครั้ง การเตรียมตัวอย่างต้องเตรียมให้พอทดสอบได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้งต่อ 1 ตัวอย่าง

การทดสอบ

การทดสอบวิธี ก.

- นำตัวอย่างดินที่เตรียมมาพรมน้ำให้ทั่วเพื่อให้ดินชื้น โดยเมื่อคลุกผสมกันแล้วจะมีความชื้นต่ำปริมาณความชื้นที่ให้ความแน่นสูงสุด(optimum moisture content) ร้อยละ 4 ใส่ดินที่ผสมน้ำแล้ว ลงในแบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 102 มม. (4 นิ้ว) ซึ่งมีปลอก (collar) สวมอยู่เรียบร้อยแล้ว โดยประมาณว่าเมื่อบดอัดแล้วจะเหลือดินสูง 1/5 ของความสูงของแบบ แล้วบดอัดโดยตุ้มยกสูง 457 มม. (18 นิ้ว) จำนวน 25 ครั้ง ให้ทั่วผิวของดินในแบบ
- ทำซ้ำอีก 4 ครั้ง จนดินที่ถูบบดอัดแน่นในแบบมีความสูงกว่าแบบประมาณ 10 มม.
- ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดดินปาดแต่งหน้าดินในแบบให้เรียบเท่ากับระดับขอบบนของแบบ ถัดจากนั้นให้คนดินในแบบให้ดินทั่วๆไปแทนแล้วกดให้แน่นพอควรจนเรียบแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก เมื่อหักน้ำหนักของแบบออกจะได้น้ำหนักของดินขึ้น ต้องอ่านเครื่องชั่งละเอียดถึง 5 กรัม
- แกะดินออกจากแบบ แล้วผ่าตามแนวตั้งผ่านจุดศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างดิน เก็บดินจากที่ผ่าประมาณ 300 กรัม ใส่กลับบรรจุดินชั่งน้ำหนักทันที อ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม
- นำดินในตลับบรรจุดินไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส (230 ± 9 องศาฟาเรนไฮต์) อย่างน้อย 12 ชั่วโมง แล้วชั่งหาน้ำหนักอ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม
- บดดินตัวอย่างที่แกะออกจากแบบที่เหลือให้ร่วน แล้วคลุกผสมกับดินในตอนแรกเข้ากัน พรมน้ำให้ความชื้นเพิ่มขึ้นร้อยละ 1 ถึง 2
- ดำเนินการโดย เพิ่มน้ำทุกครั้ง จนกว่า น้ำหนักดินที่บดอัดในแบบลดลงหรือไม่เปลี่ยนแปลง หรืออาจลดน้ำที่ผสมลงเมื่อพบว่าการเพิ่มน้ำแล้วน้ำหนักดินที่บดอัดในแบบกลับลดลง
- การทดสอบวิธี ข. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ก. แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้นๆ ละ 56 ครั้ง
- การทดสอบวิธี ค. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ก. แต่ใช้ตัวอย่างดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) บดอัด 3 ชั้นๆ ละ 25 ครั้ง
- การทดสอบวิธี ง. ดำเนินวิธีการทดสอบเช่นเดียวกับวิธี ค. แต่ใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152 มม. (6 นิ้ว) บดอัด 3 ชั้นๆ ละ 56 ครั้ง

การคำนวณ

- คำนวณหาค่าความชื้นในดินเป็นร้อยละ

$$W = \frac{W_1 - W_2}{W_2} \times 100$$

เมื่อ W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

W_1 = น้ำหนักของดินชื้น หน่วยเป็นกรัม

W_2 = น้ำหนักของดินอบแห้ง หน่วยเป็นกรัม

- คำนวณหาค่าความแน่นชื้น (WET DENSITY)

$$\gamma_w = \frac{A}{V}$$

เมื่อ γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

A = น้ำหนักดินชื้นที่บดอัดในแบบ หน่วยเป็นกรัม

V = ปริมาตรของแบบ ซึ่งเท่ากับปริมาตรของดินชื้นที่บดอัดในแบบ
หน่วย เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร

- คำนวณหาค่าความแน่นแห้ง (DRY DENSITY)

$$\gamma_d = \frac{\gamma_w}{1 + \frac{W}{100}}$$

เมื่อ γ_d = ความแน่นแห้งของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

γ_w = ความแน่นชื้นของดิน หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร

W = ความชื้นในดินเป็นร้อยละเมื่อเทียบกับน้ำหนักดินอบแห้ง

การรายงาน

- นำค่าความชื้นในดิน (W) และค่าความแน่นแห้งของดิน (γ_d) ในแต่ละครั้งของการทดสอบมากำหนดจุดลงในกระดาษกราฟ โดยให้ค่าความชื้นในดินอยู่ในแกนนอน และค่าความแน่นแห้งของดินอยู่ในแกนตั้ง

- เขียนเส้นกราฟให้ผ่านจุดที่กำหนดไว้ หรือใกล้เคียงให้มากที่สุดจะได้เส้นกราฟลักษณะเป็นเส้นโค้ง รูปประฆังคว่ำ (parabola curve) จุดสูงที่สุดของเส้นโค้งคือค่าความแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density) ของดินนั้น ตามกรรมวิธีบดอัดที่ใช้ทดสอบนี้
- ที่จุดค่าความแน่นแห้งสูงสุดของดิน เมื่อลากเส้นตรงขนานกับแกนตั้งลงมาตัดแกนนอน จะได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูง
- ให้รายงานค่าความแน่นแห้งสูงสุด หน่วยเป็นกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) เป็นร้อยละ

ข้อควรระวัง

- การประมาณปริมาตรน้ำที่ใช้ผสมดินที่เกาะติดกันเป็นก้อน (cohesive soil) ควรเผื่อให้ค่าและสูงกว่าจำนวนน้ำ ที่ทำให้ได้ค่าความชื้นที่ทำให้ดินบดอัด ได้แน่นสูงสุด (OMC) ดินพวกดินทราย (cohesionless soil) ควรผสมน้ำตั้งแต่้น้อยที่สุด คือ เริ่มจากดินผึ่งแห้งจนกระทั่งมากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ในการบดอัดดินให้วางแบบบนพื้นที่ยึดแน่นแข็งแรง ราบเรียบขณะทำการบดอัดแบบต้องไม่กระดอนไปมา
- ควรเตรียมตัวอย่างให้เพียงพอ โดยให้มีตัวอย่างทดสอบทางด้านแห้งกว่า (dry side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) ไม่น้อยกว่า 2 ตัวอย่าง และให้มีตัวอย่างทดสอบพอสอดทางด้านชื้นกว่า (wet side) ความชื้นที่ทำให้ดินบดอัดได้แน่นสูงสุด (OMC) 1 ตัวอย่าง
- ดินชนิดที่มีปริมาณดินเหนียวมาก (heavy clay) หลังจากผึ่งให้แห้งแล้วให้บดด้วยค้อนยางหรือใช้เครื่องบด จนได้ตัวอย่างที่สามารถร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) มากที่สุดเท่าที่จะทำได้
- ปริมาตรของแบบให้ทำการวัดและคำนวณเพื่อให้ได้ปริมาตรที่แท้จริงของแต่ละแบบ
- แบบที่ใช้งานแล้วต้องคลาดเคลื่อนไม่เกินร้อยละ 50 ของความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้

2.8 วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ (sieve analysis) (มทข.(ท) 501.8-2545)

ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ เป็นการหาการกระจายของขนาดเม็ดดิน (particle size distribution)

ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ จนถึงขนาดเล็กที่มีขนาดช่องผ่าน 0.075 มม. (เบอร์ 200) แล้วเปรียบเทียบน้ำหนักที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆกับ น้ำหนักทั้งหมดของตัวอย่าง

นิยาม

การกระจายของขนาดเม็ดดิน หมายถึง การที่มวลดินประกอบด้วยเม็ดดินหลายขนาดต่าง ๆ กัน เช่น ตั้งแต่ 10 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดดิน

การกระจายของขนาดเม็ดดิน แสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดดินในลอการิทึม (logarithm) อยู่บนแกนนอน และร้อยละโดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (percent finer) อยู่บนแกนตั้ง ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายของเม็ดดิน (grainsize distribution curve)

วิธีทำ

เครื่องมือและอุปกรณ์ ประกอบด้วย

- ตะแกรงร่อนดิน (sieve) ช่องผ่านต้องเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาดช่องผ่านต่างๆ ได้ขนาดตามต้องการ พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง
- เครื่องชั่ง แบบบาลานซ์ (balance) จะต้องสามารถชั่งได้ละเอียดถึงร้อยละ 0.2 ของน้ำหนักตัวอย่าง
- ตู้อบ (oven) ต้องสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส (230 ± 9 องศาฟาเรนไฮต์)
- เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง (sample splitter)
- แปรงทำความสะอาดตะแกรงชนิดลาดทองเหลือง และแปรงขน หรือแปรงพลาสติก
- ภาชนะสำหรับใช้แช่ และล้างตัวอย่างดิน ด้วยมือหรือด้วยชนิดใช้เครื่องเขย่า

การเตรียมตัวอย่าง

- การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกตัวอย่างโดยใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งตัวอย่างแห้งอยู่ได้ ถ้ามีส่วนละเอียดจับเป็นก้อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อนต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่โดยให้ทุบแยกดินออกเป็นเม็ดอิสระด้วยก้อนยางแต่ต้องระวังไม่ให้เม็ดดินแตก

- การเตรียมตัวอย่างโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง

นำตัวอย่างที่มีส่วนละเอียดจับกันเป็นก้อนไปแยกออกจากกันโดยใช้ก้อนยางทุบแล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส (230 ± 9 องศาฟาเรนไฮต์) เพื่อหาน้ำหนัก

ตัวอย่างแห้ง นำตัวอย่างใส่ภาชนะสำหรับใช้ล้างตัวอย่าง โดยใช้ น้ำยาล้างส่วนละเอียด ซึ่งเตรียมได้จากการละลายฟอสเฟตโซเดียมเฮกซะเมตาฟอสเฟต ซึ่งทำให้เป็นกลางด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (sodium hexametaphosphate buffered with sodium carbonate) 45.7 กรัม ละลายในน้ำ 1,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร คนผสมกันให้ทั่วตั้งทิ้งไว้อย่างน้อย 4 ชม.แล้วนำไปแช่ประมาณ 10 นาที ขณะเขย่าระวังอย่าให้น้ำกระลอกออกจากภาชนะ เทตัวอย่างดินในภาชนะลงบนตะแกรงเบอร์ 200 ถ้าหากมีตัวอย่างขนาดใหญ่ปนอยู่มากควรใช้ตะแกรงที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 200 ซ้อนไว้ข้างบน แล้วใช้น้ำล้างจนกว่าไม่มีวัสดุผ่านตะแกรงเบอร์ 200 อีก เทตัวอย่างลงบนภาชนะแล้วนำไปไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส (230 ± 9 องศาฟาเรนไฮต์)

การทดสอบ

- นำตัวอย่างที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างแล้วแต่จะต้องการทดสอบแบบใดมา โดยประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้วตามตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.5 ขนาดตะแกรงของวัสดุ

ขนาดตะแกรง	น้ำหนักตัวอย่างไม่น้อยกว่า (กก.)
4.75 มม. (เบอร์ 4)	0.5
9.5 มม. (3/8 นิ้ว)	1.0
12.5 มม. (1/2 นิ้ว)	2.0
19.0 มม. (3/4 นิ้ว)	5.0
25.0 มม. (1 นิ้ว)	10.0
37.5 มม. (1 1/2 นิ้ว)	15.0
50.8 มม. (2 นิ้ว)	20.0
63.0 มม. (2 1/2 นิ้ว)	25.0
75.0 มม. (3 นิ้ว)	30.0
90.0 มม. (3 1/2 นิ้ว)	35.0

- นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งในแนวราบและแนวดิ่ง รวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละชนิดใน 1 นาที ไม่เกินร้อยละ 1 ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้ว ถ้ามีตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรง ขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องไม่มีก้อนตัวอย่าง ซ้อน

กันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มม. (เบอร์ 4) ต้องมี ตัวอย่างข้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัม ต่อ 1,000 ตร.มม. หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มม. (8 นิ้ว) นำตัวอย่างที่ค้างแต่ละ ขนาดของตะแกรงไปชั่ง

การคำนวณ

- น้ำหนักที่ค้าง (weigh retained) บนตะแกรงแต่ละขนาดโดยชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง ดินที่ค้างบนแต่ละตะแกรงและน้ำหนักที่หายไปเมื่อนำน้ำหนักของตัวอย่างในทุก ตะแกรงรวมกันแล้ว หักออกจากน้ำหนักตัวอย่างอบแห้งทั้งหมดจะได้ น้ำหนักของ ตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 รวมกับน้ำหนักที่ค้างบนถาดรอง (pan)
- น้ำหนักที่ผ่าน (weight passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของ ช่องน้ำหนักที่ค้างขึ้นไป เมื่อนำน้ำหนักบนช่องน้ำหนักที่ค้างบนถาดรองเป็นช่องน้ำหนัก ที่ค้าง ของตะแกรง เบอร์ 200 รวมน้ำหนักของน้ำหนักที่ค้าง น้ำหนักช่องน้ำหนักที่ ผ่าน ของตะแกรงเบอร์ 200 เป็นน้ำหนักของช่องน้ำหนักที่ผ่านบรรทัดบนสุดเท่ากับ น้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมด ซึ่งใช้ทดสอบ
- คำนวณหาร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก (percentage passing) ได้ดังนี้

$$\text{ร้อยละผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก} = \frac{\text{น้ำหนักของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด}}{\text{น้ำหนักของตัวอย่างแห้งทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ}} \times 100$$

การรายงาน

ให้รายงานค่าร้อยละ ผ่านตะแกรงขนาดต่าง ๆ โดยน้ำหนักด้วยทศนิยม 1 ตำแหน่ง

ข้อควรระวัง

- การแบ่งตัวอย่างด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่าง ต้องใช้เครื่องมือขนาดช่องกว้าง ประมาณ 1 1/2 เท่าของก้อนโตที่สุด
- ตรวจสอบตะแกรงบ่อย ๆ ถ้าชำรุดต้องซ่อมก่อนใช้โดยเฉพาะเบอร์ 200
- ห้ามใส่ตัวอย่างลงในตะแกรงขณะที่อยู่
- การทุบตัวอย่างดินต้องไม่แรงมากจนทำให้เม็ด
- การเขย่าอย่างเขย่าจนตัวอย่างกระแทกแตกเป็นผง

2.9 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อภิชาติ คำภาหล้า ได้ศึกษา อิทธิพลของกำลังรับแรงอัดของดินเหนียวผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยด้วยวิธีแห้งสลับเปียก พบว่าอายุการใช้งานของดินเหนียวผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยจะมีค่าต่ำสุดคล้อยกับที่ ACI (1990) และ U.S. Army Corps of Engineers (2004) แนะนำว่ากำลังอัดของดินเหนียวผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์จะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนรอบของการแห้งสลับเปียกการเพิ่มเถ้าลอยเพื่อช่วยให้ความหนาแน่นและการเกิดปฏิกิริยา pozzolanic ในดินเหนียวผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ และปริมาณที่เหมาะสมของดินเหนียวผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอยอยู่ที่ประมาณร้อยละ 7 และร้อยละ 20 ตามลำดับ ปริมาณเถ้าลอยที่มากเกินไปจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดมีค่าลดลง ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะให้ค่ากำลังอัดสูงสุด

เฉลิมชัย และ วรชัย ได้ศึกษาการเสื่อมสภาพของอิฐดินซีเมนต์ (Soil cement) หรืออิฐบล็อกประสาน (Interlocking Block) โดยวิธีการทดสอบแบบแห้งสลับเปียก (Wet and Dry Condition) เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการวิเคราะห์การเสื่อมสภาพของอิฐดินซีเมนต์โดยมีน้ำเป็นตัวกัดกร่อน ซึ่งใช้เกณฑ์พิจารณาจาก 3 ปัจจัย คือ ค่ากำลังรับแรงอัดของอิฐดินซีเมนต์ ร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก และลักษณะทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ จากการทดสอบการเสื่อมสภาพของอิฐดินซีเมนต์ภายใต้การทดสอบแบบแห้งสลับเปียก พบว่าการสึกกร่อนของอิฐดินซีเมนต์ โดยใช้ น้ำเป็นตัวกัดกร่อนเกิดกระบวนการกัดกร่อนที่แปรผันตรงกับระยะเวลาที่เพิ่มขึ้น แต่จะเกิดในลักษณะที่ค่อย ๆ ลดลงแบบค่อยเป็นค่อยไปและต้องใช้ระยะเวลานาน ผลการทดสอบทางด้านน้ำหนัก (Weight Loss) น้ำหนักของอิฐดินซีเมนต์ลดลงแปรผันตรงกับระยะเวลา เกิดการเสื่อมสภาพทางด้านน้ำหนักแบบช้า ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยร้อยละของการสูญเสียน้ำหนัก (Percent Weight loss) คือ 4.8% จากผลการทดลองของตัวอย่างทั้งหมด 4 ชุดการทดลอง จำนวนทั้งสิ้น 46 รอบการทดลอง เป็นระยะเวลาในการทดสอบทั้งสิ้น 90 วัน ผลการทดสอบทางด้านกำลังของวัสดุ กำลังรับแรงอัด (Compressive Strength) ลดลงเฉลี่ยทั้ง 3 ชุดการทดลอง เท่ากับ 7.71 ksc คิดเทียบเป็นค่าเฉลี่ยร้อยละลดลงเท่ากับ ร้อยละ 7.0 เทียบจากค่ากำลังรับแรงอัดก่อนเริ่มทำการทดสอบ และได้ค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของทั้ง 3 ชุดการทดลองภายหลังการทดสอบ เท่ากับ 80.29 ksc ผลทางด้านการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพของอิฐดินซีเมนต์ มีดังนี้ เกิดรอยแตกร้าวที่บริเวณผิวและเนื้อของอิฐดินซีเมนต์ภายหลังการทดสอบแล้วเสร็จมีจำนวนอิฐบล็อกที่เกิดรอยร้าวประมาณ ร้อยละ 20 ของจำนวนตัวอย่างทั้งหมด เกิดการสึกกร่อนของอิฐบล็อกประสานบริเวณรอบรูเสียบเหล็กเสริมรอบปาก และดอกของอิฐบล็อก สีของอิฐบล็อกประสานมีสีซีดลง

วิญญูกร สมิงทอง ได้ทำการศึกษาอิทธิพลของสภาวะเปียกสลับแห้งต่อกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจิโอะโพลิเมอร์ ผลการทดสอบสรุปว่า สำหรับทุกอุณหภูมิและระยะเวลาบ่มกำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจิโอะโพลิเมอร์ให้ค่าสูงกว่ามาตรฐานอุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) กำลังอัดของตะกอนดินประปา-เถ้าลอยจิโอะโพลิเมอร์ที่ให้ค่าสูงกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) คืออัตราส่วน $\text{Na}_2\text{SiO}_3/\text{NaOH}$ เท่ากับ 90:10 และอัตราส่วน L/FA เท่ากับ 1.6 ที่อุณหภูมิ 85°C ระยะเวลาบ่มไม่น้อยกว่า 3 วัน กำลังอัดของดินตะกอนประปา-เถ้าลอยจิโอะโพลิเมอร์ที่จำนวนรอบเปียกสลับแห้งแปรผันตามกำลังอัดในสภาวะแช่น้ำเริ่มต้น การทดสอบความคงทนด้านสภาวะเปียกสลับแห้งใช้เวลานานมาก งานวิจัยนี้จึงได้สร้างสมการทำนายกำลังอัดที่รอบเปียกสลับแห้งต่างๆ ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากในการออกแบบผลิตภัณฑ์ในฟังก์ชันล็อกการตีพิมพ์ ดังนั้น กำลังอัดของดินตะกอนประปา-เถ้าลอยจิโอะโพลิเมอร์ที่จำนวนรอบเปียกสลับแห้งค่าหนึ่งสามารถประมาณได้เมื่อทราบเพียงกำลังอัดในสภาวะแช่น้ำเริ่มต้น

การสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนรอบเปียกสลับแห้งในช่วง 6 รอบแรก เมื่อจำนวนรอบเปียกสลับแห้งเกินกว่า 6 รอบ การสูญเสียน้ำหนักมีค่าน้อยลงและเกือบจะคงที่สำหรับทุกอุณหภูมิและระยะเวลาบ่ม ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของกำลังอัดของดินตะกอนประปา-เถ้าลอยจิโอะโพลิเมอร์ ร้อยละการดูดซึมน้ำของดินตะกอนประปา-เถ้าลอยจิโอะโพลิเมอร์ ที่บ่มที่อุณหภูมิต่ำกว่า 85°C มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 14.3 ซึ่งเป็นค่ายอมให้สำหรับคอนกรีตบล็อกการบ่มตัวอย่างที่ อุณหภูมิสูงและนานเกินไป (สูงกว่า 95°C และนานเกิน 72 ชั่วโมง) ก่อให้เกิดการหดตัว และรอยแตกระดับไมโครเมตร เนื่องจากการสูญเสียของเหลวในตัวอย่างอย่างฉับพลัน ส่งผลให้ร้อยละของการดูดซึมน้ำมีเกินกว่าข้อกำหนด

บทที่ 3

วิธีดำเนินการทำโครงการ

ในหัวข้อนี้กล่าวถึงวิธีการเตรียมตัวอย่างของดิน ปูนซีเมนต์และเปลือกหอยเชอรี่ วิธีทดลองหาค่าความหนาแน่น วิธีหล่อตัวอย่าง และวิธีการทดสอบหาค่ากำลังอัดสูงสุด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 วัสดุและอุปกรณ์

การทดลองในห้องปฏิบัติการควรเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ก่อนที่จะปฏิบัติงานซึ่งประกอบไปด้วยดังนี้

1. ดินลูกรังจากอำเภอโพธาราม จังหวัดร้อยเอ็ด
2. เปลือกหอยเชอรี่จากอำเภอโพธาราม จังหวัดร้อยเอ็ด
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1
4. น้ำสะอาด
5. คุอบดิน
6. เครื่องอัดไฮดรอลิกพร้อมเกจวัด
7. แบบหล่อเหล็กกลวงขนาด 5x10 ซม.
8. เครื่องชั่งละเอียด 0.01 กรัม
9. กระบะผสมปูน
10. พลาสติกห่อหุ้มตัวอย่าง

3.2 วิธีเตรียมตัวอย่างดินและเปลือกหอย

วิธีการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังและเปลือกหอยเชอรี่ เมื่อจัดเตรียมวัสดุเพียงพอจนได้ปริมาณที่ต้องการแล้ว จากนั้นนำตัวอย่างดินลูกรังและเปลือกหอยเชอรี่บดให้ละเอียดนำมาร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 40 ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้ดินลูกรังและเปลือกหอยเชอรี่บดที่ผ่านตะแกรงนำมาใช้ศึกษา



ก) ดินลูกรัง



ข) เปลือกหอยเชอรี่บด

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างดินลูกรังและเปลือกหอยเชอรี่บดร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของงานวิจัย

ตัวแปร	จำนวน	หมายเหตุ
อัตราส่วนผสมการแทนที่ปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บด	5	100:0 90:10 80:20 70:30 และ 60:40
อัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บดต่อดินลูกรัง	2	1: 6 และ 1: 8
ปริมาณน้ำ	1	OWC
อายุการบ่ม	1	28 วัน
จำนวนรอบทดสอบเปิกสลับแห้ง	6	0 1 3 6 9 12
จำนวนตัวอย่าง	180	ชุดละ 3 ตัวอย่าง

3.3 วิธีการเตรียมตัวอย่างทดสอบ

ดินลูกรังจะถูกนำมาตากให้แห้งแล้วนำไปบดด้วยเครื่องโม่บดดินให้ละเอียด แล้วร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 ดินลูกรังจะถูกผสมเข้ากับเปลือกหอยเชอรี่บดและปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนผสมที่กำหนด (ตารางที่ 3.1) จนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วเติมน้ำในอัตราส่วนที่กำหนดและผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ส่วนผสมระหว่างดินลูกรังเปลือกหอยเชอรี่บด และสารกระตุ้น จะถูกบดอัดในแบบหล่อทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร และสูง 100 มิลลิเมตร ภายใต้พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตัวอย่างดินจะถูกนำมาบ่มในห้องปฏิบัติการที่ควบคุมอุณหภูมิประมาณ 28°C จนได้อายุบ่มรวมเท่ากับ 28 วัน เมื่อได้ตัวอย่างดินที่ครบอายุบ่มตามต้องการแล้ว ตัวอย่างจะนำมาทดสอบกำลังอัดและความคงทน ตามมาตรฐาน ASTM C69 – 09 และ ASTM D 559 – 03

การทดสอบความคงทนดำเนินการกับตัวอย่างที่มีอายุบ่ม 28 วัน โดยมีขั้นตอนการทดสอบโดยสรุปดังนี้

- แช่ตัวอย่างในน้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทิ้งตัวอย่างไว้ให้ผิวนอกแห้ง
- นำตัวอย่างเข้าสู่อบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง หลังจากนั้น ทิ้งตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 ชั่วโมง (ถือว่าเป็นหนึ่งรอบ)
- ทำการทดสอบดังอธิบายข้างต้น จนได้จำนวนรอบทดสอบที่ต้องการ (1, 3, 6, 9 และ 12 รอบ)
- เมื่อได้จำนวนรอบทดสอบที่ต้องการ แช่ตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำ ก่อนทดสอบสอบกำลังอัด

3.4 สัญลักษณ์การทดลอง

สัญลักษณ์ที่ใช้แสดงเพื่อใช้ในการทดสอบกำลังอัดของอิฐบล็อกประสานตามอัตราส่วนของงานวิจัยนี้แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัญลักษณ์การทดสอบ

สัญลักษณ์	ความหมาย
A	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่บดเท่ากับ 100:0 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บด ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 6
B	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่บดเท่ากับ 90:10 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บด ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 6
C	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่บดเท่ากับ 80:20 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บด ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 6
D	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่บดเท่ากับ 70:30 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บด ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 6
E	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่บดเท่ากับ 60:40 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บด ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 6
F	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่บดเท่ากับ 100:0 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บด ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 8

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

สัญลักษณ์	ความหมาย
G	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่กับ 90:10 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่กับ ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 8
H	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่กับ 80:20 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่กับ ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 8
I	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่กับ 70:30 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่กับ ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 8
J	อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอรี่กับ 60:40 ที่อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่กับ ต่อ ดินลูกรัง ที่ 1 : 8
OWC	สถานะด้านที่เหมาะสมที่อุณหภูมิห้อง
0	จำนวนรอบที่การทดสอบเปียกสลับแห้ง รอบที่ 0
1	จำนวนรอบที่การทดสอบเปียกสลับแห้ง รอบที่ 1
3	จำนวนรอบที่การทดสอบเปียกสลับแห้ง รอบที่ 3
6	จำนวนรอบที่การทดสอบเปียกสลับแห้ง รอบที่ 6
9	จำนวนรอบที่การทดสอบเปียกสลับแห้ง รอบที่ 9
12	จำนวนรอบที่การทดสอบเปียกสลับแห้ง รอบที่ 12

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

ในบทนี้กล่าวถึง ผลการทดสอบความหนาแน่น (Dry Density) ผลการทดสอบกำลังอัด (Water Content) เปรียบเทียบกำลังอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอิฐบล็อกประสาน (มผช. ๖๐ ๒/๒๕๔๙) การทดสอบหาค่าความหนาแน่น เพื่อต้องการทราบปริมาณอัตราส่วนผสมที่ให้กำลังอัดสูงสุด

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง และเปลือกหอยเชอรี่บด

ดินลูกรังจากอำเภอโพธาราม จังหวัดร้อยเอ็ด ซึ่งจำแนกเป็นทรายขนาดละเอียด (SP) ตัวอย่างดินลูกรังประกอบด้วยทรายร้อยละ 93.23 และดินเหนียวร้อยละ 6.75 และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.79 จัดจำกัดเหลวและพิกัดพลาสติกของดินเท่ากับร้อยละ 23 และ 15 ตามลำดับการกระจายขนาดของเม็ดดินแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

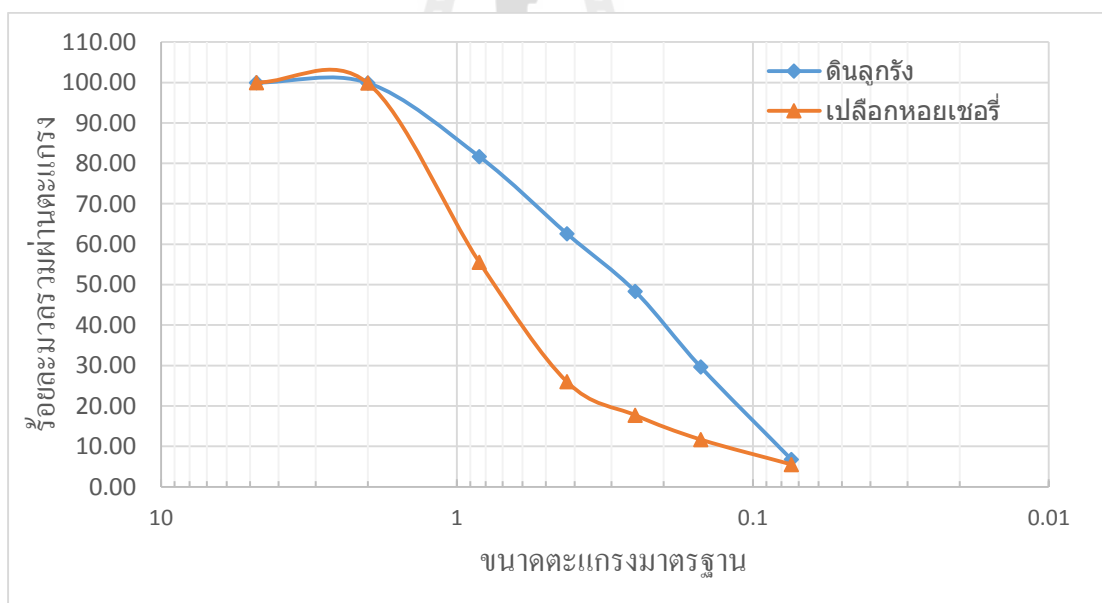
เปลือกหอยเชอรี่บด จากอำเภอโพธาราม จังหวัดร้อยเอ็ด ที่ใช้ในงานวิจัยนี้จำแนกเป็น ทรายขนาดละเอียดสม่ำเสมอ (SW) ซึ่งจำแนกตามระบบเอกภาพ และมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.78 จัดจำกัดเหลวและพิกัดพลาสติกของดินเท่ากับร้อยละ 23 และ 15 ตามลำดับการกระจายขนาดของเม็ดดินแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1 จากกราฟการกระจายขนาดของอนุภาค จะเห็นได้ว่า อนุภาคของดินลูกรังมีขนาดเล็กกว่าอนุภาคของเปลือกหอยเชอรี่บด

ตารางที่ 4.1 ผลการคำนวณขนาดละเอียดของดินลูกรัง

Sieve NO.	Weight Retain (g)	Retain (%)	Cumulative Retain (%)	Passing (%)
4	0.08	0.02	0.02	99.98
10	0.43	0.09	0.10	99.89
20	91.18	18.22	18.32	81.68
40	95.36	19.05	37.37	62.62
60	71.29	14.24	51.62	48.38
100	93.76	18.73	70.35	29.65
200	114.62	22.90	93.25	6.75
Pan	33.76	6.75	100.00	-

ตารางที่ 4.2 ผลการคำนวณขนาดคละของเปลือกหอยเชอรี่บด

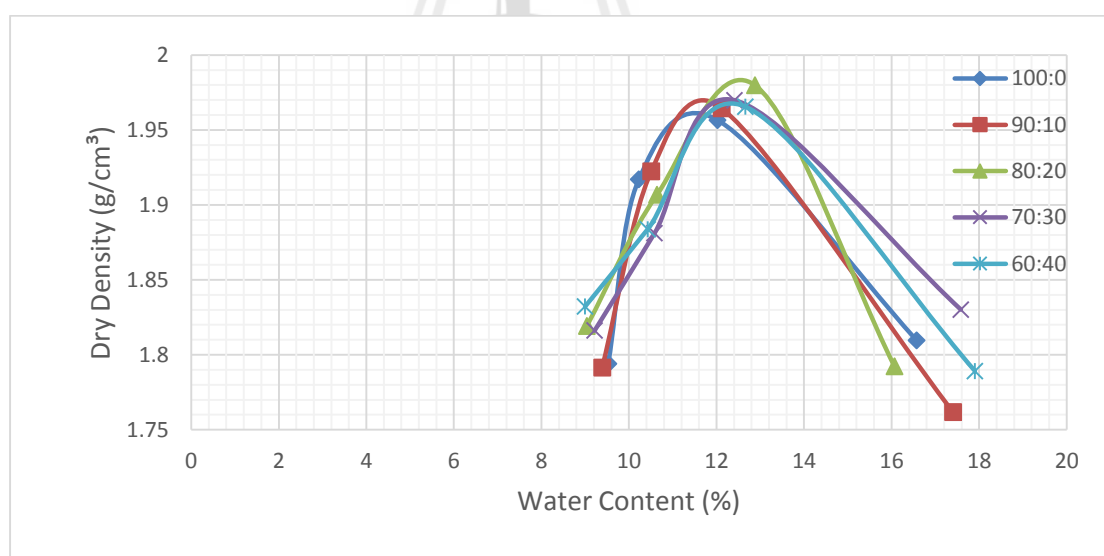
Sieve NO.	Weight Retain (g)	Retain (%)	Cumulative Retain (%)	Passing (%)
4	0.00	0.00	0.00	100.00
10	0.70	0.15	0.15	99.85
20	221.40	44.28	44.43	55.57
40	147.84	29.57	74.00	26.00
60	41.33	8.27	82.27	17.74
100	30.20	6.04	88.31	11.70
200	30.82	6.16	94.47	5.53
Pan	27.66	5.53	100.00	-



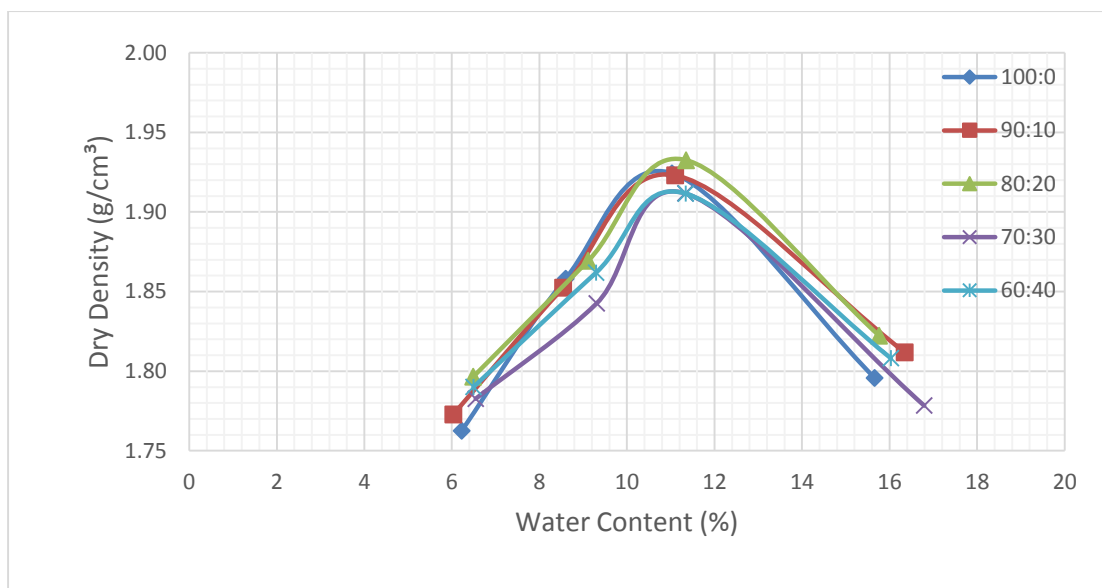
รูปที่ 4.1 ขนาดคละของดินลูกรัง เปลือกหอยเชอรี่บด

4.2 ผลการทดสอบความหนาแน่น

รูปที่ 4.2 และ 4.3 แสดงผลทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการเพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งและปริมาณน้ำเหมาะสมสำหรับนำไปเตรียมตัวอย่างบล็อกประสานเปลือกหอยเชอรี่บดที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมเปลือกหอยเชอรี่บดต่อดิน (Cement/Soil) เท่ากับ 1:6 และ 1:8 การหาปริมาณน้ำเหมาะสม (Optimum Water Content : OWC) โดยการทำ Compaction Test ด้วยวิธี Modified Procter Test จากผลการทดสอบจะเห็นได้ว่าความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น จนถึงค่าความหนาแน่นเหมาะสม หลังจากนั้นความหนาแน่นมีค่าลดลงกับการลดลงของปริมาณความชื้น สำหรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมเปลือกหอยเชอรี่บดต่อดินเท่ากับ 1:6 ความชื้นเหมาะสมมีค่าประมาณร้อยละ 12 ของน้ำหนักดินลูกรังและเปลือกหอยเชอรี่บด สำหรับทุกอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอรี่บด ความหนาแน่นสูงสุดมีค่าประมาณ 1.95 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร สำหรับอัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมเปลือกหอยเชอรี่บดต่อดินเท่ากับ 1:8 ความแน่นแห้งสูงสุดมีค่าประมาณ 1.91 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตรและปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าประมาณร้อยละ 11 สำหรับทุกอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอรี่บด



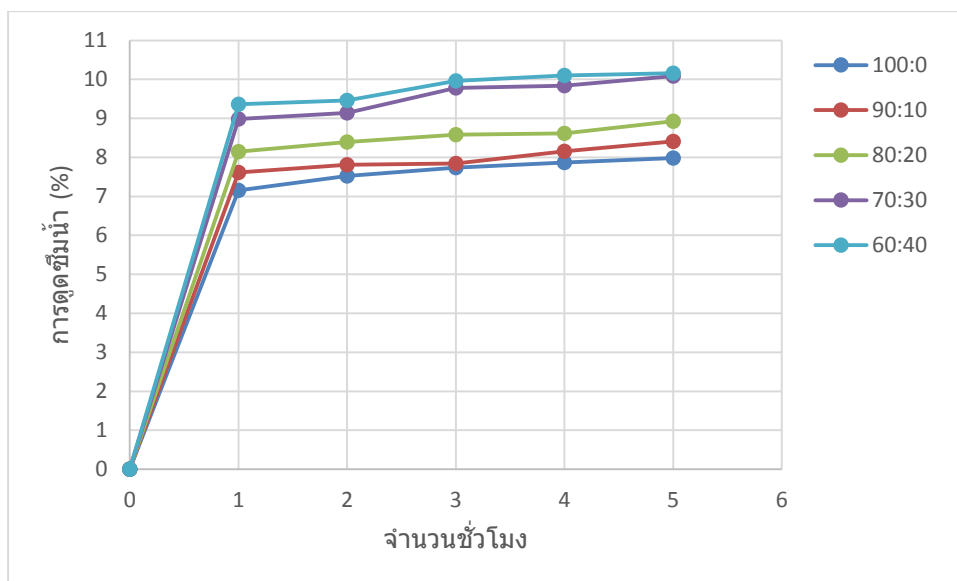
รูปที่ 4.2 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นและปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วนปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บดต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:6



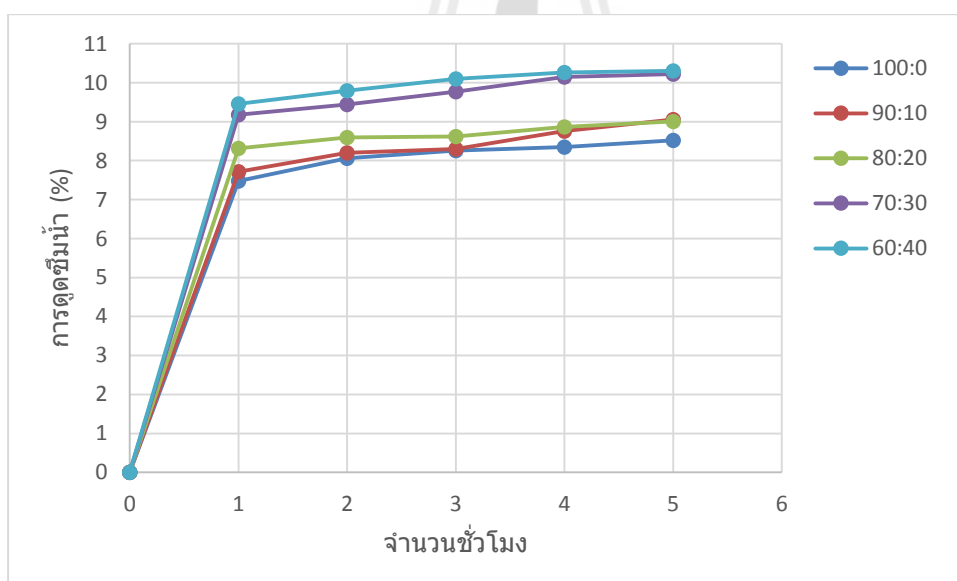
รูปที่ 4.3 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นและปริมาณน้ำที่เหมาะสม อัตราส่วน ปูนซีเมนต์กับเปลือกหอยเชอรี่บดต่อดินลูกรังเท่ากับ 1:8

4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

รูปที่ 4.4 และ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการดูดซึมน้ำกับระยะเวลาแช่น้ำของ ดินลูกรังเปลือกหอยเชอรี่บดผสมปูนซีเมนต์ ที่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และอายุการบ่ม 28 วัน มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มอก. 57-2530 ระบุร้อยละการดูดซึมน้ำตามความหนาแน่นของก้อนตัวอย่าง ความหนาแน่นของก้อนตัวอย่างมีค่าเฉลี่ยประมาณ 19.5 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร (น้อยกว่า 20 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร) ซึ่งตรงกับชั้นคุณภาพ ก ที่ ระบุว่าคอนกรีตบล็อกที่มีค่าความหนาแน่นน้อยกว่า 20 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร ต้องมีค่าการ ดูดกลืนน้ำไม่เกิน 176 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (ร้อยละ 9) รูปที่ 4.5 แสดงร้อยละการดูดซึมน้ำ เพิ่มขึ้นกับการเพิ่มขึ้นของระยะเวลาที่แช่น้ำ สำหรับทุกอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอย เชอรี่บด ร้อยละการดูดซึมน้ำของดินลูกรังเปลือกหอยเชอรี่บดผสมปูนซีเมนต์มีค่าต่ำกว่าข้อกำหนด สำหรับทุกอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอรี่บด และอัตราส่วนดินต่อวัสดุเชื่อม ประสาน (เปลือกหอยเชอรี่บดและปูนซีเมนต์) ยกเว้นอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอย เชอรี่บด ร้อยละ 30 และ 40 ร้อยละการดูดซึมน้ำของดินลูกรังเปลือกหอยเชอรี่บดผสมปูนซีเมนต์ที่ สูงเกินมาตรฐานเกิดจากปริมาณออร์แกนิกในเปลือกหอยเชอรี่บดสูงซึ่งมีค่าประมาณ ร้อยละ 8.94 (ทงศักดิ์ และคณะ 2552)



รูปที่ 4.4 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำเปลือกหอยเชอริบคอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6



รูปที่ 4.5 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำเปลือกหอยเชอริบคอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:8

4.4 ผลการทดสอบกำลังอัด

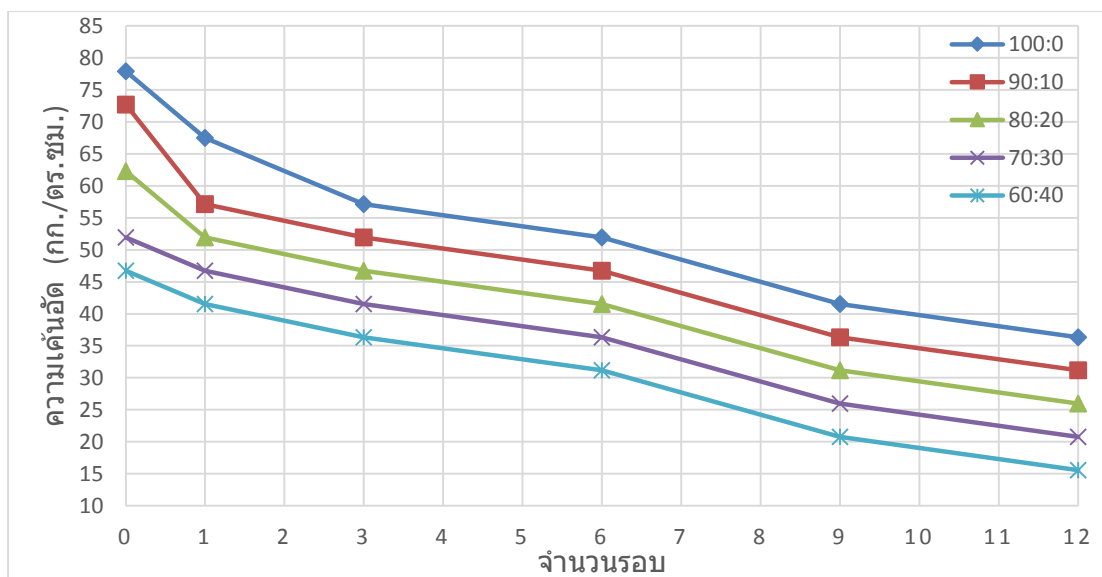
การทดสอบความคงทนตามวิธีการทดลองของ ASTM D599 เมื่อสิ้นสุดการเตรียมตัวอย่าง เปียกสลับแห้งในแต่ละรอบ ผู้วิจัยหาลำกำลังอัดและค่าสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง ผลการทดสอบ นำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2530

ซึ่งระบุให้กำลังอัดมีค่าไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคาล รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับจำนวนรอบสภาวะเปียกสลับแห้งของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์ ที่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และอัตราส่วนดินต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 1:6 และ 1:8 ที่อายุการบ่ม 28 วัน ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์ลดลงตามจำนวนรอบการทดสอบสภาวะเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่อัตราส่วนดินต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:6 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอร์รี่บดเท่ากับ 100:0 ให้กำลังอัดสูงสุดในทุกจำนวนรอบเปียกสลับแห้ง

กำลังอัดของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์ที่สภาวะเปียกสลับแห้งเท่ากับ 12 รอบมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานสำหรับคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (2.5 เมกะปาสคาล) ทุกอัตราส่วนผสม ยกเว้นอัตราส่วนอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่บดเท่ากับร้อยละ 30 และ 40 สำหรับทุกอัตราส่วนดินต่อวัสดุเชื่อมประสาน

ตารางที่ 4.3 ค่ากำลังอัดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6

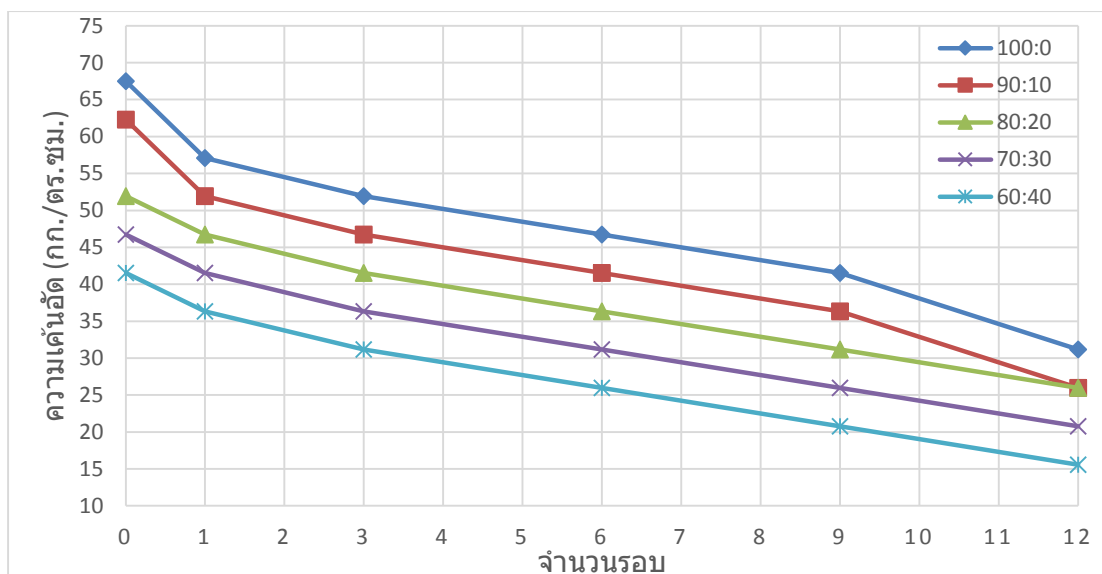
ลำดับ ที่	อัตราส่วน		กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ (รอบ)						ค่า OMC ที่ใช้
	ส่วนผสม	ปูน : หอย (%)	0	1	3	6	9	12	
1	1 : 6	100 : 0	77.87	67.49	57.11	51.92	41.53	36.34	12.02
2	1 : 6	90 : 10	72.68	57.11	51.92	46.72	36.34	31.15	12.12
3	1 : 6	80 : 20	62.30	51.92	46.72	41.53	31.15	25.96	12.88
4	1 : 6	70 : 30	51.92	46.72	41.53	36.34	25.96	20.77	12.41
5	1 : 6	60 : 40	46.72	41.53	36.34	31.15	20.77	15.57	12.66



รูปที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดเปลือกหอยเชอร์รี่คัอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6

ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังอัดอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:8

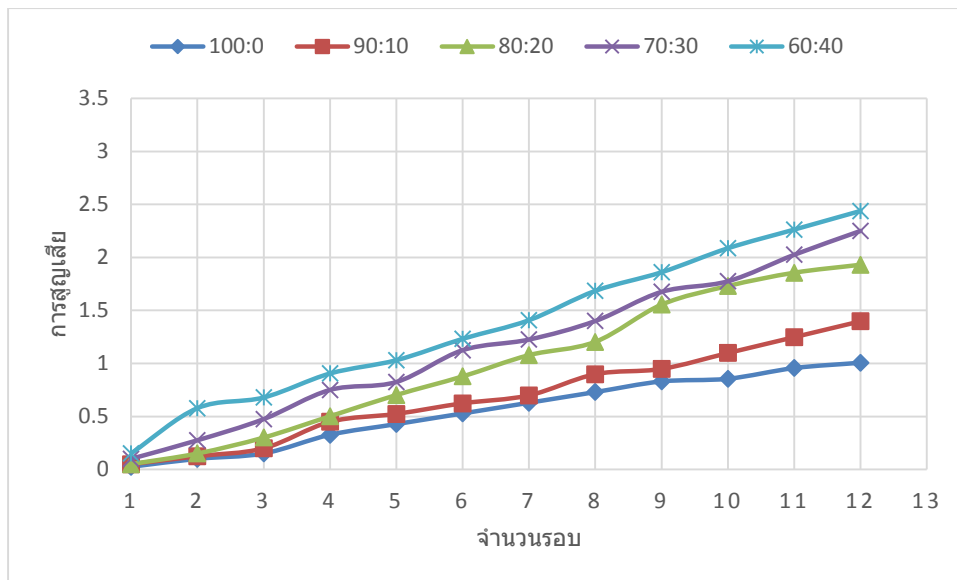
ลำดับ ที่	อัตราส่วน		กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.) ที่อายุ (รอบ)						ค่า OMC ที่ใช้
	ส่วนผสม	ปูน : หอย (%)	0	1	3	6	9	12	
1	1 : 8	100 : 0	67.49	57.11	51.92	46.72	41.53	31.15	11.03
2	1 : 8	90 : 10	62.30	51.92	46.72	41.53	36.34	25.96	11.10
3	1 : 8	80 : 20	51.92	46.72	41.53	36.34	31.15	25.96	11.35
4	1 : 8	70 : 30	46.72	41.53	36.34	31.15	25.96	20.77	11.33
5	1 : 8	60 : 40	41.53	36.34	31.15	25.96	20.77	15.57	11.34



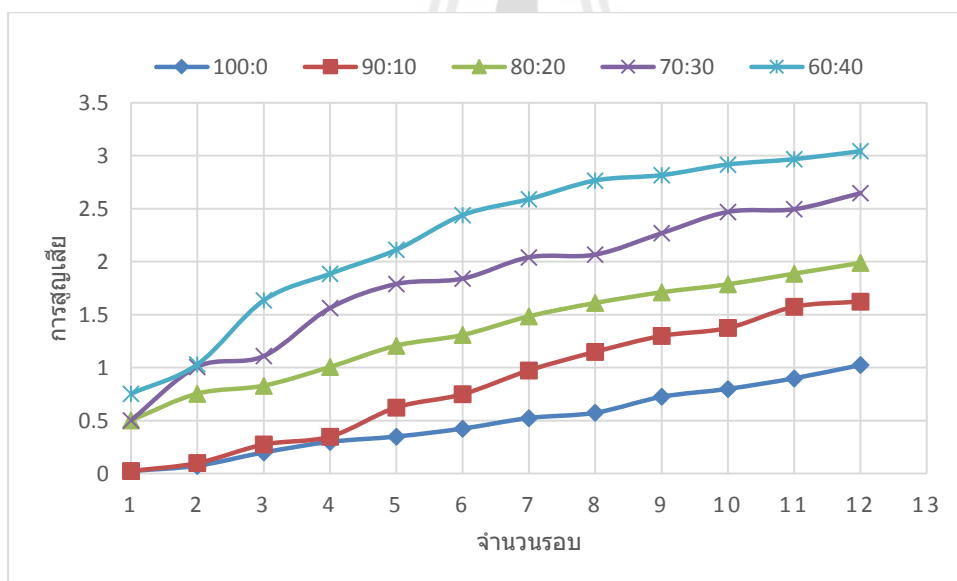
รูปที่ 4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดเปลือกหอยเชอร์รี่คัสดัรส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:8

4.5 ผลการทดสอบการสูญเสีย

รูปที่ 4.8 และ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักกับจำนวนรอบเป็ยกสลับแห้งของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่คัสดัรส่วนปูนซีเมนต์ ที่ปริมาณน้ำที่เหมาะสม และอัตราส่วนดินต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 1:6 และ 1:8 ที่อายุการบ่ม 28 วัน การสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนรอบเป็ยกสลับแห้ง ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของกำลังอัดของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่คัสดัรส่วนปูนซีเมนต์ ตัวอย่างที่อัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่ร้อยละ 40 เกิดการสูญเสียน้ำหนักมากที่สุด (ประมาณร้อยละ 3) ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ทำให้กำลังอัดต่ำที่สุดเนื่องจากปริมาณออร์แกนิกในเปลือกหอยเชอร์รี่คัสดัรที่สูง



รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบการสูญเสียเปลือกหอยเชอรี่คัอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:6



รูปที่ 4.9 ผลการทดสอบการสูญเสียเปลือกหอยเชอรี่คัอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อดินเท่ากับ 1:8

บทที่ 5

สรุปผลการทดสอบ

5.1 สรุปผลงานโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของสภาวะเปียกสลับแห้งต่อกำลังอัดของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์โดยการหาอัตราส่วนผสม (ดินลูกรังอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่ และปริมาณน้ำ) ที่เหมาะสมเพื่อผลิตบล็อกประสานที่มีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สรุปผลงานวิจัยได้ดังนี้

1. ร้อยละการดูดซึมน้ำของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์มีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐานกำหนด สำหรับทุกอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่ และอัตราส่วนดินต่อวัสดุเชื่อมประสาน (เปลือกหอยเชอร์รี่และปูนซีเมนต์) ยกเว้นอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่ ร้อยละ 30 และ 40 ร้อยละการดูดซึมน้ำของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์ที่สูงเกินมาตรฐานเกิดจากปริมาณออร์แกนิกสูง
2. กำลังอัดของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์ลดลงตามจำนวนรอบการทดสอบสภาวะเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างที่อัตราส่วนดินต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1:6 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อเปลือกหอยเชอร์รี่เท่ากับ 100:0 ให้กำลังอัดสูงสุดในทุกจำนวนรอบเปียกสลับแห้ง
3. กำลังอัดของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์ที่สภาวะเปียกสลับแห้งเท่ากับ 12 รอบมีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานสำหรับคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (2.5 เมกะปาสกาล) ทุกอัตราส่วนผสม ยกเว้นอัตราส่วนอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่เท่ากับร้อยละ 30 และ 40 สำหรับทุกอัตราส่วนดินต่อวัสดุเชื่อมประสาน
4. การสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของจำนวนรอบเปียกสลับแห้ง สำหรับทุกอัตราส่วนแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเปลือกหอยเชอร์รี่ และอัตราส่วนดินต่อวัสดุเชื่อมประสาน (เปลือกหอยเชอร์รี่และปูนซีเมนต์) ซึ่งสอดคล้องกับการลดลงของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์

5.2 ข้อเสนอแนะในการทำโครงการวิจัยต่อไป

5.2.1 การวิจัยนี้ศึกษาอิทธิพลของสภาวะเปียกสลับแห้งต่อกำลังอัดของดินลูกรังเปลือกหอยเชอร์รี่ผสมปูนซีเมนต์ ที่พลังงานบดอัดสูงกว่ามาตรฐาน ควรจะมีการศึกษาถึงโครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่างบดอัดประสาน ที่จำนวนรอบเปียกสลับแห้งต่าง ๆ



เอกสารอ้างอิง

- กรมพัฒนาที่ดิน. (2547). **การจัดการดินดูล้าง**. คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานและจัดทำเอกสารอนุรักษ์ดินและน้ำและการจัดการดิน.
- จิระยุทธ สืบสุข. (2012). **ธรรมชาติของดินและการกำเนิด**. เอกสารประกอบการบรรยาย.
- ทณงศักดิ์ มูลตรี. (ม.ป.ป.). **การผลิตอิฐบล็อกจากเปลือกหอยเชอรี่**. กองส่งเสริมการวิจัยและบริหารวิชาการมหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- ทณงศักดิ์ มูลตรีและคณะ. (2552). **เชรามิกส์จากเปลือกหอยเชอรี่**. รายงานการวิจัย. กระทรวงวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยมหาสารคาม.
- พรพจน์ ดันเต้ง. (2554). **ปฐพีกลศาสตร์**. เอกสารประกอบการสอน, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วราธร แก้วแสง. (ม.ป.ป.). **คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของอิฐบล็อกประสานดินขาวที่ผสมด้วยกลวิธีโพลีเมอร์ไรเซชัน**. การประชุมวิชาการครั้งที่ 8. วิทยาเขตบางแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- ศักดิ์สิทธิ์ ศรีแสง และคณะ. (2550). **การศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และเส้นใยมะพร้าว**. วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1. สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา คณะศึกษาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.
- ลำเรียง สารมาคม. (2556). **การประยุกต์ใช้เถ้าลอยในการผลิตอิฐบล็อกประสาน**. สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- สุกิจ นามพิชญ์และคณะ. (2549). **คู่มือทดสอบทางปฐพีกลศาสตร์**. เล่ม 1. โครงการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับงานปฏิบัติการทดสอบวัสดุทางด้านวิศวกรรมโยธา. สำนักงานกองทุนการวิจัยแห่งชาติ (สกว.).
- สำนักวิจัยและพัฒนา. (2551). **มาตรฐานการทดสอบขนาดผลของดินด้วยตะแกรง**. กรมชลประทาน. สวท.ทล.301/2551.
- สำนักวิจัยและพัฒนา. (2551). **มาตรฐานการทดสอบความถ่วงจำเพาะของดิน**. กรมชลประทาน. สวท.ทล.301/2551.
- ��ชาวลัย เศรษฐบุตรและคณะ. (2000). **คู่มือการทดสอบหิน ทราย และคอนกรีต**. พิมพ์ครั้งที่ 1. บริษัทผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด.
- อมร พิมานมาศและคณะ. (ม.ป.ป.). **วิศวกรรมธรณีเทคนิคเบื้องต้น**. เอกสารประกอบการบรรยาย

สุขสันต์ หอพิบูลสุขและคณะ. (2554). **ปฐพีกลศาสตร์**. พิมพ์ครั้งที่ 2, กรุงเทพฯ : แมคกรอ-ฮิล.

Blasubramaniam, A.S. Sataporn Kuvijitjaru and Prateep Duangdeun. (1979). **Evaluation of Soil Parameters for an Embankment Dam of San Roque Muliti-Purpose Project**, Philippines, Report Submitted to Electro Consult, s.p.A., by Division of Goetechnical and Transportation Begineering. AIT. Bangkok.

Proctor, R.R. (1993). **Fundamental Principles of Soil Compaction**, Engineering New-Record, August 31, September 7, 21 and 28.

ัชชาวลย์ เสรฐบุตร, (2540), **คอนกรีตเทคโนโลยี**, พิมพ์ครั้งที่ 4 บริษัทปูนซีเมนต์ไทย
อุตสาหกรรม

มณเฑียร กังคศิเทียม (2539) **กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม** พิมพ์ครั้งที่ 7 มาตรฐานงานช่างกรรม
โยธาธิการ (มยผ.) ปี 2538

Apichit Kampala, SuksunHorpibulsuk, NutthachaiProngmanee, Avirut Chinkulkijniwat,
“**Influence of Wet-Dry Cycles on Compressive Strength of Calcium Carbide Residue-
Fly Ash Stabilized Clay**”,

เฉลิมชัย มาสีแก้วและวรชัย โอวิทยากุล. (2552). **การเสื่อมสภาพของอิฐดินซีเมนต์ ภายใต้การทดสอบ
แบบแห้งสลับเปียก**. สาขาวิศวกรรมโยธา สำนักวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

W. Samingthong, S. Horpibulsuk & C. Suksiripattapong. (2014). **Durability against Wetting
and Drying of Water Treatment Sludge-Fly Ash Geopolymer**. Advances in Civil
Engineering for Sustainable Development (ACESD 2014). 4 pp.

ภาคผนวก ก
มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนอัฐบด็อกประสาน



มพช.๖๐๒/๒๕๔๓

มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน

อิฐบล็อกประสาน

๑. ขอบข่าย

๑.๑ มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ครอบคลุมเฉพาะอิฐบล็อกประสานที่มีดินลูกรังและปูนซีเมนต์เป็นส่วนประกอบหลัก

๒. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้ มีดังต่อไปนี้

๒.๑ อิฐบล็อกประสาน หมายถึง อิฐบล็อกที่ได้จากการนำดินลูกรัง ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสม อาจผสมวัสดุอื่นๆ เช่น หินฝุ่น ทราย กวนให้เข้ากัน เทลงในแบบพิมพ์ที่มีการออกแบบให้มีรูร่อง และเดือยอัดเป็นก้อน แล้วบ่มให้แข็งตัว

๒.๒ อิฐบล็อกประสาน ชนิดรับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อเพื่อรับน้ำหนักโครงสร้างอาคารได้เช่น ก่อเสา ก่อผนัง

๒.๓ อิฐบล็อกประสาน ชนิดไม่รับน้ำหนัก หมายถึง อิฐบล็อกประสานที่ใช้ก่อผนังกันห้องหรือก่อส่วนอื่นภายในอาคารที่ไม่ใช่ส่วนที่ต้องรับน้ำหนักโครงสร้างอาคาร

๓. ชนิด

๓.๑ อิฐบล็อกประสาน แบ่งออกเป็น ๒ ชนิด คือ

๓.๑.๑ ชนิดรับน้ำหนัก

๓.๑.๒ ชนิดไม่รับน้ำหนัก

๔. คุณลักษณะที่ต้องการ

๔.๑ ลักษณะทั่วไป

ต้องไม่มีรอยแตกหรือร้าว อาจบิ่นได้เล็กน้อย

๔.๒ มิติ

ต้องเป็นไปตามที่ระบุไว้ที่ฉลาก โดยแต่ละมิติมีเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนได้ไม่เกิน ± 2 มิลลิเมตร

๔.๓ ความต้านแรงอัด

๔.๓.๑ ชนิดรับน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า ๓.๐ เมกะพาสคัล

มพช.๖๐๒/๒๕๔๓

๔.๓.๒ ชนิดไม่รับน้ำหนัก

ค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า ๒.๕ เมกะพาสคัล

๔.๔ การดุดกลื่นน้ำ (เฉพาะชนิดรับน้ำหนัก)

ต้องเป็นไปตามตารางที่ ๑

ตารางที่ ๑ การดุดกลื่นน้ำ (ข้อ ๔.๔)

น้ำหนักอิฐบล็อกประสานเมื่ออบแห้ง กิโลกรัม	การดุดกลื่นน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากอิฐบล็อกประสาน ๕ ก้อน กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร
๑ ๖๘๐ และ น้อยกว่า	๒๘๘
๑ ๖๘๑ ถึง ๑ ๗๖๐	๒๗๒
๑ ๗๖๑ ถึง ๑ ๘๔๐	๒๕๖
๑ ๘๔๑ ถึง ๑ ๙๒๐	๒๔๐
๑ ๙๒๑ ถึง ๒ ๐๐๐	๒๒๔
มากกว่า ๒ ๐๐๐	๒๐๘

๕. การบรรจุ

๕.๑ หากมีการบรรจุ ให้บรรจุอิฐบล็อกประสานในภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันความเสียหายที่อาจเกิดขึ้นกับอิฐบล็อกประสานได้

๖. เครื่องหมายและฉลาก

๖.๑ ที่ฉลากหรือภาชนะบรรจุอิฐบล็อกประสาน อย่างน้อยต้องมีเลข อักษร หรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(๑) ชื่อผลิตภัณฑ์

(๒) มิติ

(๓) เดือน ปีที่ทำ

(๔) ข้อเสนอแนะในการใช้และการดูแลรักษา

(๕) ชื่อผู้ทำ หรือสถานที่ทำ พร้อมสถานที่ตั้ง หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียนในในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

มพช.๖๐๒/๒๕๔๓

๗. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

๗.๑ รุ่น ในที่นี้ หมายถึง อธิบถลอกประสาณที่ท่าหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

๗.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้

๗.๒.๑ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป มิติ การบรรจุ

และเครื่องหมายและฉลากให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๕

ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วทุกตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๔.๑ ข้อ ๔.๒ ข้อ ๕.

และข้อ ๖. จึงจะถือว่าอธิบถลอกประสาณรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๒ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบความต้านแรงอัด ให้ใช้

ตัวอย่างที่ผ่านการทดสอบตามข้อ ๖.๒.๑ แล้ว จำนวน ๕ ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบ

แล้วตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ ๔.๓ จึงจะถือว่าอธิบถลอกประสาณรุ่นนั้นเป็นไป

ตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๒.๓ การชักตัวอย่างและการยอมรับ สำหรับการทดสอบการดูดกลืนน้ำ ให้ชักตัวอย่าง

โดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน จำนวน ๕ ตัวอย่าง เมื่อตรวจสอบแล้วตัวอย่างต้อง

เป็นไปตามข้อ ๔.๔ จึงจะถือว่าอธิบถลอกประสาณรุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

๗.๓ เกณฑ์ตัดสินตัวอย่างอธิบถลอกประสาณต้องเป็นไปตามข้อ ๗.๒.๑ ข้อ ๗.๒.๒ และข้อ ๗.๒.๓

ทุกข้อ จึงจะถือว่าอธิบถลอกประสาณรุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนนี้

๘. การทดสอบ

๘.๑ การทดสอบลักษณะทั่วไป การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลากให้ตรวจพินิจ

๘.๒ การทดสอบมิติให้ใช้เครื่องมือที่เหมาะสม

๘.๓ การทดสอบความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำให้ใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. ๕๑และมาตรฐาน

ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มาตรฐานเลขที่ มอก. ๕๔

ประวัติผู้เขียน

นายสมเกียรติ ชูประทีป เกิดเมื่อวันที่ 7 เมษายน 2523 ที่อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ สถานที่อยู่ปัจจุบันเลขที่ 64 หมู่ที่ 7 ตำบลหนองกง อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์ ประวัติด้านการศึกษาระดับประถมศึกษาที่ 1-6 จากโรงเรียนชุมชนวัดบ้านหนองกง ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 1-3 จากโรงเรียนพิมพ์รัฐประชาสรรค์ ระดับมัธยมศึกษาปีที่ 4-6 จากโรงเรียนนางรอง ระดับประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง แผนกช่างก่อสร้าง จากวิทยาลัยเทคนิคบุรีรัมย์ ระดับปริญญาตรี จากมหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สาขาเทคโนโลยีก่อสร้าง ปัจจุบันรับราชการตำแหน่งนายช่างโยธา สังกัดองค์การบริหารส่วนตำบลหนองยายพิมพ์ อำเภอนางรอง จังหวัดบุรีรัมย์

