

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการ
บ่มแบบแห้งสลับเปียก

นายชวลิต ชุสุวรรณ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2555
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและเพิ่มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นเพิ่มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

VOLUMETRIC CHANGE OF CEMENT STABILIZED BASE MATERIAL UNDERGOING
WET AND DRY PROCESS

Mr. CHAWALIT CHOOSUWAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Civil Engineering

Department of Civil Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2012

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก
โดย	นายชวลิต ชูสุวรรณ
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยรับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. วิจิต ปานสุข)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. สุขสันต์ หอพิบูลสุข)

ชวลิต ชูสุวรรณ : การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก (VOLUMETRIC CHANGE OF CEMENT STABILIZED BASE MATERIAL UNDERGOING WET AND DRY PROCESS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ผศ. ดร.บุญชัย แสงเพชรงาม, 189 หน้า.

จากปัญหาของถนนที่ใช้วัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์บางเส้นทางเกิดรอยแตกกว้างแบบ Reflected Crack ก่อนอายุการใช้งานที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อเป็นการศึกษาผลกระทบจากสภาพแวดล้อมที่มีต่อวัสดุชั้นทาง งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาผลกระทบเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงความชื้นและอุณหภูมิของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกโดยใช้ก้อนตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 15 ซม. แล้วสังเกตการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยใช้วิธีการที่มีความละเอียดสูง และทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของ ผลการทดลองสรุปได้ว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่าง คือ ประเภทของดิน, ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมและความชื้นบดอัด โดยวัสดุที่ใช้แรดินเหนียวประเภทBentonite, Kaolinite และ Limestone Dust ในสัดส่วนผสมโดยการแทนที่วัสดุมวลรวมละเอียดเดิมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากมากไปน้อยตามลำดับ ส่วนปริมาณซีเมนต์และความชื้นบดอัดที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรลดลง ในด้านของคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุปรับปรุงคุณภาพเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบทั้ง 12 รอบแล้วพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังอย่างเห็นได้ชัดที่สุดคือ ปริมาณซีเมนต์ ซึ่งปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นมีผลให้กำลังวัสดุเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา วิศวกรรมโยธา..... ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2555.....

5370538521 : MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEYWORDS : STABILIZED MATERIAL/ VOLUMETRIC CHANGE / CRACKING/
SHRINKAGE/ SWELL

CHAWALIT CHOOSUWAN : VOLUMETRIC CHANGE OF CEMENT STABILIZED
BASE MATERIAL UNDERGOING WET AND DRY PROCESS. ADVISOR :
ASST. PROF. BOONCHAI SANGPETNGAM, Ph.D., 189 pp.

Reflective cracks are often found on the pavement surface with cement stabilized base material. The surface cracks are associated with the cracks in the cement stabilized base layer. Many researchers pointed that the cracks were due to volumetric change caused by temperature and moisture changes in the cement stabilized material. This paper focuses on the behavior of cement stabilized material undergoing wet and dry process. The volumetric change is measured with high accuracy. The cylindrical model is used as specimen. As a result, the factors of volumetric change are cement content, type of base material, water content and clay material. Bentonite, Kaolinite and Limestone Dust affect to volumetric change at high rate to low rate respectively. In addition, the increasing of cement content and water content also influence to decrease in strength property of material. After undergoing wet and dry process for 12 times, it can be concluded that the important factor for strongly building up strength of material is cement content.

Department ...Civil Engineering

Student's Signature

Field of Study ...Civil Engineering

Advisor's Signature

Academic Year 2012

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. บุญชัย แสงเพชรงาม ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ได้กรุณา ให้ความรู้ คำแนะนำ คำปรึกษา และคอยช่วยเหลือตลอดจนตรวจสอบและแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมพงศ์ ซึ่งเป็นประธานกรรมการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิฑิต ปานสุข และ ศาสตราจารย์ ดร.สุขสันต์ หอพิบูลย์สุข ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์เป็นอย่างสูงที่ให้คำปรึกษาและข้อเสนอแนะต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ผู้เขียนขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีและวัสดุแห่งชาติ(MTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือวัดในขณะทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก้อนตัวอย่าง

ผู้เขียนขอขอบคุณทุนมหาบัณฑิต สกว. สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีภายใต้การผลิตกับงานวิจัยทุนสกว. - อุตสาหกรรม (MAG Window I) ปี 2555 จากสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) ที่สนับสนุนทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

ผู้เขียนขอขอบคุณความร่วมมือในการดำเนินงานวิจัยจากหน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการโครงสร้างพื้นฐานภายใต้การสนับสนุนของกองทุนรัชดาภิเษกสมโภช

ผู้เขียนขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ สาขาวิศวกรรมขนส่ง ที่ได้มีส่วนช่วยเหลือในการทดสอบที่ต้องใช้กำลังคนและเป็นกำลังใจให้กับผู้เขียนรวมทั้งให้คำปรึกษาในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูป.....	ฒ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ประวัติของดินซีเมนต์.....	4
2.2 ปฏิกริยาเคมีในดินซีเมนต์	6
2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินซีเมนต์.....	7
2.4 ความทนทานของดินซีเมนต์.....	20
2.5 การประมาณค่ากำลังรับแรงดึงโดยใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก	32
2.6 การวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก่อนตัวอย่าง.....	36

	หน้า
2.7 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย	37
2.8 สรุป.....	41
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	42
3.1 ออกแบบการทดลอง.....	42
3.2 เตรียมวัสดุและก้อนตัวอย่างเพื่อทำการทดลอง	45
3.3 วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่าง	48
3.4 การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ	50
3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล	53
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	55
4.1 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก	55
4.2 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้ง ..	58
4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PI Tape กับ Profile Projector	62
4.4 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร	63
4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายผลการเปลี่ยนแปลงปริมาตร.....	69
4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ.....	84
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวกับคุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ	87
บทที่ 5 การประเมินความเสียหายของวัสดุชั้นทางเนื่องจากสภาวะแห้งสลับเปียก.....	91
5.1 แรงที่เกิดจากการขยายตัวอย่างอิสระของวัสดุพื้นทาง	91

5.2 หน่วยแรงที่เกิดจากการหดตัวอย่างอิสระของวัสดุพื้นทางเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบ แห้งสลับเปียก.....	93
	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัย.....	97
6.1 สรุปผลการวิจัย.....	97
6.2 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย.....	98
6.3 ข้อเสนอแนะ.....	99
รายการอ้างอิง.....	100
ภาคผนวก.....	105
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรวัสดุ.....	105
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังวัสดุ.....	187
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	189

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1	สัดส่วนผสมของก้อนตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย.....	18
ตารางที่ 2.2	แสดงสัดส่วนผสมของก้อนตัวอย่าง	21
ตารางที่ 2.3	สัดส่วนผสมสำหรับก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	24
ตารางที่ 2.4	ผลการทดลองของวัสดุชั้นทางหมุนเวียนจาก El Paso RAP	29
ตารางที่ 2.5	ผลการทดลองของวัสดุชั้นทางหมุนเวียนจาก Childress RAP.....	30
ตารางที่ 2.6	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรและค่ากำลังรับแรงอัดที่จำนวนรอบการบ่มต่างๆ.....	32
ตารางที่ 2.7	ตัวอย่างผลที่ได้จากการดำเนินการทดลองเชิงแฟกทอเรียล	38
ตารางที่ 2.8	ระดับของปัจจัยจากการออกแบบทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล.....	40
ตารางที่ 3.1	ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	42
ตารางที่ 3.2	ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน	44
ตารางที่ 3.3	ขนาดคละของวัสดุรวมที่ใช้งานวิจัย	46
ตารางที่ 4.1	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการบ่มแบบเปียก	66
ตารางที่ 4.2	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการบ่มแบบเปียก	67
ตารางที่ 4.3	ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนความเครียดสัมพัทธ์ในรอบการบ่มแห้งสลับเปียก..	68
ตารางที่ 4.4	ค่าสถิติพื้นฐานสำหรับขยายตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มเปียก	70
ตารางที่ 4.5	สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการถดถอยเพื่อประมาณค่าความเครียดสัมบูรณ์ ในรอบการบ่มเปียก	71
ตารางที่ 4.6	ค่าสถิติพื้นฐานสำหรับขยายตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้ง	74
ตารางที่ 4.7	สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการถดถอยเพื่อประมาณค่าความเครียดสัมบูรณ์ ในรอบการบ่มแห้ง	76

ตารางที่ 4.8 ค่าสถิติพื้นฐานสำหรับขยายตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแห้ง สลับเปียก.....	79
ตารางที่ 4.9 สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการถดถอยเพื่อประมาณค่าความเครียดสัมพัทธ์ใน รอบการบ่มแห้งสลับเปียก.....	81
ตารางที่ 4.10 ค่าสถิติพื้นฐานของคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ.....	84
ตารางที่ 4.11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างปัจจัยกับคุณสมบัติด้านกำลัง ของวัสดุ.....	85
ตารางที่ 4.12 แบบจำลองการประมาณค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ.....	86
ตารางที่ 5.1 ผลการประเมินความเสียหายเนื่องจากการขยายตัวของโครงสร้างชั้นทาง.....	92
ตารางที่ 5.2 ผลการประเมินความเสียหายเนื่องจากการหดตัวของโครงสร้างชั้นทาง.....	94

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1 วิธีดำเนินงานวิจัย	3
รูปที่ 2.1 กำลังรับแรงอัดของดินประเภทต่างๆที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม	8
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวของดินซีเมนต์กับปริมาณซีเมนต์ชนิดต่างๆ.....	9
รูปที่ 2.3 ค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ปริมาณ Clay content แตกต่างกัน.....	10
รูปที่ 2.4 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างอิมิตัวด้วยน้ำกับค่าดัชนีพลาสติก	11
รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวแบบแห้งกับค่าดัชนีพลาสติกของดินตัวอย่าง	12
รูปที่ 2.6 กำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนผสมระหว่างทรายกับดินเหนียวประเภทต่าง	13
รูปที่ 2.7 กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ประเภทต่างๆที่ปริมาณความชื้นขณะบดอัดแตกต่างกัน. 14	
รูปที่ 2.8 กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ความหนาแน่นบดอัดแตกต่างกัน	15
รูปที่ 2.9 การพัฒนา กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น.....	16
รูปที่ 2.10 ค่าการหดตัวของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่มอย่างถูกต้อง	17
รูปที่ 2.11 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์สำหรับสัดส่วนผสมประเภทต่างๆ	19
รูปที่ 2.12 ความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นที่เวลาการบ่มให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นต่างๆ ...	21
รูปที่ 2.13 กำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาการบ่มให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น	22
รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงความยาวก้อนตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นที่ระยะ เวลาต่างๆ	23
รูปที่ 2.15 กำลังรับแรงอัดและค่าการซึมผ่านของก้อนตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น	23
รูปที่ 2.16 ความลึกในการเกิดคาร์บอนเนชั่นกับระยะเวลาที่เร่งให้เกิดคาร์บอนเนชั่น	25
รูปที่ 2.17 อัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมจริง	25
รูปที่ 2.18 การหดตัวประเภทต่างๆของคอนกรีตกับสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำกับซีเมนต์.....	26
รูปที่ 2.19 ค่า γ_{max} และ OMC ที่เปลี่ยนไปเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น	27
รูปที่ 2.20 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแห้งสลับเปียก.....	28
รูปที่ 2.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแห้งสลับเปียก	28

รูปที่ 2.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างกับจำนวนรอบการบ่มแห้งสลับเปียก	31
รูปที่ 2.23 การทดสอบโดยใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก.....	34
รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นกับระยะเวลาในการบ่ม	34
รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นกับกำลังรับแรงอัด	35
รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นกับมอดุลัสที่ซีแคนต์มอดุลัสต่างๆ	35
รูปที่ 2.27 เครื่องมือ Vernier Caliper และ PI TAPE	36
รูปที่ 2.28 การวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยการใช้ Profile Projector	37
รูปที่ 3.1 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน	44
รูปที่ 3.2 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย	47
รูปที่ 3.3 การเตรียมก้อนตัวอย่าง	48
รูปที่ 3.4 เครื่องมือการวัดปริมาตรของก้อนตัวอย่าง	49
รูปที่ 3.5 ตำแหน่งที่ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่าง	49
รูปที่ 3.6 การจัดวางก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว	50
รูปที่ 3.7 การจัดวางก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบอีลาสติกโมดูลัส	51
รูปที่ 3.8 การจัดวางก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม	52
รูปที่ 3.9 การจัดวางก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบ Ultrasonic Wave Velocity	52
รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้ฝุ่นหินเป็นสัดส่วนผสมเมื่อผ่าน การบ่มแบบเปียก	56
รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Kaolinite เป็น สัดส่วนผสมเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก	57
รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Bentonite เป็น สัดส่วนผสมเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก	58
รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้ฝุ่นหินเป็นสัดส่วนผสมเมื่อผ่าน การบ่มแบบแห้ง	59

รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Kaolinite เป็น สัดส่วนผสมเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้ง.....	60
รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Bentonite เป็น สัดส่วนผสมเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก.....	61
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จาก Profile Projector กับ PI Tape .	62
รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_A สำหรับการบ่มเปียกโดยใช้ตัวแปรหลัก.....	73
รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_A สำหรับรอบการบ่มเปียกโดยใช้ ตัวแปรหลักและอัตราการขยายตัว.....	73
รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_A สำหรับการบ่มเปียกโดยใช้ตัวแปรหลัก....	78
รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_A สำหรับรอบการบ่มเปียกโดยใช้ ตัวแปรหลักและอัตราการขยายตัว.....	78
รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_R สำหรับการบ่มแห้งสลัเปียกโดย ใช้ตัวแปรหลัก.....	83
รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_R สำหรับการบ่มแห้งสลัเปียกโดยใช้ ตัวแปรหลักและอัตราการขยายตัว	83
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง UCS กับ IDT.....	88
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับ E.....	89
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultrasonic Wave Velocity กับ E	90

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

การก่อสร้างถนนนั้นวัสดุที่นำมาใช้ในงานก่อสร้างถือเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่องบประมาณก่อสร้าง ดังนั้นหากสามารถนำวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้เป็นวัสดุชั้นทางได้ก็จะช่วยลดงบประมาณและระยะเวลาในการก่อสร้าง แต่ความแตกต่างทางด้านภูมิประเทศภูมิอากาศของแต่ละพื้นที่ทำให้วัสดุในแต่ละท้องถิ่นมีคุณสมบัติที่ต่างกันไป ดังนั้นก่อนวิศวกรจะนำวัสดุที่มีอยู่ในท้องถิ่นมาใช้เป็นวัสดุชั้นทางนั้นมักจะต้องศึกษาให้เข้าใจถึงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของวัสดุนั้นเสียก่อน เพราะอาจพบว่าวัสดุนั้นมีคุณสมบัติด้านวิศวกรรมไม่เหมาะสมและในบางกรณีสามารถปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุได้ด้วยซีเมนต์ ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาแล้วข้างต้นทำให้แนวความคิดเรื่องการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์ได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางทั้งในและต่างประเทศ

สำหรับประเทศไทยนั้นความแตกต่างทางด้านสภาพภูมิประเทศและภูมิอากาศนอกจากจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลให้เกิดความแตกต่างด้านคุณสมบัติของวัสดุในแต่ละพื้นที่แล้วอาจจะส่งผลต่อความทนทานของชั้นทางได้เช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อปริมาณความชื้นในชั้นทางเปลี่ยนไปตามฤดูกาล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการศึกษาพฤติกรรมด้านความทนทานของวัสดุชั้นทางผสมซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกเพื่อจำลองสถานการณ์ดังกล่าว โดยสังเกตพฤติกรรมด้านกำลังรับแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่าง เพราะจากการศึกษาพบว่าปัจจัยด้านกำลังรับแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรนี้เป็นสาเหตุให้เกิดความเสียหายของชั้นทางและส่งผลมายังผิวทางเช่นการเกิดรอยแตกร้าว ร่องล้อหรือหลุมบ่อที่ชั้นผิวทาง ผู้ทำวิจัยหวังว่างานวิจัยนี้จะทำให้เกิดองค์ความรู้ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์แก่งานก่อสร้างถนนและงานวิจัยในอนาคต

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1) เพื่อศึกษาผลของปัจจัยควบคุมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก
- 2) เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติดินซีเมนต์ที่มีต่อพฤติกรรมของวัสดุชั้นทาง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยนี้จะศึกษาพฤติกรรมด้านความทนทานของดินซีเมนต์โดยการสังเกตค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกเพื่อจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นของวัสดุชั้นทางในสนาม โดยมีปัจจัยควบคุมซึ่งได้แก่ ปริมาณซีเมนต์, ปริมาณความชื้น, ความหนาแน่นบดอัดและคุณสมบัติของดิน ซึ่งไม่ได้พิจารณาถึงปัจจัยอื่น เช่นระยะเวลาในการบ่ม สารผสมเพิ่ม

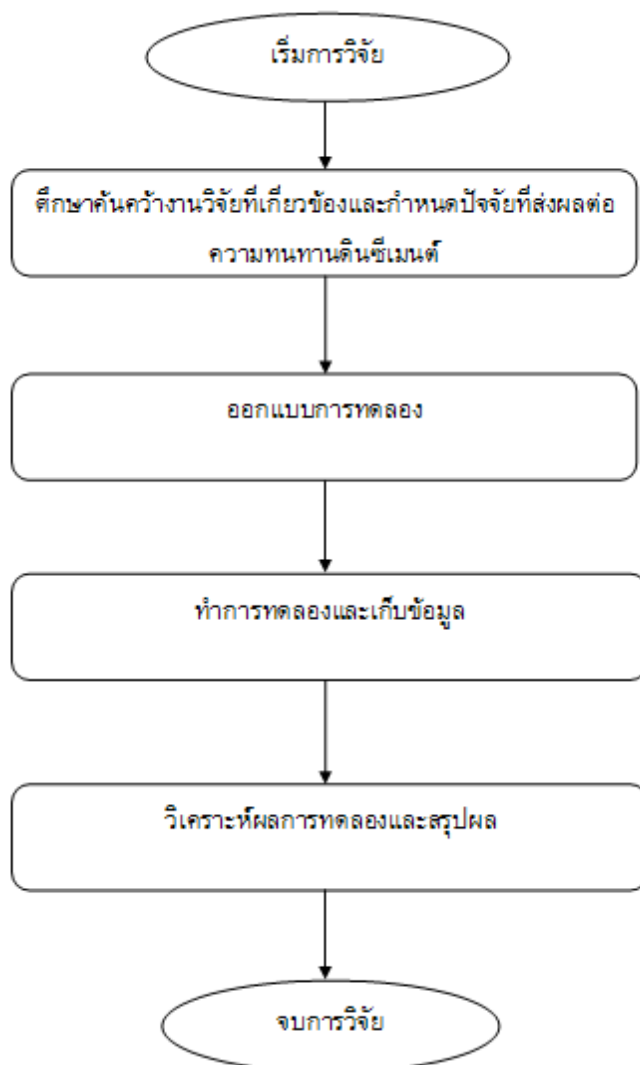
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

เนื่องจากงานวิจัยนี้ทำการศึกษาเพื่อพัฒนาองค์ความรู้เกี่ยวกับการปรับปรุงวัสดุชั้นทางด้วยซีเมนต์ที่ทำให้สามารถนำวัสดุชั้นทางด้วยคุณภาพมาใช้ในการก่อสร้างถนนได้จึงเป็นการช่วยลดงบประมาณในการก่อสร้างถนนและสามารถนำวัสดุในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.5 วิธีดำเนินงานวิจัย

การเกิดรอยแตกร้าวที่ชั้นผิวทางสำหรับถนนที่ใช้วัสดุชั้นทางดินซีเมนต์นั้นเป็นปัญหาที่อาจเกิดจากวัสดุชั้นทางดินซีเมนต์มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่เปลี่ยนไปหลังจากการก่อสร้างหรือเปิดใช้ถนนระยะแรก ซึ่งจากการศึกษาพบว่าปัจจัยที่ทำให้คุณสมบัติของชั้นทางเปลี่ยนไปนั้นมีหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น การเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนชั่น ปริมาณความชื้นในสนามที่เปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล แต่ในงานวิจัยนี้ได้เลือกเอาปัจจัยด้านการเปลี่ยนแปลงความชื้นในสนามมาเป็นแนวทางในการศึกษา เนื่องจากการทบทวนงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการเปลี่ยนแปลงความชื้นมีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุชั้นทางและมีโอกาสเกิดขึ้นได้มากกว่าในสภาพสนาม จากนั้นจึงได้ทำการค้นคว้าเพื่อหาปัจจัยควบคุมโดยใช้การออกแบบการทดลองมาเป็นแนวทางในการ

ทดลองและเก็บข้อมูลในห้องปฏิบัติการเพื่อนำไปวิเคราะห์ทางสถิติว่ามีปัจจัยควบคุมใดบ้างที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของชั้นทางและสรุปผลว่าอิทธิพลเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของวัสดุนั้นส่งผลอย่างไรต่อพฤติกรรมของชั้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์ โดยสามารถสรุปวิธีการดำเนินการวิจัยได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 วิธีดำเนินงานวิจัย

บทที่ 2

บททวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติของดินซีเมนต์

ดินซีเมนต์ คือ การปรับปรุงคุณสมบัติของดินโดยใช้ซีเมนต์ จากการค้นคว้าพบว่าการใช้สารผสมเพิ่มเช่นปูนขาวหรือสาร Pozzolans มาผสมกับดินเพื่อให้ดินมีคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมที่ดีขึ้นนั้นมีมากกว่า 5,000 ปีมาแล้ว (Terrel et al., 1979)

Davidson (1961) กล่าวว่า การนำดินซีเมนต์มาใช้กับงานก่อสร้างถนนนั้นน่าจะเกิดครั้งแรกในปี 1915 โดยเป็นการก่อสร้างถนนในเมือง Sarasota รัฐ Florida แต่เนื่องจากองค์ความรู้เรื่องดินซีเมนต์ยังมีน้อยมากทำให้คุณสมบัติของถนนดินซีเมนต์นั้นมีความผันแปรเป็นอย่างมาก

Portland Cement Association (1959) บันทึกว่าในปี 1935 โดย Development Department ของ Portland Cement Association ได้กำหนดระเบียบวิธีทดสอบดินซีเมนต์ในด้านของ Moisture-Density, Wet-Dry Test และ Freeze-Thaw Test ขึ้นซึ่งต่อมาได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นมาตรฐานการทดสอบของ American Society for Testing Material (ASTM) ปี 1944 และ American Association of State Highway Official (AASHO) ปี 1945 ตามลำดับ

Ruenkairergsa (2000) ได้สรุปถึงความเป็นมาของดินซีเมนต์ในประเทศไทยไว้ว่ากรมทางหลวงได้นำความรู้เรื่องการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยซีเมนต์มาใช้ก่อสร้างถนนครั้งแรกในปี พ.ศ. 2508 และหลังจากนั้นก็ได้มีการพัฒนาองค์ความรู้เรื่องดินซีเมนต์อย่างต่อเนื่องโดยสามารถแบ่งออกได้เป็นสามช่วงเวลาดังต่อไปนี้

ช่วงต้น (พ.ศ. 2508 – 2515) เป็นยุคแรกเริ่มของการนำองค์ความรู้เรื่องดินซีเมนต์มาใช้ในการก่อสร้างถนนในประเทศไทย ด้วยความร่วมมือระหว่างกรมทางหลวงกับบริษัทปูนซีเมนต์ไทยได้ทำการก่อสร้างถนนที่มีพื้นที่ทางเป็นดินซีเมนต์ระยะทาง 5 กิโลเมตร ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ สายวาริน – เดชอุดม ในปี พ.ศ. 2508 ซึ่งถือเป็นถนนสายแรกที่มีการใช้ดิน

ซีเมนต์เป็นชั้นพื้นทางหลังจากนั้นเพื่อแก้ปัญหาความขาดแคลนวัสดุชั้นทางสำหรับการก่อสร้างถนนในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทำให้มีการก่อสร้างถนนที่มีพื้นทางเป็นดินซีเมนต์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ รวมระยะทางทั้งสิ้นประมาณ 1,400 กิโลเมตร แต่ในปี พ.ศ. 2515 การก่อสร้างถนนที่มีพื้นทางเป็นดินซีเมนต์ได้ถูกระงับลงเพื่อศึกษาให้มีความเข้าใจในด้านพฤติกรรมของดินซีเมนต์ให้มากขึ้นก่อนเพราะในบางช่วงของสายทางเกิดความเสียหายในลักษณะของ Reflected Crack

ช่วงกลาง (พ.ศ. 2515 – 2525) เป็นช่วงของการพัฒนาองค์ความรู้ด้านดินซีเมนต์โดยการศึกษาพฤติกรรมจากถนนดินซีเมนต์ที่มีการก่อสร้างแล้วและสร้างขึ้นใหม่เพื่อการทดลองอย่างต่อเนื่อง อีกทั้งยังมีการรวบรวมข้อมูลจากต่างประเทศเพื่อให้เกิดความเข้าใจถึงคุณสมบัติของดินซีเมนต์ให้มากยิ่งขึ้น

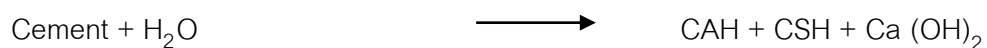
ช่วงปัจจุบัน (พ.ศ. 2525 – ปัจจุบัน) เป็นช่วงที่มีการนำองค์ความรู้ที่ได้จากการศึกษาในยุคกลางมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างถนนอีกครั้ง ด้วยข้อดีที่ว่าดินซีเมนต์มีลักษณะเป็น Cemented Aggregate Base ทำให้สามารถรับแรงเฉือนทางด้านข้างได้ดีกว่าหินคลุกซึ่งมีลักษณะเป็น Unbound Granular Base อีกทั้งดินซีเมนต์ยังมีความทนทานที่ดีกว่าเมื่อเปิดใช้งานไปหลายปี ทำให้ลดปัญหาหว่าร่องล้อ (Rut) และหลุมบ่อ (Pothole) ได้

เนื่องจากประเทศไทยนั้นในระยะเริ่มต้นได้นำองค์ความรู้เรื่องดินซีเมนต์มาใช้เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งจากการศึกษาในขณะนั้นพบว่าดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีลักษณะทางกายภาพคล้ายกับดินลูกรังในทวีปแอฟริกา จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้กรมทางหลวงเลือกใช้เกณฑ์ของ Unconfined Compressive Strength ของดินซีเมนต์ที่อายุ 7 วัน จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์/ตารางนิ้ว ตามข้อเสนอแนะของ Road Research Laboratory (RRL) ปี 1957 มาเป็นข้อกำหนดในการออกแบบส่วนผสมซึ่งมาตรฐานดังกล่าวจะมีความแตกต่างจากสหรัฐอเมริกาที่ถือเอาเกณฑ์ของ Portland Cement Association ปี ค.ศ. 1970 โดยใช้การทดลอง Freezing and Thawing เป็นหลัก เพราะสภาพอากาศในแต่ละฤดูกาลในสหรัฐอเมริกามีความแตกต่างกันมาก

2.2 ปฏิกริยาเคมีในดินซีเมนต์

Lambe et al. (1959) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปฏิกริยาระหว่างดินกับซีเมนต์และสรุปไว้ว่าในซีเมนต์จะประกอบไปด้วยผลึกของ Tricalcium Silicate (C_3S), Dicalcium Silicate (C_2S), Tricalcium Aluminate (C_3A), Tetracalcium Aluminate Ferrite (C_4AF) เมื่อซีเมนต์ผสมกับน้ำ จะเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันได้ผลเป็นสารประกอบ Calcium Silicate Hydrate (CSH), Calcium Aluminate Hydrate (CAH) และ Hydrate Lime โดย CSH และ CAH มีคุณสมบัติเป็นวัสดุเชื่อมประสานในดินซีเมนต์และผลของปฏิกริยานี้ยังทำให้ค่า pH สูงขึ้น ซึ่งเชื่อว่าค่า pH ที่สูงขึ้นนี้เกิดจากการแตกตัวของ $Ca(OH)_2$ หรือ Hydrate Lime ส่งผลทำให้แร่ประกอบ Silica และ Alumina ที่มีอยู่ตามผิวของเม็ดดินเข้าทำปฏิกริยากับ Calcium ions ทำให้เกิดวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มมากขึ้นซึ่งจะต้องใช้ระยะเวลา

Moh (1965) ได้ศึกษาปฏิกริยาระหว่างซีเมนต์กับแร่ประกอบดินเหนียวโดยอธิบายไว้เมื่อซีเมนต์ถูกผสมเข้ากับน้ำจะเกิดปฏิกริยาไฮเดรชันขึ้นและเป็นสารประกอบ CAH และ CSH ซึ่งมีคุณสมบัติเป็นวัสดุเชื่อมประสานหรืออาจเรียกได้ว่าเป็น Primary Reaction หลังจากนั้นเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น $Ca(OH)_2$ ที่ได้จากปฏิกริยาไฮเดรชันสามารถเกิดปฏิกริยาขึ้นอีกกับแร่ดินเหนียวซึ่งทำให้เกิดวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นเรียกว่า Secondary Reaction สามารถอธิบายได้ดังสมการต่อไปนี้



Pendola et al. (1969) สรุปว่ากลไกการปรับปรุงคุณสมบัติของดินซีเมนต์นั้นเกิดขึ้นทั้งทางด้านกายภาพและปฏิกริยาเคมีซึ่งสามารถอธิบายได้เป็น 4 กลไกต่อไปนี้คือ

Hydration of cement เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจากซีเมนต์กับน้ำก่อให้เกิดสารเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดินซึ่งเป็นกลไกที่เพิ่มความแข็งแรงของดินและลดการซึมผ่านของน้ำได้

Cat ion exchange เชื่อว่าเกิดขึ้นภายหลังจากที่ดินผสมซีเมนต์ได้ไม่กี่วันโดยมีผลทำให้ Cat ion ที่อยู่บนผิวของเม็ดดินเกิดการเปลี่ยนแปลงหรือรวมตัวกันซึ่งกลไกนี้จะทำให้ค่าดัชนีพลาสติกของดินลดลง

Carbonation หลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันแล้ว Lime ที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาดังกล่าวยังสามารถทำปฏิกิริยากับคาร์บอนไดออกไซด์ในอากาศเกิดเป็นสารเชื่อมแน่นเพิ่มมากขึ้น

Pozzolanic reaction เมื่อระยะเวลาผ่านไปดินซีเมนต์สามารถพัฒนากำลังได้อีกเนื่องจากเกิดสารที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นซึ่งได้มาจากกระบวนการระหว่าง Free lime จากปฏิกิริยาไฮเดรชันกับ Silica หรือ Alumina ในเม็ดดิน

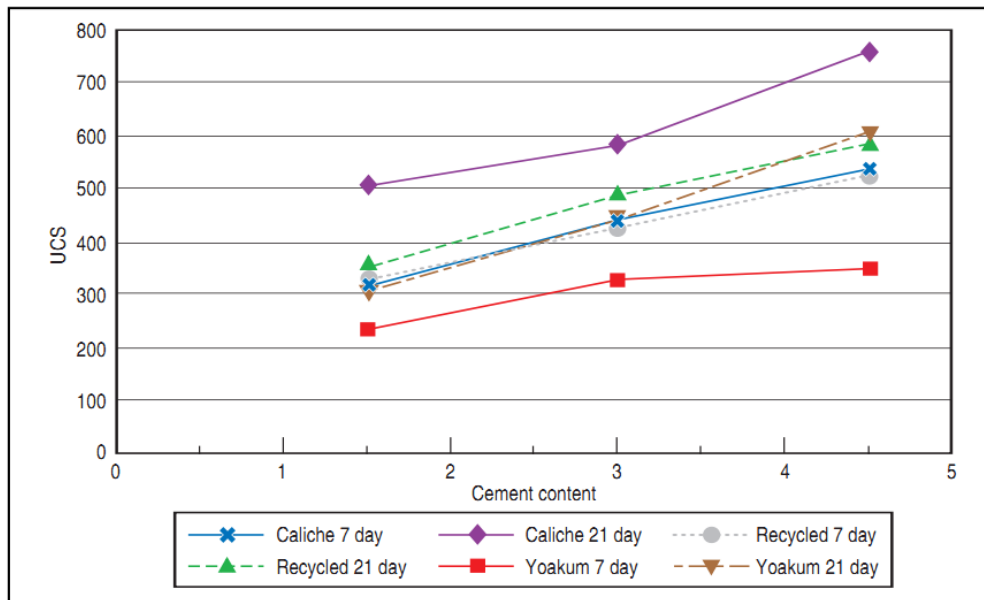
2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินซีเมนต์

2.3.1 ปริมาณและชนิดของซีเมนต์

Brown (2006) ได้ศึกษาพฤติกรรมการรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่มีสัดส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางหมุนเวียนกับวัสดุพื้นทางที่เป็นหินเมื่อมีการปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยการเตรียมตัวอย่างจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D1557 และหลังจากการบ่มที่ระยะเวลา 7 วัน จะนำก้อนตัวอย่างมาแช่น้ำเป็นเวลา 4 ชั่วโมงก่อนทำการ Capping เพื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดผลการทดลองสรุปได้ว่า นอกจากอัตราส่วนระหว่างวัสดุพื้นทางที่เป็นหินต่อวัสดุผิวทางหมุนเวียนแล้วปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในสัดส่วนผสมก็เป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างด้วย โดยปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมที่เพิ่มขึ้นจะทำให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

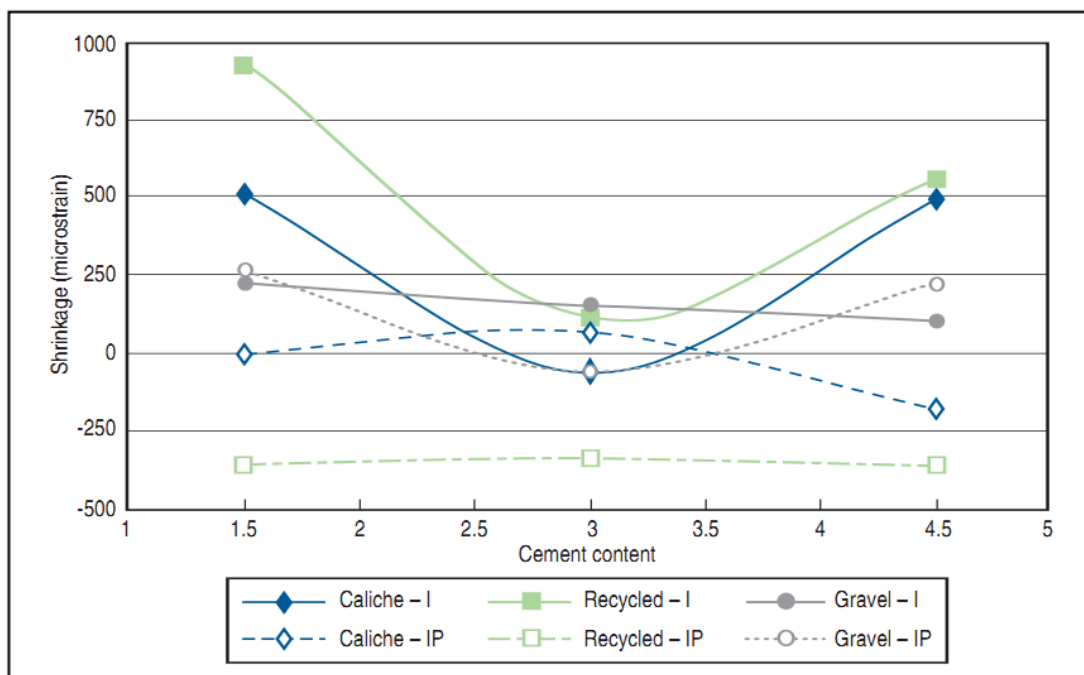
Scullion et al. (2006) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของดินซีเมนต์โดยในกระบวนการศึกษาได้ทำการศึกษากับดินหลายประเภทซึ่งใช้สัดส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์ที่แตกต่างกันไปตั้งแต่ 1.5% ถึง 4.5% และทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาการบ่ม 7 และ 21 วัน ซึ่งผลที่ได้

การจากทดลองสรุปได้ว่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างนั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 กำลังรับแรงอัดของดินประเภทต่างๆที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม (Scullion et al., 2006)

สำหรับการหดตัวนั้นจากการทดลองพบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณซีเมนต์ประเภทที่ 1 (Type I) ตั้งแต่ 1.5% ถึง 4.5% นั้นไม่มีความสัมพันธ์กับการยึดหดตัวของก้อนตัวอย่างอย่างชัดเจน กล่าวคือการเพิ่มขึ้นของปริมาณซีเมนต์และประเภทของซีเมนต์นั้นไม่ได้ส่งผลให้ค่าการหดตัว (Shrinkage) ของก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้นหรือลดลงอย่างมีนัยสำคัญ แต่จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่ปริมาณซีเมนต์เท่ากับ 3% นั้นจะทำให้การยึดหดตัวของก้อนตัวอย่างมีค่าน้อย ส่วนการใช้ Pozzolanic Cement (IP) มีส่วนทำให้ค่าการหดตัวลดลงได้เมื่อเทียบกับซีเมนต์ประเภทที่ 1 สำหรับปริมาณซีเมนต์ในบางสัดส่วนผสมดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวของดินซีเมนต์กับปริมาณซีเมนต์ชนิดต่างๆ
(Scullion et al., 2006)

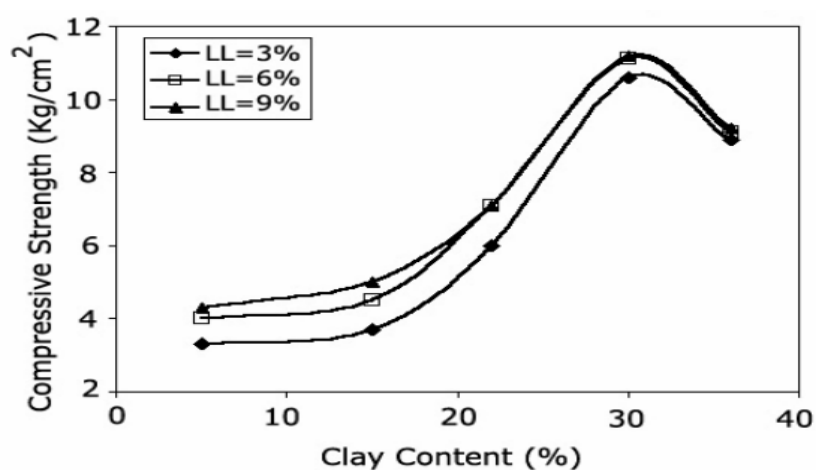
2.3.2 คุณสมบัติของดิน

มงคล ดัชเนีย (2010) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อความแตกต่างระหว่างกำลังรับแรงอัดในสนามกับในห้องปฏิบัติการของวัสดุชั้นทางหมุนเวียนผสมซีเมนต์ ซึ่งผลการศึกษาพบว่าวิธีการผสมสำหรับตัวอย่างที่เตรียมในห้องปฏิบัติการกับในสนามนั้นไม่ได้ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดอย่างมีนัยสำคัญ และหากวิธีการบดอัดโดยใช้รถบดในสนามกับการบดอัดเพื่อเตรียมตัวอย่างในห้องปฏิบัติการไม่ได้ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดอย่างมีนัยสำคัญด้วยเช่นกันดังนั้นแล้วปัจจัยที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างในสนามมีค่าน้อยกว่ากำลังรับแรงอัดในห้องปฏิบัติการนั้นมาจากวิธีการบ่ม และในงานวิจัยนี้ยังได้มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำนายกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ขนาดของเม็ดดินค่อนข้างใหญ่ไว้ด้วย ซึ่งทำให้สามารถทำนายกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ระยะเวลาการบ่มต่างๆได้โดยใช้ก้อนตัวอย่างเพียงสองก้อนที่มีอัตราส่วนระหว่างความชื้นต่อซีเมนต์ (w/c) แตกต่างกันซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

$$q_u = \frac{a}{(w/C)^{0.65}} + \frac{b}{(w/C)^{0.59}} \log_{10}(D-6)$$

เมื่อ	q_u	คือ กำลังรับแรงอัด
	w/c	คือ อัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในดินกับซีเมนต์
	D	คือ ระยะเวลาในการบ่ม
	a และ b	คือ ค่าคงที่ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของดิน

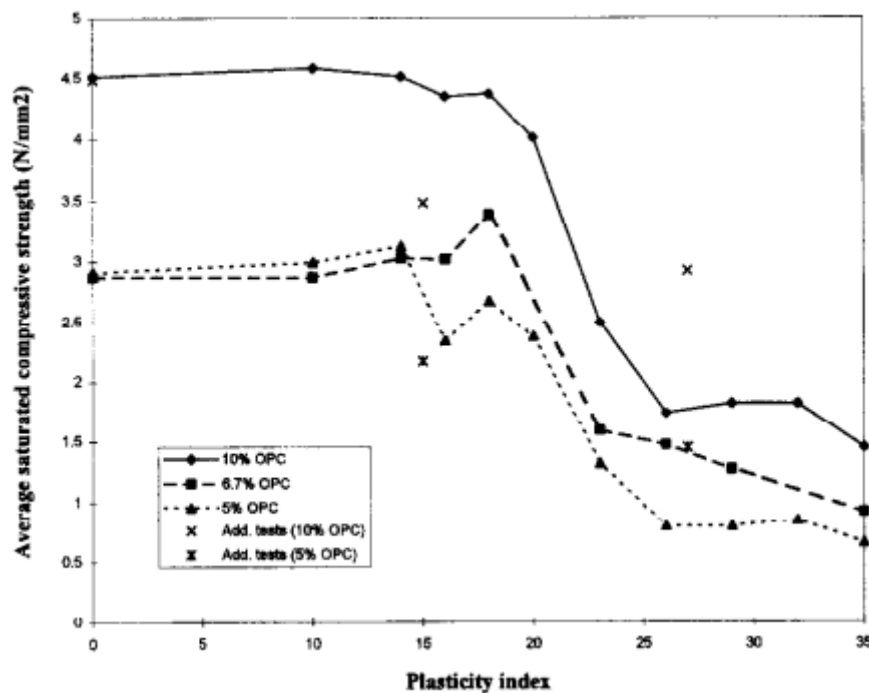
Arabani and VeisKarami (2006) ได้ทำการทดลองโดยการใส่ปูนขาวในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่มีค่า Clay content แตกต่างกันได้ผลการทดลองที่สรุปได้ว่าค่า Clay content มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ โดยดินที่มีค่า Clay content อยู่ระหว่าง 5 – 15% นั้นเมื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนขาวแล้วค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่ได้จากการทดลองจะมีค่าต่ำ แต่สำหรับดินที่มีค่า Clay content อยู่ระหว่าง 20-30% แล้วเมื่อใส่ปูนขาวในการปรับปรุงคุณสมบัติแล้วจะได้ประสิทธิภาพที่สูงกว่าสังเกตได้จากค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่มีค่ามากกว่าแต่สำหรับปริมาณ Clay content ที่มากเกินไปเกิน 30% จะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลงอย่างเห็นได้ชัดสำหรับทุกค่า Liquid Limit (LL) ของก้อนตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 2.3



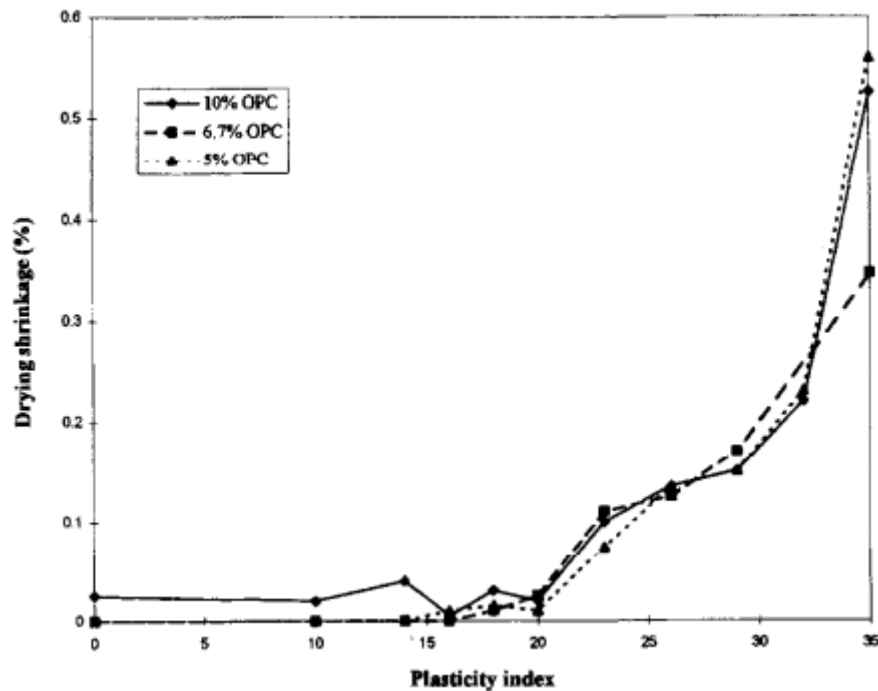
รูปที่ 2.3 ค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่มีปริมาณ Clay content แตกต่างกัน

(Arabani and VeisKarami, 2006)

Walker (1995) แสดงให้เห็นถึงผลการศึกษาที่ว่าสำหรับการปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยซีเมนต์นั้นค่าดัชนีพลาสติกของดินมีผลต่อกำลังรับแรงอัดและการหดตัวแบบแห้งของตัวอย่าง กล่าวคือสำหรับปริมาณซีเมนต์ (Ordinary Portland Cement, OPC) ในสัดส่วนผสมที่เท่ากันก่อน ตัวอย่างที่มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำกว่า 15 เมื่อปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์แล้วทดสอบกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างขณะอิ่มตัวด้วยน้ำโดยนำก้อนตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมงก่อน ทดสอบพบว่าจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ดีกว่าก้อนตัวอย่างที่มีค่าดัชนีพลาสติกสูงดังแสดงในรูปที่ 2.4 สำหรับกรณีของการทดสอบค่าการหดตัวแบบแห้งของก้อนตัวอย่างพบว่าเมื่อดินมีค่าดัชนีพลาสติกสูงกว่า 15 ถึง 20 ค่าการหดตัวแบบแห้งก็มีแนวโน้มสูงขึ้นตามค่าดัชนีพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกต่ำเมื่อนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์แล้วจะมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีกว่าดินที่มีค่าดัชนีพลาสติกสูง

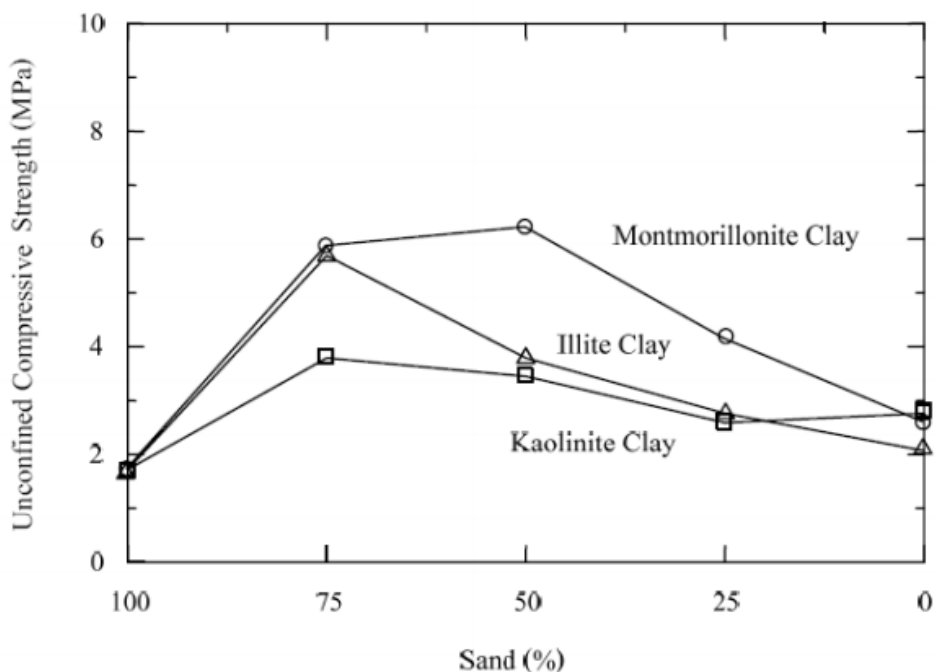


รูปที่ 2.4 กำลังรับแรงอัดเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างอิ่มตัวด้วยน้ำกับค่าดัชนีพลาสติก (Walker, 1995)



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวแบบแห้งกับค่าดัชนีพลาสติกของดินตัวอย่าง
(Walker, 1995)

Davidson et al. (1962) ได้ทำการทดลองโดยนำทรายมาผสมกับดินเหนียวในสัดส่วนผสม 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 และ 0:100 โดยเลือกใช้แร่ดินเหนียว 3 ชนิดที่แตกต่างกันคือคาโอไลไนท์ (Kaolinite), อิลไลท์ (Illite) และมอนโมริลโลไนท์ (Montmorillonite) แล้วทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง จากการทดลองพบว่าเมื่ออัตราส่วนผสมของดินเหนียวต่อทรายเกินร้อยละ 25 ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลงอย่างเห็นได้ชัดและหากพิจารณาถึงประเภทของแร่ดินเหนียวแล้วจะเห็นได้ว่าในปริมาณสัดส่วนผสมระหว่างทรายกับดินเหนียวที่เท่ากันดินเหนียวจำพวกมอนโมริลโลไนท์จะให้ค่ากำลังที่สูงสุดส่วนคาโอไลไนท์จะให้ค่ากำลังต่ำที่สุด ดังแสดงในรูปที่ 2.6



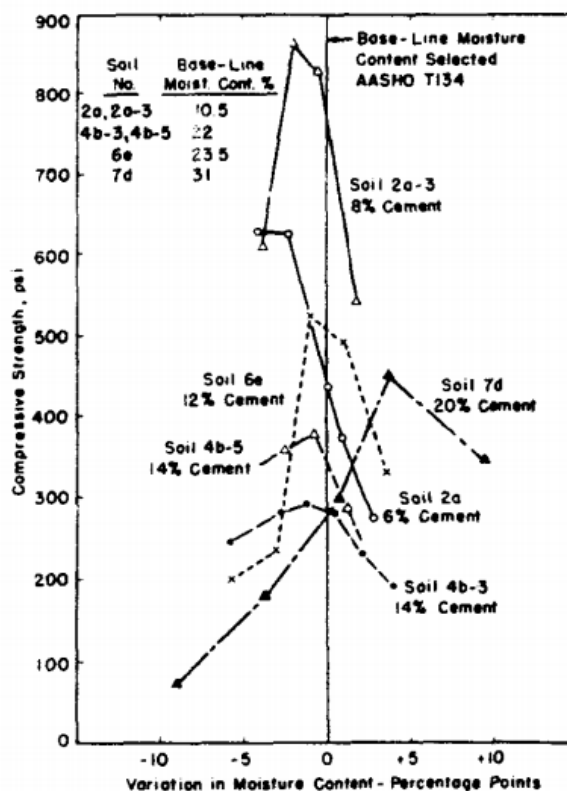
รูปที่ 2.6 กำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนผสมระหว่างทรายกับดินเหนียวประเภทต่าง

(Davidson et al., 1962)

2.3.3 ปริมาณความชื้นในการบดอัด

Ruenkairergesa (1982) กล่าวว่าอิทธิพลของความชื้นในขณะบดอัดดินซีเมนต์นั้น นอกจากจะมีผลต่อค่าความหนาแน่นของดินซีเมนต์แล้วยังมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนชั่นด้วย ดังนั้นในการหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมหากพิจารณาถึงความทนทานของดินซีเมนต์แล้ว ปริมาณความชื้นที่ให้ความหนาแน่นสูงสุดอาจไม่ได้ให้ความทนทานที่สูงสุดตามไปด้วย จากการทดลองหาความคงทนของดินซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการ Freeze -Thaw แล้วพบว่าดินตะกอนและดินเหนียวที่ใช้ซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพหากบดอัดที่ปริมาณความชื้นมากกว่า OMC ที่ได้จากการทดลองการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานเล็กน้อยจะให้ความทนทานสูงสุดส่วนดินทรายผสมซีเมนต์ความทนทานจะมีค่ามากที่สุดเมื่อบดอัดที่ปริมาณความชื้นต่ำกว่าปริมาณความชื้นเหมาะสมประมาณ 3% ถึง 6%

Felt (1955) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ ในกระบวนการศึกษาจะใช้ก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความสูง 2 นิ้ว บดอัดที่ปริมาณความชื้นแตกต่างกันโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณความชื้นที่ระดับต่างๆ ตั้งแต่ -10, -5, 0, +5, +10% ของปริมาณความชื้นที่ให้ความหนาแน่นบดอัดสูงสุดจากนั้นทำการบ่มก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 73°F ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นเวลา 28 วันและก่อนทำการทดสอบจะนำก้อนตัวอย่างมาแช่น้ำก่อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วศึกษาผลของความชื้นที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.7 คือปริมาณความชื้นขณะบดอัดมีผลกับค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ สำหรับดินทรายควรบดอัดที่ปริมาณความชื้นน้อยกว่า OMC เล็กน้อยจะให้ค่ากำลังที่สูงที่สุด ซึ่งแตกต่างจากดินเหนียวที่ควรบดอัดให้ปริมาณความชื้นมากกว่า OMC เล็กน้อย

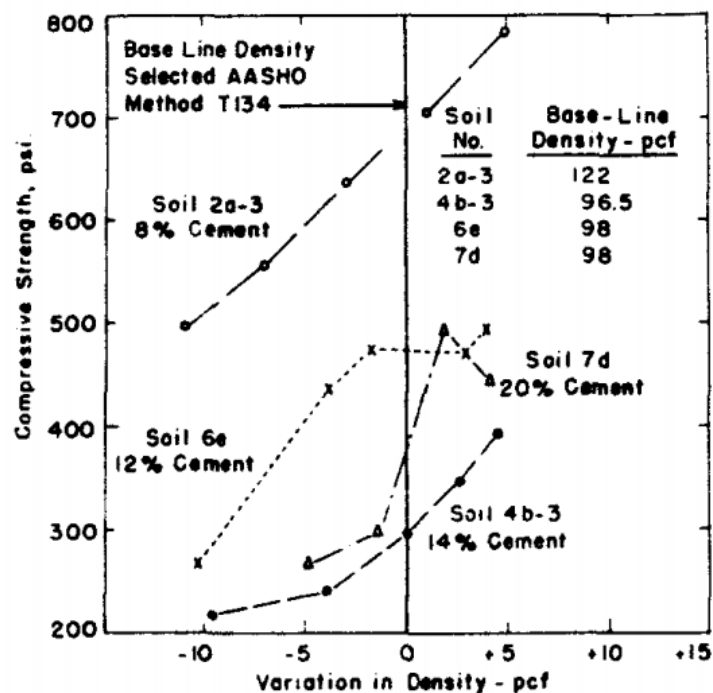


รูปที่ 2.7 กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ประเภทต่างๆที่ปริมาณความชื้นขณะบดอัดแตกต่างกัน

(Felt, 1955)

2.3.4 ความหนาแน่นในการบดอัด

Felt (1955) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ ในกระบวนการศึกษาจะใช้ก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ความสูง 2 นิ้ว บดอัดที่ปริมาณความชื้นเท่ากันโดยเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นบดอัดที่ระดับต่างๆ จากนั้นทำการบ่มก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 73°F ความชื้นสัมพัทธ์ 100% เป็นเวลา 28 วันและก่อนทำการทดสอบจะนำก้อนตัวอย่างมาแช่น้ำก่อนเป็นเวลา 1 ชั่วโมงแล้วศึกษาผลของความหนาแน่นที่ส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 2.8 คือเมื่อความหนาแน่นเพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะที่ความหนาแน่นต่ำกว่าการบดอัดแบบมาตรฐานตามคำแนะนำของ AASHTO ค่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นประมาณ 15-25 ปอนด์ต่อตารางนิ้วทุกๆความหนาแน่นบดอัดเพิ่มขึ้น 1 ปอนด์ต่อตารางฟุต

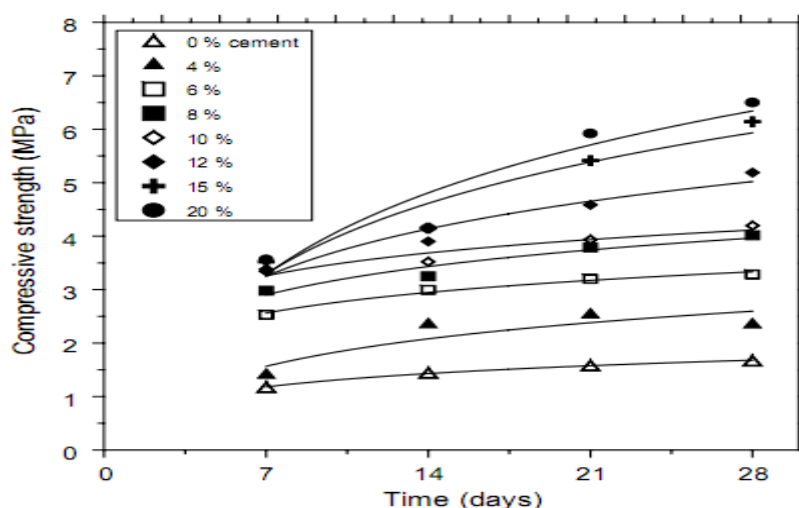


รูปที่ 2.8 กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ความหนาแน่นบดอัดแตกต่างกัน (Felt, 1955)

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ (2001) ได้ทำการศึกษากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน โดยให้ความหนาแน่นของดินซีเมนต์แตกต่างกันไปจากการบดอัดที่ใช้พลังงานใน 4 ลักษณะคือ ใช้พลังงาน $\frac{1}{2}$ เท่าของการบดอัดแบบมาตรฐาน, ใช้พลังงานการบดอัดแบบมาตรฐาน, ใช้พลังงาน $\frac{1}{2}$ เท่าของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานและใช้พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน แล้วบ่มก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องโดยใช้ฟิล์มถนอมอาหารเป็นเวลา 3, 7, 14 และ 28 วันก่อนทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ผลการศึกษาสรุปได้ว่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความหนาแน่นต่อค่า UCS อยู่ในรูปของเลขยกกำลัง (Power Model) โดยที่สำหรับดินลูกรังผสมซีเมนต์เมื่อความหนาแน่นแห้งลดลงร้อยละ 5 ทำให้ค่า UCS ลดลงถึงร้อยละ 30 และสำหรับดินทรายปนตะกอนเมื่อความหนาแน่นแห้งลดลงร้อยละ 5 ทำให้ค่า UCS ลดลงถึงร้อยละ 55

2.3.5 การบ่ม

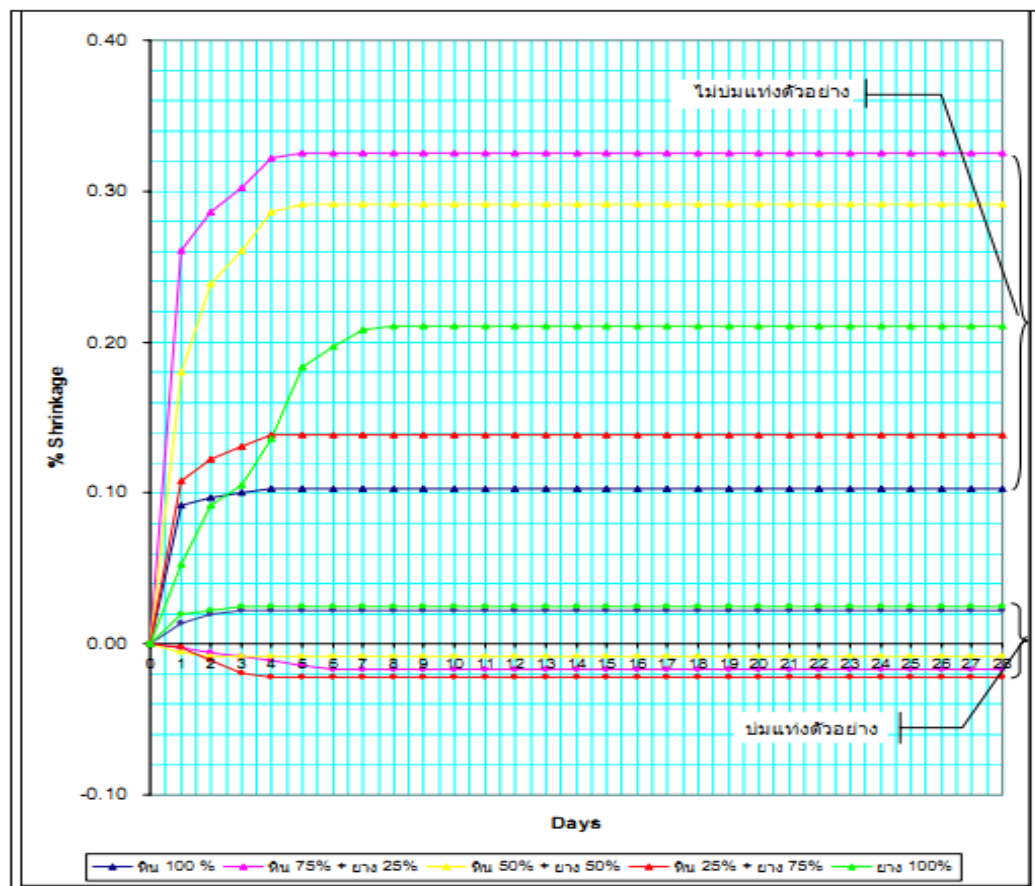
Bahar et al. (2004) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาพฤติกรรมของดินซีเมนต์โดยจากการศึกษาซึ่งใช้ซีเมนต์ในสัดส่วนผสมที่ต่างกันมาผสมกับดินในปริมาณความชื้นที่ให้ความหนาแน่นในการบดอัดสูงสุด พบว่าระยะเวลาในการบ่มก้อนซีเมนต์มีผลต่ออัตราการเพิ่มกำลังของก้อนตัวอย่างดังแสดงให้เห็นดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การพัฒนากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเมื่อระยะเวลาการบ่มเพิ่มขึ้น

(Bahar et al., 2004)

พิชิต จำนงค์พิพัฒน์ และคณะ (2009) ได้ทำการศึกษาเพื่อหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับวัสดุหมุนเวียนผิวทางแอสฟัลต์และพื้นทางหินคลุกที่ใช้ซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพ ในการบวกรวมการศึกษาจะใช้ผิวทางแอสฟัลต์ผสมกับพื้นทางหินคลุกและซีเมนต์ในปริมาณที่แตกต่าง กัน ซึ่งในกระบวนการเตรียมตัวอย่างและทดสอบจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ทล.-ม 213/2543 จากนั้นจึงทำการวัดการหดตัวของก้อนตัวอย่างซึ่งจากการทดลองพบว่าการบ่ม (Curing) มีความสำคัญเป็นอย่างมาก ถ้าทำการบ่มอย่างถูกต้องจะช่วยลดการเกิดการหดตัวได้มากส่วนในกรณีที่ไม่บ่มก้อนตัวอย่างอย่างถูกวิธีจะทำให้เกิดการหดตัวที่สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัดโดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงเริ่มต้นในช่วงระยะเวลา 3 ถึง 7 วันแรกซึ่งแสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ค่าการหดตัวของก้อนตัวอย่างที่ผ่านการบ่มและไม่ผ่านการบ่มอย่างถูกต้อง (พิชิต จำนงค์พิพัฒน์กุล และคณะ, 2009)

2.3.6 สารผสมเพิ่ม

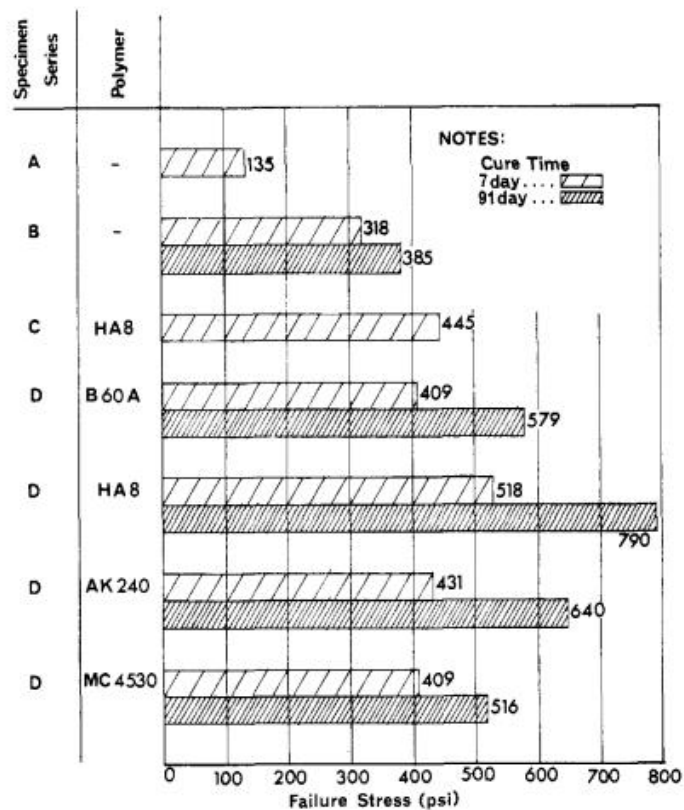
Fungaroli and Prager (1969) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมของดินซีเมนต์ที่ใช้สารผสมเพิ่มจำพวกโพลีเมอร์ ในกระบวนการศึกษาจะใช้ก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์ทรงกระบอกซึ่งมีส่วนผสมที่แตกต่างกันดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนผสมของก้อนตัวอย่างที่ใช้ในงานวิจัย (Fungaroli and Prager, 1969)

Specimen Series	Components		
	Soil, % ^a	Cement, % ^a	Polymer, % ^a
A	100
B	90	10	...
C	98	...	2
D	88	10	2

^a % of total weight.

จากตารางที่ 2.1 สำหรับสัดส่วนผสมดินซีเมนต์ที่ใช้โพลีเมอร์เป็นสารผสมนั้น ในงานวิจัยนี้จะใช้โพลีเมอร์แตกต่างกันทั้งหมด 4 ชนิดคือ Rhoplex AK-240, Rhoplex B-60A, Rhoplex HA-8, และ Rhoplex MC-4530 หลังจากบดอัดแล้วจะทำการบ่มก้อนตัวอย่างที่อุณหภูมิ 70 °F ความชื้นสัมพัทธ์ 70% ก่อนทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดซึ่งได้ผลการทดลองที่แสดงให้เห็นว่าโพลีเมอร์แต่ละชนิดจะมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น โดยที่ Rhoplex HA-8 เมื่อนำมาเป็นสารผสมเพิ่มในดินซีเมนต์แล้วจะมีประสิทธิภาพดีที่สุดในกลุ่มของโพลีเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 4 ชนิด ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์สำหรับสัดส่วนผสมประเภทต่างๆ

(Fungaroli and Prager, 1969)

จตุรงค์ เสาวภาคย์ไพบุลย์ และคณะ (2010) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เมื่อใช้สารผสมเพิ่มโพลีเมอร์เคมีโรด โดยการออกแบบสัดส่วนผสม 3 ลักษณะที่ 0% ซีเมนต์ และ 0% เคมีโรด, 5% ซีเมนต์ และ 0% เคมีโรด, 5% ซีเมนต์ และ 5% เคมีโรด แล้วสังเกตค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดของดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพกับดินที่ปรับปรุงคุณภาพที่สัดส่วนผสมต่างๆ พบว่าดินซีเมนต์ที่มีสัดส่วนผสมระหว่างดินกับซีเมนต์แต่ไม่ได้ใช้สารผสมเพิ่มโพลีเมอร์เคมีโรดนั้นจะมีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นประมาณ 1200% และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น 3000% ซึ่งหากใช้โพลีเมอร์เคมีโรด 5% ด้วยกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นเป็น 1300% และค่าโมดูลัสยืดหยุ่นจะเพิ่มขึ้น 4900% จากดินที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพ

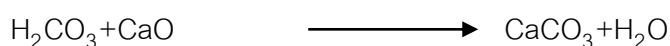
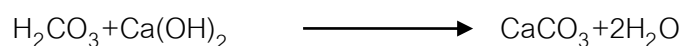
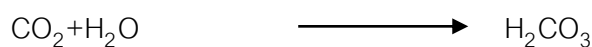
2.4 ความทนทานของดินซีเมนต์

สำหรับการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้างชั้นทางนั้นปัจจัยด้านความทนทานของดินซีเมนต์ถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องคำนึงถึงอีกประการหนึ่งเช่นกัน เพราะหากชั้นทางดินซีเมนต์มีความทนทานไม่เพียงพอแล้วเมื่อถนนเปิดใช้งานไปได้ระยะหนึ่งอาจเกิดปัญหา ร่องล้อ (Rut) และหลุมบ่อ (Pothole) ได้จากการค้นคว้าพบว่าปัจจัยที่อาจจะส่งผลต่อความทนทานของดินซีเมนต์นั้นพอสรุปได้ดังต่อไปนี้

2.4.1 ปฏิกริยา Carbonation

เมื่อคอนกรีตอยู่ในสภาวะที่มีความชื้นและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นทำให้ค่า pH ของคอนกรีตลดลงจากเดิมที่ pH ประมาณ 13 จะลดลงเหลือ 10.5 ซึ่งผลจากการลดค่า pH ทำให้เกิดการกัดกร่อนเหล็กเสริมในคอนกรีต (Bertos et al., 2004)

สำหรับปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นนั้นสามารถแสดงได้ตามสมการดังนี้

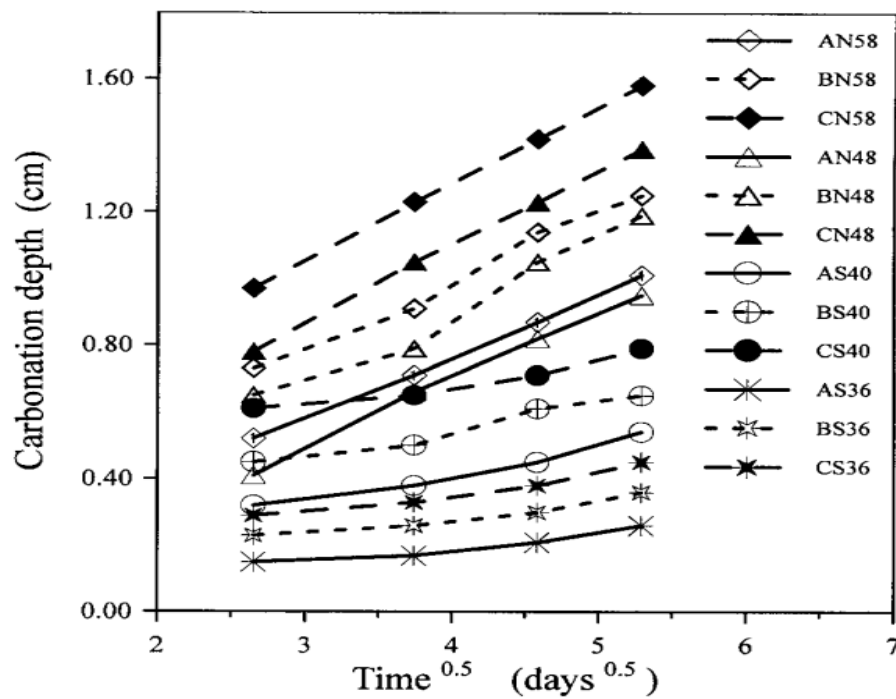


Chi et al. (2002) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับผลของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ในกระบวนการศึกษาหลังจากเตรียมก้อนตัวอย่างตามสัดส่วนผสมในตารางที่ 2.2 แล้วจะปมก้อนตัวอย่างเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นที่อุณหภูมิ 23°C ระดับความชื้นสัมพัทธ์ 70% ในความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์แตกต่างกัน 50%, 75% และ 100% แล้ววัดระดับความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นโดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ตามระยะเวลาที่ 7, 14, และ 28 วันผลศึกษาพบว่าเมื่อความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์สูงขึ้นและระยะเวลาการปมมากขึ้นทำให้ความลึกการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นในก้อนตัวอย่างเพิ่มขึ้นตามไปด้วยดังแสดงในรูปที่ 2.12 ซึ่งแทนด้วย (A, B, C) ตามลำดับระยะเวลาการปมที่เพิ่มขึ้นและหากนำก้อนตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น (CN58, CN48, CS40, CS36) มาทำการทดสอบหากำลังรับแรงอัดแล้วเปรียบเทียบกับก้อนตัวอย่างที่ไม่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น (N58,

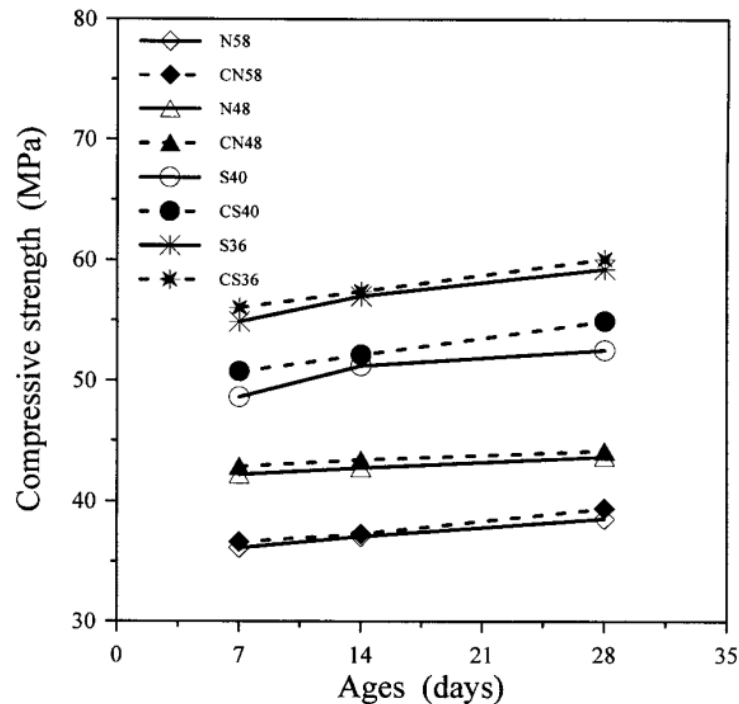
N48, S40, S36) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.13 ซึ่งแสดงให้เห็นว่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อระดับความลึกของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นมากขึ้น

ตารางที่ 2.2 แสดงสัดส่วนผสมของก้อนตัวอย่าง (Chi et al., 2002)

mix No.	w/b	cement	water	slag	sand	aggregate	super-plasticizer	slump (cm)
N58	0.58	350	203	0	735	1024	0	14
N48	0.48	424	203	0	768	945	0	13
S40	0.40	200	191	300	912	722	9.5	23.5
S36	0.36	400	177	125	924	732	12.0	25



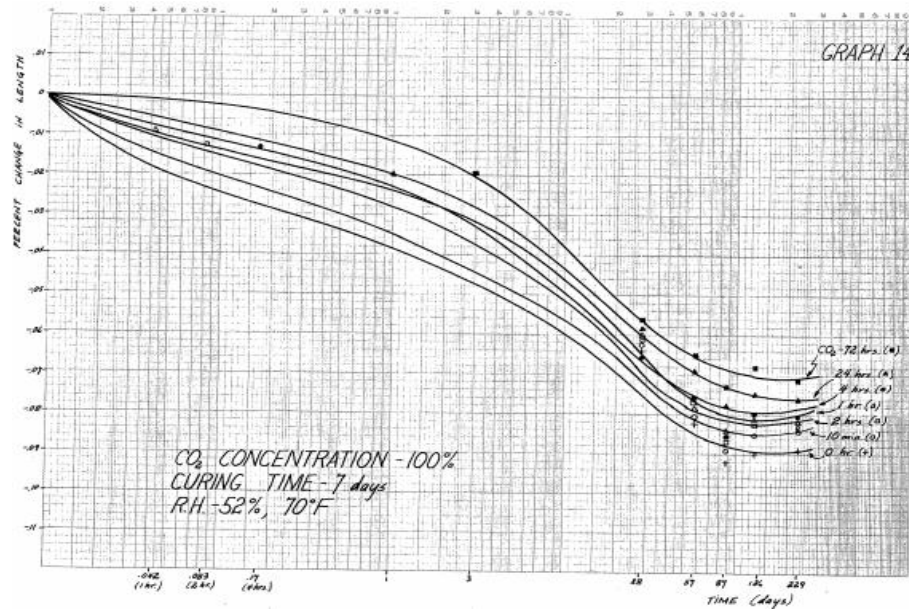
รูปที่ 2.12 ความลึกของปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นที่เวลาการบ่มให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นต่างๆ (Chi et al., 2002)



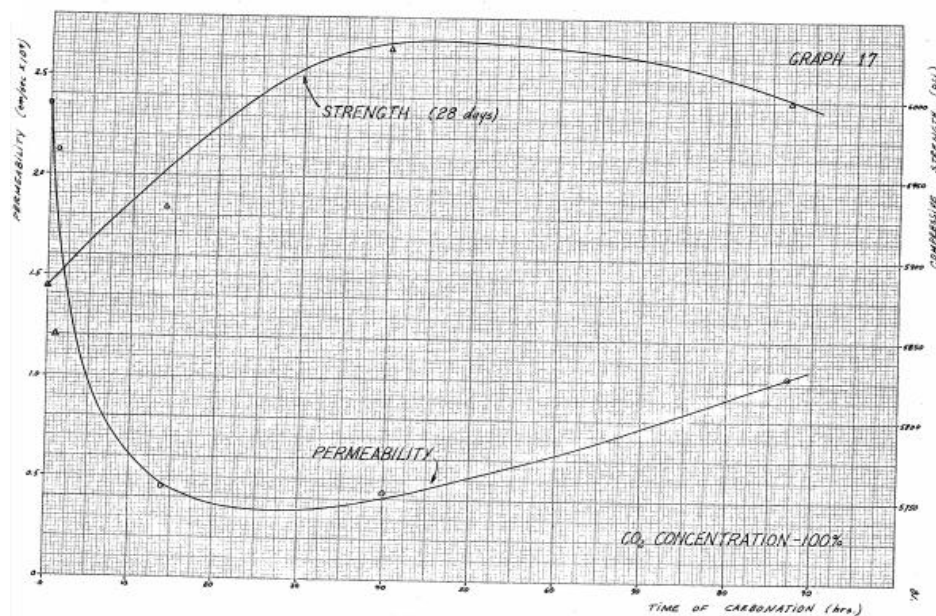
รูปที่ 2.13 กำลังรับแรงอัดกับระยะเวลาการบ่มให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น (Chi et al., 2002)

Chang (1962) ได้ทำการศึกษาเรื่อง The effect of carbonation on the shrinkage, strength, and permeability of Portland cement concrete เพื่อศึกษาพฤติกรรมของก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่น ในกระบวนการวิจัยหลังจากเตรียมตัวอย่างแล้วจะบ่มในน้ำที่อุณหภูมิ 73°F เป็นระยะเวลา 1, 3 และ 7 วัน จากนั้นจึงนำก้อนตัวอย่างมาทำให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นโดยการบ่มก้อนตัวอย่างที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 50% และ 100% เป็นเวลา 0 นาที, 10 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 24 ชั่วโมง และ 72 ชั่วโมงในระดับความชื้นสัมพัทธ์ 52% แล้วเก็บข้อมูลค่าการหดตัวของก้อนตัวอย่างจนกว่าการเปลี่ยนแปลงความยาวของก้อนตัวอย่างค่อนข้างคงที่ ซึ่งผลการศึกษาสรุปได้ว่าการเร่งให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นในสถานะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 50% โดยใช้ระยเวลาน้อยกว่า 72 ชั่วโมงนั้นไม่มีนัยสำคัญกับค่าการหดตัวของก้อนตัวอย่างแต่ที่ความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 100% นั้นค่าการหดตัวของก้อนตัวอย่างมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับระยะเวลาที่บ่มให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นดังแสดงในเห็นดังรูปที่ 2.14 ส่วนรูปที่ 2.15 แสดงให้

เห็นว่าเมื่อระยะเวลาการบ่มเพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเพิ่มขึ้นแล้วกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นด้วยอีกทั้งปฏิกิริยาคาร์บอนยังทำให้การซึมผ่านน้ำลดลงได้



รูปที่ 2.14 การเปลี่ยนแปลงความยาวก้อนตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนขึ้นที่ระยะเวลาต่างๆ (Chang, 1962)



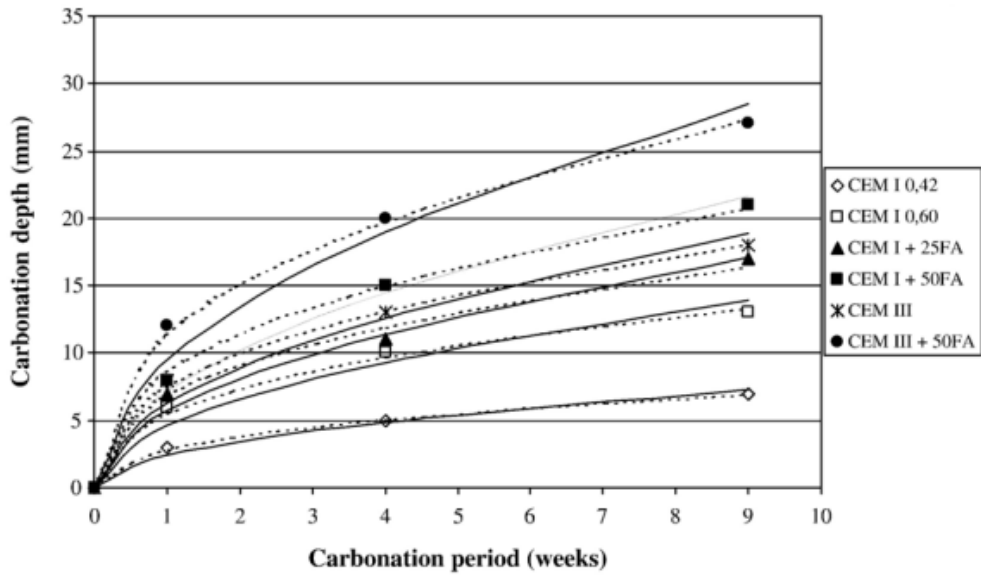
รูปที่ 2.15 กำลังรับแรงอัดและค่าการซึมผ่านของก้อนตัวอย่างที่เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนขึ้น (Chang, 1962)

Sisomphon and Franke (2007) ได้ทำการทดลองเพื่อศึกษาการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีต ซึ่งในกระบวนการศึกษาจะเตรียมก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. โดยใช้ปูนซีเมนต์, ตะกรันเหล็กและเถ้าลอยในสัดส่วนผสมต่างกัน ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2.3 จากนั้นจึงทำการบ่มก้อนตัวอย่างในน้ำเป็นเวลา 7 วันและเก็บตัวอย่างที่อุณหภูมิ 20 °C ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 50% เป็นระยะเวลา 5 เดือนก่อนนำมาเร่งให้เกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นในสภาวะที่ความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์ 3% โดยปริมาตรที่ความชื้นสัมพัทธ์ 65% แล้วทดสอบปริมาณการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นกับก้อนตัวอย่างโดยใช้สารละลายฟีนอล์ฟทาลีน ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความลึกในการเกิดคาร์บอนเนชั่นมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาที่เร่งให้เกิดคาร์บอนเนชั่นโดยความลึกของการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นในก้อนตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาการบ่มเพื่อเร่งให้เกิดปฏิกิริยามากขึ้นโดยเฉพาะในระยะเวลาที่การบ่มเพื่อให้เกิดปฏิกิริยา 1 สัปดาห์ค่าความลึกจะเพิ่มขึ้นเร็วกว่าสัปดาห์หลังๆ แสดงให้เห็นได้ดังรูปที่ 2.16 ในการศึกษาครั้งนี้ยังได้มีการประมาณอัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมจริงไว้ด้วยซึ่งสรุปได้ว่าในสภาวะแวดล้อมจริงนั้นการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นต้องใช้ระยะเวลาหลายปีและความสัมพันธ์แสดงได้ดังรูปที่ 2.17

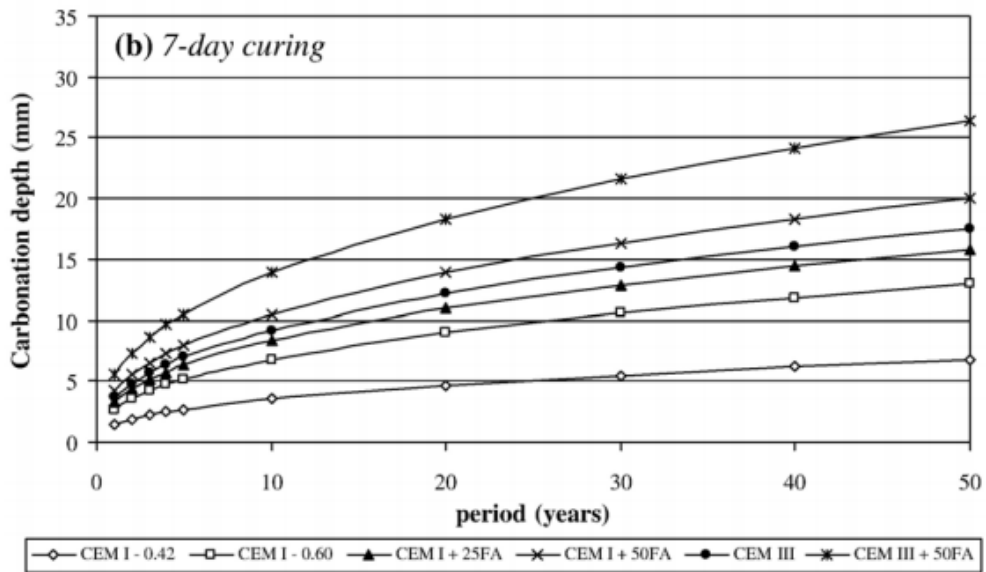
ตารางที่ 2.3 สัดส่วนผสมสำหรับก้อนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง(Sisomphon and Franke, 2007)

Mix proportions in kg per cubic meter of concrete									
Mix no.	Mixture	CEM I 42,5 R (kg/m ³)	CEM III-B (kg/m ³)	Fly ash (kg/m ³)	Water (kg/m ³)	Total aggregate (kg/m ³)	w/c+ f	w/c+ k · f ^a	
1	CEM I 0.42	350	–	–	147	1800	0.42	0.42	
2	CEM I 0.60	350	–	–	210	1800	0.60	0.60	
3	CEM I +25FA	262.5	–	87.5	178.5	1800	0.51	0.60	
4	CEM I +50FA	175	–	175	147	1800	0.42	0.60	
5	CEM III	–	350	–	210	1800	0.60	0.60	
6	CEM III +50FA	–	175	175	147	1800	0.42	0.60	

^a k=0.40.

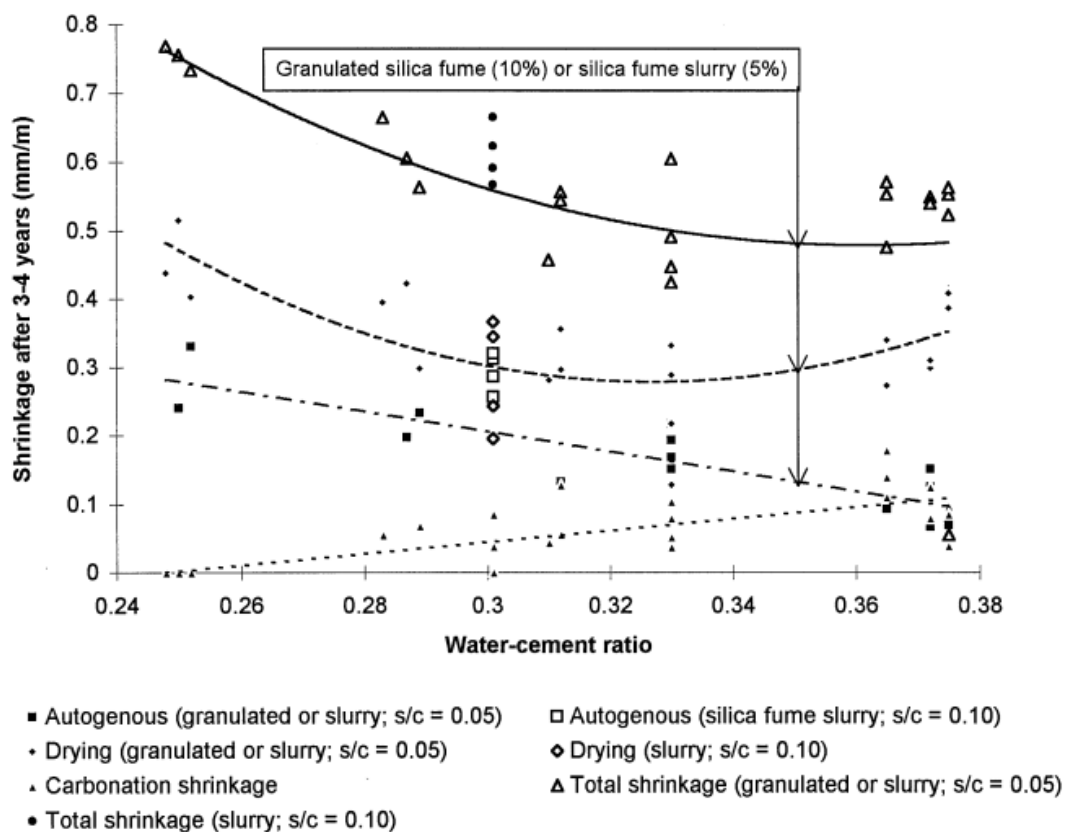


รูปที่ 2.16 ความลึกในการเกิดคาร์บอนเนชั่นกับระยะเวลาที่เร่งให้เกิดคาร์บอนเนชั่น (Sisomphon and Franke, 2007)



รูปที่ 2.17 อัตราการเกิดปฏิกิริยาคาร์บอนเนชั่นของคอนกรีตในสภาวะแวดล้อมจริง (Sisomphon and Franke, 2007)

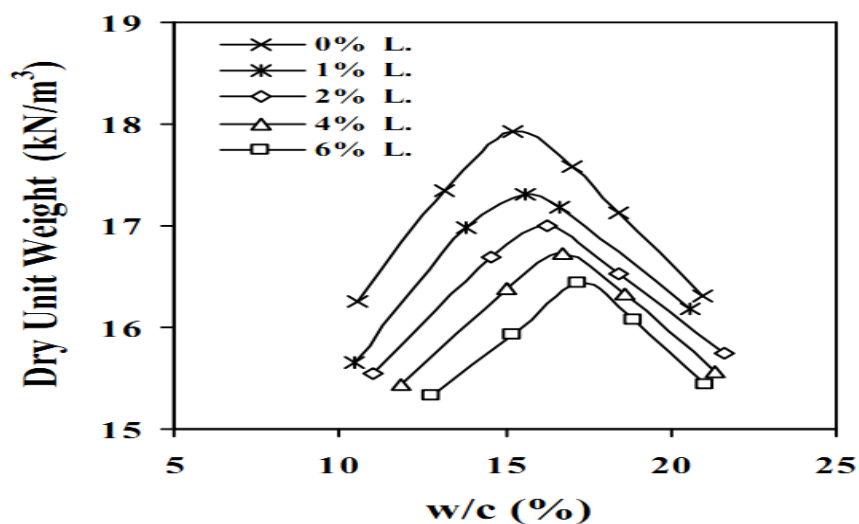
Persson (1998) ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการหดตัวประเภทต่างๆของคอนกรีต ซึ่งในการศึกษานั้นจะสนใจการหดตัวของคอนกรีต 3 ประเภทคือ การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) ซึ่งเกิดจากการสูญเสียความชื้นจากคอนกรีตสู่ชั้นบรรยากาศหลังการคอนกรีตก่อตัวแล้ว, การหดตัวแบบออโตจีนัส (Autogenous Shrinkage) คือการหดตัวเนื่องจากการการสูญเสียความชื้นภายในคอนกรีตเองหลังจากคอนกรีตก่อตัวแล้วและการหดตัวเนื่องจากคาร์บอนเนชั่น (Carbonation Shrinkage) คือการหดตัวเนื่องจากปฏิกิริยาเคมีเมื่อคอนกรีตสัมผัสกับน้ำและก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ผลการศึกษาแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวประเภทต่างๆที่ระยะเวลา 3-4 ปี กับสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำกับซีเมนต์ดังรูปที่ 2.18 ซึ่งสังเกตได้ว่าค่าการหดตัวเนื่องจากคาร์บอนเนชั่นมีค่าน้อยกว่าค่าการหดตัวประเภทอื่นๆ



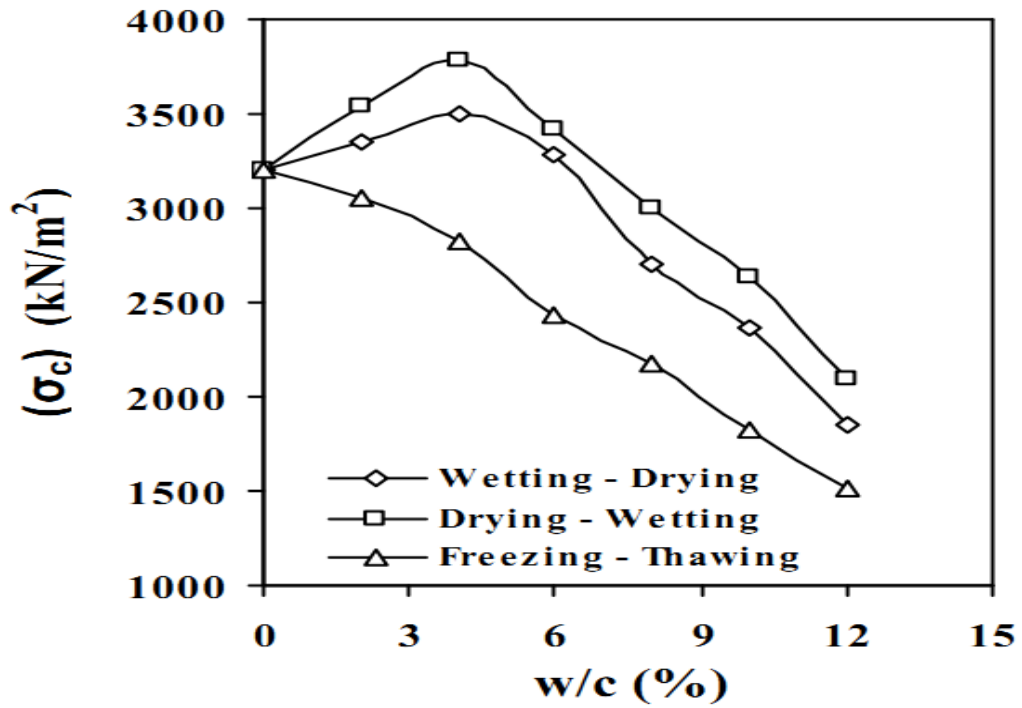
รูปที่ 2.18 การหดตัวประเภทต่างๆของคอนกรีตกับสัดส่วนระหว่างปริมาณน้ำกับซีเมนต์ (Persson, 1998)

2.4.2 ความทนทานของดินซีเมนต์เมื่อผ่านสภาวะแห้งสลับเปียก

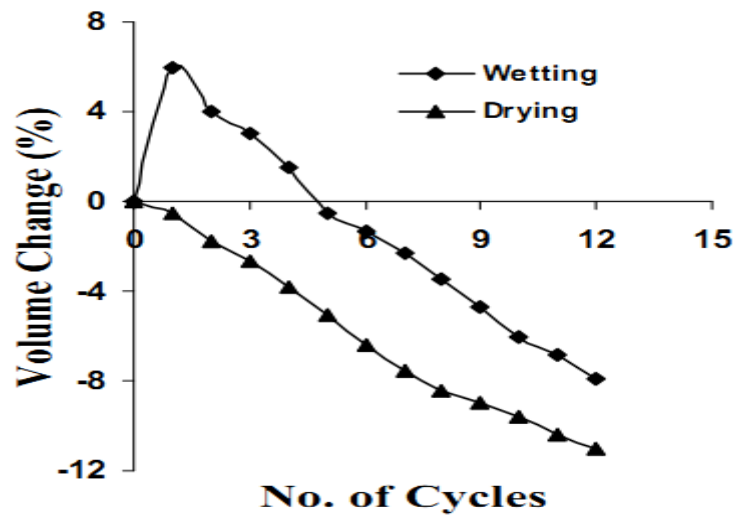
Ibrahaimet al. (2010) ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแห้งสลับเปียกจากผลการศึกษาสรุปได้ว่าเมื่อใช้ปูนขาวร้อยละ 0 ถึง 6 ในการปรับปรุงคุณภาพของดินพบว่าค่า Maximum Dry Unit Weight (γ_{max}) และ Optimum Moisture Content (OMC) เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณปูนขาวที่ใช้ดังแสดงในรูปที่ 2.19 คือเมื่อปริมาณปูนขาวที่ใช้เพิ่มขึ้นทำให้ค่า γ_{max} ลดลง และค่า OMC เพิ่มขึ้น หากพิจารณาความทนทานของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกโดยการบ่มจำนวน 12 รอบ ซึ่งในแต่ละรอบจะบ่มก้อนตัวอย่างแบบแห้งที่อุณหภูมิ 60°C เป็นระยะเวลา 2 วันและแบบเปียกโดยการแช่ในน้ำเป็นระยะเวลาอีก 2 วัน จากนั้นจึงนำมาทดสอบกำลังรับแรงอัดในทุกๆ 2 รอบของการบ่มพบว่า การบ่มแบบแห้งสลับเปียกนั้นจะมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์เปลี่ยนแปลงไปโดยใน 4 รอบการบ่มแรกกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นแต่เมื่อจำนวนรอบการบ่มแห้งสลับเปียกเพิ่มมากขึ้นกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์จะลดลงดังแสดงในรูปที่ 2.20 นอกจากนี้แล้วงานวิจัยนี้ยังศึกษาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินซีเมนต์เมื่อผ่านการบ่มแบบแห้งสลับเปียกด้วย และสรุปได้ว่ากระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกมีผลต่อการหดตัวของก้อนตัวอย่างโดยที่ค่าการหดตัวของก้อนตัวอย่างจะเพิ่มขึ้นเมื่อจำนวนรอบการบ่มเพิ่มมากขึ้นดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.19 ค่า γ_{max} และ OMC ที่เปลี่ยนไปเมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้น (Ibrahaim et al., 2010)



รูปที่ 2.20 กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแห้งสลับเปียก
(Ibrahaim et al., 2010)



รูปที่ 2.21 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแห้งสลับเปียก
(Ibrahaim et al., 2010)

Yuan et al. (2010) ได้ทำการศึกษาเรื่อง Cement Treated RAP Mixes for Roadway Bases ซึ่งเป็นศึกษาการเกี่ยวกับการนำวัสดุชั้นทางหมุนเวียน (RAP, R) ผสมกับวัสดุชั้นทางในท้องถิ่นซึ่งปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ (Cement, C) หรือ เถ้าลอย (Flyash, F) ในสัดส่วนผสมที่แตกต่างกัน เช่น 75% RAP + 25% Base + 2% Cement จะใช้สัญลักษณ์ 75R_2C โดยสนใจพฤติกรรมในด้านความทนทานเมื่อผ่านกระบวนการต่างๆรวมทั้งกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกด้วย ในกระบวนการศึกษาจะนำวัสดุพื้นทางหมุนเวียนนั้นมาผสมกับหินคลุกและซีเมนต์ในสัดส่วนการผสมที่แตกต่างกัน จากนั้นจึงทำการบ่มตัวอย่างแบบแห้งสลับเปียกโดยการบ่มแห้งที่อุณหภูมิ 160°F เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และบ่มเปียกโดยการแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชั่วโมงสำหรับหนึ่งรอบของการบ่ม จากนั้นทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างในรอบการบ่มที่ 3, 7 และ 14 ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่ากระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างโดยเฉพาะอย่างยิ่งกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่มีลดลงตามจำนวนรอบการบ่มอย่างเห็นได้ชัด ดังแสดงในตารางที่ 2.4 และ ตารางที่ 2.5 ซึ่งใช้แหล่งวัสดุที่แตกต่างกัน

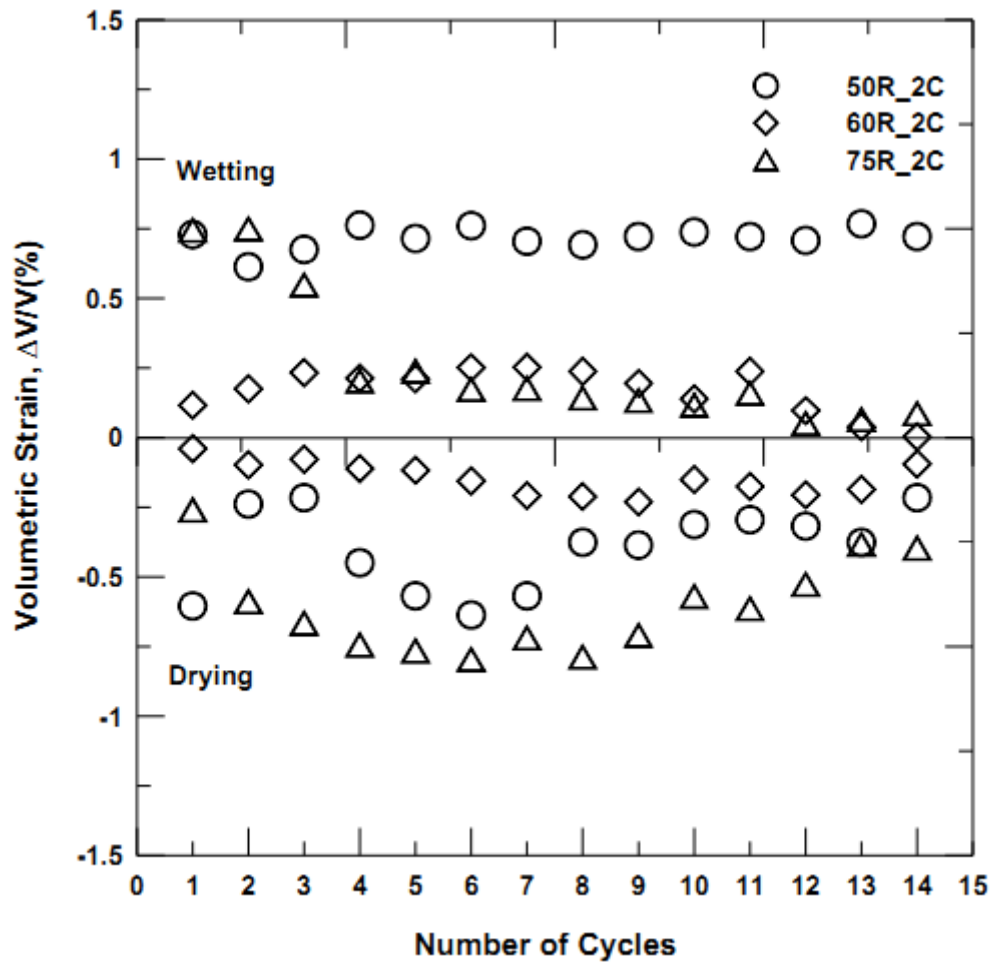
ตารางที่ 2.4 ผลการทดลองของวัสดุชั้นทางหมุนเวียนจาก El Paso RAP (Yuan et al., 2010)

Mix Type	No. of W/D Cycles	Total Volumetric Strain (%)	Retained UCS (psi)	No. of W/D Cycles Sample Survived	Rank
100R_6C	3	0.64	200	14	IV
	7	0.30	185		
	14	0.49	145		
75R_2C	3	0.90	150	14	II
	7	0.89	135		
	14	0.48	120		
60R_0C	3	1.41	153	14	V
	7	0.81	145		
	14	0.79	123		
60R_2C	3	0.54	300	14	I
	7	0.56	285		
	14	0.09	272		
60R_7F	3	1.65	45	7	VI
	7	2.50	35		
	14	-	-		
50R_2C	3	0.36	260	14	III
	7	1.27	223		
	14	0.94	204		

ตารางที่ 2.5 ผลการทดลองของวัสดุชั้นทางหมุนเวียนจาก Childress RAP (Yuan et al., 2010)

Mix Type	No. of W/D Cycles	Total Volumetric Strain (%)	Retained UCS (psi)	No. of W/D Cycles Sample Survived	Rank
100R_4C	3	0.56	330	14	III
	7	0.85	270		
	14	0.94	192		
75R_4C	3	0.09	430	14	I
	7	0.08	410		
	14	0.06	362		
50R_4C	3	0.45	450	14	II
	7	0.58	400		
	14	0.43	323		

Ganne (2009) ได้ทำการศึกษาเรื่อง long-term durability studies on chemically treated reclaimed asphalt pavement (RAP) material โดยสนใจการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและกำลังรับแรงอัดของวัสดุชั้นทางหมุนเวียนที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ ในกระบวนการศึกษาจะทำการศึกษาโดยการบ่มก้อนตัวอย่างแบบแห้งสลับเปียก โดยการบ่มแห้งที่อุณหภูมิ 160°F เป็นระยะเวลา 42 ชั่วโมง และบ่มเปียกโดยการแช่ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชั่วโมงสำหรับหนึ่งรอบของการบ่ม จากนั้นสังเกตกำลังรับแรงอัดและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่รอบการบ่มที่ 3, 7 และ 14 ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างกับจำนวนรอบการบ่มแห้งสลับเปียก (Ganne, 2009)

จากรูปที่ 2.22 แสดงให้เห็นว่าเมื่อก้อนตัวอย่างผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งจะเกิดการหดตัว ($\frac{\Delta V}{V}$ มีค่าเป็นลบ) และจะขยายตัวเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบเปียก ($\frac{\Delta V}{V}$ มีค่าเป็นบวก) และการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างมีความสัมพันธ์กับปริมาณวัสดุชั้นทางหมุนเวียนที่ใช้ในสัดส่วนผสม สำหรับการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดที่แสดงให้เห็นได้ดังตารางที่ 2.6 นั้นมีการจัดลำดับของสัดส่วนผสมที่เหมาะสมตามกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างที่เปลี่ยนไปเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก โดยที่สัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดที่ได้จากการทดลองนี้เป็นสัดส่วนผสมที่ประกอบด้วยวัสดุชั้นทางหมุนเวียน 60% และปริมาณซีเมนต์ที่ 2%

ตารางที่ 2.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรและค่ากำลังรับแรงอัดที่จำนวนรอบการบ่มต่างๆ
(Ganne, 2009)

Mix Type	# of cycles	Total Volumetric change (%)	Retained UCS (psi)	# of cycles sample survived	Rank
100R_6C	3	0.64	200	14	IV
	7	0.30	185		
	14	0.49	145		
75R_2C	3	0.90	150	14	II
	7	0.89	135		
	14	0.48	120		
60R_0C	3	1.41	153	14	V
	7	0.81	145		
	14	0.79	123		
60R_2C	3	0.54	300	14	I
	7	0.56	285		
	14	0.09	272		
60R_7F	3	1.65	45	7	VI
	7	2.50	35		
	14	-	-		
50R_2C	3	0.36	260	14	III
	7	1.27	223		
	14	0.94	204		

Note: # of cycle's tested-14

2.5 การประมาณค่ากำลังรับแรงดึงโดยใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก

ในมาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กแบบไม่ทำลายได้กล่าวถึงวิธีทดสอบคอนกรีตโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิก (Ultrasonic Pulse Velocity) ไว้ว่าการทดสอบดังกล่าวนี้เป็นการวัดความเร็วคลื่นกลที่เคลื่อนที่ในคอนกรีต โดยในหลักการทำงานของเครื่องทดสอบจะประกอบไปด้วยตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณ เมื่อทำการทดสอบตัวส่งสัญญาณจะปล่อยคลื่นเข้าไปยังคอนกรีตซึ่งเป็นตัวกลางและผ่านไปยังตัวรับสัญญาณโดยคลื่นจะใช้ระยะเวลาในการเดินทางค่าหนึ่ง เมื่อทราบระยะห่างระหว่างตัวส่งสัญญาณและตัวรับสัญญาณแล้วจะสามารถหาความเร็วคลื่นที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางซึ่งเป็นคอนกรีตได้ ซึ่งความเร็วในการเคลื่อนที่ของคลื่นอัลตราโซนิกจะมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่นและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตดังสมการต่อไปนี้

$$V = \sqrt{\frac{E(1-\mu)}{\rho(1+\mu)(1-2\mu)}}$$

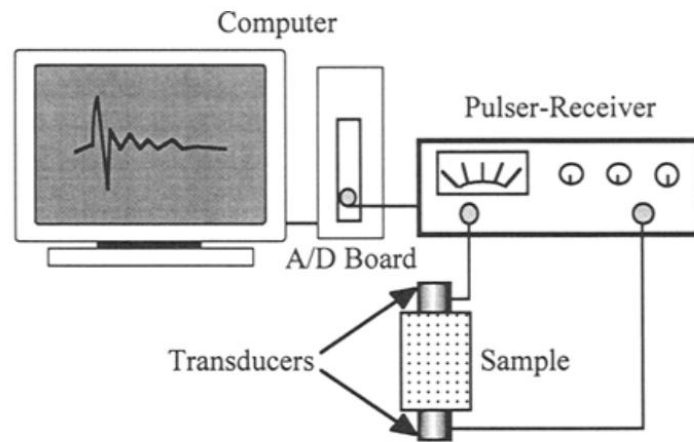
เมื่อ V คือ ความเร็วของคลื่นอัลตราโซนิกในตัวกลาง

E คือ ค่าคงที่ยืดหยุ่นของตัวกลาง

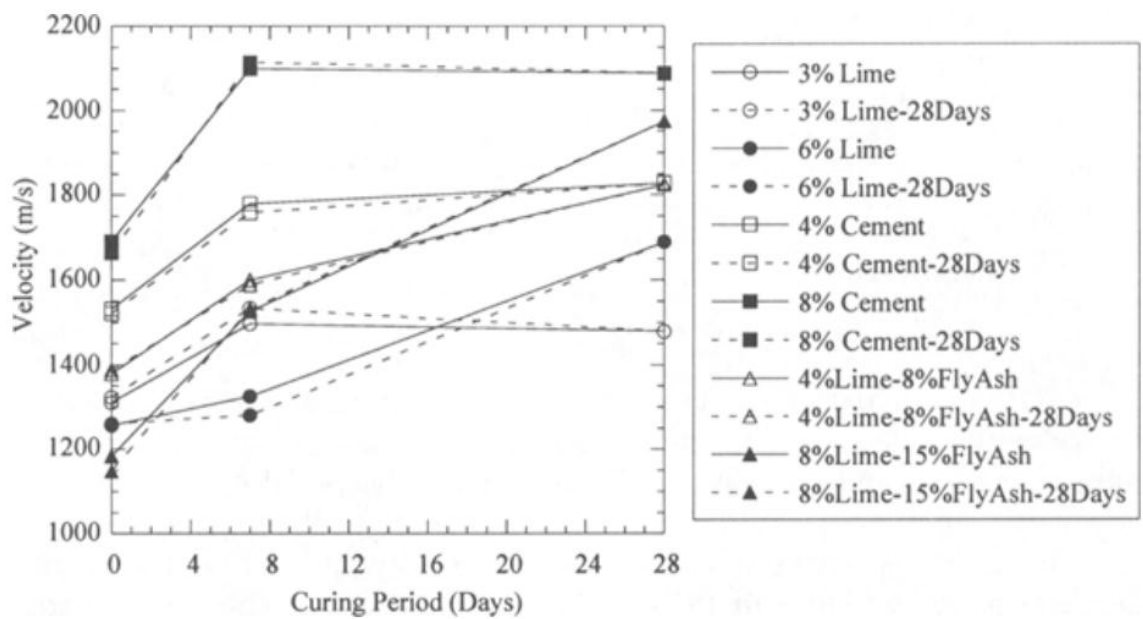
ρ คือ ความหนาแน่น

μ คือ อัตราส่วนของปัวซอง (Poisson ratio)

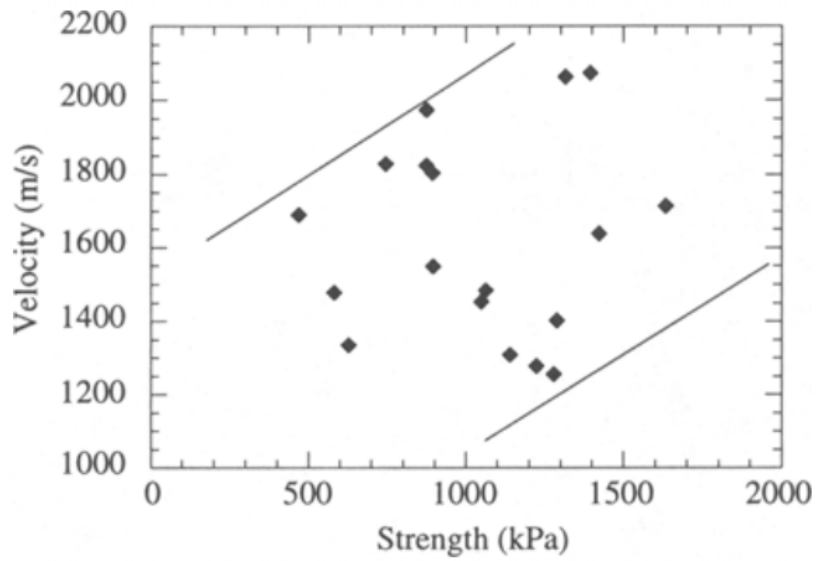
Yesille et al. (2000) ได้ใช้คลื่นอัลตราโซนิกในการศึกษาคุณสมบัติของดินที่มีปรับปรุงคุณภาพ โดยกระบวนการศึกษาจะใช้ ปูนขาว, ซีเมนต์ และ fly ash มาผสมกับดินซึ่งมีทราย 40%, kaolinite 45% และ bentonite 15% แล้วทำการบดอัดจำนวน 12 ก้อนตัวอย่างต่อสัดส่วนผสมหนึ่งๆ จากนั้นจึงทำการทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ระยะเวลาการบ่มในน้ำที่แตกต่างกัน ตั้งแต่ 0, 7 และ 28 วัน สำหรับวิธีการทดสอบโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.23 คือให้ก้อนตัวอย่างเป็นตัวกลางในการเคลื่อนที่ของคลื่นจากตัวส่งสัญญาณไปยังตัวรับสัญญาณแล้วคำนวณค่าความเร็วคลื่นและผลการทดลองแสดงได้ดังรูปที่ 2.24 ซึ่งจะเห็นว่าในระยะเวลาเริ่มต้นที่การบ่ม 7 วัน ค่าความเร็วคลื่นจะมีค่าเพิ่มขึ้นจากค่าความเร็วคลื่นที่ระยะเวลาการบ่ม 0 วันอย่างเห็นได้ชัดและหลังจากนั้นค่าความเร็วคลื่นค่อนข้างคงที่จนถึงระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วัน ซึ่งค่อนข้างจะสะท้อนถึงพฤติกรรมที่เป็นจริงตามหลักวิศวกรรมของดินซีเมนต์ กล่าวคือความเร็วคลื่นจะเพิ่มขึ้นเมื่อเดินทางผ่านก้อนตัวอย่างที่มีกำลังสูงขึ้น นอกจากนั้นแล้วในการศึกษานี้ยังศึกษาความสัมพันธ์ของความเร็วคลื่นกับกำลังรับแรงอัดและมอดูลัสของก้อนตัวอย่างดินปรับปรุงคุณภาพอีกด้วย ซึ่งผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าค่าความเร็วคลื่นสามารถใช้ในการประมาณค่ามอดูลัสได้ดีกว่าการประมาณค่ากำลังรับแรงอัด ดังแสดงในรูปที่ 2.25 และรูปที่ 2.26 ซึ่งผู้วิจัยได้ให้ความเห็นกับเรื่องนี้ไว้ว่าสาเหตุที่ค่ากำลังรับแรงอัดกับความเร็วคลื่นมีความสัมพันธ์ที่กระจายนั้นเนื่องมาจากช่องว่างอากาศและความไม่สมบูรณ์ภายในก้อนตัวอย่าง



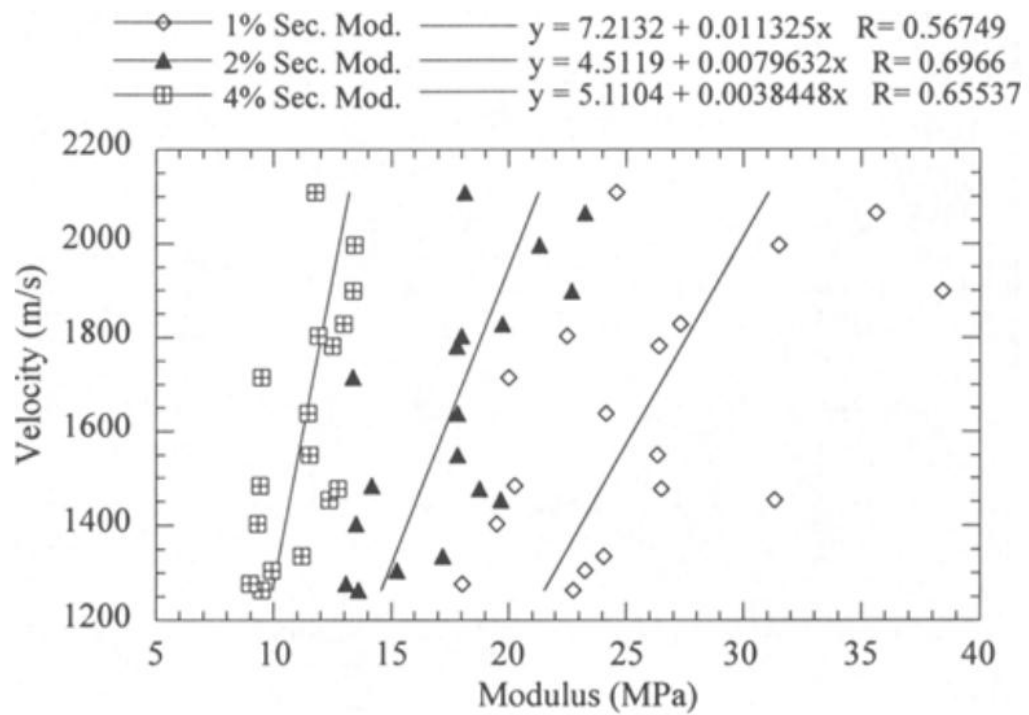
รูปที่ 2.23 การทดสอบโดยใช้ความเร็วคลื่นอัลตราโซนิก (Yesille et al., 2000)



รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นกับระยะเวลาในการบ่ม (Yesille et al., 2000)



รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นกับกำลังรับแรงอัด (Yesille et al., 2000)



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วคลื่นกับมอดุลัสที่ซีแคนต์มอดุลัสต่างๆ

(Yesille et al., 2000)

2.6 การวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรก้อนตัวอย่าง

การวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างรูปทรงกระบอกในงานวิจัยนี้จะใช้ 2 วิธีด้วยกันคือ

2.6.1 การวัดโดยใช้เครื่องมือวัดพื้นฐานในห้องปฏิบัติการ

สำหรับการวัดความสูงและเส้นรอบวงของก้อนตัวอย่างจะใช้ Vernier Caliper และ PI TAPE ดังแสดงในรูปที่ 2.27 เป็นเครื่องมือวัด ในขั้นตอนการวัดจะวัดที่ตำแหน่งเดิมทุกครั้งหลังจากก้อนตัวอย่างผ่านกระบวนการอบแห้งและบ่มแบบเปียกในทุกรอบของการบ่ม โดยจะวัดความสูงและเส้นรอบวงอย่างละ 3 ตำแหน่งจากนั้นจึงหาค่าเฉลี่ยแล้วคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่าง



รูปที่ 2.27 เครื่องมือ Vernier Caliper และ PI TAPE

2.6.2 การวัดโดยใช้ Profile Projector

การวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยการใช้ Profile Projector เพื่อวัดขนาดของก้อนตัวของก้อนตัวอย่าง ซึ่งเป็นเครื่องมือวัดที่มีความละเอียด 0.0005 มิลลิเมตร สำหรับลักษณะของเครื่องมือแสดงในรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 การวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรโดยการใช้ Profile Projector

2.7 สถิติที่ใช้ในงานวิจัย

2.7.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ประไพศรี และ พงศ์ชนัน (1998) กล่าวว่าเมื่อการทดลองประกอบไปด้วยปัจจัยศึกษาตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไปการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลจะเป็นวิธีที่เหมาะสมและนิยมใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากสามารถศึกษาถึงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหรือที่เรียกกันว่า “อันตรกิริยา” ได้ ตัวอย่างเช่น กรณีที่มีปัจจัยศึกษาทั้งหมด 3 ปัจจัย คือ A, B และ C ผลกระทบเนื่องจากปัจจัยที่มีต่อผลตอบทั้งหมดสามารถแบ่งได้ดังต่อไปนี้

1) ผลกระทบหลัก (Main effect) คือผลกระทบเนื่องจากปัจจัยเดียว เช่น ผลกระทบของปัจจัย A ที่ส่งผลต่อผลตอบ ผลกระทบของปัจจัย B ที่มีต่อผลตอบ และผลกระทบของปัจจัย C ที่มีต่อผลตอบ

2) ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (Two-Factor Interaction) คือผลกระทบต่อผลตอบที่เกิดจากการพิจารณาปัจจัยพร้อมกันทีละคู่ เช่น ผลของ AB ที่มีต่อผลตอบ เช่นเดียวกันกับกรณีของ AC และ BC

3) ผลกระทบร่วมทั้ง 3 ปัจจัย (Three-Factor Interaction) คือผลกระทบที่เกิดจากการพิจารณาทั้งสามปัจจัยพร้อมกัน ได้แก่ ผลกระทบของ ABC ที่มีต่อผลตอบ

ดังที่กล่าวไปแล้วว่าการทดลองเชิงแฟกทอเรียลสามารถศึกษาถึงผลของอิทธิกริยาที่มีต่อผลตอบได้เพื่อความเข้าใจที่มากขึ้นสามารถอธิบายความหมายของอิทธิกริยาได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้ เช่นการทดลองที่ประกอบไปด้วยปัจจัย A และ B แต่ละปัจจัยแบ่งเป็นสองระดับคือระดับต่ำและสูง ดังนั้นจึงมีการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง เมื่อกำหนดให้ a, b, c และ d เป็นผลที่ได้จากการดำเนินการทดลองดังนั้นผลการทดลองสามารถแสดงได้ตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างผลที่ได้จากการดำเนินการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

ปัจจัย		A	
		ต่ำ	สูง
B	ต่ำ	a	b
	สูง	c	d

เมื่อ $a-b = c-d$ แสดงว่าไม่มีอิทธิกริยาเกิดขึ้นแต่ในทางตรงกันข้ามถ้า $a-b \neq c-d$ แล้วแสดงว่ามีอิทธิกริยาเกิดขึ้นระหว่างปัจจัยทั้งสอง ซึ่งอิทธิกริยาที่เกิดขึ้นนี้เป็นสาเหตุที่ทำให้ผู้ศึกษาสรุปผลการทดลองผิดพลาดได้หากไม่ใช้การออกแบบการทดลองแบบแฟกทอเรียล

จากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถกำหนดจำนวนปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาได้ทั้งหมด 4 ปัจจัยคือ ชนิดของดิน, ปริมาณซีเมนต์, ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นในการบดอัด โดยการพิจารณาเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัยควบคุมจากอิทธิพลของปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงดึงและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรรวมทั้งความเป็นไปได้ในการควบคุมระดับของปัจจัยในห้องปฏิบัติการและในสนาม ในการออกแบบการทดลองจะทำการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยๆละ 3 ระดับ เนื่องจากพบว่าเมื่อระดับของปัจจัยเปลี่ยนไปแล้วผลที่เกิดขึ้นกับผลตอบอาจมีลักษณะที่ไม่เป็นเชิงเส้น และเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการทดลองรวมทั้งสามารถนำข้อมูลจากการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวนได้จะต้องมีการทำการทดลองซ้ำในแต่ละสัดส่วนผสมต่างๆ ซึ่งงานวิจัยนี้เลือกทำซ้ำ 3 ครั้ง ดังนั้นจำนวนตัวอย่างทั้งหมดที่ต้องใช้คือ 243 ตัวอย่าง แต่ด้วยข้อจำกัดในด้านต่างๆทำให้จำเป็นต้องลดจำนวนก่อนตัวอย่างลงซึ่งงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลที่ใช้ก่อนตัวอย่างจำนวน 81 ตัวอย่างโดยที่ระดับของปัจจัยต่างๆในก่อนตัวอย่างสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.8 โดยที่ ตัวเลข 0,1 และ 2 แทนระดับของปัจจัย ต่ำ, กลาง และสูง ตามลำดับ และปัจจัย A, B, C และ D แทนชนิดของดิน, ปริมาณซีเมนต์, ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นบดอัดตามลำดับ

ตารางที่ 2.8 ระดับของปัจจัยจากการออกแบบทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล

Run	A	B	C	D
1	0	0	0	0
2	0	0	1	2
3	0	0	2	1
4	0	1	0	2
5	0	1	1	1
6	0	1	2	0
7	0	2	0	1
8	0	2	1	0
9	0	2	2	2
10	1	0	0	1
11	1	0	1	0
12	1	0	2	2
13	1	1	0	0
14	1	1	1	2
15	1	1	2	1
16	1	2	0	2
17	1	2	1	1
18	1	2	2	0
19	2	0	0	2
20	2	0	1	1
21	2	0	2	0
22	2	1	0	1
23	2	1	1	0
24	2	1	2	2
25	2	2	0	0
26	2	2	1	2
27	2	2	2	1

2.8 สรุป

จากการทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทำให้สามารถสรุปกระบวนการดำเนินงานวิจัยเพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ในการวิจัยและเหมาะสมกับข้อจำกัดต่างๆได้ ดังนี้คือ งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์ด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและกำลังรับแรงดึงเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกโดยใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียลแบบ ซึ่งมีปัจจัยควบคุมที่สนใจทั้งหมด 4 ปัจจัยคือ ปริมาณซีเมนต์, ปริมาณความชื้น, ความหนาแน่นในการบดอัด และชนิดของดิน โดยแต่ละปัจจัยประกอบไปด้วย 3 ระดับ และทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งต่อหนึ่งสัดส่วนผสม จากนั้นจึงทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลองโดยใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนและหลักสถิติอื่นๆ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลองเศษส่วนเชิงแฟกทอเรียล โดยจะเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยควบคุมทั้ง 4 ปัจจัยๆละ 3 ระดับ ซึ่งปัจจัยควบคุมและค่าของปัจจัยที่ระดับต่างๆ จากต่ำไปหาสูง (แทนด้วยตัวเลข 0, 1 และ 2 ตามลำดับ) สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระดับของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	0	1	2
ปริมาณซีเมนต์	1%	4%	7%
ปริมาณความชื้น	-2%, -1.5%	OMC	+2%+1.5%
ความหนาแน่น	90% MDD	95% MDD	MDD
ชนิดของดิน	Limestone Dust	Kaolinite	Sodium Bentonite

จากตารางที่ 3.1 เห็นว่ามีการเลือกใช้ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมที่ 1%, 4% และ 7% สำหรับระดับของปัจจัยจากต่ำไปสูงตามลำดับเนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยต่างๆให้ครอบคลุมกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด และเพื่อให้สามารถอภิปรายผลได้สะดวกหลังจากการวิเคราะห์ทางสถิติจึงกำหนดให้ระยะห่างระหว่างระดับของปัจจัยเท่ากัน ซึ่งในกรณีนี้จะสังเกตได้ว่าปัจจัยของปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมนั้นจะมีระยะห่างเท่ากันที่ 3% ส่วนระดับของปัจจัยด้านปริมาณความชื้นบดอัดและความหนาแน่นบดอัดในตารางที่ 3.1 นั้นค่าความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นสูงสุดอ้างอิงจากการทดลองการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานโดยใช้แบบขนาด 6 นิ้ว ซึ่งผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 3.2 จะเห็นว่า

ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นบดอัดที่ทำให้ค่าความหนาแน่นสูงสุดแตกต่างกันออกไปตามชนิดของแรดินเหนียวในสัดส่วนผสม ทำให้การเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยด้านปริมาณความชื้นบดอัดในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดที่แตกต่างกันออกไป โดยจะยึดหลักสำคัญทางปฐพีกลศาสตร์ที่ว่าเมื่อทำการการเปลี่ยนแปลงระดับปัจจัยแล้วเส้นความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นต้องไม่เกินกว่าค่าความหนาแน่นที่ช่องว่างอากาศเป็นศูนย์ (ZAV) ในรูปที่ 3.1 ซึ่งคำนวณจากหินที่มีความถ่วงจำเพาะ 2.69 โดยใช้สมการที่ 2.1 เป็นเหตุผลให้สามารถเพิ่มปริมาณความชื้นบดอัดสำหรับวัสดุพื้นทางผสมแรดินเหนียว Bentonite ได้เพียง 1.5% ซึ่งแตกต่างจากกรณีอื่นที่จะใช้ 2% และสำหรับปัจจัยด้านชนิดของแรดินเหนียวในสัดส่วนผสมนั้นงานวิจัยนี้จำลองความแตกต่างประเภทของวัสดุพื้นทางตั้งต้นโดยใช้แรดินเหนียวแทนที่มวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ตามการศึกษาของ Davidson et al.(1961) ซึ่งใช้แรดินเหนียว Bentonite, Kaolinite และ Illite ในสัดส่วนผสมแล้วพบว่าประเภทของแรดินเหนียวส่งผลต่อพฤติกรรมด้านการรับแรงอัดของดินปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ แต่ในงานวิจัยนี้ไม่ได้เลือกใช้แรดินเหนียว Illite โดยจะใช้ฝุ่นหินเดิม (Lime stone Dust) ซึ่งเป็นมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 จากวัสดุพื้นทางตั้งต้น

$$Y_d = \frac{G_s Y_w}{1 + \frac{w G_s}{s}} \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

เมื่อ Y_d คือ ความหนาแน่นที่ระดับความชื้นใดๆ

G_s คือ ความถ่วงจำเพาะของดิน

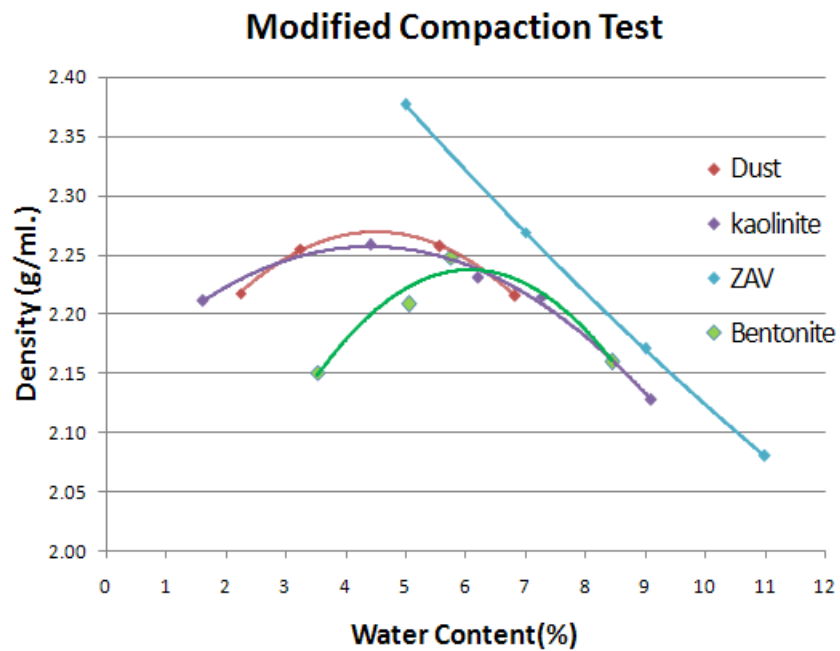
Y_w คือ ความหนาแน่นของน้ำ

w คือ ปริมาณความชื้น

s คือ Degree of saturation

ตารางที่ 3.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ประเภทของแบริดิน เหนียว	Plastic Limit	Liquid Limit	Plastic Index	ความหนาแน่น (g/ml)	ปริมาณความชื้น (%)
Limestone Dust	13.7	19.3	5.6	2.27	5
Kaolinite	25.5	51.3	25.8	2.26	5
Bentonite	82.4	219.6	137.2	2.24	5.5



รูปที่ 3.1 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

3.2 เตรียมวัสดุและก้อนตัวอย่างเพื่อทำการทดลอง

ในการเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดลองผู้วิจัยเลือกใช้วัสดุพื้นทาง ที่มีหินปูนเป็นพื้นฐานจากแหล่งโรงโม่จังหวัดสระบุรี ซึ่งเป็นแหล่งวัสดุที่กรมทางหลวงใช้ในโครงการก่อสร้างทาง จากนั้นจึงนำมาวิเคราะห์ขนาดคละของวัสดุรวมรวมตามมาตรฐาน ASTM C136-06 ผลที่ได้จะแสดงในรูปที่ 3.2 คือวัสดุพื้นทางตั้งต้นที่ได้จากการเก็บตัวอย่างจากแหล่งวัสดุ มีมวลรวมเม็ดละเอียดน้อยกว่ามาตรฐานขนาดคละของวัสดุพื้นทางประเภท C ที่ใช้ในกรมทางหลวง ซึ่งขอบเขตขนาดคละต่ำสุดและสูงสุดประเภท C แสดงไว้ในตารางที่ 3.3 แต่งานวิจัยนี้จะทำการปรับแก้ขนาดคละของมวลรวมใหม่โดยเพิ่มปริมาณของมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เป็นร้อยละ 12 เพื่อให้สามารถเติมซีเมนต์และแอสแตงซีเมนต์ซึ่งเป็นมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ได้ตามระดับของปัจจัยที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ สำหรับขนาดคละของวัสดุรวมรวมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 3.3 และรูปที่ 3.2 ซึ่งการคำนวณค่าความหนาแน่นสูงสุดทางทฤษฎี (MTD) จะใช้สมการที่ 3.2

$$MTD = \left(\frac{d}{D}\right)^{0.45} \times 100 \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

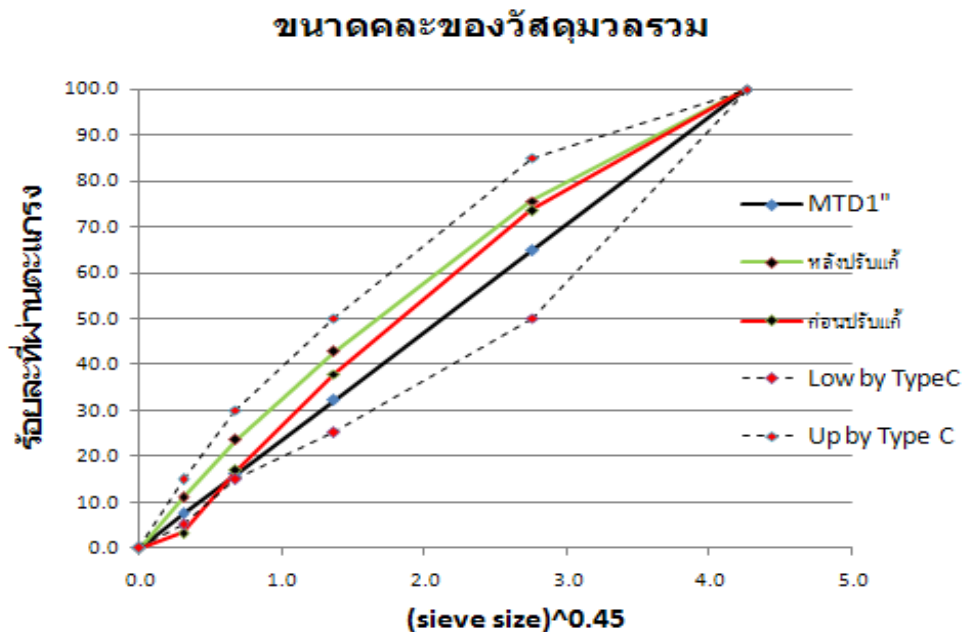
เมื่อ MTD คือ ความหนาแน่นสูงสุดทางทฤษฎี

d คือ ขนาดตะแกรงที่พิจารณา

D คือ ขนาดตะแกรงเบอร์ใหญ่สุด

ตารางที่ 3.3 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย

เบอร์ตะแกรง	ขนาดตะแกรง (mm)	D ^{0.45}	MTD 1"	ร้อยละที่ผ่านตะแกรง			
				มวลรวมจากโรงโม่หิน (ก่อนปรับแก้)	มวลรวมที่ใช้ในการ ทดลอง(หลังปรับแก้)	ต่ำสุดประเภท C	สูงสุดประเภท C
1	25.0	4.3	100.0	43	100	100	100
3/4	19.0	3.8	88.4	46	95	-	-
1/2	12.5	3.1	73.2	38	84	-	-
3/8	9.5	2.8	64.7	34	76	50	85
4	4.75	2.0	47.4	25	61	-	-
10	2.00	1.4	32.1	17	43	25	50
40	.425	0.7	16.0	8	23	15	30
200	.075	0.3	7.3	4	11	5	15
pan	pan	0.0	0.0	0	0	0	0



รูปที่ 3.2 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย

หลังจากได้ขนาดคละและระดับของปัจจัยต่างๆที่เหมาะสมแล้วจะทำการผสมและบดอัดวัสดุพื้นทางผสมแอสฟัลต์เหนียว, ปูนซีเมนต์, น้ำขึ้นรูปเป็นก้อนตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 15 ซม.ตามวิธี EN 13286-4 ด้วย Vibration Compaction Hammer และนำก้อนตัวอย่างออกจากแบบหล่อทันทีเพื่อทำการบ่มโดยไม่ให้สูญเสียความชื้นในถุงพลาสติกเป็นเวลา 7 วันก่อนทำการบ่มแบบแห้งสลับเปียกซึ่งได้ดัดแปลงกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกจาก ASTM D559 เพื่อความสะดวกในการทำงานเนื่องจากการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรต้องทำในวันเวลาราชการ โดยการแช่น้ำเป็นเวลา 20 ชั่วโมงสำหรับการบ่มเปียก และอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 70°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมงสำหรับการบ่มแห้ง โดยจะทำเช่นนี้สลับกันจำนวน 12 รอบ สำหรับขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การเตรียมก้อนตัวอย่าง

3.3 วัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่าง

เมื่อก้อนตัวอย่างผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกจะวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งทำการวัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่างในห้องปฏิบัติการที่อุณหภูมิ 26.2°C และความชื้นสัมพัทธ์ 64.4 โดยจะทำการระบุตำแหน่งบนก้อนตัวอย่างเพื่อให้สามารถวัดค่าที่ตำแหน่งเดิมได้ทุกครั้ง ในขั้นตอนการวัดเพื่อหาการเปลี่ยนแปลงปริมาตรนั้นจะวัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างละ 5 ตำแหน่งเพื่อหาค่าเฉลี่ยด้วยเครื่องมือวัดที่แตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสม โดยจะวัดความสูงด้วย Vernier Caliper (ความละเอียด 0.02 ม.ม.) และวัดเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย PI Tape และ Profile Projector (ความละเอียด 0.01 และ 0.0005 ม.ม. ตามลำดับ) สำหรับวิธีการและเครื่องมือวัดสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4 ส่วนรูปที่ 3.5 แสดงตำแหน่งที่ทำการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของก้อนตัวอย่าง



รูปที่ 3.4 เครื่องมือการวัดปริมาตรของก้อนตัวอย่าง



รูปที่ 3.5 ตำแหน่งที่ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่าง

3.4 การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ

งานวิจัยนี้ได้ทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุทั้งหมด 4 ประเภทคือ ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS), ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม (IDT), ค่าอีลาสติกโมดูลัส (E) และค่า Ultrasonic Wave Velocity ซึ่งวิธีการทดสอบกำลังของวัสดุจะใช้มาตรฐานการทดสอบดังต่อไปนี้

3.4.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

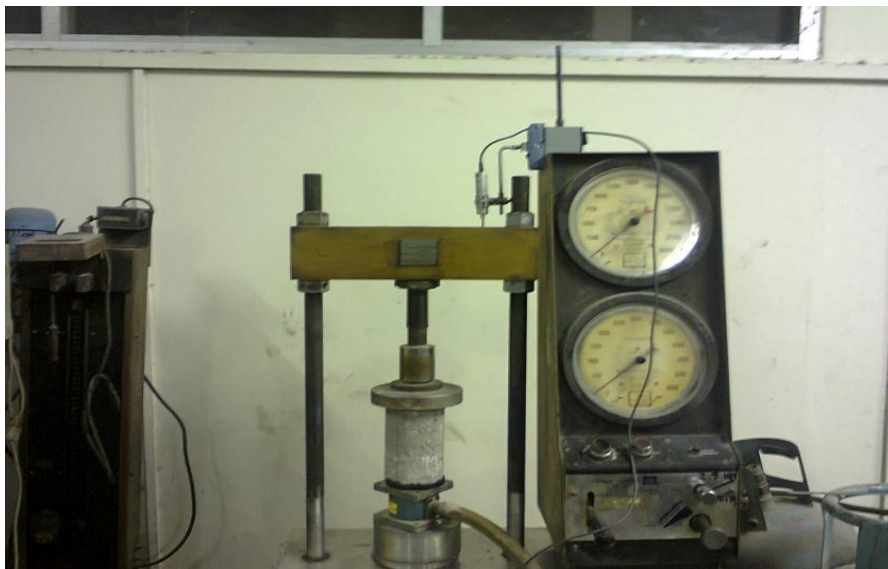
การทดสอบค่ากำลังอัดแกนเดียวจะทำการทดสอบหลังจากที่วัสดุผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบแล้วในการทดสอบจะอ้างอิงตามมาตรฐาน AASHTO T208 สำหรับการจัดวางตัวอย่างเข้ากับเครื่องมือทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.6 การจัดวางก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว

3.4.3 การทดสอบอีลาสติกโมดูลัส

การทดสอบค่าอีลาสติกโมดูลัสจะทำการทดสอบหลังจากที่วัสดุผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบแล้วในการทดสอบจะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C469-02 แต่จะมีการปรับเปลี่ยนการวัดค่าการยุบตัวในแนวตั้งโดยวัดค่าการยุบตัวจากก้อนตัวอย่างโดยตรงโดยไม่ใช้ Extensometer เนื่องจากก้อนตัวอย่างมีความสูง 15 ซม. ซึ่งการจัดวางก้อนตัวอย่างเข้ากับเครื่องมือทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.7 การจัดวางก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบอีลาสติกโมดูลัส

3.4.2 การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม

การทดสอบค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมจะทำการทดสอบหลังจากที่วัสดุผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบแล้ว ในการทดสอบจะอ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C496 สำหรับการจัดวางก้อนตัวอย่างเข้ากับเครื่องมือทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.7 และค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมคำนวณได้จากสมการที่ 3.2

$$\sigma_t = \frac{2 \cdot P}{\pi \cdot L \cdot D} \quad (\text{สมการที่ 3.2})$$

เมื่อ σ_t คือ ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม

P คือ แรงกดที่ได้จากการทดลอง

L คือ ความยาวของก้อนตัวอย่าง

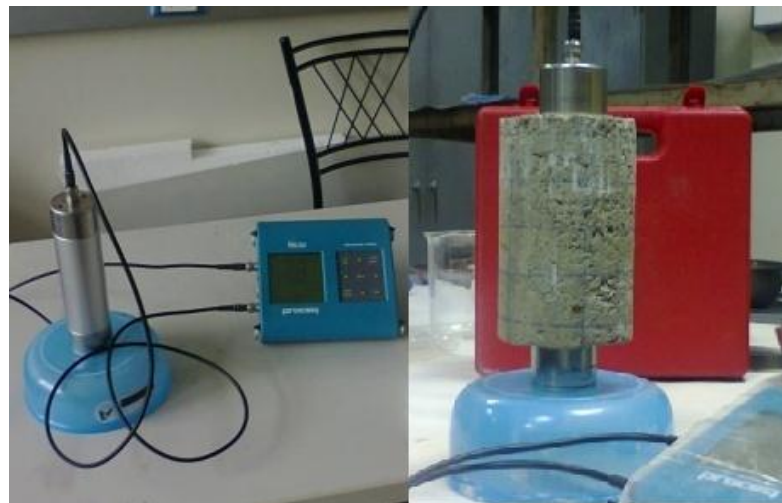
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางกลางของก้อนตัวอย่าง



รูปที่ 3.8 การจัดวางก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม

3.4.4 การทดสอบ Ultrasonic Wave Velocity

การทดสอบค่า Ultrasonic Wave Velocity จะสุ่มทำการทดสอบในระหว่างรอบการบ่มแห้งต่างๆ สำหรับการจัดวางก้อนตัวอย่างเข้ากับเครื่องมือทดสอบสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.9 การจัดวางก้อนตัวอย่างสำหรับการทดสอบ Ultrasonic Wave Velocity

3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

จากผลการทดสอบด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและกำลังวัสดุที่ได้จากการทดลอง งานวิจัยนี้จะใช้สถิติเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ข้อมูล โดยในขั้นต้นจะทำการวิเคราะห์ค่าสถิติพื้นฐาน เช่น ค่าเฉลี่ย, ค่าสูงสุด, ค่าต่ำสุด, ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และความแปรปรวน เพื่อหาปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรตามคือการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและคุณสมบัติด้านกำลังวัสดุ และเพื่อให้ผลการทดลองสามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางมากขึ้นงานวิจัยนี้จึงได้สร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นเพื่อประมาณค่าตัวแปรด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและค่าคุณสมบัติกำลังวัสดุ โดยจะสร้างแบบจำลองเชิงเส้น 3 รูปแบบดังต่อไปนี้

- 1) แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักและอัตรกริยาทุกตัว
- 2) แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักอย่างเดียว
- 3) แบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักและอัตรกริยาบางตัว

เมื่อมีตัวแปรต้นคือปัจจัยควบคุมหลายตัวทำให้การสร้างแบบจำลองการถดถอยสามารถสร้างได้มากกว่า 1 แบบดังที่กล่าวไปแล้ว ดังนั้นเพื่อเป็นการเลือกแบบจำลองที่เหมาะสมงานวิจัยนี้จึงใช้วิธีการเปรียบเทียบแบบจำลองดังนี้ (ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมพงศ์, 2555)

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p$$

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p + \beta_{p+1} x_{p+1} + \dots + \beta_k x_k$$

เพื่อเป็นการทดสอบว่า $\beta_{p+1}, \dots, \beta_k x_k$ มีค่าเท่ากับศูนย์หรือไม่นั้นจะใช้การทดสอบสมมุติฐาน โดยมีสมมุติฐานดังนี้คือ

$$H_0: \beta_{p+1} = \beta_{p+2} = \beta_k x_k = 0$$

$$H_1: \beta_i \neq 0; i = p + 1, p + 2, \dots, k \text{ อย่างน้อยหนึ่งตัว}$$

ดังนั้นเพื่อเป็นการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองว่าแบบจำลองทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 หรือไม่นั้นจะใช้การทดสอบสมมุติฐาน F test ดังสมการที่ 3.1

$$F_0 = \frac{(RSS_R - RSS_{UR}) / (k-p)}{RSS_{UR} / (n-k-1)} \quad (\text{สมการที่ 3.1})$$

เมื่อ RSS_R และ RSS_{UR} คือผลรวมกำลังสองของส่วนเหลือจากแบบจำลองจำกัดและแบบจำลองไม่จำกัด ตัวสถิติ F_0 เป็นตัวแปรสุ่มที่การแจกแจง F มีองศาอิสระ $(k-p)$ และ $(n-k-1)$

บทที่ 4

ผลการทดลอง

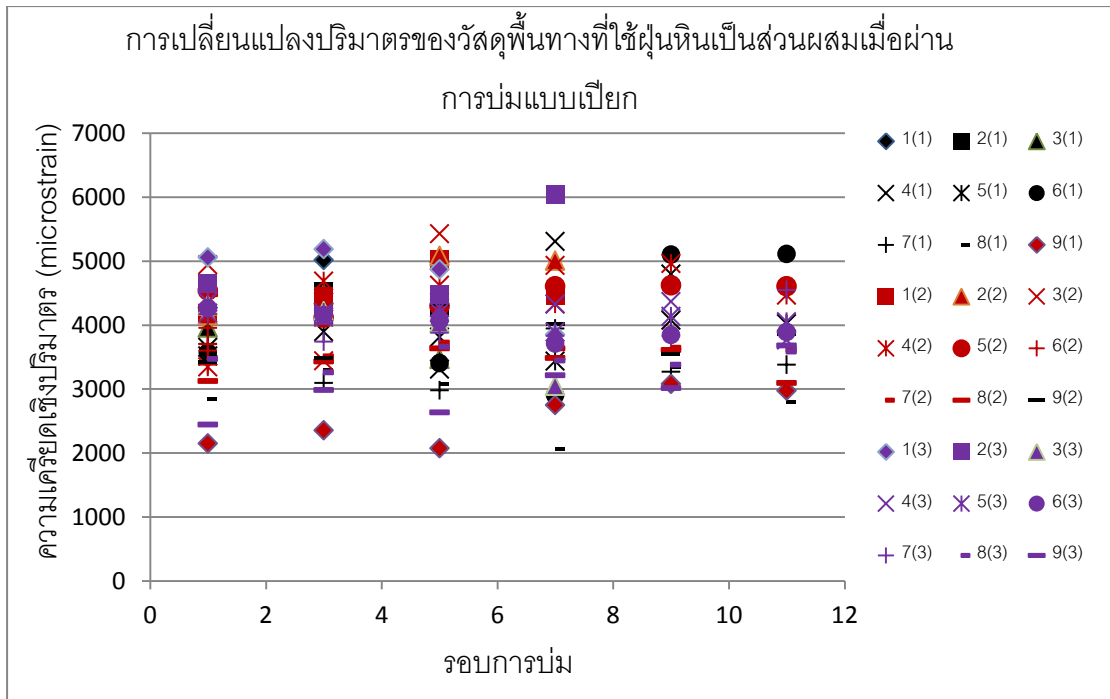
ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก โดยใช้เครื่องมือวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตร 3 ประเภทคือ Vernier caliper, PI Tape และ profile projector ตามความเหมาะสมที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 และทำการทดสอบกำลังของวัสดุเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบ โดยการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังจะทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS), ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม (IDT), ค่าความเร็วคลื่นที่ผ่านก้อนตัวอย่าง (Ultrasonic Wave Velocity) และค่าอีลาสติกโมดูลัส (E) เพื่อความสะดวกในการทำความเข้าใจจึงได้แบ่งผลการศึกษาออกเป็นหัวข้อต่างๆดังต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อก้อนตัวอย่างผ่านการบ่มแบบเปียกจะเกิดการขยายตัวทำให้มีปริมาตรเพิ่มขึ้นจากปริมาตรตั้งต้น (ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเป็นบวก) ในที่นี้จะแสดงผลการทดลองแยกตามประเภทของวัสดุซึ่งสมมุติให้ประเภทของวัสดุพื้นทางแตกต่างกันโดยการเปลี่ยนชนิดของแร่ดินเหนียวในสัดส่วนผสม

4.1.1 วัสดุพื้นทางที่ใช้ฝุ่นหินเป็นส่วนผสม

เมื่อทำการบ่มก้อนตัวอย่างวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์แล้ววัดความสูงด้วย Vernier Caliper และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย Profile Projector เพื่อคำนวณหาค่าความเครียดเชิงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ใช้ฝุ่นหินเป็นส่วนผสมในรอบการบ่มต่างๆ ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.1

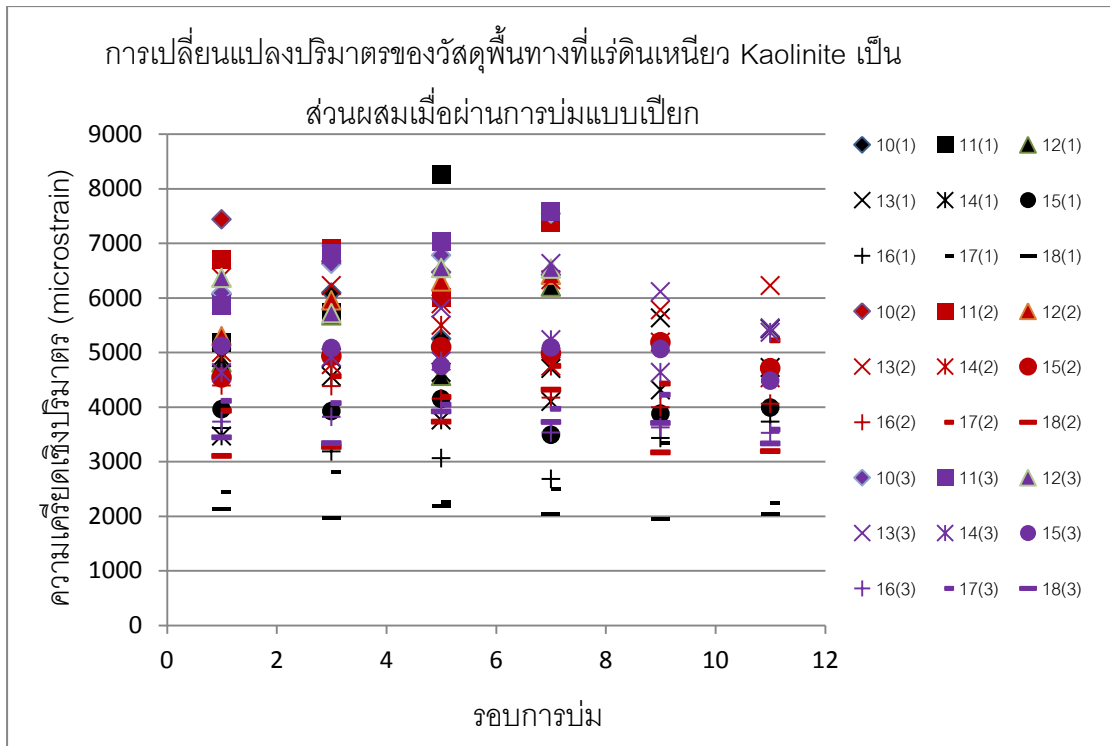


รูปที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้ฝุ่นหินเป็นส่วนผสมเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก

จากรูปที่ 4.1 แสดงความเครียดเชิงปริมาตรทั้ง 3 การทดลองซ้ำของก้อนที่ 1 ถึง 9 ซึ่งใช้ฝุ่นหินเป็นส่วนผสม และระดับปัจจัยอื่นๆเปลี่ยนแปลงไปตามตารางการออกแบบการทดลอง จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าค่าความเครียดเชิงปริมาตรจะกระจายอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 6000 $\mu\epsilon$ ตามระดับของปัจจัยในแต่ละก้อนตัวอย่าง ซึ่งก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม 1% บางก้อนเกิดความเสียหายจนไม่สามารถวัดค่าความเครียดเชิงปริมาตรได้ก่อนถึงรอบการบ่มที่ 12

4.1.2 วัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Kaolinite เป็นส่วนผสม

เมื่อทำการบ่มก้อนตัวอย่างวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์แล้ววัดความสูงด้วย Vernier Caliper และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย Profile Projector เพื่อคำนวณหาความเครียดเชิงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ใช้แร่ดินเหนียว Kaolinite เป็นส่วนผสมในรอบการบ่มต่างๆ ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.2

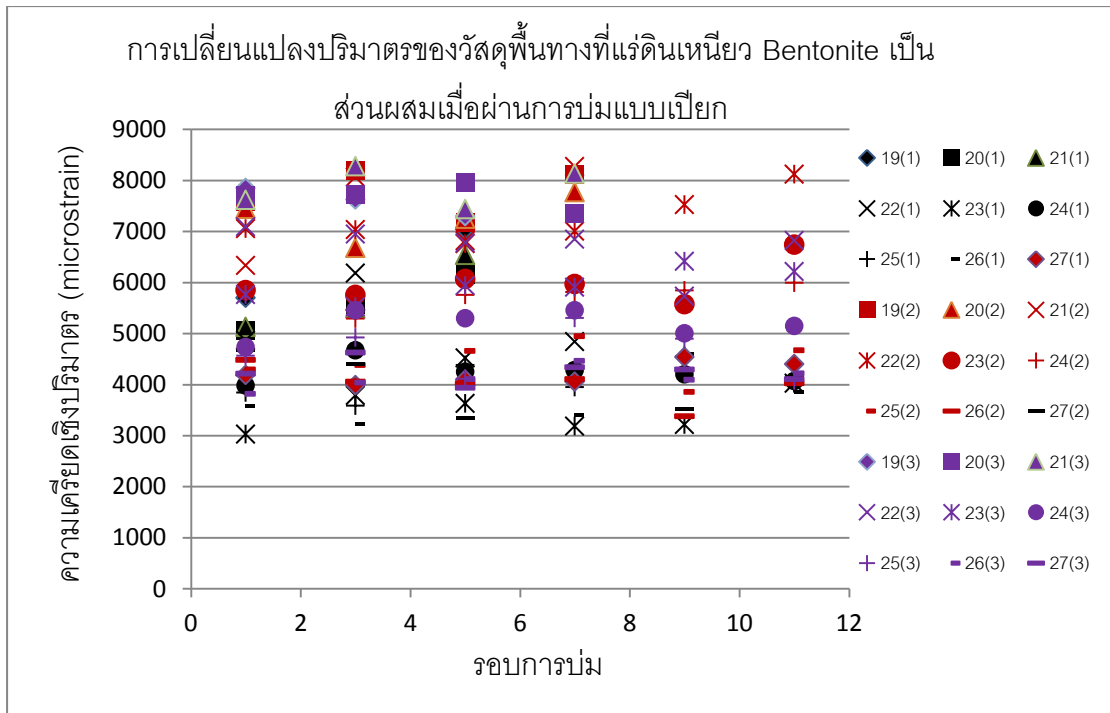


รูปที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้แรดินเหนียว Kaolinite เป็นสัดส่วนผสม
เมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก

จากรูปที่ 4.2 แสดงความเครียดเชิงปริมาตรทั้ง 3 การทดลองซ้ำของก้อนที่ 10 ถึง 18 ซึ่ง
ใช้ Kaolinite เป็นสัดส่วนผสม และระดับปัจจัยอื่นๆเปลี่ยนแปลงไปตามตารางการออกแบบการ
ทดลอง จากรูปที่ 4.2 จะเห็นว่าค่าความเครียดเชิงปริมาตรจะกระจายอยู่ระหว่าง 2000 ถึง 8000
 $\mu\epsilon$ ตามระดับของปัจจัยในแต่ละก้อนตัวอย่าง ซึ่งก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม
1% บางก้อนเกิดความเสียหายจนไม่สามารถวัดค่าความเครียดเชิงปริมาตรได้ก่อนถึงรอบการ
บ่มที่ 12

4.1.3 วัสดุพื้นทางที่ใช้แรดินเหนียว Bentonite เป็นส่วนผสม

เมื่อทำการบ่มก้อนตัวอย่างวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์แล้ววัดความสูงด้วย
Vernier Caliper และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย Profile Projector เพื่อดำเนินการหาความเครียด
เชิงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ใช้แรดินเหนียว Bentonite เป็นส่วนผสมในรอบการบ่มต่างๆ ผล
การทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Bentonite เป็นสัดส่วนผสมเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก

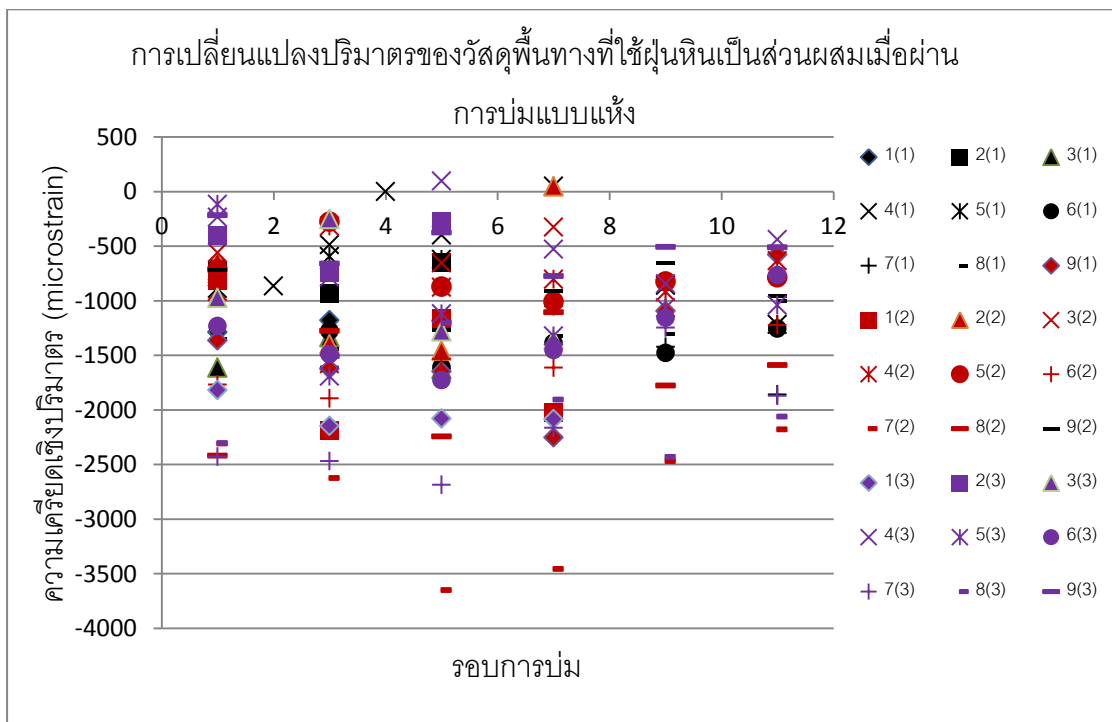
จากรูปที่ 4.3 แสดงความเครียดเชิงปริมาตรทั้ง 3 การทดลองซ้ำของก้อนที่ 19 ถึง 27 ซึ่งใช้ Bentonite เป็นสัดส่วนผสม และระดับปัจจัยอื่นๆเปลี่ยนแปลงไปตามตารางการออกแบบการทดลอง จากรูปที่ 4.3 จะเห็นว่าค่าความเครียดเชิงปริมาตรจะกระจายอยู่ระหว่าง 3000 ถึง 8000 $\mu\epsilon$ ตามระดับของปัจจัยในแต่ละก้อนตัวอย่าง ซึ่งก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม 1% บางก้อนเกิดความเสียหายจนไม่สามารถวัดค่าความเครียดเชิงปริมาตรได้ก่อนถึงรอบการบ่มที่ 12

4.2 ผลการทดลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้ง

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อก้อนตัวอย่างผ่านการบ่มแบบแห้งจะเกิดการหดตัวทำให้มีปริมาตรลดลงจากปริมาตรตั้งต้น (ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเป็นลบ) ในที่นี้จะแสดงผลการทดลองแยกตามประเภทของวัสดุซึ่งสมมุติให้ประเภทของวัสดุพื้นทางแตกต่างกันโดยการเปลี่ยนชนิดของแร่ดินเหนียวในสัดส่วนผสม

4.2.1 วัสดุพื้นทางที่ใช้ฝุ่นหินเป็นส่วนผสม

เมื่อทำการบ่มก้อนตัวอย่างวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์แล้ววัดความสูงด้วย Vernier Caliper และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย Profile Projector เพื่อคำนวณหาค่าความเครียดเชิงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ใช้ฝุ่นหินเป็นส่วนผสมในรอบการบ่มต่างๆ ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.4

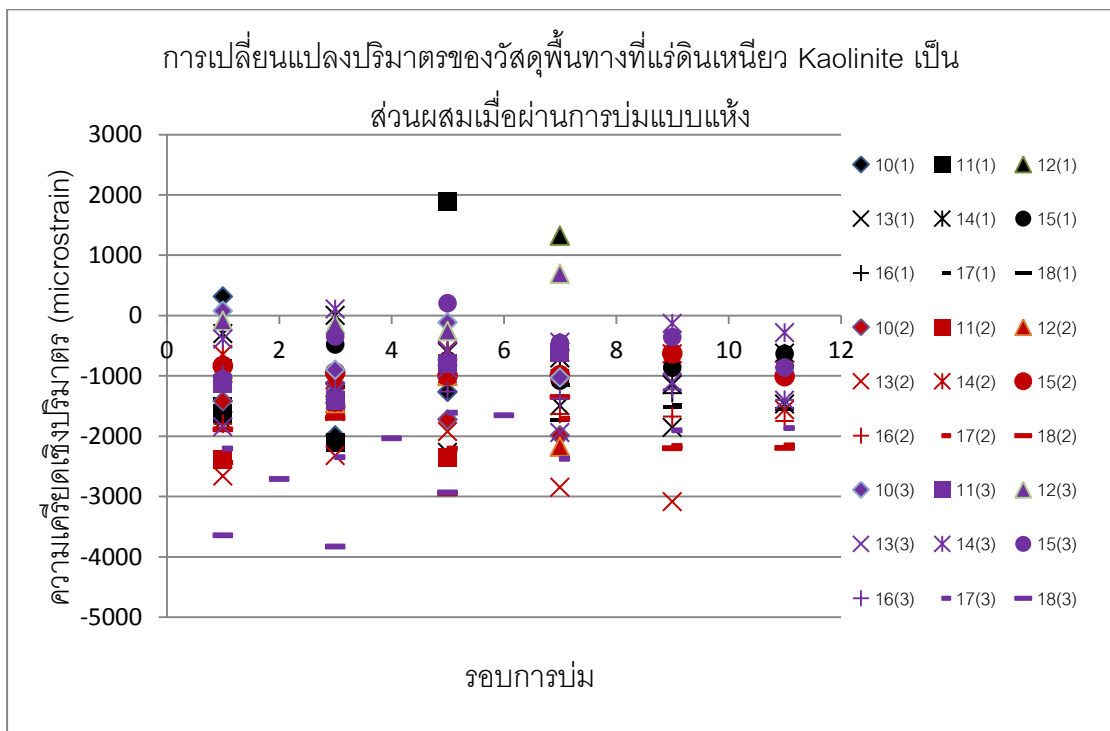


รูปที่ 4.4 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้ฝุ่นหินเป็นส่วนผสมเมื่อผ่าน
การบ่มแบบแห้ง

จากรูปที่ 4.4 แสดงความเครียดเชิงปริมาตรทั้ง 3 การทดลองซ้ำของก้อนที่ 1 ถึง 9 ซึ่งใช้ฝุ่นหินเป็นส่วนผสม และระดับปัจจัยอื่นๆเปลี่ยนแปลงไปตามตารางการออกแบบการทดลองจากรูปที่ 4.4 จะเห็นว่าค่าความเครียดเชิงปริมาตรจะกระจายอยู่ระหว่าง -3700 ถึง 200 $\mu\epsilon$ ตามระดับของปัจจัยในแต่ละก้อนตัวอย่าง ซึ่งก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม 1% บางก้อนเกิดความเสียหายจนไม่สามารถวัดค่าความเครียดเชิงปริมาตรได้ก่อนถึงรอบการบ่มที่ 12

4.2.2 วัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Kaolinite เป็นส่วนผสม

เมื่อทำการบ่มก้อนตัวอย่างวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์แล้ววัดความสูงด้วย Vernier Caliper และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย Profile Projector เพื่อกำหนดหาค่าความเครียดเชิงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ใช้แร่ดินเหนียว Kaolinite เป็นส่วนผสมในรอบการบ่มต่างๆ ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.5

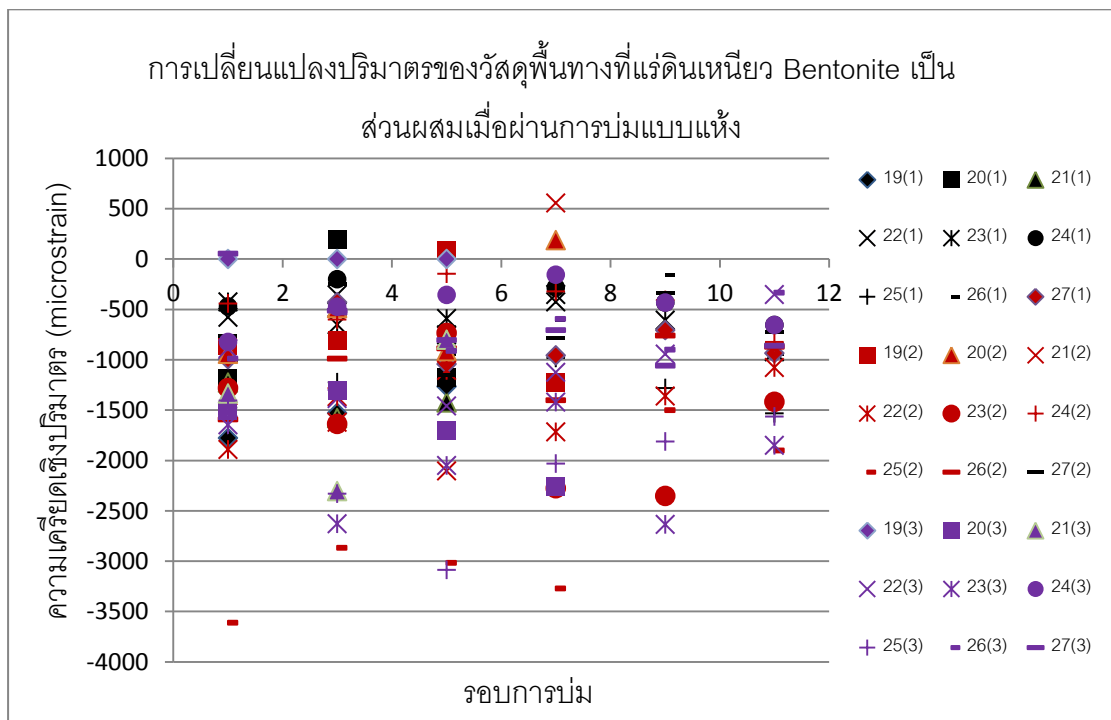


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Kaolinite เป็นส่วนผสมเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้ง

จากรูปที่ 4.5 แสดงความเครียดเชิงปริมาตรทั้ง 3 การทดลองซ้ำของก้อนที่ 10 ถึง 18 ซึ่งใช้ Kaolinite เป็นส่วนผสม และระดับปัจจัยอื่นๆเปลี่ยนแปลงไปตามตารางการออกแบบการทดลอง จากรูปที่ 4.5 จะเห็นว่าค่าความเครียดเชิงปริมาตรจะกระจายอยู่ระหว่าง -4000 ถึง 2000 $\mu\epsilon$ ตามระดับของปัจจัยในแต่ละก้อนตัวอย่าง ซึ่งก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณซีเมนต์ในส่วนผสม 1% บางก้อนเกิดความเสียหายจนไม่สามารถวัดค่าความเครียดเชิงปริมาตรได้ก่อนถึงรอบการบ่มที่ 12

4.2.3 วัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Bentonite เป็นส่วนผสม

เมื่อทำการบ่มก้อนตัวอย่างวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์แล้ววัดความสูงด้วย Vernier Caliper และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางด้วย Profile Projector เพื่อดำเนินการหาค่าความเครียดเชิงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ใช้แร่ดินเหนียว Bentonite เป็นส่วนผสมในรอบการบ่มต่างๆ ผลการทดลองสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.6

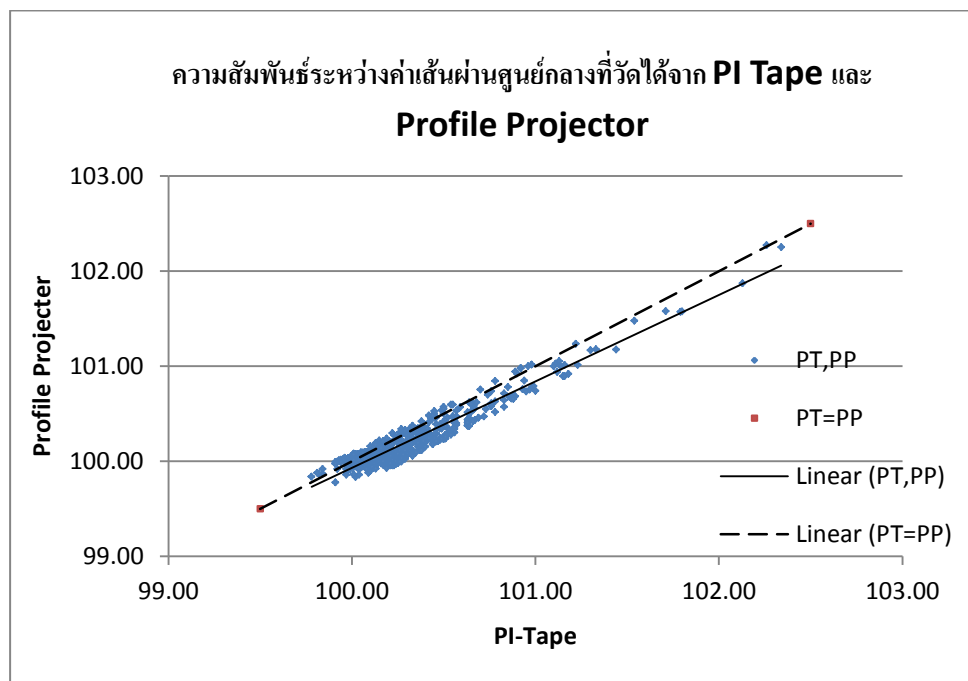


รูปที่ 4.6 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับวัสดุพื้นทางที่ใช้แร่ดินเหนียว Bentonite เป็นส่วนผสมเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้ง

จากรูปที่ 4.6 แสดงความเครียดเชิงปริมาตรทั้ง 3 การทดลองซ้ำของก้อนที่ 19 ถึง 27 ซึ่งใช้ Bentonite เป็นส่วนผสม และระดับปัจจัยอื่นๆเปลี่ยนแปลงไปตามตารางการออกแบบการทดลอง จากรูปที่ 4.6 จะเห็นว่าค่าความเครียดเชิงปริมาตรจะกระจายอยู่ระหว่าง -3600 ถึง 500 $\mu\epsilon$ ตามระดับของปัจจัยในแต่ละก้อนตัวอย่าง ซึ่งก้อนตัวอย่างที่มีปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม 1% บางก้อนเกิดความเสียหายจนไม่สามารถวัดค่าความเครียดเชิงปริมาตรได้ก่อนถึงรอบการบ่มที่ 12

4.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง PI Tape กับ Profile Projector

เพื่อให้สามารถทำการศึกษาดังกล่าวถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างได้ง่ายขึ้นหากต้องการศึกษาในงานวิจัยต่อไป งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จาก Profile Projector กับ PI Tape โดยที่เครื่องมือทั้งสองนี้มีข้อดีและข้อด้อยที่แตกต่างกันออกไปคือ Profile Projector สามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.0005 มิลลิเมตรแต่มีความยุ่งยากในการวัดมากกว่าและใช้เวลาในการวัดนานกว่า ต่างจาก PI Tape ที่สามารถวัดได้ละเอียด 0.01 มิลลิเมตรแต่มีความยุ่งยากในการวัดน้อยกว่าและวัดได้รวดเร็วกว่าเครื่องมือประเภทแรก โดยความสัมพันธ์ของค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จากเครื่องมือทั้งสองแสดงได้ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จาก Profile Projector กับ PI Tape จากรูปที่ 4.7 จะเห็นค่าค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จาก PI Tape มีแนวโน้มมากกว่าค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จาก Profile Projector สังเกตได้จากกราฟความสัมพันธ์ที่แกนนอนเป็นค่าที่วัดได้ PI Tape และแกนตั้งเป็นค่าที่วัดได้จาก Profile Projector เส้นแนวโน้มของความสัมพัทธ์ระหว่างค่า PI Tape กับ Profile Projector อยู่ใต้เส้นที่ความสัมพันธ์ที่ 1:1 และหากนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่ได้จากการใช้เครื่องมือทั้งสองประเภทไปสร้างสมการความสัมพันธ์โดย

ใช้โปรแกรม SPSS พบว่ามีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 4.1 ซึ่งสมการที่ได้นี้มีค่าความถูกต้องที่สูงมากสังเกตได้จากค่า $\text{adj } R^2 = 1$

$$\text{Profile Projector} = 0.999 \text{ (PI Tape)} \quad (\text{สมการที่ 4.1})$$

4.4 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

ในขั้นต้นเพื่อเป็นการวิเคราะห์หาอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างจะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพหุ เนื่องจากการออกแบบการทดลองนั้นสมมุติให้ระดับของปัจจัยต่างๆเป็นตัวแปรเชิงกลุ่มและตัวแปรตามซึ่งคือค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างเป็นตัวแปรเชิงปริมาณ โดยนิยามของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นดังนี้

Z_strain_A	คือ ความเครียดดัดมุมตามแนวความสูงที่วัดด้วย Vernier Caliper
Z_strain_R	คือ ความเครียดดัดมุมพัทธ์ตามแนวความสูงที่วัดด้วย Vernier Caliper
R1_strain_A	คือ ความเครียดดัดมุมตามแนวรัศมีที่วัดด้วย Profile Projector
R2_strain_A	คือ ความเครียดดัดมุมตามแนวรัศมีที่วัดด้วย PI Tape
R1_strain_R	คือ ความเครียดดัดมุมพัทธ์ตามแนวรัศมีที่วัดด้วย Profile Projector
R2_strain_R	คือ ความเครียดดัดมุมพัทธ์ตามแนวรัศมีที่วัดด้วย PI Tape
V1_strain_A	คือ ความเครียดดัดมุมเชิงปริมาตรโดยคำนวณจากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดด้วย Profile Projector
V2_strain_A	คือ ความเครียดดัดมุมเชิงปริมาตรโดยคำนวณจากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดด้วยPI Tape
V1_strain_R	คือ ความเครียดดัดมุมพัทธ์เชิงปริมาตรโดยคำนวณจากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดด้วย Profile Projector

V2_strain_R คือ ความเครียดสัมพัทธ์เชิงปริมาตรโดยคำนวณจากค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดด้วย PI Tape

โดยที่การคำนวณความเครียดสัมบูรณ์ของทุกตัวแปรคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะคำนวณเหมือนกันคือ ใช้ผลต่างระหว่างขนาดก่อนตัวอย่างที่รอบการบ่มนั้นกับขนาดตั้งต้นก่อนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกต่อขนาดตั้งต้น ยกตัวอย่างเช่นค่าความเครียดสัมบูรณ์ตามแนวความสูงคำนวณได้จากสมการที่ 4.2

$$Z_strain_A = \frac{Z_i - Z_0}{Z_0} \quad (\text{สมการที่ 4.2})$$

เมื่อ Z_strain_A คือ ความเครียดตามแนวความสูง

Z_i คือ ความสูงในรอบการบ่มที่ i และ

Z₀ คือ ความสูงตั้งต้นก่อนกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก

สำหรับการคำนวณความเครียดสัมพัทธ์ของทุกตัวแปรคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจะคำนวณเหมือนกันคือ ใช้ผลต่างของขนาดก่อนตัวอย่างระหว่างรอบเปียกและแห้งในรอบเดียวกันต่อขนาดตั้งต้น ยกตัวอย่างเช่นค่าความเครียดสัมพัทธ์ตามแนวรัศมีคำนวณได้จากสมการที่ 4.3

$$R1_strain_R = \frac{R_{W(i)} - R_{D(i)}}{R_0} \quad (\text{สมการที่ 4.3})$$

เมื่อ R1_strain_R คือความเครียดสัมพัทธ์ตามแนวรัศมีที่วัดด้วย Profile Projector

R_{W(i)} คือ ค่ารัศมีของรอบการเปียกที่ i

R_{D(i)} คือ ค่ารัศมีของรอบการบ่มแห้งที่ i และ

R₀ คือ ค่ารัศมีก่อนกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก

สำหรับความเครียดสัมพันธ์เชิงปริมาตรก็คำนวณเช่นเดียวกับความเครียดสัมพันธ์ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพหุจะวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับปัจจัยควบคุมทั้ง 4 ปัจจัย และอิตรกริยาขั้นที่ 2 สำหรับนิยามของตัวแปรต้นในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนมีดังต่อไปนี้

FT คือ ชนิดของแร่ดินเหนียวในสัดส่วนผสม

CE คือ ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม

WA คือ ปริมาณความชื้นบดอัด

CO คือ ความหนาแน่นบดอัด

4.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของความเครียดสัมพันธ์ในรอบการบ่มแบบเปียก

เมื่อก่อนตัวอย่างผ่านกระบวนการบ่มเปียกจะเกิดการขยายตัวซึ่งกำหนดให้ตัวแปรด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรมีค่าเป็นบวก ซึ่งในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อการขยายตัวของก้อนตัวอย่างนั้นจะใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพหุ สำหรับผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการบ่มแบบเปียก

Source	H_strain_A	R1_strain_A	R2_strain_A	V1_strain_A	V2_strain_A
Corrected Model	.000	.000	.000	.000	.000
Intercept	.000	.000	.000	.000	.000
NC	.489	.000	.384	.049	.286
FT	.000	.000	.000	.000	.000
CE	.000	.000	.000	.000	.000
WA	.000	.000	.000	.000	.000
CO	.424	.115	.016	.050	.003
CE * CO	.082	.049	.017	.014	.006
FT * CE	.014	.000	.001	.000	.000
NC * CE	.926	.139	.965	.232	.970
CE * WA	.834	.026	.469	.061	.640
FT * CO	.644	.821	.297	.845	.329
NC * CO	.958	.338	.462	.846	.387
WA * CO	.020	.772	.010	.500	.029
NC * FT	.948	.952	.873	.942	.822
FT * WA	.792	.000	.188	.003	.153
NC * WA	.813	.957	.928	.985	.925

จากตารางที่ 4.1 ปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการขยายตัวของก้อนตัวอย่างจะถูกแรงงา โดยสังเกตจากค่านัยสำคัญจากการทดสอบความแปรปรวนมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งพบว่าตัวแปรหลักส่วนใหญ่จะส่งผลกระทบต่อค่าความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการบ่มแบบเปียก และอิทธิกริยาขั้นที่สองก็มีผลต่อค่าความเครียดสัมบูรณ์ด้วย แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสัมบูรณ์กับปัจจัยต่างๆ ไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้น

4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการบ่มแบบแห้ง

เมื่อก้อนตัวอย่างผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งจะเกิดการหดตัว ซึ่งในการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการหดตัวของก้อนตัวอย่างนั้นจะใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพหุสำหรับผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการป้อนแบบเป็ยก

Source	H_strain_A	R1_strain_A	R2_strain_A	V1_strain_A	V2_strain_A
Corrected Model	.000	.000	.005	.000	.001
Intercept	.000	.000	.000	.000	.000
NC	.761	.697	.799	.683	.886
FT	.304	.418	.870	.644	.776
CE	.000	.000	.072	.000	.011
WA	.000	.000	.111	.000	.092
CO	.000	.000	.012	.000	.002
CE * CO	.253	.000	.023	.000	.016
FT * CE	.132	.000	.137	.000	.140
NC * CE	.946	.366	.532	.479	.570
CE * WA	.006	.188	.026	.352	.026
FT * CO	.011	.000	.375	.000	.422
NC * CO	.760	.699	.800	.823	.823
WA * CO	.044	.629	.006	.874	.004
NC * FT	.933	.926	.846	.935	.828
FT * WA	.000	.007	.254	.003	.329
NC * WA	.742	.993	.964	.968	.947

จากตารางที่ 4.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการหดตัวของก้อนตัวอย่างจะถูกแรงงา โดยสังเกตจากค่านัยสำคัญจากการทดสอบความแปรปรวนมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งพบว่าตัวแปรหลักส่วนใหญ่จะส่งผลต่อค่าความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการป้อนแบบแห้ง และอัตราขยายขั้นที่สองก็มีผลต่อค่าความเครียดสัมบูรณ์ด้วย แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสัมบูรณ์กับปัจจัยต่างๆ ไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้น

4.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวนความเครียดสัมพัทธ์ในรอบการบ่มแบบแห้งสลับเปียก

เมื่อก่อนตัวอย่างผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกแต่ละรอบ จะเกิดการขยายตัวเมื่อบ่มแบบเปียกและจะหดตัวเมื่อบ่มแบบแห้งทำให้เกิดความเครียดสัมพัทธ์ในระหว่างรอบการบ่มจากเปียกไปแห้งในแต่ละรอบ สำหรับการวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อความเครียดสัมพัทธ์นั้นจะใช้ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนเชิงพหุ ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนความเครียดสัมพัทธ์ในรอบการบ่มแบบแห้งสลับเปียก

Source	H_strain_R	R1_strain_R	R2_strain_R	V1_strain_R	V2_strain_R
Corrected Model	.000	.000	.000	.000	.000
Intercept	.000	.000	.000	.000	.000
NC	.169	.618	.672	.982	.532
FT	.000	.000	.000	.000	.000
CE	.000	.000	.000	.000	.000
WA	.000	.000	.001	.000	.000
CO	.000	.000	.042	.000	.001
CE * CO	.312	.000	.054	.001	.043
FT * CE	.005	.000	.003	.000	.000
NC * CE	.946	.273	.477	.616	.483
CE * WA	.326	.917	.302	.884	.203
FT * CO	.692	.007	.535	.010	.528
NC * CO	.990	.993	.886	.997	.884
WA * CO	.029	.645	.802	.990	.540
NC * FT	.914	.935	.835	.987	.840
FT * WA	.175	.000	.910	.003	.799
NC * WA	.978	.989	.980	.991	.940

จากตารางที่ 4.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความเครียดของก้อนตัวอย่างจะถูกแรงงา โดยสังเกต จากค่านัยสำคัญจากการทดสอบความแปรปรวนมีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งพบว่าตัวแปรหลักส่วนใหญ่จะส่งผลต่อค่าความเครียดของก้อนตัวอย่างสำหรับการบ่มแบบเปียกไปสู่หนึ่งในรอบการบ่มเดียวกัน และอัตราการยวบยัขึ้นที่สองก็มีผลต่อค่าความเครียดสัมบูรณ์ด้วย แสดงให้เห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดสัมบูรณ์กับปัจจัยต่างๆ ไม่ได้อยู่ในรูปเชิงเส้น

4.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายผลการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

เพื่อให้ผลการวิจัยสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างกว้างขวางมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้สร้างแบบจำลองการถดถอยเพื่อประมาณค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรในระหว่างกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกทั้ง 12 รอบ ดังนั้นเมื่อทราบระดับของปัจจัยต่างๆ ซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์แล้วสามารถประมาณค่าความเครียดของวัสดุเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกได้ โดยข้อจำกัดของแบบจำลองนี้คือสามารถทำนายค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของตัวอย่างภายใต้ขอบเขตระดับปัจจัยที่ได้ทำการออกแบบการทดลองไว้ สำหรับตัวแปรด้านชนิดของแร่ดินเหนียวในสัดส่วนผสมเป็นปริมาณเชิงคุณภาพ ในการวิเคราะห์เพื่อสร้างแบบจำลองการถดถอยจึงกำหนดให้ค่าตัวแปร FT เป็นตัวแปรหุ่นโดยค่าของ FT ที่ใช้ในแบบจำลองการถดถอยเป็นดังนี้คือ ฝุ่นหิน (FT1=1, FT2=0), Kaolinite (FT1=0, FT2=1) และ Bentonite (FT1=0, FT2=0)

4.5.1 แบบจำลองการขยายตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบเปียก

สำหรับค่าสถิติที่สำคัญของตัวแปรด้านการขยายตัวของก้อนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองประมาณการขยายตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียกสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าสถิติพื้นฐานสำหรับขยายตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มเปียก

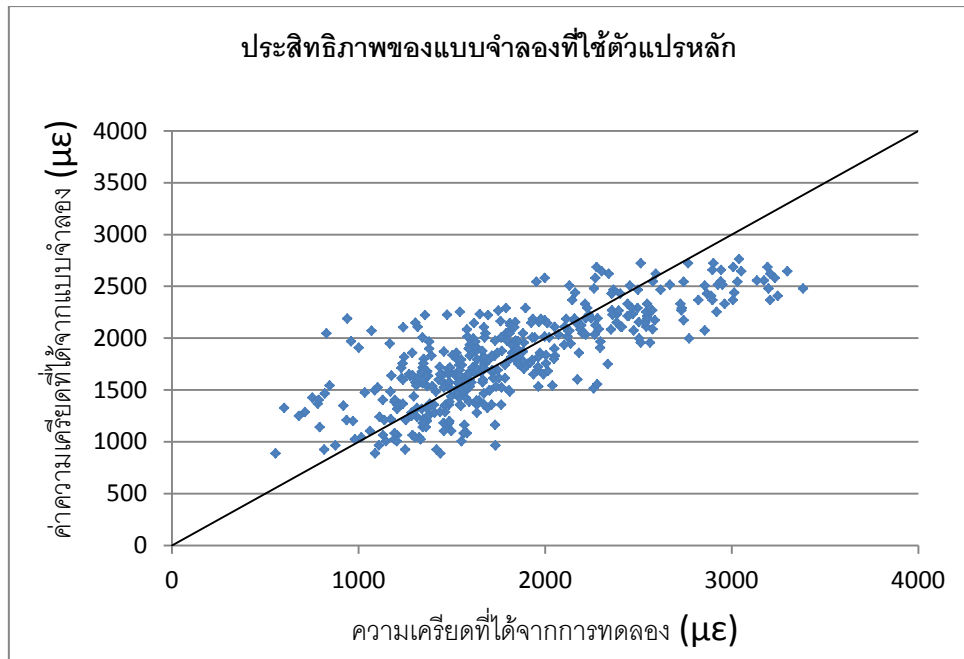
	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
H_strain_A	826	-1662.9712	2712.5495	1062.567612	423.7178240	179536.794
D1_strain_A	420	557	3384	1806.56	558.085	311459.256
D2_strain_A	278	-379	4370	1830.95	877.487	769982.932
V1_strain_A	420	1955	8277	4674.22	1350.193	1823020.245
V2_strain_A	278	-30	10251	4834.97	1945.149	3783605.372

จากตารางที่ 4.4 กำหนดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เป็นบวกแสดงถึงการขยายตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มเปียก ซึ่งหากเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้กับผลการศึกษาของ Ganne (2009) และ Yuan et al. (2010) พบว่าการขยายตัวอยู่ในช่วงเดียวกัน และหากนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นทั้ง 3 รูปแบบตามกระบวนการสร้างแบบจำลองที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละปัจจัยแสดงได้ดังตารางที่ 4.5

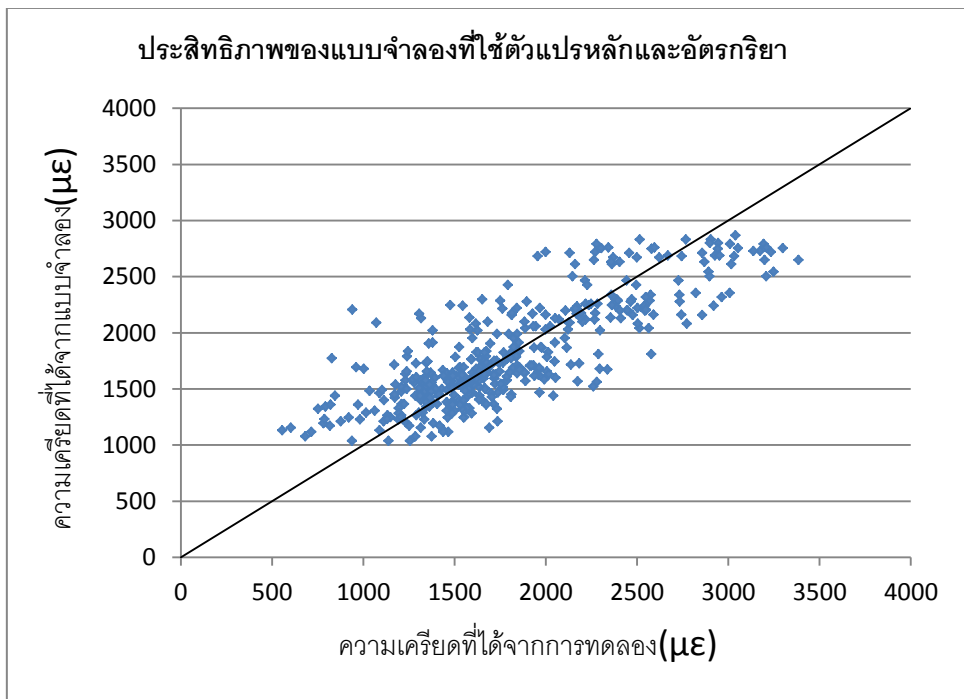
ตารางที่ 4.5 สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการถดถอยเพื่อประมาณค่าความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการบ่มเป็ยก

FACTOR	Z_strain_A			R1_strain_A			R2_strain_A			V1_strain_A			V2_strain_A		
	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction
(Constant)	2934.974	1858.313	1945.137	2219.109	3058.136	3118.540	12506.245	5322.489	5633.957	8129.725	8066.416	8711.058	31734.248	14168.054	15840.725
NC	-10.716	-9.204	-9.540	20.299	19.479	19.422	-6.006			28.901			-14.376		
CE	-91.351	-77.943	-96.526	-253.228	-157.253	-196.967	-1021.602	-97.396	-132.699	-753.580	-385.995	-480.998	-2325.969	-404.662	-503.402
WA	-139.143	-43.240	-43.444	198.714	-68.817	-47.241	-494.898	-156.672	-207.506	161.510	-175.749	-215.368	-1313.035	-283.373	-642.993
CO	-407.941			413.175			-3678.617	-944.449	-880.368	94.581			-9552.694	-2331.393	-1979.903
FT1	-897.441	-334.715	-592.852	-1437.249	-608.509	-1129.976	-5839.685	-824.933	-2022.113	-3644.064	-1548.140	-3332.566	-13336.147	-2131.976	-6385.604
FT2	-680.250	-165.752	-166.433	1937.367	-285.803		-3363.883	-440.653	-470.544	3882.122	-731.431	-757.269	-8338.727	-1054.308	-3267.234
W/C	-34.398			11.047			71.594	102.310	97.521	1.822			49.231		
FT1*CE	55.864		57.082	113.719		119.078	132.623		103.234	271.526		284.345	361.334		318.072
FT1*WA	18.844			49.161			273.383		139.552	120.311		98.892	562.583		522.428
FT1*CO	95.765			31.830			1372.609			118.175			3050.102		
FT2*CE	-465			-9.736			73.478			-16.883			148.886		
FT2*WA	47.734			-29.218		-55.846	236.166			19.237			535.493		403.756
FT2*CO	124.239			-950.936			619.429			-2176.660			1753.713		
CE*WA	-5.778			-5.305			-6.729			-13.594			-36.392		
CE*CO	1.189			44.530			407.392			160.066			925.432		
WA*CO	50.511			-119.721			87.028			-155.512			352.881		
R ²	.344	.314	.335	.685	.614	.675	.456	.394	.424	.737	.669	.725	.562	.481	.535
adj R ²	.332	.309	.330	.672	.609	.670	.422	.381	.406	.726	.666	.721	.535	.472	.521
F test		9.641E-05	0.2900465		4.623E-13	0.2414088		0.0016377	0.0559202		1.416E-14	0.0694014		6.116E-06	0.0507397

จากตารางที่ 4.5 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย, R^2 และ $adjR^2$ ของแบบจำลองแต่ละตัว หากสังเกตแบบจำลองที่ใช้เพียงตัวแปรหลักอย่างเดียวและแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักและอัตราการยวบยบางตัวพบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.1 คือตัวแปรต้นทุกตัวที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั้นตรงกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรแต่ละตัวจะเป็นตัวบ่งบอกทิศทางอิทธิพลของปัจจัยนั้นที่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยจากตารางที่ 4.5 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่อก่อนตัวอย่างผ่านการบ่มแบบเปียก คือประเภทของแร่ดินเหนียวในส่วนผสม, ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมและความชื้นบดอัด ซึ่งสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรทั้งสามมีค่าเป็นลบและสัมประสิทธิ์หน้า FT1 น้อยกว่า FT2 จึงสรุปได้ว่าเมื่อระดับของปัจจัยทั้ง 3 เพิ่มขึ้นจะทำให้การขยายตัวของก้อนตัวอย่างลดลง และหากสังเกตจากค่าสถิติ F test พบว่าแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยหลักอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายค่าคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ดีเท่ากับแบบจำลองที่ใช้กับแบบจำลองที่ใช้ทั้งตัวแปรหลักและอัตราการยวบยบางตัว เพื่อให้สามารถเห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 แบบได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 แบบ โดยเลือกแสดงผลค่าความเครียดสัมบูรณ์ตามแนวรัศมีที่วัดด้วย Profile Projector หรือตัวแปร R1_strain_A เนื่องจากความเครียดตามแนวรัศมีเป็นตัวแปรที่จะนำไปใช้ต่อในการประเมินความเสียหายของโครงสร้างชั้นทางในบดถัดไป และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จาก Profile Projector มีความละเอียดสูงกว่าการวัดด้วย PI Tape ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.8 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_A สำหรับการบ่มเป็ยกโดยใช้ตัวแปรหลัก



รูปที่ 4.9 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_A สำหรับรอบการบ่มเป็ยกโดยใช้ตัวแปรหลัก
และอัตรากรียาบางตัว

จากรูปที่ 4.8 และรูปที่ 4.9 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับเส้นความสัมพันธ์ 1:1 พบว่าค่าความเครียดตามแนวรัศมีที่คำนวณได้จากแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักอย่างเดียวในรูปที่ 4.8 มีการกระจายตัวมากกว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองที่ใช้ทั้งตัวแปรหลักและอัตราครีบาบางตัวในรูปที่ 4.9 เพียงเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงอภิปรายผลโดยใช้แบบจำลองที่ใช้เพียงตัวแปรหลักเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเป็นงานวิจัยขั้นต้นเพื่อศึกษาอิทธิพลและทิศทางของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักอย่างเดียวจะสามารถอธิบายขนาดและทิศทางของปัจจัยได้ชัดเจนกว่าแบบจำลองที่ใช้ทั้งปัจจัยหลักและอัตราครีบา

4.5.2 แบบจำลองการหดตัวเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้ง

สำหรับค่าสถิติที่สำคัญของตัวแปรด้านการหดตัวของก้อนตัวอย่างที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองประมาณการหดตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ค่าสถิติพื้นฐานสำหรับขยายตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้ง

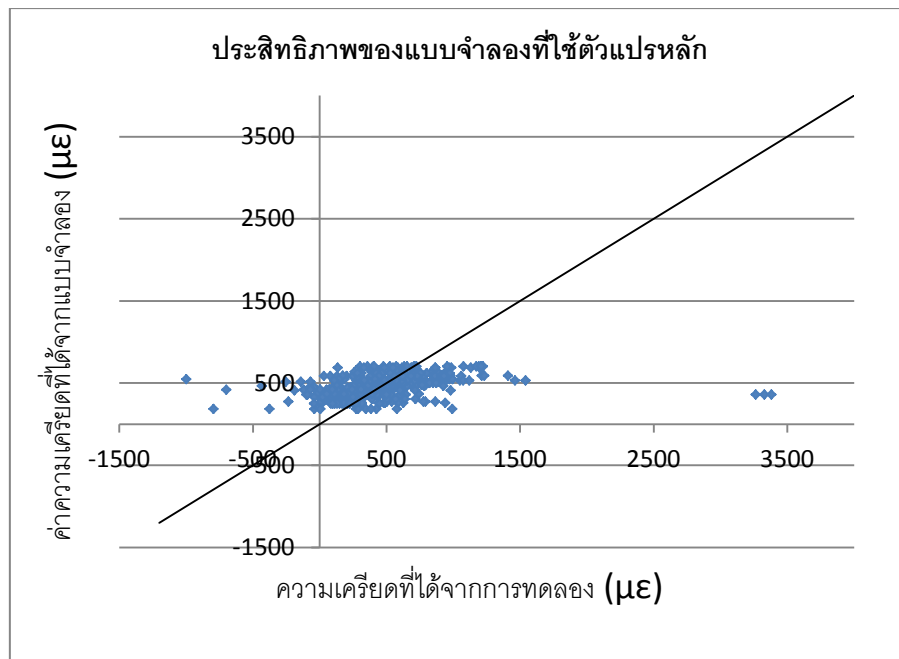
Factor	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
H_strain_A	818	-1063.7449	1222.9814	309.327205	231.0052181	53363.411
R1_strain_A	418	-996	3384	459.73	402.853	162290.821
R2_strain_A	274	-1494	3353	599.54	768.177	590096.043
V1_strain_A	418	-1887	7028	1231.14	903.430	816184.940
V2_strain_A	274	-2932	7102	1541.30	1599.863	2559562.166

จากตารางที่ 4.6 กำหนดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เป็นบวกแสดงถึงการหดตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการป้อนแห้ง ซึ่งหากเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้กับผลการศึกษาของ Ganne (2009) และ Yuan et al. (2010) พบว่าการหดตัวอยู่ในช่วงเดียวกัน และหากนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นทั้ง 3 รูปแบบตามกระบวนการสร้างแบบจำลองที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละปัจจัยแสดงได้ดังตารางที่ 4.7

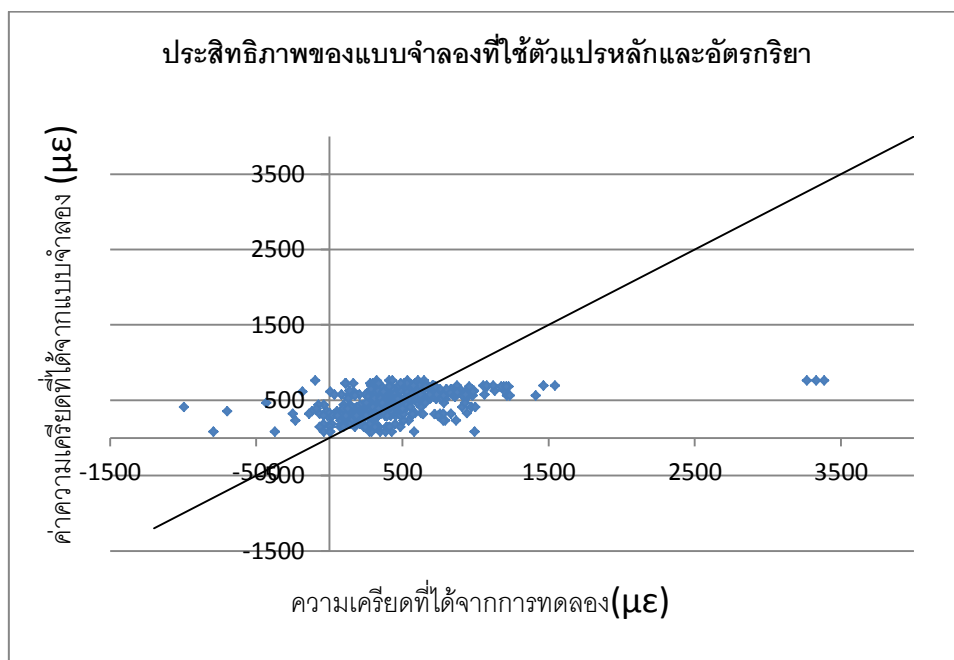
ตารางที่ 4.7 สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการถดถอยเพื่อประมาณค่าความเครียดสัมบูรณ์ในรอบการบ่มแห้ง

FACTOR	Z_strain_A			R1_strain_A			R2_strain_A			V1_strain_A			V2_strain_A		
	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction
(Constant)	3223.868	2318.488	2363.864	-116.071	3125.196	2996.382	3567.672	3674.896	3814.635	4558.228	8782.847	8555.862	-5578.953	9855.071	10204.670
NC	-4.959			-6.517			-2.026			-16.160			-4.553		
CE	-76.328	46.252	31.874	436.295	14.395	-39.547	-1597.238			785.726	54.153	-69.614	3332.846		
WA	-220.979	-39.468	-36.827	-245.923	-49.921	-152.464	854.513			-901.262	-129.474	-345.052	-1812.958		
CO	-1298.108	-967.179	-976.89921	680.576	-1152.766	-708.2146682	-1884.003	-1433.979	-1512.574	-681.183	-3322.7434	-2401.3415	3237.574	-3876.549	-4072.695
FT1	773.749			1813.170			-6121.733			3789.840			13450.381		
FT2	492.181			2183.135			-7282.099			4280.200			15452.929		
W/C	32.309	30.960041	29.513425	78.608			-54.326			190.547			157.837		
FT1*CE	31.234		28.877	67.347		64.161	-115.888		91.819	162.616		156.220	260.507		230.813
FT1*WA	12.823			108.279		128.2459239	174.284		-66.926	220.714		262.640	-349.956		-169.081
FT1*CO	-446.168			-1269.241		-467.7724295	2616.865			-2666.584		-993.49675	-5826.767		
FT2*CE	20.572		11.683413	96.941		95.3701992	-79.444			221.995		210.57938	181.709		
FT2*WA	31.921			82.735		127.567	75.318			197.363		280.52608	-127.652		
FT2*CO	-331.569		-44.275367	-1444.101		-529.9774092	3359.661			-2958.874		-1139.279	-7213.541		
CE*WA	1.275			7.937			-12.448			17.176			28.281		
CE*CO	47.390			-215.774			776.035			-379.665			-1600.773		
WA*CO	73.750			22.962			-395.055			208.529			804.092		
Rsquare	.300	.260	.282	.252	.112	.212	.182	.030	.063	.320	.182	.269	.199	.051	.099
adj Rsquare	.286	.256	.276	.222	.105	.193	.176	.026	.053	.293	.176	.252	.149	.047	.089
F test		7.777E-06	0.0148374		8.954E-10	0.001801558		0.0013801	0.0106198		9.42E-11	0.0001229		8.637E-05	0.0035455

จากตารางที่ 4.7 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย, R^2 และ $adjR^2$ ของแบบจำลองแต่ละตัว หากสังเกตแบบจำลองที่ใช้เพียงตัวแปรหลักอย่างเดียวและแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักและอัตราการยางตัวพบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.2 คือตัวแปรต้นทุกตัวที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นั้นตรงกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรแต่ละตัวจะเป็นตัวบ่งบอกทิศทางอิทธิพลของปัจจัยนั้นที่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยจากตารางที่ 4.7 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อตัวแปรด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเมื่อก่อนตัวอย่างผ่านการบ่มแบบแห้ง คือ ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม, ปริมาณความชื้นและความหนาแน่นบดอัด ซึ่งสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรปริมาณซีเมนต์มีค่าเป็นบวก ซึ่งหมายความว่าเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมทำให้ค่าการหดตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้งเพิ่มขึ้น และสัมประสิทธิ์ของความชื้นบดอัดและความหนาแน่นบดอัดมีค่าเป็นลบ สามารถสรุปได้ว่าเมื่อระดับของปัจจัยทั้งสองเพิ่มขึ้นจะทำให้การหดตัวของก้อนตัวอย่างลดลง และหากสังเกตจากค่าสถิติ F test พบว่าแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยหลักอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายค่าคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงปริมาตรได้ดีเท่ากับแบบจำลองที่ใช้กับแบบจำลองที่ใช้ทั้งตัวแปรหลักและอัตราการยาระหว่างปัจจัย เพื่อให้สามารถเห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 แบบได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 แบบ โดยเลือกแสดงผลค่าความเครียดสัมบูรณ์ตามแนวรัศมีที่วัดด้วย Profile Projector หรือตัวแปร R1_strain_A เนื่องจากความเครียดตามแนวรัศมีเป็นตัวแปรที่จะนำไปใช้ต่อในการประเมินความเสียหายของโครงสร้างชั้นทางในบดอัดไป และค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จาก Profile Projector มีความละเอียดสูงกว่าการวัดด้วย PI Tape ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.10 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_A สำหรับการบ่มแห้งโดยใช้ตัวแปรหลัก



รูปที่ 4.11 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_A สำหรับรอบการบ่มเปียกโดยใช้ตัวแปรหลัก
และอัตรากรีธาบางตัว

จากรูปที่ 4.10 และรูปที่ 4.11 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยการแสดงความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับเส้นความสัมพันธ์ 1:1 พบว่าค่าความเครียดตามแนวรัศมีที่คำนวณได้จากแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักอย่างเดียวในรูปที่ 4.11 มีการกระจายตัวมากกว่าค่าที่คำนวณได้แบบจำลองที่ใช้ทั้งตัวแปรหลักและอัตราขยายบางตัวในรูปที่ 4.10 เพียงเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงอภิปรายผลโดยใช้แบบจำลองที่ใช้เพียงตัวแปรหลักเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเป็นงานวิจัยขั้นต้นเพื่อศึกษาอิทธิพลและทิศทางของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักอย่างเดียวจะสามารถอธิบายขนาดและทิศทางของปัจจัยได้ชัดเจนกว่าแบบจำลองที่ใช้ทั้งปัจจัยหลักและอัตราขยาย

4.5.3 แบบจำลองการถดถอยความเครียดสัมพันธ์ของก้อนตัวอย่าง

สำหรับค่าสถิติที่สำคัญของตัวแปรด้านการหดตัวของก้อนตัวอย่างสำหรับการบ่มเปียกไปสู่การบ่มแห้งในรอบการบ่มเดียวกันที่นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองประมาณการหดตัวเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้งสลับเปียกสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าสถิติพื้นฐานสำหรับหดตัวของก้อนตัวอย่างเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแห้งสลับเปียก

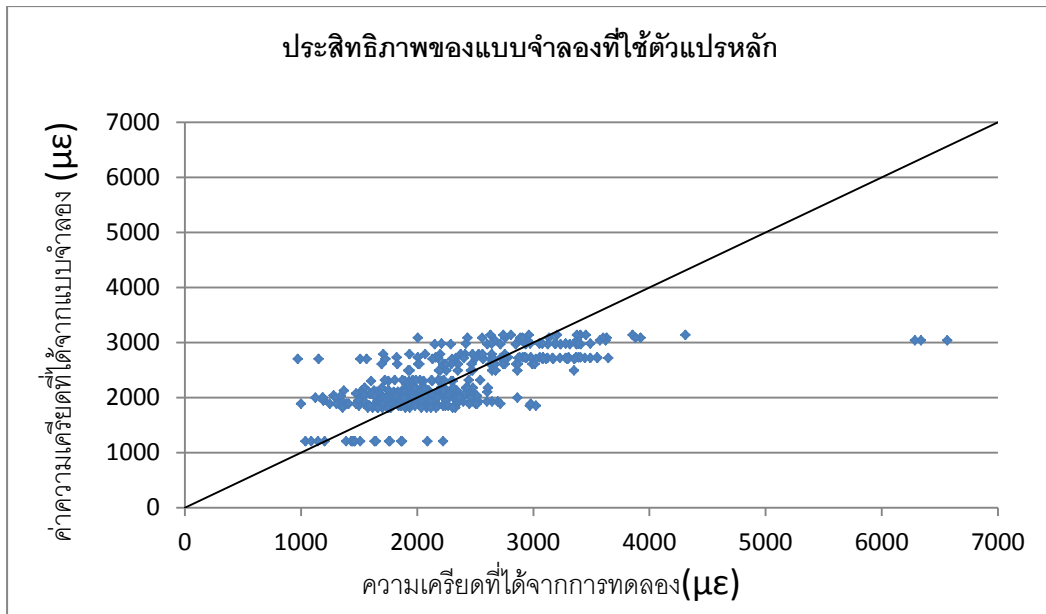
Factor	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
H_strain_R	818	-1372.6111	2722.6260	1367.863811	466.5459414	217665.115
R1_strain_R	418	975	6566	2261.26	689.798	475821.396
R2_strain_R	274	79	6607	2415.75	982.178	964673.652
V1_strain_R	418	2662	14573	5893.83	1632.911	2666399.714
V2_strain_R	274	864	15008	6339.27	2175.213	4731552.535

จากตารางที่ 4.8 กำหนดให้ค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรที่เป็นบวกแสดงถึงการหดตัวของก้อนตัวอย่างสำหรับการบ่มเปียกไปสู่การบ่มแห้งในรอบการบ่มเดียวกัน ซึ่งหากเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้กับผลการศึกษาของ Ganne (2009) และ Yuan et al. (2010) พบว่าค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอยู่ในช่วงระดับเดียวกัน และหากนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นทั้ง 3 รูปแบบตามกระบวนการสร้างแบบจำลองที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของแต่ละปัจจัยแสดงได้ดังตารางที่ 4.9

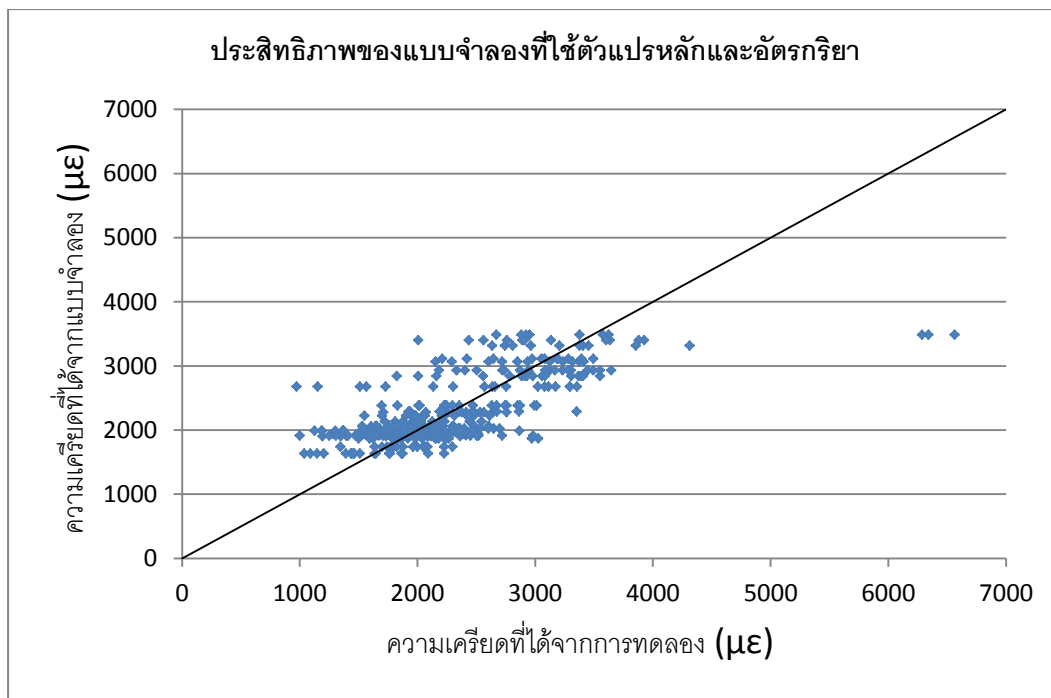
ตารางที่ 4.9 สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองการถดถอยเพื่อประมาณค่าความเครียดสัมพัทธ์ในรอบการบ่มแห้งสลับเปียก

FACTOR	Z_strain_R			R1_strain_R			R2_strain_R			V1_strain_R			V2_strain_R		
	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction	All Factor	main effect	main+interaction
(Constant)	6310.516	4473.290	4603.082	2321.280	6723.739	6061.663	9066.890	9016.579	4027.198	13015.743	17915.459	16402.991	26288.460	23663.864	25553.609
NC	-17.245	-16.621	-17.246	12.457			-8.132			8.310			-27.818		
CE	-176.608	-49.517	-75.024	162.166	-85.839	-175.213	691.087	-138.934	1007.106	9.357	-216.960	-424.375	1228.481	-314.648	-600.044
WA	-393.913	-71.560	-71.491	-84.822	-147.594	-193.016	-1447.944	-128.093	-168.893	-823.564	-368.352	-447.421	-3318.178	-334.965	-473.341
CO	-1762.528	-1062.008	-1066.8323	1007.699	-1471.516	-854.36291	-1867.037	-2306.500		-701.804	-4075.8745	-2722.1298	-6384.313	-6188.432	-6108.319
FT1	60.279	-289.347	-644.682	473.679	-613.358	-2006.245	257.454	-689.038	-1514.604	450.651	-1504.305	-4438.772	207.084	-1781.884	-4615.711
FT2	-178.621	-117.872	-119.352	4192.698	-282.858	2982.930	3195.215	-400.731	-406.044	8345.435	-671.609	6655.618	5916.766	-914.461	-3933.926
W/C	-8.046			89.541	70.643446	71.652552	120.373		104.835	187.338	162.13727	163.30742	191.243		
FT1*CE	82.594		78.077	183.704		179.579	248.932		180.840	436.599		427.615	620.124		603.484
FT1*WA	35.929			157.340		109.13985	94.196			345.842		187.199	209.858		
FT1*CO	-433.009			-1292.377			-1217.567			-2712.891			-2800.361		
FT2*CE	17.647			88.454		87.810195	155.071			204.420		191.24033	332.362		261.25365
FT2*WA	81.224			60.882			154.902			231.857			399.222		352.472
FT2*CO	-211.082			-2446.094		-1721.0854	-2393.337			-5251.040		-3844.2317	-4885.486		
CE*WA	-4.534			3.366			4.590			4.454			-10.324		
CE*CO	52.499			-162.470			-420.964		-528.82348	-209.793			-775.907		
WA*CO	139.136			-82.395			534.367			86.389			1256.997		
R square	.290	.246	.279	.538	.440	.524	.371	.271	.333	.578	.488	.566	.454	.343	.423
adj R square	.276	.241	.273	.519	.432	.512	.332	.257	.315	.561	.481	.555	.420	.331	.405
F test		5.317E-07	0.1619688		1.621E-12	0.0615916		6.916E-05	0.084242		1.436E-12	0.076956		1.193E-06	0.0680197

จากตารางที่ 4.9 ซึ่งแสดงค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย, R^2 และ $adjR^2$ ของแบบจำลองแต่ละตัว หากสังเกตแบบจำลองที่ใช้เพียงตัวแปรหลักอย่างเดียว และแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักและอัตรกริยาพบว่าผลที่ได้มีความสอดคล้องกับผลที่ได้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนในตารางที่ 4.3 คือตัวแปรต้นทุกตัวที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณอย่างมีนัยสำคัญทางสถิตินั้นตรงกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรแต่ละตัวจะเป็นตัวบ่งบอกทิศทางอิทธิพลของปัจจัยนั้นที่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณ โดยจากตารางที่ 4.9 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลักทุกตัวส่งผลต่อการหดตัวเมื่อก่อนตัวอย่างผ่านการบ่มแบบแห้งสลับเปียก คือประเภทของแร่ดินเหนียว, ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม, ความชื้นบดอัด, และความหนาแน่นบดอัด ซึ่งสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปรทั้งหมดมีค่าเป็นลบและสัมประสิทธิ์หน้า FT1 น้อยกว่า FT2 จึงสรุปได้ว่าเมื่อระดับของปัจจัยทั้งหมดเพิ่มขึ้นจะทำให้ตัวแปรด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาณทุกตัวลดลง และหากสังเกตจากค่าสถิติ F test พบว่าแบบจำลองที่ใช้ปัจจัยหลักอย่างเดียวไม่สามารถอธิบายค่าคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงปริมาณได้ดีเท่ากับแบบจำลองที่ใช้กับแบบจำลองที่ใช้ทั้งตัวแปรหลักและอัตรกริยาระหว่างปัจจัย เพื่อให้สามารถเห็นถึงประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 แบบได้ชัดเจนยิ่งขึ้นจึงได้มีการทดสอบประสิทธิภาพของแบบจำลองทั้ง 2 แบบ โดยเลือกแสดงผลค่าความเครียดสัมพันธ์ตามแนวรัศมีที่วัดด้วย Profile Projector หรือตัวแปร R1_strain_R เนื่องจากความเครียดตามแนวรัศมีเป็นตัวแปรที่มีผลต่อการประเมินความเสียหายของโครงสร้างชั้นทางและค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จาก Profile Projector มีความละเอียดสูงกว่าการวัดด้วย PI Tape ซึ่งผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.12 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_R สำหรับการบ่มแห้งสลับเปียกโดยใช้ตัวแปรหลัก



รูปที่ 4.13 ประสิทธิภาพของแบบจำลอง R1_strain_R สำหรับการบ่มแห้งสลับเปียกโดยใช้ตัวแปรหลักและอัตรกรรียาบางตัว

จากรูปที่ 4.12 และรูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงประสิทธิภาพของแบบจำลองโดยใช้ความสัมพันธ์ของค่าที่ได้จากการทดลองกับค่าที่ได้จากแบบจำลองเปรียบเทียบกับเส้นความสัมพันธ์ 1:1 พบว่าค่าความเครียดตามแนวรัศมีที่คำนวณได้จากแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักอย่างเดียวในรูปที่ 4.12 มีการกระจายตัวมากกว่าค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองที่ใช้ทั้งตัวแปรหลักและอัตราขยายบางตัวในรูปที่ 4.13 เพียงเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงอภิปรายผลโดยใช้แบบจำลองที่ใช้เพียงตัวแปรหลักเพียงอย่างเดียว เนื่องจากเป็นงานวิจัยขั้นต้นเพื่อศึกษาอิทธิพลและทิศทางของปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตร ซึ่งแบบจำลองที่ใช้ตัวแปรหลักอย่างเดียวจะสามารถอธิบายขนาดและทิศทางของปัจจัยได้ชัดเจนกว่าแบบจำลองที่ใช้ทั้งปัจจัยหลักและอัตราขยาย

4.6 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ

หลังจากผ่านการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบ จะทำการทดสอบก้อนตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 15 ซม. โดยงานวิจัยนี้ทำการทดสอบค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุทั้งหมด 4 ประเภทคือ ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS), ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม (IDT), ค่าอีลาสติกโมดูลัส (E) และค่า Ultrasonic Wave Velocity ซึ่งค่าสถิติพื้นฐานที่ได้จากการทดลองแสดงได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 ค่าสถิติพื้นฐานของคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ

	N	Minimum	Maximum	Mean	Std. Deviation	Variance
qu(kPa)	25	508	6933	3185.04	1916.293	3672180.138
IDT(kpa)	27	114.0797	1997.2277	750.832047	536.4707848	287800.903
E(Kpa)	24	10235	93516	61634.83	26723.427	714141532.319
Wave_v(m/s)	24	510.1700	3028.6500	2117.405417	659.1748621	434511.499

4.6.1 การวิเคราะห์หาปัจจัยที่ส่งผลต่อค่ากำลังของวัสดุ

เพื่อเป็นการทดสอบเพื่อความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างค่าปัจจัยต่างๆกับค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุจึงใช้การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน ซึ่งผลการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม SPSS สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สันระหว่างปัจจัยกับคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ

Factor	Correlations			
	qu(kPa)	IDT(kpa)	E(Kpa)	Wave_v(m/s)
Cement	.847**	.840**	.621**	.444*
water	0.117	0.217	0.227	.462*
Compact	-0.03	0.092	-0.004	0.195
Fine_Type1	-0.078	0.141	0.026	0.131
Fine_Type2	0.064	-0.016	-0.158	-0.203

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นว่าค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุด้านกำลังรับแรงอัดแกนเดียว, ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม และค่าอิลาสติคโมดูลัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมเพียงค่าเดียว มีเพียงค่า Ultrasonic Wave Velocity ที่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมและปริมาณความชื้นในการบดอัด สังเกตได้จากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของเพียร์สัน โดยเครื่องหมาย * 1 ดอกจะแสดงว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และ 2 ดอกจะแสดงถึงตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันที่ระดับนัยสำคัญ 0.01

4.6.2 แบบจำลองเพื่อทำนายค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ

เพื่อให้สามารถประมาณค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุได้เมื่อทราบระดับของปัจจัยต่างๆในสัดส่วนผสมภายใต้ขอบเขตระดับของปัจจัยต่ำสุดถึงสูงสุดที่ได้ออกแบบการทดลองไว้จึงได้มีการสร้างแบบจำลองการถดถอยโดยสัมประสิทธิ์การถดถอยสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แบบจำลองการประมาณค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ

Factor	qu (Kpa)		IDT		E		Wave Velocity	
	All factor	Select Factor	All factor	Select Factor	All factor	Select Factor	All factor	Select Factor
(Constant)	-1462.904		-1403.071		-1403.071		-1139.677	
Cement	525.341	730.651	174.436	185.775	174.436	7603.704	-49.784	144.363
water	231.034		87.183		87.183	5327.945	300.677	279.649
Compact	733.189		425.129		425.129		1088.319	
Fine_Type1	77.840		227.944		227.944		210.725	
Fine_Type2	181.894		115.266		115.266		-27.449	
w/c	-199.654		-8.377		-8.377		-226.500	
Rsquare	.744	.925	.793	.903	.793	.912	.576	.943
adj Rsquare	.658	.922	.731	.899	.731	.904	.426	.938
F Test		0.795534722		0.206989845		0.149834529		0.099625783

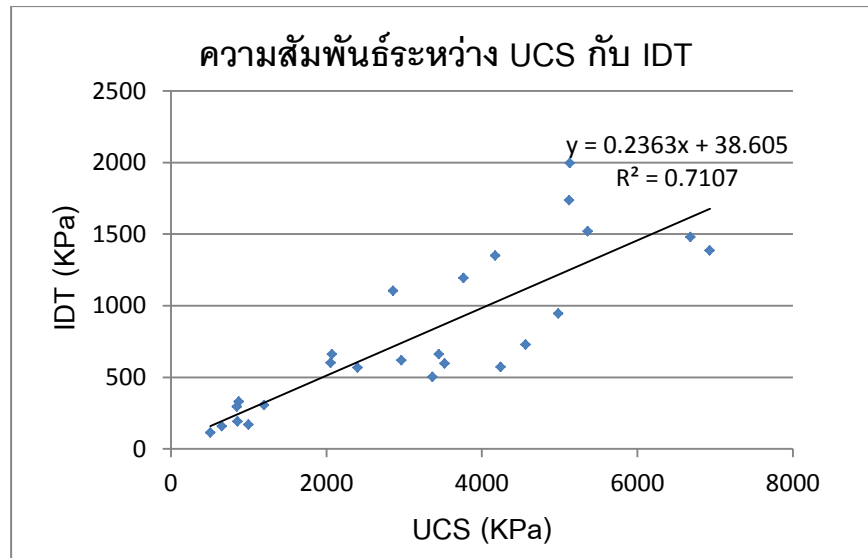
จากตารางที่ 4.12 จะเห็นว่าเมื่อทราบระดับของปัจจัยของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพ ด้วยซีเมนต์สามารถทำนายค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุได้ จากตารางที่ 4.7 เห็นว่าแบบจำลอง ความถดถอยเชิงเส้นจะมีประสิทธิภาพที่ดีพอสมควรที่จะใช้ในการทำนายค่าคุณสมบัติของวัสดุ หากสังเกตจากค่า R^2 ที่ได้แสดงกำกับไว้ในตารางสำหรับแบบจำลองความถดถอยแต่ละตัว จากแบบจำลองการถดถอยพบว่า มีตัวแปรต้นเพียง 2 ตัวเท่านั้นที่ส่งผลต่อค่าคุณสมบัติด้านกำลังของ วัสดุคือ ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมและปริมาณความชื้นบดอัด ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์หน้าตัวแปร ต้นทุกตัวมีค่าเป็นบวกแสดงให้เห็นว่าเมื่อปริมาณซีเมนต์และปริมาณความชื้นบดอัดเพิ่มขึ้นใน ขอบเขตของระดับของปัจจัยที่ได้มีการออกแบบการทดลองไว้ค่าคุณสมบัติของวัสดุจะเพิ่มขึ้น

4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวกับคุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ

เนื่องจากโดยทั่วไปแล้วการทดสอบค่าคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุชั้นทางปรับปรุงด้วย ซีเมนต์นั้นมักจะนิยมทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว และใช้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวเป็น ตัวชี้วัดถึงประสิทธิภาพของวัสดุ ซึ่งหากพิจารณาถึงการวิบัติในลักษณะอื่นๆนอกเหนือจากน้ำหนัก บรรทุกของถนนแล้วค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวอาจไม่เพียงพอ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์หา ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวของวัสดุชั้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์กับ ค่าคุณสมบัติด้านกำลังอื่นๆ โดยในการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังจะใช้ก้อนตัวอย่างที่ผ่าน กระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบแล้ว ซึ่งผลการวิเคราะห์สามารถแสดงได้ดังนี้

4.7.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง UCS กับ IDT

เพื่อให้สามารถประมาณความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรได้ หากทำการทดสอบค่าใด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์เบื้องต้นโดยใช้รูปแบบเชิงเส้น จากค่า IDT และ UCS จำนวน 25 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.14



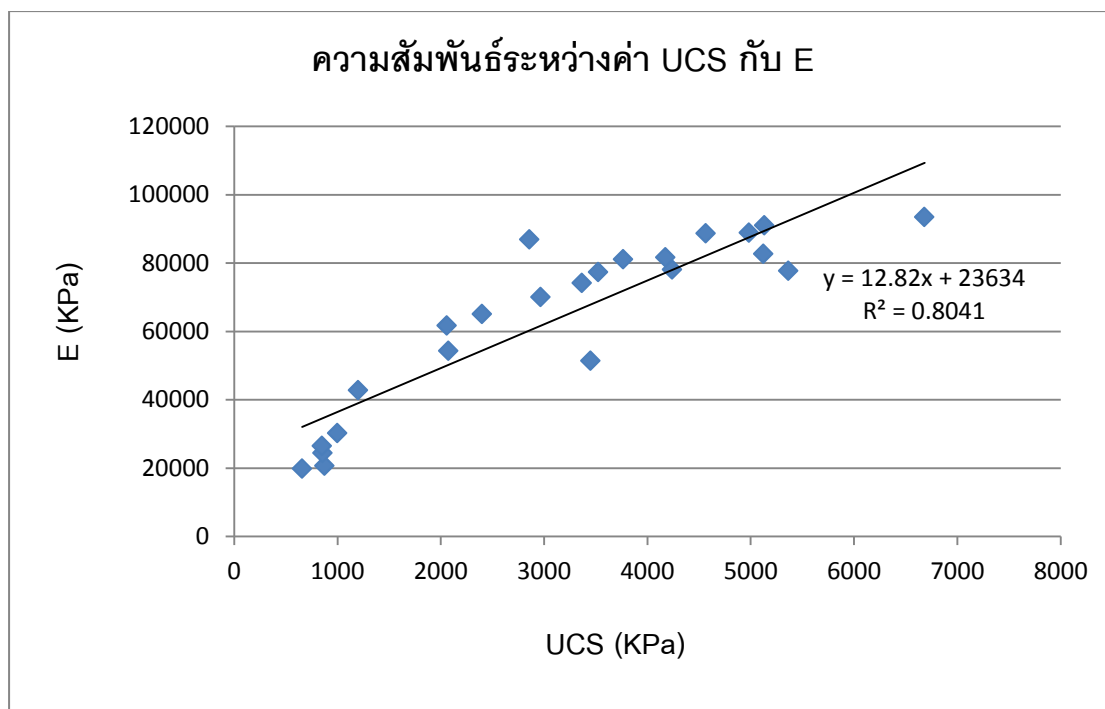
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่าง UCS กับ IDT

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับ IDT มีแนวโน้มเป็นเชิงเส้น และเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ตัวแสดงได้ดังสมการที่ 4.4 ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.710

$$IDT = 0.263(UCS) + 38.60 \quad (\text{สมการที่ 4.4})$$

4.7.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง UCS กับ E

เพื่อให้สามารถประมาณความสัมพันธ์ระหว่างทั้งสองตัวแปรได้ หากทำการทดสอบค่าใด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์เบื้องต้นโดยใช้รูปแบบเชิงเส้น จากค่า IDT และ E จำนวน 23 ตัวอย่างผลการวิเคราะห์แสดงได้ดังรูปที่ 4.15



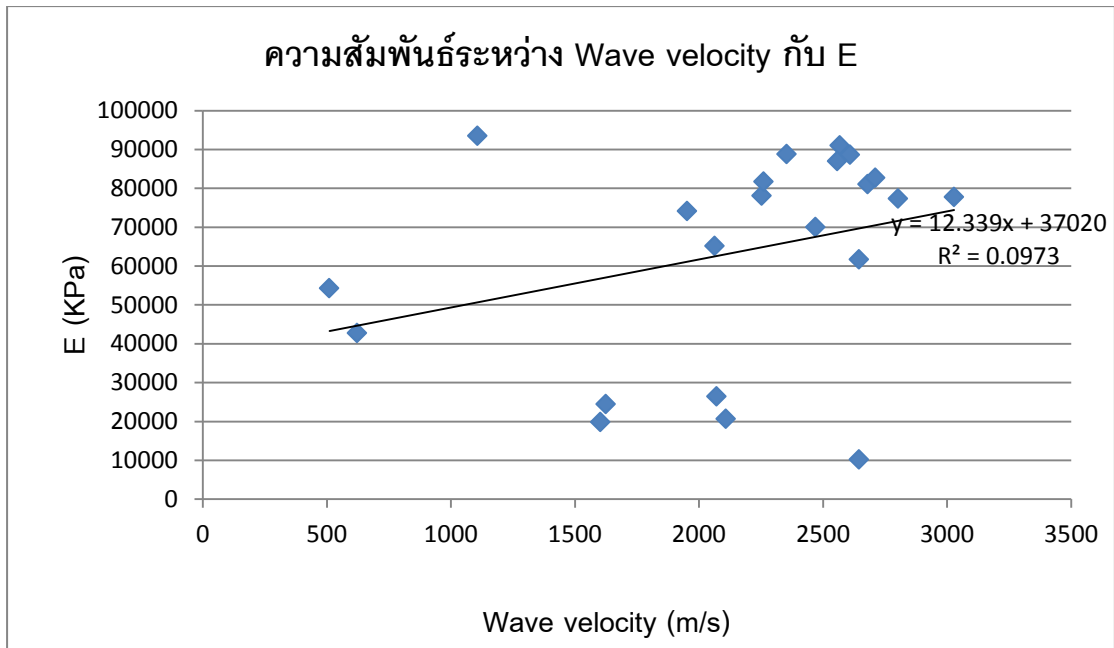
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับ E

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับ E มีแนวโน้มเป็นเชิงเส้นและเส้นแนวโน้มความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างตัวแปรทั้ง 2 ตัวแสดงได้ดังสมการที่ 4.5 ซึ่งมีค่า R^2 เท่ากับ 0.804

$$E = 12.82(\text{UCS}) + 23634 \quad (\text{สมการที่ 4.5})$$

4.7.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultrasonic Wave Velocity กับ E

Ultrasonic Wave Velocity เป็นการวัดค่าความเร็วคลื่นที่ผ่านก้อนตัวอย่าง ซึ่งเป็นการทดสอบค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุโดยไม่ทำลายก้อนตัวอย่าง ดังนั้นหากค่าความเร็วคลื่นที่วัดได้มีความสัมพันธ์กับค่าคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุด้านอื่นๆ จะมีประโยชน์อย่างมากในด้านการนำไปใช้เพราะเป็นการทดสอบที่รวดเร็วและประหยัดก้อนตัวอย่างอีกทั้งยังสามารถเปรียบเทียบผลในก้อนเดียวกันได้ในแต่ละรอบการบ่มแบบแห้งสลับเปียกด้วย ผลการวิเคราะห์จะพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า Ultrasonic Wave Velocity กับ E เนื่องจากการศึกษาของ Yesille et al. (2000) พบว่าตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งผลการวิเคราะห์โดยใช้ 25 ตัวอย่างสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่าง Ultrasonic Wave Velocity กับ E

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นว่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Ultrasonic Wave Velocity กับ E ไม่มีความสัมพันธ์กันในรูปแบบเชิงเส้น ซึ่งอาจมีผลมาจากความคลาดเคลื่อนของค่า Ultrasonic Wave Velocity ที่มีผลมาจากความขรุขระของผิวก้อนตัวอย่าง

บทที่ 5

การประเมินความเสียหายของวัสดุชั้นทางเนื่องจากสภาวะแห้งสลับเปียก

เพื่อเป็นการประเมินความเสียหายเบื้องต้นของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาตร โดยไม่พิจารณาถึงน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากการจราจรและแรงเสียดทานระหว่างโครงสร้างชั้นทางแต่ละชั้น ซึ่งงานวิจัยนี้จึงได้ทำการประเมินความเสียหายของวัสดุชั้นทางโดยแบ่งเป็น 2 กรณีดังต่อไปนี้

5.1 แรงที่เกิดจากการขยายตัวของวัสดุพื้นทางเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียก

เมื่อวัสดุพื้นทางผ่านกระบวนการบ่มแบบเปียกจะเกิดการขยายตัวทำให้เกิดแรงอัดขึ้นภายใน โดยงานวิจัยนี้จะประมาณแรงอัดที่เกิดขึ้นในวัสดุโดยใช้ค่าความเครียดสัมพันธ์ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง $R1_strain_A$ ที่ได้จากแบบจำลองประมาณค่าความเครียดเมื่อวัสดุผ่านกระบวนการบ่มแบบเปียก และค่าอีลาสติคโมดูลัสที่ได้จากแบบจำลองซึ่งทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังเมื่อวัสดุผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบ และคำนวณโดยใช้สมการที่

5.1

$$\text{Compression} = (\epsilon_R \times E) \quad (\text{สมการที่ 5.1})$$

เมื่อ Compression คือ แรงอัดที่เกิดขึ้นจากการขยายตัว

ϵ_R คือ ความเครียดตามยาว

E คือ ค่าอีลาสติคโมดูลัสของวัสดุพื้นทาง

ดังนั้นจากสมการที่ 5.1 เพื่อเป็นการประเมินแรงอัดที่เกิดจากการขยายตัวได้อย่างอิสระภายใต้คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ทั้ง 27 กรณี สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ผลการประเมินความเสียหายเนื่องจากการขยายตัวของโครงสร้างชั้นทาง

base material	E(Kpa)	longtudinal strain(microstrian)	Compressive stress (Kpa)	UCS(Kpa)	stress ratio
1	23587.54	2319.67	54.72	730.65	0.07
2	34243.43	2182.03	74.72	730.65	0.10
3	44899.32	2044.40	91.79	730.65	0.13
4	46398.65	1847.91	85.74	2922.60	0.03
5	57054.54	1710.28	97.58	2922.60	0.03
6	67710.43	1572.64	106.48	2922.60	0.04
7	69209.76	1376.15	95.24	5114.55	0.02
8	79865.65	1238.52	98.91	5114.55	0.02
9	90521.54	1100.88	99.65	5114.55	0.02
10	23587.54	2642.37	62.33	730.65	0.09
11	34243.43	2504.74	85.77	730.65	0.12
12	44899.32	2367.10	106.28	730.65	0.15
13	46398.65	2170.61	100.71	2922.60	0.03
14	57054.54	2032.98	115.99	2922.60	0.04
15	67710.43	1895.35	128.33	2922.60	0.04
16	69209.76	1698.86	117.58	5114.55	0.02
17	79865.65	1561.22	124.69	5114.55	0.02
18	90521.54	1423.59	128.87	5114.55	0.03
19	28915.48	2859.36	82.68	730.65	0.11
20	36907.40	2756.13	101.72	730.65	0.14
21	44899.32	2652.91	119.11	730.65	0.16
22	51726.60	2387.60	123.50	2922.60	0.04
23	59718.51	2284.38	136.42	2922.60	0.05
24	67710.43	2181.15	147.69	2922.60	0.05
25	74537.71	1915.84	142.80	5114.55	0.03
26	82529.63	1812.62	149.59	5114.55	0.03
27	90521.54	1709.39	154.74	5114.55	0.03

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนระหว่างแรงอัดที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวได้อย่างอิสระของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบเปียกต่อกำลังรับแรงอัดที่วัสดุรับได้เมื่อผ่านการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบจะเปลี่ยนแปลงไปคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพ หากพิจารณาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุตามการออกแบบการทดลองไว้ทั้ง 27 กรณีจะมีค่าสูงสุดที่ 16% ซึ่งค่อนข้างสูงเนื่องจากการประเมินนี้ยังไม่ได้พิจารณาผลเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากการจราจร

5.2 แรงที่เกิดจากการหดตัวอย่างอิสระของวัสดุพื้นทางเมื่อผ่านการบ่มแบบแห้ง

เมื่อวัสดุพื้นทางผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งจะเกิดการหดตัวทำให้เกิดแรงดึงขึ้นภายในโดรนงานวิจัยนี้จะประมาณแรงดึงที่เกิดขึ้นในวัสดุโดยใช้ค่าความเครียดสัมบูรณ์ตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง R1_strain_A ที่ได้จากแบบจำลองประมาณค่าความเครียดเมื่อวัสดุผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้ง และค่าอีลาสติกโมดูลัสที่ได้จากแบบจำลองซึ่งทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังเมื่อวัสดุผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบ และคำนวณโดยใช้สมการที่ 5.2

$$\text{Tension} = (\epsilon_R \times E) \quad (\text{สมการที่ 5.2})$$

เมื่อ	Tension	คือ แรงดึงที่เกิดขึ้นจากการขยายตัว
	ϵ_R	คือ ความเครียดตามยาว
	E	คือ ค่าอีลาสติกมอดูลัสของวัสดุพื้นทาง

ดังนั้นจากสมการที่ 5.2 เพื่อเป็นการประเมินแรงดึงที่เกิดจากการหดตัวอย่างอิสระภายใต้คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ทั้ง 27 กรณี สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ผลการประเมินความเสียหายเนื่องจากการหดตัวของโครงสร้างชั้นทาง

base material	E(Kpa)	longtudinal strain(microstrian)	tensile stress (Kpa)	IDT(Kpa)	stress ratio
1	23587.54	634.73	14.97	185.78	0.08
2	34243.43	273.21	9.36	185.78	0.05
3	44899.32	304.21	13.66	185.78	0.07
4	46398.65	416.23	19.31	743.10	0.03
5	57054.54	447.23	25.52	743.10	0.03
6	67710.43	478.23	32.38	743.10	0.04
7	69209.76	590.26	40.85	1300.43	0.03
8	79865.65	621.25	49.62	1300.43	0.04
9	90521.54	259.73	23.51	1300.43	0.02
10	23587.54	514.84	12.14	185.78	0.07
11	34243.43	545.26	18.67	185.78	0.10
12	44899.32	184.89	8.30	185.78	0.04
13	46398.65	688.29	31.94	743.10	0.04
14	57054.54	327.92	18.71	743.10	0.03
15	67710.43	358.34	24.26	743.10	0.03
16	69209.76	470.94	32.59	1300.43	0.03
17	79865.65	501.37	40.04	1300.43	0.03
18	90521.54	531.79	48.14	1300.43	0.04
19	28915.48	357.71	10.34	185.78	0.06
20	36907.40	411.94	15.20	185.78	0.08
21	44899.32	466.17	20.93	185.78	0.11
22	51726.60	530.01	27.42	743.10	0.04
23	59718.51	584.23	34.89	743.10	0.05
24	67710.43	251.13	17.00	743.10	0.02
25	74537.71	702.30	52.35	1300.43	0.04
26	82529.63	369.20	30.47	1300.43	0.02
27	90521.54	423.43	38.33	1300.43	0.03

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่าอัตราส่วนระหว่างแรงอัดที่เกิดขึ้นจากการขยายตัวได้อย่างอิสระของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพเมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบเปียกต่อกำลังรับแรงอัดที่วัสดุรับได้เมื่อผ่านการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบจะเปลี่ยนแปลงไปคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพ หากพิจารณาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุตามการออกแบบการทดลองไว้ทั้ง 27 กรณีจะมีค่าสูงสุดที่ 16% ซึ่งค่อนข้างสูงเนื่องจากการประเมินนี้ยังไม่ได้พิจารณาผลเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกเนื่องจากการจราจร

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัย

6.1 สรุปผลการวิจัย

6.1.1 สรุปผลการวิจัยด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

การวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโดยใช้ Profile Projector เป็นเครื่องมือวัดที่ให้ความละเอียดมากกว่าการวัดโดยใช้ PI Tape แต่สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกนั้นสามารถใช้เครื่องมือวัดทั้ง 2 ประเภทได้ โดยค่าเส้นผ่านศูนย์กลางที่วัดได้จากการวัดด้วย PI Tape มีแนวโน้มจะมากกว่าค่าที่วัดได้จาก Profile Projector แต่เมื่อนำผลที่ได้จากการวัดมาวิเคราะห์ผลการทดสอบจะเห็นว่าเครื่องมือทั้งสองให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน สำหรับงานวิจัยนี้แนะนำให้ใช้แบบจำลองที่ได้จากการวัดด้วย Profile Projector เนื่องจากเป็นวิธีการวัดที่ให้ความละเอียดสูงกว่าและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการวัดน้อยกว่า

สำหรับการวิเคราะห์ผลการเปลี่ยนแปลงปริมาตรพบว่าระดับของปัจจัยต่างๆที่ออกแบบการทดลองไว้คือ ประเภทของแร่ดินเหนียวในสัดส่วนผสม ปริมาณซีเมนต์ ปริมาณความชื้นบดอัด และความหนาแน่นบดอัดจะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างโดยอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่มีต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเป็นดังนี้

ชนิดของแร่ดินเหนียวในสัดส่วนผสม จะส่งผลการการเปลี่ยนแปลงปริมาตรสำหรับรอบการบ่มแบบเปียกคือ Bentonite, Kaolinite และ Limestone Dust จะส่งผลให้เกิดการบวมตัวจากมากไปน้อยตามลำดับ แต่สำหรับรอบการบ่มแบบแห้งชนิดของแร่ดินเหนียวในสัดส่วนผสมจะให้ผลการหดตัวที่ไม่แตกต่างกัน

ปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสม จะส่งผลทั้งรอบการบ่มเปียกและบ่มแห้งโดยปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การบวมตัวในรอบการบ่มเปียกลดลง แต่จะส่งผลให้เกิดการหดตัวในรอบการบ่มแห้งเพิ่มขึ้น

ปริมาณความชื้นบดอัด จะส่งผลต่อรอบการบ่มแบบแห้งและแบบเปียกในทิศทางเดียวกันคือปริมาณความชื้นบดอัดที่เพิ่มขึ้นจะทำให้การขยายตัวและหดตัวเมื่อผ่านการบ่มแบบเปียกและแบบแห้งลดลง

ความหนาแน่นในการบดอัด จะไม่ส่งผลต่อการบ่มแบบเปียกแต่จะส่งผลต่อการบ่มแบบแห้งโดยปริมาณความชื้นบดอัดที่เพิ่มขึ้นมีผลให้การหดตัวในรอบการบ่มแบบแห้งลดลง

6.1.2 สรุปผลการวิจัยด้านกำลังของวัสดุ

จากผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของก้อนตัวอย่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 15 ซม. หลังจากผ่านการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบ การวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุพบว่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว, กำลังรับแรงดึงทางอ้อม และอิลาสติกมอดูลัสมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมเพียงค่าเดียว แต่ Ultrasonic Wave Velocity จะมีความสัมพันธ์กับปริมาณซีเมนต์ในสัดส่วนผสมและปริมาณความชื้นในการบดอัด

จากผลสรุปที่ว่าปัจจัยด้านปริมาณซีเมนต์และความชื้นบดอัดส่งผลต่อคุณสมบัติด้านกำลัง โดยปริมาณซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้คุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุเพิ่มขึ้นด้วยและหากนำค่าคุณสมบัติด้านกำลังมาสร้างแบบจำลองการถดถอยเชิงเส้นพบว่าประสิทธิภาพของแบบจำลองที่ใช้ทำนายค่า UCS, IDT, E และ Ultrasonic Wave Velocity ค่อนข้างสูงคือมีค่าความถูกต้องประมาณร้อยละ 92, ร้อยละ 90, ร้อยละ 90 และร้อยละ 94 ตามลำดับทำให้สามารถทำนายคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุได้ภายใต้ขอบเขตของระดับของปัจจัยที่ได้ออกแบบการทดลองไว้

การทดสอบกำลังของวัสดุแบบไม่ทำลายก่อนตัวอย่างโดยใช้ Ultrasonic Wave Velocity จะให้ผลการทดลองที่มีความสัมพันธ์กับค่า E ในรูปแบบเชิงเส้นที่ให้ค่า R^2 เท่ากับ 0.09 ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า Ultrasonic Wave Velocity ไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับค่า E จึงไม่สามารถทำนายค่ากำลังวัสดุได้ถูกต้องทั้งนี้อาจมีสาเหตุมาจากความคลาดเคลื่อนจากการวัดเนื่องจากผิววัสดุมีความขรุขระ

6.2 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

- 1) เพิ่มทางเลือกในการวัดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างและสามารถใช้เครื่องมือวัดให้เหมาะสมกับงานวิจัยในอนาคต
- 2) ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก
- 3) ทำให้ทราบถึงอิทธิพลของปัจจัยต่างๆที่ส่งผลต่อคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบ
- 4) ทำให้สามารถทำนายค่าความเครียดของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียก
- 5) ทำให้สามารถทำนายคุณสมบัติด้านกำลังบางประการของวัสดุพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบได้
- 6) ทำให้ทราบความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุพื้นทางปรับปรุงด้วยซีเมนต์เมื่อผ่านกระบวนการบ่มแบบแห้งสลับเปียกครบ 12 รอบได้

6.3 ข้อเสนอแนะ

1) ในการศึกษาขั้นต่อไปควรออกแบบการทดลองโดยเพิ่มระดับของปัจจัยและจำนวนการทำซ้ำเพื่อให้สามารถสร้างแบบจำลองในรูปแบบอื่นๆได้ และช่วยเพิ่มความน่าเชื่อถือของข้อมูลได้มากยิ่งขึ้น

2) ในการทดลองขั้นต่อไปควรทำการבודัดก้อนตัวอย่างทรงกระบอกที่อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางต่อความสูงเท่ากับ 1:2

3) ในการศึกษาขั้นต่อไปควรเพิ่มตำแหน่งการวัดค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือใช้การวัดวิธีอื่นที่มีความคลาดเคลื่อนในการวัดน้อยลง

4) ในการศึกษาขั้นต่อไปควรเพิ่มความถี่ในการวัดให้ครบทุกรอบเพื่อให้จำนวนข้อมูลที่ได้มากขึ้นและสามารถวิเคราะห์ผลการทดลองได้ดีขึ้น

6) เพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองสามารถใช้ประโยชน์และสอดคล้องกับสภาพความเป็นจริงในสนามของโครงสร้างชั้นทางควรทำการประเมินความเสียหายโดยใช้วิธีการที่เหมาะสม เช่น วิธีไฟไนต์อีลิเมนต์

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

โยธาธิการและผังเมืองกระทรวงมหาดไทย, กรม. มาตรฐานการตรวจสอบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กด้วยวิธีการทดสอบแบบไม่ทำลาย. 2551.

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ สถิตย์พงษ์ อภิเมธีธำรง. การวิเคราะห์โครงสร้างถนนลาดยางที่มีพื้นทางเป็น Soil Cement และรองพื้นทางเป็นวัสดุผสมรวมภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกปกติถึงหนักมาก. ศูนย์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, 2000.

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ สมบัติกระแส จรัสกร. กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่มีความหนาแน่นแตกต่างกัน. ศูนย์วิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, 2001.

ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2002

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และ พงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป, 2551.

พิชิต จำนงพิพัฒนกุล, เศกชัย อนุเวชศิริเกียรติ, จุฑา สุนิตย์สกุล และ อรรถสิทธิ์ สวัสดิ์พานิช การศึกษาอัตราส่วนผสมของชั้นพื้นทางวัสดุหินปูนที่ใช้น้ำซีเมนต์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน. การสัมมนากรมทางหลวงครั้งที่ 3, 2009.

มงคล ดัชนีย์, กำลังอัดของถนนซ่อมแซมโดยเทคนิคการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่.

วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยสุรนารี, 2010.

ศักดิ์สิทธิ์ เฉลิมพงศ์, เอกสารคำสอนวิชา 2101-469 ความน่าจะเป็นและสถิติสำหรับวิศวกรโยธา.

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553

ภาษาอังกฤษ

AASHTO T 208-05, Standard Method of Test for Unconfined Compressive Strength of Cohesive soil and Aggregate Materials. American Association of State Highway and Transportation Officials, Washington, DC, 2007.

Arabani. M. and Karami. M.V., Geomechanical Properties of Lime Stabilized Clayey Sand. The Arabian Journal for Science and Engineering, 2006. Bahar. R.,

ASTM Standard C136, Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregate. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

ASTM Standard C469-02, Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

ASTM Standard C496, Standard Test Method for Splitting Tensile Strength of Cylindrical Concrete Specimen. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

ASTM Standard D559, Standard Test Method for Wetting and Drying Compacted Soil-Cement Mixtures. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2012.

Benazzoug. M., Kenai. S., Performance of compacted cement-stabilised soil. Cement & Concrete Composites, 2004.

Bertos. M.F., Simons. C.D., Hills. P.J., Carey, A., Review of accelerated carbonation technology in the treatment of cement-based materials and sequestration of CO₂. Journal of Hazardous Materials (2000) :193-205.

- Brown. A.V., Cement Stabilization of Aggregate Base Material Blended with Reclaimed Asphalt Pavement. Master of Science Department of Civil and Environmental Engineering Brigham Young University, 2006.
- Chi. J.M., Huang. R., Yang. C.C., Effect of Carbonation on Mechanical Properties and Durability of Concrete Using Accelerate Testing Method. Journal of Marine Science and Technology (2002): 14-20.
- Chang. A.L., Effect of Carbonation Strength The Shrinkage and Permeability of Portland Cement Concrete. Bachelor of Science Massachusetts institute Technology, 1962.
- Davidson. D.T., Soil Stabilization with Portland cement. Highway Research Board Bulletin (1961): 45-151.
- EN 13286-04 "Standard Method of Test Laboratory Reference Density and Water Content Vibrating Hammer" British Standard, 2003.
- Felt . E.J., Factor Influencing Physical Properties of Soil Cement Mixture. Highway Research Board (1955): 138-163.
- Fungaroli. A.A. and Prager. S.R., Evaluation of some Acrylic Polymers as Soil Stabilizers. I&EC Product Research and Development (1969): 450-453.
- Ganne. V.K., Long Term Durability Studies on Chemically Treated Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Materials. Master of Science in Civil Engineering The University of Texas at Arlington in Partial Fulfillment of the Requirements, 2009.
- Ibrahaim. M. A.K., Moafaq A. A., Abdulrahman H. Al-Zubaydi, Long Term Strength and Durability of Clayey Soil Stabilized With Lime. Eng. & Tech. Journal, 2010.

Lambe. T.W., Michaels. A.S. and Moh. Z.C., Improvement of Soil Cement with Alkali Metal Compounds. Highway Research Board, 1959.

Moh. Z.C, Reaction of Soil Minerals with Cement and Chemicals. Highway Research Record (1965) : 39-61.

Pendola. H.J., Kennady. T.W. and Hutson. W.R., Evaluation of Factors Affecting the Tensile Properties of Cement-Treated Materials. University of Texas at Austin Research Report, 1969.

Persson. B., Eight-year exploration of shrinkage in high-performance concrete. Cement and Concrete Research (2002): 1229 – 1237.

Portland Cement Association, Soil Cement Laboratory Handbook., 1959.

Ruenkraitergesa. T., Principle of Soil Stabilization. Group Training in Road Construction (1982) :17-26 .

Saowapakpiboon. J., Dennes T. Bergado, Kritpuckkrapong. T., Increasing Engineering Properties of Laterite Soil by Using Portland Cement Type 1 and Chemroad, 2010.

Scullion. T., Sebesta. S., Harris. J.P., and Syed. I., Evaluating the Performance of Soil-Cement and Cement-Modified Soil for Pavements A Laboratory Investigation. Portland Cement Association, 2006.

Sisomphon. K., Franke. L., Carbonation rates of concretes containing high volume of pozzolanic materials. Cement and Concrete Research, 2007.

Terrel. R.L., Barenberg E.J., Mitchell, J.M. and Thomson, M.R., Soil Stabilization in Pavement Structure A User's Manual Mixture Design Consideration. Washington, D.C., Government Printing Office, 1979.

Walker. P.J., Strength Durability and Shrinkage Characteristics of Cement Stabilised Soil Blocks. Cement & Concrete Composites, 1995.

Yesiller. N. , Hanson. J.L., Usmen. M.A., Ultrasonic Assessment of Stabilized Soils, 2000.

ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการเปลี่ยนแปลงปริมาตรวัสดุ

ตาราง ก 1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 1 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.1(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.3800	150.1200	150.0800	150.1000	151.3800	99.8970	99.9035	99.9365	100.0820	100.0055	.	.	.	.	.
W1	150.5800	150.4000	150.3400	150.3000	151.7800	99.9500	100.0010	100.0415	100.0720	100.3800	.	.	.	.	.
D1	150.3200	150.1000	150.0800	150.0000	151.3000	99.8525	99.8630	99.8565	100.0695	99.9480	.	.	.	.	.
W2	150.5400	150.1000	150.2200	150.5000	151.5200	100.1450	99.9595	99.9310	100.3550	100.2690	.	.	.	.	.
D2	150.3200	150.0000	150.0000	150.1200	151.4000	99.7850	99.8550	99.9370	99.9645	100.0000	.	.	.	.	.
W3	150.3800	150.5000	150.4000	150.1200	151.7000	100.1115	99.9275	100.0680	100.4730	100.1500	.	.	.	.	.
D3	150.3200	150.1400	150.0000	150.0600	151.2400	.	99.8205	99.9210	100.0450	99.9170	.	.	.	.	.
W4	150.7600	150.2200	150.2000	150.3600	151.5200	.	100.0500	100.0100	100.3620	100.3615	.	.	.	.	.
D4	150.4000	150.1400	150.0600	150.1200	151.3600	.	99.9165	99.9575	99.9420	100.0075	.	.	.	.	.
W5	150.4200	150.2800	150.1200	150.2000	151.6000	.	100.2675	100.0200	100.1325	100.2850	.	.	.	.	.
D5	150.3400	150.0600	150.0800	150.0800	151.2400	.	99.8395	99.9020	100.0280	.	.	.	.	.	.
W6	150.3600	150.4200	150.1400	150.1000	151.5400	.	100.0230	100.1090	100.1780	.	.	.	.	.	.
D6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 1 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.1(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	154.4800	153.8800	152.7000	152.8600	153.2600	100.0190	99.9945	100.0985	100.0510	100.0005	100.0400	100.1400	100.0800	100.0900	100.2000
W1	154.5400	154.0600	152.9000	153.0400	153.2800	100.1170	100.1520	100.2640	100.2930	100.1740					
D1	154.3600	153.8800	152.6600	152.8400	153.2200	100.0550	99.9485	100.0430	99.9740	100.0105					
W2	154.6800	153.9600	152.6400	152.9600	153.5200						100.3300	100.2200	100.3600	100.5600	100.4000
D2	154.4800	153.7600	152.7000	152.8800	153.2800						100.0600	99.9400	100.0600	100.1100	100.1200
W3	154.6200	154.1200	152.8800	153.0200	153.4600	100.1405	100.1430	100.1500	100.3405	100.2000					
D3	154.4200	153.8000	152.7000	152.7800	153.1200	99.9265	99.8605	100.0630	99.9065	99.9770					
W4	154.5600	154.0800	152.8800	153.0400	153.4800						100.2700	100.4900	100.2700	100.4100	100.3900
D4	154.3600	153.7800	152.7200	152.7200	153.2800						100.1000	99.9400	100.3400	100.1200	100.1800
W5	154.6000	154.0400	152.7800	153.1200	153.5200	100.0875	100.2730	100.2095	100.2620	100.3000					
D5	154.4000	153.8200	152.7200	152.7600	153.2600	100.0025	100.0325	99.9605	99.9590	.					
W6	154.5800	154.0600	152.8800	152.8400	153.6400						100.0600	100.1900	100.4400	100.2300	100.1400
D6	154.4800	153.8800	152.6200	152.8200	153.1800						99.8700	100.1100	100.2500	100.1700	99.7900
W7	154.8000	154.0400	152.6400	153.0800	153.4400	100.1890	100.1890	100.3570	100.0745	.					
D7	154.4400	153.9000	152.6800	152.8200	153.2400	100.0475	99.8370	99.9740	99.8930	.					
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 3 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 1 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

1(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	145.8800	145.8800	145.5600	145.1400	145.2200	100.0010	100.0190	99.8590	99.9405	99.9410	100.1800	100.1500	100.0400	100.0700	100.0400
W1	145.9200	146.1600	145.8400	145.2200	145.5400	100.3195	100.1995	99.9705	100.1300	100.0590					
D1	145.8000	145.8800	145.4000	144.9800	145.1400	99.8185	99.8465	99.8775	99.9795	99.9490					
W2	146.2200	146.1800	145.6000	145.2600	145.2400						100.3800	100.4500	100.2200	100.2200	100.1000
D2	145.7400	145.8200	145.4800	144.9600	145.2000						100.2600	100.0500	99.9600	100.1200	99.8100
W3	146.0200	146.2400	145.6800	145.3000	145.2800	100.2400	100.1395	100.2285	99.9990	100.1595					
D3	145.8000	145.7000	145.4800	145.0600	145.1600	99.8530	99.8855	99.8800	99.8850	99.8855					
W4	146.2600	146.0400	145.9000	145.1200	145.2600						100.3700	100.3100	100.2800	100.1700	100.2200
D4	145.8400	145.8000	145.4000	144.9600	145.1600						100.0000	99.7700	99.9500	99.8600	99.8100
W5	146.0400	145.9600	145.8000	145.1000	145.4400	100.2595	100.1400	100.2205	100.0590	100.0700					
D5	145.7200	145.8800	145.4000	144.9800	145.0400	99.8385	99.9350	99.8695	99.9255	99.8990					
W6	146.2400	146.0400	145.7600	145.1200	145.2200						100.5200	99.9500	100.1300	100.0100	100.3500
D6	145.7000	145.8000	145.5600	145.1000	145.2400						100.0500	99.8800	99.8300	100.0500	100.0900
W7	146.1600	146.0600	145.8000	145.1600	145.3200	100.1900	99.9905	100.1305	100.0405	.					
D7	145.7000	145.8800	145.5000	145.0800	145.0400	.	100.0440	99.7665	99.8320	.					
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 2 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

2(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.3800	150.1200	150.0800	150.1000	151.3800	99.8875	99.9320	99.9245	100.0785	100.0040	.	.	.	.	.
W1	150.4400	150.8200	151.0600	150.9800	150.8000	100.2255	99.8980	100.1085	100.1350	99.9400	.	.	.	.	.
D1	150.4600	150.5600	150.6800	150.5800	150.4200	99.9720	99.8685	99.7875	99.9425	99.8600	.	.	.	.	.
W2	150.5000	150.6800	150.7600	150.9600	150.7400	100.1510	99.9810	100.0270	100.2185	100.1035	.	.	.	.	.
D2	150.4000	150.5600	150.7200	150.5400	150.3600	99.9670	99.8650	99.8245	99.8460	99.9420	.	.	.	.	.
W3	150.5600	150.8400	150.8600	150.7600	150.4200	100.2545	99.9190	100.1830	99.9860	100.1560	.	.	.	.	.
D3	150.4400	150.6000	150.6400	150.5800	150.4000	99.9475	99.8035	99.8575	99.9175	99.8670	.	.	.	.	.
W4	150.4800	150.8200	150.7400	150.7400	150.8200	100.3295	100.1065	99.9845	100.1015	99.9280	.	.	.	.	.
D4	150.5000	150.5400	150.6400	150.6000	150.4400	99.9855	99.8875	99.8385	99.8270	99.8570	.	.	.	.	.
W5	150.5600	150.8600	151.0600	150.9000	150.6400	100.0505	99.9810	99.9525	100.1640	100.0925	.	.	.	.	.
D5	150.4400	150.5800	150.7000	150.5600	150.4600	.	99.9735	99.5285	99.8020	100.2460	.	.	.	.	.
W6	150.5800	150.7600	150.8200	150.6000	150.7800	.	99.9650	99.9105	100.1625	100.1935	.	.	.	.	.
D6	150.4400	150.6200	150.7200	150.6200	150.4600	.	.	99.8390	99.8440	.	.	.	.	.	.
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 5 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 2 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.2(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	153.0800	153.3400	152.3600	152.7000	152.8400	99.9915	100.0335	100.0110	100.0335	100.1135	100.1300	99.9800	100.0700	100.1800	100.1200
W1	153.2200	153.5000	152.3000	152.9200	152.7400	100.2585	100.2365	100.2565	100.1125	100.2395					
D1	153.0800	153.3600	152.3600	152.7200	152.7600	100.0045	99.9545	99.9590	99.9785	100.1405					
W2	153.1600	153.5800	152.3800	152.7000	153.0600						100.3800	100.4600	100.2200	100.4900	100.3900
D2	152.9800	153.2800	152.3600	152.7200	152.8600						100.0800	100.1700	99.9900	99.9600	100.1400
W3	153.3000	153.3600	152.5200	152.6200	152.9800	100.2185	100.0235	100.2820	100.2745	100.2675					
D3	153.0000	153.2600	152.2800	152.7000	152.8400	99.9165	99.9730	99.9420	100.0240	100.0565					
W4	153.2000	153.5800	152.4600	152.6200	153.0000						100.1300	100.4200	100.1700	100.2600	100.2500
D4	153.1000	153.3000	152.3000	152.6200	152.8600						99.9200	100.0200	100.2700	99.9400	100.0300
W5	153.4000	153.3800	152.6200	152.9400	153.1200	100.3095	100.0160	100.0540	100.2320	100.4675					
D5	153.0000	153.2600	152.3400	152.6400	152.7400	99.9680	100.0080	99.9120	99.9580	100.0835					
W6	153.1200	153.5000	152.4800	152.7600	152.8600						100.3300	100.5300	100.3200	100.4200	100.3400
D6	153.0600	153.3600	152.3400	152.6800	152.8400						100.0900	99.9700	100.1700	100.1900	100.1500
W7	153.3000	153.3800	152.4000	152.7400	152.8200	.	100.2980	100.2350	100.2905	100.2390					
D7	153.0000	153.2800	152.3400	152.6200	152.7600	.	100.0580	100.0240	100.0175	100.1400					
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 6 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 2 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.2(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	147.0600	147.8800	147.4600	146.7000	147.0200	99.9595	100.0995	100.1805	99.9400	100.5400	100.0400	100.1400	100.3200	100.1100	100.6600
W1	147.3000	147.9600	147.4800	146.8400	147.2200	100.0695	100.3300	100.3795	100.1300	100.7400					
D1	147.0600	147.8600	147.4200	146.6200	146.9800	99.9645	100.0920	100.1845	99.8820	100.5580					
W2	147.1800	148.1200	147.5600	146.7200	147.1600						100.0600	100.4700	100.6500	100.0800	100.9300
D2	147.0800	147.8200	147.4000	146.6600	147.0400						99.9200	100.2400	100.1900	100.1200	100.5600
W3	147.2800	148.0400	147.4800	146.8400	147.0600	100.1905	100.1795	100.2295	100.1700	100.7895					
D3	147.0000	147.8600	147.4000	146.7000	146.9400	99.9275	100.1160	100.1270	99.8850	100.5535					
W4	147.2200	147.9000	147.6800	146.7800	147.2000						100.2000	100.5600	100.6100	99.9900	100.9300
D4	147.0200	147.8400	147.4800	146.7200	147.0000						100.1200	100.3300	100.1700	99.9400	100.4100
W5	147.1000	147.9800	147.6600	146.9000	147.1000	100.1490	100.3490	100.3990	100.0205	100.7085					
D5	147.0600	147.8600	147.4800	146.7200	147.0200	99.9360	100.1055	100.1110	99.9580	100.5335					
W6	147.1800	147.8800	147.4600	146.9600	147.2400						100.4800	100.3500	100.3400	100.2400	100.9600
D6	147.0600	147.8600	147.4000	146.7000	146.9600						100.0100	100.1800	100.1200	99.8900	100.6400
W7	147.2800	147.9600	147.6400	146.7200	147.1600	.	100.2890	100.3690	100.1400	100.8100					
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 7 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 3 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

3(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	153.6600	153.1600	153.1000	153.2200	153.7200	100.0650	100.1120	100.1090	100.1060	100.0930	.	.	.	.	.
W1	153.7600	153.4200	153.4000	153.2400	153.9400	100.1540	100.4235	100.3205	100.1565	100.1270	.	.	.	.	.
D1	153.6400	153.0600	153.0600	153.1400	153.6000	99.9650	100.0500	100.1080	100.0520	100.0240	.	.	.	.	.
W2	153.9800	153.1600	153.1400	153.3400	153.9400	100.3220	100.2460	100.2615	100.2430	100.2275	.	.	.	.	.
D2	153.5600	153.1200	153.0400	153.1800	153.6400	100.0660	100.0740	100.0820	100.0170	100.0075	.	.	.	.	.
W3	153.8600	153.1400	153.2200	153.4600	153.7200	100.3885	100.3265	100.2400	100.3005	100.1720	.	.	.	.	.
D3	153.5400	153.1600	153.1200	153.1600	153.7200	100.0460	100.0265	100.0075	100.0415	100.0820	.	.	.	.	.
W4	153.8000	153.3200	153.2200	153.2600	153.9600	100.4140	100.3015	100.2085	100.3740	100.0600	.	.	.	.	.
D4	153.5400	153.1200	153.0600	153.1200	153.6600	100.0175	100.1005	100.0220	100.0540	99.9640	.	.	.	.	.
W5	153.9600	153.4400	153.1800	153.3800	154.0200	100.4055	100.1445	100.1235	100.1055	100.2080	.	.	.	.	.
D5	153.6400	153.0600	153.1200	153.2200	153.6800	100.0405	100.0235	100.0620	100.0055	99.9930	.	.	.	.	.
W6	153.8400	153.2000	153.0800	153.4800	153.8600	.	100.3045	100.1700	100.3005	100.3425	.	.	.	.	.
D6	153.6400	153.1800	153.0600	153.1200	153.6000	.	100.0165	99.9930	100.3440	100.0720	.	.	.	.	.
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 3 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.3(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	155.6800	154.2600	154.1000	154.1400	156.0000	99.9725	100.0090	100.0165	99.9920	100.1715	99.9100	100.1100	99.9400	100.0000	100.3700
W1	155.9000	154.4200	154.1400	154.2200	156.1400	100.2560	100.2770	100.1930	100.0550	100.4080					
D1	155.5800	154.2400	154.0800	154.1000	156.0200	99.9015	99.9675	99.9930	100.0140	100.1975					
W2	155.9400	154.4400	154.1600	154.1200	156.2600						100.3600	100.2100	100.3000	100.1900	100.4200
D2	155.7000	154.2000	154.0000	154.1200	155.9200						100.0400	100.0000	100.1500	100.0200	100.3400
W3	155.7200	154.4000	154.3000	154.1800	155.9800	99.9865	100.2490	100.2090	100.1145	100.3320					
D3	155.6000	154.1600	154.0600	154.0600	155.9600	99.9000	99.9175	99.9780	99.9405	100.1405					
W4	155.6800	154.3600	154.2800	154.0800	156.0600						100.0400	100.5700	100.2900	100.3000	100.3700
D4	155.6600	154.2400	154.0600	154.1400	156.0000						99.9200	100.0700	99.9700	100.2000	100.1500
W5	155.8600	154.5200	154.1800	154.1400	156.1200	100.1470	100.3010	100.2045	100.1445	100.5130					
D5	155.6600	154.2800	154.1000	154.0400	155.9800	99.9245	100.0070	100.0270	99.9885	100.0900					
W6	155.8200	154.5600	154.2200	154.0400	156.0800						100.2100	100.3200	100.3000	100.1600	100.3300
D6	155.7000	154.2400	154.0800	154.1000	156.0000						100.0800	100.2800	99.8800	100.2100	100.1000
W7	155.9400	154.3600	154.3800	154.0800	155.9200	100.2530	100.3475	100.0415	100.1140	100.4750					
D7	155.6800	154.2800	154.0000	154.1200	155.9200	.	99.9935	100.0415	99.8930	100.1825					
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 9 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 3 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.3(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.1000	151.5800	151.4800	152.1200	152.7600	100.1195	100.0800	100.0005	99.9190	99.9190	100.2500	100.2000	100.0600	99.9700	99.9200
W1	152.4400	151.6600	151.7400	152.2000	152.8400	100.4800	100.2600	100.0595	99.9290	100.1085					
D1	152.1200	151.5600	151.4000	152.0800	152.7400	100.0845	100.0190	99.9645	99.8840	99.8890					
W2	152.2200	151.6200	151.5400	152.3000	152.8400						100.5600	100.4000	100.3100	100.2100	100.2900
D2	152.0200	151.5800	151.4000	152.0400	152.6800						100.2500	100.1600	99.8900	99.9700	100.1300
W3	152.2400	151.7200	151.5000	152.2200	152.7600	100.2500	100.3190	100.2100	100.0695	100.1110					
D3	152.1200	151.6000	151.4200	152.0600	152.7000	100.1290	100.1015	99.9650	99.9335	99.8925					
W4	152.0800	151.8800	151.5600	152.0800	153.0400						100.3100	100.4400	100.2700	100.0700	100.2700
D4	152.0400	151.5400	151.4800	152.0600	152.7400						100.3200	100.2900	99.9600	99.9200	99.9100
W5	152.2200	151.6400	151.6400	152.2000	152.9400	100.1190	100.3690	100.0690	100.2700	100.0205					
D5	152.0600	151.5000	151.4200	152.0800	152.7800	.	100.0175	99.9970	99.9000	99.9125					
W6	152.3200	151.7600	151.5200	152.1600	153.0200						100.4100	100.0900	100.4800	100.2000	99.8700
D6	152.1000	151.5400	151.4200	152.1000	152.7400						100.0400	100.2700	100.1600	100.0600	99.8800
W7	152.3000	151.6600	151.6200	152.1200	152.8800	.	100.0795	100.3500	99.9295	100.1390					
D7	152.1200	151.5000	151.5000	152.1400	152.7200	.	100.0190	99.9775	99.9260	99.8515					
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 10 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 4 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.4(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	148.0000	148.0800	147.2200	146.4800	147.0600	100.6045	100.5830	101.6145	101.3330	100.5615	.	.	.	.	.
W1	148.1800	148.2200	147.2000	146.6400	147.1600	100.7910	100.6870	101.6875	101.4485	100.7765	.	.	.	.	.
D1	147.9600	148.0200	147.1800	146.4600	146.9800	100.5950	100.5620	101.5875	101.3255	100.4845	.	.	.	.	.
W2	148.2600	148.2400	147.3000	146.5200	147.2600	100.5885	100.6730	101.8545	101.5450	100.8070	.	.	.	.	.
D2	148.0200	148.0600	147.2200	146.5000	147.0400	100.5935	100.6180	101.6230	101.3470	100.4995	.	.	.	.	.
W3	148.1800	148.2200	147.2000	146.8000	147.2000	100.7030	100.8745	101.8400	101.3705	100.7460	.	.	.	.	.
D3	148.0000	148.0000	147.1600	146.5000	147.0800	100.5345	100.5290	101.5495	101.3200	100.5795	.	.	.	.	.
W4	148.1400	148.3600	147.4000	146.5400	147.0800	100.8860	100.6180	101.9110	101.4040	100.7085	.	.	.	.	.
D4	148.0000	148.0800	147.1400	146.5000	147.0200	100.6020	100.5205	101.5310	101.3405	100.5145	.	.	.	.	.
W5	148.2600	148.0600	147.4200	146.5800	147.1400	100.9120	100.5635	101.7165	101.4750	100.6510	.	.	.	.	.
D5	147.9200	148.0200	147.1800	146.4600	146.9800	100.6285	100.5615	101.5585	101.3320	100.5895	.	.	.	.	.
W6	148.1000	148.1000	147.3200	146.4600	147.1000	.	100.7960	101.9420	101.3595	100.7710	.	.	.	.	.
D6	147.9200	148.0400	147.2200	146.4600	147.0400	.	100.5040	101.5660	101.2790	100.5825	.	.	.	.	.
W7	148.2600	148.0600	147.4800	146.4600	147.0400	.	100.7745	101.7825	101.3425	100.8015	.	.	.	.	.
D7	147.9200	148.0000	147.1600	146.4400	146.9800	.	100.5605	101.6285	101.3100	100.5400	.	.	.	.	.
W8	148.2200	148.0800	147.6000	146.6200	147.2000	.	100.7050	101.5015	101.4675	100.6765	.	.	.	.	.
D8	147.9400	148.0200	147.1200	146.4200	147.0400	.	100.5030	101.5595	101.2735	100.4515	.	.	.	.	.
W9	148.2600	148.3800	147.5000	146.4200	146.9600	.	100.6555	101.6740	101.7595	100.4485	.	.	.	.	.
D9	147.9600	148.0200	147.1000	146.4200	147.0200	.	100.5600	101.5325	101.2035	100.4685	.	.	.	.	.
W10	148.3000	148.4600	147.4400	146.4000	147.2000	.	100.4910	101.6015	101.5755	100.6655	.	.	.	.	.
D10	147.9400	148.0200	146.9800	146.4200	146.8800	.	100.5000	101.5520	101.2530	100.4515	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 11 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 4 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.4(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	147.5800	147.7400	148.6400	149.7800	148.0000	99.9725	100.0955	100.2765	100.2150	99.9560	100.2400	100.2900	100.2300	100.4700	100.2200
W1	147.6200	147.9600	148.7800	149.8600	148.1000	100.2120	100.2300	100.4045	100.2915	100.0175					
D1	147.5600	147.7200	148.6600	149.7400	147.9400	99.9100	100.0545	100.2530	100.1995	99.9100					
W2	147.6600	148.0200	148.7400	150.0000	148.1600						100.0800	100.1000	100.7500	100.3400	100.5200
D2	147.4800	147.7000	148.6000	149.8000	147.9600						100.2100	100.0400	100.4400	100.3400	100.1000
W3	147.6400	148.1200	148.7400	150.0200	148.1400	100.1690	100.3125	100.2940	100.4705	100.1300					
D3	147.6000	147.6400	148.6600	149.7200	148.0000	99.9435	100.0460	100.2920	100.2260	99.9695					
W4	147.6800	147.9200	148.9400	150.0200	148.0800						100.3300	100.5100	100.5200	100.6200	100.1700
D4	147.5200	147.7000	148.5600	149.7400	147.9000						100.0600	99.9900	100.3000	100.1700	99.9900
W5	147.6400	148.0200	148.8200	150.0800	148.1200	100.1135	100.3300	100.4265	100.4435	100.0390					
D5	147.5200	147.6400	148.6600	149.7600	147.9200	99.9360	100.1075	100.2670	100.1965	99.8705					
W6	147.7200	147.7800	148.7000	150.1600	148.2400						100.3400	100.5600	100.6100	100.1500	100.3400
D6	147.6000	147.6400	148.5400	149.7200	147.9800						100.0300	100.1800	100.3900	100.0600	100.1300
W7	147.7800	147.7200	148.9000	149.8600	148.2000	100.0840	100.4580	100.3025	100.5700	99.9400					
D7	147.4800	147.7400	148.6000	149.7400	147.9200	99.8790	100.1125	100.2005	100.2495	99.9610					
W8	147.7000	147.9200	148.6400	149.8400	148.1400						100.1900	100.4200	100.3800	100.2600	100.2300
D8	147.5600	147.6600	148.5800	149.8000	148.0200						100.1000	99.9900	100.1900	100.5100	100.1300
W9	147.5400	147.9400	148.9400	150.1600	148.1000	100.2840	100.3380	100.3025	100.2380	100.2755					
D9	147.5400	147.7600	148.5800	149.8000	148.0200	99.8840	100.0790	100.2445	100.1405	99.9515					
W10	147.7200	147.7600	148.7800	150.1400	148.0200						100.3400	100.3000	100.5400	100.2400	100.2600
D10	147.5800	147.7000	148.6000	149.7800	147.9200						99.9200	100.1100	100.1500	100.2400	100.2000
W11	147.7800	147.7800	148.7200	150.1000	148.1000	100.1895	100.4060	100.4360	100.2345	100.1160					
D11	147.5400	147.7600	148.6200	149.7800	147.9800	99.9410	100.1010	100.2055	100.2260	99.9035					
W12	147.6000	148.1000	148.7400	149.7800	148.0600	99.9800	100.2395	100.4310	100.4720	99.9840	99.9700	100.1900	100.5600	100.5700	99.9700
D12	147.5200	147.7600	148.5600	149.7400	148.0000	99.9765	100.0240	100.2550	100.2325	99.8835	100.0400	99.9700	100.4400	100.4000	99.9700

ตาราง ก 12 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 4 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.4(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	145.5400	145.9800	146.1000	145.7000	145.3000	99.9600	100.2200	99.9995	99.9190	100.2400	100.0200	100.3700	100.1000	100.0800	100.4200
W1	145.7200	146.1800	146.1400	145.8000	145.5800	100.2590	100.3900	100.0505	99.9905	100.4195					
D1	145.5000	145.9600	146.1200	145.7200	145.2800	99.9360	100.1885	99.9695	99.9220	100.2780					
W2	145.7200	146.2000	146.1800	145.9400	145.5800						100.2200	100.3600	100.0600	100.1200	100.7000
D2	145.5600	146.0000	146.0800	145.6400	145.2600						100.1200	100.2000	100.0400	99.9100	100.3600
W3	145.5200	146.2600	146.0800	145.9200	145.4800	99.9290	100.4500	100.1995	100.1795	100.3905					
D3	145.5200	145.9400	146.0600	145.6800	145.2400	99.9805	100.2095	99.9410	99.8715	100.2020					
W4	145.6800	146.2800	146.3400	145.7200	145.2800						100.0200	100.6800	100.1900	100.1500	100.2800
D4	145.4800	145.9800	146.0800	145.7200	145.2600						100.0500	100.4600	99.9600	99.9500	100.2400
W5	145.6400	146.1800	146.3800	145.7200	145.3800	100.2395	100.3510	100.0605	100.1110	100.4095					
D5	145.5200	145.9600	146.0800	145.7200	145.2400	99.9325	100.2405	100.0275	99.9370	100.2600					
W6	145.8200	146.0400	146.1600	145.9200	145.3200						100.1200	100.5800	100.0600	100.1300	100.6300
D6	145.5600	146.0000	146.0800	145.6400	145.2400						100.1500	100.2100	100.0000	100.0100	100.2000
W7	145.6200	146.1000	146.2400	145.8000	145.3000	100.2500	100.4895	99.9790	100.0690	100.4805					
D7	145.4800	145.9200	146.1000	145.6800	145.2600	99.9865	100.2305	99.9500	99.9225	100.1790					
W8	145.5000	145.9600	146.3600	145.8600	145.3400						100.3700	100.6900	100.0900	100.1900	100.6300
D8	145.5600	146.0000	146.0800	145.6400	145.2600						100.1900	100.1100	100.1100	99.9800	100.3200
W9	145.5800	146.0200	146.4000	145.8000	145.5200	99.9790	100.5000	100.0795	100.0900	100.5400					
D9	145.5400	145.9800	146.1000	145.7200	145.2800	99.9185	100.1600	99.9300	99.8930	100.2255					
W10	145.5600	146.0200	146.3000	145.9000	145.4400						100.2300	100.4900	100.2400	100.0000	100.7200
D10	145.5600	145.9200	146.1000	145.6400	145.2600						100.0300	100.4200	100.2000	99.9900	100.3900
W11	145.5800	146.0200	146.1800	145.7400	145.3400	100.0200	100.5100	100.2290	100.0995	100.3390					
D11	145.5200	145.9600	146.0600	145.6400	145.3200	99.9645	100.2170	99.9610	99.9170	100.2100					
W12	145.5400	146.1800	146.1200	145.9600	145.2800						100.2300	100.5300	100.2400	100.2100	100.4000
D12	145.5200	146.0000	146.0600	145.6400	145.3200						100.1200	100.1100	100.1900	100.1300	100.4700

ตาราง ก 13 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 5 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.5(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.7600	153.3800	152.2600	152.2600	152.6400	100.2120	100.1095	99.9980	100.2350	100.0660	.	.	.	.	.
W1	152.9400	153.4400	152.5400	152.5400	152.9600	100.3715	100.1440	99.9950	100.4490	100.2060	.	.	.	.	.
D1	152.7000	153.3600	152.2000	152.2800	152.5600	100.1475	100.0575	100.0025	100.2290	100.0540	.	.	.	.	.
W2	152.9000	153.5000	152.4000	152.3200	152.8000	100.2385	100.3590	100.1725	100.3250	100.1880	.	.	.	.	.
D2	152.7200	153.4000	152.1800	152.2000	152.5600	100.2085	100.0500	99.9625	100.2435	100.0400	.	.	.	.	.
W3	152.8000	153.6400	152.4200	152.5400	152.7800	100.4585	100.3660	100.1850	100.2760	100.0205	.	.	.	.	.
D3	152.7000	153.3600	152.1800	152.2400	152.5800	100.2065	100.0795	99.9450	100.2545	100.0645	.	.	.	.	.
W4	152.7800	153.5600	152.5400	152.5400	152.8200	100.2965	100.1475	100.2775	100.4565	100.2800	.	.	.	.	.
D4	152.6800	153.3000	152.2600	152.2200	152.6000	100.2270	100.0625	99.9530	100.2155	100.0855	.	.	.	.	.
W5	152.8000	153.3600	152.3400	152.5400	152.7600	100.3290	100.3750	100.1135	100.4890	100.1030	.	.	.	.	.
D5	152.7800	153.3800	152.1800	152.2200	152.6200	100.1760	100.0780	99.9465	100.2495	100.0545	.	.	.	.	.
W6	152.7200	153.5200	152.5400	152.4400	152.9000	100.2540	100.0630	100.1130	100.5005	100.3185	.	.	.	.	.
D6	152.7200	153.3800	152.2400	152.2400	152.6200	100.1825	100.1100	99.9390	100.1690	100.0115	.	.	.	.	.
W7	153.0200	153.4400	152.3600	152.4600	152.7600	100.2275	100.2530	100.0515	100.3405	100.3645	.	.	.	.	.
D7	152.7800	153.3400	152.2600	152.2800	152.6200	100.2275	100.1295	99.9735	100.2415	100.0675	.	.	.	.	.
W8	152.9000	153.3800	152.3400	152.5000	152.6400	100.3485	100.2580	99.9975	100.6240	100.0975	.	.	.	.	.
D8	152.7600	153.4200	152.3000	152.3000	152.6200	100.1190	100.1450	99.9555	100.1815	100.0845	.	.	.	.	.
W9	152.9600	153.5800	152.4200	152.3800	152.8000	100.3345	100.2475	100.1625	100.3730	100.2465	.	.	.	.	.
D9	152.7400	153.3600	152.1800	152.2400	152.6800	100.1175	100.1380	99.9490	100.1670	100.0670	.	.	.	.	.
W10	152.8200	153.6200	152.4200	152.4800	152.6800	.	100.2565	100.1040	100.3420	100.3960	.	.	.	.	.
D10	152.7800	153.3200	152.2800	152.2600	152.5600	.	100.1065	99.9575	100.1750	100.0855	.	.	.	.	.
W11	152.8600	153.3600	152.5000	152.2800	152.8600	.	100.1345	100.3765	100.4395	100.2035	.	.	.	.	.
D11	152.8000	153.2800	152.2000	152.1800	152.6000	.	100.1310	99.9555	100.1505	.	.	.	.	.	.
W12	152.9400	153.6400	152.2400	152.4400	152.6200	.	100.2335	100.3415	100.3955	.	.	.	.	.	.
D12	152.6600	153.3200	152.1600	152.3000	152.6600	.	100.1040	99.9510	100.1375	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 14 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 5 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.5(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.3400	151.2000	152.3400	154.2200	151.9200	99.9895	99.9720	100.0400	100.0585	100.0490	100.1300	100.2100	100.1100	100.0000	100.2800
W1	151.6000	151.3600	152.4200	154.2400	152.2600	100.1280	100.1985	100.1385	100.2270	100.2680					
D1	151.2400	151.1000	152.3200	154.2000	151.9400	99.9425	99.9550	100.0745	100.0520	99.9795					
W2	151.4200	151.4600	152.4600	154.3800	152.2000						100.3500	100.3600	100.1000	100.1700	100.2200
D2	151.3000	151.1000	152.3000	154.2200	151.9200						99.9600	99.9000	99.9400	100.0800	100.1100
W3	151.4400	151.4400	152.4200	154.4200	152.3000	100.1090	100.1125	100.1990	100.0835	100.3040					
D3	151.3200	151.2200	152.2400	154.2400	151.9400	99.9250	99.9735	100.0750	100.0015	100.0850					
W4	151.6000	151.4000	152.4200	154.1400	152.2000						100.3800	100.2200	100.1600	100.2600	100.3500
D4	151.2800	151.1400	152.2600	154.1800	151.9200						99.9500	100.2500	99.9700	100.2000	99.9800
W5	151.5800	151.3400	152.6800	154.2000	152.0400	100.2970	100.1000	100.0175	100.2305	100.2670					
D5	151.2800	151.2200	152.3200	154.1400	151.8200	99.9840	99.8910	100.0350	100.0680	99.9920					
W6	151.4000	151.1000	152.7600	154.4800	151.9400						100.4800	100.4100	100.3700	100.3200	100.4300
D6	151.2800	151.2000	152.3400	154.2200	151.8400						100.1600	100.1100	100.0900	100.0300	100.1200
W7	151.3200	151.4600	152.4600	154.5000	152.0600	100.1695	100.2300	100.2335	100.1590	100.2105					
D7	151.3600	151.2200	152.2800	154.1600	151.9400	99.9310	99.8965	100.0460	100.0405	99.9625					
W8	151.4200	151.4200	152.5800	154.3400	152.0200						100.4600	100.2400	100.5600	100.0600	100.5300
D8	151.3400	151.1800	152.2600	154.1600	151.9400						99.9600	99.9800	99.9800	100.0400	100.0200
W9	151.5200	151.4600	152.3800	154.2800	151.9400	100.2240	100.0795	100.3180	100.1485	100.3085					
D9	151.3600	151.2200	152.3200	154.2000	151.9400	99.9740	99.9560	99.9655	100.0430	99.9580					
W10	151.3600	151.3200	152.4000	154.4400	151.9200						100.5100	100.4100	100.2200	100.2500	100.2600
D10	151.2600	151.1600	152.2800	154.2400	151.8400						99.8800	100.0300	100.2300	100.0300	100.0900
W11	151.4400	151.4800	152.4600	154.4800	152.0000	100.2405	100.0995	100.2295	100.2385	100.1745					
D11	151.3200	151.2000	152.3200	154.2400	151.8600	99.8940	100.0095	100.0015	100.0610	99.9730					
W12	151.6600	151.4600	152.4400	154.3200	151.8600	100.0395	100.1640	100.3465	100.2840	100.1035	100.1700	100.2100	100.3600	100.3200	100.1000
D12	151.3200	151.2000	152.2800	154.2000	151.9400	99.9740	99.9340	100.0260	100.0650	100.0530	100.1600	100.0800	100.2900	100.0700	100.2000

ตาราง ก 15 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 5 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.5(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.1600	150.4200	150.3200	150.1400	150.4800	100.0605	99.9205	100.0000	100.0190	100.0800	100.1300	100.0400	100.1500	100.1200	100.0100
W1	151.4000	150.4000	150.5800	150.3000	150.7400	100.0895	100.1395	100.1400	100.2305	100.2700					
D1	151.1600	150.3400	150.2400	150.1000	150.4800	99.9945	99.9405	100.0370	100.0475	100.0980					
W2	151.3800	150.7000	150.6200	150.4200	150.5000						100.1300	100.2900	100.1500	100.3200	100.2700
D2	151.1800	150.3000	150.2600	150.0400	150.4800						100.3000	99.9900	100.0500	100.0500	100.0900
W3	151.3600	150.4600	150.5400	150.3000	150.6400	100.2405	100.1705	100.0790	100.1300	100.2490					
D3	151.0600	150.3000	150.2000	150.0600	150.4400	100.0765	99.8490	99.9010	100.0095	99.9735					
W4	151.1400	150.4800	150.3400	150.3600	150.7200						100.0800	100.1600	100.3500	100.1900	100.4400
D4	151.0600	150.4000	150.3000	150.1600	150.5000						100.0300	100.0100	99.9500	99.9800	100.3500
W5	151.4200	150.4600	150.3800	150.3800	150.7200	100.1710	100.0390	100.2695	100.1795	100.1900					
D5	151.0400	150.4400	150.2200	150.0600	150.4800	100.0375	99.8170	99.9705	99.9540	100.1140					
W6	151.4200	150.6000	150.6000	150.2600	150.6400						100.3500	100.0700	100.1600	100.2400	100.1900
D6	151.1200	150.3800	150.3000	150.1200	150.4800						100.3200	99.9900	100.2600	100.1700	100.2200
W7	151.4200	150.6600	150.6000	150.2400	150.5400	100.1585	100.1100	100.0795	100.2205	100.1705					
D7	151.1000	150.4000	150.2400	150.1200	150.4600	99.9660	99.8440	99.9675	100.0470	99.9915					
W8	151.3800	150.6400	150.5000	150.4200	150.6000						100.3200	99.9800	99.9900	100.3200	100.5000
D8	151.0600	150.4200	150.2800	150.1000	150.4800						100.2000	99.9300	100.2100	100.1800	100.0100
W9	151.2400	150.5800	150.5200	150.3600	150.7600	100.1900	99.9995	100.0810	100.1690	100.3605					
D9	151.0800	150.3800	150.2200	150.0600	150.4200	99.9465	99.9350	99.9685	99.9795	100.1040					
W10	151.2400	150.6000	150.4000	150.3000	150.6000						100.4200	100.2000	100.0900	100.1000	100.2700
D10	151.1000	150.3800	150.2400	150.0800	150.5000						100.0300	99.9300	100.0600	100.1800	100.1900
W11	151.2000	150.7200	150.5400	150.1200	150.5200	100.1905	100.1190	100.0805	100.2895	100.2190					
D11	151.1400	150.4400	150.2400	150.0600	150.4800	100.0830	99.8325	99.8735	100.0240	100.0600					
W12	151.4400	150.6200	150.4600	150.1200	150.4400						100.2900	100.1900	100.2700	100.2800	100.4900
D12	151.1800	150.3000	150.2400	150.0200	150.4400						100.2500	99.8800	100.1600	100.1700	100.1400

ตาราง ก 16 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 6 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.6(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.9800	153.8400	153.5000	154.5800	154.6600	100.2025	100.1670	100.1165	100.2570	100.0850	.	.	.	.	.
W1	153.1400	154.0400	153.8000	154.6600	154.8000	100.2965	100.2660	100.1330	100.3605	100.3780	.	.	.	.	.
D1	153.0200	153.7200	153.4800	154.7600	154.5000	100.2120	100.1410	99.9175	100.2755	100./225	.	.	.	.	.
W2	153.1600	153.8000	153.7000	154.7400	154.6400	100.3650	100.4995	100.1980	100.2850	100.2625	.	.	.	.	.
D2	152.8800	153.7800	153.4600	154.5800	154.5800	100.2055	100.1375	100.0235	100.2630	99.9905	.	.	.	.	.
W3	153.2000	154.0400	153.5800	154.7200	154.7600	100.2010	100.4660	100.2025	100.5910	100.1930	.	.	.	.	.
D3	152.9000	153.7400	153.4200	154.5600	154.5600	100.1470	100.1660	100.0675	100.2680	99.9835	.	.	.	.	.
W4	153.1400	153.9600	153.7400	154.7600	154.9000	100.4600	100.2375	100.4155	100.3540	100.1695	.	.	.	.	.
D4	152.9400	153.8200	153.4400	154.5000	154.5800	100.2080	100.1580	100.0980	100.2650	100.1065	.	.	.	.	.
W5	153.1200	154.1200	153.6600	154.5400	154.7400	100.2960	100.1980	100.4065	100.2585	100.3185	.	.	.	.	.
D5	152.8800	153.8200	153.4000	154.5000	154.6000	100.1240	100.1170	100.0105	100.1890	100.1020	.	.	.	.	.
W6	153.2400	153.8000	153.5800	154.6200	154.9800	100.3970	100.3130	100.3545	100.2495	100.3450	.	.	.	.	.
D6	152.9600	153.7400	153.4600	154.5600	154.5800	100.1375	100.0710	100.0435	100.1630	100.1040	.	.	.	.	.
W7	153.0400	153.8200	153.7000	154.7200	154.9200	100.1660	100.3570	100.2290	100.3260	100.2685	.	.	.	.	.
D7	152.9000	153.8600	153.4000	154.5600	154.6800	100.1320	100.1820	100.0315	100.1615	100.0260	.	.	.	.	.
W8	153.1200	153.8600	153.5800	154.7800	154.6400	100.1235	100.5230	100.4960	100.4435	100.2585	.	.	.	.	.
D8	152.9600	153.8000	153.4000	154.6200	154.5600	100.1680	100.1505	99.9600	100.1740	100.1370	.	.	.	.	.
W9	153.1600	154.0000	153.6200	154.5400	154.6800	100.2135	100.0915	100.4930	100.7365	100.4260	.	.	.	.	.
D9	153.0200	153.8600	153.5000	154.6200	154.6000	100.1830	100.0215	100.0500	100.2130	99.9775	.	.	.	.	.
W10	153.0200	153.8000	153.5200	154.7600	154.9000	100.2050	100.2710	100.3545	100.2970	100.5280	.	.	.	.	.
D10	152.9200	153.7400	153.4600	154.5600	154.6400	100.0940	100.1745	100.1310	100.1895	100.0480	.	.	.	.	.
W11	153.0400	153.8600	153.6400	154.7600	154.6800	100.4250	100.3300	100.1955	100.4580	100.5615	.	.	.	.	.
D11	153.0200	153.8400	153.5000	154.6000	154.7000	100.1315	100.1230	100.1305	100.1375	99.9590	.	.	.	.	.
W12	153.2200	154.0400	153.6000	154.6400	154.7800	.	100.3825	100.2715	100.3975	100.2455	.	.	.	.	.
D12	152.9400	153.7800	153.4000	154.5200	154.6800	.	100.1405	100.0680	100.2975	100.0490	.	.	.	.	.

ตาราง ก 17 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 6 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.6(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.5800	152.2800	152.1800	150.5200	150.7800	100.1900	100.0730	100.1315	100.1135	100.0600	100.2200	100.1600	100.1900	100.3100	100.1000
W1	150.6800	152.4600	152.4600	150.7800	150.9000	100.1730	100.2400	100.4490	100.2420	100.1675					
D1	150.4800	152.1600	152.0600	150.4000	150.6800	100.1035	100.0555	100.0425	100.0210	100.0885					
W2	150.8000	152.5200	152.2600	150.7400	150.8000						100.1700	100.4400	100.1500	100.3400	100.3000
D2	150.4800	152.2400	152.1000	150.4600	150.6600						100.1400	100.1800	100.3600	100.3900	100.2500
W3	150.7000	152.4400	152.1600	150.6400	150.8600	100.4970	100.2600	100.1025	100.2150	100.2665					
D3	150.5000	152.2200	152.1400	150.4200	150.6600	100.0920	100.0000	100.1300	100.0520	99.9525					
W4	150.8600	152.4800	152.4600	150.5400	150.7800						100.4600	100.6400	100.4600	100.0900	100.3200
D4	150.5800	152.1600	152.1000	150.4600	150.6800						100.2500	100.1900	100.0300	100.0500	100.0400
W5	150.6000	152.4800	152.1400	150.6400	150.9800	100.3160	100.3945	100.2345	100.0995	100.2585					
D5	150.5400	152.2000	152.1800	150.5000	150.8000	100.1070	99.9750	100.0820	100.1110	99.9490					
W6	150.8600	152.6000	152.3000	150.5400	151.1200						100.5200	100.3900	100.2600	100.3800	100.3400
D6	150.5200	152.2000	152.1400	150.4800	150.7800						100.1900	100.0800	100.1700	100.2400	100.1400
W7	150.6600	152.2800	152.4000	150.6200	151.0800	100.3100	100.2500	100.2500	100.0945	100.2765					
D7	150.5400	152.2800	152.0600	150.5400	150.6600	100.1345	100.0020	100.0700	100.0415	100.0025					
W8	150.6400	152.5000	152.3400	150.6400	150.9800						100.5900	100.3200	100.2800	100.1900	100.3500
D8	150.5200	152.2800	152.1600	150.4000	150.7000						100.0500	100.2100	100.1500	100.1600	100.0200
W9	150.6200	152.5200	152.4200	150.7000	150.8200	100.3265	100.2090	100.2880	100.1940	100.2945					
D9	150.5800	152.2800	152.1800	150.4600	150.6800	100.1060	100.0300	100.1415	100.1110	100.0270					
W10	150.6400	152.4000	152.1200	150.8800	151.0200						100.4900	100.1900	100.1900	100.2100	100.2200
D10	150.5800	152.1600	152.0800	150.5400	150.7800						100.2000	100.1600	100.2100	100.2000	100.0700
W11	150.5200	152.4600	152.3000	150.7600	150.8600	100.4255	100.2245	100.2590	100.2915	100.2260					
D11	150.5600	152.1800	152.1800	150.5200	150.6800	100.2025	100.0035	100.0075	100.0460	100.0755					
W12	150.6600	152.3400	152.4200	150.9200	150.8000	100.2045	100.1735	100.4340	100.2305	100.2500	100.3200	100.1300	100.6700	100.5000	100.3300
D12	150.6000	152.2000	152.1800	150.4000	150.7600	100.2030	100.0115	100.0575	100.1430	100.0030	100.1800	99.9400	100.0500	100.3000	100.1100

ตาราง ก 18 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 6 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.6(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.2200	150.0400	149.1600	149.3200	150.8400	100.1800	100.1195	100.0195	100.0795	100.7395	100.3200	100.2200	100.1600	100.2500	101.0000
W1	150.3800	150.2600	149.2000	149.3000	151.1200	100.4700	100.2490	100.2995	100.0990	100.8600					
D1	150.1200	149.9200	149.0600	149.2600	150.7600	100.1475	100.1390	99.9495	100.0970	100.6505					
W2	150.4000	150.1800	149.2400	149.2800	151.1200						100.3700	100.3700	100.4200	100.3500	101.0400
D2	150.1600	149.9400	149.1800	149.2200	150.8200						100.3200	100.0200	99.9400	99.9800	100.7900
W3	150.5000	150.1000	149.2800	149.5200	150.8400	100.2690	100.4195	100.0695	100.1995	100.9995					
D3	150.1600	150.0400	149.1000	149.2600	150.8200	100.0505	100.1225	100.0065	99.9850	100.6670					
W4	150.4000	150.1000	149.1600	149.4800	151.0800						100.2700	100.3800	100.2600	100.5000	100.9500
D4	150.2200	150.0600	149.0400	149.3400	150.8200						100.2700	100.0900	100.2200	100.3700	100.7100
W5	150.4200	150.1200	149.2200	149.5200	151.1000	100.2695	100.1900	100.1905	100.2695	100.9695					
D5	150.1000	150.0000	149.1800	149.3200	150.8400	100.0805	100.0680	99.9070	100.0310	100.6655					
W6	150.4600	150.0800	149.2400	149.4600	151.0000						100.4800	100.4200	100.1700	100.3400	101.1400
D6	150.1600	149.9600	149.0800	149.2600	150.8600						100.2700	100.0500	100.0800	100.0600	100.8900
W7	150.3200	150.2600	149.2400	149.3200	150.8800	100.3605	100.2090	100.2000	100.1995	100.9500					
D7	150.2400	149.9600	149.1400	149.2400	150.8000	100.1060	100.0605	99.9095	100.0880	100.6775					
W8	150.3000	150.3200	149.2000	149.3800	150.9600						100.4500	100.2900	100.1700	100.2500	100.8900
D8	150.1000	149.9600	149.1400	149.2200	150.8000						100.0800	100.2600	100.1300	100.1300	100.6700
W9	150.2800	150.2200	149.2400	149.4000	151.0800	100.3085	100.2600	100.2590	100.2895	100.7690					
D9	150.2200	149.9200	149.1800	149.2000	150.7200	100.1100	100.1520	99.9945	100.0385	100.6675					
W10	150.3200	150.3000	149.2400	149.4000	151.0600						100.5600	100.3500	100.0100	100.2100	101.1200
D10	150.1000	149.9200	149.1000	149.2000	150.7400						100.2000	100.2200	100.0100	100.0000	100.8200
W11	150.3000	150.1000	149.2200	149.5400	151.1400	100.3005	100.3205	100.3195	100.1805	100.7505					
D11	150.1200	149.9400	149.0400	149.2800	150.8200	100.1560	100.1105	99.9815	100.0840	100.7415					
W12	150.2600	150.1200	149.1800	149.5600	151.1400						100.2100	100.3500	100.2800	100.2700	100.9400
D12	150.1600	149.9200	149.1400	149.3000	150.7800						100.2100	100.2200	99.9300	100.3100	101.0200

ตาราง ก 19 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 7 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.7(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	149.7800	150.1200	150.1400	149.8200	149.8000	100.1140	100.1065	99.9560	100.0055	100.0840	.	.	.	.	.
W1	149.9000	150.3400	150.1000	149.8800	150.0000	100.3190	100.2300	99.9565	100.2420	100.2575	.	.	.	.	.
D1	149.7800	150.0800	150.1200	149.8400	149.8000	100.0495	100.1225	99.8685	99.9355	100.0840	.	.	.	.	.
W2	149.9600	150.1600	150.2400	149.9600	149.7800	100.3680	100.2200	100.2150	99.9980	100.5400	.	.	.	.	.
D2	149.6600	150.1200	150.0200	149.7400	149.7600	100.0500	100.0190	99.8775	99.9010	99.9965	.	.	.	.	.
W3	149.9200	150.3200	150.3000	150.0200	149.9600	100.1365	100.2145	100.1330	100.0595	100.2085	.	.	.	.	.
D3	149.7800	150.1200	150.1400	149.7800	149.7000	100.0250	100.0060	99.8865	99.9230	100.0710	.	.	.	.	.
W4	149.9400	150.2200	150.2000	149.9200	149.9800	100.1770	100.2505	100.0370	100.1825	100.3485	.	.	.	.	.
D4	149.7200	150.1000	150.0400	149.7800	149.7200	100.0105	100.0390	99.8505	99.9300	100.0450	.	.	.	.	.
W5	149.7600	150.3600	150.3800	149.7800	149.9400	100.2055	100.1860	100.0165	100.0650	100.3505	.	.	.	.	.
D5	149.7200	150.0200	150.1000	149.7400	149.6800	100.0305	100.0485	99.9335	99.9825	.	.	.	.	.	.
W6	149.7600	150.3000	150.4200	149.8000	149.7800	100.3355	100.2160	100.1295	100.0185	.	.	.	.	.	.
D6	149.7600	150.1400	150.1400	149.8200	150.0000	100.1075	100.1120	99.9590	100.0065	.	.	.	.	.	.
W7	150.0000	150.1000	150.2200	149.8600	149.9800	100.2180	100.3045	100.1870	100.1580	.	.	.	.	.	.
D7	149.7600	150.0600	150.0600	149.7600	149.8200	100.1120	100.0945	99.9175	99.9320	.	.	.	.	.	.
W8	149.9400	150.1400	150.1400	149.9200	150.0000	100.3400	100.0925	100.3200	99.9440	.	.	.	.	.	.
D8	149.7200	150.0600	150.0600	149.7800	149.7800	100.0840	99.9835	99.8485	99.9665	.	.	.	.	.	.
W9	149.8200	150.1800	150.3400	149.8200	149.9400	100.1725	100.2585	100.2955	100.0225	.	.	.	.	.	.
D9	149.7800	150.0600	150.1400	149.8200	149.7400	100.1375	99.9600	99.8385	100.0245	.	.	.	.	.	.
W10	149.9600	150.3200	150.1200	149.8400	149.8800	100.1700	100.3880	99.9270	100.3460	.	.	.	.	.	.
D10	149.7600	150.1400	150.1400	149.8600	149.7800	100.1560	99.9250	99.9400	99.9405	.	.	.	.	.	.
W11	149.8200	150.0800	150.2000	149.7800	149.8600	100.2620	100.4155	99.9740	100.2160	.	.	.	.	.	.
D11	149.8200	150.0400	150.1200	149.7600	149.8000	100.0505	99.9405	99.9745	99.9075	.	.	.	.	.	.
W12	149.8600	150.1200	150.2400	150.0000	149.9400	100.3665	100.3335	99.9985	100.0920	.	.	.	.	.	.
D12	149.6600	150.1400	150.0400	149.7400	149.7000	100.0790	100.1285	99.8940	99.8325	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 20 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 7 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.7(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.0000	150.2000	150.1600	150.1200	150.7800	100.0160	100.0990	100.1185	100.1745	100.0900	100.0100	100.2000	100.3800	100.3200	100.0600
W1	151.0000	150.3600	150.4800	150.2000	150.9800	100.2520	100.2330	100.2570	100.3620	100.2615					
D1	150.8200	150.2000	150.1400	149.9800	150.7600	99.9015	99.9500	100.1185	100.0535	100.0165					
W2	151.1600	150.2000	150.5400	150.3200	151.0800						100.0800	100.3600	100.4100	100.5600	100.1900
D2	150.9600	150.1000	150.1600	149.9800	150.6800						99.8100	99.9600	100.1700	100.0500	100.0800
W3	151.0400	150.2200	150.4400	150.2000	150.9400	100.2275	100.2185	100.3040	100.3245	100.1085					
D3	150.9800	150.1000	150.0400	149.9200	150.7200	99.8835	99.9985	99.9950	100.2075	99.9230					
W4	151.0000	150.4400	150.3200	150.2200	150.8800						100.2200	100.3900	100.5300	100.3600	100.4000
D4	150.8000	150.1600	150.0400	149.9200	150.6400						100.0600	99.9900	100.3500	100.3100	100.0600
W5	151.2000	150.2600	150.5000	150.2600	150.8600	100.2645	100.1030	100.2350	100.3725	100.1810					
D5	150.8600	150.0400	149.9400	149.9200	150.5800	99.8835	100.0545	99.9230	99.9555	100.0730					
W6	151.2000	150.2600	150.4000	150.1600	151.0800						100.5200	100.3000	100.3600	100.5800	100.2600
D6	150.9600	150.0000	149.9400	150.1000	150.6600						99.9200	99.9700	100.0400	100.0100	100.2700
W7	151.2400	150.2400	150.2400	150.4000	150.9400	100.1605	100.1830	100.1530	100.3550	100.2895					
D7	150.9200	150.0400	150.0400	150.1200	150.6600	99.8040	100.0395	99.9265	100.1010	99.9205					
W8	151.3800	150.4600	150.1400	150.2200	150.8800						100.3300	100.6100	100.2100	100.4400	100.2100
D8	150.9600	150.1800	150.1400	150.0400	150.6800						100.0800	100.2900	100.0600	100.2900	100.0400
W9	151.0200	150.4800	150.3600	150.4400	150.8800	100.3075	100.2975	100.1790	100.1470	100.1720					
D9	150.8000	150.2200	150.0800	150.1400	150.5800	100.0160	100.0955	99.9980	99.9615	99.9555					
W10	151.3400	150.2400	150.1000	150.3600	150.8000						100.3200	100.1100	100.1800	100.4200	100.3600
D10	150.9400	150.0600	149.9800	149.9400	150.7800						100.1100	100.0400	100.1900	100.1400	100.0000
W11	151.3600	150.3200	150.1600	150.3200	151.0000	100.0380	100.2445	100.1540	100.4280	100.2395					
D11	150.8200	150.1400	150.0800	149.9600	150.6600	99.8840	100.1180	99.9270	100.1935	100.0300					
W12	151.2600	150.3400	150.1800	150.3000	151.0200	100.3205	100.1720	100.1095	100.3800	100.2875	100.3500	100.2600	100.2900	100.5000	100.3600
D12	150.8600	150.1600	150.1800	150.0000	150.7200	99.9375	100.0970	100.0495	99.9925	99.8775	100.0100	100.0700	100.2600	100.1100	100.0900

ตาราง ก 21 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 7 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.7(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	147.8600	146.9800	147.2000	147.6200	147.8000	100.9410	100.1605	100.1010	99.9600	100.3195	100.8900	100.1600	100.2400	100.0100	100.2900
W1	148.0800	147.1400	147.3200	147.6000	148.0800	101.1495	100.3100	100.3700	99.9695	100.4695					
D1	147.6800	146.7800	147.0600	147.5000	147.8000	100.8025	100.1475	99.9980	99.9855	100.1570					
W2	148.0600	147.2400	147.4400	147.6600	147.9800						101.0400	100.4700	100.3400	100.0700	100.5300
D2	147.8600	146.8600	147.0200	147.5800	147.7600						100.9800	100.2800	99.9000	99.8700	100.1700
W3	147.9600	147.0000	147.1800	147.7800	148.1000	101.1900	100.3290	100.2900	100.0190	100.4005					
D3	147.8600	146.8200	147.0600	147.4800	147.7600	100.9065	100.0215	99.9195	99.8585	100.3195					
W4	147.9800	147.2200	147.3000	147.8200	147.8400						101.1800	100.4700	100.6300	100.1900	100.5200
D4	147.6600	146.8000	147.2200	147.4000	147.7600						101.0700	100.3200	100.2600	100.0400	100.1200
W5	147.9200	147.0400	147.4600	147.8400	148.0400	101.0295	100.2000	100.3305	100.0390	100.5690					
D5	147.7800	146.9200	147.2200	147.5600	147.8200	100.8245	100.0045	99.9820	99.8250	100.2265					
W6	147.8800	147.2600	147.4600	147.8400	147.8400						101.0600	100.2600	100.2200	100.5100	100.5400
D6	147.7800	147.0000	147.0000	147.4400	147.7600						101.0700	100.2000	100.0000	99.9500	100.2100
W7	147.9000	147.2400	147.4000	147.7600	147.9000	101.0295	100.3400	100.2900	100.2090	100.3205					
D7	147.6800	146.8400	147.1000	147.5600	147.7400	100.9055	100.0285	100.0900	99.8090	100.2900					
W8	148.1200	147.1000	147.4600	147.8600	148.0000						101.3100	100.5700	100.1600	100.0400	100.4500
D8	147.8200	146.8400	147.1200	147.6200	147.5800						100.7400	100.2500	100.0600	99.9800	100.3500
W9	148.1200	146.9600	147.3400	147.8400	148.0000	101.1405	100.2995	100.2405	100.1485	100.3405					
D9	147.7600	146.8200	146.9800	147.5200	147.7200	100.8200	100.1535	100.1175	99.9765	100.3265					
W10	148.0200	147.2800	147.4000	147.8400	147.8200						101.3400	100.1500	100.4700	100.1000	100.3400
D10	147.7200	146.8200	147.0200	147.4800	147.6400						101.1100	100.1300	99.8900	99.7000	100.1500
W11	148.0800	147.2600	147.3200	147.7400	147.8000	100.9490	100.2990	100.4000	100.1695	100.5505					
D11	147.7400	146.8600	147.0800	147.6400	147.6400	100.9260	100.0965	100.0440	99.9975	100.1185					
W12	148.0200	147.0800	147.4400	147.8800	147.8200						101.3500	100.3000	100.2600	100.2600	100.4900
D12	147.7200	146.8200	147.2000	147.5200	147.7000						100.7400	100.2500	99.9800	99.8900	100.3700

ตาราง ก 22 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 8 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.8(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.1800	150.7200	151.0800	150.3000	150.4200	99.9940	100.0475	100.0180	100.0840	100.2180	.	.	.	.	.
W1	151.1600	150.9400	151.3200	150.3600	150.5800	100.1740	100.1285	100.0395	100.2045	100.3065	.	.	.	.	.
D1	151.1800	150.7200	151.0200	150.2600	150.4000	99.9420	99.9705	99.9890	100.0015	100.1605	.	.	.	.	.
W2	151.3200	150.9000	151.2800	150.5200	150.6000	100.0210	100.1250	100.1635	100.1095	100.2695	.	.	.	.	.
D2	151.1600	150.6600	150.9800	150.2600	150.3800	99.9575	100.0035	99.9315	99.9945	100.1735	.	.	.	.	.
W3	151.4200	150.9200	151.1600	150.4600	150.4000	100.0305	100.1570	100.1740	100.1990	100.4060	.	.	.	.	.
D3	151.1600	150.6400	151.0600	150.2200	150.3600	99.9600	100.0085	99.9575	100.0090	100.1525	.	.	.	.	.
W4	151.3800	150.9600	151.2800	150.4400	150.5600	99.9610	100.2100	100.0490	100.1260	100.3960	.	.	.	.	.
D4	151.1600	150.7000	151.0800	150.2600	150.4000	99.9345	99.9940	99.9630	100.0020	100.1645	.	.	.	.	.
W5	151.3600	150.7400	151.2800	150.5200	150.5200	99.9895	100.1810	100.1230	100.2475	100.3520	.	.	.	.	.
D5	151.1400	150.7400	151.1000	150.3200	150.4400	99.9175	99.9620	99.9840	100.0135	100.1645	.	.	.	.	.
W6	151.2400	150.8400	151.2200	150.5200	150.5800	100.0915	100.1700	100.0880	100.1000	100.3060	.	.	.	.	.
D6	151.1600	150.7200	151.0000	150.3000	150.4000	99.8825	99.9640	99.9525	100.0190	100.2105	.	.	.	.	.
W7	151.2800	150.7600	151.0800	150.5000	150.4400	100.0665	100.1715	99.9890	100.2275	100.3040	.	.	.	.	.
D7	151.1800	150.7200	151.0200	150.2600	150.3800	99.9310	100.0280	99.9290	100.0410	100.1485	.	.	.	.	.
W8	151.2600	150.8800	151.2800	150.3400	150.5800	100.1370	100.1485	100.2075	100.0180	100.2275	.	.	.	.	.
D8	151.1800	150.6400	151.0800	150.2600	150.4200	99.9515	100.0095	99.9750	100.0045	100.1680	.	.	.	.	.
W9	151.2600	150.7200	151.1200	150.5000	150.4200	100.1885	100.1365	99.9795	100.3770	100.4095	.	.	.	.	.
D9	151.0800	150.6600	151.0400	150.2000	150.4600	99.9425	99.9515	100.0085	99.9975	100.2210	.	.	.	.	.
W10	151.3800	150.7800	151.1600	150.4000	150.4800	100.0135	100.3215	100.1475	100.0620	100.2910	.	.	.	.	.
D10	151.1000	150.7000	151.0000	150.2000	150.3600	99.9375	100.0765	99.9905	99.9525	100.1625	.	.	.	.	.
W11	151.2000	150.8200	151.2600	150.3600	150.4000	100.0175	100.1430	100.3940	100.0705	100.3235	.	.	.	.	.
D11	151.1600	150.7600	151.1000	150.1800	150.4200	.	100.0595	99.8895	100.0395	100.1220	.	.	.	.	.
W12	151.3800	150.7000	151.2600	150.4400	150.5600	.	100.0195	100.0465	100.1595	100.4190	.	.	.	.	.
D12	151.0800	150.7400	151.0800	150.2200	150.3800	.	100.0195	100.0055	100.0140	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 23 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 8 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.8(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.1400	153.0600	151.5400	151.7000	151.1800	100.0775	100.1195	100.7320	99.9750	100.4585	100.0300	100.3100	100.9500	100.2000	100.4500
W1	152.2400	153.1600	151.5400	152.0000	151.2400	100.2395	100.1400	100.8690	100.2105	100.5015					
D1	152.0800	152.9400	151.4800	151.6200	151.0200	100.0085	99.9325	100.6785	99.9675	100.3275					
W2	152.4000	153.1800	151.5800	151.9000	151.4600						100.2700	100.2000	100.9300	100.2900	100.4500
D2	152.0600	153.0000	151.3600	151.6800	151.1400						100.1900	100.1300	100.6200	99.8600	100.4400
W3	152.1600	153.2600	151.7600	151.8200	151.2600	100.2820	100.0890	100.8505	100.1735	100.6150					
D3	152.0200	153.0600	151.4200	151.6600	151.2000	99.9900	100.1585	100.6300	99.9765	100.3735					
W4	152.3600	153.3000	151.5800	151.9200	151.2800						100.5100	100.2000	100.9100	100.2900	100.6500
D4	152.1400	153.0800	151.4600	151.6400	151.0800						100.3700	100.0200	100.8000	99.8700	100.2500
W5	152.2000	153.1600	151.6400	151.7400	151.3600	100.2695	100.1990	100.9185	100.1185	100.6085					
D5	152.1600	152.8800	151.3800	151.6400	151.1200	99.8910	100.1080	100.6100	99.9660	100.3705					
W6	152.1400	153.2400	151.6400	151.8800	151.1800	100.2640	100.1765	100.8055	100.1670	100.5595	100.3900	100.3200	100.9600	100.1100	100.5800
D6	152.0200	153.0400	151.4800	151.7000	151.0200						99.9100	99.9200	100.7300	100.0800	100.6400
W7	152.1400	153.1600	151.7800	151.7000	151.4400	100.1920	100.3360	100.8000	100.1325	100.5765					
D7	152.0200	152.9600	151.4800	151.7000	151.1000	100.0895	100.0525	100.7600	99.8135	100.4890					
W8	152.1000	153.3200	151.5400	151.9000	151.2400						100.2000	100.5400	100.9700	100.3700	100.5000
D8	152.1600	152.9000	151.5000	151.6400	151.1200						100.1900	100.1600	100.8500	99.9700	100.4100
W9	152.2000	153.2800	151.6000	151.7800	151.2400	100.2170	100.2260	100.9100	100.2000	100.5545					
D9	152.0200	152.9000	151.4000	151.5400	151.0400	100.0420	100.0200	100.7230	99.9360	100.4335					
W10	152.2600	153.3400	151.7200	151.7400	151.3000						100.5300	100.3700	100.9100	100.2400	100.6000
D10	151.9600	152.9400	151.3600	151.5800	151.0000						100.1300	100.2000	100.6200	100.0700	100.2600
W11	152.1800	153.2400	151.5600	151.7600	151.1800	100.3180	100.3545	100.7455	100.1415	100.4795					
D11	152.0000	153.0000	151.4000	151.5400	151.1200	100.0945	100.0445	100.7415	99.9830	100.2850					
W12	152.2400	153.2200	151.5800	151.7600	151.1600	100.2810	100.3400	100.7010	100.1965	100.5045	100.3600	100.5600	100.7400	100.2100	100.5000
D12	152.0200	152.9200	151.3600	151.6400	151.1200	99.9200	100.0360	100.6825	99.9615	100.3405	100.0900	99.9600	100.8900	100.0900	100.2700

ตาราง ก 24 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 8 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.8(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	145.3200	145.1000	145.3800	146.4800	145.8200	100.0000	100.0985	100.1190	100.1605	100.2790	100.1700	100.1600	100.3800	100.1900	100.3800
W1	145.4200	145.1900	145.4800	146.6200	145.9700	100.1345	100.2000	100.3010	100.2700	100.4195					
D1	145.3400	145.0400	145.3600	146.4000	145.7000	99.8685	99.9545	100.0315	100.0205	100.2940					
W2	145.4600	145.2600	145.5200	146.6200	145.8600						100.3300	100.3400	100.2200	100.5100	100.4200
D2	145.2000	145.0600	145.2400	146.4000	145.6400						99.7500	100.3500	99.9900	100.0800	100.5200
W3	145.6200	145.3800	145.5800	146.4400	145.8000	100.2090	100.2050	100.3305	100.1900	100.2895					
D3	145.3000	144.9200	145.2800	146.5000	145.7800	99.8210	100.1080	100.1375	100.0655	100.2580					
W4	145.5200	145.1200	145.6800	146.4600	145.9400						100.3900	100.1500	100.4300	100.4700	100.4000
D4	145.1600	144.9200	145.3000	146.4400	145.7000						99.8300	100.3000	100.3000	100.3000	100.1100
W5	145.4600	145.2200	145.5600	146.5000	145.9000	100.2505	100.1395	100.2990	100.4490	100.2490					
D5	145.2600	145.0600	145.2000	146.3800	145.7400	99.8935	100.0830	100.1495	100.1120	100.2755					
W6	145.4400	145.2600	145.6400	146.4800	145.8000						100.3400	100.3900	100.3900	100.5800	100.4300
D6	145.1600	145.1200	145.3200	146.4200	145.8200						100.0900	100.1500	100.2900	100.1300	100.0600
W7	145.5400	145.2200	145.4200	146.5600	145.8800	100.0305	100.1695	100.2600	100.4400	100.4395					
D7	145.3400	145.1200	145.3600	146.3600	145.7000	99.9155	100.0110	100.0985	100.0975	100.1330					
W8	145.3900	145.3200	145.4400	146.4600	145.9600						100.3800	100.2100	100.2200	100.6700	100.4700
D8	145.2200	144.9800	145.3400	146.4400	145.6800						99.8300	100.1800	100.1200	100.0300	100.0400
W9	145.5200	145.1800	145.3800	146.5600	145.9600	100.0910	100.1790	100.3695	100.3105	100.3805					
D9	145.1400	144.9200	145.2600	146.3400	145.6800	99.9765	100.1255	99.9965	100.1010	100.1100					
W10	145.5000	145.3800	145.5000	146.5000	145.8400						100.2800	100.4000	100.3400	100.1100	100.5200
D10	145.2600	145.1000	145.2800	146.4800	145.7800						100.0400	99.8800	100.0200	100.2100	100.4200
W11	145.4400	145.3000	145.3800	146.5200	146.0800	100.0105	100.3590	100.4095	100.2605	100.3005					
D11	145.2400	145.1200	145.2200	146.3800	145.7400	99.8555	99.9345	100.1185	100.1190	100.2505					
W12	145.3200	145.3000	145.3800	146.6800	146.0800						100.3300	100.3800	100.5600	100.2900	100.3900
D12	145.2400	145.0000	145.3600	146.3400	145.7400						99.7900	100.1500	100.0100	99.9400	100.2200

ตาราง ก 25 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 9 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.9(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.4800	151.7000	150.7200	151.2400	150.5600	100.1475	100.1395	100.5000	100.2075	100.3275	.	.	.	.	.
W1	151.6400	151.9000	150.7800	151.4000	150.7600	100.2835	100.1605	100.5430	100.3085	100.3055	.	.	.	.	.
D1	151.3800	151.7000	150.6400	151.1400	150.5400	100.1125	100.0555	100.4385	100.2175	100.2560	.	.	.	.	.
W2	151.6600	151.8800	150.7800	151.3600	150.6400	100.1765	100.1305	100.6435	100.3320	100.4850	.	.	.	.	.
D2	151.4200	151.6000	150.6400	151.2400	150.4800	100.0925	100.0295	100.4405	100.1885	100.3000	.	.	.	.	.
W3	151.6400	151.8200	150.8600	151.3800	150.5400	100.2070	100.1600	100.6905	100.2640	100.4105	.	.	.	.	.
D3	151.4200	151.6000	150.6600	151.2400	150.5000	100.0840	100.0740	100.4665	100.1625	100.2205	.	.	.	.	.
W4	151.5200	151.8800	150.8400	151.3800	150.6400	100.3185	100.1445	100.6585	100.2885	100.3685	.	.	.	.	.
D4	151.4800	151.6800	150.6600	151.2000	150.5600	100.1030	100.0400	100.5040	100.2035	100.3035	.	.	.	.	.
W5	151.4800	151.7200	150.7600	151.3200	150.6600	100.1290	100.2540	100.6495	100.3555	100.3740	.	.	.	.	.
D5	151.4400	151.6000	150.6800	151.1400	150.4800	100.0845	100.1430	100.4675	100.1065	100.2265	.	.	.	.	.
W6	151.5200	151.7800	150.7600	151.3000	150.5800	100.2155	100.2825	100.6185	100.2870	100.3695	.	.	.	.	.
D6	151.4000	151.7200	150.6400	151.2600	150.5800	100.0805	100.0360	100.4435	100.1740	100.2380	.	.	.	.	.
W7	151.6800	151.7000	150.7200	151.2800	150.6600	100.3410	100.3235	100.5785	100.3455	100.3095	.	.	.	.	.
D7	151.4400	151.6000	150.7600	151.1400	150.4800	100.0900	100.0290	100.2435	100.1805	100.3070	.	.	.	.	.
W8	151.6800	151.7200	150.7000	151.2600	150.6600	100.3680	100.3285	100.4200	100.2620	100.4360	.	.	.	.	.
D8	151.4000	151.7200	150.6400	151.1200	150.5000	100.1305	100.1710	100.3600	100.2610	100.1975	.	.	.	.	.
W9	151.6200	151.7800	150.7400	151.2200	150.6600	100.4935	100.0800	100.7905	100.1975	100.4255	.	.	.	.	.
D9	151.4800	151.6600	150.7200	151.1200	150.5600	100.0900	99.9600	100.5360	100.1650	100.3500	.	.	.	.	.
W10	151.6200	151.8200	150.7000	151.3400	150.7600	100.3060	100.2160	100.7570	100.1435	100.3990	.	.	.	.	.
D10	151.4400	151.7200	150.7400	151.1600	150.5200	100.0380	99.9825	100.4290	100.2615	100.3165	.	.	.	.	.
W11	151.6800	151.8400	150.7000	151.3000	150.6200	100.2530	100.0960	100.5825	100.2885	100.7010	.	.	.	.	.
D11	151.4000	151.6800	150.7600	151.1200	150.6000	100.1730	100.1475	100.3680	100.2195	100.3155	.	.	.	.	.
W12	151.5000	151.8000	150.8000	151.3800	150.6400	100.2260	100.3245	100.5715	100.4685	100.3090	.	.	.	.	.
D12	151.3800	151.6800	150.6600	151.2800	150.5200	100.1030	99.9940	100.4085	100.1220	100.3465	.	.	.	.	.

ตาราง ก 26 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 9 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.9(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.0400	151.1200	150.3200	151.0800	151.8200	100.1330	100.4570	100.5315	100.3740	100.9200	100.3200	100.4300	100.5700	100.6300	101.1800
W1	150.1000	151.2200	150.3400	151.1400	151.9900	100.3395	100.5970	100.6290	100.4585	101.1150					
D1	149.9400	151.1200	150.3200	151.1000	151.8400	100.0510	100.4185	100.5245	100.3490	100.9120					
W2	150.1200	151.4200	150.3200	151.2800	151.9000						100.1300	100.7700	100.5800	100.4900	101.2200
D2	149.9800	151.0400	150.3400	151.0200	151.7800						100.1000	100.5100	100.8000	100.3900	101.0200
W3	150.1000	151.3000	150.4000	151.1800	151.8800	100.3625	100.6850	100.5985	100.4430	101.0395					
D3	150.0000	151.0200	150.3400	151.0800	151.7600	100.1710	100.3990	100.5230	100.3635	100.8500					
W4	150.0000	151.3000	150.5000	151.1600	151.8000						100.5100	100.8300	100.6800	100.8100	101.2300
D4	149.9800	151.0600	150.3000	151.0600	151.7600						100.2700	100.5600	100.5500	100.5700	101.0800
W5	150.1200	151.2600	150.5000	151.2200	151.9200	100.3700	100.6015	100.5925	100.5745	101.1490					
D5	149.9400	151.0600	150.3400	151.0800	151.7400	100.0915	100.4835	100.4350	100.3000	100.8590					
W6	150.2400	151.4000	150.3800	151.0800	151.9000						100.4200	100.6400	100.6700	100.6500	101.1900
D6	150.0600	151.1400	150.2800	151.0600	151.7800						100.3200	100.4800	100.5800	100.4900	100.8900
W7	150.1400	151.3000	150.3800	151.2400	152.0000	100.3635	100.5585	100.6915	100.4595	101.1230					
D7	149.9600	151.0600	150.3200	151.0400	151.7800	100.1520	100.3925	100.4400	100.3370	100.9375					
W8	150.1200	151.3600	150.4200	151.0200	151.8000						100.4500	100.7600	100.7500	100.6300	101.2500
D8	149.9600	151.0400	150.2800	151.0800	151.8000						100.2100	100.3200	100.6600	100.5600	100.8600
W9	150.2000	151.1800	150.4400	151.2600	152.0000	100.3095	100.5345	100.7700	100.4645	100.9925					
D9	150.0200	151.0200	150.3000	151.0800	151.7800	100.1660	100.4240	100.5170	100.3290	100.8750					
W10	150.2000	151.3000	150.4600	151.1000	151.9600						100.5400	100.7500	100.9200	100.7000	101.3800
D10	150.0600	151.0200	150.2400	151.0800	151.7800						100.1400	100.4600	100.6800	100.5700	101.0600
W11	150.1000	151.4000	150.4600	151.1200	151.8200	100.3530	100.5820	100.6145	100.5295	101.1315					
D11	149.9600	151.0800	150.2200	151.0200	151.8200	100.1180	100.4560	100.5345	100.3075	100.8530					
W12	150.1000	151.2400	150.5400	151.1800	151.9000	100.3030	100.5790	100.7530	100.4800	101.0275	100.5600	100.7600	100.9700	100.4200	101.1100
D12	150.0600	151.0600	150.2600	151.0400	151.7800	100.0750	100.4090	100.4575	100.3735	100.8965	100.0200	100.4200	100.6900	100.5100	101.1500

ตาราง ก 27 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 9 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.9(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.9000	151.5800	149.8200	150.2600	149.6800	100.0200	100.4200	100.6605	100.5595	100.9805	100.0200	100.5600	100.8700	100.6700	100.9200
W1	152.0600	151.5400	149.8400	150.3000	149.7000	100.1990	100.4090	100.7700	100.6305	101.1795					
D1	151.8600	151.6000	149.7200	150.2800	149.6200	100.0425	100.4195	100.6415	100.5765	100.9595					
W2	152.0600	151.5800	149.8800	150.2400	149.7800						100.2900	100.8200	101.0500	100.8500	100.9500
D2	151.8000	151.5400	149.8400	150.2000	149.5800						99.9900	100.6100	100.8500	100.6500	101.1100
W3	152.0000	151.6200	149.9000	150.3800	149.7000	100.1790	100.5205	100.8105	100.7505	101.0090					
D3	151.9000	151.5000	149.8000	150.1800	149.6400	99.9880	100.4245	100.5875	100.5820	100.9660					
W4	152.0400	151.7000	149.9800	150.3800	149.7400						100.2000	100.7600	100.7700	100.7500	101.2400
D4	151.8200	151.6000	149.7800	150.1800	149.6800						100.0200	100.5600	100.8000	100.6000	100.8900
W5	151.9900	151.6000	149.9400	150.3600	149.6600	100.0205	100.6200	100.6395	100.7785	101.1405					
D5	151.8800	151.5400	149.8200	150.1600	149.7000	100.0155	100.4060	100.6350	100.5420	100.9945					
W6	151.9800	151.6600	149.9900	150.2600	149.7000						100.0800	100.5600	100.8800	100.7800	101.1500
D6	151.9200	151.5600	149.7400	150.2200	149.6200						100.2900	100.5000	100.8200	100.6500	101.1500
W7	152.0000	151.7800	149.9800	150.4200	149.6600	100.2395	100.5785	100.7095	100.5600	101.1595					
D7	151.9000	151.5800	149.7400	150.1600	149.6600	100.0125	100.4205	100.6060	100.5190	100.9550					
W8	151.9400	151.7400	149.9800	150.4800	149.7000						100.2300	100.6300	100.9800	100.6400	100.9600
D8	151.9000	151.5200	149.7800	150.2200	149.6400						100.0200	100.5000	100.7900	100.5900	101.0500
W9	152.0000	151.7400	150.0000	150.4400	149.8000	100.2105	100.4910	100.8300	100.6295	100.9900					
D9	151.8800	151.5200	149.8000	150.2200	149.6400	100.0105	100.3780	100.6690	100.5835	100.9325					
W10	151.8800	151.7800	150.0000	150.2600	149.8000						100.1400	100.5800	100.7300	100.8400	101.2300
D10	151.8400	151.5400	149.8000	150.1600	149.6200						100.0200	100.6200	100.6000	100.5600	100.9200
W11	151.8800	151.8000	149.9900	150.3200	149.6600	100.2000	100.4890	100.8690	100.7700	101.0995					
D11	151.8800	151.5400	149.7800	150.1600	149.6200	100.0350	100.3870	100.6775	100.5570	100.9430					
W12	151.9200	151.6800	150.0200	150.3600	149.8200						100.0800	100.5300	100.8300	100.5900	100.9900
D12	151.8400	151.5600	149.8400	150.2800	149.7000						99.9600	100.5300	100.6100	100.6700	101.0700

ตาราง ก 28 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 10 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.10(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.2600	151.3600	151.1000	151.4200	151.6200	99.9880	99.9905	100.0090	99.9490	99.9305	.	.	.	.	.
W1	151.6400	151.6800	151.2600	151.4600	151.6600	100.2860	100.0250	100.1685	100.2485	100.3410	.	.	.	.	.
D1	151.2400	151.3600	150.9800	151.4000	151.6400	99.9900	99.9950	100.1055	99.9610	99.9410	.	.	.	.	.
W2	151.4800	151.5600	151.3800	151.7800	151.8400	100.2045	100.3415	100.1380	100.0015	100.3435	.	.	.	.	.
D2	151.2000	151.3200	151.0400	151.4400	151.5600	99.9350	99.9270	99.9450	99.9510	99.8215	.	.	.	.	.
W3	151.2600	151.5200	151.3600	151.8400	151.8000	100.0050	100.3350	100.2520	100.1025	100.3565	.	.	.	.	.
D3	151.1800	151.2600	151.0400	151.3800	151.5400	99.8865	99.9020	99.9055	99.9095	99.8850	.	.	.	.	.
W4	151.3000	151.4200	151.1600	151.7000	151.6800	100.3700	100.1635	100.3985	100.2100	100.1965	.	.	.	.	.
D4	151.1600	151.3800	151.0400	151.3600	151.5600	99.9475	99.8740	99.8975	99.9035	.	.	.	.	.	.
W5	151.2600	151.3400	151.1600	151.7600	151.9800	.	100.0625	100.3080	100.1890	.	.	.	.	.	.
D5	151.2200	151.3000	150.9800	151.4200	151.6000	.	99.9890	99.9450	99.8440	.	.	.	.	.	.
W6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 29 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 10 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.10(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	147.8200	147.6600	147.4600	146.8200	146.9400	100.0760	99.9800	100.1560	99.9915	.	100.1200	99.9900	100.2800	100.1900	
W1	148.1800	147.7800	147.6200	147.0800	147.2800	100.4660	100.2105	100.4900	100.1850	.					
D1	147.8000	147.6000	147.4400	146.7400	146.8200	100.0195	99.9635	100.1160	99.9020	.					
W2	148.2000	147.8000	147.7600	147.0400	147.1800						100.5000	100.4800	100.4400	100.2600	
D2	147.8400	147.6000	147.3800	146.7800	146.9400						100.0900	100.2300	100.3400	99.9800	
W3	148.0600	147.8400	147.6200	147.0400	147.1800	100.3535	100.2345	100.3780	100.2865	.					
D3	147.8200	147.5400	147.3400	146.7600	146.8800	99.9845	99.9490	100.1630	99.9805	.					
W4	148.1000	147.8400	147.6600	147.0400	147.1400						100.3600	100.1700	100.3200	100.5600	
D4	147.7400	147.5600	147.3400	146.8200	146.8800						99.9900	99.9900	100.2500	100.2300	
W5	148.1400	147.8600	147.5800	147.1600	147.1000	100.3590	100.2690	100.3290	100.2295	.					
D5	147.8000	147.6800	147.4200	146.7400	146.9400	99.9805	99.8600	100.1670	99.8840	.					
W6	148.0200	147.9600	147.7000	147.0800	147.0800						100.4800	100.1800	100.3900	100.4600	
D6	147.8400	147.5400	147.4600	146.7800	146.8600						100.0100	99.9800	100.2300	100.0100	
W7	148.1600	147.8200	147.5800	147.0200	147.0400	100.3895	100.1660	100.3800	100.3005	.					
D7	147.7400	147.5800	147.4200	146.7600	146.9600	.	99.8570	100.1345	99.9115	.					
W8	148.1000	147.8400	147.6600	147.1600	147.0800						100.2300	100.3900	100.6200	100.4600	
D8	147.7400	147.5800	147.4000	146.7200	146.8600						100.2900	99.9300	100.2000	100.2000	
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 30 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 10 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.10(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	143.6400	144.2200	144.3200	143.8000	143.6800	99.9210	100.0800	100.0410	100.0195	99.9985	100.1300	100.2500	100.2800	100.0100	100.2400
W1	143.9000	144.3600	144.5400	143.9200	143.9200	100.1205	100.1295	100.3405	100.3090	100.3400					
D1	143.6200	144.1800	144.3200	143.8200	143.6800	99.9590	100.0790	100.0950	100.0025	99.9575					
W2	143.8200	144.3800	144.7600	144.0200	143.8400						100.3200	100.3800	100.1800	100.3400	100.6200
D2	143.6400	144.1200	144.2400	143.8000	143.6200						99.9800	100.1000	99.9900	100.2200	100.1200
W3	143.9200	144.3200	144.6800	143.9400	143.9600	100.1790	100.4505	100.1795	100.4405	100.0600					
D3	143.5800	144.2400	144.2400	143.7600	143.7000	99.9385	100.0020	100.0210	99.9580	99.9645					
W4	143.9200	144.4400	144.7000	144.1600	143.9000						99.9700	100.4100	100.4100	100.2900	100.4300
D4	143.6000	144.2400	144.2200	143.7800	143.6000						100.0300	100.0600	99.9600	100.1000	100.1300
W5	143.9000	144.3200	144.4600	143.8600	143.8800	100.1300	100.2995	100.3100	100.4200	100.3290					
D5	143.5600	144.1400	144.3400	143.7400	143.6000	99.9345	100.0920	100.0795	100.0350	99.9880					
W6	143.8000	144.3200	144.7400	143.8800	143.7800						100.4600	100.4100	100.5300	100.5100	100.4800
D6	143.6400	144.1400	144.2600	143.7800	143.6600						99.9900	100.2000	100.2200	99.9800	100.1100
W7	143.7800	144.4600	144.5000	144.2200	143.8800	.	100.2400	100.2885	100.3905	.					
D7	143.6400	144.2000	144.3200	143.7200	143.5800	.	100.0130	99.9885	99.9220	.					
W8	144.0600	144.3800	144.5000	144.0000	143.9800						100.4000	100.3800	100.4400	100.5100	100.3700
D8	143.6000	144.1600	144.2800	143.8200	143.6000						99.9400	100.0700	100.0000	100.2200	99.9900
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 31 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 11 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.11(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.0100	151.9600	151.6400	151.6800	151.9600	99.0120	99.6220	99.9720	99.9290	99.9780	.	.	.	.	.
W1	152.0700	152.2800	151.9600	151.9000	152.2400	99.1685	99.9440	100.2600	100.2690	99.7650	.	.	.	.	.
D1	151.9700	151.9000	151.5800	151.5800	151.9400	98.9770	99.6225	99.9690	99.9050	99.7265	.	.	.	.	.
W2	152.0300	152.1400	151.7600	151.7800	152.1000	99.3240	99.7610	100.3755	100.1675	100.0280	.	.	.	.	.
D2	152.0100	151.9000	151.6400	151.6200	151.9400	98.9550	99.5225	99.9060	99.9115	99.7800	.	.	.	.	.
W3	152.3300	152.0400	151.7400	152.0200	152.1000	99.2365	99.8810	100.3605	100.2020	99.9375	.	.	.	.	.
D3	151.9500	151.9800	151.6000	151.6800	151.9200	98.9430	99.5260	99.9115	99.9215	99.7260	.	.	.	.	.
W4	152.2900	152.1200	151.7800	151.6800	152.1400	99.3860	99.7815	100.3600	100.2900	99.8910	.	.	.	.	.
D4	151.9900	151.8600	151.6200	151.5800	151.9600	99.0975	99.5435	99.9620	99.8730	99.7380	.	.	.	.	.
W5	152.4100	152.2000	151.6600	152.0600	152.3000	.	100.0035	100.1900	99.9895	99.9065	.	.	.	.	.
D5	152.0100	151.9200	151.6600	151.6000	151.9800	.	99.5840	99.9895	99.8515	99.7825	.	.	.	.	.
W6	152.1500	152.2400	151.8400	151.9600	152.2400	.	.	99.9800	100.2270	.	.	.	.	.	.
D6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 32 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 11 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.11(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.5600	149.2400	149.5000	149.5400	150.9800	99.7785	99.9725	99.9970	100.0950	99.9185	99.9100	100.1300	99.9400	100.0800	99.8400
W1	151.7800	149.5200	149.7600	149.8600	151.1800	100.0915	100.1700	100.2430	100.3650	100.1395					
D1	151.5600	149.2400	149.3600	149.4000	150.9600	99.7530	99.8125	99.8465	100.0105	99.8405					
W2	151.8600	149.4600	149.8000	149.9000	151.1400						100.0100	100.4100	100.2200	100.2800	100.2300
D2	151.4200	149.1200	149.4200	149.4200	150.8800						99.5900	99.8600	99.8400	100.1400	100.1700
W3	151.8800	149.5800	149.9000	149.8000	151.1600	99.9985	100.2360	100.1820	100.3445	100.2215					
D3	151.5200	149.2400	149.3800	149.5000	150.8400	99.7565	99.8700	99.9805	100.0665	99.8220					
W4	151.8400	149.4200	149.7000	149.9000	151.1800						100.2300	100.2800	100.3900	100.4700	100.1000
D4	151.5200	149.2000	149.5200	149.4400	150.9800						99.8700	99.9100	100.1800	100.3800	99.8500
W5	151.7800	149.3800	149.9000	149.8200	151.2200	99.9590	100.1820	100.2785	100.2840	100.1305					
D5	151.4200	149.2600	149.4800	149.4000	150.8600	99.6775	99.8365	99.8915	100.0405	.					
W6	151.7600	149.5000	149.8400	149.8400	151.1800						100.0200	100.2500	100.5200	100.3800	100.0500
D6	151.5600	149.2200	149.5000	149.5600	150.9400						99.8200	99.9900	100.1100	100.1700	100.0500
W7	151.8400	149.3800	149.7800	149.8600	151.1400	100.0245	100.2935	100.2785	100.3690	.					
D7	151.5400	149.2200	149.5200	149.4600	150.9000	99.7295	99.9470	100.0085	100.0490	.					
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 33 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 11 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.11(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	146.7400	146.6800	147.1200	147.7000	146.6400	99.8605	100.0195	99.9400	99.9995	.	100.0100	100.0700	99.9800	100.0900	
W1	147.0600	147.1200	147.2800	147.7800	146.6600	99.9300	100.2000	100.3605	100.2195	.					
D1	146.7200	146.6600	147.1000	147.6200	146.5600	99.7985	100.0495	99.8790	99.9255	.					
W2	146.9000	147.0000	147.2800	147.7800	146.8200						100.4000	100.2900	100.5200	100.6100	
D2	146.6800	146.7000	147.0200	147.5800	146.5400						99.8700	100.1800	100.1000	99.9100	
W3	146.8000	147.0400	147.2800	147.6800	147.0600	100.1295	100.2900	100.1305	100.3600	.					
D3	146.7200	146.6800	147.0200	147.5800	146.6600	99.7850	99.9445	99.8765	99.9920	.					
W4	147.0000	146.9600	147.2400	147.7200	147.0200						100.0200	100.2700	100.4000	100.3900	
D4	146.6200	146.5600	147.0800	147.7000	146.5400						99.8600	100.2300	100.0300	99.9300	
W5	146.8200	146.9200	147.2800	147.7800	146.9800	100.0690	100.4095	100.1000	100.3995	.					
D5	146.7400	146.7000	147.1400	147.5800	146.5800	99.8435	100.0405	99.8850	99.9310	.					
W6	146.8200	146.8600	147.2000	148.0400	146.7600						100.0500	100.6100	100.1900	100.3800	
D6	146.6600	146.6200	147.1000	147.6200	146.6000						100.0000	99.9600	99.9300	100.1800	
W7	146.9000	146.8000	147.5000	147.7200	146.7400	100.0185	100.4100	100.3295	100.3600	.					
D7	146.7400	146.5600	147.0400	147.6400	146.6600	99.8960	.	99.9515	99.9730	.					
W8	147.0600	146.7400	147.5600	147.7200	146.7800						100.3700	100.6400	100.1000	100.4800	
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 34 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 12 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.12(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.9800	152.6200	152.5600	152.6000	152.3600	99.8885	100.2400	99.8510	99.8940	100.5095	.	.	.	.	.
W1	152.9800	152.9600	152.8400	152.7000	152.5000	100.1025	100.5230	99.9835	99.9085	100.7870	.	.	.	.	.
D1	152.9800	152.5800	152.4600	152.5800	152.3800	99.8505	100.2260	99.7990	99.8745	100.4585	.	.	.	.	.
W2	153.1600	152.6800	152.7800	152.9200	152.6000	100.2495	100.4430	99.9035	99.9815	100.5045	.	.	.	.	.
D2	152.9400	152.6200	152.5400	152.5200	152.3400	99.8075	100.2375	99.8275	99.8085	100.4260	.	.	.	.	.
W3	153.1400	152.7000	152.9200	152.9600	152.3400	100.1620	100.5880	99.9330	99.9975	100.8130	.	.	.	.	.
D3	152.9400	152.5400	152.4600	152.5600	152.3600	99.8210	100.2080	99.7870	99.8490	100.5045	.	.	.	.	.
W4	153.2000	152.7200	152.6200	152.7800	152.7000	99.9950	100.5850	100.0845	100.1015	100.7265	.	.	.	.	.
D4	152.9400	152.5600	152.5200	152.6200	152.3400	99.8655	100.1755	99.7665	99.8545	100.4340	.	.	.	.	.
W5	153.2400	152.6600	152.8400	152.8000	152.5400	100.0945	100.3500	99.9305	100.0105	100.8240	.	.	.	.	.
D5	152.9800	152.6200	152.5600	152.6000	152.2600	99.8835	100.2170	99.8100	99.8885	100.4465	.	.	.	.	.
W6	153.2200	152.6400	152.7000	152.6800	152.5000	.	100.4830	100.0210	100.1795	100.7955	.	.	.	.	.
D6	152.9000	152.5600	152.4600	152.5600	152.3600	.	100.2260	99.8180	99.8495	100.5100	.	.	.	.	.
W7	152.9600	152.7000	152.8600	152.6800	152.4800	.	100.3745	100.0260	.	100.6495	.	.	.	.	.
D7	152.9800	152.6000	152.4800	152.5600	152.3000	.	100.2235	99.8065	.	100.4380	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 35 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 12 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.12(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.8800	150.8200	151.6600	151.1800	150.6600	99.9500	100.0515	100.1800	100.4745	100.4185	100.1200	100.2900	100.1800	100.5500	100.6600
W1	151.1000	151.1800	151.7800	151.3400	150.8200	100.1395	100.2300	100.3635	100.6680	100.6595					
D1	150.8600	150.7800	151.6800	151.1600	150.5800	99.9495	100.0430	100.0895	100.4310	100.3685					
W2	151.1600	151.1400	151.8800	151.5000	150.8200						100.2600	100.5200	100.4800	100.7200	100.7100
D2	150.8000	150.8200	151.6400	151.0800	150.6600						100.1100	100.0600	100.2900	100.5000	100.5100
W3	151.1000	151.1800	151.8000	151.3600	150.8000	100.1205	100.2990	100.4265	100.7265	100.6460					
D3	150.8000	150.8400	151.6600	151.1000	150.5800	99.8915	100.0020	100.1105	100.4435	100.3360					
W4	151.0800	151.1200	151.8600	151.4000	150.9600						100.1700	100.5200	100.5100	100.6900	100.7800
D4	150.9000	150.8400	151.6000	151.2000	150.6600						99.9600	100.1500	100.2800	100.4300	100.2600
W5	151.0200	151.1000	151.8200	151.4600	150.9400	100.2320	100.3200	100.3615	100.6925	100.6650					
D5	150.8800	150.7400	151.5600	151.1000	150.6000	99.9530	100.0160	100.0805	100.4680	100.4120					
W6	151.1000	151.1200	151.8600	151.3000	150.8600						100.4100	100.4800	100.4900	100.7600	100.9000
D6	150.8000	150.8200	151.6800	151.1200	150.6400						99.9700	100.0400	100.3100	100.4700	100.4100
W7	151.1400	151.2400	151.7800	151.4400	150.8800	100.2380	100.3220	100.3305	100.7265	100.6395					
D7	150.8400	150.8400	151.6400	151.1000	150.6400	99.8860	99.9905	100.1565	100.4280	.					
W8	151.2000	151.1800	151.7800	151.4200	150.9400						100.1600	100.5800	100.4900	100.7800	100.4900
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 36 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 12 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.12(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	148.4000	148.7400	148.7400	148.3800	148.5200	100.2000	100.5180	100.1925	100.7795	101.0115	100.2800	100.6500	100.2600	100.8500	101.1600
W1	148.6200	149.1200	148.8600	148.6000	148.5800	100.6100	100.5345	100.3670	101.1585	101.2900					
D1	148.3600	148.7000	148.7000	148.3600	148.5400	100.2115	100.5320	100.2155	100.7880	100.9735					
W2	148.6000	149.0200	149.0000	148.6100	148.6000						100.6100	100.5500	100.4000	100.9500	101.3700
D2	148.4200	148.7400	148.7000	148.3200	148.4600						100.2500	100.6000	100.4100	100.9200	101.1200
W3	148.5800	149.0200	148.7600	148.6200	148.7000	100.5390	100.6500	100.5760	100.8805	101.1865					
D3	148.4000	148.7200	148.7600	148.3200	148.4800	100.1870	100.5270	100.1940	100.7680	101.0230					
W4	148.7800	149.0000	148.7800	148.4200	148.6000						100.4800	100.7500	100.6000	101.2200	101.4100
D4	148.4000	148.7600	148.7000	148.3200	148.4800						100.2700	100.5300	100.2400	100.7300	101.0300
W5	148.6000	149.0200	149.0400	148.4200	148.8800	100.3820	100.8105	100.5170	100.9335	101.3010					
D5	148.4200	148.6800	148.6800	148.3600	148.4600	100.2150	100.5065	100.2200	100.7265	101.0300					
W6	148.5000	149.0600	149.0000	148.4800	148.8400						100.7600	100.8700	100.4000	100.9700	101.6200
D6	148.3800	148.7000	148.6800	148.3600	148.5400						100.4300	100.4700	100.1100	101.0600	101.1600
W7	148.7200	148.9600	148.8400	148.4600	148.8200	100.3465	100.7700	100.5665	101.0330	101.2800					
D7	148.3600	148.7600	148.7200	148.4000	148.5000	.	100.4545	100.1350	100.7205	101.0015					
W8	148.6200	148.8600	149.1200	148.5000	148.6800						100.4500	100.9700	100.5700	101.2000	101.2600
D8	148.3600	148.7200	148.6800	148.4000	148.4600						100.3500	100.5700	100.1300	100.9600	101.1000
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 37 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 13 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.13(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	149.8400	149.5400	149.5200	149.6800	149.5800	99.9385	100.0245	99.7975	99.9490	99.9495	.	.	.	.	.
W1	150.1400	149.7200	149.7600	149.7400	149.6400	100.0785	100.1950	99.9415	100.2225	100.1645	.	.	.	.	.
D1	149.7200	149.5000	149.4400	149.6400	149.4800	99.8840	99.9860	99.7865	99.8325	99.8610	.	.	.	.	.
W2	150.1000	149.8600	149.7200	149.9000	149.8000	100.1980	100.0080	100.1140	100.1690	100.0245	.	.	.	.	.
D2	149.7600	149.4200	149.4200	149.6600	149.4800	99.9065	100.0105	99.7405	99.8455	99.8430	.	.	.	.	.
W3	150.1000	149.9000	149.7800	149.7000	149.9200	99.9885	100.2030	100.0470	100.1260	100.1025	.	.	.	.	.
D3	149.7200	149.4400	149.4600	149.6400	149.5600	99.8440	99.9855	99.7505	99.8505	99.9450	.	.	.	.	.
W4	150.0400	149.5600	149.7600	149.7800	149.6000	100.1985	100.2655	100.0245	100.1285	100.1955	.	.	.	.	.
D4	149.7400	149.4400	149.4200	149.5600	149.4600	99.8395	100.0075	99.6895	99.8690	99.8270	.	.	.	.	.
W5	149.9200	149.5800	149.8200	149.6000	149.6000	100.0245	100.2280	100.1900	100.1350	100.1175	.	.	.	.	.
D5	149.7600	149.4800	149.4000	149.5600	149.5600	99.9015	99.9740	99.6610	99.8415	99.8470	.	.	.	.	.
W6	149.9200	149.9000	149.5200	149.8600	149.7400	100.1270	100.0955	100.0890	99.9670	100.2345	.	.	.	.	.
D6	149.7800	149.5600	149.4200	149.6600	149.5200	99.9045	100.0125	99.7200	99.8535	99.8270	.	.	.	.	.
W7	149.8600	149.7000	149.5400	149.9400	149.9200	100.1980	100.3065	99.7935	100.1210	100.1465	.	.	.	.	.
D7	149.7600	149.5400	149.4800	149.5600	149.4800	99.9215	100.0075	99.7215	99.8405	99.9080	.	.	.	.	.
W8	149.9800	149.7400	149.4800	149.9000	149.5400	100.0915	100.0160	100.2265	100.3830	100.2640	.	.	.	.	.
D8	149.7600	149.5200	149.3800	149.6400	149.6200	99.8695	99.8075	99.6060	99.8255	100.0040	.	.	.	.	.
W9	149.9600	149.5000	149.7200	149.7200	149.6600	100.1135	100.3455	99.9985	100.2585	100.2140	.	.	.	.	.
D9	149.7800	149.5800	149.4000	149.5600	149.4800	99.7050	100.0330	99.7880	99.9620	99.8270	.	.	.	.	.
W10	149.8800	149.6400	149.7200	149.7600	149.6200	.	100.4930	99.8610	100.2030	100.1970	.	.	.	.	.
D10	149.8000	149.4600	149.3800	149.7200	149.5600	.	99.9965	99.7790	99.8890	99.8020	.	.	.	.	.
W11	149.8600	149.6600	149.4800	149.8000	149.6200	.	100.4365	99.9525	99.9380	100.4145	.	.	.	.	.
D11	149.8800	149.5400	149.5000	149.6000	149.4200	.	99.9905	99.8185	99.8935	99.7900	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 38 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 13 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.13(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	148.5000	149.2000	150.1200	150.0800	150.0200	100.0115	100.0175	100.0600	99.9955	100.0995	99.9800	100.0700	100.2300	100.2500	100.1200
W1	148.6200	149.4800	150.2800	150.2800	150.2600	100.3175	100.1665	100.3220	100.2465	100.3890					
D1	148.4800	149.0600	150.1200	150.0800	149.8800	99.8680	99.8480	99.9835	99.8220	100.0960					
W2	148.7400	149.2800	150.3400	150.2600	150.3800						100.4400	100.3500	100.2800	100.4800	100.3600
D2	148.4800	149.0400	150.1000	149.9400	149.9400						100.0100	100.1400	99.8900	100.1700	100.0600
W3	148.7000	149.4400	150.2200	150.2000	150.2600	100.2220	100.2785	100.3030	100.2390	100.3945					
D3	148.4800	149.1200	149.9800	150.0600	150.0200	99.9490	100.0235	99.9495	99.8390	99.9285					
W4	148.7400	149.5000	150.3600	150.2600	150.2000						100.3900	100.2400	100.3600	100.3300	100.4100
D4	148.4400	149.1400	150.1000	149.9800	149.9600						100.0500	100.1200	100.2700	99.8900	100.0800
W5	148.7200	149.4000	150.2800	150.2800	150.3200	100.2535	100.2890	100.2890	100.1905	100.2715					
D5	148.4800	149.2200	150.1400	150.0600	149.8800	99.8900	99.8470	100.0365	99.9830	99.9930					
W6	148.7800	149.4000	150.3600	150.2800	150.3400						100.3500	100.2300	100.3400	100.3000	100.5900
D6	148.4000	149.0600	150.0200	149.9200	149.9800						99.8600	99.9900	99.9500	100.1200	100.2000
W7	148.7400	149.3600	150.3200	150.3000	150.2200	100.1610	100.2895	100.2990	100.2820	100.3910					
D7	148.3400	149.0200	149.9800	150.0400	149.8600	99.8900	100.0120	99.9405	99.8860	99.9700					
W8	148.7000	149.5000	150.3600	150.2800	150.3000						100.4100	100.3400	100.2300	100.4000	100.5900
D8	148.4200	149.2200	150.1000	149.9800	149.9600						99.9900	100.1000	100.0100	99.9600	100.1200
W9	148.6800	149.3600	150.3600	150.3200	150.3600	100.2715	100.2020	100.2890	100.1545	100.3210					
D9	148.4400	149.0200	149.9400	150.0800	149.9200	99.9045	99.9505	99.8885	99.8765	99.9650					
W10	148.7200	149.4600	150.3000	150.3000	150.2200						100.2800	100.2700	100.2800	100.1400	100.5300
D10	148.4600	149.0800	150.0000	150.0400	149.9200						99.9600	100.0900	100.1700	100.1600	100.0300
W11	148.7000	149.5200	150.2200	150.2400	150.3200	100.2335	100.2155	100.3060	100.2650	100.3570					
D11	148.3400	149.0800	149.9400	150.0800	150.0400	99.9850	99.9700	100.0800	99.9025	100.0025					
W12	148.6400	149.4800	150.3800	150.3200	150.2400	100.1910	100.1820	100.2255	100.2455	100.3490	100.1300	100.3800	100.4800	100.4800	100.4800
D12	148.4000	149.1600	150.1400	149.9600	149.9800	99.8685	100.0395	100.0745	99.8365	100.0040	99.8400	100.2300	100.3000	99.7800	100.0800

ตาราง ก 39 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 13 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.13(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	145.5400	146.2000	146.2200	145.9000	145.6800	99.9955	100.0555	100.1995	100.1155	100.0940	99.9800	100.2100	100.3500	100.3700	100.3400
W1	145.7400	146.2000	146.3000	145.9200	145.9200	100.1865	100.4210	100.4780	100.3185	100.3395					
D1	145.4600	146.1400	146.1800	145.9200	145.5400	99.9175	99.9250	100.1435	100.0385	100.0765					
W2	145.7200	146.2200	146.3000	146.0200	146.0600						100.4000	100.7300	100.5700	100.2000	100.5700
D2	145.4000	146.1200	146.0800	145.9000	145.7000						99.9300	99.9500	100.2600	100.2200	100.1300
W3	145.6400	146.4800	146.3200	146.2000	145.8000	100.1800	100.4520	100.5590	100.2690	100.3875					
D3	145.4400	146.1800	146.0800	145.9200	145.5800	99.8860	99.9860	100.2115	100.0935	100.0850					
W4	145.7000	146.3400	146.3000	146.1600	145.7800						100.4800	100.6500	100.2500	100.6300	100.3200
D4	145.5400	146.1400	146.1200	145.8000	145.6200						99.9800	99.9100	100.2300	99.9800	100.2400
W5	145.6600	146.4200	146.2800	146.0200	146.0800	100.3535	100.3090	100.5485	100.1430	100.2405					
D5	145.5200	146.0800	146.1200	145.8200	145.5600	99.9505	100.0840	100.1720	100.1445	100.0405					
W6	145.6400	146.4800	146.2800	146.1600	145.8800						100.3100	100.4700	100.4400	100.7900	100.3100
D6	145.5200	146.1000	146.2400	145.8400	145.5400						99.9700	100.0100	100.1300	100.1100	100.2700
W7	145.6200	146.3000	146.2800	146.1000	145.9000	100.0235	100.3520	100.6095	100.5245	100.3800					
D7	145.5600	146.1600	146.1000	145.8000	145.5200	99.9460	99.9550	100.1580	99.9865	100.0660					
W8	145.7000	146.4000	146.4000	146.1600	145.7400						99.9600	100.5000	100.6000	100.4100	100.3100
D8	145.4800	146.1400	146.2200	145.9200	145.6800						100.0700	100.1000	100.0600	100.1500	100.1500
W9	145.5600	146.3400	146.6000	145.9400	146.0400	100.0370	100.2100	100.6170	100.5065	100.2935					
D9	145.4800	146.1000	146.1800	145.8800	145.5800	99.9290	100.0890	100.1685	99.9995	100.1070					
W10	145.6200	146.3000	146.6000	146.0000	146.0800						100.1800	100.5100	100.5800	100.4600	100.4200
D10	145.4400	146.1400	146.2400	145.8800	145.6800						99.9800	100.1600	100.3000	100.2400	100.1500
W11	145.5600	146.1800	146.5800	145.9800	146.0400	99.9975	100.3195	100.5300	100.4795	100.2205					
D11	145.5400	146.1200	146.0800	145.9000	145.6800	99.9615	100.0010	100.1885	100.0015	100.0320					
W12	145.7000	146.1000	146.6400	145.9000	145.9600						100.5700	100.2600	100.5900	100.0500	100.3100
D12	145.4200	146.2000	146.2000	145.8200	145.6200						100.0200	99.9000	100.3700	100.0200	100.3300

ตาราง ก 40 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 14 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.14(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.7600	152.1200	152.0400	152.1600	152.1000	99.9335	99.9435	99.2220	99.7590	100.2600	.	.	.	.	.
W1	152.7600	152.4000	152.0400	152.4400	152.2800	100.1935	99.9420	99.3480	99.7760	100.4800	.	.	.	.	.
D1	152.7600	152.1400	152.0400	152.1400	152.0600	99.8835	99.9310	99.2140	99.7675	100.2595	.	.	.	.	.
W2	153.0200	152.1400	152.2000	152.1800	152.3000	100.1690	100.0825	99.4610	99.7530	100.3200	.	.	.	.	.
D2	152.7200	152.1200	152.0200	152.1600	152.0600	99.8945	99.9125	99.2070	99.7545	100.2425	.	.	.	.	.
W3	153.5800	152.1800	152.1800	152.2200	152.1600	99.9840	99.9885	99.7025	99.7880	100.4165	.	.	.	.	.
D3	152.7600	152.1400	152.0400	152.1400	152.1000	99.9350	99.9430	99.2230	99.7620	100.2550	.	.	.	.	.
W4	152.9400	152.4400	152.1400	152.4600	152.3400	99.9875	100.2495	99.3725	99.9860	100.2440	.	.	.	.	.
D4	152.7200	152.0600	152.0200	152.1000	152.1000	99.8970	99.8970	99.2015	99.7310	100.2795	.	.	.	.	.
W5	153.0200	152.1400	152.0400	152.4800	152.2600	100.1210	100.1555	99.4800	99.7440	100.3060	.	.	.	.	.
D5	152.7600	152.0600	152.0400	152.1800	152.0600	99.8710	99.9080	99.2240	99.7465	100.2430	.	.	.	.	.
W6	152.8000	152.3000	152.2000	152.3600	152.3800	100.0390	100.1020	99.2335	99.9115	100.5905	.	.	.	.	.
D6	152.7200	152.1200	152.0600	152.1400	152.0600	99.9205	99.9520	99.1855	99.7405	100.2690	.	.	.	.	.
W7	153.0800	152.1000	152.0600	152.1800	152.1000	99.9760	100.2605	99.4240	99.9875	100.3800	.	.	.	.	.
D7	152.7200	152.1200	152.0400	152.1200	152.0600	99.9000	99.9290	99.1760	99.7315	100.2455	.	.	.	.	.
W8	152.9000	152.1800	152.1200	152.3600	152.3400	99.8575	99.9905	99.5650	99.8720	100.4800	.	.	.	.	.
D8	152.7000	152.0800	151.9600	152.1800	152.1200	99.8520	99.9295	99.1390	99.7080	100.2490	.	.	.	.	.
W9	152.8600	152.2400	152.1000	152.3600	152.1600	100.0095	100.0890	99.2505	100.2170	100.4490	.	.	.	.	.
D9	152.7600	152.0400	152.0400	152.1400	152.0800	99.9445	99.8725	99.0955	99.7585	100.2005	.	.	.	.	.
W10	152.9000	152.2400	152.2200	152.3800	152.1800	100.3655	99.8800	99.5615	99.8425	100.3860	.	.	.	.	.
D10	152.7000	152.0600	151.9800	152.1400	152.0200	99.8675	99.9590	99.1675	99.7830	100.2370	.	.	.	.	.
W11	152.7400	152.3200	152.1200	152.2000	152.1600	99.9325	100.1370	99.6835	100.0125	100.4115	.	.	.	.	.
D11	152.7000	152.1200	152.0000	152.1600	152.0600	.	99.9320	99.2040	99.8150	100.2550	.	.	.	.	.
W12	152.9000	152.3400	152.2000	152.3600	152.3200	.	100.1010	99.4210	99.8400	100.6750	.	.	.	.	.
D12	152.7200	152.1400	151.9600	152.1200	152.1000	.	99.9460	99.2100	99.7630	100.2640	.	.	.	.	.

ตาราง ก 41 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 14 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.14(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	149.7000	149.6200	150.9600	150.7600	149.7800	100.5175	100.2095	100.2310	100.1590	100.1145	100.7800	100.4600	100.3500	100.1800	100.1200
W1	149.9000	149.7600	151.2800	150.7800	150.0600	100.7030	100.3860	100.3620	100.4125	100.2980					
D1	149.7200	149.5600	150.9000	150.7000	149.6800	100.5250	100.1825	100.2305	100.1210	100.0975					
W2	149.8400	149.9200	151.2400	150.9400	149.9600						100.8400	100.3100	100.4900	100.4300	100.2500
D2	149.7200	149.6400	150.9600	150.7200	149.7800						100.7500	100.4400	100.2900	100.1000	100.1300
W3	149.9000	149.8600	151.1200	150.9000	149.8800	100.6360	100.4330	100.4190	100.3635	100.2940					
D3	149.6400	149.6200	150.9600	150.6600	149.7200	100.5190	100.1390	100.2525	100.0635	100.0640					
W4	149.9000	149.7800	151.1600	150.9800	149.9400						100.8700	100.7500	100.6000	100.4000	100.2000
D4	149.7000	149.6000	150.9200	150.7200	149.7200						100.6400	100.4500	100.4000	100.2700	99.9900
W5	149.9800	149.7800	151.1000	151.0200	149.9800	100.7420	100.4650	100.4375	100.3250	100.2900					
D5	149.6400	149.5800	150.9400	150.6600	149.7800	100.5420	100.2460	100.2260	100.1195	100.0280					
W6	149.9200	149.8800	151.1000	150.9600	149.9400						100.7600	100.4300	100.7100	100.3900	100.3300
D6	149.6000	149.6200	150.9000	150.6800	149.7000						100.5500	100.3100	100.4700	100.2900	100.0600
W7	149.9800	149.8800	151.1400	151.0000	149.9800	100.6665	100.3390	100.4475	100.2920	100.2870					
D7	149.6800	149.6400	150.9600	150.7400	149.7600	100.4425	100.2065	100.1985	100.1315	100.1140					
W8	149.9200	149.8000	151.1200	151.0800	149.9200						100.6000	100.3600	100.5200	100.4800	100.4300
D8	149.6800	149.5800	150.9400	150.6600	149.7400						100.5000	100.3700	100.2000	100.3400	100.2000
W9	149.9600	149.8200	151.1600	151.0000	150.0000	100.6555	100.3515	100.4825	100.4040	100.2620					
D9	149.6600	149.6000	150.9600	150.6800	149.7200	100.5325	100.1480	100.1860	100.1335	100.1390					
W10	149.9600	149.7800	151.1200	150.8800	149.9600						100.6600	100.6300	100.6900	100.3200	100.3200
D10	149.7000	149.5400	150.9000	150.7200	149.7800						100.5500	100.1300	100.2400	100.1600	100.3400
W11	149.8600	149.8800	151.1800	150.9800	149.9400	100.6440	100.4410	100.3525	100.2985	100.2900					
D11	149.7200	149.6200	150.9600	150.6600	149.6800	100.4660	100.1775	100.2245	100.1370	100.0585					
W12	149.9000	149.8600	151.1600	150.9000	149.9600	100.6430	100.3870	100.4015	100.3150	100.3875	100.8300	100.4800	100.5700	100.3900	100.4800
D12	149.7000	149.6000	150.9200	150.7400	149.7600	100.4595	100.2030	100.1555	100.1795	100.1415	100.4600	100.2300	100.3600	100.2000	100.3900

ตาราง ก 42 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 14 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.14(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	141.1400	142.1800	141.2200	141.1200	141.2000	99.9940	100.4180	100.5720	100.5355	101.5730	99.9700	100.5000	100.8300	100.4900	101.7900
W1	141.3400	142.5800	141.2400	141.2200	141.3800	100.1715	100.6250	100.6795	100.7600	101.6995					
D1	141.1600	142.1200	141.1800	141.1000	141.1400	99.9615	100.3545	100.5875	100.5750	101.5725					
W2	141.2400	142.4800	141.4200	141.2600	141.3200						100.1500	100.8900	100.9800	100.8500	101.5100
D2	141.0800	142.1200	141.2000	141.0600	141.2200						100.1400	100.4100	100.6400	100.5600	101.7400
W3	141.2000	142.2000	141.3800	141.4200	141.3400	100.3590	100.7420	100.5990	100.8350	101.5500					
D3	141.1600	142.1800	141.1800	141.1400	141.2200	99.9695	100.4070	100.6010	100.5490	101.5855					
W4	141.2200	142.4000	141.4200	141.2800	141.4000						100.2600	100.6400	100.8200	100.8600	101.7700
D4	141.1400	142.2000	141.2200	141.0600	141.1400						100.0700	100.6100	100.7300	100.6600	101.6400
W5	141.4800	142.4000	141.4600	141.1600	141.1600	100.1320	100.5490	100.8335	100.7605	101.7490					
D5	141.1000	142.1600	141.2000	141.1400	141.2000	99.9685	100.3755	100.5855	100.4760	101.5605					
W6	141.4000	142.4800	141.4400	141.1600	141.1600						100.3800	100.6600	100.9500	100.8400	101.6500
D6	141.1400	142.2000	141.1800	141.1200	141.1800						99.8800	100.4000	100.8100	100.5700	101.8300
W7	141.1200	142.5800	141.3400	141.3000	141.2400	100.2005	100.7245	100.8240	100.7410	101.6610					
D7	141.1000	142.1800	141.1600	141.0600	141.2200	99.9970	100.3945	100.5500	100.5440	101.5450					
W8	141.1600	142.5000	141.3800	141.3800	141.2800						100.4800	100.9700	100.7800	100.7900	101.8900
D8	141.1400	142.1600	141.1600	141.0800	141.2200						100.1700	100.6200	100.6900	100.6400	101.6900
W9	141.2600	142.4000	141.4200	141.2000	141.4000	100.3300	100.5385	100.7065	100.6195	101.7700					
D9	141.1000	142.2000	141.2200	141.1000	141.1800	99.9805	100.4010	100.5360	100.5625	101.6005					
W10	141.3000	142.4400	141.5000	141.3600	141.1200						100.4800	100.8200	100.7800	100.5900	102.0500
D10	141.1600	142.1200	141.2400	141.0600	141.1600						99.9800	100.5100	100.7300	100.6500	101.5900
W11	141.3400	142.4400	141.4800	141.2800	141.2800	100.3370	100.7185	100.7200	100.6450	101.6780					
D11	141.1200	142.1400	141.2400	141.1400	141.1400	100.0095	100.4410	100.5335	100.5535	101.5115					
W12	141.3200	142.4600	141.4800	141.3000	141.2400						100.2900	100.6700	101.1400	100.6100	101.9400
D12	141.1000	142.1400	141.2400	141.1400	141.1800						100.0400	100.3500	100.7500	100.4300	101.7800

ตาราง ก 43 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 15 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.15(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.7400	152.2600	152.5800	152.6600	152.8000	100.0860	100.1100	100.0430	100.0420	99.9275	.	.	.	.	.
W1	152.9400	152.3200	152.6800	152.6400	152.8400	100.3450	100.3820	100.0670	100.0645	100.2140	.	.	.	.	.
D1	152.6600	152.2200	152.5600	152.6200	152.7400	100.0620	100.1215	99.9885	100.0065	99.8985	.	.	.	.	.
W2	152.8000	152.5600	152.6800	152.9200	152.9800	100.3620	100.1655	100.2025	100.2550	99.9480	.	.	.	.	.
D2	152.6600	152.2000	152.5600	152.6600	152.8200	100.0875	100.0760	100.0000	100.0370	99.8945	.	.	.	.	.
W3	152.8000	152.3000	152.8400	152.8200	153.0800	100.1510	100.3255	100.3195	100.2215	99.9095	.	.	.	.	.
D3	152.7400	152.2200	152.5400	152.6800	152.8000	100.0605	100.1270	100.0070	100.0265	99.8865	.	.	.	.	.
W4	152.7600	152.3200	152.8400	152.6600	152.9800	100.1270	100.3550	100.1455	100.1300	100.2205	.	.	.	.	.
D4	152.6800	152.2800	152.6000	152.6800	152.8000	100.0925	100.1270	100.0570	99.9870	99.9210	.	.	.	.	.
W5	152.7200	152.5000	152.8400	152.7600	152.8200	100.2830	100.1455	100.2620	100.1895	100.1685	.	.	.	.	.
D5	152.7400	152.2400	152.5800	152.6000	152.7800	100.0605	100.0700	100.0240	100.0285	99.8725	.	.	.	.	.
W6	152.7800	152.3200	152.7600	152.8000	152.7800	100.2435	100.3075	100.2035	100.2455	99.9305	.	.	.	.	.
D6	152.7200	152.2400	152.5600	152.6600	152.7800	100.0345	100.0875	99.9935	100.0375	99.8610	.	.	.	.	.
W7	152.9400	152.4000	152.5800	152.8200	152.9000	100.3260	100.1845	100.0370	100.2230	100.1140	.	.	.	.	.
D7	152.6600	152.2200	152.6000	152.5800	152.7800	100.0120	100.0815	99.9655	100.0220	99.9225	.	.	.	.	.
W8	152.7200	152.2600	152.6600	152.8400	152.9600	100.3270	100.2275	100.2040	100.2980	100.0970	.	.	.	.	.
D8	152.7600	152.2200	152.6000	152.6200	152.8200	100.0945	100.0700	100.0210	99.9990	99.9070	.	.	.	.	.
W9	152.8800	152.2400	152.7600	152.8400	152.9800	100.3030	100.4360	100.1175	99.9845	100.1200	.	.	.	.	.
D9	152.7400	152.1800	152.5400	152.6400	152.8200	100.0505	100.0025	100.0400	100.0665	99.8720	.	.	.	.	.
W10	152.8200	152.3600	152.5800	152.8000	152.7600	100.2220	100.3710	100.1740	100.2510	100.2690	.	.	.	.	.
D10	152.7200	152.2600	152.5200	152.6800	152.7600	100.0660	100.0605	99.9510	100.0220	99.8980	.	.	.	.	.
W11	152.8800	152.3200	152.5800	152.6400	152.9600	100.3130	100.1570	100.1620	100.3650	100.0965	.	.	.	.	.
D11	152.7600	152.2400	152.6000	152.5800	152.7200	99.9875	100.1120	100.0455	100.0135	99.9370	.	.	.	.	.
W12	152.7800	152.4400	152.5800	152.7800	152.9400	100.2020	100.4250	100.0235	100.3285	100.2040	.	.	.	.	.
D12	152.7000	152.2800	152.6000	152.5800	152.7600	100.0555	100.0760	100.0210	99.9195	99.9275	.	.	.	.	.

ตาราง ก 44 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 15 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.15(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.4800	151.3800	151.2800	153.7800	152.6000	100.2995	100.2940	100.1095	100.0175	100.0600	100.3100	100.4000	100.1000	100.2200	100.0000
W1	151.6600	151.5400	151.5800	153.8800	152.7000	100.5045	100.4115	100.2825	100.2445	100.1960					
D1	151.3800	151.3200	151.2800	153.7000	152.6000	100.2915	100.2910	100.0540	99.9585	100.0555					
W2	151.6600	151.6800	151.7400	153.8800	152.8000						100.7000	100.4700	100.2900	100.3800	100.3300
D2	151.4000	151.3200	151.2800	153.7800	152.5000						100.3100	100.3700	100.0800	100.0100	100.0800
W3	151.7200	151.6200	151.6000	153.9600	152.9000	100.4975	100.4335	100.2825	100.1735	100.2060					
D3	151.5000	151.4000	151.2800	153.7400	152.5200	100.2095	100.2140	100.1070	100.0055	100.0340					
W4	151.7400	151.6200	151.6200	154.0000	152.7800						100.4900	100.3800	100.2600	100.2300	100.1500
D4	151.5000	151.4000	151.2800	153.7600	152.5400						100.4300	100.3300	100.0800	100.0900	100.1300
W5	151.6600	151.5800	151.6400	153.8800	152.7200	100.5160	100.5220	100.2765	100.1595	100.2650					
D5	151.4400	151.3600	151.3000	153.8000	152.6000	100.2790	100.2045	100.0100	100.0020	100.0425					
W6	151.6800	151.6200	151.5600	153.9200	152.7000						100.5500	100.4200	100.5600	100.3900	100.4600
D6	151.4400	151.4000	151.3000	153.7000	152.5400						100.4400	100.4800	99.9500	100.2300	100.1300
W7	151.6400	151.6600	151.6600	154.0000	152.8200	100.4700	100.5440	100.2750	100.1495	100.1740					
D7	151.4000	151.2800	151.3000	153.7200	152.5800	100.2025	100.2505	100.0475	100.0290	100.0815					
W8	151.6200	151.6000	151.7000	154.0000	152.8000						100.6400	100.7100	100.3800	100.2400	100.4400
D8	151.4200	151.3600	151.2400	153.7200	152.6200						100.2400	100.3700	100.3700	100.1500	100.2100
W9	151.7200	151.6200	151.5800	153.9600	152.7800	100.4890	100.5555	100.3055	100.1470	100.2040					
D9	151.5000	151.2800	151.3000	153.7000	152.5200	100.2580	100.3035	100.0920	100.0305	100.0110					
W10	151.7200	151.5400	151.7000	154.0200	152.8200						100.6500	100.4100	100.3100	100.2000	100.3700
D10	151.5000	151.3200	151.3000	153.7200	152.6000						100.1900	100.5000	100.3100	99.9600	100.0700
W11	151.6000	151.6600	151.6400	153.8800	152.8400	100.5330	100.4690	100.2385	100.1385	100.2175					
D11	151.4200	151.3800	151.1800	153.8000	152.5800	100.2245	100.2610	100.0595	99.9680	100.0685					
W12	151.6800	151.5600	151.7200	153.9200	152.8200	100.4540	100.5005	100.2825	100.2100	100.2500	100.4400	100.4500	100.4300	100.4700	100.3800
D12	151.4200	151.3600	151.2400	153.7800	152.6200	100.3020	100.2395	100.0620	99.9295	100.0675	100.2600	100.2500	100.2500	100.1900	100.3300

ตาราง ก 45 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 15 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.15(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	149.9400	149.2200	149.5400	149.8800	151.0600	100.2545	100.1785	100.2580	100.0590	100.0325	100.3700	100.1700	100.5100	100.2100	100.2700
W1	150.1800	149.4400	149.6600	149.9900	151.1800	100.5000	100.3195	100.3600	100.2135	100.3995					
D1	149.9600	149.1400	149.5600	149.8600	151.0800	100.1770	100.1495	100.1695	100.0120	100.0235					
W2	150.2400	149.3200	149.7400	150.0400	151.1200						100.5400	100.3600	100.5200	100.4500	100.3200
D2	149.9400	149.2000	149.5000	149.8800	151.0400						100.1300	100.0500	100.4900	100.3000	100.1500
W3	150.2000	149.2600	149.8600	149.9800	151.2000	100.3510	100.2285	100.5200	100.3240	100.3420					
D3	149.9000	149.2200	149.5400	149.8400	151.0600	100.2145	100.1930	100.2620	100.0920	99.9610					
W4	149.9400	149.5600	149.6600	149.9600	151.4000						100.4400	100.4300	100.6500	100.5500	100.3000
D4	149.8800	149.2200	149.5600	149.8800	151.0800						100.1400	100.0300	100.2800	100.1800	100.1400
W5	150.1200	149.5400	149.5600	149.8200	151.2800	100.5595	100.2655	100.6300	100.1190	100.1700					
D5	149.9200	149.2400	149.5600	149.8600	151.0800	100.2640	100.2140	100.2210	100.0740	100.0540					
W6	150.2600	149.4200	149.6000	150.0600	151.1800						100.4100	100.6200	100.5100	100.1700	100.3900
D6	149.9000	149.2200	149.4800	149.8800	151.0000						100.2400	100.2300	100.2700	100.2000	100.1100
W7	150.2600	149.4000	149.7000	149.9000	151.1200	100.3230	100.3795	100.4235	100.4320	100.2505					
D7	149.9000	149.1400	149.5200	149.8800	151.0000	100.2185	100.1845	100.2025	100.0715	100.0580					
W8	150.0400	149.3200	149.7800	149.8600	151.3800						100.4200	100.5300	100.5000	100.3800	100.3600
D8	149.9200	149.1400	149.5200	149.8600	150.9800						100.4400	100.2400	100.3200	100.1400	99.9600
W9	149.9400	149.4600	149.7400	149.9200	151.3600	100.4100	100.2335	100.4975	100.2575	100.3890					
D9	149.9400	149.1800	149.5600	149.8000	151.0800	100.2825	100.1540	100.2560	100.0155	100.0110					
W10	150.1800	149.1600	149.9400	149.9000	151.4200						100.5400	100.3600	100.3600	100.3800	100.3000
D10	149.9400	149.2200	149.5600	149.8000	151.0800						100.2100	100.1900	100.1900	100.1000	100.0000
W11	150.1600	149.3800	149.4600	150.1600	151.3400	100.3950	100.2200	100.3295	100.4270	100.2445					
D11	149.9400	149.2000	149.4800	149.9000	150.9800	100.2500	100.1325	100.1765	100.0700	99.9845					
W12	150.1400	149.5000	149.7200	149.9600	151.0200						100.6200	100.3500	100.7700	100.6000	100.4100
D12	149.9200	149.2200	149.5000	149.8400	151.0400						100.2500	100.2600	100.4200	100.0500	99.9000

ตาราง ก 46 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 16 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.16(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.6400	151.1200	151.1400	151.4800	151.3000	99.7870	100.0055	99.9895	100.0795	100.2290	.	.	.	.	.
W1	152.8200	151.4200	151.3800	151.7200	151.3000	99.7665	100.2715	100.1940	100.1280	100.3165	.	.	.	.	.
D1	152.6000	151.0400	151.1400	151.4400	151.2600	99.7400	99.9600	99.9850	100.0085	100.1605	.	.	.	.	.
W2	152.8000	151.3800	151.4200	151.4800	151.2800	99.9685	100.1220	99.9870	100.3500	100.2285	.	.	.	.	.
D2	152.5600	151.0600	151.0800	151.4200	151.3200	99.7340	99.9355	99.9915	100.0090	100.2105	.	.	.	.	.
W3	152.8000	151.1200	151.3800	151.6400	151.4800	100.0280	100.1210	100.0045	100.2645	100.2245	.	.	.	.	.
D3	152.5600	151.0600	151.0800	151.4800	151.2800	99.7820	99.9360	100.0090	99.9835	100.1670	.	.	.	.	.
W4	152.8200	151.3800	151.2000	151.7800	151.4400	99.9575	100.1205	100.1650	100.1795	100.3030	.	.	.	.	.
D4	152.5600	151.1000	151.1200	151.4600	151.3000	99.7465	99.9475	99.9855	100.0020	100.1560	.	.	.	.	.
W5	152.6400	151.2200	151.2800	151.5400	151.2800	99.8075	100.2240	100.1090	100.2105	100.4125	.	.	.	.	.
D5	152.6400	151.0600	151.0800	151.4600	151.2800	99.7300	99.9815	99.9590	100.0430	100.2230	.	.	.	.	.
W6	152.8000	151.2400	151.3800	151.6600	151.4400	100.0010	100.0785	99.9850	100.2240	100.4700	.	.	.	.	.
D6	152.6000	151.0400	151.0600	151.4200	151.3000	99.7190	99.9840	100.0070	100.0690	100.2470	.	.	.	.	.
W7	151.1800	151.2800	151.0800	151.6400	151.2400	99.9630	100.2760	100.1120	100.3790	100.4480	.	.	.	.	.
D7	152.5600	151.1400	151.1200	151.4200	151.2200	99.7010	100.0075	99.9840	100.0610	100.1830	.	.	.	.	.
W8	152.8000	151.1800	151.3200	151.4600	151.3400	99.7255	100.1735	100.2360	100.3410	100.3875	.	.	.	.	.
D8	152.6000	151.1200	151.1400	151.4000	151.3000	99.7675	99.9175	99.8860	100.1090	100.2120	.	.	.	.	.
W9	152.8000	151.2600	151.2200	151.4600	151.3400	99.9400	100.1895	99.9910	100.3605	100.3355	.	.	.	.	.
D9	152.6600	151.1400	151.1200	151.4400	151.2600	99.6605	100.0185	99.9075	100.0955	100.1065	.	.	.	.	.
W10	152.8000	151.1200	151.1400	151.5200	151.4200	100.0350	99.9880	100.0755	100.1820	100.4780	.	.	.	.	.
D10	152.6400	151.1200	151.0800	151.5000	151.3200	99.7555	99.9070	99.9075	100.0775	100.1700	.	.	.	.	.
W11	152.6200	151.3000	151.1400	151.5600	151.4600	99.9965	100.0500	100.0760	100.4340	100.3340	.	.	.	.	.
D11	152.5600	151.0400	151.1600	151.4600	151.2600	99.7340	100.0375	99.9820	99.9960	100.1910	.	.	.	.	.
W12	152.7400	151.1800	151.2400	151.5400	151.4600	99.8660	100.3310	99.9920	100.4165	.	.	.	.	.	.
D12	152.5600	151.0400	151.1000	151.4800	151.3000	99.8205	100.0280	99.9810	99.9885	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 47 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 16 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.16(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.3200	153.4400	151.9400	151.8400	151.6800	99.9965	100.0890	99.9970	100.0100	100.1995	100.1200	100.2500	100.0000	100.1800	100.2300
W1	152.4000	153.4400	152.2200	151.9800	151.7600	100.1090	100.2295	100.2280	100.2160	100.4160					
D1	152.2400	153.4000	151.9000	151.8200	151.7000	99.8520	100.0905	99.9250	99.9825	100.0445					
W2	152.5000	153.6200	152.1000	151.9000	151.7200						100.0700	100.5500	100.3100	100.4700	100.3900
D2	152.1800	153.2800	151.9600	151.6800	151.6800						100.2600	100.3700	99.9000	100.2800	100.4000
W3	152.4600	153.5400	152.1400	151.9400	151.7800	100.1385	100.3140	100.1335	100.1710	100.4190					
D3	152.2800	153.3000	151.9400	151.7800	151.6400	99.8970	100.0490	100.0190	99.9760	100.0815					
W4	152.4600	153.5800	152.2400	152.1200	151.6800						100.4800	100.2500	100.2000	100.2800	100.4300
D4	152.3400	153.4000	151.9200	151.8000	151.6200						100.1100	100.3100	99.9900	100.2400	100.0900
W5	152.5000	153.5800	152.1600	152.0600	151.7400	100.1560	100.1850	100.2060	100.1850	100.3285					
D5	152.3400	153.3600	151.9600	151.7800	151.5600	99.8775	100.1185	99.9960	99.9985	100.0980					
W6	152.5400	153.5400	152.0400	152.0600	151.8600						100.1800	100.4200	100.3100	100.4300	100.2800
D6	152.3400	153.3800	151.9200	151.7000	151.6200						99.9200	100.3200	100.1900	100.0000	100.3400
W7	152.4400	153.5000	152.1800	151.9800	151.8600	100.1255	100.3300	100.0905	100.1075	100.4370					
D7	152.3000	153.4000	151.8200	151.7400	151.6200	99.9450	100.0270	99.9255	99.9745	100.1230					
W8	152.5000	153.5600	152.1600	152.0600	151.7800						100.0000	100.3200	100.3800	100.1000	100.3800
D8	152.2000	153.4600	151.8000	151.8200	151.7000						99.8000	100.1200	100.1300	99.9400	100.1200
W9	152.5000	153.5800	152.0600	151.9600	151.8400	100.1725	100.2330	100.1225	100.1825	100.3425					
D9	152.2800	153.4400	151.7800	151.7000	151.6400	99.8930	99.9885	100.0230	99.9990	100.0940					
W10	152.4800	153.6400	152.1000	151.9200	151.8000						100.3400	100.3600	100.2000	100.1900	100.5600
D10	152.3000	153.3200	151.8800	151.8200	151.5200						99.8800	99.9800	99.9000	100.1400	100.2800
W11	152.4400	153.6800	152.1400	152.0000	151.7800	100.1440	100.2365	100.2150	100.1480	100.2930					
D11	152.2000	153.4000	151.9000	151.8600	151.6400	99.8610	100.0345	100.0020	99.9630	100.0655					
W12	152.4600	153.6200	152.1000	152.0000	151.8600	100.0950	100.1900	100.0850	100.1955	100.3295	100.2600	100.1800	100.2500	100.2200	100.2900
D12	152.1800	153.3600	151.8600	151.7400	151.6600	99.9655	99.9950	99.9925	99.9145	100.1425	100.1000	99.9200	100.1500	99.9900	100.2000

ตาราง ก 48 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 16 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.16(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	138.1600	137.9600	137.9400	138.6000	138.3000	100.2720	100.5730	100.2910	100.2945	100.7525	100.3000	100.5000	100.3200	100.2200	100.7000
W1	138.4000	137.9000	138.0400	138.6200	138.6200	100.2035	100.7410	100.5065	100.4465	100.9965					
D1	138.1200	137.9800	137.9600	138.5200	138.2800	100.1815	100.5390	100.2685	100.2780	100.7045					
W2	138.3200	137.9600	138.0600	138.7200	138.3000						100.3100	100.8200	100.3100	100.6100	101.2400
D2	138.1400	137.9200	137.9400	138.6000	138.3200						100.3700	100.7000	100.2800	100.4900	100.9500
W3	138.4000	138.0600	138.0400	138.6800	138.4000	100.3255	100.5490	100.6480	100.3955	100.9980					
D3	138.1200	137.8800	137.9000	138.5800	138.2400	100.1825	100.5900	100.2330	100.2330	100.7225					
W4	138.1400	137.9600	138.3000	138.6400	138.4800						100.4900	100.6400	100.6700	100.3300	100.9200
D4	138.1000	137.9000	137.8400	138.5200	138.3200						100.1800	100.7300	100.3000	100.4900	100.8100
W5	138.4400	138.0400	138.0000	138.6400	138.5000	100.4260	100.6880	100.5125	100.4325	100.8690					
D5	138.1600	137.9000	137.8600	138.5200	138.2800	100.1965	100.5750	100.2195	100.2185	100.7435					
W6	138.1600	138.1000	138.2000	138.5800	138.5200						100.5500	100.6800	100.5000	100.4200	100.8700
D6	138.1200	137.8600	137.9600	138.5600	138.2600						100.2700	100.7100	100.3400	100.3400	100.9800
W7	138.2200	138.1000	138.1800	138.5800	138.4600	100.5325	100.5925	100.6135	100.3390	100.7800					
D7	138.1000	137.9600	137.9200	138.5400	138.2400	100.1335	100.5040	100.3225	100.2470	100.7020					
W8	138.1600	138.2600	138.0800	138.5800	138.3800						100.5400	100.7800	100.7500	100.4400	100.9500
D8	138.0800	137.9400	137.8600	138.6000	138.2200						100.3300	100.6800	100.2000	100.3200	100.9600
W9	138.2400	138.2200	138.1200	138.6400	138.4600	100.3630	100.6590	100.3740	100.5320	100.9030					
D9	138.1600	137.8800	137.9000	138.6200	138.2600	100.1405	100.4945	100.2765	100.2980	100.7175					
W10	138.1600	138.0200	138.1600	138.6200	138.6400						100.3600	100.8100	100.6900	100.4500	100.9800
D10	138.1200	137.9800	137.9000	138.5600	138.2800						100.2100	100.6200	100.4600	100.5300	100.8000
W11	138.2200	138.1000	138.1200	138.7000	138.3600	100.3255	100.6390	100.5375	100.3890	100.9795					
D11	138.1000	137.9600	137.8400	138.5200	138.2200	100.1565	100.5525	100.3040	100.2340	100.7010					
W12	138.2600	138.3000	138.1400	138.6400	138.3600						100.2700	100.8700	100.5300	100.4300	100.9200
D12	138.0800	137.9800	137.9200	138.6000	138.3000						100.0900	100.5100	100.3200	100.4000	100.8400

ตาราง ก 49 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 17 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.17(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	153.3600	152.3800	153.1400	152.9200	152.8200	100.0640	100.1055	99.6545	100.0475	100.0125	.	.	.	.	.
W1	153.3800	152.4800	153.2800	153.0000	152.9400	100.0520	100.0815	99.8210	100.2085	100.1810	.	.	.	.	.
D1	153.3000	152.3600	153.1000	152.8800	152.8200	100.0260	100.1065	99.6415	100.0210	99.9535	.	.	.	.	.
W2	153.3800	152.3800	153.1400	152.9400	152.8600	100.0745	100.1270	100.1000	100.2130	100.0270	.	.	.	.	.
D2	153.3600	152.3000	153.1200	152.8600	152.7800	100.0695	100.0850	99.6190	100.0090	99.9475	.	.	.	.	.
W3	153.3600	152.3800	153.2200	153.0600	152.9200	100.1485	100.2295	99.8070	100.0525	100.2435	.	.	.	.	.
D3	153.3400	152.3600	153.1000	152.8800	152.7400	100.0015	100.0830	99.5710	99.9685	100.0285	.	.	.	.	.
W4	153.5600	152.4000	153.3400	153.1200	152.8800	100.0585	100.3235	99.6890	100.0635	100.1190	.	.	.	.	.
D4	153.3800	152.3400	153.0800	152.9200	152.8400	100.0830	100.0465	99.5660	100.0230	100.0420	.	.	.	.	.
W5	153.4000	152.5800	153.2400	153.1600	152.8200	100.0585	100.2840	99.6610	100.1900	100.0670	.	.	.	.	.
D5	153.2800	152.3200	153.1200	152.9000	152.7800	100.0430	100.0605	99.6110	99.9835	100.0000	.	.	.	.	.
W6	153.5000	152.6000	153.2200	152.9600	152.8000	100.1160	100.3015	99.7690	100.0825	100.1170	.	.	.	.	.
D6	153.3600	152.3200	153.1400	152.9200	152.7600	100.0885	100.0625	99.5560	99.9905	100.0300	.	.	.	.	.
W7	153.4800	152.4000	153.3000	153.1400	152.9600	100.0860	100.2075	99.7430	100.1445	100.1135	.	.	.	.	.
D7	153.3200	152.3400	153.1200	152.9200	152.7800	100.0215	100.1055	99.5610	99.9880	99.9680	.	.	.	.	.
W8	153.3600	152.4600	153.2400	153.0400	152.8200	100.2140	100.1955	99.8120	100.2065	100.1345	.	.	.	.	.
D8	153.3600	152.3400	153.1000	152.9200	152.7800	99.9780	100.0565	99.5715	99.9995	99.9445	.	.	.	.	.
W9	153.3800	152.4400	153.1800	152.8800	152.9200	100.2450	100.2890	99.8505	100.0180	100.2565	.	.	.	.	.
D9	153.2800	152.3000	153.1400	152.8800	152.7800	99.9670	100.0240	99.5920	100.0190	99.9895	.	.	.	.	.
W10	153.4000	152.5000	153.2400	152.9000	152.9400	100.1175	100.1370	99.8600	100.1660	100.2285	.	.	.	.	.
D10	153.3800	152.3600	153.0600	152.8600	152.7400	100.0505	100.1080	99.6035	100.0300	100.0040	.	.	.	.	.
W11	153.4600	152.5000	153.2800	152.8800	152.9200	100.0090	100.2290	99.8780	100.1785	100.0125	.	.	.	.	.
D11	153.2800	152.3800	153.1400	152.9200	152.7800	100.0545	99.9790	99.6270	100.0370	100.0170	.	.	.	.	.
W12	153.4400	152.3800	153.2600	152.9200	152.9200	100.1560	100.2630	99.8960	100.2205	100.0165	.	.	.	.	.
D12	153.3600	152.3000	153.1000	152.8600	152.8200	100.0495	100.1090	99.6600	100.0185	99.8970	.	.	.	.	.

ตาราง ก 50 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 17 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No17(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.1600	153.0000	152.1000	150.9400	151.2200	99.9965	100.1195	99.9795	100.0935	100.1175	100.1700	100.2000	100.2500	100.0500	100.1600
W1	151.2200	153.2200	152.1800	151.1800	151.3800	100.1430	100.2490	100.1015	100.1995	100.3455					
D1	150.9800	152.9400	152.0000	150.7800	151.1600	99.8695	99.9600	100.0145	99.9845	100.0525					
W2	151.3000	153.2000	152.2800	151.1600	151.4600						100.2500	100.2500	100.0900	100.1900	100.5600
D2	151.0400	152.9200	151.9600	150.8800	151.0800						100.1300	100.2400	100.0300	100.0300	100.0600
W3	151.3800	153.1800	152.3200	151.2000	151.3800	100.0805	100.2325	100.1480	100.3335	100.3095					
D3	151.1800	152.8600	151.9600	150.8000	151.0800	99.9495	100.0395	99.9060	100.1230	100.0900					
W4	151.4000	153.1400	152.2400	151.1800	151.4000						100.4100	100.1600	100.2000	100.4400	100.4000
D4	151.0800	152.8800	151.9800	150.9200	151.0400						99.9200	100.2800	99.8800	100.0300	100.0400
W5	151.2400	153.2000	152.1400	151.1800	151.4400	100.1635	100.2185	100.1815	100.2365	100.2945					
D5	150.9800	152.8400	152.0000	150.9000	151.2000	99.8665	100.0345	99.9665	99.9845	100.0680					
W6	151.3400	153.3200	152.2400	151.1000	151.4200						100.1800	100.4300	100.1500	100.4800	100.1300
D6	151.0200	152.8800	152.0000	150.8200	151.1400						99.9800	99.9700	99.9800	100.0500	100.0600
W7	151.2400	153.2400	152.3200	151.2000	151.4800	100.0790	100.2905	100.2095	100.2725	100.2925					
D7	151.1800	153.0200	152.1200	150.9600	151.0800	99.9985	100.0160	99.8560	100.0340	99.9940					
W8	151.2800	153.1000	152.3400	151.1200	151.4200						100.0600	100.5000	100.3000	100.2100	100.4100
D8	151.0800	153.0000	151.9600	150.9200	151.1200						99.9600	100.0700	100.1400	100.0000	100.2800
W9	151.3600	153.2200	152.2800	151.1200	151.4800	100.1035	100.2830	100.2095	100.2275	100.2460					
D9	151.0400	152.9600	152.0000	150.9200	151.0800	100.0255	100.0085	99.9435	99.9180	100.0075					
W10	151.2400	153.2200	152.3000	151.1200	151.3600						100.1100	100.2400	100.2500	100.2600	100.4900
D10	151.1000	152.9600	152.0800	150.9600	151.2000						99.9200	100.2300	100.0500	100.0200	100.1800
W11	151.2800	153.2000	152.3400	151.0800	151.3800	100.2255	100.3020	100.1585	100.3025	100.3390					
D11	151.1600	152.8800	152.0000	150.8000	151.2000	99.9085	99.9550	99.8365	100.1310	100.0625					
W12	151.3400	153.2200	152.2600	151.0200	151.4000	100.1195	100.3505	100.1780	100.2925	100.2380	100.3800	100.3200	100.2800	100.4600	100.5100
D12	151.0400	152.8400	152.0800	150.8800	151.1200	100.0350	99.9885	99.8345	100.1230	99.9770	100.2400	100.0800	100.0200	100.1000	100.2300

ตาราง ก 51 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 17 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.17(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	146.0800	146.4200	146.7600	147.5200	146.7800	100.1400	100.2110	100.1195	99.9960	99.9740	100.2100	100.4600	100.1900	100.2600	99.9100
W1	146.2200	146.6400	147.0200	147.6000	146.8200	100.4815	100.4375	100.1860	100.0700	100.0410					
D1	145.9200	146.3000	146.6400	147.3400	146.6600	100.0605	100.1690	100.1330	99.8750	99.8900					
W2	146.3400	146.4000	146.7400	147.9000	146.8400						100.6800	100.5900	100.3700	100.2700	100.2700
D2	145.9800	146.2400	146.6000	147.5000	146.7400						100.1800	100.2800	100.1500	100.0100	99.9400
W3	146.2600	146.6200	147.0600	147.6400	146.7800	100.1150	100.5505	100.1700	100.1400	100.2095					
D3	146.0600	146.4200	146.6200	147.3400	146.6800	100.0555	100.0855	99.9920	99.9825	99.8870					
W4	146.2400	146.5000	147.1000	147.7800	146.7200						100.4000	100.4400	100.3100	100.1500	100.4100
D4	146.0000	146.3600	146.6200	147.3400	146.7600						100.0800	100.3100	100.0700	99.9700	99.8700
W5	146.0800	146.4200	146.8800	147.7200	147.1600	100.3075	100.4260	100.1755	100.1130	100.1900					
D5	146.0200	146.3000	146.7800	147.3600	146.7000	100.0625	100.2040	100.0590	99.9450	99.9030					
W6	146.3200	146.4200	146.9200	147.7400	146.8600						100.4800	100.5400	100.0900	100.2000	100.0200
D6	145.9800	146.2200	146.7400	147.4600	146.7400						100.0500	100.3800	100.2900	100.0000	100.0600
W7	146.2000	146.6400	146.8200	147.7400	146.8200	100.2605	100.4835	100.2105	100.2100	100.0425					
D7	146.1000	146.4400	146.6400	147.3200	146.6800	99.9910	100.0710	99.9830	99.9975	99.9325					
W8	146.1800	146.5400	147.0600	147.5600	146.8200						100.3600	100.5900	100.4700	100.2000	100.0700
D8	145.8800	146.4400	146.7400	147.3400	146.7000						100.2300	100.1800	100.1500	100.0800	99.8800
W9	146.2000	146.5800	146.9600	147.5800	147.0600	100.3735	100.5185	100.1380	99.9895	100.1970					
D9	145.9600	146.3800	146.7000	147.3600	146.6800	99.9955	100.1385	100.1035	99.9655	99.9245					
W10	146.1600	146.5600	146.9400	147.6600	146.9200						100.2000	100.4800	100.3900	100.1000	100.0700
D10	146.0200	146.3600	146.6800	147.4800	146.7000						100.3800	100.1300	99.9900	100.2200	99.8900
W11	146.2800	146.6400	146.8400	147.5000	147.0000	100.2130	100.4120	100.2285	100.1400	100.1035					
D11	145.8800	146.3600	146.6400	147.4600	146.7000	100.1470	100.1080	99.9935	100.0340	99.8680					
W12	146.2200	146.6000	146.8000	147.5600	146.9600						100.3200	100.5800	100.4200	100.3800	100.2600
D12	146.0600	146.4000	146.6600	147.4000	146.7400						99.9700	100.2000	100.1200	99.9900	99.9200

ตาราง ก 52 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 18 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.18(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	154.4275	154.3095	154.4300	154.6025	154.8805	100.1870	100.1190	100.0700	100.2435	100.1610	.	.	.	.	.
W1	154.4440	154.2815	154.5025	154.6645	154.9490	100.3675	100.1295	100.1900	100.3625	100.2005	.	.	.	.	.
D1	154.3630	154.3035	154.3465	154.5800	154.8230	100.1140	100.0815	100.0625	100.1845	100.0690	.	.	.	.	.
W2	154.4055	154.3620	154.6095	154.7845	154.9830	100.2430	100.2335	100.1865	100.2200	100.2230	.	.	.	.	.
D2	154.3300	154.2895	154.4085	154.5625	154.7815	100.1755	100.0120	100.0695	100.1645	100.0830	.	.	.	.	.
W3	154.6250	154.3440	154.4035	154.7800	154.9635	100.2700	100.1195	100.2285	100.3025	100.2015	.	.	.	.	.
D3	154.4400	154.2615	154.3205	154.5205	154.8425	100.1050	100.0840	100.0435	100.1800	100.0835	.	.	.	.	.
W4	154.4880	154.3810	154.6045	154.6695	155.0445	100.2700	100.1615	100.1205	100.2805	100.3025	.	.	.	.	.
D4	154.3640	154.2200	154.3630	154.5260	154.8255	100.1680	100.0010	100.0045	100.2495	100.0645	.	.	.	.	.
W5	154.6410	154.3415	154.4855	154.7670	155.0020	100.2640	100.1400	100.1830	100.3860	100.1655	.	.	.	.	.
D5	154.3480	154.2455	154.3865	154.5085	154.8645	100.1410	100.0815	100.0455	100.2270	100.1420	.	.	.	.	.
W6	154.6220	154.3220	154.5055	154.6485	155.0210	.	100.2255	100.1065	100.4085	100.2445	.	.	.	.	.
D6	154.3675	154.3020	154.3855	154.6225	154.8060	.	100.0520	100.0855	100.1485	100.0810	.	.	.	.	.
W7	154.6090	154.3080	154.5640	154.7840	155.0265	.	100.2520	100.1055	100.3025	100.2060	.	.	.	.	.
D7	154.4400	154.2400	154.4000	154.5200	154.8000	.	100.0880	100.0240	100.1440	100.0865	.	.	.	.	.
W8	154.3875	154.2895	154.4700	154.6625	154.9405	.	100.2235	100.1655	100.3350	100.2675	.	.	.	.	.
D8	154.3875	154.3295	154.3500	154.6225	154.8005	.	100.0695	100.0245	100.1435	100.0815	.	.	.	.	.
W9	154.4275	154.4095	154.5300	154.6425	154.9405	.	100.2310	100.1675	100.3420	100.1975	.	.	.	.	.
D9	154.3875	154.2895	154.3900	154.5225	154.8405	.	100.0450	99.9980	100.1960	100.1400	.	.	.	.	.
W10	154.5475	154.2695	154.5100	154.7225	154.8805	.	100.2515	100.1460	100.3560	100.2515	.	.	.	.	.
D10	154.3675	154.2495	154.4300	154.6025	154.8005	.	100.1215	100.0810	100.1590	100.1005	.	.	.	.	.
W11	154.5075	154.3695	154.5300	154.7425	154.8605	.	100.2415	100.2380	100.2465	100.2140	.	.	.	.	.
D11	154.4475	154.2495	154.3500	154.5225	154.8405	.	100.0015	100.0405	100.1700	100.1625	.	.	.	.	.
W12	154.5275	154.2695	154.4500	154.6225	154.8405	.	100.2465	100.2290	100.3275	100.2495	.	.	.	.	.
D12	154.4475	154.2895	154.4300	154.5225	154.8005	.	99.9980	100.0225	100.2275	100.1450	.	.	.	.	.

ตาราง ก 53 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 18 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.18(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.8800	150.4800	150.2800	150.4200	151.3200	99.9765	100.1135	100.1960	99.9960	100.2190	100.2000	100.3100	100.3500	100.2700	100.3100
W1	151.0600	150.5600	150.3600	150.5200	151.5000	100.1655	100.1730	100.2600	100.1755	100.2970					
D1	150.8400	150.4000	150.1800	150.3200	151.1600	99.9920	100.0265	100.1030	99.8550	100.2110					
W2	151.0000	150.4400	150.4000	150.5400	151.4200						100.4000	100.3300	100.4100	100.2400	100.4100
D2	150.7400	150.4200	150.2200	150.4200	151.2400						99.9800	100.1300	100.3400	100.0900	100.4100
W3	151.0400	150.5800	150.3400	150.4800	151.4600	100.1095	100.2395	100.2985	100.1935	100.3035					
D3	150.7200	150.3600	150.2600	150.3200	151.2600	100.0045	100.0560	100.0210	99.9445	100.2025					
W4	150.9600	150.5600	150.4000	150.5800	151.5000						100.2500	100.3400	100.4300	100.2000	100.4900
D4	150.8600	150.2800	150.2800	150.4000	151.3400						100.0400	100.1400	100.2700	100.0500	100.0900
W5	150.9600	150.6000	150.4400	150.6000	151.3800	100.1395	100.2395	100.2910	100.1655	100.3990					
D5	150.7600	150.4200	150.1200	150.2200	151.2200	99.9170	99.9190	100.0930	99.9715	100.0740					
W6	150.9600	150.6600	150.3600	150.5400	151.4000						100.2400	100.4200	100.3400	100.1300	100.5100
D6	150.8200	150.4000	150.1200	150.3400	151.2800						100.0100	100.2000	100.2900	99.9900	100.3000
W7	151.1000	150.5800	150.3600	150.5400	151.5000	100.1490	100.3270	100.3620	100.1995	100.3100					
D7	150.9000	150.4400	150.2000	150.4000	151.1400	99.9560	100.1065	100.0940	99.8630	100.2425					
W8	151.0800	150.5800	150.3800	150.5200	151.3600						100.3500	100.1700	100.6000	100.4300	100.4300
D8	150.8800	150.5000	150.1400	150.3000	151.2200						100.0100	100.0400	100.4600	100.0800	100.2200
W9	151.0000	150.6000	150.4000	150.5200	151.3800	100.1355	100.2340	100.3485	100.1110	100.2920					
D9	150.7800	150.3800	150.1400	150.4400	151.3000	99.7865	100.0755	100.2050	99.9115	100.0850					
W10	150.9800	150.5600	150.4400	150.5800	151.3600						100.1600	100.4300	100.2900	100.2400	100.3400
D10	150.9000	150.3800	150.2800	150.2400	151.3200						99.9200	100.2100	100.2500	100.2900	100.3300
W11	151.1200	150.5600	150.3600	150.5200	151.4200	100.0490	100.3075	100.3595	100.0875	100.2960					
D11	150.9000	150.3200	150.1600	150.2600	151.1600	99.8595	100.1285	100.0725	100.0170	100.0665					
W12	151.0200	150.6200	150.4400	150.5600	151.5000	100.0425	100.2785	100.3655	100.1730	100.3400	100.2900	100.5100	100.3800	100.3000	100.4000
D12	150.7000	150.4800	150.1400	150.3000	151.2600	99.9570	100.0820	100.0445	99.8565	100.0960	100.2300	100.2300	100.0300	99.9700	100.1200

ตาราง ก 54 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 18 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.18(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.2200	150.4000	150.0000	150.0800	150.0800	100.1355	100.1785	100.1150	100.1165	100.1380	100.1500	100.2100	100.2900	100.2600	100.1600
W1	150.4200	150.4200	150.2400	150.2800	150.1200	100.2245	100.2035	100.2805	100.2940	100.3095					
D1	150.1000	150.2000	149.8200	150.1000	150.0200	99.9195	100.1795	99.9865	99.9205	99.9445					
W2	150.5000	150.5000	150.1600	150.0200	150.0800						100.4500	100.4100	100.4700	100.4800	100.2900
D2	150.1600	150.2800	149.8400	150.0200	149.9200						100.1100	100.2700	99.9700	100.2700	100.2900
W3	150.3000	150.3600	150.2400	150.1800	150.1400	100.1700	100.4635	100.2585	100.2460	100.2335					
D3	150.2200	150.3600	149.7800	149.9800	150.0200	100.0220	100.0440	100.1305	99.9795	99.9685					
W4	150.4600	150.4000	149.9600	150.1600	150.2600						100.1800	100.1500	100.4000	100.4600	100.5200
D4	150.0000	150.4200	149.8200	149.9600	150.0400						100.1100	100.0600	100.1700	100.0900	100.2800
W5	150.4600	150.4800	150.2400	150.2200	150.1600	100.4080	100.2280	100.1700	100.2570	100.3405					
D5	150.1200	150.3000	149.8400	150.1000	149.8600	99.9110	100.0120	100.0280	100.0075	99.9520					
W6	150.2600	150.4600	150.1800	150.1800	150.3600						100.6600	100.5900	100.3200	100.3700	100.3300
D6	150.0200	150.3400	149.8200	149.9400	149.8800						99.8600	100.2700	100.1300	99.9300	99.9500
W7	150.4200	150.4800	150.1000	150.3600	150.2400	100.2195	100.2655	100.4165	100.1865	100.2540					
D7	150.0800	150.2600	150.0200	149.8800	149.9400	100.0410	100.1635	100.0215	100.1085	100.0395					
W8	150.4600	150.5600	149.9800	150.3600	150.1400						100.4600	100.6000	100.3700	100.2000	100.3000
D8	150.1000	150.3800	149.8000	149.8800	150.0000						100.2100	100.3600	100.0600	100.2100	100.1600
W9	150.3800	150.5200	150.0600	150.2000	150.3200	100.3300	100.3175	100.1805	100.2800	100.2685					
D9	150.1800	150.3000	149.8600	150.0200	149.9000	100.0250	100.1545	99.9215	100.0645	99.9565					
W10	150.4200	150.6000	150.0400	150.2200	150.3000						100.3500	100.1900	100.4400	100.4000	100.4400
D10	150.0800	150.2200	149.9200	149.9400	149.9800						99.9200	100.2300	99.9800	100.2000	100.0900
W11	150.2800	150.5800	150.2200	150.2600	150.2400	100.2490	100.3140	100.2100	100.1585	100.3185					
D11	150.1000	150.3600	149.9600	149.9800	150.0000	100.0755	100.2050	100.0165	99.9520	100.1465					
W12	150.2800	150.4400	150.2400	150.1600	150.3200						100.4300	100.3400	100.2800	100.2600	100.4800
D12	150.1000	150.2200	149.8400	150.0400	150.0400						100.0700	100.3200	100.2000	99.9600	100.1000

ตาราง ก 55 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 19 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.19(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.4865	150.6425	150.3095	150.8270	150.7010	99.9300	99.9845	99.8325	100.1055	99.8225	.	.	.	.	.
W1	150.7085	150.6400	150.7430	150.9890	150.7010	100.3665	100.2625	100.1095	100.1070	99.9810	.	.	.	.	.
D1	150.3820	150.5220	150.1895	150.8205	150.6875	99.8085	99.9800	99.7330	100.0290	99.8010	.	.	.	.	.
W2	150.5275	151.0805	150.5030	151.1805	151.1280	100.2120	100.1720	100.2295	100.1005	99.9875	.	.	.	.	.
D2	150.4495	150.5895	150.2265	150.7445	150.6830	99.8875	99.9605	99.7430	100.0505	99.7780	.	.	.	.	.
W3	150.6635	150.8830	150.3810	150.8890	150.8260	100.1095	100.1295	100.2165	100.4145	99.9430	.	.	.	.	.
D3	150.3860	150.6680	150.2685	150.7415	150.6630	99.8235	99.9430	99.8410	99.9890	99.7760	.	.	.	.	.
W4	150.8215	151.0415	150.2840	151.0895	150.8500	100.1760	100.2980	99.9685	100.4515	99.8230	.	.	.	.	.
D4	150.3610	150.6015	150.2605	150.7465	150.6020	99.8115	99.8915	99.7440	100.0495	99.7900	.	.	.	.	.
W5	150.8455	150.8885	150.4650	151.1245	151.1475	100.1210	100.2215	99.9705	100.4965	100.1220	.	.	.	.	.
D5	150.4445	150.5440	150.2260	150.7070	150.7055	99.8655	99.9285	99.7850	100.0445	99.8475	.	.	.	.	.
W6	150.8250	151.0215	150.3460	151.1625	150.9295	100.2545	100.0840	100.1060	100.4070	100.0655	.	.	.	.	.
D6	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 56 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 19 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.19(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.0800	151.7800	149.7000	149.6400	149.8800	100.3330	99.9915	100.0770	100.3765	100.0165	100.4600	99.9100	100.0400	100.6300	99.9500
W1	152.3000	152.0600	149.8600	149.9000	150.0600	100.6915	100.3175	100.4050	100.7065	100.2030					
D1	152.0600	151.7200	149.6800	149.5800	149.8800	100.3085	100.0305	100.0340	100.3195	99.9395					
W2	152.1800	152.1000	149.8800	150.0200	150.1800						100.8900	100.3300	100.5200	100.7900	100.3400
D2	152.0800	151.7800	149.6200	149.5600	149.8600						100.2800	100.2100	100.2000	100.3000	100.2800
W3	152.4000	152.1000	149.8400	150.0400	150.0400	100.7215	100.4160	100.3695	100.6100	100.2765					
D3	152.0800	151.8000	149.7200	149.6600	149.8600	100.2640	99.9275	100.0645	100.3710	99.9515					
W4	152.4400	152.0400	149.7000	149.8800	150.2200						100.6000	100.2400	100.4400	100.7100	100.5900
D4	152.0800	151.7600	149.7000	149.5600	149.8200						100.5000	100.1700	100.3300	100.3100	99.9100
W5	152.2800	151.9600	149.8800	150.0200	150.1600	100.5500	100.2015	100.4305	100.6000	100.3985					
D5	152.0400	151.8000	149.6600	149.6400	149.8600	100.3580	100.0170	100.1070	100.3055	100.0555					
W6	152.1800	152.0200	149.9200	149.9800	150.1800						100.5300	100.4000	100.3300	100.9300	100.5700
D6	152.0200	151.7800	149.6400	149.6000	149.8200						100.3300	99.8600	100.1700	100.4700	100.2800
W7	152.4800	151.9600	150.0600	149.9400	150.1600	100.6270	100.2770	100.4055	100.6355	100.3720					
D7	152.0000	151.7800	149.7000	149.6600	149.8200	.	99.9705	100.0405	100.3050	.					
W8	152.2200	152.0200	150.0600	149.8000	150.0400						100.5300	100.2500	100.5800	100.5400	100.5300
D8	152.0600	151.7800	149.6400	149.6000	149.8800						100.4500	100.2400	100.0300	100.4800	100.2000
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 57 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 19 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.19(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	146.7400	146.8200	145.9800	146.2400	145.9600	99.9990	100.6110	100.2345	.	101.4770	100.0900	100.6600	100.3100	.	101.5400
W1	146.7200	147.3000	146.1200	146.3400	146.1600	100.1945	100.8560	100.7040	.	101.8945				.	
D1	146.7200	146.7800	146.0000	146.1800	145.9400	100.0255	100.6195	100.1870	.	100.1755				.	
W2	146.8400	147.2200	146.2000	146.4800	146.1800						100.5100	101.1500	100.5500	.	101.9000
D2	146.7200	146.8200	146.0000	146.1800	145.9000						99.9200	100.7900	100.3400	.	100.4000
W3	147.2600	146.8600	146.2400	146.4600	146.0800	100.2185	101.0195	100.4115	.	101.8830				.	
D3	146.7000	146.8000	145.9200	146.2200	145.8800	100.0190	100.6310	100.2475	.	100.0840				.	
W4	147.0400	146.8200	146.3000	146.5000	146.1600						100.2700	101.0200	100.7100	.	101.8800
D4	146.6800	146.7800	145.9200	146.1600	145.9000						100.1600	100.7100	100.2100	.	100.1700
W5	146.8800	147.2000	146.0600	146.5600	146.1200	100.2865	100.8400	100.6980	.	101.6655				.	
D5	146.7600	146.7800	145.9000	146.1600	145.9400	99.9445	100.6030	100.1725	.	.				.	
W6	146.8400	147.2200	146.3000	146.3400	146.1200						100.3100	101.1600	100.7300	.	101.7000
D6	146.7200	146.8200	145.9200	146.2000	145.9800						100.1900	100.8400	100.4100	.	100.3900
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 58 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 20 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.20(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.9800	153.1800	153.5200	154.2200	153.4000	100.0250	99.8560	99.8835	100.0010	99.7755	.	.	.	.	.
W1	152.9800	153.3800	153.5400	154.5600	153.7200	100.1600	99.8805	100.2225	100.4285	99.8260	.	.	.	.	.
D1	152.9800	153.1800	153.5200	154.2400	153.4000	99.9620	99.8425	99.8070	99.9345	99.6920	.	.	.	.	.
W2	153.1800	153.1600	153.8400	154.3000	153.4600	100.1235	100.0265	100.2175	100.1025	100.0220	.	.	.	.	.
D2	152.9000	153.0800	153.5200	154.2400	153.4000	100.0230	99.7900	99.7810	99.9685	99.7720	.	.	.	.	.
W3	153.2600	153.4000	153.9200	154.2800	153.6400	100.2355	99.9850	100.1800	100.2765	99.8630	.	.	.	.	.
D3	152.9400	153.2400	153.6200	154.2400	153.4200	100.1125	99.8460	99.8885	99.9470	99.7435	.	.	.	.	.
W4	153.1200	153.2600	153.5000	154.6000	153.6400	100.1860	99.9035	100.2155	100.1090	100.0050	.	.	.	.	.
D4	152.8800	153.1200	153.4400	154.1800	153.4000	100.0245	99.7715	99.8230	99.9660	99.6930	.	.	.	.	.
W5	153.2800	153.4400	153.8000	154.5000	153.4000	100.4155	99.9865	100.1250	100.2565	99.9280	.	.	.	.	.
D5	153.0000	153.1600	153.5400	154.2000	153.3400	99.9915	99.8230	99.8185	99.9310	99.7035	.	.	.	.	.
W6	153.0200	153.3000	153.7600	154.2600	153.7800	100.4010	100.0365	99.9455	100.1410	99.8465	.	.	.	.	.
D6	152.9400	153.0800	153.4600	154.2200	153.3800	100.0025	99.8005	99.8835	100.0090	99.6620	.	.	.	.	.
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 59 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 20 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.20(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.9800	152.2800	152.7600	153.2800	153.8400	99.9905	100.0100	100.0320	100.0185	100.1580	100.0600	100.0200	100.2600	100.1300	100.1600
W1	152.2800	152.5800	153.0400	153.5600	154.1600	100.2470	100.2135	100.3590	100.3600	100.4020					
D1	151.9600	152.3000	152.7800	153.2400	153.7400	99.9835	99.9980	100.0050	99.9665	100.0595					
W2	152.2000	152.5000	152.9800	153.4600	154.0000						100.1100	100.3700	100.2900	100.2200	100.7600
D2	151.9000	152.2000	152.7600	153.2200	153.7800						100.0600	100.0600	100.0900	100.0900	100.2700
W3	152.3600	152.4400	152.9800	153.7200	154.2600	100.1795	100.2975	100.3015	100.1615	100.4050					
D3	152.0000	152.2800	152.7800	153.2000	153.7600	99.9070	100.0395	99.9775	100.0340	100.1685					
W4	152.3200	152.5400	153.0800	153.5200	154.2600						100.4800	100.4200	100.5000	100.5200	100.7500
D4	151.9000	152.3000	152.7000	153.2800	153.8600						99.9300	100.1700	100.1800	99.9100	100.0900
W5	152.3800	152.6000	152.9800	153.5000	154.2400	100.2580	100.2475	100.2130	100.4400	100.3485					
D5	151.9000	152.2000	152.7800	153.2800	153.7600	99.9150	99.9765	100.0675	100.0210	100.0720					
W6	152.1600	152.5600	152.8800	153.5800	154.0600						100.4200	100.2300	100.5600	100.1500	100.6600
D6	151.9600	152.3000	152.6800	153.2400	153.8200						100.0600	100.2000	100.2200	100.1600	100.0300
W7	152.2400	152.4600	153.1800	153.5600	154.1200	100.3320	100.2890	100.3075	100.3070	100.4465					
D7	151.9000	152.3000	152.7400	153.3000	153.7600	.	.	99.9725	100.0395	100.1690					
W8	152.3400	152.5400	152.9600	153.4800	153.9800						100.4800	100.4000	100.3300	100.4200	100.7100
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 60 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 20 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.20(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	147.7400	147.8400	146.9600	148.1000	148.3800	100.0905	100.1520	100.6550	100.9375	100.5530	100.2000	100.2700	100.8800	101.1200	100.5000
W1	147.6800	148.1000	147.1400	148.5600	148.7400	100.4840	100.3765	100.9250	101.3730	100.7525					
D1	147.6600	147.8400	146.9600	148.0600	148.2800	100.0730	100.1260	100.6150	100.8225	100.4485					
W2	147.9200	148.0000	147.1800	148.3400	148.4600						100.5900	100.5400	101.3100	101.3600	100.7100
D2	147.6600	147.7800	146.8400	148.0400	148.4000						100.2100	100.2200	100.5000	100.9800	100.6100
W3	147.8400	148.2400	146.9600	148.2600	148.6400	100.4935	100.6195	100.9595	100.9050	101.0350					
D3	147.6000	147.8400	146.8200	148.0600	148.2800	100.0290	100.1785	100.5535	100.9025	100.5385					
W4	148.0000	148.0200	147.1400	148.3800	148.5600						100.3900	100.5700	100.8600	101.5100	100.9700
D4	147.7200	147.8400	146.9800	148.0400	148.2800						100.2900	100.0700	100.8400	101.0100	100.5300
W5	148.0200	148.1200	147.2000	148.3000	148.5000	100.5800	100.5100	100.7230	101.1735	101.0140					
D5	147.7400	147.7000	146.9200	148.1000	148.3600	99.9920	100.0590	100.5900	100.9515	100.4350					
W6	147.7000	148.2000	147.0200	148.0800	148.7800						100.4900	100.5500	101.2700	101.2300	101.0900
D6	147.6000	147.7800	146.8200	148.0600	148.2600						100.2200	100.0400	100.6600	101.1100	100.6900
W7	148.1200	148.1000	147.0400	148.1000	148.8000	100.3565	100.4535	100.9930	101.2725	.					
D7	147.7400	147.7800	146.9000	148.0600	148.3200	100.0050	100.0920	100.5580	100.8605	.					
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 61 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 21 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.21(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	155.2000	155.0800	155.2000	154.9800	155.0400	100.0835	100.0130	100.0670	100.0545	100.1275	.	.	.	.	.
W1	155.2400	155.2400	155.3400	154.9400	155.3600	100.2415	100.2235	100.4250	100.3630	100.1740	.	.	.	.	.
D1	155.1400	155.0600	155.1400	154.9200	155.0200	99.9950	100.0005	99.9715	100.0145	100.1275	.	.	.	.	.
W2	155.5400	155.2200	155.3600	155.1200	155.3600	100.2465	100.0250	100.1890	100.3090	100.4705	.	.	.	.	.
D2	155.2000	155.0400	155.0800	154.9600	154.9800	99.9910	99.9845	100.0880	99.9955	100.0180	.	.	.	.	.
W3	155.3400	155.0800	155.4000	155.0800	155.3400	100.4110	100.2240	100.2115	100.3685	100.2630	.	.	.	.	.
D3	155.1400	154.9600	155.0800	155.0000	154.9400	99.9675	100.0090	100.0095	100.0610	100.0255	.	.	.	.	.
W4	155.5600	155.2000	155.5200	155.1800	155.0200	100.3975	100.0975	100.2485	100.2495	100.4665	.	.	.	.	.
D4	155.2000	155.0800	155.1400	154.9600	155.0600	100.0045	99.9845	100.0060	100.0560	100.0980	.	.	.	.	.
W5	155.3000	155.3000	155.1600	155.1000	155.1600	100.4330	100.1850	100.3265	100.3830	100.4830	.	.	.	.	.
D5	155.1600	155.0400	155.1600	154.8600	154.9200	100.0045	99.8965	100.0120	100.0635	100.1285	.	.	.	.	.
W6	155.3000	155.4600	155.5200	155.1400	155.0200	100.3050	99.9785	100.3075	100.1030	100.5045	.	.	.	.	.
D6	155.0800	155.0800	155.1800	154.8600	154.9800	100.0675	99.9555	100.0690	99.9755	100.1090	.	.	.	.	.
W7															
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 62 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 21 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.21(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	155.3600	158.2000	155.1400	155.1000	154.8600	99.9540	100.2745	100.1795	100.0550	100.1990	100.2100	100.2700	100.3800	100.1300	100.1700
W1	155.5600	158.3800	155.5400	155.2600	155.1600	100.1350	100.4940	100.3200	100.4300	100.4660					
D1	155.3800	158.1600	155.1200	155.0600	154.8200	99.8955	100.2485	100.0745	100.0250	100.1170					
W2	155.6400	158.4600	155.4400	155.4600	155.2200						100.3700	100.6900	100.3700	100.2800	100.6700
D2	155.2800	158.2200	155.1400	155.1000	154.7200						99.9500	100.1400	100.3300	100.0600	100.3100
W3	155.5600	158.3800	155.4600	155.4000	155.1400	100.3325	100.5755	100.3545	100.4330	100.5680					
D3	155.2800	158.1400	155.1000	155.1200	154.7800	99.8540	100.1680	100.1575	100.0290	100.1245					
W4	155.6600	158.3000	155.3600	155.2200	155.1400						100.5100	100.4700	100.5300	100.5600	100.5400
D4	155.2800	158.2200	155.1400	155.0800	154.8400						99.9400	100.4900	100.2700	100.2000	100.1700
W5	155.5800	158.3800	155.2800	155.3000	155.2600	100.2305	100.5300	100.3945	100.2305	100.6130					
D5	155.2600	158.1000	155.0200	155.0400	154.8200	99.8680	100.2145	100.1605	99.9535	100.0730					
W6	155.7600	158.5200	155.4600	155.4800	155.1800						100.3300	100.7900	100.4700	100.3600	100.8800
D6	155.3000	158.1000	155.1400	155.0200	154.7200						100.0000	100.1500	100.2600	100.1700	100.2400
W7	155.6000	158.6400	155.3800	155.3200	155.2000	100.1390	100.5510	100.5075	100.4740	100.5800					
D7	155.2200	158.1800	155.0400	155.1200	154.8600	.	100.2980	100.1080	100.0810	100.2155					
W8	155.7600	158.5400	155.5000	155.4200	155.0600						100.1600	100.7600	100.8300	100.5100	100.3800
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 63 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 21 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.21(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.7400	150.0400	150.4800	150.7400	150.7600	100.1175	100.2995	100.4715	100.1775	100.1115	100.3800	100.4200	100.7200	100.4400	100.1000
W1	151.0600	150.1000	150.6200	151.0400	151.1200	100.4300	100.5190	100.9190	100.4895	100.3315					
D1	150.6600	149.9200	150.3600	150.6000	150.7600	100.0920	100.1750	100.4670	100.2020	100.0600					
W2	151.1000	150.2200	150.7200	150.8400	150.9000						100.3500	100.5700	101.1300	100.7300	100.3800
D2	150.6200	150.0600	150.4400	150.6000	150.7200						100.2100	100.1800	100.5200	100.0600	100.0600
W3	150.8800	150.2200	150.8600	150.8600	151.0600	100.4440	100.5395	100.8555	100.5075	100.5270					
D3	150.6200	150.0400	150.3800	150.6600	150.7200	100.0770	100.1855	100.3640	100.0715	100.0145					
W4	151.1200	150.2000	150.6200	151.1000	151.1000						100.8700	100.3300	100.8600	100.5600	100.2500
D4	150.7400	150.0200	150.4200	150.7400	150.6600						100.0000	100.3700	100.4800	100.1800	100.2700
W5	151.2000	150.4200	150.4600	150.8600	150.9600	100.6025	100.6695	100.7710	100.3295	100.2845					
D5	150.6600	150.0000	150.3800	150.7200	150.7800	.	100.2005	100.4585	100.1655	100.0155					
W6	151.1000	150.3400	150.8200	151.0400	150.7600	.					100.7300	100.6100	100.8000	100.4700	100.5900
D6	150.7600	150.0000	150.4000	150.7200	150.7600	.					99.9800	100.2200	100.4500	100.3500	100.0900
W7	151.1200	150.4600	150.9200	150.7600	150.8800	.	100.6015	100.7595	100.2890	.					
D7	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12															

ตาราง ก 64 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 22 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.22(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	149.1865	149.9655	151.3470	151.1235	149.5495	99.9300	99.9890	100.0100	100.3125	100.5095	.	.	.	.	.
W1	149.4015	149.9450	151.4605	151.1640	149.8480	100.2465	100.2255	100.0470	100.4435	100.7895	.	.	.	.	.
D1	149.1230	149.9240	151.3025	151.0880	149.5465	99.8815	100.0050	99.9605	100.3440	100.4780	.	.	.	.	.
W2	149.4040	150.0005	151.5255	151.4400	149.8875	99.9430	100.1840	100.2125	100.4880	100.7465	.	.	.	.	.
D2	149.1065	149.8880	151.3445	151.0675	149.5285	99.8740	99.9805	99.9855	100.3100	100.4275	.	.	.	.	.
W3	149.2280	150.1670	151.4655	151.3850	149.8885	100.1865	100.1880	100.2045	100.5675	100.8285	.	.	.	.	.
D3	149.1830	149.9295	151.3295	151.1470	149.4865	99.9480	99.9770	99.9555	100.3050	100.5085	.	.	.	.	.
W4	149.2665	150.3200	151.6685	151.1285	149.7820	100.1230	100.1095	100.1695	100.5470	100.6065	.	.	.	.	.
D4	149.1050	149.9070	151.2810	151.0435	149.5480	99.9565	99.9700	99.9485	100.2985	100.4720	.	.	.	.	.
W5	149.4275	150.2685	151.4600	151.4620	149.6225	100.2650	100.0470	100.2110	100.3435	100.6580	.	.	.	.	.
D5	149.1420	149.9690	151.2850	151.1015	149.5290	99.8975	99.9585	100.0000	100.3220	100.4325	.	.	.	.	.
W6	149.4440	150.1235	151.6255	151.2265	149.7435	100.0020	100.0090	100.2050	100.6415	100.6890	.	.	.	.	.
D6	149.1885	149.9650	151.3275	151.0685	149.4610	99.8940	99.9335	99.9655	100.3165	100.4435	.	.	.	.	.
W7	149.3640	150.0260	151.4680	151.1895	149.9075	100.0685	100.3450	100.1375	100.6085	100.5410	.	.	.	.	.
D7	149.1400	149.9600	151.3200	151.0800	149.5200	99.8840	99.9860	100.0080	100.3195	100.4975	.	.	.	.	.
W8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D8	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D9	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D10	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D11	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
W12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
D12	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.

ตาราง ก 65 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 22 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.22(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.9800	149.9800	149.1600	148.9400	149.2800	100.0365	99.9710	100.0490	99.9895	100.0295	100.1600	100.2400	100.2900	99.9400	100.2900
W1	151.1600	150.2200	149.3800	149.2600	149.4800	100.4125	100.3085	100.3055	100.1880	100.2330					
D1	150.8800	149.8600	149.0800	148.8800	149.1600	99.9750	99.9350	99.9505	99.8760	100.0260					
W2	151.3600	150.2600	149.3400	149.1800	149.6800						100.5400	100.1700	100.3400	100.5800	100.5800
D2	150.9800	150.0000	149.1200	148.9000	149.1600						100.1600	100.1300	100.1600	100.1500	100.3200
W3	151.2400	150.3400	149.5000	149.2600	149.4400	100.3225	100.1685	100.2505	100.3050	100.3030					
D3	150.9000	150.0000	149.0600	148.8600	149.2600	99.9770	99.9180	99.9615	100.0225	99.9410					
W4	151.2000	150.2000	149.5000	149.1400	149.4600						100.5600	100.1300	100.2900	100.4600	100.3500
D4	150.9400	149.9200	149.0600	148.8400	149.2000						100.1600	99.9300	100.2300	99.8600	99.9600
W5	151.3000	150.1800	149.3600	149.2800	149.4600	100.2825	100.2880	100.2015	100.2635	100.3120					
D5	150.9400	150.0000	149.1800	148.9600	149.2400	99.9695	99.9680	100.0060	99.9300	99.9315					
W6	151.3400	150.1200	149.4200	149.3400	149.6200						100.3200	100.1100	100.3600	100.3600	100.2500
D6	150.9600	149.9000	149.1000	148.9600	149.1800						100.2200	99.9000	99.9100	100.0600	99.9600
W7	151.1800	150.1200	149.4800	149.3000	149.4000	100.3970	100.3285	100.2935	100.1560	100.2675					
D7	150.9400	149.9200	149.0800	148.9200	149.1800	99.9650	99.9750	99.9290	99.9035	99.9740					
W8	151.2400	150.2800	149.3200	149.3000	149.5400						100.5600	100.4500	100.6400	100.3100	100.2100
D8	150.9800	149.9800	149.1800	148.9400	149.1600						100.0700	99.8600	100.0400	100.1400	100.2400
W9	151.3200	150.2400	149.4200	149.1200	149.4200	100.3135	100.2120	100.3310	100.3715	100.3295					
D9	150.9200	149.9800	149.1200	148.9600	149.2200	99.9095	99.9495	99.9870	99.9940	99.9420					
W10	151.3800	150.3600	149.4000	149.3600	149.6400						100.3900	100.4700	100.3500	100.3400	100.4700
D10	150.9800	149.9400	149.0800	148.8600	149.2800						99.9900	99.8700	100.2400	100.0400	100.2900
W11	151.3400	150.3600	149.4000	149.2400	149.5600	100.4235	100.3520	100.2180	100.3565	100.2295					
D11	150.9200	149.8800	149.0400	148.9000	149.2400	99.9420	99.9885	100.0345	99.9375	100.0240					
W12	151.4000	150.2000	149.3000	149.2200	149.6600	100.3430	100.2905	100.3830	100.3595	100.2745	100.4900	100.3900	100.5700	100.5600	100.4500
D12	150.8600	149.8800	149.0400	148.8400	149.2400	100.0440	99.8675	100.0760	100.0095	100.0555	100.0000	99.8200	100.2600	99.9300	100.3300

ตาราง ก 66 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 22 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.22(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	147.5400	147.6800	147.3400	147.3400	148.0600	100.0165	100.2130	100.1990	100.5980	100.0200	100.0400	100.1700	100.2900	100.6500	99.9500
W1	147.7800	147.9400	147.4000	147.7200	148.5200	100.1345	100.6685	100.3225	100.6640	100.5545					
D1	147.4400	147.6000	147.3600	147.3600	148.0200	100.0095	100.1860	100.0805	100.6065	100.0020					
W2	147.5200	147.8400	147.4200	147.4400	148.4800						100.6800	100.6200	100.6000	100.8900	100.4600
D2	147.4600	147.6400	147.2400	147.3200	147.9800						99.9700	100.3500	100.3200	100.7600	100.0900
W3	147.9400	147.6600	147.8600	147.6000	148.4000	100.0990	100.6095	100.6865	100.6000	100.2785					
D3	147.5200	147.6600	147.2400	147.2400	148.0600	100.0340	100.1540	100.1360	100.4825	99.9740					
W4	147.7400	147.7400	147.5000	147.5200	148.3400						100.3800	100.5100	100.7200	101.0800	100.6000
D4	147.4800	147.6400	147.3400	147.2200	148.0200						100.1600	100.2700	100.3900	100.6200	99.8700
W5	147.8400	147.7600	147.5400	147.5000	148.0000	100.4615	100.3115	100.6270	100.7655	100.3445					
D5	147.4800	147.6400	147.2600	147.2600	147.9600	99.9300	100.1790	100.1105	100.6270	99.9560					
W6	147.9800	147.7000	147.8200	147.3200	148.2200						100.4500	100.4600	100.4600	100.8200	100.3800
D6	147.4800	147.6600	147.3400	147.2200	148.0600						100.0300	100.2000	100.2800	100.4500	100.1300
W7	147.6000	147.8000	147.7600	147.8600	148.3400	99.9890	100.4340	100.6795	100.7160	100.4635					
D7	147.5200	147.5600	147.2200	147.3600	147.9400	100.0080	100.1470	100.1070	100.5655	100.0590					
W8	147.8800	148.1200	147.3400	147.6200	148.4600						100.2200	100.4400	100.6200	101.0500	100.5300
D8	147.5000	147.5800	147.2400	147.3200	148.0200						100.0000	100.1700	100.2600	100.6100	100.2000
W9	147.5600	147.8000	147.3200	147.3200	148.4200	100.2220	100.5365	100.4760	100.7760	100.3130					
D9	147.5600	147.5400	147.3200	147.2800	148.0600	99.9435	100.2040	100.1150	100.5820	100.0335					
W10	148.0200	148.0200	147.3400	147.3000	148.5800						100.7000	100.5500	100.4600	100.8900	100.4400
D10	147.4000	147.5800	147.3000	147.3000	148.0400						100.0800	100.0300	100.3300	100.5800	100.0800
W11	147.8000	147.9800	147.3200	147.4000	148.3200	100.5110	100.5205	100.3890	100.5990	100.4410					
D11	147.5600	147.6600	147.3400	147.3400	147.9600	100.0005	100.2420	100.2180	100.6035	99.9275					
W12	147.6600	147.9800	147.4000	147.6400	148.4800						100.0000	100.5400	100.7600	100.9500	100.4500
D12	147.5400	147.7000	147.3400	147.3600	147.9400						99.9900	100.4600	100.3400	100.7900	100.2300

ตาราง ก 67 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 23 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.23(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	153.3200	153.3600	153.1000	154.3200	154.1600	99.9665	99.9565	100.0075	100.0780	100.0815	.	.	.	.	.
W1	153.6000	153.5800	153.2800	154.2800	154.2000	99.9540	100.2450	100.0245	100.0660	100.3360	.	.	.	.	.
D1	153.2800	153.3200	153.0400	154.3200	154.1000	99.9805	99.9365	99.9660	100.0635	100.1020	.	.	.	.	.
W2	153.3800	153.6400	153.0800	154.2800	154.1600	100.0695	100.0200	100.0630	100.2160	100.4480	.	.	.	.	.
D2	153.2600	153.3200	153.0400	154.2600	154.1000	99.9180	99.9405	99.9710	100.0635	100.0685	.	.	.	.	.
W3	153.4400	153.7000	153.1200	154.4200	154.4600	99.9900	100.0150	100.0620	100.3920	100.2900	.	.	.	.	.
D3	153.3400	153.3200	153.0400	154.2800	154.1600	99.9050	99.9445	100.0065	100.0235	100.0865	.	.	.	.	.
W4	153.6400	153.6000	153.2200	154.6000	154.3400	100.2110	99.9475	100.2190	100.2010	100.3235	.	.	.	.	.
D4	153.3200	153.3200	153.1200	154.3400	154.1200	99.9260	99.9410	100.0045	100.0565	100.0645	.	.	.	.	.
W5	153.3200	153.7000	153.1600	154.6200	154.2400	100.1220	100.1215	100.2020	100.0875	100.2100	.	.	.	.	.
D5	153.3200	153.3200	153.0400	154.3000	154.1400	99.9445	99.9615	99.9765	100.0525	100.0525	.	.	.	.	.
W6	153.6400	153.7000	153.3200	154.4000	154.4000	100.2195	100.0850	100.0260	100.2330	100.3660	.	.	.	.	.
D6	153.3400	153.3400	153.0800	154.2800	154.1000	99.9445	99.9230	99.9675	100.0650	100.0560	.	.	.	.	.
W7	153.2800	153.4400	153.4000	154.6800	154.4600	99.9685	100.2910	100.0250	100.0680	100.2080	.	.	.	.	.
D7	153.2600	153.3200	153.0400	154.2600	154.1600	99.9985	99.9025	100.0065	100.0855	100.0800	.	.	.	.	.
W8	153.3400	153.3600	153.1800	154.3000	154.1600	99.9150	100.1645	100.1805	100.3360	100.3545	.	.	.	.	.
D8	153.3000	153.3600	153.0600	154.2800	154.1000	99.9635	99.9060	99.9680	100.1080	100.0620	.	.	.	.	.
W9	153.4400	153.3800	153.0600	154.4200	154.1600	100.1590	100.1595	100.0295	100.3005	100.1800	.	.	.	.	.
D9	153.3200	153.3600	153.1200	154.2600	154.1200	99.9400	99.9250	99.9945	100.1035	100.0010	.	.	.	.	.
W10	153.4200	153.5000	153.0600	154.3000	154.1200	100.1355	100.1860	100.1850	100.1940	100.1550	.	.	.	.	.
D10	153.2800	153.3200	153.0400	154.2600	154.1200	99.9175	99.9840	100.0195	100.0195	100.0400	.	.	.	.	.
W11	153.4000	153.4800	153.2000	154.3600	154.2200	100.2410	99.9255	100.2320	100.2780	100.2890	.	.	.	.	.
D11	153.3400	153.3200	153.0800	154.3000	154.1000	99.9100	99.9740	100.0020	100.0155	99.9965	.	.	.	.	.
W12	153.4800	153.4800	153.1800	154.3000	154.3400	.	99.8785	100.2570	100.3195	100.2930	.	.	.	.	.
D12	153.2800	153.3000	153.0400	154.3200	154.1400	.	99.9470	100.0350	100.0170	100.0640	.	.	.	.	.

ตาราง ก 68 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 23 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.23(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	153.6400	152.8000	154.9200	153.6400	152.8800	100.2740	99.9770	100.1890	99.9990	100.2165	100.2600	100.1400	100.1300	100.0100	100.1500
W1	153.8000	153.1000	155.2400	153.8400	153.1200	100.4560	100.1440	100.3750	100.3120	100.4325					
D1	153.5800	152.7000	154.8600	153.6400	152.8000	100.2265	99.8945	100.1620	99.9060	100.2435					
W2	153.8000	153.0800	155.1800	153.8000	153.0600						100.6700	100.2200	100.6600	100.2800	100.5400
D2	153.5800	152.7000	154.9200	153.5800	152.8600						100.2200	99.8100	100.1500	99.9500	100.4200
W3	153.7800	153.0200	155.2200	153.9000	153.2200	100.4560	100.2785	100.3640	100.1610	100.4235					
D3	153.5400	152.6800	154.8000	153.6400	152.8600	100.2240	99.8980	100.1035	99.9880	100.1490					
W4	153.8200	153.1000	155.2000	153.9400	153.1000						100.7100	100.2600	100.4300	100.4000	100.5600
D4	153.5200	152.7000	154.8000	153.5800	152.8800						100.3000	100.0600	100.4000	99.9600	100.3000
W5	153.9200	153.0200	155.1800	153.8600	153.2200	100.4470	100.1425	100.3865	100.2310	100.5345					
D5	153.6400	152.7400	154.8000	153.5800	152.7600	100.2835	99.9910	100.1840	100.0190	100.1115					
W6	153.8600	153.0400	155.2000	153.9600	153.0400						100.6600	100.4200	100.4900	100.2200	100.5800
D6	153.6000	152.8000	154.8800	153.5200	152.8000						100.3600	99.9100	100.1100	100.0300	100.0800
W7	153.9000	153.1600	155.1800	153.8000	153.1000	100.5080	100.1605	100.4285	100.2390	100.4005					
D7	153.5600	152.7000	154.8000	153.5600	152.8400	100.2105	99.8715	100.1190	99.8725	100.1485					
W8	153.7800	153.1000	155.1200	153.8400	153.1400						100.5700	100.1200	100.5100	100.2000	100.3600
D8	153.6600	152.8200	154.8800	153.6400	152.8400						100.3100	100.1700	100.4300	100.0600	100.2100
W9	153.9000	152.9200	155.1400	153.8200	152.9400	100.5330	100.1345	100.4145	100.2135	100.4795					
D9	153.6600	152.7000	154.9200	153.5200	152.9000	100.1740	99.8780	100.0715	99.8865	100.1145					
W10	153.8800	153.0000	155.1200	153.9000	153.2200						100.4500	100.4300	100.6600	100.2400	100.6800
D10	153.6000	152.7200	154.8600	153.5200	152.7800						100.2600	100.0400	100.1100	99.8800	100.4200
W11	153.7800	153.1400	155.1800	153.9600	153.0400	100.5045	100.2380	100.5200	100.2525	100.4270					
D11	153.6200	152.8200	154.8600	153.6200	152.8000	100.2045	99.8580	100.1050	99.9695	100.2155					
W12	153.8800	153.0200	155.1600	153.8000	153.1400	100.4545	100.1555	100.4190	100.1545	100.5495	100.6400	100.4000	100.3800	100.3700	100.7300
D12	153.5400	152.7800	154.8800	153.5800	152.8600	100.2760	99.9725	100.1600	99.9805	100.2375	100.2700	99.9900	100.1900	100.2100	100.4900

ตาราง ก 69 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 23 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.23(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.0800	150.3000	150.9600	150.8200	150.2200	99.9925	100.0710	100.2320	100.0920	100.1960	99.9400	100.0100	100.2400	100.3500	100.3600
W1	150.5200	150.2600	151.4000	151.1200	150.2000	100.2090	100.3010	100.3085	100.3725	100.4595					
D1	149.9200	150.2600	150.8400	150.8400	150.2200	100.0130	99.9415	100.0925	100.0910	100.1330					
W2	150.3400	150.6600	151.0600	151.1600	150.5000						100.5300	100.3900	100.3300	100.6000	100.2400
D2	150.0000	150.2000	150.8400	150.8400	150.1400						100.0600	99.9200	100.4100	100.0000	100.1300
W3	150.2000	150.4400	150.9800	150.9800	150.3000	100.3795	100.3255	100.3170	100.3790	100.3900					
D3	149.9200	150.1800	150.8200	150.6800	150.2200	99.8565	100.0710	100.0890	99.9670	100.1275					
W4	150.2600	150.4000	151.1600	150.9400	150.3800						100.5200	100.3700	100.5500	100.4700	100.6100
D4	149.9600	150.3000	150.9000	150.6800	150.2000						99.9500	100.1900	100.3200	100.0400	100.1600
W5	150.4600	150.5400	151.2000	151.2200	150.5200	100.2370	100.3815	100.2460	100.2845	100.3990					
D5	150.0400	150.1600	150.9400	150.7200	150.0800	99.9210	99.9315	100.2315	99.9770	100.1550					
W6	150.4200	150.4400	151.0800	150.8800	150.2200						100.6000	100.5500	100.4100	100.3700	100.7500
D6	150.0000	150.2800	150.9800	150.7800	150.0600						99.9000	99.9600	100.2200	100.2200	100.3300
W7	150.0600	150.3600	150.9400	151.1200	150.5000	100.4130	100.3010	100.2490	100.3960	100.5000					
D7	150.0800	150.2200	150.9800	150.7400	150.1400	99.8325	99.9835	100.2125	100.1220	100.1505					
W8	150.5600	150.5800	151.0200	150.9800	150.3800						100.3200	100.4700	100.4100	100.6400	100.5500
D8	149.9200	150.2400	150.9600	150.8000	150.1800						99.9200	100.0100	100.5100	100.0600	100.1700
W9	150.4400	150.7200	151.2400	150.9400	150.3000	100.2895	100.2590	100.3030	100.5095	100.4055					
D9	149.9200	150.1600	150.8200	150.8000	150.1000	99.8535	99.9855	100.1505	100.0090	100.1180					
W10	150.4400	150.7400	151.3000	151.1200	150.3200						99.9200	100.5900	100.3300	100.4500	100.6800
D10	150.0200	150.2000	150.9400	150.7800	150.2400						100.1500	100.1700	100.4200	100.1900	100.3900
W11	150.2000	150.7000	150.9200	151.0200	150.6000	100.3240	100.4310	100.3895	100.2665	100.3720					
D11	149.9800	150.2200	150.8400	150.7800	150.2000	100.0295	100.0140	100.1220	100.0215	100.0530					
W12	150.5000	150.5600	151.2600	151.0800	150.4800						100.2000	100.7200	100.4600	100.4100	100.3600
D12	150.0800	150.3200	150.9800	150.8400	150.1600						100.1900	100.2700	100.3500	100.0200	100.2000

ตาราง ก 70 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 24 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.24(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	155.0600	154.9000	154.9600	154.3800	155.7800	100.5200	100.2885	100.1820	100.6365	100.0315	.	.	.	.	.
W1	155.0400	154.9400	155.2600	154.7200	156.0600	100.7750	100.2790	100.4495	100.7220	100.1255	.	.	.	.	.
D1	155.0800	154.8800	154.9200	154.3600	155.7400	100.5490	100.2795	100.1280	100.6240	99.9925	.	.	.	.	.
W2	155.0600	154.9000	155.3000	154.4000	156.0800	100.5635	100.3400	100.3645	100.9170	100.1410	.	.	.	.	.
D2	155.0800	154.8600	154.9400	154.3400	155.7400	100.4760	100.2280	100.1820	100.6505	100.0230	.	.	.	.	.
W3	155.3800	154.9600	154.9800	154.3800	155.9800	100.7605	100.3860	100.5110	100.7440	100.2330	.	.	.	.	.
D3	155.0600	154.9000	154.9600	154.3600	155.8000	100.5095	100.2475	100.1770	100.6245	100.0495	.	.	.	.	.
W4	155.0600	155.1600	154.9600	154.5400	156.1000	100.6680	100.5580	100.3265	100.7960	100.1400	.	.	.	.	.
D4	155.0000	154.8400	154.9200	154.3800	155.7600	100.4880	100.2780	100.1455	100.6210	100.0255	.	.	.	.	.
W5	155.1600	154.9200	155.0600	154.6000	156.0200	100.7575	100.4650	100.4855	100.6625	100.1320	.	.	.	.	.
D5	155.0000	154.8800	154.9600	154.4000	155.7200	100.4685	100.2250	100.1490	100.6455	100.0265	.	.	.	.	.
W6	155.1400	154.9200	155.0800	154.7000	156.0800	100.7775	100.4410	100.2220	100.7175	100.0860	.	.	.	.	.
D6	155.0400	154.8800	154.9000	154.3600	155.7400	100.4785	100.2525	100.1595	100.5850	100.0325	.	.	.	.	.
W7	155.2200	155.1200	155.2400	154.4600	155.9000	100.5495	100.4005	100.4775	100.8395	100.1855	.	.	.	.	.
D7	155.0200	154.8800	154.9800	154.3800	155.7800	100.5275	100.2425	100.1800	100.6240	100.0265	.	.	.	.	.
W8	155.2200	155.0400	154.9400	154.3600	155.8000	100.8725	100.5155	100.2095	100.7875	100.3740	.	.	.	.	.
D8	155.0600	154.9000	154.9800	154.3200	155.7600	100.4885	100.2995	100.1625	100.5990	100.0310	.	.	.	.	.
W9	155.1200	154.9400	155.1000	154.3800	155.9800	100.6135	100.3680	100.6165	100.8575	100.1135	.	.	.	.	.
D9	155.0000	154.8400	154.9000	154.3800	155.7600	100.5185	100.2640	100.1085	100.6615	100.0620	.	.	.	.	.
W10	155.2200	154.9400	155.0000	154.5200	155.8400	100.6705	100.3545	100.5985	100.9070	99.9520	.	.	.	.	.
D10	155.0400	154.8800	154.9000	154.3600	155.7200	100.5485	100.2580	100.1255	100.6010	99.9815	.	.	.	.	.
W11	155.1600	154.8600	155.1000	154.5400	155.8400	100.6925	100.2485	100.5705	100.6305	100.4005	.	.	.	.	.
D11	155.0400	154.8400	154.9200	154.3400	155.7800	100.4645	100.2435	100.1250	100.6575	100.0550	.	.	.	.	.
W12	155.2400	154.9000	155.0400	154.4800	156.0000	100.5335	100.5140	100.5350	100.8265	100.1950	.	.	.	.	.
D12	155.0600	154.8800	154.9400	154.3200	155.7400	100.5330	100.3085	100.1115	100.5565	100.0565	.	.	.	.	.

ตาราง ก 71 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 24 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.24(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.6600	153.2000	151.6400	151.0800	151.3600	100.9950	100.9775	100.8945	100.6940	100.7350	101.1400	100.9200	101.1600	100.8800	100.7600
W1	152.9200	153.4000	151.7400	151.2400	151.5600	101.1710	101.2435	101.1395	100.9515	100.9495					
D1	152.6600	153.1400	151.6200	151.1000	151.3600	100.9950	100.9440	100.8950	100.6645	100.7055					
W2	152.8200	153.5400	151.7400	151.3000	151.5200						101.3100	101.3000	101.0300	100.9700	100.9900
D2	152.6000	153.1600	151.6000	151.0800	151.3000						101.1600	101.0000	100.8500	100.6800	100.7200
W3	152.8200	153.3800	151.8400	151.2600	151.5800	101.1815	101.2620	101.0550	100.8530	100.9650					
D3	152.6000	153.1800	151.6000	151.0800	151.3400	100.9560	100.9660	100.8910	100.6895	100.6880					
W4	152.9200	153.4600	151.8600	151.3000	151.6200						101.2200	101.3300	101.0200	101.0200	100.9600
D4	152.6400	153.1400	151.6600	151.0600	151.3400						101.1800	100.9400	100.8900	100.9000	100.8500
W5	152.8600	153.3800	151.9200	151.3400	151.4600	101.1750	101.2315	101.1795	100.8800	100.9400					
D5	152.6200	153.1800	151.6400	151.0600	151.3400	100.9435	101.0025	100.9170	100.6700	100.7595					
W6	152.8400	153.4200	151.9400	151.4000	151.5000						101.2600	101.3800	101.4000	101.0800	101.1100
D6	152.6600	153.1800	151.6400	151.0200	151.3800						101.0200	101.1600	100.8100	100.6300	100.9700
W7	152.9400	153.4200	151.8000	151.2800	151.5800	101.2155	101.2150	101.0695	100.8820	101.0190					
D7	152.6000	153.2000	151.6000	151.0200	151.3000	100.9860	100.9765	100.9005	100.6705	100.7540					
W8	152.8800	153.4200	151.9600	151.2600	151.6600						101.1100	101.2100	101.1100	101.1300	100.8900
D8	152.6000	153.1400	151.6600	151.0600	151.3000						101.2000	101.0200	101.1600	100.7100	100.7100
W9	152.8400	153.5000	151.8400	151.2600	151.4800	101.2025	101.1595	101.1495	100.9525	100.9775					
D9	152.6400	153.2200	151.6000	151.0800	151.3200	100.9675	100.9665	100.8965	100.6835	100.7055					
W10	152.9400	153.5200	151.8400	151.3400	151.5200						101.2600	101.1800	101.1200	101.0200	101.0600
D10	152.6800	153.2200	151.6600	151.0200	151.3000						100.9500	101.1100	100.9100	100.7900	100.8100
W11	152.9600	153.4400	151.8800	151.3800	151.5400	101.2495	101.1320	101.0875	100.8915	101.0255					
D11	152.6800	153.2200	151.6600	151.0800	151.3600	100.9460	100.9330	100.8780	100.6325	100.6790					
W12	152.8200	153.4200	151.9000	151.3200	151.6400	101.1730	101.1660	101.0540	100.8485	101.0005	101.4400	101.3000	101.1300	100.9400	100.9600
D12	152.6800	153.1400	151.6400	151.0800	151.3400	101.0175	101.0005	100.8440	100.6765	100.7560	100.9800	101.1000	100.7800	100.8600	100.9300

ตาราง ก 72 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 24 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.24(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.1600	153.0800	153.7400	150.9000	151.5600	100.4565	101.1790	101.5795	101.8715	101.0135	100.5200	101.3300	101.7100	102.1300	101.2300
W1	151.3800	153.0400	154.1000	151.0600	151.9800	100.6120	101.2435	101.9400	101.9505	101.1770					
D1	151.1600	153.0800	153.6800	150.8600	151.5200	100.4045	101.1630	101.5525	101.8230	100.9950					
W2	151.4800	153.2800	153.9600	151.2000	151.6000						100.7300	101.1700	102.1400	102.3100	101.2000
D2	151.1200	153.0800	153.7000	150.9000	151.5600						100.5400	101.0900	101.5500	101.8200	100.9300
W3	151.4600	153.1800	153.8800	151.0800	152.0400	100.5080	101.3195	102.0400	102.0035	101.2070					
D3	151.1000	153.0800	153.7000	150.8800	151.5200	100.4280	101.1975	101.5490	101.8500	101.0085					
W4	151.4400	153.1800	153.9200	151.2600	151.8000						100.8000	101.6000	102.0400	102.2100	101.2000
D4	151.1000	153.1000	153.7600	150.8400	151.5800						100.4100	101.1400	101.5900	101.8400	101.0300
W5	151.6200	153.3600	154.0200	150.9400	151.6600	100.4970	101.5220	101.8095	102.2295	100.9950					
D5	151.1800	153.0600	153.7400	150.8400	151.5000	100.4155	101.1905	101.6070	101.8730	100.9640					
W6	151.1400	153.2600	153.7800	151.3000	151.6200						100.7100	101.6400	101.8700	102.0800	101.1000
D6	151.1200	153.1000	153.7000	150.8400	151.5000						100.5000	101.1700	101.7600	101.8200	101.2400
W7	151.2800	153.0600	154.0200	151.0200	151.6200	100.8485	101.2365	101.9155	102.2040	101.0875					
D7	151.1000	153.0800	153.7200	150.8600	151.5000	100.4780	101.1885	101.5695	101.9020	100.9825					
W8	151.1000	153.2000	154.1800	151.1800	151.7200						100.9100	101.2400	102.2600	102.2600	101.0200
D8	151.1800	153.0600	153.7600	150.8800	151.5600						100.6600	101.3800	101.5600	101.9000	100.9200
W9	151.1400	153.1400	153.9400	151.1000	151.5800	100.7515	101.3330	101.8895	102.1190	101.1175					
D9	151.1800	153.0800	153.7600	150.8800	151.5600	100.4715	101.1330	101.5230	101.8790	100.9775					
W10	151.4200	153.2800	154.0200	151.1200	151.8000						100.4200	101.3200	101.8500	102.0300	101.3700
D10	151.1000	153.0200	153.7200	150.9200	151.5000						100.5400	101.3600	101.8100	101.9400	101.3000
W11	151.4200	153.1000	153.9000	150.9400	151.7000	100.6735	101.2155	101.8120	102.2420	101.2520					
D11	151.1800	153.0200	153.7000	150.9200	151.5400	100.4160	101.1445	101.6165	101.8265	100.9575					
W12	151.5800	153.2000	153.8000	151.0600	151.8200						100.7100	101.3000	102.0300	102.0000	101.4300
D12	151.1200	153.1000	153.7600	150.8600	151.5200						100.4700	101.1100	101.5600	101.8800	101.1200

ตาราง ก 73 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 25 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.25(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.3800	151.2600	151.2800	151.3000	151.3800	100.2040	99.9985	100.0045	100.0005	99.9930	.	.	.	.	.
W1	151.4000	151.3600	151.5600	151.3600	151.5800	100.3785	100.2780	100.2485	100.0050	100.0325	.	.	.	.	.
D1	151.3200	151.2000	151.2000	151.2600	151.3000	100.1355	99.9205	100.0065	99.9605	99.9140	.	.	.	.	.
W2	151.6000	151.2800	151.4000	151.3600	151.4000	100.3825	100.1815	100.2890	100.0660	100.2115	.	.	.	.	.
D2	151.3200	151.1600	151.2800	151.3200	151.4000	100.1840	99.9550	99.9520	99.9145	99.9200	.	.	.	.	.
W3	151.6400	151.3000	151.3800	151.2800	151.3800	100.3430	100.0600	100.3275	100.0760	100.1645	.	.	.	.	.
D3	151.3200	151.2400	151.3000	151.2600	151.2800	100.1830	99.9035	100.0090	99.9465	99.9180	.	.	.	.	.
W4	151.5000	151.5600	151.5200	151.6200	151.6600	100.1925	100.0565	100.0545	100.2630	100.1800	.	.	.	.	.
D4	151.3200	151.1800	151.2000	151.2200	151.2600	100.1570	99.8850	99.9395	100.0090	99.9125	.	.	.	.	.
W5	151.3600	151.4200	151.4600	151.4200	151.4000	100.2810	100.1610	100.2810	100.2030	100.2165	.	.	.	.	.
D5	151.3200	151.1600	151.1600	151.2400	151.3200	100.1620	99.8740	100.0285	100.0220	99.9345	.	.	.	.	.
W6	151.3800	151.2800	151.3000	151.4000	151.4200	100.2690	100.0810	100.4935	100.0045	100.0010	.	.	.	.	.
D6	151.2800	151.2200	151.2800	151.2400	151.3000	100.1575	99.9680	99.9385	100.0250	99.9645	.	.	.	.	.
W7	151.4400	151.5400	151.2600	151.5600	151.4800	100.2830	100.2820	100.0800	100.0810	100.2370	.	.	.	.	.
D7	151.4000	151.2600	151.1800	151.2200	151.2600	100.1610	99.9875	99.9415	99.9990	99.9585	.	.	.	.	.
W8	151.3800	151.3000	151.2400	151.4800	151.3400	100.4055	100.4100	99.9805	100.2665	100.0510	.	.	.	.	.
D8	151.3400	151.2600	151.2200	151.2600	151.3200	100.1830	99.9870	99.9300	99.9270	99.9465	.	.	.	.	.
W9	151.4600	151.2400	151.2800	151.4200	151.3400	100.4345	100.2175	100.3755	100.3245	99.9405	.	.	.	.	.
D9	151.3200	151.2600	151.3000	151.2400	151.3800	100.1145	99.9860	99.9225	99.9235	99.9665	.	.	.	.	.
W10	151.4800	151.2600	151.3200	151.5200	151.4600	100.1515	100.0765	100.2255	100.2170	100.2900	.	.	.	.	.
D10	151.3200	151.2400	151.2200	151.2400	151.3600	100.1945	100.0305	99.9460	99.9245	99.9450	.	.	.	.	.
W11	151.4800	151.3000	151.3600	151.4600	151.5600	.	100.2955	100.3130	100.2560	99.9525	.	.	.	.	.
D11	151.3400	151.2800	151.3000	151.2400	151.3600	.	99.9925	99.9590	99.9790	99.9440	.	.	.	.	.
W12	151.4000	151.2400	151.4600	151.3400	151.4800	.	100.2135	100.2755	100.2580	100.0885	.	.	.	.	.
D12	151.3400	151.2400	151.2200	151.2400	151.3400	.	99.9885	99.9535	99.9285	99.9340	.	.	.	.	.

ตาราง ก 74 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 25 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.25(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.8200	150.7200	151.9800	151.9000	150.6400	100.0895	100.2940	100.1180	100.1325	99.9715	100.2700	100.5200	100.1800	100.1700	100.1200
W1	150.9400	150.8600	152.1200	152.0400	150.8800	100.3045	100.4055	100.3530	100.2420	100.1155					
D1	150.6800	150.5000	151.7800	151.7600	150.4600	99.8875	100.3035	99.9595	100.0655	99.7760					
W2	150.9800	150.9000	152.1200	152.0800	150.9600						100.4500	100.6800	100.2500	100.3400	100.2000
D2	150.8000	150.5400	151.9400	151.7800	150.5000						99.9900	100.3700	100.0200	100.0900	99.8300
W3	150.9600	150.7800	152.2200	152.1600	150.9000	100.3065	100.4000	100.2385	100.3550	100.0835					
D3	150.7200	150.5600	151.9400	151.7400	150.5600	100.0145	100.2595	99.9555	100.0210	99.8150					
W4	151.0200	150.7800	152.1600	152.0600	151.0200						100.3800	100.5100	100.1900	100.1900	100.2500
D4	150.7200	150.6800	152.0000	151.7800	150.5800						100.2200	100.2800	100.1000	100.3300	100.1300
W5	151.0000	150.7800	152.2400	152.0800	150.9400	100.3050	100.4995	100.2325	100.2290	100.1800					
D5	150.6200	150.5800	151.9600	151.8200	150.6000	99.8910	100.2070	99.9650	99.9485	99.9970					
W6	150.9600	150.7800	152.2400	152.0800	151.0800						100.3800	100.6400	100.2500	100.2400	100.2800
D6	150.7200	150.6400	151.9200	151.9000	150.5400						100.0100	100.3900	100.3600	99.9400	100.2100
W7	151.0200	150.8200	152.2200	152.0400	150.9400	100.3020	100.4695	100.3455	100.3130	100.0870					
D7	150.7000	150.5600	151.8400	151.8000	150.4600	100.0745	100.0840	99.9615	100.0285	99.8690					
W8	151.0200	150.9400	152.1800	152.1800	151.0400						100.4000	100.5300	100.2500	100.6000	100.3700
D8	150.7400	150.7400	151.9800	151.7400	150.5000						100.0500	100.2400	100.0500	100.0400	100.0200
W9	150.9400	150.8800	152.2200	152.1400	150.8400	100.2335	100.4350	100.2760	100.2295	100.0770					
D9	150.6800	150.6800	151.7800	151.7400	150.6600	100.0575	100.3335	100.0535	100.1330	99.8245					
W10	150.9400	150.9200	152.2200	152.1400	150.9400						100.1200	100.7000	100.3600	100.5200	100.1700
D10	150.8400	150.6200	151.8000	151.9000	150.5600						100.1400	100.4800	100.1700	100.1300	99.8800
W11	150.9600	150.8000	152.2800	152.0800	151.0600	100.2120	100.4675	100.3260	100.2495	100.1475					
D11	150.7000	150.5600	151.8000	151.9000	150.6200	100.0165	100.2365	99.9245	100.1410	99.9695					
W12	150.9800	150.7800	152.2200	152.0600	150.9600	100.2605	100.5290	100.2195	100.2785	100.2015	100.4200	100.4500	100.4100	100.4100	100.2200
D12	150.7800	150.6200	152.0000	151.9000	150.5400	99.8970	100.0850	99.9115	99.9625	99.8775	100.1000	100.3000	100.0400	100.1700	99.8100

ตาราง ก 75 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 25 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.25(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	143.4600	143.8600	142.7400	143.0600	143.6600	100.0715	100.1150	100.2100	100.0905	100.1560	100.2800	100.1900	100.3900	100.0600	100.1000
W1	143.4400	144.2800	142.7400	143.2800	143.6000	100.3590	100.1535	100.3750	100.2640	100.4370					
D1	143.3200	143.8400	142.7000	143.0200	143.4800	100.0725	100.0785	100.1445	100.0895	100.0530					
W2	143.4600	144.0600	143.0400	143.3200	143.8400						100.5200	100.2300	100.5300	100.0900	100.3200
D2	143.2800	143.7000	142.6200	142.9000	143.6800						100.1300	99.9900	100.3100	100.3300	100.2900
W3	143.6200	143.8400	143.1600	143.3000	143.8200	100.3470	100.2795	100.3130	100.2100	100.3880					
D3	143.4600	143.7200	142.6000	143.0200	143.6800	99.9300	100.0275	100.1065	99.9740	100.1260					
W4	143.6400	143.8800	143.1800	143.3600	143.6400						100.5900	100.3700	100.4400	100.4000	100.5000
D4	143.4800	143.8000	142.5800	142.9600	143.6000						99.8800	100.2800	100.1300	100.0200	100.0300
W5	143.5800	143.8400	142.8000	143.3400	143.5800	100.3435	100.1890	100.3355	100.2405	100.4375					
D5	143.4400	143.7600	142.7000	142.8800	143.5200	99.9980	100.0455	100.0255	99.9130	100.0550					
W6	143.8800	143.9000	142.8600	143.0600	143.7200						100.4700	100.2100	100.4400	100.5600	100.3300
D6	143.3400	143.8000	142.7000	142.9600	143.6600						99.9100	100.3100	100.1700	100.0800	100.1600
W7	143.8200	144.0000	142.9200	143.0000	144.0200	100.2630	100.2190	100.3140	100.3610	100.4695					
D7	143.3000	143.7600	142.6200	143.0600	143.6000	99.9665	100.0710	100.1320	99.9950	100.1235					
W8	143.7200	144.1200	142.8600	143.1600	143.8000						100.5400	100.5800	100.4300	100.5000	100.2200
D8	143.3600	143.7600	142.6000	142.9000	143.5400						100.0300	100.1200	100.0200	99.9500	100.1000
W9	143.7200	144.1800	143.1800	143.1000	143.6000	100.2080	100.1965	100.5980	100.2995	100.2150					
D9	143.4800	143.8000	142.5800	143.0400	143.6200	100.0370	99.9460	100.1170	100.0080	100.1715					
W10	143.7400	144.1000	143.1600	143.0800	143.5400						100.3000	100.4600	100.7400	100.5100	100.4000
D10	143.3800	143.8400	142.6600	143.0400	143.5400						100.1400	100.1900	100.3000	100.0100	100.1100
W11	143.9000	144.1600	142.8200	143.4400	143.1000	100.1345	100.5680	100.5165	100.0400	100.1810					
D11	143.4600	143.7800	142.6600	143.0200	143.6800	100.0540	100.0885	100.1580	99.9605	100.0530					
W12	143.6000	144.1200	143.1400	143.0400	143.8000						100.2200	100.6700	100.6800	100.1900	100.4700
D12	143.4000	143.8000	142.6000	143.0400	143.6200						100.3200	100.2500	100.2900	100.0500	100.1800

ตาราง ก 76 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 26 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.26(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.1800	151.2400	151.5600	151.3400	151.5400	100.1415	99.9185	100.0080	100.2945	100.0670	.	.	.	.	.
W1	152.3200	151.2200	151.7400	151.3600	151.7600	100.1470	99.9260	100.2445	100.6040	100.2240	.	.	.	.	.
D1	152.1600	151.2000	151.5000	151.2800	151.5400	100.1375	99.8775	99.9690	100.2225	100.0320	.	.	.	.	.
W2	152.2000	151.4200	151.8400	151.4800	151.7400	100.3650	99.9395	100.1405	100.3640	100.2460	.	.	.	.	.
D2	152.1000	151.1600	151.5200	151.3400	151.5400	100.1410	99.8395	99.9390	100.2755	99.9905	.	.	.	.	.
W3	152.3800	151.4400	151.6600	151.4000	151.6400	100.2205	99.9270	100.0425	100.4600	100.3685	.	.	.	.	.
D3	152.2000	151.2000	151.5600	151.3000	151.5400	100.0790	99.8630	99.9405	100.2930	100.0275	.	.	.	.	.
W4	152.3200	151.3800	151.7000	151.4800	151.7600	100.3060	100.1665	100.2370	100.3895	100.0615	.	.	.	.	.
D4	152.1600	151.2400	151.5600	151.2600	151.4600	100.1660	99.8880	99.9530	100.2835	99.9955	.	.	.	.	.
W5	152.4200	151.5000	151.5800	151.4400	151.5600	100.2900	100.0265	100.2030	100.5565	100.1670	.	.	.	.	.
D5	152.1600	151.2600	151.5600	151.2600	151.5000	100.0700	99.8785	99.9665	100.2695	100.0490	.	.	.	.	.
W6	152.3600	151.2400	151.7000	151.4200	151.7800	100.2875	100.1018	100.0045	100.3260	100.3160	.	.	.	.	.
D6	152.1600	151.2400	151.5000	151.3400	151.5400	100.1185	99.8665	99.9700	100.2930	100.0005	.	.	.	.	.
W7	152.4600	151.2400	151.6400	151.4000	151.6600	100.3875	100.1290	100.0125	100.4470	100.1270	.	.	.	.	.
D7	152.1000	151.2400	151.5600	151.3400	151.5400	100.0855	99.8435	100.0010	100.3015	100.0730	.	.	.	.	.
W8	152.2400	151.2200	151.5400	151.4800	151.5200	100.3505	99.9370	100.3210	100.6895	100.2235	.	.	.	.	.
D8	152.1600	151.2400	151.5200	151.3600	151.5400	100.1225	99.8970	99.9475	100.2815	99.9835	.	.	.	.	.
W9	152.2000	151.2400	151.6800	151.5000	151.6800	100.2320	99.9380	100.4300	100.4055	100.4280	.	.	.	.	.
D9	152.1800	151.2400	151.5000	151.2800	151.5200	100.1385	99.9310	100.0000	100.3230	100.0440	.	.	.	.	.
W10	152.2400	151.2000	151.6600	151.3000	151.7600	100.4945	99.8740	100.1585	100.6100	100.1575	.	.	.	.	.
D10	152.1000	151.1600	151.5200	151.3000	151.5600	100.0415	99.8585	99.9705	100.2075	100.0965	.	.	.	.	.
W11	152.3000	151.4200	151.7800	151.3000	151.6600	100.4470	99.8485	100.1665	100.5720	100.1615	.	.	.	.	.
D11	152.1400	151.2600	151.4800	151.3400	151.5600	100.1375	99.8325	99.9275	100.2240	100.0975	.	.	.	.	.
W12	152.2200	151.4600	151.6400	151.4200	151.7000	100.0995	100.0485	100.0645	100.4455	100.3790	.	.	.	.	.
D12	152.0800	151.1600	151.5600	151.2800	151.4800	100.0290	99.9015	99.9250	100.2820	100.0975	.	.	.	.	.

ตาราง ก 77 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 26 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.26(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	151.2800	150.3800	150.3200	150.3800	152.2000	100.0725	100.4370	100.3905	100.6100	100.7125	100.0900	100.6300	100.4600	100.7600	100.8300
W1	151.4000	150.5800	150.5400	150.4800	152.4200	100.2310	100.6025	100.6005	100.7755	100.8510					
D1	151.2600	150.4000	150.3200	150.3200	152.1800	99.9830	100.3710	100.3505	100.5130	100.6310					
W2	151.4000	150.6000	150.5600	150.5200	152.4200						100.5300	100.6700	100.7200	100.8800	100.9700
D2	151.2200	150.2800	150.3000	150.2800	152.1800						100.3300	100.2900	100.5700	100.6200	100.6300
W3	151.4600	150.5600	150.4200	150.5800	152.3000	100.2195	100.6630	100.4590	100.8155	100.8300					
D3	151.1800	150.3400	150.2200	150.3600	152.2200	99.9650	100.4485	100.3950	100.5410	100.7045					
W4	151.5200	150.5800	150.5400	150.5800	152.3600						100.3000	100.8300	100.6500	100.9800	101.1500
D4	151.2400	150.3600	150.2400	150.3200	152.1200						99.9900	100.5100	100.4500	100.6900	100.8000
W5	151.5200	150.4800	150.4400	150.4600	152.2200	100.2425	100.6440	100.5920	100.6905	100.8750					
D5	151.3000	150.3600	150.2400	150.3400	152.1000	100.0880	100.3890	100.3110	100.5510	100.7340					
W6	151.4400	150.5400	150.5800	150.5800	152.3000						100.3100	100.8800	100.5400	101.0300	101.1200
D6	151.2800	150.3000	150.3200	150.3600	152.1600						99.9500	100.5300	100.2900	100.6200	100.7500
W7	151.4400	150.4800	150.5400	150.5200	152.2400	100.1565	100.6370	100.4825	100.8525	100.9045					
D7	151.3000	150.3000	150.2400	150.3000	152.1000	100.0015	100.3970	100.4240	100.5070	100.6475					
W8	151.4600	150.5200	150.4600	150.5400	152.2800						100.2400	100.4600	100.8000	100.8500	101.1000
D8	151.1800	150.3200	150.3400	150.3800	152.2200						100.3500	100.5900	100.6500	100.6000	100.8100
W9	151.5400	150.5200	150.4000	150.5400	152.2400	100.1390	100.6065	100.5430	100.6780	100.8775					
D9	151.2000	150.3200	150.3000	150.3800	152.2200	100.0985	100.3855	100.3885	100.5470	100.6590					
W10	151.3600	150.6000	150.4200	150.4600	152.3800						100.2500	100.4700	100.6400	100.7900	101.1400
D10	151.2400	150.4000	150.3400	150.3000	152.2000						100.2900	100.5700	100.5000	100.4700	100.9300
W11	151.4400	150.5200	150.3800	150.4200	152.3600	100.1710	100.6075	100.5265	100.8170	100.9230					
D11	151.1800	150.2800	150.3400	150.2800	152.1600	100.0505	100.4530	100.4290	100.5215	100.6560					
W12	151.4400	150.4600	150.5000	150.5200	152.3400	100.1755	100.5945	100.6305	100.7905	100.9210	100.1300	100.5400	100.7800	100.9900	100.9000
D12	151.2600	150.4000	150.3200	150.3000	152.1200	100.0140	100.4695	100.3740	100.5680	100.6175	100.0700	100.5700	100.3300	100.5900	100.6400

ตาราง ก 78 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 26 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.26(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	143.4800	143.7600	143.7000	144.3600	143.7800	100.5155	101.2365	101.5735	102.2520	102.2720	100.6300	101.2200	101.8000	102.3400	102.2600
W1	143.5800	144.0200	143.9000	144.5200	144.0200	100.4595	101.5125	101.7130	102.4685	102.3250					
D1	143.4200	143.6800	143.6800	144.3600	143.8000	100.4900	101.1490	101.5645	102.1910	102.2535					
W2	143.6000	144.1000	143.6600	144.6200	143.8200						100.6900	101.7400	101.6100	102.4800	102.3300
D2	143.4600	143.7400	143.6400	144.3000	143.7000						100.4700	101.2300	101.5100	102.1900	102.4500
W3	143.6800	143.7400	144.0800	144.4800	144.0400	100.5980	101.5325	101.5800	102.2365	102.5945					
D3	143.4200	143.6800	143.6400	144.3800	143.7400	100.5010	101.2475	101.5735	102.2425	102.2275					
W4	143.8000	143.9200	143.7200	144.3000	143.8600						100.5900	101.8000	101.5100	102.3300	102.6600
D4	143.4200	143.7400	143.7000	144.2800	143.7800						100.3700	101.1700	101.5000	102.2500	102.2400
W5	143.7600	144.1000	143.7600	144.3600	144.1200	100.6195	101.4220	101.7290	102.3405	102.4195					
D5	143.4400	143.6800	143.6600	144.3600	143.7600	100.4390	101.2055	101.5940	102.1685	102.2740					
W6	143.6200	144.0800	143.8000	144.3600	143.9600						100.5800	101.5800	101.8700	102.6000	102.2500
D6	143.4600	143.7600	143.7000	144.3800	143.7400						100.6300	101.3400	101.5000	102.4000	102.3800
W7	143.8200	143.8400	143.7000	144.6800	144.1000	100.6600	101.4950	101.7400	102.4230	102.2890					
D7	143.4000	143.7800	143.6400	144.3200	143.7800	100.5360	101.2080	101.5755	102.2265	102.2090					
W8	143.4600	144.0600	143.8200	144.4400	144.1200						100.7500	101.6200	101.7600	102.7000	102.2800
D8	143.4400	143.7800	143.6200	144.2800	143.7200						100.3800	101.0900	101.5700	102.3500	102.2000
W9	143.6200	143.6800	143.9800	144.6200	144.1800	100.6030	101.4230	101.7520	102.4950	102.2615					
D9	143.4000	143.7600	143.6400	144.3600	143.7200	100.4800	101.2555	101.4920	102.1730	102.2910					
W10	143.7400	143.7600	143.8200	144.5800	143.8200						100.7500	101.5400	101.6900	102.4300	102.4400
D10	143.4400	143.7800	143.6000	144.2600	143.6800						100.4800	101.2000	101.4800	102.3100	102.3300
W11	143.4000	143.9000	143.8400	144.6800	144.0600	100.5740	101.5095	101.7425	102.4810	102.3300					
D11	143.4400	143.7800	143.6200	144.3600	143.7200	100.5050	101.2270	101.5355	102.2845	102.2690					
W12	143.6600	143.7000	143.7600	144.5400	143.7600						100.6700	101.3700	101.7300	102.7700	102.3900
D12	143.4000	143.6800	143.6800	144.2600	143.8000						100.6300	101.2300	101.7400	102.4100	102.3400

ตาราง ก 79 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 27 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 1

No.27(1)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	152.5200	154.1000	154.2200	152.2400	152.3000	100.2190	100.1095	100.1720	100.0225	100.1050	.	.	.	.	.
W1	152.6000	154.1600	154.5000	152.5200	152.4000	100.2655	100.1695	100.2890	100.3845	100.3045	.	.	.	.	.
D1	152.5000	154.1000	154.2000	152.2600	152.3000	100.1545	100.0425	100.1110	100.0275	100.0495	.	.	.	.	.
W2	152.5600	154.4400	154.4800	152.4000	152.6200	100.3080	100.2835	100.2780	100.1595	100.3380	.	.	.	.	.
D2	152.4600	154.0600	154.1800	152.2600	152.2600	100.1675	100.0405	100.1400	100.0045	100.0320	.	.	.	.	.
W3	152.6600	154.2400	154.3400	152.4400	152.3000	100.2335	100.4250	100.3070	100.3070	100.1555	.	.	.	.	.
D3	152.4800	154.1200	154.2200	152.2000	152.3000	100.2120	100.1285	100.1305	99.9990	100.0700	.	.	.	.	.
W4	152.7200	154.2200	154.5400	152.4400	152.5800	100.2245	100.2680	100.4400	100.2325	100.1600	.	.	.	.	.
D4	152.5000	154.0800	154.1600	152.2200	152.3000	100.1660	100.1215	100.1280	100.0185	100.0680	.	.	.	.	.
W5	152.6200	154.2200	154.4600	152.2400	152.4200	100.5150	100.4055	100.2590	100.0575	100.2255	.	.	.	.	.
D5	152.5000	154.0800	154.1400	152.1800	152.2800	100.1640	100.0840	100.1260	100.0055	100.0525	.	.	.	.	.
W6	152.5400	154.1200	154.5200	152.4600	152.2800	100.4470	100.2005	100.3860	100.0580	100.2980	.	.	.	.	.
D6	152.5200	154.0800	154.2200	152.2600	152.2400	100.1785	100.0690	100.1305	99.9785	100.0950	.	.	.	.	.
W7	152.7400	154.2400	154.4200	152.2600	152.4400	100.2635	100.2465	100.3450	100.3415	100.2095	.	.	.	.	.
D7	152.4400	154.1000	154.1800	152.1800	152.2400	100.2105	100.1000	100.1270	99.9885	100.0410	.	.	.	.	.
W8	152.4800	154.1200	154.2200	152.3800	152.5200	100.5255	100.0990	100.0955	100.3720	100.5195	.	.	.	.	.
D8	152.4400	154.0200	154.2200	152.2400	152.2600	100.2180	100.0600	100.1790	100.0285	100.1095	.	.	.	.	.
W9	152.4800	154.3000	154.2000	152.4000	152.4200	100.5275	100.4875	100.1925	99.9960	100.4220	.	.	.	.	.
D9	152.5200	154.0200	154.2000	152.1600	152.3000	100.2450	100.0475	100.1385	100.0175	100.0615	.	.	.	.	.
W10	152.6800	154.2400	154.3400	152.4200	152.4000	100.5900	100.0675	100.5350	100.0645	100.1000	.	.	.	.	.
D10	152.5000	154.0200	154.1400	152.2000	152.3200	100.2440	100.1115	100.1010	99.9765	100.0660	.	.	.	.	.
W11	152.5600	154.1800	154.1800	152.3000	152.5200	100.5150	100.2500	100.4970	100.1155	100.2325	.	.	.	.	.
D11	152.4600	154.1000	154.1600	152.2000	152.2600	100.1550	100.0850	100.1445	100.0300	100.0450	.	.	.	.	.
W12	152.7000	154.1800	154.3200	152.4000	152.3000	100.3845	100.4695	100.4660	100.2105	100.0530	.	.	.	.	.
D12	152.5200	154.0400	154.2400	152.2000	152.2400	100.1935	100.1150	100.0540	99.9465	100.1135	.	.	.	.	.

ตาราง ก 80 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 27 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 2

No.27(2)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	153.0200	153.8800	152.8000	152.0200	151.9200	100.4030	100.2170	100.0850	100.1905	100.3430	100.5600	100.3200	100.2600	100.2700	100.4100
W1	153.1600	153.9600	152.9800	152.2000	152.1400	100.6290	100.3410	100.2480	100.4145	100.5120					
D1	152.9200	153.9000	152.7600	152.0000	151.9000	100.4330	100.1395	100.0045	100.2045	100.3180					
W2	153.1600	154.1200	152.9400	152.1200	152.0800						100.6300	100.4200	100.1200	100.4900	100.4200
D2	152.9600	153.8800	152.7000	151.9800	151.9200						100.4600	100.4200	99.9800	100.2300	100.5400
W3	153.2400	153.9600	152.9200	152.1600	152.0600	100.5225	100.4445	100.3075	100.3530	100.4820					
D3	152.9800	153.8200	152.7800	152.0200	151.8600	100.3635	100.2485	100.0960	100.1590	100.3690					
W4	153.2600	154.0200	152.8000	152.1600	152.1200						100.5000	100.3500	100.3500	100.4700	100.5300
D4	153.0400	153.8000	152.7000	151.9600	151.9400						100.4700	100.2800	100.1700	100.3700	100.4300
W5	153.1000	153.9800	152.8800	152.1600	152.0800	100.5965	100.3075	100.1710	100.2540	100.5645					
D5	153.0000	153.7800	152.7800	151.9600	151.8400	100.3195	100.2235	100.0510	100.1930	100.2550					
W6	153.2000	154.1600	152.8600	152.1400	152.1200						100.6200	100.5200	100.3100	100.3700	100.6500
D6	152.9200	153.8400	152.7000	151.9800	151.9400						100.5600	100.2100	100.1200	100.1500	100.2100
W7	153.1200	154.0800	152.9600	152.1600	152.0000	100.4920	100.3065	100.3325	100.3970	100.5740					
D7	153.0400	153.8800	152.7200	152.0400	151.8600	100.3205	100.1425	100.0550	100.1940	100.3620					
W8	153.2400	154.1400	152.9200	152.1400	152.0200						100.6000	100.5100	100.4900	100.5900	100.5600
D8	152.9200	153.8800	152.7800	152.0400	151.8800						100.6000	100.1200	100.1400	100.3200	100.4900
W9	153.1600	154.1000	153.0000	152.1400	151.9800	100.5785	100.3225	100.2655	100.2530	100.4565					
D9	153.0000	153.7800	152.7800	152.0000	151.9400	100.3660	100.1935	100.1175	100.1995	100.3245					
W10	153.0600	154.0200	152.9000	152.2000	152.0800						100.5300	100.6100	100.1800	100.2700	100.6900
D10	152.9200	153.8400	152.7400	152.0400	151.9400						100.4500	100.1700	99.9500	100.1600	100.3600
W11	153.1600	153.9800	152.9200	152.2400	152.1400	100.4870	100.4235	100.2960	100.3335	100.4715					
D11	152.9800	153.8000	152.8000	152.0000	151.9000	100.3610	100.1885	100.0160	100.1870	100.3575					
W12	153.2400	154.0800	152.9400	152.1400	152.1000	100.5940	100.2955	100.2375	100.3700	100.4050	100.5500	100.5400	100.4500	100.6400	100.6300
D12	152.9200	153.8000	152.7200	151.9600	151.9000	100.3365	100.1790	100.0795	100.2070	100.3615	100.5300	100.3000	100.0500	100.4400	100.3300

ตาราง ก 81 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของก้อนตัวอย่างที่ระดับปัจจัยการทดลองที่ 27 ในตารางออกแบบการทดลองสำหรับการทดลองซ้ำที่ 3

No.27(3)	H1	H2	H3	H4	H5	D1.1	D1.2	D1.3	D1.4	D1.5	D2.1	D2.2	D2.3	D2.4	D2.5
M0	150.7800	150.3000	150.0000	150.2600	151.2800	100.3400	100.4800	100.2000	100.2800	100.6200	100.3500	100.4400	100.3200	100.5400	100.6800
W1	151.0600	150.3400	150.1200	150.3400	151.3600	100.4795	100.5805	100.4795	100.4490	100.7870					
D1	150.7400	150.3000	150.0000	150.2200	151.3000	100.3550	100.4615	100.2075	100.2905	100.6390					
W2	151.0800	150.5200	149.8800	150.4600	151.2200						100.3700	100.5900	100.6700	100.6800	100.9000
D2	150.7200	150.2400	149.9200	150.2600	151.2200						100.3500	100.4300	100.3900	100.5200	100.7100
W3	151.0000	150.5000	149.9800	150.2800	151.3800	100.5400	100.5475	100.4380	100.4390	100.9420					
D3	150.7800	150.2800	149.9400	150.1800	151.2000	100.3470	100.4555	100.2010	100.2800	100.5880					
W4	150.8200	150.4600	150.0800	150.5000	151.2800						100.4500	100.6300	100.5500	100.5200	100.9100
D4	150.6800	150.3000	149.9400	150.1800	151.2800						100.5100	100.4800	100.3200	100.3700	100.9000
W5	151.0200	150.5400	150.0400	150.2400	151.5000	100.4605	100.6915	100.3000	100.4695	100.7450					
D5	150.7800	150.2400	150.0000	150.2800	151.2200	100.3115	100.4420	100.2150	100.2125	100.5700					
W6	150.8000	150.2800	150.1600	150.3000	151.3800						100.7200	100.4900	100.3200	100.5900	100.7800
D6	150.7600	150.3000	149.9600	150.2000	151.2800						100.3700	100.6500	100.4300	100.2700	100.4600
W7	150.9200	150.2400	150.1200	150.6000	151.3600	100.4715	100.5775	100.3510	100.6135	100.7865					
D7	150.7800	150.3200	150.0000	150.2400	151.2200	100.2805	100.4890	100.1110	100.2825	100.6000					
W8	151.1200	150.3200	150.2000	150.3000	151.5000						100.5400	100.4200	100.6400	100.7700	100.9500
D8	150.7600	150.2000	149.9200	150.1800	151.3000						100.3100	100.5300	100.2700	100.3900	100.8300
W9	151.0800	150.4400	150.3000	150.2200	151.4200	100.5130	100.7835	100.2260	100.5155	100.6790					
D9	150.7000	150.3000	149.9600	150.2800	151.2000	100.3015	100.4430	100.1430	100.2395	100.5870					
W10	150.7400	150.4000	150.3000	150.4600	151.3400						100.5000	100.9300	100.5900	100.3200	101.0000
D10	150.7400	150.3000	149.9000	150.2200	151.2800						100.2400	100.4200	100.3800	100.2500	100.8200
W11	151.0400	150.4000	149.9400	150.2200	151.5200	100.4095	100.5165	100.5400	100.5125	100.8035					
D11	150.7600	150.2400	149.9600	150.1800	151.2000	100.2755	100.4095	100.2175	100.3125	100.5820					
W12	150.7600	150.4200	149.9400	150.2800	151.5600						100.5900	100.8000	100.4900	100.6000	100.8500
D12	150.7200	150.2400	150.0000	150.2000	151.2000						100.5600	100.6800	100.1800	100.2300	100.6300

ภาคผนวก ข

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังวัสดุ

ตาราง ข 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุ

No.	qu(kPa)	IDT(kpa)	E(Kpa)	Wave_v(m/s)
1	658.2482925	158.2127458	19840	1602.82
2	508.3625333	114.0797167	.	1804.22
3	875.5826434	330.5813689	20654	2108.29
4	2400.670243	566.6514397	65135	2064.08
5	3767.128748	1194.506231	81079	2680.39
6	4983.701494	944.280283	88844	2353.47
7	3449.870558	661.1627378	51427	
8	5124.843917	1736.176711	82727	2711.73
9	5133.587253	1997.227741	91034	2568.59
10	858.0959715	191.5206923	24444	1624.51
11	.	208.1746656	.	1758.09
12	850.6016835	294.3589771	26471	2071.91
13	2074.668717	661.1627378	54283	510.17
14	2058.431093	599.9593862	61701	2645.76
15	4566.519464	727.7786308	88656	2608.96
16	6683.655813	1480.538221	93516	1108.2
17	6933.465411	1386.026923	10235	2645.84
18	2857.821809	1102.909378	86952	2558.02
19	1000.487443	169.4541778	30266	
20	.	280.6194492	.	
21	1200.335122	305.600409	42755	622.12
22	3366.184342	502.949992	74178	1952.28
23	2966.488984	619.5278047	70057	2470.87
24	3524.813437	597.0449408	77358	2803.47
25	4241.766986	572.063981	78131	2254.03
26	4175.567442	1350.220881	81706	2261.26
27	5364.999818	1519.675059	77787	3028.65

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายชวลิต ชูสุวรรณ จบการศึกษาระดับปริญญาตรีจาก ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ปีการศึกษา 2553 และเข้าศึกษาต่อระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2553