

ผลกระทบของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดต่อกำลังของดินซีเมนต์ เปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith

ภาณุวัฒน์ สุริยฉัตร¹ และ ธาดาพงศ์ ประถมวงษ์²

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี บางมด ทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140

รับเมื่อ 26 สิงหาคม 2545 ตอรับเมื่อ 28 มกราคม 2546

บทคัดย่อ

การหน่วงเวลาก่อนการบดอัดเป็นประเด็นปัญหาที่สำคัญประเด็นหนึ่งที่ยากต่อการควบคุมมิให้เกิดขึ้นได้ สำหรับการที่ต้องใช้ดินซีเมนต์เป็นวัสดุในการก่อสร้างทาง จากข้อกำหนดของกรมทางหลวงที่กำหนดให้วิธีการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ กำหนดให้ระยะเวลาตั้งแต่เริ่มผสมวัสดุจนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการบดอัดไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง แต่ในบางครั้งอาจมีเหตุบางประการที่ทำให้การบดอัดไม่สามารถทำได้ตามข้อกำหนดดังกล่าวหรือใช้เวลานานกว่า จึงเป็นจุดสนใจและที่มาของการศึกษาและวิจัยผลกระทบกำลังของดินซีเมนต์เนื่องจากการหน่วงเวลาก่อนการบดอัด โดยเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างกรณีวัสดุบดอัดเป็นดินซีเมนต์กับเป็นดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสม (optimum cement content) ซึ่งใช้เป็นอัตราส่วนผสมในการศึกษาการหน่วงเวลาก่อนการบดอัด ที่ให้กำลังอัดของดินซีเมนต์ไม่ต่ำกว่า 17.5 กก./ซม.² โดยมีอัตราส่วนความปลอดภัยเท่ากับ 1.6 ที่อายุการบ่ม 7 วัน และแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง ก่อนการทดสอบมีค่าเท่ากับร้อยละ 3 ของน้ำหนักดินแห้งในอากาศ (air dry) นอกจากนี้ผลการศึกษาของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดดินซีเมนต์ เปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith พบว่า เมื่อเวลาหน่วงเพิ่มขึ้น ค่า Unconfined Compressive Strength (UCS) ของดินซีเมนต์และดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith มีค่าแนวโน้มลดลงในอัตรา 2.1 กก./ซม.² ต่อชั่วโมงที่หน่วงออกไป โดยพบว่าค่า UCS ที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญกับปริมาณ Renolith ในปริมาณร้อยละ 0 ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ แต่เมื่อปริมาณ Renolith ในส่วนผสมเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ค่า UCS ของวัสดุที่ผสมสาร Renolith ทั้งหมดยังให้ค่าสูงขึ้นเฉลี่ยร้อยละ 20 ของทุกค่าการหน่วงเวลา ก่อนการบดอัด เมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith ร้อยละ 0 ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 สุดท้ายในการศึกษาให้กำลังอัดของดินซีเมนต์ไม่ต่ำกว่า 17.5 กก./ซม.² การใช้ Renolith ร้อยละ 15 สามารถขยายการหน่วงเวลา ก่อนการบดอัดได้นานถึง 4 ชั่วโมง

¹ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

² นักศึกษาระดับบัณฑิตศึกษา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

Delayed Time Effect before Compaction on Strength of Soil Cement and Soil Cement with Renolith

Phanuwat Suriyachat¹ and Tadapong Pratomvong²

King Mongkut's University of Technology Thonburi, Bangmod, Toongkru, Bangkok 10140

Received 26 August 2002; accepted 28 January 2003

Abstract

Delayed time compaction was one of the uncontrolled problems in soil stabilization that use soil cement in road construction. According to the restriction from Department of Highway Thailand that duration from the beginning till the final of compaction method should not exceed two hours. Some time compaction cannot be done on time due to some problems taking place and would take longer time. From these problems mentioned above, the literatures reviewed in the past about effect of the delayed time before compaction motivated the study of the delayed time before compaction in soil cement. In this study the comparative results of unconfined compressive strength of soil cement and soil cement with Renolith were carried out.

The result showed that optimum cement content which was used in this study under conditions of unconfined compressive strength (UCS) of soil cement at least 17.5 Kg/cm², factor of safety equal 1.6, at the time of curing 7 days and soaked in water for two hours before testing was 3% by weight of air dry soil. Moreover, the results showed that while the delayed time increased, the values of unconfined compressive strength decreased at the rate 2.1 Kg/cm² per hour at all cement content ratio both in cases of soil-cement and soil-cement-Renolith. In addition, the values of unconfined compressive strength were not significantly changed while the Renolith content between 0% to 10% by weight but in case of Renolith content at 15% by weight, the values of UCS were 20% higher at all delayed time. Furthermore, while maintaining UCS at least 17.5 Kg/cm², the delayed time before compaction of soil cement with 15% Renolith can be extended to 4 hours.

¹ Assistant Professor, Department of Civil Engineering.

² Graduate Student, Department of Civil Engineering.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการสร้างถนนเพิ่มมากขึ้นเนื่องจากความเจริญของประเทศ แต่เนื่องจากปัญหาการขาดแคลนวัสดุก่อสร้างในบางพื้นที่ จึงได้มีการนำดินในท้องถิ่นมาปรับปรุงคุณภาพเพื่อสามารถใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง รองพื้นทาง ทดแทนวัสดุมาตรฐาน ผลการศึกษาของ Ingles และ Metcalf [1] พบว่า การปรับปรุงคุณภาพของดินด้วยปูนซีเมนต์ เป็นการนำเอาปูนซีเมนต์ผสมกับดินที่ต้องการปรับปรุงคุณภาพ แล้วเติมน้ำในปริมาณที่เหมาะสม จากนั้นจึงบดอัด จะทำให้ดินมีกำลังรับแรงเฉือนได้มากขึ้นและมีค่าความซึมน้ำต่ำลง แต่ในผลการศึกษาของ อติมนต์ ยุพกรณ์ [2] แสดงให้เห็นว่า ความล่าช้าในการบดอัดทำให้กำลังอัดของดินซีเมนต์ลดลง เนื่องจากดินซีเมนต์เกิดการพัฒนาโครงสร้าง จากผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันบางส่วนก่อนการบดอัด เมื่อดินจะรวมตัวกันเป็นกระจุก (clods) การบดอัดที่ล่าช้าจึงกลายเป็นการทำลายโครงสร้างของดินซีเมนต์บางส่วนและความหนาแน่นที่ได้จะต่ำกว่าความเป็นจริง ฤทธิเดช พันธุ์ครุฑ [3] ทำการศึกษาถึงอิทธิพลของการหน่วงเวลา (delayed time) ต่อผลการบดอัด ที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินซีเมนต์ พบว่าที่เวลาการหน่วงเดียวกันการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 จะให้ค่าสูงกว่าผสมด้วยปูนซีเมนต์ผสมประเภทอื่น ในปี 2542 กรมโยธาธิการ [4] รายงานผลการศึกษาโดยใช้สาร Renolith ผสมเพิ่ม สารนี้จะทำหน้าที่ช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างปูนซีเมนต์กับดิน เมื่อผ่านการบดอัดจะทำให้ดินมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นคล้ายคอนกรีต ในโครงการทดสอบและออกแบบก่อสร้างถนนพื้นทางดินซีเมนต์รีโนลิท สายพุกูล-ท่าเสลา-ห้วยเกษม อ.เพชรบุรี สาร Renolith เป็นน้ำยาเคมีที่มีสารโพลีเมอร์ลาเท็กซ์และสารเซลลูโลส ผสมเป็นองค์ประกอบหลัก สารโพลีเมอร์ในส่วนผสมของ Renolith มีคุณสมบัติเป็นกาว ทำหน้าที่ช่วยให้เกิดการเชื่อมประสานยึดเกาะระหว่างปูนซีเมนต์กับดินหรือวัสดุอื่นๆ เช่น หิน กรวด ทราย

การพัฒนากำลังอัดของดินซีเมนต์จะเกิดจากผลของปฏิกิริยา Cement Hydration เป็นหลัก ทัวไปแล้ว ในการทำงานควรทำการบดอัดดินซีเมนต์โดยใช้เวลาน้อยที่สุด โดยเริ่มนับเวลาตั้งแต่ผสมดินซีเมนต์จนกระทั่งเสร็จสิ้นกระบวนการบดอัด เวลาช่วงนี้ไม่ควรเกิน 2 ชั่วโมง (กรมทางหลวง, มาตรฐานงานทาง, สำนักวิศวกรรมวิจัยและพัฒนาทาง, [5]) แต่บางครั้งอาจมีสาเหตุบางประการที่ทำให้ไม่สามารถทำการบดอัดได้ตามกำหนดเวลาดังกล่าว เช่น เครื่องจักรที่ใช้ในการบดอัดเกิดเสียหายชำรุด เป็นต้น จากปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นและจากผลของการวิจัยที่ผ่านมาในเรื่องของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัด วัตถุประสงค์ของงานวิจัยมีเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดต่อค่ากำลังอัด Unconfined Compressive Strength (UCS) ของดินซีเมนต์เปรียบเทียบกับค่า UCS ของดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith

2. วิธีการศึกษา

ในการศึกษาผลกระทบของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดดินซีเมนต์ โดยเปรียบเทียบกับกรณีใช้ดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith ได้ศึกษาโดยใช้ตัวอย่างดินลูกรังจากบ่อดินในโครงการก่อสร้างทาง สายวังเดียนห้า - วังน้ำเย็น จ. สระแก้ว และได้เปรียบเทียบคุณสมบัติความแข็งแรงของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์กับกรณีดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ผสม Renolith ในทั้ง 2 กรณีได้มีการหน่วงเวลาก่อนบดอัด เท่ากับ เวลา 0 60 120 180 และ 240 นาที โดยนับจากเวลาที่เริ่มผสมตัวอย่างดินเข้ากับปูนซีเมนต์จนเข้ากันได้ดี โดยสังเกตจากสีของวัสดุผสม ทั้งนี้การผสมด้วยมือใช้เวลาการผสมไม่เกิน 20 นาที หลังจากนั้นได้บ่มตัวอย่างในถุงพลาสติกเพื่อไม่ให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วัน

และทดสอบกำลังอัดของวัสดุผสมด้วยวิธี Unconfined Compression Test ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2.1 จำนวนตัวอย่างในงานวิจัย

จำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้และจำนวนที่ใช้ในการทดสอบทั้งหมดได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

ตัวแปร	จำนวน	หมายเหตุ
จำนวนตัวอย่าง/ชุดการทดลอง	3	ใช้ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดในแต่ละชุดการทดลอง
ปริมาณปูนซีเมนต์ (ค่า)	4	0% 2% 3% และ 4 % ของน้ำหนักดินแห้ง
ปริมาณ Renolith (ค่า)	4	0% 5% 10% และ 15% ของน้ำหนักปูนซีเมนต์
เวลาที่หน่วงก่อนการบดอัด (ค่า)	5	ไม่เกิน 20 60 120 180 และ 240 นาที
Unconfined Compression Test	72	
จำนวนตัวอย่างรวม	72	ไม่รวมการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดิน

2.2 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบในการวิจัยทั้งหมดใช้มาตรฐานการทดสอบตามมาตรฐานของกรมทางหลวง [6] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 มาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบ

การทดสอบ	มาตรฐาน
การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ	ทล.-ท 101/2515
การทดสอบหาขนาดของเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง	ทล.-ท 205/2517
การทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน	ทล.-ท 102/2515
การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) ของดิน	ทล.-ท 103/2515
การทดสอบหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angles Abrasion	ทล.-ท 202/2515
การทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน	ทล.-ท 108/2517
การทดสอบเพื่อหาค่า CBR	ทล.-ท 109/2517
การทดสอบเพื่อหาค่า Unconfined Compressive Strength	ทล.-ท 105/2515

2.3 ลำดับขั้นตอนของการวิจัย

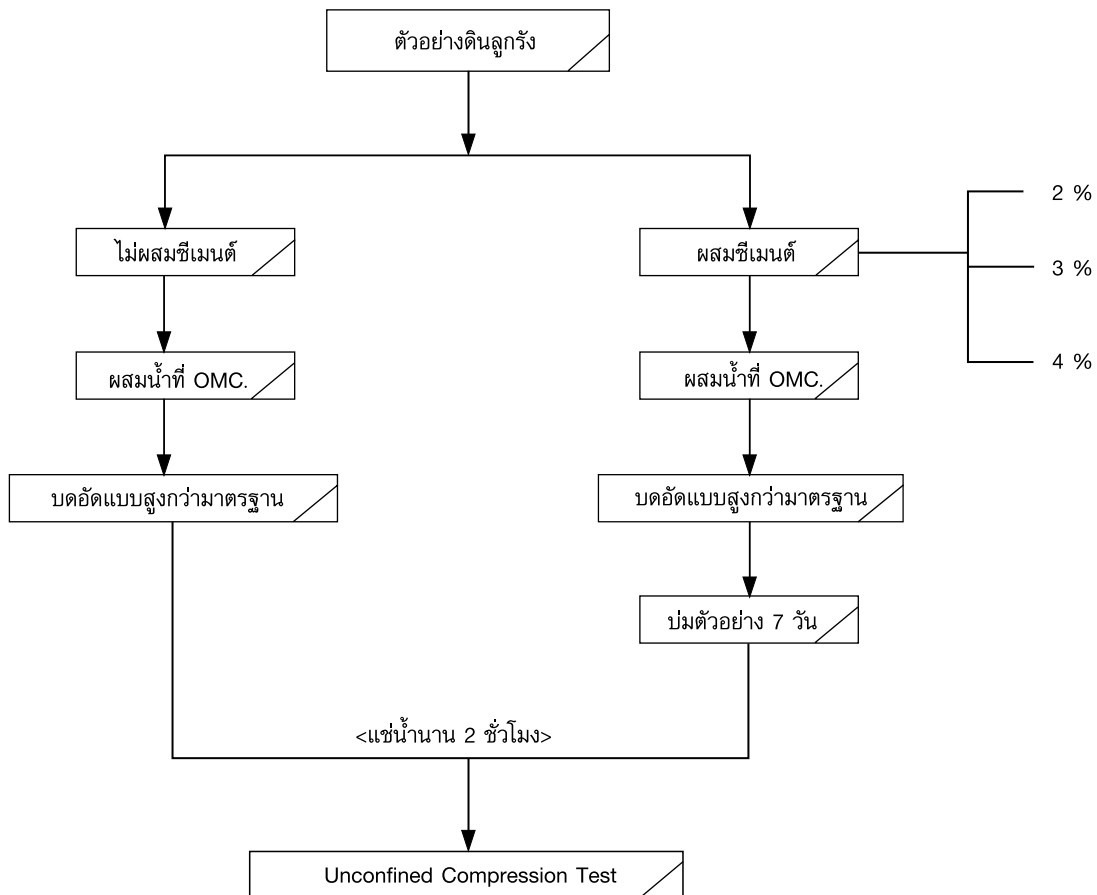
ลำดับขั้นตอนของการวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน

2.3.1 การทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องต้นของดิน

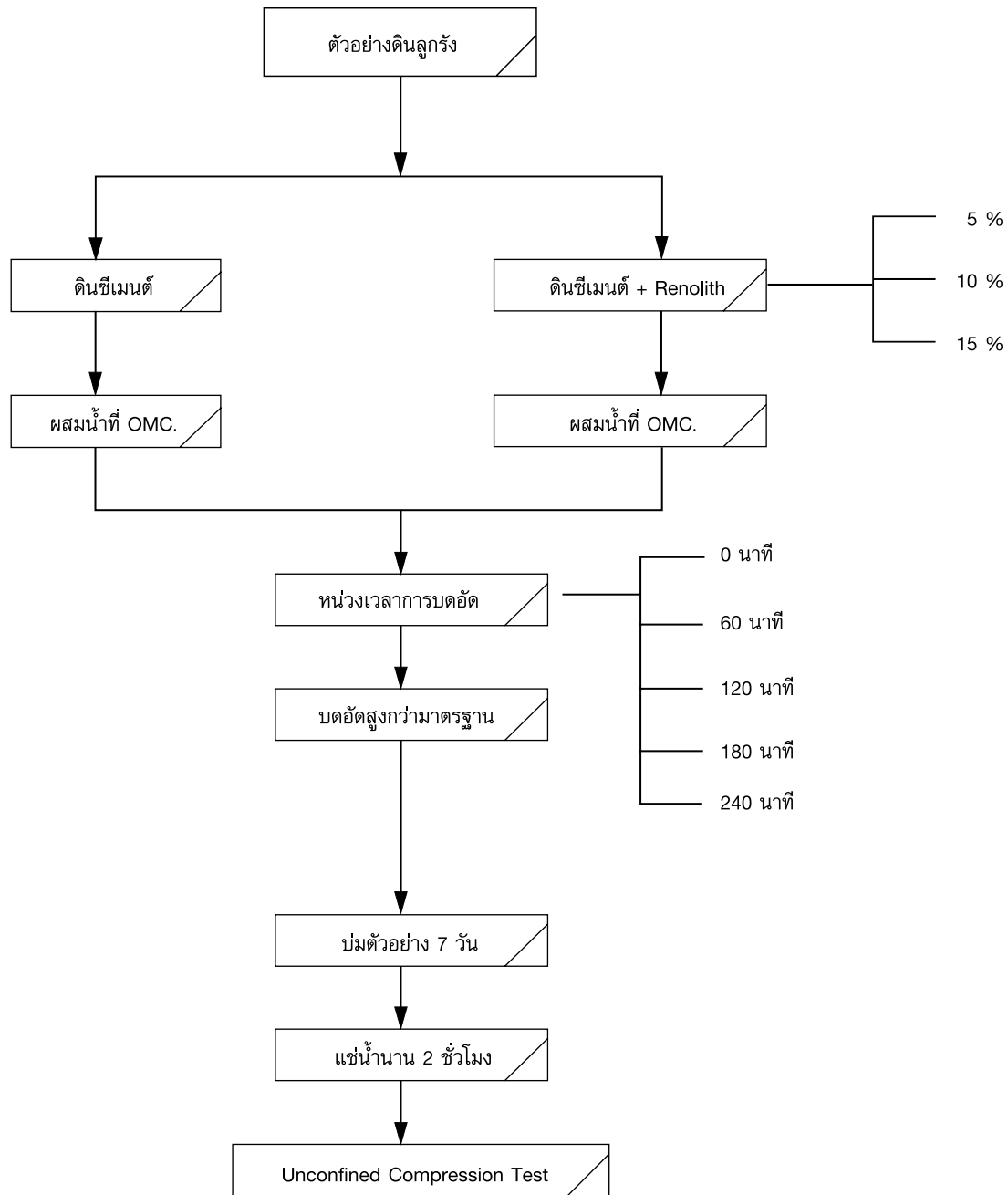
ดินลูกรังที่นำมาใช้ในการวิจัย ได้ผ่านการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติเบื้องต้นดังต่อไปนี้ การทดสอบหาขนาดของเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะค่า Liquid Limit (LL) ค่า Plastic Limit (PL) ของดินลูกรัง ฯลฯ

2.3.2 การทดสอบหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสม

การทดสอบหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่จะนำไปเป็นส่วน ผสม ในดินซีเมนต์ และดินซีเมนต์ผสมสารผสมเพิ่ม Renolith เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการหน่วงเวลา ก่อนการบดอัด โดยกำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อายุการบ่ม 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (17.5 กก./ซม.²) ตามมาตรฐาน กรมทางหลวงของวัสดุพื้นทางดิน สามารถแสดงเป็นแผนภูมิได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แผนภูมิการทดลองหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม



รูปที่ 2 แผนภูมิการทดสอบเปรียบเทียบผลกระทบบของการหน่วงเวลา ก่อนการบดอัด ระหว่างดินกรณีซีเมนต์กับกรณีดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith

2.3.3 การศึกษาผลกระทบของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดต่อกำลังอัดของดิน

เนื่องจากช่วงเวลาก่อนการบดอัดที่ยาวนานมีผลต่อกำลังอัด ในการศึกษานี้จะศึกษาเปรียบเทียบกำลังอัดของดินซีเมนต์กับกรณีกำลังอัดของดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith ที่ช่วงของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดต่างๆ ซึ่งจะสามารถแสดงแผนภูมิได้ดังรูปที่ 2

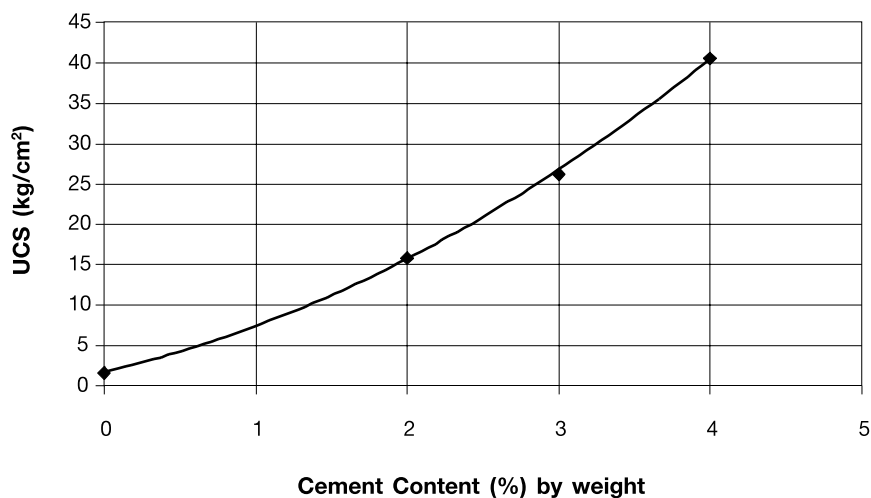
3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 คุณสมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินลูกรัง (lateritic soil) ที่นำมาศึกษาวิจัยมีคุณสมบัติเบื้องต้นแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

สมบัติของดินลูกรัง	
Textural Composition :	
Gravel Fraction, > 4.76 mm., %	54.04
Sand Fraction, 4.76 - 0.075 mm., %	32.61
Silt and Clay Fraction, < 0.075 mm., %	13.35
สมบัติทางกายภาพ :	
Liquid Limit, %	32.70
Plastic Limit, %	21.91
Plasticity Index, %	10.79
Specific Gravity	2.75
สมบัติทางวิศวกรรม :	
Modified Procter Compaction Test	
Maximum Dry Density, t/m ³	2.18
Optimum Moisture Content, %	7.8
Los Angeles Abrasion of Coarse Aggregate, %	32.2
Unconfined Compressive Strength, kg/cm ²	1.59
California Bearing Ratio, CBR soaked at 0.2" (%)	35.80
การจำแนกดิน :	
AASHTO	A-2-6 (0)
Unified Soil Classification	GC

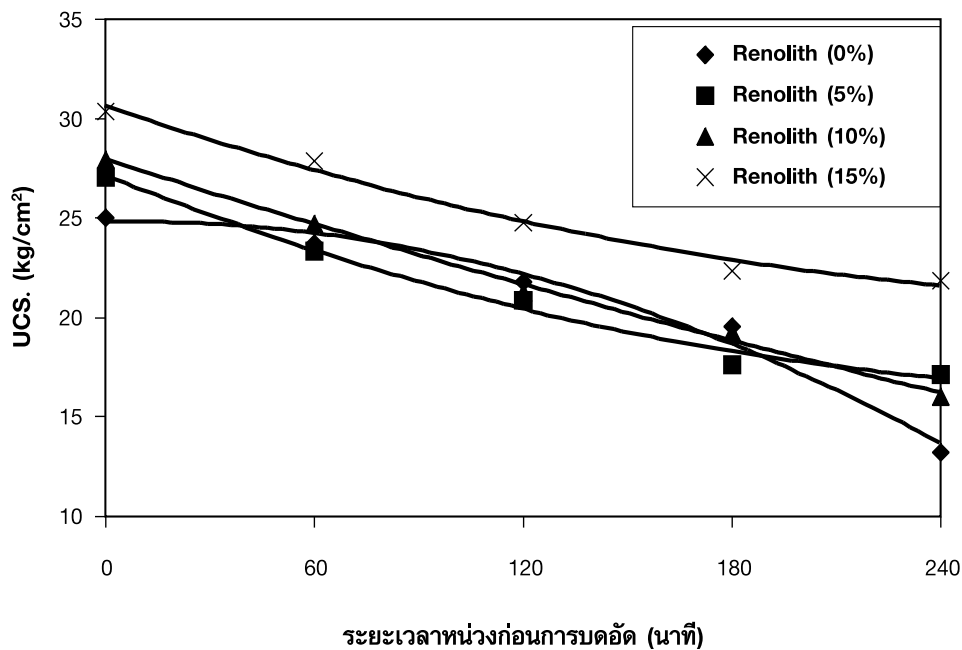
3.2 ผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อนำไปเป็นส่วนผสมในดินซีเมนต์และดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith ในการศึกษาผลกระทบของการหน่วงเวลา ก่อนการบดอัด โดยใช้ค่าเปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์ต่อน้ำหนักผิ๊งแห้ง ลูกรังที่ให้ค่ากำลังอัดไม่น้อยกว่า 17.5 กก./ซม.² ที่ระยะเวลาการบ่มตัวอย่าง 7 วัน และแช่น้ำก่อนการทดสอบ 2 ชั่วโมง สามารถแสดงผลได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS และปริมาณ Cement Content

จากผลการทดสอบเพื่อหาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อที่จะนำไปเป็นส่วนผสมในดินซีเมนต์และดินซีเมนต์ผสมสารผสมเพิ่ม Renolith เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการหน่วงเวลา ก่อนการบดอัด โดยใช้ค่าปริมาณซีเมนต์ต่อน้ำหนักดินผิ๊งแห้ง ที่ให้ค่า UCS 17.5 กก./ซม.² ที่ระยะเวลาการบ่มตัวอย่าง 7 วัน และแช่น้ำก่อนการทดสอบ 2 ชั่วโมง ในกรณีนี้กำหนดอัตราส่วนความปลอดภัยของกำลังอัดเท่ากับ 1.6 ได้ค่า cement content เท่ากับร้อยละ 3 ของน้ำหนักดินผิ๊งแห้ง

3.3 ผลกระทบของการหน่วงเวลา ก่อนการบดอัดต่อค่า UCS ของดินซีเมนต์เปรียบเทียบกับกรณีของดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith และผลการทดสอบได้แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัด (Unconfined Compressive Strength, UCS) กับช่วงเวลาหน่วงก่อนการบดอัดของตัวอย่างดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith

ผลการศึกษาของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดดินซีเมนต์ โดยเปรียบเทียบกับกรณีดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith พบว่า เมื่อเวลาหน่วงเพิ่มขึ้น ค่า UCS ของดินซีเมนต์และของดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith มีแนวโน้มลดลงในอัตรา 2.1 กก./ซม.² ต่อชั่วโมงของการหน่วงเวลา และพบว่าค่า UCS ที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญกับปริมาณ Renolith ในปริมาณร้อยละ 0 ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Renolith ในส่วนผสมเป็นร้อยละ 15 ค่า UCS ของวัสดุที่ผสมสาร Renolith ทั้งหมดยังให้ค่าเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 20 ของทุกช่วงระยะเวลาการหน่วงเวลาก่อนการบดอัด เมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith ร้อยละ 0 ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 ในกรณี สุดท้ายที่ให้กำลังอัดของดินซีเมนต์ไม่ต่ำกว่า 17.5 กก./ซม.² สามารถขยายระยะเวลาการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดออกไปได้นานถึง 4 ชั่วโมง

4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

4.1 สรุปผล

1. สมบัติเบื้องต้นของตัวอย่างดินลูกรัง การจำแนกดินตามระบบ AASHTO ตัวอย่างดินอยู่ในกลุ่ม A-2-6(0) แต่หากจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification ดินลูกรังจะจัดอยู่ในกลุ่ม GC

2. ปริมาณปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับร้อยละ 3 ของน้ำหนักดินผึ่งแห้ง ในกรณีที่จะนำไปเป็นส่วนผสมในดินซีเมนต์และในดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของการหน่วงเวลา ก่อนการบดอัด ที่ให้ค่า UCS ไม่น้อยกว่า 17.5 กก./ซม.² อัตราส่วนความปลอดภัยของกำลังอัดเท่ากับ 1.6 ที่ระยะเวลาการบดตัวอย่าง 7 วันและแช่น้ำก่อนการทดสอบ 2 ชั่วโมง

3. ผลของระยะเวลาการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดของทั้งกรณีดินซีเมนต์และกรณีดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith พบว่าเมื่อเวลาที่หน่วงเพิ่มขึ้น ค่า UCS จะมีแนวโน้มลดลงในอัตรา 2.1 กก./ซม.² ต่อชั่วโมง โดยพบว่าค่า UCS ที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงที่มีนัยสำคัญกับปริมาณ Renolith ในปริมาณร้อยละ 0 ร้อยละ 5 และร้อยละ 10 แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ Renolith เป็นร้อยละ 15 ค่า UCS ของวัสดุที่ผสมสาร Renolith ทั้งหมดยังให้ค่าเฉลี่ยสูงขึ้นร้อยละ 20 ของทุกช่วงเวลาการหน่วงเวลาก่อนการบดอัด เมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ผสมสาร Renolith ร้อยละ 0 ร้อยละ 5 และร้อยละ 10

4. สำหรับการปฏิบัติงานในสนาม กรณีที่ควบคุมกำลังอัดของดินซีเมนต์ไม่ต่ำกว่า 17.5 กก./ซม.² ตามมาตรฐานกรมทางหลวง พบว่าสามารถขยายระยะเวลาการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดได้นานถึง 4 ชั่วโมง เมื่อใช้ปริมาณสารผสมเพิ่ม Renolith ร้อยละ 15 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

4.2 ข้อเสนอแนะ

1. ควรศึกษาเพิ่มเติมผลกระทบของระยะเวลาการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดของดินในกรณีผสมสารอื่นเช่น ปูนขาว (lime) เปรียบเทียบกับผลกระทบของการหน่วงเวลาก่อนการบดอัดของดินปูนขาว (soil-lime) โดยใช้สารผสมเพิ่ม Renolith

2. เนื่องจากการเตรียมตัวอย่างเพื่อศึกษาวิจัยในครั้งนี้ ใช้วิธีการเตรียมตัวอย่างแบบ Dynamic Compaction จึงเป็นการยากที่จะควบคุมค่าความหนาแน่นของตัวอย่างทดสอบให้คงที่สม่ำเสมอได้ ควรมีการศึกษาและวิจัยเพิ่มเติม โดยเปลี่ยนวิธีการเตรียมตัวอย่างที่สามารถควบคุมค่าความหนาแน่นได้ดีขึ้น เช่น การเตรียมตัวอย่างแบบ Static Compaction หรือ Kneading Compaction เป็นต้น

3. การใช้สารผสมเพิ่ม Renolith ในกรณีที่มีปริมาณมาก เช่น การสร้างถนน ควบคู่กับผลกระทบล้อมและน้ำบาดาล

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณบุคคลท่านต่างๆ ที่มีส่วนช่วยให้การทำงานวิจัยในครั้งนี้ประสบผลสำเร็จไปได้ด้วยดี อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี คุณสุมิตรา เอกสิทธิ์ชัย ผู้จัดการฝ่ายการตลาด (ต่างประเทศ) และ คุณกฤษณะ ฝิโลปกรณ์ วิศวกรโยธา บริษัท พี. อาร์. ซี. แปซิฟิก รีซอร์สเซส จำกัด ซึ่งได้อำนวยความสะดวกในด้านน้ำยา Renolith เพื่อใช้เป็นสารผสมเพิ่มและตัวอย่างดินลูกรังสำหรับศึกษาวิจัย จนทำให้การทำงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

6. เอกสารอ้างอิง

1. Ingles, O. G. and Metcalf, J. B., 1972, *Soil Stabilization Principles and Practice*, Sydney, Butterworth, PTY., 200 p.
2. อติมนต์ ยุพกรณ์, 2544, ผลกระทบของความล่าช้าในการบดอัดดินลูกรังผสมซีเมนต์, *วิทยานพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา*, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 104 หน้า.
3. ฤทธิเดช พันธุ์ครุฑ, 2543, อิทธิพลของการหน่วงเวลาการบดอัดที่มีต่อค่า UCS และค่า Soaked CBR ของดินซีเมนต์, *วิทยานพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา*, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 166 หน้า.
4. กรมโยธาธิการ, 2542, *รายงานผลการศึกษา โครงการทดสอบและออกแบบก่อสร้างถนนพื้นทางดินซีเมนต์รีโนลิต สายพุกพล - ท่าเสา - ห้วยเกษม จ.เพชรบุรี*.
5. กรมทางหลวง, 2532, *มาตรฐานงานทาง*, สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ, 420 หน้า.
6. กรมทางหลวง, 2532, *มาตรฐานวิธีการทดลอง*, สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนาทาง, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ, 398 หน้า.