

การประยุกต์ใช้ดินซีเมนต์เพื่อการลาดคูส่งน้ำชลประทาน

APPLICATION OF SOIL – CEMENT FOR IRRIGATION DITCH LINING

ชัชชัย พิภมกล¹ และ วรารุณ วุฒินิชย์²

โปรแกรมวิชา เทคโนโลยีอุตสาหกรรม (ก่อสร้าง) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันราชภัฏเลย

บทคัดย่อ

การก่อสร้างคูส่งน้ำชลประทานในไร่นาของประเทศไทยมักนิยมใช้คูส่งน้ำดินธรรมชาติหรือคูลาดคอนกรีต คูดินมีปัญหาการรั่วซึมและมีวัชพืชขึ้นทำให้เกิดขวางการไหลของน้ำขณะที่คูคอนกรีตมีราคาแพงกว่าและต้องล้างคูคอนกรีตหรือวัสดุที่จะใช้ผสมคอนกรีตเข้าไปในแปลงเพาะปลูกซึ่งปกติทำได้ลำบากเพราะไม่มีถนนประกอบกับมักขาดการดูแลบำรุงรักษาเวลาแผ่นคอนกรีตเริ่มแตกร้าวเล็กน้อย เนื่องจากปัญหาการนำคอนกรีตเข้าไปซ่อมแซมดังกล่าวจึงทำให้คูคอนกรีตในหลาย ๆ แห่งในสภาพแตกร้าวไม่สามารถลดการรั่วซึมและปัญหาวัชพืชได้ จากปัญหาที่เกิดขึ้นเหล่านี้การศึกษานี้จึงหาวิธีใช้ดินซีเมนต์แทนคอนกรีตในการลาดคูส่งน้ำโดยปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่มีอยู่ในท้องถิ่นซึ่งหาง่ายและประหยัดต้นทุนค่าก่อสร้างมาใช้ ดินที่นำมาทำการทดลอง คือ ดินร่วนปนทราย ดินลูกรัง และดินร่วนปนดินเหนียว โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ปริมาณ 12 % 14 % และ 17 % โดยน้ำหนัก ที่ความชื้นเหมาะสมของดินร่วนปนทราย 12 % ดินลูกรัง 13 % และดินร่วนปนดินเหนียว 17 % มาผสม และใช้อายุบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน เพื่อนำไปใช้แทนคอนกรีต ทำการทดสอบมีคุณสมบัติในการรับแรงอัด ความคงทนและการซึมผ่านของดินซีเมนต์

จากผลการทดสอบดินซีเมนต์ในห้องปฏิบัติการ ปรากฏว่าดินลูกรังผสมซีเมนต์ที่ปริมาณซีเมนต์ 17% ที่อายุบ่ม 28 วัน ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด 423 ksc มีการสูญเสียน้ำหนักดิน 6.53 % และค่าปริมาณน้ำซึมผ่านเฉลี่ยเท่ากับ 2.966 มม./วัน ส่วนดินร่วนปนดินเหนียวผสมซีเมนต์ที่ปริมาณซีเมนต์ 17% ที่อายุบ่ม 28 วัน ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด 325 ksc มีการสูญเสียน้ำหนักดิน 13.26 % และค่าปริมาณน้ำซึมผ่านเฉลี่ยเท่ากับ 0.074 มม./วัน และดินร่วนปนทรายผสมซีเมนต์ที่มีปริมาณซีเมนต์ 17 % ที่อายุบ่ม 28 วัน ให้กำลังรับแรงอัดสูงสุด 273 ksc การสูญเสียน้ำหนักดิน 9.63 % และค่าปริมาณน้ำซึมเฉลี่ยเท่ากับ 1.004 มม./วัน

¹ Department of Technology (Construction) , Faculty of Technology , Rajabhat Institute Loei , Loei

² Department of Irrigation Engineering , Faculty of Engineering , Kasetsart University , Kamphaengsaen , Nakhon Pathum.

Abstract

Most of irrigation ditches in Thailand are either an earth ditch or a concrete lined ditch. The earth ditch usually faces the seepage and weed growth problems which reduce the flow rate. The concrete lined ditch is more expensive because of the cost of material, the difficulty of transportation concrete or concrete mixing material to the irrigated farm which usually has no excess. Besides, there are lack of maintenance of concrete ditch when started to break due to the transportation difficulty. Due to the problem as mentioned above, many of the concrete ditches have broken and can not reduce the seepage and weed growth problems. In this study, the soil cement was experimented to be an alternative to concrete in irrigation ditch lining due to the ease availability and cheap cost. Three types of soil including sandy loam, lateritic soil and clay loam were selected for experiment by mixing cement at 12 %, 14% and 17 % by weight and by controlling at optimum moisture at 12 % for sandy loam 13% for lateritic soil and 17 % for clay loam . The curing period of soil cement was 7, 14 and 28 days respectively. The compressive strength, durability and permeability of soil cement were tested.

The result of laboratory study showed that the lateritic soil with 17% of cement and 28 days of curing period had the highest compressive strength of 423 ksc, the soil weight loss 6.53 % and average permeability of 2.966 mm/day. The clay loam with 17% of cement and 28 days of curing period had the highest compressive strength of 325 ksc, the soil weight loss 13.26 % and average permeability of 0.074 mm/day. And the sandy loam with 17% of cement and 28 days of curing period had the highest compressive strength of 273 ksc, the soil weight loss 9.63 % and average permeability of 1.004 mm/day.

คำนำ

การก่อสร้างคูส่งน้ำชลประทานในไร่นาของประเทศไทยมักนิยมใช้คูส่งน้ำดินธรรมดาหรือคูลาดคอนกรีต คูดินมีปัญหาการรั่วซึมและมีวัชพืชขึ้นทำให้กีดขวางทางน้ำ ขณะที่คูคอนกรีตมีราคาแพงกว่า เนื่องจากราคาของคอนกรีตและต้องลำเลียงคอนกรีตหรือวัสดุที่จะใช้ผสมคอนกรีตเข้าไปในแปลงเพาะปลูกซึ่งปกติทำได้ลำบากเพราะไม่มีถนน ประกอบกับมักขาดการดูแลบำรุงรักษาเวลาแผ่นคอนกรีตเริ่มแตกร้าวเล็กน้อย เนื่องจากปัญหาการนำคอนกรีตเข้าไปซ่อมแซมดังกล่าวจึงทำให้คูคอนกรีตในหลาย ๆ แห่งในสภาพแตกร้าวไม่สามารถลดการรั่วซึมและปัญหาวัชพืชได้จากปัญหาที่เกิดขึ้น การศึกษาครั้งนี้จึงหาวิธีใช้ดินซีเมนต์แทนคอนกรีตในการลาดคูส่งน้ำโดยปรับปรุงคุณสมบัติของดินที่มีอยู่ในท้องถิ่นที่หาง่ายและประหยัดต้นทุนค่าก่อสร้างมาใช้ ดินที่นำมาทำการทดลอง คือ ดินร่วนปนทราย ดินลูกรัง และดินร่วนปนดินเหนียว โดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 12 % 14 % และ 17 % โดยน้ำหนัก ที่ความชื้นเหมาะสมของดินร่วนปนทราย 12 % ดินลูกรัง 13 % และดินร่วนปนดินเหนียว 17 % มาผสม และใช้อายุบ่มที่ 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน เพื่อนำไปใช้แทนคอนกรีต โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมได้แก่ การรับแรงอัด ความคงทน และการซึมได้ของน้ำในดินซีเมนต์

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมในด้านการรับกำลังอัดสูงสุด ความคงทนถาวรและความชื้นได้ของน้ำ
2. พิจารณาผลการทดสอบการรับกำลังอัดสูงสุด ความคงทนถาวร และความชื้นได้ของน้ำ ในดินซีเมนต์ชนิดต่างๆ ว่าดินซีเมนต์ชนิดไหนมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมดีที่สุดและเหมาะสมจะนำไปใช้ลาดคูล่งน้ำ

อุปกรณ์

1. ชุดเครื่องมือการจำแนกประเภทของดินตามมาตรฐาน ASTM D.2487-69
2. ชุดเครื่องมือการทดสอบ Compaction Test ตามมาตรฐาน ASTM D 698-70 D 1557-70
3. ชุดเครื่องมือการทดสอบ Compression Test ตามมาตรฐาน ASTM C 192
4. ชุดเครื่องมือการทดสอบ Wet and Dry Process ตามมาตรฐาน ASTM D 559-57
5. ชุดเครื่องมือการทดสอบ Permeability ตามมาตรฐาน ASTM D -451

วิธีการทดลอง

1. การจำแนกประเภทของดินโดยระบบ AASHTO Classification นำดินทั้ง 3 ตัวอย่างมาทำการจำแนกประเภทของดินตามมาตรฐาน ASTM D. 2487- 69 โดยใช้การร่อนดินผ่านชุดของตะแกรงร่อนเบอร์ 10, 40, และ 200 เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านและค้างบนตะแกรงแต่ละเบอร์ พร้อมทั้งหา Atterberg's limit เพื่อนำไปจำแนกดินและจัดกลุ่มของดิน และใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 สำหรับผสมกับดินตัวอย่าง
2. การทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Compaction Test) นำดินทั้ง 3 ตัวอย่างมาทำการทดสอบ Compaction โดยวิธี Standard Proctor ตามมาตรฐาน ASTM D698-70 D1557-70 โดยใช้ Mold ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 4.6 นิ้ว ทำการบดอัดด้วย Hammer ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว หนัก 5.5 ปอนด์ ทำการแบ่งชั้นดินที่จะบดอัด 3 ชั้น เท่า ๆ กันแล้วทำการบดอัดชั้นละ 25 ครั้ง และในการบดอัดดินตัวอย่างชุดต่อไปจะต้องเพิ่มน้ำครั้งละ 3 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการบดอัดซ้ำกันอย่างน้อย 5 ครั้ง เพื่อนำไปหาค่าความหนาแน่นสูงสุด ที่ปริมาณน้ำ Optimum Moisture Content (OMC) แล้วนำไปหาปริมาณของน้ำในดินแต่ละชนิดเพื่อหาอัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์
3. การทดสอบการรับกำลังอัดสูงสุด (Compression Test) นำดินทั้ง 3 ชนิดมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ในปริมาณ 12% 14% 17% โดยน้ำหนักและใช้ปริมาณน้ำจากค่า Optimum Moisture Content (OMC) ที่หาได้จากการทดสอบ Compaction ของดินแต่ละชนิดแล้วนำดินซีเมนต์ที่ทำการผสมแล้วเทลงไปในแบบหล่อขนาด 5 X 5 X 5 ซม. ในการเก็บตัวอย่างจะเก็บเป็นจำนวน 9 ตัวอย่าง ต่อปริมาณซีเมนต์ที่ 12% 14% 17% ตามลำดับจากนั้นนำดินซีเมนต์ตัวอย่าง ขนาด 5 X 5 X 5 ซม. ทั้ง 3 ชนิดมาทำการทดสอบ Compression ตามมาตรฐาน ASTM C 192 โดยแบ่งระยะเวลาของอายุการบ่มดินซีเมนต์เท่ากับ 7, 14, 28 วัน แล้วนำเข้าเครื่องกด Compression test เพื่อหาค่ากำลังอัดประลัยของดินซีเมนต์แต่ละชนิด

4. การทดสอบความคงทน (Durability Test) นำก้อนตัวอย่างดินซีเมนต์ขนาด 5 X 5 X 5 ซม. ทั้ง 3 ชนิด โดยแบ่งตามปริมาณซีเมนต์ 12% 14% 17% ที่อายุบ่มครบ 28 วัน มาทำการทดสอบวิธี Wet and Dry Process ตามมาตรฐาน ASTM D559-57 โดยนำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 5 ชม. แล้วนำไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 71 °C นาน 42 ชั่วโมง จากนั้นนำมาชั่งตวงผิวด้านข้างตัวอย่างทั้ง 4 ด้านในแนวตั้งขึ้นลงด้วยแปรงขัดประมาณ ด้านละ 18-20 ครั้ง ส่วนผิวบนและผิวล่างของตัวอย่างขัดดูด้านละ 2-4 ครั้ง โดยในการขัดดูจะใช้แรงขัดดูประมาณ 1.33 กิโลกรัม เพื่อหาการสึกกร่อนโดยการชั่งน้ำหนัก แล้วทำซ้ำอีกให้ครบ 12 รอบ จากนั้นนำดินซีเมนต์ตัวอย่างไปเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 110 °C นาน 24 ชั่วโมง แล้วนำไปหาค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียของดินซีเมนต์

5. การทดสอบหาความซึมได้ของน้ำผ่านดิน (Permeability Test) นำตัวอย่างดินซีเมนต์ที่บรรจุอยู่ในกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 15 ซม. ทั้ง 3 ชนิดที่ผสมกับปูนซีเมนต์ชนิดที่หนึ่ง ในปริมาณ 12% 14% 17% ตามลำดับ โดยแบ่งเป็นจำนวน 3 ตัวอย่างต่อ 1 ชุดการทดสอบ จากนั้นนำดินซีเมนต์ตัวอย่างมาทำการทดสอบ Permeability แบบระดับน้ำคงที่ (Constant Head) ตามมาตรฐาน ASTM D-451 ซึ่งดินซีเมนต์ตัวอย่างจะบรรจุอยู่ในท่อ PVC. มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้ว สูง 5 ซม. อยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำ แล้วนำมาเข้าชุดทดสอบเพื่อหาปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านดินซีเมนต์ที่ระยะเวลา 24, 48, 72, และ 96 ชั่วโมง

ผลการวิจัย

ผลการจำแนกประเภทของดินและการหาอัตราส่วนผสมดินซีเมนต์

จากผลการจำแนกดินปรากฏว่าดินทั้ง 3 ชนิด เป็นดินประเภท A-2-4 (0) และค่า Optimum Moisture Content (OMC) ของดินร่วนปนทรายมีค่าเท่ากับ 12 % ดินลูกรังมีค่าเท่ากับ 13 % และดินร่วนปนเหนียวมีค่าเท่ากับ 17 % (ดังภาพที่ 1-3) จากนั้นนำไปหาอัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์ (ดังตารางที่ 1)

ผลการทดสอบกำลังอัดสูงสุด

จากผลการทดสอบดินลูกรังผสมปริมาณซีเมนต์ 17% ให้การรับกำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 423 ksc ส่วนดินร่วนปนทรายผสมปริมาณซีเมนต์ 12% ให้การรับกำลังอัดต่ำที่สุดเท่ากับ 172 ksc จากภาพที่ 4 กราฟจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและอายุบ่มของดินลูกรังผสมปริมาณซีเมนต์ 12% 14% 17% ซึ่งจะเห็นว่ากำลังรับแรงอัดนั้นแปรผันตามอายุบ่ม และในช่วงอายุบ่มที่ 14 วัน ถึง 28 วัน ค่าการรับกำลังอัดจะเพิ่มเร็วมากเนื่องจากลักษณะกราฟเป็นเส้นตรงที่มีความชันมาก และจากกราฟจะเห็นว่าปริมาณซีเมนต์มีผลต่อกำลังรับแรงอัดคือ เมื่อมีปริมาณซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้มีกำลังรับแรงอัดมากขึ้นด้วย

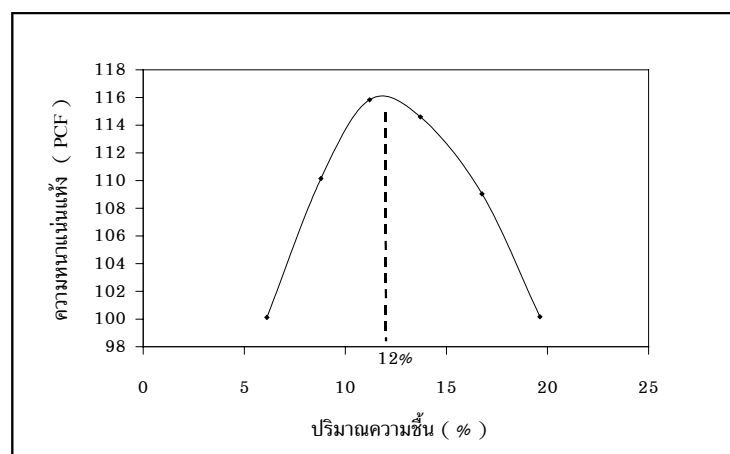
ผลการทดสอบความคงทน (Durability Test)

ผลปรากฏว่า ดินร่วนปนทรายผสมปริมาณซีเมนต์ 17% มีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียที่น้อยที่สุดเท่ากับ 9.63% (ดังภาพที่ 5) ดินลูกรังผสมปริมาณซีเมนต์ 17% มีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียโดยน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 6.53% (ดังภาพที่ 6) ดินร่วนปนดินเหนียวผสมปริมาณซีเมนต์ 17% มีค่าการสูญเสียโดยน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ

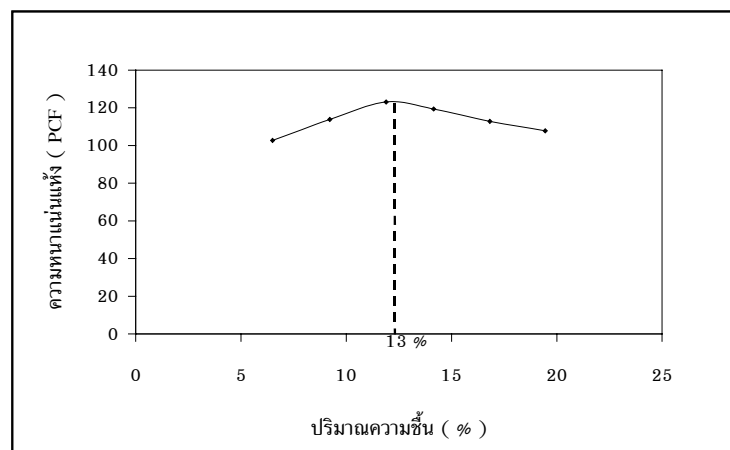
13.26% (ดังภาพที่ 7) ซึ่งจากผลการศึกษาจะเห็นว่า ดินลูกรังซีเมนต์ที่มีปริมาณซีเมนต์ 17% มีค่าเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักน้อยที่สุด จะเห็นว่าเมื่อมีปริมาณซีเมนต์มากขึ้นค่าเปอร์เซ็นต์สูญเสียน้ำหนักก็จะมีค่าน้อยลง

ผลการทดสอบหาความชื้นได้ของน้ำผ่านดิน (Permeability Test)

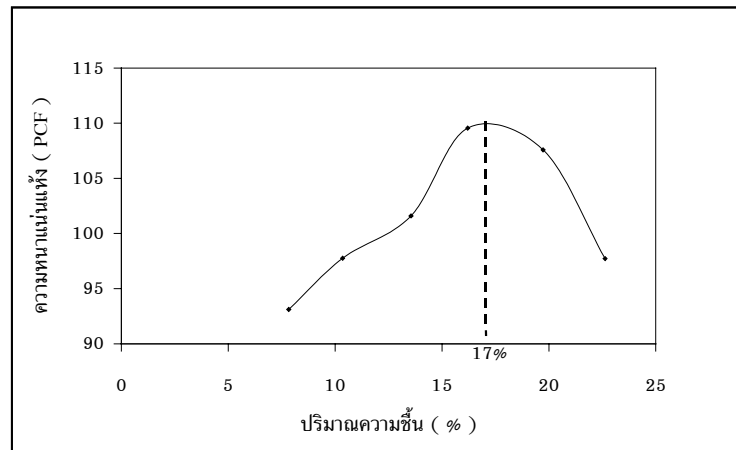
จากการศึกษาความชื้นได้ของน้ำผ่านดินซีเมนต์โดยวิธีความดันน้ำคงที่ ได้ทำการหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเฉลี่ย (q) ซึ่งจากการทดสอบผลปรากฏว่าดินร่วนปนเหนียวผสมปริมาณซีเมนต์ 17 % มีค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากับ 0.074 มม./วัน (ดังภาพที่ 6) และดินลูกรังผสมปริมาณซีเมนต์ 14 % มีค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเฉลี่ยมากที่สุดเท่ากับ 4.396 มม./วัน จากกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านกับระยะเวลาต่างๆ จะเห็นว่ากราฟมีแนวโน้มเป็นเส้นโค้งลง แสดงว่าเมื่อระยะเวลานานขึ้นค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านดินซีเมนต์ก็จะมีปริมาณลดลง



ภาพที่ 1 การหา Optimum Moisture Content (OMC) ของดินร่วนปนทราย



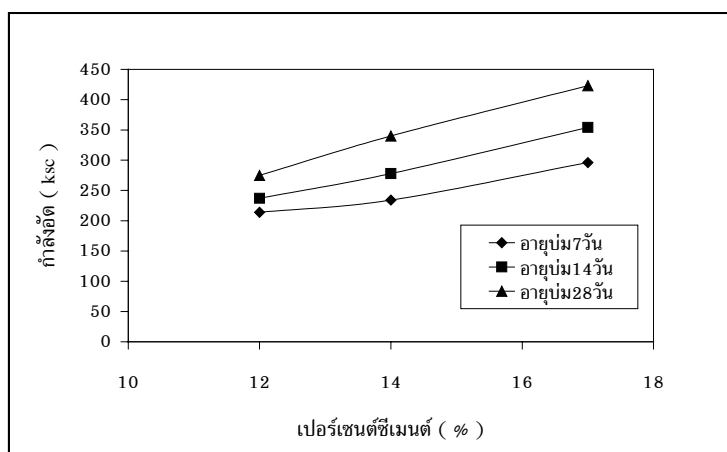
ภาพที่ 2 การหา Optimum Moisture Content (OMC) ของดินลูกรัง



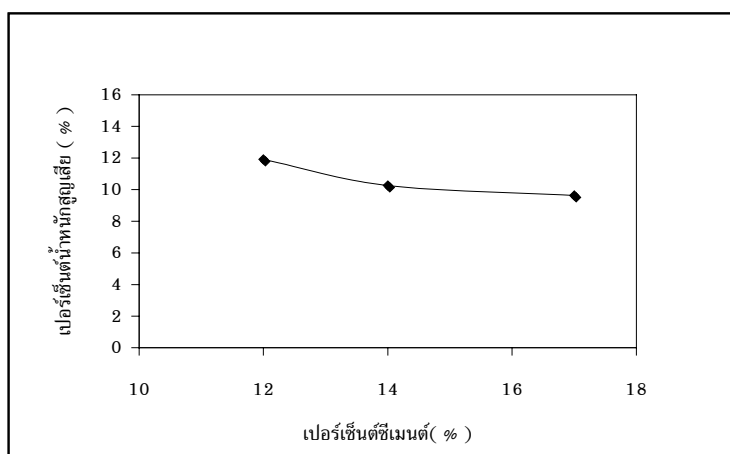
ภาพที่ 3 การหา Optimum Moisture Content (OMC) ของดินร่วนปนเหนียว

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์

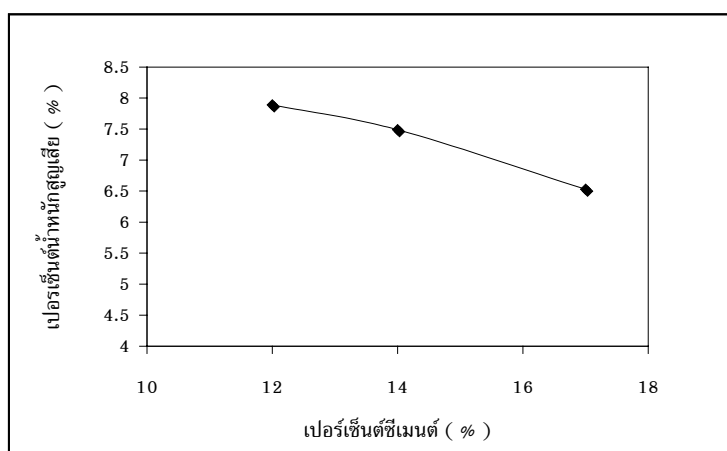
ชนิดดิน	อัตราส่วนผสม (%)			ความหนาแน่น (กรัม)
	ดิน	น้ำ	ซีเมนต์	
ดินร่วนปนทราย	76	12	12	2.28
	74	12	14	2.28
	71	12	17	2.28
ดินลูกรัง	75	13	12	2.36
	73	13	14	2.36
	70	13	17	2.36
ดินเหนียวปนทราย	71	17	12	2.23
	69	17	14	2.23
	66	17	17	2.23



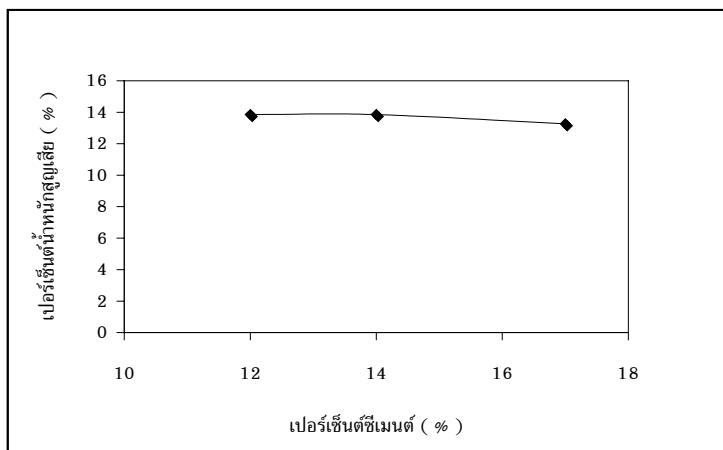
ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ของดินลูกรังผสมซีเมนต์ ที่อายุบ่มต่าง ๆ



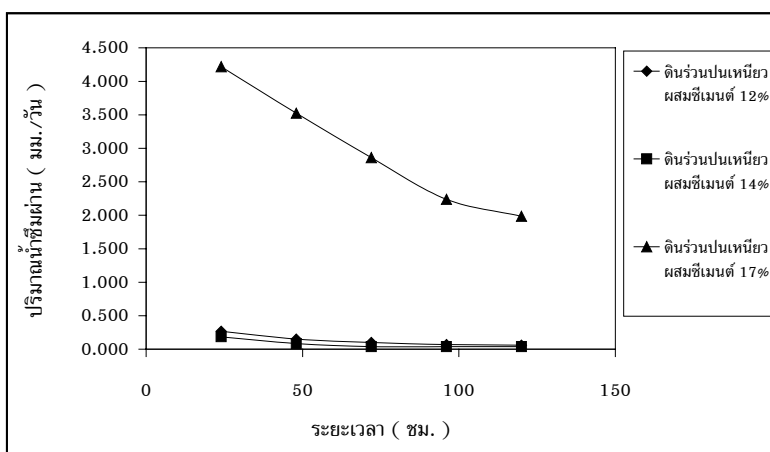
ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ของดินร่วนปนทรายผสมซีเมนต์



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ของดินลูกรังผสมซีเมนต์



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การสูญเสียโดยน้ำหนักและเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ของดินร่วนปนดินเหนียวผสมซีเมนต์



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านกับระยะเวลาต่าง ๆ ของดินร่วนปนเหนียวผสมกับเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ต่าง ๆ

สรุปผลการทดลอง

1. จากการศึกษาการทดสอบการรับกำลังอัดสูงสุดที่อายุบ่ม 28 วัน ผลปรากฏว่าดิน ลูกรังผสมปริมาณซีเมนต์ 17% ให้การรับกำลังอัดสูงที่สุดเท่ากับ 423 ksc และดินร่วนปนทรายผสมปริมาณซีเมนต์ 12% ให้การรับกำลังอัดต่ำที่สุดเท่ากับ 172 ksc
2. จากการศึกษาการทดสอบความคงทน ผลปรากฏว่าดินลูกรังผสมปริมาณซีเมนต์ 17% มีค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียโดยน้ำหนักเท่ากับ 6.53% ดินร่วนปนเหนียวผสมปริมาณซีเมนต์ 12% มีค่าการสูญเสียโดยน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 13.85%

3. จากการศึกษาความชื้นได้ของน้ำผ่านดินซีเมนต์โดยวิธีความดันน้ำคงที่ เพื่อหาค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเฉลี่ย (q) ผลปรากฏว่าดินลูกรังผสมปริมาณซีเมนต์ 17 % มีค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเฉลี่ยเท่ากับ 2.966 มม./วัน และดินร่วนปนทรายผสมปริมาณซีเมนต์ 12 % มีค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเฉลี่ยเท่ากับ 0.811 มม./วัน

4. จากการศึกษาผลปรากฏว่า ดินซีเมนต์ลูกรังผสมปริมาณซีเมนต์ 17 % เป็นดินซีเมนต์ที่มีความเหมาะสมทางด้านคุณสมบัติทางวิศวกรรมดีที่สุดคือ สามารถรับกำลังอัดสูงสุดถึง 423 ksc และค่าเปอร์เซ็นต์การสูญเสียโดยน้ำหนักน้อยที่สุดเท่ากับ 6.53 % และค่าปริมาณน้ำที่ไหลซึมผ่านเฉลี่ยเท่ากับ 2.966 มม./ วัน จึงนำไปใช้เป็นวัสดุที่จะใช้ลาดคูล่งน้ำในแปลงทดลองจริงและเพื่อใช้เปรียบเทียบกับคูล่งน้ำลาดคอนกรีต ซึ่งจากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดลองในห้องปฏิบัติการของดินซีเมนต์ชนิดต่าง ๆ

ตัวอย่าง	การจำแนกดิน	Optimum Moisture Content (%)	กำลังอัดสูงสุดที่อายุบ่ม 28 วัน (ksc)	การสูญเสียโดยน้ำหนัก (%)	ปริมาณน้ำซึมผ่านเฉลี่ย (มม./วัน)
ดินร่วนปนทรายผสมซีเมนต์ 12%	A-2-4(0)	12%	172	11.91	0.811
ดินร่วนปนทรายผสมซีเมนต์ 14%	A-2-4(0)	12%	192	10.26	1.114
ดินร่วนปนทรายผสมซีเมนต์ 17%	A-2-4(0)	12%	273	9.63	1.004
ดินลูกรังผสมซีเมนต์ 12%	A-2-4(0)	13%	275	7.89	0.822
ดินลูกรังผสมซีเมนต์ 14%	A-2-4(0)	13%	340	7.49	4.396
ดินลูกรังผสมซีเมนต์ 17%	A-2-4(0)	13%	423	6.53	2.966
ดินร่วนปนเหนียวผสมซีเมนต์ 12%	A-2-4(0)	17%	255	13.85	0.131
ดินร่วนปนเหนียวผสมซีเมนต์ 14%	A-2-4(0)	17%	289	13.85	0.078
ดินร่วนปนเหนียวผสมซีเมนต์ 17%	A-2-4(0)	17%	325	13.26	0.074

เอกสารอ้างอิง

AMERICAN STANDARD TESTING MATERIAL (ASTM D559-96) 01 Nov1996 : Standard Testing Method for Wetting and Dryind Compacted Soil – Cement Mixture : [http:// www.techstreet.com/cgi – bin/detail?Product_id=6287](http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?Product_id=6287)

AMERICAN STANDARD TESTING MATERIAL (ASTM D2487-69) 10 Aug1998 : Standard Practice for Classification of soil for Engineer Purpose : [http:// www.techstreet.com/cgi – bin/detail?Product_id=912585](http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?Product_id=912585)

AMERICAN STANDARD TESTING MATERIAL (ASTM C192) 01 Aug 2000 : Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory : [http:// www.techstreet.com/cgi – bin/detail?Product_id=2822](http://www.techstreet.com/cgi-bin/detail?Product_id=2822)

