

# การศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์และซีเมนต์เมื่อผสมดินแกรนิตในปริมาณต่างๆ

## THE QUANTITATIVE STUDIES OF FLY ASH AND CEMENT ADMIXTURES AFFECT TO THE GRANITIC SOIL

ปิยพงศ์ นูโรจน์ (Piyapong Nurod)<sup>1</sup>

ประทีป ดวงเดือน (Prateep Duangdeun)<sup>2</sup>

<sup>1</sup>นักศึกษาระดับปริญญาโท คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ nurod1@hotmail.com.

<sup>2</sup>รองศาสตราจารย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ptd@ku.ac.th.

**บทคัดย่อ :** งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาอิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์ และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 ในการเพิ่มเสถียรภาพทางด้านกำลังของดินแกรนิตประเภท SM โดยแบ่งการผสมออกเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% และ 25% โดยน้ำหนักดินแห้ง ส่วนที่ 2 ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1ในอัตราส่วน 2% และ 4% โดยน้ำหนักดินแห้ง และส่วนที่ 3 ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% และ 25% โดยน้ำหนักดินแห้งและทุกอัตราส่วนผสมของเถ้าลอยลิกไนต์ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1เพิ่มลงไป ในอัตราส่วน 2% และ 4% โดยน้ำหนักดินแห้ง แล้วทดสอบการบดอัดเพื่อหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณความชื้นเหมาะสม จากนั้นทดสอบค่า CBR ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำที่อายุการบ่ม 7 วัน 14 วัน 28 วัน และ 90 วัน ค่า CBR. ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำเป็นดัชนีที่บ่งชี้ถึงคุณสมบัติทางด้านกำลังของดินแกรนิต ภายหลังจากการผสมเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ประเภท1 ค่า CBR ทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท1 ที่เพิ่มขึ้นและอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น

**ABSTRACT :** The purpose of this study is to investigate the effect of fly ash and Portland cement Type1 on improving the strength of granitic soil. Three mixed preparations are carried out First, mixing with fly ash at 5% ,10% ,15% 20% and 25% by weight of dry soil. Second, mixing with cement at 2% and 4% by weight of dry soil. Finally, mixing with fly ash at 5% ,10% ,15% 20% and 25% by weight of dry soil and adding cement at 2% and 4% by weight of dry soil. Soil samples were compacted to determine the maximum dry density and the optimum moisture content. Then the CBR value (Soaked and unsoaked) were determined at curing time of 7, 14, 28 and 90 days, respectively. Result of the CBR test is an index property to indicate the strength of granitic soil. The test results show that the CBR, both soaked and unsoaked samples, increase as the amount of fly ash, cement and curing time increase.

**KEYWORDS :** Granitic Soil, Fly Ash, Soil Improvement

## 1. บทนำ

ดินแกรนิตมีอยู่ทั่วไปทางภาคเหนือภาคใต้และภาคตะวันออกของประเทศไทย โดยทั่วไปแล้วได้มีการนำดินแกรนิตมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง แต่เนื่องจากดินแกรนิตอาจมีความแปรปรวนทางด้านคุณสมบัติอยู่มาก หรือ คุณสมบัติทางด้านกำลังไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดจะนำมาใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง ดังนั้นจึงได้มีการนำวัสดุที่ช่วยในการยึดเกาะของเม็ดดินเช่น ปูนซีเมนต์มาใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางด้านกำลังให้ดีขึ้นกว่าเดิม อย่างไรก็ตามการใช้น้ำปูนซีเมนต์ผสมลงไปดินนั้นก็มีค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูงจึงมีความพยายามที่ลดค่าใช้จ่ายการใช้น้ำปูนซีเมนต์ลง โดยการนำเถ้าลอยลิกไนต์มาผสมแทน ซึ่งเถ้าลอยลิกไนต์จัดได้ว่าเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดหนึ่ง ในงานวิจัยนี้นอกจากจะเป็นการเพิ่มกำลังของดินแกรนิตแล้ว ยังเป็นการช่วยกำจัดวัสดุที่เหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมอีกทางหนึ่งด้วย ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ และลดปัญหาสิ่งแวดล้อม

## 2. วัตถุประสงค์การวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านกายภาพและวิศวกรรมของดินแกรนิต

2.2 เพื่อศึกษาการพัฒนากำลังทางด้าน CBR ของดินแกรนิตผสมเถ้าลอยลิกไนต์ ดินแกรนิตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ดินแกรนิตผสมเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในปริมาณต่างกันที่อายุการบ่มต่างๆ

2.3 เพื่อหาปริมาณอัตราส่วนที่เหมาะสมของค่า CBR ของดินแกรนิตผสมเถ้าลอยลิกไนต์ ดินแกรนิตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ดินแกรนิตผสมเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

## 3. ทฤษฎีพื้นฐาน

### 3.1 การเกิดของดินแกรนิต

ดินแกรนิตเป็นลักษณะ Residual Soil เกิดจากการสลายตัวของหินแกรนิตและหินไนต์ ขบวนการสลายตัวที่ทำให้เกิดดินแกรนิตได้แก่ ขบวนการสลายตัวทางกายภาพทำให้หินแกรนิตหักตามรอยแยกมีลักษณะเป็น Block Fracturing และ ผลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิทำให้เกิดการขยายตัวและหดตัวของก้อน

หินไม่เท่ากัน หินจะแตกเป็นก้อนเล็ก เมื่อหินเกิดการแตกหักและมีขนาดเล็กลง ขบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีจะมีอิทธิพลมากขึ้น ขบวนการสลายตัวทางเคมีของหินแกรนิตมีผลแตกต่างกันออกไป หินจำพวก Quartz ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่ Feldspar เปลี่ยนแปลงเป็นแร่ดินเหนียวประเภทคาโอลิไนต์ และ ไมกาจะเปลี่ยนแปลงเป็นแร่ต่างๆ ของดินเหนียว ปฏิกิริยาแยกตัวสลายตัวทางเคมีของ Feldspar เป็นสมการ [4]



### 3.2 เถ้าลอย (Fly Ash)

เถ้าลอยมีส่วนประกอบหลักเป็นซิลิกาออกไซด์และ อลูมินาออกไซด์ เมื่ออยู่ในสภาพแห้งและป่นเป็นฝุ่นจะไม่มีคุณสมบัติเชื่อมเกาะระหว่างอนุภาค แต่เมื่อสัมผัสเข้ากับน้ำภายใต้อุณหภูมิปกติ จะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)<sub>2</sub>) และเกิดสารใหม่ที่มีคุณสมบัติเชื่อมประสาน โดยที่คุณสมบัติดังกล่าวขึ้นอยู่กับประเภทของถ่านหินอุณหภูมิของการเผาและช่วงเวลาของการเผา [3]

### 3.3 กลไกการปรับปรุงคุณสมบัติของดินด้วยซีเมนต์

ปฏิกิริยา Cement Hydration เป็นกระบวนการเกิด CSH และ CAH ในช่วงแรก ส่วนปฏิกิริยา Pozzolanic Reaction เป็นปฏิกิริยาระหว่าง Silica และ Alumina ที่มีอยู่ในเม็ดดินกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ที่เกิดจาก Released Hydrated Lime จากปฏิกิริยา Cement Hydration เป็นกระบวนการที่สองที่ทำให้เกิด CSH และ CAH เพิ่มเติมจากเดิม ทำให้กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์สูงขึ้นตามอายุการบ่ม [1]

### 3.4 ปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าลอย

เกิดจาก SiO<sub>2</sub> และ Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> ในเถ้าลอยทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)<sub>2</sub>) ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์แล้วก่อตัวทำให้เกิดสาร CSH กับ CAH ซึ่งเป็นสารผลิตภัณฑ์หลักเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ โดยแรงยึดเหนี่ยวระหว่างอนุภาคเถ้าลอยกับ Calcium Silicate Hydrate ยังพัฒนาไม่เต็มที่ในช่วงแรก แต่หลังจาก 28 วัน อิทธิพลของเถ้าลอยต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันจะปรากฏชัดเจน [2]

#### 4. วิธีการวิจัย

เป็นการศึกษาอิทธิพลของอัตราส่วนผสมของ Fly Ash และ Cement ที่มีต่อคุณสมบัติด้านกำลังและอายุการบ่ม โดยนำตัวอย่างดินแกรนิตจาก อ.พิปูน จ.นครศรีธรรมราช มาทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและวิศวกรรม เถ้าลอยลิกไนต์นำมาจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง และ ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 จากนั้นนำดินแกรนิตมาผสมกับเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% และ 25% ของน้ำหนักดินแห้ง ดินแกรนิตผสมปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วน 2% และ 4% ของน้ำหนักดินแห้ง ดินแกรนิตผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% และ 25% ของน้ำหนักดินแห้งและทุกอัตราส่วนของเถ้าลอยลิกไนต์จะเพิ่มปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 อีกในอัตราส่วน 2% และ 4% ของน้ำหนักดินแห้ง แล้วนำทุกอัตราส่วนผสมมาทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และ ปริมาณความชื้นเหมาะสม ทำการทดสอบ California Bearing Ratio แบบไม่แช่น้ำที่อายุการบ่ม 7 วัน 14 วัน 28 และ 90 วัน และ แบบแช่น้ำไว้ตลอดระยะเวลาการบ่ม 7 วัน 14 วัน 28 และ 90 วัน นำผลการทดสอบทั้งหมดมาวิเคราะห์ข้อมูล และ สรุปผล

##### 4.1 สัญลักษณ์

ในการทดสอบมีสัญลักษณ์ ที่จะบ่งบอกอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผสม คือ F แทนชื่อ Fly Ash และ C แทนชื่อ Cement เช่น C2F5 หมายถึง ใส่ Cement 2 % และ Fly Ash 5% ของน้ำหนักดินแห้ง

#### 5. ผลการวิจัย

##### 5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและทางวิศวกรรมของดินแกรนิต

จากการทดสอบได้แสดงผลไว้ในตารางที่ 1 และ ตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินแกรนิต

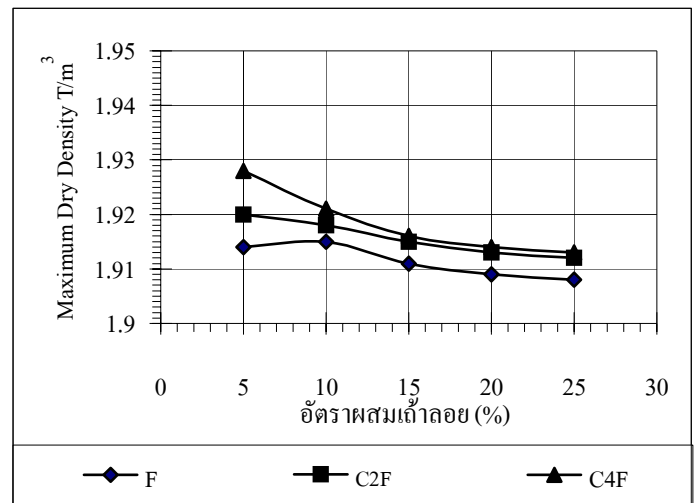
การทดสอบ	ผลการทดสอบ
Liquid Limit %	21.14
Plastic Limit	N.P.
Shrinkage Limit %	19.86
Specific Gravity	2.63
Classification	SM.

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินแกรนิต

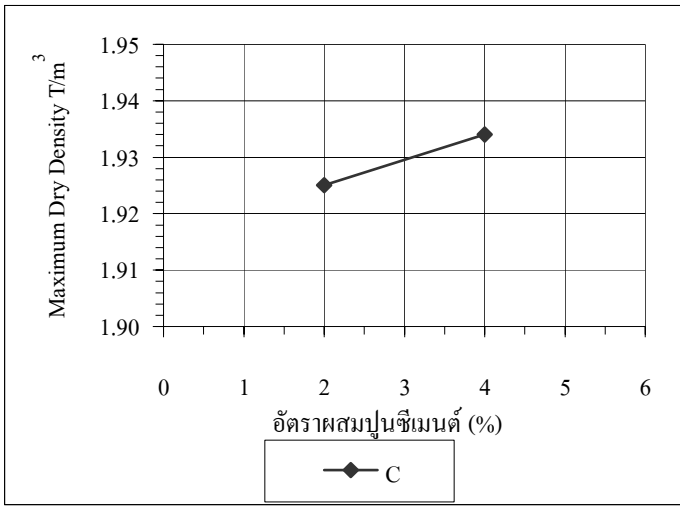
การทดสอบ	ผลการทดสอบ
Dry Density T/m <sup>3</sup>	1.922
California Bearing Ratio (Unsoaked) %	27.6
California Bearing Ratio (Soaked) %	18.1
Swell %	0.017

##### 5.2 ผลการทดสอบ ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด และ ปริมาณความชื้นเหมาะสม

ผลการทดสอบพบว่าอิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์และอิทธิพลเถ้าลอยลิกไนต์ผสมเพิ่มด้วยปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วน 2 % และ 4 % ทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลงในช่วงปริมาณผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 5 - 10% แต่ในช่วง 15 - 25% จะมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดคงที่ ดังแสดงในรูปที่ 1 ค่าความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดนั้น พบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน แต่ในส่วนผลการทดสอบอิทธิพลของปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ประเภท 1ผสมในอัตราส่วน 2% และ 4% ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 2 และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมในการบดอัดนั้นพบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงไม่ชัดเจน



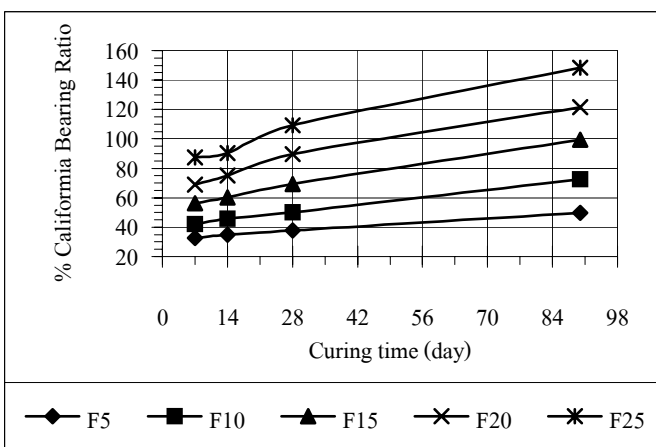
รูปที่ 1 อิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ผสมปูนซีเมนต์ต่อค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด



รูปที่ 2 อิทธิพลของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ต่อค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด

### 5.3 ผลการทดสอบค่า CBR. (Unsoaked) และ วิเคราะห์ผล

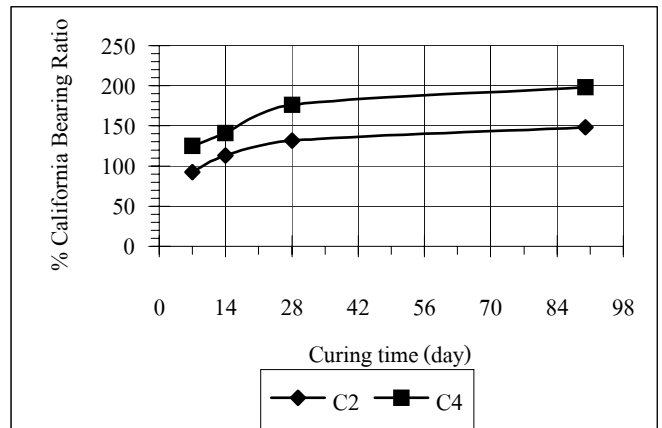
จากการศึกษาและวิเคราะห์ค่า CBR แบบไม่แช่น้ำของดินแกรนิตผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% และ 25% ของน้ำหนักดินแห้ง พบว่าอัตราส่วนของเถ้าลอยลิกไนต์ที่ปริมาณมากขึ้น และ ระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น ทำให้ค่า CBR เพิ่มขึ้น ซึ่งในช่วงระยะเวลาการบ่ม 7 ถึง 28 วัน การพัฒนากำลังของดินแกรนิตผสมเถ้าลอยลิกไนต์จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เมื่อเวลาการบ่มถึง 90 วัน ค่า CBR เพิ่มสูงขึ้นมาก ดังแสดงในรูปที่ 3 เนื่องมาจากแคลเซียมออกไซด์ที่มีอยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์นั้นทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดสารแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งแคลเซียมไฮดรอกไซด์จะทำปฏิกิริยากับซิลิกาและอลูมินาที่อยู่ในเถ้าลอยลิกไนต์และดินแกรนิต เกิดสารเชื่อมประสานและแรงยึดเหนี่ยวในมวลดิน



รูปที่ 3 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR. ในปริมาณ Fly Ash ต่างๆ ตามอายุการบ่ม

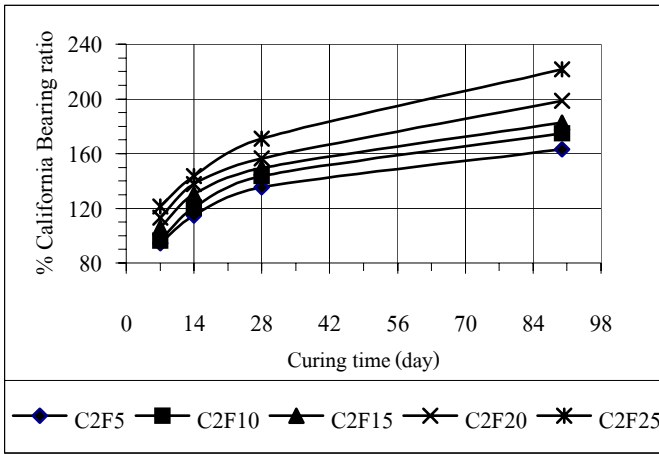
จากการศึกษาและวิเคราะห์ค่า CBR แบบไม่แช่น้ำของดินแกรนิตผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วน 2 %

และ 4% ของน้ำหนักดินแห้ง พบว่าค่า CBR มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนที่ผสมและอายุการบ่มที่เพิ่มขึ้น เห็นได้ว่าช่วง 7 ถึง 28 วัน อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจาก 28 ถึง 90 วัน อัตราการเพิ่มขึ้นของ ค่า CBR จะค่อยๆเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4 ทั้งนี้เมื่อซีเมนต์ผสมกับน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกันผลของปฏิกิริยาทำให้ได้สารประกอบ CSH และ CAH ซึ่งสารประกอบที่ได้นั้นมีคุณสมบัติในการเชื่อมประสานและยึดเหนี่ยวมวลดินให้มีความแข็งแรงขึ้น

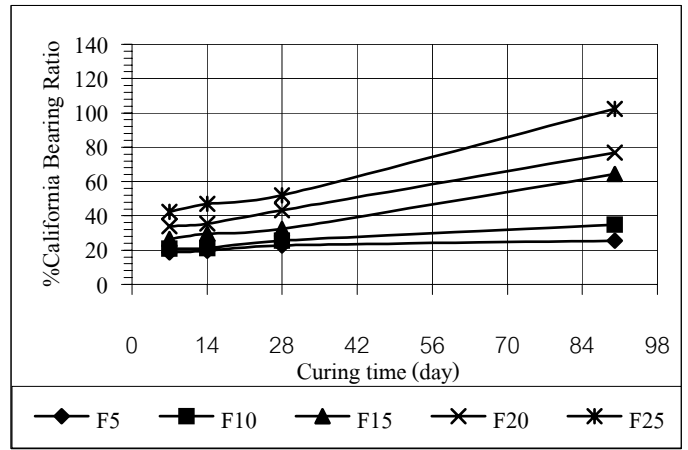


รูปที่ 4 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR. ในปริมาณ Cement 2% และ 4% ตามอายุการบ่ม

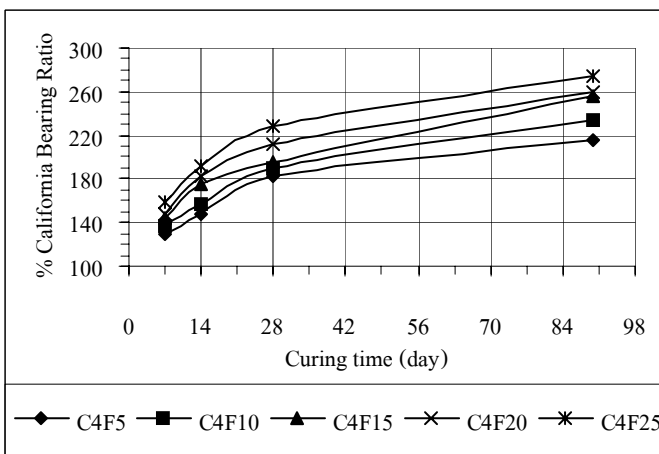
จากการศึกษาและวิเคราะห์ค่า CBR แบบไม่แช่น้ำของดินแกรนิตผสมเถ้าลอยลิกไนต์ในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% และ 25 % และ ทุกอัตราส่วนของเถ้าลอยลิกไนต์ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วน 2 % และ 4% ของน้ำหนักดินแห้ง พบว่าค่า CBR มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์และอายุการบ่ม เห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่า CBR มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 90 วัน ดังแสดงในรูปที่ 5 และ 6 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเกิดขึ้นของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น 2 ช่วงคือช่วงแรก 7 ถึง 28 วัน เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาของปูนซีเมนต์คือซีเมนต์ผสมกับน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างกัน ผลของปฏิกิริยาทำให้ได้สารประกอบ CSH และ CAH ช่วงที่สองเพิ่มขึ้นช้าลงเนื่องมาจากปฏิกิริยาของเถ้าลอยลิกไนต์ ซึ่งเกิดจากแคลเซียมไฮดรอกไซด์ยังคงทำปฏิกิริยากับซิลิกาและอลูมินาอย่างต่อเนื่อง ทำให้ได้สารประกอบ CSH และ CAH เพิ่มเติมจากช่วงแรกทำให้มีการเพิ่มขึ้นของกำลังอย่างต่อเนื่อง



รูปที่ 5 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR. ในปริมาณ Cement และ Fly Ash ตามอายุการบ่ม

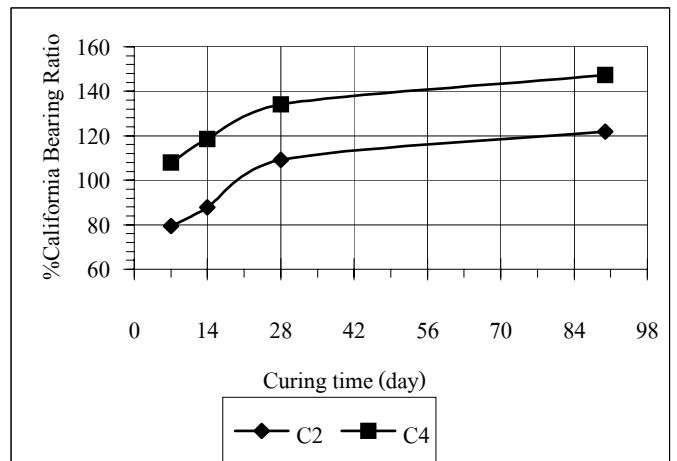


รูปที่ 7 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR. ในปริมาณ Fly Ash ต่างๆ ตามอายุการบ่ม



รูปที่ 6 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR. ในปริมาณ Cement และ Fly Ash ตามอายุการบ่ม

จากการศึกษาค่า CBR แบบแช่ตัวอย่างไว้ในน้ำตลอดเวลาของดินแกรนิตผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ในอัตราส่วน 2 % และ 4% ของน้ำหนักดินแห้ง พบว่ามีการเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนผสมและอายุการบ่ม โดยเฉพาะในช่วงอายุการบ่ม 7 ถึง 28 วัน มีการเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว หลังจาก 28 วันไปแล้ว การเพิ่มขึ้นค่อยๆ ลดน้อยลง ดังแสดงในรูปที่ 8

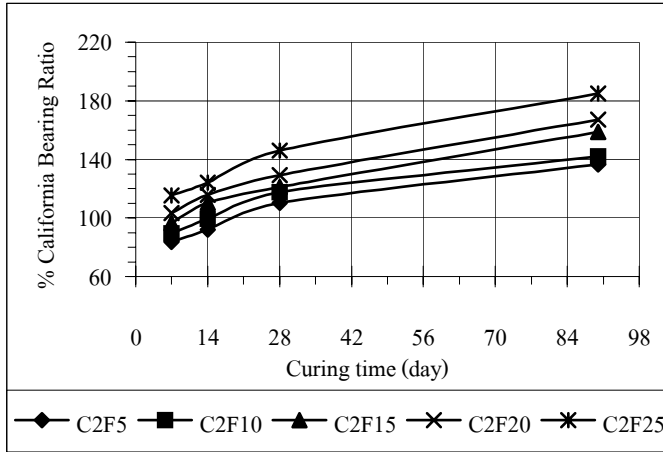


รูปที่ 8 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR. ในปริมาณ Cement ต่างๆ ตามอายุการบ่ม

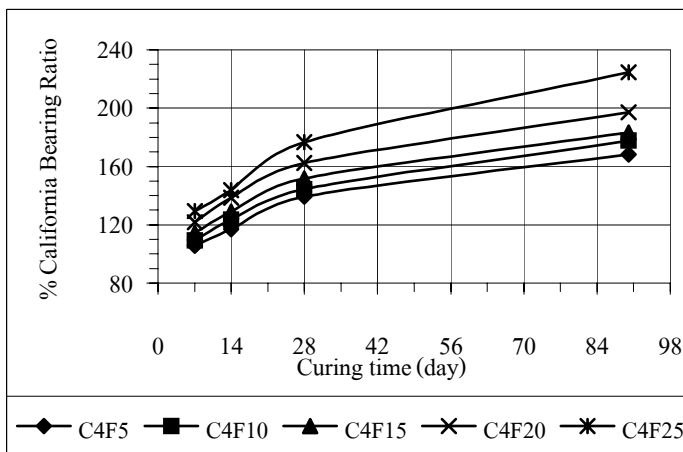
จากการศึกษาค่า CBR แบบแช่ตัวอย่างไว้ในน้ำตลอดเวลาการบ่มของดินแกรนิตผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 ในอัตราส่วน 5% 10% 15% 20% และ 25% และทุกอัตราส่วนของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วน 2 % และ 4% ของน้ำหนักดินแห้ง พบว่าค่า CBR มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และปูนซีเมนต์และอายุการบ่ม โดยค่า CBR มีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึง 90 วัน ดังแสดงในรูปที่ 9 และ 10 แต่ค่า CBR แบบแช่ตัวอย่างไว้ในน้ำตลอดเวลาการบ่มยังมีต่ำกว่าค่า CBR แบบไม่แช่น้ำ เนื่องมาจากการที่แช่ตัวอย่างไว้ในน้ำตลอดเวลาการบ่มทำให้

5.4 ผลการทดสอบค่า CBR. (Soaked) และ วิเคราะห์ผล  
จากการศึกษาและวิเคราะห์ผล ค่า CBR แบบแช่น้ำตลอดเวลาของดินแกรนิตผสมซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 5% 10% 15% 20% และ 25% ของน้ำหนักดินแห้ง พบว่าค่า CBR แบบตัวอย่างแช่น้ำตลอดเวลาการบ่มมีการเพิ่มขึ้นของค่า CBR ตามอัตราส่วนของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และอายุการบ่ม ดังแสดงในรูปที่ 7 เห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของค่า CBR มีค่าที่น้อยกว่า CBR แบบไม่แช่น้ำ ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่แช่ตัวอย่างไว้ในน้ำตลอดเวลาการบ่มทำให้เกิดการแยกตัวกันของมวลดิน ผลการแยกตัวของมวลดินอาจจะทำให้ดินสูญเสียกำลังได้

เกิดการแยกตัวกันของมวลดิน ผลจากการแยกตัวกันของมวลดิน อาจจะทำให้ดินสูญเสียกำลังได้



รูปที่ 9 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR ในปริมาณ Cement และ Fly Ash ตามอายุการบ่ม



รูปที่ 10 อัตราการเพิ่มขึ้นของค่า CBR ในปริมาณ Cement และ Fly Ash ตามอายุการบ่ม

## 6. สรุปผลการทดสอบ

6.1 ดินแกรนิตที่ใช้ในการทดสอบนั้น นำมาจาก อ.พิปูน จ. นครศรีธรรมราช เป็นดินแกรนิตประเภท SM มีค่า Liquid limit 21 % ค่า Plastic limit เป็น Non Plastic ค่า CBR แบบไม่แช่น้ำ 27.6 % และ ค่า CBR แบบแช่น้ำตลอดเวลา 18.1 %

6.2 อิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และเถ้าลอยลิกไนต์กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ใช้เป็น ตัวเชื่อมประสานผสมลงในดินแกรนิต จากการศึกษาพบว่าเถ้า ลอยลิกไนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และ เถ้าลอย ลิกไนต์กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ส่งผลให้การพัฒนา กำลังทางด้าน CBR เพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มอัตราส่วนการผสมสารเชื่อม ประสาน และเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม

6.3 อิทธิพลของเถ้าลอยลิกไนต์ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และเถ้าลอยลิกไนต์กับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมลง ดินแกรนิต มีผลทำให้ค่าการพองตัวของดินแกรนิตลดลง

6.4 อัตราส่วนที่เหมาะสมสำหรับดินแกรนิตจากแหล่ง อ. พิปูน จ. นครศรีธรรมราช เมื่อนำมาผสมเถ้าลอยลิกไนต์ ปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และเถ้าลอยลิกไนต์กับปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์ประเภท 1 ที่ใช้งานชั้นรองพื้นทางควรเป็นดังนี้

ปริมาณสารเชื่อมประสาน	%CBRแบบแช่น้ำ	อายุการบ่ม(วัน)
Fly Ash 20 %	43.4	28
Cement 2%	79.4	7
Cement 2% and Fly Ash 5%	83.6	7

6.5 ในงานวิจัยครั้งนี้สามารถบ่งชี้ว่าเถ้าลอยลิกไนต์และ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 สามารถใช้เป็นสารเชื่อม ประสานและพัฒนากำลังค่า CBR ได้เป็นอย่างดี

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในบทความนี้ ได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ปี การศึกษา 2547 จากบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Herzog, A. and J.K. Mitchell. 1963. Highway Research Board Bull. 36.174 p.
- [2] Kovacs, R. 1975. Effect of Hydration Product on the Properties of Fly Ash Cement.
- [3] วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, 2544. การใช้ เถ้าลอยลิกไนต์ในงานคอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 1. วิศวกรรมสถานแห่ง ประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, กรุงเทพฯ
- [4] ชีระชาติ รื่นไกรฤกษ์, 2534. คุณลักษณะความเค้นความเครียดและกำลัง ของดินแกรนิตผสมซีเมนต์. กองวิเคราะห์วิจัย. กรมทางหลวง. กรุงเทพฯ