

อิทธิพลของขนาดละเอียดและดินเม็ดละเอียดที่มีอยู่ในมวลดินต่อ

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมเถ้าลอย

EFFECT OF GRADATION AND FINE PARTICLES IN SOIL MASS ON ENGINEERING PROPERTIES OF LATERITIC SOIL MIXED WITH FLY ASH

สมพร ฤดีวิโรจน์ (Somporn Ruedeeviroj)¹

ประทีป ดวงเดือน (Prateep Duangdeun)²

¹ นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ E-mail:poo44801@hotmail.com

² รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ E-mail:ptd@ku.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอย เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างทาง โดยศึกษาถึงอิทธิพลของขนาดละเอียดและดินเม็ดละเอียดที่มีอยู่ในมวลดินต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมเถ้าลอย โดยทำการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังออกเป็น 5 กลุ่มแบ่งเป็นเกรด A , B , C , D และ E ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย และในแต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 2 ชุด โดยชุดแรกมีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินและชุดที่สองไม่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดิน ผสมเถ้าลอยกับดินในอัตราส่วน 0 , 5 , 10 , 15 , 20 และ 25% โดยน้ำหนักของดิน ผลการศึกษาพบว่าเมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มคงที่ ยกเว้นในตัวอย่างดินเกรด A เพียงกลุ่มเดียวที่ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลง ค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มลดลงในทุกกลุ่มดิน ค่า C.B.R. ทั้งแบบไม่แช่น้ำและแช่น้ำมีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าลอยและอายุการบ่มซึ่งตัวอย่างดินเกรด A มีค่า C.B.R. ทั้งแบบไม่แช่น้ำและแช่น้ำสูงที่สุดและในตัวอย่างดินกลุ่มอื่นจะมีค่าลดลงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบดินลูกรังผสมเถ้าลอยที่อยู่กลุ่มเดียวกันพบว่า ดินชุดที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดินมีค่า C.B.R. ทั้งแบบไม่แช่น้ำและแช่น้ำสูงกว่าดินชุดที่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดิน.

ABSTRACT : In this research , stabilization of lateritic soil by using fly ash in order to improve its properties is widely used for embankment construction. It is studying about the effect of gradation and fine particles in soil mass on engineering properties of lateritic soil mixed with fly ash. Lateritic soil samples were made to five groups such as A , B , C , D and E according to subbase standard specified by the Department of Highway Thailand. Each groups have two cases , the first was mixed with fine particles in soil mass and the other cases weren't mixed. Fly ash will be mixed at the proportion of 0 , 5 , 10 , 15 , 20 and 25% by weight. From the tested results , it is found that the maximum dry density decrease with increasing fly ash but soil samples of grade A were not. In all groups of soil samples , the optimum moisture content decrease with increasing fly ash. Unsoaked and Soaked C.B.R. tested results were vary directly to fly ash content and curing time. Soil samples of grade A has the highest C.B.R. value and the other groups were decrease respectively. Comparison of lateritic soil mixed with fly ash in the same group indicated that Unsoaked and Soaked C.B.R. value were decrease with increasing the fine particles.

KEYWORDS : Lateritic Soil, Fly Ash, Gradation, Fine Particles

1. บทนำ

ในงานก่อสร้างทางโดยทั่วไปมักจะประสบปัญหาในเรื่องของการขาดแคลนวัสดุที่มีคุณภาพในการก่อสร้าง เพราะดินเป็นวัสดุที่มีความแปรปรวนทางคุณสมบัติสูง และอาจมีความสามารถในการรับกำลังต่ำกว่าเกณฑ์ที่ต้องการ จึงมีแนวคิดในการปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อให้ได้วัสดุที่มีคุณภาพตามที่ต้องการ โดยมีการนำวัสดุที่ช่วยในการยึดเกาะเม็ดดินมาใช้ เช่น ปูนซีเมนต์ , ปูนขาว หรือเถ้าลอย เป็นต้น

ในประเทศไทยมีการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า อุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ และอุตสาหกรรมที่ใช้หม้อไอน้ำ เช่น โรงงานกระดาษ เป็นต้น เมื่อมีการนำถ่านหินเหล่านี้มาใช้ประโยชน์แล้ว สิ่งที่เป็นผลตามมาจากการเผาไหม้ถ่านหินคือ เกิดเถ้าลอยจำนวนมาก ประมาณร้อยละ 80 ของเถ้าทั้งหมด และมีปริมาณเพิ่มขึ้นทุกปี ซึ่งจะก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมตามมาหากไม่สามารถกำจัดเถ้าลอยเหล่านี้ให้หมดไปได้ การนำเถ้าลอยซึ่งเป็นวัสดุปอซโซลานมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดิน โดยทำการผสมและบดอัดกับดินจึงเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะนำเถ้าลอยไปใช้ประโยชน์และสามารถช่วยลดปริมาณเถ้าลอยลงได้ ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมทำในต่างประเทศแต่ในประเทศไทยยังไม่เป็นที่แพร่หลายมากนัก เนื่องจากขาดความรู้ความเข้าใจถึงการนำไปใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างงานดิน

งานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาถึงการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอย เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัสดุที่นำมาใช้ทำถนน โดยการศึกษาเน้นถึงผลของขนาดคละของเม็ดดินและอิทธิพลของดินเม็ดละเอียดที่มีในมวลดินต่อการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอย เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อไปในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

2.1 ศึกษาวิธีการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยวิธีทางเคมี (Chemical Stabilization) ด้วยสารเชื่อมประสาน คือ เถ้าลอย

2.2 ศึกษาถึงปัจจัยที่มีผลต่อการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยใช้เถ้าลอย อันได้แก่

- ขนาดคละของเม็ดดิน
- ดินเม็ดละเอียดที่มีอยู่ในมวลดิน
- ปริมาณของเถ้าลอย
- ระยะเวลาในการบ่ม

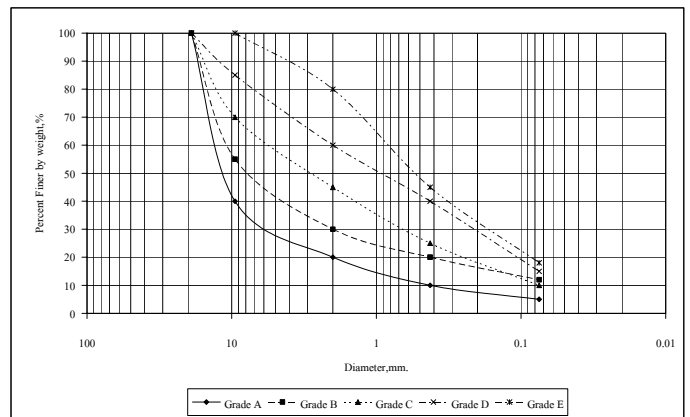
2.3 พิจารณาเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมเถ้าลอยระหว่างดินลูกรังกลุ่มที่มีดินเม็ดละเอียดปนกับกลุ่มที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดิน ในช่วงอายุการบ่มและปริมาณผสมเถ้าลอยที่ต่างกัน

2.4 ศึกษาถึงความเป็นได้ในการนำเถ้าลอยมาใช้เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังเพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้งานวิศวกรรมโยธาโดยเฉพาะด้านวิศวกรรมการทางต่อไป

3. ขอบเขต

3.1 ในงานวิจัยจะใช้ตัวอย่างดินลูกรังจากจังหวัดพิษณุโลก โดยเตรียมดินลูกรังให้อยู่ในช่วง Grade A , B , C , D และ E ตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทางของวัสดุมวลรวมของกรมทางหลวงแห่งประเทศไทยดังในรูปที่ 1 โดยในแต่ละกลุ่มแบ่งเป็น 2 ชุดคือ

- ใช้ขนาดคละของดินตามที่ได้กำหนดไว้
- ใช้ขนาดคละของดินดั้งเดิมแต่ไม่มีส่วนที่เป็นดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดิน (จะมีอักษร N กำกับไว้ เช่น A-N คือดินลูกรังเกรด A กลุ่มที่ไม่มีส่วนที่เป็นดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดิน)



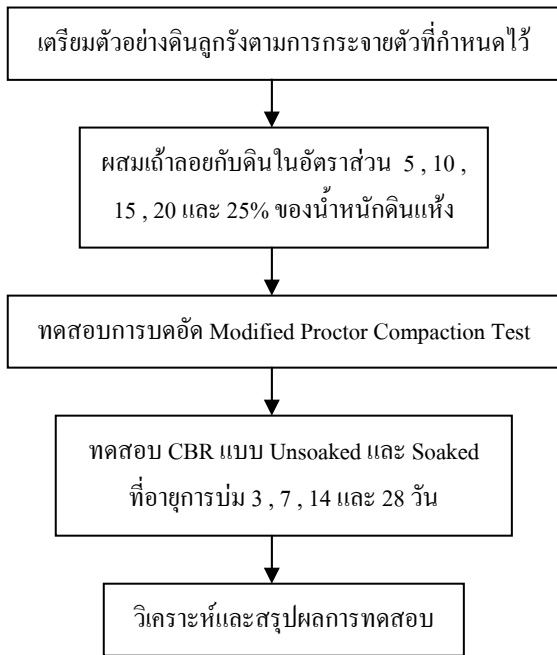
รูปที่ 1 การกระจายขนาดของเม็ดดินแต่ละกลุ่มที่ใช้ในการทดสอบ

3.2 สารผสมเพิ่มที่ใช้เป็นเถ้าลอยลิกไนต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงความละเอียดจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง ใช้อัตราส่วนผสมเถ้าลอยต่อดินที่ 5 , 10 , 15 , 20 และ 25% ของน้ำหนักดินแห้ง

3.3 การทดสอบการบดอัดในห้องปฏิบัติการจะทดสอบด้วยวิธี Modified Proctor Compaction Test

3.4 การทดสอบกำลังรับแรงเฉือนด้วยวิธี California Bearing Ratio แบบ Unsoaked และ Soaked ของดินตัวอย่างที่ถูกบดอัดที่ค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมเท่านั้น โดยทดสอบที่อายุการบ่ม 3 , 7 , 14 และ 28 วัน (แบบ Soaked เมื่อครบอายุการบ่มแช่น้ำต่ออีก 4 วันจึงทำการทดสอบ)

4. วิธีการวิจัย



รูปที่ 2 ขั้นตอนการวิจัย

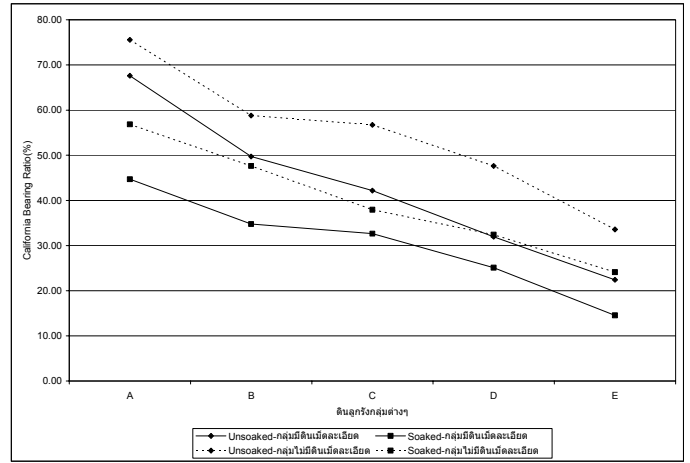
5. ผลการวิจัย

5.1 ดินลูกรังที่เก็บมาจากสนามสามารถจำแนกได้ในกลุ่ม GC ในระบบ Unified Soil Classification System และ A-2-6 (0) ในระบบ AASHTO มีค่า Natural Moisture Content อยู่ระหว่าง 4.69 – 5.14% , ค่า LL. อยู่ระหว่าง 34.56 – 35.48% , ค่า PL. อยู่ระหว่าง 19.94 – 21.25% , ค่า PI. อยู่ระหว่าง 14.23 – 14.62% , ความถ่วงจำเพาะของดินลูกรังมีค่าอยู่ระหว่าง 2.72 – 2.76 และมีค่าเปอร์เซ็นต์ความลึกรอ เท่ากับ 50.76%

5.2 ผลการทดสอบการบดอัดของดินลูกรังกลุ่มต่างๆพบว่า ดินลูกรังในกลุ่มเกรด A จะมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมากที่สุด ในขณะที่ดินลูกรังกลุ่มอื่นๆจะมีลดลงตามลำดับ ในส่วนค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมพบว่าดินลูกรังในกลุ่มเกรด A จะมีค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมน้อยที่สุด และในดินลูกรังกลุ่มอื่นๆจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบดินลูกรังในกลุ่มเดียวกันพบว่า ดินลูกรังชุดที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินจะมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดสูงกว่าดินลูกรังชุดที่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินเล็กน้อย ในส่วนของปริมาณความชื้นเหมาะสมมีค่าใกล้เคียงกัน

5.3 ค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked ของดินลูกรังกลุ่มต่างๆพบว่า ดินลูกรังในกลุ่มเกรด A จะมีค่า C.B.R. สูงสุด ในขณะที่ดินลูกรังกลุ่มอื่นๆจะมีลดลงตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบดินลูกรังในกลุ่มเดียวกันพบว่า ดินลูกรังชุดที่ไม่มีดินเม็ดละเอียด

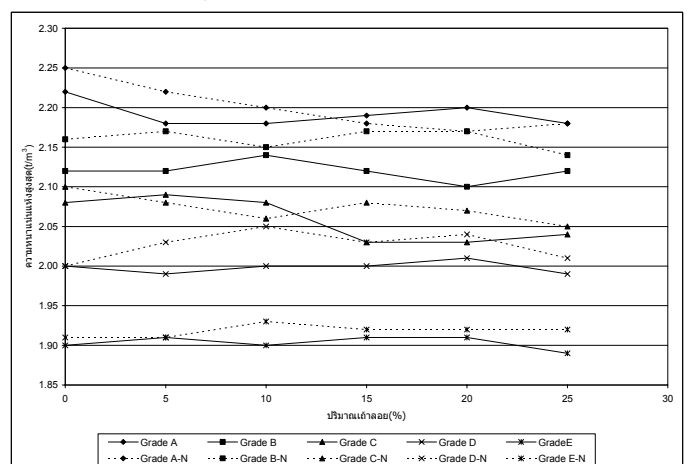
อยู่ในมวลดินจะมีค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked สูงกว่าดินลูกรังชุดที่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินดังรูปที่ 3



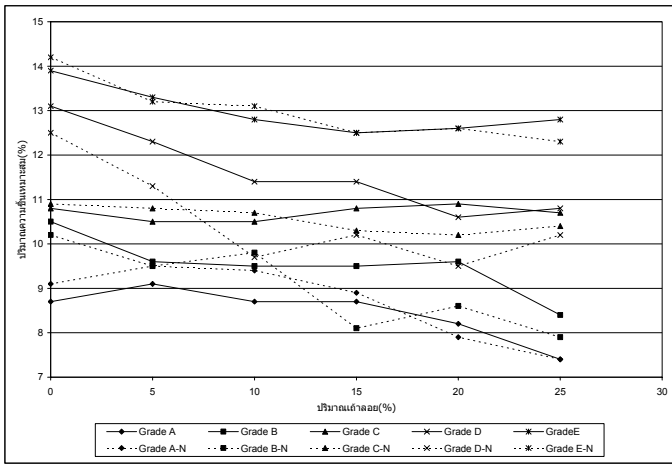
รูปที่ 3 ค่า Unsoaked และ Soaked CBR ของดินลูกรังกลุ่มต่างๆ

5.4 อิทธิพลของปริมาณเถ้าลอยต่อคุณสมบัติด้านการบดอัดพบว่า เมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มคงที่ ยกเว้นในตัวอย่างดินเกรด A เพียงกลุ่มเดียวที่ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลง ในส่วนของค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มลดลงในทุกกลุ่มดิน และเมื่อเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดในดินกลุ่มเดียวกันระหว่างชุดที่มีและไม่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดินพบว่า ดินชุดที่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดินมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดน้อยกว่าชุดที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดินเล็กน้อย ดังในรูปที่ 4 และรูปที่ 5

5.5 อิทธิพลของอายุการบ่มและปริมาณเถ้าลอยต่อค่า C.B.R. พบว่าค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าลอยและอายุการบ่มในทุกกลุ่มดิน ดังตัวอย่างในรูปที่ 6 และรูปที่ 7 ซึ่งเป็นดินลูกรังในกลุ่มเกรด A ชุดที่มีและไม่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินตามลำดับ

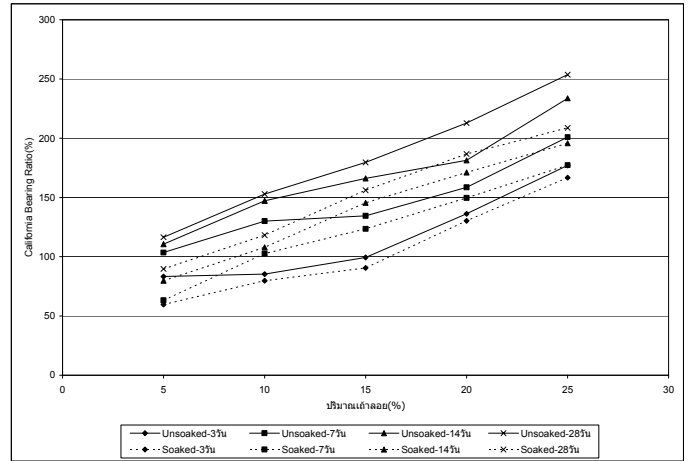


รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งสูงสุดกับปริมาณเถ้าลอยของดินแต่ละกลุ่ม

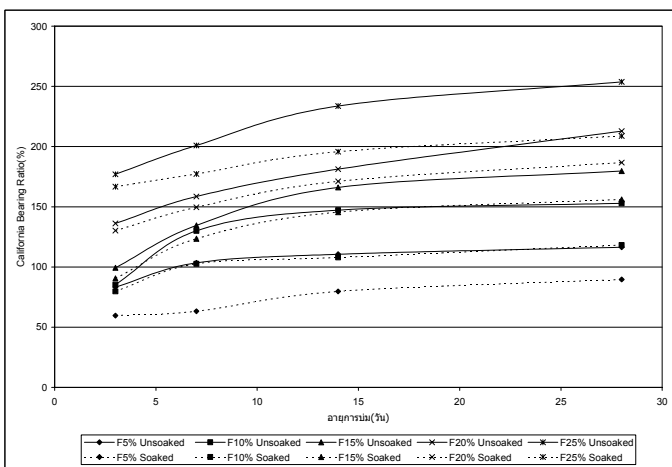


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นเหมาะสมกับปริมาณแฉะลอยของดินแต่ละกลุ่ม

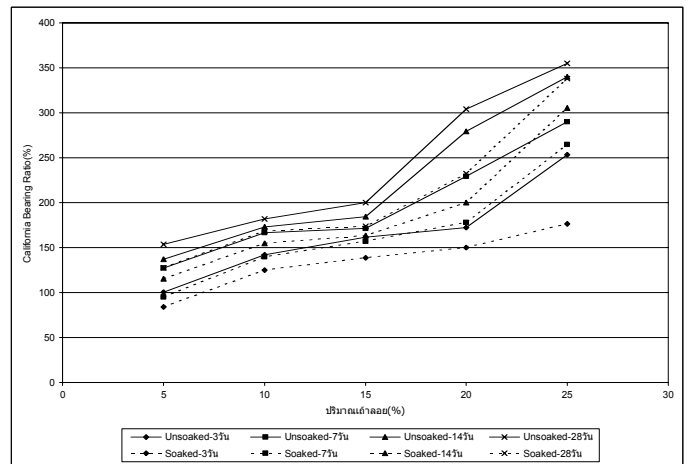
ซึ่งเป็นดินลูกรังในกลุ่มเกรด A ชุดที่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินตามลำดับ



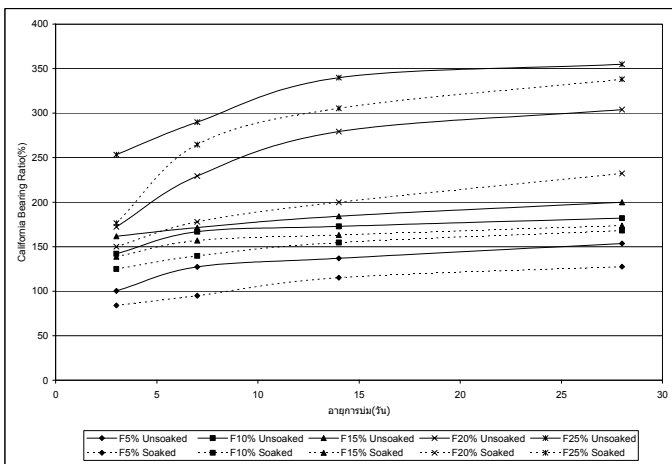
รูปที่ 8 ค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณแฉะลอยของดินลูกรังเกรด A กลุ่มที่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดิน



รูปที่ 6 ค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณแฉะลอยและอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด A กลุ่มที่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดิน



รูปที่ 9 ค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณแฉะลอยของดินลูกรังเกรด A กลุ่มที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดิน



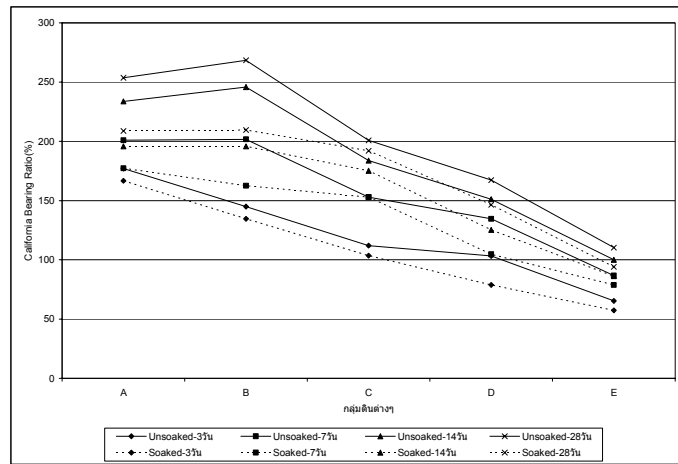
รูปที่ 7 ค่า Unsoaked และ Soaked CBR กับปริมาณแฉะลอยและอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด A กลุ่มที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดิน

5.7 อิทธิพลของขนาดละเอียดของเม็ดดินต่อค่า C.B.R. พบว่า ค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked เมื่อพิจารณาที่ปริมาณแฉะลอยและอายุการบ่มเดียวกัน ดินลูกรังกลุ่มเกรด A จะมีค่า C.B.R. สูงที่สุดในกลุ่มอื่นๆ จะลดลงตามลำดับดังตัวอย่างในรูปที่ 10 ซึ่งเป็นดินลูกรังชุดที่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดิน และรูปที่ 11 ซึ่งเป็นดินลูกรังชุดที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินผสมแฉะลอย 25 % ของน้ำหนักดินแห้งตามลำดับ

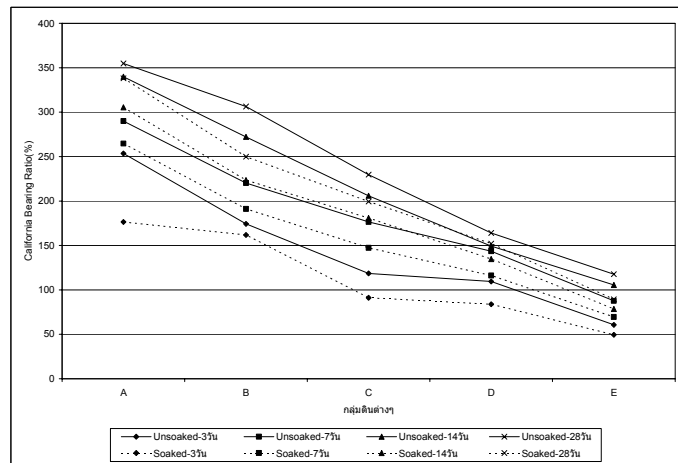
5.8 อิทธิพลของดินเม็ดละเอียดที่มีอยู่ในมวลดินต่อค่า C.B.R. ของดินลูกรังผสมแฉะลอย เมื่อเปรียบเทียบดินลูกรังผสมแฉะลอยที่อยู่กลุ่มเดียวกันพบว่า ค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked ของดินลูกรังชุดที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินจะมีค่าสูงกว่าดินลูกรังชุดที่มีดินเม็ดละเอียดอยู่ในมวลดินในทุกกลุ่มดินเมื่อพิจารณาที่ปริมาณแฉะลอยและอายุการบ่มเดียวกัน ดังตัวอย่างใน

5.6 อิทธิพลของปริมาณแฉะลอยต่อค่า C.B.R. พบว่าค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked มีค่ามีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณแฉะลอยในทุกกลุ่มดิน ดังตัวอย่างในรูปที่ 8 และรูปที่ 9

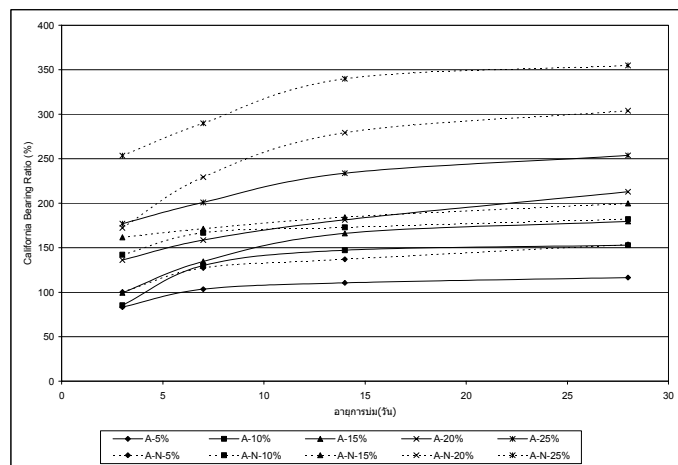
รูปที่ 12, รูปที่13, รูปที่14 และรูปที่15 ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบค่า C.B.R. ระหว่างดินลูกรังผสมเถ้าลอยในกลุ่มเกรด A ชุดที่มีและไม่มีดินเม็ดละเอียดคละอยู่ในมวลดิน



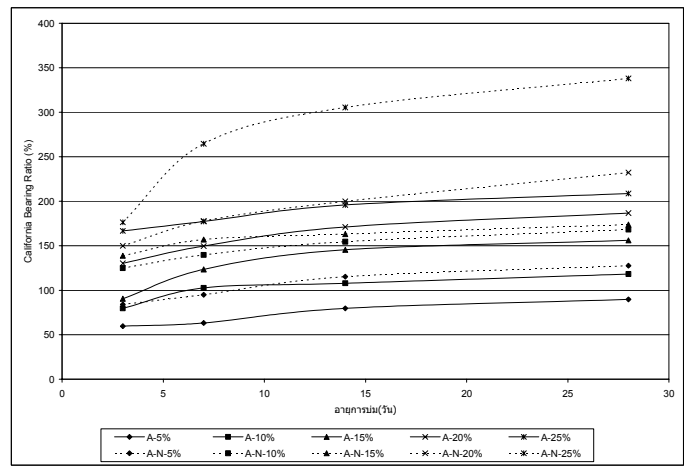
รูปที่ 10 ค่า Unsoaked และ Soaked CBR เทียบกับขนาดคละของดินลูกรัง กลุ่มที่มีดินเม็ดละเอียดคละปนอยู่ในมวลดินผสมเถ้าลอย 25 %



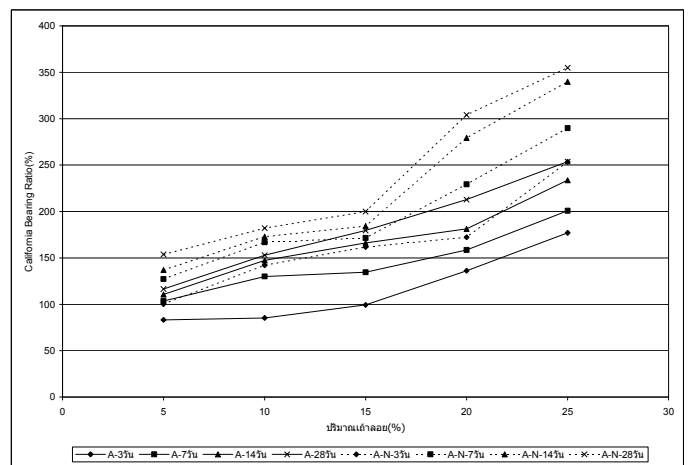
รูปที่ 11 ค่า Unsoaked และ Soaked CBR เทียบกับขนาดคละของดินลูกรัง กลุ่มที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดคละปนอยู่ในมวลดินผสมเถ้าลอย 25 %



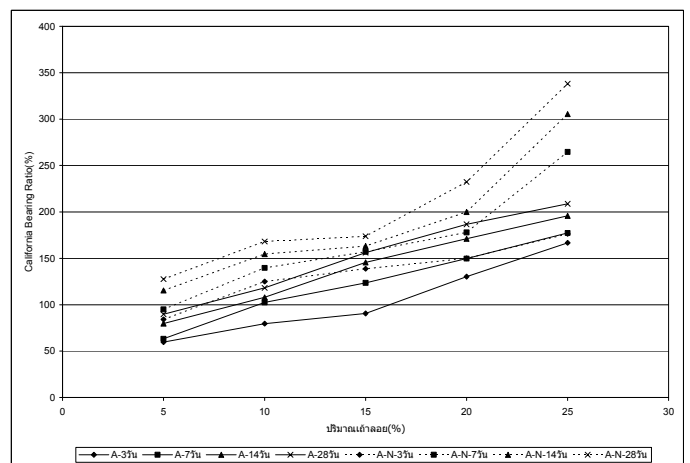
รูปที่ 12 เปรียบเทียบค่า Unsoaked CBR ตามปริมาณเถ้าลอยและอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด A ระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีดินเม็ดละเอียดคละปนอยู่ในมวลดิน



รูปที่ 13 เปรียบเทียบค่า Soaked CBR ตามปริมาณเถ้าลอยและอายุการบ่มของดินลูกรังเกรด A ระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีดินเม็ดละเอียดคละปนอยู่ในมวลดิน



รูปที่ 14 เปรียบเทียบค่า Unsoaked CBR ตามปริมาณเถ้าลอยของดินลูกรังเกรด A ระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีดินเม็ดละเอียดคละปนอยู่ในมวลดิน



รูปที่ 15 เปรียบเทียบค่า Soaked CBR ตามปริมาณเถ้าลอยของดินลูกรังเกรด A ระหว่างกลุ่มที่มีและไม่มีดินเม็ดละเอียดคละปนอยู่ในมวลดิน

5.9 อิทธิพลของเถ้าลอยต่อการบวมตัวของดินพบว่า เถ้าลอย จะทำการบวมตัวของดินลดลงเป็นอย่างมาก โดยการบวมตัวสูงสุดของดินลูกรังผสมเถ้าลอยที่พบคือ 0.08% เท่านั้น ซึ่งน้อย

มากเมื่อเทียบกับดินลูกรังที่ไม่ได้ผสมเถ้าลอยที่มีการบวมตัวสูงถึง 0.4 %

6. สรุป

6.1 เมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มคงที่ ยกเว้นในตัวอย่างดินเกรด A เพียงกลุ่มเดียวที่ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีแนวโน้มลดลง

6.2 เมื่อปริมาณเถ้าลอยเพิ่มสูงขึ้นทำให้ค่าปริมาณความชื้นเหมาะสมมีแนวโน้มลดลงในทุกกลุ่มดิน

6.3 ค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked มีค่าเพิ่มสูงขึ้นตามปริมาณเถ้าลอยและอายุการบ่ม

6.4 เมื่อเปรียบเทียบค่า C.B.R. ของดินลูกรังผสมเถ้าลอยในแต่ละกลุ่มพบว่าตัวอย่างดินเกรด A มีค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked สูงที่สุดและในตัวอย่างดินกลุ่มอื่นจะมีค่าลดลงตามลำดับ

6.5 เมื่อเปรียบเทียบดินลูกรังผสมเถ้าลอยที่อยู่กลุ่มเดียวกันพบว่า ดินชุดที่ไม่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดินมีค่า C.B.R. ทั้งแบบ Unsoaked และ Soaked สูงกว่าดินชุดที่มีดินเม็ดละเอียดปนอยู่ในมวลดิน.

6.6 ผลของเถ้าลอยต่อการบวมตัวของดินพบว่า เถ้าลอยจะทำให้การบวมตัวของดินลดลงเป็นอย่างมาก

7. ข้อเสนอแนะในการนำไปใช้งานทาง

เป็นที่ทราบกันดีว่าในงานก่อสร้างทางจำเป็นต้องใช้ดินลูกรังและหินคลุกเป็นจำนวนมาก และในบางครั้งวัสดุที่หามาได้ก็มีความไม่เหมาะสมหรือแหล่งวัสดุที่เหมาะสมอยู่ไกลเกินไป

จากงานวิจัยในครั้งนี้เมื่อพิจารณาในด้านของกำลังพบว่าดินลูกรังผสมเถ้าลอยมีคุณสมบัติที่จะนำไปใช้งานชั้นพื้นทางและรองพื้นทางได้อย่างเหมาะสม ซึ่งปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมสำหรับแต่ละกลุ่มดินแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมในแต่ละกลุ่มดิน

กลุ่มดิน (เกรด)	ปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมสำหรับชั้นพื้นทาง (%) ¹	ปริมาณเถ้าลอยที่เหมาะสมสำหรับชั้นรองพื้นทาง (%) ²
A	5 - 10	-
B	10 - 15	-
C	10 - 15	-
D	15 - 20	0 - 5
E	-	5 - 10

¹ ค่า Soaked C.B.R. ของดินลูกรังผสมเถ้าลอย > 80% ที่ อายุการบ่ม 7 วัน

² ค่า Soaked C.B.R. ของดินลูกรังผสมเถ้าลอย > 25% ที่ อายุการบ่ม 7 วัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ได้กรุณามอบทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์ ประจำปี การศึกษา 2547 แก่ผู้วิจัยจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

- [1] ดร.ชณิ เถยเพชร, 2545. การใช้เถ้าลอยขั้วบิหมินัสและแอนทราไซต์ ในการปรับปรุงดินกระจายตัว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [2] วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติกไกร และประทีป ดวงเดือน , 2522. ปฏิวัติกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- [3] วินัย สระอุบล, สมคน เอี่ยมสรรพางค์, สมบัติ ปิติพิรกุล และอำนาจ พาณิชกุลพงศ์ , 2543. ผลของปริมาณเถ้าลอยที่ผสมในดินและอายุการบ่มที่มีต่อค่า C.B.R. รายงานการประชุมทางวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 6, เล่มที่ 2 : 151-156. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
- [4] American Society for Testing and Materials., 1994. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as Mineral Admixture in Portland cement Concrete , ASTM C618-92a. Annual Book of ASTM Standard Vol. 04.01 (1994) ; 72-89.
- [5] Nagamuthu Kuganenthira , 1990. Engineering Behavior of Fly Ash Its Effectiveness in Stabilizing Dispersive Soils. M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand.
- [6] Parker, D.G. and Thornton, S.I. , 1976. Permeability of Fly Ash and Fly Ash Stabilized Soil. Federal Highway Administration. USA. Report No. FHWA/RD/M-0356.
- [7] Richard, M.M., 2001. Fly Ash in Soil Stabilization and As Engineered Construction Material. Available <http://www.britainica.com>, November 24, 2001.