วิศวกรรมสาร มข. ปีที่ 9 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม-กันยายน 2525

ความซึมผ่านได้ของดินผสมปูนขาว

ปิติ อังสุโวทัย*

บทคัดย่อ

บทความนี้กล่าวถึงผลจากการศึกษาอิทธิพลของปูนขาวที่มีต่อความซึมผ่านได้ (Permeability) ของดินตะกอนทราย (Silty sand) ตัวอย่างดินที่ผสมปูนขาวได้รับการบดอัดตามมาตรฐานพรอคเตอร์ (Standard Proctor test) และนำไปทดสอบหาความซึมผ่านได้โดยวิธีลดระดับน้ำ (Falling-head permeability test) ในการศึกษาได้เลือกค่าต่อไปนี้เป็นตัวแปร

1. ปริมาณปูนขาวที่ใช้ผสมกับดิน ได้แก่ 3 %, 5 %, 7 % และ 9 % โดยน้ำหนัก
2. ปริมาณความชื้นขณะที่ทำการบดอัดซึ่งอยู่ในช่วงระหว่าง 7 % ถึง 16 %
3. ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม ได้แก่ 0,7 และ 28 วัน

1. บทนำ

การปรับปรุงคุณสมบัติของดินโดยการเติมปูนขาวเกิดจากปฏิกริยาพื้นฐาน 2 ประการด้วยกันคือ (1,2)

1. การแลกเปลี่ยนอิออน (Ion exchange) และการเกาะกลุ่ม (Flocculation) ซึ่งเกิดขึ้นเมื่อปูนขาวผสมกับส่วนที่เป็นดินเหนียวขึ้นในดิน โดยที่อิออนของศัลเซี่ยม (Ca^{++}) ที่อยู่ในปูนขาวจะเข้าไปแทนที่อิออนของโซเดียม (Na^{+}) หรือไฮโดรเจน (H^{+}) ในดินเหนียว หรือเกิดจากการสะสมอิออนของศัลเซียมอย่างหนาแน่นบนผิวของเม็ดดินเหนียว ปฏิกริยาดังกล่าวทำให้ดินเหนียวมีสภาพร่วน (Friable) ขึ้นและความเหนียว (Plasticity) ลดลง

2. ปฏิกริยาการเชื่อมประสาน (Cementing action) ซึ่งเกิดจากการที่ศัลเซียม (Calcium) ในปูนขาวทำปฏิกริยากับสารปอซโซลานิก (Pozzolan) ในดินเหนียวได้แก่ อะลูมินา (Alumina) และ/หรือ ซิลิกา (Silica) เกิดเป็นเจล (Gel) ของศัลเซียมอะลูมิเนต (Calcium aluminate) และ/หรือ ศัลเซียมซิลิเกต (Calcium silicate) ทำให้เกิดการเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดินในทำนองเดียวกันกับปฏิกริยาที่เกิดขึ้นในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

2. วัสดุและวิธีการทดสอบ

2.1 ดิน ตัวอย่างดินที่ใช้ในการศึกษาเป็นดินตะกอนทราย (Silty sand) สีน้ำตาลแดง การกระจายขนาดของเม็ดดินได้แสดงในรูปที่ 1 คุณสมบัติอื่น ๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

*อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของดิน

สถานที่เก็บตัวอย่าง	บริเวณอ่างเก็บน้ำสะพานขาว มหาวิทยาลัย-ขอนแก่น
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	2.67
พิกัดแอตเตอร์เบอร์ก (Atterberg limits)	
- พิกัดเหลว (Liquid limit)	19.4 %
- พิกัดพลาสติก (Plastic limit)	16.7 %
- ดรรชนีพลาสติก (Plasticity index)	2.7 %

2.2 ปูนขาว ปูนขาวที่ใช้เป็นปูนขาวที่หาซื้อได้ทั่วไปในท้องตลาด

2.3 น้ำ น้ำที่ใช้ในการผสมปูนขาวกับดินเพื่อการบดอัด (Compaction) คือน้ำประปา ส่วนการทดสอบเพื่อหาความซึมผ่านได้ของดิน (Permeability test) ใช้น้ำกลั่น

2.4 การบดอัด (Compaction) แบบหล่อ (Mold) และเครื่องกระทุ้ง (Hammer) ที่ใช้ในการบดอัดดินเป็นแบบที่ใช้ในการทดสอบมาตรฐานพรอคเตอร์ (Standard Proctor test) กล่าวคือ แบบหล่อทรงกระบอกมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 101 มม. (4 นิ้ว) และสูง 117 มม. (4.6 นิ้ว) ส่วนเครื่องกระทุ้งมีตุ้มน้ำหนัก 2.5 กก.(5.5 ปอนด์) วิธีการบดอัดดินกระทำตามวิธีมาตรฐาน ASTM D698-70

2.5 การเตรียมตัวอย่าง ปริมาณปูนขาวที่ใช้ในการทดสอบจะนำไปผสมกับดินที่ได้รับการอบให้แห้ง (Oven dry) จากนั้นก็ทำการเติมน้ำลงไปในส่วนผสมและคลุกให้ทั่ว หลังจากเสร็จสิ้นการบดอัดจะใช้แผ่นพลาสติกใสหุ้มตัวอย่างดินและแบบหล่อแล้วมัดให้แน่น การบ่มทำโดยการใช้กระสอบหุ้มตัวอย่างดินในแบบหล่ออีกทีหนึ่ง กระสอบที่ใช้หุ้มจะรักษาให้อยู่ในสภาพเปียกตลอดเวลา จนกว่าจะนำตัวอย่างไปทดสอบหาความซึมผ่านได้ของดินต่อไป ระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม คือ 0,7 และ 28 วัน

2.6 การทดสอบหาความซึมผ่านได้ของดิน แบบหล่อที่มีดินบรรจุอยู่จะนำไปใช้ในการทดสอบหาความซึมผ่านได้ของดินโดยตรง โดยไม่ต้องนำดินออกจากแบบหล่อทั้งนี้เพื่อป้องกันการรบกวน (Disturbance) ที่จะเกิดขึ้น ตัวอย่างดินจะทำให้อยู่ในสภาพอิ่มน้ำก่อนที่จะทำการทดสอบ โดยใช้ความดันของน้ำสูง 2 ม. และปล่อยทิ้งไว้นาน 12 ชั่วโมง วิธีที่ใช้ในการหาความซึมผ่านได้ของดินได้เลือกวิธีลดระดับน้ำ (Falling-head permeability test) ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมผ่านได้ (Coefficient of permeability) สำหรับแต่ละตัวอย่างเป็นค่าเฉลี่ยซึ่งได้จากการทดสอบติดต่อกัน 5 ครั้ง และแต่ละค่าได้รับการแก้ไขให้เป็นค่าที่อุณหภูมิ 20°C

3. ผลการทดสอบและอภิปราย

การเติมปูนขาวลงในดินตะกอนทรายจะทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Maximum dry density) มีค่าลดลง ดังแสดงในรูปที่ 2 ทั้งนี้เพราะปูนขาวทำปฏิกริยากับดินเหนียวทำให้

เกิดโครงสร้างแบบเกาะกลุ่ม (Flocculated structure) เป็นการเพิ่มขนาดของโพรง (2) ปูนขาวส่วนที่เหลือจะเข้าแทรกในโพรง เนื่องจากหน่วยน้ำหนักของปูนขาวมีค่าต่ำกว่าของดินตะกอนทรายจึงทำให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าลดลง

การเติมปูนขาวลงในดินตะกอนทรายยังทำให้ปริมาณความชื้นพอเหมาะ (Optimum moisture content) มีค่าสูงขึ้น (รูปที่ 2) ทั้งนี้เพราะเมื่อปูนขาวทำปฏิกริยากับดินเหนียวจะทำให้การเรียงตัวของเม็ดดินเป็นแบบเกาะกลุ่มมากกว่าเดิม การที่จะทำให้เม็ดดินเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบเพื่อที่จะให้ปริมาตรของโพรงมีค่าน้อยที่สุดโดยการบดอัดนั้น จำเป็นต้องใช้น้ำมากขึ้นเพื่อเพิ่มการหล่อลื่น (Lubrication) ระหว่างเม็ดดิน

การบดอัดดินตะกอนทรายที่ไม่ผสมปูนขาวโดยใช้ปริมาณความชื้นที่น้อยกว่าปริมาณความชื้นพอเหมาะ (Optimum moisture content, OMC) จะทำให้โครงสร้างของดินเป็นแบบเกาะกลุ่มมีผลทำให้ความซึมผ่านได้ (Permeability) มีค่าสูง การเพิ่มปริมาณความชื้นในการบดอัดจะทำให้เม็ดดินมีการเรียงตัวใหม่ที่เป็นระเบียบมากขึ้น ค่อย ๆ เปลี่ยนจากโครงสร้างแบบเกาะกลุ่มไปเป็นแบบเรียงขนาน (Dispersive structure) โดยที่น้ำจะเป็นตัวทำให้เกิดการหล่อลื่น (Lubrication) ระหว่างเม็ดดิน โครงสร้างแบบเรียงขนานจะลดความซึมผ่านได้ของดินลง ค่าความซึมผ่านได้ของดินตะกอนทรายที่ไม่ผสมปูนขาวจะมีค่าต่ำสุดเมื่อปริมาณความชื้นที่ใช้ในการบดอัดมีค่าสูงกว่า OMC เล็กน้อย เมื่อปริมาณความชื้นมากกว่า OMC ดินจะเกิดการพองตัว (Swelling) มีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง การที่ดินเกิดการพองตัวและอยู่ในสภาพอิ่มน้ำจะมีผลทำให้ความซึมผ่านได้มีค่าสูงขึ้น ถึงแม้ว่าโครงสร้างของดินจะเป็นแบบเรียงขนานก็ตาม (รูป 3 ก.)

การเพิ่มปริมาณปูนขาวลงไปในดินตะกอนทรายจะทำให้เม็ดดินเรียงตัวแบบเกาะกลุ่ม (ไม่เป็นระเบียบ) มากขึ้นจนกระทั่งถึงค่าหนึ่ง ซึ่งการเพิ่มปริมาณปูนขาวมากกว่าค่านี้จะไม่ทำให้เม็ดดินเกาะกลุ่มมากขึ้น ในการทดสอบนี้พบว่าปริมาณปูนขาวที่ทำให้เกิดการเรียงตัวแบบเกาะกลุ่มมากที่สุดนั้นมีค่าประมาณ 5 % ซึ่งมีผลทำให้ความซึมผ่านได้มีค่าสูงสุด การเพิ่มปริมาณปูนขาวจะมีผลทำให้ขนาดของโพรงลดลงเพราะปูนขาวเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเม็ดดินซึ่งเป็นการลดความซึมผ่านได้ของดิน (รูป 3 ก. และ 3 ข.)

จากรูปที่ 3 ข. จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบความซึมผ่านได้ของดินที่ผสมปูนขาวที่ได้รับการบดอัดที่ปริมาณความชื้นเดียวกัน ความซึมผ่านได้ของดินที่ผสมปูนขาว 5 % จะมีค่าสูงกว่าของดินที่ผสมปูนขาว 3 % แต่เมื่อปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นเป็น 7 % ความซึมผ่านได้กลับลดลง และเมื่อปริมาณปูนขาวเพิ่มขึ้นเป็น 9 % ความซึมผ่านได้ของดินก็จะลดลงอีก นอกจากนี้ผลการทดสอบที่แสดงในรูปที่ 3ข. ยังแสดงให้เห็นอีกว่า เมื่อดินได้รับการบดอัดที่ปริมาณความชื้นน้อยกว่า OMC ปริมาณของปูนขาวที่ใช้จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของความซึมผ่านได้ของดินน้อยกว่า เมื่อดินได้รับการบดอัดที่ปริมาณความชื้นเท่ากับหรือมากกว่า OMC

การบดอัดดินตะกอนทรายที่ผสมปูนขาวระหว่าง 3 % ถึง 9 % โดยน้ำหนักเพื่อลดความซึมผ่านได้ให้มีค่าต่ำกว่าดินที่ไม่ผสมปูนขาว จะต้องใช้ปริมาณความชื้นในการบดอัดอยู่ในช่วง

ประมาณ 12 % ถึง 16 % (รูป 3 ข.) ในการลดความซึมผ่านได้นี้ ดินที่ผสมปูนขาว 5 % ต้องการปริมาณน้ำในการบดอัดมากที่สุด อาจจะเนื่องมาจากดินดังกล่าวมีการเรียงตัวแบบเกาะ-กลุ่มมากที่สุด ส่วนดินที่ผสมปูนขาว 3 % ต้องการปริมาณน้ำในการบดอัดน้อยที่สุด

รูปที่ 4 แสดงให้เห็นว่าความซึมผ่านได้ของดินผสมปูนขาวที่ได้รับการบดอัดด้วยปริมาณความชื้นใด ๆ ก็ตามจะมีค่าลดลงเมื่อได้รับการบ่ม และจะมีค่าลดลงอีกเมื่อเพิ่มระยะเวลาที่ใช้ในการบ่ม ทั้งนี้เพราะเมื่อระยะเวลาที่ใช้ในการบ่มยาวขึ้น ปฏิกริยาการเชื่อมประสาน (Cementing action) ที่เกิดขึ้นระหว่างปูนขาวและสารปอซโซลานิกในดินก็จะสมบูรณ์ยิ่งขึ้นซึ่งเป็นปฏิกริยาแบบเดียวกับที่เกิดในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์การเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดินจะเป็นการลดขนาดของโพรงทำให้ความซึมผ่านได้ของดินลดลงด้วย

4. สรุป

ผลจากการศึกษาถึงวิธีลดความซึมผ่านได้ของดินตะกอนทราย โดยใช้ปูนขาวพอสรุปได้ว่าการเติมปูนขาวลงไปในดินจะทำให้โครงสร้างของดินกลายเป็นแบบเกาะกลุ่ม (Flocculated structure) ซึ่งไม่เป็นระเบียบมากขึ้นเมื่อเทียบกับโครงสร้างของดินที่ไม่ผสมปูนขาว เป็นเหตุให้ความซึมผ่านได้มีค่าสูงขึ้นด้วย การเพิ่มปริมาณน้ำในการบดอัดดินที่ผสมปูนขาวจะทำให้โครงสร้างของดินเป็นระเบียบมากขึ้นคือค่อย ๆ เปลี่ยนจากแบบเกาะกลุ่มเป็นแบบเรียงขนาน (Dispersive structure) ซึ่งทำให้ความซึมผ่านได้มีค่าลดลง เมื่อปริมาณปูนขาวที่ใช้มีค่าประมาณ 5 % โดยน้ำหนัก ปฏิกริยาระหว่างปูนขาวและดินเหนียวที่ปนอยู่ในดินจะทำให้การเกาะกลุ่มเกิดขึ้นมากที่สุด การเพิ่มปริมาณปูนขาวมากกว่านี้ก็จะเป็นแต่เพียงลดขนาดของโพรงโดยที่ปูนขาวเข้าไปแทรกอยู่ ซึ่งเป็นการลดความซึมผ่านได้ของดินด้วย การเพิ่มระยะเวลาในการบ่มดินที่ผสมปูนขาวจะทำให้ปฏิกริยาการเชื่อมประสาน (Cementing action) เกิดขึ้นสมบูรณ์ยิ่งขึ้นทำให้ความซึมผ่านได้มีค่าลดลง

การใช้ปูนขาวเพื่อลดความซึมผ่านได้ของดินตะกอนทรายอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องประกอบด้วยการบดอัดดินโดยใช้ปริมาณความชื้นที่มีค่าสูงกว่า OMC ของดินที่ผสมปูนขาว กล่าวคืออยู่ในช่วงประมาณ 12-16 % ความซึมผ่านได้ของดินจะลดลงอีกถ้าหากดินได้รับการบ่ม

กิตติกรรมประกาศ

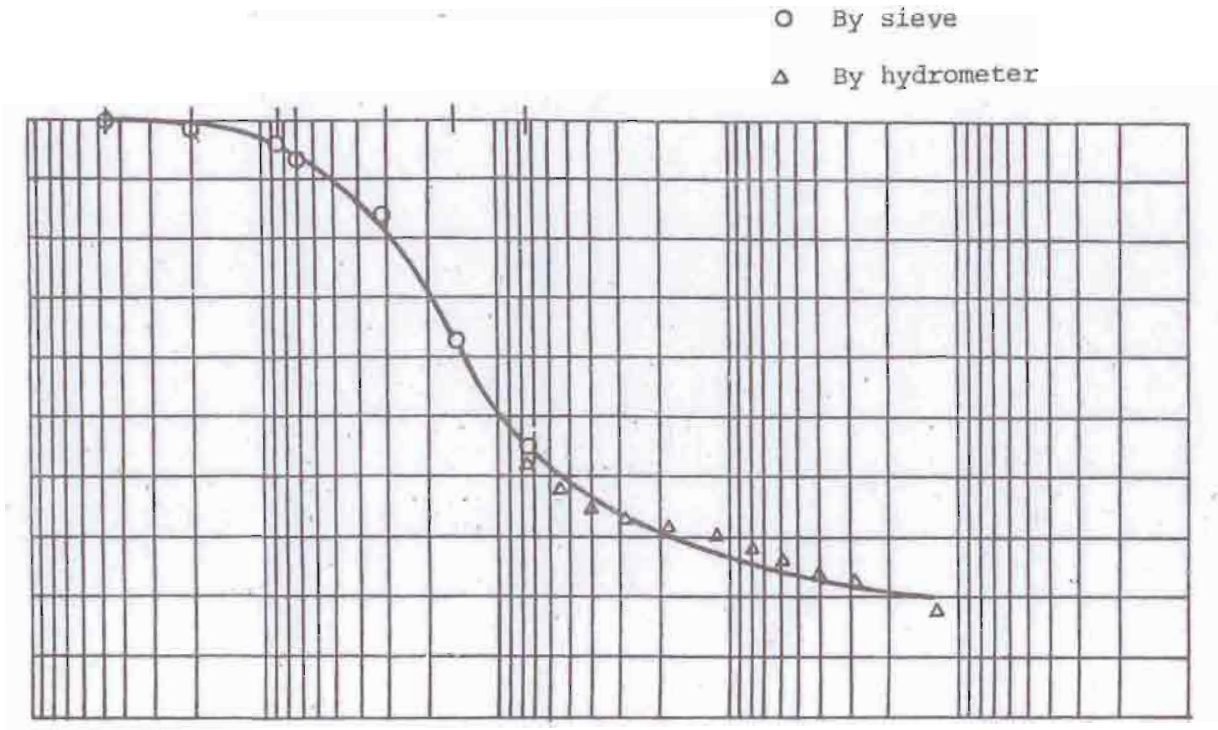
ผลการทดสอบในบทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของโครงการนักศึกษาระดับปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ซึ่งผู้เขียนเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา (3)

เอกสารอ้างอิง

1. Herrin M., and Mitchell H.,
"Lime-Soil Mixtures",
Highway Research Board, Bulletin 304, Washington D.C.,
1961, pp 99-138.

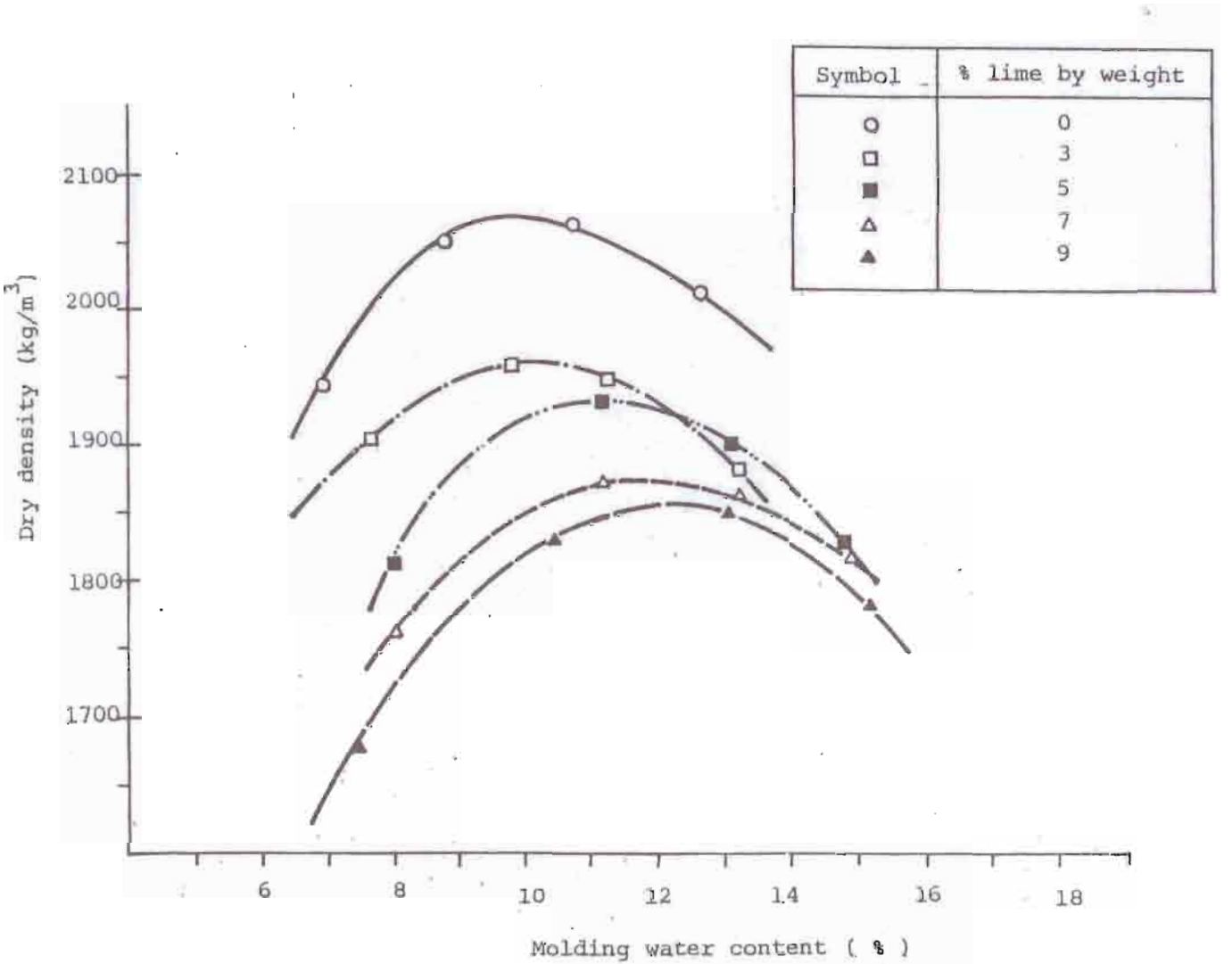
2. El-Rawi N.M., and Awad A.A.,
"Permeability of Lime Stabilized Soils",
Journal of the Transportation Engineering Division,
ASCE, Vol 107, No TE 1, January 1981, pp 25-35.

3. เจริญ พยุงวิวัฒนกุล, ชัยณรงค์ วิเศษอักษรไกร และ
ประกอบ พิทยาภรณ์ (2525)
"ความซึมผ่านได้ของดินผสมปูนขาว"
รายงานโครงการหมายเลข C82-11 คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น.



M.I.T. Classification	Sand			Silt			Clay		
	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine	Coarse	Medium	Fine

รูปที่ 1 การกระจายขนาดของเม็ดดิน



รูปที่ 2 อิทธิพลของปูนขาวต่อคุณสมบัติจากการบดอัดดินตะกอนทราย