ศึกษาความสามารถรับกำลังของอิฐดินดิบลูกรัง

The study of Strength of the Laterite soil Adobe

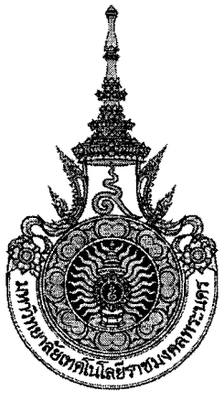
นายนิโรจน์ เงินพรหม

Mr. Nirojn Ngenprom

งบประมาณ รายได้ (งบอุดหนุน) ประจำปี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประจำปี พ.ศ. 2554



The study of Strength of the Laterite soil Adobe

Mr.Nirojn Ngenprom

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon 2010

บทคัดย่อ

ศึกษาความสามารถรับกำลังของอิฐดินดิบลูกรัง

นายนิโรจน์ เงินพรหม

Nirojn.n@rmutp.ac.th

พ.ศ. : 2554

จากการทดลองวิจัยพบว่าตัวอย่างดินที่ใช้ในงานวิจัยมีกำลังของดินเพิ่มขึ้นตามรอยละปริมาณปูนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับค่าอยู่ในช่วง 24.55-104.22 ksc.ตัวอย่างดินทุกแหล่งที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 0-1 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำไม่สามารถก่อตัวขึ้นรูปอยู่ได้ ดินที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 5-10 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอยู่ที่ 5.92-12.95 และ ดินที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 20 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอยู่ที่ 0.01-6.96 และจากผลการทดสอบการดูดซึมน้ำพบว่าตัวอย่างดินทุกแหล่งที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 0-1 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำไม่สามารถก่อตัวขึ้นรูปอยู่ได้ ดินที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 5-20 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำมีร้อยละการดูดซึมน้ำร้อยละ 10.25-19.95

คำสำคัญ อิฐดินดิบ, ดินลูกรัง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้โดยการสนับสนุนจากงบประมาณผลประโยชน์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนางานวิจัยโดยใช้วัสดุธรรมชาติ รวมทั้งนักศึกษา ครู อาจารย์ และบุคคลากรทางการศึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในด้านต่างให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญการตาราง	จ
สารบัญรูปประกอบ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1-2
1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการศึกษาวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. วรสารปริทรรศน์	3-20
2.1 ดินลูกรัง	3
2.1.1 คำจำกัดความของดินลูกรัง	4
2.1.2 กระบวนการเกิดดินลูกรัง	7
2.1.3 สภาวะของการเกิดดินลูกรัง	9
2.1.4 ชั้นของดินลูกรัง	10
2.1.5 การหาแหล่งดินลูกรัง	11
2.1.6 การจำแนกดินลูกรัง	11
2.1.7 ดินลูกรังในประเทศไทย	12
2.1.8 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ ของดินลูกรัง	14
2.19 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง	15
2.2 อิฐดินดิบ	19
3. วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	21-27
3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	21

บทที่	หน้า
3.2 กำหนดแหล่งดินลูกรังที่จะใช้ในงานวิจัยและวัสดุอุปกรณ์	21
3.3 เก็บตัวอย่างดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดินลูกรัง ดังกล่าวสำหรับทดสอบ	21
3.4 ออกแบบอัดตราส่วนผสมดินลูกรังกับปริมาณน้ำ	22
3.5 ทดสอบหาคุณสมบัติทางการภาพของดินลูกรังตัวอย่าง	24
3.6 หล่อก้อนตัวอย่างวัสดุทดสอบ	24
3.7 ทดสอบคุณสมบัติของอิฐดินดิบ	26
4. ผลการวิจัย	28-32
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัด	28
4.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตร	30
4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ	32
5. สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	33
เอกสารอ้างอิง	34

สารบัญตาราง

สารบัญตาราง		หน้า
1.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1	ปริมาณซิลิก้า และเซสควิออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย	17
2.2	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	18
3.1	ออกแบบอัตราส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง และน้ำ	23
3.2	คุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินลูกรังตัวอย่าง	24
4.1	ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการสูญเสียความชื้น	30
4.2	ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้น	31
4.3	ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบ	32

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

สารบัญรูปประกอบ

สารบัญรูปประกอบ		หน้า
2.1	แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง	3
2.2	แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง ตามวิธี Remillon	10
2.3	บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย	12
3.1	ตัวอย่างดินลูกรัง	21
3.2	แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย	22
3.3	ส่วนผสมตัวอย่างทดสอบ	24
3.4	การผสมตัวอย่างทดสอบ	24
3.5	การนำตัวอย่างดินเทลงแบบ	25
3.6	ก้อนตัวอย่างหลังเทดินเข้าแบบ	25
3.7	ถอดตัวอย่างจากแบบหล่อ	25
3.8	ก้อนตัวอย่างหลังถอดแบบ	25
3.9	ตัวอย่างจากแบบหล่อหลังถอดจากแหล่งต่างๆ	25
3.10	ตัวอย่างหลังกดทดสอบ	26
3.11	ตัวอย่างดินทดสอบการดูดซึมน้ำแหล่งต่างๆ	27
3.12	ตัวอย่างดินทดสอบการหดตัว	27
4.1	ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 1 จังหวัด กาญจนบุรี	28
4.2	ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 2 จังหวัด ชลบุรี	29
4.3	ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 3 จังหวัด สระบุรี	29

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 1 บทนำ

โครงการวิจัย ศึกษาความสามารถรับกำลังของอิฐดินดิบลูกรัง (The study of Strength of the Laterite soil Adobe.)

1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

"...วิทยาสตร์และเทคโนโลยี เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้าง ความเจริญของบ้านเมือง จึงควรสนับสนุนให้ มีการค้นคิดเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับภาวะ แลหะความต้องการของประเทศ ขึ้นใช้เองอย่างจริงจังถ้าสามารถค้นคิดได้ มากเท่าไหร่ จะเป็นการประหยัดและช่วยให้สามารถ นำไปใช้ในงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ยิ่งขึ้นเท่านั้น..." (พระราชดำรัส พระราชทานเนื่องในงานสัปดาห์วิทยาสตร์แห่งชาติ 1 สิงหาคม 2531)

ปัจจุบัน รัฐมีโครงการรณรงค์ให้ประชาชนหันมาให้ความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จึงนำดินซึ่งเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก ทำเป็นอิฐดินดิบ ซึ่งประชาชนทั่วไปสามารถ นำไปเป็นเนวทางการก่อสร้างและประกอบอาชีพเลี้ยงครอบครัวเพื่อสร้างงานและเป็นอาชีพให้แก่ประชาชนในชนบทอย่างยั่งยืน ข้อดีและประโยชน์ของอิฐดินดิบ ประหยัดปูนซีเมนต์ แรงงาน ระยะเวลาในการก่อสร้างและต้นทุนต่ำ มีความแข็งแรงทนทาน เรียบร้อยสวยงาม ไม่ต้องใช้ปูนก่อ ก่อสร้างง่าย รวดเร็ว ไม่จำเป็นต้องใช้ช่างฝีมือดีเพราะค่าแรงสูง คนทั่วไปก็สามารถก่อสร้างได้ใช้วัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น เช่น ดิน นอกจากนั้นยังมีความแข็งแรงทนทาน สามารถนำมาก่อเป็นผนัง มีความสวยงามตามธรรมธรรมชาติ อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยการลดการตัดไม้เพื่อนำมาก่อสร้างบ้าน

จึงมีแนวคิดที่จะนำดินลูกรังซึ่งมีทุกภาคของประเทศไทยละเป็นวัสดุที่สามารถหาได้โดยทั่วไปมาเป็นวัสดุในงานก่อสร้างโดยนำมาทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมในการรับแรง การเปลี่ยนแปลงปริมาตรและการดูดซึมน้ำของวัสดุ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาความสามารถในการรับกำลังของทำอิฐดินดิบลูกรัง

1.2.2 ศึกษาความสามารถในการดูดซึมน้ำ

1.2.3 ศึกษาความสามารถในการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยครั้งนี้ใช้วัสดุดินดิบลูกรัง 3 แหล่ง

1.3.2 ศึกษาความสามารถในการรับแรงอัดตัวตัวอย่างทดสอบ ขนาด 5x5x5 cm.

1.3.3 ศึกษาความสามารถในการดูดกลืนน้ำตัวตัวอย่างทดสอบ ขนาด 5x5x5 cm.

1.3.4 ศึกษาความสามารถในการเลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นตัวตัวอย่างทดสอบ ขนาด 5x5x5 cm.

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน มีดังต่อไปนี้

วิธีการดำเนินการวิจัย	สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล
1. ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2. กำหนดแหล่งดินลูกรังที่จะใช้ในงานวิจัยและจัดหาจัดซื้ออุปกรณ์ ครุภัณฑ์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
3. เก็บตัวอย่างดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดินลูกรัง ดังกล่าวสำหรับทดสอบ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จังหวัดตัวอย่างดินลูกรัง
4. ออกแบบอัตราส่วนผสมดินลูกรังกับปริมาณน้ำ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5. ทดสอบหาคุณสมบัติทางการภาพของดินลูกรังตัวอย่าง	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6. หล่อก้อนตัวอย่างวัสดุทดสอบ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
7. ทดสอบคุณสมบัติของอิฐดินดิบ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8. วิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9. จัดทำรายงาน ถ่ายทอดเทคโนโลยีและเผยแพร่ผลงาน	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 นำดินลูกรังจากทดลองวิจัยไปผลิตเป็นวัสดุอิฐดินดิบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดปัญหาโลกร้อน

1.5.2 เป็นการบริหารสิ่งที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดขยะอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต

1.5.3 ผลงานวิจัยสามารถตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

บทที่ 2 วรสารปริทรรศน์

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ดินลูกรังเป็นวัสดุที่มีทุกภาคของประเทศไทยและเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการรับกำลังได้ดี และนำไปใช้ในงานอิฐดินดิบได้

2.1 ดินลูกรัง

ดินลูกรัง เกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง และจากการศึกษาการผุพังและการเกิดสีแดงของหิน ในประเทศสหรัฐอเมริกาของ Russel (1889) พบว่า อุณหภูมิที่อบอุ่นและความชื้นสูงมีอิทธิพลต่อการผุพังของหินมากกว่าอุณหภูมิที่เย็นและความชื้นที่ต่ำซึ่ง Bawa (1957) ได้ให้ความเห็นตรงกันว่า กระบวนการกัดเซาะทางเคมีจะชะล้างและพัดพาเอาซิลิก้า (SiO_2) ออกไปจากดินเดิม และในขณะเดียวกันก็มีการสะสม เซสควิออกไซด์ (Sesquioxide, Fe_2 and Al_2O_3) ในดินเดิมทำให้เกิดเป็นก้อนแข็ง ผลของกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดดินที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์สูงกว่าปกติ ซึ่งดินประเภทนี้เรียกว่า " ดินลูกรัง " และกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้เรียกว่า " กระบวนการ Laterization " Holland (1903) ได้สนับสนุนว่าที่อุณหภูมิและความชื้นสูง หรือในสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนจะเกิดกระบวนการกัดเซาะทางเคมีขึ้นดังรูป ที่ 2.1 แสดงการกระจายตัวของดินลูกรัง

รูป ที่ 2.1 แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง (Gidigasu 1976)

2.1.1 คำจำกัดความของดินลูกรัง

<u>คำจำกัดความตามคุณสมบัติการแข็งตัว</u> Buchanan (1807) เป็นคนแรกที่ริมใช้คำว่า "Laterite" ในการอธิบายดินที่มีสีเหลืองปนน้ำตาลเนื่องจากมีแร่เหล็กเป็นส่วนประกอบในอัตราส่วนที่สูงมีลักษณะเป็นรูพรุนไม่มีการแบ่งตัวเป็นชั้นๆและมีโครงสร้างเป็นแบบ Vesicular ซึ่งพบในอินเดีย ซึ่งดินลูกรังเป็นผลผลิตจากการผุกร่อนของผลึกหินที่เกิดจากภูเขาไฟ, ตะกอน Dctrial Dcposits และขี้เถ้าภูเขาไฟ ซึ่ง จะเกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าหรือใกล้ๆ ผิวหน้าดินในเขตร้อนของโลกโดยดินที่ขุดพบใหม่ๆ จะอ่อนตัว สามารถตัดเป็นแท่งได้ทันที แต่จะแข็งตัวอย่างรวดเร็วเมื่อสัมผัสกับอากาศและจะต้านทานการผุกร่อน จากสภาพภูมิอากาศ ดินนี้จะถูกนำมาใช้แทนก้อนอิฐในการก่อสร้างอาคารดังนั้นจึงเรียกดินชนิดนี่ว่า Laterite ซึ่งมีรากศัพท์มาจากภาษาละติน

<u>คำจำกัดความทางเคมี</u> Mallet (1883) เป็นผู้ริเริ่มให้ความหมายดินลูกรัง (Laterite Soils) ว่าหมายถึงดินที่ตามธรรมชาติจะมีสีแดงเนื่องจากมีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียม จากนั้น Bauer (1898) ได้ให้ความหมายของดินลูกรังว่าหมายถึงวัสดุที่มีสารประกอบของซิลิก้าและปริมาณของอลูมิเนียมในรูปของไฮดรอกไซด์สูงเมื่อเทียบกับปริมาณของ bauxite จากนั้น Fermor (1911) ได้พัฒนาการเรียกชื่อลูกรังตามธาตุพื้นฐานที่ประกอบในลูกรังซึ่งมีความสัมพันธ์กับปริมาณของซิลิก้าธาตุพื้นฐานที่ประกอบในลูกรังได้แก่ เหล็ก, อะลูมิเนียม, ไทเทเนียม และแมงกานีส ในเวลาต่อมา Lacroix (1913) ได้จำแนกชนิดของลูกรังตามปริมาณของไฮดรอกไซด์ที่เป็นส่วนประกอบได้แก่

1. True laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบมากกว่าร้อยละ 90
2. Silicate laterite มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบร้อยละ 50-90
3. Laterite Clay มีไฮดรอกไซด์เป็นส่วนประกอบร้อยละ 10-50

ต่อมา Martin และ Doyne (1927, 1930) ได้จำแนก Laterite ออกเป็น 3 ประเภท ตามอัตราส่วนของซิลิก้าต่ออะลูมินัม (SiO_2 / Al_2O_3) ดังนี้ True Laterite มีอัตรา (SiO_2 / Al_2O_3) น้อยกว่า 1.33 Sillicate Laterite มีอัตรา (SiO_2 / Al_2O_3) ระหว่าง 1.33 - 2.00 และ Non-Lateritic Soil มีอัตรา (SiO_2 / Al_2O_3) มากกว่า 2.00

<u>คำจำกัดความทางMorphology</u> Alexander และ Cady (1962)ได้รวบรวมงานวิจัยทางด้าน Morphology ฟิสิกส์และเคมีที่เกี่ยวข้องกับ ลูกรัง โดยให้ความหมายไว้ดังนี้

- Laterite หรือลูกรัง หมายถึงดินที่เกิดจากกระบวนการทำลายในอัตราค่อนข้างสูงมี secondary oxide ของเหล็ก และ/หรืออลูมิเนียมในปริมาณสูง โดยปราศจากความเป็นด่างและPrimary silicate ในบางครั้งอาจมีแร่ควอทซ์และคาโอลิไนท์ในปริมาณสูงและมีคุณสมบัติที่แข็งตัวเมื่อ กระทบอากาศ

- Laterite soil หรือดินลูกรัง หมายถึงดินสีแดงที่มีออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมผสมอยู่เป็นจำนวนมากซึ่งเป็นผลมาจากกระบวนการ Laterization มีคุณสมบัติแข็งตัวได้เองและมี Laterite rock หรือ laterite gravel ผสมอยู่

- Laterite rock หรือหินลูกรังหมายถึงดินลูกรังที่เกิดการแข็งตัวเองอย่างสมบูรณ์ มีความเหนียวและความแข็ง จะแสดงคุณสมบัติของหินมากกว่าดิน เช่น หินศิลาแลง เป็นต้น

- Phinthite เป็นรูปแบบหนึ่งของหินลูกรังที่สามารถตัดด้วยเครื่องตัดโลหะได้ ในขณะที่อยู่ใต้ดินเมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศจะเกิดการแข็งที่ไม่กลับคืนสู่สภาพเดิม

- Laterite gravel หรือกรวดลูกรัง ประกอบด้วยวัสดุเม็ดหยาบ ซึ่งเป็นเม็ดเล็กๆมีความแข็งแตกต่างกัน บางที่อาจจะยึดเกาะกันเป็นมวลก้อนใหญ่ หรืออาจกร่อนจนกลายเป็น silty และ/หรือ clayey lateritic soil

- Self-hardening-property หมายถึง คุณสมบัติในการแข็งตัวได้เองเมื่อสูญเสียความชื้นในตัวและคุณสมบัตินี้จะไม่กลับสู่สภาพเดิม ถึงแม้ได้รับความชื้นอีก

- Sesquioxide หมายถึง AI_2O_3 Fe_2O_3 และ TiO_2 ซึ่งเป็นส่วนประกอบทางเคมีที่สำคัญของลูกรัง

<u>คำจำกัดความตามคุณสมบัติด้านวิศวกรรม</u> SOIL AND PAVEMENT CONSULTANT (1968) โดยให้ความหมายไว้ดังนี้

1. Laterite เป็น End-product ที่แข็งที่สุด เกิดจากหินที่มีแร่เหล็กเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ แข็งตัวในสภาวะที่มีอากาศและน้ำมากพอ โดย Laterite ก้อนหนึ่งอาจจะมีออกไซด์เป็นองค์ประกอบถึง 70-90 % โดยมีส่วนที่เป็นดินน้อยมาก ลักษณะของ Lateritc อาจจะมีทั้งเป็นเม็ดเล็กๆ หรือเป็นก้อนกลมๆ ซึ่งก้อนกลมพวกนี้จะประกอบด้วยเฮมาไทท์ (Haematite) ที่แข็งตัวหุ้มอยู่รอบๆ

2. Laterite Soils เป็นดินสีแดงที่ประกอบด้วยเฮมาไทท์ (Hacmatote) แต่ไม่ประกอบด้วย Laterite ที่แข็ง SRIBOONLUE AND ANURAJ (1972) ได้ให้คำจำกัดความดังนี้

-Laterite เป็นวัสดุแข็งที่เกาะกันเป็นก้อน ประกอบด้วยเหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์เป็นหลัก และยังประกอบด้วยซิลิเกตและแมงกานีส ในปริมาณที่แตกต่างกัน รวมทั้งมีออกไซด์ตัวอื่นๆ ด้วย แต่ละก้อนมีความแข็งที่แตกต่างกัน และเมื่อแตกแล้วจะมีสีที่แตกต่างกันไป

-Lateritic Soils เป็นดินที่เกิดรวมกับ Lateritc ในชั้นดินเดียวกัน ดินนี้จะไม่ได้ประกอบไปด้วย Lateritc ที่แข็งเกาะกันเป็นก้อน และเป็นดินที่มีอัตราส่วนของซิลิก้าต่อเซสควิออกไซด์น้อยกว่า 2.00 KRINITZSKY และคณะ (1976) รายงานไว้ว่าในปัจจุบัน คำว่า Frruginous and/or Auminous Custs or Hrdpans , Pinthite Frrallitic Sils , Kolisoils , Ltosols , Frricrete , lonstone Frruginous Sils and Frriols มีความหมายกว้างๆ เช่นเดียวกับคำว่า Latrite และยังได้ให้คำจำกัดความของคำที่เกี่ยวข้องนี้ไว้ดังนี้

- Laterite หมายถึง ดินที่มีสีแดงเข้ม-อ่อน แตกต่างกัน มีอัตราการสลายตัวในธรรมชาติสูง ทำให้มีปริมาณเหล็กออกไซด์และอลูมิเนียมออกไซด์สะสมอยู่มาก และอาจจะมีควอทซ์และคาโอลิไนท์อยู่ด้วย

- Laterite Soils เป็นดินสีแดงที่ประกอบด้วย เหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์สะสมอยู่เป็นจำนวนมาก สามารถแข็งตัวได้เมื่อกระทบกับอากาศและอาจจะมี Laterite Rock or Lateritic Gravel ปะปนอยู่ด้วย

- TropicaI Red Soils เป็นหินสีแดง ซึ่งไม่สามารถแข็งตัวได้เอง เมื่อกระทบกับอากาศ และไม่มี Laterite Rock or Lateritic Gravel ปะปนอยู่ด้วย ดินชนิดนี้ไม่นับว่าเป็น Lateritic โดยทั่วไปเรียกว่า TropicaI Red Soils or Krasnozems or Latosols

- Lateritic Rock เป็น Laterite ที่แข็งตัวเต็มที่ มีความเหนียวและแข็ง โดยทั่วไปจะแสดงคุณสมบัติเป็นหินที่มีความคงทนมากกว่าดิน

- Plinthite เป็นรูปแบบเฉพาะของ Lateritic Rock สภาพตามธรรมชาติ มีความอ่อนตัวเพียงพอที่จะตัดด้วยเครื่องตัดโลหะได้ แต่จะแข็งตัวเมื่อกระทบ กับ อากาศ

- Lateritic Rock ประกอบด้วยวัสดุเม็ดหยาบ (Coarse-grained) ซึ่งมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กๆ มีความแข็งแตกต่างกัน แต่บางครั้งอาจยึดเกาะกันเป็นมวลก้อนใหญ่ หรืออาจจะร่วนจนกลายเป็น sity and / or Clayey Lateritic Soil

ธีรชาติ รื่นไกรฤกษ์ (2528) กล่าวว่าดินลูกรังเป็นดินที่มีคุณลักษณะพิเศษคือ คุณสมบัติจะไม่คงที่แต่จะเปลี่ยนแปลงตามปริมาณความชื้นในดิน และสภาพแวดล้อม การทดสอบคุณสมบัติเพื่อให้สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้จะต้องทดสอบในสภาวะการทดลองที่ใกล้เคียงกันจึงจะได้ผลทดลองออกมาเป็นไปในแนวทางเดียวกัน

พจนานุกรมศัพท์ธรณีวิทยาได้นิยามของดินลูกรังว่า ดินที่มีการสลายตัวและพัฒนามาเป็นระยะเวลานาน ภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเป็นส่วนใหญ่ มีเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์ในปริมาณสูงอันเป็นผลมาจากกระบวนการเกิดลูกรัง (Laterization) ส่วนใหญ่เป็นดินสีแดง น้ำตาล หรือเหลือง มักพบเม็ดลูกรังและเม็ดกรวดผสมปนอยู่

2.1.2 กระบวนการเกิดดินลูกรัง

กระบวนการเกิดดินลูกรังแบ่งการเกิดออกเป็นสองช่วงคือ

1. กระบวนการเกิดดินลูกรัง Primary Minerals ในดินลูกรังกระบวนการทำลายในเขตร้อนเกิดจากการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ฟิสิกส์และ/หรือเกิดการเปลี่ยนรูปของ primary rock-forming minerals เป็นแร่ดินเหนียวที่มีโครงสร้างแบบ 1:1 และสารประกอบลูกรัง ซึ่งได้แก่ เหล็ก, อลูมิเนียม,ไทเทเนียม และแมงกานีสสะสมอยู่เป็นจำนวนมากโดยแบ่งขั้นตอนในการเกิดลูกรังออกเป็น 3 ช่วง ดังนี้

1.1 Decomposition เป็นขบวนการทางเคมีฟิสิกส์ในการทำลาย Primary minerals ในหินออกไซด์ต่าง ๆ ได้แก่ SiO_2 , AI_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O และอื่น ๆ ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร

1.2 Laterization คือกระบวนการก่อกำเนิดลูกรังจะเกิดการชะล้างภายใต้สภาวะการระบายที่เหมาะสม เกิดการรวมตัวของซิลิก้า,ด่าง และสารพวกออกไซด์ และ ไฮดรอกไซด์ของเซสควิออกไซด์ (AI_2O_3 , Fe_2O_3 ,Ti_2O_3)ส่วนสารอื่น ๆ จะถูกระบายหรือรวมตัวกันขึ้นกับความเป็นกรด ด่าง ของน้ำในดินและสภาวะการระบาย Mohr and Van Baren (1954) ได้กล่าวว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรัง (Laterization) เป็นกระบวนการที่ SiO_2 ถูกชะล้างพัดพาออกไปภายใต้สภาวะการระบายน้ำที่เหมาะสม เหลือ Fe_2O_3 , AI_2O_3 , Ti_2O_3 , MnO_2 เป็นส่วนสำคัญกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์จะมีผลทำให้เกิดแร่ดินเหนียวในกลุ่มของแร่ Kaolinite เป็นสำคัญ ภายใต้กระบวนการสลายตัวทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนาน แร่ดินเหนียวและซิลิกาจะถูกชะล้างพัดพาออกไปจากมวลดิน เหลือสารที่เป็นออกไซด์ของ อลูมินัม เช่น Gibbsite หรือออกไซด์ของเหล็ก เช่น Limoniteหรือ Geothite กระบวนการชะล้างพัดพาดังกล่าวนี้รู้จักกันโดยทั่วไปว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรังหรือ Laterization process ต่อมา Remillon (1967) ได้กล่าวว่าภายใต้สภาวะการเกิดกระบวนการทำลายทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนานนี้แร่ดินเหนียวจะถูกชะล้างเหลือสารที่มีออกไซด์ของอลูมิเนียม เช่น Gibbsite หรือไอดรัสออกไซด์ของเหล็ก เช่น ลิโมไนต์หรือเกอร์ไทท์ และ Portland Cement Association (1968) ได้ให้ความหมายของคาว่า “Laterization” ไว้ว่า เป็นกระบวนการที่ทำให้เกิดการเพิ่มปริมาณของเฮมาไทท์ในดิน โดยสภาวะที่เกิดกระบวนการ Laterization เป็นดังนี้

1.2.1 มีแร่เหล็กมากในหินต้นกำเนิด (Parent Bed Rock)

1.2.2 ดินมีค่าการซึมผ่านที่ดีและมีน้ำใต้ดินมากพอในการซึมผ่านดิน

1.2.3 ออกซิเจนในน้ำใต้ดินที่ไหลซึมผ่านมากพอเพื่อจะได้เกิดเป็นเหล็ก

1.2.4 สภาพแวดล้อมทางเคมีของดิน มีสภาวะเริ่มต้นเป็นกลางหรือเป็นกรด

KRINITZSKY และคณะ (1976) ได้ให้คำจำกัดความของคำว่า "Laterization" ไว้ว่าเป็นกระบวนการทางฟิสิกส์-เคมี ซึ่งเปลี่ยนดินหรือหินมาเป็น Laterite

1.3 Dehydration หรือ Desiccation คือกระบวนการสูญเสียความชื้นตามธรรมชาติจะเกิด การเสียความชื้นในเซสควิออกไซด์ (Sesquxioxide) ทำให้เกิดการแข็งตัวขึ้น นอกจากนี้การสูญเสียความชื้นในสารละลายที่มีเหล็กออกไซด์ปนอยู่ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น เกิดการตกผลึกของเหล็กออกไซด์ เป็นผลให้เกิดออกไซด์ของเหล็กในรูป Limonite (Fe_2O_3 , $1.5H_2O$) , Geothite (Fe_2O_3 , H_2O) , และ Hematite (Fe_2O_3)

KRINITZSKY และคณะ (1976) สรุปได้ว่าการแข็งตัวในดินลูกรังเกิดขึ้นเนื่องจากออกไซด์อิสระของเหล็ก 3 ชนิดได้แก่เฮมาไทท์, ไลมอไนต์ และ เกอร์ไทท์ เคลือบบนอนุภาคดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเฮมาไทต์ กระบวนการ Laterization จะทำให้ออกไซด์อิสระของเหล็กในรูปของเฮมาไทท์เคลือบอยู่บนอนุภาคดินมีความหนาเพิ่มขึ้น

2. กระบวนการเกิดดินลูกรัง Secondary minerals ในดินลูกรัง Secondary minerals ในดินลูกรัง ได้แก่ แร่ดินเหนียว คาโอลิไนท์ , ฮาลลอยไซต์อิลไลท์ , มอนท์โมริลโลไนท์ และอื่นๆ การเกิด secondary mineral ในดินลูกรังขึ้นกับอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ , สภาพภูมิประเทศ , พืชที่ปกคลุมและสภาพการระบายน้ำ ชนิดของ secondary minerals ในดินลูกรังมีประโยชน์มากในทางวิศวกรรมปฐพีเพราะสามารถคาดการณ์ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังได้ เช่น ดินลูกรังที่มี มอนท์โมริลโลไนท์ และอิลไลท์สูงจะมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ความดันน้ำในโพรงสูง และรวมตัวได้ง่ายกว่าดินลูกรังที่มีคาโอลิไนท์และคลอไรท์เป็นส่วนประกอบ

วิธีการหา Secondary minerals ในดินลูกรัง

1. X-RAY Diffraction (XTA)
2. Diffraction Thermal Analysis (DTA)
3. Scanning EIectron Microscope (SEM)

2.1.3 สภาวะของการเกิดดินลูกรัง

Gidigasu (1976) กล่าวถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ของการเกิดของดินลูกรังว่ามีดังนี้

1. หินต้นกำเนิด (Parent Rock) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ดินลูกรังกับหินต้นกำเนิดพบว่า ดินลูกรังเกิดจากหินต้นกำเนิดหลายชนิดเช่น แกรนิต (Granite) ,Gneiss บะซอลท์(Basalt) และฟิลไลท์ (Phyllite) นอกจากนี้ยังพบว่า เกิดจากดินดาน (Shale) หินทราย(Sandstone) และหินปูน (Limestone) ด้วย หินต้นกำเนิดที่มีแร่เหล็ก (Ferruginous) เป็นส่วนประกอบในอัตราสูง เช่น บะซอลท์ และหินดินดานจะก่อให้เกิด Lateritic Rock เป็นชั้นหนาโดยจะเกิด Lateritic Gravel น้อยมาก ส่วนหินต้นกำเนิดที่มีแรเหล็ก (Ferruginous) เป็นส่วนประกอบในอัตราต่ำ เช่น หินทราย และหินแกรนิต จะเกิด Lateritic Gravel มากซึ่งเป็นวัสดุที่ต้องการสำหรับงานก่อสร้างถนนและสนามบินมากกว่าจะเกิด Lateritic Gravel ชนิดของหินต้นกำเนิดที่ดีของหินลูกรัง ได้แก่ หินแกรนิต หินบะซอลท์ หินไนท์ หินอัคนีต่างๆ ที่มีสภาพเป็นกรด หินทราย และหินปูนที่ไม่บริสุทธิ์

2. สภาพภูมิอากาศในกระบวนการทาง ฟิสิกส์-เคมี นั้นสภาพเหมาะสมต่อการเกิดดินลูกรังต้องมีอากาศแบบเขตร้อนหรือกึ่งร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 16-27 องศา-เซลเซียส และความชื้นสูง ปริมาณฝนตกที่พอเหมาะประมาณ 500-2000มิลลิเมตร

3. สภาพของพันธุ์พืช แร่เหล็กจะสะสมกันมากภายใต้ทุ่งหญ้าเขตร้อนมากกว่าบริเวณป่าทึบดินลูกรังที่ยังอ่อนอยู่จะแข็งตัวภายใน 2-3 ปี ถ้าเปลี่ยนสภาพจากป่าทึบเป็นทุ่งหญ้าแห้งแล้งจะเห็นได้ว่าดินลูกรังที่ยังอ่อนตัวอยู่จะเกิดในบริเวณป่าชื้น ขณะเดียวกันจะพบดินลูกรังในเขตทุ่งหญ้าแห้งแล้ง ซึ่งมีสภาวะเหมาะสมกับการเกิดออกซิเดชั่น (Oxidation) และดีไฮรเดรชั่น (Dehydration)

4. สภาพภูมิประเทศและการระบายน้ำดิน ลูกรังมักจะเกิดบริเวณเชิงลาดสูงสุดของเนินเขาทั้งนี้เพราะบริเวณดังกล่าวมีการระบายน้ำได้ดี โดยทั่วไปดินลูกรังจะไม่เกิดในบริเวณที่น้ำท่วมได้หรือบริเวณพื้นที่ต่ำ

2.1.4 ชั้นของดินลูกรัง

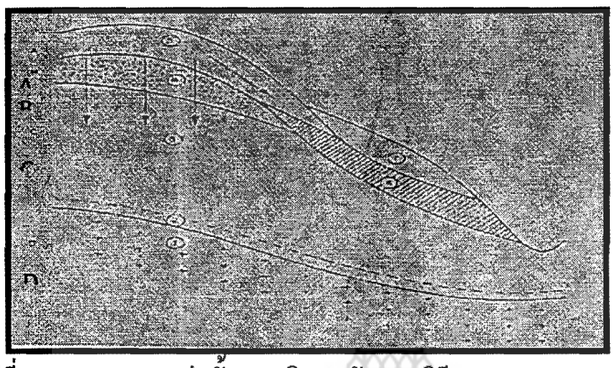
Remillon (1967)ได้ทำการแบ่งชั้นของดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดิน ออกเป็นลำดับดังนี้

A : Zone of Leaching

B : Zone of Acculation

C : Zone of Weathering and Removal of Soluble Constituents

D : Sound Parent Rock



รูปที่ 2.2 แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง ตามวิธี Remillon (1967)

Bawa (1957) และ Maignien (1966) แบ่งชั้นดินลูกรังตามลักษณะของภูมิประเทศ (Morphological Characteristics) ออกเป็น

A : Top soil (โดยทั่วไปจะมีสีดำของซากพืชซากสัตว์)

B2 : ชั้นดินลูกรังที่มีเหล็กและอลูมิเนียมเป็นแผ่นแข็ง

BI : ชั้นดินซึ่งปรากฏเซลสควิออกไซด์ ($AI_2O_3 + Fe_2O_3$) อย่างชัดเจน (Zone of Motting)

C : Leached Zone or Pallod Zone

D : Sound Parent Rock

Krinitzsky และคณะ (1976) แบ่งดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดินออกได้ดังนี้

ชั้น A : เป็นชั้นที่บางที่สุด ประกอบด้วยชั้นของ Silty หรือ Sandy มีซาก-พืชซากสัตว์น้อย หรืออาจจะไม่มี

ชั้น B : เป็นชั้นดินลูกรังที่มีความหนาตั้งแต่ 0.30 - 0.60 เมตร ประกอบด้วยชั้นของ Sandy หรือ Gravelly ซึ่งในชั้นนี้เป็นชั้นที่มีการสะสมของเซลควิออกไซด์มาก และอาจจะมีไมก้า (Mica) ปรากฏอยู่ บ้าง

ชั้น C : หรือชั้น Mottled Zone ชั้นนี้มีความหนามากกว่าชั้น B หลายเท่า มีการชะล้างเหล็กและซิลิก้าออกไปบางส่วน โดยปกติจะมีหลายสี ในชั้นนี้อาจจะมีโอลิไนท์ และควอทซ์อยู่ใต้ชั้น C ลงไปอาจจะมีดินเหนียวสีขาว เรียกว่า “Pallid Zone” ซึ่งเป็นชั้นที่เหล็กถูกชะล้างออกไปหมดแล้วแต่ยังคงมีซิลิก้าอยู่ เนื่องจากถูกชะล้างออกไปเพียงบางส่วนเท่านั้น ดินชั้นนี้อาจจะปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้

ชั้น D : เป็นชั้นหินต้นกำเนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในประเทศไทยนั้นพบดินลูกรังที่ความลึกประมาณ 0.30 – 1.80 เมตรแต่โดยทั่วไปจะพบที่ความลึกไม่เกิน 3.00 เมตร

2.1.5 การหาแหล่งดินลูกรัง มีอยู่หลายวิธี โดยใช้

1. แผนที่และข้อมูลทางธรณีวิทยา
2. ภาพถ่ายทางอากาศ
3. แผ่นที่ทางอากาศ
4. เทคนิคการเจาะสำรวจทางธรณีฟิสิกส์

2.1.6 การจำแนกดินลูกรัง

ดินลูกรังเป็นดินที่เกิดจากการแตกสลายตัวของหินต้นกำเนิด เนื่องจากกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิอากาศชะล้างเอาออกไซด์บางตัวออกไปจากดินเดิม เหลือออกไซด์ของเหล็กและอลูมิเนียมเอาไว้ กระบวนการ Laterization ทำให้ดินลูกรังที่เกิดขึ้นมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงมีวิธีการจำแนกที่ใช้กันในปัจุบันดังนี้

1. ระบบ AASHTO หรือ Highway Research Board จำแนกดินออกเป็นกลุ่มใหญ่ 7 กลุ่ม คือกลุ่ม A-1 ถึง A-7 และในกลุ่มใหญ่ยังแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ อีก เช่น A-1-a , A-1-b เป็นต้นซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานถนน งานทาง

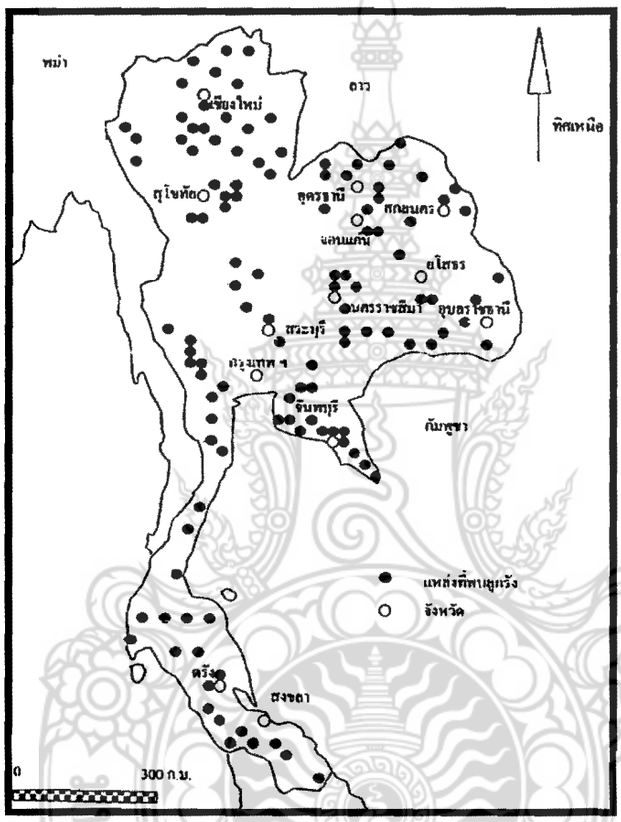
2. ระบบ Unified Soil Classifiction จำแนกดินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเม็ดหยาบ คือ กรวดและทราย และกลุ่มเม็ดละเอียด คือ ดินตะกอน(Silt) และดินเหนียว อีกทั้งยังแบ่งย่อยเป็นขนาดคละดี และขนาดคละไม่ดีหรือขนาดคละไม่ได้ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค เช่น สนามบิน อาคาร บ้านเรือนฯ

3. ระบบ Federal Aviation Administration (FAA) จำแนกดินออกเป็น 13 กลุ่ม คือ กลุ่ม E-1ถึง E-13 ซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานสนามบิน เช่นเดียวกับระบบ Unified Soil Classification

นอกจากนี้ยังสามารถจำแนกดินลูกรังตามลักษณะและคุณสมบัติต่าง ๆ เช่น Particle-Size Scale Texture Soil- Classification System และ Textural and Plastic Soil Classification

2.1.7 ดินลูกรังในประเทศไทย

ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีฤดูฝนสลับร้อนกันไปเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างจะยาวนานสภาพอากาศเช่นนี้เหมาะกับการเกิดดินลูกรังอย่างยิ่งและจะพบดินลูกรังได้มาก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกและภาคเหนือ โดยมีหินต้นกำเนิดส่วนใหญ่เป็นหินทรายหินบะซอลท์ และหินดินดาน บริเวณที่พบ ดินลูกรังในประเทศไทยแสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา สุภาพร (2528)

Hongsnoi (1969) ได้กล่าวว่า ประเทศไทยจะพบลูกดินลูกรัง ซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการเกิด คือ

1. ดินลูกรังปฐมภูมิ (Primary Lateritic Soils) คือ ดินลูกรังที่มีเหล็กเป็นส่วนประกอบมาก และเกิดอยู่กับที่เหนือหินต้นกำเนิดเหล็กที่เป็นองค์ประกอบ ได้มาจากธาตุพวก เฟอร์โรแมกเนเซียน(Fero-Magesisn) ที่มีอยู่ในหินชั้นล่างๆ ลงไปเหล็กออกไซด์จะเคลื่อนขึ้นมาสะสมมากในชั้นดินตามการเคลื่อนที่ขึ้นๆ ลงๆ ของน้ำใต้ดิน ในแต่ละฤดูกาลออกซิเจนและกรดอินทรีย์ต่าง ๆ ที่ละลายปนมากับน้ำฝน จะออกซิไดซ์ (Oxidize) ธาตุพวกเฟอร์โรแมกเนเซียมในดิน ให้กลายเป็นเหล็กออกไซด์สีแดง การเกิดดินลูกรังประเภทนี้ในประเทศไทยมักจะเกิดขึ้นเป็นชั้นๆ จาก ผิวดินจนถึงหินชั้นต้นกำเนิด ดังต่อไปนี้ คือ

1. ชั้นผิวดิน
2. ชั้นของดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมแห้งและแข็ง เกิดการเกาะกันของเฮมาไทท์เม็ดเล็กๆ และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย
3. ชั้นดินเหนียวที่มีขนาดเม็ดเล็กและแข็งจำนวนมาก และมีดินลูกรังเม็ดกลมที่เริ่มแข็งตัวของลิโมไนท์ (เหล็กไฮดรอกไซด์)
4. ชั้นดินเหนียวอ่อน ชุ่มชื้นและมีเหล็กออกไซด์ขนาดเม็ดต่างๆ ปนกันอยู่
5. ชั้นดินเหนียวสีเทา ที่มีลิโมไนท์ปนอยู่หรือแทรกอยู่ตามรอยแตก
6. ชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง (พวกกรวด ทราย ดินเหนียว)
7. หินต้นกำเนิด

โดยทั่วไปขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์กจะต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรัง และจะเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง ปกติส่วนใหญ่ในสุดของเม็ดดินลูกรังเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่อ่อน และผิวนอกจะเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่แข็งกว่า ความหนาของเหล็กไฮดรอกไซด์นี้ มากหรือน้อยขึ้นกับสภาพแวดล้อมของดินลูกรังว่าเป็นกรดหรือเป็น Oxidizing Agents

2 Secondary Lateritic Soil เป็นดินลูกรังที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งหินต้นกำเนิดอื่น เมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านจะทำให้เหล็กออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวและยังออกซิไดซ์แร่เหล็กที่มีอยู่ในบริเวณนั้นด้วย โดยทั่วดินลูกรังประเภทนี้จะไม่แบ่งเป็นหลายๆชั้น เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่างๆกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะของดินและความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นดิน ออกไซด์ของดินลูกรัง

ประเภทนี้จะอยู่กระจัดกกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรกและมักเกาะอยู่โดยรอบของเม็ดกรวดหรือชิ้นส่วนที่แตกหัก จึงทำให้ดินลูกรังประเภทนี้มีขนาดใหญ่กว่ามีความแข็งแรงที่แตกต่างกันมากกว่า และเห็นชั้นของฮีมาไทต์ ไลมอไนต์และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรก และค่า Atterberg's Limit ของดินลูกรังประเภทนี้ต่ำกว่าดินลูกรังประเภท แรก Moh และ Mazhar (1969) รายงานผลว่าการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังก่อนการทดลองมีผลทำให้ค่าขีดจำกัดแอตเตอร์เบอร์กแตกต่างกัน การอบตัวอย่างให้แห้งก่อนการทดสอบจะให้ผลการทดลองแตกต่างจากการผึ่งตัวอย่างให้แห้งตามธรรมชาติ หรือทดสอบตัวอย่างที่มีความชื้นตามธรรมชาติ ผลการทดลองจะต่างกันมากในกรณีที่มีแร่ Montorillonite เป็นองค์ประกอบ Shuster (1969)ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความทนทานของเม็ดลูกรังในประเทศไทยโดยใช้การทดลอง Los Ageles Ratter Test (ASTM C 131-64T) และ California Durability Test (State of California Test Method 229-C) จากผลการทดลองปรากฏว่า California Durability Test เป็นวิธีการทดลองที่เหมาะสมให้ค่าความทนทานของดินลูกรังใกล้เคียงกับสภาพจริงที่เกิดขึ้นในสนามมากกว่า Los Angeles Rattler Test

2.1.8 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ ของดินลูกรัง

1. ความเป็นกรด-ด่าง จากการศึกษาพบว่าความเป็นกรด-ด่างของดินลูกรังเปลี่ยนแปลงตามความลึก แต่จะมีค่าอยู่ระหว่าง 4-8 แสดงว่าดินลูกรังจะเกิดในบริเวณที่มีสภาวะเป็นกรด

2. สารอินทรีย์ Newill (1959) กล่าวว่าดินลูกรังที่มีเม็ดละเอียดจะมีปริมาณสารอินทรีย์มากกว่าดินลูกรังที่มีเม็ดหยาบโดยทั่วไปแล้วดินลูกรังจะมีปริมาณสารอินทรีย์ต่ำโดยจะมีค่าน้อยกว่าร้อยละ 1.0 ที่ชั้นผิวดิน

3. ปริมาณแคลเซียมคาร์บอเนต ในดินลูกรังจะมีปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและพืชพันธุ์ ปริมาณของแคลเซียมคาร์บอเนตจะลดลงเมื่อเกิดการชะล้างและขบวนการ laterization มากขึ้น

4. การกระจายของเม็ดดิน ดินลูกรังส่วนใหญ่มีการกระจายขนาดของเม็ดดินดี กล่าวคือมีขนาดคละดี

5. ความถ่วงจำเพาะ ค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรังอยู่ระหว่าง 2.67-3.46 จะมีค่ามากหรือน้อยขึ้นกับปริมาณของเหล็กออกไซด์ในดินลูกรัง กล่าวคือ ถ้ามีปริมาณของเหล็กออกไซด์มากจะมีค่าความถ่วงจาเพาะสูง

6. ดัชนีพลาสติก ค่าพลาสติกซิตีของดินลูกรังขึ้นอยู่กับปริมาณของดินเหนียวดังนั้นจึงมีค่าที่ไม่แน่นอนขึ้นกับกระบวนการชะล้างและกระบวนการ Laterzation กล่าวคือถ้ามีการชะล้างสะสมเกิดกระบวนการ laterization สูง ปริมาณของดินเหนียวจะยังผลให้ค่าพลาสติกซิตี้ลดลงเนื่องจากแร่ดินเหนียวถูกเคลือบด้วยเซสควิออกไซด์ ทำให้ surface activity ของแร่ดินเหนียวถูกขจัด

7. ค่ากำลังรับแรงเฉือน ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินลูกรังขึ้นกับอิทธิพลขององค์ประกอบทาง genetic ชนิดของหินเดิมและองศาที่เกิดกระบวนการทำลาย ซึ่งหมายถึงองศาที่เกิดขบวนการDecomposition , laterization และ dessiccation นอกจากนั้นแล้วการทดลองต่างชนิดกันให้กำลังรับแรงเฉือนต่างกันโดย Lambe (1958) ได้ศึกษาอิทธิพลขององศาที่เกิดขบวนการ decompositionที่มีต่อกำลังรับแรงเฉือนของดิน พบว่าดินลูกรังที่มีความลึกต่าง ๆ ให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนที่ต่างกันและจากการศึกษาของ Baldovin (1969) พบว่า ดินลูกรังที่มีองศาที่เกิดขบวนการ laterization สูงจะให้ค่ากำลังรับแรงเฉือนสูง

8. สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน การซึมผ่านของดินลูกรังขึ้นกับชนิดของหินเดิม ลักษณะตามธรรมชาติของดิน, อัตราส่วนโพรงและวิธีการเตรียมตัวอย่าง ความชื้นและความหนาแน่นแห้งมีผลอย่างมากต่อการซึมผ่านของดินลูกรัง

9. การบดอัด Quinones (1963) พบว่า อิทธิพลที่มีผลต่อการบดอัดดินลูกรังได้แก่องค์ประกอบทาง genetic วิธีการเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดลอง ดังนี้องค์ประกอบทาง genetic ได้แก่ ลักษณะตามธรรมชาติของดิน การกระจายขนาดของเม็ดดินและแร่ธาตุที่เป็นส่วนประกอบ เช่น ลักษณะตามธรรมชาติของดินที่มีผลอย่างมากต่อความหนาแน่นแห้งสูงสุด ดังนั้น จึงเป็นการยากในการพิจารณาผลของการบดอัดหากขาดข้อมูลดิน กล่าวคือ ดินต่างชนิดกันมาจากหินเดิมที่ต่างกัน มีกระบวนการเกิดทาง genetic ต่างกันหรืออยู่ในตำแหน่งชั้นดินที่ต่างกัน ย่อมมีเส้นโค้งการบดอัดที่ต่างกัน

2.19 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง

สีของดินลูกรัง ดินลูกรังส่วนใหญ่มักจะมีสีแดงแต่จะมีสีแดงเข้มหรืออ่อนขึ้นกับปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบหลักของออกไซด์เหล็ก อลูมิเนียม ไททาเนียม และแมกนีเซียม โดยทั่วไปสีของดินเกิดจากแร่ธาตุต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบดังนี้

1. สารอินทรีย์ ดินจะมีสีดำ สีน้ำตาลและสีเทา
2. แร่เหล็ก ดินจะมีสีแดง สีส้ม สีเหลือง สีน้ำตาล สีน้ำเงิน และสีเขียว
3. แร่แคลเซียม แมกนีเซียม โซเดียม อลูมิเนียม และโปแตสเซียม ดินจะมีสีขาว
4. แร่แมงกานีส ดินจะมีสีดำและสีน้ำตาล

Vallerga และ Rananand (1969) ได้สรุปผลการสำรวจแหล่งดินลูกรังในประเทศไทยดังต่อไปนี้

ก. ในประเทศไทยจะพบดินลูกรังมากกว่าลูกรัง ดินลูกรังที่พบมักจะพบในลักษณะของกรวดทรายดินตะกอน และดินเหนียวที่มีออกไซด์ของเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูงดินลูกรังที่จับเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ไม่ค่อยพบบ่อยนัก

ข. ดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงมักจะได้จากการขุดและการดันดินผสมเป็น กอง (Stockpile) อันประกอบด้วยดินตะกอน และดินเหนียวที่มีเหล็กออกไซด์ประมาณสูงผสมรวมกันเป็นลูกรังซึ่งมีความแข็งต่างกัน ลูกรังที่เกิดเป็นก้อนใหญ่หรือเป็นพืดแข็งติดต่อกันจะไม่นำมาใช้ในการก่อสร้างทาง หลวง

ค. สภาวะที่เหมาะสมที่จะก่อให้เกิดดินลูกรังในประเทศไทยได้แก่ สภาวะที่มีแร่เหล็กหรืออลูมินัมเกิดสะสมอยู่ในปริมาณสูงอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 1-2 สภาวะที่ดินมีออกซิเจนในน้ำใต้ดินสูงและสภาวะที่สิ่งแวดล้อมมีภาวะเป็นกรดรวมทั้งสภาวะที่ภูมิประเทศมีความเหมาะสมที่ก่อให้เกิดการชะล้างในชั้นดินได้ดี

ง. ความแข็งแรงของเม็ดดินลูกรังอาจจะเพิ่มขึ้นได้ภายหลังการขุดแต่ดินลูกรังที่ปล่อยทิ้งไว้กลางแจ้งเพื่อให้ดินลูกรังเกิดปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนในอากาศวงจรการเปียกสลับกับแห้งจะช่วยให้ออกซิเจนแทรกซึมลึกเข้าไปในเม็ดดินลูกรัง และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องอันทำให้เม็ดลูกรังแข็งมากยิ่งขึ้น

จ. ดินลูกรังถือเป็นวัสดุที่จะนำมาใช้สร้างทางได้ ถ้าหากมีการกำหนดมาตรฐานและขีดจำกัดอันทำให้สามารถใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง พื้นทางและผิวทางชั่วคราวได้อย่างเหมาะสม

Pendleton และ Sharasuvans (1946) ได้แสดงความแตกต่างของคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทยไว้ดังแสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณซิลิก้า และเซสควิออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทยข้อมูลจาก Pendleton และ Sharasuvans (1946)

เขตพื้นที่	SiO_2 (ร้อยละ)	Fe_2O_3 (ร้อยละ)	Al_2O_3 (ร้อยละ)	อัตราส่วนของ SiO_2/R_2O_3
Sandy Soils	47.0	30.1	12.7	3.2
Basaltic country rock	23.6	39.9	21.8	0.9
Parent material of mix origin	31.3	40.0	17.7	1.4
Unknown parent materials	37.9	40.0	11.9	2.1

วุฒิชัย (2526) ได้ศึกษาสมบัติของดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพบว่า ดินลูกรังส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม A-2 ตามการจำแนกดินของ AASHTO ซึ่งเป็นกรวดปนดินตะกอนหรือกรวดปนทรายแป้งและดินเหนียว (Silly or Clayey Gravel) ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีสำหรับใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนน และหากจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification จำแนกเป็นประเภทกรวด (G) และทราย (S) ส่วนประกอบของดินลูกรังส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาโอลิไนต์ปริมาณมากและอิลไลท์ปริมาณพอสมควร นอกจากนี้อาจพบมอนต์มอริลโลไนต์ , เวอร์มิคิวไลต์ , คลอไรต์ , เกอไทต์ และควอร์ต ปนอยู่ด้วย ส่วนปัญหาที่พบในดินลูกรังภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยคือ มีคา Liquid Limit และ Plasticity Indexมากกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวง

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ (2528) กล่าวว่าดินลูกรังในประเทศไทยมีความคงทนเพียงพอที่จะใช้ทำชันพื้นทางและรองพื้นทางของถนนที่มีปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลางได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นชั้นผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยางได้ดีอีกด้วย ผลการทดลองยังแสดงอีกด้วยว่าค่า Atterberg Limits ของดินลูกรังในประเทศไทยจะสูงกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของกรมทางหลวง

วรศักศิ์ และ สมหวัง (2538) ได้อธิบายว่า ดินลูกรังสามารถใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางไหล่ทาง พื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงปานกลาง และสามารถใช้เป็นผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยาง เพราะเม็ดลูกรังจะไม่แตกเป็นเม็ดละเอียดเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นในอากาศ แหล่งดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงที่เปิดใช้อยู่มีประมาณ 40 แหล่ง มักพบชั้นดินลูกรังหนาประมาณ 1.4-2.0 เมตร ค่า Liquid Limit และ Plasticity Limit ของดินลูกรังส่วนมากจะสูงกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวง และถ้านำดินลูกรังผสมกับซีเมนต์จะมีคุณสมบัติใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้เป็นอย่างดี

Ruenkrairergsa และ Waiwudthikead (1987) ได้ทำการศึกษากลสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทยเพื่อวางแนวทางการกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของดินลูกรัง เพื่อใช้ในงานก่อสร้างถนนจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ดินลูกรังในประเทศไทยประกอบด้วยเม็ดลูกรังที่มีความแข็งแรงทนทานเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย ละสูงปานกลางได้เป็นอย่างดี ในพื้นที่ซึ่งขาดแคลนหินที่จะใช้เป็นวัสดุพื้นทางสามารถจะนำดินลูกรังมาผสมซีเมนต์ เป็นวัสดุ Soil-Cement เพื่อใช้ทำชั้นพื้นทางของถนนได้เป็นอย่างดี

Morrison (1965 อ้างถึง ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ 2528) ได้รายงานค่าคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังจากแหล่งต่าง ๆ 57 แหล่งในประเทศไทยดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา Morrison (1965)

คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (%)	0	66
ขีดพิกัดเหลว (%)	18	97
ดัชนีพลาสติก (%)	NP	51
กลุ่มดินตาม AASHTO	A-1-a	A-7-6
Group Index	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	118.0	114.5
ความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (%)	7.0	13.4
CBR (%)	7.0	60.0
การบวมตัว (%)	0.1	55.0
Percentage of wear (%)	20.0	60.0

Warakorn (2000) กล่าวว่า Brand และ Hongnoi (1969) อ้างถึงใน ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ (2528) ได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่แตกต่างกันในการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังเพื่อใช้ในการทดลองจะมีผลทำให้คุณลักษณะของการบดอัด และกำลังของตัวอย่างแตกต่างกันออกไป การทำให้ตัวอย่าง อบแห้งก่อนนำไปบดอัดจะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเพิ่มขึ้นและค่าความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลง นอกจากนี้ยังพบว่ากำลังเฉือน และกำลังแบกทานของดินจะเปลี่ยนแปลงไปด้วย แต่มีแนวโน้มที่ไม่เด่นชัด

Warakorn (2000) กล่าวว่า Muktabhant และ Ongskul (1969) อ้างถึงใน ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ (2528) ได้ศึกษาคุณลักษณะการบดอัดและค่า CBRของดินลูกรังผสมทรายตามปริมาณทรายต่างๆกัน พบว่าขีดจำกัดอัตเตอร์เบอร์กจะลดลงและมีความสัมพันธ์เป็นแนวเส้นตรงกับปริมาณร้อยละของทรายที่ใช้ผสม

2.2 อิฐดินดิบ

บ้านดิน คือ สถาปัตยกรรมทางธรรมชาติ โดยใช้วัสดุทางธรรมชาติซึ่งสามารถจัดหาได้ในท้องถิ่นนั้นๆ เช่น ดิน แกลบ ฟาง ไม้ หิน ขวด หญ้าแฝก ซึ่งอาจเรียกได้ว่าสถาปัตยกรรมพื้นถิ่น แต่วัสดุหลักที่ใช้ในการสร้างบ้านคือดิน จึงมักจะเรียกว่า <u>"บ้านดิน"</u> คนส่วนมากมักคิดว่าบ้านดินเป็นสถาปัตยกรรมแบบใหม่เพิ่งเกิดขึ้น แต่แท้จริงแล้วบ้านดินเป็นสถาปัตยกรรมเก่าแก่มีมาตั้งแต่สมัยอาณาจักรเมโสโปโตเมีย และมีกระจายอยู่ทั่วไปตามแหล่งอารยธรรมต่างๆ ของโลก แม้ในปัจจุบันยังมีประชากรของโลกจำนวนมากอาศัยอยู่ในบ้านดิน สำหรับประเทศไทยก็มีบ้านดินเช่นกันโดยกระจายอยู่ในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ ซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นบ้านดินของคนจีนที่ได้อพยพเข้ามาอยู่ในประเทศ และบ้านดินสร้างใหม่ ในปัจจุบันความจริงแล้วมนุษย์แทบทุกคนสามารถสร้างบ้านได้เองอย่างง่ายและมั่นคง แต่การศึกษาตามระบบทุนนิยมได้ปิดเปือนเปลี่ยนแปลงชีวิตและวิธีคิดของมนุษย์ ทำให้เรารู้สึกอ่อนด้อย รู้สึกว่าสร้างเองไม่ได้การสร้างเองมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน อาจไม่ปลอดภัย เป็นต้น

ความจริงแล้วเพียงแค่สองเท้าและวัสดุในท้องถิ่น เราทุกคนก็สามารถสร้างบ้านที่สวยงาม มั่นคง และอยู่สบายได้การสร้างบ้านดินมีเทคนิคการก่อสร้างหลายวิธีแต่ที่เป็นที่นิยมมากที่สุดในประเทศไทยคือเทคนิคก่อด้วยอิฐดินดิบ (Adobe) โดยทั่วไปการสร้างบ้านดินจะมีขั้นตอนโดยสรุปคือ การเตรียมพื้นที่สำหรับปลูกบ้านควรเป็นพื้นที่ที่น้ำท่วมไม่ถึง หากจำเป็นต้องถมที่ต้องถมทิ้งไว้ 1 ปี วางผังแบบแปลน

จากนั้นจึงทำอิฐดินดิบให้เพียงพอกับการใช้ โดยอิฐดินดิบมักมีส่วนผสมของดิน และแกลบ อิฐดินดิบจะมีขนาดใหญ่กว่าอิฐทั่วไปมากเพื่อความแข็งแรง และนอกจากนั้นยังสามารถปั้นดินเป็นเฟอร์นิเจอร์ติดตั้งภายใน ได้แก่ เตียง ตู้ โต๊ะ เก้าอี้ เตาไฟ อ่างน้ำ เป็นต้น ทำให้ช่วยประหยัดเงินในการซื้อเฟอร์นิเจอร์ และยังสามารถใช้ขวดสีเหลือใช้ทำเป็นช่องแสง การจัดรูปแบบช่องแสงและการปั้นดินตกแต่งฝาผนังที่มีเอกลักษณ์ไม่ซ้ำแบบใคร

บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยจากตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

จากการศึกษาและค้นคว้าเบื้องต้นในบทที่ 2 พบว่าดินลูกรังในประเทศไทยประกอบด้วยเม็ดลูกรังที่มีความแข็งแรงทนทาน งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ใช้ดินลูกรังในงานถนนเมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของดินทำให้ดินลูกรังสามารถรับน้ำหนักแบกทานได้มากขึ้นจึงมีแนวคิดที่จะนำดินลูกรังมาใช้ในงานอิฐดินดิบ

3.2 กำหนดแหล่งดินลูกรังที่จะใช้ในงานวิจัยและจัดหาจัดซื้ออุปกรณ์

3.2.1 ดินลูกรัง

ดินลูกรังที่ใช้ มาจากสามแหล่ง คือ

แหล่งที่ 1 ดินลูกรัง อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี ดังรูปที่ 3.1 (ก)

แหล่งที่ 2 ดินลูกรัง อำเภอสัตหีบ จังหวัดชลบุรี ดังรูปที่ 3.1 (ข)

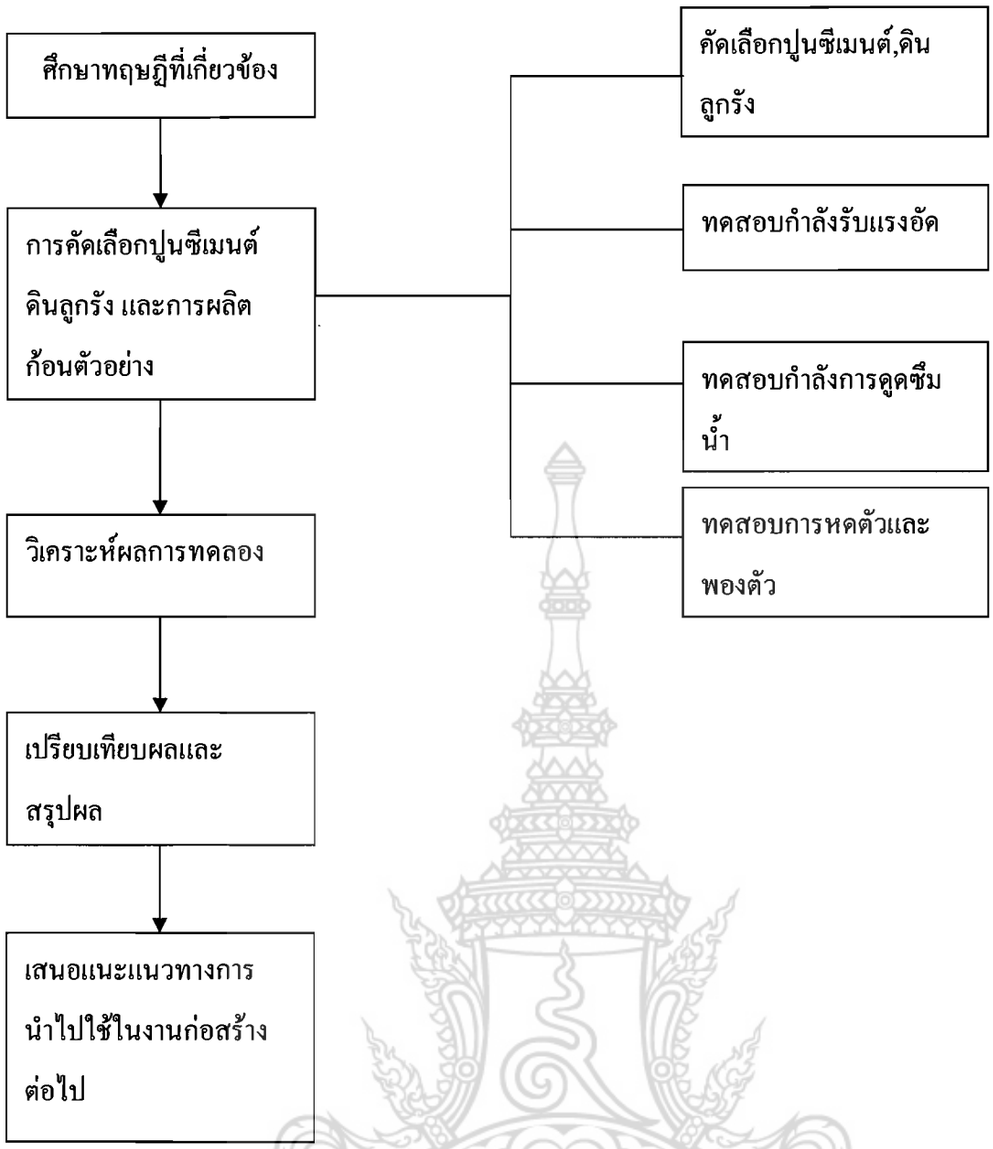
แหล่งที่ 3 ดินลูกรังอำเภอมวกเหล็ก จังหวัดสระบุรี ดังรูปที่ 3.1 (ค)

(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างดินลูกรัง

3.3 เก็บตัวอย่างดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดินลูกรัง ดังกล่าวสำหรับทดสอบ

เก็บตัวอย่างจากแหล่งดินลูกรังนำมาทำการบดอัดปรับปรุงคุณสมบัติให้มีขนาดเล็กและตากให้แห้งในสภาวะอุณหภูมิปกติ แล้วทำตามกระบวนการดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย

3.4 ออกแบบอัตราส่วนผสมดินลูกรังกับปริมาณน้ำ

ในการออกแบบอัตราส่วนผสมคำนึงถึงการการทำงานจริงและง่ายต่อการคำนวณและผสมจึงกำหนดการออกแบบโดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ออกแบบอัตราส่วนผสม ของ ปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง และน้ำ

Mix	อัตราส่วนผสม (ปูนซีเมนต์,ดินลูกรัง,น้ำ)	น้ำหนัก ปูนซีเมนต์(กรัม)	น้ำหนัก ดินลูกรัง(กรัม)	ปริมาตรน้ำ (กรัม)
1	0-100-10	0	1700	170
2	0-100-15	0	1700	255
3	0-100-20	0	1700	340
4	0-100-25	0	1700	425
5	1-100-10	17	1700	170
6	1-100-15	17	1700	255
7	1-100-20	17	1700	340
8	1-100-25	17	1700	425
9	5-100-10	85	1700	170
10	5-100-15	85	1700	255
11	5-100-20	85	1700	340
12	5-100-25	85	1700	425
13	10-100-10	170	1700	170
14	10-100-15	170	1700	255
15	10-100-20	170	1700	340
16	10-100-25	170	1700	425
17	20-100-10	340	1700	170
18	20-100-15	340	1700	255
19	20-100-20	340	1700	340
20	20-100-25	340	1700	425

โดยการออกแบบจากการทดสอบพื้นฐานการยึดเกาะซึ่งจะแปรผันกับความชื้น คือหากมีความชื้นน้อยหรือปริมาณน้ำน้อยจำทำให้ไม่เกิดการยึดเกาะขึ้นรูปไม่ได้ ในทางตรงกันข้ามหากมีความชื้นมากหรือปริมาณน้ำมากจะทำให้ตัวอย่างเหลวขึ้นรูปไม่ได้เช่นกัน จึงใช้ความชื้นที่ร้อยละ 10, 15, 20 และ 25 ส่วนปูนซีเมนต์ใช้ที่ร้อยละ 0, 1, 5, 10 และ 20 เพื่อเพิ่มการยึดเกาะและกำลัง

3.5 ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินลูกรังตัวอย่าง

คุณสมบัติ	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3
ขีดพิกัดเหลว (%)	59	70	64
ดัชนีพลาสติก (%)	NP	NP	NP
ความถ่วงจำเพาะ	2.73	2.92	2.81

จากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินลูกรังดังตารางที่ 3.2 พบว่าอยู่ในขอบเขตของคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย ตารางที่ 2.2

3.6 หล่อก้อนตัวอย่างวัสดุทดสอบ

การหล่อตัวอย่างดินใช้แบบหล่อตัวอย่าง (mold) เป็นแบบหล่อตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตรตามมาตรฐาน ASTMC 109-80 โดยมีขั้นตอนดังนี้

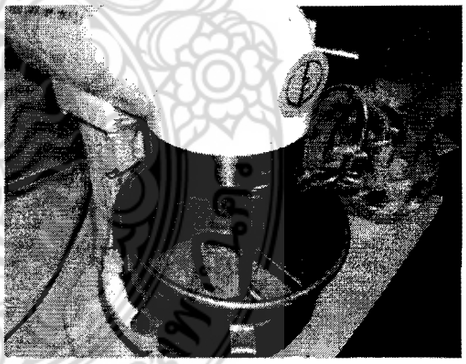
3.6.1 บดดินลูกรังร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 8

3.6.2 นำวัสดุที่ใช้ได้แก่ดินลูกรัง น้ำและซีเมนต์มาผสมกันในแต่ละอัตราส่วนผสมดังตารางที่ 3.1

3.6.3 การเตรียมชุดทดสอบ ในงานวิจัยนี้จะใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 3 และดินลูกรังแต่ละแหล่ง ผสมตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยหล่อตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตรตามมาตรฐาน ASTMC10 ซึ่งมีวิธีการผสมมอร์ต้าประยุกต์ตามมาตรฐาน ASTMC305 ซึ่งมีวิธีการดังนี้

3.6.3.1 นำวัสดุผสมตามอัตราส่วน ที่เรากำหนดและนำมาใส่หม้อผสม

รูปที่ 3.3 ส่วนผสมตัวอย่างทดสอบ

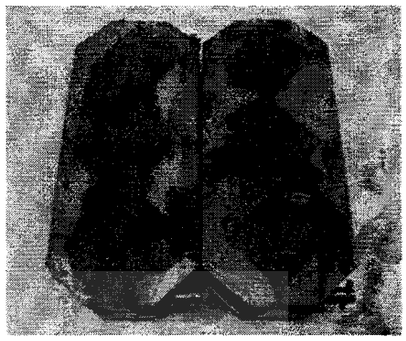


รูปที่ 3.4 การผสมตัวอย่างทดสอบ

นำปูนซีเมนต์ดินลูกรังมาใส่ในกระบะผสมดังรูปที่ 3.3 คลุกเคล้าให้เข้ากัน โดยใช้เครื่องผสมมอร์ตาร์ดังรูปที่ 3.4 ให้เครื่องทำงาน 1-2 นาทีหรือดูว่าส่วนผสมเข้ากันดีแล้วนำส่วนผสมทั้งหมดคลุกเคล้าให้เข้ากัน

3.6.3.2 นำที่ผสมได้ใส่ลงในแบบหล่อชิ้นตัวอย่างขนาด 5x5x5 เซนติเมตรมาตรฐาน ASTMC109-80 จำนวน 6 ตัวอย่างเพื่อนำมาแบ่งทดสอบอย่างละ 3 ตัวอย่างหลังเทดินเข้าแบบตั้งในอากาศให้ส่วนผสมเซ็ตตัว ดังรูปที่ 3.6

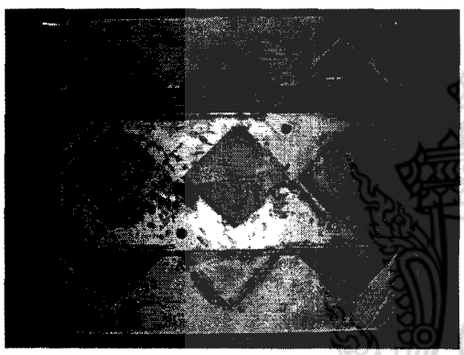
รูปที่ 3.5 การนำตัวอย่างดินเทลงแบบ



รูปที่ 3.6 ก้อนตัวอย่างหลังเทดินเข้าแบบ

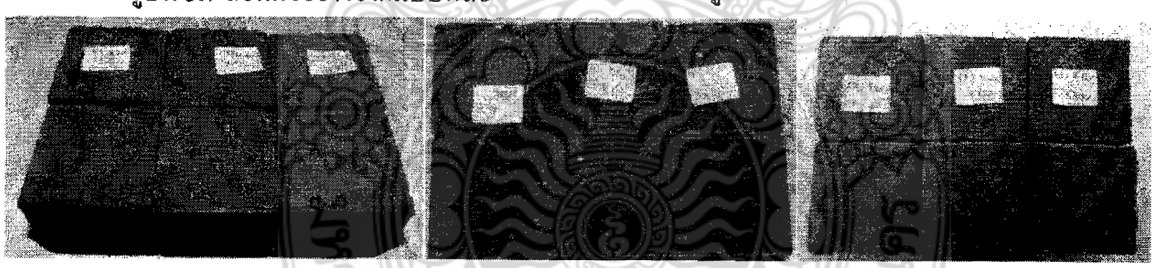
3.6.3.3 ทำการถอดแบบหล่อเมื่อครบ 24 ชั่วโมงและเขียนหมายเลขระบุการทดสอบเอาไว้ให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 3.7 และ 3.8

3.6.3.4 บ่มในอากาศ 28 วันก่อนนำไปทดสอบค่ากำลังอัดและค่าการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 3.7 ถอดตัวอย่างจากแบบหล่อ

รูปที่ 3.8 ก้อนตัวอย่างหลังถอดแบบ

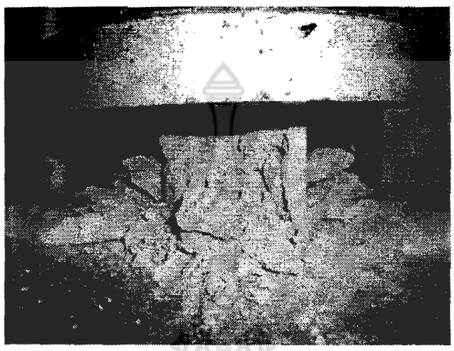


ก. แหล่งที่ 1 ข. แหล่งที่ 2 ค. แหล่งที่ 3

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างจากแบบหล่อหลังถอดจากแหล่งต่างๆ

3.7 ทดสอบคุณสมบัติของอิฐดินดิบ

3.7.1 ทดสอบกำลัง เมื่อครบกำหนดแล้วนำดินอัดที่บ่มในอากาศครบ 28 วันนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดตามมาตรฐาน ASTCM109 และความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTMC134 จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อทำการคัดเลือกสัดส่วนระหว่างดินลูกรัง น้ำ และซีเมนต์เหมาะสมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1505-2541 ชั้นคุณภาพ 4 ความหนาแน่น 710 ถึง 800กก./ ลบ.ม. กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 40 กก./ตร.ซม. โดยในแต่ละการตรวจสอบ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.10 ตัวอย่างหลังกดทดสอบ

จากรูปที่ 3.10 นำตัวอย่างดินมาทดสอบกำลังอัดกับเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต (universal testing machine) สังเกตการณ์วิบัติของก้อนตัวอย่างและจดบันทึก

$$\text{กำลังรับแรงอัด} = \frac{\text{น้ำหนักกดสูงสุด}}{\text{พื้นที่หน้าตัดรับแรงอัด}}$$

3.7.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

3.7.2.1 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้น โดยการวัดขนาดปริมาตรของก้อนตัวอย่างทดสอบแล้วเปรียบเทียบ

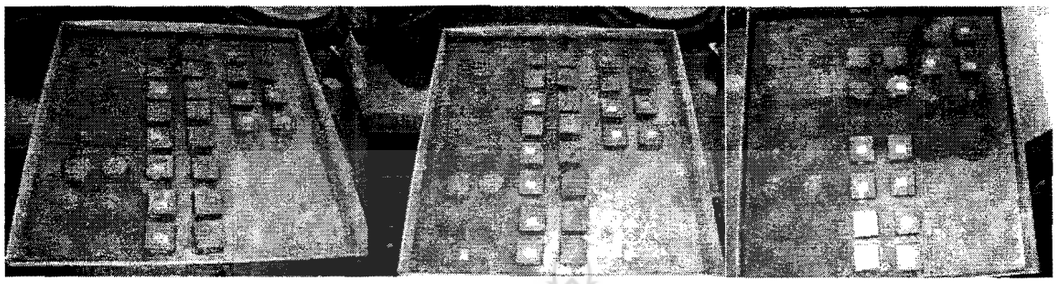
$$\text{การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจุดอิมตัวด้วยน้ำ} = \frac{\text{ปริมาตร V หลังแช่น้ำ} - \text{ปริมาตร V ก่อนแช่น้ำ}}{\text{ปริมาตร V ก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$

3.7.2.1 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการสูญเสียความชื้นจากการอบทำให้เกิดการหดตัวของตัวอย่างโดยการวัดขนาดปริมาตรของก้อนตัวอย่างทดสอบแล้วเปรียบเทียบ

$$\text{การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการหดตัว} = \frac{\text{ปริมาตร V หลังแช่น้ำ} - \text{ปริมาตร V หลังอบ}}{\text{ปริมาตร V หลังแช่น้ำ}} \times 100$$

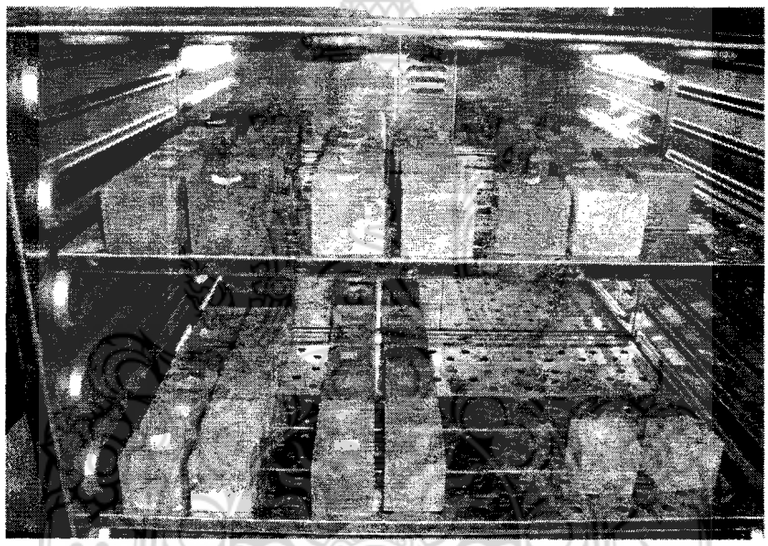
3.7.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ เป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นของตัวอย่างทดสอบ

$$\text{การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการหดตัว} = \frac{\text{น้ำหนักดินหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง} - \text{น้ำหนักดินก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักดินก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$



ก. แหล่งที่ 1 ข. แหล่งที่ 2 ค. แหล่งที่ 3

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างดินทดสอบการดูดซึมน้ำแหล่งต่างๆ



รูปที่ 3.12 ตัวอย่างดินทดสอบการหดตัว

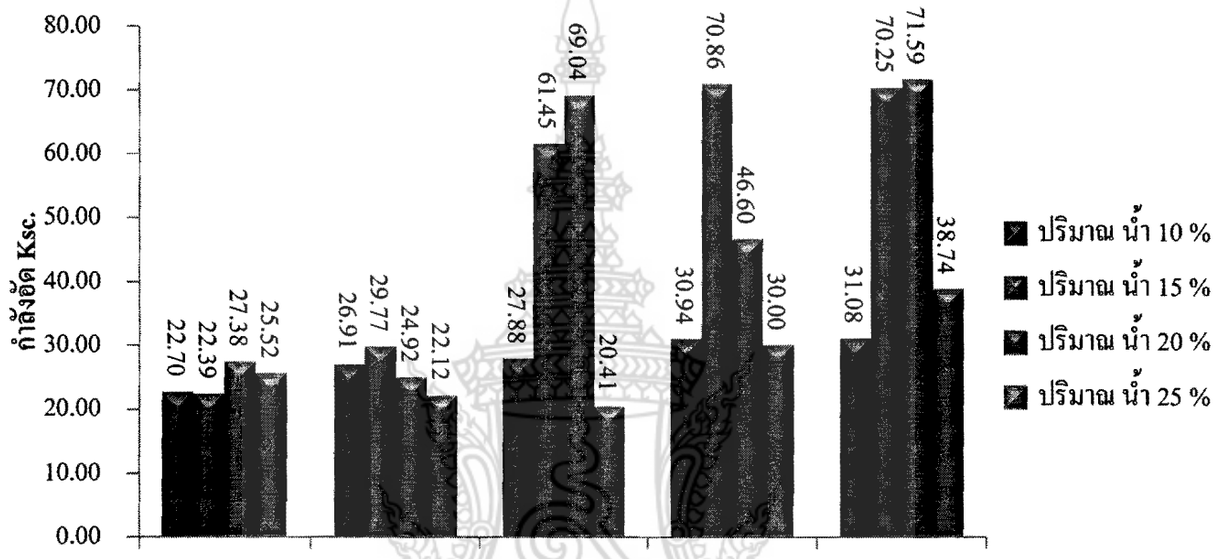
บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยมีผลดังนี้

4.1 ผลการทดสอบกำลังอัด

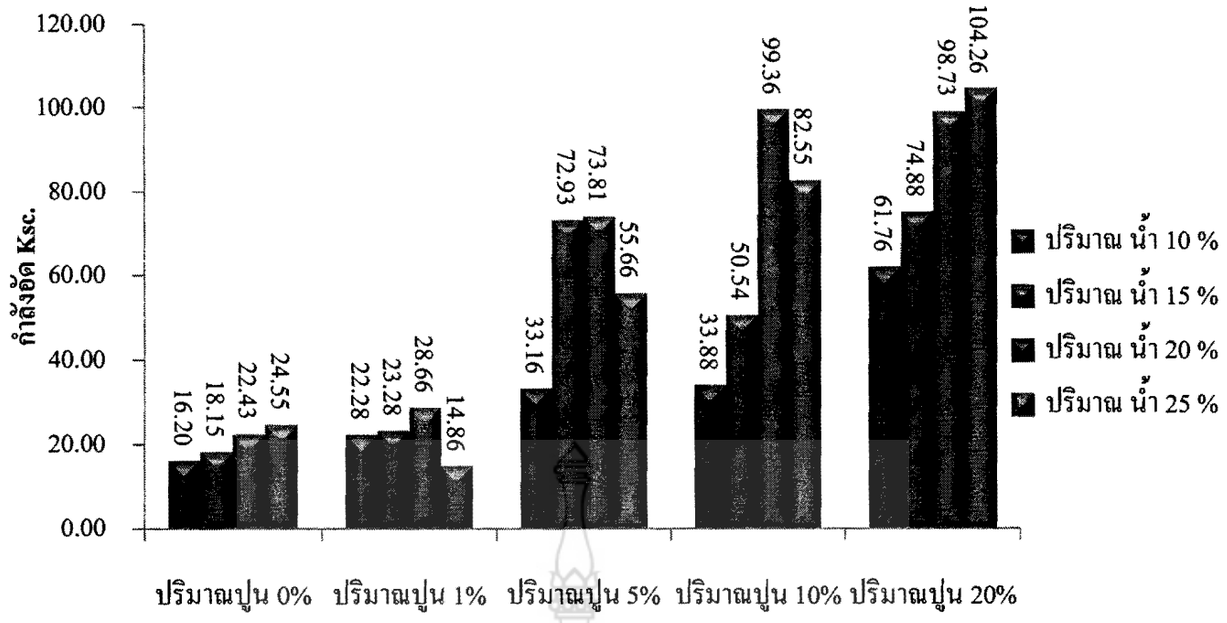
ผลการทดสอบการรับกำลังของดินซีเมนต์ หาค่าความพองตัวของดินซีเมนต์

4.1.1 ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 1 จังหวัด กาญจนบุรีจะเห็นได้ว่ามีค่ากำลังสูงตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.1



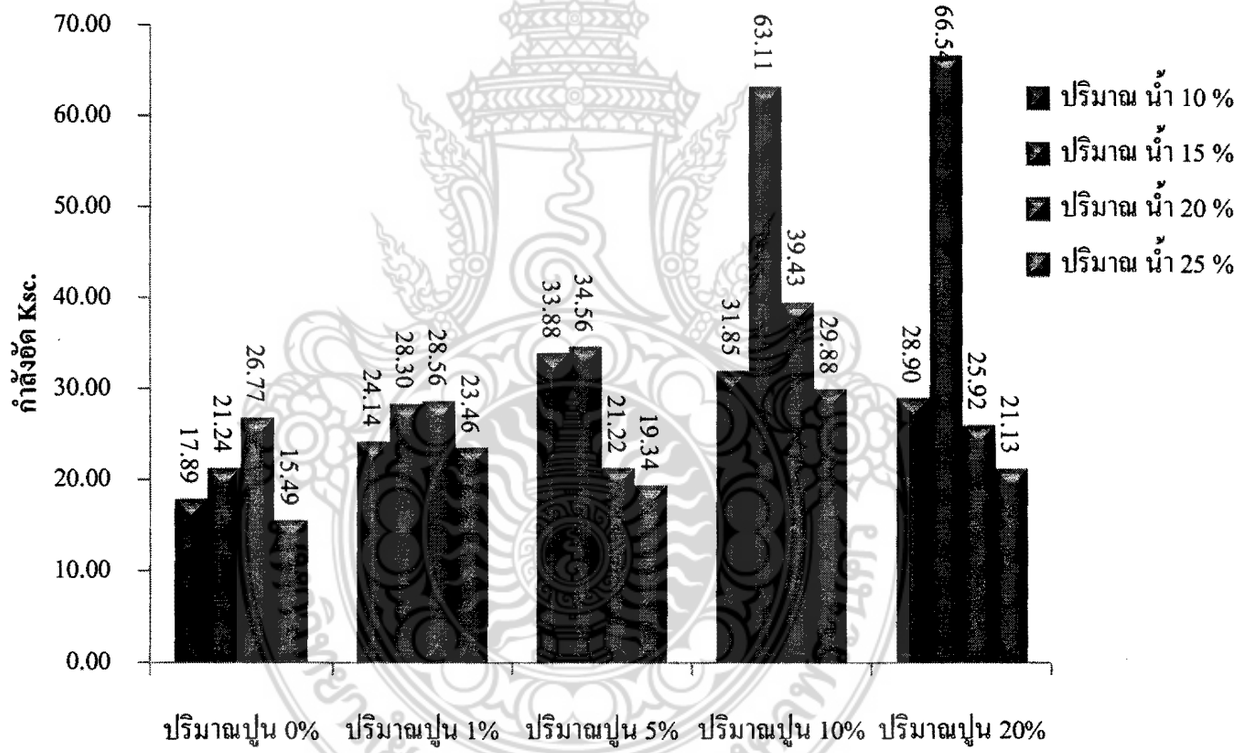
รูปที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 1 จังหวัด กาญจนบุรี

4.1.2 ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 2 จังหวัด ชลบุรีจะเห็นได้ว่ามีค่ากำลังสูงตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 2 จังหวัด ชลบุรี

4.1.3 ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 3 จังหวัด สระบุรีจะเห็นได้ว่ามีค่ากำลังสูงตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ผลการทดสอบกำลังอัด แหล่งที่ 3 จังหวัด สระบุรี

4.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการสูญเสียความชื้นในการทำให้ก้อนตัวอย่างแห้งจากแหล่ง 3 ดังตารางที่ 4.1 ซึ่งปริมาณปูนซีเมนต์ 0% และ 1% เมื่อนำไปแช่น้ำจะเกิดการสลายการยึดเกาะดังรูปที่ 4.4

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการสูญเสียความชื้น

ปริมาณปูน (%)	ความชื้น(%)	ปริมาตรการหดตัวจากการสูญเสียความชื้น (%)		
		แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3
0	10	na	na	na
1	10	na	na	na
5	10	7.96	12.95	na
10	10	6.90	10.72	na
20	10	5.27	5.1	6.96
0	15	na	na	na
1	15	na	na	na
5	15	7.89	7.86	na
10	15	5.92	6	na
20	15	0.35	5.93	5.01
0	20	na	na	na
1	20	na	na	na
5	20	7.86	9.84	na
10	20	5.96	6.96	11.61
20	20	0.01	7.84	9.69
0	25	na	na	na
1	25	na	na	na
5	25	11.57	10	na
10	25	7.80	7.94	5.93
20	25	2	0.96	14.02

4.2.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้นจนอิ่มตัวที่ 24 ชั่วโมงดังรูปที่ 4.4 ผลการทดสอบดังตาราง 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้น

ปริมาณปูน (%)	ความชื้น(%)	ปริมาตรจากการดูดความชื้นจนอิ่มตัว (%)		
		แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3
0	10	na	na	na
1	10	na	na	na
5	10	3.15	5.78	na
10	10	2.21	2.04	na
20	10	2.17	2.15	2.16
0	15	na	na	na
1	15	na	na	na
5	15	2.19	1.12	na
10	15	0.04	1	na
20	15	0.80	0.96	7.21
0	20	na	na	na
1	20	na	na	na
5	20	2.00	3.22	na
10	20	1.09	1.03	6.39
20	20	0.08	0.08	7.21
0	25	na	na	na
1	25	na	na	na
5	25	8.04	5.28	na
10	25	3.17	0.04	7.15
20	25	8.9	0.06	13.12

4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

ผลการทดสอบ การดูดซึมน้ำของดินดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างทดสอบ

ปริมาณปูน (%)	ความชื้น(%)	การดูดซึมน้ำ (%)		
		แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3
0	10	na	na	na
1	10	na	na	na
5	10	13.76	14.92	na
10	10	11.85	13.92	na
20	10	15.29	17.65	11.96
0	15	na	na	na
1	15	na	na	na
5	15	10.85	11.75	na
10	15	14.54	10.89	na
20	15	10.34	7.82	11.3
0	20	na	na	na
1	20	na	na	na
5	20	15.82	14.6	na
10	20	12.95	12.27	13.57
20	20	10.25	10.13	19.07
0	25	na	na	na
1	25	na	na	na
5	25	19.95	18.78	na
10	25	16.52	14.92	14.39
20	25	14	5.3	10.12

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

สรุปผล

5.1 จากผลการทดสอบกำลังอัด

ดินตัวอย่างดิน ทั้ง 3 แหล่งได้แก่ แหล่งที่ 1 จังหวัด กาญจนบุรี แหล่งที่ 2 จังหวัด ชลบุรี และแหล่งที่ 3 จังหวัด สระบุรี พบว่ากำลังของดินเพิ่มขึ้นตามรอยละปริมาณปูนที่เพิ่มขึ้นตามลำดับค่าอยู่ในช่วง 24.55-104.22 ksc.

5.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

จากผลการทดสอบวิจัยพบว่าตัวอย่างดินทุกแหล่งที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 0-1 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำไม่สามารถก่อตัวขึ้นรูปอยู่ได้ ดินที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 5-10 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอยู่ที่ 5.92-12.95 และ ดินที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 20 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำมีร้อยละการเปลี่ยนแปลงปริมาตรอยู่ที่ 0.01-6.96

5.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ

จากผลการทดสอบวิจัยพบว่าตัวอย่างดินทุกแหล่งที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 0-1 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำไม่สามารถก่อตัวขึ้นรูปอยู่ได้ ดินที่มีส่วนผสมของปริมาณปูนร้อยละ 5-20 ทุกความชื้นเมื่อนำไปแช่น้ำมีร้อยละการดูดซึมน้ำร้อยละ 10.25-19.95

5.4 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.4.1 ในการกระทุ้งตัวอย่างดินซีเมนต์ลงในแบบควรจะกระทุ้งให้สม่ำเสมอกันเพราะถ้ากระทุ้งแรงเกินไปหรือเบาเกินไปอาจจะทำให้ก้อนตัวอย่างทดสอบมีปริมาตรที่ไม่เท่ากันและจะส่งผลกระทบไปถึงการหาค่ากำลังอัดประลัย

5.4.2 ขณะที่ทำการทดสอบการวางก้อนตัวอย่างควรจะวางให้อยู่ระหว่างกลางของแท่นทดสอบและควรเช็คแผ่นกดก้อนตัวอย่างให้อยู่ขนานกับก้อนตัวอย่าง เพราะอาจจะทำให้ค่ากำลังอัดประลัยคาดเคลื่อน

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง (2513), รายละเอียดควบคุมการก่อสร้าง,กรมทางหลวงแผ่นดิน,กระทรวงคมนาคม กรุงเทพฯ, 22 หน้า

นพรัตน์ ท้วมประดิษฐ์ และ ประทีป ดวงเดือน (2543), อิธิพลของการบดอัดซ้ำต่อคุณสมบัติของดินลูกรังในการทดสอบการบดอัด ในห้องปฏิบัติการ, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ , ครั้งที่ 6 , ชะอำ เพชรบุรี, 10-12 พฤษภาคม 2543, หน้า (GTE-157)-(GTE-162)

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ (2528) ,กลสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย ศึกษาเน้นหนักการใช้ประโยชน์ในงานทางหลวง,รายงานฉบับที่ วว. 96 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง,115 หน้า

วรศักดิ์ ตันติวานิช และ สมหวัง ช่างสุวรรณ (2538), ธรณีวิทยาแหล่งดินลูกรังบริเวณภาคตะวันออกของประเทศไทย, รานงานฉบับที่ วว.134 กองวิเคราะห์และวิจัยกรมทางหลวง, 30 หน้า

วุฒิชัย วัยวุฒิเกียรติ (2526),การศึกษาคุณสมบัติและความสำพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

สุรชัย สิงห์สาธร และ ประทีป ดวงเดือน (2549), ผลของการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน, รูปร่างและความแข็งแรงทนทานของเม็ดดินที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง, , การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ , ครั้งที่ 11 , ภูเก็ต, 20-22 เมษายน2549, หน้า GTE 111

สุระพล สายพานิช,(2525), "การวิเคราะห์ข้อมูล" , รวมบทความทางวิชาการของ ดร.สุระพล สายพานิช เล่มที่ 2 ,ภาควิชาสุขาภิบาล คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, หน้า 1-12.

สุภาพร สนิทวงศ์ชัย.(2528),อิทธิพลของพลังงานบดอัดที่มีต่อดินลูกรัง,วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์,กรุงเทพฯ

ADELI,H., (1992), "Computer-aided Engineering in The 1990's" The International Journal of Construction Information Technology [Electronic], Vol. I, pp. 1-10

ALEXANDER,L.T. and CADY,J.G.(1962),Genesis and hardening of Laterite in soils, U.S. Dept. Agric., Tech.Bull.,1282,90 p.

AMERICAN ASSOCIATE OF STATE HIGHWAY OF FICIALS.(1971), Highway Materials, Part I .Specifications, 10th edition Washington, D.C.

ARCISZEWSKI, T. and ZIARKO,W.,(1992), "Machine Learning in Knowledge Acquisition", In Knowledge Acquisition in Civil Engineering, Arciszewski, T. and Rossman, L.A. (Eds.), American Society of Civil Engineering, New York, pp. 50-60

BALDOVIN,G.(1969),The shear strength of lateritic soils.Proc.Spec.Session Eng. Properties Lateritic Siols 1,pp.129-142

BAUER,M.(1898),Beitrage zur geologie der seyschellen insbeson dere zur kenntnis des laterits,pp.168-219. In M.D.Gidgasu (ed.). Lateritic soil engineering. Elsevier Sci. Pub.Co., New York.

BAWA,K.S.(1957), Lateritic Soils and their Engineering Characteristics,J. Soil Mech and Found. Div,American Society of Civil Engineers,Vol.83.1482,pp.1-15

BUCHANAN,F.(1807),A Journey from Madras thorough the Countrite of My sore, Canara and Malabar,2 East Indian Company London,pp.436-560

DE GRAFT – JOHNSONS, (1969), "The Engineering Characteristics of Laterite Gravels of Ghana" Proceeding of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Vol.1, , AIT, Bangkok, Thailand,pp.117-128

FERMOR,L.L.(1911),What is laterite. ,Geology Magazine,Vol.5,No.8,pp.453-462

GIDIGASU,M.D.(1976),Laterite Soil Engineering,Elsever Scientific Publishing Company,Amsterdam, New Yark,p.544

HILF, J.W.,(1956), An Investigation of Pore-Water Pressure in Compacted Cohesive Soils. Tech Memo. 654. U.S. Dept of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado. 654 p.

HOLLAND,T.H.(1903),The Constitution Orgin and De hydration of Laterite. Geol. Mag.14(10),pp.59-69

HONGENTOGER,C.A.,Jr.,(1936), Essentials of Soil Compaction. Proc. HRB 16, pp. 209-216

HONGSNGOI,M.(1969),Effect of method of preparation on the compaction and strength characteristic of lateritic soils, M. thesis, AIT, Bangkok, Thailand,108 p.

KOHONEN,M.,(1989), Self-Organization and Associative Memory, New York, Springer Verlag, 185 p.

KRINITZSKY,(1976), "Geology and Geotechnical Properties of Laterite Gravel", Technical report No.S-76-5,Soil and Pavement Laboratory,US Army Engineer Water ways Experiment Station,Vickburg,USA,30 p.

KRINITZSKY,E.L.,D.M.PATRICK and F.C.TOWNSEND.(1976),U.S.Army Engineer Water ways. Experiment Station Tech.Rep.No.5.154 p.

LACROIX,A.(1913),Les Laterites de la Guine'c et les produits d' alte'ration qui leur sont associe's,Nouv.Arch.Mus.Hist.Nat.,5,pp.255-356

LAMBE,T.W.(1958),The Engineering behavior of compacted clays.J.Soil Mech. Found. Divis, ASCE.84,pp.56-67

MAIGNIEN,R.(1966),Review of Research on Laterites,Nat.Resour.Res.IV UNESCO, Paris,148 p.\

MALLET,F.R.(1883),"On Laterite and other manganese ore occurring at Gosalpur, Jabalpur district",Rec.Geol.Surv.,India,Vol.16;pp.103-118

MARTIN,F.J. and DOYNE,H.C.(1927), Laterite and Lateritic soils in Sierra Leone, I.J. Agric Sci,17,pp.530-54

MARTIN,F.J. and DOYNE,H.C.(1930), Laterite and Lateritic soils in Sierra Leone, II.J. Agric Sci,20,pp.135-143

MINSKY,M, and PAPERT,S.,(1969), Perceptrons, Coambridge, MIT Press,195 p.

MOH,Z.C. and MUZHAR,F.M.,(1969), "Effect of Method of Preparation on Index Properties of Lateritic Soils", Proceeding of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Vol.1, , AIT, Bangkok, Thailand,pp.23-36

MOHR,F.C.J. and F.A.,VAN BEREN.(1954),Tropical Soils.Interscience,London.

MORRISON, H.J.(1965), A Report on Research and Development Progation for Laterite, Lateritic Soils, and Highway Construction in the Kingdom of Thailand , J.E. Greiner, Baltimore, Mareyland, U.S.A.

MOSELHI,O.,HEGAZY,T. and LORTERAPOING,P.,(1992), "Towards and Optimum Problem Solving Strategy", Proceedings of the AIENG, Canada, Waterloo, PP. 125-135

NEWILL,D.(1959),An investigation in to the relation for Ghanaian soils between organic matter content and the strength of soil-sement,Brit.Road Res.Lab.,Note,3572

OLSON,R.E.,(1963), Effective stress theory of soil compaction. J. Soil Mech. Found. Div. ASCE. 89(2) : 27-45

PENDLETON,R.L. and SHARASUVANS,S. (1946), "Analysis of Some Siamese Lateritic", Soil Science, Vol.62, No. 6, pp. 423-440

PORTLAND CEMENT ASSOCIATION.(1968), "Thickness Design for Concrete Pavement" Concrete Information, Soil and Pavement Illinois, USA.

PROCTOR,R.R.,(1993), Fundamental principles of soil compaction. Eng.News Rec,III : pp. 245-248

QUINONES,D.J.(1963),Compaction Characteristics of Tropically Weathered Soils. University of Illinois,Urbana.,134 p.

REMILLON,A.(1954),Les recherches rontie'res entrepries en Afriqued'expression from caise,pp.231-388. Engineering Elsevier Sci.Pub.Co.,New York.

RUENKRAIRERGSA,T., and WAIWUDTHIKEART,W., (1987), Mechanical Properties of Thatland Lateritic Gravel Bankgkok.

RUMELHART, D.E.,MC CLELLAND, J.L.,(1986), Parallel Distribute Processing Exploration in the Microstructure of Cognition, Vol.1 Foundation, Massachusetts, MIT Press, 655 p.

RUSSEL, L.C.(1889),U.S.Geol.Suev.Bull.No.52,65 p.

SADASHIV, M.C.,(1997), Pre-design Determination of Project Duration and Cost, Master of Engineering Thesis, Civil Engineering Program, Faculty of Engineering, Asian Institute of Technology, Bangkok, p. 117.

SEED,H.B. and C.K.,CHAN.,(1959), Structure and strength characteristic of compacted clays. J.Soil Mech. Found. Div.ASCE.85(5):87-128

SHUSTER,J.A.(1969), "Durability Testing of Lateritic Gravel for Thailand", Proceeding of Specialty Session on Engineering Properties of Lateritic Soils, Vol.2, , AIT, Bangkok, Thailand,pp.97-108

SOIL and PAVEMENT CONSULTANTS (1968),Geologic Field Study of Laterite and Lateritic Soil Source Along Highway in Thailand, Special Report,Soil and Pavement Consultant for Southeast Asia, Bangkok.

SRIBOONLUE,W. and ANURAJ,K.(1972),Properties of Laterite related to Position in Ground,Project Report No.C72-28,Department of Civil Engineering,Faculty of Engineering Khonkaen University.

VALLERGA,B.A. and RANANAND,N.(1969), "Characteristic of Lateritic Soil used In Thailand Road Construction", Highway Research Record, No. 284, 85 p.

WARAKORN KRIMWONGRAT.,(2000), "Subbase Design of Local Roads Using Local Materials in Eastern Thailand" ,A Theis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of Master of Engineering Civil Engineering Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Chulalongkorn University .

WINTERKORN,H.F. and H.Y. FANG.(1975), Foundation Engineering Hand book. Van Nostr and Reinhold, New York. 336 p.

YODER,E.J.,(1946), Compaction and strength characteristics of soil aggregate mixtures. Higway Res. Bd. Proc.26:511-520.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร