ศึกษาสีผิวอิฐดินดิบลูกรังด้วยวัสดุธรรมชาติ

The study of Color Surface of the Laterite soil Adobe by natural Color

นายนิโรจน์ เงินพรหม

Mr. Nirojn Ngenprom

งบประมาณ รายได้ (งบอุดหนุน) ประจำปี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประจำปี พ.ศ. 2554

The study of Color Surface of the Laterite soil Adobe by natural Color.

Mr.Nirojn Ngenprom

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon 2010

บทคัดย่อ

ศึกษาสีผิวอิฐดินดิบลูกรังด้วยวัสดุธรรมชาติ

นายนิโรจน์ เงินพรหม

Nirojn.n@rmutp.ac.th

พ.ศ. : 2554

จากการทดลองวิจัยพบว่าอัตราส่วนผสมของ ดินลูกรังผสมสีธรรมชาติสีครั่งและสีครามในระยะเวลาการบ่ม 28 วันตามข้อกำหนดมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สำหรับอิฐดินเผา (อิฐมอญ) ที่ว่าการต้านทานแรงอัดของอิฐจะต้องไม่น้อยกว่า 20 ksc ในทุกอัตราส่วนผสมไปถือว่านำไปใช้งานต่อไปได้

การเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาตรในระยะเวลา 28 วัน จากการทดสอบและบันทึกการเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาตร จากดิน 3 แหล่ง ได้แก่ บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรีและอำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี พบว่ามีความสำพันกับกำลังของดินคือดินที่มีความสามารถในการรับกำลังสูงจะมีการเปลี่ยนปริมาตรน้อยตามไปด้วย

การเปลี่ยนแปลงสีการติดของสีธรรมชาติทั้ง 2 สีในระยะเวลา 28 วัน โดยการเปรียบเทียบกับตัวอย่างก้อนอิฐที่ผสมกับน้ำประปา สีธรรมชาติในระดับที่ 1 ทั้ง 2 สี จะไม่แตกต่างกับสีของก้อนดินผสมน้ำประปา เกิดการติดของสีที่น้อยมากไม่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการเคลือบสีของสีธรรมชาติในระดับที่1 และ สีธรรมชาติในระดับที่ 2 ทั้ง 2 สีจะเกิดการติดของสีมากกว่าสีธรรมชาติในระดับที่ 1 ในอัตราส่วนผสม 10 % จะติดสีน้อยมาก อัตราส่วนผสม 15 % จะติดสีน้อย อัตราส่วนผสม 20 % จะติดสีปานกลาง อัตราส่วนผสม 25 % จะติดสีมาก ตามปริมาณสีที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ อิฐดินดิบ, ดินลูกรัง, ครั่ง, ห้อม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้โดยการสนับสนุนจากงบประมาณผลประโยชน์คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนางานวิจัยโดยใช้วัสดุธรรมชาติ รวมทั้งนักศึกษา ครู อาจารย์ และบุคคลากรทางการศึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในด้านต่างให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญการตาราง	จ
สารบัญรูปประกอบ	ฉ
บทที่	
1. บทนำ	1-3
1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการศึกษาวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2. วรสารปริทรรศน์	4-25
2.1 สีจากธรรมชาติ	4
2.1.1 สีจากครั่ง	4
2.1.2 สีครามจากพืช	8
2.2 ดินลูกรัง	9
2.2.1 คำจำกัดความของดินลูกรัง	10
2.2.2 กระบวนการเกิดดินลูกรัง	13
2.2.3 สภาวะของการเกิดดินลูกรัง	15
2.2.4 ชั้นของดินลูกรัง	16
2.2.5 การหาแหล่งดินลูกรัง	17
2.2.6 การจำแนกดินลูกรัง	17
2.2.7 ดินลูกรังในประเทศไทย	18
2.2.8 คุณสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์ ของดินลูกรัง	20
2.2.9 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง	21

	หน้า
3. วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	26-33
3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	26
3.2 กำหนดแหล่งดินลูกรังที่จะใช้ในงานวิจัยและวัสดุอุปกรณ์	26
3.3 เก็บตัวอย่างดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดินลูกรัง ดังกล่าวสำหรับทดสอบ	27
3.4 ออกแบบอัตราส่วนผสมดินลูกรังกับปริมาณน้ำสีธรรมชาติ	28
3.5 ทดสอบหาคุณสมบัติทางการภาพของดินลูกรังตัวอย่าง	29
3.6 หล่อก้อนตัวอย่างวัสดุทดสอบ	29
3.7 ทดสอบคุณสมบัติของอิฐดินดิบ	32
4. ผลการวิจัย	34-45
4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัด	34
4.2 เปรียบเทียบสีตัวอย่างทดสอบ	45
5. สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	46
เอกสารอ้างอิง	47

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1.1	ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1	ปริมาณซิลิก้า และเซสควิออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย	23
2.2	คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	24
3.1	ออกแบบอัตราส่วนผสม ของ ดินลูกรัง และสีจากธรรมชาติ	29
3.2	คุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินลูกรังตัวอย่าง	29
4.1	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี	34
4.2	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี	35
4.3	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดอำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี	36
4.4	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี	34
4.5	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี	38
4.6	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี	39
4.7	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง (บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี [A]) (อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี[B])และ(อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี[C])	40

สารบัญรูปประกอบ

รูปประกอบ		หน้า
2.1	แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง	10
2.2	แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง ตามวิธี Remillon	16
2.3	บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย	18
3.1	ตัวอย่างดินลูกรัง	26
3.2	ครั่งดิบ จังหวัดลำปาง	27
3.3	คราม จังหวัดแพร่	27
3.4	แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย	28
3.5	นำวัสดุที่เตรียมไว้มาผสมตามอัตราส่วน	30
3.6	นำตัวอย่างดินเทลงแบบ	30
3.7	ถอดแบบตัวอย่าง	31
3.8	ตัวอย่างดิน 3 แหล่งผสมสีธรรมชาติจากครั่ง	31
3.9	ตัวอย่างดิน 3 แหล่งผสมสีธรรมชาติจากคราม	31
3.10	กดตัวอย่างทดสอบหากำลัง	32
4.1	แสดงปริมาณอัตราส่วนผสม	41
4.2	แสดงผลการทดสอบกำลังอัดบ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี	42
4.3	แสดงผลการทดสอบกำลังอัดอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี	43
4.4	แสดงผลการทดสอบกำลังอัดอำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี	44
4.5	เปรียบเทียบสีตัวอย่าง	45

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 1 บทนำ

โครงการวิจัย ศึกษาสีผิวอิฐดินดิบลูกรังด้วยวัสดุธรรมชาติ

(The study of Color Surface of the Laterite soil Adobe by natural Color.)

1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

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

ปัจจุบันการสร้างบ้านดินมีการก่อสร้างที่ขยายตัวมากขึ้นโดยเฉพาะตามชนบทแต่ ปัญหาของบ้านดิน สิ่งที่พูดถึงกันมาก ก็คือเรื่องน้ำ ว่าโดยเฉพาะก็เรื่องฝน ที่สาดใส่ผนังดิน ครั้งแล้วครั้งเล่า เมื่อดินโดนน้ำก็ทำให้เปื่อย หลุดลุ่ยร่วงลงไปจากผนังทีละเล็ก ทีละน้อย แต่การทำหลังคาให้คุ้มฝน นั่นก็เป็นการแก้ปัญหานี้ไปได้มาก การก่อสร้างในที่สูงไม่ให้น้ำท่วมถึง ไม่ให้น้ำไหลผ่าน นั่นก็เป็นอย่างวิธีที่ทำกันเป็นเรื่องปกติ จึงอาจกล่าวได้ว่า บ้านบางหลัง ไม่ได้ประสบปัญหาเรื่องนี้เลย ส่วนในเรื่องฝนนั้นส่วนใหญ่ หลังคาที่ทำก็คุ้มฝน หรือจะมีโดนบ้าง ทำให้ผนังหลุดร่วงไปบ้าง ต้องซ่อมแซมอยู่เนือง ๆ บ้าง แต่เท่าที่เห็น บ้านบางหลังอายุเป็นร้อยปี ซึ่งก็ยังไม่เคยมีปรากฏว่ามีบ้านดินหลังไหนพังไปก่อนเวลาอันควรเพราะโดนฝนเซาะ หรือวิธีการที่คิดค้นกันขึ้นมาเพื่อช่วยผนังในการลดทอนพลังน้ำจากสายฝน เช่น การฉาบผนังให้เรียบด้วยเครื่องมือแบบช่างปูน ก็ทำให้น้ำผ่านไปอย่างรวดเร็ว แต่ถ้าฉาบด้วยมือ อาจจะทำให้น้ำผ่านได้ช้าลง อย่างนี้เป็นต้น ได้ผลอย่างไรหรือไม่นั้น ยังไม่มีการยืนยัน และวิธีเช่นนี้ก็เป็นเรื่องของรสนิยมด้วยว่า อยากได้บ้านดินที่ฉาบเรียบยังกับผนังปูน หรืออยากให้ผนังพริ้วเป็นระลอกคลื่นตามภาวะแห่งอารมณ์ และ ปลวกเป็นพลังแห่งธรรมชาติในการย่อยสลายสิ่งมีชีวิตที่ตายแล้วให้กลายเป็นดิน บ้านดินบางหลัง จึงเป็นทางผ่านให้ปลวกขึ้นไปสู่หลังคาได้โดยง่าย อันเป็นเหตุให้หลังคามีอายุสั้นกว่าที่ควร แต่นั่นก็เป็นไปในกรณีที่บ้านไม่มีคนอยู่ หรือไม่ได้มีคนดูแลซะมากกว่า บ้านที่มีคนอาศัยอยู่นั้นดูจะไม่ค่อยประสบปัญหานี้เท่าไหร่นัก อีกอย่างก็เห็นจะเป็น รา ในบ้านที่อยู่ภายใต้พุ่มพฤกษ์พงไม้ ในถิ่นที่ฝนตกชุก ซึ่งมีความชื้นมาก ก็ปรากฏมีราขึ้นเป็นรอยด่างดวงที่ผนังบ้าน ซึ่งว่ากันโดยรวมแล้วทั้งปลวกทั้งรา ก็ไม่ใช่ปัญหาใหญ่แต่กระการใด หากอยู่อาศัยในบ้าน บ้านก็จะได้รับการดูแล ทำความสะอาดเสมอ ๆ ใจที่ใส่ลงไปในความเป็นบ้าน ก็ลดปัญหาเหล่านี้ไปได้มาก แต่ ความรู้สึก ความคุ้นเคย ของยุคสมัยกลายเป็นปัญหาอันหนึ่ง ตามบอกเล่าของผู้เฒ่าแห่งบ้านดิน ว่ากันว่า คนรุ่นใหม่บอกว่า บ้านดิน ไม่สวย โบราณ ไม่ทันสมัย ซอมซ่อ สีไม่สวยจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มสีสันให้กับการทำบ้านดิน หรือ อิฐ

ดินดิบด้วยวัสดุธรรมชาติ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้อยู่อาศัย และไม่เป็นอันตรายต่อผู้อาศัยและสิ่งแวดล้อมโดยใช้สีธรรมชาติ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 ศึกษาสีธรรมชาติเคลื่อบผิวอิฐดินดิบลูกรัง

1.2.2 ศึกษากระบวนการเคลื่อบผิวอิฐดินดิบลูกรัง

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 งานวิจัยครั้งนี้ใช้วัสดุดินดิบลูกรัง 3 แหล่ง

1.3.2 ใช้สีธรรมชาติเคลื่อบผิวอิฐดินดิบลูกรัง2 ชนิด คือ สีจากครั่ง และสีจากต้นมอห้อม

1.3.3 ศึกษาความสามารถในการดูดกลืนน้ำตัวตัวอย่างทดสอบ ขนาด 5x5x5 cm.

1.3.4 ใช้อิฐดินดิบตัวอย่าง ขาด 5x5x5 cm.

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน มีดังต่อไปนี้

วิธีการดำเนินการวิจัย	**สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล**
1. ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
2. กำหนดแหล่งดินลูกรังที่จะใช้ในงานวิจัยรวมทั้งจัดหาสีธรรมชาติจากครั่ง,มอห้อมและจัดหาจัดซื้ออุปกรณ์ ครุภัณฑ์	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
3. เก็บตัวอย่างดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดินลูกรัง ดังกล่าวสำหรับทดสอบ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร จังหวัดตัวอย่างดินลูกรัง
4. สกัดสีธรรมชาติเพื่อเคลื่อบผิววัสดุ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
5. ออกแบบอัตราส่วนผสมดินลูกรังกับปริมาณน้ำและออกแบบการเคลื่อบผิวปริมาณที่ใช้สี	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
6. หล่อก้อนตัวอย่างตามที่ออกแบบส่วนผสม	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
7. ทดสอบการติดของสีความเข็มของสี	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
8. ทดสอบคุณสมบัติของอิฐดินดิบ	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
9. วิเคราะห์ผล และสรุปผลการวิจัย	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัย

	เทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
10. จัดทำรายงาน ถ่ายทอดเทคโนโลยีและเผแพร่ผลงาน	คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 นำสีธรรมชาติจากทดลองวิจัยไปผลิตเป็นวัสดุเคลื่อบผิวอิฐดินดิบอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดปัญหาโลกร้อน

1.5.2 เป็นการบริหารสิ่งที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดขยะอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต

1.5.3 ผลงานวิจัยสามารถตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

1.5.4 งานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดีเนื่องจากดินลูกรังและสีธรรมชาติจากพืช เป็นทรัพยากรจากธรรมชาติมีในประเทศ (จังหวัดกลุ่มเป้าหมาย)สามารถทำให้เป็นวัตถุดิบผลิตเป็นสินค้าชุมชนส่งเสริมระบบเศรษฐกิจท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

บทที่ 2 วรสารปริทรรศน์

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

2.1 สีจากธรรมชาติ

มนุษย์ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันได้นำสีจากธรรมชาติมาใช้ในกิจกรรมต่างๆมากมายและปัจจุบันมีการคิดค้นสีสังเคราะห์ที่ทำให้เกิดผลเสียต่อสุขภาพ ดังนั้นการใช้สีจากธรรมชาติไม่ผ่านกระบวนการทางเคมีก็จะเป็นผลดีต่อสุขภาพและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืนต่อไป

2.1.1 สีจากครั่ง

ครั่ง มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า แลกซิเฟอร์ แลคคา (Laccifer lacca Kerr) ครั่งเป็นแมลงชนิดหนึ่งตัวสีแดง ขนาดเล็กมาก อาศัยอยู่บนต้นไม้ ทำรังเป็นยางแข็งหุ้มกิ่งไม้ไว้เพื่อป้องกันตนเองให้พ้นภัยจากศัตรู ตัวครั่งมีประโยชน์ ใช้ทำสีสำหรับย้อมผ้าไหม หรือย้อมหน้าฟอกสีได้ รังครั่งมีประโยชน์ ใช้ทำสิ่งของได้หลายอย่างใช้เคลือบผ้าพันสายไฟฟ้า หรือเคลือบเม็ดยาให้เป็นมัน หรือทำสีผสมอาหารก็ได้ นอกจากนั้นยังใช้ทำสิ่งของชนิดอื่นๆได้อีกมากมายหลายชนิด ประโยชน์ที่สำคัญของครั่งคือ ใช้ทำแชลล์แลกสำหรับทาไม้ให้ขึ้นเงางดงามใช้ได้ทนทาน ครั่ง ถือว่าเป็นของใช้กันมาตั้งแต่โบราณด้วยคุณสมบัติที่จะละลายเมื่อถูกความร้อน และจะแข็งตัวเมื่อเย็นลง คนสมัยโบราณใช้ครั่งสำหรับการปิดผนึกของสำคัญๆ นับตั้งแต่ของส่วนตัวไปจนถึงทรัพย์สมบัติที่มีค่าของประเทศถึงแม้ว่าทุกวันนี้จะมีเครื่องมือทันสมัยมาทำหน้าที่แทนครั่งได้ แต่ว่าภาระกิจสำคัญๆ ของชาติหลายๆ อย่างก็มีครั่งเข้ามามีส่วนประกอบที่เกี่ยวข้องด้วยครั่งนั้นยังเป็นที่ต้องการของหลายประเทศทีเดียว แต่ว่ามีเพียงไม่กี่ประเทศเท่านั้นที่สามารถผลิตครั่งส่งออกได้ ประเทศไทยถือเป็นประเทศที่ส่งออกครั่งได้เป็นอันดับหนึ่งของโลกข้อมูลจากกรมส่งเสริมการเกษตร บอกไว้ว่า ครั่ง คือยางหรือชันชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นสารที่ขับถ่ายออกจากตัวแมลงครั่ง แมลงครั่งจะอาศัยอยู่ตามกิ่งไม้ที่ใช้เลี้ยงครั่งและใช้ปากซึ่งมีลักษณะเป็นปากดูดเจาะเข้าไปในกิ่งของต้นไม้เพื่อดูดน้ำ เลี้ยงมาเป็นอาหารและขับถ่ายครั่งออกมาจากภายในตัวครั่งตลอดเวลาเพื่อห่อหุ้มตัวเป็นเกราะป้องกันอันตรายจาก สิ่งภายนอก มีลักษณะ นิ่มเหนียวสีเหลืองทอง เมื่อถูกอากาศนานเข้าจะแข็งและมีสีน้ำตาล ครั่งที่เก็บได้จากต้นไม้เรียกว่า ครั่งดิบ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เรซิน ขี้ผึ้ง สี ซาก ตัวครั่ง และสารอื่น ๆ ส่วนที่ใช้เป็นประ โยชน์ในทางอุตสาหกรรมคือ สีครั่ง และเนื้อครั่งเราสามารถใช้ ประโยชน์จากครั่งมากมาย เช่น ใช้สีจากครั่งในการย้อมผ้า ย้อมไหม ย้อมหนังสัตว์ ใช้ครั่งตกแต่งเครื่องใช้เครื่องเรือนให้สวยงาม ใช้เป็นส่วนประกอบในยาแผนโบราณเพื่อรักษาโรคบางชนิด นอกจากนี้ยังใช้ประโยชน์ด้านอุตสาหกรรมอีกมากมายทีเดียว สุดที่จะพรรณนาไว้ ณ ที่นี้ปัจจุบันการซื้อขายครั่งได้กระทำกันอย่างกว้างขวาง มีโรงงานผลิตอุตสาหกรรมครั่งในประเทศไทย ส่วนใหญ่โรงงานเหล่านี้จะผลิตครั่งเม็ดเพื่อส่งออกตลาดต่างประเทศ ตลาดภายในประเทศได้แก่ โรงงานอุตสาหกรรม และร้านค้าของป่าทั่วไป โรงงานอุตสาหกรรมจะรับซื้อครั่งจากเกษตรกร

โดยตรง หรือผ่านคนกลาง ซึ่งมีหน้าที่จัดหาครั่งป้อนโรงงาน สำหรับกรณีที่ปริมาณครั่งไม่มากนัก จะมีการซื้อขายกันตามร้านค้าของป่า ซึ่งร้านค้าเหล่านี้จะทำการรวบรวมครั่งแล้วนำส่งโรงงานเพื่อแปรสภาพต่อไป การ เลี้ยงครั่งทำได้ ไม่ยุ่งยาก แต่ต้องมีต้นไม้ที่เหมาะสม ต้นไม้ที่นิยมเลี้ยงครั่งคือต้นจามจุรี "ฉำฉา" หรือว่า "ก้ามปู"

มนุษย์รู้จักครั่งมาแต่โบราณ ชาวจีนใช้สีแดงที่ได้จากรังครั่งย้อมผ้าไหม และหนังฟอกมานานกว่า ๔,๐๐๐ ปี ส่วนชาวอินเดียเมื่อ ๒,๐๐๐ ปีกว่ามาแล้วใช้ครั่งเป็นสมุนไพร โดยเข้าใจว่าครั่งซึ่งมีลำตัวเป็นสีแดงเป็นยาเพิ่มโลหิตให้แก่มนุษย์ ต่อมาเมื่อประมาณร้อยปีมานี้ ได้มีผู้คิดแยกเชลแล็กออกจากครั่งได้ นำมาใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ ที่สำคัญคือ ใช้ทำน้ำมันชักเงา ทาพื้นไม้และเครื่องเรือนทำให้ไม้เป็นเงางาม ทนทาน การใช้เชลแล็กเป็นที่นิยมใช้กันทั่วโลก

การแยกเชลแล็กจากรังครั่งทำได้ไม่ยาก เมื่อครั่งทำรังโตได้ที่แล้วผู้เลี้ยงก็จะตัดกิ่งไม้ที่รังครั่งอยู่ ลงมากะเทาะเอารังครั่งออก เรียกครั่งที่ได้นี้ว่าครั่งดิบ จากครั่งดิบเขาต้องนำไปตากให้แห้ง แล้วส่งเข้าโรงงาน ทำเป็นครั่งเม็ดต่อจากนั้นจึงนำไปทำเป็นเชลแล็ก

เชลแล็กมีลักษณะเป็นแผ่นบางใส มีสีต่าง ๆ กันตั้งแต่เหลืองเข้มจนถึงน้ำตาลแก่แล้วแต่สีของครั่งดิบกับสิ่งไม่บริสุทธิ์ซึ่งปะปนมากับเชลแล็กนั้น ครั่งดิบที่ดีที่สุดได้จากการเลี้ยงครั่งด้วยต้นตะกร้อ ส่วนสิ่งที่มักปะปนมากับเชลแล็ก ได้แก่ ตัวแมลงครั่งและเศษไม้ เชลแล็กที่มีราคาสูงมีสีเหลืองส้ม ในประเทศไทย การเลี้ยงครั่งทำได้สะดวก เนื่องจากสภาพดินฟ้าอากาศอำนวย ต้นไม้ที่ครั่งชอบซึ่งได้แก่ ตะกร้อ ทองกวาว สะแก จามจุรี และอื่น ๆ อีก หลายชนิด ขึ้นได้งอกงามดีมาก ทำให้สามารถเก็บครั่งขายได้ถึงปีละสองครั้ง เราส่งทั้งครั่งดิบ ครั่งเม็ด และเชลแล็ก ออกไปขายต่างประเทศ ส่วนมากเป็นครั่งเม็ด ปัจจุบันมีโรงงานผลิตเชลแล็ก และครั้งเม็ดภายในประเทศอยู่ประมาณ ๒๐ โรงงาน ครั่งเป็นสินค้าเศรษฐกิจอย่างหนึ่งของประเทศไทย

2.1.1.1 สถานการณ์การผลิตครั่ง

แมลงครั่งเป็นเพลี้ยชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นแมลงเบียดเบียนต้นไม้ จึงนับว่าเป็นศัตรูของต้นไม้ที่ครั่งอาศัยอยู่ แมลงครั่ง จะใช้ปากซึ่งเป็นงวงดูดน้ำเลี้ยงจากต้นไม้ เพื่อใช้เลี้ยงชีวิตและระบายยางครั่งที่มีลักษณะเหนียวสีเหลืองทองออกมาเป็น เกราะหุ้มตัว เพื่อป้องกันอันตรายจากศัตรูต่าง ๆ ยางเหนียว ๆ นี้จะเอามาใช้ประโยชน์ในการทำครั่งดิบ(Stich Lac) ครั่งเม็ด (Seed Lac) ครั่งแผ่น (Button Lac) การเจริญเติบโตของแมลงครั่งจากไข่เป็นตัวอ่อน ดักแด้ และตัวแก่ ตามลำดับ การเลี้ยง ครั่งลงทุนน้อยไม่ต้องดูแลมาก ถึงเวลาเก็บเกี่ยวผลผลิตจะได้รายได้ดี

2.1.1.2 การเลี้ยงครั่ง

ครั่ง คือ ยางหรือชันชนิดหนึ่ง ซึ่งเป็นสารที่ขับถ่ายออกจากตัวแมลงครั่ง แมลงครั่งจะอาศัยอยู่ตามกิ่งไม้ที่ใช้เลี้ยงครั่ง และใช้ปากซึ่งมีลักษณะเป็นปากดูดเจาะเข้าไปในกิ่งของต้นไม้เพื่อดูดน้ำเลี้ยงมาเป็นอาหารและขับถ่ายครั่งออกมาจากภายในตัวครั่งตลอดเวลาเพื่อห่อหุ้มตัวเป็นเกราะป้องกันอันตรายจากสิ่งภายนอก มีลักษณะนิ่มเหนียวสีเหลืองทอง เมื่อถูกอากาศนานเข้าจะแข็งและมีสีน้ำตาล ครั่งที่เก็บได้จากต้นไม้เรียกว่าครั่งดิบ ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ เรซิน ขี้ผึ้ง สี ซาก ตัวครั่ง และสารอื่น ๆ ส่วนที่ใช้เป็นประโยชน์ในทางอุตสาหกรรมคือ สีครั่ง และเนื้อครั่ง

ในประเทศไทยมีการเลี้ยงครั่งมากทางภาคเหนือตอนบน เช่น ลำปาง ลำพูน น่าน พิษณุโลก เชียงใหม่ พะเยา เชียงราย แพร่ สุโขทัย เป็นต้น และในภาคเหนือตอนล่าง เช่น กำแพงเพชร นครสวรรค์ ส่วนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น อุบลราชธานี ขอนแก่น อุดรธานี นครพนม ร้อยเอ็ด มหาสารคาม เลย หนองคาย สกลนคร ศรีสะเกษ และบุรีรัมย์ เป็นต้น ปัจจุบันได้มีหน่วยงานหลายแห่งให้ความสำคัญและเริ่มดำเนินการส่งเสริมการเลี้ยงครั่งอย่างจริงจังมากขึ้น ซึ่งจะทำให้อาชีพการเลี้ยงครั่งเป็นอาชีพเสริมของเกษตรกรที่จะเพิ่มรายได้ให้แก่เกษตรกรในอนาคตต่อไป

ครั่งที่เก็บได้จากต้นไม้เรียกว่า " ครั่งดิบ" ซึ่งมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ เรซิ่น ขี้ผึ้ง สี ซากตัวครั่ง และสารอื่น ๆ ในอดีตเกษตรกรในชนบทรู้จักครั่งดิบเป็นอย่างดี เพราะนิยมนำมาใช้ประโยชน์ ในการเข้ามีด ซึ่งเป็นการเชื่อมต่อระหว่างเหล็กที่เป็นตัวมีดและด้ามมีดที่เป็นไม้เนื้อแข็ง ทำให้สามารถนำมีดไปใช้ประโยชน์ได้อย่างสะดวก ทนทาน นอกจากนี้ยังใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ มากมาย อาทิ สีผสมอาหาร ใช้เป็นฉนวนในการทำอุปกรณ์ เช่น สวิทไฟฟ้า ใช้ทำแลคเกอร์ สีทารถยนต์ สีทาเล็บ อุตสาหกรรมยาขัดรองเท้า ทำน้ำยาขัดเงา น้ำมันขัดพื้น ใช้ในอุตสาหกรรม กระดาษ หมึกพิมพ์กันน้ำ น้ำมัน เครื่องห่อวัตถุระเบิด เคลือบยาเม็ด เคลือบเวชภัณฑ์ ทำกาวแผ่น พรมน้ำมัน ของเล่นเด็ก เครื่องประดับ และอุตสาหกรรมแกะสลักต่างๆ

2.1.1.3 ผลผลิตครั่ง

ครั่งดิบ (Stick Lac) ซึ่งเป็นครั่งที่ผู้เลี้ยงแกะหรือขุดออกจากกิ่งไม้ต้นไม้ที่ใช้เลี้ยงครั่งเหลือแต่เนื้อครั่ง จะมีวัตถุเจือปนอยู่หลายอย่าง เช่น ชัน สีครั่ง ขี้ผึ้ง ซากของแม่ครั่งที่ตาย กิ่งหรือเปลือกไม้ เป็นต้น

ครั่งเม็ด (Seed Lac) เป็นครั่งดิบที่นำมาแยกสิ่งเจือปนออกโดยการตำหรือบดครั่งดิบให้แตกออกเป็นก้อนหยาบ ๆ หลังจากนั้นนำไปร่อนผ่านตระแกรง และนำเอาครั่งที่ได้ไปล้างน้ำ จะได้ครั่งสีแดง ซึ่ง

จะนำไปย้อมผ้าได้ การล้างครั่งจะล้างจนกระทั่งน้ำใส จึงนำเอาครั่งที่ได้ออกตากในที่ร่มที่มีลมผ่านตลอดเวลา จะได้ครั่งที่มีความชื้นประมาณร้อยละ 8-13 ก็สามารถจำหน่ายได้ (ครั่งดิบ 100 กิโลกรัม จะผลิตครั่งเม็ดได้ 80 กิโลกรัม)

เชลแลค (Shellac) เป็นครั่งที่นำมาจากครั่งดิบและครั่งเม็ด บรรจุในถุงผ้าให้ความร้อน และบิดถุงผ้าให้แน่นเข้าเรื่อย ๆ เนื้อครั่งจะค่อย ๆ ซึมออกจากถุงผ้าใช้มีดหรือวัสดุปาดเนื้อครั่งที่ซึมออกมาใส่บนภาชนะที่อังด้วยความร้อนจากไอน้ำ จะช่วยให้เนื้อครั่งนั้นมีความอ่อนตัว หลังจากนั้นนำเนื้อครั่งที่ได้มาทำการยืดเป็นแผ่นบาง ๆ ในขณะที่ครั่งยังร้อนอยู่แล้วปล่อยให้เย็น จึงหักออกเป็นชิ้นเล็ก ๆ เรียกว่า "เชลแลค" (ครั่งดิบประมาณ 100 กิโลกรัม หรือครั่งเม็ดประมาณ 85 กิโลกรัม ใช้ทำเชลแลคได้ 65 กิโลกรัม)

ครั่งแผ่น (Button Lac) หรือ "ครั่งกระดุม" เป็นครั่งที่นำมาหลอดออกทำเป็นแผ่นกลมลักษณะคล้ายกระดุม มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 3 นิ้ว และหนาประมาณเศษหนึ่งส่วนสี่นิ้ว ครั่งแผ่นมีวิธีทำคล้ายกับเชลแลค แต่ต่างกันที่เมื่อทำการย้ายครั่งที่หลอมละลายดีแล้ว ใช้เหล็กป้ายครั่งซึ่งกำลังร้อน ๆ อยู่ หยอดลงไปบนแผ่นเหล็กหน้าเรียบที่สะอาดและขัดเป็นเงาให้ได้ขนาดที่ต้องการ ทิ้งไว้ให้เย็น จะได้ครั่งแผ่นที่ต้องการ

2.1.1.4 การส่งออกครั่ง

ผลผลิตครั่งที่มีการส่งออกเป็นครั่งดิบ ครั่งดิบมีการแปรรูปเป็นครั่งเม็ดและแชลเลค ไปประเทศต่าง ๆในปี 2549 ดังนี้ สหราชอาณาจักรอาหรับอมิเลต ออสเตรเลีย แคนาดา สวิสเซอร์แลนด์ จีน เยอรมัน เดนมาร์ก กรีก สเปน เอธิโอเปีย ฝรั่งเศส ฮ่องกง ฮังการี อินโดนีเซีย อิสราเอล อินเดีย อิตาลี จาไมก้า ญี่ปุ่น เกาหลี ลาว ศรีลังกา พม่า มาเลเซีย ไนจีเรีย เนเธอร์แลนด์ ฟิลิปปินส์ ปากีสถาน ซาอุดิอาราเบีย สิงค์โปร์ ไต้หวัน เวียดนาม เยแมน และอัฟริกาใต้ รวมเป็นเงิน 899,209,547 บาท โดยส่งออกประเทศอินเดีย 107 ล้านบาท และประเทศญี่ปุ่น 104 ล้านบาท มากสุดตามลำดับ โดยมีปริมาณ ครั่งดิบ(Stich Lac) จำนวน 370,440 ตัน ครั่งเม็ด (Seed Lac) จำนวน 5,181210 ตัน ครั่งแผ่น (Button Lac) จำนวน382,300 ตัน

2.1.1.5 ปัญหาการผลิตครั่ง

ราคาครั่งดิบปี 2551 กิโลกรัมละ 20-25 บาท จากปีที่แล้วราคา 40-60 บาท/กก. การใช้ประโยชน์ในการใช้ไขจาก ครั่งนำมาเคลือบยืดอายุสินค้าเกษตรผลไม้ที่อ่อนไหวง่ายให้อยู่ได้นาน ใช้ทดแทนการใช้พลาสติกมาเคลือบชอกโกแลต และการสกัดสีจากครั่งมาย้อมผ้าไหมและหนัง และการใช้ภูมิปัญญาท้องถิ่นในการใช้ครั่งกับเรื่องราวในชีวิตประจำวัน การใช้ครั่งเป็นตัวบ่งบอกความปลอดภัยในการใช้สารเคมี และการเพิ่มหลักสูตรฝึกอบรมการใช้ประโยชน์จากครั่ง

2.1.2 สีครามจากพืช

สีครามหรือสีน้ำเงินเข็มเป็นสีที่ชาวบ้านในอดีตและปัจจุบันนิยมและมีพืชนางชนิดที่สามารนำมาผ่านกระบวนการจากภูมิปัญญาชาวบ้านสามมารถนำสีมาใช้ในการย้อมและผสมในการทำสีต่างๆ

2.1.2.1 ต้นห้อม

เป็นพืชชนิดหนึ่งสีสามารถนำมาทำให้เป็นสารสีครามสำหรับย้อมผ้าได้ ห้อมเป็นพืชสกุล Baphicacanthus วงศ์ ACANTHACEAE ชนิด cusia Brem มีชื่อเรียกแตกต่างกันแต่ละท้องถิ่นเช่น ทั่วไปเรียก คราม แม่ฮ่องสอนเรียกครามดอย น่านเรียกห้อมเมือง ห้อมหลวง เชียงใหม่ เชียงราย แพร่ ลำปาง เรียกห้อมน้อยลักษณะเป็นไม้พุ่ม ลำต้นตั้งตรงมีกิ่งก้านสาขา ใบเป็นใบเดี่ยวเรียงตรงกันข้ามรูปวงรี ขอบใบหยักเป็นฟันเลื่อยละเอียด ดอกออกเป็นช่อที่ซอกใบมีดอกย้อยหลายดอก กลีบดอกสีม่วงเชื่อมติดกันเป็นหลอดโค้งงอเล็กย้อย ลำต้นสูงประมาณ50-100 เซนติเมตร ขยายพันธุ์ด้วยลำต้นนำมาปักชำไว้รากจะงอกบริเวณข้อ ห้อมชอบอยู่ในที่ร่มเย็น แดดรำไร มีน้ำซึมตลอดเวลา ใบห้อมสามารถเก็บมาใช้ทำสีน้ำเงินได้ต่อเนื่องเมื่อย่างเข้าปีที่2 ระยะของการเก็บไม่จำกัดแล้วแต่จะออกแขนงช้าหรือเร็ว ถ้าห้อมต้นใหญ่ มีมากจะตัดทั้งกิ่งและใบมาใช้ ถ้าต้นเล็กใช้ใบเป็นหลัก ห้อมบริเวณนี้จะมีอายุถึง8-9 ปีในจังหวัดแพร่พบที่บ้านแม่ลัว บ้านนาตองซึ่งเป็นพื้นที่มีความชุ่มเย็น บนพื้นที่สูง แต่ยังขาดการจัดการในการปลูกเพื่อผลิตเชิงธุรกิจได้

2.1.2.2 ต้นคราม

เป็นแหล่งสีครามธรรมชาติ เป็นพืชสกุล Indigofera วงศ์ PAPILIONACEAE ชนิด tinctoria Linn. มีชื่อเรียกทั่วไปว่า “คราม” และเรียกแตกต่างแต่ละถิ่น เช่นกระเหรี่ยงแม่ฮ่องสอนเรียก นอยอ นะยอ เชียงใหม่เรียกครามดอย (elliptica Roxb) ครามเขา ครามขน(hirsute Linn, local Craib) ครามป่า(sootepensis Craib) ลักษณะทั่วไปเป็นพืชตระกูลถั่วขนาดย่อม ลำต้นสูงประมาณ100-160 เซนติเมตร แตกกิ่งก้านสาขาเป็นพุ่ม ใบประกอบแบบขนนกเรียงสลับ ปลายใบเดี่ยว ใบย่อยรูปรี ดอกช่อ ออกตามซอกใบ ดอกย่อยรูปดอกถั่ว กลีบดอกสีชมพู ผลเป็นผัก มีทั้งฝักตรงและฝักโค้ง ภายในฝักมี 7-12 เมล็ด รากเป็นระบบรากแก้ว ลำต้นประกอบด้วยข้อและปล้อง มีตาและตาดอกเกิดขึ้นบริเวณข้อ แล้วเกิดเป็นช่อดอกในภายหลัง แต่ละดอกประกอบด้วยกลีบดอก 4 กลีบ เกสรตัวผู้ 10 อัน เกสรตัวเมีย 1 อัน เมล็ดของครามมีลักษณะเหลี่ยมค่อนข้างกลม ขนาดเล็ก ใช้ใบและก้านใบของครามอายุ 3 เดือนจะให้ปริมาณสีครามมากที่สุด ครามขึ้นได้ดีในที่มีแสงแดดส่องถึง ซึ่งจะปลูกในเดือนพฤษภาคม ถึง มิถุนายน และสามารถเก็บไปทำน้ำครามได้ราวเดือนพฤศจิกายนแหล่งครามที่ใหญ่อยู่ในภาคอีสาน ในอำเภออากาศอำนวย จังหวัดสกลนครที่ทำสารย้อมสีครามจำหน่ายทั่วประเทศและอำเภอสามง่าม จังหวัดพิจิตรซึ่งเป็นชุมชนลาวครั่ง ส่วนที่บ้านทุ่งโฮ้งปลูกได้แต่ไม่เพียงพอนำมาใช้ย้อมผ้า ต้องนำเข้ามากจากจังหวัดสกลนครในรูปของครามเปียก พืช ทั้งสองชนิดนี้มีความโดดเด่นเคียงคู่วัฒนธรรมชาวล้านนาและชาวที่ราบสูง เนื่องจากการย้อมสีครามแบบธรรมชาติสืบทอดมา

จากบรรพชน ที่พบเห็นในเมืองไทยจะใช้พืชทั้งสองชนิดนี้ ซึ่งมีกรรมวิธีในการย้อมคล้ายคลึงกัน คือการนำส่วนใบและกิ่งก้านมาหมักแช่น้ำ แล้วกรองเอาน้ำนำไปหมักกับปูนขาว กวนให้ขึ้นฟอง เพราะต้องการให้ผ่านอากาศ แล้วปล่อยให้ตะกอนนอนก้น จึงแยกส่วนที่เป็นน้ำออก จะได้เนื้อครามเป็นตะกอนข้นเหนียวเหมือนโคลน เนื้อครามที่ได้สามารถเก็บไว้ใช้ได้เป็นปี โดยเก็บไว้ในหม้อดินที่มีน้ำด่างหล่อเลี้ยงไม่ให้เนื้อครามแห้ง

2.1.2.3 การย้อมสีครามธรรมชาติ

การย้อมสีครามธรรมชาตินั้นพบว่ามีการย้อมได้จากพืชหลายชนิด แต่ที่พบในประเทศไทยนั้นมีอยู่สองชนิดคือ ห้อม และ คราม ซึ่งกรรมวิธีในการย้อมจะคล้ายคลึงกัน คือการนำส่วนของพืชมาหมักแช่น้ำให้เน่าเปื่อยแล้วแยกเอาส่วนของเนื้อสีออกมาโดยการตกตะกอนด้วยปูนขาว และอากาศ ปล่อยให้ตะกอนนอนก้นแล้วจึงแยกส่วนที่เป็นน้ำออก จะได้เนื้อครามเป็นตะกอนข้นเหนียวเหมือนโคลน เนื้อครามที่ได้สามารถเก็บไว้ใช้ได้เป็นปี โดยเก็บไว้ในหม้อดินที่มีน้ำด่างหล่อเลี้ยงไม่ให้เนื้อครามแห้ง น้ำด่างที่กล่าวถึงคือน้ำล้างขี้เถ้าของพืชเช่น ต้นกล้วย มะละกอ มะขาม เปลือกผลนุ่นเป็นต้น

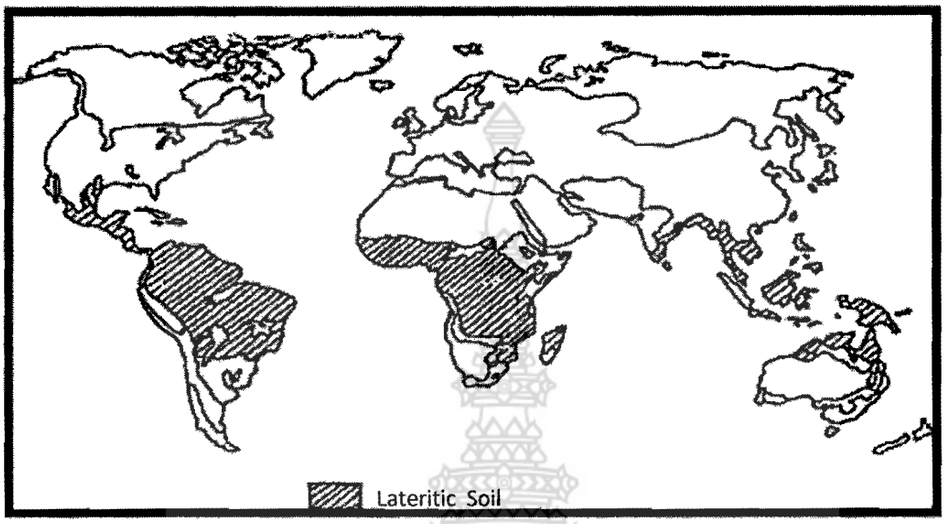
การย้อมผ้าครามที่เรียกกันว่า “การย้อมคราม” หรือ “หม้อห้อม” จะนำเนื้อครามที่ได้จากการหมัก มาทำการย้อมด้วยสภาวะที่เป็นด่าง โดยการผสมกับส่วนประกอบต่างๆมากมายตามสูตรหรือวิธีการของแต่ละท้องถิ่น เช่น น้ำด่าง ปูนขาว ขมิ้น เหล้าป่า ฝักส้มป่อย ต้นอ้อย กล้วย ใบฝรั่ง แล้วกวนหรือโจกให้โดนอากาศ แล้วทิ้งไว้จนส่วนผสมต่างๆทำให้เนื้อครามเปลี่ยนจากสีครามน้ำเงินกลายเป็นสีเหลืองอมเขียว จึงนำผ้าหรือด้ายที่ทำความสะอาดแล้วชุบน้ำพอหมาด ลงย้อมให้เนื้อครามเข้าเกาะเส้นใย แล้วจึงนำขึ้นกระตุกให้โดนอากาศ ผ้าหรือฝ้ายจะค่อยๆเปลี่ยนจากสีเหลืองของน้ำหม้อครามเป็นสีน้ำเงิน นำไปผึ่งให้แห้ง ถ้าต้องการให้สีครามเข้มก็ทำการย้อมหลายๆครั้ง หรือย้อมทับด้วยสีธรรมชาติอื่นๆก็จะได้สีแตกต่างกันไป ตามชนิดของสีที่ใช้ผสม ขึ้นอยู่กับเทคนิควิธีการของผู้ย้อมแต่ละคน

2.2 ดินลูกรัง

ดินลูกรังเป็นวัสดุที่มีทุกภาคของประเทศไทยและเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการรับกำลังได้ดีและนำไปใช้ในงานอิฐดินดิบได้

ดินลูกรัง เกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง และจากการศึกษาการผุพังและการเกิดสีแดงของหิน ในประเทศสหรัฐอเมริกาของ Russel (1889) พบว่าอุณหภูมิที่อบอุ่นและความชื้นสูงมีอิทธิพลต่อการผุพังของหินมากกว่าอุณหภูมิที่เย็นและความชื้นที่ต่ำซึ่ง Bawa (1957) ได้ให้ความเห็นตรงกันว่า กระบวนการกัดเซาะทางเคมีจะชะล้างและพัดพาเอาซิลิก้า (SiO_2)

ออกไปจากดินเดิม และในขณะเดียวกันก็มีการสะสม เซสควิออกไซด์ (Sesquioxide, Fe_2 and Al_2O_3) ในดินเดิมทำให้เกิดเป็นก้อนแข็ง ผลของกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดดินที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์สูงกว่าปกติ ซึ่งดินประเภทนี้เรียกว่า " ดินลูกรัง " และกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี่เรียกว่า " กระบวนการ Laterization " Holland (1903) ได้สนับสนุนว่าที่อุณหภูมิและความชื้นสูง หรือในสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนจะเกิดกระบวนการกัดเซาะทางเคมีขึ้นดังรูป ที่ 2.1 แสดงการกระจายตัวของดินลูกรัง



รูป ที่ 2.1 แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง (Gidigasu 1976)

2.2.1 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> AIexander 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 , Ionstone 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 ดินที่มีการสลายตัวและพัฒนามาเป็นระยะเวลานานภายใต้สภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้นเป็นส่วนใหญ่ มีเหล็กและอลูมิเนียมออกไซด์ในปริมาณสูงอันเป็นผลมาจากกระบวนการเกิดลูกรัง (Laterization) ส่วนใหญ่เป็นดินสีแดง น้ำตาล หรือเหลือง มักพบเม็ดลูกรังและเม็ดกรวดผสมปนอยู่

2.2.2 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 Electron Microscope (SEM)

2.2.3 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

2.2.4 ชั้นของดินลูกรัง

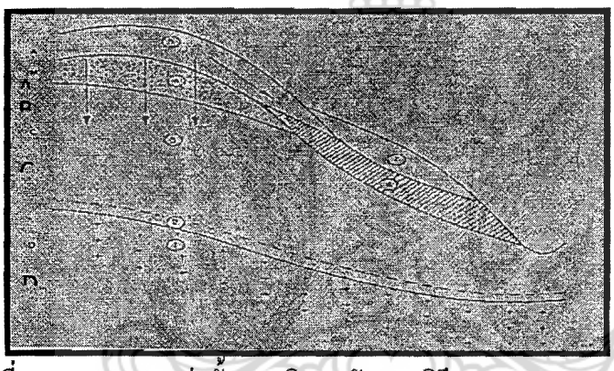
Remillon (1967) ได้ทำการแบ่งชั้นของดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดิน ออกเป็นลำดับดังนี้

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 ($Al_2O_3 + Fe_2O_3$) 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" ซึ่งเป็นชั้นที่เหล็กถูกชะล้างออกไปหมดแล้วแต่ยังคงมีซิลิก้าอยู่เนื่องจากถูกชะล้างออกไปเพียงบางส่วนเท่านั้น ดินชั้นนี้อาจจะปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้

ชั้น D : เป็นชั้นหินต้นกำเนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในประเทศไทยนั้นพบดินลูกรังที่ความลึกประมาณ 0.30 – 1.80 เมตรแต่โดยทั่วไปจะพบที่ความลึกไม่เกิน 3.00 เมตร

2.2.5 การหาแหล่งดินลูกรัง มีอยู่หลายวิธี โดยใช้

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

2.2.6 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 กรวด และทราย และกลุ่มเม็ดละเอียด คือ ดินตะกอน(Silt) และดินเหนียว อีกทั้งยังแบ่งย่อยเป็นขนาดคละดี และขนาดคละไม่ดีหรือขนาดคละไม่ได้ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้

ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค เช่น สนามบิน อาคาร บ้านเรือนฯ

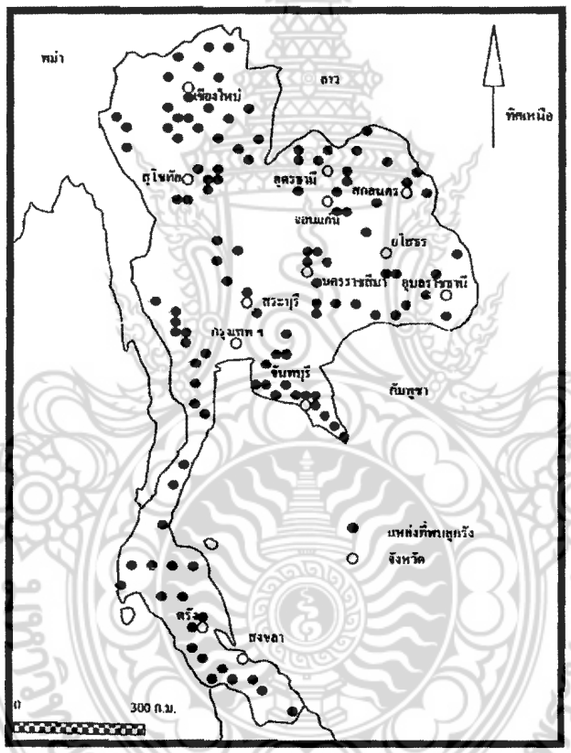
3. ระบบ Federal Aviation Administration (FAA) จำแนกดินออกเป็น 13 กลุ่ม คือ กลุ่ม E-1ถึง E-13 ซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานสนามบิน เช่นเดียวกับ

ระบบ Unified Soil Classification

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

2.2.7 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 ออกไซด์ของดินลูกรังประเภทนี้จะอยู่กระจัดกกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรกและมักเกาะอยู่โดยรอบของเม็ดกรวดหรือ

ชิ้นส่วนที่แตกหัก 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

2.2.8 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. ดัชนีพลาสติค 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

2.2.9 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 และดินเหนียวที่มีออกไซด์ของเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูงลูกรังที่จับเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ไม่ค่อยพบบ่อยนัก

ข. ดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงมักจะได้จากการขุดและการดันดินผสมเป็น กอง (Stockpile) อันประกอบด้วยดินตะกอน และดินเหนียวที่มีเหล็กออกไซด์ประมาณสูงผสมรวมกันเป็นลูกรังซึ่งมีความแข็งต่างกัน ลูกรังที่เกิดเป็นก้อนใหญ่หรือเป็นแพแข็งติดต่อกันจะไม่นำมาใช้ในการก่อสร้างทาง 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

วรศักดิ์ 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

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

บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยจากตารางที่ 1.1 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

จากการศึกษาและค้นคว้าเบื้องต้นในบทที่ 2 พบว่าสีธรรมชาติจากครั่งและครามมีความเหมาะสมในการนำมาเป็นวัสดุเคลือบสีอิฐดินดิบทั้งปริมาณที่สามารถหาได้โดยทั่วไปและมีสีที่สวยงานตามธรรมชาติ รวมทั้งดินลูกรังพบได้โดยทั่วไปทุกภาคของไทย

3.2 กำหนดแหล่งดินลูกรังที่จะใช้ในงานวิจัยและจัดหาจัดซื้ออุปกรณ์

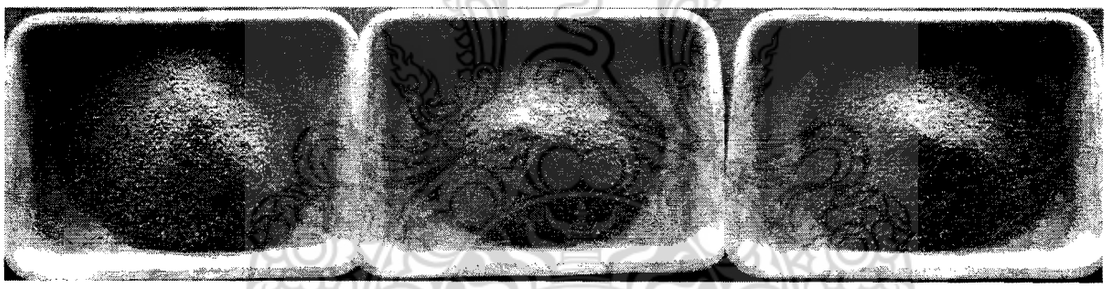
3.2.1 ดินลูกรัง

ดินลูกรังที่ใช้ มาจากสามแหล่ง คือ

แหล่งที่ 1 ดินลูกรัง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี ดังรูปที่ 3.1 (ก)

แหล่งที่ 2 ดินลูกรัง อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี ดังรูปที่ 3.1 (ข)

แหล่งที่ 3 ดินลูกรังบ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี ดังรูปที่ 3.1 (ค)

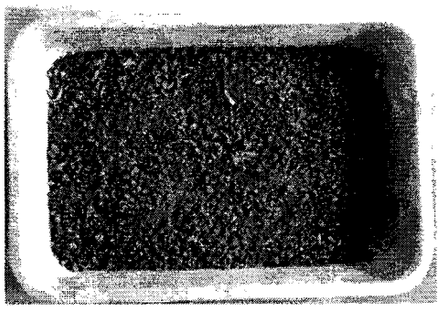


(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างดินลูกรัง

3.2.2 สีจากธรรมชาติ

3.2.2.1 ครั่งดิบ ใช้ครั่งดิบจากจังหวัดลำปางดังรูป ที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ครั่งดิบ จังหวัดลำปาง

รูปที่ 3.3 คราม จังหวัดแพร่

3.2.2.2 คราม ใช้ครามจากคราม จังหวัดแพร่ดังรูปที่ 3.3

3.3 เก็บตัวอย่างดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดินลูกรัง ดังกล่าวสำหรับทดสอบและเตรียมสีธรรมชาติ

เก็บตัวอย่างจากแหล่งดินลูกรังนำมาทำการบดอัดปรับปรุงคุณสมบัติให้มีขนาดเล็กเละตากให้แห้งในสภาวะอุณหภูมิปกติ แล้วทำตามกระบวนการดังรูปที่ 3.4

3.3.1การเตรียมดิน

ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำตัวอย่างดินลูกรังจาก 3 แหล่งอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรีอำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรีและบ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี จากการตรวจสอบเบื้องต้นพบว่า ดินลูกรังบริเวณดังกล่าวมีก้อนหินเป็นส่วนผสมเป็นส่วนใหญ่ ในการนำมาใช้สร้างก้อนอิฐดินดิบ การเตรียมดินที่ใช้ในการทดสอบหาคุณสมบัติของมวลดินซึ่งเป็นคุณสมบัติเชิงวิศวกรรม โดยในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบหาค่าต่างๆ ของมวลดิน ได้แก่

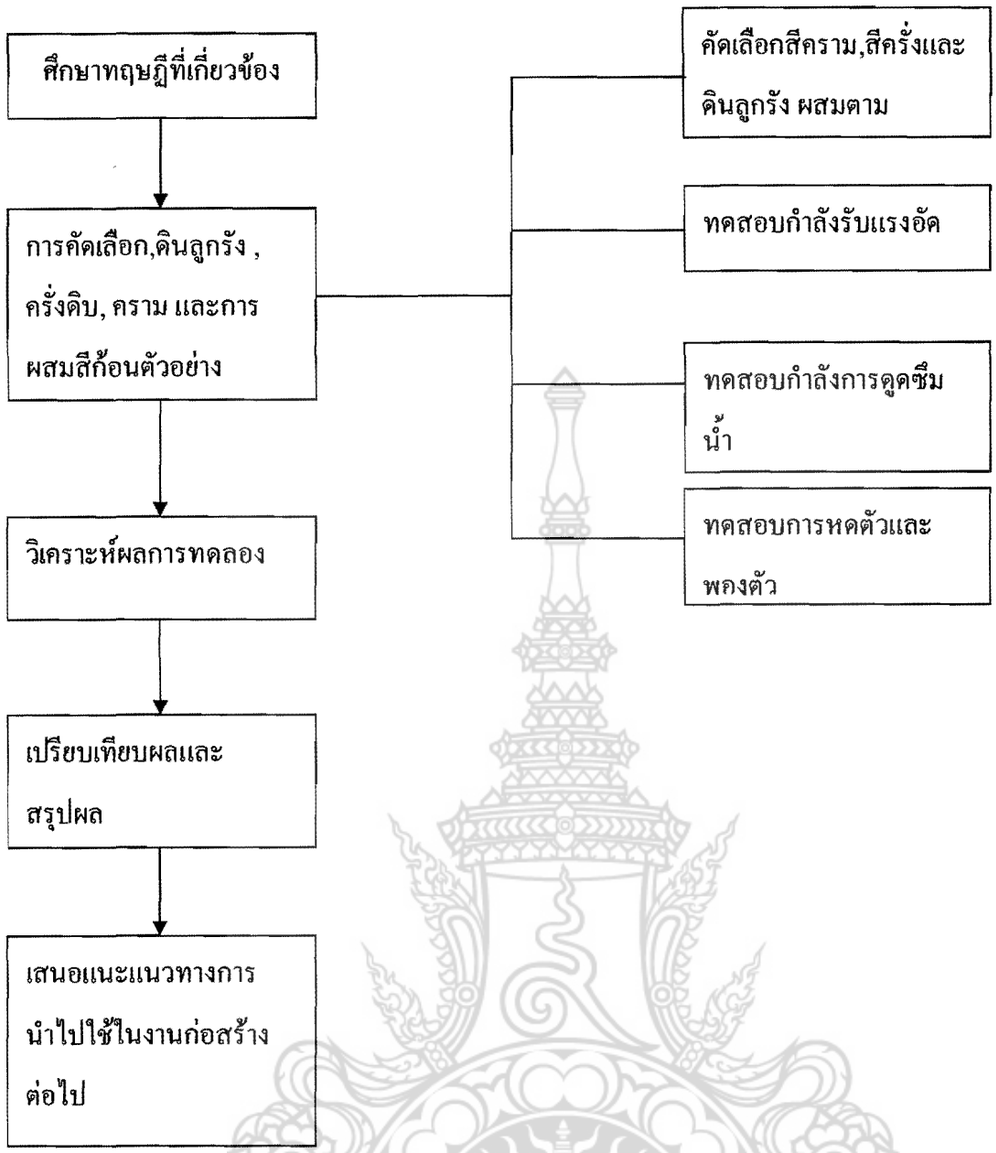
(1) นำดินลูกรังมาตากให้แห้งมาตามจำนวนที่ต้องการ

(2) ใช้ค้อนยางทุบดินลูกรังที่เป็นก้อนเพื่อเอาเม็ดดินแยกออกจากกัน

(3) คัดแยกก้อนหินที่ต้องการออกจากดิน

(4) นำดินในข้อ 2 ใส่ลงในตะแกรงเบอร์ 4 โดยมีฝาปิดด้านบนและถาดรองด้านล่าง นำไปเข้าเครื่องเขย่า เขย่าเป็นเวลา 5-10 นาที

(5) ดินที่ได้จากการเขย่าในข้อ 4 สามารถนำไปใช้ในการทดลองได้



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย

3.4 ออกแบบอัตราส่วนผสมดินลูกรังกับปริมาณน้ำสีธรรมชาติ

ในการออกแบบอัตราส่วนผสมคำนึงถึงการการทำงานจริงและง่ายต่อการคำนวณและผสมจึงกำหนดการออกแบบโดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ออกแบบอัตราส่วนผสม ของ ดินลูกรัง และสีจากธรรมชาติ

ดินลูกรัง	กรัม	**ผสมสีคราม**	กรัม	**ผสมสีครั่ง**	กรัม
ดินหนัก(100%)	650	น้ำ10%	65.00	น้ำ10%	65.00
ดินหนัก(100%)	750	น้ำ15%	112.50	น้ำ15%	112.50
ดินหนัก(100%)	850	น้ำ20%	170.00	น้ำ20%	170.00
ดินหนัก(100%)	950	น้ำ25%	237.50	น้ำ25%	237.50

โดยการออกแบบจากการทดสอบพื้นฐานการยึดเกาะซึ่งจะแปรผันกับความชื้น คือหากมีความชื้นน้อยหรือปริมาณน้ำน้อยจำทำให้ไม่เกิดการยึดเกาะขึ้นรูปไม่ได้ ในทางตรงกันข้ามหากมีความชื้นมากหรือปริมาณน้ำมากจะทำให้ตัวอย่างเหลวขึ้นรูปไม่ได้เช่นกัน จึงใช้น้ำสีที่ร้อยละ 10, 15, 20 และ 25

3.5 ทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรังตัวอย่าง

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติทางด้านกายภาพของดินลูกรังตัวอย่าง

คุณสมบัติ	แหล่งที่ 1	แหล่งที่ 2	แหล่งที่ 3
ขีดพิกัดเหลว (%)	60	69	64
ดัชนีพลาสติก (%)	NP	NP	NP
ความถ่วงจำเพาะ	2.79	2.82	2.85

จากการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างดินลูกรังดังตารางที่ 3.2 พบว่าอยู่ในขอบเขตของคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย ตารางที่ 2.2

3.6 หล่อก้อนตัวอย่างทดสอบ

นำวัสดุที่ใช้ได้แก่ดินลูกรัง สีครั่งและสีครามมาผสมกัน ในอัตราส่วน 10,15,20 และ25 ตามอัตราส่วนในตารางที่ 3.1

3.6.1 ความเข้มข้นของสีธรรมชาติทั้ง 2 สี มี 2 ระดับ โดยสีครั่งในระดับที่ 1 จะมีอัตราส่วนผสม ครั่งดิบตำละเอียด 1200 กรัม ต่อน้ำ 6 ลิตร แช่ใช้ 24 ชั่วโมงแล้วกรองเอาแต่สี และระดับที่ 2 ครั่งดิบตำ ละเอียด 3500 กรัม ต่อน้ำ 7 ลิตร แช่ใช้ 24 ชั่วโมงแล้วกรองเอาแต่สี และสีคราม ในระดับที่ 1 ใช้โคลนคราม 0.5

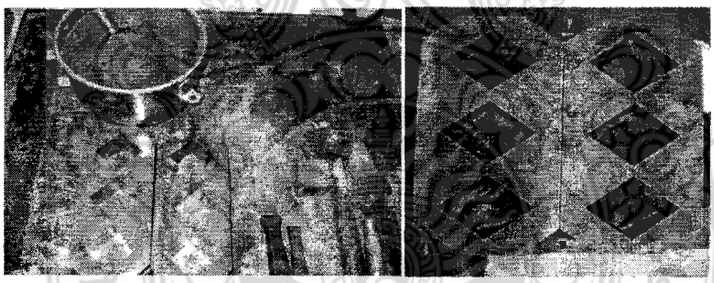
ลิตร ใช้น้ำมะขามเปียก 1.5 ลิตร น้ำขี้เถ้า 4 ลิตรผสมให้เข้ากัน และระดับที่ 2 ใช้โคลนคราม 1.5 ลิตร ใช้น้ำมะขามเปียก 1.0 ลิตร น้ำขี้เถ้า 3.5 ลิตรผสมให้เข้ากันเทียบกับสีธรรมชาติที่ไม่ใส่สี

3.6.2 การเตรียมชุดทดสอบ ในงานวิจัยนี้จะใช้ดินลูกรังที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ทั้ง 3 แหล่ง โดยใช้สีธรรมชาติจำนวน 2 สี แต่ละสีใช้ความเข้มข้นของสี 2 ระดับ ระดับที่ 1 และระดับที่ 2 โดยใช้ สีธรรมชาติ จาก สีครั่ง และสีคราม ซึ่งสีครามให้สีและสีครั่งให้สีเทียบกับสีของดินดิบลูกรังที่ผสมกับน้ำประปา โดยใช้อัตราส่วนระหว่าง 10,15,20 และ25 จำนวน 24 อัตราส่วนผสมโดยหล่อตัวอย่างทรงลูกบาศก์ขนาด 5x5x5 เซนติเมตรตามมาตรฐานอิฐดินดิบซึ่งมีวิธีการผสมอิฐดินดิบประยุกต์ตามมาตรฐาน ASTMC305 ซึ่งมีวิธีการดังนี้

1. นำวัสดุผสมตามอัตราส่วนที่เตรียมไว้มาใส่ผสมคลุกให้เข้ากันดังรูปที่ 3.5

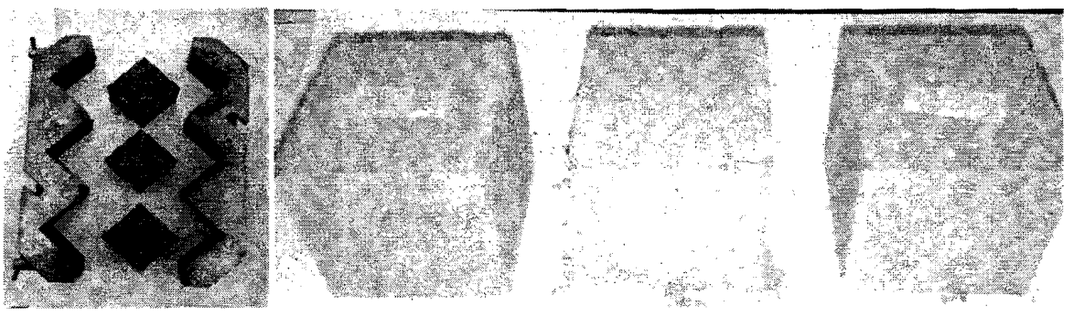
รูปที่ 3.5 นำวัสดุที่เตรียมไว้มาผสมตามอัตราส่วน

2. นำส่วนผสมที่ได้ดังกล่าวใส่ลงในแบบหล่อชิ้นตัวอย่างขนาด 5x5x5 เซนติเมตร มาตรฐาน ASTMC109- 80 จำนวน 6 ตัวอย่างเพื่อนำมาแบ่งทดสอบสีและกำลังอัด ดังรูปที่ 3.6



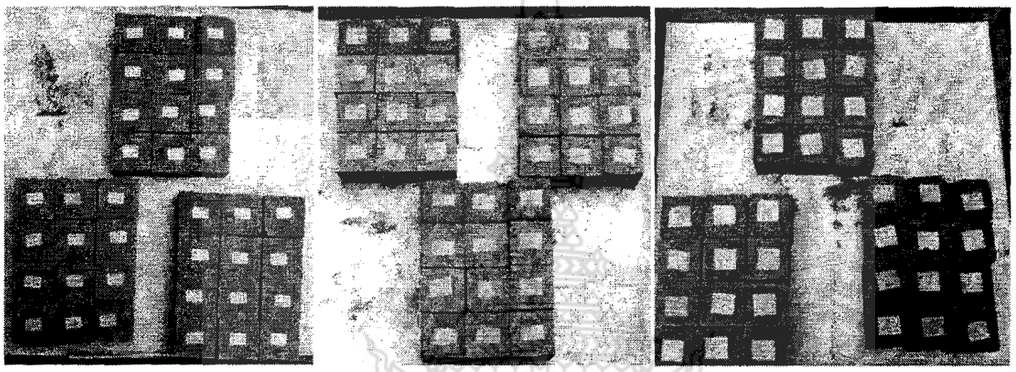
รูปที่ 3.6 นำตัวอย่างดินเทลงแบบ

3. ทำการถอดออกจากแบบหล่อเมื่อลูกดินดิบค่อนค้างแข็งหรือเซ็ดตัวแล้ว ระบุหมายเลขและวันที่ทำทดสอบเอาไว้ให้เรียบร้อย ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ถอดแบบตัวอย่าง

6. บ่มในอากาศ 28 วันชั่งน้ำหนักก้อนอิฐดินดิบลูกรังและการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของขนาดและดูการติดของสีธรรมชาติสีครั่งและสีคราม หลังจากถอดแบบไปจนถึง 7,14,21และ28 วัน ก่อนนำไปทดสอบค่ากำลังอัด ดังรูปที่ 3.8

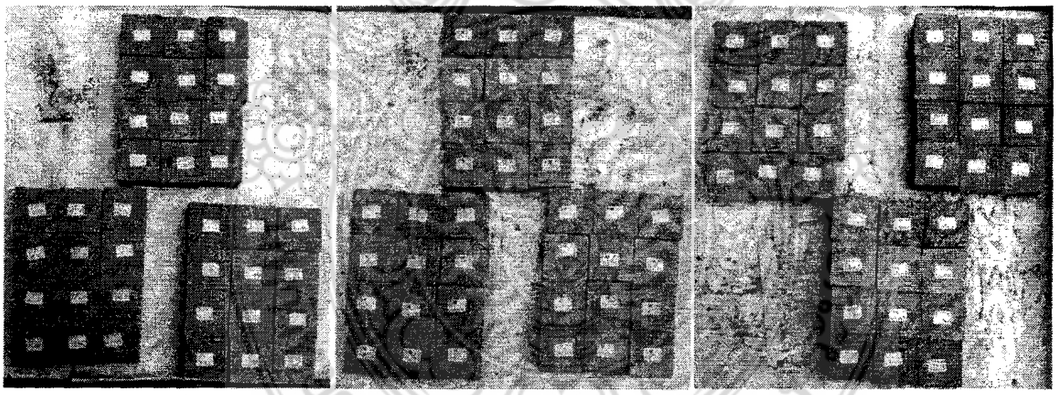


ก. ตัวอย่างดินไม่ผสมสีธรรมชาติ

ข. ตัวอย่างดินไม่ผสมสีธรรมชาติ ระดับที่ 1

ค. ตัวอย่างดินผสมสีธรรมชาติ ระดับที่ 2

รูปที่ 3.8 ตัวอย่างดิน 3 แหล่งผสมสีธรรมชาติจากครั่ง



ก. ตัวอย่างดินไม่ผสมสีธรรมชาติ

ข. ตัวอย่างดินไม่ผสมสีธรรมชาติ ระดับที่ 1

ค. ตัวอย่างดินผสมสีธรรมชาติ ระดับที่ 2

รูปที่ 3.9 ตัวอย่างดิน 3 แหล่งผสมสีธรรมชาติจากคราม

7. เมื่ออิฐดินดิบมีความความแห้งในอากาศ นำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดตามมาตรฐานของอิฐดินดิบและความหนาแน่นตามมาตรฐานอิฐดินดิบ จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อทำการคัดเลือกสัดส่วนระหว่างดินลูกรัง สีธรรมชาติสีครั่งและสีคราม เหมาะสมตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1505-2541 ชั้นคุณภาพ 4 ความหนาแน่น 710 ถึง 800กก./ ลบ.ม. กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 40 กก./ตร.ซม. โดยในแต่ละการตรวจสอบ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย

3.7 ทดสอบคุณสมบัติของอิฐดินดิบ

3.7.1 การทดสอบหาค่ากำลังอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ นำตัวอย่างอิฐดินดิบไปวางบนแท่น ดังรูปที่ 3.10 โดยต้องวางไว้ตรงกลางของแท่นทดสอบกำลังอัดรองรับบนเครื่องทดสอบจากนั้นให้น้ำหนักผ่านหัวกดแบบ Spherical cal Bearing Plate กดผ่านศูนย์กลางของชิ้นทดสอบในทิศทางการเคลื่อนที่ของฟองอากาศ โดยการเพิ่มน้ำหนักกดด้วยอัตราเร็วคงที่ประมาณ 1.2 mm/minจนกระทั้งชิ้นที่ทำการทดสอบแตก ดังรูปที่ 3.10 จดและบันทึกค่ากำลังอัด

รูปที่ 3.10 กดตัวอย่างทดสอบหากำลัง

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

3.7.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตร

3.7.2.1 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้นโดยการวัดขนาดปริมาตรของก้อนตัวอย่างทดสอบแล้วเปรียบเทียบ

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

3.7.2.2 ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการสูญเสียความชื้นจากการอบทำให้เกิดการหดตัวของตัวอย่างโดยการวัดขนาดปริมาตรของก้อนตัวอย่างทดสอบแล้วเปรียบเทียบ

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

3.7.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ เป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นของตัวอย่างทดสอบ

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

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ในบทนี้กล่าวถึงการทดสอบและวิเคราะห์ผลการวิจัยการรับค่ากำลังของดินลูกรังผสมสีธรรมชาติสีครั่งและสีครามหาค่าการเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาตร รวมทั้งผลการทดสอบ

4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัด

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรังบ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี [A]

ดินลูกรัง [A] บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี											
สีครามและสีครั่ง ระดับที่ 1	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (cm^3.) และ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขนาด (g.)										กำลังอัด 28 วัน /ksc
	หลังถอดแบบ		7วัน		14วัน		21วัน		28วัน		
	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	
A1-3 ผสมสีคราม 10%	125	225.96	117.64	218.33	117.64	217.86	117.64	217.76	117.64	217.24	27.16
A4-6 ผสมสีคราม 15 %	125	270.34	110.59	229.25	110.59	229.20	110.59	229.18	110.59	229..06	32.78
A7-9 ผสมสีคราม 20 %	125	221.31	103.82	213.71	103.82	213.42	103.82	212.80	103.82	210.14	39.22
A10-12 ผสมสีคราม 25 %	125	199.03	97.33	191.08	97.33	190.09	97.33	189.98	97.33	210.14	34.47
A13-15 ผสมสีครั่ง 10 %	125	215.00	117.64	207.06	117.64	206.30	117.64	204.84	117.64	203.40	32.19
A16-18 ผสมสีครั่ง 15 %	125	239.81	110.59	232.24	110.59	231.55	110.59	230.69	110.59	229.52	38.10
A19-21 ผสมสีครั่ง 20 %	125	221.28	103.82	213.03	103.82	211.38	103.82	210.71	103.82	209.80	39.22
A22-24 ผสมสีครั่ง 25 %	125	200.81	97.33	192.09	97.33	188.94	97.33	188.81	97.33	187.77	37.10

ตารางที่ 4.2 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี [B]

ดินลูกรัง [B] อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี											
สีครามและสีครั่ง ระดับที่ 1	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (cm^3.) และ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขนาด (g.)										กำลังอัด 28 วัน /ksc
	หลังถอดแบบ		7วัน		14วัน		21วัน		28วัน		
	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	
B1-3 ผสมสีคราม 10%	125	244.22	117.64	237.65	117.64	237.54	117.64	237.20	117.64	237.14	35.24
B 4-6 ผสมสีคราม 15 %	125	233.00	110.59	222.51	110.59	222.28	110.59	222.13	110.59	222.02	36.28
B 7-9 ผสมสีคราม 20 %	125	212.04	103.82	204.77	103.82	204.59	103.82	204.32	103.82	204.16	37.28
B 10-12 ผสมสีคราม 25 %	125	198.76	97.33	188.65	97.33	188.45	97.33	188.23	97.33	188.02	35.87
B 13-15 ผสมสีครั่ง 10 %	125	239.55	117.64	231.70	117.64	231.01	117.64	230.47	117.64	230.28	26.86
B 16-18 ผสมสีครั่ง 15 %	125	230.72	110.59	222.93	110.59	221.87	110.59	221.59	110.59	221.56	32.65
B 19-21 ผสมสีครั่ง 20 %	125	203.72	103.82	195.91	103.82	192.23	103.82	192.15	103.82	192.04	38.62
B 22-24 ผสมสีครั่ง 25 %	125	193.68	97.33	185.82	97.33	178.18	97.33	177.91	97.33	177.90	37.18

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดอำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี [C]

ดินลูกรัง [C] อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี											
สีครามและสีครั่ง ระดับที่ 1	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (cm^3.) และ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขนาด (g.)										กำลังอัด 28 วัน /ksc
	หลังถอดแบบ		7วัน		14วัน		21วัน		28วัน		
	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	
C1-3 ผสมสีคราม 10%	125	221.78	117.64	212.05	117.64	211.23	117.64	210.99	117.64	210.45	30.90
C 4-6 ผสมสีคราม 15 %	125	235.66	110.59	228.83	110.59	228.65	110.59	228.19	110.59	227.34	32.47
C 7-9 ผสมสีคราม 20 %	125	216	103.82	207.24	103.82	207.03	103.82	206.62	103.82	205.84	37.84
C 10-12 ผสมสีคราม 25 %	125	200.30	97.33	192.39	97.33	192.21	97.33	191.74	97.33	190.89	36.02
C 13-15 ผสมสีครั่ง 10 %	125	209.90	117.64	201.72	117.64	200.02	117.64	198.35	117.64	197.78	31.09
C 16-18 ผสมสีครั่ง 15 %	125	240.75	110.59	233.33	110.59	230.25	110.59	229.55	110.59	229.76	31.38
C 19-21 ผสมสีครั่ง 20 %	125	236.10	103.82	228.54	103.82	219.86	103.82	212.85	103.82	212.16	37.76
C 22-24 ผสมสีครั่ง 25 %	125	222.79	97.33	214.95	97.33	193.22	97.33	191.79	97.33	191.29	36.43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางที่ 4.4 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี [A]

ดินลูกรัง [A] บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี											
สีครามและสีครั่ง ระดับที่ 2	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (cm^3.) และ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขนาด (g.)										กำลังอัด 28 วัน /ksc
	หลังถอดแบบ		7วัน		14วัน		21วัน		28วัน		
	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	
A1-3 ผสมสีคราม 10%	125	225.77	117.64	219.16	117.64	218.09	117.64	218.04	117.64	215.19	27.66
A4-6 ผสมสีคราม 15 %	125	236.90	110.59	228.74	110.59	229.28	110.59	229.28	110.59	227.53	32.12
A7-9 ผสมสีคราม 20 %	125	215.81	103.82	208.68	103.82	208.65	103.82	208.41	103.82	205.21	38.91
A10-12 ผสมสีคราม 25 %	125	202.83	97.33	195.72	97.33	196.44	97.33	196.34	97.33	194.57	37.84
A13-15 ผสมสีครั่ง 10 %	125	219.68	117.64	211.80	117.64	221.37	117.64	211.04	117.64	210.40	25.77
A16-18 ผสมสีครั่ง 15 %	125	236.18	110.59	228.34	110.59	228.30	110.59	228.28	110.59	228.13	27.02
A19-21 ผสมสีครั่ง 20 %	125	225.81	103.82	217.93	103.82	217.90	103.82	217.87	103.82	217.83	38.87
A22-24 ผสมสีครั่ง 25 %	125	184.52	97.33	176.64	97.33	176.60	97.33	176.48	97.33	176.51	37.43

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี [B]

ดินลูกรัง [B] อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี											
สีครามและสีครั่ง ระดับที่ 2	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (cm^3.) และ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขนาด (g.)										กำลังอัด 28 วัน /ksc
	หลังถอดแบบ		7วัน		14วัน		21วัน		28วัน		
	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	
B1-3 ผสมสีคราม 10%	125	245.34	117.64	238.34	117.64	236.78	117.64	236.53	117.64	234.06	26.83
B 4-6 ผสมสีคราม 15 %	125	232.84	110.59	226.03	110.59	222.53	110.59	221.98	110.59	221.35	28.28
B 7-9 ผสมสีคราม 20 %	125	215.99	103.82	208.27	103.82	204.60	103.82	204.13	103.82	204.01	32.78
B 10-12 ผสมสีคราม 25 %	125	195.03	97.33	188.45	97.33	186.40	97.33	185.87	97.33	185.07	32.46
B 13-15 ผสมสีครั่ง 10 %	125	230.82	117.64	226.01	117.64	225.97	117.64	225.72	117.64	225.05	26.47
B 16-18 ผสมสีครั่ง 15 %	125	227.09	110.59	219.21	110.59	219.21	110.59	219.18	110.59	196.92	29.33
B 19-21 ผสมสีครั่ง 20 %	125	215.29	103.82	207.41	103.82	207.27	103.82	207.07	103.82	194.68	35.72
B 22-24 ผสมสีครั่ง 25 %	125	196.82	97.33	188.94	97.33	188.87	97.33	188.01	97.33	169.84	34.15

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางที่ 4.6 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี [C]

ดินลูกรัง [C] อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี											
สีคราบและสีครั่ง ระดับที่ 2	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร (cm^3.) และ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขนาด (g.)										กำลังอัด 28 วัน /ksc
	หลังถอดแบบ		7วัน		14วัน		21วัน		28วัน		
	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	
C1-3 ผสมสีคราม 10%	125	245.69	117.64	239.08	117.64	237.06	117.64	236.47	117.64	235.16	27.45
C 4-6 ผสมสีคราม 15 %	125	239.34	110.59	232.91	110.59	232.49	110.59	213.43	110.59	212.46	29.59
C 7-9 ผสมสีคราม 20 %	125	202.11	103.82	194.11	103.82	194.03	103.82	193.54	103.82	193.53	30.77
C 10-12 ผสมสีคราม 25 %	125	195.89	97.33	188.30	97.33	188.10	97.33	188.05	97.33	187.98	29.36
C 13-15 ผสมสีครั่ง 10 %	125	184.79	117.64	176.89	117.64	176.26	117.64	175.26	117.64	174.56	25.18
C 16-18 ผสมสีครั่ง 15 %	125	234.17	110.59	226.29	110.59	225.47	110.59	224.27	110.59	223.28	27.87
C 19-21 ผสมสีครั่ง 20 %	125	205.00	103.82	197.12	103.82	197.02	103.82	196.13	103.82	195.42	29.99
C 22-24 ผสมสีครั่ง 25 %	125	206.07	97.33	194.59	97.33	194.49	97.33	193.55	97.33	192.98	29.25

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาตร การเปลี่ยนแปลงขนาดและทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง

(บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี [A]) (อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี[B])และ(อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี[C])

ดินลูกรัง (บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี) **[A]**) (อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี**[B]**) และ(อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี**[C]**)											
สีครามและ สีครั่ง ระดับที่ 2	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร(cm^3.) และ การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักขนาด (g.)										กำลังอัด 28 วัน /ksc
	หลังถอดแบบ		7วัน		14วัน		21วัน		28วัน		
	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	ปริมาณ	น้ำหนัก	
A1-3 น้ำ 10%	125	238.19	117.64	229.88	117.64	228.86	117.64	228.48	117.64	227.59	29.00
A4-6 น้ำ15 %	125	233.34	110.59	229.15	110.59	225.79	110.59	225.69	110.59	225.50	33.34
A7-9 น้ำ 20 %	125	219.17	103.82	221.09	103.82	220.98	103.82	220.16	103.82	210.62	38.24
A10-12 น้ำ25 %	125	205.35	97.33	197.42	97.33	197.37	97.33	197.34	97.33	197.09	33.20
B1-3 น้ำ10 %	125	237.40	117.64	233.92	117.64	229.90	117.64	229.67	117.64	229.64	31.05
B4-6 น้ำ15 %	125	234.11	110.59	229.32	110.59	226.37	110.59	226.16	110.59	225.89	32.51
B7-9 น้ำ 20 %	125	214.73	103.82	210.43	103.82	206.64	103.82	206.43	103.82	206.12	40.21
B10-12 น้ำ25 %	125	202.71	97.33	198.38	97.33	196.23	97.33	195.08	97.33	194.53	32.85
C1-3 น้ำ10 %	125	238.91	117.64	229.05	117.64	228.50	117.64	227.92	117.64	227.60	31.78
C4-6 น้ำ15 %	125	237.14	110.59	227.19	110.59	226.81	110.59	226.29	110.59	225.60	32.74
C7-9 น้ำ20 %	125	218.26	103.82	208.37	103.82	207.90	103.82	207.71	103.82	207.52	37.95
C10-12 น้ำ25 %	125	201.34	97.33	192.77	97.33	192.50	97.33	192.43	97.33	192.26	35.0

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปริมาณอัตราส่วนผสม

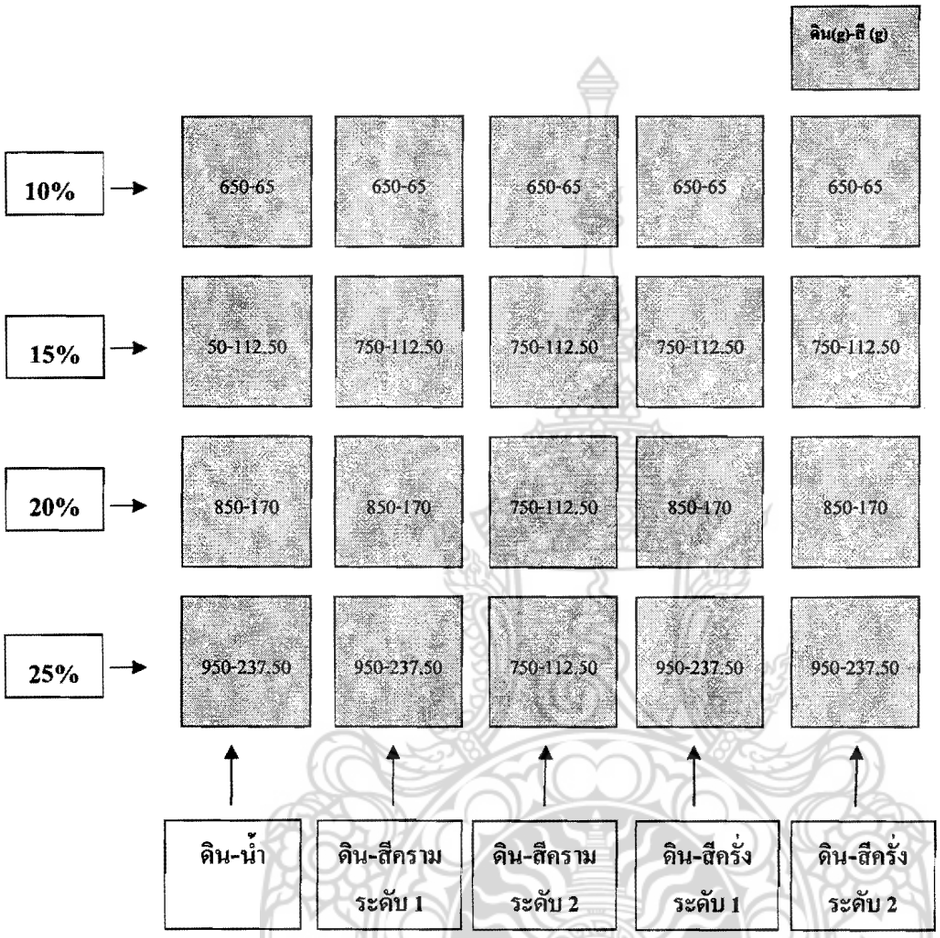
ดินลูกรัง-สีคราม-สีครั่ง-น้ำ (ต่อดิน 1 แห่ง)

สีครามระดับ1 → ครั่งดิบตำละเอียด 1200 กรัม ต่อน้ำ 6 ลิตร แช่ใช้ 24 ชั่วโมงแล้วกรองเอาแต่สี

สีครามระดับ2 → ครั่งดิบตำ ละเอียด 3500 กรัม ต่อน้ำ 7 ลิตร แช่ใช้ 24 ชั่วโมงแล้วกรองเอาแต่สี

สีครั่งระดับ1 → โคลนคราม 0.5 ลิตร ใช้น้ำมะขามเปียก 1.5 ลิตร น้ำขี้เถ้า 4 ลิตรผสมให้เข้ากัน

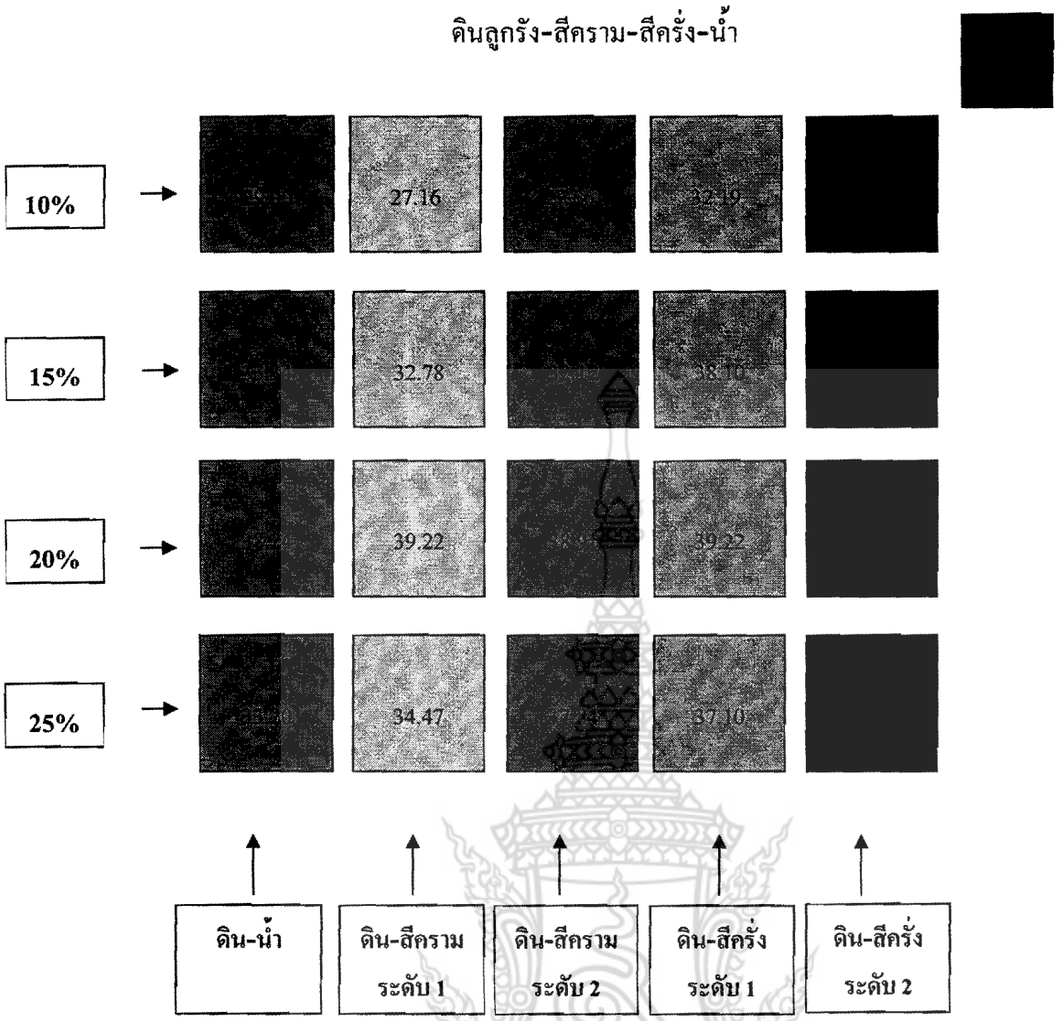
สีครั่งระดับ2 → โคลนคราม 1.5 ลิตร ใช้น้ำมะขามเปียก 1.0 ลิตร น้ำขี้เถ้า 3.5 ลิตรผสมให้เข้ากัน



รูปที่ 4.1 แสดงปริมาณอัตราส่วนผสม

ผลการทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง [A] บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี

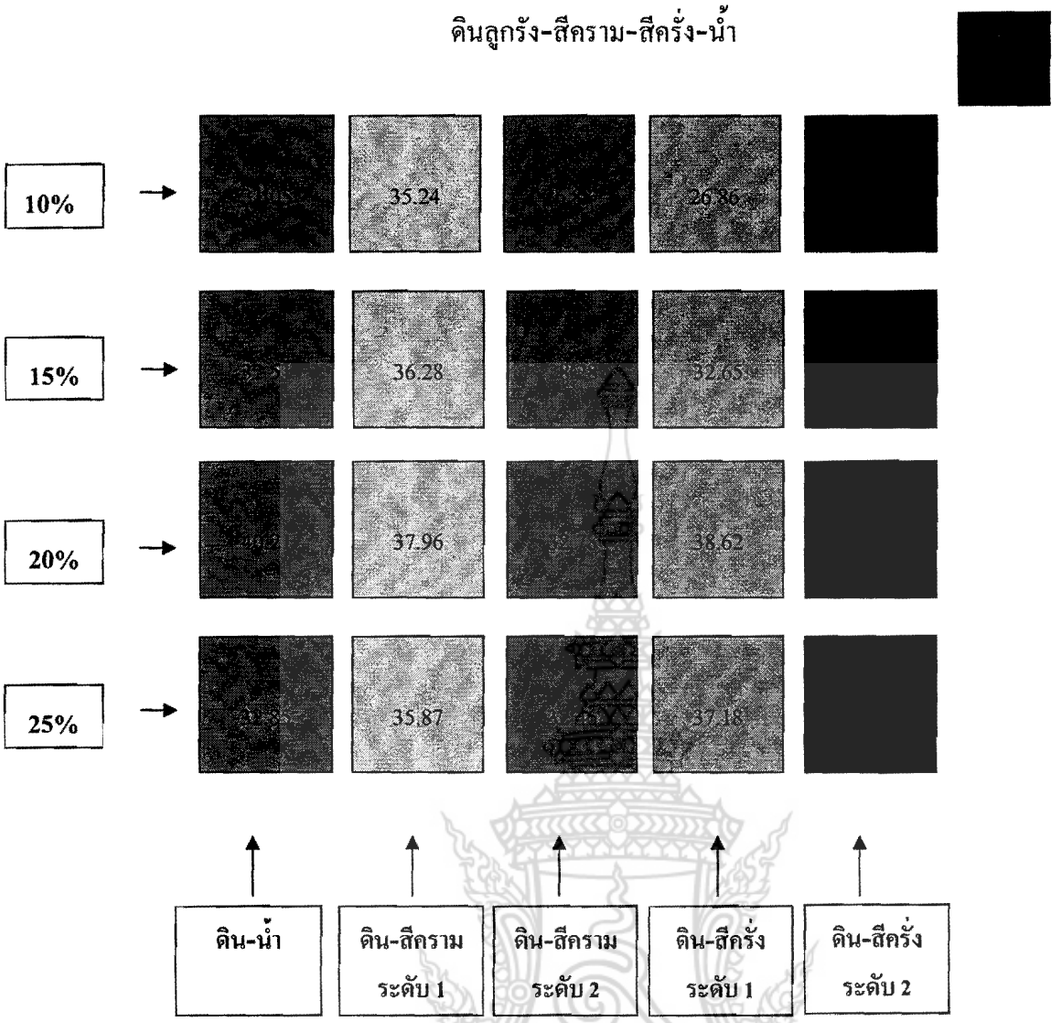
ดินลูกรัง-สีคราม-สีครั่ง-น้ำ



รูปที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดบ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี

ผลการทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง [B] อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี

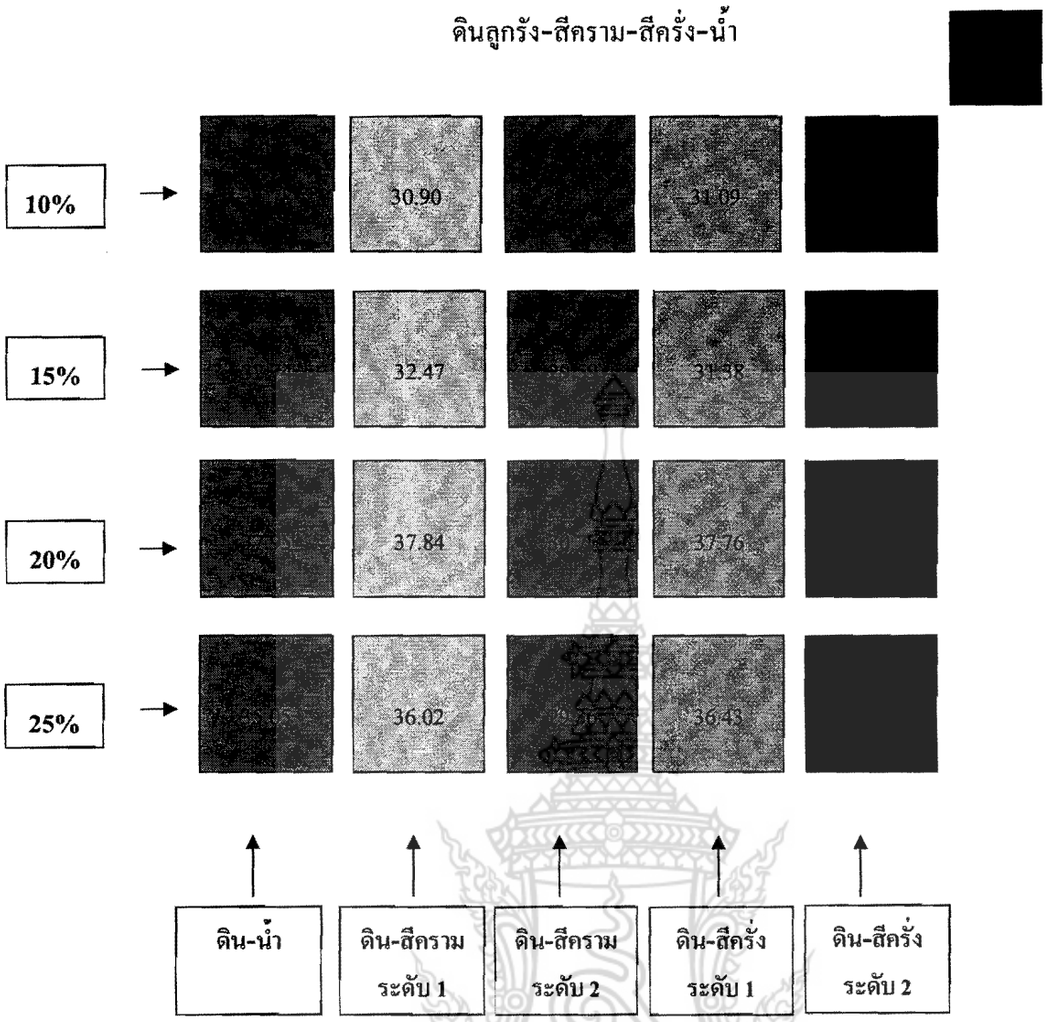
ดินลูกรัง-สีคราม-สีครั่ง-น้ำ



รูปที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดอำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี

ผลการทดสอบกำลังอัดดินลูกรัง [C] อำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี

ดินลูกรัง-สีคราม-สีครั่ง-น้ำ

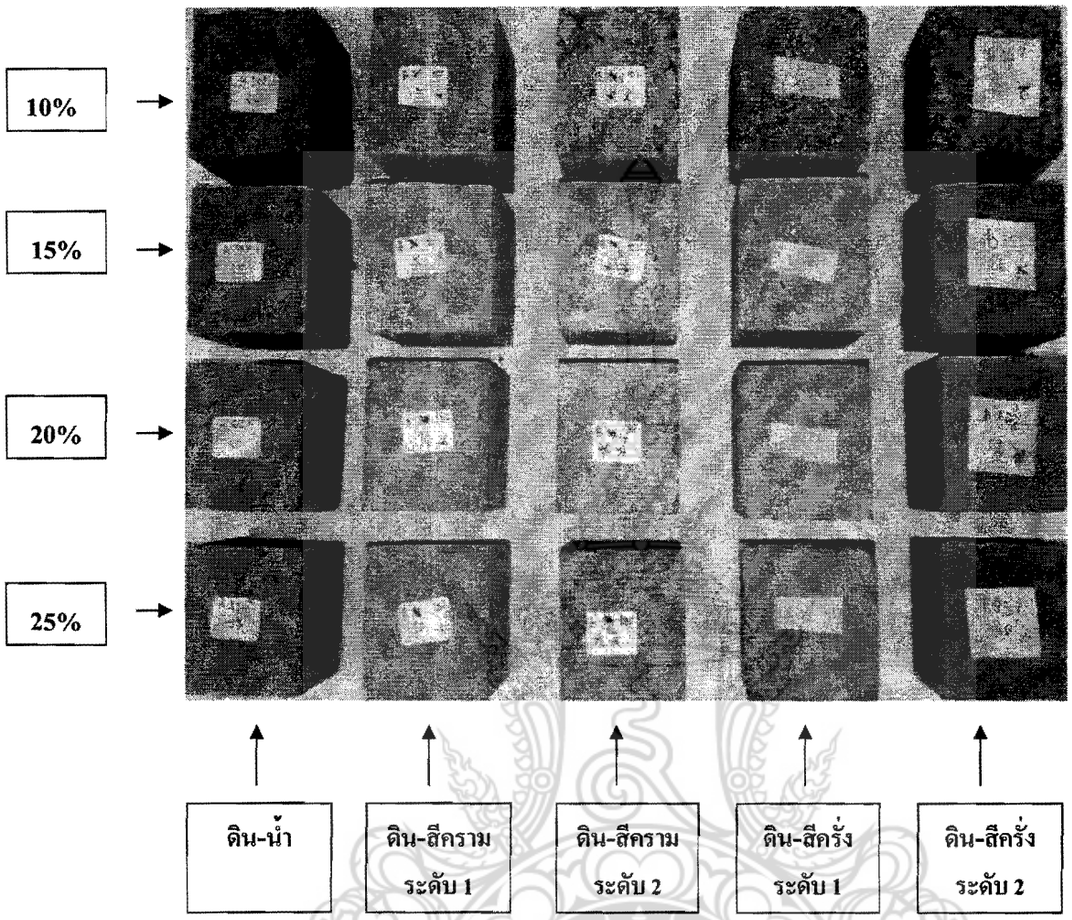


รูปที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบกำลังอัดอำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี

4.2 เปรียบเทียบสีตัวอย่างทดสอบ

สีก้อนตัวอย่างจริง จำนวน 24 ตัวอย่าง

ดินลูกรัง-สีคราม-สีครั่ง-น้ำ



รูปที่ 4.3 เปรียบเทียบสีตัวอย่าง

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดลองพบว่าอัตราส่วนผสมของ ดินลูกรังผสมสีธรรมชาติสีครั่งและสีครามในระยะเวลาการบ่ม 28 วันตามข้อกำหนดมาตรฐานของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระราชูปถัมภ์สำหรับอิฐดินเผา (อิฐมอญ) ที่ว่าการต้านทานแรงอัดของอิฐจะต้องไม่น้อยกว่า 20 ksc ในทุกอัตราส่วนผสม ไปถือว่านำไปใช้งานต่อไปได้

การเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาตรในระยะเวลา 28 วัน จากการทดสอบและบันทึกการเปลี่ยนแปลงขนาดและปริมาตร จากดิน 3 แหล่ง ได้แก่ บ่อลุงวร จังหวัดสระบุรี อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรีและอำเภอท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี พบว่ามีความสำพันกับกำลังของดินคือดินที่มีความสามารถในการรับกำลังสูงจะมีการเปลี่ยนปริมาตรน้อยตามไปด้วย

การเปลี่ยนแปลงสีการติดของสีธรรมชาติทั้ง 2 สีในระยะเวลา 28 วัน โดยการเปรียบเทียบกับตัวอย่างก้อนอิฐที่ผสมกับน้ำประปา สีธรรมชาติในระดับที่ 1 ทั้ง 2 สี จะไม่แตกต่างกับสีของก้อนดินผสมน้ำประปา เกิดการติดของสีที่น้อยมากไม่เหมาะสมจะนำมาใช้ในการเคลือบสีของสีธรรมชาติในระดับที่1 และ สีธรรมชาติในระดับที่ 2 ทั้ง 2 สีจะเกิดการติดของสีมากกว่าสีธรรมชาติในระดับที่ 1 ในอัตราส่วนผสม 10 % จะติดสีน้อยมาก อัตราส่วนผสม 15 % จะติดสีน้อย อัตราส่วนผสม 20 % จะติดสีปานกลาง อัตราส่วนผสม 25 % จะติดสีมาก ดั่งรูปที่ 4.5 แสดงรูปตัวอย่างจริงตามปริมาณสีที่เพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

ควรมีการศึกษาใช้สีธรรมชาติด้วยวัสดุอื่นๆเพื่อให้เกิดสีที่หลากหลาย

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.