



พัฒนาอิฐประสานจากวัสดุคอมโพสิตดินลูกรังผสมพลาสติกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง
Development of Brick interface as Laterite Soil composite material for
construction

ผู้วิจัย

นายนิโรจน์ เงินพรหม

นายธนนท์ ศัลยวุฒิ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากงบประมาณเงินรายจ่าย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

บทคัดย่อ

พัฒนาอิฐประสานจากวัสดุคอมโพสิตดินลูกรังผสมพลาสติกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง

Development of Brick interface as Laterite Soil composite material for construction

นายนิโรจน์ เงินพรหม, นายธนนท์ ศัลยวุฒิ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

จากการทดลองวิจัยพบว่าดินลูกรัง ที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นดินชั้นคุณภาพ A4 ประเภทของดินทรายแป้ง (Silty Soils) โดยมีอัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับ 99.20% อัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 เท่ากับ 96.20% อัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 เท่ากับ 92.34% และอัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 72.08% ดินลูกรังมีค่าพิกัด Atterberg พิกัดเหลว (Liquid Limit) เท่ากับ 17.49% พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) เท่ากับ 15.08 % และดัชนีมวลดิน (Plasticity Index) เท่ากับ 2.41% องค์ประกอบทางเคมีของดินลูกรังพบว่าดินลูกรังมีซิลิกอน ออกไซด์ (SiO_2), อลูมินา ออกไซด์ (Al_2O_3), ไอรอน ออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็น 58.60 %, 25.50%, 13.00% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO_2) : Quartz ดินลูกรังมีผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏมีค่า 2.69 g/cm^3 , ความถ่วงจำเพาะ 2.32, ค่า Loss on Ignition 3.43 %, การกระจายตัวของขนาดอนุภาค $28.42 \mu\text{m}$ ขนาดรูพรุน $42.62 \mu\text{m}$ และรูพรุน ตัว 47.74% การขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก ที่ดินลูกรัง 100%, 90% และ 80% ,ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้เนื่องจากดินมีมวลที่ละเอียดเมื่อขึ้นรูปจะไม่เกิดการยึดเกาะระหว่างมวลกับพลาสติกตั้งรูปในตารางและอัตราส่วนดินลูกรังตั้งแต่ 70%-0%สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์ ตัวอย่างทดสอบดินลูกรัง-พลาสติกที่มีกำลังอัดสูงขึ้นตามเวลาที่ทำการทำ เนื่องจากวัสดุ HDPE มีความเหนียวและยืดหยุ่นทำให้วัสดุทดสอบไม่มีการแตกหักแต่จะเปลี่ยนรูปตามแรงที่กระทำ ซึ่งพบว่าดินลูกรังผสมพลาสติกเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกมากขึ้นกำลังรับแรงเพิ่มตามลำดับ ผู้ใช้ควรเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน ปริมาณดินลูกรัง 50% ขึ้นไปตัวอย่างจมน้ำและปริมาณดินลูกรังต่ำกว่า 50% ก่อนตัวอย่างทดสอบลอยน้ำ ตัวอย่างสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า 30% ทุก ตัวอย่างที่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้ ดินลูกรังผสมพลาสติกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือเกิดน้อยมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวัสดุก่อสร้าง ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง $50\times$ พบว่าดินลูกรังสามารถขึ้นรูปได้ด้วยการประสานของพลาสติกโดยยังมีอัตราส่วนของพลาสติกมากยิ่งขึ้นทำให้มีความสามารถยึดเกาะขึ้นรูปและกำลังได้ดีตามไปด้วย

คำสำคัญ ดินลูกรัง, วัสดุคอมโพสิต

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้โดยการสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครและสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้การดูแลของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ รวมทั้งที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนางานวิจัย รวมทั้งนักศึกษา ครู อาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในด้านต่างให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี



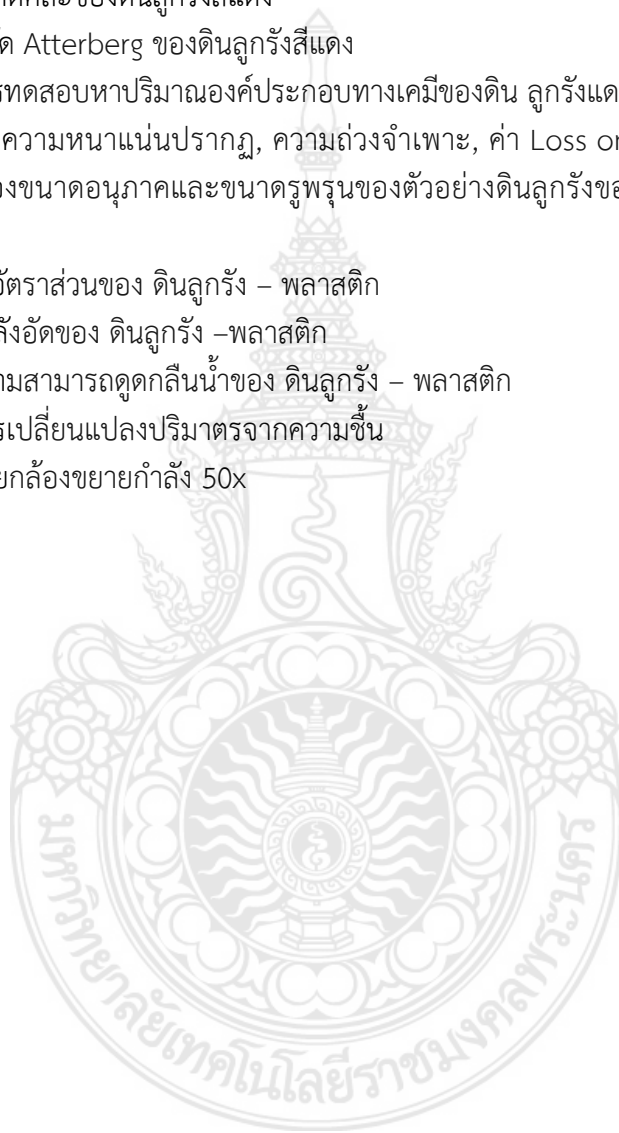
สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญการตาราง	ง
สารบัญรูปประกอบ	จ
บทที่	
1 บทนำ	1-2
1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2 วรรณสารปริทรรศน์	3-30
2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย	3
2.2 วัสดุคอมโพสิต	4
2.3 พลาสติก	14
2.4 ดินลูกรัง	15
2.5 อิฐประสาน	24
3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	31-41
3.1 ศึกษาถึงข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัย	31
3.2 กำหนดแหล่ง ดินลูกรังและพลาสติกที่จะใช้วิจัย	32
3.3 เก็บตัวอย่าง ดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง	33
3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ ดินลูกรัง	34
3.5 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ ดินลูกรัง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ	35
3.6 ออกแบบอัตราส่วนผสม	35
3.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด	35
3.8 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินลูกรังและพลาสติก ต่อกำลังรับแรงอัด	38
3.9 เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค	40
3.10 ทำการทดสอบการดुकน้ำ	40

สารบัญต่อ	หน้า
4 ผลการวิจัย	42-53
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานขนาดคละของดิน ลูกรัง	42
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพิกัด Atterberg ของดิน ลูกรัง	42
4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรัง	42
4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรัง	43
4.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD)ของตัวอย่างดินลูกรัง	44
4.6 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วน	44
4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม	46
4.8 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ (Moisture Content; MC %)	49
4.9 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น	50
4.10 ผลเลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์	51
โครงสร้างทางจุลภาค	
5 ผลการวิจัย	54-55
5.1 สรุปผลจากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ	54
5.2 สรุปผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วน	54
5.3 สรุปผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า	54
5.4 สรุปผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ(Moisture Content; MC %)	54
5.5 สรุปผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น	55
5.6 สรุปผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค	55
5.7 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	55
เอกสารอ้างอิง	56-57
ภาคผนวก ก ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	58
ภาคผนวก ข ประวัติคณะผู้วิจัย	59-60

สารบัญตาราง

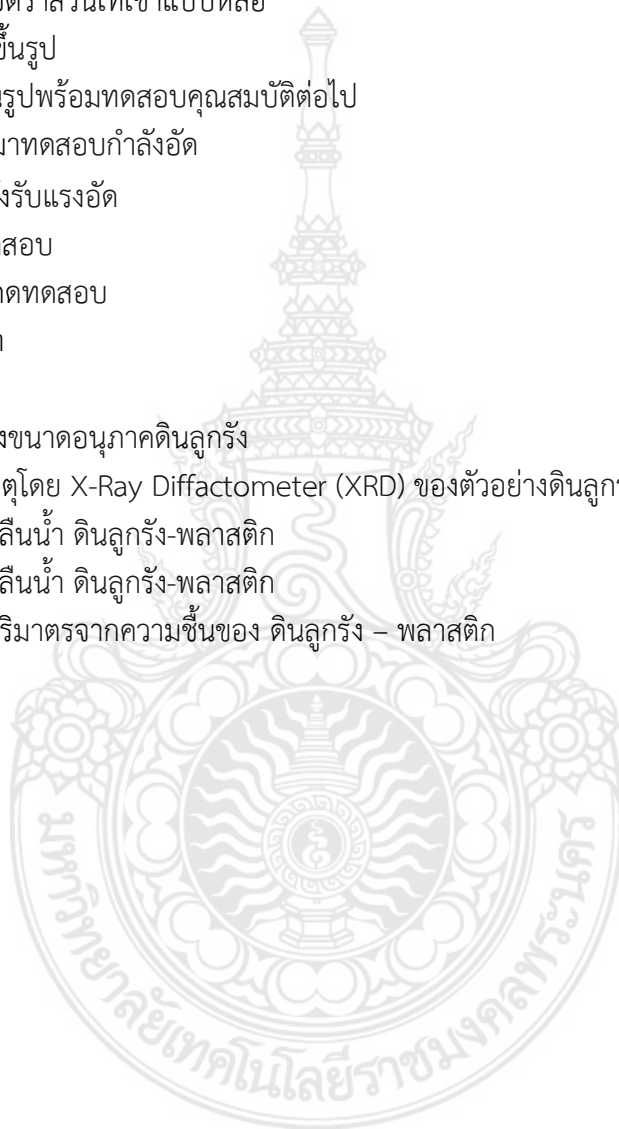
สารบัญตาราง	หน้า
2.1 ปริมาณซิลิกา และเซสควออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย	22
2.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	23
3.1 อัตราส่วนผสมของใยธรรมชาติต้นสบู่ดำกับพลาสติก	35
4.1 ผลการทดสอบขนาดคละของดินลูกรังสีแดง	42
4.2 ผลการทดสอบพิกัด Atterberg ของดินลูกรังสีแดง	42
4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังแดง	42
4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรังของดินลูกรังแดง	43
4.5 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก	44
4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง – พลาสติก	47
4.7 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ดินลูกรัง – พลาสติก	49
4.8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น	50
4.9 ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x	51



สารบัญญรูปประกอบ

สารบัญญรูปประกอบ	หน้า
2.1 แสดงประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง	4
2.2 แสดงตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน	5
2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างใน 2 มิติอย่างง่ายของก้อนคอมโพสิต	6
2.4 เป็นภาพตัดของวัสดุผสมเสริมเส้นใย	8
2.5 แสดงลักษณะโซโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก	9
2.6 แสดงลักษณะโซโมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน	9
2.7 หน่วยเซลล์เบื้องต้นของสารเสริมแรง	10
2.8 การจัดเรียงแบบสุ่มตัวของหน่วยเซลล์ของสารเสริมแรงในเนื้อของวัสดุคอมโพสิต	10
2.9 เส้นใยเสริมแรงที่ได้จากการเรียงตัวต่อกันของหน่วยเซลล์ของสารเสริมแรงในทิศทางที่มีความแข็งแรงสูง	11
2.10 กระบวนการส่งผ่านภาระแรงดึง	11
2.11 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่มีต่อค่าความเครียดที่เกิดขึ้นรอบๆ เส้นใยเสริมแรง	12
2.12 ค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในเส้นใยและมีค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าสัมผัสของเส้นใย	12
2.13 แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง	15
2.14 แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง ตามวิธี Remillon	18
2.15 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย	20
2.16 ก้อนบล็อกทรงหรือทรงสี่เหลี่ยมขนาดเต็มก้อน 12.5×25×10 ซม.	24
2.17 อาคารที่ก่อสร้างด้วยอิฐบล็อกประสานตรง	24
2.18 ก้อนบล็อกโค้งขนาด 15 x 30 x 10 ซม.	25
2.19 สิ่งก่อสร้างที่ก่อด้วยบล็อกโค้ง	25
2.20 บ้านที่ก่อสร้างด้วยอิฐบล็อกประสาน	26
2.21 เครื่องอัดด้วยแรงคนแบบมือโยก	26
2.22 เครื่องอัดไฮดรอลิก	27
2.23 การบดเตรียมดิน	27
2.24 ผสมดินและการเพิ่มความชื้น	28
2.25 การอัดก้อนอิฐด้วยแรงงานคน	28
2.26 การบ่มบล็อกประสาน	29
2.27 บล็อกประสานที่วางขายในท้องตลาด	29
2.28 อาคารบล็อกประสานหลังแรกสร้าง เมื่อปี พ . ศ . 2527	30
3.1 ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัย	32
3.2 ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัยหลังบด	32
3.3 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE	33
3.4 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE ผ่านการบด	33

สารบัญญรูปประกอบ ต่อ	หน้า
3.5 แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย	34
3.6 นำ ดินลูกรัง มาซัง	36
3.7 นำ HDPE มาซัง	36
3.8 เตรียมวัสดุก่อนผสม	36
3.9 วัสดุหลังจากการผสมตามอัตราส่วน	36
3.10 วัสดุหลังผสมตามอัตราส่วนเทเข้าแบบหล่อ	37
3.11 นำตัวอย่างเข้าอบขึ้นรูป	37
3.12 ตัวอย่างหลังอบขึ้นรูปพร้อมทดสอบคุณสมบัติต่อไป	38
3.13 ตัวอย่าง ดินลูกรังมาทดสอบกำลังอัด	38
3.14 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด	39
3.15 ตัวอย่างหลังกดทดสอบ	39
3.16 ตัวอย่างขณะหลังกดทดสอบ	39
3.17 ตัวอย่างขณะแช่น้ำ	40
3.18 ตัวอย่างหลังแช่น้ำ	40
4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินลูกรัง	43
4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง	44
4.3 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก	46
4.4 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก	49
4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ดินลูกรัง – พลาสติก	50



บทที่ 1 บทนำ

โครงการวิจัย พัฒนาอิฐประสานจากวัสดุคอมโพสิตดินลูกรังผสมพลาสติกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง (Development of Brick interface as Laterite Soil composite material for construction)

1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

"...วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้าง ความเจริญของบ้านเมือง จึงควรสนับสนุนให้ มีการค้นคิดเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับภาวะ แลหะความต้องการของประเทศ ขึ้นใช้เองอย่างจริงจังถ้าสามารถค้นคิดได้ มากเท่าไร จะเป็นภาระประหยัดและช่วยให้สามารถ นำไปใช้ในงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ยิ่งขึ้นเท่านั้น..." พระราชดำรัส พระราชทานเนื่องในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์แห่งชาติ 1 สิงหาคม 2531

ปัจจุบัน รัฐบาลมีโครงการรณรงค์ให้ประชาชนหันมาให้ความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จึงนำดินลูกรังซึ่งเป็นวัสดุที่หาง่าย ราคาถูก ทำเป็นวัสดุคอมโพสิต ซึ่ง นำไปเป็นวัสดุก่อสร้างซึ่งจะเป็นทางเลือกให้กับผู้บริโภค

โดยงานวิจัยนี้จะนำดินลูกรังมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่า ตามพระบรมราโชวาทที่ว่า "...เทคโนโลยี นั้น โดยหลักการ คือ การทำให้สิ่ง ที่มีอยู่ให้เกิด เป็นสิ่ง ที่นำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้นเทคโนโลยีที่ดีสมบูรณ์ จึงควร จะ สร้างสิ่งที่จะใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่า และมีความสูญเสียเปล่าหรือความเสียหายที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด..." พระบรมราโชวาท ในพิธีพระราชทานปริญญาบัตรของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ณ อาคารใหม่ สวนอัมพร 18 ตุลาคม 2522 ดินลูกรังเป็นวัสดุที่หาได้โดยทั่วไปทุกภาคของประเทศไทยเมื่อนำมาผสมและขึ้นรูปกับพลาสติกทำให้เพิ่มคุณสมบัติในการรับแรง ลดการดูดซึมน้ำและมีน้ำหนักที่เบาขึ้นนำไปใช้งานได้หลากหลายมากขึ้น ซึ่งปัญหาหลังของการนำอิฐประสานไปใช้งานคือน้ำหนักก้อนที่มีมาก 3-7 กิโลกรัม ต่อก้อนทำให้ไม่สามารถนำไปใช้งานได้อย่างหลากหลาย ในงานวิจัยนี้จะพัฒนาให้อิฐบล็อกประสานผสมพลาสติกชนิด HDPE มีน้ำหนักที่น้อยลงเพิ่มคุณสมบัติให้ดีขึ้นและสามารถนำไปพัฒนาไปใช้ในอาคารสูงได้ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 นำดินลูกรังพัฒนาเป็นอิฐประสานวัสดุคอมโพสิต
- 1.2.2 ศึกษาสมบัติเชิงกลของประสานจากวัสดุคอมโพสิตดินลูกรัง
- 1.3.3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของประสานจากวัสดุคอมโพสิตดินลูกรัง

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ใช้วัสดุดินลูกรัง

ใช้วัสดุพลาสติกชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE)

ศึกษาสมบัติเชิงกลของประสานจากวัสดุคอมโพสิตดินลูกรัง

ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ของวัสดุดินลูกรัง

ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ดินลูกรัง, พลาสติก, สารผสมเพิ่ม

1.4 ขั้นตอนและวิธีในการวิจัยมีดังนี้

วิธีการดำเนินการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) กำหนดแหล่งดินลูกรังตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์
- 3) เก็บตัวอย่างดิน ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดิน ดังกล่าว
- 4) ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน ตามมาตรฐาน
- 5) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของดิน
- 6) ออกแบบอัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรัง:HDPE
- 7) ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนดขนาดตามขนาดอิฐบล็อกประสานมาตรฐานโดยการขึ้นรูปโดยให้ความร้อนและแรงดัน
- 8) ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินและพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน
- 9) เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค
- 10) ทำการทดสอบการดुक๊วน้ำ
- 11) ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ
- 12) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 นำดินลูกรังจากทดลองวิจัยไปผลิตเป็นวัสดุคอมโพสิต

1.5.2 เป็นการบริหารสิ่งที่มีอยู่ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่นาคต

1.5.3 ผลงานวิจัยสามารถตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ

1.5.4 จดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

1.5.5 งานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดีเนื่องจากดินลูกรังเป็นทรัพยากรจากธรรมชาติมีในประเทศสามารถ ทำให้เป็นวัตถุดิบผลิตเป็นสินค้าชุมชน และส่งเสริมระบบเศรษฐกิจ อุตสาหกรรมท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

บทที่ 2 วรรณสารปริทรรศน์

2.1 ทฤษฎี สมมุติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

จากความต้องการวัสดุคอมโพสิตในตลาดโลกวัสดุคอมโพสิตเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและเป็นที่ต้องการในอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากคุณสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุคอมโพสิต ในด้านคุณภาพ ประสิทธิภาพ ความคุ้มค่า และความคงทน ทั้งนี้ บริษัท ฟรีโดเนียร์ กรุ๊ป จำกัด (The Freedomia Group, Inc.) ได้ทำการศึกษา พบว่าในปี ค.ศ. 2005 ประเทศสหรัฐอเมริกาปริมาณการใช้วัสดุคอมโพสิต 2.1 ล้านตัน ซึ่งมีมูลค่าทางการตลาดสูงถึง 7.2 พันล้านเหรียญสหรัฐ โดยมีอัตราการเติบโตสูงขึ้นจากปี ค.ศ. 2000 ถึงร้อยละ 16.67 ซึ่งมีปริมาณการใช้วัสดุ คอมโพสิต 1.8 ล้านตัน หรือประมาณ 6.2 พันล้านเหรียญสหรัฐ [1]

แนวโน้มความต้องการภายในประเทศไทยจากการคาดการณ์การใช้วัสดุคอมโพสิตในประเทศไทย พบว่ามีแนวโน้มความต้องการผลิตภัณฑ์ดังกล่าวในอุตสาหกรรมภาคการผลิตเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากวัสดุคอมโพสิตมีคุณสมบัติที่โดดเด่นทั้งด้านประสิทธิภาพ คุณภาพ และความคงทนของผลิตภัณฑ์ อีกทั้งยังมีความคุ้มค่าสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุชนิดอื่นๆ ประเทศไทยพร้อมหรือไม่? ที่จะร่วมกันพัฒนาเทคโนโลยีและนวัตกรรมวัสดุคอมโพสิตแบบใหม่เพื่อให้สามารถนำไปใช้ทดแทนวัสดุดั้งเดิมและก่อให้เกิดธุรกิจใหม่ รวมถึงยังสามารถ สร้างมูลค่าเพิ่มทางเศรษฐกิจได้ ทั้งนี้จากที่กล่าวมาทั้งหมดข้างต้น สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ (สนช.) ได้ให้ความสำคัญในการพัฒนานวัตกรรมวัสดุคอมโพสิต เพื่อนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อวงการอุตสาหกรรมแขนงต่างๆ อันจะนำไปสู่การพัฒนาให้ประเทศไทยเป็นผู้นำทางด้านอุตสาหกรรมวัสดุคอมโพสิตในอนาคต [1]

จากอัตราความต้องการที่มีสูงสวนทางกับวัตถุดิบที่สามารถใช้ได้ในปัจจุบัน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องแสวงหาแหล่งวัตถุดิบใหม่ ๆ มาสนับสนุน และเสริมต่อให้เพียงพอต่อความต้องการในอนาคต เพื่อนำไปใช้ผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างซึ่งถือได้ว่าเป็นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างคุ้มค่า และก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดของการใช้ทรัพยากร ประการสำคัญเป็นการพัฒนาให้เกิดวัตถุดิบชนิดใหม่ เพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุชนิดใหม่ ด้วยกรรมวิธีที่ไม่ยุ่งยาก และค่าใช้จ่ายไม่สูงมากนัก สามารถนำไปประยุกต์ใช้ผลิตในท้องถิ่นได้ โดยเฉพาะการนำไปผลิตและสร้างเป็นผนังอาคาร ฝา และฝ้าเพดาน หรือ ทำเป็นพื้นหรือเฟอร์นิเจอร์ได้ ซึ่งหากประสบผลสำเร็จก็จะสามารถ เป็นสินค้าชนิดใหม่ที่เป็นทางเลือกหนึ่งให้กับผู้บริโภค และสามารถที่จะแข่งขันกับสินค้าที่จำหน่ายในท้องตลาดที่ผลิตในประเทศและต่างประเทศได้

2.2 วัสดุคอมโพสิต

“วัสดุคอมโพสิต” เป็นวัสดุทางวิศวกรรมที่นำเอาวัสดุที่มีคุณสมบัติต่างกันตั้งแต่ 2 ชนิดหรือมากกว่ามาประกอบกัน สร้างเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างใหม่ซึ่งมีคุณสมบัติทางด้านวัสดุศาสตร์ที่เหนือกว่าวัสดุพวกโลหะ เช่น ค่าความแกร่งและแข็งสูง ความถ่วงจำเพาะต่ำ นำมาซึ่งผลิตภัณฑ์ที่มีน้ำหนักเบา สามารถ ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ได้ง่าย ทนทานต่อการกัดกร่อนจากสารเคมีและสภาพอากาศมีความยืดหยุ่นตัวสูง และมีคุณสมบัติทางกลที่ดีโดยคุณสมบัติที่โดดเด่นของวัสดุคอมโพสิตนี้ทำให้วัสดุคอมโพสิตมีความน่าสนใจและมีความได้เปรียบกว่าวัสดุชนิดอื่น นอกจากนี้ วัสดุคอมโพสิตยังประกอบด้วยตัวเสริมแรง (reinforce phase) และเนื้อประสาน (matrix) เช่น พอลิเมอร์ชนิดต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่ในการประสานเชื่อมโยงโครงสร้างระหว่างตัวเสริมแรงเพื่อทำให้เกิดโครงข่าย 3 มิติ (crosslinking) เพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้แก่วัสดุคอมโพสิต ทั้งนี้ ด้วยคุณสมบัติของวัสดุ คอมโพสิตที่กล่าวมาข้างต้น ส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมก่อสร้างและโครงสร้าง อุตสาหกรรมยานยนต์ อุตสาหกรรมเคมี อุตสาหกรรมการผลิตอุปกรณ์และวัสดุทางการแพทย์ [2] จึงมีการแบ่งประเภทของวัสดุคอมโพสิตตามการใช้งานและวัสดุผสมดังรายละเอียดตามรูปที่ 2.1 ดังนี้



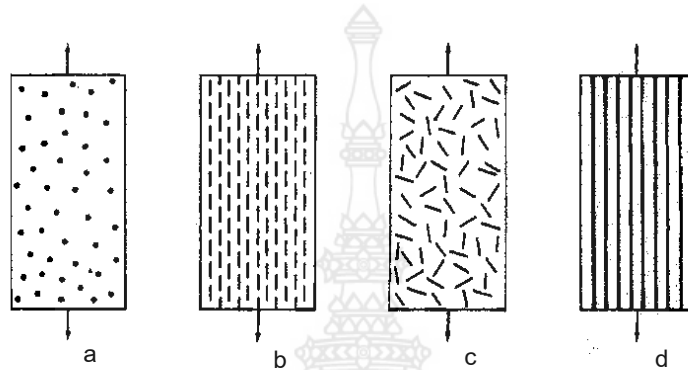
รูปที่ 2.1 แสดงประเภทของวัสดุคอมโพสิตโดยแบ่งตามลักษณะของส่วนเสริมแรง [3],[4]

2.2.1 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement Phase)

ส่วนเสริมแรงมีลักษณะรูปร่างได้หลายแบบ อาจเป็นแผ่น เส้นใย หรืออนุภาคเล็กๆ ก็ได้ ดังตัวอย่างรูปที่ 2 ตัวเสริมแรงที่นิยมใช้ส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นใย (Fiber) อาจจะเป็นเส้นใยต่อเนื่อง หรือเส้นใยสั้น ตัวอย่างเส้นใยที่ใช้เสริมแรงในพอลิเมอร์คอมโพสิต เช่น เส้นใย แก้วเคฟลาร์ หรือเส้นใยธรรมชาติต่างๆ

คุณสมบัติของเส้นใยที่เหมาะสมสำหรับใช้เสริมแรง ควรมีลักษณะดังนี้ [5]

1. เส้นใยควรมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูง เพื่อประสิทธิภาพในการเสริมแรง
2. เส้นใยควรมีความแข็งแรงสูง
3. ความแข็งแรงของเส้นใยแต่ละเส้นใยไม่ควรแตกต่างกันมาก
4. เส้นใยควรเสถียรและรับความแข็งแรง ขณะจัดเก็บและขึ้นรูปได้
5. ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และพื้นผิวของเส้นใย ควรมีลักษณะเหมือนกัน



รูปที่ 2.2 แสดงตัวอย่างคอมโพสิตที่มีส่วนเสริมแรงต่างกัน [3],[4]

- (a) ส่วนเสริมแรงเป็นอนุภาค จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- (b) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน
- (c) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยสั้น จัดเรียงตัวแบบสุ่ม
- (d) ส่วนเสริมแรงเป็นเส้นใยยาว จัดเรียงตัวในทิศทางเดียวกัน

ปัจจัยสำคัญของเส้นใยที่มีผลต่อสมบัติของคอมโพสิต ได้แก่ [6]

1. เส้นผ่าศูนย์กลาง
2. ความยาวของเส้นใย
3. ปริมาตรของเส้นใย
4. ลักษณะรูปร่างของเส้นใย
5. การจัดเรียงตัวของเส้นใยในคอมโพสิต

2.2.2 ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยเสริมแรงกับเนื้อประสาน

ภาระที่กระทำบนเนื้อประสานที่จะถูกส่งผ่านไปยังตัวเสริมแรงโดยผ่านทางผิวหน้าสัมผัส ดังนั้นเส้นใยเสริมแรงจะต้องถูกเชื่อมต่อดีกับเนื้อประสานเพื่อให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรง (Strength) และความแข็งแรง (Stiffness) สูง ลักษณะของการแตกหักเสียหายก็ขึ้นกับความแข็งแรงของหน้าสัมผัสเช่นกัน หน้าสัมผัสที่ไม่แข็งแรงจะส่งผลให้วัสดุคอมโพสิตมีความแข็งแรงและความแข็งแรงน้อยลงและจะมีความ

ต้านทานในการแตกหักน้อยลง นอกจากนี้ ลักษณะของหน้าสัมผัสก็มีผลต่อสมบัติอื่นๆ ของวัสดุคอมโพสิต เช่น ความต้านทาน การคืบ (Creep) การล้า (Fatigue) และการเสื่อมเนื่องจากสิ่งแวดล้อม เป็นต้น

หน้าสัมผัสระหว่างเส้นใยเสริมแรงกับเนื้อประสานมีความสำคัญ ทั้งในกรณีของเส้นใยสั้นเส้นใยยาว หรือแม้แต่วัสดุเสริมแรงที่มีลักษณะเป็นอนุภาค ลักษณะต่างๆ ของผิวหน้าสัมผัสมีอิทธิพลต่อสมบัติของวัสดุคอมโพสิต เช่นกัน ปัจจัยที่มีผลต่อความแข็งแรงของหน้าสัมผัส มีดังนี้

2.2.3 การจัดเรียงตัวของเส้นใย

ปัจจัยที่มีความสำคัญเท่าๆ กับความยาวของเส้นใยเสริมแรง ก็คือ การจัดเรียงตัวของเส้นใยซึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิต ในวัสดุคอมโพสิตเสริมแรงด้วยเส้นใยยาวสามารถที่จะควบคุมความยาวของเส้นใยและสามารถคาดเดาสมบัติของคอมโพสิต เช่น ความแข็งเกร็ง (Stiffness) และความแข็งแรง (Strength) ได้ แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อขนาดของเส้นใยสั้นลงและกระบวนการผลิตวัสดุคอมโพสิตที่มีการเหนียวทำให้มีการไหลของวัสดุในแม่พิมพ์ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการจัดเรียงตัวของเส้นใยในแม่พิมพ์อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เมื่อมีความหนาและส่วนประกอบย่อยในแม่พิมพ์ฉุดมากจะทำให้สามารถคาดเดาสมบัติของวัสดุคอมโพสิตได้ยากมาก ทั้งนี้สมบัติของวัสดุคอมโพสิตในแต่ละจุดก็อาจจะมีแตกต่างกันด้วย

การเปลี่ยนแปลงของการจัดเรียงตัวของเส้นใยมีความสัมพันธ์กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะรูปร่างของเส้นใย สมบัติความหนืดของเนื้อประสานเมื่อมีการเติมเส้นใย การออกแบบแม่พิมพ์และการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุเนื่องจากการผลิตที่แตกต่างกันในหลายกระบวนการผลิตการหลอมของพอลิเมอร์หรือการเปลี่ยนแปลงต่างๆ ภายใต้การไหลอันเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง (Elongation) และแรงเฉือน (Shear Force) ผลกระทบเนื่องจากกระบวนการไหลต่อการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่เกิดขึ้นแสดงดังรูปที่ 2.3 ซึ่งแสดงการเปลี่ยนแปลงรูปร่างใน 2 มิติอย่างง่าย



รูปที่ 2.3 การเปลี่ยนแปลงรูปร่างใน 2 มิติอย่างง่ายของก้อนคอมโพสิต เนื่องจากผลกระทบจากกระบวนการไหล [6] (a) การกระจายตัวแบบสุ่ม (b) การหมุนของเส้นใยเสริมแรง ระหว่างการไหลเนื่องจากแรงเฉือน และ (c) การจัดเรียงเส้นใยระหว่างการไหลเนื่องจากการยืด

ในระหว่างกระบวนการฉีดขึ้นรูปวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต การไหลของเส้นใยจะหมุนไปตามทิศทางของการดึงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวไปในทิศทางเดียวกันของเส้นใยบางส่วนและแรงเฉือนจะทำให้เส้นใยเกิดการหมุนในลักษณะเดียวกันในทิศทางเดียวกับแรงเฉือน ความหนืดของเนื้อประสานจะส่งผลในการเรียงตัวของเส้นใยโดยมีอิทธิพลจากการไหลเข้าสู่แม่พิมพ์

แม้แต่ในแม่พิมพ์ที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดของแม่พิมพ์แบบฉีด ก็ถูกค้นพบว่ามี การกระจายและการจัดเรียงตัวของเส้นใยที่แตกต่างกันในแต่ละจุด ดังนั้นการพิจารณาสมบัติทางกล เช่นความแข็งแรง และความแข็งแรงของวัสดุคอมโพสิตก็จะแตกต่างกันไปในแต่ละจุด ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงการกระจายตัวและการจัดเรียงตัวของเส้นใย ดังนั้นการที่แม่พิมพ์มีความซับซ้อนมากขึ้นก็จะยิ่งทำให้คาดคะเนการจัดเรียงตัวของเส้นใย ดังนั้นการที่แม่พิมพ์มีความซับซ้อนมากขึ้นก็จะยิ่งทำให้คาดคะเนการจัดเรียงตัวของเส้นใยในวัสดุคอมโพสิต รวมไปถึงสมบัติทางกลต่างๆ ได้ยากยิ่งขึ้นด้วยแต่ทั้งนี้จะมีความนิยมการใช้วัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยสั้น โดยการขึ้นรูปด้วยกระบวนการฉีดมากเนื่องจากมีแนวโน้มของค่าใช้จ่ายในการผลิตที่ถูกกว่าและแนวโน้มในการผลิตเชิงปริมาณ ได้รวดเร็วกว่าคอมโพสิตเสริมแรงเส้นใยยาวจึงยังคงมีการศึกษา และพัฒนาเกี่ยวกับวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตเสริมเส้นใยสั้นเพื่อสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับวัสดุเมื่อนำมาใช้งานได้

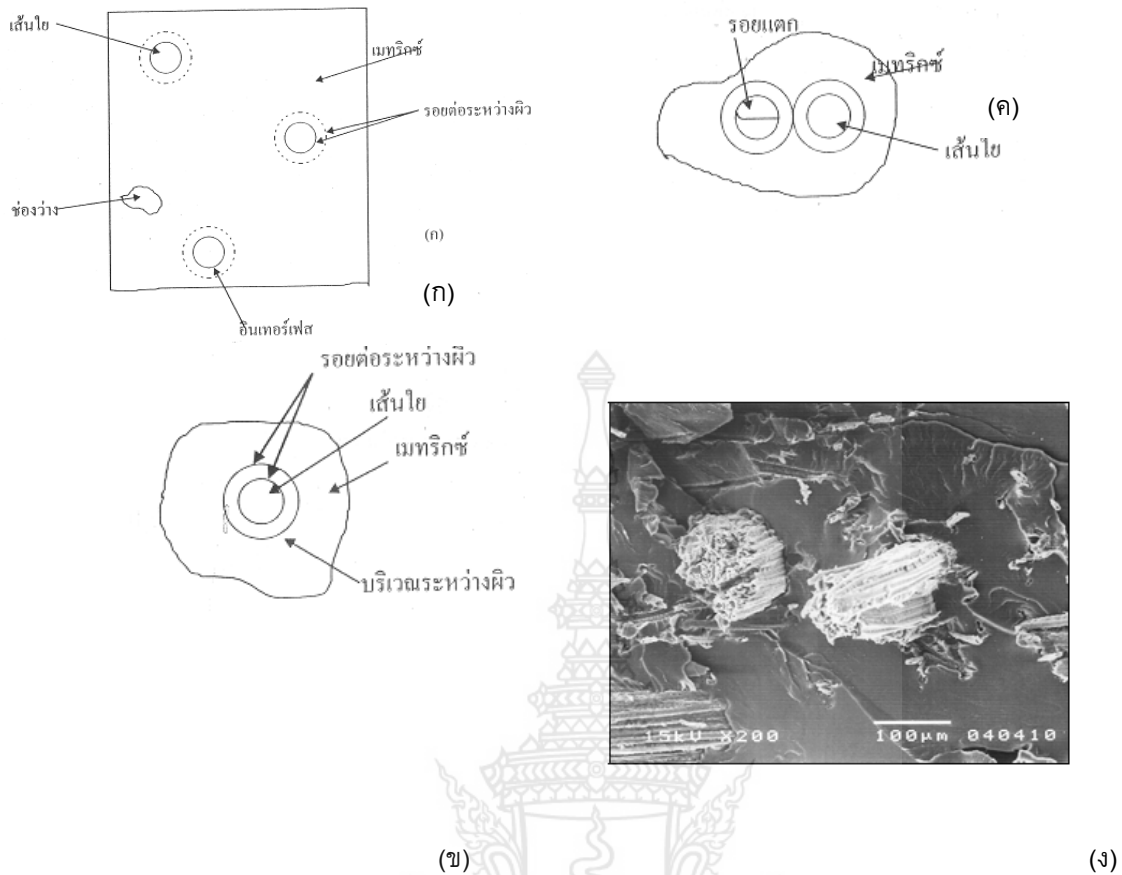
2.2.4 พอลิเมอร์เมทริกซ์ (Polymer Matrix)

เมทริกซ์หรือเนื้อประสานเป็นส่วนที่ช่วยห่อหุ้มและยึดส่วนเสริมแรงเข้าไว้ด้วยกัน ซึ่งโดยทั่วไปเมทริกซ์มักมีความเหนียวสูง แต่มีความแข็งแรงและโมดูลัสต่ำกว่าส่วนเสริมแรงพอลิเมอร์คอมโพสิตแต่ละชนิดที่ประกอบด้วยเมทริกซ์หรือสารเสริมแรงที่แตกต่างกันจะมีสมบัติต่างกัน โดยขึ้นกับปัจจัยต่างๆ Bledzki A.K. และคณะ [5] ได้ทำการทดลองเปรียบเทียบสารเสริมแรง 3 ชนิด ได้แก่ ผงไม้ (WF) เส้นใยเซลลูโลส (BW.40) และหนังสือพิมพ์เก่า (ONP) พบว่า ความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นเมื่อเติมสารเสริมแรงเหล่านี้ใน PP และ HDPE โดยเฉพาะเส้นใยเซลลูโลส และหนังสือพิมพ์เก่าจะให้มีสมบัติด้านความทนแรงดึงดีกว่าผงไม้ สารตัวเติมจะช่วยให้เพิ่มความทนแรงกระแทกของ PP แต่จะลดลงใน HDPE อาจเนื่องมาจากสารช่วยยึดติดที่ใช้เข้ากับ PP ได้ดีกว่า HDPE

ตามที่ทราบกันแล้ววัสดุผสมประกอบด้วยวัสดุหลายอย่าง ประกอบด้วยส่วนผสมหลักเส้นใยและพอลิเมอร์เรซิน คือมีสารเติมต่างๆ เพื่อปรับสมบัติที่ต้องการ เช่นโบเดอร์ ฟิลเลอร์ เม็ดสี ตัวเร่ง และสารลดการติดไฟ เป็นต้น เมื่อนำมาผสมกันก็จะเกิดรอยต่อระหว่างผิวหน้า (interfaces) ซึ่งเป็นผิวหน้าที่ฟอร์มพื้นที่หรือขอบเขตคล้ายๆ ขอบเกรนระหว่างส่วนประกอบ 2 ชนิดในสารเนื้อเดียว อินเทอร์เฟส (interphase) เป็นบริเวณที่ฟอร์มอยู่ระหว่างผิวหน้า (รูปที่ 2.4)

หน้าที่ของเมทริกซ์ในพอลิเมอร์คอมโพสิต ได้แก่ [7]

1. รักษาความเสถียรในรูปร่าง และขนาดของวัสดุคอมโพสิต
2. รักษาการกระจายตัวของเส้นใย และแยกไม่ให้เส้นใยมารวมกัน
3. ทำให้วัสดุคอมโพสิตสามารถทนต่อการเสียดสีรภาพ ภายใต้อุณหภูมิหรือแรงที่ระดับหนึ่งๆ
4. สามารถกระจายส่งถ่ายแรงที่ได้รับจากภายนอกไปยังเส้นใยได้
5. ช่วยให้ทนทานต่อสภาพแวดล้อมและมีความเสถียรในตัวกลางต่างๆ



รูปที่ 2.4 เป็นภาพตัดของวัสดุผสมเสริมเส้นใย

- ก) ภาพตัดขวางการเสริมเส้นใยในเมทริกซ์ [8]
 ข) เส้น ที่ถูกเคลือบประมึรอยต่อขอบเกรนและป้องกันการแตกร้า [8]
 ค) เส้นใย 2 เส้นที่ติดกันเพื่อหยุดยั้งรอยแตก [8]
 ง) สันฐานวิทยาของการยึดติดกันระหว่างเส้นใยกับเมทริกซ์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนกำลังขยาย 200 เท่า [9]

พอลิเมอร์เมทริกซ์ที่ใช้โดยทั่วไปแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่

1 เทอร์โมเซต (Thermoset) [10]

พอลิเมอร์กลุ่มนี้เมื่อผ่านกรรมวิธีการผลิตจะมีรูปทรงถาวร ผลผลิตที่ได้นำไปหลอมอีกไม่ได้ และไม่ละลายในตัวทำละลาย คือ ไม่เกิดกระบวนการย้อนกลับ สาเหตุที่เป็นเช่นนี้ เพราะก่อนผ่านกระบวนการเตรียม โครงสร้างของพอลิเมอร์ยังไม่เป็นร่างแห แต่เมื่อผ่านกระบวนการโดยให้ความร้อนหรือความดันเข้าไป จะมีการเปลี่ยนแปลงทางเคมีในโครงสร้างเกิดการเชื่อมโยง (Cross-Linking) ระหว่างสายโซ่โมเลกุล มีลักษณะเป็นระบบสามมิติ มีการสร้างพันธะโควาเลนต์ระหว่างสายโซ่โมเลกุล ทำให้ผลิตภัณฑ์ที่มีความคงทนไม่หลอมไม่ละลาย ถ้าให้ความร้อนมากๆ จะไหม้เกรียม และสมบัติเปลี่ยนไปจากเดิม

เทอร์โมเซตที่ใช้เป็นเมทริกซ์ส่วนใหญ่ ได้แก่ อีพอกซี พอลิเอสเทอร์ และไวนิลเอสเทอร์ เมื่อเทอร์โมเซตเรซินที่หลอมเหลวเริ่มแข็งตัว จะเกิดการเชื่อมโยงขึ้น ซึ่งทำให้เกิดรอยต่อที่แน่นของโครงร่างแหสามมิติ

การเกิดการเชื่อมโยงทำให้พอลิเมอร์แข็งตัว มีความแข็งแรงสูง มีความต้านทานการละลาย มีเสถียรภาพทางความร้อน และต้านทานการเกิดออกซิเดชันได้ดี สมบัติเหล่านี้สัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นของการเกิดการเชื่อมโยงและน้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยง ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากจะส่งผลให้เมทริกซ์มีความแข็งแรงมาก หรือมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูง แต่ถ้าเกิดการเชื่อมโยงมากแล้ว น้ำหนักโมเลกุลของสายโซ่ระหว่างการเชื่อมโยงจะลดลง ซึ่งจะทำให้การเคลื่อนที่ของโมเลกุลเกิดได้ยาก เกิดความเปราะ มีความเครียดต่ำ ความต้านทานต่อแรงกระแทกน้อย และไม่เหนียว

2 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) [11]

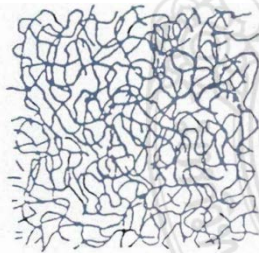
เทอร์โมพลาสติกจะละลายได้ดี ในตัวทำละลายบางชนิด เมื่อถูกความร้อนสามารถหลอมตัวได้ และเมื่อเย็นลงจะแข็งตัวสามารถทำให้หลอมและแข็งตัวหลายๆ ครั้ง โดยไม่ทำให้สมบัติทางเคมีเปลี่ยนแปลง อาจแยกเป็น 2 กลุ่มคือ กลุ่มเทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic) และเทอร์โมพลาสติกที่มีผลึกบางส่วน (Semi-Crystalline Thermoplastic)

2.1 เทอร์โมพลาสติกอสัณฐาน (Amorphous Thermoplastic)

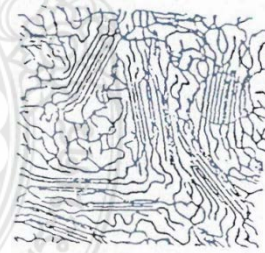
ประกอบด้วยโซ่โมเลกุลเรียงตัวกันอย่างไม่เป็นระเบียบ โซ่โมเลกุลอยู่ห่างกันทำให้มีความแข็งแรงน้อย ทนความร้อนต่ำเปลี่ยนแปลงขนาดได้น้อยแต่มักจะใส และยังเป็นพลาสติกที่ไม่มีจุดหลอมเหลว แต่มีเพียงอุณหภูมิที่อ่อนตัวเท่านั้น เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน และพอลิคาร์บอเนตเป็นต้น ดังรูปที่ 2.5

2.2 เทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน (Partially or Semi-crystalline Thermoplastic)

จะมีโซ่โมเลกุลบางส่วนที่มีการเรียงตัวอย่างเป็นระเบียบ เรียกว่าส่วนที่เป็นผลึกจึงทำให้พลาสติกชนิดนี้ มีความแข็งแรง ทนต่อสารเคมี น้ำมัน และทนต่อความร้อนได้ดีกว่า แต่มักจะขุ่นและทึบแสง เช่น พอลิโพรพิลีน พอลิเอทิลีน เป็นต้น ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.5 แสดงลักษณะโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบไม่มีผลึก [12]

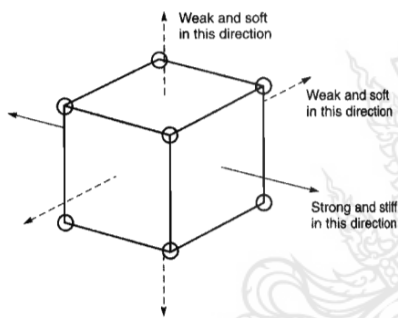


รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะโซ่โมเลกุลของเทอร์โมพลาสติกแบบมีผลึกบางส่วน [12]

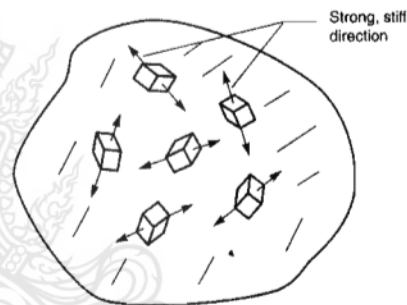
ในเทอร์โมพลาสติกไม่เกิดการเชื่อมโยงระหว่างสายโซ่โมเลกุล ดังนั้นความแข็งแรง และความแข็งแรงของเมทริกซ์ที่ได้นั้นเป็นผลโดยตรงจากสมบัติของมอนอเมอร์และน้ำหนักโมเลกุลที่สูงเทอร์โมพลาสติกอสัณฐานจะมีการพันกันของสายโซ่โมเลกุลซึ่งจะส่งผลคล้ายกับการเกิดการเชื่อมโยง และในพอลิเมอร์ที่สามารถตกผลึกได้ก็จะมี การจัดเรียงตัวที่ดี ทำให้เมทริกซ์มีความแข็งแรงสมบัติของเทอร์โมพลาสติกจะขึ้นกับอัตราการเกิดผลึก สัณฐานวิทยา และการจัดเรียงตัวของผลึกซึ่งจะขึ้นกับสภาวะในการผลิต

2.2.5 ความรู้เกี่ยวกับกลศาสตร์ของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิต

เพื่อความเข้าใจในความสามารถ ของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตในขณะที่วัสดุคอมโพสิตมีน้ำหนักเบา รวมถึงสมบัติอื่นๆ ควรที่จะมีความรู้เกี่ยวกับวัสดุศาสตร์และการยึดเกาะกันของโมเลกุลที่สามารถทำให้รวมกันขึ้นเป็นวัสดุได้ จากรูปที่ 2.7 แสดงถึงหน่วยเซลล์เบื้องต้นของสารเสริมแรง (เส้นใยเสริมแรง) ที่แต่ละมุมของหน่วยเซลล์ คือ อะตอมหรือโมเลกุลที่เกาะกันด้วยแรงยึดเหนี่ยวอะตอมจากรูปแสดงให้เห็นถึงสมบัติของหน่วยเซลล์ที่ขึ้นกับทิศทางอันเนื่องมาจากความแข็งแรงของแรงยึดเหนี่ยวอะตอมและแรงยึดเหนี่ยวระหว่างโมเลกุล ในแต่ละทิศทาง ทิศทางที่มีแรงยึดเหนี่ยวแข็งแรงกว่าก็จะทำให้หน่วยเซลล์มีสมบัติแข็งแรงในทิศทางนั้นๆ ส่วนใหญ่ในหนึ่งหน่วยเซลล์จะมีทิศทางหนึ่งที่มีความแข็งแรงที่สุดและความแข็งแรงของหน่วยเซลล์ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางที่มีความแข็งแรงมากที่สุดและความแข็งแรงของหน่วยเซลล์ในทิศทางที่ตั้งฉากกับทิศทางที่มีความแข็งแรงมากที่สุดจะมีความอ่อนแอ นอกจากนี้สมบัติอื่นๆ เช่น สมบัติการนำความร้อนและการนำไฟฟ้าก็อาจจะขึ้นกับทิศทางเช่นกัน

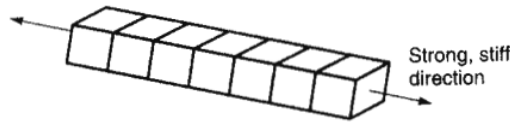


รูปที่ 2.7 หน่วยเซลล์เบื้องต้นของสารเสริมแรง (เส้นใยเสริมแรง) [13]



รูปที่ 2.8 การจัดเรียงแบบสุ่มตัวของหน่วยเซลล์ของสารเสริมแรงในเนื้อของวัสดุคอมโพสิต [13]

เมื่อวัสดุผ่านกระบวนการผลิต หน่วยเซลล์ของสารเสริมแรง (เส้นใยเสริมแรง) จะการจัดกระจายแบบสุ่มอยู่ทั่วไปในปริมาตรของวัสดุ ดังรูปที่ 2.8 เนื่องจากการจัดเรียงตัวของเส้นใยเสริมแรงเป็นแบบสุ่มทำให้สมบัติรวมของวัสดุคอมโพสิตเหมือนกันในทุกๆ ทิศทาง (Isotropic Properties) และเมื่อเรียงหน่วยเซลล์ต่อกันโดยให้ทิศทางที่มีความแข็งแรงเป็นไปในทิศทางเดียวกันก็จะได้เซลล์ยาวขึ้น และมีความแข็งแรงสูงในทิศทางที่แข็งแรงนั้น แท่งที่เกิดจากการเรียงต่อกันของหน่วยเซลล์จนได้ความยาวที่เหมาะสมค่าหนึ่ง ถูกเรียกว่าเส้นใยเสริมแรง ดังรูปที่ 2.9

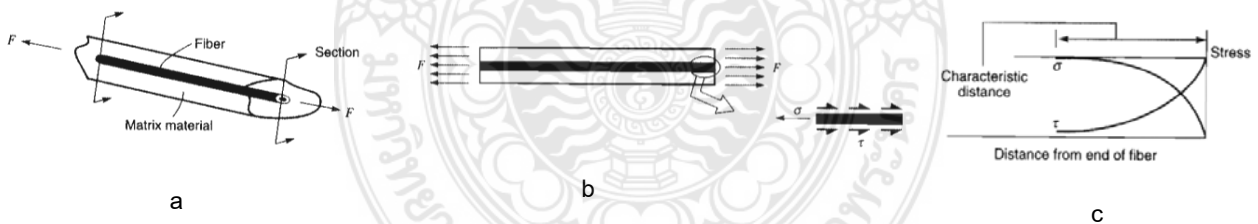


รูปที่ 2.9 เส้นใยเสริมแรงที่ได้จากการเรียงตัวต่อกันของหน่วยเซลล์ของสารเสริมแรง
ในทิศทางที่มีความแข็งแรงสูง [13]

2.2.6 ความแข็งแรงของเส้นใยเสริมแรง

จากการเรียงตัวต่อกันของหน่วยเซลล์ย่อยๆ จนเกิดเป็นเส้นใย การที่จะทำให้เส้นใยมีประสิทธิภาพในการเสริมแรงเมื่อผสมอยู่ในเนื้อของวัสดุ เส้นใยเสริมแรงจะต้องวางตัวอยู่ในทิศทางขนานกับภาระ จากนั้นการจะถูกส่งผ่านไปบนเส้นใยและเส้นใยจะยังคงตัวอยู่ได้ภายใต้ภาระที่กระทำนั้น รูปที่ 2.10 แสดงกระบวนการส่งผ่านภาระแรงดึง (F) ที่กระทำกับวัสดุคอมโพสิตเสริมเส้นใยเสริมแรง

เส้นใยเสริมแรงจะถูกเคลือบหรือปกคลุมด้วยเนื้อประสาน ดังรูปที่ 2.10 (a) วัสดุที่เป็นเนื้อประสานจะส่งถ่ายภาระไปยังเส้นใยเสริมแรงในรูปของความเค้นเฉือน (Shear Stress) ดังรูปที่ 2.10 (b) พิจารณาตามแนวความยาวของเส้นใย แรงดึง (F) ที่กระทำจะทำให้เกิดความเค้นดึง (Tensile Stress) ขึ้นในเส้นใย บริเวณใกล้ๆ กับปลายของเส้นใยความเค้นเฉือนบนผิวของเส้นใยจะมีค่าสูงขึ้น ความเค้นเฉือนก็จะมีค่าลดลงและความเค้นดึงจะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนถึงความยาวเจาะจงค่าหนึ่ง (Characteristic Distance) ที่ทำให้ความเค้นเฉือนมีค่าน้อยมาก ๆ และความเค้นดึงมีค่าสูงสุดที่ตรงกลางความยาวของเส้นใยโดยทั่วไปค่าความยาวเจาะจงนี้ควรจะมีค่าน้อยกว่าความยาวของเส้นใยจึงจะสามารถเสริมแรงให้กับวัสดุได้

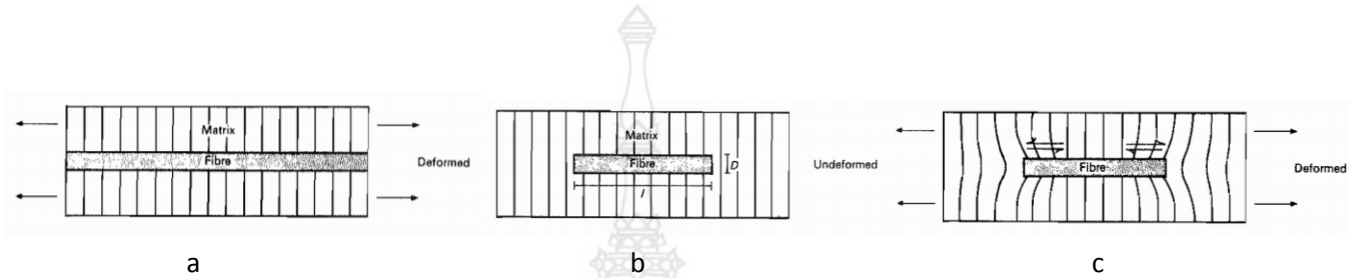


รูปที่ 2.10 กระบวนการส่งผ่านภาระแรงดึง (F) ที่กระทำกับวัสดุคอมโพสิตเสริมแรง [13]

การกระจายความเค้นและความเครียดบนเส้นใย

การวิเคราะห์ความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นบนเส้นใยเสริมแรงแบบต่อเนื่อง (Continuous Fiber) จะไม่พิจารณาผลกระทบเนื่องจากปลายเส้นใยเนื่องจากอิทธิพลของความเค้นเฉือนมีค่าน้อยมาก แต่เมื่ออัตราส่วนความยาวต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง (Aspect Ratio : $1/D$) ของเส้นใยเสริมแรงลดลงผลกระทบเนื่องจากปลายเส้นใยจะเพิ่มมากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพของเส้นใยในการเสริมแรงให้กับวัสดุคอมโพสิตลดลงทั้งด้านความแข็งแรงและความยืดหยุ่น ในกรณีของเส้นใยสั้นผลกระทบจากปลายเส้นใยจะมีบทบาทอย่างมาก

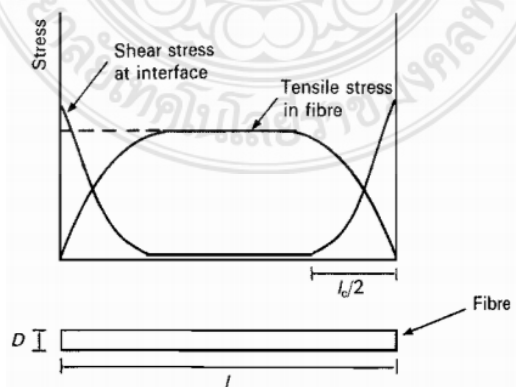
ต่อการแตกหักของวัสดุคอมโพสิต เมื่อพิจารณาเส้นใยที่มีความยาวหนึ่งหน่วยในเนื้อประสาน วางตัวอยู่ในทิศทางขนานกับภาระกำหนดให้การยึดเกาะระหว่างเนื้อประสาน และเส้นใยเสริมแรงเป็นไปอย่างสมบูรณ์ ความเค้นที่เกิดขึ้นในเนื้อประสานจะถูกส่งผ่านหน้าสัมผัสไปยังเส้นใยเสริมแรง ความเครียดที่เกิดขึ้นกับเนื้อประสานและเส้นใยจะมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากวัสดุทั้งสองมีค่าโมดูลัสแตกต่างกัน ซึ่งโดยทั่วไปแล้วค่าโมดูลัสของเนื้อประสานจะมีค่าน้อยกว่าโมดูลัสของเส้นใยเสริมแรง ดังนั้นในบริเวณปลายเส้นใยค่าความเครียดที่เกิดขึ้นในเส้นใยเสริมแรงจะน้อยกว่าความเครียดที่เกิดขึ้นกับเนื้อประสาน ดังแสดงในรูปที่ 2.11 (ก)



รูปที่ 2.11 ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงรูปร่างที่มีต่อค่าความเครียดที่เกิดขึ้นรอบๆ เส้นใยเสริมแรง
(a) เส้นใยความยาวต่อเนื่อง (b) เส้นใยสั้น (c) เส้นใยสั้นเมื่อถูกภาระภายนอกกระทำ [3]

เนื่องจากผลของความแตกต่างของความเครียดนี้ทำให้เกิดความเค้นเฉือนขึ้นรอบ ๆ เส้นใยในทิศทางตามแกนเส้นใยและเกิดแรงดึงในเส้นใยดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และจะทำให้ค่าความแข็งแรงเฉือนของหน้าสัมผัสระหว่างเส้นใยและเนื้อประสานมีค่าต่ำลง อย่างไรก็ตามพื้นที่ผิวสัมผัสของเส้นใยที่มีค่ามากพอและมีความยาวที่เหมาะสมจะทำให้เส้นใยสามารถรับภาระได้ในระดับหนึ่งจนกระทั่งถึงค่าภาระที่ทำให้เกิดการแตกหักเสียหายของเส้นใย

การวิเคราะห์การกระจายความเค้นดังกล่าวข้างต้นได้ถูกแสดงไว้ ดังรูปที่ 2.12 ซึ่งแสดงการกระจายความเค้นดึงและความเค้นเฉือนตามความยาวของเส้นใยที่วางตัวขนานกับทิศทางของภาระ



รูปที่ 2.12 ค่าความเค้นดึงที่เกิดขึ้นในเส้นใยและมีค่าความเค้นเฉือนที่ผิวหน้าสัมผัสของเส้นใย [3]

สมมติฐานหลักของการวิเคราะห์นี้ คือ ทั้งเส้นใยและเนื้อประสานมีการเปลี่ยนแปลงในช่วงยืดหยุ่น (Elastic) เท่านั้น หน้าสัมผัสระหว่างเส้นใยกับเนื้อประสานบางมากและมีการเชื่อมประสานกันอย่างสมบูรณ์ จากผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความเค้นเฉือนจะไปเสริมให้เกิดความเค้นดึงในเส้นใย [4] ที่ปลายของเส้นใยเสริมแรงความเค้นเฉือนระหว่างหน้าสัมผัสจะมีค่าสูงสุดและมีค่าลดลงจนมีผลน้อยมากที่กลางความยาวของเส้นใยและลดลงอย่างมากที่ปลายของเส้นใยเสริมแรง สำหรับในเส้นใยยาวค่าความเค้นเฉือนจะมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ที่ในส่วนตรงกลางเส้นใย

การวิเคราะห์ในทางทฤษฎีและผลจากการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าบริเวณที่ใกล้กับปลายของเส้นใยไม่ได้รับการทั้งหมด ดังนั้นความเค้นเฉือนในเส้นใยสั้นจะน้อยกว่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นในเส้นใยยาวแบบต่อเนื่องเมื่อได้รับภาระภายนอกขนาดเท่ากัน ทำให้เส้นใยยาวแบบต่อเนื่องให้ผลในการเสริมแรงได้ดีกว่า [3] นอกจากนี้ประสิทธิภาพในการเสริมแรงของเส้นใยต่อวัสดุคอมโพสิตยังขึ้นอยู่กับความแข็งแรงระหว่างหน้าสัมผัสระหว่างเส้นใยกับเนื้อประสาน

เนื่องจากภาระจะถูกส่งผ่านจากเนื้อประสานไปสู่เส้นใย ดังนั้นวัสดุคอมโพสิตจึงต้องการการยึดเกาะระหว่างหน้าสัมผัสของเนื้อประสานกับเส้นใยเสริมแรงที่แข็งแรงเพียงพอเพื่อสามารถรับภาระได้อย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับค่าความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นที่ปลายของเส้นใยถ้าเกิดขึ้นมากจะทำให้เกิดผลดังนี้

- 1 การแยกออกจากกันของหน้าสัมผัสด้วยแรงเฉือน
- 2 การสูญเสียการยึดเกาะของเนื้อประสานหรือของเส้นใยเสริมแรง
- 3 การเกิดการยึดตัวอย่างถาวรของเนื้อประสาน

ผลต่างๆ ที่กล่าวข้างต้นนี้เป็นสาเหตุของการเกิดความเสียหายของพอลิเมอร์คอมโพสิตโดยที่ค่าความเค้นเฉือนจะมีผลมากขึ้น เมื่อเส้นใยมีขนาดสั้นลงจนกระทั่งถึงขนาดความยาวค่าหนึ่งซึ่งเส้นใยไม่สามารถทำหน้าที่รับภาระได้เนื่องจากผลของความเค้นเฉือนที่เกิดขึ้นมีมาก ดังนั้นความยาวของเส้นใยจึงเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อสมบัติของวัสดุพอลิเมอร์คอมโพสิตเสริมเส้นใยโดยที่เส้นใยเสริมแรงจะต้องมีความยาวอย่างน้อยที่สุดค่าหนึ่งเพื่อให้สามารถทำหน้าที่ในการรับภาระที่ถูกส่งผ่านมาจากเนื้อประสานได้

การใช้ “วัสดุคอมโพสิต” ในอุตสาหกรรมวัสดุคอมโพสิตแบบดั้งเดิม (conventional composite material) เป็นวัสดุคอมโพสิตที่มีการผลิตในประเทศไทยมาเป็นระยะเวลาอันยาวนาน โดยวัสดุดิบส่วนใหญ่ที่นำมาใช้ในการผลิตงานวัสดุคอมโพสิตแบบดั้งเดิม [2] ได้แก่ เส้นใยเสริมแรงชนิดเส้นใยแก้ว และส่วนเนื้อประสานซึ่งใช้เรซินประเภทพอลิเอสเตอร์ โดย ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างและ โครงสร้าง (composite material for construction) ซึ่งวัสดุคอมโพสิตแบบดั้งเดิมนี้อาจถูกนำมาใช้เป็นผลิตภัณฑ์แผ่นพื้นสำหรับงานโครงสร้าง ตะแกรงครอบท่อระบายน้ำ ประตูไม้เทียม กรอบโครงหน้าต่าง กระเบื้องปูหลังคา และถังบำบัดน้ำเสีย ทั้งนี้ วัสดุคอมโพสิตดังกล่าวยังได้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรม ยานยนต์ (composite material for automotive) ซึ่งสามารถพบเห็นได้ในผลิตภัณฑ์ชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น กันชน ฝากระโปรงหลังคา และประตูรถ เนื่องจากการใช้วัสดุคอมโพสิตจะทำให้รถ มีน้ำหนักเบากว่ารถที่ใช้วัสดุดั้งเดิม อีกทั้งยังมี

ความแข็งแรงและยืดหยุ่นสูง รวมถึงสามารถออกแบบและขึ้นรูปได้ตามหลักอากาศพลศาสตร์ได้ง่ายวัสดุคอมโพสิตแบบใหม่ ได้เข้ามามีบทบาทในอุตสาหกรรมที่ต้องการวัสดุที่มีความแข็งแรง และมีน้ำหนักเบาโดยใช้เส้นใยธรรมชาติและให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม ซึ่งสามารถผลิตได้ด้วยกระบวนการผลิตที่ไม่แตกต่างจากการผลิตคอมโพสิตแบบดั้งเดิม โดยการใช้ตัวเสริมแรงจำพวกเส้นใยธรรมชาติ ซึ่งเป็นเส้นใยที่มีความแข็งแรงทั้งในด้านแรงดึง แรงกด ทำให้วัสดุคอมโพสิตแบบใหม่สามารถนำไปใช้งานต่างๆได้อย่างหลากหลาย

2.3 พลาสติก

2.3.1 โครงสร้างของพลาสติก พลาสติกมีหลายชนิดแบ่งตามชนิดและรูปแบบการจับกันของสายโซ่

โครงสร้างของพลาสติก พลาสติกมีหลายชนิดแบ่งตามชนิดและรูปแบบการจับกันของสายโซ่โมเลกุล เนื่องจากพลาสติกแต่ละชนิดมีโครงสร้างทางเคมีแตกต่างกันจึงทำให้มีสมบัติทางกายภาพและทางเคมีต่างกันไปด้วย ในการเลือกใช้พลาสติกที่จะนำมาใช้ประกอบกับไม้ นั้น นอกจากจะต้องคำนึงถึงสมบัติที่ต้องการแล้วยังต้องคำนึงถึงความเป็นไปได้ในการผลิต และความเข้ากันได้อีกด้วย เพราะเชื่อว่าพลาสติกทุกชนิดสามารถนำมาใช้ประกอบกับไม้ได้เสมอไป ชนิดของพลาสติกที่สามารถนำมา ใช้นั้นขึ้นกับสมบัติของไม้ด้วยเช่นกัน เราไม่สามารถนำ พลาสติกที่มีจุดหลอมตัวสูงกว่าอุณหภูมิที่ไม้จะไหม้มาประกอบกันได้เพราะจะทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้โดยที่ไม้ไม่ไหม้ อีกทั้งยังต้องพิจารณาในด้านการสร้างพันธะระหว่างไม้และพลาสติกที่จะนำมาประกอบด้วยว่าสามารถจับกันได้ดีเพียงใด ตัวอย่างพลาสติกที่สามารถนำมา ใช้ประกอบกับไม้ได้ เช่น Polystyrene (PS), Polyethylene (PE), Poly [vinyl chloride] (PVC) และ Polypropylene (PP) เป็นต้น

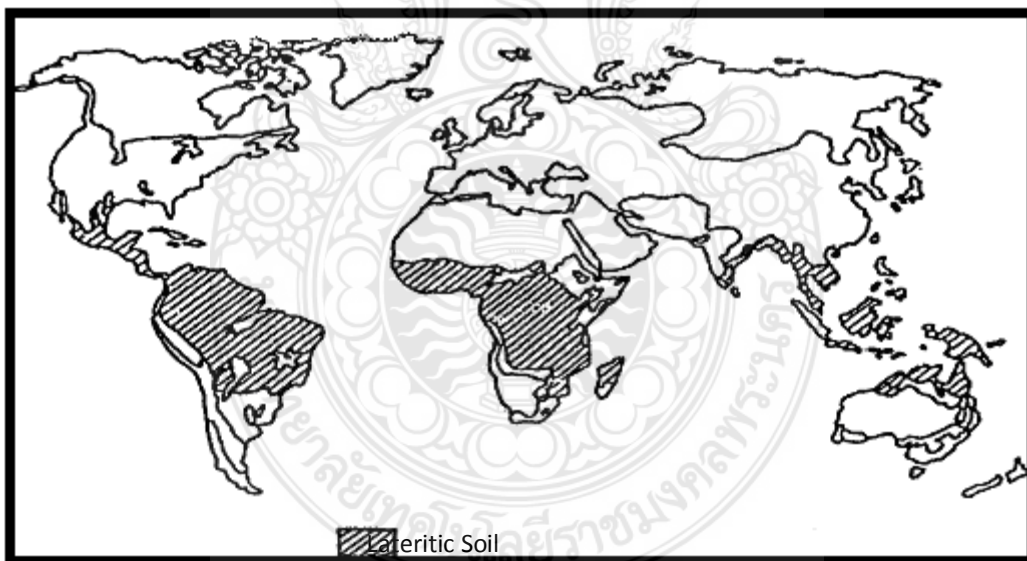
ในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน (polyethylene – PE) ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งแรง เหนียว ทนทาน ป้องกันความชื้นมิให้ผ่านเข้าออกได้ ทนกรดและด่างอ่อน มีน้ำหนักเบา ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.93 สามารถพับงอได้ดี มีความยืดตัวได้สูง ฉีกขาดยาก เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ไม่สามารถทนความร้อนสูง แต่ทนความเย็นได้ถึง -100 องศาฟาเรนไฮต์ เม็ดพลาสติก PE แบ่งได้ตามเกรดเป็น 3 ชนิดคือ

- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density polyethylene - LDPE) ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ เช่น กระจสบ กุญเียน ของใส่ของ ตลอดจนเป็นวัตถุดิบผลิตของเล่นเด็กพลาสติก และฉนวนหุ้มสายไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำวัสดุเคลือบผิว (coating or lamination) และใช้กับงานขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยการเป่า (blow molding) เช่น ขวดพลาสติก คุณสมบัติเด่นของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดนี้คือ มีความเหนียว และคงทน
- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) ใช้กับงานเป่าขึ้นรูป (blow moulding) โดยใช้ทำเป็นขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุประเภทต่างๆ ที่ต้องทนต่อแรงดันและต้องมีแรงต้านทานสูง นอกจากนี้ยังใช้ในงานด้านการฉีดขึ้นรูป (injection) เช่น ผลิตของเล่นเด็ก และเครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน ตลอดจนใช้ทำแผ่นฟิล์ม เชือก ฉนวนหุ้มสายไฟ ท่อ และรางน้ำ ทั้งนี้ ท่อที่ทำจาก HDPE สามารถใช้แทนท่อที่ทำจากพีวีซี เนื่องจากมีความทนทานใกล้เคียงกัน แต่มีราคาถูกกว่า

- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low-density polyethylene - LLDPE) เป็นวัสดุใช้ผสมกับ LDPE เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับตัวผลิตภัณฑ์
จะเห็นได้ว่าโพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) เหมาะกับการนำไปผลิตขึ้นรูปเป็นวัสดุในงานก่อสร้างในงานวิจัยนี้จึงใช้พลาสติกชนิด

2.4 ดินลูกรัง

ดินลูกรังเป็นวัสดุที่มีทุกภาคของประเทศไทยและเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการรับกำลังได้ดี ดินลูกรัง เกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง และจากการศึกษาการผุพังและการเกิดสีแดงของหิน ในประเทศสหรัฐอเมริกาของ Russel [14] พบว่าอุณหภูมิที่อบอุ่นและความชื้นสูงมีอิทธิพลต่อการผุพังของหินมากกว่าอุณหภูมิที่เย็นและความชื้นที่ต่ำซึ่ง Bawa [15] ได้ให้ความเห็นตรงกันว่า กระบวนการกัดเซาะทางเคมีจะชะล้างและพัดพาเอาซิลิกา (SiO_2) ออกไปจากดินเดิม และในขณะเดียวกันก็มีการสะสม เซสควิออกไซด์ (Sesquioxide, Fe_2 and Al_2O_3) ในดินเดิมทำให้เกิดเป็นก้อนแข็ง ผลของกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดดินที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์ สูงกว่าปกติ ซึ่งดินประเภทนี้เรียกว่า “ ดินลูกรัง ” และกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้เรียกว่า “ กระบวนการ Laterization ” Holland [16] ได้สนับสนุนว่าที่อุณหภูมิและความชื้นสูง หรือในสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อน จะเกิดกระบวนการกัดเซาะทางเคมีขึ้นตั้งรูป ที่ 2.13 แสดงการกระจายตัวของดินลูกรัง



รูป ที่ 2.13 แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง [17]

2.4.1 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 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , K_2O , Na_2O และอื่น ๆ ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร

1.2 Laterization คือกระบวนการก่อกำเนิดลูกรังจะเกิดการชะล้างภายใต้สภาวะการระบายที่เหมาะสม เกิดการรวมตัวของซิลิกา,ต่าง และสารพวกออกไซด์ และ ไฮดรอกไซด์ของเซสควิออกไซด์ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , Ti_2O_3)ส่วนสารอื่น ๆ จะถูกระบายหรือรวมตัวกันขึ้นกับความเป็นกรด ต่าง ของน้ำในดินและสภาวะการระบาย Mohr and Van Baren [6] ได้กล่าวว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรัง (Laterization) เป็นกระบวนการที่ SiO_2 ถูกชะล้างพัดพาออกไปภายใต้สภาวะการระบายน้ำที่เหมาะสม เหลือ Fe_2O_3 , Al_2O_3 , Ti_2O_3 , MnO_2 เป็นส่วนสำคัญกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์จะมีผลทำให้เกิดแร่ดินเหนียวในกลุ่มของแร่ Kaolinite เป็นสำคัญ ภายใต้กระบวนการสลายตัวทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนาน แร่ดินเหนียวและซิลิกาจะถูกชะล้างพัดพาออกไปจากมวลดิน เหลือสารที่เป็นออกไซด์ของ อลูมินัม เช่น Gibbsite หรือออกไซด์ของเหล็ก เช่น Limoniteหรือ Geothite กระบวนการชะล้างพัดพาตั้งกล่าวนี้รู้จักกันโดยทั่วไปว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรังหรือ Laterization process ต่อมา Remillon [19] ได้กล่าวว่าภายใต้สภาวะการเกิดกระบวนการทำลายทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนานนี้แร่ดินเหนียวจะถูกชะล้างเหลือสารที่มีออกไซด์ของอลูมิเนียม เช่น Gibbsite หรือไฮดรอกไซด์ของเหล็ก เช่น ลิโมนิตหรือเกอร์ไทท์

1.3 Dehydration หรือ Desiccation คือกระบวนการสูญเสียความชื้นตามธรรมชาติจะเกิด การเสียดความชื้นใน เซสควิออกไซด์ (Sesquioxide) ทำให้เกิดการแข็งตัวขึ้น นอกจากนี้การสูญเสียความชื้นในสารละลายที่มีเหล็กออกไซด์ปนอยู่ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น เกิดการตกผลึกของเหล็กออกไซด์ เป็นผลให้เกิดออกไซด์ของเหล็กในรูป Limonite (Fe_2O_3 , $1.5\text{H}_2\text{O}$) , Geothite (Fe_2O_3 , H_2O) , และ Hematite (Fe_2O_3)

KRINITZSKY และคณะ [20,21] สรุปได้ว่าการแข็งตัวในดินลูกรังเกิดขึ้นเนื่องจากออกไซด์อิสระของเหล็ก 3 ชนิดได้แก่เฮมาไทท์, ลิโมนิต และ เกอร์ไทท์ เคลือบบนอนุภาคดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเฮมาไทท์ กระบวนการ Laterization จะทำให้ออกไซด์อิสระของเหล็กในรูปของเฮมาไทท์เคลือบอยู่บนอนุภาคดินมีความหนาเพิ่มขึ้น

2. กระบวนการเกิดดินลูกรัง Secondary minerals ในดินลูกรัง Secondary minerals ในดินลูกรัง ได้แก่ แร่ดินเหนียว คาโอลิไนท์ , ฮาลลอยไซต์อิไลท์ , มอนท์โมริลโลไนท์ และอื่นๆ การเกิด secondary mineral ในดินลูกรังขึ้นกับอิทธิพลของสภาพภูมิอากาศ , สภาพภูมิประเทศ , พืชที่ปกคลุมและสภาพการระบายน้ำ ชนิดของ secondary minerals ในดินลูกรังมีประโยชน์มากในทางวิศวกรรมปฐพีเพราะสามารถคาดการณ์ถึงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังได้ เช่น ดินลูกรังที่มี มอนท์โมริลโลไนท์ และอิไลท์สูงจะมีกำลังรับแรงเฉือนต่ำ ความดันน้ำในโพรงสูง และรวมตัวได้ง่ายกว่าดินลูกรังที่มีคาโอลิไนท์และคลอไรต์เป็นส่วนประกอบ

วิธีการหา Secondary minerals ในดินลูกรัง

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

2.4.2 สภาวะของการเกิดดินลูกรัง Gidigasu [17] กล่าวถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ของการเกิดของดินลูกรังว่ามีดังนี้

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

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

3. สภาพของพันธุ์พืช แร่เหล็กจะสะสมกันมากภายใต้ทุ่งหญ้าเขตร้อนมากกว่าบริเวณป่าที่บดินลูกรังที่ยังอ่อนอยู่จะแข็งตัวภายใน 2-3 ปี ถ้าเปลี่ยนสภาพจากป่าที่บเป็นทุ่งหญ้าแห้งแล้งจะเห็นได้ว่าดินลูกรังที่ยังอ่อนตัวอยู่จะเกิดในบริเวณป่าขึ้น ขณะเดียวกันจะพบดินลูกรังในเขตทุ่งหญ้าแห้งแล้ง ซึ่งมีสภาวะเหมาะสมกับการเกิดออกซิเดชัน (Oxidation) และดีไฮเดรชัน (Dehydration)

4. สภาพภูมิประเทศและการระบายน้ำดิน ลูกธั้่งมักจะเกิดบริเวณเชิงลาดสูงสุดของเนินเขาทั้งนี้เพราะบริเวณดังกล่าวมีการระบายน้ำได้ดี โดยทั่วไปดินลูกรังจะไม่เกิดในบริเวณที่น้ำท่วมได้หรือบริเวณพื้นที่ต่ำ

2.4.3 ชั้นของดินลูกรัง

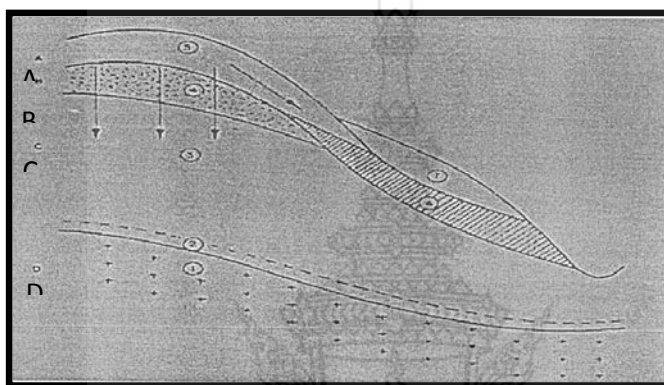
Remillon [19] ได้ทำการแบ่งชั้นของดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดิน ออกเป็นลำดับดังนี้

A : Zone of Leaching

B : Zone of Acculation

C : Zone of Weathering and Removal of Soluble Constituents

D : Sound Parent Rock



รูปที่ 2.14 แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง ตามวิธี Remillon [19]

Krinitzky และคณะ [20,21] 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 มีการชะล้างเหล็กและซิลิกาออกไปบางส่วน โดยปกติจะมีหลายสี ในชั้นนี้อาจจะมีโอไลไนท์ และควอทซ์อยู่ใต้ชั้น C ลงไปอาจจะมีดินเหนียวสีขาว เรียกว่า "Pallid Zone" ซึ่งเป็นชั้นที่เหล็กถูกชะล้างออกไปหมดแล้วแต่ยังคงมีซิลิกาอยู่เนื่องจากถูกชะล้างออกไปเพียงบางส่วนเท่านั้น ดินชั้นนี้อาจจะปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้

ชั้น D : เป็นชั้นหินต้นกำเนิดที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในประเทศไทยนั้นพบดินลูกรังที่ความลึกประมาณ 0.30 - 1.80 เมตรแต่โดยทั่วไปจะพบที่ความลึกไม่เกิน 3.00 เมตร

2.4.4 การหาแหล่งดินลูกรัง มีอยู่หลายวิธี โดยใช้

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

2.4.5 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

2.4.6 ดินลูกรังในประเทศไทย

ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีฤดูฝนสลับร้อนกันไปเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างจะยาวนาน สภาพอากาศเช่นนี้เหมาะกับการเกิดดินลูกรังอย่างยิ่งและจะพบดินลูกรังได้มาก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกและภาคเหนือ โดยมีหินต้นกำเนิดส่วนใหญ่เป็นหินทรายหินบะซอลท์ และหินดินดาน บริเวณที่พบ ดินลูกรังในประเทศไทยแสดงไว้ในรูปที่ 2.15

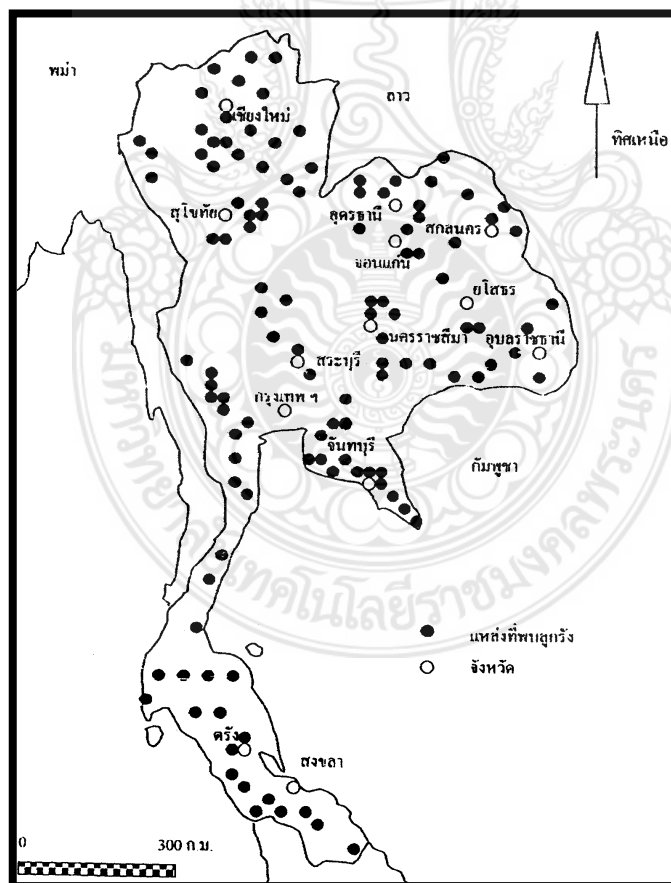
Hongsnoi [22] ได้กล่าวว่า ประเทศไทยจะพบลูกดินลูกรัง ซึ่งดินลูกรังนี้สามารถแบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามลักษณะการเกิด คือ

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

1. ชั้นผิวดิน

2. ชั้นของดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมแข็งและแข็ง เกิดการเกาะกันของเฮมาไทท์เม็ดเล็กๆ และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย
3. ชั้นดินเหนียวที่มีขนาดเม็ดเล็กและแข็งจำนวนมาก และมีดินลูกรังเม็ดกลมที่เริ่มแข็งตัวของลิโมนைท์ (เหล็กไฮดรอกไซด์)
4. ชั้นดินเหนียวอ่อน ชุ่มชื้นและมีเหล็กออกไซด์ขนาดเม็ดต่างๆ ปนกันอยู่
5. ชั้นดินเหนียวสีเทา ที่มีลิโมนைท์ปนอยู่หรือแทรกอยู่ตามรอยแตก
6. ชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง (พวกกรวด ทราย ดินเหนียว)
7. หินต้นกำเนิด

โดยทั่วไปขีดจำกัดอัตราเตอร์เบอร์จะต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรัง และจะเพิ่มขึ้นตามความลึกจนถึงชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง ปกติส่วนใหญ่ในสุดของเม็ดดินลูกรังเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่อ่อน และผิวนอกจะเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่แข็งกว่า ความหนาของเหล็กไฮดรอกไซด์นี้ มากหรือน้อยขึ้นกับสภาพแวดล้อมของดินลูกรังว่าเป็นกรดหรือเป็น Oxidizing Agents



รูปที่ 2.15 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา สุภาพร [23]

2 Secondary Lateritic Soil เป็นดินลูกรังที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งหินต้นกำเนิดอื่น เมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านจะทำให้เหล็กออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวและยังออกซิไดซ์แร่เหล็กที่มีอยู่ในบริเวณนั้นด้วย โดยทั่วดินลูกรังประเภทนี้จะไม่แบ่งเป็นหลายๆ ชั้น เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่างๆกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะของดินและความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นดิน ออกไซด์ของดินลูกรังประเภทนี้จะอยู่กระจุกกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรกและมักเกาะอยู่โดยรอบของเม็ดกรวดหรือชั้นส่วนที่แตกหัก จึงทำให้ดินลูกรังประเภทนี้มีขนาดใหญ่กว่ามีความแข็งแรงที่แตกต่างกันมากกว่า และเห็นชั้นของฮีมาไทต์ ไลโมนไนต์และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรก และค่า Atterberg's Limit ของดินลูกรังประเภทนี้ต่ำกว่าดินลูกรังประเภท แรก Moh และ Mazhar [24] รายงานผลว่าการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังก่อนการทดลองมีผลทำให้ค่าขีดจำกัดแอดเตอร์เบอร์เกอร์แตกต่างกัน การอบตัวอย่างให้แห้งก่อนการทดสอบจะให้ผลการทดลองแตกต่างจากการผึ่งตัวอย่างให้แห้งตามธรรมชาติ หรือทดสอบตัวอย่างที่มีความชื้นตามธรรมชาติ ผลการทดลองจะต่างกันมากในกรณีที่มีแร่ Montorillonite เป็นองค์ประกอบ 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

Vallerga และ Rananand [25] ได้สรุปผลการสำรวจแหล่งดินลูกรังในประเทศไทยดังต่อไปนี้

- ก. ในประเทศไทยจะพบดินลูกรังมากกว่าลูกรัง ดินลูกรังที่พบมักจะพบในลักษณะของกรวดทรายดินตะกอน และดินเหนียวที่มีออกไซด์ของเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูงลูกรังที่จับเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ไม่ค่อยพบบ่อยนัก
- ข. ดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงมักจะได้จากการขุดและการดันดินผสมเป็น กอง (Stockpile) อันประกอบด้วยดินตะกอน และดินเหนียวที่มีเหล็กออกไซด์ปริมาณสูงผสมรวมกันเป็นลูกรังซึ่งมีความแข็งต่างกัน ลูกรังที่เกิดเป็นก้อนใหญ่หรือเป็นพืดแข็งติดต่อกัน จะไม่นำมาใช้ในการก่อสร้างทาง หลวง
- ค. สภาวะที่เหมาะสมที่จะก่อให้เกิดดินลูกรังในประเทศไทยได้แก่ สภาวะที่มีแร่เหล็กหรืออลูมิเนียมเกิดสะสมอยู่ในปริมาณสูงอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 1-2 สภาวะที่ดินมีออกซิเจนในน้ำใต้ดินสูงและสภาวะที่สิ่งแวดล้อมมีภาวะเป็นกรดรวมทั้งสภาวะที่ภูมิประเทศมีความเหมาะสมที่ก่อให้เกิดการชะล้างในชั้นดินได้ดี
- ง. ความแข็งแรงของเม็ดดินลูกรังอาจจะเพิ่มขึ้นได้ภายหลังการขุดแต่ดินลูกรังที่ปล่อยทิ้งไว้กลางแจ้งเพื่อให้ดินลูกรังเกิดปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนในอากาศวงจรการเปียกสลับกับแห้ง

จะช่วยให้ออกซิเจนแทรกซึมลึกเข้าไปในเม็ดดินลูกรัง และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องอันทำให้เม็ดลูกรังแข็งมากยิ่งขึ้น

- จ. ดินลูกรังถือเป็นวัสดุที่จะนำมาใช้สร้างทางได้ ถ้าหากมีการกำหนดมาตรฐานและขีดจำกัดอันทำให้สามารถใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง พื้นทางและผิวทางชั่วคราวได้อย่างเหมาะสม

Pendleton และ Sharasuvans [26] ได้แสดงความแตกต่างของคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทยไว้ดังแสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณซิลิกา และเซสควิวออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทยข้อมูลจาก Pendleton และ Sharasuvans [26]

เขตพื้นที่	SiO ₂ (ร้อยละ)	Fe ₂ O ₃ (ร้อยละ)	Al ₂ O ₃ (ร้อยละ)	อัตราส่วนของ SiO ₂ /R ₂ O 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 [27] ได้ศึกษาสมบัติของดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยพบว่า ดินลูกรังส่วนใหญ่จัดอยู่ในกลุ่ม A-2 ตามการจำแนกดินของ AASHTO ซึ่งเป็นกรวดปนดินตะกอนหรือกรวดปนทราย แปรและดินเหนียว (Silly or Clayey Gravel) ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีสำหรับใช้เป็นชั้นรองพื้นทางของถนน และหากจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification จำแนกเป็นประเภทกรวด (G) และทราย (S) ส่วนประกอบของดินลูกรังส่วนใหญ่ประกอบด้วยคาร์บอนเนตปริมาณมากและซิลิกาปริมาณพอสมควร นอกจากนี้อาจพบมอนต์มอริลโลไนต์ , เวอร์มิคิวไลต์ , คลอไรต์ , เกอไทต์ และควอร์ต ปนอยู่ด้วย ส่วนปัญหาที่พบในดินลูกรังภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยคือ มีค่า Liquid Limit และ Plasticity Index มากกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวง

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัชรวิเชียร [27] กล่าวว่าดินลูกรังในประเทศไทยมีความคงทนเพียงพอที่จะใช้ทำชั้นพื้นทางและรองพื้นทางของถนนที่มีปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลางได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นชั้นผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยางได้ดีอีกด้วย ผลการทดลองยังแสดงอีกด้วยว่าค่า Atterberg Limits ของดินลูกรังในประเทศไทยจะสูงกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของกรมทางหลวง

วรงค์ดี และ สมหวัง [28] ได้อธิบายว่า ดินลูกรังสามารถใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางไหล่ทาง พื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงปานกลาง และสามารถใช้เป็นผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยาง เพราะเม็ดลูกรังจะไม่แตกเป็นเม็ดละเอียดเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นในอากาศ แหล่งดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงที่เปิดใช้ยังมีประมาณ 40 แหล่ง มักพบชั้นดินลูกรังหนาประมาณ 1.4-2.0 เมตร ค่า Liquid Limit และ Plasticity Limit ของดินลูกรังส่วนมากจะสูงกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวง และถ้านำดินลูกรังผสมกับซีเมนต์จะมีคุณสมบัติใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้เป็นอย่างดี

Ruenkairergsa และ Waiwudthikhead [29] ได้ทำการศึกษากลสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย เพื่อวางแผนทางการกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของดินลูกรัง เพื่อใช้ในงานก่อสร้างถนนจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ดินลูกรังในประเทศไทยประกอบด้วยเม็ดลูกรังที่มีความแข็งแรงทนทานเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย ละสูงปานกลางได้เป็นอย่างดี ในพื้นที่ซึ่งขาดแคลนหินที่จะใช้เป็นวัสดุพื้นทางสามารถจะนำดินลูกรังมาผสมซีเมนต์ เป็นวัสดุ Soil-Cement เพื่อใช้ทำชั้นพื้นทางของถนนได้เป็นอย่างดี

Morrison [30] (อ้างถึง ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัชวุฒิกเกียรติ [27]) ได้รายงานค่าคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังจากแหล่งต่าง ๆ 57 แหล่งในประเทศไทยดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา Morrison [30]

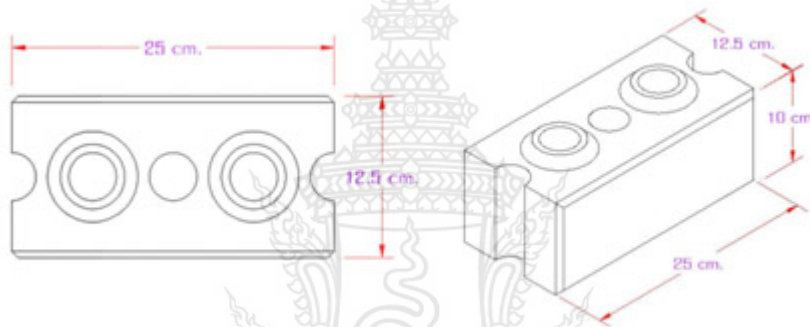
คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (%)	0	66
ขีดพิกัดเหลว (%)	18	97
ดัชนีพลาสติก (%)	NP	51
กลุ่มดินตาม AASHTO	A-1-a	A-7-6
Group Index	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	118.0	114.5
ความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (%)	7.0	13.4
CBR (%)	7.0	60.0
การบวมตัว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

2.5 อิฐประสาน

2.5.1 บล็อกประสานคือ วัสดุรองรับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรู และเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัตถุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม อัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 10 วัน จะได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแรง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ หรือก่อเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป

บล็อกประสานแบ่งการใช้งานเป็น 2 ประเภท เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน

1. บล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร

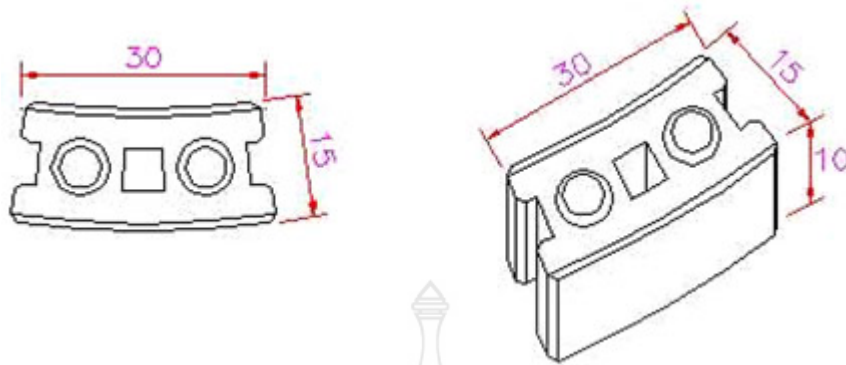


รูป ที่ 2.16 ก้อนบล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมขนาดเต็มก้อน 12.5×25×10 ซม.



รูป ที่ 2.17 อาคารที่ก่อสร้างด้วยอิฐบล็อกประสานตรง

2. บล็อกโค้งใช้สำหรับก่อสร้างถังเก็บน้ำ



รูป ที่ 2.18 ก้อนบล็อกโค้งขนาด 15 x 30 x 10 ซม.



รูป ที่ 2.19 สิ่งก่อสร้างที่ก่อด้วยบล็อกโค้ง

วัตถุดิบที่เหมาะสมสำหรับทำบล็อกประสาน

วัตถุ ดิบที่ใช้เป็นส่วนผสม หรือ มวลรวมละเอียดของบล็อกประสานควรมีขนาดเล็กกว่า 4 มม. ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราช และเถ้าลอย (Fly ash) จากโรงงานผลิตไฟฟ้า โดยมวลรวมละเอียดที่ใช้ควรมีลักษณะตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพดินและมวลรวม สำหรับงานก่อสร้างทางหลวง (ASTM D3282 Standard Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes) คือมีฝุ่นดินไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก หรือทดสอบเป็องตันโดยนำดินใส่ขวดครึ่งหนึ่ง เติมน้ำแล้วเขย่าให้เข้ากัน เมื่อหยุดเขย่า สังเกตส่วนที่ตกตะกอนทันทีแล้วขีดเส้นไว้ รอจนตกตะกอนทั้งหมดจนน้ำใส แล้ววัดตะกอนฝุ่นไม่ควรเกินร้อยละ 15 โดยปริมาตร ถ้าวัตถุดิบมีมวลหยาบผสมอยู่มากสามารถใช้เครื่องบดร่อนจะทำให้ผิวบล็อกเรียบ ขึ้น

2.5.2 ปูนซีเมนต์สำหรับงานบล็อกประสาน

คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ปูนโครงสร้าง) จะให้ก้อนบล็อกประสานมีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี การใช้ปูนซีเมนต์ผสม (ปูนก่อฉาบ) คุณภาพจะต่ำกว่าทำให้ต้องใช้ปริมาณปูนมากขึ้น เพื่อให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งจะ使得ต้นทุนสูงขึ้น



รูป ที่ 2.20 บ้านที่ก่อสร้างด้วยอิฐบล็อกประสาน

2.5.3 ส่วนผสมของบล็อกประสาน

ส่วน ผสมของบล็อกประสานที่เหมาะสมควร ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการ ส่วนใหญ่มีอัตราส่วนผสมระหว่างปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมประมาณ 1 : 6 ถึง 1 : 7 โดยน้ำหนัก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของมวลรวมเป็นหลัก

2.5.4 เครื่องอัดบล็อกประสานเครื่องอัดด้วยแรงคน



1. เป็นเครื่องอัดด้วยแรงคนแบบมือโยกใช้การทดแรงแบบคานงัดคานตีต
2. สามารถผลิตได้วันละประมาณ 400-800 ก้อนขึ้นอยู่กับจำนวนแรงงานและความชำนาญ

รูป ที่ 2.21 เครื่องอัดด้วยแรงคนแบบมือโยก



รูป ที่ 2.22 เครื่องอัดไฮดรอลิก

2.5.5 เครื่องอัดไฮดรอลิก

เป็นเครื่องอัดแบบอุตสาหกรรมขนาดย่อมใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนน้ำมันสร้างแรงดันในท่อไฮดรอลิก

- สามารถผลิตได้วันละประมาณ 1,000 – 1,300 ก้อน
- อัดได้ครั้งละ 2 – 4 ก้อน

2.5.6 ขั้นตอนการทำบล็อกประสาน วว

1. ทดสอบแหล่งดินเพื่อหาแหล่งที่เหมาะสมที่สุด และกำหนดส่วนผสมที่เหมาะสม



รูป ที่ 2.23 การบดเตรียมดิน

2. เตรียมวัตถุดิบ ถ้ามีความชื้นมากควรนำไปตากให้แห้งและกองเก็บวัตถุดิบในที่ร่มให้มากเพียงพอ ที่จะทำการผลิตตลอดเวลา หากดินเป็นก้อน หรือมีมวลหยาบน้อย ควรร่อนผ่านตะแกรงขนาด 2 – 4 มม. ไม่ควรใช้ตาละเอียดมากเกินไป เพราะจะทำให้ได้แต่เนื้อฝุ่นดิน ทำให้ก้อนบล็อกไม่มีความแข็งแรง ถ้าเนื้อดินมีก้อนใหญ่หรือมวลหยาบมากควรใช้เครื่องบดร่อน แล้วกองเก็บในที่ร่มเพื่อรอผลิต



รูปที่ 2.24 ผสมดินและการเพิ่มความชื้น

3. ในการผสม ควรผสมดินแห้งหรือมวลรวมกับซีเมนต์ให้เข้ากันก่อน แล้วค่อย ๆ เติมน้ำดังรูปที่ 2.24 โดยใช้ฝักบัว หรือหัวฉีดพ่นให้เป็นละอองกว้าง น้ำที่ใช้ควรเป็นน้ำสะอาด ใช้ผสมหลังจากผสมดิน และซีเมนต์เข้ากันแล้วในปริมาณที่พอเหมาะ โดยใช้ปริมาณน้ำที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.25 การอัดก้อนอิฐด้วยแรงงานคน

4. หลังจากนั้นจึงนำดินที่ผสมแล้วเข้าเครื่องอัด โดยตวงวัดหน่วยเป็นน้ำหนัก เติมส่วนผสมลงในแบบอัดตั้งรูปที่ 2.25 โดยใช้น้ำหนักมากที่สุดที่สามารถทำงานได้สะดวก ควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายใน 30 นาที. หลังจากผสมน้ำ เพื่อป้องกันปูนก่อตัวก่อนอัดขึ้นรูป

5. บล็อกประสาน วว. ที่อัดเป็นก้อนแล้วควรผึ่งในที่ร่มอย่างน้อย 1 วัน จึงเริ่มบ่มจนอายุครบ 7 วัน



รูปที่ 2.26 การบ่มบล็อกประสาน

หลังจากนำบล็อกออกจากเครื่องอัดแล้วนำมาจัดเรียงในที่ร่มจนมีอายุครบ 1 วัน เริ่มบ่มโดยการรดน้ำด้วยฝักบัวหรือฉีดพ่นเป็นละอองให้ชุ่ม แล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้ไอน้ำระเหยออก ทิ้งไว้อีก 9 วันจนมีอายุครบ 7 วันจนมีความแข็งแรงพร้อมส่งออกจำหน่ายหรือใช้งานได้ ไม่ควรเคลื่อนย้ายก่อนกำหนดเพราะจะทำให้ก้อนบิ่น หรือเกิดการแตกร้าวได้ง่าย การบ่มไม่ควรให้น้ำมากเกินไปเพราะอาจทำให้มีปัญหาคราบขาวได้ ควรบ่มด้วยปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ คือเพียงแค่นี้ก็เพียงพอ



รูปที่ 2.27 บล็อกประสานที่วางขายในท้องตลาด

ข้อดีของอาคารที่สร้างด้วยบล็อกประสาน วว.

1. ใช้วัสดุที่หาได้ในท้องถิ่น มีความแข็งแรง ทนทาน
2. ก่อสร้างง่าย รวดเร็ว โดยไม่ต้องใช้ทั้งเสา ไม้แบบ และการฉาบปูน
3. ประหยัดราคาในการก่อสร้างเพราะลดเวลา และค่าแรงงานในการก่อสร้าง
4. มีความสวยงามตามธรรมชาติ โดยไม่ต้องทาสี
5. สร้างงานและอาชีพเสริมให้แก่ประชาชนทั้งในเมืองและในชนบท
6. ช่วยอนุรักษ์ธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยลดการ ตัดไม้ทำลายป่า เพื่อนำมาใช้ในการก่อสร้าง



รูปที่ 2.28 อาคารบล็อกประสานหลังแรกสร้าง เมื่อปี พ . ศ . 2527



บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3 ขั้นตอนและวิธีในการวิจัยมีดังนี้

วิธีการดำเนินการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2) กำหนดแหล่งดินลูกรังตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์
- 3) เก็บตัวอย่างดิน ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดิน ดังกล่าว
- 4) ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน
- 5) ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของดิน
- 6) ออกแบบอัตราส่วนผสมระหว่างดินลูกรัง:HDPE
- 7) ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนดขนาดตามขนาดอิฐบล็อกประสานโดยการขึ้นรูปโดยให้ความร้อนและแรงดัน
- 8) ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินและพลาสติกต่อกำลังรับแรงอัด
- 9) เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค
- 10) ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ
- 11) ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ
- 12) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

3.1 ศึกษาถึงข้อมูลเบื้องต้นของงานวิจัย

จากการศึกษาในบทที่ 2 พบว่าคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุ WPC โดยจะมุ่งไปในทางคุณสมบัติ แรงกด แรงกด ค่าความแข็งซึ่งคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุทางธรรมชาติมีความสำคัญต่อการเรียนรู้เพื่อที่จะนำไปใช้ให้ถูกต้องเหมาะสมกับงานที่ทำ พลาสติกหรือพอลิเมอร์เป็นวัสดุที่เหมาะสมกับการนำไปใช้ประโยชน์มาก ซึ่งได้มาจากการสังเคราะห์จากก๊าซธรรมชาติและน้ำมันดิบ คุณสมบัติเด่นของพลาสติกและพอลิเมอร์ที่จะใช้ในโครงการนี้คือ ความเป็นฉนวนกันน้ำ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากสำหรับวัสดุใหม่นี้

3.2 กำหนดแหล่ง ดินลูกรังและพลาสติกที่จะใช้วิจัย

3.2.1 ดินลูกรัง

แหล่ง ดินลูกรัง เขาสามง่าม อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัย



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างดินลูกรังที่ใช้ในงานวิจัยหลังบด

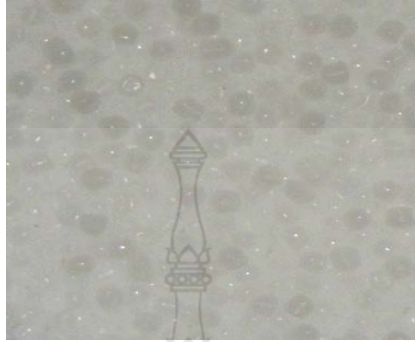
3.2.2 พลาสติก

ในงานวิจัยนี้ใช้พลาสติกชนิดโพลีเอธิลีน (polyethylene - PE) ดังรูปที่ 3.2 ซึ่งเป็นเม็ดพลาสติกที่มีคุณสมบัติแข็งแรง เหนียว ทนทาน ป้องกันความชื้นมิให้ผ่านเข้าออกได้ ทนกรดและด่างอ่อน มีน้ำหนักเบา ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.93 สามารถพองได้ดี มีความยืดตัวได้สูง ฉีกขาดยาก เป็นฉนวนไฟฟ้าดีมาก ไม่สามารถทนความร้อนสูง แต่ทนความเย็นได้ถึง -100 องศาฟาเรนไฮต์ เม็ดพลาสติก PE แบ่งได้ตามเกรดเป็น 3 ชนิดคือ

- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ (low-density polyethylene - LDPE) ใช้ผลิตเป็นบรรจุภัณฑ์และหีบห่อ เช่น กระจอบ ถุงเย็น ซองใส่ของ ตลอดจนเป็นวัตถุดิบผลิตของเล่นเด็ก พลาสติกและฉนวนหุ้มสายไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังใช้ทำวัสดุเคลือบผิว (coating or lamination) และใช้กับงานขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์พลาสติกโดยการเป่า (blow molding) เช่น ขวดพลาสติก คุณสมบัติเด่นของบรรจุภัณฑ์พลาสติกชนิดนี้คือ มีความเหนียว และคงทน
- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) ใช้กับงานเป่าขึ้นรูป (blow moulding) โดยใช้ทำเป็นขวดพลาสติกและภาชนะบรรจุประเภทต่างๆ ที่ต้องทนต่อแรงดันและต้องมีแรงต้านทานสูง นอกจากนี้ยังใช้ในงานด้านการฉีดขึ้นรูป (injection) เช่น ผลิตของเล่นเด็ก และเครื่องใช้ต่างๆ ภายในบ้าน ตลอดจนใช้ทำแผ่นฟิล์ม เชือก ฉนวน

หุ้มสายไฟ ท่อ และรางน้ำ ทั้งนี้ ท่อที่ทำจาก HDPE สามารถใช้แทนท่อที่ทำจากพีวีซี เนื่องจากมีความทนทานใกล้เคียงกัน แต่มีราคาถูกกว่า

- โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเชิงเส้น (linear low-density polyethylene - LLDPE) เป็นวัสดุที่ผสมกับ LDPE เพื่อเพิ่มความเหนียวให้กับตัวผลิตภัณฑ์



รูปที่ 3.3 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE

จะเห็นได้ว่าโพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) เหมาะกับการนำไปผลิตขึ้นรูปเป็นวัสดุในงานก่อสร้างในงานวิจัยนี้จึงใช้พลาสติกชนิด HDPE ดังที่กล่าวมาแล้วในบทที่ 2



รูปที่ 3.4 เม็ดพลาสติกชนิด HDPE ผ่านการบด

หลังจากนำวัสดุ โพลีเอธิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (high-density polyethylene - HDPE) จากรูปที่ 3.2 มาผ่านการบดด้วยเครื่องบดแล้วดังรูปที่ 3.3 เพื่อใช้ในขั้นตอนการผสมทำให้วัสดุสามารถผสมเข้ากันได้ง่ายขึ้น

3.3 เก็บตัวอย่าง ดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง ดินลูกรังดังกล่าว

เก็บตัวอย่างจากแหล่งเก็บที่นำมาทำการร่อนปรับปรุงคุณสมบัติให้มีขนาดเล็กและตากให้แห้งในสภาวะอุณหภูมิปกติ แล้วทำตามกระบวนการดังรูปที่ 3.4

3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของ ดินลูกรัง

- 3.4.1 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบโดย X-Ray Fluorescence (XRF)
- 3.4.2 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาความหนาแน่นปรากฏโดย Density Meter
- 3.4.3 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะโดย Specific Gravity by Pycnometer
- 3.4.4 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่า Loss on Ignition โดย Loss on Ignition
- 3.4.5 ทดสอบเพื่อวิเคราะห์หาค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดย X-Ray Diffractometer (XRD)
- 3.4.6 ทดสอบดินลูกรังเพื่อวิเคราะห์หาค่า Particle Size Distribution



รูปที่ 3.5 แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย

3.5 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ ดินลูกรัง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ
นำผลการทดสอบจากข้อ 3.4 มา ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของ เถ้าทิ้ง ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ

3.6 ออกแบบอัตราส่วนผสม

ซึ่งจะผสมผสานกันตามอัตราส่วนดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของดินลูกรัง กับพลาสติก

MIX	ดินลูกรัง (%น้ำหนัก)	พลาสติก(%น้ำหนัก)	รวม
1	100	0	100%
2	90	10	100%
3	80	20	100%
4	70	30	100%
5	60	40	100%
6	50	50	100%
7	40	60	100%
8	30	70	100%
9	20	80	100%
10	10	90	100%
11	0	100	100%

โดยในงานวิจัยพัฒนาอิฐประสานจากวัสดุคอมโพสิตดินลูกรังผสมพลาสติกเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างพบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่จะขึ้นรูปดังตารางที่ 3.1

3.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัตราส่วนที่กำหนด

นำส่วนผสมมาผสมตามอัตราส่วนดังข้อ 3.6 ตาราง 3.1 โดยนำวัสดุที่ใช้ เช่น ดินลูกรัง และ HDPE ผสมในอัตราส่วน 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 และ 100 ตามอัตราส่วนที่ต้องการ การเตรียมชุดทดสอบในการศึกษานี้ ใช้เถ้าทิ้งผสม HDPE จำนวน 11 ตัวอย่างโดยตามใช้ตัวอย่างทรงอิฐประสานพื้นผ้า ขนาด 12.5x5.5x6.5 cm

ขั้นตอนการผสม

1. นำวัสดุมาใส่ภาชนะตวงเพื่อชั่งหาค่าตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้ในตารางที่ 3.1



รูป 3.6 นำ ดินลูกรัง มาชั่ง รูป 3.7 นำ HDPE มาชั่ง



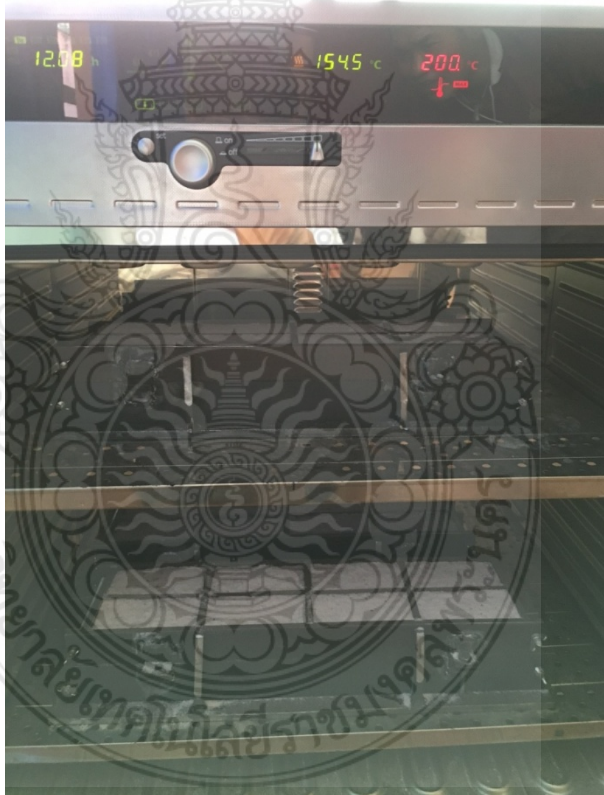
รูป 3.8 เตรียมวัสดุก่อนผสม



รูป 3.9 วัสดุหลังจากการผสมตามอัตราส่วน



รูป 3.10 วัสดุหลังผสมตามอัตราส่วนเทเข้าแบบหล่อ



รูป 3.11 นำตัวอย่างเข้าอบขึ้นรูป



รูป 3.12 ตัวอย่างหลังอบขึ้นรูปพร้อมทดสอบคุณสมบัติต่อไป

3.8 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณ ดินลูกรังและพลาสติก ต่อกำลังรับแรงอัด

ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณ HDPE และดินลูกรังต่อกำลังรับแรงอัด ดังรูปที่ 3.13 -3.16



รูปที่ 3.13 ตัวอย่าง ดินลูกรังมาทดสอบกำลังอัด

จากรูปที่ 3.13 นำตัวอย่างมาทดสอบกำลังอัดกับเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต (universal testing machine) สังเกตการณ์วิบัติของก้อนตัวอย่างดังรูปที่ 3.15 และจดบันทึก

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



รูปที่ 3.14 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด



รูปที่ 3.15 ตัวอย่างขณะกดทดสอบ



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างขณะหลังกดทดสอบ

ทดสอบกำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM C109 และความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM C134 จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อทำการเปรียบเทียบ กำลังอัดแต่ละส่วนผสม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1505-2541 ชั้นคุณภาพ 4 ความหนาแน่น 710 ถึง 800 กก./ลบ.ม. กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 40 กก./ตร.ซม. โดยในแต่ละการตรวจสอบ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย

3.9 เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยกล้องขยายความละเอียด 50x

3.10 ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

3.10.1 ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบการดูดซึม น้ำ เป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นของตัวอย่างทดสอบ

$$\text{ร้อยละการดูดกลืนน้ำ} = \frac{\text{น้ำหนักหลังแช่น้ำ 24 ชั่วโมง} - \text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}}{\text{น้ำหนักก่อนแช่น้ำ}} \times 100$$



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างขณะแช่น้ำ



รูปที่ 3.18 ตัวอย่างหลังแช่น้ำ

3.10.2 ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้น

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้นโดยการวัดขนาดปริมาตรของก้อนตัวอย่างทดสอบแล้วเปรียบเทียบ

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรตัวด้วยน้ำ

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

3.11 ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ

3.12 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยีต่อไป



บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยมีผลดังนี้

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานขนาดคละของดิน ลูกรี้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบขนาดคละของดินลูกรี้งสีแดง

การทดสอบขนาดคละ	หน่วย	ผลการตรวจสอบ
1.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 4	%	99.20
2.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 10	%	96.20
3.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 40	%	92.34
4.% ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	%	72.08

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพิกัด Atterberg ของดิน ลูกรี้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบพิกัด Atterberg ของดินลูกรี้งสีแดง

การทดสอบพิกัด Atterberg	หน่วย	ผลการตรวจสอบ
1.พิกัดเหลว (Liquid Limit)	%	17.49
2.พิกัดพลาสติก (Plastic Limit)	%	15.08
3.ดัชนีมวลดิน (Plasticity Index)	%	2.41

4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรี้ง ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรี้งแดง

องค์ประกอบทางเคมี		ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)
1	ซิลิกอน ออกไซด์ (SiO ₂)	58.60
2	อลูมิน่า ออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	25.50
3	ไอรอน ออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	13.00
4	ไทเทเนียม ออกไซด์ (TiO ₂)	1.40
5	โพแทสเซียม ออกไซด์ (K ₂ O)	0.45
6	แมงกานีส ออกไซด์ (MnO)	0.30
7	แคลเซียม ออกไซด์ (CaO)	0.29
8	เซอร์โคเนียม ออกไซด์ (ZrO ₂)	0.12
9	ทังสเตนไตร ออกไซด์ (WO ₃)	0.04
10	วานาเดียม ออกไซด์ (V ₂ O ₃)	0.04

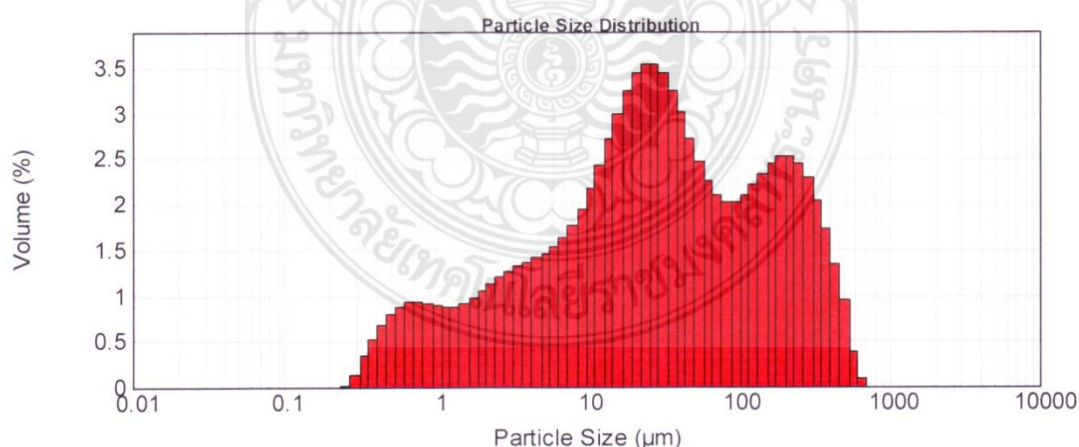
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังแดง ต่อ

องค์ประกอบทางเคมี		ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)
11	แบเรียม ออกไซด์ (BaO)	0.02
12	ซิงก์ ออกไซด์ (ZnO)	0.02
13	อาร์เซนิก ออกไซด์ (As ₂ O ₃)	0.02
14	โครเมียม ออกไซด์ (Cr ₂ O ₃)	0.02
15	ซีเรียม ออกไซด์ (CeO ₂)	0.02
16	คอปเปอร์ ออกไซด์ (CuO)	0.02
17	อิตเทรียม ออกไซด์ (Y ₂ O ₃)	0.02
18	นิกเกิล ออกไซด์ (NiO)	0.02

4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรัง ดังแสดงในตารางที่ 4.4

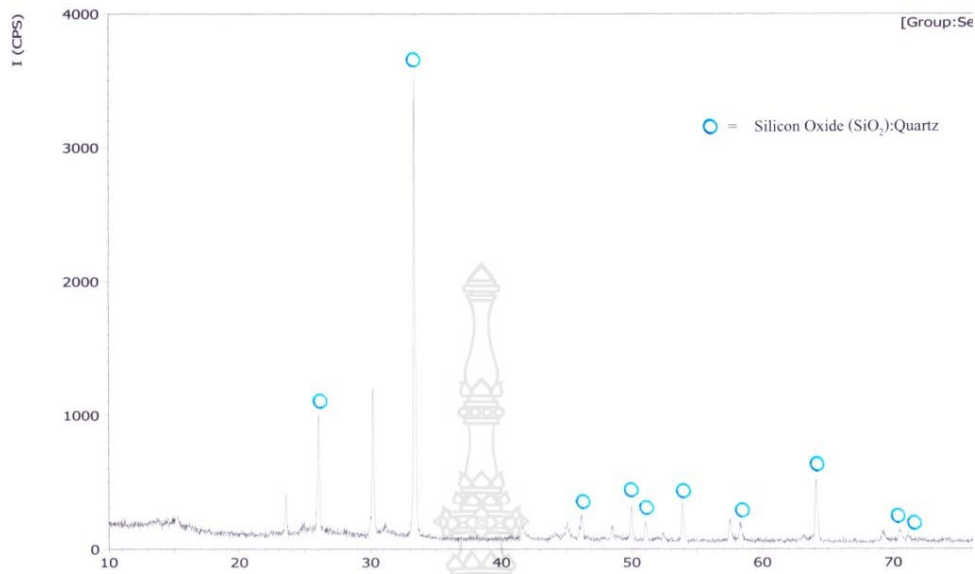
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรังของดินลูกรังแดง

คุณสมบัติ	ผลการวิเคราะห์	หมายเหตุ
ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm ³)	2.69	-
ความถ่วงจำเพาะ	2.32	-
ค่า Loss on Ignition (%)	3.43	-
ค่ากลางเฉลี่ยของอนุภาค (μm)	28.42	ดังรูปที่ 4.1
ขนาดรูพรุน (μm)	42.62	-
ความพรุนตัว (%)	47.74	-



รูปที่ 4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินลูกรัง

4.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD)ของตัวอย่างดินลูกรัง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง

จากรูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง พบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO_2) : Quartz

4.6 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วนดังตาราง 3.1 และรูป 3.4








4.6.1 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก ดังตาราง 4.5

ซึ่งพบว่าดินลูกรัง 100%, 90 % และ 80% ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้เนื่องจากดินมีมวลที่ละเอียดเมื่อขึ้นรูปจะไม่เกิดการยึดเกาะระหว่างมวลกับพลาสติกดังรูปในตารางและขึ้นรูปได้แต่ไม่สมบูรณ์ที่ ดินลูกรัง 70% - 40% ส่วนอัตราส่วนดินลูกรังตั้งแต่ 30%-0% สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์

ตาราง 4.5 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก

MIX	ดินลูกรัง(% น้ำหนัก)	พลาสติก(% น้ำหนัก)	ความสามารถ ในการขึ้นรูป	รูปการขึ้นรูปและผิวหน้า
1	100	0	ไม่สามารถขึ้น รูปได้	NA
2	90	10	ไม่สามารถขึ้น รูปได้	NA
3	80	20	ไม่สามารถขึ้น รูปได้	NA

ตารางที่ 4.5 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก ต่อ

MIX	ดินลูกรัง(% น้ำหนัก)	พลาสติก(% น้ำหนัก)	ความสามารถ ในการขึ้นรูป	รูปการขึ้นรูปและผิวหน้า
4	70	30	สามารถขึ้นรูป ได้	
5	60	40	สามารถขึ้นรูป ได้	
6	50	50	สามารถขึ้นรูป ได้	
7	40	60	สามารถขึ้นรูป ได้	
8	30	70	สามารถขึ้นรูป ได้	
9	20	80	สามารถขึ้นรูป ได้	
10	10	90	สามารถขึ้นรูป ได้	

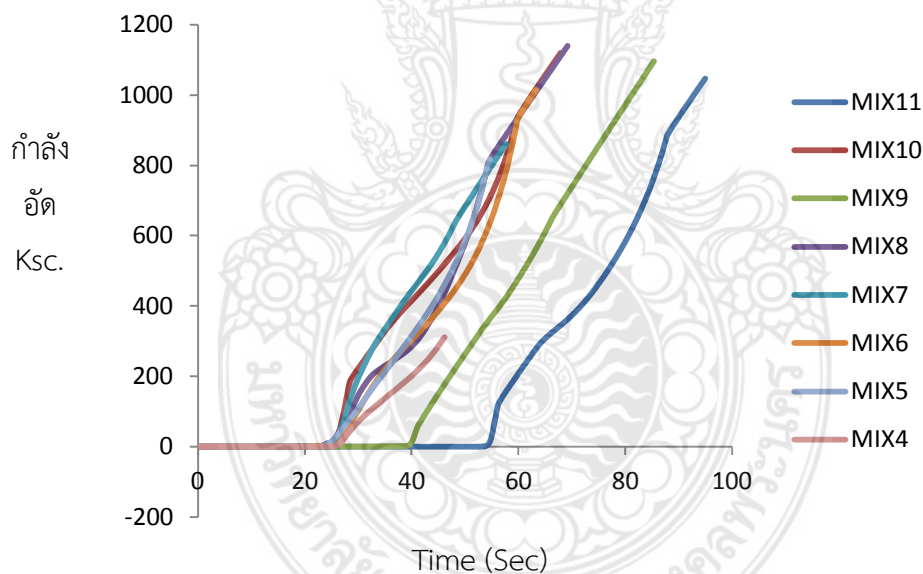
ตารางที่ 4.5 ผลการขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก ต่อ

MIX	ดินลูกรัง(% น้ำหนัก)	พลาสติก(% น้ำหนัก)	ความสามารถ ในการขึ้นรูป	รูปการขึ้นรูปและผิวหน้า
11	0	100	สามารถขึ้นรูป ได้	

4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม ดังรูปที่ 3.5 และ 4.7

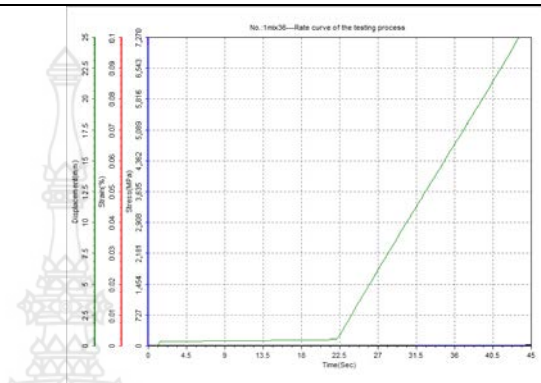
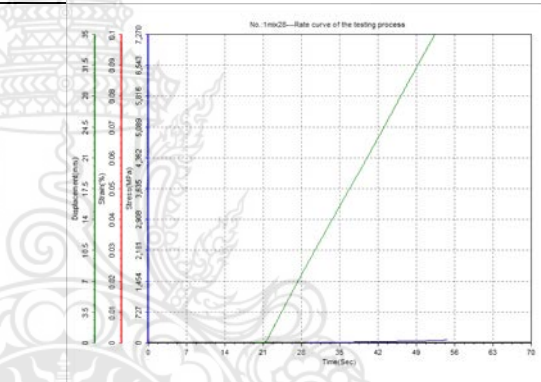
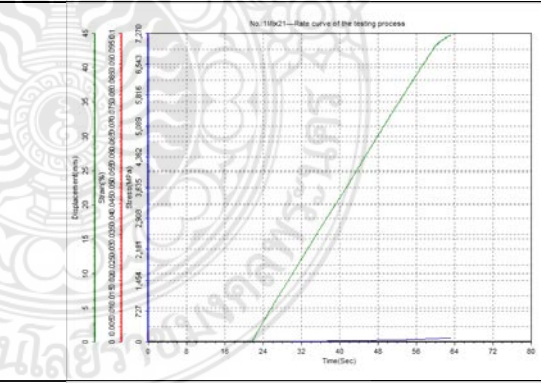
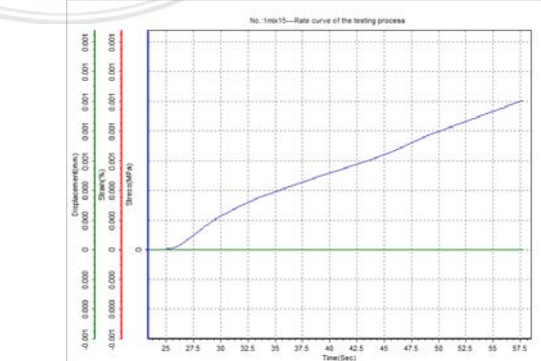
4.13.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง –พลาสติก



รูปที่ 4.3 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง -พลาสติก

MIX	ดินลูกรัง(% น้ำหนัก)	พลาสติก(% น้ำหนัก)	ผลการทดสอบกำลังอัดของ
1	100	0	NA
2	90	10	NA
3	80	20	NA
4	70	30	
5	60	40	
6	50	50	
7	40	60	

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ดินลูกรัง -พลาสติก ต่อ

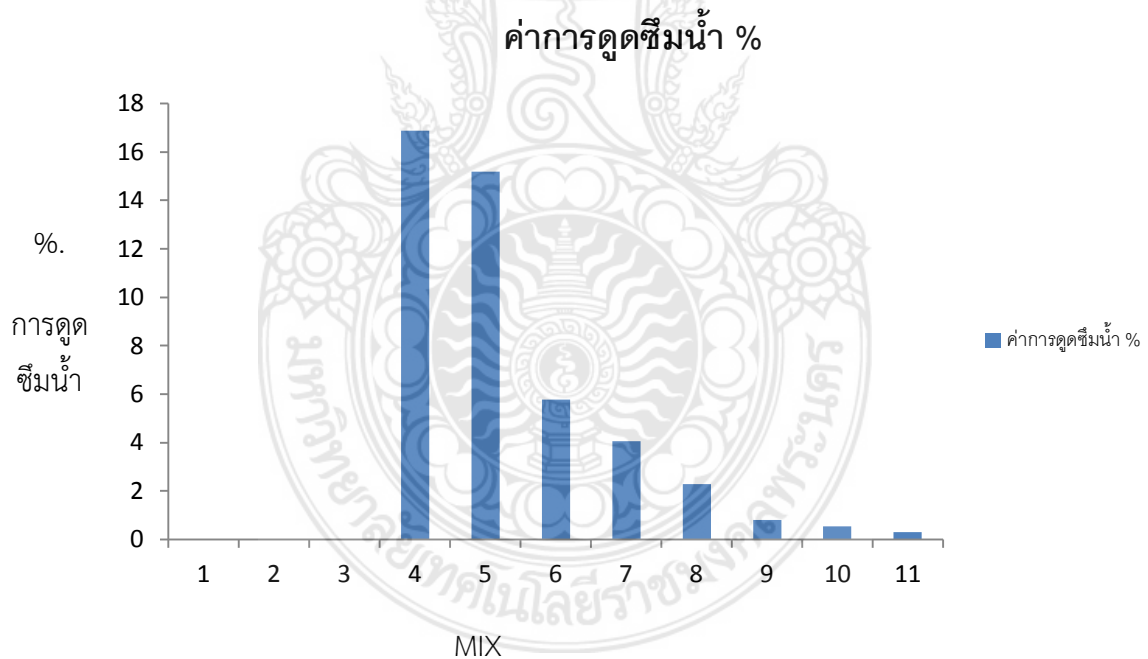
MIX	ดินลูกรัง(% น้ำหนัก)	พลาสติก(% น้ำหนัก)	ผลการทดสอบกำลังอัดของ
8	30	70	<p>No. 2mix8—Rate curve of the testing process</p>
9	20	80	<p>No. 1mix9—Rate curve of the testing process</p>
10	10	90	<p>No. 1mix10—Rate curve of the testing process</p>
11	0	100	<p>No. 1mix11—Rate curve of the testing process</p>

4.8 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ (Moisture Content; MC %)

4.8.1 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ดินลูกรัง – พลาสติก ตาราง 4.7

ตาราง 4.7 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ดินลูกรัง – พลาสติก

MIX	ดินลูกรัง(%น้ำหนัก)	พลาสติก(%น้ำหนัก)	ความสามารถดูดกลืนน้ำ%	หมายเหตุ
1	100	0	NA	NA
2	90	10	NA	NA
3	80	20	NA	NA
4	70	30	16.87243	จมน้ำ
5	60	40	15.17857	จมน้ำ
6	50	50	5.781585	จมน้ำ
7	40	60	4.066986	ลอยน้ำ
8	30	70	2.272727	ลอยน้ำ
9	20	80	0.8	ลอยน้ำ
10	10	90	0.526316	ลอยน้ำ
11	0	100	0.309598	ลอยน้ำ



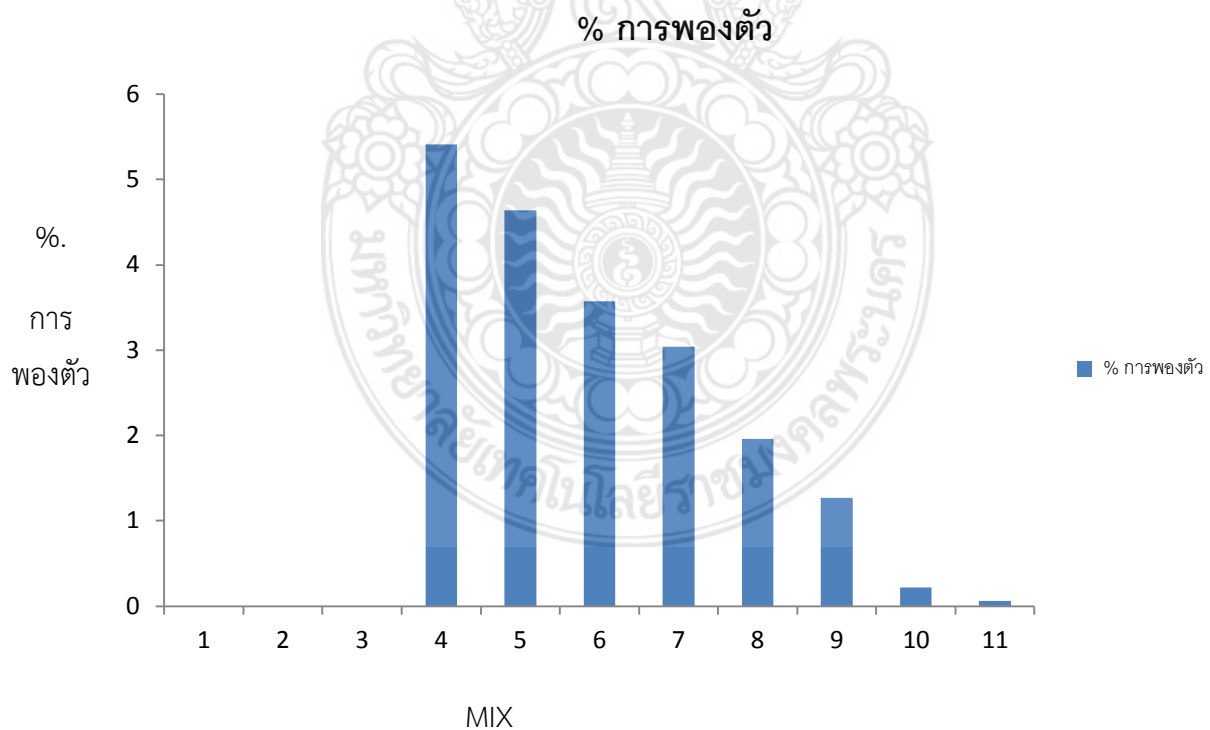
รูปที่ 4.4 ความสามารถดูดกลืนน้ำ ดินลูกรัง-พลาสติก

4.9 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น

4.9.1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ดินลูกรัง – พลาสติกตาราง 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น

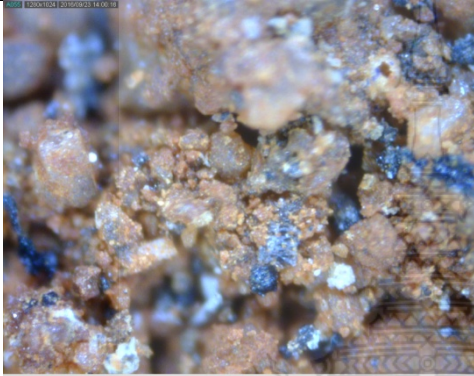
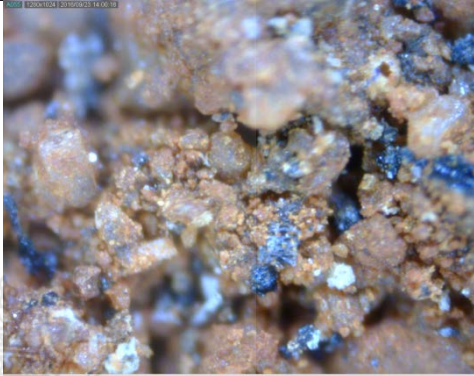
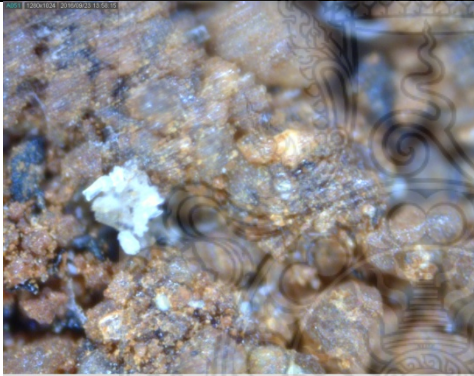
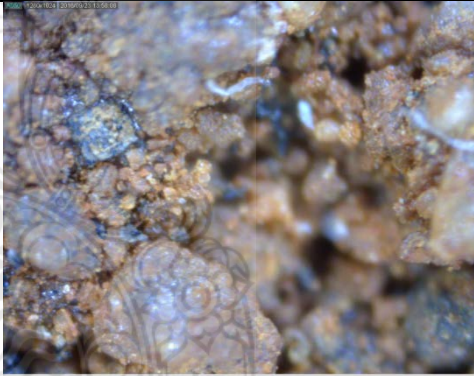


MIX	ดินลูกรัง(%น้ำหนัก)	พลาสติก(%น้ำหนัก)	ความสามารถดูดกลืน	หมายเหตุ
1	100	0	NA	NA
2	90	10	NA	NA
3	80	20	NA	NA
4	70	30	5.414	จมน้ำ
5	60	40	4.6395	จมน้ำ
6	50	50	3.569	จมน้ำ
7	40	60	3.039	ลอยน้ำ
8	30	70	1.961	ลอยน้ำ
9	20	80	1.272	ลอยน้ำ
10	10	90	0.22	ลอยน้ำ
11	0	100	0.057	ลอยน้ำ



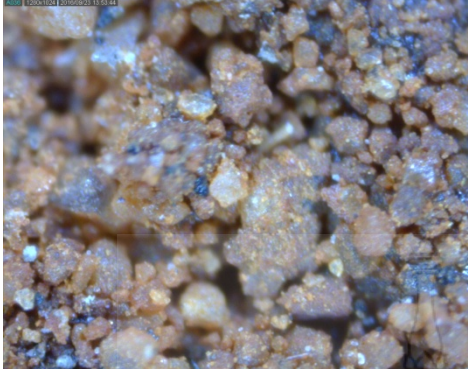
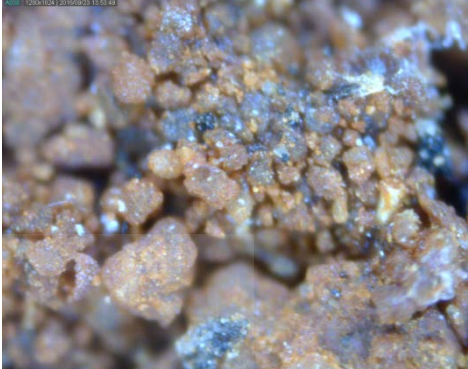

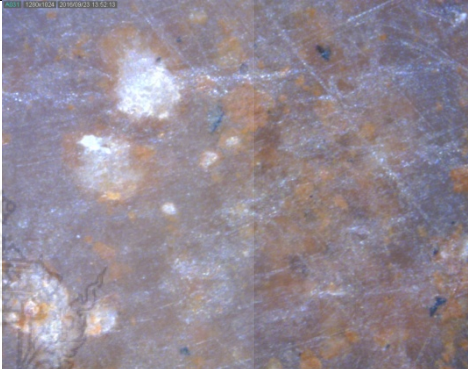

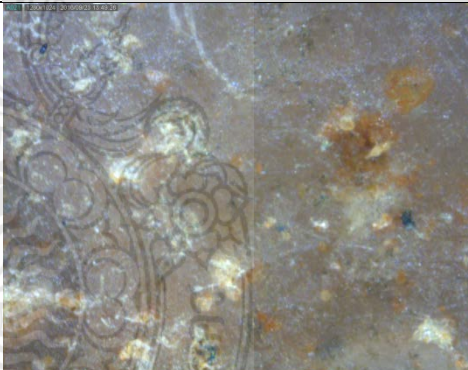


รูปที่ 4.5 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ดินลูกรัง – พลาสติก

4.10 ผลเลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค



จากการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x พบว่าดินลูกรังสามารถขึ้นรูปได้ด้วยการประสานของพลาสติกโดยยังมีอัตราส่วนของพลาสติกมากยิ่งทำให้มีความสามารถยึดเกาะขึ้นรูปได้ดีตามไปด้วย ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x

MIX	ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x	
1	NA	
2	NA	
3	NA	
4		
5		
6		

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x ต่อ

MIX	ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x	
7		
8		
9		
10		

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x ต่อ

MIX	ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x	
11		



บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

สรุปผล

5.1 สรุปผลจากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพบว่า

5.1.1 ดินลูกรัง ที่ใช้ในการทำวิจัยเป็นดินชั้นคุณภาพ A4 ประเภทของดินทรายแป้ง (Silty Soils) โดยมีอัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เท่ากับ 99.20% อัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 10 เท่ากับ 96.20% อัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 เท่ากับ 92.34% และอัตราส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 เท่ากับ 72.08%

5.1.2 ดินลูกรังมีค่าพิกัด Atterberg พิกัดเหลว (Liquid Limit) เท่ากับ 17.49% พิกัดพลาสติก (Plastic Limit) เท่ากับ 15.08 % และดัชนีมวลดิน (Plasticity Index) เท่ากับ 2.41%

5.1.3 องค์ประกอบทางเคมีของดินลูกรังพบว่ามีซิลิกอน ออกไซด์ (SiO_2), อลูมินา ออกไซด์ (Al_2O_3), ไอรอน ออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็น 58.60 %, 25.50%, 13.00% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO_2) : Quartz

5.1.4 ดินลูกรังมีผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏมีค่า 2.69 g/cm^3 , ความถ่วงจำเพาะ 2.32, ค่า Loss on Ignition 3.43 %, การกระจายตัวของขนาดอนุภาค 28.42 μm ขนาดรูพรุน 42.62 μm และพรุน ตัว 47.74%

5.2 สรุปผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปตามอัตราส่วน

พบว่า การขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ดินลูกรัง – พลาสติก ที่ดินลูกรัง 100%, 90% และ 80% , ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้เนื่องจากดินมีมวลที่ละเอียดเมื่อขึ้นรูปจะไม่เกิดการยึดเกาะระหว่างมวลกับพลาสติกตั้งรูปในตารางและอัตราส่วนดินลูกรังตั้งแต่ 70%-0%สามารถขึ้นรูปได้สมบูรณ์

5.3 สรุปผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า

5.3.1 ตัวอย่างทดสอบดินลูกรัง-พลาสติกที่มีกำลังอัดสูงขึ้นตามเวลาที่ทำการทำ เนื่องจากวัสดุ HDPE มีความเหนียวและยืดหยุ่นทำให้วัสดุทดสอบไม่มีการแตกหักแต่จะเปลี่ยนรูปตามแรงที่กระทำ

5.3.3 ซึ่งพบว่าดินลูกรังผสมพลาสติกเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกมากขึ้นกำลังรับแรงเพิ่มตามลำดับผู้ใช้ควรเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน

5.4 สรุปผลการทดสอบการดูดซึมน้ำ (Moisture Content; MC %) พบว่า

5.3.1 ปริมาณดินลูกรัง 50% ขึ้นไปตัวอย่างจมน้ำและปริมาณดินลูกรังต่ำกว่า 50% ก้อนตัวอย่างทดสอบลอยน้ำ

5.3.2 ตัวอย่างสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า 30% ทุก ตัวอย่างที่สามารถขึ้นรูปได้ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้

5.5 สรุปผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นพบว่า

5.4.1 ดินลูกรังผสมพลาสติกไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือเกิดน้อยมาก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวัสดุก่อสร้าง

5.6 สรุปผลจากการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค

ผลการทดสอบด้วยกล้องขยายกำลัง 50x พบว่าดินลูกรังสามารถขึ้นรูปได้ด้วยการประสานของพลาสติกโดยยังมีอัตราส่วนของพลาสติกมากยิ่งทำให้มีความสามารถยึดเกาะขึ้นรูปและกำลังได้ดีตามไปด้วย

5.7 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.5.1 ควรทำการทดสอบคุณสมบัติอื่นๆเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างหลากหลายเช่นทดสอบความสามารถในการต้านทานคลอไรด์ การต้านทานการกัดกร่อน



เอกสารอ้างอิง

- [1],[2] พันธพงศ์ ตั้งธีระสุนันท์ วัสดุคอมโพสิต: ทิศทางและแนวโน้มการใช้วัสดุคอมโพสิตในประเทศไทย เอกสารเผยแพร่ สำนักงานนวัตกรรมแห่งชาติ กันยายน 2549
- [3] Matthews F.L. and Rawlings R.D. Composite Materials : Engineering and Science. London Chapman & Hall, 1994
- [4] ณัฐสพล เกียรติพานิช, การพัฒนาเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติและการศึกษาสมบัติเชิงกลและสมบัติการไหล, วิศวกรรมเคมี, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2548
- [5] Bledzki A.K., Reihmane S. and Gassan J. “Thermoplastics Reinforced with Wood Fillers : A Literature Review.” Polymer-Plastics Technology and Engineering. (1998) : 451-468
- [6] Hollaway L. Polymer Composites for Civil and Structural Engineering. London : Chapman & Hall, 1993.
- [7] Trostyanskata, E.B. Polymeric Matrices in Fiber-Reinforced Composite Materials : Polymer Matrix Composites. London : Charman & Hall, 1995
- [8] เล็ก สีคง, วัสดุวิศวกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่ และวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2540
- [9] สุปราณี แสงทอง, การปรับปรุงผิวเส้นใยธรรมชาติโดยใช้ปฏิกิริยาแอตไมเซลลาพอลิเมอร์ไอออนสำหรับวัสดุประกอบ, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549
- [10] Jang B.Z. Advanced Polymer Composites. ASM International New York : John Wiley & Sons, 1994.
- [11] Hull D. and Clyne T.W. An Introduction to Composite Materials 2nd ed. Great Britain : Cambridge University Press, 1996
- [12] วิโรจน์ เตชะวิญญูธรรม “เอกสารประกอบการสอนวิชาเทคโนโลยีพลาสติก”
- [13] Hyer M.W. “Stress Analysis of Fiber-Reinforced Composite Materials.” (1997)
- [14] RUSSEL, L.C.(1889),U.S.Geol.Suev.Bull.No.52,65 p.
- [15] 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
- [16] HOLLAND,T.H.(1903),The Constitution Origin and De hydration of Laterite. Geol. Mag.14(10),pp.59-69
- [17] GIDIGASU,M.D.(1976),Laterite Soil Engineering,Elsever Scientific Publishing Company,Amsterdam, New Yark,p.544
- [18] MOHR,F.C.J. and F.A.,VAN BEREN.(1954),Tropical Soils. Interscience, London.

[19] REMILLON,A.(1967),Les recherches rontie’res entrepries en Afriqued’expression from caise,pp.231-388. Engineering Elsevier Sci.Pub.Co.,New York.

[20] 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.

[21] 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.

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

[23] สุภาพร สนิทวงศ์, 2528, อิทธิพลของพลังงานบดอัดที่มีต่อดินลูกรัง, วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

[24] 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

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

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

[27] ชีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัชวุฒิกเกียรติ (2528) ,กลสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย ศึกษาเน้นหนักการใช้ประโยชน์ในงานทางหลวง,รายงานฉบับที่ วว. 96 กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง ,115 หน้า

[28] วรศักดิ์ ต้นติวานิช และ สมหวัช ช่างสุวรรณ (2538), ธรณีวิทยาแหล่งดินลูกรังบริเวณภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทย, รายงานฉบับที่ วว.134 กองวิเคราะห์และวิจัยกรมทางหลวง, 30 หน้า

[29] RUENKRAIRERGA,T., and WAIWUDTHIKEART,W., (1987), Mechanical Properties of Thatland Lateritic Gravel Bankgkok.

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

ภาคผนวก ข

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติคณะผู้วิจัย (1) หัวหน้าโครงการ

1. นายนิโรจน์ เงินพรหม
Mr. Nirojn Ngenprom
2. ประวัติการศึกษา
ปริญญา สาขา ชื่อสถาบัน/ประเทศ
ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ประเทศไทย
ปริญญาโท วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีประเทศ
ไทย
3. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา
 - 3.1 Geotechnical Engineering
 - 3.2 Computer Application in Civil Engineering
 - 3.3 Construction Materials
 - 3.4 วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย
4. ผลงานวิจัย/ผลงานวิชาการ
 - 4.1 ชื่อเรื่องการประเมินค่าCBR ของดินลูกรังโดยใช้โครงข่ายประสาทเทียม ปีที่ดำเนินการ
ปีที่ดำเนินการ ปี 2549 หัวหน้าโครงการวิจัย
 - 4.2 ชื่อเรื่องปัจจัยที่ส่งผลต่อความพึงพอใจในงานของข้าราชการสายสนับสนุนและพนักงานใน
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปี 2551 หัวหน้าโครงการวิจัย
 - 4.3 ชื่อเรื่องการใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุพอลิโพรพิลีนแทนที่
ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์ ปี 2552 ผู้ร่วมวิจัย
 - 4.4 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมดินลูกรังและโคลนปูนจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิต
กระดาษ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
 - 4.5 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของดินซีเมนต์ผสมเถ้าเปลือกหอยแมลงภู่ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
 - 4.6 ชื่อเรื่องการทดสอบหาค่ากำลังอัดของอิฐดินดิบที่มีดินลูกรังเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบเป็น
ส่วนผสม 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
 - งานวิจัยที่กำลังทำ ชื่อข้อเสนอการวิจัย
 - 4.7 ชื่อเรื่องการพัฒนาวัสดุอิโพลีเมอร์จากเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย ปี 2553 ผู้ร่วมวิจัย
- 5 อื่นๆ ที่สำคัญ
 - 5.1 Received a bachelor's degree scholarship, Civil engineering from Rajamangala
Institute of Technology, Thailand, year 2005.
 - 5.2 Received scholarships graduate. Master Of Engineering (M.Eng) In the field of
Civil Engineering from the University of Technology Rajamangala Phra Nakhon, Thailand,
year 2006.
 - 5.3 Award No.1 in graduate faster version (faster end award) year 2007.

ประวัติคณะผู้วิจัย (2) ผู้ร่วมโครงการวิจัย

1. นายธนันท์ ศัลยวุฒิ
Mr. Thanan Sanyawuth
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3120100570503
3. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์
4. สังกัดภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
Email-address (มหาวิทยาลัย) *thanan.sa@rmutp.ac.th*
Email-address (อื่น) *tanant10@hotmail.com*
โทรศัพท์มือถือ (66) 0816595411
โทรศัพท์ที่ทำงาน (66) 022829009-11 ต่อ 6085 , โทรสาร. (66) 022802905
ที่อยู่ในการจัดส่งเอกสาร 399 กองนโยบายและแผน สำนักอธิการบดี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ถ.สามเสน แขวงวชิรพยาบาล เขตดุสิต กทม. 10300
5. ประวัติการศึกษา

ปริญญา สาขา	ชื่อสถาบัน/ประเทศ
ปริญญาตรี สถาปัตยกรรม	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังประเทศไทย
ปริญญาโท วิศวกรรม	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
อาคาร	ประเทศไทย
6. ความเชี่ยวชาญในสาขาวิชา
 - 6.1 วิศวกรรมศาสตร์และอุตสาหกรรมวิจัย

