



พัฒนาดินซีเมนต์ลูกรังผสมวัสดุเถ้าทิ้งจาก  
ผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นอิฐประสาน

**Development Laterite Soil cement containing Waste ash from industrial and  
agricultural as Brick interface.**

นายนิโรจน์ เงินพรหม

ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน

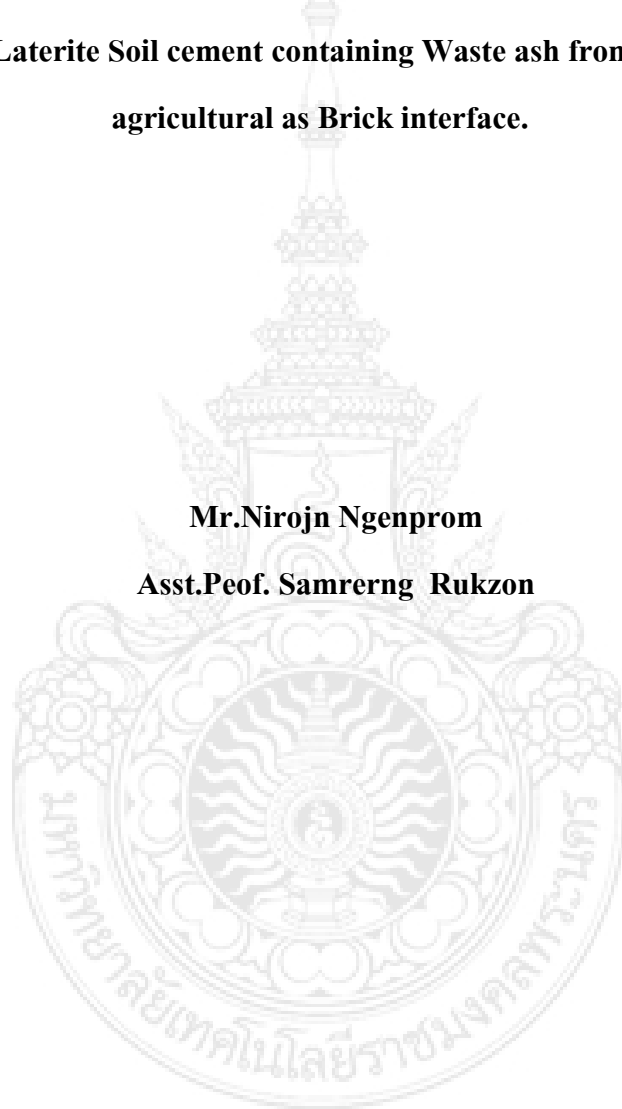
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร  
งบประมาณ ประจำปี ประจำปี พ.ศ. 2555



**Development Laterite Soil cement containing Waste ash from industrial and agricultural as Brick interface.**

**Mr.Nirojn Ngenprom**

**Asst.Peof. Samrerng Rukzon**



**Rajamangala University of Technology Phra Nakhon 2012**

**บทคัดย่อ**

**พัฒนาดินซีเมนต์ลูกรังผสมวัสดุเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นอิฐประสาน**

**Development Laterite Soil cement containing Waste ash from industrial and agricultural as Brick interface.**

**นายนิโรจน์ เงินพรหม**

**ผศ.ดร. สำเริง รักซ้อน**

จากการทดลองวิจัยพบว่าตัวอย่างดินลูกรังผสมเถ้าทิ้งจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมสามารถเป็นวัสดุก่อสร้างอิฐประสานได้ตามความเหมาะสมตามอัตราส่วนและกำลังที่ ต้องการ โดยมีองค์ประกอบทางเคมีของดินลูกรัง, เถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อย พบว่าดินลูกรังมีซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), อลูมินา ออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ไอรอน ออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) เป็น 58.60 %, 25.50%, 13.00% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Quartz เถ้าแกลบมีซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), แคลเซียม ออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ), โพแทสเซียม ออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) เป็น 94.00%, 2.00%, 2.80% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Cristobalite เถ้าขานอ้อยมีซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), แคลเซียม ออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ), โพแทสเซียม ออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) เป็น 74.7%, 07.8%, 5.4% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Quartz ผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า ตัวอย่างทดสอบเถ้าแกลบที่มีกำลังอัดน้อยกว่า 70 ksc. 34 ตัวอย่างระหว่าง 70-100 ksc. 7 ตัวอย่าง และมากกว่า 100 ksc. 24 ตัวอย่าง ตัวอย่างทดสอบเถ้าขานอ้อยที่มีกำลังอัดน้อยกว่า 70 ksc. 25 ตัวอย่างระหว่าง 70-100 ksc. 8 ตัวอย่างและมากกว่า 100 ksc. 32 ตัวอย่าง ซึ่งพบว่าดินลูกรังและเถ้าทิ้งเมื่อเพิ่มปริมาณปูนมากขึ้นกำลัง รับแรงเพิ่มตามลำดับผู้ใช้ควรเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำพบว่า อิฐประสานจากเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยหลังการแช่น้ำไม่สามารถรูปอยู่ได้ 11 ตัวอย่างซึ่งเห็นว่าไม่มีวัสดุที่ก่อให้เกิดการแข็งตัว อิฐประสานจากเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า 30% จำนวน 51 ตัวอย่างและ 53 ตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้ ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นพบว่า อิฐประสานจากเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือเกิดน้อยมากจำนวน 10 และ 14 ตัวอย่างตามลำดับซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวัสดุก่อสร้าง

**คำสำคัญ** ดินซีเมนต์, วัสดุเถ้าทิ้ง, อิฐประสาน, ดินลูกรัง

## กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้โดยการสนับสนุนจาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้  
อุดหนุนทุนวิจัยประจำปีงบประมาณ 2555 ทำให้สามารถดำเนินงานวิจัยสำเร็จตามวัตถุประสงค์ รวมทั้ง ที่  
เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนางานวิจัย รวมทั้งนักศึกษา ครู อาจารย์ และบุคลากรทางการศึกษาทุก  
ท่านที่ให้คำแนะนำในด้านต่างให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญการตาราง	จ
สารบัญรูปประกอบ	ฉ
บทที่	
1 บทนำ	1-2
1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 วิธีการศึกษาวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
2 วรรณสารปริทรรศน์	5-31
2.1 ดินลูกรัง	5
2.2 อีฐประสาน	16
2.3 เถ้าแกลบ	23
2.4 เถ้าขานอ้อย	26
3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	32-40
3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	32
3.2 กำหนดแหล่งดินลูกรังที่จะใช้ในงานวิจัยและวัสดุอุปกรณ์	21
3.3 เก็บตัวอย่างดินลูกรัง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดินลูกรัง ดังกล่าวสำหรับทดสอบ	34
3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของดินลูกรังและ เถ้าทั้ง	35
3.5 ออกแบบอัตราส่วนผสม	35
3.6 ขึ้นรูปตัวอย่างอีฐประสานตามอัตราส่วนที่กำหนด	36

สารบัญ	หน้า
3.7 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินเหนียวที่ต่อกำลังรับแรงอัด	38
3.8 ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ	39
3.9 ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้น	40
4 ผลการวิจัย	41-50
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานขนาดผละของดิน ลูกรีง	41
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพิกัด Atterberg ของดิน ลูกรีง	41
4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรีง	41
4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรีง	42
4.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรีง	43
4.6 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ	43
4.7 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าแกลบ	44
4.8 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างเถ้าแกลบ	44
4.9 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย	45
4.10 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าชานอ้อย	46
4.11 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffactometer (XRD) ของตัวอย่างเถ้าชานอ้อย	47
4.12 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปอิฐประสานตามอัตราส่วน	47
4.13 ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม	49
4.14 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ	50
4.15 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น	51
เอกสารอ้างอิง	54-57
ภาคผนวก ก ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	58
ภาคผนวก ข ร่วมจัดงาน “การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2555” (Thailand Research Expo 2012)	59
ภาคผนวก ค ประวัตินักวิจัย	60

## สารบัญญัตราง

สารบัญญัตราง	หน้า
1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
2.1 ปริมาณชนิดกีฬา และเซสควออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทย	13
2.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย	15
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ	23
2.4 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยที่มี LOI สูง และ LOI ต่ำ	27
4.1 ผลการทดสอบขนาดผละของดินลูกรังสีแดง	41
4.2 ผลการทดสอบพิกัด Atterberg ของดินลูกรังสีแดง	41
4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังแดง	41
4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ , ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรังของดินลูกรังแดง	42
4.5 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ	43
4.6 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าแกลบ	44
4.7 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย	45
4.8 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าชานอ้อย	46

## สารบัญรูปประกอบ

สารบัญรูปประกอบ	หน้า
2.1 แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง	5
2.2 แสดงการแบ่งชั้นของดินลูกรัง ตามวิธี Remillon	8
2.3 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย	11
2.4 อิฐประสานสีเหลี่ยมขนาดเต็มก้อน 12.5×25×10 ซม.	16
2.5 ตัวอย่างอาคารอิฐประสาน	16
2.6 อิฐประสาน ไค้ขนาด 15 x 30 x 10 ซม.	17
2.7 ถังน้ำอิฐประสาน	17
2.8 บ้านพักอิฐประสานชั้นเดียว	18
2.9 เครื่องอัดอิฐประสานด้วยแรงคน	18
2.10 เครื่องอัดอิฐประสานแบบอุตสาหกรรมขนาดย่อม	19
2.11 การเตรียมดิน	19
2.12 การผสมดิน	20
2.13 การอัดอิฐด้วยแรงคน	20
2.14 การบ่มอิฐประสาน	21
2.15 อิฐประสานแบบสวยงาม	22
2.16 อาคารบล็อกประสานหลังแรกสร้าง เมื่อปี พ . ศ . 2527	22
2.17 เถ้าแกลบ ก) ก่อนบด และ ข) หลังบด	24
2.18 การต้านทานคลอไรด์ของมอร์ต้าร์เถ้าแกลบ	25
2.19 การต้านทานซัลเฟตของมอร์ต้าร์เถ้าแกลบ	25
2.20 การเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่างของมอร์ต้าร์เถ้าแกลบ	26
2.21 ขนาดอนุภาคของเถ้าชานอ้อยบด	28
2.22 X-ray deflection ของเถ้าชานอ้อยบด	29
2.23 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยบด	29
2.24 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยบด	30
3.1 ตัวอย่างดินลูกรัง	32
3.2 ตัวอย่างเถ้าแกลบ	33
3.3 ตัวอย่างเถ้าชานอ้อย	33
3.4 แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย	34



สารบัญญรูปประกอบ	หน้า
3.5 อัตราส่วนผสมของตั้งอย่าง ปูนซีเมนต์-ดินลูกรัง-เถ้าทิ้ง	35
3.6 ดินลูกรัง	36
3.7 ปูนซีเมนต์	36
3.8 เถ้าแกลบ	36
3.9 ผสมให้เข้ากันโดยเครื่องประสมดิน	36
3.10 ผสมตัวอย่างเข้ากันดีแล้วนำเข้าเครื่องอัดอิฐประสานต่อไป	37
3.11 นำตัวอย่างดินที่ผสมตามอัตราส่วนมาเทเข้าเครื่องอัดอิฐประสาน	37
3.12 นำตัวอย่างดินที่ผสมตามอัตราส่วนมาเทเข้าเครื่องอัดอิฐประสาน	37
3.13 ตัวอย่างอิฐประสานหลังการอัดโดยเครื่องอัด	37
3.14 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอิฐ	38
3.15 บ่มตัวอย่างอิฐตามเวลาที่กำหนด	38
3.16 ตัวอย่างอิฐตามเวลาที่กำหนด	38
3.17 ตัวอย่าง เถ้าแกลบ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์	38
3.18 ตัวอย่าง เถ้าชานอ้อย ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์	38
3.19 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด	39
3.20 ตัวอย่างหลังกดทดสอบ	39
3.21 ตัวอย่างอิฐเถ้าแกลบก่อนแช่น้ำ	39
3.22 ตัวอย่างอิฐเถ้าชานอ้อยก่อนแช่น้ำ	39
3.23 ตัวอย่างอิฐขณะแช่น้ำ	40
3.24 ตัวอย่างอิฐเถ้าแกลบหลังแช่น้ำ	40
3.25 ตัวอย่างอิฐเถ้าชานอ้อยหลังแช่น้ำ	40
4.1 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินลูกรัง	42
4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง	43
4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าแกลบ	44
4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างเถ้าแกลบ	4.5
4.5 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าชานอ้อย	46
4.6 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างเถ้าชานอ้อย	47
4.7 อัตราส่วนผสม ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าทิ้ง	47

สารบัญญรูปประกอบ	หน้า
4.8 ตัวอย่างอิฐประสานตามอัตราส่วนผสม ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าแกลบ	48
4.9 ตัวอย่างอิฐประสานตามอัตราส่วนผสม ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าชานอ้อย	49
4.10 ค่ากำลังอัด ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าแกลบ	49
4.11 ค่ากำลังอัด ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าชานอ้อย	49
4.12 ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำปูน-ดินลูกรัง-เถ้าแกลบ	50
4.13 ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำปูน-ดินลูกรัง-เถ้าชานอ้อย	50
4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง – เถ้าแกลบ	51
4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง – เถ้าชานอ้อย	51



## บทที่ 1 บทนำ

### 1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

"...วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้าง ความเจริญของบ้านเมือง จึงควร สนับสนุนให้ มีการค้นคิดเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับภาวะ และความต้องการของประเทศ ขึ้นใช้เอง อย่างจริงจังถ้าสามารถค้นคิดได้ มากเท่าไร จะเป็นการประหยัดและช่วยให้สามารถ นำไปใช้ในงาน ต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ยิ่งขึ้นเท่านั้น..." (พระราชดำรัส พระราชทานเนื่องในงานสัปดาห์วิทยาศาสตร์ แห่งชาติ 1 สิงหาคม 2531) ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมและมีจำนวนประชากรที่ขยายตัว เพิ่มขึ้นตลอดเวลาทำให้ต้องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติเพิ่มขึ้นตาม ไปด้วยส่งผลให้มีการพัฒนาและการ ขยายตัวของภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมเพิ่มปริมาณมากขึ้นซึ่งส่งผลให้มีปริมาณกากของเสีย จากกระบวนการผลิตจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมซึ่งมลพิษสิ่งแวดล้อมเหล่านี้มีมากขึ้น ตามไปด้วย เป็นผลสืบเนื่องมาจากความเจริญของ มนุษย์ [1] ที่ต้องการมากขึ้น ทำให้ส่งผลต่อ สภาพแวดล้อม สิ้นเปลืองพื้นที่การฝังกลบ และ เกิดปัญหาในด้านการจัดการทำลายกากของเสียเหล่านี้ จึงมีแนวคิดที่จะนำกากของเสียจากกระบวนการผลิตจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมมาเป็น วัตถุดิบในการผลิตผลิตภัณฑ์ในงานก่อสร้างซึ่งนำกากของเสียจากกระบวนการผลิตจากภาค เกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม โดยเฉพาะวัสดุเก่าทิ้ง จากกากอ้อยหรือชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงในการ ผลิตกระแสไฟฟ้าในโรงงานน้ำตาล , จากแกลบ -เปลือกไม้เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิต กระแสไฟฟ้าโดยการใช้แกลบ 2 ส่วน และเปลือกไม้ 1 ส่วนเป็นเชื้อเพลิงเก่าทิ้งจากกระบวนการผลิต ดังกล่าวประมาณ 300,000 ตันต่อปี ซึ่งไม่ได้ใช้ประโยชน์ ในโรงงานผลิต และจากแกลบใน โรงงานสี ข้าวจากการเผาทิ้ง ซึ่งเป็นกากของเสียที่มีปริมาณมากทำให้ส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมโดยงานวิจัยนี้ จะ นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดและคุ้มค่า ตามพระบรมราโชวาทที่ว่า "...เทคโนโลยี นั้น โดยหลักการ คือ การทำให้สิ่ง ที่มีอยู่ให้เกิด เป็นสิ่งนำมาใช้ประโยชน์ได้ ดังนั้น เทคโนโลยีที่ดีสมบูรณ์ จึงควร จะ สร้างสิ่งที่จะใช้ประโยชน์ได้อย่างคุ้มค่าและมีความสูญเสียเปลือง หรือความ เสียหายที่เกิดขึ้นน้อยที่สุด..." (พระบรมราโชวาท ในพิธีพระราชทานปริญญาบัตรของ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ณ อาคารใหม่ สวนอัมพร 18 ตุลาคม 2522 )

ปัจจุบัน รัฐบาลมีโครงการรณรงค์ให้ประชาชนหันมาให้ความสำคัญของการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จึงนำ ดินซึ่งเป็นวัสดุที่หา ง่าย ราคาถูก ทำเป็นอิฐดินซีเมนต์ ซึ่งประชาชนทั่วไปสามารถ นำไปเป็นแนว ทางการประกอบอาชีพเลี้ยงครอบครัวเพื่อสร้างงานและเป็นอาชีพให้แก่ประชาชนในชนบทอย่างยั่งยืน ข้อดีและประโยชน์ของอิฐดินซีเมนต์ ประหยัดปูนซีเมนต์ แรงงาน ระยะเวลาในการก่อสร้างและต้นทุน ต่ำ มีความแข็งแรงทนทาน เรียบร้อยสวยงาม ไม่ต้องใช้ปูนก่อที่ละก้อนเหมือนอิฐทั่วไป ก่อสร้างง่าย รวดเร็ว โดยไม่ต้องใช้เสาและการฉาบปูนไม่จำเป็นต้องใช้ช่างฝีมือดีเพราะค่าแรงสูง คนทั่วไปก็สามารถ

ก่อสร้างได้ใช้วัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่น เช่น ดิน นอกจากนี้ยังมีความแข็งแรงทนทาน สามารถนำมาถือเป็นผนัง รับน้ำหนักได้ (ใช้แทนเสาบ้าน) มีความสวยงามตามธรรมชาติโดยไม่ต้องทาสี อนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม โดยการลดการตัดไม้เพื่อนำมาก่อสร้างบ้าน รวมทั้งหากนำเถาจากของเสียจากกระบวนการผลิตก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อมแก่ชุมชนใกล้เคียง ดังนั้นหากสามารถสร้างทางเลือกใหม่ที่จะนำเถาเหล่านี้มาใช้ประโยชน์ จะเป็นการป้องกันและลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากเถาดังกล่าว และยังเป็นการเพิ่มมูลค่าแก่เถาจากของเสียจากกระบวนการผลิตจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรม และทำให้เพิ่มรายได้จากการขายเถาที่เป็นผลพลอยได้ และเปลี่ยนวัสดุเหลือทิ้งจากภาคเกษตรกรรมและภาคอุตสาหกรรมที่ไม่มีมูลค่า เป็นวัสดุเหลือทิ้งที่มีราคาในตัวเองได้อย่างยั่งยืน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงต้องการศึกษาและพัฒนาเถาทิ้งเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุ ดินซิเมนต์ ทำ อิฐประสาน เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการนำเถาทิ้งไปใช้งานอย่างมีประสิทธิภาพและทำให้เกิดความมั่นใจแก่อุตสาหกรรมก่อสร้างไทยที่จะนำเอาเถาทิ้งไปใช้งาน ทั้งยังช่วยลดปัญหาภาวะและปัญหาสิ่งแวดล้อมจากวัสดุจากของเสียจากกระบวนการผลิตและลดพื้นที่การกำจัดทิ้ง ดังนั้นวัสดุประสานหรือวัสดุพอซโซลานจากเถาทิ้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับงานดินซิเมนต์ ที่สามารถลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรม และเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเสียในเชิงพาณิชย์ได้ต่อไป

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1 นำวัสดุเถาทิ้ง จากกากอ้อยหรือชานอ้อยในโรงงานและจากแกลบในภาคเกษตรใช้ในการทำดินซิเมนต์ผลิตอิฐประสาน

2 ศึกษาสมบัติเชิงกลของอิฐประสานดินซิเมนต์ผสมวัสดุเถาทิ้งจากกากอ้อยหรือชานอ้อยในโรงงาน และจากแกลบในภาคเกษตรใช้ในการทำดินซิเมนต์ผลิตอิฐประสาน

## 1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1 ใช้วัสดุดินลูกรัง

2 ใช้วัสดุเหลือทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

3 ศึกษาสมบัติทางกายภาพ และองค์ประกอบทางเคมี ของวัสดุเถาทิ้ง จากกากอ้อยหรือชานอ้อยในโรงงานและจากแกลบในภาคเกษตรใช้ในการทำดินซิเมนต์ผลิตอิฐประสาน

4 ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ปูน, ดิน, เถาทิ้ง ในความสามารถในการรับแรงอัด ความสามารถในการดูดกลืนน้ำ

## 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

1.4.1 วิธีการดำเนินการวิจัย เป็นการวิจัยเชิงปฏิบัติการทดลอง โดยทำการเก็บรวบรวมข้อมูลและทำการทดสอบโดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้

- 1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย
- 2 กำหนดแหล่งดินลูกรังตัวอย่าง เถ้าทิ้งที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์
- 3 เก็บตัวอย่างดิน เถ้าทิ้ง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดิน เถ้าทิ้งดังกล่าว สำหรับผลิตอิฐประสาน
- 4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดิน เถ้าทิ้ง
- 5 ทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของดินและ เถ้าทิ้ง ประกอบด้วย ตรวจสอบหาองค์ประกอบทางเคมี ด้วยเครื่อง x-ray fluorescence, ทดสอบหาความถ่วงจำเพาะ , ทดสอบหาปริมาณของอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน , ทดสอบพื้นที่ผิวจำเพาะโดยวิธีของเบลน , ถ่ายภาพขยายกำลังสูง ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope, วิเคราะห์องค์ประกอบแร่ด้วยเครื่อง x-ray diffraction ทั้งทางคุณภาพและปริมาณ
- 6 ออกแบบอัตราส่วนผสม
- 7 ขึ้นรูปตัวอย่างอิฐประสานตามอัตราส่วนที่กำหนด
- 8 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินเถ้าทิ้งต่อกำลังรับแรงอัด
- 9 เลือกอัตราส่วนและกระบวนการผลิตที่เหมาะสม ทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค ด้วยเครื่องมือ XRD, FTIR, และ SEM/EDX และวิเคราะห์ปริมาณโพรงด้วยเครื่องมือ MIP
- 10 ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ
- 11 ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ
- 12 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

### 1.4.2 สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

## 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 นำเถ้าทิ้งจากทดลองวิจัยไปผลิตเป็นวัสดุดินซิเมนต์ลูกรังทำอิฐบล็อกประสานอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ลดปัญหาโลกร้อน
- 2 เป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดขยะอุตสาหกรรม เกษตรกรรม ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต
- 3 ผลงานวิจัยสามารถตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ
- 4 จดสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

5 งานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดีเนื่องจากดินลูกรัง แกลบและชานอ้อยเป็นทรัพยากรจากธรรมชาติมีในประเทศสามารถ ทำให้เป็นวัตถุดิบผลิตเป็นสินค้า ชุมชนส่งเสริมระบบเศรษฐกิจท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

---



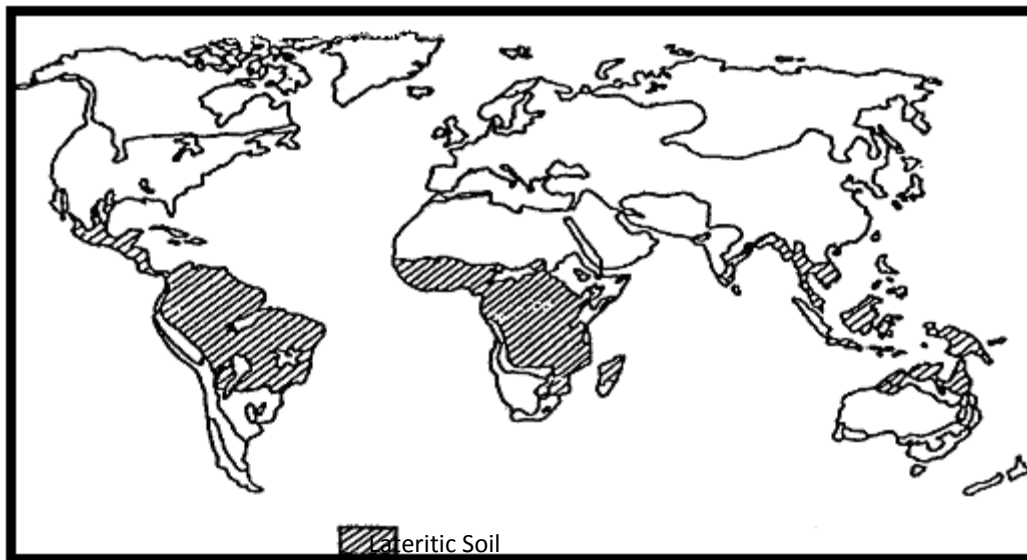
## บทที่ 2 วรรณสารปริทรรศน์

### ทฤษฎี สมมติฐาน และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

ดินลูกรังเป็นวัสดุที่มีทุกภาคของประเทศไทยและเป็นวัสดุที่มีความสามารถในการรับกำลังได้ดี

#### 2.1 ดินลูกรัง

ดินลูกรัง เกิดจากการผุพังของหินในสภาพภูมิอากาศร้อนหรือกึ่งร้อน ซึ่งมีอุณหภูมิและความชื้นสูง และจากการศึกษาการผุพังและการเกิดสีแดงของหิน ในประเทศสหรัฐอเมริกาของ Russel [2] พบว่า อุณหภูมิที่อบอุ่นและความชื้นสูงมีอิทธิพลต่อการผุพังของหินมากกว่าอุณหภูมิที่เย็นและความชื้นที่ต่ำซึ่ง Bawa [3] ได้ให้ความเห็นตรงกันว่า กระบวนการกัดเซาะทางเคมีจะชะล้างและพัดพาเอาซิลิกา ( $\text{SiO}_2$ ) ออกไปจากดินเดิม และในขณะเดียวกันก็มีการสะสม เซสควิวออกไซด์ (Sesquioxide,  $\text{Fe}_2$  and  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) ในดินเดิมทำให้เกิดเป็นก้อนแข็ง ผลของกระบวนการดังกล่าวจะทำให้เกิดดินที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ และอลูมิเนียมออกไซด์สูงกว่าปกติ ซึ่งดินประเภทนี้เรียกว่า “ ดินลูกรัง ” และกระบวนการที่เกิดขึ้นทั้งหมดนี้เรียกว่า “ กระบวนการ Laterization ” Holland [4] ได้สนับสนุนว่าที่อุณหภูมิและความชื้นสูง หรือในสภาพภูมิอากาศแบบเขตร้อนจะเกิดกระบวนการกัดเซาะทางเคมีขึ้นดังรูป ที่ 2.1 แสดงการกระจายตัวของดินลูกรัง



รูป ที่ 2.1 แผนที่โลกแสดงการกระจายตัวของดินลูกรังในทวีปต่าง [5]

### 2.1.1 กระบวนการเกิดดินลูกรัง

กระบวนการเกิดดินลูกรังแบ่งการเกิดออกเป็นสองช่วงคือ

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

1.1 Decomposition เป็นขบวนการทางเคมีฟิสิกส์ในการทำลาย Primary minerals ในหินออกไซด์ต่าง ๆ ได้แก่  $\text{SiO}_2$  ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ,  $\text{CaO}$  ,  $\text{MgO}$  ,  $\text{K}_2\text{O}$  ,  $\text{Na}_2\text{O}$  และอื่น ๆ ซึ่งปรากฏอยู่ในรูปของอนินทรีย์สาร

1.2 Laterization คือกระบวนการก่อกำเนิดลูกรังจะเกิดการชะล้างภายใต้สภาวะการระบายที่เหมาะสม เกิดการรวมตัวของซิลิกา , ด่าง และสารพวกออกไซด์ และ ไฮดรอกไซด์ของเซสควิออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$ ) ส่วนสารอื่น ๆ จะถูกระบายหรือรวมตัวกันขึ้นกับความเป็นกรด ด่าง ของน้ำในดิน และสภาวะการระบาย Mohr and Van Baren [6] ได้กล่าวว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรัง (Laterization) เป็นกระบวนการที่  $\text{SiO}_2$  ถูกชะล้างพัดพาออกไปภายใต้สภาวะการระบายน้ำที่เหมาะสม เหลือ  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ,  $\text{Ti}_2\text{O}_3$  ,  $\text{MnO}_2$  เป็นส่วนสำคัญกระบวนการทางเคมีฟิสิกส์จะมีผลทำให้เกิดแร่ดินเหนียวในกลุ่มของแร่ Kaolinite เป็นสำคัญ ภายใต้กระบวนการสลายตัวทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนาน แร่ดินเหนียวและซิลิกาจะถู กชะล้างพัดพาออกไปจากมวลดิน เหลือสารที่เป็นออกไซด์ของ อลูมินัม เช่น Gibbsite หรือออกไซด์ของเหล็ก เช่น Limonite หรือ Goethite กระบวนการชะล้างพัดพาดังกล่าวนี้รู้จักกัน โดยทั่วไปว่า กระบวนการก่อกำเนิดลูกรังหรือ Laterization process ต่อมา Remillon [7] ได้กล่าวว่าภายใต้สภาวะการเกิดกระบวนการทำลายทางเคมีฟิสิกส์ที่ยาวนานนี้แร่ดินเหนียวจะถูกชะล้างเหลือสารที่มีออกไซด์ของอลูมิเนียม เช่น Gibbsite หรือไฮดรอกไซด์ของเหล็ก เช่น ลิโมนไนต์หรือเกอร์ไทท์

1.3 Dehydration หรือ Desiccation คือกระบวนการสูญเสียความชื้นตามธรรมชาติจะเกิด การเสียด ความชื้นใน เซสควิออกไซด์ (Sesquioxide) ทำให้เกิดการแข็งตัวขึ้น นอกจากนี้การสูญเสียความชื้นใน สารละลายที่มีเหล็กออกไซด์ปนอยู่ ทำให้ความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น เกิดการตกผลึกของเหล็ก



ออกไซด์ เป็นผลให้เกิดออกไซด์ของเหล็กในรูป Limonite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 1.5\text{H}_2\text{O}$ ) , Goethite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) , และ Hematite ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )

KRINITZSKY และคณะ [8,9] สรุปได้ว่าการแข็งตัวในดินลูกรังเกิดขึ้นเนื่องจากออกไซด์อิสระของเหล็ก 3 ชนิดได้แก่เฮมาไทท์ , ไลโมไนต์ และ เกอร์ไทท์ เคลือบบนอนุภาคดิน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นเฮมาไทท์ กระบวนการ Laterization จะทำให้ออกไซด์อิสระของเหล็กในรูปของเฮมาไทท์เคลือบอยู่บนอนุภาคดินมีความหนาเพิ่มขึ้น

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

วิธีการหา Secondary minerals ในดินลูกรัง

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

2.1.2 **สถานะของการเกิดดินลูกรัง** Gidigas [5] กล่าวถึงสภาพแวดล้อมต่างๆ ของการเกิดของดินลูกรังว่า มีดังนี้

1. หินต้นกำเนิด (Parent Rock) จากการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ดินลูกรังกับหินต้นกำเนิด พบว่า ดินลูกรังเกิดจากหินต้นกำเนิดหลายชนิดเช่น แกรนิต (Granite) , Gneiss บะซอลท์ (Basalt) และฟิลไลท์ (Phyllite) นอกจากนี้ยังพบว่า เกิดจากดินดาน (Shale) หินทราย (Sandstone) และหินปูน (Limestone) ด้วย หินต้นกำเนิดที่มีแร่เหล็ก (Ferruginous) เป็นส่วนประกอบในอัตราสูง เช่น บะซอลท์ และ หินดินดานจะก่อให้เกิด 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 ลูกรังมักจะเกิดบริเวณเชิงลาดสูงสุดของเนินเขาทั้งนี้เพราะบริเวณดังกล่าว วมมีการระบายน้ำได้ดี โดยทั่วไปดินลูกรังจะไม่เกิดในบริเวณที่น้ำท่วมได้หรือบริเวณพื้นที่ต่ำ

### 2.1.3 ชั้นของดินลูกรัง

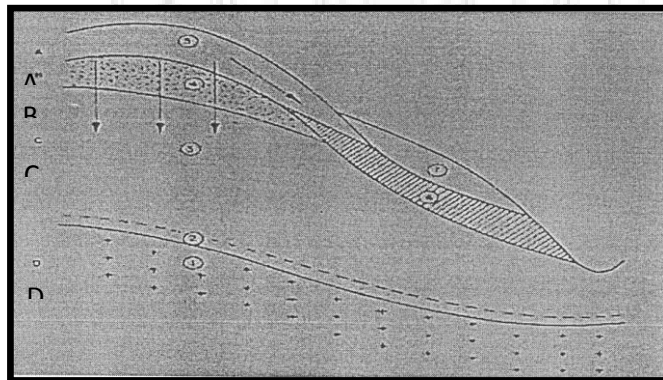
Remillon [7] ได้ทำการแบ่งชั้นของดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดิน ออกเป็นลำดับดังนี้

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 [7]

Krinitzsky และคณะ [8,9] แบ่งดินลูกรังตามกระบวนการเกิดของชั้นดินออกได้ดังนี้

ชั้น A : เป็นชั้นที่บางที่สุด ประกอบด้วยชั้นของ Silty หรือ Sandy มีซาก-พืชซากสัตว์น้อย

หรืออาจจะไม่มี

ชั้น B : เป็นชั้นดินลูกรังที่มีความหนาตั้งแต่ 0.30 - 0.60 เมตร ประกอบด้วยชั้นของ Sandy หรือ Gravelly ซึ่งในชั้นนี้เป็นชั้นที่มีการสะสมของเชลควิวอกไซด์มาก และอาจจะมีไมก้า (Mica) ปรากฏอยู่บ้าง

ชั้น C : หรือชั้น Mottled Zone ชั้นนี้มีความหนามากกว่าชั้น B หลายเท่า มีการชะล้างเหล็กและซิลิกาออกไปบางส่วน โดยปกติจะมีหลายสี ในชั้นนี้อาจจะมี โอลิไนท์ และควอทซ์อยู่ใต้ชั้น C ลงไปอาจจะมีดินเหนียวสีขาว เรียกว่า “Pallid Zone” ซึ่งเป็นชั้นที่เหล็กถูกชะล้างออกไปหมดแล้วแต่ยังคงมีซิลิกาอยู่เนื่องจากถูกชะล้างออกไปเพียงบางส่วนเท่านั้น ดินชั้นนี้อาจจะปรากฏหรือไม่ปรากฏก็ได้

ชั้น D : เป็นชั้นหินต้นกำเนิดที่ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ในประเทศไทยนั้นพบดินลูกรังที่ความลึกประมาณ 0.30 – 1.80 เมตรแต่โดยทั่วไปจะพบที่ความลึกไม่เกิน 3.00 เมตร

#### 2.1.4 การหาแหล่งดินลูกรัง มีอยู่หลายวิธี โดยใช้

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

#### 2.1.5 คุณสมบัติทางกายภาพของดินลูกรัง

สีของดินลูกรัง ดินลูกรังส่วนใหญ่จะมีสีแดงแต่จะมีสีแดงเข้มหรืออ่อนขึ้นกับปริมาณน้ำเป็นส่วนประกอบหลักของออกไซด์เหล็ก อลูมิเนียม ไททานเนียม 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

##### 2.1.6 ดินลูกรังในประเทศไทย

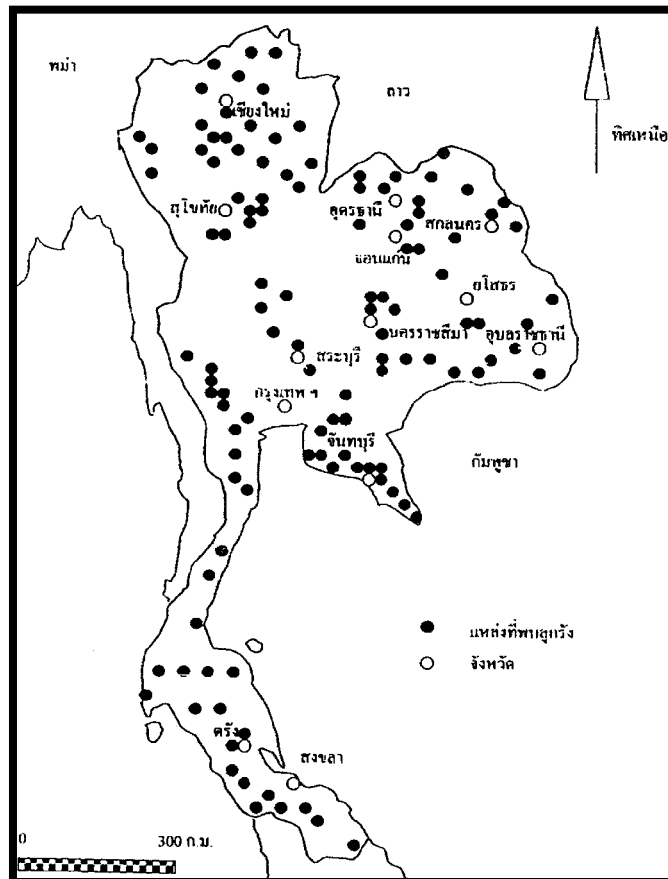
ประเทศไทยมีภูมิอากาศแบบร้อนชื้น โดยมีฤดูฝนสลับร้อนกันไปเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างจะยาวนานสภาพอากาศเช่นนี้เหมาะกับการเกิดดินลูกรังอย่างยิ่งและจะพบดินลูกรังได้มาก ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคตะวันออกและภาคเหนือ โดยมีหินต้นกำเนิดส่วนใหญ่เป็นหินทรายหินบะซอลท์ และหินดินดาน บริเวณที่พบ ดินลูกรังในประเทศไทยแสดงไว้ในรูปที่ 2.3

Hongsnoi [10] 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 เกิดการเกาะกันของเฮมาไทต์เม็ดเล็กๆ และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อย
3. ชั้นดินเหนียวที่มีขนาดเม็ดเล็กและแข็งจำนวนมาก และมีดินลูกรังเม็ดกลมที่เริ่มแข็งตัวของลิโมนไนท์ (เหล็กไฮดรอกไซด์)
4. ชั้นดินเหนียวอ่อน ชุ่มชื้นและมีเหล็กออกไซด์ขนาดเม็ดต่างๆ ปนกันอยู่
5. ชั้นดินเหนียวสีเทา ที่มีลิโมนไนท์ปนอยู่หรือแทรกอยู่ตามรอยแตก
6. ชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง (พวกกรวด ทราย ดินเหนียว)
7. หินต้นกำเนิด

โดยทั่วไปขีดจำกัดอัตราเตอร์เบอร์จะต่ำสุดที่ชั้นดินลูกรัง และจะเพิ่มขึ้นตามคว มลึกจนถึงชั้นหินต้นกำเนิด ที่ผุพัง ปกติส่วนใหญ่ในสุดของเม็ดดินลูกรังเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่อ่อน และผิวนอกจะเป็นเหล็กไฮดรอกไซด์ที่แข็งแกร่งกว่า ความหนาของเหล็กไฮดรอกไซด์ นี้ มากหรือน้อยขึ้นกับสภาพแวดล้อมของดินลูกรังว่า เป็นกรดหรือเป็น Oxidizing Agents



รูปที่ 2.3 บริเวณที่พบดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา สุภาพร [11]

2 Secondary Lateritic Soil เป็นดินลูกรังที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายมาจากแหล่งหินต้นกำเนิดอื่น เมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านจะทำให้เหล็กออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวและยังออกซิไดซ์แร่เหล็กที่มีอยู่ในบริเวณนั้น ด้วย โดยที่ดินลูกรังประเภทนี้จะไม่แบ่งเป็นหลายชั้น เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะของดินและความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นดิน ออกไซด์ของดินลูกรังประเภทนี้จะอยู่กระจัดกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรกและมักเกาะอยู่โดยรอบของเม็ด

กรวดหรือชิ้นส่วนที่แตกหัก จึงทำให้ดินลูกรังประเภทนี้มีขนาดใหญ่ กว่ามีความแข็งแรงที่แตกต่างกันมากกว่า และเห็นชั้นของสิมาไทต์ ไลมอไนต์และดินเหนียวเด่นชัดกว่าดินลูกรังประเภทแรก และค่า Atterberg's Limit ของดินลูกรังประเภทนี้ต่ำกว่าดินลูกรังประเภทแรก Moh และ Mazhar [12] รายงานผลว่าการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังก่อนการทดลองมีผลทำให้ค่าขีดจำกัดแอดเตอร์เบอร์กแตกต่างกัน การอบตัวอย่างให้แห้งก่อนการทดสอบจะให้ผลการทดลองแตกต่างจากการฝั่งตัวอย่างให้แห้งตามธรรมชาติ หรือทดสอบตัวอย่างที่มีความชื้นตามธรรมชาติ ผลการทดลองจะต่างกันมากในกรณี ที่มีแร่ Montorillonite เป็นองค์ประกอบ Shuster [29] ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความทนทานของเม็ดลูกรังในประเทศไทยโดยใช้การทดลอง Los Angeles 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 [13] ได้สรุปผลการสำรวจแหล่งดินลูกรังในประเทศไทยดังต่อไปนี้

- ก. ในประเทศไทยจะพบดินลูกรังมากกว่าลูกรัง ดินลูกรังที่พบมักจะพบในลักษณะของกรวดทรายดินตะกอน และดินเหนียวที่มีออกไซด์ของเหล็กปนอยู่ในปริมาณสูงลูกรังที่จับเกาะกันเป็นก้อนใหญ่ไม่ค่อยพบบ่อยนัก
- ข. ดินลูกรังที่ใช้ในการก่อสร้างทางหลวงมักจะได้จากการขุดและการดันดินผสมเป็น กอง (Stockpile) อันประกอบด้วยดินตะกอน และดินเหนียวที่มีเหล็กออกไซด์ประมาณสูงผสมรวมกันเป็นลูกรังซึ่งมีความแข็งต่างกัน ลูกรังที่เกิดเป็นก้อนใหญ่หรือเป็นพีคแข็งติดต่อกัน จะไม่นำมาใช้ในการก่อสร้างทาง หลวง
- ค. สภาพที่เหมาะสมที่จะก่อให้เกิดดินลูกรังในประเทศไทยได้แก่ สภาพที่มีแร่เหล็กหรือลูมิנםเกิดสะสมอยู่ในปริมาณสูงอย่างน้อยที่สุดร้อยละ 1-2 สภาพที่ดินมีออกซิเจนในน้ำได้ดินสูงและสภาพที่สิ่งแวดล้อมมีภาวะเป็นกรดรวมทั้งสภาพที่ภูมิประเทศมีความเหมาะสมที่ก่อให้เกิดการชะล้างในชั้นดิน ได้ดี
- ง. ความแข็งแรงของเม็ดดินลูกรังอา จะเพิ่มขึ้นได้ภายหลังการขุดแต่ดินลูกรังที่ปล่อยทิ้งไว้กลางแจ้งเพื่อให้ดินลูกรังเกิดปฏิกิริยาเคมีกับออกซิเจนในอากาศจนเกิดการเป็ยกลดทับกับ

แห้งจะช่วยให้ออกซิเจนแทรกซึมลึกเข้าไปในเม็ดดินลูกรัง และเกิดปฏิกิริยาต่อเนื่องอันทำให้เม็ดดินลูกรังแข็งมากยิ่งขึ้น

- จ. ดินลูกรังถือเป็นวัสดุที่จะนำมาใช้สร้างทางได้ ถ้าหากมีการกำหนดมาตรฐานและขีดจำกัดอันทำให้สามารถใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทาง พื้นทางและผิวทางชั่วคราวได้อย่างเหมาะสม

Pendleton และ Sharasuvans [14] ได้แสดงความแตกต่างของคุณสมบัติทางเคมีของดินลูกรังในประเทศไทยไว้ดังแสดงตามตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ปริมาณซิลิกา และเซสควิวออกไซด์ของดินลูกรังในประเทศไทยข้อมูลจาก Pendleton และ Sharasuvans [14]

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

ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัชวุฒิกเกียรติ [15] กล่าวว่าดินลูกรังในประเทศไทยมีความคงทนเพียงพอที่จะใช้ทำชั้นพื้นทางและรองพื้นทางของถนนที่มีปริมาณจราจรน้อยถึงสูงปานกลางได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้ยังสามารถใช้เป็นชั้น ผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยางได้ดีอีกด้วย ผลการทดลองยังแสดงอีกด้วยว่าค่า Atterberg Limits ของดินลูกรังในประเทศไทยจะสูงกว่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานของกรมทางหลวง

วรศักดิ์ และ สมหวัง [16] ได้อธิบายว่า ดินลูกรังสามารถใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางไหล่ทาง พื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรสูงปานกลาง และสามารถใช้เป็นผิวทางชั่วคราวของถนนที่ไม่ได้ลาดยาง เพราะเมื่อดูกรังจะไม่แตกเป็นเม็ดละเอียดเมื่อถูกน้ำหรือความชื้นในอากาศ แหล่งดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงที่เปิดใช้ยังมีประมาณ 40 แหล่ง มักพบชั้นดินลูกรังหนาประมาณ 1.4-2.0 เมตร ค่า Liquid Limit และ Plasticity Limit ของดินลูกรังส่วนมากจะสูงกว่าข้อกำหนดของกรมทางหลวง และถ้านำดินลูกรังผสมกับซีเมนต์จะมีคุณสมบัติใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้เป็นอย่างดี

Ruenkraitersa และ Waiwudthihead [17] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย เพื่อวางแผนทางการกำหนดมาตรฐานคุณสมบัติของดินลูกรัง เพื่อใช้ในการงานก่อสร้างถนนจากผลการวิจัยสามารถสรุปได้ว่า ดินลูกรังในประเทศไทยประกอบด้วยเม็ดลูกรังที่มีความแข็งแรงทนทานเหมาะสมที่จะใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางของถนนที่มีปริมาณการจราจรน้อย ละสูงปานกลางได้เป็นอย่างดี ในพื้นที่ซึ่งขาดแคลนหินที่จะใช้เป็นวัสดุพื้นทางสามารถจะนำดินลูกรังมาผสมซีเมนต์ เป็นวัสดุ Soil-Cement เพื่อใช้ทำชั้นพื้นทางของถนนได้เป็นอย่างดี

Morrison [18] (อ้างถึง ธีระชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ วุฒิชัย วัชวุฒิกเกียรติ [15]) ได้รายงานค่าคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังจากแหล่งต่าง ๆ 57 แหล่งในประเทศไทยดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2



ตารางที่ 2.2 คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทย ที่มา Morrison [18]

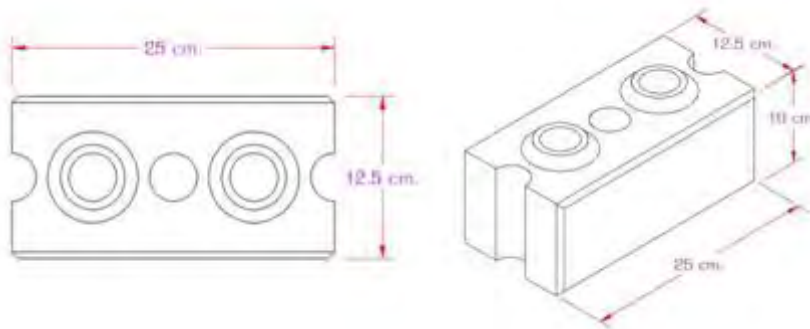
คุณสมบัติ	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
ส่วนผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (%)	0	66
ขีดพิคคิเลว (%)	18	97
ดัชนีพลาสติก (%)	NP	51
กลุ่มดินตาม AASHTO	A-1-a	A-7-6
Group Index	0	10
ความถ่วงจำเพาะ	2.59	3.20
ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (ปอนด์/ลบ.ฟุต)	118.0	114.5
ความชื้นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (%)	7.0	13.4
CBR (%)	7.0	60.0
การบวมตัว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

## 2.2 อิฐประสาน

**2.2.1 บล็อกประสานคือ** วัสดุที่รับน้ำหนักที่ได้ทำการพัฒนารูปแบบให้มีรู และเดือยบนตัวบล็อก เพื่อให้สะดวกในการก่อสร้าง โดยเน้นการใช้วัสดุดิบในพื้นที่ ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์ และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสมอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัดแล้วนำมาบ่ม ให้บล็อกแข็งตัวประมาณ 10 วัน จะได้คอนกรีตบล็อกที่มีความแข็งแรง มีรูปลักษณะพิเศษ ที่สามารถใช้ในการก่อสร้างอาคารต่าง ๆ หรือก่อเป็นถังเก็บน้ำได้อย่างรวดเร็ว สวยงาม และประหยัดกว่างานก่อสร้างทั่วไป

บล็อกประสานแบ่งการใช้งานเป็น 2 ประเภท เพื่อให้เหมาะกับการใช้งาน

1. บล็อกตรงหรือทรงสี่เหลี่ยมใช้สำหรับก่อสร้างอาคาร

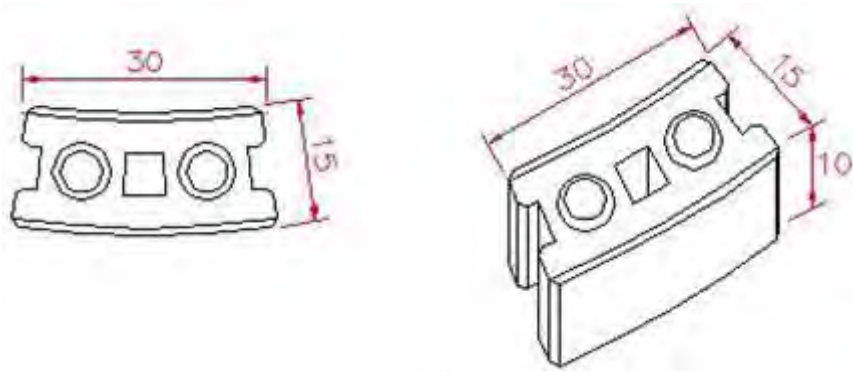


รูปที่ 2.4 อิฐประสานสี่เหลี่ยม ขนาดเต็มก้อน 12.5×25×10 ซม.



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างอาคารอิฐประสาน

## 2. บล็อกโค้งใช้สำหรับก่อสร้างถังเก็บน้ำ



รูปที่ 2.6 อิฐประสานโค้ง ขนาด 15 x 30 x 10 ซม.



รูปที่ 2.7 ถังน้ำอิฐประสาน

### 2.2.2 วัสดุคืบที่เหมาะสมสำหรับทำบล็อกประสาน

วัสดุคืบที่ใช้เป็นส่วนผสม หรือ มวลรวมละเอียดของบล็อกประสานควรมีขนาดเล็กกว่า 4 มม. ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย และเถ้าลอย (Fly ash) จากโรงงานผลิตไฟฟ้า โดยมวลรวมละเอียดที่ใช้ควรมีลักษณะตามมาตรฐานการแบ่งชั้นคุณภาพดินและมวลรวม สำหรับงานก่อสร้างทางหลวง (ASTM D3282 Standard Classification of Soils and Soil-Aggregate Mixtures for Highway Construction Purposes) คือมีฝุ่นดินไม่เกินร้อยละ 35 โดยน้ำหนัก หรือทดสอบ บดบดด้วยน้ำในไซหวดครึ่งหนึ่ง เติมน้ำแล้วเขย่าให้เข้ากัน เมื่อหยุดเขย่า สังเกตส่วนที่ตกตะกอนทันทีแล้วขีดเส้นไว้ รอจนตกตะกอนทั้งหมด จนน้ำใส แล้ววัดตะกอนฝุ่นไม่ควรเกินร้อยละ 15 โดยปริมาตร ถ้าวัสดุคืบมีมวลหยาบผสมอยู่มากสามารถใช้เครื่องบดร่อนจะทำให้ผิวบล็อกรียบขึ้น

### 2.2.3 ปูนซีเมนต์สำหรับงานบล็อกประสาน

คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ปูนโครงสร้าง) จะให้ก้อนบล็อกประสานมีความแข็งแรง ทนการกัดกร่อนของน้ำได้ดี การใช้ปูนซีเมนต์ผสม (ปูนก่อฉาบ) คุณภาพจะต่ำกว่าทำให้ต้องใช้ปริมาณปูนมากขึ้น เพื่อให้ได้คุณภาพตามมาตรฐานเดียวกัน ซึ่งจะทำได้ต้นทุนสูงขึ้น



รูปที่ 2.8 บ้านพักอิฐประสานชั้นเดียว

### 2.2.4 ส่วนผสมของบล็อกประสาน

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

### 2.2.5 เครื่องอัดบล็อกประสาน

เครื่องอัดด้วยแรงคน



รูปที่ 2.9 เครื่องอัดอิฐประสานด้วยแรงคน

1. เป็นเครื่องอัดด้วยแรงคนแบบมือโยกใช้การทดแรงแบบคานงัดคานดัด
2. สามารถผลิตได้วันละประมาณ 400-800 ก้อน ขึ้นอยู่กับจำนวนแรงงานและความชำนาญ

### เครื่องอัดไฮดรอลิก



รูปที่ 2.10 เครื่องอัด อิฐประสาน แบบอุตสาหกรรมขนาดย่อม

เป็นเครื่องอัดแบบอุตสาหกรรมขนาดย่อมใช้มอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อนน้ำมันสร้างแรงดันในท่อไฮดรอลิก

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

### 2.2.6 ขั้นตอนการทำบล็อกประสาน วว

1. ทดสอบแหล่งดินเพื่อหาแหล่งที่เหมาะสมที่สุด และกำหนดส่วนผสมที่เหมาะสม



รูปที่ 2.11 การเตรียมดิน

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



รูปที่ 2.12 การผสมดิน

3. ในการผสม ควรผสมดินแห้งหรือมวลรวมกับซีเมนต์ให้เข้ากันก่อน แล้วค่อย ๆ เติมน้ำโดยใช้ฝักบัว หรือหัวฉีดพ่นให้เป็นละอองกว้าง น้ำที่ใช้คว รเป็นน้ำสะอาด ใช้ผสมหลังจากผสมดิน และซีเมนต์เข้ากัน แล้วในปริมาณที่พอเหมาะ โดยใช้ปริมาณน้ำที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.13 การอัดอิฐด้วยแรงคน

4. หลังจากนั้นจึงนำดินที่ผสมแล้วเข้าเครื่องอัด โดยตวงวัดหน่วยเป็นน้ำหนัก เติมส่วนผสมลงในแบบอัด โดยใช้น้ำหนักมากที่สุดที่สาม รถทำงานได้สะดวก ควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายใน 30 นาที.หลังจากผสมน้ำ เพื่อป้องกันปูนก่อตัวก่อนอัดขึ้นรูป
5. บล็อกประสาน วว . ที่อัดเป็นก้อนแล้วควรทิ้งในที่ร่มอย่างน้อย 1 วัน จึงเริ่มบ่มจนอายุครบ 7 วัน



รูปที่ 2.14 การบ่มอิฐประสาน

### 2.2.7 วิธีการบ่ม

หลังจากนำบล็อกออกจากเครื่องอัดแล้วนำมาจัดเรียงในที่ร่มจนมีอายุครบ 1 วัน เริ่มบ่มโดยการรดน้ำด้วยฝักบัวหรือฉีดพ่นเป็นละอองให้ชุ่ม แล้วคลุมด้วยผ้าพลาสติกไม่ให้ไอน้ำระเหยออกทิ้งไว้อีก 9 วันจนมีอายุครบ 7 วันจนมีความแข็งแรงพร้อมส่งออกจำหน่ายหรือใช้งานได้ไม่ควรเคลือบ อนุย้ายก่อนกำหนด เพราะจะทำให้ก้อนบิ่น หรือเกิดการแตกร้าวได้ง่าย การบ่มไม่ควรให้น้ำมากเกินไปเพราะอาจทำให้มีปัญหาคราบขาวได้ ควรบ่มด้วยปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้ คือเพียงแค่นี้มีความชื้นก็เพียงพอ



รูปที่ 2.15 อิฐประสานแบบสวยงาม

### 2.2.8 ข้อดีของอาคารที่สร้างด้วยบล็อกประสาน วว .

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



รูปที่ 2.16 อาคารบล็อกประสานหลังแรกสร้าง เมื่อปี พ . ศ . 2527



## วัสดุเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรม

### 2.3 เถ้าแกลบ

ข้าวเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่สำคัญมาก ในปีหนึ่งจะมีการเก็บเกี่ยวข้าวได้ทั่วโลกประมาณ 600 ล้านตัน ประเทศไทยเป็นประเทศที่ส่งออกข้าวมากที่สุด มีกำลังการผลิตข้าวปีละประมาณ 25 ล้านตัน ในปีหนึ่งๆ ประเทศไทยได้แกลบจากการสีข้าวประมาณ 5 ล้านตัน ในแต่ละตัน (1,000 กิโลกรัม) ของข้าวเปลือกเมื่อสีแล้วจะมีแกลบอยู่ประมาณ 200 กิโลกรัม และเมื่อนำแกลบไปเผาจะได้เถ้าแกลบ (rice husk ash) ประมาณร้อยละ 20 ของน้ำหนักของแกลบหรือประมาณ 40 กิโลกรัม เนื่องจากเถ้าแกลบมีปริมาณซิลิกา (silica) สูง จึงเป็นผลิตผลทางการเกษตรที่เหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาทำเป็นวัสดุพอลิซิลิกอน [23]

#### 2.3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบแสดงในตารางที่ 2.3 ซึ่งพบว่าเถ้าแกลบมี SiO<sub>2</sub> สูงมาก ถึงประมาณร้อยละ 90 [19,20] ทำนองเดียวกัน บุรฉัตร และพิชัย [21] บุรฉัตร และ เชิดพงศ์ [22] และสาโรจน์ และคณะ [24] พบว่าเถ้าแกลบที่เผาในประเทศไทยมี SiO<sub>2</sub> อยู่ร้อยละ 92.28, 95.36, และ 91.84 ตามลำดับ ส่วนที่เหลือเป็นออกไซด์ของโซเดียม โปรแตสเซียม แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็กฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์ และค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (loss on ignition หรือ LOI) ซึ่งตามปกติมี LOI อยู่ประมาณร้อยละ 2-5 อุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแกลบมีผลต่อค่า LOI เพราะการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์จะทำให้เถ้าแกลบมี LOI สูงขึ้น LOI ที่อยู่ในเถ้าแกลบส่วนใหญ่จะเป็นธาตุอันตรายน้ำสูง และถ้ามีจำนวนมากจะทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงได้

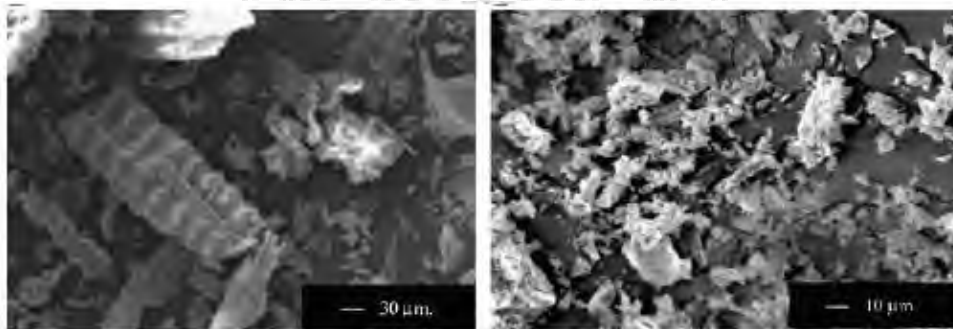
ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ [19,20]

สารประกอบ	เถ้าแกลบ [19]	เถ้าแกลบเทาขาว[20]	เถ้าแกลบดำโรงสี[20]
SiO <sub>2</sub>	86.9-97.3	88.33	89.95
K <sub>2</sub> O	0.6-2.5	2.76	1.49
Na <sub>2</sub> O	0-1.5	0.15	0.07
CaO	0.2-1.5	0.52	0.50

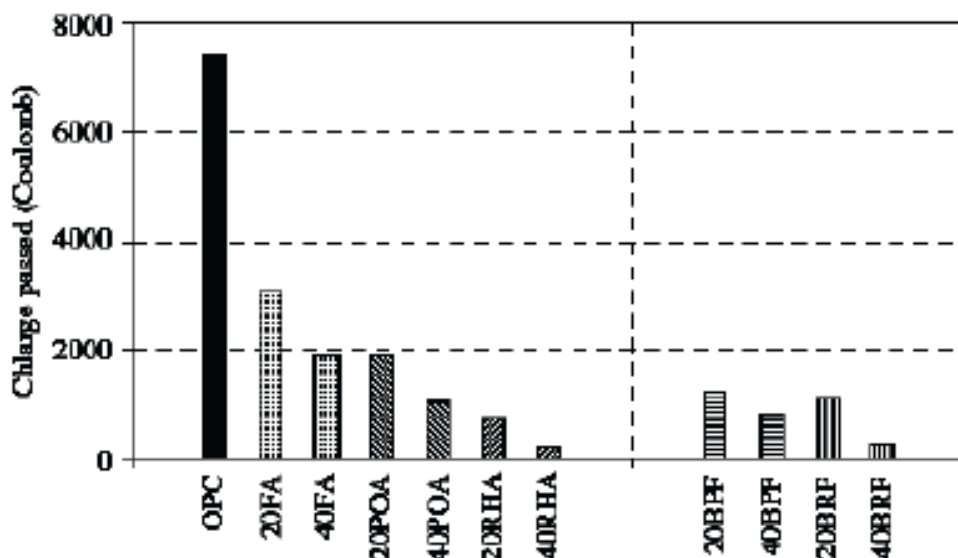
สารประกอบ	เถ้าแกลบ [19]	เถ้าแกลบเทาขาว[20]	เถ้าแกลบดำโรงสี[20]
MgO	0.12-1.96	0.28	0.23
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0-0.6	3.37	1.89
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.2-2.9	NA	NA
SO <sub>3</sub>	0.1-1.1	0.12	0.02
Cl	0-0.4	NA	NA
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	NA	0.48	0.54
LOI	NA	3.71	4.70

### 2.3.2 งานวิจัยเกี่ยวกับเถ้าแกลบ

งานวิจัยของ Chindaprasirt และคณะ [25] ใช้เถ้าแกลบเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อศึกษากำลังอัดและการต้านทานการแทรกซึมคลอไรด์ของมอร์ตาร์ พิจารณาในรูปที่ 2.17 พบว่าเถ้าแกลบก่อนบดมีขนาดใหญ่มีค่าความพรุนสูง หลังจากบดเถ้าแกลบพลว่ามีขนาดเล็กลงและความพรุนลดลง อย่างไรก็ตามความพรุนอาจยังเหลืออยู่บ้างในอนุภาคของเถ้าแกลบ ในรูปที่ 2.18 แสดงให้เห็นว่าเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบบดละเอียด ในอัตราร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถต้านทานคลอไรด์ได้ดีเมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ผสมด้วยปูนซีเมนต์ล้วน เนื่องจากผลของปริมาณซิลิกาในแกลบ [25,26]

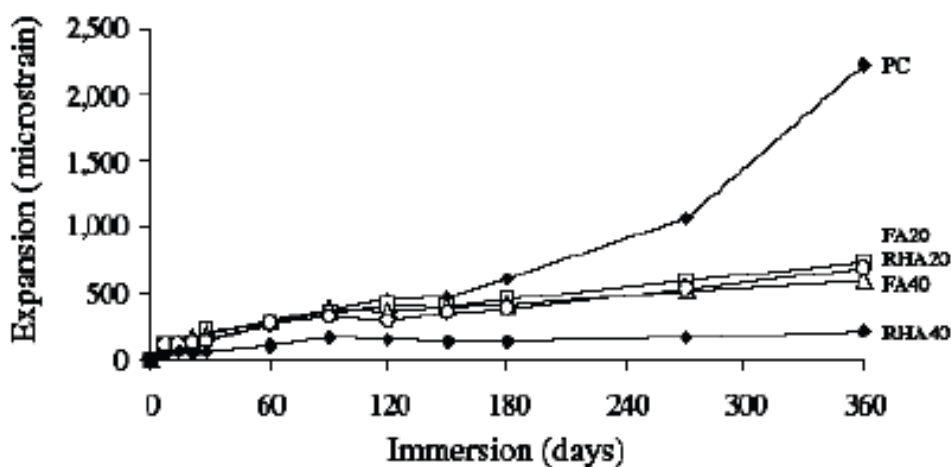


รูปที่ 2.17 เถ้าแกลบ ก) ก่อนบด และ ข) หลังบด

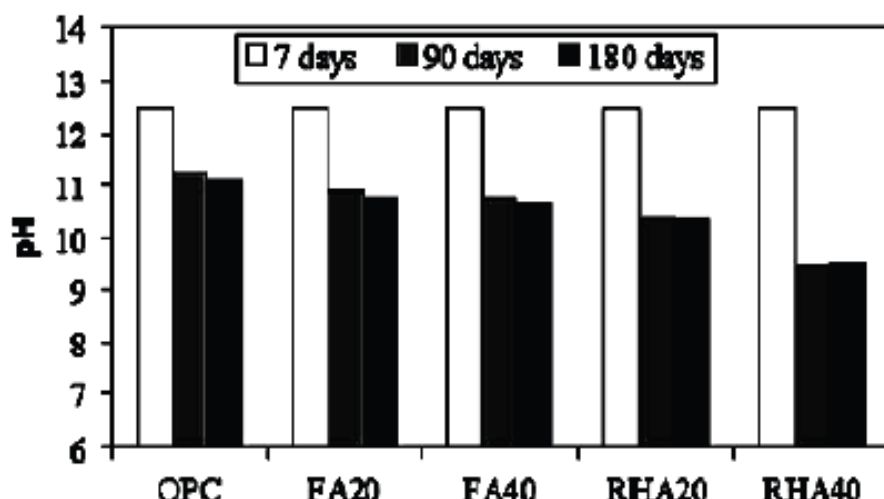


รูปที่ 2.18 การต้านทานคลอไรด์ของมอร์ต้าร์เถ้าแกลบ [25]

งานวิจัยของ Chindaprasirt และคณะ [27] ศึกษาเถ้าแกลบบดละเอียดในต้านทานซัลเฟต โดยนำเถ้าแกลบแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 20 และ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ทดสอบด้วยการแช่ตัวอย่างมอร์ต้าร์ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตความเข้มข้นร้อยละ 5 วัดการขยายตัวและความเปลี่ยนแปลงความเป็นกรด-ด่าง (PH) ในรูปที่ 2.19 การต้านทานซัลเฟตให้ผลในทางที่ดีเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าแกลบ ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน สำหรับรูปที่ 2.20 แสดงให้เห็นว่าอายุการทดสอบ 7 วัน เท่ากัน ค่า pH เปลี่ยนแปลงไม่มาก ขณะอายุทดสอบ 90 วัน และ 180 วัน ค่า pH ลดลง การแทนที่เถ้าแกลบ ในปริมาณร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุ ประสาน ค่า pH ต่ำสุด เมื่อเทียบกับมอร์ต้าร์อื่นๆ



รูปที่ 2.19 การต้านทานซัลเฟตของมอร์ต้าร์เถ้าแกลบ



รูปที่ 2.20 การเปลี่ยนแปลงความแข็งแรงของมอร์ต้าร์เถ้าแกลบ[27]

## 2.4 เถ้าขานอ้อย

เถ้าขานอ้อย (bagasse ash) เป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมน้ำตาล ซึ่งใช้ขานอ้อย และ ใบอ้อย เผาเป็นเชื้อเพลิงเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จะนำไปใช้สำหรับอุตสาหกรรม ภายในโรงงานและส่วนที่เหลือสามารถขายให้แก่การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยปี พ.ศ.2545 พบว่า ประเทศไทยมีผลผลิตอ้อยทั้งหมดประมาณ 74 ล้านตัน [28] และหลังจากกระบวนการผลิตน้ำมันตาลมีกาก อ้อยประมาณ 21 ล้านตัน และหลังจากการเผากากอ้อยเหล่านี้เพื่อเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าแล้ว พบว่าได้เถ้าขานอ้อยประมาณ 0.8 ล้านตัน เถ้าขานอ้อยที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้ามีการนำไปใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย เช่น เกษตรกรนำไปใช้เป็นปุ๋ยเพื่อปรับปรุงดินในงานเกษตรกรรม แต่ ส่วนใหญ่ของเถ้าขานอ้อยต้องนำไปทิ้งโดยไม่เกิดประโยชน์

### 2.4.1 ลักษณะทางกายภาพและคุณสมบัติทางเคมีของเถ้าขานอ้อย

เถ้าขานอ้อยมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม ไม่แน่นอน ผิวขรุขระ และมีรูพรุนสูง โดยมีขนาดของอนุภาค ใหญ่กว่า 30 ไมครอนขึ้นไป เมื่อ บดเถ้าขานอ้อยให้มีความละเอียดเพิ่มขึ้นลักษณะอนุภาคคล้ายกันกับเถ้า แกลบหรือเถ้าปาล์มน้ำมันหลังผ่านการบดทั่วไป คือ เป็นเหลี่ยมมุม รูปร่างไม่แน่นอน อนุภาคมีขนาดและ ความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับเถ้าขานอ้อยก่อนบด สำหรับองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าขานอ้อยพบว่าเถ้าขาน อ้อยมี  $\text{SiO}_2$  เป็นองค์ประกอบหลักเหมือนกับเถ้าแกลบบดละเอียดและเถ้าปาล์มน้ำมัน โดยมีค่าอยู่ในช่วงร้อยละ 65-75 มีปริมาณ  $\text{SO}_3$  ต่ำ แต่มีปริมาณของ LOI ค่อนข้างสูงซึ่งอาจสูงถึงร้อยละ 20-30 การที่ LOI ของเถ้า ขานอ้อยมีค่าค่อนข้างสูงมักเกิดขึ้นเช่นเดียวกับเถ้าชีวมวลทั่วไป ตารางที่ 2.4 เป็นองค์ประกอบทางเคมีของ

ถ้ำชานอ้อยในประเทศไทย ที่มี LOI สูง และ LOI ต่ำ หากถ้ำชานอ้อยมี LOI สูง มักจะมี  $\text{SiO}_2$  ต่ำกว่าถ้ำชานอ้อยที่มี LOI ต่ำ [29]

ตารางที่ 2.4 องค์ประกอบทางเคมีของถ้ำชานอ้อยที่มี LOI สูง และ LOI ต่ำ [29]

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ถ้ำชานอ้อย LOI ต่ำ	ถ้ำชานอ้อย LOI สูง
$\text{SiO}_2$	76.80	67.10
$\text{Al}_2\text{O}_3$	4.40	5.69
$\text{Fe}_2\text{O}_3$	8.04	2.54
CaO	5.44	2.93
MgO	0.94	0.45
$\text{SO}_3$	0.09	0.03
LOI	3.28	20.36

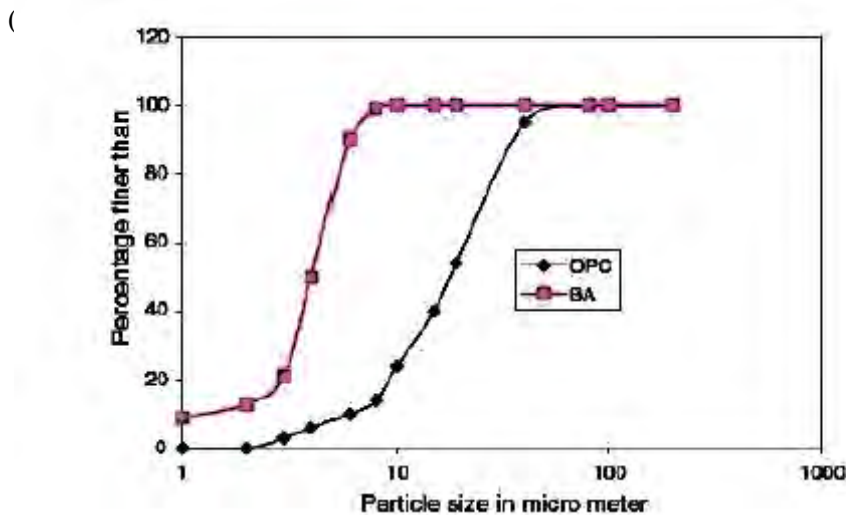
อย่างไรก็ตาม LOI ที่ค่อนข้างสูงของถ้ำชานอ้อยไม่ได้เป็นคาร์บอน (หรือกากชานอ้อยที่เผาไหม้ไม่หมด) แต่เป็นสารประกอบอื่นที่สลายภายใต้การเผาที่อุณหภูมิสูง เพราะการทดสอบ LOI ใช้อุณหภูมิในการเผาตัวอย่างที่ 750 องศาเซลเซียส ดังนั้น LOI ที่ค่อนข้างสูงของถ้ำชานอ้อยหากไม่ใช่กากชานอ้อยที่เผาไหม้ไม่หมดแล้ว พบว่า LOI ที่มีค่าสูงไม่ได้ส่งผลอย่างรุนแรงต่อการลดกำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมถ้ำชานอ้อยมากนัก

#### 2.4.2 งานวิจัยเกี่ยวกับถ้ำชานอ้อย

ปัจจุบันได้มีการนำวัสดุพอซโซลานจากผลพลอยได้ในโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนที่ปูนซีเมนต์ เช่น ถ่านหิน เป็นต้น อย่างไรก็ตามยังมีวัสดุเหลือทิ้งจากผลพลอยได้ในเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมอีกจำนวนหนึ่งที่นักวิจัยเริ่มนำมาศึกษาเพื่อนำมาใช้เป็นวัสดุประสานแทนปูนซีเมนต์ เช่น

แก้วเคลือบ แก้วชานอ้อย เป็นต้น [30,31,32] โดยพิจารณาถึงองค์ประกอบทางเคมี กล่าวคือ วัสดุซิลิกา ต้องมีองค์ประกอบทางทางเคมีเป็นซิลิกา [33,34] และเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C618 [35] ซึ่ง องค์ประกอบทางทางเคมีดังกล่าวทำปฏิกิริยาเพิ่มเติมจากปฏิกิริยาไฮเดรชันคือปฏิกิริยาซิลิกาได้ผลผลิต เป็นโซเดียมซิลิเกตไฮเดรต [33,36]

ประเทศไทยมีโรงงานน้ำตาลอยู่ทั่วไป และประชาชนส่วนหนึ่งมีอาชีพปลูกอ้อยเพื่อส่งผลิตเป็น น้ำตาลผลผลิตที่ได้จากการผลิตดังกล่าวคือชานอ้อยซึ่งเป็นส่วนที่เหลือจากการบีบน้ำตาล โดยทั่วไปแล้ว ชานอ้อยไม่ได้ใช้ประโยชน์ใดๆ ดังนั้นจึงมีการใช้ชานอ้อยเพื่อเป็นเชื้อเพลิงให้ ความร้อนในการผลิต กระแสไฟฟ้าในโรงงานขนาดเล็ก จากนั้นส่วนที่เหลือเป็นแก้วชานอ้อยส่งผลกระทบต่อพื้นที่ใกล้เคียงและ สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการกำจัดทิ้งหากมีการนำเอาแก้วชานอ้อยมาใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีตโดยเป็น ส่วนผสมแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนหรือทั้งหมดสำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างจะทำให้ประหยัดการใช้ ปูนซีเมนต์ อีกทั้งกระบวนการเผาสามารถควบคุมอุณหภูมิได้ ในรูปที่ 2.21 [37] เป็นขนาดอนุภาคของชาน อ้อย ที่เผาด้วยการควบคุมอุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส ภายใน 1 ชั่วโมง ผลการวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค พบว่า เมื่อบดแก้วชานอ้อยให้มีความละเอียดมากขึ้น (BA) ส่งผลให้อนุภาคเล็กลงเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์

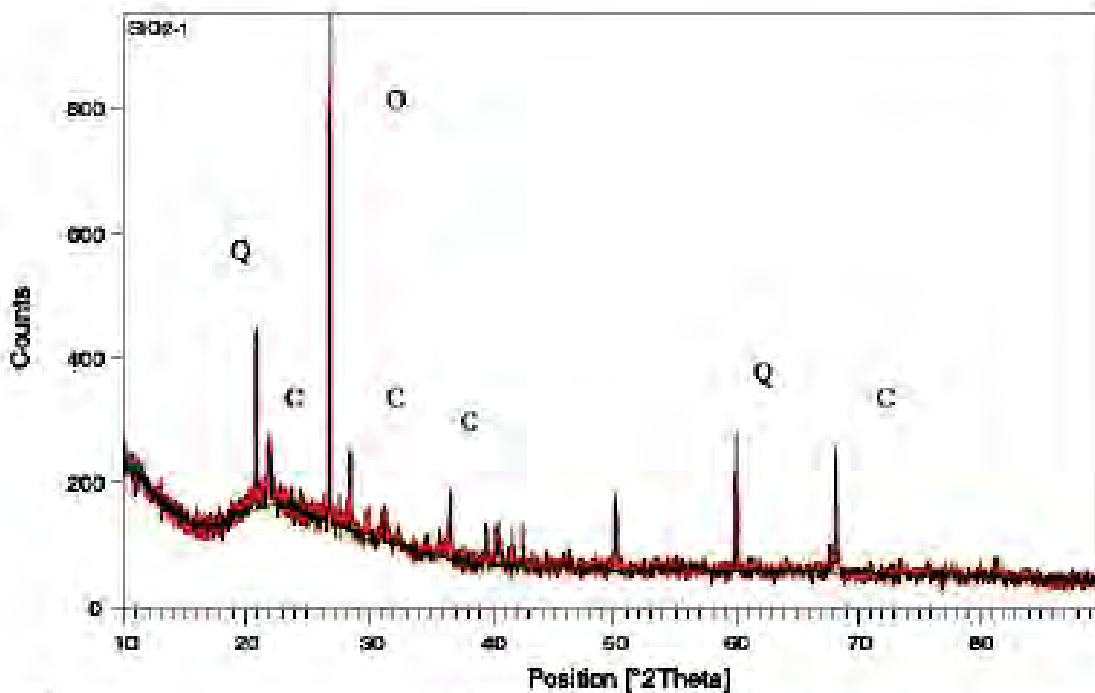


รูปที่ 2.21 ขนาดอนุภาคของแก้วชานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [37]

ในรูปที่ 2.22 เป็นผลทดสอบ X-ray deflection ของแก้วชานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [37]

พบว่าองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกา สอดคล้องกับมาตรฐาน ASTM C618 [35] จึงถือว่าเป็นวัสดุซิลิกา ชนิดหนึ่ง สอดคล้องกับรูปที่ 2.23 ซึ่งเป็นผลทดสอบองค์ประกอบเคมีของแก้วชานอ้อยด้วย X-ray

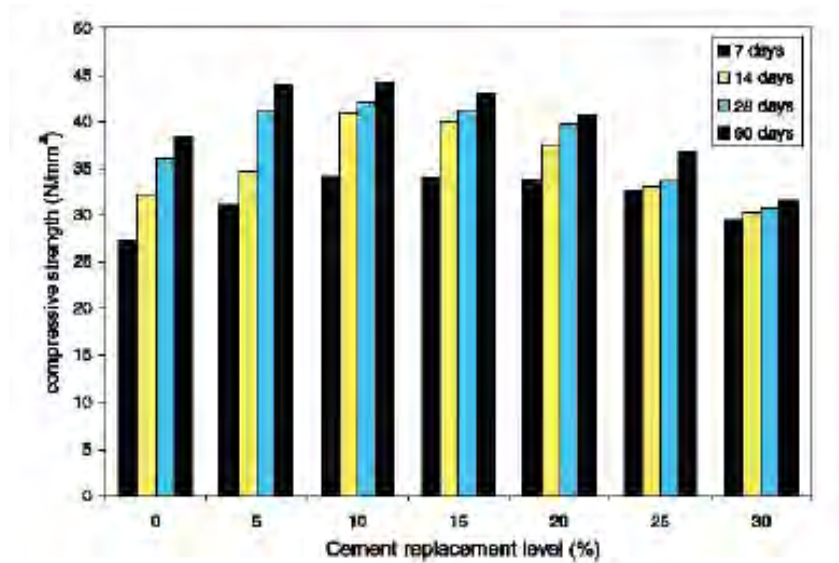
deflection ส่วนในรูปที่ 2.24 เป็นผลทดสอบกำลังอัดคอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยบดละเอียด ในปริมาณร้อยละ 5 10 15 20 25 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ตามลำดับ ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 7 14 28 และ 90 วัน ผลการทดสอบพบว่า ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดคอนกรีตมีค่าสูงที่การแทนที่เถ้าชานอ้อย ในปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ที่อายุ 7 วัน กำลังอัดคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย มีค่าสูงกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วนในทุกส่วนผสม ที่อายุ 28 วัน การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยใน ปริมาณร้อยละ 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีค่าสูงกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน เช่นเดียวกับ อายุการทดสอบ 90 วัน ที่ อายุ 14 28 และ 90 วัน การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในปริมาณร้อยละ 25 และ 30 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีน้ำหนักต่ำกว่าปูนซีเมนต์ล้วน การที่คอนกรีตแทนที่ปูนซีเมนต์ ด้วยเถ้า ชานอ้อยมีกำลังอัดสูงอาจเนื่องมาจากความละเอียดของเถ้าชานอ้อย และองค์ประกอบทางเคมี องค์สิลิกาที่ ส่งผลให้ ให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี [36]



รูปที่ 2.22 X-ray diffraction ของเถ้าชานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [37]

Chemical composition of OPC and BA (%)								
Materials	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	Loss on ignition
OPC	19.25	5.04	3.16	63.61	4.56	0.08	0.51	3.12
BA	64.15	9.05	5.52	8.14	2.85	0.92	1.35	4.99

รูปที่ 2.23 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [37]



รูปที่ 2.24 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยบด งานวิจัยของ Canesan และคณะ [37]

งานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการใช้วัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนเพื่อปรับปรุงคุณภาพและคุณสมบัติของเพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีต และงานวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ในการพัฒนาเถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นอิฐประสาน ประกอบไปด้วยเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อย ทำการศึกษาความสามารถของอิฐประสานจากเถ้าแกลบและขานอ้อยโดยทดสอบคุณสมบัติความสามารถรับกำลังทั้งนี้เพื่อความเชื่อมั่นในการใช้อิฐประสานจากเถ้าทิ้งดังกล่าวในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง

นอกจากนี้ยังสามารถนำผลงานวิจัยเผยแพร่บทความวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ นอกจากนี้ยังเป็นการบริหารสิ่งเหลือใช้ให้เป็นประโยชน์ สร้างความสมดุลของสังคมและสิ่งแวดล้อม ลดพลังงาน ลดขยะ ลดสภาวะโลกร้อน ทำให้มีคุณค่าจากปัจจุบันสู่อนาคต สร้างช่องทางจำหน่ายเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยได้อีกหนึ่งช่องทาง ซึ่งงานวิจัยนี้จะพัฒนาและใช้งานเถ้าแกลบและขานอ้อยให้เกิดประโยชน์ และเพิ่มมูลค่าหรือเปลี่ยนจากของไม่มีมูลค่าให้มีมูลค่าขึ้น

ผลงานวิจัยนี้จะเกิดแนวทางการใช้ประโยชน์ทั้งในด้านอุตสาหกรรมและเชิงพาณิชย์ โดยเฉพาะการนำเถ้าทิ้งไปใช้ประโยชน์ในงานวัสดุอิฐประสานจะสร้างความมั่นคงในการจำหน่ายเถ้าทิ้งและเป็นการสร้างทางเลือกให้แก่ผู้ประกอบการที่สนใจเป็นการเพิ่มมูลค่าวัสดุเหลือทิ้งได้ และเมื่อคำนึงถึงความเป็นไปได้ในเชิงพาณิชย์และความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของการพัฒนา อิฐประสานขึ้นใช้งานจริงในตลาดก่อสร้าง



พบว่ากระบวนการผลิตอิฐประสานจากเถ้าทิ้งจะใช้ต้นทุนต่ำ เนื่องจากใช้ของเหลือทิ้งทางอุตสาหกรรมทำให้ได้ใช้วัสดุอย่างเต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นอิฐประสานจากเถ้าทิ้งจึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับงานก่อสร้างที่สามารถลดปริมาณของเสียจากอุตสาหกรรม และเพิ่มศักยภาพการใช้ประโยชน์จากของเหลือทิ้งในเชิงพาณิชย์ได้ รวมทั้งดินลูกรังที่ใช้ เห็นได้ว่าเป็นวัสดุที่หาได้ง่ายในพื้นที่พบได้ทั่วไปทุกภาคของประเทศไทย ดังนั้นดินลูกรังและวัสดุเถ้าทิ้งจากภาคอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมจึงเป็นวัสดุที่เหมาะสมที่จะเพิ่มคุณค่าและสร้างประโยชน์ให้กับชาวบ้านทั่วไปให้สามารถนำไปใช้งานก่อสร้างที่พักอาศัยลดต้นทุนชีวิตในการซื้อวัสดุสร้างที่พักอาศัย โดยสร้างจากวัสดุในพื้นที่หาง่ายราคาถูกและยังมีความแข็งแรงทนทานจึงมีแนวคิดที่จะนำวัสดุเหล่านี้มาพัฒนาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อ คุณภาพชีวิตที่ดีของประชาชนชาวไทยอย่างยั่งยืนต่อไป



### บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

---

จากขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยจากหัวข้อ 1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย

#### 3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

จากการศึกษาและค้นคว้าเบื้องต้นในบทที่ 2 พบว่าดินลูกรังในประเทศไทยประกอบด้วยเม็ดลูกรังที่มีความแข็งแรงทนทาน งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ใช้ดินลูกรังในงานถนนเมื่อผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณสมบัติของดินทำให้ดินลูกรังสามารถรับน้ำหนักแบกทานได้มากขึ้นจึงมีแนวคิดที่จะนำดินลูกรังมาใช้ในงานอิฐประสานผสมวัสดุเถ้าทิ้ง

#### 3.2 กำหนดแหล่งดินลูกรังตัวอย่าง เถ้าทิ้งที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์

##### 3.2.1 ดินลูกรัง

ดินลูกรังที่ใช้ มาจากสามแหล่ง คือ

แหล่ง ดินลูกรัง เขาสามง่าม อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ตัวอย่างดินลูกรัง

### 3.2.2 ถ้ำทิ้งจากแกลบ

ถ้ำทิ้งจากแกลบที่ใช้ มาจากโรงงานบริษัท เค วี ดี อินคัสเทรียล จำกัด อ.ไทรน้อย จ.นนทบุรี ซึ่งใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนแทนแก๊สและน้ำมันทำให้ได้วัสดุเหลือทิ้งเป็นถ้ำแกลบดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างถ้ำแกลบ

### 3.2.3 ถ้ำทิ้งจากขานอ้อย

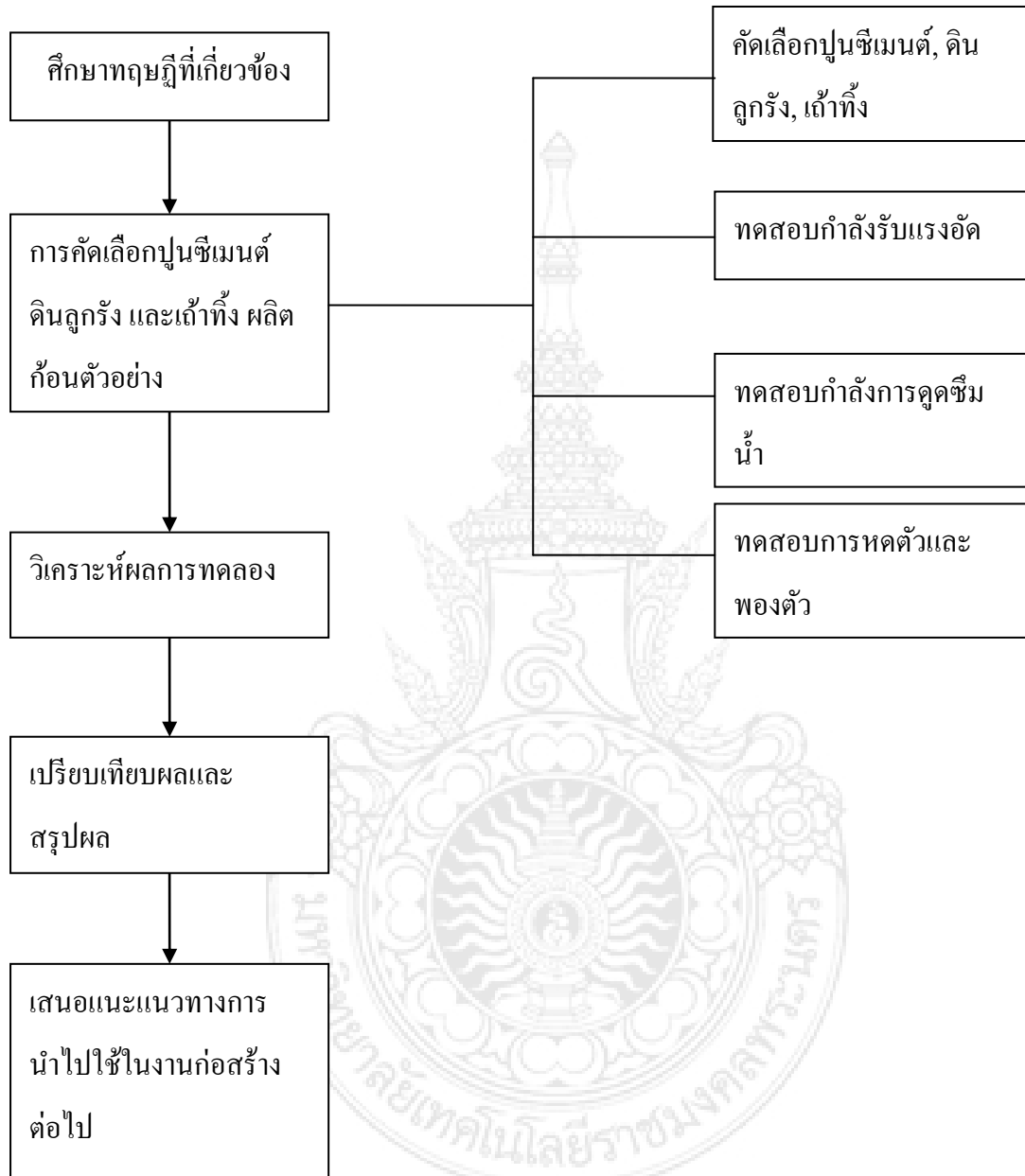
ถ้ำทิ้งจากขานอ้อยที่ใช้ มาจากโรงงานบริษัท ด่านช้างไบโอ-เอเนอร์ยี จำกัด อ.ด่านช้าง จ.สุพรรณบุรี ซึ่งใช้ขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาลเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนผลิตกระแสไฟฟ้าทำให้ได้วัสดุเหลือทิ้งเป็นถ้ำขานอ้อยดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 ตัวอย่างถ้ำขานอ้อย

### 3.3 เก็บตัวอย่างดิน เถ้าทิ้ง ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างดิน เถ้าทิ้งดังกล่าว สำหรับผลิตอิฐประสาน

เก็บตัวอย่างจากแหล่งดินลูกรังนำมาทำการบดอัดปรับปรุงคุณสมบัติให้มีขนาดเล็กและตากให้แห้งในสภาวะอุณหภูมิปกติ แล้วทำตามกระบวนการดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงแผนภูมิขั้นตอนในการวิจัย

**3.4 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานและทำการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของดินลูกรังและ เถ้าทิ้ง**

3.4.1 ดินลูกรังทดสอบ เพื่อหา ขนาดกละและฟีกัด Atterberg โดยใช้มาตรฐาน

ASTM D 422-63, AASHTO T 88, ASTM D 423-66, ASTM D 424-59

3.4.2 ทดสอบดินลูกรังและเถ้าทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบ โดย X-Ray Fluorescence (XRF)

3.4.3 ทดสอบดินลูกรังและเถ้าทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาความหนาแน่นปรากฏ โดย Density Meter

3.4.4 ทดสอบดินลูกรังและเถ้าทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะ โดย Specific Gravity by Pycnometer

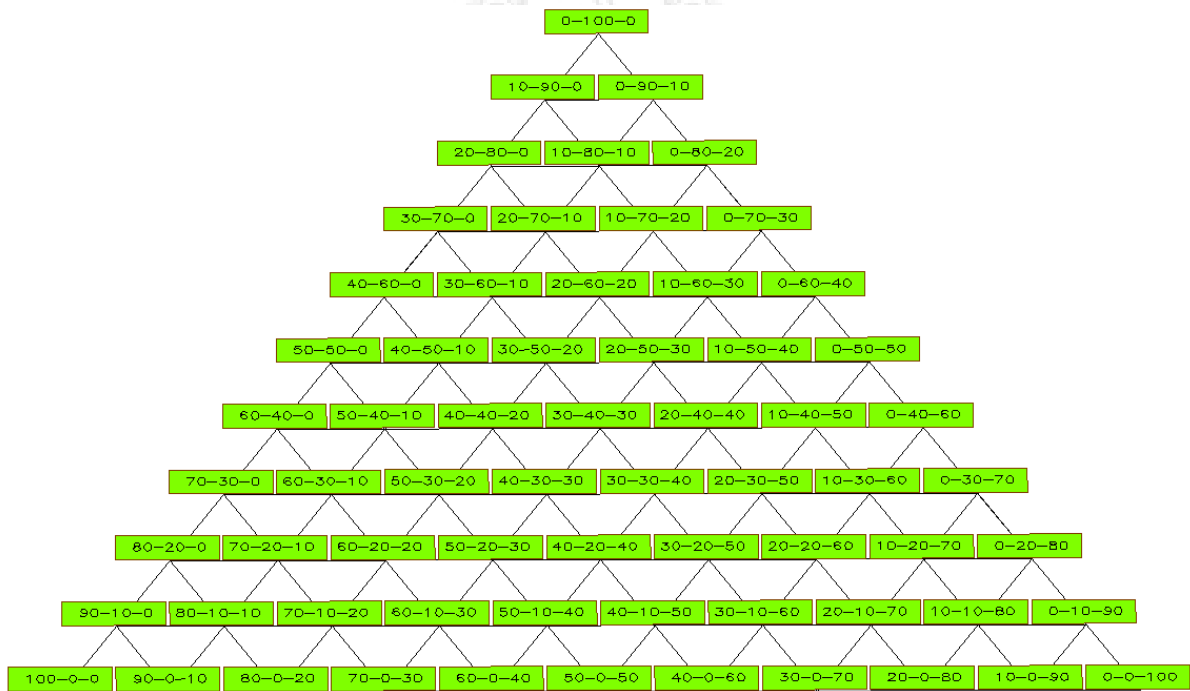
3.4.5 ทดสอบดินลูกรังและเถ้าทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาค่า Loss on Ignition โดย Loss on Ignition

3.4.6 ทดสอบดินลูกรังและเถ้าทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดย X-Ray Diffractometer (XRD)

3.4.7 ทดสอบดินลูกรังและเถ้าทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาค่า Particle Size Distribution

**3.5 ออกแบบอัตราส่วนผสม**

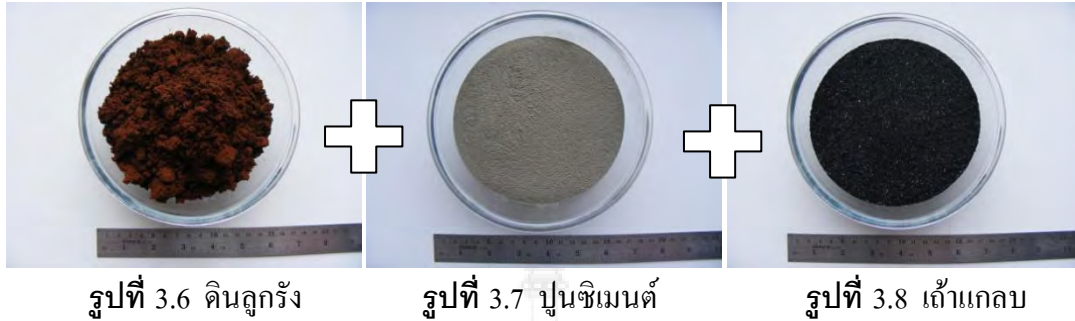
ในการออกแบบอัตราส่วนผสมคำนึงถึงการการทำงานจริงและง่ายต่อการคำนวณและผสมจึงกำหนดการออกแบบโดยน้ำหนัก รูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อัตราส่วนผสมของตัวอย่าง ปูนซีเมนต์-ดินลูกรัง-เถ้าทิ้ง

### 3.6 ชั้นรูปตัวอย่างอิฐประสานตามอัตราส่วนที่กำหนด

นำส่วนผสมมาผสมตามอัตราส่วนดังรูปที่ 3.5



เมื่อผสมวัสดุให้เข้ากันดีแล้วเพิ่มปริมาณความชื้นในวัสดุตัวอย่างเพื่อให้เกิดการยึดเกาะและทำปฏิกิริยาเกิด  
การก่อตัว



รูปที่ 3.10 ผสมตัวอย่างเข้ากันดีแล้วนำเข้าเครื่องอัดอิฐประสานต่อไป



รูปที่ 3.11-3.12 นำตัวอย่างดินที่ผสมตามอัตราส่วนมาเทเข้าเครื่องอัดอิฐประสาน



รูปที่ 3.13 ตัวอย่างอิฐประสานหลังการอัดโดยเครื่องอัด



รูปที่ 3.14 ชั่งน้ำหนักตัวอย่างอิฐ



รูปที่ 3.15 บ่มตัวอย่างอิฐตามเวลาที่กำหนด



รูปที่ 3.16 ตัวอย่างอิฐตามเวลาที่กำหนด

3.7 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เพื่อศึกษาอิทธิพลของปริมาณดินเถ้าทิ้งต่อกำลังรับแรงอัด

เมื่อบ่มตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด 28 วัน นำมาทดสอบกำลังอัด ดังรูปที่ 3.17 - 3.18



รูปที่ 3.17 ตัวอย่าง เถ้าแกลบ ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์



รูปที่ 3.18 ตัวอย่าง เถ้าขานอ้อย ดินลูกรัง ปูนซีเมนต์

จากรูปที่ 3.17-3.19 นำตัวอย่างอิฐประสานมาทดสอบกำลังอัดกับเครื่องทดสอบกำลังอัดคอนกรีต (universal testing machine) สังเกตการณ์วิบัติของก้อนตัวอย่างดังรูปที่ 3.20 และจดบันทึก



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



รูปที่ 3.19 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

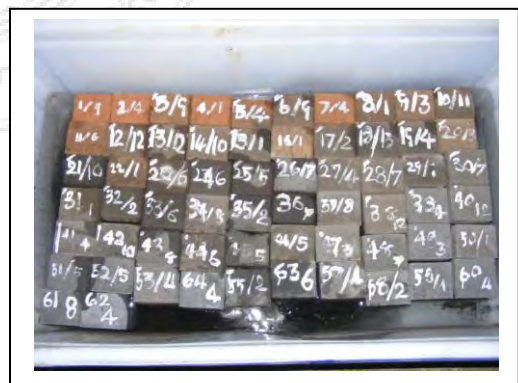
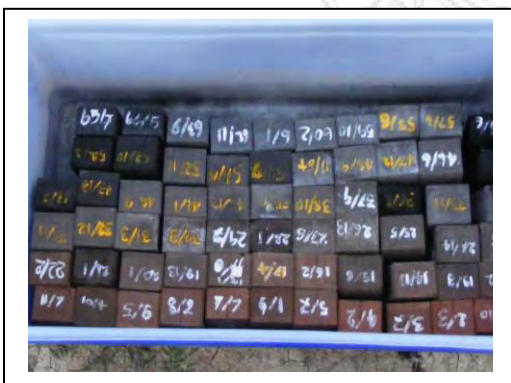
รูปที่ 3.20 ตัวอย่างหลังกดทดสอบ

ทดสอบกำลัง เมื่อครบกำหนดแล้วนำดินอัดที่บ่มในอากาศครบ 28 วันนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดตามมาตรฐาน ASTM109 และความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM C134 จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อทำการเปรียบเทียบ กำลังอัดแต่ละส่วนผสม ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก .1505-2541 ชั้นคุณภาพ 4 ความหนาแน่น 710 ถึง 800กก./ ลบ.ม. กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 40 กก./ตร.ซม. โดยในแต่ละการตรวจสอบ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย

### 3.8 ทำการทดสอบการดูดกลืนน้ำ

การทดสอบการดูดซึมน้ำ เป็นการทดสอบความสามารถในการดูดซับความชื้นของตัวอย่างทดสอบ

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



รูปที่ 3.21 ตัวอย่างอิฐเก่าเคลือบก่อนแช่น้ำ

รูปที่ 3.22 ตัวอย่างอิฐเก่าชานอ้อยก่อนแช่น้ำ



รูปที่ 3.23 ตัวอย่างอิฐขณะแช่น้ำ



รูปที่ 3.24 ตัวอย่างอิฐเก่าเคลือบหลังแช่น้ำ



รูปที่ 3.25 ตัวอย่างอิฐเก่าชานอ้อยหลังแช่น้ำ

### 3.9 ทำการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้น

ทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากการดูดความชื้น โดยการวัดขนาดปริมาตรของก้อนตัวอย่างทดสอบแล้วเปรียบเทียบ

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

## บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยมีผลดังนี้

### 4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานขนาดละเอียดของดิน ลูกรีด ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบขนาดละเอียดของดินลูกรีดสีแดง

การทดสอบขนาดละเอียด	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 ลูกรีด ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบพิกัด Atterberg ของดินลูกรีดสีแดง

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 ลูกรีด ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรีดแดง

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

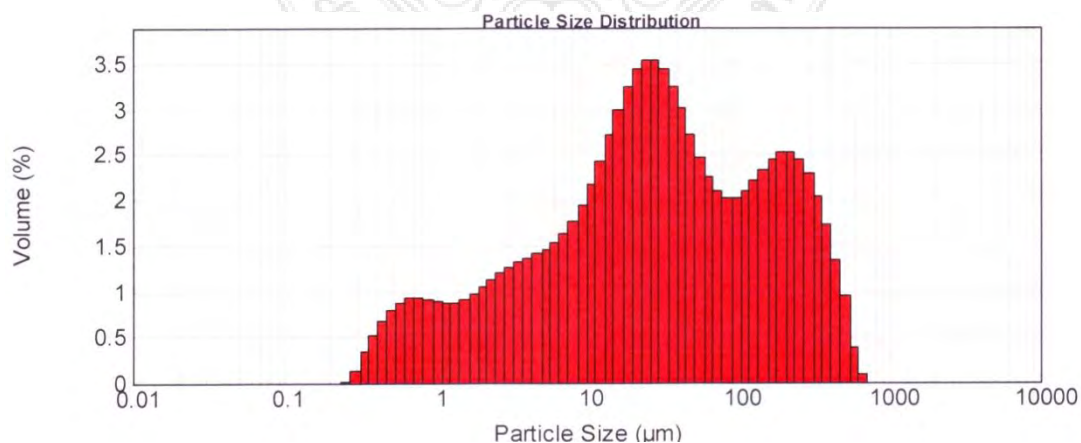
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรีดแดง ต่อ

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

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

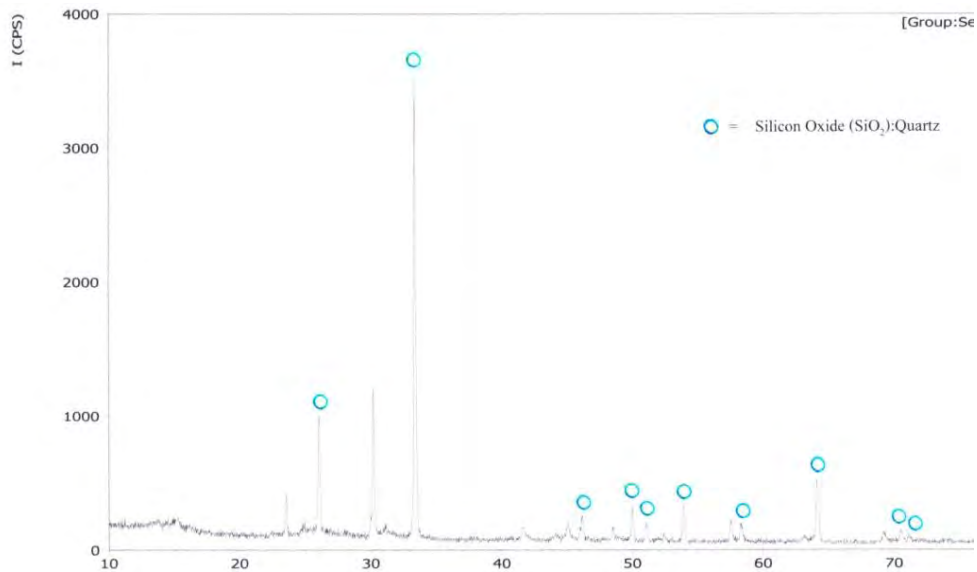
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรีดของดิน ลูกรีดแดง

คุณสมบัติ	ผลการวิเคราะห์	หมายเหตุ
ความหนาแน่นปรากฏ (g/cm <sup>3</sup> )	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 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคดินลูกรีด

#### 4.5 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง

จากรูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างดินลูกรัง พบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Quartz

#### 4.6 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

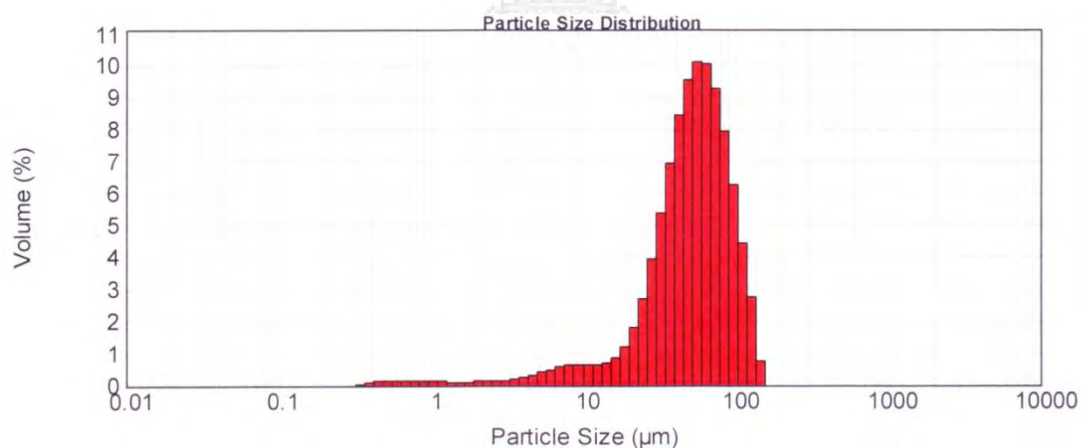
ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าแกลบ

องค์ประกอบทางเคมี		ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)
1	ซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ )	94.00
2	แคลเซียม ออกไซด์ ( $\text{CaO}$ )	2.00
3	โพแทสเซียม ออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ )	2.80
4	ไอรอน ออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ )	0.39
5	แมกนีเซียม ออกไซด์ ( $\text{MgO}$ )	0.42
6	ไทเทเนียม ออกไซด์ ( $\text{TiO}_2$ )	0.03
7	แมงกานีส ออกไซด์ ( $\text{MnO}$ )	0.25
8	แบเรียม ออกไซด์ ( $\text{BaO}$ )	0.02

#### 4.7 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าแกลบ ดังแสดงในตารางที่ 4.6

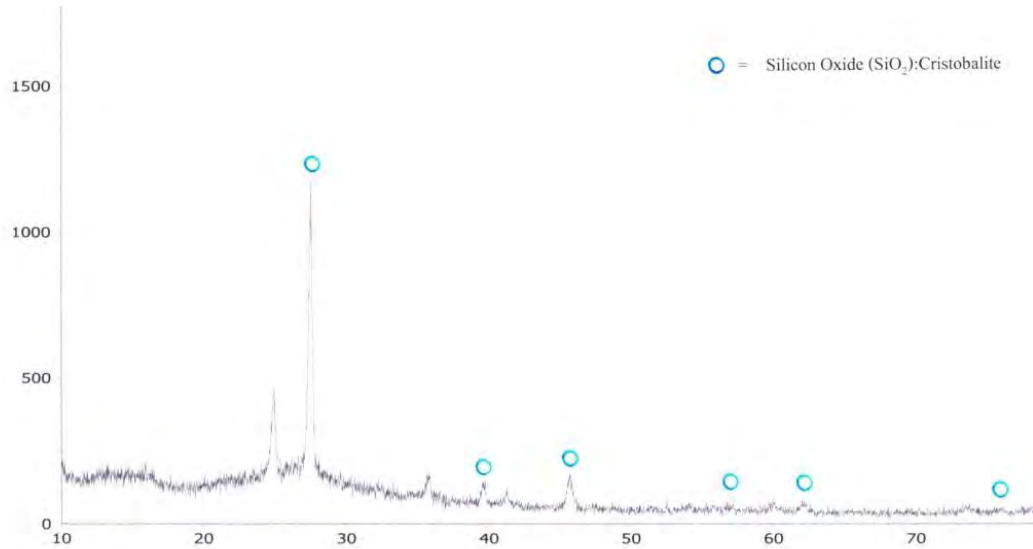
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างเถ้าแกลบ

คุณสมบัติ	ผลการวิเคราะห์	หมายเหตุ
ความหนาแน่นปรากฏ ( $\text{g/cm}^3$ )	2.24	-
ความถ่วงจำเพาะ	1.43	-
ค่า Loss on Ignition (%)	7.94	-
ค่ากลางเฉลี่ยของอนุภาค ( $\mu\text{m}$ )	53.65	ดังรูปที่ 4.3
พื้นที่ผิว Single point BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	30.07	-
พื้นที่ผิว Multi point BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	30.44	-



รูปที่ 4.3 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคเถ้าแกลบ

#### 4.8 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วเคลือบ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วเคลือบ

จากรูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วเคลือบ พบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) : Cristobalite

#### 4.9 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแก้วชานอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.7

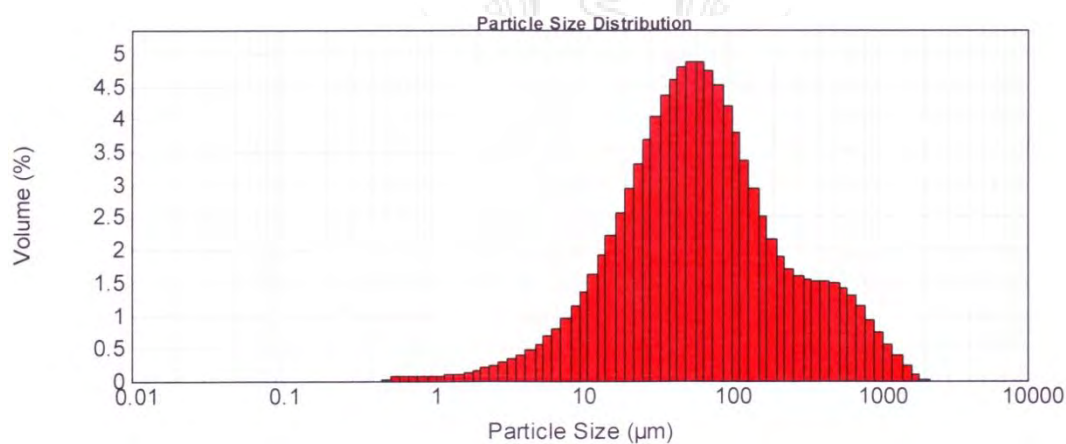
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของแก้วชานอ้อย

องค์ประกอบทางเคมี		ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)
1	ซิลิกอน ออกไซด์ (SiO <sub>2</sub> )	74.70
2	แคลเซียม ออกไซด์ (CaO)	7.8
3	โพแทสเซียม ออกไซด์ (K <sub>2</sub> O)	5.4
4	ไอรอน ออกไซด์ (Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> )	4.10
5	แมกนีเซียม ออกไซด์ (MgO)	2.8
6	ฟอสฟอรัส ออกไซด์ (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	1.70
7	ซัลเฟต ออกไซด์ (SO <sub>3</sub> )	1.60
8	ไทเทเนียม ออกไซด์ (TiO <sub>2</sub> )	0.68
9	แมงกานีส ออกไซด์ (MnO)	0.40
10	คลอไรด์ (Cl)	0.22
11	เซอร์โคเนียม ออกไซด์ (ZrO <sub>2</sub> )	0.11
12	แบเรียม ออกไซด์ (BaO)	0.07

**4.10 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างถ้ำซานอ้อย ดังแสดงในตารางที่ 4.8**

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างถ้ำซานอ้อย

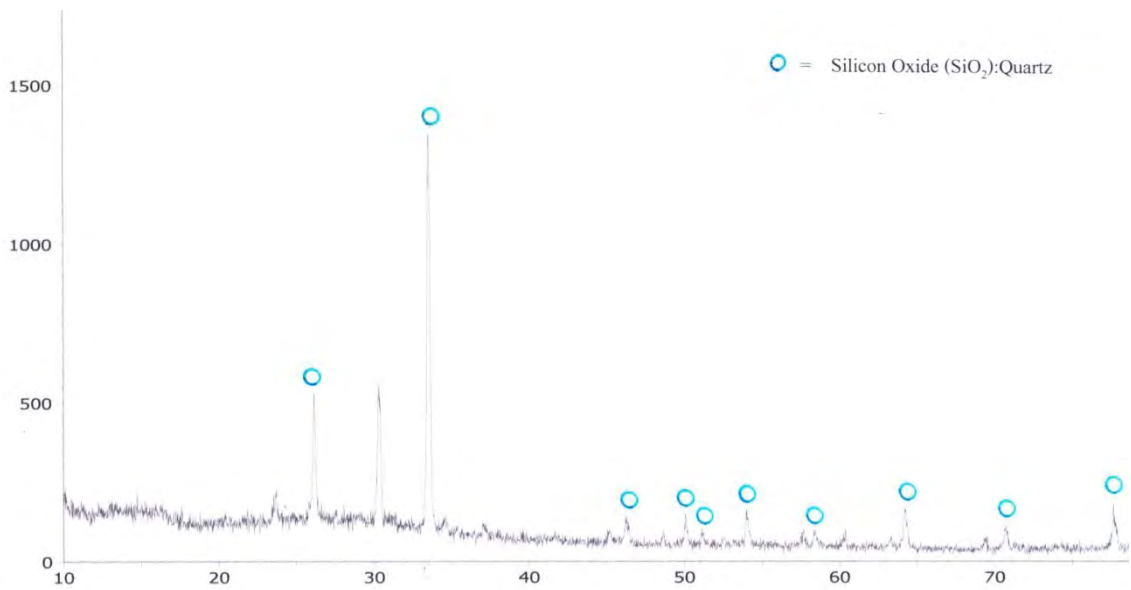
คุณสมบัติ	ผลการวิเคราะห์	หมายเหตุ
ความหนาแน่นปรากฏ ( $\text{g/cm}^3$ )	2.34	-
ความถ่วงจำเพาะ	1.59	-
ค่า Loss on Ignition (%)	15.77	-
ค่ากลางเฉลี่ยของอนุภาค ( $\mu\text{m}$ )	61.90	ดังรูปที่ 4.5
พื้นที่ผิว Single point BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	48.79	-
พื้นที่ผิว Multi point BET ( $\text{m}^2/\text{g}$ )	49.21	-
ขนาดรูพรุน ( $\mu\text{m}$ )	9.74	-
ความพรุนตัว (%)	89.49	-



รูปที่ 4.5 การกระจายตัวของขนาดอนุภาคถ้ำซานอ้อย



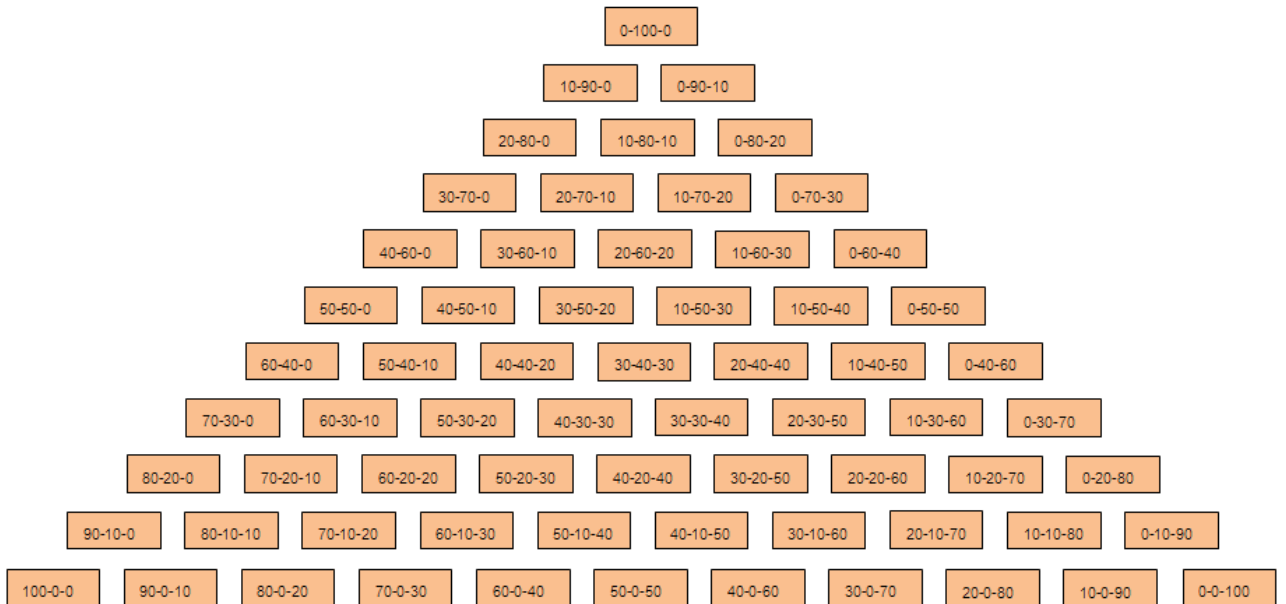
4.11 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วชานอ้อย ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วชานอ้อย

จากรูปที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ธาตุโดย X-Ray Diffractometer (XRD) ของตัวอย่างแก้วชานอ้อยพบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO<sub>2</sub>) : Quartz

4.12 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปอิฐประสานตามอัตราส่วนดังรูปที่ 3.5 และ 4.7



รูปที่ 4.7 อัตราส่วนผสม ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าทิ้ง

#### 4.12.1 ผลการอัดขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง – เถ้าแกลบ ดังรูป 4.8

ซึ่งพบว่าปูนซีเมนต์ 100 % และเถ้าแกลบ 100 % ไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้เนื่องจากปูนซีเมนต์มีมวลที่ละเอียดเมื่ออัดขึ้นรูปจะไม่เกิดการยึดเกาะระหว่างมวลส่วนและเถ้าแกลบเป็นอนุภาคที่ไม่สามารถก่อตัวขึ้นรูปได้ด้วยตัวเองต้องมีวัสดุประสานตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ตัวอย่างอิฐประสานตามอัตราส่วนผสม ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าแกลบ

#### 4.12.2 ผลการอัดขึ้นรูปตามอัตราส่วนของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง - เถ้าชานอ้อย ดังรูป 4.9

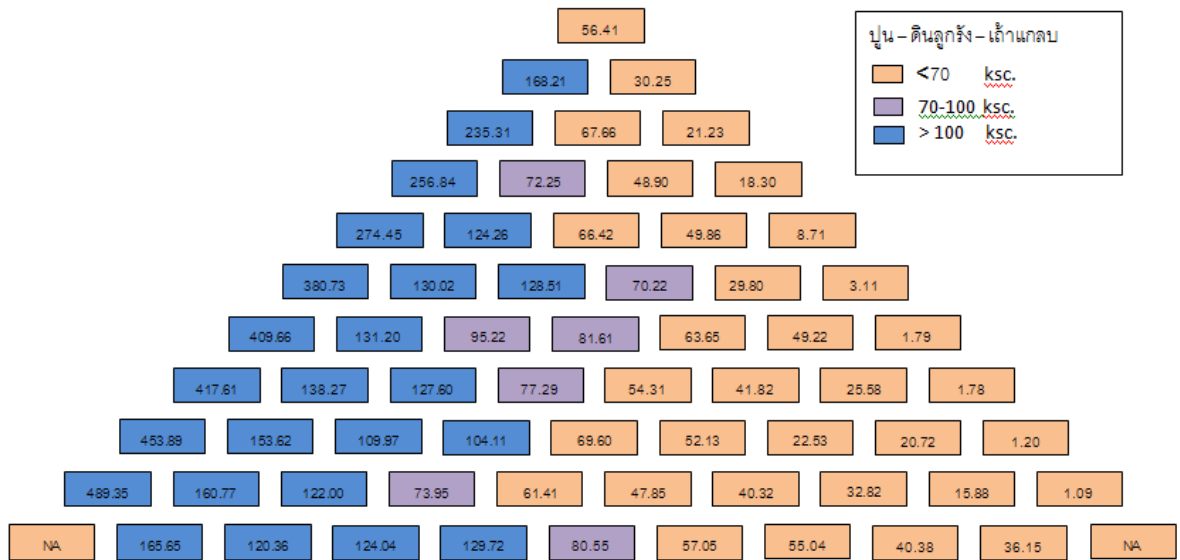
ซึ่งพบว่าปูนซีเมนต์ 100 % มีผลเช่นเดียวกับเถ้าแกลบ-ดินลูกรัง-ปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.9 ตัวอย่างอิฐประสานตามอัตราส่วนผสม ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าชานอ้อย

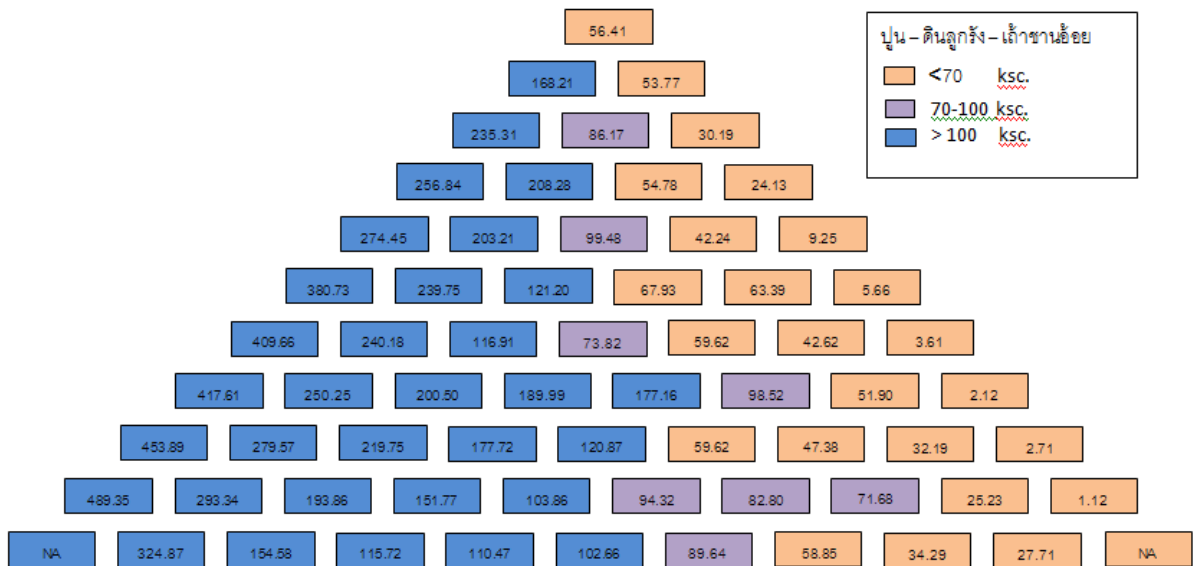
4.13 ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม ดังรูปที่ 3.5 และ 4.7

4.13.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง – เถ้าแกลบ ดังรูป 4.10



รูปที่ 4.10 ค่ากำลังอัด ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าแกลบ

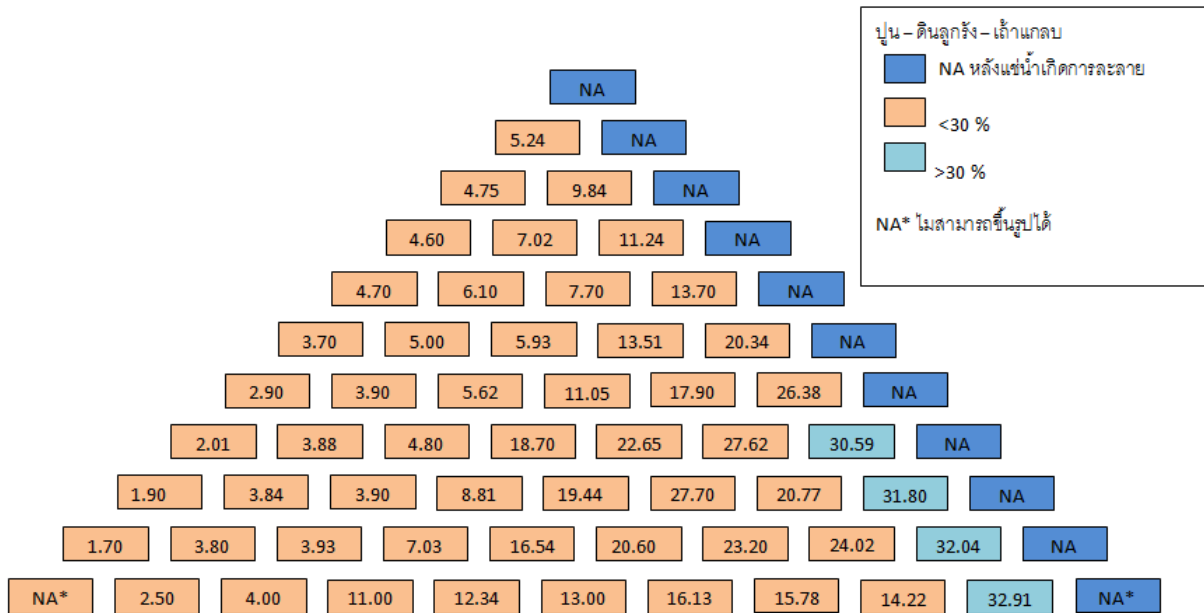
4.13.2 ผลการทดสอบกำลังอัดของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง - เถ้าชานอ้อย ดังรูป 4.11



รูปที่ 4.11 ค่ากำลังอัด ปูน-ดินลูกรัง-เถ้าชานอ้อย

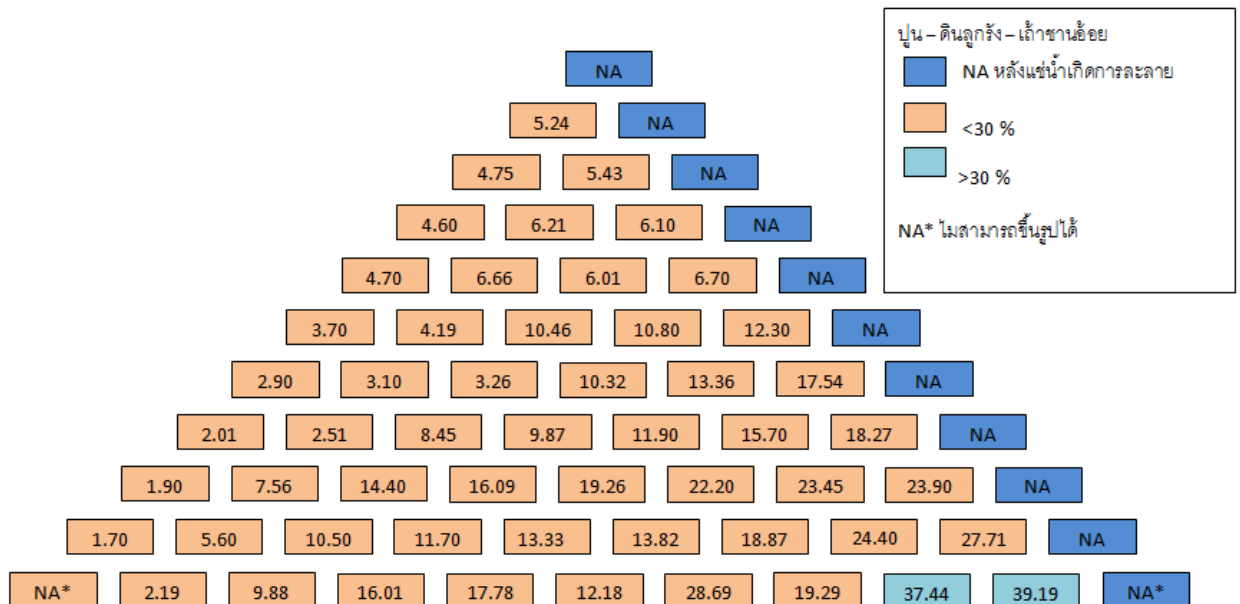
4.14 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำ

4.14.1 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ปูนซีเมนต์ - ดินลูกรัง - เถ้าแกลบ ดังรูป 4.12



รูปที่ 4.12 ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำปูน-ดินลูกรัง-เถ้าแกลบ

4.14.2 ผลการทดสอบความสามารถดูดกลืนน้ำของ ปูนซีเมนต์ - ดินลูกรัง - เถ้าขานอ้อย ดังรูป 4.13

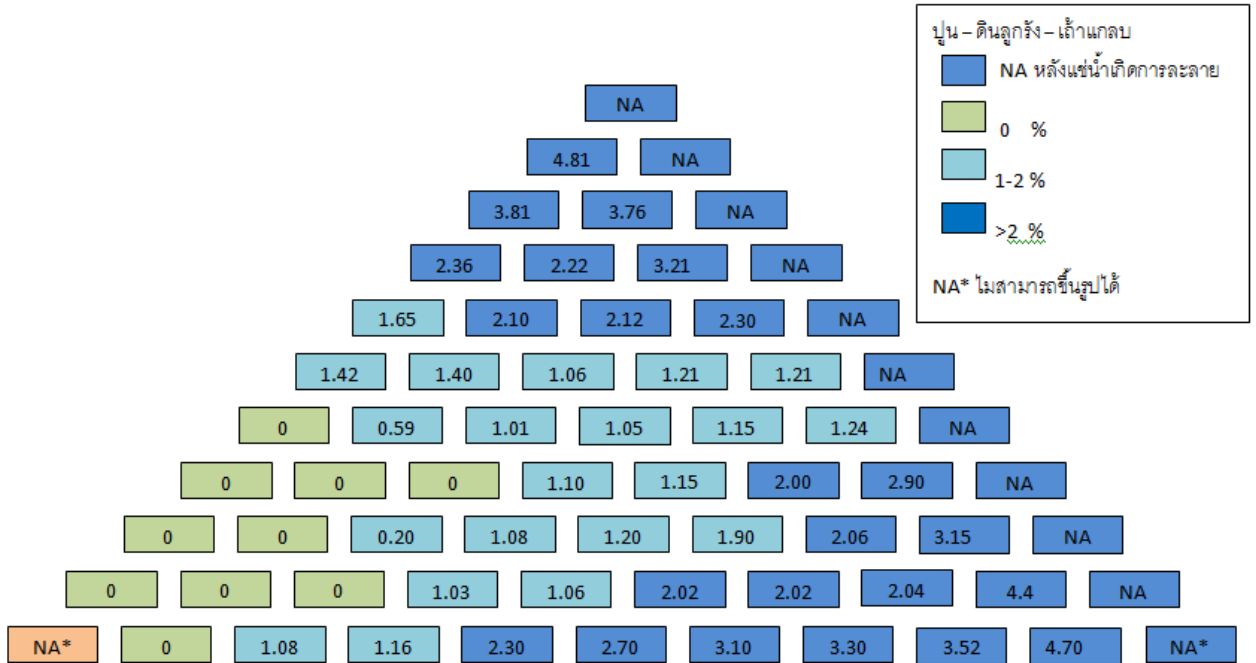


รูปที่ 4.13 ค่าความสามารถดูดกลืนน้ำปูน-ดินลูกรัง-เถ้าขานอ้อย

4.15 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้น

4.15.1 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง – ฝ้า้าเกลบ

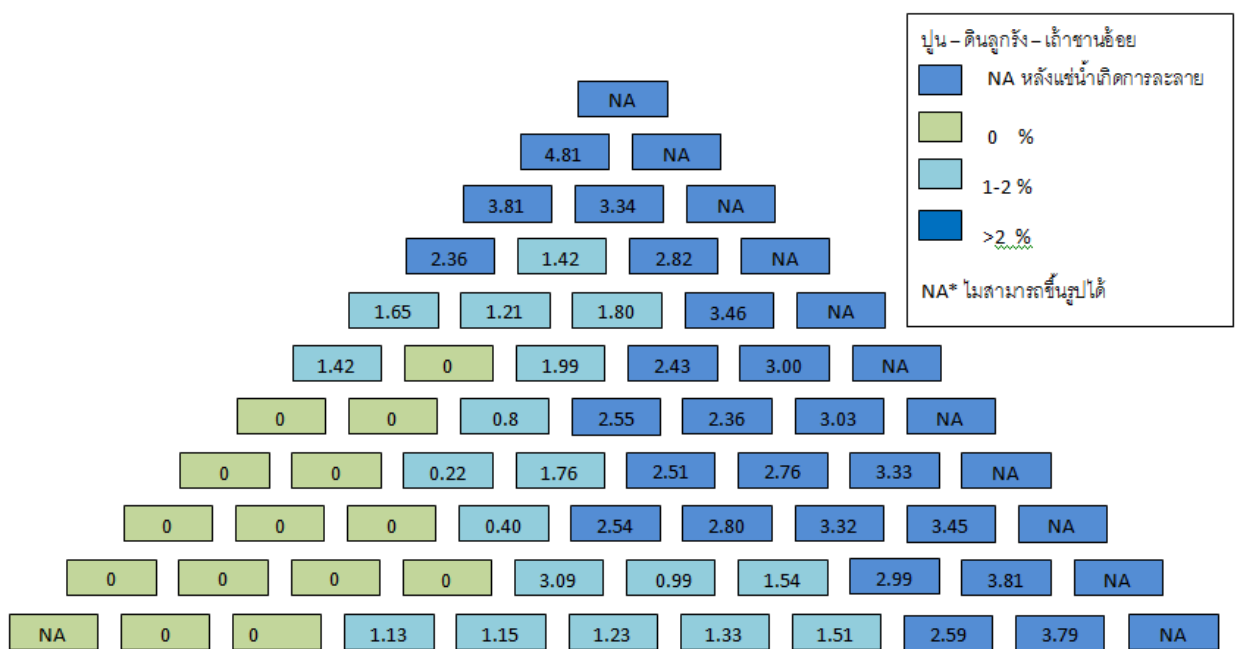
ผังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง – ฝ้า้าเกลบ

4.15.2 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง – ฝ้า้าชานอ้อย

ผังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 การเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นของ ปูนซีเมนต์ – ดินลูกรัง – ฝ้า้าชานอ้อย

## บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

---

### สรุปผล

#### 5.1 จากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพบว่า

1. ดินลูกรัง เป็นดินชั้นคุณภาพ A4 ประเภทของดินทรายแป้ง (Silty Soils) อัตราส่วนผสมในการผลิตอิฐประสานที่แนะนำคือ 1 : 6 (ปูน 1 ส่วน ต่อดิน 6 ส่วน) โดยน้ำหนัก
2. องค์ประกอบทางเคมีของดินลูกรัง, เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย พบว่าดินลูกรังมีซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), อลูมินา ออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), ไอรอน ออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) เป็น 58.60 %, 25.50%, 13.00% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Quartz เถ้าแกลบมีซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), แคลเซียม ออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ), โพแทสเซียม ออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) เป็น 94.00%, 2.00%, 2.80% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Cristobalite เถ้าชานอ้อยมีซิลิกอน ออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ), แคลเซียม ออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ), โพแทสเซียม ออกไซด์ ( $\text{K}_2\text{O}$ ) เป็น 74.7%, 07.8%, 5.4% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide ( $\text{SiO}_2$ ) : Quartz

#### 5.2 ผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า

- 5.2.1 ตัวอย่างทดสอบเถ้าแกลบที่มีกำลังอัดน้อยกว่า 70 ksc. 34 ตัวอย่างระหว่าง 70-100 ksc. 7 ตัวอย่างและมากกว่า 100 ksc. 24 ตัวอย่าง
- 5.2.2 ตัวอย่างทดสอบเถ้าชานอ้อยที่มีกำลังอัดน้อยกว่า 70 ksc. 25 ตัวอย่างระหว่าง 70-100 ksc. 8 ตัวอย่างและมากกว่า 100 ksc. 32 ตัวอย่าง
- 5.2.3 ซึ่งพบว่าดินลูกรังและเถ้าทั้งเมื่อเพิ่มปริมาณปูนมากขึ้นกำลังรับแรงเพิ่มตามลำดับผู้ใช้ควรเลือกใช้ตามความเหมาะสมกับงาน

#### 5.3 ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำพบว่า

- 5.3.1 อิฐประสานจากเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยหลังการแช่น้ำไม่สามารถรูปอยู่ได้ 11 ตัวอย่างซึ่งเห็นว่าไม่มีวัสดุที่ก่อให้เกิดการแข็งตัว
- 5.3.2 อิฐประสานจากเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อยสามารถดูดซึมน้ำได้น้อยกว่า 30% จำนวน 51 ตัวอย่างและ 53 ตัวอย่าง ตามลำดับ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในงานก่อสร้างได้

## 5.4 ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรจากความชื้นพบว่า

5.4.1 อิฐประสานจากเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงปริมาตรหรือเกิดน้อยมาก จำนวน 10 และ 14 ตัวอย่างตามลำดับซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีของวัสดุก่อสร้าง

จากผลการทดสอบวิจัยพบว่าตัวอย่างดินลูกรังผสมเถ้าทิ้งจากอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมสามารถเป็นวัสดุก่อสร้างอิฐประสานได้ตามความเหมาะสมตามอัตราส่วนและกำลังที่ต้องการ

## 5.5 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.5.1 ควรทำการทดสอบคุณสมบัติอื่นๆเพื่อให้สามารถใช้งานได้อย่างหลากหลายเช่น ทดสอบความสามารถในการต้านทานคลอไรด์ การต้านทานการกัดกร่อน

5.5.2 ควรมีการศึกษาวัสดุอิฐประสานจากเถ้าทิ้งเพื่อต้านทานความร้อนและการติดไฟ,ลามไฟ

5.5.3 ควรมีการศึกษาอิฐประสานจากเถ้าทิ้งที่ใช้แรงอัดสูงในการขึ้นรูป



## เอกสารอ้างอิง

- [1] สุกาญจน์ รัตนเลิศสรณ์ 2550 ประสิทธิภาพของเชื้อราดินเลนบนซากใบโก่งกางใบเล็กและใบแสมขาวในการย่อยสลายและควบคุมโรคพืชอย่างบูรณาการ วันที่ 28-29 กรกฎาคม 2550 นเรศวรวิจัย ครั้งที่ 3 ความสำเร็จของการนำผลงานวิจัยไปใช้ประโยชน์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก 479-486 หน้า
- [2] RUSSEL, L.C.(1889),U.S.Geol.Suev.Bull.No.52,65 p.
- [3] 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
- [4] HOLLAND,T.H.(1903),The Constitution Origin and De hydration of Laterite. Geol. Mag.14(10),pp.59-69
- [5] GIDIGASU,M.D.(1976),Laterite Soil Engineering,Elsever Scientific Publishing Company,Amsterdam, New Yark,p.544
- [6] MOHR,F.C.J. and F.A.,VAN BEREN.(1954),Tropical Soils. Interscience, London.
- [7] REMILLON,A.(1967),Les recherches rontie'res entrepries en Afriquet'expression from caise,pp.231-388. Engineering Elsevier Sci.Pub.Co.,New York.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] HONGSNGOI,M.(1969),Effect of method of preparation on the compaction and strength characteristic of lateritic soils, M. thesis, AIT, Bangkok, Thailand,108 p.



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

[12] 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

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

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

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

[16] วรศักดิ์ ตันติวานิช และ สมหวัง ช่างสุวรรณ (2538), ธรณีวิทยาแหล่งดินลูกรังบริเวณภาคตะวันออกเฉียงของประเทศไทย, รายงานฉบับที่ วว.134 กองวิเคราะห์และวิจัยกรมทางหลวง, 30 หน้า

[17] RUENKRAIRERGSA,T., and WAIWUDTHIKEART,W., (1987), Mechanical Properties of Thailand Lateritic Gravel Bangkok.

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

[19] Luh, B.S., Rice: Production and Utilization, Avi Publishing Company, Westport, Connecticut, 1979.

[20] ปริญา จินดาประเสริฐ และ อินทรชัย หอวิจิตร , สมนึก ประการธนาธร , ปูนซีเมนต์เจ้าแกลบ,วารสารวิชาการที่อยู่อาศัย, การเคหะแห่งชาติ, พ.ศ. 2529, ปีที่ 3, เล่มที่ 2 หน้า 81-92

[21] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ พิชัย นิमितยงสกุล , ผลกระทบของเถ้าแอมบต่อคอนกรีตคุณภาพสูง, เอกสารประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 3, พ.ศ. 2540, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า MAT5-1 ถึง MAT5-9

[22] บุรฉัตร ฉัตรวีระ และ เชิดพงศ์ วิจารณ์วิท, ศักยภาพในการใช้คอนกรีตผสมเถ้าแอมบไม่บด, เอกสารประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 7, พ.ศ. 2544, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า MAT63-68

[23] ปริญญา จินดาประเสริฐ และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล (2551) ,ปูนซิเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีตพิมพ์ครั้งที่ 5 สมาคมคอนกรีตไทย 381 หน้า

[24] สาโรจน์ คำรงค์สีล, บุรฉัตร ฉัตรวีระ และวินัย อวยพรประเสริฐ , กำลังรับน้ำหนักของคอนกรีตผสมเถ้าแอมบ, วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, พ.ศ. 2543, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 11-19

[25] Chindaprasirt ,P., Rukzon, .,S., and Sirvivivatnanon, V.,2007. “Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash,” Construction and Baterials, 22: 932 – 938.

[26] Neville AM. Properties of concrete. 4 th andfinal Edition. Malaysia: Longman Group Limited; 1995.

[27] Chindaprasirt, P., Kanchanda, P., Sathonsoawaphak, A., Cao, H.T., 2007 . “Sulfate resistance of blended cements containing fly ash and rice husk ash,” construction and Building Materials,21:1356-1361

[28] ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2545, สถิติแห่งประเทศไทย ปีเพาะปลูก 2544/45, เล่มที่ 43, 121หน้า

[29] คาวี มณฑการติวงศ์, อเนก ศรีพานิชกร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และ ไกรวุฒิ เกียรติโกมล , กลังอัดและความร้อนของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อย, เอกสารประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2548, สมาคมคอนกรีตไทย, หน้า CON-35

[30] Chindaprasirt ,P., Rukzon, .,S.,2008. “Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blend Portland cement, rice husk ash fly ash mortar, construction and Building Materials, 22:1601-1606

[31] Gastaldini, A.L.G., Isaia, G.C., Gomes, N.S., Sperb, J.E.K., “Chloride penetration and carbonation in concrete with rice husk ash and chemical activators,” Cement and Concrete Composites, In press.

[32] Ganesan, K., Raiagopal, K., 2007. “Evaluation of bagassg as supplementary cementitious material,” Cement and concrete Composites,29:515-524.

[34] สำเร็จ รักซ้อน., 2551 “ทฤษฎีและการทดสอบคอนกรีตเทคโนโลยี,”กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[35] ASTM C618., 2001. “Standard Speciation For Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use as a Mineral Admixture in Concrete,” Annual Book of ASTM Standard, 04.02:310-313.

[36] Neville AM. Properties of concrete.4th and Final Edition. Malaysia: Longman Group Limited; 1995

[37] วุฒิชัย วัชวุฒิกเกียรติ (2526),การศึกษาคุณสมบัติและความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของดินลูกรังในประเทศไทย, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



ภาคผนวก ข

ร่วมจัดงาน“การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2555” (Thailand Research Expo 2012) จัดขึ้นระหว่างวันที่ 24-28 สิงหาคม 2555 ณ ศูนย์ประชุมบางกอก คอนเวนชัน เซ็นเตอร์ ราชประสงค์ กรุงเทพฯ วัตถุประสงค์เพื่อจัดนิทรรศการผลงานวิจัย สิ่งประดิษฐ์ ประชาสัมพันธ์ และเผยแพร่งานวิจัย





**สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.)**  
National Research Council of Thailand (NRCT)

**ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ แก่**

**นายนิโรจน์ เต็มพรหม**

**เพื่อแสดงความขอบคุณที่ให้ความร่วมมือในการนำผลงานวิจัย เรื่อง**

**ดินซีเมนต์ลูกรังผสมวัสดุเถ้าทิ้ง**

**ร่วมนำเสนอในงาน “การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ ๒๕๕๕” (Thailand Research Expo 2012)**

**ให้ไว้ ณ วันที่ ๒๘ สิงหาคม ๒๕๕๕**



**(ศาสตราจารย์ นายแพทย์สุชาติวิฑูรย์ จิตต์มิตรภาพ)**  
เลขาธิการคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

## ภาคผนวก ก

## ประวัติคณะผู้วิจัย

## ประวัติคณะผู้วิจัย (1) หัวหน้าโครงการ

1. นายนิโรจน์ เงินพรหม  
Mr. Nirojn Ngenprom
2. ประวัติการศึกษา  
ปริญญา สาขา ชื่อสถาบัน/ประเทศ  
ปริญญาตรี วิศวกรรมโยธา สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
ประเทศไทย  
ปริญญา วิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
โท ประเทศไทย
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 ชื่อเรื่องการใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่  
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปี 2552 ผู้ร่วมวิจัย
  - 4.4 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมดินลูกรังและ โคลนปูนจาก โรงงานอุตสาหกรรมผลิต  
กระดาษ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
  - 4.5 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของดินซีเมนต์ผสมเถ้าเปลือกหอยแมลงภู่ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
  - 4.6 ชื่อเรื่องการทดสอบหาค่ากำลังอัดของอิฐดินดิบที่มีดินลูกรังเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบเป็น  
ส่วนผสม 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
  - งานวิจัยที่กำลังทำ ชื่อข้อเสนอการวิจัย

- 4.7 ชื่อเรื่องการพัฒนาวัสดุอิโพลิเมอร์จากเถ้าแกลบและเถ้าขานอ้อย 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. นายสำเริง รักษ์ซ้อน

Mr. Sumrerng Rukzon

2. ประวัติการศึกษา

ปี พ.ศ.	ปริญญา	อักษรย่อ	สาขา	ชื่อสถาบัน/ประเทศ
2539	ปริญญาตรี	ค.อ.บ.	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล เทเวศร์ ประเทศไทย
2545	ปริญญาโท	วศ.ม.	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ประเทศไทย
2550	ปริญญาเอก	ปร.ด. (Ph. D.)	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยขอนแก่น ประเทศไทย

3. สาขาวิชาที่เชี่ยวชาญ

โครงสร้างเชิงประกอบ คอนกรีต วิศวกรรมกลศาสตร์คำนวณ สิ่งประดิษฐ์และอิโพลิเมอร์

4. ประสบการณ์ในงานวิจัย

- 4.1 งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว

1. Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash

2. Effect of carbon dioxide on chloride penetration and chloride ion diffusion coefficient of blended Portland cement mortar

3. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blended Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar (สถานภาพนักวิจัย)

4. Development of classified fly ash as a pozzolanic material

5. Mathematical model of strength and porosity of ternary blend Portland rice husk ash and fly ash cement mortar

#### 4.2 ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์ออกเผยแพร่

##### วารสารระดับนานาชาติ

- 1 Chindaprasirt P, Rukzon S, Sirivivatnanon V. Resistance to chloride penetration of blended Portland cement mortar containing palm oil fuel ash, rice husk ash and fly ash. *Journal of Construction and Building Materials*.
- 2 Chindaprasirt P, Rukzon S, Sirivivatnanon V. Effect of carbon dioxide on chloride penetration and chloride ion diffusion coefficient of blended Portland cement mortar. *Journal of Construction and Building Materials*.
- 3 Chindaprasirt P, Rukzon S. Strength, porosity and corrosion resistance of ternary blended Portland cement, rice husk ash and fly ash mortar. *Journal of Construction and Building Materials*.
- 4 Rukzon S, Chindaprasirt P. Development of classified fly ash as a pozzolanic material. *Journal of Applied Sciences*. 8 (6): 1097-1102, 2008
- 5 Rukzon S, Chindaprasirt P. Mathematical model of strength and porosity of ternary blend Portland rice husk ash and fly ash cement mortar. *Journal of Computers and Concrete*. 5(1): 2008.

##### การประชุมวิชาการระดับนานาชาติ

- 6 Rukzon S, Chindaprasirt P. Strength of ternary blended Portland cement rice husk ash and fly ash cement mortar. In: *Technology and innovation for sustainable development Conference*. Khon Kaen University; January 25-26, 2006; Khon Kaen, Thailand; 2006. pp. 105.
- 7 Rukzon S, Chindaprasirt P. Strength and carbonation of ternary blended Portland cement rice husk ash and fly ash cement mortar. In: *Proceedings of the Eighth International Symposium and workshop on Ferro cement and thin reinforced cement composites*. Bangkok; February 6-8, 2006; Thailand; 2006. pp. 525-33.

##### วารสารระดับชาติ

- 8 Rukzon S, Chindaprasirt P. Strength of ternary blended cement mortar containing Portland cement, rice husk ash and fly ash. *Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand* 2006; 17(2): 30-8.
- 9 Rukzon S, Chindaprasirt P. Compressive strength of mixture proportioning in ternary cementitious system. *Research and Development Journal of the Engineering Institute of*



- Thailand. 2007; 18(4): 32-38
- 10 สำเร็จ รักซ้อน . การใช้เถ้าแกลบ -เปลือกไม้บดละเอียดในงาน คอนกรีต . KCU. Engineering Journal. 2005; 32(3): 429-429
- การประชุมวิชาการระดับชาติ
- 11 Rukzon S, Chindaprasirt P. Strength and carbonation of Portland cement rice husk ash. In: Conference on concrete and geopolymer. Khon Kaen University; October 31, 2005; Khon Kaen, Thailand; 2005. pp. 98-105.
- 12 Rukzon S, Chindaprasirt P. Effect of the fly ash fineness on carbonation. ใน: การประชุมวิชาการเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษาแห่งชาติ ครั้งที่ 6; 13-14 ตุลาคม 2549; กรุงเทพมหานคร. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2549. หน้า 98-105.
- 11 สำเร็จ รักซ้อน . การใช้เถ้าถ่านหินบดละเอียดในงานคอนกรีต . การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10. ชลบุรี 2-4 พฤษภาคม 2548

#### 4.3 อื่นๆ ที่สำคัญ

1. นักวิจัยศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น
2. ผู้ประเมินบทความสำหรับตีพิมพ์ในวารสารทางวิชาการของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา , วารสารระดับนานาชาติของ Asia Pacific Journal of Chemical Engineering
3. สมาชิกระดับสามัญสมาชิกวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ (ว.ส.ท.)
4. ใบประกอบวิชาชีพวิศวกรรม (ก.ว.) ระดับสามัญวิศวกร โยธา (สย. 8095)
5. วิศวกรเอเปก (Apec Engineering)
6. สมาชิกเครือข่ายจีไอ โพลีเมอร์ไทย

#### 7.4 สิทธิบัตร / อนุสิทธิบัตร

เครื่องมือวัดวัสดุปอซโซลานประหยัดพลังงาน Petty Patent No. 3674 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

#### 7.5 ทุนวิจัย / รางวัล

- ทุนอุดหนุนและส่งเสริมการทำวิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ทุนเผยแพร่ผลงานวิจัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น