พัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินซิเมนต์
Development of hydraulic pressing machine for soil cement.

นายนิโรจน์ เงินพรหม

Mr. Nirojn Ngenprom

งบประมาณ รายได้ (งบอุดหนุน) ประจำปี คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ประจำปี พ.ศ. 2555

Development of hydraulic pressing machine for soil cement.

Mr.Nirojn Ngenprom

Rajamangala University of Technology Phra Nakhon 2012

บทคัดย่อ

พัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินซิเมนต์

นายนิโรจน์ เงินพรหม

Nirojn.n@rmutp.ac.th

พ.ศ. : 2555

จากการทดลอง วิจัยพบว่าจากผลการทดสอบ ตัวอย่างทดสอบ มีกำลังอัดมีค่า 75 ksc. มากกว่า 70 ksc. เป็นไปตามคุณภาพคุณสมบัติของบล็อกประสาน วท. ดินซิเมนต์ที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน ขนาดของเครื่องเป็นแบบไฮดรอลิก อัดบล็อก 1 ก้อน รูปแบบการทำงานแบบต่อเนื่อง ใช้ไฟฟ้า 220 V ขนาดเครื่องยนต์มอเตอร์ 5 แรงม้า ขนาดเครื่อง กว้าง 55 ซม. ยาว 55 ซม. สูง 110 ซม. น้ำหนักเครื่อง 800 kg. ใช้วัสดุเหล็กพ่นสี ผลการทดสอบความเร็วในการอัดขึ้นรูป จากผลการทดสอบความเร็วในการอัดขึ้นรูป ได้ 89 ก้อนต่อชั่วโมง หรือ 712 ก้อน ต่อวัน (8 ชั้วโมง) สูงกว่าการผลิตโดยแรงงานคนที่ 100-500 ก้อนต่อวัน และสูงกว่าเครื่องอัดไอดรอลิกทั่วไปขนาด 1 โมลที่ 500-700 ก้อน ต่อวัน จากผลการทดสอบวิจัยพบว่ าการพัฒนาเครื่องอัดดินซิเมนต์สามารถนำไปผลิตในเชิงอุตสาหกรรมชุมชนได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ ดินซิเมนต์ , เครื่องอัดขึ้นรูป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้สำเร็จได้โดยการสนับสนุนจากงบประมาณผลประโยชน์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่เล็งเห็นถึงความสำคัญของการพัฒนางานวิจัย รวมทั้งนักศึกษา ครู อาจารย์ และบุคคลากรทางการศึกษาทุกท่านที่ให้คำแนะนำในด้านต่างให้การดำเนินงานวิจัยสำเร็จไปได้ด้วยดี

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	1
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	1
1.4 วิธีการศึกษาวิจัย	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
2. วรสารปริทรรศน์	3-24
2.1 ดินซีเมนต์ Soil Cement	3
2.1.1 ประเภทของดินซีเมนต์	4
2.1.2 ประโยชน์ของดินซีเมนต์	5
2.1.3 วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำ Soil – Cement	5
2.1.4 การหาอัตราส่วนผสม	10
2.1.5 การเตรียมดิน	13
2.1.6 การผสม	13
2.1.7 ระยะเวลาในการผสม (Mixing Time)	13
2.1.8 ช่วงเวลาการนำ ส่วนผสมไปใช้งาน (Hold-back time)	14
2.1.9 คุณสมบัติของดินที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว	14
2.1.10 องค์ประกอบที่มีผลต่อกำลังของดินเมื่อผสมด้วยซีเมนต์	14
2.1.11 อุณหภูมิในการบ่ม (Curing Temperature)	15
2.1.12 กำลังรับแรงอัดของอิฐดินซิเมนต์	16
2.2.13 คุณสมบัติทางกายภาพ	18

สารบัญต่อ 1

บทที่		หน้า
	2.2 เครื่องอัด	18
	2.2.1 เครื่องอัดแรงงคน	19
	2.2.2 เครื่องอัดไฮดรอลิก	19
	2.3 ระบบไฮดรอลิก	19
	2.3.1 การใช้งานระบบไฮดรอลิก	20
	2.3.2 วงจรไฮดรอลิกไฟฟ้า	21
	2.4 กำลังการผลิต	22
	2.5 การออกแบบชิ้นส่วนด้วยเครื่องอัด	23
	2.5.1 หลักเบื้องต้นในการออกแบบ	23
	2.5.2 รูปร่างของตัวเครื่องอัด	23
	2.6 การทดสอบความต้านแรงอัด (Compressive strength) ในภาคสนาม	23
	2.7 การทดสอบความทนทานในการแช่น้ำ	24
3.	วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	25-32
	3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	25
	3.2 กำหนดรูปแบบเครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่าง แหล่งดินตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ ครุภัณฑ์	25
	3.2.1 การกำหนดรูปแบบเครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่างรูปผลิตภัณฑ์และชิ้นงานดินซิเมนต์	25
	3.2.2 แหล่งดินตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย	27
	3.2.3 มอเตอร์ขับเคลื่อนกำลังระบบไฮดรอลิก	27
	3.2.4 น้ำมันไฮดรอลิก เบอร์ 68	28
	3.2.5 วัสดุตัวเครื่อง	28
	3.3 สร้างเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ สำหรับดินซิเมนต์	28
	3.3.1 ทำการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ สำหรับดินซิเมนต์	28
	3.4 ออกแบบสร้างบล็อกผลิตภัณฑ์	28
	3.5 ออกแบบอัดตราส่วนผสม	28
	3.6 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ	28
	3.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัดตราส่วนที่กำหนด	31
	3.8 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัดตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้	31

สารบัญต่อ 2

บทที่	หน้า
3.9 ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ	32
3.10จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี	32
4. ผลการวิจัย	33-35
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานขนาดคละของดิน	33
4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานพิกัด Atterberg ของดิน	33
4.3 ผลการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน	33
4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดิน	34
4.5 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปอิฐประสานตามอัตราส่วน	34
4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม	35
4.7 ผลการทดสอบความเร็วในการอัดขึ้นรูป	35
5. สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา	36
เอกสารอ้างอิง	38-39
ภาคผนวก ก ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย	40
ภาคผนวก ข ขั้นการประก อบเครื่องอัดอิฐ	41-45
ภาคผนวก ค รายงานผลการทดสอบดิน	46-48
ภาคผนวก ง ร่วมจัดงาน “การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ 2555” (Thailand Research Expo 2012)	49
ภาคผนวก จ ประวัตินักวิจัย	50

สารบัญตาราง

สารบัญตาราง **หน้า**

2.1	สัดส่วนของออกไซด์ชนิดต่างๆ ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	10
2.2	แสดงค่ากำลังอัดเฉลี่ยของแท่นทดสอบปริซึมที่ปรับแก้ผลจากอัตราส่วนความชะลูดแล้ว	12
2.3	การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตบล็อกก้อนตันที่ผสมซิเมนต์และไม่ผสมซิเมนต์	12
2.4	มาตรฐานความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของบล็อกรับน้ำหนัก	16
2.5	วัตถุประสงค์ในการใช้คอนกรีตบล็อกชั้นคุณภาพต่างๆ	17
2.6	คุณสมบัติทางกายภาพ สำหรับบล็อกรับน้ำหนัก (Load-bearing soil-cement block)	18
4.1	ผลการทดสอบขนาดคละของดินลูกรังสีแดง	33
4.2	ผลการทดสอบพิกัด Atterberg ของดินลูกรังสีแดง	33
4.3	ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังแดง	33
4.4	ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดินลูกรังของดินลูกรังแดง	34

สารบัญรูปประกอบ

สารบัญรูปประกอบ		หน้า
2.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเม็ดดินต่อปริมาณน้ำในมวลดินภายใต้แรงกดที่ต่างกัน	17
2.2	อุปกรณ์พื้นฐานในการทำงานของระบบไฮดรอลิก	20
3.1	ขนาดอิฐดินซิเมนต์ปลอกประสาน	25
3.2	กระบวนการผลิตบล็อกประสาน	26
3.3	ตัวอย่างดินลูกรัง	27
3.4	มอเตอร์ขับเคลื่อนกำลังระบบไฮดรอลิกขนาด 220 V 5 แรงม้า	27
3.5	แบบเครื่องอัดขึ้นรูปดินซิเมนต์	29
3.6	แบบบล็อกผลิตภัณฑ์	30
3.7	ขึ้นรูปตัวอย่าง	31
3.8	บ่มตัวอย่างอิฐ	31
3.9	เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด	32
3.10	ตัวอย่างหลังกดทดสอบ	32
4.1	ตัวอย่างอิฐหลังการขึ้นรูป	34

บทที่ 1 บทนำ

โครงการวิจัย พัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินซิเมนต์ (**Development of hydraulic pressing machine for soil cement.**)

1.1 ปัญหาและที่มาของงานวิจัย

"...วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เป็นปัจจัยสำคัญในการสร้าง ความเจริญ ของบ้านเมือง จึงควรสนับสนุนให้ มีการค้นคิดเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับภาวะ แลหะความต้องการของประเทศ ขึ้นใช้เองอย่างจริงจังถ้าสามารถค้นคิดได้ มากเท่าไหร่ จะเป็นการประหยัดและช่วยให้สามารถ นำไปใช้ในงานต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง ยิ่งขึ้นเท่านั้น..." (พระราชดำรัส พระราช ทานเนื่องในงานสัปดาห์วิทยาสตร์แห่งชาติ 1 สิงหาคม 2531) ในการผลิตขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สำหรับใช้ในงานก่อสร้างนั้นมักนิยม ใช้ผลิตเป็นระบบอุตสาหกรรมโดยใช้เครื่องจักรในการผลิต ซึ้งต้องใช้ต้นทุนในการผลิตสูงทำให้ราคาวัสดุก่อสร้างมีราคาสูงตามไปด้วย ในขณะที่การผลิตในอุตสาหกรรมในครัวเรือนซึ้งอาศัยกำลังในการผลิตต่ำใช้ในลักษณะการปั้นหรือการหล่อซึ้งมีผลต่ออัตราการผลิตและความเข็งแรงของตัววัสดุในขณะเดียวกัน ขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่สม่ำเสมอได้มาตรฐานต่ำ รวมทั้งส่วนของงานวิจัยวัสดุและการพัฒนาวัสดุในห้องปฏิบัติการ ยังมีปัญหาในการทดลองขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ซึ้งทำได้อย่างจำกัด

จึงมีความคิดที่จะออกแบบ พัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ โดยการใช้ระบบไฮ ดรอลิก ซึ่งทำให้ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกมาได้มาตรฐาน และช่วยให้อัตราผลผลิตเพิ่มสูงขึ้นซึ้งเหมาะสมสำหรับระบบอุตสาหกรรมขนาดกลาง และขนาดเล็ก รวมทั้งสำหรับใช้ผ ลิตตัวอย่างการทดสอบและการวิจัยในห้องปฏิบัติการ

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ที่ทำจากดินซิเมนต์

1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

1.3.1 สร้างแบบผลิตภัณฑ์ขึ้นรูปชนิดก้อน
1.3.2 วัสดุที่นำมาใช้คือ ซีเมนต์มอร์ต้าและดิน
1.3.3 ใช้ระบบไฮดรอลิกในการให้แรงขึ้นรูป

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

วิธีการดำเนินการวิจัย

1.4.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.4.2 กำหนดรูปแบบเครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่าง แหล่งดินตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุป กรณ์ครุภัณฑ์

1.4.3 สร้างเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ สำหรับดินซิเมนต์

1.4.4 ออกแบบสร้างบล็อกผลิตภัณฑ์

1.4.5 ออกแบบอัดตราส่วนผสม

1.4.6 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของผลิตภัณฑ์

1.4.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัดตราส่วนที่กำหนด

1.4.8 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัดตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้

1.4.9 ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ

1.4.10 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพมหานคร

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ใช้เป็นเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดก้อน ที่จะเป็นตัวอย่างในการพัฒนาต่อไป

1.5.2 ได้เครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต้นแบบ

1.5.3 งานวิจัยนี้เป็นการกระตุ้นเศรษฐกิจชุมชนหรือวิสาหกิจชุมชนได้เป็นอย่างดี เนื่องจากเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ชนิดก้อน สามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือผลิตผลิตภัณฑ์ในชุมชนจากวัสดุในท้องถิ่นที่มีในประเทศสามารถ ทำให้เป็นสินค้าชุมชนส่งเสริมระบบเศรษฐกิจท้องถิ่นอย่างยั่งยืน

บทที่ 2 วรสารปริทรรศน์

ทฤษฎี สมมุติฐาน (ถ้ามี) และกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย

นับเป็นเวลานานมาแล้วที่มนุษย์รู้จักการนำเอา ระบบไฮ ดรอลิกมาใช้งานให้เป็นประโยชน์ โดยใช้แรงดันนี้มาดันให้ลูกสูบเคลื่อ นที่ในกระบอกสูบได้ ผลออกมาจะได้กำลังงานจากลูกสูบมากขึ้น ในปัจจุบันได้พัฒนานำเอาระบบไฮดรอลิกมาใช้งานในงานด้านอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก เช่นเครื่องจักรในการประกอบในงานอุตสาหกรรม เครื่องจักรในการขึ้นรูป เครื่องจักรผลิตอาหาร เครื่องจักรงานไม้ เครื่องจักรในการขนย้ าย วัสดุ เครื่องพิมพ์ และเครื่องมือเครื่องจักรอื่น ๆ อีกมากมาย

เหตุผลที่มีการนำเอาระบบ ไฮดรอลิก มาใช้อย่างกว้างขวางในงานอุตสาหกรรมที่เป็นระบบอัตโนมัติ เนื่องจากเป็นการประหยัดแรงงาน โครงสร้างของอุปกรณ์บังคับระบบ ไฮดรอลิก เป็นแบบง่าย ๆ มีความปลอดภัยในหารทำงานสูง เพราะมีอุณหภูมิในการทำงานต่ำ เครื่องจักรที่ใช้พลังงานระบบ ไฮดรอลิกจะมีราคาถูกกว่าระบบอื่น ๆ มีการบำรุงรักษาและควบคุมง่าย นอกจากนั้นระบบระบบ ไฮดรอลิกยังง่ายต่อการดัดแปลง เช่นสามารถใช้ร่วมกับไฟฟ้าในการบังคับจากระยะห่างได้ เป็นที่นิยมใช้ในโรงงานที่ทันสมัย ในปัจ จุบันระบบระบบไฮดรอลิกที่ได้พัฒนามาใช้ในงานอุตสาหกรรมจึงได้ผลเป็นอย่างมาก จึงมีความคิดที่จะออกแบบ พัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์มาใช้ในงานก่อสร้างผลิตวัสดุก่อสร้าง

การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง

2.1 ดินซีเมนต์ Soil Cement คือ ดินธรรมชาติที่ผ่านการคัดเลือก โดยการทดสอบคุณสมบัติทั้งเอกภาพและเคมี เหมาะสมที่จะนำมาใช้ผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในสัดส่วนที่เหมาะสม และผ่านกรรมวิธีการผลิตได้เป็นวัสดุที่สามารถรับกำลังได้และใช้เป็นประโยชน์ในงานก่อสร้างและนั่นหมายถึงการนำวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน Sub-Standard Material ทำให้เป็นวัสดุที่ได้มาตรฐาน Standard Material ซึ่งจะมีผลต่อการพัฒนาด้านสิ่งก่อสร้างสำหรับพัฒนาชนบท ซึ่งคำนึงถึงการใช้วัสดุและแรงงานท้องถิ่นมากที่สุดทั้งนี้ เพราะพื้นที่การพัฒนาชนบทมีประมาณมากหากรัฐบาลจะทุ่มวัสดุหรือแรงงานจากส่วนกลางไปใช้ในการก่อสร้าง เพื่อพัฒนาแล้วจะต้องทุ่มเทงบประมาณลงไปมากจนเหลือกำลังที่จะดำเนินการได้ ในด้านแรงงานเป็นที่ทราบดีอยู่แล้วว่าชาวชนบทส่วนใหญ่มีเวลาว่างอยู่มาก ในฤดูแล้งสามารถนำมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างเพื่อพัฒนา ได้เป็นอย่างดี ทั้งยังเป็นการเพิ่มรายได้ไปในตัวอีกด้วย ในด้านวัสดุก่อสร้างก็เป็นที่ทราบกันดี เช่นกันว่าวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในท้องถิ่นปัจจุบันคือ ไม้ ได้เริ่มขาดแคลนและหากจะใช้ต่อไปก็จะมีผลกระทบต่อเศรษฐกิจและโครงสร้างของประเทศเป็นอย่างมาก ในการนี้จึงได้มีการศึกษาค้นคว้าวัสดุที่จะสามารถทดแทนไม้ได้มากที่สุด ก็พ บว่าสามารถนำดินซึ่งมีอยู่ปริมาณมากในประเทศนำมาผสมกับซีเมนต์ในสัดส่วนที่เหมาะสม สามารถอัดเป็นแท่งอิฐด้วยเครื่องมือที่ใช้แรงคนอัดใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง อาคาร บ้านพักอาศัย ยุ้ง ถังน้ำฝน ฝาย ตลอดจนถนนเหล่านี้ได้ โดยการกำหนดรูปแบบให้เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ และธ รณีวิทยาท้องถิ่นนั้นๆ วัสดุ ดิน- ซีเมนต์นี้จึง

เป็นวัสดุที่สามารถแก้ปัญหาด้านวัสดุก่อสร้างและการใช้แรงงานได้ทั้งสองประการ พร้อมกันไปจึงนับว่าเหมาะสมอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างเพื่อพัฒนาชนบท

2.1.1 ประเภทของดินซีเมนต์

ดิน-ซีเมนต์ได้มีการพัฒนาขึ้นมาจากการทดสอบเป็นหลัก ซึ่งอาศัยวัสดุคือดินเป็นตัวกำหนดที่จะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีใดให้ดีขึ้น ฉะนั้นทางวิศวกรรมจึงจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องศึกษากลศาสตร์ของดิน เพื่อหาแนวทางที่ถูกต้องในการปรับปรุงคุณภาพของดินจากการทดสอบดินประเภทต่างๆ ด้วยวิธีการจำแนกดินทางวิศวกรรมและทำการทดสอบหาค่า ดัชนีพลาสติกของดิน ขีดจำกัดการหดตัวของดิน และขีดจำกัดเหลวของดิน ซึ่งให้ค่าที่แตกต่างกันในดินแต่ละประเภท เมื่อผสมซีเมนต์เข้าไปจึงมีวัตถุประสงค์ในการเปลี่ยนโครงสร้างของดินใหม่ที่แตกต่างกัน ตลอดจนปริมาณซีเมนต์ที่จะใช้ไม่เท่ากันด้วย

Cement-Treated Soil Mixture มีความแตกต่างในชนิดของดิน 2 ประการคือในดินปนทรายและในดินเหนียว ซีเมนต์เมื่อถูกน้ำจะเกิดแรงยึดเกาะระหว่างแร่ธาตุและดินเกิดโครงสร้างยึดเกาะแบบรังผึ้ง กำลังของส่วนผสมขึ้นอยู่กับ เมื่อดินเหนียวในส่วนผสมมีกำลังน้อยและการสร้างกำลังในดิน-ซีเมนต์มีมาก จะมีผลทำให้อนุภาคของดินอยู่กับที่ ไม่สามารถเคลื่อนที่อีกต่อไปซีเมนต์ไม่เพียงแต่ละ Plasticity แต่ทำให้ Shear Strength เพิ่มขึ้น ผิวของซีเมนต์ซึ่งทำปฏิกิริยาทางเคมีกับน้ำ ประมาณน้ำลดลง และน้ำจะยึดเกาะความมั่นคงแต่ยังช่วยป้องกันการรวมตัวกันและการอ่อนตัวจากการดูดความชื้นของดิน และเป็นอันตรายจากผลของ freezing และ Thawing

ในดินที่มีเม็ดขนาดใหญ่มีปฏิกิริยาของ Cementing จะทำให้เกิดแข็งตัวเป็นคอนกรีตเว้นแต่ Cement Paste ไม่สามารถเข้าไปอุดเต็มในช่องว่างของวัสดุ ในทรายวัสดุจะแข็งตัวเมื่อถูกยึดเกาะด้วย Cement Paste ถ้าหากเฉลี่ยดินให้แน่น มีช่องว่างน้อยและบริเวณผิวสัมผัสมาก ซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาอย่างแข็งขัน ถ้าหากทรายมีเม็ดขนาดเดียวกัน มีบริเวณผิวสัมผัสน้อย ต้องการปริมาณซีเมนต์สำหรับการทำให้ดินมั่นคงมากขึ้น Cement-Treated Soil Mixture แบ่งออกได้ดังนี้

(1) Soil-Cement ส่วนผสมของดิน-ซีเมนต์ ได้ออกแบบเพื่อให้สอดคล้องกับการทดสอบโดย ASSHO และ ASTM วัสดุที่ถูกทดสอบนี้เป็น ดิน-ซีเมนต์

(2) Cement-Modified Cranular Soil ใช้ซีเมนต์เพื่อลด Plasticity และ Swell ของดินเพื่อปรับปรุงวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน Sub-standard Granular Materials ทำให้เป็นวัสดุที่ได้มาตรฐาน Standard Materials รับพื้นทาง Base Course หรือรองพื้นทาง Sub-Base สำหรับ Rigie และ Flexible Pavements ปริมาณซีเมนต์อยู่ระหว่าง1% โดยน้ำหนักขึ้นไป แต่ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้น้อยกว่าที่ใช้สำหรับดิน-ซีเมนต์

(3) Cement-Modified Silty-Clay Soil Mix. ใน Cement-Modified Mixtures ใช้ซีเมนต์สำหรับควบคุมคุณสมบัติ Swell-Shink ของดิน การเพิ่มความมั่นคงของดินใช้สำหรับเพิ่มความแข็งแรงของดินที่อ่อน

กว่าระดับธรรมดา หรือบริเวณดินเปียก Cement-modified Silty-Clay Soil Mixtures ใช้ปริมาณซีเมนต์น้อยกว่าซีเมนต์ที่ใช้ในดิน-ซีเมนต์

(4) Plastic Soil Cement เป็นส่วนผสมของดิน-ซีเมนต์ที่อยู่ใน Plastic State เมื่อแข็งตัวเป็นวัสดุที่มี Strength และ Durability ที่ต้องการในการแข็งตัวของดิน-ซีเมนต์ โดยปรกติทำจาก Linghter-Textured เช่น พวกดินปนทราย

(5) Cement-Treated Soil Slurried, Grouts ใช้สำหรับ Mud jacking Pavement และสำหรับ Stabilizing Sailroad Ballast Cement Stabilization ได้มีผู้ทำการวิจัย ค้นคว้า และทดลองเป็นจำนวนมาก ดังปรากฏในรายงานในหนังสือ Highway Research Bord และหนังสือ Highway Engineering Hand-book ซึ่งกล่าวถึงคุณสมบัติของดิน และซีเมนต์ เมื่อผสมกันโดยมีน้ำผสมอยู่ด้วยจะทำให้คุณสมบัติทางเคมี ทางฟิสิกส์ และทางแมคคานิกส์ของดินและซีเมนต์เปลี่ยนแปลงไป ทำให้โครงสร้างดิน-ซีเมนต์ดีขึ้น

2.1.2 ประโยชน์ของดินซีเมนต์

ในปัจจุบันได้มีการวิจัยพัฒนาดินซีเมนต์ไปใช้ประโยชน์ในด้านสิ่งก่อสร้างมากมายรวมทั้งมีการผสมทรายเพิ่มซิลิก้าในดินไปใช้ในงานอื่นๆ นอกจากถนนด้วย

ดินซีเมนต์และอิฐดินซีเมนต์สามารถใช้กับงานก่อสร้างได้หลายประเภท เช่น อาคาร บ้านพักอาศัย ยุ้งฉาง ถังเก็บน้ำฝน บ่อน้ำตื้น หรือแม้แต่รางระบายน้ำ เขื่อนหรือ ฝาย โดยอาจต้องใช้รวมกับวัสดุประเภทอื่นด้วย ในปัจจุบันดินซีเมนต์เคยใช้ในงานก่อสร้างประเภทอาคาร และบ้านพักอาศัยได้ผลดีมาแล้ว คือมีความคงทนและราคาถูกเหมาะสมกับสภาพทางเศรษฐกิจของชาวชนบท

Cement-Treated Soil Mixtured ชนิดต่างๆ ได้รับการปรับปรุงให้เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานชนิดต่างๆ ขึ้นอยู่กับความต้องการและความสะดวกในการทำงาน การนำไปใช้แต่ละชนิดขึ้นอยู่กับคุณสมบัติและความเหมาะสมของงาน

2.1.3 วัตถุดิบที่นำมาใช้ทำ Soil – Cement

2.1.3.1 ดิน

ดินเป็นวัสดุธรรมชาติที่มีปริมาณมากในประเทศไทยและหาได้ง่าย หากนำมาพัฒนาอย่าง ถูกต้องก็อาจจะเป็นวัสดุก่อสร้างที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้มาก ลักษณะดิ นที่เป็นดินปนทรายมีสีแดง หรือมีลักษณะคล้ายๆกับดินลูกรังที่มีความร่วนไม่จับตัวเป็นก้อนอย่างหินผุ และไม่ใช่ดินเหนียวที่นำมาใช้ทำอิฐมอญ ดินดังกล่าวนี้เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำในอัตราส่วนที่เหมาะสมจะเกิดการยึดเกาะกับซีเมนต์เป็นอย่างดี สามารถอัดเป็นแท่งด้วยเครื่องมือที่ใช้แรงคนอัด นำไปผึ่งให้แห้งโดยไม่ต้องใช้เชื้อเพลิงในการเผาจะได้วัสดุที่แข็ง ทนทาน เรียกกัดทั่วๆไปว่า บล็อกดินซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง เป็นผนังของบ้านปร ะเภทบ้านพักอาศัยและอื่นๆ ได้เป็นอย่างดี และมีราคาค่อนข้างถูกเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุก่อสร้างที่มีใช้ในปัจจุบัน

ซึ่งจะช่วยแก้ไขปัญหาด้านวัสดุก่อสร้าง และการใช้แรงงานได้ทั้งสองประการพร้อมๆกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่จะนำไปใช้ในการก่อสร้างเพื่อพัฒนาชนบท [1]

ดินเกือบทุกประเภทสามารถนำมาใช้ทำ Soil – Cement ได้โดยที่ดินเม็ดหยาบจะผสมและบดอัดได้ดีกว่าเม็ดละเอียดและยังประหยัดกว่าอีกด้วย เพราะจะใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อยกว่า เนื่องจากดินเม็ดละเอียดมีพื้นที่ผิวและจุดสัมผัสมากกว่าดินเม็ดหยาบ โดยที่กรมทางหลวงมีมาตรฐานในเรื่องของดินที่จะนำมาใช้ดังต่อไปนี้ (กรมทางหลวง, มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base)

ดินที่ใช้ผสมกับปูนซีเมนต์ต้องมีคุณสมบัติเป็นไปตามที่ได้ระบุไว้ในแบบหรือในรายละเอียดต่อท้ายสัญญา ต้องเป็นวัสดุที่ปราศจากหน้าดิน วัชพืช หรืออินทรียวัตถุอื่นๆ และไม่มีสารอื่นที่อาจเป็นอันตรายต่อคุณภาพของดินซีเมนต์เจือปนอยู่ ห้ามใช้วัสดุจำพวก หินชนวน หรือหินชั้นเนื้อละเอียด

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของดินไว้เป็นอย่างอื่น ดินที่จะใช้ทำดินซีเมนต์จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

มีขนาดคละที่ดี และเมื่อทดลองตามการทดลองที่ ทล . – ท.205/2517 [2] “วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตระแกรงแบบล้าง “มีขนาดเม็ดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตร มีส่วนที่ผ่านต ระแกรงขนาด 2.00 มิลลิเมตร (เบอร์ 10) ไม่เกินร้อยละ 70 และส่วนที่ผ่านตระแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 25

มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. – ท.102/2515 [3] “วิธีการทดลอง หาค่า Liquid Limit ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 40

มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลอง ที่ ทล. ท. 103/2515 [4] “วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 15

มีค่า ความสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล. ท.202/2515 [3] “วิธีการทดลองหาค่า ค่าความสึกหรอของ coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion” ไม่เกินร้อยละ 60

ในกรณีที่ Liquid Limit หรือ Plasticity Index เกินกว่าค่าที่กำหนดจะต้องใช้ปูนขาวผสมเพื่อลดค่าดังกล่าวให้อยู่ในกำหนด แต่ทั้งนี้ต้องไม่น้อยกว่า ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักของดิน

ดินมีลักษณะและคุณสมบัติที่แตกต่างกัน จึงมีวิธีการจำแนกที่ใช้กันในปัจจุบันดังนี้ [5]

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

2. ระบบ Unified Soil Classifiction จำแนกดินออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มเม็ดหยาบ คือ กรวดและทราย และกลุ่มเม็ดละเอียด คือ ดินตะกอน(Silt) และดินเหนียว อีกทั้งยังแบ่งย่อยเป็น

ขนาดคละดี และขนาดคละไม่ดีหรือขนาดคละไม่ได้ เป็นต้น ซึ่งการจำแนกดินในระบบนี้ส่วนใหญ่นำไปใช้ในงานวิศวกรรมธรณีเทคนิค เช่น สนามบิน อาคาร บ้านเรือนฯ

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

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

2.1.3.2 ข้อกำหนดคุณสมบัติของดินและบล็อกประสาน [1]

คุณสมบัติทางเคมีของดิน (Chemical properties)

ซิลิกอนไดออกไซด์	(SiO_2)	อยู่ระหว่าง	75-85 %
อลูมินัมออกไซด์	(Al_2O_3)	อยู่ระหว่าง	8-12 %
เฟอร์ริกอนไซด์	(Fe_2O_3)	อยู่ระหว่าง	1.5-3.5 %
มักเนเซียมออกไซด์	(MgO)	น้อยกว่า	0.5 %
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์	(SO_3)	น้อยกว่า	0.5 %
คัลเซียมออกไซด์	(CaO)	อยู่ระหว่าง	0.01-0.3%
โซเดียมออกไซด์+ โปรตัสเซียมออกไซด์	(Na_2O) (K_2O)	น้อยกว่า	0.60%
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาที่ 1,000^{0}C		น้อยกว่า	5 %

คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) [1]

ปริมาณความชื้นของดิน (Natural Moisture Content)	อยู่ระหว่าง	1.5-2.0%
ความถ่วงจำ เพาะ (specific Gravity)	อยู่ระหว่าง	2.55-2.70%
ค่าพิกัด (ดรรชนี)ความยืดหยุ่น (Plasticity Index)	น้อยกว่า	7%
กำลังต้านทานแรงอัดของบล็อกประสาน (ของแต่ละก้อน) (Compressive strength)	ไม่น้อยกว่า	55 กก. แรง/ชม.^{2}
กำลังต้านทานแรงอัดของบล็อกประสาน (เฉลี่ยจากบล็อก 5 ก้อน) (Compressive strength)	ไม่น้อยกว่า	70 กก. แรง/ชม.^{2}
การดูดซึมน้ำของบล็อกประสาน (Water Absorption)	น้อยกว่า	15% ของน้ำหนักบล็อกประสาน
ความทนทานในการรับน้ำหนัก ค่าแรงอัดควรเพิ่มขึ้นจากเดิม (หลังจากผ่านการทดสอบเปียกและแห้ง 6 รอบแล้ว)	ไม่น้อยกว่า	15%

2.1.3.3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

โดยทั่วไปแล้วดินเกือบทุกชนิดจะทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับประเภทของ Cement – Treated Soil สัดส่วนของซีเมนต์ที่จะใช้จะเปลี่ยนตามค่า Plasticity Index การเปลี่ยนแปลงปริมาตร คุณสมบัติความยืดหยุ่น คว ามคงทน และชนิดของดินที่นำมาปรับปรุงคุณภาพ โดยที่กรมทางหลวงมีมาตรฐานในเรื่องของปูนซีเมนต์ที่จะนำมาใช้ดังต่อไปนี้ [6]

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ ต้องเป็นชนิดปอร์ตแลนด์ ที่มีคุณสมบัติถูกต้องตามมาตรฐาน มอก .15 [7] ประเภท 1 ปูนซีเมนต์ที่อาจบรรจุ อยู่ในไซโลหรือแบบบรรจุถุงก็ได้ ถ้าเป็นแบบบรรจุถุงผู้รับจ้างจะต้องทำโรงเก็บปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เพื่อป้องกันไม่ให้ปูนซีเมนตีชื้น

จากสำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก.15) [7] แบ่งปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 5 ประเภท ดังนี้

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดธรรมดา (Ordinary Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่ผลิตใช้มากที่สุด เหมาะสมปรับงานคอนกรีตทั่วไป ที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษไปกว่าธรรมดา ได้แก่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราช้าง ตราเพชร ตราพญานาคเขียว เป็นต้น

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดดัดแปลง (Modified Portland Cement) เหมาะสำหรับงานคอนกรีตที่เกิดความร้อนและทนซัลเฟตปานกลาง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ตราพญานาคเจ็ดเศียร

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดแข็งเร็ว (High – Early Strength Portland Cement) ปูนซีเมนต์นี้ให้กำลังอัดสูงในระยะแรก เพราะมีความละเอียดมากกว่าปูนซีเมนต์ธรรมดาเหมาะสมหรับการทำคอนกรีตที่ต้องการจะใช้งานรวดเร็วหรือถอดไม้แบบในเวลาอันสั้น ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ตราสามเพชร หรือตราพญานาคสีแดง

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดเกิดความร้อนต่ำ (Low – Heat Portland Cement) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้ครั้งแรกในอเมริกา เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนต่ำ เหมาะสำหรับงานคอนกรีตหลา (Mass Concrete) ปัจจุบันยังไม่มีผลิตในประเทศไทย

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดทนซัลเฟตได้สูง (Sulphate Resistance Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้มี C3A ต่ำเพื่อป้องกันไม่ใช้ซัลเฟตจากภายนอกมาทำลายเนื้อคอนกรีตให้กำลังอัดช้าและให้ความร้อนต่ำประเภทหนึ่ง เหมาะสำหรับโครงสร้างที่มีการกระทำของซัลเฟต ได้แก่ปูนซีเมนต์ตราช้างฟ้า และตราปลาฉลาม

ดังนั้นปูนซีเมนต์ที่ใช้ปรับปรุงคุณภาพดินในการทดลองครั้งนี้จะมี Portland Cement (ASTM C150) [8] Type 1

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกให้เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1-2514 [7] ดังนี้

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้จากนำวัตถุดิบที่มีส่วนผสมของออกไซด์ของ แคลเซียม ซิลิกอน อลูมิเนียม และเหล็กมาบดให้ละเอียดแล้วนำมาผสมกันในอัตราส่วนที่พอเหมาะแล้วป้อนเข้าเตาเผา ซึ่งมีอุณหภูมิประมาณ 1,400 – 1,500 องศาเซลเซียส วัตถุดิบจะหลอมละลายและทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ดปูนเม็ดจะลดอุณหภูมิลงแล้วนำไปบดร่วมกับยิปซัม ปูนซีเมนต์ที่ได้ ประกอบด้วยออกไซด์ 2 กลุ่มใหญ่ คือ

- ออกไซด์หลัก ได้แก่ CaO,SiO_2,Al_2O_3,Fe_2O_3 ซึ่งรวมกันประมาณร้อยระ 90 ของน้ำหนักซีเมนต์
- ออกไซด์รอง ได้แก่ MgO,NaO_2,TiO_2,P_2O_5 และยิปซัม ปริมาณออกไซด์และองค์ประกอบรอง

ตารางที่ 2.1 สัดส่วนของออกไซด์ชนิดต่างๆ ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ [9]

ออกไซด์ชนิดต่างๆ	ร้อยละโดยน้ำหนัก
CaO	60 - 67
SiO_2	17 - 25
Al_2O_3	3 - 8
Fe_2O	0.5 – 6.5
MgO	0.1 – 4.0
Na2O	0.1 – 1.8
K2O	0.1 – 1.8
SO3	0.5 – 3.0
สารประกอบอื่นๆ	0.5 – 3.0
การสูญเสียน้ำเนื่องจากการเผา	0.1 – 30
กากที่ไม่ละลายในกรดและด่าง	0.20– 0.75

2.1.3.4 น้ำ

น้ำเป็นสิ่งที่สำคัญในการทำ Soil – Cement เพราะน้ำช่วยในการบดอัด และทำปฏิกิริยา Cement Hydration โดยที่กรมทางหลวงมีมาตรฐานในเรื่องของน้ำที่จะนำมาใช้ดังต่อไปนี้ (กรมทางหลวง,มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ Soil Cement Base)

น้ำที่นำมาใช้ผสมหรือใช้บ่มพื้นทางดินซีเมนต์จะต้องสะอาดปราศจากสารต่างๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์วัตถุหรือสารอื่นใด ที่จะเป็นอันตรายแก่ชั้นพื้นดินซีเมนต์ ทั้งนี้จะต้องได้รับความเห็นชอบจากนายช่างผู้ควบคุมงานก่อนนำมาใช้ห้ามใช้น้ำทะเลในการผสม หรือบ่ม ชั้นพื้นดินซีเมนต์

2.1.4 การหาอัตราส่วนผสม

ในการหาอัตราส่วนผสมดินซีเมนต์บล็อกนั้นแตกต่างจากการหาอั ตราส่วนผสมของคอนกรีต ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดของวัสดุมวลหยาบและมวลละเอียด ตลอดจนค่าความแข็งแ รงซึ่งขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมระ หว่างน้ำกับซีเมนต์ เนื่องจากดินที่นำมาทำดินซีเมนต์บล็อกจะต้องร่อนผ่านตระแกรงเบอร์ 4 ซึ่งเป็นตระแกรงแบ่งวัสดุมวลหยาบและมวลละเอียดส่วนที่ผ่า นตระแกรงเบอร์ 4 คือดินจึงเป็นมวลละเอียดทั้งสิ้นในการหาอัตราส่วนผสมที่ใช้ดินเป็นมวลหลัก และทำการทดสอบหาปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมด้วยการทดลองใส่ปริมาณซีเมนต์ที่เปอร์เซ็นต์ต่างๆ และดินที่เรานำมาทำดินซีเมนต์บล็อกนั้น จะต้องจัดอยู่ในประเภท Sandy Soil เท่านั้น

จากการทดสอบการแข็งตัวของดินซีเมนต์ประเภทต่างๆ ปรากฏว่าเมื่อเติมดินซีเมนต์ลงในดินนั้นจะมีผลต่อคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของวัสดุแม้การเปลี่ยนแปลงทางฟิสิกส์ที่เกิดขึ้นสามารถวัดและวิเคราะห์ได้ แต่ไม่มี

เหตุที่สามารถจำกัดได้ว่าซีเมนต์เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ไม่มีการคิดค้นทางด้าน Mechanism ว่าเป็นสามารถทำให้ดินรวมตัวกัน เกิดเป็นโครงสร้างวัสดุใหม่ ซึ่งมีการศึกษาดังนี้

วัสดุประสานจะถูกสร้างขึ้นในโครางสร้างของดิน-ซีเมนต์รวมตัวกันเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ผนึกอนุภาคของดินเข้าด้วยกัน คุณสมบัติของดินเมื่อถูกน้ำก็จะพยาย ามแยกตัวออกจากกันและเมื่อใช้ซีเมนต์ช่วยก็จะเพิ่มแรงยึดเกาะในดิน ส่วนผสมของซีเมนต์เพียงเล็กน้อยจะกระขานออกทำปฏิกิริยากับดิน ซึ่งไม่เพียงแต่จะทำให้เกิดแรงยึดเกาะภายใน แต่จะช่วยทำให้เกิดแรงยึดเกาะต่อโครงสร้างของดินด้วย แรงยึดเกาะระหว่างดินและซีเมนต์จะมีผลต่อแรงยึดเกาะของโครงสร้างดิน-ซีเมนต์เมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์จะเพิ่ม Mechanical Strength และน้ำไม่สามารถซึมผ่านได้ การที่น้ำไม่สามารถซึมผ่านได้เกิดจากการก่อตัวของดินซีเมนต์ซึ่งจะทำให้รูพรุนระหว่างเม็ดดินหมดไป เนื่องจากซีเมนต์ทำปฏิกิริยากับน้ำ

Granular Material ปฏิกิริยาของซีเมนต์ที่เกิดขึ้นในวัสดุหยาบ Granular Material คล้ายกับปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในคอนกรีต เพียงแต่ว่า Cement Paste ไม่ได้บรรจุเต็มช่องว่าง แรงยึดเกาะที่เกิดขึ้นเป็นแรงยึดเกาะทาง Mechanic ที่เกิดกับผิวของวัสดุและเกิดแรงยึดเกาะทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับผิววัสดุ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนซีเมนต์ที่มีอยู่เพียงเล็กน้อย แรงยึดเกาะเหล่านี้จะเกิดขึ้นบริเวณที่เม็ดวัสดุสัมผัสกัน การเพิ่มความหนาแน่นให้กับเม็ดวัสดุ จะทำให้แรงยึดเกาะระหว่างซีเมนต์กับวัสดุเพิ่มมากขึ้นด้วย ความมั่นคงของวัสดุขึ้นอยู่กับจำนวนจุดสัมผัส ซึ่งแสดงให้เห็นว่าทรายที่มีเม็ดเท่ากันตลอดต้องการปริมาณซีเมนต์มากกว่าวัสดุพวก Well Grade

Cement Stabilization ของดินเหนียว และดินปนทรายต้องการปริมาณซีเมนต์สูงกว่าพวกวัสดุเม็ ดหยาบ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพื้นที่ผิวและบริเวณผิวสัมผัสมากกว่าวัสดุเม็ดละเอียดการเกิด Flocculation และ Agglomeration ของดินปนทรายและดินเหนียวจะทำให้ปริมาณซีเมนต์ลดลง การเพิ่มแรงยึดเกาะของซีเมนต์กับวัสดุเกิดจาก Agglomeration แร่ธาตุในดินเหนียว Clay Mineral จะอยู่ภายใต้การทำปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ซึ่งจะควบคุมความมั่นคงของดินเมื่อผสมกับซีเมนต์

Factor Affection Cement Stavilizationm Cement Content ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้เป็นส่วนประกอบข้อแรกสำหรับใช้ควบคุมคุณภาพของความมั่งคงตลอดจนการทำให้วัสดุมั่นคงโดยใ ช้ซีเมนต์ โดยทั่วไปความมั่นคงของดินจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณซีเมนต์ อัตราของความมั่นคงของดินที่เพิ่มขึ้นอยู่กับดินที่ถูกทำให้มั่นคง แรงยึดเกาะของดินเม็ดทรายหยาบ (Granselar Soil) เพิ่มขึ้นเร็วกว่าดินเม็ดละเอียด (Fined Grained Soil) เมื่อใช้ซีเมนต์ปริมาณเท่ากัน ซีเมนต์ที่ใช้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของดินเหนียว และสามารถหาได้จากผลของการทดลองในห้องทดลอง

ตารางที่ 2.2 แสดงค่ากำลังอัดเฉลี่ยของแท่นทดสอบปริซึมที่ปรับแก้ผลจากอัตราส่วนความซะลูด [10]

ความชื้น (%)	ค่าอัตราส่วนผสมระหว่างดินกับซีเมนต์				
	SC 1:4 (Ksc)	SC 1:6 (Ksc)	SC 1:7 (Ksc)	SC 1:8 (Ksc)	SC 1:10 (Ksc)
6	90.96	78.97	74.38	58.44	50.51
7	96.28	84.17	81.89	68.80	55.16
8	100.70	96.41	89.15	80.13	59.36
9	107.59	105.86	95.70	90.01	65.79
10	112.80	111.84	101.80	96.42	73.46
11	124.38	119.22	105.72	101.24	81.61
12	134.51	124.63	107.81	83.02	69.89
13	129.21	118.90	103.26	75.73	-

จากตารางที่2.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดของแท่งทดสอบปริซึมที่ปรับแก้ผลจากอัตราส่วนผสมต่างๆ กับค่าความชื้นที่เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2.3 การเปรียบเทียบค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีตบล็อกก้อนตันที่ผสมซิเมนต์และไม่ผสมซิเมนต์[10]

อัตราส่วนผสมซีเมนต์:ดิน	กำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดของบล็อกก้อนตัน (Ksc)	อัตราการเพิ่มขึ้นของกำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดของบล็อกก้อนตัน(เท่า)
1:4	331.79	12.04
1:6	289.84	10.52
1:7	250.72	9.10
1:8	240.25	8.72
1:10	189.80	6.89
ไม่ผสมซีเมนต์	27.55	1.00

2.1.5 การเตรียมดิน

2.1.5.1 ร่อนดิน ไม่ว่าจะเป็นการเตรียมเพื่อทดสอบหรือทำดินซีเมนต์บล็อกก็ตามต้องผ่านการร่อนเสียก่อน การร่อนนั้นให้ร่อนผ่านตะแกรงมาตรฐาน เบอร์ 4 มีขนาด 4.5 มิลลิเมตร

2.1.5.2 ในการทดสอบนั้นเราใช้ตะแกรงของการวิเคราะห์ขนาดเม็ดดิน Sieve Analysis แต่ในการทำนั้นตะแกรงมีขนาดร่อนได้ช้า เราอาจใช้ตะแกรงที่มีรูขนาดเท่ากันซึ่งอาจจะทำจากลวดตาข่ายก็ได้ ในกรณีดินที่มีความชื้นมากเกินไปทำให้ร่อนลำบากเราจึงควรตากดินในระยะแรกให้แห้งเสียก่อน ถ้าหากดินจับตัวเป็นก้อนก็ควรทุบด้วยค้อนยางหรือไม้ให้แตกก่อน แต่ในการผลิตนั้นเราเพิ่มประสิทธิภาพเพื่อความรวดเร็วโดยใช้เครื่องบด ซึ่งอาศัยหลักการเดียวกับเครื่องบดน้ำแข็ง ด้านบนจะเป็นปล่องใส่ดิน ภายในเครื่องจะเป็นลูกกลิ้งทรงกระบอกหมุนบดอัดอยู่แล้วดินที่บดอัดแล้วจะไหลออกมาสู่ด้านล่าง

2.1.5.3 ตากดิน เมื่อดินที่ผ่านการร่อนแล้ว ในการทดสอบจะนำไปอบให้แห้งสนิทในเตาอบที่ 200 องศาเซนติเกรด ส่วนการทำนั้นจะนำดินไปเกลี่ยบนลานที่ปรับหน้าเรียบและอัดแน่นแล้ว อาจจะรองด้วยผ้าพลาสติกหรือเป็นพื้นคอนกรีตยิ่งดี เพราะจะทำให้ดินสะอาดไม่ผสมกับดินบริเวณใกล้เคียง ในทางปฏิบัติเราจะต้องตากดินไว้ในที่มีแดดประมาณ 10 ชั่วโมง และก่อนนำไปใช้ควรพิจารณาว่าดินแห้งอย่างทั่วถึงแล้วอาจจะทำได้โดยการพลิกดินกลับทุกๆ ระยะ 3-4 ชั่วโมง

2.1.6 การผสม

2.1.6.1 เครื่องชั่ง ควรเป็น เครื่องที่ชั่งน้ำหนักได้ละเอียดถึง 5 กรัม ขนาดเครื่องชั่งขึ้นอยู่กับปริมาณและลักษณะการผลิตสำหรับการผลิตในสนาม

2.1.6.2 ภาชนะตรงวัสดุ ควรมีภาชนะสำหรับตวงดินหรือซีเมนต์และภาชนะตวงน้ำ ขนาดภาชนะให้เป็นไปตามลักษณะการทำสำหรับงานผลิตในสนาม ภาชนะตวงผ่านการทดสอบหาน้ำหนักของวัสดุดินภาพแห้งหลวมและน้ำต่อ 1 ภาชนะตวงแล้วเขียนกำกับไว้ที่ภาชนะตวงให้เรียบร้อยและเห็นได้ชัดเจนก่อนนำไปใช้ในสนาม

2.1.6.3 กระบะผสม จะเป็นกระบะไม้หรือเหล็กก็ได้ แต่ต้องไม่มีรอยรั่ว เพื่อป้องกันน้ำที่ผสมสูญหาย

2.1.6.4 เครื่องมือผสม โดยมากใช้จอบพลั่วและอาจจะใช้มือช่วยทำให้การคลุกเคล้าดีขึ้น

การผสมนั้นเมื่อตวงส่วนผสมคือดินกับซีเมนต์ใส่ในกระบะผสมแล้ว ให้ใช้จอบพลั่วทำการคลุกเคล้าจนเข้ากันในอัตราส่วนที่ได้คำนวณมาแล้ว ผสมจนดินซีเมนต์เป็นสีเดียวกันตลอด แล้วจึงเริ่มเติมน้ำทีละเล็กน้อยอย่างทั่วถึงจนถึงสัดส่วนที่คำนวณไว้ คลุกเคล้าให้ความชื้นกระจายไปอย่างทั่วถึงในช่วงนี้การใช้มือช่วยคลุกเคล้าจะให้ผลดีมาก ในการผสมอาจจะใช้เครื่องผสมแทนก็ได้ แต่เนื่องจากเป็นเครื่องผสมคอนกรีตจึงให้ผลได้ไม่ดีเท่าที่ควร

2.1.7 ระยะเวลาในการผสม (Mixing Time)

ขึ้นอยู่กับประเภทของเครื่องมือและวิธีการที่ใช้ (Equipment & Mixing technique) โดยปกติการใช้เครื่องผสมจะให้ผลดีและประหยัดปูนซีเมนต์กว่าการผสมด้วยมือ

โดยปกติสำหรับเครื่องผสมไม่ควรน้อยกว่า 3-4 นาที นับตั้งแต่เติมน้ำ (หากน้อยกว่ากำหนดเอกสารทางวิชาการระบุว่าจะทำให้กำลังอัดของบล็อกต่ำลงจนถึงร้อยละ 20)

ในการผสม ให้เติมดิน (แห้ง) ลงในเครื่องผสมก่อนเติมปูนซีเมนต์ลงไปให้เข้ากันดี การเติมน้ำให้ เติมหลังสุดเมื่อพร้อมที่จะเริ่มทำ การอัดบล็อก

2.1.8 ช่วงเวลาการนำ ส่วนผสมไปใช้งาน (Hold-back time)

เป็นอีกเรื่องหนึ่งที่มีความสำ คัญในกระบวนการผลิต หลังจากเติมน้ำในส่วนผสมและคลุกเคล้าเข้ากันดีแล้ว จำ เป็นต้องนำ ไปใช้อัดบล็อกให้เร็วที่สุด เนื่องจากปฏิกิริยาทางเคมีที่เปลี่ยนแปลงโครงสร้าง และเริ่มแข็งตัวเป็นบางส่วนของส่วนผสม

โดยปกติควรใช้ส่วนผสมให้หมดภายในครึ่งชั่วโมง จากเอกสารวิชาการพบว่าการล่าช้าตั้งแต่ 1-2 ชั่วโมง อาจทำ ให้คุณภาพของบล็อกลดลงมากว่าครึ่งเช่นเดียวกับการเติมน้ำเพิ่มเข้าไปในส่วนผสม แล้วคลุกเคล้าใหม่ภายหลังระยะเวลาดังกล่าว แล้วนำ ไปอัด

2.1.9 คุณสมบัติของดินที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว

คุณสมบัติของดินที่ปรับปรุงคุณภาพแล้ว คุณสมบัติทางกลและ คุณสมบัติทางกายจะเปลี่ยนแปลงไป คือ คุณสมบัติทางกลจะเพิ่มขึ้นอย่างมากในด้านความแข็งแรงและโมดูลัสของการเปลี่ยนรูป (Modulus of Deformation) เมื่อเทียบกับดินก่อนการปรับปรุงดินที่ปรับปรุงคุณภาพแล้วจะกลายเป็น Brittle Material ซึ่งลักษณะของการวิจัยจะวิบัติที่ค่าความเครียดต่ำ (Stain Failure) ส่วนคุณสมบัติทางกายภาพที่เปลี่ยนแปลงไป คือ Water Content ของดินที่ได้รับปรับปรุงคุณภาพจะสูงขึ้นไป ขณะที่ Unit Weight จะต่ำลง สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของดินที่ได้รับการปรับปรุงคุณภาพจะต่ำลง

ในการทดสอบคุณสมบัติของดินในสนามแม้ว่าจะให้ผลสอดคล้องกับผลการทดลองในห้องปฏิบัติการก็ตาม แต่ผลที่ได้รับจากการทดลองในสนามยังไม่มีความแน่นอนมากนักเนื่องจากความยากลำบากในการเก็บตัวอย่าง และการทดสอบตัวอย่างขนาดใหญ่

2.1.10 องค์ประกอบที่มีผลต่อกำลังของดินเมื่อผสมด้วยซีเมนต์

2.1.10.1 ปริมาณซีเมนต์ (Cement Content) เมื่อปริมาณซีเมนต์เพิ่มขึ้นกำลังของดินที่ผสมซีเมนต์จะมีค่าเพิ่มขึ้น และคุณสมบัติของ Soil – Cement ก็จะดีขึ้น และอัตราการเพิ่มกำลังของ Soil-Cement ยังขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเบื้องต้นของดินด้วยค่าการยึดเกาะของดินเม็ดหยาบจะเพิ่มขึ้นสูงและเร็วกว่าดินเม็ดละเอียดที่ปริมาณซีเมนต์เดียวกัน

2.1.10.2 ชนิดของปูนซีเมนต์ (Type of Cement) จากการศึกษาและทดลองโดยใช้ปูนซีเมนต์แต่ละประเภทปรากฏว่าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 ที่ผสมดินจะให้กำลังอัดสูงกว่าประเภทที่ 1 ที่ปริมาณซีเมนต์และอายุการบ่มเท่ากัน

การใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 เหมาะสมหรับงานก่อสร้างถนน จะประหยัดและมีประโยชน์มากกกว่าใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แต่การก่อสร้างถนนที่ต้องทนทานต่อการกัดกร่อนของ Sulphate ค่อนข้างสูงเช่น บริเวณที่ใกล้กับทะเลควรใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ในการก่อสร้าง จะประหยัดกว่าใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1

2.1.10.3 คุณสมบัติของดิน ปริมาณดินเหนียวและส่วนประกอบของแร่ดินเหนียวจะได้ ค่ากำลังรับแรงอัดของ Soil-Cement จะอยู่ในช่วงน้อยกว่า 50 ปอนด์/ตารางนิ้ว ถึง 1500 ปอนด์/ตารางนิ้ว เมื่อผสมดินด้วยซีเมนต์ร้อยละ 10 ในดินต่างชนิดกันโดยทั่วไปกำลังของ Soil – Cement จะลดลงในขณะที่ปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้น โดยการทดสอบเพื่อหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Modulus of Elasticity ที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดกับปริมาณดินเหนียว

ส่วนดินที่มีสารอินทรีย์ปน (Organic Soil) ทำให้มีการพัฒนากำลังของดินต่ำทั้งการผสมกับปูนขาวและปูนซีเมนต์ นอกจา กนี้ปริมาณน้ำในดินจะทำให้การพัฒนากำลังของดินต่ำทั้งการผสมปูนขาวและปูนซีเมนต์เช่นกัน

2.1.10.4 องค์ประกอบทางเคมีของดิน Ruenkrairergsa (1982) ได้รายงานว่าองค์ประกอบทางเคมีของดินจะมีอิทธิพลอย่างมากต่อการปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียว และดินตะกอน มากกว่าดินชนิดหยาบ การดูดซับ Cation ของดินเหนียวจะมีอิทธิพลต่อกำลังของ Soil-Cement ดินเหนียวที่มี Calcuim Ion เมื่อนำมาผสมกับซีเมนต์จะให้กำลังมากกว่าดินเหนียวที่มี Sodium Ion ผสมอยู่ ส่วนดินเหนียวที่มี Hydrogen Ion ผสมอยู่ ไม่ควรนำมาปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์ สำหรับดินที่มี Organic Matter ที่สามารถเน่าเปื่อยได้จะมีผลกระทบน้อยกว่าพวก Glucos และ Tartaric Acid ในกรณีของดินที่มีสารจำพวก Sulphate ผสมอยู่จะเหมาะสมกว่า สอดคล้องกับ Terrel และคณะ (1979) ที่พบว่าดินที่มีส่วนประกอบของ Organic Compounds เช่น Nuclcic และ Dcxtrosc Acid ผสมอยู่จะมีผลต่อการเกิดปฏิกิริยา Cement Hydration และกำลังที่ได้จะ

2.1.11 อุณหภูมิในการบ่ม (Curing Temperature) อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะมีผลต่อการเร่งปฏิกิริยาเคมี และความสามารถในการละลายของซิลิเกตและอลูมิเนต ด้วยเหตุนี้จึงทำให้อัตราการพัฒนาของดินซีเมนต์และความสมบูรณ์เพิ่มขึ้น

วิธีการบ่ม (Drying Method) ระยะเวลาในการบ่มและวิธีการบ่ม มีความสำคัญมากต่อคุณภาพคุณสมบัติและการประหยัดปูนซีเมนต์

2.1.11.1 วิธีการบ่ม

อาจจำแนกได้เป็น 4 วิธี ซึ่งให้ผลดีน้อยที่สุดไปหามากที่สุด ดังนี้

1) การบ่ม โดยทิ้งไว้ในที่โล่ง (Expose to Sun and Wind)

2) การบ่ม ในที่ร่มป้องกันจากแดดและลม (Protected from Sun and Wind)

3) การบ่ม โดยคลุมด้วยกระสอบขึ้นรดน้ำ (Covered by wet bag)

4) การบ่ม โดยควบคุมความชื้นสัมพันธ์ ร้อยละ 100 (100 % Relative humidity)

2.1.11.2 ระยะเวลาในการบ่ม

โดยปกติบล็อกประสานเมื่อบ่มที่อายุ 28 วันจะสามารถรับกำ ลังได้ประมาณร้อยละ 60-70 ของกำ ลังสูงสุดในระยะยาว (กำ ลังอัดหลังจาก 1 ปี จะเพิ่มขึ้นร้อยละ 40 และเพิ่มขึ้นร้อยละ 50 ภายใน 1 ปี) ดังนั้น จึงควรบ่มประมาณ 28 วัน และอย่างน้อยที่สุด 14 วัน)

2.1.11.3 ข้อแนะนำ ในการบ่ม มีดังต่อไปนี้

การใช้ปริมาณซีเมนต์ในอัตราส่วนที่สูง และ/หรือมีการอัดที่แน่นมากขึ้น จะเพิ่มคุณภาพของบล็อก

หากใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่เหมาะสม การบ่มโดย 3 วิธีแรกจะให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนัก แต่จะดีมาก (ความสามารถกำ ลังอัดเพิ่มขึ้นอีก 1/3) หากใช้การบ่มวิธีที่ 4

ควรหลีกเลี่ยงการบ่มโดยวิธีที่ 1 โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากใช้สัดส่วนปูนซีเมนต์ที่น้อย

2.1.12 กำลังรับแรงอัดของอิฐดินซิเมนต์

การอัด (Compression)

โดยปกติดินส่วนผสมที่ใช้อัดจะมีความหนาแน่น (density) ประมาณ 1,000-1,400 กก./ลบ.ม. ภายหลังการอัดควรมีความหนาแน่นอย่างต่ำประมาณ 1,700 กก./ลบ.ม. [11]

บล็อกที่ถูกอัดออกมาแล้ว ควรมีน้ำหนักระหว่าง 4.75-5.00 กก. และมีความหนาแน่นระหว่าง 1,740-1,900 กก./ลบ.ม. ซึ่งโดยปกติจะให้ค่าความต้านแรงอัดได้ถึง 70 กก./ตร.ซม. ที่อายุ 28 วัน [11]

มาตรฐานบล็อกดินซิเมนต์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแงประเทศไทย ได้ประสานมาตรฐานของอิฐบล็อกดินซิเมนต์ไว้ดังนี้

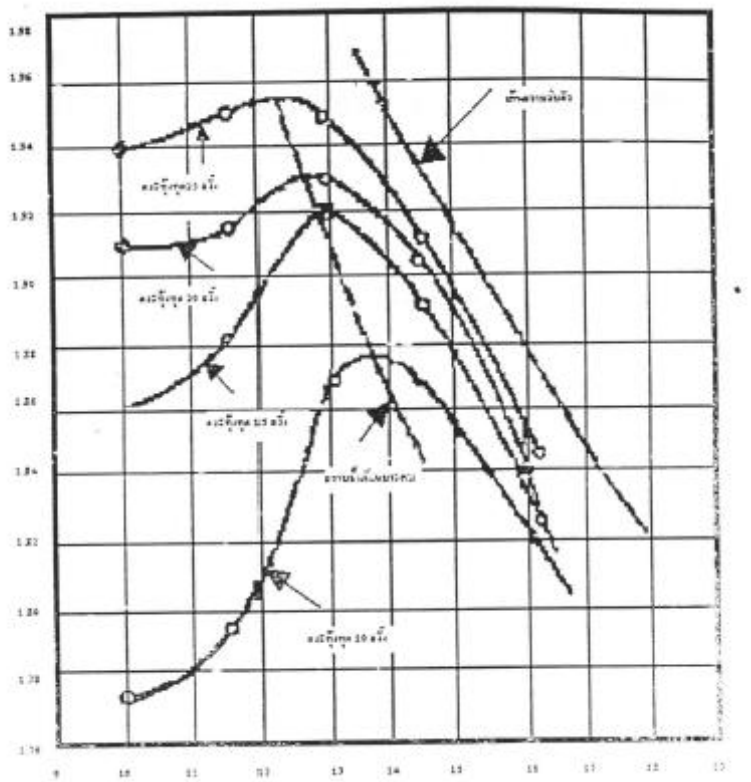
ตารางที่ 2.4 มาตรฐานความต้านทานแรงอัดและการดูดกลืนน้ำของบล็อกรับน้ำหนัก [11]

ชั้นคุณภาพ ดูหมายเหตุ	ความต้านทานแรงอัดต่ำสุด เมกะพาสคัล				การดูดกลืนน้ำสูงสุดเฉลี่ยจาก 5 ก้อน กก./ลบ.ม					
	เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิ		ความหนาแน่นแห้งของบล็อก กก./ลบ.ม					
	เฉลี่ยจากบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน	เฉลี่ยจากบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน	1,680 และน้อยกว่า	1,681 ถึง 1,760	1,761 ถึง 1,840	1,841 ถึง 1,920	1,921 ถึง 2,000	มากกว่า 2,000
ก	7.0	5.5	14	11	240	224	208	192	176	160
ข	7.0	5.5			288	272	256	240	224	208
ค	5.0	4.0								

หมายเหตุ ดูวัตถุประสงค์ในการใช้คอนกรีตบล็อกชั้นคุณภาพต่างๆ ตามตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 วัตถุประสงค์ในการใช้คอนกรีตบล็อกชั้นคุณภาพต่างๆ [11]

ลักษณะของกำแพง	ป้องกันผิว	ไม่ป้องกันผิว
กำแพงฐานรากและกำแพงชั้นฐาน	ชั้นคุณภาพ ก และ ข	ชั้นคุณภาพ ก
กำแพภายนอก (เหนือระดับดิน)	ชั้นคุณภาพ ก,ข และ ค	ชั้นคุณภาพ ก
กำแพงภายใน	ชั้นคุณภาพ ก,ข และ ค	ชั้นคุณภาพ ก,ข และ ค



รูปที่ ที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของเม็ดดินต่อปริมาณน้ำในมวลดินภายใต้แรงกดที่ต่างกัน [12]

คุณสมบัติทางกายภาพ

ตารางที่ 2.6 คุณสมบัติทางกายภาพ สำหรับบล็อกรับน้ำหนัก (Load-bearing soil-cement block)

กำลังต้านทานแรงอัดของบล็อก (Compressive Strength) (ค่าเฉลี่ยของบล็อก 5 ก้อน ที่ อายุ 28 วัน)	ไม่น้อยกว่า	70 กก. แรง/ตร.ซม.
กำลังต้านทานแรงอัดของบล็อก (Compressive Strength)	ไม่น้อยกว่า	55 กก. แรง/ตรงซม. แต่ละก้อน
การดูดซึมน้ำของบล็อก (Water absorption)	ไม่น้อยกว่า	15% (ของน้ำหนักบล็อก)
ความทนทานในการรับน้ำหนัก (Durability)	ค่าความต้านทานแรงอัดควรเพิ่มขึ้นจากเดิมหลังจากการทดสอบเปียกและอบ แห้ง 6 รอบ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 15	

ขนาดของบล็อกและความคลาดเคลื่อน บล็อกประสาน วท. แบบตรงสำหรับก่อผนังอาคารมีขนาดกว้างxยาวxสูง เท่ากับ 1.24x24.8x9.5 ซม.(ไม่รวมดอก)ความคลาดเคลื่อน ไม่ควรเกิน +1,+2+-1มม. ตามลำดับ

2.2 เครื่องอัด

ประณต กุลประสูติ [13] กล่าวถึงประวัติเครื่องอัดบล็อกดินซีเมนต์ไว้ว่า เครื่องมือที่ใช้ในการอัดบล็อกหรือแท่งดินซีเมนต์ได้แก่ เครื่องชินวาแรม (cinva ramblock moulding machinc) บล็อกที่ผลิตในระยะแรกเป็นบล็อกแบบตัน มี 2 ชนิดได้แก่ ชนิดก้อนเต็มและชนิดครึ่งก้อน ชนิดเต็มก้อ นมี 2 ขนาดได้แก่ ขนาดก้อนหนา 19 เซนติเมตร กว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 29 เซนติเมตร ชนิดครึ่งก้อน 2 ขนาดได้แก่ ขนาดก้อนหนา 9 เซนติเมตร กว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 14.3เซนติเมตร และขนาดหนา 7 เซนติเมตร กว้าง 14 เซนติเมตร ยาว 14.3 เซนติเมตร และต่อมามีการพัฒนารูปแบบของบล็อกเพื่อให้มีน้ำหนักเบาบางลงและสามารถจับปูนก่อได้ดีขึ้น บล็อกดินซีเมนต์ในปัจจุบันเป็นผลมาจากการพัฒนาเครื่องอัดบล็อกที่เรียกเครื่องซิวาแรม โดยนายฉัตรศิริ ธรรมารณ์ จากสถาบันวิจัยวิทายาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กับ DR.A Bruce Etherington จากสถาบันเทคโนโลยีเอเชีย (AIT) ได้ร่วมกันพัฒนาเครื่องอัดบล็อกขึ้นใหม่ ให้มีรู มีร่อง และเดือยให้ประสารกันทั้งแนวนอนและแนวดิ่ง สามารถวางซ้อนกันได้ครั้งละหลายๆแถว รูบล็อกยังเป็นที่สำหลับหยอดน้ำปูนทรายเชื่อมระหว่างบล็อกที่วางซ้อนกันจึงทำให้ผนังที่ก่อมีความแข็งแรง สามารถรับน้ำหนักต่างๆได้ โดยไม่ต้องใช้เสา ยังสามรถก่อได้ที่ละหลายๆชั้น จึงไม่เพียงจะก่อให้เกิดความเรียบร้อย สวยงามและประหยัดเวลา ในการก่อสร้างเท่านั้นแต่จะช่วยให้ผนังที่ก่อเกิดความแข็งแรงอีกด้วย โดย ไม่ต้องใช้เสาและทับหลัง ปัจจุบันเครื่องอัดอิฐบล็อกประสานมีการผลิตออกมา 2 แบบคือ เครื่องอัด ไฮดรลิกส์ กับเครื่องอัดด้วยแรงคน

2.2.1 เครื่องอัดแรงงคน

เครื่องอัดด้วยแรงคน เป็นเครื่องมืออัดบล็อกดินซีเมนต์โดยการอัดด้วยแรงงานคน เหมาะสำหรับงานขนาดเล็ก – ขนาดกลาง เป็นเครื่องมืออัดด้วยแรงคนแบบมือโยกสามารถเคลื่อนย้ายไปใช้ในสถานที่ก่อสร้างได้สะดวกการใช้งานบำรุงรักษาไม่ยุ่งยาก สามาผลิตได้วันละประมาณ 100 – 500 ก้อน ขึ้นอยู่กับแรงงานและความชำนาน [14]

ควรหาปริมาณการเติม ให้ได้ปริมาตร/น้ำหนัก ที่มากเพียงพอและเหมาะสมแก่กำลังอัดของเครื่อง/การใช้แรงโยก (ประมาณ 4.75-50 กก.) การเติมในปริมาตรที่สม่ำเสมอเป็นสิ่งจำเป็น

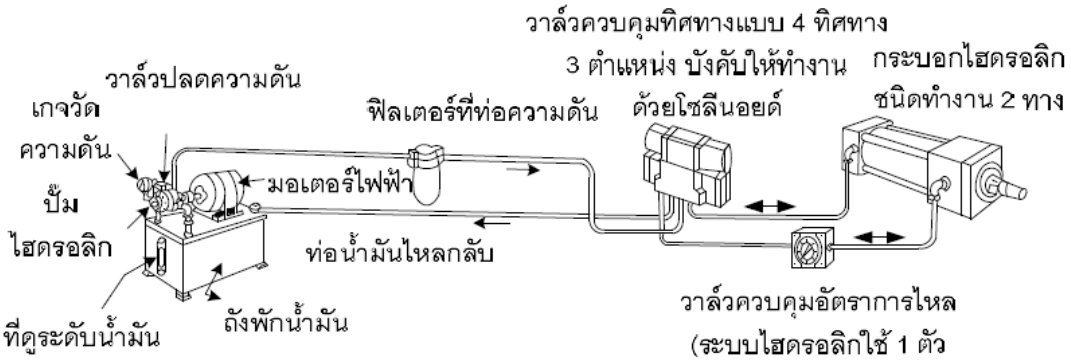
2.2.2 เครื่องอัดไฮดรอลิก

1.เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ เป็นเครื่องอัดแบบอุตสาหกรรมขนาดย่อมหรือในระดับหมู่บ้านโดยพัฒนาจากเครื่องมือโยกมาเป็นเครื่องอัดไฮดรอลิกส์โดยใช้พลังงานไฟฟ้าสามารถผลิตได้วันละประมาณ 1,000 – 1,300 ก้อน อัดที่ละ 2 ก้อนราคาเครื่องอยู่ระหว่าง 100,000 – 200,000 บาท [14]

2.3 ระบบไฮดรอลิก

คำว่า Hydraulic มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ hydro หมายถึง น้ำ และ aulis ซึงหมายถึงท่อ (pipe) เดิมคำว่า hydraulic จึงหมายถึงเฉพาะการไหลของน้ำ ในท่อเท่านั้น แต่ปัจจุบันคำนี้ หมายถึงการไหลของของเหลวทุกชนิดที่ใช้ในระบบเพื่อเป็นตัวกลางการถ่ายทอดกำลังงานในการเปลี่ยนแปลงกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล คือ ทำให้กระบอกสูบไฮดรอลิกและมอเตอร์ไฮดรอลิกทำงาน ตัวอย่างงาน เช่น ระบบเบรกในรถยนต์ แม่แรงไฮดรอลิก เครื่องอัด เกียร์อัตโนมัติ เครน กว้าน รถแทรกเตอร์ และเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆระบบไฮดรอลิกจะต้องมีอุปกรณ์พื้นฐานในการทำงานดังนี้

1. อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิก
2. อุปกรณ์เก็บและปรับปรุงคุณภาพน้ำมันไฮดรอลิก
3. อุปกรณ์สร้างการไหล
4. อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน
5. อุปกรณ์การทำงาน
6. อุปกรณ์ในระบบท่อทาง



ภาพที่ 2.2 อุปกรณ์พื้นฐานในการทำงานของระบบไฮดรอลิก

อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิก ทำหน้าที่เป็นต้นกำลังในการขับเคลื่อนปั๊มน้ำมันไฮดรอลิกเพื่อส่งจ่ายให้แก่ระบบไฮดรอลิก ประกอบด้วยเครื่องยนต์หรือมอเตอร์ไฟฟ้า

อุปกรณ์เก็บและปรับปรุงคุณภาพน้ำ มันไฮดรอลิก ทำหน้าที่เป็นที่พักของน้ำมันขจัดสิ่งสกปรก ขจัดฟองอากาศ และระบายความร้อนของน้ำ มันไฮดรอลิก ประกอบด้วยถังพักน้ำ มันไฮดรอลิก ไส้กรองน้ำมันไฮดรอลิก และอุปกรณ์ประกอบอื่ นๆ ที่ใช้กับถังพักน้ำมันอุปกรณ์สร้างการไหล ทำหน้าที่สร้างอัตราการไหล ประกอบด้วย ปั๊มไฮดรอลิก อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน หมายถึงวาล์วควบคุมชนิดต่างๆ ในระบบไฮดรอลิก เช่น วาล์วควบคุมทิศทางการไหลใช้ควบคุมทิศทางการเคลื่ อนที่ของก้านสูบ วาล์วควบคุมอัตราการไห ลใช้จำกัดปริมาณน้ำมันที่เข้าลูกสูบเพื่อควบคุมความเร็ว ของก้านสูบ วาล์วควบคุมความดันใช้ควบคุมความดันในระบบอุปกรณ์การทำงาน ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังงานกล ในกระบอกสูบไฮดรอลิก หรือมอเตอร์ไฮดรอลิก อุปกรณ์ในระบบท่อทาง ทำหน้าที่ เป็นท่อทาง การไหลของน้ำ มันไฮดรอลิกในระบบประกอบด้วย ท่อ สายน้ำมันไฮดรอลิก ข้องอ และข้อต่อชนิดต่างๆ เนื่องจากอุปกรณ์ในระบบไฮดรอลิก แต่ละอย่างมีความสำคัญด้วยกันทั้งสิ้น

2.3.1 การใช้งานระบบไฮดรอลิก

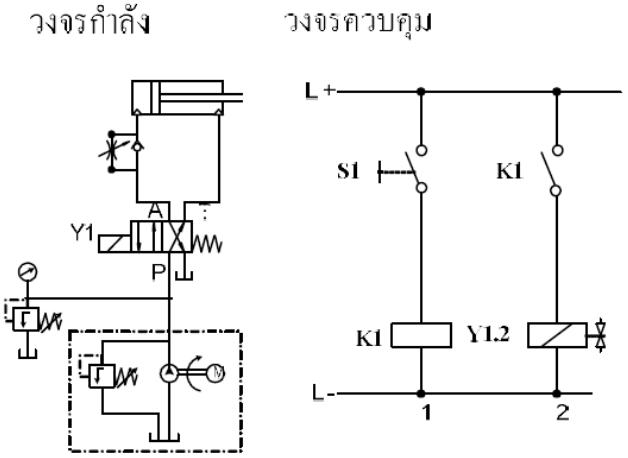
ขอบข่ายงานต่างๆ ที่นำเอาระบบไฮดรอลิกไปใช้งานนั้น แบ่งออกได้เป็น 5 ส่วนคือ

1. ระบบไฮดรอลิกในโรงงานอุตสาหกรรม
2. ระบบไฮดรอลิกในอุตสาหกรรมเหล็กกล้า งานวิศวกรรมโยธา และสถานีเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
3. ระบบไฮดรอลิกในยานยนต์อุตสาหกรรม
4. ระบบไฮดรอลิกในเรือเดินทะเล
5. ระบบไฮดรอลิกในงานเทคนิคเฉพาะอย่าง

ระบบไฮดรอลิกในโรงงานอุตสาหกรรม ในงานอุตสาหกรรมได้มีการนำระบบไฮดรอลิกไปใช้ในเครื่องมือต่างๆ ตัวอย่างเช่น เครื่องฉีดพลาสติก เครื่องฉีดอะลูมิเนียม แท่นอัดชิ้นงานเครื่องป้อนและตัดชิ้นงาน เครื่องพับ เครื่องตัดชิ้นงาน เครื่องประกอบขึ้นรูปชิ้นงาน และเครื่องกลึงและเจียระไน เป็นต้น

3.3.2 วงจรไฮดรอลิกไฟฟ้า

ระบบไฮดรอลิกไฟฟ้านั้น จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่สำคัญ เช่น ชุดต้นกำลัง วาล์วควบคุมความดัน วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของน้ำ มัน วาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำมัน อุปกรณ์ทำงาน และอุปกรณ์ประกอบอื่นๆ การควบคุมวงจรไฮดรอลิกนั้น ก็สามารถกระทำได้หลายวิธีด้วยกัน เช่น การควบคุมด้วยไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ การควบคุมไฮดรอลิกด้วยอุปกรณ์และวงจรไฟฟ้านั้น จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการควบคุมระบบ นิวแมติกส์



ภาพที่ 9.23 การควบคุมไฮดรอลิกไฟฟ้า

ความหมายของระบบไฮดรอลิก เป็นการส่งกำลังจากต้นทางไปยังปลายทาง โดยอาศัย ของเหลวหรือน้ำมันไฮดรอลิกเป็นตัวกลางในการส่งกำลัง หรือการควบคุมสามารถควบคุมด้วย น้ำมันและไฟฟ้าด้วย PLC ได้ เพราะฉะนั้น ในงานอุตสาหกรรมที่ใช้ระบบไฮดรอลิกจำเป็นต้องมีการออกแบบการควบคุมการทำงานของเครื่องจักรเพื่อ ให้ได้ตามความต้องการ ส่วนประกอบในการควบคุมระบบไฮดรอลิก มีส่วนประกอบดังนี้ อุปกรณ์ต้นกำลังไฮดรอลิก อุปกรณ์ปรับปรุงคุณภาพน้ำ มนันไฮดรอลิก อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน อุปกรณ์ควบคุมการไหล อุปกรณ์ทำงาน การควบคุมระบบไฮดรอลิกไฟฟ้าด้วย PLC แบ่งเป็นลักษณะการควบคุมดังนี้ ควบคุมการทำงานทางตรง การควบคุมการทำงานทางอ้อม การควบคุมการทำงานค้างตำแหน่ง การควบคุมการทำงานแบบต่อเนื่อง และการควบคุมความเร็ว เป็นต้น

2.4 กำลังการผลิต

ปริมาณการผลิตและประสิทธิภาพของเครื่องจักร-อุปกรณ์ สำหลับบล็อกประสาน วท. : ดินซีเมนต์ [11]

	จำนวน		กำลังผลิต	ปูนซีเมนต์[1]	ดิน[2]	ดิน(ก่อนบด)		ดิน (บดแล้ว)[3]	
	เครื่อง	คน	(ก้อน/8 ชั่วโมง)	1:7 (ถุง)	คัน/วัน	ลบ.ม.	ตัน	ลบ.ม.	ตัน
เครื่องอัดแบบมือโยก (แรงคนครั้งละ 1 ก้อน)	1	5	500	5.5	0.11		1.76	1.36	1.68
เครื่องอัดแบบมือโยก	2	9	1,000	11	0.22		3.52	2.72	3.36
เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ (ครั้งละ 2 ก้อน)	1	5	1,400	15.5	0.3		4.94	3.81	4.72
เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ (ครั้งละ 2 ก้อน)	2	9	2,800	31	0.6		9.88	7.62	9.44
เครื่องระบบพร้อมสั่น (ครั้งละ 2 ก้อน)	1	9	800-1,000	-					
เครื่องไส-ปรับขนาดบล็อก	1		1,920-2,880	-					
เครื่องผสมวัตถุดิบ 0.80 ม.	1	NA	NA						
เครื่องผสมวัตถุดิบ 1.00 ม.	1		1,400-2,880	16-32					
เครื่องร่อน-บดดิน (ขนาด 9 นิ้ว)	1		11.5 ตัน						

หมายเหตุ 1.อัตราส่วนโดยทั่วไป 1:7 ปูนซีเมนต์ 6 ถัง ดิน 42 ถัง อัดบล็อกได้ประมาณ 90 ก้อน

(ปูนซีเมนต์ 6 ถัง=1 ถุง)

2.รถบรรทุก 10 ล้อบรรทุกได้16ตัน (ตามกฎหมาย)

3.ดินก่อนเข้าเครื่องบด ควรมีขนาดไม่ใหญ่กว่าหิน2

4.จำนวนคนงานที่ระบุ ไม่รวมคนงานเกี่ยวกับร่อน-บด

2.5 การออกแบบชิ้นส่วนด้วยเครื่องอัด

ในการออกแบบนั้น สามารถทำได้หลายวิธี ดังนี้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบเองแต่ต้องดูเครื่องมือและอุปกรณ์ที่มีอยู่ด้วย และการออกแบบต้องใช้งานได้ดีตามจุดมุ่งหมายหรือตามคว ามต้องการ ดังนี้ รูปร่างของเครื่องจึงจำเป็นต้องออกแบบให้เหมาะสม

2.5.1 หลักเบื้องต้นในการออกแบบ

สิ่งที่สำคัญที่เป็นพื้นฐานในการออกแบบตามลำดับความสำคัญ การออกแบบชิ้นส่วนตัวเครื่องอัด มีอยู่ 3 ประการคือ

(1) ความสามารถในการทำงาน เครื่องอัดมีหน้าที่ทำงานตามควา มต้องการที่ได้ตั้งเป้าหมายไว้ ความต้องการเหล่านี้ คือการทำงานในเชิงฟิสิกส์ เช่น กลศาสตร์ วิศวกรรม กลศาสตร์วัสดุ การออกแบบโครงสร้างไม้และเหล็ก เป็นต้น

(2) ความคงทน เครื่องหมายแสดงความคงทน คือ ความปลอดภัยในการใช้งานความคงทนต่อการสึกหรอ ความคงทนต่อการบำรุงรักษา

(3) ผลทางเศรษฐศาสตร์ การออกแบบจำเป็นที่ต้องออกแบบให้ใช้ทุนที่ต่ำที่สุดเท่าที่จะทำได้

2.5.2 รูปร่างของตัวเครื่องอัด

รูปร่างของชิ้นส่วนตัวเครื่องอัดที่ดีควรถูกต้องและเหมาะสมตามหลักการทำงานตามกฎทางฟิสิกส์และอีกประการหนึ่งก็ควรจะเหมาะสมกับภาระและความแข็งแรงของเนื้อวัสดุในการสร้างตัวเครื่องอัด

2.6 การทดสอบความต้านแรงอัด (Compressive strength) ในภาคสนาม

ก้อนทดสอบ ควรมีความเรียบร้อย สม่ำเสมอและมีขนาดที่ถูกต้อง 5*5*5 ซม. ในการทำ ก้อนทดสอบอาจใช้วิธีเลื่อยจากส่วนกลางของบล็อกที่อัดแล้วเมื่ออายุตั้งแต่ 3 วันขึ้นไปก้อนทดสอบดังกล่าว ควรได้รับการบ่มโดยวิธีการเช่นเดียวกับที่ใช้บ่มบล็อกที่ผลิตได้และทำ การทดสอบการรับแรงอัดเมื่ออายุครบ 7 วัน และ 28 วัน โดยจัดทำ ชุดละ 3 ก้อน ผลการทดสอบค่าเฉลี่ยการรับแรงอัดเมื่อก้อนทดสอบอายุ 7 วันและ 28 วัน ควรได้ไม่น้อยกว่า 49 กก./ตร.ซม. และ 70 กก./ตร.ซม. ตามลำ ดับ นอกจากนี้ค่ารับแรงอัดแต่ละก้อนไม่ควรน้อยกว่า 38.5 กก./ตร.ซม. และ 55 กก./ตร.ซม. ตามลำ ดับ

2.7 การทดสอบความทนทานในการแช่น้ำ

เมื่อบล็อกอายุครบ 24 ชั่วโมง ให้นำ บล็อกมาแช่น้ำให้ท่วม ทิ้งไว้ประมาณ 6 วัน ในระหว่างนี้ควรมีการตรวจสอบสภาพทางกายภาพของบล็อก ทุกๆ วัน ว่ามีสิ่งปกติหรือไม่ ดังเช่น การบวม หลุด/ร่อน ยุ่ย เป็นต้น

หากมีอาการดังกล่าวมาแล้ว ในเบื้องต้นแสดงว่าบล็อกที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพไม่ได้มาตรฐาน สาเหตุอาจเป็นได้หลายกรณี เช่น วัตถุดิบมีส่วนผสมของดินเหนียว /อินทรีย์วัตถุมากเกินไป การใช้ส่วนผสมของปูนซีเมนต์มีสัดส่วนน้อยเกินไป เติมส่วนผสมในการอัดน้อยเกินไป หรืออาจเป็นเพราะในกระบวนการผสมไม่ถูกต้อง ทิ้งส่วนผสมไว้นานเกินกำหนด เป็นต้น สิ่งเหล่านี้จำ เป็นต้องพิจารณาหาสาเหตุเพื่อการปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้อง

บทที่ 3 วิธีการและขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

จากวิธีการดำเนินการวิจัย และสถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

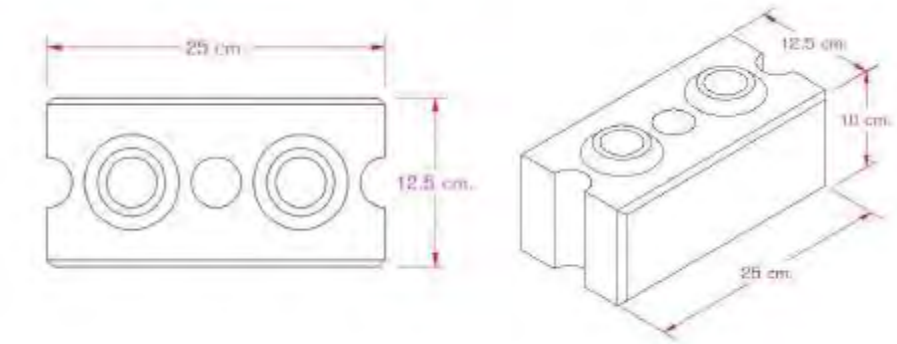
3.1 ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

จากการศึกษาและค้นคว้าเบื้องต้นในบทที่ 2 พบว่าการพัฒนาเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินซิเมนต์ ต้องกำหนดขนาดของตัวอย่างที่จะใช้และกำลังที่ต้องใช้ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่าง

3.2 กำหนดรูปแบบเครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่าง แหล่งดินตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ครุภัณฑ์

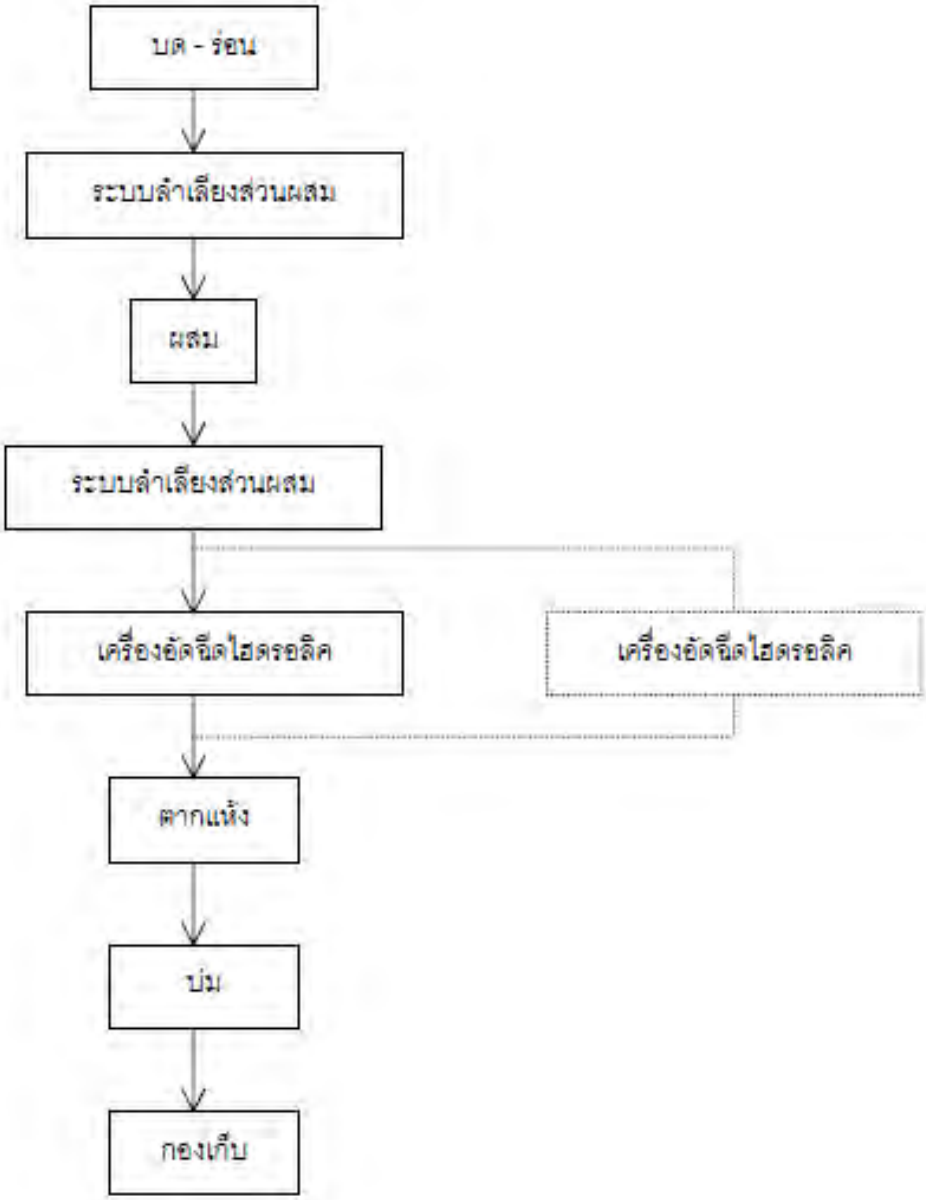
3.2.1 การกำหนดรูปแบบเครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่างรูปผลิตภัณฑ์และชิ้นงานดินซิเมนต์

การกำหนดรูปแบบเครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่างรูปผลิตภัณฑ์และชิ้นงานดินซิเมนต์ ที่ต้องการซึ่งในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ผลิตอิฐดินซิเมนต์ปลอกประสานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขนาดอิฐดินซิเมนต์ปลอกประสาน [17]

บล็อกประสานรุ่นที่มีร่องทั้ง 2 ด้าน ขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร
คุณสมบัติ
1. ผิวบล็อกประสานมีร่องทั้ง 2 ด้าน
2. ไม่เหมาะสำ หรับการฉาบปูน เพราะต้องใช้ปูนซีเมนต์ในปริมาณที่มาก
3. ใช้ในงานก่อสร้างอาคาร ที่ต้องการแสดงสีและลวดลายของบล็อกประสาน ทั้งภายในและภายนอก เหมาะสำ หรับงานร้านอาหาร รั้ว และโรงเรียน



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตบล็อกประสาน

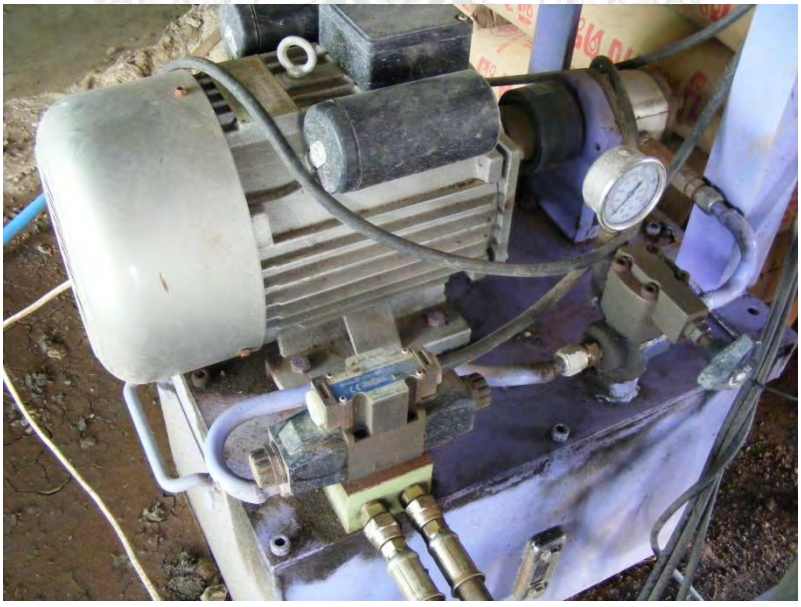
3.2.2 แหล่งดินตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย

ใช้ดินลูกรังที่มาจากสามแหล่ง คือ แหล่ง ดินลูกรัง เขาสามง่าม อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ดังรูปที่ 3.3

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างดินลูกรัง

3.2.3 มอเตอร์ขับเคลื่อนกำลังระบบไฮดรอลิก

ใช้มอเตอร์ขับเคลื่อนกำลังระบบไฮดรอลิกขนาด 220 V 5 แรงม้าดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 มอเตอร์ขับเคลื่อนกำลังระบบไฮดรอลิกขนาด 220 V 5 แรงม้า

3.2.4 น้ำมันไฮดรอลิก เบอร์ 68

3.2.5 วัสดุตัวเครื่องกระบอก 110 มม. เหล็กพ่นสี

3.3 สร้างเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ สำหรับดินซิเมนต์

เพื่อใช้งาน อิฐ อังรูป ที่ 3.1 มีขันตอนดังนี้

3.3.1 ทำการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ สำหรับดินซิเมนต์

ทำการออกแบบเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ สำหรับดินซิเมนต์เพื่อให้สามรถใช้งานได้อย่างเหมาะสมและปลอดภัย ดังรูปที่ 3.5

3.4 ออกแบบสร้างบล็อกผลิตภัณฑ์

ดังที่กล่าวมาแล้วดังรูปที่ 3.1 บล็อกประสานรุ่นที่มีร่องทั้ง 2 ด้าน ขนาด 12.5 x 25 x 10 เซนติเมตร จึงออกแบบสร้างบล็อกผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 3.6

3.5 ออกแบบอัตตราส่วนผสม

จากการทดสอบคุณสมบัติของดินเป็นดินประเภท A-4 เหมาะสมต่อการใช้งาน อัตราส่วนผสมที่ แนะนำ 1.0 : 6.0 (ปูน 1 ส่วน ต่อ ดิน 6 ส่วน โดยน้ำหนัก)

3.6 ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

3.6.1 ดินลูกรังทดสอบ เพื่อหา ขนาดคละและพิกัด Atterberg โดยใช้มาตรฐาน ASTM D 422-63, AASHTO T 88, ASTM D 423-66, ASTM D 424-59

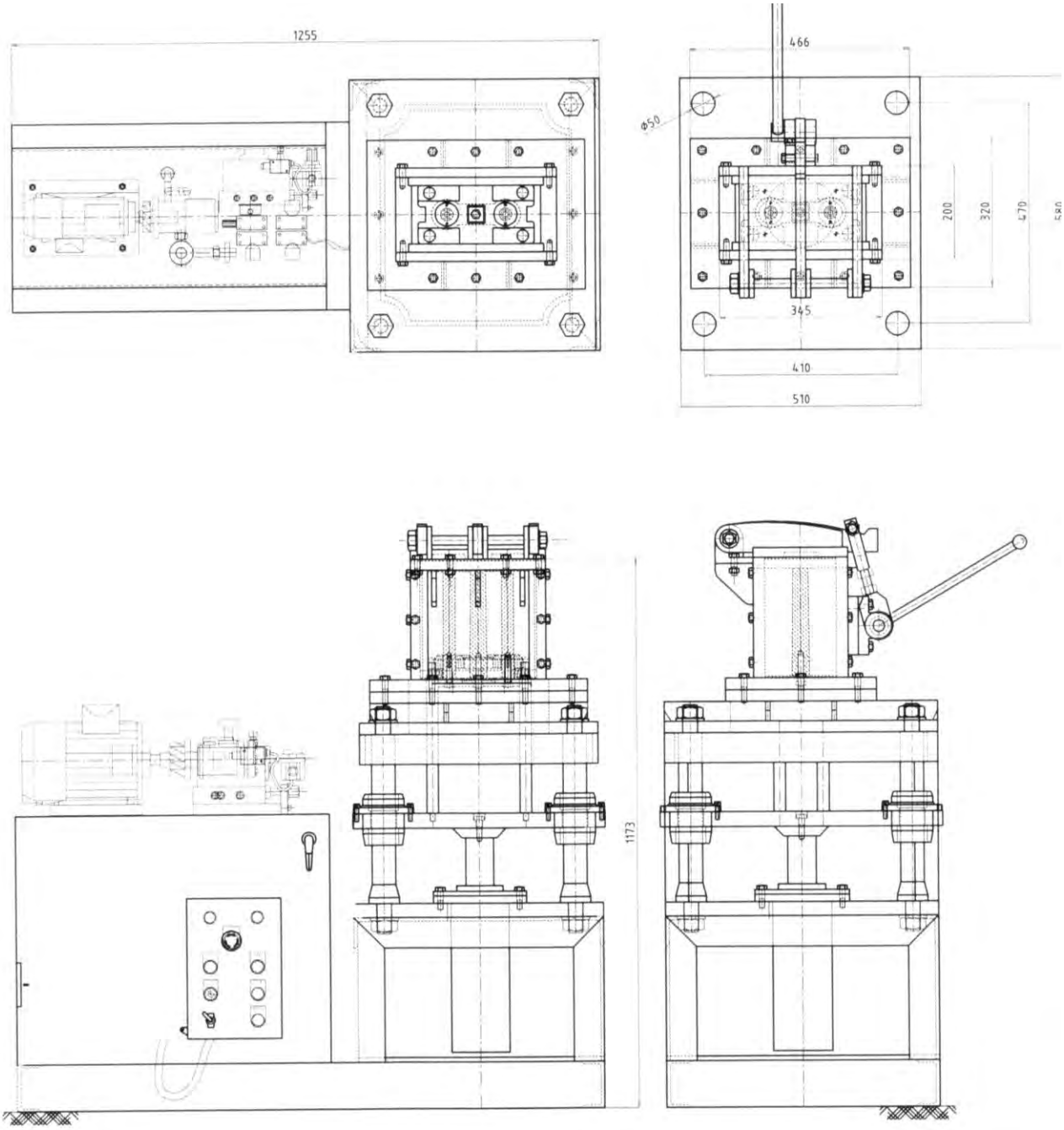
3.6.2 ทดสอบดินเพื่อวิเคราะห์หาปริมาณธาตุองค์ประกอบโดย X-Ray Fluorescence (XRF)

3.6.3 ทดสอบดินเพื่อวิเคราะห์หาความหนาแน่นปรากฏโดย Density Meter

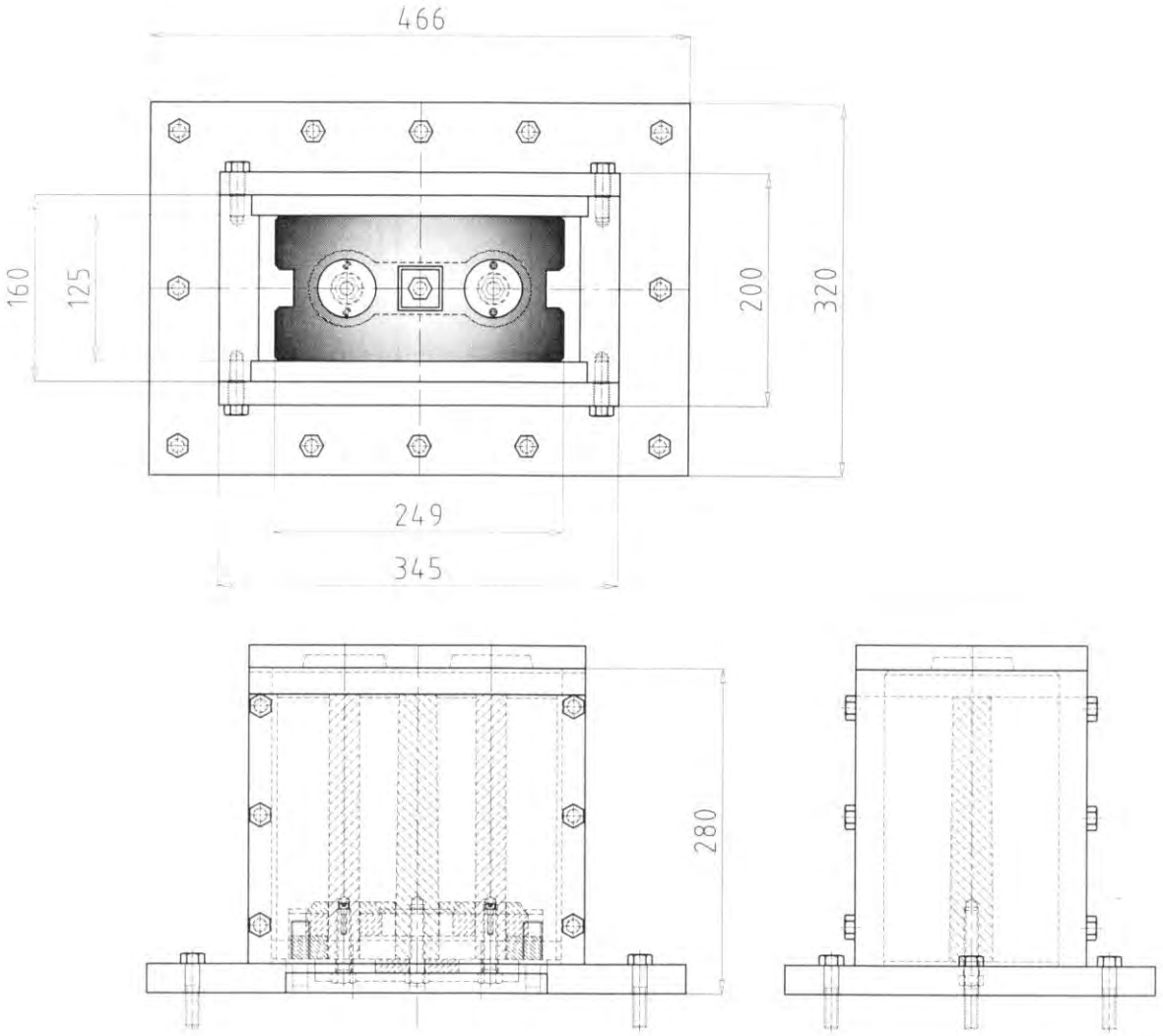
3.6.4 ทดสอบดินเพื่อวิเคราะห์หาความถ่วงจำเพาะโดย Specific Gravity by Pycnometer

3.6.5 ทดสอบดินเพื่อวิเคราะห์หาค่าการกระจายตัวของขนาดอนุภาค โดย X-Ray Diffractometer (XRD)

3.6.6 ทดสอบดินลูกรังและเถ้าทิ้งเพื่อวิเคราะห์หาค่า Particle Size Distribution



รูปที่ 3.5 แบบเครื่องอัดขึ้นรูปดินซิเมนต์



รูปที่ 3.6 แบบบล็อกผลิตภัณฑ์

3.7 ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัดตราส่วนที่กำหนด

รูปที่ 3.7 ขึ้นรูปตัวอย่าง

3.8 ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัดตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้

ทดสอบกำลัง เมื่อครบกำหนดแล้วนำดินอัดที่บ่มในอากาศครบ 28 วันนำไปทดสอบหาค่ากำลังอัดตามมาตรฐาน ASTCM109 และความหนาแน่นตามมาตรฐาน ASTM C134 จำนวน 3 ตัวอย่างเพื่อทำการเปรียบเทียบ กำลังอัดแต่ละส่วนผสม ตาม มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก .1505-2541 ชั้นคุณภาพ 4 ความหนาแน่น 710 ถึง 800กก./ ลบ.ม. กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 40 กก./ตร.ซม. โดยในแต่ละการตรวจสอบ 3 ซ้ำและหาค่าเฉลี่ย

ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัดตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้ เมื่อบ่มตัวอย่างตามเวลาที่กำหนด 28 วัน นำมาทดสอบกำลังอัด ดังรูปที่ 3.8

รูปที่ 3.8 บ่มตัวอย่างอิฐ

จากรูปที่ 3.9-3.10 นำตัวอย่าอิฐประสานมาทดสอบกำลังอัดกับเครื่องทดสอบกำลังอัด สังเกตการณ์วิบัติของก้อนตัวอย่างดังรูปที่ 3.10 และจดบันทึก

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

รูปที่ 3.9 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

รูปที่ 3.10 ตัวอย่างหลังกดทดสอบ

3.9 ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ

3.9.1 ค่ากำลังอัดได้มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1505-2541 ชั้นคุณภาพ 4 ความหนาแน่น 710 ถึง 800กก./ ลบ.ม. กำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 40 กก./ตร.ซม.

3.9.2 ความเร็วในการอัดขึ้นรูป

โดยวัดเป็น ชั้วโมงต่อการผลิต และต่อวัน 8 ชั้วโมง ต่อจำนวนก้อนที่ผลิตได้

3.10 จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี

ตามมาตรฐานการจัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 4 ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานวิจัยมีผลดังนี้

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานขนาดคละของดิน ลูกรัง ดังแสดงในตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบขนาดคละของดินลูกรังสีแดง

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 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบพิกัด Atterberg ของดินลูกรังสีแดง

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 ดังแสดงในตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังแดง

องค์ประกอบทางเคมี		**ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)**
1	ซิลิกอน ออกไซด์ (SiO_2)	58.60
2	อลูมิน่า ออกไซด์ (Al_2O_3)	25.50
3	ไอรอน ออกไซด์ (Fe_2O_3)	13.00
4	ไทเทเนียม ออกไซด์ (TiO_2)	1.40
5	โพแทสเซียม ออกไซด์ (K_2O)	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	วาเนเดียม ออกไซด์ (V_2O_3)	0.04
11	แบเรียม ออกไซด์ (BaO)	0.02
12	ซิงก์ ออกไซด์ (ZnO)	0.02
13	อาร์เซนิก ออกไซด์ (As_2O_3)	0.02

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบการทดสอบหาปริมาณองค์ประกอบทางเคมีของดิน ลูกรังแดง ต่อ

องค์ประกอบทางเคมี		ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี (%)
14	โครเมียม ออกไซด์ (Cr_2O_3)	0.02
15	ซีเรียม ออกไซด์ (CeO_2)	0.02
16	คอปเปอร์ ออกไซด์ (CuO)	0.02
17	อิตเทรียม ออกไซด์ (Y_2O_3)	0.02
18	นิกเกิล ออกไซด์ (NiO)	0.02

4.4 ผลการทดสอบหาความหนาแน่นปรากฏ, ความถ่วงจำเพาะ, ค่า Loss on Ignition, การกระจายตัวของขนาดอนุภาคและขนาดรูพรุนของตัวอย่างดิน 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	
ขนาดรูพรุน (μm)	42.62	-
ความพรุนตัว (%)	47.74	-

4.5 ผลการผสมตัวอย่างขึ้นรูปอิฐประสานตามอัตราส่วนดังรูปที่ 4.1

จากรายงานผลการทดสอบวิเคราะห์จากสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ภาคผนวก ข ดินชั้นคุณภาพ A-4 ประแภทของดิน ทรายแป้ง (Silty Soils) เหมาะสมกับการทำงานอิฐประสานดินซิเมนต์ที่อัตราส่วนผสมที่ แนะนำ 1:6 (ปูน 1 ส่วน ต่อ ดิน 6 ส่วน โดยน้ำหนัก) ดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 ตัวอย่างอิฐหลังการขึ้นรูป

4.6 ผลการทดสอบกำลังอัดตามอัตราส่วนผสม

ซึ่งพบว่ามีค่า กำลังต้านทานแรงอัดของบล็อก (Compressive Strength)
(ค่าเฉลี่ยของบล็อก 5 ก้อน ที่ อายุ 28 วัน) อยู่ที่ 75 ksc.

4.7 ผลการทดสอบความเร็วในการอัดขึ้นรูป

โดยวัดเป็น การผลิต และต่อวัน 8 ชั้วโมง ต่อจำนวนก้อนที่ผลิตได้

ต่อชั้วโมง	89	ก้อน
ต่อ 1 วัน (8 ชั้วโมง)	712	ก้อน

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.1 จากผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุพบว่า

1. ดินลูกรัง เป็นดินชั้นคุณภาพ A4 ประเภทของดินทรายแป้ง (Silty Soils) อัตราส่วนผสมในการผลิตอิฐประสานที่แนะนำคือ 1 : 6 (ปูน 1 ส่วน ต่อดิน 6 ส่วน) โดยน้ำหนัก

2. องค์ประกอบทางเคมี ของดินลูกรัง, เถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย พบว่าดินลูกรังมีซิลิกอน ออกไซด์ (SiO_2), อลูมิน่า ออกไซด์ (Al_2O_3), ไอรอน ออกไซด์ (Fe_2O_3) เป็น 58.60 %, 25.50%, 13.00% ตามลำดับ และพบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO_2) : Quartz เถ้าแกลบมีซิลิกอน ออกไซด์ (SiO_2), แคลเซียม ออกไซด์ (CaO), โพแทสเซียม ออกไซด์ (K_2O) เป็น 94.00%, 2.00%, 2.80% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO_2) : Cristobalite เถ้าชานอ้อยมีซิลิกอน ออกไซด์ (SiO_2), แคลเซียม ออกไซด์ (CaO), โพแทสเซียม ออกไซด์ (K_2O) เป็น 74.7%, 07.8%, 5.4% ตามลำดับและพบสารประกอบ Silicon Oxide (SiO_2) : Quartz

5.2 ผลการทดสอบกำลังอัดพบว่า

จากผลการทดสอบ ตัวอย่างทดสอบมีกำลังอัดมีค่า 75 ksc. มากกว่า 70 ksc. เป็นไปตามคุณภาพคุณสมบัติของบล็อกประสาน วท. ดินซิเมนต์ที่มีคุณภาพได้มาตรฐาน

5.3 ขนาดของเครื่อง

เป็นแบบไฮดรอลิก อัดบล็อก 1 ก้อน รูปแบบการทำงานแบบต่อเนื่อง ใช้ไฟฟ้า 220 V ขนาดเครื่องยนต์มอเตอร์ 5 แรงม้า ขนาดเครือง กว้าง 55 ซม. ยาว 55 ซม. สูง 110 ซม. น้ำหนักเครื่อง 800 kg. วัสดุเหล็ก พ่นสี

5.4 ผลการทดสอบความเร็วในการอัดขึ้นรูป

จากผลการทดสอบความเร็วในการอัดขึ้นรูป ได้ 89 ก้อนต่อชั่วโมง หรือ 712 ก้อน ต่อวัน (8 ชั่วโมง) สูงกว่าการผลิตโดยแรงงานคนที่ 100-500 ก้อนต่อวัน และสูงกว่าเครื่องอัดไอดรอลิกทั่วไปขนาด 1 โมลที่ 500-700 ก้อน ต่อวัน

จากผลการทดสอบวิจัยพบว่าการพัฒนาเครื่องอัดดินซิเมนต์สามารถนำไปผลิตในเชิงอุตสาหกรรมชุมชนได้เป็นอย่างดี

5.5 ข้อเสนอแนะและแนวทางการพัฒนา

5.5.1 ควรทำการออกแบบให้สามารถผลิดได้ มากกว่า 1 ก้อน

5.5.2 ควรมีการศึกษาวัสดุที่ชั้ทำเครื่องอัดที่มีน้ำหนักเบา

5.5.3 ควรมีการศึกษาความคุมทุนในการผลิตอิฐประสานในระบบต่างๆ

เอกสารอ้างอิง

[1] สาขาวิจัยอุตสาหกรรมการก่อสร้าง สถาบันวิจัยวิทยาสาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, รายงานการสำรวจแหล่งดินสำหรับผลิตบล็อกดินซิเมนต์, 2535, 88 หน้า

[2] กรมทางหลวง กองวิเคราะห์และวิจัย ทล. – ท.205/2517 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตระแกรงแบบล้าง

[3] กรมทางหลวง กองวิเคราะห์และวิจัย ทล. – ท.102/2515 วิธีการทดลอง หาค่า Liquid Limit ของดิน

[4] กรมทางหลวง กองวิเคราะห์และวิจัย ทล. ท. 103/2515 วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index ของดิน

[5] Braja M. Das Principles of Geotechnical Engineering 1997

[6] กรมทางหลวง,ทล.-ม. 204/2533 มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ Soil Cement Base

[7] สำนักงานมาตรฐานอุตสาหกรรมของประเทศไทย (มอก.15มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ มาตรฐานเลขที่ มอก.15 เล่ม 1-2514

[8] Standard Specification for Portland Cement (1917)

[9] ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตรุพิทักษ์กุล. 2553 ปูนซิเมนต์ ปอซโซลานและคอนกรีต . พิมพ์ครั้งที่ 6 .กรุงเทพฯ สมาคมคอนกรีตไทย

[10] สมเกรียติ สุนทรชัย และคณะ 2545 โครงการวิจัยเพื่อการพัฒนาการก่อสร้างที่พักอาศัยโดยใช้ระบบชิ้นส่วนสำเร็จรูปในระดับอุตสาหกรรม รายงานฉบับที่ 1 สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.)

[11] มาตรฐานบล็อกดินซีเมนต์ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย(2542:2) ได้ประสานมาตรฐานของบล็อกดินซีเมนต์

[12] โกวิทย์ ยันตะศาสตร์และคณะ.2545.การจัดการทำข้อมูลเชิงวิเคราะห์และทดสอบคุณสมบัติที่เหมาะสมของวัสดุสำหรับทำดินซีเมนต์. สถาบันวิจัยวิทายาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วท.)ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท

[13] ประณต กุลประสูติ .2538.เทคนิคงานปูน – คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 3. อมรินทร์พริ้นติ้ง จำกัด กรุงเทพฯสถาบันวิจัยวิทายาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท. 2545สภาวะการผลิตและการตลาดของบล็อกประสาน วท. สถาบันวิทายาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย กรุงเทพฯ

[14] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ฝ่ายถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชนบท.2545 การออกแบบและขั้นตอนการก่อสร้างอาคารด้วยบล็อกประสาน วท. สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทยกรุงเทพฯ

ภาคผนวก ก

ระยะเวลาทำการวิจัย และแผนการดำเนินงานตลอดโครงการวิจัย

โครงการวิจัยนี้ใช้เวลาการทำวิจัยทั้งสิ้น 1 ปี ขั้นตอนและระยะเวลาของแผนการดำเนินงาน (Gantt chart)

ดำเนินงานงาน \ เวลา	ระยะเวลาดำเนินการเดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1) ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย	←	→										
2) กำหนด รูปแบบเครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่าง แหล่งดินตัวอย่าง ที่จะใช้วิจัย และจัดหาวัสดุอุปกรณ์ครุภัณฑ์		←	→									
3) สร้างเครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์สำหรับดินซิเมนต์			←	→								
4) ออกแบบสร้างบล็อกผลิตภัณฑ์					←	→						
5) ออกแบบอัดตราส่วนผสม						←	→					
6) ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของผลิตภัณฑ์							←	→				
7) ขึ้นรูปตัวอย่างตามอัดตราส่วนที่กำหนด								←	→			
8) ทำการทดสอบกำลังอัด ตามอัดตราส่วนผสมที่ออกแบบไว้									←	→		
9) ทำการประมวลผล วิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบรายละเอียดเชิงลึกของผลการทดสอบ										←	→	
10) จัดทำรายงานฉบับสมบูรณ์และถ่ายทอดเทคโนโลยี											←	→

ภาคผนวก ข
ขั้นการประกอบเครื่องอัดอิฐ

ประกอบฐานเครื่องอัด

ยึดอุปกรด้วยนอตขนาดต่างๆ

ประกอบ โมลอิฐบล็อกประสานกับตัวเครื่อง

โมลอิฐบล็อกประสาน

ประกอบเครื่องโดยใช้ชั่งผู้ชำนานการ

ประกอบชุดให้กำลังและระบบไฮโดรลิก

ประกอบชุดควบคุม

ทดสอบการทำงานเครื่องอัดอิฐ

ทำการทดสอบการทำงานและทดสอบอัดอิฐประสานดินซิเมนต์

เครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินซิเมนต์ผ่านการทดสอบการใช้งาน

ภาคผนวก ค
รายงานผลการทดสอบดิน

วว.

คำขอบริการที่ ทว. 124/55 ที่ หป. 118/55
วันที่ 3 เมษายน 2555

รายงานผลการทดสอบวิเคราะห์
ให้แก่
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ชื่อ/รหัสตัวอย่าง A1 สีแดง
ลักษณะตัวอย่าง ดินลูกรัง
วิธีทดสอบ/วิเคราะห์ ASTM D 422-63, AASHTO T 88, ASTM D 423-66, ASTM D 424-59

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์

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

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

ชั้นคุณภาพ A-4 ประเภทของดิน ทรายแป้ง (Silty Soils)

ผู้ทดสอบ/วิเคราะห์
1. .....
2. .....

ผู้รับรอง .....
(ดร.ชุติมา เอี่ยมโชติชวลิต)
ผู้อำนวยการฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ

วว.

ผู้ตรวจสอบ .....
(นายวุฒินัย กกกำแหง)
วิศวกรโยธา/นักทดลองวิทยาศาสตร์วิจัย

FM-MID-GEN 02-01 แก้ไขครั้งที่2

ผลการทดสอบ/วิเคราะห์นี้ รับรองเฉพาะตัวอย่างที่ได้ทำการทดสอบ/วิเคราะห์เท่านั้น
ห้ามนำผลการทดสอบ/วิเคราะห์ไปโฆษณาโดยมิได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก วว.

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย
๓๕ หมู่ ๓ เทคโนธานี ต.คลองห้า อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี ๑๒๑๒๐
โทร (๖๖) ๐ ๒๕๗๔ ๙๐๐๐ โทรสาร ๐ ๒๕๗๔ ๙๐๐๙
E-mail : tistr@tistr.or.th Website : www.tistr.or.th

การจำแนกดินเพื่อใช้ในการผลิตบล็อกประสาน(อ้างอิงตามมาตรฐานของ AASHTO)

General classification	Granular materials (35% or less passing No. 200)							Silt-clay materials (More than 35% passing No. 200)			
	A-1		A-3	A-2				A-4	A-5	A-6	A-7
Group classification	A-1a	A-1b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				A-7-5, A-7-6
Sieve analysis: Percent passing: No. 10	50 max.										
No. 40	30 max.	50 max.	51 min.								
No. 200	15 max.	25 max.	10 max.	35 max.	35 max.	35 max.	35 max.	36 min.	36 min.	36 min.	36 min.
Characteristics of fraction passing No. 40:											
Liquid limit:				40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.	40 max.	41 min.
Plasticity index	6 max.		N.P.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.	10 max.	10 max.	11 min.	11 min.
Group index	0		0	0		4 max.		8 max.	12 max.	16 max.	20 max.
Usual types of significant constituent materials	Stone fragments, gravel, and sand		Fine sand	Silty or clayey gravel and sand				Silty soils		Clayey soils	
General rating as subgrade	Excellent to good							Fair to poor			

การจำแนกดินประเภทต่างๆในการผลิตบล็อกประสานจะจำแนกเกรดตามมาตรฐานของ AASHTO ซึ่งมีตั้งแต่ A-1 ถึง A-7 ถ้าตัวเลขยิ่งมากแสดงว่าดินมีพลาสติกซิตี้สูง (มีความเหนียวมากแสดงว่ามีดินเหนียวปนอยู่มาก) โดยการจำแนกจะแบ่งได้ดังนี้

A-1, A-2 และ A-3 จัดเป็นวัสดุเม็ดหยาบ คือจำพวกหินแตก กรวดและทราย

A-4, A-5, A-6 และ A-7 จัดเป็นวัสดุเม็ดละเอียดจำพวกทรายแป้ง และดินเหนียว

โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

A-1 แบ่งย่อยได้อีกสองเกรดคือ A-1a และ A-1b จะจัดอยู่ในประเภทของ หินแตก กรวดและทราย ที่มีขนาดคละดีมาก

A-2 แบ่งย่อยได้อีกสี่เกรดคือ A-2-4 ถึง A-2-7 จะจัดอยู่ในประเภทของ กรวดและทราย ปนด้วยทรายแป้งหรือดิน มีขนาดคละไม่ดี หรือมีขนาดอนุภาคเท่ากัน

A-3 จะจัดอยู่ในประเภทของ ทรายละเอียดที่ขนาดคละไม่ดี

A-4 จะจัดอยู่ในประเภทของ ทรายแป้ง

A-5 จะจัดอยู่ในประเภทของ ทรายแป้งที่มีความเหนียวมาก

A-6 จะจัดอยู่ในประเภทของ ดินเหนียว

A-7 จะจัดอยู่ในประเภทของ ดินเหนียวที่มีความเหนียวมาก

ค่าดัชนีพลาสติกซิตี้(Plasticity Index)

เป็นค่าแสดงค่าความเป็นดินเหนียวของดินที่ทดสอบ ค่าดัชนีพลาสติกซิตี้ คือผลต่างระหว่างขีดเหลวกับขีดพลาสติก ซึ่งแสดงถึงช่วงของปริมาณความชื้นที่ดินมีสภาพพลาสติก คือเปลี่ยนรูปร่างได้โดยไม่เกิดรอยแยกหรือแตกร้าว ดินที่มีดัชนีพลาสติกซิตี้สูงแสดงว่าเป็นดินที่มีปริมาณดินเหนียว และธาตุดินเหนียวอยู่มาก

- ขีดเหลว คือปริมาณความชื้นที่ต่ำที่สุดใน สภาวะของเหลว ซึ่งเป็นปริมาณความชื้นที่ดินเมื่อถูกรบกวน(Disturbed) มีกำลังรับแรงเฉือนประมาณ 0.25 ตัน/ตร.ม.
- ขีดพลาสติก คือปริมาณความชื้นต่ำสุดในขณะที่ยังอยู่ในสภาพอิ่มตัวด้วยน้ำซึ่งดินสามารถเปลี่ยนรูปร่างโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร และการเกิดรอยแยกขึ้นในดิน ตลอดจนดินนั้นยังคงรักษารูปร่างโดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงรูปไปแล้ว

ดินที่มีความเหมาะสมในการผลิตบล็อกประสานมากที่สุดจะต้องมีดินเหนียวปนอยู่น้อย และมีดินเม็ดหยาบอยู่มาก ได้แก่ดินที่อยู่ในเกรด **A-1, A-2และA-3** อัตราส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสานที่แนะนำคือ **1:7 (ปูนซีเมนต์ 1 ส่วนต่อ ดิน 7 ส่วน)**

ดินที่สามารถใช้ผลิตบล็อกประสานได้แต่อาจจะต้องผสมปูนซีเมนต์มากขึ้นได้แก่ดินที่อยู่ในเกรด **A-4 และA-5** อัตราส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสานที่แนะนำคือ **1:6 (ปูนซีเมนต์ 1 ส่วนต่อ ดิน 6 ส่วน)**

ดินที่ไม่เหมาะสมที่จะใช้ผลิตบล็อกประสานหรือถ้าจะใช้ต้องนำมา**ปรับปรุงคุณภาพ**โดยเพิ่มวัสดุที่มีเม็ดแข็งก่อนเช่น ทรายหยาบ ทรายละเอียด หรือ หินฝุ่น ได้แก่ดินเกรด **A-6 และ A-7**

ดินที่เหมาะสมที่จะใช้ผลิตบล็อกประสานไม่ควรมีดินเม็ดละเอียดที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากเกิน 35% หรือถ้ามากเกินก็ไม่ควรมีค่าดัชนีพลาสติกซิตี้มากเกิน 10

อัตราส่วนผสมที่แนะนำ

ตัวอย่างดินลูกรัง A1 สีแดง (ชั้นคุณภาพ A-4) เหมาะสมต่อการใช้งาน อัตราส่วนผสมที่แนะนำ 1.0: 6.0 (ปูน 1 ส่วน ต่อ ดิน 6.0 ส่วน โดยน้ำหนัก)

เอกสารอ้างอิง

1. สุรฉัตร สัมพันธารักษ์, วิศวกรรมปฐพี,วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย
2. Braja M Das, Principle of Soil Mechanics,Publisher:McGraw Hill

ภาคผนวก ง

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

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

ขอมอบเกียรติบัตรฉบับนี้ แก่

นายนิโรจน์ เงินพรหม

เพื่อแสดงความขอบคุณที่ให้ความร่วมมือในการนำผลงานวิจัย เรื่อง

เครื่องอัดขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ดินซีเมนต์

ร่วมนำเสนอในงาน "การนำเสนอผลงานวิจัยแห่งชาติ ๒๕๕๕" (Thailand Research Expo 2012)

ให้ไว้ ณ วันที่ ๒๘ สิงหาคม ๒๕๕๕

(ศาสตราจารย์ นายแพทย์สุทธิพร จิตต์มิตรภาพ)
เลขาธิการคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ

ภาคผนวก ค

ประวัติคณะผู้วิจัย

ประวัติคณะผู้วิจัย (1) หัวหน้าโครงการ

1. นายนิโรจน์ เงินพรหม
   Mr. Nirojn Ngenprom
2. ประวัติการศึกษา

ปริญญา	สาขา	ชื่อสถาบัน/ประเทศ
ปริญญาตรี	วิศวกรรมโยธา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ประเทศไทย
ปริญญาโท	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรีประเทศไทย

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 ชื่อเรื่องปัจจัยที่สงผลต่อความพึงพอใจในงานของข้าราชการสายสนับสนุนและพนักงานในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปี 2551 หัวหน้าโครงการวิจัย
   4.3 ชื่อเรื่องการใช้เถ้าทิ้งจากผลผลิตอุตสาหกรรมและเกษตรกรรมเป็นวัสดุปอซโซลานแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปี 2552 ผู้ร่วมวิจัย
   4.4 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของปูนซีเมนต์ผสมดินลูกรังและโคลนปูนจากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตกระดาษ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
   4.5 ชื่อเรื่องคุณสมบัติของดินซีเมนต์ผสมเถ้าเปลือกหอยแมลงภู่ 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
   4.6 ชื่อเรื่องการทดสอบหาค่ากำลังอัดของอิฐดินดิบที่มีดินลูกรังเถ้าถ่านหินและเถ้าแกลบเป็นส่วนผสม 2552 หัวหน้าโครงการวิจัย
   งานวิจัยที่กำลังทำ ชื่อข้อเสนอการวิจัย
   4.7 ชื่อเรื่องการพัฒนาวัสดุจีโอโพลีเมอร์จากเถ้าแกลบและเถ้าชานอ้อย 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.