การนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น

นางสาวไลทิพย์ อภิธรรมวิริยะ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 974-333-442-4

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

THE UTILIZATION OF SPENT SILICA-ALUMINA FOR MAKING PAVEMENT

Miss Laithip Apithamviriya

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Environmental Engineering

Department of Environmental Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 974-333-442-4

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น
โดย	นางสาวไลทิพย์ อภิธรรมวิริยะ
ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สุรี ขาวเธียร)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ)

.....กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระ เกรอต)

.....กรรมการ
(อาจารย์ บุญยง โล่ห์วงศ์วัฒน)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ไลทิพย์ อภิธรรมวิริยะ : การนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น (THE UTILIZATION OF SPENT SILICA -ALUMINA FOR MAKING PAVEMENT) อ.ที่ปรึกษา : รศ.ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 110 หน้า, ISBN 974-333-442-4

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วเพื่อนำมาใช้ประโยชน์โดยการทำเป็นวัสดุปูพื้น ในรูปคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และในรูปกระเบื้องดินเผาปูพื้น

ในการทดลองแรกได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบต่างๆที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อน และแสดงสมบัติทางกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และค่าความซึมน้ำ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาถึงผลกระทบสิ่งแวดล้อมโดยการทดสอบการชะละลายสารประเภทแอนทราควินโนน ในการวิจัยมีการทดลอง 3 ชุดคือ ชุดแรกทำการศึกษาอัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ซึ่งแปรค่าตั้งแต่ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ซึ่งแปรค่าตั้งแต่ 0.4 0.5 0.6 และ 0.7 การทดลองชุดที่สองเป็นการแสดงผลเมื่อระยะเวลาในการบ่มเป็น 1 3 7 14 และ 28 วัน และการทดลองชุดที่สามเป็นการหาประสิทธิภาพการชะละลายประเภทแอนทราควินโนนและประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ผลการทดลองทำคอนกรีตบล็อกขนาด 20x15x5 ซม.พบว่าอัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25 เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.5 เนื่องจากผลการทดสอบให้ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่นสูงสุด และประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลาย 72 % ค่าใช้จ่าย 3.76 บาทต่อขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขนาด 3 กิโลกรัม ระยะเวลาที่เหมาะสม 28 วัน ค่าใช้จ่าย 3.76 บาทต่อขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขนาด 3 กิโลกรัม เมื่อทำการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 เมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.5 เนื่องจากผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน และระยะเวลาที่เหมาะสม 14 วัน ประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย 54 % ค่าใช้จ่าย 3.30 บาทต่อขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขนาด 3 กิโลกรัม

การทดลองชุดที่สองได้ทำการศึกษาผลกระทบต่างๆ ที่มีผลต่อการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้น และทำการทดสอบสมบัติทางกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดของมาตรฐานผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความซึมน้ำ การทนความราน และการทนสารเคมีประเภทกรดและเบส อีกทั้งยังทำการทดสอบค่าการชะละลายสารประเภทแอนทราควินโนนเนื่องจากเกิดสารสีแดงขณะทำการทดสอบค่าความซึมน้ำ การทดลองแบ่งเป็น 3 ชุด การทดลองแรกศึกษาอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปโดยแปรค่าตั้งแต่ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 การทดลองชุดที่สองศึกษาผลที่เกิดจากการเผาที่อุณหภูมิ 800, 1000 และ 1200 องศาเซลเซียส และการทดลองชุดที่สามศึกษาประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายสารประเภทแอนทราควินโนนและประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้น ผลการทดลองทำกระเบื้องขนาด 10x10 ตารางเซนติเมตร หนา 1 เซนติเมตร ที่ได้พบว่าอัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25 เมื่ออุณหภูมิในการเผากระเบื้อง 1200 องศาเซลเซียส เนื่องจากผลการทดสอบให้ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่นสูงที่สุด การทนความรานและการทนสารเคมีประเภทกรดและเบสผ่านเกณฑ์มาตรฐาน ค่าใช้จ่ายโดยประมาณเท่ากับ 7.29 บาทต่อกระเบื้อง1 แผ่น เมื่อทำการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผากระเบื้องคือ 800 องศาเซลเซียส เนื่องจากผลการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ค่าใช้จ่ายโดยประมาณเท่ากับ 7.19 บาทต่อกระเบื้อง1 แผ่น ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายที่อุณหภูมิทั้ง 2 ค่าเท่ากับ 99.98%

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต	ไลทิพย์ อภิธรรมวิริยะ
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา	2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

LAITHIP APITHAMVIRIYA : THE UTILIZATION OF SPENT SILICA-ALUMINA FOR MAKING PAVEMENT.THESIS ADVISOR : ASSOC.PROF.PETCHPORN CHAWAKITCHAREON,Ph.D.110 pp,ISBN 974-333-442-4

This research investigated the utilization of spent silica-alumina for making pavement which is composed of concrete block and floortile.

The first experiments were performed to determined not only the factors affecting the solidification process, but also the physical properties of the concrete block standard, such as the compressive strength, density and permeability. In addition, the extraction tests on anthraquinones were carried out. A total of three kinds of experiments were performed. The first experiment was performed by using the spent silica-alumina/ cementitious binder ratios of 0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00 and water/cementitious binder ratios of 0.4, 0.5, 0.6 and 0.7. The second experiment indicated the effect of varying curing time of the solidified specimens at 1, 3, 7, 14, 21 and 28 days. The third experiment considered the stabilization efficiecies of anthraquinones and the cost estimation of the proper binder for making concrete block. The results obtained from making concrete block (20x15x5cm.) from spent silica-alumina and cement indicated that the optimum conditions were present spent silica-alumina/cementitious binder ratio of 0.25 at a water/cement ratio of 0.5. By using these ratios, the best compressive strength, density and permeability was chosen along with a curing time of 7 days. The stabilization efficiency of anthraquinone was about 72%. The estimation of treatment costs were about 3.76 Baht/3 kg. concrete block. In the economic study, the optimum conditions consisted of a spent silica-alumina/cementitious binder ratio of 0.50 at a water/cement ratio of 0.6 and curing time of 14 days. The estimation of treatment costs were about 3.30 Baht/3kg.concrete block.

In the second experiments were performed to determine not only the factors affecting the making of floortile, but also the physical properties of the floortile standard, such as the compressive strength, density, permeability, chemical tolerance and compressive strength tolerance. In addition, the extraction tests on anthraquinones were carried out. There were three experiments. The first experiment was performed by using spent silica-alumina/ clay ratios of 0, 0.25, 0.50, 0.75 and 1.00. The second experiment indicated the effect of varying temperatures where making floortile at 800, 1000 and 1200 Celcius degrees. The third experiment considered the stabilization efficiecies of anthraquinones and cost estimation of the proper binder for making floortile. The results for making floortile (10x10x1 cm.) from spent silica-alumina and clay indicated that the optimum conditions consisted of a spent silica-alumina/cementitious binder ratio of 0.25 at a temperature of 1200 Celcius degrees. By using the above ratios and a curing time of seven days, the best values of compressive strength, density and permeability were obtained. These ratios produced the best compressive strength, density, permeability, chemical tolerance and compressive strength tolerance. The cost estimation was about 7.29 Baht/floortile. In the economic study, the optimum conditions consisted of a spent silica-alumina/clay ratio of 0.25 at a temperature 800 of Celcius degrees. The estimation of treatment costs were about 7.19 Baht/Floortile. At both temperature, the stabilization efficiency of anthaquinone was about 99.98%

ภาควิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่อนิสิต	
สาขาวิชา	วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา	
ปีการศึกษา	2542	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ เป็นอย่างสูง ที่เมตตาและให้โอกาสแก่ผู้วิจัยในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังกรุณาแนะนำให้คำปรึกษาในการวิจัยจนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการการสอบวิทยานิพนธ์ และคณาจารย์ทุกท่านที่ประสิทธิ์ประสาทถ่ายทอดวิชาความรู้ทางวิชาการ

ขอขอบพระคุณบิดามารดา และพี่ๆทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนและเป็นกำลังใจแก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคุณชนสรณ์ หัวหน้าห้องปฏิบัติการควบคุมคุณภาพ บริษัทเพอรอกซีไทย จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการวิเคราะห์

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และมูลนิธิชิน โสภณพนิชที่มอบทุนสนับสนุนบางส่วนของงานวิจัยในครั้งนี้

ท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ และน้องๆ ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความรัก คำปรึกษา และความช่วยเหลือขณะที่ศึกษาและทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

		หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย		ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ		จ
กิตติกรรมประกาศ		ฉ
สารบัญ		ช
สารบัญตาราง		ฎ
สารบัญรูป		ฑ
บทที่ 1	บทนำ	1
บทที่ 2	วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย	2
บทที่ 3	ทบทวนเอกสาร	3
	3.1 ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว	3
	3.1.1 สารแอนทราควินโนน	3
	3.2 วัสดุปูพื้น	4
	3.2.1 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	6
	3.2.2 กระเบื้องดินเผาปูพื้น	7
	3.3 การกำจัดโดยการทำให้เสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน	8
	3.3.1 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำให้เสถียร	8
	3.3.2 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำให้แข็งตัวเป็นก้อน	8
	3.3.3 วิธีการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน	9
	3.4 กลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน	11
	3.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	13
	3.5.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	13
	3.5.2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	14
	3.5.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชัน	16
	3.6 ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อน	19
	3.6.1 ปริมาณของเสียเสี่ยงอันตรายในตอนเริ่มแรก	19
	3.6.2 อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์	21

สารบัญ

		หน้า
	3.6.3 อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร.....	22
	3.6.4 ระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์.....	23
	3.7 ดินสำเร็จรูป.....	24
	3.8 การเผากระเบื้องดินเผา.....	24
	3.9 เตาเผากระเบื้องดินเผา.....	25
	3.10 เกณฑ์มาตรฐานของวัสดุปูพื้น.....	25
	3.10.1 เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	25
	3.10.2 เกณฑ์มาตรฐานกระเบื้องดินเผาปูพื้น.....	26
	3.11 ความสามารถในการถูกชะละลาย.....	27
	3.12 วัสดุใหม่สำหรับคอนกรีต.....	27
	3.13 การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับงานวิจัย.....	33
บทที่ 4	แผนการทดลองและการดำเนินงานวิจัย.....	37
	4.1 การทดลองที่ 1 : การหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำวัสดุปูพื้นประเภทคอนกรีตบล็อกปูพื้น.....	37
	- การเตรียมวัสดุสำหรับงานวิจัย.....	37
	- เครื่องมือและอุปกรณ์.....	38
	- การดำเนินงานวิจัย.....	41
	การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม.....	41
	การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนซีเมนต์.....	44
	4.2 การทดลองที่ 2 : การหาสภาวะที่เหมาะสมของการทำวัสดุปูพื้นประเภทกระเบื้องดินเผาปูพื้น.....	45
	- การเตรียมวัสดุสำหรับงานวิจัย.....	46
	- เครื่องมือและอุปกรณ์.....	46

สารบัญ

		หน้า
	- การดำเนินการวิจัย.....	48
	การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่เหมาะสม.....	48
	การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผากระเบื้อง.....	52
บทที่ 5	ผลการทดลองและวิจารณ์ผล.....	54
	5.1 การศึกษาการนำซิลิกาที่ใช้แล้วทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	54
	5.1.1 ศึกษาการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	54
	5.1.2 การเลือกพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้น.....	60
	5.1.3 ประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้น.....	63
	5.2 การศึกษาการนำซิลิกาที่ใช้แล้วทำกระเบื้องดินเผาปูพื้น.....	66
	5.2.1 ศึกษาการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส	66
	5.2.2 การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้น.....	69
	5.2.3 ประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้น.....	73
	5.3 การเปรียบเทียบราคาการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น.....	75
บทที่ 6	สรุปผลการทดลอง.....	77
บทที่ 7	ข้อเสนอแนะงานวิจัยที่ควรทำต่อไป	79
	เอกสารอ้างอิง.....	80
	บรรณานุกรม.....	82
	ภาคผนวก.....	83
	ภาคผนวก ก. ข้อมูลผลการทดลองคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	83
	ภาคผนวก ข. ข้อมูลผลการทดลองกระเบื้องดินเผาปูพื้น.....	97
	ภาคผนวก ค. รายการการคำนวณประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนน	104
ประวัติผู้วิจัย	.....	110

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1แสดงส่วนประกอบซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว.....	4
3.2 แสดงรายละเอียดและข้อดีข้อเสียของวิธีการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน.....	10
3.3 แสดงรายละเอียดกลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน.....	12
3.4 แสดงส่วนประกอของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	13
3.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	15
3.6 แสดงมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของบล็อก.....	25
3.7 แสดงมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของกระเบื้องดินเผาปูพื้น.....	26
3.8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ Pulverized Fuel Ash(PFA) Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBF) และ Microsilica(MS).....	28
3.9 แสดงลักษณะทางกายภาพทั่วไปของปูนซีเมนต์ Pulverized Fuel Ash(PFA) Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBF) และ Microsilica(MS).....	29
4.1 แสดงความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง.....	42
5.1 ผลการทดลองค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	55
5.2 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	56
5.3 ผลการทดลองค่าความซึมน้ำของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	57
5.4 แสดงปริมาณการชะละลายสารแอนทราควินโนนที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน	58
5.5 แสดงประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนนที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน	59
5.6 ผลการทดลองค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ.....	60
5.7 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ.....	61
5.8 ผลการทดลองค่าความซึมน้ำของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ.....	62

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
5.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	64
5.10 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิใน การเผา 1000 องศาเซลเซียส.....	66
5.11 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตัวอย่างกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิใน การเผา 1000 องศาเซลเซียส.....	67
5.12 ผลการทดสอบค่าความซึมน้ำของตัวอย่างกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิใน การเผา 1000 องศาเซลเซียส.....	69
5.13 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิใน การเผาต่างๆ.....	70
5.14 ผลการทดสอบค่าความหนาแน่นของตัวอย่างกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิใน การเผาต่างๆ.....	71
5.15 ผลการทดสอบค่าความซึมน้ำของตัวอย่างกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิใน การเผาต่างๆ.....	72
5.16 แสดงค่าใช้จ่ายในการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้น.....	73
5.17 การเปรียบเทียบราคาในแง่ของการบำบัดซิลิกา-อลูมินา.....	75
5.18 การเปรียบเทียบราคาของวัสดุปูพื้นจากการทดลองกับราคาวัสดุปูพื้นทั่วไป ตามท้องตลาด.....	76
5.19 การเปรียบเทียบราคาการบำบัดซิลิกา-อลูมินาจากศูนย์แสมดำกับราคา ของวัสดุปูพื้นที่ใช้ประโยชน์จากซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว.....	76
ผ1 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	84
ผ2 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	85
ผ3 แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	86
ผ4 แสดงปริมาณการชะละลายสารแอนทราควินโนนที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	87
ผ5 แสดงประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนนที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	87
ผ6 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างในการเปลี่ยนแปลง ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	88

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ผ7 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างในการเปลี่ยนแปลง
ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน..... 89

ผ8 แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างในการเปลี่ยนแปลง
ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน..... 90

ผ9 แสดงแรงกดและพื้นที่รับแรงกดของตัวอย่างเพื่อใช้ใน
การคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน..... 91

ผ10 แสดงปริมาตรและน้ำหนักของตัวอย่างเพื่อใช้ใน
การคำนวณค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน..... 92

ผ11 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำ..... 93

ผ12 แสดงปริมาตรและน้ำหนักของตัวอย่างเพื่อใช้ในข
การหาค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ..... 94

ผ13 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำ
ที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ..... 95

ผ14 แสดงปริมาณสารแอนทราควินโนนที่ถูกชะละลาย..... 96

ผ15 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อุณหภูมิ
ในการเผา 1000 องศาเซลเซียส..... 98

ผ16 แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิ
ในการเผา 1000 องศาเซลเซียส..... 98

ผ17 แสดงค่าความทนสารเคมีประเภทกรดและด่าง และการทนความราน
ของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส..... 99

ผ18 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อุณหภูมิ
ในการเผา 800 องศาเซลเซียส..... 99

ผ19 แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิ
ในการเผา 800 องศาเซลเซียส..... 99

ผ20 แสดงค่าความทนสารเคมีประเภทกรดและด่าง และการทนความราน
ของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส..... 100

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

ผ21 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อุณหภูมิ
ในการเผา 1200 องศาเซลเซียส..... 100

ผ22 แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิ
ในการเผา 1200 องศาเซลเซียส..... 100

ผ23 แสดงค่าความทนสารเคมีประเภทกรดและด่าง และการทนความราน
ของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส..... 101

ผ24 แสดงแรงกด และพื้นที่ที่รับแรงกดของตัวอย่างเพื่อใช้คำนวณ
ค่ากำลังรับแรงอัดที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส..... 101

ผ25 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบ
ค่าความซึมน้ำที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส..... 102

ผ26 แสดงแรงกด และพื้นที่ที่รับแรงกดของตัวอย่างเพื่อใช้คำนวณ
ค่ากำลังรับแรงอัดที่อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส..... 102

ผ27 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบ
ค่าความซึมน้ำที่อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส..... 103

ผ28 แสดงแรงกด และพื้นที่ที่รับแรงกดของตัวอย่างเพื่อใช้คำนวณ
ค่ากำลังรับแรงอัดที่อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส..... 103

ผ29 แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบ
ค่าความซึมน้ำที่อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส..... 103

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
3.1	แสดงสูตรโครงสร้างของสารแอนทราควินโนน.....	4
3.2	กระบวนการผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	5
3.3	แสดงรายละเอียดของบล็อกแต่ละชนิด.....	7
3.4	แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์.....	17
3.5	แสดงผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์.....	18
3.6	กราฟแสดงปริมาณของของเสียชนิดต่างๆใน leachate.....	20
3.7	กราฟแสดงผลของอัตราส่วนของน้ำต่อความสามารถในการถูกชะละลาย...	20
3.8	กราฟแสดงผลของของเสียต่อค่ากำลังรับแรงอัด.....	21
3.9	กราฟแสดงผลของอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่อค่ากำลังรับแรงอัด.....	22
3.10	กราฟแสดงผลของอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย.....	22
3.11	กราฟแสดงผลของระยะเวลาในการบ่มก้อนซีเมนต์ ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย.....	23
4.1	ภาพวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง	
	ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	39
	ข. ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว.....	39
4.2	ภาพแบบหล่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองขนาด 50 มม.....	39
4.3	ภาพแบบหล่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองขนาด 200x150x50 มม.....	40
4.4	ภาพเครื่องมือทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด.....	40
4.5	แสดงขั้นตอนการหล่อซีเมนต์.....	42
4.6	แสดงการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด.....	43
4.7	แสดงการทดสอบค่าความซึมน้ำ.....	43
4.8	ภาพวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง	
	ก. ดินสำเร็จรูป.....	47
	ข. ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว.....	47

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
4.9	ภาพเครื่องมือการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ใช้ในการทดลอง	
	ก. ภาพเตาเผาที่อุณหภูมิสูง.....	47
	ข. ภาพเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง.....	47
4.10	แสดงขั้นตอนการทำกระเบื้องดินเผา.....	49
4.11	แสดงการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด.....	49
4.12	แสดงการทดสอบค่าความซึมน้ำ.....	50
4.13	แสดงขั้นตอนการทดสอบความทนกรด.....	50
4.14	แสดงขั้นตอนการทดสอบความทนด่าง.....	51
4.15	แสดงขั้นตอนการทดสอบการทนความร้าน.....	51
5.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับ	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์.....	55
5.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับ	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์.....	56
5.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำกับ	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์.....	57
5.4	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการชะละลายกับ	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์.....	58
5.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างประสิทธิภาพการชะละลาย	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์.....	59
5.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับ	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ.....	61
5.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับ	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ.....	62
5.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำกับ	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ.....	63
5.9	ภาพคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว	
	ต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25.....	65

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
5.10	ภาพคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50.	65
5.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับ อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อดินสำเร็จรูป.....	67
5.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำกับ อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อดินสำเร็จรูป.....	68
5.13	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดและ อุณหภูมิในการเผาต่างๆ.....	70
5.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำและ อุณหภูมิในการเผาต่างๆ.....	71
5.15	ภาพกระเบื้องดินเผาปูพื้น เผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส.....	74
5.16	ภาพกระเบื้องดินเผา.....	74

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ดังนั้นการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ยังผลทำให้เกิดของเสียอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตมากมาย ล้วนแล้วแต่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปัจจุบันอุตสาหกรรมประเภทที่ก่อให้เกิดกากของเสียนั้นจะก่อให้เกิดปัญหาในเชิงการบำบัดโดยวิธีการฝังกลบ เนื่องจากพื้นที่ที่เหมาะสมนั้นมีจำกัดและน้อยลงไปทุกที จึงควรมีมาตรการและวิธีการแก้ปัญหาเพื่อรองรับสถานการณ์เหล่านี้ต่อไปในอนาคต

ปัญหาจากอุตสาหกรรมประเภทที่ใช้สารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นวัตถุดิบในการผลิต อาทิเช่น อุตสาหกรรมผลิตเครื่องสำอาง อุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิคส์เซอร์กิตบอร์ด อุตสาหกรรมโพลีเมอร์ และอุตสาหกรรมสิ่งทอ เป็นต้น จะก่อให้เกิดของเสียประเภทสารประกอบซิลิกา-อลูมินาขึ้นเป็นจำนวนมาก โดยประมาณได้ว่าซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วเกิดขึ้น 100 ตันต่อปี ซึ่งในการบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วโดยศูนย์บริการบำบัดกากอุตสาหกรรมของรัฐบาลจะเสียค่าใช้จ่ายเฉลี่ย 12000 บาทต่อตันซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นการบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วที่ไม่คุ้มทุนในเชิงเศรษฐศาสตร์ ดังนั้นจึงควรหาวิธีการบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วอย่างเหมาะสมในเชิงวิศวกรรมศาสตร์และเชิงเศรษฐศาสตร์

การบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วนั้นสามารถทำได้โดยการจำกัดความเป็นพิษโดยกระบวนการทำให้เป็นก้อนแข็งด้วยวัสดุประสาน จากนั้นทำการตรวจสอบว่าเป็นไปตามข้อกำหนดว่าด้วยการบำบัดของเสียตามกฎกระทรวงอุตสาหกรรมและกรมโรงงาน และสุดท้ายจึงนำไปฝังกลบ แต่ดังที่กล่าวไว้ข้างต้นว่ามีข้อจำกัดด้านพื้นที่ที่ใช้ในการฝังกลบในปัจจุบัน ฉะนั้นจึงควรหลีกเลี่ยงวิธีการฝังกลบและควรหาทางประยุกต์การบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วเพื่อให้เกิดประโยชน์ให้มากที่สุด

การวิจัยนี้ แบ่งออกเป็น 2 การทดลองโดยทำการศึกษาการบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วโดยทำเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และกระเบื้องดินเผาปูพื้น พร้อมทั้งมีการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมใน การนำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและกระเบื้องดินเผาปูพื้นไปใช้ประโยชน์ในเชิงการก่อสร้างได้จริงตลอดจนมีการประเมินค่าใช้จ่ายในการบำบัดเพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมทั้งทางด้านวิศวกรรมศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ โดยทำการเปรียบเทียบความเหมาะสมของวัสดุปูพื้นทั้งสองประเภท

บทที่ 2
วัตถุประสงค์และขอบเขตการวิจัย

2.1 วัตถุประสงค์

1.ศึกษาความสามารถในการบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วโดยการทำวัสดุปูพื้น

2. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว

3. ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมที่วัสดุปูพื้นสามารถใช้งานในเชิงการก่อสร้างได้จริง

4. ศึกษาการประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วโดยการทำวัสดุปูพื้น

2.2 ขอบเขตการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการนำของเสีย ซิลิกา-อลูมินามาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น ซึ่งทำการศึกษาวัสดุปูพื้น 2 ประเภทคือ คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และกระเบื้องดินเผาปูพื้น โดยการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อการใช้งานก่อสร้างได้จริง ดังนั้นจึงทำการศึกษาตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

2.2.1 งานวิจัยคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

- อัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วที่เหมาะสม
- อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน
- ระยะเวลาในการบ่ม
- เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย
- เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

2.2.2 งานวิจัยกระเบื้องดินเผาปูพื้น

- อัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วที่เหมาะสม
- อุณหภูมิในการเผากระเบื้อง
- เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย
- เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

บทที่ 3
ทบทวนเอกสาร

3.1 ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว (Spent silica-alumina)

ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วเป็นของเสียที่ได้จากกระบวนการผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ดังในรูปที่ 3.1. ซึ่งกระบวนการผลิตนั้นเกิดจากก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากันโดยมีสาร working solution (EQ) ซึ่งเป็นสารละลายที่เกิดจากสารประกอบในกลุ่มแอนทราควินโนน โดยที่สาร working solutionเป็นสารที่ทำให้เกิดการรวมตัวของก๊าซทั้งสอง ในขณะที่สาร working solution เมื่อใช้ครบ 1 รอบจะก่อให้เกิดความชื้นและสิ่งสกปรกจึงต้องใช้สารซิลิกา-อลูมินาในการดูดความชื้นและสิ่งสกปรก ในกระบวนการนี้เองทำให้เกิดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วขึ้น โดยปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องเป็นดังนี้

ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน

$$EQ + H_2 \longrightarrow EQH$$

ปฏิกิริยาออกซิเดชัน

$$EQH + O_2 \longrightarrow EQ + H_2O_2$$

ปฏิกิริยา

$$EQ + \text{silica-alumina powder} \longrightarrow EQ + \text{spent silica-alumina}$$

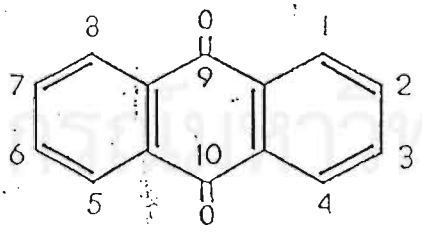
ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วที่เกิดขึ้นนี้มีส่วนประกอบดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนประกอบซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว

ส่วนประกอบ	ปริมาณ	
	มก./ก.	%
Aluminium oxide	550-630	55.0-63.0
Silicium oxide	120-160	12.0-16.0
Water soluble salt	70-130	7.0-13.0
Humidity	100	10.0
Ethyl tetrahydro anthraquinone	23.08	2.31
Ethyl anthraquinone	9.85	0.99
Ethyl dihydroxy anthraquinone	6.61	0.66

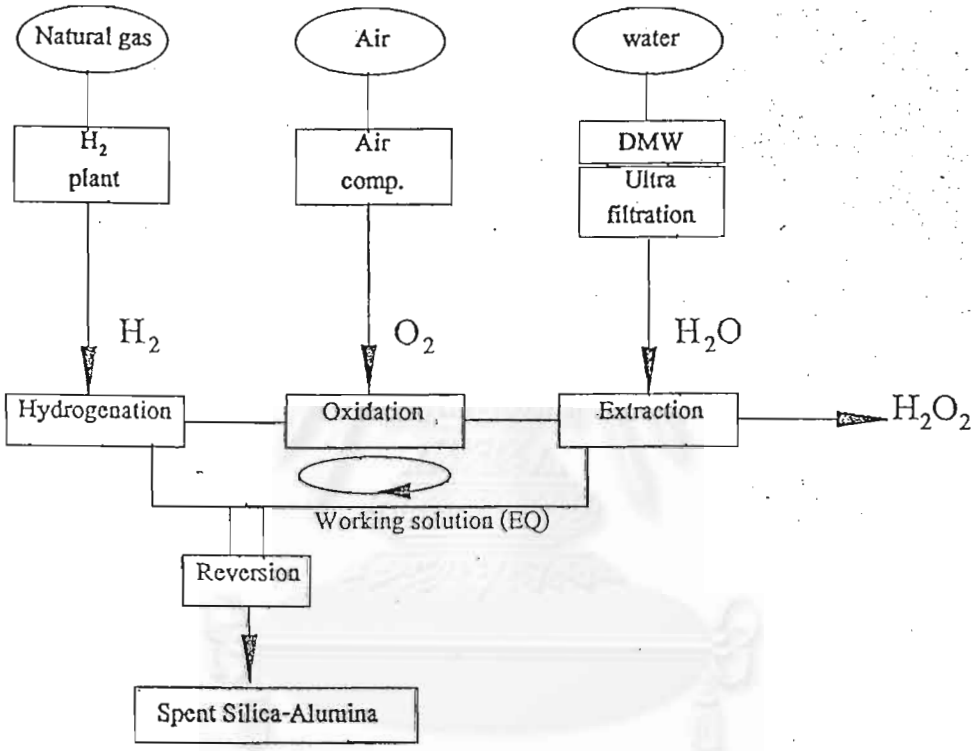
3.1.1 สารแอนทราควินโนน (Anthraquinone)

สารแอนทราควินโนนมีสูตรทางเคมีคือ มีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็ม มีจุดหลอมเหลวที่ 286 บางชนิดของสารควินโนนใช้ทำสีย้อมผ้า และยาถ่าย โดยมีสูตรโครงสร้างดังแสดงต่อไปนี้



รูปที่ 3.1 แสดงสูตรโครงสร้างของสารแอนทราควินโนน (Robinson,1980)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 กระบวนการผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์
(ข้อมูลจากโรงงานผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์)

3.2 <u>วัสดุปูพื้น</u>

วัสดุปูพื้นคือก้อนวัสดุหรือแผ่นวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างโดยนำไปปูพื้นทั้งนี้ไม่มีการกำหนดประเภทของวัสดุปูพื้นที่แน่นอน ฉะนั้นจึงไม่สามารถระบุประเภทได้ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีความเกี่ยวข้องกับวัสดุปูพื้นอยู่ 2 ประเภทด้วยกัน คือ

3.2.1. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (Concrete paving block) มีลักษณะเป็นก้อนคอนกรีตตันที่สามารถนำมาวางเรียงประสานกันได้อย่างต่อเนื่องมีสีตามธรรมชาติหรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ทั้งบล็อกหรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าและจะมีรูปร่างแบบใดก็ได้ เหมาะสำหรับใช้ปูพื้นเช่น ถนน ทางเท้า ลานจอดรถ และลานกองเก็บวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับการออกแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้นให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน

ชนิดและขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ได้ใช้เกณฑ์ในการแบ่งประเภทโดยพิจารณาถึงลักษณะรูปร่างของคอนกรีตซึ่งขึ้นอยู่กับการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ ดังนี้

ก. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นซีแพค 6 ซม. สำปรับปูทางเท้าและจอดรถถนนภายในอาคาร

ข. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นซีแพค 10 ซม. สำหรับใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักสูง อาทิ ลานจอดรถในโรงงาน พื้นโกดังสินค้า ถนนสาธารณะ

ค. ขอบคันหินซีแพค สำหรับก่อทำของคันทางเดินหรือขอบของถนน ที่ปูด้วยบล็อกชนิดนี้ให้มีความเรียบร้อยสวยงาม

ง. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปตัว "ไอ" เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการปูซ้อนเพื่อทำพื้นถนน

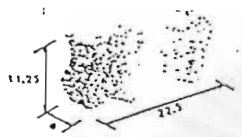
รายละเอียดของบล็อกแต่ละชนิดให้ดูจากรูปที่ 3.3 ประกอบ

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้

ก. ปูง่ายสะดวกรวดเร็ว เสร็จแล้วใช้งานได้ทันที คอนกรีตบล็อกปูถนน ออกแบบมาให้สามารถล็อกกันได้ในตัว

ข. สะดวกและง่ายดายในการซ่อมบำรุง ด้วยเหตุที่มีรูปลักษณะเป็นก้อนต่อเนื่องกัน คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจึงไม่มีการแตกหักเป็นรอยร้าว เช่น พื้นคอนกรีตทั่วไป แต่ในกรณีที่จำเป็นต้องเปลี่ยนหรือซ่อมก็สามารถถอดเปลี่ยนได้เฉพาะก่อน

1 บล็อคปูถนนซีแพค 6 ซม.

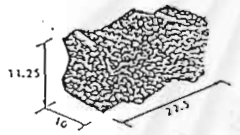


สำหรับงานปูทางเท้า จอดรถถนนภายในบ้าน

ความยาว	22.5	ซม.
ความกว้าง	11.25	ซม.
หนา	6	ซม.

(1 ตารางเมตรใช้ 40 ก้อน)

2 บล็อคปูถนนซีแพค 10 ซ.ม.



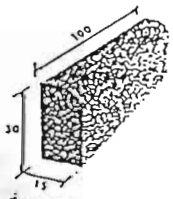
สำหรับใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักสูง เช่น สนามจอดรถในโรงงาน โกดังสินค้า ถนนสาธารณะ

ความยาว	22.5	ซม.
ความกว้าง	11.25	ซม.
หนา	10	ซม.

(1 ตารางเมตรมี 40 ก้อน)

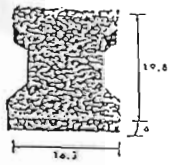
เฉพาะขนาดความหนา 10 ซม. มี 2 สี คือ สีเทา และสีแดง

3 ขอบกันหินซีแพค



เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการสร้างถนน ซีแพคได้ผลิตขอบกันหินคอนกรีตสำเร็จรูป ขนาดกว้าง 15 ซม. สูง 30 ซม. ยาว 1 เมตร เพื่อใช้ทำขอบถนนทั่ว ๆ ไป เหมาะยากสำหรับใช้ควบคู่ไปกับบล็อกปูถนนซีแพค สามารถติดตั้งได้ง่ายเพียงเว้างเรียงต่อกันเท่านั้น

4 บล็อคปูถนน รูปตัว "ไอ"



เป็นบล็อคปูถนนซีแพคแบบใหม่ มีลักษณะรูปตัวไอ

ขนาด กว้าง	16.3	ซม.
ยาว	19.8	ซม.
หนา	6	ซม.
น้ำหนัก	3.8	ก.ก.

(ใน 1 ตารางเมตรใช้ 35 ก้อน)

รูปที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของบล็อกแต่ละชนิด

(ที่มา : พิภพ สุนทรสมัย,2537)

3.2.2. <u>กระเบื้องดินเผาปูพื้น</u> (Floortiles) เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการอัด (pressing) ดินและส่วนผสมอื่นๆ เช่นทราย สี เป็นต้น แล้วเผาที่อุณหภูมิที่ไม่น้อยกว่า 1000 องศาเซลเซียส มีลักษณะเป็นแผ่น แต่ละแผ่นมีพื้นที่ไม่น้อยกว่า 90 ตารางเซนติเมตร มีสีและรูปร่างใดๆ ก็ได้

สีของกระเบื้องดินเผาปูพื้น ถึงแม้ไม่มีการกำหนดอย่างชัดเจนในมาตรฐาน แต่ก็เป็นคุณลักษณะอย่างหนึ่งที่ผู้ผลิตมักให้ความสำคัญ เนื่องจากมีประโยชน์ในด้านความสวยงาม ซึ่งเกิดจากสาเหตุหลายประการ เช่น

ก. เกิดจากส่วนผสมที่มีอยู่ในดิน เช่นธาตุเหล็ก หรือสนิมเหล็กเมื่อเผาแล้วจะเกิดเป็นสีเหลืองเข้ม สีส้ม หรือสีแดง ธาตุแมงกานีส ทำให้เกิดสีน้ำเงิน และถ้าร้อนจะกลายเป็นสีดำ ดินแป้งและชอล์กจะทำให้เกิดสีขาว ธาตุเหล็กและแมงกานีสรวมกันจะทำให้เกิดสีเหลืองแก่

ข. เกิดจากการได้รับความร้อนต่างกัน หรือเผาคนละเตา เช่นได้รับความร้อนจัดสีจะแก่กว่าได้รับความร้อนอ่อน

3.3 การกำจัดโดยการทำให้เสถียรและการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน

3.3.1 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำให้เสถียร

การทำให้เสถียร(Stabilization) หมายถึงกระบวนการจำกัดฤทธิ์หรือลดความเป็นพิษของของเสียที่เป็นอันตราย(Hazardous Wastes) โดยการทำให้ของเสียมีคุณสมบัติที่เฉื่อยต่อการเกิดปฏิกิริยา

วัตถุประสงค์ในการทำให้เสถียร

- ทำให้อัตราการปนเปื้อนไปยังสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด
- ลดระดับความเป็นพิษ

3.3.2 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำให้แข็งตัวเป็นก้อน

การทำให้แข็งตัวเป็นก้อนแข็ง (Solidification) หมายถึงกระบวนการในการทำให้ของเสียที่เป็นของเหลวหรือตะกอนแข็งตัวคงรูปเป็นก้อน โดยมีวัสดุประสาน (Binder) ทำปฏิกิริยากับของเสียยังผลให้ของเสียนั้นแข็งตัวเป็นก้อนแข็ง

วัตถุประสงค์ของการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนแข็ง มีดังนี้

- เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายขนส่ง
- ลดพื้นที่ผิวของของเสียซึ่งเป็นการลดการแพร่กระจายของสารพิษ
- จำกัดอัตราการละลายของสารพิษเมื่อสัมผัสกับสารละลาย
- ลดความเป็นพิษ

3.3.3 วิธีการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน

ก. วิธีการใช้ปูนซีเมนต์ (Cement – Based Techniques)

ข. วิธีการปอซโซลาน (Lime - Based Techniques / Pozzolanic Techniques)

ค. วิธีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ (Self - Cementing Method)

ง. วิธีการหลอมให้เป็นแก้ว(Glassification)

วิธีการข้างต้นมีความเหมาะสมในการจับยึดสารประเภทสารอนินทรีย์

จ. วิธีการเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic Techniques)

ฉ. วิธีการเทอร์โมเซตติง (Thermosetting Techniques)

ช. วิธีเอนแคปซูเลชั่น (Encapsulation Techniques)

วิธีการข้างต้นมีความเหมาะสมในการจับยึดสารประเภทสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ประจุลบ

ในส่วนของรายละเอียดของกระบวนการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนตามวิธีต่างๆข้างต้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.2 เพื่อที่สามารถเลือกวิธีการบำบัดได้อย่างเหมาะสมกับของเสียที่ต้องการบำบัด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดและข้อดีข้อเสียของวิธีการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน

วิธีการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน	รายละเอียดของวิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. วิธีการใช้วัสดุปูนซีเมนต์	นำของเสียผสมซีเมนต์และเติมส่วนผสมอื่นๆจากนั้นทิ้งไว้ให้แข็งตัว	- วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - สามารถกำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดี - ไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเรื่องกำลังรับแรงอัด	- ไม่เหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ - เป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย - เป็นปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของที่ดิน
2. วิธีการปอซโซลาน	นำของเสียผสมปูนขาวและวัสดุที่เป็นปอซโซลานพร้อมทั้งผสมกับน้ำทิ้งไว้ให้แข็งตัว	- วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - สามารถกำจัดของเสีย 2 ชนิดภายใน ขั้น ตอนเดียวกัน	- ไม่เหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ - เป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย - เป็นปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของที่ดิน
3. วิธีการใช้วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์	นำของเสียผสมกับสารที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลไฟด์ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม	- มีสารเติมในส่วนผสมที่ทำให้การแข็งตัวของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว	- สารอินทรีย์บางชนิดทำลายการแข็งตัวของปูนซีเมนต์
4. วิธีการหลอมให้เป็นแก้ว	นำของเสียอันตรายประเภทสารกัมมันตภาพรังสีมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้เป็นแก้วหรือผลึกซิลิเกต ซึ่งสามารถนำไปทิ้งโดยไม่ต้องมีการห่อหุ้มอีกต่อไป	- วัสดุที่ใช้มีราคาถูก -การห่อหุ้มอยู่ในเกณฑ์ดี -สามารถใช้ในการบำบัดสารกัมมันตภาพรังสีได้	- เสียค่าใช้จ่ายมากในการให้ ความร้อนแก่อุปกรณ์ - ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการบำบัดของเสียที่ไม่ใช้สารกัมมันตภาพรังสี

5. วิธีการเทอร์โมพลาสติก	นำของเสียมาทำให้แห้ง จากนั้นทำให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกร้อน เช่น พาราฟิน(Parafin), บิทูเมน(Bitumen) ทิ้งไว้ให้เย็นลงจะเกิดการแข็งตัว	- สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้เป็นอย่างดี	- เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง - ต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการควบคุมดูแล
6. วิธีการเทอร์โมเซตติ้ง	นำของเสียผสมกับสารประเภทออร์แกนิกโพลีเมอร์ จากนั้นใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ผสมก่อนที่จะเกิดการแข็งตัวของโพลีเมอร์	- ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่ได้มีความหนาแน่นต่ำ	-การหุ้มห่อเป็นไปอย่างหลวมๆ -สารที่มีค่า pH ต่ำจะทำให้ โลหะละลายได้มากขึ้น
7. วิธีเอนแคปซูเลชั่น	นำของเสียมาอัดให้เกาะตัวกันแน่นจากนั้นจะใช้วัสดุเฉื่อย เช่น Polyethylene หรือ Organic rasin หุ้มผิวนอก	- ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่นๆ - ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี	-ไม่เหมาะกับการใช้งานเมื่อมี - ปริมาณของเสียมากๆ

ที่มา : Lagrega และคณะ,1994

3.4 <u>กลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน</u>

การทำความเข้าใจพื้นฐานของกลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนเป็นสิ่งที่ควรทราบเนื่องจากเป็นการประเมินถึงความสามารถหรือประสิทธิภาพของการทำให้เสถียร (Stabilization) โดยที่กลไกการจับยึดในวัสดุมีดังนี้

3.4.1. แมคโครเอนแคปซูเลชั่น (Macroencapsulation)

3.4.2. ไมโครเอนแคปซูเลชั่น (Microencapsulation)

3.4.3. การดูดซับ (Absorption)

3.4.4. การดูดซึม (Adsorption)

3.4.5. การทำให้ตกผลึก (Precipitation)

3.4.6. การทำให้ความเป็นพิษลดลง (Detoxicfication)

รายละเอียดของกลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อนนั้นได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดกลไกการจับยึดในการทำให้แข็งตัวเป็นก้อน

กลไกการจับยึด	รายละเอียด
1. แมคโครเอนแคปซูเลชั่น	เป็นวิธีทางกายภาพซึ่งเป็นลักษณะของรูภายในที่ไม่ต่อเนื่องจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างอิสระน้อยลง
2. ไมโครเอนแคปซูเลชั่น	เป็นวิธีทางกายภาพซึ่งของเสียจะถูกจับภายในโครงสร้างของผลึก โดยจะจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กเป็นส่วนมาก
3. การดูดซับ	เป็นวิธีทางเคมีซึ่งใช้ในการปรับปรุงให้ส่วนของลักษณะของก้อนเพื่อให้สะดวกต่อการเป็นก้อน กระบวนการแรกของวิธีนี้คือการดูดซับของเหลวที่อยู่ในของเสีย
4. การดูดซึม	เป็นวิธีการทางเคมีเป็นปรากฏการณ์ที่ผิว และยังเป็น.วิธีการทำให้เกิดการจับตัวกันซึ่งอาจจะหมายรวมถึงพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาล์ว มักจะเกิดเมื่อวัสดุประเภทซีเมนต์เป็นวัสดุประสานของของเสียประเภทอนินทรีย์
5. การทำให้ตกผลึก	เป็นวิธีการทางเคมีเพื่อทำให้เสถียรมากขึ้น โดยเป็น .วิธีที่ใช้กับของเสียประเภทอนินทรีย์ สารที่เป็นตัวก่อให้เกิดผลึกได้แก่ไฮดรอกไซด์, ซัลไฟด์, ซิลิเกต, คาร์บอเนต และฟอสเฟต
6. การทำให้ความเป็นพิษลดลง	เป็นวิธีการทางเคมีที่เกิดขึ้นขณะเกิดกระบวนการทำให้เสถียร เป็นการเปลี่ยนทางเคมีเพื่อให้เกิดในรูปอื่นๆที่มีความเป็นพิษน้อยลง หรือไม่มีความเป็นพิษเลย

ที่มา : Lagrega และคณะ,1994

3.5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยเมื่อปูนซีเมนต์ผสมกับทราย หิน และน้ำด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะได้คอนกรีต เมื่อแข็งตัวแล้วจะได้คอนกรีตที่แข็งแรงทนทาน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการเหาส่วนผสมต่างๆที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1400-1500 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบของสารประกอบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักดังแสดงในตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 แสดงส่วนประกอบของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ส่วนประกอบ	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3
ปริมาณ (%)	60-65	20-24	4-8	2-5

ที่มา : วินิต ช่อวิเชียร,2539

เมื่อเผาส่วนประกอบข้างต้นของปูนซีเมนต์แล้ว สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกา อลูมินา และเหล็ก จะทำปฏิกิริยาเคมีรวมตัวกันได้สารประกอบที่สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต และเตตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์

3.5.1 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ประเภท 1 เรียกว่า Normal portland cement หรือ Standard portland cement เพราะนำปูนซีเมนต์ชนิดนี้เป็นมาตรฐาน เพื่อที่จะได้ทราบความแตกต่างของปูนซีเมนต์ชนิดต่างๆ ที่ผลิตขึ้นมาภายหลัง จึงยอมรับกันว่าปูนซีเมนต์ชนิดนี้ เหมาะที่จะนำมาใช้งานก่อสร้าง ปูนซีเมนต์ที่เทียบได้กับประเภทนี้ ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ปูนซีเมนต์ตราเพชร ปูนซีเมนต์พญานาคเศียรเดียวสีเขียวและปูนซีเมนต์ตราดอกจิก

ประเภท 2 เรียกว่า Modified portland cement เป็นปูนซีเมนต์ที่มีความต้านทานพวกเกลือซัลเฟตมากกว่าประเภท 1 นำมาใช้กับการสร้างคลองส่งน้ำได้และมีความร้อนที่เกิดจากปฏิกริยาระหว่างปูนซีเมนต์ทำกับน้ำ (Hydration) ต่ำและจะเพิ่มขึ้นช้ากว่าประเภท 1 ปูนซีเมนต์ที่เทียบได้กับปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร

ประเภท 3 High-early strenfth portland cement เป็นปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังได้รวดเร็วในเวลาอันสั้น เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ผสมเป็นคอนกรีตในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จะมีความแข็งแรงเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ประเภท 1 อายุ 3 วัน เท่ากับงานที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ประเภท 2 อายุ 28 วัน เหมาะที่จะนำมาใช้กับในช่วงอากาศหนาวได้เป็นอย่างดี ปูนซีเมนต์ที่เทียบได้กับปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ปูนซีเมนต์ตราเอราวัณ ปูนซีเมนต์ตราสามเพชร และปูนซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง

ประเภท 4 Low-heat portland cement เป็นปูนซีเมนต์ชนิดพิเศษที่ใช้กับจำนวนในอัตราความร้อนที่เกิดขึ้นต่ำ และกำลังก็จะเพิ่มขึ้นช้าๆ เช่นเดียวกัน มีประโยชน์ในการเลือกใช้กับงานการสร้างเขื่อนใหญ่ๆ

ประเภท 5 Sulfate-resistant portland cement เป็นความตั้งใจที่จะเลือกใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องอยู่กับสารพวกเกลือ เช่น การแช่อยู่ในน้ำหรือสร้างในบริเวณใกล้ทะเล ปูนซีเมนต์ที่เทียบได้กับปูนซีเมนต์ประเภทนี้ได้แก่ปูนซีเมนต์ตราฉลาม

3.5.2 <u>องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์</u>

ปูนซีเมนต์โดยทั่วไปประกอบด้วยสารประกอบดังนี้

1. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcuim Silicate, $2CaOSiO_2$) ซึ่งมีชื่อย่อว่า C_2S
2. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium, $3CaO.SiO_2$) ซึ่งมีชื่อย่อว่า C_3S
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium Aluminate, $3CaO.Al_2O_3$) ซึ่งมีชื่อย่อว่า C_3A
4. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium Aluminoferite, $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) ซึ่งมีชื่อย่อว่า C_4AF

องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในรูปของออกไซด์และในรูปของสารประกอบแสดงในตารางที่ 3.5

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 แสดงองค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

องค์ประกอบ	ร้อยละ
1. องค์ประกอบในรูปออกไซด์ของธาตุต่างๆ	
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	65.60
ซิลิกอนออกไซด์ (SiO_2)	20.81
อลูมินัมไดออกไซด์ (Al_2O_3)	5.57
เฟอริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	3.04
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	0.77
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	2.52
แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$)	0.97
2. องค์ประกอบในรูปสารประกอบ	
ไดแคลเซียมซิลิเกต ($2CaO.Si0_2$)	59.90
ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$)	14.50
ไตรแคลเซียมอลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$)	9.60
เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ ($4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$)	6.25

ที่มา : Solidification of Hazardous waste by cement - based techniques, 1993

อุดม หงษ์ประธานพร (พ.ศ.2533) กล่าวถึงสารประกอบทั้ง 4 ชนิดซึ่งมีผลต่อคุณสมบัติปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไว้ดังนี้

ไตรแคลเซียมซิลิเกต (tricalcium silicate $3CaO.SiO_2$) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับกำลังได้เร็ว ให้กำลังสูง และเกิดความร้อนมาก

ไดแคลเซียมซิลิเกต (dicalcium silicate $2CaO.Si0_2$) จะทำให้ปูนซีเมนต์รับกำลังได้ช้า ให้กำลังสูง และเกิดความร้อนน้อย

ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (tricalcium aluminate $3CaO.Al_2O_3$) จะทำให้ปูนซีเมนต์เกิดการก่อตัวทันที่ผสมน้ำ ให้ความร้อนสูง โดยจะให้กำลังรับแรงอัดเล็กน้อยในวันแรกและจะไม่ให้กำลังเพิ่มขึ้นตามเวลา แต่จะมีประโยชน์ในการช่วยเร่งปฏิกิริยาของไตรแคลเซียมซิลิเกต

เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอร์ไรท์ (tetracalcium aluminoferrite $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$) จะก่อตัวอย่างรวดเร็ว แต่ช้ากว่าและให้ความร้อนน้อยกว่าไตรแคลเซียมอลูมิเนตเล็กน้อย ส่วนการให้กำลังรับแรงอัดยังไม่เป็นที่ทราบแน่นอน

ในปูนซีเมนต์จะมีสารประกอบของไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกตรวมกันประมาณ 70 ถึง 80 % และเป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพราะฉะนั้นจึงมีการศึกษาโดยใช้ X-ray diffraction เพื่อที่จะศึกษาสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกตและสารประกอบไดแคลเซียมซิลิเกต และตัวประสาน แคลเซียม-ซิลิเกต-ไฮเดรต ซึ่งเป็นตัวก่อการประสานและรับกำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

3.5.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่น (Hydration reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวเป็นคอนกรีตแข็ง ปฏิกิยาจะขึ้นกับสารประกอบดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากันและเปลี่ยนเป็นวัสดุประสาน ผลิตผลของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมีชื่อเรียกรวมๆว่าซีเมนต์เจล (Cement gel) ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้มากขึ้นถ้าเพิ่มเวลาในการบ่มมากขึ้น

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นดังต่อไปนี้

1. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมซิลิเกตซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

2. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไดแคลเซียมซิลิเกตซึ่งแสดงได้ดังนี้

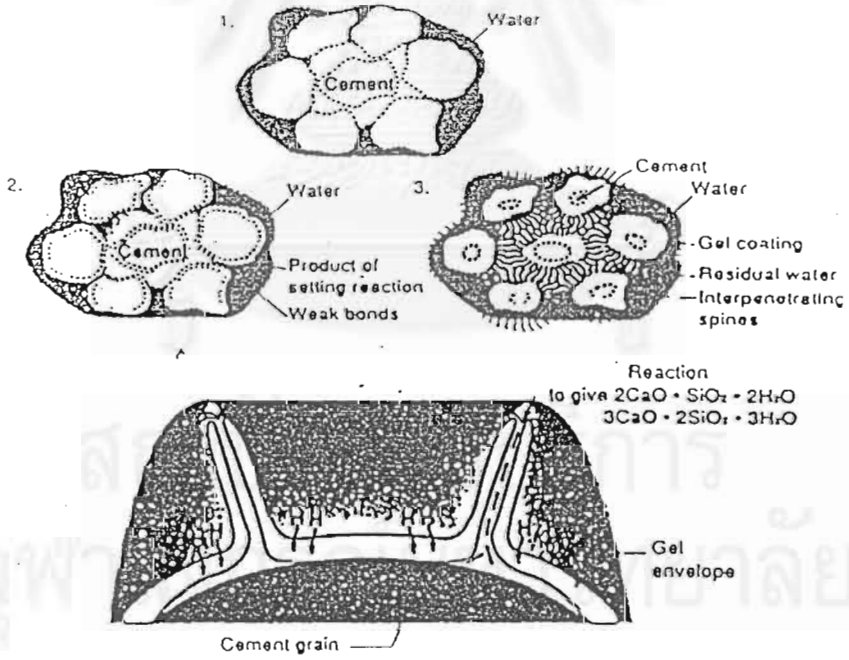
$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$

3. ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมอลูมิเนตซึ่งเป็นปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งแสดงได้ดังนี้

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

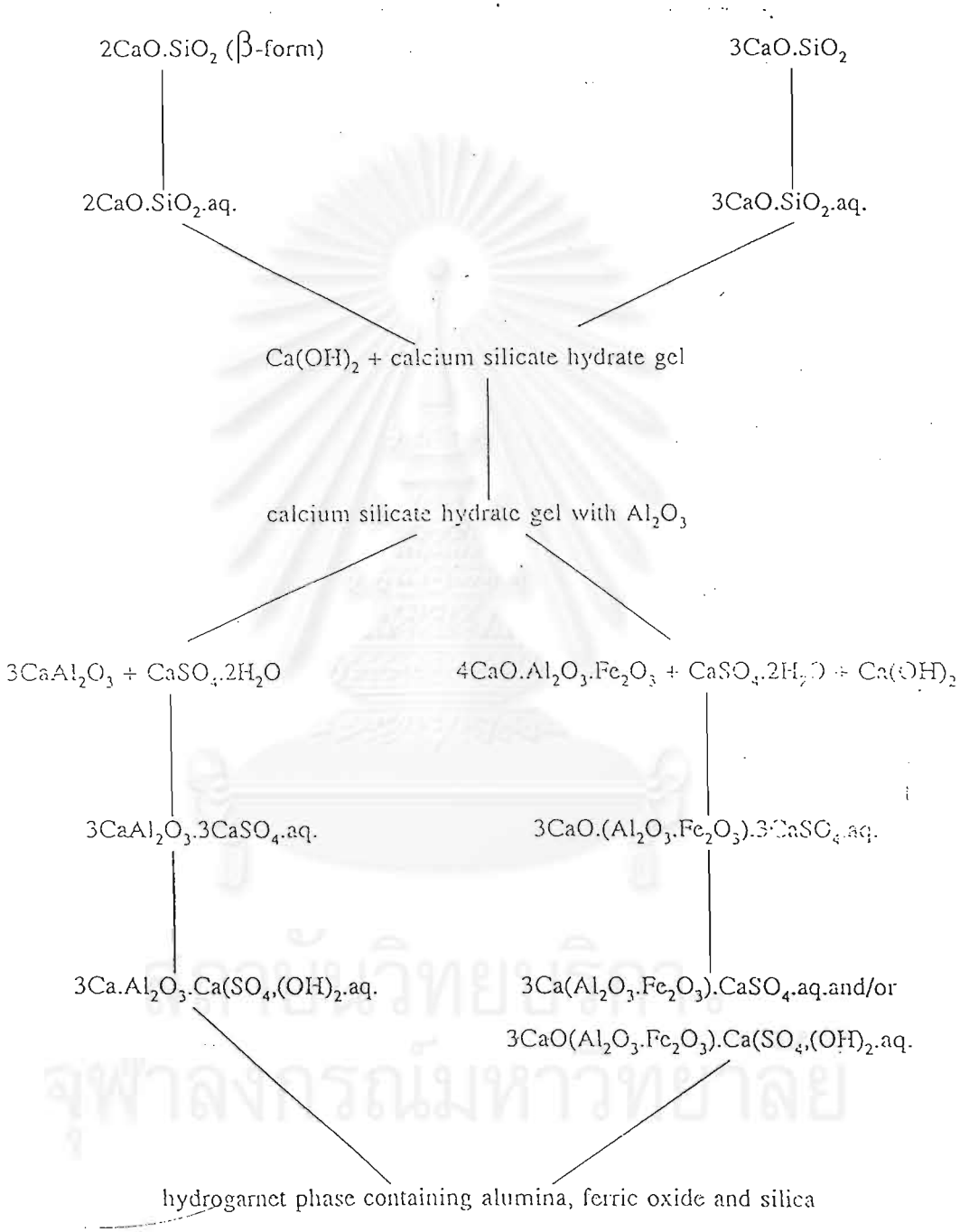
จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นข้างต้นจะได้ว่าความเป็นด่างที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในรูปแคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งแสดงความจุบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของซีเมนต์ โดยที่เมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชสูงกว่า 11 ผลึกแคลเซียมที่ไม่ละลายจะรวมตัวเกิดเป็นโครงสร้างซีเมนต์

ในซีเมนต์เจล (Cement gel) จะมีช่องว่างเล็กเกิดขึ้นโดยคิดเป็นค่าความพรุนได้ประมาณ 28%ซึ่งในช่องว่างเหล่านี้เป็นที่อยู่ของน้ำ ปริมาตรของช่องเล็กเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์ และปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และจะแสดงผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 แสดงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์

(ที่มา : Lagrega และคณะ,1994)



รูปที่ 3.5 แสดงผลของการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปอร์ตแลนด์ซีเมนต์

(ที่มา : Lagrega และคณะ, 1994)

3.6 ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดของเสียโดยการทำให้เป็นก้อน

Shin and Sujiwatthana (1988)ได้ทำการศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทำให้เป็นก้อนในด้านความสามารถในการถูกชะละลาย และความสามารถในการรับแรงอัดของของแข็งที่ถูกทำให้เป็นก้อนแล้ว ในการทดลองนี้ใช้วิธี Cement /Silicate based technique สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการถูกชะละลาย และความสามารถในการรับแรงอัดคือ

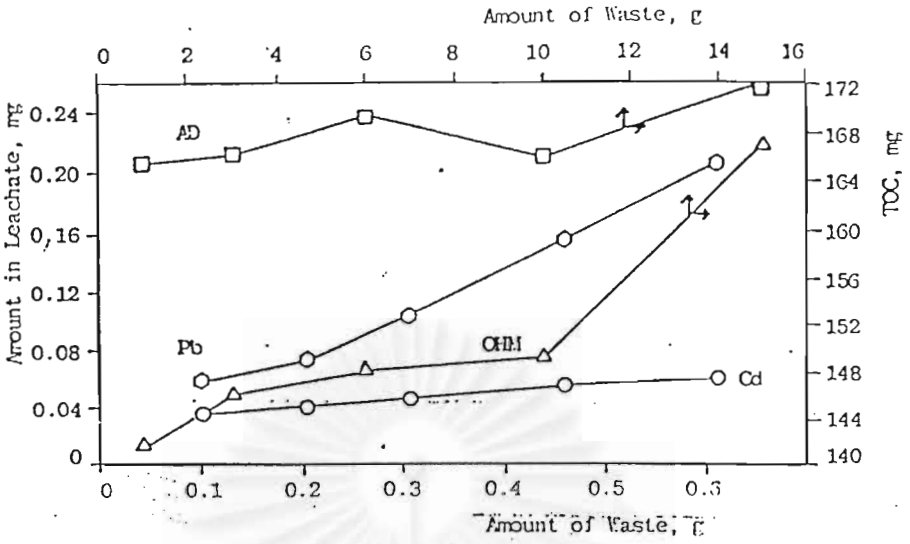
- ปริมาณของเสียเสี่ยงอันตรายในตอนเริ่มแรก
- อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์
- อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร
- ระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์

3.6.1 ปริมาณของเสียเสี่ยงอันตรายในตอนเริ่มแรก

3.6.1.1 จากการทดลองการสกัด (extraction test) โดยการสกัดของเสียที่แข็งตัวในซีเมนต์ด้วยกรดอะซีติกในเครื่อง Orbital Shaker เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณ T.O.C. และโลหะหนักในสารที่ใช้สกัด จากนั้นนำไปสกัดต่ออีก 24 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วนำไปวิเคราะห์หาปริมาณ T.O.C.และโลหะหนักอีกครั้ง ผลการทดลองนำไปเขียนกราฟได้ดังรูปที่ 3.5 จะเห็นได้ว่าปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นปริมาณของเสียที่ถูกชะละลายก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

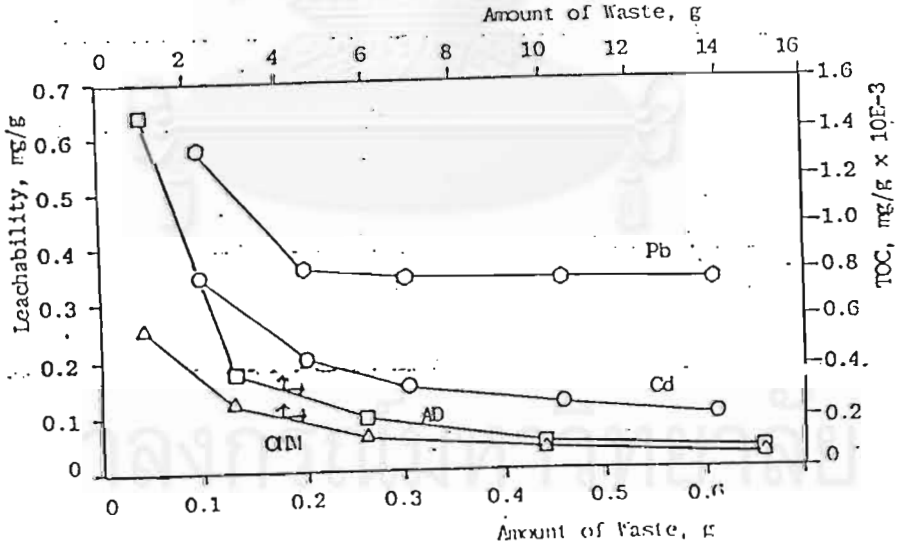
จากรูปที่ 3.6 แสดงให้เห็นว่า ปริมาณของเสียใน leachate จะเพิ่มขึ้นต่ำกว่าการเพิ่มปริมาณของเสียตอนเริ่มต้น ดังนั้นค่าความสามารถในการถูกชะละลายจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเสียตอนเริ่มต้น

3.6.1.2 จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C109-64 จะได้ผลการทดลองตามรูปที่ 3.7 จะเห็นว่าถ้ามีปริมาณของเสียในซีเมนต์เพสต์น้อยลงจะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพิ่มขึ้น เพราะว่าของเสียจะขัดขวางการแข็งตัวของซีเมนต์



รูปที่ 3.6 กราฟแสดงปริมาณของเสียต่างๆใน leachate

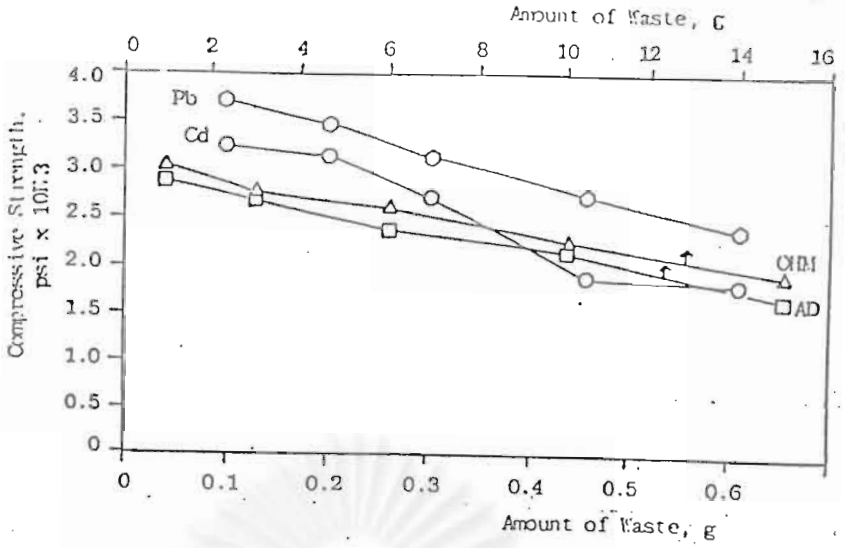
(ที่มา : Shin และ Sujiwatthana, 1988)



รูปที่ 3.7 กราฟแสดงของเสียชนิดต่างๆต่อความสามารถในการถูกชะละลาย

(ที่มา : Shin และ Sujiwatthana, 1988)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



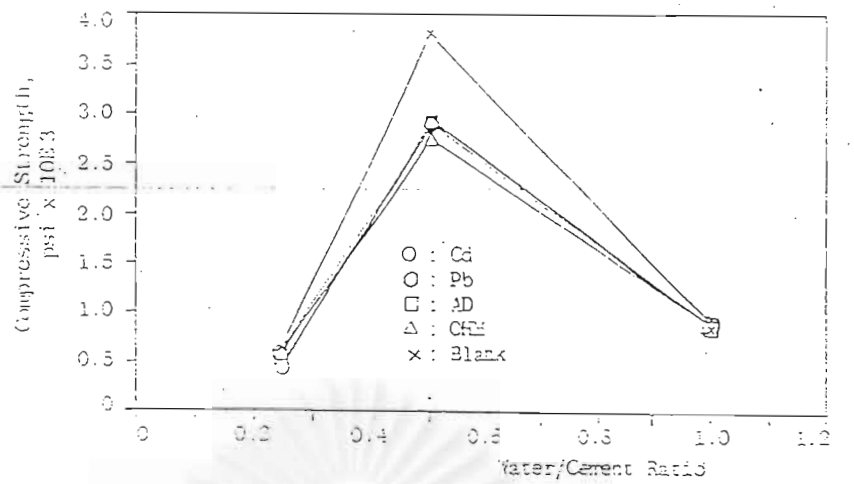
รูปที่ 3.8 กราฟแสดงผลของของเสียต่อค่ากำลังรับแรงอัด

(ที่มา : Shin และ Sujiwatthana, 1988)

3.6.2 อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์

3.6.2.1 จากการทดลองการชะละลาย (leaching test) จะพบว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.5 จะได้ค่าความสามารถในการชะละลาย (leachability) ต่ำที่สุด อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์จะมีผลต่อค่าความพรุนของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว นอกจากนี้ทั้งค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และค่าระดับของการอัด มีผลต่อปริมาตรของรูพรุนในซีเมนต์ เมื่อมีการทำการอัดไม่เหมาะสมและมีปริมาณน้ำที่เติมในซีเมนต์น้อยเกินไปจะทำให้ระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและการเกิดผลึกไม่ดี ซึ่งจะทำให้เกิดการรั่วไหลของของเสียมากขึ้น ทั้งนี้ถ้าหากมีการเติมน้ำมากขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและเกิดผลึกได้ดีขึ้น แต่ถ้าหากเติมมากเกินไปจะทำให้เกิด capillary pores จะทำให้เกิดโอกาสการรั่วไหลของเสียได้มากขึ้น

3.6.2.2 จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (compressive strength) จะได้ผลการทดลองตามรูปที่ 3.9 จะเห็นว่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 จะทำให้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุดทั้งนี้เป็นไปตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นว่า การที่มีปริมาณน้ำที่ไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นและความพรุนที่ไม่เหมาะสม ทำให้ลดความสามารถในการรับแรงอัด

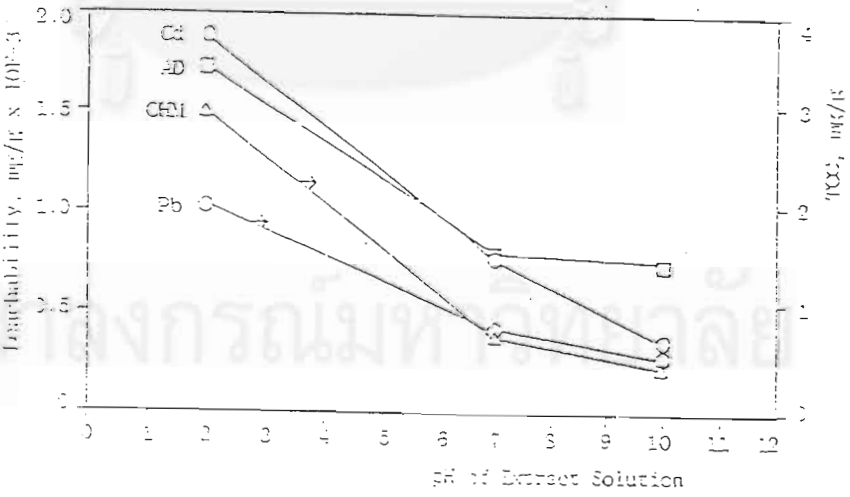


รูปที่ 3.9 กราฟแสดงผลของอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ต่อกำลังรับแรงอัด

(ที่มา : Shin และ Sujiwatthana, 1988)

3.6.3 อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร

จากการทดสอบการชะละลาย(extraction test) จะได้ผลการทดลองตามรูปที่33.10 ซึ่งสามารถสรุปได้ว่า ถ้ายิ่งมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงๆจะทำให้ซีเมนต์เพสต์มีโอกาสถูกชะละลายมากขึ้น ซึ่งจะทำให้ค่าความสามารถในการถูกชะละลายสูงขึ้น

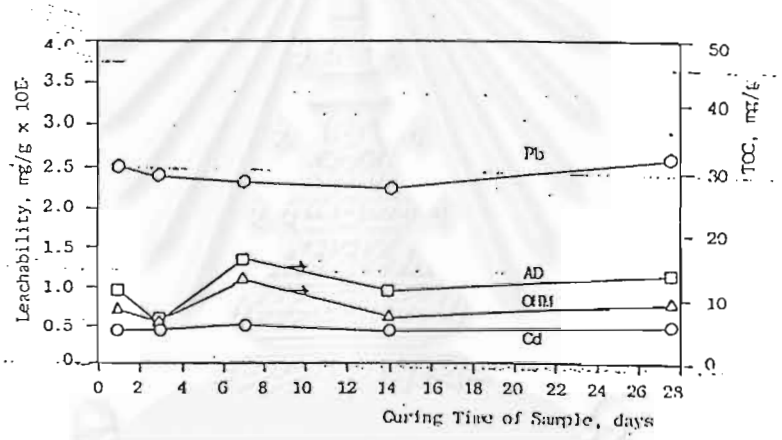


รูปที่ 3.10 กราฟแสดงผลของอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรต่อความสามารถในการถูกชะละลาย

(ที่มา : Shin และ Sujiwatthana, 1988)

3.6.4 ระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์

จากรูปที่ 3.11 แสดงให้เห็นได้ว่าการที่มีระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์นานจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดขึ้นได้ดี แต่ว่าค่าความสามารถในการถูกชะละลายไม่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทั้งนี้การรั่วของของเสียต่างๆ ขึ้นอยู่กับกลไก 2 ประการคือ การดูดซับ-การแทรกผ่าน และการจำกัดการละลายของโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นการแปรค่าระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์จึงไม่มีผลต่อการถูกชะละลายของเสีย แต่จะเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดให้เพิ่มขึ้นได้



รูปที่ 3.11 กราฟแสดงผลของระยะเวลาในการบ่มก้อนซีเมนต์ต่อความสามารถในการถูกชะละลาย

(ที่มา : Shin และ Sujiwatthana, 1988)

3.7 ดินสำเร็จรูป

ในการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้น วัตถุดิบที่สำคัญ คือดินเหนียวซึ่งถ้าในส่วนประกอบของดินมีองค์ประกอบที่ต่างไปจะได้คุณสมบัติของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ต่างออกไป จึงมีการแบ่งชนิดของดินเหนียวที่ใช้ทำกระเบื้องดินเผาปูพื้น ได้แก่

ดินเหนียวปูน เป็นดินเหนียวที่มีธาตุปูนผสมอยู่มาก ลักษณะเป็นดินขาว (chalk) หรือหินปูน (Limestone)

ดินเหนียวปนทราย เป็นดินเหนียวที่มีทรายปนอยู่มาก และถ้ามีปนอยู่มากกว่า 25 % จะทำให้กระเบื้องดินเผาปูพื้นเปราะไม่แข็งแรง

ดินเหนียวแก่ เป็นดินเหนียวที่มาทับถมกันอยู่นานๆ จนทำให้แน่นแข็งคล้ายหิน

ดินเหนียวทนไฟ เป็นดินเหนียวที่มีความต้านทานความร้อนได้มากโดยไม่แปรธาตุเป็นอย่างอื่น

3.8 การเผากระเบื้องดินเผา

การเผากระเบื้องดินเผา จัดโดยการพิจารณาระยะการเผาและอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระเบื้องเป็น

3.8.1. ขั้นขับความชื้นออกจากแผ่นกระเบื้องดินเผา ใช้ความร้อนตั้งแต่ 20 ถึง 500 องศาเซลเซียส ใช้เวลา 12 ชั่วโมงจนถึง 8-10 วัน

3.8.2. ขั้นไหม้ ใช้ความร้อนสูงถึง 900 องศาเซลเซียส ดินสามารถติดลุกเป็นไฟได้เอง มีการเปลี่ยนแปลงธาตุในตัวเอง

3.8.3. ขั้นละลายหลอมหรือเชื่อม ใช้ความร้อนตั้งแต่ 950 หรือ 1550 องศาเซลเซียส การละลายหลอมอาจทำให้กระเบื้องดินเผาเสียรูป แต่ทำให้เนื้อแน่นไม่มีโพรง จึงเหมาะสำหรับกระเบื้องดินเผาปูพื้น

3.9 เตาเผากระเบื้องดินเผา

เตาเผากระเบื้องดินเผามีหลายชนิดด้วยกัน แยกออกตามประเภทดังนี้

3.9.1. เตาเผาชั่วคราว ใช้เผาอิฐธรรมดาหรือกระเบื้องธรรมดา โดยนำกระเบื้องดินมาวางเรียงเป็นชั้นสูง 40 ชั้น เรียงโดยให้ไฟซึ่งใส่ไว้ข้างล่างผ่านพลุ่งไปได้ตลอด แล้วทำกำแพงชั่วคราว

3.9.2. เตาพ่นไฟขึ้น (Up-draft Kiln) เตาเผาชนิดนี้ใส่ไฟเฉพาะไม่ปนกับกระเบื้องดิน เพียงแต่ให้ลมร้อนจากเตาผ่านกระเบื้องดินขึ้นไปข้างบน

3.9.3. เตาพ่นไฟลง (Down-draft Kiln) เตาชนิดนี้ทำข้างบนมีหลังคามิดชิดไฟจึงออกข้างบนไม่ได้ต้องทวนกลับลงมาอีกทีแล้วไปสู่ปล่องระบายจึงได้ความร้อนสูงจัด

3.10 เกณฑ์มาตรฐานของวัสดุปูพื้น

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวัสดุปูพื้น 2 ประเภทด้วยกันจึงต้องแบ่งเกณฑ์พื้นฐานตามแต่ละประเภทดังนี้

3.10.1. เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (Standard for concrete paving blocks)

ก. มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนให้เป็นไปตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงมิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของบล็อก

มิติ	เกณฑ์ที่กำหนด (มิลลิเมตร)	เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน (มิลลิเมตร)
ความกว้างและความยาว	ไม่เกิน 295	± 2
ความหนา	60	± 2
	80	± 2
	100	± 3
	120	± 3

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2531

ข. บล็อกต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าวและสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ การทดสอบทำโดยการตรวจพินิจ

ค. ความได้ฉาก

- บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตรจะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

- บล็อกที่มีเกณฑ์ที่กำหนดของความหนาเกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร

ง. ค่ากำลังรับแรงอัด

ค่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกแต่ละก้อนต้องไม่น้อยกว่า 25 เมกะปาสคาลและค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 30 เมกะปาสคาล

3.10.2 เกณฑ์มาตรฐานกระเบื้องดินเผาปูพื้น (Standard for floor tiles)

ก. ขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนให้เป็นไปตามตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงขนาดและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของกระเบื้องดินเผาปูพื้น

มิติ	ขนาด						เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน
ความกว้าง	100	100	100	200	200	300	ไม่เกิน ± ร้อยละ 0.6
ความยาว	100	150	200	200	300	300	
ความหนา	เป็นไปตามที่ระบุ						ไม่เกิน ± ร้อยละ 5

ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม,2529

ข. กระเบื้องต้องไม่มีการล่อนตัว การแยกชั้นในเนื้อกระเบื้องการรานและการแตกหักและเมื่อตรวจสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผา

ค. ค่ากำลังรับแรงอัด

- ค่ากำลังรับแรงอัดต้องไม่น้อยกว่า 25.0 เมกะปาสคาล

ง. ค่าความซึมน้ำ

- เป็นเครื่องแสดงคุณภาพของกระเบื้อง โดยกระเบื้องที่ดีต้องมีค่าความซึมน้ำต้องไม่เกินร้อยละ 3

จ. ความทนสารเคมี

- เมื่อทดสอบมาตรฐาน กระเบื้องต้องไม่ปรากฏการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากสารเคมี

ฉ. การทนความราน

- เมื่อทดสอบมาตรฐาน ผิวของกระเบื้องต้องไม่ราน

3.11 ความสามารถในการถูกชะละลาย (Leachability)

ความสามารถในการถูกชะละลาย หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มข้นของสารที่ถูกชะละลายออกไปหลังจากผ่านการสกัดต่อความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ในตอนเริ่มต้น สามารถเขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$L = Wi / Wo$$

โดยที่ L = ความสามารถในการถูกชะละลาย

Wi = ความเข้มข้นของสารที่ถูกชะละลายออกไป

Wo = ความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ในตอนเริ่มต้น

3.12 <u>วัสดุใหม่สำหรับงานคอนกรีต</u>

การศึกษาที่เกี่ยวกับวัสดุศาสตรที่เกี่ยวข้องกับคอนกรีต (Concrete Technology) ได้เจริญก้าวหน้าไปอย่างรวดเร็วมากในศตวรรษนี้ โดยมีการวิจัยแล้วพัฒนาวัสดุผสมคอนกรีตประเภทอื่นๆ ซึ่งมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญคือ ต้องการปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้น ทั้งคอนกรีตที่อยู่สภาพเหลว เช่น ความสามารถเทได้ และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว เช่น กำลังรับแรงอัด และที่สำคัญยิ่งคือ ต้องการให้ได้คอนกรีตที่มีความทนทาน รวมทั้งต้องการให้ได้คอนกรีตที่มีราคาเหมาะสมด้วย โดนได้มีการนำวัสดุอื่นๆมาผสม วัสดุที่นำมาใช้กันอย่างแพร่หลายก็คือ

- Pulverized Fuel Ash (PFA) เป็นของแข็งเม็ดกลมมีความละเอียด ซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ถ่านหินที่บดละเอียด (Pulveruzsed Coal) ในโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า และจะถูกจับด้วยเครื่องดักจับ (Precipitator) PFA ที่ได้จากการเผาส่วนใหญ่เป็นออกไซด์ของซิลิกา และอลูมินา

- Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBF) เป็นของเหลือ (By Product) ของกระบวนการผลิตเหล็กโดยใช้เตาหลอม slag ที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลจากการหลอมตัวของแคลเซียมออกไซด์จากหินปูนกับซิลิกอน และอลูมินา

- Microsilica (MS) เป็นของเหลือ (By product) จากกระบวนการผลิต Silicon Metal หรือ Ferrosilicon Alloy

3.12.1 องค์ประกอบทางเคมี

องค์ประกอบทางเคมีของ Pulverized Fuel Ash (PFA) Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBF) และ Microsilica (MS) เหมือนกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่สัดส่วนจะแตกต่างกัน ดังแสดงไว้ในตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงองค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ Pulverized Fuel Ash (PFA) Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBF) และ Microsilica (MS)

ออกไซด์	% โดยน้ำหนัก			
	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	PFA	GGBS	MS
SiO_2	20	48	37	92
Al_2O_3	5	26	11	0.7
Fe_2O_3	3	10	0.3	1.2
CaO	65	3	40	0.2
MgO	1.1	2	7	0.2
SO_3	2.4	0.7	0.3	-1.2
Na_2O	0.2	1.0	0.4	1.9
K_2O	0.9	3.0	0.7	2.6
ออกไซด์อื่นๆ	1.4	1.3	2.3	-
Loss of ignition	1	5	-	

ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร, 2540

3.12.2 ลักษณะทางกายภาพ

ลักษณะทางกายภาพทั่วไปของปูนซีเมนต์ Pulverized Fuel Ash (PFA) Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBF) และ Microsilica (MS) แสดงเปรียบเทียบไว้ใน

ตารางที่ 3.9 แสดงลักษณะทางกายภาพทั่วไปของปูนซีเมนต์ Pulverized Fuel Ash (PFA) Ground Granular Blast Furnace Slag (GGBF) และ Microsilica (MS)

คุณสมบัติ	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1	PFA	GGBS	MS
ความละเอียด (ตารางเซนติเมตร/กรัม)	3400	3800	3500	150,000
ความหนาแน่น (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	1400	900	1200	240
ความถ่วงจำเพาะ (กรัม/ ลูกบาศก์เซนติเมตร)	3.15	2.3	2.9	2.2
สี	เทา	เทาอ่อน	ขาว	เทาดำ

ที่มา : ชัชวาล เศรษฐบุตร,2540

จากตารางที่3.9 จะพบว่า

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ PFA และ GGBS ที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตจะมีความละเอียดใกล้เคียงกัน แต่ MS จะมีความละเอียดสูงมาก

2. จากค่าความถ่วงจำเพาะ ถ้านำ PFA GGBS หรือ MS มาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ต แลนด์น้ำหนักจะเป็นการเพิ่มปริมาตรของส่วนละเอียดเมื่อเทียบกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่น้ำหนักเท่ากัน ซึ่งจะมีผลต่อความสามารถเทได้ของคอนกรีตที่ผู้ออกแบบจะต้องนำมาพิจารณา

3. MS ซึ่งมีขนาดเล็กกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ประมาณ 100 เท่าทำให้การจัดเก็บและลำเลียงทำได้ลำบากการแก้ไขทำได้โดยการผสมน้ำกับ MS ในอัตราส่วนเท่ากัน เพื่อให้ได้ของเหลว (Slurry) สะดวกต่อการจัดเก็บและการลำเลียงรวมทั้งช่วยให้การกระจายตัวของ MS ในส่วนผสมของคอนกรีตสดดีขึ้น

3.12.3 ลักษณะการทำงาน

3.12.3.1. Pulverized Fuel Ash

ปูนซีเมนต์เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้สารประกอบ 2 ชนิด คือ Calcuum Silicate Hydrate (CSH) และ Free Lime หรือ Calcirm Hydroxide $Ca(OH)_2$ ดังสมการ

ปูนซีเมนต์ + น้ำ $\longrightarrow$ CSH + $Ca(OH)_2$

CSH ทำหน้าที่เป็นกาวเชื่อมให้ส่วนผสมของคอนกรีตจับตัวกัน ส่วน $Ca(OH)_2$ ที่เกิดขึ้นนี้ประมาณ 25 % โดยปริมาตร ซึ่งไม่ก่อเกิดประโยชน์ใดๆ ในบางครั้งยังก่อให้เกิดผลเสียกับคอนกรีตด้วย เช่น ก่อให้เกิดฝ้าขาวบนผิวหน้าคอนกรีต (Efflorescence) หรือเกิดเป็นฟิล์มบนผิวมวลรวม ทำให้การจับยึดระหว่างมวลรวมและมอร์ต้าไม่ดีนัก แต่เมื่อใส่ PFA เป็นส่วนผสม SiO_2 ที่มีอยู่จำนวนมากใน PFA นี้ จะทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ และก่อให้เกิด CSH เพิ่มขึ้นดังสมการ

$Ca(OH)_2$ + SiO_2 จาก PFA + น้ำ $\longrightarrow$ CSH

CSH ซึ่งทำหน้าที่เป็นกาวที่เพิ่มขึ้นนี้ จะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติต่างๆ ของคอนกรีตให้ดีขึ้นไม่ว่าจะเป็นคุณสมบัติด้านกำลังอัด, ความทนทาน, การต้านการซึมผ่านของน้ำ เป็นต้น

3.12.3.2. Ground Granular Blast Furnace Slah

เนื่องจาก GGBS มีองค์ประกอบทางเคมีของ CaO อยู่เป็นจำนวนมาก ดังนั้น ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ GGBS จะใกล้เคียงกับปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ทั่วไป แต่เกิดช้ากว่า หลังจากเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นแล้ว ก็จะเกิดปฏิกิริยาระหว่าง SiO_2 ใน GGBS กับ $Ca(OH)_2$ จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์อีกครั้งหนึ่งดังสมการ

ปูนซีเมนต์ + น้ำ $\longrightarrow$ CSH + $Ca(OH)_2$

GGBS + น้ำ $\longrightarrow$ CSH + $Ca(OH)_2$

$Ca(OH)_2$ + SiO_2 จาก GGBS + น้ำ $\longrightarrow$ CSH

ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของ GGBS อาจเร่งให้เกิดเร็วขึ้นได้โดการบด GGBS ให้มีความละเอียดขึ้น

3.12.3.3. Microsilica

เนื่องจาก MS มีปริมาณ SiO_2 อยู่สูงถึงกว่า 90 % ปฏิกิริยาของ MS ในส่วนผสมคอนกรีตจะเหมือนกับของ PFA แต่อัตราการเกิดปฏิกิริยาจะเร็วมาก เนื่องจาก MS มีความละเอียดสูงมากส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดทั้งช่วงต้นและช่วงปลายเป็นไปได้เร็วกว่าคอนกรีตทั่วๆ ไป

นอกจากปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นแล้ว MS ยังช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของคอนกรีต ด้วยผลทางกายภาพอีกด้านหนึ่งกล่าวคือ MS เป็นอนุภาคที่มีขนาดเล็กมาก ดังนั้นจะไปอุดช่วงว่างระหว่างเม็ดซีเมนต์ (Microfiller Effect) ทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นสูงมาก เป็นผลดีทั้งด้านกำลังอัดและความทนทาน

3.12.4 <u>คุณประโยชน์และการใช้งาน</u>

3.12.4.1 Pulverized Fuel Ash

ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ PFA เป็นส่วนผสมคอนกรีตมีดังนี้

1) ปรับปรุงความสามารถเทได้ของคอนกรีต ทำให้คอนกรีตลื่นไหลเข้าแบบได้ดี เนื่องจากคุณสมบัติทางกายภาพของ PFA ซึ่งมีรูปร่างกลม

2) ลดการเยิ้ม (Bleeding) และแนวโน้มการแยกตัวของคอนกรีตสด

3) อัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นช้า ดังนั้นความร้อนจากปฏิกิริยาจะลดลงซึ่งลดโอกาสการแตกร้าวของคอนกรีต โดยเฉพาะโครงสร้างขนาดใหญ่

4) เพิ่มกำลังอัดคอนกรีตที่อายุมากกว่า 28 วัน

5) เพิ่มความทนทานของคอนกรีต ด้วยเหตุผล 2 ประการคือ

- ปริมาณน้ำที่ใช้ลดลงเมื่อต้องการความสามารถเทได้เท่ากัน
- ปฏิกิริยาระหว่าง PFA กับ $Ca(OH)_2$ ทำให้ช่องว่างในเนื้อคอนกรีตลดลง

การใช้งาน PFA ทำได้ 2 ลักษณะ

1) ผสม PFA กับซีเมนต์ในปริมาณที่ต้องการจากโรงงานผสม

2) ใช้ PFA เสมือนเป็นส่วนผสมอีกส่วนหนึ่งของคอนกรีต โดยผสม ณ โรงงานคอนกรีตผสมเสร็จ ปริมาณที่ใช้จะอยู่ในช่วง 15-50 % โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

ข้อควรคำนึงในการใช้ PFA

1) PFA โดยทั่วๆ ไป จะลดกำลังอัดของคอนกรีตในช่วงแรก

2) การบ่มมีผลอย่างมากต่อคอนกรีตที่ผสม PFA กล่าวคือ การพัฒนากำลังอัดของ PFA คอนกรีตจะเกิดเมื่อคอนกรีตนั้นได้รับการบ่มชื้นเท่านั้น

3.12.4.2. Ground Granular Blast Funace Slag

ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ GGBS เป็นส่วนผสมคอนกรีตมีดังนี้

1) ปฏิกิริยาของคอนกรีตที่ผสมด้วย Slag จะช้ากว่าคอนกรีตทั่วๆ ไป ส่งผลให้ความร้อนจากปฏิกิริยาต่ำ ทำให้เหมาะที่จะใช้ในงานโครงสร้างที่มีปัญหาการแตกร้าวเนื่องจากความร้อน เช่น ฐานแรกแผ่ขนาดใหญ่, เขื่อนเป็นต้น

2) คอนกรีตมีความทนทานต่อซัลเฟต, น้ำทะเลและสารเคมีได้ดี

3) ลดปฏิกิริยา Alkali-Aggregate Reaction ในคอนกรีตที่ใช้ในหินที่ทำปฏิกิริยากับ Alkali ในปูน

4) ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่น มีความต้านทานการซึมผ่านของน้ำได้ดี (Low Permeability) ทำให้เหมาะที่จะใช้ในงาน สระว่ายน้ำ ถังเก็บน้ำ เป็นต้น

5) เพิ่มกำลังอัดและกำลังดัด (Flexural Strength) คอนกรีตที่อายุมากกว่า 28 วัน

การใช้งาน GGBS ทำได้ 2 ลักษณะ เช่นเดียวกับ PFA โดยปริมาณการใช้จะอยู่ในช่วง 25-65 % แต่สำหรับ Supersulphate ซีเมนต์จะผสม Slag สูงถึง 85 %

ข้อคำนึงการใช้ GGBS

1) เวลาการก่อตัวของคอนกรีตที่ผสมด้วย GGBS จะช้ากว่าคอนกรีตทั่วๆ ไป

2) กำลังอัดในช่วงต้นจะพัฒนาช้าและการบ่มจะมีผลอย่างมากเช่นเดียวกับคอนกรีตที่ผสม PFA

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.12.4.3. Microsilica

ประโยชน์ที่ได้รับจากการใช้ MS เป็นส่วนผสมคอนกรีตมีดังนี้

1) ลดการเยิ้ม (Bleeding) และการแยกตัวของคอนกรีตสด

2) เพิ่มกำลังอัด ของคอนกรีตทั้งในระยะสั้นและระยะยาว

3) เพิ่มความหนาแน่น ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นมากส่งผลให้มีความทนทานสูง การซึมผ่านของน้ำและอากาศเป็นไปได้ยาก

การใช้งาน MS ในทางปฏิบัติเราสามารถใช้ MS ผสมคอนกรีตได้ 2 ลักษณะ คือ

1) ใช้ MS ในลักษณะที่เป็นของแข็งผสมไปในคอนกรีตลักษณะเดียวกับปูนซีเมนต์

2) MS ในลักษณะที่เป็นของเหลวเหมือนน้ำยาผสมคอนกรีตทั่วๆ ไป ปริมาณการใช้จะอยู่ในช่วง 7-10 % โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์

3.13 <u>การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับงานวิจัย</u>

Winslow and Bukowski,1995 ทำการศึกษาถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ ซึ่งจะได้ว่าจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นเมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำ โดยที่ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้นและจะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นดังนี้ ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น 40 % หลังจากใช้เวลาในการบ่ม 1 วัน ปฏิกิริยาเกิดขึ้น 65 % หลังจากใช้เวลาในการบ่ม 10 วัน และเกิดปฏิกิริยา 75 % หลังจากใช้เวลาในการบ่ม 100 วัน

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ไม่ควรต่ำกว่า 0.4 เนื่องจากถ้าอัตราส่วนน้อยกว่านี้จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดไม่สมบูรณ์ จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้ไม่ถึงค่ากำลังรับแรงอัดที่ควรจะเป็น

Zhang และ Malhotra,1995 ได้ทำการวิจัยคุณสมบัติของ Thermally Activated Alumino-Silicate Material (MK) ควบคู่กับคุณสมบัติคอนกรีตสด และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้วที่ทำการผสม Thermally Activated Alumino-Silicate Material และที่ไม่ได้ผสม Thermally Activated Alumino-Silicate Material และคอนกรีตผสมซิลิกาฟูม

จากการทดลองแสดงให้เห็นว่าสาร Thermally Activated Alumino-Silicate Material สามารถผสมกับปูนซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตที่มีคุณภาพสูงได้ ซึ่งพบว่าค่าการยุบตัว (Slump) และปริมาณอากาศ (Air Content) และระยะเวลาก่อตัวเป็นที่น่าพอใจ ที่ทุกๆอายุการใช้งานคอนกรีตที่ผสมด้วย Thermally Activated Alumino-Silicate Material 10% จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสม Thermally Activated Alumino-Silicate Material และในกรณีที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน คอนกรีตที่ผสม Thermally Activated Alumino-Silicate Material จะมีค่ากำลังรับแรงอัด และค่าความยืดหยุ่นมากกว่าแต่การแตกตัวเมื่อแห้งเกิดขึ้นน้อยกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผสม Thermally Activated Alumino-Silicate Material

Beretka และคณะ,1996 ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการทำซีเมนต์แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตซึ่งประกอบด้วยสารตั้งต้นประเภทสารประกอบแคลเซียมซัลเฟต สารประกอบแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนต และสารประกอบที่มีสารประเภทซิลิกาและอลูมินา ได้พบว่าคุณสมบัติของสารประกอบแคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตเหมือนกับคุณสมบัติของสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จึงน่าจะมีความเหมาะสมในการทำก้อนซีเมนต์ ซึ่งปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเป็นไปตามสมการนี้

$$C_4A_3S + 2CS + 38H \longrightarrow C_6AS_3H_{32} + 2AH_3$$

จากสมการข้างต้นปฏิกกิริยาที่ได้จะเกิดในรูป ettringite และอลูมิเนียมไฮดรอกไซด์เจล (Aluminium Hydroxide gel) แต่เมื่อทำปฏิกิริยาต่อกับปูนขาวจะเกิดอยู่ในรูป ettringite ดังในสมการนี้

$$C_4A_3S + 8CS + 6CH + 9OH \longrightarrow 3C_6AS_3H_{32}$$

จากสมการข้างต้นจะได้ว่าการขึ้นรูปของโครงสร้างภายในคอนกรีตจะเกิดรูป ettringite แบบโครงสร้างผลึกเล็กเมื่อความเข้มข้นแคลเซียมไอออนมากจนถึงจุดอิ่มตัว (Saturation) แต่ถ้าความเข้มข้นแคลเซียมไอออนน้อยกว่าจุดอิ่มตัว (Saturation) จะเกิดรูป ettringite แบบโครงสร้างผลึกใหญ่

ในงานวิจัยได้พิจารณาตัวแปรที่มีบทบาทสำคัญดังนี้

- อัตราส่วนผสมของน้ำต่อมวลรวม
- ระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง
- อุณหภูมิและค่าความชื้น

ในการทำการทดลองนั้นได้ทำที่สภาวะที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ที่ 100 % ในการศึกษา อัตราส่วนผสมของน้ำต่อมวลรวม จะได้ว่าอัตราส่วนผสมของน้ำต่อมวลรวมที่ 0.4 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดน้อยเพราะว่าปริมาณของน้ำไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น แต่ก็ไม่สามารถระบุอัตราส่วนที่ชัดเจนว่าเหมาะสมที่อัตราส่วนใด มีเพียงขอบเขตที่กำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมให้ไม่เกินอัตราส่วนที่ 0.78 เนื่องจากจะทำให้เกิดรูพรุนมากเกินไป

ในส่วนของการศึกษาระยะเวลาในการบ่มจะได้ผลคือ ซีเมนต์แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตจะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่น้อยเมื่อระยะในการบ่มสั้น (1-7 วัน) แต่เมื่อระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วันค่ากำลังรับแรงอัดจะเป็นค่าที่ดี แต่เมื่อระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดก็จะมีค่าที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่มาก เมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาที่นานกว่า 28 วันจะได้ว่าระยะเวลาในการบ่ม 28 วันเป็นสภาวะที่ยอมรับได้ พร้อมทั้งมีความเหมาะสมที่เพียงพอ จากนั้นได้มีการทดสอบซีเมนต์แคลเซียมซัลโฟอลูมิเนตโดยมีขี้เถ้าลอยเป็นวัสดุเติมแต่ง (Additive) ได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์ที่ไม่มีขี้เถ้าลอยในระยะเวลาการบ่มอยู่ในช่วง 1-7 วัน จากนั้นจะมีค่ากำลังเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆจนถึงระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วัน และหลังจากนั้นจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดน้อยลงที่ระยะเวลาในการบ่มที่มากขึ้น

Cement manufacture ได้กล่าวถึงอุตสาหกรรมปูนซีเมนต์ซึ่งแสดงถึงความแตกต่างระหว่างปูนซีเมนต์และคอนกรีต กล่าวคือปูนซีเมนต์มีลักษณะเป็นผงสีเทา จัดว่าเป็นวัตถุดิบในการทำคอนกรีต ส่วนคอนกรีตคือปูนซีเมนต์ที่ทำการผสมกับน้ำ, ทราย, หิน ในส่วนของการผลิตปูนซีเมนต์ได้เพิ่มซิลิกาและอลูมินาเป็นวัตถุดิบร่วม ได้ว่าเมื่อใช้สารประเภทซิลิกาและอลูมินาในการทำการผลิตปูนซีเมนต์จะเป็นการเพิ่มกำลังรับแรงอัดและความสามารถในการเกิดพันธะที่ดีขึ้น เมื่อนำปูนซีเมนต์นั้นใช้ในการทำคอนกรีต

เนื่องจากปูนซีเมนต์มีคุณสมบัติที่แข็งแรงและคงทน EPA จึงใช้ปูนซีเมนต์เพื่อการทำให้เกิดความเสถียรสารอันตราย ยิ่งถ้ามีของเสียที่เกิดปนเปื้อนด้วยสารประเภทซิลิกา, อลูมินาจะเป็นการลดปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทำเสถียรได้

นภฤกษ์ และ ฤทธิชัย,2537 ทำการศึกษาถึงการนำเอาขี้เถ้าลอยลิกไนต์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในการกำจัดโลหะหนักประเภทตะกั่วและทองแดงในรูปสารประกอบ $Cu(OH)_2$, PbO_2 และ $Pb(OH)_2$ โดยวิธีทำแข็ง อีกทั้งยังทำการศึกษาแนวทางความเป็นไปได้ว่ามีความเหมาะสมในการปูรองรับพื้นทางเท้าโดยทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดว่าเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้หรือไม่ และความสามารถในการถูกสกัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยทำการศึกษาแปรค่าขี้เถ้าลอยลิกไนต์ผสมกับปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 0, 0.33, 1.00 และ 3.00 โดยน้ำหนักตามลำดับ และใส่โลหะหนักลงในส่วนผสมขี้เถ้าลอยลิกไนต์กับปูนซีเมนต์เป็นอัตราส่วน 0.10, 0.25, 0.50 และ 0.75 โดยน้ำหนักตามลำดับ

ซึ่งปรากฏผลว่าอัตราส่วนของขี้เถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดสำหรับ $Cu(OH)_2$ และ $Pb(OH)_2$ ที่ 0.3 ส่วน PbO_2 อยู่ในช่วง 0-0.33 ในแง่ของความสามารถในการถูกสกัดพบว่าที่อัตราส่วนของขี้เถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 3.00 จะทำให้ $Cu(OH)_2$ และ PbO_2 ถูกสกัดออกมาได้น้อยที่สุด และที่อัตราส่วนของขี้เถ้าลอยต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1.00 สำหรับ $Pb(OH)_2$ ผลของการใส่โลหะหนักลงไปพบว่าเมื่อใส่โลหะหนักลงไปมาก ค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงและปริมาณของโลหะหนักที่ถูกสกัดก็จะมากด้วย

ฉะนั้นโครงงานนี้จึงยังเป็นแนวทางในการศึกษาถึงประโยชน์ในการนำมาประยุกต์ใช้ทำวัสดุปูพื้น ซึ่งจะใช้ประโยชน์ได้จริงเมื่อปริมาณของโลหะหนักน้อย เพื่อที่อัตราส่วนระหว่างขี้เถ้าลอยลิกไนต์ต่อปูนซีเมนต์จะอยู่ในเกณฑ์ที่ทำให้เกิดค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในสภาวะที่ใช้งานได้จริง

ประเสริฐ, 2541 ได้ทำการศึกษาโดยการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว และปรอทซัลไฟด์มาทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ สามารถสรุปผลได้ดังนี้

- อัตราส่วนของการเพิ่มปริมาณซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เป็น 10 20 30 และ 40% ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่นลดลงเล็กน้อย ในส่วนของค่าพีเอช สภาพนำไฟฟ้า และความเป็นด่างมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย
- ระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น
- การชะละลายของโลหะหนักลดลงตามระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้น
- ค่าใช้จ่ายในการทำตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนมีค่าเท่ากับ 5,110 บาทต่อตันของตะกอนโลหะหนัก สำหรับการทำโลหะหนักจากกากระชะล้างกากหลอดฟลูออเรสเซนต์ให้เป็นก้อนเท่ากับ 5,620 บาทต่อตันของตะกอนโลหะหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

แผนการทดลองและการดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลอง โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วในการทำวัสดุปูพื้นประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น และกระเบื้องดินเผาปูพื้น โดยทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการคอนกรีตของภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ห้องปฏิบัติการของภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.1 การทดลองที่ 1 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วในการทำวัสดุปูพื้นประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

1. วัตถุดิบ

    1.1 ตัวประสาน

    - ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง (Ordinary Portland Cement)
    - ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว (Spent silica-alumina)

    (ดังแสดงในรูปที่ 4.1)

    1.2 น้ำประปา

2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

    2.1 สารละลายไธโลส

    2.2 สารละลายเมธิลแอลกอฮอลล์

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. การทดลองหล่อซีเมนต์

1.1 แบบหล่อรูปลูกบาศก์ ขนาด 50 mm. (ดังแสดงในรูปที่ 4.2)

1.2 แบบหล่อขนาด 200 x 150 x 50 mm. (ดังแสดงในรูปที่ 4.3)

1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2000 กรัม อ่านละเอียดได้ 0.2 กรัม

1.4 กระบอกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร

1.5 อ่างผสมและใบพาย

1.6 เกรียง ทำด้วยเหล็กแบน มีขอบสันเกรียงเป็นเส้นตรงยาว 100 ถึง 150 มิลลิเมตร

2. การหาค่าความหนาแน่น

2.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก

2.2 เวอร์เนียร์

3. การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

- เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด (ดังแสดงในรูปที่ 4.4)

4. การทดสอบค่าความซึมน้ำ

4.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก

4.2 เตาสำหรับให้ความร้อน

4.3 ถาดทนความร้อน

5.การทดสอบหาปริมาณสารละลายควินโนน

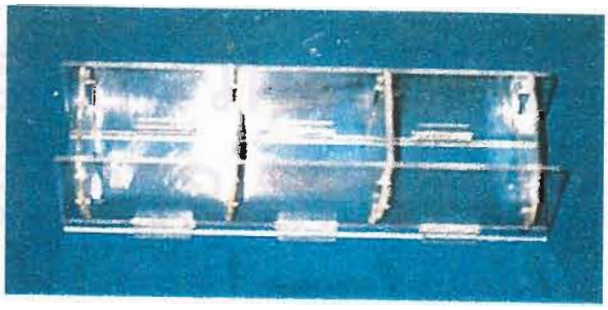
- เครื่องตรวจวัดปริมาณสารละลายควินโนน

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

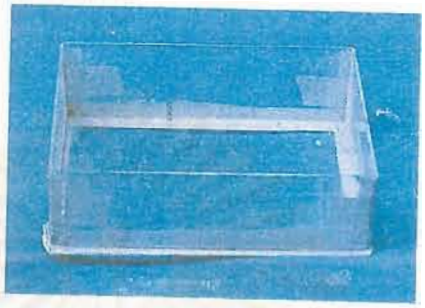
รูปที่ 4.1 ภาพวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง

ก. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (ภาพซ้าย)

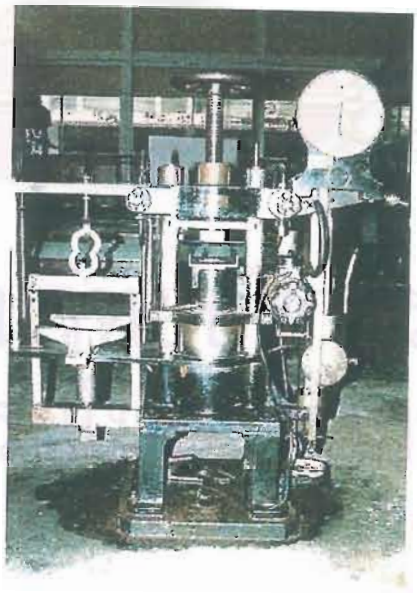
ข. ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว (ภาพขวา)



รูปที่ 4.2 ภาพแบบหล่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลองขนาด 50 mm.



รูปที่ 4.3 ภาพแบบหล่อซีเมนต์ที่ใช้ในการทดลอง 200x150x50 mm.



รูปที่ 4.4 ภาพเครื่องมือทดสอบกำลังรับแรงอัด
(ภาควิชาวิศวกรรมโยธา จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยชุดการทดลอง 3 ชุดการทดลอง

การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	ค่าที่ต้องการทดสอบ				
	อัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์				
	0	0.25	0.50	0.75	1.00
0.4					
0.5					
0.6					
0.7					

ค่าที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ 1) ค่ากำลังรับแรงอัด 2) ค่าความหนาแน่น
3) ค่าความซึมน้ำ

วิธีทำการทดลอง

1. หล่อซีเมนต์ลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร โดยมีขั้นตอนการหล่อซีเมนต์ดังรูปที่ 4.5 และมีส่วนผสมดังนี้
   - ทดลองแปรค่าอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00
   - ทดลองแปรค่าอัตราส่วนน้ำที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 0.6 และ 0.7
   - ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

2. **ทดสอบ**ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว ดังรูปที่ 4.6

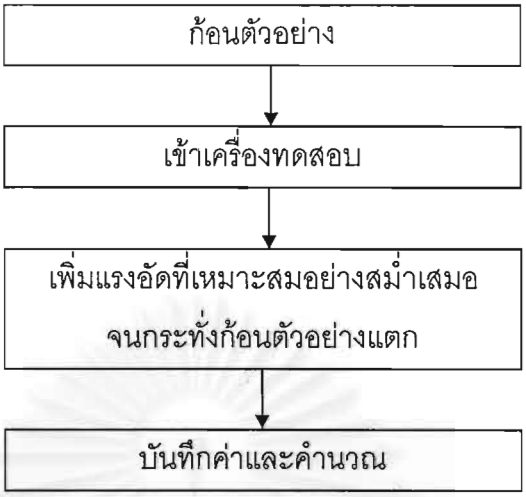
ตารางที่ 4.1 **แสดง**ความคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้ในการทดสอบกำลังอัดของตัวอย่าง

อายุทดสอบ	ความคลาดเคลื่อนได้
24 ชม.	1 ชม.
3 วัน	1 ชม.
7 วัน	3 ชม.
28 วัน	12 ชม.

3. ทดสอบหาค่าความหนาแน่น และค่าความซึมน้ำ ดังรูปที่ 4.7

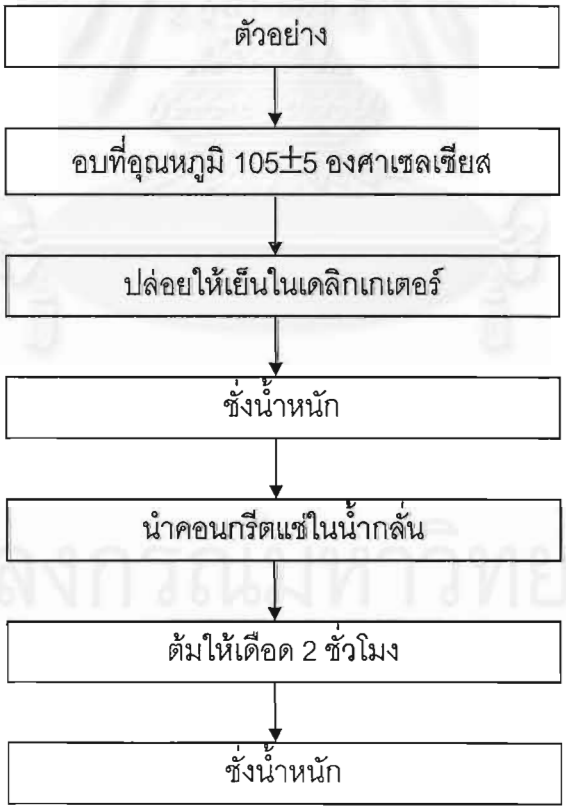
รูปที่ 4.5 แสดงขั้นตอนการหล่อซีเมนต์

(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม,2529)



รูปที่ 4.6 แสดงการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)



รูปที่ 4.7 แสดงการทดสอบค่าความซึมน้ำ

(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม ,2529)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนซีเมนต์

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่าที่ต้องการทดสอบ				
		ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)				
		1	3	7	14	28
0 ค่าที่เลือก	0 ค่าที่เลือก					

ค่าที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ 1) ค่ากำลังรับแรงอัด 2) ค่าความหนาแน่น
3) ค่าความซึมน้ำ

วิธีทำการทดลอง

1. หล่อซีเมนต์ลูกบาศก์ขนาด 50 มิลลิเมตร โดยมีขั้นตอนการหล่อซีเมนต์ และมีส่วนผสมดังนี้
   - ทดลองแปรค่าอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00
   - ทดลองแปรค่าอัตราส่วนน้ำที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4 0.5 0.6 และ 0.7
   - ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน
2. ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว
3. ทดสอบหาค่าความหนาแน่น และค่าความซึมน้ำ

การทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายสารประเภทแอนทราควินโนน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนน (%)
ค่าที่เลือก	ค่าที่เลือก	

วิธีทำการทดลอง

1. ตักตัวอย่างที่บดแล้วขนาด 0.50 มิลลิเมตร ตามจำนวนที่คำนวนไว้ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ตวงสารเมทธานอล 10 มิลลิลิตร เทใส่ลงในบีกเกอร์
3. กวนด้วยแท่งแม่เหล็กบนเครื่องกวนนาน 10 นาที
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง
5. ชั่งน้ำหนักสารละลายที่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์หาสารแอนทราควินโนน

4.2 การทดลองที่ 2 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมของการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วในการทำวัสดุปูพื้นประเภทกระเบื้องดินเผาปูพื้น

การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

1.วัตถุดิบ

1.1 ดินสำเร็จรูป

1.2 ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว (Spent silica-alumina)

(ดังแสดงในรูปที่ 4.8)

1.3 น้ำ

2. สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

2.1 สารละลายกรดไฮโดรคลอริก

2.2 สารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์

2.3 เมธิลีนบลู

2.4 สารละลายไธโลส

2.5 สารละลายเมธิลแอลกอฮอลล์

3. การเตรียมดินสำเร็จรูป

เนื่องจากลักษณะของดินนั้นไม่เหมาะในการผสมให้เป็นเนื้อเดียวกับซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว จึงต้องทำการเปลี่ยนดินสำเร็จรูปให้อยู่ในรูปผง โดยการนำดินอบเพื่อไล่ความชื้น จากนั้นทำการบดให้ขนาดของดินเล็กลง และนำไปเข้าเครื่องบดเพื่อให้เนื้อดินมีความละเอียดมากขึ้น

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

1. การทดลองขึ้นรูปกระเบื้องและเผากระเบื้อง

1.1 เตาเผาที่อุณหภูมิสูง (ดังแสดงในรูปที่ 4.9ก)

1.2 อ่างผสมและใบพาย

1.3 เครื่องชั่งน้ำหนัก

1.4 เครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง (ดังแสดงในรูปที่ 4.9ข)

2.การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

- เครื่องทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

3. การทดสอบค่าความซึมน้ำ

3.1 เครื่องชั่งน้ำหนัก

3.2 เตาสำหรับให้ความร้อน

3.3 ถาดทนความร้อน

4.การทดสอบการทนความราน

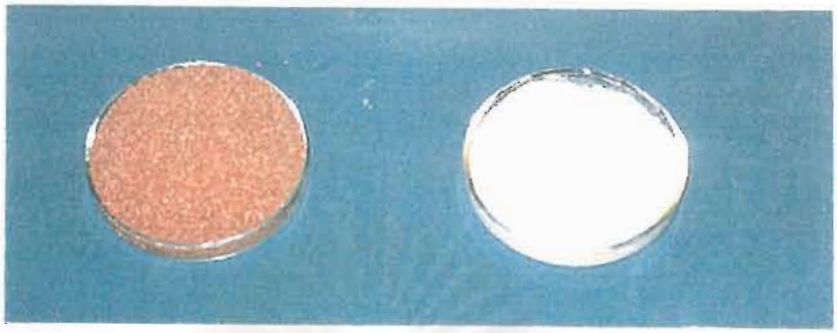
- หม้อนึ่งอบ (Autoclave)

5.การทดสอบค่าการทนสารเคมี

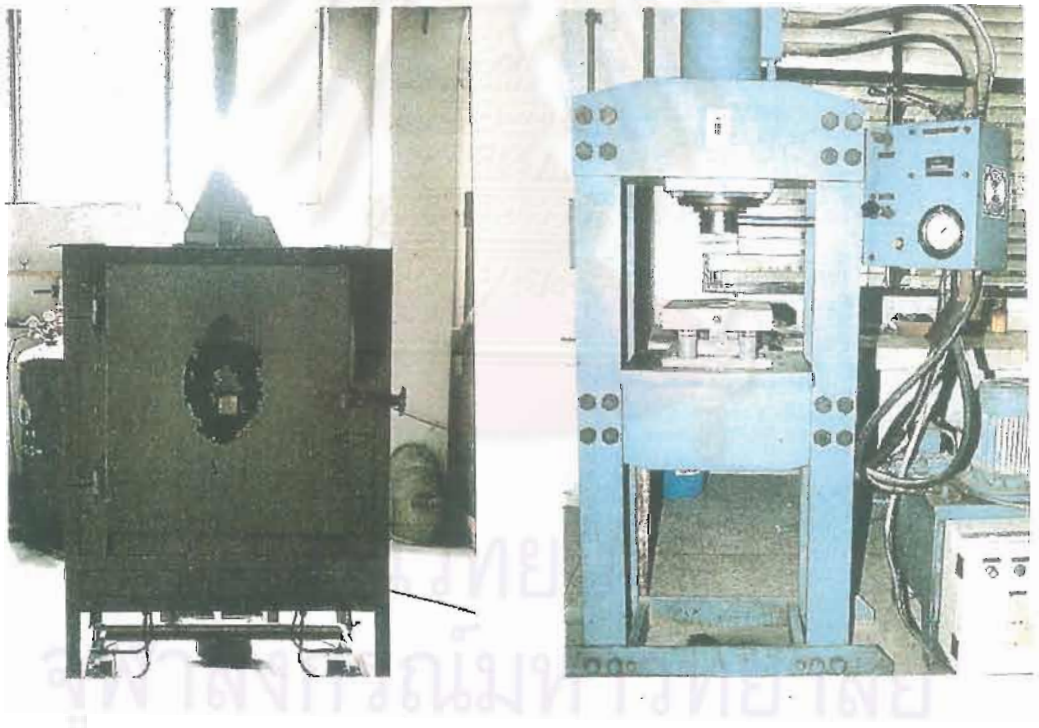
- อ่างสำหรับแช่ตัวอย่างกระเบื้อง

6.การทดสอบหาปริมาณสารละลายควินโนน

- เครื่องตรวจโพลาโรกราฟวัดปริมาณสารละลายแอนทราควินโนน



รูปที่ 4.8 ภาพวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.9 ภาพเครื่องมือการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้น

ก. ภาพเตาเผาที่อุณหภูมิสูง (ภาพซ้าย)

ข. ภาพเครื่องอัดขึ้นรูปกระเบื้อง (ภาพขวา)

(ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย)

การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยชุดการทดลอง 3 ชุดการทดลอง

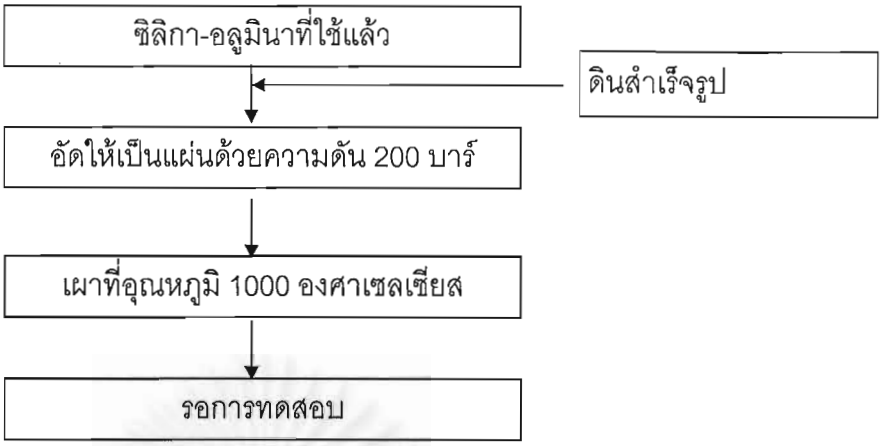
การทดลองที่ 1 ศึกษาอัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่เหมาะสม

อัตราส่วนน้ำต่อดินสำเร็จรูป	ค่าที่ทดสอบ
0	
0.25	
0.50	
0.75	
1.00	

ค่าที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ 1) ค่ากำลังรับแรงอัด 2) ค่าความซึมน้ำ
3) การทนความราน 4) การทนสารเคมี

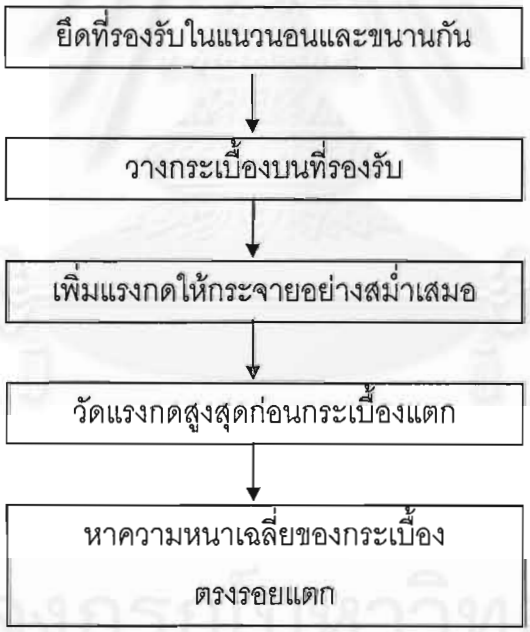
วิธีทำการทดลอง

1. ทำกระเบื้องดินเผาขนาด 10 x 10 x 1 เซนติเมตร โดยมีขั้นตอนการทำกระเบื้องดินเผา (ดังรูปที่ 4.10) และมีส่วนผสมดังนี้
   - ทดลองแปรค่าอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปเท่ากับ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00
   - ค่าความชื้นขณะทำการขึ้นรูป 8 %
   - อุณหภูมิในการเผากระเบื้อง 1000 องศาเซลเซียส
2. ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของกระเบื้องดินเผา (ดังรูปที่ 4.11)
3. ทดสอบค่าความซึมน้ำ (ดังรูปที่ 4.12) การทนความราน (ดังรูปที่ 4.15) และการทนสารเคมี (ดังรูปที่ 4.13 และ 4.14)



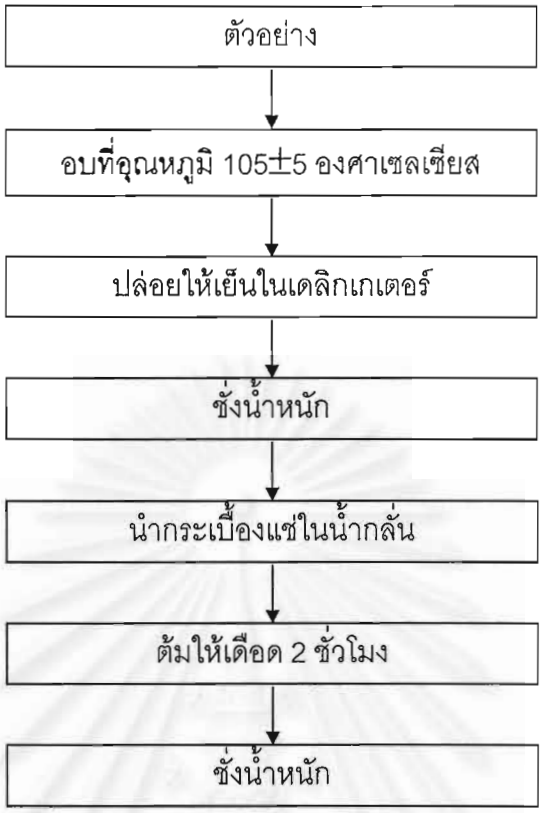
รูปที่ 4.10 แสดงขั้นตอนการทำกระเบื้องดินเผา

(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)



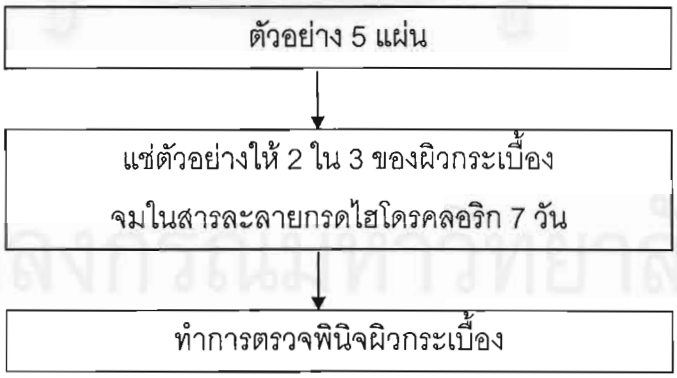
รูปที่ 4.11 แสดงขั้นตอนการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด

(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)



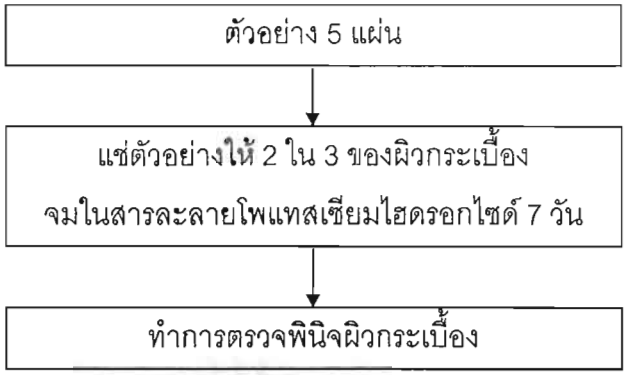
รูปที่ 4.12 แสดงขั้นตอนการทดสอบค่าความซึมน้ำ

(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)

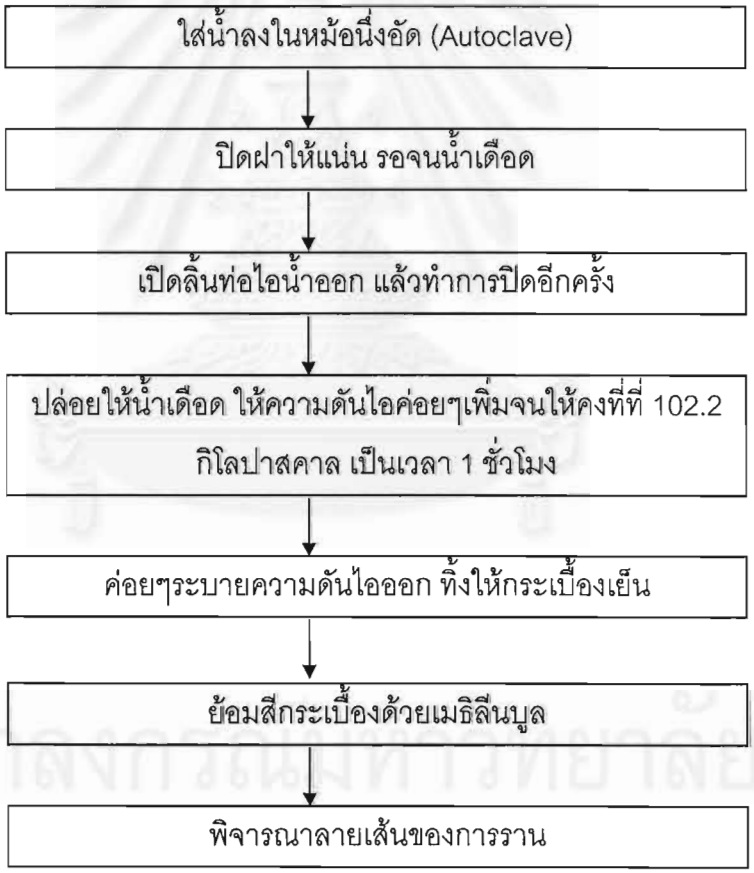


รูปที่ 4.13 แสดงขั้นตอนการทดสอบความทนกรด

(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)



รูปที่ 4.14 แสดงขั้นตอนการทดสอบความทนด่าง
(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)



รูปที่ 4.15 แสดงขั้นตอนการทดสอบการทนความราน
(ที่มา : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529)

การทดลองที่ 2 ศึกษาผลของอุณหภูมิในการเผากระเบื้อง

อัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป	ค่าที่ต้องการทดสอบ		
	อุณหภูมิในการเผากระเบื้อง (องศาเซลเซียส)		
	800	1000	1200
0 ค่าที่เลือก			

ค่าที่ต้องการทดสอบ ได้แก่ 1) ค่ากำลังรับแรงอัด 2) ค่าความซึมน้ำ
3) การทนความราน 4) การทนสารเคมี

วิธีทำการทดลอง

1. ทำกระเบื้องดินเผาขนาด 10 x 10 x 1 เซนติเมตร โดยมีขั้นตอนการทำกระเบื้องดินเผา (ดังรูปที่ 4.10) และมีส่วนผสมดังนี้
   - ทดลองแปรค่าอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปเท่ากับ 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00
   - ทดลองแปรค่าอุณหภูมิในการเผากระเบื้องเป็น 800 1000 และ 1200 องศาเซลเซียส
   - ค่าความชื้นขณะทำการขึ้นรูป 8 %
2. ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของกระเบื้องดินเผา
3. ทดสอบค่าความซึมน้ำ การทนความราน และการทนสารเคมี

การทดลองที่ 3 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายสารประเภทแอนทราควินโนน

อุณหภูมิที่เหมาะสมในการเผา (องศาเซลเซียส)	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายสารแอนทราควินโนน (%)
ค่าที่เลือก	ค่าที่เลือก	

วิธีทำการทดลอง

1. ตักตัวอย่างที่บดแล้วขนาด 0.50 มิลลิเมตร ตามจำนวนที่คำนวนไว้ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ตวงสารเมทธานอล 10 มิลลิลิตร เทใส่ลงในบีกเกอร์
3. กวนด้วยแท่งแม่เหล็กบนเครื่องกวนนาน 10 นาที
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง
5. ชั่งน้ำหนักสารละลายที่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์หาสารแอนทราควินโนน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้นำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ประโยชน์โดยการทำวัสดุปูพื้นประกอบไปด้วยคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นและกระเบื้องดินเผาปูพื้น ฉะนั้นจึงทำการเสนอผลการทดลองพร้อมทั้งวิจารณ์ผลการทดลองเป็น 2 ส่วน ดังนี้

5.1การศึกษาการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

การทดลองนี้ได้นำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยทำการศึกษาอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ อัตราส่วนระหว่างซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ และระยะเวลาในการบ่มของตัวอย่างที่เหมาะสม โดยการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น ค่าความซึมน้ำ และปริมาณสารประกอบประเภทแอนทราควินโนน ของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ของกระทรวงอุตสาหกรรม จากนั้นทำการเปรียบเทียบถึงความเป็นไปได้ในการพัฒนาเพื่อใช้ประโยชน์

5.1.1 ศึกษาการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28วัน

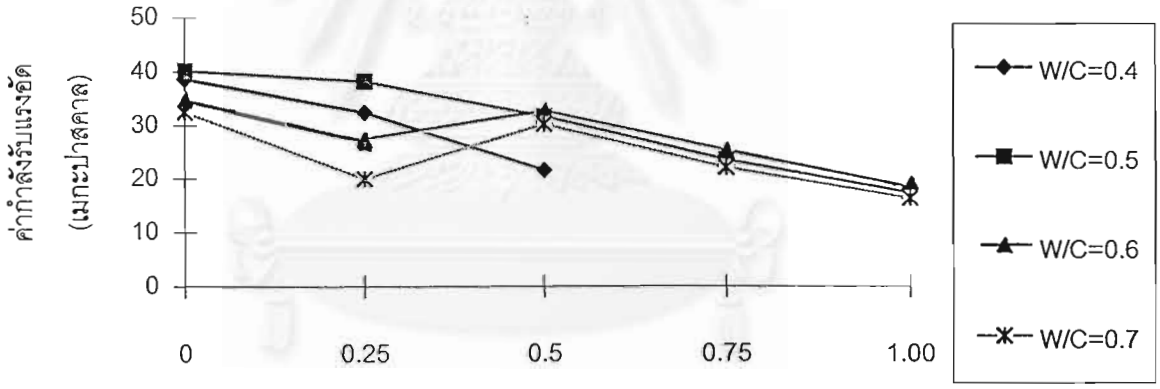
5.1.1.1 ค่ากำลังรับแรงอัด

จากการตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อลูมินาที่ใช้ประโยชน์ต่อปูนซีเมนต์เดียวกัน พบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดและเมื่อพิจารณาอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์พบว่าเมื่อมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดส่วนมากลดลง

ค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4 พบว่าที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0, 0.25 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ ส่วนอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5 พบว่าที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0, 0.25, 0.50 มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐาน อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.6 พบว่ามีอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0 0.25 0.50 มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.7 พบว่าที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0, 0.50 มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน เนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงอัดแต่ละก้อนไม่น้อยกว่า 25 เมกะปาสคาล

ตารางที่ 5.1 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)				
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์				
	0	0.25	0.50	0.75	1.00
0.4	38.63	32.34	21.58	-	-
0.5	40.15	38.23	31.62	23.49	17.32
0.6	34.87	27.05	32.39	25.17	18.49
0.7	32.39	19.98	30.13	22.03	16.31
ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐาน มากกว่า 25 เมกะปาสคาล					



รูปที่ 5.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

5.1.1.2 ค่าความหนาแน่น

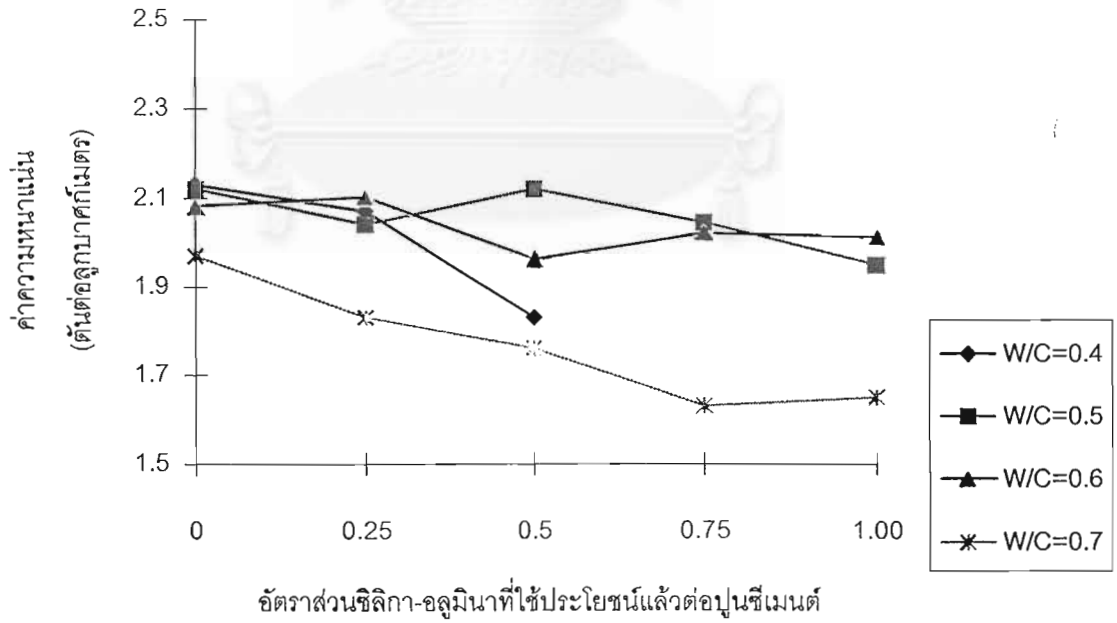
จากตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.2 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่อัตรา 0.4 และ 0.7 จะมีแนวโน้มไปทางเดียวกันกล่าวคือเมื่ออัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์มากขึ้น ค่าความหนาแน่นจะลดลง และมีค่าใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วน

0.5 และ 0.6 จะพบว่าค่าความหนาแน่นลดลงเมื่ออัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้ประโยชน์ต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น แต่จะพบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5 จะได้ว่าความหนาแน่นที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์ 0.5 (2.12 ตันต่อลูกบาศก์เมตร) จะมากกว่าที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.25 (2.04 ตันต่อลูกบาศก์เมตร)

ตารางที่ 5.2 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	ค่าหนาแน่น (ตัน/ลูกบาศก์เมตร)				
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์				
	0	0.25	0.50	0.75	1.00
0.4	2.13	2.07	1.83	-	-
0.5	2.12	2.04	2.12	2.04	1.98
0.6	2.08	2.10	1.96	2.02	2.01
0.7	1.97	1.83	1.76	1.63	1.65

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่มีข้อมูล เนื่องจากไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้



รูปที่ 5.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

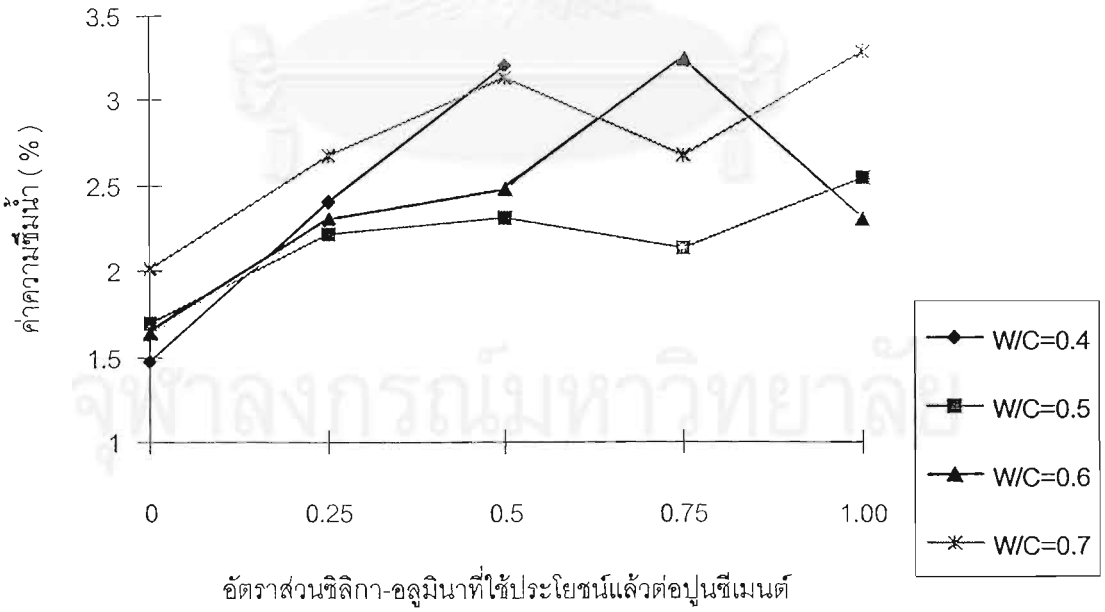
5.1.1.3 ค่าความซึมน้ำ

จากตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.3 แสดงค่าความซึมน้ำที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ค่าต่างๆ จะได้ว่าค่าความซึมน้ำโดยมากจะอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ไม่เกิน 3%) และมีแนวโน้มไม่คงที่แต่โดยรวมแล้วพบว่าเมื่ออัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์มากขึ้น ค่าความซึมน้ำที่ได้จะมีค่ามากขึ้นด้วย

ตารางที่ 5.3 ผลการทดลองค่าความซึมน้ำของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	ค่าความซึมน้ำ (%)				
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์				
	0	0.25	0.50	0.75	1.00
0.4	1.47	2.40	3.20	*	*
0.5	1.70	2.21	2.31	2.13	2.54
0.6	1.64	2.30	2.47	3.24	2.30
0.7	2.01	2.67	3.13	2.68	3.29
ค่าความซึมน้ำมาตรฐานน้อยกว่า 3.00 %					

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่มีข้อมูล เนื่องจากไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้



รูปที่ 5.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

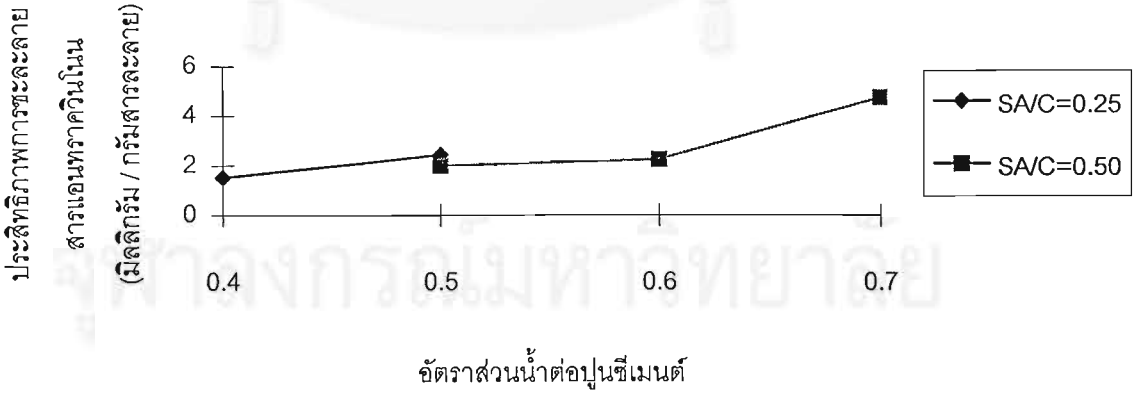
5.1.1.4 ปริมาณการชะละลายของสารแอนทราควินโนนและประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนน

จากตารางที่ 5.4 และรูปที่ 5.4 แสดงปริมาณการชะละลายสารแอนทราควินโนนที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น กล่าวคือมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 30 เมกะปาสคาล และค่าความซึมน้ำน้อยกว่า 3% เนื่องจากสารแอนทราควินโนนไม่เป็นสารอันตรายและไม่มีชื่อกำหนดจากกรมโรงงานแต่ที่ทำการทดสอบหาปริมาณการชะละลายของสารแอนทราควินโนน นั่นเพราะเมื่อทำการทดสอบค่าความซึมน้ำพบว่าน้ำที่เกิดในการทดสอบมีลักษณะเป็นสีแดง ถ้ากล่าวในลักษณะการใช้งานจริงจะทำให้เกิดความเข้าใจผิดว่าเป็นสารอันตรายจึงได้ทำการตรวจสอบอีกครั้งหนึ่ง

ตารางที่ 5.4 แสดงปริมาณการชะละลายสารแอนทราควินโนนที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้ประโยชน์แล้วต่อปูนซีเมนต์	ปริมาณการชะละลายสารแอนทราควินโนน (มิลลิกรัม/กรัมสารละลาย)
	HAS	5.350
0.4	0.25	2.233
0.5	0.25	1.511
0.5	0.50	2.433
0.6	0.50	1.990
0.7	0.50	2.249

หมายเหตุ * หมายเหตุ สารซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว

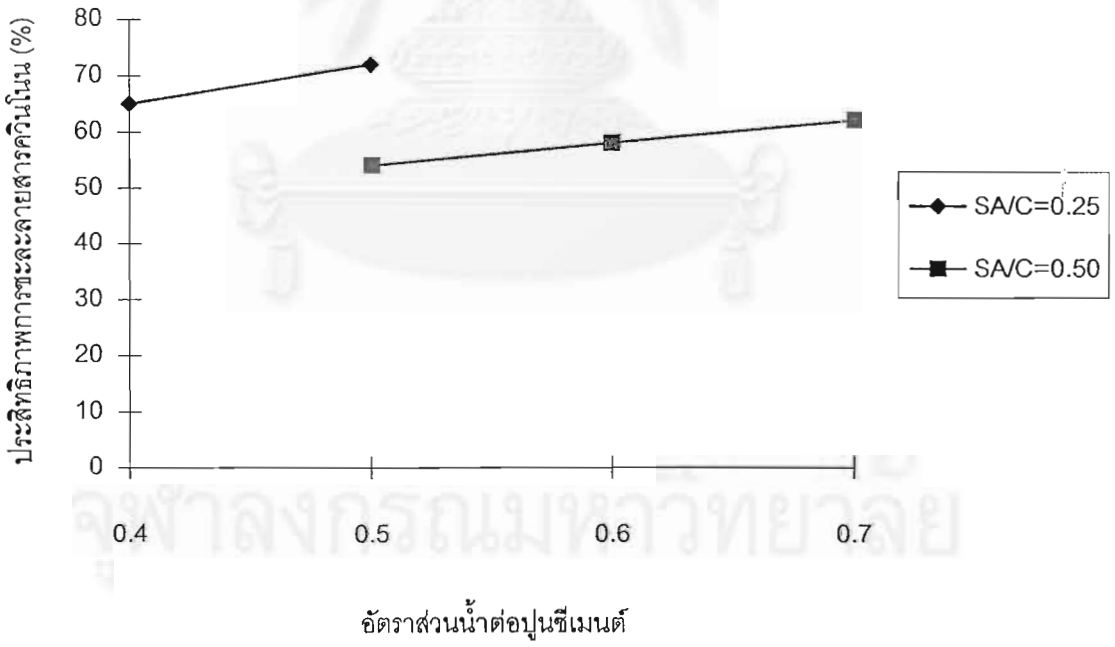


รูปที่ 5.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

ในส่วนของประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนนแสดงผลในตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.5 พบว่าประสิทธิภาพการชะละลายเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณการชะละลายสารแอนทราควินโนนมากขึ้น และประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนนอยู่ในช่วง 54-72 %

ตารางที่ 5.5 แสดงประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนนที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้ประโยชน์แล้วต่อปูนซีเมนต์	ปริมาณการชะละลายสารแอนทราควินโนน (%)
0.4	0.25	65
0.5	0.25	72
0.5	0.50	54
0.6	0.50	58
0.7	0.50	62



รูปที่ 5.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์

5.1.2 การเลือกพิจารณาอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้น

จากการพิจารณาค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความซึมน้ำและประสิทธิภาพการชะละลายสารแอนทราควินโนน พบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ จะได้ว่าอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.25 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.5 จะได้ว่าอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.25, 0.50 เป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อใช้ในการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดที่เหมาะสมต่อไป โดยในการทดลองได้ทำการแปรค่าระยะเวลาในการบ่มเป็น 1 3 7 14 และ 28 วัน สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

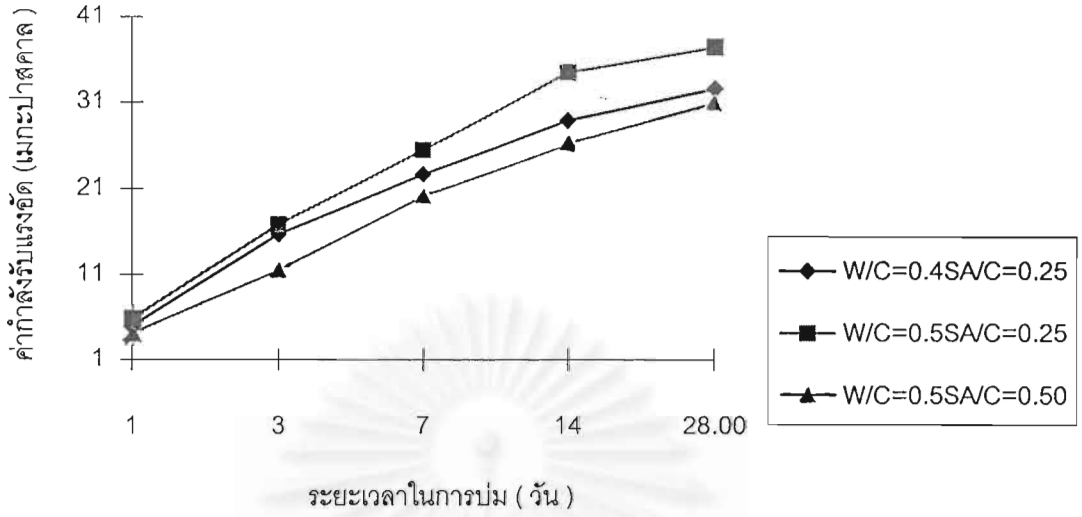
5.1.2.1 ค่ากำลังรับแรงอัด

จากการตารางที่ 5.6 และรูปที่ 5.6 แสดงให้เห็นว่าเมื่ออัตราส่วนน้ำปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วนผสมซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เดียวกัน พบว่าที่ระยะเวลาในการบ่มมากขึ้นจะได้ค่ากำลังรับแรงอัดมากขึ้น โดยที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์ 0.5 และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5 ที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วันเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมเนื่องจากมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุด แต่ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ ขณะที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์ 0.25 ระยะเวลาในการบ่ม 7,14 และ 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์

ค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองในอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.4 พบว่าที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วที่ใช้ประโยชน์แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0.25 ที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 และ 28 วัน มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ 25 เมกะปาสคาล

ตารางที่ 5.6 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)				
		ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)				
		1	3	7	14	28
0.4	0.25	4.96	15.68	22.67	28.99	32.53
0.5	0.25	5.78	16.83	25.48	34.47	37.47
0.5	0.50	3.92	11.46	20.11	26.17	30.88
ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐาน มากกว่า 25 เมกะปาสคาล						



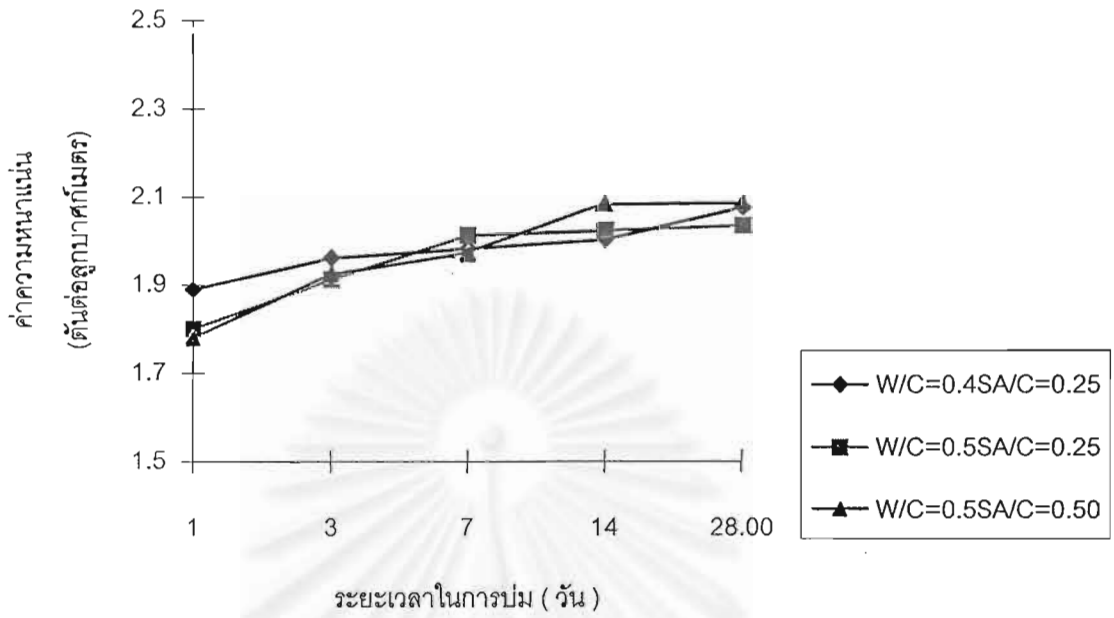
รูปที่5.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่กำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ

5.1.2.2 ค่าความหนาแน่น

จากตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.7 แสดงให้เห็นว่าเมื่อระยะเวลาในการบ่มมากขึ้นค่าความหนาแน่นก็เพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ค่าความหนาแน่นจะให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

ตารางที่ 5.7 ผลการทดลองค่าความหนาแน่นของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่ม ต่างๆ

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ลูกบาศก์เมตร) ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)				
		1	3	7	14	28
0.4	0.25	1.89	1.96	1.98	2.00	2.07
0.5	0.25	1.80	1.91	2.01	2.02	2.03
0.5	0.50	1.78	1.92	1.97	2.08	2.08



รูปที่ 5.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ ที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ

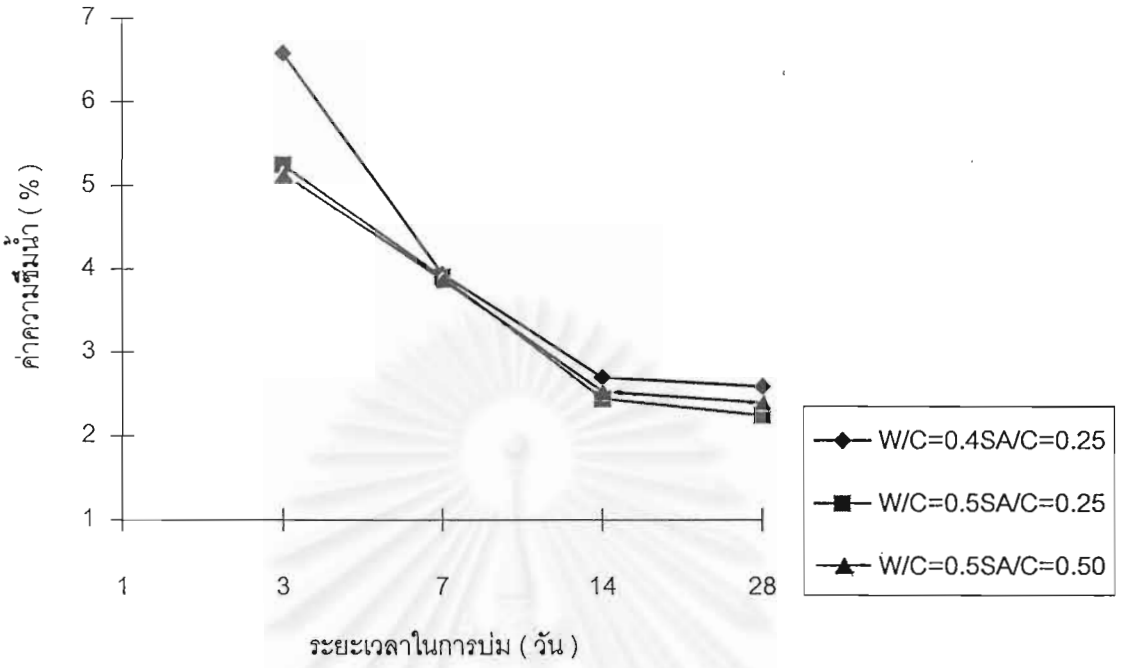
5.1.2.3 ค่าความซึมน้ำ

จากตารางที่ 5.8 และรูปที่ 5.8 แสดงค่าความซึมน้ำที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆจะให้ค่าที่ลดลงต่อเมื่อระยะเลาในการบ่มมากขึ้น โดยที่ระยะเวลาในการดบ่มช่วง 1 3 และ 7 วัน จะได้ว่าค่าความซึมน้ำไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (เกิน 3%)

ตารางที่ 5.8 ผลการทดลองค่าความซึมน้ำของตัวอย่างคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่าความซึมน้ำ (%)				
		ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)				
		1	3	7	14	28
0.4	0.25	*	6.58	3.94	2.70	2.59
0.5	0.25	*	5.25	3.91	2.44	2.24
0.5	0.50	*	5.13	3.86	2.52	2.39
ค่าความซึมน้ำมาตรฐานน้อยกว่า 3 %						

หมายเหตุ: - หมายถึง ไม่มีข้อมูล เนื่องจากไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้



รูปที่ 5.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ

5.1.3 ประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

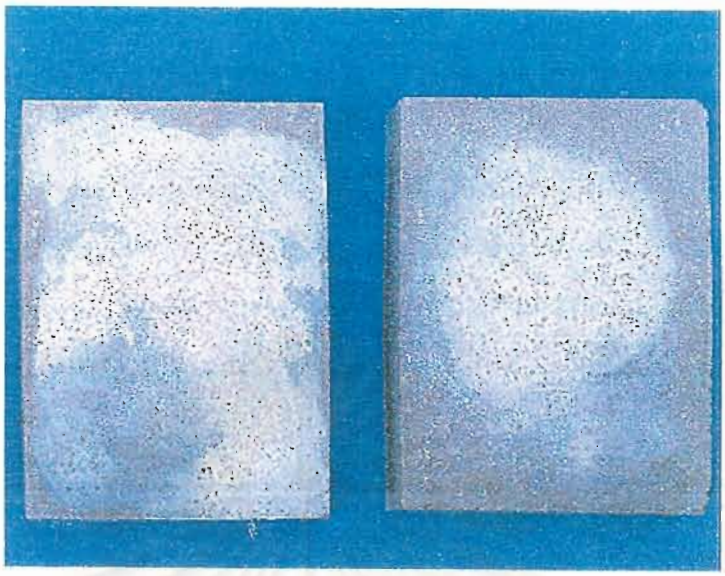
ตารางที่ 5.9 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการทำวัสดุปูพื้นชนิดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว ซึ่งค่าใช้จ่ายได้ทำการคำนวณโดยเทียบราคาของขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ใช้งานได้จริง (ขนาด 20x15x5 ลบ.ซม. หรือประมาณที่น้ำหนัก 3 กิโลกรัม) ซึ่งจะได้ว่าคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขนาดใช้งานได้จริงที่ให้ค่าที่เหมาะสมในเชิงวิศวกรรมศาสตร์ กล่าวคือให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด และมีปริมาณซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วน้อยสุดมีราคา 3.76 บาท ในขณะที่คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขนาดใช้งานได้จริงที่ให้ค่าที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่เป็นไปตามมาตรฐาน และมีปริมาณซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมากที่ยอมรับได้ มีราคา 3.30 บาท

ตารางที่ 5.9 แสดงค่าใช้จ่ายในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

วัสดุที่ใช้		เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่อัตราส่วนที่เลือก			
		อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.5			
		อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0.25		อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0.50	
ส่วนประกอบ	ราคา (บาท/กก.)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กก.)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิด 1	2.20	1.71	3.76	1.50	3.30
ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว	-	0.43	-	0.75	-
น้ำ	-	0.86	-	0.75	-
รวม	-	3.00	3.76	3.00	3.30

จากการศึกษาข้างต้นนี้ได้ทำวัสดุปูพื้นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขนาดใช้งานได้จริงโดยทำการเปรียบเทียบในกรณีจากรูปที่ 5.9 อัตราส่วนของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากันเป็น 0.25 ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.4 และ 0.5 ตามลำดับ และจากรูปที่ 5.10 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากันเป็น 0.50 ที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาต่อปูนซีเมนต์เป็น 0.25 และ 0.50 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

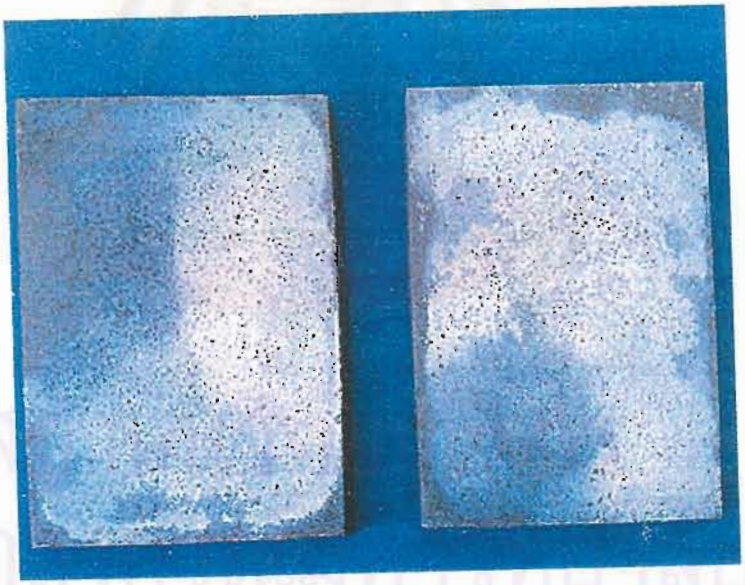


หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.9 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25

ก. อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40

ข. อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50



รูปที่ 5.10 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50

ก. อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25

ข. อัตราส่วนของน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50

5.2 การศึกษาการนำของเสียซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วทำกระเบื้องดินเผาปูพื้นดินเผาปูพื้น

โดยทำการศึกษาอัตราส่วนผสมซิลิกา-อลูมินาที่ใช้ประโยชน์ต่อดินสำเร็จรูปซึ่งใช้อุณหภูมิในการเผากระเบื้อง 1000 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด ค่าความซึมน้ำ ปริมาณสารประกอบประเภทแอนทราควินโนน ความทนสารเคมี และการทนความราน เพื่อเปรียบเทียบศึกษาความเป็นไปได้และความเหมาะสมในการพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในการใช้งานได้จริง ผลการทดลองสรุปได้ดังนี้

5.2.1 ศึกษาการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส

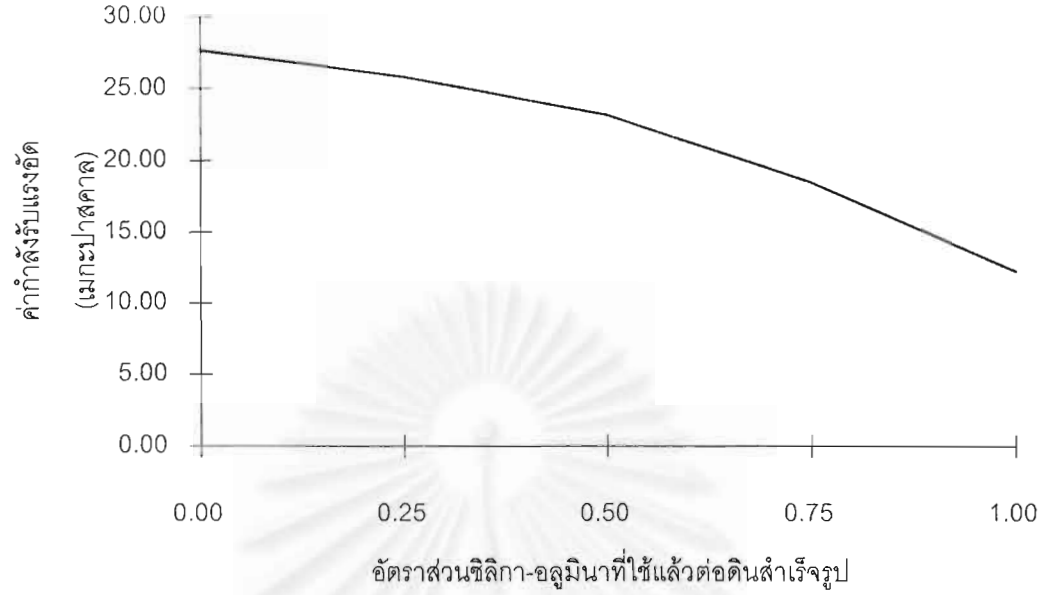
5.2.1.1 ค่ากำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.10 และรูปที่ 5.11 แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป จะมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่อุณหภูมิในการเผากระเบื้อง 1000 องศาเซลเซียส ลดลงตามลำดับ เนื่องจากกระเบื้องปูพื้นจะเห็นเป็นลักษณะของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วบนหน้าพื้นผิว จึงทำให้บริเวณหน้าพื้นผิวเปราะ แต่จะสังเกตได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดลดลงไม่มากเมื่อเทียบขณะไม่มีส่วนผสมซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว

ค่ากำลังรับแรงอัดจากการทดลองในอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป 0 และ 0.25 มีค่าในเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์กล่าวคือมีค่าสูงกว่า 25 เมกะปาสคาล

ตารางที่ 5.10 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างกระเบื้องที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส

ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)				
อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป				
0	0.25	0.50	0.75	1.00
27.65	25.82	23.19	18.47	12.28
ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐานมากกว่า 25 เมกะปาสคาล				



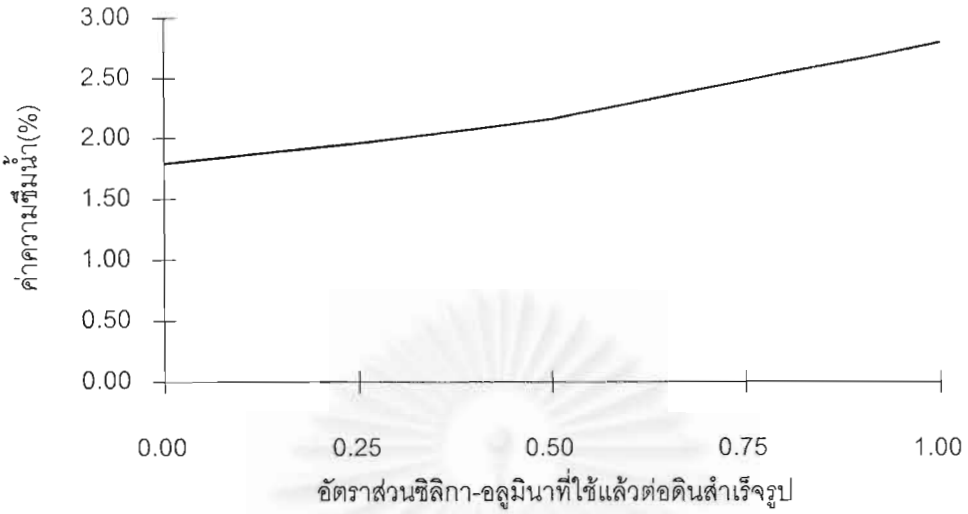
รูปที่ 5.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป

5.2.1.2 ค่าความซึมน้ำ

จากตารางที่ 5.11 และรูปที่ 5.12 แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอัตราส่วนผสมซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปจะมีผลทำให้ค่าความซึมน้ำของตัวอย่างกระเบื้องมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากขนาดอนุภาคของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่างจากขนาดอนุภาคของดินสำเร็จรูปมาก ทำให้เกิดช่องว่างระหว่างอนุภาคภายในตัวอย่างกระเบื้องส่งผลให้ค่าความซึมน้ำสูงขึ้น แต่ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าความซึมน้ำกับเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์พบว่าที่ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าน้อยกว่า 3 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้

ตารางที่ 5.11 ผลการทดสอบค่าความซึมน้ำของตัวอย่างกระเบื้องที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส

ค่าความซึมน้ำ (%)				
อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป				
0	0.25	0.50	0.75	1.00
1.79	1.96	2.16	2.48	2.80
ค่าความซึมน้ำมาตรฐาน < 3 %				



รูปที่ 5.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป

5.2.1.3 ความทนสารเคมี และการทนความราน

ความทนสารเคมีทำการทดลองโดยการแบ่งประเภทของสารเคมีเป็น 2 ประเภท ได้แก่ สารเคมีประเภทกรดและสารเคมีประเภทด่าง เป็นการทดสอบเพื่อพิจารณาว่าที่สภาวะการใช้งานนั้น กระเบื้องดินเผาปูพื้นจะมีความเหมาะสมในการใช้งานได้จริงหรือไม่ ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวอย่างของกระเบื้องที่ทุกอัตราส่วนผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์

การทดสอบการทนความรานจะเห็นว่าตัวอย่างกระเบื้องที่อัตราส่วน 0 0.25 และ 0.50 เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ในทางกลับกันที่อัตราส่วน 0.75 และ 1.00 ไม่ผ่านมาตรฐานเพราะเห็นรอยร้าวแตกบริเวณอนุภาคของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว เนื่องจากมีความเปราะเกิดขึ้นที่บริเวณอนุภาคของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว เมื่อทำการอัดแรงอันสูงจึงพบรอยร้าวที่ผิวกระเบื้องทำให้ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน สามารถสรุปได้ว่าการทนความรานขึ้นกับอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป โดยที่เมื่ออัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปมากขึ้น การทนความรานก็มีโอกาสเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์น้อยลง ผลการทดสอบความทนสารเคมี และการทนการรานของตัวอย่างกระเบื้องได้แสดงในตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ผลการทดสอบความทนสารเคมีและการทนการรานของตัวอย่างกระเบื้องที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนของเสียซิลิกา-อลูมินาต่อดินสำเร็จรูป	ความทนสารเคมีประเภทกรด	ความทนสารเคมีประเภทด่าง	การทนความราน
0	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
0.25	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
0.50	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
0.75	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.00	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

5.2.2 การพิจารณาเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมในขั้นต้น

จากการพิจารณาค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความซึมน้ำ ความทนสารเคมีและการทนความราน พบว่าที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป 0.25 สามารถผ่านเกณฑ์มาตรฐานจากนั้นเมื่อพิจารณาอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่ 0.50 มีแนวโน้มที่สามารถจะผ่านเกณฑ์มาตรฐานได้เนื่องจากผ่านเกณฑมาตรฐานเกือบทุกการทดสอบยกเว้นการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดนั้นมีค่าใกล้เคียงมาตรฐาน ที่ทำเลือกทำการทดสอบอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่ 0.50 เนื่องจากคาดว่าเมื่อทำการศึกษาที่อุณหภูมิสูงขึ้น ที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่ 0.5 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่มากขึ้นพอที่จะผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

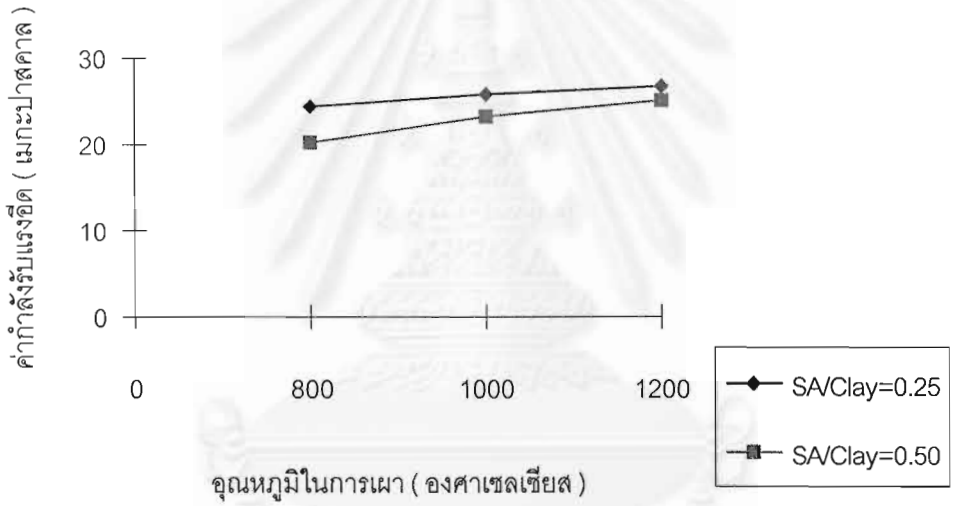
เมื่อพิจารณาจากความเหมาะสมของอัตราส่วนผสมของการทดสอบแล้วจะทำการเลือกอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป เพื่อทำการศึกษาหาอุณภูมิที่เหมาะสมในการเผาเพื่อทำกระเบื้อง

5.2.2.1 ค่ากำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 5.13 และรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผากระเบื้องสูงขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดก็มีแนวโน้มที่สูงขึ้นด้วย ทำให้ที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่ 0.50 ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส ในขณะเดียวกันเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียสจะพบว่าเมื่อพิจารณาค่ากำลังรับแรงอัดจะได้ว่าที่อัตราส่วนทั้งสองไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน

ตารางที่ 5.13 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างกระเบื้องที่อุณหภูมิในการเผาต่างๆ

อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป	
	0.25	0.50
800	24.33	20.34
1000	25.82	23.19
1200	26.86	25.12



รูปที่ 5.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ค่ากำลังรับแรงอัดและอุณหภูมิในการเผา

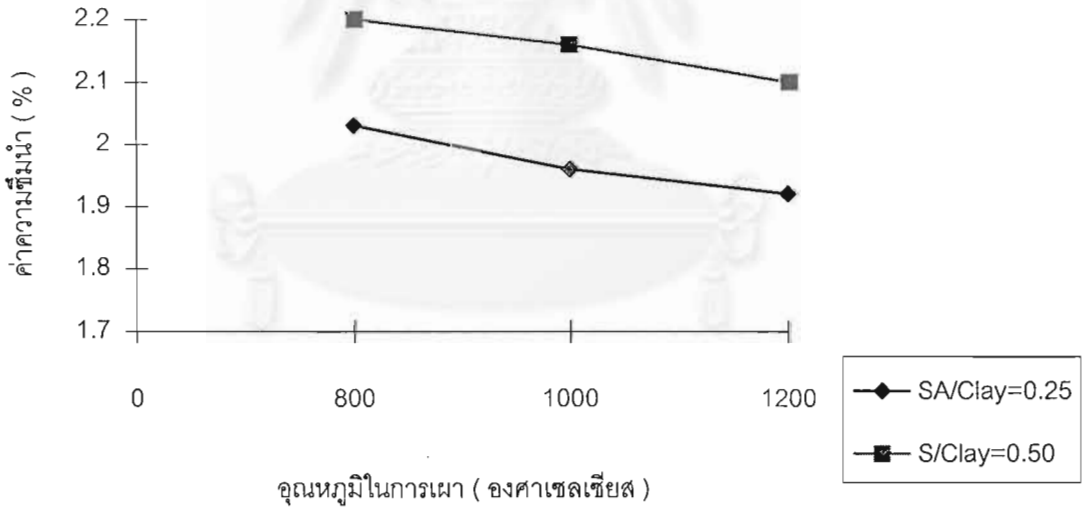
5.2.2.2 ค่าความซึมน้ำ

จากตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.14 จะเห็นได้ว่าเมื่ออุณหภูมิในการเผากระเบื้องสูงขึ้น ค่าความซึมน้ำก็ลดลง ในการลดลงของค่าความซึมน้ำนั้นไม่มากนัก เนื่องจากเมื่อทำการเผาที่อุณหภูมิสูงตั้งแต่ 800 องศาเซลเซียสจนถึง 1200 องศาเซลเซียสนั้นเป็นอุณหภูมิที่สูง ฉะนั้นรูพรุนภายในกระเบื้องจึงมีขนาดใกล้เคียงกัน

เกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์ประเภทกระเบื้องดินเผานั้นค่าความซึมน้ำ 3% จะพบว่าที่ทุกอุณหภูมิในการเผากระเบื้องเพื่อการทดลอง (800 1000 1200 องศาเซลเซียส) เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ดังแสดงค่าในตารางที่ 5.14 และรูปที่ 5.12 ดังนี้

ตารางที่ 5.14 แสดงผลการทดสอบค่าความซึมน้ำของตัวอย่างกระเบื้องที่อุณหภูมิในการเผาต่างๆ

อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	ค่าความซึมน้ำ (%)	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	
	0.25	0.50
800	2.03	2.20
1000	1.96	2.16
1200	1.92	2.10



รูปที่ 5.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความซึมน้ำกับอุณหภูมิในการเผา

5.2.2.3 ความทนสารเคมี และการทนความราน

ความทนสารเคมีได้ทำการทดสอบกับสารเคมีประเภทกรด และสารเคมีประเภทด่าง พบว่าที่อุณหภูมิทุกอุณหภูมิเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน จึงอาจกล่าวได้ว่าความทนสารเคมีไม่ขึ้นกับอุณหภูมิในการเผากระเบื้อง

เนื่องจากในการทดลองได้เลือกทำการทดสอบที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่ 0.25 และ 0.50 พบว่าที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส เมื่อนำมาทดสอบความทนสารเคมีพบว่าผ่านเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 800 และ 1200 องศาเซลเซียส จะได้ว่าความทนสารเคมีเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าความทนสารเคมีไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระเบื้อง

การทนความรานได้ทำการทดสอบที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป 0.25 และ 0.50 ที่อุณหภูมิในการเผาต่างๆจะได้ว่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์

จากหัวข้อที่ 5.2.1.3 สรุปว่าการทนความรานขึ้นกับอัตราส่วนผสมซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป กล่าวคือจะเป็นไปในลักษณะแปรผกผันกัน เมื่อได้เลือกทำการทดสอบการทนความรานของอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่ 0.25 และ 0.50 มาทำการแปรค่าอุณหภูมิในการเผาที่อุณหภูมิ 800, 1000 และ 1200 องศาเซลเซียส จะเห็นว่าการทนความรานเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ฉะนั้นสามารถสรุปได้ว่าการทนความรานไม่ขึ้นกับอุณหภูมิที่ใช้ในการเผากระเบื้อง

ตารางที่ 5.15 แสดงผลการทดสอบความทนสารเคมีและการทนความรานของตัวอย่างกระเบื้องที่อุณหภูมิในการเผาต่างๆ

อุณหภูมิในการเผา (องศาเซลเซียส)	ความทนสารเคมีประเภทกรด		ความทนสารเคมีประเภทด่าง		การทนความราน	
	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์					
	0.25	0.50	0.25	0.50	0.25	0.50
800	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
1000	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
1200	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

5.2.3.ประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

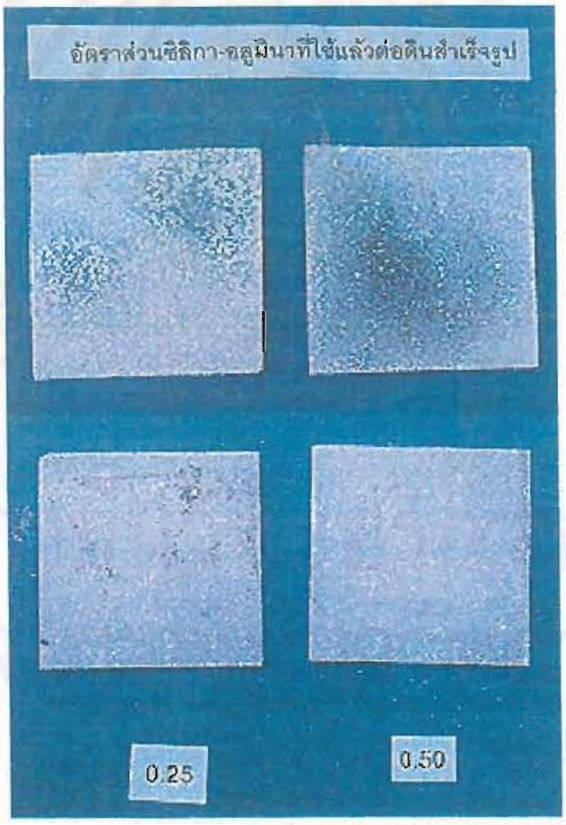
ตารางที่ 5.16 แสดงรายละเอียดค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการทำวัสดุปูพื้นชนิดกระเบื้องดินเผาปูพื้น โดยใช้ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว ซึ่งค่าใช้จ่ายได้ทำการคำนวณโดยเทียบราคาของขนาดกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่ใช้งานได้จริง (ขนาด 10x10x1 ลบ.ซม. หรือประมาณที่น้ำหนัก 160 กรัม) ซึ่งจะได้ว่ากระเบื้องดินเผาปูพื้นขนาดใช้งานได้จริงที่ให้ค่าที่เหมาะสมในเชิงวิศวกรรมศาสตร์ กล่าวคือให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด และมีปริมาณซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วที่เหมาะสม มีราคา 7.29 บาทต่อกระเบื้อง 1 แผ่น ในขณะที่กระเบื้องดินเผาปูพื้นขนาดใช้งานได้จริงที่ให้ค่าที่เหมาะสมในเชิงเศรษฐศาสตร์ กล่าวคือให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่เป็นไปตามมาตรฐาน และมีปริมาณซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมากที่สุดที่ยอมรับได้ มีราคา 7.19 บาท ต่อกระเบื้อง 1 แผ่น

ตารางที่ 5.16 แสดงค่าใช้จ่ายในการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้น

วัสดุที่ใช้		เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายที่อัตราส่วนที่เลือก			
		อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป0.25		อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป0.50	
ส่วนประกอบ	ราคา (บาท/กก.)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กรัม)	ค่าใช้จ่าย (บาท)
ดินสำเร็จรูป	5.00	117.8	0.59	98.1	0.49
ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว	-	29.4	-	49.1	-
เชื้อเพลิงในการเผา (บาท/แผ่นกระเบื้อง)	6.70	-	6.70	-	6.70
น้ำ (%)	-	12.8	-	12.8	-
รวม	-	160	7.29	3.00	7.19

จากรูปที่ 5.15 แสดงรูปของกระเบื้อง0ดินเผาปูพื้นที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปเป็น 0 0.25 0.50 0.75 และ 1.00 ตสมลำดับ ที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส และรูปที่ 5.16 แสดงรูปของกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปเป็น 0.25 และ 0.50 ที่อุณหภูมิในการเผา 800 และ 1200 องศาเซลเซียส

รูปที่ 5.15 ภาพกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิ 1000 องศาเซลเซียส



รูปที่ 5.16 ภาพกระเบื้องดินเผาปูพื้น

ก.ภาพกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส

ข.ภาพกระเบื้องดินเผาปูพื้นที่อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส

5.3 การเปรียบเทียบราคาการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น

ตารางที่ 5.17 การเปรียบเทียบราคาในแง่ของการบำบัดซิลิกา-อลูมินา

ราคาในแง่การบำบัดซิลิกา-อลูมินา	
อัตราส่วนที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐาน	
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ = 0.25 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.5 ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน)	กระเบื้องดินเผา (อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป = 0.50 อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส)
3.76 บาทต่อชิ้น (3 กิโลกรัม) 8.74 บาทต่อกิโลกรัมซิลิกา-อลูมินา 8,740 บาทต่อตันซิลิกา-อลูมินา	7.29 บาทต่อแผ่นกระเบื้อง 227 บาทต่อกิโลกรัมซิลิกา-อลูมินา 227,000 บาทต่อตันซิลิกา-อลูมินา
อัตราส่วนที่เหมาสมในเชิงเศรษฐศาสตร์	
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ = 0.25 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ = 0.5 ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน)	กระเบื้องดินเผา (อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป = 0.50 อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส)
3.30 บาทต่อชิ้น (3 กิโลกรัม) 4.40 บาทต่อกิโลกรัมซิลิกา-อลูมินา 4,400 บาทต่อตันซิลิกา-อลูมินา	7.19 บาทต่อแผ่นกระเบื้อง 224 บาทต่อกิโลกรัมซิลิกา-อลูมินา 224,000 บาทต่อตันซิลิกา-อลูมินา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.18 การเปรียบเทียบราคาของวัสดุปูพื้นจากการทดลองกับราคาวัสดุปูพื้นทั่วไปตามท้องตลาด

ชนิดของวัสดุปูพื้น	ยี่ห้อวัสดุปูพื้น	ราคา
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	จากการทดลอง *(20x15x5)	3.30 บาท
	ซีแพค (20x10x5)	8 บาท
	โรงงาน (16x16x7 ลบ.ซม.)	7 บาท
กระเบื้องดินเผาปูพื้น	จากการทดลอง *	7.19 บาท
	คอตโต้(20x20x0.6 ลบ.ซม.)	6.25 บาท
	โสสุโก้(20x20x0.6 ลบ.ซม.)	5.75 บาท

* หมายถึง ราคาที่ไม่รวมราคาของซิลิกา-อลูมินาและค่าแรงในการผลิต

ตารางที่ 5.19 การเปรียบเทียบราคาของการบำบัดของซิลิกา-อลูมินาจากศูนย์แสมดำกับราคาของวัสดุปูพื้นที่ใช้ประโยชน์จากซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว

แบบของการจัดการซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว	ราคา
คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น	4,400 บาทต่อตัน
กระเบื้องดินเผาปูพื้น	224,000 บาทต่อตัน
การบำบัดของเสียอุตสาหกรรมจากศูนย์แสมดำ	2,713 บาทต่อตัน (ค่าบำบัด = 755 บาทต่อตัน ค่าขนถ่าย = 300 บาทต่อตัน ค่าขนส่ง = 495 บาทต่อตัน ค่าขนส่งจากศูนย์แสมดำถึงราชบุรี = 288 บาทต่อตัน ค่าฝังกาก = 875 บาทต่อตัน)

หมายเหตุ : ที่มาข้อมูล GENCO,ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม

บทที่ 6
สรุปผลการทดลอง

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น ทั้งนี้ได้ทำการวิจัยเป็น 2 ส่วน ดังนี้

6.1 การทดลองที่เป็นการทำวัสดุปูพื้นประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์และซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

6.1.1 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานและในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม

6.1.2 อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 0.25 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์ 0.5 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม

6.1.3 ระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้นจาก 1-28 วัน จะทำให้กำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น โดยระยะเวลาในการบ่มที่เหมาะสมคือ 28 วัน เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐาน และที่ระยะเวลาในการบ่ม 14 วัน เมื่อพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์

6.1.4 ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนเท่ากับ 72% เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่เมื่อพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์จะได้ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนนเท่ากับ 54 %

6.1.5 ราคาในการทำวัสดุปูพื้นประเภทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นขนาดใช้งานจริง(20x15x5 ลูกบาศก์เซนติเมตร) ราคา 3.76 บาทต่อคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่เมื่อพิจารณาเชิงเศรษฐศาสตร์จะได้ราคา 3.30 บาทคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

6.2 การทำวัสดุปูพื้นประเภทการเบื้องดินเผาปูพื้น (ขนาด 10x10x1 ลูกบาศก์เซนติเมตร)ผลการศึกษาอัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปและอุณหภูมิในการเผา ในกระบวนการทำกระเบื้องดินเผาปูพื้นดังนี้

6.2.1 อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูป เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานและเชิงเศรษฐศาสตร์ อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อดินสำเร็จรูปที่0.25 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม

6.2.2 อุณหภูมิในการเผาที่เหมาะสม แบ่งการพิจารณาเป็น 2 ส่วน ได้ดังนี้ เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐาน อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม ในขณะที่เชิงเศรษฐศาสตร์ อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส เป็นอุณหภูมิที่เหมาะสม นอกจากนี้พบว่าการเผากระเบื้องที่อุณหภูมิดังกล่าวทำให้ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายสารประเภทแอนทราควินโนนเท่ากับ 100 %

6.2.3 ราคาในการทำวัสดุปูพื้นประเภทกระเบื้องดินเผาปูพื้นขนาด 7.19 บาทต่อกระเบื้อง 1 แผ่น (อุณหภูมิ 800 องศาเซลเซียส) และ 7.29 บาทต่อกระเบื้อง 1 แผ่น(อุณหภูมิ 1200 องศาเซลเซียส)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
ข้อเสนอแนะงานวิจัยที่ควรทำต่อไป

งานวิจัยข้างต้นมีข้อเสนอแนะงานวิจัยที่ควรทำต่อในส่วนของการนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วนำมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้นดังนี้

7.1 ก่อนที่จะทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นควรนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมาทำการเผาที่อุณหภูมิประมาณ 500 องศาเซลเซียส เพื่อให้สารประเภทแอนทราควินโนนระเหยออกเกิดเป็นสารสีขาวและเป็นการกำจัดกลิ่นที่อาจจะเกิดขึ้นของสารซิลิกาขอลูมินาที่ใช้แล้วในขณะใช้งานในการปูพื้นถนน เนื่องจากขณะที่ทำการทดสอบค่าความซึมน้ำจะเกิดสีแดงของสารประเภทแอนทราควินโนน ทำให้เกิดการเข้าใจว่าเป็นสารอันตรายทั้งที่ผลการทดสอบพบว่าสารประเภทแอนทราควินโนนไม่เป็นสารประเภทอันตราย

7.2 สามารถที่จะปรับปรุงค่ากำลังรับแรงอัดได้โดยทำการเพิ่มสารมวล เช่น หิน และ ทราย อีกทั้งยังเป็นการลดการใช้ปูนซีเมนต์ได้

7.3 ควรทำการคัดขนาดของซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วให้มีขนาดใกล้เคียงกับดินสำเร็จรูป เนื่องจากเมื่อทำการเผาเพื่อทำเป็นกระเบื้องดินเผา จะทำให้เกิดเป็นสารมวลเดียวกัน อีกทั้งน่าจะเป็นการเพิ่มค่ากำลังรับแรงอัด เพราะว่าที่พื้นผิวของกระเบื้องจะไม่มีส่วนของเม็ดซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วที่ทำให้เกิดความเปราะบางส่วน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

ภาษาไทย

กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 1032 (พ.ศ.2529) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาปูพื้น. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529

กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่1035 (พ.ศ.2529) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนังภายนอก.กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529

กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่1036 (พ.ศ.25829) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมกระเบื้องดินเผาบุผนังภายใน. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2529

กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่1462 (พ.ศ.2531) ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรม พ.ศ.2511 เรื่องกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.กระทรวงอุตสาหกรรม, 2531.

การไฟฟ้าฝ่ายผลิต. งานวิจัยการนำเถ้าลอยลอกไนต์จากโรงงานแม่เมาะมาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง การไฟฟ้าฝ่ายผลิต, 2537.

ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. คอนกรีต เทคโนโลยี บริษัท ผลิตภัณฑ์และวัสดุก่อสร้าง จำกัด (ซีแพค) , 2540.

นภฤกษ์ แสงเงิน และฤทธิชัย ติงธนาธิกูล. การกำจัดโลหะด้วยวิธีทำแข็งโดยใช้ขี้เถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ โครงงานวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพมหานคร, 2537

วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีต เทคโนโลยี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์-มหาวิทยาลัย, 2539.

ประเสริฐ งามเลิศประเสริฐ. การนำซิลิกาอลูมินาที่ใช้แล้ว และปรอทซัลไฟด์มาทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

พงศ์พัน วรสุนทโรสถ. วัสดุก่อสร้าง บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2534

พิภพ สุนทรสมัย. วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย - ญี่ปุ่น), 2530

พิภพ สุนทรสมัย. ช่างปูนก่อสร้าง สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี(ไทย - ญี่ปุ่น), 2523

ภาษาอังกฤษ

American Society for Testing and Material. Standard method of Testing or Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using in of 50 mm. Cube Specimen). C 109-86, Annual Book of ASTM Standard, 04.02 Section 4,1986 : 74-79.

American Society for Testing and Material. Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory (Using in of 50 mm. Cube Specimen). C 192/192M-95, Annual Book of ASTM Standard, 04.02 Section 4,1996 : 111-118.

Beretka J. ; Cioffi R. ; Marrocoli M. ; and Valenti G. Energy Saving Cements Obtained from Chemical Gypsum and other Industrial Wastes. Waste Management,V.16, 1996 : 231-235.

Lagrega M.D. ; Buckingham P.L. ; and Evans J.C. Solidification and Stabilization. Hazardous Waste Management,1994

Manufacturing Cement. The Portland Cement Assosiation & the American Institutute of Architects , 1993 : 12-23.

Shin H.S. and Sujiwattana P. Factors Affecting Solidification of Hazardous Wastes Materials. Hazardous Waste : Detection, Control, Treatment,1988:1549-1560

Thomson R.H. Naturally Occuring Quinones III : recent advances,1987 : 350-351

Trevor Robinson. The Organic Constituents of Higher Plants : Their Chemistry and Interrelationships. Fourth Edition,1980: 119-124

Winslow D. and Bukowski J. The Early Evolution of the Surface of Hydrating Portland Cement. School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette,Indiana,1995

Zhang M.H. and Maholta V.M. Characteristic of a Thermally Activated Alumino-Silicate Pozzolanic Material and its use in Concrete. Cement and Concrete Research V.25,1995:1713-1715

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

ดวงสมร ผดุงเกียรติวงษ์. การเปรียบเทียบการทำปรอทซัลไฟด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์ผสมซิลิกาฟูม วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.

พิทยา อภิมณฑล. คู่มือวัสดุก่อสร้างและคิดราคา. บริษัท ซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2534

ภาษาอังกฤษ

Brunk S. Corrosion and Behavior of Fireclay Bricks of varying Chemical Composition used in the bottom lining of reduction cells. Tms Annual Meeting on light Matals. 1994: 477-482.

Jaggi N. Solidification of Hazardous Waste using Cementitious binder. Asian Institute Technology. 1988 : 1-66

Jaskot R.H;Costa D.L. Toxicity of an Anthraquinone violet dye mixture following inhalation exposure , intratracheal instilladtion, or gavage. Fundamental and Applied Toxicology22(1). 1994 : 103-112.

Leangon K. Solidification of Hazardous Waste by Cement-based Techneques. Asian Institute Technology. 1993 : 1-66

Youn J.H. Solidification of Laboratory Waste by using Ordinary Portland Cement and Lime - Rice Hush Cement. Asian Institute Technology. 1990 : 1-81

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

ข้อมูลผลการทดลองคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ.1 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.4	0.00	38.27	37.76	39.85	38.63	1.0897
	0.25	32.11	33.52	31.39	32.34	1.0835
	0.50	21.35	20.81	22.57	21.58	0.9016
	0.75	*	*	*	*	*
	1.00	*	*	*	*	*
0.5	0.00	40.28	39.89	40.28	40.15	0.2252
	0.25	36.84	38.02	39.98	38.28	1.5861
	0.50	30.96	33.72	30.18	31.62	1.8600
	0.75	25.58	23.32	21.56	23.49	2.0152
	1.00	17.86	16.43	17.68	17.32	0.7789
0.6	0.00	34.73	34.49	35.39	34.87	0.4660
	0.25	28.64	27.05	25.46	27.05	1.5900
	0.50	32.93	31.10	33.14	32.39	1.1221
	0.75	23.90	26.82	24.79	25.17	1.4966
	1.00	18.93	20.29	16.24	18.49	2.0611
0.7	0.00	31.97	32.33	32.87	32.39	0.4530
	0.25	20.70	19.04	20.20	19.98	0.8516
	0.50	29.99	30.20	30.19	30.13	0.1185
	0.75	20.47	22.82	22.82	22.04	1.3568
	1.00	14.46	18.33	16.13	16.31	1.9410

*ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตได้ เนื่องจากมีปริมาณของน้ำที่ใช้ในการประสานไม่เพียงพอ

ตารางที่ผ.2 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ลูกบาศก์เมตร)				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.4	0.00	2.17	2.06	2.16	2.13	0.0608
	0.25	2.05	2.06	2.10	2.07	0.0265
	0.50	1.80	1.83	1.87	1.83	0.0351
	0.75	*	*	*	*	*
	1.00	*	*	*	*	*
0.5	0.00	2.13	2.12	2.12	2.12	0.0058
	0.25	2.11	2.01	2.00	2.04	0.0608
	0.50	2.11	2.16	2.09	2.12	0.0361
	0.75	2.04	2.04	2.04	2.04	0.0000
	1.00	1.87	1.95	1.88	1.90	0.0436
0.6	0.00	2.08	2.05	2.11	2.08	0.0300
	0.25	2.14	2.12	2.03	2.10	0.0586
	0.50	1.90	2.00	1.97	1.96	0.0513
	0.75	2.06	2.09	1.93	2.03	0.0850
	1.00	1.95	2.07	2.01	2.01	0.0600
0.7	0.00	1.98	2.01	1.92	1.97	0.0458
	0.25	1.87	1.70	1.93	1.83	0.1193
	0.50	1.78	1.77	1.72	1.76	0.0321
	0.75	1.66	1.68	1.56	1.63	0.0643
	1.00	1.61	1.76	1.59	1.65	0.0929

*ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตได้ เนื่องจากมีปริมาณของน้ำที่ใช้ในการประสานไม่เพียงพอ

ตารางที่ผ.3 แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่าความซึมน้ำ				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.4	0.00	1.65	1.22	1.59	1.49	0.2329
	0.25	2.51	2.53	2.16	2.40	0.2081
	0.50	3.18	3.20	3.23	3.20	0.0252
	0.75	*	*	*	*	*
	1.00	*	*	*	*	*
0.5	0.00	1.71	1.73	1.67	1.70	0.0306
	0.25	2.08	2.06	2.51	2.22	0.2542
	0.50	2.44	2.09	2.41	2.31	0.1940
	0.75	2.07	2.31	2.00	2.13	0.1626
	1.00	2.41	2.78	2.45	2.55	0.2031
0.6	0.00	1.51	1.69	1.72	1.64	0.1136
	0.25	2.04	2.06	2.51	2.20	0.2658
	0.50	2.44	2.49	2.47	2.47	0.0252
	0.75	3.29	3.20	3.24	3.24	0.0451
	1.00	2.42	2.40	2.08	2.30	0.1908
0.7	0.00	1.99	2.00	2.04	2.01	0.0265
	0.25	2.78	2.84	2.42	2.68	0.2272
	0.50	3.20	2.89	3.29	3.13	0.2098
	0.75	2.81	2.79	2.45	2.68	0.2023
	1.00	3.24	3.31	3.33	3.29	0.0473

*ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตได้ เนื่องจากมีปริมาณของน้ำที่ใช้ในการประสานไม่เพียงพอ

กรณีมหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ4. แสดงปริมาณการชะละลายสารควินโนนที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ปริมาณการชะละลายสารควินโนน (มิลลิกรัม/กรัมสารละลาย)
	HAS	5.350
0.4	0.25	2.233
0.5	0.25	1.511
	0.50	2.433
0.6	0.50	1.990
0.7	0.50	2.249

ตารางที่ผ5. แสดงประสิทธิภาพการชะละลายสารควินโนนที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ประสิทธิภาพการชะละลายสารควินโนน (%)
0.4	0.25	65
0.5	0.25	72
	0.50	54
0.6	0.50	58
0.7	0.50	62

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ.6 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)				
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.40	0.25	1	4.35	5.65	4.89	4.96	0.6531
		3	14.64	16.82	15.57	15.68	1.0939
		7	22.51	21.96	23.54	22.67	0.8021
		14	28.98	29.24	28.73	28.98	0.2550
		28	31.59	33.13	32.87	32.53	0.8244
0.50	0.25	1	5.68	6.15	5.51	5.78	0.3315
		3	16.29	17.35	17.85	17.16	0.7966
		7	25.61	24.89	25.94	25.48	0.5369
		14	34.56	33.64	35.21	34.47	0.7889
		28	37.56	36.47	37.98	37.34	0.7794
0.50	0.50	1	3.65	4.13	3.98	3.92	0.2456
		3	11.35	10.97	12.06	11.46	0.5533
		7	19.65	20.35	20.54	20.18	0.4687
		14	25.84	26.45	26.31	26.20	0.3195
		28	29.87	31.57	31.21	30.88	0.8958

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ.7 แสดงค่าความหนาแน่นของตัวอย่างในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)	ค่าความหนาแน่น (ตัน/ลูกบาศก์เมตร)				
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.40	0.25	1	1.92	1.87	1.87	1.89	0.0289
		3	2.02	1.91	1.95	1.96	0.0557
		7	1.95	1.98	2.01	1.98	0.0300
		14	2.01	1.98	2.03	2.01	0.0252
		28	2.04	2.08	2.09	2.07	0.0265
0.50	0.25	1	1.81	1.76	1.85	1.81	0.0451
		3	1.89	1.92	1.91	1.91	0.0153
		7	2.02	1.99	2.00	2.00	0.0153
		14	2.02	2.04	2.00	2.02	0.0200
		28	2.01	2.06	2.02	2.03	0.0265
0.50	0.50	1	1.75	1.81	1.79	1.78	0.0306
		3	1.92	1.89	1.95	1.92	0.0300
		7	1.98	1.94	2.00	1.97	0.0306
		14	2.08	2.12	2.05	2.08	0.0351
		28	2.09	2.13	2.07	2.10	0.0306

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ.8 แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)	ค่าความซึมน้ำ (%)				
			1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.40	0.25	1	*	*	*	*	*
		3	6.56	6.62	6.57	6.58	0.0321
		7	4.12	3.98	3.72	3.94	0.2030
		14	2.67	2.89	2.56	2.71	0.1680
		28	2.67	2.75	2.34	2.59	0.2173
0.50	0.25	1	*	*	*	*	*
		3	5.63	5.24	4.98	5.28	0.3272
		7	4.08	3.72	3.94	3.91	0.1815
		14	2.35	2.47	2.52	2.45	0.0874
		28	2.35	2.14	2.24	2.24	0.1050
0.50	0.50	1	*	*	*	*	*
		3	5.05	5.24	5.11	5.13	0.0971
		7	3.67	3.84	4.08	3.86	0.2060
		14	2.46	2.56	2.54	2.52	0.0529
		28	2.38	2.57	2.24	2.40	0.1656

*ไม่สามารถทดสอบค่าความซึมน้ำได้เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาไฮดรชั่นไม่สมบูรณ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลการทดลองดิบที่ได้ก่อนการคำนวณ

ตารางที่ผ9. แสดงแรงกด และพื้นที่ที่รับแรงกดของตัวอย่างเพื่อใช้คำนวณค่ากำลังรับแรงอัด

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	แรงกด (ตัน)			พื้นที่ของตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)		
0.4	0	9.18	9.18	9.54	23.47	23.81	23.52
	0.25	7.50	8.42	7.70	22.94	24.65	24.06
	0.50	5.78	5.52	6.03	26.57	26.01	26.16
	0.75	*	*	*	*	*	*
	1.00	*	*	*	*	*	*
0.5	0	9.93	9.96	9.95	24.16	24.40	24.21
	0.25	9.20	9.20	9.72	24.40	23.67	23.81
	0.50	7.60	8.20	7.60	24.05	23.86	24.70
	0.75	6.20	6.00	5.80	23.42	25.15	24.10
	1.00	4.42	3.89	4.37	24.75	23.67	24.72
0.6	0	8.65	8.23	8.19	24.90	23.86	23.14
	0.25	6.88	6.44	6.21	23.57	23.42	23.92
	0.50	8.05	7.36	7.82	23.91	23.28	23.67
	0.75	4.43	4.83	4.14	22.94	23.81	23.67
	1.00	5.75	6.53	6.21	24.25	23.86	24.18
0.7	0	7.95	8.05	8.20	24.86	24.89	24.94
	0.25	4.98	4.59	4.81	24.05	24.10	23.81
	0.50	7.08	7.15	7.00	23.61	24.20	23.18
	0.75	5.07	5.52	5.75	24.30	23.66	24.99
	1.00	3.72	4.59	4.23	25.19	24.54	25.70

* ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตได้ เนื่องจากมีปริมาณของน้ำที่ใช้ในการประสานไม่เพียงพอ

ตารางที่ผ10. แสดง ปริมาตร และน้ำหนักของตัวอย่างเพื่อใช้ในการหาค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ปริมาตร (ลบ.ซม.)			น้ำหนัก (กรัม)		
0.4	0	114.55	118.59	114.55	248	240	247
	0.25	112.88	117.81	115.72	233	242	243
	0.50	134.98	134.47	133.96	243	245	251
	0.75	*	*	*	*	*	*
	1.00	*	*	*	*	*	*
0.5	0	118.61	119.58	118.85	253	254	252
	0.25	116.89	115.97	116.20	244	233	231
	0.50	115.70	114.52	118.80	244	248	249
	0.75	115.95	120.96	117.86	237	247	241
	1.00	119.65	118.42	116.54	224	231	219
0.6	0	113.46	110.24	112.32	236	226	237
	0.25	115.73	114.78	119.09	248	244	238
	0.50	113.58	111.98	113.36	217	224	223
	0.75	112.87	115.97	116.21	220	242	233
	1.00	117.10	113.78	118.57	241	234	230
0.7	0	124.35	119.64	122.98	246	240	236
	0.25	126.39	126.64	122.01	235	216	235
	0.50	134.72	132.64	137.65	240	235	238
	0.75	120.67	118.31	123.96	199	198	193
	1.00	122.72	118.32	131.60	216	190	209

* ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตได้ เนื่องจากมีปริมาณของน้ำที่ใช้ในการประสานไม่เพียงพอ

ตารางที่ผ11. แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำ

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบค่าความซึมน้ำ			น้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำ		
0.4	0	245	242	247	249	245	251
	0.25	239	237	231	245	241	236
	0.50	251	250	247	259	258	255
	0.75	*	*	*	*	*	*
	1.00	*	*	*	*	*	*
0.5	0	233	231	239	237	235	243
	0.25	240	242	239	245	241	236
	0.50	245	239	248	251	244	254
	0.75	241	245	243	246	251	248
	1.00	249	251	245	256	258	251
0.6	0	239	236	232	243	240	236
	0.25	245	249	242	251	255	246
	0.50	246	241	243	252	247	249
	0.75	250	249	247	255	254	251
	1.00	248	250	241	254	256	246
0.7	0	251	248	245	256	253	250
	0.25	251	246	248	258	253	254
	0.50	250	249	243	258	256	251
	0.75	243	250	247	251	258	255
	1.00	239	241	240	247	249	248

* ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตได้ เนื่องจากมีปริมาณของน้ำที่ใช้ในการประสานไม่เพียงพอ

ตารางที่ผ12. แสดง ปริมาตร และน้ำหนักของตัวอย่างเพื่อใช้ในการหาค่าความหนาแน่นที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)	ปริมาตร (ลบ.ซม.)			น้ำหนัก (กรัม)		
0.4	0.25	1	1500	1498	1500	2880	2800	2800
		3	1487	1490	1500	3010	2850	2920
		7	1500	1500	1500	2930	2970	3020
		14	1500	1486	1500	3020	2940	3000
		28	1486	1500	1500	3030	3120	3140
0.5	0.25	1	1490	1500	1492	2760	2640	2760
		3	1500	1486	1500	2840	2850	2870
		7	1500	1492	1500	3030	2970	3000
		14	1500	1500	1500	3030	3060	3000
		28	1500	1500	1500	3020	3090	3030
0.6	0.50	1	1500	1486	1500	2630	2690	2680
		3	1466	1500	1500	2810	2840	2930
		7	1500	1500	1500	2970	2910	3000
		14	1500	1500	1500	3120	3180	3120
		28	1500	1500	1500	3140	3200	3100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ13. แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำที่ระยะเวลาในการบ่มต่างๆ

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ระยะเวลาในการบ่ม (วัน)	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบค่าความซึมน้ำ			น้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำ		
0.4	0.25	1	*	*	*	*	*	*
		3	3010	2850	2920	3210	3040	3110
		7	2980	2970	3010	3100	3090	3120
		14	3000	2980	2900	3080	3070	2970
		28	3000	3080	3120	3080	3160	3190
0.5	0.25	1	*	*	*	*	*	*
		3	2680	2820	2830	3020	2970	2970
		7	3020	2950	3020	3140	3060	3140
		14	3040	3020	3010	3110	3090	3090
		28	3020	3060	3070	3090	3130	3140
0.6	0.50	1	*	*	*	*	*	*
		3	2800	2860	2910	2940	3010	3060
		7	2950	2900	3000	3060	3010	3120
		14	3110	3160	3140	3190	3240	3220
		28	3140	3180	3100	3210	3260	3170

* ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นคอนกรีตได้ เนื่องจากมีปริมาณของน้ำที่ใช้ในการประสานไม่เพียงพอ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ14. แสดงปริมาณสารประกอบประเภทควินโนนที่ถูกชะละลาย

อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์	อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ปริมาณสารประกอบประเภทควินโนนที่ถูกชะละลาย (มิลลิกรัม/กรัม สารละลาย)						
		EOQ	ETQ	EQ	ETEQ	ETHQ	EA	รวม
	HAS	0.10	1.77	1.60	0.02	1.86	-	5.350
0.4	0.25	-	-	1.713	-	0.502	-	2.233
0.5	0.25	-	-	1.159	0.004	0.348	-	1.511
	0.50	-	-	1.808	0.034	0.591	-	2.433
0.6	0.50	-	-	1.477	0.015	0.498	-	1.990
0.7	0.50	-	-	1.853	0.014	0.402	-	2.249

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

ข้อมูลผลการทดลองกระเบื้องดินเผาปูพื้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ.15 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินา ที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	27.83	27.10	28.02	27.65	0.4857
0.25	25.49	25.98	26.00	25.82	0.2888
0.50	23.54	22.89	23.15	23.19	0.3272
0.75	18.84	17.96	18.60	18.47	0.4549
1.00	12.64	13.45	11.35	12.48	1.0591

ตารางที่ผ16. แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินา ที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่าความซึมน้ำ (%)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0	1.80	1.76	1.81	1.79	0.0265
0.25	1.92	1.98	2.00	1.96	0.0416
0.50	2.20	2.09	2.19	2.16	0.0608
0.75	2.52	2.48	2.45	2.48	0.0351
1.00	2.79	2.86	2.74	2.80	0.0603

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ17. แสดงค่าความทนสารเคมีประเภทกรดและด่าง และการทนความรานของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ความทนสารเคมีประเภทกรด	ความทนสารเคมีประเภทด่าง	การทนความราน
0	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
0.25	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
0.50	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
0.75	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1.00	ผ่าน	ผ่าน	ไม่ผ่าน

ตารางที่ผ18. แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.25	24.63	23.85	24.50	24.33	0.4179
0.50	19.98	21.50	20.75	20.74	0.7600

ตารางที่ผ19. แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่าความซึมน้ำ (%)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.25	1.98	2.09	2.01	2.03	0.0569
0.50	2.21	2.12	2.26	2.20	0.0709

ตารางที่ผ20. แสดงค่าความทนสารเคมีประเภทกรดและด่าง และการทนความรานของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ความทนสารเคมีประเภทกรด	ความทนสารเคมีประเภทด่าง	การทนความร้าน
0.25	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
0.50	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

ตารางที่ผ21. แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.25	27.41	26.68	27.50	27.20	0.4497
0.50	24.89	25.35	25.13	25.12	0.2301

ตารางที่ผ22. แสดงค่าความซึมน้ำของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ค่าความซึมน้ำ (%)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.25	1.86	1.98	1.89	1.92	0.0624
0.50	2.06	2.15	2.11	2.10	0.0451

ตารางที่ผ23. แสดงค่าความทนสารเคมีประเภทกรดและด่าง และการทนความรานของตัวอย่างที่อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	ความทนสารเคมีประเภทกรด	ความทนสารเคมีประเภทด่าง	การทนความราน
0	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน
0.25	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน

ผลการทดลองดิบที่ได้ก่อนการคำนวณ

ตารางที่ผ24. แสดงแรงกด และพื้นที่ที่รับแรงกดของตัวอย่างเพื่อใช้คำนวณค่ากำลังรับแรงอัดที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	แรงกด (ตัน)			พื้นที่ของตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)		
0	9.45	9.20	9.51	100	100	100
0.25	8.67	8.82	8.83	100	100	100
0.50	7.99	7.77	7.86	100	100	100
0.75	6.40	6.10	6.32	100	100	100
1.00	4.29	4.57	3.85	100	100	100

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ25. แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำที่อุณหภูมิในการเผา 1000 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินา ที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบค่าความซึมน้ำ			น้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำ		
0	157	158	160	160	161	163
0.25	160	160	158	163	163	161
0.50	160	160	160	164	164	163
0.75	158	160	159	162	164	162
1.00	160	157	160	165	161	164

ตารางที่ผ26. แสดงแรงกด และพื้นที่ที่รับแรงกดของตัวอย่างเพื่อใช้คำนวณค่ากำลังรับแรงอัดที่อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินา ที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	แรงกด (ตัน)			พื้นที่ของตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)		
0.25	8.36	8.10	8.32	100	100	100
0.50	6.78	7.30	7.05	100	100	100

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ผ27. แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำที่อุณหภูมิในการเผา 800 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินา ที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบค่าความซึมน้ำ			น้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำ		
0.25	158	158	160	161	161	163
0.50	160	160	158	163	164	161

ตารางที่ผ28. แสดงแรงกด และพื้นที่ที่รับแรงกดของตัวอย่างเพื่อใช้คำนวณค่ากำลังรับแรงอัดที่อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินา ที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	แรงกด (ตัน)			พื้นที่ของตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)		
0.25	9.24	8.96	9.20	100	100	100
0.50	7.50	8.08	7.80	100	100	100

ตารางที่ผ29. แสดงน้ำหนักของตัวอย่างก่อนและหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำที่อุณหภูมิในการเผา 1200 องศาเซลเซียส

อัตราส่วนซิลิกา-อลูมินา ที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์	น้ำหนักของตัวอย่างก่อนการทดสอบค่าความซึมน้ำ			น้ำหนักของตัวอย่างหลังการทดสอบค่าความซึมน้ำ		
0.25	158	158	160	161	161	163
0.50	160	160	158	163	164	161

ภาคผนวก ค

เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสารแอนทราควินโนน

เครื่อง Polarograpy

หลักการ

ใช้การวิเคราะห์ Polarograpy แบบ Differential Pulse ในสารละลายบัฟเฟอร์ของ Ammoniacla Base Electorlyte โดยแปรค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าเป็นความสูงของเส้นกราฟ และอ่านค่าของเส้นกราฟ แปรผลเป็นความเข้มข้นของสารที่ต้องการวัด โดยใช้ตัวแปรเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของแอนทราควินโนน

สารตั้งต้น

1. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์
2. สารละลาย Tylose
3. สารละลายมาตรฐานของแอนทราควินโนน

หลักการทำงาน

1. สารอินทรีย์จะเป็นสารที่มีขั้ว และเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจะเกิดการแตกตัว
2. เมื่อสารละลายมาตรฐานของแอนทราควินโนนถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า จะเกิดการแตกตัว แล้ววัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนำมาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน
3. นำสารละลายตัวอย่างที่ต้องการทราบไปวัดค่า แล้วนำเส้นกราฟที่ได้มาเทียบค่ากับเส้นกราฟมาตรฐาน ก็จะทราบค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง

วิธีทำการทดลอง

1. ตักตัวอย่างที่บดแล้วขนาด 0.50 มม. ตามจำนวนที่คำนวณไว้ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มล.
2. ตวงสารเมทธานอล 10 มล. เทใส่ลงในบีกเกอร์
3. กวนด้วยแท่งแม่เหล็กบนเครื่องกวนนาน 10 นาที
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง
5. ชั่งน้ำหนักสารละลายที่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์หาสารแอนทราควินโนน

ก. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

การคำนวณผลการวิเคราะห์สารแอนทราควินโนนจากเครื่อง Polarography

1. ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว

ชะละลายตัวอย่างหนัก 1 กรัม ด้วยสารเมทธานอล ได้สารละลายหนัก 5.2666 กรัม

เครื่องอ่านสารแอนทราควินโนนได้ 5.35 มก./ก.

ดังนั้นในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารถูกชะละลาย = 5.2666*5.35

= 28.18 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

ในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนน 39.9 มิลลิกรัม

ความสามารถในการถูกชะละลาย 28.18/39.9

= 0.71

2. ตัวอย่างผสมปูนซีเมนต์ + ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 25% + น้ำ 40%

ปูนซีเมนต์ : ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว : น้ำ

100 : 25 : 40

4 : 1 : 1.6

ดังนั้น ตัวอย่างหนัก 6.6 กรัม จะมีซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วผสมอยู่ 1 กรัม

ชะละลายตัวอย่างหนัก 6.6 กรัม ด้วยสารเมทธานอล ได้สารละลายหนัก 4.4753 กรัม

เครื่องอ่านค่าสารแอนทราควินโนนได้ 2.233 มก./ก.

ดังนั้นในตัวอย่าง 6.6 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนนถูกชะละลาย = 4.4753 * 2.233

= 9.98 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

ในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนน 39.9 มิลลิกรัม

ความสามารถในการถูกชะละลาย 9.98/39.9

= 0.25

จาก E = (0.71-0.25)*100/0.71

= 65 %

3. ตัวอย่างผสมปูนซีเมนต์ + ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 25% + น้ำ 50%

ปูนซีเมนต์ : ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว : น้ำ

100 : 25 : 50

4 : 1 : 2

ดังนั้น ตัวอย่างหนัก 6.6 กรัม จะมีซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วผสมอยู่ 1 กรัม

ชะละลายตัวอย่างหนัก 6.6 กรัม ด้วยสารเมทธานอล ได้สารละลายหนัก 5.2697 กรัม

เครื่องอ่านค่าสารแอนทราควินโนนได้ 1.511 มก./ก.

ดังนั้นในตัวอย่าง 6.6 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนนถูกชะละลาย = 5.2697*1.511

= 7.96 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

ในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนน 39.9 มิลลิกรัม

ความสามารถในการถูกชะละลาย 7.96/39.9

= 0.20

จาก E = (0.71-0.25)*100/0.71

= 72 %

4. ตัวอย่างผสมปูนซีเมนต์ + ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 50% + น้ำ 50%

ปูนซีเมนต์ : ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว : น้ำ

100 : 50 : 50

2 : 1 : 1

ดังนั้น ตัวอย่างหนัก 4 กรัม จะมีซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วผสมอยู่ 1 กรัม

ชะละลายตัวอย่างหนัก 4 กรัม ด้วยสารเมทธานอล ได้สารละลายหนัก 5.4112 กรัม

เครื่องอ่านค่าสารแอนทราควินโนนได้ 2.433 มก./ก.

ดังนั้นในตัวอย่าง 6.6 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนนถูกชะละลาย = 5.4112*2.433

= 13.17 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

ในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนน 39.9 มิลลิกรัม

ความสามารถในการถูกชะละลาย 13.17/39.9

= 0.33

จาก E = (0.71-0.25)*100/0.71

= 54 %

5. ตัวอย่างผสมปูนซีเมนต์ + ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 50% + น้ำ 60%

ปูนซีเมนต์ : ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว : น้ำ

100 : 50 : 60

2 : 1 : 1.2

ดังนั้น ตัวอย่างหนัก 4.2 กรัม จะมีซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วผสมอยู่ 1 กรัม

ชะละลายตัวอย่างหนัก 4.2 กรัม ด้วยสารเมทธานอล ได้สารละลายหนัก 6.015 กรัม

เครื่องอ่านค่าสารแอนทราควินโนนได้ 1.990 มก./ก.

ดังนั้นในตัวอย่าง 6.6 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนนถูกชะละลาย = 6.015*1.1990

= 11.97 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

ในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนน 39.9 มิลลิกรัม

ความสามารถในการถูกชะละลาย 11.97/39.9

= 0.30

จาก E = (0.71-0.25)*100/0.71

= 58 %

6. ตัวอย่างผสมปูนซีเมนต์ + ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 50% + น้ำ 70%

ปูนซีเมนต์ : ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว : น้ำ

100 : 50 : 70

2 : 1 : 1.4

ดังนั้น ตัวอย่างหนัก 4.4 กรัม จะมีซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วผสมอยู่ 1 กรัม

ชะละลายตัวอย่างหนัก 4.4 กรัม ด้วยสารเมทธานอล ได้สารละลายหนัก 4.7866 กรัม

เครื่องอ่านค่าสารแอนทราควินโนนได้ 2.249 มก./ก.

ดังนั้นในตัวอย่าง 6.6 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนนถูกชะละลาย = 4.7866*2.249

= 10.77 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

ในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนน 39.9 มิลลิกรัม

ความสามารถในการถูกชะละลาย 11.97/39.9

= 0.27

จาก E = (0.71-0.25)*100/0.71

= 62 %

ข. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

การคำนวณผลการวิเคราะห์สารแอนทราควินโนนจากเครื่อง Polarography

1. ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว

ชะละลายตัวอย่างหนัก 1 กรัม ด้วยสารเมทธานอล ได้สารละลายหนัก 5.2666 กรัม

เครื่องอ่านสารแอนทราควินโนนได้ 5.35 มก./ก.

ดังนั้นในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารถูกชะละลาย = 5.2666*5.35

= 28.18 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

ในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนน 39.9 มิลลิกรัม

ความสามารถในการถูกชะละลาย 28.18/39.9

= 0.71

2. ตัวอย่างผสมดินสำเร็จรูป + ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 100%

ดินสำเร็จรูป : ซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว

100 : 100

1 : 1

ดังนั้น ตัวอย่างหนัก 2 กรัม จะมีซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วผสมอยู่ 1 กรัม

ชะละลายตัวอย่างหนัก 2 กรัม ด้วยสารเมทธานอล ได้สารละลายหนัก 1.8957 กรัม

เครื่องอ่านค่าสารแอนทราควินโนนได้ 0.0021 มก./ก.

ดังนั้นในตัวอย่าง 6.6 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนนถูกชะละลาย = 1.8957*0.0021

= 0.0039 มิลลิกรัม

จากตารางที่ 3.1 จะได้ว่า

ในซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว 1 กรัม จะมีสารแอนทราควินโนน 39.9 มิลลิกรัม

ความสามารถในการถูกชะละลาย 0.0039/39.9

= 0.00009

จาก E = (0.71-0.25)*100/0.71

= 99.98 %

ประวัติผู้เขียน

นางสาวไลทิพย์ อภิธรรมวิริยะ เกิดวันที่ 8 พฤษภาคม พ.ศ. 2518 สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2539

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย