

การนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อก



นางสาวสุสดี แพทย์นุเคราะห์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขาวิชา)

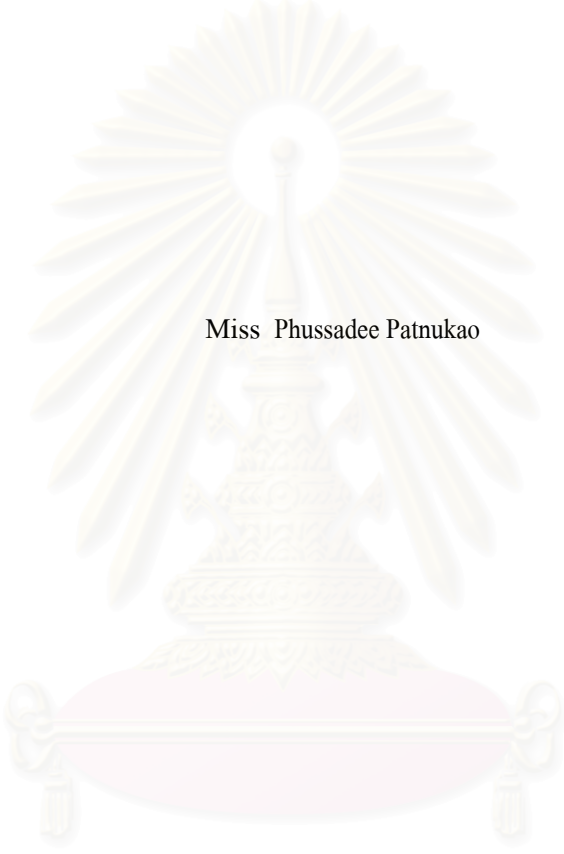
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2546

ISBN 974-17-4412-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

UTILIZATION OF SPENT SILICA-ALUMINA AND BAGASSE FOR MAKING
CONCRETE BLOCK



Miss Phussadee Patnukao

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Science in Environmental Science

(Inter-department)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2003

ISBN 974-17-4412-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ใน การทำคอนกรีตบล็อก
โดย	นางสาวศุสดี แพทย์นุเคราะห์
สาขาวิชา	วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร. สุชาดา กิระนนท์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชาญวิทย์ โหมิตานนท์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. กำธร ชีรคุปต์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร. พิชญ รัชฎาวงศ์)

ผู้สดี แพทย์นุเคราะห์ : การนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อก. (UTILIZATION OF SPENT SILICA-ALUMINA AND BAGASSE FOR MAKING CONCRETE BLOCK)

อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ. ดร. เพ็ชรพร เชาวกิจเจริญ, 128 หน้า. ISBN 974-17-4412-9

งานวิจัยศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและควอร์ตเซอร์ในซ้ครอสต์ลิ่งค์ชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีรีมาโซล แบล็ค บีมาใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนัง โดยทำการทดลองศึกษาสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างที่กำหนดตามมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนัง เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ทดลองโดยใช้อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 อัตราส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินกรีดเท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยแปรค่าอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.5 0.10 0.15 และ 0.20 และระยะเวลาบ่มเป็น 7 14 21 และ 28 วัน และประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นของคอนกรีตบล็อกปูผนัง ผลการศึกษาพบว่า อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.15 และระยะเวลาการบ่มเป็น 21 วัน มีความเหมาะสมในการนำไปทำคอนกรีตบล็อกปูผนัง (39 x 19 x 7 เซนติเมตร) ซึ่งสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่กำหนด โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 7.24 เมกะปาสกาล ค่าความหนาแน่น 1.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีการดูดซึมน้ำ 4.45 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประมาณการค่าใช้จ่ายของผลิตภัณฑ์เท่ากับ 2.82 บาทต่อน้ำหนักคอนกรีตบล็อกปูผนัง 6.7 กิโลกรัม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สหสาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม...

ลายมือชื่อนิติต

สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม...

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2546.....

4589112020 : MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEY WORD : QUATERNIZED-CROSSLINKED BAGASSE / CONCRETE BLOCK / SPENT

SILICA-ALUMINA

PHUSSADEE PATNUKAO : UTILIZATION OF SPENT SILICA-ALUMINA AND
BAGASSE FOR MAKING CONCRETE BLOCK.

THESIS ADVISER : ASSOC. PROF. PETCHPORN CHAWAKITCHAREON, Ph.D., 128 pp.

ISBN 974-17-4412-9

This research investigated the utilization of spent silica-alumina and dye (Remazol Black B) adsorbed quarternized-crosslinked bagasse for making hollow concrete blocks. The experiment was performed to determine the physical properties according to standard of hollow concrete block such as compressive strength, density, and water absorption. The experiment was performed by using spent silica-alumina per cementitious binder ratio of 0.25 and 0.5 of water per cement ratio with 1 : 2 : 3 of cement : sand : gravel. The experiment was carried out by varying the ratio of dye adsorbed quarternized-crosslinked bagasse to cementitious binder at 0.05, 0.10, 0.15, and 0.20 at 7, 14, 21, and 28 days of curing time. The cost estimation of the hollow concrete block was also evaluated. The results obtained from making hollow concrete blocks (39 x 19 x 7 cm.) from dye adsorbed quarternized-crosslinked bagasse to cementitious binder ratio equal to 0.15 and at 21 days of curing time. The aforementioned concrete block yielded physical properties acceptable by the Ministry of Industry in Thailand. The compressive strength, density and water absorption of concrete block were 7.24 MPa., 1.90 g/cm³ and 4.45 percent, respectively. The estimated cost of the product was 2.82 Baht per 6.7 kg. hollow concrete block.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Inter-Department Environmental Science..... Student's signature.....
Field of Study Environmental Science..... Advisor's signature.....
Academic year 2003.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร. เพ็ชรพร เชวากิจเจริญ ที่กรุณาให้โอกาสในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้ อีกทั้งยังให้คำปรึกษา แนะนำแนวทางในการทำงานวิจัย ตลอดจนช่วยตรวจแก้ไข และสนับสนุนในด้านต่างๆ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ จึงขอกราบขอบพระคุณมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ประธานกรรมการ และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ทุกท่าน สำหรับข้อคิดเห็น และคำแนะนำ จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์

ขอขอบคุณ โรงงานผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ที่อนุเคราะห์วัสดุ และข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย ห้องปฏิบัติการวิจัยศูนย์เครือข่าย (ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย) ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการคอนกรีตและทดสอบวัสดุ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำหรับความเอื้อเฟื้ออุปการณ่ สถานที่ และอำนวยความสะดวกในระหว่างการทำวิจัย

งานวิทยานิพนธ์นี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ภาคต้น ปีการศึกษา 2546 และเงินทุน ดร. เพ็ชรพร เชวากิจเจริญ ผู้วิจัยใคร่ขอแสดงความขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ความดีของวิทยานิพนธ์ ขอมอบแด่ คุณพ่อ คุณแม่ และสมาชิกทุกคนในครอบครัว ที่ให้ความรัก การสนับสนุน ทั้งด้านกำลังใจ คำปรึกษา และกำลังใจ ขอบคุณสำหรับความช่วยเหลือ คำกำลังใจ และสิ่งดีๆ ที่มีให้แก่ผู้วิจัยมาโดยตลอด จนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสิ้นอย่างสมบูรณ์ที่สุด

ท้ายนี้ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ในภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจเป็นอย่างดีทั้งในขณะศึกษาและดำเนินงานวิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญรูป.....	ฏ
สัญลักษณ์ คำย่อ และคำจำกัดความ.....	ด
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 สมมติฐาน.....	1
1.4 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	3
2.1.1 สารแอนทราควิโนน.....	5
2.2 ชานอ้อย.....	5
2.3 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน.....	6
2.3.1 คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน.....	6
2.3.2 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน.....	7
2.4 สารเคลือบโลสแลกเปลี่ยนไอออน.....	7
2.5 องค์ประกอบในเซลล์พีซ.....	8
2.5.1 เซลลูโลส.....	8
2.5.2 เฮมิเซลลูโลส.....	9
2.5.3 ลิกนิน.....	10
2.6 ชานอ้อยที่ผ่านการกำจัดสี.....	11
2.7 สีอ้อมรีแอกทีฟ.....	13
2.7.1 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ.....	14
2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสีรีแอกทีฟ.....	14
2.8 คอนกรีต.....	15
2.8.1 ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	15

	หน้า
2.8.1.1 ประเภทของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	16
2.8.1.2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	17
2.8.1.3 วัสดุปอชโซลานและคอนกรีตผสมวัสดุปอชโซลาน.....	18
2.8.1.4 ปฏิกริยาเคมีที่เกิดขึ้น.....	19
2.8.2 น้ำ.....	21
2.8.3 วัสดุผสม.....	22
2.8.3.1 วัสดุผสมละเอียด.....	22
2.8.3.2 วัสดุผสมหยาบ.....	22
2.8.3.3 ส่วนคละของวัสดุผสม.....	22
2.9 คอนกรีตบล็อก.....	23
2.9.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง.....	23
2.9.1.1 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวง.....	23
2.9.1.1.1 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก.....	23
2.9.1.1.2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก.....	25
2.9.1.2 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบตัน.....	25
2.9.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	25
2.9.3 เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.....	26
2.10 การกำจัดโดยการทำให้เสถียรและการทำก้อนแข็ง.....	28
2.10.1 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำเสถียร.....	28
2.10.2 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำก้อนแข็ง.....	29
2.10.3 วิธีการทำก้อนแข็ง.....	29
2.10.4 กลไกการจับยึดในการทำก้อนแข็ง.....	31
2.10.5 ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดของเสียโดยการทำก้อนแข็ง.....	31
2.11 ความสามารถในการถูกชะละลาย.....	33
2.12 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	33
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	45
3.1 การเตรียมวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย.....	45
3.1.1 วัสดุดิบ.....	45
3.1.2 สารเคมี.....	45
3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์.....	47

	หน้า
3.1.3.1 การเตรียมควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส.....	47
3.1.3.2 การหล่อและการทดสอบสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่าง.....	47
3.1.3.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย.....	49
3.1.3.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุ.....	49
3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง.....	49
3.2.1 ตัวแปรอิสระ.....	49
3.2.2 ตัวแปรตาม.....	49
3.2.3 ตัวแปรควบคุม.....	51
3.3 การดำเนินการวิจัย.....	51
3.3.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย.....	51
3.3.1.1 การเตรียมวัสดุ.....	51
3.3.1.2 การเตรียมควอเทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์เซลลูโลส.....	51
3.3.1.3 วัสดุผสม.....	51
3.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	52
3.3.2.1 การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	52
3.3.2.2 การวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินา ที่ใช้แล้ว และวัสดุผสม.....	52
3.3.2.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ.....	52
3.3.3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยใช้ ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	52
3.3.3.1 ศึกษาอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อก.....	52
3.3.3.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนคอนกรีต.....	53
3.3.4 ศึกษาความสามารถในการลดการชะละลายของสารแอนทราควิโนน ในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	53
3.3.5 ศึกษาการถูกชะล้างได้ของสี และพีเอช.....	54
3.3.6 ประเมินค่าใช้จ่ายคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	55
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิจารณ์ผล	56
4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย.....	56
4.1.1 ชานอ้อยที่ใช้แล้ว.....	56

	หน้า
4.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	57
4.2.1 การวิเคราะห์หองค์ประกอบของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	57
4.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชานอ้อยที่ใช้แล้ว	58
4.2.3 การวิเคราะห์การกระจายขนาดของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และวัสดุผสม.....	59
4.2.4 การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ.....	61
4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้ต่อซีเมนต์ในการทำคอนกรีตบล็อก.....	62
4.3.1 ค่ากำลังรับแรงอัด.....	63
4.3.2 ค่าความหนาแน่น.....	64
4.3.3 การดูดซึมน้ำ.....	65
4.3.4 ค่าพีเอช.....	66
4.3.5 ค่าสี.....	66
4.4 ผลการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนซีเมนต์.....	67
4.4.1 ค่ากำลังรับแรงอัด.....	67
4.4.2 ค่าความหนาแน่น.....	69
4.4.3 การดูดซึมน้ำ.....	70
4.4.4 ค่าพีเอช.....	71
4.4.5 ค่าสี.....	72
4.5 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก	72
4.5.1 การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	73
4.5.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสารแอนทราควิโนนซึ่ง ปนเปื้อนในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	74
4.5.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการถูกชะล้างของสี และพีเอช.....	75
4.6 ประมาณค่าใช้จ่ายในการนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วมาผลิต คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	75
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย	78
5.1 สรุปผลวิจัย.....	78
5.2 สรุปข้อดีและข้อเสียของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตได้	79
บทที่ 6 ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม.....	80

	หน้า
6.1 ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้.....	80
6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม.....	80
รายการอ้างอิง.....	82
บรรณานุกรม.....	88
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก วิธีทดลองโดยละเอียด.....	91
ภาคผนวก ข ข้อมูลการทดลองศึกษาอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้ว ต่อวัสดุประสาน.....	98
ภาคผนวก ค ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค.....	106
ภาคผนวก ง สูตร โครงสร้างและลักษณะสมบัติของสีที่ใช้ในการวิจัย.....	113
ภาคผนวก จ เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการชะละลายของสารแอนทราควิโนน....	116
ภาคผนวก ฉ การคำนวณค่าใช้จ่ายคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	121
ภาคผนวก ช โมดูลัสความละเอียด.....	126
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	128

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	3
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	4
2.3 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย.....	6
2.4 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของคอนกรีต.....	15
2.5 ออกซิเดชันของธาตุหลักในปูนเม็ดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์.....	16
2.6 กำลังของคอนกรีตที่ลดลงเนื่องจากซัลเฟตที่ปนอยู่ในน้ำ.....	21
2.7 อัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ.....	23
2.8 ความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบดล็อกรับน้ำหนัก.....	25
2.9 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบดล็อกไม่รับน้ำหนัก.....	25
2.10 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคอนกรีตบดล็อกประสานปูนพื้น.....	28
2.11 รายละเอียดและข้อดีข้อเสียของวิธีการทำก้อนแข็ง.....	30
2.12 แสดงรายละเอียดกลไกการจับยึดในการทำก้อนแข็ง	31
3.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	53
3.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต ที่ระยะเวลาบ่ม 7 14 21 และ 28 วัน.....	53
4.1 องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	58
4.2 ขนาดอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	59
4.3 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและวัสดุผสม.....	62
4.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	63
4.5 ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน	64
4.6 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	65
4.7 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	66
4.8 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	68
4.9 ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	69
4.10 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	70
4.11 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	71
4.12 ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบดล็อกปูผนังรับ น้ำหนักที่มีอัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน 0.15 ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน.....	74
4.13 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ของซิลิกา-อะลูมินา ที่ใช้แล้วก่อนและหลังทำคอนกรีตบดล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	75

ตารางที่	หน้า
4.14 รายละเอียดราคาวัสดุเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อก ปูผนังรับน้ำหนัก 1 ก้อน.....	76
4.15 คำนวณราคาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักต่อก้อน.....	77
ข.1.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	99
ข.1.2 ค่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	99
ข.1.3 ค่าความชื้นน้ำของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	99
ข.1.4 ค่าพีเอชของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน.....	100
ข.2.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม.....	101
ข.2.2 ค่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม.....	102
ข.2.3 ค่าความชื้นน้ำของก้อนคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม.....	103
ข.2.4 ค่าพีเอชของก้อนคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม.....	104
ข.3.1 ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่าพีเอชของ คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน 0.15 ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน.....	105
ข.3.2 ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่าพีเอชของคอนกรีต บล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน	105
ง.1 ลักษณะสมบัติต่างๆของสี.....	114
จ.1 ค่าพารามิเตอร์ของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วก่อนและหลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนัง รับน้ำหนัก.....	119
ฉ.1 ราคาต่อหน่วยกิโลกรัมของวัสดุคิป.....	122
ฉ.2 การดูดซึมน้ำของวัสดุ.....	123
ฉ.3 คำนวณราคาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักต่อก้อน.....	123
ฉ.4 คำนวณราคาในการกำจัดซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 1 ตัน.....	124
ฉ.5 คำนวณค่าใช้จ่ายในการบำบัดซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว และมูลค่า ผลิตภัณฑ์ต่อต้านของเสีย.....	124
ฉ.6 การเปรียบเทียบราคาของการบำบัดของซิลิกา-อะลูมินาจากศูนย์แสมคำกับราคาของ คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15.....	126
ช.1 สัดส่วนตัวนของวัสดุผสม.....	127

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์.....	4
2.2 สูตรโครงสร้างของสารแอนทราควิโนน.....	5
2.3 แผนภาพแสดงองค์ประกอบในเซลล์พืช	8
2.4 ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส	9
2.5 โครงสร้างของไซแลน	10
2.6 หน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนิน	11
2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดสัมพัทธ์ของตัวอย่างที่แทนที่ซีเมนต์ด้วย วัสดุพอลิโพรพิลีน ในสัดส่วนและระยะเวลาบ่มต่างๆ กัน	18
2.8 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวงมาตรฐานแบบ และขนาดต่างๆ.....	24
2.9 ลักษณะและขนาดของบล็อกแต่ละชนิด	27
3.1 วัสดุประสาน (ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1) วัสดุผสม (ทรายและหินเกล็ด) ซิลิกา-อะลูมินาและขานอ้อยที่ใช้แล้ว	45
3.2 แบบหล่อคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย	48
3.3 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด.....	50
3.4 เครื่องเขย่าแบบหมุนตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6	50
4.1 ขานอ้อยปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงก์ก่อนและหลังการกำจัด สิริมา โชล แบล็ค บี	56
4.2 สิ ริมา โชล แบล็ค บี ก่อนและหลังการทดลองแบบเบตซ์	56
4.3 การกระจายขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และขานอ้อยที่ใช้แล้ว.....	60
4.4 การกระจายขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	60
4.5 ส่วนคละของวัสดุผสมที่ใช้ในการวิจัย.....	61
4.6 ก้อนคอนกรีตที่อัตราส่วนขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	63
4.7 ค่ากำลังรับแรงอัดของของก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุ ประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	64
4.8 แสดงค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุ ประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	65
4.9 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุ ประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	66

รูปที่	หน้า
4.10 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน.....	67
4.11 สีของน้ำชะละลาย.....	67
4.12 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	69
4.13 ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	70
4.14 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	71
4.15 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ.....	72
4.16 คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	73
4.17 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ของซิลิกา- อะลูมินาที่ใช้แล้วก่อนและหลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	75
ค.1 ผลการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว แบบเปอร์เซ็นต์ไทล์.....	107
ค.2 ผลการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว.....	108
ค.3 ผลการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคชานอ้อยที่ใช้แล้ว.....	109
ค.4 ผลการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคชานอ้อยที่ใช้แล้วแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์.....	110
ค.5 ผลการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วแบบ เปอร์เซ็นต์ไทล์.....	111
ค.6 ผลการวิเคราะห์การกระจายของอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว.....	112
ง.1 สูตรโครงสร้างของสี ริมาโซล แบล็ค บี.....	115
จ.1 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ของซิลิกา- อะลูมินาที่ใช้แล้วก่อนทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	120
จ.2 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ของซิลิกา- อะลูมินาที่ใช้แล้วหลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก.....	120

สัญลักษณ์ คำย่อ และคำจำกัดความ

AAR	=	Alkali Aggregate Reaction
ACI	=	American Concrete Institute
ASTM	=	American Society for Testing and Materials
C ₃ A	=	ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (3CaO.Al ₂ O ₃)
C ₄ AF	=	เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ (4CaO.Al ₂ O ₃ .Fe ₂ O ₃)
C ₂ S	=	ไดแคลเซียมซิลิเกต (2CaO.SiO ₂)
C ₃ S	=	ไตรแคลเซียมซิลิเกต (3CaO.SiO ₂)
C-S-H	=	แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต หรือ ซีเมนต์เจล
D _{10%}	=	ขนาดอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 10
D _{50%}	=	ขนาดอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50
D _{90%}	=	ขนาดอนุภาคที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 90
XRF	=	X-ray Fluorescence Spectroscopy
ขานอ้อยที่ใช้แล้ว	=	ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งค์ขานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสี ริมาโซล แบล็ค บี
วัสดุประสาน	=	การเกิดปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวเป็นคอนกรีตแข็ง ปฏิกิริยาจะขึ้นกับสารประกอบในซีเมนต์ ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันและเปลี่ยนเป็นวัสดุประสาน
วัสดุปอซโซลาน	=	วัสดุที่ไม่มีความสามารถเป็นวัสดุประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายที่มีความเป็นด่าง เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะก่อตัวเป็นวัสดุประสาน สารประกอบหลักที่มีในวัสดุปอซโซลาน คือ ซิลิกอนออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ และ แคลเซียมออกไซด์ โดยผลรวมของสารประกอบออกไซด์ของซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก ต้องมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์

สถาบันเทคโนโลยี
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ดังนั้นการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมจึงเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดของเสียอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตมากมาย เช่น โรงงานอุตสาหกรรมที่ผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จะก่อให้เกิดของเสียประเภทซิลิกา-อะลูมินาเป็นจำนวนมาก โดยประมาณได้ว่าซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากกว่า 100 ตันต่อปี ทำให้เจ้าของกิจการต้องรับภาระค่าใช้จ่ายในการบำบัดซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว นอกจากนี้ น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมฟอกย้อม ก่อให้เกิดสีย้อมที่ใช้ไม่หมดในการย้อมหรือพิมพ์ผ้า จะถูกระบายลงสู่แหล่งน้ำสาธารณะซึ่งจะก่อให้เกิดน้ำเสียที่เป็นมลภาวะ จึงได้มีการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร เช่น ชานอ้อย (จิรภรณ์, 2542 และ ลัดดา, 2544) มาพัฒนาเป็นเรซินแลกเปลี่ยน ไอออนเพื่อใช้กำจัดสี วัสดุดังกล่าวนี้เมื่อได้ทำการกำจัดสีแล้ว พบว่าสามารถนำไปทิ้งโดยวิธีฝังกลบได้ ซึ่งหากสามารถนำมาใช้ประโยชน์โดยผสมในการทำคอนกรีตบล็อกจะเป็นการลดปริมาณของเสียวิธีหนึ่ง และสามารถนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างได้

การกำจัดซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านการกำจัดสีจะต้องนำมาบำบัดโดยการทำให้เสถียรและทำการตรวจสอบ ให้เป็นไปตามข้อกำหนดว่าด้วยการบำบัดของกากเสีย ตามกฎของกรมโรงงาน กระทรวงอุตสาหกรรม ก่อนที่จะนำไปฝังกลบ แต่เนื่องจากปัจจุบันพื้นที่ที่มีความเหมาะสมใช้เป็นพื้นที่ฝังกลบ มีลดน้อยลงทุกที จึงควรหลีกเลี่ยงวิธีการ ฝังกลบ และหาแนวทางในการนำของเสียเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด จากการศึกษาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว พบว่า มีปริมาณของสารประกอบออกไซด์ของ ซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก รวมกันมากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังนั้นจึงตั้งสมมติฐานเบื้องต้นว่า ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว อาจแสดงสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน ซึ่งมีผลเสริมกำลังรับแรงอัดของซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีตในระยะยาว ซึ่งในงานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำของเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ ซิลิกา-อะลูมินา และวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านการกำจัดสี ได้แก่ ควอร์ตเทอร์ในซักรอสต์ลิ่งชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสี ริมาโซล แบล็ค บี (ชานอ้อยที่ใช้แล้ว) มาเป็นวัตถุดิบที่ซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว มาทำคอนกรีตบล็อก
2. ศึกษาระยะเวลาบ่มในการนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว มาทำคอนกรีตบล็อก

3. ศึกษาความสามารถในการลดการชะละลายของเสี้ยนซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว เมื่อนำมาทำคอนกรีตบล็อก
4. ประเมินการค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการทำคอนกรีตบล็อกโดยใช้วัสดุดังกล่าว

1.3 สมมติฐาน

อัตราส่วนและระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมของซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว สามารถนำมาประยุกต์ในการทำคอนกรีตบล็อกเพื่อใช้ประโยชน์ในการก่อสร้าง

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และควอร์ตเทอร์ไรซ์โครสส์ลิงค์ชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสี ริมาโซล แบล็ค บี (Remazol Black B) (ชานอ้อยที่ใช้แล้ว) มาใช้ในการทำคอนกรีตบล็อก โดยชานอ้อยที่ใช้ในการทดลอง คือ ที่คัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 20-40 เมช (0.42-0.84 มิลลิเมตร) ซึ่งในการศึกษานี้จะหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อการประยุกต์ใช้งานจริง โดยพิจารณาจากค่าความหนาแน่น และค่ากำลังรับแรงอัด โดยการศึกษามีตัวแปรที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

1. อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อก
2. ระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม
3. เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย
4. ประเมินการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเบื้องต้น

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ทราบถึงความเหมาะสมในการนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว มาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อก
2. การนำวัสดุที่ใช้แล้วและกากของเสี้ยนมาทำให้เกิดประโยชน์
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นคอนกรีตบล็อกในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

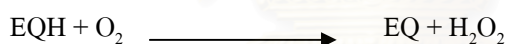
2.1 ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (Spent silica-alumina)

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว เป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ซึ่งเป็นสารที่ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตหลายประเภท เช่น อุตสาหกรรมโพลีเมอร์ อุตสาหกรรมเครื่องสำอางค์ อุตสาหกรรมยา ตลอดจนใช้ในการฟอกผลิตภัณฑ์ต่างๆ สารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ เกิดจากก๊าซไฮโดรเจนและก๊าซออกซิเจนทำปฏิกิริยากัน โดยมีสารเอทิล เตตระไฮโดร แอนทราควิโนน (Ethyl Tetrahydro Anthraquinone, EQ) คือสารตัวพา (Working Solution) ซึ่งเป็นสารละลายที่เกิดจากสารประกอบในกลุ่มแอนทราควิโนน สารตัวพานี้เป็นสารที่ทำให้เกิดการรวมตัวของก๊าซทั้งสอง ในขณะที่สารตัวพาเมื่อใช้ครบ 1 รอบการทำงานจะเกิดความชื้น และสิ่งสกปรกปนเปื้อน จึงจำเป็นต้องใช้สารซิลิกา-อะลูมินาในการดูดความชื้น และสิ่งสกปรกออก ดังนั้นในกระบวนการนี้ทำให้เกิดซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ซึ่งมีองค์ประกอบทางเคมีดังตารางที่ 2.1 และ 2.2 โดยปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตเป็นดังนี้

ปฏิกิริยาไฮโดรจิเนชัน (Hydrogenation)



ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation)



การดูดความชื้นและสิ่งสกปรก

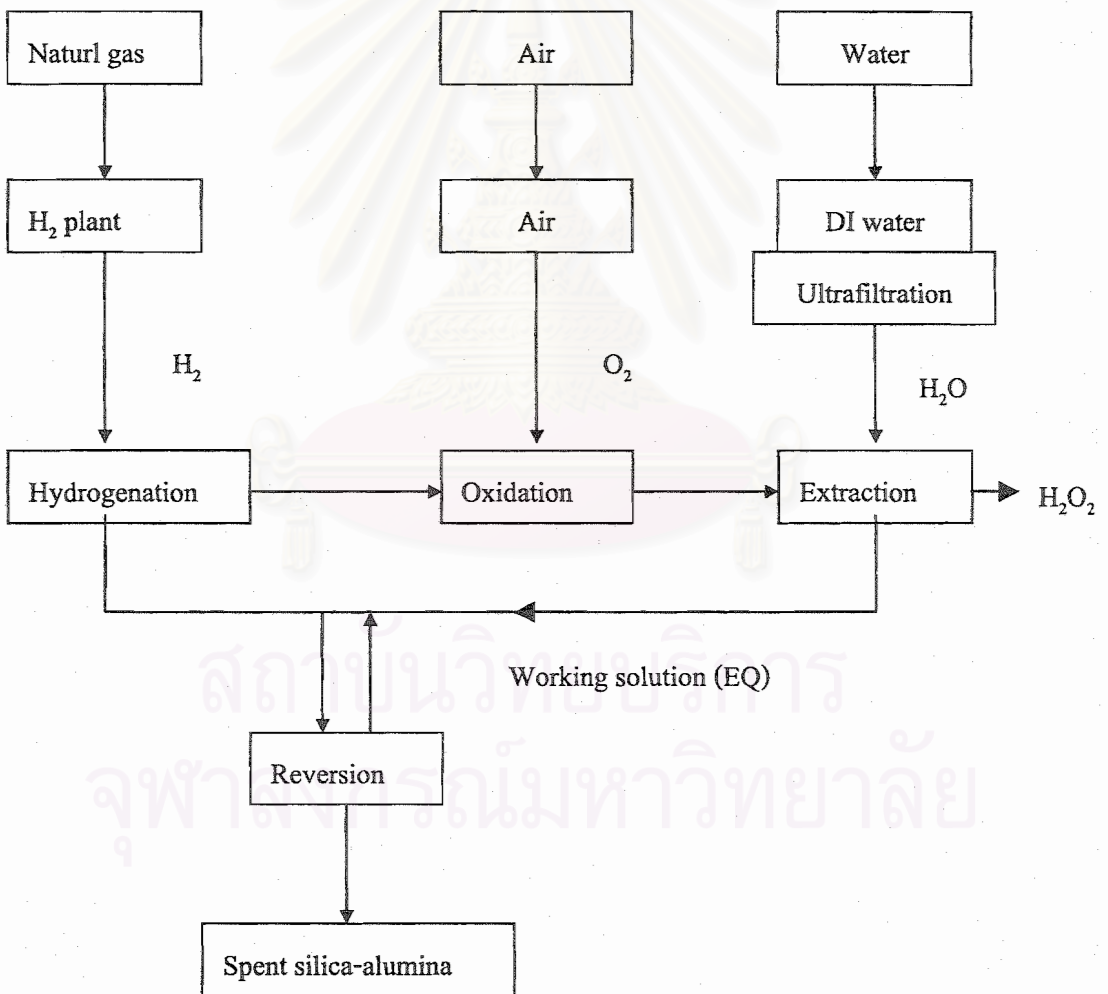


ตารางที่ 2.1 ส่วนประกอบซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (ประเสริฐ, 2541)

ส่วนประกอบ	ปริมาณ	
	มิลลิกรัมต่อกรัม	เปอร์เซ็นต์
อะลูมิเนียมออกไซด์	550-630	55.0-63.0
ซิลิกอนไดออกไซด์	120-160	12.0-16.0
เกลือละลายน้ำ	70-130	7.0-13.0
ความชื้นสารตัวพา	100	10.0
เมทิล เตตระไฮโดร แอนทราควิโนน	23.08	2.31
เมทิล แอนทราควิโนน	9.85	0.99
เมทิล ไดไฮโดรซี แอนทราควิโนน	6.61	0.66

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (สุจิตรา, 2545)

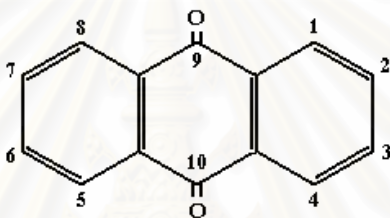
สารประกอบ	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
โซเดียมออกไซด์ (Na_2O)	12.92
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	67.27
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO_2)	16.12
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3)	3.23
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	0.46
คลอไรด์ (Cl)	เล็กน้อย
โพแทสเซียมเปอร์ออกไซด์ (K_2O)	เล็กน้อย



รูปที่ 2.1 ขั้นตอนกระบวนการผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (เทพฤทธิ์, 2544)

2.1.1 สารแอนทราควิโนน (Anthraquinone)

สารแอนทราควิโนนมีสูตรทางเคมี คือ $C_{14}H_8O_2$ (9, 10-anthracenedione; 9, 10-anthraquinone; 9, 10-dioxoanthracene) ประกอบด้วย คาร์บอน 80.76 เปอร์เซ็นต์ ไฮโดรเจน 3.87 เปอร์เซ็นต์ และออกซิเจน 15.37 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนักมีลักษณะเป็นผลึกรูปเข็มสีเหลือง มีจุดหลอมเหลว 284 ถึง 286 องศาเซลเซียส จุดเดือด 379 ถึง 381 องศาเซลเซียส มีน้ำหนักโมเลกุล เท่ากับ 208.22 มีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 1.438 ไม่ละลายน้ำ แต่ละลายได้ในแอลกอฮอล์ และอีเทอร์ มีค่า Oral rat LD_{50} เท่ากับ 15 กรัมต่อกิโลกรัม โดยทำให้เกิดอาการระคายเคืองที่หนังลำไส้หรือผิวหนังในกรณีกินหรือสัมผัสโดยตรง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในทางการค้า สารแอนทราควิโนนจะถูกเตรียมได้โดยการออกซิไดซ์สารแอนทราซีน (Anthracene) ด้วยกรดโครมิก (Chromic) โดยสารควิโนนบางชนิดใช้ทำสีย้อมผ้า และยาถ่าย โดยมีสูตรโครงสร้างประกอบด้วยวงแหวน ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สูตรโครงสร้างของสารแอนทราควิโนน (Jaskot และ Costa, 1994)

2.2 ชานอ้อย (Bagasse)

ชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล องค์ประกอบทางเคมีของ ชานอ้อย แสดงดังตารางที่ 2.3 หนึ่งในสามส่วนของชานอ้อยจะใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเป็น พลังงานใน อุตสาหกรรมน้ำตาล ที่เหลืออีกสองส่วนใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อทดแทนไม้ไผ่กว้างใน อุตสาหกรรมการผลิต วัสดุหลายประเภท เช่น การผลิตเยื่อกระดาษ การผลิตแผ่นไม้ประดิษฐ์ หรือใช้เป็นพลังงานในรูปแบบต่างๆ เช่น ผลิตไฟฟ้า ชานอ้อยอัดแท่ง ถ่านอัดแท่ง หรือผลิตเป็นเชื้อเพลิงเหลว เป็นต้น ซึ่งในแต่ละประเภทการใช้งานมีความยากง่าย และการลงทุนที่แตกต่างกัน

ลำต้นของอ้อยประกอบด้วย ข้อ และปล้องเป็นระยะๆ สลับกันภายในลำต้นของต้นอ้อย ประกอบด้วย เนื้อเยื่อ 3 ประเภท คือ เนื้อเยื่อที่อยู่รอบนอก เนื้อเยื่อประเภทท่อลำเลียง และเนื้อเยื่อประเภท สะสมอาหาร เมื่อนำอ้อยเข้าสู่กระบวนการหีบอ้อย น้ำอ้อยจะถูกสกัดออกมา ส่วนที่เหลือคือ ชานอ้อย ซึ่ง ส่วนใหญ่ประกอบด้วย น้ำ ไฟเบอร์ และสารที่ละลายน้ำได้ปนอยู่เล็กน้อย ซึ่ง สัดส่วนขององค์ประกอบ เหล่านี้จะมากขึ้นขึ้นอยู่กับชนิดของอ้อย การตัด และประสิทธิภาพของกระบวนการของโรงงาน ซึ่งโดย เฉลี่ยแล้วจะมีความชื้นระหว่างร้อยละ 46 ถึง 52 ไฟเบอร์ร้อยละ 43 ถึง 52 และสารที่ละลายน้ำได้ (ส่วนใหญ่เป็นน้ำตาล) ร้อยละ 2 ถึง 6

ตารางที่ 2.3 องค์ประกอบทางเคมีของชานอ้อย

องค์ประกอบ	(เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)		
	ปรีชา (2532)	Bilba และคณะ (2003)	งานวิจัยนี้ (เพ็ชรพร และคณะ, 2545)
โฮโลเซลลูโลส (Holocellulose)	82.52	-	-
แอลฟา-เซลลูโลส (α -cellulose)	44.05	-	-
เซลลูโลส (Cellulose)	-	41.8	56.60
เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)	-	28.0	26.11
ลิกนิน (Lignin)	-	21.8	19.15
ลิกนิน (ถ้าอิสระ) (Lignin (Ash Free))	19.78	-	-
เพนโตเซน (Pentosans)	27.21	-	-
ขี้เถ้า (Ash)	1.60	-	1.30
ความสามารถในการละลายของ แอลกอฮอล์ เบนซีน (Alcohol benzene solubility)	3.06	-	-

2.3 ทฤษฎีการแลกเปลี่ยนไอออน

การแลกเปลี่ยนไอออน (อนุภาคที่มีประจุ) เป็นการแลกเปลี่ยนไอออนกลับไปกลับมา (Reversible interchange) ระหว่างตัวกลาง 2 ชนิด คือ ตัวกลางของเหลวและตัวกลางของแข็ง โดยไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างของตัวกลางของแข็ง

2.3.1 คุณสมบัติทั่วไปของเรซิน

เพื่อให้มีอำนาจในการแลกเปลี่ยนไอออน เรซินควรมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. ต้องมีไอออนอิสระ ที่สามารถใช้แลกเปลี่ยนไอออนในน้ำได้
2. ต้องไม่ละลายน้ำ
3. ต้องมีช่องว่างภายในโครงไฮโดรคาร์บอนพอเพียง เพื่อให้ไอออนต่าง ๆ เคลื่อนที่ผ่านเข้าออกได้

อย่างสะดวก

2.3.2 การทำงานของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

ระบบแลกเปลี่ยนไอออนสามารถแบ่งการทำงานได้ 3 วิธี คือ

1. การทำงานแบบทีละเท (Batch Operation)

เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนไอออนที่ง่ายที่สุด น้ำเสียจะถูกกวนผสมกับเรซินในถังปฏิกริยา จากนั้นแยกเรซินออกโดยการกรองหรือตกตะกอน ความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่สมดุล (Equilibrium constant) ของระบบแลกเปลี่ยนไอออน

2. การทำงานแบบคอลัมน์ (Column Operation)

วิธีการนี้จะใช้ในการศึกษาชั้นห้องปฏิบัติการ เพื่อศึกษาหาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออน และสภาวะที่เหมาะสม ขนาดของคอลัมน์ที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ มีอัตราส่วนระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางกับความสูงอยู่ในช่วง 1:10 ถึง 1:20

3. การทำงานแบบต่อเนื่อง (Continuous Process)

เป็นการทำงานแบบคอลัมน์ซึ่งมีเรซินบรรจุในถัง ปล่อยน้ำทิ้งไหลผ่านชั้นเรซินต่อเนื่อง เมื่อใช้งานไปนานๆ เรซินจะหมดประสิทธิภาพ (Exhausted Resin) ต้องทำการฟื้นฟูโดยใช้สารละลายกรดหรือด่าง ขึ้นอยู่กับ ชนิดของเรซินที่ใช้

2.4 สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน (Cellulose Ion Exchanger)

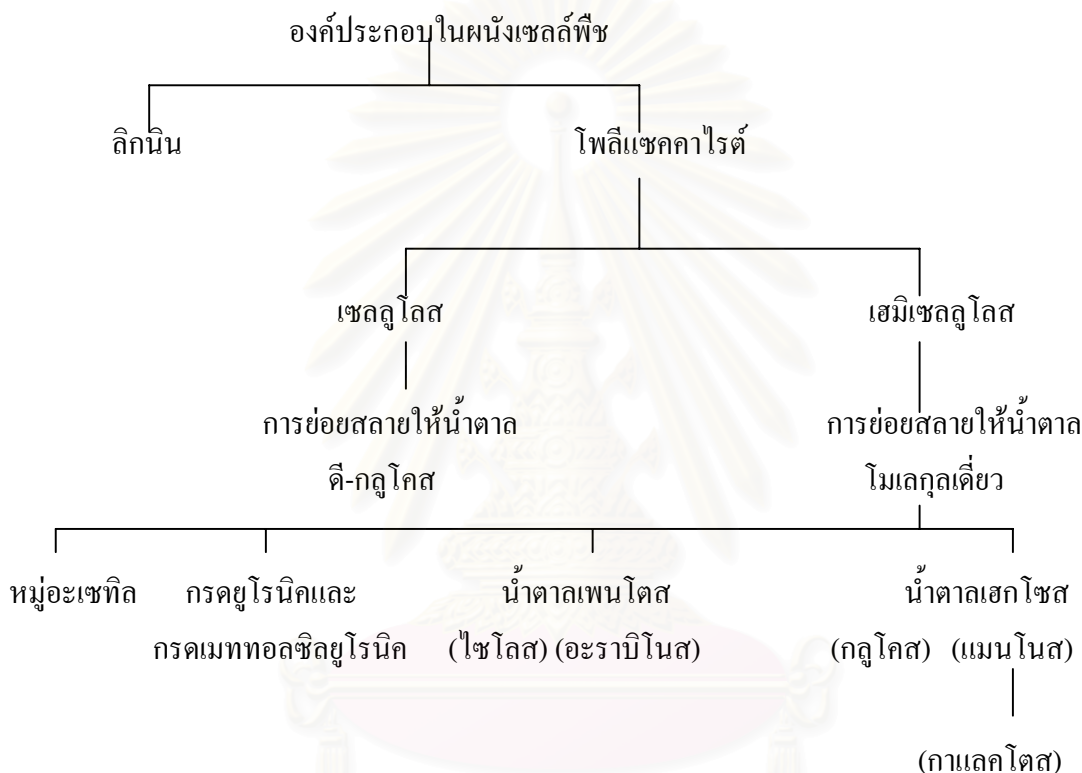
โครงสร้างของเซลลูโลสธรรมชาติจะมีหมู่คาร์บอกซิลเป็นองค์ประกอบ ทำให้เซลลูโลสมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน การสังเคราะห์สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนทำโดยการใช้ปฏิกริยาออกซิเดชัน เซลลูโลสผลิตภัณฑ์ที่ได้ประกอบด้วยไฮดรอกซีเซลลูโลส และหมู่คาร์บอกซิล 15 เปอร์เซ็นต์ มีลักษณะเป็นผง ไม่ละลายน้ำมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออน

สารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออนมีคุณสมบัติในการแลกเปลี่ยนไอออนเหมือนกับเรซินสังเคราะห์ แต่จะมีคุณสมบัติบางประการที่แตกต่างกัน เช่น โครงร่างตาข่ายของเซลลูโลสจะเป็น ไฮโดรฟิลิก แต่โครงร่างตาข่ายของเรซินสังเคราะห์เป็นไฮโดรโฟบิก เนื่องจากเซลลูโลสมี คุณสมบัติเป็นไฟเบอร์การยึดเกาะกันของโครงร่างตาข่ายจะยึดกันด้วยพันธะไฮโดรเจน โดยมีหมู่ไอออนอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนโครงร่างตาข่ายซึ่งมีระยะประมาณ 50 อังสตรอม ดังนั้นไอออนที่มีขนาดใหญ่ซึ่งไม่สามารถผ่านเรซินแบบสังเคราะห์ได้ แต่สามารถผ่านสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ทำให้เกิดการแลกเปลี่ยนไอออนบนสารเซลลูโลสแลกเปลี่ยนไอออน ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส จะมีหมู่ไฮดรอกซิลที่คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 3 และ 6 เป็นตำแหน่งที่มีไอออนมาเกาะอยู่ การจับยึดตำแหน่งที่แน่นอนทำได้ยาก การศึกษาทางเคมีของเซลลูโลส พบว่า คาร์บอนอะตอมตำแหน่งที่ 2 และ 6 เป็นส่วนที่จะเกิดปฏิกริยามากที่สุด การ

ปรับปรุงลักษณะของโครงสร้าง และหมู่ฟังก์ชันในเซลลูโลสสามารถทำได้โดยใช้กระบวนการทางเคมี เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้งานและความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนให้สูงขึ้น

2.5 องค์ประกอบในเซลล์พืช

องค์ประกอบสำคัญในเซลล์พืชแบ่งได้เป็น 2 ส่วนที่สำคัญ คือ ลิกนิน และโพลีแซคคาไรด์ โดยโพลีแซคคาไรด์ สามารถแบ่งได้เป็น เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส แสดงในรูปที่ 2.3 โดยที่ปริมาณสารประกอบเหล่านี้จะมีความแตกต่างกัน ขึ้นกับชนิด อายุ และเป็นส่วนไหนของพืช



รูปที่ 2.3 แผนภาพแสดงองค์ประกอบในเซลล์พืช (ปราณี, 2532)

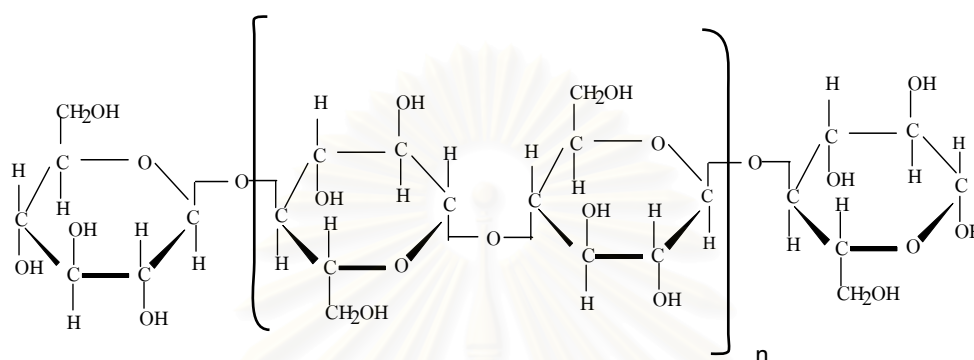
2.5.1 เซลลูโลส (Cellulose)

เซลลูโลสเป็นโพลีแซคคาไรด์เป็นสารที่มีมากที่สุดในธรรมชาติ เพราะเป็นส่วนประกอบประมาณ 1 ใน 3 ของส่วนประกอบของพืชทั้งหมด โดยทำหน้าที่เป็นโครงสร้างให้กับผนังเซลล์ของพืช เช่น ไม้จะมีเซลลูโลสเป็นส่วนประกอบประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนั้นยังเกิดในรูปของเส้นใย เช่น ฝ้าย จัดว่าเป็นเซลลูโลสบริสุทธิ์ ลักษณะโครงสร้างของเซลลูโลส แสดงดังรูปที่ 2.4

โครงสร้างของเซลลูโลส ประกอบด้วย โมเลกุลของดี-กลูโคส (D-glucose) ซึ่งจะเชื่อมกันด้วยพันธะเบต้า-กลูโคไซด์ (β-glucoside) และความยาวของโซ่ประกอบด้วย ดีกลูโคส ตั้งแต่ 300 ถึง 2500 หน่วย คุณสมบัติของเซลลูโลส คือ ไม่ละลายน้ำ ไม่ละลายในตัวทำละลายอินทรีย์หรือในสารละลายต่างอ่อน แต่

สามารถละลายได้ดีในกรดหรือด่างแก่ จึงสามารถแบ่งชนิดของเซลลูโลสตามลักษณะการละลายในกรดและด่างได้เป็น 3 ชนิด

1. แอลฟา-เซลลูโลส ไม่ละลายในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์
2. เบต้า-เซลลูโลส ละลายได้ในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์



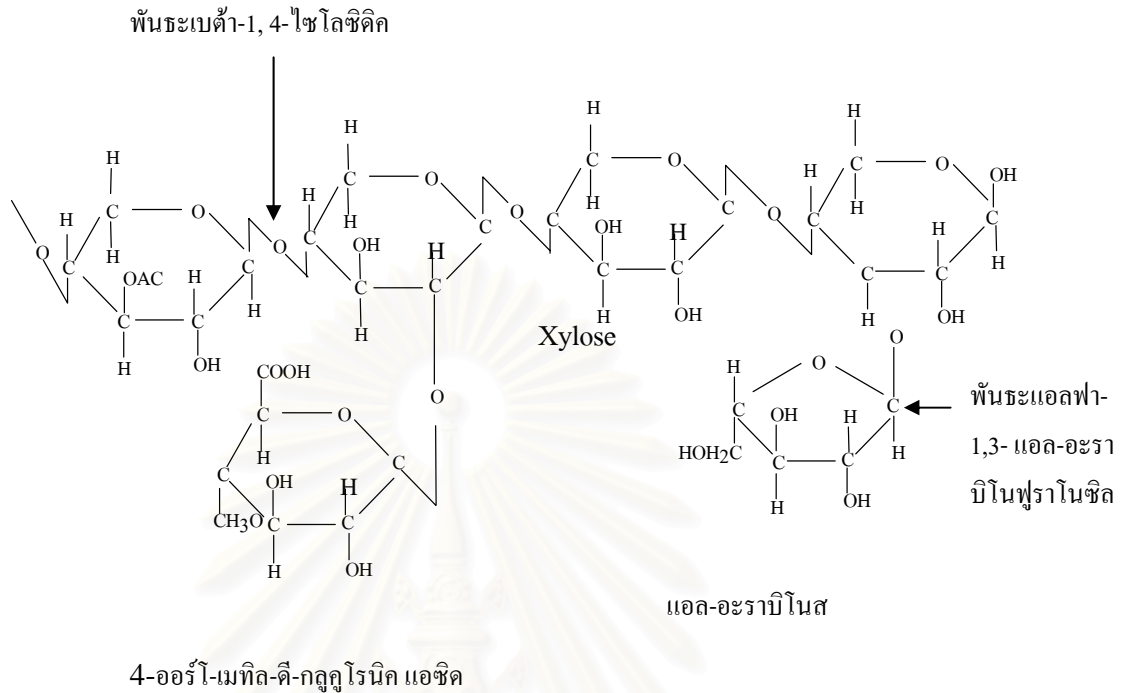
3. แกมมา-เซลลูโลส ละลายได้ดีทั้งในสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 17.5 เปอร์เซ็นต์ และสามารถละลายได้ดีในกรดเจือจาง

รูปที่ 2.4 ลักษณะ โครงสร้างของเซลลูโลส (Brown, 1977)

2.5.2 เฮมิเซลลูโลส (Hemicellulose)

เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลเพนโตส (Pentose) มีลักษณะเป็นไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (Heterogenous) ประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์หลายชนิดรวมกัน ลักษณะโครงสร้างเป็นเส้นตรง น้ำหนักโมเลกุลของเฮมิเซลลูโลสจะต่ำกว่าเซลลูโลส ขนาดของโมเลกุลมีความยาว 30 ถึง 50 หน่วย และมีองค์ประกอบหลักคือ ไซแลน (Xylan) นอกจากนี้ก็ยังมีกลูแคน (Glucan) แมนแนน (Mannan) กาแลกแทน (Galactan) เฮมิเซลลูโลสเมื่อถูกย่อยสลายจะได้น้ำตาลเพนโตสและเฮกโซส ได้แก่ ไซโลส แมนโนส กาแลคโตส และอะราบินโนส

สำหรับไซแลนที่เป็นองค์ประกอบหลักของเฮมิเซลลูโลส เป็นโพลีเมอร์ของน้ำตาลดีไซโลสที่ต่อกันด้วยพันธะเบตา 1,4 ไซโลซิดิก (1,4 Xylosidic linkage) อาจเป็นเส้นตรงเฉพาะไซโลสอย่างเดียว หรือมีกิ่งก้านสาขาที่เป็นโพลีแซคคาไรด์ชนิดอื่นๆ อยู่ เช่น อารามิโนฟูราโนส (L-arabinofuranose) เชื่อมต่อกับ ดีไซโลสที่มีตำแหน่ง 0-3 และ ดี-กลูคูโรนิกแอซิด (0-3 -D-glucuronic acid) หรือ 4-0 และ เมทิล-กลูคูโรนิกแอซิด (4-0-methyl - glucuronic acid) ซึ่งต่อกับดีไซโลสที่ตำแหน่ง 0-2 ดังแสดงในรูปที่ 2.5 ซึ่งเฮมิเซลลูโลสจะไม่ละลายในน้ำแต่จะละลายในด่างและถูกย่อยสลายได้ง่ายกว่าเซลลูโลส

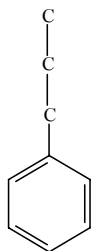


รูปที่ 2.5 โครงสร้างของไซแลน (ปราณี, 2537)

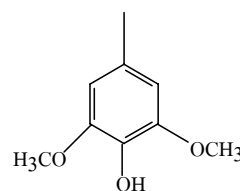
2.5.3 ลิกนิน (Lignin)

ลิกนินจัดอยู่ในพวกโพลีเมอร์อินทรีย์ที่ไม่เป็นเนื้อเดียวกัน จะอยู่ในโครงสร้างของพืช โดยอยู่รอบๆ เซลลูโลส และป้องกันเซลลูโลสจากการย่อยสลาย เป็นสารประกอบอะโรมาติก (Aromatic compound) ที่ประกอบด้วยหมู่เมทิล (Methyl group, $-OCH_3$) หมู่ไฮดรอกซิล (Hydroxyl group, $-OH$) และส่วนที่เป็นฟีนอลิก (Phenolic) โดยปกติไม่สามารถระบุได้ว่าลิกนินเป็นสารประกอบประเภทใด เพราะไม่สามารถกำหนดโครงสร้างที่แน่นอนได้ ทั้งนี้เนื่องจากลิกนินจะไม่อยู่ในลักษณะตัวเดียว แต่จะเกาะเป็นสายยาวซึ่งมีอยู่หลายแบบซึ่งประกอบด้วยหน่วยเหล่านี้ คือ ลักษณะหน่วยย่อยในโครงสร้างของลิกนิน แสดงในรูปที่ 2.6

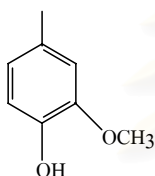
1. ฟีนิลโพรเพน (Phenyl Propane)
2. กัวไออะซิล ยูนิค (Guaiacyl Unit)
3. ไซริงกิล ยูนิค (Syringyl Unit)
4. พารา-ไฮดรอกซี ฟีนิล ยูนิค (Para-Hydroxyphenyl Unit)



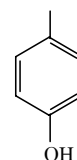
ฟีนิล โพรเพน



พารา-ไฮดรอกซี ฟีนิล ยูนิต



ไซรินกิล ยูนิต



กัวอีอะซีล ยูนิต

รูปที่ 2.6 หน่วยย่อยใน โครงสร้างของลิกนิน (ปราณี, 2537)

2.6 ชานอ้อยที่ผ่านการกำจัดสี

จิรภรณ์ (2542) ศึกษาของประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) และสีไดเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) ที่มีความเข้มข้น 10 20 และ 30 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเทอร์นารีในซัลโฟนิกเชลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร วัสดุที่ใช้ในการทดลอง ได้แก่ ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์ม การทดลองจะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวัสดุทั้งสามชนิดที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ และวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอเทอร์นารี และสารสร้างครอสลิงค์ ทำการทดลองแบบแบตช์ ผลการทดลองพบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีต่ำกว่าควอเทอร์นารีในซัลโฟนิกเรซินที่ทำจากวัสดุชนิดเดียวกัน โดยประสิทธิภาพของวัสดุทั้ง 3 ชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าร้อยละ 4 ในขณะที่ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์มที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอเทอร์นารีและสารสร้างครอสลิงค์มีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 95 ถึง 99 การกำจัดต่อกรัมของวัสดุในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่มีกำลังขยาย 350 เท่า และ 3,500 เท่า พบว่า วัสดุทั้งสามชนิด ได้แก่ ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปลาล์ม ที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ มีลักษณะคล้ายกัน คือ มีลักษณะ

เป็นชิ้นๆ มองเห็นได้ชัดเจน บริเวณผิวของวัสดุค่อนข้างเรียบ ไม่มีร่องรอยมากนัก และเป็นร่องรอยที่ตื้น สำหรับวัสดุทั้งสามชนิดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์ และสารสร้างครอสส์ลิงค์ จะมีลักษณะคล้ายกัน คือ วัสดุอยู่รวมกันอย่างหลวมๆ เนื้อวัสดุยุ่ย และเป็นหยัก บริเวณผิวของวัสดุขรุขระมาก และเป็นร่องรอยที่เกิดลึกมาก เมื่อตรวจสอบดูลักษณะพื้นผิวนอกหลังผ่านการกำจัดสีแล้วของชานอ้อย ที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Black B และ Best Direct Black B พบว่า ชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการปรับสภาพ เมื่อกำจัดสีทั้งสองแล้ว ยังคงมีลักษณะคล้ายเดิม คือ วัสดุแยกเป็นชิ้นๆ เห็นได้ชัด แต่ผิววัสดุมีร่องรอยมากขึ้น และขรุขระมากขึ้น ส่วนชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์ และสารสร้างครอสส์ลิงค์ เมื่อการกำจัดสีแล้ว พบว่า วัสดุเกิดการรวมตัวเกาะกันเป็นก้อนเล็กๆ ผิววัสดุขรุขระมากคล้ายผิวมะกรูด สำหรับการวิเคราะห์สารประกอบ (หมู่ฟังก์ชันนอล) ในวัสดุโดยใช้ อินฟราเรดสเปกโตรมิเตอร์ (Fourier Transform Infrared Spectrometer, FTIR) พบว่า วัสดุมีลักษณะคล้ายคลึงกัน จึงทำการวิเคราะห์ห่อ้งค์ประกอบหลักๆ ของวัสดุ ซึ่งประกอบด้วย C-H, C-O, C=C, C=O และ CH₂ ในการวิเคราะห์โครงสร้างของส่วนชานอ้อยที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์ และสารสร้างครอสส์ลิงค์ที่ผ่านการกำจัดสี Remazol Black B และ Best Direct Black B พบว่า ไม่มีความแตกต่างกัน

นัฐพล และคณะ (2544) ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue และ Navy Blue 171 ของชานอ้อย และเปลือกถั่วเหลืองที่ผ่านการปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์ ครอสส์ลิงค์ เปรียบเทียบกับถ่านกัมมันต์ พบว่า วัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยทำควอร์เทอร์ไนซ์ ครอสส์ลิงค์มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงกว่าถ่านกัมมันต์มาก โดยควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์ชานอ้อย เปลือกถั่วเหลือง และถ่านกัมมันต์ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Remazol Brilliant Blue คิดเป็น 91 91 และ5 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และมีประสิทธิภาพในการกำจัดสี Navy Blue 171 คิดเป็น 63 79 และ4 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ลัดดา (2544) ได้ศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Black B, Remazol Brilliant Blue R และ Remazol Brilliant Red 3BS) สีไดเรกต์ (Best Direct Black B, Sirius Blue KCFN และ Sirius Rubine KZBL) และน้ำกากส่าของควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์มทดลองแบบคอลัมน์ พบว่า ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสที่ทำจากชานอ้อยเหมาะสมในการประยุกต์ใช้มากที่สุด โดยชานอ้อย ผักตบชวา และ เส้นใยลูกปาล์มที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟและสีไดเรกต์เฉลี่ย 6.02 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่ปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์และสารสร้างครอสส์ลิงค์มีประสิทธิภาพเฉลี่ย 91.54 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพในการกำจัดสีน้ำกากส่าของวัสดุที่ไม่ผ่านการปรับสภาพและควอร์เทอร์ไนซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลสคิดเป็นร้อยละ 13.55 และร้อยละ 75.26 ตามลำดับ ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่กำลังขยาย 300 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่า ชานอ้อย และผักตบชวาจะมีลักษณะภายนอกที่ใกล้เคียงกัน คือ

เป็นเส้นใยยาว วัสดุที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีลักษณะผิวค่อนข้างเรียบ และมีร่องลึกน้อยกว่าวัสดุที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ ส่วนเส้นใยลูกปาล์มจะมีลักษณะภายนอกค่อนข้างกลม และไม่มี เป็นเส้นใยยาว เส้นใยลูกปาล์ม ที่ไม่ผ่านการปรับสภาพ มีลักษณะผิวที่ขรุขระและเป็นหยัก แต่ไม่เป็นร่องลึก ส่วนเส้นใยลูกปาล์ม ที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ มีลักษณะผิวที่ขรุขระ และเป็นร่องลึกมาก ส่วนความหนาแน่นของ ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่า 1.19 0.45 และ 1.63 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ และวัสดุชนิดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์มีค่า 3.62 1.70 และ 10.79 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ ในการศึกษาการบวมน้ำของชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม ชนิดที่ไม่ผ่านการปรับสภาพมีค่า 1.40 2.00 และ 1.32 มิลลิลิตรเปือกต่อมิลลิลิตรแห้ง ตามลำดับ และวัสดุชนิดที่ผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์มีค่า 2.00 2.61 และ 1.35 มิลลิลิตรเปือกต่อมิลลิลิตรแห้ง ตามลำดับ พบว่า ชานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใย ลูกปาล์ม เมื่อผ่านการปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์มีค่าการบวมน้ำ สูงกว่า เมื่อไม่มีการปรับสภาพ จากการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพและที่ปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ โดยใช้วิธี Brunauer Emmett and Teller Adsorption Isotherm (BET) ซึ่งเป็นการคิดค่าการกระจายรูพรุนทั้งหมด โดยใช้หลักการดูดก๊าซไนโตรเจนบนผิวแข็ง โดยที่ก๊าซไนโตรเจนมีขนาดโมเลกุล 2.1976 อังสตรอม ดังนั้นค่า BET surface area ที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นค่าจากขนาดตั้งแต่ 2.1976 อังสตรอมขึ้นไป พบว่า ชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ จะมีพื้นที่ผิว BET มากกว่าชานอ้อยที่ไม่ได้ปรับสภาพเล็กน้อย คือ 6.51 และ 6.16 ตารางเมตรต่อกรัม ตามลำดับ แต่มีขนาดรูพรุนเล็กกว่า คือเท่ากับ 40.8027 และ 46.4232 อังสตรอม ตามลำดับ ภายหลังจากผ่านการกำจัดสีริมาโซล แบล็ค บี แล้ว นำมาวิเคราะห์อีกครั้งพบว่าไม่พบความแตกต่างที่เด่นชัดของพื้นที่ผิว ในชานอ้อยที่ไม่ผ่านการปรับสภาพก่อนและหลังการบำบัดสีข้อม ส่วนชานอ้อยที่ปรับสภาพด้วยสารควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ พบว่า หลังการบำบัดสีข้อม ริมาโซล แบล็ค บี จะมีพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และขนาดของรูพรุนเล็กลงเล็กน้อย

2.7 สีข้อมรีแอคทีฟ (Rangeker และ Singh, 1980)

สีรีแอคทีฟ (Reactive Dyes) เป็นสีข้อมที่ให้ประจุลบ สามารถละลายน้ำได้ดี เป็นสีที่ใช้ข้อมเส้นใยเซลลูโลสได้ดีที่สุดโดยมีคุณสมบัติเป็นแอนไอออนเมื่ออยู่ในน้ำข้อมที่เป็นด่าง โมเลกุลของสีจะทำปฏิกิริยากับหมู่ไฮดรอกซีออนในเซลลูโลส และเชื่อมโยงติดกันด้วยพันธะโควาเลนต์เพื่อสร้างเป็นสารประกอบโครอสต์ลิงค์กลายเป็นสารประกอบเคมีชนิดใหม่กับเซลลูโลส ทำให้เป็นสีที่มีความคงทนต่อการซักฟอกและการขจัด

2.7.1 โครงสร้างทางเคมีของสีรีแอกทีฟ

กลุ่มเคมีที่ประกอบขึ้นเป็นสีรีแอกทีฟประกอบด้วยกลุ่มพื้นฐาน 4 กลุ่ม (Shore, 1995) ซึ่งสามารถแสดงเป็นโครงสร้างทั่วไปได้ดังนี้

S – D – T – X

โดย S	คือ	กลุ่มที่มีความสามารถในการละลายน้ำสูง	โดยทั่วไปจะเป็นพวกซัลโฟนิค (-SO ₂ Na) ซึ่งอยู่ติดกับกลุ่มโครโมฟอร์
D	คือ	กลุ่มของเคมีที่ทำให้เกิดสี เรียกว่า กลุ่มโครโมฟอร์	
T	คือ	กลุ่มอะตอมที่เป็นตัวเชื่อม (Bridging group) ระหว่างกลุ่มสีรีแอกทีฟกับกลุ่มโครโมฟอร์ เช่น กลุ่ม -NH-, -NHCO-, -SO ₂ -, -NHSO ₂ - และ -NCH ₃ - เป็นต้น	
X	คือ	กลุ่มรีแอกทีฟ เป็นกลุ่มอะตอมที่ทำปฏิกิริยากับกลุ่มไฮดรอกซิลในเส้นใย ส่วนใหญ่เป็นสารพวกเฮเทอโรไซคลิก (Heterocyclic)	

ลักษณะของกลุ่มตัวเชื่อมและส่วนประกอบเฮเทอโรไซคลิกมีอิทธิพลมากต่อความสามารถในการทำปฏิกิริยาและคุณสมบัติอื่นๆของสี ในบางกรณีกลุ่มโครโมฟอร์และกลุ่มรีแอกทีฟซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้สีแต่ละชนิดแตกต่างกันไป

2.7.2 ปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดปฏิกิริยาของสีรีแอกทีฟ

ในกระบวนการฟอกย้อมสีรีแอกทีฟ มีจุดประสงค์สำคัญคือ การทำให้สีสามารถแทรกซึมเข้าไปทำปฏิกิริยากับเส้นใยให้มากที่สุด และเกิดการไฮโดรไลสในน้ำน้อยที่สุด ทั้งนี้ไม่เพียงเพื่อเป็นการประหยัดเท่านั้นยังทำให้เส้นใยไม่ดูดสีที่ไฮโดรไลสแล้วเข้าไปในเส้นใยซึ่งจะทำให้ไม่คงทนเมื่อผ่านกระบวนการใช้น้ำ เพราะถ้าให้สีไฮโดรไลสมาก การซักในขั้นสุดท้ายก็ทำให้สะอาดหมดจดได้ยาก จึงจำเป็นต้องซักเอาสีพวกนี้ออกให้หมด เพื่อจะทำให้สีไม่ตกเวลาใช้

การไฮโดรไลสของสีนั้น คือ การทำปฏิกิริยาของสีกับไฮดรอกไซด์ไอออนในน้ำ มักเป็นปฏิกิริยาที่แข่งขันกับการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย ซึ่งสามารถเกิดได้ก็ต่อเมื่อสีสามารถดูดซึมเข้าไปในเส้นใย ดังนั้นความเร็วของปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยจึงขึ้นอยู่กับความเร็วในการดูดซึมเข้าไปในเส้นใยของสี อัตราส่วนของความเร็วในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย และระหว่างสีกับน้ำ จะมีค่าคงที่สำหรับสีหนึ่งๆ แม้ในช่วงก่อนข้างกว้างของพีเอชที่เป็นค่า

ประสิทธิภาพของการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยขึ้นกับ

1. อัตราส่วนของความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใยต่อความเร็วปฏิกิริยาระหว่างสีกับน้ำ
2. ความเข้มข้นสัมพัทธ์ระหว่างสีที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเส้นใยและสีที่หลงเหลืออยู่ในน้ำ
3. สัมประสิทธิ์การแพร่ของสีเข้าไปในเส้นใย

4. ปริมาณน้ำ พบว่ายิ่งปริมาณน้ำน้อยจะเพิ่มความเร็วและประสิทธิภาพในการทำปฏิกิริยาระหว่างสีกับเส้นใย
5. พื้นที่ผิวของเส้นใยสำหรับให้สีได้ถูกดูดซึม

สีรีแอคทีฟที่ใช้ในการวิจัยนี้ ได้แก่ ริมาโซล แบล็ค บี (C.I. Reactive Black 5) ซึ่งใช้ในงานวิจัยของจิรภรณ์ (2542) และลัดดา (2544) สามารถดูดซับ โครงสร้างในภาคผนวก ง

2.8 คอนกรีต

คอนกรีตเป็นวัสดุที่มีมนุษย์สร้างขึ้นเพื่อการใช้งานด้านโครงสร้าง เป็นวัสดุที่สามารถสร้างให้มีรูปร่างลักษณะตามต้องการและเหมาะสมกับงาน ข้อได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุอื่นๆ เช่น ไม้ อิฐ หรือเหล็ก ดังแสดงในตารางที่ 2.4 คอนกรีตเกิดจากการผสมซีเมนต์ น้ำ ซึ่งทำปฏิกิริยากันเกิดเป็นวัสดุประสานรวมเรียกว่า ซีเมนต์เพสต์ กับ ทราย หินหรือกรวด ที่เป็นวัสดุผสมหรือมวลรวม ส่วนผสมทั้งหมดจะแข็งตัวภายใน 24 ชั่วโมง และจะสามารถทนแรงอัดได้ดีขึ้นเรื่อยๆ ตามอายุ ทรายเท่าที่มีน้ำอยู่ในโครงสร้างเพื่อทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน คอนกรีตโดยทั่วไปจะมีปริมาตรของซีเมนต์เพสต์อยู่ประมาณ 25 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งแยกออกเป็นปริมาตรของซีเมนต์ 7 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์ น้ำ 14 ถึง 21 เปอร์เซ็นต์ และฟองอากาศที่แทรกอยู่ในช่องว่างประมาณ 0.5 ถึง 3 เปอร์เซ็นต์ ที่เหลือจะเป็นปริมาตรของวัสดุผสม (วินิต, 2539) สมบัติของซีเมนต์เพสต์ขึ้นอยู่กับ คุณภาพของซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และความสมบูรณ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เกิดขึ้นระหว่างน้ำและซีเมนต์ ซีเมนต์เพสต์จะทำหน้าที่เสริมช่องว่างระหว่างวัสดุผสม หล่อลื่นคอนกรีตสดในขณะทำงาน ทำให้เพิ่มกำลังแก่คอนกรีตเมื่อคอนกรีตแข็งตัว และป้องกันการซึมผ่านของน้ำ ในขณะที่วัสดุผสมมีหน้าที่เป็นตัวแทรกประสานอยู่ในซีเมนต์เพสต์เนื่องจากมีราคาถูก และช่วยให้คอนกรีตมีความคงทน ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง (ชัชวาลย์, 2539)

ตารางที่ 2.4 ข้อได้เปรียบและเสียเปรียบของคอนกรีต (ชัชวาลย์, 2539)

ข้อได้เปรียบ	ข้อเสียเปรียบ
1. สามารถหล่อขึ้นรูปร่างตามความต้องการได้	1. ความสามารถรับแรงดึงต่ำ
2. ราคาถูก	2. มีความยืดตัวต่ำ
3. มีความทนทานสูง	3. มีการเปลี่ยนแปลงปริมาตร
4. ทนไฟได้ดี และไม่ไหม้ไฟ	4. อัตรากำลังต่อน้ำหนักต่ำ
5. สามารถเทหล่อได้ในสภาพที่ก่อสร้าง	
6. สามารถทำให้ผิวสวยงามได้	

2.8.1 ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุก่อสร้างที่สำคัญในทางวิศวกรรมศาสตร์และเป็นส่วนผสมหลักในคอนกรีต โดยมีหลักฐานยืนยันว่าถูกใช้มาตั้งแต่สมัยโบราณ ซีเมนต์มีสมบัติที่สำคัญ คือ เมื่อผสมกับน้ำจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเกิดสารที่มีความสามารถในการจับยึดส่วนต่างๆ หรืออนุภาคที่เป็นของแข็ง (หิน และทราย) ให้รวมตัวกัน ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเป็นผลผลิตที่เกิดจากการเผาส่วนผสมต่างๆ ได้แก่ หินปูน และดินเหนียว ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1,400 ถึง 1,500 องศาเซลเซียส ส่วนประกอบของสารประกอบในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแสดงดังตารางที่ 2.5 ตารางที่ 2.5 ออกไซด์ของธาตุหลักในปูนเม็ดซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (วินิต, 2539)

สารประกอบออกไซด์	เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	60 – 65
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	20 – 24
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	4 – 8
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	2 – 5

เมื่อเผาวัตถุดิบของปูนซีเมนต์ สารออกไซด์ของธาตุแคลเซียม ซิลิกอน เหล็กและอะลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยาทางเคมีและรวมตัวกันเป็นสารประกอบที่สำคัญ 4 ชนิด ได้แก่ ไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต และเตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรต์ ซึ่งมีชื่อเรียกย่อ ๆ ว่า C₃S C₂S C₃A และ C₄AF ตามลำดับ โซเดียมออกไซด์ (Na₂O)

2.8.1.1 ประเภทของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมของประเทศไทย แบ่งปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ ออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ 5 ประเภท คือ

ประเภทที่ 1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา (Ordinary portland cement, OCP) ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ถูกใช้เป็นมาตรฐาน เพื่อจะได้ทราบความแตกต่างของซีเมนต์ชนิดต่างๆ ที่ผลิตขึ้นมาภายหลัง เหมาะที่จะนำมาใช้ในงานก่อสร้าง ซีเมนต์ที่เทียบได้กับประเภทนี้ ได้แก่ ซีเมนต์ตราช้าง ซีเมนต์ตราเพชร ซีเมนต์พญานาคเศียรเดียวสีเขียว และซีเมนต์ตราดอกจิก

ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ดัดแปลง (Modified portland cement) เป็นซีเมนต์ที่มีความต้านทานพวกเกลือซัลเฟตมากกว่าประเภท 1 ซึ่งนำมาใช้กับการสร้างคลองส่งน้ำได้ และมีความร้อนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ (Heat of hydration) ต่ำ โดยมีอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้นช้ากว่าประเภท 1 ซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ซีเมนต์ตราพญานาค 7 เศียร

ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว (High-early strength portland cement) เป็นซีเมนต์ที่ทำให้กำลังได้รวดเร็วในเวลาอันสั้น เมื่อใช้ซีเมนต์ชนิดนี้ผสมเป็นคอนกรีตในช่วงเวลา 24 ชั่วโมง จะมีความแข็งแรงเท่ากับคอนกรีตที่ผสมด้วยซีเมนต์ประเภท 1 อายุ 3 วัน เท่ากับงานที่ผสมด้วยซีเมนต์ประเภท

2 อายุ 28 วัน เหมาะที่จะนำมาใช้ในช่วงอากาศหนาว ซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ซีเมนต์ตราเอราวัณ ซีเมนต์ตราสามเพชร และซีเมนต์ตราพญานาคเศียรเดียวสีแดง

ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำ (Low-heat portland cement) เป็นซีเมนต์ชนิดพิเศษใช้กับงานที่ต้องการให้อัตราความร้อนที่เกิดขึ้นต่ำ กำลังจะเพิ่มขึ้นช้าๆ มีประโยชน์ในการเลือกใช้กับงานการสร้างเขื่อนใหญ่ๆ

ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟตสูง (Sulfate-resistant portland cement) เป็นการใช้ในงานโครงสร้างที่ต้องอยู่กับสารพวกเกลือ เช่น การแช่อยู่ในน้ำหรือสร้างในบริเวณใกล้ทะเล ซีเมนต์ที่เทียบได้กับซีเมนต์ประเภทนี้ ได้แก่ ซีเมนต์ตราฉลาม

2.8.1.2 องค์ประกอบทางเคมีที่สำคัญของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate, $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)

มีชื่อย่อว่า C_3S ลักษณะเป็นผลึก 6 เหลี่ยม สีเทาเข้ม สมบัติโดยทั่วไปเหมือนกับสมบัติของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เมื่อผสมกับน้ำจะแข็งตัวภายในเวลา 2 ถึง 3 ชั่วโมง และกำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นมากในระยะแรก มีอยู่ในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 35 ถึง 55 เปอร์เซ็นต์

2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate, $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$)

มีชื่อย่อว่า C_2S มีลักษณะกลม มีหลายรูปแบบ แต่มีเพียง $\beta\text{C}_2\text{S}$ เท่านั้นที่คงตัวในอุณหภูมิทั่วไป สารประกอบดังกล่าวนี้มีสมบัติยึดเกาะ และเมื่อแข็งตัวแล้วจะพัฒนากำลังรับแรงอัดขึ้นอย่างช้าๆ แต่ในระยะยาวจะได้กำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับ C_3S มีปริมาณ 15 ถึง 35 เปอร์เซ็นต์

3. ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต (Tricalcium aluminate, $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$)

มีชื่อย่อว่า C_3A เป็นสารประกอบที่มีรูปร่างเป็นเหลี่ยมมุม สีเทาอ่อน ทำปฏิกิริยากับน้ำทันที ให้ความร้อนสูง กำลังรับแรงอัดของสารประกอบนี้จะพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วภายใน 1 ถึง 2 วัน แต่ค่อนข้างต่ำ มีอยู่ในซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประมาณ 7 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์

4. เตตระแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์ (Tetracalcium aluminoferrite, $4\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{Fe}_2\text{O}_3$)

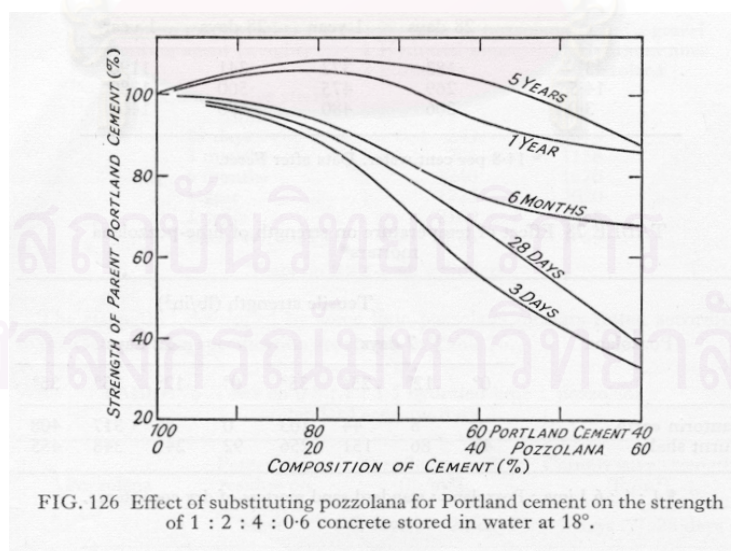
มีชื่อย่อว่า C_4AF เป็นสารประกอบที่ทำปฏิกิริยากับน้ำรวดเร็วมาก และก่อตัวภายในไม่กี่นาที แต่กำลังรับแรงอัดค่อนข้างต่ำ มีอยู่ประมาณ 5 ถึง 10 เปอร์เซ็นต์

2.8.1.3 วัสดุปอซโซลานและคอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลาน

ในระยะแรกวัสดุปอซโซลานถูกใช้เพื่อปรับปรุงสมบัติการทนทานต่อสารเคมีในซีเมนต์เพสต์ มอร์ตาร์ หรือคอนกรีตให้ดีขึ้น เนื่องจากวัสดุดังกล่าวสามารถทำปฏิกิริยากับปูนขาว หรือสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์

Lea (1970) กล่าวว่า การแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงแรกของตัวอย่างลดลง แต่ค่ากำลังรับแรงอัดช่วงปลายอาจเพิ่มสูงขึ้น ดังรูปที่ 2.7 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดสัมพัทธ์ของตัวอย่างที่แทนที่ซีเมนต์ ในสัดส่วนและระยะเวลาบ่มต่างๆ กัน ดังนั้นการพิจารณาลักษณะสมบัติของวัสดุปอซโซลานนั้นควรพิจารณาที่ระยะยาว เนื่องจากค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงแรกส่วนใหญ่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบในซีเมนต์ไม่ใช่วัสดุปอซโซลาน คอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานต้องการระยะเวลาบ่มที่ยาวนานกว่าคอนกรีตธรรมดาทั่วไปเพื่อให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งการบ่มในน้ำหรือสภาพชื้นจะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าการบ่มในอากาศธรรมดา

เมื่อพิจารณาที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ คอนกรีตผสมวัสดุปอซโซลานจะให้ค่าการยุบตัวต่ำกว่าคอนกรีตธรรมดา ยกเว้นคอนกรีตผสมเถ้าลอยที่มีองค์ประกอบของคาร์บอนต่ำแต่มีความละเอียดของอนุภาคสูง จะทำให้ความต้องการน้ำเพื่อคงความสามารถในการทำงานได้ลดลง ดังนั้นที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์คงที่ คอนกรีตผสมเถ้าลอยจะให้ค่าการยุบตัวสูงกว่า แต่ถ้าพิจารณาที่ค่าการยุบตัวเดียวกัน สมบัติโดยทั่วไปของคอนกรีตสด เช่น ความยืดหยุ่น (Plasticity) การแยกตัว (Segregation) และการเยิ้ม (Bleeding) จะมีแนวโน้มดีขึ้นเมื่อแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลาน ในขณะที่ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสดอาจแตกต่างกันเพียงเล็กน้อยที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เดียวกัน



รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดสัมพัทธ์ของตัวอย่างที่แทนที่ซีเมนต์ด้วย วัสดุปอซโซลาน ในสัดส่วนและระยะเวลาบ่มต่างๆ กัน (Lea, 1970)

ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันจะลดลงเมื่อเติมวัสดุปอซโซลาน โดยจากการคำนวณอย่างคร่าวๆ Lea (1970) พบว่า เฟอร์เซนต์ความร้อนที่ลดลงในช่วงระยะเวลา 7 ถึง 28 วัน มีค่าประมาณ 1.5 เท่าของเฟอร์เซนต์การแทนที่ซีเมนต์โดยวัสดุแต่ละชนิดจะให้ค่าที่แตกต่างกัน การแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานในคอนกรีต แทนไม่ส่งผลกระทบต่อความสามารถในการซึมน้ำของตัวอย่าง อีกทั้งยังอาจเป็นการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวให้กับคอนกรีตในระยะยาวถ้ามีการบ่มอย่างต่อเนื่องในสภาพชื้น

การทดสอบความเป็นวัสดุปอซโซลานค่อนข้างซับซ้อน เพราะตัววัสดุเองไม่มีสมบัติเป็นตัวประสาน แต่จะแสดงสมบัติดังกล่าวเมื่อเกิดการทำปฏิกิริยากับปูนขาว หรือด่างแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ประกอบกับสมบัติที่สำคัญส่วนใหญ่ เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ที่เกิดจากการแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานนั้นจะเกิดขึ้นในระยะยาว ดังนั้นในบางประเทศ รวมถึงประเทศสหรัฐอเมริกาได้กำหนดสมบัติของวัสดุปอซโซลานจากองค์ประกอบทางเคมี โดยวัสดุปอซโซลานต้องมีสัดส่วนโดยรวมสารประกอบออกไซด์ของซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก ไม่น้อยกว่า 70 เฟอร์เซนต์โดยน้ำหนัก (ASTM C618-96) แต่ในประเทศญี่ปุ่นกลับใช้เพียงซิลิกอนไดออกไซด์ เป็นตัวกำหนดความเป็นวัสดุปอซโซลาน โดยต้องมีปริมาณของสารประกอบดังกล่าวไม่น้อยกว่า 60 เฟอร์เซนต์ ข้อกำหนดชนิดจำกัดความเป็นวัสดุปอซโซลานด้วยองค์ประกอบทางเคมีไม่มีปรากฏในมาตรฐานของกลุ่มประเทศยุโรป ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าข้อกำหนดความเป็นวัสดุปอซโซลานต่าง ๆ ที่ระบุด้วยองค์ประกอบทางเคมีอาจไม่มีความจำเป็นสำหรับการใช้งานจริง (Lea, 1970)

ปริมาณซัลเฟตที่มีในวัสดุปอซโซลานถูกกำหนดตรงกัน ไม่ว่าจะเป็นมาตรฐานของประเทศอังกฤษ หรือมาตรฐาน ASTM ของประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งต้องมีค่าไม่มากกว่า 5 เฟอร์เซนต์โดยน้ำหนัก และมาตรฐานของประเทศอังกฤษยังกำหนดอีกว่า ปริมาณ MgO ต้องมีค่าไม่มากกว่า 4 เฟอร์เซนต์

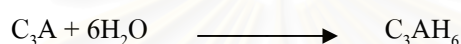
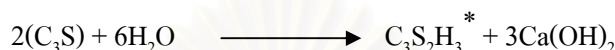
ในหลายๆ ประเทศไม่มีการกำหนดมาตรฐานความเป็นวัสดุปอซโซลาน แต่กำหนดในรูปของปอซโซลานซีเมนต์แทน ประเทศอิตาลีที่มีประวัติการใช้วัสดุปอซโซลานมาอย่างยาวนาน ไม่มีการกำหนดอัตราส่วนการแทนที่ซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานที่แน่นอน โดยในหลาย ประเทศกำหนดให้แทนที่ได้ในช่วงตั้งแต่ 15 ถึง 50 เฟอร์เซนต์ ขณะที่ประเทศสหรัฐอเมริกา และเยอรมันกำหนดให้สามารถแทนที่ได้ตั้งแต่ 15 ถึง 40 และ 20 ถึง 40 เฟอร์เซนต์ ตามลำดับ

2.8.1.4 ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น

การผสมคอนกรีตมีปฏิกิริยาที่เข้ามาเกี่ยวข้องคือ

1. **ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration reaction)** เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับน้ำ ทำให้เกิดการก่อตัวและแข็งตัวเป็นคอนกรีตแข็ง ปฏิกิริยาจะขึ้นกับสารประกอบในซีเมนต์ดังได้กล่าวข้างต้น ซึ่งทำปฏิกิริยากันและเปลี่ยนเป็นวัสดุประสาน ผลิตภัณฑ์ของ

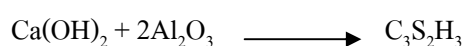
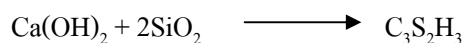
ปฏิกิริยาไฮเดรชันมีชื่อเรียกรวม ๆ ว่า ซีเมนต์เจล หรือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (Cement gel หรือ C-S-H gel) ประมาณร้อยละ 50 ถึง 90 โดยปริมาตร และแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Ca(OH)_2) ประมาณร้อยละ 20 ถึง 25 โดยปริมาตร มีลักษณะเป็นผลึกที่หยาบมากและมีขนาดเล็ก ซึ่งความสามารถในการละลายน้ำต่ำมาก ปฏิกิริยานี้จะเกิดได้มากขึ้นถ้าเพิ่มเวลาในการบ่มให้มากขึ้น ซึ่งมีการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ (สมการสตอยชิโอเมตริกที่แสดงไม่ใช่สูตรที่แน่นอน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิการก่อตัว เป็นต้น)



จากปฏิกิริยาไฮเดรชันข้างต้นจะเห็นได้ว่าความเป็นค่าที่เกิดขึ้นนั้นอยู่ในรูป

แคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งแสดงความจุบัฟเฟอร์ (Buffering capacity) ของซีเมนต์ โดยเมื่อความเข้มข้นของแคลเซียมสูงกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่าพีเอชสูงกว่า 11 ผลึกแคลเซียมที่ไม่ละลายจะรวมตัวเกิดเป็นโครงสร้างซีเมนต์ ในซีเมนต์เจล (Cement gel) จะมีช่องว่างเล็กเกิดขึ้นโดยคิดเป็นค่าความพรุนได้ประมาณ 28 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งในช่องว่างเหล่านี้เป็นที่อยู่ของน้ำ ปริมาตรของช่องว่างเหล่านี้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ และปฏิกิริยาไฮเดรชัน

2. ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) วัสดุปอซโซลาน หมายถึง วัสดุซึ่งไม่มีความสามารถเป็นวัสดุประสาน แต่เมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายต่าง เช่น แคลเซียมไฮดรอกไซด์ จะก่อตัวเป็นวัสดุประสาน สารประกอบหลักที่มีในวัสดุปอซโซลาน คือ ซิลิกอนออกไซด์ อะลูมิเนียมออกไซด์ เฟอริกออกไซด์ และ แคลเซียมออกไซด์ โดยผลรวมของสารประกอบออกไซด์ของซิลิกอน อะลูมิเนียม และเหล็ก ต้องมากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ วัสดุปอซโซลานในซีเมนต์เพสต์จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ได้สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตเช่นเดียวกับปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกตและไดแคลเซียมซิลิเกต ที่มีสมบัติเป็นสารเชื่อมเกาะ และจะเพิ่มขึ้นตามเวลาจนถึงขีดจำกัดหนึ่ง ปฏิกิริยาปอซโซลานสามารถแสดงได้ดังนี้ (สมการสตอยชิโอเมตริกที่แสดงไม่ใช่สูตรที่แน่นอน ขึ้นกับปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิการก่อตัว เป็นต้น)



*สารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($3\text{CaO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$: $\text{C}_3\text{S}_2\text{H}_3$)

2.8.2 น้ำ

น้ำมีหน้าที่หลัก คือ ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพื่อให้เกิดการจับตัวแน่นกับวัสดุผสมทำให้เกิดการเกาะตัวเป็นก้อนวัสดุที่แข็ง ช่วยเคลือบผิววัสดุผสมให้เปียกเพื่อการยึดจับกับซีเมนต์เพสต์ได้ดี และยังช่วยทำให้ส่วนผสมมีความลื่น มีความชื้นเหลวพอที่สามารถทำงานได้อย่างสะดวก และหล่อเข้าแบบได้ตามต้องการ น้ำที่นำมาผสมในคอนกรีตจะต้องเป็นน้ำสะอาด ไม่มี น้ำมัน กรด ต่าง สารอินทรีย์ และต้องมีความชุ่มชื้นไม่เกิน 2,000 ส่วนในล้านส่วน ที่จะส่งผลต่อ คุณภาพของคอนกรีตที่ผลิตได้ เช่นระยะเวลาในการแข็งตัว ค่ากำลังรับแรงอัด หรือทำให้คอนกรีตมีสีผิวที่ไม่สม่ำเสมอ น้ำตาล ในเตรต กรดแทนนิก และ สารอินทรีย์ในน้ำ ทำให้คอนกรีตแข็งตัวช้า เกิดปฏิกิริยาไฮดรชันของซีเมนต์ช้าลง และค่ากำลังรับแรงอัดลดลง อาจทำให้เกิดฟองอากาศปริมาณมากจนกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ในขณะที่คาร์บอนเนตและไบคาร์บอนเนต ทำให้คอนกรีตแข็งตัวเร็วเกินไป คอนกรีตที่ได้จะมีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำ น้ำที่มีซัลเฟตปนอยู่เพียงปริมาณเล็กน้อย สามารถทำให้คอนกรีตกำลังลดลงได้เช่นกัน (ประณต, 2541) ปริมาณซัลเฟตที่มีผลต่อกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต แสดงดังตารางที่ 2.6 โดยทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วันลดลง แต่อาจส่งผลให้การก่อตัวและแข็งตัวของคอนกรีตเร็วขึ้น ชัชวาลย์ (2539) กล่าวว่าสารละลายเกลืออนินทรีย์บางชนิด อาจทำให้การก่อตัวและแข็งตัวช้าลง เช่น เกลือของสังกะสี ทองแดง ตะกั่ว แมงกานีส และดีบุก เช่นเดียวกับฟอสเฟต อาร์ซีเนต และบอเรต โดยน้ำที่มีระดับความเข้มข้นของสารเหล่านี้ได้ไม่เกิน 500 ส่วนในล้านส่วน ซึ่งพบมากในน้ำเสียจาก โรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่ได้ผ่านระบบบำบัด หรือน้ำที่ซึมออกมาจากเหมืองแร่

ตารางที่ 2.6 กำลังของคอนกรีตที่ลดลงเนื่องจากซัลเฟตที่ปนอยู่ในน้ำ (ประณต, 2541)

ปริมาณซัลเฟตในน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	กำลังของคอนกรีตที่ลดลง (เปอร์เซ็นต์)
0.5	4
1.0	10
มากกว่า 10	ไม่ควรใช้ในการผสมคอนกรีตเนื่องจากทำให้กำลังลดลงอย่างมาก

น้ำสำหรับการบ่มต้องเป็นน้ำสะอาด เพื่อป้องกันผลกระทบต่อกำลังของคอนกรีต และรอยเปื้อนที่ผิวอันเกิดจากการใช้น้ำสกปรกบ่มคอนกรีต ส่วนน้ำสำหรับการใช้ล้างวัสดุนั้น ไม่จำเป็นต้องสะอาด แต่ควรเป็นน้ำที่สะอาดพอควร ไม่มีฝุ่น เกลือ สารอินทรีย์ปนอยู่ เพราะอาจเคลือบผิว วัสดุผสม และทำให้คอนกรีตที่ได้มีกำลังรับแรงอัดลดลงหรือแข็งตัวช้า

2.8.3 วัสดุผสม (Aggregates)

วัสดุผสม หรือบางครั้งเรียกว่า มวลรวม วัสดุผสมโดยทั่วไปได้แก่ หินย่อย กรวด และทรายหยาบ เมื่อผสมกับซีเมนต์แล้ว ทำให้คอนกรีตมีขนาด รูปร่างและความแข็งแรง ยังช่วยให้คอนกรีต มีราคาที่ถูกลง วัสดุผสมที่ใช้ในงานคอนกรีตสามารถจำแนกออกเป็น 2 ประเภทด้วยกัน คือ

2.8.3.1 วัสดุผสมละเอียด (Fine aggregates)

เป็นวัสดุที่ส่วนใหญ่สามารถลอดผ่านตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 (4.76 มิลลิเมตร) ได้ แต่ต้องไม่เล็กจนเป็นฝุ่น ที่นิยมใช้คือ ทรายธรรมชาติ และควรเป็นทรายน้ำจืดที่สะอาด มีเหลี่ยมคม และขนาดของเม็ดสม่ำเสมอ

2.8.3.2 วัสดุผสมหยาบ (Coarse aggregates)

เป็นวัสดุส่วนใหญ่ที่ค้างบนตะแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 อาจมีบางส่วนที่ละเอียดปนอยู่บ้างแต่ต้องไม่เกินปริมาณที่มาตรฐานกำหนด วัสดุผสมหยาบได้แก่ หินย่อย หรือกรวดหินที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตต้องมีเหลี่ยมมุม แข็ง ผิวขรุขระ ยึดหดตัวต่ำ และทนทานต่อการสึกหรอได้ดี และมีสัดส่วนคละที่เหมาะสมขนาดของหินโดยทั่วไปที่ใช้กันจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 4.76 ถึง 76.20 มิลลิเมตร หรือมีขนาด 3/16 ถึง 3 นิ้ว โดยสามารถแบ่งออกเป็นหินย่อยเบอร์ 1 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 4.76 ถึง 19.05 มิลลิเมตร หรือมีขนาด 3/16 ถึง 3/4 นิ้ว หินย่อยเบอร์ 2 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง 19.05 ถึง 38.10 มิลลิเมตร หรือมีขนาด 3/4 ถึง 1½ นิ้ว และหินย่อยเบอร์ 3 ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอยู่ระหว่าง ตั้งแต่ 38.10 ถึง 76.20 มิลลิเมตร หรือมีขนาด 1½ ถึง 3 นิ้ว วัสดุผสมต้องมีรูพรุนสามารถดูดซับน้ำและเป็นที่ยึดสำหรับการขยายตัวของน้ำเพื่อป้องกันการแตกร้าวของคอนกรีต

2.8.3.3 ส่วนคละของวัสดุผสม

ประณต (2541) กล่าวว่า ส่วนคละของวัสดุผสมมีผลต่อเนื้อและคุณภาพคอนกรีต ปกติอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบกำหนดโดยให้ปริมาตรของ วัสดุผสมละเอียดมากกว่าปริมาตรช่องว่างในวัสดุผสมหยาบประมาณ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ช่องว่างระหว่างวัสดุหยาบอาจมีมากถึง 45 เปอร์เซ็นต์ของปริมาตรวัสดุหยาบแห้ง ดังนั้นในทางปฏิบัติมีการกำหนดปริมาตรของวัสดุผสมละเอียดให้เท่ากับประมาณครึ่งหนึ่งของปริมาตรของวัสดุผสมหยาบที่แห้ง แต่เพื่อให้ส่วนผสมของคอนกรีตง่ายต่อการเท มีการกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบไว้ โดยอยู่ระหว่าง 1 : 1½ ถึง 1 : 2½ ดังแสดงตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 อัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ (ประณต, 2541)

ขนาดใหญ่สุดของวัสดุผสมหยาบ		อัตราส่วนของวัสดุผสมละเอียดต่อวัสดุผสมหยาบ	
		ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด
3/8 นิ้ว	หินเกล็ด	0.55	0.70
3/4 นิ้ว	หิน 1	0.40	0.60
1 นิ้ว หรือมากกว่า	หิน 2	0.30	0.50

2.9 คอนกรีตบล็อก

คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุก่อสร้างที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน โดยใช้ก่อเป็นผนังกันและกำแพงทั้งภายในและภายนอกของอาคาร หรือก่อเป็นพื้นทางเท้า ถนน เป็นต้น ด้วยสมบัติในการทนไฟและระบายความร้อนได้ดี น้ำหนักเบา แข็งแรงทนทาน ขนาด และคุณภาพได้ตามมาตรฐาน ทำให้คอนกรีตบล็อกเป็นวัสดุที่มีประโยชน์อย่างมากต่องานก่อสร้าง คอนกรีตบล็อกที่ดีต้องมีสมบัติได้มาตรฐานที่กำหนดโดย สมาคมทดสอบวัสดุแห่งสหรัฐอเมริกา (The American Society for Testing and Materials, ASTM) หรือตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (มอก.) ของประเทศไทย

คอนกรีตบล็อก หมายถึง แท่งคอนกรีตที่ทำจากซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ น้ำ และวัสดุผสม ที่เหมาะสมชนิดต่างๆ เช่น ทราย กรวด หินย่อย และอาจมีสารอื่นที่เหมาะสมปนอยู่ด้วยอัดเข้าแบบมาตรฐานเป็นบล็อกต่างๆ คอนกรีตบล็อกสามารถแบ่งออกตามประโยชน์ในการใช้สอยเป็น คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง และคอนกรีตบล็อกสำหรับปูพื้น

2.9.1 คอนกรีตบล็อกสำหรับปูผนัง

คอนกรีตบล็อกปูผนังสามารถจำแนกออกเป็น 2 แบบ ได้แก่

2.9.1.1 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวง (Hollow concrete block)

เป็นคอนกรีตบล็อกที่มีลักษณะกลวง แบ่งเป็น 2 ชนิด ดังแสดงในรูปที่ 2.8 ได้แก่

2.9.1.1.1 คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (Hollow Load-bearing concrete masonry unit)

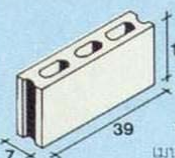
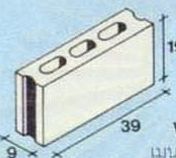
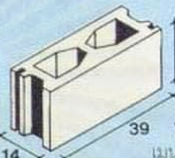
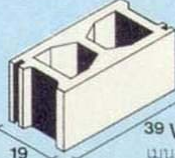
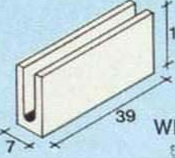
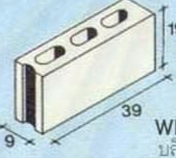
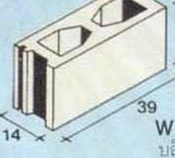
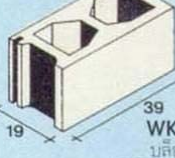

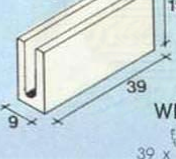
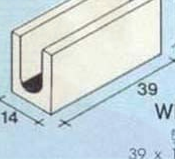
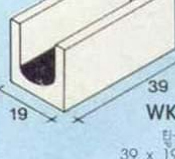
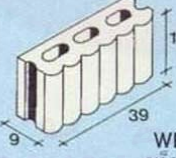
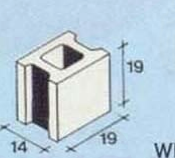
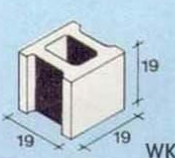

คอนกรีตบล็อกชนิดที่สามารถรับน้ำหนักได้ ใช้สำหรับผนังที่ออกแบบให้รับน้ำหนักบรรทุก และน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเอง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทควบคุมความชื้น และประเภทไม่ควบคุมความชื้น ซึ่งในแต่ละประเภท แบ่งออกเป็น 3 ชั้นคุณภาพ

- ชั้นคุณภาพ ก ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือระดับดิน โดยไม่มีการป้องกันผิว ใช้ในกรณีกันการรั่วซึมจากน้ำใต้ดินหรือฝน

- ชั้นคุณภาพ ข ใช้สำหรับกำแพงภายนอกทั้งต่ำกว่าและเหนือระดับดิน แต่มีการป้องกันผิว

- ชั้นคุณภาพ ค ใช้ทั่วไปสำหรับกำแพงภายใน และกำแพงภายนอก เหนือระดับดิน ที่มีการป้องกันความเสียหาย เนื่องจากดิน ฟ้า อากาศ

ความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนักต้องเป็นตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2530) แสดงดัง ตารางที่ 2.8

คอนกรีตบล็อกมาตรฐาน แบบและขนาดต่าง ๆ			
Size 3ins Block บล็อกขนาด 3 นิ้ว	Size 4ins Block บล็อกขนาด 4 นิ้ว	Size 6ins Block บล็อกขนาด 6 นิ้ว	Size 8ins Block บล็อกขนาด 8 นิ้ว
 WK 3 เมน-บล็อก 39 x 19 x 7 wt. 7.6 kg.	 WK 4 เมน-บล็อก 39 x 19 x 9 wt. 8.5 kg.	 WK 6 เมน-บล็อก 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg.	 WK 8 เมน-บล็อก 39 x 19 x 19 wt. 18.3 kg.
 WK 3-1 ยู-บล็อก 39 x 19 x 7 wt. 7.5 kg.	 WK 4-1 บล็อก-มุม 39 x 19 x 9 wt. 9.0 kg.	 WK 6-1 บล็อก-มุม 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg.	 WK 8-1 บล็อก-มุม 39 x 19 x 19 wt. 19.0 kg.
 WK 3-2 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 7 wt. 4.0 kg.	 WK 4-2 ยู-บล็อก 39 x 19 x 9 wt. 9.4 kg.	 WK 6-2 ยู-บล็อก 39 x 19 x 14 wt. 13.0 kg.	 WK 8-2 ยู-บล็อก 39 x 19 x 19 wt. 19.3 kg.
	 WK 4-3 บล็อก-ลอน 39 x 19 x 9 wt. 8.4 kg.	 WK 6-3 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 14 wt. 6.0 kg.	 WK 8-3 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 19 wt. 8.0 kg.
	 WK 4-4 บล็อกครึ่งก้อน 19 x 19 x 9 wt. 4.5 kg.		

รูปที่ 2.8 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบกลวงมาตรฐาน แบบและขนาดต่างๆ

ที่มา : แผ่นพับห้างหุ้นส่วนจำกัดวงกลม

ตารางที่ 2.8 ความต้านแรงอัด และการดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2530)

ชั้น	ความต้านแรงอัดต่ำสุด (เมกะปาสกาล)				การดูดกลืนน้ำสูงสุด เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน (กิโกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
	เฉลี่ยจากพื้นที่รวม		เฉลี่ยจากพื้นที่สุทธิ		น้ำหนักคอนกรีตเมื่ออบแห้ง (กิโกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)					
คุณภาพ	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน	เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน	1,680	1,681	1,761	1,841	1,921	มากกว่า 12,000
					และน้อยกว่า	ถึง 1,760	ถึง 1,840	ถึง 1,920	ถึง 2,000	
ก	7	5.5	14	11	240	244	208	192	176	160
ข	7	5.5	-	-	288	272	256	240	244	208
ค	5	4	-	-	-	-	-	-	-	-

2.9.1.1.2 คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (Hollow non-Load-bearing concrete

masonry unit)

คอนกรีตบล็อกชนิดที่ไม่สามารถรับน้ำหนักใด นอกจากน้ำหนักของคอนกรีตบล็อกเอง ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ ประเภทควบคุมความชื้น และประเภทไม่ควบคุมความชื้น ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักต้องเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2530) แสดงดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ความต้านแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2530)

ความต้านแรงอัดต่ำสุด (เมกะปาสกาล) เฉลี่ยจากพื้นที่รวม	
เฉลี่ยจากคอนกรีตบล็อก 5 ก้อน	คอนกรีตบล็อกแต่ละก้อน
2.5	2.0

2.9.1.2 คอนกรีตบล็อกปูผนังแบบตัน (Solid concrete block)

เป็นคอนกรีตบล็อกปูผนัง สำหรับก่อผนังหรือกำแพงที่ผลิตเฉพาะชนิดสามารถรับน้ำหนักได้เท่านั้น

2.9.2 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (Interlocking concrete paving block)

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีลักษณะเป็นก้อนคอนกรีตตันที่สามารถนำมาวางเรียงประสานกันได้ต่อเนื่อง มีสีตามธรรมชาติหรืออาจมีผงสีเจือปนอยู่ที่บล็อกหรือเฉพาะที่ชั้นผิวหน้าและมีรูปร่างแบบใดก็ได้ เหมาะสำหรับใช้ปูพื้นเช่น ถนน ทางเท้า ลานจอดรถ และลานกองเก็บวัสดุ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับกรอบแบบโครงสร้างชั้นพื้นและชั้นรองพื้นให้สอดคล้องกับสภาพการใช้งาน

ชนิดและขนาดคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ใช้เกณฑ์ในการแบ่งประเภท โดยพิจารณาถึงลักษณะรูปร่างของคอนกรีตบล็อกซึ่งขึ้นอยู่กับผู้ผลิตดังนี้รายละเอียดของบล็อกแต่ละชนิดให้ดูจากรูปที่ 2.9 ประกอบ

1. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นซีแพค 6 เซนติเมตร สำหรับปูทางเท้าและจอดรถถนนภายในอาคาร
2. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นซีแพค 10 เซนติเมตร สำหรับใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักสูง อาทิ ลานจอดรถในโรงงาน พื้นโกดังสินค้า ถนนสาธารณะ
3. ขอบคันทันซีแพค สำหรับก่อทำขอบคันทงเดินหรือขอบของถนนที่ปูด้วยบล็อกชนิดนี้ ให้มีความเรียบร้อยสวยงาม
4. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปตัว "ไอ" เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการปูซ้อนเพื่อทำพื้นถนน

ข้อพิจารณาในการเลือกใช้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

1. ปูง่ายสะดวกรวดเร็ว เสร็จแล้วใช้งานได้ทันที คอนกรีตบล็อกปูถนน ออกแบบมาให้สามารถล็อกกันได้ในตัว
2. สะดวกและง่ายในการซ่อมบำรุง ด้วยเหตุที่มีรูปลักษณะเป็นก้อนต่อเนื่องกันคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจึงไม่มีการแตกหักเป็นรอยร้าว เช่น พื้นคอนกรีตทั่วไป แต่ในกรณีที่ต้องเปลี่ยนหรือซ่อมก็สามารถถอดเปลี่ยนได้เฉพาะก้อน

2.9.3 เกณฑ์มาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

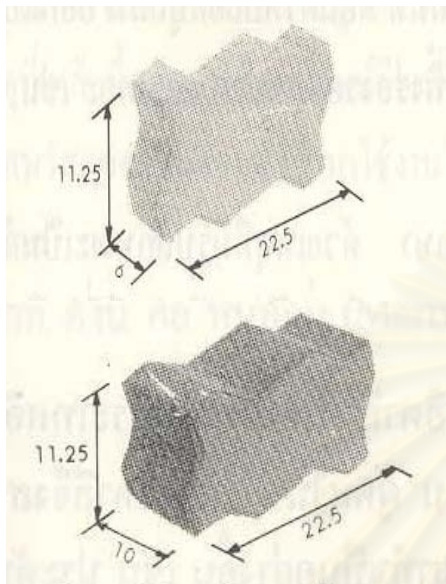
1. มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนตามมาตรฐานกระทรวงอุตสาหกรรมให้เป็นไปตามตารางที่ 2.10 แต่มาตรฐาน ASTM C936-82 ได้กำหนดมิติอย่างกว้าง ๆ โดยคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละก้อนต้องมีความกว้าง และความยาวไม่เกิน 140 และ 240 มิลลิเมตร ตามลำดับ ความหนาต้องไม่มากกว่า 140 มิลลิเมตร เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของความกว้างและความยาวกำหนดโดย ASTM C936-82 มีค่า ± 1.6 มิลลิเมตร ขณะที่ความคลาดเคลื่อนของความหนามีค่าเท่ากันหมด คือ ± 3.2 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C140-96

2. คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต้องมีเนื้อแน่น ไม่ร้าวและสีของชั้นผิวหน้าต้องสม่ำเสมอ การทดสอบทำโดยการตรวจพินิจ

3. ความได้ฉาก

- คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีเกณฑ์กำหนดของความหนาไม่เกิน 80 มิลลิเมตร จะมีความเบี่ยงเบนของความได้ฉากได้ไม่เกิน 2 มิลลิเมตร

- คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่มีเกณฑ์กำหนดของความหนาเกิน 80 มิลลิเมตรจะมีความเบี่ยงเบนของความได้จากได้ไม่เกิน 3 มิลลิเมตร



บล็อกปูถนนซีแพค 6 ซม.

สำหรับงานปูทางเท้า จอครถนนภายใน บ้าน

1 ตารางเมตรใช้ 40 ก้อน

ความยาว 22.50 ซม.

ความกว้าง 11.25 ซม.

หนา 6.00 ซม.

บล็อกปูถนนซีแพค 10 ซม.

สำหรับใช้งานที่ต้องรับน้ำหนักสูง เช่น ลานจอดรถใน

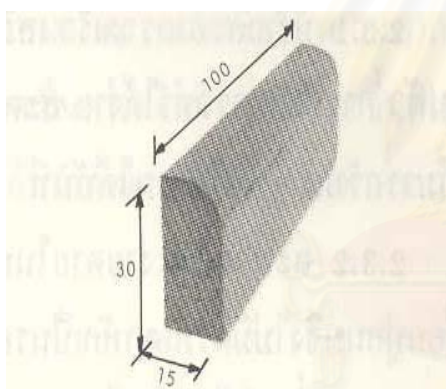
โรงงาน โกดังสินค้า ถนนสาธารณะ

1 ตารางเมตรใช้ 40 ก้อน

ความยาว 22.50 ซม.

ความกว้าง 11.25 ซม.

หนา 10.00 ซม.



ขอบคั่นหินซีแพค

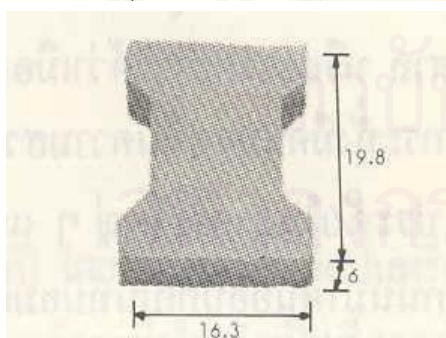
เพื่อความสะดวกและรวดเร็วในการสร้างถนน ซีแพคได้

ผลิตขอบคั่นหินสำเร็จรูป ขนาดกว้าง 15 ซม. สูง 30 ซม.

ยาว 1 เมตร เพื่อใช้ทำขอบถนนต่างๆไป เหมาะสมมาก

สำหรับใช้ควบคู่ไปกับบล็อกปูถนนซีแพค สามารถทำการ

ติดตั้งได้ง่ายเพียงแต่วางเรียงต่อกันเท่านั้น



บล็อกปูถนนรูปตัว “ไอ”

เป็นบล็อกปูถนนซีแพคแบบใหม่ มีลักษณะรูปตัวไอ

1 ตารางเมตรใช้ 35 ก้อน

ความกว้าง 16.30 ซม.

ความยาว 19.80 ซม.

หนา 6.00 ซม.

น้ำหนัก 3.80 กิโลกรัม

รูปที่ 2.9 ลักษณะและขนาดของบล็อกแต่ละชนิด (พิภพ, 2530)

ตารางที่ 2.10 มิติและเกณฑ์ความคลาดเคลื่อนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

(กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544)

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

4. ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นแต่ละก้อน ต้องไม่น้อยกว่า 35 เมกะปาสคาล และค่าเฉลี่ยต้องไม่น้อยกว่า 40 เมกะปาสคาล ขณะที่ ASTM C936-82 กำหนดให้แต่ละก้อนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นต้องมีค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 50 เมกะปาสคาล โดยให้ค่าเฉลี่ยมากกว่า 55 เมกะปาสคาล ทดสอบตามวิธีมาตรฐาน ASTM C140-96

5. ASTM C936-82 กำหนดให้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และวัสดุปอซโซลานที่ใช้ ต้องเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM C150-95a และ C618-96 ตามลำดับ วัสดุผสมต้องได้มาตรฐานตามข้อกำหนด ASTM C33-93 ยกเว้นสัดส่วนคละที่ไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามมาตรฐานกำหนด โดยสามารถใช้ได้ทั้งวัสดุผสมธรรมดา หรือวัสดุผสมน้ำหนักเบา (Light weight aggregate) การดูดซึมน้ำเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกต้องไม่มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ โดยในแต่ละก้อนต้องมีค่าไม่มากกว่า 7 เปอร์เซ็นต์ ทดสอบตามวิธีในมาตรฐาน ASTM C140-96

หมายเหตุ: คอนกรีตบล็อกที่นำมาทดสอบ ต้องมีอายุไม่น้อยกว่า 7 วัน

2.10 การกำจัดโดยการทำให้เสถียรและการทำก้อนแข็ง

2.10.1 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำเสถียร

การทำเสถียร (Stabilization) หมายถึง กระบวนการจำกัดฤทธิ์หรือลดความเป็นพิษของของเสียที่เป็นอันตราย (Hazardous wastes) โดยการทำให้ของเสียมีสมบัติที่เกี่ยวกับการเกิดปฏิกิริยา วัตถุประสงค์ในการทำให้เสถียร คือ การทำให้อัตราการปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด และลดระดับความเป็นพิษของสารอันตรายนั้น LaGrega และ คณะ (1994) กล่าวว่า การทำให้เสถียร หมายถึง กระบวนการที่มีการเติมสาร

(Reagent) เพื่อลดความเป็นพิษ หรือความอันตรายของของเสียนั้น โดยการเปลี่ยนของเสีย และ ส่วนประกอบที่เป็นอันตรายภายในของเสียนั้นให้มีอัตราการเคลื่อนที่ หรือการปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม น้อยลง และรวมถึงลดระดับความเป็นพิษให้น้อยลงด้วย สารที่ใช้เติมในกระบวนการทำเสถียรจะช่วย ปรับปรุงลักษณะทางกายภาพของของเสียหรือสารอันตรายให้สามารถจัดการได้ง่ายขึ้น ลดพื้นที่ผิวเพื่อลด โอกาสที่สารพิษจะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม จำกัดค่าการละลายของสารมลพิษ หรือลดความเป็นพิษของสารที่ จะปนเปื้อนสู่สิ่งแวดล้อม

2.10.2 คำจำกัดความและวัตถุประสงค์การทำก้อนแข็ง

สำหรับการทำก้อนแข็ง (Solidification) LaGrega และคณะ (1994) ได้นิยามว่า คือ กระบวนการเติม สารหรือวัสดุประสาน (Binder) ที่ช่วยให้เกิดการแข็งตัว หรือคงรูป ในของเสียที่อันตราย โดยสารที่เติมลงไป จะช่วยเพิ่มกำลัง ลดความสามารถในการถูกบีบอัด (Compressibility) และลดค่าการซึมผ่านของของเสียนั้น วัตถุประสงค์ของการทำก้อนแข็ง มีดังนี้

- เพื่อความสะดวกในการเคลื่อนย้ายขนส่ง
- ลดพื้นที่ผิวของของเสียเพื่อลดการแพร่กระจายของสารพิษ
- จำกัดอัตราการละลายของสารพิษเมื่อสัมผัสกับสารละลาย
- ลดความเป็นพิษ

2.10.3 วิธีการทำก้อนแข็ง

- ก. วิธีการใช้ซีเมนต์ (Cement - based techniques)
- ข. วิธีการใช้ปูนขาว หรือวัสดุปอซโซลาน (Lime-based techniques/Pozzolanic techniques)
- ค. วิธีการใช้วัสดุที่มีสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ (Self-cementing method)
- ง. วิธีการหลอมให้เป็นแก้ว (Glassification)
- จ. วิธีการเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic techniques)
- ฉ. วิธีการโมเซตติง (Thermosetting techniques)
- ช. วิธีการแคปซูลชัน (Encapsulation techniques)

โดย 4 วิธีแรกจะเหมาะกับกระบวนการที่ใช้เพื่อจับยึดสารอินทรีย์ ในขณะที่ 3 วิธีหลังเหมาะกับ กระบวนการจับยึดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ประจุลบ รายละเอียดของกระบวนการทำก้อนแข็งตามวิธี ต่าง ๆ ข้างต้น แสดงไว้ในตารางที่ 2.11 เพื่อที่สามารถเลือกวิธีการบำบัดได้อย่างเหมาะสมกับของเสียที่ ต้องการบำบัด

ตารางที่ 2.11 รายละเอียดและข้อดีข้อเสียของวิธีการทำก้อนแข็ง (LaGrega และคณะ, 1994)

วิธีการทำก้อนแข็ง	รายละเอียดของวิธีการ	ข้อดี	ข้อเสีย
1. ซีเมนต์	นำของเสียผสมซีเมนต์และเติมส่วนผสมอื่นๆจากนั้นทิ้งไว้ให้แข็งตัว	- วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - สามารถกำจัดของเสียจำพวกโลหะหนักได้ดี - ไม่เกิดปัญหาเกี่ยวกับเรื่องกำลังรับแรงอัด	- ไม่เหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ - เป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย - เป็นปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของที่ดิน
2. ปูนขาว หรือ ปอชโซลาน	นำของเสียผสมปูนขาวและวัสดุที่เป็นปอชโซลาน พร้อมทั้งผสมกับน้ำทิ้งไว้ให้แข็งตัว	- วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - สามารถกำจัดของเสีย 2 ชนิดภายใน ชั้น เดียวกัน	- ไม่เหมาะสมกับของเสียที่เป็นสารอินทรีย์ - เป็นการเพิ่มน้ำหนักและขนาดของของเสีย - เป็นปัญหาต่อการใช้ประโยชน์ของที่ดิน
3. วัสดุที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์	นำของเสียผสมกับสารที่มีคุณสมบัติแข็งตัวเหมือนซีเมนต์ เช่น แคลเซียมซัลเฟต และแคลเซียมซัลไฟด์ที่เกิดจากการกำจัดของเสียจากอุตสาหกรรม	- มีสารเติมในส่วนผสมที่ทำให้การแข็งตัวของซีเมนต์เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว	- สารอินทรีย์บางชนิด ทำลายการแข็งตัวของซีเมนต์
4. หลอมให้เป็นแก้ว	นำของเสียอันตรายประเภทสารกัมมันตภาพรังสีมาผสมกับทรายแล้วหลอมให้เป็นแก้วหรือผลึกซิลิเกต ซึ่งสามารถนำไปทิ้งโดยไม่ต้องมีการห่อหุ้มอีกต่อไป	- วัสดุที่ใช้มีราคาถูก - การห่อหุ้มอยู่ในเกณฑ์ดี - สามารถใช้ในการบำบัดสารกัมมันตภาพรังสีได้	- เสียค่าใช้จ่ายมากในการให้ความร้อนแก่อุปกรณ์ - ค่าใช้จ่ายสูงมากสำหรับการบำบัดของเสียที่ไม่ใช้สารกัมมันตภาพรังสี
5. เทอร์โมพลาสติก	นำของเสียมาทำให้แห้งจากนั้นทำให้กระจายตัวอยู่ในพลาสติกร้อน เช่น พาราฟิน(Parafin), บิทูเมน (Bitumen) ทิ้งไว้ให้เย็นลงจะเกิดการแข็งตัว	- สามารถลดการรั่วไหลของสารเคมีได้เป็นอย่างดี	- เครื่องมือที่ใช้มีราคาแพง - ต้องการบุคลากรที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะด้านในการควบคุมดูแล
6. วิธีการเทอร์โมเซตติ้ง	นำของเสียผสมกับสารประเภทออร์แกนิกโพลีเมอร์ จากนั้นใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา (Catalyst) ผสมก่อนที่จะเกิดการแข็งตัวของโพลีเมอร์	- ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยเนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาแน่นต่ำ	- การหุ้มห่อเป็นไปอย่างหลวมๆ - สารที่มีค่า pH ต่ำจะทำให้โลหะละลายได้มากขึ้น
7. เอนแคปซูเลชัน	นำของเสียมาอัดให้เกาะตัวกันแน่น จากนั้นจะใช้วัสดุเคลือบ เช่น Polyethylene หรือ Organic resin หุ้มผิวนอก	- ค่าใช้จ่ายต่ำกว่าวิธีอื่นๆ - ผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถป้องกันน้ำได้ดี	- ไม่เหมาะกับการใช้งานเมื่อมีปริมาณของเสียมาก

2.10.4 กลไกการจับยึดในการทำก้อนแข็ง

ความเข้าใจพื้นฐานของกลไกการจับยึดในการทำก้อนแข็งเป็นสิ่งที่ควรทราบ เนื่องจากเป็นการประเมินถึงความสามารถหรือประสิทธิภาพของการทำเสถียร โดยที่กลไกการจับยึดในวัสดุแสดงในตารางที่ 2.12

ตารางที่ 2.12 แสดงรายละเอียดกลไกการจับยึดในการทำก้อนแข็ง (LaGrega และคณะ, 1994)

กลไกการจับยึด	รายละเอียด
1. แมคโครเอนแคปซูเลชัน	เป็นวิธีทางกายภาพซึ่งเป็นลักษณะของรูภายในที่ไม่ต่อเนื่องจับอนุภาคที่มีขนาดใหญ่ให้เกิดการเคลื่อนที่อย่างอิสระน้อยลง
2. ไมโครเอนแคปซูเลชัน	เป็นวิธีทางกายภาพซึ่งของเสียจะถูกจับภายในโครงสร้างของผลึก โดยจะจับอนุภาคที่มีขนาดเล็กเป็นส่วนมาก
3. การดูดซับ	เป็นวิธีทางเคมีซึ่งใช้ในการปรับปรุงให้ส่วนของลักษณะของก้อนเพื่อให้สะดวกต่อการเป็นก้อน กระบวนการแรกของวิธีนี้คือการดูดซับของเหลวที่อยู่ในของเสีย
4. การดูดซึม	เป็นวิธีการทางเคมีเป็นปรากฏที่ผิว และยังเป็นวิธีการทำให้เกิดการจับตัวกัน เกิดเป็นพันธะไฮโดรเจนและแรงแวนเดอร์วาลส์ มักจะเกิดเมื่อวัสดุประเภทซีเมนต์เป็นวัสดุประสานของของเสียประเภทอนินทรีย์
5. การทำให้ตกผลึก	เป็นวิธีการทางเคมีเพื่อทำให้เสถียรมากขึ้น โดยเป็นวิธีที่ใช้กับของเสียประเภทอนินทรีย์ สารที่เป็นตัวก่อให้เกิดผลึกได้แก่ ไฮดรอกไซด์ ซัลไฟด์ ซิลิเกต คาร์บอเนต และฟอสเฟต
6. การทำให้ความเป็นพิษลดลง	เป็นวิธีการทางเคมีที่เกิดขึ้นขณะเกิดกระบวนการทำให้เสถียร เป็นการเปลี่ยนแปลงทางเคมีเพื่อให้เกิดในรูปอื่นๆ ที่มีความเป็นพิษน้อยลงหรือไม่มีความเป็นพิษเลย

2.10.5 ตัวแปรที่มีผลต่อการบำบัดของเสียโดยการทำก้อนแข็ง

Shin และ Sujawatthana (1988) ได้ศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อการทำก้อนแข็งในด้านความสามารถในการถูกชะละลาย และความสามารถในการรับแรงอัดของของแข็งที่ถูกทำให้เป็นก้อนแล้ว ในการทดลองนี้ใช้วิธี Cement / Silicate based technique สามารถสรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

ตัวแปรที่มีผลต่อความสามารถในการถูกชะละลาย และความสามารถในการรับแรงอัด ได้แก่ ปริมาณของเสียที่เป็นอันตรายในตอนเริ่มแรก อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ อัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตร และระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์

ปริมาณของเสียที่เป็นอันตรายในตอนเริ่มแรก จากการทดลองด้วยการสกัด (Extraction test) โดยการสกัดของเสียที่แข็งตัวในซีเมนต์ด้วยกรดอะซิติกในเครื่องกวนแบบเขย่า (Orbital shaker) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon, T.O.C.) และโลหะหนักในสารที่ใช้สกัด แล้วนำไปสกัดต่ออีก 24 ชั่วโมง และตั้งทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง นำไปวิเคราะห์หาปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมดและโลหะหนักอีกครั้งผลการทดลองสรุปว่าปริมาณของเสียเพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาณของเสียที่ถูกชะละลายออกมาเพิ่มขึ้น โดยปริมาณของเสียในน้ำชะละลาย จะเพิ่มขึ้นต่ำกว่าการเพิ่มปริมาณของเสียตอนเริ่มต้น ดังนั้นค่าความสามารถในการถูกชะละลาย จะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณของเสียตอนเริ่มต้น เมื่อทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C109-64 จะเห็นว่า ถ้ามีปริมาณของเสียในซีเมนต์เพสต์น้อยลงจะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดของซีเมนต์เพิ่มขึ้นเพราะว่าของเสียจะขัดขวางการแข็งตัวของซีเมนต์

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ จากการทดสอบการชะละลาย (Leaching test) พบว่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 0.5 ให้ค่าความสามารถในการชะละลาย (Leachability) ต่ำที่สุด อัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์จะมีผลต่อค่าความพรุนของซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว นอกจากนี้ทั้งค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และค่าระดับของการอัดมีผลต่อปริมาตรของรูพรุนในซีเมนต์ เมื่อทำการอัดที่ไม่เหมาะสมและมีปริมาณน้ำที่เติมในซีเมนต์น้อยเกินไป จะทำให้ระดับการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและการเกิดผลึกไม่ดี เกิดการรั่วไหลของของเสียมากขึ้น ทั้งนี้ถ้าหากมีการเติมน้ำมากขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและเกิดผลึกได้ดีขึ้น แต่หากเติมมากเกินไปจะทำให้เกิดช่องว่างเล็ก ๆ (Capillary pores) ทำให้โอกาสการรั่วไหลของเสียมากขึ้นเช่นกัน จากการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดจะเห็นได้ว่าอัตราส่วนของน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.5 ให้ค่าความสามารถในการรับแรงอัดสูงสุด ทั้งนี้เป็นไปตามที่ได้กล่าวแล้วข้างต้นว่า การที่มีปริมาณน้ำที่ไม่เหมาะสมจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันและความพรุนที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดการลดลงของความสามารถในการรับแรงอัด

อัตราพื้นที่ผิวต่อปริมาตร ผลการทดสอบการชะละลาย สรุปได้ว่า ยังมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงๆ จะทำให้ซีเมนต์เพสต์มีโอกาสถูกชะละลายมากขึ้น ซึ่งทำให้ค่าความสามารถในการถูกชะละลายสูงขึ้น

ระยะเวลาในการบ่ม พบว่าระยะเวลาในการบ่มก่อนตัวอย่างนานจะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดขึ้นได้ดี แต่ค่าความสามารถในการถูกชะละลายไม่ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทั้งนี้การรั่วของของเสียต่างๆ ขึ้นอยู่กับกลไก 2 ประการคือ การดูดซับ การแทรกผ่าน และการจำกัดการละลายของโครงสร้างของซีเมนต์เพสต์ ดังนั้นการแปรค่าระยะเวลาในการบ่มซีเมนต์จึงไม่มีผลต่อการถูกชะละลายของเสีย แต่จะเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดให้กับก้อนตัวอย่าง

2.11 ความสามารถในการถูกชะละลาย (Leachability)

ความสามารถในการถูกชะละลาย หมายถึง อัตราส่วนของความเข้มข้นของสารที่ถูกชะละลายออกไปหลังจากผ่านการสกัดต่อความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ในตอนเริ่มต้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$L = W_i / W_o$$

โดยที่

L = ความสามารถในการถูกชะละลาย

W_i = ความเข้มข้นของสารที่ถูกชะละลายออกไป

W_o = ความเข้มข้นของสารที่มีอยู่ในตอนเริ่มต้น

ประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย (E) สามารถเขียนแทนด้วยสมการดังนี้

$$E = (L_o - L_s) \times 100 / L_o$$

โดยที่ E = ประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย

L_o = ความสามารถในการถูกชะละลายของสารก่อนกระบวนการทำก้อนแข็ง

L_s = ความสามารถในการถูกชะละลายของสารหลังกระบวนการทำก้อนแข็ง

2.12 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ขวลิต (2524) กล่าวว่า วิธีการในการสร้างคอนกรีตบล็อกที่ดี หลักใหญ่คือ ทำให้รับกำลังได้ดีที่สุดในขณะที่มีความหนาแน่นน้อยที่สุด และให้ใช้ซีเมนต์น้อยที่สุดเท่าที่จำเป็นเพื่อเป็นการลดค่าวัสดุ และการหดตัวจะได้ลดน้อยลงด้วย

อุดม (2533) ศึกษาการพัฒนากำลังของปูนซีเมนต์ผสมจีเถ้าลอย และจีเถ้าแกลบ พบว่า ปูนซีเมนต์ประกอบด้วย ไตรแคลเซียมซิลิเกต และไดแคลเซียมซิลิเกตรวมกันประมาณ 70 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ และเป็นตัวควบคุมความแข็งแรงของซีเมนต์ เพราะฉะนั้นจึงทำการศึกษาโดยใช้เอกซเรย์ ดิฟแฟกชัน (X-ray diffraction) เพื่อศึกษาสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกต ไดแคลเซียมซิลิเกต และตัวประสาน (C-S-H) ซึ่งเป็นตัวก่อประสาน และรับกำลังของซีเมนต์ปอร์ตแลนด์หลังการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน

นภฤกษ์ และ ฤทธิชัย (2537) ศึกษาการนำเถ้าลอยลิกไนต์ที่เป็นวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ในการกำจัดตะกั่วและทองแดงในรูปสารประกอบ $Cu(OH)_2$, PbO_2 และ $Pb(OH)_2$ โดยวิธีทำก้อนแข็ง และศึกษาแนวทางการเป็นไปได้และความเหมาะสมในการป้อนรับพื้นทางเท้า โดยทำการพิจารณาเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดว่าเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์การยอมรับได้หรือไม่ และความสามารถในการถูกสกัดว่าอยู่ในเกณฑ์ที่ปลอดภัยต่อการใช้งาน โดยแปรค่าอัตราส่วนเถ้าลอยลิกไนต์ต่อซีเมนต์ในอัตราส่วน 0 0.33 1.00 และ 3.00

โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเป็นอัตราส่วน 0.10 0.25 0.50 และ 0.75 โดยน้ำหนัก พบว่าอัตราส่วนของเกลือต่อซีเมนต์ที่ทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดสำหรับ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ และ $\text{Pb}(\text{OH})_2$ คือ 0.3 ส่วน PbO_2 อัตราส่วนอยู่ในช่วง 0 ถึง 0.33 ความสามารถในการถูกสกัดที่อัตราส่วนเกลือต่อซีเมนต์เท่ากับ 3.00 จะทำให้ $\text{Cu}(\text{OH})_2$ และ PbO_2 ถูกสกัดออกมาได้น้อยที่สุด และที่อัตราส่วนเกลือต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.00 สำหรับ $\text{Pb}(\text{OH})_2$ ผลของการใส่โลหะหนักลงไปพบว่า เมื่อใส่โลหะหนักลงไปมาก ค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงและปริมาณของโลหะหนักที่ถูกสกัดก็จะมากด้วย การนำส่วนผสมมาประยุกต์ใช้ทำวัสดุปูพื้น สามารถใช้ประโยชน์ได้จริงเมื่อปริมาณของโลหะหนักน้อย เพื่อให้อัตราส่วนระหว่างเกลือลิกไนต์ต่อซีเมนต์อยู่ในเกณฑ์ที่ทำให้เกิดค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในสภาวะที่ใช้งานได้จริง

Laszlo และ Dintzis (1994) ทำการวิจัยปรับปรุงเสถียรภาพทางกายภาพ และความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนบวกของเปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อย ด้วยการสร้างครอสส์ลิงค์โดยใช้สารอีพิดลอโรไฮดริน ทดสอบเสถียรภาพของวัสดุทั้งสองชนิดด้วยวิธีทางเคมี 3 วิธี คือ การใช้เส้นใยธรรมชาติบำบัด (Natural Detergent Fiber Treatment, NDF) การใช้ซอกเลตสกัดเส้นใยธรรมชาติบำบัด (NDF Soxhlet Treatment) และการใช้โซเดียมบอเรตบัฟเฟอร์บำบัด (Sodiumborate buffer Treatment) พบว่า เปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ไม่ได้ผ่านการสร้างครอสส์ลิงค์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงมากกว่าครึ่งหนึ่ง ในขณะที่เปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ผ่านการสร้างครอสส์ลิงค์มีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนลดลงน้อยมาก (ไม่เกินร้อยละ 1) เมื่อทดสอบด้วยวิธีการใช้เส้นใยธรรมชาติบำบัด และ การใช้ซอกเลตสกัดเส้นใยธรรมชาติบำบัด ไม่เกินร้อยละ 20 และร้อยละ 30 ตามลำดับ เมื่อทดสอบด้วยวิธีโซเดียมบอเรตบัฟเฟอร์ พบว่า เปลือกถั่วเหลืองและชานอ้อยที่ผ่านการบำบัดด้วยอีพิดลอโรไฮดรินจะมีความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนเท่ากับ 0.9 มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) และ 1.3 มิลลิอิกวิวาเลนต์ต่อกรัม (น้ำหนักแห้ง) ตามลำดับ และพบว่าระยะเวลาที่เหมาะสมของการทำ ปฏิกิริยากับสารอีพิดลอโรไฮดรินเท่ากับ 4 ถึง 6 ชั่วโมง

รัชพล (2538) ศึกษาวัสดุประสานที่เหมาะสมต่อการทำเสถียรกากตะกอนจาโรไฮด์ให้เป็นก้อน โดยวัสดุประสานที่ใช้ในการศึกษาได้แก่ ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ปูนขาว ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมปูนขาว และซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมกากแร่สังกะสีซิลิเกต ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดและความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำสกัด พบว่า ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ให้ผลการทดลองเหมาะสมที่สุด ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์ 11 เปอร์เซ็นต์สำหรับกากตะกอนจาโรไฮด์แบบธรรมดา และ 15 เปอร์เซ็นต์สำหรับกากตะกอนซิลิโคจาโรไฮด์ การทดสอบชะละลายแบบคอลัมน์ที่ระยะเวลา 90 วัน ที่อัตราส่วนผสมซีเมนต์ 10 เปอร์เซ็นต์ ความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลายมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานน้ำทิ้งของกรมโรงงานอุตสาหกรรม

Laszlo (1995) ศึกษาเกี่ยวกับผลของอิเล็กโทรไลต์ (Electrolyte) ในการกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟ (Reactive Dye: Remazol Brilliant Red F3B) โดยใช้ควอเทอร์นารีเซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด (Whatman; QA52) พบว่าควอเทอร์นารีเซลลูโลสสามารถกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟได้แม้ในสภาพที่มีสารอิเล็กโทรไลต์ความเข้มข้นสูง และพบว่าควอเทอร์นารีเซลลูโลสสามารถทำการฟื้นฟูสภาพด้วยด่างแก่ได้ ซึ่งประหยัดกว่าการใช้สารแลกเปลี่ยนไอออนแบบอื่นในการกำจัดสีจากน้ำทิ้ง

Shannag และ Yeginobali (1995) ศึกษาผลกระทบของวัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ในท้องถิ่นต่อสมบัติเบื้องต้นของซีเมนต์เพสต์ มอร์ต้า และคอนกรีต โดยแปรค่าสัดส่วนผสมระหว่างวัสดุปอซโซลานต่อซีเมนต์เป็น 15 25 และ 35 เปอร์เซ็นต์ วัสดุปอซโซลานที่ใช้มี 2 ชนิดซึ่งเป็นถ้ำภูเขาไฟเหมือนกันแต่เกิดในพื้นที่ต่างกัน (ชนิด A และ B) ชนิด A มีสัดส่วนของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เป็น 40.1 13.4 และ 12.1 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ขณะที่ชนิด B มีสัดส่วนเป็น 38.5 12.8 และ 11.6 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ดัชนีความเป็นปอซโซลาน (Pozzolanic activity index) ของวัสดุทั้ง 2 มีค่าเป็น 60 และ 83 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีขนาดความละเอียดเป็นไปตามเกณฑ์ที่มาตรฐานกำหนด ผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ขนาดที่เล็กของวัสดุจะทำให้ความสามารถในการทำปฏิกิริยาเพิ่มสูงขึ้น โดยวัสดุชนิด B มีอัตราการทำปฏิกิริยาและประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุชนิด A คอนกรีตที่ผสมโดยแทนที่วัสดุปอซโซลานชนิด B ในสัดส่วน 25 เปอร์เซ็นต์ ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 และ 90 วัน จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับสัดส่วนควบคุมที่ใช้ซีเมนต์ ปอซโซลานที่จำหน่ายทั่วไป ในขณะที่เมื่อแทนที่ในสัดส่วน 35 เปอร์เซ็นต์จะให้ค่าต่ำกว่ามาก โดยนอกจากค่ากำลังรับแรงอัดแล้ว ระยะเวลาการก่อตัว การหดตัว และความสามารถทำงานได้ของคอนกรีต ก็มีผลกระทบด้วย

Winslow และ คณะ (1995) ศึกษาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าที่เพิ่มขึ้น เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำ โดยปฏิกิริยาจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในระยะเริ่มต้น และจะลดลงเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ปฏิกิริยาจะเกิดขึ้น 40 เปอร์เซ็นต์ หลังจากใช้เวลาในการบ่ม 1 วัน ปฏิกิริยาเกิดขึ้น 65 เปอร์เซ็นต์ หลังจากใช้เวลาในการบ่ม 10 วัน และเกิดปฏิกิริยา 75 เปอร์เซ็นต์ หลังจากใช้เวลาในการบ่ม 100 วัน โดยอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อปูนซีเมนต์ไม่ควรต่ำกว่า 0.4 ถ้าอัตราส่วนน้อยกว่านี้จะทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเกิดไม่สมบูรณ์ จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำกว่าค่ามาตรฐาน

Zhang และ Malhotra (1995) ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่เรียกว่า อะลูมินา-ซิลิเกตที่ถูกกระตุ้นด้วยความร้อน (Thermally activated alumina-silicate) ต่อสมบัติของคอนกรีตสด (ความสามารถทำงานได้ การเยิ้ม ระยะเวลาการก่อตัว และความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน) และคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว (กำลังรับแรงอัด โมดูลัสความยืดหยุ่น การหดตัว และความต้านทานต่อสารเคมีต่างๆ) เปรียบเทียบกับสัดส่วนควบคุม และกับคอนกรีตที่ใช้ซิลิกาฟูม วัสดุ ดังกล่าวเป็นผงสีขาว มี

ส่วนประกอบหลักเป็นซิลิกอนออกไซด์ ซึ่งมีค่าเป็น 51.34 เปอร์เซ็นต์ และ อะลูมิเนียมออกไซด์ 41.95 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ขนาดโดยเฉลี่ยเท่ากับ 1.3 ไมครอน และมีองค์ประกอบส่วนใหญ่เป็นไม่มีรูปร่างผลึก (Amorphous) และมีส่วนที่เป็นผลึก (Crystallized phases) เพียงเล็กน้อย ผลการศึกษาพบว่า วัสดุดังกล่าวมีความเป็นปอซโซลานสูง และสามารถใช้เป็นวัสดุประสานในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงได้ การแทนที่ในสัดส่วน 10 เปอร์เซ็นต์จะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าสัดส่วนควบคุมในทุกระยะเวลาการบ่มยาวนานไปจนถึง 180 วัน และยังสามารถพัฒนาค่ากำลังรับแรงอัดในช่วงต้นได้เร็วกว่าคอนกรีตที่แทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟุ่ม เนื่องจากอัตราการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เร็วกว่า สังกเกตได้จากอุณหภูมิในคอนกรีตสดที่เพิ่มขึ้นสูงกว่า ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน คอนกรีตแทนที่ซีเมนต์ด้วยอะลูมินา-ซิลิกาที่เกิดที่อุณหภูมิสูงด้วยความร้อน จะมีสมบัติโดยทั่วไปดีกว่าสัดส่วนควบคุม และคอนกรีตแทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกาฟุ่ม

อนุวัฒน์ (2539) ศึกษาการทำเสถียรภาคตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอไซด์โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ลงไปในตะกอนก่อนกระบวนการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ซีเมนต์และ เถ้าลอยลิกไนต์ ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้นได้ของน้ำ และ การชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของโครเมียม โปรท และเหล็ก พบว่า ประสิทธิภาพในการทำเสถียรของโครเมียมและเหล็กมีค่าเท่ากับ 60.01 และ 91.40 เปอร์เซ็นต์ ที่สัดส่วนการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าตามลำดับ และที่สัดส่วนการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 3.00 เท่า มีประสิทธิภาพเท่ากับ 94.00 และ 99.49 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ โดยมีอัตราส่วนผสมของตะกอนต่อตัวประสานเท่ากับ 0.25 และการประมาณค่าใช้จ่ายในการบำบัดสำหรับการเติมโซเดียมซัลไฟด์ 1.75 เท่าและ 3.00 เท่า มีค่าเท่ากับ 5,000 และ 5,790 บาทต่อตันของตะกอน แต่ถ้าหากไม่มีการเติมโซเดียมซัลไฟด์เลย ค่าใช้จ่ายจะประมาณ 3,900 บาทต่อตันของตะกอน แต่ความเข้มข้นของโปรทสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน

Beretka และคณะ (1996) ศึกษาเกี่ยวกับการทำซีเมนต์แคลเซียมซัลโฟอะลูมินेट ประกอบด้วยสารประกอบแคลเซียมซัลเฟต แคลเซียมซัลโฟอะลูมินेट และสารประกอบที่มีสารประเภท ซิลิกาและอะลูมินา พบว่า คุณสมบัติของสารประกอบ แคลเซียมซัลโฟอะลูมินेट เหมือนกับ คุณสมบัติของสารประกอบไตรแคลเซียมซิลิเกตของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงน่าจะมีความ เหมาะสมในการทำก้อนซีเมนต์ ในการทดลองที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส และค่าความชื้นสัมพัทธ์ 100 เปอร์เซ็นต์ พบว่า อัตราส่วนผสมของน้ำต่อมวลรวมที่ 0.4 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดน้อย เพราะว่ามีปริมาณของน้ำไม่เพียงพอต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน แต่ก็ไม่สามารถระบุอัตราส่วนที่ชัดเจนว่าเหมาะสมที่อัตราส่วนใด มีเพียงขอบเขตที่กำหนดอัตราส่วนที่เหมาะสมให้ไม่เกินอัตราส่วนที่ 0.78 เนื่องจากจะทำให้เกิดรูพรุนมากเกินไป ส่วนการศึกษาระยะเวลาบ่ม พบว่า ซีเมนต์แคลเซียมซัลโฟอะลูมินेटจะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่น้อย เมื่อระยะเวลาในการบ่มสั้น (1 ถึง 7 วัน) แต่เมื่อระยะเวลาในการบ่มที่ 28 วัน ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าที่ดี แต่เมื่อ

ระยะเวลาในการบ่มเพิ่มขึ้น ค่ากำลังรับแรงอัดก็จะเพิ่มขึ้นในอัตราที่ไม่มาก เมื่อทำการเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดที่ระยะเวลาที่นานกว่า 28 วัน พบว่าระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน มีความเหมาะสม จากการทดสอบซีเมนต์เคลเซียมซัลโฟอะลูมินัต โดยมีซีเถ้าลอยเป็นวัสดุเติมแต่ง (Additive) พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับซีเมนต์ที่ไม่มีซีเถ้าลอย ในระยะเวลาการบ่มอยู่ในช่วง 1 ถึง 7 วัน จากนั้นจะมีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ จนถึงในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

Laszlo (1996) ทำการวิจัยโดยใช้ชานอ้อยกำจัดสีรีแอกทีฟ (Remazol Brilliant Red F3B) จากน้ำทิ้งของโรงงานฟอกย้อมโดยนำชานอ้อยที่ผ่านการทำควอเตอร์ไนซ์และครอสส์ลิงค์ด้วย สาร CHMAC และสารอีพิดลอโรไฮดรินเป็นเรซินที่ใช้ในการกำจัดสีเปรียบเทียบกับควอเตอร์ไนซ์เซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด (Whatman; Quarternary ammonium Cellulose: QA52) โดยทำการทดลองแบบแบดจ์ พบว่า ชานอ้อยที่ผ่านการทำควอเตอร์ไนซ์และครอสส์ลิงค์มีความสามารถในการกำจัดสีในสภาวะที่เป็นเบสได้ดีกว่าควอเตอร์ไนซ์เซลลูโลสที่มีขายในท้องตลาด โดยที่สารละลายที่มีความเป็นเบสมากขึ้นประสิทธิภาพในการกำจัดสีของชานอ้อยที่ผ่านการควอเตอร์ไนซ์และครอสส์ลิงค์ลดลงจากร้อยละ 80 เป็นร้อยละ 25 ส่วน QA52 มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีลดลงจากร้อยละ 70 เป็นร้อยละ 10 นอกจากนี้ยังพบว่าเรซินที่มีประสิทธิภาพในการกำจัดสีที่ดีที่สุด คือ กำจัดได้ร้อยละ 95 ภายในเวลา 5 ถึง 15 นาที ควรมีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 100 ไมโครเมตร

นฤมิต (2540) ศึกษาความสามารถในการทำลายฤทธิ์ตะกอนโลหะหนักจากการบำบัดน้ำเสียซีโอดี โดยการทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์ ทดสอบกำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความซึมได้ของน้ำ และการชะละลายเพื่อหาความเข้มข้นของโครเมียม โปรท และเหล็ก ผลการทดลองพบว่า อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสาน 0.25 ที่อัตราส่วนผสมน้ำต่อวัสดุประสาน 0.25 และระยะเวลาบ่ม 28 วัน ทำให้สมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมโรงงานอุตสาหกรรม สำหรับการทดสอบการชะละลายพบว่า ความเข้มข้นของโปรทในน้ำสกัดสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ในขณะที่ความเข้มข้นของโครเมียมและเหล็กมีค่าต่ำมาก จึงสรุปว่าซีเมนต์ผสมเถ้าลอยลิกไนต์ 50 เปอร์เซ็นต์ มีประสิทธิภาพในการลด การถูกชะละลายของโปรท โครเมียม และเหล็กเท่ากับ 30.7 50 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ค่าใช้จ่ายของวัสดุประสานที่ใช้ในการทำเป็นก้อนมีค่า 3,600 บาทต่อตันของตะกอนโลหะหนักแห้ง

พชรพงศ์ และ แสงสิน (2540) ศึกษาการนำกากตะกอนของสีน้ำทาบ้านมาเป็นส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ผลการทดลองพบว่า สามารถผสมเศษสีแห้งเร็ว และ กากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยสามารถรับแรงกดได้สูงสุด

131.7 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อัตราการชะละลายของโลหะหนักในน้ำมีค่าไม่เกินมาตรฐานน้ำทิ้งที่กระทรวงอุตสาหกรรมกำหนด (ยกเว้นเหล็กที่มีอัตราการละลายสูงสุด 0.9 ถึง 1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ให้ไม่เกิน 0.3 มิลลิกรัมต่อลิตร) น้ำหนักของคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้เบากว่าผลิตภัณฑ์ตามท้องตลาด 1.136 เท่า ส่วนราคาของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้นั้นมีราคาถูกกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไปตามท้องตลาดประมาณ 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ราคายังไม่ได้รวมราคาต้นทุนจากการทำเศษสีแห้งเร็วและกากตะกอนจากระบบบำบัดสีแห้งเร็วแบบเปียกให้แห้ง และบดให้ละเอียด

ประเสริฐ (2541) ศึกษาการทำเสถียรตะกอนโลหะหนักที่ได้จากการบำบัดน้ำเสียซีโอดีและกากหลอมฟลูออเรสเซนซ์โดยการเติมโซเดียมซัลไฟด์ ทำให้เป็นก้อนด้วยซีเมนต์ และซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัสดุประสาน พบว่า ตะกอนโลหะหนักจากน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนโดยใช้ซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว มีอัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมเท่ากับ 0.50 และอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.6 โดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ระยะเวลาบ่ม 7 วัน ประสิทธิภาพในการทำปรอทและโครเมียมในสิ่งแวดล้อมเท่ากับ 88.39 และ 82.77 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสารแอนทราควิโนน เท่ากับ 61.97 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 5,110 บาทต่อตันตะกอนแห้ง ส่วนการทำกากหลอม ฟลูออเรสเซนซ์ให้เป็นก้อนโดยใช้ซีเมนต์ผสมซิลิกา-อะลูมินาจะมีอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนผสมของตะกอนโลหะหนักต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.75 อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 50 เปอร์เซ็นต์ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.50 ปริมาณโซเดียมซัลไฟด์เท่ากับ 1.75 เท่าของปริมาณทางทฤษฎี ที่ระยะเวลาการบ่ม 3 วัน มีประสิทธิภาพในการทำปรอทลงตัวเท่ากับ 82.17 เปอร์เซ็นต์ ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสาร แอนทราควิโนนเท่ากับ 60.56 เปอร์เซ็นต์ ค่าใช้จ่ายในการบำบัดประมาณ 5,620 บาทต่อตันตะกอนแห้ง

Michael และ คณะ (1998) ศึกษากระบวนการทำให้เป็นก้อน กระบวนการการทำลายฤทธิ์ของขานอ้อยกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการกำจัดตะกั่ว โดยนำขานอ้อยมาต้มในไฮโดรคลอริก 0.1 โมลาร์ หรือโซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.1 โมลาร์เป็นเวลา 45 นาที เพื่อกำจัดน้ำตาล กรองและนำมาอบที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส หลังจากนั้นนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 294 กรัม ตะกั่ว 10 หรือ 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (47 กรัม หรือ 70 กรัมของเลดไนเตรด ($Pb(NO_3)_2$)) ชุคความคมไม้ใส่ขานอ้อย และชุคทดลองใส่ขานอ้อย 5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เดิม น้ำ 162 กรัม (อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เท่ากับ 0.55) นำมาผสมกัน โดยทำการทดลองที่ 7 14 และ 28 วัน ณ อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ทดสอบการ ชะละลายโดยพิจารณาถึงลักษณะความเป็นพิษของน้ำชะละลาย (Toxicity

characteristic leaching procedure, TCLP) พบว่า อัตราส่วนขานอ้อยต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ 10 เปอร์เซ็นต์ ในระยะเวลา 7 14 และ 28 วัน ที่อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส มีปริมาณการชะละลายของตะกั่ว น้อยกว่า 0.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในขณะที่ไม่ใส่ขานอ้อย มีปริมาณการชะละลายของตะกั่วปริมาณ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร (7 วัน) 5 มิลลิกรัมต่อลิตร (14 วัน) และ 4 มิลลิกรัมต่อลิตร (21 วัน) ซึ่งมาตรฐานของ EPA กำหนดปริมาณการชะละลายของตะกั่วที่ 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ในชุดทดลองที่มีตะกั่ว 15 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่ใส่ขานอ้อย มีปริมาณการชะละลายของตะกั่วปริมาณ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร และชุดทดลองที่มีตะกั่ว 15 เปอร์เซ็นต์ ใส่ ขานอ้อย มีปริมาณการชะละลายของตะกั่วปริมาณ 1 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นระหว่างลิกนินในขานอ้อย และ ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่งผลให้ตะกั่วเกิดเป็นสารเชิงซ้อนร่วมกับลิกนิน ซึ่งทำให้ถูกดูดซับโดยไตรแคลเซียมอะลูมิเนตในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

กาญจนา (2542) ศึกษาเปรียบเทียบการทำเสถียรตะกอนที่มีนิกเกิลโดยใช้ปูนขาวเป็นวัสดุประสาน และการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนขาวผสมเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสาน พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำเสถียร ได้แก่ อัตราส่วนปูนขาวต่อตะกอนเป็น 0.50 โดยอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.75 ส่วนอัตราส่วนที่เหมาะสมในการทำให้เป็นก้อน คือ อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนเป็น 0.75 และปูนขาวต่อเถ้าลอยเป็น 1.00 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเป็น 0.60 เมื่อแปรค่าระยะเวลาบ่มพบว่า ระยะเวลาบ่มที่เพิ่มขึ้นไม่ช่วยให้สมบัติทางกายภาพรวมถึงการลดการละลายโลหะหนักเพิ่มขึ้น ประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย โลหะหนักนิกเกิลในการทำเสถียรและทำให้เป็นก้อนเป็น 97.04 เปอร์เซ็นต์ และ 63.46 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

ไฉทิพย์ (2542) ศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นวัสดุ ปูพื้น ได้แก่ บล็อกซีเมนต์เพสต์ประสาน และ กระเบื้องดินเผา โดยทำการทดสอบผลกระทบต่างๆ ที่มีต่อการทำ ก้อนแข็งและสมบัติทางกายภาพเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์ เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น ความชื้นน้ำ และทดสอบการชะละลายสารแอนทราควิโนน พบว่า อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อซีเมนต์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.25 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.50 เนื่องจากผลการทดสอบให้ค่า กำลังรับแรงอัดสูงสุด (37.47 เมกะปาสคาล และความหนาแน่น 2.03 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร) และ ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลาย 72 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนค่าใช้จ่ายของบล็อกที่ผลิตได้เป็น 3.76 บาท ต่อขนาดบล็อกซีเมนต์เพสต์ประสานปูพื้นขนาด 3 กิโลกรัม ที่ระยะเวลาบ่มที่เหมาะสม 28 วัน เมื่อทำการศึกษาในเชิงเศรษฐศาสตร์ที่อัตราส่วนของ ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.50 และ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เป็น 0.50 พบว่า ระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมคือ 14 วัน บล็อกประสานปูพื้นมีกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นเป็น 30.55 เมกะปาสคาล และ 2.08 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ตามลำดับ โดย

ให้ค่าประสิทธิภาพการลดการชะละลายแอนทราควิโนน 54 เปอร์เซ็นต์ ต้นทุนค่าใช้จ่าย 3.30 บาทต่อขนาด บล็อกซีเมนต์เพสต์ประสานปูนพื้นขนาด 3 กิโลกรัม

Medjo และ Riskowski (1999) ศึกษา นำขานอ้อยมาผสมในดินและปูนซีเมนต์ เพื่อผลิตเป็นอิฐ ก่อสร้าง โดยนำศึกษาเปรียบเทียบกันระหว่างขานอ้อยที่กำจัดน้ำตาลออก (ต้มในน้ำเดือด 90 นาที ล้างด้วย น้ำอุ่น ทิ้งให้แห้ง) และไม่กำจัดน้ำตาล คัดให้มีขนาดความยาว 80 มิลลิเมตร และหนา 0.2 มิลลิเมตร พบว่า น้ำตาลในขานอ้อยไม่ได้มีผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงของอิฐก่อสร้างที่ทำจากขานอ้อย ดิน และปูนซีเมนต์ ผสมกัน เนื่องจากอาจได้รับผลมาจาก ปริมาณสารอินทรีย์ในดิน ชนิดเนื้อดิน เป็นต้น

Damanhuri และคณะ (2000) ได้ศึกษาการยึดตรึง (Fixation) ของโลหะหนักในเถ้าจาก อุตสาหกรรมการผลิตเหล็กกล้าโดยการผสมในซีเมนต์ ผลิตเป็นคอนกรีตเพื่อใช้เป็นวัสดุก่อสร้าง พบว่า อัตราส่วนผสมของเถ้าลอยต่อซีเมนต์ที่ 15 เปอร์เซ็นต์ ระยะเวลาบ่ม 28 วัน สามารถรับกำลังอัดได้ 473 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และผ่านมาตรฐานการชะละลายของประเทศอินโดนีเซีย นอกจากนี้ยังได้ทำ การทดสอบในสภาวะแบบชื้นและแบบแห้งโดยการทำให้ก้อนตัวอย่างชุ่มน้ำสลับกับการให้ความร้อนเป็น ระยะๆ เป็นเวลา 13 วัน พบว่า มีการสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง 8.15 ถึง 10.87 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผ่านเกณฑ์ของ ASTM D4843 (ไม่เกิน 30 เปอร์เซ็นต์)

Koe และคณะ (2000) ได้ศึกษาถึงปฏิกิริยาไฮเดรชันในระหว่างการทำให้เป็นก้อนและการทำเสถียร ของเสี้ยนที่เป็นพิษ โดยทำการผสมซีเมนต์ วัสดุปอซโซลาน (เถ้าลอย) และตะกอนจากการชุบโลหะที่ตัดส่วน ต่างๆกัน โดยศึกษาค่ากำลังรับแรงอัด และความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน พบว่า อัตราส่วนผสมของของ เสี้ยนมากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลในการชะลอการแข็งตัวและทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดลดลง ความร้อนอัน เกิดเนื่องมาจากปฏิกิริยาไฮเดรชันได้รับผลกระทบจากองค์ประกอบของของเสี้ยน

Peralta และคณะ (2000) ได้ศึกษาเรื่องการบำบัดและกำจัดของเสี้ยนที่มีโลหะหนักโดยการทำให้เป็น ก้อนด้วยซีเมนต์ ในการศึกษาได้ใช้ตะกอนจากหอระบายความร้อนของโรงงาน อุตสาหกรรมซึ่งมี ปริมาณโลหะหนักในระดับที่สูง เช่น อาร์เซนิก เงิน แคลเดียม โครเมียม ปรอทและตะกั่ว มาทำให้เป็นก้อน ด้วยซีเมนต์ และซีเมนต์ผสมเถ้าแกลบในอัตราส่วนที่เท่าๆ กัน พบว่าต้องใช้วัสดุประสานเป็นปริมาณ 3 เท่า ของตะกอน จึงสามารถหยุดการเคลื่อนที่ของโลหะหนักและสามารถใช้วัสดุประสานทั้งคู่ได้เป็นอย่างดี

Singh และคณะ (2000) ศึกษาปฏิกิริยาไฮเดรชันของเถ้าขานอ้อยกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่า เถ้าขานอ้อยมีลักษณะเป็นซิลิกาไม่มีรูปร่างผลึก (Amorphous silica) ซึ่งให้คุณสมบัติเป็นปอซโซลาน โดย ทำการศึกษาผสมเถ้าขานอ้อยต่อปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ในอัตราส่วน 0 10 20 และ 30 เปอร์เซ็นต์โดย

น้ำหนัก อัตราส่วนน้ำตอปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เท่ากับ 0.5 แปรค่าระยะเวลาบ่มเป็น 1 3 5 7 15 และ 28 วัน พบว่า อัตราส่วนเถ้าขานอ้อยตอปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มากกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่ากำลังรับแรงอัดต่ำกว่าชุดควบคุม (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์) และอัตราส่วนเถ้าขานอ้อยตอปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าชุดควบคุม (ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์) เนื่องจากเถ้าขานอ้อยมีลักษณะคล้ายแป้ง มีพื้นที่ผิวจำเพาะสูง นอกจากนี้ปฏิกิริยาปอซโซลานระหว่างไฮดรอกไซด์ และซิลิกา และปฏิกิริยาไฮเดรชันของซิลิกาเอง ในสถานะที่เป็นต่าง มีผลให้มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

ณัฐพล และคณะ (2544) ทดลองนำเส้นใยมะพร้าวมาใช้ในการผสมบล็อกรูปพื้นคอนกรีต เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงอัด หน่วยแรงค้ำ ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำ โดยแปรค่าปริมาณเส้นใยมะพร้าวเป็น 8 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักเทียบกับหินเกล็ด และระยะเวลาการบ่มที่ 7 14 และ 28 วัน จากการทดลองพบว่าเมื่อผสมเส้นใยมะพร้าว 8 เปอร์เซ็นต์ ตัวอย่างมีความสามารถในการรับกำลังอัดประลัยดีที่สุด และมีค่าลดลงเมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น การรับแรงค้ำ และค่าความหนาแน่น มีความสามารถลดลง แต่ความสามารถในการดูดซึมน้ำจะมากขึ้น เมื่อปริมาณเส้นใยมะพร้าวเพิ่มขึ้น เพราะเส้นใยมะพร้าวดูดซึมน้ำได้ดี โดยที่บล็อกรูปพื้นคอนกรีตธรรมดาจะมีกำลังอัดประลัย 548.83 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มีน้ำหนัก 3.146 กิโลกรัม ค่ากำลังค้ำประลัย 1,221 กิโลกรัม ค่าความหนาแน่น 2,080 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำ 3.48 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่บล็อกรูปพื้นคอนกรีตผสมเส้นใยมะพร้าวที่ 8 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นประมาณ 17 เปอร์เซ็นต์ ส่วนบล็อกรูปพื้นคอนกรีตผสมเส้นใยมะพร้าวที่ 16 และ 24 เปอร์เซ็นต์ มีกำลังอัดลดลงประมาณ 36.9 และ 47.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

เปรมฤดี (2545) ศึกษาการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วเป็นวัตถุดิบผลิตซีเมนต์อะลูมินาสูง (HAC) ร่วมกับปูนขาวและตะกรันเหล็ก (GGBS) โดยเปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพพื้นฐานได้แก่ กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และระยะเวลาการก่อตัวกับค่ามาตรฐาน พบว่า อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ทำให้กำลังรับแรงอัดของ HAC ที่อัตราส่วนปูนขาวต่อซิลิกา-อะลูมินาเท่ากับ 40/60 เผาที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2.5 ชั่วโมง ณ เวลา 3 วัน และ HAC ผสม GGBS ณ 28 วัน มีค่าสูงสุดคือ 0.65 และ 0.6 ตามลำดับ สัดส่วนของปูนขาวต่อซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว อุณหภูมิและเวลาเผาที่เหมาะสมต่อการผลิต HAC และ HAC ผสม GGBS คือ 40/60 1,300 องศาเซลเซียส และ 3.5 ชั่วโมง ตามลำดับ โดยที่ กำลังรับแรงอัดของ HAC ที่ผลิตได้มีค่าน้อยกว่ามาตรฐาน ACI 225R-85 และกำลังอัดของ HAC ผสม GGBS มีค่าน้อยกว่าซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน ASTM C109-95 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน แต่ที่ 60 วันจะให้ค่าสูงกว่า ค่าเวลาการก่อตัวของ HAC ที่ผลิตได้ในสถานะที่ เหมาะสม ไม่ผ่านมาตรฐานและมีค่าน้อยกว่ามาก ส่วนระยะเวลาการก่อตัวของ HAC ผสม GGBS มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานเมื่อเทียบกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตาม

มาตรฐาน ASTM C191-92 ซีเมนต์ที่ผลิตได้จะนำไปใช้ในการทำเสถียรตะกอนนิกเกิลให้เป็นก้อนแทนการใช้ซีเมนต์ พบว่า การใช้อัตราส่วนผสมตะกอนโลหะหนักต่อซีเมนต์เท่ากับ 1 ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.65 จะทำให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการชะละลายของก้อนแข็งตัวอย่างตะกอนนิกเกิลที่ผสม HAC และ HAC ผสม GGBS มีค่าผ่านเกณฑ์มาตรฐานโดยมีประสิทธิภาพในการลดการชะละลายเท่ากับ 99.99 เปอร์เซ็นต์

กฤษณ์ (2545) ทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มจากโรงงานสกัดน้ำมันปาล์มและเถ้าลอยขานอ้อยจากโรงงานน้ำตาล มาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์บางส่วนในการผสมมอร์ตาร์ ซึ่งได้ทำการศึกษาถึงสมบัติทางกายภาพและส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าลอยทั้งสองชนิดนี้ รวมทั้งทำการทดสอบสมบัติของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมเถ้าลอยแต่ละชนิด คือ ความต้องการน้ำ ระยะเวลาการก่อตัว การพัฒนากำลังต้านแรงอัด และหาปริมาณโลหะหนักจาก น้ำชะเถ้าลอยทั้งสองชนิด ผลการทดสอบสรุปได้ว่า เถ้าลอยทั้งสองชนิดนี้ไม่สามารถจัดเป็นวัสดุ ปอซโซลานตามข้อกำหนดใน ASTM C 618-96 และเมื่อนำมาใช้ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พบว่า กำลังต้านแรงอัดของมอร์ตาร์ลดลง ส่วนความต้องการน้ำและระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ตาร์ธรรมดา เมื่อนำเถ้าลอยเส้นใยปาล์มมาใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในการผสมมอร์ตาร์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก โดยใช้สัดส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อทราย เท่ากับ 1 ต่อ 2.75 และปริมาณน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.485 ต่อ 1 ให้ค่ากำลังต้านแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ประมาณร้อยละ 85 เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ธรรมดา ส่วนมอร์ตาร์ผสมเถ้าลอยขานอ้อยให้ค่ากำลังต้านแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน ประมาณร้อยละ 50 เมื่อเทียบกับมอร์ตาร์ธรรมดา และผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำชะของเถ้าลอยเส้นใยปาล์มและเถ้าลอยขานอ้อย พบว่า มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์กำหนดในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

เพชรพร และคณะ (2545) ในการศึกษาประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลในน้ำเสียสังเคราะห์ โดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง และขานอ้อย ที่มีขนาด 20 ถึง 40 เมช และเล็กกว่า 80 เมช โดยแบ่งการปรับสภาพวัสดุเป็น ชนิดที่ไม่ได้ปรับสภาพ ชนิดที่ปรับสภาพด้วยฟอร์มาลดีไฮด์ และชนิดที่ปรับสภาพด้วยกรดไฮโดรคลอริก พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากเปลือกถั่วเหลือง มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลสูงกว่าเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่เตรียมจากขานอ้อย และเรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่มีขนาดเล็กกว่า 80 เมช มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลมากกว่าที่มีขนาด 20 ถึง 40 เมช และผลของการปรับสภาพ พบว่า เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดไม่ปรับสภาพ มีประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลมากที่สุด

อุจิตรา (2545) ศึกษาการทำตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ให้เป็นก้อนด้วยการใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ร่วมกับปูนขาว และซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ โดยการหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่าง ซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนขาว และซิลิกา-อะลูมินาต่อซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ พิจารณาจากสมบัติทางกายภาพ ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด และประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย ผลการทดลองสรุปว่า อัตราส่วนวัสดุประสานต่อตะกอนที่เหมาะสมคือ 0.25 อัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนขาวและต่อซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสมเป็น 0.4 และ 0.2 ตามลำดับ ซิลิกา-อะลูมินาที่บดก่อนให้ผลในการทำก้อนแข็งตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ได้ดีกว่าวัสดุที่ยังไม่ได้บด

หฤษฎ์ (2546) ศึกษาใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้เป็นวัสดุแทนที่ในซีเมนต์ เพื่อผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยศึกษาปัจจัยต่างๆที่มีผลกระทบต่อกระบวนการทำก้อนแข็ง ลักษณะทางกายภาพ และสมบัติทางเคมีของวัสดุ เช่น องค์ประกอบ ดัชนีความเป็นปอซโซลาน การกระจายขนาดอนุภาค รวมถึงสมบัติทั่วไปของก้อนตัวอย่างคอนกรีต ได้แก่ ค่ากำลังรับแรงอัด และความหนาแน่น สภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยแปรค่าสัดส่วนวัสดุผสมเป็น 2 3 5 8 10 และ 11 เท่าโดยน้ำหนักของวัสดุประสาน บ่มที่ระยะเวลา 7 และ 28 วัน และแปรค่าอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วสถานะต่างๆต่อวัสดุประสาน เป็น 0.05 0.10 0.15 0.25 และ 0.35 ที่ระยะเวลาบ่ม 7 14 21 และ 28 วัน เพื่อศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมในการแทนที่ของเสียนซีเมนต์ โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ตลอดจนการทดลอง พบว่า ความสามารถทำงานได้ของคอนกรีตลดลงตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของวัสดุผสมและอัตราส่วนซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน โดยสัดส่วนซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ดที่เหมาะสมต่อการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คือ 1:1.2:1.8 และการบดซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วให้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอนโดยไม่ต้องเผาจะทำให้ได้วัสดุที่มีความเหมาะสมที่สุด เนื่องจากสามารถแทนที่ซีเมนต์ได้มากขึ้น สภาวะเหมาะสมต่อการผลิตสามารถแทนที่ซีเมนต์ด้วยซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วขนาดอนุภาคเล็กกว่า 150 ไมครอนได้ในสัดส่วน 0.15 เท่าของวัสดุประสาน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีสมบัติทางกายภาพที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยคอนกรีตบล็อกปูพื้นที่กล่าวข้างต้นมีราคา 2.74 บาทต่อก้อนผลิตภัณฑ์น้ำหนัก 4.40 กิโลกรัม

Bilba และคณะ (2003) ศึกษาเส้นใยชานอ้อยมาทดแทนซีเมนต์ มาศึกษาถึงอิทธิพลขององค์ประกอบของชานอ้อยที่มีผลต่อการแข็งตัวของชานอ้อยต่อซีเมนต์ โดยนำผสมปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ กับเซลลูโลสและน้ำ เสมิเซลลูโลสกับน้ำ และลิกนินกับน้ำ พบว่า อุณหภูมิสูงสุดของการเกิดปฏิกิริยาของส่วนผสมในขณะที่แข็งตัวมีค่าอยู่ในช่วง 30 ถึง 39 องศาเซลเซียส หลังจากการผสมวัสดุ 15.5 ชั่วโมง และ

พบว่า การแข็งตัวของเซลลูโลสเร็วกว่าลิกนิน ส่วนเฮมิเซลลูโลสไม่แข็งตัวภายใน 30 ชั่วโมง นอกจากนี้ยังพบว่า ซานอ้อยที่เต็มไปด้วยน้ำตาล จะทำให้เกิดการแข็งตัวของซีเมนต์ช้าลง เนื่องจากลิกนินจะทำปฏิกิริยาไฮโดรไลซิส ซึ่งทำให้น้ำตาลละลาย

Isaia และคณะ (2003) อธิบายว่าวัสดุปอซโซลานที่เติมแทนที่ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทั่วไปนั้น ส่วนใหญ่เพื่อเพิ่มสมบัติรับน้ำหนักเชิงกล (Mechanical strength) และความคงทน (Durability) ของโครงสร้างคอนกรีต เนื่องจากปฏิกิริยาปอซโซลานที่เกิดขึ้น และโครงสร้างรูพรุน (Pore structure) ในเนื้อคอนกรีตที่ลดลง อันเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของวัสดุที่ลดลงสามารถทำให้เกิดปฏิกิริยาได้ดีขึ้น อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นตัวเติมเต็มกายภาพ (Physical filler) ให้กับโครงสร้างคอนกรีตอีกด้วย คอนกรีตที่ใช้ในการทดลองจะถูกแทนที่ด้วยวัสดุประสานต่างๆ ได้แก่ แก้วลอยจากโรงงานผลิตกระแสไฟฟ้า แก้วแกลบจากโรงสี และปูนขาวที่บดให้ละเอียด ในสัดส่วนที่ต่างๆ กัน (12.5 25 และ 30 เปอร์เซ็นต์) รวมถึงแทนที่ด้วยวัสดุประสาน 2 ชนิดร่วมกันในสัดส่วนแก้วลอยและแก้วแกลบเท่ากับ 12.5 + 12.5 และ 25 + 25 เปอร์เซ็นต์ เปรียบเทียบกับสัดส่วนควบคุมที่ใช้ซีเมนต์ แปรค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.35 0.5 และ 0.65 จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าผลของ ปอซโซลาน (Pozzolanic effect) และผลของตัวเติม (Filler effect) จะเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนการเพิ่มของวัสดุปอซโซลานในส่วนผสม โดยอัตราการเพิ่มขึ้นที่ระยะเวลา 91 วันจะมีค่าสูงกว่าที่ 28 วัน เมื่อพิจารณาที่ค่ากำลังรับแรงอัดคงที่ ตัวเติมเต็มจะมีผลกระทบต่อค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าปฏิกิริยาปอซโซลาน

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ซึ่งเป็นของเสียที่เกิดจากกระบวนการทางอุตสาหกรรม และชานอ้อยที่ใช้แล้ว ซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรที่ผ่านการกำจัดแล้ว มาใช้เป็นวัสดุเพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อกสำหรับงานก่อสร้าง งานวิจัยนี้แบ่งการดำเนินงานออกเป็น 4 การทดลอง ส่วนแรกเป็นการเตรียมวัสดุ การทดลองที่ 2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพและเคมีของวัตถุดิบ การทดลองที่ 3 ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการผลิตคอนกรีตบล็อก และสุดท้ายประมาณค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อกจากซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว ทำการวิจัยที่ห้องปฏิบัติการบัณฑิตและวิจัย ห้องปฏิบัติการขยะ ห้องปฏิบัติการของเสียอันตรายของภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ห้องปฏิบัติการคอนกรีตของภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ ห้องปฏิบัติการของสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ ศูนย์เครื่องมือวิจัย วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1. การเตรียมวัสดุ เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการวิจัย

3.1.1 วัตถุดิบ (รูปที่ 3.1)

- ซีเมนต์พอร์ตแลนด์ชนิดที่ 1 ตราช้าง (Ordinary Portland Cement, OPC)
- ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (Spent silica-alumina, SA): จากโรงงานผลิตสารประกอบไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ จังหวัดระยอง
- หินเกล็ด
- ทราย
- ชานอ้อยที่ใช้แล้ว คือ ควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิ่งชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีรีมาโซล แบคทีเรีย บี ซึ่งได้จากงานวิจัยของลัดดา (2544)
- น้ำประปา

3.1.2 สารเคมี

- สารละลายเมธิลแอลกอฮอล์
- น้ำกลั่น
- สารควอร์เทอร์ไนซ์ คือ นอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรเพนไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ (N-(3-Chloro-2-hydroxypropane)Trimethyl ammonium Chloride; CHMAC)



(ก) ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1



(ข) หินเกล็ด



(ค) ทราย



(ง) ขาน้อยที่ใช้แล้ว



(จ) ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

รูปที่ 3.1 วัสดุประสาน (ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1) วัสดุผสม (ทรายและหินเกล็ด) ซิลิกา-อะลูมินาและขาน้อยที่ใช้แล้ว ((ก)-(จ))

- สารสร้างพันธะ คือ อีพิกลอโรไฮดริน (Epichlorohydrin หรือ 1-chloro-2, 3-epoxypropane)
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- โซเดียมคาร์บอเนต
- โซเดียมไฮดรอกไซด์
- กรดไฮโดรคลอริก
- กรดซัลฟิวริก
- กรดไนตริก
- ลีซอเมรีแอกทีฟ ริมาโซล แบล็ค บี

3.1.3 เครื่องมือและอุปกรณ์

3.1.3.1 การเตรียมควอเทอร์ไนซ์ครอสต์ลิงค์เซลลูโลส

- เครื่องบดวัสดุ
- ตะแกรงร่อนเส้นผ่านศูนย์กลางรู 0.425 และ 0.850 มิลลิเมตร (Laboratory Test Sieve Mesh No. 20 และ 40; Endecotts)
- เตาอบวัสดุ
- เครื่องวัดพีเอช Horiba รุ่น F-13
- เครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ Shimadzu UV-1201 UV-visible spectrophotometer

3.1.3.2 การหล่อและการทดสอบสมบัติทางกายภาพของก้อนตัวอย่าง

- เครื่องชั่งขนาด 3,000 กรัม อ่านค่าได้ละเอียด 1 กรัม
- กระจกตวงขนาด 500 มิลลิลิตร อ่านละเอียด 10 มิลลิลิตร
- แบบหล่อตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5 เซนติเมตร (รูปที่ 3.2 (ก))
- แบบหล่อตัวอย่างบล็อกคอนกรีตปูผนังหนา 70 มิลลิเมตร สูง 190 มิลลิเมตร และกว้าง 390 มิลลิเมตร (รูปที่ 3.2 (ข))
- เครื่องผสม (Mixer)
- แท่งกระทุ้ง (Tampor) ขนาดหน้าตัด 0.5 x 0.5 ตารางนิ้ว ยาว 5 ถึง 6 นิ้ว ปลายตัดเรียบและหน้าตัดตั้งฉากกับแกนมือจับ ทำจากวัสดุไม่ดูดซึมน้ำ
- เครื่องทำด้วยเหล็กแบน ขอบสันเกรียงเป็นเส้นตรงยาว 100 ถึง 150 มิลลิเมตร



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.2 แบบหล่อคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัย

(ก.) แบบหล่อก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร

(ข.) แบบหล่อคอนกรีตบล็อกปูผนังหนา 70 มิลลิเมตร สูง 190 มิลลิเมตร และกว้าง 390 มิลลิเมตร

- เครื่องทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดก้อนคอนกรีต: น้ำหนักกดสูงสุด 30 ตัน และ 500 ตัน (รูปที่ 3.3)
- ตลับเมตร
- กรวยเหล็กมาตรฐานสำหรับทดสอบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ: เส้นผ่านศูนย์กลางภายในด้านบน 40 ± 3 มิลลิเมตร ด้านล่าง 90 ± 3 มิลลิเมตร สูง 75 ± 3 มิลลิเมตร หนาอย่างน้อย 0.8 มิลลิเมตร

3.1.3.3 การทดสอบหาประสิทธิภาพในการลดการชะละลาย

- ตะแกรงร่อนขนาด 9.5 มิลลิเมตร
- ขวดพลาสติกมีฝาปิดขนาด 2 ลิตร
- เครื่องชั่งขนาด 200 กรัม อ่านค่าได้ละเอียด 0.0001 กรัม
- กระจกตวงขนาด 2,000 มิลลิลิตร อ่านค่าได้ละเอียด 10 มิลลิลิตร
- เครื่องเขย่าแบบหมุน (Rotary agitator) อัตราเร็ว 30 รอบต่อนาที (รูปที่ 3.4)
- กระจายกรวยใยแก้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน
- เครื่องวัดพีเอช Horiba รุ่น F-13
- เครื่องโพลารोगราฟฟี (Polarography) ยี่ห้อ Metrohm รุ่น 757 VA Computrace

3.1.3.4 การวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและเคมีของวัสดุ

- ตะแกรงคัดแยกขนาด (Sieve) เบอร์ 4 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.75 มิลลิเมตร
- เครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาค (Particle size analyzer) รุ่น Mastersizer 2000

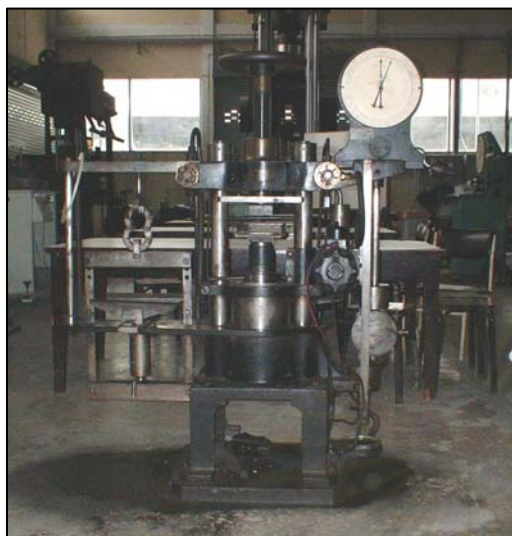
3.2 ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

3.2.1 ตัวแปรอิสระ

- อัตราส่วนของขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์)

3.2.2 ตัวแปรตาม

- ความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่าง
- ปริมาณของสารประกอบแอนทราควิโนนในน้ำชะละลาย
- ค่าสีของน้ำชะละลาย
- ค่าพีเอชของน้ำชะละลาย
- ระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง



(ก)

(ข)

รูปที่ 3.3 เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

(ก) สำหรับก้อนตัวอย่างลูกบาศก์ น้ำหนักกดสูงสุด 30 ตัน

(ข) สำหรับคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น น้ำหนักกดสูงสุด 500 ตัน



รูปที่ 3.4 เครื่องเขย่าแบบหมุนตามมาตรฐานประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6

3.2.3 ตัวแปรควบคุม

- อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์) เท่ากับ 0.5 (ไลทิพย์, 2542)
- อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาต่อวัสดุประสาน (ปูนซีเมนต์) เท่ากับ 0.25 (ไลทิพย์, 2542)
- อัตราส่วนส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ดเท่ากับ 1 : 2 : 3 (ประณต, 2541)

3.3 การดำเนินการวิจัย

3.3.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

3.3.1.1 การเตรียมวัสดุ (Laszlo, 1996)

1. นำชานอ้อย มาล้างด้วยน้ำหลายๆ ครั้ง ตากแดดให้แห้ง จากนั้นนำไปบดให้ละเอียด และคัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 20 และ 40 เพื่อให้ได้ขนาดของวัสดุเท่ากับ 20-40 เมช
2. นำวัสดุที่คัดขนาดแล้วมาแช่ในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ 1 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) และสารละลายโซเดียมไบคาร์บอเนต 1 เปอร์เซ็นต์ (น้ำหนักต่อปริมาตร) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง แล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน ทิ้งให้แห้ง หลังจากนั้น นำไปอบให้แห้งด้วยเตาอบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส

3.3.1.2 การเตรียมควอเทอร์ในซ์ครอสส์ลิงค์เซลลูโลส (Laszlo, 1996)

1. นำวัสดุ 1 กรัม ที่ผ่านการเตรียมตามข้อ 3.3.1.1 มาปรับสภาพด้วย 5 นอร์มัล โซเดียมไฮดรอกไซด์ 1.25 มิลลิลิตร (6.25 มิลลิโมลของค่าต่อกรัมของเรซิน) คนให้เข้ากัน แล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที
2. เติมนอร์มัล-3-คลอโร-2-ไฮดรอกซีโพรเพนไตรเมทิลแอมโมเนียมคลอไรด์ ความเข้มข้น 4 โมล ปริมาตร 1.0 มิลลิลิตร คนให้เข้ากัน บ่มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง หลังจากนั้นเติมด้วยโซเดียมไฮดรอกไซด์ ความเข้มข้น 5 นอร์มัล ปริมาตร 1.2 มิลลิลิตร และเติมสารอีพิกโลโรไฮดริน 99 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 0.234 มิลลิลิตร (3 มิลลิโมล) ผสมให้เข้ากัน ตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 6 ชั่วโมง
3. เติมน้ำปราศจากไอออน 500 มิลลิลิตร แล้วปรับพีเอชให้เท่ากับ 2.0 ด้วยกรดไฮโดรคลอริก กวนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิห้อง กรองและล้างด้วยน้ำปราศจากไอออน แล้วทิ้งให้แห้ง

3.3.1.3 วัสดุผสม

ล้างหินเกล็ดด้วยน้ำสะอาด แล้วอบที่อุณหภูมิ 103-105 องศาเซลเซียส อบทรายให้แห้งที่อุณหภูมิเดียวกัน

3.3.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

3.3.2.1 การวิเคราะห์หองค์ประกอบของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

ใช้เครื่องวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี X-ray fluorescence ของศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ซึ่งสารประกอบที่วิเคราะห์จะแสดงผลในรูปของสารประกอบออกไซด์ของธาตุ โดยทำการวิเคราะห์สารประกอบ Al_2O_3 , CaO , Fe_2O_3 , K_2O , MgO , Na_2O , SiO_2 และ SO_3 เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการอธิบายผลของลักษณะทางกายภาพต่างๆ ของก้อนตัวอย่าง

3.3.2.2 การวิเคราะห์การกระจายขนาดของอนุภาค (Particle size distribution) ของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และวัสดุผสม

วิเคราะห์การกระจายขนาดของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดของอนุภาค (Malvern Particle size analyzer Model Mastersizer 2000) ที่ห้องปฏิบัติการของเสียอันตราย ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม การวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคของหินเกล็ดและทราย โดยการคัดแยกด้วยตะแกรงโดยเครื่องเขย่า (Sieve analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C33-93 และ ASTM C136-95a

3.3.2.3 การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ (Specific gravity and absorption)

หาค่าความถ่วงจำเพาะและเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และวัสดุผสม ตามมาตรฐาน ASTM C128-93 เพื่อหาความต้องการน้ำของวัสดุต่างๆ (รายละเอียดการหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำแสดงในภาคผนวก ก.1 และ ก.2)

3.3.3 ศึกษาสถานะที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกโดยใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

3.3.3.1 ศึกษาอัตราส่วนของขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อก

หล่อซีเมนต์ลูกบาศก์ขนาด $5 \times 5 \times 5$ เซนติเมตร โดยแปรค่าอัตราส่วนของขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.5 0.10 0.15 และ 0.20 อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 โดยมีอัตราส่วนส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ดเท่ากับ 1 : 2 : 3 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ระยะเวลาในการบ่ม 28 วัน โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ คำนวณความหนาแน่น ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด และหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีต เพื่อหาอัตราส่วนของส่วนผสมพื้นฐานที่เหมาะสมโดยทำการบันทึกผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้ว ต่อวัสดุประสาน	ค่าที่ต้องการทดสอบ		
	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 3
0.00			
0.05			
0.10			
0.15			
0.20			

3.3.3.2 ศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนคอนกรีต

การทดลองนี้ใช้อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่ 3.1 มาเป็นหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร โดยใช้อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 โดยมีอัตราส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ดเท่ากับ 1 : 2 : 3 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 และระยะเวลาในการบ่มก้อนตัวอย่าง 7 14 21 และ 28 วัน คำนวณความหนาแน่น ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด และหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีต เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมที่ใช้ในการบ่มก้อนคอนกรีต

ตารางที่ 3.2 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีต ที่ระยะเวลาบ่ม 7 14 21 และ 28 วัน

ระยะเวลาในการบ่มตัวอย่าง	ค่าที่ต้องการทดสอบ				
	0.00	0.05	0.10	0.15	0.20
7					
14					
21					
28					

3.3.4 ศึกษาความสามารถในการลดการชะละลายของสารแอนทราควิโนนในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว เมื่อนำมาใช้เป็นวัสดุประสานในการทำวัสดุเพื่อการก่อสร้าง

ทดสอบหาค่าความสามารถในการถูกชะละลายของสารแอนทราควิโนนในก้อนตัวอย่างที่สภาวะเหมาะสมที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อก หัวข้อ 3.3.3.1 และ ศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนคอนกรีต หัวข้อ 3.3.3.2 ดังต่อไปนี้

1. นำตัวอย่างที่บดแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 มิลลิเมตร จำนวน 1 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ตวงสารเมททานอล 10 มิลลิลิตร เทใส่ลงในบีกเกอร์
3. กวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่ระดับความเร็ว 50 รอบต่อนาที นาน 10 นาที
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง
5. ชั่งน้ำหนักสารละลายที่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์หาสารแอนทราควิโนน ใช้เอทิลแอนทราควิโนน เป็นสารมาตรฐาน

สำหรับการทดสอบนี้ใช้การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการถูกชะละลายของสารแอนทราควิโนนในซิติกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วก่อน และหลังการทำให้เป็นก้อน

3.3.5 ศึกษาการถูกชะล้างได้ของสี และพีเอช (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2540)

หาค่าความสามารถในการถูกชะละลายของสีในก้อนตัวอย่างที่สภาวะเหมาะสม ที่ได้จากการศึกษาอัตราส่วนของซานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อก หัวข้อ 3.3.3.1 และ ศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนคอนกรีต หัวข้อ 3.3.3.2 ดังต่อไปนี้

1. นำตัวอย่างที่บด ร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร
 2. นำตัวอย่างที่ได้จากการร่อน 100 กรัม มาปรับค่าพีเอช ให้เท่ากับ 5 ด้วยสารละลายกรดกำมะถัน และกรดไนตริก ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก แล้วปรับปริมาตรของผสม ให้อัตราส่วนของปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง
 3. เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน (Rotary Agitator) ที่มีอัตราการหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 18 ชั่วโมง
 4. กรองสารละลายที่ได้จากการสกัดด้วยแผ่นกรองใยแก้ว ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูกรอง 0.6-0.8 ไมครอน
 5. นำของเหลวที่ผ่านการกรองแล้วไปทำการวิเคราะห์หาค่าสีและพีเอช
- สำหรับการทดสอบนี้ใช้การเปรียบเทียบค่าความสามารถในการถูกชะละลายของสีในซานอ้อยที่ใช้แล้วก่อน และหลังการทำให้เป็นก้อน

3.3.6 ประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

ประมาณค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการนำซิลิกา-อะลูมินาและซานอ้อยที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำเป็นคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักเพื่อการก่อสร้าง และเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกประเภทเดียวกันที่มีจำหน่ายในท้องตลาด ตลอดจนคำนวณค่าใช้จ่ายสำหรับการบำบัดซิลิกา-อะลูมินาและซานอ้อยที่ใช้แล้วในหน่วยราคาบาทต่อตันของเสีย ด้วยกระบวนการทำก้อนแข็งและนำมาใช้ประโยชน์เพื่อเป็นวัสดุก่อผนัง เปรียบเทียบกับค่าใช้จ่ายในการบำบัดซิลิกา-อะลูมินาและซานอ้อยที่ใช้แล้วของโรงงานอุตสาหกรรมในปัจจุบัน คือ การฝังกลบมีค่าใช้จ่ายประมาณ 2,000 บาทต่อตันของเสีย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

4.1 การเตรียมวัสดุสำหรับการวิจัย

4.1.1 ชานอ้อยที่ใช้แล้ว

จากงานวิจัยของลัดดา (2544) ชานอ้อยที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ มี คุณสมบัติ ดังนี้ มีค่าความหนาแน่น 3.62 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการบวมน้ำ 2.00 มิลลิลิตรเปียกต่อมิลลิลิตรแห้ง เมื่อนำมาศึกษาความสามารถในการแลกเปลี่ยนไอออนของชานอ้อย ในการทดลองแบบแบตช์ พบว่า ประสิทธิภาพในการกำจัดสีสูงสุดจะอยู่ที่ความเข้มข้นของสีข้อม เท่ากับ 100 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่ง ประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ ริมาโซล แบล็ค บี คิดเป็นร้อยละ 99.83



รูปที่ 4.1 ชานอ้อยปรับสภาพด้วยการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครสส์ลิงค์ก่อน (ซ้าย) และหลังการกำจัดสี ริมาโซล แบล็ค บี (ขวา)



รูปที่ 4.2 สี ริมาโซล แบล็ค บี ก่อน (ซ้าย) และหลังการทดลองแบบแบตช์ (ขวา)

4.2 วิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย

4.2.1 การวิเคราะห์หองค์ประกอบของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วของโรงงานเทียบกับผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีโดยวิธีทฤษฎีสสูตร โครงสร้างโดยการคำนวณตัวแปรพื้นฐาน (Theoretical formulas (Fundamental parameter calculation)) ซึ่งแสดงผลในรูปของสารประกอบออกไซด์ด้วยเครื่องมือเอกซเรย์ ฟลูออเรสเซนส์ สเปกโตรมิเตอร์ (X-ray fluorescence spectrometer) ดังแสดงในตารางที่ 4.1 พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุที่วิเคราะห์ได้ใกล้เคียงกับข้อมูลการวิเคราะห์ของโรงงาน ยกเว้นในงานวิจัยของเปรมฤดี (2544) ที่มีค่าองค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วแตกต่างจากผลวิเคราะห์ในงานวิจัยอื่นๆ เล็กน้อย

สารประกอบ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 จะทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) เกิดเป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ดังนั้นมาตรฐานจึงได้กำหนดสัดส่วนของสารประกอบเหล่านี้ไว้อย่างชัดเจน จากตารางที่ 4.1 ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีองค์ประกอบทางเคมีพื้นฐานตรงตามข้อกำหนดวัสดุปอซโซลาน (ASTM C618-96) โดยมีผลรวมของสารประกอบ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 มากกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ (85.29 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ปริมาณซัลเฟตน้อยกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ (2.68 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) และเมื่อพิจารณาปริมาณสารประกอบแคลเซียมออกไซด์ (CaO) ซึ่งมีสัดส่วนปริมาณค่อนข้างต่ำ (0.21 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) ซึ่งสารประกอบดังกล่าวจะทำปฏิกิริยากับน้ำ เกิดเป็นสารประกอบแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่จะทำปฏิกิริยาปอซโซลานต่อไปกับ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 โดยความหมายของปอซโซลาน ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 849-2532) กล่าวว่า เป็นวัสดุที่มีส่วนประกอบทางเคมีส่วนใหญ่เป็น ซิลิกา หรือซิลิกาและอะลูมินามีสมบัติในการยึดเกาะประสานเล็กน้อย หรือ ไม่มีเลย แต่เมื่อบดจนเป็นผงละเอียดจะสามารถทำปฏิกิริยาเคมีกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่อุณหภูมิปกติ และเมื่อมีความชื้นแล้ว เกิดเป็นสารประกอบซึ่งมีคุณสมบัติในการยึดประสาน ดังนั้นซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วจึงมีสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานในตัวเอง (Self cementitious)

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีปริมาณโซเดียมเปอร์ออกไซด์ (Na_2O) ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASTM C618-96 ที่กำหนดให้มีไม่มากกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ดังนั้นการใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วอาจส่งผลกระทบต่อวัสดุผสมบางประเภทที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอัลคาไล ทำให้เกิดการขยายตัวดันให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหาย

ตารางที่ 4.1 องค์ประกอบทางเคมีของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

สารประกอบ	องค์ประกอบทางเคมี (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)			
	ข้อมูลจากโรงงานอุตสาหกรรม (อ้างอิงในไลทิกซ์, 2542)	เปรมฤดี (2544)	สุจิตรา (2545)	หฤษณ์ (2546)
Al ₂ O ₃	55.0-63.0	88.67	67.27	67.94
CaO	-	0.71	0.46	0.21
Cl	-	trace	trace	0.04
Fe ₂ O ₃	-	nd.	nd.	0.03
K ₂ O	-	trace	trace	0.01
MgO	-	nd.	nd.	nd.
Na ₂ O	-	5.21	12.92	11.78
SiO ₂	12.0-16.0	4.12	16.12	17.32
SO ₃	-	1.29	3.23	2.68

หมายเหตุ : nd. หมายถึงตรวจวิเคราะห์ไม่พบสารดังกล่าว (Not detected)

- หมายถึงไม่มีข้อมูลการวิเคราะห์

trace หมายถึงตรวจวิเคราะห์พบสารดังกล่าวเล็กน้อย

4.2.2 การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของชานอ้อยที่ใช้แล้ว

ถัดมา (2544) การศึกษาลักษณะพื้นผิวของวัสดุด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนที่ กำลังขยาย 300 เท่า และ 1,000 เท่า พบว่า ชานอ้อยที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์มีลักษณะภายนอกเป็นเส้นใยขาว มีลักษณะผิวขรุขระ และมีร่องลึก มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 3.62 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าการบวมน้ำเท่ากับ 2.00 มิลลิตรเปียกต่อมิลลิตรแห้ง จากการวิเคราะห์หาพื้นที่ผิวของชานอ้อยที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ โดยใช้วิธี Brunauer Emmett and Teller Adsorption Isotherm (BET) ซึ่งเป็นการคิดค่าการกระจายรูพรุนทั้งหมด โดยใช้หลักการดูดก๊าซไนโตรเจนบนผิวแข็ง โดยที่ก๊าซไนโตรเจนมีขนาดโมเลกุล 2.1976 อังสตรอม ดังนั้นค่า BET surface area ที่วิเคราะห์ได้จึงเป็นค่าจากขนาดตั้งแต่ 2.1976 อังสตรอมขึ้นไป พบว่า ชานอ้อยที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์มีพื้นที่ผิว BET surface area เท่ากับ 6.51 ตารางเมตรต่อกรัม มีขนาดรูพรุนเท่ากับ 40.8027 อังสตรอม ภายหลังจากผ่านการกำจัดสี ริมาโซล แบล็ค บี แล้ว เมื่อนำมาวิเคราะห์อีกครั้ง พบว่า ชานอ้อยที่ผ่านการทำควอร์เทอร์ไนซ์โครอสต์ลิงค์ หลังการบำบัดสีด้วย ริมาโซล แบล็ค บี จะมีพื้นที่ผิว ปริมาตรของรูพรุน และขนาดของรูพรุน เล็กลงเล็กน้อย

4.2.3 การวิเคราะห์การกระจายขนาดของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และวัสดุผสม

ในงานวิจัยนี้ใช้ชานอ้อยที่คัดขนาดด้วยตะแกรงเบอร์ 20 ถึง 40 เมช ส่วนขนาดของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วใช้ขนาดดั้งเดิม การกระจายขนาดของอนุภาค แสดงในตารางที่ 4.2 พบว่า ซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ระดับเปอร์เซ็นต์ไทล์ 50 เท่ากับ 207.35 และ 568.41 ไมครอน ตามลำดับ จากรูปที่ 4.3 พบว่า การกระจายของขนาดอนุภาคของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีขนาดอนุภาคโดยประมาณอยู่ในช่วง 10 ถึง 500 ไมครอน และ ชานอ้อยที่ใช้แล้วมีขนาดอนุภาคโดยประมาณอยู่ในช่วง 10 ถึง 2,000 ไมครอน ดังนั้น จะเห็นได้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีขนาดของการกระจายของอนุภาคแคบกว่าชานอ้อยที่ใช้แล้ว

ตารางที่ 4.2 ขนาดอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

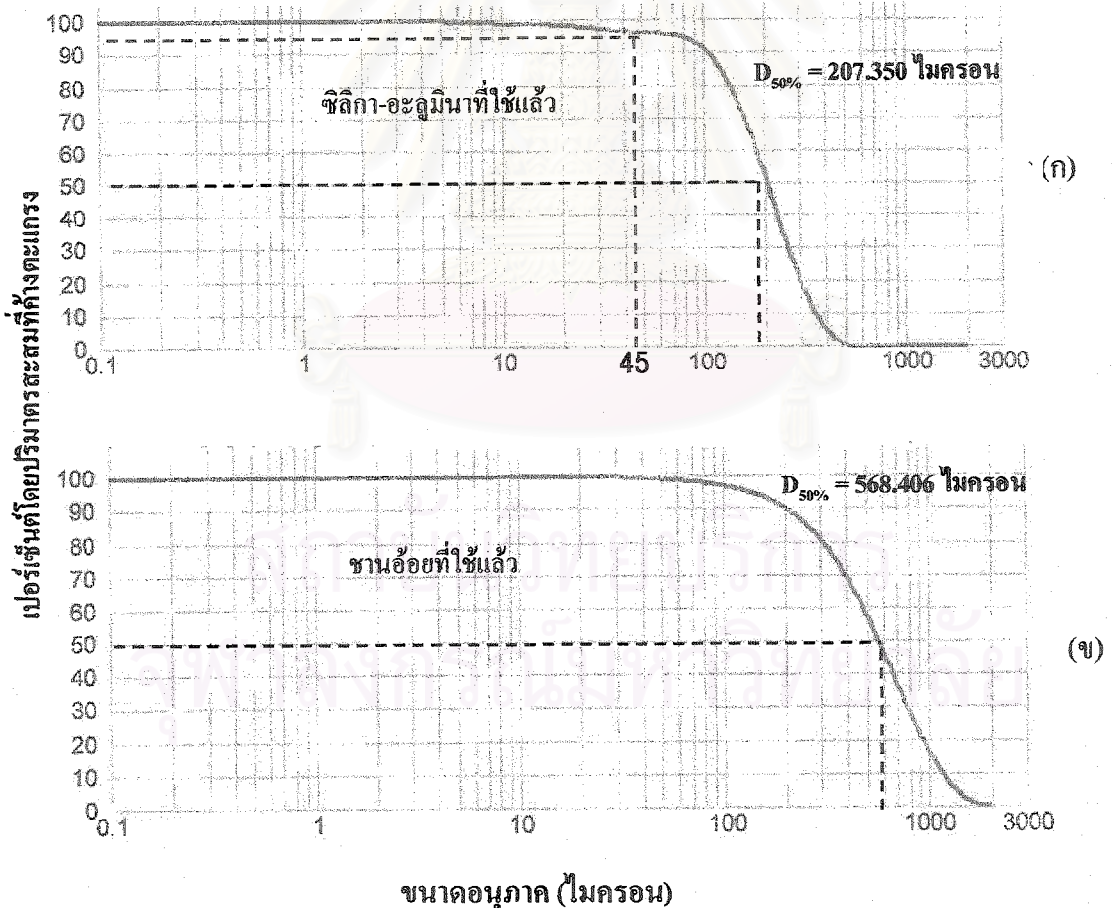
	D _{10%} (ไมครอน)	D _{50%} (ไมครอน)	D _{90%} (ไมครอน)
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	104.92	207.35	355.49
ชานอ้อยที่ใช้แล้ว	201.84	568.41	1,151.87

มาตรฐาน ASTM C618-96 ซึ่งเป็นมาตรฐานกำหนดสมบัติทั่วไปของวัสดุปอชโซลาน ได้กำหนดความละเอียด (Fineness) ของวัสดุชนิดนี้ด้วยค่าเปอร์เซ็นต์สูงสุดที่วัสดุสามารถค้างบนตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 (45 ไมครอน) เมื่อทำการคัดแยกด้วยวิธีแบบเปียก (Wet-sieved) โดยเปอร์เซ็นต์ค้างบนตะแกรงมาตรฐานต้องมีค่าไม่เกิน 34 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักวัสดุทั้งหมดที่ทำการทดสอบ รูปที่ 4.3 (ก) แสดงเส้นโค้งการกระจายขนาดอนุภาคสะสมโดยปริมาตรของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว พบว่า ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีความละเอียดไม่ได้ตามที่มาตรฐานกำหนด อาจเป็นเพราะในงานวิจัยทำการวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือ Particle size analyzer ซึ่งเป็นการวิเคราะห์แบบแห้ง ทำให้อนุภาคมีโอกาสจับตัวกัน (Agglomeration) ขนาดอนุภาคที่วัดได้จึงใหญ่กว่าการวิเคราะห์ด้วยวิธีแบบเปียกที่กำหนดตามมาตรฐาน ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว มีอนุภาคขนาดใหญ่กว่า 45 ไมครอนมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร

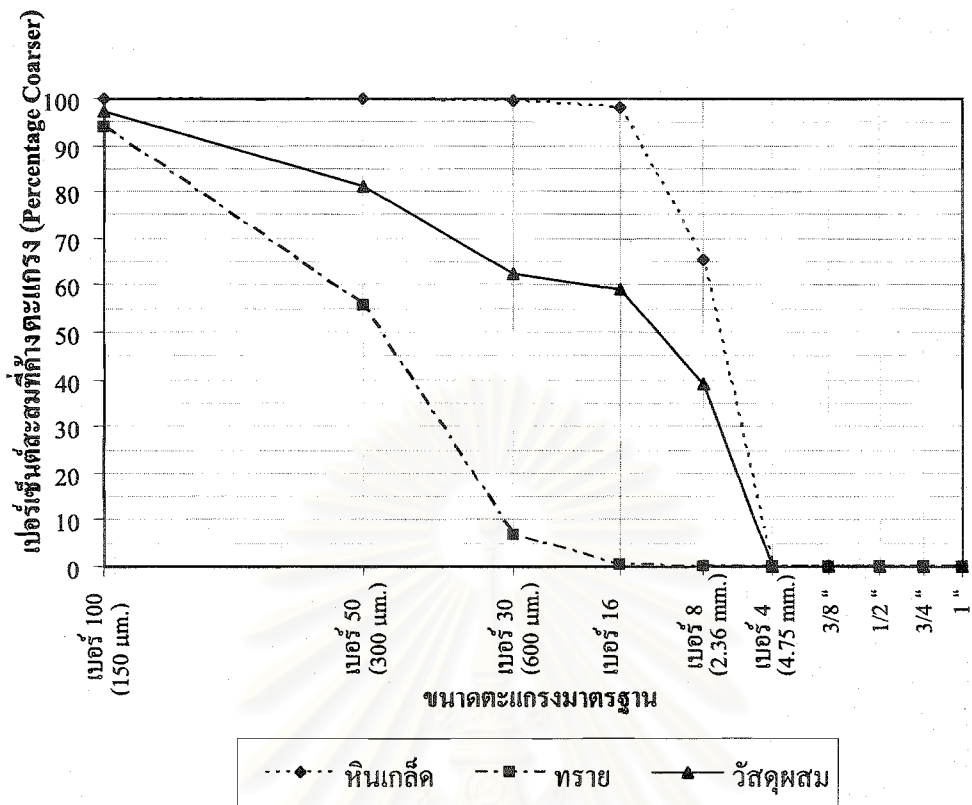
ส่วนคละ (Gradation) ของวัสดุผสมที่ดีมีผลให้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ลดลง ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตดีขึ้น ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ และมีส่วนช่วยป้องกันการแยกตัว (Segregation) ของส่วนผสมได้อีกด้วย การวิเคราะห์ส่วนคละของวัสดุผสมแสดงผลด้วยกราฟแบบ Semi-log scale (ดังรูปที่ 4.4) หินเกล็ดที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อก ปูนนึ่งรับน้ำหนักมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus) เท่ากับ 4.63 ขณะที่ทรายละเอียดที่ใช้มีขนาดอนุภาคเล็กกว่า 2.36 มิลลิเมตร (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 8) และมีค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 1.57 เมื่อผสมทรายและหินเกล็ดในสัดส่วนทรายต่อหินเท่ากับ 0.67 โดยปริมาตร ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงแนะนำ (0.55 ถึง

0.70) โดยประมาณ (2541) วัสดุผสมที่ได้จะมีค่าโมดูลัสความละเอียดเป็น 3.39 รายละเอียดของการวิเคราะห์แสดงในภาคผนวก ข

วินิต (2539) กล่าวว่า หินและทรายสำหรับผลิตคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้างควรมีค่าโมดูลัสความละเอียดระหว่าง 5.5 ถึง 7.5 และ 2.25 ถึง 3.25 ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสความละเอียดของหิน และทรายที่ใช้ในงานวิจัยมีค่าต่ำกว่าของวัสดุผสมที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เนื่องจากงานวิจัยเป็นการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก ซึ่งมีขนาดเล็กกว่างานโครงสร้างทั่วไปมาก จึงต้องใช้วัสดุผสมที่มีขนาดเล็กลง ไม่สามารถใช้วัสดุผสมที่มีขนาดตามกำหนดมาตรฐาน (ASTM C33-93) ซึ่งใช้สำหรับงาน โครงสร้างได้ ถึงแม้ว่ามาตรฐาน ASTM C936-82 จะกำหนดลักษณะของวัสดุผสมทั่วไปสำหรับผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก โดยอ้างให้เป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ASTM C33-93 แต่กระนั้นไว้ชัดเจนว่ายกเว้นส่วนคละของวัสดุผสมที่ไม่จำเป็นต้องเป็นไปตามข้อกำหนด ดังนั้นงานวิจัยหรือการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักในเชิงอุตสาหกรรมจึงสามารถใช้วัสดุผสมที่มีขนาดเล็กกว่าในค่ามาตรฐานกำหนดได้



รูปที่ 4.3 การกระจายขนาดอนุภาคของ (ก) ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และ (ข) ชานอ้อยที่ใช้แล้ว



รูปที่ 4.4 ส่วนคละของวัสดุผสมที่ใช้ในการวิจัย (หฤษณ์, 2546)

4.2.4 การหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ

ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) ของวัสดุวิเคราะห์จากการคำนวณสัดส่วนมวลต่อปริมาตร มวลได้จากการชั่งน้ำหนักและปริมาตรหาโดยการแทนที่น้ำ ความถ่วงจำเพาะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ และความพรุนของอนุภาค แสดงดังตารางที่ 4.3 ในงานวิจัยนี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสมแต่จะอ้างอิงค่าที่แนะนำโดย ชัชวาลย์ (2539) โดยวัสดุผสมหยาบและละเอียดที่ใช้กันโดยทั่วไปจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7 และ 2.65 ตามลำดับ

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุต่าง ๆ เป็นพารามิเตอร์ที่มีความสำคัญมากเพื่อใช้ในการควบคุมปริมาณน้ำของส่วนผสม เพื่อให้ น้ำที่เติมลงไปเป็นน้ำสำหรับส่วนผสมคอนกรีตที่มีหน้าที่ทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ช่วยให้คอนกรีตสดทำงานได้ และเคลือบผิววัสดุผสมให้ซีเมนต์เพสต์เข้าจับยึด การวิเคราะห์ให้วิธีตามมาตรฐาน ASTM C128-93 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์สำหรับวัสดุผสมละเอียด และสำหรับหินเกล็ดให้วิธีวิเคราะห์ตามมาตรฐาน ASTM C127-88 ซึ่งแสดงรายละเอียดในภาคผนวก ก.1 และก.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของซีลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและวัสดุผสม

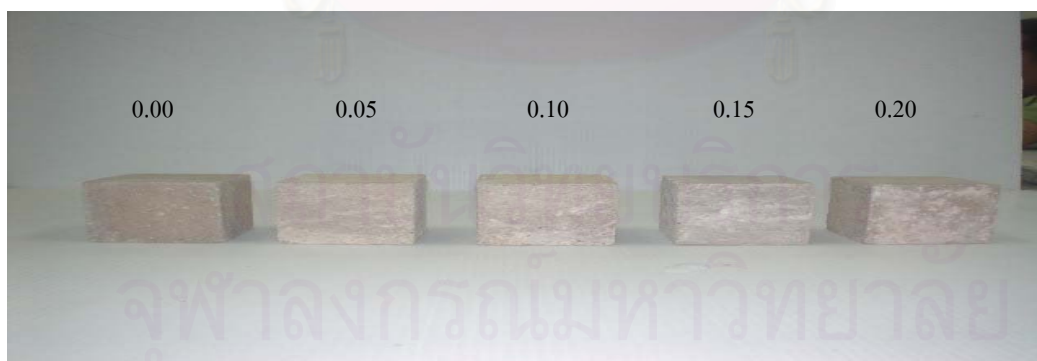
	ความถ่วงจำเพาะ	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ
ซีลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	1.93	25.33
ชานอ้อยที่ใช้แล้ว	-	37.1
หินเกล็ด	2.70*	1.06
ทราย	2.65*	2.35
ปูนซีเมนต์	3.15**	50.00

หมายเหตุ : * หมายถึงผลการวิเคราะห์ของชัชวาลย์ (2539)

** หมายถึงผลการวิเคราะห์ของอุดม (2533)

4.3 ผลการศึกษาอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้ต่อซีเมนต์ในการทำคอนกรีตบล็อก

การศึกษาโดยหล่อซีเมนต์ลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร แปรค่าอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน (ซีลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และปูนซีเมนต์) ที่ 0.0 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 โดยใช้อัตราส่วนของซีลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 โดยมีอัตราส่วนส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ดเท่ากับ 1 : 2 : 3 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 ระยะเวลาในการ บ่ม 28 วัน โดยทำการทดลอง 3 ซ้ำ ทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และค่าการดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่แข็งตัวแล้ว แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 ก้อนคอนกรีตที่อัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

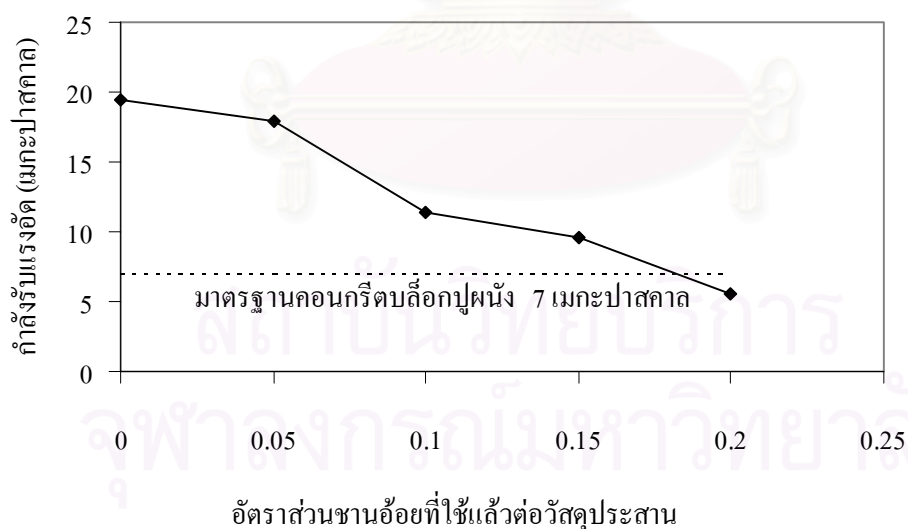
4.3.1 ค่ากำลังรับแรงอัด

จากตารางที่ 4.4 และรูปที่ 4.6 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์มีค่าลดลง เมื่ออัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานมีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณปูนซีเมนต์น้อยลงทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันได้น้อยลง โดยอัตราส่วนของชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสีต่อวัสดุประสานที่ 0.05 0.10 และ 0.15 มีค่าสูงกว่าค่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก (7 เมกะปาสคาล)

ตารางที่ 4.4 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	ค่ากำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)
0.00	19.14
0.05	17.88
0.10	11.35
0.15	9.54
0.20	5.51

หมายเหตุ : ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 7 เมกะปาสคาล



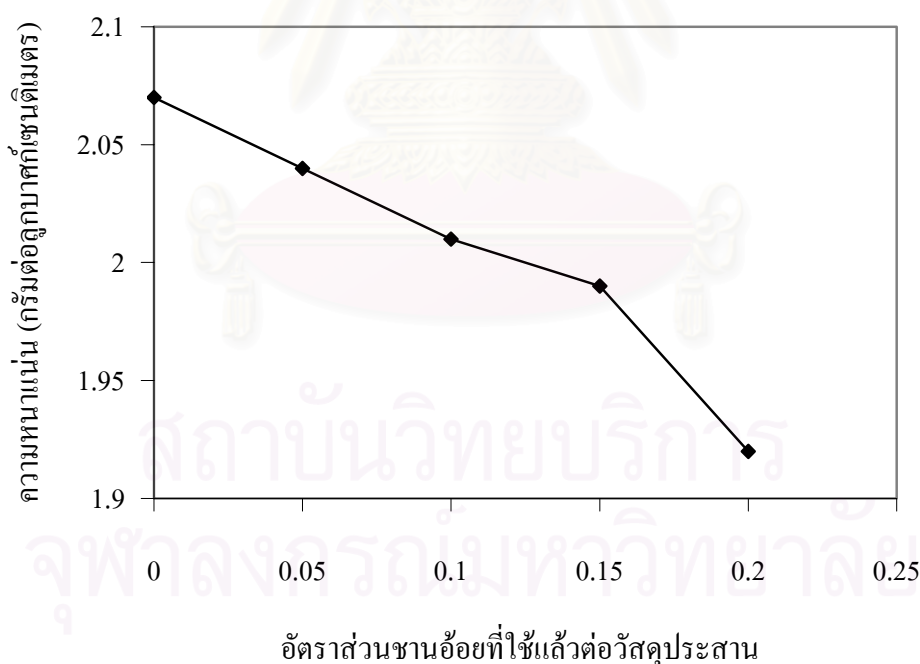
รูปที่ 4.6 ค่ากำลังรับแรงอัดของของก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

4.3.2 ค่าความหนาแน่น

จากตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน พบว่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้ว เนื่องจากชานอ้อยที่ใช้แล้วมีความยืดหยุ่น เมื่อนำมาผสมในคอนกรีตจึงเกิดการขยายตัว ทำให้คอนกรีตไม่เกิดการยึดเกาะ ดังนั้นถ้าผสมชานอ้อยที่ใช้แล้วในสัดส่วนที่มากขึ้นจะเป็นผลให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง

ตารางที่ 4.5 ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)
0.00	2.07
0.05	2.04
0.10	2.01
0.15	1.99
0.20	1.92



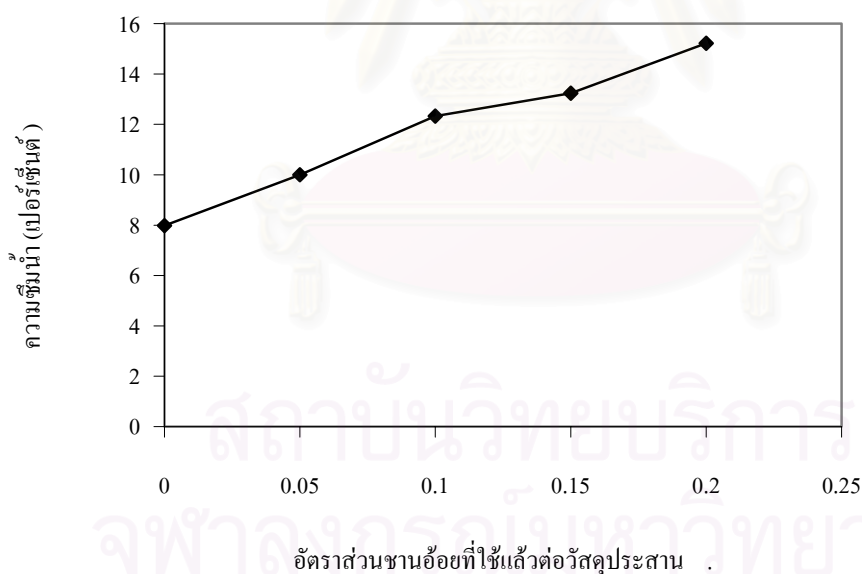
รูปที่ 4.7 แสดงค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

4.3.3 การดูดซึมน้ำ

จากตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.8 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากชานอ้อยที่ใช้แล้วมีค่าการดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์มีค่าสูงขึ้น ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)
0.00	7.98
0.05	10.00
0.10	12.33
0.15	13.24
0.20	15.22



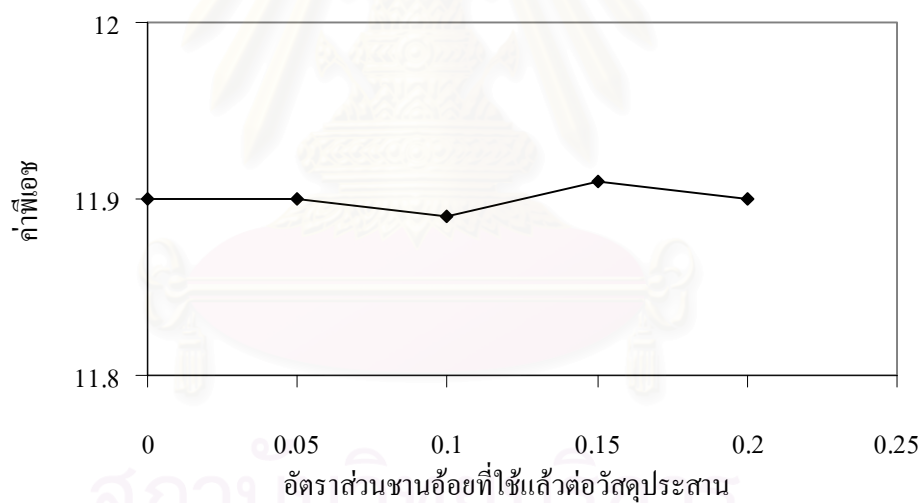
รูปที่ 4.8 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

4.3.4 ค่าพีเอช

จากตารางที่ 4.7 และรูปที่ 4.9 แสดงค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ที่ผ่านการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) พบว่า น้ำชะละลายที่ได้มี ค่าพีเอชของมีค่าอยู่ในช่วง 11.89-11.91

ตารางที่ 4.7 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	ค่าพีเอช
0.00	11.90
0.05	11.90
0.10	11.89
0.15	11.91
0.20	11.90



รูปที่ 4.9 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่มีอัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

4.3.5 ค่าสี

จากการตรวจวิเคราะห์ค่าสีของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ที่ผ่านการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร พบว่า น้ำชะละลายของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและ ชานอ้อยที่ใช้แล้วก่อนการทำ

คอนกรีตมีค่าสีเท่ากับ 19.157 และ 11.824 เอสยู ตามลำดับ แต่เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาทำคอนกรีตแล้ว พบว่า น้ำชะละลายของคอนกรีตที่ได้มีลักษณะใส ดังแสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ระบุให้สีของน้ำชะละลายของของเสียที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อนต้องไม่มีลักษณะสีที่พึงรังเกียจ



รูปที่ 4.10 สีของน้ำชะละลาย

- (1) ชานอ้อยที่ใช้แล้ว (ซ้าย) และก้อนคอนกรีต (ขวา)
- (2) ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (ซ้าย) และก้อนคอนกรีต (ขวา)

4.4 ผลการศึกษาผลของระยะเวลาบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนซีเมนต์

การทดลองนี้ นำอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองแปรค่าอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.00 0.05 0.10 0.15 และ 0.20 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน พบว่า อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5 0.10 และ 0.15 จะให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าค่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก (7 เมกะปาสคาล) ดังนั้นจึงเลือกอัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.5 0.10 และ 0.15 แปรค่าระยะเวลาการบ่มก้อนคอนกรีตเป็น 7 14 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

4.4.1 ค่ากำลังรับแรงอัด

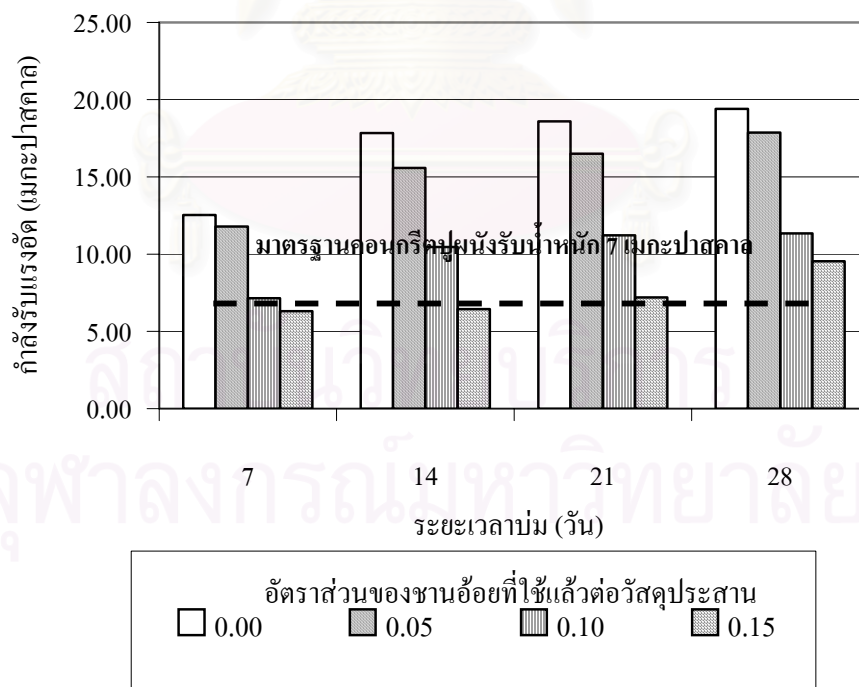
จากตารางที่ 4.8 และรูปที่ 4.11 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่ม ต่าง ๆ ผลการศึกษา พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างจะมีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้น เนื่องจากเกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตหรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า ซีเมนต์เจล ซึ่งมีสมบัติเป็นวัสดุประสานที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับซีเมนต์มากขึ้น พบว่า อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน 0.15 ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด 7.19 เมกะปาสคาล ซึ่งมีค่ากำลังรับ

แรงอัดสูงกว่าค่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก คือ 7 เมกะปาสคาล จึงมีความเหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

ตารางที่ 4.8 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

อัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้ว ต่อวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	7	14	21	28
0.00	12.54	17.84	18.60	19.41
0.05	11.79	15.58	16.51	17.88
0.10	7.14	10.46	11.22	11.35
0.15	6.31	6.44	7.19	9.54

หมายเหตุ : ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 7 เมกะปาสคาล



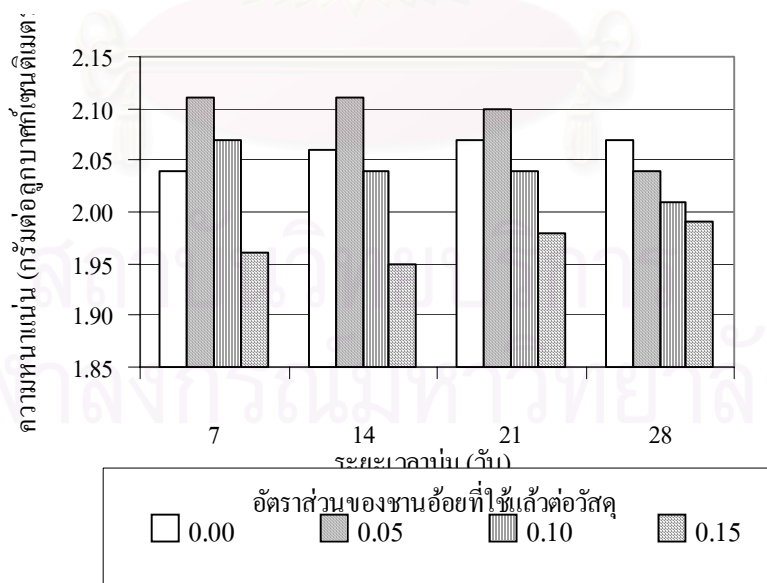
รูปที่ 4.11 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

4.4.2 ค่าความหนาแน่น

จากตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.12 แสดงค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ ในการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบสองทาง (One-Way ANOVA) พบว่า ความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ ไม่มีความแตกต่างทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซนต์ (F- value = 0.735)

ตารางที่ 4.9 ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

อัตราส่วนขานอ้อยที่ใช้แล้ว ต่อวัสดุประสาน	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	7	14	21	28
0.00	2.04	2.06	2.07	2.07
0.05	2.11	2.11	2.10	2.04
0.10	2.07	2.04	2.04	2.01
0.15	1.96	1.95	1.98	1.99



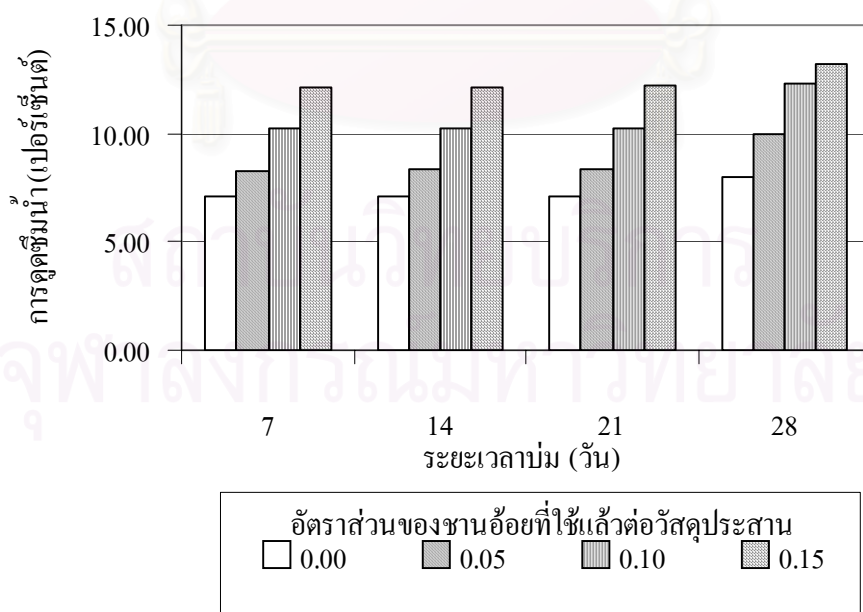
รูปที่ 4.12 ค่าความหนาแน่นของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

4.4.3 การดูดซึมน้ำ

จากตารางที่ 4.10 และรูปที่ 4.13 แสดงเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ พบว่า เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่ม เนื่องจากก้อนคอนกรีตมีความต้องการน้ำ เพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน จึงทำให้ก้อน คอนกรีตดูดซึมน้ำมากได้มากขึ้น

ตารางที่ 4.10 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

อัตราส่วนขานอ้อยที่ใช้แล้ว ต่อวัสดุประสาน	การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	7	14	21	28
0.00	7.11	7.10	7.07	7.98
0.05	8.27	8.31	8.32	10.00
0.10	10.26	10.24	10.20	12.33
0.15	12.12	12.16	12.18	13.24



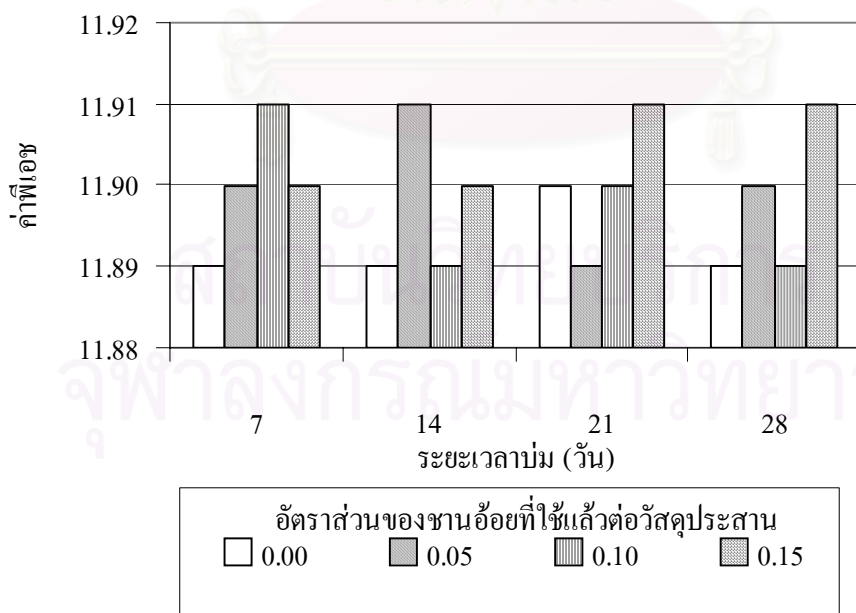
รูปที่ 4.13 เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

4.4.4 ค่าพีเอช

จากตารางที่ 4.11 และรูปที่ 4.14 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ ที่ผ่านการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) พบว่า น้ำชะละลายที่ได้มีค่า พีเอชของมีค่าอยู่ในช่วง 11.89-11.91

ตารางที่ 4.11 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

อัตราส่วนขานอ้อยที่ใช้แล้ว ต่อวัสดุประสาน	ค่าพีเอช			
	ระยะเวลาบ่ม (วัน)			
	7	14	21	28
0.00	11.89	11.91	11.90	11.90
0.05	11.90	11.91	11.89	11.90
0.10	11.91	11.89	11.90	11.89
0.15	11.90	11.90	11.91	11.91



รูปที่ 4.14 ค่าพีเอชของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

4.4.5 ค่าสี

จากการตรวจค่าสีของก้อนซีเมนต์ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ ที่ผ่านการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540) ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร พบว่า น้ำชะละลายของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและชานอ้อยที่ใช้แล้วก่อนการทำคอนกรีตมีค่าสีเท่ากับ 19.157 และ 11.824 เอสยู ตามลำดับ แต่เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาทำคอนกรีตแล้ว พบว่า น้ำชะละลายที่ได้มีลักษณะใส เช่นเดียวกับที่แสดงในรูปที่ 4.10 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ระบุให้สีของน้ำชะละลายของของเสียที่ผ่านกระบวนการทำให้เป็นก้อน ที่ได้ต้องไม่มีลักษณะสีที่พึงรังเกียจ

4.5 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

อัตราส่วนและระยะเวลาบ่มที่เหมาะสมที่ได้จากการหล่อก้อนคอนกรีตขนาด 5 x 5 x 5 เซนติเมตร จากการทดลองตามหัวข้อที่ 4.4 คือ อัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน 0.15 ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน เนื่องจากให้ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักสูงกว่า 7 เมกะปาสคาล (มอก. 57-2530) นำอัตราส่วนดังกล่าวมาหล่อเป็นคอนกรีตปูผนังรับน้ำหนักขนาด 39 x 19 x 7 เซนติเมตร ดังรูปที่ 4.15 โดยทำการหล่อคอนกรีตปูผนังรับน้ำหนัก 3 ก้อน ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสารแอนทราควิโนนซึ่งปนเปื้อนในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว การถูกชะล้างของสี และค่าพีเอช



รูปที่ 4.15 คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

4.5.1 การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15 เปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว แสดงดังตารางที่ 4.12 พบว่า คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15 มีค่ากำลังรับแรงอัด 7.24 ± 0.0029 เมกะปาสคาล ซึ่งสูงกว่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก (7 เมกะปาสคาล) ส่วนค่าความหนาแน่นมีค่า 1.90 ± 0.1441 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และค่าการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักมีค่า 4.45 ± 0.3864 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งค่าของการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักมาตรฐานจะใช้ควบคุมความชื้น โดยค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำซึ่งจะขึ้นอยู่กับ ค่าความชื้นสัมพัทธ์รายปีเฉลี่ย และการหดตัวทางยาวของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก ในขณะที่คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว แต่ผลิตโดยใช้วัสดุผสมชนิดเดียวกันจะให้ค่ากำลังรับแรงอัด และค่าความหนาแน่นสูงกว่า

ตารางที่ 4.12 ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีอัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน 0.15 ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน

พารามิเตอร์	ค่าเฉลี่ยของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 3 ก้อน		
	คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว	คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15	มาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก
กำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)	8.27 ± 0.0164	7.24 ± 0.0029	7
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	2.13 ± 0.0043	1.90 ± 0.1441	-
การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	4.35 ± 0.0218	4.45 ± 0.3864	35

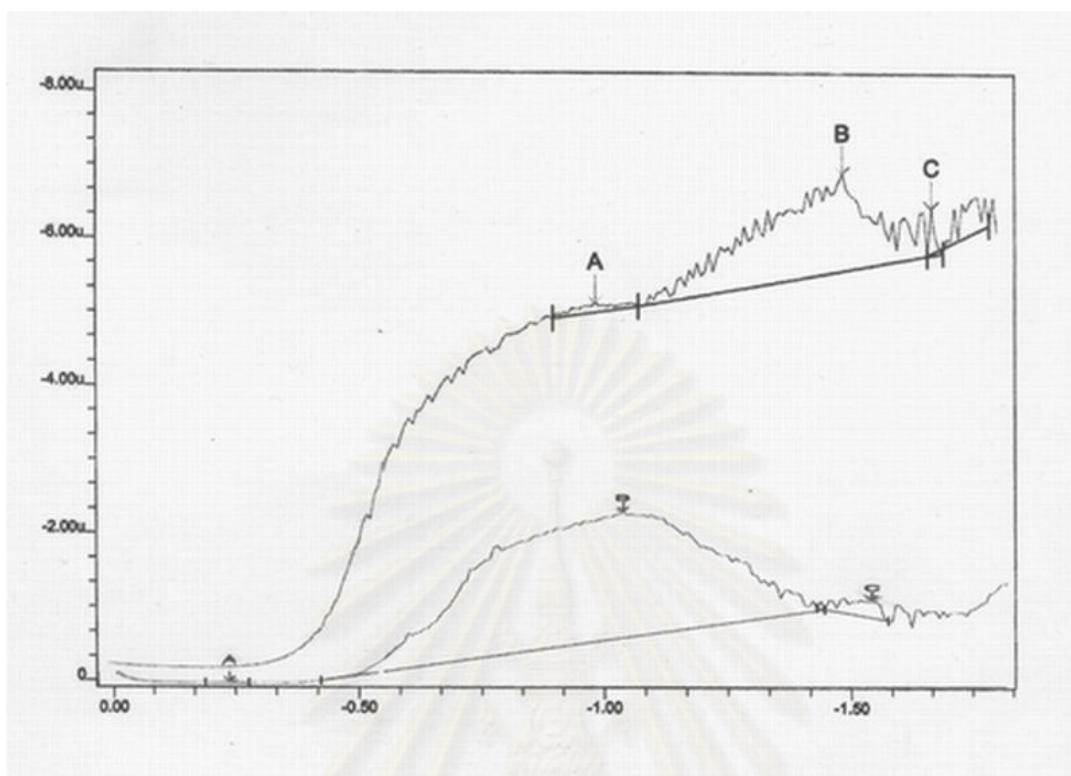
หมายเหตุ : - หมายถึงไม่ได้มีการกำหนดค่ามาตรฐาน

4.5.2 ศึกษาประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสารแอนทราควิโนนซึ่งปนเปื้อนใน ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

จากผลวิเคราะห์ประสิทธิภาพลดการชะละลายสารแอนทราควิโนนด้วยเมธานอลใน ตัวอย่าง หลังจากผ่านการทำก้อนแข็งแล้ว โดยประเสริฐ (2541) และ ไททิพย์ (2542) พบว่า ประสิทธิภาพลดการชะละลายสารแอนทราควิโนนที่มีค่าอยู่ในช่วง 50 - 60 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากสารอินทรีย์ดังกล่าวไม่สามารถละลายได้ในน้ำ ประกอบกับสารแอนทราควิโนนไม่จัดเป็นสารอันตรายตามรายชื่อในประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ. ศ. 2540) จึงสามารถกล่าวได้ว่าผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตได้นั้นสามารถใช้เป็นวัสดุสำหรับปูพื้นได้จริง นอกจากนี้ผลการวิเคราะห์สารแอนทราควิโนนในงานวิจัยนี้ พบว่า ผลการทดสอบการชะละลาย แอนทราควิโนนโดยใช้วิธีสกัดตามประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรมไม่พบว่ามีปริมาณของสาร แอนทราควิโนนถูกชะละลายออกมา ทั้งจากตัวอย่างที่ชะละลายของเสียโดยตรง และตัวอย่างของเสียภายหลังทำคอนกรีตบล็อกแล้ว ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากแอนทราควิโนนเป็นสารประเภทไม่มีขั้ว จึงไม่ละลายในน้ำสกัด (กรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) กรดไนตริก (HNO_3) และ น้ำกลั่น) ซึ่งเป็นสารประเภทมีขั้ว จากการทดลองจึงไม่สามารถตรวจพบสารแอนทราควิโนนที่ถูกชะละลายออกมาดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า วิธีการทดสอบการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ. ศ. 2540) ไม่สามารถชะละลายสารแอนทราควิโนนได้

เมื่อนำมาทดสอบการชะละลายสารแอนทราควิโนนด้วยเครื่องโพลาริกราฟที่แสดงวิธีการวิเคราะห์ในภาคผนวก จ โดยใช้เมธานอลเป็นตัวสกัด พบว่า สารแอนทราควิโนนในน้ำ ชะละลายของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักก่อนและหลัง มีความแตกต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 4.16 และในตารางที่ 4.13 แต่ในการทดลองนี้สามารถบอกได้อย่างคร่าว ๆ ว่า สารแอนทราควิโนนในคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักมีค่าน้อยกว่าสารแอนทราควิโนนในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.16 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (ก) ก่อนทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก และ (ข) หลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

ตารางที่ 4.13 ค่ากระแสไฟฟ้า(แอมแปร์) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ก่อนและหลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

องค์ประกอบ	ก่อนทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก		หลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก	
	ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)	ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)	ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)
A	-0.984	-131.2	-0.230	-2.428
B	-1.484	-1.329	-1.024	-1.497
C	-1.666	-616.4	-1.516	-191.9

4.5.3 ศึกษาประสิทธิภาพในการถูกชะล้างของสี และพีเอช

การทดสอบการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 โดยใช้น้ำกลั่นที่ปรับค่าพีเอชเป็น 5 พบว่า ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ที่มีช่วงความยาวคลื่น 400 ถึง 700 นาโนเมตร พบว่า น้ำชะละลายของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วและซานอ้อยที่ใช้แล้วก่อนการทำคอนกรีตมีค่าสีเท่ากับ 19.157

และ 11.824 เอสยู ตามลำดับ แต่เมื่อนำวัสดุดังกล่าวมาทำคอนกรีตแล้ว พบว่า น้ำชะละลายที่ได้มีลักษณะใส เช่นเดียวกับที่แสดงในรูปที่ 4.11 ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐานกรมโรงงานอุตสาหกรรมที่ระบุสีของน้ำชะละลาย ที่ได้ต้องมีลักษณะไม่พึงรังเกียจ และค่าพีเอชของน้ำชะละลายของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักมีค่าอยู่ในช่วง 11.90-11.92

4.6 ประมาณค่าใช้จ่ายในการนำซิลิกา-อะลูมินาและขานอ้อยที่ใช้แล้วมาผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

สำหรับในงานวิจัยนี้ การคิดราคาค่าใช้จ่ายของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักขนาด 39 x 19 x 7 เซนติเมตร จะรวมค่าใช้จ่ายที่ใช้สำหรับการเตรียมวัสดุในระดับห้องปฏิบัติการ ดังแสดงในตารางที่ 4.14 ในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก ให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2530) คือ 7 เมกะปาสคาล มีสัดส่วนดังนี้ คือ อัตราส่วนขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน 0.15 ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน โดยใช้อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : ทราช : หินเกล็ด เท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50

ตารางที่ 4.14 ราคาสวัสดุเพื่อประเมินค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 1 ก้อน (เดือน ตุลาคม พ.ศ 2546)

วัสดุ	ราคา (บาทต่อหน่วย)	ราคา (บาทต่อกิโลกรัม)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	2,312.00 บาทต่อตัน	2.312
ทราชละเอียด	240.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร	0.091
หินเกล็ดเบอร์ 4	277.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร	0.103
น้ำ	13 บาทต่อลูกบาศก์เมตร	0.013
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	-	-
ขานอ้อยที่ใช้แล้ว	-	-

ในตารางที่ 4.15 แสดงค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 1 ก้อน พบว่า ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและขานอ้อยที่ใช้แล้วมีค่าเท่ากับ 4.22 บาท ส่วนต้นทุนในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและขานอ้อยที่ใช้แล้วมีค่าเท่ากับ 2.82 บาท ในการเติมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และขานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15 ในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 1 ก้อนจะช่วยลดปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราช และหินเกล็ด อย่างละ 66.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

ตารางที่ 4.15 ราคาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักต่อก้อน

วัสดุ	คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินา และชานอ้อยที่ใช้แล้ว		คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15	
	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	1.50	3.48	1.00	2.31
ซิลิกา-อะลูมินา	-	0	0.25	0
ชานอ้อย	-	0	0.15	0
ทราย	3.0	0.27	2.00	0.18
หินเกล็ด	4.50	0.46	3.00	0.31
น้ำ	0.87	0.01	1.30	0.02
รวมราคา (บาท)	-	4.22	-	2.82

ในการกำจัดซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 1 ตัน โดยการทำเป็นคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักจะสามารถผลิตได้ 4,000 ก้อน ค่าใช้จ่ายในการบำบัด 11,279.6 บาทต่อตันซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วซึ่งมีค่าต้นทุนต่อก้อน เท่ากับ 2.82 บาท สำหรับราคาคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักขนาด 39 x 19 x 7 เซนติเมตรที่ขายในท้องตลาดมีราคาต่อก้อนละ 4.50 บาท ดังนั้น มูลค่าของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตมีค่า เท่ากับ 18,000 บาทต่อตันซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในขณะที่การบำบัดซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 1 ตัน โดยวิธีฝังกลบของบริษัท เจนโก้ จะมีค่าใช้จ่าย 2,713 บาทต่อตัน ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว คูราค่าบำบัดของเจนโก้ในภาคผนวก จ แทนที่จะส่งให้บริษัท เจนโก้ กำจัด หากมีการผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักจะได้ค่าตอบแทนประมาณ 6,720.4 บาทต่อตันซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาแนวทางในการประยุกต์การนำซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วคือ ควอร์เทอร์ไนซ์โครสสังเคราะห์ชานอ้อยที่ดูดซับสี มาโซล แบล็ค บี ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกำจัดสีรีแอกทีฟ ริมาโซล แบล็ค บี ที่ความเข้มข้นของสีย้อม 100 มิลลิกรัมต่อลิตร คิดเป็นร้อยละ 99.83 โดยการทดลองแบบเบดซ์ มาใช้ประโยชน์ในการผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก ร่วมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 หินเกล็ด และทราย โดยจากผลการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

1. ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.93 ซึ่งต่ำกว่าปูนซีเมนต์ (3.15) และมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 25.33 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับ 37 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และสารอินทรีย์ในวัสดุจะทำให้ความถ่วงจำเพาะมีค่าลดลง

2. อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก ให้ได้ค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2530) คือ 7 เมกะปาสคาล มีสัดส่วนดังนี้ คือ อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : ทราย : หินเกล็ด เท่ากับ 1 : 2 : 3 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนของซิลิกา-อะลูมินาต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.25 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.50 พบว่า ที่อัตราส่วนชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน 0.15 ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน จะให้ค่ากำลังรับแรงอัด 7.24 เมกะปาสคาล มีค่าความหนาแน่น 1.90 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และมีค่าการดูดซึมน้ำ 4.45 เปอร์เซ็นต์

3. ผลการทดสอบการชะละลายตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 พบว่า น้ำชะละลายไม่ปรากฏสีของสารแอนทราควิโนนและสีรีแอกทีฟ ริมาโซล แบล็ค บี ที่มีอยู่ในชานอ้อย และค่าพีเอชของน้ำชะละลายของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก มีค่าอยู่ในช่วง 11.86 ถึง 11.93

4. ผลการทดสอบการชะละลายสารแอนทราควิโนนด้วยเครื่องโพลารोगราฟี่ โดยใช้เมทธานอลเป็นตัวสกัด พบว่า สารแอนทราควิโนนในคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักมีค่าน้อยกว่าสารแอนทราควิโนนในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

5. ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักขนาด 39 x 19 x 7 เซนติเมตร 1 ก้อน เท่ากับ 4.22 บาท เมื่อไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและ ชานอ้อยที่ใช้แล้ว และมีค่าเท่ากับ 2.82 บาท เมื่อมีส่วนผสมซิลิกา-อะลูมินาและ ชานอ้อยที่ใช้แล้ว

6. ในการเติมซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15 ในการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 1 ก้อนจะช่วยลดปริมาณของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ทราย และหินเกล็ด อย่างละ 66.67 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก

5.2 สรุปข้อดีและข้อเสียของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตได้

1. คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตได้ (น้ำหนัก 6.7 กิโลกรัมต่อก้อน) มีน้ำหนักเบา กว่าคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีขายตามท้องตลาด (น้ำหนัก 7.5 กิโลกรัมต่อก้อน) ประมาณ 800 กรัมต่อก้อน

2. คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตได้ (2.82 บาทต่อคอนกรีตบล็อกปูผนังรับ น้ำหนัก 6.7 กิโลกรัม) มีราคาในการผลิตต่ำกว่าคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีขายตาม ท้องตลาด (4.50 บาทต่อคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 7.5 กิโลกรัม)

3. เป็นการนำของเสียจากอุตสาหกรรม ได้แก่ ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว และวัสดุเหลือทิ้ง ทางการเกษตรที่ผ่านการกำจัดได้ ได้แก่ ควอร์เทอร์ไนซ์ครอสต์ลิ่งค์ชานอ้อยที่ผ่านการดูดซับสี ริมาโซล แบล็ค บี (ชานอ้อยที่ใช้แล้ว) มาเป็นวัตถุดิบที่ซีเมนต์ในการผลิตคอนกรีตบล็อก

บทที่ 6

ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

6.1 ประโยชน์ในทางประยุกต์ใช้

จากผลการวิจัย พบว่า คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักขนาด 39 x 19 x 7 เซนติเมตร ที่ผลิตขึ้นมา สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการก่อสร้างได้ ซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงอัดผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2530) คือ 7 เมกะปาสกาล

6.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยเพิ่มเติม

จากการทำวิจัยในครั้งนี้ พบว่ายังมีหัวข้อที่ควรศึกษาเพิ่มเติมต่อไป ดังนี้

1. จากผลการวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี จะเห็นได้ว่า ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วมีส่วนประกอบของโซเดียมเปอร์ออกไซด์ ในสัดส่วนค่อนข้างสูง (ประมาณ 11.78 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) เมื่อเปรียบเทียบกับข้อกำหนดตามมาตรฐาน ASTM C618-96 ที่กำหนดให้มีไม่มากกว่า 1.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จึงควรระมัดระวังในการใช้ร่วมกับวัสดุผสมบางชนิดที่สามารถทำปฏิกิริยากับสารประกอบอัลคาไล ซึ่งทำให้เกิดการขยายตัวให้คอนกรีตแตกร้าวเสียหายได้

2. เนื่องจากงานวิจัยดำเนินการในระดับห้องปฏิบัติการซึ่งมีข้อจำกัดค่อนข้างมาก และมีความแตกต่างกับการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ดังนั้นผลิตภัณฑ์ควรมีการพัฒนาผลการวิจัยเพื่อเชื่อมโยงการผลิตไปสู่ระดับอุตสาหกรรมให้ได้ ยกตัวอย่างเช่น เครื่องมือในการขึ้นรูปในระดับโรงงานใช้เครื่องจักรที่มีกำลังสูง ทำให้คอนกรีตสามารถอัดได้แน่น โดยไม่จำเป็นต้องใช้น้ำในปริมาณมาก จึงสามารถเติมวัสดุผสมได้เพิ่มขึ้น ราคาถูกลงและค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้น

3. เนื่องจากคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตได้ (น้ำหนัก 6.7 กิโลกรัมต่อก้อน) มีน้ำหนักเบากว่าคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีขายตามท้องตลาด (น้ำหนัก 7.5 กิโลกรัมต่อก้อน) ประมาณ 800 กรัมต่อก้อน ดังนั้นควรมีการศึกษาถึงความแข็งแรงของโครงสร้างเมื่อนำไปใช้งานจริง

4. ควรมีการศึกษาถึงอิทธิพลของประเภทปูนซีเมนต์ที่มีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตได้

5. ศึกษาผลของขนาดขานอ้อยที่ใช้แล้วที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก เช่น ค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น และค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

6. ศึกษาถึงประสิทธิภาพการชะละลายของสีแต่ละชนิด เช่น สีรีแอกทีฟ (โทนสีแดง และ น้ำเงิน) สีไดเรกต์ (โทนสีแดง น้ำเงิน และ ดำ) ในชานอ้อยที่ใช้แล้ว หลังผ่านการทำคอนกรีตบล็อก ปูผนังรับน้ำหนัก



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- กาญจนา ต่วนเทศ. 2542. การเปรียบเทียบการทำเสถียรตะกอนที่มีนิกเกิลด้วยปูนขาว และการทำให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนขาวผสมเถ้าลอยลิกไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- กฤษณ์ จารุทะวีย์. 2545. การใช้เถ้าลอยเส้นใยปาล์มและเถ้าลอยขานอ้อยแทนที่ซีเมนต์บางส่วน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- จิรภรณ์ อารยเมธาเลิศ. 2542. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์เทอร์ในซ์ครอสลิงค์เซลลูโลสที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชวลิต นิตยะ. 2524. การผลิตและการใช้คอนกรีตบล็อกสำหรับสร้างผนัง. โครงการอบรมทางวิชาการภาคฤดูร้อน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ชัชวาลย์ เศรษฐบุตร. 2539. คอนกรีตเทค โน โลยี. พิมพ์ครั้งที่ 4. กรุงเทพมหานคร: คอนกรีตผสมเสร็จจีซีแพค.
- ณัฐพล เกตุเหล็ก, ทรายพงษ์ พากเพียร และ วีระศักดิ์ มะขามป้อม. 2544. การศึกษาบล็อกรูปพื้นคอนกรีตผสมเส้นใยมะพร้าว. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาก่อสร้างและงานไม้ (เทคโนโลยีโยธา) คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- ณัฐพล แสนสวาท, นิคม คุณัสกุล, ปกรณ์ จารุตระกูลชัย และ ปิติ ปิยะจตุวัฒน์. 2544. การกำจัดสีย้อมโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร (เปลือกถั่วเหลืองและขานอ้อย) เปรียบเทียบกับแอคทีเวเตดคาร์บอน. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เทพฤทธิ์ ปิติฤทธิ์. 2544. การกำจัดสีย้อมรีแอคทีฟในสารละลายสีย้อมโดยการดูดซับด้วยซิลิกาอะลูมินาที่ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- นฤกษ์ แสงเงิน และ ฤทธิชัย ดิงชนาธิกุล. 2537. การกำจัดโลหะด้วยวิธีทำแข็งโดยใช้เถ้าลอยลิกไนต์และปูนซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- นฤมิตร คินิมาน. 2540. การทำตะกอนโลหะหนักจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียซีโอดีให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- ประณต กุลประสูตร. 2541. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง.
- ประเสริฐ งานเลิศประเสริฐ. 2541. การใช้ของเสียซีลิกา-อลูมินาในการทำตะกอนโปรทซ์ไฟด์ ให้เป็นก้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปราณี สติรพิพัฒน์กุล. 2537. การผลิตอาซิโตน-บิวทานอลจากผักตบชวาที่ถูกย่อยสลายด้วย เอนไซม์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ปรีชา เกียรติกระกาย. 2532. การใช้ประโยชน์จากขานอ้อย. วารสารน้ำตาล ฉบับที่ 2 ปีที่ 5.
- เปรมฤดี กาญจนปิยะ. 2545. การศึกษาการผลิตปูนซีเมนต์อลูมินาสูงจากซีลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพชรพร เขาวกิจเจริญ, นิธิรัชต์ สงวนเดือน, เบญจพร บุญชยา, ปรีตดา โรจน์วิรุฬห์ และ กิตติพงษ์ พงษ์กิตติหล้า. 2545. ประสิทธิภาพในการกำจัดนิกเกิลโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออน ที่เตรียมจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. การประชุมเสนอผลงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ของประเทศไทย ครั้งที่ 3. 18-19 กรกฎาคม 2545 ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา: 435-436.
- เพชรพงศ์ ชื่นศิริ และแสวงสิน เกตุโตประการ. 2540. การนำกากตะกอนของสีน้ำทาบ้านมาเป็น ส่วนผสมในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น. วิทยานิพนธ์ ภาควิชาเคมีอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.
- พิภพ สุนทรสมัย. 2530. วัสดุวิศวกรรมการก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร: โครงการ สนับสนุนเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น).
- รักษพล ชูชาติ. 2538. การทำเสถียรตะกอนจาโรไซต์โดยการทำให้เป็นก้อน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ลัดดา ยาวีรพันธ์. 2544. การกำจัดสีโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนชนิดควอเตอร์นารีในซึโครอสส์ลิงค์ เซลลูโลสที่ทำจากขานอ้อย ผักตบชวา และเส้นใยลูกปาล์ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ไฉติพย์ อภิธรรมวิริยะ. 2542. การนำซีลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วมาใช้ประโยชน์ในการทำวัสดุปูพื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาดุษฎีบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

- วินิต ช่อวิเชียร. 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สัมพันธ์พาณิชย์.
- สุจิตรา กันยาวิลาศ. 2545. การทำตะกอนนิกเกิลไฮดรอกไซด์ให้เป็นก้อนด้วยการใช้ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ปูนขาว และปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- หฤษฎ์ รัตนันท์. 2546. การนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วไปใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ห้างหุ้นส่วนจำกัดวงกลม. วงกลมบล็อก [แผ่นพับ]. 24 หมู่ 15 ถ.พหลโยธิน ต.หัวขบวน อ.เมือง จ.สระบุรี.
- อนุวัฒน์ ปูนพันธ์ฉาย. 2539. การทำตะกอนโลหะหนักซัลไฟด์ให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์เป็นวัสดุประสาน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุดม หงษ์ประธานพร. 2533. การพัฒนากำลังของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมซีเถ้าลอย และซีเถ้าแกลบ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารศึกษาศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2540. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 6. การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2544. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 1462. กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2544. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 1462. กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2531. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 57-2530). กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2531. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกรับน้ำหนัก (มอก. 58-2530). กระทรวงอุตสาหกรรม.
- อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2531. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน (มอก. 849-2532). กระทรวงอุตสาหกรรม.

ภาษาอังกฤษ

- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for concrete aggregates. C33-93. Annual book of ASTM standard vol. 04.02 section 4: 10-16.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or 50-mm cube specimens). C109/C109M-95. Annual book of ASTM standard vol. 04.01 section 4: 69-73.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. C127-88. Annual book of ASTM standard vol. 04.02 section 4: 47-68.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. C136-95a. Annual book of ASTM standard vol. 04.02 section 4: 78-82.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate. C128-93. Annual book of ASTM standard vol. 04.02 section 4: 69-73.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for Portland cement. C150-95a. Annual book of ASTM standard vol. 04.01 section 4: 130-134.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test methods of sampling and testing concrete masonry units. C140-96. Annual book of ASTM standard vol. 04.05 section 4: 91-98.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for coal fly ash or calcined natural pozzolan for use as a mineral admixture in concrete. C618-96. Annual book of ASTM standard vol. 04.02 section 4: 184-190.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for solid concrete interlocking paving units. C936-82. Annual book of ASTM standard vol. 04.05 section 4: 596-597.
- Beretka, J., Cioffi, R., Marrocoli, M., and Valenti, G. 1996. Energy saving cements obtained from chemical gypsum and other industrial Wastes. Waste Management vol 16: 231-235.
- Bilba, K., Arsene, M. A., and Ouensanga, A. 2003. Sugar cane bagasse fibre reinforced cement composites. Part I. Influence of the botanical components of bagasse on the setting of bagasse/cement composite. Cement and Concrete Composites vol. 25: 91-96.
- Brow, L. B. 1977. Chemistry The Central Science. Seventh edition. Prentice-Hall Inc.

- Damanhuri, E., Munaf, D. R., and Djamal, A. 2000. Heavy metals fixation of ash waste from a steel industry into cement concrete and its utilization as building materials [online]. Available from: <http://www.pbchw.com.ph/conferences/2000philippines.html> [2003, April 8]
- Isaia, G. C., Gastaldini, A. L. G., and Moraes, R. 2003. Physical and pozzolanic action of mineral additions on the mechanical strength of high-performance concrete. Cement and Concrete Composites vol. 25: 69-76.
- Jaskot, R. H., and Costa, D. L. 1994. Toxicity of anthraquinone violet dye mixture following inhalation exposure intratracheal intilladtion or gavage. Fundamental and Applied Toxicology vol 22 no. 1: 1.3-112.
- Koe, L. C. C., Hills, C. D., Sollars, C., and Perry, R. J. 2000. Hydration reaction during the solidification/stabilization of toxic wastes [online]. Available from: <http://www.pbchw.com.ph/conferences/2000philippines.html> [2003, April 8]
- LaGrega, M. D., Buckingham, P. L., and Evans, J. C. 1994. Hazardous Waste Management . 2nd ed. Singapore: McGraw-Hill book.
- Laszlo, J. A. 1995. Electrolyte effects on hydrolyzed reactive dye binding to quaternized cellulose. Textile Chemist and Colorist vol. 27 no. 4: 25-27.
- Laszlo, J.A. 1996. Preparing an ion exchange resin from sugarcane bagasse to remove reactive dye from wastewater. Textile Chemist and Colorist vol. 28 no. 5: 13-17.
- Laszlo, J. A., and Dintzis, F. R. 1994. Crop residues as ion-exchange materials: Treatment of soybean hull and sugar beet fiber (pulp) with epichlorohydrin to improve cation-exchanger capacity and physical stability. Journal of Applied Polymer vol. 52: 531-538.
- Lea, F. M. 1970. The chemistry of cement and concrete. 3rd ed. New York: Chemical publishing.
- Medjo, R. E., and Riskowski, G.L. 1999. A procedure for processing mixtures of soil cement and sugar cane bagasse. Agricultural Engineering International vol. 3:1-11.
- Michael, A. J., Chet, A. C., Joseph, C. F., Grant, E. H., Patrick, L. L., and April, A. L. 1998. Solidification stabilization of lead with the aid of bagasse as an additive to Portland cement. Microchemical Journal vol. 65: 255-259.
- Peralta, G. L., Ballesteros, F. C., and Cepeda, M. L. 2000. Treatment and disposal of heavy metal waste using cementitious solidification [online]. Available from: <http://www.pbchw.com.ph/conferences/2000philippines.html> [2003, April 8]

- Rangnekar, D. W., and Singh, P. P. 1980. An introduction to synthetic dyes. Dhanrai: Himalaya Publishing House.
- Shannag, M. J., and Yeginobali, A. 1995 Properties of pastes, mortars and concretes containing natural pozzolan. Cement and Concrete Research vol. 25 no. 3: 647-657.
- Shin, H. S. and Sujiwattana, P. 1988. Factors affecting solidification of hazardous wastes materials. Hazardous waste: detection, control, treatment. (n. p.): 1549-1560.
- Shore, J. 1995. Dyeing with reactive dyes cellulose dyeing. Manchester, UK : The Alden Press, Oxford.
- Singh, N. B., Singh, V.D., and Sarita, R. 2000. Hydration of bagasse ash-blended portland cement. Cement and Concrete Research Vol. 30: 1485-1488.
- Winslow, D., Bukowski, J. and Young, J. F. 1995. The Early Evolution of the Surface of Hydrating Portland Cement. Cement and Concrete Research Vol. 30 no. 6: 1025-1032.
- Zhang, M. H., and Malhotra, V. M. 1995. Characteristic of a thermally activated alumino-silicate pozzolanic material and its use in concrete. Cement and Concrete Research vol. 25 no.8: 1713-1715.

บรรณานุกรม

ภาษาไทย

- กาญจนา ครองธรรมชาติ. 2536. การกำจัดสีของน้ำเสียจากน้ำข้อมผ้าโดยกระบวนการตกตะกอนทางเคมีด้วยสารโพอลิอูมิเนียมคลอไรด์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เกรียงสิน เต็มสุนทร. 2536. การปรับปรุงระบบบำบัดน้ำเสียของโรงงานพิมพ์ผ้า. โครงการระดับปริญญาบัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ. 2537. การกำจัดโลหะหนักโดยใช้เรซินแลกเปลี่ยนไอออนที่ทำจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตร. รายงานผลการวิจัยทุนรัชดาภิเษกสมโภช ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- เพ็ชรพร เขาวกิจเจริญ. 2541. การทำตะกอนโลหะหนักให้เป็นก้อนโดยใช้ปูนซีเมนต์และถ้ำลอยลิกไนต์. รายงานผลการวิจัยทุนรัชดาภิเษกสมโภช ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- โรงงานอุตสาหกรรม, กรม. 2531. ประกาศกรมโรงงานอุตสาหกรรม. ฉบับที่ 1. กำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์ กำจัด ฝัง ทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.

ภาษาอังกฤษ

- American concrete institute. 1992 (March - April). Hydration and carbonation of pozzolanic cement. Technical paper. ACI materials journal vol. 89 no. 2: 119-130.
- American concrete institute. 1994 (July - August). Proposed report: use of natural pozzolans in concrete. ACI 232.1R. ACI materials journal vol. 91 no. 4: 410-426.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for density of hydraulic cement. C188-95. Annual book of ASTM standard vol. 04.01 section 4: 158-159.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for fineness of hydraulic cement by air permeability apparatus. C204-96. Annual book of ASTM standard vol. 04.01 section 4: 163-169.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for flow table for use in tests of hydraulic cement. C230-90. Annual book of ASTM standard vol. 04.01 section 4: 180-184.
- American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for standard sand. C778-92a. Annual book of ASTM standard vol. 04.01 section 4: 337-339.

- Aggarwal, L.K. 1995. Bagasse-reinforced cement composites. Cement and Concrete Composites Vol. 17: 107-112.
- Ayensu, A. 2000. Interfacial debonding of natural-fibre reinforced composites. Science Vision Vol. 6 no. 1: 25-34.
- Aziz, M. A., Paramasivam, P. and Lee, S. L. 1981. Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction. The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete Vol. 3 no. 2: 123-132.
- Cook, D. J., Pama, R. P., and Weerasingle, H. L. S. D. 1978. Coir fibre reinforced cement as a low cost roofing material. Building and Environment Vol. 13: 193-198.
- Hernandez, J. F. M., Middendorf, B., Gehrke, M. and Budelmann, H. 1998. Use of wastes of the sugar industry as pozzolana in lime-pozzolana binders: study of the reaction. Cement and Concrete Research Vol. 28 no.11: 1525–1536.
- Minocha, A. K., Jain, N., and Verma, C. L. 2003. Effect of inorganic materials on the solidification of heavy metal sludge. Cement and Concrete Research Vol. 33: 1695–1701.
- Park, C. K. 2000. Hydration and solidification of hazardous wastes containing heavy metals. Cement and Concrete Research Vol. 30: 429-435.
- Poon, C. S., Qiao, X. C., and Lin, Z. S. 2003. Pozzolanic properties of reject fly ash in blended cement pastes. Cement and Concrete Research Vol. 33: 1857–1865.
- Stephens, D. 1994. Natural fibre reinforced concrete blocks. 20th WEDC Conference Affordable water supply and sanitation. University of Durban-Westville, South Africa.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก
วิธีทดลองโดยละเอียด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.1 การหาค่าการดูดซึมน้ำของหินเกล็ด (พฤษภาคม, 2546)

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C127-88 (1996)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใช้วัสดุประมาณ 5 กิโลกรัม ล้างให้สะอาดด้วยน้ำเพื่อกำจัดเศษฝุ่นที่ติดตามผิววัสดุ จากนั้นอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส แล้วทำให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลาประมาณ 1-3 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำวัสดุทั้งหมดแช่ในน้ำเป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง
2. เมื่อนำวัสดุออกจากน้ำแล้ว เกลี่ยตัวอย่างวัสดุลงบนผ้าที่ซับน้ำได้ดี สังเกตกระทั่งแผ่นฟิล์มของน้ำที่เคลือบผิวหินเกล็ดหายไป ซึ่งถือเป็นวัสดุที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้ง
3. ชั่งน้ำหนักของวัสดุที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้งและอบแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส
4. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุ

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} \\ (\% \text{ Absorption}) &= [(S-A) / A] \times 100 \end{aligned}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง (Oven dry weight)

S = น้ำหนักของวัสดุที่สถานะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry weight)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.2 การหาค่าการดูดซึมน้ำของทรายและซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว (พฤษภาคม, 2546)

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C128-93 (1996)

ขั้นตอนการทดลอง

1. ใส่วัสดุน้ำหนักประมาณ 1 กิโลกรัม ในถาดขนาดพอเหมาะ เทน้ำให้ท่วมวัสดุเล็กน้อย ทิ้งไว้ให้วัสดุดูดซึมน้ำเป็นเวลา 24 ± 4 ชั่วโมง
2. เคลี่ยตัวอย่างวัสดุให้ทั่วถาด ทิ้งไว้กลางแจ้งที่มีลมพัดและกวนตัวอย่างเป็นระยะๆ เพื่อให้แห้งทั่วกันจนกระทั่งตัวอย่างวัสดุเริ่มไหลได้อย่างอิสระ (Free flow)
3. เทตัวอย่างใส่แบบหล่อกรวยมาตรฐานขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางบน 40 ± 3 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลางล่าง 90 ± 3 มิลลิเมตร และสูง 75 ± 3 มิลลิเมตร แล้วกระทุ้งเบาๆ ที่ผิวหน้า
4. ดึงแบบหล่อออกในแนวตั้ง ถ้าวัสดุยังคงรูปกรวยอยู่แสดงว่ายังมีความชื้นอยู่ที่ผิว นำไปไว้ในที่กลางแจ้งอีกครั้งและกวนเป็นระยะๆ
5. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 และ 4 จนกว่าเมื่อยกแบบหล่อกรวยออกตัวอย่างวัสดุยุบตัวหรือล้น (ถือว่าวัสดุในขณะนี้อยู่ในสภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง)
6. ชั่งน้ำหนักของวัสดุที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้งและอบแห้ง
7. คำนวณหาเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของวัสดุ

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} &= [(S-A) / A] \times 100 \\ (\% \text{ Absorption}) \end{aligned}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของวัสดุอบแห้ง (Oven dry weight)

S = น้ำหนักของวัสดุที่สภาวะอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated surface dry weight)

ภาคผนวก ก.3 การทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด (พฤษภาคม, 2546)

อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM C109/C109M-95 (1996)

ขั้นตอนการทดลอง

การเตรียมแบบหล่อตัวอย่าง

1. ทาน้ำมันบางๆ ที่ผิวด้านในของแบบหล่อกับฐาน
2. ทาน้ำมันชนิดข้นหรือจารบีระหว่างตัวแบบหล่อกับฐาน
3. เช็ดน้ำมันส่วนเกินออกจากแบบหล่อ
4. ใช้จารบีทารอยต่อระหว่างแบบหล่อกับฐานที่ด้านบน

การหล่อก้อนตัวอย่าง

1. หล่อก้อนตัวอย่างโดยใช้ขนาดแบบหล่อ 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์ เซนติเมตร โดยใช้วัสดุที่ใช้ตามอัตราส่วนที่ต้องการทดสอบ โดยให้ได้ปริมาณ 3 ตัวอย่างในแต่ละการผสม
2. การผสมใช้วิธีการผสมด้วยเครื่องผสม โดยผสมส่วนผสมทั้งหมดเข้าด้วยกัน เมื่อเข้ากันดีแล้ว เติมน้ำลงผสมและทิ้งให้ซึมตัวด้วยน้ำ 30 วินาที เริ่มผสมให้เข้ากันในเวลา 1 นาที 30 วินาที
3. เอาส่วนผสมลงในแบบหล่อ ภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที 30 วินาที หลังการผสมเสร็จ การหล่อจะแบ่งออกเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกหนาประมาณ 1 นิ้ว แล้วใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้งแรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลังให้แรงกระทุ้งพอประมาณ และเท่ากันตลอด ใช้เวลาประมาณ 5 วินาที เติมน้ำส่วนผสมชั้นที่ 2 ให้เล็ขอบแบบหล่อเล็กน้อย และใช้มือป้องขณะกระทุ้ง ใช้ Tamper กระทุ้ง 16 ครั้งเช่นเดียวกับครั้งแรก เมื่อเสร็จแล้วให้ใช้เกรียงปาดส่วนเกินออกในลักษณะคล้ายเลื่อย
4. หลังจากหล่อเสร็จให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันที และถอดแบบในเวลา 24 ชั่วโมง บ่มตัวอย่างต่อจนครบระยะเวลาที่กำหนด นำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยใช้เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด

การหาค่ากำลังรับแรงอัด

ให้กระทำในช่วงเวลาคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

เวลาที่ทดสอบ	ช่วงเวลาคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
1 วัน	$\pm \frac{1}{2}$ ชั่วโมง
3 วัน	± 1 ชั่วโมง
7 วัน	± 3 ชั่วโมง
28 วัน	± 12 ชั่วโมง

นำก้อนตัวอย่างที่จะทดสอบ วัดพื้นที่หน้าตัดที่จะให้แรงกด โดยใช้ด้านที่สัมผัสกับแบบหล่อ เช็ดผิวหน้าทั้ง 2 ด้าน ให้สะอาดปราศจากเม็ดทราย ผิวหน้าของเครื่องมือทั้ง 2 ด้านที่สัมผัสกับก้อนตัวอย่างจะต้องเรียบ ในการให้แรงกดกับแท่งตัวอย่าง จะต้องอยู่ในแนวศูนย์กลางของเครื่อง โดยเวลาที่ใช้ในการทดสอบควรอยู่ที่ 20 - 80 วินาที

การคำนวณ

บันทึกค่าแรงกดสูงสุดจากเครื่องกดและคำนวณในหน่วยของกิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร โดยให้คำนวณความละเอียดถึง 0.1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ กิโลปาสกาล โดยคำนวณความละเอียดถึง 10 กิโลปาสกาล

ก้อนตัวอย่างที่ไม่สมบูรณ์ในการทดสอบแต่ละครั้ง หากมีผลการทดสอบของก้อนตัวอย่างใดที่มีค่าเบี่ยงเบนเกินกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าเฉลี่ย ควรตัดผลการทดสอบนั้นออกและนำก้อนใหม่มาวัดแทน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.4 การทดสอบการชะละลายของสาร

อ้างอิงตามมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ. 2540)

ขั้นตอนการทดลอง

1. บดตัวอย่างให้เป็นผงแล้วร่อนผ่านตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 9.5 มิลลิเมตร
2. นำตัวอย่างที่ได้จากข้อ 1 หนัก 100 กรัม เติมด้วยน้ำสกัด ซึ่งประกอบด้วย น้ำกลั่นผสมสารละลายของกรดกำมะถันและกรดไนตริก (ในสัดส่วน 80 ต่อ 20 โดยน้ำหนัก) หาค่าความเป็นกรดต่าง พิเศษของส่วนผสมมีค่าคงที่เท่ากับ 5 แล้วจึงปรับปริมาตรของของผสมให้อัตราส่วนปริมาตรของน้ำสกัดเป็น 20 เท่า (มิลลิลิตร) ของน้ำหนัก (กรัม) ของตัวอย่าง
3. เขย่าบนเครื่องกวนเขย่าแบบหมุน(Rotary agitator) ที่มีอัตราหมุน 30 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 18 ชั่วโมง
4. กรองสารละลายจากการสกัดด้วยแผ่นกรองใยแก้วที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางรูกรอง 0.6 ถึง 0.8 ไมครอน
5. นำของเหลวที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณสาร

ความสามารถในการถูกชะละลาย

$$L = W_i / W_o$$

โดยที่ L = ความสามารถในการถูกชะละลาย

W_i = ปริมาณของสารในน้ำชะละลาย

W_o = ปริมาณของสารในวัสดุที่มีในก้อนตัวอย่างทั้งหมด

ประสิทธิภาพในการลดการถูกชะละลายของสาร

$$E = [(L_o - L_s) / L_o] \times 100$$

โดยที่ E = ประสิทธิภาพในการลดการชะละลายของสาร (เปอร์เซ็นต์)

L_o = ความสามารถในการถูกชะละลายของสารก่อนการทำลายฤทธิ์ (มิลลิกรัมต่อกรัม)

L_s = ความสามารถในการถูกชะละลายของสารภายหลังการทำให้เป็นก้อน (มิลลิกรัมต่อกรัม)

ภาคผนวก ก.5 การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก (ฉัฎฐพล และคณะ, 2544)

อ้างอิงตามมาตรฐาน มอก. 57-2530

ขั้นตอนการทดลอง

1. นำก้อนคอนกรีต ล้างให้สะอาดอบ 100-110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นในอากาศ นำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง นำก้อนคอนกรีตขึ้นจากน้ำ เช็ดให้แห้ง ชั่งน้ำหนัก ค่าที่ได้เป็นน้ำหนักของคอนกรีตที่จุดอิ่มน้ำ (B)
2. นำก้อนคอนกรีต อบที่อุณหภูมิ 100-110 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ประมาณ 1 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักคอนกรีตอบแห้ง (A)

การคำนวณ

$$\begin{aligned} \text{เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ} &= [(B-A) / B] \times 100 \\ (\% \text{ Absorption}) \end{aligned}$$

โดยที่ A = น้ำหนักของคอนกรีตอบแห้ง ชั่งในอากาศ (กรัม)

B = น้ำหนักของคอนกรีตที่จุดอิ่มน้ำ ชั่งในอากาศ (กรัม)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ข

ข้อมูลการทดลองการศึกษ้อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.1

ศึกษาอัตราส่วนของขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่เหมาะสมในการทำคอนกรีตบล็อก

ตารางที่ ข.1.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนของขานอ้อยที่ ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (เมกะปาสกาล)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	20.36	18.66	19.23	19.41	0.8652
0.05	17.30	18.66	17.68	17.88	0.7017
0.10	11.76	11.53	10.76	11.35	0.5237
0.15	9.41	9.99	9.23	9.54	0.3972
0.20	5.00	5.77	5.77	5.51	0.4446

หมายเหตุ : ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนัง 7 เมกะปาสกาล

ตารางที่ ข.1.2 ค่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนของขานอ้อยที่ ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	2.06	2.05	2.08	2.07	0.0153
0.05	2.03	2.05	2.05	2.04	0.0115
0.10	2.04	2.01	1.98	2.01	0.0115
0.15	1.98	2.00	2.00	1.99	0.0115
0.20	1.93	1.92	1.90	1.92	0.0153

ตารางที่ ข.1.3 ค่าการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนของขานอ้อยที่ ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	7.97	7.86	8.12	7.98	0.1305
0.05	10.26	10.35	9.61	10.00	0.3729
0.10	12.41	12.31	12.29	12.33	0.0586
0.15	13.23	14.10	12.38	13.24	0.8600
0.20	16.15	14.77	14.73	15.22	0.8085

ตารางที่ ข.1.4 ค่าพีเอชของก้อนคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน

อัตราส่วนของขานอ้อยที่ ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	พีเอช				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	11.89	11.91	11.89	11.90	0.0115
0.05	11.89	11.91	11.89	11.90	0.0115
0.10	11.91	11.88	11.89	11.89	0.0153
0.15	11.90	11.91	11.92	11.91	0.0100
0.20	11.91	11.90	11.90	11.90	0.0100



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.2

ศึกษาผลของระยะเวลาในการบ่มที่ใช้ในการหล่อก้อนคอนกรีต

ตารางที่ ข.2.1 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม

อัตราส่วนของชานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	กำลังรับแรงอัด (เมกะปาสกาล)				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	7	11.76	13.91	11.95	12.54	1.1903
	14	13.95	22.24	17.34	17.84	4.1679
	21	18.10	18.85	18.85	18.60	0.4330
	28	20.36	18.66	19.23	19.41	0.8652
0.05	7	11.15	12.30	11.92	11.79	0.8033
	14	14.89	15.38	16.46	15.58	0.8033
	21	17.24	15.76	16.53	16.51	0.7017
	28	17.30	18.66	17.68	17.88	0.7017
0.10	7	7.05	7.30	7.05	7.14	0.1443
	14	10.39	10.39	10.60	10.46	0.1212
	21	11.15	11.53	10.97	11.22	0.2859
	28	11.76	11.53	10.76	11.35	0.5237
0.15	7	6.66	6.00	6.27	6.31	0.3318
	14	6.66	6.40	6.27	6.44	0.1986
	21	7.25	7.05	7.25	7.19	0.1155
	28	9.41	9.99	9.23	9.54	0.3972

หมายเหตุ : ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐานคอนกรีตบล็อกปูผนัง 7 เมกะปาสกาล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2.2 ค่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม

อัตราส่วนของขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	7	2.04	2.05	2.03	2.04	0.0100
	14	2.06	2.08	2.04	2.06	0.0208
	21	2.07	2.06	2.06	2.07	0.0047
	28	2.06	2.05	2.08	2.07	0.0153
0.05	7	2.10	2.12	2.11	2.11	0.0100
	14	2.11	2.08	2.14	2.11	0.0300
	21	2.13	2.08	2.08	2.10	0.0289
	28	2.03	2.05	2.05	2.04	0.0115
0.10	7	2.05	2.03	2.12	2.07	0.0473
	14	2.04	2.03	2.05	2.04	0.0100
	21	2.04	2.00	2.09	2.04	0.0451
	28	2.04	2.01	1.98	2.01	0.0300
0.15	7	1.93	1.97	1.97	1.96	0.0231
	14	1.94	1.96	1.96	1.95	0.0115
	21	1.99	1.98	1.98	1.98	0.0058
	28	1.98	2.00	2.00	1.99	0.0115

ตารางที่ ข.2.3 ค่าการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม

อัตราส่วนของซานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	7	7.14	7.01	7.18	7.11	0.0889
	14	7.09	7.00	7.21	7.10	0.1054
	21	7.01	7.22	6.96	7.07	0.1380
	28	7.97	7.86	8.12	7.98	0.1305
0.05	7	8.28	8.24	8.28	8.27	0.0231
	14	8.37	8.20	8.36	8.31	0.0954
	21	8.42	8.30	8.25	8.32	0.0874
	28	10.06	10.35	9.61	10.00	0.3729
0.10	7	10.13	10.26	10.40	10.26	0.1350
	14	10.28	10.18	10.25	10.24	0.0513
	21	10.16	10.21	10.24	10.20	0.0404
	28	12.40	12.31	12.29	12.33	0.0586
0.15	7	12.16	12.19	12.18	12.18	0.0153
	14	12.17	12.12	12.20	12.16	0.0404
	21	12.18	12.17	12.19	12.18	0.0100
	28	13.23	14.10	12.38	13.24	0.8600

ตารางที่ ข.2.4 ค่าพีเอชของก้อนคอนกรีตในการเปลี่ยนแปลงระยะเวลาในการบ่ม

อัตราส่วนของขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน	ระยะเวลาบ่ม (วัน)	พีเอช				
		1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
0.00	7	11.89	11.89	11.9	11.89	0.0058
	14	11.91	11.91	11.9	11.91	0.0058
	21	11.89	11.9	11.91	11.90	0.0100
	28	11.89	11.91	11.89	11.90	0.0115
0.05	7	11.91	11.89	11.89	11.90	0.0115
	14	11.92	11.91	11.9	11.91	0.0100
	21	11.89	11.9	11.88	11.89	0.0100
	28	11.89	11.91	11.89	11.90	0.0115
0.10	7	11.92	11.93	11.89	11.91	0.0208
	14	11.89	11.9	11.88	11.89	0.0100
	21	11.9	11.9	11.89	11.90	0.0058
	28	11.91	11.88	11.89	11.89	0.0153
0.15	7	11.9	11.89	11.91	11.90	0.0100
	14	11.89	11.9	11.91	11.90	0.0100
	21	11.89	11.92	11.92	11.91	0.0173
	28	11.90	11.91	11.92	11.91	0.0100

ภาคผนวก ข.3

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และค่าพีเอชของคอนกรีตบดบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

ตารางที่ ข.3.1 ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่าพีเอชของคอนกรีตบดบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีอัตราส่วนของขานอ้อยที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสาน 0.15 ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน

พารามิเตอร์	ผลการทดสอบ				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)	7.17	7.41	7.16	7.24	0.0029
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	1.90	1.89	1.90	1.90	0.1441
เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	4.08	4.40	4.85	4.45	0.3864
พีเอช	11.92	11.91	11.90	11.91	0.0100

หมายเหตุ : ค่ากำลังรับแรงอัดมาตรฐานคอนกรีตบดบล็อกปูผนัง 7 เมกะปาสคาล

ตารางที่ ข.3.2 ค่ากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และค่าพีเอชของคอนกรีตบดบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินา และขานอ้อยที่ใช้แล้ว ที่ระยะเวลาบ่ม 21 วัน

พารามิเตอร์	ผลการทดสอบ				
	1	2	3	ค่าเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน
กำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)	8.27	8.29	8.26	8.27	0.0164
ความหนาแน่น (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	2.13	2.13	2.13	2.13	0.0043
เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ (เปอร์เซ็นต์)	4.37	4.39	4.35	4.37	0.0218
พีเอช	11.93	11.90	11.91	11.91	0.0153



ภาคผนวก ค

ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาค

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Concentration:
0.0128 %Vol

Span :
1.200

Uniformity:
0.38

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0495 m²/g

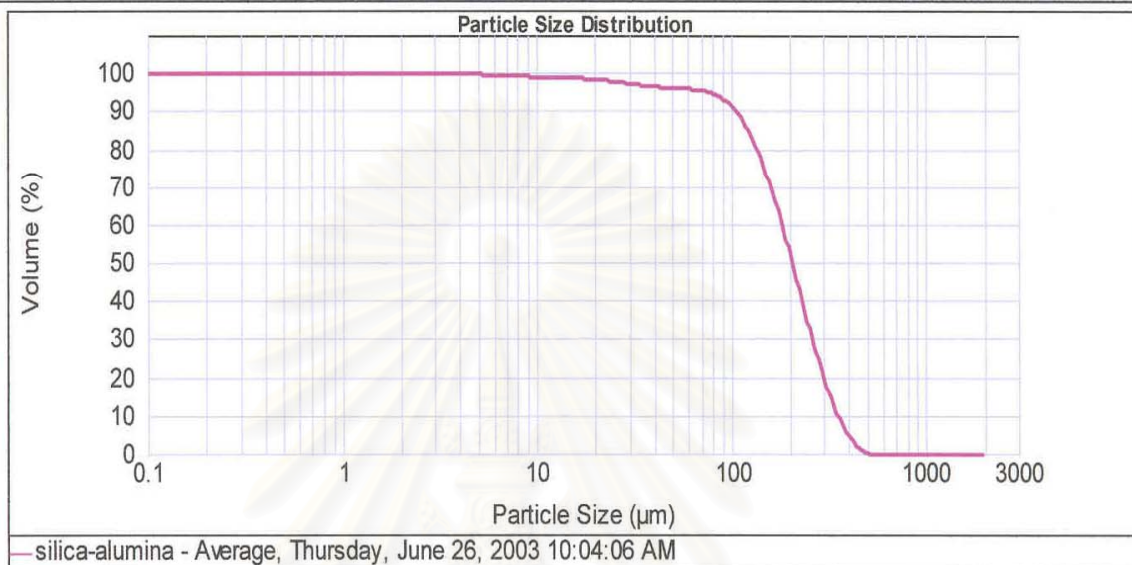
Surface Weighted Mean D[3,2]:
121.098 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
216.930 um

d(0.1): 105.490 um

d(0.5): 205.725 um

d(0.9): 352.450 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.11	50.238	0.14	355.656	4.66
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.10	56.368	0.18	399.052	3.13
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.08	63.246	0.34	447.744	1.70
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.08	70.963	0.69	502.377	0.07
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.08	79.621	1.27	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.08	89.337	2.11	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.09	100.237	3.19	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.12	112.468	4.50	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	0.15	126.191	5.90	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.01	20.000	0.24	141.589	7.32	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.05	22.440	0.29	158.866	8.53	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.09	25.179	0.33	178.250	9.43	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.11	28.251	0.34	200.000	9.85	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.13	31.698	0.33	224.404	9.72	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.13	35.566	0.29	251.785	9.03	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.13	39.905	0.23	282.508	7.87	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.12	44.774	0.17	316.979	6.36		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.11	50.238	0.11	355.656	0.14		

รูปที่ ก.1 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์

Concentration:
0.0105 %Vol

Span :
1.208

Uniformity:
0.382

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0504 m²/g

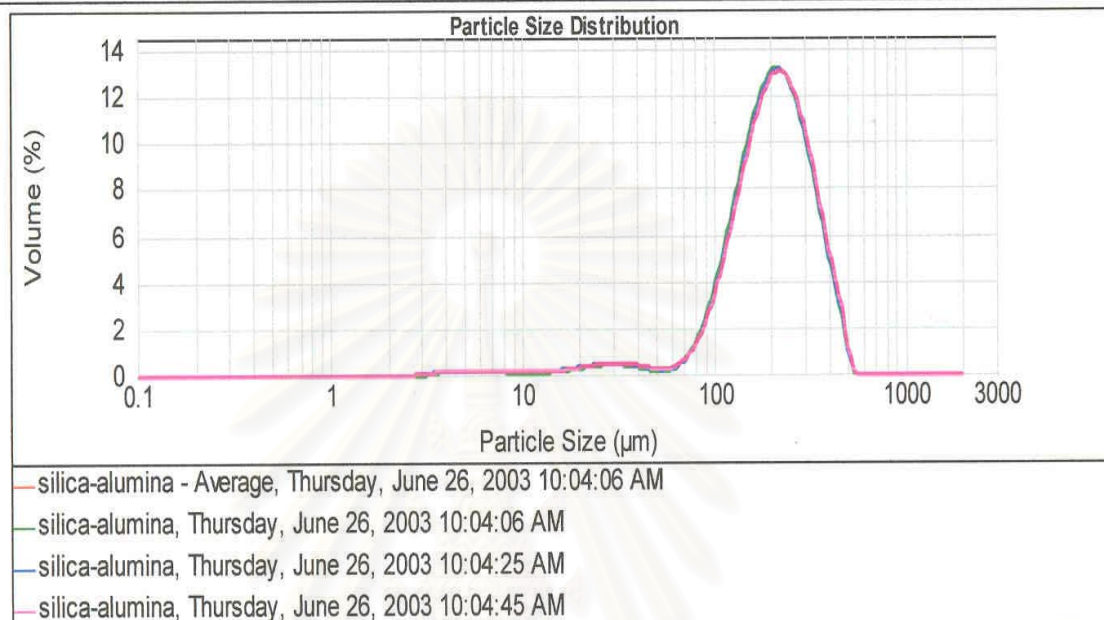
Surface Weighted Mean D[3,2]:
118.939 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
218.253 um

d(0.1): 104.923 um

d(0.5): 207.350 um

d(0.9): 355.490 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.12	50.238	0.18	355.656	4.80
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.11	56.368	0.21	399.052	3.28
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.09	63.246	0.36	447.744	1.82
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.09	70.963	0.68	502.377	0.08
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.09	79.621	1.23	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.10	89.337	2.03	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.12	100.237	3.08	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.15	112.468	4.36	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	0.20	126.191	5.74	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.00	20.000	0.24	141.589	7.15	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.02	22.440	0.29	158.866	8.39	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.06	25.179	0.33	178.250	9.32	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.11	28.251	0.35	200.000	9.79	1415.692	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.13	31.698	0.35	224.404	9.72	1586.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.14	35.566	0.32	251.785	9.09	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.14	39.905	0.27	282.508	7.97	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.13	44.774	0.21	316.979	6.50		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.13	50.238	0.21	355.656			

รูปที่ ก.2 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

Concentration:
0.0060 %Vol

Span :
1.671

Uniformity:
0.513

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0166 m²/g

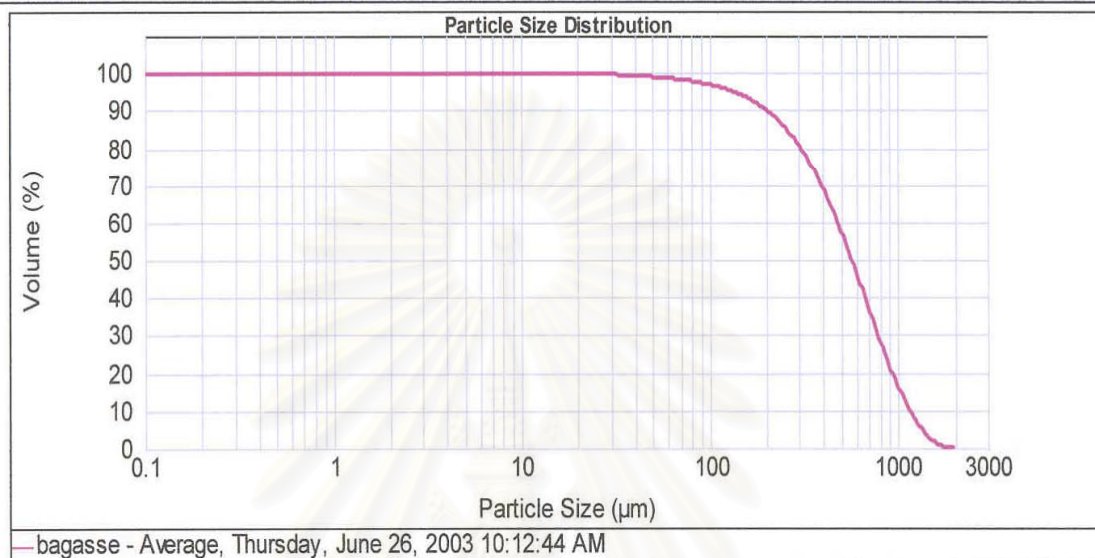
Surface Weighted Mean D[3,2]:
361.096 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
629.529 um

d(0.1): 201.839 um

d(0.5): 568.406 um

d(0.9): 1151.865 um

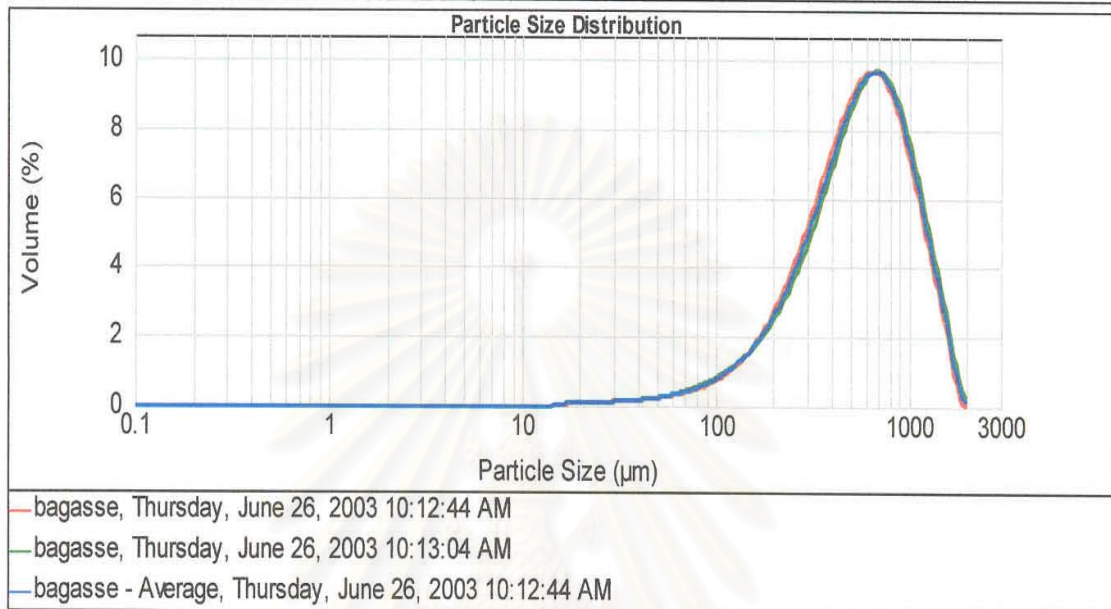


Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.00	50.238	0.20	355.656	5.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.00	56.368	0.24	399.052	5.67
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.00	63.246	0.29	447.744	6.29
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.00	70.963	0.35	502.377	6.80
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.00	79.621	0.43	563.677	7.15
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.00	89.337	0.53	632.456	7.28
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.00	100.237	0.64	709.627	7.14
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.05	112.468	0.79	796.214	6.73
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	0.06	126.191	0.96	893.367	6.06
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.00	20.000	0.07	141.589	1.18	1002.374	5.19
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.00	22.440	0.07	158.866	1.45	1124.683	4.19
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.00	25.179	0.09	178.250	1.77	1261.915	3.19
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.00	28.251	0.10	200.000	2.15	1415.892	2.22
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.00	31.698	0.11	224.404	2.59	1588.656	1.12
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.00	35.566	0.13	251.785	3.11	1782.502	0.23
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.00	39.905	0.15	282.508	3.69	2000.000	
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.00	44.774	0.17	316.979	4.34		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.00	50.238		355.656			

รูปที่ ค.3 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคขาน้อยที่ใช้แล้วแบบเปอร์เซ็นต์ไทล์

Concentration: 0.0060 %Vol Span : 1.671 Uniformity: 0.513 Result units: Volume
 Specific Surface Area: 0.0166 m²/g Surface Weighted Mean D[3,2]: 361.096 um Vol. Weighted Mean D[4,3]: 629.529 um

d(0.1): 201.839 um d(0.5): 568.406 um d(0.9): 1151.865 um

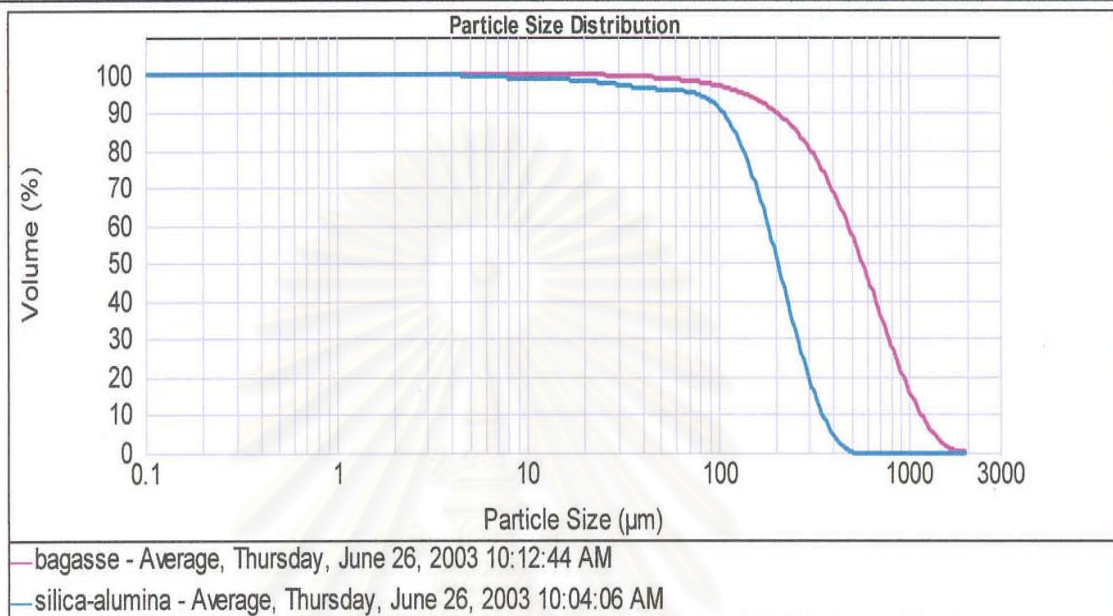


Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.00	50.238	0.20	355.656	5.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.00	56.368	0.24	399.052	5.67
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.00	63.246	0.29	447.744	6.29
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.00	70.963	0.35	502.377	6.80
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.00	79.621	0.43	563.677	7.15
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.00	89.337	0.53	632.456	7.28
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.00	100.237	0.64	709.627	7.14
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.00	112.468	0.79	796.214	6.73
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	0.05	126.191	0.96	893.367	6.06
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.00	20.000	0.06	141.589	1.18	1002.374	5.19
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.00	22.440	0.07	158.866	1.45	1124.683	4.19
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.00	25.179	0.07	178.250	1.77	1261.915	3.19
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.00	28.251	0.09	200.000	2.15	1415.892	2.22
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.00	31.698	0.10	224.404	2.59	1588.656	1.12
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.00	35.566	0.11	251.785	3.11	1782.502	0.23
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.00	39.905	0.13	282.508	3.69	2000.000	
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.00	44.774	0.15	316.979	4.34		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.00	50.238	0.17	355.656			

รูปที่ ค.4 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคชานอ้อยที่ใช้แล้ว

Concentration: 0.0128 %Vol	Span : 1.200	Uniformity: 0.38	Result units: Volume
Specific Surface Area: 0.0495 m ² /g	Surface Weighted Mean D[3,2]: 121.098 um	Vol. Weighted Mean D[4,3]: 216.930 um	

d(0.1): 105.490 um d(0.5): 205.725 um d(0.9): 352.450 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.11	50.238	0.14	355.656	4.66
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.10	56.368	0.18	399.052	3.13
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.08	63.246	0.34	447.744	1.70
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.08	70.963	0.69	502.377	0.07
0.032	0.00	0.224	0.00	1.599	0.00	11.247	0.08	79.621	1.27	563.677	0.00
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.09	89.337	2.11	632.456	0.00
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.12	100.237	3.19	709.627	0.00
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.15	112.468	4.50	796.214	0.00
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	0.19	126.191	5.90	893.367	0.00
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.01	20.000	0.24	141.589	7.32	1002.374	0.00
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.05	22.440	0.29	158.866	8.53	1124.683	0.00
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.09	25.179	0.33	178.250	9.43	1261.915	0.00
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.11	28.251	0.34	200.000	9.85	1415.892	0.00
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.13	31.698	0.33	224.404	9.72	1588.656	0.00
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.13	35.566	0.29	251.785	9.03	1782.502	0.00
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.13	39.905	0.23	282.508	7.87	2000.000	0.00
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.12	44.774	0.17	316.979	6.36		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.12	50.238		355.656			

รูปที่ ค.5 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาและซันอ้อยที่ใช้แล้วแบบ เพลอร์เซ็นต์ไทล์

Concentration:
0.0060 %Vol

Span :
1.671

Uniformity:
0.513

Result units:
Volume

Specific Surface Area:
0.0166 m²/g

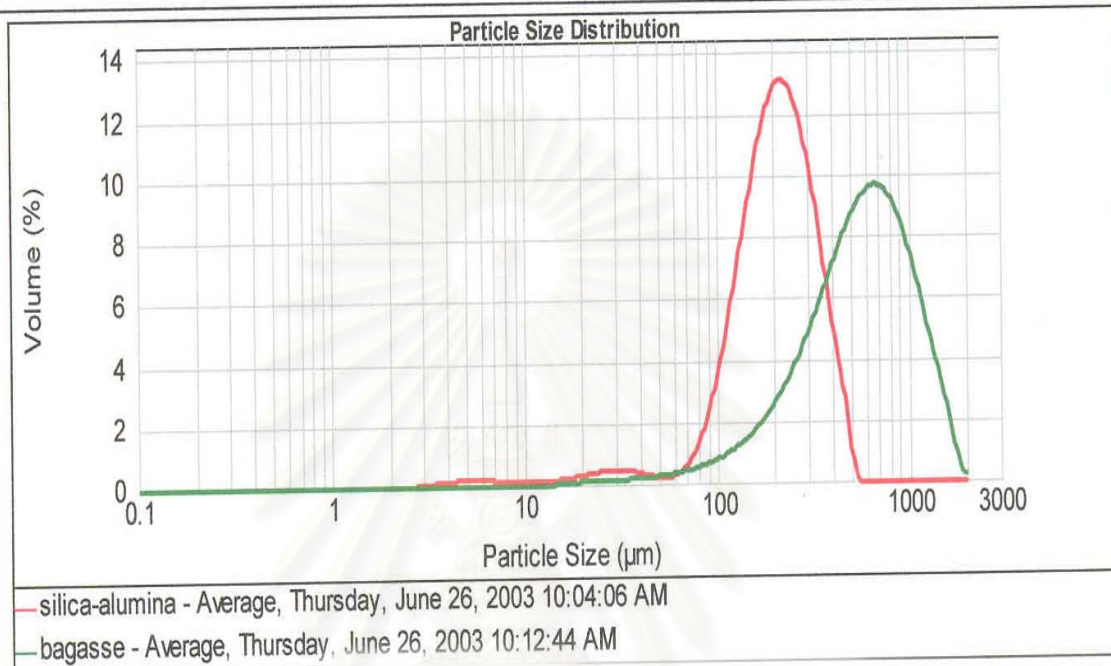
Surface Weighted Mean D[3,2]:
361.096 um

Vol. Weighted Mean D[4,3]:
629.529 um

d(0.1): 201.839 um

d(0.5): 568.406 um

d(0.9): 1151.865 um



Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %	Size (µm)	Volume In %
0.020	0.00	0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.00	50.238	0.20	355.656	5.00
0.022	0.00	0.159	0.00	1.125	0.00	7.962	0.00	56.368	0.24	399.052	5.67
0.025	0.00	0.178	0.00	1.262	0.00	8.934	0.00	63.246	0.29	447.744	6.29
0.028	0.00	0.200	0.00	1.416	0.00	10.024	0.00	70.963	0.35	502.377	6.80
0.032	0.00	0.224	0.00	1.589	0.00	11.247	0.00	79.621	0.43	563.677	7.15
0.036	0.00	0.252	0.00	1.783	0.00	12.619	0.00	89.337	0.53	632.456	7.28
0.040	0.00	0.283	0.00	2.000	0.00	14.159	0.00	100.237	0.64	709.627	7.14
0.045	0.00	0.317	0.00	2.244	0.00	15.887	0.05	112.468	0.79	796.214	6.73
0.050	0.00	0.356	0.00	2.518	0.00	17.825	0.06	126.191	0.96	893.367	6.06
0.056	0.00	0.399	0.00	2.825	0.00	20.000	0.07	141.589	1.18	1002.374	5.19
0.063	0.00	0.448	0.00	3.170	0.00	22.440	0.07	158.866	1.45	1124.683	4.19
0.071	0.00	0.502	0.00	3.557	0.00	25.179	0.09	178.250	1.77	1261.915	3.19
0.080	0.00	0.564	0.00	3.991	0.00	28.251	0.10	200.000	2.15	1415.892	2.22
0.089	0.00	0.632	0.00	4.477	0.00	31.698	0.11	224.404	2.59	1588.656	1.12
0.100	0.00	0.710	0.00	5.024	0.00	35.566	0.13	251.785	3.11	1782.502	0.23
0.112	0.00	0.796	0.00	5.637	0.00	39.905	0.15	282.508	3.69	2000.000	
0.126	0.00	0.893	0.00	6.325	0.00	44.774	0.17	316.979	4.34		
0.142	0.00	1.002	0.00	7.096	0.00	50.238		355.656			

รูปที่ ก.6 ผลวิเคราะห์การกระจายขนาดอนุภาคซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว



ภาคผนวก ง

สูตรโครงสร้างและลักษณะสมบัติของสื่ที่ใช้ในการวิจัย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.1 ลักษณะสมบัติต่างๆของสี (Shore, 1995)

	Remazol Black B
CHEMICAL CLASS	Disazo
REACTIVE SYSTEM	Vinylsulphonyl
C.I. CONSTITUTION NO.	50505
HUE.	
Daylight	Black
Artificial light (tungsten)	--
DYEING	
Cellulose	Cold padding with urea and NaHCO_3 , drying and fixing with steam or heat
PRINTING	Cellulose: direct printing with NaHCO_3 and a neutral alginate thickener and fixing with neutral steam
FASTNESS PROPERTIES	
Fibre	Cotton
Method	ISO
Alkali	3
Burnt Gas Fumes	--
Carbonising-Alkaline rinse	--
Neutral rinse	--
Decatising	--
Light- 1/3-1/2 normal	2-3
normal	5
2x normal	--
Peroxide Bleach-Alternation	--
Staining	4-5 (greener)
Perpiration-Alternation	5
Staining	--
Soda Boil-Alternation	--
Staining	--
Washing-Alternation	4-5(75 ⁰ C)
Staining	5

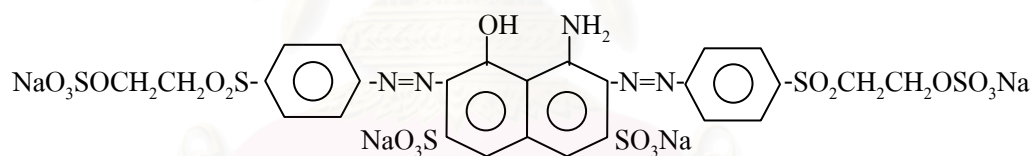
ตารางที่ ง.1 ลักษณะสมบัติต่างๆของสี (Shore, 1995) (ต่อ)

	Remazol Black B
OTHER PROPERTIES	
Dischargeability	Not suitable for discharge
Effect of Metals-Copper	--
-Iron	--
Reaction in Substance	
H ₂ SO ₄ conc.	--
Dilute HCl	--
Dilute NaOH	--
NON-TEXTILE USAGE	--
NOTES	Solubility in water: good

Remazol Black B

20505 C.I. Reactive Black 5 (*Black*)

FW 991.82



2-(p-Aminophenylsulfonyl)ethanol sulfate ester (2 mol.) \Rightarrow H-acid

รูปที่ ง.1 สูตรโครงสร้างของสี รีมาโซล แบล็ค บี (Shore, 1995)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก จ

วิธีวิเคราะห์หาสารแอนแทรกซิโนนในน้ำชะละลาย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีวิเคราะห์หาสารแอนทราควิโนนโดยเครื่องโพลารอกราฟี (Polarography)

หลักการ

ใช้การวิเคราะห์โพลารอกราฟี แบบคลื่นความถี่ที่แตกต่างกัน (Differential pulse) ในสารละลายแอมโมเนียมเป็นอเล็กโตรไลต์ (Ammonia base electrolyte) โดยแปรค่าความต่างศักย์ทางไฟฟ้าเป็นความสูงของกราฟ และอ่านค่าของเส้นกราฟ แปรผลเป็นความเข้มข้นของสารที่ต้องการวัดโดยใช้ตัวแปรเทียบกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐานของแอนทราควิโนน เครื่องโพลารอกราฟี (Polarography) ยี่ห้อ Metrohn รุ่น 757 VA Computrace

สารตั้งต้น

1. สารละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ (Ammonium chloride)
2. สารละลายไทโลส (Tylose)
3. สารละลายมาตรฐานของเอทิลแอนทราควิโนน
4. สารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์

หลักการทำงาน

1. สารอินทรีย์จะเป็นสารที่มีขั้ว และเมื่ออยู่ในสนามไฟฟ้าจะเกิดการแตกตัว
2. เมื่อสารละลายมาตรฐานของแอนทราควิโนนถูกกระตุ้นด้วยกระแสไฟฟ้า จะเกิดการแตกตัว แล้ววัดค่าความต่างศักย์ที่เกิดขึ้นนำมาเขียนเป็นเส้นกราฟมาตรฐาน
3. นำสารละลายตัวอย่างที่ต้องการทราบไปวัดค่า แล้วนำกราฟที่ได้มาเทียบค่ากับเส้นกราฟมาตรฐาน ก็จะทราบค่าความเข้มข้นของตัวอย่าง

วิธีการเตรียมสารละลาย

1. สารละลายเบสอเล็กโตรไลต์ (Stock Base electrolyte)

ละลายแอมโมเนียมคลอไรด์ 53.5 กรัม ในน้ำกลั่น 1 ลิตร เติมสารละลายแอมโมเนียมเข้มข้น 30 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ 71 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันดี

2. สารละลายไทโลส (Stock tylose)

ใส่ไทโลส 1.250 กรัม ในบีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร เติมน้ำกลั่น 400 มิลลิลิตรคนให้เข้ากันจนสารละลายรวมเป็นเนื้อเดียวกันทิ้งไว้หนึ่งคืน หลังจากนั้นปรับปริมาตรสารละลายด้วยน้ำกลั่นให้มีปริมาตร 500 มิลลิลิตร (เก็บสารละลายไว้ในตู้เย็นทิ้งคืนหลังจากเตรียมเสร็จ ควรเอาออกมาไว้ที่อุณหภูมิห้องก่อนใช้) สารละลายนี้ต้องเตรียมใหม่อย่างน้อยที่สุดทุก 2 สัปดาห์

3. สารละลายเอทิลแอนทราควิโนน เข้มข้น 67 กรัมต่อลิตร (Stock EQ solution at 67 g/l)

ชั่ง 2-เอทิลแอนทราควิโนน (2-Ethylanthraquinone, EQ) หนัก 6.7 กรัม (บันทึกน้ำหนักโดยละเอียด) ปรับปริมาตรด้วยให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร ด้วยละลายสาร แพลนต์ ไฮโดรคาร์บอน (Plant hydrocarbon) ต่อ ไดไอโซบิลทิลคาร์บีนอล (Diisobutylcarbinol, DIBC) ในอัตราส่วน ปริมาตร 80 ต่อ 20 ผสมสารละลายให้เข้ากัน

4. สารละลายตัวกลางเอทิลแอนทราควิโนน (Intermediate EQ)

ปีเปตสารละลายเอทิลแอนทราควิโนน เข้มข้น 67 กรัมต่อลิตร ปริมาตร 3.0 มิลลิลิตร ปรับปริมาตรด้วยเมทานอลให้มีปริมาตร 100 มิลลิลิตร คนสารให้เข้ากัน สารละลายที่ได้สามารถ เก็บไว้ได้หนึ่งอาทิตย์ ควรเก็บไว้ในที่มืด

วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างที่บดแล้วขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.50 มิลลิเมตร จำนวน 1 กรัม ใส่ลงใน บีกเกอร์ขนาด 50 มิลลิลิตร
2. ตวงสารเมทานอล 10 มิลลิลิตร เทใส่ลงในบีกเกอร์
3. กวนด้วยแท่งแม่เหล็กที่ระดับความเร็ว 50 รอบต่อนาที บนเครื่องกวนนาน 10 นาที
4. กรองสารละลายที่ได้ด้วยกระดาษกรอง
5. ชั่งน้ำหนักสารละลายที่ได้ แล้วนำไปวิเคราะห์หาสารแอนทราควิโนน โดยใช้เอทิลแอนทราควิโนน เป็นสารมาตรฐาน

เมื่อนำซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วก่อนและหลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักมาสกัดด้วยเมทธานอล ผลการวิเคราะห์ แอนทราควิโนน ดังระบุในตารางที่ จ.1 และรูปที่ จ.1 และ จ.2 พบว่า สารแอนทราควิโนนในน้ำชะละลายของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักก่อนและหลังมีความแตกต่างกัน แต่ในการทดลองนี้สามารถบอกได้อย่างคร่าว ๆ ว่า สารแอนทราควิโนนในคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักมีค่าน้อยกว่าสารแอนทราควิโนนในซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

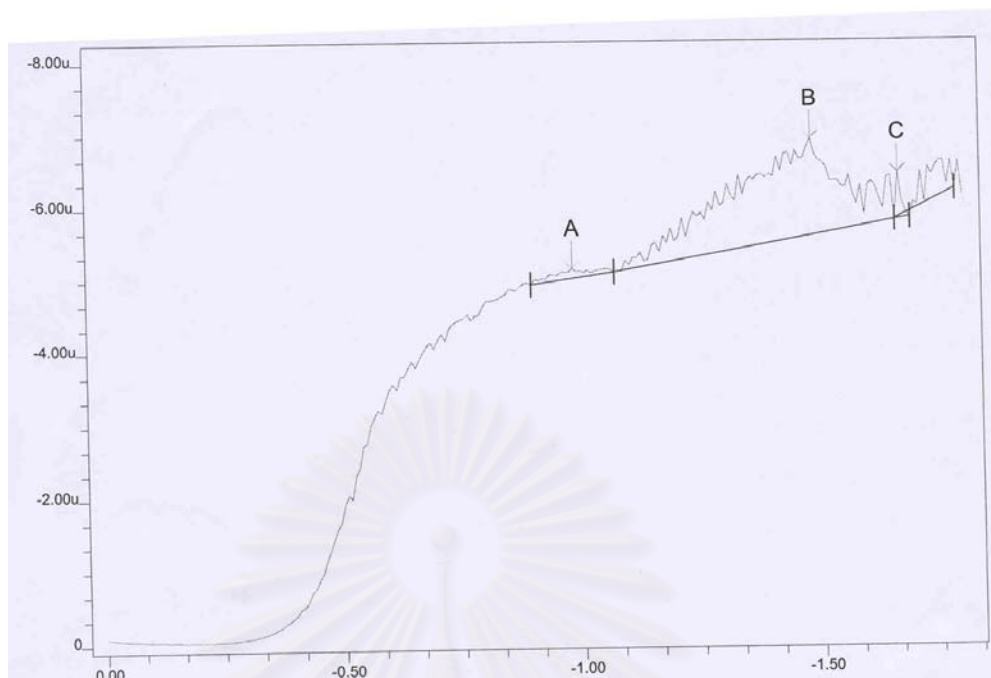
วิธีการวิเคราะห์ : โพลารโกราฟีค (Polarographic)

Mode	:	DP – Differential Pulse
Initial purge time (s)	:	360
Sweep		
Equilibration time (s)	:	3
Start potential (v)	:	0.000
End potential (v)	:	-1.800
Voltage step (v)	:	0.008
Voltage step time (s)	:	0.400
Sweep rate (v/s)	:	0.020
Pulse amplitude (v)	:	0.050
Pulse time (s)	:	0.040

ตารางที่ จ.1 ค่าพารามิเตอร์ของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วก่อนและหลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

Substance	ตัวอย่างซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วก่อนทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก				ตัวอย่างซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วหลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก			
	VR	V	μA	I. mean	VR	V	μA	I. mean
A	1-1	-0.984	-131.2	-131.2	1-1	-0.230	-2.428	-2.428
B	1-1	-1.484	-1.329	-1.329	1-1	-1.024	-1.497	-1.497
C	1-1	-1.666	-616.4	-616.4	1-1	-1.516	-191.9	-191.9

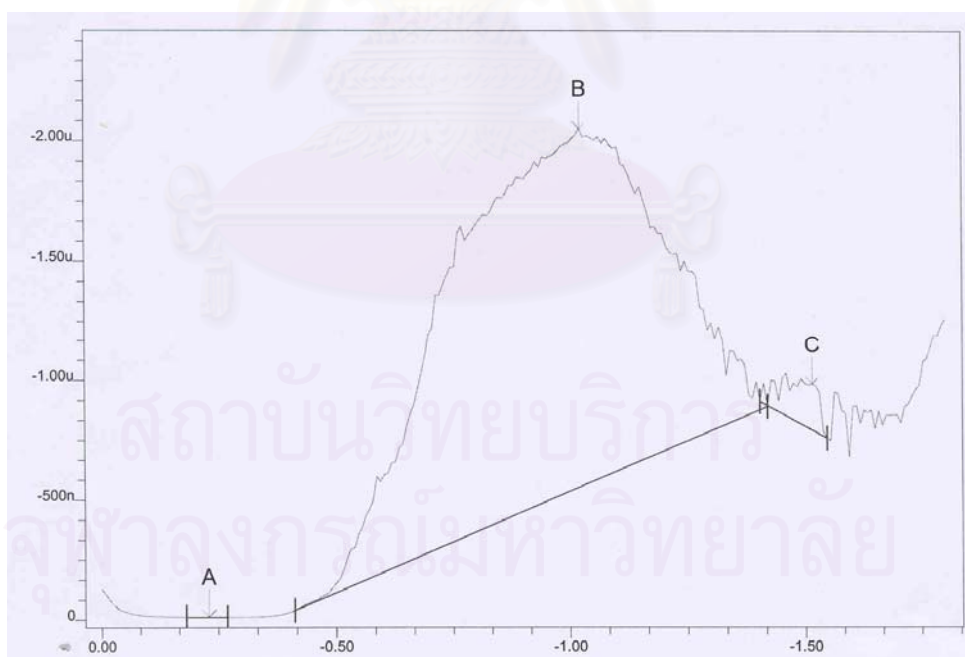
กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)



ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

รูปที่ จ.1 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ของซีลิกา-อะลูมินาที่ใช้
 แล้วก่อนทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)



ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์)

รูปที่ จ.2 ค่ากระแสไฟฟ้า (แอมแปร์) และค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า (โวลต์) ของซีลิกา-อะลูมินาที่ใช้
 แล้วหลังทำคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก



ภาคผนวก ฉ

การคำนวณค่าใช้จ่ายคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การคำนวณค่าใช้จ่ายคอนกรีตบล็อกรูปผนังรับน้ำหนัก

ข้อมูลพื้นฐาน

- ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตราช้างมีราคา 2,312.00 บาทต่อตัน (ข้อมูลจากกรมการค้าภายใน)
- หินเกล็ดเบอร์ 4 มีราคา 277.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (ข้อมูลจากกรมการค้าภายใน)
- ทรายละเอียดมีราคา 240.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (ข้อมูลจากกรมการค้าภายใน)
- น้ำประปาราคาหมาจ่ยเฉลี่ย 13 บาทต่อลูกบาศก์เมตร (ข้อมูลจากการประปานครหลวง)
- คอนกรีตบล็อกรูปฐานปูพื้นมีน้ำหนักประมาณ 6.70 กิโลกรัมต่อก้อน

การคิดราคาค่าใช้จ่ายต่อหน่วยกิโลกรัม

ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (2,312 บาทต่อตัน) x (1/1000 ตันต่อกิโลกรัม)

หินเกล็ด (277.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) x (1/2.7 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) x (1/1000 ตันต่อกิโลกรัม)

ทรายละเอียด (240.50 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) x (1/2.65 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) x (1/1000 ตันต่อกิโลกรัม)

น้ำ (13 บาทต่อลูกบาศก์เมตร) x (1 ลูกบาศก์เมตรต่อตัน) x (1/1000 ตันต่อกิโลกรัม)

ตารางที่ ฉ.1 ราคาค่าต่อหน่วยกิโลกรัมของวัสดุดิบ

วัสดุดิบ	หน่วยราคา (บาทต่อกิโลกรัม)
ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	2.312
หินเกล็ด	0.103
ทรายละเอียด	0.091
น้ำ	0.013

คำนวณส่วนผสมคอนกรีตบล็อก

- คอนกรีตบล็อกรูปผนังรับน้ำหนัก 1 ก้อนประกอบด้วย

ซีเมนต์ 1 ส่วน

ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 0.25 ส่วน

ซานอ้อยที่ใช้แล้ว 0.15 ส่วน

ทราย 2 ส่วน

หินเกล็ด 3 ส่วน

- คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก 1 ก้อนประกอบด้วย (ต่อ)

น้ำ : โดยมีสัดส่วนของความต้องการน้ำในการหล่อคอนกรีต ดังแสดงในตารางที่ น.2

ตารางที่ น.2 การดูดซึมน้ำของวัสดุ

วัสดุ	การซึมน้ำของวัสดุ
ซีเมนต์	0.50
ซิลิกา-อะลูมินา	0.663
ชานอ้อย	3.70
ทราย	0.0235
หินเกล็ด	0.0106

คำนวณราคาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักต่อก้อน

คอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้วมีน้ำหนักประมาณ 7.5 กิโลกรัมต่อก้อน

คอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15 มีน้ำหนักประมาณ 6.7 กิโลกรัมต่อก้อน

ตารางที่ น.3 คำนวณราคาต้นทุนการผลิตคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักต่อก้อน

วัสดุ	คอนกรีตบล็อกที่ไม่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว		คอนกรีตบล็อกที่มีส่วนผสมของซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15	
	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)
ปูนซีเมนต์พอร์ตแลนด์	1.50	3.48	1.00	2.31
ซิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	-	-	0.25	0.00
ชานอ้อยที่ใช้แล้ว	-	-	0.15	0.00
ทราย	3.0	0.27	2.00	0.18
หินเกล็ด	4.50	0.46	3.00	0.31
น้ำ	0.87	0.01	1.30	0.02
รวมราคา (บาท)	-	4.22	-	2.82

ตารางที่ ฅ.4 คำนวนราคาในการกำจัดชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 1 ตัน

วัสดุ	คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของ ชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15	
	ปริมาณที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท)
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	4,000	9,248
ชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	1,000	0.00
ชานอ้อยที่ใช้แล้ว	600	0.00
ทราย	8,000	728
หินเกล็ด	12,000	1,236
น้ำ	5,200	67.6
รวมราคา (บาท)	-	11,279.6
ราคาต่อก้อน	-	2.82

ตารางที่ ฅ.5 คำนวนค่าใช้จ่ายในการบำบัดชิลิกา-อะลูมินาและชานอ้อยที่ใช้แล้ว และมูลค่าผลิตภัณฑ์ ต่อตันของเสีย

	จำนวนก้อนที่ผลิตได้ (ก้อนต่อตัน)	ค่าใช้จ่ายในการบำบัด (บาทต่อตัน)	มูลค่าผลิตภัณฑ์ (บาทต่อตัน)
ชิลิกา-อะลูมินา และชานอ้อยที่ใช้แล้ว	4,000	11,279.6	18,000

หมายเหตุ: คอนกรีตบล็อกปูผนัง 1 ก้อนที่ขายตามท้องตลาดมีราคา 4.50 บาทต่อก้อน (ข้อมูลจากกรมการค้าภายใน)

ในการกำจัดชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 1 ตัน โดยการทำเป็นคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก จะสามารถผลิตได้ 4,000 ก้อน ค่าใช้จ่ายในการบำบัด 11,279.6 บาทต่อตันชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว ซึ่งมีค่าต้นทุนต่อก้อน เท่ากับ 2.82 บาท สำหรับราคาคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักขนาด 39 x 19 x 7 เซนติเมตรที่ขายในท้องตลาดมีราคาต่อก้อนละ 4.50 บาท ดังนั้น มูลค่าของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่ผลิตมีค่า เท่ากับ 18,000 บาทต่อตันชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้วในขณะที่การบำบัดชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว 1 ตัน โดยวิธีฝังกลบของบริษัท เจนโก้ จะมีค่าใช้จ่าย 2,713 บาทต่อตันชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว แทนที่จะส่งให้บริษัท เจนโก้ กำจัด หากมีการผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักจะได้ค่าตอบแทนประมาณ 6,720.4 บาทต่อตันชิลิกา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว

ตารางที่ จ.6 การเปรียบเทียบราคาของการบำบัดของซัลฟิดา-อะลูมินาจากศูนย์แสมดำกับราคาของคอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนักที่มีส่วนผสมของซัลฟิดา-อะลูมินาที่ใช้แล้วร้อยละ 25 และชานอ้อยที่ใช้แล้วร้อยละ 15 (ไถทิวชัย, 2542)

การจัดการซัลฟิดา-อะลูมินาที่ใช้แล้ว	ราคา
คอนกรีตบล็อกปูผนังรับน้ำหนัก	11,279.6 บาทต่อตัน
การบำบัดของเสียอุตสาหกรรมจากศูนย์แสมดำ	2,713 บาทต่อตัน
	ค่าบำบัด = 755 บาทต่อตัน
	ค่าขนถ่าย = 300 บาทต่อตัน
	ค่าขนส่ง = 495 บาทต่อตัน
	ค่าขนส่งจากศูนย์แสมดำถึงราชบุรี = 288 บาทต่อตัน
	ค่าฝังกลบ = 875 บาทต่อตัน

หมายเหตุ: ข้อมูลจากบริษัท บริหารและพัฒนา เพื่อการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม จำกัด (มหาชน) หรือเจนโก้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ช
โมดูลัสความละเอียด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

โมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus)

โมดูลัสความละเอียด เป็นตัวเลขดัชนีที่เป็นปฏิกิริยาโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในวัสดุผสมที่กำหนด วัสดุผสมยิ่งหยาบค่าโมดูลัสความละเอียดยิ่งสูง โมดูลัสความละเอียดหาได้จากการรวมค่าร้อยละที่หยาบกว่าหรือที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐานแล้วหารด้วย 100 ตะแกรงมาตรฐานมีขนาดดังนี้ คือ 3" 1½" 3/4" 3/8" เบอร์ 4 8 16 30 50 และ 100 โดยทรายสำหรับทำคอนกรีตควรมีค่าโมดูลัสความละเอียด 2.25 ถึง 3.25 หินสำหรับทำคอนกรีตควรมีค่าโมดูลัสความละเอียด 5.5 ถึง 7.5

ตารางที่ ข.1 สัดส่วนละเอียดของวัสดุผสม

ตะแกรงมาตรฐาน	ร้อยละสะสมที่ค้างบนตะแกรง		
	หินเกล็ด	ทราย	วัสดุผสม
No.100	99.96	94.01	97.26
No.50	99.93	55.79	81.12
No.30	99.70	6.71	62.37
No.16	98.03	0.23	58.90
No.8	65.24	0.07	39.16
No.4	0.00	0.00	0.00
3/8"	0.00	0.00	0.00
1/2"	0.00	0.00	0.00
3/4"	0.00	0.00	0.00
1"	0.00	0.00	0.00
รวม	462.86	156.81	338.81
โมดูลัสความละเอียด	4.63	1.57	3.39

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวผู้สดี แพทย์นุเคราะห์ เกิดเมื่อวันที่ 27 ธันวาคม พ.ศ. 2522 ที่อำเภอเมือง
ตราด จังหวัดตราด สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ทั่วไป
คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตร
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์
มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2545



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย