การศึกษาสัดส่วนของเถ้าชานอ้อยที่มีผลต่อแรงอัดในคอนกรีต

โดย

นายสุทธิชัย ตันเจริญ

นายอภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ประจำปีงบประมาณ 2561

The Study of Proportion of Bagasse Ash Affecting to Compressive Strength of Concrete

By
Suttichai Tancharoen
Apised Suwansaard

Granted by
Rajamangala University of Technology Rattanakosin
Fiscal year 2018

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดีทั้งทางด้านวิชาการและด้านการดำเนินงานวิจัย ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ซึ่งได้กรุณาให้คำแนะนำในการตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และแนะนำแนวทางการทำงานวิจัยเพิ่มเติม ตลอดจนให้กำลังใจแก่ผู้วิจัย จนงานวิจัยนี้เสร็จสมบูรณ์และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่สนับสนุนงบประมาณวิจัยและเครื่องมือในการทดสอบให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จโดยสมบูรณ์

ผู้วิจัยมีความสำนึกในพระคุณของคณาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความรู้ประสิทธิประสาทวิชา ทุ่มเทถ่ายทอดความรู้ให้แก่ผู้ศึกษาอย่างมิรู้เหน็ดเหนื่อย ตลอดจนเน้นย้ำให้ผู้จัยประพฤติดี ตั้งมั่นอยู่ในคุณธรรม จริยธรรม ซึ่งเป็นประสบการณ์ที่มีค่าและมีประโยชน์ในการนำไปใช้ในการทำงานของผู้วิจัย ขอระลึกถึงพระคุณบิดามารดาของผู้วิจัย ที่ได้อบรมสั่งสอนให้เป็นคนดี รักการศึกษาและหมั่นหาความรู้เพิ่มเติม ไม่ย่อท้อต่อปัญหาและอุปสรรคต่างๆ ที่ผ่านเข้ามาและขอขอบคุณเพื่อนๆ และเจ้าหน้าที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ทุกคน ที่คอยช่วยเหลือและให้กำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้เป็นอย่างดี

สุทธิชัย ตันเจริญ
มกราคม 2562

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: A-68 / 2561
ชื่อโครงการ: การศึกษาสัดส่วนของเถ้าชานอ้อยที่มีผลต่อแรงอัดในคอนกรีต
นักวิจัย: นายสุทธิชัย ตันเจริญ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตโดยการนำเถ้าชานอ้อยที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ และศึกษาสัดส่วนเถ้าชานอ้อยที่มีผลต่อแรงอัดในคอนกรีต โดยนำเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการบดอัดละเอียดเวลา 24 ชั่วโมง แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 อัตราส่วนการผสม 1:2:4 กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 180 ksc. สัดส่วนเถ้าชานอ้อยที่ใช้แบ่งเป็น 4 ชุด คือร้อยละ 0,10,20,30 และการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยที่ อายุ 1,3,5,7,14,28 วัน กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน ร้อยละ 0 เท่ากับ 205 ksc.ร้อยละ 10 เท่ากับ 215 ksc.ร้อยละ 20 เท่ากับ 238 ksc. ร้อยละ 30 เท่ากับ 193 Ksc.

คำสำคัญ : เถ้าชานอ้อย, คอนกรีต, วัสดุปอซโซลาน

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2560 – กันยายน 2561

Abstract

Code of project: A-68 / 2561
Project Title: The Study of Proportion of Bagasse Ash Affecting to Compressive Strength of Concrete
Project name: Mr.Suttichai Tancharoen

This reasearch aims to study the mechanical property of concrete produced by reused dust-bagassee from industry and study the proportion of dust-bagassee effecting to the pressure of concrete. The method is use the 24 hours compressed dust-bagassee instead of cement portland type 1 as 1:2:4 at concrete pressure 28 days 180 ksc. The proportion of dust-bagassee is four type 0% ,10% ,20% and 30%. The testing efficiency of concrete compressive strength is 1, 3, 5, 7, 14 and 28 found that the compressive strength at 28 days 0% is 205 ksc , 10% is 215 ksc ,20% is 238 ksc and 30% is 193 ksc.

Keywords: Cane Bagasse Ash, Concrete, Pozzolan Materials

Period of project : October 2017 – September 2018

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขต	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินการ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคอนกรีต	3
2.2 ปูนซีเมนต์	4
2.3 วัสดุมวลรวม (AGGREGATES)	5
2.4 วัสดุปอซโซลาน	9
2.5 ชานอ้อย (bagasse)	11
2.6 น้ำผสมคอนกรีต	12
2.7 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต	12
2.8 การบ่มคอนกรีต	16
2.9 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	19
2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	20
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	22
3.1 แผนการดำเนินการทดสอบ	23
3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	23
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	28
บทที่ 4 ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์	31
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต	31
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	39
5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย	39
5.2 ปัญหา อุปสรรค และแนวทางการแก้ไขปัญหา	40
5.3 การนำไปใช้ประโยชน์	40
5.4 แนวทางการประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่นๆ	41
บรรณานุกรม	42
ประวัติผู้จัดทำ	43

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

เป็นที่ทราบกันดีแล้วว่าประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีการผลิตพืชเศรษฐกิจ ได้แก่ ข้าว อ้อย มันสำปะหลัง ถั่วเหลือง ยางพารา เป็นต้น ซึ่งน้ำตาลที่ผลิตจากอ้อย ได้มีการส่งออกเป็นอันดับต้นๆ ของโลก อ้อยที่ส่งเข้าโรงงานแปรรูปเป็นในกระบวนการผลิตน้ำตาล อ้อย 1 ตัน จะเหลือกากหรือชานอ้อยออกมาประมาณ 290 กิโลกรัม ในปี 2555 ไทยผลิตอ้อยทั้งหมด 98.4 ล้านตัน เมื่อนำไปผลิตน้ำตาลจะเหลือเป็นชานอ้อย 28.54 ล้านตันต่อปีถ้านำชานอ้อยเหล่านี้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อป้อนให้กับโรงงานผลิตน้ำตาลอีกทีหนึ่ง ซึ่งจะเหลือเถ้าชานอ้อยประมาณ 1 ล้านตัน บางส่วนเกษตรกรนำไปทำปุ๋ย และส่วนใหญ่ใช้ถมที่และกองอยู่ จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย พบว่ามีธาตุซิลิกาเป็นหลัก ซึ่งเป็นองค์ประกอบของสารปอซโซลาน เมื่อนำไปบดละเอียดสามารถใช้เป็นสารปอซโซลานผลิตคอนกรีตได้

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตโดยการนำเถ้าชานอ้อยที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์ และศึกษาสัดส่วนเถ้าชานอ้อยที่มีผลต่อแรงอัดในคอนกรีต โดยนำเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการบดอัดละเอียดเวลา 24 ชั่วโมง แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภท 1 อัตราส่วนการผสม 1:2:4 กำลังอัดคอนกรีตที่อายุ 28 วัน เท่ากับ 180 ksc. สัดส่วนเถ้าชานอ้อยที่ใช้แบ่งเป็น 4 ชุด คือร้อยละ 0,10,20,30 และการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยที่ อายุ 1,3,5,7,14,28 วัน

1.2 วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงคุณสมบัติทางกลของเถ้าชานอ้อย และคอนกรีตโดยการทำการแทนเถ้าชานอ้อย 10, 20, 30 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยการทดสอบจะทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตดังต่อไปนี้

1.2.1 เพื่อหาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อย
1.2.2 เพื่อศึกษาสัดส่วนเถ้าชานอ้อยที่มีผมต่อแรงอัดในคอนกรีต
1.2.3 เพื่อหากำลังอัดของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อย

1.3 ขอบเขตของโครงการ

1.3.1 เถ้าชานอ้อยจากโรงงานผลิตน้ำตาล อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี
1.3.2 ใช้เถ้าชานอ้อยร้อยละ 0,10,20,30 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
1.3.3 บดเถ้าชานอ้อยด้วยวิธี Los Angeles Abrasion Machine ที่ 24 ชั่วโมง

1.3.4 ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ตราช้าง

1.3.5 อัตราส่วนผสมคอนกรีต 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร

1.3.6 บ่มตัวอย่างคอนกรีตด้วยวิธีบ่มเปียก

1.3.7 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตจะใช้แบบหล่อก้อนตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C 192

1.3.8 การทดสอบกำลังอัดจะทำที่อายุ 1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 การใช้เถ้าชานอ้อยเป็นตัวเพิ่มความแข็งแรง และลดการใช้ปูนซีเมนต์ลงเนื่องจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ ปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่เป็นสาเหตุของสภาวะโลกร้อน

1.4.2 เพื่อลดปัญหาสภาวะสิ่งแวดล้อมจากการเหลือทิ้งของเถ้าชานอ้อย

1.4.3 การนำเอาเถ้าชานอ้อยที่เหลือใช้จากกระบวนการผลิตทางอุตสาหกรรมกลับมาใช้ประโยชน์

1.4.4 สามารถนำเถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นของเหลือใช้จากการทำการเกษตรไปใช้เป็นวัสดุแทนปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และเพิ่มมูลค่าเถ้าชานอ้อยให้มีมูลค่าสูงขึ้น

1.5 แผนการดำเนินการ

ตารางที่ 1-1 แผนการดำเนินการ

ลำดับ	รายการ	ปี 2560						ปี 2561		
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1	รวบรวมข้อมูลและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับโครงการ	←	→							
2	จัดเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ในการดำเนินโครงการ		←	→						
3	เริ่มจัดเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ				←	→				
4	ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบ						←	→		

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความรู้พื้นฐานเกี่ยวกับคอนกรีต

คอนกรีต เป็นวัสดุผสมที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างประกอบด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (เช่นหินทราย หรือ กรวด) และ น้ำ โดยอาจจะมีสารเคมีเติมเพิ่มเข้าไปสำหรับคุณสมบัติด้านอื่น เมื่อผสมเสร็จคอนกรีตจะแข็งตัวอย่างช้าๆ ซึ่งน้ำและซีเมนต์จะทำปฏิกิริยาทางเคมีกันในลักษณะที่เรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน โดยซีเมนต์จะเริ่มจับตัวกับวัสดุอื่นและแข็งตัว ซึ่งในสถานะนี้จะนิยมเรียกกันว่าคอนกรีต ความแข็งแรงของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆหลังจากที่ผสม และยังแข็งแรงขึ้นภายหลังจากการแข็งตัว โดยประมาณหลังจากแข็งตัวแล้ว 28 วัน ความแข็งแรงจะเริ่มคงที่ คอนกรีตมีใช้กันในงานก่อสร้างหลายชนิดซึ่งรวมถึง อาคารถนนเขื่อนสะพานอนุสาวรีย์ และงานก่อสร้างต่างๆ ซึ่งมีเห็นได้ทั่วไป

คุณสมบัติหลักของคอนกรีตคือการรับแรงอัดสูง ในขณะที่สามารถรับแรงดึงได้ต่ำ (ประมาณ 10% ของแรงอัด) โดยเมื่อต้องการให้คอนกรีตสามารถรับแรงดึง จะมีการเสริมวัสดุอื่นเพิ่มเข้าไปในคอนกรีตโดยจะเรียกว่า คอนกรีตเสริมแรง หรือคอนกรีตเสริมเหล็กที่เรียกกัน (โดยเสริมแรงด้วยเหล็ก) วัสดุเหล่านี้จะช่วยรับแรงดึงภายในคอนกรีต ซึ่งงานโครงสร้างอาคารส่วนใหญ่นิยมใช้คอนกรีตเสริมแรงแทนที่คอนกรีตเปลือย

นอกจากนี้ในงานก่อสร้างยังมีการใช้วิธีการที่เรียกว่า คอนกรีตอัดแรง โดยทำการใส่แรงเข้าไปในคอนกรีตหล่อสำเร็จที่หล่อมาจากโรงงาน โดยเมื่อนำไปใช้งาน แรงที่ใส่เข้าไปในคอนกรีตจะหักล้างกับน้ำหนักของตัวคอนกรีตเองและน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมา ซึ่งวิธีการนี้จะทำให้คอนกรีตสามารถรับน้ำหนักได้เพิ่มมากขึ้น โดยงานสะพานและทางยกระดับ นิยมใช้คอนกรีตอัดแรงคอนกรีต จะมีสัดส่วนปูนซีเมนต์ต่อทราย ต่อหิน ดังนี้

- สัดส่วน 1 : 1.5 : 3 จะเป็นงานเสาและโครงสร้าง
- สัดส่วน 1 : 2 : 4 จะเป็นงานพื้น, คาน
- สัดส่วน 1 : 2.5 : 4 จะเป็นงานถนน ฐานราก

การใช้ปริมาณน้ำที่น้อยในการผสมคอนกรีตจะส่งผลดีต่อคุณภาพของคอนกรีต แต่อาจจะทำให้คอนกรีตเหนียวข้นและเทเข้าแบบยาก อย่างไรก็ตาม การใช้เครื่องจี้คอนกรีตก็จะทำให้คอนกรีตสามารถอัดตัวลงแบบได้ง่ายขึ้นซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีคุณสมบัติดีขึ้น หลังจากที่มีการผสมคอนกรีต การเทลงแบบ การให้แน่น การแต่งผิว ตลอดจนการบ่มคอนกรีตอย่างสมบูรณ์ คอนกรีตก็จะพัฒนาไปสู่การแข็งตัว ส่งผลให้มีกำลังมากขึ้น ไม่ติดไฟ ทนต่อการสึกกร่อนและการกัดกร่อนตลอดจนมีความทึบน้ำ โดยไม่ต้องการซ่อมบำรุงมากนัก ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่เหมาะสมในการที่จะนำมาใช้เป็นโครงสร้างต่างๆ สามารถที่จะทำให้เป็นรูปร่างต่างๆ ได้หลากหลายรูปร่างและมีสีสันตลอดจนมีลักษณะพื้นผิวได้มากมาย จึงส่งผลให้คอนกรีตถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง

2.2 ปูนซีเมนต์

2.2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Portland cement)

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นปูนซีเมนต์ไฮดรอลิก (Hydraulic cement) เมื่อผสมกับน้ำจะสามารถก่อตัว และแข็งตัวได้ พร้อมกับมีความร้อนเกิดขึ้น โดยที่ระยะเวลาการก่อตัวและปริมาณความร้อนจะขึ้นอยู่กับความละเอียดและส่วนประกอบของปูนซีเมนต์เมื่อใช้ปูนซีเมนต์ผสมกับน้ำจะได้ซีเมนต์เพสต์ (cement paste) เมื่อนำทรายผสมเข้ากับซีเมนต์เพสต์จะได้มอร์ตาร์ (mortar) เมื่อนำหินผสมกับมอร์ตาร์จะได้คอนกรีต (concrete) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการบดปูนเม็ดซึ่งเป็นผลึกที่เกิดจากการผสมส่วนต่างๆ เช่น หินปูน (lime stone) หรือดินปูนขาว (marl) กับดินเหนียว (clay) หรือหินดินดาน (shale) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีสารประกอบหลัก 4 ส่วน คือ

1. ไตรแคลเซียมซิลิเกต (Tricalcium silicate) $3CaO\ SiO_2$ (C_3SX)
2. ไดแคลเซียมซิลิเกต (Dicalcium silicate) $2CaO\ SiO_2$ (C_2S)
3. ไตรแคลเซียมอลูมิเนต (Tricalcium aluminate) $3CaO\ Al_2O_3$ (C_3A)
4. เตตระแคลเซียมอลูมิโนเฟอรไรต์ (Tetrecalcium aluminoferrite) $4CaOAl_2O_3\ Fe_2O_3$ (C_4AF)

2.2.2 ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

ซีเมนต์ หรือ ปูนซีเมนต์ (cement) เป็นวัสดุผสานสำหรับผลิตคอนกรีต มีส่วนผสมหลัก คือ หินปูนและดินเหนียว และมีผสมอื่นเช่น ซิลิก้าอลูมิน่า สินแร่เหล็ก ยิปซั่ม และสารเพิ่มพิเศษอื่นๆ ปูนซีเมนต์ที่ผลิตในประเทศไทย ส่วนใหญ่จะผลิตตามมาตรฐานของ อเมริกา(ASTM C. 150) และของอังกฤษ (British Standard ; B.S.) ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 15 ของไทยได้แบ่งปูนซีเมนต์ออกเป็น 5 ประเภท คือ

ประเภท 1 (Normal Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เหมาะกับงานก่อสร้างคอนกรีตทั่วๆ ไปที่ไม่ต้องการคุณสมบัติพิเศษเพิ่มเติม เช่น คาน เสา พื้น ถนน ค.ส.ล. เป็นต้น แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องสัมผัสกับเกลือซัลเฟตผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราช้าง เพชร (เม็ดเดียว) พญานาคเขียว TPI (แดง) ภูเขา และดาวเทียม

ประเภท 2 (Modified Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ดัดแปลงเพื่อให้สามารถต้านทานเกลือซัลเฟตได้ปานกลาง และจะเกิดความร้อนปานกลางในช่วงหล่อ เหมาะกับงานโครงสร้างขนาดใหญ่ เช่น ตอม่อ สะพาน ท่าเทียบเรือ เขื่อน เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่เคยมีจำหน่ายได้แก่ ตราพญานาคเจ็ดเศียร (ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)

ประเภท 3 (High-early Strength Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่สามารถให้กำลังได้รวดเร็วในเวลาอันสั้น หลังจากเทแล้วสามารถใช้งานได้ภายใน 3-7 วัน เหมาะกับงานที่เร่งด่วน เช่น คอนกรีตอัดแรง เสาเข็ม พื้นถนนที่จราจรคับคั่ง เป็นต้น ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราเอราวัณ สามเพชร TPI (ดำ) และพญานาคแดง

ประเภท 4 (Low-heat Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ชนิดพิเศษที่มีอัตราความร้อนต่ำกำลังของคอนกรีตจะเพิ่มขึ้นอย่างช้าๆ ซึ่งส่งผลดีทำให้การขยายตัวน้อยช่วยลดการแตกร้าว เหมาะกับงานสร้างเขื่อนขนาดใหญ่ ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ในประเทศไทยยังไม่มีการผลิตจำหน่าย

ประเภท 5 (Sulfate-resistant Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่ทนต่อเกลือซัลเฟตได้สูงเหมาะกับงานก่อสร้างบริเวณดินเค็ม หรือใกล้กับทะเล ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ ตราปลาฉลาม TPI (ฟ้า) และตราช้างฟ้า (ปัจจุบันเลิกผลิตแล้ว)

นอกจากปูนซีเมนต์ทั้ง 5 ประเภทแล้ว ยังมีปูนซีเมนต์ที่ผลิตขึ้นมาโดยดัดแปลงเพื่อให้เหมาะกับงาน และราคาถูกลง ที่มีจำหน่ายในท้องตลาดทั่วไปได้แก่

- ปูนซีเมนต์ผสม (Mixed Cement) เป็นการนำปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ผสมกับทรายหรือหินบดละเอียด ประมาณ25-30% ซึ่งทำให้ง่ายต่อการใช้งาน ลดการแตกร้าว เหมาะกับงานก่ออิฐ ฉาบปูน ผลิตภัณฑ์ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่มีจำหน่ายได้แก่ตราเสือ งูเห่า นกอินทรีย์ TPI (เขียว)

- ปูนซีเมนต์ขาว (White Portland Cement) เป็นปูนซีเมนต์ที่มีส่วนผสมหลัก คือ หินปูนและวัตถุดิบอื่นๆที่มีปริมาณของแร่เหล็กน้อยกว่า 1% ลักษณะของผงสีปูนที่ได้จะเป็นสีขาว สามารถผสมกับสีฝุ่นเพื่อทำให้เป็นปูนซีเมนต์สีต่างๆ ตามต้องการ จึงนิยมใช้ในงานตกแต่งต่างๆ เพื่อความสวยงาม ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ที่ผลิตในประเทศไทย ได้แก่ ตราช้างเผือก ตราเสือเผือกและ ตรามังกร

จากการทดสอบเปรียบเทียบหากำลังอัดของปูนซีเมนต์ ทั้ง 5 ประเภท ในสภาพปัจจัยเดียวกัน ที่อายุคอนกรีต 1, 7, 28 และ 90 วัน ตามลำดับโดยกำหนดให้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นตัวเปรียบเทียบที่ 100% ผลที่ได้ดังตารางที่ 2-1

ตารางที่ 2-1 เปรียบเทียบกำลังอัดของปูนซีเมนต์ ทั้ง 5 ประเภท

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์	กำลังอัดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับประเภท 1			
	1 วัน	7วัน	28วัน	90วัน
ประเภท 1	100	100	100	100
ประเภท 2	75	85	90	100
ประเภท 3	190	120	110	100
ประเภท 4	55	55	75	100
ประเภท 5	65	75	85	100

2.3 วัสดุมวลรวม (AGGREGATES)

วัสดุมวลรวม คือ ส่วนผสมคอนกรีตที่ยึดเข้าไว้ด้วยกันด้วยซีเมนต์เพสต์ วัสดุมวลรวมนี้จะได้จากธรรมชาติเป็นแร่ธาตุเฉื่อยไม่มีปฏิกิริยา ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ หินอ่อน หินกรวด และทรายหยาบ การเลือกใช้วัสดุมวลรวมมีส่วนสำคัญที่ช่วยให้คอนกรีตมีคุณภาพดี

2.3.1 ประเภทของวัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวม สามารถแบ่งตามลักษณะขนาดได้เป็น 2 ชนิด คือ

2.3.1.1 วัสดุมวลรวมละเอียด (Fine aggregate)

หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดเล็กกว่า 4.5 มิลลิเมตร หรือเป็นเม็ดที่สามารถลอดผ่านตระแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 แต่ทั้งนี้จะต้องมีขนาดไม่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตรวัสดุมวลรวมที่เล็กกว่า 0.07 มิลลิเมตรเรียกว่า ฝุ่น (Silt หรือ Clay) วัสดุมวลรวมละเอียดที่ใช้กันทั่วไป คือ ทรายหยาบ

2.3.1.2 วัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse aggregate)

หมายถึง วัสดุมวลรวมที่มีขนาดตั้งแต่ 4.5 มิลลิเมตรขึ้นไป หรือที่ไม่สามารถลอดผ่านตระแกรงร่อนมาตรฐานเบอร์ 4 ซึ่งได้แก่ หินย่อย กรวด การเลือกใช้วัสดุมวลรวมหยาบอาจกำหนดขนาด เพื่อให้เหมาะสมกับโครงสร้างนั้นๆ เช่นขนาดใหญ่ที่สุดของมวลรวมหยาบอาจเป็น 1 ใน 5 ของความหนาของคาน หรือ 1 ใน 3 ของความหนาของแผงพื้น

2.3.2 คุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวม เป็นองค์ประกอบหลักของคอนกรีต ดังนั้น คุณสมบัติของวัสดุมวลรวม จึงมีผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตโดยตรงคุณสมบัติที่สำคัญของวัสดุมวลรวม มีดังต่อไปนี้

2.3.2.1 กำลัง (Strength)

วัสดุมวลรวมต้องมีความสามารถรับน้ำหนักกดได้ไม่น้อยกว่ากำลังที่ต้องการของคอนกรีตโดยทั่วไปหินจะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าคอนกรีตมาก กำลังรับแรงอัดของหิน มีค่าประมาณ 700 ถึง 3,500 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

2.3.2.2 ความทนทานต่อการสึกหรอ (Abrasive resistance)

หินที่นำมาผสมคอนกรีตในงาน ต้องทนทานต่อแรงกระแทก และเสียดสีมากๆ ได้ โดยเฉพาะคอนกรีตที่ใช้ทำพื้น หรือถนน ซึ่งต้องเผชิญการเสียดสีอยู่ตลอดเวลา

2.3.2.3 ความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ (Abrasive resistance)

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ จะทำให้คอนกรีตเกิดการขยายตัว และหดตัว หากมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่อยๆ ซ้ำๆ ตลอดเวลา จะทำให้เกิดหน่วยแรงมากพอที่จะทำให้คอนกรีตแตกร้าวได้ วัสดุผสมจึงควรทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ดี คือ ไม่ขยายหรือหดตัวมาก ทนต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิบ่อยๆ ซ้ำๆ ได้ดี

2.3.2.4 ความคงตัวต่อปฏิกิริยาเคมี

วัสดุมวลรวมต้องไม่ทำปฏิกิริยาทางเคมีกับปูนซีเมนต์

2.3.2.5 รูปร่าง และผิว (Particle shape and Surface texture)

มีความสำคัญต่อการยึดเกาะกับซีเมนต์เพสต์ และ“ความสามารถเทได้” ของคอนกรีต ดังนั้น วัสดุที่ใช้ควรมีลักษณะเป็นแง่เหลี่ยมคม และผิวหยาบ เพื่อช่วยการยึดเกาะ และไม่ควรมีรูปทรงเป็นแผ่นแบนๆ หรือเป็นชิ้นยาวๆ เพราะจะทำให้เทได้ยาก ควรมีรูปทรงก้อนกลม หรือลูกบาศก์

2.3.2.6 ความสะอาด (Cleanliness)

วัสดุมวลรวมต้องสะอาด มีสารที่จะทำให้เกิดการเสื่อมคุณภาพต่อคอนกรีตน้อยที่สุด สารเหล่านี้ ได้แก่ เปลือกหอย ชายอ้อย ถ่านหิน ถ่าน เศษไม้ เศษกระดาษ ก้อนหิน โคลน เลน ฝุ่น หรือผงละเอียด (Silt) ถุงพลาสติก ใบไม้ เป็นต้น สิ่งดังกล่าวนี้ทำให้ความทนทาน และแรงยึดเหนี่ยวลดลง บางครั้งทำให้คอนกรีตร้าว, มีกำลังต่ำ, แข็งตัวช้า ปริมาณสิ่งเจือปนที่จัดเป็นอันตรายต่อคอนกรีตจะต้องไม่มีมากกว่าที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2-2

ตารางที่ 2-2 ปริมาณของสิ่งเจือปนที่ยอมให้ในวัสดุมวลรวม

สิ่งเจือปนในวัสดุผสม	เปอร์เซ็นต์ที่ยอมให้สูงสุดโดยน้ำหนัก	
	ในวัสดุผสมละเอียด	ในวัสดุผสมหยาบ
1. ดินเหนียว	1	0.25
2. ฝุ่นหรือผงละเอียดที่ผ่านตระแกรงมาตรฐาน เบอร์ 200		
2.1 คอนกรีตที่รับแรงเสียดสี	5	1
2.2 คอนกรีตทั่วไป	5	1
3. ถ่านหินหรือลิกไนท์		
3.1 สำหรับงานที่อวดผิวหน้า	0.5	0.5
3.2 คอนกรีตทั่วไป	1	1
4. วัสดุอ่อน (เช่น รากไม้, เศษไม้)	-	5

2.3.2.7 ความลดหลั่นของขนาด หรืออัตราส่วนขนาดคละ (Gradation)

วัสดุมวลรวมที่ใช้ผสมคอนกรีตจะต้องมีความลดหลั่นของขนาดที่เหมาะสมจะช่วยให้เรียงตัวกันได้แน่นและมีช่องว่างน้อย ทำให้คอนกรีตมีกำลังมากขึ้น ทั้งยังช่วยให้ทำงานได้ง่าย เกณฑ์กำหนดส่วนคละของขนาดวัสดุมวลรวม มีแสดงไว้ในตารางที่ 2-3

ตารางที่ 2-3 เกณฑ์กำหนดอัตราส่วนขนาดคละของวัสดุผสม

ขนาด	เปอร์เซ็นต์สะสมที่ค้างบนตะแกรงขนาดต่างๆ				
	ขนาดตะแกรง	หิน			
		ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 3/4"	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 1"	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 1.5"	ตั้งแต่เบอร์ 4 ถึง 2"
2 นิ้ว			0	0	0 - 5
1.5 นิ้ว			0	0 - 5	-
1 นิ้ว		0	0 - 5	-	30 - 65
0.75 นิ้ว		0 - 10	-	30 - 65	-
0.5 นิ้ว		-	40 - 75	-	70 - 90
0.375 นิ้ว	0	45 - 80	-	70 - 90	-
เบอร์ 4	0 - 5	90 - 100	90 - 100	95 - 100	95 - 100
เบอร์ 8	0 - 20	95 - 100	95 - 100		
เบอร์ 16	15 - 50				
เบอร์ 30	40 - 75				

2.3.2.8 ความชื้นและการดูดซึม (Moisture and Absorption)

ภายในก้อนของวัสดุมวลรวมจะประกอบไปด้วยเนื้อ และช่องว่าง ช่องว่างและเนื้อเหล่านี้ จะเก็บดูดความชื้นในอากาศเข้าไว้ ทำให้วัสดุอยู่ในสภาวะใดสภาวะหนึ่ง ในสี่สภาวะต่อไปนี้

- แห้งด้วยเตาอบ คือ แห้งสนิท ทำให้วัสดุสามารถดูดความชื้นได้เต็มที่
- แห้งด้วยอากาศคือ แห้งที่ผิว แต่มีความชื้นอยู่ภายในช่องว่างข้างใน ทำให้วัสดุสามารถดูดความชื้นได้
- อิ่มตัวผิวแห้ง คือ มีความชื้นทั่วถึงตลอด สภาวะนี้ถือว่าดีที่สุดสำหรับใช้ผสมคอนกรีต เพราะจะไม่ดูด หรือคายความชื้น
- ชื้นหรือเปียกคือ มีน้ำอยู่รอบผิววัสดุสภาพความชื้นและการดูดซึมของวัสดุจะมีผลต่อปริมาณน้ำที่ใช้ผสมคอนกรีต หากวัสดุสามารถดูดความชื้นได้ น้ำในคอนกรีตจะถูกดูดไปทำให้มีปริมาณน้ำที่เข้าทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์น้อยลง หรือถ้าวัสดุมีความชื้นมากเกินไป ปริมาณน้ำในคอนกรีตจะเพิ่มมากขึ้น เท่ากับอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เพิ่มมากขึ้น

รูปที่ 2 สภาวะของวัสดุมวลรวม
ที่มา:คณะวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

2.3.2.9 การพองตัว (Bulking of Sand)

ดังได้กล่าวแล้วว่า ความชื้นที่วัสดุมวลรวมเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้ต้องควบคุมส่วนผสมและอัตราส่วนปริมาณน้ำ นอกจากนั้นแล้วความชื้นที่ผิวจะเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างเม็ดทราย ทำให้เม็ดทรายแยกตัวห่างออกจากกัน ปริมาตรจึงเพิ่มขึ้น หรือที่เรียกว่า ทรายพองตัว (Bulking of Sand) ปริมาตรการพองตัวขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของความชื้น และขนาดของวัสดุมวลรวม วัสดุมวลรวมที่ละเอียดกว่าจะพองตัวมากกว่าเมื่อความชื้นเท่ากัน สำหรับทรายละเอียดจะมีปริมาตรเพิ่มขึ้นถึง 40% ทรายหยาบอาจเพิ่มขึ้นถึง 25% ซึ่งทำให้หน่วยน้ำหนักของทรายละเอียดลดลง 25% ทรายหยาบลดลง 15% ตามลำดับ แต่เมื่อทรายอิ่มตัวปริมาตรจะคงที่

2.3.2.10 โมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus)

โมดูลัสความละเอียด (FM) นี้ เป็นเลขดัชนีที่เป็นปฏิภาคโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของก้อนวัสดุในวัสดุมวลรวมที่กำหนด นั่นคือวัสดุมวลรวมยิ่งหยาบ ค่า FM ยิ่งสูงขึ้น สำหรับทรายที่ใช้ทำคอนกรีตควรมีค่า FM อยู่ระหว่าง 2.25-3.25 และหินที่ใช้ผสมคอนกรีตควรมีค่า FM อยู่ระหว่าง 5.5-7.5

2.3.2.11 ขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวม (Maximum size of Aggregate)

ขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวม ต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนดมาตรฐาน และต้องไม่โต กว่า 1/5 ของด้านที่แคบสุดของแบบหล่อ หรือไม่โตกว่า 3/4 ของระยะห่างระหว่างเหล็กเสริมแต่ละเส้น หรือแต่ละมัด ทั้งทางดิ่ง และทางระดับ ขนาดของหินเบอร์ต่างๆ มีแสดงในตารางที่ 2-4

ตารางที่ 2-4 ขนาดของหินเบอร์ต่าง ๆ

หินเบอร์	ขนาด (มม.)	หินเบอร์	ขนาด (มม.)
0	หินฝุ่น,เศษหินย่อย	3	50 - 75
1	20 – 25	4	75 - 100
2	25 - 50	หินใหญ่พิเศษ	100 ขึ้นไป

2.4 วัสดุปอซโซลาน

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) หมายถึง วัสดุที่ประกอบด้วยออกไซด์ของซิลิกา (Siliceous) หรือซิลิกาและอลูมินา (Siliceous and Aluminous) เป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้ววัสดุปอซโซลานมีคุณสมบัติของวัสดุประสานน้อยมากหรือไม่มีเลย แต่เมื่อมีความละเอียดและมีความชื้นที่เพียงพอจะสามารถทำปฏิกิริยากับด่างหรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH_2)$) ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสานได้ดีคล้ายกับปูนซีเมนต์ เรียกว่าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นนี้ว่า ปฏิกิริยาปอซโซลาน (PozzolanicReaction) โดยทั่วไปวัสดุปอซโซลานที่มีอยู่ในปัจจุบันแบ่งได้ 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ วัสดุปอซโซลานธรรมชาติ (Natural Pozzolan) ซึ่งเกิดจากกระบวนการธรรมชาติเช่น เถ้าภูเขาไฟ และดินขาว (Metakaolin) เป็นต้น ส่วนอีกประเภทหนึ่ง คือ วัสดุปอซโซลานสังเคราะห์ (ArtificialPozzolan) ซึ่งส่วนใหญ่เป็นวัสดุพลอยได้ที่เกิดจากกระบวนการผลิตในงานอุตสาหกรรม เช่น ซิลิกาฟูม เถ้าถ่านหิน เถ้าชานอ้อย เถ้าแกลบ และตะกรันเตาถลุงเหล็กเป็นต้น

ปัจจุบันวัสดุปอซโซลานจะนิยมนำมาใช้ในงานคอนกรีตในรูปแบบของการแทนที่บางส่วน ในปูนซีเมนต์ เนื่องจากวัสดุปอซโซลานช่วยปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตให้ดีขึ้นทั้งในด้านกำลังอัด และสามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีต ส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างลดลง เนื่องจากวัสดุปอซโซลานมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ วัสดุปอซโซลานแต่ละชนิดอาจส่งผลดีต่อคอนกรีตแตกต่างกันขึ้นอยู่กับคุณสมบัติเฉพาะตัว โดยมีองค์ประกอบทางแร่ธาตุที่อยู่ในรูปไม่เป็นผลึกและความละเอียดของปอซโซลานคือปัจจัยหลักที่ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานได้ดี

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยหรือปฏิกิริยาของวัสดุปอซโซลานเมื่อปูนซีเมนต์รวมตัวกันกับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น(Hydration Reaction) และมีผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาที่สำคัญ คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต($3CaO•2SiO_2•3H_2O$ หรือ C-S-H) แคลเซียมไฮดรอกไซน์ ($Ca(OH)_2$) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต($3CaO•Al_2O_3•6H_2O$ หรือ C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (1) ถึง (3)

$$2(3CaO•SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO•2SiO_2•3H_2O + 3Ca(OH)_2 \quad (1)$$

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

$$2CaO•Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO•Al_2O_3•6H_2O + Ca(OH)_2 \quad (3)$$

ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic Reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์กับน้ำโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($Ca(OH)_2$) ที่เกิดจากสมการที่ (2.1) และ (2.2) เป็นสารตั้งต้นทำปฏิกิริยาร่วมกับซิลิกอนไอออกไซด์ (SiO_2) และอลูมินาไดรออกไซน์ (Al_2O_3) ในวัสดุปอซโซลาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลาน คือ แคลเซียมสิลิเกตไฮเดรต (C-A-H) และแคลเซียมอลูมิเนียมไฮเดรต(C-A-H) ดังแสดงในสมการที่ (4) และ (5)

$$Ca(OH)_2 + SiO_2 + H_2O \longrightarrow xCaO•ySiO_2•3H_2O + zH_2O \quad (4)$$

$$Ca(OH)_2 + AlO_3 + H_2O \longrightarrow xCaO•ySiO_2•3H_2O + zH_2O \quad (5)$$

ค่า x, y ในสมการที่ (4) และ (5) เป็นค่าที่แปรไปตามชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต(C-A-H) ซึ่งทั้ง C-S-H ที่ C-A-H ที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานนี้ทำให้กำลังอัดของคอนกรีตเพิ่มขึ้น และลดลงช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ลงทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นขึ้น โดยปฏิกิริยาปอซโซลานนี้จะเริ่มเกิดขึ้นเมื่ออายุประมาณ 7 วัน และทำปฏิกิริยาต่อไปเรื่อยๆ แม้ว่าคอนกรีตอายุมากกว่า 3 ปีครึ่งก็ตาม

อย่างไรก็ตาม ASTMC618 ได้จำแนกประเภทของวัสดุปอซโซลานเป็น 3 ประเภท คือประเภท N ประเภท F และประเภท C โดยมีปริมาณส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพดังแสดงในตารางที่ 2-5

ตารางที่ 2-5 ส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายวัสดุปอซโซลาน (ASTM C618)

ส่วนประกอบทางเคมี	วัสดุปอซโซลาน ประเภท		
	N	F	C
ซิลิกอนไดออกไซด์+อลูมิเนียมออกไซด์+ไอออนออกไซด์ ต่ำสุดร้อยละ	70.0	70.0	50.0
ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) สูงสุดร้อยละ	4.0	5.0	5.0
อัลคาไลด์ สูงสุดร้อยละ	1.5	1.5	1.5
ปริมาณความชื้น สูงสุดร้อยละ	3.0	3.0	3.0
การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา สูงสุดร้อยละ	10.0	6.0	6.0
คุณสมบัติทางกายภาพ			
ความละเอียด:ปริมาณค้างตะแกรงเบอร์ 325 สูงสุดร้อยละ	34.0	34.0	34.0
ความอยู่ตัว:การขยายตัวหรือหดตัว โดยการทดสอบออโตเคลฟ	0.8	0.8	0.8
ความต้องการปริมาณน้ำ สูงสุดร้อยละ	115	105	105
ดัชนีกำลัง (Strength activity index)			
ผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่อายุ 7 วัน ต่ำสุดร้อยละ	75	75	75
ผสมร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ที่อายุ 28 วัน ต่ำสุดร้อยละ	75	75	75

2.5 ชานอ้อย (bagasse)

พลังงานจากชีวมวลเป็นพลังงานที่ได้จากพืช สัตว์ หรือองค์ประกอบของสิ่งมีชีวิต สารอินทรีย์ต่างๆ รวมทั้งผลผลิตจากการเกษตรและป่าไม้ เช่น ชานอ้อย แกลบ ไม้ฟืน หรือวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรอื่นๆ รวมไปถึงการนำมูลสัตว์ ของเสียจากโรงงานแปรรูปทางเกษตร นำไปผลิตก๊าซชีวภาพโดยใช้กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางชีวเคมี โดยอาศัยจุลินทรีย์เป็นตัวช่วยย่อยสลาย

อ้อย เป็นพืชชนิดหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานชีวภาพได้ในอัตราสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพืชชนิดอื่น พลังงานที่ผลิตได้ จากชีวมวลของอ้อยจำนวน 1 ตัน มีปริมาณเทียบเท่ากับพลังงานที่ได้จากน้ำมันดิบ 1 บาร์เรล ในกระบวนการผลิตน้ำตาล ด้วยอ้อยจำนวน 1 ตัน เมื่อผ่านกระบวนการแปรรูปต่างๆ จะใช้พลังงานทั้งสิ้น 25-30 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ใช้ไอน้ำ 0.4 ตัน เพื่อให้ได้น้ำตาล ที่เหลือจะเป็นกากหรือชานอ้อย เป็นวัสดุเหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตประมาณ 290 กิโลกรัม ที่มีค่าเทียบเท่ากับพลังงานไฟฟ้าถึง 100 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ทำให้มีการนำชานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิง เพื่อผลิตพลังงาน ความร้อน สำหรับต้มน้ำให้เดือดจนกลายเป็นไอ และสามารถนำพลังงานจากไอน้ำดังกล่าว หมุนเวียนกลับมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าได้ใหม่อีกครั้งกระบวนการโซลเจล เถ้าชานอ้อยเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการผลิตน้ำตาล โดยการนำชานอ้อยมาใช้เป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้ในกระบวนการผลิตน้ำตาลของโรงงาน โดยทั่วไปเถ้าชานอ้อยที่เหลือทิ้งจากกระบวนการผลิตถูกนำไปทิ้งโดยการถมที่หรือเพื่อการปรับสภาพดินทางการเกษตรกรรม หากทำการเปรียบเทียบปริมาณที่ผลิตกับสัดส่วนในการนำไปใช้ประโยชน์ยังถือได้ว่ามีน้อยมากส่งผลต่อปัญหาแวดล้อมโดยตรงเนื่องจากปริมาณการผลิตเถ้าชานอ้อยยังคงเพิ่มสูงขึ้นทุกปี

แต่ในปัจจุบันได้มีทางเลือกในการนำเถ้าดังกล่าวกลับมาใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ เนื่องจากการนำเถ้าชานอ้อยที่ได้จากกระบวนการเผาเฉพาะส่วนที่มีขนาดเล็กและลอยฟุ้งขึ้นด้านบนมาใช้เป็นทางเลือกสำหรับวัสดุประสานในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ได้ โดยการใช้เถ้าชานอ้อยเป็นแร่ผสมเพิ่มในอุตสาหกรรมการผลิตปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 สามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในชั้นบรรยากาศได้ถึง 519.3 กิโลตันต่อปี

2.6 น้ำผสมคอนกรีต

น้ำที่ใช้ผสมคอนกรีตควรสะอาดปราศจากสิ่งเจือปน เช่น กรด ด่าง น้ำมัน และสารอินทรีย์อื่นๆ มากจนเกินไป จนทำให้เป็นอันตรายต่อคอนกรีต และเหล็กเสริม ตามปกติ น้ำประปา น้ำจืดตามธรรมชาติส่วนใหญ่ซึ่งไม่มีส่วนผสมของน้ำทิ้งจากอาคาร จากบ้านเรือน หรือจาก โรงงานอุตสาหกรรม จัดได้ว่าเป็นน้ำที่มีคุณภาพดีพอที่จะใช้ผสมคอนกรีตได้ดี

น้ำทะเลซึ่งมีเกลือของโซเดียม (NaCl) ละลายอยู่ประมาณ 3% (35,000 PPM.) แม้สามารถใช้ผสมเทคอนกรีตได้ แต่จะทำให้กำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตลดลง 10-20% แต่ถ้าน้ำมี เกลือของโซเดียมเกิน 5.0% จะทำให้กำลังคอนกรีตลดลง 3% ดังนั้น ไม่ควรนำน้ำทะเลมาผสมคอนกรีต ถ้าสามารถหาน้ำจืดใช้แทนได้ นอกจากนี้ยังไม่ควรใช้น้ำทะเลในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก ทั้งนี้เพราะจะทำให้เหล็กเสริมเป็นสนิมและผุกร่อนเร็ว สำหรับงานก่อสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กในน้ำทะเลควรมีคอนกรีตหุ้มเหล็กเสริมอย่างน้อย 7 เซนติเมตร

2.7 การออกแบบปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีต

การหาปฏิภาคส่วนผสมของคอนกรีตอาจทำได้โดยใช้วิธีทดลองผสม หรือใช้วิธีของ ACI ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมาก แต่ในการผสมคอนกรีตตามอัตราส่วนที่คำนวณได้นั้น จะให้ได้ผลตามความต้องการย่อมเป็นไปไม่ได้ ทั้งนี้เพราะวัสดุที่ใช้อาจจะมีการเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสม และคุณสมบัติอาจไม่ตรงตามที่คำนวณการหาสัดส่วนส่วนผสมที่ดีที่สุด นอกจากการคำนวณอย่างเดียวแล้ว จะต้องทำการทดลองผสมจริงดูด้วย เพื่อตรวจสอบและคอยปรับสัดส่วน จนกว่าจะได้ผลเป็นที่น่าพอใจ นอกจากนี้การทดลองในห้องปฏิบัติการก็อาจให้ผลไม่ตรงกับการนำไปผสมใช้งานต่างๆ เหตุผลเนื่องจากเครื่องผสมในห้องปฏิบัติการโดยทั่วไป มีขนาดและลักษณะแตกต่างจากที่ทำเพื่อใช้งานจริงๆ

2.7.1 วิธีทดลองผสม

การหาปฏิภาคส่วนผสม อาจทำได้โดยวิธีทดลองส่วนผสม (Trial Mix Method) ซึ่งเป็นการหา อัตราส่วนผสมโดยตรง เพื่อรักษาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ หรือให้ได้กำลังตามต้องการ ขนาด รูปร่าง ลักษณะ ผิวและสัดส่วนขนาดคละของวัสดุ เป็นตัวประกอบสำคัญในการหาสัดส่วนที่จะให้การทำงานที่ต้องการและค่าใช้จ่ายต่ำ

วิธีทำของวิธีทดลองผสม คือ เลือกอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ต้องใช้ เพื่อให้ได้กำลังอัดของคอนกรีตต่ำที่สุดต้องการ เลือกชนิด และขนาดโตสุดของวัสดุผสม และค่าการยุบตัวที่ต้องการสำหรับประเภทของงานนั้นๆ ค่าต่างๆ ที่เลือกใช้นี้ กำหนดให้เป็นตัวคงที่ เทปูนซีเมนต์ตามปริมาณที่ชั่งไว้ลงในถาดผสมและเติมปริมาณน้ำที่เตรียมไว้ผสมด้วยมือ จะได้ซีเมนต์เพสต์ซึ่งมีอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ตามต้องการ ชั่งหินและทรายซึ่งอยู่ในสภาวะผิวแห้งและอิ่มตัวจำนวนหนึ่ง เติมหินและทรายลงสู่

ซีเมนต์เพสต์ ผสมคลุกเคล้าให้เข้ากัน และวัดค่าการยุบตัว ถ้าค่าการยุบตัวมากเกินไปให้เติมหินและทรายลงไปอีก แต่ถ้าค่ายุบตัวน้อยไป ให้เติมน้ำและซีเมนต์เพิ่มขึ้น โดยยังคงรักษาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไว้คงที่ เมื่อได้ความข้นเหลวตามที่ต้องการแล้ว ก็วัดหาปริมาณของหินและทรายที่ใช้ไปหาอัตราส่วนระหว่างซีเมนต์ ต่อทรายต่อหิน ซึ่งอาจจะเปรียบเทียบโดยน้ำหนักหรือปริมาตรก็ได้

หลังที่คำนวณได้สัดส่วนที่ให้ความข้นเหลวตามที่ต้องการแล้วก็หาอัตราส่วนของทรายต่อหินด้วยการทดลองผสมอีก (โดยยังคงรักษาอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และความข้นเหลวไว้คงที่) จนกระทั่งได้ส่วนผสมที่ดีที่สุด คือส่วนผสมที่ใช้ปริมาณของซีเมนต์เพสต์น้อยที่สุด ส่วนผสมคอนกรีตที่มีซีเมนต์เพสต์ และทรายไม่เพียงพอสำหรับไปอุดในระหว่างช่องว่างระหว่างหินจะทำงานได้ยาก และเป็นผลให้มีผิวหยาบ และเป็นรังผึ้ง แต่ถ้ามีซีเมนต์เพสต์และทรายมากเกินไป จะได้ปริมาณคอนกรีตน้อยและคอนกรีตมักจะพรุน ต้องพยายามใช้หินมากที่สุดเท่าที่จะมากได้ โดยมีทรายในปริมาณที่พอเหมาะเพื่อให้ได้ความข้นเหลวตามต้องการ เมื่อได้ส่วนผสมที่ดีที่สุดแล้วจึงปรับอัตราส่วนผสมตามปริมาณความชื้นในวัสดุผสมเพื่อนำไปใช้ในงาน

2.7.2 วิธีของ ACI

การคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมสำหรับงานคอนกรีตทั่วไป อาจจะดำเนินเป็นขั้นๆ ตามวิธีการซึ่งเสนอโดยสถาบันคอนกรีตของอเมริกา (ACI 211.1-70) ซึ่งให้ผลค่อนข้างแน่นอนไม่เปลี่ยนแปลง และถูกต้อง ทั้งนี้ จะต้องทราบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุที่ใช้ทำคอนกรีตเสียก่อนเช่น ความถ่วงจำเพาะ หน่วยน้ำหนัก โมดูลัสความละเอียด และเปอร์เซ็นต์การดูดซึม เป็นต้น อีกทั้งวัสดุผสมต้องมีส่วนขนาดคละอยู่ในพิกัดกำหนดด้วย ดังต่อไปนี้

2.7.2.1 เลือกค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงาน

ค่าความยุบตัวต้องอยู่ในช่วงที่เหมาะสม และให้ได้ความข้นเหลวพอทำงานได้สะดวกในกรณีที่มิได้กำหนดค่าความยุบตัวให้ ค่าความยุบตัวที่เหมาะสมกับประเภทของงานเลือกใช้ได้จากตารางที่ 2-6

ตารางที่ 2-6 ค่าความยุบตัวของคอนกรีตที่ใช้สำหรับการก่อสร้างประเภทต่างๆ

ประเภทของงาน	ค่าความยุบตัว (ซม.)	
	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด*
งานฐานราก กำแพงคอนกรีตเสริมเหล็ก	2.0	8.0
งานฐานรากคอนกรีตไม่เสริมเหล็กงานก่อสร้างใต้น้ำ	2.0	8.0
งานพื้น คาน และผนังคอนกรีตเสริมเหล็ก	2.0	10.0
งานเสาคอนกรีตเสริมเหล็ก	2.0	10.0
งานพื้นถนนคอนกรีตเหริมเหล็ก	2.0	8.0
งานคอนกรีตขนาดใหญ่	2.0	5.0

* อาจเพิ่มได้อีก 2 ซม.สำหรับคอนกรีตให้แน่นตัวโดยวิธีการอื่น ที่นอกเหนือไปจากการใช้เครื่องสั่น (Vibrator)

2.7.2.2 เลือกขนาดโตสุดของวัสดุผสม

ขนาดโตสุดของวัสดุผสม ไม่ควรเกินกว่า 1/5 ของส่วนที่แคบที่สุดของแบบ หรือ 1/3 ของความหนาของแผ่นพื้น หรือ 3/4 ของขนาดความห่างของเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด ขนาดโตสุดของวัสดุผสมหยาบที่เหมาะสมกับประเภทการใช้งาน

2.7.2.3 ประมาณปริมาณน้ำที่ผสมและปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้น

ให้ปริมาณน้ำที่ต้องการในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตเพื่อให้ได้ค่าการยุบตัวตามที่กำหนด ซึ่งขึ้นอยู่กับขนาดโตสุด และส่วนขนาดคละของวัสดุผสมในตารางดังกล่าว ยังให้ค่าปริมาณฟองอากาศที่เกิดไม่มีสารทำให้เกิดฟองอากาศ และปริมาณฟองอากาศที่ควรจะมีในส่วนผสมคอนกรีตเมื่อใส่สารทำให้เกิดฟองอากาศ

2.7.2.4 เลือกอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์

อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์ที่เหมาะสม ขึ้นอยู่กับลักษณะที่คอนกรีตนั้นถูกนำออกไปใช้งาน และกับกำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ต้องการ ในกรณีที่ไม่มีข้อมูลเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต สำหรับวัสดุผสมที่จะใช้ผสมทำคอนกรีตก็ให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์จากตารางที่ 7 และ 8

สำหรับค่าเฉลี่ยของกำลังประลัยคอนกรีตที่ต้องการ ให้เลือกใช้ค่าอัตราส่วนดังกล่าวที่ต่ำที่สุดซึ่งหาได้จากตาราง 2-7 และตาราง 2-8 นี้

ตารางที่ 2-7 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุดโดยน้ำหนักที่ยอมให้ใช้ได้สำหรับคอนกรีตในสภาวะเปิดเผย

ชนิดของโครงสร้าง	**โครงสร้างที่เปียกตลอดเวลาหรือมีการเยือกแข็งและการละลายของน้ำสลับกันบ่อยๆ (เฉพาะคอนกรีตกระจายกักฟองอากาศเท่านั้น)**	**โครงสร้างในน้ำเค็มหรือถูกกับซัลเฟต**
1) โครงสร้างบางๆที่มีเหล็กหุ้มบางกว่า 3 ซม.	0.45	0.40 *
2) โครงสร้างอื่นๆ ทั้งหมด	0.50	0.45 *

* ถ้าใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต อาจเพิ่มค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ นี้ได้อีก 0.05

ตารางที่ 2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์กับกำลังอัดประลัยของคอนกรีต

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ 28 วัน (กก./ซม.^{2})	**คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ**	
	คอนกรีตไม่กระจายกักฟองอากาศ	**คอนกรีตกระจายกักฟองอากาศ**
450	0.38	-
400	0.43	-
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

2.7.2.5 คำนวณปริมาณซีเมนต์ที่ต้องการใช้

เมื่อทราบปริมาณน้ำที่ใช้ต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต และทราบอัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์โดยน้ำหนักแล้ว ปริมาณซีเมนต์ที่ต้องใช้ในคอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรย่อมได้หาได้ ซึ่งเท่ากับปริมาณน้ำจากขั้นที่ 3 หารด้วยอัตราส่วนจากขั้นที่ 4 อย่างไรก็ดี ถ้ากำหนดปริมาณซีเมนต์ในหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตมาให้ก็ให้เลือกใช้ค่าที่มากที่สุดจากที่คำนวณได้หรือที่กำหนดให้

2.7.2.6 คำนวณปริมาณวัสดุผสมหยาบ

จากตารางที่ 2-9 แสดงปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้ง และอัดแน่น (dry rodded) ในส่วนผสมต่อคอนกรีตหนึ่งหน่วยปริมาตร ซึ่งแตกต่างตามค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายที่ใช้ และขนาดโตที่สุดของหินที่ใช้ ปริมาณของวัสดุผสมหยาบคิดเป็นน้ำหนักมีค่าเท่ากับปริมาตรของวัสดุผสมหยาบคูณด้วยหน่วยน้ำหนักของวัสดุผสมหยาบนั้น

ตารางที่ 2-9 ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีต

ขนาดโตสุดของหิน	ปริมาตรของวัสดุผสมหยาบในสภาพแห้งและอัดแน่นต่อหน่วยปริมาตร ของคอนกรีต สำหรับค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายต่างๆ กัน			
	2.4	2.6	2.8	3
3/8” (10 มม.)	0.5	0.48	0.46	0.44
1/2” (12.5 มม.)	0.59	0.57	0.55	0.53
3/4” (20 มม.)	0.66	0.64	0.62	0.6
1” (25 มม.)	0.71	0.69	0.67	0.65
1 ½” (40 มม.)	0.76	0.74	0.72	0.7
2” (50 มม.)	0.78	0.76	0.74	0.72
3” (75 มม.)	0.81	0.79	0.77	0.75
6” (150 มม.)	0.87	0.85	0.83	0.81

2.7.2.7 ประมาณปริมาณวัสดุผสมละเอียด

เมื่อได้ค่าต่างๆของส่วนผสมจนถึงลำดับที่ 6 แล้ว ปริมาณของวัสดุผสมละเอียดจะหาได้ดังนี้

ปริมาตรเนื้อแท้ของวัสดุผสมละเอียด = ปริมาตรคอนกรีต – ปริมาตรเนื้อแท้ของส่วนผสมต่างๆ

โดยที่ ปริมาตรเนื้อแท้ (ซึ่งเป็นปริมาตรที่ไม่มีช่องว่างในเนื้อ) ของวัสดุ คำนวณได้จากความถ่วงจำเพาะ และน้ำหนักของวัสดุ

$$\text{ปริมาตรเนื้อแท้} = \frac{\text{น้ำหนักของวัสดุ}}{\text{ความถ่วงจำเพาะ} \times \text{หน่วยน้ำหนักของน้ำ}}$$

2.7.2.8 ปรับส่วนผสมเนื่องจากความชื้นของวัสดุผสม

ตามปกติ วัสดุผสมที่ใช้งานจริงจะมีความชื้นสูงกว่าในสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้ง ฉะนั้น จึงต้องแก้ส่วนผสมให้เข้ากับสภาพจริงโดยเพิ่มน้ำหนักของวัสดุผสมขึ้นเท่ากับน้ำหนักน้ำที่ติดมา และลดน้ำในส่วนผสมออกในจำนวนเท่ากัน ในกรณีที่วัสดุผสมแห้งกว่าสภาวะอิ่มตัวและผิวแห้ง จะต้องแก้ส่วนผสมเช่นเดียวกันในทางตรงกันข้าม

2.7.2.9 การปรับส่วนผสมด้วยการทดลองผสม

สัดส่วนของผสมต่างๆที่คำนวณแล้วเป็นเกณฑ์โดยประมาณทั้งสิ้นซึ่งจะต้องตรวจสอบดูด้วยถึงผลที่ได้ ทั้งในด้านกำลังของคอนกรีต และความยากง่ายในการทำงานโดยการทดลองผสมจริง จากนั้นจึงตรวจสอบดูหน่วยน้ำหนักของคอนกรีต ปริมาตรที่ใช้ และปริมาณอากาศแล้วจึงปรับส่วนผสมต่างๆ ให้เหมาะสมอีกครั้งหนึ่ง ถ้าต้องการให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1 เซนติเมตร จะต้องเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำในส่วนผสม 2 ลิตร/คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งจะมีผลให้กำลังของคอนกรีตน้อยลง หรือมากขึ้นตามไปด้วย ฉะนั้นถ้าต้องการให้คอนกรีตมีกำลังคงเดิม จะต้องปรับปริมาณปูนซีเมนต์หรือหินและทรายร่วมไปด้วย และถ้าต้องการให้คอนกรีตที่มีสารกระจายกักฟองอากาศมีปริมาณฟองอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลง 1% จะต้องลดหรือเพิ่มปริมาณน้ำในส่วนผสม 3 ลิตร/คอนกรีต 1 ลูกบาศก์เมตร

2.8 การบ่มคอนกรีต

วิธีการบ่มคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับสภาพของงานคอนกรีตนั้นๆ เป็นหลัก ลักษณะของการบ่มคอนกรีตสามารถแบ่งได้ 3 ลักษณะ คือการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต การป้องกันการเสียน้ำของคอนกรีต และการเร่งกำลัง

2.8.1 การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีต

การบ่มโดยการเพิ่มความชื้นให้คอนกรีตการบ่มลักษณะนี้จะเพิ่มความชื้นให้กับผิวคอนกรีตโดยตรง เพื่อทดแทนการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีต

2.8.1.1 การขังหรือหล่อน้ำ

การขังหรือหล่อน้ำ เป็นการทำนบกั้นน้ำไม่ให้น้ำไหลออกมักจะใช้กับงานทางระดับ เช่น พื้น หรือถนน เป็นต้น วัสดุที่ใช้ทำทำนบอาจจะเป็นดินเหนียว หรืออิฐก็ได้ ข้อควรระวังสำหรับวิธีนี้ คือ ต้องระวัง อย่าให้ทำนบกั้นน้ำพัง และหลังจากบ่มเสร็จแล้ว อาจจะต้องทำความสะอาดผิวหน้าคอนกรีต

2.8.1.2 การฉีดน้ำหรือรดน้ำ

เป็นการฉีดน้ำให้ผิวคอนกรีตเปียกอยู่เสมอวิธีนี้ใช้ได้กับงานคอนกรีต ทั้งในแนวดิ่ง แนวระดับ หรือแนวเอียง ข้อควรระวัง คือต้องฉีดน้ำให้ทั่วถึงทุกส่วนของคอนกรีต และแรงดันน้ำต้องไม่แรงเกินไปจนชะเอาผิวหน้าคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวดีออก วิธีนี้ต้องสิ้นเปลืองน้ำมาก และต้องอาศัยที่ที่มีแรงดันน้ำมากพอ

2.8.1.3 การคลุมด้วยวัสดุเปียกชื้น

การคลุมด้วยวัสดุเปียกชื้น เป็นวิธีที่ใช้กันมาก เพราะสะดวก ประหยัด และสามารถใช้ได้กับงานทั้งแนวระดับ แนวดิ่ง และแนวเอียง วัสดุที่ใช้คลุมอาจจะใช้ ผ้าใบ กระสอบ หรือวัสดุอื่นที่อมน้ำ ข้อควรระวัง คือวัสดุที่คลุมต้องเปียกชุ่มอยู่เสมอ การคลุมต้องคลุมให้วัสดุคลุมเหลื่อมกัน วัสดุที่ใช้คลุมต้องปราศจากสารที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต หรือทำให้คอนกรีตด่าง สำหรับการคลุมงานคอนกรีตในแนวดิ่ง ต้องยึดวัสดุคลุมให้แน่นหนา ไม่เลื่อนหล่นลงมาได้ โดยเฉพาะเวลาที่ราดน้ำ ซึ่งจะต้องทำเป็นประจำ

2.8.2 การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต

การบ่มโดยการป้องกันการเสียน้ำจากเนื้อคอนกรีต วิธีการนี้ใช้การผนึกผิวของคอนกรีตเพื่อป้องกันมิให้ความชื้นจากคอนกรีตระเหยออกจากเนื้อคอนกรีต

2.8.2.1 การบ่มในแบบหล่อ (CURING THE MOLD)

การบ่มในแบบหล่อ (CURING THE MOLD) แบบหล่อไม้ที่เปียก และแบบหล่อเหล็ก สามารถป้องกันการสูญเสียความชื้นได้ดี วิธีนี้จัดได้ว่าง่ายที่สุด เพียงแค่ทิ้งแบบหล่อให้อยู่กับคอนกรีตที่หล่อไว้ให้นานที่สุดเท่าที่จะทำได้ และคอยดูแลให้ผิวด้านบนคอนกรีตมีน้ำอยู่ โดยน้ำนั้นสามารถไหลซึมลงมาระหว่างแบบหล่อกับคอนกรีตได้

2.8.2.2 การใช้กระดาษกันน้ำซึม

การใช้กระดาษกันน้ำซึม เป็นการใช้กระดาษกันน้ำซึม ปิดทับผิวคอนกรีตให้สนิท เป็นเวลาอย่างน้อย 3 วัน วิธีนี้มักนิยมใช้กับงานคอนกรีตแนวระดับ กระดาษกันน้ำซึมนี้ เป็นกระดาษเหนียวสองชั้นยึดติดกันด้วยยางมะตอย และเสริมความเหนียวด้วยใยแก้ว มีคุณสมบัติในการยืดหดตัวไม่มากนักเวลาที่เปียกและแห้ง ข้อควรระวังในการใช้กระดาษ คือ บริเวณรอยต่อระหว่างแผ่นจะต้องผนึกให้แน่นด้วยกาว หรือเทป และกระดาษต้องไม่มีร่อยรอยฉีกขาด หรือชำรุด

2.8.2.3 การใช้แผ่นผ้าพลาสติกคลุม

การใช้แผ่นผ้าพลาสติกคลุม วิธีการนี้จะเหมือนกับการใช้กระดาษกันน้ำ แต่แผ่นผ้าพลาสติกจะเบากว่ามาก จึงสะดวกในการใช้มากกว่า สามารถใช้กับงานโครงสร้างทุกชนิด ข้อควรระวังก็เช่นเดียวกับกระดาษกันน้ำ คือ รอยต่อและการชำรุดฉีกขาด และเนื่องจากมีน้ำหนักเบาจึงต้องระวังเรื่องการผูกยึด ป้องกันลมพัดปลิวด้วย

2.8.2.4 การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต

การใช้สารเคมีเคลือบผิวคอนกรีต เป็นการพ่นสารเคมีลงบนผิวคอนกรีตซึ่งสารเคมีที่พ่นนี้จะกลายเป็นเยื่อบางๆ คลุมผิวคอนกรีตป้องกันการระเหยออกของน้ำในคอนกรีตได้ การบ่มวิธีนี้ทั้งสะดวกและรวดเร็วแต่ค่าใช้จ่ายจะสูง จึงมักใช้กับงานที่บ่มด้วยวิธีอื่นได้ลำบาก การพ่นสารเคมีนี้ต้องกระทำในขณะที่ผิวคอนกรีตยังชื้นอยู่ และต้องพ่นให้ทั่วถึง ข้อที่ควรทราบ คือสารเคมีประเภทนี้จะทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตเดิมกับคอนกรีตที่จะเทใหม่เสียไป จึงไม่ควรใช้กับงานคอนกรีตที่ต้องต่อเติม หรือฉาบปูนในภายหลัง และหากใช้สารเคมีฉีดพ่นแล้ว ไม่ควรฉีดน้ำซ้ำ

เพราะน้ำจะไปชะล้างสารเคมีออก ควรชี้แจงให้คนที่ทำงานทราบถึงประเด็นนี้ เพื่อจะได้ไม่ฉีดชะล้างสารเคมีออกโดยรู้เท่าไม่ถึงการณ์ น้ำยาคอนกรีต ควรมีคุณภาพตามข้อกำหนดของ มอก. 841 หรือ ASTM C 309 เป็นสารที่เคลือบบนผิวคอนกรีตซึ่งเมื่อแห้งแล้วจะเป็นแผ่นบาง สามารถป้องกันการสูญเสียน้ำระหว่างการแข็งตัวของคอนกรีตในช่วงแรกได้ แบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ ใส ใสเจือสี และ สีขาว ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ

1. ส่วนที่ระเหยได้ จะต้องปราศจากตัวทำละลายที่เป็นพิษ หรือถ้าติดไฟต้องไม่ลุกลามรุนแรง และส่วนที่เป็นของเหลว ซึ่งประกอบด้วยตัวทำละลาย
2. ส่วนที่ไม่ระเหย ได้แก่ มีส่วนที่ไม่ระเหยเป็นไขธรรมชาติ หรือไขปิโตรเลียม และมีส่วนที่ไม่ระเหยเป็นเรซินเหมาะกับโครงสร้างพิเศษต่างๆ ที่ต้องการใช้งานเร็ว เช่น พื้นสนามบิน ถนน อาคารสูง พื้นโรงงานอุตสาหกรรม คลังเก็บสินค้า เป็นต้น

วิธีการ สามารถใช้งานได้ทันที มีหลายสีด้วยกัน เช่น ใส ขาว เทาอ่อน และดำ สำหรับสีขาวจะเหมาะสมกว่าเพราะสะท้อนความร้อนและแสงได้ดีกว่า โดยการใช้ฉีดพ่นคลุมพื้นผิวคอนกรีตที่ต้องการใช้งานเร็วๆ เช่นลานบินหลังคากว้างๆ หรือตึกสูงๆที่ส่งน้ำไปได้ลำบาก โดยควรฉีดพ่นซ้ำมากกว่า 1 ครั้ง

ข้อควรระวัง หลีกเลี่ยงผิวคอนกรีตที่ยังคงมีการเยิ้มอยู่ หรือยังคงมีการระเหยของน้ำที่ผิวมากเกินไป และไม่ควรฉีดพ่นน้ำยาบ่มลงบนเหล็กเสริม หรือที่รอยต่อของการก่อสร้าง เนื่องจากบริเวณดังกล่าวต้องการการยึดเกาะที่ดีกับคอนกรีตที่จะเทต่อไปภายหลัง

2.8.3 การบ่มด้วยการเร่งกำลัง

การบ่มด้วยการเร่งกำลัง เป็นการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ โดยให้ความชื้น และความร้อนกับคอนกรีตที่หล่อเสร็จใหม่ๆ วิธีนี้จะทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นโดยรวดเร็วช่วยลดการหดตัว และเพิ่มความต้านทานต่อสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต

ในสองวิธีแรกที่กล่าวในตอนต้นเป็นวิธีการบ่มคอนกรีตที่อุณหภูมิปกติ แต่วิธีนี้เป็นการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ (steam curing) โดยใช้ความชื้นและความร้อนกับคอนกรีตที่หล่อเสร็จใหม่ๆ ซึ่งจะช่วยให้คอนกรีตไม่ขาดน้ำเช่นเดียวกับการบ่มอย่างธรรมดา แต่ช่วยเร่งปฏิกิริยาเคมีระหว่างน้ำกับปูนซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตมีกำลังสูงขึ้นโดยรวดเร็ว ลดการหดตัว และเพิ่มความต้านทานต่อสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อคอนกรีต การบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำใช้กับคอนกรีตที่ทำจากปูนซีเมนต์ทุกประเภท รวมทั้งคอนกรีตที่ใช้สารผสมเพิ่ม นิยมใช้กันมากในงานอุสาหกรรมคอนกรีตสำเร็จรูป เช่น เสาเข้ม เสาไฟฟ้า เป็นต้น กล่าวคือ ช่วยให้สามารถถอดคอนกรีตออกจากแบบหล่อได้เร็วขึ้น ทำให้ประหยัดจำนวนไม้แบบที่จะต้องใช้ซึ่งมีราคาสูงมากขึ้นเรื่อยๆ และไม่เปลืองที่กองเก็บผลิตภัณฑ์อีกด้วย

โดยทั่วไปการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำทำได้สองวิธี คือบ่มด้วยไอน้ำที่มีความดันต่ำ และบ่มด้วยไอน้ำที่มีความดันสูง สำหรับวิธีหลังจะต้องมีหม้อหรือเตาบ่มชนิดใช้กับความดัน เช่น หม้ออบไอน้ำออโต้เคลฟว์ ซึ้งใช้กับผลิตภัณฑ์คอนกรีตขนาดเล็ก ส่วนวิธีแรกนั้นเป็นการบ่มคอนกรีตที่มีความดันของบรรยากาศด้วยไอน้ำที่มีความชื้นสูงจนอิ่มตัวมีอุณหภูมิไม่เกิน 100 องศาเซลเซียส การบ่มอาจกระทำในห้องบ่มซึ่งสร้างไว้ถาวร ใช้บ่มผลิตภัณฑ์คอนกรีตหล่อสำเร็จรูปชนิดต่างๆ เช่น เสาเข็ม เสาไฟฟ้า คอนกรีตบล็อก เป็นต้น

สิ่งสำคัญในการบ่มคอนกรีตด้วยไอน้ำ คือ ช่วงเวลาในการดำเนินการเพิ่มหรือลดอุณหภูมิ ซึ่งถ้าปฏิบัติไม่ถูกต้อง จะเป็นเหตุให้คอนกรีตเสียหายหรือไม่เกิดกำลังตามต้องการ ช่วงเวลาในการดำเนินการนี้แบ่งออกเป็น 4 ช่วง คือ

1. ช่วงเวลาก่อนให้ไอน้ำ นับจากเมื่อหล่อคอนกรีตเสร็จไปจนถึงเวลาที่จะเพิ่มอุณหภูมิให้กับคอนกรีต เพื่อทิ้งให้คอนกรีตแข็งตัวเต็มที่เสียก่อน โดยปกติทิ้งไว้ 2-5 ชั่วโมง

2. ช่วงเวลาเพิ่มอุณหภูมิ นับจากเมื่อเริ่มเพิ่มอุณหภูมิให้กับคอนกรีต ไปจนถึงเวลาที่อุณหภูมิของการบ่มขึ้นถึงอุณหภูมิสูงสุดที่กำหนด อัตราการเพิ่มอุณหภูมิที่ใช้โดยทั่วไปจะอยู่ระหว่าง 10 ถึง 30 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง ปกตินิยมใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิประมาณ 20 องศาเซลเซียสต่อชั่วโมง การเพิ่มอุณหภูมิต้องเพิ่มด้วยอัตราที่คงที่สม่ำเสมอโดยตลอด อุณหภูมิสูงสุดของการบ่มไม่ควรเกินกว่า 80 องศาเซลเซียส ฉะนั้นโดยทั่วไปแล้วช่วงเวลานี้จะอยู่ระหว่าง 2-4 ชั่งโมง

3. ช่วงเวลารักษาอุณหภูมิให้คงที่ นับจากเมื่ออุณหภูมิของการบ่มได้ถูกเพิ่มขึ้นจนถึงจุดอุณหภูมิสูงสุด ไปจนถึงเวลาที่คอนกรีตมีกำลังเกิดขึ้นเท่าที่ต้องการ ในช่วงเวลานี้อุณหภูมิของการบ่มจะถูกควบคุมให้อยู่จุดอุณหภูมิสูงสุดตลอดเวลา ระยะเวลาที่ใช้ในช่วงนี้ขึ้นอยู่กับส่วนผสมของคอนกรีต ประเภทของปูนซีเมนต์ที่ใช้และอุณหภูมิสูงสุดที่ใช้ในการบ่ม ปกติกินเวลาตั้งแต่ 12-18 ชั่วโมง

4. ช่วงเวลาลดอุณหภูมิ หลังจากที่บ่มคอนกรีตจนมีกำลังถึงขีดที่ต้องการแล้วจะต้องค่อยๆ ลดอุณหภูมิของคอนกรีตลงจนถึงอุณหภูมิปกติ ปกติใช้เวลาประมาณ 2 ชั่วโมง การลดอุณหภูมิลดทันทีทันใด อาจเป็นเหตุให้คอนกรีตเกิดความเสียหายได้

2.9 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต

ในการก่อสร้างปัจจุบันจำเป็นต้องมีการทดสอบคอนกรีต เพื่อเป็นการควบคุมคุณภาพของงานก่อสร้าง ซึ่งในการทดสอบนั้นจะแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ คือ การทดสอบแบบทำลายและการทดสอบแบบไม่ทำลาย ซึ่งการทดสอบแบบทำลายจะทำความเสียหายต่อคอนกรีตโดยในงานก่อสร้างจริงนั้น ไม่สามารถทำการทดสอบแบบทำลายเพื่อหากำลังของคอนกรีตได้ ดังนั้นจึงมีการทดสอบแบบไม่ทำลายเพื่อหากำลังของคอนกรีต ได้แก่ วิธีการทดสอบด้วยคลื่นเสียงอุลตร้าโซนิค (Ultrasonic Pulse Velocity) และวิธีการทดสอบแบบนับจำนวนครั้งการสะท้อน (Schmidt Hammer)

กำลังต้านทานแรงหรือการรับแรง เป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ซึ่งมีอยู่หลายอย่างด้วยกัน เช่น กำลังต้านทานแรงอัดเป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังยืดเหนี่ยวและกำลังต้านทานแรงอัดเป็นต้น งานคอนกรีตทั่วไปนิยมทำการทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดเป็นหลัก เพื่อนำผลไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของงานและยังใช้เป็นตัวบ่งบอกให้ทราบถึงคุณสมบัติด้านอื่นได้เป็นอย่างดี ทั้งนี้เพราะกำลังต้านทานแรงอื่นๆ จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังต้านทานแรงอัด

การทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดของคอนกรีตทำได้โดยการกดหรืออัดแท่งทดสอบรูปลูกบาศก์ตามมาตรฐานอังกฤษ หรือรูปทรงกระบอกตามมาตรฐานอเมริกัน ซึ่งบ่มชื้นตามระยะเวลาที่กำหนด จนกระทั่งแตก แล้วทำการคำนวณหาค่าความต้านทานแรงอัดประลัย มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร หรือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

ก้อนตัวอย่างมาตรฐานที่ทำเพื่อทดสอบกำลังอัดที่ใช้กันอยู่อย่างแพร่หลายมี 2 รูปทรงคือ

1. รูปทรงกระบอก เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอเมริกา ขนาดที่ใช้คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

2. รูปทรงลูกบาศก์ เป็นการทดสอบตามมาตรฐานอังกฤษขนาดที่ใช้คือขนาด 15x15x15 เซนติเมตร

กำลังอัดของ 2 รูปทรงนี้จะแตกต่างกัน ถึงแม้จะใช้ส่วนผสมของคอนกรีตเดียวกัน โดยกำลังอัดด้วยตัวอย่างรูปทรงกระบอกจะมีค่าน้อยกว่ากำลังอัดของตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ทั้งนี้เนื่องจากองค์ประกอบ

- แรงเสียดทานระหว่างผิวของก้อนตัวอย่างกับแผ่นรองกดก่อให้เกิด Confining Stress ซึ่งจะมีผลทำให้ค่ากำลังอัดของรูปทรงลูกบาศก์ที่ได้สูงกว่าความเป็นจริง
- องค์ประกอบเรื่องความชะรูด กล่าวคือเนื่องจากรูปทรงกระบอกมีความสูงมากกว่าด้านกว้าง ทำให้ผลด้าน Confining Stress ลดลงอย่างมาก ตามมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (มาตรฐาน วสท.) ได้ให้กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดรูปทรงลูกบาศก์กับกำลังอัดรูปทรงกระบอก

2.10 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

[1]จิรัฐิติ์ บรรจงศิริ (2550) การศึกษารับแรงอัดของของจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าน้ำมันโดยเปรียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน อัตราส่วนผสมร้อยละของเถ้าต่อร้อยละของเหลว 2 แบบ คือ 1:1 ความเข้มข้น 10 โมลาร์ และ 1:1 ความเข้มข้น 15 โมลาร์ ทำการอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 องศาเซลเซียส ที่อายุ 1, 3, 7, 14 และ 28 วันอัตราส่วนของสารละลายโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ใช้อัตราส่วน 1:1 ผลการศึกษาพบว่าการทดสอบทางเคมีพบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันที่นำมาผลิตเป็นจีโอโพลิเมอร์ที่มีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน Class N ตามมาตรฐานของ ASTM C618 กำลังแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ที่ดีที่สุด คือ เถ้า : ของเหลวเท่ากับ 1:1 ความเข้มข้น 10 โมลล่าร์ ที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียลที่ 28 วันกำลังรับแรงอัดระหว่างมอร์ตาร์มาตรฐานกับจีโอโพลิเมอร์ปรากฏว่ามอร์ตาร์มาตรฐานสามารถรับกำลังอัดได้ดีกว่าจีโอโพลิเมอร์ โดยภาพรวมการพัฒนากำลังรับแรงอัดของ จีโอโพลิเมอร์ช่วงอายุ 7 ถึง 28 วัน ไปแล้งกำลังรับแรงอัดมีการพัฒนาไม่มากนัก

[2]บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2554) พฤติกรรมของซีเมนต์เพสต์ผสมวัสดุปอซโซลานในการประยุกต์ใช้กับพลังงานไมโครเวฟงานวิเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของซีเมนต์เพสต์ผสมวัสดุปอซโซลานจำ พวกเถ้าลอยและเถ้าแกลบในรูปแบบการทดสอบด้วยพลังงานไมโครเวฟ โดยทำการศึกษาถึงอุณหภูมิที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาไฮเดรชัน ค่าไดอิเล็กตริกและค่าความจุความร้อนจำเพาะ โดยใช้อัตราส่วนการแทนที่ของเถ้าลอยและเถ้าแกลบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยน้ำหนักเท่ากับร้อยละ 0, 10 และ 20 และอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.38 และ 0.45 จากผลการศึกษาพบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผง (W/B) เท่ากับ 0.38 จะมีอุณหภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงกว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงเท่ากับ 0.45 ในส่วนการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยวัสดุปอซโซลานที่มากขึ้น จะทำให้อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาลดลงและอุณหภูมิที่เกิดจากปฏิกิริยาไฮเดรชันของเถ้าลอยจะมีค่าสูงกว่าของเถ้าแกลบ ในส่วนของค่าไดอิเล็กตริก ควรเลือกค่าในช่วงระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นและเมื่อบ่มได้ระยะเวลาหนึ่งแล้วควรปรับพลังงานให้มีค่าลดลงเพราะค่าไดอิเล็กตริกจะลดลงตามเวลา ไม่เช่นนั้นจะทำให้ความชื้นในวัสดุทดสอบลดลงจนแห้ง ส่งผลให้การพัฒนากำลังอัดตอนปลายลดลงได้สำหรับค่าความจุความร้อนจำเพาะพบว่าที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุผงใดๆ ของร้อยละการแทนที่เท่ากันทั้งเถ้าลอย

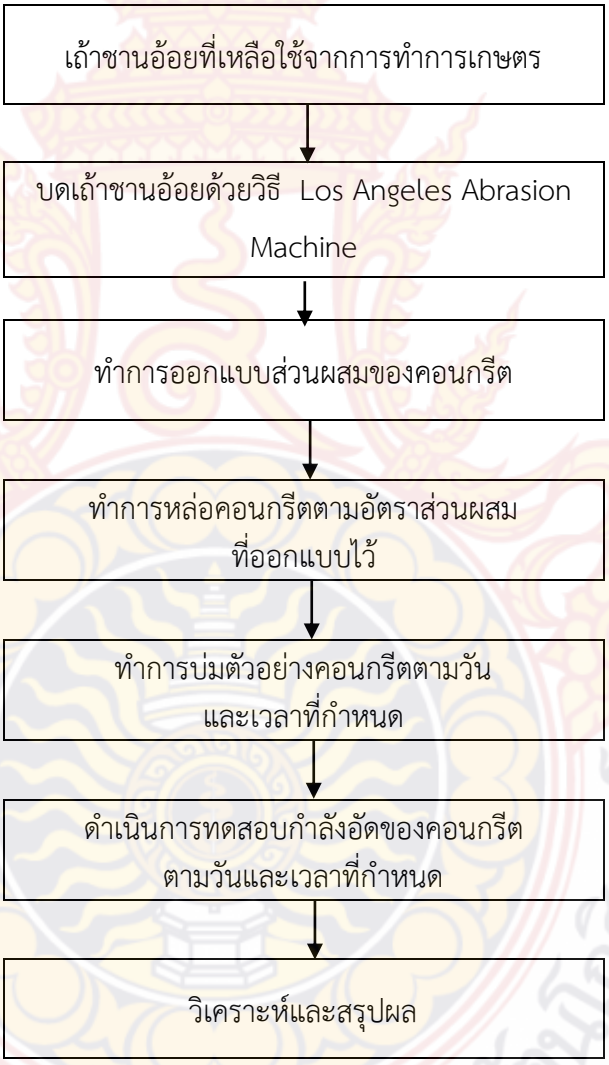
และเถ้าแกลบที่มีความละเอียด 4,000 ตร.ซม./ก. จะมีค่าการคายความร้อนที่น้อยกว่าของเถ้าลอยและเถ้าแกลบที่มีความละเอียด 5,000 ตร.ซม./ก. ทั้งนี้เนื่องจากที่ความละเอียด 5,000 ตร.ซม./ก. วัสดุจะมีพื้นที่ผิวในการดูดซึมน้ำมากกว่าที่ความละเอียด 4,000 ตร.ซม./ก.ทำให้น้ำที่ไม่ได้ใช้ในการทำปฏิกิริยา(Free water) ลดน้อยลง ส่งผลให้อุณหภูมิและพลังงานในการคายความร้อนลดลงตามไปด้วย

[3]วันโชค เครือหงษ์ (2555) การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน เป็นการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันโดยนำเถ้าปาล์มน้ำมันมาบดให้มีความละเอียดแตกต่างด้วยกัน 2 ขนาดคือขนาดอนุภาคใกล้เคียงปูนซีเมนต์และขนาดอนุภาคเล็กกว่าปูนซีเมนต์ โดยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันในอัตราส่วนร้อยละ 0, 20 และ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 ทดสอบความไม่เป็นผลึกของเถ้าปาล์มน้ำมันโดยวิธีเรียทเวลด์ กำลังอัดของเพสต์การทดสอบเพสต์โดยใช้เทคนิคทางความร้อนการทดสอบกระจายขนาดโพรงของเพสต์ผลการทดสอบพบว่าเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นวัสดุซิลิกาที่ไม่เป็นผลึก กำลังอัดของเพสต์ผสมด้วยเถ้าปาล์มน้ำมันขนาดหยาบมีค่าต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์OPC ขณะที่เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีความละเอียดมีกำลังอัดสูงกว่าการแทนที่เถ้าปาล์มน้ำมันที่มีขนาดหยาบ เพสต์ที่ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีความละเอียดร้อยละ 20 มีปริมาตรโพรงทั้งหมดต่ำที่สุด ปริมาณแคลเซียมไฮดรอกไซด์ของเพสต์ ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันลดลงด้วยการแทนที่เพิ่มขึ้นของเถ้าปาล์มน้ำมันและมีปริมาณที่ต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์OPC นอกจากนี้ขนาดโพรงวิกฤตของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันมีค่าต่ำกว่าซีเมนต์เพสต์OPCเพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีความละเอียดช่วยลดขนาดโพรงวิกฤตมากกว่าเพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันที่มีขนาดหยาบ

[4]จิรวัฒน์ ชาลีวรรณ (2555) ระยะเวลาก่อตัวของเพสต์และกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บด การวิจัยนี้เป็นการศึกษาผลกระทบของอัตราการแทนที่และความละเอียดของเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดต่อระยะเวลาก่อตัวของเพสต์ และกำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ โดยนำเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้จากโรงไฟฟ้าชีวมวลของโรงงานน้ำ ตาลมาบดให้มีความละเอียด 3 ขนาด คือ บดหยาบ บดปานกลาง และบดละเอียดโดยมีขนาดอนุภาคค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 30, 10, และ 0 ตามลำดับ แทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในอัตราร้อยละ 0, 20, และ 40 โดยน้ำหนักของสารซีเมนต์ ผลิตมอร์ตาร์โดยควบคุมค่าการไหลแผ่ร้อยละ 110±5 โดยการปรับปริมาณน้ำ และเติมสารลดน้ำพิเศษ ผลการทดสอบพบว่าระยะเวลาก่อตัวต้นและก่อตัวปลายจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่และความละเอียดของเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดจะแปรผกผันกับปริมาณเถ้าชานอ้อยที่ผสมมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียดร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด โดยที่อายุ 28 และ 90 วัน กรณีปรับปริมาณน้ำมีกำลังรับแรงอัดคิดเป็นร้อยละ 98 และ 97 ของมอร์ตาร์ควบคุม ตามลำดับ กรณีเติมสารลดน้ำพิเศษ มอร์ต้าร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บดละเอียดร้อยละ 20 มีกำลังรับแรงอัดสูงสุดคิดเป็นร้อยละ 131 และ 126 ของมอร์ต้าร์ควบคุม ตามลำดับ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางจุลภาคของเถ้าชานอ้อย และศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีต โดยทำการแทนเถ้าชานอ้อย 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 โดยการทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการแข่งขันทักษะด้านคอนกรีตและงานจริงต่อไป



ภาพที่ 3-1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 แผนการดำเนินการทดสอบ

แผนการดำเนินการทดสอบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนดังต่อไปนี้

3.1.1 การเตรียมวัสดุ ได้แก่ การบดเถ้าชานอ้อยและการเตรียมอัตราส่วนคอนกรีต

3.1.2 การทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต การทดสอบนี้เป็นการนำเถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพื่อที่จะทำการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตที่มีส่วนผสมของเถ้าชานอ้อย

3.2 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

3.2.1 ปูนซีเมนต์ เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง

รูปที่ 3.2 แสดงรูปปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง

3.2.2 เถ้าชานอ้อยบดละเอียด

รูปที่ 3.3 แสดงรูปเถ้าชานอ้อยบดละเอียด

3.2.3 มวลรวมละเอียด เป็นทรายที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป

รูปที่ 3.4 แสดงรูปมวลรวมละเอียด

3.2.4 มวลรวมหยาบ เป็นหินปูนที่ใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป มีขนาดใหญ่สุดไม่เกิน 20 มิลลิเมตร เพื่อให้เหมาะกับขนาดโมลที่ใช้ในการเก็บตัวอย่าง

รูปที่ 3.5 แสดงรูปมวลรวมหยาบ

3.2.5 น้ำ เป็นน้ำประปา ในมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ศาลายา

3.2.6 เครื่องมือที่ใช้ในการทำตัวอย่างทดสอบ

รูปที่ 3.6 แสดงรูปเครื่องทดสอบแรงอัดคอนกรีต

รูปที่ 3.7 แสดงรูปเครื่องทดสอบการสึกกร่อนจากการเสียดสี (Los Angeles Abrasion Machine)

รูปที่ 3.8 แสดงเครื่องชั่งน้ำหนักขนาดวัดความละเอียด 0.01 กรัม

รูปที่ 3.9 แสดงเตาอบที่ควบคุมอุณหภูมิ

รูปที่ 3.10 แสดงเครื่องร่อนตะแกรง

รูปที่ 3.11 แสดงตะแกรงวิเคราะห์ขนาดมาตรฐานเบอร์ 4,10 และ 20

รูปที่ 3.12 แสดงเครื่องผสมคอนกรีต

รูปที่ 3.13 แสดงแบบหล่อคอนกรีต ชนิด CYLINDER MOLD (ขนาด Ø 10 ซม. สูง 20 ซม.)

รูปที่ 3.14 แสดงเหล็กกระทุ้งคอนกรีต

รูปที่ 3.15 แสดงอ่างพลาสติกผสมปูน

รูปที่ 3.16 แสดงเกรียงใบโพธิ์

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

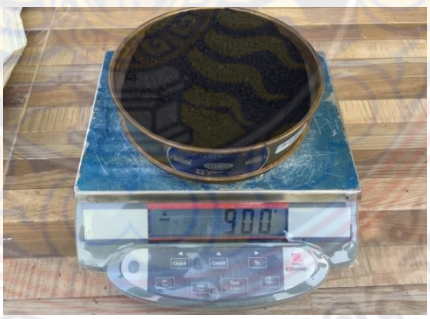
3.3.1 การเตรียมเถ้าชานอ้อยได้มาจากโรงงานผลิตน้ำตาล อำเภออู่ทอง จังหวัดสุพรรณบุรี

รูปที่ 3.17 แสดงการเตรียมเถ้าชานอ้อย

3.3.2 นำเถ้าชานอ้อยมาร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 4, เบอร์ 10 ค้างเบอร์ 20

รูปที่ 3.18 แสดงการร่อนเถ้าชานอ้อย

3.3.3 นำเถ้าชานอ้อยที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 20 โดยทำการช่างน้ำหนักมวลวัสดุ และบันทึกค่า



รูปที่ 3.19 แสดงการชั่งน้ำหนักเถ้าชานอ้อยที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 20

3.3.4 นำเถ้าชานอ้อยที่ค้างบนตะแกรง เบอร์ 20 นำเข้าตู้อบทำการอบที่เวลา 24 ชั่วโมง

รูปที่ 3.20 แสดงการนำเถ้าชานอ้อยอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส

3.3.5 นำเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง มาบดละเอียดใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion Machine โดยบดละเอียดที่ 24 ชั่วโมง

รูปที่ 3.21 แสดงการบดเถ้าชานอ้อนละเอียดใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion Machine

3.3.6 นำเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการบดละเอียด มาผสมกับคอนกรีตโดยใช้วิธีผสมแบบ ACI โดยผสมให้คอนกรีตรับแรงกำลังอัดที่ 180 กก./ซม.^{2} อัตราส่วนผสมคอนกรีต 1:2:4 และใช้เถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 แล้วเก็บตัวอย่างคอนกรีตตามจำนวนวันที่ทำการทดสอบ

รูปที่ 3.22 แสดงการผสมคอนกรีตโดยวิธี ACI

3.4.7 แกะแบบหล่อคอนกรีตเมื่อครบ 24 ชั่วโมง และทำการบ่มแท่งคอนกรีตตามหลักการเป็นเวลา 1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน นำมาทดสอบแรงอัดแล้วบันทึกผลนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้

รูปที่ 3.23 แสดงการแกะแบบหล่อคอนรีต และทำการบ่มแท่งคอนกรีต

3.4.8 ทำการทดสอบแรงอัดของแท่งคอนกรีต (Cylinder) เมื่อครบอายุการบ่มตามจำนวนวันที่กำหนดไว้ (1, 3, 5, 7, 14 และ 28 วัน) ตามมาตรฐาน ASTM C 39 แล้วบันทึกผลนำไปเปรียบเทียบกับค่าที่ออกแบบไว้

รูปที่ 3.24 แสดงการ Cap แท่งคอนกรีต

รูปที่ 3.25 แสดงการทดสอบแรงอัดของคอนกรีต

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์

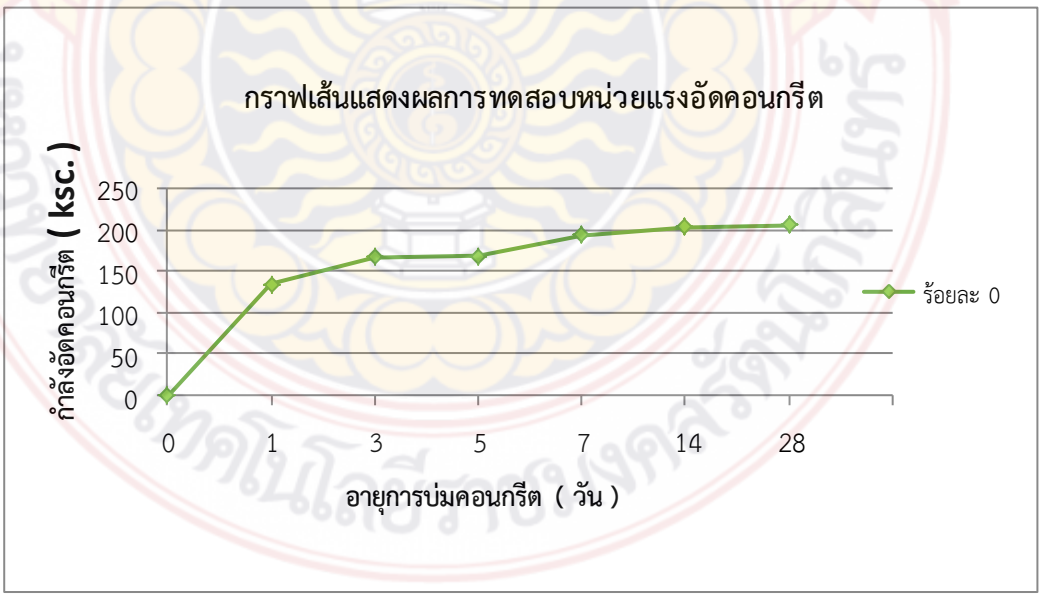
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต

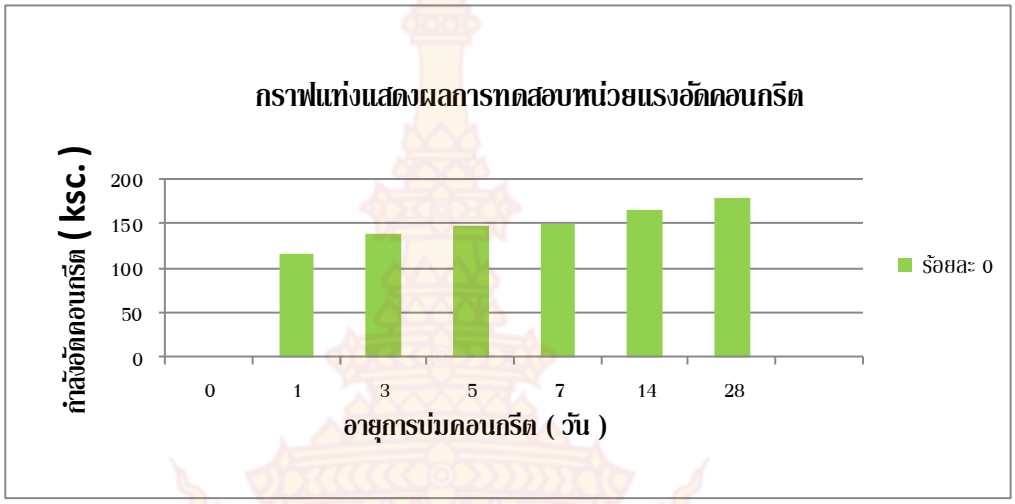
4.1.1 ผลการทดสอบกำลังอัดกำลังอัดของคอนกรีต ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดร้อยละ 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตใช้เถ้าชานอ้อยร้อยละ 0 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์

ขนาดก้อนตัวอย่าง (ซม.)	สัดส่วนเถ้าชานอ้อย (ร้อยละ)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม.^{2})					
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
Ø 10 x 20 ซม.	0	134.32	166.61	168.75	193.44	202.90	205.79

รูปที่ 4.1 กราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.^{2} ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0



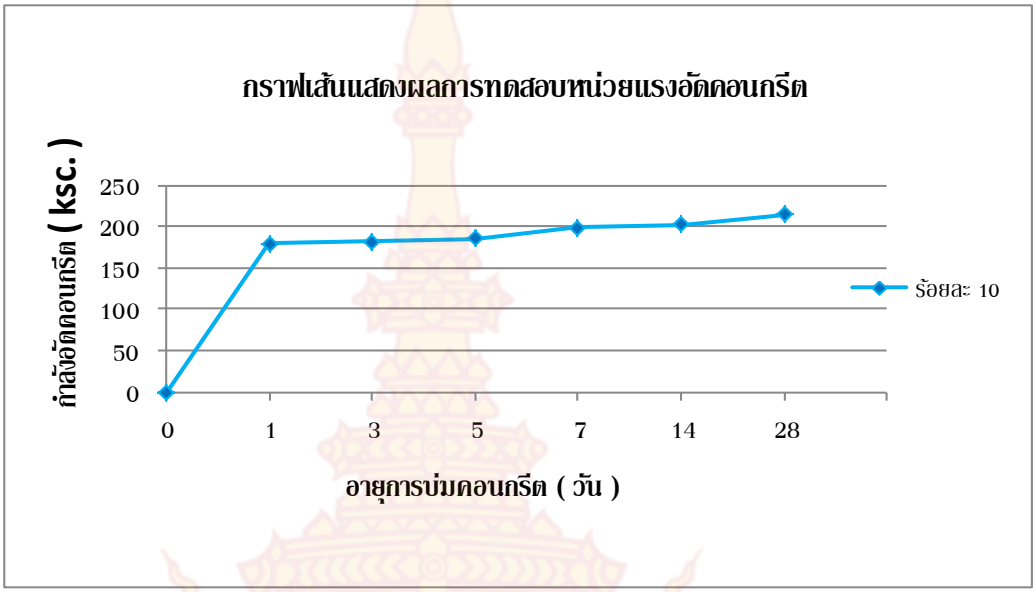


รูปที่ 4.2 กราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.^{2} ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0

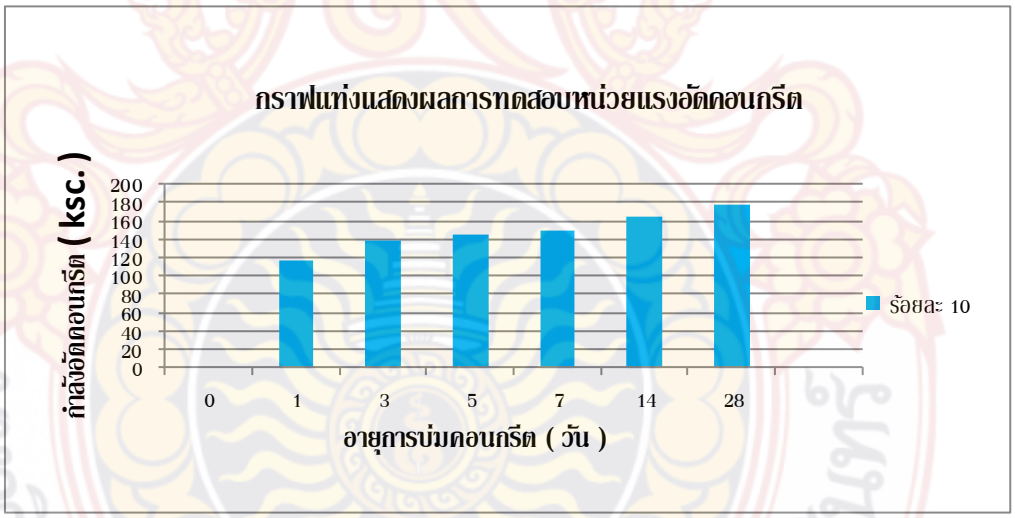
4.1.2 ผลการทดสอบกำลังอัดกำลังอัดของคอนกรีต ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดร้อยละ 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10

ขนาดก้อนตัวอย่าง (ซม.)	สัดส่วนเถ้าชานอ้อย (ร้อยละ)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม.^{2})					
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
Ø 10 x 20 ซม.	10	179.68	181.53	186.03	199.52	203.27	215.20

ตารางที่ 4.2 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตใช้เถ้าชานอ้อยร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.3 กราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.^{2} ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10



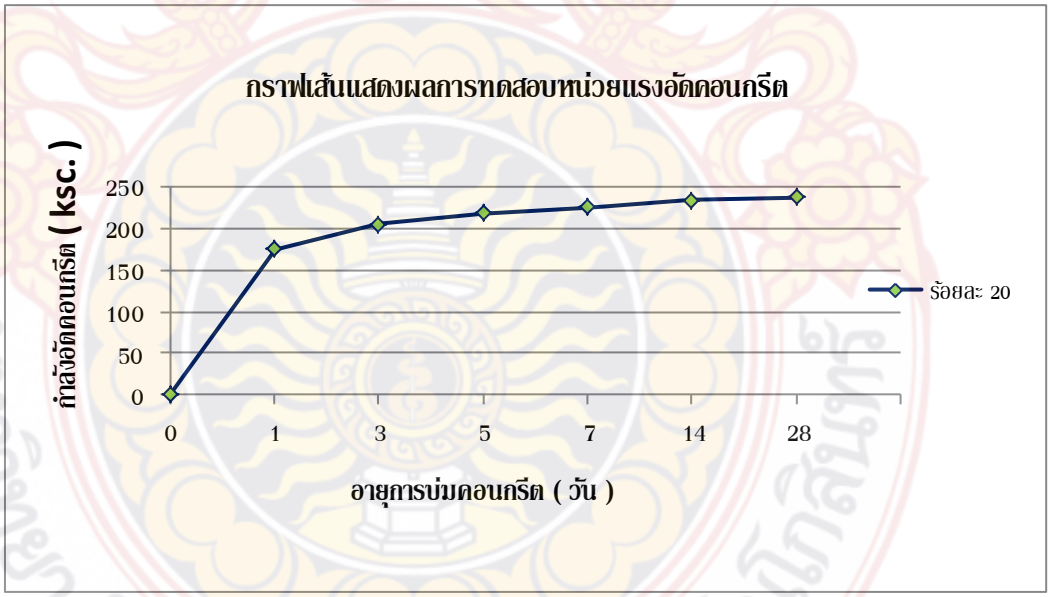
รูปที่ 4.2 กราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.^{2} ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10

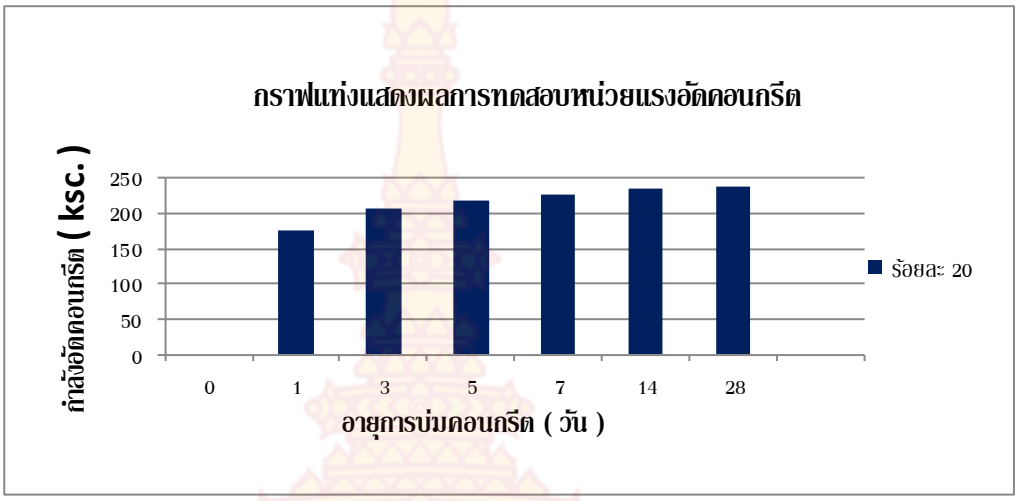
4.1.3 ผลการทดสอบกำลังอัดกำลังอัดของคอนกรีต ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดร้อยละ 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 20

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตใช้เถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์

ขนาดก้อนตัวอย่าง (ซม.)	สัดส่วนเถ้าชานอ้อย (ร้อยละ)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม.²)					
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
Ø 10 x 20 ซม.	20	175.78	205.22	218.16	225.47	234.39	238.03

รูปที่ 4.1 กราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.² ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 20



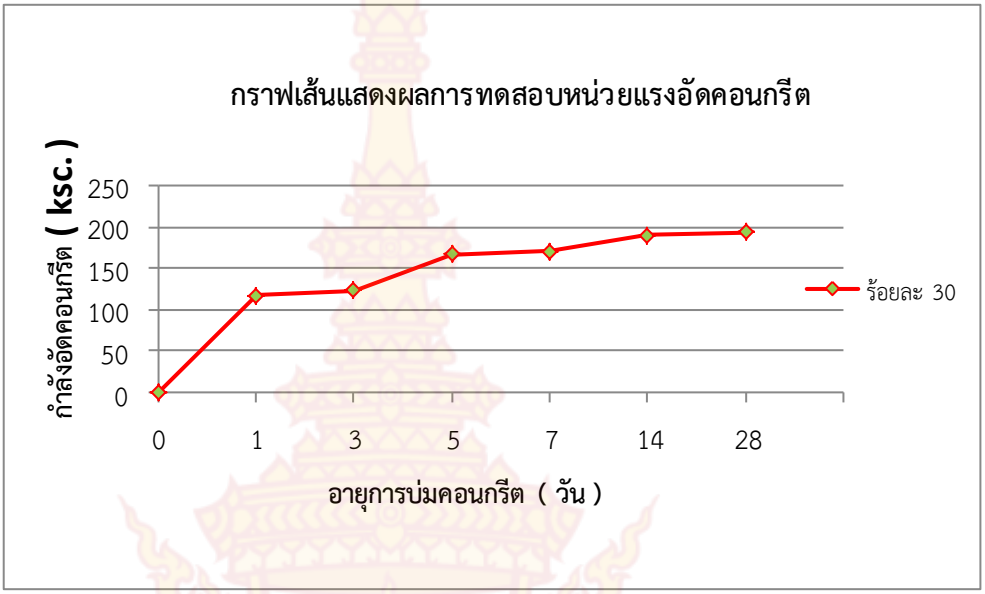


รูปที่ 4.2 กราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.^{2} ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 20

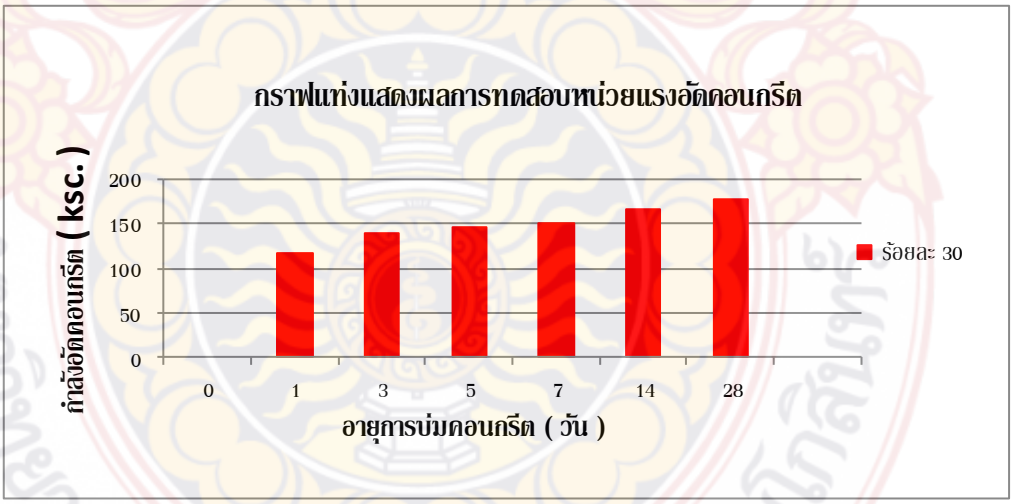
4.1.4 ผลการทดสอบกำลังอัดกำลังอัดของคอนกรีต ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดร้อยละ 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 30

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตใช้เถ้าชานอ้อยร้อยละ 30 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์

ขนาดก้อนตัวอย่าง (ซม.)	สัดส่วนเถ้าชานอ้อย (ร้อยละ)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม.^{2})					
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
Ø 10 x 20 ซม.	30	116.74	123.58	166.60	170.65	189.88	193.64



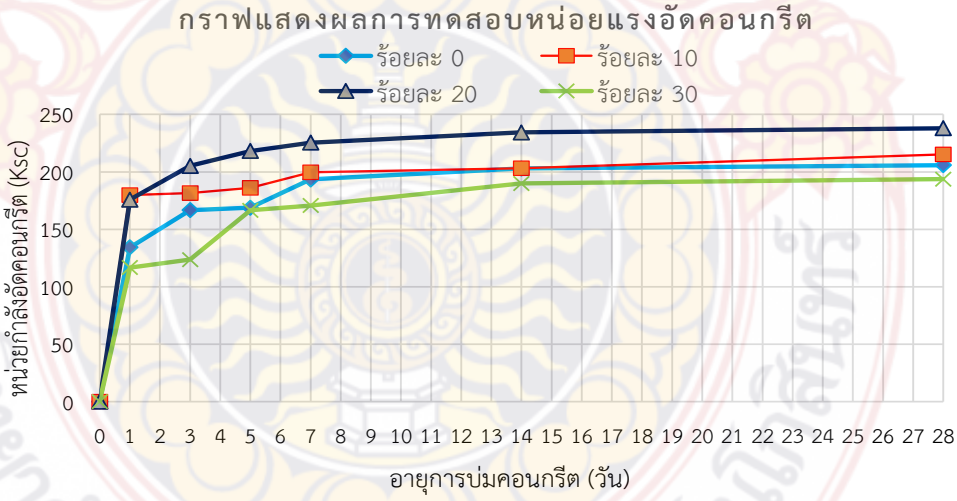
รูปที่ 4.1 กราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.^{2} ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 30



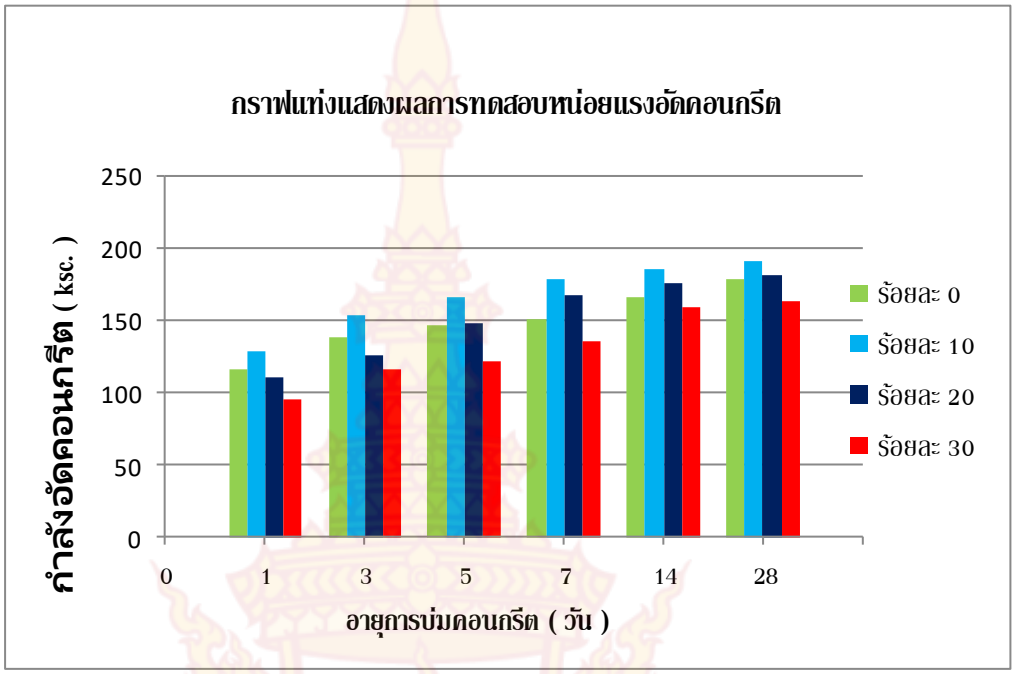
รูปที่ 4.2 กราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.^{2} ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 30

ขนาดก้อนตัวอย่าง (ซม.)	สัดส่วนเถ้าชานอ้อย (ร้อยละ)	กำลังอัดเฉลี่ย (กก./ซม.²)					
		1 วัน	3 วัน	5 วัน	7 วัน	14 วัน	28 วัน
Ø 10 x 20 ซม.	0	134.32	166.61	168.75	193.44	202.90	205.79
Ø 10 x 20 ซม.	10	179.68	181.53	186.03	199.52	203.27	215.20
Ø 10 x 20 ซม.	20	175.78	205.22	218.16	225.47	234.39	238.03
Ø 10 x 20 ซม.	30	116.74	123.58	166.60	170.65	189.88	193.64

ตารางที่ 4.4 สรุปผลการทดสอบกำลังอัดคอนกรีตใช้เถ้าชานอ้อยร้อยละ 0, 10, 20, 30 โดยน้ำหนักแทนที่ปูนซีเมนต์



รูปที่ 4.9 สรุปกราฟเส้นแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.² ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 10, 20, 30

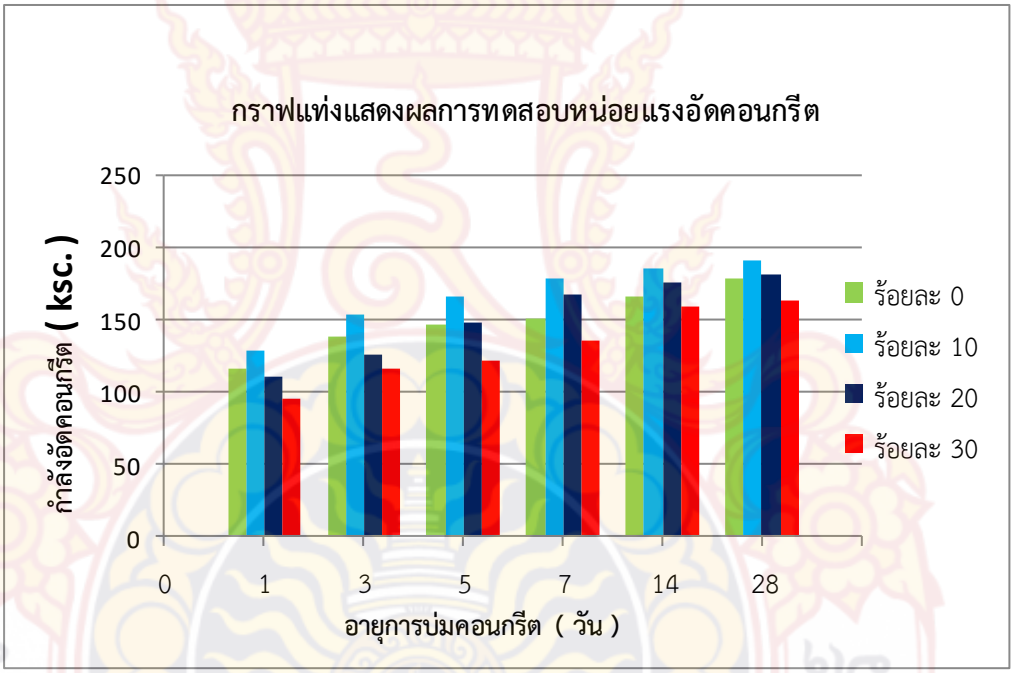


รูปที่ 4.10 สรุปกราฟแท่งแสดงผลการพัฒนากำลังอัดคอนกรีตที่ 180 กก./ซม.^{2} ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียด 24 ชั่วโมง โดยแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 0, 10, 20, 30

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษาวิจัย

จากการจัดทำโครงการ การศึกษาสัดส่วนของเถ้าชานอ้อยที่มีผลต่อแรงอัดในคอนกรีต เมื่อทำการวิเคราะห์ผลการศึกษา และเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของตัวอย่างทดสอบกำลังอัดคอนกรีต ทั้ง 4 อัตราส่วนผสม โดยมีอัตราส่วน 1:2:4 ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เถ้าชานอ้อย ทราย หิน และน้ำ โดยการวิจัยมีจุดประสงค์เพื่อลดปูนซีเมนต์และนำเถ้าชานอ้อยทดแทนในอัตราส่วน 0%, 10%, 20%, 30% สามารถสรุปผลการศึกษาวิจัยได้ดังนี้



5.1.1 สรุปผลการทดสอบความต้านทานแรงอัด

ตัวอย่างทดสอบสัดส่วนของเถ้าชานอ้อยที่ 0% ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราย หิน และน้ำ ตามอัตราส่วน 1:2:4 โดยไม่ผสมเถ้าชานอ้อยที่ อายุ 1 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 134.32 Ksc.ทีอายุ 3 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 166.61 Ksc. ที่อายุ 5 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 168.75 Ksc. ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 193.44 Ksc. ที่อายุ 14 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 202.90 Ksc. ที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 205.79 Ksc. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดในคอนกรีตพื้นฐานก่อนเปรียบเทียบกับอัตราส่วนอื่นตามทฤษฎี

ตัวอย่างทดสอบสัดส่วนของเถ้าชานอ้อยที่ 10% ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราย หิน เถ้าชานอ้อย และน้ำ ตามอัตราส่วนโดยผสมเถ้าชานอ้อย แทนที่ปูนซีเมนต์ 10% ที่อายุ 1 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 179.68 Ksc.ทีอายุ 3 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 181.53 Ksc. ที่อายุ 5 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 186.03 Ksc. ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 199.52 Ksc. ที่

อายุ 14 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 203.27 Ksc. ที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 215.2 Ksc. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดในคอนกรีตอัตราส่วนเถ้าชานอ้อย ที่ผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น

ตัวอย่างทดสอบสัดส่วนของเถ้าชานอ้อยที่ 20% ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราย หิน เถ้าชานอ้อย และน้ำ ตามอัตราส่วนโดยผสมเถ้าชานอ้อย แทนที่ปูนซีเมนต์ 10% ที่อายุ 1 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 175.78 Ksc.ทีอายุ 3 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 205.22 Ksc. ที่อายุ 5 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 218.16 Ksc. ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 225.47 Ksc. ที่อายุ 14 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 234.39 Ksc. ที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 238.03 Ksc. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดในคอนกรีตอัตราส่วนเถ้าชานอ้อย ที่ผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น

ตัวอย่างทดสอบสัดส่วนของเถ้าชานอ้อยที่ 30% ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทราย หิน เถ้าชานอ้อย และน้ำ ตามอัตราส่วนโดยผสมเถ้าชานอ้อย แทนที่ปูนซีเมนต์ 10% ที่อายุ 1 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 116.74 Ksc.ทีอายุ 3 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 123.58 Ksc. ที่อายุ 5 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 166.60 Ksc. ที่อายุ 7 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 170.65 Ksc. ที่อายุ 14 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 189.88 Ksc. ที่อายุ 28 วัน มีค่ากำลังอัดในคอนกรีต 193.64 Ksc. ซึ่งแสดงให้เห็นว่าค่ากำลังอัดในคอนกรีตอัตราส่วนเถ้าชานอ้อย ที่ผสมแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่ากำลังอัดลดลง

การนำเถ้าชานอ้อยไปแทนที่ปูนซีเมนต์มีผลทำให้กำลังอัดของตัวอย่างทดสอบลดลงและต้องใช้เวลาการบ่มนานขึ้นเพื่อที่จะให้ตัวอย่างทดสอบมีกำลังต้านทานแรงอัดเพิ่มขึ้นที่อัตราส่วน 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ และอัตราส่วน 30 เปอร์เซ็นต์ กำลังต้านทานแรงอัดลดลงเนื่องจากตัวอย่างทดสอบมีปริมาณเถ้าชานอ้อยที่มากเกินไปทำให้ความสามารถในการต้านทานแรงอัดได้ไม่ดี

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบค่าคุณสมบัติทางทางกายภาพและทางกลของตัวอย่างทดสอบ สามารถสรุปได้ว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สามารถได้คืออัตราส่วน 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ ถ้านำไปใช้งานจริงและต้องการลดปริมาณปูนซีเมนต์ให้มากที่สุดอัตราส่วนที่แนะนำคือ 20 เปอร์เซ็นต์ แต่ต้องใช้ระยะเวลาในการบ่มถึง 28 วัน สามารถใช้งานจริงได้ในโครงสร้างทั่วไป ประเภทบ้านพักอาศัย เป็นต้น

5.2 ปัญหา อุปสรรค และแนวทางการแก้ไขปัญหา

1. ปัญหาในทางด้านการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ เช่น การศึกษาคู่มือการใช้งานก่อนใช้เครื่องมือและก่อนใช้เครื่องทดสอบค่าการต้านทานกำลังอัดต้องตรวจสอบเครื่องทดสอบก่อนทุกครั้ง เพื่อให้เกิดความผิดพลาดของค่าการต้านทานกำลังอัดน้อยลง

2. การเตรียมวัสดุผสมเป็นการเตรียมที่ใช้เวลาค่อนข้างนาน เช่น การทำเถ้าชานอ้อยให้เป็นวัสดุปอซโซลาน การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุผสม เป็นต้น ผู้ศึกษาควรจัดการบริหารจัดการเวลาให้เหมาะสมเพื่อให้งานวิจัยเสร็จลุล่วงตามเป้าหมายที่ได้กำหนดไว้ในแผนการดำเนินงาน

5.3 การนำไปใช้ประโยชน์

1. เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าชานอ้อยในการแทนที่ปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้ลดต้นทุนในการผลิตและนำไปผลิตใช้งานได้จริง

2. งานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการศึกษางานวิจัยเชิงลึกในอนาคตได้

3. เมื่อได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าชานอ้อยในการแทนปริมาณปูนซีเมนต์แล้ว สามารถนำไปใช้ในงานสำหรับงานโครงสร้างทั่วไป เช่น บ้านพักอาศัย งานทางเท้า งานถนนที่รับน้ำหนักน้อย

5.4 แนวทางการประยุกต์หรือพัฒนาต่อยอดในลักษณะอื่นๆ

1. ควรศึกษาเพื่อพัฒนากำลังอัดที่สัดส่วนของเถ้าชานอ้อยที่มีผลต่อแรงอัดในคอนกรีตปูพื้นให้สามารถรับกำลังอัดที่สูงขึ้น เพื่อให้ผ่านเกณฑ์มาตรฐานอุตสาหกรรม มอก.409-2525 กระทรวงอุตสาหกรรมโดยพิจารณาเกี่ยวกับการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสม อายุการบ่ม ขนาดคละ และขั้นตอนการผลิตเป็นต้น

2. เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุที่สามารถนำมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์เพียงทางเลือกหนึ่งเท่านั้น และเป็นแนวทางในการต่อยอดความรู้ในการคิดค้นวัสดุทดแทนชนิดอื่น ๆ เพื่อพัฒนากำลังอัดให้ใช้งานได้จริง

3. การศึกษาวิจัยในครั้งนี้เป็นเพียงการทดสอบในห้องปฏิบัติการเท่านั้น จึงควรมีการนำไปประยุกต์ใช้จริง และการนำไปใช้ในงานก่อสร้าง ตลอดจนศึกษาเกี่ยวกับอายุการใช้งาน เป็นต้น

บรรณานุกรม

[1] จิรัฐิติ์ บรรจงศิริ (2550) การศึกษารับแรงอัดของของจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าน้ำมันโดยเปรียบกับมอร์ตาร์มาตรฐาน

[2] บุรฉัตร ฉัตรวีระ (2554) พฤติกรรมของซีเมนต์เพสต์ผสมวัสดุปอซโซลานในการประยุกต์ใช้กับพลังงานไมโครเวฟงานวิเป็นการศึกษาถึงพฤติกรรมของซีเมนต์เพสต์ผสมวัสดุปอซโซลาน

[3] วันโชค เครือหงษ์ (2555) การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันเป็นการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมันโดยนำเถ้าปาล์มน้ำมัน

[4] จิรวัฒน์ ชาลีวรรณ, 2555. ระยะเวลาก่อตัวของเพสต์และกำลังรับแรงอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าชานอ้อย-แกลบ-ไม้บด, ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8 กรุงเทพมหานคร. พ.ศ. 2539.

ศักรินทร์ เหลืองกำจร, วารสารคอนกรีต, เมษายน 2008, วัสดุจีโอโพลิเมอร์, สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย.

กรมโยธาธิการ. กระทรวงมหาดไทย. มาตรฐานงานคอนกรีตเสริมเหล็ก (มธย. 103-2533). 2533

คอนกรีตผสมเสร็จซีแพค. คู่มือการทดสอบหินทรายและคอนกรีต (Standard Methods For Testing Aggregate and Concrete) พิมพ์ครั้งที่ 1:CPAC, พ.ศ. 2541.

ประวัติผู้วิจัย

1. หัวหน้าโครงการ

ชื่อ – นามสกุล นายสุทธิชัย ตันเจริญ
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
หน่วยงานและสถานที่อยู่ ที่ติดต่อได้สะดวก สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 02-889-4585-7 ต่อ 2651 **โทรศัพท์มือถือ** 082-723-3611
โทรสาร 02-889-45485-7 ต่อ 2621

2. ผู้ร่วมโครงการ

ชื่อ – นามสกุล นายอภิเสฏฐ์ สุวรรณสะอาด
ตำแหน่งปัจจุบัน อาจารย์
หน่วยงานและสถานที่อยู่ ที่ติดต่อได้สะดวก สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
96 หมู่ 3 ถนนพุทธมณฑลสาย 5 ตำบลศาลายา อำเภอพุทธมณฑล จังหวัดนครปฐม 73170
หมายเลขโทรศัพท์ที่ทำงาน 02-889-4585-7 ต่อ 2651 **โทรศัพท์มือถือ** 061-386-3926
โทรสาร 02-889-45485-7 ต่อ 2621