# ผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีต

สาโรจน์ ดำรงศีล [1]

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา

อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170

และ สุวิมล สัจจวาณิชย์ [2]

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ถนนพหลโยธิน เขตจตุจักร กรุงเทพฯ 10900

*รับเมื่อ 22 พฤศจิกายน 2549 ตอบรับเมื่อ 25 มิถุนายน 2550*

## บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีต ได้แก่ ค่ายุบตัว หน่วยน้ำหนัก ปริมาณอากาศ กำลังอัด และกำลังดัดของคอนกรีต โดยมีตัวแปรในการทดสอบคือปริมาณเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ใช้ปูนซีเมนต์ล้วน ในการศึกษานี้ใช้เถ้าชานอ้อยบดร่วมกับเถ้าลอยในอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก ผลจากการทดสอบพบว่าการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่ายุบตัวและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม แต่มีค่าปริมาณอากาศในคอนกรีตใกล้เคียงกันแม้ใช้แทนที่ปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ค่ากำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น โดยค่ากำลังอัดที่อายุ 3 วัน และ 7 วัน ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุม แต่ที่อายุ 28 วัน กำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยร้อยละ 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีค่าสูงกว่าและใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมตามลำดับ จากการศึกษานี้พบว่าการใช้เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก อาจใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยยังคงมีคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลเทียบเท่ากับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน

---

[1] *อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา*

[2] *รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา*

สาโรจน์ ดำรงศีล และ สุวิมล สัจจวาณิชย์. "ผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีต" *วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ.* 30, 3 (ก.ค.-ก.ย. 2550) 489-499

# Effect of Cement Containing Binary Blended Bagasse Ash-Fly Ash on Physical and Mechanical Properties of Concrete

**Sarote Dumrongsil** [1]
Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Phuthamonthon, Nakhonpathom 73170
**and Suvimol Sujjavanich** [2]
Kasetsart University, Phaholyotin Road, Chatuchak, Bangkok 10900

*Received 22 November 2006 ; accepted 25 June 2007*

## Abstract

This research aimed to investigate the effect of cement containing binary blended bagasse ash and fly ash on physical and mechanical properties of concrete namely slump, unit weight, air content, compressive and flexural strengths. The studied parameter was the percentage replacement of cement by bagasse ash and fly ash at 0, 20, 30, and 40 by weight of cementitious materials. The constant ratio of bagasse ash to fly ash of 60:40 by weight was used in this study. The test results showed that the slump and unit weight of concrete slightly decreased with the increase percentage replacement of bagasse ash and fly ash, however all mixes appeared to yield the comparable air content to that of the control mix. The strength of concrete decreased as the percentage replacement of bagasse ash and fly ash increased. The compressive strength at the ages of 3 and 7 days of concrete containing bagasse ash and fly ash was lower than the control concrete but concretes containing bagasse ash and fly ash at 20% and 30% by weight of cementitious materials had higher compressive and flexural strengths at ages of 28 days than and comparable to the control concrete, respectively. As the results, the physical and mechanical properties of concrete containing bagasse ash and fly ash at 30% by weight of cementitious materials were comparable to the control concrete.

---

[1] *Instructor, Department of Civil Engineering.*

[2] *Associate Professor, Department of Civil Engineering.*

## 1. บทนำ

คอนกรีตเป็นวัสดุที่นิยมใช้ในงานก่อสร้างเพราะมีคุณสมบัติที่เหมาะสมทั้งด้านกำลังรับน้ำหนักและความคงทน แต่ปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นส่วนประกอบสำคัญของคอนกรีตมีราคาสูงเมื่อเทียบกับส่วนประกอบอื่นๆ ของคอนกรีต นอกจากนั้นการผลิตปูนซีเมนต์ยังมีผลต่อการเกิดปัญหาสภาพแวดล้อมและทรัพยากรธรรมชาติตามมา ดังนั้นจึงมีความพยายามที่จะวิจัยและพัฒนาหาวัสดุใหม่ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งวัสดุปอซโซลานมาใช้เสริมหรือใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนเพื่อลดปัญหาเหล่านี้ให้น้อยลง ในขณะที่คุณสมบัติทั้งด้านกำลังรับน้ำหนักและความคงทนยังคงเดิมหรือดีขึ้นกว่าเดิม

ชานอ้อยเป็นวัสดุที่เหลือในกระบวนการผลิตน้ำตาล ปี พ.ศ. 2546/2547 มีปริมาณอ้อยดิบที่ใช้ในการผลิตน้ำตาล 60 ล้านตัน [1] และเหลือปริมาณชานอ้อยหลังการหีบประมาณ 13 ล้านตัน ซึ่งชานอ้อยส่วนใหญ่ได้ใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตกระแสไฟฟ้าและไอน้ำในโรงงานน้ำตาลและเหลือเป็นเถ้าชานอ้อยเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้ปริมาณเถ้าชานอ้อยยังมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากสำนักงานนโยบายและแผนพลังงานแห่งชาติมีนโยบายสนับสนุนการใช้พลังงานหมุนเวียนโดยใช้เศษวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้าที่เรียกว่าไฟฟ้าพลังงานชีวมวล [2] โดยกำหนดให้การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยรับซื้อกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ โรงงานน้ำตาลหลายแห่งได้เข้าร่วมโครงการผลิตไฟฟ้าพลังงานชีวมวลทำให้มีปริมาณเถ้าชานอ้อยเหลืออยู่เป็นจำนวนมากและกลายเป็นภาระที่โรงงานต้องกำจัดทิ้งเพื่อมิให้เกิดปัญหามลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม แนวทางในการแก้ปัญหาดังกล่าวคือการนำเถ้าชานอ้อยเหล่านี้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ จากงานวิจัยเบื้องต้นพบว่าเถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุปอซโซลานสามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตได้ [3] แต่ผลกระทบของการใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการทำคอนกรีตคือมีความต้องการน้ำในส่วนผสมเพิ่มขึ้น หน่วงเวลาก่อตัวของคอนกรีตและการหดตัวของคอนกรีตเพิ่มสูงขึ้น [4, 5]

เถ้าลอยหรือเถ้าถ่านหินเป็นผลพลอยได้จากการใช้ถ่านหินเป็นเชื้อเพลิงในการผลิตกระแสไฟฟ้า เถ้าลอยจากแหล่งใหญ่ของประเทศมีลักษณะกลมและเป็นวัสดุปอซโซลาน ข้อดีของการใช้เถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนในการผลิตคอนกรีตคือช่วยเพิ่มความสามารถในการเทได้ ลดการหดตัว และลดอัตราการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต [6] รายงานวิจัยด้านผลกระทบของเถ้าลอยภายในประเทศต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์ [7] ชี้ว่าเถ้าลอยช่วยลดการหดตัวแห้งและเพิ่มความต้านทานซัลเฟตได้ โครงการพัฒนาวัสดุประสานจากปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยในลักษณะสารผสม [8, 9] ศึกษาผลกระทบของวิธีการผสมเถ้าชานอ้อยกับเถ้าลอยต่อกำลังอัดและการหดตัวแห้งของมอร์ตาร์ พบว่าการผสมเถ้าชานอ้อยกับเถ้าลอยด้วยวิธีบดร่วมมีประสิทธิภาพต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์และเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ได้ถึงร้อยละ 30 โดยที่มอร์ตาร์ยังคงมีกำลังอัดที่อายุ 28 วันเทียบเท่ากับมอร์ตาร์ควบคุม นอกจากนี้ยังลดการหดตัวแห้งของมอร์ตาร์ได้อีกด้วย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้เถ้าชานอ้อยผสมกับเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุประสานให้ดีขึ้นโดยเน้นการศึกษาถึงผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยทั้งนี้เพื่อหาปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตโครงสร้างทั่วไป

## 2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ศึกษาผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต โดยมีปริมาณเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 20, 30 และร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน เป็นตัวแปรในการทดสอบเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน เพื่อหาปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตโครงสร้าง

## 3. วิธีการศึกษา

### 3.1 วัสดุและการเตรียมวัสดุที่ใช้ทดสอบ

3.1.1 ปูนซีเมนต์ (ใช้สัญลักษณ์ PC) เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

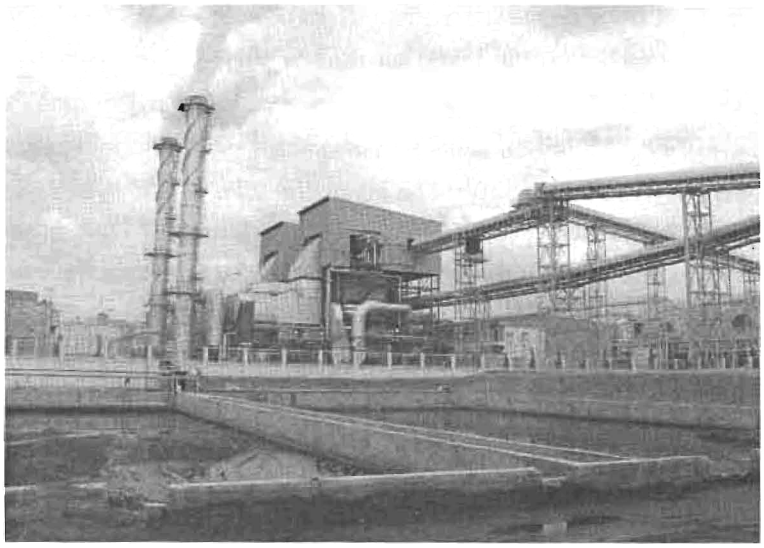
3.1.2 มวลรวมละเอียด เป็นทรายหยาบที่มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.60 และค่าโมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 2.74 โดยมีขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 33

3.1.3 มวลรวมหยาบ เป็นหินย่อยที่มีผิวหยาบและมีรูปร่างเป็นเหลี่ยมขนาดโตสุดไม่เกิน 19 มม. มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.75 และขนาดคละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 33

3.1.4 เถ้าชานอ้อย (ใช้สัญลักษณ์ BA) เป็นวัสดุที่เหลือจากกระบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าพลังงานชีวมวล โดยใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงหลักและใช้เชื้อเพลิงเสริมอย่างใดอย่างหนึ่งได้แก่ แกลบ ใบอ้อย และเปลือกไม้ โดยสัดส่วนผสมเชื้อเพลิงหลักต่อเชื้อเพลิงเสริมในเชิงความร้อนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 85 ต่อ 15 ตัวอย่างเถ้าชานอ้อยที่ใช้ศึกษาเก็บจากบริเวณบ่อพักของโรงไฟฟ้า บริษัท ด่านช้าง ไบโอ-เอ็นเนอร์ยี จำกัด ตำบลหนองมะค่าโมง อำเภอด่านช้าง จังหวัดสุพรรณบุรี ดังแสดงในรูปที่ 1 เถ้าชานอ้อยเป็นผงสีดำและเปียกชื้นก่อนทำการศึกษาจึงนำไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 ± 10 °ซ เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 60 ซึ่งมีขนาดช่องเปิด 250 ไมครอน เพื่อกำจัดเศษชานอ้อยขนาดใหญ่ที่เผาไหม้ไม่หมดออก

3.1.5 เถ้าลอย (ใช้สัญลักษณ์ FA) ใช้เถ้าลอยจากโรงไฟฟ้าแม่เมาะ จังหวัดลำปาง อนุภาคมีสีเหลืองปนน้ำตาล มีค่าความถ่วงจำเพาะ 2.12 และมีความละเอียดค้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 29 โดยน้ำหนัก

3.1.6 เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย (ใช้สัญลักษณ์ TA) ได้จากการนำเถ้าชานอ้อยที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 60 ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า 250 ไมครอน และเถ้าลอยผสมรวมกันในอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก แล้วบดร่วมกันด้วยเครื่องบดซึ่งใช้มอร์เตอร์ไฟฟ้าขนาดกำลัง 2 แรงม้า ที่ดัดแปลงจากเครื่องลอสแองเจลีสโดยใช้เหล็กเส้นกลมเป็นตัวบด เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยในปริมาณ 8 กก. ใช้เวลาในการบด 120 นาที จะได้เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่มีความละเอียดค้างตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 1 โดยน้ำหนัก ปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการบด 2.984 กิโลวัตต์-ชั่วโมง หรือคิดเป็นค่าใช้จ่ายในการบดเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยประมาณ 0.75 บาท/กก.



**รูปที่ 1** เถ้าชานอ้อยบริเวณบ่อพักในโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล

### 3.2 ขั้นตอนในการทดสอบ

การทดสอบแบ่งออกเป็นสองขั้นตอนคือ

3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์และเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย ได้แก่ การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะ ความละเอียด ขนาดและลักษณะของอนุภาค ความต้องการน้ำและดัชนีกำลัง

3.2.2 การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต ประกอบด้วย

ก. คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตในสภาพสด

1. ค่ายุบของคอนกรีต การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 143

2. หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 138

3. ปริมาณอากาศในคอนกรีต การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 231

ข. คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

โดยทั่วไปมาตรฐานการประเมินคุณภาพคอนกรีตสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กกำหนดค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันเป็นเกณฑ์ ดังนั้นเพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ที่ต้องการหาปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่เหมาะสำหรับคอนกรีตโครงสร้าง จึงศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยในช่วงอายุใช้งานตามข้อกำหนดที่อายุ 28 วัน เพื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน โดยทำการทดสอบดังนี้

1. กำลังอัด ใช้ตัวอย่างทดสอบทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 ซม.$^3$ ทดสอบกำลังอัดที่อายุ 3, 7 และ 28 วัน การทำก้อนตัวอย่างและการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน BS 1881

2. กำลังดัด ใช้ตัวอย่างทดสอบแบบคานขนาด 10x10x50 ซม.$^3$ ทดสอบกำลังดัดโดยให้น้ำหนักกดแบบ 3 จุด ที่อายุ 28 วัน การทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C 78

## 4. ส่วนผสมคอนกรีต

ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ส่วนผสมคอนกรีตควบคุมที่มีกำลังอัด 300 กก./ซม.$^2$ ทดสอบจากตัวอย่างทดสอบทรงลูกบาศก์ที่อายุ 28 วัน ซึ่งเป็นคอนกรีตที่ใช้ในงานโครงสร้างทั่วไป โดยกำหนดให้ค่าความยุบตัวของคอนกรีตอยู่ในช่วง 5 ถึง 10 ซม. วิธีการคำนวณหาปฏิภาคส่วนผสมคอนกรีตเป็นไปตามมาตรฐาน ACI รายละเอียดส่วนผสมคอนกรีตแสดงในตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ส่วนผสมของคอนกรีตในหนึ่งลูกบาศก์เมตร

| ชนิดของคอนกรีต * | ร้อยละการแทนที่โดยน้ำหนัก | วัสดุ (กก.) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | PC | TA | ทราย | หิน | น้ำ |
| CPC | 0 | 320 | - | 810 | 1,012 | 200 |
| CTA-20 | 20 | 256 | 64 | 810 | 1,012 | 200 |
| CTA-30 | 30 | 224 | 96 | 810 | 1,012 | 200 |
| CTA-40 | 40 | 192 | 128 | 810 | 1,012 | 200 |

หมายเหตุ * CPC : คอนกรีตควบคุม ใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน
CTA-20, CTA-30, CTA-40 : คอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยร้อยละ 20, 30, 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

## 5. ผลการทดสอบและการวิจารณ์ผล

### 5.1 ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย

ผลการวิเคราะห์ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย เถ้าลอย และเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยแสดงในตารางที่ 2 เถ้าชานอ้อยมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นสารประกอบหลักสูงถึงร้อยละ 70.6 โดยน้ำหนัก มีปริมาณสารประกอบที่สำคัญ ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ ($SiO_2$) อะลูมิเนียมออกไซด์ ($Al_2O_3$) และไอออนออกไซด์ ($Fe_2O_3$) รวมกันร้อยละ 75.1 โดยน้ำหนัก มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) ค่อนข้างสูงที่ร้อยละ 15.4 โดยน้ำหนัก ซึ่งมีผลกระทบต่อการดูดซึมน้ำและกำลัง ขณะที่เถ้าลอยมีปริมาณ $SiO_2$ ร้อยละ 46.5 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณ $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ รวมกันร้อยละ 76.8 โดยน้ำหนัก และมีค่า LOI ร้อยละ 0.5 โดยน้ำหนัก หากว่าธาตุของวัสดุทั้งสองชนิดทำปฏิกิริยากับออกซิเจนโดยสมบูรณ์แล้ว เมื่อนำเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยในอัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก จะมีปริมาณ $SiO_2$ ร้อยละ 60.9 โดยน้ำหนัก และมีปริมาณ $SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3$ รวมกันร้อยละ 75.7 โดยน้ำหนัก และมีค่า LOI ร้อยละ 9.4 โดยน้ำหนัก อย่างไรก็ตามเป็นเพียงการแสดงสัดส่วนปริมาณของธาตุโดยการเปรียบเทียบเท่านั้น

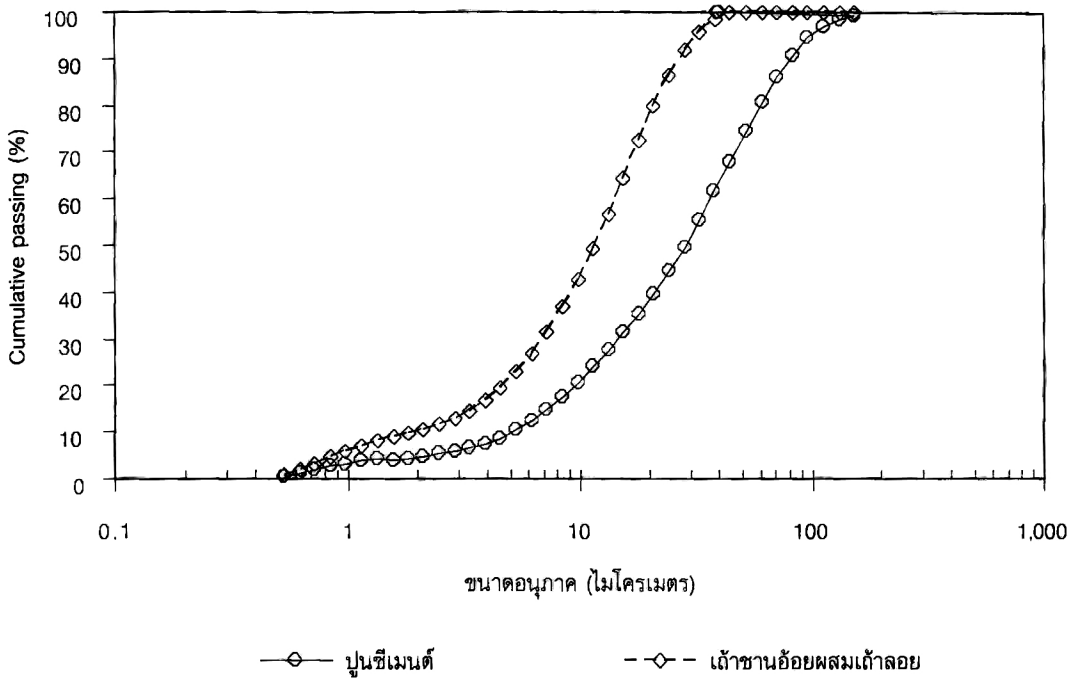
**ตารางที่ 2** ส่วนประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย

| วัสดุ | ส่วนประกอบทางเคมี (%) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $SiO_2$ | $Al_2O_3$ | $Fe_2O_3$ | CaO | $SO_3$ | LOI |
| เถ้าชานอ้อย (BA) | 70.6 | 3.8 | 0.7 | 2.8 | 0.2 | 15.4 |
| เถ้าลอย (FA) | 46.5 | 21.4 | 8.9 | 10.3 | 1.6 | 0.5 |
| เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย (TA) | 60.9 | 10.8 | 4.0 | 5.8 | 0.8 | 9.4 |

คุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย ได้แก่ ค่าความถ่วงจำเพาะ ความละเอียด แสดงในตารางที่ 3 และการกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์เปรียบเทียบกับเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย แสดงในรูปที่ 2

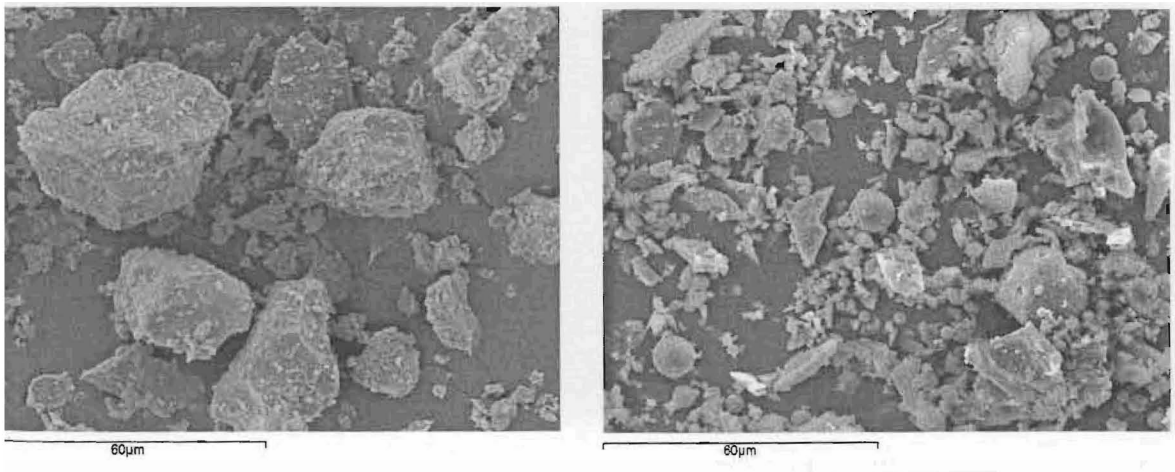
**ตารางที่ 3** คุณสมบัติทางกายภาพของเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย

| คุณสมบัติทางกายภาพ | วัสดุ | |
|---|---|---|
| | ปูนซีเมนต์ (PC) | เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย (TA) |
| ความถ่วงจำเพาะ | 3.15 | 2.20 |
| ความละเอียด | | |
| ค้างตะแกรงเบอร์ 325 (ร้อยละ) | - | 0.3 |
| พื้นที่ผิวจำเพาะ (แอร์เบลน) (ซม.$^2$/ก.) | 3,320 | 7,140 |
| ขนาดอนุภาคเฉลี่ย, $d_{50}$ (ไมโครเมตร) | 22 | 12 |
| ความต้องการน้ำ (ร้อยละ) | - | 101 |
| ดัชนีกำลัง (ร้อยละ) : ที่อายุ 7 วัน | - | 94 |
| ที่อายุ 28 วัน | - | 108 |




**รูปที่ 2** การกระจายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์เปรียบเทียบกับเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย

ภาพถ่ายขยายขนาดของปูนซีเมนต์และเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยด้วยกำลังขยาย 1,000 เท่า แสดงในรูปที่ ก. และ 3 ข. อนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีลักษณะเป็นรูปทรงหลายเหลี่ยม ขณะที่เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยมีลักษณะรูปทรงหลายเหลี่ยมหรืออาจเป็นแผ่นแบนมีรูพรุนและทรงกลมผสมกัน




ก. ปูนซีเมนต์ ข. เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย

**รูปที่ 3** ภาพถ่ายขยายขนาดอนุภาคของปูนซีเมนต์และเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย

**5.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต**

5.2.1 คุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีต ได้แก่ ค่ายุบตัว หน่วยน้ำหนัก และปริมาณอากาศ แสดงในตารางที่ 4 คอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยมีค่าความยุบตัวลดลงเล็กน้อยและลดลงมากขึ้นเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีลักษณะอนุภาคเป็นรูปทรงเหลี่ยมมีความพรุนและมีพื้นที่ผิวสูงจึงต้องการน้ำมากขึ้นเพื่อช่วยในการไหลตัว แต่เถ้าลอยในส่วนผสมซึ่งมีลักษณะอนุภาคกลมจะช่วยทำให้คอนกรีตไหลตัวได้ดีขึ้น การใช้วัสดุทั้งสองรวมกันมีผลให้ค่ายุบตัวของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยลดลงไม่มากนักเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม โดยค่ายุบตัวของคอนกรีต CPC เท่ากับ 8.0 ซม. ส่วนคอนกรีต CTA-20, CTA-30 และ CTA-40 มีค่ายุบตัวเท่ากับ 7.5, 6.0 และ 5.5 ซม. ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ออกแบบ ดังนั้นการใช้เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก แทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน ในการผลิตคอนกรีตยังคงมีความสามารถเทได้อยู่ในเกณฑ์

หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุผสมต่ำกว่าปูนซีเมนต์ หน่วยน้ำหนักของคอนกรีต CPC, CTA-20, CTA-30 และ CTA-40 มีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 2,390, 2,370, 2,360 และ 2,360 กก./ม.$^3$ ตามลำดับ

ผลการทดสอบปริมาณอากาศในคอนกรีต พบว่าคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยมีปริมาณอากาศใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม โดยปริมาณอากาศในคอนกรีต CPC, CTA-20, CTA-30 และ CTA-40 เท่ากับร้อยละ 1.73, 1.53, 1.77 และร้อยละ 1.85 ตามลำดับ โดยปกติการมีปริมาณอากาศในคอนกรีตสูงมักจะช่วยเพิ่มความสามารถเทได้ของคอนกรีตเนื่องจากฟองอากาศจะช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวอนุภาค แต่หากมีมากเกินไปจะมีผลต่อการลดกำลังอัดของคอนกรีต ดังนั้นจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณอากาศในคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยเพียงเล็กน้อยในงานวิจัยนี้จึงไม่มีผลต่อความสามารถเทได้และกำลังอัดของคอนกรีต

**ตารางที่ 4** ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของคอนกรีต

| ชนิดของคอนกรีต | ค่ายุบตัว (ซม.) | หน่วยน้ำหนัก (กก./ม.$^3$) | ปริมาณอากาศ (ร้อยละ) |
|---|---|---|---|
| CPC | 8.0 | 2,390 | 1.73 |
| TA-20 | 7.5 | 2,370 | 1.53 |
| TA-30 | 6.0 | 2,360 | 1.77 |
| TA-40 | 5.5 | 2,360 | 1.85 |

5.2.2 คุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต ได้แก่ กำลังอัด และกำลังดัดของคอนกรีตที่อายุต่างๆ กัน แสดงในตารางที่ 5

**ตารางที่ 5** ผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีต

| ชนิดของคอนกรีต | กำลังอัด, กก./ซม.$^2$ (ร้อยละกำลัง, ร้อยละ) | | | กำลังดัด, กก./ซม.$^2$ (ร้อยละกำลัง, ร้อยละ) |
|---|---|---|---|---|
| | 3 วัน | 7 วัน | 28 วัน | 28 วัน |
| CPC | 188 | 280 | 360 | 52 |
| | (100) | (100) | (100) | (100) |
| CTA-20 | 172 | 268 | 398 | 57 |
| | (91) | (95) | (110) | (109) |
| CTA-30 | 153 | 220 | 358 | 54 |
| | (81) | (78) | (99) | (103) |
| CTA-40 | 127 | 190 | 331 | 52 |
| | (67) | (67) | (91) | (100) |

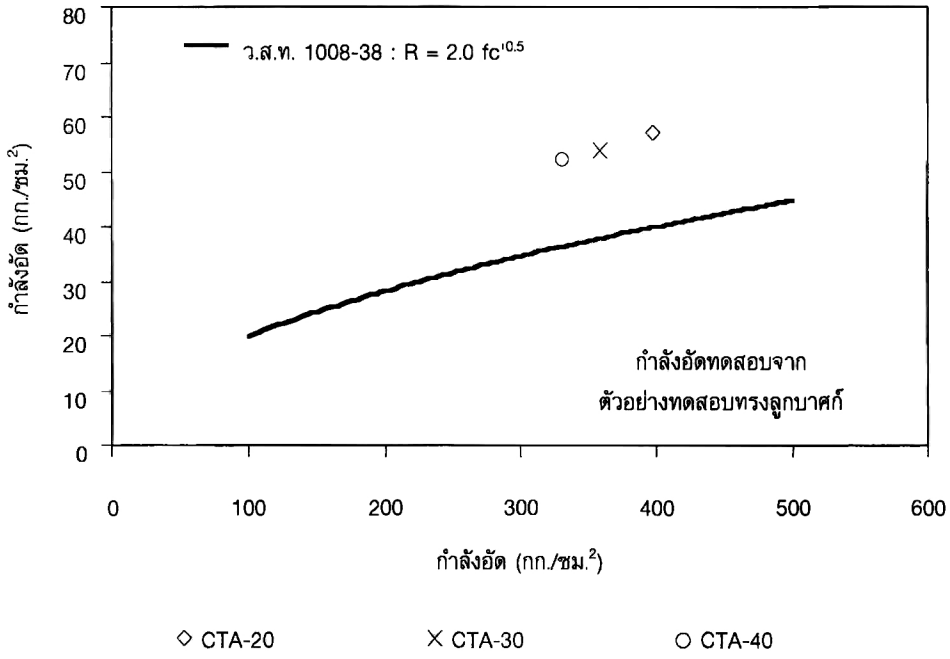
ผลการทดสอบพบว่ากำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยจะลดลงเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยเพิ่มขึ้นกำลังอัดของคอนกรีต CPC ที่อายุ 3 วัน และ 7 วัน สูงกว่าคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอย แต่ที่อายุ 28 วัน คอนกรีต CTA-20 และ CTA-30 มีกำลังอัดสูงกว่าและใกล้เคียงกับกำลังอัดของคอนกรีต CPC ตามลำดับ โดยคอนกรีต CTA-20 และ CTA-30 มีกำลังอัดร้อยละ 110 และร้อยละ 99 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีต CPC ซึ่งมีกำลังอัดเท่ากับ 360 กก./ซม.$^2$ ส่วนคอนกรีต CTA-40 มีกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีต CPC โดยมีกำลังอัดร้อยละ 91 อย่างไรก็ตามคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยทั้งหมดมีกำลังอัดที่อายุ 28 วัน สูงกว่า 300 กก./ซม.$^2$ ซึ่งเป็นค่าที่ออกแบบไว้

การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยมีผลต่อการลดกำลังอัดของคอนกรีตในช่วงแรกโดยเฉพาะเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยในปริมาณเพิ่มขึ้น กำลังอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมในช่วงแรกมีผลมาจากปริมาณปูนซีเมนต์ในส่วนผสมที่ลดลง แต่คอนกรีตมีการพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา ดังจะเห็นได้จากผลการทดสอบกำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีต CTA-20 สูงกว่าคอนกรีตควบคุม นอกจากนี้การพัฒนากำลังอัดจากอายุ 7 วัน ถึงอายุ 28 วัน ของคอนกรีต CTA-30 และ CTA-40 เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 21 และร้อยละ 24 ตามลำดับ แสดงให้เห็นถึงการพัฒนากำลังอัดที่เพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้น อันมีผลมาจากปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [10] ซึ่งพบว่าเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยมีผลกระทบต่อกำลังอัดทำให้มอร์ตาร์มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นในระยะยาว

จากการทดสอบกำลังดัดของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่อายุ 28 วัน พบว่า คอนกรีต CTA-20 มีกำลังดัดสูงกว่าคอนกรีต CPC ขณะที่คอนกรีต CTA-30 และ CTA-40 มีกำลังดัดใกล้เคียงกับคอนกรีต CPC โดยคอนกรีต CTA-20, CTA-30 และ CTA-40 มีกำลังดัดร้อยละ 109, 103 และร้อยละ 100 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีต CPC ซึ่งมีกำลังดัดเท่ากับ 52 กก./ซม.$^2$

เมื่อพิจารณาความต้านทานกำลังดัดต่อกำลังอัดของคอนกรีต CPC เปรียบเทียบกับคอนกรีต CTA-20 พบว่ามีค่าใกล้เคียงกันที่ประมาณร้อยละ 14.4 และร้อยละ 14.3 ของกำลังอัด ตามลำดับ ส่วนคอนกรีต CTA-30 และ CTA-40 มีค่าความต้านทานกำลังดัดต่อกำลังอัดประมาณร้อยละ 15.0 และร้อยละ 15.7 ตามลำดับ ดังนั้นความต้านทานกำลังดัดต่อกำลังอัดของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นไปตามแนวทางเดียวกับการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต นอกจาก

นี้ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับกำลังดัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนดในคอนกรีตมาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลังของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์ ว.ส.ท. 1008-38 [11] ดังจะเห็นได้จากกราฟความสัมพันธ์ในรูปที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงความสามารถในการรับน้ำหนักของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่มีแนวโน้มนำไปใช้ในงานคอนกรีตโครงสร้างได้




**รูปที่ 4** ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับกำลังดัดของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอย

## 6. สรุป

จากการศึกษาผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีต สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยเพิ่มมากขึ้นทำให้ค่ายุบตัวและหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตลดลงเล็กน้อยเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุม แต่ค่าปริมาณอากาศในคอนกรีตไม่มีความแตกต่างกันเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยไม่เกินร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน

2. เถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมที่อัตราส่วน 60:40 โดยน้ำหนัก และมีความละเอียดของวัสดุค้างตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 1 สามารถใช้แทนที่ปูนซีเมนต์ในการทำคอนกรีตได้ถึงร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสานโดยยังคงมีคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลที่อายุ 28 วัน เทียบเท่ากับคอนกรีตควบคุมที่ทำจากปูนซีเมนต์ล้วน

3. กำลังอัดและกำลังดัดของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยจะลดลงตามปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยที่เพิ่มมากขึ้น กำลังอัดของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยจะต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมในช่วงแรกที่อายุ 3 วัน และ 7 วัน แต่สามารถพัฒนากำลังอัดเพิ่มขึ้นในเวลาต่อมา โดยคอนกรีต ที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยร้อยละ 20 และร้อยละ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน มีกำลังอัดที่อายุ 28 วันสูงกว่าและใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุมตามลำดับขณะที่กำลังดัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตที่มีเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยร้อยละ 20 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน สูงกว่าคอนกรีตควบคุม และคอนกรีตที่มีปริมาณเถ้าชานอ้อยผสมเถ้าลอยแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 30 และร้อยละ 40 โดยน้ำหนักของวัสดุ

ประสาน มีกำลังอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตควบคุม

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ บริษัทด่านช้าง ไบโอ-เอ็นเนอร์ยี จำกัด ที่เอื้อเฟื้อเถ้าชานอ้อยที่ใช้ในการทำวิจัย และนักศึกษามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ วิทยาเขตศาลายา ทุกคนที่มีส่วนช่วยในงานวิจัยนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

1. ศูนย์สารสนเทศการเกษตร สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, http://www.oae.go.th

2. สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, http://www.eppo.go.th

3. สุวิมล สัจจวาณิชย์ และอาทิมา ดวงจันทร์, 2547, "ดรรชนีความเป็นปอซโซลานของเถ้าชานอ้อยและความต้องการน้ำ", *การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติ ครั้งที่ 2*, จังหวัดเชียงใหม่, หน้า 118-120.

4. สุชีรา กุลชนะประสิทธ์ และชูชัย สุจิวรกุล, 2548, "ผลกระทบของเถ้าชานอ้อยต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์ซีเมนต์", *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10*, จังหวัดชลบุรี, MAT-67.

5. ณพงศธร ลิขิตศรีไพบูลย์, นันทชัย ชูศิลป์, เอนก ศิริพานิชกร, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และไกรวุฒิ เกียรติโกมล, 2549, "การศึกษาเถ้าชานอ้อยที่มี LOI ต่างกันต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์", *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11*, จังหวัดภูเก็ต, MAT-066.

6. ปริญญา จินดาประเสริฐ และชัย จาตุรพิทักษ์กุล, 2547, "ปูนซีเมนต์ ปอซโซลาน และคอนกรีต", สมาคมคอนกรีตไทย, หน้า 293.

7. Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S., Sirivatnanon, V., 2004, "Influence of Fly Ash Fineness on Strength, Drying Shrinkage and Sulfate Resistance of Blended Cement Mortar, *Cement and Concrete Research*, Vol. 34, pp. 1087-1092.

8. สาโรจน์ ดำรงศีล และสุวิมล สัจจวาณิชย์, 2549, "ผลกระทบของวิธีการผสมเถ้าชานอ้อยกับเถ้าลอยต่อดัชนีกำลังของมอร์ตาร์", *การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2*, สมาคมคอนกรีตไทย, จังหวัดอุดรธานี, MAT 92.

9. สาโรจน์ ดำรงศีล และสุวิมล สัจจวาณิชย์, 2549, "ผลกระทบของการใช้เถ้าชานอ้อยร่วมกับเถ้าลอยต่อกำลังอัดและการหดตัวแห้งของมอร์ตาร์", *การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2*, สมาคมคอนกรีตไทย, จังหวัดอุดรธานี. MAT 98.

10. สาโรจน์ ดำรงศีล และสุวิมล สัจจวาณิชย์, 2549, "ผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อยและเถ้าลอยต่อกำลังอัดของมอร์ตาร์", *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 11*, จังหวัดภูเก็ต, MAT-039.

11. คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา, *มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง*, มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2538.