วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร ฉบับพิเศษ
การประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 5

# คุณสมบัติของพื้นคอนกรีตทางเท้าเถ้าชานอ้อย

# Properties of Footpaths Slab Bagasse Ash Concrete

**พร้อมพงศ์ ฉลาดธัญญกิจ**[1*]

[1]อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา จังหวัดตาก 63000

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของการแทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ด้วยเถ้าชานอ้อยต่อคุณสมบัติของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า โดยใช้เถ้าชานอ้อยซึ่งเป็นของเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล (ethanol) แทนที่ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ในสัดส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าคอนกรีตทุกสัดส่วนผสมที่มีเถ้าชานอ้อยมีค่ากำลังอัดประลัยน้อยกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน และมีค่าลดลงเมื่อแทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยในปริมาณมากขึ้น ส่วนกำลังต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าก็ให้ผลในทิศทางเดียวกัน และเมื่อเปรียบเทียบกำลังต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้ากับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก. 378-2531) พบว่าสามารถแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยได้ถึงร้อยละ 40 สำหรับค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าในทุกส่วนผสมที่มีเถ้าชานอ้อยกลับมีค่ามากกว่าส่วนผสมปูนซีเมนต์ล้วน และทุกๆส่วนผสมมีค่าไม่เกินมาตรฐานกำหนด นอกจากนี้พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าถูกลง โดยเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วนร้อยละ 40 ทำให้ราคาต้นทุนถูกกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ล้วนมากถึงร้อยละ 31 และได้แผ่นคอนกรีตปูทางเท้าที่เป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

## Abstract

This research was aimed to studying the effect of bagasse ash on the properties of footpaths concrete slabs. Using bagasse ash, a waste from the manufacture of ethanol instead of the OPC type I, 10, 20, 30, 40 and 50 percent by weight. Test results revealed that the compressive strength of concrete bagasse ash mixtures was less than the plain OPC type I concrete, And decreased by the content of the bagasse ash. The flexure strength of the footpaths concrete slabs was laid in the same direction. Comparison flexure strength of footpaths concrete slabs on the standard (TIS 378-2531) found that can used 40% replacement of bagasse ash replacing in cement. For the percentage of water absorption of footpaths concrete slabs in bagasse ash concrete mixtures were higher than the plain OPC type I concrete mixture, and every mixture is not exceeding standard. It was also found that the replacing cement with bagasse ash content increased the cost of footpaths concrete slabs were lower down. When replacing cement with bagasse ash in 40%, cheaper than the cost of plain cement were up to 31%, and according to the standard

**คำสำคัญ** : เถ้าชานอ้อย แผ่นคอนกรีต กระเบื้องคอนกรีต การดูดซึมน้ำ กำลังต้านทานแรงดัด

**Keywords** : Bagasse ash, Concrete slab, Concrete tiles, Water absorption, Flexural strength

*[*]ผู้นิพนธ์ประสานงานไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ chalattunyakij@gmail.com โทร. 08 2922 6047*

# 1. บทนำ

แผ่นคอนกรีตปูทางเท้าเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากข้อดีด้านความประหยัด ความสวยงาม และความรวดเร็วในการก่อสร้าง ซึ่งโดยทั่วไปบริเวณทางเท้ามักมีน้ำหนักบรรทุกไม่มากมายนักเพราะไม่มีรถสัญจรไปมาจึงไม่ต้องการวัสดุปูทางเท้าที่มีความแข็งแรงมากเกินความจำเป็น ดังนั้นราคาจึงไม่ควรสูงมากเกินไป ซึ่งวัสดุที่ใช้ผลิตก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่เป็นตัวกำหนดราคาต้นทุนของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า หากสามารถหาวัสดุทดแทนที่มีในท้องถิ่นก็อาจจะส่งผลให้ราคาต้นทุนถูกลง ประกอบกับ บริษัท แม่สอดพลังงานสะอาด จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ที่ อ.แม่สอด จ.ตาก ดำเนินการผลิตเอทานอล ซึ่งในกระบวนการผลิตมีชานอ้อยเป็นขยะจำนวนมหาศาล ชานอ้อยจะถูกกำจัดโดยการเผาในเตาระบบปิด และมีขี้เถ้าชานอ้อยเป็นของเหลือทิ้งจำนวนมากก่อให้เกิดปัญหาตามมาไม่ว่าจะเป็นปัญหาค่าใช้จ่ายในการขนย้ายเถ้าชานอ้อยไปกำจัดทิ้ง ปัญหาในการหาพื้นที่เพื่อทำการฝังกลบ และปัญหาการแพร่กระจายของฝุ่นละอองหรือสารพิษที่อาจปนเปื้อนไปกับเถ้าชานอ้อยได้

ด้วยเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น จึงมีความจำเป็นในการศึกษาหาแนวทางนำเถ้าชานอ้อยจากอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ซึ่งผู้วิจัยมีแนวคิดนำเถ้าชานอ้อยมาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์สำหรับการผลิตแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า และศึกษาคุณสมบัติกำลังอัดประลัยของคอนกรีต การดูดซึมน้ำและกำลังต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าผสมเถ้าชานอ้อยเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 378-2531 (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2532) เพื่อเป็นแนวทางให้ผู้ประกอบการและคนในท้องถิ่น ได้นำเถ้าชานอ้อยไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากกว่าจะนำไปทิ้งให้ก่อมลภาวะต่อไป

# 2. วิธีการทดลอง

## 2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษานี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานหลัก และใช้เถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุแทนที่บางส่วนในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ส่วนมวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำ และหินเกล็ดเป็นมวลรวมหยาบ เถ้าชานอ้อยในการศึกษาครั้งนี้มาจากแหล่ง บริษัท แม่สอดพลังงานสะอาด จำกัด ซึ่งตั้งอยู่ที่ อ.แม่สอด จ.ตาก โดยใช้เถ้าชานอ้อยที่มีสภาพตามธรรมชาติดังรูปที่ 1 ซึ่งมีค่าความชื้นเท่ากับร้อยละ 40 สำหรับค่าความถ่วงจำเพาะและค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ

| วัสดุ | ความถ่วงจำเพาะ | การดูดซึมน้ำ (%) |
|---|---|---|
| ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 | 3.13 | - |
| เถ้าชานอ้อย | 1.69 | - |
| ทราย | 2.85 | 1.19 |
| หินเกล็ด | 2.02 | 1.07 |

ก) แหล่งกองเก็บเถ้าชานอ้อย

ข) ตัวอย่างปูนซีเมนต์และเถ้าชานอ้อย

**รูปที่ 1** เถ้าชานอ้อยจากอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอล

## 2.2 สัดส่วนผสม

ตัวอย่างแผ่นคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้มีทั้งหมด 6 สัดส่วนผสม โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/b) เท่ากับ 0.31 ซึ่งไม่เกินค่าที่มาตรฐานกำหนด (มอก. 378-2531 กำหนดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ไม่เกิน 0.55) และใช้การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 ตามลำดับ รายละเอียดสัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับหล่อตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าแสดงในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** สัดส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับหล่อตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า

| ลำดับ | สัญลักษณ์ * | สัดส่วนการแทนที่ (% by weight) | | สัดส่วนผสม (kg) | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1 | เถ้าชานอ้อย | ปูนซีเมนต์ ประเภทที่ 1 | เถ้าชานอ้อย | ทราย | หิน | น้ำ |
| 1 | C BA0 | 100 | - | 4.36 | - | 4.52 | 4.72 | 1.36 |
| 2 | C BA10 | 90 | 10 | 3.93 | 0.44 | 4.52 | 4.72 | 1.36 |
| 3 | C BA20 | 80 | 20 | 3.49 | 0.87 | 4.52 | 4.72 | 1.36 |
| 4 | C BA30 | 70 | 30 | 3.05 | 1.31 | 4.52 | 4.72 | 1.36 |
| 5 | C BA40 | 60 | 40 | 2.62 | 1.75 | 4.52 | 4.72 | 1.36 |
| 6 | C BA50 | 50 | 50 | 2.18 | 2.18 | 4.52 | 4.72 | 1.36 |

* หมายเหตุ C BA0 คือ คอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน
C BA10 คือ คอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10
C BA20 คือ คอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 20

## 2.3 การเตรียมตัวอย่าง

การศึกษาครั้งนี้ใช้ตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าขนาด 40x40x4 ซม. สำหรับทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำและกำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง ส่วนการทดสอบกำลังอัดประลัยใช้ตัวอย่างคอนกรีตขนาด 50x50x50 ม.ม. โดยหล่อตัวอย่างในแบบหล่อแล้วบ่มไว้ที่อุณหภูมิห้องประมาณ 30°C ถอดแบบที่อายุ 24 ชั่วโมง หลังจากถอดแบบนำตัวอย่างไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 14 วัน

## 2.4 การทดสอบการดูดซึมน้ำและกำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง

การประเมินคุณสมบัติของตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าผสมเถ้าชานอ้อยในการศึกษาครั้งนี้ ได้ทำการศึกษากำลังอัดประลัยของคอนกรีต และศึกษาคุณสมบัติที่ต้องการตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระเบื้องคอนกรีตปูพื้น (มอก.378-2531) ซึ่งคุณสมบัติที่ต้องการประกอบด้วย ค่าการดูดซึมน้ำ และกำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง โดยมีรายละเอียดวิธีการทดสอบดังนี้

### 2.4.1 การดูดซึมน้ำ

การหาค่าการดูดซึมน้ำกระทำตามมาตรฐาน มอก. 378-2531 โดยเมื่อตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้ามีระยะเวลาบ่มครบ 14 วัน นำชิ้นตัวอย่างล้างทำความสะอาดสิ่งสกปรกที่อาจติดอยู่ที่ผิวออก เช็ดด้วยผ้าให้ผิวแห้ง และนำไปชั่งน้ำหนักเริ่มต้น หลังจากนั้นนำตัวอย่างเข้าตู้อบที่มีอุณหภูมิ 65 ± 1°C เป็นระยะเวลา 24 ช.ม. เมื่อครบระยะเวลากำหนดจึงนำตัวอย่างออกจากตู้อบปล่อยให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง เสร็จแล้วนำไปชั่งน้ำหนักสุดท้าย โดยค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำสามารถหาได้จากสมการ (1) ซึ่งค่าการดูดซึมน้ำที่นำมาใช้รายงานผลจะได้จากค่าเฉลี่ยของค่าการดูดซึมน้ำของ 3 ชิ้นตัวอย่างในแต่ละสัดส่วนผสม

$$\frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \qquad (1)$$

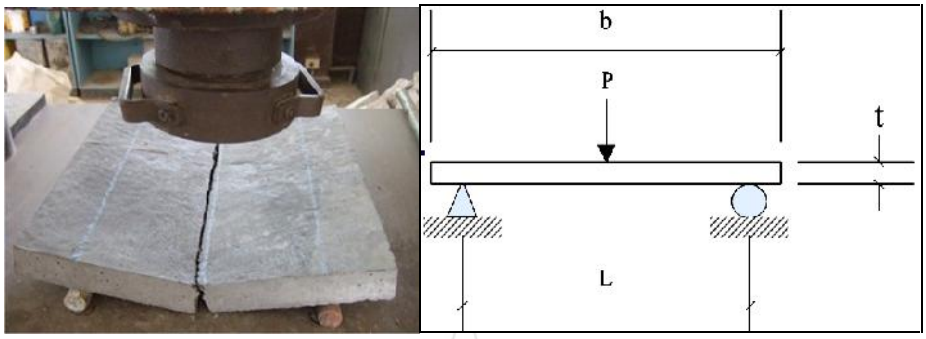
โดย $M_1$ คือ น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)
$M_2$ คือ น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)

### 2.4.2 กำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง

การหากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางกระทำตามมาตรฐาน มอก. 378-2531 ซึ่งหลังจากที่ตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้ามีระยะเวลาบ่มครบ 14 วัน จึงนำชิ้นตัวอย่างเช็ดผิวให้แห้ง แล้วจึงนำมาทดสอบหากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางด้วยเครื่อง Universal Testing Machine โดยมีลักษณะการจัดวางชิ้นตัวอย่างและจุดรองรับดังรูปที่ 2 สำหรับค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางสามารถหาได้จากสมการ (2) ซึ่งค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางที่นำมาใช้รายงานผลจะได้จากค่าเฉลี่ยของค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางของ 3 ชิ้นตัวอย่างในแต่ละสัดส่วนผสม

$$f = \frac{3PL}{2bt^2} \qquad (2)$$

โดย f คือ กำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง (เมกะพาสคัล)
P คือ แรงกดประลัย (นิวตัน)
L คือ ระยะห่างระหว่างจุดรองรับ (มม.)
b คือ ความกว้างของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า (มม.)
t คือ ความหนาของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า (มม.)




**รูปที่ 2** รายละเอียดการจัดวางชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบกำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง

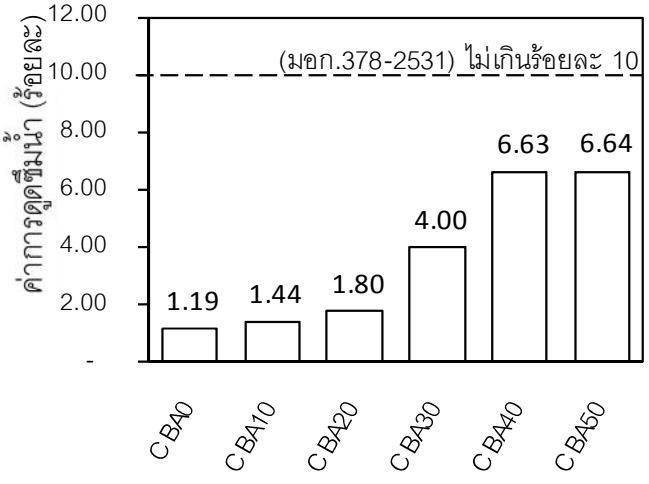
## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากแนวคิดนำเถ้าชานอ้อยมาเป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในการผลิตแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า จึงทำการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าผสมเถ้าชานอ้อย โดยทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำและกำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง และสุดท้ายได้เปรียบเทียบราคาต้นทุนการผลิตของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์ล้วนกับคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์ผสมเถ้าชานอ้อย ซึ่งมีรายละเอียดผลการทดสอบและวิเคราะห์ดังนี้

### 3.1 การดูดซึมน้ำ

รูปที่ 3 แสดงค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย พบว่า การดูดซึมน้ำของตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยทุกสัดส่วนผสมมีค่ามากกว่าตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้เนื่องจากเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดน้อยลงในช่วงอายุต้น (P. Khobklang, K. Nokkaew et al., 2008 และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และวีรชาติ.ตั้งจิรภัทร. 2553) ผลผลิตของปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่จะเข้าเติมเต็มช่องว่างในเพสต์จึงน้อยลง และถึงแม้เถ้าชานอ้อยที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้อาจมีคุณสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลานก็ตาม แต่ด้วยระยะเวลาบ่มเพียง 14 วัน จึงอาจยังไม่เพียงพอทำให้ผลผลิตของปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดมากจนทดแทนปฏิกิริยาไฮเดรชั่นได้ ส่งผลให้เนื้อคอนกรีตมีปริมาตรโพรงมากขึ้นจึงมีค่าการดูดซึมน้ำสูงขึ้น นอกจากนี้ยังพบว่าตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยจะมีค่าร้อยละการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการแทนที่เถ้าชานอ้อย (ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50) ทั้งนี้เพราะเมื่อแทนที่เถ้าชานอ้อยในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเกิดน้อยลงนั่นเอง นอกจากสาเหตุที่กล่าวมายังอาจมีผลจากอนุภาคของเถ้าชานอ้อยมีรูพรุนสูง (ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และวีรชาติ.ตั้งจิรภัทร, 2553). และมีปริมาณน้ำที่อยู่ในเถ้าชานอ้อย (ร้อยละ 40) ค่อนข้างมาก จึงทำให้ปริมาณน้ำอิสระที่เหลือจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ปริมาตรโพรงมากขึ้นอีก

เมื่อเปรียบเทียบค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย กับ ค่าตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.378-2531 กำหนดให้ค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินร้อยละ 10) พบว่า ทุกตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้ามีค่าการดูดซึมน้ำไม่เกินที่มาตรฐานกำหนด

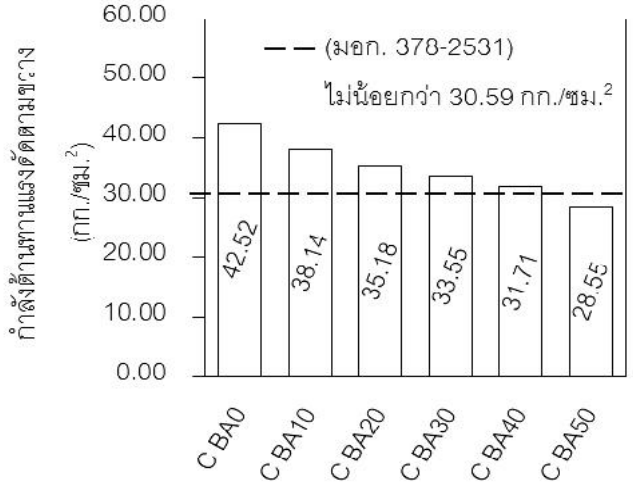



**รูปที่ 3** การดูดซึมน้ำของตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย

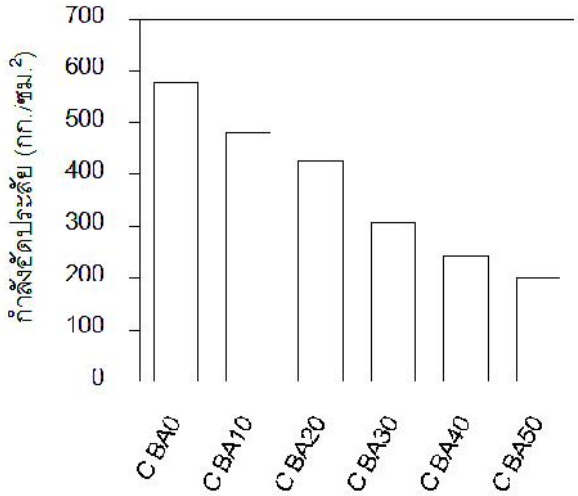
## 3.2 กำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง

รูปที่ 4 แสดงกำลังต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วนและปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย ซึ่งพบว่า ทุกตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์ที่แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางน้อยกว่าตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้เพราะการแทนที่เถ้าชานอ้อยทำให้ปริมาณปูนซีเมนต์น้อยลง ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นจึงเกิดลดลง ประกอบกับปฏิกิริยาปอซโซลานของเถ้าชานอ้อยที่อายุคอนกรีต 14 วันยังเกิดขึ้นน้อย (P. Khobklang, K. Nokkaew et al., 2008 และ R. Srinivasan, 2010) ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลให้ค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางลดลงนั่นเอง และยังพบว่าตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยจะมีกำลังต้านทานแรงดัดตามขวางน้อยลงแปรผกผันกับอัตราการแทนที่เถ้าชานอ้อย กล่าวคือ เมื่อแทนที่เถ้าชานอ้อยในปริมาณมากขึ้นส่งผลให้ค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางกลับมีค่าน้อยลง ซึ่งเมื่อพิจารณาประกอบกับผลทดสอบกำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตดังรูปที่ 5 ก็มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ทุกตัวอย่างคอนกรีตปูนซีเมนต์ที่แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยมีค่ากำลังอัดประลัยน้อยกว่าตัวอย่างปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน ทั้งนี้สาเหตุสามารถอธิบายได้เช่นเดียวกับที่กล่าวผ่านมา

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.378-2531) กำหนดให้กำลังต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าไม่น้อยกว่า 30.59 กก./ซม.2 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากตัวอย่างที่ทำการทดสอบพบว่าทุกสัดส่วนผสมของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้ามีค่ามากกว่าที่มาตรฐานกำหนด ยกเว้น ตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 50 ซึ่งมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางเท่ากับ 28.55 กก./ซม.2 จึงไม่เป็นไปตามมาตรฐาน




**รูปที่ 4** กำลังต้านทานแรงดัดตามขวางของแผ่นคอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย




**รูปที่ 5** กำลังอัดประลัยของตัวอย่างคอนกรีตปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย

### 3.3 ราคาต้นทุนการผลิต

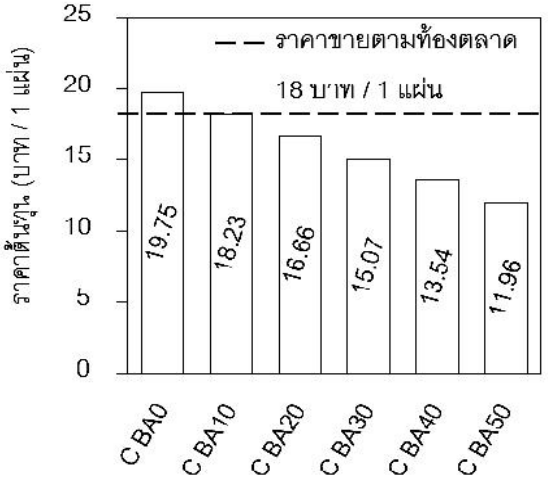
ต้นทุนการผลิตของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าขึ้นอยู่กับราคาค่าวัสดุที่ใช้ในการผลิต ซึ่งราคาวัสดุแต่ละชนิดต่อแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า 1 แผ่นและราคาต้นทุนรวมมีรายละเอียดดังตารางที่ 3 และรูปที่ 6

จากรูปที่ 6 พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยทำให้ราคาต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าถูกลง โดยเมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยในสัดส่วนร้อยละ 40 ทำให้ราคาต้นทุนถูกกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ล้วนมากถึงร้อยละ 31 และได้แผ่นคอนกรีตปูทางเท้าที่เป็นไปตามมาตรฐาน (ข้อกำหนดกำลังต้านทานแรงดัดตามขวางในรูปที่ 4) ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

**ตารางที่ 3** ราคาต้นทุนแผ่นคอนกรีตปูทางเท้า

| รายการ* | ราคา / แผ่นคอนกรีตปูทางเท้า 1 แผ่น (บาท) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | C BA0 | C BA10 | C BA20 | C BA30 | C BA40 | C BA50 |
| ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 | 12.21 | 11.01 | 9.78 | 8.54 | 7.34 | 6.11 |
| เถ้าชานอ้อย [ก] | - | 0.03 | 0.05 | 0.07 | 0.09 | 0.11 |
| ทรายหยาบ | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 | 0.91 |
| หินขนาด 3/8 นิ้ว | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 | 1.80 |
| น้ำสะอาด | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 | 0.02 |
| วัสดุอื่นๆ เช่น น้ำมันทาแบบ | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 | 0.25 |
| รวมราคาค่าวัสดุ | 15.19 | 14.02 | 12.81 | 11.59 | 10.41 | 9.20 |
| ราคาค่าแรง [ข] | 4.56 | 4.21 | 3.85 | 3.48 | 3.13 | 2.76 |
| รวมราคาค่าต้นทุนการผลิต | 19.75 | 18.23 | 16.66 | 15.07 | 13.54 | 11.96 |

*หมายเหตุ [ก] คิดราคาเถ้าชานอ้อยเฉพาะค่าขนส่ง
[ข] คิดราคาค่าแรงเท่ากับร้อยละ 30 ของราคาค่าวัสดุ




**รูปที่ 6** ราคาต้นทุนแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ล้วน และปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย

## 4. สรุป

จากผลการศึกษาครั้งนี้สามารถสรุปได้ดังนี้

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่า การใช้เถ้าชานอ้อยแทนที่ปูนซีเมนต์ (ประเภทที่ 1) ส่งผลให้กำลังอัดประลัยที่อายุ 14 วันน้อยกว่าคอนกรีตปูนซีเมนต์ล้วน และค่ากำลังอัดประลัยจะน้อยลงแปรผกผันกับสัดส่วนการแทนที่เถ้าชานอ้อย ส่วนค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อย มีค่ามากกว่าแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์ล้วน และจะมีค่าการดูดซึมน้ำมากขึ้นแปรผันตรงกับสัดส่วนการแทนที่เถ้าชานอ้อย สำหรับกำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง แผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยมีค่าน้อยกว่าแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์ล้วน และค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางจะมีค่าน้อยลงแปรผกผันกับสัดส่วนการแทนที่เถ้าชานอ้อย เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาคุณสมบัติของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าปูนซีเมนต์แทนที่ด้วยเถ้าชานอ้อยที่ทดลองผลิตขึ้นกับคุณสมบัติตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (มอก.378-2531) กำหนด พบว่า ทุกสัดส่วนผสมของคอนกรีตที่

มีเถ้าชานอ้อยเป็นส่วนผสม มีค่าการดูดซึมน้ำของแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าไม่เกินมาตรฐานกำหนด ส่วนค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวาง ตัวอย่างแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าทุกส่วนผสมที่มีเถ้าชานอ้อยมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางไม่น้อยกว่าที่มาตรฐานกำหนดยกเว้น สัดส่วนผสมที่แทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 50 จะมีค่ากำลังต้านทานแรงดัดตามขวางน้อยกว่ามาตรฐานกำหนด

เมื่อพิจารณาด้านต้นทุนการผลิต พบว่า การแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยทำให้ราคาต้นทุนการผลิตแผ่นคอนกรีตปูทางเท้าถูกลง โดยสัดส่วนผสมที่ประหยัดที่สุดและเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้แก่ สัดส่วนผสมที่ทดแทนปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 40 ซึ่งมีต้นทุนถูกกว่าการใช้ปูนซีเมนต์ล้วนมากถึงร้อยละ 31

## 5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ บริษัทแม่สอดพลังงานสะอาด จำกัด ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก และโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ (HERP-NRU) ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ ขอบคุณนายสถิตย์ ไม่หวั่น นายมนต์ชัย มุ่งอุทุม และนายฐิติโชติ แก้วไทย นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก

## 6. เอกสารอ้างอิง

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2532. **มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกกรมกระเบื้องคอนกรีตปูพื้น.** ราชกิจจานุเบกษา, เล่มที่ 106 (ตอนที่ 18), 1-14.

ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และวีรชาติ ตั้งจิรภัทร. 2553. **การใช้ประโยน์จากเถ้าและวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมเพื่อเป็นวัสดุในงานคอนกรีต. (ครั้งที่ 1).** กรุงเทพฯ: บริษัท แดเน็กซ์ อินเตอร์คอร์ปอเรชั่น จำกัด.

P. Khobklang, K. Nokkaew et al. 2008. **Effect of bagasse ash on water absorption and compressive strength of lateritic soil interlocking block**. Excellence in Concrete Construction through Innovation, pp.181.

R. Srinivasan. 2010. **Experimental Study on Bagasse Ash in Concrete**. International Journal for Service Learning in Engineering, Vol. 5, No. 2, pp. 60-66.