

การใช้เถ้าชานอ้อยเพื่อเป็นวัสดุปอซโซลานในงานคอนกรีต

โดย

ศาสตราจารย์ ดร. ชัย จาตุรพิทักษ์กุล

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

อ้อยและเถ้าชานอ้อย

แม้ว่าคนไทยมีความคุ้นเคยกับอ้อยเป็นอย่างดี เนื่องจากเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศที่ปลูกกันมากในแถบภาคกลางและภาคตะวันตกของประเทศไทยและอ้อยเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตน้ำตาลทราย แต่เถ้าชานอ้อย (bagasse ash หรือ sugar cane bagasse ash) กลับเป็นวัสดุที่คนไทยไม่คุ้นเคย และหากกล่าวว่าเถ้าชานอ้อยสามารถใช้เป็นส่วนผสมในคอนกรีตด้วยแล้ว คนทั่วไปจะยิ่งแปลกใจอย่างมาก

ชานอ้อยเป็นวัสดุพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาล จากนั้นโรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลจึงใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ชานอ้อยถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ดีเพราะสร้างปัญหาต่อสภาพแวดล้อมน้อยเนื่องจากมีปริมาณกำมะถันต่ำจึงไม่ก่อให้เกิดฝนกรด ในปี พ.ศ. 2550-51 พบว่าประเทศไทยผลิตอ้อยทั้งหมดประมาณ 73.31 ล้านตัน [1] และหลังจากกระบวนการผลิตน้ำตาลมีชานอ้อยเหลือประมาณร้อยละ 26 ของน้ำหนักอ้อยหรือมีชานอ้อยประมาณ 19 ล้านตัน และภายหลังจากการเผาชานอ้อยเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าจะเหลือเป็นเถ้าชานอ้อยร้อยละ 0.62 ของน้ำหนักอ้อย [2] หรือประมาณ 4.5 แสนตันต่อปี (ดูตารางที่ 1) ซึ่งเถ้าชานอ้อยเหล่านี้ส่วนใหญ่ต้องนำไปทิ้ง (ดูรูปที่ 1) และมีบางส่วนที่เกษตรกรนำเถ้าชานอ้อยไปทำปุ๋ย หรือปรับสภาพดินที่เป็นกรด

ตารางที่ 1 ปริมาณอ้อย ชานอ้อย และเถ้าชานอ้อย ในช่วงปี พ.ศ. 2543/44 ถึง 2550/51 ของไทย [1]

	อ้อย (ล้านตัน/ปี)	ชานอ้อย (ล้านตัน/ปี)*	เถ้าชานอ้อย (ตัน/ปี)**
พ.ศ.2550/51	73.31	19.06	454,500
พ.ศ.2549/50	63.79	14.59	395,400
พ.ศ.2548/49	44.68	12.14	289,400
พ.ศ.2547/48	47.81	12.43	296,400
พ.ศ.2546/47	64.48	14.76	399,700
พ.ศ.2545/46	74.06	19.26	459,100
พ.ศ.2544/45	59.49	15.47	368,800
พ.ศ.2543/44	48.65	12.65	301,600

หมายเหตุ * ร้อยละ 26 ของปริมาณอ้อย ** ร้อยละ 0.62 ของปริมาณอ้อย [2]

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อย

องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยบดละเอียดที่นำมาจากแหล่งผลิต 3 จังหวัดในประเทศไทยเทียบกับของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่าเถ้าชานอ้อยมีซิลิกอนไดออกไซด์เป็นหลักซึ่งมากกว่าร้อยละ 50 ขึ้นไป

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์และเถ้าชานอ้อยบดละเอียดจาก 3 แหล่ง [3]

องค์ประกอบทางเคมี (%)	Cement Type	จาก	จาก	จาก
	I	ลพบุรี	ราชบุรี	นครสวรรค์
Silicon Dioxide (SiO ₂)	20.80	59.3	67.1	54.5
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃)	5.50	4.5	4.5	6.0
Iron Oxide (Fe ₂ O ₃)	3.16	3.4	2.4	3.2

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



Calcium Oxide (CaO)	64.97	14.8	3.6	15.4
Magnesium Oxide (MgO)	1.06	1.8	2.1	1.4
Potassium Oxide (K ₂ O)	0.55	2.7	4.3	0.1
Sulfur Trioxide (SO ₃)	2.96	1.6	1.6	0.1
Loss On Ignition (LOI)	2.89	9.1	13.7	19.4
SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃	-	69.2	73.9	63.7

หมายเหตุ ข้อมูลที่แสดงในตารางที่ 2 เป็นข้อมูลของโรงงานน้ำตาลที่ตั้งอยู่ในจังหวัดนั้น และไม่ได้หมายความว่าป็นองค์ประกอบทางเคมีของเถ้าชานอ้อยของจังหวัดนั้นทุกโรงงาน

ปัญหาของเถ้าชานอ้อย

ปัจจุบันมีแนวโน้มการเพิ่มของเถ้าชานอ้อยมากขึ้นเนื่องจากการส่งเสริมอุตสาหกรรมการผลิตเอทานอลเพื่อใช้เป็นส่วนหนึ่งของน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งใช้อ้อยเป็นวัตถุดิบที่สำคัญในการผลิตเอทานอล การนำอ้อยไปใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอลทำให้ราคาอ้อยสูงขึ้นมากและเป็นผลให้ราคาน้ำตาลภายในประเทศสูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในช่วง 2-3 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2552-2554) แม้ว่าประเทศไทยมีเถ้าจากโรงงานอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมากและหลากหลายชนิด แต่มีเถ้าจำนวนน้อยและมีเถ้าเพียงไม่กี่ชนิดที่มีศักยภาพที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุผสมในงานคอนกรีตได้ เถ้าที่สามารถนำไปใช้ในงานคอนกรีตได้มักต้องมีลักษณะดังนี้คือ “เป็นเถ้าที่มีออกไซด์ของซิลิกา หรือซิลิกาและอลูมินาออกไซด์สูงซึ่งโดยทั่วไปควรมากกว่าร้อยละ 50 ของทั้งหมด มีความละเอียดสูงหรือสามารถทำให้มีความละเอียดสูงได้ และไม่เป็นผลึกคือสามารถทำปฏิกิริยากับด่าง (แคลเซียมไฮดรอกไซด์) ได้” ซึ่งเถ้าจากการเผาชานอ้อย (bagasse ash) มีศักยภาพที่จะนำไปใช้ได้ ขณะที่เถ้าจากการเผาขยะ เถ้าจากการเผาเศษไม้ เถ้าจากการเผาเชื้อเพลิงไม้ เถ้าจากการเผาพลาสติก เถ้าจากการเผากระดาษ เถ้าจากการเผายางรถยนต์ เป็นต้น พบว่าเถ้าเหล่านี้มีคุณภาพต่ำและการนำไปใช้ในส่วนผสมของคอนกรีตมักส่งผลทางด้านลบต่อคุณภาพของคอนกรีตอย่างมาก

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 งามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>

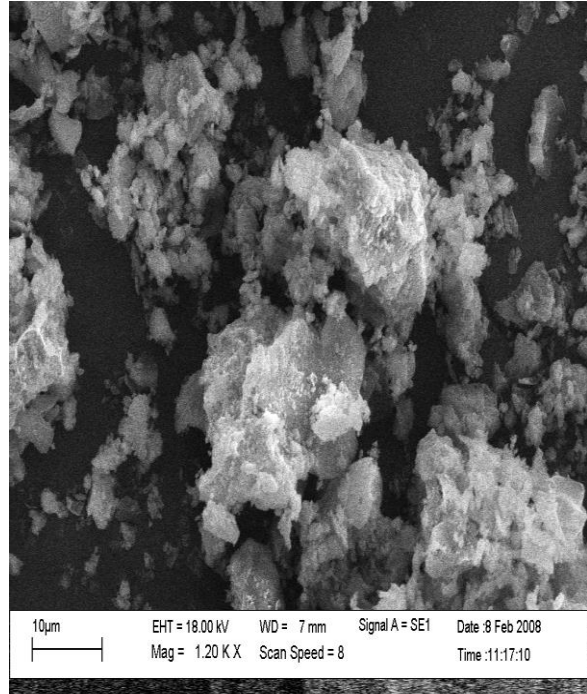
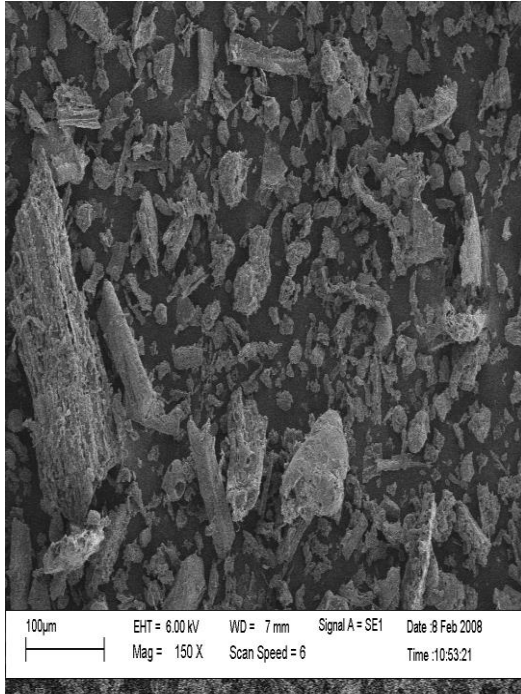


รูปที่ 1 ป่อทิ้งเถ้าชานอ้อย

การนำเถ้าชานอ้อยไปใช้ในงานคอนกรีต

เถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงานโดยตรง มีขนาดใหญ่ รุพรุนสูง และมีรูปร่างไม่แน่นอน (ดูรูปที่ 2) และหากนำไปแทนที่ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมคอนกรีต พบว่าทำให้ส่วนผสมคอนกรีตต้องการน้ำมากขึ้น มีการสูญเสียค่ายุบตัวอย่างรวดเร็ว และกำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าชานอ้อยอย่างมาก กล่าวโดยสรุปคือ เถ้าชานอ้อยที่ได้จากโรงงานโดยตรงไม่เหมาะที่จะใช้ในส่วนผสมคอนกรีต

แม้ว่าเถ้าชานอ้อยจากโรงงานโดยตรงจะไม่ใช่วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) ที่ดี แต่สามารถพัฒนาคุณภาพของเถ้าชานอ้อยให้เป็นวัสดุปอซโซลานที่ดีได้ โดยการบดให้มีความละเอียดสูง ซึ่งพบว่าเถ้าชานอ้อยบดละเอียดเป็นวัสดุปอซโซลานที่ดี และสามารถปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของคอนกรีตให้ดีขึ้น และหากมีการวิจัยและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จะสามารถนำมาใช้ในงานคอนกรีตได้เช่นเดียวกับเถ้าถ่านหิน



ก. ภาพขยายเนื้อหยาบก่อนบด

ข. ภาพขยายเนื้อหยาบหลังบด

รูปที่ 2 ภาพถ่ายขยายอนุภาคของเนื้อหยาบก่อนและหลังบดละเอียด [4]

อรรถเดช [4] ได้ศึกษาการใช้เนื้อหยาบละเอียด (ข้างตะแกรงขนาด 45 ไมครอน ร้อยละ 0.42) ในการทำคอนกรีตกำลังสูงโดยออกแบบกำลังอัดของคอนกรีตควบคุม (ไม่ใช่เนื้อหยาบ) ที่อายุ 28 วัน ไว้ที่ 400 กก/ซม² ใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ 450 กก/ม³ ควบคุมค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน (W/B) เท่ากับ 0.45 และใช้เนื้อหยาบละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ใช้สารลดน้ำพิเศษ ควบคุมค่าการยุบตัวให้อยู่ในช่วง 5 - 10 ซม. และมีผลการทดสอบตามตารางที่ 3

ตารางที่ 3 กำลังอัดประลัยของคอนกรีตกำลังอัดสูงที่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เมื่อมี W/B เท่ากับ 0.45 [4]

Concrete	Compressive Strength, ksc (<i>Normalized Compressive Strength, %</i>)			
	7 days	28 days	90 days	180 days
H-CI	337 (100)	419 (100)	508 (100)	521 (100)
H-BA-10	373 (111)	474 (113)	555 (109)	565 (108)
H-BA-20	358 (106)	469 (112)	577 (113)	586 (112)
H-BA-30	341 (101)	420 (100)	525 (103)	535 (103)
H-BA-40	333 (99)	402 (96)	487 (96)	496 (95)
H-BA-50	293 (87)	384 (92)	462 (91)	467 (90)

หมายเหตุ : ส่วนที่แรงเงาหมายถึงคอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดน้อยกว่าคอนกรีตควบคุม H-CI

คอนกรีตที่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน ที่อายุการบ่ม 7 วัน สามารถพัฒนากำลังอัดได้เท่ากับ 373, 358 และ 341 กก/ซม² (คอนกรีต H-BA-10, H-BA-20, และ H-BA-30 ตามลำดับ) ซึ่งเป็นกำลังอัดที่สูงกว่าคอนกรีตควบคุม H-CI โดยคิดเป็นร้อยละ 111, 106 และ 101 ของคอนกรีตควบคุมตามลำดับ และยังพบว่าที่อายุบ่ม 90 วัน ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน สามารถพัฒนากำลังอัดได้สูงสุดคือเท่ากับ 577 กก/ซม² คิดเป็นร้อยละ 113 ของคอนกรีตควบคุม [4]

อย่างไรก็ตาม การใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดในการแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 ขึ้นไปจะทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมโดยมีค่าประมาณร้อยละ 90 ของคอนกรีตควบคุม สำหรับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยพบว่าสามารถใช้การ

ประเมินตามมาตรฐาน ว.ส.ท. ได้ เพราะ โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเถ้าขานอ้อยมีลักษณะคล้ายคลึงกับโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทั่วไป กล่าวคือ โมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าสูงขึ้นตามค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่สูงขึ้น ซึ่งมาตรฐาน ว.ส.ท. 1008 [5] แนะนำค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตทั่วไปตามสมการที่ (1)

$$E_c = 15100 \sqrt{f'_c} \quad \text{กก/ซม}^2 \quad (1)$$

โดยที่ E_c และ f'_c มีหน่วยเป็น กก/ซม²

การต้านทานต่อการแทรกซึมของคลอไรด์

คุณสมบัติที่ดีมากประการหนึ่งของการใช้เถ้าขานอ้อยในงานคอนกรีต คือ สามารถต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตได้สูง ซึ่งแสดงในตารางที่ 4

คอนกรีตที่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เป็นวัสดุประสานมีระยะเวลาการแทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่ลดน้อยลงและน้อยกว่าคอนกรีตควบคุม N-CI ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และ คอนกรีตควบคุม N-CV ซึ่งใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 5 เป็นวัสดุประสาน และยิ่งน้อยลงเมื่อใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในปริมาณที่มากขึ้น กล่าวคือเมื่อแช่คอนกรีตในสารละลายโซเดียมคลอไรด์ความเข้มข้นร้อยละ 3 เป็นเวลา 180 วัน คอนกรีตควบคุม N-CI มีระยะเวลาการแทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 35 มม. แต่คอนกรีตที่ใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20, 30, 40 และ 50 โดยน้ำหนักวัสดุประสาน มีระยะเวลาการแทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ เท่ากับ 25, 17, 14, 10 และ 8 มม. ตามลำดับ โดยส่วนผสมคอนกรีต N-BA-50 สามารถต้านทานการแทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ได้ดีที่สุด คือมีระยะเวลาการแทรกซึมของคลอไรด์ เท่ากับ 7 และ 8 มม. ที่อายุการแช่ 90 และ 180 วันตามลำดับ

นอกจากนี้การใช้เถ้าขานอ้อยบดละเอียดในคอนกรีตแม้ว่ามีกำลังอัดที่ต่ำกว่าคอนกรีตควบคุมในกรณีที่มีการแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ค่อนข้างสูง (ตัวอย่าง N-BA-40 และ N-BA-50) แต่ยังคงมีระยะการแทรกซึมของคลอไรด์ที่น้อยกว่าคอนกรีตควบคุมได้ แสดงให้เห็นว่าเถ้าขานอ้อยบดละเอียดสามารถเพิ่มความต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์ของคอนกรีตได้เป็นอย่างดี

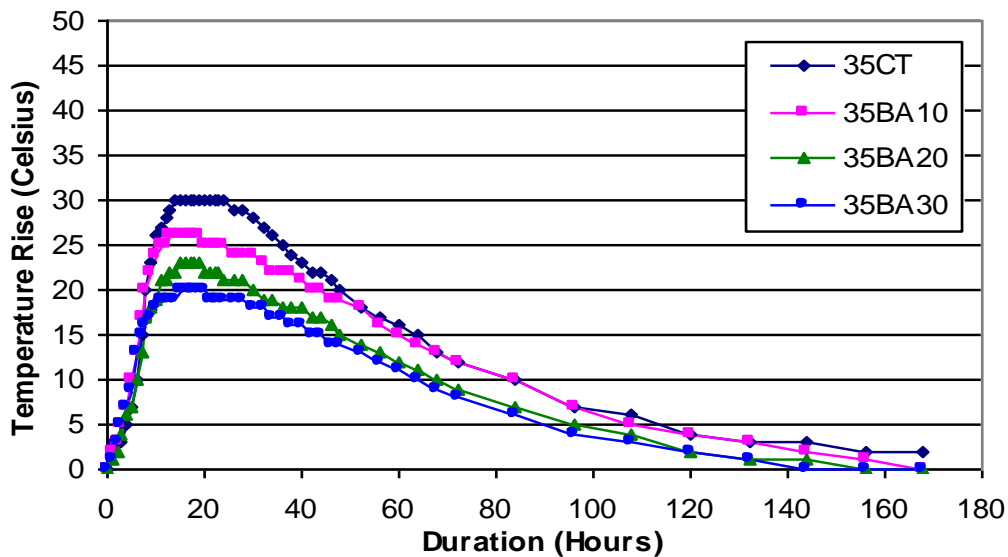
ตารางที่ 4 ระยะการแทรกซึมของสารละลายโซเดียมคลอไรด์ที่มีเข้มข้นร้อยละ 3 ในคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย [4]

Specimen	Compressive Strength (ksc)		Chloride Penetration Depth (mm)	
	90 Days	180 Days	90 Days	180 Days
N-CI	366	410	25	35
N-CV	368	416	26	37
N-BA-10	400	426	16	25
N-BA-20	415	446	12	17
N-BA-30	371	417	10	14
N-BA-40	349	367	8	10
N-BA-50	331	344	7	8

ความร้อนของคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อย

นันทชัย ชูศิลป์ [6] ได้ทดสอบการพัฒนาความร้อนของคอนกรีตที่ผสมเถ้าขานอ้อยบดละเอียด (ข้างตะแกรงเบอร์ 325 ร้อยละ 2.8) เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 10, 20, และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน โดยเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมซึ่งใช้ปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก/ม³ ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 3

คอนกรีตควบคุม (35CT) มีการพัฒนาอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 30 องศาเซลเซียสเมื่อผสมคอนกรีตเป็นเวลา 13 ชั่วโมง ขณะที่คอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยร้อยละ 10, 20, และ 30 (35BA10, 35BA20, และ 35BA30 ตามลำดับ) มีการพัฒนาอุณหภูมิสูงสุดเท่ากับ 26, 23, และ 20 องศาเซลเซียส หรือมีอุณหภูมิลดลง 4, 7, และ 10 องศาเซลเซียส ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนสามารถลดความร้อนได้เช่นเดียวกับการใช้วัสดุปอซโซลานอื่นๆ เช่น เถ้าถ่านหิน นอกจากนี้เวลาที่เกิดอุณหภูมิสูงสุดสำหรับคอนกรีตที่ผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียดพบว่ายืดออกไปจากคอนกรีตควบคุมประมาณ 1 ถึง 2 ชั่วโมง โดยขึ้นอยู่กับปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ กล่าวคือ หากแทนที่มาก จะยืดออกไปมากที่เป็นเช่นนี้อาจเนื่องมาจากการใช้สารลดน้ำพิเศษในปริมาณที่มากขึ้นเมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยที่สูงขึ้น และอีกเหตุผลหนึ่งคือเมื่อมีการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยมากขึ้น ทำให้คอนกรีตดังกล่าวมีปูนซีเมนต์ลดลงจึงมีการพัฒนาความร้อนที่ช้าลง



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของคอนกรีตและระยะเวลาภายหลังจากการผสมคอนกรีต

(35CT คือคอนกรีตควบคุม ส่วน 35BA10, 35BA20, และ 35BA30 เป็นคอนกรีตที่ใช้เถ้าชานอ้อยบดละเอียดแทนที่ปูนซีเมนต์ร้อยละ 10, 20, และ 30 โดยน้ำหนักของวัสดุประสาน) [6]

ข้อเสนอแนะในการนำเถ้าชานอ้อยไปใช้ในงานคอนกรีต

ปัจจุบันยังไม่มีข้อกำหนดหรือมาตรฐานสำหรับกำหนดคุณสมบัติของเถ้าชานอ้อยเพื่อใช้ในงานคอนกรีตแต่อย่างใด เนื่องจากเถ้าชานอ้อยเป็นวัสดุปอซโซลานชนิดใหม่และมีการศึกษาวิจัยส่วนใหญ่อยู่ในประเทศที่มีการผลิตอ้อยเป็นหลัก ดังนั้นการวิจัยเกี่ยวกับการใช้เถ้าชานอ้อยในคอนกรีตจึงมีน้อยมากเมื่อเทียบกับการวิจัยเถ้าถ่านหินหรือซิลิกาฟูม

จากผลการศึกษาและข้อมูลที่มีอยู่อาจสามารถกำหนดคุณสมบัติที่เหมาะสมของเถ้าชานอ้อยเพื่อใช้ในงานคอนกรีตได้คร่าวๆ คือ เถ้าชานอ้อยควรมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผา (LOI) ไม่เกินร้อยละ 15 มีค่าดัชนีกำลังที่อายุ 7 และ 28 วันไม่ต่ำกว่าร้อยละ 75 ความละเอียดของเถ้าชานอ้อยควรค้ำตะแกรงขนาดช่องเปิด 45 ไมโครเมตรไม่เกินร้อยละ 5 และความต้องการน้ำของมอร์ตาร์ผสมเถ้าชานอ้อยไม่ควรสูงกว่าร้อยละ 105 เมื่อแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าชานอ้อยร้อยละ 20 และที่สำคัญคือเถ้าชานอ้อยต้องไม่มีน้ำตาลหรือน้ำอ้อยปะปนอยู่ เพราะน้ำตาลหรือน้ำอ้อยเป็นสารหน่วงการก่อตัวที่รุนแรงและอาจสร้างความเสียหายต่อคอนกรีตได้เช่นเดียวกับการเติมน้ำตาลลงในส่วนผสมคอนกรีต

เอกสารอ้างอิง

1. สำนักงานคณะกรรมการอ้อยและน้ำตาลทราย, กองอุตสาหกรรมอ้อยและน้ำตาลทราย, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2550, สรุปสถานการณ์อ้อยและน้ำตาลทรายของประเทศประจำปีการผลิต 2549/50, เล่มที่ 2, หน้า 1-3
2. Cordeiro Gc, Filijp RDT, Fairbairt EMR, Luis MMT, Oliver CH, "Influence of mechanical grind on the pozzolanic activity of residual sugarcane bagasse ash". In: Proceedings of the International Conference on Use of Recycled Materials in Building and Structure, Barcelona; 2004. p. 1-9.
3. วิทวัส ทิพย์พิริยพงศ์, 2551, ผลกระทบของเถ้าชานอ้อยที่มีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาต่างกันต่อกำลังอัดและการซึมของน้ำผ่านคอนกรีต, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 119 หน้า

วารสารคอนกรีต

TCA e-magazine



4. อรรถเดช ฤกษ์พิบูลย์, 2551, ความทนทานของคอนกรีตผสมเถ้าชานอ้อยบดละเอียด, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 142 หน้า
5. คณะกรรมการวิชาการสาขาวิศวกรรมโยธา, มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีกำลัง มาตรฐาน ว.ส.ท. 1008-38, วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, พิมพ์ครั้งที่ 1 พ.ศ. 2538
6. Nuntachai Chusilp, Chai Jaturapitakkul, Kraiwood Kiattikomol, 2009, "Utilization of Bagasse Ash as a Pozzolanic Material in Concrete", Construction and Building Materials, Vol. 23, pp. 3352-3358.

สมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

ชั้น 3 อาคารสมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย 487 รามคำแหง 39 ถ.รามคำแหง แขวงพลับพลา เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
โทรศัพท์ 0-2935-6539 โทรสาร 0-2935-6538 Email : thaitca@gmail.com Homepage : <http://www.thaitca.or.th>