

อิทธิพลเถ้าขานอ้อยต่อความแข็งแรงอัดในการขึ้นรูปคอนกรีต

Influence of Cane Bagasse Ash to Compression Strength on Concrete Forming

ณัฐพงษ์ ศรีสุภะ

Nutthaphong Srisupha

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Krungthep, Thailand

Author.Tel: 08 1626-9346, E-mail: nutthaphong.s@mail.rmutk.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาเกี่ยวกับอิทธิพลเถ้าขานอ้อยต่อความแข็งแรงอัดในการขึ้นรูปคอนกรีต โดยเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเถ้าขานอ้อยสำหรับอุตสาหกรรมงานก่อสร้าง ในการดำเนินงานวิจัยเป็นการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (DOE) ภายใต้การวิเคราะห์เชิงสถิติวิศวกรรมด้วยการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ การออกแบบเชิงสถิติวิศวกรรมนี้ กำหนดพารามิเตอร์สำคัญ 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ เปอร์เซนต์เถ้าขานอ้อย (%CBA) คือ 5, 15, 25 และ 35% กับระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต (CC-time) คือ 7, 14 และ 28 วัน ที่มีต่อค่าความแข็งแรงอัด ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) บ่งชี้ว่า มีผลต่อค่าความแข็งแรงอัด (CS-value) ทั้งอิทธิพลหลักของพารามิเตอร์กับอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ บทสรุปสุดท้ายเกี่ยวกับสถานะที่เหมาะสมของงานวิจัยนี้ แสดงให้เห็นว่าระดับของพารามิเตอร์ %CBA เท่ากับ 5% และระดับพารามิเตอร์ CC-time เท่ากับ 28 วัน จะมีอิทธิพลต่อการให้ได้มาซึ่ง CS-value สูงสุด เท่ากับ 275.3887 ซึ่งสามารถเทียบเป็นค่าความพึงพอใจได้สูงมากถึง 99.60%

คำสำคัญ : เถ้าขานอ้อย ความแข็งแรงอัด การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (DOE)

ABSTRACT

This research aims to study the influence of cane bagasse ash to compression strength on concrete forming which was value added to the cane bagasse ash for civil industrial. In research implementation, the design and analysis of experiment (DOE) was applied within the engineering statistical analysis by the full-factorial experiment technique. This design of engineering statistics defined two important parameters namely; the percentage of cane bagasse ash (%CBA) of 5, 15, 25 and 35% with the curing concrete time (CC-time) of 7, 14 and 28 days. Response of research was the compression strength value (CS-value). Analysis of variance (ANOVA) results indicated the influence of both the main effect and interaction. In optimized

Received 21-01-2021

Revised 17-03-2022

Accepted 18-03-2022

parameter condition, the %CBA of 5% with CC-time of 28 days was obtained the maximum CS-value of 275.3887 which was compared to the desirability value of 99.60%.

Keyword: Cane Bagasse Ash, Compression Strength, Design and Analysis of Experiment (DOE)

1. บทนำ

อ้อยเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศไทยที่ปลูกกันมาก โดยถือเป็นวัตถุดิบที่มีความสำคัญอย่างมากในการผลิตน้ำตาลทราย ซึ่งผลิตภัณฑ์ส่วนหนึ่งจากการผ่านกระบวนการผลิตน้ำตาลทรายนั้น คือ เถ้าชานอ้อย (Cane bagasse ash) โดยเถ้าชานอ้อยนั้นถือเป็นวัสดุที่เหลือจากการเผาชานอ้อย ในปัจจุบันสิ่งนี้กลับถูกมองข้ามถึงความสำคัญจนกลายเป็นเพียงเศษวัสดุที่ไม่มีคุณค่า แต่ถ้าหากกล่าวถึงการนำเอาเถ้าชานอ้อยดังกล่าวนี้ มาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในด้านอื่น ๆ จึงเป็นเรื่องที่น่าสนใจต่อการศึกษาวิจัยเช่นเดียวกันกับการศึกษางานวิจัยนี้ ที่มีการนำเอาเถ้าชานอ้อยมาใช้เป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับการสร้างวัสดุใหม่ขึ้นมาทดแทนวัสดุเดิมที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันที่อาจจะหมดสิ้นไปในอนาคตอันใกล้

ชานอ้อยเป็นเศษวัสดุที่ได้มาจากการผลิตน้ำตาล โรงงานอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลจึงใช้ชานอ้อยเป็นเชื้อเพลิงให้ความร้อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า ชานอ้อยถือว่าเป็นเชื้อเพลิงที่ดีจากการที่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก เนื่องจากมีปริมาณธาตุกำมะถันต่ำจึงไม่ก่อให้เกิดฝนกรด ในปัจจุบันนี้ ประเทศไทยมีการผลิตอ้อยทั้งหมดโดยเฉลี่ยในปริมาณที่สูงมากถึง 165.5 ล้านตัน โดยเมื่ออ้อยเหล่านี้ ผ่านกระบวนการผลิตเป็นน้ำตาลแล้วจะมีชานอ้อยเหลือประมาณ 26% ของน้ำหนักอ้อยทั้งหมด หรือมีปริมาณชานอ้อยเหลือประมาณ 43.03 ล้านตัน ภายหลังจากการเผาชานอ้อยเพื่อผลิต

กระแสไฟฟ้าสำหรับใช้งานภายในโรงงานแล้ว จะมีปริมาณเถ้าชานอ้อยเหลืออยู่ 0.62% ของน้ำหนักชานอ้อยทั้งหมด หรือประมาณ 2.7 ล้านตัน ซึ่งเถ้าชานอ้อยส่วนใหญ่เหล่านี้ จะถูกนำไปทิ้ง และมีส่วนที่เกษตรกรนำไปทำปุ๋ยหรือปรับสภาพดินที่เป็นกรด

Gnesan [1] ทำการศึกษาเพื่อจะนำเอาเถ้าชานอ้อยมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในด้านอื่นๆ เนื่องจากเถ้าชานอ้อยมีส่วนประกอบที่สำคัญของซิลิกา (Silica) มากกว่า 60% และเถ้าชานอ้อยที่ผ่านการบดละเอียดแล้วนั้น ยังมีสมบัติเป็นวัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) ได้ ทำให้สามารถใช้เป็นวัสดุผสมกับปูนซีเมนต์บางส่วนในการขึ้นรูปคอนกรีตได้ โดยที่สมบัติของคอนกรีตยังคงสามารถในการรับน้ำหนักได้ดี Paula [2] ได้ทำการศึกษาปริมาณส่วนผสมที่มีความเหมาะสมของแกลบในการขึ้นรูปคอนกรีตให้มีความแข็งแรงสูง ผลการศึกษา พบว่าการผสมแกลบในปริมาณ 30% สำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตนั้น สามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงให้กับคอนกรีตได้ แต่ถ้าหากเป็นการผสมของเถ้าชานอ้อยเข้ากับปูนซีเมนต์สำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตในประเทศบราซิล พบว่าจะต้องผสมในปริมาณ 20% Kawade [3] พบว่าจะต้องผสมในปริมาณ 15% สำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตในประเทศอินเดีย และ Hailu [4] พบว่าจะต้องผสมในปริมาณมากกว่า 10% สำหรับการขึ้นรูปคอนกรีตในประเทศเอธิโอเปีย นอกจากนี้ Gar [5] ยังพบว่าการผสมในปริมาณ 10% นั้น จะสามารถช่วยเพิ่มความสามารรถในการต้านทาน

อุณหภูมิที่สูงได้ Rukzon [6] ศึกษาปริมาณส่วนผสมของเถ้าชานอ้อยช่วง 10-30% ในการขึ้นรูปคอนกรีต ผลการศึกษาพบว่าช่วงปริมาณส่วนผสม 10% จะสามารถเพิ่มสมบัติความสามารถในการต้านทานการแทรกซึมของสารคลอไรด์ (Chloride penetration) ได้ดี และทำให้ได้มาซึ่งคอนกรีตที่มีรูพรุนต่ำ (Low porosity) ส่วนช่วงปริมาณส่วนผสม 30% จะทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงสูง และ Muangtong [7] พบว่าถ้าหากการผสมในปริมาณ 20% จะส่งผลค่าอัตราส่วน W/C สำหรับการใช้งานสูงถึง 0.735

จากการศึกษาในงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา นั้นอุตสาหกรรมงานก่อสร้างในประเทศไทยยังมีสมบัติด้านความแข็งแรงอัด (Compression strength) ที่น่าสนใจต่อการศึกษาพัฒนาเพิ่มเติม เพื่อช่วยเพิ่มสมบัติเชิงกลให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อีกทั้งยังเป็นการช่วยลดการใช้วัสดุปูนซีเมนต์ลงได้ รวมไปถึงการเพิ่มมูลค่าให้กับวัสดุเหลือใช้อย่างเถ้าชานอ้อย (ดังแสดงในภาพที่ 1) ได้อีกด้วย จากเหตุผลความสำคัญดังกล่าวข้างต้น การศึกษาการขึ้นรูปคอนกรีตที่มีส่วนผสมเถ้าชานอ้อยโดยมุ่งเน้นสมบัติด้านความแข็งแรงอัดจึงมีความน่าสนใจอย่างยิ่ง โดยวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเป็นการประยุกต์ใช้หลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and analysis of experiment; DOE) เข้ามาหาสภาวะที่เหมาะสม (Optimization) ของเปอร์เซ็นต์เถ้าชานอ้อย (Percentage of cane bagasse ash; %CBA) และระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต (CC-time) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์สำคัญจากการศึกษา งานวิจัยในอดีตที่ผ่านมา



ภาพที่ 1 เถ้าชานอ้อย (Cane Bagasse Ash)

2. วิธีดำเนินการวิจัย

ในการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตเกี่ยวกับกำลังในการต้านทานแรงอัดซึ่งเป็นสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตในงานโครงสร้างคอนกรีตนั้น จะทำการออกแบบการหล่อแท่งคอนกรีตให้รับแรงอัดโดยตรง ชิ้นงานทดสอบ (Specimen) คือ แท่งคอนกรีตมาตรฐานรูปทรงลูกบาศก์ (Cube) ขนาด $15 \times 15 \times 15$ cm ตามมาตรฐานของประเทศอังกฤษ จำนวน 36 ชิ้นงานทดสอบ ตามหลักการออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง (Design and analysis of experiment; DOE) เชิงสถิติวิศวกรรม (Engineering statistical) ด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full-factorial experiment) โดยมีพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา 2 พารามิเตอร์ ได้แก่ พารามิเตอร์เกี่ยวกับเปอร์เซ็นต์เถ้าชานอ้อย (%CBA) คือ 5, 15, 25 และ 35% กับพารามิเตอร์เกี่ยวกับระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต (CC-time) คือ 7, 14 และ 28 วัน และมีผลตอบสนอง (Response) ที่ทำการศึกษาเป็นค่าความแข็งแรงอัด (Compression strength value; CS-value)

ในขณะที่ทำการเทคอนกรีตจะแบ่งการเทออกเป็น 3 ชั้น โดยในแต่ละชั้นทำการกระทุ้งด้วย

เหล็กกระทัน 25 ครั้ง/ชั้น และเมื่อกระทันจนถึงชั้นสุดท้ายเรียบร้อยแล้ว จะทำการปาดผิวหน้าคอนกรีตให้เรียบเสมอกับแบบหล่อ จากนั้นปล่อยทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง แล้วจึงถอดแบบหล่อออกเพื่อนำไปบ่ม โดยในการบ่มคอนกรีตนั้น จะนำแท่งคอนกรีตดังกล่าวไปแช่น้ำทิ้งไว้เป็นระยะเวลา 7, 14 และ 28 วัน ก่อนนำไปทดสอบความแข็งแรงอัด โดยแท่งคอนกรีตชิ้นงานทดสอบที่ผ่านกระบวนการผลิตเหล่านี้สามารถแสดงได้ดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แท่งคอนกรีตชิ้นงานทดสอบ (Specimen)

ในการทดสอบความแข็งแรงอัดของแท่งคอนกรีตชิ้นงานทดสอบ (Specimen) (ดังแสดงในภาพที่ 3) นั้น จะดำเนินการตามหลักการเชิงสถิติวิศวกรรมด้วยเทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ โดยมี 2 พารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา ได้แก่ เปอร์เซ็นต์เถ้าขานอ้อย (%CBA) และระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต (CC-time) ในส่วนของผลตอบสนองที่ทำการศึกษา คือ ค่าความแข็งแรงอัด (CS-value) นั้น จะได้จากข้อมูลผลการทดสอบมาคำนวณร่วมกับสมการทางคณิตศาสตร์



ภาพที่ 3 การทดสอบความแข็งแรงอัด

ในการคำนวณค่าความแข็งแรงอัด (σ_c) นั้น และค่าความหนาแน่นของคอนกรีต (ρ) สามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

$$\sigma_c = P/A \quad (1)$$

กำหนดให้

σ_c คือ ค่าความแข็งแรงอัด
หน่วย kk/cm^2

P คือ ค่าน้ำหนักกดจาก
เครื่องทดสอบ หน่วย kk

A คือ พื้นที่หน้าตัดที่รับ
น้ำหนักกด หน่วย cm^2

$$\rho = W/V \quad (2)$$

กำหนดให้

ρ คือ ความหนาแน่นของ
คอนกรีต หน่วย g/cm^3

W คือ น้ำหนักชิ้นงาน
ทดสอบ หน่วย g

V คือ ปริมาตรของชิ้นงาน
ทดสอบ หน่วย cm^3

ผลลัพธ์จากการนำเอาข้อมูลการทดสอบมา คำนวณร่วมกับสมการทางคณิตศาสตร์เกี่ยวกับ ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตนั้น สามารถแสดงผลตามหลักการเชิงสถิติวิศวกรรมด้วย เทคนิคการออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 1

3. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในการวิเคราะห์เชิงสถิติวิศวกรรมด้วยเทคนิค การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลเต็มรูปแบบ สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 2 ซึ่งเป็นผลการวิเคราะห์ ความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) เกี่ยวกับอิทธิพลหลักของพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ (Main effect) คือ เปอร์เซ็นต์เถ้า ฆานอ้อย (%CBA) และระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต

(CC-time) รวมไปถึงอิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 พารามิเตอร์ (Interaction) พบว่า มีอิทธิพลต่อ ค่าความแข็งแรงอัด (CS-value) อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากค่า $p\text{-value} < \alpha (0.05)$ ซึ่งสอดคล้องสัมพันธ์กันกราฟอิทธิพลหลัก (Main effect plot) กับกราฟอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (Interaction plot) ดังแสดงในภาพที่ 4 และ 5 ตามลำดับ โดยถึงแม้ว่ากราฟ Interaction plot นั้น จะไม่ตัดกันอย่างชัดเจน แต่แนวโน้มกราฟแต่ละเส้น มีค่าสูงต่ำในแต่ละช่วงที่แตกต่างกัน ณ ระดับ ความเชื่อมั่น 95% นั้น ถือว่ามีความแตกต่างกันอย่าง มีนัยสำคัญ นอกจากนี้ ข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์นี้ มีความน่าเชื่อถือสูงมากถึง 99.94%

ตารางที่ 1 ข้อมูลการรับกำลังอัดของคอนกรีต

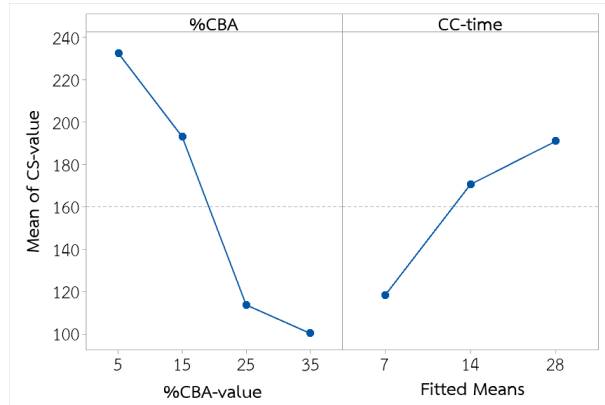
NO	%CBA	CC-time	CS-value
1	5	7	172.92
2	5	14	247.72
3	5	28	275.66
4	15	7	121.517
5	15	14	219.67
6	15	28	243.023
7	25	7	98.142
8	25	14	116.82
9	25	28	130.79
10	35	7	79.42
11	35	14	98.142
12	35	28	121.55
13	5	7	173.03
14	5	14	250.47
15	5	28	276.166
16	15	7	124.74

ตารางที่ 1 (ต่อ) ข้อมูลการรับกำลังอัดของคอนกรีต

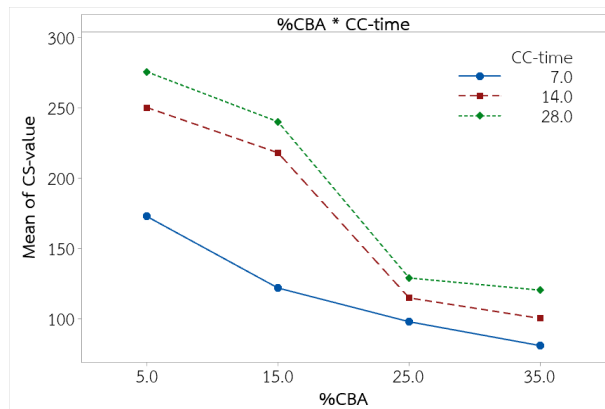
NO	%CBA	CC-time	CS-value
17	15	14	217.25
18	15	28	238.37
19	25	7	95.81
20	25	14	112.09
21	25	28	126.17
22	35	7	80.85
23	35	14	100.474
24	35	28	120.12
25	5	7	172.04
26	5	14	251.9
27	5	28	274.34
28	15	7	119.13
29	15	14	216.7
30	15	28	238.37
31	25	7	99.55
32	25	14	115.39
33	25	28	129.8
34	35	7	82.28
35	35	14	101.882
36	35	28	119.13

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Source	DF	SS	MS	F-value	P-value
Model	11	153230	13930	3650	< 0.01
Linear	5	142476	28495	7466	< 0.01
%CBA (A)	3	108594	36198	9484	< 0.01
CC-time (B)	2	33882	16941	4439	< 0.01
Interaction	6	10754	1792	470	< 0.01
AB	6	10754	1792	470	< 0.01
Error	24	92	4		
Total	35	153322			



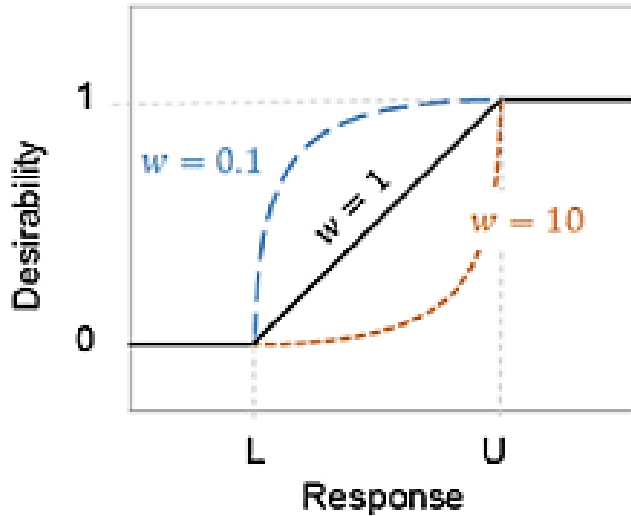
ภาพที่ 4 กราฟอิทธิพลหลัก (Main effect)



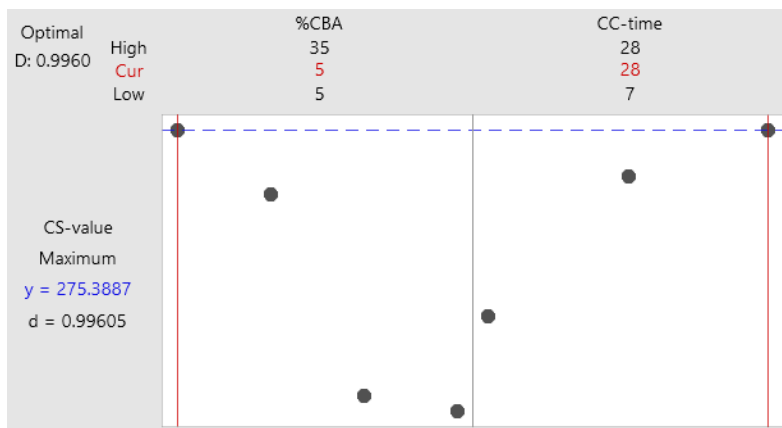
ภาพที่ 5 กราฟอิทธิพลร่วมกันระหว่าง 2 พารามิเตอร์ (Interaction)

ในการวิเคราะห์เชิงสถิติวิศวกรรมเพื่อค้นหา ระดับที่เหมาะสมของ 2 พารามิเตอร์ คือ เปอร์เซ็นต์ ฝ้าชานอ้อย (%CBA) และระยะเวลาในการบ่ม คอนกรีต (CC-time) ที่มีอิทธิพลต่อการให้ได้มาซึ่งค่า ความแข็งแรงอัด (CS-value) สูงสุดนั้น จะเป็นการประยุกต์ใช้ฟังก์ชันความพึงพอใจเชิงสถิติ (Desirability function) ด้วยเทคนิคเชิงสถิติ วิศวกรรมเกี่ยวกับการค้นหาค่ามากที่สุด คือ ค่าที่ดีที่สุด (Maximize the response) ดังแสดงใน

ภาพที่ 6 ซึ่งผลลัพธ์จากการวิเคราะห์พบว่า การเลือกระดับของพารามิเตอร์เปอร์เซ็นต์ฝ้าชานอ้อย (%CBA) ณ 5% และพารามิเตอร์ระยะเวลาในการบ่ม คอนกรีต (CC-time) ณ 28 วัน จะที่มีอิทธิพลต่อการให้ได้มาซึ่งค่าความแข็งแรงอัด (CS-value) สูงสุด เท่ากับ 275.3887 โดยสมการดังกล่าว สามารถสร้าง ความพึงพอใจได้มากถึง 99.60% ดังแสดงในภาพที่ 7



ภาพที่ 6 การค้นหาค่ามากที่สุด คือ ค่าที่ดีที่สุด (Maximize the response)



ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์ฟังก์ชันความพึงพอใจเชิงสถิติ (Desirability function)

4. สรุปผลการวิจัย

บทสรุปงานวิจัยเกี่ยวกับอิทธิพลเก้าชานอ้อย ต่อความแข็งแรงอัดในการขึ้นรูปคอนกรีต สามารถบ่งชี้ได้ว่า เปอร์เซ็นต์เก้าชานอ้อย (%CBA) ที่มีค่ามากเพิ่มขึ้นจาก 5% ขึ้นไป ค่าความแข็งแรงอัด (CS-value) ก็จะลดลงเรื่อย ๆ โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟอิทธิพลหลัก (ดังแสดงในภาพที่ 4) ส่วนระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต (CC-time) ที่เพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ค่าความแข็งแรงอัด (CS-value) เพิ่ม

มากขึ้นตามไปด้วย โดยสามารถพิจารณาได้จากกราฟอิทธิพลร่วมกันระหว่างพารามิเตอร์ (ดังแสดงในภาพที่ 5) จากผลการวิจัยดังกล่าวนี้ จึงมีความเป็นไปได้ว่าการที่จะได้มาซึ่งค่าความแข็งแรงอัด (CS-value) สูงสุดนั้น เปอร์เซ็นต์เก้าชานอ้อย (%CBA) จะอยู่ในช่วง $\leq 5\%$ และระยะเวลาในการบ่มคอนกรีต (CC-time) จะอยู่ในช่วง ≥ 28 วัน ซึ่งเมื่อพิจารณาผลลัพธ์ของ %CBA ในงานวิจัยนี้ร่วมกับงานวิจัยที่ผ่านมา นั้น จะเห็นได้ว่ามีค่าต่ำกว่า ได้แก่ %CBA เท่ากับ

15% สำหรับในประเทศอินเดีย [3] และ %CBA มากกว่า 10% สำหรับในประเทศเอธิโอเปีย [4] สิ่งนี้กำลังบ่งชี้ได้หลากหลายประเด็นสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นสภาวะภูมิประเทศ สายพันธุ์ของขานอ้อย และอายุซากของขานอ้อยเป็นต้น สิ่งเหล่านี้ถือเป็นพารามิเตอร์สำคัญอย่างยิ่งต่อการวิจัยพัฒนาต่อไปในอนาคตสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพของการประยุกต์นำเอาเถ้าขานอ้อยมาเป็นส่วนผสมในการขึ้นรูปคอนกรีตของประเทศไทย

5. อ้างอิง

- [1] Ganesan K, Rajagopal K, Thangavel K. Rice husk ash blended cement: Assessment of optimal level of replacement for strength and permeability properties of concrete. *Construct Build Mater.* 2008; 22:1675-1683.
- [2] Paula MO, Tinoco IFF, Rodrigues CS, et al. Sugarcane bagasse ash as partial portland cement replacement material. *Scielo.* 2010; 77(163):47-54.
- [3] Kawade UR, Rathi VR, Vaishali D, et al. Effect of use of bagasse ash on strength of concrete, *Int J Innovat Res Sci.* 2013; 2(7).
- [4] Hailu B, Dinku A. Application of sugarcane bagasse ash as a partial cement replacement material. *Journal of EEA.* 2012;29.
- [5] Gar PS, Suresh N, Bindiganavile V. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures. *Construct Build Mater.* 2017;153:929-36.
- [6] Rukzon S, Chindapasirt P. Utilization of bagasse ash in high-strength concrete. *Mater Des.* 2012;34:45-50.
- [7] วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. ครั้งที่ 8. กรุงเทพฯ: ปสัสมพันธ์พาณิชย์.; 2546.