ผลกระทบของการใช้เถ้าก้นเตาแทนที่ปูนซีเมนต์และเป็นวัสดุบ่มภายในต่อสมบัติเชิงกลและความทนทานของคอนกรีตสมรรถนะสูง

Effects of Bottom Ash as a Cement Replacement and Internal Curing on Mechanical and Durability Properties of High Performance Concrete

เจตนิพัทธ์ วงศ์อภัย[1,*] กฤติธี พุทธรักษ์[2] ณัชพล จันทร์ควง[2] ธนวัฒน์ สายเรี่ยม[2] วีรชาติ ตั้งจิรภัทร[3] และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล[4]

[1]นักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร
[2]นักศึกษาปริญญาตรี ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร
[3] รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร
[4] ศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี จ.กรุงเทพมหานคร
Corresponding author; E mail address jednipad.won@mail.kmutt.ac.th

บทคัดย่อ

GBA)

GBA)

SBA)

T

SBA

GBA

SBA

SBA

SBA

SBA SBA 50 75

5 15

, ,

, ,

Abstract

This article presents the effects of bottom ash as pozzolanic material to replace Portland cement at high level and as an internal curing material on mechanical and durability properties of high performance concrete. Bottom ash was sieved through a sieve No. 50 and ground to have high fineness (GBA). Then, it was used to replace OPC at a rate of 70% by weight of binder (70GBA). In addition, bottom ash passing a sieve No. 4 and retaining on a sieve No. 50 (SBA) was used as a fine aggregate replacement at rates of 25, 50 and 75% by volume of the fine aggregate in order to use as internal curing material in concrete under the different curing conditions i.e, curing in water and air. Slump flow, slump flow time at 50 cm (T_{50}), compressive strength, modulus of elasticity, heat evolution, and chloride diffusion of high performance concrete were investigated. The results showed that the slump flow of concrete was decreased and T_{50} was increased with the increased of SBA. High performance concrete containing 70% of GBA and 50% of SBA had the compressive strength similar to that of the control concrete at all testing ages. The elastic modulus was decreased with the increased of SBA, while the chloride diffusion coefficient and chloride penetration of concrete were increased with the increased of SBA. The use of SBA at 50% and 75 % of the SBA could reduced the heat evolution of high performance concrete by 5% and 15%, respectively that compared to the control concrete.

Keywords: chloride diffusion, ground bottom ash, high performance concrete, internal curing, unground bottom ash

9

, , ,

1. คำนำ

10

,

High Performance Concrete)

High Performance Concrete, HPC)

50

28 3 4

70 28 [3] 50

Bottom ash)

50

Fineness Modulus)

5 [4]

[5]

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 วัสดุประสาน

1 OPC (GBA)

[6] [7]

50

325

8

45 1±0.5

2.1.2 มวลรวมหยาบ

9.5 (3 8
4) 2.58
0.70

2.1.3 มวลรวมละเอียด

64
96 (SBA)

1.70 10.40

2.2 สมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

1

OPC GBA 3.15 2.65
325
11.35 0.44
2 OPC GBA
GBA SiO , Al O Fe O
F
ASTM C 19 F
SiO , Al O
Fe O
SO
CaO)
Loss on Ignition, LOI)

ตารางที่ 1

Materials	OPC	GBA
Retained on a No. 325 sieve (% by weight)	11.35	0.45
Specific Gravity	3.15	2.65

2.3 การทดสอบที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน

ASTM C188 [11]
325 ASTM C430
[12] X-Ray Fluorescence
(XRF)

2.3.2 การทดสอบสมบัติทางกายภาพของมวลรวม

ASTM C127 [13]

50
ASTM C 8 4

ตารางที่ 2

Chemical Compositions (%)	OPC	GBA
Silicon dioxide (SiO_2)	20.9	63.2
Aluminium oxide (Al_2O_3)	4.8	24.4
Ferric oxide (Fe_2O_3)	3.4	7.3
Calcium oxide (CaO)	63.3	2.3
Sulfur trioxide (SO_3)	2.7	0.1
Magnesium oxide (MgO)	1.3	0.8
Sodium oxide (Na_2O)	0.3	0.4
Potassium oxide (K_2O)	0.4	1.3
Loss on ignition (LOI)	2.9	0.2

2.3.3 ความสามารถในการทำงานของคอนกรีต

(Slump Flow)

50 T_{50}) ASTM C1611 [15]

2.3.4 กำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่น

ASTM C 6 ,
ASTM C
.
.

2.3.5 ความสามารถในการต้านทานการแทรกซึมของคลอไรด์

NT Build 492 [18]
. .
±0. .

(NaCl) 10%
(NaOH) 0.3
60
1
($AgNO_3$) 0.1

1

$$\frac{(\quad)}{(\ -\ )}\left(\ -\ \sqrt{\frac{(\quad)}{-}}\right) \qquad (1)$$

D_{nssm} ,

x10^{-12}

U ,

T

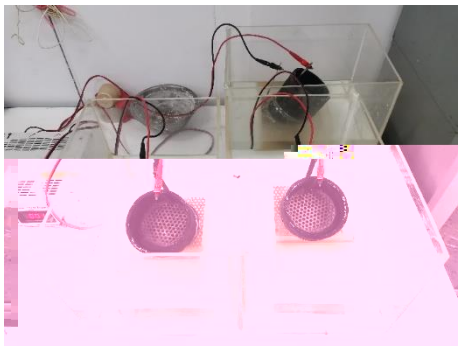
,

L ,

x_d

,

t ,



รูปที่ 1

2.3.6 การทดสอบความร้อนที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีต

ตารางที่ 3

Mix	Mix Proportions (kg/m^3)						SP (% of binder)	Slump Flow (cm)	T_{50} (second)
	Cement	GBA	SBA	Fine agg.	Coarse agg.	Water			
70GBA	180	420	0	905	720	162	1.0	76.5	10
70GBA25SBA AC	180	420	110	735	720	162	1.1	70.0	10
70GBA50SBA AC	180	420	220	565	720	162	1.3	68.0	11
70GBA75SBA AC	180	420	325	395	720	162	1.6	66.0	12

3.2 กำลังอัด

3

70GBA WC

3, 7 28 32.1, 55.3 76.8

70GBA – AC

31.2, 52.9 74.5

50

[21] 70GBA50SBA – AC 30.5, 52.5 73.6

75

70GBA75SBA – AC 22.3, 35.0

51.2 3, 7 28

Loveley Thandavamoorthy [24]

C-S-H C-A-H 70GBA50SBA – AC

70GBA – WC

70GBA – AC

70GBA25SBA – AC Ibrahim [25]

32.1, 56.8 77.2 3, 7 28

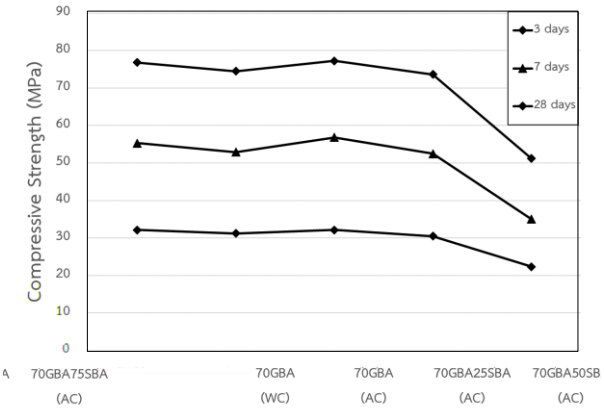
70GBA – AC 70GBA – WC

Kumar [22] Simran

[23] Singh [26]

30 - 40 (alkalinity)

SiO_2 Al_2O_3



รูปที่ 3

3.3 โมดูลัสยืดหยุ่น

4

70GBA – WC

33.2 70GBA – AC

33 70GBA – WC

25, 50

75 29.7, 29.6 24.6

70GBA – WC

70GBA – AC

Singh

Siddique [27]

50

Iravani [28]

ACI M- [29]

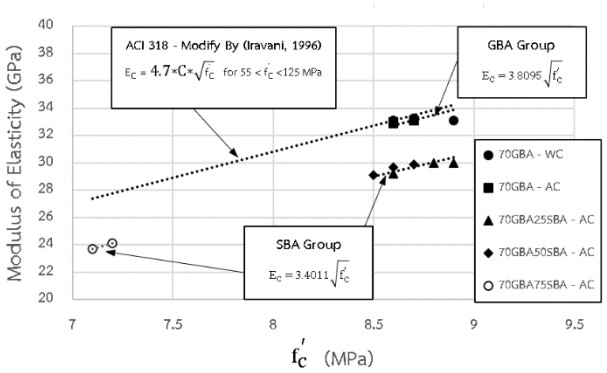
Aitcin Mehta [30]

70GBA – WC 70GBA –

AC

Design and Control of Concrete Mixtures [31]

40



รูปที่ 4

28

3.4 การแทรกซึมของคลอไรด์เข้าสู่คอนกรีตสมรรถนะสูง

5

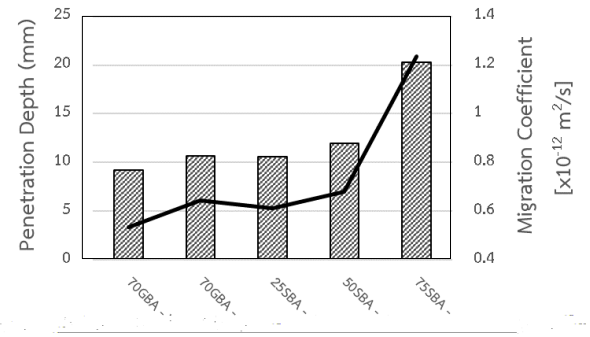
GBA – WC

GBA – AC

,

,

6



รูปที่ 5

28

GBA – WC GBA – AC

x x

,



(a) 70GBA – WC (b) 70GBA – AC (C) 25SBA – AC (d) 50SBA – AC (e) 75SBA – AC

รูปที่ 6

x , x

x GBA –

AC

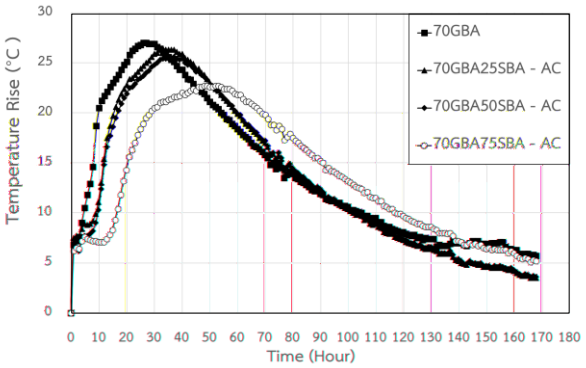
GBA – WC

70GBA50SBA – AC

70GBA75SBA – AC

5 15

Kim



รูปที่ 7

NT Build

x

3.5 ความร้อนที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีต

7

25, 50 75

26.4,

25.6 22.8 33, 37 49

[32]

70GBA

26.8

29

4. บทสรุป

4.1

70

65 – 75 .

50

50 .

50

4.2 70GBA25SBA – AC

GBA50SBA – AC 73.6

28 70GBA – AC

70GBA – WC

75

50

4.3

50 70GBA50SBA – AC
70GBA – AC 70GBA – WC
75

4.4

50
75

4.5 50

50
4.6

กิตติกรรมประกาศ

Fundamental Fund
Thailand

เอกสารอ้างอิง

[1] Ha Thanh Le, Matthias Muller, Karsten Siewert and Horst-Michael Ludwig ( ). The mix design for self-compacting high performance concrete containing various mineral admixtures. Materials and Design, Vol. , pp

[2] ( ). .
,

[3] Design and Control of Concrete Mixtures (2003). Portland Concrete Association, Inc., 358 pages.

[4] Khairunisa Muthusamy, Mohamad Hafizuddin Rasid, Gul Ahmed Jokhioc, Ahmed Mokhtar Albshir Budiead, Mohd Warid Hussin and Jahangir Mirza (2020). Coal bottom ash as sand replacement in concrete: A review. Construction and Building Materials, Vol. 236, No. 117507.

[5] Mahdi Rafieizonooz, Jahangir Mirza, Mohd Razman Salim, Mohd Warid Hussin and Elnaz Khankhaje (2016). Investigation of coal bottom ash and fly ash in concrete as replacement for sand and cement. Construction and Building Materials, Vol. 116, pp. 15-24.

[6] Malkit Singh and Rafat Siddique (2014). Compressive Strength, Drying Shrinkage and Chemical Resistance of Concrete Incorporation Coal Bottom Ash as Partial or Total Replacement of Sand. Construction and Building Materials, Vol. 68, pp. 39-48.

[7] Roberto Rodriguez-Alvaro , B. Gonzalez-Fonteboa S. Seara-Paz and Khandaker M.A. Hossainb (2020). Internally cured high performance concrete with magnesium based expansive agent using coal bottom ash particles as water reservoirs. Construction and Building Materials, Vol. 251, No. 118977.

[8] ( ).
.
, , ,

[9] ( ).
.
,
,

[10] ( ).
.
, , 25-27 2563, .

[11] ASTM (2016). Standard Test Method for Density of Hydraulic Cement. ASTM C188. ASTM International, West Conshohocken, PA.

[12] ASTM (2015). Standard Test Method for Fineness of Hydraulic Cement by the 45-um (No. 325) Sieve. ASTM C430. ASTM International, West Conshohocken, PA.

[13] ASTM (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate. ASTM C127. ASTM International, West Conshohocken, PA.

[14] ASTM (2015). Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate. ASTM C128. ASTM International, West Conshohocken, PA.

[15] ASTM (2015). Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete. ASTM C . ASTM International, West Conshohocken, PA.

[16] ASTM (2015). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM C39. ASTM International, West Conshohocken, PA.

[17] ASTM (2015). Standard Test Method for Static Modulus of Elasticity and Poisson's Ratio of Concrete in Compression. ASTM C469. ASTM International, West Conshohocken, PA.

[18] NT Build (1999). Concrete, mortar and cement-based repair materials: Chloride migration coefficient from non-steady-state migration experiments. NT BUILD 492. NORDTEST.

[19] ASTM (2019). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM C618. ASTM International, West Conshohocken, PA.

[20] Malkit Singh and Rafat Siddique (2013). Effect of coal bottom ash as partial replacement of sand on properties of concrete. Resources, Conservation and Recycling, Vol. 72, pp. 20-32.

[21] , Kinaanath Hussain, , (2553). . , , 30 2562.

[22] Dilip Kumar, Ashish Gupta and Sri Ram (2014). Uses of Bottom ash in the Replacement of fine aggregate for Making Concrete. International Journal of Current Engineering and Technology, Vol. 4, No. 6.

[23] Satgurdev Simran, A R Dar, Ravi Kumarl, MAdil Dar and JRaju (2019). Improved performance of coal bottom ash co-mixtured concrete. Materials Science and Engineering, Vol. 561, No. 012033.

[24] S. Loveley Kumari and T.S. Thandavamoorthy (2017). Development of high performance concrete using bottom ash as fine aggregate. International Journal of Civil Engineering and Technology, Vol. 8, page 354-361.

[25] Mohd Haziman Wan Ibrahim, Norul Ernida Zainal Abidin, Norwati Jamaluddi, Kartini Kamaruddin and Ahmad Farhan Hamzah (2016). Bottom ash – potential use in self-compacting concrete as fine aggregate. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, Vol. 11, No. 4.

[26] Malkit Singh, Rafat Siddique, Karim Ait-Mokhtar and Rafik Belarbi (2015). Durability Properties of Concrete Made with High Volumes of Low-Calcium Coal Bottom Ash As a Replacement of Two Types of Sand. Journal of Materials in Civil Engineering, Vol. 28, No. 4.

[27] Singh, M. and Siddique, R. (2015). Properties of Concrete Containing High Volumes of Coal bottom ash as fine aggregate. Journal of Cleaner Production, Vol. 91, pp. 269-278.

[28] Iravani, S. (1996). Mechanical properties of high-performance concrete. ACI Materials Journal, Vol. 93, pp. 416-426.

[29] ACI (2010). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary. ACI 318M-08. American Concrete Institute.

[30] PC Aitcin PK Mehta (1990). Effect of coarse aggregate characteristics on mechanical properties of high-strength concrete. ACI Materials Journal, Vol. 87, page 103-107.

[31] H.K. Kim, J.G. Jang, Y.C. Choi and H.K. Lee (2014). Improved chloride resistance of high-strength concrete amended with coal bottom ash for internal curing. Construction and Building Materials, Vol. 71, page 334-343.

[32] , , (2565). . 7, , ,