

도시 쓰레기 소각재를 혼입한 시멘트 모르타르의 특성

장 준 호*

계명대학교 토목공학과

(2010년 3월 22일 접수; 2010년 4월 19일 수정; 2010년 4월 22일 채택)

Characteristics of Cement Mortar Mixed with Incinerated Urban Solid Waste

Chunho Chang *

Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea

(Manuscript received 22 March, 2010; revised 19 April, 2010; accepted 22 April, 2010)

Abstract

Differently from fly ash, the bottom ash produced from incinerated urban solid waste has been treated as an industrial waste matter, and almost reclaimed a tract form the sea. If this waste material is applicable to foam concrete as an fine aggregate, however, it may be worthy of environmental preservation by recycling of waste material as well as reducing self-weight of high-rising structure and long-span bridge. This research has an objective of evaluating the effects of application of bottom ash on the mechanical properties of foam concrete. Thus, the ratio of bottom ash to cement was selected as a variable for experiment and the effect was tested by compression strength, flexural strength, absorption ratio, density, expansion factor. It can be observed from experiments that the application ratios have different effects on the material parameters considered in this experiment, thus major relationship between application ratio and each material parameter were finally introduced. The result of this study can be applied to decide a optimal mix design proportion of foam light-weight concrete while bottom ash is used as an fine aggregate of the concrete.

Key Words : Waste incinerated ash, Cement mortar, Bottom ash, Curing method

1. 서론

최근 산업의 고도화와 도시화로 인한 산업구조와 생활방식의 변화는 다양하고도 엄청난 양의 도시 폐기물을 발생시키고 있으며, 도시 폐기물은 그 처리 과정과 방법에 따라 심각한 환경오염과 사회문제로 대두되고 있다. 우리나라의 총폐기물 발생량은 2000년 일일 226,668톤이었으나 2005년에는 290,389톤으로

28%증가하였으며(환경부, 2002), 폐기물의 대부분은 매립처리 되어 왔다.(Park과 Lee, 2006) 그러나 최근 매립지 고갈과 새로운 매립지 확보의 어려움으로 소각처리 비율이 증가(정, 1996)되고 있는 추세이다.

소각처리는 폐기물의 양을 80%정도 줄일 수 있기 때문에 매립지의 사용연한을 연장시키는 효과와 소각 과정에서 발생하는 에너지는 재활용할 수 있다는 장점이 있어 소각처리 비율은 계속해서 증가(박과 이, 2001)하고 있다. 소각로는 크게 유동상식과 스토킨식으로 구분되며(한국폐기물학회, 1995), 생성되는 소각재로는 배출부위에 따라 소각로 바닥으로 배출되는 바닥재(bottom ash)와 연소가스 속에 함유된 분진을

*Corresponding Author : Chunho Chang, Department of Civil Engineering, Keimyung University, Daegu 704-701, Korea
Phone: 053-580-5299
E-mail: chunho@kmu.ac.kr

포집한 비산재(fly ash)로 구분된다.(吉岡降, 1995) 이 중 바닥재는 국내 용출실험방법에 따른 중금속 용출량이 용출규제 기준치를 대부분 초과하지 않아 일반 폐기물로서 관리되고 있는 반면, 비산재는 중금속 등 유해물질을 다량 함유하고 있어 지정폐기물로 관리되고 있다.(서 등, 1997)

정부에서 추진하고 있는 2006년 폐기물 처리 정책을 감안하면 앞으로 소각처리 비율은 더욱더 높아질 것이다. 이에 따라 소각재의 발생량은 크게 증가할 것으로 소각재의 유효활용에 대한 연구가 절실히 요구되고 있다.(Jubal, 1991) 그러나 아직도 국내에서는 소각재 유효활용에 대한 연구(조 등, 2007)는 미비한 수준에 머무르고 있는 반면, 선진각국에서는 쓰레기 소각재의 다공특성을 이용하여 경량골재콘크리트 제조를 위한 시멘트 고품화에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.(Eric과 John, 1998) 그러나 소각재의 다공성으로 강도저감과 가스발생으로 인한 팽창성 등이 문제점으로 대두되고 있다.(조 등, 2006)

이에 본 연구에서는 쓰레기 소각재중 바닥재를 콘크리트용 골재로의 유효활용을 검토하였다. 이를 위해서 스토커식 소각로에서 배출된 쓰레기소각재를 체가름하여 포함된 캔과 고철 등의 이물질 제거 후 표건 관리하여 시멘트 모르타르 공시체를 제작하였고, 이 공시체에 대해 압축강도, 휨강도, 흡수율, 밀도, 팽창량, 변형률 등을 측정하여 쓰레기소각재의 콘크

리트용 잔골재로의 유효이용에 관한 실험적 연구를 실시하였다. 더 나아가 쓰레기 소각재를 사용한 시멘트 모르타르의 강도증진방안을 위하여 각종 혼화재를 사용하였으며, 양생방법을 변화시켜 팽창성 저감방안을 검토함으로써 향후 소각재의 콘크리트용 골재로의 유효이용에 대한 기초자료를 제시하고자 하였다.

2. 재료 및 방법

2.1. 사용재료

실험에 사용한 시멘트는 A사의 보통 포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 잔골재는 5 mm이하 낙동강상을 사용하였다. 쓰레기 소각재인 bottom Ash(이하 BA재)는 D시 쓰레기 소각장에서 배출된 소각재로 채취 시 소각조건은 소각로내 온도 880~900 °C, 후 연소온도 500~600 °C, 연소공기량 3000~4000 Nm³/hr, 연소공기 온도 170 °C인 것을 채취하였다. 소각재의 채취, 건조 및 이물질 제거전경을 Fig. 1에 나타내었다.

Fig. 1과 같이 처리된 소각재는 5 mm체로 체가름하여 포함된 캔과 고철 등의 이물질을 제거한 후 표건 관리하여 사용하였다. 사용 잔골재와 소각재의 물리적 성질을 Table 1에 나타내었다.

Table 1에서 잔골재의 밀도는 2.6 g/cm³, 소각재(bottom ash)의 밀도는 1.9 g/cm³로 나타났으며, 조립률은 각각 2.5, 3.1로 나타났다. 또한 쓰레기 소각재의

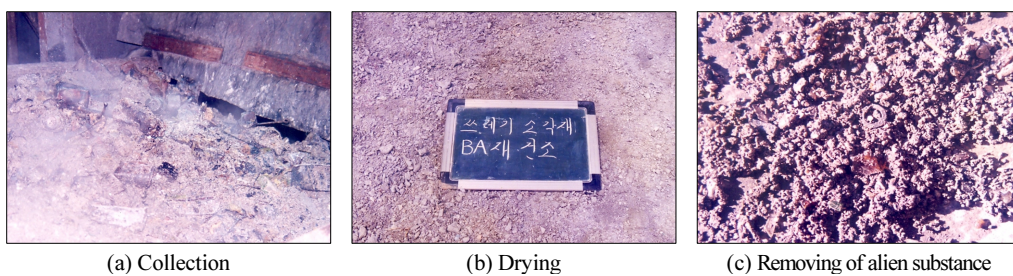


Fig. 1. Photograph of incinerated waste ash.

Table 1. Physical properties of aggregates and bottom ash

Type	Maximum size (mm)	Density (g/cm ³)	F.M.	Absorption(%)
Fine aggregate	5	2.6	2.5	2.3
Bottom ash	5	1.9	3.1	14

흡수율은 낙동강산 잔골재의 2.3%보다 약 6배 높은 14%로 나타났다. 이것은 소각재의 다공성에 기인한 것으로 콘크리트용 잔골재로 사용시 강도저감의 주원인이 될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 모르타르의 강도증진을 위하여 양생조건을 변화시켰으며, 에트링가이트계 혼화재와 실리카흙을 사용하였다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 실험계획

본 연구에서는 시멘트량과 쓰레기소각재의 치환량에 따른 물성변화를 파악하기 위하여 W/C를 60%로 고정하였으며, 잔골재에 대한 단위시멘트량 25, 33, 50%에 소각재 치환율을 0/3, 1/3, 2/3, 3/3 4종류로 변화시켰다. 또한 단위시멘트량 33%에서 혼화재 종류 및 양생조건에 따른 강도특성을 검토하기 위하여 에트링가이트계 혼화재 및 실리카흙을 시멘트량의 10% 사용하였으며, 양생조건을 기중양생, 증기양생, 오토클레이브 양생 세종류로 변화시켜 양생방법이 강도특성에 미치는 영향을 검토하였다. 이들 실험계획을 Table 2에 나타내었다.

Table 2. Experimental design for Characteristics of Cement Mortar Mixed with Incinerated Urban Solid Waste

Series	Item		BA/(S+ BA)				
	C/(BA+S)	Admixture (C×%)	Curing condition	0/3	1/3	2/3	3/3
C50		0	Atmospheric	○	○	○	○
		0	Atmospheric	○	○	○	○
C33	EA10	Atmospheric	○	○	○	○	
		Steam	○	○	○	○	
	SF10	Atmospheric	○	○	○	○	
		Steam	○	○	○	○	
C25	0	Autoclave	○	○	○	○	
		Atmospheric	○	○	○	○	

주) Bottom ash : BA, Sand : S, Ettringite admixture : EA, Silica fume : SF, Atmospheric : AT, Steam : ST, Autoclave : AU

Table 3. Chemical composition of incinerated waste ash

Type	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	NH ₃	기타
Bottom ash of D city	36.1	10.6	14.7	19.8	3.26	-	4.62	2.03	2.69	6.39
Bottom ash of Hukuoka city	33.4	14.4	21.3	15.6	2.0	-	4.0	1.2	2.18	6.08
Ordinary portland cement	22.0	5.3	3.0	64.3	1.5	2.0	-	-	-	1.9

2.2.2. 공시체 제작 및 양생

공시체는 시멘트와 골재를 4.7 ℓ 모르타르 믹서에 투입하여 1분간 건비빔 한 후 물과 혼화재를 투입하여 1분간 믹싱 후 흐름시험을 실시하고 40×40×160 mm 휨강도 및 압축강도 공시체를 제작하였다. 또한 BA재 치환율에 따른 모르타르의 팽창율을 측정하기 위하여 공시체 중심에 콘크리트 변형율게이지를 매입하였다.

양생은 혼화재 사용시 양생조건에 따른 강도변화를 검토하기 위하여 기중양생과 전치시간 4시간, 승온 15 °C/hr, 최고온도 65 °C의 증기양생 및 1일 양생 후 증기압 10기압, 온도 180 °C로 오토클레이브 양생을 실시하였다.

2.2.3. 실험항목

실험항목으로는 KS L 5105에 준하여 모르타르의 흐름시험과 압축강도를 측정하였으며, 경화 후 밀도, 흡수율 및 KS L ISO 679에 준하여 재령별 휨강도를 측정하였다. 또한 단위시멘트량 33%에 대해서 소각재 치환율별 변형율을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 쓰레기 소각재의 조성

Table 3에 본 연구에서 사용된 D시 소각재의 화학조성을 일본 후쿠오카시 소각재(越川 茂雄와 伊藤 義也, 1990)와 보통포틀랜드시멘트의 화학조성과 비교하여 나타내었다.

Table 3에서 본 연구에 사용된 소각재의 화학조성은 일본 소각재와 비슷하게 나타났다. 반면, 일반시멘트와 비교시 CaO가 약 40% 정도 적었으며, Al₂O₃가 약 5% 정도 많았다. 그리고 시멘트에는 함유되어 있지 않은 Na₂O, K₂O 및 NH₃ 등의 성분을 포함하고 있는 것을 알 수 있다.

3.2. 쓰레기 소각재(BA재) 사용량에 따른 흐름특성

본 연구에서는 소각재의 치환량이 모르타르의 유동

특성에 미치는 영향을 알아보기 위하여 소각재 치환량에 따른 모르타르의 흐름 특성을 검토하였다. Fig. 2에 단위수량(W/C) 60%에서 시멘트량 및 쓰레기 소각재 치환량에 따른 흐름 특성을 나타내었다.

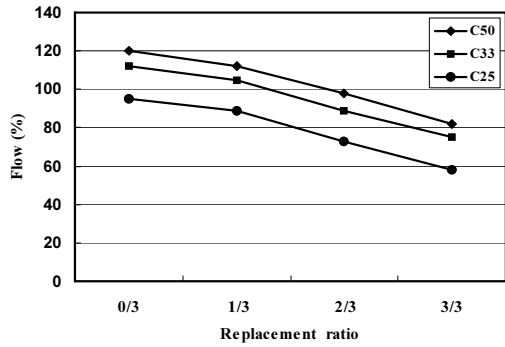


Fig. 2. Flow according to replacement ratio of bottom ash.

Fig. 2에서 시멘트 사용량이 많을수록 모르타르의 흐름값은 증가하는 것으로 나타났으며, BA재 치환량에 따른 흐름값은 시멘트량에 관계없이 BA재 치환량 약 33%씩 증가시마다 약 10%씩 감소시키는 것으로 나타났다. 이것은 소각재의 다공성에 기인한 것으로 콘크리트용 골재로 사용시 작업성 개선을 위해서는 소각재 사용량을 제한하거나, 단위시멘트량을 증가시킬 필요가 있다.

3.3. 밀도 및 흡수율

시멘트량과 BA 치환율에 따른 밀도 및 흡수율의 변화를 Table 4에 나타내었다.

Table 4에서 밀도는 시멘트량이 감소할수록 BA 치환량이 증가할수록 감소하였으며, 흡수율은 시멘트량이 감소할수록 BA 치환량이 증가할수록 증가하는 것으로 나타났다. 이것은 소각재의 다공성에 기인한 것

으로 다공성 재료인 소각재의 치환량이 증가할수록 밀도는 낮고, 흡수율은 높게 나타난 것으로 판단된다. Table 4를 바탕으로 시멘트량과 BA 치환량에 따른 밀도 및 흡수율을 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

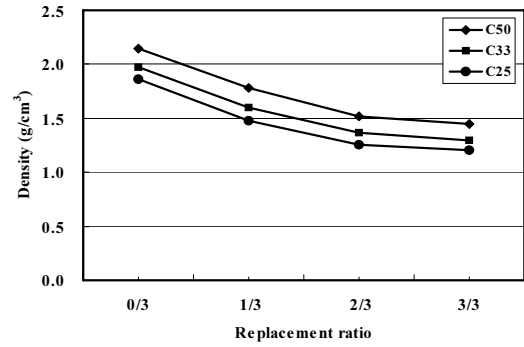


Fig. 3. Density according to replacement ratio of bottom ash.

Fig. 3에서 시멘트량에 따른 밀도는 BA재 무치환 시 C50에서 2.15, C33에서 1.97, C25에서 1.86으로 나타났다. 또한 BA재 치환량에 따른 밀도는 BA재 치환량 2/3까지는 약 30%정도 감소하였으나, 그 후 BA재 치환량 3/3에서는 2/3와 비슷한 값을 나타내었다.

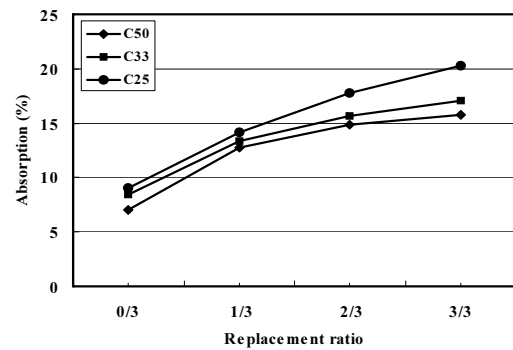


Fig. 4. Absorption according to replacement ratio of bottom ash.

Table 4. Density and percentage of water absorption

Type	C50				C33				C25			
	BA/(S+BA)				BA/(S+BA)				BA/(S+BA)			
	0/3	1/3	2/3	3/3	0/3	1/3	2/3	3/3	0/3	1/3	2/3	3/3
Density(g/cm³)	2.15	1.78	1.52	1.45	1.97	1.60	1.37	1.30	1.86	1.48	1.26	1.20
Absorption(%)	7.0	12.9	14.9	15.8	8.4	13.4	15.7	17.1	9.0	14.2	17.8	20.3

Fig. 4는 BA재 치환량에 따른 흡수율을 나타낸 것으로 BA재 무치환시 7.0~9.0%의 흡수율인 것이 BA재 1/3에서 12.9~14.2%로 약 80% 증가하였으며, BA재 전량 치환시 15.8~20.3%의 흡수율을 나타내었다.

3.4. 강도 발현 특성

3.4.1. BA치환량에 따른 재령별 압축강도 및 휨강도 특성

Fig. 5에 시멘트량 50%, 33%, 25%에서 BA재 치환량에 따른 재령 28일 압축강도를 나타내었다.

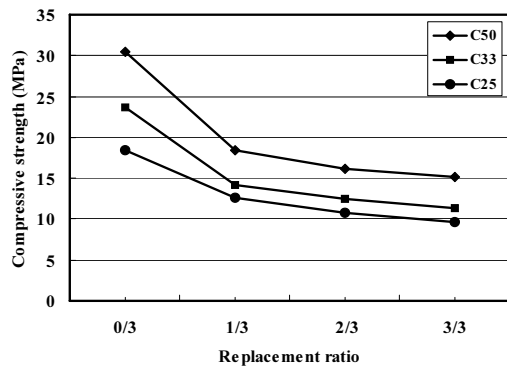


Fig. 5. Compressive strength according to replacement ratio of bottom ash.

Fig. 5에서 압축강도는 시멘트량에 관계없이 잔골재로 전량 모래사용시 가장 큰 압축강도를 얻을 수 있었으며, 모래와 소각재의 혼합비($BA/(S+BA)$) 1/3에서는 급격한 강도저감현상을 나타내었다. 그러나 이후 BA재 치환량이 증가하여도 강도저감폭은 커지 않았으며, 전량 BA재 치환시 약 50%정도의 강도를 발현하였다. 즉 C33에서 전량 모래사용시 약 24 MPa인 것이 전량 BA재 치환시 약 50%인 12 MPa로 나타났다.

Fig. 6은 시멘트량별 BA재 치환량에 따른 재령 28일 휨강도 특성을 나타낸 것으로 전량모래사용시 C50에서 5.9 MPa, C33에서 4.7 MPa, C25에서 2.8 MPa로 나타났으며, BA재 치환율이 증가할수록 감소하여 전량 BA재 치환시 C50에서 3.9 MPa, C33에서 17% 감소된 2.6 MPa, C25에서는 2.2 MPa로 약 20% 감소하는 것으로 나타났다.

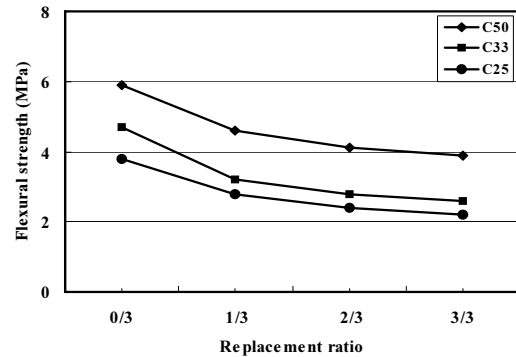


Fig. 6. Flexural strength according to replacement ratio of bottom ash.

3.4.2. 양생조건에 따른 강도 특성

본 연구에서는 쓰레기 소각재의 다공성으로 콘크리트용 골재 사용시 강도저감 문제를 해결하기 위하여 C33시리즈에 양생조건을 변화시켰다. 양생조건은 에트린가이트계 혼화재 10%(EA10)첨가의 경우 기중양생(atmosphere)과 증기양생(steam)을 실시하였으며, 실리카흙 10%(SF10)에 대해서는 기중양생(atmosphere), 증기양생(steam), 오토클레이브 양생(autoclave)을 실시하였다. 에트린가이트계 혼화재를 사용한 공시체의 양생조건별 BA재 치환량에 따른 28일 압축강도 특성을 Fig. 7에 나타내었다.

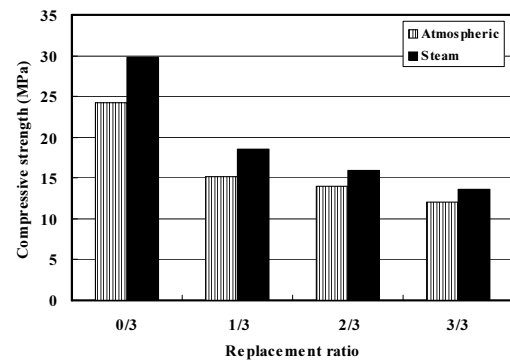


Fig. 7. Compressive strength according to replacement ratio of bottom ash. (C33EA10)

Fig. 7은 에트린가이트계 혼화재 10%사용시 기중양생(atmosphere)과 증기양생(steam) 조건에서 BA재

치환량에 따른 강도특성을 나타낸 것으로 BA재 무치환시 증기양생(steam)한 모르타르의 압축강도는 30 MPa로 나타난 반면, 기중양생(atmosphere)에서는 24 MPa로 증기양생(steam)시 25%의 강도 증진 효과가 있었다. 그러나 BA재 치환량이 증가할수록 그 효과는 떨어져 BA재 1/3치환시 21%, 2/3치환시 15%, 3/3치환시 13%로 BA재 치환량이 증가할수록 에트린가이트계 혼화재의 증기양생(steam) 효과는 감소하였다. 이와 같이 BA재 치환량이 증가할수록 압축강도 증가율이 감소하는 것은 BA재 사용량이 많아질수록 증기양생(steam)시 가스발생으로 인한 경화체의 밀실도가 떨어지기 때문인 것으로 판단된다. Fig. 8은 C33에서 실리카흙 10% 사용시 기중양생(atmosphere), 증기양생(steam), 오토클레이브 양생(autoclave)조건에서 BA재 치환량에 따른 28일 압축강도 특성을 나타낸 것이다.

Fig. 8에서 실리카흙 치환에 따른 양생조건별 압축강도는 전량 모래사용시 기중양생(atmosphere)의 경우 28.2 MPa, 증기양생(steam)의 경우 31.6 MPa, 오토클레이브 양생(autoclave)의 경우 32.2 MPa로 나타나 기중양생(atmosphere)과 비교하여 증기양생(steam)은 약 12%, 오토클레이브 양생(autoclave)은 약 14% 정도의 강도가 증가하였다. 양생조건별 강도증가율은 BA재 치환율에 관계없이 비슷한 경향을 나타낸 반면, BA재 치환량 1/3에서는 무치환시에 비해 약 35% 정도로 큰 폭으로 감소하였으나, 이 후 BA치환량 2/3와 3/3에서는 BA재 1/3과 2/3와 비교하여 각 10%정도로 강도감소폭은 줄어들었다.

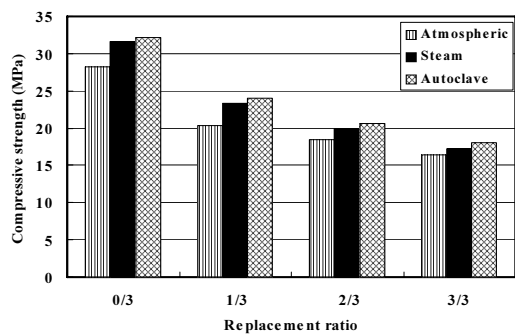


Fig. 8. Compressive strength according to replacement ratio of bottom ash. (C33SF10)

3.4.3. 혼화재 종류에 따른 강도특성

혼화재 종류가 BA재 치환량에 따른 압축강도에 미치는 영향을 검토하기 위하여 C33, 기중양생조건에서 혼화재를 사용하지 않은 것(AD0)과 에트린가이트계 혼화재 10%(EA10)사용(EA10), 실리카흙 10%(SF10)를 사용하여 BA재 치환량별 재령 28일 압축강도 특성을 검토하였다. Fig. 9에 혼화재 종류별 BA재 치환량에 따른 압축강도 특성을 나타내었다.

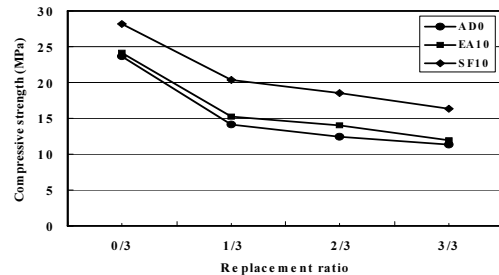


Fig. 9. Compressive strength according to replacement ratio of bottom ash. (C33, Atmospheric curing)

Fig. 9에서 혼화재 종류에 관계없이 BA재 치환량의 증가는 압축강도를 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 기중양생조건에서 혼화재 종류별 압축강도는 혼화재 무첨가시와 비교하여 에트린가이트계 혼화재 10%사용시 약 1 MPa정도 높게 나타났으며, 실리카흙 10%사용시에는 약 5.5 MPa정도 높게 나타나 강도 증진 효과는 에트린가이트계 혼화재보다는 실리카흙을 사용하는 것이 우수하게 나타났다.

3.5. BA재 치환량에 따른 팽창율

Fig. 10에 시멘트량별 BA재 치환량에 따른 팽창율을 나타내었다.

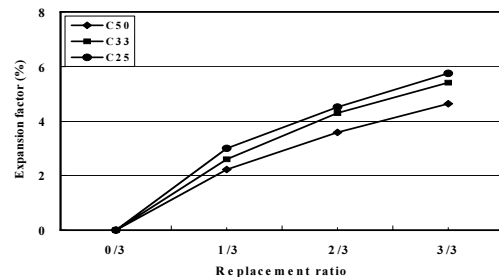
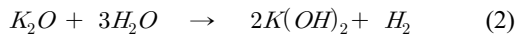
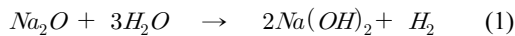


Fig. 10. Expansion factor according to replacement ratio of bottom ash.

Fig. 10에서 BA재 치환 공시체의 팽창율은 2.2~5.8%의 범위 내에 있으며, BA치환량이 커질수록 팽창율은 선형적으로 증가되고 있음을 나타내고 있다. 그 원인으로 大久保들은 소각재에 함유되어있는 Na_2O 와 K_2O 등의 산화물이 수화반응시 가스를 발생시켜 팽창현상(大久保全陸와 浦川洋介, 1993)에 관계되는 것으로 추측하고 있다. 이것을 화학식으로 나타내면 다음과 같다.



위 식에서 팽창원인은 Na_2O 와 K_2O 등의 산화물이 물과 반응하여 수화반응시 수소가스를 발생시켜 팽창하는 것으로 설명할 수 있다. 한편 쓰레기소각재에 함유되어 있는 암모늄이온이 수화반응시 수화열에 의해 물분자를 빼앗겨 암모니아 가스를 발생하여 팽창하는 팽창 메카니즘으로는 다음과 같은 화학식으로 설명할 수 있다.



Fig. 11은 양생조건별 BA재 치환량에 따른 팽창율을 나타낸 것으로 양생조건별 팽창율은 오토클레이브 양생의 경우 BA재 1/3치환시 2.6% 전량BA재 치환시 5.4%로 기중양생과 비슷한 경향을 나타내었으나, 증기양생은 팽창율이 3.0~6.8%로 높게 나타나 BA재 전량 사용시 기중양생과 오토클레이브 양생에 비해 약 1.4%정도 높게 나타났다.

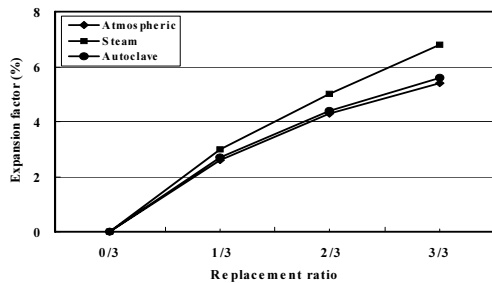


Fig. 11. Expansion factor according to replacement ratio of bottom ash. (Curing method)

3.6. BA재 치환량에 따른 변형율 특성

Fig. 12는 BA재 치환량에 따른 재령별 변형율을 나타낸 것으로 변형율의 측정은 공시체 탈형 1주일 후를 기준으로 하였다.

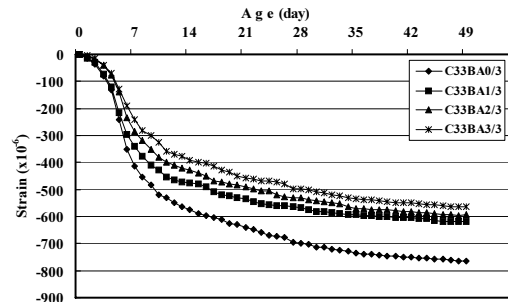


Fig. 12. Strain according to replacement ratio of bottom ash.

Fig. 12에서 BA재 치환량에 따른 변형율은 재령 56일에서 BA재 무치환시 780×10^{-6} 정도의 수축 변형율을 나타낸 반면, BA재 1/3치환시 620×10^{-6} , 2/3치환시 600×10^{-6} , 3/3치환시 570×10^{-6} 정도의 수축 변형율을 나타내어 BA재 무치환시와 비교하여 1/3치환시 20%감소하였으며, 2/3치환시 23%, 3/3치환시 26%감소하였다. 이와 같이 BA재 치환량이 증가할수록 변형율이 감소한 것은 소각재 치환시 가스발생에 의한 팽창으로 BA재 무치환시에 비해 변형율이 감소한 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구는 쓰레기소각재의 재활용방안의 일환으로 콘크리트용 잔골재로의 유효이용을 검토한 것으로 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 쓰레기 소각재 사용시 흐름값은 시멘트량에 관계없이 BA재 치환량 약 33%씩 증가시마다 약 10%씩 감소시키는 것으로 나타났으며, 밀도는 BA재 치환량 2/3까지는 약 30%정도 감소하였으나, 그 후 BA재 치환량 3/3에서는 2/3와 비슷한 값을 나타내었다. 또한 흡수율은 BA재 무치환시 7.0~9.0%의 흡수율인 것이 BA재 1/3에서 12.9~14.2%로 약 80% 증가하였으며, BA재 전

- 량 치환시 15.8~20.3%로 나타났다.
2. 압축강도는 시멘트량에 관계없이 잔골재로 전량 모래사용시 가장 큰 압축강도를 얻을 수 있었으며, 모래와 소각재의 혼합비 1/3에서는 급격한 강도저감현상을 나타내었다. 그러나 이후 BA재 치환량이 증가하여도 강도저감폭은 커지 않았으며, 전량 BA재 치환시 무치환시의 50%정도 강도를 발현하였다.
 3. 에트린가이트계 혼화재 10%사용시 양생조건별 압축강도는 BA재 무치환시 증기양생한 모르타르의 압축강도는 30 MPa로 나타난 반면, 기중양생에서는 24 MPa로 증기양생시 25%의 강도 증진 효과가 있었다. 그러나 BA재 치환량이 증가할수록 그 효과는 떨어져 BA재 1/3치환시 21%, 2/3치환시 15%, 3/3치환시 13%로 BA재 치환량이 증가할수록 에트린가이트계 혼화재의 증기양생 효과는 감소하였다.
 4. 실리카흙 치환에 따른 양생조건별 압축강도는 전량 모래사용시 기중양생의 경우 28.2 MPa, 증기양생의 경우 31.6 MPa, 오토클레이브 양생의 경우 32.2 MPa로 나타나 기중양생과 비교하여 증기양생은 약 12%, 오토클레이브 양생은 약 14%정도 증가하였다. 양생조건별 강도증가율은 BA재 치환율에 관계없이 비슷한 경향을 나타낸 반면, BA재 치환량 1/3에서는 무치환시에 비해 약 35%정도로 큰 폭으로 감소하였으나, 이후 BA 치환량 2/3와 3/3에서는 BA재 1/3과 2/3와 비교하여 각 10%정도로 강도감소폭은 줄어들었다.
 5. 기중양생조건에서 혼화재 종류별 압축강도는 혼화재 무첨가시와 비교하여 에트린가이트계 혼화재 10%사용시 약 1 MPa정도 높게 나타났으며, 실리카흙 10%사용시에는 약 5.5 MPa정도 높게 나타나 강도증진 효과는 에트린가이트계 혼화재보다는 실리카흙을 사용하는 것이 우수하게 나타났다.
 6. 쓰레기소각재는 경화전 팽창현상을 일으키며 팽창현상의 메카니즘은 소각재에 함유된 Na_2O , K_2O 및 NH_3 의 산화물이 물과 반응하여 수소가

스를 발생하여 일어나는 것으로 사료된다.

7. 쓰레기 소각재 치환량에 따른 변형율은 재령 56일에서 BA재 무치환시와 비교하여 1/3치환시 20%감소하였으며, 2/3치환시 23%, 3/3치환시 26%감소하였다. 이것은 소각재 치환시 가스발생에 의한 팽창현상에 기인한 것으로 적정량의 소각재를 잔골재로 사용시 콘크리트의 건조수축을 보상할 수 있을 것으로 판단된다.

참고 문헌

- 박현서, 이범재, 2001, 생활폐기물 소각재의 특성 및 안정화, 한국폐기물학회지, 18(8), 722-726.
- 서용칠, 유종의, 서용찬, 1997, 다중 휴해 산업폐기물 소각재의 용출 특성, 한국폐기물학회지, 14(1), 65-75.
- 정두영, 1996, 폐기물과 매립지반대책, 대한 토목학회지, VOL.44. NO. 10 통권 198, 55-61.
- 조병완, 김광일, 박종칠, 박승국, 2006, 도시 폐기물 소각재를 이용한 화학적 활성화 모르타르의 특성, 한국콘크리트학회 논문집, 18(5), 589-594.
- 조병완, 이재익, 박승국, 이재승, 2007, 하수슬러지 소각재를 재활용한 친환경 건설 소재의 재료적 특성, 한국콘크리트학회 논문집, 19(6), 667-676.
- 한국폐기물학회, 1995, 폐기물처리기술과 재활용, 동화기술, 153-294.
- 환경부, 2002, 지속가능한 자원순환형 사회확립을 위한 제2차 국가 폐기물관리 종합계획(2000~2011), 25-28.
- Eric, R. B., John, A. N., 1998, Concrete masonry unit mix designs using municipal waste bottom ash, ACI Materials Journal, 95(4), 235-244
- Jubal, D. H., 1991, Strength of concrete containing municipal solid waste fly ash, ACI Materials Journal, 88(5), 326-334.
- Park, S. B., Lee, B. C., 2006, Expansion Properties of Mortar Using Waste Glass and Industrial By-Products, International Journal of Concrete Structures and Materials, 18(2), 125-132.
- 吉岡降, 1995, 人工輕量骨材の發泡機具と超輕量骨材の時作, 콘크리트공학, 13(5), 428-434.
- 大久保全陸, 浦川洋介, 1993, ゴミ焼却灰を混入したモルタル・コンクリートの壓縮強度特性等に關する基礎的研究, 日本建築學會構造系論文報告集, 44, 1-9.
- 越川 茂雄, 伊藤 義也, 1990, 燒却灰熔融スラグを用いたコンクリートの性質, 콘크리트공학年次論文報告集, 18(1), 405-410.