

쓰레기 소각재를 혼입한 시멘트 경화체의 특성에 관한 연구

A STUDY ON THE PROPERTIES OF HARDENED CEMENT MORTAR MIXED WITH WASTE INCINERATED ASH

이 승 한* 정 용 옥** 한 형 섭**
Lee, Seung-Han Jung, Yong-Wook Han, Hyung-Sub

ABSTRACT

The purpose of this study was to use daily waste incinerated ash, which was reclaimed worthlessly, as substitutes of fine aggregates in concrete. Various kinds of admixture was utilized to strengthen the cement mortar mixed with waste incinerated ash, and altered the curing condition to diminish the rate of expansion.

By the results of this experiment, it was possible to produce the lightweight concrete, characted with the gravity below 1.5 and over 160kg/cm² compressive strength by replacing all fine aggregates with waste incinerated ash. It was also observed that the low temperature curing condition, lessoned gas exhausts, was effective to increase the strength of cement mortar.

1. 서 론

우리나라는 산업의 고도화와 도시집중화에 따르는 산업구조와 생활방식의 변화로 다양하고도 엄청난 양의 도시 폐기물이 발생되고 있다. 반면 매립지는 고갈되고 있고 새로운 매립지의 확보¹⁾가 어려운 실정이며, 특히 환경보전 측면²⁾에서 쓰레기 처리 문제는 매우 심각한 상황이다. 이를 해결하기 위하여 소각후 중량비 20%로 쓰레기량을 현격하게 감량시키는 도시 소각장이 증가일로에 있어 소각재의 이용에 대한 연구는 자원재활용이나 환경보전측면에서 시급한 과제이다.

이에 선진각국에서는 쓰레기 소각재의 다공특성을 이용하여 경량콘크리트 제조를 위한 시멘트 고품화에 대한 연구³⁾가 활발히 진행되고 있으나 소각재의 다공성으로 강도저감과 가스발생으로 인한 팽창성⁴⁾이 문제점으로 대두되고 있다.

따라서 본 연구에서는 쓰레기 소각재를 사용한 시멘트 경화체의 강도증진방안으로 각종 혼화재를 사용하였으며 양생방법을 변화시켜 팽창성 저감방안을 검토하여 생활쓰레기 소각재를 콘크리트 세골 재료의 이용을 목표로 하였다.

1) * 정회원, 계명대학교 토목공학과 교수

2) ** 계명대학교 토목공학과 석사과정

2. 실험개요

2.1 사용재료

실험에 사용한 시멘트는 보통 포틀랜드시멘트(OPC)를 사용하였으며, 잔골재는 5mm이하의 낙동강산 세골재를 사용하였다. 쓰레기 소각재인 Bottom ash(BA재)는 5mm로 체가름하여 포함된 캔과 고철등의 이물질을 제거한후 표건관리 하여 사용하였다. 이들 세골재와 소각재의 물리적 성질을 표1에 나타내었으며 사용BA재는 낙동강산 세골재에 비해 흡수율이 6배 높은 14%를 나타내고 있다.

표1. 골재의 물리적 성질

종류	최대치수(mm)	비중	조립율	흡수율
세골재	5	2.6	2.4	2.3
BA재	5	1.9	3.2	14

표2는 대구시 소각재의 조성을 일본 福岡市 소각재와 보통 포틀랜드시멘트 및 플라이애쉬 시멘트의 조성과의 비교하여 나타내었다. BA재는 연속연소형식(Stocker식)에서 배출된 소각재로 소각재의 조성은 시멘트와 비교하면, CaO가 적고 Al₂O₃가 많은 점이 특징으로 들 수 있고, 이들의 차이가 시멘트 고화시 수화반응과 팽창특성에 관계되는 것으로 사료된다.

표2. 쓰레기 소각재의 조성(%)

종 류	성 분	성분								
		SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	기타
大邱市 소각재	BA재	36.1	10.6	14.7	19.8	3.26	-	4.62	2.03	8.89
	EP재	23.8	7.36	3.24	13.9	4.21	-	14.3	11.5	21.69
福岡市 ²⁾ 소각재	BA재	33.4	14.4	21.3	15.6	2.0	-	4.0	1.2	8.2
	EP재	22.7	15.4	2.7	20.8	4.1	-	7.2	6.0	21.1
시멘트 ²⁾	OPC	22.0	5.3	3.0	64.3	1.5	2.0	-	-	1.9
	FAC	19.3	5.4	2.7	49.1	1.2	1.6	-	-	20.7

2.2 배합 및 공시체의 제작

단위결합재와 쓰레기소각재의 치환률에 따른 물성변화를 파악하기 위하여 W/C를 60%로 고정하고 단위결합재량을 25, 33, 50%에 소각치환률을 0/3, 1/3, 2/3, 3/3의 4종류로 변화 시켰다. 또한 C33시리즈에 대하여 에트린가이트계 혼화재 및 실리카흙을 사용하여 고강도화⁵⁾를 기하였으며 양생방법을 변화시켜 양생온도에 따른 팽창성 저감방안을 검토하였다.

공시체는 시멘트와 골재를 4.7ℓ 모르타 믹서에 투입하여 1분간 건비빔을 한후 물과 혼화재를 투입하여 1분간 믹싱후 흐름시험을 실시하고 4×4×16cm의 휨 및 압축강도 공시체를 제작하였다. 또한 BA재 치환률에 따른 모르타의 팽창량을 측정하기 위해 공시체 중심에 변형률게이지를 매입하였다.

실험항목으로는 쓰레기소각재 치환률에 따른 강도특성을 알기위해 KS F 2413에 준하여 재령별 압축강도를 측정하였으며, 휨강도 시험을 KS F 2407 콘크리트의 휨강도 시험방법에 준하여 실시하였다.

2.3 양생방법

양생조건에 따른 강도변화를 조사하기 위해 기건양생과 전치시간 4시간, 승온 15℃/hr, 최고온도 65℃의 증기양생 및 적당한 전양생후 증기압 10기압, 온도 180℃로 Autoclave양생을 실시하였다.

3. 결과분석

3.1 압축강도 발현 특성

3.1.1 BA치환량에 따른 재령별 압축강도특성

기건양생시 BA치환률에 따른 재령별 강도특성을 그림1에 나타내었다.

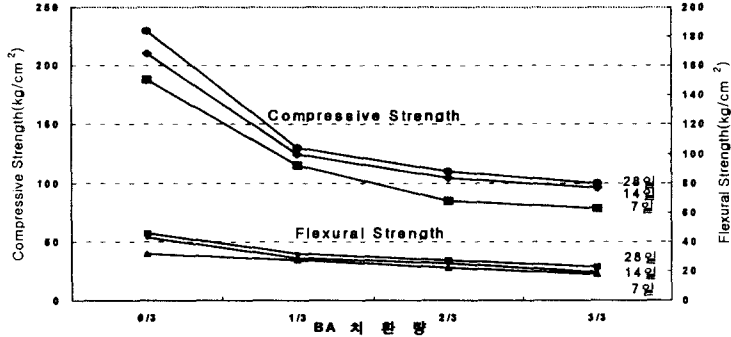


그림1. BA치환량에 따른 재령별 강도특성

위 그림에서 BA치환률에 따른 재령별 강도특성은 전량 모래사용시 기건양생으로 최고 230kg/cm²의 압축강도를 얻을 수 있으며 모래와 소각재(BA)의 혼합비 BA/(BA+S)가 1/3치환에서는 40%의 현저한 강도저하가 나타났으나 2/3, 3/3치환시에는 1/3치환과 같은 급격한 강도저하는 보이지 않았다.

3.1.2 양생조건에 따른 강도특성

Silica Fume을 10% 사용한 공시체와 에트린가이트계 혼화재를 10%사용한 공시체의 양생조건에 따른 28일 압축강도 변화를 그림2와 그림3에 나타내었다.

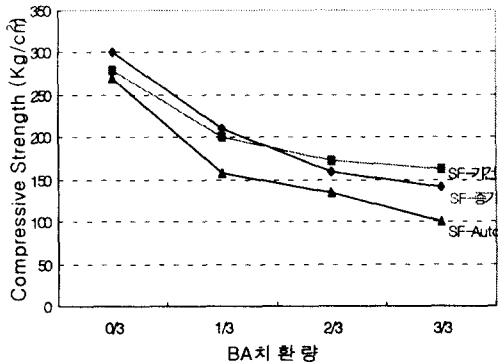


그림2. SF치환 공시체의 양생조건에 따른 28일 강도특성

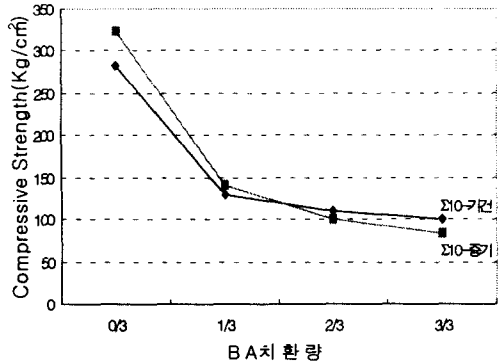


그림3. SF10치환 공시체의 양생조건에 따른 28일 강도특성

그림2에서 BA재를 치환하지 않은 공시체의 28일 압축강도는 270~300kg/cm²전후로 큰 차이가 없으며 BA치환시 증기양생과 Autoclave양생은 기건양생보다 낮게 나타나 Silica Fume사용시에도 강도증진 효과가 없는 것으로 나타났다.

또한 그림3은 에트린가이트계 혼화재를 사용하여 기건 및 증기양생을 비교한 것으로 BA재 무치환

과 1/3치환하여 증기양생시 강도증진효과가 있으나 BA재 치환량이 커질수록 강도는 저감되었다. 이와 같이 BA치환량의 증가에 따른 압축강도의 감소원인은 BA재 가스발생으로 인한 경화체의 밀실도 감소와 수화응결의 둔화작용으로 사료된다.

3.1.3 혼화재 첨가에 따른 강도특성

기건양생과 증기양생에서의 혼화재 첨가에 따른 28일 압축강도 특성을 그림4와 그림5에 나타내었다.

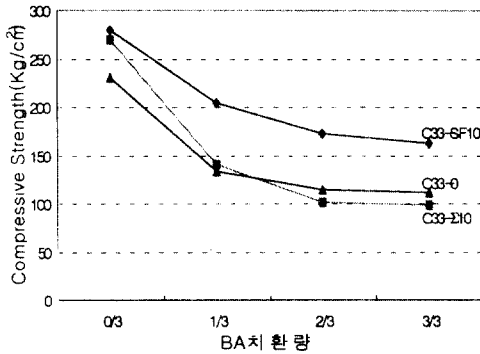


그림4. 기건양생시 혼화재 첨가에 따른 28일 강도특성

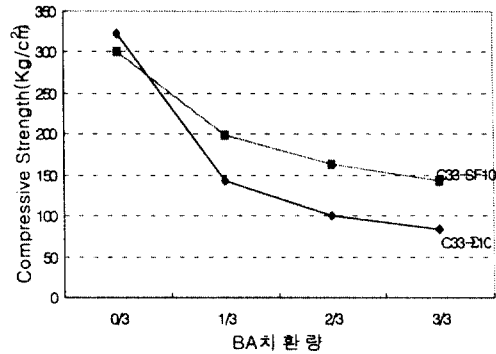


그림5. 증기양생시 혼화재 첨가에 따른 28일 강도특성

그림4에서 BA치환량이 클수록 강도는 떨어지고 있으며 실리카흙 사용시 전량BA치환 공시체의 28일 압축강도는 160kg/cm²이상을 나타내어 혼화재를 사용하지 않은 공시체에 비하여 60kg/cm²정도의 강도를 증진 시켰다. 그러나 에트린가이트계혼화재를 사용하여 BA무치환시 28일 압축강도가 280kg/cm²로 크기 나타났으나 BA재 치환시 혼화재를 사용하지 않은 공시체보다 낮게 나타나 에트린가이트계 혼화재는 증기양생시에도 강도증진에 효과가 없는 것으로 나타났다.

그림5에서는 실리카흙과 에트린가이트계 혼화재를 사용하여 증기양생을 실시한 결과로 BA무치환시 에트린가이트계 혼화재의 강도발현이 크나 BA치환량이 증가할수록 강도는 저하되어 에트린가이트계 혼화재는 BA재 사용시 증기양생에 큰 효과가 없는 것으로 나타났다.

3.2 팽창률

탈형후 BA치환 공시체의 팽창률 시험 결과를 그림6과 그림7에 나타내었다.

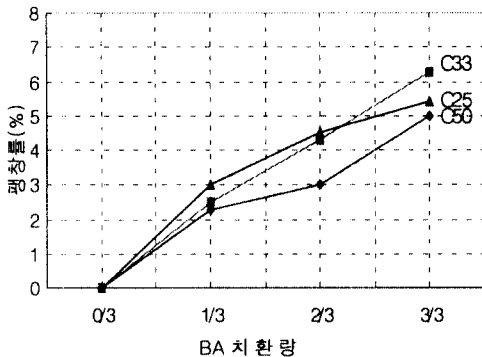


그림6. 시멘트량에 따른 팽창률 변화

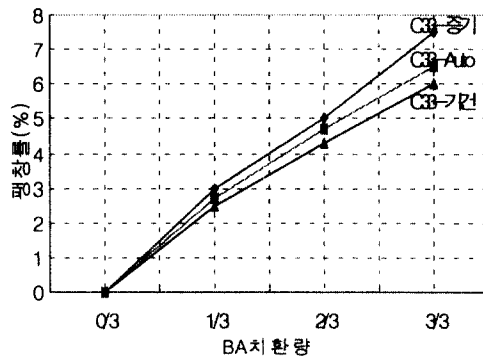
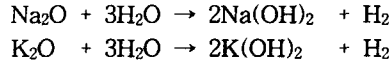


그림7. 양생조건에 따른 팽창률 변화

그림6에서 BA치환 공시체의 팽창률은 2.3~6.3%의 범위내에 있으며, BA치환량이 커질수록 팽창률은 선형적으로 증가되고 있음을 나타내고 있다. 그 원인으로 大久保들은⁴⁾소각재에 함유되어있는 Na₂O와 K₂O등의 산화물이 수화반응시 가스를 발생시켜 팽창현상에 관계되는 것으로 추측하고 있다. 이것을 화학식으로 나타내면 다음과 같고,



Na₂O와 K₂O등의 산화물이 물과 반응하여 수화반응시 수소가스를 발생하여 팽창하는 것으로 설명할 수 있다.

그림7에서 양생조건에 의한 팽창률은 증기양생의 경우 BA재 1/3치환시 3% 전량BA재 치환시 7.5%로 기건양생보다 조금 크게 나타났으나, Auto clave양생은 팽창률이 2.5~6.3%로 기건양생과 같이 나타나 양생조건에 의한 팽창률의 차이는 없는 것으로 사료된다.

3.3 비중 및 흡수율

시멘트량과 BA치환률에 따른 비중 및 흡수율의 변화를 표3에 나타내었다.

표3. 단위시멘트량에 따른 비중 및 흡수율 비교

구 분 종 류	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
비 중	1.82	1.48	1.34	1.26	1.9	1.5	1.37	1.32	1.9	1.6	1.5	1.46
흡수율(%)	15	19	21	23	12	15	18	20	11	14	15	18

표3을 바탕으로 시멘트량과 BA재 치환률에 따른 비중 및 흡수율 변화의 상세도를 그림8과 그림9에 나타내었다

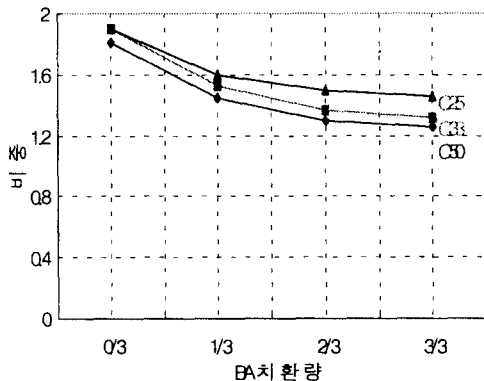


그림8. 시멘트량과 BA치환률에 따른 비중 변화

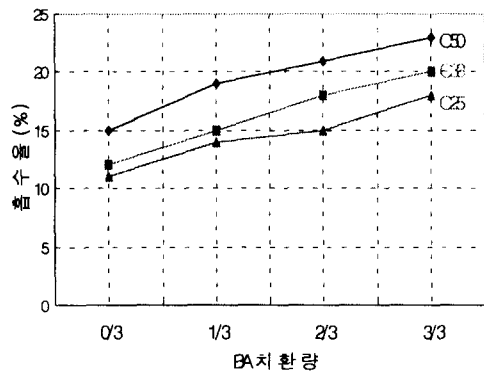


그림9. 시멘트량과 BA치환률에 따른 흡수율 변화

여기서 BA재 치환량이 증가할수록 흡수율이 선형적으로 증가하는 것을 알 수 있으며 전량치환시 20%전후의 흡수율을 나타내고 있다. 그림4에서 BA무치환 공시체에서 비중이 1.9인것이 BA치환률이 1/3에서 1.48~1.6으로 떨어지고, BA재 전량 치환시 1.26~1.46으로 떨어져 공시체의 중량감소에 효과적임을 알 수 있다.

3.4 BA재 혼입률에 따른 재령별 변형률 특성

BA재 치환률에 따른 변형률 변화를 그림10에 나타내었다.

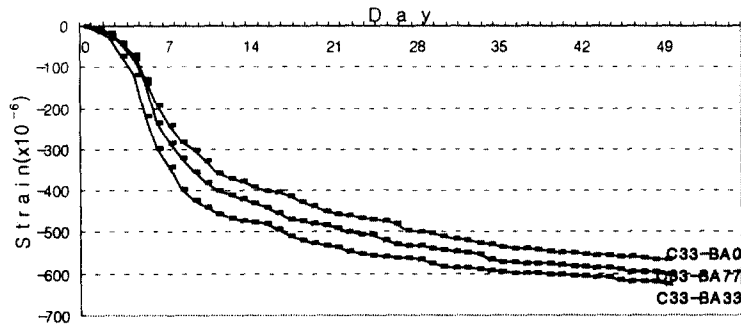


그림10. BA재 혼입률에 따른 재령별 변형률 변화

변형률 측정 공시체는 탈형 1주일 후를 기준으로 하였으며 BA재 33%, 77%치환 공시체는 재령 56일에 600×10^{-6} 정도의 수축변형률을 나타내어 BA재 무치환공시체와 큰 차이를 나타내고 있지 않다. 또한 BA치환률에 따른 재령 56일의 변형률 변화는 100×10^{-6} 전후로 작아 콘크리트 2차제품에 BA재를 사용하여도 치수 변형문제는 없을 것으로 사료된다.

4. 결론

본 연구는 쓰레기소각재의 재활용방안으로 콘크리트 세골재로의 이용을 목적으로 하였다. 본 연구에서 얻은 결론은 다음과 같다.

- (1) 쓰레기소각재를 세골재로 전량 사용시에도 혼화재의 사용과 양생방법에 따라 28일 압축강도 160 kg/cm^2 이상, 비중 1.5이하의 경량콘크리트 제조가 가능하다.
- (2) 쓰레기소각재는 경화전 팽창현상을 일으키며 팽창현상의 메카니즘은 소각재에 함유된 Na_2O 와 K_2O 의 산화물이 물과 반응하여 수소가스를 발생하여 일어나는 것으로 사료된다.
- (3) 쓰레기소각재 전량치환시 실리카흄 혼화재 첨가로 28일 압축강도 160 kg/cm^2 으로 혼화재 무첨가 공시체보다 60 kg/cm^2 크게 나타나 실리카흄 사용시 강도증진에 효과가 있으나 에트린가이트계 혼화재 사용은 쓰레기소각재 사용시 강도증진에 효과가 없는 것으로 사료된다.
- (4) 쓰레기소각재 사용시 고온양생은 가스발생의 활성화로 팽창성을 증대시키는 반면 저온양생시는 팽창현상을 줄여 강도증진에 효과적이다.

5. 참고문헌

1. 정 두영 : 폐기물과 매립지반대책, 대한 토목학회지, VOL.44. NO. 10 통권198, 1996, pp 55~61
2. 越川 茂雄, 伊藤 義也의 2명 : 焼却灰熔融スラグを用いたコンクリートの性質, 콘크리트工學年次論文報告集, VOL.18, NO.1. 1990, pp 405~410
3. 한국폐기물학회 : 폐기물처리기술과 재활용, 한국폐기물학회, pp 153~294
4. 大久保全陸, 浦川洋介 : 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関する基礎的研究, 日本 建築學會構造系論文報告集 제44호, 1993년, pp 1~9
5. Xiaofeng Cong의 3인 : Role of Silica Fume in Compressive Strength of Cement Paste, Mortar, and Concrete, ACI MATERIALS JOURNAL, VOL.89. NO.4, 1992