혼화재를 사용한 재생굵은골재 콘크리트의 역학적 특성에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Mechanical Properties of Recycled Aggregate Concrete Containing Admixtures

백 철 우* 김 호 수* 반 성 수* 최 성 우** 류 득 현***

Baek, Chul Woo Kim, Ho Soo Ban, Seong Soo Choi, Sung Woo Ryu, Deuk Hyun

ABSTRACT

Recently, owing to the deterioration of reconstruction and the construction, much of the construction waste is discharged in our construction field, and the amount of construction waste is rapidly increased. These waste are raised to financial and environmental problems, so the method of reusing waste concretes has been studied and carried out many direction. Especially being want of resources, if waste concrete could be recycled as aggregates for concrete, it will contribute to solve the exhaustion of natural aggregate, in terms of saving resources and protecting environment.

This study is that the mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate were investigated for types of mineral admixture and the substitution of recycled coarse aggregate. The result of this study, in case of using mineral admixture, the property of fresh concrete was rised. And the property of harden concrete for the substitution ratio of recycled coarse aggregate was decreased. But the property of concrete with mineral admixture was better than that of concrete used only cement.

1. 서 론

최근 도시의 재개발, 환경정비, 건물의 노후화 및 기능저하에 따른 콘크리트 구조물의 철거가 지속적으로 증가 추세에 있어서, 향후 콘크리트 폐기물의 발생량 또한 증가가 예상되며, 천연골재 부족현상 극복, 자원의 유효이용과 환경오염방지 면에서도 폐콘크리트에서 제조된 재생골재의 활용방안에 대한 방법이 연구 및 사용사례에 대한 연구가 보고되고 있다.[1),2)]

그러나, 이러한 재생골재의 경우, 제조방법에 따라 골재의 품질변동이 매우 심하며, 특히 골재에 부착된 모르터분에 의한 콘크리트에 적용 시 콘크리트의 성능저하를 초래한다는 연구결과도 보고되고 있어서, 재생골재를 콘크리트용 골재로 적용하기 위한 보다 다양한 방안에 대한 접근이 요구되고 있는 실정이다.[3)]

따라서, 본 연구는 재생굵은골재의 활용방안 중, 혼화재의 종류 및 재생굵은골재의 대체율에 따른

* 정회원, 유진종합개발(주) 기술연구소

** 정회원, 이순산업 기술지원팀

*** 정회원, 유진종합개발(주) 기술연구소 소장

재생굵은골재를 사용한 콘크리트의 성능평가를 실시하여, 재생굵은골재를 콘크리트용 골재로 사용하기 위한 기초적 자료를 제시하고자 하였다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

본 연구의 실험계획을 표 1에 나타내었다.

혼화재 종류 및 재생굵은골재 대체율에 따른 콘크리트의 성능검토를 위해, 혼화재 종류를 무혼입과 플라이 애쉬, 고로슬래그 미분말의 3수준, 각각의 혼화재 배합에 따라 재생굵은골재 대체율을 0, 25, 50, 75, 100%의 5수준으로 설정하여 실험을 실시하였다.

2.2 사용배합

본 연구에 사용된 콘크리트의 배합을 표 2에 나타내었다.

물결합재비는 50%로 고정하였으며, 혼화재의 치환율은 무혼입, 플라이 애쉬 15%, 고로슬래그 40%의 3수준, 각각의 혼화재에서 재생굵은골재 대체율 0, 25, 50, 75, 100%의 5수준으로, 총 15수준의 배합을 설정하였다.

재생굵은골재 대체율에 따른 콘크리트의 성능을 검토하기 위해, 각각의 혼화재를 사용한 경우 재생굵은골재 대체율 0%의 배합을 기본배합으로 설정하여 기본배합에서 목표슬럼프 15±2.5㎝ 및 목표공기량 4.5±1.5%을 발현하는 혼화제의 사용량을 설정하였다.

2.3 사용재료

본 연구에 사용된 재료의 기초물성은 표 3에 나타내었으며, 굵은골재의 입도분포는 그림 1에 나타내었다.

시멘트는 1종 보통포틀랜드 시멘트, 혼화재는 플라이 애쉬와 고로슬래그 미분말을 사용하였다. 잔골재는 세척사를, 굵은골재는 부순자갈과 재생굵은골재를 사용하였다. 재생굵은골재는 국내 I사의 제품으로 흡수율이 4.22로 KS F 2573(콘크리트용 재생 골재)에서 규정한 제2종에 해당되는 골재이다.

2.4 실험방법

표 1. 실험계획

실험요인	혼화재 (%)		FA(15)*, BSF(40)*
	재생굵은골재 대체율 (%)		0, 25, 50, 75, 100
	목표 슬럼프		15 ± 2.5
	목표 공기량(%)		4.5 ± 1.5
실험항목	콘크리트	굳지않은 성상	슬럼프, 공기량, 경시변화, 응결
		경화 성상	압축강도 ⇒ 재령 3, 7, 14, 28일

주) * FA:플라이 애쉬, BFS:고로슬래그 미분말

표 2. 콘크리트 기본배합

W/B (%)	S/a (%)	단위중량 (kg/m³)						
		W	C	FA	BFS	G	S	Ad*
50	47.3	171	341	-	-	941	837	0.5
			290	51	-	930	829	0.4
			205	-	136	935	832	

주) Ad : C × (%)

표 3. 재료의 기초물성

시멘트	1종보통포틀랜드	비중 3.15, 분말도 3,454㎠/g
혼화재	플라이 애쉬	비중 2.19, 분말도 3,740㎠/g
	고로슬래그	비중 2.90, 분말도 4,201㎠/g
잔골재	세척사	밀도 2.61, 조립율 2.64 흡수율 : 0.64
굵은골재	부순골재 (Gc)	최대치수 25mm, 밀도 2.62 조립율 6.60, 흡수율 0.68
	재생골재 (Gr)	최대치수 25mm, 밀도 2.49 조립율 6.08, 흡수율 4.22
혼화제	AE 감수제	리그닌설폰산염

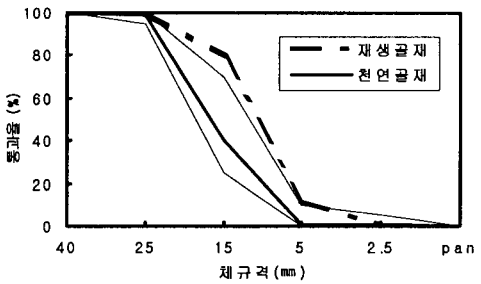


그림 1. 골재의 입도분포곡선

본 연구의 실험방법은 표 1에 나타낸 바와 같이 굳지않은 성상의 경우, 콘크리트 제조 직후, 30, 60, 90분에서 슬럼프 및 공기량의 경시변화를 측정하였으며, 혼화재 사용에 따른 응결성상을 측정하였다.

경화 성상으로서는 재령 3, 7, 14, 28일에서 압축강도를 측정하였다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 굳지않은 콘크리트의 성상 검토

(1) 슬럼프 및 공기량 검토

혼화재 종류에 따른 재생굵은골재 대체율별 콘크리트 제조 직후의 슬럼프 및 공기량의 변화를 그림 2에 나타내었다.

혼화재 대체에 따른 슬럼프의 변화는, 무혼입의 경우 재생굵은골재 대체율 25%에서 가장 슬럼프가 큰 것으로 나타났으며, 대체율 100%의 경우 대체율 0%에 비해 다소 슬럼프는 저하하는 경향을 나타내고 있다. 플라이 애쉬를 사용한 경우 재생굵은골재 대체율 50%까지는 슬럼프가 증가하지만, 그 이상 대체율이 증가함에 따라 슬럼프는 감소하는 경향을 나타내고 있으나, 대체율 100%에서도 대체율 0%보다 슬럼프는 큰 것으로 나타났다.

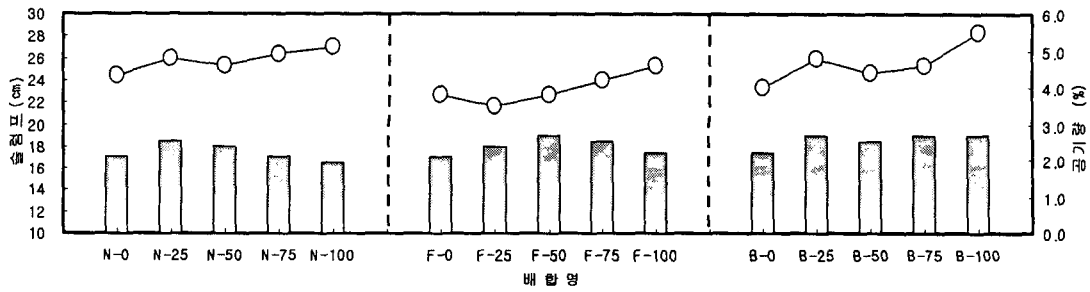


그림 2. 혼화재 종류에 따른 경화전 성상

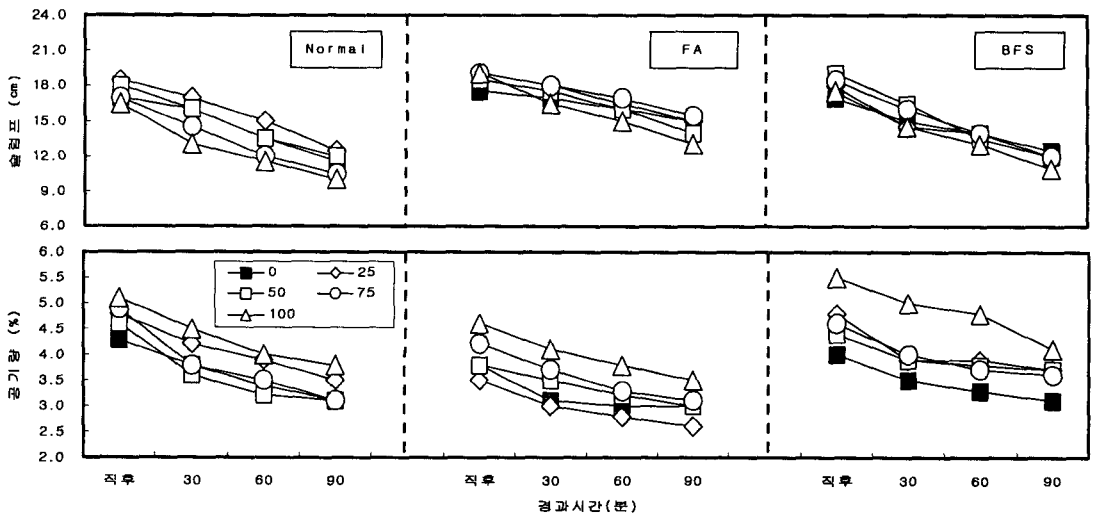


그림 3. 혼화재 종류별 경시변화 특성

고로슬래그 미분말의 경우 재생굵은골재의 대체에 따라 슬럼프는 증가하는 것으로 나타났으나, 대체율에 따른 뚜렷한 변화는 없는 것으로 나타났다. 이는 재생굵은골재가 유동성에 미치는 영향보다는 고로슬래그 미분말의 표면성상과 분말도에 의한 콘크리트의 유동성에 미치는 영향이 상대적으로 높기 때문인 것으로 사료된다.[4]

혼화재 종류에 따른 공기량의 변화는, 플라이 애쉬를 사용한 경우 무혼입이나 고로슬래그 미분말에 비해 공기량은 다소 저하하는 것으로 나타났으며, 재생굵은골재의 대체율에 따른 변화는 혼화재의 종류에 상관없이 대부분 대체율이 증가함에 따라 공기량도 증가하는 경향을 나타내었다.[5]

(2) 경시변화 검토

혼화재 종류별 재생굵은골재 대체율에 따른 경시변화를 그림 3에 나타냈다.

슬럼프의 경시변화는, 플라이 애쉬를 사용한 경우 경시에 따른 슬럼프의 로스가 가장 적은 것으로 나타났으며, 혼화재를 사용한 배합이 무혼입에 비해 슬럼프로스가 감소하는 경향을 나타내고 있다. 특히, 기본배합의 경우 목표슬럼프 유지 시간이 무혼입의 경우에는 30분인데 비해, 고로슬래그 미분말의 경우 60분, 플라이 애쉬의 경우에는 경시 90분에서도 목표슬럼프의 범위를 유지하는 것으로 나타났다.

재생굵은골재 대체에 따른 경시변화는 혼화재의 종류에 상관없이 대부분의 경우 대체율이 증가할수록 경시에 따른 슬럼프의 로스가 증가하는 것으로 나타났다.

공기량의 경시변화에서는 대부분의 배합에서 경시 90분에서도 목표공기량의 범위를 만족시키는 것으로 나타났으나, 플라이 애쉬의 경우 재생굵은골재 대체율 0, 25%의 경우 60분 이후에는 목표공기량의 범위를 벗어나는 것으로 나타났다.[4),7)]

(3) 응결특성 검토

혼화재 종류에 따른 응결특성을 그림 4에 나타냈다.

혼화재 종류에 따른 응결특성은 고로슬래그 미분말, 플라이 애쉬, 무혼입 순으로 혼화재의 첨가량이 증가할수록 응결시간이 지연되는 것으로 나타났다.

재생굵은골재 대체율 변화에 따른 응결특성은, 대체율이 증가할수록 응결시간은 단축되는 것으로 나타났다. 특히, 고로슬래그 미분말을 사용한 경우, 재생굵은골재 대체율 100%는 종결이 10시간으로 대체율 0%의 13시간 20분보다도 3시간 이상 단축되는 것으로 나타났다. 이는 재생굵은골재의 입도분포에서 부순골재에 비해 잔입자가 많아서, 재생굵은골재 대체율이 증가할수록 전 굵은골재의 비표면적이 증가하며, 비표면적의 증가가 응결특성에 영향을 미치는 것으로 사료된다.

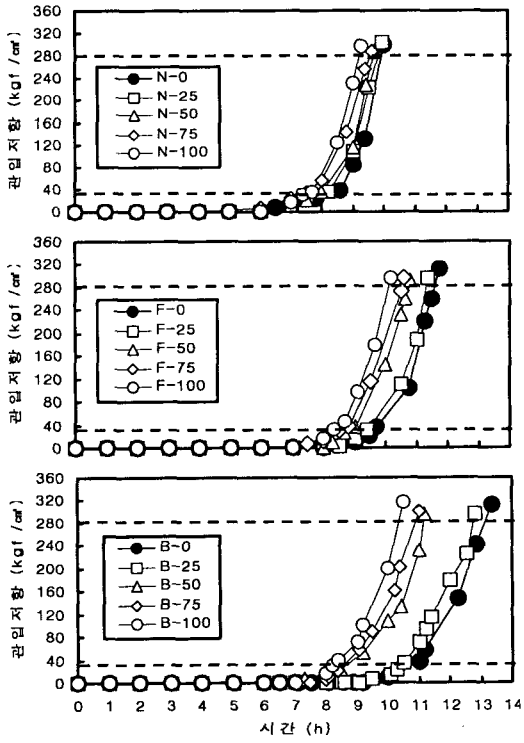


그림 4. 재생굵은골재 대체율에 따른 응결 특성

3.2 경화 콘크리트의 성상 검토

혼화재 종류에 따른 재생굵은골재 대체율별 압축강도를 그림 5에, 혼화재 무혼입에 대한 혼화재 종류에 따른 재생굵은골재 대체율별 압축강도 발현비를 그림 6에 나타내었다.

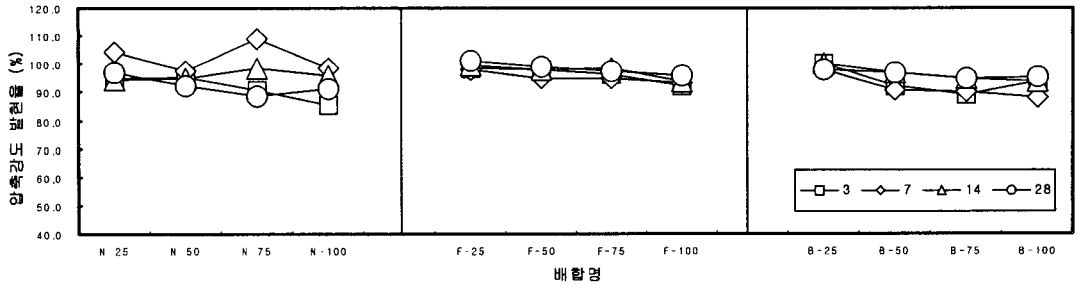
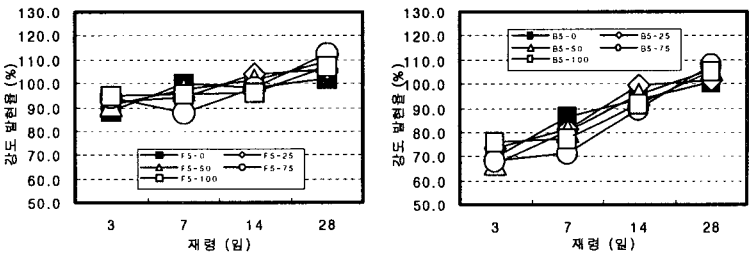


그림 5. 재생골재 대체율에 따른 재령별 압축강도 발현 특성

재생굵은골재 대체율에 따른 재령별 압축강도 발현 특성은, 혼화재 종류에 따라 다소 차이는 있지만, 대체율 25%의 경우 발현율 100% 내외를 나타나고 있으며, 재생굵은골재 대체율이 증가할수록 강도발현성능은 저하하는 것으로 나타났다. 이는 기존의 연구결과와도 동일한 것으로서, 재생굵은골재에 부착되어 있는 모르터분에 의해 강도저하가 발생되는 것으로 사료된다.[3),5)]



a. 플라이 애쉬 b. 고로슬래그

그림 6. 무혼입에 대한 혼화재 종류별 압축강도 발현유

혼화재 사용에 따른 강도발현특성은, 무혼입에 비해 혼화재를 사용한 경우 초기재령에서는 무혼입에 비해 강도가 저하하지만 재령이 경과할수록 포졸란 반응에 의해 강도는 증진되는 것으로 나타났으며, 재령 28일에서는 재생굵은골재 대체율에 상관없이 혼화재 무혼입에 비해 강도발현이 증진되는 것으로 나타났다.

고로슬래그 미분말의 강도발현특성은, 플라이 애쉬를 사용한 경우에 비해 초기재령에서의 강도발현 저하가 다소 크게 나타나고 있다. 이는 플라이 애쉬에 비해 상대적으로 단위시멘트량이 적어 초기 강도발현은 지연되었기 때문으로 사료되며, 고로슬래그 미분말의 포졸란반응에 의해 장기재령에서는 강도가 증진된 것으로 나타나, 강도증진효과를 고려할 경우 플라이 애쉬보다는 고로슬래그 미분말을 사용하는 것이 보다 효과적일 것으로 사료된다.

재생굵은골재 대체율에 따른 재령 28일 강도발현특성은 혼화재의 종류와 상관없이 재생굵은골재 대체율이 증가할수록 강도발현율은 증가하는 것으로 나타나, 재생굵은골재를 콘크리트용 골재로 사용할 경우 혼화재를 사용하는 것이 콘크리트의 성능을 증진시키는데 효과적일 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구에서는 혼화재 무혼입, 플라이 애쉬 15%, 고로슬래그 미분말 40% 대체한 경우, 각각의 혼화재 종류에 따른 재생굵은골재 대체율을 실험변수로 놓고 콘크리트의 굳지않은 성상과 경화 성상에 대한 검토를 실시하였으며, 시험결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 슬럼프는 무혼입과 플라이 애쉬를 사용한 경우, 재생굵은골재 대체율 50% 정도까지는 증가하다

감소하는 경향을 나타내었으며, 고로슬래그 미분말의 경우에는 재생굵은골재를 사용한 경우 슬럼프는 증가하지만, 대체율의 증가에 따른 슬럼프의 변화는 없는 것으로 나타났다.

2) 공기량은 혼화재의 종류에 상관없이 재생굵은골재 대체율이 증가함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다.
3) 경시변화에서는 플라이 애쉬를 사용한 경우, 무혼입과 고로슬래그 미분말을 사용한 경우에 비해 경시변화가 다소 적은 것으로 나타났다.
4) 응결특성에서는 혼화재를 사용한 경우 무혼입에 비해 응결시간이 지연되는 것으로 나타났으며, 재생굵은골재 대체율이 증가할수록 응결시간은 단축되는 것으로 나타났다.
5) 재생굵은골재의 대체율이 증가할수록 재생굵은골재 대체율 0%에 비해 강도발현특성은 저하하는 것으로 나타났으며, 혼화재 종류에 따른 차이는 무혼입에 비해 혼화재를 사용한 경우 강도발현이 증진되며, 특히 재령 28일에서는 혼화재를 사용한 경우 재생굵은골재 대체율이 증가할수록 무혼입에 비해 강도는 증진되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 구봉근 외 "플라이 애쉬를 혼합한 재생골재 콘크리트의 강도 및 동결융해 특성", 한국콘크리트학회 1999년도 가을학술발표회 논문집, pp.241~244.
2. 구봉근 외 "플라이 애쉬를 혼합한 재생골재 콘크리트의 내구성", 한국콘크리트학회 논문집 제13권 1호, 2001, pp.23~29.
3. 문한영 외 "재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도특성", 대한토목학회논문집 제22권 제1-A호, 2000, pp.141~150.
4. 이상수 외 "고로슬래그 미분말을 사용한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구", 콘크리트학회 논문집 제12권4호, 2000. 8, pp 49~58.
5. 早川 光敬 外, "再生骨材を用いたコンクリートの强度特性と耐久性", 日本コンクリート工學年次論文集, Vol.24, No.1, 2003 pp.413~418
6. 이세현 외 "고강도 영역의 재생골재 콘크리트의 물리적 특성", 한국콘크리트학회 논문집 제13권 6호, 2001, pp.575~583.
7. 이진용 "플라이 애쉬 함유량이 콘크리트의 굳기전 성질 및 역학적 특성에 미치는 영향", 콘크리트학회 논문집 제11권6호, 1999. 12, pp.25~33.