

포졸란 재료를 사용한 재생골재 콘크리트의 건조수축 및 크리프

Shrinkage and Creep of Recycled Aggregate Concrete Using Pozzolanic Materials

문 대 중* 임 남 웅** 김 양 배***
Moon, Dae Joong Lim, Nam Woong Kim, Yang Bea

ABSTRACT

In this study, the experiments of recycled aggregate concrete with fly ash and special blended slag powder or diatom calcined at 650°C were performed on compressive strength, shrinkage and creep.

The compressive strength of concrete with recycled aggregate and pozzolanic materials were higher than that of concrete with crushed stone and OPC. On the other hand, the shrinkage and creep of concrete with recycled aggregate and pozzolanic materials was smaller than that of concrete with crushed stone and OPC. Furthermore, the shrinkage and creep of recycled aggregate concrete with fly ash and special blended slag powder was a little decreased that of recycled aggregate concrete with fly ash and diatom. Relationship between compressive strength and creep coefficient was shown to the linear relation like as $\sigma_c = -30CF + 404$.

1. 서론

최근 국내에서도 콘크리트 구조물의 해체에 따라 건설폐기물의 양은 급증하고 있으며, 이중 폐 콘크리트는 약 70% 정도를 차지하고 있는 실정이다. 그러므로 이러한 폐 콘크리트를 도로보조기층, 매립용 뿐만 아니라 부가가치가 높은 콘크리트용 골재로 재활용하기 위한 연구가 진행되고 있다.⁽¹⁻⁴⁾

그러나 폐 콘크리트를 콘크리트용 골재로 활용한 콘크리트는 재생골재에 부착되어 모르타르의 영향으로 천연골재를 사용한 콘크리트에 비하여 강도뿐만 아니라 투수성, 건조수축 및 크리프 등의 역학적 성질이 저하되는 문제점이 있다.^(5,6)

본 연구에서는 폐 콘크리트를 사용한 콘크리트의 역학적 성질을 개선하기 위한 일환으로 보통포틀랜드시멘트에 고로슬래그 미분말 및 규조분말 등의 포졸란 재료를 혼합하여 제조한 재생골재 콘크리트의 강도, 건조수축 및 크리프를 보통콘크리트와 비교, 고찰하였다.

* 정회원, 한양대학교 산업과학연구소 연구원

** 정회원, 중앙대학교 건설대학원 환경공학과 교수

*** 정회원, 삼표산업(주) 환경기술연구소 토목환경팀 부장

2. 실험

2.1 사용재료

(1) 시멘트 및 포졸란 재료 : 시멘트는 보통포틀랜드시멘트(OPC)와 초조강시멘트(ERC)를 사용하였으며, 포졸란 재료로는 플라이애시(F/A), 고로슬래그 미분말(SP₆₀₀) 및 규조분말(D₆₅₀)을 사용하였다.

(2) 골재 : 잔골재는 비중 2.63, 흡수율 1.59인 부순모래를 사용하였으며, 굵은골재는 비중 2.63, 흡수율 0.73 인 부순골재(NA)와 비중 2.48, 흡수율 5.25인 폐 콘크리트 재생골재(재생골재 또는 RA)를 사용하였다. 부순골재 및 재생골재의 물리적 성질은 표 1과 같다.

표 1 부순돌 및 재생골재의 물리적 성질

골재	Gmax (mm)	비중	흡수율 (%)	F.M.	단위용적중량 (kg/m ³)
부순골재	25	2.63	0.73	6.95	1502
재생골재	25	2.48	4.25	6.65	1483

(3) 혼화제 : 고성능감수제, 공기연행제를 사용하였다.

2.2 실험방법

(1) 압축강도 시험 : $\phi 10 \times 20$ cm의 공시체를 재령별 7, 28, 91 및 180일에 압축강도는 KS F 2405에 준하여 실시하였다.

(2) 건조수축 및 크리프 시험 : $10 \times 10 \times 40$ cm의 각주형 공시체를 제작하여 재령 28일 동안 수중양생한 후, 하중을 재하하지 않은 상태의 건조수축 및 재령 28일 압축강도의 30%에 대한 하중을 계속적으로 시험체에 가하는 크리프 시험을 실시하였다. 이 때 시험실의 온도는 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도는 $60 \pm 5\%$ 로 하여 시험을 실시하였다.

2.3 배합

콘크리트의 배합은 표 2와 같이 슬럼프 12 ± 2 cm, 공기량 $4.5 \pm 0.5\%$ 로 하여 플라이애시를 시멘트 중량에 2단계로 혼합하였으며 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 시멘트 중량에 5% 사용하였다.

표 2 콘크리트의 배합

Type	Gmax (mm)	Unit weight (kg/m ³)								Ch. admixture (C×%)		Slump (cm)	air (%)	Remark
		OPC	ERC	W	S	G	SP ₆₀₀	F/A	D ₆₅₀	AE	HRWR			
CTL	25	334	-	174	836	933	-	-	-	0.15	0.6	10.0	4.0	Control
TCM1	25	334	-	174	838	884	-	-	-	0.25	0.65	14.0	4.5	RAC
TCM2	25	225.4	8.35	174	820	869	16.7	83.5	-	0.5	0.5	11.5	4.3	step 1
TCM4	25	225.4	8.35	177	817	867	-	83.5	16.7	0.6	0.5	11.5	4.3	step 1
TCM6	25	258.9	8.35	174.7	825	860	16.7	50.1	-	0.35	0.5	11.0	3.8	step 2
TCM8	25	258.9	8.35	174	823	860	-	50.1	16.7	0.4	0.5	11.0	3.8	step 2

3. 결과 및 고찰

3.1 압축강도

재생골재가 콘크리트의 강도발현에 미치는 영향을 알아보기 위하여 부순골재를 사용한 콘크리트의 압축강도와 비교하여 정리한 것이 그림 1이다.

이 그림에서 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 재령 28 및 91일에서 각각 217kgf/cm^2 및 250kgf/cm^2 정도로 부순골재를 사용한 콘크리트에 비하여 각 재령별로 약 10%의 강도감소가 나타났다. 이는 기존의 연구결과와 비슷한 결과로서 재생골재의 품질이 부순골재에 비하여 떨어지므로 콘크리트의 강도가 작게 나타난 것으로 생각된다. 플라이애시를 1단계 및 2단계로 혼합한 재생골재 사용 콘크리트의 압축강도를 검토한 결과, 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 사용한 재생골재 콘크리트는 혼화제를 사용하지 않은 콘크리트와 비교하여 재령에 관계없이 강도가 크게 증진되어 재령 180일 압축강도는 재령 28일과 비교하여 약 40% 정도의 강도증진을 나타내었다.

이와 같이 보통포틀랜드시멘트에 플라이애시와 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 대체하여 사용한 재생골재 콘크리트의 압축강도가 크게 증가하는 이유는 고로슬래그 미분말의 수화반응을 촉진시키는 잠재수경성과 플라이애시 및 규조분말의 포졸란 반응에 의하여 영향으로 생각된다.

이와 같이 보통포틀랜드시멘트에 플라이애시와 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 대체하여 사용한 재생골재 콘크리트의 압축강도가 크게 증가하는 이유는 고로슬래그 미분말의 수화반응을 촉진시키는 잠재수경성과 플라이애시 및 규조분말의 포졸란 반응에 의하여 영향으로 생각된다.

3.2 건조수축

재생골재 사용 콘크리트의 재령 4개월까지 건조수축에 의한 변형률을 정리한 것이 그림 2이다.

이 그림에서 건조수축 변형률은 재하재령에 따라 증가함을 알 수 있으며, 재하재령 4개월에서 혼화제를 사용하지 않은 보통콘크리트의 건조수축 변형률이 가장 큰 값으로 약 800×10^{-6} 의 건조수축 변형률을 나타내었다. 혼화제를 혼합한 콘크리트의 건조수축 변형률은 재하재령 4개월에서 $670 \times 10^{-6} \sim 720 \times 10^{-6}$ 정도로 혼화제를 혼합하지 않은 콘크리트에 비하여 약 10~15% 정도 작았다. 또한, TCM6 및 TCM8이 TCM 2 및 TCM4에 비하여 건조수축 변형률이 약간 큼을 알 수 있다. 이와 같이 혼화제 혼합한 콘크

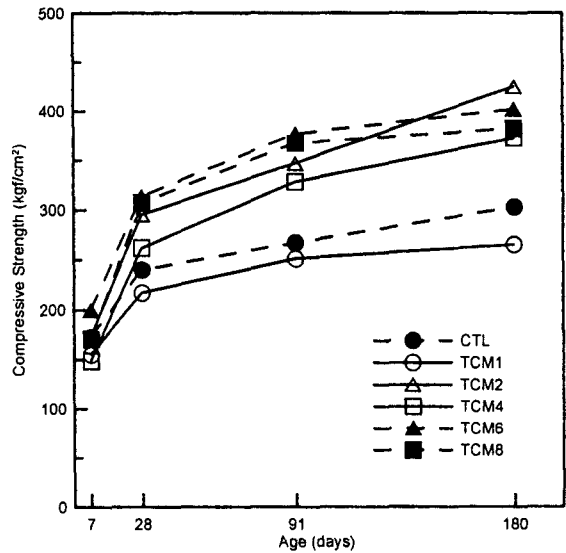


그림 1 콘크리트의 압축강도

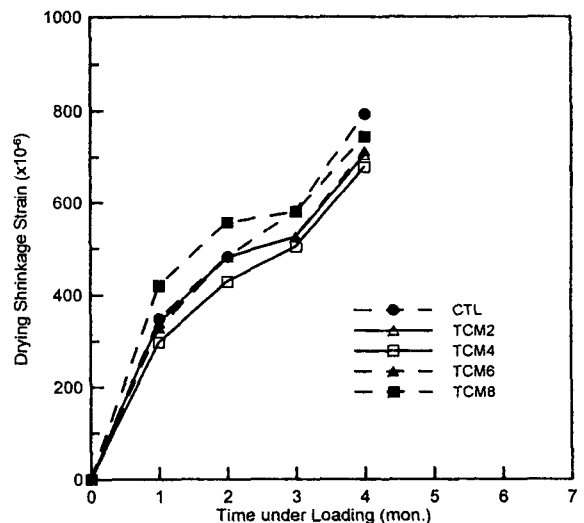


그림 2 재하재령에 따른 건조수축 변형률

리트의 건조수축 변형률이 혼화재를 혼합하지 않은 콘크리트에 비하여 약간 작게 나타나는 이유는 혼화재를 혼합함에 따라 시멘트량이 감소하였기 때문이다.

혼화재 종류에 따른 영향을 알아보기 위하여 재생골재 콘크리트의 건조수축 변형률을 정리한 것이 그림 3 및 그림 4이다. 그림 3은 플라이애시를 1단계로 혼합한 재생골재 콘크리트의 건조수축 변형률을 정리한 그림으로서 혼화재의 종류에 관계없이 재생골재 콘크리트의 건조수축 변형률은 재하재령에 따라 비슷한 값을 나타내었다. 반면에 그림 4는 플라이애시를 2단계로 혼합한 재생골재 콘크리트의 건조수축 변형률을 정리한 그림으로서 규조분말을 혼합한 재생골재 콘크리트의 건조수축 변형률이 고로슬래그 미분말을 혼합한 재생골재 콘크리트에 비하여 재하재령에 따라 약간씩 큰 값이었다. 즉, 재하재령 4개월에서 규조분말을 혼합한 재생골재 콘크리트의 건조수축 변형률은 고로슬래그 미분말을 혼합한 재생골재 콘크리트에 비하여 약 4% 정도 큰 값을 나타내었다.

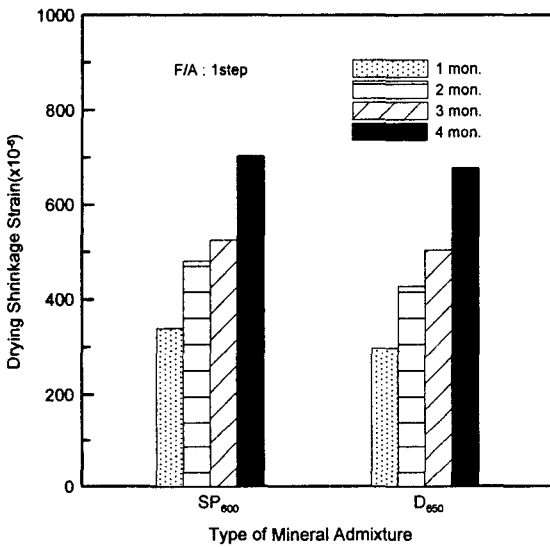


그림 3 혼화재 종류에 따른 건조수축 변형률

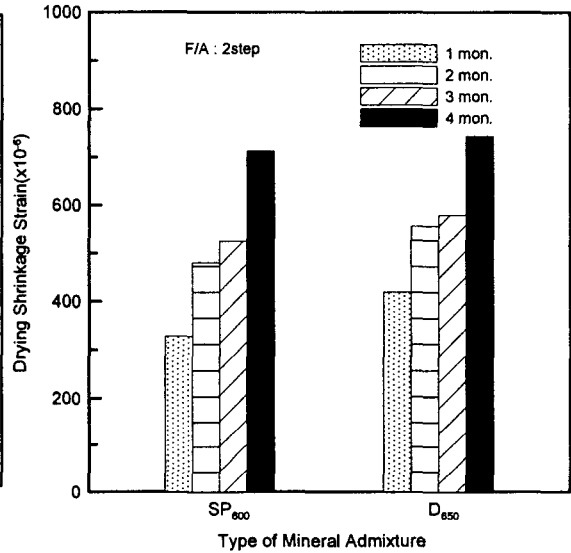


그림 4 혼화재 종류에 따른 건조수축 변형률

3.3 크리프

재생골재 사용 콘크리트의 재령 28일 압축강도에 대하여 30%의 하중을 지속적으로 재하하여 재령 4개월까지 크리프에 의한 변형률을 정리한 것이 그림 5이다.

이 그림에서 크리프 변형률은 재하재령에 따라 증가함을 알 수 있으며, 혼화재를 사용하지 않은 보통콘크리트의 크리프 변형률이 가장 큰 값으로 재하재령 4개월에서 약 2500×10^{-6} 의 크리프 변형률을 나타내었다. 혼화재를 혼합한 콘크리트의 크리프 변형률은 TCM4>TCM2>TCM6=TCM8의 순으로 작았으며, 혼화재를 혼합하지 않은 콘크리트의 크리프 변형률은 TCM2 및 TCM 4는 약 1.5배 정도, TCM6 및 TCM8은 약 2배 정도 작게 나타났다. 이는 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 혼합하므로써 시멘트 매트릭스의 조직이 치밀해졌을 뿐만 아니라 TCM6 및 TCM8은 시멘트량이 증가하여 콘크리트가 강도가 증진되었기 때문으로 생각된다.

혼화재 종류에 따른 재생골재 콘크리트의 크리프 변형률을 정리한 것이 그림 6 및 그림 7이다.

그림 6은 플라이애시를 1단계로 혼합한 재생골재 콘크리트의 크리프 변형률을 정리한 그림으로서 규조분말을 혼합한 콘크리트가 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트에 비하여 재하재령에 따른 크리

프 변형률이 약간 컸으며, 재하재령 4개월에서 규조분말을 사용한 콘크리트의 크리프 변형률은 약 2500×10^{-6} 의 값을 나타내었다.

그림 7은 플라이애시를 2단계로 혼합한 재생 골재 콘크리트의 크리프 변형률을 정리한 그림으로서 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 혼합한 콘크리트 크리프 변형률은 재하재령이 증가함에 관계없이 비슷한 값을 나타내었다.

이와 같이 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트가 규조분말을 혼합한 콘크리트에 비하여 크리프 변형률이 작은 이유는 고로슬래그 미분말의 잠재수경성에 의한 영향이 규조분말의 포졸란 활성반응에 보다 약간 크게 작용하였기 때문으로 생각된다. 또한, 플라이애시를 1단계에서 2단계로 변화시킴에 따라 재생골재 콘크리트의 크리프 변형률이 감소하는 이유는 플라이애시량을 감소시키므로 단위시멘트량이 증가하여 재령 28의 압축강도가 증가되었기 때문으로 생각된다.

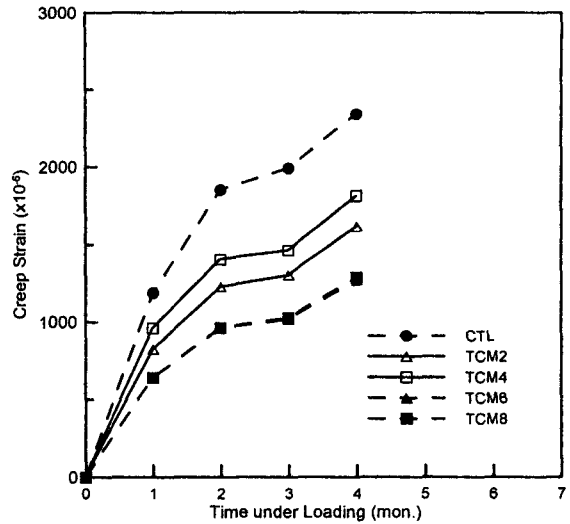


그림 5 재하재령에 따른 크리프 변형률

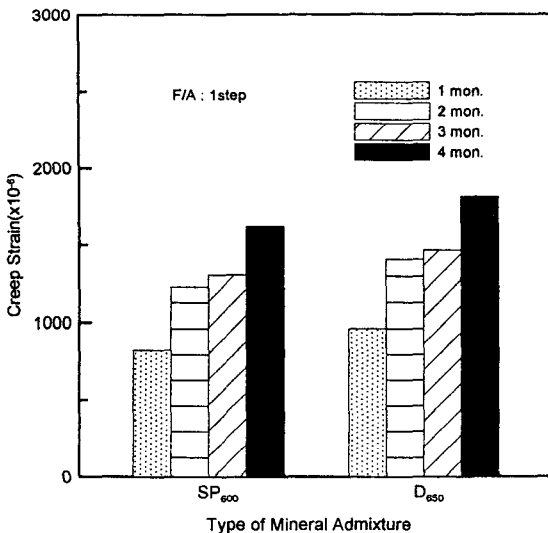


그림 6 혼화재 종류에 따른 크리프 변형률

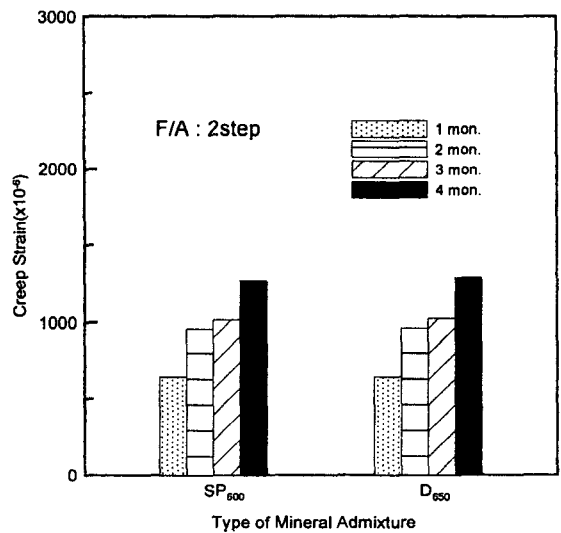


그림 7 혼화재 종류에 따른 크리프 변형률

3.4 압축강도와 크리프계수와의 관계

재생골재 콘크리트의 크리프 변형에 미치는 압축강도의 영향을 알아보기 위하여 재하재령 4개월에서의 크리프 변형에 의한 크리프 계수와 재령 28일 압축강도와의 관계를 정리한 것이 그림 8이다.

이 그림에서 크리프 계수가 감소함에 따라 압축강도가 증가하는 경향을 나타내고 있으며, 크리프

계수와 압축강도와의 관계를 선형적인 관계로 나타낼 경우 상관계수가 0.78인 다음의 상관식 4.8을 얻을 수 있었다.

$$\sigma_c = -30CF + 404 \quad \dots \dots (1)$$

여기서 ,

σ_c : 콘크리트의 재령 28일 압축강도

CF : 재하재령 4개월에서의 크리프 계수

4. 결론

(1) 재생골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 부순골재를 사용한 콘크리트에 비하여 강도발현이 떨어지는 문제점이 있었으나, 플라이애시를 혼합한 재생골재 콘크리트에 고로슬래그 및 규조분말을 혼합하므로써 재생골재 콘크리트의 압축강도를 향상시키는 효과를 얻을 수 있었다.

(2) 혼화재를 혼합한 재생골재 콘크리트의 건조수축 변형률은 시멘트량의 감소로 혼화재를 혼합하지 않은 콘크리트에 비하여 작았으며, 고로슬래그 미분말을 혼합한 경우 규조분말을 혼합한 콘크리트에 비하여 작은 값을 나타내었다. 또한, 플라이애시를 2단계로 혼합하므로써 1단계에 혼합에 비하여 건조수축 변형률이 큰 값을 나타내었다.

(3) 혼화재를 혼합한 재생골재 콘크리트의 크리프 변형률은 부순자갈을 사용한 콘크리트에 비하여 작았으며, 플라이애시를 1단계로 한 경우 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트가 규조분말 혼합 콘크리트보다 작았다. 재생골재 콘크리트의 크리프 계수와 압축강도와의 관계는 크리프 계수가 감소함에 따라 압축강도가 증가하는 선형적인 관계가 있었다.

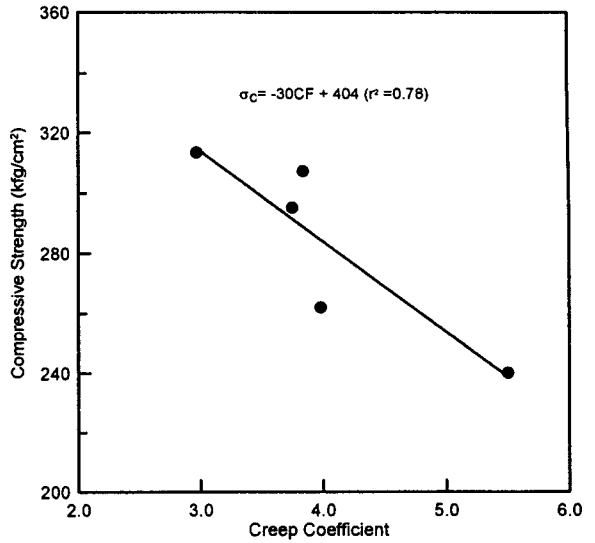


그림 8 크리프계수와 압축강도와의 관계

참고문헌

1. 김무한, “재생골재의 현황 및 재활용방안”, 콘크리트학회지, 제 9권 6호, 1997.12, pp.11-17.
2. Enric Vazquez, “Recycling of Aggregates in Spain”, International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, 2000.9, pp.27-41.
3. 김동환, 임남웅, “시멘트 모르타 및 재생골재를 이용한 콘크리트”, 대한민국 특허 제10-0199998호, 1999. 3.
4. 김형구, 임남웅, 김양배, “폐콘크리트를 이용한 시멘트 벽돌개발에 포졸란 시멘트 효과”, 한국폐기물학회, 추계학술발표회, 2001. 11.
5. 문대중, 임남웅, 김양배, 재생골재를 사용한 콘크리트의 강도에 미치는 포졸란 시멘트 효과, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2001.11, pp.217-220.
6. 문대중, 문한영, 재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도특성, 대한토목학회 논문집, 제 22권 제1-A호, 2002.1, pp.141-150.