

포졸란 재료를 사용한 순환골재 콘크리트의 품질 개선

Improvement on the Properties of Recycled Aggregate Concrete Using Pozzolanic Materials

(2010년 2월 10일 원고접수, 2010년 3월 19일 심사완료/ Received February 10, Accepted March 19, 2010)

문대중^{1)*} 김완중²⁾ 김학수²⁾

주)이제이텍, 기술연구소 호남대학교, 토목환경공학과

Dae-Joong Moon^{1)*} Wan-Jong Kim²⁾ Hak-Soo Kim²⁾

¹⁾EJtech Co., LTD. Seoul, 463-800, Korea

²⁾Honam University Department of Civil & Environmental Eng., Gwangju, 506-090, Korea

Abstract

The aggregate, which does not satisfy the standard of KS F 2573, was selected for this investigation. The 28day compressive strength of recycled aggregate concrete without pozzolan material was 21.7MPa, which was less than the strength of concrete made with crushed stone. However, the compressive strength at 28 days was improved by mixing early rapid hardening cement to the cement at the weight ratio of 2.5%. Furthermore, the compressive strength at 91 days and 180 days increased significantly by adding fly ash, slag powder, and diatom powder. The tensile strength of recycled aggregate concrete with pozzolan material also increased about 40% compared to the general concrete.

Futhermore, the shrinkage and creep of recycled aggregate concrete with fly ash and slag powder was a little decreased that of recycled aggregate concrete with fly ash and diatom powder. Relationship between compressive strength and creep coefficient was shown to the linear relation like $\sigma_c = -30CF + 404$.

키워드 : 포졸란 재료, 순환골재, 강도, 건조수축, 크리프

Keywords : Pozzolanic Materials, Recycled Aggregate, Strength, Shrinkage, Creep

1. 서론

국내에서 발생하는 건설폐기물은 콘크리트 구조물의 노후화, 성능저하 및 용도, 목적의 변경 등에 따른 구조물 해체 등으로 대단위로 증가하고 있으며, 건설폐기물 중 폐콘크리트양은 약 70% 정도 발생되고 있다. 콘크리트 폐기물량은 최근 축조되고 있는 콘크리트 구조물 노후화 및 용도변경 등에 따라 현재 수준의 약 10배 이상이 될 것으로 예상된다.¹⁾

또한, 건설폐기물 중 약 65%를 차지하고 있는 폐콘크리트는 현재까지 국내의 경우 단순히 성토, 매립용재료로 90% 이상 주로 사용 내지는 폐기되어 왔을 뿐, 도로 기층이나 레미콘용 콘크리트 등의 부가가치가 높은 자원으로

서 재활용되지 못하고 있으며, 더구나 이러한 건설폐기물을 처리할 수 있는 매립지의 절대 부족에 따른 폐기물의 처리비용 상승이 큰 부담이 되고 있다. 그러므로 폐콘크리트를 포함한 건설폐기물의 효율적인 처리 및 재활용촉진 기술 개발이 시급히 요구되고 있다.²⁾

폐콘크리트에 대한 처리 및 활용 문제를 선행 경험한 유럽 및 일본 등 선진국에서는 이전부터 폐콘크리트를 건설용 재료인 레미콘용 골재로 환원하고자 하는 리사이클링 연구가 활발히 진행되어 자원 유효이용 및 지구환경보전에 큰 성과를 얻고 있는 실정이다.^{9,10,12)}

국내의 경우, 최근 환경과피를 방지할 목적으로 석산개발, 강사 및 해사 채취 등이 제한을 받게 됨에 따라 건설용 골재 부족현상이 심각해져 콘크리트 기술자들 사이에는 대체골재의 한 방안으로 폐콘크리트를 콘크리트용 순환골재로 재활용화하기 위한 연구에 큰 관심을 나타내고 있다.^{3,4)}

Corresponding author

E-mail : moondaejoong@empal.com

표 1 시멘트 및 포졸란 재료의 화학성분(%)

Sample	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SO ₃	Na ₂ O	L.O.I	etc.
Ordinary Portland Cement	61.4	20.5	6.4	3.0	2.9	2.1	1.2	0.8	1.7
Early Rapid Hardening Cement	60.9	20.6	6.1	2.7	2.9	4.7	-	0.7	1.4
Slag Powder	33.5	44.2	14.0	4.9	0.8	1.4	0.9	0.1	0.2
Fly Ash	4.22	55.0	21.1	1.2	10.9	0.06	1.0	5.0	1.52
Diatom Powder	0.70	84.58	5.31	0.32	2.27	0.27	4.84	1.20	0.51

또한, 세계 표준의 환경기준 및 각종 규제를 주요내용으로 하는 그린라운드의 영향으로 정부의 환경관련 법적 규제가 강화되어 2005년 1월 “건설폐기물의 재활용에 촉진에 관한 법률” 이 시행되었다.

따라서, 자원이 부족한 우리나라의 경우 건설폐기물 중 폐콘크리트를 콘크리트용 골재로 재활용할 경우, 심각한 골재부족 현상을 극복하는데 큰 도움이 될 뿐만 아니라 현재 콘크리트 제조시 사용되고 있는 하천, 강 및 석산 등 골재 산지의 무분별한 채굴을 방지하여 환경파괴를 줄일 수 있으므로 자연생태계를 보존하는데 기여 할 수 있을 것으로 기대된다.²⁾

그러나, 폐콘크리트를 활용한 순환골재는 천연골재와는 달리 시멘트 페이스트 또는 모르타르가 부착되어 있으므로 부착정도에 따라 순환골재의 품질이 크게 달라지는 문제점이 있다. 즉, 순환골재를 분류해 보면 천연골재, 천연골재에 모르타르가 일부 부착된 골재 및 모르타르만의 골재 3종류로서 이들 순환골재는 밀도 및 흡수율의 변동이 크기 때문에 콘크리트용 골재로서 소요의 품질을 유지하기 위해서는 매우 어려움이 있다.^{5,11)}

순환골재를 콘크리트용 골재로 활용하기 위해서는 순환골재 사용 콘크리트의 성질을 향상시켜야 한다. 순환골재를 사용한 콘크리트의 성질을 개선하기 위한 방법으로는 폐콘크리트의 파쇄방법을 변화시켜 고품질의 순환골재 자체를 제조하는 방법과 저품질 순환골재와 포졸란재료를 동시에 사용하여 신모르타르의 품질을 향상시키는 방법으로 분류할 수 있다.⁶⁾

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

2. 실험개요

2.1 사용재료

2.1.1 시멘트 및 포졸란 재료

시멘트는 밀도 3.15g/cm³, 분말도 3,540cm²/g인 보통포틀랜드시멘트(Ordinary Portland Cement, OPC)와 밀도 2.27g/cm³, 분말도 6,230cm²/g인 초조강시멘트(Early Rapid Hardening Cement, ERC)를 사용하였으며, 포졸란 재료로는 밀도 2.15g/cm³, 분말도 4,250cm²/g인 플라이애시(Fly Ash, FA), 밀도 2.90g/cm³, 분말도 4,500cm²/g인 고로슬래그 미분말(Slag Powder, SP) 및 밀도 2.30g/cm³, 분말도 3,500cm²/g 규조분말(Diatom Powder, DT)을 사용하였으며, 그 화학성분은 표 1과 같다.

2.1.2 골재

잔골재는 밀도 2.63g/cm³, 흡수율 1.59인 부순잔골재를 사용하였으며, 굵은골재는 밀도 2.63g/cm³, 흡수율 0.73%인 부순굵은골재(CS)와 밀도 2.48g/cm³, 흡수율 4.25%인 폐 콘크리트 순환굵은골재(순환골재 또는 RA)를 사용하였다. 부순굵은골재 및 순환골재의 물리적 성질은 표 2와 같다.

표 2 부순굵은골재 및 순환골재의 물리적 성질

Aggregate	Gmax (mm)	Density (g/cm ³)	Absorption (%)	F.M.	Unit volume mass (kg/m ³)
Crushed stone	25	2.63	0.73	6.95	1,502
Recycled aggregate	25	2.48	4.25	6.65	1,483

2.1.3 혼화제

고성능감수제(HRWR), 공기연행제(AE)를 사용하였다.

표 3 콘크리트의 배합

Type	Gmax (mm)	Unit weight (kg/m ³)									Chemical admixture (B×%)		Slump (mm)	air (%)	Remark
		OPC	ERC	W	S	G		SP	FA	DT	AE	HRWR			
						CS	RA								
CTL	25	334	-	174	836	933	-	-	-	-	0.15	0.6	100	4.0	Control
TCM1	25	334	-	174	838	-	884	-	-	-	0.25	0.65	140	4.5	RAC
TCM2	25	225.4	8.35	174	820	-	869	16.7	83.5	-	0.5	0.5	115	4.3	FA25
TCM4	25	225.4	8.35	177	817	-	867	-	83.5	16.7	0.6	0.5	115	4.3	FA25
TCM6	25	258.9	8.35	175	825	-	860	16.7	50.1	-	0.35	0.5	110	3.8	FA15
TCM8	25	258.9	8.35	174	823	-	860	-	50.1	16.7	0.4	0.5	110	3.8	FA15

2.2 실험방법

2.2.1 강도 시험

ø10×20cm의 공시체를 재령별 7, 28, 91 및 180일 압축강도는 KS F 2405, 인장강도는 재령 28일의 공시체를 KS F 2423에 준하여 실시하였다.

2.2.2 건조수축 및 크리프 시험

10×10×40 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±2℃, 습도는 60±5%로 하여 시험을 실시하였다.

2.3 배합

콘크리트의 배합은 표 3과 같이 슬럼프 120±20mm, 공기량 4.5±1.5%로 하여 플라이애시를 시멘트 중량에 2단계로 혼합하였으며 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 시멘트 중량에 5% 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 순환골재 품질

순환골재의 밀도 및 흡수율 등을 측정하여 부순굵은골재와 KS 규격 및 순환골재의 KS 규격과 비교, 정리한 것이 (표 4)이다. 이 표에서 순환골재의 밀도 및 흡수율은 각각 2.48g/cm³ 및 4.25%로 부순굵은골재보다 작고 큰 값이었으며, 단위용적중량은 부순굵은골재보다 작은 값을 나타내었다. 또한, 순환골재의 밀도 및 흡수율은 부순굵은골재 KS 규격에 못 미치는 품질이었으며, 순환골재의 KS 규격에도 만족하지 않는 품질임을 알 수 있다. 즉, 순환골재에 부착된 모르타르의 양, 강도 등에 의해 골재의 품질에 크게 영향을 미치는 결과를 얻을 수 있었다.

그림 1은 해체구조물에서 발생되는 폐콘크리트를 파쇄한 순환골재의 입도분포를 알아보기 위하여 부순굵은골재와 비교하여 정리한 것이다. 이 그림에서 부순굵은골재 및 순환골재의 입도는 모두 표준입도 범위에 만족하는 좋은 입도임을 알 수 있었으며, 순환골재의 입도는 부순굵은골재에 비하여 10 및 20mm 크기의 입자가 많이 함유되어 있다고 생각된다.

표 4 순환골재의 품질비교

Items	Recycled aggregate	Crushed stone	KS F 2527 standard (general)	KS F 2573 (recycled aggregate)
Density (g/cm ³)	2.48	2.63	2.5 <	2.5 <
Absorption (%)	4.25	0.73	3 >	3 >
Passing of 0.08mm (%)	0.90	-	1 >	1.0 >
Unit volume mass (kg/m ³)	1,483	1,502	-	-
F.M.	6.65	6.95	-	-

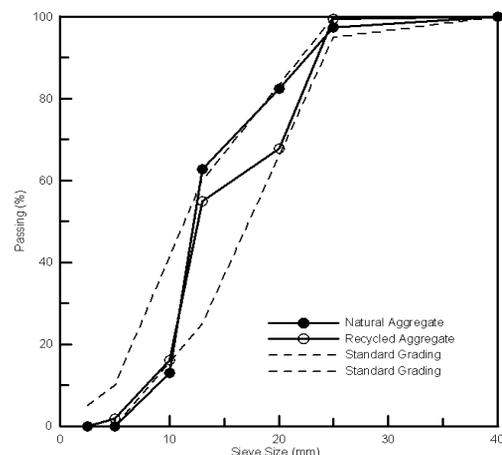


그림 1 부순굵은골재 및 순환골재의 입도분포 곡선

3.2 순환골재 콘크리트의 강도특성

3.2.1 압축강도

순환골재가 콘크리트의 강도발현에 미치는 영향을 알아보기 위하여 부순굵은골재를 사용한 콘크리트의 압축강도와 비교하여 정리한 것이 그림 2이다.

이 그림에서 순환골재를 사용한 콘크리트의 압축강도는 재령 28 및 91일에서 각각 21.7MPa 및 25.1MPa 정도로 부순굵은골재를 사용한 콘크리트에 비하여 각 재령별로 약 10%의 강도감소가 나타났다. 이는 기존의 연구결과와 비슷한 결과로서 순환골재의 품질이 부순굵은골재에 비하여 떨어지므로 콘크리트의 강도가 작게 나타난 것으로 생각된다. 플라이애시를 1단계 및 2단계로 혼합한 순환골재 사용 콘크리트의 압축강도를 검토한 결과, 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 사용한 순환골재 콘크리트는 혼화제를 사용하지 않은 콘크리트와 비교하여 재령에 관계없이 강도가 크게 증진되어 재령 180일 압축강도는 재령 28일과 비교하여 약 40% 정도의 강도증진을 나타내었다.

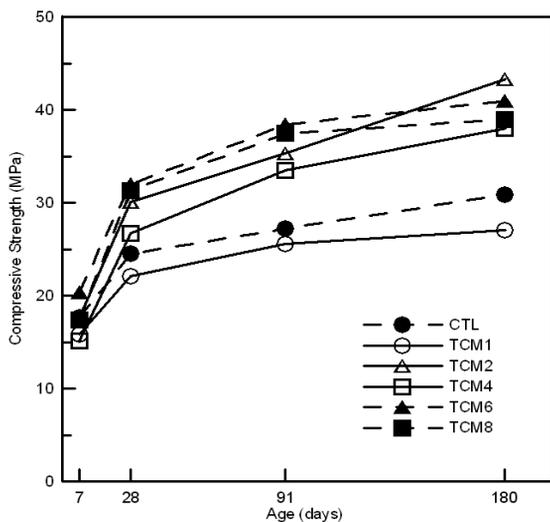


그림 2. 콘크리트의 압축강도

이와 같이 보통포틀랜드시멘트에 플라이애시와 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 대체하여 사용한 순환골재 콘크리트의 압축강도가 크게 증가하는 이유는 고로슬래그 미분말의 수화반응을 촉진시키는 잠재수경성과 플라이애시 및 규조분말의 포졸란 반응에 의한 영향으로 생각된다.⁶⁾

3.2.2 인장강도

그림 3은 순환골재 콘크리트의 인장강도를 정리한 그림이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 순환골재 사용 콘크리트에 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 혼합하므로써 순환

골재 콘크리트의 인장강도는 보통콘크리트에 비하여 약간 증가하는 경향이었으며, 플라이애시를 15%로 혼합하고 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 혼합한 순환골재 콘크리트의 인장강도는 보통콘크리트에 비하여 41% 정도 크게 증가하였다. 한편, 고로슬래그 미분말 및 규조분말의 사용에 관계없이 순환골재 콘크리트의 인장강도는 비슷한 경향이였다.

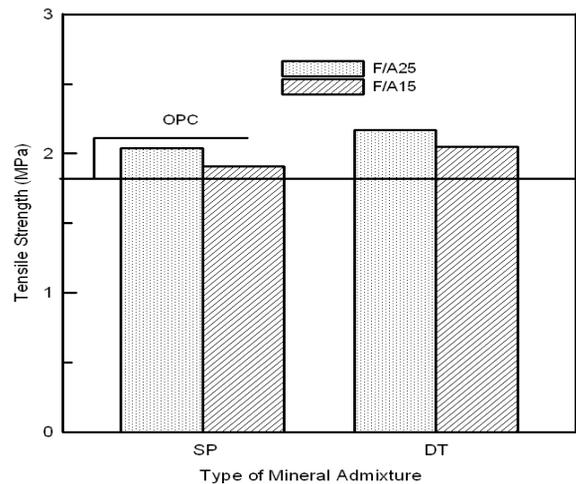


그림 3 콘크리트의 인장강도

이상과 같이 고로슬래그 미분말 및 규조분말이 순환골재 콘크리트의 인장강도에 미치는 영향을 명확히 규명하기는 곤란하지만, 혼화제를 혼합하므로써 혼화제를 사용하지 않은 보통콘크리트에 비하여 강도가 증진되는 효과가 있음을 알 수 있었다.

3.2.3 포졸란 재료에 의한 강도발현 효과

플라이애시, 고로슬래그 미분말 및 규조분말이 순환골재 콘크리트의 강도증진에 미치는 영향을 알아보기 위하여 재령별 강도 및 식 (1)으로부터 구한 강도증진 효과율을 정리한 것이 표 5이다. 이 표에서 포졸란재료에 의한 순환골재 콘크리트의 재령 28일 이후 압축강도 발현율은 20% 이상이였으며, 인장강도 발현율도 10.4~40.5% 정도를 나타내었다.

$$SDR = \frac{f_{TCM} - f_{TCM}}{f_{TCM}} \dots\dots (1)$$

SDR : 포졸란재료에 의한 순환골재 콘크리트의 압축 및 인장강도 발현율

f_{TCM} : 포졸란재료를 혼합한 순환골재 콘크리트의 재령별 압축 및 인장강도

f_{TCM} : 포졸란재료를 혼합하지 않은 순환골재 콘크리트의 재령별 압축 및 인장강도

표 5 콘크리트의 압축강도 및 인장강도 강도발현율

Type	Compressive strength(f_c)								Tensile strength(f_t)		
	7 days		28 days		91 days		180 days		28days		
	MPa	SDR(%)	MPa	SDRF(%)	MPa	SDR(%)	MPa	SDR(%)	MPa	SDR(%)	σ_t / σ_c
TCM1	15.5	0	21.7	0	25.1	0	26.5	0	1.73	0	1/12.5
TCM2	17.3	11.7	29.5	36.1	34.7	38.2	42.4	60.2	2.05	18.5	1/14.4
TCM4	14.9	-4.1	26.2	20.8	32.8	30.7	37.2	40.5	1.91	10.4	1/13.7
TCM6	20.0	28.9	31.4	44.5	37.7	50.1	40.2	51.5	2.43	40.5	1/12.9
TCM8	17.1	10.2	30.7	41.7	36.7	46.3	38.2	44.2	2.05	18.5	1/15.0

플라이애시, 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 혼합한 순환골재 콘크리트의 각 재령별 압축강도 발현율을 정리한 것이 그림 4이다. 이 그림에서 포졸란재료를 혼합하므로써 재령 28일 이후의 강도 발현율이 크게 나타났다.^{6,7)}

또한, 플라이애시를 15%로 혼합한 경우가 25%로 혼합한 경우에 비하여 강도 발현율이 약간 크게 나타났다.

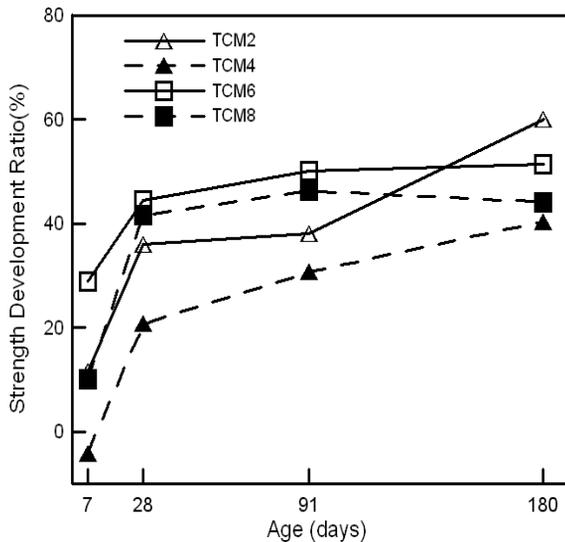


그림 4 순환골재 콘크리트의 압축강도 발현율

3.3 건조수축

순환골재 사용 콘크리트의 재령 160일까지 건조수축에 의한 변형률을 정리한 것이 그림 5이다.

이 그림에서 건조수축 변형률은 재령에 따라 증가함을 알 수 있으며, 재령 160일에서 혼화재를 사용하지 않은 보통콘크리트의 건조수축 변형률이 가장 큰 값으로 약 800×10^{-6} 의 건조수축 변형률을 나타내었다. 혼화재를 혼합한 콘크리트의 건조수축 변형률은 재령160일에서 $670 \times 10^{-6} \sim 720 \times 10^{-6}$ 정도로 혼화재를 혼합하지 않은 콘크

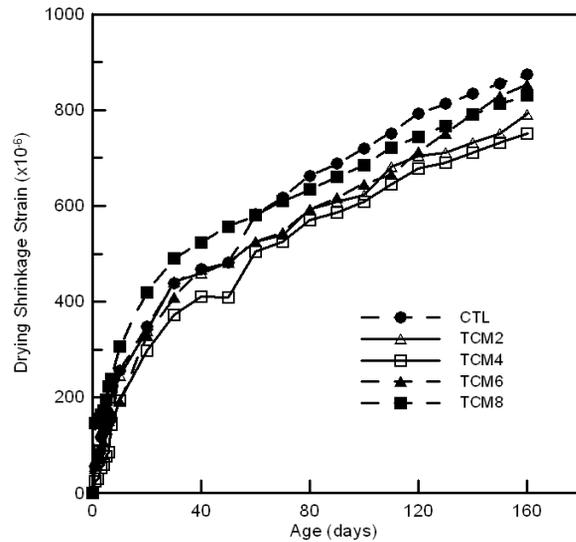


그림 5 재령에 따른 건조수축 변형률

리트에 비하여 약 10~15% 정도 작았다.

또한, TCM6 및 TCM8이 TCM2 및 TCM4에 비하여 건조수축 변형률이 약간 큼을 알 수 있다. 이와 같이 혼화재 혼합한 콘크리트의 건조수축 변형률이 혼화재를 혼합하지 않은 콘크리트에 비하여 약간 작게 나타나는 이유는 혼화재를 혼합하므로써 포졸란 반응에 의한 장기강도 증가 효과에 의한 영향으로 판단된다.^{6,8)}

혼화재 종류에 따른 영향을 알아보기 위하여 순환골재 콘크리트의 건조수축 변형률을 정리한 것이 그림 6 및 그림 7이다.

그림 6은 플라이애시를 25%로 혼합한 순환골재 콘크리트의 건조수축 변형률을 정리한 그림으로서 혼화재의 종류에 관계없이 순환골재 콘크리트의 건조수축 변형률은 재령에 따라 비슷한 값을 나타내었다. 반면에 그림 7은 플라이애시를 15%로 혼합한 순환골재 콘크리트의 건조수축 변형률을 정리한 그림으로서 규조분말을 혼합한 순환골재

콘크리트의 건조수축 변형률이 고로슬래그 미분말을 혼합한 순환골재 콘크리트에 비하여 재령에 따라 약간씩 큰 값이었다. 즉, 재령 4개월에서 규조분말을 혼합한 순환골재 콘크리트의 건조수축 변형률은 고로슬래그 미분말을 혼합한 순환골재 콘크리트에 비하여 약 4% 정도 큰 값을 나타내었다.

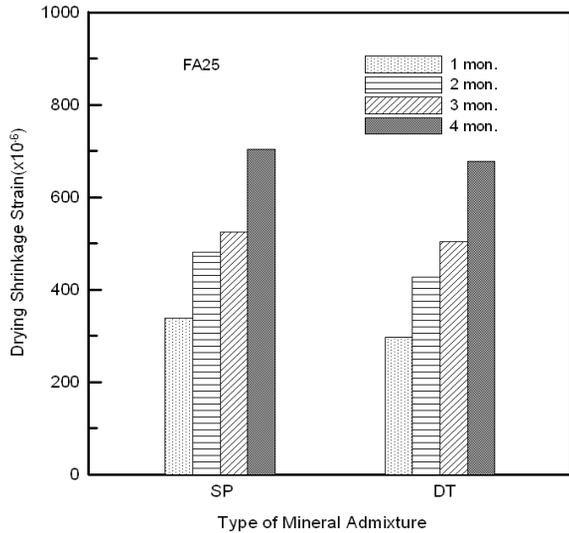


그림 6 혼화제 종류에 따른 건조수축 변형률(FA25)

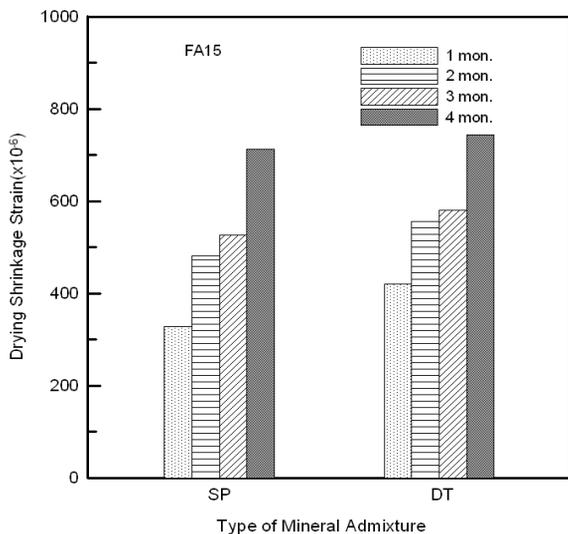


그림 7 혼화제 종류에 따른 건조수축 변형률(FA15)

3.4 크리프

순환골재 사용 콘크리트의 재령 28일 압축강도에 대하여 30%의 하중을 지속적으로 재하하여 재령 160일까지 크리프에 의한 변형률을 정리한 것이 그림 8이다.

이 그림에서 크리프 변형률은 재령에 따라 증가함을 알

수 있으며, 혼화제를 사용하지 않은 보통콘크리트의 크리프 변형률이 가장 큰 값으로 재령 160일에서 약 2500×10^{-6} 의 크리프 변형률을 나타내었다. 혼화제를 혼합한 콘크리트의 크리프 변형률은 TCM4 > TCM2 > TCM6 = TCM8의 순으로 작았으며, 혼화제를 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.

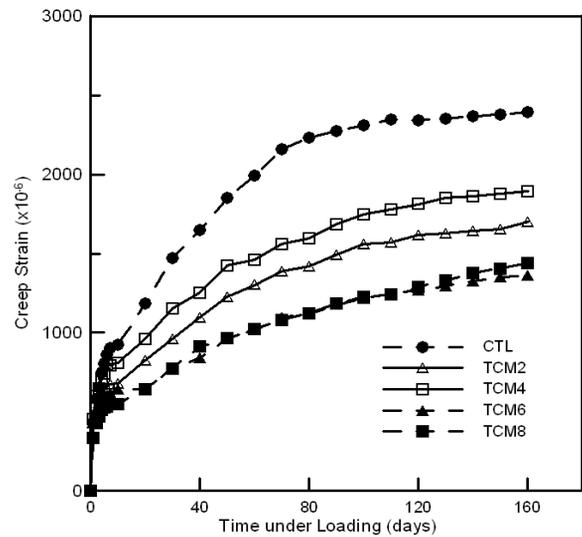


그림 8 재령에 따른 크리프 변형률

혼화제 종류에 따른 순환골재 콘크리트의 크리프 변형률을 정리한 것이 그림 9 및 그림 10이다.

그림 9는 플라이애시를 25%로 혼합한 순환골재 콘크리트의 크리프 변형률을 정리한 그림으로서 규조분말을 혼합한 콘크리트가 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트에 비하여 재령에 따른 크리프 변형률이 약간 컸으며, 재령 4개월에서 규조분말을 사용한 콘크리트의 크리프 변형률은 약 2500×10^{-6} 의 값을 나타내었다.

그림 10은 플라이애시를 15%로 혼합한 순환골재 콘크리트의 크리프 변형률을 정리한 그림으로서 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 혼합한 콘크리트 크리프 변형률은 재령이 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 작용하

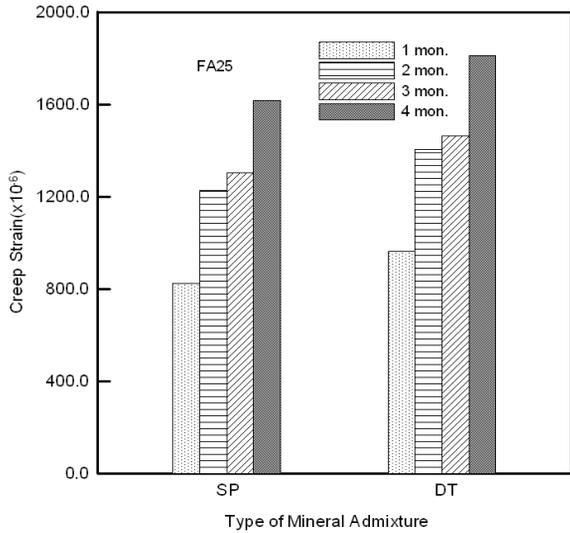


그림 9 혼화재 종류에 따른 크리프 변형률

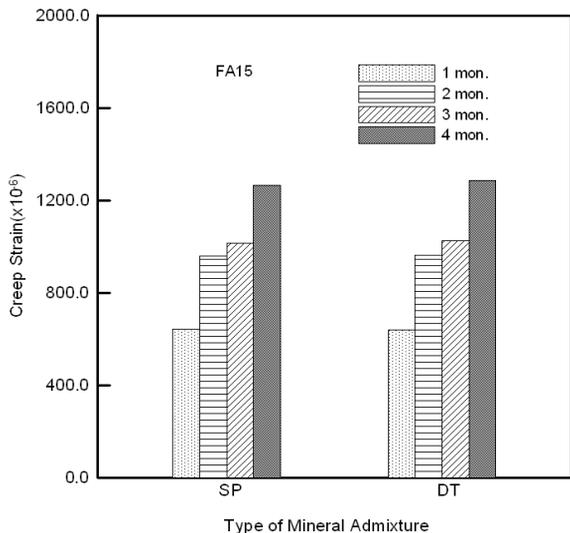


그림 10 혼화재 종류에 따른 크리프 변형률

였기 때문에 생각된다. 또한, 플라이애시를 25%에서 15%로 변화시킴에 따라 순환골재 콘크리트의 크리프 변형률이 감소하는 이유는 플라이애시량을 감소시키므로 단위 시멘트량이 증가하여 재령 28의 압축강도가 증가되었기 때문으로 생각된다.

3.4 압축강도와 크리프계수와와의 관계

순환골재 콘크리트의 크리프 변형에 미치는 압축강도의 영향을 알아보기 위하여 재령 4개월에서의 크리프 변형에 의한 크리프 계수와 재령 28일 압축강도와의 관계를 정리한 것이 그림 11이다.

이 그림에서 크리프 계수가 감소함에 따라 압축강도가

증가하는 경향을 나타내고 있으며, 크리프 계수와 압축강도와의 관계를 선형적인 관계로 나타낼 경우 상관계수가 0.78인 다음의 상관식 (2)를 얻을 수 있었다.

$$f_c = -30CF + 404 \quad \text{..... (2)}$$

여기서 ,

f_c : 콘크리트의 재령 28일 압축강도

CF : 재령 4개월에서의 크리프 계수

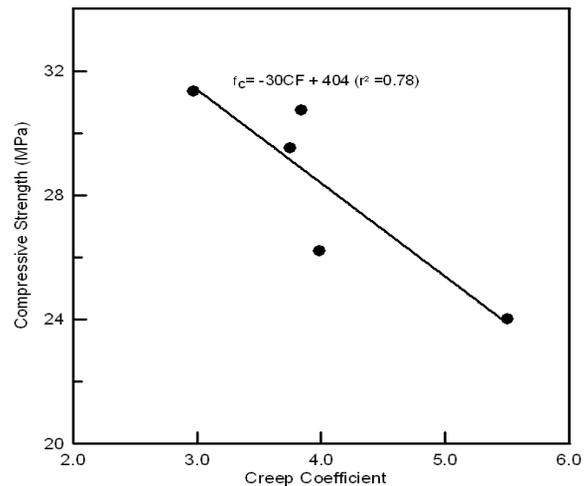


그림 11 크리프계수와 압축강도와의 관계

4. 결론

순환골재를 사용한 콘크리트의 품질을 개선하기 위하여 초조강시멘트를 2.5%, 플라이애시 혼합률을 15%, 25%로 변화시키고, 고로슬래그 미분말 및 규조분말을 5% 혼합하여 제조한 콘크리트의 품질특성을 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 순환골재의 비중 및 흡수율은 각각 2.48 및 4.25%로 부순굼은골재의 품질에 못 미치는 값이었으나, 순환골재의 품질기준 KS F 2573에 만족하였다. 순환골재의 입도는 표준 입도곡선 범위에 만족하는 좋은 입도이었다.
- (2) 순환골재를 사용한 순환골재 콘크리트(TCM1)의 재령 180일 압축강도(26.5MPa)는 부순굼은골재를 사용한 일반콘크리트의 압축강도(30.3MPa)보다 3.8MPa 정도 작았다. 순환골재를 사용한 콘크리트에 포졸란재료를 혼합하므로써 재령 180일 압축강도는 37.25~42.4MPa로서, 부순굼은골재를 사용한 일반콘크리트의 압축강도보다 약 40.5~60.2% 정도 강도 발현율이 있었다.
- (3) 혼화재를 혼합한 순환골재 콘크리트의 건조수축 변형

물은 시멘트량의 감소로 혼화재를 혼합하지 않은 콘크리트에 비하여 작았으며, 고로슬래그 미분말을 혼합한 경우 규조분말을 혼합한 콘크리트에 비하여 작은 값을 나타내었다. 또한, 플라이애시를 15%로 혼합하므로써 25%에 혼합에 비하여 건조수축 변형률이 큰 값을 나타내었다.

- (4) 혼화재를 혼합한 순환골재 콘크리트의 크리프 변형률은 부순굵은골재를 사용한 콘크리트에 비하여 작았으며, 플라이애시를 25%로 한 경우 고로슬래그 미분말을 혼합한 콘크리트가 규조분말 혼합 콘크리트보다 작았다. 순환골재 콘크리트의 크리프 계수와 압축강도와의 관계는 크리프 계수가 감소함에 따라 압축강도가 증가하는 선형적인 관계가 있었다.

참고문헌

1. 환경부, “전국 폐기물 발생 및 처리현황”, 폐기물통계, 환경부, 2004.
2. 김광임, 2002. 10, “폐기물 재활용 촉진을 위한 정책방안”, ‘폐기물 재활용의 오늘과 내일’, 자원순환형 사회구축을 위한 국제 심포지엄, pp.75-82.
3. 김양배, 김형구, 임남웅, “폐콘크리트를 이용한 시멘트 벽돌개발에 포졸란 시멘트 효과”, 한국폐기물학회, 추계학술발표회, 2001. 11
4. 김병윤, 서치호, “순환골재 콘크리트의 내구특성에 관한 실험적 연구”, 콘크리트학회 논문집, Vol.17 No.3, pp. 385-392
5. 문대중, 문한영, “재생골재의 품질평가 및 재생골재 콘크리트의 강도특성”, 대한토목학회 논문집, 제 22권

제1-A호, 2002.1, pp.141-150

6. 김양배, 문대중, 임남웅, “재생골재를 사용한 콘크리트의 강도에 미치는 포졸란 시멘트 효과”, 한국콘크리트학회 가을학술발표회 논문집, 2001.11, pp.217-220
7. 문일환, 박철우, 심종성, 이희철, “순환골재 및 플라이애쉬 혼입률에 따른 순환골재 콘크리트의 압축강도, 염소이온 투과 및 중성화 저항성 평가”, 콘크리트학회 논문집, Vol.17 No.5, 2005.10, pp.793-801
8. 이진용, “재생콘크리트의 강도발현 및 건조수축 특성 연구”, 콘크리트학회지, Vol.9 No.6, 1997.12, pp.217-223
9. Enric Vazquez, “Recycling of Aggregates in Spain”, International Workshop on Recycled Concrete, JSPS 76 Committee on Construction Materials, 2000.9, pp.27-41
10. M. Barra, M. Etxeberria, A. Marí, and E. Vázquez, “Influence of amount of recycled coarse aggregates and production process on properties of recycled aggregate concrete”, Cement and Concrete Research, Volume 37, Issue 5, May 2007, pp.735-742
11. Keun-Hyeok Yang, Heon-Soo Chung, and Ashraf F. Ashour, “Influence of Type and Replacement Level of Recycled Aggregates on Concrete Properties”, ACI Materials, Volume 105, Issue 3, May 1, 2008, pp.289-296
12. 飯田一彦, 佐伯竜彦, 長瀧重義, “セメントをめたコンクリートのリサイクル,” 콘크리트工學論文集, 第11卷, 第3号, 2000. 9, pp. 139-144.

포졸란 재료를 사용한 순환골재 콘크리트의 품질 개선

순환골재는 KS F 2573에 만족하지 않는 골재를 사용하였다. 포졸란재료를 혼합하지 않은 순환골재 콘크리트의 재령 28일 압축강도는 21.7MPa 정도로 부순굵은골재를 사용한 콘크리트보다 강도발현이 작게 나타났다. 반면에 조강포틀랜드시멘트를 시멘트 중량에 2.5% 혼합하므로써 재령 28일 압축강도가 향상되었으며, 플라이애시와 고로슬래그 미분말 및 규조분말의 영향으로 재령 91일 및 180일 압축강도 증진효과가 크게 나타났다. 포졸란재료를 혼합한 순환골재 콘크리트의 인장강도도 보통콘크리트에 비하여 약 40% 정도의 강도증진 효과가 있었다.

아울러 플라이애시와 고로슬래그 미분말을 혼합한 순환골재 콘크리트의 건조수축 및 크리프는 플라이애시와 규조분말을 사용한 순환골재 콘크리트에 비하여 약간 감소하였다. 순환골재 콘크리트의 압축강도와 크리프계수와의 관계는 $\sigma_c = -30CF + 404$ 와 같은 선형성이 나타났다.