무기계 천연광물을 혼입한 콘크리트의 공학적 특성에 관한 연구

A Study on Properties Engineering of Concrete Using Natural Inorganic Minerals

김 성 배* 송 하 원** 박 선 규*** 박 라 혁****
Kim, Sung-Bae Song, Ha-Won Park, Sun-Gyu Park, La-Hyuk

Abstract

Due to increased demands for durable and high-performance concrete structures, the use of admixtures has become essential. In this paper, material properties, and durability of concrete mixed with natural inorganic minerals(R-1) are obtained from test results. Through the comparisons with OPC(Ordinary Portland Cement) concrete, the R-1 concrete shows improved compressive strength and durability.

키워드 : 콘크리트 내구성, 무기계 천연광물(R-1)
Keywords : concrete durability, natural inorganic minerals(R-1)

1. 서 론

현재 일반적으로 사용되어지고 있는 유기·혼합물계 액체방수제의 경우, 시멘트 및 모르터에 방수액을 혼합하여 시멘트풀(Slurry)과 방수모르터를 콘크리트면 또는 조직면에 피막을 접착시켜서 물이 새지 않도록 하는데 주로 이용되어지고 있다. 이러한 액체방수제는 콘크리트 또는 조직면에 습기가 있어도 시공이 가능하며 작업이 용이하지만, 재질의 특성상 진동이나 균열이 예상되는 곳에는 부적합한 것으로 인식되어지고 있다.

한편, 무기계 천연광물(이하, R-1)은 시멘트의 혼화재료로 콘크리트 배합시 약 10% 전·후를 시멘트에 혼입 사용함으로써 방수성능 뿐만 콘크리트의 각종 물성을 개선시키는 효과가 있으며[1], 수화초기에 에트링가이트의 생성과 판상수화물에 의해 초기강도를 증진시키고, 중장기적으로 시멘트의 수산화칼슘에 의한 포졸란 반응으로 콘크리트의 조직이 치밀화되어 강도 및 내구성을 향상시키는 것으로 예상되어진다.

이에 본 연구에서는 콘크리트의 시공성 및 역학적 특성을

향상시키기 위하여 사용되는 포졸란계 혼화재료의 일종인 무 기계 천연광물을 콘크리트에 적용할 경우, R-1이 콘크리트의 성능향상에 미치는 영향을 검토하기 위하여 R-1을 10% 혼입한 콘크리트의 재령에 따른 압축강도 및 내구성능을 보통 포틀랜드 시멘트(이하, OPC)와 비교·평가하여 혼화재료로써의 활용성을 검토하였다.

* 연세대학교 토목공학과 석사과정, 정회원
** 연세대학교 토목공학과 교수, 정회원
*** 연세대학교 토목공학과 연구교수, 정회원
**** (주)대한아이엠 기술연구소 수석연구원, 정회원

2. 실험개요

2.1 사용재료 및 배합

1) 시멘트, 골재 및 혼화재

본 연구에 사용한 시멘트는 국내 S사에서 생산한 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며 굵은 골재는 최대치수 25mm인 부순돌을 사용하고 잔골재는 5mm 이하의 세척사를 사용하였다. 혼화재는 국내 D사에서 생산한 R-1을 실험에 사용하였다. R-1은 천연광물질 포졸란계 재료로서 화학성분은 표 1과 같다.

2) 배합

수차례의 시험비빔을 통하여 표2와 같이 배합을 결정하였다.

또한, 본 배합의 유동성을 나타내는 슬럼프 값은 대략 15cm전후의 값을 나타냈으며, R-1을 10% 혼입한 콘크리트의 슬럼프 값이 무혼입 콘크리트보다 다소 높은 것으로 나타났으며, 공기량도 일반콘크리트에 비해 다소 높게 나타났다.

2.2 실험방법

1) 압축강도 시험

압축강도 시험은 KS F 2405에 따라 φ10×20cm의 원주형 공시체를 제작하여 재령 3일, 7일, 28일, 91일에 각각 3개씩 측정하였다.

2) 동결융해 저항시험

동결융해 저항성 시험은 KS F 2456에 준하여 공시체는 φ 10×20cm의 원주형 공시체로 재령 28일에 시험을 시작하였다. 이 실험은 콘크리트 구조물이 동결융해 작용을 받아 콘크리트의 팽창압력이 인장강도를 넘었을 때 콘크리트에 가해지는 손상정도를 측정하는 실험으로 온도조건은 -18±2~4±

표 1. R-1의 화학성분

구분	화 학 성 분(%)										
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	K_2O	Na_2O	I/L	Cl (ppm)	수 분
R-1	43.55	10.31	4.04	15.84	3.53	13.51	1.10	2.90	4.75	206	0.65

2℃로 4시간을 1cycle로 설정, 총 300cycle를 원칙으로 시험하고 100, 200, 300cycle 에서의 동탄성계수 및 동결융해 시험후의 압축강도를 측정하여 R-1을 10% 혼입한 시험체와 OPC 시험체의 동결융해에 대한 저항성을 비교·평가하였다.

표 2. 콘크리트의 배합표

시험체 종류	W/C (%)	S/A (%)	C (kg)	S (kg)	G (kg)	R-1 (kg)
OPC	60	45.6	330	802	957	-
R-1 (10%)	60	44.6	330	769	957	33

3) 탄산화 시험

탄산화 시험은 콘크리트의 중성화에 대한 저항성을 조기에 판단하기 위해서 탄산가스(CO_2)의 농도를 조절하여 콘크리트에 대한 내구성을 고찰하기 위한 실험으로 탄산화 시험시 온도조건은 20±2℃, 습도 50±5%, CO_2 농도 5%의 환경조건하에서 탄산화촉진 실험을 실시하였고, 측정 재령은 탄산화 시험 개시 후 1, 4, 8주에 페놀프탈레인 1%용액을 표면에 도포하여 탄산화정도를 측정하였다.

3. 실험 결과 및 분석

표 3. 압축강도 시험 결과

시험체 종류	재령별 압축강도(MPa)			
	3일	7일	28일	91일
OPC	8.2	16.8	24.6	28.3
R-1(10%)	16.8	20.4	29.4	32.4

3.1 콘크리트의 압축강도 분석

R-1 미분말을 10% 혼입한 콘크리트와 OPC 콘크리트를 대상으로 양생방법, 양생조건을 동일하게 하여 재령에 따른 콘크리트의 강도발현에 미치는 영향을 검토하였다.

그림 1은 재령에 따른 R-1과 OPC 콘크리트의 압축강도 발현특성을 나타낸다. R-1을 10% 혼입한 콘크리트는 재령초기인 3일에서 OPC 시험체에 비하여 압축강도가 크게 나타났다. 이는 R-1의 혼입으로 활성실리카와 수화생성물인 수산화칼슘과의 반응으로 인한 수화물의 생성으로 콘크리트의 내부구조가 치밀화되어 압축강도가 증가한 것으로 사료된다.

장기강도에서 상대적으로 높은 값을 갖는데, 이는 잠재수경성과 장기 포졸란 반응성에 기인한 것으로 판단된다. 결과적으로 수화초기부터 포졸란 반응이 활성화되어 콘크리트의 압축강도가 초기재령에서부터 장기에 이르기까지 전반적으로 우수한 것으로 나타났으며, 특히 초기 재령에 우수한 것으로 나타났다.

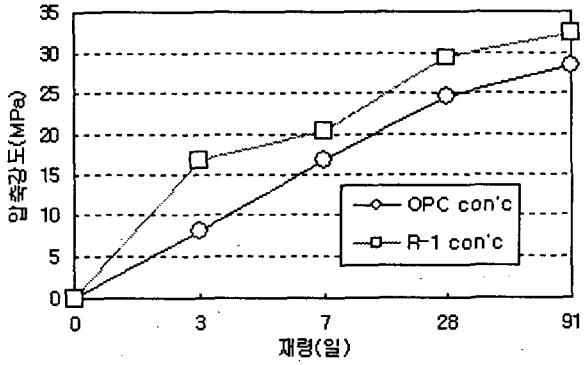

그림 1. 압축강도 결과

한편, 자기충전형 고유동 콘크리트는 소정의 유동성 및 재료 분리저항성을 확보하기 위해 다량의 분체가 필요한데, 이 경우 분체를 시멘트로 전부 사용하면 경화과정에서 발생하는 수화열로 인한 균열이 발생할 수 있으나, 시멘트 수화반응에 큰 영향을 미치지 않는 R-1 미분말을 시멘트에 대해 혼입하여 사용하면, 소정의 유동성 및 재료분리 저항성을 손쉽게 확보할 수 있을 뿐만 아니라 시멘트량의 감소에 의한 수화열을 저감시킬 수 있어 실제 구조물에 유용하게 이용할 수 있을 것으로 판단된다.

3.2 동결융해저항성 결과 분석

표 4는 시험 종료 cycle인 300cycle에서의 상대동탄성계수와 압축강도를 나타낸 것이며, 그림 2와 3은 해당 값을 그래프로 나타낸 것이다.

내구성 지수는 모든 시험이 종료된 300cycle에서의 상대동탄성계수 값으로 콘크리트의 내구성 지수(DF)는 각각 58,

표 4. 동결융해 저항성 시험결과

시험항목	상대동탄성계수(%)			압축강도 (MPa)		압축강도비(%)
	100cycle	200cycle	300cycle	동결융해 전	동결융해 후	
OPC	84	72	58	24.6	15.4	63
R-1(10%)	94	85	78	29.4	23.4	80

78%로 R-1을 10% 혼입한 시험체가 상대적으로 높게 나타났다. 압축강도 시험에서도 OPC 시험체보다 동결융해 후 압축강도 저하가 낮게 나타나 동결융해에 대한 저항성이 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

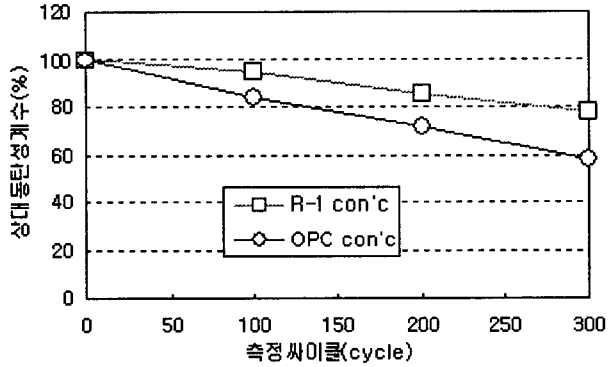

그림 2. 상대동탄성계수

3.3 탄산화시험 결과 분석

탄산화촉진 실험을 실시한 후 해당 재령에서 단면을 절단하여 1%의 페놀프탈레인 용액을 도포하여 사진 1과 같이 변색된 길이를 측정하였다.

그림 4에서 보는 바와 같이 R-1을 10% 혼입한 시험체와 OPC 시험체와의 탄산화 깊이가 측정되었으며, 재령1주, 4주, 8주의 탄산화 깊이비가 각각 0.53, 0.40, 0.39로 나타났다.

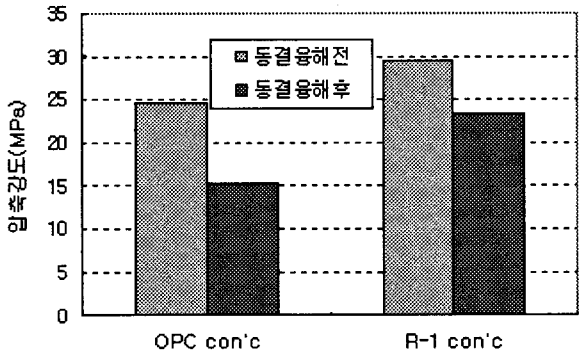

그림 3. 동결융해 전·후의 압축강도

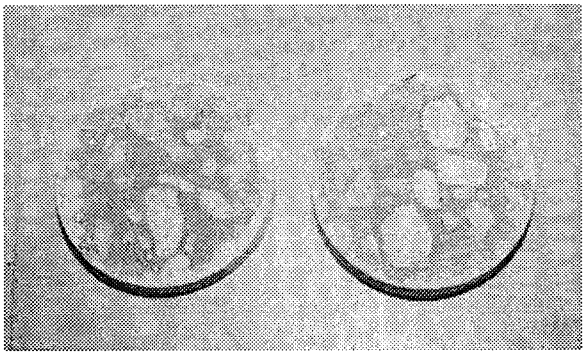

사진 1. 중성화 시험

시간이 경과할수록 OPC 시험체의 탄산화 깊이가 빠르게 진행되는 반면 R-1을 10% 혼입한 시험체는 상대적으로 느리게 진행됨을 알 수 있다. 따라서 R-1을 10% 혼입한 시험체가 OPC 시험체에 비해 내구성이 우수한 것으로 나타났다.

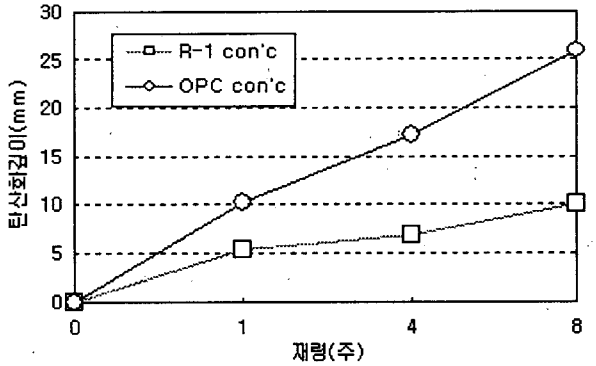

그림 4. 탄산화 시험 결과

3.4 실험 결과의 검토 및 분석

사진 2는 R-1을 10%혼입한 페이스트와 OPC페이스트를 재령 3일, 7일, 28일에 따라 주사전자현미경(SEM)을 사용하여 촬영한 사진이다.

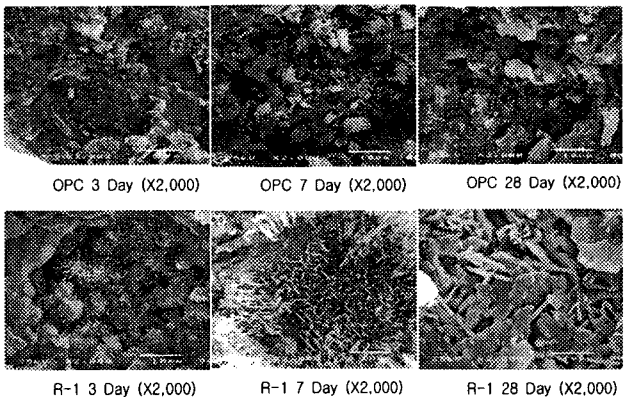

사진 2. 재령에 따른 OPC 콘크리트와 R-1 콘크리트의 미세구조 변화

일반 OPC와 비교해서 R-1을 10%혼입한 경우 표면에 분포된 공극이 적고, 내부 조직이 치밀해짐을 알 수 있다. 이는 R-1에 포함된 황산염에 의해 수화초기에 다량의 에트링가이트가 생성되고 수산화칼슘에 의한 포졸란 반응에 의해 생성된 다량의 판상 수화생성물이 지속적으로 반응하여 경화체 내부에서 치밀한 수화생성물을 생성시킨 결과라고 판단된다.

4. 결 론

R-1의 혼화재료로써의 사용성을 검토하기 위한 콘크리트의 기초물성에 대한 실험으로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

-R-1을 혼입한 콘크리트의 초기 압축강도는 무혼입에 비하여 약간 높은 것으로 나타났으며, 장기재령에서는 상대적으로 높은 강도발현 특성을 나타냈다.

-동결융해 실험 결과로부터 300cycle까지의 상대동탄성계수 값은 OPC에 비해 상대적으로 높아 내구성능이 우수한 것으로 판명되었다. 이는 R-1에 포함된 다량의 황산염에 의해 에트링가이트가 장기간에 걸쳐 안정적으로 존재하며, 지속적인 수화상의 전이로 공극을 충진해 나감으로써 내부구조가 개선되어 내구성이 증대된 것으로 판단된다.

-R-1을 혼입한 콘크리트의 중성화 억제 효과는 높은 것으로 나타났다. 재령 1주에서 2배 이상의 중성화 억제 효과를 보이며 시간이 경과 할수록 중성화 억제 효과는 더욱 증가하는 것으로 나타났다. 이는 포졸란 반응에 의해 내부 미세조직이 치밀해져 R-1의 혼입이 중성화의 진행속도를 억제하는데 큰 효과가 있는 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. 김성배, 박선규, 송하원, 변근주, 김재영, "무기계 천연광물을 사용한 모르타르의 투수계수 특성", 한국 콘크리트학회 봄 학술발표회 논문집, 2005. pp.445~448.
2. 日本コンクリート工學協會, 反應モデル解析研究委員會報告書(Ⅰ), 1996. 5
3. 세진사, 포틀랜드시멘트 및 콘크리트, 1990. 6