

MgO를 혼합한 콘크리트의 내구특성 평가에 관한 실험적 연구

An Experimental Study on the Durability of Concrete adding MgO-Type Expansive Agent

김 태 상* 장 봉 석** 정 상 화*** 김 주 형****
Kim, Tae Sang Jang, Bong Seok Jung, Sang Hwa Kim, Joo Hyung

ABSTRACT

MgO powder-mixed concrete, expanded at the lower temperature around 850~1000 degree celcius, might have long-term expansibility, which could remunerate for the contraction of concrete with delayed expansion, and through the process, the crack resistance of mass concrete might be improved. Currently used expandable concrete additive has three different types : CSA, CaO and MgO. In this study, therefore, such tests as carbonation, chloride diffusivity, freezing-thawing resistance and sulfate resistance after 56 days' curing were implemented and compared the results with the concrete with no MgO mixed to evaluate the durability of 5% MgO-mixed concrete after longer period of time. The degree of hydration for the MgO-mixed cement paste was analyzed after 1 day, 3 days, 7 days, 28 days, and 56 days using SEM, XRD, DSC.

요 약

850℃~1000℃ 정도의 저온에서 소성된 MgO 분말을 사용한 콘크리트는 장기적인 팽창성을 가지게 되며, 이러한 팽창의 특성은 지연팽창을 통하여 콘크리트의 수축을 보상하는 특성을 지니게 된다. 이를 통하여 매스 콘크리트의 균열저항성능의 개선 효과를 기대할 수 있다. 현재 사용되는 팽창성 콘크리트 혼화재료는 에트린자이트형(CSA), 산화칼슘(CaO)형, 산화마그네슘형(MgO)가 있다. 본 연구에서는 5%의 MgO를 사용한 콘크리트의 장기재령에서의 내구특성을 평가하기 위하여 56일 양생한 후 탄산화, 염화물 확산계수, 동결융해 저항성, 황산염 저항성 실험을 실시하여, MgO를 혼합하지 않은 콘크리트와 비교하였다. 또한 10%의 MgO를 넣은 시멘트 페이스트를 대상으로 1일, 3일, 7일, 28일, 56일에 수화정도를 SEM, XRD, DSC 등을 통하여 분석하였다.

*정회원, (재)한국건자재시험연구원 선임연구원

**정회원, 한국수자원공사 수자원연구원 선임연구원, 공학박사

***정회원, (재)한국건자재시험연구원 책임연구원, 공학박사

****정회원, (재)한국건자재시험연구원 연구원

1. 연구배경 및 목적

MgO(magnesia) 콘크리트는 중국 댐 엔지니어들에 의해 개발되었고 중국의 콘크리트댐 건설 분야에서는 이미 널리 적용되고 있다. 산화마그네슘 기반의 수축보상 콘크리트는 저온소성 된 산화마그네슘 가루를 첨가한 콘크리트이다. MgO가 수화반응을 하면 최종 생성물은 수산화마그네슘 (Mg(OH)₂)이며 이것은 그 조성물들보다 더 큰 부피를 갖기 때문에, MgO 콘크리트는 팽창성을 가지게 된다. 현재 사용되는 팽창성 콘크리트 혼화재료는 에트린자이트형(CSA), 산화칼슘(CaO)형, 산화마그네슘형(MgO)가 있는데 MgO 콘크리트는 7일 이후의 늦은 재령에서 팽창한다. 따라서 MgO 콘크리트의 팽창성은 매스콘크리트의 온도가 떨어질 때의 수축을 거의 상쇄하게 되고, MgO 콘크리트는 댐 건설에서 균열 진전의 최소와, 온도제어 기준의 단순화 그리고 시공속도의 향상을 꾀할 수 있는 재료로서, 본 연구에서는 5%의 MgO를 사용한 콘크리트의 장기재령에서의 내구특성을 평가하기 위하여 56일 양생한 후 탄산화, 염화물 확산계수, 동결융해 저항성, 황산염 저항성 실험을 실시하여, MgO를 혼합하지 않은 콘크리트와 비교하였다. 또한 10%의 MgO를 넣은 시멘트 페이스트를 대상으로 1일, 3일, 7일, 28일, 56일에 수화정도를 SEM, XRD, DSC 등을 통하여 분석하였다.

2. 사용재료

2.1. 시멘트

KS L5201을 만족하는 국산 S사의 1종 보통포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 성분은 표1과 같다.

표 1. OPC의 화학성분

항목	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	CaO (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	SO ₃ (%)	Insol. (%)	밀도 (g/cm ³)	분말도 (cm ² /g)
종류 OPC	21.60	6.00	61.40	3.10	3.40	2.50	0.21	3.15	3,539

2.2 사용된 MgO

MgO는 콘크리트의 팽창특성에 영향을 주는 중요한 요소이며, 본 연구에 쓰인 저온 소성 MgO는 중국 광둥에서 이미 건설된 댐에서 사용한 재료로서 료녕해성에서 수공전용으로 약간 가소하여 생산한 질량이 비교적 안정적인 재료를 사용하였으며, MgO의 화학성분 및 물리적 성질은 표 2와 같다.

표2. MgO의 화학성분 및 물리적 성질

항목	SiO ₂ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	SO ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	강열감량 (%)	불용해 잔분(%)	비중 (g/cm ³)
종류 MgO	2.11	0.61	0.36	95.34	0.88	0.02	0.59	4.63	2.52	3.56

2.3 기타재료

골재의 경우는 최대치수 25mm 및 20mm의 부순굵은 골재를 사용하였으며, 화학혼화제는 유동성 확보와 공기량 조절을 위하여 국내 H사의 폴리카르본산계 고성능 감수제와 공기연행제를 사용하였다.

3. 실험방법 및 결과

3.1. 활성 지표 평가

사용되는 MgO의 활성지표를 평가하기 위해서 5회에 걸쳐 평가하였으며, 평가방법은 MgO 1.7g을 pH 7 인 증류수100ml에 녹이고, 구연산 2.6g을 녹인 증류수 100ml와 혼합하고 30~35℃를 유지하면서 자석교반기에서 교반하면서 페놀프탈레인 용액 1~2방울을 넣고 열은 붉은색으로 변할때까지의 시간을 측정하였다.

표3. 활성지표 실험결과

구분	1회	2회	3회	4회	5회	규정치
시간(초)	210	243	252	265	248	240±40

3.2. 미세구조분석

수화도에 따른 미세구조를 분석하기 위해서 일반 OPC 페이스트와 MgO 10%를 첨가한 W/C 40% 페이스트를 제작하여 40℃에서 양생하고, 1일, 3일, 7일, 28일 재령의 SEM, XRD, DSC 분석을 실시하였다. SEM은 3000배와 10000배로 관찰하였으며, XRD와 DSC에 의한 반응 생성물 분석을 위해서는 아세톤으

로 수화정지를 시킨 약 2g 정도의 분쇄시료를 준비하여 전류 40Kv, 전압 30mA, CuKa의 Target을 사용했으며 5~70 ° 범위에서XRD를 측정하였으며. DSC는 1200℃까지 온도를 올리면서 측정하였다.

3.3 압축강도 및 내구성 실험

3.3.1 압축강도

강도 및 내구성 평가를 위해서 다음의 표4와 같은 배합으로 배합강도 12MPa, 24MPa, 45MPa를 기준으로 배합하였으며, Ø100×200mm공시체를 20℃, 30℃, 40℃로 양생하여 양생온도의 영향을 평가하였다.

3.3.2 탄산화

KS F 2584에 의하여 측정하였으며, Ø100×200mm공시체를 제작하여 중간을 절단하여 절단면만 남기고 에폭시 코팅을 실시하였다. 습도 60%, 이산화탄소 농도 5%의 환경에서 7일, 14일, 21일, 28일, 56일의 침투깊이를 측정하였다.

3.3.3 염화물 확산계수

Ø100×200mm공시체를 제작하여 중간부분을 50mm두께로 절단하여 NT Build 492 방법으로 전기영동에 의한 비정상상태의 염화물확산계수를 재령 28일과 56일에 구하여 비교하였다.

3.3.4 동결융해

100×100×400mm 공시체를 제작하여 KS F 2456에 의해 급속동결융해 실험을 실시하였다. 56일 표준 양생 후 기중동결 수중융해법에 의해 100cycle 마다 동탄성계수와 무게를 측정하였다.

3.3.5 황산염 저항성

Ø100×200mm공시체를 제작하여 4주간 수중양생 후 10%의 황산마그네슘에 침지하였으며, 이후 일정 시점에서 외관, 질량변화, 길이변화, 동탄성계수 변화, 압축강도, 중성화 깊이 등을 측정하였다.

표4. 콘크리트 공시체 배합비

구분	Gmax	W/B	단위량					
			W	C	MgO	S	G	SP(%)
KW-12-0	25	70	125.0	178.0	0	691.3	1420.1	0.5
KW-12-5			125.0	169.6	8.9	691.4	1420.2	0.5
KW-24-0	25	50	172.0	344.0	0	836.4	939.8	0.5
KW-24-5			172.0	326.8	17.2	836.6	940.0	0.5
KW-45-0	20	30	162.0	540.0	0	770.8	866.1	0.75
KW-45-5			162.0	513.0	27.0	771.2	866.5	0.75

4. 실험결과 및 분석

4.1 미세구조

그림 1과 2은 28일의 SEM 및 EDS로 찍은 사진으로 MgO 혼합 페이스트는 Mg 성분이 높은 수치로 나타나고 있으며, XRD의 결과에서는 28일까지 MgO 및 Mg(OH)₂ 수화물이 보이고 있다.

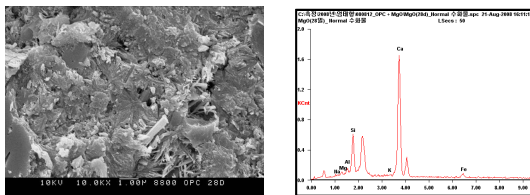


그림1. 일반 OPC의 SEM 및 EDS 분석결과

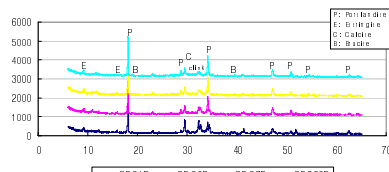


그림3. 일반 OPC의 XRD결과

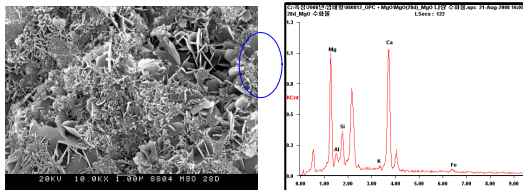


그림2. MgO 10% 혼합 SEM 및 EDS 분석결과

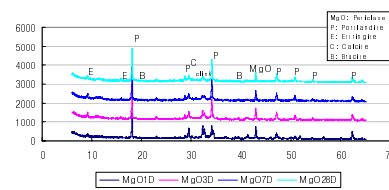


그림4. MgO 10% 혼합시료의 XRD결과

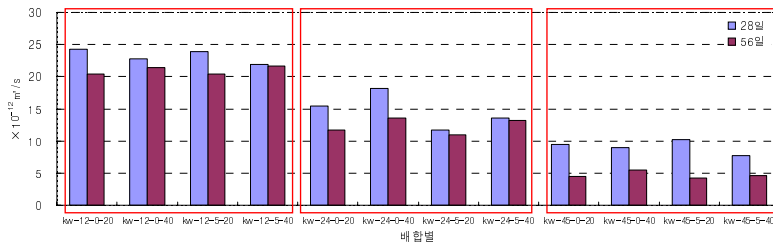


그림 5. 염화물 확산계수 실험결과(28일, 56일)

4.2 내구성 실험결과

양생온도에 따른 압축강도 실험결과 5%의MgO 혼합 콘크리트도 일반 OPC의 강도발현과 유사한 경향을 나타내고 있으며, 재령 28일과 56일의 염화물 확산계수를 측정된 결과도 목표강도에 따라 약간의 변화는 있지만 대체적으로 일반 OPC보다 확산계수가 작아지는 경향을 보이고 있다. 탄산화 및 동결융해, 황산염 저항성의 경우에도 일반 OPC와 비슷한 성능을 보이고 있다.

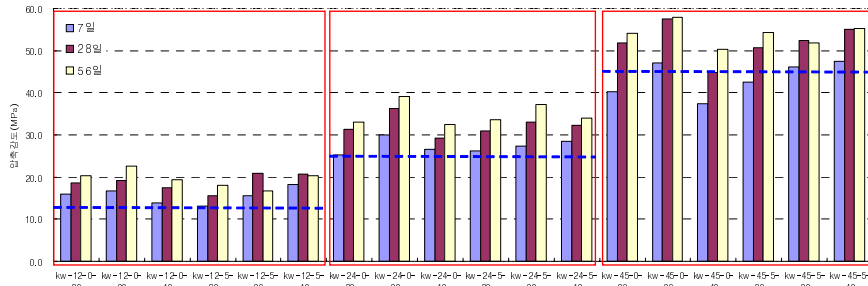


그림 6. 압축강도 실험결과(7일, 28일, 56일)

5. 결론

저온 소성한 MgO를 5% 사용한 콘크리트의 압축강도 및 내구성은 일반 OPC와 비교하여 특별한 감소를 보이고 있지 않으며, 전체적으로 약간 우수한 성능을 나타낸다. 양생온도에 의한 압축강도는 30℃일때가 가장 발현이 잘 되었으며, 20℃와 40℃는 비슷한 경향을 보이고 있다.

감사의 글

본 연구는 한국수자원공사의 K-water 연구개발사업인 ‘매스콘크리트용 무균열 콘크리트의 국내적 응용연구(Ⅱ)’의 일환으로 수행되었습니다. 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Chiu, X.H, Liu, Z. and Tang, M.S., 1992."MgO as Expansive Constituent", East-China Hydropower Technology, No. 3, pp28~32.(in Chinese)
2. ASTM C 845-04, "Standard Specification for Expansive Hydraulic Cement" ASTM International, West Conshohocken, PA, 2004, 3pp