저온 소성한 MgO 분말을 혼입한 콘크리트의 내구 특성

최슬우¹⁾ · 김주형¹⁾ · 이광명¹⁾ · 권용길²⁾ · 장봉석^{2)*}

¹⁾성균관대학교 건설환경시스템공학과 ²⁾한국수자원공사 K-water 연구원

Durability Characteristics of Concrete Containing Lightly Burnt MgO Powder

Seul-Woo Choi,¹⁾ Joo-Hyung Kim,¹⁾ Kwang-Myong Lee,¹⁾ Yong-Gil Kwon,²⁾ and Bong-Seok Jang^{2)*}

¹⁾Dept. of Civil, Architectural and Environmental System Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

²⁾K-water Institute, Korea Water Resources Corporation, Daejeon 305-730, Korea

ABSTRACT MgO concrete containing lightly burnt MgO powder at 850~1,000°C may have a long-term expansibility characteristic. Such expansibility of MgO concrete can compensate the shrinkage at later ages since the hydration of the MgO is very slow. However, the addition of MgO delays the initial hydration of cement and increases the setting time of cement. Also, the porosity and pore-size distribution of the MgO concrete are different from OPC concrete. Therefore, in order to use MgO in practice, both mechanical and durability properties of MgO concrete should be carefully examined. In this study, durability tests on carbonation, freezing-thawing, and diffusion of chloride were carried out after 56 days of underwater curing at 20°C to compare durability characteristics of 5% MgO-mixed concrete with those of OPC concrete. The results showed that MgO concrete shows a greater durability than the concrete with no MgO, because the micro structure in the MgO concrete is much denser due to its expansibility characteristic.

Keywords : MgO concrete, durability, freezing-thawing, carbonation, chloride diffusion

1. 서 론

댐과 같은 대형 구조물에 적용되는 매스 콘크리트는 수화열에 따른 온도 수축의 영향으로 균열이 발생하기 쉬우며 이러한 균열은 구조물의 성능에 심각한 문제를 야기시킬 수 있다. 따라서 균열 발생을 억제하기 위해서 수화열을 저감시킬 수 있는 저열 시멘트 혹은 혼화재를 사용하거나 프리쿨링, 파이프쿨링 등의 다양한 시공법을 적용하는 것이 보편적이다. 또한 균열 발생의 원인인 콘크리트의 수축을 제어하기 위해 수축 저감제 또는 팽창제에 대한 연구도 활발히 진행되어 왔다. 하지만 이러한 수축 보상 재료는 짧은 시간 동안 그 효과를 발휘하기 때문에 댐 콘크리트의 온도 수축과 같이 장기적으로 발생하는 수축에 대해서는 효과적인 방안이라 할 수 없다.

저온 소성된 산화마그네슘(MgO) 분말을 혼입한 MgO 콘크리트는 MgO의 수화 반응을 통해 생성되는 수산화마그네슘(Mg(OH)₂)이 MgO와 H₂O보다 큰 부피를 갖기 때문에 팽창성을 가진다. 또한 MgO의 수화 반응이 느리게

진행되어 팽창이 장기적으로 일어나기 때문에 MgO는 장기 재령에서의 수축을 효과적으로 보상할 수 있다. 중국에서는 MgO 콘크리트를 사용한 댐의 시공이 약 30여 년간 지속되어 왔으며, MgO 콘크리트를 구조물에 적용할 경우 MgO 분말의 팽창성이 콘크리트의 수축을 보상하여 구조물의 균열을 최소화시킬 수 있다고 보고된 바 있다.¹⁻⁵⁾

이러한 MgO 분말의 혼입은 시멘트의 응결 시간을 지연시키고, MgO 콘크리트의 공극률과 공극의 크기 분포가 일반 콘크리트와 다르게 나타나기 때문에 역학적 특성뿐만 아니라 내구 특성에 대한 검토가 필요하다.^{6,7)} 따라서 이 연구에서는 MgO 콘크리트의 활용 및 현장 적용을 위한 기초 자료를 제시하기 위해 다양한 강도 수준의 콘크리트에 저온 소성한 MgO 분말을 혼입하여 탄산화, 동결융해 및 염화물 확산 저항성을 평가하였으며, 그 결과를 MgO 분말을 혼입하지 않은 콘크리트와 비교하였다.

2. 실험 연구

2.1 재료

콘크리트를 제조하기 위한 결합재로 KS L 5201(포틀랜드

*Corresponding author E-mail: svce@hanafos.com

Received April 6, 2011, Revised July 4, 2011,

Accepted July 8, 2011

©2011 by Korea Concrete Institute

드 시멘트)을 만족하는 국내 S사의 1종 시멘트와 중국의 료녕해성에서 수리 구조물 전용으로 저온 소성한 MgO 분말을 사용하였으며, 그 화학 조성 및 물리적 성질이 Table 1에 정리되어 있다.

잔골재는 밀도가 2.58 g/cm³인 해사를 사용하였으며, 굵은 골재는 목표 강도 12, 24 MPa인 콘크리트에는 최대 치수 25 mm, 목표 강도 45 MPa인 콘크리트에는 최대 치수 20 mm인 쉐석을 사용하였으며 각각의 밀도는 2.73 g/cm³이었다. 화학 혼화제는 유동성 확보와 공기량 조절을 위하여 국내 H사의 폴리카보산계 고성능 감수제와 공기연행제를 사용하였다.

2.2 배합비

이 연구에서는 강도 수준을 변수로 하여 목표 강도 12, 24, 45 MPa의 총 3가지 배합을 기준으로 시멘트 중량비 0%, 5% 수준으로 MgO 분말을 치환하였으며, 각각의 배합비는 Table 2와 같다.

2.3 실험 방법

2.3.1 슬럼프 및 공기량 측정

콘크리트는 KS F 2425(시험실에서 콘크리트 시료를 만드는 방법)에 따라 제조하였으며, 슬럼프는 KS F 2402(콘크리트의 슬럼프 시험 방법), 공기량은 KS F 2421(압력법에 의한 굳지 않은 콘크리트의 공기량 시험 방법)에 준하여 측정하였다.

2.3.2 시편 제작 및 양생

시편의 제작은 KS F 2403(콘크리트의 강도 시험용 공시체 제작 방법)을 따랐으며, 100 × 100 × 400 mm의 휨물드와 ϕ 100 × 200mm의 실린더 물드를 사용하였다. 제작한 시편은 온도가 20 ± 1°C이고, 습도가 60 ± 3%인 항온습실에서 24시간동안 양생한 후 물드를 제거하였으

며, 이후 시험을 실시할 때까지 20°C의 항온수조에서 수중 양생하였다. 각각의 내구성 시험은 MgO의 느린 수화반응을 고려하여 재령 56일까지 양생을 한 후 실시하였다.

2.3.3 압축강도

콘크리트 압축강도의 시험은 KS F 2405(콘크리트의 압축강도 시험 방법)에 따라 실시하였으며, 재령 7, 28, 56, 91일에서 각 배합별로 콘크리트 공시체의 압축강도를 측정하였다.

2.3.4 탄산화

탄산화 시험에는 ϕ 100 × 200 mm 시편을 절단하여 만든 ϕ 100 × 100 mm 시편을 사용하였으며, 20°C의 항온수조에서 재령 56일까지 수중 양생을 실시한 후 KS F 2584(콘크리트의 촉진 탄산화 시험 방법)를 따라 탄산화 특성 시험을 수행하였으며, 재령 7, 14, 21, 28, 56일에서 KS F 2596(콘크리트 탄산화 깊이 측정 방법)에 의해 탄산화 깊이를 측정하였다.

2.3.5 동결융해

동결융해 시험은 Fig. 1과 같이 100 × 100 × 400 mm 시편을 사용하였으며 20°C의 항온수조에서 재령 56일까지 수중 양생 후 KS F 2456(급속 동결 융해에 대한 콘크리트의 저항 시험 방법)의 방법 B(기중 급속 동결 후 수중 융해 시험 방법)에 따라 실시하였다. 시험의 결과는 시편의 동탄성 계수를 측정하여 식 (1)을 이용하여 상대 동탄성 계수로 나타내었다. Fig. 2는 동탄성 계수의 측정장면을 보여준다.

$$P_c(\%) = \left(\frac{n_c^2}{n_0^2} \right) \times 100 \quad (1)$$

P_c : 동결 융해 c사이클 후의 상대 동탄성 계수

Table 1 Physical properties and chemical compositions of cement and MgO

	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	CaO (%)	SO ₃ (%)	Fe ₂ O ₃ (%)	Loss on ignition (%)	Insol. (%)	Specific gravity	Blaine (cm ² /g)
MgO	3.23	0.18	87.7	1.48	2.9	0.46	3.4	-	3.56	-
Cement	21.60	6.00	3.40	61.40	2.50	3.10	-	0.21	3.14	3,539

Table 2 Mix proportions of concrete

Mix type	W/B (%)	S/a (%)	Gmax (mm)	Slump (mm)	Air content (%)	Unit weight (kg/m ³)					Admixture (B×wt%)	
						W	C	MgO	S	G	SP	AE
12-0	70	34	25	100 ± 25	3 ± 0.5	125	178.6	0.0	691.3	1420.1	0.5	0.002
12-5						125	169.6	8.9	691.6	1420.7	0.5	0.002
24-0	50	48.5	25	150 ± 25	5 ± 0.5	172	344.0	0.0	836.4	939.8	0.6	0.002
24-5						172	326.8	17.2	837.2	940.7	0.6	0.002
45-0	30	48.5	20	150 ± 25	5 ± 0.5	162	540.0	0.0	770.8	866.1	0.65	0.0025
45-5						162	513.0	27.0	772.1	867.5	0.65	0.0025

Fig. 1 Freezing and thawing test

Fig. 2 Measuring of dynamic modulus of elasticity

n_0 : 동결 용해 0사이클에서의 변형 진동의 1차 공명 진동수 (Hz)

n_c : 동결 용해 c 사이클 후의 변형 진동의 1차 공명 진동수 (Hz)

2.3.6 염소이온 확산계수

염소이온 확산 시험에는 $\phi 100 \times 200$ mm 시편을 50 mm 두께로 절단한 시편을 사용하였으며, 20°C의 항온수조에 재령 56일까지 수중 양생을 실시한 후 시험을 진행하였다. 시험은 NT Build 492에 준하여 Fig. 3과 같은 방법으로 시편을 거치하여 실시하였으며, 양극과 음극용액으로 각각 0.3N NaOH과 10% NaCl을 사용하였다.

시험이 끝난 후 시편을 물에 행구고 시편 표면의 물을 완전히 제거한 후 측방향으로 쪼갠 뒤, KS F 2737(지시약에 의한 콘크리트의 염화물 침투깊이 측정 방법)에 따라 침투깊이를 측정하였으며, 그 결과를 식 (2)에 대입하여 염소이온 확산계수를 산정하였다.

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273 + T)L}{(U - 2)t} \left(x_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273 + T)Lx_d}{U - 2}} \right) \quad (2)$$

D_{nssm} : 염소이온 확산계수 ($\times 10^{-12}$ m²/s)

U : 가인 전압의 절대값 (V)

T : 측정 전후의 용액의 평균 온도 (°C)

L : 시편의 두께 (mm)

x_d : 염소이온의 침투깊이 (mm)

t : 시험 지속시간 (hour)

- a. gum(silicon) sleeve
- b. anode solution
- c. anode
- d. concrete test piece
- e. cathode solution
- f. cathode
- g. plastic shore
- h. plastic box

Fig. 3 Chloride diffusion test set-up

3. 결과 및 분석

3.1 슬럼프 및 공기량

이 연구에서 측정한 콘크리트의 슬럼프 및 공기량 실험 결과를 Table 3에 나타내었다. 모든 배합의 슬럼프 및 공기량은 목표치를 만족하였으며, MgO 분말을 혼입한 배합의 슬럼프가 다소 낮은 경향을 보인 반면 공기량은 OPC 배합과 MgO 배합의 차이가 거의 나지 않았다. 연행 공기량은 콘크리트의 내구성을 결정하는 중요한 인자로, 연구에 사용한 OPC 배합과 MgO 배합의 공기량이 근사한 값을 나타내므로 연행 공기량 차이가 내구 특성에 미치는 영향은 적을 것으로 판단된다.

3.2 압축강도

MgO 분말의 혼입에 따른 콘크리트의 압축강도 실험 결과가 강도 수준별로 Fig. 4에 정리되어 있다. 그림에서 알 수 있듯이 MgO 분말의 혼입과 상관없이 모든 배합이 재령 28일에서 목표 강도를 만족하고 있으며, 전체적으로 MgO 분말을 혼입한 콘크리트의 압축강도가 OPC 콘크리트 대비 95~113%를 나타는 것으로 미루어 MgO 분말 혼입에 따른 압축강도의 영향은 크지 않음을 알 수 있다. 이는 5% 미만의 MgO 분말의 혼입은 콘크리트의 인장강도, 압축강도, 탄성계수 등의 역학적 성질에 큰 영향을 끼치지 않는다는 기존의 연구 결과⁸⁻¹⁰⁾와도 일치하는 것이다.

3.3 탄산화

재령 56일까지 양생한 12, 24 MPa 콘크리트 시편을 5% CO₂ 환경에 노출한 후 7, 14, 21, 28, 42, 56일에서의 침투 깊이를 Fig. 5에 나타내었다. 고강도인 45 MPa 콘크리트의 경우에는 시험 이후 56일 동안에 탄산화가

Table 3 Test results of slump and air content

Type	12-0	12-5	24-0	24-5	45-0	45-5
Slump (mm)	130	125	140	130	145	140
Air content (%)	2.6	2.8	4.5	4.6	4.8	4.7

(a) 12 MPa

(b) 24 MPa

(c) 45 MPa

Fig. 4 Compressive strength of concrete (MPa)

전혀 진행되지 않았기 때문에 결과를 나타내지 않았다. 콘크리트의 탄산화에 영향을 미치는 재료적 요인으로는 물-결합재비, 혼화재의 혼입 등이 있으며, 일반적으로 W/B가 클수록 콘크리트는 공극률 및 세공용액이 증가하며 탄산화에 취약하게 된다.¹¹⁾ 탄산화 실험 결과, W/B에 따라 이산화탄소의 침투 속도가 상이하게 나타났으며 낮은 W/B의 배합일수록 탄산화 진행 속도가 느린 것을 확인

(a) 12 MPa

(b) 24 MPa

Fig. 5 Carbonation depth of concrete with age

할 수 있었다. 또한 MgO 분말을 혼입한 콘크리트에서 초기에는 탄산화의 진행 속도가 느리게 관찰되었으나 탄산화 노출 후 56일에서는 비슷한 침투 깊이를 보였다.

3.4 동결융해

동결융해 시험을 통해 측정된 상대 동탄성 계수를 배합별로 Fig. 6에 나타내었다. 콘크리트의 동결융해 저항성은 콘크리트의 W/B 또는 연행 공기량 등에 영향을 받으며, 동일한 W/B의 콘크리트에서 연행 공기량에 따라 동결융해 저항성은 크게 달라진다.^{12,13)} 이 연구에 사용한 콘크리트의 MgO 분말의 혼입에 따른 연행 공기량의 차이는 0.1~0.2% 수준으로 매우 근소하기 때문에 공기량에 따른 동결융해 저항성의 차는 크지 않을 것으로 사료된다.

결과에 따르면 강도별로 OPC와 MgO 콘크리트의 상대 동탄성계수 감소 경향이 근사하게 나타났으며, MgO 콘크리트가 MgO 분말을 혼입하지 않은 OPC 배합보다 다소 높은 동결융해 저항성을 보였다. 동결융해 300 사이클에서 24 MPa 콘크리트는 상대동탄성계수 55%, 45 MPa 콘크리트는 상대동탄성계수 78% 이상을 나타내었으나,

(a) 12 MPa

(b) 24 MPa

(c) 45 MPa

Fig. 6 Relative dynamic modulus of elasticity

12 MPa 콘크리트는 동결융해 200 사이클에서 상대동탄성계수가 40% 이하로 매우 낮은 동결융해 저항성을 나타냈다. 시험에 사용된 12 MPa 콘크리트는 댐 콘크리트용 배합으로 연행 공기량이 3% 수준으로 충분한 공기량이 확보되지 않아 동결융해 저항성이 취약한 것으로 판단된다. 일반적으로 강도 12 MPa의 댐 콘크리트는 콘크리트 중력식댐의 내부에 사용되고, 표면부에는 강도 18 MPa 정도의 내구성을 갖는 콘크리트를 사용하기 때문에 강도

12 MPa의 동결융해 시험 결과는 실제 댐 구조물에서 문제가 되지 않을 것으로 판단된다.

3.5 염소이온 확산계수

염소이온 확산계수의 측정 결과는 Fig. 7과 같다. 각 배합별 W/B가 70%, 50%, 30%로 감소함에 따라 염소이온 확산계수가 현저히 줄어들었으며, MgO 분말을 혼입한 콘크리트(MgO-5)의 확산계수가 다소 낮은 경향을 나타내어 염해 저항성이 근소하게 향상되는 것을 알 수 있다.

3.6 MgO 수화생성물 분석

MgO 분말을 혼입한 콘크리트의 내구성이 근소하나마 향상되는 이유를 파악하기 위해 SEM(scanning electron microscope)을 이용하여 MgO 분말을 10% 수준으로 치환한 시멘트 페이스트의 수화생성물을 관찰하였다. 콘크리트 및 모르타르는 잔골재의 석영 성분 및 굵은 골재로 인해 관찰이 용이하지 않기 때문에 수화생성물 관찰의 용이성을 위해 시멘트 페이스트를 이용하였으며, 그 결과를 Fig. 8에 나타내었다.

재령 28일에서 MgO의 수화생성물인 $Mg(OH)_2$ 는 주위의 수화생성물과 비교하여 비슷한 밀도를 보이지만 조금 더 응집된 형태를 띄고 있다. 그 후 재령이 56일에서 $Mg(OH)_2$ 는 주변보다 촘촘한 형태를 보이며, 재령 91일이 되면 주변과 분명한 경계를 띄며 치밀한 구조를 나타낸다. 따라서 이러한 MgO의 수화에 따른 밀실화로 인해 MgO 분말을 혼입한 콘크리트의 미세구조가 OPC보다 치밀해져서 동결융해 저항성이 다소 증가하고, 초기 탄산화 진행 속도 및 염소 이온의 확산 속도가 늦춰지는 것으로 판단된다. 또한 이러한 MgO의 수화생성물이 공극을 충전하여 공극률이 작아지기 때문에, 일반 콘크리트에 비해 불투수성 및 마모 저항성 등이 다소 증가하는 경향을 나타낸다고 보고된 바 있다.^{1,8,10)}

Fig. 7 Chloride diffusion coefficient of concrete

Fig. 8 SEM images and EDS patterns of $\text{Mg}(\text{OH})_2$

4. 결 론

이 연구에서는 MgO 분말을 혼입하지 않은 콘크리트(OPC)

와 MgO 분말을 5% 수준으로 혼입한 콘크리트(MgO-5)에 대하여 압축강도, 탄산화, 동결융해 및 염화물 확산에 대한 저항성 평가를 실시하였으며, 아래와 같은 결론을

얻었다.

- 1) MgO-5 콘크리트의 압축강도가 OPC와 비교하여 비슷하거나 약간 크게 나타난 것으로 보아 MgO 분말의 혼입에 따른 압축강도의 영향은 크지 않은 것으로 판단된다.
- 2) 동결융해 시험 결과, MgO-5 콘크리트에서 동결융해 저항성이 향상된 것을 확인할 수 있었으며, 탄산화 및 염소이온 확산 시험 결과, MgO-5 콘크리트의 초기 탄산화의 진행 속도가 늦어지고 염소이온 확산계수가 다소 작게 관찰되어 탄산화 및 염해저항성이 근소하게 향상되는 것을 알 수 있었다.
- 3) 12, 24, 45 MPa 콘크리트 모두 MgO 분말을 혼입한 경우, 콘크리트의 내구성이 향상되는 것을 확인할 수 있었다. 이는 $Mg(OH)_2$ 생성에 따른 팽창 효과로 콘크리트의 미세구조가 치밀해지기 때문으로 판단된다. 하지만 이 연구에서는 MgO 분말을 5% 수준으로 혼입하여 제작한 콘크리트 시편을 56일간 양생한 후 내구성 평가를 실시한 것으로, MgO 분말의 혼입률과 양생재령 56일 이후 장기재령에서의 팽창 효과가 콘크리트 내구성에 미치는 영향에 대한 연구가 추후 필요하다고 사료된다.

감사의 글

이 연구는 국토해양부 건설기술혁신사업(09기술혁신F03)의 연구비 지원에 의해 수행되었고 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Du, C., "A Review of Magnesium Oxide in Concrete," *Concrete International*, Vol. 27, No. 12, 2005, pp. 45~50.
2. Gao, P., Lu, X., Geng, F., Li, X., Hou, J., Lin, H., and Shi, N., "Production of MgO-Type Expansive Agent in Dam

- Concrete by Use of Industrial by-Products," *Building and Environment*, Vol. 43, No. 4, 2008, pp. 453~457.
3. Gao, P., Wu, S., Lu, X., Deng, M., Lin, P., Wu, Z., and Tang, M., "Soundness Evaluation of Concrete with MgO," *Construction and Building Materials*, Vol. 21, No. 1, 2007, pp. 132~138.
4. Lingling, X. and Deng, M., "Dolomite Used as Raw Material to Produce MgO-Based Expansive Agent," *Cement and Concrete Research*, Vol. 35, No. 8, 2005, pp. 1480~1485.
5. 장봉석, 권용길, 최슬우, 이광명, "저온 소성한 MgO 분말을 혼입한 시멘트 복합체의 기초 물성," 콘크리트학회 논문집, 23권, 2호, 2011, pp. 225~233.
6. Li, Z., Cui, X., and Tang, M., "MgO-Type Delayed Expansive Cement," *Cement and Concrete Research*, Vol. 21, No. 6, 1991, pp. 1049~1057.
7. Liu, Z., Cui, X., and Tang, M., "Hydration and Setting Time of MgO-Type Expansive Cement," *Cement and Concrete Research*, Vol. 22, No. 1, 1992, pp. 1~5.
8. Li, C. M., "Mechanical Properties and Durability of MgO Concrete," *Advanced in Science and Technology of Water Resources*, Vol. 20, No. 5, 2000, pp. 30~35 (in Chinese).
9. Chen, L. D., Xie, L. G., Li, H. Y., and Li, C. M., "Further Study of Mechanical Properties of MgO Concrete under Different Curing Temperatures," *Guangdong Water Resources and Hydropower*, No. 2, 2003, pp. 11~13 (in Chinese).
10. 김태상, 장봉석, 정상화, 김주형, "MgO를 혼합한 콘크리트의 내구 특성 평가에 관한 실험적 연구," 한국콘크리트학회 가을 학술대회 논문집, 20권, 2호, 2008, pp. 397~400.
11. 최성, 이광명, 정상화, 김주형, "급속 축진 탄산화 시험을 통한 플라이애쉬 콘크리트의 탄산화특성 연구," 콘크리트학회 논문집, 21권, 4호, 2009, pp. 449~455.
12. 김생빈, 문제길, 김동신, "고강도 콘크리트에서 기포조직 및 강도특성이 동결융해저항에 미치는 영향," 대한토목학회 논문집, 13권, 3호, 1993, pp. 13~24.
13. 김생빈, "고강도 콘크리트의 동결융해저항에 미치는 기포조직의 영향," 콘크리트학회 논문집, 4권, 1호, 1992, pp. 89~96.

요 약 850~1,000°C 정도의 저온에서 소성한 MgO 분말을 혼입한 MgO 콘크리트는 장기적인 팽창성을 보인다. 이러한 팽창성은 MgO 분말의 느린 수화 반응을 통해 이루어지기 때문에 늦은 재령에서의 수축을 보상하는 특성을 가진다. 하지만 MgO 분말의 혼입은 시멘트의 초결을 지연시키며 응결 시간을 증가시키고, MgO 콘크리트의 공극률과 공극의 크기 분포가 일반 콘크리트와 다르기 때문에 현장 적용을 위해서는 MgO 콘크리트의 역학적 특성뿐만 아니라 다양한 내구 성능에 대한 검토가 필요하다. 이 연구에서는 MgO 콘크리트의 내구 특성을 평가하기 위하여 5% 수준으로 MgO 분말을 혼입한 콘크리트를 재령 56일까지 20°C에서 수중 양생한 후 탄산화, 동결융해 및 염화물 확산에 대한 실험을 수행하여 MgO 분말을 혼입하지 않은 콘크리트의 내구 특성과 비교하였다. 그 결과 MgO 분말을 혼입한 콘크리트에서 콘크리트의 내구 성능이 다소 향상되는 것을 확인할 수 있었으며, 이는 MgO 분말의 수화 반응에 따른 팽창 효과로 콘크리트의 미세 구조가 치밀해지기 때문으로 사료된다.

핵심용어 : MgO 콘크리트, 내구성, 동결융해, 탄산화, 염화물 확산