≫ 研究論文 ≪

輕燒白雲石 副產物을 活用한 바닥 몰탈용 膨脹材의 特性檢討

李健浩 · 閔勝義 · 李亨宇 · 趙鎮相 · 趙桂弘* · 韓 椿**

韓一시멘트株式會社, *韓國石灰石新素材研究所, **光云大學校 化學共學科

A Study on Characterization of Expansion Agent in Mortar with Light Burned Dolomite By-Product

Keon-Ho Lee, Sung-Eoi Min, Hyoung-Woo Lee, Jin-Sang Cho, Kye-Hong Cho* and Choon Han**

Hanil Cement Corp.

**Korea Institute of Limestone & Advanced Materials

**Department of Chemical Engineering, Kwangwoon University

요 약

본 연구는 제강용도로 사용하기 위해 돌로마이트를 하소후 남은 2 mm 이하의 경소백운석 부산물을 건축용 바닥 몰탈의 기존 팽창제로서 활용 가능성을 검토하고자 하였다. 경소백운석은 600 ~ 800°C 정도에서 하소하였을 때 반응성이 높은 준결정상태의 활성 마그네시아로 존재하게 되며, 이 활성화된 마그네시아는 수화초기 Brucite gel을 형성하여 수화물 비율을 상대적으로 줄여 치밀한 조직을 형성하는 원인으로 작용하고, 수화후기에는 결정질의 Brucite가 형성되어 수축 현상을 억제하며 부피가 2배 이상 팽창하여 화학적 수축균열 방지 역할을 하게 되는 것이다. 실험결과 경소백운석은 기존 사용 중인 팽창제 대비 동일량 적용시 압축강도는 우수하게 확인되었으나, 반응성은 기존 팽창제(생석회 + 무수석고)에 비해 다소 낮게 측정되었다. 하지만 팽창제로서의 역할은 충분한 것으로 확인되었으며, 공사기간 단축 등 부가적인 효과를 나타내었다.

주제어 : 저온소성, 경소백운석, 활성MgO, 건조수축, 균열저감

Abstract

This study investigated a utilization technology of light burned dolomite. light burned dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$) generated in furnace (steel manufacturer) is an alternative to quick lime. Using light burned dolomite has an effect on reducing the consumption of fluorite slag MgO concentration in supersaturated solution by prolonging the life of softening effect. Amorphous MgO, not containing periclase is formed by firing dolomite under 800°C It has larger surface area and higher reactivity than periclase, and also shows better expansion effect than quicklime. Due to those effects, therefore, amorphous MgO produced from light burned dolomite is used as an alternative expansion agent in mortar. In the experiment, characteristics of light burned dolomite were compared to those of existing expansion agents such as anhydrite and quicklime. Then, each expansion and shrinkage rates were measured over a period of about 3 months in both of 1m Jis mold at labscale and apartment mortar flooring at field scale. In the result, it was observed that light burned dolomite in mortar flooring more compensates for the expansion and shrinkage rates than the existing expansion agents, showing low expansion rate of below 0.05% and also decreases the crack

Key words : Low temperature burning, Light burned dolomite, Amorphous MgO, Shrinkage, Crack Reduction

* Received : April 2, 2012 · Revised : May 22, 2012 · Accepted : October 10, 2012

*Corresponding Author : Keon-Ho Lee (E-mail: oxygen@hanil.com)

Department of Research And Development Team, Hanil Cement Corp., B.O #245gil, Maepo-eup, Danyang-gun, Chungbuk 395-903, Korea

Tel : +82-43-420-5631 / Fax : +82-43-420-5221

©The Korean Institute of Resources Recycling. All rights reserved. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서 론

국내 백운석은 크게 원석을 파분쇄하여 비료용, 유리용, 철강용으로 사용하는 경소백운석이 있다. 백운석을 28-10 mesh 입도로 파쇄하여 비료용으로 사용되는 것을 석회고토비료라 하며 생석회, 소석회 비료와 마찬가지로 산성토양의 토질개량제로서 토양을 중화시켜 주는 역할을 한다.¹⁾ 제철용 백운석 원석은 석회석과 함께 제철용 고로에 사용되며, 철광석 용융시 산화알루미늄이 많으면 슬래그(slag)의 유동성이 떨어져 슬래그와 용선(溶鑄)의 분리가 나빠지므로 백운석을 첨가하여 유동성을 강화하고, 소결광의 강도를 개선하는 효과가 있다. 제강용 경소백운석은 생석회와 일부 대체관계에 있으며, 전로 및 전기로에 생석회와 함께 투입하여 형석의 소비량을 감소시키고 슬래그 중의 MgO 농도를 과포화로 유지시켜 줌으로써 연화의 수명을 연장시키는 효과가 있다.^{2,3)}

백운석을 약 600~800°C에서 열처리를 할 경우 탈탄산 반응을 거치면서 경소백운석 상태가 되는데 돌로마이트의 열처리 과정은 아래의 식과 같다.

즉, 탈탄산 후 생성된 MgO는 결정성이 낮은 활성상태의 성질을 보유하는데 이는 크링카 제조과정에서 생성된 MgO(사연소 마그네시아, periclase)와는 전혀 다른 성질을 갖고 있으며, Table 1에 이들의 특성을 비교하였다. 사연소(dead-burned) 결정의 MgO(물과 느린 반응 시간을 갖는 MgO)는 시멘트에 유해한 성분이라고 알려져 있는데, 매우 늦은 재령에서의 지나친 팽창을 유발하기 때문이다.⁴⁾ 이는 콘크리트의 불건전성을 유발할 수 있고 결국 콘크리트 건물의 붕괴 원인이 되는 유해한 팽창을 일으키기 때문이다. 하지만 저온 소성한(light burned) MgO 분말은 무해하다고 이미 보고된 바 있으며, 수화반응이 일어날 경우 MgO로부터 형성되는 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 결정의 부피는 MgO와 H_2O 부피의 합보다 현저하게 크게 된다. 예를 들면 1000°C에서 연소된 MgO가 수화할 경우 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 의 부피는 MgO와 물 부피의 합보다 두 배 이상이 된다. 연소온도가 MgO의 결정 크기와 비표면적에 직접적인 영향을 미치기 때문에 MgO의 연소온도가 MgO 팽창성능에 영향을 주는 핵심요소라고 보고된바 있다.⁵⁾ 활성 MgO의 수화메커니즘은 아래 식과 같다.

MgO는 물과 반응하면 초기에는 $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ gel이 형성되고 반응후기에 결정질의 Brucite가 형성된다. 이 때 수분은 약 39~42% 정도이며 후기 반응의 Brucite는 약 30.8%의 수분을 갖는다. 활성마그네시아가 시멘트와 혼합되어 물과 반응하면 수화 초기에 다량의 $\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ gel이 형성되어 많은 양의 과잉수분을 결정수로서 가두어두며, 이는 공극 수화물 비율을 줄여서 결국은 치밀한 조직을 형성하는 원인으로 작용하고 압축강도 상승에 기여한다. Brucite($\text{Mg}(\text{OH})_2$) gel이 결정화되면서 방출하는 수분은 시스템 내에서 C_3S , C_2S 의 수화 반응에 지속적으로 사용되어 후기강도를 발현하는 역할을 하며, 시스템 내에서 다량의 수분을 Brucite gel의 화학수 및 결합수로 고정하여 잉여수분의 건조시 나타나는 수축 현상을 억제하며 부피가 2배 이상 팽창하여 화학적 수축보상을 한다.⁶⁾

활성마그네시아는 수화시 생석회 및 반수석고와 유사한 수축보상을 하는데 이유는 다음과 같다.^{7,8)}

*활성마그네시아의 수화 팽창율: 217%

$$40.31 \quad 18.0 \quad \Leftrightarrow 58.3 \text{ molar mass (at least)}$$

$$11.2 \text{ liquid} \quad \Leftrightarrow 24.3 \text{ molar volumes}$$

*a형 반수석고 수화 팽창율: 142%

$$290 \quad 54 \quad \Leftrightarrow 344 \text{ molar mass}$$

$$105 \text{ liquid} \quad \Leftrightarrow 149 \text{ molar volumes}$$

*생석회 수화 팽창율 : 201%

$$56 \quad 18 \quad \Leftrightarrow 74 \text{ molar mass}$$

$$16.6 \quad \text{liquid} \quad \Leftrightarrow 33.7 \text{ molar volumes}$$

이와 같이 경소백운석은 초기 수화반응의 촉진과 화학적 수축보상의 성질에 기인하여 본 연구에서는 제강용으로 사용후 남은 부산물 2 mm 이하의 경소백운석을

Table 1. Physical and chemical characteristics of the activated magnesia and dead burned magnesia

	Activated magnesia	Dead burned magnesia
Chemical formula	MgO	MgO
Specific surface area	Very large(50 ~ 60 m ² /g)	Small(10 m ² /g)
Reactivity	Very strong	Weak(later reaction)
Lattice energy	Very Low	High
Crystallinity	Amorphous	Crystalline

Table 2. Chemical composition of raw materials.

Classification	Composition Rate(%)						Ig.loss (%)	Blaine (cm ² /g)
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃		
OPC	21.20	4.82	3.48	61.30	2.34	2.29	2.04	3290
Expansion agent	4.16	1.04	0.20	59.75	1.21	22.62	10.76	-
Light burned dolomite	4.29	3.77	1.74	51.47	28.83	0.68	8.29	-
Quicklime	2.92	0.45	0.52	84.43	1.01	0.03	9.53	-
Anhydrous gypsum	1.26	0.84	0.16	39.83	0.00	54.52	3.63	6000

Table 3. X-Ray diffraction analysis result of the initial raw materials (Unit : %)

Classification	Lime (CaO)	Portlandite Ca (OH) ₂	Calcite (CaCO ₃)	Periclase (MgO)	Anhydrite	Gypsum	Quartz
Existing expansion agent	20.49	21.05	16.50	-	38.83	-	2.14
Light burned dolomite	47.41	2.26	1.14	35.08	-	-	-
Quicklime	80.06	2.68	12.78	-	0.46	-	0.26
Natural anhydrous gypsum	-	-	-	-	78.25	18.64	3.11

Table 4. General opc x-ray diffraction analysis result of the initial raw materials (Unit : %)

Classification	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Lime	Periclase	Anhydrite	Bassanite Bezou	Gypsum	K ₂ SO ₄
OPC	59.81	16.13	3.64	12.73	0.86	2.28	0.61	1.3	0.61	1.86

팽창제로서의 활용성을 검토하기 위하여 XRD 정량분석을 통해 수화특성을 검토하였고, 압축강도, 응결시간, 길이변화 시험으로 물리적 특성을 검토하였다.

2. 실험개요

2.1. 출발원료

2.1.1. 사용재료

시멘트는 H사의 비중 3.15, 분말도 3,290 cm²/g인 1종 보통포틀랜드시멘트를 사용하였으며, 모래는 H사의 조 치원공장에서 레미탈 제조를 위해 분급되는 모래 S1(0.1 ~ 0.8 mm), S2(0.8 ~ 2.4 mm) 및 S3(2.4 ~ 5.6 mm)를 사용하였다. 팽창제는 정유공장의 탈황공정에서 발

생되는 부산물을 사용하였으며, 경소백운석 부산물은 제철공장의 불순물 제거를 위해 백운석 원석을 약 600 ~ 800°C에서 하소한 후 발생한 과립상태의 분말을 사용하였다. 또한 생석회(CaO)는 C사의 CaO 함량 84%인 제품과 천연무수석고는 D사의 무수석고로 분말도 6,000 cm²/g인 제품을 사용하였으며, 이들의 화학성분을 Table 2에 나타내었다.

2.1.2. 분석

출발원료의 결정상과 광물상 분석은 X-Ray Diffractometer(PW 3830, Philips, 네덜란드)를 사용하였으며, XRD 분석을 통한 결정상 및 광물상은 Table 3과 4에 나타내었다. 팽창제는 lime과 anhydrite의 조합으로 구

Fig. 1. The slaking degree test.

성되어 있으며, 경소백운석은 lime과 periclase의 조합으로 구성되어 있음을 확인할 수 있다.

2.2. 실험방법

2.2.1. 소화도 시험

현재 석회와 관련된 국내 규격으로는 「KS L 9501 공업용석회」가 있지만, 경소백운석, 생석회 등에 대한 품질성능을 확인할 수 있는 KS규격은 없는 실정이다. 하지만, 대부분의 제조업체들은 이들 재료에 대한 반응성 시험방법으로 조립적정법과 소화도 측정방법 중 소화도 측정방법을 통하여 소성도, 활성도를 시험하고 있다. 소화도는 사용재료의 발열반응에 대한 온도를 측정하는 방법으로 수온 25°C의 물 400 g과 사용재료 100 g을 400 ± 50 rpm 교반기를 이용하여 30초간 혼합한 후, 혼합된 슬러리의 상부 2 cm 범위에서의 Fig. 1과 같이 수온을 측정하는 방법으로 평가하였다. 소화반응성 시험을 위한 순서는 다음과 같이 정리할 수 있다.

- ① 단열용기, 400 ± 50 rpm 교반기, 온도계 준비
- ② 수온 25°C의 물 400 g과 경소백운석 분말 100 g 준비
- ③ 물(400 g)과 시료(100 g)를 교반 ④ 이후 30초 간격으로 온도를 측정
 - 반응이 시작된 시간 체크
 - 최고온도까지의 도달 시간 및 온도 체크
 - 반응종료 시간 체크

2.2.2. 압축강도

KS L ISO 679에 준하여 몰탈 믹서에서 기계적으로 혼합한 시료는 $4 \times 4 \times 16$ cm의 압축강도 측정용 성형 몰드에 2층 다짐으로 채웠으며, 다짐방법은 Jolting machine을 이용하여 60회(총120회)다짐하였다. 이들 시

Fig. 2. Testing the length change.

료는 항온항습기($23 \pm 1^\circ\text{C}$, 상대습도 95%이상)에서 24시간 양생 후 탈형하여, 수중(물의 온도 : $23 \pm 1^\circ\text{C}$)에서 계속 양생 후 3일, 7일 및 28일 재령에서 압축강도를 측정하였다.

2.2.3. 길이변화율

길이변화율은 팽창재로서의 사용가능성 검토 및 건조수축/소성수축을 평가할 수 있는 시험으로 재료의 비빔 후 초기 소성수축은 1 m 길이변화시험으로 진행하였으며, 시험체의 양생 24시간 후의 건조수축은 콘다트게이지 마이크로메타 방법으로 재령 3개월 동안 진행하였다. Fig. 2에 1 m 길이변화시험 장비를 나타내었다.

2.2.4. Mock-up Test

Lab test를 통해 검증된 경소백운석 광물은 공동주택 아파트 신축공사 현장 주택 바닥용 제품에 팽창재로 적용하여 현장적용 시험을 진행하였으며, 가공된 경소백운석 분말은 당사 레미탈 분공장에서 모래, 시멘트 등과 혼합하여 Fig. 3과 같이 생산하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 소화도 실험결과

Table 5와 Fig. 4에 각 원료에 대한 소화도 측정결과를 나타내었다. 각 재료들의 초기 발열반응 시험인 소화도 반응 실험결과 팽창재(CemExpan, C/P)의 경우 약 28분에서 최대 반응온도인 33.7°C 를 나타내었으며, 경소백운석 부산물은 약 3분 빠른 25분에서 28.5°C 를 나타내었다. 또한, 생석회는 초기 수화반응이 주수 후 29분 사이에 $38 \sim 39^\circ\text{C}$ 로 초기수화도가 상대적으로 높은 값을 나타내었다.

Fig. 3. Production process.

Fig. 4. Slaking degree of light burned dolomite compared to existing expansion agent.

Table 5. Results of the slaking tests

Classification	Materials	Tmax (°C)	Time to reach Tmax (minutes : seconds)
1	Existing expansion agent	33.7	28:40
2	Light burned dolomite	28.5	25:20
3	Quicklime of D company	38.9	29:40

3.2. 수화물 분석결과

저온(650°C)에서 약하게 하소된 경소백운석은 활성 MgO 상태로 존재하게 되며, 초기재령에서 빠르게 수화 반응을 진행한다. 본 연구에서 팽창재로 검토한 경소백운석 부산물의 수화반응 비율을 Table 6에 나타내었으며, 재령 7일에 수화반응이 약 88%이상 진행되는 것으로 확인되었다. 반면 연소온도가 높은 1400°C에서 하소

한 시료는 재령 7일에 약 20%미만의 수화반응과 고온 하소에 따른 결정질 MgO 형성으로 후기재령에서 과도한 팽창을 유발할 수 있으므로 사용상에 주의를 요할 필요가 있는 것으로 사료된다.

3.3. 압축강도 측정결과

경소백운석 부산물을 팽창재로 활용하기 위한 연구의

Table 6. Results of the hydration ratio (Unit : %)

Classification	Burning temperature(°C)					
	Dolomite		650		1400	
	MgO	Mg(OH) ₂	MgO	Mg(OH) ₂	MgO	Mg(OH) ₂
initial	0.17	0.01	8.14	0.02	40.57	0.00
3hr	0.12	0.00	8.34	0.00	38.77	0.08
16hr	0.07	0.00	7.34	0.89	37.85	0.05
1day	0.11	0.00	5.52	2.51	36.58	0.11
3days	0.12	0.00	2.52	6.37	35.39	0.16
7days	0.10	0.00	0.98	8.44	29.79	6.69

Table 7. Comparison of the floor mortar strength between existing expansion agent and light burned dolomite mixed with anhydrous gypsum

Classification	% of materials added to mortar			Compressive strength (Mpa)		
	Existing expansion agent	Light burned dolomite	Anhydrous gypsum	3 days	7days	28days
1	3.5	-	-	8.91	10.89	19.49
2	-	3.5	-	10.83	14.49	21.69
3	-	3.0	0.5	11.77	15.79	22.95
4	-	2.5	1.0	9.04	13.08	17.10
5	-	2.0	1.5	7.00	9.08	15.52
6	-	1.5	2.0	7.26	8.39	11.45

일환으로 바닥용 레미탈에 적용하여 기본적인 물성평가와 압축강도를 측정하였다. 경소백운석 부산물의 첨가는 기존 팽창제와 동일량 치환하였으며, 초기 건조수축에 따른 균열발생을 방지코자 무수석고를 일정량 혼합하였다. 재령에 따른 압축강도 측정결과는 Table 7과 같다. 경소백운석 부산물을 동일량 치환한 시료 2번의 경우는 기존 팽창제 대비 강도발현이 최소 2 Mpa에서 최대 4 Mpa정도 우수함이 확인되었고, 경소백운석 적용시 초기 강도가 증가되었으며, 무수석고가 일부 첨가된 경소백운석이 초기 및 후기 강도에서 가장 높은 값을 나타내었다. 이는 소화도 실험결과를 이용해서 추정하면 초기 수화 시점이 다소 빨라 수화조직이 치밀해 질 수 있는 조건이 조성되었으며 무수석고가 일부 첨가된 부분이 가장 적정한 적정량의 에트링자이트 형성으로 인해 치밀한 경화체 조직에 따라 강도 발현이 우수한 것으로 판단된다. 또한, 경소백운석은 수화 초기에 다량의 Mg(OH)₂ gel이 형성되게 되는데, 이는 많은 양의 과잉수분을 결정수로 포함하게 되고, 이로 인해 공극의 수화물 비율을 줄여서 결국은 치밀한 조직을 형성하는

원인이 되어 압축강도가 상승되는 것으로 판단된다. Table 8은 기존 팽창제에 비해 경소백운석 첨가비율을 증량시킨 배합으로 첨가량을 높일수록 압축강도 발현율은 높은 것으로 확인되지만 3.5% 이상 첨가하게 되면 압축강도 값은 약 1~2 MPa 하락되어 적정 한계치가 존재하는 것으로 나타났다. Table 9는 생석회를 적용한 시험으로 생석회의 함량이 낮을수록 초기 압축강도 발현은 높은 것으로 나타나나, 경소백운석에 생석회의 0.5% 이상 첨가는 높은 팽창성으로 인해 초기강도를 저해하는 요인으로 작용된 것으로 판단된다.

3.4. 길이변화 시험결과

몰탈 제품의 초기 소성/건조수축 발생 정도를 확인하기 위하여 길이변화 시험 장치를 활용하여 실험을 실시하였으며, 기존 팽창제 대비 경소백운석을 바닥용 몰탈에 팽창제로 적용시 길이변화율을 확인하였다. 양생조건은 기건상태에서의 수화반응의 최대화를 위해 수증양생에서 길이변화율을 측정하였다. 재령에 따른 경향은 Fig. 5와 같이 기존 팽창제와 유사하나 무수석고 1.0%

Table 8. Compressive strength categorized by the addition rate of existing expansion agent and light burned dolomite

Classification	% of materials added to mortar		Compressive strength (Mpa)		
	Existing expansion agent	Light burned dolomite	3days	7days	28days
1	3.0	0.5	8.80	12.38	18.88
2	2.5	1.0	8.61	13.31	19.03
3	2.0	1.5	9.45	14.50	20.98
4	1.5	2.0	10.41	13.77	19.55
5	1.0	2.5	10.67	15.47	21.08
6	0.5	3.0	10.61	14.67	20.73
7	-	3.5	11.05	16.12	21.03
8	-	4.5	10.05	15.12	20.01
9	-	5.5	9.08	14.85	19.08

Table 9. Compressive strength when quicklime is added along with light burned dolomite

Classification	% of materials added to mortar		Compressive strength(Mpa)		
	Light burned dolomite	Quicklime of D company	3days	7days	28days
1	3.0	0.5	12.38	15.71	21.91
2	2.5	1.0	10.36	15.34	22.62
3	2.0	1.5	9.69	16.15	22.81
4	1.5	2.0	10.64	16.27	22.30
5	1.0	2.5	10.03	16.56	19.40

Fig. 5. Length changes of floor mortars made of various compositions of expansion agents.

이상 첨가시 재령 28일 이후에 과도한 팽창이 나타나는 것으로 확인되었다. 이는 초기에 반응하지 못한 SO_3 성분들이 장기재령에서 시멘트 수화물 결정의 성장압에 계속 영향을 미치는 것으로 판단된다. Fig. 6과 7은 기존 팽창제 대체 경소백운석 첨가 비율에 따른 길이변화율로 거의 유사한 움직임을 보이고 있으나, 경소백운석

의 첨가 비율이 높을수록 팽창율은 낮은 것으로 나타났다. 이는 경소백운석이 활성마그네시아로 존재하여 수화 초기부터 물과 반응하여 부피가 팽창되는 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ gel의 특성을 가지고 있으며, 그 반응성은 기존 팽창제 (생석회 + 무수석고)에 비해 다소 낮은 부분은 있으나 팽창제로서의 역할은 충분할 것으로 판단된다. Fig. 8은

Fig. 6. Length change rates categorized by the addition rate of existing expansion agent and light burned dolomite (air dry curing).

Fig. 7. Length change rates categorized by the addition rate of existing expansion agent and light burned dolomite (water curing).

Fig. 8. Length change rates categorized by the addition rate of quicklime is added to light burned dolomite(water curing).

경소백운석에 생석회를 적용한 것으로 2%이상 치환 첨가할 경우 재령 경과에 따른 팽창이 크게 발생되었다. 이는 수화초기에 생석회가 소석회로 전이되는데, 생석회의 첨가량이 증가될수록 팽창률을 더 높이는 것으로

판단된다.

3.5. Mock-up Test 결과

상기 실험결과를 바탕으로 경소백운석을 바닥용 몰탈

Fig. 9. Mock-up test process.

에 적용시 기존 팽창재와 유사한 수축 및 팽창 성능을 발현할 수 있는 적정 함량은 약 3.5~4.0% 정도가 적당하리라 판단되었으며, 기존 팽창재와 비교하기 위해 실제 아파트 현장에 타설 실험을 진행하였다. 현장적용 실험결과 Fig. 9와 Table 10에 나타내었으며, 현장적용은 3회 진행하였다. 현장적용 진행결과 기존 팽창재 대비 재령에 따른 바닥 균열 상태는 유사하였으며, 빠른 건조속도로 인해 표면함수율이 재령 15일 경과 후 약 5~10% 정도는 적은 것으로 나타났다. 이는 활성화된 마그네시아가 다량의 $Mg(OH)_2 \cdot nH_2O$ gel이 형성되어 많은 양의 과잉수분을 결정수로 가두어 두면서 수분함량을 줄이는 것으로 판단되며, 이로 인해 경제성 확보와 공사기간 단축 등의 부가적인 효과도 수반 가능함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

산업용 부산물인 경소백운석을 바닥용 몰탈의 팽창재로 활용한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

1. 바닥용 몰탈에 동일비율로 첨가시 기존 팽창재(C/P)와 유사한 수축 및 팽창 성능을 나타내었으며, 초기 압축강도는 상승하는 것으로 나타났다.

2. 이는 백운석을 800°C 정도에서 소성하였을 때 원래 후기 반응성이 높은 마그네시아가 활성화되어 수화 초기에 다량의 $Mg(OH)_2 \cdot nH_2O$ gel이 형성되어 많은 양의 과잉수분을 결정수로 가두어두며 이는 공극 수화물 비율을 줄여서 결국은 치밀한 조직을 형성하는 원인으로 작용하여 압축강도가 상승한 것으로 판단된다.

3. 또한 활성화된 마그네시아는 수화 초기부터 물과

Table 10. Mock-up test result

Application (%)	Mock-up test result	
4.0	Curing time (hr)	- existing expansion agent : 6 - light burned dolomite : 5
	Crack (m)	- existing expansion agent : 5 - light burned dolomite : 9
	Moisture content (%)	- compared to existing expansion agent quick-drying type
	Compressive strength (28days, Mpa)	- existing expansion agent : 17.9 - light burned dolomite : 18.9
3.6	Curing time (hr)	- existing expansion agent : 7 - light burned dolomite : 6
	Crack (m)	- existing expansion agent : 8 - light burned dolomite : 5
	Moisture content (%)	- compared to existing expansion agent quick-drying type
	Compressive strength (28days, Mpa)	- existing expansion agent : 14.8 - light burned dolomite : 14.4

반응하여 부피가 팽창되는 특성을 가지고 있으며 그 반응성은 기존 팽창재(C/P, 생석회+무수석고)에 비해 다소 낮은 부분은 있으나 팽창재로서의 역할을 충분히 한 것으로 판단된다.

4. 현장적용 진행결과 바닥 균열 상태는 유사하게 나타났으며, 빠른 건조속도로 인해 표면함수를 저감속도는 기존 팽창재(C/P) 대비 빠른 것으로 확인되었으며, 이로 인해 공사기간 단축 등의 부가적인 효과가 기대된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부에서 시행한 광역경제권연계협력사업에 의하여 연구되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. Korea Institute of Limestone & Advanced Materials, 2006 : In steelmaking process using dolomite, limestone, 11, 4 (43), pp. 28-36.
2. Bull. Mater. Sci., 2007 : Thermal decomposition of natural dolomite, 30(4), pp. 339-344
3. Cement and Concret Research, 1998 : VOLUME STABILISATION OF HIGH MgO CEMENT : EFFECT OF CURING CONDITIONS AND FLY ASH ADDITION, 28(1), PP.1585-1594
4. Cement and Concret Research, 1995 : MECHANISM OF EXPANSION OF CONCRET DUE TO THE PRESENCE OF DEAD-BURNT CaO AND MgO, 25(1).
5. Aitcin P.-C., Neville, A., and Acker, P., 1997 : "Integrated View of Shrinkage Deformation," Concrete International, 9(9), pp. 35-41.
6. Aitcin P.-C., Neville, 1998 : "Non-Shrinkage Concrete," CANMET/ACI 4th International Conference on Recent Advanced in Concrete Technology, Supplementary papers, Tokushima, Japan, June pp. 215-226.
7. Yasuo Arai, 1990 : "Cement materials and chemical 1990 (Second edition)," Dainippon Tosho Publishing Co., Ltd.
8. P. K. Metha, 1993 : "Mechanism of Expansion Associated with Ettringite Formation," Cem. Conc. Res., 23(5), pp. 1205-1210.

李 健 浩

- 2005 경남대학교 대학원 재료공학과 석사
- 현재 한일시멘트(주) 단양공장 연구개발팀 과장대리

閔 勝 義

- 1996 영남대학교 무기재료공학과 학사
- 현재 한일시멘트(주) 단양공장 연구개발팀 차장

李 亨 宇

- 1991 인하대학교 대학원 요업공학과 석사
- 현재 한일시멘트(주) 단양공장 연구개발팀 부장

趙 鎮 相

- 현재 한국석회석신소재연구소 선임연구원
- 당 학회지 제19권 3호 참조

趙 桂 弘

- 현재 한국석회석신소재연구소 책임연구원
- 당 학회지 제19권 3호 참조

韓 椿

- 현재 광운대학교 화학공학과 교수
- 당 학회지 제17권 1호 참조