

MgO-KH₂PO₄ 몰비 변화에 따른 마그네시아-인산염 모르타르의 배합실험

Tests on Magnesium Phosphate Composite Mortar Mixtures with Different Molar Ratios of MgO-to-KH₂PO₄

윤 현 섭¹

이 경 호^{1*}

양 근 혁²

Yoon, Hyun-Sub¹

Lee, Kyung-Ho^{1*}

Yang, Keun-Hyeok²

Department of Architectural Engineering, Kyonggi University Graduate School, Seoul, 03746, Korea ¹

Department of Plant Architectural Engineering, Kyonggi University, Suwon, 16227, Korea ²

Abstract

The objective of this study is to seek a reliable mixture proportion for magnesium potassium phosphate composite(MKPC) mortars with a near-neutral pH value (below 9.5) and a relatively good compressive strength exceeding 30MPa. The main parameter selected was the molar ratios(M_{mp}) of MgO-to-KH₂PO₄ which varied from 30.4 to 3.4. The setting time of the MKPC mortars tended to shorten with a decrease in M_{mp} value. With regard to the strength development ratio normalized by the 28-day strength, the ranges measured in the mortars with an M_{mp} below 7.9 were 50~61% at 1 day and 60~73% at 3 days, indicating a highly rapid early-strength development. With a decrease in M_{mp} , the formation of struvite-K crystal identified as a primary hydration product increased, which led to the decrease of the macro-capillary pores in micro-structures. For achieving the targeted requirements for pH value and compressive strength, the M_{mp} needs to be selected as below 5.1.

Keywords : magnesium-potassium phosphate composite, compressive strength, pH, molar ratio

1. 서 론

화학적 부식 환경에 노출된 하수관거와 같은 콘크리트 구조물의 열화 및 노후화 등으로 인한 콘크리트 구조물의 내구성 저하 문제가 사회적으로 이슈화 되고 있다[1,2]. 이에 따라 노후화 된 콘크리트 구조물의 균열 및 열화·침식부위와 단면의 보수·보강을 위한 재료 개발 및 연구에 대한 관심이 급증하고 있다. 콘크리트 구조물의 보수재로서 사용되는 재료는 대부분이 시멘트 모르타르로서 응결시간이 다소 늦

고 초기 강도 발현이 낮은 단점이 있다. 특히, 빠른 교통개방이 요구되는 도로나 상·하수도 시설을 비롯한 지중 구조물의 보수·보강의 경우에는 급속시공의 보수재료로서 시멘트 모르타르를 활용하는 것은 다소 어려움이 있다[3]. 이러한 문제를 해결하기 위한 방안으로서 속경성과 초기 재령에서의 높은 강도발현 성능을 나타내는 마그네시아-인산염 복합체(Magnesium-phosphate composite, MPC)의 활용이 시도되고 있다[4]. MPC는 보수·보강 재료뿐만 아니라 구조물을 보호하는 피복재나 마감재로서의 활용 가능성 또한 매우 높아 그 연구가 증가하고 있는 추세이다[5].

최근 국내에서는 콘크리트 구조체의 균열부 치유 및 열화 단면의 보호를 위한 기술로서 박테리아를 활용한 친환경 보수재료의 개발이 활발하게 이루어지고 있는데, 대부분의 보수재료는 주요 결합재로서 시멘트를 활용하고 있다. 시멘트는 수화반응에 의해 생성되는 C-S-H gel 및 Ca(OH)₂등

Received : December 12, 2016

Revision received : January 16, 2017

Accepted : February 28, 2017

* Corresponding author : Lee, Kyung-Ho

[Tel: 82-31-249-9703, E-mail: horang2@kgu.ac.kr]

©2017 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

에 의해 강알칼리성(pH 12 이상)으로 있는데, 중성수준의 pH 환경에서 최적의 성장효율을 갖는 박테리아는 위와 같은 환경에서 지속적인 성장과 증식이 저해 될 수 있다[6]. 즉, 박테리아의 지속적인 치유물질 생성에 기반한 콘크리트 구조체 균열부의 치유 및 열화단면의 표면 보호 효과는 장기적인 측면에서 박테리아 성장성 저하에 따라 감소하게 된다 [7].

MPC는 시멘트를 사용하지 않으며, 마그네시아(MgO)와 인산염(Phosphate)의 산 반응에 의해 생성되는 수화생성물에 의해 강알칼리성의 환경으로 변화하지 않고 중성수준의 pH를 나타낸다[8]. 더불어 MPC는 시멘트 모르타르에 비하여 속경성과 초기재령에서의 높은 강도 발현뿐만 아니라 모체와의 부착안전성 및 수밀성 등의 우수한 특징을 갖는다 [9]. 즉, MPC의 활용은 박테리아의 성장환경 조성에서 있어 적합 할 수 있으며, 박테리아의 지속생장에 따른 반영구적 코팅에 의한 콘크리트 구조체의 균열보수 및 열화단면의 보호효과를 기대 할 수 있다.

MPC는 주로 고온 소성의 MgO 및 1인산암모늄(NH₄H₂PO₄)의 화학반응을 이용하여 제조되었다. 그러나 이 반응은 일정량의 암모니아 가스가 발생되기 때문에 환경오염의 가능성을 내포하고 있으며, 너무 빠른 응결특성으로 인해 가사시간의 확보 어려움 등의 제약이 따른다[10,11,12]. Chau et al.[13]은 이러한 문제점을 NH₄H₂PO₄을 1인산칼륨(KH₂PO₄)으로 대체함으로써 해결할 수 있음을 제시하였는데, KH₂PO₄를 활용하는 경우 반응 생성물은 스트루바이트-K(MgKPO₄ · 6H₂O)로서 NH₄H₂PO₄를 활용한 경우와 유사한 생성물을 형성하는 것을 확인하였다. 마그네시아-인산칼륨 복합체(Magnesium-potassium phosphate composite, MKPC)는 MgO-KH₂PO₄의 몰비(Molar ratio, M_{mp})에 따라 경화시간 및 강도발현에 있어 상이한 결과를 나타내는데, 이는 MgO의 반응성과 작은 해리 상수 및 낮은 물 용해도를 갖는 KH₂PO₄의 영향에 기인한다[14].

본 연구는 박테리아 활용 친환경 코팅재 개발을 위한 기초연구로서 박테리아의 지속적인 증식 및 성장성 확보를 위한 중성 급(pH 9 수준) 코팅재의 모체로서 MKPC 모르타르의 배합특성을 평가하였다. MgO-KH₂PO₄의 M_{mp} 변화에 따른 MKPC 모르타르의 플로우, 응결시간, 압축강도 및 pH변화 등을 측정하였다. MKPC의 반응생성물 및 공극분포특성은 X선 회절 분석(X-ray diffraction, XRD)과 수은압입법(Mercury intrusion porosimetry, MIP)을 통해 분석하였다.

2. 실험

2.1 사용 재료

마그네시아(MgO)는 소성온도에 따라 경소(600~1,000°C) 중소(1,000~1,400°C) 및 사소(1,400°C 이상) MgO로 구분된다. 이 연구에서는 MKPC 모르타르를 제작하기 위하여 경소 및 중소 MgO에 비해 비교적 낮은 화학적 활성도를 갖는 비표면적 2,560cm²/g 및 밀도 3.24g/cm³의 사소 MgO를 활용하였다. 사소 MgO의 화학적 조성비 및 XRD 분석 결과를 각각 Table 1 및 Figure 1에 나타내었다.

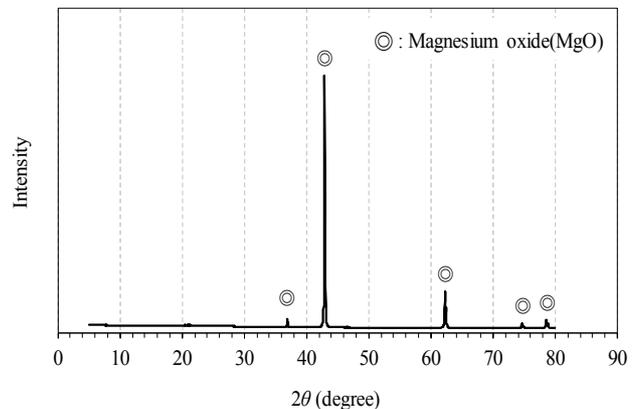


Figure 1. XRD pattern of MgO

마그네시아의 주요 화학 조성분은 MgO로서 전체 구성성분의 95% 이상을 차지하며, SiO₂ 및 CaO 등의 기타 화학 조성분은 각각 2% 이하이다. XRD 분석에서 반응 전 MgO의 피크는 37°, 42.9°, 62.3°, 74.5° 및 78.8°(2 theta)에서 나타난다.

MgO와의 산 반응을 유도하기 위한 인산염 재료로는 수화과정 중 유해 가스가 발생하지 않으며 NH₄H₂PO₄에 비하여 안정적인 반응을 나타내는 KH₂PO₄를 사용하였다. KH₂PO₄의 밀도는 2.34g/cm³이며, 백색 광택을 가진 인편상의 결정형태로 Table 2와 같이 98%의 순도를 갖는다. 또한, KH₂PO₄는 가열하면 400°C에서 탈수되고 메타인산 칼륨을 생성시키며, 물에 녹으면 그 수용액은 약산성을 나타낸다.

MKPC의 급결을 제어하기 위한 지연제로서 붕산(H₃BO₃)을 활용하였다(Table 2). H₃BO₃는 산화붕소가 수화되어 생기는 산소산의 염으로 밀도 1.44g/cm³ 및 백색 분말의 형태이며, pH 5 수준의 약산성을 띤다.

Table 1. Chemical composition of MgO

MgO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	P ₂ O ₅
95.5	1.72	0.14	0.81	1.63	0.17

Table 2. Properties of KH₂PO₄ and H₃BO₃

Materials	Shape	Density (g/cm ³)	Purity (%)	pH
KH ₂ PO ₄	white crystal	2.34	98.0	4.5-5.5
H ₃ BO ₃	white powder	1.44	99.9	4.8-5.2

2.2 배합

MKPC 모르타르의 역학적 특성에 대한 MgO-KH₂PO₄ M_{mp} 의 영향을 평가하기 위하여 Table 3과 같이 KH₂PO₄의 치환비율을 10~50%로 변화하였다. 여기서, M_{mp} 는 각 배합에서 사용된 MgO와 KH₂PO₄의 몰 질량(molar mass) 및 혼합비를 기준으로 나타내었다. 예를 들어 MgO 및 KH₂PO₄의 몰 질량은 각각 40.3g/mol 및 136.1g/mol로서, 90%의 MgO와 10%의 KH₂PO₄이 질량비율로서 치환된 배합에서의 M_{mp} 는 30.4이다. MKPC 모르타르의 W/B는 40%로 하였으며, 잔골재-결합재비(S/B)는 2로 고정하였다. 지연제로 이용된 H₃BO₃는 결합재 질량대비 4%를 첨가하였다. MgO와 KH₂PO₄의 M_{mp} 변화에 따른 MKPC의 수화 생성물 및 기공분포를 분석하기 위하여 Table 4의 모르타르 배합의 경우와 동일한 W/B로 하여 페이스트 배합을 하였다.

2.3 실험방법 및 측정항목

MgO 및 KH₂PO₄를 M_{mp} 변화에 따라 계량한 후 30초간 건비빔을 실시하였으며, 배합수 투입 후 2분간 습비빔을 실시하였다. 이후 KS F 4039 및 KS F 2436에 따라 MKPC 모르타르의 플로우 및 응결시간을 측정하였다. 응결시간 측정의 경우 관입 저항 값이 55 N 및 437 N인 경우를 초결시간 및 종결시간으로 하였다. 배합이 완료된 MKPC 모르타르는 50×50×50mm의 큐브형 몰드에 타설하였으며, 항온항습(습도 60±5%, 온도 20±1℃)의 환경에서 양생을 실시하였다. MKPC 모르타르의 압축강도 측정은 급격한 경화 특성을 고려하여 KS L 5105에 따라 재령 3시간, 12시간 및 1, 3, 7 및 28일에서 측정하였다. MKPC 모르타르의 pH 변화는 KS F 2103에 따라 재령 1, 3, 7 및 28일에서 측정을 실시하였다. M_{mp} 변화에 따른 MKPC의 수화생성물 및 공극 분포 특성을 평가하기 위하여 재령 28일에서의 페이스트 시료를 채취한 후 XRD 분석 및 MIP에 의한 공극분포분석을 실시하였다.

Table 3. Mixture proportion of MKPC mortars

M_{mp}	W/B	S/B	Mixing ratio (%)		H ₃ BO ₃ (%)
			MgO	KH ₂ PO ₄	
30.4	40	2	90	10	4
13.5			80	20	
7.9			70	30	
5.1			60	40	
3.4			50	50	

3. 실험결과 및 분석

3.1 플로우

M_{mp} 변화에 따른 MKPC 모르타르의 플로우 측정 결과는 Figure 2에 나타내었다. MKPC 모르타르의 플로우는 M_{mp} 가 30.4에서 7.9로 감소함에 따라 증가하다가 7.9 이후 5.1 및 3.4로 변화함에 따라 감소하는 경향을 나타내었다. M_{mp} 가 7.9인 시험체의 경우가 195mm로 가장 높게 나타났으며, M_{mp} 가 3.4인 시험체의 경우가 170mm로 가장 낮게 나타났다. M_{mp} 가 30.4 및 13.5인 시험체의 경우 플로우는 175mm 및 190mm로, M_{mp} 가 7.9인 시험체에 비하여 각각 10% 및 3% 낮게 나타났다. M_{mp} 가 5.1 및 3.4인 시험체의 플로우는 185mm 및 170mm로, M_{mp} 가 7.9인 시험체에 비하여 각각 5% 및 12% 낮은 수준이었다.

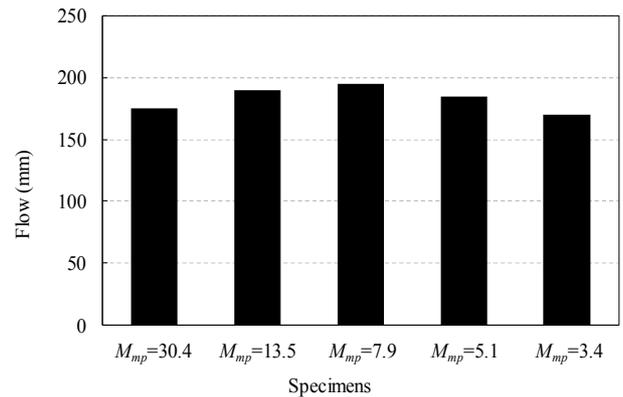


Figure 2. Flow of MKPC mortars tested

3.2 응결시간

MKPC 모르타르의 응결시간 측정 결과는 Figure 3과 같다. MKPC 모르타르의 응결특성은 M_{mp} 가 5.1인 시험체를 제외한 모든 시험체에서 M_{mp} 가 감소함에 따라 초결 및 종결 시간이 짧아지는 경향을 나타내었다. M_{mp} 가 3.4 및 7.9인 경우에는 초결 시간이 40분 이내로 비슷한 수준이었으나, 종결시간이 각각 174분 및 204분으로 약 30%의 증가폭을

보였다. M_{mp} 가 13.5 및 30.4인 경우에는 초결 및 종결시간이 큰 폭으로 늘어나기 시작하였다. M_{mp} 가 30.4인 시험체는 초결 및 종결이 발생하지 않았으며, M_{mp} 가 13.5인 시험체의 초결시간 및 종결시간은 60분 및 550분으로 M_{mp} 가 7.9인 시험체의 초결 및 종결시간 대비 각각 50% 및 170% 증가하였다. M_{mp} 가 5.1인 시험체의 경우에는 초결시간 및 종결시간에 있어 가장 빠른 응결특성을 나타내었다. 초결시간 및 종결시간은 각각 35분 및 135분으로 M_{mp} 가 3.4인 시험체에 비하여 각각 11% 및 22% 빠르게 응결되는 특성을 나타내었다.

이론적으로 MKPC의 경화 시간은 MgO의 반응성에 좌우된다. 물에 쉽게 해리되지 않는 MgO는 수용액상에서 산성을 띄는 KH₂PO₄에 의해 표면에 직접적인 산성자극을 받아 발열하게 된다. 이 발열 반응은 MgO의 해리도를 높이고 KH₂PO₄와의 반응 속도를 가속화하여 MKPC의 경화 시간을 단축시킨다[15]. 이에 따라 본 연구결과에서도 다량의 KH₂PO₄가 혼합된 배합일수록 MgO의 반응성이 비례적으로 증가하였으며, MKPC의 응결시간이 감소한 것으로 판단된다.

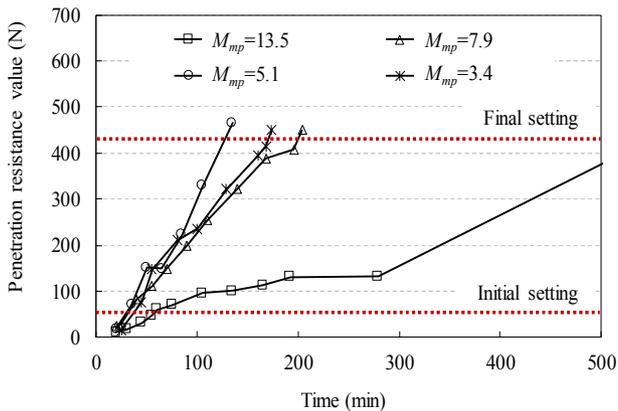


Figure 3. Setting time of MKPC mortars tested

3.3 압축강도

MKPC 모르타르의 압축강도 측정 결과는 Figure 4에 나타난 바와 같이 모든 재령에서 M_{mp} 가 감소함에 따라 증가하는 경향을 나타내었다. 특히, M_{mp} 가 7.9, 5.1 및 3.4인 시험체의 경우 초기재령에서부터 높은 강도 발현 성능을 나타내었는데, 재령 1일에서의 압축강도가 각각 9 MPa, 18.1 MPa 및 24.4 MPa로 재령 28일 압축강도의 50%~61% 수준이었다. 반면, M_{mp} 가 30.4 및 13.5인 시험체의 경우에는 재령 1일에서의 압축강도는 4 MPa 이하 수준으로 비교적 낮게 나타났으며, 재령 28일 압축강도의 비해서도 50%

이하의 수준이었다. 재령 3일 및 7일에서의 압축강도는 재령 1일에서의 경우와 마찬가지로 M_{mp} 가 3.4인 경우 29.3 MPa 및 31.9 MPa로 가장 높게 나타났다. M_{mp} 가 30.4인 시험체의 재령 3일 및 7일 압축강도는 M_{mp} 가 3.4인 시험체에 비하여 각각 5% 및 8%의 수준으로 매우 낮게 나타났다.

MKPC는 수화생성물인 스트루바이트-K 1몰을 생성하기 위해서는 각각 1몰의 MgO 및 KH₂PO₄를 필요로 한다. 즉, M_{mp} 가 작을수록(혼합비율이 동일할수록) 이론적으로 결합할 수 있는 분자(1몰)가 각각 비슷한 수준의 비율로서 존재하며, 강도 발현에 있어 큰 비중을 차지하는 스트루바이트-K의 형성 또한 더욱 많은 양의 반응 물을 포함하는 배합일수록 유리하다.

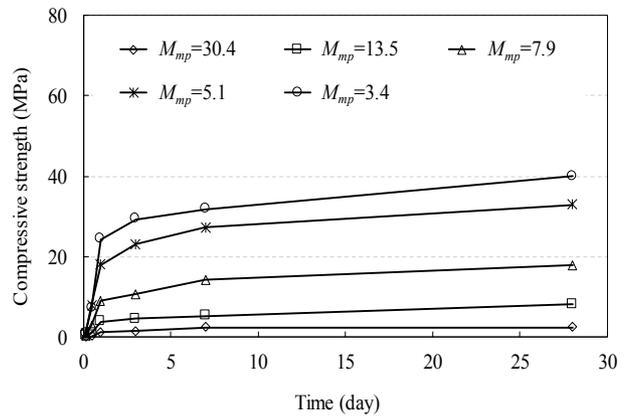


Figure 4. Compressive strength development of MKPC mortars

이러한 영향으로 MKPC 모르타르는 재령에 관계없이 M_{mp} 가 낮을수록 더 높은 수준의 강도 발현 특성을 나타낸 것으로 판단된다.

MKPC 모르타르의 재령에 따른 압축강도 발현은 초기 재령에서 급격한 기울기를 갖는 포물선 형을 보였다. 포물선 형태의 콘크리트 강도발현은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다[16].

$$f_{ck}(t) = \exp[\beta_{sc}(1 - \sqrt{\frac{28}{t}})]f_{ck} \quad (1)$$

여기서, $f_{ck}(t)$ 는 재령(t , 일)에서의 압축강도이며, f_{ck} 는 재령 28일 압축강도이며, β_{sc} 는 압축강도 발현 기울기를 결정하는 상수이다. 식 (1)에서 β_{sc} 의 값이 낮을수록 초기 강도 발현율이 높는데, 콘크리트 구조기준[16]에서는 보통 포틀랜드 시멘트 콘크리트에서 습윤 및 증기양생의 경우 β_{sc} 값을

각각 0.35와 0.15로 제시하고 있다. MKPC 모르타르의 재령 1일에서의 압축강도는 28일 강도대비 평균 52% 수준으로서 상당히 높다. Figure 4에 나타난 실험결과를 이용하여 식 (1)의 β_{sc} 값을 결정하면 평균 0.17을 얻을 수 있었다. MKPC 모르타르의 초기 압축강도 발현속도는 증기 양생된 일반 시멘트 콘크리트와 유사한 수준이라고 볼 수 있다.

3.4 pH

굳지 않은 상태에서 MKPC 모르타르의 pH는 6.62~6.41 수준으로서 M_{mp} 가 30.4에서 3.4로 변화함에 따라 미미하게 감소하는 경향을 나타내었는데, 그 변화 폭은 3% 이하 수준으로서 큰 차이를 나타내지 않아 본문에서는 제외하였다. 재령변화에 따른 MKPC 모르타르의 pH 측정 결과는 Figure 5에 나타내었다.

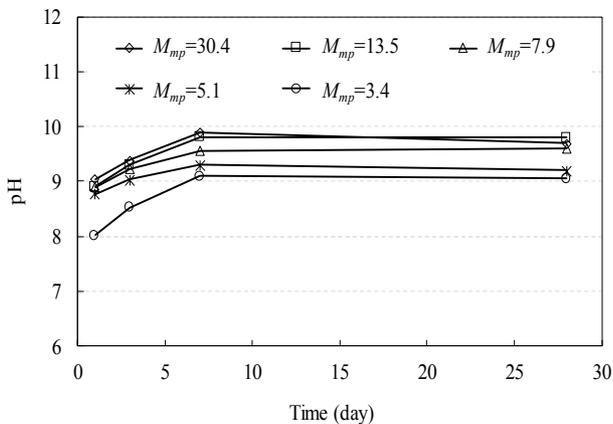


Figure 5. pH values of MKPC mortars

모든 배합에서 pH는 재령 7일까지는 비교적 급격히 증가하였지만, 그 이후의 증가폭은 무시 할 만큼 작거나 매우 미미하게 감소하는 경향을 나타내었다. 예를 들어 M_{mp} 가 3.4일 때 pH 값은 재령 1일에서 7일로 증가할 때 8.02에서 9.1로 증가하였지만, 재령 28에서는 9.05로서 재령 7일에서의 pH값과 유사한 수준이었다. 이는 재령 초기에 급격한 수화반응으로 인해 수화생성물 내부에 갇혀 미처 수화되지 못한 여분의 MgO의 용출에 의한 영향으로서, 재령 7일까지 약알칼리성을(pH 8~10)을 띠는 미수화 MgO에 의해 MKPC 모르타르의 pH가 증가하였으며 이후 재령 28일까지 9 수준의 pH가 유지된 것으로 판단된다. 또한, MKPC 모르타르의 pH는 M_{mp} 가 낮을수록 감소하는 경향을 나타내었는데, 재령 28일에서 pH 값은 M_{mp} 가 30.4에서 3.4로 감소할

때 9.7에서 9.05로 감소하였다. 이러한 경향은 약산성의 pH를 갖는 KH_2PO_4 의 영향으로 인해 결합재로서 더 많은 양의 KH_2PO_4 가 혼합된 시험체 일수록 pH가 낮아지는 것으로 판단된다.

결과적으로, Figure 4 및 Figure 5로부터 압축강도 발현 성능 및 중성수준의 pH 확보 측면에서 MKPC 모르타르의 M_{mp} 는 3.4인 경우를 추천 할 수 있다.

3.5 수화생성물

MKPC 페이스트의 XRD 분석결과를 Figure 6에 나타내었다. 분석결과 모든 시험체에서는 미수화 MgO 및 MgO와 KH_2PO_4 의 수화 생성물인 스트루바이트-K가 관찰되었다. 또한, M_{mp} 가 감소함에 따라 미수화 MgO의 피크 강도는 감소하였으며, 스트루바이트-K의 피크 강도는 증가하는 경향을 나타내었다. 스트루바이트-K의 피크 강도는 M_{mp} 가 3.4인 시험체의 경우 19.2~21.5° (2 theta) 부근에서 가장 높았으며, 30.5~34°, 15~16.5° 및 25~28° (2 theta)의 순으로 나타났다. 반면, M_{mp} 가 30.4인 시험체의 경우에는 스트루바이트-K의 피크 강도가 다른 시험체에 비하여 전체적으로 낮게 나타났는데, 30.5~34°, 19.2~21.5° 및 15~16.5°(2 theta)의 순으로 나타났으며, 15~16.5° (2 theta) 부근의 피크는 매우 미미한 수준이었다. 미수화 MgO의 피크 강도는 M_{mp} 에 관계없이 모든 시험체에서 42.9°, 62.3°, 37°, 78.8° 및 74.5° (2 theta)의 순으로 높게 나타났는데, 이 경향은 Figure 1에 나타난 MgO의 XRD 패턴과 유사하였다. 즉, 수화생성물 분석결과 MgO와 KH_2PO_4 가 비교적 낮은 M_{mp} 로 혼합된 시험체일수록 수화에 유리하며, 이에 따라 미수화 MgO의 양은 감소하고 스트루바이트-K의 피크 강도는 증가한 것으로 판단된다.

3.6 공극분포

M_{mp} 변화에 따른 MKPC 페이스트의 공극분포 분석결과를 Figure 7에 나타내었다. M_{mp} 3.4 및 30.4인 시험체의 경우 측정과정에서의 시료 손실로 인하여 측정하지 못했다. MKPC 페이스트의 전체 공극률은 50nm~50 μ m 범위의 거대 모세관 공극(Macro capillary pores)에 의해 지배되었다. M_{mp} 가 30.4인 시험체를 제외하면 M_{mp} 가 13.5에서 5.1로 감소함에 따라 거대 모세관 공극의 비율이 감소하는 경향을 보였다. 이에 따라 전체 공극률은 M_{mp} 가 13.5에서 5.1로 감소할 때 27.25%에서 10.06%로 감소하였다. 이러한 영향

은 MKPC 페이스트의 매크로 공극구조가 5~15 μm의 범위의 결정크기를 갖는 스트루바이트-K에 의해 충전된 효과로 판단된다[17].

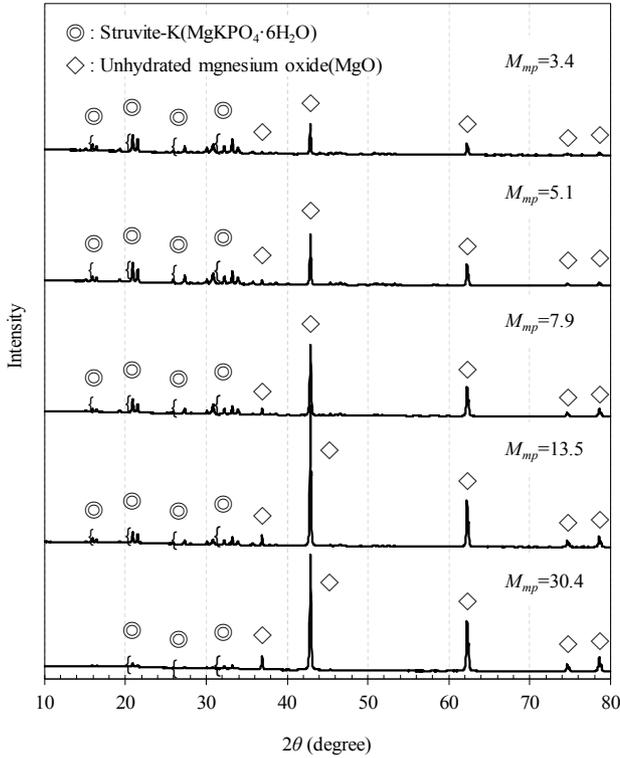


Figure 6. XRD analysis of MKPC pastes

Designation	$M_{mp}=13.5$	$M_{mp}=7.9$	$M_{mp}=5.1$
Gel pores($\Phi < 10\text{nm}$)	0.00	0.00	0.01
Micro capillaries($10 \leq \Phi < 50\text{nm}$)	1.51	0.01	0.23
Macro capillaries($50\text{nm} \leq \Phi < 50\mu\text{m}$)	22.46	16.87	7.00
Artificial air pores($50\mu\text{m} \leq \Phi$)	3.28	3.80	2.83
Total porosity (%)	27.25	20.68	10.06

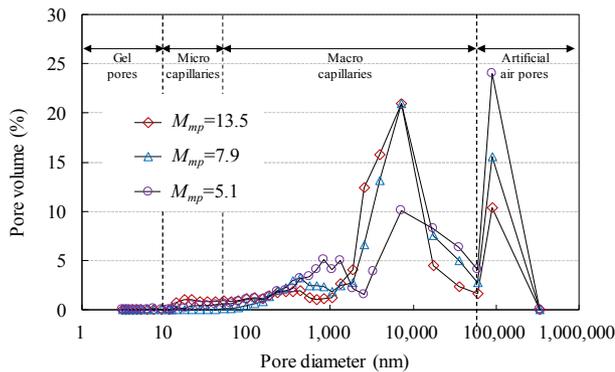


Figure 7. Differential pore-size distributions of MKPC pastes

4. 결 론

MKPC 모르타르의 배합설계를 위한 MgO 및 KH₂PO₄의 M_{mp} 의 영향을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) MKPC 모르타르의 응결시간은 M_{mp} 가 감소할수록, MgO의 반응성이 비례적으로 증가함에 따라 짧아졌다.
- 2) MKPC 모르타르의 재령 1일에서의 압축강도는 28일 강도대비 평균 52% 수준으로서 초기 압축강도 발현속도는 증기 양생된 일반 시멘트 콘크리트와 유사한 수준으로 나타났다.
- 3) MKPC 모르타르의 압축강도 발현 및 중성수준의 pH를 고려하면, M_{mp} 의 값은 3.4를 추천할 수 있었다.
- 4) MKPC의 수화생성물인 스트루바이트-K의 양은 M_{mp} 가 감소할수록 증가하였는데, 이로 인해 거대 모세관 공극 분포도 감소하였다.

요 약

본 연구에서는 중성급 pH와 30 MPa 이상의 압축강도를 갖는 마그네시아-인산칼륨 복합체(Magnesia-potassium phosphate composites, MKPC) 모르타르의 배합설계를 위하여 마그네시아(MgO)와 인산칼륨(KH₂PO₄)의 혼합 몰비(M_{mp})를 30.4에서 3.4로 변화하였다. MKPC 모르타르의 응결시간은 M_{mp} 가 감소함에 따라 짧아졌다. 재령 28일 강도로 일반화된 강도 발현율은 M_{mp} 가 7.9이하인 배합의 경우 재령 1일에서 50~61% 수준이었으며, 재령 3일에서는 60~73% 수준으로서 초기재령에서 빠른 강도발현성능을 나타냈다. MKPC의 수화생성물인 스트루바이트-K의 양은 M_{mp} 가 감소할수록 증가하였는데, 이로 인해 거대공극 분포도 감소하였다. MKPC 모르타르의 목표로 했던 성능을 고려하면, M_{mp} 의 값은 5.1 이하가 요구되었다.

키워드 : 마그네시아-인산칼륨 복합체, 압축강도, pH, 몰비

Acknowledgement

This research was supported by a grant(17SCIP

–B103706–03) from Construction Technology Research Program funded by Ministry of Land, Infrastructure and Transport of Korean government

References

1. Kim WJ, Yoo JH, Khil BS. Promoted high durability concrete for the construction of coastal reclaimed land, Magazine of the Korea Concrete Institute, 2012 May;24(2):37–42.
2. Bae SH, Park JI, Lee KM. Influence of mineral admixtures on the resistance to sulfuric acid and sulfate attack in concrete, Journal of the Korea Concrete Institute, 2010 Mar;22(2):219–28.
3. Hong KN, Shin JS, Han SH, Seo DW, Ahn KG. Mechanical properties of very rapid hardening polymer mortar for concrete repair, Journal of the Korean Geoenvironmental Society, 2014 Aug;15(8):31–7.
4. Kang IS, Ahn MY, Paik MS, Jung SJ. A study on field and hydration properties ultra rapid hardening mortar using magnesia–phosphate cement, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2008 Jul;24(2):79–86.
5. Kang IS, Ahn MY, Paik MS, Lim NG, Moon JS, Jung SJ. A study on the basic properties analysis of ultra rapid hardening mortar using magnesia–phosphate cement, Journal of the Architectural Institute of Korea, 2007 Aug;23(8):139–48.
6. Yoon HS, Jung SB, Yang KH, Lee SS, Lee JY. Compressive strength and ecological characteristics of mortars using expanded vermiculite absorbing bacteria, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, 2016 Jun;4(2):165–71.
7. Ramachandran SK, Ramakrishnan V, Bang SS. Remediation of concrete using micro–organism, ACI Materials Journal, 2001 Jan;98(1):3–9.
8. Zhang T, Cheesman CR, Vandeperre LJ. Development of low pH cement systems forming magnesium silicate hydrate(M–S–H), Cement and Concrete Research, 2011 Apr;41(1):439–42.
9. Yang Q, Wu X. Factors influencing properties of phosphate cement–based binder for rapid repair of concrete, Cement and Concrete Research, 1999 Mar;29(1):389–96.
10. Ding Z, Li Z. Effect of aggregates and water contents on the properties of magnesium phospho–silicate cement, Cement and Concrete Composites, 2005 Jan;27(1):11–8.
11. Sarkar AK. Hydration/dehydration characteristics of struvite and dittmarite pertaining to magnesium ammonium phosphate cement systems, Journal of Materials Science, 1991 May;26(1):2514–8.
12. Masuda T, Ogino I, Mukai SR. Optimizing the dimensions of magnesium ammonium phosphate to maximize its ammonia uptake ability, Advanced Powder Technology, 2013 Mar;24(1):520–4.
13. Chau CK, Qiao F, Li Z. Microstructure of magnesium potassium phosphate cement, Construction and Building Materials, 2011 Jun;25(1):2911–7.
14. Qiao F, Qiao CK, Li Z. Property evaluation of magnesium phosphate cement mortar as patch repair material, Construction and Building Materials, 2010 May;24(1):695–700.
15. Soudee E, Pera J. Influence of magnesia surface on the setting time of magnesia–phosphate cement, Cement and Concrete Research, 2002 Jan;32(1):153–7.
16. Korea concrete Institute, KCI Concrete Design Code, Korea concrete Institute, 2012.
17. Vilas BS, Ravindranath TC. Synthesis and characterization of struvite–k crystals by agar gel, Journal of Crystallization Process and Technology, 2014 Oct;4(1):212–24.