

급속 보수용 마그네슘 인산염 모르타르의 경화 및 강도특성

오홍섭^{1*}, 이인희²

A Hardening and Strength Properties of Magnesium Phosphate Mortars for Rapid Repair Materials

Hongseob Oh^{1*}, Inhee Lee²

Abstract: Damage to the pavement system due to various causes will be required rapid repair work for reopening the vehicle traffic. The magnesium oxide phosphate composite(MPC) has a short curing time and is capable of early compressive strength development, is suitable for rapid repair materials. The aim of this study was to evaluate the hardening and compressive strength characteristics of MPC according to the water-binder (W / B) ratio and magnesium-phosphate(M / P) ratio in order to develop repair materials consisted with light burned magnesia and potassium dihydrogen phosphate. In order to ensure the workability in the field application, the difference of mechanical properties according to standard sand and ordinary sand and performance of retards were evaluated. The mix proportion with W/B ratio was about 35% and the M/P ratio was about 1.0 ~ 1.2 has a superior performance with strength and hardening condition. Especially, the strength of composite at only 1 day curing with W/B ratio of 0.35 and the M/P ratio of 1.2 was shown the higher than 25.0 MPa. Boric acid as a retarder was found to be suitable for ensuring the working time, and the purity of magnesium oxide was about 90 ~ 95%, which is effective for ensuring curing time and strength.

Keywords: Hardening properties, Magnesium oxide, Potassium dihydrogen phosphate, Retard, Compressive strength

1. 서 론

겨울철 동결융해의 반복과 제설제의 과다사용에 의해 콘크리트 포장의 내구성이 급격하게 저하되나, 복합열화 메커니즘에 대해서는 명확하게 해명되지 않는 실정이다. 제설대책을 위해 이들 염화물을 살포하게 되면 콘크리트가 계속적으로 반복되는 화학적 작용을 포함한 복합열화 피해를 입어 통상적인 동결융해에 의한 열화와는 달리 콘크리트 표면이 기형으로 박리되는 스케링(scaling) 등과 같은 다양한 형태의 손상을 나타낸다.(Lee et al., 2013)

손상후 차량의 원활한 통행을 위해 포장체의 급속보수와 신속한 통행재개의 필요성이 점차 커지고 있다. 콘크리트 포장의 보수재료로서 타설이나 뿔칠형태 등의 다양한 방법으로 시공이 가능하고 내구성이 우수한 산화마그네슘 계열 재료가 국외에서 응급복구 목적으로 사용되고 있다.(Park et al. 2016; Qiao et al., 2010) 산화마그네슘 계열의 보수재료는 경화가 빠

르고 수축량이 상대적으로 작으면서 부착력이 크기 때문에 소규모 보수에 용이하여 동결온도하에서도 보수가 가능하여 시멘트 계열보수제를 사용하지 못하는 동절기 급속보수에 적합하다. 그러나 작용을 위한 가사시간이 짧고 암모니아 냄새가 발생하기 때문에 작업조건의 제한이 발생하게 된다.(Lee et al., 2016; Fu et al. 2016)

산화마그네슘(Magnesium Oxide, MgO)은 용해성(Solubility)이 산화칼슘(Calcium Oxide, CaO)과 같이 너무 높거나, 실리카(Silica Oxide, SiO₂) 또는 산화철(Iron Oxide, FeO)과 같이 너무 낮지 않으며, 물에 용해시킬 때 너무 많은 열을 발생시키지 않기 때문에 결합제로 많이 사용된다.(Lee et al., 2016 ; Li et al., 2014) 산화마그네슘계열 세라믹 결합제에서 산화마그네슘은 P₂O₅ (phosphoric acid or phosphoric pentoxide)와 반응하여 수경성의 물질로 급속한 경화가 진행되나, 작업 가능 시간이 아주 짧아 실질적으로 작업효율이 떨어지게 된다.(Kang et al., 2008; Song et al.,2012)

Kang et al.(2008)은 마그네사이드(탄산 마그네슘) 또는 해수의 수산화마그네슘을 소성한 경소(輕燒) 마그네시아와 염화마그네슘을 혼합한 마그네시아 시멘트의 경화 특성을 분석하였으며, 이 시멘트는 응결경화가 빠르고 강도가 크며, 모체와의 부착성이 우수하나 내수성이 나쁜 단점이 있다. Paceagiu et al.(2008)은 산화마그네슘과 인산염 NH₄H₂PO₄와 NH₄H₂PO₄+

¹중신회원, 경남과학기술대학교 토목공학과 교수

²정회원, 경남과학기술대학교 토목공학과 대학원

*Corresponding author: opera69@chol.com

Department of Civil Engineering, Gyeongsang National University of Science and Technology, Jinju, 52725, Rep. of Korea

• 본 논문에 대한 토의를 2019년 5월 1일까지 학회로 보내주시면 2019년 7월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

Na₃P₃O₁₀(1:9)을 사용하여 압축강도 특성을 측정하였다. 결합재와 관계없이 3시간에 20MPa 이상의 강도발현을 나타내었으며 NH₄H₂PO₄ 및 Na₃P₃O₁₀(1:9)의 인산염 결합재가 높은 강도를 나타내었다. Yang(2000)은 산화마그네슘(MgO), 인산암모늄(NH₄H₂PO₄)과 플라이애쉬를 사용하고, 지연제로 붕사(Borax)를 사용하여 초속경 보수재료를 개발하고자 하였다. 물 바인더(W/B)의 비를 0.09~0.12로 하고, 플라이애쉬를 0~15%까지 치환하여 시험을 수행하였다. M/P의 몰비에서 산화마그네슘의 혼입율이 높아질수록 높은 강도발현을 하였으며, W/B비가 낮아질수록 높은 강도를 발현하였다. Qiao et al(2010)는 산화마그네슘의 순도 71.5%와 89.5%, 플라이애쉬 혼입율에 따른 초기 압축강도 측정을 실시하였다. 순도 71.5%에서 재령 1일 후 20MPa의 강도 발현을 하였다.

그러나 아직까지 현장배합을 위한 분석이나 급속 보수재 등으로 활용하기 위한 적용성 연구는 부족한 상태이다.

연구에서는 국내 생산의 산화마그네슘을 활용하여 포장용 급속보수재로 개발하기 위하여 배합조건에 따른 산화마그네슘 모르타르의 초기 경화 및 강도 특성을 분석하고자 하였으며, 산화마그네슘 순도(95% 및 98%) 및 산화마그네슘과 인산칼륨의 몰 비, 물과 결합재(산화마그네슘, 인산칼륨 등)의 비, 지연제(Retarder)의 종류 및 혼입율 등을 변수로 활용하였다.

2. 실험방법

2.1 사용재료

자연상태에서는 고순도 산화마그네슘이 만들어질 수 없기 때문에 마그네사이트를 가열·소성하여 이산화탄소(CO₂)를 분리함으로써 만들어지며, 소성온도에 따라 각기 다른 특성을 갖는 마그네시아가 생성된다. 소성온도가 MgO의 결정 크기와 비표면적에 영향을 미쳐 MgO 팽창성능이 변화하게 된다. 산화마그네슘은 소성온도에 따라 1,400℃ 이상에서 소성하는 사소마그네시아(dead burned magnesia), 1,000~1,400℃에서 소성하는 강열마그네시아(hard burned magnesia)와 400~1,000℃에서 소성되는 경소마그네시아(light burned magnesia)로 구분되며, 소성온도가 높을수록 수화반응율이 낮아지게 된다.(Cho et al., 2016 a, 2016b) 경소마그네시아는 배합후 3일에 100% 수화반응에 도달하는데 반하여 사소마그네시아는 30일 경과후에도 33% 정도만 수화반응이 발생하기 때문에 경소마그네시아를 사용하고 싶어 하였으며, 화학조성은 Table 1에 정리하였다. 사용된 경소마그네시아의 평균 입도는 14.88 μm이고, 분말도는 8,358 cm²/g으로 측정되었다.

산화마그네슘과 오산화인(phosphorous pentoxide (P₂O₅)) 결합재의 수화반응에 의해 세라믹복합체가 만들어지기 때문에 인산염 계열의 화합물을 결합재로 사용하게 된다. 지금까

지의 많은 연구들에서는 Table 2에 나타난 것과 같이 오산화인의 함유량이 높은 제1인산암모늄(ammonium dihydrophosphate, (NH₄)₂H₂PO₄)과 사소마그네시아를 결합하여 복합체를 구성하였으나, 인산암모늄의 경우 반응성이 너무 빠르고 수화생성물로 스트루바이트가 생성되면서 인체에 유해한 암모니아가스를 발생시키는 문제가 있다.(Lee et al., 2016; Hong et al., 2013) 인산염내의 오산화인의 함유량과 반응속도와 반응열에 영향을 미치는 용해도가 비례하기 때문에 경소마그네시아를 사용할 경우에는 반응속도가 빠른 제1인산암모늄보다는 반응속도가 안정적인 인산염을 사용하는 것이 적절하다. 이중 제1인산칼륨(Potassium Dihydrogen Phosphate, KH₂PO₄)은 P₂O₅ 함유량이 52%로서 초기 수화반응 비율과 반응열을 줄여주므로 보수재료로의 활용시 현장에서 작업가능 시간 확보가 용이해지며, 암모니아가스와 같은 유해가스가 발생하지 않는 장점이 있다. 따라서 본 연구에서는 산화마그네슘(MgO)와 인산칼륨(KH₂PO₄)을 결합재가 물과 반응하여 생성되는 마그네시아 인산염 결합재를 포장 급속 보수용 재료로 활용하고자 하였다.

Table 1 Chemical composition of magnesia oxide

	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO	MnO	Fe ₂ O ₃
Proportion (%)	95.8	0.289	2.52	-	1.06	0.00591	0.271

Table 2 Chemical content of P₂O₅ in Phosphate

Phosphate	(NH ₄) ₂ H ₂ PO ₄	(NH ₄) ₂ HPO ₄	NaH ₂ PO ₄	KH ₂ PO ₄	AlH ₃ (PO ₄) ₂ ·H ₂ O
P ₂ O ₅ (wt%)	61.7	54.8	59.2	52.2	59.7

2.2 배합설계

포장보수재료로 활용하기 위해 작업 가능한 응결시간과 초기강도 발현이 필수적이다. 최적 구성비 선정을 위한 초기 압축강도 및 응결시간 시험을 실시하였으며, 결합재의 가장 큰 영향 인자인 산화마그네슘/인산칼륨(M/P)비, W/B비, 지연제(Retarder)의 종류에 따른 혼입율에 따라 실험 변수를 구성하였으며, 시험변수의 구성 및 배합은 Table 3에 나타내었다.

산화마그네슘과 인산칼륨과의 몰비(Molar ratio)가 배합에서 중요하기 때문에 몰비를 중량비로 치환하여야 한다. Mg, O, K, H, P, O에 대한 몰랄농도를 조사하여 MgO, KH₂PO₄의 몰농도를 계산 후 식 (1)을 사용하여 중량비로 치환하였다.

$$M_p = \frac{m_m \times MgO의순도(\%)}{MgO 몰랄농도 \times M/P} (mol/L) \quad (1)$$

여기서, m_m : 산화마그네슘의 질량(g), MgO molality : 산화마그네슘의 몰랄농도 (Mg : 24g/mol, O : 16g/mol), M/P : 산화마

Table 3 Experimental mix proportion for MPC repairing mortar

Purity of MgO(%)	M/P	W/B	Aggregate	Retard	Unit weight (kg/m ³)					
					Water	MgO	KH ₂ PO ₄	Sand	Retarder	
95	0.8	20	standard sand or regular sand	-	241	516	645	1653	0	
		25			276	474	592	1653	0	
		35			332	407	509	1653	0	
	1.0	25			276	543	543	1653	0	
		1.2			20	241	656	547	1653	0
					25	276	602	502	1653	0
	35				332	517	431	1653	0	
	1.4	25			276	653	466	1653	0	
		1.6			20	241	759	475	1653	0
					25	276	697	436	1653	0
	35				332	598	374	1653	0	
	98	0.8			25	regular sand	-	276	474	592
1.0		276	543	543				1653	0	
1.2		276	602	502				1653	0	
1.4		276	653	466				1653	0	
1.6		276	697	436				1653	0	
95	1.2	25	regular sand	Borax	5	276	602	502	1653	27
					7	276	602	502	1653	38
				Boric Acid	9	276	602	502	1653	48
					3	276	602	502	1653	20
					4	276	602	502	1653	26
5	276	602	502	1653	33					

그네슘과 인산칼륨의 몰비, $M_P(\text{mol/L})$ 를 구한 후 KH_2PO_4 의 몰랄 농도(g/mol)를 이용하여 인산칼륨의 중량을 구하고, 중량비로 치환하여 사용하였다. 적용된 M/P 중량비는 0.8, 1.0, 1.2, 1.4, 1.6이며, W/B비는 20, 25, 35%로 구성하였다. 현장에서 작업시간을 확보하기 위하여 응결 지연제(Retarder)는 붕사과 붕산을 모두 적용하여 지연 특성을 평가하고자 하였으며, 지연제의 혼입율은 3~9%이내에서 분석하였다. 보수재로서 생성물의 공극을 채우는 잔골재는 KS L 5100기준의 표준사와 비중 2.61, 조립율 2.76인 일반잔골재를 사용하여 현장 적용성 평가를 위한 응결시간과 강도의 변화정도를 평가하였다.

2.2 응결시간 측정 및 압축강도

산화마그네슘 계열 결합제의 경우 종결시간은 일반적으로 20분 내외로 보고되고 있어 배합조건에 따른 응결 특성을 평가하고자 하였다. 응결시간 시험방법은 KS L 5103의 “길모어 침에 의한 시멘트의 응결 시간 시험 방법”에 의하여 시험을 실시하였으며, 초결과 종결로 구분하여 측정하였다.

산화마그네슘계열 결합제의 최적 구성비 도출을 위해 KS L ISO 679의 “시멘트의 강도 시험 방법”에 준하여 압축강도 시험을 실시하였다. 50×50×50mm의 입방 시험체를 재령 3시간, 1일, 7일, 28일에 하중속도 800±50N/sec로 재하하여 3개 시험체의 평균압축강도를 분석에 사용하였다.

3. 경화특성

3.1 응결시간 특성

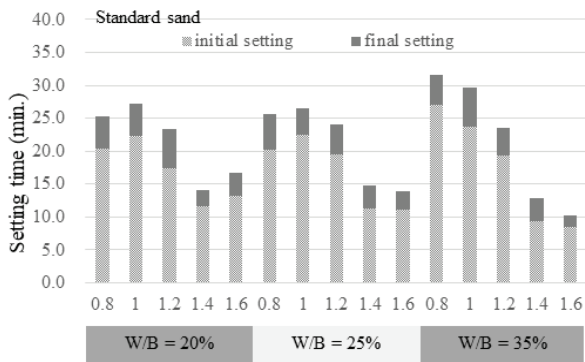
지연제를 사용하지 않은 배합의 응결특성을 Fig. 1에 M/P 비 및 W/B에 따라 정리하였다. 표준사의 경우, W/B비가 증가할수록 응결시간이 증가하였으나, 변화 정도는 크지 않은 것으로 나타났다. 일반사를 적용한 경우, 동일한 변수의 표준사 배합에 비해 전체적인 응결시간이 증가하는 것으로 나타났으며, 초결에서 종결까지의 시간 또한 증가하였다. 전체적으로 1.4이상의 M/P비로 배합되면 15분 이내에 초결이 시작되어 현장 적용을 위해서는 M/P비를 1.2내외로 제한하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

전체적인 응결특성은 초결이 이루어진 후 급격하게 경화하는 특성을 나타내며, 초결에서 종결까지의 시간간격은 전체 응결시간의 약 10~20% 수준으로 이었으며, M/P비가 증가할수록 초결과 종결의 차이는 감소하는 경향을 나타내었다. W/B의 영향은 크지 않으나 M/P 0.8~1.2범위에서는 W/B 35%까지는 W/B가 증가할수록 미소하게 안정적인 응결거동을 나타내는 것으로 분석되었다. 표준사와 일반사의 응결특성차이는 일반사에 상대적으로 많이 있는 미립물순물에 의해 응결 지연현상이 발생하였기 때문인 것으로 판단된다.

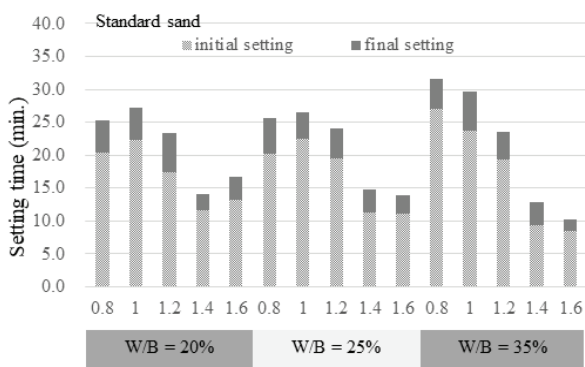
Fig. 2에는 산화마그네슘 순도에 따른 응결시간 특성을 나

타내었다. 산화마그네슘의 순도가 높을수록 산화마그네슘과 인산칼륨의 반응이 급속하게 진행되어 응결시간은 감소하는 경향을 나타내었으며, 압축강도와 비교하여 그 차이는 다소 큰 것으로 확인되었다. 순도 98% 산화마그네슘은 강도 증진에는 효과적일 수 있으나, 응결시간이 몰비에 관계없이 20분 미만으로 현장작업시간을 확보하지 못할 것으로 판단된다. M/P비 1.0이상에서 증가할 경우 응결시간은 감소하는 특성을 나타내어 산화마그네슘계열 결합재는 산화마그네슘의 순도를 약 90~95%로 조정하는 것이 가사시간 확보에 유리한 것으로 판단되며, M/P비는 0.8~1.2수준에서 W/B비가 25~35% 일 경우 산화마그네슘계열 결합재의 적정 구성비로 판단된다.

산화마그네슘계열 결합재의 지연제의 활용에 따른 응결 특성은 Fig. 3에 정리하였다. 종결 시간만을 비교 분석한 결과 붕산(Boric acid)이 효과적인 지연성능을 나타내었으며, 지연제로 많이 사용되는 붕사(Borax)의 경우 응결시간의 지연 수준이 다소 낮은 것으로 확인되었다. 붕사의 경우 5%에서 가장 높은 응결시간을 나타내었으며 그 이상 혼입될 경우 오히려 응결시간이 감소하는 양상을 나타내었다. 붕산은 4%가 적정 혼입율로 확인되었으며, 붕사는 초결에서 종결까지의 시간이 약 5분 수준으로 일정 수준 지연되다가 급격히 경화하는 특성을 갖는 것으로 확인되었다.



(a) Standard sand



(a) Standard sand

Fig.1 Initial and final setting time according to the M/P ratio and W/B ratio

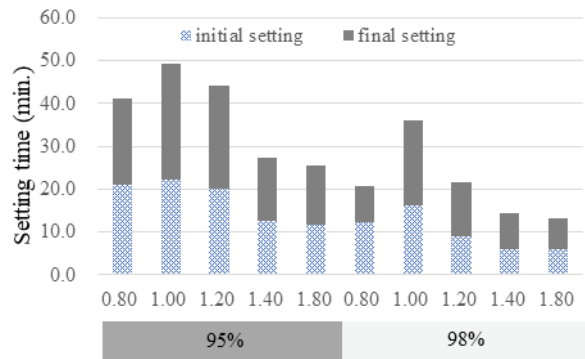


Fig.2 Initial and final setting time according to the purity of MgO

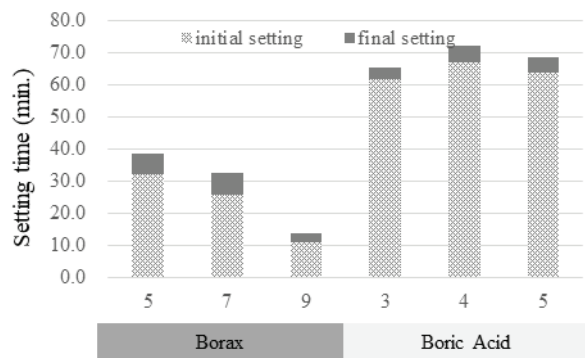


Fig.3 Initial and final setting time according to the retarders

3.2 수화생성물

산화마그네슘계열 결합재는 물과 반응하여 일반 시멘트의 수화반응과 상이한 화학 반응을 통하여 Eq. (2)와 같은 화합물이 생성되며 주요변수의 화합물은 XRD 분석을 통하여 Fig. 4에 정리하였다.



주요 생성물은 Magnesium potassium phosphate hexahydrate(MgKPO₄·6H₂O)가 확인되었으며, 경화체의 M/P비 및 W/P비에 따른 생성정도를 확인하기 위하여 대표변수에 대하여 각각에 대한 peak를 분석하였다. W/B비가 감소함에 따라 MgKPO₄·6H₂O peak가 감소하는 경향을 나타내었다. M/P비에 따른 peak는 M/P비가 낮을수록 그 생성물은 낮은 peak를 나타내었다. 부분적으로 수화되지 않은 MgO가 존재하는 것으로 분석되었다.

4. 압축강도 특성

압축강도는 3, 24, 168시간(7일) 및 672시간(28일)이후에 측정하였으며, Fig. 5에는 물-결합재(W/B) 25% 변수의 M/P

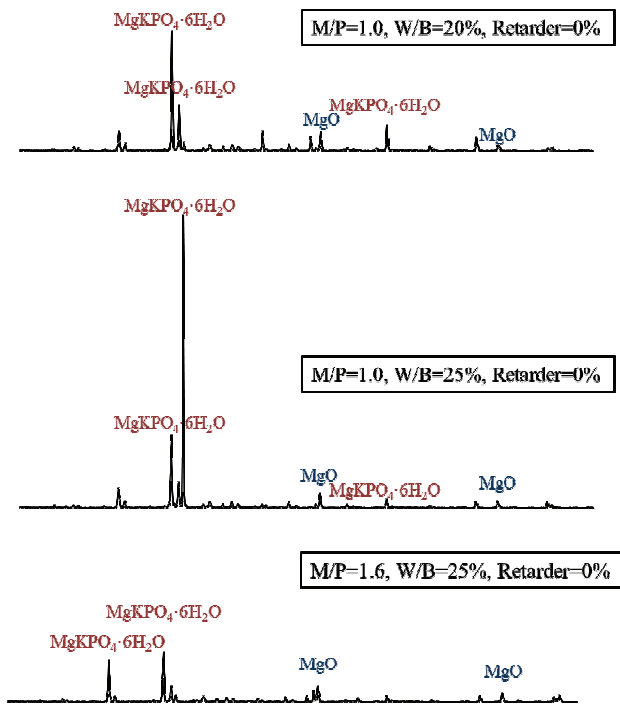
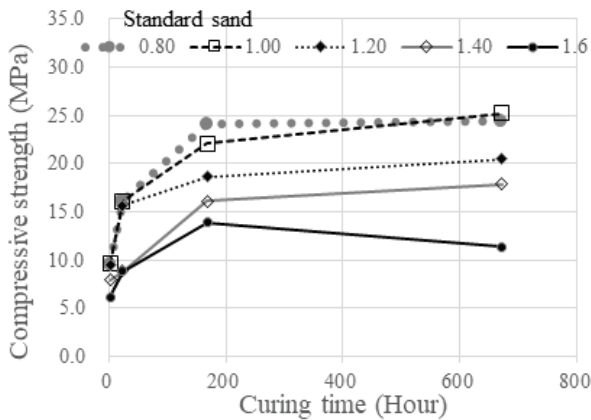


Fig. 4 Typical XRD patterns of Magnesium Oxide composite



(a) Standard sand

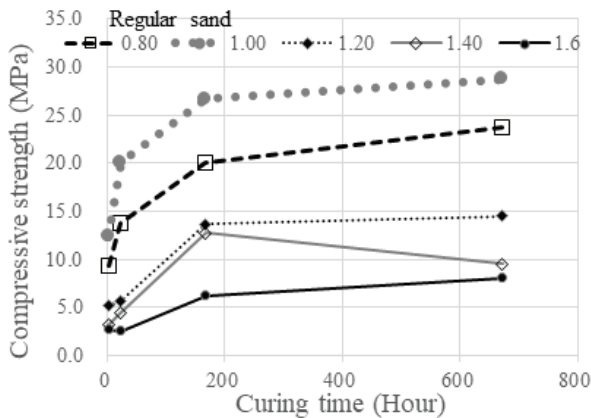


Fig. 5 Compressive strength of MgO composite specimens according to the M/P ratio, W/B=25%

비에 따른 압축강도 특성을 나타내었다. 재령 7일에서 최대강도의 90% 이상을 발현하였으며, M/P비 0.8과 1.0의 변수가 상대적으로 높은 강도를 발현하였다. M/P비가 1.4 이상의 경우에는 재령 28일에서도 약 15.0MPa 정도로 낮은 강도를 보였으며, M/P비 증가에 따라 오히려 강도가 감소되는 경향을 나타내었다. 경화시간과 강도 발현을 보면 M/P 1.0내외에서 일정 이상의 가사시간과 강도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

표준사의 경우 1일 강도까지는 M/P비 0.8~1.2범위에서 최대 16MPa 정도로 유사하나, 7일 이후 M/P비가 높아질수록 강도 증가율이 감소하거나 강도가 저하되었다.

일반 잔골재도 7일까지 강도가 증가한 후 증가율이 감소하였으며, M/P비 1.0인 변수에서 약 29.0MPa 로 가장 높은 강도를 나타내었다. M/P비 1.4 이상에서는 낮은 강도 발현과 양생기간의 증가에도 강도가 감소하는 것으로 측정되었다. M/P비 1.2 이상에서 일반 잔골재가 사용된 경우 강도 발현이 낮았으며, 재령에 따른 강도 증가효과가 거의 없는 것으로 분석되었다. 표준사의 경우에는 골재의 품질이 균질하여 M/P비에 따른 강도특성의 확인에 신뢰성이 다소 높은 것으로 판단되며, 일반모래와 비교하여 M/P비에 따른 강도편차는 상대적으로 작게 나타났다.

Fig. 6에는 각 M/P비와 W/B비에 따른 압축강도 특성을 표준사와 일반모래를 사용한 경우에 대하여 정리하였다. 물-결합재비가 높을수록 강도가 높게 발현되는 것으로 분석되었으며, M/P비가 증가할수록 물-결합재 비 증가에 따른 강도 증가율이 높은 것으로 나타났다. 그러나 25% 이하 물-결합재비에서는 산화마그네슘 수화반응이 이루어지지 못하여 Fig. 4의 XRD와 같이 미수화 MgO가 존재하는 것으로 분석되었다.

M/P비 0.8인 경우 W/B비에 따른 강도편차가 크지 않았으나, M/P 1.6%에서는 물결합재비 증가에 따른 강도변화가 상대적으로 크기 나타났다. 1일과 7일의 초기강도는 M/P비 1.2%, W/B=35%에서 가장 크게 발현되고, 표준사 변수에서 재령 1일 압축강도가 25.0MPa 이상으로 초기강도가 높게 나타났다. 일반 잔골재 적용시에도 표준사의 경우와 유사한 양상을 나타내었으며, M/P비 1.2에서 W/B비 증가에 따른 압축강도 발현율이 급격히 증가하는 경향을 나타내었다.

Fig. 7에는 산화마그네슘 순도에 따른 강도 발현 특성을 나타내었다. 차이는 크진 않았으나, 순도 98%의 압축강도가 미소하게 높게 관찰되었으며, 순도 98%의 경우 재령 28일에서 압축강도가 30MPa 이상의 높은 강도를 나타내어 높은 순도가 초기강도 확보에 용이하였다. 그러나 1일까지의 강도에서는 순도 차이가 미미한 수준으로 강도 발현 특성의 차이가 크지 않았으며, M/P비 0.8~1.2의 W/B비 25%에서는 90% 이상의 순도일 경우에는 전반적인 압축강도 확보가 양호한 수준으로 분석되었다.

지연제의 종류 및 혼입율에 따른 압축강도 특성을 Fig. 8에

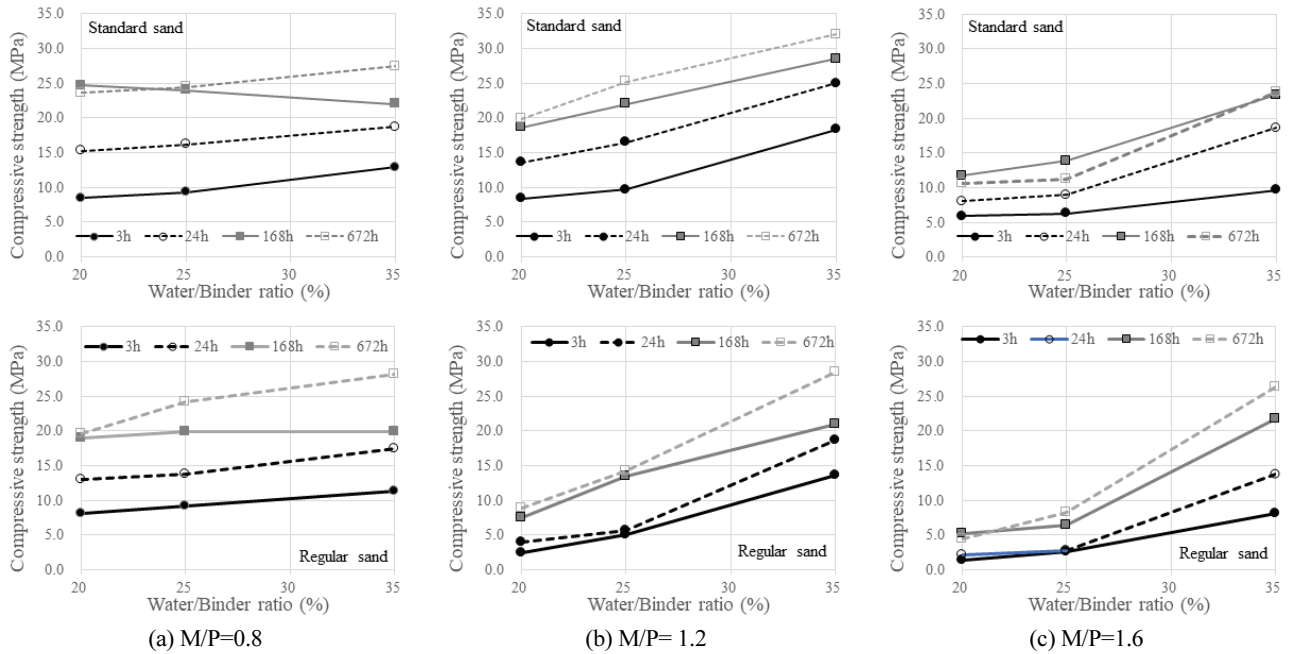
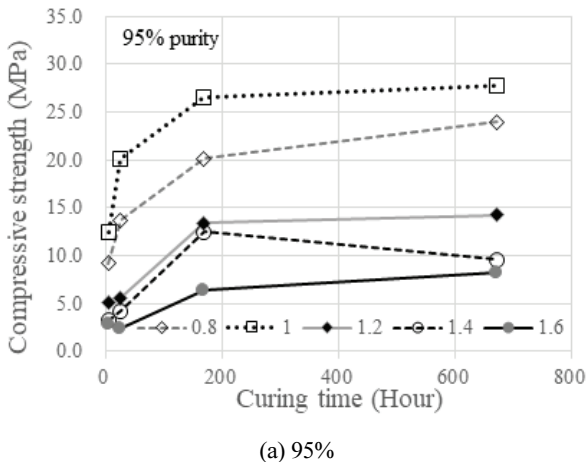
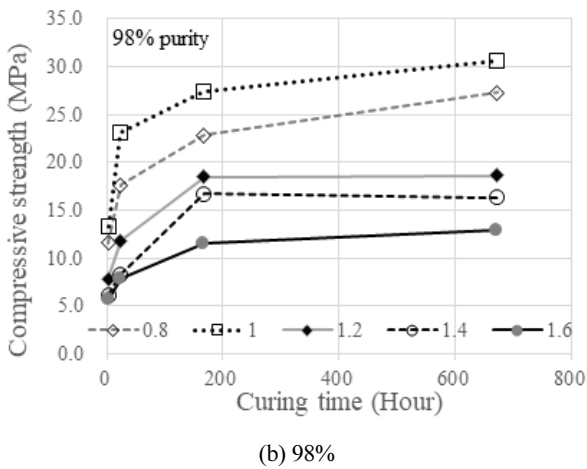


Fig. 6 Compressive strength of MgO composite specimens according to the W/B ratio and curing times



(a) 95%



(b) 98%

Fig. 7 Compressive strength of MgO composite specimens according to purity of MgO

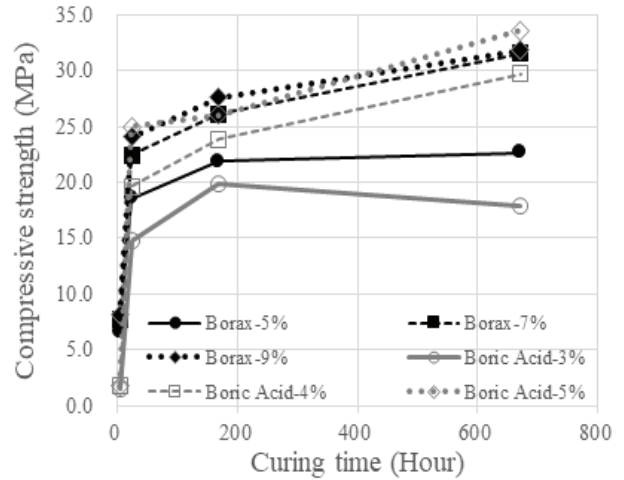


Fig. 8 Compressive strength of MgO composite specimens according to retarders

정리하였다. 응결시간 지연은 붕산의 경우가 효과적인 것으로 나타났으나, 강도발현의 경우에는 붕소를 적용한 경우의 강도가 다소 높게 관찰되었다. 붕산은 3시간 강도는 아주 낮은 강도 특성을 보였으며, 재령 1일에서 급격하게 강도 발현하는 특성을 나타내었다. 붕산의 경우 산화마그네슘계열 결합체의 초기 경화를 차단시킨 후, 일정 재령 이후에 지연효과가 급격히 사라지는 특성을 나타내었다. 붕사의 경우 지연효과가 다소 작게 나타내었으며, 지연제 혼입율이 증가할수록 장기강도 발현에 영향이 적어 양생기간이 증가함에 따라 높은 붕사 혼입율에서 높은 강도를 나타내었다.

5. 결 론

급속 보수용재료를 개발하기 위하여 산화마그네슘 모르타르의 배합조건별 초기 경화 및 강도특성을 실험적으로 분석하였다.

M/P비가 증가할수록 초결과 종결시간이 감소하는 것으로 분석되었으며, M/P비 1.2이하가 작업시간 확보측면에서 효과적인 것으로 나타났다. 또한 표준사는 종결까지 비교적 짧은 시간에 반응하는데 비하여 일반잔골재는 초결과부터 종결시간까지의 시간이 걸려 현장 작업시 관리가 필요한 것으로 분석되었다.

물결합재비 M/B는 35%내외에서 강도가 가장 높게 나타났으며, 응력시간 또한 지연제 없이 20분 이상으로 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 물결합재비가 상대적으로 낮은 경우에는 미반응 산화마그네슘 등에 의한 강도발현이 상대적으로 작게 일어나는 것으로 분석되었고, M/P비가 높아질수록 이와 같은 현상이 뚜렷하게 관찰되었다.

경화 반응을 촉진시키는 M/P의 적정비는 0.8~1.2가 적절한 것으로 분석되었으며, 강도를 고려한 경우 1.0~1.2의 범위가 효과적인 것으로 분석되었다. 최소 가사시간 20~30분 내외를 확보하고, 1일 압축강도 20 MPa 이상을 확보하기 위해서는 물-결합재비 35%내외가 필요한 것으로 판단된다.

산화마그네슘 순도의 경우 약 90%이상에서 압축강도 및 응결시간 확보가 가능하며, 높은 순도는 오히려 응결시간을 단축시켜 가사시간 확보에 어려움이 발생할 수 있다. 지연제는 붕산이 응결시간의 지연효과가 우수한 것으로 나타났으며, 강도 특성과 응력시간을 고려할 경우 약 4%가 적정 혼입율인 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 연구재단 이공분야기초연구사업 연구비(2018R1D1A1B07049278)와 국토교통과학기술진흥원의 지원 연구비(16CTAP-C117247-01)지원에 이루어졌으며 저자들은 이에 감사드립니다.

References

Cho, T. and Kim, M. J. (2016a) Precipitation of Magnesium Sulfate from Concentrated Magnesium Solution for Recovery of Magnesium in Seawater, *Journal of Korean Institute of Resources*

Recycling, Vol. 25, No. 4, pp. 32~41.

Cho, T. and Kim, M. J. (2016b) Production of Concentrated Magnesium Solution from Seawater using Industrial By-products, *Journal of Korean Institute of Resources Recycling*, Vol. 25, No. 3, pp. 63~73.

Fu, Y., Cao, X. and Li, Z. (2016) Printability of Magnesium Potassium Phosphate Cement with Different Mixing Proportion for Repairing Concrete Structures in Severe Environment, *Key Engineering Material*, Vol. 711, pp. 989~995.

Hong, S. G., Kim, D. Y. and Lee, D. S. (2013) Fundamental Properties and Hydration Characteristics of Mortar based on MgO added Industrial Bu-products, *Journal of the Korea Concrete Institute*, Vol. 25, No. 5, pp. 565~572.

Kang, I. S., Ahn, M. Y., Paik, M. S., & Jung, S. J. (2008). A Study on Field and Hydration Properties Ultra Rapid Hardening Mortar Using Magnesia-Phosphate Cement. *J. Kor. Arch. Ins.*, 24(2), 79-86.

Lee, H. G., Ann, K. Y., Sim, J. (2016) Experimental Study on Performance of MgO-based Patching Materials for Rapid Repair of Concrete Pavement, *International Journal of Highway Engineering*, Vol. 18, No. 1, pp. 43~55.

Lee, H. G., Oh, H., Sim, J. and Zi, G. (2013) An Experimental Study on the Multi-Deterioration Resistances of Concrete containing Waste-glass Sludge, *Journal of Korean Society of Hazard Mitigation*, Vol. 13, No. 2, pp. 67~74.

Li, J., Zhang, W. and Cao, Y. (2014) Laboratory evaluation of magnesium phosphate cement paste and mortar for rapid repair of cement concrete pavement, *Construction and Building Materials*, Vol. 58, pp. 122~128.

Paceagiu, J. E. N. I. C. A., and Georgescu, M. (2008). The influence of curing conditions on the physical and mechanical properties of magnesia phosphate cements. *REVISTA DE CHIMIE-BUCHAREST-ORIGINAL EDITION-*, 59(2), 135.

Park, J. W., Kim, K. H. and Ann, K. Y. (2016) Fundamental Properties of Magnesium Phosphate Cement Mortar for Rapid Repair of Concrete, *Advances in Materials Science and Engineering*, Vol. 2016, pp. 1~7.

Qiao, F., Chau, C. and Li, Z. (2010) Property Evaluation of Magnesium Phosphate Cement Mortar as Patch Repair Material, *Construction and Building Materials*, Vol. 24, No. 5, pp. 695~700.

Song, J., Noh, Y. and Song, O. (2012) Property of MgO with Different Sintering Temperatures under High Pressures, *Journal of the Korean Ceramic Society*, Vol. 49, No. 6, pp. 608~613.

Received : 02/05/2019

Revised : 04/03/2019

Accepted : 04/16/2019

요 지 : 다양한 원인에 의한 포장체에 손상이 발생하면 신속한 통행재개를 위한 급속보수가 필요하게 된다. 산화마그네슘인산염복합체의 경화시간이 짧고, 조기 강도발현이 가능하여 급속보수재료로 적합한 특성을 갖고 있다. 연구에서는 경소마그네시아와 제1인산칼륨을 결합하여 보수재료로 개발하기 위하여 물-결합제(W/B)비, 마그네슘-인산염(M/P)비 등의 배합비를 조정하면서 경화와 강도특성을 평가하고자 하였다. 그리고 현장 적용시의 작업성을 확보하기 위하여 표준사와 일반모래에 따른 거동차이와 지연제별 특성을 평가하였다. 실험결과 물-결합재비는 35%내외와 마그네슘-인산염비는 1.0~1.2 내외가 강도측면에서 가장 적합한 것으로 분석되었다. W/B비 0.35, M/P비 1.2 변수에서 1일 강도 25.0MPa 이상 발현되어 조기 보수재료로서 활용가능성이 충분한 것으로 분석되었다. 작업시간 확보를 위해서는 붕산을 지연제로 사용하는 것이 적합한 것으로 나타났으며, 산화마그네슘의 순도는 90~95%내외가 경화시간 확보를 위해 효과적인 것으로 나타났다.

핵심용어 : 경화특성, 산화마그네슘, 압축강도, 제1인산칼륨, 지연제
