

인산마그네슘 세라믹의 염소 이온 투과 저항성 및 길이변화 특성에 관한 성능 평가

Ability to Resist Chloride Ion Penetration and Dry Shrinkage Evaluation of Magnesium Phosphate Ceramics

고 정 원¹

양 완 희^{2*}

박 동 철^{2,3}

Ko, Jeong-Won¹

Yang, Wan-Hee^{2*}

Park, Dong-Cheol^{2,3}

Daewoo Institute of Construction Technology, DAEWOO E&C, Suwon, Gyeonggi, 16297, Korea¹

R&D CENTER, WITHMTECH Co., Ltd., Suwon, Gyeonggi, 16367, Korea²

Dept. of Advanced Materials Engineering, Gangneung-Wonju National University, Gangneung, Gangwon, 25457, Korea³

Abstract

The performance degradation of concrete pavement by winter deicer is very serious in Korea, and its maintenance and rehabilitation brings a high expense. Therefore, a suitable method for rehabilitation of such concrete pavement and repair material of proper performance are required. In this study, the properties of compressive strength, ability to resist chloride ion penetration, and properties of dry shrinkage of magnesium phosphate ceramics were assessed to evaluate its applicability as a repair material for concrete pavement in Korea. As a result, the mortar flow showed a normal level of 190 mm, but the viscosity was high and the self-flow ability was poor. The setting time was 12 minutes, leading very rapid-hardening, and thus a prompt work was required. The compressive strength of mortar was 38.4MPa in 2 hours, 73.8MPa in 24 hours, and 111.0MPa in 28 days, showing a significant level. As a result of the test to chloride ion penetration resistance, mortar showed 143 Coulombs, and concrete showed 172.6 Coulombs, which fell under very low level. The drying shrinkage of MPC concrete in 40 days was below 60×10^{-6} , and comparing with normal cement concrete, it showed the level below 1/10 of other concrete to secure an excellent volume stability. As above, magnesium phosphate ceramics has excellent strength performance, chloride ion penetration resistance, and volume stability, and this in the future shall be used in construction under the consideration of working time or workability, requiring further improvement for such performance.

Keywords : concrete pavement, repair material, magnesium phosphate ceramics, ability to resist chloride ion penetration, dry shrinkage

1. 서 론

1.1 연구의 목적

지난 수십년 동안 우리나라는 산업발전을 위해 중요한 사

회간접 시설인 도로망을 확충하였으며, 2014년 기준 도로를 통한 수송 분담율은 여객 기준 95%, 화물 기준 96%에 이른다. 이러한 도로망 중 특히 고속도로는 2,013년 12월 말 현재 33개 노선, 총연장 4,111km로 국가 물류의 중요한 위치를 차지하고 있다[1].

국내에서 고속도로의 콘크리트 포장은 1,984년 개통한 88올림픽 고속도로를 시작으로 중부고속도로의 성공적 건설과 함께 그 연장은 지속적으로 증가하였는데, 특히 중차량에 대한 지지력이 뛰어나고 유지보수비가 적게 든다는 장점

Received : April 26, 2017

Revision received : June 19, 2017

Accepted : July 25, 2017

* Corresponding author : Yang, Wan-Hee

[Tel: 82-10-8713-0667, E-mail: dangchan74@empas.com]

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

으로 콘크리트 포장은 우리나라 고속도로의 기본 포장형식으로 자리 잡아 왔다[2]. 그러나 초창기에 건설된 콘크리트 포장이 지속적으로 노후화되었으며, 특히 동절기 제설제에 의한 내구성 저하가 심각한 위협으로 거론되고 있는 실정이다. 이러한 도로 보수에 소요되는 비용은 2010년부터 2014년까지 평균 5,135억원이 소요되고 있으며 년평균 4%씩 증가되고 있는데, 특히 고속도로의 보수에도 3,260억원의 막대한 비용이 소요되고 있다[1]. 따라서 이러한 콘크리트 포장재에 대한 적절한 보수 대책의 마련과 이에 활용될 우수한 성능의 재료가 요구되고 있는 상황이다.

사회기반시설이나 콘크리트 구조물은 전생애 주기 설계 개념에서 시간의 경과에 따른 노후화의 문제로, 유지 및 보수 계획은 현재 점점 중요한 설계 과정으로 인식되고 있다 [3]. 또한 이러한 유지 보수에 소요되는 재료의 선정은 매우 중요하고 우수한 성능이 요구되므로 구조물 보수에 사용되는 재료의 성능도 더욱더 향상되고 있다[4]. 특히 고속도로와 같이 시설물 보수를 위한 사용 중단 시간의 최소화가 필요한 상황에서는 빠른 경화, 높은 초기 강도를 가진 보수 재료를 요구하게 되는데, 콘크리트 보수를 위한 다양한 초속경 시멘트 재료 중에 인산마그네슘 세라믹(Magnesium Phosphate Ceramics, 이하 MPC)은 현장 적용이 증가하면서 더 많은 관심을 받게 되었다[5,6,7,8].

인산마그네슘 세라믹은 과소 마그네시아와 인산염 간의 산염기 반응에 기초한 화학적 결합에 의한 새로운 형태의 결합재이며[3], 매우 신속히 경화하고 높은 초기 강도와 낮은 투수성을 나타낸다. 또한 우수한 내구성을 갖는다[9,10,11]고 보고되고 있으며, 상온에서 도로의 보수재로 사용할 경우 15분안에 경화하여 몇 시간 안에 교통 개방이 가능하다[10].

국내에서도 이러한 인산마그네슘 세라믹의 특성에 주목하고 몇몇 연구[12,13]가 수행되었으나 해외 기술과 비교하여 강도 성능 등이 부족하며, 다양한 성능을 검토하지 못한 한계가 있었다. 이에 따라 본 연구에서는 국내에서 제조한 인산마그네슘 세라믹을 대상으로 콘크리트도로 포장재로 활용하기 위한 압축강도 특성 및 염소이온 침투 저항성, 길이변화 특성을 평가하여 국내 현장의 적용 가능성을 검토하고자 하였다.

1.2 마그네슘 인산염 기반의 세라믹스 재료의 특징

마그네슘 인산염 기반의 세라믹스 재료의 기원은 1939년부터 1940년 사이에 프로센(Prosen)과 언쇼(Earnshaw) [14,15]에 의해 합금 성형용 재료로 최초로 개발되었으며,

현재와 같은 다양한 용도의 활용은 1990년대 미국의 아르곤 국립연구소에서 방사성 유해물질의 처리를 위해 이 재료가 응용 되면서 부터이다[16].

이러한 재료는 높은 결정성을 나타내므로 일반적인 시멘트 보다는 상온경화 세라믹으로 호칭하는 것이 좀 더 적절하며, 지난 반세기 동안 구조재료로 사용되기 위해 다양한 마그네슘 인산염 기반의 세라믹스들이 등장하고 있다[16]. 그러한 예로 극한 지역의 긴급 도로 보수나 산업시설의 바닥 및 공항 활주로 보수를 위한 마그네슘 암모늄 인산염 세라믹 그라우트[17]와 저준위 방사성 물질이나 유해 폐기물의 고형화 및 안정화를 위한 마그네슘 칼륨 인산염 세라믹스[18] 등을 들 수 있다. 또한 미국과 유럽 등에서는 몇몇의 상업용 제품이 출현되기도 하였다[16].

마그네슘 인산염 기반의 세라믹스는 반응 물질로 수용성의 마그네슘 2수소 인산염[$Mg(H_2PO_4)_2 \cdot nH_2O$]을 형성시키며, 매우 낮은 용해성을 갖는 실용적인 세라믹스는 수용성 인산염에서 공급되는 추가적인 양이온에 의해 형성될 수 있는데[16], 암모늄 인산염[19], 나트륨 인산염[20], 칼륨 인산염[18] 등은 이와 유사한 양이온을 제공한다.

이러한 마그네슘 인산염 기반의 세라믹 재료는 소성된 산화 마그네슘과 인산이나 산성의 인산염과의 반응을 통해 형성되는데, 주요한 반응 생성물은 $Mg(X_2PO_4)_2 \cdot nH_2O$ 나 $MgXPO_4 \cdot nH_2O$ 와 같이 표현될 수 있으며, 여기서 X는 수소, 암모늄, 나트륨, 칼륨 등이 될 수 있다[16].

기존의 수경성 시멘트가 분자간 결합인 반데발스 결합에 의해 강도가 발현되는데 비해 마그네슘 인산염의 경우 원자간의 결합인 이온 결합이나 공유 결합으로 경화하므로 기존의 수경성 시멘트보다 보다 우수한 강도 성능을 나타내게 된다[16]. 이에 따른 마그네슘 인산염 재료의 주요 특징을 요약하면 다음과 같다.

- 매우 빠른 경화
- 높은 초기 강도
- 우수한 부착강도
- 우수한 체적 안정성
- 낮은 투수성과 우수한 염소이온 침투 저항성

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

평가하고자 하는 인산마그네슘 세라믹은 잔골재가 포함된

Table 1. Batch for evaluation

Batch	Mixing Ratio
Mortar	MPC Mortar ^{*)} : Water = 100 : 7
Concrete	MPC Mortar : Gravel : Water = 50 : 30 : 3.6

*MPC Mortar : Magnesium Phosphate Ceramics based Dry Mortar
(Binder : Sand = 1 : 1)

Table 2. Test subject for evaluation

Batch	Test Subject
Mortar	Flow
	Initial setting time
	Compressive strength(2H/4H/24H/7D/28D)
	Ability to resist chloride ion penetration
Concrete	Slump
	Compressive strength(2H//24H/7D/28D)
	Ability to Resist Chloride Ion Penetration
	Drying shrinkage(40days)

건조 모르타르 제품(인산 마그네슘 세라믹 : 잔골재 = 1 : 1)으로 표준 혼합수 사용량은 건조모르타르 제품 중량 대비 6~8% 이다. 이에 따라 재료의 평가 시험은 모르타르 시험과 콘크리트 배합 시험으로 수행하였으며, 재료의 혼합 비율은 Table 1과 같다.

모르타르 평가에서는 건조 모르타르 재료대비 혼합수의 양을 7%로 하였으며, 콘크리트 평가에서는 건조 모르타르 재료와 굵은 골재의 비율을 50 : 30 으로 하였으며, 여기에 혼합수를 3.6의 비율로 추가하였다.

콘크리트 평가에 사용한 굵은 골재는 최대치수 25mm의 부순 골재로 밀도 2.61, 조립율 6.93의 것을 사용하였다.

재료의 평가를 위한 항목은 모르타르 시험의 경우 플로우와 응결(초결) 시험, 압축강도와 염소이온 침투 저항성 시험을 실시하였으며, 콘크리트 시험의 경우 슬럼프와 압축강도, 염소이온 침투 저항성 시험 및 길이변화 시험을 실시하였다.

재료 평가를 위한 시험 항목은 Table 2와 같다.

2.2 시험체 제작 및 시험방법

모르타르 시험체 제작은 KS F 2476 「폴리머 시멘트 모르타르의 시험방법」에 따랐으며 양생은 탈형후 20±2℃ 기건 양생을 실시하였다. 다만 압축강도 측정용 시험체는 신속한 성형 및 탈형을 위하여 50×50×50mm의 정육면체로 제작하였다.

플로우 시험 및 응결 시험, 압축강도 시험 역시 KS F 2476에 의해 실시하였으며, 압축강도 시험은 재령 2시간,



(a) Applied voltage cell

(b) Device for test

Figure 1. Preparation for test to resist chloride ion penetration

4시간, 24시간, 7일, 28일에 측정하였다.

콘크리트의 슬럼프 시험은 KS F 2594 「굳지 않는 콘크리트의 슬럼프 플로 시험방법」에 따랐으며, 압축강도 시험은 KS F 2405 「콘크리트의 압축강도 시험방법」에 준해 Ø100×200mm의 원주 공시체를 제작하여 계획된 재령까지 기건양생(20±2℃)을 실시한 후 재령 2시간, 24시간, 7일, 28일에 측정하였다.

염소이온 투과시험은 KS F 2711 「전기전도도에 의한 콘크리트 염소이온 침투저항성 시험방법」에 의거하여 수행하였다. 시험에 사용된 시험체는 Ø100×200mm 공시체를 28일간 양생한 후 Ø100×50±3mm 가 되도록 시험체를 절단하였다. 이후 측면을 실리콘으로 도막하여 경화시키고, 3시간 동안 진공상태를 유지한 후, 18시간 동안 증류수에 침지하여 완전히 포화가 되도록 하였다.

시험셀(Applied Voltage Cell)의 (-)전극에 3.0%의 NaCl 용액을 채우고 (+)전극쪽에는 0.3N의 NaOH 용액을 채운 후, Figure 1과 같이 시험체를 시험셀에 고정시키고 회로를 구성하였다.

회로를 통과한 충전하량의 측정은 시험시작 후 30분마다 6시간 동안 0.2Ω에 걸리는 전압을 데이터 로거로 측정하여 기록하고, 측정된 전압을 전류로 환산하여 다음식을 이용하여 총통과전하량을 산정하였다.

$$Q = 900(I_0 + 2I_{30} + 2I_{60} + \dots + 2I_{330} + I_{360})$$

여기서, Q : 총통과전하량

I_0 : 전압을 가한 시험시작 직후의 전류

I_t : 전압을 가한 후 t분 경과 후의 전류

이 때 모르타르의 경우에는 재료 자체의 염소이온 투과성

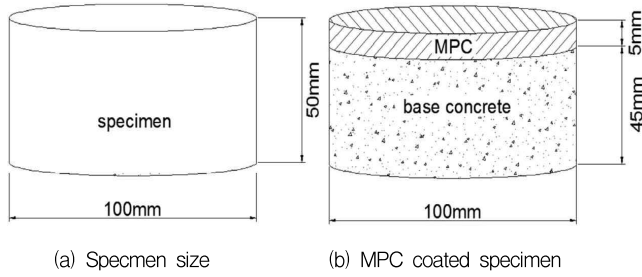


Figure 2. Specimen for test to resist chloride ion penetration

능은 물론 Figure 2와 같이 24MPa의 베이스 콘크리트 45mm에 모르타르 5mm를 코팅하여 전체 시험체의 염소이온 침투 저항성을 추가로 확인하였다. 또한 모르타르 평가에서는 시험체를 모두 28일간 양생한 후 시험하였으며, 콘크리트 평가에서는 재령 7일과 재령 28일에 각각 측정하여 염소이온 침투 저항성의 변화를 관찰하고자 하였다.

모르타르 평가에서 사용한 베이스 콘크리트는 25-24-150 규격의 콘크리트로 단위 결합재량 351 kg, 단위 수량 168kg를 적용하여 배합하였다. 결합재는 보통포틀랜드 시멘트와 고로슬래그 미분말, 플라이애시가 65 : 20 : 15의 비율로 혼합된 3성분계 결합재를 사용하였으며, 혼화제는 표준형 감수제를 전체결합재량 대비 0.75% 사용하였다.

베이스 콘크리트의 배합은 Table 3과 같다.

베이스 콘크리트 제조에 사용한 재료들의 특징은 Table 4와 같다.

Table 3. Mix proportions of base concrete

W/B (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m ³)						Ad (Bx%)
		Water	Binder			S	G	
			OPC	BS	FA			
47.9	49.9	168	228	70	53	868	879	0.75

OPC : Ordinary Portland Cement

BS : Blast furnace Slag powder

FA : Fly ash

Table 4. Properties of raw materials for base concrete

	OPC	BS	FA	Sand	Gravel
Density (g/cm ³)	3.15	2.91	2.22	2.59	2.61
Brain (cm ² /g)	3,419	4,105	3,519	-	-
Fineness Modulus	-	-	-	2.72	6.93

시멘트는 밀도 3.15g/cm³, 분말도 3,419cm²/g의 것을, 고로슬래그 미분말은 밀도 2.91, 분말도 4,105cm²/g의 것을,

플라이애시는 밀도 2.22, 분말도 3,519cm²/g의 것을 사용하였다. 또한 잔골재는 비중 2.59, 조립율 2.72의 세척사를, 굵은 골재는 비중 2.61 조립율 6.93의 부순골재를 사용하였다.

베이스 콘크리트는 탈형후 28일간 수중양생 하였으며, 7일 강도는 20.7MPa, 28일 강도는 27.8MPa 로 측정되었다.

콘크리트의 길이변화 시험은 100×100×400mm의 각주 시험체를 제작하고 60mm 부착형 스트레인게이지를 사용하여 온도 20±2℃, 상대습도 60±5%의 항온항습실에서 40일간 연속 측정하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 유동성 및 압축강도

모르타르 평가에서 인산마그네슘 세라믹의 플로우는 190mm로 평범한 수준의 유동성을 나타내었으나 다소 점성이 높고 재료 자체의 흐름성은 크지 않았다. 작업시간에 직접적인 영향을 주는 초결 시간은 12분으로 매우 빠른 경화가 이루어졌으며 이에 따라 신속한 작업이 요구되었다.

비슷한 경향으로 콘크리트 평가에서는 슬럼프가 55mm로 나타났으며, 작업이 가능한 시간은 10분 내외로 관찰되었다. 콘크리트의 작업성은 점성이 높고 수작업에 의한 다짐이 불량하여 진동다짐이 필요한 수준이었으나 콘크리트 표준시방서[21]에서는 포장 콘크리트의 배합 기준으로 슬럼프를 40mm이하로 제시하고 있으므로 기계시공을 할 경우 현장 적용에 무리가 없을 것으로 판단된다.

콘크리트 시험체 제작 후 발열에 의해 약 30분 후에는 시험체 온도가 40~50℃로 상승하였으나, 발열과 관련된 변형이나 균열 등은 관찰되지 않았으며, 2시간 강도 측정을 위한 시험체 상부면의 연마작업이 가능하였다.

압축강도 성능의 경우 모르타르는 2시간에 38.4MPa를 나타내었으며, 24시간 강도는 73.8MPa이었다. 콘크리트의 경우 2시간에 35.2MPa를 나타내었으며, 24시간 강도는 56.7MPa이었다. 인산마그네슘 세라믹과 관련된 기존 국내의 연구[12,13]에서 24시간 이내의 초기 강도가 10~25MPa 인 것과 비교할 때 매우 우수한 수준을 나타내었으며, 특히 국내의 콘크리트 포장도로 보수를 위해 사용되고 있는 보수재에 대한 평가에서 2시간 강도가 30MPa 이하[22]임을 고려해도 우수한 수준의 초기강도를 나타낸 것으로 판단된다.

압축강도 성능 평가 결과는 Table 5, Figure 3, Figure 4와 같다.

Table 5. Compressive strength of MPC(MPa)

Age	Mortar	Concrete
2 hours	38.4	35.2
4 hours	52.2	-
24 hours	73.8	56.7
7 days	108.0	62.7
28 days	111.0	68.3

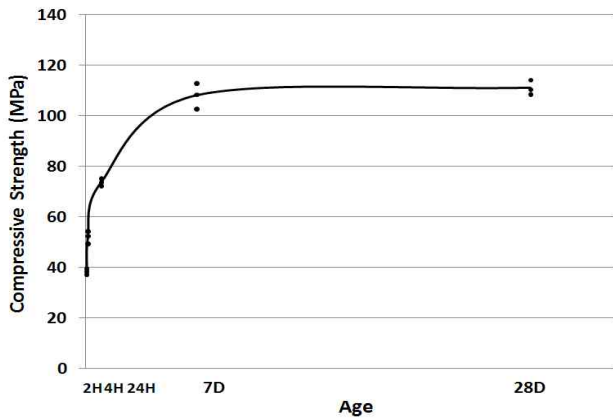


Figure 3. Compressive strength of MPC mortar

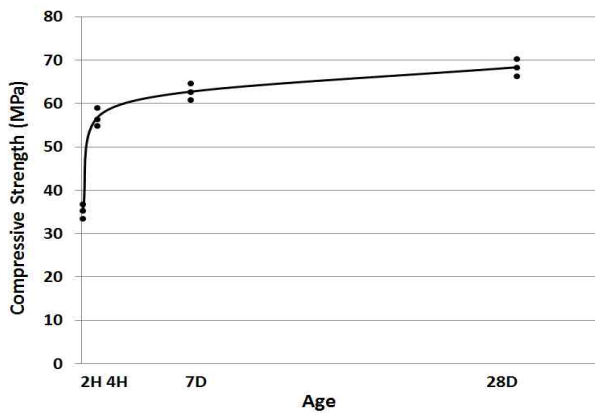


Figure 4. Compressive strength of MPC concrete

재령 7일과 재령 28일의 압축강도는 모르타르의 경우 각각 108.0MPa과 111.0MPa로 높은 수준을 나타냈으나 재령 7일 이후 강도증진이 크지 않았으며, 콘크리트의 경우 각각 62.7MPa과 68.3MPa로 나타났는데 모르타르와 달리 재령 7일 이후 28일에도 강도가 다소 증진되었다.

3.2 염소 이온 침투 저항성

염소 이온 침투 저항성 시험은 콘크리트의 염화물 침투성

의 정도를 파악하기 위해 실시하는 매우 중요한 내구성 관련 시험이다. 특히 콘크리트 포장도로는 동절기에 제설제를 다량 사용하게 되므로 이로 인한 콘크리트 내부의 철근 부식과 콘크리트의 열화에 의해 내구성이 저하하는 경우가 많으므로 포장도로의 보수용 재료를 평가할 때 중요한 항목으로 인식되고 있다.

ASTM C 1202-10[23]에서는 본 실험에서 측정된 전하량을 염화물 이온 투과성과 비교하는 자료를 Table 6와 같이 제시하고 있다. 또한 국토해양부에서 발행된 교면포장 설계 및 시공 잠정지침[24]에서는 시멘트 콘크리트 교면포장용 시멘트 콘크리트의 내구성능 품질기준에서 염소이온 침투 저항성을 1,000 Coulombs 이하로 규정하고 있다.

염소 이온 침투 저항성 시험 결과는 Table 7, Table 8에 나타내었다. 모르타르의 경우 143 Coulombs의 매우 우수한 수준을 나타내었으며, 6,334 Coulombs을 나타낸 베이스 콘크리트에 5 mm 코팅한 경우에도 586 Coulombs을 나타내었다. 따라서 MPC 모르타르를 기존의 콘크리트 상부에 5mm 이상 코팅할 경우 모체 콘크리트의 염소 이온 투과 저항성을 우수하게 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

Table 6. Chloride ion penetrability based on charge passed[23]

Charge Passed (Coulomb)	Chloride Ion Penetrability
> 4,000	High
2,000~4,000	Moderate
1,000~2,000	Low
100~1,000	Very Low
100 >	Negligible

Table 7. Ability to resist chloride ion penetration of MPC mortar

Specimen	Coulomb
Base Concrete(24MPa) 50mm	6,334
Base Concrete(24MPa) 45mm + MPC Mortar 5mm	586
MPC Mortar 50mm	143

Table 8. Ability to resist chloride ion penetration of MPC concrete

Age	7D	28D
Coulomb	179	173

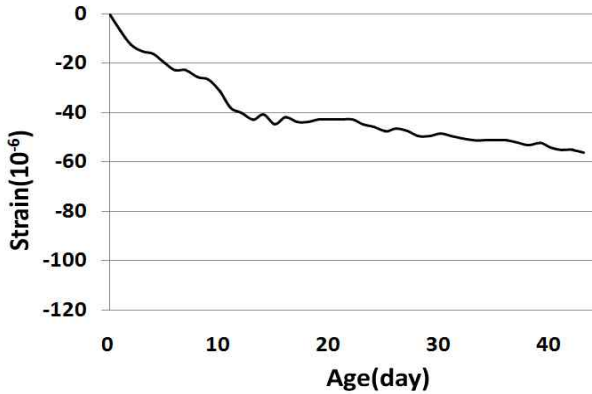


Figure 5. Result of dry shrinkage

콘크리트의 경우에는 재령 28일에서 173Coulombs으로 측정되어 모르타르보다 다소 높은 수준을 나타내었으나, ASTM C 1202-10에서 제시하고 있는 성능과 비교할 때 여전히 매우 우수한 수준이었으며, 국토해양부의 교면포장 설계 및 시공 잠정지침의 규정도 안정적으로 만족하는 것으로 나타났다. 또한 콘크리트의 재령 7일의 염소 이온 투과 저항성이 179 Coulombs으로 재령 28일의 결과와 크게 차이가 없었으므로 콘크리트 타설 후 조기부터 안정적인 염소 이온 투과 저항성을 확보할 수 있음을 알 수 있었다.

3.3 길이변화 특성

MPC 콘크리트의 길이변화 시험 결과는 Figure 5와 같다. 측정 재령 10일에 40×10^{-6} 수준으로 길이가 감소했고 그 후 재령 40일까지는 60×10^{-6} 이하로 완만하게 길이가 감소했다. 이러한 결과는 보통의 시멘트 콘크리트의 길이변화 수준과 비교할 때 약 1/10 수준으로 우수한 체적안정성을 확보하고 있다고 할 수 있다.

또한 일본건축학회 JASS 5에서 정의한 내구성 확보를 위한 길이변화 목표치인 800×10^{-6} 이하의 값[25]과 비교해도 충분히 안정적인 길이변화 결과를 나타낸 것으로 판단된다. 기존의 연구에서는 이러한 결과를 MPC 콘크리트가 보통의 시멘트 콘크리트보다 교반에 사용한 혼합수량이 적고, 경화된 MPC 콘크리트의 수화물 체적이 작기 때문인 것으로 분석[11]하고 있다.

4. 결 론

국내에서 개발된 인산마그네슘 시멘트를 대상으로 모르타

르와 콘크리트 시험을 통해 압축강도 특성 및 염소이온 침투 저항성, 길이변화 특성을 평가한 결과는 다음과 같다.

- 1) 모르타르 평가에서 플로우는 190mm로 평범한 수준의 유동성을 나타내었으나 다소 점성이 높고 재료 자체의 흐름성은 크지 않았다. 응결 시간은 12분으로 매우 빠른 경화가 이루어졌으며 이에 따라 신속한 작업이 요구되었다. 콘크리트 평가에서는 슬럼프가 55mm로 나타났다. 경화가 되기까지 가능한 작업시간은 10분 내외로 관찰되었다.
- 2) 압축강도 성능의 경우 모르타르는 2시간에 38.4MPa, 24시간에 73.8MPa을 나타내었다. 콘크리트는 2시간에 35.2MPa, 24시간에 56.7MPa을 나타내었다. 재령 7일과 재령 28일의 압축강도는 모르타르의 경우 각각 108.0MPa과 111.0MPa로 높은 수준을 나타냈으나 재령 7일 이후 강도증진이 크지 않았으며, 콘크리트의 경우 각각 62.7MPa과 68.3MPa로 나타났는데 모르타르와 달리 재령 7일 이후 28일에도 지속적으로 강도가 증진되었다.
- 3) 염소 이온 침투 저항성 시험 결과 모르타르의 경우 143 Coulombs의 매우 우수한 수준을 나타내었으며, 6,334 Coulombs을 나타낸 베이스 콘크리트에 5mm를 코팅한 경우에도 586Coulombs을 나타내었다. 따라서 MPC 모르타르를 기존의 콘크리트 상부에 5mm 이상 코팅할 경우 모체 콘크리트의 염소 이온 투과 저항성을 우수하게 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 또한 콘크리트는 재령 7일에 179Coulombs, 재령 28일에 173Coulombs을 나타내어 콘크리트 타설 후 조기부터 안정적인 염소 이온 투과 저항성을 확보할 수 있음을 알 수 있었다.
- 4) 콘크리트의 길이변화 시험 결과는 재령 40일까지 60×10^{-6} 이하로 완만하게 길이가 감소했다. 따라서 MPC 콘크리트는 보통의 시멘트 콘크리트의 길이변화 수준과 비교할 때 매우 우수한 체적안정성을 확보하고 있다고 할 수 있다.

이상과 같이 인산 마그네슘 시멘트는 우수한 강도 성능과 염소이온 침투 저항성, 체적 안정성을 보유하고 있음을 확인하였고, 향후 작업 시간이나 작업성에 대한 개선이 요구되며, 현장 적용시에는 이러한 부분에 대한 주의가 필요하다.

요 약

콘크리트 포장도로는 동절기 제설제에 의한 내구성 저하가 심각한 위협으로 거론되고 있고 그 보수에도 많은 비용이 소요되고 있다. 따라서 이러한 콘크리트 포장재에 대한 적절한 보수 대책의 마련과 이에 활용될 우수한 성능의 보수 재료가 요구되고 있는 상황인데, 본 연구에서는 국내에서 개발된 인산마그네슘 세라믹(Magnesium phosphate ceramics)을 대상으로 압축강도 특성 및 염소이온 침투 저항성, 길이 변화 특성을 평가하여 국내 콘크리트 포장 도로의 보수 재료로 적용 가능성을 검토하였다.

평가 결과 모르타르의 유동성은 190mm의 평범한 수준을 나타내었으나 다소 점성이 높고 재료 자체의 흐름성은 크지 않았다. 응결 시간은 12분으로 매우 빠른 경화가 이루어졌으며 이에 따라 신속한 작업이 요구되었다. 모르타르의 압축강도 성능은 2시간에 38.4MPa, 24시간에 73.8MPa, 28일에 111.0MPa로 재령 초기부터 높은 수준을 나타내었다. 염소이온 침투 저항성 시험 결과 모르타르의 경우 143 Coulombs, 콘크리트의 경우 173 Coulombs으로 매우 우수한 수준을 나타내었다. 콘크리트의 길이변화 시험 결과는 재령 40일까지 60×10^{-6} 이하로 완만하게 감소하였으며, 보통의 시멘트 콘크리트의 길이변화 수준과 비교할 때 1/10 이하의 수준으로 우수한 체적안정성을 확보하고 있었다.

이상과 같이 인산마그네슘 세라믹은 우수한 강도 성능과 염소이온 침투 저항성, 체적 안정성을 보유하고 있음을 확인하였고, 향후 작업 시간이나 작업성에 대한 개선이 요구되며, 현장 적용시에는 이러한 부분에 대한 주의가 필요하다.

키워드 : 콘크리트 포장재, 보수 재료, 인산마그네슘 세라믹, 염소 이온 투과 저항성, 건조 수축

References

1. Ministry of Land, Infrastructure and Transport(South Korea), 2014 Road work manual(11-1500000-001480-10). Seoul: Ministry of Land, Infrastructure and Transport(South Korea); 2014. 463 p.
2. Jo NG, Kim JH, Yeo IS, Cho NH, Suh YC. A study for procedure for determination of restoration & rehabilitation method for concrete pavement. 2006 Spring Conference of Korea Society of Road Engineers; 2006 Mar 3; Seoul, Korea, Seoul(Korea):

- Korea Society of Road Engineers; 2006. p. 55-62.
3. Fei Qiao, C.K. Chau, Zongjin Li. Property evaluation of magnesium phosphate cement mortar. *Construction and Building Materials*. 2010;24:695-700.
4. Morgan DR. Compatibility of concrete repair materials and systems. *Construction and Building Materials*. 1996;10(1): 57-67.
5. Pera J, Ambrose J. Fiber-reinforced magnesia phosphate cement composites for rapid repair. *Cement and Concrete Composites*. 1998;20(1):31-9.
6. Ding Z, Li Z. High-early-strength magnesium phosphate cement with fly ash. *ACI Materials Journal*. 2005;102(6): 375-81.
7. Soudee E, Pera J. Mechanism of setting reaction in magnesia phosphate cements. *Cement and Concrete Research*. 2000;30(2):315-21.
8. Iyengar SR, Al-Tabbaa A. Developmental study of a low-pH magnesium phosphate cement for environmental applications. *Environmental Technology*. 2007;28(12):1387-401.
9. Yang Q, Zhang S, Wu X. Deicer-scaling resistance of phosphate cement-based binder for rapid repair of concrete. *Cement and Concrete Research*. 2002;32(1):165-68.
10. Seehra SS, Gupta S, Kumar S. Rapid setting magnesium phosphate cement for quick repair of concrete pavements characterisation and durability aspects. *Cement and Concrete Research*. 1993;23(2):254-66.
11. Yang Q, Zhu B, Wu X. Characteristics and durability test of magnesium phosphate cement-based material for rapid repair of concrete. *Materials and Structures*. 2000;33(228):229-34.
12. Ahn MY, Jung SJ. An Experimental study on the properties of ultra rapid hardening mortar using magnesia-phosphate cement. *Journal of the Korea Institute of building Construction*. 2007 Dec;7(4):109-16.
13. Hong SG, Kim DY, Lee DS. Fundamental properties and hydration characteristics of mortar based on MgO added industrial by-products. *Journal of the Korea Concrete Institute*. 2013 Oct;25(5):565-72.
14. R. Earnshaw. Investments for casting cobalt-chromium alloys, part I. *British Dental Journal*. 1960;108:389-96.
15. R. Earnshaw. Investments for casting cobalt-chromium alloys, part II. *British Dental Journal*. 1960;108:429-40.
16. Arun S, Wagh. *Chemically bonded phosphate ceramics*. 1st ed. New York: Elsevier; 2004. 283 p.
17. B. El-Jazairi. Rapid repair of concrete pavings. *Concrete (The concrete society)*. 1982;16(9):12-5.

18. AS Wagh, D Singh, SY Jeong, Ed, CH Oh, Hazardous and Radioactive Waste Treatment Technologies Handbook, Boca Raton: CRC Press; 2001, Chapter 6,3, Chemically bonded phosphate ceramics for stabilization and solidification of mixed waste;p. 521–38.
19. T. Sugama, LE Kukacka, Characteristics of magnesium polyphosphate cements derived from ammonium polyphosphate solutions, *Cement and Concrete Research*, 1983;13:499–506.
20. ED Demotakis, WG Klemperer, JF Young, Polyphosphate chain stability in magnesia–polyphosphate cements, *Materials Research society proceedings*, 1991 Jan;245:205–10.
21. Korea Concrete Institute, Concrete pyojoon sibangseo [Concrete standard specification], Seoul (Korea): Kimundang; 2009, 360 p. Korean.
22. Kim JH, Kim HJ, Kim SB, Evaluation of repair material for concrete pavement, 2012 Spring Conference of Korea Concrete Institute; 2012 Mar 29–30; Busan, Korea, Seoul(Korea): Korea Concrete Institute; 2012, p. 527–28.
23. ASTM C1202–10, Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration, West Conshohocken, Pennsylvania: ASTM International; 2010, 8p
24. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(South Korea), Guideline for the design and construction of pavement on Bridge(11–1611000–001711–01), Seoul: Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs(Korea); 2011, 326 p.
25. Ryu DW, Kim WJ, Yang WH, Park DC, An experimental study on the carbonation and drying shrinkage of concrete using high volumes of ground granulated blast–furnace slag, *Journal of the Korea Institute of building Construction*, 2012 Aug;12(4): 393–400.