

바탕면 함수조건에 따른 마그네시아 인산칼륨 시멘트 모르타르의 부착성능

강석표^{1*}, 김재환²

Bond Performance of Magnesium Potassium Phosphate Cement Mortar according to Moisture Condition of Substrate

Suk-Pyo Kang^{1*}, Jae-Hwan Kim²

Abstract: This study focuses on the investigation of bond strength of magnesium potassium phosphate cement mortar(MKPC) according to moisture condition of substrate. Tensile bond test, shear bond test and interfacial bond test are adopted for evaluating the adhesion characteristics of MKPC to conventional cement mortar substrate. The main experimental variables are test methods and moisture levels of substrate. Because the moisture condition of the substrate may be critical to achieving bond, optimum moisture condition for a conventional concrete substrate has evaluated in this study. The results are as follows ; The effects of moisture condition at substrate into the bonding of MKPC are less different than polymer cement mortar and epoxy mortar. But the saturated and surface dry condition is the most appropriate moisture level among the considered, followed by saturated condition and wet condition. Thus, an adequate moisture level of substrate for MKPC is essential for good bond strength.

Keywords: Magnesium potassium phosphate cement, Moisture condition, Bond strength, Polymer cement mortar, Epoxy mortar

1. 서 론

마그네시아 인산염 시멘트 복합체는 마그네시아, 인산염을 결합체로 사용하며, 마그네시아의 종류, 인산염의 종류, 지연제의 첨가에 의하여 다양한 성능을 발휘하는 건설재료이다(Roy, 1987; Abdelrazig, 1988). 최근 국내에서도 활발하게 연구되어지고 있는 마그네시아 인산염 시멘트 복합체는 속경성이 있고 저온에서도 수화반응이 가능한 것으로 보고되고 있어 속경성이 요구되어지는 보수재료로서 활용가능 할 것으로 판단된다(Ahn, 2008; Cho, 2012).

초기의 마그네시아 인산염 시멘트 복합체에서는 인산염으로서 주로 제1인산암모늄을 사용하였으나(Seehra, 1993; Yang, 1999) 반응성이 매우 빠르고 화학반응 중에 발생하는 불쾌한 암모니아가스로 인하여 최근에는 제1인산암모늄 대신 반응성이 상대적으로 느리면서 안정한 제1인산칼륨을 사용하는 마그네슘 인산칼륨 시멘트 복합체(Magnesium Potassium Phosphate Cement, 이하 MKPC) 연구(Qiao, 2010; Ma, 2014)가 외국에

서는 활발하게 진행되고 있으나 국내에서는 시작단계 수준이다.

최근 MKPC의 국내 연구(Kang, 2015)에서는 제1인산칼륨과 마그네시아의 혼합비(KDP/MgO), 물과 결합체의 비율(W/B)와 같은 배합요인이 상온 및 저온환경에서 초기 재령 물성에 미치는 영향을 검토하였다. 그 결과 저온($0 \pm 3^{\circ}\text{C}$)에서 양생할 경우 1일 이전의 초기강도는 저하되지만 재령이 지날수록 회복되고, 특히 1일 이전의 초기강도에는 KDP/MgO 보다는 W/B의 영향이 큰 것으로 보고하고 있다.

한편 MKPC의 속경성 및 저온 경화성능에 대한 장점을 극대화 할 수 있는 보수재료로서 활용하기 위하여 부착강도 특성은 국외 연구자들에게는 배합요인에 따른 강도발현 특성과 더불어 주요 관심사 중의 하나이지만(Fernando, 2008; Hua, 2016), 국내에서의 연구는 미미한 실정이다. 특히 보수공법에서 바탕면 함수조건은 일정한 환경에서의 실험실 조건이 아닌 다양한 환경의 실제 시공현장에서 부착강도에 크나큰 영향을 미치는 것으로 보고되어 지고 있다(Yun, 2001; Oh, 2001).

따라서 본 논문에서는 보수재료로서 시멘트 모르타르 바탕면의 함수조건에 따른 MKPC의 인발 부착강도, 전단 부착강도, 계면 부착강도 등 각종 부착성능을 폴리머 시멘트 모르타르(이하 PC), 에폭시 모르타르(이하 EP)와 비교 분석함으로써 보수공사 현장 적용시 참고자료를 제시하고자 하였다.

¹정회원, 우석대학교 건축학과 교수, 교신저자

²정회원, ㈜에이엠에스엔지니어링 대표이사

*Corresponding author: ksp0404@woosuk.ac.kr

Department of Architecture, Woosuk university, Chungbuk 27841, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2017년 2월 1일까지 학회로 보내주시면 2017년 3월호에 토론결과를 게재하겠습니다.

2. 실험 계획 및 방법

2.1 실험계획

MKPC의 바탕면 함수조건에 따른 부착강도 특성을 검토하기 위하여 실험계획을 Table 1과 같이 수립하였다. 절건 바탕면, 표건 바탕면, 습윤 바탕면과 같이 3 종류의 바탕면 함수조건에 따른 환경조건에서 보수재료로서 MKPC와 비교용 PC 및 EP를 부착한 후 인발 부착강도, 전단 부착강도, 계면 부착강도와 같은 각종 부착성능을 비교 검토 하고자 하였다.

2.2 사용재료

2.2.1 마그네슘 인산칼륨 시멘트

본 논문에서 사용한 MKPC는 기존 연구결과(Kang, 2015)를 바탕으로 Table 2에 나타난 바와 같이 제1인산칼륨(KDP)과 마그네시아(MgO)의 혼합비(KDP/MgO)를 75%, 마그네시아와 제1인산칼륨을 합친 결합재에 대한 배합수비(W/B)를 30%, 결합재 : 잔골재의 비를 1:2로 하는 배합으로 직접 제조하였으며, 작업성을 확보하기 위하여 지연제로서 Borax를 0.7% 사용하였다.

MKPC에 사용한 인산염으로서 수화과정 중에 유해 가스가 발생하지 않고 반응속도를 늦추고자 제1인산암모늄 대신에 가장 안정적인 반응을 나타내는 제1인산칼륨을 사용하였다. 또한 마그네시아(MgO)는 가사시간 확보를 위하여 수화반응성이 가장 낮은 사소 마그네시아(Dead Burn MgO)를 선정하였다. 사용한 MgO 외관은 분말형태로서 입형이 매우 거칠고 불규칙하며, 평균 직경이 23.48 μm 로서 시멘트, 고로슬래그 미분말, 플라이애시와 비교하여 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또한 본 논문에 사용된 잔골재는 입도가 1.4 ~ 0.297 mm 범위의 색상이 연갈색이나 베이지색을 나타내는 인조규사를 사용하였다.

2.2.2 에폭시 모르타르

본 논문에서 사용한 에폭시 모르타르는 시판 중에 있는 C 사 제품 중 일반적으로 사용되어지고 있는 상온 경화형 제품을 사용하였다. Table 3에 나타난 주제 및 경화제로 이루어진 2액형 에폭시 수지를 3:1로 비율로 계량하여 전동 믹서기로

Table 2 Mix design of MKPC

KDP/MgO* (%)	W/B (%)**	binder:sand	retarder***
75	30	1:2	0.7%

* Potassium phosphate(KDP)/Magnesia(MgO)

** Binder : KDP+MgO

*** Borax

Table 3 Properties of epoxy

Type	Resin	Hardener	Remark
Mix design	3	1	Weight %
Density	1.14±0.1	1.02±0.1	
Viscosity (cPs)	600±100		
Suspend time (min.)	30±10		

혼합하였다. 혼합되어진 레진에 잔골재로서 입도 1.4 ~ 0.297 mm 범위의 인조규사를 1:4의 비율로 4분간 전동믹서기로 혼합한 후 사용하였다.

2.2.3 폴리머 시멘트 모르타르

본 논문에서 사용한 폴리머시멘트 모르타르는 시판 중에 있는 건조 모르타르 제조 방식의 물만 혼합하여 사용하는 1액형 A사 제품을 사용하였다. 사용된 폴리머 시멘트 모르타르는 KS F 4042 콘크리트 구조물 보수용 폴리머시멘트 모르타르 규격에 적합한 것으로서 폴리머 수지는 백색 분말형태의 에틸렌 초산비닐(EVA) 재유화형 분말수지를 중량비로 2.5% 혼입된 제품이다. 또한 균열 저항성을 향상시키기 위하여 길이 8 mm인 PVA 섬유를 중량비로 0.1% 혼입된 제품이다.

2.3 실험방법

2.3.1 바탕 모르타르 제작 및 바탕면 함수조건

본 논문에서는 보수재료의 바탕 모르타르 환경조건을 함수조건에 따라 절건 바탕면, 표건 바탕면, 습윤 바탕면 등 3종류로 설정하였다.

바탕 모르타르 제조는 보통 포틀랜드 시멘트를 이용하여 1 (시멘트) : 3(표준사) : 0.5(물)의 중량비로 기계식 모르타르 믹서기에 의하여 혼합한 후 각각의 부착강도 시험체 몰드에 채워 넣었다. 제작되어진 바탕 모르타르 시험체는 온도 20 ± 1°C,

Table 1 Experimental plan

ID	Type of repair material	Moisture condition of substrate	Test items
PC	· Polymer cement	· Dry (stored in a dryer)	· Bond strength (28days)
EP	· Epoxy	· SSD (saturated and surface dry)	- Tensile bond [KS F 2762]
MKPC	· Magnesium Potassium Phosphate Cement	· Wet (stored in water)	- Shear bond - Interfacial bond

습도 90% 항온항습기에서 24시간 양생 후 탈형하여 28일 수중 양생하였다.

절건 바탕면의 경우 바탕 모르타르 시험체를 절건상태로 만들기 위하여 부착강도 별로 제작되어진 바탕 모르타르 시험체를 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 건조기에서 7일간 양생하였다. 또한 바탕 모르타르 시험체에 보수재료를 부착시킨 후 1일 후에 탈형하고 절건 바탕면 환경조건과 동일한 $60 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 건조기에서 7일간 양생하였다.

표건 바탕면의 경우 바탕 모르타르 시험체를 표건상태로 만들기 위하여 부착강도 별로 제작되어진 바탕 모르타르 시험체를 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 항온수조에서 6일간 양생한 후 1일 동안 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 60%의 항온항습기에서 양생하였다. 또한 바탕 모르타르 시험체에 보수재료를 부착시킨 후 1일 후에 탈형하고 표건 바탕면 환경조건과 동일한 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 습도 60%의 항온 항습기에서 7일간 양생하였다.

습윤 바탕면의 경우 바탕 모르타르 시험체를 습윤상태로 만들기 위하여 부착강도 별로 제작되어진 바탕 모르타르 시험체를 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 항온수조에서 7일간 양생하였다. 또한 바탕 모르타르 시험체에 보수재료를 부착시킨 후 1일 후에 탈형하고 습윤 바탕면 환경조건과 동일한 온도 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 항온수조에서 7일간 양생하였다.

2.3.2 부착강도

1) 인발 부착강도

인발 부착강도 시험체는 KS F 4042 「콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르」의 부착강도 시험방법에 준하여 제작하였다. 치수 $70\text{ mm} \times 70\text{ mm} \times 20\text{ mm}$ 의 몰드에 바탕 모르타르를 채워 넣고 바탕면 함수조건을 만들기 위하여 각각의 환경조건에서 양생하였다. 제작 되어진 바탕 모르타르 시험체 위에 치수 $40\text{ mm} \times 40\text{ mm} \times 10\text{ mm}$ 의 몰드를 만들고 보수재료인 폴리머 시멘트 모르타르, 에폭시 모르타르, 마그네시아인산염 시멘트 모르타르를 충전하였다.

인발 부착강도 시험은 KS F 4042 「콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르」의 부착강도 시험방법에 준하여 시험체 상부 인장용 지그를 접착제로 부착하여 24시간 후에 시험체 면에 대해 수직 방향으로 인장력을 가해 최대 인장 하중을 측정한다 후 다음 식 (1)에 의하여 산출하였다.

$$\sigma_t = \frac{P}{1600} \quad (1)$$

여기서, σ_t : 인발 부착 강도(N/mm²)

P: 최대하중(N)

인발 부착강도 시험체 형상을 Fig. 1(a)에 나타내었으며, 인발 부착강도 시험장면을 Photo 1(a)에 나타내었다.

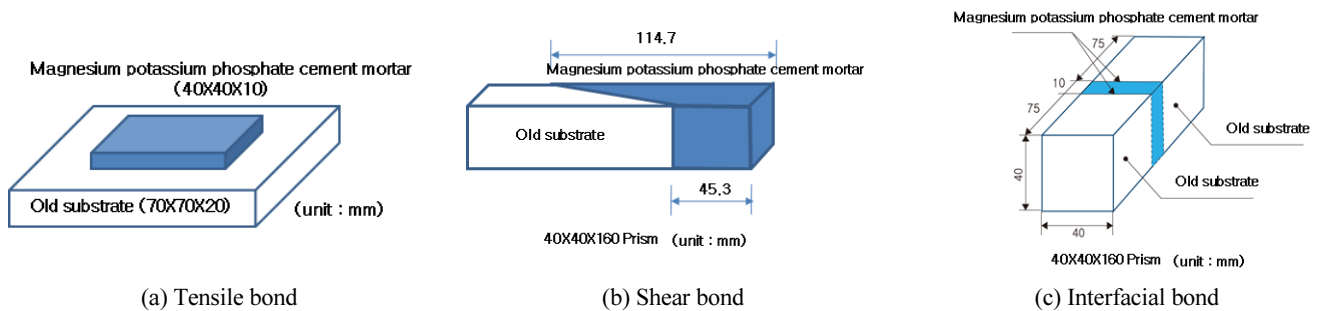


Fig. 1 Schematic representation of specimen

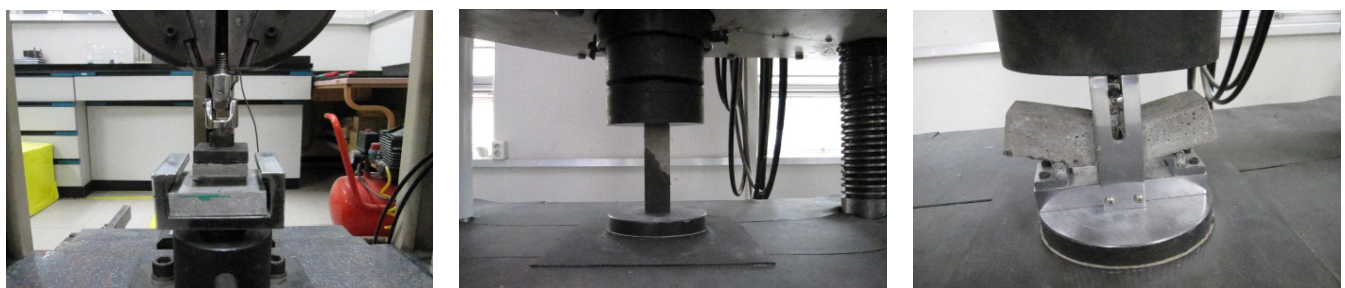


Photo 1 Bond test set-up

2) 전단 부착강도

전단 부착강도 시험체는 KS F 2760 「콘크리트용 접착제의 경사전단 접착강도 시험방법」을 근거로 하여 제작하였다. 치수 40 mm × 40 mm × 160 mm의 좌측 내부면에 윗면 45.3 mm, 아랫면 114.7 mm의 사다리꼴 형태의 스티로폼을 끼워 넣고서 바탕 모르타르를 채워 넣고 바탕면 함수조건을 만들기 위하여 각각의 환경조건에서 양생하였다. 양생된 바탕 모르타르 시험체를 치수 40 mm × 40 mm × 160 mm의 몰드에 다시 넣고 나머지 부분을 보수재료인 폴리머 시멘트 모르타르, 에폭시 모르타르, 마그네시아인산염 시멘트 모르타르를 충전하였다.

전단 부착강도 시험은 시험체의 40 × 40 mm의 양쪽면을 가압면으로 하여 재하하였으며, 파괴 시 최대 파괴 하중을 측정 한 후 다음 식 (2)에 의하여 산출하였다.

$$\sigma_s = \frac{P\sqrt{3}}{6400} \quad (2)$$

여기서, σ_s : 전단 부착강도(N/mm²)

P: 최대하중(N)

전단 부착강도 시험체 형상을 Fig. 1(b)에 나타내었으며, 전단 부착강도 시험장면을 Photo 1(b)에 나타내었다.

3) 계면 부착강도

계면 부착강도 시험체는 KS F 4923 「콘크리트 구조물 보수용 에폭시 수지」를 근거로 하여 제작하였다. 치수 40 mm × 40 mm × 160 mm의 몰드 중앙부 위치에 두께 10 mm의 스티로폼을 끼워 넣고서 바탕 모르타르를 채워 넣고 바탕면 함수조건을 만들기 위하여 각각의 환경조건에서 양생하였다. 양생된 바탕 모르타르 시험체를 치수 40 mm × 40 mm × 160 mm의 몰드에 다시 넣고 나머지 부분을 보수재료인 폴리머 시멘트 모르타르, 에폭시 모르타르, 마그네시아인산염 시멘트 모르타르를 충전하였다.

계면 부착강도는 파괴 시 최대 파괴 하중을 측정한 후 다음 식 (3)에 의하여 산출하였다.

$$\sigma_i = \frac{120P}{bh^2} \quad (3)$$

여기서, σ_i : 계면 부착강도(N/mm²)

P: 최대하중(N)

b: 시험체의 나비(mm)

h: 시험체의 높이(mm)

계면 부착강도 시험체 형상을 Fig. 1(c)에 나타내었으며, 계면 부착강도 시험장면을 Photo 1(c)에 나타내었다.

3. 실험결과 및 분석

3.1 인발 부착강도

보수재료별 바탕면 함수조건에 따른 인발 부착강도는 Fig. 2 및 Table 4에 나타낸 바와 같이 바탕면 함수조건에 따라서 인발 부착강도는 다양하게 나타나고 있으며, 절건 바탕면 PC를 제외하면 모든 조건에서 KS F 4042 「콘크리트 구조물 보수용 폴리머 시멘트 모르타르」에서 규정하고 있는 부착강도 1.0 N/mm² 이상을 만족하고 있다.

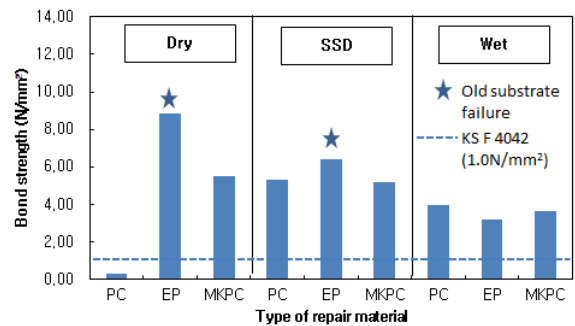


Fig. 2 Tensile bond strength

Table 4 Specimens after tensile bond test

	PC	EP	MKPC
Dry			
	Interfacial failure	Old substrate failure	Interfacial failure
SSD			
	Interfacial failure	Old substrate failure	Interfacial failure
Wet			
	Interfacial failure	Interfacial failure	Interfacial failure

바탕면 함수조건에 따른 PC의 인발 부착강도는 표건 바탕면 5.3 N/mm², 습윤 바탕면 3.9 N/mm², 절건 바탕면 0.3 N/mm²로서 표건 바탕면에서 가장 높았고 절건 바탕면에서 가장 낮게 나타나고 있다. 바탕 모르타르가 지나치게 건조하면 부착되는 보수재료의 수분을 빼앗아가기 때문에 보수재료가 과도한 건조수축을 유발하고 또한 바탕 모르타르의 표면에 수분이 너무 많으면 공극을 막아 보수재료가 흡수되는 것을 방해하고 부착계면에서의 물-결합재비가 높아져 보수재료의 강도가 저하되었기 때문으로 판단된다(Yun, 2001). 특히 폴리머 시멘트 모르타르는 바탕면이 건조될 경우 부착력 저하가 심하게 나타나고 있어 건조 환경에서의 시공시 바탕면에 물뿌림과 같은 사전 준비작업이 필요할 것으로 사료된다.

바탕면 함수조건에 따른 EP의 인발 부착강도는 절건 바탕면 8.8 N/mm², 표건 바탕면 6.4 N/mm², 습윤 바탕면 3.2 N/mm²로서 폴리머 시멘트 모르타르와는 상이하게 바탕면의 함수량이 적을수록 높게 나타나고 있다. 폴리머 시멘트 모르타르에서는 바탕면이 건조할 경우 인발 부착강도가 현저히 저하하는 현상이 발생하였으나 에폭시 모르타르에서는 오히려 건조 바탕면이 습윤면과 비교하여 높은 부착강도를 나타내고 있다(Oh, 2001).

한편 바탕면 함수조건에 따른 MKPC의 인발 부착강도는 절건 바탕면 5.5 N/mm², 표건 바탕면 5.2 N/mm², 습윤 바탕면 3.6 N/mm²로서 폴리머 시멘트 모르타르와는 상이하게 절건 및 표건 바탕면의 부착력이 유사하게 나타나고 있다. 마그네슘 인산칼륨 시멘트 복합체(MKPC)는 배합수의 혼합과 동시에 지연제 및 인산염의 음이온과 양이온이 급속하게 물에 용해되고 마그네시아 입자가 인산염 수화물에 의해 둘러싸여 마그네슘 인산칼륨 페이스트가 경화될 수 있도록 점차 강력한 경화체인 Stuvite 및 Bobierite를 형성시켜 조기강도가 높게 발현된다(Ma, 2014). 따라서 마그네슘 인산칼륨 시멘트는 폴리머 시멘트와 비교하여 건조상태에서의 바탕면에 흡수되어지기 전에 수화반응이 일어나 표건 바탕면과 유사한 부착강도를 발현한 것으로 사료된다.

직접 인장에 의한 부착강도 실험은 실질적으로 부착강도를 측정하는 것이 아니라 재료의 최소 파괴인장강도를 가리키는 것에 다소 더 가깝다. 따라서 부착강도 측정을 위한 연구에서는 파괴형상이 부착특성을 파악하기 위한 중요한 분석방법으로서 제안되고 있다. 파괴형상은 파괴 횡단면에서 바탕 모르타르, 부착계면, 보수재료로 구분가능하며, 파괴 단면에서 바탕 모르타르의 면적 비율이 증가할수록 부착강도가 높은 것으로 판단할 수 있다(Yun, 2001; Fernando, 2008). 본 논문에서의 파괴 형상은 파괴가 발생된 부위로서 바탕 모르타르, 부착계면, 보수재료로 구분하였다. 바탕 모르타르에서 파괴가 발생한 시험체는 인발 부착강도가 높게 나타난 건조 바탕면

EP, 표면건조 포화상태 바탕면 EP로서 바탕면과 보수재료간의 부착력이 우수한 것으로 나타났다. 특히 유기질 재료인 에폭시 모르타르의 부착력이 무기질 재료인 폴리머시멘트 모르타르와 마그네슘 인산칼륨 모르타르와 비교하여 우수하게 나타난 것은 에폭시의 뛰어난 초기 물성 때문이다. 또한 본 연구에서는 장기적인 측면에서 무기질인 바탕체와 유기질인 에폭시 모르타르와의 열팽창계수 차이로 인한 부착력 저하는 고려가 되지 않았기 때문으로 사료된다.

3.2 전단 부착강도

보수재료별 바탕면 함수조건에 따른 전단 부착강도는 Fig. 3 및 Table 5에 나타난 바와 같이 바탕면 함수조건에 따라서 전단 부착강도는 다양하게 나타나고 있으며, 인발 부착강도와 비교하여 26.1% 수준을 보이고 있다.

바탕면 함수조건에 따른 PC의 전단 부착강도는 표건 바탕면

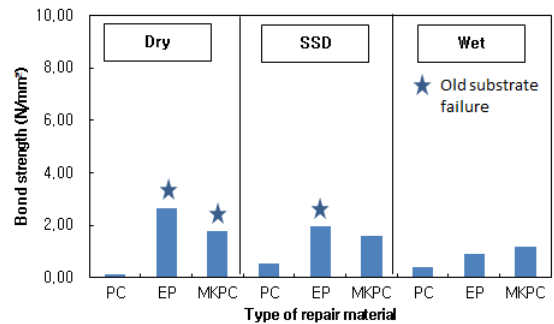



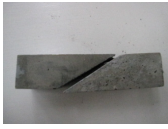







Fig. 3 Shear bond strength

Table 5 Specimens after shear bond test

	PC	EP	MKPC
Dry			
	Interfacial failure	Old substrate failure	Old substrate failure
SSD			
	Interfacial failure	Old substrate failure	Interfacial failure
Wet			
	Interfacial failure	Interfacial failure	Interfacial failure

0.54 N/mm², 습윤 바탕면 0.39 N/mm², 절건 바탕면 0.11 N/mm²로서 인발 부착강도와 유사하게 바탕면 함수조건에 따른 표건 바탕면에서 가장 높았고 절건 바탕면에서 가장 낮게 나타나고 있다. PC의 인발 부착강도에 대한 전단 부착강도 비는 10.9%로서 EP 57.7%, MKPC 47.5%와 비교하여 특히 낮은 비율을 나타내고 있어 경사 전단에 상대적으로 취약한 것으로 나타났다.

바탕면 함수조건에 따른 EP의 전단 부착강도는 절건 바탕면 2.6 N/mm², 표건 바탕면 2.0 N/mm², 습윤 바탕면 0.9 N/mm²로서 인발 부착강도와 유사한 경향으로 바탕면의 함수량이 적을수록 높게 나타나고 있다. EP의 인발 부착강도에 대한 전단 부착강도 비는 57.7%로서 PC와 MKPC와 비교하여 경사 전단에 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

바탕면 함수조건에 따른 MKPC의 전단 부착강도는 절건 바탕면 1.8 N/mm², 표건 바탕면 1.6 N/mm², 습윤 바탕면 1.6 N/mm²로서 인발 부착강도와 유사한 경향으로 절건 및 표건 바탕면에서 유사한 수준을 보이고 있으나 습윤 바탕면과의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다. MKPC의 인발 부착강도에 대한 전단 부착강도 비는 47.5%로서 같은 무기질 보수재료인 PC와 비교하여 경사 전단에 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

전단 부착강도 시험에 의한 파괴 형상 중 바탕 모르타르에서 파괴가 발생한 시험체는 인발 부착강도와 동일하게 전단 부착강도가 높게 나타난 건조 바탕면 EP, 표면건조 포화상태 바탕면 EP와 함께 건조 바탕면 MKPC로서 바탕면과 보수재료간의 부착력이 우수한 것으로 나타났다.

3.3 계면 부착강도

보수재료별 바탕면 함수조건에 따른 계면 부착강도는 Fig. 4 및 Table 6에 나타난 바와 같이 바탕면 함수조건에 따라서 전단 부착강도는 다양하게 나타나고 있으며, 인발 부착강도와 비교하여 19.0% 수준을 보이고 있어 가장 낮은 부착강도를 나타내고 있다.

바탕면 함수조건에 따른 PC의 계면 부착강도는 표건 바탕면 0.73 N/mm², 습윤 바탕면 0.61 N/mm², 절건 바탕면 측정불가로서 인발 부착강도와 유사하게 바탕면 함수조건에 따른 표건 바탕면에서 가장 높았으며 절건 바탕면에서는 측정이 불가능하였다. PC의 인발 부착강도에 대한 계면 부착강도 비는 14.1%로서 EP 44.8%, MKPC 47.5%와 비교하여 특히 낮은 비율을 나타내고 있어 경사 전단에 상대적으로 취약한 것으로 나타났다.

바탕면 함수조건에 따른 EP의 전단 부착강도는 절건 바탕면 2.6 N/mm², 표건 바탕면 2.0 N/mm², 습윤 바탕면 0.9 N/mm²로서 인발 부착강도와 유사한 경향으로 바탕면의 함수량이 적을수록 높게 나타나고 있다.

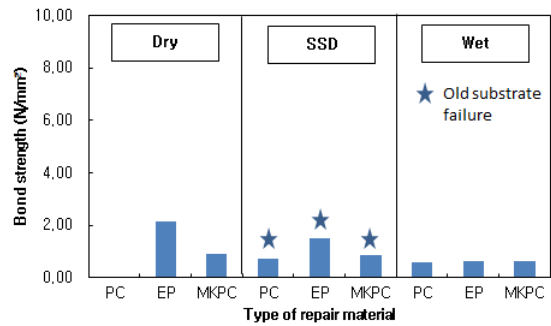











Fig. 4 Interfacial bond strength

Table 6 Specimens after interfacial bond test

	PC	EP	MKPC
Dry	 Interfacial failure	 Interfacial failure	 Interfacial failure
SSD	 Old substrate failure	 Old substrate failure	 Old substrate failure
Wet	 Interfacial failure	 Interfacial failure	 Interfacial failure

바탕면 함수조건에 따른 MKPC의 전단 부착강도는 절건 바탕면 1.8 N/mm², 표건 바탕면 1.6 N/mm², 습윤 바탕면 1.6 N/mm²로서 인발 부착강도와 유사한 경향으로 절건 및 표건 바탕면에서 유사한 수준을 보이고 있으나 습윤 바탕면과의 차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

계면 부착강도 시험에 의한 파괴 형상 중 바탕 모르타르에서 파괴가 발생한 시험체는 인발 및 전단 부착강도와 상이하게 표건 바탕면 모든 시험체로서 계면 부착성능에서는 바탕면의 함수조건이 중요한 것으로 나타났다.

3.4 바탕면 함수조건에 따른 부착성능

표건 바탕면을 기준으로 나타난 바탕면 함수조건에 따른 보수재료별 부착강도 비는 Fig. 5 및 Table 7에서 보는 바와 같이 바탕면 함수조건에 따라서 보수재료별 상이한 결과를 보이고 있으며, 이러한 결과는 인발 부착강도, 전단 부착강도,

Table 7 Bond strength ratio

Moisture condition	Tensile bond strength ratio(%)			Shear bond strength ratio(%)			Interfacial bond strength ratio(%)		
	PC	EP	MKPC	PC	EP	MKPC	PC	EP	MKPC
Dry	6 ×	138 ●	106 ●	20 ×	134 ●	111 ●	0 ×	140 ●	103 ●
SSD	100 ●	100 ○	100 ○	100 ●	100 ○	100 ○	100 ●	100 ○	100 ○
Wet	75 ○	50 ×	70 ×	74 ○	46 ×	73 ×	83 ○	42 ×	72 ×

* Adhesive performance : ● Excellent, ○ Good, × Bad

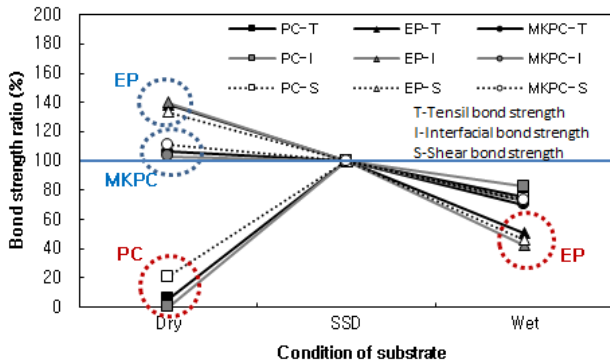


Fig. 5 Bond strength ratio

계면 부착강도 모두 유사한 경향을 보이고 있다. 절건 바탕면에서는 EP 및 MKPC가 우수한 부착성능을 보이고 있으며 습윤 바탕면에서는 전반적으로 본 연구 범위 모든 보수재료들의 부착성능이 저하하고 있으나 특히 EP의 부착성능이 크게 저하하고 있다.

바탕면 함수조건에 따른 PC 부착강도의 경우 표건 바탕면에서 가장 높게 나타나고 있으며, 습윤 바탕면에서는 표건 바탕면 부착강도의 73~82%수준을 보이고 있으나 절건 바탕면에서는 표건 바탕면 부착강도의 0~20% 수준으로서 매우 취약한 것으로 나타났다.

바탕면 함수조건에 따른 EP 부착강도는 바탕면 함수량이 작을수록 부착강도는 높게 나타나고 있다. 절건 바탕면에서는 표건 바탕면 부착강도의 133~140% 수준으로서 본 연구범위 보수재료 중 가장 높게 나타났으며, 습윤 바탕면에서는 표건 바탕면 부착강도의 42~50% 수준으로서 본 연구범위 보수재료 중 가장 취약한 것으로 나타났다.

바탕면 함수조건에 따른 MKPC 부착강도는 폴리머 시멘트 모르타르 및 에폭시 모르타르와 비교하여 바탕면 함수량에 따른 부착강도의 영향이 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 절건 바탕면에서는 표건 바탕면 부착강도의 103~111% 수준으로서 동일한 무기계 보수재료인 폴리머 시멘트 모르타르와

비교하여 건조 바탕면에서 우수한 특성을 지니는 것으로 나타났다. 습윤 바탕면에서는 표건 바탕면 부착강도의 69~72% 수준으로서 폴리머 시멘트 모르타르와 유사한 수준을 보이고 있으나 에폭시 모르타르와 비교하여 습윤 바탕면에서 우수한 특성을 지니는 것으로 나타났다.

이상의 결과를 정리하여 보면 부착성능이 우수한 바탕면 함수조건은 PC의 경우 표건 바탕면, EP 및 MKPC의 경우 절건 바탕면인 것으로 나타났다. 부착성능이 저하되는 바탕면 함수조건은 PC의 경우 절건 바탕면, EP의 경우 습윤 바탕면인 것으로 나타났다. 또한 MKPC는 PC 및 MKPC와 비교하여 바탕면 함수조건에 따른 부착성능의 변화가 상대적으로 작은 것으로 나타났다.

4. 결론

보수재료로서 바탕면의 함수조건에 따른 MKPC의 인발 부착강도, 전단 부착강도, 계면 부착강도를 폴리머시멘트, 에폭시와 비교 분석한 본 논문의 결과는 다음과 같다.

- 1) 바탕면 함수조건에 따라서 보수재료별 상이한 결과를 보이고 있으며, 이러한 결과는 인발 부착강도, 전단 부착강도, 계면 부착강도 모두 유사한 경향을 보이고 있다.
- 2) 부착성능이 우수한 바탕면 함수조건은 PC의 경우 표건 바탕면, EP 및 MKPC의 경우 절건 바탕면인 것으로 나타났으며, 부착성능이 저하되는 바탕면 함수조건은 PC의 경우 절건 바탕면, EP의 경우 습윤 바탕면인 것으로 나타났다.
- 3) MKPC는 PC 및 MKPC와 비교하여 바탕면 함수조건에 따른 부착성능의 변화가 상대적으로 작은 것으로 나타났다.
- 4) MKPC의 경우 절건 바탕면에서의 부착성능은 무기계 보수재료인 폴리머 시멘트 모르타르와 비교하여 우수한 특성을 지니고 있으며, 습윤 바탕면에서의 부착성능은 폴리

머 시멘트 모르타르와 유사한 수준을 보이고 있으나 에폭시 모르타르와 비교하여 우수한 특성을 지니는 것으로 나타났다.

References

- Roy, D. M. (1987), New Strong Cement Materials: Chemically Bonded Ceramics, *Science* 235, 651-658.
- Abdelrazig, B. E. (1988), The Chemical Composition Of Mortars Made From Magnesia-Phosphate Cement, *Cem. Concr. Res.* 18, 415-425.
- Ahn, M. Y. (2008), The Properties of Ultra Rapid Hardening Mortar for Repair using Magnesia-Phosphate Cement, Ph.D. Dissertation, Dankook University, 25-28.
- Cho, H. W. (2012), Fundamental Properties of Magnesia-Phosphate Composite Considering Mix Conditions and Curing Temperature, *Journal of The Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 16, 163-170.
- Seehra, S. S. (1993), Rapid Setting Magnesium Phosphate Cement for Quick Repair of Concrete Pavements – Characteristics and Durability Aspects, *Cement and Concrete Research*, 23, 254-266.
- Yang, Q. (1999), Factors Influencing Properties of Phosphate Cement-Based Binder for Rapid Repair of Concrete, *Cement and Concrete Research*, 29, 389-396.
- Ma, H., Xu, B., and Li, Z. (2014), Effects of Water Content, Magnesia-to-Phosphate Molar Ratio and Age on Pore Structure, Strength and Permeability of Magnesium Potassium Phosphate Cement Paste, *Materials and Design*, 64, 497-502.
- Ma, H., Xu, B., and Li, Z. (2014), Magnesium Potassium Phosphate Cement Paste: Degree of Reaction, Porosity and Pore Structure, *Cement and Concrete Research*, 65, 96-104.
- Kang, S. P., and Kim, J. H. (2015), Influence of Mixing Factors on the Early-Age Properties of Magnesium Potassium Phosphate Cement Mortar, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 31(5), 61-68.
- Yun, K. K., Lee, J. H., Choi, S. L., and Kim, K. H. (2001), Bond Strength Properties of Latex Modified Concrete, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 13(5), 39-47.
- Oh S. K., and Choi S. M. (2001), A Study on Performance Evaluation by Application Conditions of Water Based Epoxy Resin Mortar as Surface Treatment Material for Concrete Reservoir, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 17(8), 85-94.
- Fernando, P. T, Castro, J. P., and Jalali, S. (2008), Adhesion Characterization of Tungsten Mine Waste Geopolymeric Binder. Influence of OPC Concrete Substrate Surface Treatment, *Construction and Building Materials*, 22, 154-161.
- Huang, H., Liu, B., Xi, K., and Wu, T. (2016), Interfacial Tensile Bond Behavior of Permeable Polymer Mortar to Concrete, *Construction and Building Materials*, 121, 210-221.

Received : 08/18/2016

Revised : 09/23/2016

Accepted : 09/23/2016

요 지 : 본 논문은 바탕면의 함수조건에 따른 보수재료로서 MKPC의 인발 부착강도, 전단 부착강도, 계면 부착강도를 폴리머 시멘트 모르타르, 에폭시 모르타르와 비교 분석하였다. 그 결과 MKPC는 PC 및 MKPC와 비교하여 바탕면 함수조건에 따른 부착성능의 변화가 상대적으로 작은 것으로 나타났다. 또한 MKPC의 경우 절건 바탕면에서의 부착성능은 무기계 보수재료인 폴리머 시멘트 모르타르와 비교하여 우수한 특성을 지니고 있으며, 습윤 바탕면에서의 부착성능은 폴리머 시멘트 모르타르와 유사한 수준을 보이고 있으나 에폭시 모르타르와 비교하여 우수한 특성을 지니는 것으로 나타났다.

핵심용어 : 마그네슘 인산칼륨 시멘트 복합체, 함수조건, 부착강도, 폴리머 시멘트 모르타르, 에폭시 모르타르
