

Research Paper

발수제종류별 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르의 강도 및 발수특성

Compressive Strength and Water Contact Angle Properties of Cement Mortar by Type of Water Repellent

강석표¹ · 강혜주^{2*} · 김상진³ · 서정인¹

Kang, Suk-Pyo¹ · Kang, Hye-Ju^{2*} · Kim, Sang-Jin³ · Suh, Jeong-In¹

¹Professor, Department of Construction Engineering, Woosuk University, Jincheon-Eup, Jincheon-Gun, 27841, Korea

²Post-Doctoral Researcher, Construction Test and Certification Department, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology, Gyeonggi-Do, 10223, Korea

³Master's Cours, Department of Construction Engineering, Woosuk University, Jinch.eon-Eup, Jinche-Gun, 27841, Korea

*Corresponding author

Kang, Hye-Ju

Tel : 82-43-531-2903

E-mail : leekang02@nate.com

Received : September 1, 2021

Revised : September 29, 2021

Accepted : October 12, 2021

ABSTRACT

In this study, the compressive strength and water contact angle were measured before and after surface abrasion of mortar specimens prepared by mixing two types of water repellents and two types of sands. In addition, the hydration products and chemical bonding of cement mortar by repellent were examined using X-ray diffraction(XRD), thermogravimetry-differential thermal analysis(TG-DTA), and Fourier-transform infrared spectroscopy(FT-IR) to evaluate the performance of these cement mortar mixtures as repair materials. We found that the compressive strength of the cement mortar with water repellent added was decreased compared to that of the plain cement mortar, and that of the oligomeric system was higher than that of the monomeric system. We further found that the contact angle of mortar with water repellent added was increased compared to that of the plain cement mortar, and that of the oligomeric system was increased compared to that of the monomer.

Keywords : water repellents, strength characteristics, contact angle, fine aggregate, mortar

1. 서론

시멘트 복합체는 강도가 높고 내구성과 내화성 차음성능, 구조 강성이 우수, 재료의 수급이 원활하여 건설 산업에서 많이 사용되고 있다[1]. 또한 철골, 철근 콘크리트 구조물뿐만 아니라 외벽 마감재 및 바닥재와 같은 위치에 사용되고 있다. 그러나 시멘트 복합체는 친수성 및 다공성 구조로 쉽게 수분이 침투하기 때문에 이로 인한 강도 상실, 사용 수명감소 및 내구성 저하와 같은 문제점이 발생하고 있다[2]. 콘크리트는 일반적으로 수밀한 재료라고 인식되고 있으며, 구조재료로서 큰 강도를 가지고 있기 때문에 물에 대해서는 크게 문제가 되지 않는다고 생각하고 있다. 그러나 시멘트 복합체 구조물에 흡수된 물 분자는 동결기에 빙온에서 얼음 결정체로 변환되어 시멘트 복합체의 내부 응력을 증가시키고 시멘트 복합체 표면에 미세 균열을 유발하게 된다. 또한 이러한 구조물에서의 수분 침투는 구조물의 안전성과 내구성 저하 등 많은 어려움을 가져오고 있다[3,4]. 수분 침투로 인한 시멘트 콘크리트의 문제점을 개선하기 위하여 초발수성에 대한 관심이 증가하고 있다. 초발수성은 연잎에서 영감을 받아 시멘트 재료 표면에 물방울이 굴러 떨어지도록 하는 것으로서 수분침투로 인한 내구성 저하를 개선할 수 있다고 보고되고 있다[4]. 초발수성은 물 및 얼음이 콘크리트 위에 있는 것을 방해하며, 부식성 이온과 산이 침투하



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

는 것을 막는다. 또한 철근콘크리트 구조물에서 내부 철근을 물로부터 보호할 수 있어 내구성 측면에서도 효과적인 개선방안으로 제시되고 있다[5].

현재 시멘트 콘크리트 분야의 초발수성에 대한 연구는 발수제를 제조하여 모르타르면에 브러싱이나 스프레이로 코팅하는 방식이 주를 이루고 있다[6,7]. 그러나 발수제를 사용한 표면처리는 표면처리 후 소수성을 나타내지만, 표면코팅 재료의 내구성에 의해 작용시간이 짧아지고, 표면이 마모되거나, 시멘트 복합체에 균열이 발생될 경우 코팅 전과 같은 친수성을 나타내기 때문에 장기간 효과를 나타내지 못한다[8]. 이러한 문제점으로 발수성을 유지하기 위하여 시멘트 복합체에 표면처리가 아닌 시멘트 복합체 제조시 혼입하는 첨가형 발수제가 연구되고 있다. 현재 국내에서도 발수제를 첨가하는 시멘트 콘크리트 분야의 초발수성에 대한 연구 초기 단계로서 발수제의 혼입율(사용량)에 따른 시멘트 페이스트와 모르타르를 제조하는 연구가 이루어졌다[7-9]. 이 연구 결과에서는 실란/실록산계 발수제를 시멘트 페이스트에 혼입은 표면뿐만 아니라 연마로 인하여 손상된 표면과 단면에서도 소수성을 나타내 접착각을 유지하고 있는 것으로 보고하고 있다. 하지만 발수제를 첨가한 시멘트 콘크리트를 건설산업 현장에 적용하기 위한 강도 및 발수성에 미치는 다양한 요인에 대한 검토는 아직까지 부족한 상황이다.

따라서 본 논문은 발수제 첨가 모르타르의 강도 및 발수성에 미치는 다양한 요인 중에서 발수제 종류 및 잔골재 입도에 대한 영향을 검토하고자 하였다. 이를 위하여 발수제 종류별 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르의 초기 수화성능, 유동성능, 재령별 압축강도, 표면연마 전후의 물접촉각, XRD를 통한 수화특성 분석을 통하여 발수성능을 검토하고자 한다.

2. 실험계획 및 방법

2.1 실험계획

발수제 종류 및 잔골재입도가 시멘트 모르타르의 압축강도 및 발수성에 미치는 영향을 검토하기 위한 실험계획을 Table 1에 나타내었다. 발수제 종류는 실란계 모노머 발수제와 실록산계 올리고머 발수제를 사용하였으며, 잔골재는 입도가 다른 규사 5호사, 7호사를 사용하였다. 평가항목으로는 재령별 압축강도, 휨강도를 측정하였고, 표면 연마전후의 물접촉각과 흡수율을 측정하였으며, 수화특성은 XRD, TG-DTA 및 FT-IR 분석으로 관찰하였다.

Table 1. Experimental plan

Water repellent	Fine aggregate		Mix design	Test items
Oligomer(O)	Silica Sand No. 5	[C5-O]	B:S:W:R = 40:40:15:5	Compressive strength Flexural strength Water contact angle (before and after abrasion)
	Silica Sand No. 7	[C7-O]		
Monomer(M)	Silica Sand No. 5	[C5-M]	B:Binder S:Sand W:Water	Water absorption XRD TG-DTA FT-IR
	Silica Sand No. 7	[C7-M]	R:Repellent	

2.2 사용재료

본 논문에서 사용한 결합재는 보통 포틀랜드 시멘트로서 물리·화학적 특성을 Table 2에 나타내었다. 시멘트는 비표면적 3,144cm²/g, 밀도 3.15g/cm³, 강열감량 1.32이며, 화학성분은 SiO₂(21.7%), Al₂O₃(5.7%), Fe₂O₃(3.2%), CaO(63.1%), MgO(2.8%), SO₃(2.2%)로 KS L 5201의 규정에 적합한 국내 S 사의 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였다.

본 논문에서 모르타르 첨가용으로 사용한 발수제는 실란계 모노머 발수제와 실록산계 올리고머 발수제를 사용하였으며 발수제의 물리·화학적 특성을 Table 3에 나타내었다. 올리고머 발수제의 활성성분은 60wt%이며 주요한 활성성분은 Poly hydroxy terminated으로 구성되어 있으며 비중은 1.01, pH는 6~8이다. 모노머 발수제의 활성성분은 40wt%이며 주요한 활성성분은 n-octyltriethoxysilane와 diethoxy-octyloxy-silane으로 구성되어 있으며 비중은 1.01, pH는 6~8이다. 본 논문에서 사용한 잔골재는 S사의 규사 5호사, 7호사를 사용하였으며, 5호사의 경우 18~24mesh로서 입자크기는 0.7~1.2mm이며, 7호사의 경우 60~150mesh로서 입자크기는 0.17~0.25mm이다.

Table 2. Physical properties and chemical composition of Cement

Specific surface area(cm ² /g)	Density (g/cm ³)	Ig. loss	Chemical composition(%)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃
3,144	3.15	1.32	21.7	5.7	3.2	63.1	2.8	2.2

Table 3. Physical properties and chemical composition of water repellent

Type of	Main ingredient	Active Ingredient(wt%)	Density(g/cm ³)	pH
Oligomer(O)	Poly Hydroxy terminated	60	1.01	6 ~ 8
Monomer(M)	n-octyltriethoxysilane diethoxy-octyloxy-silane	40	1.01	6 ~ 8

2.3 실험방법

2.3.1 모르타르 배합 및 양생

본 논문에서의 모르타르 배합비는 Binder:Sand:Water:Repellent=40:40:15:5로 하였다. 발수제 첨가량은 선행 연구결과 [10]에서 강도특성과 발수특성을 고려하여 도출된 최적 첨가량인 5%로 고정하였다. 모르타르의 혼합은 강제식 모르타르 믹서를 사용하였으며, 먼저 혼합수와 올리고머/모노머 발수제를 혼합한 뒤 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 의거하여 모르타르를 제조하였다. 개발된 시멘트 모르타르는 시편제작용 몰드에 타설하여 온도 20±2°C, 상대습도 50%에서 24시간 양생 후 탈형하여 온도 20±2°C로 유지되는 수조에서 수중 양생하였다. 배합에서 발수제를 첨가할 때 발수제의 고형분량 50%를 고려하여 물양을 조절하였다. 발수제를 첨가하지 않은 배합은 전체 배합에서 발수제를 제외하였다.

2.3.2 강도특성 실험방법

압축강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 재령 3일, 7일 및 28일에 측정하였으며 평균 압축강도의 값으로 하였다. 압축강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험 방법에 준하여 측정하였다. 휨강도는 배합별로 3개의 샘플에 동일한 조건을 적용하여 3일, 7일 및 28일에 측정하였으며 휨강도 시험은 KS L ISO 679 시멘트의 강도 시험방법에 준하여 측정하였다.

발수제 첨가 모르타르의 강도에 미치는 수화특성을 검토하기 위하여 XRD 분석 및 TG-DTA 분석을 실시하였다. 분석샘플은 1재령 28일이 지난 시료를 10mm 미만으로 분쇄하였다. 그리고 무수성 에틸알코올에 1일 동안 담가 수분을 멈추게 한 후 오븐에서 40°C에서 3일간 건조하였다. 건조된 샘플은 분말화하여 200-mesh 체를 통과 시킨 샘플로 분석하였다. XRD 분석(X-Ray Diffractometer)은 45kV 및 200mA에서 CuKα 파장을 사용하고 2θ=5~75° 범위에서 4°/min에서 수행하였다 (Rigaku, SmartLab, Tokyo, Japan). TG-DTA 분석(Thermo-gravimetry-differential thermal analysis)은 약 20-800°C의 온도와 1°C/min의 가열 속도에서 공기 중에서 수행하였다.

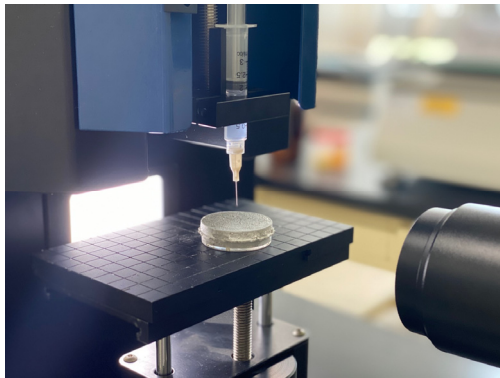
2.3.3 발수특성 실험방법

접촉각의 측정은 액체방울을 고체 표면위에 떨어뜨린 후, 정지된 액체방울과 표면이 이루는 각도를 측정하였다. 통상적으로 물방울을 떨어뜨려 시험을 하며 고체 표면의 표면장력이 높을수록 물에 대한 젖음성(Wettability)이 좋아지고 접촉각은 작아진다. 접촉각이 작다는 것은 친수성이 크고 젖음성이 좋고 접착성이 좋아짐을 의미한다.

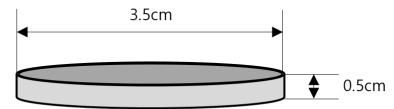
물 접촉각의 측정을 위한 시편은 $\text{Ø}3.5 \times 0.5\text{cm}$ 샬레에 모르타르를 타설하여 제작하고 28일 동안 양생하였다. 양생한 후 시편은 입도 100의 사포위에 2kg이하의 추를 올린 후 수평방향으로 30cm, 수직방향으로 30cm 이동하여 표면을 마모하였다. 사포마모 전후 시편을 Figure 1의 피코 표면 접촉각 측정기를 통하여 측정하였다. 접촉각 시험은 KS L 2110 기판유리 표면의 젖음성 시험방법에 의거하여 측정하였다.

흡수율을 평가하기 위한 흡수율 시험체는 $5 \times 5 \times 5\text{cm}$ 의 정방형 몰드에 모르타르를 타설하여 제작하였다. 3개의 시험체를 28일 양생 후 건조하고 시편의 측면을 에폭시로 실링 처리하였다. 제조된 시험체를 약 20°C 의 물에 2~10mm 정도의 깊이로 담근 후 24시간에 물 흡수량을 측정하였다. 흡수율은 KS L 2476에 준하여 계산하였다.

또한 발수제가 시멘트 매트릭스 내부에 결합되어져 있는지를 확인하기 위하여 각 배합의 재령 28일 샘플에 대해 퓨리에 변환 적외선 분광기 분석(FT-IR, Fourier Transform Infrared Spectroscopy)을 실시하였다. FT-IR 분석은 분자의 진동수와 일치하는 적외선만을 선택적으로 흡수한다는 원리를 이용한 분석방법으로서 진동수의 정확성이 높아 보다 정확한 측정이 가능하다는 장점을 지닌다. 본 논문에서 적용한 FT-IR 분석은 스펙트럼 $4000 \sim 400\text{cm}^{-1}$ 범위에서 4cm^{-1} 의 해상도이고 각 측정에 대해 평균 64회 스캔하였다(Thermo, Nicolet 6700, U.S.).



(a) Contact angle meter



(b) Contact angle sample

Figure 1. Water contact angle measurement process

3. 실험결과 및 분석

3.1 강도특성

3.1.1 압축강도

발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 압축강도 측정결과를 Figure 2에 나타내었다. 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 압축강도는 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 감소하였고, 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 압축강도는 모노머계 발수제와 비교하여 높게 나타났다. 재령 28일 압축강도의 경우 발수제 무첨가 모르타르는 68.7~78.7MPa, 올리고머 첨가 모르타르는 36.2~37.4MPa, 모노머 첨가 모르타르는 12.5~12.8MPa로 나타났다. 이는 재령 28일 무첨가 모르타르 압축강도와 비교하

여 올리고머는 약 50%, 모노머 첨가 모르타르는 약 80% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르 압축강도 영향은 크게 나타나지 않았다. 강도가 낮을수록 골재 입도에 따른 압축강도 영향은 줄어들었다. 특히 압축강도가 가장 낮은 모노머계 발수제 첨가 모르타르에서는 잔골재 입도에 상관없이 동일한 압축강도를 나타내었다. 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 압축강도의 경우 최대 약 80%까지 감소하는 것으로 나타났다. 이러한 압축강도의 감소는 발수제의 물을 튕겨내는 특성으로 인하여 수화를 지연 및 방해하여 압축강도가 저하된다고 보고하고 있다[11]. 특히 발수제 혼입에 따른 공기량의 증가와 골재와 시멘트의 접합면(ITZ:The Interfacial Transition Zone)에 소수성 물질들이 침투하여 수화반응을 지연 및 방해하여 압축강도가 저하된다고 보고하고 있다[11].

3.1.2 휨강도

발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 휨강도 측정결과를 Figure 3에 나타내었다. 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 휨강도는 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 감소하였고, 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 휨강도는 모노머계 발수제와 비교하여 높게 나타났다. 재령 28일 휨강도의 경우 발수제 무첨가 모르타르는 6.55~7.23MPa, 올리고머 첨가 모르타르는 3.92~4.23MPa 모노머 첨가 모르타르는 2.11~2.21MPa로 나타났다. 이는 재령 28일 무첨가 모르타르 휨강도와 비교하여 올리고머는 약 40%, 모노머 첨가 모르타르는 약 70% 감소하는 것으로 나타났다. 또한 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르 휨강도 영향은 크게 나타나지 않았다. 특히 휨강도가 가장 낮은 모노머계 발수제 첨가 모르타르에서는 잔골재 입도에 상관없이 동일한 휨강도를 나타내었다.

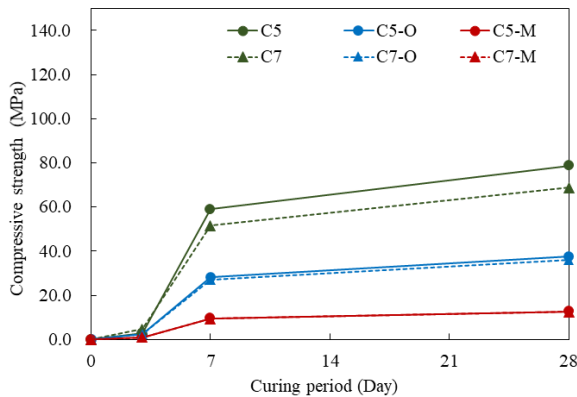


Figure 2. Compressive strength

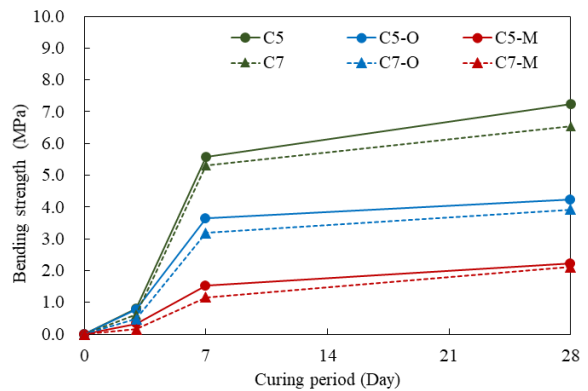


Figure 3. Bending strength

3.1.3 XRD

발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 28일 재령 XRD를 Figure 4에 나타내었다. XRD 측정결과 발수제 첨가에 따른 새로운 반응 생성물은 형성되지 않았다. 기존 연구에서 발수제 첨가 시멘트 재료는 7일 이후 발수제 무첨가와 비교하여 XRD상의 차이가 관찰되지 않는다고 보고하였다[9]. Figure 4에서 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 경우 발수제를 첨가하지 않은 C5는 2 θ 18°에서 Ca(OH)₂의 피크가 나타나고 있다. 기존 논문에서 포틀랜드아이트는 시멘트 수화 과정에서 알칼리 기공 용액 농도를 유지하는 데 도움을 주기 때문에 C-S-H 겔 형성을 향상시킨다고 보고하고 있다[12]. 그러나 발수제 첨가 모르타르의 경우 Ca(OH)₂의 피크가 나타나지 않으며 이로 인해 발수제 무첨가와 비교하여 압축강도의 발현이 낮은 것으로 판단된다. 이는 기존 문헌에서 제시하고 있는 발수제 첨가에 따른 골재와 시멘트의 접합면(ITZ:The Interfacial Transition Zone)에 소수성 물질들이 침투하여 수화반응을 지연 및 방해함으로써 시멘트 수화물인 Ca(OH)₂ 피크가 발수제 무첨가와 비교하

여 나타나지 않은 것으로 판단된다[11].

3.1.4 TG-DTA

수화된 화합물에 대한 질량손실과 DSC피크의 주요구간은 50~150°C, 400~450°C, 650에서 800°C으로서, 구간별 분해된 화합물은 50~150°C 구간에서 증발수, CSH, 에트링가이트, 400~450°C 구간에서 포틀랜드아이트, 600~700°C구간에서 칼사이트이다. 여기에서 포틀랜드아이트는 C₃S와 C₂S의 수화에 의해 형성되기 때문에 수화반응의 지표로 선택하였다[13].

발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 28일 재령 TG-DTA를 Figure 5에 나타내었다. TG-DTA 측정결과 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 TG-DTA 결과에서는 50~150°C구간에서 물이 증발되고 에트링가이트, C-S-H의 일부의 분해로 인하여 질량이 감소되고 있다. 이 구간에서는 발수제 무첨가 시멘트 모르타르 보다는 발수제 첨가 모르타르가 더 많은 질량감소가 나타나고 있다. 이러한 50~150°C 구간의 발수제 첨가 모르타르의 질량감소는 수화생성물 보다는 시험체의 미반응 수분에 의한 것으로 판단된다. 또한 400~450°C 구간에서는 발수제 무첨가 시멘트 모르타르 포틀랜드아이트의 분해를 DTA 곡선에서 정확하게 판독할 수 있다. 발수제 무첨가 시멘트 모르타르의 400~450°C 구간에서 약 1.5%의 질량손실을 보이고 있다. 반면에 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 경우 뚜렷한 질량손실을 보이고 있지 않으며, 0.6%의 질량손실만 나타났다. 이는 XRD 분석결과와 마찬가지로 발수제 첨가 시멘트 모르타르에 포틀랜드아이트가 거의 형성되지 않았음을 확인할 수 있다. 또한 600~700°C구간에서 모든 시험체에서 칼사이트에 의한 질량손실을 나타내고 있다. 최종 가열온도인 800°C에서 전체적인 질량감소는 같으나 발수제를 무첨가 시멘트 모르타르는 400~450°C구간의 Ca(OH)₂ 감소이며 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 경우 100~150°C 구간의 증발수의 감소임을 확인할 수 있다.

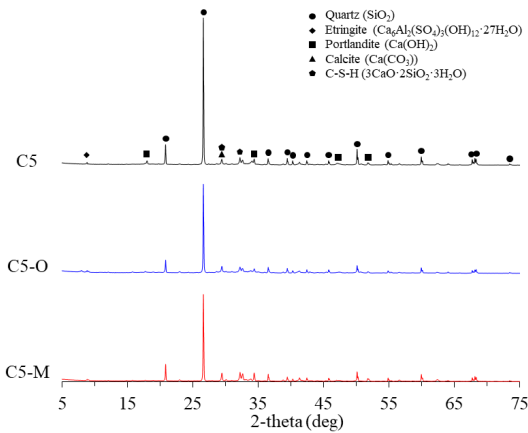


Figure 4. XRD

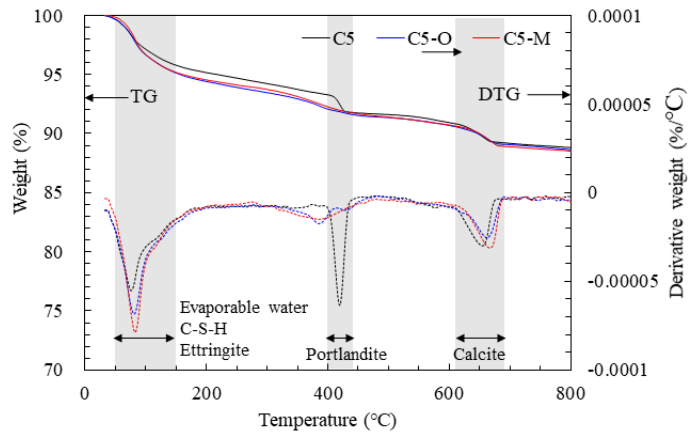


Figure 5. TG-DTA

3.2 발수특성

3.2.1 접촉각

발수제 종류별 잔골재 입도에 따른 모르타르의 연마 전후 접촉각 측정결과로서 물방울 모양을 Table 4에 나타내었으며 정량적인 결과를 Figure 6에 나타내었다. 발수제 첨가 모르타르의 접촉각은 무첨가 모르타르와 비교하여 증가하였고, 울리고며게 발수제보다는 모노며게 발수제가 상대적으로 증가하였다. 기존 연구에서는 콘크리트의 실록산과 스테아레이트 농도가 표면 가까이에서 가장 높음을 관찰했다고 보고하였다[13]. 이러한 결과는 건조 과정에서 물과 함께 실록산 또는 스테아레이트가 표면으로 이동했기 때문에 연마하지 않은 표면에서 더 큰 접촉각을 나타낸 것으로 보고하였다. 본 연구 결과에

서는 입도가 큰 5호사 잔골재를 사용한 모르타르에서는 기존 연구결과와 유사한 경향을 나타내었지만 입도가 작은 7호사 잔골재 모르타르에서는 상이한 경향을 보이고 있다.

표면연마 전 접촉각의 경우 발수제 무첨가 모르타르는 12~13.94°, 올리고머 첨가 모르타르는 75.01~110.78°, 모노머 첨가 모르타르는 118.68~119.88°로 나타났다. 또한 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 접촉각은 모노머계 발수제와 비교하여 접촉각이 작아지는 것으로 나타났다. 이러한 경향은 잔골재의 입도가 작은 7호사에서 더 크게 나타났다. 모노머 첨가 모르타르의 접촉각은 올리고머계 발수제 첨가 모르타르와 비교하여 잔골재 입도가 큰 5호사에서 9.1°크게 나타났고 입도가 작은 7호사에서는 43.67° 크게 나타났다. 기존 연구결과[14]에 의하면 소수성(hydrophobicity)은 재료의 화학적 특성 또는 표면 에너지와 나노에서 마이크로 스케일의 계층적 지형 또는 표면 거칠기 구조에 의해 좌우된다고 보고하고 있다. 이에 본 연구에서는 잔골재 입도에 따라서 표면의 구조의 차이가 발생하고 이로 인하여 접촉각에 영향을 미칠 것으로 예측하였으나 잔골재 입도에 따른 뚜렷한 경향을 보이지 않았다. 이는 본 연구에서 적용한 잔골재 입도가 표면 구조의 영향을 미치기에는 범위가 너무 좁았기 때문으로 사료된다.

표면연마 후 접촉각의 경우 발수제 무첨가 모르타르는 12~13°, 올리고머 첨가 모르타르는 96.1~97.97°, 모노머 첨가 모르타르는 94.42~119.04°로 나타났다. 또한 5호사의 경우 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 접촉각은 모노머계 발수제와 비교하여 접촉각이 커지는 것으로 나타지만, 7호사의 경우 5호사 이러한 경향은 잔골재의 입도가 작은 7호사에서 더 크게 나타났다. 모노머 첨가 모르타르의 접촉각은 올리고머계 발수제 첨가 모르타르와 비교하여 잔골재 입도가 큰 5호사에서 9.1° 크게 나타났고 입도가 작은 7호사에서는 43.67° 크게 나타났다. 연마 후에 접촉각은 연마 전과 비교하여 다소 차이는 있지만 90°이상을 유지하고 있어 기존 스프레이 코팅 발수방식의 문제점인 마모에 의한 소수성 저하를 어느 정도 해결할 수 있을 것으로 사료된다[9].

Table 4. Water droplet shape

	Silica Sand No. 5		Silica Sand No. 7	
	Before abrasion	After abrasion	Before abrasion	After abrasion
Oligomer (O)				
Monomer (M)				

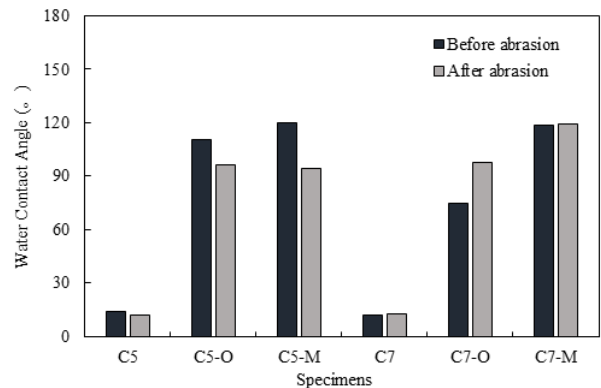


Figure 6. Water contact angle

3.2.2 흡수율

발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 24시간 흡수율 측정결과를 Figure 7에 나타내었다. 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 흡수율은 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 크게 감소하였고, 올리고머계 발수제보다는 모노머계 발수제 첨가 모르타르의 흡수율이 상대적으로 다소 증가하였으나 잔골재의 입도와 관계없이 모두 1% 미만을 나타내고 있다. 발수제 무첨가 모르타르의 흡수율 측정결과 2.82~5.65%를 나타내었고 올리고머계 첨가 모르타르의 경우 0.29~0.39%, 모노머계 첨가 모르타르는 0.45~0.83%로 나타났다. 이는 발수제가 모르타르 샘플에 매끄러운 막을 형성하여 물의 침투를 방지하기 때문에 시멘트 모르타르의 수분 흡수가 현저히 감소하는 결과를 나타내었다.

3.2.3 FT-IR

발수제를 첨가한 시멘트 모르타르의 FT-IR의 측정결과를 Figure 8에 나타내었다. FT-IR 피크는 발수제 첨가에 대한 화학적 결합을 증명하는데 사용된다. 스테아레이트의 긴 지방족 사슬이 흡착되면 클링커 표면에 발수성 층이 형성되어 정상적인 수화에 대한 장벽을 구성 하는 것으로 보고하고 있다[14]. FT-IR 측정결과 수화된 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 FT-IR 피크는 $3,435\text{cm}^{-1}$ 과 $3,649\text{cm}^{-1}$ 에서 O-H stretching, $1,639\text{cm}^{-1}$ 에서 O-H bending, $1,421\text{cm}^{-1}$ 과 878cm^{-1} 에서 C-O stretching, $1,121\text{cm}^{-1}$ 에서 S-O stretching, 930cm^{-1} 에서 Si-O stretching를 보이고 있다. 모르타르의 골재에 기인한 Si-O-Si의 피크는 $1,105\text{cm}^{-1}$ 과 950cm^{-1} 에서 관찰될 수 있지만, Si-O stretching의 피크와 겹쳐 있기 때문에 확인이 어렵다. 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 경우 $2,975\text{cm}^{-1}$ 에서 $-\text{CH}_3$ stretching, $1,265\text{cm}^{-1}$, 791cm^{-1} 에서 Si- CH_3 stretching 피크가 보이기 때문에, 실록산 $-\text{Si}-\text{CH}_3$ 을 존재를 확인할 수 있다. 모노머계 발수제 첨가 모르타르의 경우 $1,265\text{cm}^{-1}$, 800cm^{-1} 부근에서 Si- CH_3 stretching 피크가 관찰됨으로써 $-\text{Si}-\text{CH}_3$ 를 관찰할 수 있다. 특히, 올리고머계 발수제를 첨가한 시멘트 모르타르는 발수제 무첨가 모르타르와 비교하여 $3,435\text{cm}^{-1}$ 과 $3,649\text{cm}^{-1}$ 에서 상대적으로 낮은 O-H stretching 피크가 나타나고 있다. 반면 모노머계 발수제 첨가 모르타르의 O-H stretching 피크가 거의 나타나지 않고 있어 수화생성물이 양이 매우 적은 것으로 판단되며, 이는 XRD 및 TG-DTA에서 포틀랜드아이트의 생성이 매우 적은 것과 일치한다.

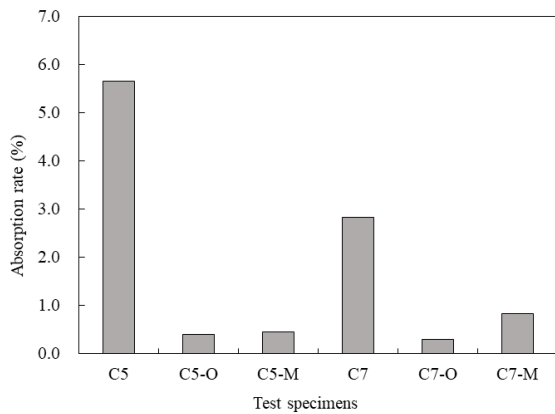


Figure 7. Water absorption

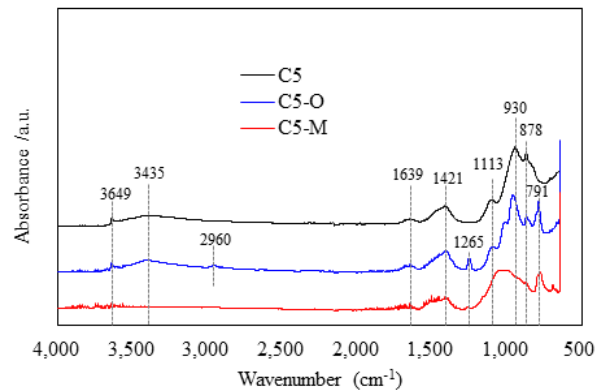


Figure 8. FT-IR spectra

4. 결론

발수제 첨가 모르타르의 강도 및 발수성에 미치는 다양한 요인 중에서 발수제 종류 및 잔골재 입도에 대한 영향을 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 압축강도는 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 감소하였고, 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 압축강도는 모노머계 발수제와 비교하여 높게 나타났다. 또한 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르 압축강도 영향은 크게 나타나지 않았다.
- 2) 발수제 첨가 모르타르의 접착각은 무첨가 모르타르와 비교하여 증가하였고, 올리고머계 발수제보다는 모노머계 발수제가 상대적으로 증가하였다. 또한 연마 전후 접착각은 잔골재 입도에 따라서 상이한 경향을 보이고 있다.
- 3) 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 흡수율은 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 크게 감소하였고, 올리고머계 발수제보다는 모노머계 발수제 첨가 모르타르의 흡수율이 상대적으로 다소 증가하였으나 잔골재의 입도와 관계없이 모두 1% 미만을 나타내고 있다.

요약


본 논문은 발수제 첨가 모르타르의 강도 및 발수성에 미치는 다양한 요인 중에서 발수제 종류 및 잔골재 입도에 대한 영향을 검토하고자 하였다. 그 결과 발수제 첨가 시멘트 모르타르의 압축강도는 무첨가 시멘트 모르타르와 비교하여 감소하였고, 올리고머계 발수제 첨가 모르타르의 압축강도는 모노머계 발수제와 비교하여 높게 나타났다. 또한 잔골재 입도에 따른 시멘트 모르타르 압축강도 영향은 크게 나타나지 않았다. 발수제 첨가 모르타르의 접촉각은 무첨가 모르타르와 비교하여 증가하였고, 올리고머계 발수제보다는 모노머계 발수제가 상대적으로 증가하였다. 또한 연마 전후 접촉각은 잔골재 입도에 따라서 상이한 경향을 보이고 있다.


키워드 : 발수제, 강도특성, 접촉각, 잔골재, 모르타르


Funding


This work is supported by the Korea Agency for Infrastructure Technology Advancement(KAIA) grant funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport(Grant 21TBIP-C160747-01).

ORCID

Suk-Pyo Kang,  <http://orcid.org/0000-0001-5948-4925>

Hye-Ju Kang,  <http://orcid.org/0000-0002-2178-0005>

Sang Jin Kim,  <http://orcid.org/0000-0002-6381-1252>

Jeong In Suh,  <http://orcid.org/0000-0003-2169-3080>

References

1. Oh HS, Kim YH, Jang NS. Strength and durability characteristics of mpc mortar used for repairing concrete pavements. *Journal of the Korean Society of Hazard Mitigation*. 2019 Jun;(3):185-93. <https://doi.org/10.9798/KOSHAM.2019.19.3.185>
2. Lee BD, Choi YS, Kim YG, Choi JS, Kim IS. A study on the durability improvement of highway-subsidary concrete structure exposed to deicing salt and freeze-thaw. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 2016 Jul;20(4):128-35. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2016.20.4.128>
3. Cho YI, Hong KN, Kim MS, Park JK. Effect of curing temperature on mechanical properties of polymer mortar for urgent repairing. *Journal of the Korean Society of Safety*. 2016 Oct;31(5):109-16. <http://doi.org/10.14346/JKOSOS.2016.31.5.109>
4. Wang W, Wang S, Yao D, Wang X, Yu X, Zhang Y. Fabrication of all-dimensional superhydrophobic mortar with enhanced waterproof ability and freeze-thaw resistance. *Construction and Building Materials*. 2020 Mar;238:117626. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117626>
5. Song J, Li Y, Xu W, Liu H, Lu Y. Inexpensive and non-fluorinated superhydrophobic concrete coating for anti-icing and anti-corrosion. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2019 Apr;541:86-92. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2019.01.014>
6. Flores-Vivian I, Hejazi V, Kozhukhova MI, Nosonovsky M, Sobolev K. Self-assembling particle-siloxane coatings for superhydrophobic concrete. *Applied Materials & Interfaces*. 2013 May;5(24):13284-94. <https://doi.org/10.1021/am404272v>
7. Zhu C, Lv J, Chen L, Lin W, Zhang J, Yang J, Feng J. Dark, heat-reflective, anti-ice rain and superhydrophobic cement

- concrete surfaces. *Construction and Building Materials*. 2019 Sep;220:21-8. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.05.188>
8. Zhu J, Liao K. A facile and low-cost method for preparing robust superhydrophobic cement block. *Materials Chemistry and Physics*. 2020 Aug;250:123064. <https://doi.org/10.1016/j.matchemphys.2020.123064>
 9. Falchi L, Zendri E, Müller U, Fontana P. The influence of water-repellent admixtures on the behaviour and the effectiveness of Portland limestone cement mortars. *Cement and Concrete Composites*. 2015 May;59:107-18. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2015.02.004>
 10. Kang SP, Hong SU, Kang HJ, Yang SH. Water repellent characteristics of cement paste added silane/siloxane-based emulsion water repellent. *The Korea Institute of Building Construction*. 2021 Feb;21(1):31-9. <https://doi.org/10.5345/JKIBC.2021.21.1.031>
 11. Kim WS, Yoon CB, Cho IS, Lee HS. Material properties evaluation of cement mortar mixed with organic/inorganic combined water-repellent. *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*. 2020 Dec;24(6):50-8. <https://doi.org/10.11112/jksmi.2020.24.6.50>
 12. Venkatesh C, Nerella R, Chand MSR. Role of red mud as a cementing material in concrete: A comprehensive study on durability behavior. *Innovative Infrastruct*. 2021 Oct;6(1):1-14. <https://doi.org/10.1007/s41062-020-00371-2>
 13. Tsivilis S, Kakali G, Chaniotakis E, Souvaridou A. A study on the hydration of portland limestone cement by means of TG. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 1998 Jun;52:863-70. <https://doi.org/10.1023/A:1010139312958>
 14. Pan T, Zhiguang G. Bioinspired silica-based superhydrophobic materials. *Applied Surface Science*. 2017 Dec;426:1-18. <https://doi.org/10.1016/j.apsusc.2017.07.134>