

화재 지연형 바탕조정재의 기초물성 평가에 관한 연구

Evaluation on the Properties of Fire Retardant Surface Preparation Mortars

류 화 성^{1*}

신 상 현¹

김 득 모²

송 성 용³

Ryu, Hwa-Sung^{1*}

Shin, Sang-Heon¹

Kim, Deuck-Mo²

Song, Sung-Yong³

Senior Managers, Hanyang Experiment and Consulting, Hanyang University ERICA, Ansan 15588, Korea ¹

President, Hwarok Construction Industry, Hanyang University, Ansan 15588, Korea ²

President, Yoosong Engineering, Dongan-gu Anyang, 14054, Korea ³

Abstract

In the case of fire, surface treatment agents used in external insulation finishing methods are substances that are vulnerable to fire due to thin finishes and the combustion of polymers. In this study, it was expected that the performance of surface preparation mortars could be improved by using expandable graphite with excellent thermal performance. Experimental results showed that the mechanical properties of surface preparation mortar were improved by using the fly ash and silica fume. Surface treatment materials using expanded graphite have a characteristic of expanding when a fire occurs. It has been shown that heat-swellaible surface treatment materials can reduce the penetration of heat sources into the surface of synthetic insulation.

Keywords: phenol foam, expanded graphite, external insulation, surface preparation mortars, composite insulation

1. 서 론

외단열 공법 중 습식 공법인 ETICS(Exterior Thermal Insulation Composite System)는 구조물의 외피에 단열재를 부착하고 단열재 상부의 표면 처리와 경도가 약한 단열재의 외피를 보호하기 위한 방안으로 바탕조정재를 사용하여 단열재의 외부에 시공이 된다. 기존의 바탕조정재는 시멘트계 바탕조정재로 외피면의 경우 아크릴 에멀전을 사용한 마감재로 구성되어 있다[1,2].

외단열 공법에서 시멘트계 바탕조정재의 사용은 크게 두 가지로 사용된다. 첫째는 단열재를 콘크리트 벽체와 접착시키는 기능과 둘째, 단열재 부착후 단열재간의 틈이나 요철을

미장 공정을 통해 평탄화하므로 아크릴계 마감재를 시공하기 위한 적절한 표면 구조를 확보하는데 있다.

따라서 외단열 공법에서 사용되는 시멘트계 바탕조정재는 단열재의 부착력을 확보하기 위한 접착강도 및 외기 온도 변화에 따른 부착력의 안정성, 외기면의 투수에 의한 단열재 손상을 막기 위한 적절한 내수성이 요구된다. 외단열 공법에서 발생하는 주요 하자 중 하나는 부착력이 낮은 시멘트계 바탕조정재 사용시 단열재가 탈락이 발생하거나 수분에 의한 투과로 단열재의 열전도율 저하가 문제가 된다. 외단열 공법에서 사용되는 현재 시멘트계 바탕조정재는 KS 규격인 KS F 4716의 부착강도 1.1N/mm² 이상, 온냉반복강도 1.1N/mm² 이상, 물흡수계수 0.2kg/m²h^{0.5} 이하를 주요한 성능으로 관리하고 있다.

외단열 공법의 습식 공법에서는 단열재 상부의 마감재와 바탕조정재의 두께는 약 3mm 정도로 화재가 발생하는 경우 단열재까지의 열전달이 용이하여 단열재에 대한 화재보호성이 낮은 문제점이 있다. 기존 시멘트를 사용한 열투과를 억

Received : September 17, 2018

Revision received : October 4, 2018

Accepted : November 5, 2018

* Corresponding author : Ryu, Hwa-Sung

[Tel: 82-31-400-3752, E-mail: rhsung73@hanyang.ac.kr]

©2018 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

제하기 위한 경량 단열 모르타르와 같은 다공질의 소재가 개발되었으나 외단열 공법에서 사용되는 시멘트계 바탕조정재가 약 3mm두께로 시공되기 때문에 경량단열모르타르의 시공시 미려한 표면구조를 얻기 어려운 문제점이 있다.

한편, 최근 습식 외단열 공법을 사용한 건축물의 화재로 인한 문제를 해결하기 위한 다양한 방안이 제시되고 있다 [3,4]. 외단열 공법에서 화재는 건축물의 외부 혹은 내부의 화원에 의한 착화와 함께 화염에 의해 외피 마감재에 열이 투과되어 단열재까지 도달된다. 이후 발화점 이상으로 상승된 열에 의해 단열재가 착화되면서 열이 상부로 급격하게 전달되는 과정을 거치게 된다.

단열재 중 스티로폼이라 불리는 EPS(Expanded Poly Styrene)는 450°C부근에서 액상화를 거친 후 약 550°C 부근에서 발화되는 특성으로 연소과정에서 EPS의 분해가 빨라 화재 확산성이 큰 소재이다[5]. 이에 비하여 페놀폼이나 우레탄폼은 650°C부근에서부터 연소가 되나 탄화물을 생성하여 화재확산성이 EPS에 비하여 낮은 특성이 있다. 최근 페놀폼은 우레탄폼에 비하여 연소시 가스생성물이 적고 EPS에 비하여 열적성능이 우수하여 외단열공법에서 주요한 소재로 대두되고 있으나 EPS에 비하여 가격이 고가로 사용에 제한이 있다. EPS를 페놀폼과 복합구조로 하고, 상부의 시멘트계 바탕조정재의 열투과성을 억제할 경우 가격절감이 가능하면서 단열재의 연소 속도를 저감할 수 있는 단열재의 구조화가 가능할 것으로 기대된다.

따라서 본 연구에서는 먼저, 외단열 공법에 사용되는 시멘트계 바탕조정재가 얇게 시공되는 경우에도 표면부까지의 열전달을 억제할 수 있도록 팽창흑연을 사용하여 표면의 열상승시 팽창성을 부여하고 열투과성을 억제할 수 있는 기능을 부여하고자 하였다. 또한 기존 문헌에서 시멘트계 소재에 대하여 흑연을 사용하는 경우, 물리적 성능이 저하되는 특성을 고려하여 성능저하를 보상하기 위한 방안으로 플라이애시와 실리카흙을 사용하여 부착강도 및 물흡수계수성을 개선하고자 하였다. 이후 고가의 페놀폼과 저렴한 EPS 단열재로 복합구조화화된 단열재의 상부에 화재지연형 시멘트계 바탕조정재의 열투과성을 평가함으로 화재 지연형 바탕조정재의 기초자료로 활용하고자 하였다.

이를 위하여 팽창흑연 혼입 및 강도보상을 위한 플라이애시와 실리카흙의 혼입 시 부착강도, 온냉반복특성 및 물흡수계수를 측정하였다. 또한 복합단열재 상부에 팽창흑연이 혼입된 바탕조정재를 도포한 뒤 열을 투과시켜 단열재 구조체

의 온도변화를 측정함으로 팽창흑연 혼입 바탕조정재의 열투과성능을 검토하였다.

2. 사용 재료

2.1 시멘트

본 연구에서 사용된 시멘트는 1종 보통 포틀랜드 시멘트를 사용하였으며, 시멘트의 비중은 3.15이며, 사용재료의 물리 화학적 성질은 Table 1, 2와 같다.

Table 1. Chemical composition of ordinary portland cement (unit: wt%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Fe ₂ O ₃
21.09	4.84	63.85	3.32	3.09	1.13	0.29	2.39

Table 2. Physical properties of ordinary portland cement

Density (20°C)	Blaine fineness specific surface (cm ² /g)	Setting time		Compressive strength of mortar (MPa)		
		Initial set (hour)	Final set (hour)	3 days	7 days	28 days
3.15g/cm ³	3,400	4	7	20	23	38

2.2 골재

골재는 I사에서 실제 판매되고 있는 수지 바름재에 사용되는 규사 입도와 구성을 사용하였으며, 그 입도와 구성은 Table 3과 같다.

Table 3. Composition of dolomite aggregate

Size(mm)	0.6~0.85	0.25~0.6	0.1~0.25	0.075~0.1
Rate(%)	19.74	40.78	13.16	26.32

2.3 에멀전

에멀전은 아크릴수지와 함께 첨가제로서는 보습제로 에틸렌글리콜, 가소제로 부틸카비톨, 증점제로 메칠셀룰로스 및 소포제가 소량 첨가된 것을 사용하였다. 바인더로 사용된 아크릴 에멀전의 특성은 Table 4와 같으며, 아크릴에멀전과 기타 첨가제가 포함된 바인더의 구성은 Table 5와 같다.

Table 4. Specification of acrylic resin

Color	Solid content(%)	Viscosity(mPa·S)	pH(20°C)
White	48	102	9.0

Table 5. Composition of binder(unit:wt%)

Acrylic resin	Butyl carbitol	antifoaming agent	Ethylen glycol	Methyl cellulose
93.86	3.25	0.36	1.44	1.09

2.4 팽창흑연

Table 6은 본 실험에 사용된 팽창흑연의 물성을 나타낸 표이다. 표면의 팽창성을 부여하기 위한 방안으로 팽창흑연을 사용하였다. 팽창흑연은 난연재로 주로 사용되는 소재로 유기물 내 화재시 탄소 층간 결합의 확장으로 인해 공극이 생성되며, 열전달을 억제할 수 있는 소재이다. 본 연구에서 사용된 팽창흑연은 173 μ m의 입도를 갖으며 팽창율은 100~250%이며, 발포 개시온도는 180~200 $^{\circ}$ C인 것을 사용하였다.

Table 6. Specification of expandable graphite

Carbon Content(wt%)	Expansion rate(%)	Starting Temperature ($^{\circ}$ C)	Particle Size
92	100~250%	200~250	173 μ m

2.5 유리 섬유 메쉬

Table 7은 유리 섬유 메쉬의 물리적특성을 나타낸 것이다. 유리 섬유는 단열재 상부의 보호층의 역할을 하며, 본 연구를 위하여 사용된 유리 섬유 메쉬는 900MPa급의 것을 사용하였다. 유리 섬유 메쉬는 단열재 상부에 바탕조정재를 도포하기 전에 부착되며, 바탕조정재의 경화 과정 중 균열 억제 및 인장강도 증진을 위해 사용된다.

Table 7. Physical properties of glass fiber mesh

Moisture regain(%)	Density (g/cm 3)	Loss of Ignition(%)	Tensile Strength (MPa)	mesh Size (mm)
< 0.06	2.54	0.7 \pm 0.15	900	4

2.6 혼화재료

바탕조정재의 혼화재료로 사용된 주요 소재는 플라이애시와 실리카흙을 사용하였으며, 주요 물성은 Table 8과 같다.

2.7 단열재

본 연구에서 사용된 단열재는 I사의 페놀폼과 스티로폼은

비드법 1종 1호를 사용하였다. 사용된 단열재의 물성은 Table 9와 같다.

Table 8. Specification of fly ash and silica fume

Type	Fly ash	Silica Fume
SiO $_2$	41.20 %	95.90 %
Al $_2$ O $_3$	14.70 %	0.00 %
CaO	16.00 %	1.01 %
MgO	1.36 %	0.09 %
K $_2$ O	2.38 %	0.44 %
Na $_2$ O	0.61 %	0.00 %
Fe $_2$ O $_3$	18.10 %	0.18 %
SO $_3$	1.03 %	0.11 %
Loss of Ignition	1.60 %	0.70 %
Density(g/cm 3)	2.2	2.1
Blain(g/cm 3)	2,800	150,000 ~ 250,000

Table 9. Specification of insulation

Type	Phenol Foam	EPS
Color	Pink	White
Thermal Conductivity (Kcal·m·K)	0.019	0.036
Density(kg/cm 3)	36	30
Flexural Strength(Mpa)	23.3	35
Material	Phenol	Styrene

단열재를 조합하여 제조된 시험체는 페놀폼 30mm와 비드법 1종 1호 단열재 60mm로 구성되었으며, 페놀폼의 전면부에는 시중에서 유통되는 아크릴계 얇은 바름재와 유리 섬유 메쉬로 보강된 바탕조정재를 복합적으로 사용한 단열 구조체를 제작하였다.

3. 실험계획 및 방법

3.1 개설

본 실험에서는 두 단계로 진행되었다. 첫번째는 시멘트계 바탕조정재의 팽창흑연을 혼입한 뒤 강도 저하를 관찰하였다. 팽창흑연 혼입에 따른 강도 저하 현상을 보상하기 위한 방안으로 플라이애시와 실리카흙을 혼입하여 강도 성능을 향상하고자 하였다. 두 번째는 제조된 시멘트계 바탕조정재를 단열재의 상부에 도포한 뒤 외부 화원을 부여하고 시간에 따른 단열재 내부 온도를 측정하여 화재 지연형 바탕조정재의 특성을 평가하고자 하였다. Table 10은 실험과정을 나타낸 것이다.

Table 10. Experiment process

Experiment Step	Evaluation index
① Characteristics of graphite incorporation	Adhesion in tension Freeze Thawing Water absorption Coefficient
② Fly ash and Silica Fume incorporation to improve performance	Adhesion in tension Freeze Thawing Water absorption Coefficient
③ Characteristics of graphite incorporation	Adhesion in tension Freeze Thawing Water absorption Coefficient
④ Characteristics of heat transfer delay	Temperature Changing Expanded depth

3.2 바탕조정재의 배합

본 연구 개발에서 사용된 바탕조정재의 배합은 Table 11과 같다. 아크릴 에멀전과 골재가 혼합된 반액상의 페이스트를 제조한 뒤 여기에 시멘트를 혼합하여 배합하였다. 먼저, 플라이애쉬와 실리카흄을 사용하여 물리적 성능을 향상하고자 하였으며, 이후 화염반응성 소재로 팽창흑연을 사용하여 바탕조정재를 배합하였다.

Table 11. Experimental factors and levels in this study (unit: g)

	Sand	Fly ash	Silica fume	Expandable Graphite	Emulsion	Methyl cellulose	water	OPC
Plain	1140	0	0	0				2000
EG05	1083			57				2000
EG10	1026			114				2000
EG15	969			171				2000
EG20	912			228				2000
F05	1083	57	0	0				2000
F10	1026	114	0	0				2000
F15	969	171	0	0	180	6	280	2000
F20	912	228	0	0				2000
F10S1	1014.6	114	11.4	0				2000
F10S3	991.8	114	34.2	0				2000
F10S5	969	114	57	0				2000
FSEG05	934.8	114	34.2	57				2000
FSEG10	877.8	114	34.2	114				2000
FSEG15	820.8	114	34.2	171				2000
FSEG20	763.8	114	34.2	228				2000

*Abbreviation

F-Fly ash, S: Silicafume EG: expandable Graphite

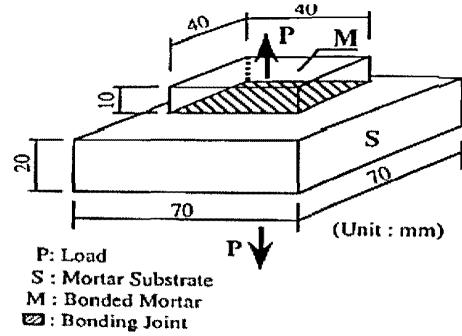


Figure 1. Specimen of adhesive in tension strength test

3.3 실험 방법

3.3.1 부착강도

배합에 따른 시험체의 부착강도 시험은 70mm×70mm 시험체를 제작하여 KS F 4716규격에 따라 RH60%, 20±2℃의 조건에서 표준양생을 실시한 뒤 14일의 부착강도를 측정하였다. Figure 1은 부착강도 시험체의 형상을 나타낸 것이다.

3.3.2 물흡수계수

물흡수계수란 재료의 면적당 물흡수량(kg/m²)과 시간(√t)사이의 비례 계수를 말한다. 물흡수계수를 측정하기 위하여 KS F 4716의 기준에 따라 시험체를 제작하였다. 시험체는 지름 150mm, 두께 40mm로 된 원형시험체에 대하여 표면에 바탕조정재를 3mm도포하여 제작하였다. 제작된 시험체를 물흡수계수 산정을 위하여 KS F 2609(건축재료의 물 흡수 계수 측정 방법)에 따라 측정하였다. 재료의 한면이 물과 접촉시 시간에 따른 면적당 흡수량은 다음과 같다.

$$m = w \cdot \sqrt{t}$$

여기서, m: 면적당 물흡수량(kg/m²)
w: 물 흡수 계수(kg/m²h^{0.5})
t: 시간(h)

3.3.3 온냉반복시험

바탕조정재의 온냉반복시험을 평가하기 위하여 KS F 4716에 따라 시험을 수행하였다. 시험체의 제작은 70×70×20의 모르타르판을 제작한 뒤 상부에 바탕조정재를

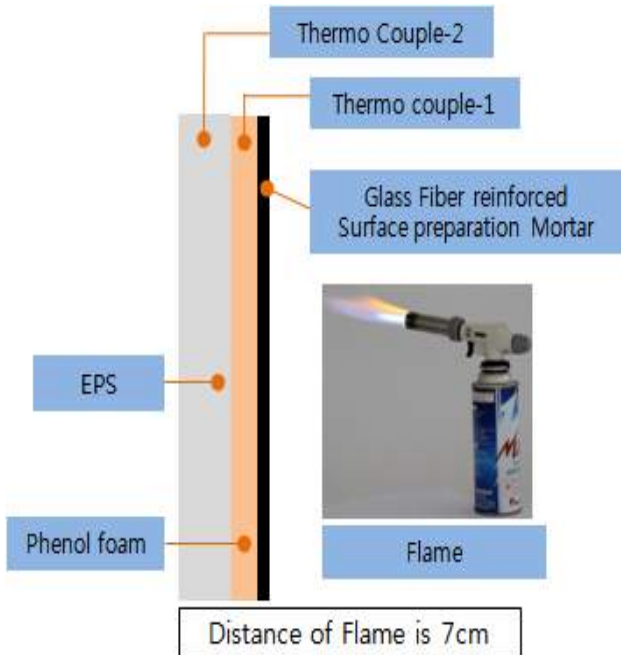
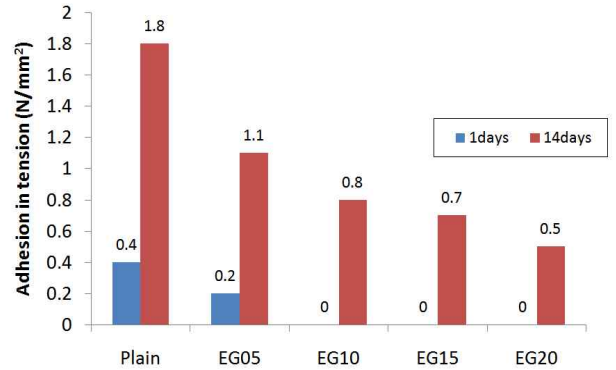


Figure 2. Insulation system & flame exposed test

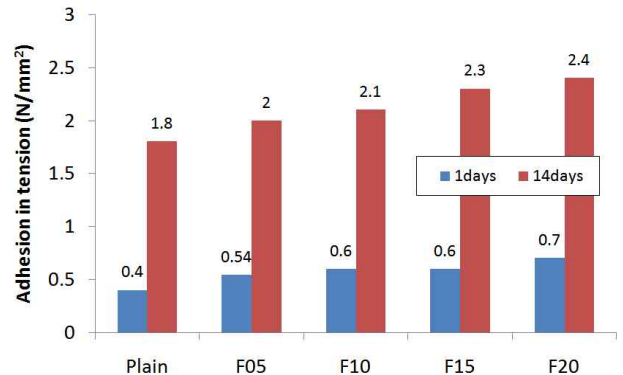
3mm도포하였다. 먼저, 시험체를 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 의 물속에 18시간 담가둔 뒤, 즉시 $-20 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 항온 탱크 속에서 3시간 냉각시키고, 이어서 $50 \pm 3^\circ\text{C}$ 의 다른 항온 탱크 속에서 3시간 가온하는 사이클로 24시간을 1사이클로 하는 조작을 10회 반복한 뒤, 부착강도를 측정하였다.

3.3.4 화염 노출 시험

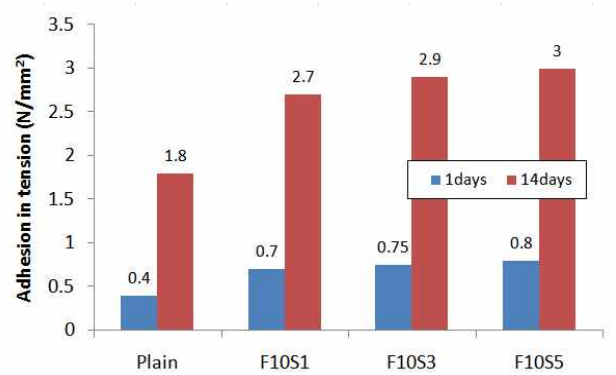
먼저, 바탕조정재의 화염 노출로 인한 단열재 표면부의 특성을 평가하기 위하여 제조된 외단열 시스템을 제작하였다. 시험체의 단열재 구성은 스티로폼을 60mm, 페놀폼 30mm의 두께로 접착한 뒤 가로 15cm, 높이 50cm의 크기로 절단하여 제작하였다. 이후 페놀폼의 상부에 유리섬유메쉬를 대고 바탕조정재를 3mm도포하여 표면부를 마감하였다. 시험체의 측정은 화원으로부터 약 7cm간격으로 한 뒤 약 15분간 단열재 표면에 노출하였다. 화원은 가스토치를 사용하였으며, 열원의 불꽃온도는 700°C 의 온도를 갖는 것을 사용하였다. 열전대는 K형 열전대를 사용하였으며, 바탕조정재로부터 1.5cm 두께부위에 열전대를 하나 설치하였으며, 3cm 두께에 두 번째 열전대를 설치하여 15분간 화염에 노출 후 각 지점의 온도변화를 측정하였다. 이후 바탕조정재의 팽창 두께를 측정하였다.



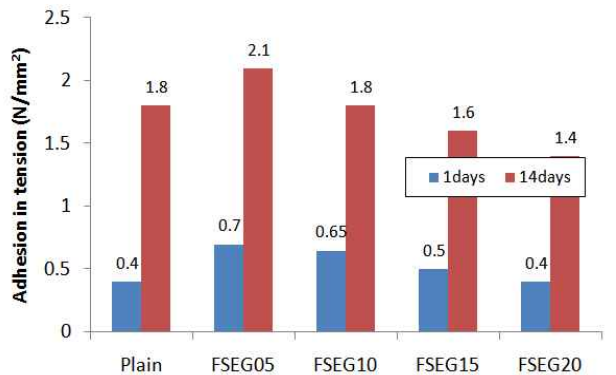
(a) Expandable graphite



(b) Fly ash



(c) Fly ash + silica fume



(d) Fly ash + silica fume + Expanded graphite

Figure 3. Adhesion in tension

4. 실험결과 및 분석

4.1 부착강도 특성

Figure 3은 부착강도 시험결과를 나타내고 있다. KS F 4716에서 요구하는 부착강도는 1.1N/mm^2 로 Plain의 부착강도는 1일 재령에서 약 0.4N/mm^2 , 14일 재령에서 1.8N/mm^2 로 나타났다. Plain에 대하여 팽창흑연을 혼입하는 경우, 부착강도는 1일 재령에서 5%혼입시 약 0.2N/mm^2 로 나타났으며, 14일 재령에서 기준 강도인 1.1N/mm^2 을 도달하는 것으로 나타났다. 그러나 팽창흑연을 10%이상 혼입하는 경우 1일 재령에서는 부착탈락으로 인해 강도 측정이 불가능하였으며, 14일 재령에서는 부착력이 기준 강도에 미달하는 것으로 나타났다. 팽창흑연입자는 수화불가능한 탄소 물질로 수화과정에서 물리적 충전체로서만 존재하게 된다. 이로 인해 시멘트계 바탕조정재가 표면부의 앵커링을 저하시키고 수화물질의 생성에 있어 불순물로 존재함으로 강도가 저하는 것으로 판단된다.

플라이애시를 혼입한 경우 1일 재령의 부착강도는 플라이애시 혼입율 20%에서 최대 0.6N/mm^2 로 나타났다. 플라이애시 10%와 실리카흄을 각각 1, 3, 5%치환한 경우, 1일 재령에서 부착강도는 최대 0.7N/mm^2 로 나타나 플라이애시만을 혼입한 경우보다 약간 상승하는 것으로 나타났다. 14일 재령을 기준으로 하였을 때 플라이애시만을 혼입한 시험체의 최대 강도는 약 2.4N/mm^2 정도였으나 실리카흄을 혼입한 경우 혼입율 3%에서 부착강도는 2.9N/mm^2 정도로 급격하게 증가하는 경향을 나타내었다. 실리카흄 5%치환시의 부착강도는 실리카흄 치환율 3%와 큰 차이를 보이지 않는 것으로 나타났다. 플라이애시 및 실리카흄의 원형입자들도 바탕조정재가 콘크리트계면의 취약한 미세공간들을 밀실하게 하는 앵커링 현상을 통해 강도가 증진되는 것으로 판단된다[6].

플라이애시 15%와 실리카흄 3%를 혼입한 배합에 대하여 팽창흑연을 혼입한 경우, 혼입율이 증가함에 따라 1일 부착강도 및 14일 재령의 부착강도는 점차 감소하는 것으로 나타났으나 모든 배합에서 14일 재령에서의 1.1N/mm^2 이상의 부착력을 보였다. 팽창흑연 15%이상 혼입시에는 Plain보다 낮은 부착강도를 나타내었다. 팽창흑연을 혼입한 경우 강도 저하로 인해 KS규격 이하의 성능이 나타났으나 플라이애시와 실리카흄의 혼입을 통해 물리적 성능을 개선한 바탕조정재에 대하여 팽창흑연 10%혼입시까지 기존 바탕조정재와 유사한 강도를 얻을 수 있었다.

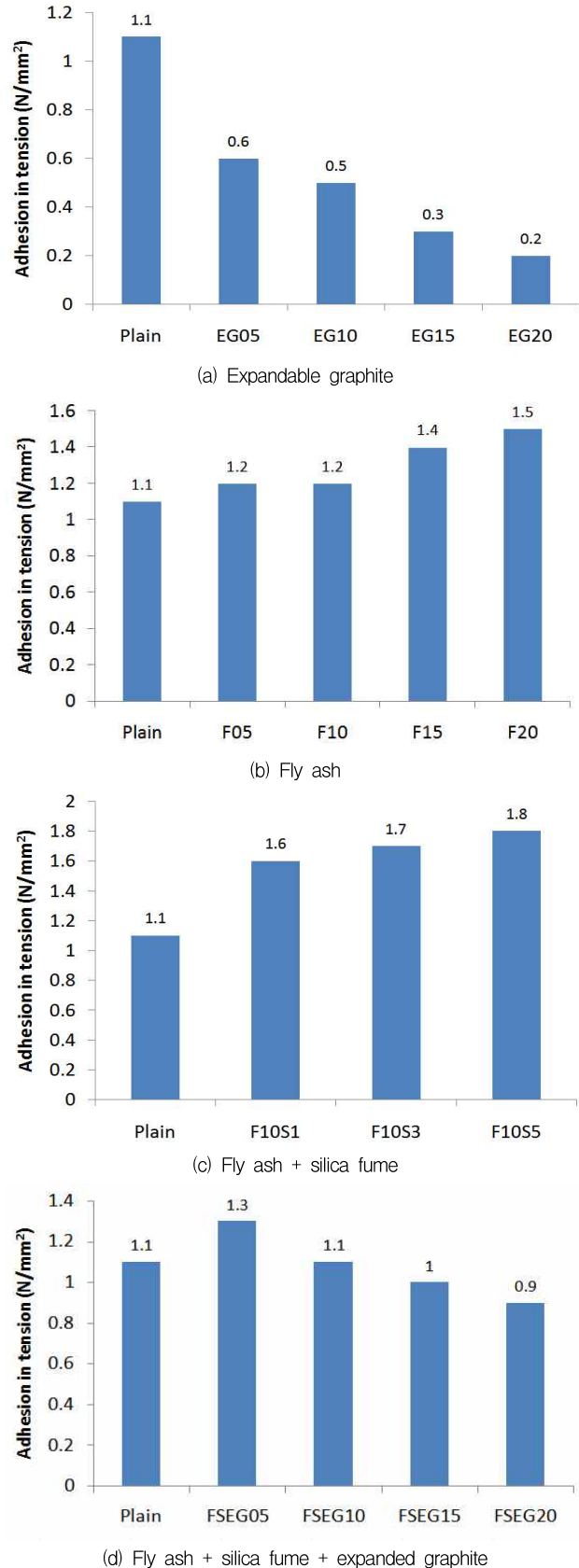


Figure 4. Adhesion in tension according to freeze thawing

4.2 온냉반복강도

Figure 4는 바탕조정재의 온냉 반복 조건하에서의 부착 강도를 나타낸 그래프이다. 외단열 공법에서 사용되는 시멘트계 바탕조정재는 단열재 상부에 시공되는 소재로 외기 온도 변화에 따른 팽창과 수축으로 인해 강도 저하가 발생하게 된다. 시멘트계 바탕조정재의 규격인 KS F 4716에서는 기준 부착강도를 1.1N/mm² 이상의 성능을 요구하고 있다.

Plain에 대하여 팽창흑연을 혼입한 경우 온냉 반복 강도는 혼입율이 증가함에 따라 감소하는 경향을 나타내었으며, 팽창흑연 5% 혼입시에도 기준 강도보다 낮은 0.6N/mm²으로 나타나 바탕조정재로 사용이 불가능하였다.

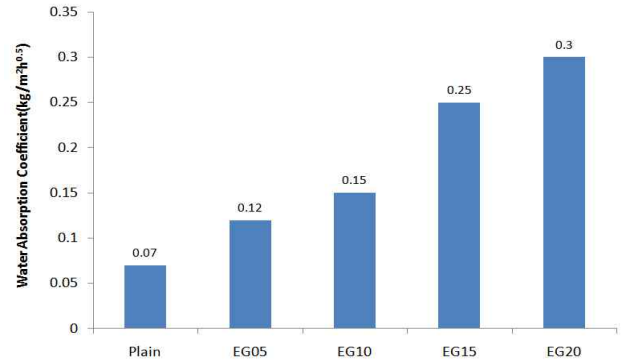
플라이애시를 혼입하는 경우 온냉반복강도는 5%혼입에서부터 Plain보다 높은 부착강도를 보였으며, 플라이애시를 15% 치환시에는 부착강도가 약 1.4N/mm² 정도로 10%치환시보다 약 0.2N/mm²가량 가장 높은 증가량을 보였다. 플라이애시를 20%치환하는 경우 부착강도 증가가 크지 않은 것으로 나타났다. 플라이애시 15%에 대하여 실리카흄을 혼입하는 경우 1%혼입시 부착강도는 1.6N/mm²이상으로 나타나 부착강도의 안정성을 갖는 것으로 나타났다.

플라이애시와 실리카흄의 혼입을 통해 성능이 개선된 바탕조정재에 대하여 팽창흑연을 치환한 경우 5% 치환시 부착강도는 1.3N/mm²로 Plain보다 높은 강도를 나타내었으나 10%에서는 Plain과 유사한 수준의 부착강도를 나타내었다. Plain에 대하여 5%의 팽창흑연을 치환한 경우 부착강도 저하율은 46%정도였으나 실리카흄과 플라이애시로 개선된 바탕조정재에 대한 5%의 팽창흑연 치환시 부착강도 저하는 34%정도로 나타났다.

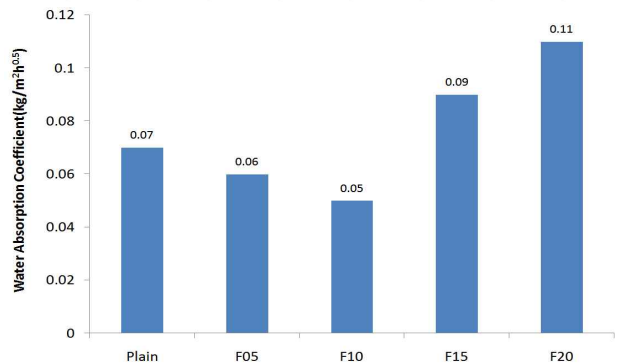
이는 시멘트 매트릭스에 수화 반응에 참여하지 않는 팽창흑연이 혼입되면 앵커링을 방해하면서 피착면에 대한 부착력 저하가 커지는 것으로 판단된다[6]. 플라이애시와 실리카흄을 혼입하는 경우 수화조직을 밀실하게 하여 부착계면의 앵커링 증진 효과로 온냉 반복 조건에서의 팽창흑연 혼입시 강도 저하를 억제할 수 있는 것으로 판단된다[7].

4.3 물흡수계수

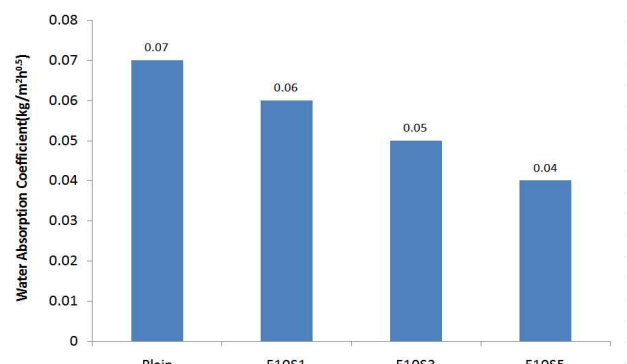
Figure 5는 바탕조정재의 물흡수계수를 나타낸 그래프이다. Plain의 물흡수계수는 0.07kg/m²h^{0.5}로 KS 4716의 물흡수계수인 0.2kg/m²h^{0.5}보다 매우 낮게 나타났다. 팽창흑연 5%을 혼입된 경우, 물흡수계수는 Plain보다 약 2배가량 상승하는 것으로 나타났다. 팽창흑연 15% 혼입시 0.25kg/



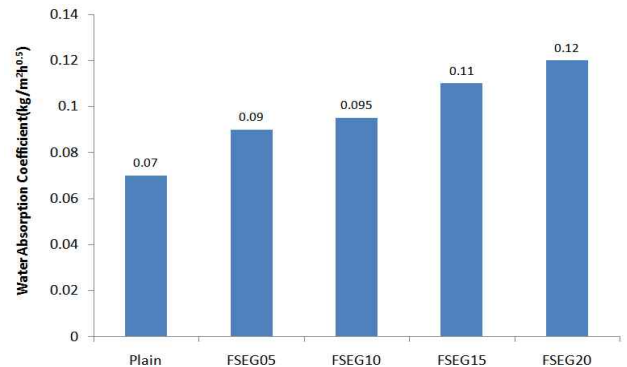
(a) Expandable graphite



(b) Fly ash



(c) Fly ash + silica fume



(d) Fly ash + silica fume + expanded graphite

Figure 5. Water absorption coefficient



(a) Ordinary surface preparation materials (b) Surface preparation materials using expandable Graphite

Figure 6. Insulation surface of flame exposed

$m^2h^{0.5}$ 로 KS규격의 물흡수계수보다 높은 것으로 나타났다.

물흡수계수를 저감하기 위한 방안으로 플라이애시를 혼입하는 경우 10% 혼입율에서 최소인 것으로 나타났으며, 플라이애시 15%이상 혼입되는 경우 물흡수계수는 Plain보다 높은 것으로 나타났다. 그러나 플라이애시 혼입시 증가된 물흡수계수는 플라이애시 혼입율 20%에서 $0.11kg/m^2h^{0.5}$ 로 Plain에 비하여 약 57% 증가하나 KS규격의 물흡수계수보다 낮은 것으로 나타났다. 플라이애시 15%에 대하여 실리카흙을 혼입하는 경우 실리카흙의 혼입율이 증가함에 따라 물흡수계수는 감소하는 것으로 나타났다.

플라이애시 15%와 실리카흙 3%으로 개선된 바탕조정재에 대하여 팽창흑연을 혼입하는 경우 물흡수계수는 팽창흑연의 혼입율이 증가함에 따라 증가하는 것으로 나타났다. 팽창흑연 혼입 5%와 10%까지는 물흡수계수가 $0.09kg/m^2h^{0.5}$, $0.095kg/m^2h^{0.5}$ 로 유사하였으나 15%에서부터는 물흡수계수가 $0.1kg/m^2h^{0.5}$ 을 초과하는 것으로 나타났다.

바탕조정재의 물흡수계수는 시멘트보다 분말도가 작은 플라이애시의 경우 일정 이상의 혼입율에서는 투수성이 높아지는 것으로 나타났다. 시멘트에 비하여 분말도가 큰 실리카흙은 분말도가 $150,000g/cm^3$ 상 즉 $0.1\mu m$ 이하로의 경우 미세공극 저감에 따른 투수성 억제에 효과적인 것으로 판단된다. 그러나 팽창흑연의 입경은 $178\mu m$ 로 시멘트 입자 $80\mu m$ 보다 입자가 굵고 시멘트와 수화반응이 없는 소재로 입자 충전성이 저하되는 것으로 판단된다.

4.4 화염 노출 표면부 특성

Table 12는 화염에 15분간 노출된 외단열 시스템의 온도

변화와 바탕조정재의 표면 팽창두께를 측정한 표이다. Plain을 사용한 경우, 페놀폼 내부온도가 불꽃온도보다 높은 온도인 $750^\circ C$ 까지 상승하였다. 외부 화염에 의해 페놀폼이 연소되면서 온도가 상승한 것으로 판단된다. 페놀폼 후면의 열센서는 $600^\circ C$ 까지 상승하여 EPS층이 붕괴된 것으로 나타났다. FSEG05와 FSEG10의 경우 페놀폼의 중심부 온도가 탄화온도까지 상승하였으나 후면부의 온도는 EPS의 열분해전 온도인 $450^\circ C$ 이하를 유지하여 EPS의 붕괴는 나타나지 않았다. 팽창흑연이 혼입된 바탕조정재는 외부의 화염이 접촉되는 경우 표면부가 8~10mm가량 팽창된 탄화층이 생성된 것으로 나타났다. Figure 6은 화염에 노출된 외단열 시스템의 표면부를 나타낸 그림이다. Plain배합인 일반 바탕조정재를 사용하는 경우, 지속적인 화염에 의해 표면부의 바탕조정재가 소실되어 단열재면이 노출되었으며 후면의 페놀폼이 연소된 상태로 나타나고 있다.

그러나 팽창흑연을 사용한 바탕조정재는 표면부가 소실되지 않고 유지되어 후면의 단열재가 노출되지 않는 특성을 나타내었다. 팽창흑연에 의해 생성된 탄화층은 단열재 상부에 차열층을 생성하여 페놀폼의 연소를 억제할 수 있는 것으로 판단된다.

Table 12. Temperature change of insulation system and expanded depth of surface preparation mortars after 15 minutes of flame exposure

	Flame	Thermo couple-1	Thermo couple-2	Expanded depth of surface preparation Mortars
Plain	$700^\circ C$	$750^\circ C$	$600^\circ C$	0
FSEG05	$700^\circ C$	$670^\circ C$	$430^\circ C$	8mm
FSEG10	$700^\circ C$	$650^\circ C$	$400^\circ C$	10mm

5. 결 론

본 연구에서는 플라이애시, 실리카흙 및 팽창흑연이 혼입된 시멘트계 바탕조정재의 특성을 평가하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 팽창흑연을 혼입한 바탕조정재는 부착강도, 온냉반복 강도, 물흡수계수는 KS F 4716의 기준보다 낮은 물성을 나타내었다. 기존 바탕조정재에 팽창흑연만을 혼입할 경우 물성 저하로 외단열 공법에 적합하지 않아 바탕조정재의 성능 개선이 요구된다.

- 2) 플라이애시와 실리카흙을 혼입하는 경우 바탕조정재의 부착강도, 온냉반복강도, 물흡수계수를 증진시킬 수 있었다. 플라이애시는 혼입을 20%까지 부착강도, 온냉반복시험에서 우수한 성능을 나타내었으나 물흡수계수 증가폭이 상승하기 때문에 플라이애시 혼입을 15%, 실리카흙 3%에서 적절한 물성이 개선이 가능하였다.
- 3) 플라이애시와 실리카흙을 사용하여 물성이 개선된 바탕조정재에 대한 팽창흑연은 최대 10%까지 기준 KS F 4716의 부착강도 및 온냉반복강도를 만족할 수 있었다.
- 4) 팽창흑연을 사용한 바탕조정재는 외단열 공법 표면부에 화염이 발생하였을 때 바탕조정재가 붕괴되어 후면으로 열이 투과되는 현상을 저감할 수 있는 것으로 나타났다. 팽창흑연이 혼입된 바탕조정재를 사용할 경우, 단열재의 착화온도까지 도달하는 시간을 지연함으로써 화재 확산성을 억제할 수 있는 기술의 개발이 가능할 것으로 판단된다.

요 약

외단열 마감 공법에서 사용되는 바탕조정재는 화재가 발생하는 경우 얇은 마감과 폴리머의 연소로 인해 표면부가 급속하게 붕괴되어 화재에 취약한 소재이다. 본 연구에서는 열적 성능이 우수한 팽창 흑연을 사용할 경우 바탕조정재의 성능을 개선할 수 있을 것으로 기대하였다. 실험결과, 팽창 흑연을 사용한 바탕조정재는 부착강도 저하 및 물흡수계수 등의 감소가 발생하는 문제점이 있으나 플라이애시와 실리카흙을 사용하여 물리적 성능이 향상되는 것으로 나타났다. 팽창흑연을 사용한 바탕조정재는 복합 단열 시험체 표면의 페놀폼은 화염에 의한 표면 뚫림이 나타나지 않아 열원의 투과를 감소시킬 수 있을 것으로 나타났다.

키워드 : 페놀폼, 팽창흑연, 외단열, 바탕조정재, 복합단열

Acknowledgement

This research was supported by the Research Grant from (Yosong Engineering)through the Korea

Agency for Infrastructure Technology Advancement funded by the Ministry of Land, Infrastructure and Transport of the Korean government(Project No. : 18CTAP-C130219-02).

References

1. Chang Jh, Choi SM. Workability evaluation of the inorganic surface preparation materials including EVA redispersible polymer powder for wall, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, 2013;29(11):53-62.
2. Kim WK, Kim DM. Properties of acrylic emulsion mortar using pyroigneous liquid of wood by-product. Journal of Korea Society of Waste Management, 2014;31(1):70-8.
3. Min SH, Kim MS. A study on the fire risk assessment of EIFS by cone calorimeter test & single burning item test. Journal of the Korea Safety Management and Science, 2010;12(1):1-9.
4. Lee JC, Park JC, Song H. Effect of external thermal insulation composite system with a non-combustible calcium silicate based mineral on the mitigation for reducing fast spread of flame. Journal of the Korea Institute of Building Construction, 2016 Oct;16(5):397-403.
5. Lee JC, Seo JS, Kim SB. Study on flame retardancy and thermal resistance properties of phenolic foam and polyurethane foam. Journal of the Korean Institute of Gas, 2013;17(1):35-41.
6. Chuigen G, Lin Z, Jianxiong L. Effects of expandable graphite and modified ammonium polyphosphate on the flame-retardant and mechanical properties of wood flour-polypropylene composites. Polymers & Polymer Composites, 2013;21(7):449-56.
7. Yang EH, Yang Y, Li VC. Use of high volumes of fly ash to improve ecc mechanical properties and material greenness. ACI Materials Journal, 2007 Feb;104(6):303-11.