

무기성 습식 처리 플라이애시를 활용한 단열 외피 마감재의 특성 평가

Characterization of Insulation Finish Material Using Inorganic Wet Treatment Fly Ash

류화성^{1*} · 신상헌² · 송성용³ · 김득모⁴

Hwa-Sung Ryu^{1*} · Sang-Heon Shin² · Sung-Young Song³ · Deuak-Mo Kim⁴

(Received November 4, 2019 / Revised December 3, 2019 / Accepted December 5, 2019)

In this study, a functional inorganic insulation as TiO₂ and inorganic wet fly ash were used to evaluate the physical performance and thermal environment of an exterior finish that can improve the thermal environment of a building. The performance evaluation of the finish was based on the KS F 4715 thin coating material and the thermal environment. When TiO₂ was added, the physical performance was lowered at 10% or more, and the inorganic wet-treated fly ash increased the physical performance by 10%. In the thermal environmental evaluation, the surface temperature reduction effect of the inorganic wet-treated fly ash was low, but when used in combination with TiO₂, it was effective to reduce the surface temperature and the internal temperature. As a result, the optimum combination of TiO₂ and inorganic wet-treated fly ash for thermal environment control was found to be optimal when 5% of each mixture was used.

키워드 : 플라이애시, 열환경 제어, 마감재, 얇은 바름재

Keywords : Fly ash, Thermal control, Finish, Thin coating

1. 서론

최근 지구 온난화에 의한 기후 대응에 대한 요구가 증대되고 있다. 지구 온난화의 주범으로 주목되는 화석연료를 비롯한 다양한 에너지원의 절감을 통한 저에너지 정책이 주목되기 시작하였고, 이와 더불어 건축 분야에서는 건축물의 단열성을 향상할 수 있는 기법들이 제시되고 있다(Park et al. 2016; Choi et al. 2011).

최근에 관심을 끌고 있는 건축물의 단열성과 관련된 주요 제품으로는 열반사성 표면 처리 기법, 좀 더 향상된 단열재의 적용 방안 도출, 열교현상을 억제할 수 있는 다양한 방안에 대한 검토가 이루어지고 있다(Min et al. 2019; Song et al. 2010).

기존의 단열 마감 소재들은 다공질의 연속 공극을 갖는 펄라이트나 경량 골재가 주로 사용되었다. 표면부의 밀도를 저감시켜 열

에너지가 전도되는 것을 억제하는 것에 목표를 두었다. 대부분 시멘트성 소재를 사용한 무기질의 소재를 사용함에 따라 두께가 얇을 경우 이 효과가 낮은 것으로 알려져 있다(Song et al. 2010).

열반사성 표면 처리 기법은 건축물의 표면에 열반사성을 갖는 도로나 피막을 형성함으로써 구조물에 전달되는 열량을 효과적으로 외부에서 차단시켜, 건축물 내의 온도를 상승을 억제할 수 있는 방법이 제시되고 있다(Gil et al. 2016).

이와 관련된 주요 소재로는 현재 상변이 물질과 열반사성 소재가 주목되고 있다(Jung et al. 2011). 상변이 물질은 대부분 고가이며, 표면 소재에 적용하기 위해서는 마이크로 캡슐화 하는 방안이나 경량 소재에 함침시켜 개별 첨가 소재로 제조하는 공정이 요구된다. 열반사성 소재로는 알루미늄이나 무기성의 열반사성을 갖는 TiO₂와 같은 상변이 물질에 비하여 좀 더 저렴한 형태의 분말 소재

* Corresponding author E-mail: rhsung73@hanyang.ac.kr

¹한양E&C 총괄사업팀장 (Hanyang Experiment and Consulting, Hanyang University ERICA, Ansan, 15588, Korea)

²한양E&C 연구개발팀장 (Hanyang Experiment and Consulting, Hanyang University ERICA, Ansan, 15588, Korea)

³(주)유송엔지니어링 연구소장 (Yousong Engineering, Anyang, 15588, Korea)

⁴화록건설산업 대표이사 (Hwarok Construction Industry Hanyang University ERICA, Ansan, 15588, Korea)

가 사용되고 있다. 그러나 이들 소재를 사용한 마감재는 대부분 가격이 고가이고 내구 연한이 10년 정도로 알려져 있어 저렴한 소재 설계 기술은 지속적으로 요구되고 있다.

한편, 플라이애시는 다양한 처리 방법을 거쳐 정제할 수 있는데 습식 처리 공정에서 표면으로 부상하는 평균 100 μ m 정도의 저밀도 입자를 세노스피어라고 부른다. 세노스피어는 내부에 불활성기체가 채워진 상태로 있는 광물로서 단열성을 갖는 소재로 경량 충전재로 산업용 소재에 광범위하게 사용되고 있다(Yogesh et al. 2018).

아크릴계 외장 마감재는 아크릴 에멀전의 내후성이 우수하고 높은 투광성으로 안료 첨가에 따라 다양한 색상의 마감면의 구현이 가능하다. 아크릴계 외장 마감재의 주요 구성물은 골재 및 탄산칼슘 등의 충전재와 안료를 혼합하여 마감재 조성물을 구성한다. 투광성이 높은 아크릴에멀전으로 인해 충전재의 구성물의 종류에 따라 일사광에 의한 표면 온도가 큰 소재이다.

이에 따라 본 연구에서는 플라이애시 중 단열성을 갖는 세노스피어와 TiO₂를 활용하여 아크릴 에멀전계 외장 마감재를 제조하고 마감재 특성을 평가하고자 한다. 이를 위하여 KS F 4715의 얇은바름재의 부착강도, 물흡수계수, 온냉반복저항성을 측정하였으며, 마감재를 도포한 뒤 표면 온도 변화를 측정하여 열환경성을 평가하고자 하였다.

2. 사용재료

2.1 아크릴 에멀전

에멀전은 아크릴수지와 함께 첨가제로서는 보습제로 에틸렌글리콜, 가소제로 부틸카비톨, 증점제로 메칠셀룰로스 및 소포제가 소량 첨가된 것을 사용하였다. 바인더로 사용된 아크릴 에멀전의 특성은 Table 1와 같으며, 아크릴에멀전과 기타 첨가제가 포함된 바인더의 구성은 Table 2와 같다.

Table 1. Specification of acrylic emulsion

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

Table 2. Composition of binder(%)

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

2.2 골재

골재는 1사에서 실제 판매되고 있는 수지 바름재에 사용되는 규사 입도와 구성을 사용하였으며, 그 입도와 구성은 Table 3과 같다.

Table 3. Size 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 기능성 단열 소재

기능성 단열 소재로서는 TiO₂와 무기성의 습식 처리 플라이애시인 세노스피어를 사용하였다. 주요 입도 및 색상은 아래 Table 4과 같다. TiO₂는 TiO₂함량이 99%이상의 시약급을 사용하였으며, 세노스피어의 화학적 조성은 Table 5와 같다.

Table 4. Functional insulation material

Items	Color	Density(g/cm ³)	Size(μ m)
TiO ₂	White	3.8	0.3
Inorganic wet treatment fly ash	Grey	0.4	100

Table 5. Chemical composition of cenosphere(%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	CaO	MgO	Na ₂ O
60	36	1.8	0.3	1.3	0.3	0.3

3. 실험계획 및 방법

3.1 실험개요

본 실험은 두 단계로 진행되었다. 첫 번째는 무기계 단열 소재인 세노스피어와 TiO₂를 사용한 KS F 4715의 얇은 바름재의 성능을 평가하고자 하였다. 두 번째는 세노스피어와 TiO₂의 비율에 따라 얇은 바름재가 외기 온도에 노출된 후 표면 온도 및 내부 온도의 변화를 측정하였다. 아래 Table 6은 실험과정을 나타낸 것이다.

Table 6. Experiment process

Experiment step	Evaluation index
① Physical characteristics of cenosphere + TiO ₂ incorporation	Adhesion in tension Freezing thawing Water absorption coefficient
② Thermal environmental characteristics of cenosphere + TiO ₂ incorporation	Surface temperature Inner temperature

3.2 마감재의 배합

시험체의 배합은 아크릴 에멀전을 주 바인더로 하여 아크릴에 멀전이 30%와 규사 70%를 마감재의 기초배합으로 하였다. 메칠셀룰로오스는 물에 닿는 즉시 팽윤하면서 확산이 되지 않는 문제점이 있다. 지연형의 메칠셀룰로오스는 표면에 코팅막이 있어 물과 만나 천천히 확산되어 용액의 점도를 천천히 상승시키게 되므로 물과 만나 천천히 팽윤하는 시간이 요구된다. 이에 따라 메칠셀룰로오스 1.2%, 물을 7.5%의 비율로 혼합 가수하여 외할로 배합한 배합물을 제조한 뒤 사용하였다. 여기에 대하여 열환경 제어를 위한 소재인 TiO₂와 무기계 단열 소재인 습식 처리 플라이애시를 외할로 5~10%를 혼합하여 마감재의 배합을 도출하였다.

3.3 실험 방법

3.3.1 부착강도

배합에 따른 시험체의 부착강도 시험은 70mm×70mm 시험체를 제작하여 KS F 4715 얇은 마무리용 벽 바름재의 규격에 따라 RH60%, 20±2℃의 조건에서 표준양생을 실시한 뒤 14일의 부착

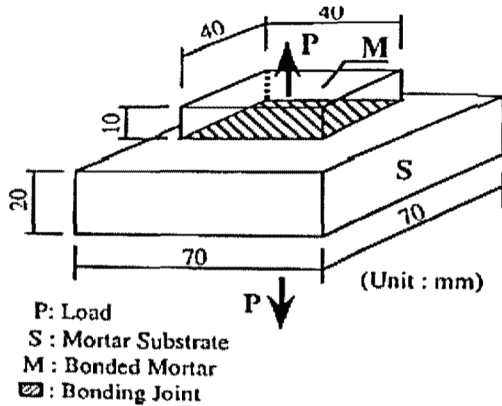


Fig. 1. Specimen of adhesive in tension strength test

Table 7. Mixture

Items	Acrylic emulsion	TiO ₂	Wet-processing fly ash	Sand	Methyl-cellulose	Water
Plain	30	0		70	1.2	7.5
T5		1.5(5%)				
T10		3(10%)				
I5			1.5(5%)			
I10			3(10%)			
T5I5		1.5(5%)	1.5(5%)			
T10I5		3(10%)	1.5(5%)			
T10I10		3(10%)	3(10%)			

*T: TiO₂, I: Inorganic insulation material

강도를 측정하였다. 아래 Fig 1은 부착강도 시험체의 형상을 나타낸 것이다.

3.3.2 물흡수계수

물흡수계수란 재료의 면적당 물흡수량(kg/m²)과 시간(\sqrt{t})사이의 비례 계수를 말한다. 물흡수계수를 측정하기 위하여 KS F 4715의 기준에 따라 시험체를 제작하였다. 시험체는 지름 150mm, 두께 40mm로 된 원형시험체에 대하여 표면에 마감재를 3mm도포하여 제작하였다. 제작된 시험체를 물흡수계수 산정을 위하여 KS F 2609 건축 재료의 물 흡수 계수 측정 방법에 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

마감재의 온냉반복시험을 평가하기 위하여 KS F 4715 얇은 마무리용 벽 바름재에 따라 시험을 수행하였다. 시험체의 제작은 70mm×70mm×20mm의 모르타르판을 제작한 뒤 상부에 마감재를 3mm도포하였다. 먼저, 시험체를 20±2℃의 물속에 18시간 담가둔 뒤, 즉시 -20±3℃의 항온 탱크 속에서 3시간 냉각시키고, 이어서 50±3℃의 다른 항온 탱크 속에서 3시간 가온하는 사이클로 24시간을 1사이클로 하는 조작을 10회 반복한 뒤, 부착강도를 측정하였다.

3.3.4 열환경성 평가

표면부의 온도변화를 관찰하기 위하여 외경 30cm(가로)X30cm(세로)X30cm(높이)이며, 내경 28cm(가로)X28cm(세로)X 28cm(높이) 두께 20mm를 갖는 스티로폼 박스의 외부에 아래 Table 5의 열환경 제어를 위한 충전제를 사용한 배합에 따라 제조된 마감재를 표면에 도포한 뒤 건조하였다. 이후 박스의 상부와 내부에 열센서를 설치한 뒤 외기 노출시 표면 온도 및 내부 온도의 특성을 평가하고자 하였다.



Fig. 2. Thermal condition test of exterior material

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 마감재의 부착강도

Fig. 3은 마감재의 부착강도를 측정한 결과이다. 단일 소재를 첨가하지 않은 마감재의 부착강도는 0.96N/mm²로 나타났다. TiO₂가 첨가된 배합의 경우, 5%에서는 부착강도가 증가하였으나 10% 첨가시 부착 강도가 감소하는 것으로 나타났다. 무기계 단일 소재인 세노스피어의 경우, 5, 10%에서 모두 부착강도가 증가하는 것으로 나타났다. 단일 소재를 복합적으로 사용할 경우, TiO₂의 첨가량을 시키면 부착강도의 저하가 큰 것으로 나타났다.

아크릴 에멀전의 부착에서는 마감재가 바탕면에 부착되는 과정에서 건조되면서 표면에서 표면장력에 의한 응집으로 접착력이 구현된다. 적절한 양의 충전제는 아크릴 에멀전의 건조 속도를 조절하는 역할을 함으로써 접착면에 대한 응집력을 조절하는 것으로 판단된다. 그러나 과량의 충전제는 접착면에 접하는 아크릴 에멀전의 양을 감소시켜 부착강도를 저하시키는 원인이 될 것으로 판단된다.

입자가 작은 TiO₂는 5%에서 부착강도의 증가하였으나 10%에서 감소하는 것은 충전제 표면에 도포되는 아크릴 에멀전의 양의 증가하면서 접착면의 아크릴 에멀전의 감소로 접착력이 저하된 것으로 판단된다.

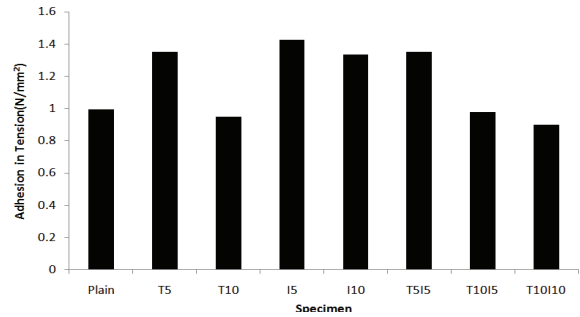


Fig. 3. Adhesion in tension

4.2 마감재의 물흡수계수

Fig. 4는 마감재의 물흡수계수를 나타낸 것이다. 단일 소재를 첨가하지 않은 마감재의 물흡수계수는 0.12로 나타나 수분저항성이 큰 것으로 나타났다. 단일소재가 첨가된 경우 TiO₂가 10%까지는 물흡수계수는 증가하는 것으로 나타났다. 그러나 무기계 단일 소재인 세노스피어의 경우 5%이상 혼입시 물흡수계수가 약간 감소하는 것으로 나타났다. 이는 입자가 작은 TiO₂의 경우, 마감재 표면의 작은 공극까지 충전함으로 인해 흡수율이 저감된 것으로 판단된다. 단일소재를 복합적으로 사용하는 경우 TiO₂만을 사용하는 경우보다 물흡수계수의 증가가 적은 것으로 나타났다. 그러나 T10I10의 경우 물흡수계수가 증가가 T10 보다 증가하여 첨가되는 분체량의 증가가 클 경우에는 내수성에 취약한 것으로 나타났다.

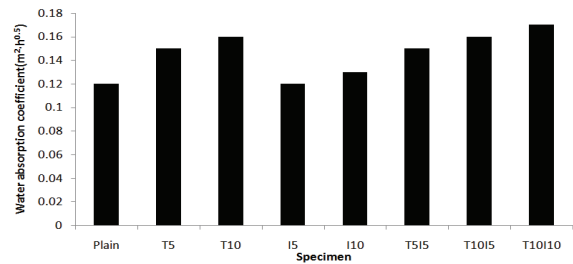


Fig. 4. Water absorption coefficient

4.3 마감재의 온냉 반복 부착강도 특성

Fig. 5는 마감재의 온냉 반복 부착강도를 나타낸 그래프이다. 단일 소재를 첨가하지 않은 마감재의 부착강도는 약 0.99N/mm²로 나타나 부착강도의 저하는 크지 않은 것으로 나타났다. TiO₂가 첨가된 배합의 경우, 5%까지 온냉 반복 부착강도가 증가한 것으로 나타났으나 10%에서 온냉 반복 부착강도는 낮은 것으로 나타나 초기 부착강도의 경향과 유사한 것으로 나타났다.

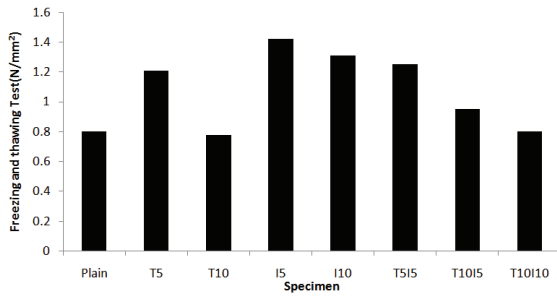


Fig. 5. Freezing and thawing

무기계 단열 소재인 습식 플라이애시의 경우 온냉 반복 부착강도는 TiO_2 보다 높은 것으로 나타났다. 첨가율에 관계없이 온냉반복 부착강도가 유사한 것으로 나타나 온냉반복에 대한 저항성이 TiO_2 보다 우수한 것으로 판단되었다. 온냉 반복 부착강도에서 연성이 높은 아크릴 에멀전이 피착면과 접촉하는 면이 증가함에 따라 온냉 반복 과정에서 발생하는 열팽창에 대한 TiO_2 보다 높은 것으로 판단된다.

4.4 마감재의 외피면 온도 변화 특성

Fig. 6, 7은 마감재의 종류에 따른 외부 및 내부의 열환경 특성을 평가를 위하여 외피면의 최고 온도를 비교한 결과 TiO_2 를 사용한 경우 온도 저하에 효율적인 것으로 나타났다. TiO_2 가 첨가된 마감재는 무기계 단열소재를 사용하지 않은 마감재에 비하여 외부 온도는 최대 온도 기준으로 약 4~5°C가량 낮았으며, 내부 온도는 최대 온도 기준으로 약 4°C가량 낮은 것으로 나타났다. 5%를 초과하는 TiO_2 10%의 첨가는 내외부 온도 저감에 영향이 적으므로 나타나 온도 저감 성능의 한계성을 갖는 것으로 나타났다.

무기계 단열 소재인 습식 플라이애시만을 사용한 경우에는 표면의 온도 저감은 나타나지 않았으나 TiO_2 와 같이 사용한 경우 온도 저하는 약 9°C가량 저감하는 것으로 나타났다. 단열 소재를 첨가하지 않은 마감재에 비하여 최대 15%가량 저감하는 것으로 나타났다. 내부온도의 경우 T5I5의 경우가 가장 낮은 것으로 나타났으며, 내부 최고 온도는 27.2°C였으며, 최저 온도는 23.3°C로 나타났다. 단열소재를 첨가하지 않은 마감재의 경우 외부 표면의 온도는 최고 온도와 최저온도 간의 차이가 가장 크게 나타났으며, 표면의 축열성은 없는 것으로 나타났다. 그러나 TiO_2 와 무기계 단열 소재인 습식 플라이애시를 복합 사용할 경우 TiO_2 의 온도 저감 성능을 향상할 수 있는 것으로 나타났다. TiO_2 와 무기계 단열 소재인 습식 플라이애시가 복합 사용된 마감재는 최고온도와 최저온도간의 차이가 낮아 표면의 열변화를 감소시켜주는 것으로 나타나 TiO_2 의

Table 8. Internal and external temperature

Items	Internal temperature(°C)		External temperature(°C)	
	High temperature	Low temperature	High temperature	Low temperature
Plain	34.2	26.6	56.5	28.1
T5	30.1	26.1	52	34.3
T10	30.2	26.4	51.1	37.1
I5	33.5	27.3	55	28.2
I10	34.3	27.2	55	28.3
T5I5	27.2	23.3	47.2	29.1
T5I10	30.6	26.4	51	34.2
T10I5	30.4	25.1	49	32.2

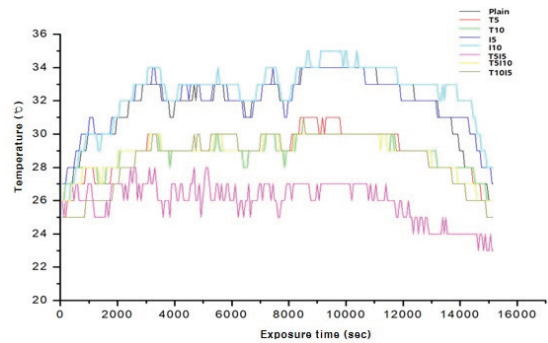


Fig. 6. Internal temperature

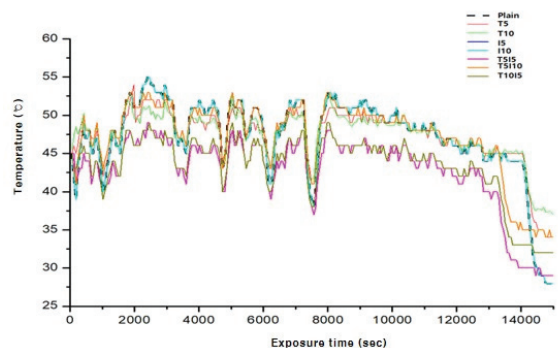


Fig. 7. External temperature

열반사와 무기계 단열 소재인 습식 플라이애시의 단열성에 의해 온도저감 효과가 증대된 것으로 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 열환경 제어를 위한 무기 소재를 혼합한 마감재를 제조하고 물리적 성능 및 열환경 제어 성능을 평가하였다. 열환

경 제어를 위한 무기 소재로는 TiO₂와 단열성의 습식 플라이애시를 사용하였다. 열환경 제어를 위한 무기소재를 혼입한 마감재로부터 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 열환경 제어를 위한 무기 소재의 혼입시 입도가 작은 TiO₂는 5%이내에서 부착강도를 향상시킬 수 있었다.
2. 단열성의 습식 플라이애시를 사용하는 경우, 첨가율 10%까지는 부착강도와 내수성을 향상하는데 유효한 성능을 나타내었다.
3. 온냉반복후의 마감재의 부착강도는 초기의 부착강도와 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 비례적인 관계를 갖는 것으로 나타났다.
4. 단열성의 습식 플라이애시만을 사용한 경우 외부 온도와 내부 온도의 변화량은 적은 것으로 나타났으며, TiO₂를 복합적으로 혼합하여 사용하는 것이 요구되었다.
5. 열환경 제어를 위한 무기계 소재의 사용은 TiO₂ 5%, 단열성의 습식 플라이애시 5%에서 최적 성능을 갖는 것으로 나타났다.

Conflict of interest

None.

감사의 글

본 논문은 국토부의 재원으로 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구(국토교통과학기술진흥원에서 부여한 과제번호: 19CTAP-C130219-03)임을 밝히며 이에 감사를 드립니다.

References

Choi, D.S., Jun, H.C., Joe, K.H. (2011). A study on the change in energy performance of the domestic building by the isolation-heat paint, The Korean Solar Energy Society, **31(5)**, 33-40.

Gil, H.S., Lee, S.W. (2016). Synthesis and infrared light reflecting characteristics of TiO₂/mica hybrid composites, Journal of Industrial and Engineering Chemistry, **27(1)**, 16-20.

Jung, S.K., Jun, J.S., Seo, J.K., Kim, S.M. (2011). Consideration for application of phase change material(PCM) for building energy saving, Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, **5(1)**, 48-56.

Min, D.H., Kim, S.M., Kim, S.M., Kim, J.T. (2019). The thermal bridge characteristic of wall with vacuum insulation panels according to the thermal bridge reduction method, Korea Institute Ecologica Architecture and Environment, **19(2)**, 81-86.

Park, J.W., Chu, Y.S., Jung, J.H. (2016). Physical properties of calcium silicate inorganic insulation depending on curing time, Journal of the Korea Institute of Building Construction, **16(6)**, 529-624.

Song, I.H., Park, Y.J., Yun, H.S., Hwang, K.Y., Choi, S.G. (2010). Insulation effect of porous ceramic materials and current status of insulation materials research, Machine and Material, **22(4)**, 6-20.

Urunkar, Y., Pandit, A., Bhargava, P., Joshi, J., Mathpati, C., Vasanthakumaran, S., Jain, D., Hussain, Z., Patel, S., More, V. (2018). Light-weight thermal insulating fly ash cenosphere ceramics, International Journal of Applied Ceramic Technology, **15(6)**, 1467-1477.

무기성 습식 처리 플라이애시를 활용한 단열 외피 마감재의 특성 평가

본 연구에서는 기능성 무기 단열 소재인 TiO₂와 무기성의 습식 처리 플라이애시를 사용하여 건축물의 열환경성을 향상할 수 있는 외장 마감재의 물리적 성능과 열환경성에 대한 평가를 수행하였다. 마감재의 성능 평가는 KS F 4715의 얇은 바름재의 기준과 열환경성은 별도의 단열 박스를 제작하여 외부 표면 온도와 내부 온도를 측정하였다. TiO₂를 혼입한 경우 10%이상에서는 물리적 성능이 저하되는 것으로 나타났으며, 무기성의 습식 처리 플라이애시는 10%까지 물리적 성능이 증가되는 것으로 나타났다. 열환경성 평가에서는 무기성의 습식 처리 플라이애시의 표면 온도 저감 효과는 낮았으나 TiO₂와 복합적으로 사용되는 경우, 표면 온도 저감 및 내부 온도 저감에 효과적인 것으로 나타났다. 결국, 열환경 제어를 위한 TiO₂와 무기성의 습식 처리 플라이애시의 최적 배합은 각각 5%를 혼합 사용할 때 최적인 것으로 나타났다.