



현대건축에서 환경반응형 기능성 재료의 디자인 적용 효과 분석

Application Effect Analysis of Smart Material in Contemporary Architecture

조종수* · 김영민**

Jong-Soo Cho* · Young-Min Kim**

* Graduate School of Architecture, Konkuk University, South Korea (profcho@konkuk.ac.kr)

** Corresponding author, Technology Division, GS E&C, South Korea (ymkim01@gsenc.com)

ABSTRACT

Purpose: Smart materials are concepts similar to intelligent materials in the past, and they change shape, change mechanical, optical, electrical and chemical properties in response to small changes in external environment such as light, temperature, pH, electricity, magnetism and pressure. These smart materials are being developed into various products for application to buildings. In this study, the smart material is named as environment-responsive material and the applicability of the developed product to the building is examined. **Method:** Environment-resistant materials can be classified into Passive type materials that do not require power supply and Active type materials that require power supply. Photo-discoloration, heat discoloration, water or gas detection indicator, ultraviolet or infrared blocking materials are Passive type. In the study, We will select the passive items with high applicability for the environmentally responsive materials shown above and confirm the application effect. **Result:** Applicability was evaluated by using mock-up test and evaluation tools for two items of environment-responsive materials such as low-E film and Thermochromic glass. As a result, it was found that energy saving and improvement of residential environment were effective. Low-e Film can reduce energy consumption by 10% and Thermochromic glass improves indoor comfort by the visible light transmission control. However, the disadvantage is that it is quite expensive to apply in general.

KEYWORD

현대건축 디자인
환경반응형 소재
로이필름
열변색 유리

Contemporary Architecture
Smart Material
Low-e Film
Thermochromic Glass

ACCEPTANCE INFO

Received Sep 30, 2019
Final revision received Oct 8, 2019
Accepted Oct 11, 2019

© 2019 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

포괄적 의미에서 건축은 인류의 삶을 경작하는 방식에서 주어진 환경 및 기술의 발전을 바탕으로 문명의 형성과 함께 삶과 문화를 표현하는 실천적 예술의 가치를 구현하여 왔다. 이는 인간의 삶과 주어진 외부환경을 기술과 공간의 요구에 의하여 건축디자인에 적용하여 왔으며 창 및 외피 등 환경을 조절하기 위한 재료의 표현은 재료의 본질과 구축의 논리를 통해 다양한 사회와 문화를 표상하고 있다.

최근 세계적으로 가장 흔하게 접할 수 있는 단어 중 하나가 “스마트”라 해도 과언이 아닐 것이다. 인간의 편의성 추구에 대한 욕구가 날로 증가함에 따라 건축, 자동차, 전기·전자 기기, 디스플레이, 의료 산업 분야에서는 우수한 성능과 기능을 갖는 첨단 기기 및 재료에 대한 필요성이 지속적으로 대두되고 있다.

이에 따라 재료분야에서도 스마트 소재에 대한 연구가 진행되고 있으며, 이는 기존재료가 단순히 주어진 환경에 수동적 대응에서 벗어나 스마트 소재 등 최첨단 기술이 적용되어 동·식물처럼 주위 환경변화에 반응 하는 능동적 대응이 가능한 재료를 개발하여 건축과 다양한 분야에 적용을 시도하고 있다.

앞서 언급한 스마트 소재란 과거 지능형 소재와 유사한 개념으로 광, 온도, pH, 전기, 자성, 압력 등과 같은 외부 환경의 작은 변화에도 반응하여 모양/부피가 변하거나 기계적, 광학적, 전기적, 화학적 특성 등이 가역적으로 바뀌는 소재를 의미한다[1]. 현재 이와 같은 스마트 소재는 건축물에 적용되고 있을 뿐만 아니라 더욱 다양한 상품으로 개발이 진행되고 있다.

이에 본 연구에서는 건축물에 적용이 가능한 스마트 소재를 대상으로 적용할 경우 기대되는 기술적 측면의 효과에 초점을 맞추어 효과를 분석하고 건축디자인에 적용 가능성을 분석하고자 한다. 이 소재는 기후조건(온습도, 일사 등)에 대응할 수 있는 소재로 분류될 수 있으며, 본 연구에서는 이를 환경반응형 소재로 명명하고, 건축물에 적용을 위해 현재 개발되고 있는 재료를 대상으로 건축물에 대한 적용효과를 분석하여 건축디자인에 적용 가능성과 효과를 검토하고자 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

건축에서 표현기법이란 자신의 아이디어와 관념을 체계적인 기법과 도구를 이용하여 표현해 내는 예술언어로서 기능과 함께 미적 표현을 구현하는 건축의 중요한 본질중 하나가 재료이다. 즉 건축을 구성하는 기본원리인 구조시스템과 환경시스템의 조절은 재료의 특성을 건축디자인에 반영하는 방식에 따라 건축물의 표현이 차별화

되기 때문에 재료의 기능과 특성을 파악하여 건축디자인에 인입하는 것은 효율적 건축물의 구축뿐만 아니라 현 시대성을 표현하는 강한 건축적 요소이다. 앞서 언급한 바와 같이 환경시스템 조절에 적용되는 재료의 기능적 특성은 1차적으로 주어진 외부환경을 조절하기 위함이며 이를 건축디자인에 적용함으로써 2차적 다양한 구축과 표현이 가능해 지는 것이다. 이에 더하여 현대건축에 적용되고 있는 환경반응형 재료는 인터페이스가 적용되어 새로운 개념의 3차적 생성적 소통을 가능하게 하고 있다.

기술적 측면에서 환경반응형 재료는 기술적으로 전원공급이 필요 없는 Passive형 소재와, 전원공급이 필요한 Active형 소재로 분류할 수 있으며, Passive형 소재로는 광변색, 감온변색, 수분/가스 반응 잉크, 자외선/적외선 차단 소재 등이 있으며, Active형 소재로는 전기변색소재, 투명 전도성 발열 소재 등이 있다.

이 연구에서는 환경반응형 소재에서 Passive형 소재를 연구의 대상으로 '적용효과', '내구성', '가격', 'Needs' 측면을 분석범위로 설정하고, 이에 대하여 G건설 연구동과 현장 가설사무실에서 Mock-up Test를 진행하며, 건물에너지 해석 프로그램인 Energy Plus 등을 이용한 시뮬레이션을 연구의 방법으로 수행하여 각각의 소재에 대한 건축물에 적용되는 효과를 비교 분석하고 정리한다.

2. 현대 사회와 건축재료

2000년대 새로운 문명의 패러다임으로 정착된 디지털혁명을 통한 정보화 사회는 근대 산업혁명 이후 중요한 시대적 전환기를 맞이하였다. 이는 인간에 대한 중심적 가치기준을 흔들며 불확정적이고 유동적인 새로운 개념의 디지털 문화를 형성하였을 뿐만 아니라 더 나아가 일 방향적 습득에서 벗어나 인터페이스적 상호소통을 통해 다양한 가상적 현상을 현실에 적용시킴으로서 다원적이며 유동적인 사회구조와 건축문화를 구축하고 있다. 이러한 현상은 기존의 이분법적 가치기준과 구분되며 들뢰즈 등 현대 철학자들로부터 제기된 현대 사회구조의 특성과 시대정신에 대한 이론을 바탕으로 현대사회의 시대성으로 대두되고 있다.

건축재료는 이와 같은 새로운 인터페이스적 상호소통을 구현하기 위한 구축 방식으로 구현되고 있으며 도시구조에서 인포메이션을 전달하는 체계를 넘어 환경과 인간의 인터페이스적 소통을 유도하고 있다. 이는 외피적 측면에서 보면 자연환경과 1차적 경계를 형성하는 동시에 다양하고 함축된 소통을 구축할 수 있는 복합적 건축 요소이며, 공간적 측면에서 내부공간의 성질과 소통을 생성하는 인자로 활용할 수 있는 새로운 디자인적 요소이다.

칼 뵘히터의 주장과 같이 건축외피는 예술형태의 제1요소로서 건축생성을 위한 존재론적 수단인 핵심형태 및 구축의 전통과 사회, 문화적 표상의 의미작용을 위한 예술형태에 대한 논의로부터 시작된다[2].

현대건축에서는 이와 같은 외피적 특성이 내부공간에도 적용되어 이분법적 공간의 경험을 새로운 방식의 체험적 공간으로 구축하고 있다. 이는 물리적인 면과 인문적인 면을 동시에 공유하는 경계와 소통의 복합적 표현기법으로 시대성을 반영한 기술과 상징의 복합적인 체계 속에서 이해될 수 있다. 산업혁명으로 나타난 근대와 현대

를 통해 활용된 가장 대표적인 외피의 재료는 콘크리트, 유리, 그리고 철이다. Le Corbusier는 외피 자체를 구조체와 독립된 관계로 설정하고 공업화를 통해 얻어진 콘크리트 물성의 절대적 순수성을 강조함으로써 간결하고 통일된 이미지를 구현하여 순수성이 강조된 절대가치 중심의 근대 기능주의 사회의 특성을 표현하였다.



Villa Savoye, Le Corbusier la chapelle de ronchamp, Le Corbusier Farnsworth House, Mies van Rohe IIT Crown Hall, Mies van Rohe

Fig. 1. Examples of Materials & Buildings Applied to Modern



l'Institut du Monde Arabe, Jean Nouvel Peckang Library, William Alsob Aegis Hypo-Surface, Chicago, 2003, dECOi Aegis Hypo-Surface, dECOi

Fig. 2. Examples of Materials & Buildings Applied to Contemporary

반면 현대작가들은 정량적 재료의 특성을 거부하고 기존 재료를 첨가 및 분해 등 다양한 디지털적 신기술을 인입하여 본래의 물성적 특성을 유지하기 보다는 이를 비물성화하여 디지털문명과 함께 등장하는 다양하고 유동적 질서의 이미지 표현을 시도 하였다.

이와 같은 예로 William Alsob는 런던에 위치한 Peckang Library에서 환경과 예술의 움직임에 상호 등가적 관계로 구축하고자 이중 비닐 재료를 사용하여 온도의 변화에 따라 수축과 팽창을 반복하고 캐노피의 색이 기후의 변화에 적응하여 수시로 변하도록 디자인하였다. 이는 현대예술과 환경의 경계를 허물어 스스로 건축 이미지를 창출을 시도한 예이다. 또한 dECOi는 시카고에 위치한 Aegis Hypo-Surface를 통해 디지털적 이미지를 생성하고 전달하는 주체적 매개체로서 새로운 재료를 사용하였다. 이는 디지털과 미디어를 활용하여 주변 환경에 주체적으로 반응하는 매체로 새로운 소통적 질서부여 하였으며 미디어 매체를 통한 능동적 자기반응으로서의 외피구축을 구축하여 키네틱 아트와의 경계 허물기를 통한 새로운 건축 요소로 신소재를 활용한 예이다.

이와 같이 건축물을 건조하는 디자인 측면에서 건축물을 구성하는 소재는 기술의 발전과 시대의 요구에 의하여 새로이 진보를 거듭하고 있으며 환경과 건축물과의 관계성에 과거 환경의 조절을 통한 실내 쾌적성 및 기능을 초월하여 건축물이 스스로 환경에 반응하고 이를 통해 유기적으로 실내 쾌적성 및 사용자의 요구에 대응하는 기법이 건축에 적용되고 있다.

따라서 환경에 반응하는 소재를 기술적으로 이해하는 것은 자연환경을 조절하는 1차적 경계와 2차적 경계를 넘어 3차적 경계를 통한 새로운 공간의 구축과 표현을 다양화하고 현대건축에 적용하기 위하여 필수적 디자인 요소이다.

3. 환경반응형 소재 조사 및 검증 아이템 선정

3.1. Passive형 환경반응형 소재

1) Nano Coating

나노코팅(Nano Coating)이란 부식방지, 표면보호, 마찰감소 등과 같이 기능을 보호하거나, 향상시키기 위해 재료의 표면에 적용되는 나노크기의 박막을 말한다. 적용되는 사례를 보면 방오 및 향균, 자가청소, 열 및 방사선 저항, 열성능 향상 등 건설, 항공 우주, 의료, 해양 등 다양한 산업분야에 나노코팅 기술이 적용되고 있다.



Fig. 3. Water on the Surface with Water-repellent Nano Coating [Source:CEKO]

일상생활에서의 나노코팅이 적용된 기술의 활용 사례를 살펴보면 다음과 같다. 발수성 나노 코팅은 재료 표면에 물과 기름에 용화되지 않는 성질의 물질을 코팅하여 빗물이나, 기타 오염물에 의해 쉽게 오염되지 않으며, 만약 오염이 되더라도 쉽게 세척이 가능한 기능을 부여하기 위해 개발된 기술이다. 발수 코팅 기술이 적용된 제품을 보면, 일상생활에서 쉽게 접할 수 있는 자동차 코팅/필름, 프라이팬, 기능성 의복 등이 있다. 이는 쉽게 세척이 가능하며, 내구성을 향상시켜 오랫동안 사용할 수 있다.

또 다른 사례는 향균 나노 코팅 기술이다. 박테리아, 대장균, 포도상구균 등 아토피와 식중독, 피부트러블을 일으키는 세균을 억제할 수 있는 물질을 재료에 코팅함으로써 세균을 근원적으로 억제할 수 있어 병으로부터 안전할 수 있다. 향균 나노 코팅 기술이 적용된 제품은 욕실 제품(세면대, 욕조, 변기 등), 주방 제품(싱크대, 가스렌지, 수전 등) 등이 있다. 또한 폴리페놀 물질을 이용한 향균 나노코팅을 과일 코팅함으로써 부패 기간을 늘출 수 있는 방법이 국내 연구진에 의해 개발되어 다양한 분야에 나노코팅 기술이 활용되고 있다.

끝으로 열저항 나노코팅 기술은 열을 반사시키는 물질을 표면에 코팅시킴으로써 내구성 및 열성능을 향상시킨 것이다. 이 기술이 적용된 사례로 건물이나, 자동차 유리에 적용되는 필름이 있다. 이 제품의 경우 내구성과 단열성능을 향상시켜 빛, 습기 등에 의해 탈색 및 변색 되는 것을 방지하고, 자외선, 적외선을 차단하여 쾌적한 실내 환경을 유지할 수 있다.

2) 광변색

광변색(Photochromic)이란 빛의 양에 따라 물질의 화학 반응에 의해 결합 상태가 변화하게 되어 두가지 형태의 다른 흡수 스펙트럼을 갖게 되면서 색이 변화하게 되는 현상이다. 일반적인 광변색 물질은 빛의 양이 많아지면 어두운 색을 띠고, 빛의 양이 적어지면 밝은 색을 띠는 성질을 가진다.

광변색을 이용한 응용분야는 스마트 윈도우, 스마트 안경 등 투명

성을 가지고 있는 유리에 많이 적용되어 상품화 되고 있으며, 또한 기능성 의류 등에 적용되고 있다.



Fig. 4. Photochromic Smart lens[Source:seiko-opt]

3) 감온변색

감온변색색소(Thermochromic)는 온도에 따라 색상이 변하는 안료로 파우더 타입과 액상 타입이 있으며, 물질에 따라 두가지 다른 특성을 보인다. 하나는 온도에 따라 무색에서 유색으로 변화하는 성질이 있으며, 또 다른 특성은 온도에 따라 다른 색상으로 변화하는 성질을 나타내기도 한다. 감온변색색소의 경우 여러번 변색을 할 수 있는 가역성 물질과 한번 변색을 하면 다시 되돌릴 수 없는 1회성인 비가역성물질이 있으며, 각각의 특성에 따라 다양한 곳에 적용되고 있다.



Fig. 5. Applications of Thermochromic material[Source:Nano I&C]

적용 가능 분야를 살펴보면 신선도를 유지해야하는 제품의 라벨에 적용하여 적정 온도를 유지하고 있는지 확인할 수 있으며, 온도에 민감한 위험 시설, 제품 등에 적용하여 온도의 위험성을 육안으로 확인할 수 있어 화상이나 안전사고를 예방할 수 있다. 또한 일상생활에서 가장 쉽게 확인할 수 있는 감온변색을 활용한 사례로 맥주의 온도를 확인할 수 있는 라벨, 물의 온도에 따라 색이 변하는 컵, 온도에 따라 색이 변하는 프라이팬 등이 있다[3].

4) 물 반응 잉크

물 반응 잉크의 경우 습도나 물에 의해 변색되는 잉크로 원래는 백색을 띠고 있다가 습도가 높아지거나, 물에 접하게 되면 투명하게 변화는 성질을 지닌다. 물 반응 잉크의 경우 여러번 변색이 가능한 가역성이므로 여러번 반복 사용할 수 있다. 이 잉크의 경우 수성타입으로 제품에 활용할 경우 건조도를 높이기 위해 에틸 에스테르, 부틸 에스테르 등의 용매를 혼용하여 사용한다.

물 반응 잉크 활용 분야를 살펴보면, 습기에 취약한 반도체, 전기장치 등 지속적인 습도 관리가 필요한 부분에 물 반응 잉크를 활용한다면 관리의 효율성을 높일 수 있을 것이다.

Fig. 6.은 물 반응 잉크를 활용하여 습기에 취약한 전자제품 포장

시 내부 습도를 체크하기 위해 제작된 습도 인디케이트이다.

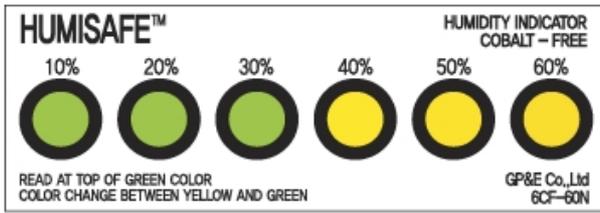


Fig. 6. Humidity Indicator[Source:Tradekorea]

3.2. 환경반응형 소재 검증 아이템 선정

앞에서 언급한 환경반응형 소재에 대하여 건물을 대상으로 적용성이 높은 아이템 선정하기 위해 적용부위, 적용효과, 내구성, 가격, Needs 측면에서 우선순위를 평가하였다.

본 평가는 설계 담당자, 시공담당자, 기술담당자 등 실무경험이 많은 전문가의 의견과 업체 및 기술 조사를 통해 이루어졌다. 평가결과는 Table 1.과 같다. 본 연구에서는 우선순위가 높은 2가지 기술을 선택하여 적용성을 검증해 보았다. 선택된 기술은 나노코팅 필름과 광변색 염료를 이용한 열변색유리이다.

Table 1. Selection of Smart Materials

	Applications	Effect	Durability	Cost	Needs	Priority
Nano Coating	Window	◎	○	○	◎	1
Thermochromic Dye	Wall	△	△	○	△	4
	Window	◎	○	○	○	2
Humidity Sensing Dye	Indoor	△	△	△	△	5
Gas Sensing Dye	Underground Space	△	△	△	○	3

◎ : Point 3, ○ : Point 2, △ : Point 1, X : Point 0

4. 환경반응형 소재 적용성 검토

4.1. 개발 및 검증 방법

앞에서 소개된 환경반응형 소재 중 전원 공급이 없이 자체적으로 환경에 반응하여 계절별 에너지 절약이 가능한 패시브 아이템에 대하여 적용부위, 적용효과, 내구성, 가격, Needs 측면에서 적용성이 높은 상위 2가지 아이템에 대하여 검증 방법을 계획하였다. 로이필름은 제품 개발, 시뮬레이션 평가, 및 Mock-up 테스트를 통한 적용성 평가를 진행하였으며, 열변색유리의 경우 상용화되어 있는 제품에 대하여 Mock-up 테스트를 통해 내구성 및 적용효과를 검증하였다.

시뮬레이션 평가를 위해 해석 Tool인 Window, Energy Plus 를 활용하였으며, Mock-up 테스트는 G건설 연구동과 현장 가설사무실에서 진행하였다.

4.2. 로이필름

로이필름이란 로이유리 생산 공법과 동일하게 진공 스퍼터 공법으로 방사율이 낮은 물질을 필름에 증착시키는 방식으로 고가의 장비를 사용해야하는 문제점과 국산제품의 부재로 인하여 매우 고가의 단점이 있다. 우리나라처럼 사계절이 뚜렷한 나라에서는 단열필

름 만으로는 건축물의 열효율을 사계절 내내 조절하지 못하는 경우가 많다. 단열필름의 경우 여름철 일사차폐를 통한 냉방부하 저감에는 효과적이나, 겨울철의 경우 난방부하를 증가시키는 원인이 되기도 한다.

주택의 경우 전체 부하 중 난방부하 비중이 높은편이므로 단열필름의 효과는 더욱 미비하다고 할 수 있다. 이에 Fig. 7.과 같이 단열필름과는 달리 여름철 태양열 조절뿐만 아니라 겨울철 난방에너지 절감에도 도움이 되는 필름이 로이필름이다. 사계절 내내 태양열과 난방 에너지를 조절하여 실내온도 불균형을 최소화 하여 냉난방 에너지 절감과 언제나 쾌적한 환경을 유지 할 수 있는 효과가 있다[4].

따라서 고가의 해외제품과 성능은 유사하면서 가격경쟁력을 가질 수 있는 로이필름 개발이 본 연구의 목표이다

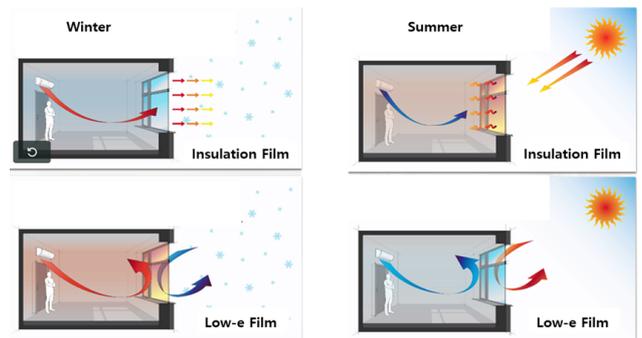


Fig. 7. Comparison of Insulation Film & Low-e Film[Source: penjerex]

1) 로이필름 개발

해외 제품의 조사를 통해 목표를 설정하고, 설정된 목표에 따라 로이필름을 개발하였으며, 개발된 로이필름과 해외 제품을 비교한 결과는 Table 2.와 같다.

Table 2. Comparison of LoW-e Film Performance

	Nitto(日)	Solar Gard(佛)	EASTMAN(美)	GS	Target
U-value (W/m ² K)	3.6	3.5	3.6	3.8	Below 4.0
Emissivity	0.06	0.09	0.09	0.12	Below 0.15
Visible Light Transmission	68%	68%	63%	67%	More than 50%
Solar Heat Gain Coefficient	47%	48%	38%	48%	More than 50%
UV Protection	99%	99%	99%	99%	More than 95%
Durability	More than 10 years				

개발 목표로 선정된 항목에 대해 공인인증기관인 한글라스에 테스트를 의뢰한 결과 각 항목에서 목표치 이상의 성적을 보였으며, 해외 제품과 비교시 거의 유사한 성능을 보였다. 제품 가격을 비교해 보면 해외 제품보다 1/4~1/6의 차이를 보여 성능대비 가격경쟁력이 매우 우수할 것으로 판단된다.

2) 로이필름 복층유리 적용 효과 분석

개발된 제품에 대한 적용효과를 확인하기 위해 창호 성능 해석 프로그램인 Window를 이용하여 복층유리에 로이필름을 적용시의 효

과를 검증하였다[5].

시뮬레이션 결과는 Table 3.과 같다. 창호성능을 좌우하는 것은 열관류율과 태양열 취득율 그리고 가시광선 투과율이다. 이에 각각의 유리에 대한 위에서 언급된 값을 비교하였다. 우선 일반유리+일반유리에 아르곤 가스가 주입된 24mm 복층유리를 기준으로 선정하였으며, 선정된 기준유리에 로이유리, 로이필름을 추가할 경우에 대하여 열관류율, 태양열 취득율, 가시광 투과율을 비교하였다. 그 결과 로이유리를 로이필름을 대체하여 적용할 경우 열관류율은 높으나, 태양열 취득율은 낮아 겨울철 보다 여름철에는 더욱 효과적임을 알 수 있었다. 그러나, 로이유리에 추가로 로이유리를 적용할 경우와, 로이필름을 적용할 경우를 비교해보면 로이유리보다 로이필름을 적용할 경우가 열관류율도 낮아 단열성능도 우수하고 태양열 취득율도 낮아 일사차폐의 효과도 높일 수 있다.

Table 3. Low-e Film Application Effect on Double Glass

Double Glass	U-Factor	SHGC	VLT	LSG****
	W/m ² K	Solar Heat Gain Coefficient	Visible Light Transmission	
CLG*5T+Arg12T+CLG5T	2.549	0.748	0.801	1.07
CLG5T+Arg12T+LEG**5T	1.514	0.606	0.763	1.26
CLG5T+Arg12T+LFG***6T	1.710	0.390	0.355	0.91
LEG5T+Arg12T+CLG5T	1.514	0.528	0.763	1.45
LFG5T+Arg12T+CLG6T	1.708	0.280	0.353	1.26
LEG5T+Arg12T+LEG5T	1.422	0.499	0.729	1.46
LEG5T+Arg12T+LFG5T	1.237	0.350	0.332	0.95

*CLG : Clear Glass , **LEG : Low-e Glass , ***LFG : Low-e Film+Clear Glass , ****LSG : VLT/SHGC

3) 로이필름 샘플시공 및 성능테스트

로이필름 부착시 효과를 검증하기 위해 현장 가설사무실에 로이필름을 시공하였다. 로이필름의 시공방법은 기존 단열필름 시공과 동일하여 시공프로세스는 Fig. 8.과 같다. 먼저 유리사이즈에 맞게 필름을 재단하고 유리면을 청소한 후 필름을 부착한다. 부착이 완료되면 접착면 물기를 제거하고 보호필름을 제거하면 시공이 완료된다.



Fig. 8. Construction Process of Low-e Film

Fig. 9.와 같이 시공전후의 사진을 비교해보면 투과율의 차이에 의해 약간 어두운 감은 있지만 크게 불편할 정도는 아니다.



Fig. 9. Comparison of Low-e Film Construction Before & After

로이필름 부착전후의 표면온도를 측정하기 위해 Fig. 10.과 같이 온도센서를 설치하고 일정기간동안 표면온도를 비교하였다.

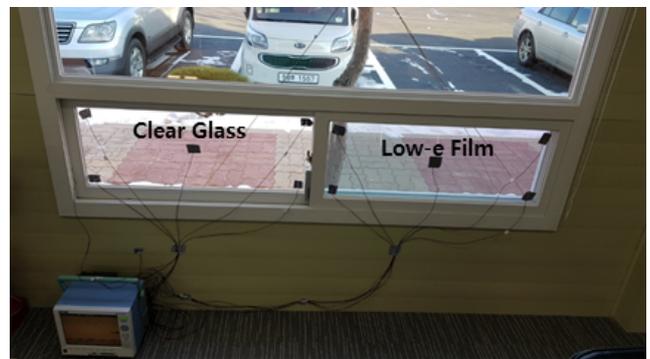


Fig. 10. Test of Low-e Film

일반유리와 로이필름을 부착한 유리의 표면온도 측정 결과 Fig. 11.과 같이 1.34°C의 표면온도 차이를 보였으며, 온풍기가 가동되는 시점 즉, 실내온도가 15°C 이상일 경우에 대하여 비교한 결과 2.0 5°C의 온도 차이를 보였다.

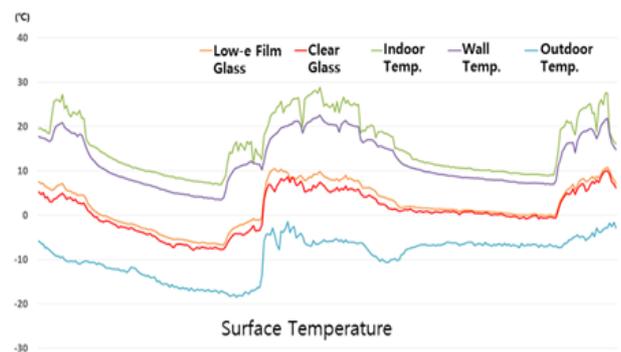


Fig. 11. Comparison of Surface Temperature

Fig. 12.와 같이 열화상 카메라를 통해 측정된 결과를 비교해보면 실내온도 20.5°C, 실외온도 2.2°C일 때 측정된 값으로 로이필름이 부착된 유리의 경우 15.6°C를 나타내었으며, 일반유리의 경우 12.1°C로 나타났다. 따라서 표면온도가 3.5°C 차이가 나는 것을 알 수 있었다. 외부에서 촬영한 결과 로이필름이 부착된 유리의 경우 외측 표면온도는 5.8°C이며, 일반유리의 경우는 8.4°C로 높게 나타나 외측 표면온도 또한 2.6°C 차이를 보였다.

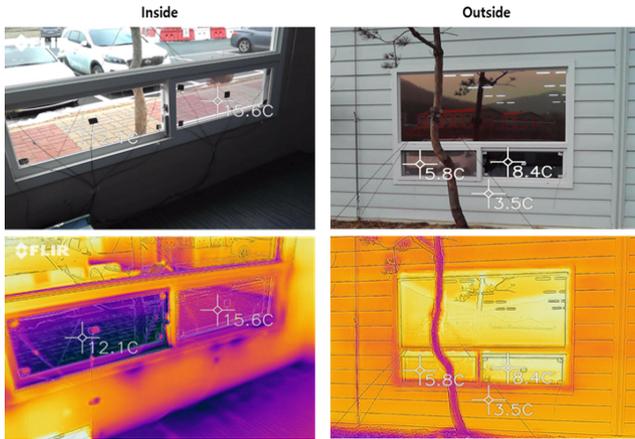


Fig. 12. Surface Temperature Test Using Infrared Thermal Camera

로이필름을 부착할 경우 유리의 단열성능이 높아져 유리의 표면 온도가 로이필름이 부착되지 않은 유리보다 표면온도가 높게 측정됨을 알 수 있다. 이에 로이필름 부착으로 유리의 단열성능을 높여 열손실을 낮출 수 있다. 이는 기존에 단열필름이 지니고 있는 단점인 겨울철 일사차폐에 의해 난방에너지가 더 많이 소모된다는 것과는 다르게 로이필름의 경우 겨울철에도 에너지를 절감할 수 있는 아이템임을 확인할 수 있었다.

로이필름 적용시 에너지 사용량 절감 효과를 분석하기 위해 Energy Plus 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다. 가설 사무실의 규모 및 유리사양은 Fig. 13.과 Table 4.와 같다.

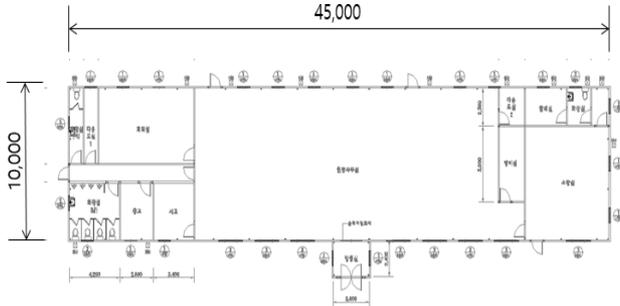


Fig. 13. Case Study Site

Table 4. Glass spec. for Simulation

	Clear 3T	Clear 3T+Low-e Film
U-value (W/m ² K)	5.8	3.8
Emissivity	0.84	0.12
Visible Light Transmission	90%	67%
Solar Heat Gain Coefficient	87%	48%
UV Protection	62%	99%

대상 가설사무실의 실제 에너지 사용량과 시뮬레이션 결과를 비교한 결과 Table 5.와 같이 오차율을 5%이하로 시뮬레이션의 신뢰성을 확보한 후 로이필름에 대한 적용 효과를 검증하였다. 로이필름의 경우 일반적인 단열필름과는 달리 Fig. 14.와 같이 냉난방에서 모두 에너지 절감효과를 보였으며, 에너지 절감 효과는 Table 6.과 같이 냉난방 에너지 11%를 절감할 수 있었다.

Table 5. Comparison of Actual Energy and Energy Simulation

	Actual Energy	Simulation	Error Rate
Energy Consumption	113.3	107.81	4.85%

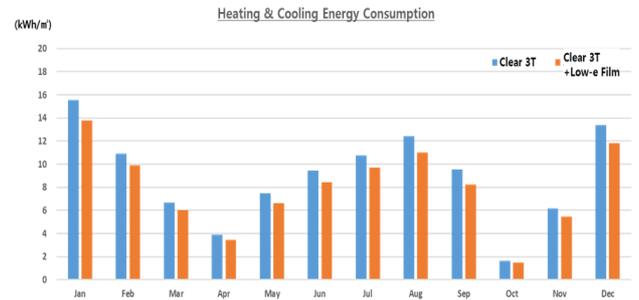


Fig. 14. Energy Consumption Comparison

Table 6. Heating & Cooling Energy Saving

	Heating	Cooling	Total	Saving
Clear 3T	54.27 kWh/m ²	53.54 kWh/m ²	107.81 kWh/m ²	-11.87 kWh/m ² (-11.01%)
Clear 3T+Low-e Film	48.48 kWh/m ²	47.46 kWh/m ²	95.94 kWh/m ²	

4.3. 열변색 유리

열변색유리의 경우 앞에서 언급된 전기 변색유리와는 달리 감온 변색 색소를 유리 표면에 코팅하여 유리표면온도의 변화에 따라 전원공급 없이 자체적으로 투과율을 변화시키며 일사량을 제어하는 유리이다. 열변색유리는 태양이 내리 쬐는 날씨에 창호에 태양광을 흡수하며 이 흡수된 에너지를 열원으로 전환시킨다. 이렇게 변환된 에너지는 창호를 어둡게 만들어서 가시광선 투과율을 최대 63%에서 10% 미만으로 변화시켜 맑은 날에도 블라인드나 차양막을 내리지 않고도 현회현상 없이 쾌적한 실내환경을 확보할 수 있다. 이러한 변화는 0°C - 85°C의 환경에서 일어난다[6].

Fig. 15.와 같이 유리의 표면온도에 따라 가시광선 투과율이 변화된다. 표면온도가 25°C일 경우 가시광선투과율은 50%이나, 유리표면온도가 40°C가 되면 35%로 가시광선 투과율이 낮아진다. 이는 여름철 일사에 의한 열취득을 최소화 할 수 있다.

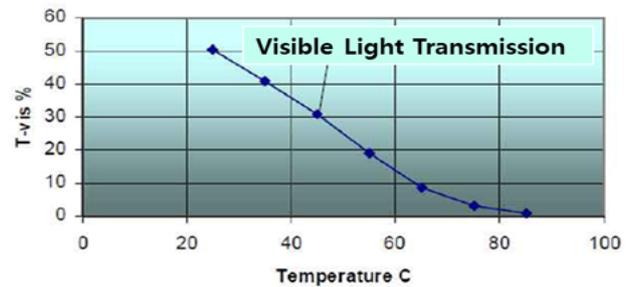


Fig. 15. Visible Light Transmission by Temperature[6]

일사열취득률은 창호를 통해 실내로 유입되는 일사의 양으로 실내를 따뜻하게 만드는 데에 도움을 주지만 대부분의 경우 지나친 일사열의 유입으로 차양막 및 블라인드를 사용하여 열을 차단하고 있다. 이는 곧 실내에서 외부로 조망할 수 없게 만드는 것과 같으며 창호의 주된 기능인 외부 조망의 기능을 잃어버리는 것과 같다. 따라서 일사열취득률을 조절하는 것은 열원이 건물 내로 유입되는 것을 조

절하여 건물의 에너지 소비량을 저감시키고, 재실자의 시야를 확보하는 데에 중요한 요소로 작용한다.

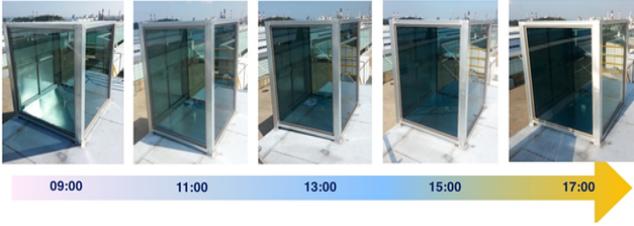


Fig. 16. Visible Light Transmission on Daily Time Cycle

현재 G건설 실험동에 열변색유리를 제작하여 Fig. 17.과 같이 Mock-up 시공하였으며, 효과를 검증할 예정이다.



Fig. 17. Mock-up for Field Test of Thermochromic Glass

5. 결론

본 연구에서는 환경반응형 소재에 대한 건물을 대상으로 적용성을 검토하였다. 사전 조사를 통해 선정된 2가지 아이টে에 대하여 Mock-up 및 평가 Tool을 이용한 실험 및 시뮬레이션 등을 실시하였으며 그 결과는 다음과 같다.

- (1) 로이필름의 경우 해외 우수제품을 타겟으로 국산화를 진행하였다. 개발된 제품의 경우 방사율, 가시광선투과율, 내구성 측면에서 모두 목표를 만족하였으며 가격도 1/5 수준으로 낮출 수 있었다. 시뮬레이션 및 Mock-up테스트 통해 적용효과를 검토한 결과 냉난방 부하를 모두 낮출 수 있어 냉난방에너지 절감에 효과적인 것으로 나타났다.
- (2) 열변색유리의 경우 앞에서 언급된 전기 변색유리와는 달리 표면온도의 변화에 따라 전원공급 없이 자체적으로 투과율을 변화시키며 일사량을 제어하는 유리이다. 가시광선 투과율은 최대 63%투과 가능하며, 온도가 올라가면 10% 미만까지도 변화된다. 표면온도가 40℃일 경우 가시광선 투과율은 약 30%로 유지할 수 있어 일반 창호 대비 일사유입량은 절반으로 차 단할 수 있다.

위에서 검토된 2가지 아이টে의 경우 일반적으로 적용되고 있는 제품이 아니기 때문에 각 아이টে에 대해 장점을 부각할 수 있는 적용 방안을 찾는 것이 우선이라 할 수 있다. 이에 본 연구에서는 효과를 극대화 할 수 있는 적용부위를 검토하고 성능을 검증하고자 하였다. 아직 건축에 적용된 사례는 많지 않으며, 특히 아파트에 적용된 사례는 없다고 할 수 있다. 이에 추가적으로 적용 부위 검토, 원가 저감, 성능 향상 등 적용성을 높일 수 있는 방안을 검토할 예정이다. 또한 전원공급에 의해 환경에 대응하는 Active형 소재에 대해 추가적으로 건축적용 효과를 분석할 예정이다.

Acknowledgement

이 논문은 2019학년도 건국대학교 연구년교원 지원에 의하여 연구되었음.

Reference

- [1] 유종수, 이성윤, 나희영, 안태정, 김현경, 광 응답형 스마트 고분자 소재, 한국고무학회, 2012, pp.282-291. // (Jong-Su Yu, Seong-Yun Lee, Hee-Yeong Na, Tae-Jung Ahn, and Hyun-Kyoung Kim, Photo-responsive Smart Polymer Materials, Elastomers and Composites, 2012, pp.282-291.)
- [2] 남영호 외 2인, 현대건축의 활성표피에 관한 연구, 대한건축학회 논문집 24권 11호, 2008.11, p.120. // (Nam Young-Ho, Choi Yoon-Kyoung, Jeon Young-Hoon, A Study on Dynamic Surface in Contemporary Architecture, Architectural Research, 2008.11, p.120.)
- [3] 문수영, 열에 따라 색상이 변하는 건축 입면소재 개발을 위한 기초연구, 한국생태환경건축학회, 2015, pp.190-191. // (Moon, Soo-Young, Basic research for the development of a heat sensitive color changing building facade material, KIEAE Journal, 2015, pp.190-191.)
- [4] Low-Cost, Highly Transparent Flexible low-e Coating Film to Enable Electrochromic Windows with Increased Energy Savings, U. S. Department of Energy, 2014.
- [5] 정민구, 김광희, 창호 유리의 단열필름 시공에 따른 생애주기비용 비교 분석, 한국건축시공학회, 2014, pp.583-590. // (M.G. Jeong, G.H. Kim, A Comparative Analysis of Life Cycle Cost on the Window Glass and the Insulation Film Coated Glass for Window, KIC, 2014, pp.583-590.)
- [6] 자산유리 Solaron Sense Catalog & Mock-up Test Data, 2017.