

온도 변색 도료의 지붕 적용 및 냉방효과 분석*

Analysis on the Cooling Effect of Applying Temperature Discoloration Paint to a Roof Surface

백상훈**

Sanghoon Baek**

Abstract

This study aims to introduce a temperature discoloration roof system and its cooling effect in the summer. Temperature discoloration paints can reverse their colors based on temperature changes. If these paints on the roof surface could color-shift between white in the summer and black in the winter, the indoor cooling and heating loads can be affected by the changes in reflection and absorption of solar radiation. Focusing on the summer period, the study analyzed the cooling effect of applying temperature discoloration paint that color-shifts from white to black on the roof surface of a small experimental building module and compared it to commonly used gray and green roof colors. Results of the experiment showed that the surface temperature of the roof with temperature discoloration paint was lower than the gray and green color roofs by a maximum of 10°C. Furthermore, the indoor temperature of the experimental module with the temperature discoloration roof was lower than the gray and green roofs by approximately 3°C. Findings of the study indicate that the application of temperature discoloration paint to the roof can reduce indoor cooling loads.

Keywords : Temperature Discoloration Paint, Color-Shift, Cooling Effect, Passive Material, Building Energy Reduction

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

여름철 건물의 지붕 표면은 높은 고도의 강한 일사에 장시간 노출되는 부분이다. 이로 인해, 타 구조체보다 낮시간, 높은 표면 온도를 유지하면서 실내로 많은 열을 전달하여 냉방에너지 소비를 증가시키는 것은 널리 알려진 바이다. 이러한 문제를 해결하기 위해 그동안 많은 연구가 수행되어 왔으며 대부분의 연구는 지붕의 표면 온도를 감소시키는 것이 목적이다

(이두호·이응직, 2012; 김경아 외, 2016; 이기림 외, 2019).

지붕의 표면 온도는 직달 일사, 확산 일사, 대기 복사, 지표면 반사 일사, 공기와의 대류 열전달이 합산된 실내 열 취득의 시작점이다. 이러한 지붕 표면의 열은 전도를 통해 지붕 구조체를 타고 실내 천장부터 실내 공기까지 순차적으로 전달된다. 또한, 지붕 표면에서 실내로 전달되는 열의 크기는 지붕 구조의 열 전도율에 따라 달라지거나 지붕 표면과 실내 공기의 온도 차에 의해서 달라질 수 있다. 만약 지붕 구

*이 논문은 2022년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. : 2020R111A1A01066797)

**국립한경대학교 책임연구원(shbaek2018@gmail.com)

조와 실내 기온이 일정하다면, 지붕 표면에서 실내로 침투되는 열의 크기는 지붕의 표면 온도에 의해 결정될 것이다. 따라서 여름철 지붕을 통한 실내 열 취득을 최소화하기 위해서는 지붕의 표면 온도를 낮추는 것이 핵심이다.

이를 위해 가장 경제적이면서 효과적인 방법은 반사율이 높은 도료를 이용하는 것이다. 지붕 표면 온도를 높이는 핵심 요소는 일사(Solar radiation)이기 때문에 높은 반사율의 도료를 지붕 표면의 마감재로 적용한다면 지붕의 표면 온도와 실내 열 취득 감소에 큰 효과를 발휘할 수 있다.

그러나 이러한 도료를 지붕에 적용할 시, 한 가지 중요한 점은 국내의 연간 기후 조건을 고려해야 한다는 것이다. 특히, 우리나라는 여름과 겨울이 공존하는 중위도 지역이기 때문에, 도료 적용 시 이러한 두 계절을 동시에 고려해야 하거나, 도료 적용에 따른 계절 간 간섭이 없어야 한다. 만약 여름철만을 고려하여 고 반사 도료를 지붕 표면에 도포 한다면, 이러한 기능이 겨울철 건물의 열 취득에 간섭하여 난방 부하 상승을 유발할 수 있다. 따라서 여름철에는 일사를 반사 시키면서 겨울철에는 이를 흡수함으로써 상반된 계절 조건을 충족시킬 수 있는 하이브리드 기능의 도료가 필요하다.

이러한 조건을 만족시킬 수 있는 도료가 온도 변색 도료(Thermochromic paint)이다. 본 도료는 특정 온도에서 색상이 변화되는 특성을 갖는다. 특히, 유색에서 무색으로 혹은 유색에서 투명으로 가역적 변화를 일으키면서 온도에 따라 색상이 반복적으로 변화될 수 있다(Arulprakasajothi et al., 2021; Gabriel et al., 2022). 만약 본 도료를 이용하여 지붕이 여름철에 일사 반사율이 높은 흰색으로 유지되면서 겨울철에는 흡수율이 높은 검정색으로 유지된다면 연간 계절별 간섭 없이 지붕의 표면 온도를 조절하면서 실내 온도를 낮추거나 높일 수 있는 패시브 마감 재료로 이용 가능하다. 특히, 겨울철 열 취득에 영향을

주지 않으면서 여름철 지붕 표면 온도를 줄여 실내 냉각 효과 또한 발휘할 수 있다.

따라서 본 연구에서는 이러한 온도 변색 도료를 소개하고 이를 지붕 표면에 적용하기 위한 방법론 제시 및 그 성능을 확인하는 것에 목적이 있다. 연구의 일부로서 본 논문에서는 온도 변색 도료 적용에 따른 여름철 지붕의 표면 온도 감소 및 실내 냉각 효과를 분석하는 것에 초점을 맞췄다.

만약 이러한 표면 온도 조절 도료가 건물에서 활용될 수 있다면, 비교적 시공이 간단하면서도 저렴한 도료를 이용하여 건물에너지 절감을 도모할 수 있을 것이다.

1.2 연구의 범위 및 방법

온도 변색 도료는 연간 기후 변화에 대응할 수 있는 재료이다. 그러나 본 연구에서는 여름철에 초점을 맞췄으며, 이러한 도료가 지붕 표면에 적용될 때, 표면의 색상이 변화되는지, 그리고 표면 온도가 어느 정도 감소되는지, 아울러 실내 냉각효과를 발휘하는지 실험을 통해 분석하였다.

연구 방법으로서, 우선 온도 변색 안료 및 도료를 설명하고 이를 지붕에 적용하기 위한 방법론을 제시하였다. 이후, 실험을 위한 도료를 제작하되, 분석 대상인 온도 변색 도료 외에 이와 비교할 수 있는 녹색 및 회색 도료 또한 함께 제작하였다. 이후, 테스트를 위한 모형을 제작한 후, 지붕 표면에 위의 세 가지 도료를 적용하였다. 아울러, 온도 변색 지붕, 회색 지붕, 녹색 지붕 세 가지 모형에 대한 지붕 표면 온도, 실내 천장 온도, 실내 기온을 측정하고 이들을 서로 비교하여 기존 지붕 대비, 온도 변색 도료의 표면 온도 저감 및 실내 냉방 효과를, 측정된 데이터를 통해 정량적으로 분석하고자 한다. 이에 대한 각 단계별 연구 내용은 다음과 같다.

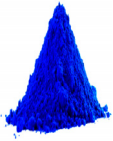




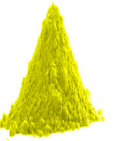


2. 온도 변색 도료

온도 변색 도료는 온도에 따라 색을 변화시키는 안료와 이를 표면에 안착시키기 위한 용매로 구성될 수 있다. 따라서 우선, 안료 및 도료에 대한 정의와 이를 지붕에 적용시키기 위한 방법론의 개발이 필요하며, 이에 대한 내용은 다음과 같다.

2.1 온도 변색 안료

써모크로믹(Thermochromic pigment)이라고 불리는 이 온도 변색 안료는 유기 산화물(Organic acid)과 착색제(Colorant)를 포함하여 마이크로 크기로 캡슐화된 금속 피막 안료이다. 특히, 캡슐 내에 촉매제의 용해점(Melting point)을 기준으로 그 이상의 고온과 이하의 저온에서 색상이 서로 다르게 나타나는 변색 기능을 가진다. 이러한 안료는 Table 1과 같이, 변색점 및 색상 변화에 따라 그 종류가 매우 다양하다. 그러나 일반적으로 리퀴드 크리스탈(Liquid Crystal) 타입과 류코 다이(Leuco Dye) 타입 크게 두 가지로 구분될 수 있다(Luo et al., 2019;

Table 1. Samples of Thermochromic Pigments by Colors and Changing points

18°C	25°C	30°C	45°C
Low temperature			
			
Blue	Red	Black	Violet
High temperature			
			
Pink	Yellow	Colorless	Green

Nelson et al., 2020).

이중 리퀴드 크리스탈은 유색에서 유색으로 변화되며, 변색 구간이 매우 다양하고 색상 또한 화려한 장점을 가진다. 그러나 고온에 매우 취약하며 특히 자외선에 노출될 시, 금속 캡슐이 파괴되는 현상이 일어날 가능성이 높다.

반면, 류코 다이는 유색에서 유색 혹은 유색에서 무색(투명)으로 바뀌는 것이 특징이다. 또한 내구성이 리퀴드 크리스탈 보다 우수하며 고온과 자외선에도 비교적 안정적이다. 그러나 안료 캡슐의 탄성과 인장력이 취약하여 충격에 파괴될 위험이 높다. 따라서 도료 제작 시, 혼합과정에서 주의가 요구된다. 그럼에도, 높은 내구성과 다양한 용매와의 혼합에서 화학적 반응을 일으키지 않기 때문에 리퀴드 크리스탈 보다 그 활용도가 높고 광범위한 분야에서 응용될 수 있다는 것이 특징이다.



2.2 온도 변색 도료

Table 2와 같이, 온도 변색 안료는 캡슐화 되기 때문에 안료와 용매 간 화학적 반응을 일으키지 않는 것이 특징이다. 즉, 물, 오일, 알콜 등 어떠한 용매와도 혼합이 가능하다. 따라서 도료를 제작할 시, 유성이나 수성 도료 등 거의 모든 도료 제작에 활용될 수 있다.

2.3 지붕 적용

온도 변색 도료의 지붕 적용을 위해 도색 디자인

Table 2. Thermochromic Paints based on the Various Solvents

Enamel	Acrylic	Ceramic
		

및 공법 개발이 필요하다. 서론에서 언급한 바와 같이, 도료의 계절 간 열적 간섭을 피하기 위해, 지붕 표면이 여름철에는 반사율이 높은 흰색으로, 겨울철에는 흡수율이 높은 검정색으로 유지되도록 디자인 하는 것이 가장 이상적이다. 그러나 온도 변색 안료 중, 검정색과 흰색으로 가역적 변화를 일으키는 안료는 현재까지 존재하지 않는다. 따라서 위의 디자인을 충족시키기 위해 온도 변색 안료와 타 안료와의 결합이 불가피하다.

이에 본 저자는 Fig. 1과 같이, 지붕 표면을 디자인 하였다. 우선, 반사율이 높은 흰색 도료를 지붕의 마감선 위에 도색 한 후, 그 위에 Fig. 2와 같이, 검정색에서 투명으로 변화되는 류코 다이 타입의 온도 변색 안료를 적용하였다. 또한 변색 안료는 약 30°C에서 색상 변화가 이루어진다. 즉, 지붕 표면이 30°C 이하에서는 검정색을 유지하되, 그 이상의 온도에서는 투명으로 전환되는 구조이다. 이렇게 되면, 겨울철

에는 지붕 표면이 낮은 온도 때문에 검정색으로 유지될 수 있고, 여름철에 표면이 30°C를 상회하면 투명으로 바뀌면서 하단의 흰색 도료가 대기 중에 노출된다. 특히, 하단의 흰색 도료를 최근의 쿨루프 (Cool roof) 페인트와 같은 초 고반사 도료를 이용한다면, 지붕 표면에서 자연 대류와 일사 흡수에 의한 약간의 온도 상승만 될 뿐, 대부분의 일사는 반사시킬 수 있다. 이에 여름철 지붕 표면은 대략 30°C 내외로 유지될 수 있을 것이다.

마지막 단계에서 온도 변색 안료와 용매를 보호하기 위해 내구성이 높은 투명 코팅제를 도포함으로써 시스템 적용이 완료될 수 있다.

3. 실증 실험

3.1 도료 제작

Table 3과 같이, 온도 변색 도료가 적용된 지붕의

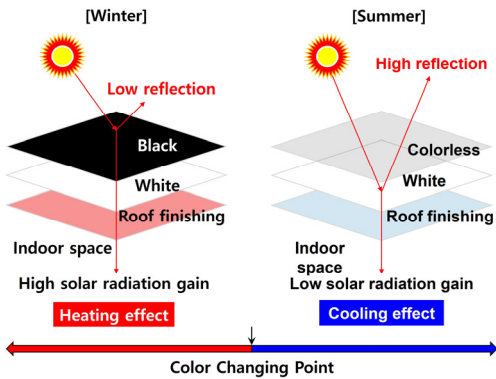


Fig. 1. The Roof Surface Design to Apply the Thermochromic Paint

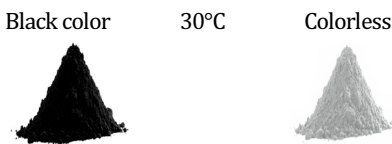












Fig. 2. Thermochromic Pigment to be Changed from Black to Colorless

Table 3. The Paints Produced to Experimental Tests

	Green roof	Grey roof	Thermochromic roof
Step 1	 Urethane Colorless	 Urethane Colorless	 Urethane Colorless
Step 2	 Urethane Green	 Urethane Grey	 White color (Cool roof)
Step 3	 Urethane Green	 Urethane Grey	 Urethane+ Thermochromic pigment
Step 4	-	-	 Urethane Colorless

성능을 확인하기 위해 약 30°C에서 검정색과 투명으로 변화되는 변색 안료를 이용하여 도료를 제작하였다. 또한 비교 대상으로서, 기존 지붕에 많이 활용되고 있는 녹색 및 회색 지붕 두 가지 도료를 추가 제작하였다. 도료 제작을 위한 용매 타입은 시중에서 흔히 구입할 수 있고 방수 기능을 가진 우레탄 기반의 도료를 선택하였다.

일반적으로 지붕의 도색은 1단계 프라이머 도료, 2단계 본도료, 3단계 코팅 도료 이상의 세 가지 도료가 순차적으로 적용된다. 이 중, 프라이머 도료는 2단계 본도료가 표면에서 떨어지거나 크랙이 발생되지 않도록 기초 역할을 하며, 2단계 본도료는 방수 역할과 색상을 나타내며, 3단계 코팅 도료는 2단계 도료를 보호하는 역할을 한다.

특히, 1단계 프라이머는 2단계 본도료의 색상이 잘 나타날 수 있도록 일반적으로 흰색을 주로 사용하지만, 지붕 표면은 색상 보다는 방수가 주된 목적이기 때문에 보통 안료가 없는 투명 프라이머를 많이 활용한다. 또한 3단계 코팅 도료는 2단계 본도료를 보호하면서 지붕 표면의 방수 기능을 한번 더 보완하는 목적으로 적용된다.

반면, 온도 변색 도료는 총 4단계로 진행된다. 1단계에서는 기존 도료와 동일하게 프라이머 도료가 적용되며, 2단계에서는 고 반사의 흰색 도료가 도포된다. 본 실험에서는 최근에 쿨루프(Cool roof) 시스템에 많이 활용되고 있는 도료를 사용하였다(박민용, 2020). 3단계에서는 온도 변색 도료가 적용된다. 특히, 류코다이 타입으로서 약 30°C를 기준으로 그 이하는 검정색, 그 이상은 투명으로 변화되는 안료가 사용되었다. 특히, 용매는 변색 안료의 검정 및 투명 색상에 영향을 주지 않아야 함으로 투명한 용매가 사용되어야 한다. 따라서, 방수 기능을 가진 우레탄 기반의 투명 프라이머 도료에 변색 안료를 혼합하여 도료를 제작하였다. 마지막 4단계는 3단계 도료를 보호하기 위해 마감 코팅 도료가 적용된다.

3.2 테스트 모듈 제작

온도 변색 도료의 성능 테스트를 위해 Fig. 3처럼, 실험 모듈을 제작하였다. 외측 길이는 가로, 세로, 높이가 각각 1m이고 지붕의 표면적은 1m²이며, 재료는 오크 계열의 목재이다. 모듈 구조의 경우, Table 4와 같이, 외벽과 바닥은 단열재 두께가 20mm이며 총 두께는 50mm이다. 반면, 지붕의 단열재 두께는 40mm이고 총 두께는 70mm로서 외벽 및 바닥보다 단열 성능을 추가하여 제작하였다.

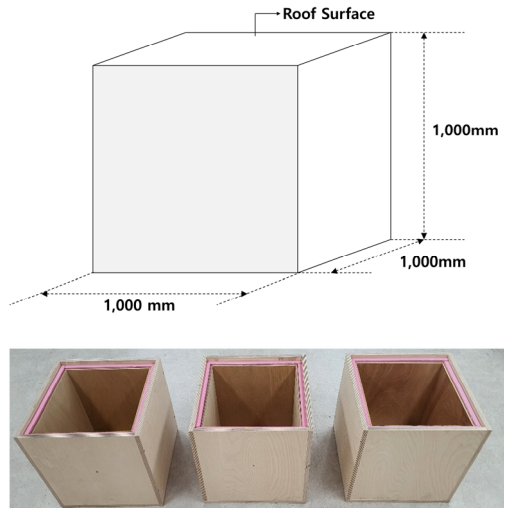


Fig. 3. The Experimental Modules to Test the Thermochromic Paint

Table 4. The Envelope Structures of Experimental Modules

Type	Construction (Outside → Inside)		
	Material	Thickness (mm)	
		Each	Total
Wall & Floor	Oak Wood	20	50
	Insulation	20	
	Oak Wood	10	
Roof	Oak Wood	20	70
	Insulation	40	
	Oak Wood	10	

3.3 도료 적용

Fig. 4는 실험 모형의 지붕 표면에 각 도료를 적용한 모습이다. 녹색과 회색 지붕은 프라이머 도료, 본도료, 코팅 도료의 순으로 도색되었다. 반면, 맨 우측의 온도 변색 도료는 프라이머 도료, 고반사 흰색 도료, 온도 변색 도료, 코팅 도료 순으로 도색되었다.

특히, 도색 후 완전히 건조된 온도 변색 지붕의 색상이 정상적으로 변화되는지를 테스트한 그림이 Fig. 5이다. 변색 온도가 30°C이기 때문에 그 이상의 온수를 지붕 표면에 뿌린 후에 색상 변화를 확인하였다. 그림과 같이, 30°C 이상의 온도에서 검정색이 투명으로 변화되면서 하단의 고반사 흰색 도료가 노출되었으며, 이후 표면 온도가 감소 되어 다시 검정색으로 변화되는 가역적 변화를 하는 것으로 확인되었다.

3.4 온도센서 설치

Fig. 6은 실험 모형에 열전대를 설치한 모습이다.



Fig. 6. The Sensors to Measure Temperatures

센서 타입은 써모커플(Thermocouple) T 타입을 이용하였다. 설치 위치는 각 모형별 지붕 표면, 실내 천장, 실내 중앙(기온)이다.

3.5 실험 조건

실험은 여름철 8월에 수행되었으며, 태양의 고도가 높은 12시 이후의 외기 온도 데이터를 수집하였다. 실험 당일, 약간의 구름이 발생했기 때문에, 간헐적으로 태양을 가리는 현상이 발생되었다. 따라서 12시 이후에 수집된 온도 데이터 중, 태양이 구름에 가려지지 않고 비교적 안정적으로 일사가 투사되는 시간대를 추출하여 실험 데이터로 이용하였다. 따라서 성능 분석에 이용된 외기 온도는 13:50부터 15:10까지 약 2시간 20분의 데이터이다.

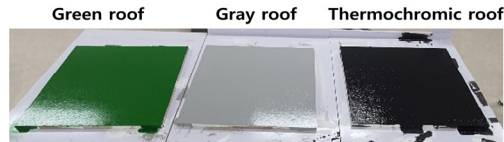


Fig. 4. Three Roof Types Applying Green, Gray, and Thermo-chromic Paints

4. 결과 분석 및 고찰

4.1 지붕 표면 온도

녹색, 회색, 온도 변색 도료를 적용한 지붕의 표면 온도 분포는 Fig. 7과 같다. 우선, 표면 온도가 가장

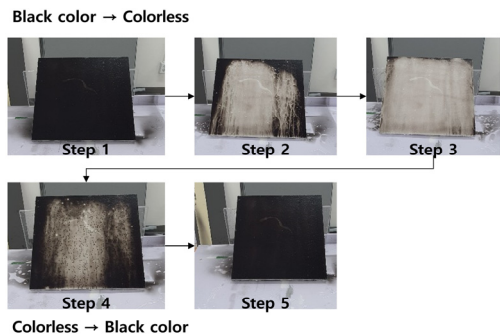


Fig. 5. The Color-Shift Process of the Thermo-Chromic Roof

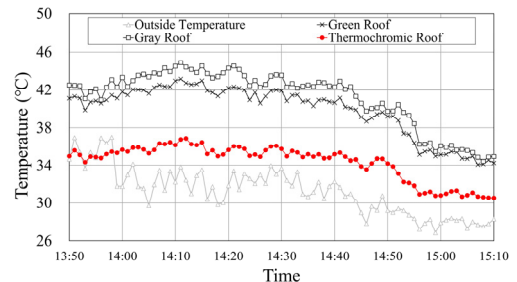


Fig. 7. The Surface Temperatures for the Green, Gray, and Thermo-chromic Roofs

높은 지붕은 회색 도료를 이용한 경우이다. 어두운 검정색 계열이기 때문에, 높은 일사 흡수율로 가장 높은 온도 분포를 나타냈다. 13:50에서 약 42°C를 나타냈으며, 일사 흡수가 누적되면서 표면 온도는 최대 약 45°C까지 증가되었다. 결과적으로 모든 분석 시간대에서 세 가지 지붕 중, 가장 높은 표면 온도를 나타냈다. 또한, 녹색 도료를 적용한 지붕의 표면 온도가 두 번째로 높게 나타났다. 회색의 경우보다 약 1~3°C 정도 낮은 온도 분포를 보였지만, 두 경우의 온도차는 크지 않으면서 유사한 패턴의 온도 분포를 나타냈다.

반면, 온도 변색 도료의 지붕 표면은 위의 두 경우보다 크게 낮은 온도 분포를 보였다. 처음 13:50에서 녹색, 회색 지붕보다 약 7~8°C 낮은 온도를 보였으며, 최대 약 10°C가 낮게 나타났다. 2시간 20분의 모든 분석 시간대에서 대체적으로 약 5~10°C의 온도차를 보이면서 가장 낮은 분포도를 나타냈다. 단, 실험에 사용된 온도 변색 도료는 약 30°C 이상에서 색상이 변경된다. 따라서 지붕 표면이 위의 온도를 거의 유지할 것으로 예상했지만, 분석 결과처럼 30°C를 약간 상회하는 온도 분포를 보였다. 이는 지붕 표면이 흰색으로 변경되어도 100% 복사를 반사시키지 못하고 약간의 복사를 흡수함과 동시에 표면에서 공기와의 대류 열전달로 인한 온도 상승이라 사료된다.

4.2 실내 천장 온도

Fig. 8은 실험 모형의 실내 천장 온도 분포를 나타낸다. 지붕 표면 온도와 마찬가지로 회색, 녹색, 온도 변색 도료의 순서로 낮게 나타났으며, 지붕 표면보다 약 2~5°C 정도의 온도차를 보였다. 특히, 회색과 녹색의 경우는 최초 13:50에서 14:20 사이에서 약 1~2°C 정도의 온도차를 보였지만, 전체적으로 거의 유사한 온도 분포를 보이는 것으로 분석되었다.

반면, 온도 변색 도료의 천장은 구간에 따라 약

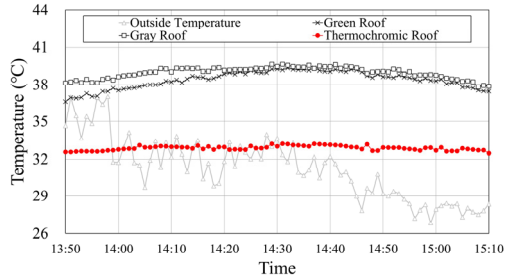


Fig. 8. The Indoor Ceiling Temperatures for the Green, Gray, and Thermochromic Roofs

1~2°C 정도 약간의 차이를 보였지만, 전체적으로 약 32°C를 거의 유지하는 것으로 나타났다. 결과적으로 온도 변색 도료의 천장 온도가 회색 및 녹색의 천장 온도보다 대략 4~8°C 정도 낮게 분포하는 것으로 분석되었다.

4.3 실내 기온

Fig. 9는 회색, 녹색, 온도 변색 도료가 적용된 모형의 실내 기온 분포를 나타낸다. 실질적으로 도료 적용에 따른 실내 냉각 효과를 비교적 평가할 수 있는 지표이다. 우선, 회색 도료를 적용한 실내 기온은 약 33~35°C로 가장 높게 나타났다. 또한, 녹색 도료의 기온은 약 32~33°C로서 회색의 경우보다 대략 1.5~2°C 정도 낮게 나타났다. 반면, 지붕에 온도 변색 도료가 적용된 모형의 실내 기온은 몇몇 시간대에서 약간의 차이는 있지만, 대체적으로 30~31°C

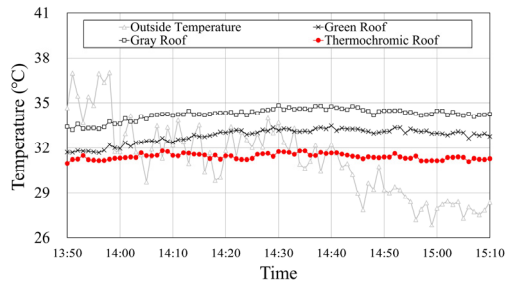


Fig. 9. The Indoor Air Temperatures for the Green, Gray, and Thermochromic Roofs

의 온도 분포를 나타냈다. 이는 회색 지붕 보다 약 3~4°C 정도 낮은 수치이며, 녹색 지붕과의 비교에서도 약 2~3°C의 낮은 온도이다. 모형의 바닥, 외벽, 지붕의 구조가 거의 동일한 조건이라는 것을 고려할 때, 지붕 표면의 도료를 변경하는 것만으로도 약 3°C 이상의 실내 온도를 감소시킬 수 있는 것으로 나타났다. 이는 큰 공간에서 1°C를 낮추기 위한 냉방기의 가동 시간과 에너지 소비량을 고려해볼 때, 지붕 표면의 도료만으로도 약 3°C 이상을 감소시킬 수 있다는 것은 상당히 고무적인 결과라 사료된다.

4.4 고찰

본 연구 결과를 통해, 온도 변색 도료는 여름철 지붕의 표면 온도를 감소시켜 실내 냉방 효과를 발휘할 수 있는 것으로 확인되었다. 또한 향후, 겨울철 온도 변색 도료를 통한 지붕의 일사 흡수에 대해 실험 및 데이터를 분석할 필요가 있지만, Fig. 5를 통해, 본 도료가 낮은 온도에서 검정색을 유지할 수 있다는 점이 확인된 바, 온도 변색 도료는 겨울철 지붕 표면의 일사 흡수에 따른 실내 난방 효과 또한 발휘할 수 있을 것으로 예측된다.

단 본 연구에서 온도 변색 안료와 용매를 혼합할 때, 일반 도료용 믹서를 이용하였다. 그 결과, 일부 온도 변색 안료에서 캡슐이 파괴되어 지붕 표면이 완전한 흰색으로 나타나지 않았다. 이로 인해, 지붕 표면에서 일사를 반사시키는 비율이 완전하지 않아 지붕 표면 온도가 예상보다 높게 나타났다. 이러한 현상을 방지하기 위해, 안료와 용매의 혼합 시, 나노 분산 유효기와 같은 초정밀 혼합 기기를 이용하여 혼합 과정에서 캡슐이 파괴되는 현상을 방지할 필요가 있다고 사료된다(Huanghuan et al., 2021).

5. 결론

본 연구에서는 여름철 지붕의 표면 온도 저감을 위

해 온도 변색 도료의 적용 방안과 실내 냉방 효과에 대해 분석하였다. 그 결과로서, 우선 본 도료의 시공은 하단에 고반사 흰색 도료를 도포하고 그 위에 검정색과 무색(투명)으로 변화되는 온도 변색 도료를 적용함으로써 완성될 수 있다. 따라서 여름철에는 지붕 표면이 흰색으로 유지될 수 있으며, 겨울철에는 검정색으로 유지되기 때문에 계절간 간섭을 회피하면서 지붕의 색을 조절하여 실내 냉방 효과를 도모할 수 있다. 또한 온도 변색 도료의 지붕 적용에 따른 여름철 실내 냉방 효과를 확인하기 위해 기존의 녹색 및 회색 도료와 함께 실험을 통해 확인하였다. 그 결과, 기존의 녹색 및 회색 지붕의 표면보다, 온도 변색 도료가 적용된 지붕의 표면 온도가 대략 5~10°C 더 낮게 나타났다. 이에 실내 기온 또한 온도 변색 지붕이 적용된 경우가 녹색 및 회색 지붕의 경우보다 대략 3°C 이상 낮게 분포되었다. 이를 볼 때, 본 도료가 지붕 표면에 적용될 시, 여름철 실내 온도를 낮춰 냉방에너지 소비를 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

참고문헌

1. 김경아·최정민·박경훈(2016), “지붕 색상 변화에 따른 건축물의 열환경 및 쿨루프 적용가능성 분석”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」, 10(6): 409~69.
2. 박민용(2020), “옥상방수도료와 진공세라믹 차열도료의 쿨루프에 대한 열적 특성 비교”, 「한국건축친환경설비학회 논문집」, 14(1): 32~41.
3. 이기림·성지훈·한유경·이원희(2019), “옥상 색상에 따른 쿨루프 성능평가를 위한 여름철 옥상 표면 및 실내온도 비교 분석: 무인항공기에 장착된 열적외선 카메라를 이용하여”, 「한국측량학회지」, 37(1): 9~18.
4. 이두호·이응직(2012), “옥상녹화 평지붕의 표면온도 저감효과에 대한 고찰”, 「한국생태환경건축학회논문집」, 12(3): 83~88.
5. Arulprakasajothi, M., B. Susanth, K. N. Kumar and A. M. M. Reddy (2021), “Thermal Management on External Surfaces by Thermochromic Materials”,

- Materials Today: Proceedings*, 47: 4666~4670.
6. Gabriel, F., C. Davy, C. Francois, A. Loren, J. Hyewon, C. Rodica, T. Francois and B. Arnaud (2022), "Thermochromic Properties of Some Colored Oxide Materials", *Optical Materials: X*, 15: 100167.
 7. Huanghuan, L., J. Ting, W. Fajun, O. Junfei and L. Wen (2021), "Thermochromic Superhydrophobic Coating for Building Energy Conservation", *Energy & Buildings*, 251: 111374.
 8. Luo, C. C., X. J. Wang, L. J. Han, Y. G. Jia, S. M. Ying and J. W. Wang (2019), "Preparation, Structure and Optical Properties of Thermochromic Liquid Crystal Compounds Containing (-)-menthyl with Selective Reflection", *Journal of Molecular Liquids*, 275: 241~250.
 9. Nelson, C. B., K. Sivaprakasam, J. E. Sinko and T. Meahren (2020), "A Tight Binding Model of the Bond Dissociation Mechanism in Thermochromic Leuco Dyes", *Journal of Molecular Structure*, 1222: 128930.

요 약

본 연구는 지붕 표면에 온도 변색 도료(Thermochromic paint) 적용에 따른 지붕 표면 온도 저감 및 실내 냉방 효과를 분석하는 것에 목적이 있다. 본 도료는 특정 온도에서 색상이 변화되는 특징을 갖는다. 만약 본 도료를 적용함으로써 지붕 표면이 여름철에는 흰색으로, 겨울철에는 검정색으로 계절에 따라 변화될 수 있다면, 여름철에는 일사를 반사하여 실내 냉방 효과를 발휘할 수 있고, 겨울철에는 일사를 흡수하여 난방 효과를 가져올 수 있다. 이 중, 본 논문에서는 본 도료에 의해 여름철에 지붕의 표면 온도와 실내 온도가 어느 정도 감소되는지에 대해 실증 실험 및 기존 도료와의 비교를 통해 그 성능을 확인하였다. 그 결과, 온도 변색 도료가 적용된 지붕의 표면 온도는 기존 도료의 경우보다 대략 5~10°C 정도 낮게 나타났으며, 이로 인해, 실내 기온 또한 기존보다 대략 3°C 이상 낮게 분석되었다. 따라서 온도 변색 도료는 여름철 높은 표면 온도를 유지하는 지붕에 적용 될 시, 표면 온도를 크게 감소시켜 실내 냉방효과를 발휘할 수 있는 것으로 확인되었다.

주제어 : 온도 변색 도료, 색상 변화, 냉방 효과, 자연형 재료, 건물에너지 절감