

# 세라믹 결정구조의 고기능성 차열도료 개발 및 성능평가

도영웅, 이승원, 임동민, 하진욱\*  
순천향대학교 화학공학·환경공학과  
e-mail: chejwh@sch.ac.kr

## The Development and Performance on High Functional Cool Paints of Ceramic Crystal Structure

Young-Woong Do, Seung-Won Lee, Dong-Min Lim, Jin-Wook Ha\*  
Dept of Chemical & Environmental Eng., Soonchunhyang University

### 요 약

본 논문에서는 적외선 반사기능을 가지는 황색, 흑색안료를 PVDF, 첨가제와 배합하여 링밀에서 3,000rpm으로 10분간 분산한 후 세라믹 결정구조의 차열도료를 제조하였으며, 도막형성 후 180°C에서 10분간 건조하여 도료에 대한 표면온도, 내후성(Q.U.V), 적외선 반사율(%)을 평가하였다.

연구결과 황색안료 9%를 첨가하여 150 $\mu$ m 두께의 도막을 형성시켰을 때, 일반도료와의 표면온도 차이는 10.1°C, 700~2,500nm 파장대의 적외선 반사율은 40% 이었으며, 흑색안료 9%를 첨가하여 200 $\mu$ m 두께의 도막을 형성시켰을 때, 표면온도차 18.8°C, 적외선 반사율 66.7%로 측정되었고, 내후성은 모두 우수하게 나타났다.

### 1. 서론

### 2. 실험

현재 오존층의 파괴와 산업화의 부산물로 발생된 유해 대기오염물질은 각종 환경문제를 발생시키고, 지구온난화를 가속시키고 있으며, 오존층의 파괴로 인하여 유입되는 태양광과 대기오염물질 및 도심지역의 고층건물에 의한 복사열은 실내·외 온도를 상승시키는 주요 원인이 되고 있다.

특히 각종 인공시설물들이 흡수한 에너지를 적외선 방사 형태로 다시 내보내 대기온도를 높이는 열섬현상은 열대야 현상이나 축사지붕의 복사열에 의한 가축의 폐죽음과 같은 다양한 형태로 악영향을 미치며, 대기오염을 가중시키는 2차적인 악순환을 일으킨다. 따라서 이러한 열섬현상을 방지하고 그 주요원인 중에 하나인 적외선(IR)을 차단시키기 위한 연구가 필요하다.

본 연구는 물리·화학적으로 안정하며 적외선 반사율이 30% 이상인 세라믹 결정구조를 갖는 고기능성 적외선 차열도료를 개발하여, 광범위한 산업분야에 적용함으로써 도심 열섬현상을 방지하고 에너지 효율을 높이는데 목적을 두고 있다.

#### 2.1 도료 제조과정

안료, 바인더, 기타 첨가제가 포함된 원료 혼합을 거친 후, 안료의 고른 분산을 하기위하여 Ring Mill을 사용하여 약 3,000rpm 에서 10분간 분쇄 및 분산을 하였으며, 숙성과정을 거쳐 최종적으로 황, 흑색의 적외선 차열도료를 제조하였다.

제조한 도료의 물성평가를 위하여 알루미늄판에 도막을 형성시키고 dry oven에서 180°C, 10분간 건조한 후 도료의 표면온도, 내후성(Q.U.V), 적외선 반사율을 평가하였다.

#### 2.2 색상에 따른 도료의 제조

물체 표면에 도포하기 위하여 제조할 적외선 차열도료의 기본 배합비는 표 1에 나타내었다.

[표 1] 적외선 차열도료의 조성

| 성분           | 합량(wt%) |
|--------------|---------|
| 아크릴 수지       | 53      |
| 안료(황, 흑색)    | 9       |
| 희석제(Xylene)  | 2       |
| 분산제(BYK-161) | 7       |
| PVDF         | 29      |
| 합계           | 100     |

내화학적, 내식성 및 내열기능이 우수한 PVDF를 사용하여 적외선 차열도료를 제조하였을 때 분산 및 도막형성 상태가 우수하여 첨가제 함량은 변화를 주지 않았고, 안료의 함량(3, 6, 9, 12%)과 제조한 도료의 도막두께(50, 100, 150, 200 $\mu$ m)에 따른 물성평가를 하여 최적의 제조 조건을 선정하였다.

[표 2] 도료의 물성평가

| No.  | 황색도료     |                 | No.  | 흑색도료     |                 |
|------|----------|-----------------|------|----------|-----------------|
|      | 안료함량 (%) | 도막두께 ( $\mu$ m) |      | 안료함량 (%) | 도막두께 ( $\mu$ m) |
| Y-1  | 3        | 50              | B-1  | 3        | 50              |
| Y-2  | 3        | 100             | B-2  | 3        | 100             |
| Y-3  | 3        | 150             | B-3  | 3        | 150             |
| Y-4  | 3        | 200             | B-4  | 3        | 200             |
| Y-5  | 6        | 50              | B-5  | 6        | 50              |
| Y-6  | 6        | 100             | B-6  | 6        | 100             |
| Y-7  | 6        | 150             | B-7  | 6        | 150             |
| Y-8  | 6        | 200             | B-8  | 6        | 200             |
| Y-9  | 9        | 50              | B-9  | 9        | 50              |
| Y-10 | 9        | 100             | B-10 | 9        | 100             |
| Y-11 | 9        | 150             | B-11 | 9        | 150             |
| Y-12 | 9        | 200             | B-12 | 9        | 200             |
| Y-13 | 12       | 50              | B-13 | 12       | 50              |
| Y-14 | 12       | 100             | B-14 | 12       | 100             |
| Y-15 | 12       | 150             | B-15 | 12       | 150             |
| Y-16 | 12       | 200             | B-16 | 12       | 200             |

도료 제조 시 안료가 3~12% 첨가되었을 때 황색 및 흑색도료 모두 도막형성 상태에 큰 차이점은 보이지 않았으나, 대체로 안료 함량이 3% 일 때 색감이 열게 나타났으며, 12% 이상의 함량이 첨가될 경우 안료함량이 많아 점성이 높아졌다. 따라서 안료함량 6~9% 사이가 미관적인 측면과 기능적인 측면에서 우수

할 것으로 예상하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 표면온도변화 특성 분석

제조한 차열도료의 표면온도를 측정하기 위하여 적외선 램프(필립스, 250W), 단열재(스티로폼), 적외선 온도측정기(HANSUNG, HS55CT)를 사용하여 표면온도 측정시스템을 구성하였다. 온도는 90분 동안 5분 간격으로 측정하였고, 적외선 램프와 도료시편과의 거리는 20cm를 유지하였다. 또한 램프에서 나오는 적외선(IR)으로부터 도료시편을 제외한 부분에 영향을 미치지 않도록 단열처리를 하였다. 각 색상마다 성능이 양호한 시편 3개를 선정하여 표준시편(STD)과 표면온도 차이를 비교·분석하였으며, 최종적으로 가장 우수한 시편을 선정하여 적외선 반사율 측정과 내후성(Q.U.V) 평가를 수행하였다.

육안으로 관찰한 황색도료의 도막형성 상태는 전반적으로 양호(표 3)하였다. 그림 1에 나타난 황색도료의 표면온도 결과는 표준시편(STD)와 비교하여 평균 6.9 $^{\circ}$ C의 온도차를 보였으며, 황색안료 9%를 첨가하고 150 $\mu$ m 두께로 도막을 형성시켰을 때(Y-11) 10.1 $^{\circ}$ C의 온도차이를 보이며 가장 우수하게 나타났다.

흑색도료의 도막상태는 B-6, 12번 시편의 경우 양호한 결과를 보였으나, B-2의 경우 안료의 함량이 적어 전반적으로 색감이 열게 나타났으며, 안료함량 6%(B-6)에서도 9%(B-12)보다는 열은 색을 띄었다.

표면온도 차이는 B-12가 18.8 $^{\circ}$ C로 측정되었고, 도막 두께가 두꺼울 때 우수한 성능을 보였다. 결국 흑색안료 9%, 200 $\mu$ m으로 도막을 형성시켰을 때(B-12) 가장 우수한 결과를 보였다.

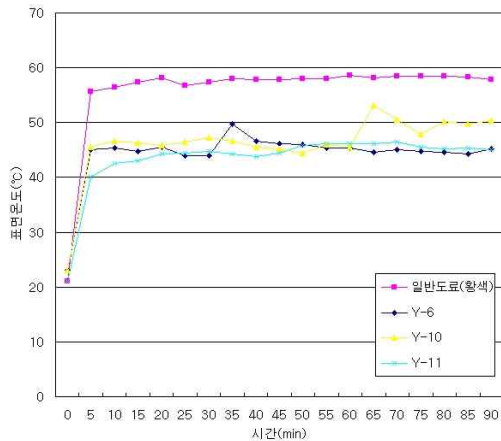
도료 도막의 상태와 표면온도 결과를 통하여 너무 얇거나 두껍게 도막이 형성될 때 적외선을 반사하지 못하거나 열 축적 현상이 발생하여 물성평가에 영향을 미치는 것으로 추측하였다.

[표 3] 황색도료의 도막형성 상태

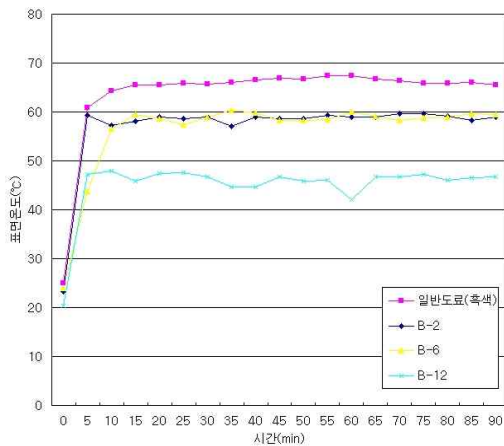
| 구분    | Y-6  | Y-10  | Y-11  |
|-------|--|---|---|
| 도막 표면 |  |  |  |
| 도막 상태 | 양호   | 양호  | 양호  |

[표 4] 흑색도료의 도막형성 상태

| 구분    | B-2   | B-6   | B-12  |
|-------|---|---|---|
| 도막 표면 |  |  |  |
| 도막 상태 | 양호(색이 옅다)   | 양호  | 양호  |



[그림 1] 차열도료(황색)의 표면온도 변화.

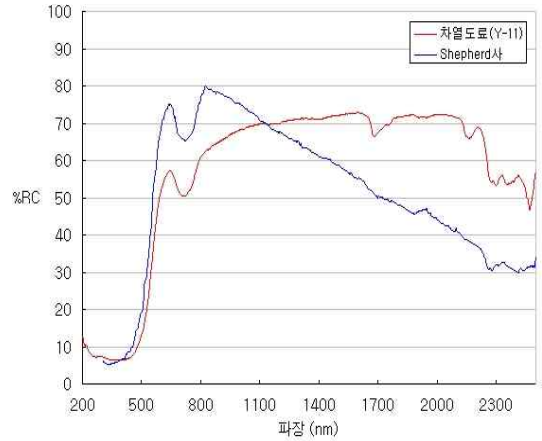


[그림 2] 차열도료(흑색)의 표면온도 변화.

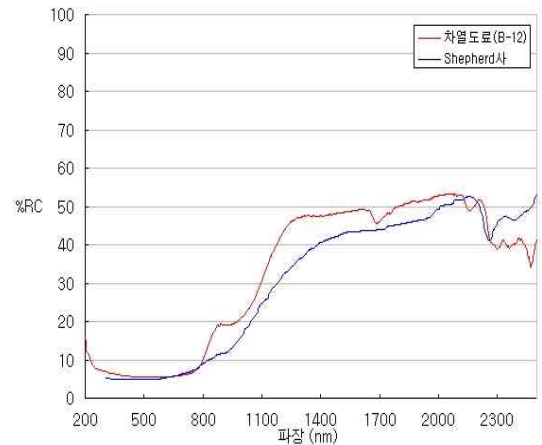
### 3.2 적외선 반사율 특성 분석

차열도료의 제조물성과 표면온도 결과로부터 선정된 황, 흑색 시편의 적외선 반사율 분석을 위하여 Perkin Elmer사의 UV/VIS/NIR spectrophotometer Lambda-950(호서대 지역혁신센터 의뢰)을 사용하였으며, Shepherd사 황, 흑색 차열도료의 적외선 반사성능과 비교하였다.

그림 3, 4에 나타나듯 황색도료는 700~1,200nm 구간에서 65.3%, 700~2,500nm 구간에서는 66.7%로 아주 높게 측정되었고, 흑색도료는 700~1,200nm 구간에서 21.0%, 700~2,500nm 구간에서는 40.0%로 비교적 높게 측정되었다. 또한 색상에 관계없이 700~1,200nm 혹은 700~2,500nm 사이의 파장대에서 Shepherd사의 차열도료 보다 전반적으로 일정한 수준의 반사율이 측정되었다.



[그림 3] 차열도료(황색)의 적외선 반사율 측정결과.



[그림 4] 차열도료(흑색)의 적외선 반사율 측정결과.


### 3.3 내후성(Q.U.V) 및 색차평가

도료의 내후성 평가(weathering test) 결과는 아래와 같으며, 적외선 차열도료의 옥외폭로 시 도료의 고유색상 상태를 판단하기 위하여 철판표면에 얇은 도막을 형성시켰다. 도막이 형성된 철판을 Q.U.V(Q-Panel) 시스템에서 최대 1,000시간 동안 UV-B Light(50°C)에 4시간 노출시킨 후, 2시간 동안 수분(습기) 분사(40°C)를 반복적으로 진행하면서 내후도를 평가하였다.

[표 5] 황색도료의 내후성(Q.U.V) 평가

| 구분    | STD   | 500 hr  | 1,000 hr  |
|-------|---|---|---|
| 도막 표면 |  |  |  |
| 도막 상태 | 양호  | 양호  | 양호  |

[표 6] 흑색도료의 내후성(Q.U.V) 평가

| 구분    | STD   | 500 hr  | 1,000 hr  |
|-------|---|---|---|
| 도막 표면 |  |  |  |
| 도막 상태 | 양호  | 양호  | 양호하나 색상 옅다  |

[표 7] 황색 및 흑색도료의 색차값

|    | 황색도료   |        |         | 흑색도료   |        |         |
|----|--------|--------|---------|--------|--------|---------|
|    | STD    | 500hr  | 1,000hr | STD    | 500hr  | 1,000hr |
| L  | 62.582 | 62.503 | 62.791  | 25.797 | 25.793 | 25.987  |
| a  | 19.083 | 19.005 | 19.144  | 0.549  | 0.529  | 0.412   |
| b  | 52.657 | 52.517 | 52.172  | 0.656  | 0.616  | 0.428   |
| ΔL |        | -0.079 | 0.209   |        | -0.004 | 0.190   |
| Δa |        | -0.078 | 0.061   |        | -0.020 | -0.137  |
| Δb |        | -0.140 | -0.485  |        | -0.040 | -0.228  |
| ΔE |        | 0.178  | 0.531   |        | 0.045  | 0.327   |

#### 4. 결론

본 연구에서 개발한 적외선 차열도료 제조기술은 근적외선 파장을 흡수하지 않고 도장된 코팅 층에서 반사하게 하는 것이 특징으로, 일반도료 조성비에 준하여 적외선 차열기능을 갖는 황, 흑색도료를 제조하고 안료함량과 도막두께에 따라 도막을 형성시켜 표면 온도, 적외선 반사율(%), 내후성(Q.U.V)을 평가하였다.

1. 도료의 표면온도 차이는 황색안료 9%를 첨가하여 150 $\mu$ m으로 도막을 형성시켰을 때(Y-11) 10.1 $^{\circ}$ C, 흑색안료 9%를 첨가하여 200 $\mu$ m으로 도막을 형성시켰을 때(B-12) 18.8 $^{\circ}$ C로 나타났다.

2. 황색도료는 700~1,200nm 구간에서 65.3%, 700~2,500nm 구간에서는 66.7%로 아주 높게 측정되었으며, 흑색도료 700~1,200nm 구간에서 21.0%, 700~2,500nm 구간에서는 40.0%로 비교적 높게 측정되었다.

또한 Shepherd사의 적외선 반사 그래프와 비교해 볼 때, 두 가지 색상 모두 1,000nm 이상의 구간에서는 오히려 우수하게 나타났다.

3. 내후성 평가에서 황색도료는 최대 1,000hr이 경과하여도 색상의 변화가 거의 나타나지 않았으며 색차( $\Delta E$ )는 500hr에서 0.178, 1,000hr에서 0.531으로 기준치 0.7 이하로 나타났다. 흑색도료는 육안으로 표준시편(STD)와 비교하였을 때, 시간이 경과함에 따라 약간 퇴색되어 보였으나 큰 차이는 없었으며, 색차( $\Delta E$ )는 500hr에서 0.045, 1,000hr에서 0.327로 표준시료와 비교하여 색상의 차이가 거의 나지 않았다.

#### 참고문헌

[1] D-W Kim, G-H Bang, T-S Lee, H-D Kim, "Experimental Investigation of Reducing The Heat Island Effects Using The Newly Developed Isolation-heat Paint and The Heat Exchanging Paint", Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, pp. 87-96, 2009.  
 [2] G-E P, "The Evaluation Study on Insulation Efficiency of Ceramic Water-borne Paint", Korea Institute of Construction Materials, 2001.  
 [3] Yoshi Ohno, "CIE Fundamentals for Color Measurements", IS&T NIP16 Conference, 2000.

황색도료의 내후성 평가 후 육안으로 표준시편(STD)과 비교하였을 때, 최대 1,000hr이 경과하여도 색상변화가 거의 나타나지 않았으며 색차( $\Delta E$ )는 500hr에서 0.178, 1,000hr에서 0.531로 기준치 0.7 이하였다.

흑색도료의 내후성 평가 후 육안으로 표준시편(STD)과 비교하였을 때, 시간이 경과함에 따라 퇴색과정이 진행되었다. 안료의 색차( $\Delta E$ )는 500hr에서 0.045, 1,000hr에서 0.327로 표준시료와 비교하여 색상 차이가 거의 나지 않았으며, 퇴색되어 보이는 것은 일반 수돗물(습기 테스트)에 의한 (이물질 건조) 얼룩으로 판단된다.