

가열패널과 열풍을 이용한 자동차용 도료의 건조특성에 관한 실험적 연구

김 성 일[†], 박 기 호

한국에너지기술연구원 효율·소재융합연구본부

An Experimental Study on the Drying Characteristics of Automotive Paint Using Heating Panels and Hot Air

Sung-Il Kim[†], Ki-Ho Park

Department of Energy Efficiency and Materials Convergence Research,
Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

(Received June 11, 2010; revision received September 11, 2010)

ABSTRACT: The drying is a process that involves coupled and simultaneous heat and mass transfer. When a wet solid is subjected to thermal drying, two processes occur simultaneously. Drying is classified according to heat transfer characteristics in terms of conduction, convection and radiation. In thermal drying, radiation is easier to control than conduction and convection drying and involves a relatively simple structure. In this study, we measured energy consumption, surface hardness of paint and surface gloss with variation of surface temperature of drying materials and drying time. Drying characteristics and energy consumption between heating panels and hot air heating have been presented. The present study shows that a dryer using heating panels is more effective than a hot air dryer from the viewpoint of energy conservation. The hot air dryer, however, was not optimized and more studies on various parameters related to drying will need to be investigated for definite comparison of drying characteristics of the dryers. The result, even if limited, would present the effective availability of paint drying.

Key words: Heating panels(가열패널), Hot air(열풍), Drying(건조), Automotive paint(자동차용 도료)

기 호 설 명

- D_h : 시험덕트 수력직경, 4A/P [m]
- d : 오목부 대각선의 평균길이, [m]
- F : 시험하중, [kgf]
- HV : 비커스경도, [kgf/m²]
- Nu : 누셀수, 무차원화수
- S : 오목부의 표면 단면적, [m²]

1. 서 론

건조는 건조대상물에 다양한 열적, 화학적, 물리적 방법을 이용하여 수분 또는 유기용제를 제거하는 과정이며 화학공업, 농산물, 생물공학, 음식물, 폴리머, 세라믹, 약품, 제지, 광물 등의 최종제품, 중간가공, 후처리 등의 전 산업분야에서 사용되는 공통 기술이라 할 수 있다. 또한, 국내 산업분야의 전체 에너지소비량 중에서 건조는 단일부문으로 7%를 차지하는 에너지 다소비 공정이다.⁽¹⁾

열적 건조에 있어서 고체에 포함되어 있는 수분

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3168; fax: +82-42-860-3133

E-mail address: praygod@kier.re.kr

이동의 근본적 메커니즘은 기존의 연구자들에 의해 많은 연구가 되어오고 있으며 모세관력에 의한 액체의 이동, 농도구배에 의한 액체의 확산, 분압구배에 의한 기체 확산, 건조대상물 표면에서 흡착되어진 액체층에서의 확산은 열적 건조에서 다루는 주요한 4가지 전달메커니즘이다. 일반적으로 모세관 현상은 굵은 입자형태의 물질 건조에 응용되며 액체 확산은 콜로이드나 겔과 같은 구조의 단상 고체에 지배적으로 작용한다. 얇은 두께로 시편 표면에 건조물질이 도포되는 도료건조의 경우 도료표면의 열에 의한 기체의 확산 및 화학적 반응에 의해 건조가 이루어지고 있다.

열적 건조는 열전달방식에 따라 전도, 대류, 복사 건조로 나눌 수 있으며 건조장치의 건조방식은 건조대상물의 다양한 특성을 고려하여 결정되어야 한다. 이 중에서 대류 열전달을 이용하는 열풍 건조는 전통적으로 많이 이용되고 있는 방식으로 국내 건조장치의 약 70%를 차지하고 있다. 열전달방식 중에서 복사에 의한 방식은 장치의 구조적 단순함과 건조대상물의 본래의 향과 색을 보존해야하는 특수한 경우 다른 방식에 비해 유리하며 최근 이에 관한 연구가 이루어지고 있다.⁽²⁻⁵⁾ 하지만, 건조에 대한 이해가 오랜 기간을 갖고 접근방법이 확립⁽⁶⁻¹¹⁾ 되었음에도 불구하고, 건조대상물의 다양성과 열 및 물질전달이 동시에 수반되는 특성상 고려해야할 변수가 많고 설계 및 수치적 해석이 용이하지 않는 어려움을 가지고 있다.

가열패널은 소규모 건조에 유리한 이점뿐만 아니라 구조가 단순하고 설치가 용이하므로 현재 운영되고 있는 열풍을 이용하는 중·소규모형 비연속식 자동차 도장 보수용 건조장치의 구조를 변경하지 않고 열원을 열풍에서 가열패널로 변경하여 쉽게 적용할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 연구의 목적은 동일한 기초실험장치 내에서 가열패널을 이용한 건조장치와 열풍을 이용한 건조장치의 건조특성과 에너지소비량을 비교하는 것이며 건조특성을 비교하기 위한 측정값으로 도료의 표면경도와 표면광택도를 선택하였으며 건조시간과 피건조물의 표면온도를 변수로 선정하였다.

2. 실험장치 및 방법

자동차의 도장은 재료의 녹이나 부식, 오염을 방지 것뿐만 아니라 상품성을 향상시키는 외관적 미의 목적도 가지고 있다. 신차에서의 도장은 하도,

중도, 상도의 3층 구조로 이루어져 있으며 차종에 따라서 중도를 생략하는 경우도 있다. 본 실험은 가장 외관에 도포되어지는 상도의 도장만으로 한정하기로 한다. 상도에 사용되어지는 도료는 여러 가지 종류가 있으나 주요성분은 수지, 안료, 용제의 3가지로 나눌 수 있다. 건조 경화방식에 따라 래커계 도료에 해당하는 용제증발형, 수지가 경화제와 화학반응을 일으켜서 경화하는 반응형, 고온으로 수지의 구조를 변화시켜 경화하는 소부형이 있다. 아크릴 수지 또는 폴리에스테르 수지를 주성분으로 하는 보수용으로 사용되는 우레탄 도료는 반응형이라 할 수 있다. 본 실험은 보수용으로 사용되는 우레탄 도료를 건조시료로 선택하였다.

2.1 실험장치

본 연구를 위한 실험은 Fig. 1과 같은 한번의 길이가 600 mm인 정육면체 챔버에서 가열패널과 열풍을 이용하여 각각 수행되었다. 건조챔버의 유입구는 상단에 있으며 배기구는 측면에 위치한다. 챔버의 크기는 건조장치의 깊이가 폭에 비하여 크고 높이가 상대적으로 낮은 상용화된 열풍건조장치와 차이를 보인다. 도료가 약 30 μm 두께로 도포된 80×30 mm 크기의 시편은 하단 중앙에 위치한다. 외기의 입·출구의 위치와 가열패널의 위치는 Fig. 2(a)에 나타내었으며 본 실험에서 건조되어지는 시료의 양을 감안하여 공기 중으로 증발하는 도료에 포함된 휘

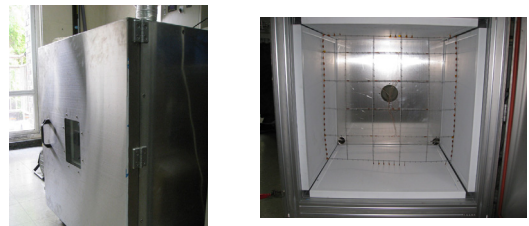
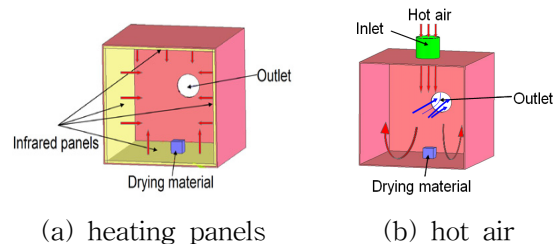


Fig. 1 Laboratory scale dryer.



(a) heating panels (b) hot air
Fig. 2 Schematic of the experimental test sections.

Table 1 Specifications of experimental apparatus and drying materials

Heating panels	Emissivity	0.91
	Size	600×600 mm
	Heating power	4×800 W
Hot air heater	Heating power	5 kW
Drying materials	Specimen size	80×30 mm
	Type of paint	epoxy paint
	Paint color	Black
	Coated thickness	30 μ m

발성 물질을 챔버 밖으로 배출시키기 위한 별도의 환기장치는 설치되지 않았다. 실험변수는 온도와 건조시간이며 측정온도는 시편과 근접한 상단에서 측정되었다. 설정온도를 맞추기 위해 가열패널 및 열풍발생장치에 인가된 전원은 on-off 방식으로 조절되어진다. Table 1에 실험장치의 자세한 내용을 나타내었다. 건조 후, 가열패널에 의한 건조와 열풍 건조의 에너지소비량과 건조된 도료의 표면경도 및 표면광택도가 측정되었다. 소비전력은 3상식 소비전력 측정장치인 Multiver3H가 사용되었고 표면광택도는 Tasco사의 Gloss checker인 TMS-723가 이용되었다. 또한, 도료의 코팅두께를 측정하기 위해 Automation Dr.nix사의 금속 및 비금속 시편에 사용할 수 있는 접촉식 박막두께 측정기인 Qnix8500를 사용하였다. 경도측정장치는 Micro Vickers hardness tester를 이용하였으며 비커스경도인 HV를 이용하여 나타내었다. 비커스경도는 대면각이 136°인 다이아몬드 사각추 누르개를 사용하고 시편에 오목부가 만들어졌을 때, 시험 하중과 오목부의 대각선 길이로부터 구한 오목부의 표면적으로부터 계산되어진다. 시험 하중 F의 단위가 kgf인 경우에 비커스경도의 계산식은 식(1)과 같다.⁽¹²⁾

$$HV = \frac{F}{S} = \frac{2F \sin(\theta/2)}{d^2} = 1.854 \frac{F}{d^2} \quad (1)$$

여기서, S는 오목부의 표면적이고 d는 오목부의 대각선의 평균길이, θ 는 다이아몬드 누르개의 대면각의 크기이다.

2.2 실험방법

가열패널과 열풍을 이용한 도료의 건조특성 및 에

너지소비량을 측정하기 위하여 Fig. 1과 같은 장치 내에서 실험이 수행되었다. 피건조물에서부터 수직 상단으로 1 cm 떨어진 지점에서 측정된 온도의 평균값과 건조시간을 실험조건으로 선택하였으며 두 조건을 변화시켜가며 에너지소비량, 표면경도, 표면광택도가 측정되었다. 건조실험은 챔버 내의 온도가 정상상태에 도달하였을 경우, 도료가 도포된 시편을 챔버의 하단 중앙에 위치시키고 수행되었다. 일반적으로 보수를 목적으로 사용되는 도료건조장치 경우 열풍을 사용하며 온도 및 건조시간 조건은 각각 60℃와 30분이다. 본 실험은 이를 고려하여 챔버 내의 건조온도를 40℃에서 80℃까지 변화시켰으며 건조시간은 최소 10분에서 최대 50분까지 10분 간격으로 변화시켜가며 실험을 수행하였다. 전력소비량이 고정된 열풍 건조장치에서 유입속도가 증가할수록 유입공기의 양은 많아지나 온도는 낮아진다. 본 연구에서는 적정한 열풍 유입속도를 결정하기 위하여 고정된 전기소비량에서 유입속도를 0.5 m/s에서 2.0 m/s까지 변화시켜가며 실험을 수행한 기존의 연구⁽¹³⁾를 참고하였다. 참고문헌에서는 열풍 유입속도가 너무 낮을 경우 챔버 입구측 온도는 높지만 챔버의 하부에 위치한 피건조물까지 도달하는 유량이 적어 충분한 열량 공급이 어렵다는 실험결과를 보여주었으며 Fig. 3(a)에서 볼 수 있는 것처럼 입구속도 0.5 m/s인 경우 17.3℃로 다른 조건에 비하여 피건조물 주위의 온도 편차가 크게 측정되었다. Fig. 3(b)는 피건조물 상단의 평균온도의 측정결과이다. 주목할 점은 유입구속도 0.5 m/s인 평균온도가 유입구 속도 1.0 m/s의 평균온도보다 건조시간 약 50분까지의 기록에서 낮게 측정된 것이다. 동일한 에너지소비량을 갖는 조건에서 입구속도 0.5 m/s의 온도는 입구속도 1.0 m/s의 온도를 건조시간 약 55분 전후에서 역전하지만, 일반적인 보수를 목적으로 사용되는 열풍도료건조장치의 건조시간은 30분이며 본 연구에서 수행한 최대 건조시간인 50분을 고려하더라도 역전점은 이보다 긴 시간이다. 유입구 속도가 1.0 m/s보다 큰 실험인 1.5 m/s와 2.0 m/s의 경우 평균온도는 약 82℃와 65℃로 각각 18℃와 35℃의 차이를 보이고 있다. Fig. 4(a)는 전산모사를 위해 사용된 3차원 도식도이며 Fig. 4(b)는 피건조물의 중앙 상단에서 수직으로 1 cm 떨어진 지점에서 x축을 따라가며 전산모사를 통해 속도를 계산한 결과이다. 유입구 속도는 0.5 m/s에서부터 0.5 m/s씩 증가하며 2.0 m/s까지 계산이 수행되었다. 전산모사를 통하여 유입속도가 1.0 m/s, 1.5 m/s, 2.0 m/s

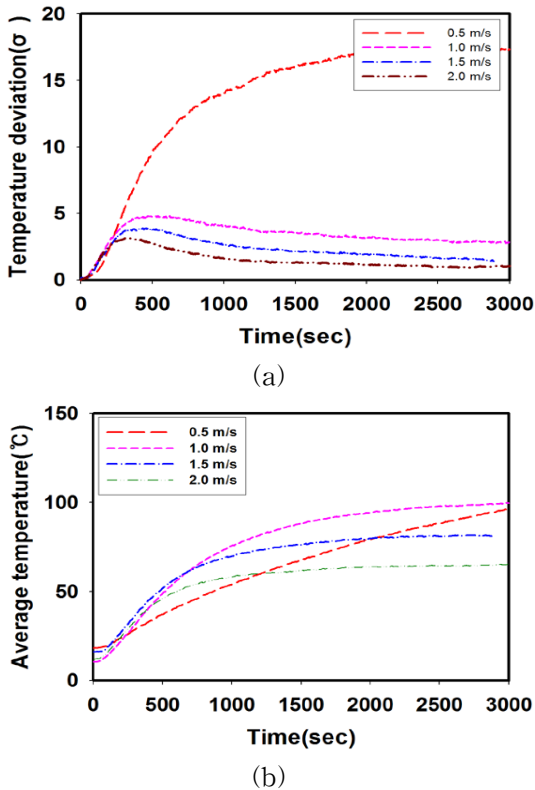


Fig. 3 (a) Temperature deviation and (b) average temperature around drying material.

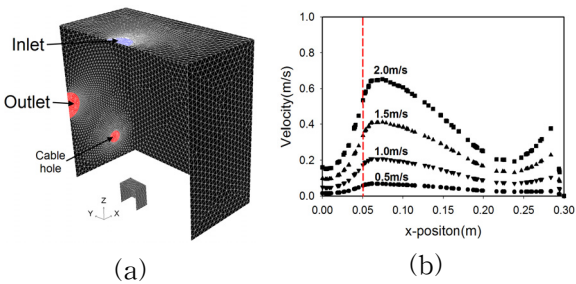


Fig. 4 (a) Schematic diagram of a computational model and (b) velocity distribution along the x-axis at the position close to the top of drying material.

인 경우에 대하여 피건조물에 근접한 상단의 계산된 평균속도는 약 0.09 m/s, 0.18 m/s, 0.28 m/s이다. 피건조물에 근접한 속도는 전반적으로 작은 값을 보이고 있으며 이들의 속도차이는 실질적으로 온도의 효과보다 도료의 건조에 주요하다고 보기 어려우며 참고문헌에서는 이와 같은 실험결과를 통하여 피건조물의 건조에 유리한 열풍 유입속도를 약 1 m/s라고 언급하였다. Fig. 4에서 붉은 색 점선

은 피건조물의 길이를 의미한다.

광택은 표면에 대한 빛의 반사율을 증가시켜 눈으로 들어오는 광이 많게 보이게 하는 것을 의미하며 정반사가 되지 않고 난반사가 되어 많은 빛이 관찰되지 않는 경우 광택도는 낮아진다. 도료건조물의 표면에 주름(Lifting), 기공(Cratering), 블러싱(Blushing), 오렌지 필(Orange peel), 핀홀(Pin hole), 초킹, 오염 등이 발생하면 빛의 확산으로 인해 광택도가 떨어진다. 특히, 이 중에서 온도조건에 영향을 받는 것은 핀홀과 오렌지필이며 핀홀의 유무는 육안을 통해서 구별가능하고 오렌지필의 정도는 광택도를 측정함으로써 수치화된 값으로 측정가능하다. 본 연구에서는 얇은 도료 박막이 시편의 표면에 도포되어 건조되어지는 도료건조의 특성상 일반적으로 건조특성을 나타내기 위하여 사용되어지는 건조곡선(Drying curves)은 표면경도로 도막품질은 표면광택도로 대체하였다.⁽¹⁴⁾

3. 실험결과 및 고찰

Fig. 5는 상온에서부터 설정된 온도에 도달하는 온도의 추이곡선이며 Table 2는 챔버 내부의 온도

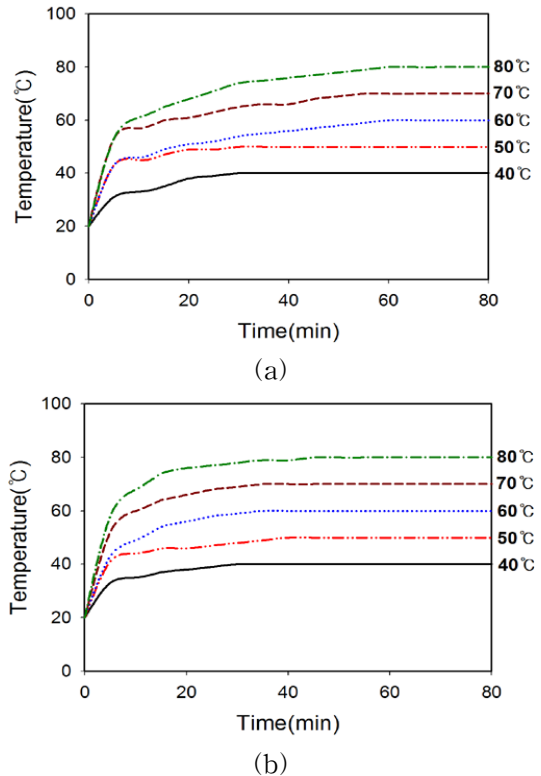


Fig. 5 Temperature evolution of a dryer using (a) heating panels, (b) hot air heating.

Table 2 Energy requirements for reaching the steady-state temperature

	Setting temperature	Power(kW)
heating panels	40°C	0.085
	50°C	0.109
	60°C	0.182
	70°C	0.264
	80°C	0.386
Hot air heater	40°C	0.204
	50°C	0.401
	60°C	0.595
	70°C	0.791
	80°C	0.985

가 정상상태에 이르기 위해 필요한 에너지소비량을 온도조건에 따라 나타낸 것이다. 가열패널과 열풍 실험결과를 비교해보면 정상상태에 도달하기 위해 걸린 시간은 가열패널을 이용한 경우가 상대적으로 크지만 에너지소비량은 전반적으로 작은 것을 볼 수 있다.

3.1 가열패널 건조

정면과 후면을 제외한 4개의 가열패널을 이용한 건조 실험장치는 Fig. 2(a)와 같다. 잘 단열되어진 챔버 내에 4개 패널의 온도가 동일하므로 초기에 자연대류에 의해 형성된 기류는 약해지고 열전달은 전도와 복사에 의해서만 일어나게 된다. 하지만, 하단 중앙에 위치한 시편에 전달되어지는 열량의 상대적인 크기는 실험이 40°C에서 80°C의 낮은 온도 구간에서 이루어지므로 전도에 의한 열전달이 주요하다고 판단할 수 있다. 이 때, 누셀수는 1에 근접하다. 챔버의 중앙에 수직으로 설치된 메쉬형태의 구조물을 이용하여 측정된 정상상태의 온도분포는 Fig. 6을 통해 볼 수 있다.

Fig. 7은 온도와 건조시간에 따른 에너지소비량, 표면경도, 표면광택도의 실험결과를 각각 나타낸 것이다. 가열패널을 이용한 건조실험에서 에너지소비량과 표면경도는 설정온도와 건조시간에 비례하여 증가한다. 에너지소비량은 최대 0.153 kW, 최소 0.025 kW를 가지며 표면경도는 최대 약 11.1 HV, 최소 약 1.0 HV을 나타낸다. 표면광택도는 설정온도 40

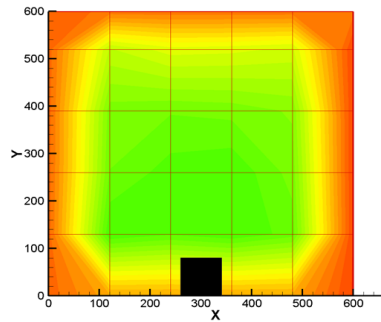


Fig. 6 The measured temperature distribution at the center of a test section heated by heating panels.

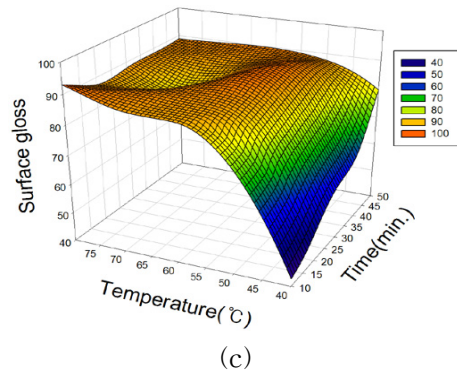
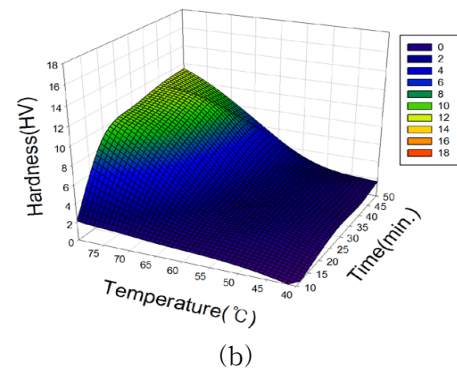
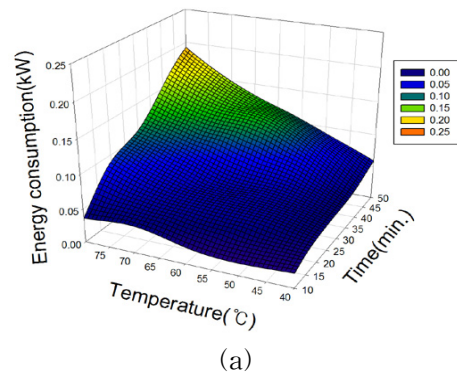


Fig. 7 3D mesh plots of heating panels drying for automotive paint. (a) energy consumption, (b) surface hardness, (c) surface gloss.

℃, 건조시간 20분일 경우 가장 낮은 값은 약 50의 측정값을 나타내고 설정온도 50℃ 이상에서는 전반적으로 비슷한 측정값을 보여주고 있다. 수회 반복된 실험에서 표면광택도가 ±10의 오차범위를 갖지만, 일정한 설정 변수값 이상에서 측정값은 수렴하는 것을 볼 수 있으며 본 실험에서는 약 50℃, 30분 이상의 조건을 만족할 때, 표면광택도의 크기변화는 작은 것으로 나타났다.

3.2 열풍 건조

고정된 에너지소비량에서 유입공기의 온도와 유량은 투입공기의 유속의 변화에 따라 서로 반비례 관계에 있으므로 적절한 유속을 결정할 필요가 있다. 본 실험에서는 하단부 중앙에 위치한 시편까지 열풍이 도달할 수 있고 건조에 유리한 높은 온도를 확보할 수 있는 유입속도를 선행실험을 통하여 결정하였다. 1.0 m/s의 유속에서 온도와 건조시간을 변화시켜가며 측정된 에너지소비량, 표면경도, 표면광택도는 Fig. 8과 같다. 열풍을 이용한 실험에서 에너지소비량과 표면경도는 설정온도와 건조시간에 비례하여 증가한다. 이는 가열패널을 이용한 실험과 유사하게 나타나고 있다. 에너지소비량은 최대 1.13 kW, 최소 0.179 kW를 가지며 표면경도는 최대 16 HV, 최소 3.5 HV를 나타낸다. 표면광택도는 설정온도 40℃, 건조시간 20분일 경우 약 70의 측정값을 보이고 있다. 가열패널을 이용한 경우보다 표면광택도는 전반적으로 큰 값을 보이고 있다. 표면광택도의 오차범위는 50℃ 이하의 낮은 설정온도에서 ±15로 가열패널을 이용한 건조실험보다 큰 값을 나타낸다. 이러한 이유는 상단부의 중앙에 위치한 입구에서 유입된 열풍의 기류가 일정하게 하단부 중앙에 놓인 시편의 표면에 도달하지 못하기 때문으로 사료된다.

에너지소비량에 관한 변수와의 관계를 명확히 판단하기 위하여 가열패널건조와 열풍건조에서 사용된 에너지소비량의 측정결과를 2차원 그래프로 Fig. 9에 나타내었다.

3.3 건조특성 및 에너지소비량 비교

위에서 언급한 가열패널과 열풍을 이용한 자동차용 도료의 건조실험결과를 바탕으로 에너지소비량, 표면경도, 표면광택도를 비교할 수 있다. Fig. 10에

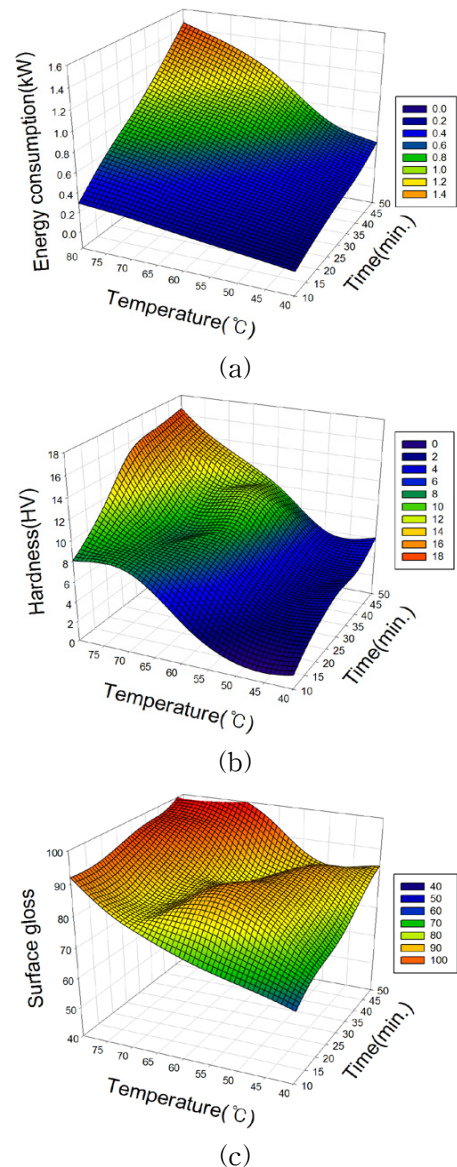


Fig. 8 3D mesh plots of hot air drying for automotive paint. (a) energy consumption, (b) surface hardness, (c) surface gloss.

서 가열패널과 열풍을 이용한 실험에서 사용된 에너지소비량을 시간에 따른 그래프로 표현하였다. 먼저, 열풍의 경우 실험조건 전체에 대한 평균 소비전력, 평균 표면강도, 평균 표면광택도는 각각 0.53 kW, 7.86 HV, 84.4이고 가열패널을 이용한 건조실험의 경우 각각 0.07 kW, 4.19 HV, 82.44이다. 평균 소비전력에 있어서 열풍 건조장치가 가열패널 건조장치보다 약 7.6배 큰 측정값을 보인다. 평균 표면강도는 열풍 건조장치가 약 1.9배 정도 가열패널 건조장치보다 큰 값을 나타낸다. 열풍을 이용한 건조

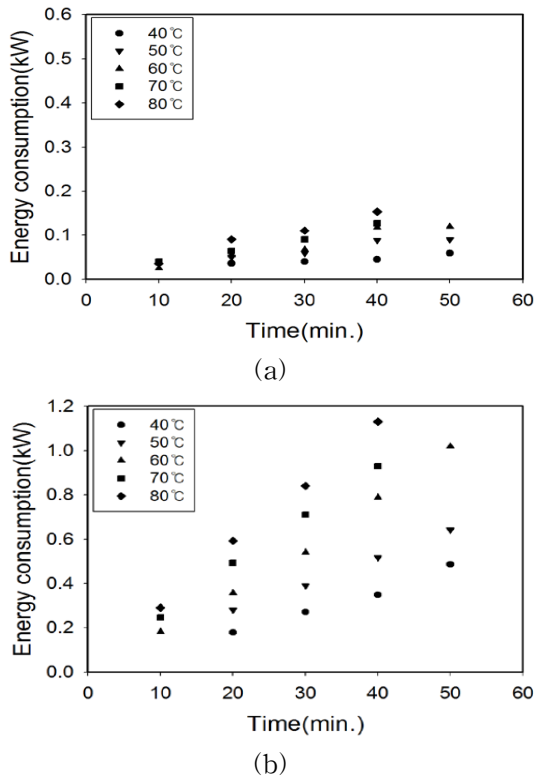


Fig. 9 Energy consumption of (a) heating panels and (b) hot air drying according to drying time.

장치의 경우 유입된 상온보다 높은 고온의 공기가 출구를 통해 건조가 이루어지는 동안 지속적으로 배출되므로 효율적인 측면에서 불리한 반면, 시편 주위의 증발에 의해 높아진 수분농도를 낮출 수 있으므로 표면경도는 가열패널을 이용한 장치보다 높게 측정되는 것을 볼 수 있다. 두 실험장치에서 평균 표면광택도는 유사한 크기를 가지나 온도 및 건조시간의 설정조건에 따른 패턴은 상이함을 보이고 있다.

온도와 건조시간의 일정한 조건(50°C, 30분)이상에서 표면광택도의 변화가 크지 않은 것을 고려할 때, 온도와 건조시간에 따른 건조장치의 최적조건은 에너지소비량과 표면경도에 의하여 결정될 수 있다. Fig. 10은 가열패널과 열풍 건조장치의 온도와 건조시간에 따른 에너지소비량과 표면경도를 각각 나타낸 것이다. 기존의 열풍 건조장치에서 적용하고 있는 온도와 건조시간을 고려하여 본 실험에서 허용 표면경도를 10 HV 이상이라고 가정하면 가열패널을 이용한 건조장치의 경우 최소 에너지소비량은 80°C, 20분에서 약 0.1 kW이며 열풍 건조장치의 에너지소비량은 80°C, 20분에서 약 0.5 kW이다.

이 때, 표면광택도는 두 장치 모두 약 90을 나타낸다. 최소 에너지소비량은 Fig. 10에서 일정한 표면경도를 가지면서 최소의 에너지소비량을 갖는 곡선을 추적하면 된다. 챔버가 상온에서 정상상태의 온도까지 도달하는데 소요되는 에너지를 포함하여 다시 계산하면 가열패널과 열풍 건조장치의 에너지소비량은 각각 약 0.486 kW, 1.485 kW가 되며 열풍의 에너지소비량이 가열패널을 이용한 경우보다 약 3배정도 큰 것을 볼 수 있다. 하지만 도료 내에 포함된 휘발성 액체의 양이 많은 실험에서 분압구배에 의한 기체 확산이 현재보다 상대적으로 중요해져 가열패널을 이용한 건조장치의 건조속도는 본 실험에 비해 느려질 것이다. Fig. 10에서 볼 수 있는 최적조건을 추측하는 온도가 클수록 에너지절약 측면에서 효과적으로 보이나 보수용 자동차 도장의 경우 내장재에 손상이 가지 않아야 하므로 건조의 한계 온도가 존재하는 것을 상기해야 할 것이다.

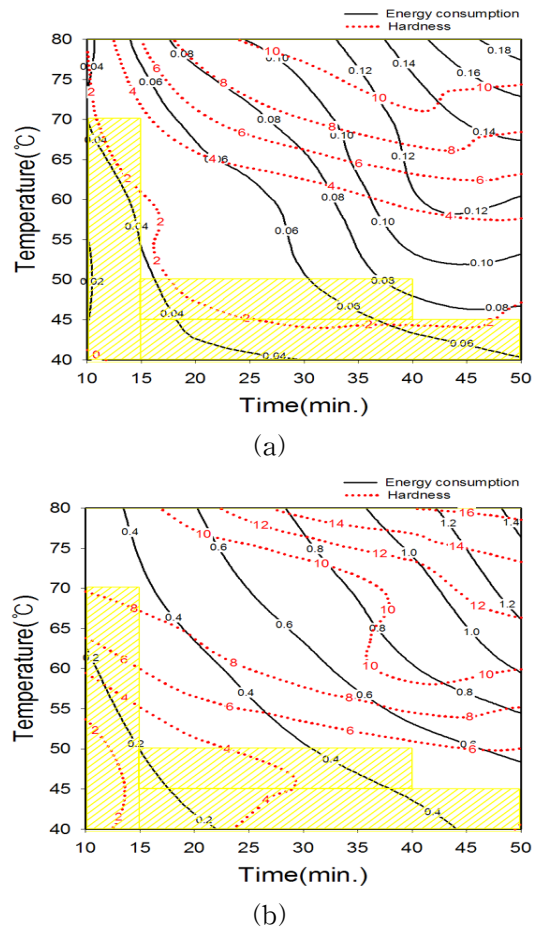


Fig. 10 Energy consumption and surface hardness curves of (a) heating panels, (b) hot air drying.

4. 결 론

본 실험은 기존에 도장 보수용으로 많이 사용되어오고 있는 열풍을 이용한 자동차용 도료 건조특성과 에너지소비량을 가열패널 건조장치와 비교하였다. 열풍 건조장치의 경우 실험조건 전체에 대한 평균 소비전력, 평균 표면강도, 평균 표면광택도가 전반적으로 가열패널을 이용한 건조장치보다 높게 나타났으며 열풍을 이용한 건조장치의 경우 유입된 상온보다 높은 고온의 공기가 출구를 통해 건조가 이루어지는 동안 지속적으로 배출되므로 효율적인 측면에서 불리한 반면, 시편 주위의 증발에 의해 높아진 수분농도를 낮출 수 있으므로 표면경도는 가열패널을 이용한 장치보다 유리하다고 생각된다. 두 실험장치에서 평균 표면광택도는 유사한 크기를 가지나 온도 및 건조시간의 설정조건에 따른 패턴은 상이함을 보이고 있다.

본 실험에서 허용 표면경도를 10 HV로 가정할 경우 정상상태 온도조건 실험에서 열풍 건조장치와 가열패널 건조장치의 에너지소비량은 각각 0.5 kW와 0.1 kW를 가지며 챔버가 상온에서 정상상태의 온도까지 도달하는데 소요되는 에너지를 포함한 측정실험에서 열풍 건조장치와 가열패널 건조장치의 에너지소비량은 각각 1.485 kW와 0.486 kW를 소비하였다. 본 연구는 현재 운영되는 보수용 도장건조장치의 구조를 변경하지 않고 열원만을 열풍에서 가열패널로 변경하였을 경우를 가정하고 수행한 기초 실험이며 열풍 건조장치의 최적화는 연구범위에 포함되지 않았으므로 정량적인 판단기준을 수립하기 위해 추가적인 연구가 필요하다고 사료된다. 또한, 온도조건에 영향을 받는 오렌지 필과 핀홀과 같은 도막결함은 두 실험 모두 발견되지 않으나 도막 품질에 관한 비교는 도료건조의 이용적합성을 판단하기 위해 필요할 것이라 생각된다.

후 기

본 연구는 2009년도 지식경제부의 재원으로 한국 에너지 기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 : 2007-E-EL02-P-04).

참고문헌

1. Korea energy management corporation, 2007, <http://www.kemco.or.kr>.
2. Dhib, R., 2007, Infrared Drying : From Process Modeling to Advanced Process Control, *Drying Technology*, Vol. 25, pp. 97-105.
3. Blanc, D., Laurent, P., Gerard, J. F. and Andrieu, J., 1997, Experimental Infrared Drying Study of a Model Water-Based Epoxy-Amine Painting Coated on Iron Support, *Drying Technology*, Vol. 15, pp. 1787-1799.
4. Dufour, P., Blanc, D., Toure, Y. and Laurent, P., 2004, Infrared Drying Process of an Experimental Water Painting Model Predictive Control, *Drying Technology*, Vol. 22, pp. 269-284.
5. Parrouffe, J. M., Dostie, M., Navari, P., Andrieu, J. and Mujumdar, A. S., 1997, Heat and Mass Transfer Relationship in Combined Infrared and Convective Drying, *Drying Technology*, Vol. 15, pp. 399-425.
6. Chilton, T. H. and Colburn, A. P., 1934, Mass transfer(absorption) Coefficients, *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 26, pp. 1183-1187.
7. Plumb, O. A., Spolek, G. E., and Olmstead, B. A., 1985, Heat and Mass Transfer in Wood during Drying, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 28, pp. 1669-1678.
8. Chen, P. and Pei, D. C. T., 1989, A Mathematical Model of Drying Processes, *Int. J. Heat Mass Transfer*, Vol. 32, pp. 297-310.
9. Whitaker, S., 1977, Simultaneous Heat, Mass and Momentum Transfer in Porous Media. A theory of Drying, *Advances in Heat Trans.*, Academic Press, New York, Vol. 13 pp. 119-203.
10. Ceaglske, N. H. and Hougen, O. A., 1937, Drying Granular Solids, *Ind. Eng. Chem.*, Vol. 29, pp. 805-813.
11. Prat, M., 1993, Percolation Model of Drying Under Isothermal Conditions in Porous Media, *Int. J. Multiphase Flow*, Vol. 19, pp. 691-704.
12. Dieter, G. E., 1988, *Mechanical Metallurgy*, McGraw-Hill Inc., UK, pp. 329-332.
13. Kim, S. I., Park, K. H., Chun, W. P., Hur, D. R. and Park, J. M., 2009, Surface Temperature

Characteristics of Drying Materials by Infrared Heating and Hot Air Heating, The 20th International Symposium on Transport Phenomena.

14. Malshe, V. C. and Waghoo, G., 2004, Weathering study of epoxy paints, Prog. Organic Coatings, Vol. 51, pp. 267-272.