

유도가열 및 근적외선 가열방법에 의한 표면처리 강판 도포층의 가열 및 건조 특성

김태수*, 양재원**

기전자동화연구팀, 포항산업과학연구원*

설비기술연구팀, 포스코건설**

Heating & Drying Characteristics of Coating Layer by Induction Heating and Short-wave Infrared Heating

T. S. Kim* and J. W. Yang**

Facility & Automation Research Team, RIST*

Facility Technology Research Team, POSCO E&C**

Abstract

Drying and curing characteristics of PCM resins using the induction heater and short-wave infrared emitter module was studied to develop a compact oven system for the high speed CCL and post-treatment equipment. Drying of the polyester resins using the induction heater and infrared heater showed that the blistering tendency of polyester resin coating increased regardless of additives and colors of resins as the heating rate and/or dry film thickness increased. The blistering of polyester resin coating layer occurred when the heating speed was over than 25°C/sec for the dry film thickness of 19~20um, which is the typical thickness of finish coating in CCL. So did it when the heating speed was over than 40°C/sec for the dry film thickness over than 10 um. The heating efficiency of paint coated steels by the infrared heating was strongly dependent on the colors of paint coating and generally increased for the dark surface and/or coating. But the faster drying of the PCM resin coatings increased the blistering tendency of coating layer. The blistering limit for the typical finish coating by the infrared heating was estimated as the heating rate slower than 20°C/sec regardless of colors of PCM resins.

Key words : PCM, induction heating, infrared heating, drying, blister

1. 서론

냉연공정의 최종 제품의 하나인 도료 도장강판은 우리가 일상 생활에서 흔히 접하는 가전 및 전자재 용도에 널리 사용되고 있다. 또한, 최근에는 자동차용 표면처리강판의 내식성 및 가공성을 향상시키기 위한 다양한 후처리 제품과 자동차 외판의 제작 공정을 생략하기 위한 PCM (Pre-Coated Metal) 제품의 생산도 점차적으로 증가하는 추세에 있다. 이러한 제품의 생산을 위한 대부분의 설비는 모재에 도료를 도장하는 도포기 (coater)와 도포된 도료를 건조시키고 가교화 반응을 제어하기 위한 오븐 (oven)을 조합한 형식으로 이루어져 있다.

액상의 도료를 강판에 도장하는 설비에 있어서, 일단 도포기에서 도장된 강판은 건조 오븐으로 들어가게 된다. 건조 오븐에서는 건조공기의 조건, 용제의 분압 및 각 영역의 온도를 적절하게 제어하여 최종적으로 적절한 용제분율 이하만이 도막에 잔류하도록 처리하게 된다. 각 건조영역에서 머무르는 시간은 신설 설비의 경우에는 생산성에 맞추어, 기존 설비의 경우에는 허용될 수 있는 최대 생산성을

갖도록 설정한다.

오븐 (oven)의 구성 형식은 가열방법에 따라 열풍가열식 (hot air heating oven), 유도가열식 (induction heating oven) 및 적외선가열식(infrared heating oven)의 3종류로 나뉘어진다. 기존의 대부분의 도장강판 제조설비에서는 열풍가열 방법이 주로 사용되고 있는데, 열풍가열식 오븐은 타 방식에 비하여 열효율 및 건조속도는 낮으나 설비비가 가장 낮고, 가스연료 등을 사용하기 때문에 운전 비도 적다는 장점이 있기 때문이다. 열풍가열식 오븐에서는 도포층이 열풍과의 접촉에 의한 대류 (convection) 열전달에 의해 표층으로부터 이루어지기 때문에 너무 빠르게 건조를 하면 도포층의 발포 (blister)가 발생하는 등의 문제점이 있다.

유도가열 및 적외선 가열방식은 열풍가열식의 이러한 단점을 개선하여 각각 도료의 하부 또는 도료 그 자체의 가열에 의해 발포현상이 없이 빠른 건조 속도를 얻는데 유리한 방식으로 알려져 있다. 본 고에서는 유도가열 및 적외선 가열에 의한 도장강판의 건조 특성을 조사함으로써 단축형 오븐의 설계 방향을 검토하고자 하였다.

2. 실험 방법

2.1 근적외선가열 (short-wave infrared heating) 에 의한 도포층 건조 실험

실험에 사용한 강판은 연속 도장설비의 소재로 주로 사용되는 0.45mm 두께의 용융아연도금강판 (이하 GI)을 준비하였다. 시험에 사용한 도료는 D-사의 제품으로써, 도료의 색상 및 첨가제 등에 따른 근적외선의 흡수 효율의 변화를 조사하기 위하여, 하도 도료 (prime coating) 로써 일반적으로 사용되는 황색의 BNYOD외에 흑색 도료를 별도로 준비하였다. 또한, 상도 도료 (finish coating) 중의 첨가제의 종류에 따른 근적외선 가열 효율의 변화를 조사하기 위하여 RMP 백색 및 흑색 도료외에 적외선 흡수 효율이 우수한 첨가제를 사용한 BIO-WAVE 백색 도료를 추가로 준비하였다. 준비한 도료는 각각의 페인트는 용제분율 40~50%의 도료를 바 코터 (bar coater)를 사용하여 건조 도막기준 5~20um 두께로 도장하여 근적외선 (short-wave infrared) 가열에 의한 건조 특성을 조사하였다. 근적외선 가열에 의한 시편의 PMT (peak metal temperature)는 시편의 한쪽면에 약 9°C의 간격으로 색깔이 비가역적으로 변화하는 thermo-label을 부착하여 변색된 최고 온도로써 계측하였다.

시험에 사용한 도료의 PMT (peak metal temperature)는 열풍가열식 오븐에서의 건조 조건을 기준으로 할 때, 하도 도료는 210°C, 상도 도료는 220~230°C 범위의 제품이었다.

본 실험에 사용한 근적외선 가열 장치는 독일 R-사의 할로겐 램프를 사용한 정격용량 36kW의 근적외선 모듈로써, 근적외선 모듈에 대한 전원공급은 할로겐 램프단의 출력을 최고 300V까지 인가할 수 있는 사이리스터 (thyristor) 소자를 사용한 위상제어형 (phase control) AC 전원 공급장치를 제작하여 사용하였다.

2.2 유도가열 (induction heating)에 의한 도포층 건조 실험

유도가열에 의한 도포층의 건조실험을 위한 소재는 근적외선 가열의 같이 0.45mm 두께의 GI 강판을 사용하였다. 시험에 사용한 도료는 유도가열의 경우와 같이 D-사의 제품으로써, 5um 두께의 황색 하도 처리한 다음 준비한 상도 도료를 근적외선 가열 건조실험에서와 동일한 방법으로 바 코터 (bar coater)를 이용하여 건조 도막 기준으로 8~20um 다시 도포하여 시편을 준비하였다.

유도가열장치의 유도 코일 (inductor coil)내에 수직으로 고정하고, 일반적인 유도가열 오븐에서와 같이 3단계의 가열 단계를 갖도록, 1.0kW의 출력으로 1초간 예열후 1.0~2.0kW의 출력으로 PMT(peak metal temperature)에 따라 시간을 달리하여 가열한 다음 0.5kW 출력으로 1초간 curing 하는 방법으로 제어함으로써 도료의 종류, 두께 및 가열속도에 따른 건조 특성을 비교 조사하였다.

실험에 사용한 유도가열장치는 출력 주파수를 50~100kHz의 범위로 제어가 가능한 고주파 유도 전원공급기와 11x15cm²의 시편을 가열하기 위한 single turn 방식의 유도코일로 구성된 것이었다.

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 근적외선 가열에 의한 도포층의 건조

Fig.1은 건조도막기준으로 10um의 하도 처리후 19~20um의 상도를 실시한 여러 종류의 도료의 건조 실험결과 얻어진PMT를 도시한 것이다. 소재로써는 0.45mm GI재를 사용하였으며, 석영유리 보호판을 사용하여 80mm 거리에서 시편을 정해진 횟수만큼 왕복 운동시켜 근적외선 모듈에 의한 건조조건을 제어하였다. 측정된 PMT은 앞서의 실험과 마찬가지로 시료의 이면에 thermo-label을 부착하여 측정한 값이다. Fig.1에서 시료에 대한 근적외선 조사시간은 왕복횟수에 비례하므로 동일한 PMT 조건에서는 가열효율은 왕복횟수에 반비례한다고 판단할 수 있다.

Fig.1에서 확인할 수 있는 바와 같이 여러가지 PCM 도료의 근적외선에 의한 가열효율은 주로 도료의 색상에 큰 영향을 받는다. 즉, 도료의 종류에 관계없이 채도가 높고 명도가 낮을수록 동일한 근적외선 조사조건에서 높은 PMT를 나타낸다. 이에 비하여 백색도료의 경우에는 동일한 PMT를 얻기 위한 왕복시간이 최대 4배 정도 더 필요함을 보여주고 있다.

이러한 결과는 직접적인 복사 가열방법인 적외선 가열에서는 도료의 색상에 따라 가열 효율이 달라진다는 기존의 보고(1,2)들과 같지만, 복사광의 중심 파장이 1.0um 정도인 근적외선의 경우에는 도료의 건조 효율이 채도가 높고 명도가 낮을수록 건조속도 측면에서 보다 유리하다는 것을 알 수 있다.

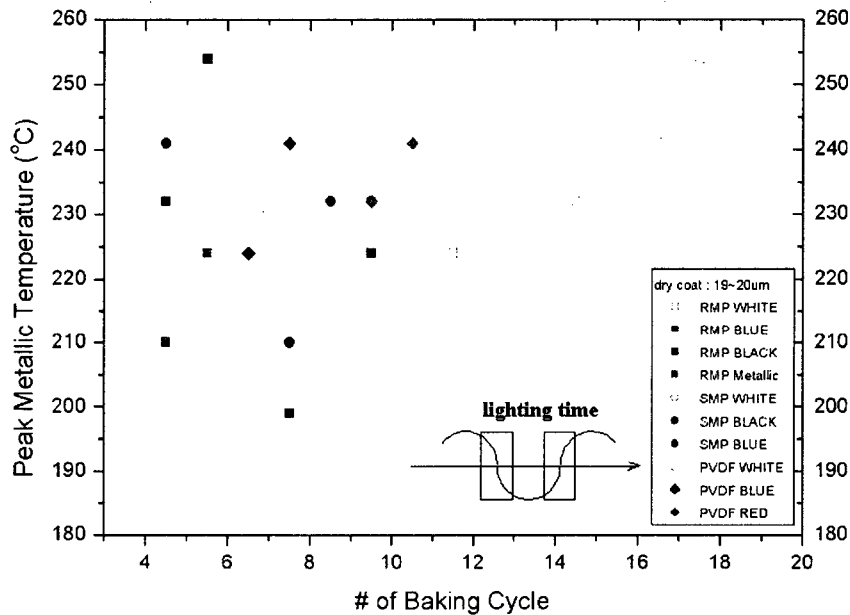


Fig.1 PMT of various PCM paint coated 0.45mm thick GI by the short-wave infrared heating

Fig.2는 상도 도료의 첨가제에 따른 가열효율의 변화를 조사하기 위하여, 0.45mm의 GI재위에 일반적인 황색계통의 도료를 5um의 두께로 하도 처리 (prime coating)한 다음, 상도 도료를 기존의 폴리에스테계의 RMP 도료 2종 및 RMP 도료에 첨가제를 달리한 Bio-wave (백색), Modified P/E (백색) 등 4종류로 달리하여 모듈~시료간의 거리를 100mm (램프로 부터는 125mm) 조건에서 약 450kW/m²의 조사강도로 중심파장 1.0um의 근적외선을 조사시켜 건조 실험한 결과를 정리하여 도시한 것이다.

Fig.1의 경우와 같이 백색계통의 도료는 흑색 계통에 비하여 건조시간이 2배 이상으로 유사한 경향을 나타낸다. 그러나, 동일한 백색의 도료에 있어서는 첨가제를 달리한 백색의 RMP, Bio-wave, Modified P/E 도료중에서는 Bio-wave 도료의 가열효율이 가장 높게 나타남을 알 수 있다. Bio-wave 도료는 첨가제로써 적외선 흡수율이 높은 세라믹 충전체를 사용한 것으로써, 동일한 백색의 RMP 도료의 비하여 건조에 필요한 가열 시간을 약 30% 단축시키는 효과가 있음을 알

수 있다.

이러한 결과는 근적외선 가열에 의한 도료의 건조 효율을 높이기 위해서는 상도 도료의 첨가제를 적외선 흡수효율이 우수한 물질로 사용함으로써 도료 색상에 따른 가열효율의 차이를 줄일 수 있다는 것을 의미한다.

Fig.3은 각각 색상을 달리한 2종류의 하도 도료의 건조실험 결과를 적외선 흡수율이 가장 우수한 흑색 RMP 상도 도료의 실험결과와 같이 비교하여 도시한 것이다. 먼저, 흑색의 하도 도료를 사용한 경우 GI 강판의 승온 속도는 황색 하도 도료의 경우에 비하여 크게 증가함을 확인할 수 있다. 즉, PMT 200°C에 도달하는 건조시간은 흑색의 하도 도료를 사용한 경우 황색의 하도 도료에 비하여 2배 이상 빨라지게 된다.

유사한 흑색 색상의 도료를 도포한 경우에는 건조 도막 두께 20um의 RMP 흑색 도료를 도포한 경우 5um의 흑색 하도 도료만을 도포한 경우에 비하여 강판의 승온 속도가 약간 느리게 나타난다. 이러한 차이는 도막의 두께가 증가함에 따라 도막중 용제의 양이 비례하여 증가함으로써 건조과정에서 필요한 열량이 증가하기 때문으로 판단할 수 있다.

한편, 건조시킨 시편의 외관을 비교하여 보면, 도막의 두께가 5um 정도로 얇은 경우에는 40-50°C/sec의 빠른 속도로 승온시키더라도 발포 현상은 나타나지 않는다는 것을 알 수 있다. 이에 비하여 도막의 두께가 20um인 경우에는 40-50°C/sec의 조건으로 빠르게 건조 시키는 경우 뚜렷한 발포 현상을 관찰할 수 있다.

이러한 결과는 근적외선 가열의 경우 수초이내에 건조-가교화 반응을 완료시킬 가능성을 제시한 기존의 보고(3)와 배치되는 것으로서, 후술할 유도가열 건조실험결과와 더불어 다시 고찰하고자 한다.

Fig.4는 하도 도료로써 Fig.3의 흑색 도료를 사용하고, 상도 도료로써 건조도막두께 20um의 백색 및 흑색 도료를 도포하여 근적외선 가열의 의한 건조 특성을 조사한 결과를 도시한 것이다. Fig.2의 황색 하도처리를 한 경우에 비하여 색상에 따른 건조 속도의 차이는 크게 감소함을 알 수 있다. 즉, 황색도료를 사용한 경우 백색 도료를 도포한 강판의 PMT가 210°C에 도달하는 시간이 6.5-8.5초임에 비하여 흑색 하도처리를 한 경우에는 약 4.5초 정도로 크게 감소하게 된다. 이에 따라 백색과 흑색 상도 도료의 건조 속도 차이를 약 60% 이내로 줄일 수 있다. 그러나, 건조속도가 20°C/sec 이상으로 빨라지게되면 발포 현상이 발생되어 양호한 도막 품질은 얻어지지 않음을 알 수 있다.

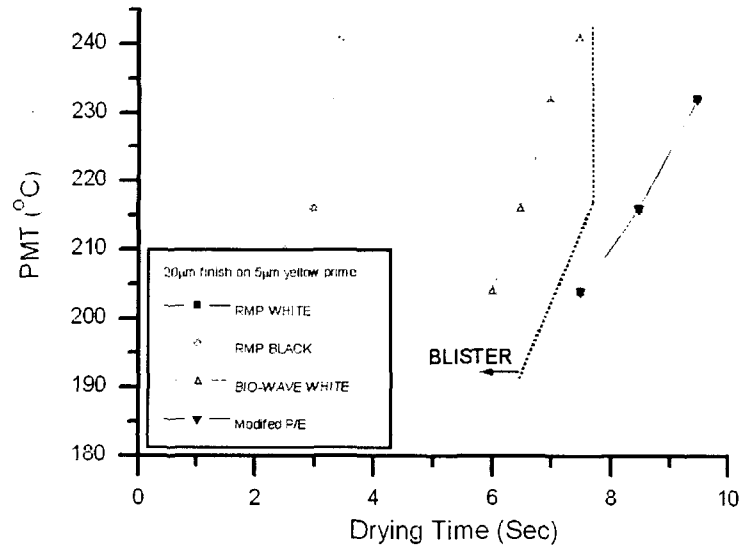


Fig.2 PMT of various PCM paint finish coated 0.45mm thick GI.

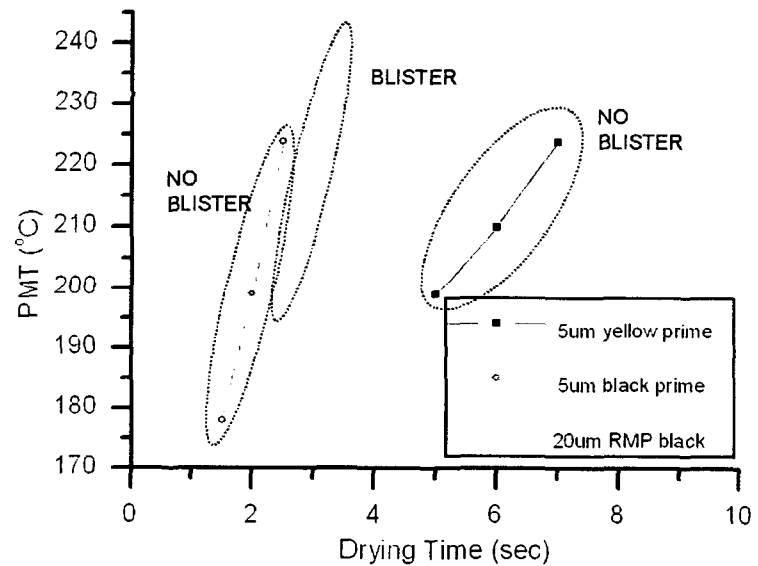


Fig.3 PMT of various PCM paint prime or finish coated 0.45mm thick GI.

3.2 유도가열에 의한 도포층의 건조 특성

Fig.5는 0.45mm 용융도금강판(이하 GI) 강판위에 5 μ m의 하도(prime coating) 처리한 다음, 상도(finish coating)로써 폴리에스터(Polyester) 계통의 RMP 백색 도료를 건조도막 기준으로 19~20 μ m 도포하여 각기 다른 유도가열패턴으로 건조시킨 시편의 외관을 정리하여 도시한 것이다. 2단계의 가열을 1.0kW로 5.5~6.0초 인가하여 PMT를 216°C와 232°C로 다르게 한 경우 표면외관은 거의 차이가 없으며 국부적으로 미세한 발포현상을 관찰할 수 있다. 동일한 시료를 2단계 가열시 2.0kW로 출력을 높여 3.5초 인가하여 PMT를 232°C로 제어한 경우에는 발포현상이 보다 뚜렷하게 관찰된다.

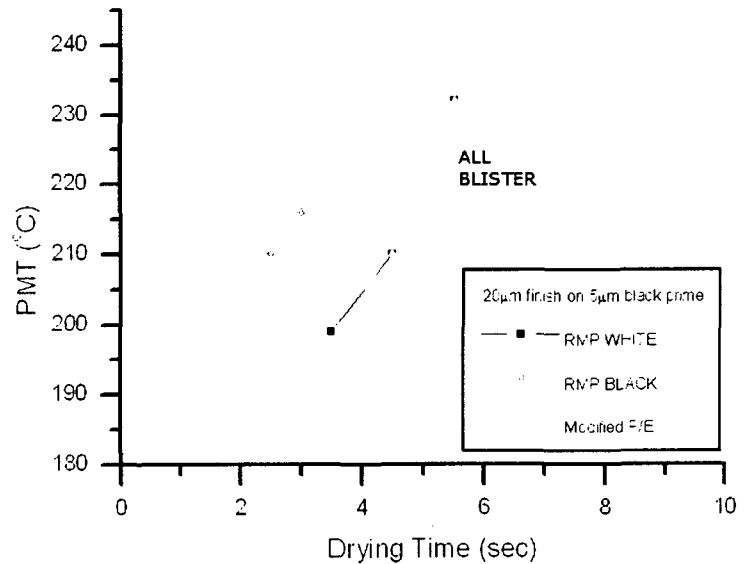


Fig.4 PMT of various PCM paint finish coated 0.45mm GI after black prime coating

도료	RMP TOP WHITE		
소재	0.45mm GI		
가열	1.0kW, 1.0sec		
	1.0kW, 5.5sec + 0.5kW, 1.0sec	1.0kW, 6.0sec + 0.5kW, 1.0sec	2.0kW, 3.5sec + 0.5kW, 1.0sec
PMT	216°C	232°C	232°C
도막	19~20 μ m	19~20 μ m	19~20 μ m
외관			
평가	미세 발포	미세 발포	발포

Fig.5 Drying experiment results of RMP white using various heating pattern

Fig.6은 0.45mm GI 강판위에 5 μ m의 하도(prime coating) 처리한 다음, 상도(finish coating)로써 RMP 흑색 도료를 건조도막 기준으로 19~20 μ m 도포하여 각기 다른 유도가열패턴으로 건조시킨 시편의 외관을 정리하여 도시한 것이다. RMP 백색도료의 경우와 마찬가지로 2단계의 가열을 1.0kW로 6초간 실시한 경우에도 부분적인 발포 현상이 관찰되며, 2단계 가열을 2.0kW로 보다 높은 경우에는 심한 발포현상이 나타남을 확인할 수 있다.

Fig.5,6의 유도가열 실험 결과는, 일반적으로 연속도장라인에서 적용되는 평균 도막두께 20 μ m 조건에서, 유도가열에 의한 건조속도를 약 25°C/sec 이상으로 빠르게 하는 경우에는 주로 사용되는 RPM 도료는 모두 발포 현상을 나타낸다는 것을 보여주고 있다. 이러한 결과로부터, 일반적으로 유도가열이 고출력이 가능하고 도막의 하층부터 건조되는 이상적인 특성을 가짐에도 불구하고

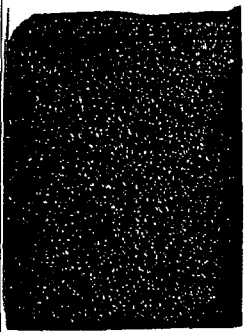
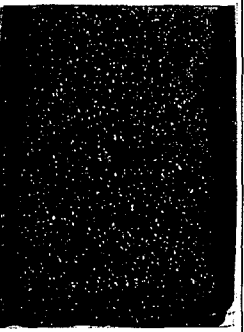

도료	RMP TOP BLACK		
소재	0.45mm GI		
가열	1.0kW, 1.0sec		
	2.0kW, 4.0sec	2.0kW, 3.5sec + 0.5kW, 1.0sec	1.0kW, 6.0sec + 0.5kW, 1.0sec
PMT	232°C		
도막	19~20 μm	19~20 μm	19~20 μm
외관			
평가	발포	발포	발포

Fig.6 Drying experiment results of RMP black using various heating pattern

고, 도포층의 건조시 도막내의 용제 확산속도의 한계로 인하여 대부분의 도막두께가 20um 이상인 연속도장설비에서의 적용성에는 한계가 있다고 판단할 수 있다.

Fig.7,8은 유도가열에 의한 도막의 발포 한계를 조사하기 위하여 0.45mm GI 강판위에 도포한 RMP 흑색 도료의 건조도막 기준 두께를 비교기준인 19-20um에 비해 5, 10, 17um로 다소 낮춘 경우의 시료에 대하여 유도가열 건조후의 표면외관을 비교하여 나타낸 것이다. 먼저, Fig.5,7의 실험결과를 비교하여 보면, 25°C/sec의 가열속도에서는 도막의 두께가 17um 이하가 되면 발포현상이 없이 도막의 건조가 이루어질 수 있음을 확인할 수 있다. 그러나, Fig.8에 나타낸 바와 같이, 도막의 승온속도가 40°C/sec 정도가 되면, 도막의 두께 10um 이하에서만 발포현상이 나타나지 않음을 알 수 있다.

이러한 결과는 일반적으로 알려져 있는 바와 같이 도막의 승온속도가 빠를수록 도막의 발포 임계온도보다 도막의 온도가 높아짐으로써 발포현상이 발생하기 쉽다는 기존의 연구결과와 같은 경향을 보이지만, 연속도장설비에서 실제로 사용되는 도료에 있어서의 한계를 구체화시켰다는 점에서 의미가 있다. 즉, 연속도장설비에서 주로 사용되는 RMP 도료는 승온속도 40°C/sec에서는 10um, 25°C/sec에서는 17um 정도의 도막 두께가 발포 현상을 나타내지 않고 건조시킬 수 있는 한계라는 것이다.

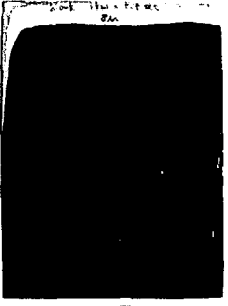

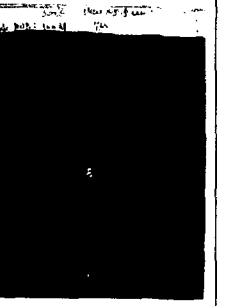
도료	RMP TOP BLACK		
소재	0.45mm GI		
가열	1.0kW, 1.0sec		
	1.0kW, 5.5sec + 0.5kW, 0.5sec		
PMT	216°C		
도막	8 μm	10 μm	17 μm
외관			
평가	양호	양호	양호

Fig.7 Effect of dry coating thickness of RMP black on the blistering with the heating rate of 25°C/sec

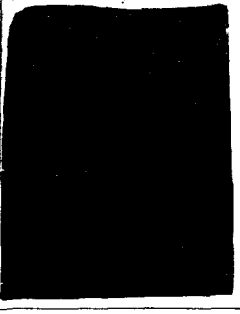
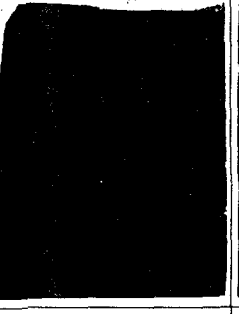

도료	RMP TOP BLACK		
소재	0.45mm GI		
가열	1.0kW, 1.0sec		
	2.0kW, 3.5sec + 0.5kW, 0.5sec		
PMT	232°C		
도막	8 μm	10 μm	17 μm
외관			
평가	양호	양호	미세발포

Fig.8 Effect of dry coating thickness of RMP black on the blistering with the heating rate of 25°C/sec

3.3. 단축형 오븐의 구성방법에 대한 고찰

일반적으로 유도가열 및 근적외선가열은 기존의 열풍가열식과 달리 도막의 건조를 하부로부터 이루어지게 함으로써 발포현상 (blistering)을 근본적으로 억제하여 보다 빠르게 건조 및 가교화 반응을 완료시킬 수 있는 수단으로 알려져 있다. 이러한 이유는 도료의 건조과정에 대한 물리적인 고찰에 근거하고 있다(4).

Fig.9는 오븐에서의 도료의 건조거동을 3가지의 영역으로 구분하여 나타낸 것으로서, 통상 이러한 단계를 승온 (warm-up), 일정속도 건조 (constant rate drying), 저속 건조 (falling rate drying)로 부르고 있다(4). 승온 영역은 도막이 오븐에 진입하여 도막에 공급된 외부 에너지가 용제가 증발하는데 필요한 에너지보다 커질 때까지이다. 이영역의 지속시간은 도막과 소지 금속의 비열, 도막에 충돌하는 열풍의 속도 (유도가열 및 적외선 가열등에서는 공급 에너지) 및 오븐의 온도에 따라 달라진다.

도막 및 소지금속에 공급되는 에너지의 비율이 용제의 증발열에 의한 냉각속도와 같아지면 도막의 온도와 용제의 증발속도는 일정하다. 이 구간을 일정속도 건조 영역이라고 부른다. 그러나, 고분자수지 도막의 건조에 있어서는 용제의 확산속도가 도막중 용제의 분율에 따라 크게 변화하므로 건조속도가 실제에 있어서는 지속적으로 감소하는 영역이라고 할 수 있다.

저속 건조 영역은 도막중 용제의 분율이 낮아짐으로써 도막중 용제의 확산속도에 의해서 건조속도가 지배를 받는 영역이다. 도막중 용제의 확산속도에 의해 건조속도가 지배를 받는 영역에서는 도막 표면에서의 용제농도는 오븐의 용제 농도와 거의 같아지게 되어 증발속도가 크게 감소하며 강판의 온도도 오븐의 분위기 온도와 같아지게 된다. 저속 건조영역에서의 급격한 도막온도 상승은 도막중 용제의 비등에 의한 발포 현상의 직접적인 원인이 된다.

이와 같은 3단계의 건조공정은 근적외선가열 또는 유도가열 방식의 오븐에 있어서는 보다 단축적인 형태로 나타난다. 즉, 일반적인 열풍가열식 오븐에서는 건조속도를 빠르게 하기 위하여 열풍의 온도 또는 속도를 높이면 도막층의 변색 또는 얼룩이 발생하기 때문에 승온속도에 제한이 따르지만, 근적외선 또는 유도가열의 경우에는 이러한 제한이 없어 단위 면적당의 입열량을 500kW/m² 이상으로 크게 증가시킴으로써 도막으로의 에너지 공급이 빠르게 이루어지기 때문에 1,2 단계를 거치는 시간은 매우 짧아지게 된다.

이러한 건조 공정에 있어서 발포 임계온도 (minimum bubble point temperature)는 도막의 품질을 저해하는 가장 큰 요소인 발포현상을 이해하는데 중요한 개념이다. 발포 임계온도는 용제의

분압이 대기압과 같아지는 온도로 정의되는데, 도막의 온도가 발포 임계온도보다 높아지면 도막의 발포가 발생한다고 이해될 수 있다. 이에 따라 최적화된 건조조건은 가능한 도막의 온도를 발포 임계온도를 초과하지 않는 한도에서 가장 높게 유지하는 것이라고 할 수 있다.

건조모델을 사용한 이론적인 연구결과에 따르면, 적외선 등을 이용하여

도막을 직접적으로 가열하는 것은 건조공정의 초기에 특히 유익한 것으로 보고되어 있다(4). 즉, 건조 초기에 도막을 직접적으로 가열하는 것은 도막층으로부터 휘발되는 용제의 기화열에 의한 냉각효과를 완화시킴으로써 건조속도를 촉진시킨다고 주장되고 있다. 또한, 이러한 효과는 도막층의 열확산속도가 빠른 건조로의 후단에서 도막층에 충돌하는 열풍의 온도를 높임으로서도 얻어질 수 있는 것으로 보고되고 있다.

3-1, 3-2의 실험결과는 이러한 기존의 연구결과에서 제시한 단축형 오븐의 설계 한계를 시사하는 것으로서, 용제를 사용하는 기존 방식의 오븐에 있어서는 10 μ m 두께의 하도 처리는 40°C/sec, 20 μ m 두께의 상도 처리는 25°C/sec 정도가 유도가열 또는 근적외선 가열에 의한 단축형 오븐의 구성 한계라는 것을 의미한다. 이러한 실험결과를 기존의 연구결과에 더하여 상업적인 측면에서 고찰하여 보면, 건조로의 초단에는 유도가열 또는 근적외선 가열을 사용하여 도막층을 직접적으로 건조시킴으로써 25~40°C/sec의 건조속도를 구현하고 건조로의 후단에서는 고온의 열풍을 고속으로 분사시켜 도막층의 열확산속도를 증진시키는 방식으로 단축적인 오븐을 구성하는 것이 설비비 및 운용비 측면에서 가장 적합한 방식이라고 판단할 수 있다.

4. 결론

가. 근적외선 가열 또는 유도가열에서의 도막 발포 경향은 건조도막의 두께가 두꺼울수록 도막 승온속도가 빠를수록 발생하기 쉽다. 일반 PCM 도료의 경우 양호한 표면외관을 얻을 수 있는 조건은 도막두께 10 μ m 이하, 도막의 승온속도 40°C/sec 정도이며, 도막의 두께가 20 μ m 이상인 경우에는 도막의 승온속도가 25°C/sec 이하가 되어야 할 것으로 추정된다.

나. 근적외선에 의한 PCM 도료의 가열효율은 명도가 낮고 채도가 높을수록 증가하는 경향을 나타내었으며, 흑색 도료와 백색도료는 대략 2배 정도의 근적외선 흡수율 차이를 보이는 것으로 분석되었다. 이러한 PCM 도료의 가열효율 차이는 일반의 황색 하도 도료보다 흑색 하도 도료를 처리하는 경우 50% 이상 향상시킬 수 있으며, 첨가제로써 적외선 흡수율이 높은 세라믹 충전체를 첨가한 경우에도 20% 정도의 향상이 가능하다.

다. 일반 열풍식 가열방식의 오븐에서와 같이, 근적외선 가열 또는 유도가열오븐에서도 도포층 건조는 도막내의 용제확산속도가 율속반응으로 작용하기 때문으로써 도막 두께가 두꺼울수록 유도가열에 의한 도막 건조속도의 단축에는 한계가 있다. 이에 따라 근적외선 또는 유도가열오븐은 도막의 두께가 얇고 조업속도가 빠른 후처리설비 등에 보다 적합한 가열방식이며, 단축형 오븐의 구성시에는 주로 용제의 빠른 확산을 기대할 수 있는 가열대 초단에 구성하는 것이 적합하다고 판단된다.

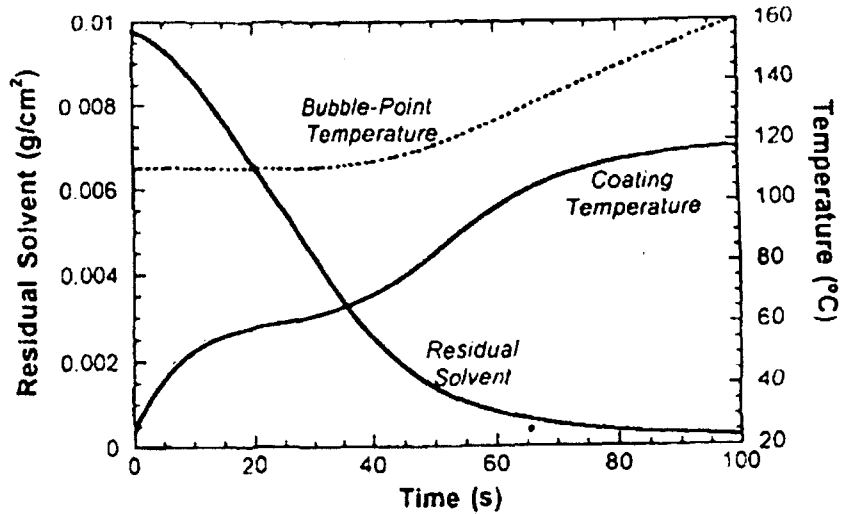


Fig.9 General drying characteristics of PCM coating on metal sheet.

참고문헌

1. A.C.Metaxas, Foundation of Electroheat, John Wiley & Sons, NY, USA pp.256-259 (1996)
2. Bopp, IR basics & technology, Heraeus Noblelight (2002)
3. Gauss, NIR-CoilCure Production Facility, 4th Int. NIR-Symposium, Bruckmuhl, Sep. (2002)