

# 중방식 도료로서의 분체도료

조광페인트 기술연구소

분체도료실

부장 박 재 홍



# 중방식 도료로서의 분체도료

부 장 박 재 홍

조광페인트 기술 연구소 분체도료실

## 1. 서 론

분체도료는 용매를 함유치 않는 100% 고형분의 분말상 도료로서 조성은 합성수지, 유색안료, 충전제, 첨가제로 구성되어 있다.

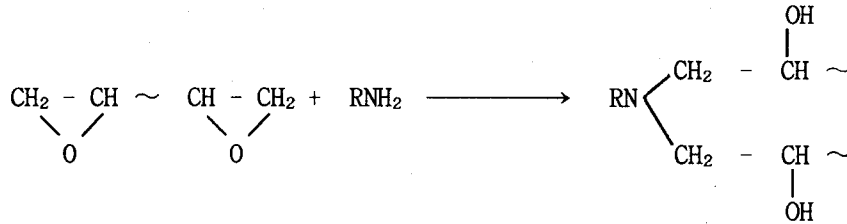
도장 방법은 일반적으로 정전도장에 의해 도료 사용 효율이 95%에 이르러 경제성면에서 우수하고 표면 처리된 소지위에 1회에 두꺼운 도막을 얻을 수 있을뿐 아니라 도막 성능이 공업용 액체도료에 비해 우수하며 도료 사용중 휘발 성분이 거의 없으므로 공해 문제, 화재 위험 면에서도 유리하여 사용 추세가 증가되고 있으며, 사용 용도는 가전제품, 철제가구, 농기구, 자동차 부품, 전기 기기, 건축 자재, 주방 기기등 일반 산업 분야의 용도와 전기절연 기기, 유리, PIPE, 철근등 기능성을 요하는 산업 분야에 사용되는등 그 사용 범위가 날로 확대되어가고 있다.

한국에서는 1975년에 처음 사용하기 시작하여 매년 그 소모량이 급격히 신장되어 1994년에는 소모량이 약 17,000TON 규모에 이르고 있으며 1995년도에는 소모량이 약 30% 신장된 22,000TON 규모에 이를 것으로 예상된다.

## 2. 분체도료의 종류별 특성

### 1) EPOXY계 분체도료

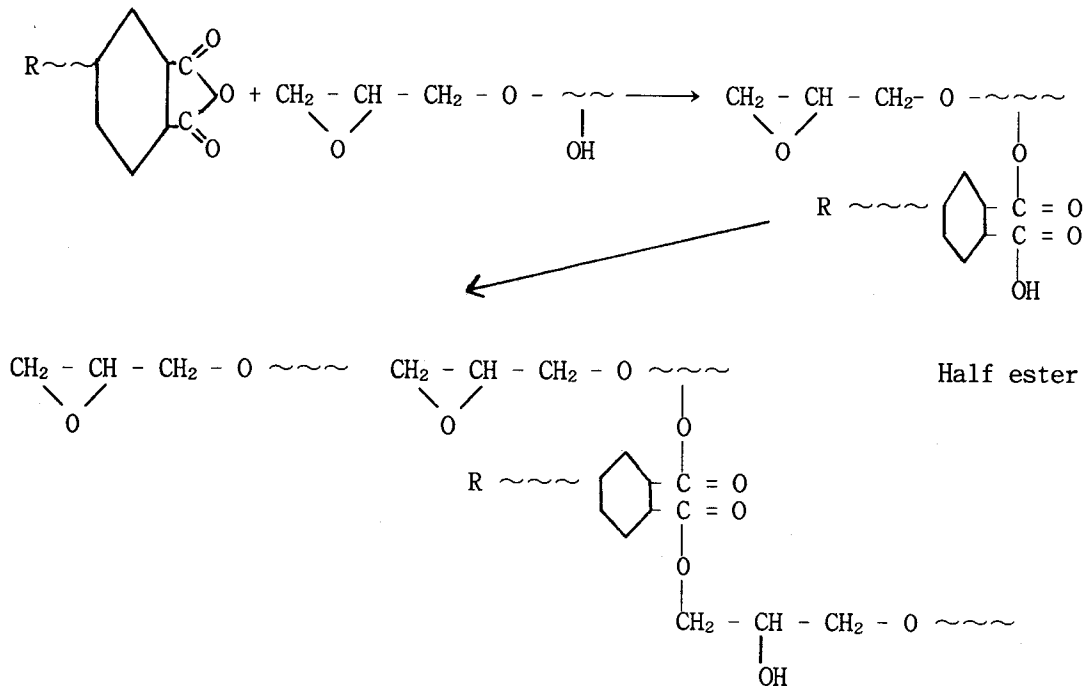
#### ① Amine과의 반응



#### ② Phenol과의 반응



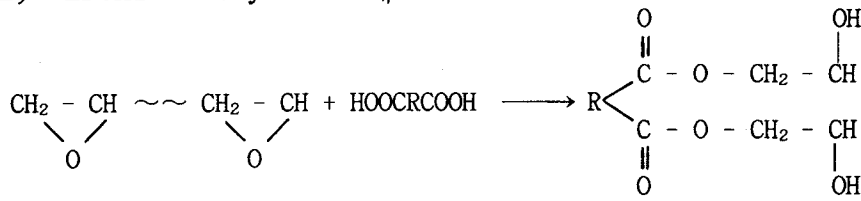
#### ③ 산 무수물과의 반응



#### \* 특 성

- 기계적 물성 우수
- 내약품성 우수
- 내식성 우수
- 전기 절연성 우수
- U.V에 Chalking, 황변
- 고온에서 황변

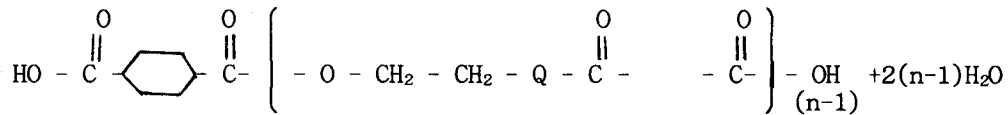
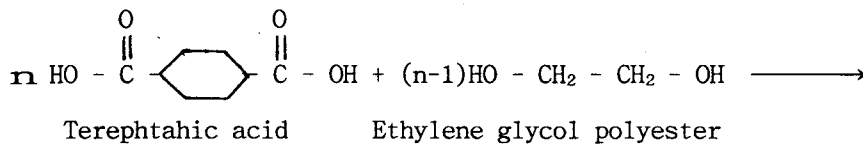
2) EPOXY - Polyester 계



\* 특 성

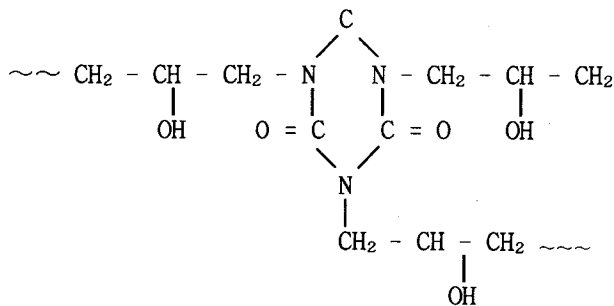
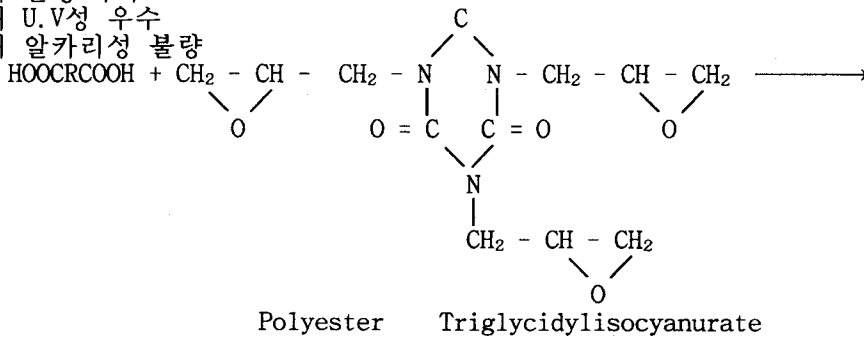
- 기계적 물성 우수
- 내 약품성 양호
- 내 식성 양호
- U.V에 Chalking, 황변

3) Polyester-TGIC 계

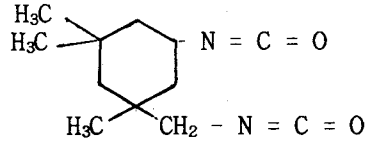
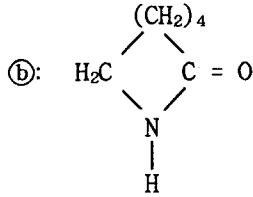
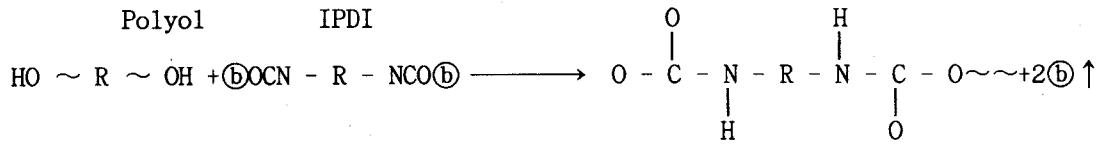


\* 특 성

- 기계적 물성 우수
- 내 산성 우수
- 내 U.V성 우수
- 내 알칼리성 불량



#### 4) Polyurethane계 분체도료



Caprolactam

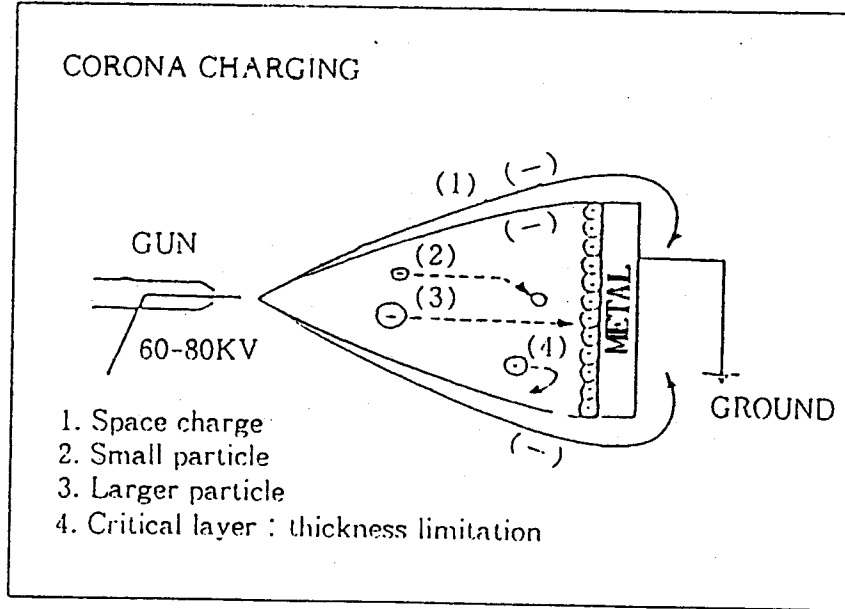
Isophorone Diisocyanate

\* 특 성

- 기계적 물성 양호
- 내약품성 양호
- 내식성 양호
- 내 U.V성 양호
- 고온에서 황변

### 3. 도장 방법의 원리와 응용 기술

현재 사용되고 있는 도장 방법에는 정전 도장법, 유동 침적법, 정전 유동 침적법 등이며 일반적으로 가장 널리 사용되고 있는 것이 정전 도장법이다.

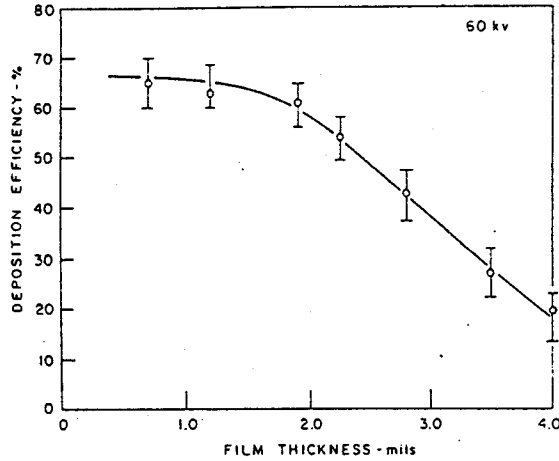


그림과 같이 정전 도장 Gun 끝에 있는 전극에서 고전압이 걸리면 공기중에 전자의 이동 속도가 증가하여 큰 에너지를 얻어 분자에 충돌하면 이온화가 되고 이온화되면 전류는 급격히 증가하여 Corona 방전에 의한 절연 파괴가 일어난다. 공기는 절연 파괴 강도인 3KV/mm를 넘게되면 도체로 변하게 된다.

이로 인해 Gun과 반대 전하를 띤 피도체 사이에 전기장이 형성되고 압축공기와 정전기력에 의해서 분체도료가 피도체에 도착되는 방식이며 피도체에 도착되는 분체도료의 도막 두께가 두꺼워지면 피도체가 절연체가 되어지면서 도착된 도료와 SPRAY되고 있는 도료와의 사이에 정전 반발이 일어나 OVER SPRAY 된 도료는 자동적으로 SPRAY BOOTH에 떨어지게 된다.

이러한 현상을 "Self - limiting"라고 하며 어느 정도 도막두께가 두꺼워지고 나면 그 이상 분체도료가 도착이 되지 않는 것을 말한다. 도료의 도착 효율은 입자의 크기, Charging voltage, 도막두께, 도장거리등에 의해서 영향을 받고 있으므로 이 변수들에 대해서 살펴 보기로 한다.

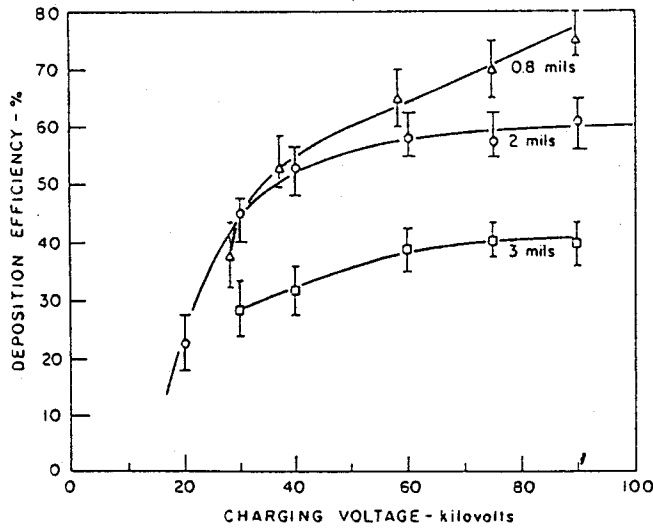
① 도막 두께에 따른 도착 효율의 변화



-Plot of deposition efficiency vs. film thickness at charging voltage of 60 kv

상기 그림에서 Charging voltage를 60KV로 고정해 두었을때 도막 두께가 증가 할수록 피도체에 도착되는 도착 효율이 감소하는 것을 알수 있다.

② Charging voltage에 따른 도착 효율의 변화

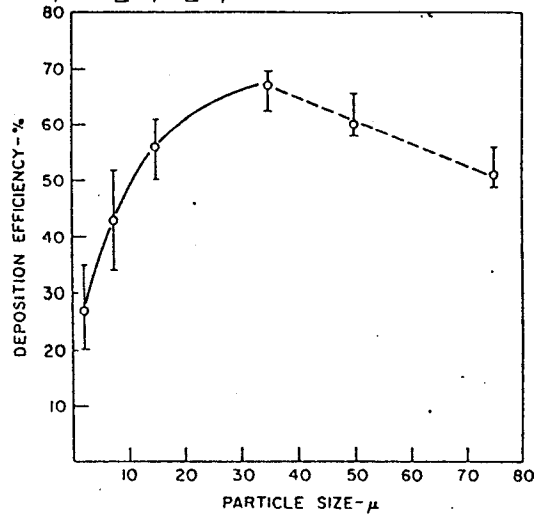


-Plots of deposition efficiency vs. charging voltage at film thickness of 0.8, 2, and 3 mils

상기 그림에서는 Charging voltage가 증가할수록 도착 효율이 증가 하고 도막두께의 차이 즉 0.8mil과 3mil를 비교해 볼때 Charging voltage가 증가할수록 도착 효율의 차이가 커지는 것을 알수 있다.



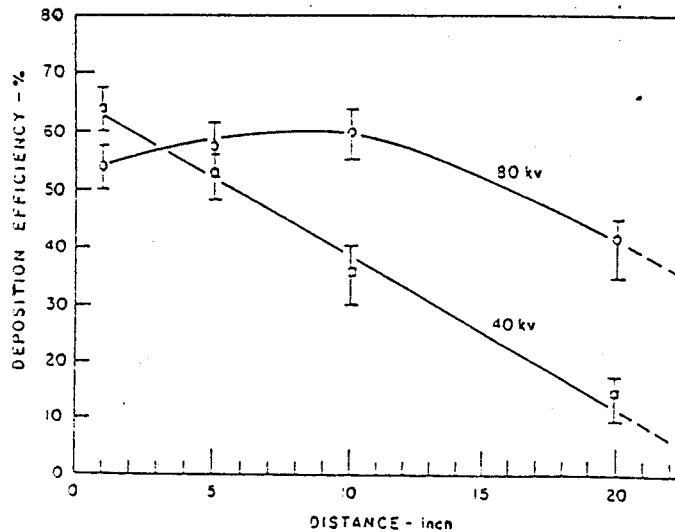
③ 입자 크기에 따른 도착 효율의 변화



-Effect of number average particle size on deposition efficiency

상기 그림과 같이 평균 입자 크기가 증가할 수록 도착 효율이 증가하며 약 40 μm 주위에서 최대의 도착 효율을 보이다가 입자 크기가 더욱 크질수록 영향으로 도착 효율이 감소하는것을 볼수가 있다. 이것은 미립자는 공기에 의한 영향에 민감하여 유실되기 쉽고 큰 입자는 중력에 의한 영향으로 Fluidizing이나 이송이 어렵다.

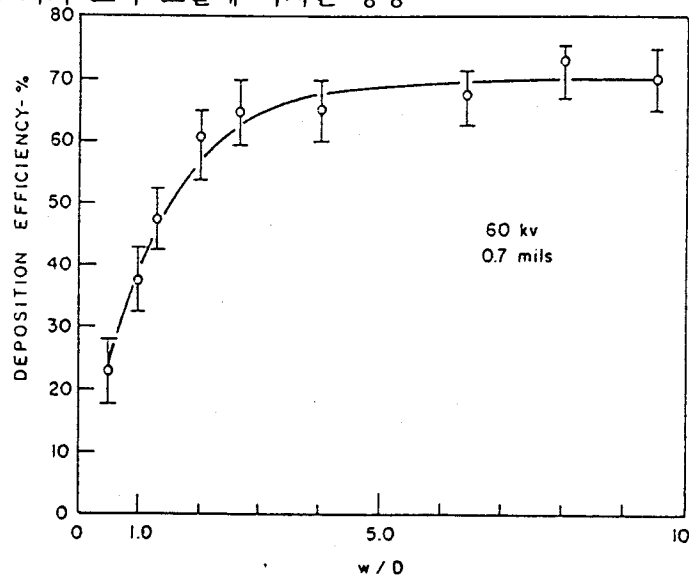
④ 도장 거리에 따른 도착 효율의 변화



-Plots of deposition efficiency vs. spraying distance at charging voltage of 40 and 80 kv

상기 그림에서 Charging voltage가 40KV인 경우는 도장거리가 멀어질수록 도착 효율이 현저하게 떨어지고 80KV인 경우는 도장거리가 5inch에서 10inch 사이에 최적의 도착 효율을 보이다가 도장거리가 증가 할 수록 도착 효율이 서서히 감소하는것을 볼수 있다.

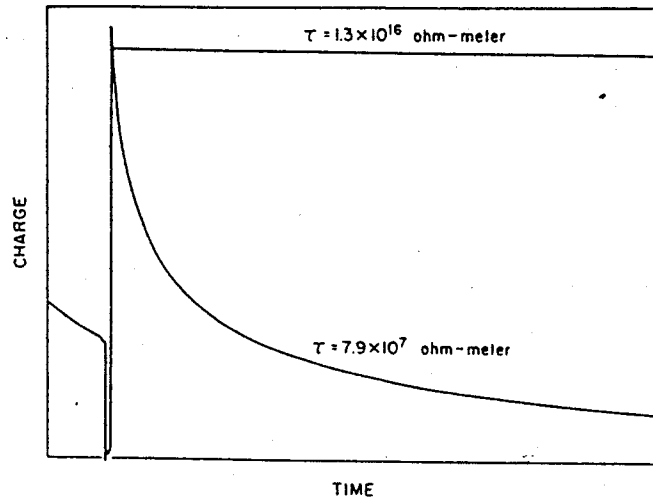
⑤ 피도체의 크기가 도착 효율에 미치는 영향



—Plot of deposition efficiency vs. W/D. W — substrate width; D — spray diameter

상기 그림에서 Charging voltage와 도막 두께를 고정해 두었을 때 피도체의 크기와 SPRAY diameter와의 비가 3배가 되었을 때 도착 효율이 최대가 됨을 알 수 있다.

⑥ 분체 도료의 표면 저항이 도착 효율에 미치는 영향



—Charge decay curves of two acrylic powders with surface resistivity,  $\tau$ , of  $7.9 \times 10^7$  and  $1.3 \times 10^{16}$  ohm-meter

상기 그림에서 표면 저항이  $7.9 \times 10^7$ 으로 아주 낮을 때는 시간에 따라서 Charge decay가 급속히 일어나는 것을 볼 수 있으며 일반적으로 표면 저항이  $10^8$  ohm.meter 이하인 경우는 도착 효율이 급속히 떨어지기 때문에 사용할 수가 없으며 표면저항이  $10^{12}$ - $10^{14}$ ohm.meter 범위내에서 주로 사용되고 있다.

Bright식에 의하면 도착된 분체도료의 Charge decay는 다음과 같다.

$$Q(t) = Q_0 e^{-\frac{t}{\epsilon \epsilon_0 \tau}}$$

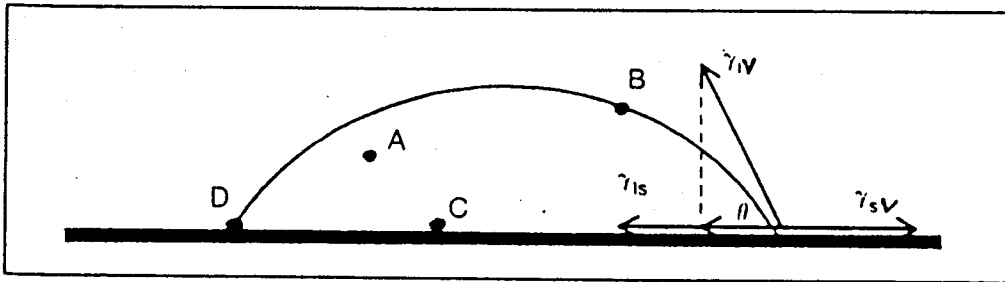
$Q_0$  : 초기 Charge

$\tau$  : 표면 저항

$\epsilon_0$  : 공기의 유전상수

$\epsilon$  : 도료의 유전상수

#### 4. 분체도료의 Wetting성과 표면 장력



Drop of liquid in contact with the surface

$$\gamma_{SV} = \gamma_{LV} \cos \theta + \gamma_{LS} : \text{Spontaneous spreading} \quad \gamma_{LV} > \gamma_{SL} \cos \theta + \gamma_{SL}$$

$\gamma_{SV}$  = 소지의 표면 장력

$\gamma_{LV}$  = 기체와 액체의 표면 장력

$\gamma_{SL}$  = 액체와 소지와의 계면 장력

## 5. 분체도료의 Kinetics

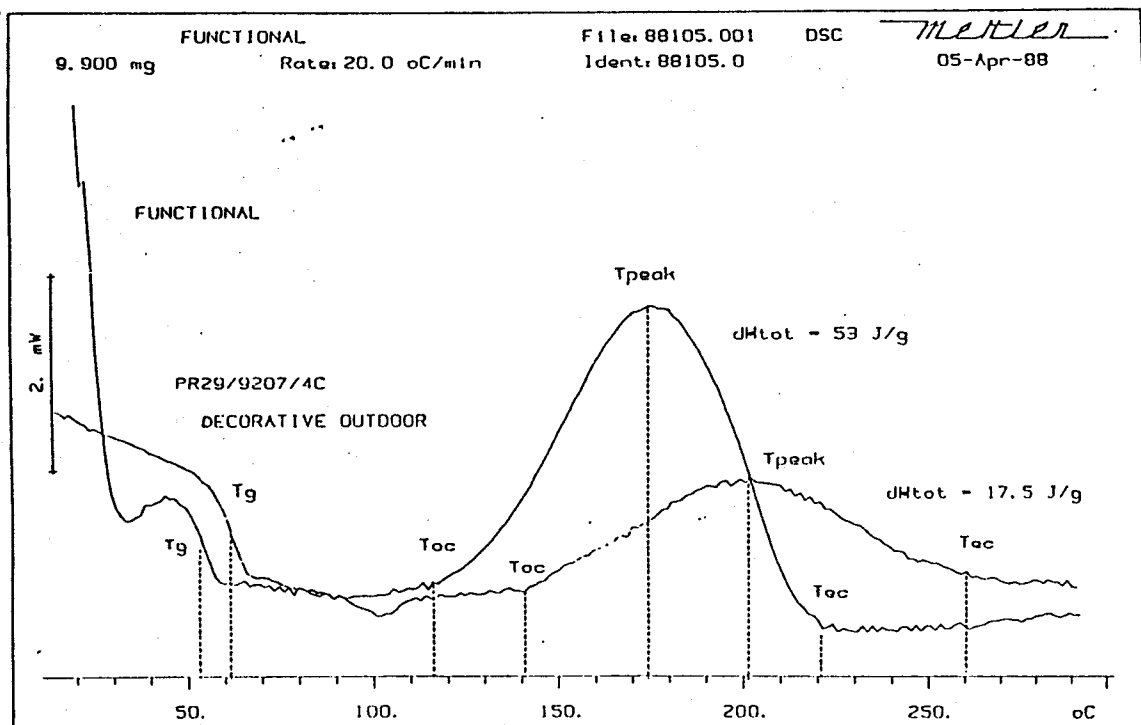
분체도료의 경화 반응은 부가 반응이 주된 반응이며 발열 반응이다.

이 반응의 흐름을 아래 그림에서 나타내고 있으며 분체도료는  $T_g$ 를 지나 Rubber 상태로 되었다가  $T_{OF}$ (Onset flow)에 이르러 소지에 Wetting이 된다. 이때가 소지와와의 부착성에 영향을 미치는 결정적인 역할을 하며  $T_{OC}$ (Onset cure)에서 반응이 시작되면서 발열 반응이 일어나고 반응이 종결되면서 열 발산도 사라진다.

이때 내부 에너지의 변화( $\Delta H$ )로서 반응의 전환율( $\alpha$ )을 알수가 있으며 반응이 전혀 일어나지 않았을 때  $\alpha = 0$ , 반응이 완전히 완료되었을 때를

$$\alpha = 1 \text{ 그러므로 } \alpha = \frac{\Delta H_{\text{part}}}{\Delta H_{\text{tot}}} \text{ 로 나타낼수 있다.}$$

한가지 예로서 DSC를 이용해서 EPOXY계 분체도료와 Polyester계 분체도료의 반응과정을 알아보면 아래 그림과 같다.

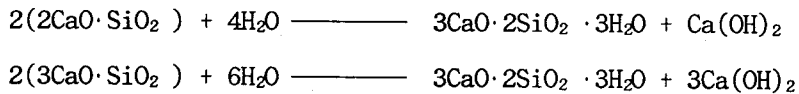


## 6. 중방식 도료로서의 분체도료의 적용예

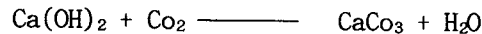
### 6-1 철근 콘크리트 구조물의 문제점

철근 콘크리트 구조물이 반 영구적이라는 일반 상식과는 달리 최근 철근 콘크리트 구조물의 내구성과 보수 유지 관리 측면에서 철근 콘크리트 구조물이 조기 성능저하의 요인을 많이 내포하고 있다는 점이 대두되고 있다.

시멘트의 주성분인 Calcium silicate가 수화 반응이 일어나면  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 가 약 1/3 정도 생성되며 이것이 PH 12-13 정도의 강 알칼리성으로 콘크리트의 PH를 결정하고 있으며 이때의 철근은 부동태화되어 부식으로부터 억제되고 있다.



수산화 칼슘은 대기중의 탄산가스의 침투로 인해 탄산 칼슘을 생성하게 되고 중성화(Carbonation)되어 PH가 8.5-10 정도로 낮아지게 된다. 이로 인해 철근은 부식되기 쉬운 환경에 놓이게 된다.



탄산 칼슘이 생성이 되면서 시멘트와 골재 사이에 미세 Crack을 만들고 이 미세 Crack을 통해서 계속해서  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_2$  등의 부식 인자가 침투하게 되어 철근은 급속히 부식이 촉진되어 부피 팽창이 심지어는 철근의 2.5배까지도 일어난다고 한다.

이 부식의 팽창압력에 의해 콘크리트 내부에 균열이 생겨서 철근과 콘크리트의 부착저하, 콘크리트의 박리, 철근 단면적 감소에 의한 강도 저하등으로 궁극적으로는 철근 콘크리트 구조물의 위기를 초래한다.

## 6-2 철근용 EPOXY 분체도료

앞서 언급한 바와 같이 근본적으로 철근의 부식을 방지하기 위해서는 여러 가지 방법이 있으나 EPOXY 분체도장이 도막 물성, 시공성등을 감안할때 가장 우수하여 1973년 미국 펜실바니아 다리에 처음으로 적용하여 1976년에 상업화 되었고 조립식 에폭시 피복철근은 1984년에 시장화되었다.

에폭시 피복 철근의 규격은 1981년 ASTM A775에 처음으로 규정되었고 지금은 92년 승인된 규격이 사용되고 있다.

한국에서는 1987년 KSM 5250 2종에 철근용 에폭시 수지 분체도료 규격이 제정되어 있으며 1994년에 처음으로 서해 대교에 교각용으로 사용되는 철근에 에폭시 분체도료 적용되기 시작하여 영종대교에도 적용되고 있고 광안대교에도 적용될 예정이며 향후 적용 범위가 확대되어갈 전망이다.

KSM 5250 2종 규격과 ASTM A775M 규격의 차이를 알아보면 다음과 같다.

시험 항목	KSM 5250 2종	ASTM A775M
입자 분포	150 $\mu\text{m}$ 이상 0-1 % 30 $\mu\text{m}$ 이하 0-30 %	
도막 두께	150 - 250 $\mu\text{m}$	180 - 300 $\mu\text{m}$
내 굴곡성	120°C Bending, 60mm/min 받침대 Dx3 이하 20 $\pm$ 2°C	120°C Bending, 1분간, 3 bar 받침대 150mm, 24 $\pm$ 2°C
내 약품성	3M CaCl <sub>2</sub> 3M NaOH 포화용액 Ca(OH) <sub>2</sub> } 45일 침적	3M CaCl <sub>2</sub> 3M NaOH 포화용액 Ca(OH) <sub>2</sub> } 6mm hole 45일 침적
부식촉진 시험	염수 분무시험 2000시간	7% NaCl, 2volt 30일
내 충격성	KSM 5256 DUPONT식 6.4mm, 25kg. cm	ASTM G14 5/8", 80 inlb
내 마모성		Taber cs-10, 1kg 1000cycle loss 100mg 이하
염소 침투성		FHWA-RD-74-18 3M NaCl, 45일 24 $\pm$ 2°C
경 도		ASTM D1474 0.01kg추 KHN 12 이하
콘크리트와의 부착성		FHWA-74-18 2 Coated bar 2 Uncoated bar 250x250x30mm concrete prism free-end slip 0.05mm이하 load-end slip 0.25mm이하 Uncoated bar 부착성의 80%이상

참고적으로 Concrete와 의 부착성 시험하는 시험기기를 아래에 도시한다.

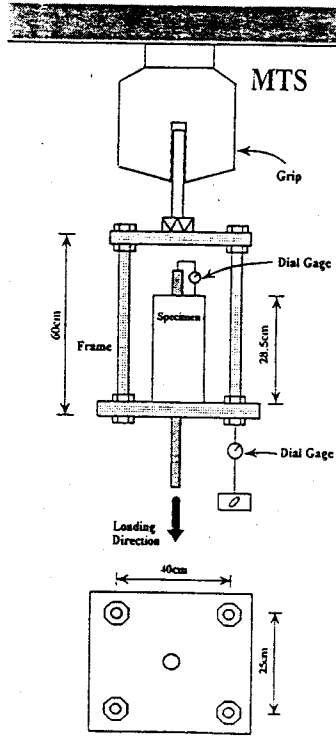
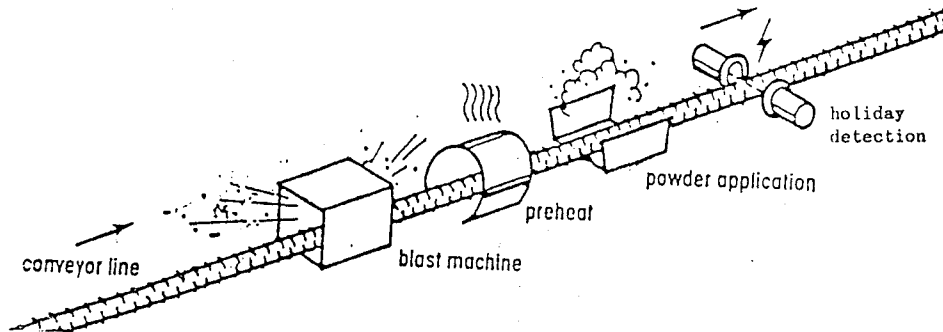


그림 6.3 시험 장치도

### 6-3 철근용 EPOXY 분체도료의 도장 방법



1. ABRASIVE CLEANING
2. PREHEATING TO ABOUT 235 °C
3. ELECTROSTATIC POWDER SPRAY COATING
4. COOLING BY A WATER QUENCHING
5. HOLIDAY DETECTION

## 7. 결 론

분체도료는 경제성, 도막물성, 무공해성등의 면에서 액체 도료에서 보여줄수 없는 유리한 면을 가지고 있으므로 1975년 한국에 분체도료가 도입된 이래 꾸준히 성장해 왔고 세계적으로도 매년 꾸준한 신장을 보이고 있다.

특히 최근 들어서 일반 공업용 액체 도료가 분체도료 전향되어가고 있는 점이 괄목할 만한 사실이며 일반용도 뿐만아니라 점차 기능성, 중방식, 박막화, 특수무늬 도료등에도 활기를 띄고 있으며 또한 한국에서도 분체도료에 대한 기술 축적이 짧은 역사에 비해 선진국의 기술 수준과 거의 동등한 수준에 이르고 있으며 기능성, 중방식 측면에서의 분체도료 적용의 확대가 요구되고 또한 그에 따른 도료 개발도 절실히 요구되고 있는 시점이다.