

환경친화형 에폭시계 분체도료의 조성구축 연구

임홍준, 정경호†

수원대학교 공과대학 신소재공학과

(접수일자 : 2006. 1. 26 / 채택일자 : 2006. 2. 28)

Study on the Compositional Construction of Epoxy Based Powder Paint

Hong-Joon Lim and Kyung-Ho Chung†

Department of Polymer Engineering, The University of Suwon, Suwon, KOREA 440-600

요 약

본 실험은 에폭시계 분체도료의 물성에 영향을 미치는 에폭시 수지, 경화제, 충전제 및 안료의 최적 조성 결정에 대한 연구이다. 본 연구에서 사용된 에폭시계 수지의 경화 시스템은 Diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA)와 경화제로 dicyan diamide (DICY)를 사용하였다. 코팅 재료의 경화거동과 유변물성은 DSC와 레오메터를 사용하여 조사되었다. 또한 코팅재료의 스틸에 대한 접착력은 lap shear 실험을 이용하여 조사되었다. 연구 결과에 따르면 에폭시계 분체도료의 최적 조성은 에폭시계 수지 기준으로 DICY 6 phr, CaCO₃ 20 phr 및 TiO₂ 10 phr 이었다.

ABSTRACT : Main compositions of powder paint based on thermoset type epoxy resin consist of epoxy resin for powder coating, curing agent, filler and pigment. The curing system used in this study was based on diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA) and dicyan diamide (DICY). The curing behavior and rheological properties of powder coating material were investigated using DSC and rheometer, respectively. And the adhesion strength between steel and powder coating material was measured using lap shear geometry. The optimum formulation of epoxy powder paint obtained from this study was base resin of 100 phr, DICY of 6 phr, CaCO₃ of 20 phr, and TiO₂ of 10 phr.

Key Words : powder coating, epoxy, curing behavior, rheological property, formulation.

1. 서 론

고분자 산업의 발달과 더불어 상당한 수준의 도료가 개발되어 산업에서 널리 이용되고 있으나 최근 산업 전반적으로 환경보존과 오염방지라는 문제들이 대두됨에 따라 현재 가장 널리 사용되고 있는 용제형 도료가 환경규제의 대상이 되어가고 있는 실정이다. 이는 도료의 medium인 고분자수지를 용해시키기 위한 vehicle인 용제가 대부분 유기용제이기 때문에 도료의 도장 후 도막형성 과정에서 필연적으로 유기용제가 휘발해야 하는 문제로 인해 용제형 도료가 환경적으로 친화적일 수 없는 가장 주된 원인이 되는 것이다. 따라서, 이를 해결하기 위한 방법으로는 가장 단순하게 유기용제를 사용하지 않는 방법을 생각할 수 있으며 이에 부합하는 적절한 도료 시스템들이 개발되어야 할 것이다.

분체도료는 용제형 도료에서 사용되는 유기용제나 물 등의 용매를 사용하지 않고 합성수지, 경화제, 안료, 충전제 및 첨가제등을 사용하여 제조한 100% 고형분의 도료이다. 분체도료는 도료의 사용효율이 95% 이상 유지되며 경화 시 휘발분이 없으므로 피도물에 도착된 도료가 100% 도막으로 형성되므로 도료의 손실을 막아 에너지 및 자원을 절약할 수 있고 환경오염문제를 해결할 수 있다. 또한 하도도장이 필요 없이 단지 1회 도장으로 용제형 도료에 비해 두꺼운 도막 두께와 우수한 도막성능을 얻을 수 있다. 또한 용제 사용으로 인해 발생할 수 있는 대기오염, 화재위험, 악취, 독성 등을 해결할 수 있다는 점에서 현재 전 세계적으로 크게 호응을 얻고 있으며 그 사용량은 증가 일로에 있다. 분체도료의 역사는 폴리에틸렌, 폴리비닐클로라이드를 중심으로 용사법에 의해 금속코팅에 약간 응용되어오다 1952년 서독의 GRIES HEIM사에서 유동침적법이 창안된 후 열가소성수지 분체도료들이 많이 개발되었으며, 1962년 프랑스의 SAMES 사에 의해 분체정전 도장기가 개발됨으로써 보다 광범위한 재료들이 분체도장에 응용되고 있다[1].

Fig. 1에 DGEBA계 에폭시 수지를 나타내었는데 에폭시 수지는 접착력, 기계적 물성, 내화학성이 우수하고 경화 시 수축변형이 적으며 부산물이 생성되

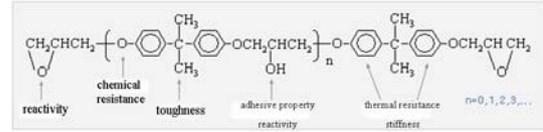


Fig. 1. Structure of diglycidyl ether of bisphenol A(DGEBA) epoxy resin.

지 않는 장점으로 인하여 섬유복합재료의 매트릭스, 코팅, 구조용 접착제, 전기전자부품 재료 등에 널리 사용되고 있다. 특히, 비스페놀A계의 에폭시 수지는 항공기, 선박, 자동차에서 전기 전자부품에 이르기까지 다양하게 사용되어 왔다[2-4]. 또한 경화제 및 변성제의 종류에 따라 다양한 물성을 얻을 수 있고 다른 열경화성 수지에 비해 경화수축이 적고 강인성 및 고온특성이 우수하고 내약품성 및 내수성이 우수한 재료이다. 주 사슬 내의 에테르 결합은 회전이 가능하여 가소성을 가지며 수산기와 탄화수소의 규칙성으로 타 재료에 대한 접착성이 우수하다. 하지만 일광에 의해 주 사슬의 벤젠고리에 수소가 첨가됨에 따라 벤젠고리의 주요한 특성인 강직한 성질을 잃게 되므로 약한 내후성을 갖는다.

본 연구에서는 현재 도막성능의 고성능화 특히 용제 및 도장 폐수에 대한 공해대책이 절실히 필요한 상황이기 때문에 100% 고형분으로 용제를 전혀 사용하지 않는 즉, 용제 및 도장폐수에 의한 대기오염이나 환경오염의 염려가 없고 작업의 효율화와 우수한 도막성능을 가져 생산성을 향상시킬 수 있는 분체도료 중 피도물에의 접착성, 안료 분산성, 전기절연성, 내용제성, 내약품성, 내수성 및 내식성 등이 우수한 열경화형 에폭시계 기능성 분체도료의 제조기술을 확보하고자 한다.

2. 실 험

2.1 시약 및 재료

일반적인 열경화형 에폭시계 분체도료의 조성은 고형 분체도료용 에폭시 수지, 경화제, 경화촉진제, 충전제, 안료 등이 기본요소이고 기포제거제, 흐름조절제, 왁스 및 UV안정제 등이 첨가제로 사용되고 분

체도료의 모든 조성요소는 고체로 되어있어야 한다. 본 연구에서 사용한 에폭시 수지는 비스페놀-A형 분체도료용 고품 에폭시 수지로서 KD-213, KD-214M, KD-243C(국도화학)를 사용하였고 각 수지의 기본물성을 Table 1에 나타내었다. 경화제로는 DICY로서 CG-1200(Active Hydrogen Equivalent Weight(AHEW)=21 g/eq, Air Product)을 사용하였다. 충전제는 순도 98%의 CaCO₃를 사용하였다. 도막형성 후 백색의 색깔을 표현하는 무기안료로서 DuPont의 TiO₂를 사용하였다.

Table 1. Basic Property of Base Epoxy Resin

	EEW(g/eq)	melt viscosity (cps at 150°C)	softening temperature (°C)	color (G, AHPA)*
KD-214M	1150 ~ 1300	-	107 ~ 117	<1.0
KD-213	730 ~ 840	3000 ~ 7000	88 ~ 98	<0.5
KD-243C	715 ~ 835	3000 ~ 8000	88 ~ 98	<0.7

* AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION COLOR SCALE

2.2 배합설계

분체도료 조성물을 배합하기 위해 테프론 판, 테프론 막대 및 hot plate를 이용하였다. 실제 분체도료 제조방법과 최대한 동일하게 하기 위해서 배합비에 따른 조성물은 각 배합요소의 고른 분산을 위해 볼밀에서 예비 혼합을 한 후 hot plate에서 DICY에 의해 선경화가 일어나지 않도록 200°C 미만에서 약 20분간 충분히 혼합하였다. 그 후 상온에서 잠열이 모두 배출될 때까지 충분히 냉각을 하고 막자사발을 이용해 조분쇄를 한 후, 분쇄기에서 미분쇄를 하여 분체도료를 제조하였다.

2.3 전단접착력 평가

본 연구에서 제조된 분체도료 조성물과 스틸과의 전단접착력은 ASTM D1002-72에 따른 lap shear geometry를 이용하여 평가하였고, Fig. 2에 lap shear geometry를 나타내었다. 본 연구에서는 스틸의 표면 상태에 따른 접착력의 영향을 최소화하기 위해 세정제를 이용해 표면을 세척한 후 1,1,1-

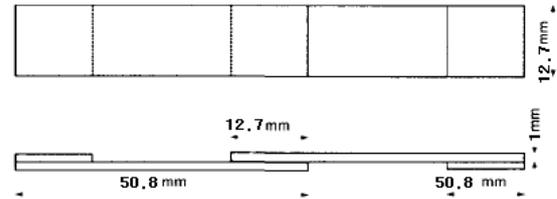


Fig. 2. Geometry of lap shear test specimen.

trichloroethane으로 1분간 스틸을 에칭한 후 시험편을 제작하였다. 스틸의 두께는 1 mm이고, 접착면의 가로, 세로 길이는 12.7 mm로 하였으며 조성물은 1 mm 두께로 도포하였다. 시험편 제조 후 200 °C가 유지되는 오븐에서 1 hr 동안 경화반응을 진행하였다. 전단접착력은 만능시험기(대경엔지니어링, DUT-500CM)를 사용하여 crosshead speed 50 mm/min의 조건으로 측정하였다.

2.4 인장강도

코팅재료 자체의 기계적 물성이 접착력에 미치는 영향을 평가하기 위해 분체도료 조성물의 인장강도를 측정하였다. 유압프레스를 이용해 200 °C에서 150 kg/cm²의 압력으로 시험편 판을 제작 한 후, KS M6518에 기술된 아령형 3호의 인장시험편을 얻었다. 인장강도는 만능시험기(대경엔지니어링, DUT-500 CM)를 이용하여 상온에서 gauge length 25.0 mm, crosshead speed 12.5 mm/min의 조건으로 측정을 하였고, 전단접착력과도 관계도 비교하였다.

2.5 열적거동 분석

분체도료는 열에 의해 경화되며 경화 반응 후 냉각 외 다른 공정을 거의 거치지 않고 그 상태를 유지하며 수명을 다 할 때까지 도막으로서의 성능을 유지하여야 한다. 열에 의한 반응을 수반하므로 열에 의한 거동을 관찰하는 것은 필수적인 것이라고 할 수 있다. 경화반응시의 거동은 시차열량주사계(DSC2920, TA Instrument)를 이용해 10 °C/min의 승온 조건에서 조사하였고, 열분해 거동은 TGA(Q500, TA Instrument)를 이용해 10 °C/min의 승온 조건에서 관찰하였다.

2.6 유변 거동

분체도료가 경화되는 메커니즘을 간단하게 보면 정전기에 의해 균일한 두께로 도포가 되고 지속적인 열이 가해짐과 함께 용융이 되면서 평탄한 표면을 이루고 열에 의해 경화제가 활성을 띄게 되어서 경화반응이 완료되면 최종 도막을 이루게 된다. 즉 고체상태의 분체가 용융에 의해 흐름상태가 되고, 경화에 의해 고체상을 이루게 된다. 레오메터(MCR300, Anton-Paar)를 이용해 열경화에 따른 유변 거동을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 기본수지의 선정

본 연구에서는 Table 1에 나타난 KD-213, KD-214M, KD-243C의 3가지 분체도료용 에폭시 수지를 기본 조성으로 하여 연구를 시작하였다. 최적 조성을 얻기 위해 처음 시도한 방법은 3가지 수지 중에서 가장 강한 전단접착력을 갖는 수지를 선택하는 것이었다. 각각의 에폭시 수지와 경화제인 DICY의 이론적인 당량비는 식(1)에 의해 계산되며 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

$$\text{최적 경화제 첨가량} = (\text{AHEW} / \text{Epoxy Equivalent Weight}) \times 100 \quad (1)$$

Table 2. Ideal Content of Curing Agent

Epoxy Resin	EEW (g/eq)	AHEW of DICY (g/eq)	Ideal Content of DICY (phr [*])
KD - 213	730~840	21	2.50~2.88
KD - 214M	1150~1300		1.62~1.83
KD - 243C	715~835		2.51~2.94

*phr: part per 100 of resin

식(1)에 의해 계산된 이론적 첨가량은 완벽하게 경화제가 분산이 되어서 경화제의 관능기가 100% 경화반응에 참여하였을 때 가능한 첨가량이다. 또한 분체도료는 모든 조성물이 고체상이므로 액상의 조성보

다 일반적으로 분산의 어려움이 있다. 즉 이론상의 첨가량보다 더 많은 양을 첨가하여야 한다고 할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 Table 2에 계산된 경화제의 이론첨가량보다 많은 6 phr의 경화제를 각 수지에 첨가하여 분체도료 조성물을 제조하여 이들의 전단접착력을 비교하였으며 또한 분체자체의 인장강도를 평가하였고, 그 결과를 Fig. 3과 4에 나타내었다.

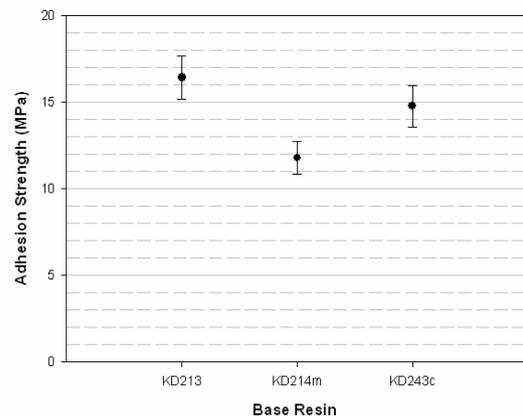


Fig. 3. Adhesion strength with the types of base resin.

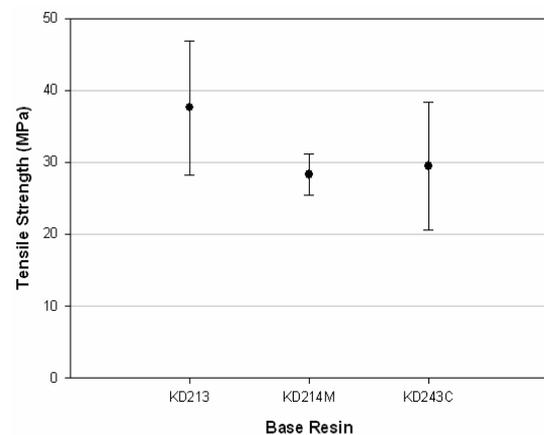


Fig. 4. Tensile strength with the types of base resin.

파괴 후 3 가지 수지의 시험편 모두 파괴유형은 계면파괴였다. Fig. 3에 나타난 바와 같이 KD213 수지가 가장 높은 접착력을 나타내었는데, 3가지 수지 모두 스틸과의 접촉계면에서 상호간의 화학적 결합을 예상할 수 없기 때문에 접착력의 차이는 젖음(wetting) 정도와 수지 자체 강도 차이에 의한 것이

라고 예상할 수 있다. 이러한 접착력의 경향은 Fig. 4의 수지 자체의 인장강도와 유사하며 수지 자체 강인성이 접착력에 크게 영향을 미침을 알 수 있었다. 또한 KD-213의 경우 용융점도가 가장 낮기 때문에 스틸과의 접착시 젖음성이 우수하여 높은 접착강도를 나타내는데 기여하였으리라 사료된다.

이상의 결과를 바탕으로 본 연구에서는 KD-213 수지를 분체도로 조성 구축을 위한 기본수지로 선정하였다.

3.2 경화제 첨가량 결정

최적의 경화제 첨가량을 결정하기 위하여 KD-213 수지에 DICY 경화제를 3, 6, 9, 12, 15 phr을 첨가하여 배합물을 조성하고 이들의 스틸과의 평균 전단접착력을 측정하여 그 결과를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5에 나타난 바와 같이 경화제 첨가량 6 phr을 전후로 하여 최대의 접착강도를 나타내고 있으며, Fig. 6의 경화제가 배합된 수지 자체의 인장강도 결과에서 알 수 있듯이 수지의 강인성이 최종접착력에 영향을 미침을 알 수 있었다. 경화제의 첨가량이 많아진다는 것은 그만큼 가교도가 증가되고 경도 역시 증가되는데 최적의 임계첨가량 이상 첨가되면 수지 자체가 brittle해져서 오히려 접착 물성에 좋지 않은 영향을 주었다고 사료된다.

Table 2에 나타난 바와 같이 주체와 경화제의 당량비에 의거한 KD-213에 대한 경화제의 이론적 첨가량은 2.50~2.88 phr인데 실제 실험을 통해 얻은 최대의 접착력을 나타내는 경화제 첨가량은 6 phr이므로 주체와 경화제로만 이루어진 조성에서 경화제의 반응참여율은 42~48%라고 사료 되었다. 경화제가 100% 반응에 참여하지 못하는 이유를 예상해보면 경화제의 반응 효율성뿐만 아니라 본 연구에서 사용된 용융분산 시스템으로 최적의 분산도를 달성하지 못하였기 때문이라고 사료된다. 즉, 분체도로와 같이 도료제조를 위해 용융분산 공정을 이용하는 경우 경화제의 효율적 분산이 이루어지지 않는다면 최적의 접착력 구현을 위해서는 당량비에 의한 이론적 양보다 다소 많은 양의 경화제가 사용되어야 한다고 판단된다.

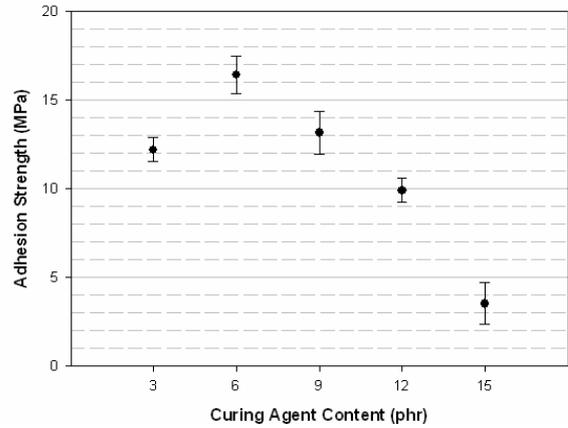


Fig. 5. Adhesion strength with the amount of curing agent.

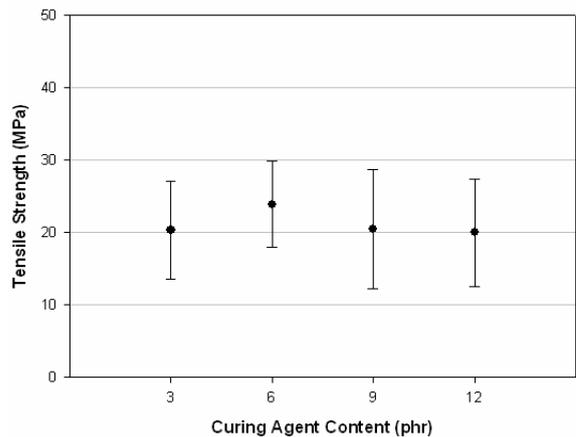


Fig. 6. Tensile strength with the amount of curing agent.

3.3 충전제 첨가량 결정

본 연구에서는 충전제로 CaCO₃를 선정하였고, 충전제의 첨가량이 최종접착력에 미치는 영향을 조사하였다. 앞서 결정된 경화제 조성에 충전제인 CaCO₃를 20, 40, 60, 80, 100 phr을 첨가하였고, 이에 따른 접착력을 측정하여 Fig. 7에 나타내었다. 탄산칼슘은 비보강성 충전제로서 예상된 바와 같이 첨가량이 증가할수록 수지 자체의 인장강도는 Fig. 8에 나타난 바와 같이 다소 감소하였다. CaCO₃는 180°C 이상에서 CO₂를 발생하는데 이에 따른 기포발생이 접착력 약화에 영향을 주었을 것이다. 그러나 CaCO₃를 20

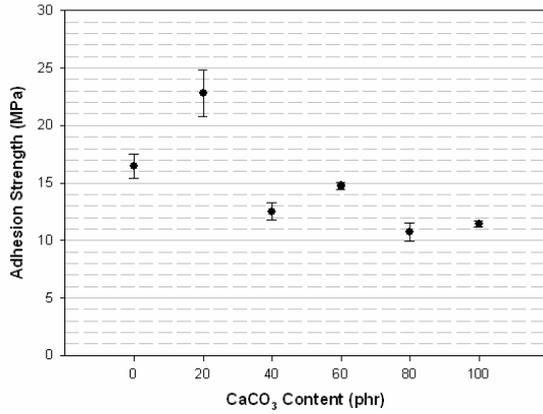


Fig. 7. Adhesion strength with the amount of filler.

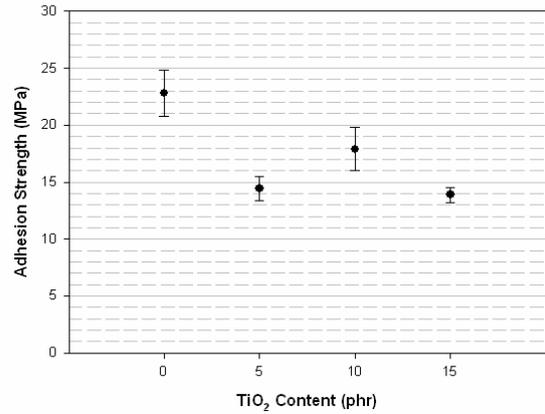
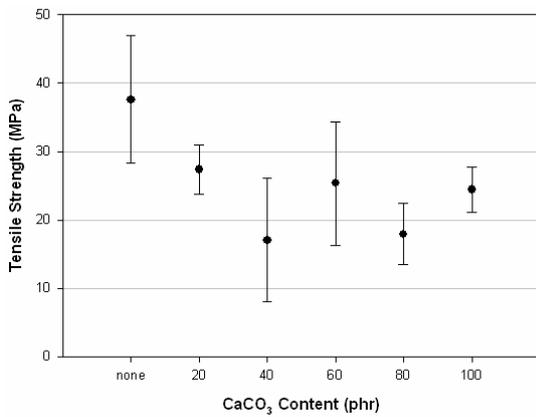
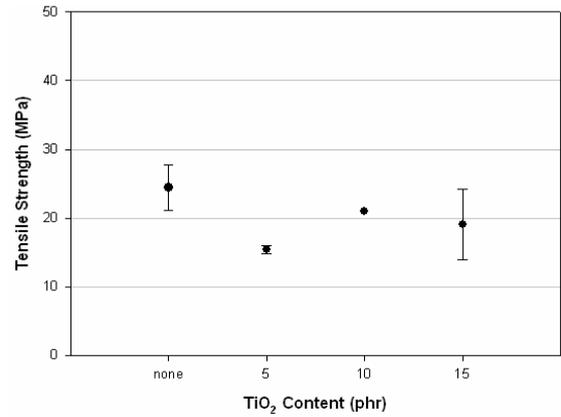
Fig. 9. Adhesion strength with the amount of TiO₂.

Fig. 8. Tensile strength with the amount of filler.

Fig. 10. Tensile strength with the amount of TiO₂.

phr 첨가하였을 때 가장 높은 접착강도를 얻었는데 이는 다소 의외의 결과였다. 현재로서는 정확한 이유를 밝히지는 못했지만 아마도 수지 자체의 강인성 및 흐름성이 영향을 미쳤을 것으로 예상되었다.

3.4 안료 첨가량 결정

안료로서는 백색을 나타내는 대표적인 무기 안료인 TiO₂를 사용하였다. 앞서 결정된 경화제, 충전제 조성에 TiO₂를 첨가하여 첨가량이 접착강도에 미치는 영향을 조사하였다. Fig. 9에는 안료첨가량에 따른 스틸과의 접착력 결과를 Fig. 10에는 수지 자체의 인장강도 결과를 나타내었는데 Fig. 9에 나타난 바와 같이 TiO₂ 첨가량 10 phr을 전후로 해서 최적의 접착력을 보였으며, 앞서의 결과와 유사하게 수지자체의 강도가 접착력에 영향을 미침을 알 수 있었다.

이상 조성구축의 결과를 종합하면 KD-213 분체도료용 에폭시수지 기준으로 DICY 6 phr, CaCO₃ 20 phr, TiO₂ 10 phr의 조성일 때 전단접착력 측면에서 최상의 조건이라고 할 수 있다.

3.5 분체도료의 경화거동 및 열분해거동

본 연구에서 구축된 분체도료의 열경화 거동을 DSC(2920, TA Instrument)를 이용해 25 °C부터 300 °C까지 10 °C/min의 승온 조건으로 관찰하였다. Fig. 11에는 (a)의 경우 KD-213수지, (b)의 경우는 KD-213수지에 DICY를 6phr 배합한 수지, (c)의 경우는 (b) 조성에 CaCO₃가 20phr 배합된 수지 및 (d)의 경우는 (c) 조성에 TiO₂가 10phr 배합된 수지의 DSC 측정결과를 나타내었다.

Fig. 11에 나타난 바와 같이 60 °C 근처에서 흡열피크를 관찰할 수 있는데 이 피크는 수지의 용융과 관련이 있다고 판단되어 진다. 그러나, 승온 속도에 따라 용융점은 변할 수 있는데 승온 속도가 증가할수록 분자사슬들이 감응하는 정도가 약해지기 때문에 용융점은 약간 증가할 것이다. 이후 용융점을 지나 계속 승온이 되면 Fig. 11(b)에 나타난 바와 같이 약 200 °C를 전후해서 발열을 나타내는 피크가 나타나게 되는데 여기서 경화반응이 일어나게 된다. 경화제 첨가량이 증가할수록 더욱 sharp하고 좁은 피크를 나타내게 될 것이다. 즉 경화반응이 일어나는 정도가 격렬하게 진행되고 이는 경화속도가 빠르다는 것을 의미한다고 할 수 있다. 발열 피크 사이를 적분하면 발열량이 되고 그 넓이로 경화도를 유추할 수 있는데 전형적인 경화반응에서는 경화제의 함량이 증가할수록 경화도가 증가되면서 발열량의 증가를 야기시킨다. Fig. 11(c)를 보면 (b)의 열적거동과 차이가 나지 않는 거동을 보이고 그 조성에 TiO₂ 10 phr이 함유된 Fig. 11(d)도 비슷한 거동을 보이고 있는 것을 확인할 수 있다. 이론적으로는 첨가된 양의 부피만큼 녹을 때의 흡열량이나 경화할 때의 발열량이 감소되어야 하지만 CaCO₃나 TiO₂의 경우 분체도료가 경화되는 300 °C 이하의 온도에서는 온도의 변화에 따른 열량변화가 수반되지 않는 무기물이란 이유 뿐만 아니라 기본수지인 에폭시 수지에 비해 밀도가 커서 더 작은 부피 분율을 갖기 때문에 이에 따른 열량의 측정에 있어서 오차의 범위에 포함되어 차이가 두드러지게 나오지는 않는 것이라고 사료된다.

열에 의한 분해거동을 관찰하기 위해 TGA를 이용하였다. 질소분위기에서 25 °C에서 600 °C까지 10 °C/min의 승온 조건으로 측정을 하였다. Fig. 12의 (a)에는 KD-213 수지에 DICY가 6 phr 배합된 조성을, (b)의 경우는 (a) 조성에 CaCO₃ 20 phr, TiO₂ 10 phr을 배합한 조성의 결과를 나타내었다. Fig. 12에 나타난바와 같이 400 °C 부근에서 질량의 감소가 확연히 발생하고 450 °C 후반에서 질량의 감소가 다소 완화된 것을 볼 수 있다. 또한 충전제, 무기안료의 첨가유무에 따른 잔류하는 질량 분율의 차이를 확인할 수 있다. 질소분위가 아닌 산소를 첨가하거나 실제 대기상태에서 측정을 진행하였다면 산화현상의

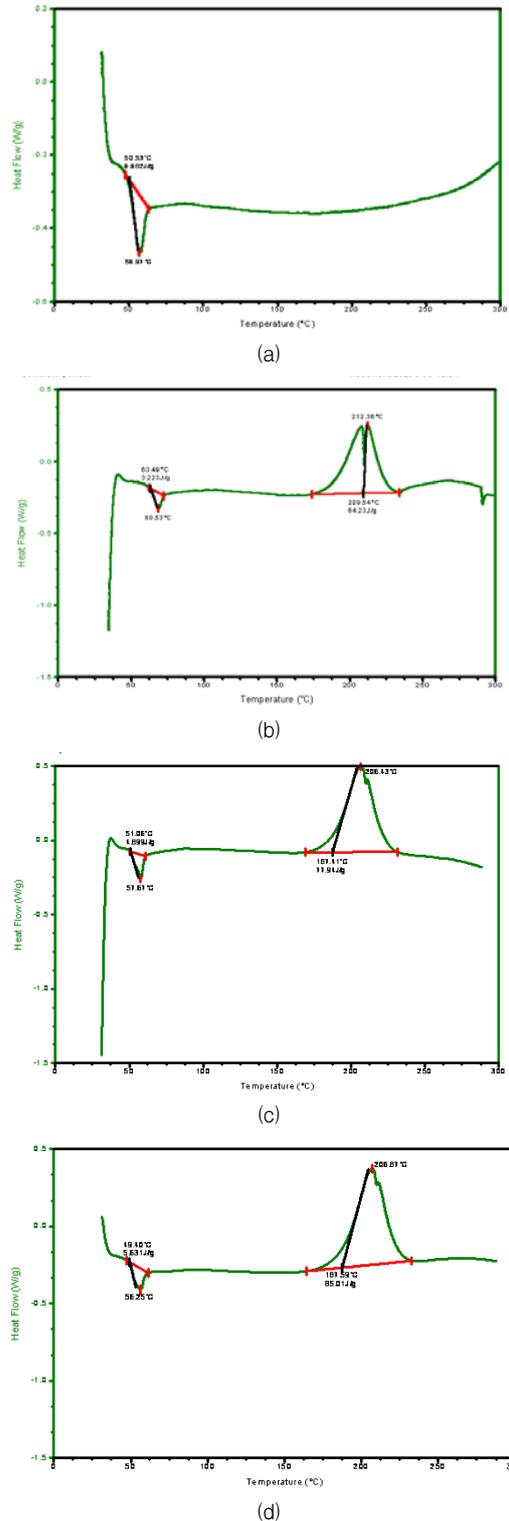


Fig. 11. DSC curves of epoxy coating materials ; (a) KD-213, (b) DICY: 6 phr, (c) CaCO₃:20 phr, (d) TiO₂:10 phr.

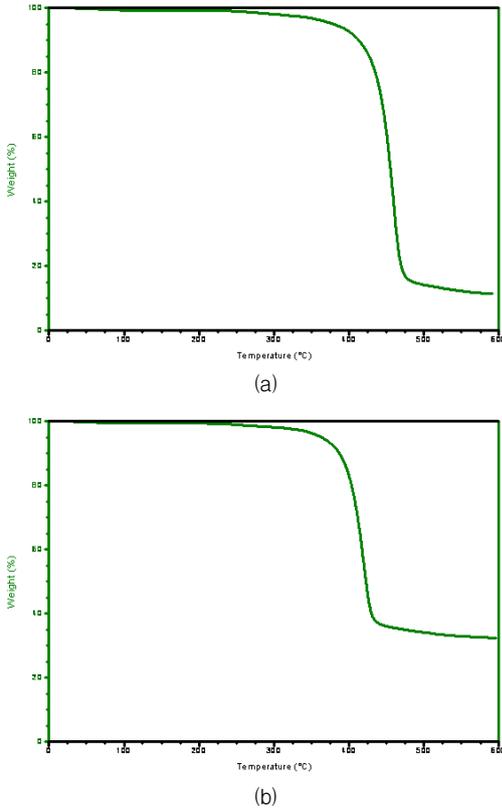


Fig. 12. TGA curves of epoxy coating material ; (a) DICy: 6 phr, (b) CaCO₃ 20 phr + TiO₂ 10 phr.

발생으로 잔류물의 질량 비율은 줄어 들 것이라고 사료된다.

3.6 유변거동

분체도료가 경화를 거쳐서 최종 도막을 형성할 때까지의 유변 거동을 관찰하기 위하여 레오메터를 이용하여 200°C의 등온상태에서 측정을 하였다.

Fig. 13(a), (b)는 KD-213수지에 DICy가 6, 15 phr 배합된 조성, (c)는 (a) 조성에 CaCO₃가 20 phr 배합된 조성 및 (d)는 TiO₂가 10 phr 배합된 조성의 결과를 나타내었다. Fig. 13에 나타난 바와 같이 모든 조성은 5분 이내에서 gel time을 갖게 되고 10~15분 후에는 일정한 유변 거동을 보이는 것을 알 수 있다.

Fig. 13(a), (b)에 나타난 바와 같이 경화제 첨가량이 증가하면 저장 모듈러스와 복소점도가 증가하게 되므로 전단점도가 커지게 된다. Fig. 13(c), (d)에서의 유변 거동을 보면 충전제의 함량이 증가하거나

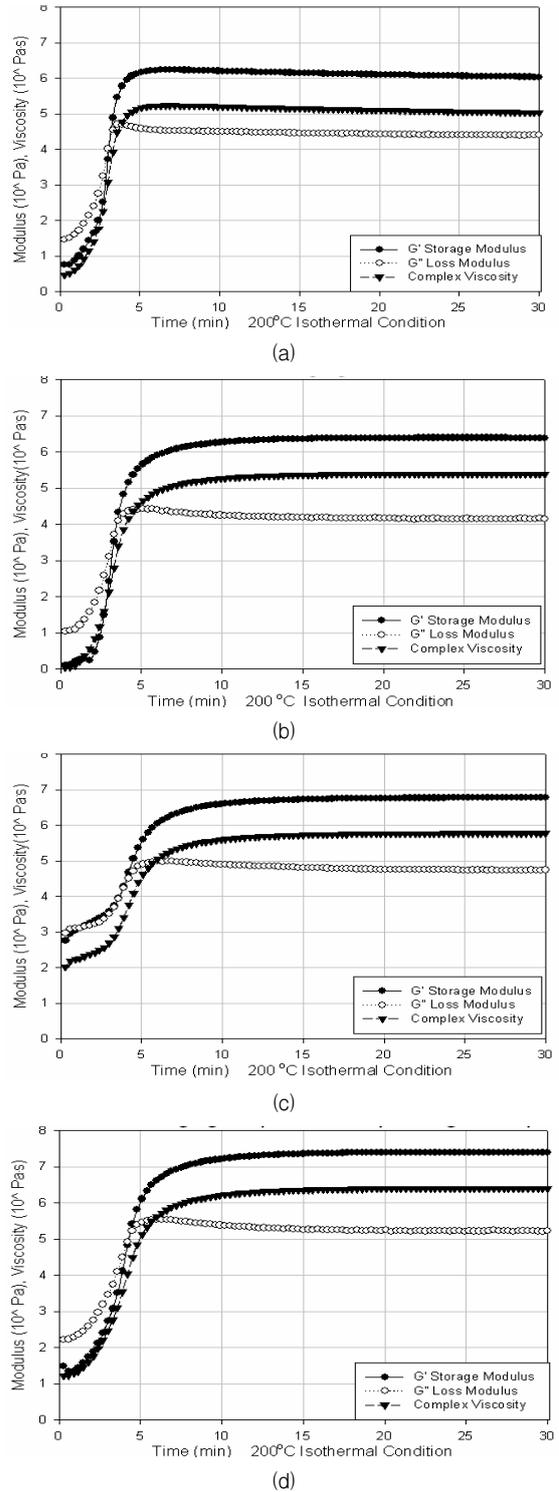


Fig. 13. Rheological behavior of epoxy coating materials; (a) KD213 + DICy 6 phr, (b) KD213 + DICy 15 phr, (c) (a) + CaCO₃ 20 phr, (d) (c) + TiO₂ 10 phr.

안료가 많이 첨가될수록 저장, 손실 모듈러스가 모두 증가하는 것을 볼 수 있고 복소점도가 증가함에 따라 전단점도가 증가한다고 말할 수 있다. 또한 충전제 첨가에 따라 gel time이 증가하는 것으로 보아 충전제는 경화반응을 다소 지연시키지만 최종 물성은 향상 시키는 것을 알 수 있었다.

4. 결 론

본 연구를 수행한 후 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. KD-213, KD-214M, KD-243C 이상 3가지 분체도료용 고품 에폭시수지 중에서 가장 우수한 전단접착력을 나타내는 수지는 KD-213수지였다.
2. 최고의 전단접착력 구축을 위한 DICY 경화제의 첨가량은 6 phr이다.
3. 충전제로서 선정된 CaCO₃의 최적의 첨가량은 20 phr이다.
4. 안료로서 TiO₂의 첨가량은 10 phr일때 적절한 전단접착강도를 나타내었다.
5. DSC 결과 약 60 °C에서 용융점이 관찰되었고 200 °C 부근에서 경화반응이 진행됨을 알 수 있었다. 경화제 첨가량이 증가할수록 경화는 급격히 진행되었다.

6. 모든 조성의 경우, 약 5분 정도의 gel time을 갖고 10~15분 이후에 일정한 점탄성성질을 나타내었다. 경화제, 첨가제의 함량이 증가될수록 더 큰 복소점도를 나타내어서 CaCO₃나 TiO₂가 보강효과가 있다고 사료되고 열에 대한 감응성은 둔화되었다.

감사의글

본 연구는 수원대학교 환경청정기술연구센터의 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

- [1] Park, J. H. : J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry, 4(1), 19(1993).
- [2] Bauer, R. S. : "Epoxy Resin Chemistry", Advanced in Chemistry Ser., No. 114, American Chemical Society, Washington DC, p.1(1979).
- [3] May, C. A. : "Epoxy Resins, Chemistry and Technology", Marcel Dekker, New York, p.1 (1988).
- [4] Petrie, E. M. : "Handbook of Adhesive and Sealants", McGraw-Hill, New York, (2000).