

## 論文

에폭시 수지 혼합물의 조성비와 경화조건이  
경화물의 굴곡특성과 파단행태에 미치는 영향

이재락\* · 박정열\*\* · 이종문\*\*

Effect of Mixing Ratio of Epoxy Mixtures and Curing  
Conditions on Flexural Properties and Fracture Surfaces

Jae-Rock Lee\*, Jung-Youl Park\*\* and John-Moon Rhee\*\*

## ABSTRACT

The effect of mixing ratio of bifunctional epoxy(YD128 from Kook Do. Co.) and tetrafunctional epoxy(MY 720) from (Ciba-Geigy Co.) and curing conditions on flexural properties of resin castings by three points flexural test and their fracture surfaces was studied. The mixing ratios by weight percent were as followings ; YD 128/MY 720 ; 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100. The curing conditions were as followings ; 120°C/6hr, 120°C/3hr + 150°C/4hr, 150°C/5hr, 120°C/3hr + 150°C/2hr + 175°C/1hr, 175°C/4hr. In these cases the heating and cooling rate was always maintained as 2°C/min. The ratio between the thickness of the specimen and the supporting span was 1 : 16. The cross-head speed was 1mm/min. The increase of MY 720 resulted in the increase of the density and the flexural properties. In that case the flexural modulus was more sensitive than the flexural strength. The curing conditions play an important role on the variation of density and the flexural properties. It was pronounced for some mixing ratios of epoxy mixtures.

## 초 록

2-관능성 에폭시 수지인 국도화학제품 YD 128과 4-관능성 에폭시 수지인 Ciba-Geigy사 제품 MY 720을 섞어서 Diamino Diphenyl Methane(DDM)으로 경화시킨 resin casting 시편의 수지조성과 경화조건에 따른 삼점 굴곡 특성변화 및 파단면의 변화를 고찰하였다. 수지조성은 wt% 기준으로 YD 128/ My 720 ; 100/0, 80/20, 60/40, 40/60, 20/80, 0/100. 경화조건은 120°C에서 6시간, 120°C에서 3시간 + 150°C에서 4시간, 150°C에서 5시간, 120°C에서 3시간 + 150°C에서 2시간 + 175°C에서 1시간, 175°C에서 4시간이다. 이때의 승온 및 냉각 속도는 2°C/min였다. 시편두께와 지지간 거리는 1 : 16으로 하고 cross-head speed는 1mm/min로 하였다. MY 720의 함량이 증가될 수록 resin casting 시편의 밀도가 증가하고, 굴곡 강도 보다는 굴곡 탄성율이 더욱 민감하게 증가하였다. 주어진 조성에서 경화조건에 따라 밀도변화와 굴곡 특성의 변화가 초래 되었고, 특정 조성에서 이는 더욱 심화되었다.

\* 한국화학연구소 구조재료연구실

\*\* 전북대학교 고분자 공학과

## 1. 서 론

에폭시 수지는 비교적 높은 온도에서 높은 기계적 강도를 나타내고 전기절연성이 우수하기 때문에, 1949년에 상업적으로 응용되기 시작한 이래, 계속 그 사용량이 크게 증가하고 있는 중요한 수지이다[1]. 에폭시 수지는 경화제에 의해 분자량이 낮은 물질로부터 규칙적인 삼차원의 망상 구조를 가지는 비교적 강도가 높은 물질로 전환된다. 이 경우에 삼차원 망상 구조가 형성되면서 각 분자들의 끝 부분이 서로 연결되는 점에 있어서 완벽한 network가 형성되지 못하는 경우가 일부 존재한다. 이는 반응 속도의 관찰에 있어서 경화도가 1.0이 되지 못하는 점에 의해서도 유추되는 바이다[2]. 완벽하게 경화가 되지 못한 부분은 비탄성 특성을 나타내게 하는 주된 요인이 되는데, 경화된 에폭시 수지는 워낙 brittle한 관계로 이를 인장시험에 의해 정량적으로 측정한다는 것은 매우 어려운 일이다. Kamon[3]에 의해 경화 메커니즘과 기계적 특성을 연계한 연구결과들이 종합적으로 검토된 바 있다. 그리고, 이 경우에 동적 기계적 특성과 굴곡강도를 연계하려는 시도가 있었으나 [4~7], 경화제에 의한 영향만 주로 관찰되었다. 그리고, DDM을 경화제로 하는 에폭시 수지의 경화 조건에 따른 망상구조의 형성과 기계적 행태와의 관계는 활발한 규명이 아직까지 진행 중이다[8~10]. 산업적인 응용에 있어서는 점도 조절 및 성형 특성 개량을 목적으로 고온 경화형 에폭시 수지와 중온 경화형 에폭시를 섞어서 쓰는 경우가 매우 많다. 그러나, 이에 대한 연구는 상대적으로 미진하므로, 본 연구에서는 경화 조건을 변화시키고, 2-관능성 에폭시 수지와 4-관능성 에폭시 수지 혼합물을 DDM으로 경화시켜 생성된 에폭시 혼합물의 삼점굴곡 응력하에서의 굴곡 특성과 파단 특성을 살펴 보았다.

## 2. 실 험

### 2-1. 실험재료

2-관능성 에폭시 수지로는 국도화학제품인 YD 128(Diglycidyl ether of bisphenol A, 에폭시 당량 = 184~194, 밀도 = 1.16g/cm<sup>3</sup>)을 사용하였고,

4-관능성 에폭시 수지로는 Ciba-Geigy사 제품인 MY 720(tetra-glycidyl diamino diphenyl methane, 에폭시 당량 = 137~146, 밀도 = 1.21g/cm<sup>3</sup>)을 사용하였다. 경화제로는 일본 동경화성 제품인 4,4'-DDM(용점 = 89~91°C, 활성 수소 당량 = 49.5)를 증류수에서 2회 재결정한 뒤 감압, 건조하여 사용하였다.

### 2-2. Resin casting

각 에폭시 수지는 90°C로 유지되는 진공 오븐 속에서 30 in Hg의 감압하에서 약 2시간 동안 유지시켜, 에폭시 수지내에 잔류한 유기용제와 수분등을 1차로 제거하였다. 이와 같이 준비된 에폭시 수지는 즉각 사용되었다. 에폭시 혼합물은 95°C로 유지되는 oil bath 내에서 약 30분 정도 서서히 교반하여 완전히 혼합된 뒤, 그와 같은 온도로 상기한 진공 오븐 속에서 2시간 동안 예열시킨 4,4'-DDM을 서서히 첨가하여 완전 용해 시킨다. YD 128과 MY 720을 무게비로 100/0, 80/20, 60/40, 40/20, 20/80, 0/100으로 섞어서, 그것에 따른 당량비 보다 5wt% 과량으로 섞은 것을 각기 A, B, C, D, E, F로 명명하였다. 이와 같이 생성된 에폭시-아민 혼합물을 다시 90°C로 유지되는 진공 오븐속에서 30 in Hg의 감압하에서 육안으로 기포가 보이지 않을때까지 탈기시킨다. Resin casting용 mold는 200×190mm<sup>2</sup>의 stainless 판상 쉬이트와 3mm 두께의 silicon rubber spacer로 구성되어 있고, Airtex사 제품인 release # 19 이형제로 처리한 후 90°C로 예열시킨다. 준비된 mold에 완전히 탈기된 에폭시 아민 혼합물을 서서히 주입하여, 공기 방울이 생기지 않도록 mold에 수지를 채운다. 수지가 채워진 mold는 convection oven에서 다음과 같은 경화 조건으로 경화되었다.

경화조건(1) : 120°C / 6hr

경화조건(2) : 120°C / 3hr + 150°C / 6hr

경화조건(3) : 150°C / 5hr

경화조건(4) : 120°C / 3hr + 150°C / 2hr + 175°C / 1hr

경화조건(5) : 175°C / 4hr

이때의 가열 및 냉각 속도는 2°C / min로 유지하였다.

## 2-3. 시편제조 및 실험

경화된 에폭시 수지는 시편으로 자를때 발생하는 열에 의한 손상을 최소화 하기 위하여 water zet로 절단한 뒤 절단면을 wet polishing하였다. 굴곡시편의 크기는  $25 \times 80 \times 3\text{mm}^3$ 이고 시편두께와 지지간 거리의 비는 1:16으로 하고, Instron 1125를 써서, cross head speed는 1mm/min로 하여, ASTM D-790에 의해 삼점 굴곡 시험을 하였다. 각 조건별로 5개의 시편을 사용하여 그 평균값을 취하였다.

## 3. 결과 및 고찰

경화된 에폭시 수지 혼합물의 수지 조성과 경화 조건에 따라 그 밀도가 달라진다.

Table 1. Density of cured epoxy resin mixture.

Sample code Curing conditions	Density(g/cm <sup>3</sup> )					
	A	B	C	D	E	F
1	1.201	1.206	1.215	1.223	1.224	1.235
2	1.201	1.209	1.216	1.220	1.227	1.234
3	1.203	1.206	1.215	1.226	1.232	1.236
4	1.200	1.208	1.216	1.218	1.232	1.234
5	1.202	1.209	1.211	1.224	1.230	1.238

Table 1에서 보는 바와 같이 경화조건이 일정하면, MY 720이 많이 섞여 있을수록 밀도가 높아지는데, 이는 원래 MY 720 자체의 밀도가 YD 128 보다 4.3% 크기 때문이다. 그러나, 같은 수지 조성에 있어서는 경화 조건에 따라 최종 경화물의 밀도가 변화함을 알 수 있다. 에폭시 수지로서 YD 128과 MY 720을 무게비로 100/0으로 한 경우에는 그 최대 밀도 변화율 즉, 실험 결과중 가장 높은 수치를 가장 낮은 수치를 기준으로 한 최대 변화율이 4.5% 이고, 80/20으로 한 경우에는 0.25%, 60/40으로 한 경우에는 0.41%, 40/60으로 한 경우에는 0.66%, 20/80으로 한 경우에는 0.65%, 0/100으로 한 경우에는 0.32% 였다. 즉, YD 128에 MY 720을 섞은 경우에는 경화 조건에 따른 밀도 변화가 심하다. 이는 결국 2-관능성 에폭시와 4-관능성 에폭시가 동시에 반응하여 얻어

지는 삼차원 망목상 구조는 경화조건에 크게 영향을 받는 것을 의미한다.

Fig. 1과 2에 삼점굴곡 실험에 의해 얻어진 굴곡 탄성율과 굴곡강도 결과를 도시하였다. Fig. 1에서 보는 바와 같이 MY 720의 함량이 증가될 수록 굴곡탄성율이 꾸준히 증가한다. 그러나, MY 720의 함량 못지않게 경화 조건이 중요한 역할을 함을 볼 수 있다. 각 조성별로 얻어진 굴곡 탄성율을 최소치를 기준으로 최대치를 나누어 그것을 최대굴곡 탄성율의 변화율로 하면, YD 128과 MY 720은 무게비로 100/0으로 한 경우에는 11.9%, 80/20으로 한 경우에는 25.0%, 60/40으로 한 경우에는 15.9%, 40/60으로 한 경우에는 2.0%, 20/80으로 한 경우에는 13.6%, 0/100으로 한 경우에는 7.2% 였다. YD 128만으로 된 것의 최대 굴곡 탄성율의 변화율이 MY 720만으로 된 것 보다 약 1.5배 정도 크다. 그리고, YD 128과 MY 720의 무게비를 20/20으로 한 경우에 최대 굴곡 탄성율의 변화율이 가장 크게 증대되고, 40/60으로 한 경우에는 각종 경화조건에 따른 굴곡 탄성율의 변화가 크게 축소되었다. 이러한 결과들은 2-관능성 에폭시와 4-관능성 에폭시가 혼합되어 형성되는 삼차원 망목 구조의 굴곡탄성율은 경화조건에 따라 형성된 불완전한 network 점점 즉, dangling chains에 의해 크게 좌우됨을 알 수 있고,

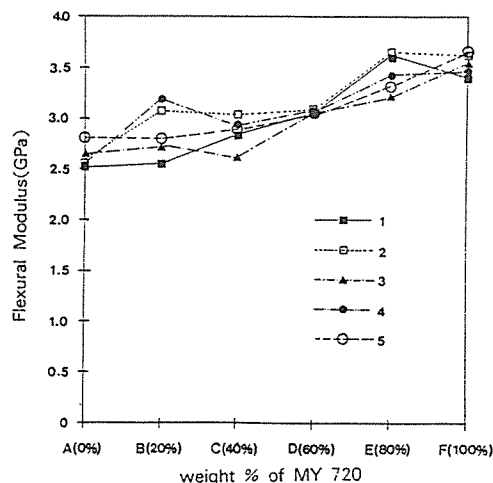


Fig. 1. Effect of Mixing Ratio and Cure Conditions on the Flexural Modulus of Cured Epoxy Resins

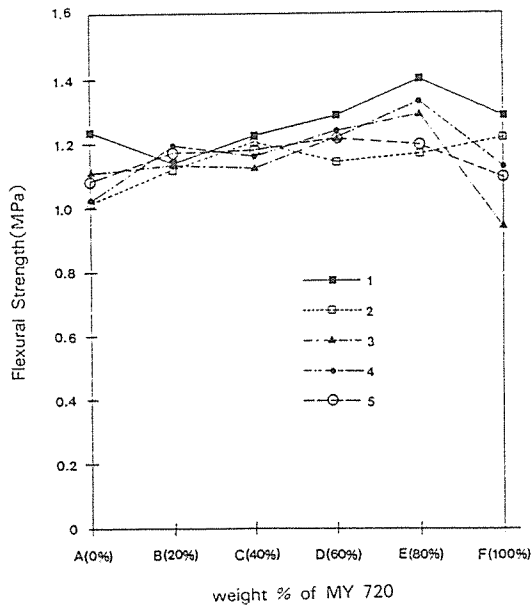


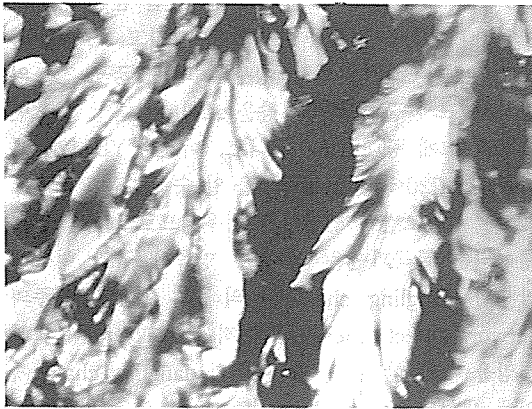
Fig. 2. Effect of Mixing Ratio and Cure Conditions on the Flexural Strength of Cured Epoxy Resins

YD 128과 MY 720의 무게비를 40/60으로 한 경우에 형성되는 삼차원 망목 구조는 각 경화조건에 따라 형성되는 dangling chains들의 분포가 입체적으로 비교적 균일함을 의미한다. 일반적으로 살펴볼 때 경화 온도가 높을수록 굴곡 탄성율이 높은 현상을 나타낸다. 그러나, 각 수지조성에 따른 적정 경화조건이 존재함도 알 수 있다. 굴곡 강도의 경우는 Fig. 2에서 보는 바와 같이, MY 720의 첨가에 의한 영향 보다는 경화조건이 더 큰 영향을 보여준다. 각 경화조건에 따른 비교를 위하여, 주어진 조건에서 굴곡 강도의 최소치를 기준으로 최대치를 나누어, 그것을 최대 굴곡 강도 변화율로 하면, YD 128과 MY 720을 무게비로 100/0으로 한 경우에는 22.1%, 80/20으로 한 경우에는 6.5%, 60/40으로 한 경우에는 12.7%, 80/20으로 한 경우에는 2.0%, 0/100으로 한 경우에는 36.9%였다. MY 720은 YD 128보다 경화조건에 따른 최대 굴곡 강도 변화가 약 1.7배에 달하였다.

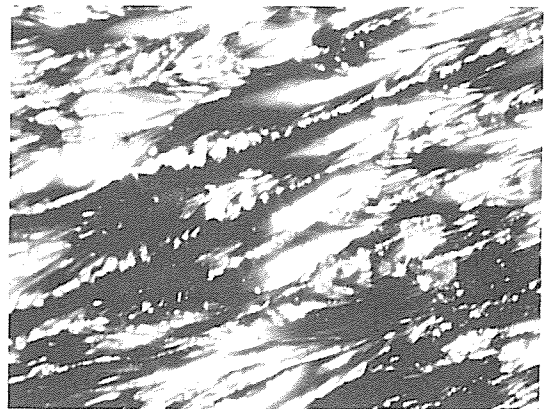
일반적으로 비교적 낮은 온도에서 장기간 경화시킨 것의 굴곡 강도가 가장 우수하고, YD 128이나 MY

720 모두 고온에서 장시간 경화시키면 굴곡 강도가 오히려 저하되는 경향을 나타낸다. 그리고, YD 128과 MY 720을 소량 혼합한 경우의 최대 굴곡 강도의 변화는 크게 줄어드는 경향을 보이나, 다량 섞으면 오히려 크게 증대한다. 그리고, 이것은 YD 128 보다는 MY 720에 의한 영향임을 알 수 있다. 결국 MY 720은 경화조건에 민감하게 좌우되므로, 그에 의해 생성되는 굴곡파단은 삼차원, 망목상 구조 형성시 발생된 dangling chains에 의해서 생성된 일종의 network defect zone에서 확률적인 crack 전파에 의한 것임을 추정 할 수 있다. 이러한 dangling chains에 의해 생성된 network defect zone의 경화조건에 따른 형성 가능성과 굴곡형태에 미치는 영향을 고찰 하기 위하여, 각 조성과 경화조건에 따른 삼점 굴곡 실험하에서의 굴곡 파단면을 광학 현미경을 써서 관찰하였다. 이 경우에 resin casting 시편 두께가 3mm인 경우에 시편 두께와 지지간 거리의 비를 1 : 16으로 한것은, 삼점굴곡 시험시 시편 윗면에 가해지는 압축응력과 시편 아랫면에 가해지는 인장응력과 더불어, 시편내부에 약간의 전단 응력이 발생 하여, 비교적 brittle한 물질인 경화된 에폭시 수지 혼합물이 조성과 경화 조건에 따른 미세구조의 변화가 가시적으로 나타날 수 있도록 하기 위해서이다[11]. YD 128만 사용한 resin casting 시편의 굴곡파단면중 인장파단 부위를 Fig. 3에 제시하였다. 다섯가지 경화조건 중에서 가장 낮은 온도에서 경화된 curing condition 1과 가장 높은 온도에서 경화된 curing condition 5의 경우를 비교하였다. curing condition 5에 의한 파단면이 curing condition 1에 의한 파단면보다 더욱 복잡하다. 이는 curing condition 5에 의해 형성된 domain의 크기가 curing condition 1에 의해 형성된 domain 보다 약간 작고 치밀한 것을 의미한다. 그 결과로 curing condition 5에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡탄성율은 curing condition 1에 의해 얻어진 것 보다 크다. 이는 앞서서 지적한 바와 같이 비교적 덜 치밀화된 즉, 자유로운 dangling polymer network가 crack 전파에 대한 완충 역할을 하기 때문인 것으로 생각된다.

YD 128과 MY 720의 무게비를 80/20으로 한 경우에 curing condition 1과 4에 의해 얻어진 resin



Cure Condition 1



Cure Condition 1



Cure Condition 5



Cure Condition 4

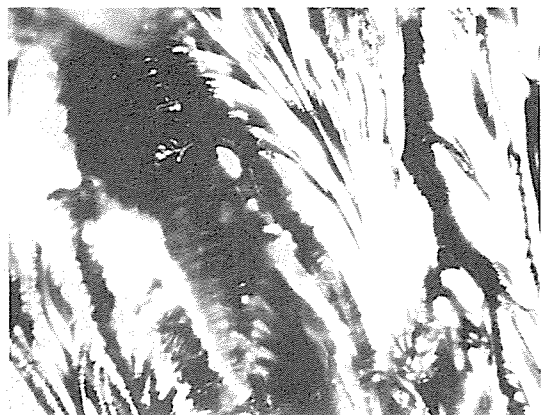
Fig. 3. 굴곡 파단면 중 인장 파단 부위의 광학 현미경 사진( $\times 400$ 배, 시료 A)

Fig. 4. 굴곡 파단면 중 인장 파단 부위의 광학 현미경 사진( $\times 400$ 배, 시료 B)

casting 시편의 굴곡 파단면 중 인장파단 부위에 대한 광학 현미경 사진을 Fig. 4에 제시하였다. YD 128과 MY 720의 무게비를 80/20으로 한 결과, curing condition 1에 의해 얻어진 굴곡 인장 파단면의 형태가 좀더 미세하게 생성된 것을 알 수 있다. 이는 20wt %를 차지한 MY 720에 의해 YD 128에 의한 미세구조 형성이 curing condition 1에 있어서는 일부 억제됨을 의미한다. 그러나, curing condition 4에 있어서 YD 128에 의한 미세구조 형성이 오히려 촉진되었음을 볼 수 있다. 그 결과 curing condition 4에 의한 resin casting 시편의 굴곡 탄성율이 가장 높아졌음을 알 수 있고, curing condition 1에 의한 resin casting

시편의 굴곡탄성율은 가장 낮은 값을 나타내었다. 그러나, 이러한 domain 형성 자체가 굴곡 강도에는 비교적 덜 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

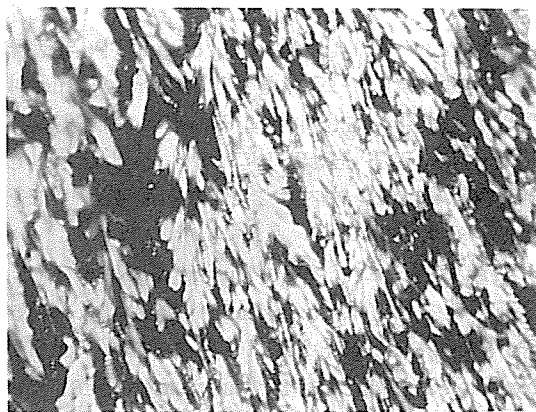
YD 128과 MY 720의 무게비를 60/40으로 한 경우에 curing condition 2와 3에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡파단면 중 인장파단부위를 Fig. 5에 제시하였다. Curing condition 2에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡파단면의 요철도는 curing condition 3에 의한 것보다 매우 크다. 이는 curing condition 2에 의해 생성된 YD 128의 미세구조가 curing condition 3에 의해 생성된 것보다 더욱 두드러짐을 보이는 것이다. 따라서, curing condition



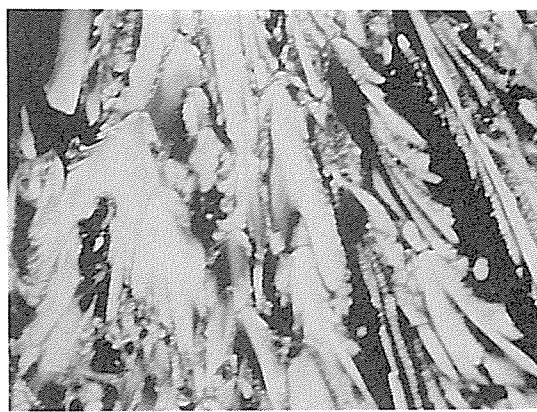
Cure Condition 2



Cure Condition 1



Cure Condition 3



Cure Condition 2

Fig. 5. 굴곡 파단면 중 인장 파단 부위의 광학 현미경 사진( $\times 400$ 배, 시료 C)

Fig. 6. 굴곡 파단면 중 인장 파단 부위의 광학 현미경 사진( $\times 400$ 배, 시료 D)

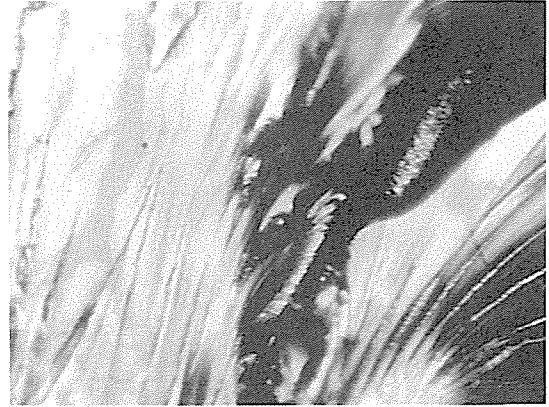
2에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 탄성을 및 굴곡 강도가 curing condition 3에 의해 얻어진 것보다 크다. 여기에서도 볼 수 있듯이 미세구조의 발달은 굴곡 강도 보다 굴곡 탄성율에 더 영향을 미친다. 이로써 Fig. 4에서의 결과가 다시 한번 확인된 셈이다. YD 128과 MY 720의 무게비를 40/60으로 한 경우에 curing condition 1과 2에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡파단면중 인장 파단 부위를 Fig. 6에 제시하였다. Curing condition 1 보다는 curing condition 2에서 미세구조가 크게 형성된 것으로 추정되나, 이는 resin casting 시편의 굴곡 탄성율에 크게 영향을 미치지 못하였고, 굴곡강도에서는 오히려

curing condition 1에 의한 resin casting 시편이 curing condition 2에 의한 것 보다 더 크다. 이는 MY 720이 상대적으로 많고 비교적 낮은 온도에서 경화되기 때문에 형성된 미세구조들이 충분히 집적되지 않았기 때문으로 추정된다. 따라서, 미세구조가 제대로 형성되지 않고 전반적으로 작게 퍼져 있는 curing condition 1에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 강도가 curing condition 2에 의해 얻어진 것 보다 크게 나타난다.

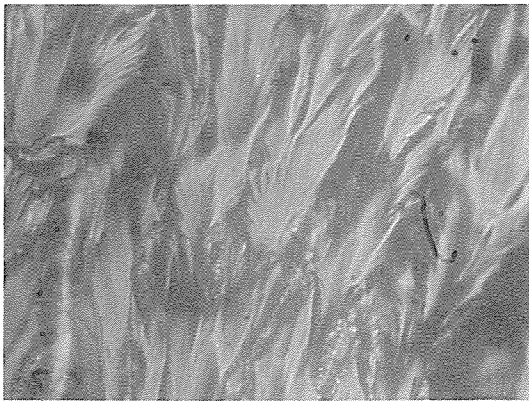
YD 128과 MY 720의 무게비를 80/20으로 한 경우에 curing condition 1, 2, 3에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 파단면 중 인장 파단 부위를



Cure Condition 1



Cure Condition 2



Cure Condition 3

Fig. 7. 굴곡 파단면 중 인장 파단 부위의 광학 현미경 사진( $\times 400$ 배, 시료 E)

Fig. 7에 제시하였다.

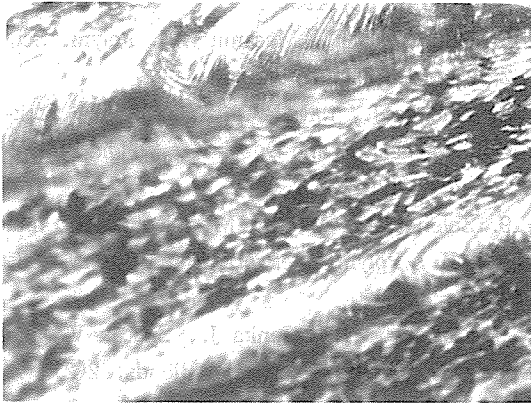
Curing condition 1, 2, 3에 의해 얻어진 resin casting 시편의 파단면을 비교해 보면, curing condition 2에 의한 것이 비교적 미세구조가 잘 형성되어 있음을 볼 수 있고, curing condition 1에 의한 것은 그 다음이고, curing condition 3에 의한 것이 비교적 약하게 형성되어 있음을 볼 수 있다. 그 결과 curing condition 2에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 탄성율이 가장 높고, curing condition 3에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 탄성율이 가장 낮다. 그러나, curing condition 1에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 강도가 가장 크고, curing

condition 2에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 강도가 가장 낮다. 이로써 형성된 domain structure의 균일성은 굴곡 탄성율에 주로 관계하고, 굴곡 강도는 미세구조가 일부 분산되고 그 사이 사이에 적절한 비규칙적 region을 가지는 것이 가장 큰 값을 보임을 알 수 있다.

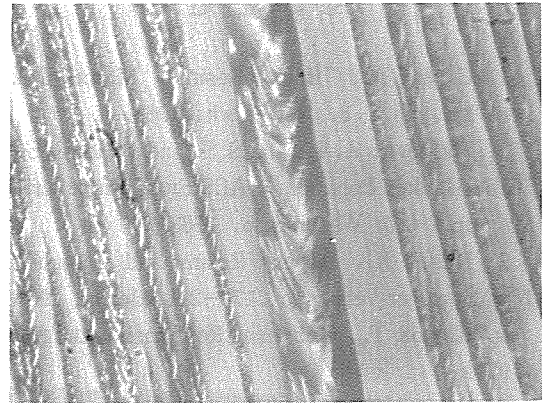
MY 720만으로 된 경우에 curing condition 1, 3, 5에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 파단면 중 인장 파단 부위를 Fig. 8에 제시하였다. curing condition 5에 의해 얻어진 resin casting 시편이 가장 brittle 한 파단 특성을 보였다. 이는 비교적 높은 온도에서 장시간 유지된 탓으로 강성이 높은 미세구조가 잘 형성된 탓으로 여겨진다. 그 반면 curing condition 1에서는 낮은 온도로 인하여, 미세구조가 비교적 덜 형성되어 있음을 알 수 있고, curing condition 3은 curing condition 1과 5의 중간 정도의 형태를 보인다. 그 결과 curing condition 5에 의해 얻어진 resin casting 시편의 굴곡 탄성율이 가장 높고 그 다음은 curing condition 3에 의해 얻어진 것이고, curing condition 1에 의해 얻어진 것이 가장 낮다. 그 반면, 굴곡 강도에서는 curing condition 1에 의해 얻어진 resin casting 시편의 것이 가장 높고, 그 다음으로는 curing condition 5에 의해 얻어진 것이고, curing condition 3에 의해 얻어진 것이 가장 낮다.

이로써 경화시 형성되는 미세구조는 주로 굴곡 탄성율에 큰 영향을 미치고, 굴곡 강도는 미세구조 사





Cure Condition 1



Cure Condition 3



Cure Condition 5

Fig. 8. 굴곡 파단면 중 인장 파단 부위의 광학 현미경 사진( $\times 400$ 배, 시료 F)

이에 있는 비교적 불규칙한 구조에 주로 영향을 받는다. 그러나, 비교적 낮은 온도에서 형성된 미세 구조들은 굴곡 탄성율에 크게 기여하지 못할 뿐만 아니라, crack 전파를 용이하게 하는 결함 부위로써 작용될 수 있으므로, 오히려 굴곡 강도를 크게 저하시킬 수 있다.

#### 4. 결 론

2-관능성 에폭시 수지인 YD 128에 4-관능성 에폭시 수지인 MY 720을 섞어서 DDM을 경화제로 하여, 여러가지 경화 조건으로 경화한 resin casting

시편의 밀도와 굴곡 특성을 살펴 보면 다음과 같은 결론을 내릴 수 있다.

1) MY 720의 함량이 커질수록 전반적으로 resin casting 시편의 밀도가 증대된다. 그러나, 같은 조성에 있어서는 경화 조건에 따라 일부 변화가 초래된다. MY 720이 60wt%와 80wt% 섞였을 때 이 변화가 두드러지게 나타난다.

2) MY 720의 함량이 증가될 수록 굴곡 탄성율은 점차 증대되는 경향을 보이나 굴곡 강도는 전반적으로 큰 변화는 보이지 않는다. 굴곡탄성율은 MY 720이 20wt% 섞인 경우와 80wt% 섞인 경우에 경화조건에 따라 큰 변화를 보였다. 굴곡 강도는 MY 720이 80wt% 섞인 경우와 MY 720이 100wt%인 경우에 경화 조건에 따라 큰 변화를 보였다.

3) Resin casting 시편의 경화시 생성되는 미세 구조의 수지 조성비와 경화 조건에 따라 변화하고, 이는 굴곡 특성에 큰 영향을 미치게 된다. 비교적 잘 발달되고, 규칙적인 배열을 가지는 미세구조는 굴곡 탄성율에 비교적 큰 영향을 미치나, 굴곡 강도는 비교적 덜 발달되고 불규칙적인 배열을 가지는 미세구조에 의해 비교적 많은 영향을 받는다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술처 선도연구개발사업의 일환으로 수행되었으며, 연구비를 지원해 주신 과학기술처에 감사드립니다.



## 참 고 문 헌

1. C. May. A., "Epoxy Resins", Marcel Dekker, Inc. pp.1-8, New York, 1988.
  2. Dickie. R. A, Labana S. S. and Bauer R. S., "Cross-Linked Polymers", ACS Symposium series 367, pp.2-27, Washington, 1988.
  3. Dusek K., "Epoxy Resins and Composites IV", Springer-Verlag, pp.173-213, Berlin, 1986.
  4. Kamon T., Kobunshi Ronbunshu, 36, 597 (1979)
  5. Kamon T., K, Saito, Shikizai, 54, 416 (1981).
  6. Kamon T., K. Saito, K. Takii, Netsukokasei jushi 3, 127(1982).
  7. Cuddihy E. F., Macanin J., J. Polym. Sci, A-2, 8, 1627(1970).
  8. Zelenka J., Ilavsky M., Spacek V., Stokrova S., Klaban J. and Dusek K., Colloid Polym. Sci. 269, 1013(1991).
  9. Zelenka J., Ilavsky M., Dobas I., and Dusek K., Polym. Network Blends, 1(2), 93, (1991).
  10. Ilavsky M., Zelenka J., Spacek V. and Dusek K., Polym. Networks Blends, 2(2), 95 (1992).
  11. Lee J. R., Kim J. H., Composite(Korea), 1(1), 10(1988).
-