

Aramid 단섬유 보강 에폭시 복합재료 제조 - 2. 에폭시 매트릭스의 경화촉진 영향 및 아라미드 섬유 보강 에폭시 복합 재료의 기계적물성

임 승 하 · 하 창 식*[†] · 조 원 제*
태광산업 기술연구소 · *부산대학교 고분자공학과
(1991년 11월 18일 접수)

Short Aramid Fiber Reinforced Epoxy Composites- 2. Effect of Curing Acceleration of Epoxy Matrix and Mechanical Properties of Aramid Fiber Reinforced Epoxy Composites

Seung Ha Lim, Chang Sik Ha*[†], and Won Jei Cho*
Research Institute, TaeKwang Industrial Co. Ltd., Ulsan, Kyeongnam 680-100, Korea
*Dept. of Polymer Science and Engineering, Pusan 609-735, Korea
(Received November 18, 1991)

요 약 : 에폭시-아민계의 경화 촉진과 에폭시 매트릭스 및 아라미드 섬유보강 에폭시 복합재료의 기계적 물성에 미치는 에폭시 매트릭스의 경화촉진제의 영향을 연구하였다. 비스페놀A의 디글리시디에테르(DGEBA)는 촉진제와 함께/또는 촉진제 없이 메틸렌디아닐린(MDA)으로 경화시켰다. 본 연구를 위하여 트리스(디메틸아미노메틸)페놀(DMP-30)과 3-(3,4-디클로로페닐)-1,1-디메틸우레아(DIURON) 두 종류의 촉진제를 사용하였다. DMP-30이 높은 T_g와 빠른 겔화시간, 높은 기계적 강도를 보여 DIURON 보다 양호한 촉진제임을 알 수 있었다. 아라미드 섬유로 보강된 에폭시-아민 복합재료에서도 DMP-30으로 경화 촉진된 에폭시 복합재료가 DIURON으로 경화 촉진된 에폭시 복합재료보다 높은 기계적 강도를 나타내었다.

Abstract : The effect of curing accelerators on the mechanical properties of epoxy matrix and aramid fiber reinforced epoxy composites was investigated. The epoxy, diglycidylether of bisphenol A (DGEBA) was cured with methylene dianiline(MDA) with or without accelerators. Two kinds of accelerators were tested for the study ; tris(dimethylaminomethyl) phenol (DMP-30) and 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethyl urea (DIURON). DMP-30 is more effective accelerator than DIURON which showed higher T_g, faster gel time and good mechanical strength. In the aramid-fiber reinforced epoxy-amine composites, it was also found that the composite accelerated by DMP-30 exhibits higher mechanical strength than that accelerated by DIURON.

[†] To whom all correspondence should be addressed.

서 론

에폭시 수지는 경화시의 저 수축성, 경화의 용이성, 경화 후의 기계적, 열적, 화학적 및 전기적 측면에서의 우수한 특성으로 인해 적당량의 경화제와 적절한 경화 조건에 의해 다양한 물리적 및 화학적 성질을 가진 재료를 만들 수 있어 복합 재료의 매트릭스 소재로 널리 이용되고 있다.¹

또한, 에폭시를 매트릭스로 한 섬유 강화 복합재료는 강도와 탄성률이 금속 재료에 맞먹고, 비중이 작은데다, 비강도, 비탄성률이 현저히 커서 자동차 및 항공기 부품은 물론 각종 구조물이나 스포츠 용품등 폭 넓은 수요가 기대되는 고성능 신소재로 각광 받고 있음은 주지의 사실이다.^{2~5} 강화제로 널리 사용되는 섬유로서는 유리섬유, 석면, 탄소 섬유 및 아라미드(aramid) 섬유 등이 있는데, 이 중에서 아라미드 섬유는 비중이 가장 작고 탄성률이나 강도가 높을 뿐만 아니라 내열성과 난연성이 탁월하여 다양한 기질에 대한 보강제로 크게 주목받고 있다.^{6~8}

기질 소재로 사용된 에폭시 수지는 적절한 경화제로서 oxirane이나 hydroxyl기를 통해 유용한 열경화성 수지로 변환되는데 에폭시의 경화 반응에서의 kinetics 연구와 chemorheology적인 연구는 최종 복합재료의 물성에 직접적인 영향을 미치므로 많은 연구가 있어 왔다.^{2~5} 특히 이관능성 에폭시의 경화 메카니즘에 대한 경화제의 종류, 농도, 온도의 영향, 그리고 촉진제의 종류, 농도의 영향 등은 광범위한 연구가 있어왔다.^{1,9,10}

본 연구에서는 에폭시 수지로 비스페놀A의 디글리시딜에테르(DGEBA) type를 사용하였고 경화제로 Methylene dianiline(MDA)를 사용하였는데 MDA는 다른 아민에 비해 최종 에폭시 경화 제품이 우수한 특성을 갖고 특히, 내부식성이 요구되는 에폭시 복합재료에 응용이 되는 것으로 알려져 있다.² 그러나, 산업적으로는 MDA가 독성이 강하고 또한, 반고상이기 때문에 MDA의 함량을 줄이는 대신 다른 경화제 혹은 촉매를 함께 사용함으로써 MDA의 단점을 보완하면서 MDA의 우수한 특성을 갖도록 하는

연구가 절실히 요청되고 있다. 따라서 본 연구에서는, 경화제로도 많이 사용되는 방향족 아민계인¹⁰ 트리스(디메틸아미노페닐) 페놀(DMP-30)과 3-(3,4-디클로로페닐)-1,1-디메틸우레아(DIURON) 등을 MDA와 함께 사용하여 에폭시 수지의 경화를 촉진시키고 이렇게 해서 경화된 에폭시 수지의 기계적 성질과 아라미드 섬유로 보강된 에폭시 복합재료의 기계적 성질을 연구하였다.

실 험

재 료

Table 1은 본 연구에서 사용된 매트릭스 재료와 그 특성을 나타낸 것이다. 에폭시 수지는 에폭시 당량(EEW)이 184g/eq인 DGEBA형의 Shell-828 grade를 사용하였고 경화제로 Methylene dianiline(MDA)를 사용하였으며 촉진제로는 [Tris(dimethylamino-methyl) phenol](DMP-30) 및 3-(3,4-dichlorophenyl)-1,1-dimethyl urea(DIURON)를 사용하였다.

반 고상인 MDA는 Hot Dryer(50°C)에서 30분간 처리하여 녹인 후 액상 상태에서 사용하였으며 powder상인 DIURON은 수지 중에 분산·혼합하였다.

복합재료 제조를 위하여 사용된 아라미드 yarn은 Kolon사에서 연구용으로 제조한 것으로 비중 1.43, 1565.7 denier, 19.4g/denier(251.4 kg/mm²)의 tenacity, Young률 571.8 g/denier(7400 kg/mm²) 및 4.3% elongation의 물성을 가지고 있다.

아라미드 단섬유로는 위의 yarn(평균직경 7 ± 0.05 μm)을 절단하여 3mm의 길이로 사용하였다.

Epoxy/Amine/Accelerator계 시료 제조

에폭시 수지와 경화제 혼합

에폭시 수지와 경화제를 1 : 1 당량비로 비이커 규모로 축소하여 혼합하였고 혼합 분은 상온에서도 경화가 진행되기 때문에 혼합 후에는 곧 바로 -18°C의 냉동실에 보관해 두었다가 수시간 내에 측정을 완료하였다.

Table 1. Materials and Their Characteristics

Materials	characteristics	Type	Structure	State	MW	Maker	Note
Resin	Shell-828	DGEBA		Liquid	368	Shell	sp.gr. : 1.17 EEW : 184
Hardener	Amine (Ancamine-1482)	Cyclo-aliphatic		Semi-Solid	169	Anchor	
Accelerator	Tertiary amine (DMP-30)	Aromatic tertiary amine		Liquid	265	Rohm & Haas	
	Aromatic amine (DIURON)	Chlorinated-amine		Powder	233	丸和-Biochem	m·p : 158.5(°C)

에폭시 수지, 경화제 및 촉진제 혼합

(1) DMP-30 혼합

에폭시 수지와 경화제를 먼저 1 : 1 당량비로 혼합한 뒤 DMP-30을 에폭시 기준으로 5~20% 함량으로 첨가하여 혼합하였다. 촉진제인 DMP-30은 Amine 특유의 자극성 기체를 발생하기 때문에 혼합할 때는 챔버내에서 진행하였다.

(2) DIURON 혼합

에폭시 수지와 경화제를 먼저 1 : 1 당량비로 혼합한 뒤 DIURON을 에폭시 기준으로 5~20% 함량으로 첨가하여 혼합하였다. 분말상인 촉진제 DIURON은 분산이 고르게 되도록 하였다. 비이커 규모로 혼합한 뒤 볼타르를 이용해서 분산이 균일하도록 하였다. 이 시료는 즉시 -18°C의 냉동실에 보관하여 경화 속도를 최대한 늦춘 후 수 시간내에 측정인 완료되도록 하였다.

아라미드 단섬유 복합 재료 제조

Epoxy/amine 1 : 1에 대해 DMP-30과 DIRON이 각각 10 및 20 wt% 함유된 수지계를 (1) 및 (2) 항과 같이 혼합하고 아라미드 단섬유를 0.05, 0.5, 1, 0, 3.0 wt% 혼합하여 오토클레이브(autoclave)를

이용하여 복합 재료를 제조하였다.

경화조건은 130°C에서 3시간 동안 3 kg/cm²의 압력하에서 복합 재료를 제조하였다.

아라미드 섬유 필라멘트 와인딩 복합 재료 제조

아라미드 섬유 보강 에폭시 복합재료는 epoxy/amine 1 : 1에 대해 DMP-30과 DIRON이 각각 10 및 20 wt% 함유된 수지계를 (1) 및 (2)항과 같이 혼합한 후 필라멘트와인딩법으로 제조된 프리프레그를 오토클레이브를 이용하여 제작하였다. 드럼에 균일하게 감긴 아라미드 필라멘트에 위에서 혼합된 에폭시 혼합물을 도포한 뒤 롤링(rolling) 상태에서 3시간 동안 건조시켰다. 이 프리프레그를 인장 강도 측정용은 6ply, 굽힘강도 측정용 재료는 12ply를 적층하여 배깅(bagging)한 후 오토클레이브에 넣고 130°C에서 3시간 동안 3kg/cm²의 압력하에서 최종 복합재료를 제작하였다.

측 정

경화 수지의 최대(Maximum Attainable) T_g

경화 수지의 T_g는 Perkin Elmer 시차 주사 열 분석기 DSC 7을 사용하여 질소 기류하에서 승온 속도

10°C/min로 행하였다. DSC 기기는 인덱스 그리고 아 연을 사용하여 온도 및 열량을 보정하여 사용하였다. 시료는 5mg 정도의 무게를 정확히 재어 알루미늄팬 에 넣고 뚜껑을 덮고 압착(crimping) 하였다. 측정 온도는 50~250°C 범위로 하여 측정하였다. 10°C/min로 첫번째 승온하여 발열곡선으로 에폭시의 경 화가 끝난 것을 확인한 다음 10°C/min로 두번째 승 온을 하여 경화수지의 T_g를 얻었다.

Gel Time

겔화시간(gel time)의 측정은 KOFILER system의 WME type의 핫벤치(Hot bench)를 이용하였고 온 도는 130°C에서 동일한 조건으로 측정하였다. 핫벤 치는 phenacetin (135°C)과 acetanilid (114.5°C)를 사용하여 온도를 보정하여 사용하였다.

기계적 물성측정

경화수지의 물성은 JIS K 6911에 따라 Tensilon UTM(UCT-10T)을 사용하여 인장강도 및 굴곡강도 를 측정하였다. 이 때 각 시편의 경화는 150°C에서 4시간 동안 행하였고 간이절삭기(Model IDT-x)를 이용하여 측정하였다. 인장강도 측정시 표식길이 (guage length)는 96.4mm, 인장속도는 2mm/min 로 하였다.

결과 및 고찰

경화 수지의 최대 T_g

에폭시 수지 경화 과정에서는 겔화가 진행됨에 따 라 여러가지 흥미있는 현상들이 관찰된다. 경화중의 겔화와 유리화에 대해서는 Gillham의 시간-온도-변 형(TTT) 경화도 개념에 의해 잘 설명된 바 있으며,¹¹ 일반화된 WLF식을 응용하여 더욱 새로운 반응 속도식이 Kim과 Kim에 의해¹² 제안된 바도 있다. 에폭시 수지의 T_g는 경화도의 증가에 따라 증가하 며, DSC측정시의 승온속도에 따라 각각 달라지는데, 본 연구에서는 10°C/min에서 한번 승온하여 에 폭시 수지가 완전히 경화한 다음 두번째도 같은 속 도로 승온할 때 얻은 최대 T_g를 얻어 경화 촉진제의 영향을 고찰하였다. Table 2에 얻어진 T_g를 정리하

Table 2. Maximum Attainable T_g(°C) of Accelerated Epoxy/Amine Systems(Epoxy/Amine : 1/1)

Accelerator Contents(wt%)	DMP-30	DIURON
0	153	153
5	154	154
10	159	156
20	164	159

였다.

경화촉진제의 경우 촉진제의 함량 증가에 따라 증 가하여 경화촉진 효과를 보임을 관찰할 수 있었다. DMP-30과 DIURON 경우를 비교하면 DMP-30을 사용하였을 때가 훨씬 큰 T_g를 보임을 알 수 있고 이는 후술할 기계적 물성과도 일치한다.

겔화시간

Figure 1은 DGEBA(828)/MDA계의 겔화시간에 미치는 DMP-30과 DIURON 함량의 영향을 보인 것 이다. DMP-30과 DIURON 함량이 증가함에 따라 DGEBA(828)/MDA계의 겔화시간은 당량비가 0.5

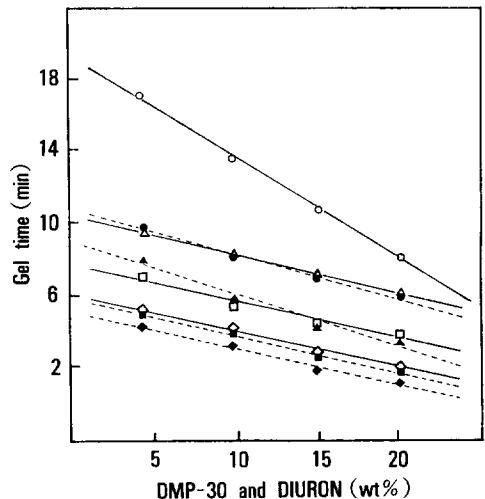


Fig. 1. Variation of gel time vs wt% of DMP-30 or DIURON with different equivalent ratio of epoxy/ amine for DGEBA(828)/MDA/DMP-30 and DIURON systems (DMP-30, key : ● 1 : 0.5, ▲ 1 : 0.75, ■ 1 : 1, ◆ 1 : 1.25), (DIURON, key : ○ 1 : 0.5, △ 1 : 0.75, □ 1 : 1, ◇ 1 : 1.25).

일때는 DIURON의 경우 겔화시간이 DIURON의 함량 증가에 따라 크게 감소하였으나 그 밖의 대부분의 경우는 겔화시간이 비례적으로 감소하는데 에폭시와 아민의 당량비와 관계없이 겔화 시간의 단축효과는 DMP-30이 다소 더 큼을 알 수 있다. 이것은 즉 촉매로서의 효과가 더 크다는 것을 의미한다.

물리적성질

DGEBA(828)/MDA계 경화물의 물성을 Table 3에 정리하였다. 우선 DGEBA(828)/MDA의 당량비에 따른 영향을 보면 인장강도와 굴곡강도 경우 당량비 1 : 1에서 최소값을 보였다. 에폭시/아민계의 당량비에 따른 T_g 변화에 관한 연구에 의하면² 당량비 1 : 1의 경우 가장 높은 T_g 를 보였는데 이 결과를 고려하면 약간 상반된 결과라고 하겠으나 이러한 현상은 고온에서 경화물의 함수로서의, 실온에서의 자유부피 증가 효과로 설명할 수 있다. 즉 고온에서 경화반응이 일어나는데 냉각과 함께 높은 가교밀도를 가진 매트릭스는 분자의 이동성이 작으므로 무정형의 유리상태에서 조밀하게 충전하기가 어렵게 된다.¹³ 따라서 가교도가 높을수록 그 매트릭스는 자유부피(관찰된 부피와 차지된 부피(occupied volume)의 차이)가 증가하게 되고 따라서 인장 및 굴곡 탄성률 등이 감소하게 된다. 이러한 현상은 또한 비틀림 끈 분석(torsional braid analysis)을 이용하여 에폭시 수지의 경화 반응을 연구한 Gillham의 연구 결과에

도 보고된 바 있다.^{14, 15}

가교 전환율에 따른 굴곡강도의 영향은 문헌에 따르면 가교반응 초기엔 가교밀도의 증가에 따라 탄성률이 증가하나 T_g 증가에 따른 자유부피의 증가로 B-단계를 지나면 다시 감소하는 것으로 보고되어 있다.¹⁶ 에폭시/아민 당량비 1 : 1 일때 촉진제의 영향을 보면 촉진제의 함량이 클수록 인장강도는 감소하고 굴곡강도는 거의 변화가 없는 경향을 보이고 있고 DMP-30 경우 그 효과가 더 큼을 알 수 있다. 그러나 촉진제를 사용하지 않았을 때의 결과와 비교하면 DMP-30 경우 인장강도를 상당히 증가시킴을 알 수 있다.

이상의 전체적인 결과를 비교할 때 DGEBA(828)/MDA system에 대해서 DMP-30의 경우가 DIURON에 비해 T_g 가 높으며 물성에 미치는 효과가 큰 것으로 나타나 더욱 효과적인 촉진제임을 알 수 있다.

아라미드섬유보강 에폭시 복합재료

Fig. 2는 에폭시/아민 1 : 1에 대해 DMP-30과 DIURON이 10 wt% 함유된 수지계를 매트릭스로 한 아라미드 단섬유로 보강된 에폭시 복합재료의 기계적 물성을 나타낸 것으로 6개의 시편에 대해 평균값과 그 측정치의 범위를 오차 막대기(error bar)로 나타내었다. 인장강도(Fig. 2-A)는 아라미드 단섬유의 함량이 0.05 wt%일 때, 매트릭스의 인장강도보

*Table 3. Properties of DGEBA(828)/MDA and DGEBA(828)/MDA/DMP-30(DIURON) Systems

Sample NO	Composition				Properties(kg/mm ²)		
	DGEBA (828)	MDA	DMP-30 (by wt%)*	DIURON (by wt%)*	Tensile strength	Tensile modulus × 10 ⁻³	flexural strength
1	1	0.5	—	—	3.65	0.29	11.9
2	1	1	—	—	3.50	0.23	9.18
3	1	1.25	—	—	3.97	0.33	10.9
4	1	1	10	—	8.85	0.68	11.8
5	1	1	20	—	6.96	0.59	12.2
6	1	1	—	10	5.58	0.50	10.1
7	1	1	—	20	4.59	0.46	11.5

* based on the 1 : 1 equivalent ratio of epoxy/amine

+ Curing conditions ; 150°C × 4 hrs

+ Testing method ; JIS-K 6911

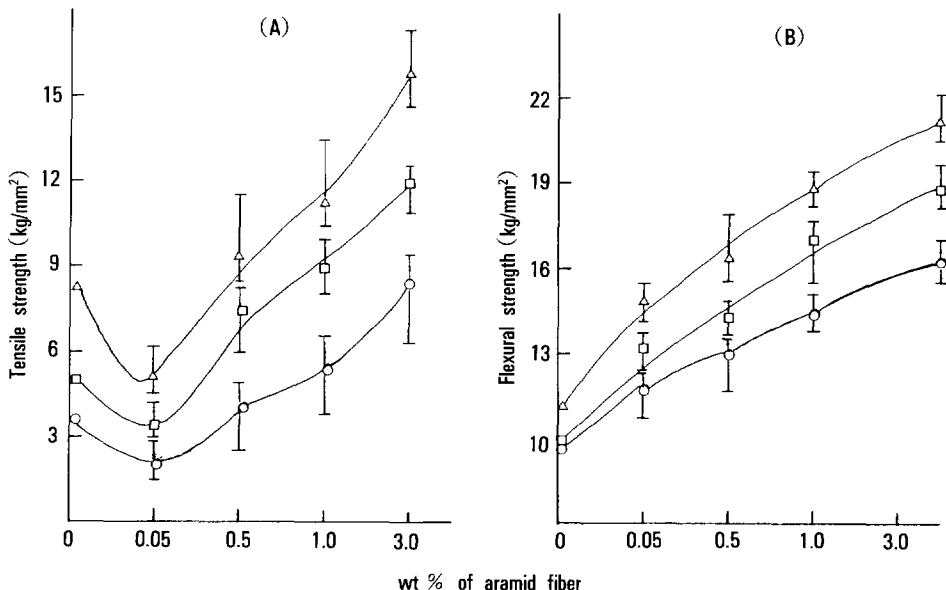


Fig. 2. Mechanical properties of short aramid fiber reinforced epoxy composites as a function of aramid fiber contents(wt%) (A) Tensile strength(kg/mm²), (B) Flexural strength(kg/mm²) (○ epoxy/amine(1/1), △ epoxy/amine(1/1)/DMP-30(10 wt%), □ epoxy/amine(1/1)/DIURON(10 wt%).

다 약간 감소하였다가 함량이 계속 증가할수록 증가하였다. 복합재료의 강도나 탄성률이 매트릭스의 값 이하로 떨어지는 현상은 흔히 탄성체에 섬유를 보강하는 경우 나타나며, 희석효과(dilution effect)로 알려져 있다. 이 효과는 섬유함량이 적고, 섬유-탄성체 매트릭스 간에 적절한 접착이 유지되는 경우, 매트릭스의 연신이 섬유계면에 변형을 집중시킴으로써 섬유가 매트릭스 변형을 제어하지 못하고 낮은 변형 하에서 파괴되는 것으로 이해되고 있다.¹⁷

반면 굴곡강도는 아라미드 단섬유의 함량이 증가할수록 증가하였다(Fig. 2-B). 인장강도와 굴곡강도 모두 아라미드섬유의 함량의 증가에 따른 측정치의 오차 막대기가 넓은 것은 아라미드섬유와 에폭시간의 계면 결합력이 좋지 못해 복합재료 제조시 발생한 기포가 충분히 제거되지 못한데서 기인한 것이라 생각된다. 실제로 5 wt% 이상의 아라미드단섬유를 함유하는 복합재료를 제조하려고 하였으나 에폭시와 아라미드단섬유간의 혼합이 어려워 복합재료를 제조할 수 없었다.

Fig. 3은 에폭시/아민 1 : 1에 대해 DMP-30과 DIURON이 20 wt% 함유된 수지계를 매트릭스로 한 아라미드 단섬유로 보강된 에폭시 복합재료의 기계적 물성을 나타낸 것이다. 측정치의 범위를 오차 막대기(error bar)로 나타내었다. Fig. 2와 마찬가지로 희석효과에 의해 아라미드 단섬유의 함량이 0.05 wt%일 때, 매트릭스의 인장강도보다 약간 감소하였다가 함량이 계속 증가할수록 증가하였으며(Fig. 3-A) 굴곡강도는 아라미드 단섬유의 함량이 증가할수록 증가하였다(Fig. 3-B).

에폭시/아민 1 : 1에 대해 DMP-30과 DIURON이 10 및 20 wt% 함유된 수지계를 매트릭스로 하여 3 wt%의 아라미드 단섬유로 보강된 에폭시 복합재료의 기계적 물성을 비교한 것을 Table 4에 나타내었다. 같은 함량의 아라미드 단섬유로 보강될 경우 인장강도와 굴곡강도, 인장탄성률과 굴곡탄성률 모두 경화촉진제로 DMP-30을 사용하였을 때가 DIURON을 사용하였을 때 보다 크고, 이들의 함량이 클수록 큰 기계적 강도를 보였다.

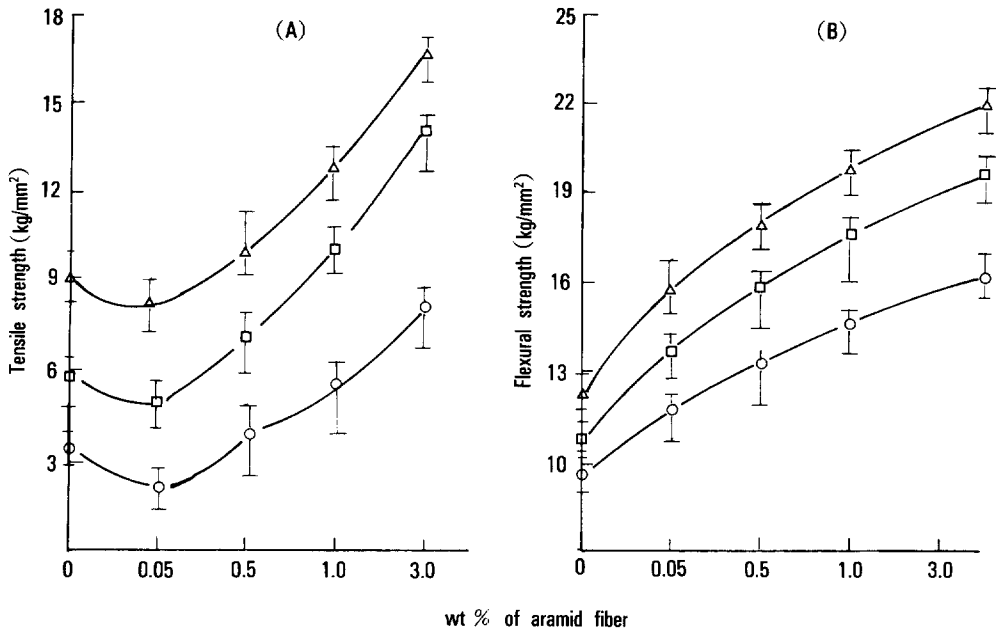


Fig. 3. Mechanical properties of short aramid fiber reinforced epoxy composites as a function of aramid fiber contents(wt%) (A) Tensile strength(kg/mm²), (B) Flexural strength(kg/mm²) (○ epoxy/amine(1/1), △ epoxy/amine(1/1)/DMP-30(20 wt%), □ epoxy/amine(1/1)/DIURON(20 wt%).

Table 4. Mechanical Properties of Short Aramid Fiber Reinforced Epoxy Composites

System	Properties	Tensile		Flexural	
		Strength (kg/mm ²)	Modulus (×10 ⁻³ kg/mm ²)	Strength (kg/mm ²)	Modulus (×10 ⁻³ kg/mm ²)
Epoxy/amine(1/1)/	Contents(wt%)				
DMP-30(3.0 wt%)*	10	15.9	0.82	21.2	0.77
	20	17.8	0.98	22.5	0.81
Epoxy/amine(1/1)/	10	12.0	0.78	18.6	0.69
DIURON(3.0 wt%)*	20	13.4	0.83	19.4	0.72

* The contents of short aramid fibers are 3 wt% based on the epoxy matrix.

그런데, 아라미드섬유를 단섬유로 절단하지 않고 필라멘트와인딩으로 프리프레그를 만든 후 만든 복합재료의 경우는 아라미드섬유를 단섬유로 보강한 경우에 비해 약 5-7배의 강도를 가졌다(Table 5). 이로서 아라미드섬유에 의한 에폭시 매트릭스의 강도 상승은 아라미드섬유 자체의 보강효과 뿐만 아니라 매트릭스와 아라미드섬유간의 계면 결합력이 대단히 중요한 연구 과제라고 보겠다.^{18~24}

아라미드섬유로 보강된 에폭시 복합재료에서 매트릭스로 사용된 에폭시 경화에 대한 경화 촉진제의 영향은 아라미드 단섬유로 보강되었거나, 아라미드 섬유 필라멘트와인딩으로 제조되었거나 관계없이 DMP-30을 사용하였을 때 DIURON을 사용하였을 때 보다 큰 기계적 강도를 보였다. 이는 물론 에폭시/아민 경화에 미치는 두 촉진제의 다른 영향에 기인된다.

Table 5. Mechanical Properties of Aramid Fiber Reinforced Epoxy Composites Prepared by Filament Winding Technique*

System	Properties	Tensile		Flexural		
		Strength (kg/mm ²)	Modulus (×10 ⁻³ kg/mm ²)	Strength (kg/mm ²)	Modulus (×10 ⁻³ kg/mm ²)	
Epoxy/amine(1/1)		3.5	0.23	9.18	0.17	
Epoxy/amine(1/1)/	Contents(wt%)					
DMP-30		10	75.1	4.1	39.4	3.3
		20	88.8	4.3	39.8	3.6
Epoxy/amine(1/1)/	10	59.1	4.0	38.7	3.2	
DIURON	20	66.0	4.1	41.4	3.7	

* The contents of aramid filaments are 40 wt% based on the wt. of cured epoxy resin.

이로써, 매트릭스로서의 에폭시/아민계의 경화조건은 아라미드섬유로 보강된 최종 복합재료의 물성에도 큰 영향을 미치는 것을 확인할 수 있었다.

Table 5에 아라미드섬유 필라멘트와인딩으로 제조된 에폭시 복합재료의 기계적 물성을 정리하였다. 필라멘트와인딩 복합재료에서도 역시 촉진제의 함량이 증가할수록 기계적 물성이 증가되고, 같은 촉진제 함량 경우 DMP-30 경우가 DIURON에 비해 높은 기계적 강도를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 그리고 보강되지 않은 에폭시 수지의 기계적 강도를 나타낸 Table 3의 데이터를 비교하면, 아라미드 섬유 보강으로 인해 인장강도 경우 10배, 굴곡강도 경우 3배 가까이 향상된 것을 알 수 있다.

본 연구에서는 한가지 방법으로 복합재료를 제조하였으나 복합재료 제조방법에 따른 복합재료의 물성변화와 개면현상도 계속 연구해야 할 과제라고 생각된다. 또한 아민을 이용한 플라즈마 에칭 처리와 같은 아라미드 섬유와 에폭시수지와와의 계면물성 향상 등에 대해서도 더욱 상세한 연구가 계속되어야 할 것으로 생각된다.

결 론

DGEBA 형인 Shell-828 에폭시 수지와 아민계인 경화제, Ancamine-1482계에서 이들의 경화과정과 에폭시-아민계의 기계적 성질과 아라미드 섬유로 보강된 에폭시 복합재료의 기계적 성질에 미치는 촉진

제의 영향을 연구하였다. 촉진제 영향을 고찰하기 위하여 변성 방향족 삼차 아민인 DMP-30과 염소가 부가된 방향족 아민인 DIURON을 사용하여 DSC로서 T_g와 겔화시간으로 이들의 경화촉진을 연구한 결과 얻은 중요한 결론은 다음과 같다.

1) DGEBA(828)/MDA계에 같은 함량의 촉진제를 사용하였을 경우 DMP-30를 사용하였을 경우가 DIURON에 비해 높은 T_g를 나타내었다.

2) 겔화시간을 조사한 결과 DMP-30 경우가 DIURON의 경우보다 겔화시간을 단축시키는 효과가 큰 것으로 나타났다.

3) epoxy/amine 매트릭스 및 아라미드 섬유로 보강된 에폭시 복합재료의 기계적 물성은 DMP-30를 촉진제로 사용했을 때가 DIURON을 촉진제로 사용했을 때보다 우수함을 알 수 있었다.

4) 촉진제 함량의 증가에 따라 복합재료의 기계적 물성도 증가하였다.

감사의 글 : 본 연구는 '90년도 교육부 신소재분야 연구지원에 의해 이루어졌으므로 이에 감사드립니다. 또한, 본 연구를 위하여 아라미드 yarn을 제공해주신 Kolon 기술연구소에 감사를 표합니다.

참 고 문 헌

1. Y. Tanaka and R. S. Bauer, "Curing Reactions", in C. A. May, Ed., "Epoxy Resins Chemistry and Te-

- chnology", 2nd ed., Chap. 3, Marcel Dekker Inc., New York, 1988.
2. S. H. Lim, C. S. Ha, and W. J. Cho, Proc. Int'l. Meeting on Rheology and Polymer Processing, Sept. 27-29, Seoul, pp. 199-201 (1990).
 3. J. S. Shim, W. Lee, and J. S. Jang, Proc. Polym. Soc. Kor., '90 Annual Fall Meeting(1990) pp. 86-87; see also *ibid.*, p. 81 and p. 85.
 4. K. Dusek, *Polymer*, **19**, 931 (1978).
 5. J. Gu, S. C. Narang, and E. M. Pearce, *J. Appl. Polym. Sci.*, **30**, 299 (1985).
 6. L. Penn, H. A. Newey, and T. T. Chiao, *J. Mat. Sci.*, **11**, 190 (1976).
 7. L. Penn and M. G. Northolt, *Eur. Polym. J.*, **10**, 799 (1974).
 8. "Kevlar 49 Data Manual", DuPont de Nemours Chemical Co., Delaware, 1974.
 9. J. S. Shim, W. Lee, and J. S. Jang, *Polym. Bulletin*, **25**, 6, 657, 661, 669 (1991).
 10. C. A. May, ed., "Epoxy Resins-Chemistry and Technology", 2nd ed., p. 505, p. 1093, Marcel Dekker Inc., New York 1988.
 11. J. K. Gillham, *Polym. Eng. Sci.*, **26**, 20,1429 (1986).
 12. D. H. Kim and S. C. Kim, *Polym. Bulletin*, **21**, 121 (1989).
 13. A. Noordam, J. M. Wintraeken, and G. Walton, "Mechanical and Physical Properties of Epoxy Matrices as a Function of the Degree of Cure", in B. Sedlacek and J. Kahove, Eds., "Crosslinked Epoxies", Proc. of 9th Disc. Conf., Prague, Czechoslovakia, July 14-17, p. 373 (1986)
 14. J. K. Gillham, "Developments in Polymer Characterizations", Chap. 5, Appl. Sci. Publ., U. K., 1982.
 15. J. B. Enns and J. K. Gillham, *J. Appl. Polym. Sci.*, **28**, 2831 (1983).
 16. T. Donnellan and D. Roylance, *Polym. Eng. Sci.*, **22**, 821 (1982).
 17. C. H. Choi, Y. S. Ok, and B. K. Kim, *Polymer (Korea)*, submitted (1991).
 18. T. T. Chiao, J. E. Wells, R. L. Moore, and M. A. Hamstad, "Stress-Rupture Behavior of Strands of an Organic Fiber/Epoxy Matrix", ASTM, Standard Testing Procedure, ASTM STP-546, 209 (1974).
 19. A. R. Busell, *J. Mat. Sci.*, **10**, 1300 (1975).
 20. L. L. Clements and R. L. Moore, *SAMPE Quart.*, **9**(1), 6 (1977).
 21. M. P. Hanson, "Effect of Temperature on the Tensile and Creep Characteristics of PRD-49 Fiber/Epoxy Composites", Nat'l. Aer. Space Admin., Tech. Memo. X 68053 (1972).
 22. C. C. Chiao, R. L. Moore, and T. T. Chiao, *Composites*, 161 (July 1977).
 23. T. T. Chiao and M. A. Hamstad, "High-Performance Vessels from an Aromatic Polyamide Fiber/Epoxy Composite", Proc. 1975 Int'l. Conf. Comp. Mat'ls., Geneva, Switzerland and Boston, Massachusetts, April 7-11 and 14-18 1975, vol. 2, p. 365.
 24. B. F. Blumentritt, B. T. Vu, and S. L. Cooper, *Composites*, 107 (June 1975).