

SMA가 PC/SAN 블렌드와 유리섬유간의 계면결합력에 미치는 영향

이의환 · 남기준 · 이재욱[†]

서강대학교 공과대학 화학공학과

(2001년 2월 13일 접수)

Effect of SMA on the Interfacial Shear Strength for Single Glass Fiber and PC/SAN Blends

E. W. Lee, G. J. Nam, and J. W. Lee[†]

Department of Chemical Engineering, Sogang University, Seoul 121-742, Korea

[†]e-mail : jwlee@ccs.sogang.ac.kr

(Received February 13, 2001)

요약: 섬유강화 복합재료의 물성을 결정하는 주요 인자중 하나는 계면결합력이다. 본 연구에서는 유리섬유와 PC/SAN 블렌드를 대상으로 하여 계면결합력을 측정하였으며 SAN함량을 0-30 wt% 까지 변화시켜 실험하였다. 계면결합력 측정에는 Single Fiber Fragmentation Test법을 사용하였는데 SAN 함량이 증가할수록 계면결합력이 증가하였다. 한편 계면결합력을 증가시키기 위해 PC/SAN 혼련물을 개질하고자 소량의 SMA를 혼합하였으며, 유리섬유 표면을 실란 커플링제로 처리하여 관능기를 도입하였다. 계면결합력은 SAN/SMA계의 상용성에 크게 영향을 받았으며, 비상용성 SAN/SMA계보다 상용성 SAN/SMA계에서 계면결합력이 증가하였다. 또한 상용성 SAN/SMA계에서는 계면결합력이 SMA 내의 MA 함량이 아닌 전체 계내의 MA 함량에 의존하였으며 그 최적 함량은 0.4wt%였다.

ABSTRACT: One of the most important factors which affect the mechanical properties of fiber-reinforced composite materials is the interfacial shear strength (IFSS). The IFSS of glass fiber and polycarbonate (PC)/styrene-*co*-acrylonitrile (SAN) blend system has been measured by the single fiber fragmentation test (SFFT). SAN contents were varied up to 30 wt% and the IFSS increased with the SAN contents. Styrene-*co*-maleic anhydride (SMA) was used as the compatibilizer and the glass fiber was surface treated with organosilane coupling agents. Addition of small amount of SMA in PC/SAN blend improved the IFSS by chemical bonding between maleic anhydride and silanol. The optimum MA content was 0.4 wt% of total matrix contents. Also, IFSS was greatly affected by the miscibility condition of SAN/SMA blends, which depended on the copolymer composition of SAN and SMA. It was found out that, higher IFSS could be obtained when the SAN/SMA blend was in miscible pairs. In case of SAN/SMA miscible pairs, the IFSS depended on the MA content in total matrix, not on the MA content in SMA.

Keywords: PC/SAN/SMA blend, interfacial shear strength, single fiber fragmentation test, miscibility.

서 론

복합재료의 물성은 이를 구성하고 있는 보강섬유와 기지재 각각의 물성뿐만 아니라 기지수지가 받는 하중이 보강섬유에 잘 전달될 수 있도록 하는 계면결합 특성에도 크게 의존한다. 따라서 우수한 물성을 갖는 복합재료를 개발하기 위해서는 보강섬유와 기지재간의 계면결합 특성에 관한 연구가 요구된다. 계면결합력에 대해서는 이전의 많은 연구자들의 연구결과가 발표되었는데 Miwa 등은¹ 복합재료의 물성을 결정하는데 중요한 역할을 하는 계면결합력에 대하여 언급하였다. 또한 Kelly,² Drzal,³ Arridge,⁴ Broutman,⁵ Hughes⁶ 등이 수지와 섬유사이의 계면결합력 혹은 임계 섬유 길이를 측정하려고 시도하였는데 대부분의 이러한 연구는 열경화성 계에서 Fiber Pull-out법이나 Single Fiber Fragmentation Test (SFFT)법을 이용하여 측정하였다.⁷

섬유강화 복합재에서 보강섬유와 기지고분자간의 계면결합력을 측정하는 방법으로는 Fiber Pull-Out법, SFFT법, Short Beam Shear법, Micro debonding법 및 Bending Jibs법 등이 주로 이용되어왔다.⁸⁻¹⁵ 이 중 SFFT 방법은 한 가닥의 보강섬유가 중앙에 놓여져 있는 dog-bone 모양의 시편을 제조하여, 보강섬유의 축 방향으로 변형을 가하여 실험하는 방법이다. 이때 변형을 받은 시편 내에 놓인 섬유의 인장응력은 수지의 것보다 작기 때문에 수지 속의 섬유가 끊어지게 된다. 끊어지는 섬유의 길이는 인장길이가 길어질수록 짧아지며 어느 단계이상에서는 더 이상 짧아지지 않는 임계 섬유 길이에 도달하게 되며, 이는 섬유와 수지 사이의 결합력이 클수록 작아지기 때문에 이 길이를 측정함으로써 섬유와 수지 사이의 계면전단응력을 구할 수 있다. 이 방법은 실제 복합재료의 조건과 매우 유사하고 시편 제조 과정이 여타 방법에 비해 비교적 간단하다는 장점을 지니고 있다.¹⁶⁻²²

본 연구에서는 우선적으로 polycarbonate (PC)/styrene-co-acrylonitrile (SAN) 블렌드와 유리섬유를 대상으로 하여 계면결합력을 측정하였는데, 고내열성과 내충격성을 갖는 PC에 저렴한 가격의 SAN을 혼합한 PC/SAN 블렌드는 PC/ABS, PC/PS, PC/PMMA계와 더불어 매우 흥미있는 계이다. 특히

ABS공중합체 내의 butadiene 고무는 graft된 혹은 free SAN으로 둘러싸여 있기 때문에 PC와 혼련시 PC는 단지 SAN과의 계면을 형성하므로, PC/SAN 블렌드의 계면결합력은 PC/ABS 블렌드의 문제와 직결된다. Kim,²³ Keitz²⁴ 등은 기계적 물성, T_g 변화, 쉬트의 lab shear adhesion 특성 등을 조사한 결과 이러한 물성들이 SAN 내의 acrylonitrile 함량이 25-27 wt% 정도에서 최대값을 가짐을 조사하였고 그 이유를 simple binary interaction 모델로써 정성적으로 설명하였다. 본 연구에서는 acrylonitrile 함량이 각각 24, 27, 41 wt%의 SAN을 사용하였으며 SFFT법을 이용하여 계면결합력을 측정하였다.

또한 계면결합력 향상을 위해 유리섬유와 높은 반응성이 기대되는 styrene-co-maleicanhydride (SMA)를 커플링제로 소량 첨가하였다. 이때 보강섬유 표면에 관능기를 도입하였는데, 이처럼 화학적 결합을 유도하거나 표면의 특성을 변화시켜 물리적 결합력을 높이려는 연구는 많이 시도되어 왔다.^{16,25,26} 본 연구에서는 가장 일반적인 커플링제로 사용되는 유기기능성 실란을 사용하였는데 이의 일반적인 구조는 $X_2Si(CH_2)_nY$ 로 표시되며 X는 가수분해성기, Y는 기지 고분자 수지와 상용성이 있는 유기 기능성기다. Maleic anhydride (MA)와 실란올과의 기대되는 반응은 Figure 1과 같다.

한편 SAN/SMA 블렌드는 수소결합 등과 같은 특정 결합없이 상용성을 보이는 블렌드이며 이의 상용성은 Figure 2와 같이 SAN과 SMA의 공중합체 조성비에 의존하는 것으로 알려져 있다.²⁷⁻²⁹ 따라서 다양한 공중합체 조성비의 SAN/SMA계를 선정하여 계면결합력을 측정·비교함으로써 SAN/SMA 상용성 여부가 계면결합력에 미치는 영향을 살펴보고자 하였다.

계면결합력

섬유강화 복합재료에서 복합재료에 가해진 힘 (load)은 직접적으로 보강 섬유에 전해지지 않고, 기지수지를 통하여 보강 섬유의 양 끝단과 원통형 표면을 통하여 전달된다. 이때, 섬유의 길이에 따른 응력 분포는 수지 속의 섬유에 작용하는 힘의 수직식 (force balance)을 고려함으로써 얻을 수 있는데, 섬

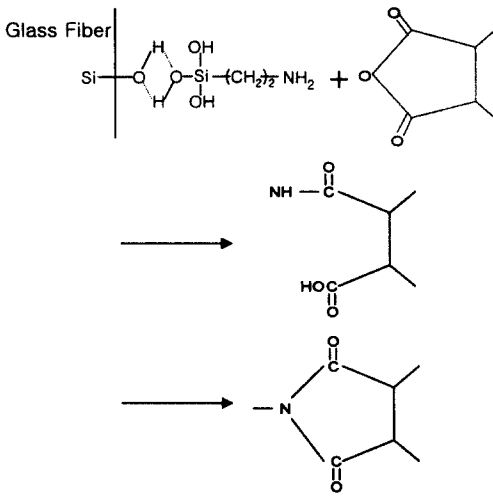


Figure 1. Expected chemical bonding between silane treated glass fiber and maleic anhydride.

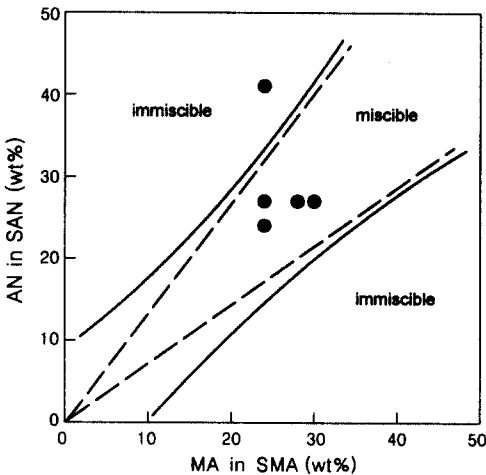


Figure 2. Miscibility map for the SAN/SMA blends. Solid line is observed and dashed line is expected for infinite molecular weight polymer system. Solid circles indicate the combination used in this study.

유 길이 dz 에 대한 힘의 수지식은

$$(\pi r^2)\sigma_f + (2\pi r dz)\tau = (\pi^2)(\sigma_f + d\sigma_f) \quad (1)$$

이고, σ_f 는 섬유 인장 강도, τ 는 섬유와 수지 계면의 전단응력, r 은 섬유의 반지름이다. 양변을 πr^2

나눈 후, 섬유 끝에서부터 거리 z 까지 적분하면

$$\sigma_f = \sigma_{f0} + \frac{2}{r} \int_0^z \tau dz \quad (2)$$

과 같이 표현된다. 여기서 σ_{f0} 는 섬유 끝단에서의 응력인데 끝단에 인접한 기지수지의 항복이나, 응력 집중(stress concentration)의 결과로 야기된 기지수지와 섬유사이 계면의 분리로 인해 생략된다. 만약, 섬유를 둘러싸고 있는 수지가 일정한 항복전단응력을 갖는 완전 소성체라 하면 계면전단응력은 섬유 길이를 따라 일정하게 되고, 이는 기지수지의 임계전단응력(τ_y)과 같으므로 (2)식은

$$\sigma_f = \frac{2\tau_y z}{r} \quad (3)$$

과 같이 표현되고, 섬유의 최대 응력은 섬유 길이의 중간점 ($z=l/2$)에서 얻어지므로

$$(\sigma_f)_{max} = \frac{\tau_y l}{r} \quad (4)$$

이 된다. 여기서 l 은 섬유의 길이이다. 이로부터 임계 섬유 길이(l_c)에서 얻어지는 최대 인장강도(σ_{fu})에 관련된 계면전단응력 값이 다음과 같이 얻어지며 이 값이 계면결합력이다.^{16,25}

$$\tau_y = \frac{\sigma_{fu} d}{2l_c} \quad (5)$$

여기서 d 는 섬유의 직경이다.

본 실험에서는 길이를 각기 달리한 섬유의 인장강도 실험값을 이용, 섬유 길이변화에 따른 인장강도의 semi-log 그림으로부터 섬유의 최대 인장강도를 계산하였다. 또한 임계 섬유 길이는 실제 끊어진 길이를 측정하여 Weibull distribution을 통해 계산하였는데, 이는 형상인자(shape factor)와 척도인자(scale factor) 두 인자를 가짐으로써 Gaussian distribution에 비하여 실험결과를 정확하게 묘사할 수 있다.

실 험

대상 물질. 유리섬유로는 (주)한국화이버에서 제조된 지름 9.4 μm 의 유리섬유를 사용하였으며 표면 처리제로는 이전의 연구결과로부터 MA기와 좋은 반응성을 보인 A1120 실란 커플링제를 사용하였다.³⁰ A1120의 화학구조식은 다음과 같다.



유리섬유는 표면처리를 위해 90 °C의 진공 오븐속에서 12시간 두어 수분을 완전히 제거했다. 처리하고자 하는 실란이 완전히 활성을 띠게 하기 위하여 *n*-buthyl alcohol과 증류수를 95 : 5의 비율로 넣고, 0.15 wt%의 실란을 첨가하여 준 후, pH를 5-7로 조절하기 위해 acetic acid를 첨가하여 magnetic stirrer에 1시간 동안 두었다. 이 용액에 진공오븐에서 건조시킨 유리섬유를 30분 동안 함침시킨 후, 90 °C에서 24시간 동안 건조하였다.

실험에 사용한 기지 고분자 수지로는 Dow Chemical의 PC (상품명 Calibre 300-15, MI 15 at 300 °C / 1.2 kg during 10min)와 제일모직에서 제조한 SAN24, SAN27, SAN41을 혼합하여 사용하였다. 또한 유리섬유의 표면처리제인 A1120 실란 커플링제와 기지 고분자 수지 사이의 계면결합력을 향상시키기 위해서 소량 첨가되는 SMA 역시 제일모직에서 제조한 SMA24, SMA28, SMA30를 사용하였다. 본 연구에서 사용한 SAN과 SMA의 특성은 Table 1과 같다.

SAN/SMA 혼련은 powder 형태의 SAN과 pellet 형태의 SMA를 강제 순환 오븐에서 80 °C에서 4시간 이상 건조시킨 후 혼련하였다. 혼련에는 roller형 rotor가 부착된 혼련기 (HAAKE Rheomix 600)를 사용하여 230 °C, 60 rpm으로 10분간 혼련하였다. SAN/SMA 혼련은 PC와의 삼성분 혼련을 위한 일차적 혼련이므로, 최종적으로 얻고자 하는 삼성분 혼련수지에서 무게비에 맞추어 조성을 설정하였다.³¹

SAN/SMA 블렌드와 PC의 혼련 또한 수분에 의한 PC의 가수분해 반응을 방지하기 위해 먼저 각각의 수지를 강제 순환 오븐에서 80 °C에서 4시간 이

Table 1. Properties of SANs and SMAs

	AN wt%	MA wt%	M_w	MWD	T_g (°C)
SAN24	24	-	53000	1.81	112.9
SAN27	27	-	91000	1.88	114.18
SAN41	41	-	65000	1.63	114.59
SMA24	-	24	110000	2.4	160.66
SMA28	-	28	110000	2.4	163.62
SMA30	-	30	110000	2.4	171.02

상 건조시킨 후 260 °C, 60 rpm으로 하여 15분간 혼련하였다.

기지수지의 특성 분석. 실험에 사용된 수지들의 기계적 특성은 ASTM D638 Type V의 형태로 제조한 시편을 만능시험기 (universal testing machine, Shimadzu, AG-10TE)를 사용하여 5 mm/sec의 속도로 측정하였다. 또한 수지들의 열적 특성은 미분 주사 열량계 (differential scanning calorimeter: DuPont 2910)를 사용하여 측정하였다. 미분 주사 열량계는 Indium을 이용하여 온도와 열량을 보정한 후, 10mg 내외의 시료를 채취하여, 질소분위기에서 20 °C/min의 승온 속도로 200 °C까지 승온시킨 다음, 시료의 열적 이력을 제거하고자 10분간 항온상태에 두었고 다시 액체질소를 사용하여 급냉시킨 후 동일한 조건으로 2차 분석 (second run)을 수행하여 열적 특성을 분석하였다.

계면결합력 측정 실험. 일차적으로 유리섬유의 길이에 따른 인장강도 측정실험을 ASTM D3379-75에 따라 수행하였다. 시편은 중앙에 직사각형 모양의 홈을 낸 종이판에 유리섬유를 한 가닥씩 예폭시 본드를 이용하여 고정시켜 제작하였고, 이를 만능시험기의 그립에 고정시킨 후 종이판의 옆면을 자르고 0.2 mm/sec의 속도로 인장강도를 측정하였다. 이 때 유리섬유의 길이는 10, 20, 40, 60, 80 mm로 변화시켜, 각 길이에 대해 10회 이상의 실험을 실시하였고, 각각의 길이에 대한 인장강도를 구하였다. 실험결과로부터 얻어진 인장강도와 길이에 대한 semi-log 그래프를 통하여 임계길이에서의 임계인장강도를 계산하였다.

계면결합력 측정은 다음과 같은 SFFT법을 사용하였다. 우선 압축성형기 (hot-presser)를 이용하여 얇은 두 개의 수지판을 얻은 후, 두 판 사이에 유리섬

유를 넣고 다시 압축성형하여 ASTM D638 type V에 의거한 시편을 만들었다. 각각의 실험조건에서 10개 이상의 시편을 제작하여, 만능시험기를 이용, 0.1 mm/sec의 속도로 4%의 변형을 주었다. 변형을 준 시편은 편광현미경 (Nikon Optiphot 2-pol)을 이용하여 끊어진 유리섬유의 길이를 측정하였다.

실험은 PC와 PC/SAN 블렌드, 그리고 PC/SAN 블렌드에 소량의 SMA를 첨가했을 때의 계면결합력의 차이를 조사한 후, SMA의 함량을 변화시켜가며 유리섬유와의 계면결합력의 변화를 측정하였다. 또한 PC의 함량을 각기 달리한 블렌드에 SMA를 첨가하여 다양한 PC조성에서 계면결합력에 대한 SMA의 영향을 살펴보았다. 최종적으로 SMA내의 MA함량과 SAN내의 AN함량을 각기 달리하여 블렌드 내 공중합체 조성변화 및 SAN/SMA 블렌드의 상용성, 비상용성에 따른 계면결합력의 영향을 살펴보았다.

결과 및 고찰

기지사지의 기계적, 열적 특성 분석. 최적의 혼련 시간을 설정하기 위하여 PC/SAN/SMA 블렌드의 혼련시간에 따른 torque 거동 및 전자현미경을 통한 모폴로지의 변화를 살펴보았다. 혼련의 초기에는 높은 torque값을 보이나, 혼련이 진행됨에 따라 torque값이 작아지고 15분 후에는 그 값이 안정화됨을 알 수 있었다. 또한 모폴로지의 관찰에서도 초기의 커다란 분산상이 혼련시간이 증가함에 따라 분산상의 크기가 작아졌으며, 15분후에는 분산상의 크기가 크게 감소, 분산도가 향상되었으므로 본 연구에서는 PC/SAN/SMA 혼련시간을 15분으로 설정하였다.

SAN수지의 함량변화 (10, 20, 30 wt%)에 따른 각 블렌드의 용력-변형 거동을 Figure 3에 도시하였다. PC는 우수한 강인성을, SAN수지는 높은 탄성을 나타냈으며 SAN수지의 함량증가에 따라 PC의 거동에 유사한 형태에서 SAN의 거동에 유사한 형태로 점진적으로 변화하였다. 또한 PC/SAN 블렌드에 소량 첨가된 SMA가 블렌드의 기계적 물성에 미치는 영향을 조사하였다. 블렌드 내의 SAN 함량변화에 따른 연신률 거동과 인장응력의 변화거동을 Figure 4에 나타내었는데, 계면결합력 향상을 위한 소량의

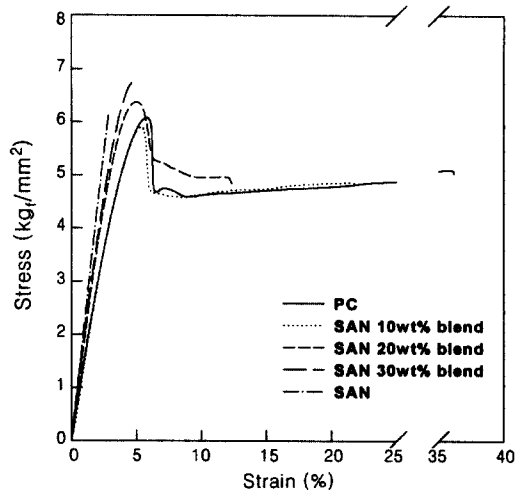


Figure 3. Stress-strain curves of each polymer and PC/SAN blends with SAN contents.

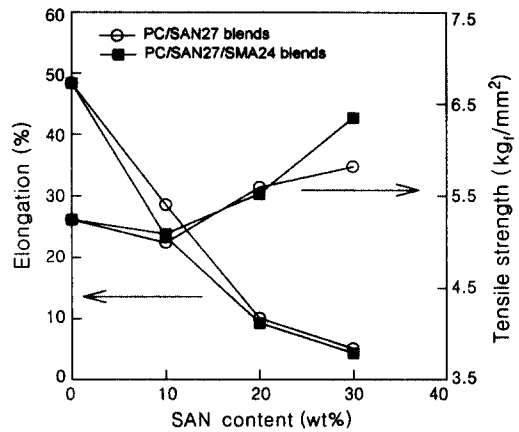


Figure 4. Percent elongation and tensile strength for blends of PC with SAN27 and SAN27/SMA24. SMA24 content is fixed to 1.6 wt%.

SMA 첨가가 PC/SAN 블렌드의 기계적인 물성에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

한편, 수지의 혼련에 따른 유리전이온도의 변화를 측정하였는데, SAN27/SMA24 블렌드의 경우에는 조성변화에 따라 각각 하나의 유리전이온도를 나타내었다. 이들 각각의 유리전이온도는 Figure 5에 도시한 바와 같이 각 구성물질의 무게비에 따라 SAN의 유리전이온도에서 SMA의 유리전이온도로 선형적인

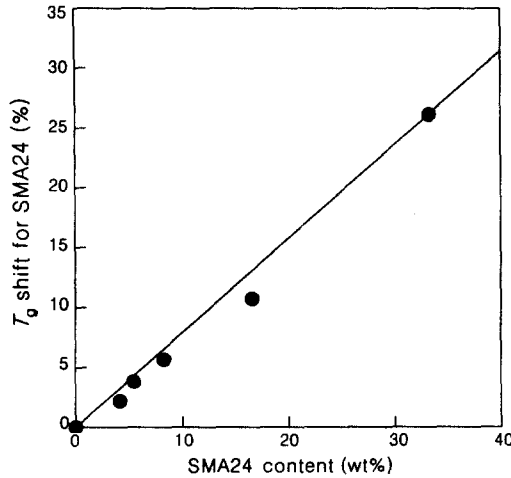


Figure 5. T_g shift of SAN27/SMA24 blends with SMA24 contents. Solid circles are experimental data and line is linear regression.

증가를 보였다. 이러한 경향은 상용성계의 전형적인 현상이며, 이전의 여러 연구결과와도 일치한다.³¹ PC/SAN 블렌드는 일반적으로 부분적인 상용성을 보인다고 알려져 있으며,^{32,33} 이는 블렌드의 유리전이온도 측정실험을 통해 확인할 수 있었다. Table 2는 PC/SAN27 블렌드의 유리전이온도를 나타내었는데 순수 성분의 유리전이온도보다 각기 다른 성분의 유리전이온도에 가까운 방향으로 이동하였다.³³ 또한 Table 3에 나타난 PC/SAN/SMA의 유리전이온도 역시 각기 다른 성분의 유리전이온도에 가까운 방향으로 이동하였으며, 그 특성은 PC/SAN 블렌드와 유사하였다.

SFFT 실험결과 및 검토. 유리섬유의 길이에 따른 인장강도 측정실험의 결과를 Figure 6과 같이 반경험 로그좌표계에 도시하였는데, 유리섬유의 길이와 유리섬유의 인장강도가 선형적인 관계를 만족하고 있음을 알 수 있다. 이로부터 유리섬유의 임계 길이에 해당하는 인장강도를 얻었으며 계면결합력을 계산하였다. SFFT 시편의 임계길이를 찾기 위해, 시편에 다양한 변형을 준 뒤 이를 편광현미경으로 관찰하였는데, 변형된 시편의 사진은 Figure 7과 같다. 0%의 변형에서는 유리섬유의 끊어진 곳이 관찰되지 않았고, 3%의 변형에서는 절단이 시작되어 두 곳의 절단점이 관찰되며, 3.5%의 변형에서는 세 곳의 절단점이 관찰되었다. 4%의 변형에서는 네 곳의 절단점

Table 2. T_g Shift of PC/SAN27 Blends with PC Contents

SAN content (wt%)	10	20	30
T_g of PC (°C)	154.05		
T_g of PC rich phase (°C)	153.99	153.97	152.97
T_g of SAN27 rich phase (°C)	116.18	115.96	114.97
T_g of SAN27 (°C)	114.18		

Table 3. T_g Shift of PC/SAN27/SMA24 Blends with PC Contents (SMA24 content is fixed at 1.6 wt%)

SAN content (wt%)	10	20	30
T_g of PC (°C)	154.05		
T_g of PC rich phase in ternary blend (°C)	152.59	152.45	151.47
T_g of [SAN27/SMA24] rich phase in ternary blend (°C)	120.21	118.26	116.41
T_g of SAN27/SMA24 blend in binary blend (°C)	119.14	116.80	115.94

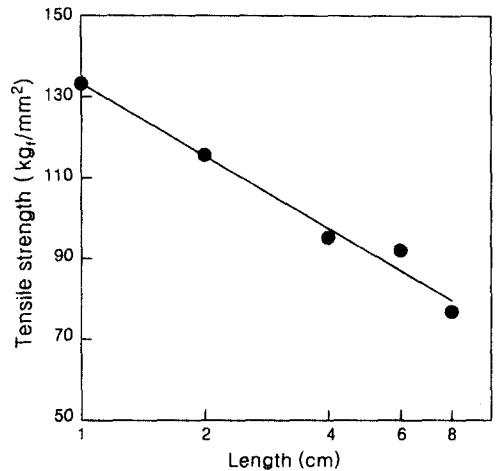


Figure 6. Tensile strength vs. length of E-glass fiber.

이 발견되었지만 그 이상의 변형에서는 더 이상의 절단점이 발견되지 않았으므로 4%의 변형에 임계 길이가 존재함을 알 수 있다.

계면결합력에 대한 SMA의 최적 함량을 조사하기 위하여 다양한 함량의 SMA를 PC/SAN27계와 혼련하여 계면결합 특성을 조사하였다. SAN의 함량비가 10 wt%일때 MA의 함량변화에 따른 기지 고분자주지와 유리섬유 사이의 계면결합력의 변화를 Fig-

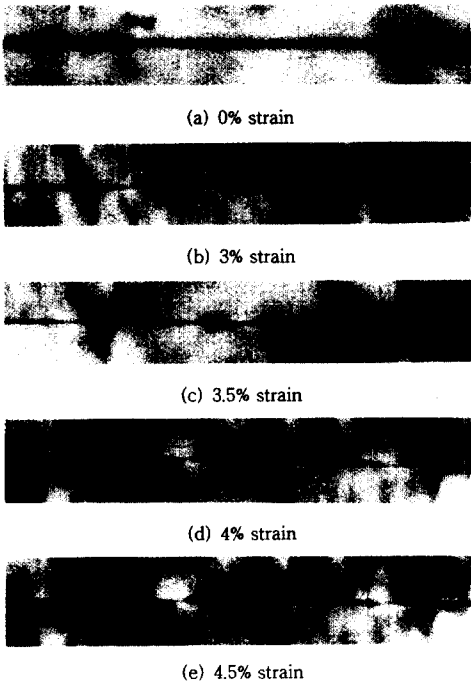


Figure 7. Optical micrographs of the glass fiber in the PC matrix after specimen being strained.

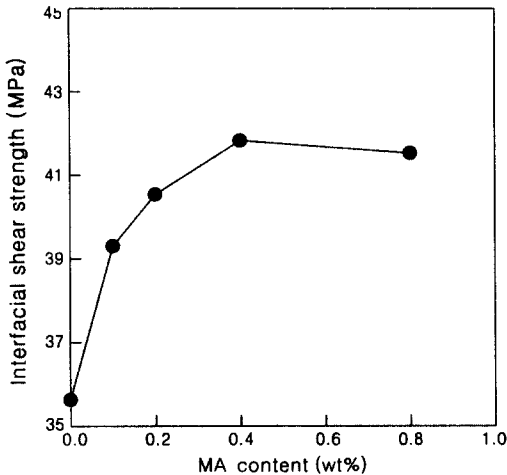


Figure 8. IFSS vs. MA contents for SFCs with PC/SAN27/SMA24 blends. SAN content is fixed to 10 wt%.

Figure 8에 도시하였다. MA의 함량이 증가할수록 계면 결합력의 증가를 보이다가 MA의 함량이 0.4 wt%

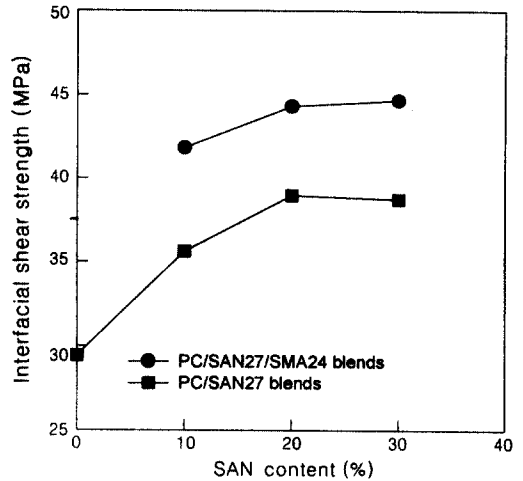


Figure 9. IFSS vs. SAN contents for SFCs with PC/SAN27, PC/SAN27/SMA24 blends. SMA24 content is fixed to 1.6 wt%.

이상에서는 거의 변화가 없음을 알 수 있었다. 이는 기지 고분자 수지 내의 MA의 반응기와 유리섬유 표면의 실란 커플링제가 반응하여 계면결합력의 증가가 이루어짐을 보여주며, 일정한 MA 함량 이상에서는 실란 커플링제의 유기 기능성기가 포화되어 더 이상의 계면결합력의 증가가 나타나지 않는 것으로 추측된다.

한편, SAN의 함량변화에 따른 계면결합력의 변화를 살펴보고자, PC/SAN27 블렌드에 SMA가 첨가된 수지와 첨가되지 않은 수지의 계면결합력의 차이를 Figure 9에 도시하였다. SAN의 함량이 증가할수록 계면결합력은 증가하였으며, SMA의 소량첨가(SMA24 1.6 wt%, 즉 MA 0.4 wt%)가 수지와 보강섬유 사이의 계면결합력을 크게 증가시키는 것으로 나타났다. SAN은 PC에 비하여 극성이 크며 이것이 상용화제인 MA 첨가 없이도 유리섬유 표면의 실란과 계면인력을 이루어 계면결합력을 증가시키는 것으로 예상된다. 또한 30 wt% 이상의 함량에서는 표면에 작용하는 SAN의 양이 포화되어 임계값을 나타내는 것으로 판단된다.

Figure 10에서는 SMA 공중합체내에 MA의 조성이 각기 다른, 다양한 SMA에 따른 계면결합력의 변화를 도시하였다. 이때 최종 PC/SAN27/SMA 블렌드 내의 MA의 무게비는 모두 0.4 wt%가 되도록 혼련하였으며, Figure 2에 나타낸 바와 같이 사용된

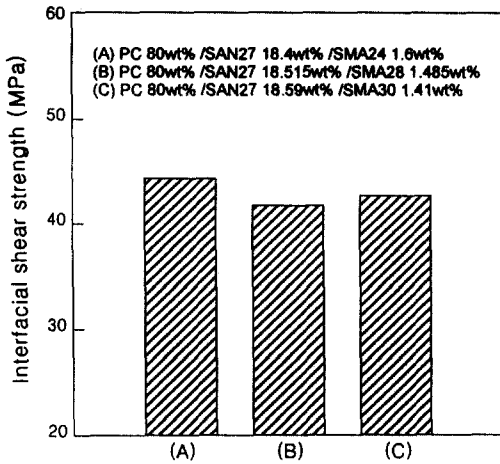


Figure 10. IFSS for PC/SAN/SMA blends with various SMAs. MA content in total matrix is fixed to 0.4 wt%.

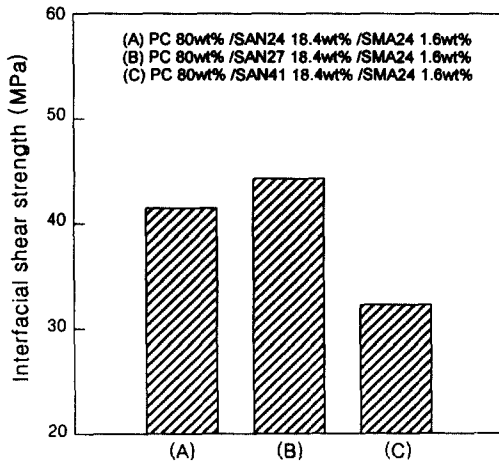


Figure 11. IFSS for PC/SAN/SMA blends with various SANs.

SAN27과 SMA24, SMA28, SMA30 블렌드는 모두 상용성계이다. SMA 변화에 따른 계면결합력이 큰 차이가 없었으며, 따라서 PC/SAN/SMA 블렌드에서 계면결합력에 영향을 미치는 SMA의 효과는, SMA 공중합체 내의 MA 조성 변화에 의한 것이 아니라 전체 수지 내의 MA의 무게비에 따른 것임을 알 수 있다.

Figure 11에서는 SAN 공중합체 내에 AN의 조

성이 각기 다른 다양한 SAN를 사용함으로써 SAN/SMA 블렌드의 상용성 여부가 계면결합력에 미치는 영향을 비교하였다. 이때 SAN41과 SMA24는 비상용성계이며 SAN27과 SMA24, SAN24과 SMA24는 상용성계이다. 그림에서 보듯이 상용성계에 비하여 비상용성계인 SAN41/SMA24계의 계면결합력이 크게 떨어짐을 알 수 있었다. 이상의 결과로부터 계면결합력은 수지의 상용성 여부에 크게 영향을 받으며, 상용성계가 비상용성계보다 큰 계면결합력을 보임을 확인하였다.

결론

본 연구에서는 PC/SAN/SMA 블렌드와 유리섬유간의 계면결합력 특성을 조사하였다. 본 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. PC/SAN 블렌드에서 SAN의 함량증가에 따라 유리섬유와 수지사이의 계면결합력이 증가하였다.
2. PC/SAN 블렌드에 커플링제로 소량 첨가된 SMA는 블렌드의 물성에 거의 영향을 미치지 않고, 실란처리된 유리섬유와의 계면결합력을 향상시켰다.
3. PC/SAN27 블렌드에 첨가된 SMA24는 MA의 무게비가 0.4 wt%일때 유리섬유와 가장 좋은 계면결합력을 보였다.
4. 상용성 SAN/SMA 블렌드에서 PC/SAN/SMA 블렌드의 계면결합력에 주된 영향을 미치는 인자는 전체수지 내 MA의 함량비이며, SMA 공중합체내에 MA의 조성변화에 의한 영향은 미미하였다.
5. PC/SAN/SMA 블렌드에서 상용성 SAN/SMA 계는 비상용성계보다 높은 계면결합력을 보였다.

감사의 글: 본 연구는 유변공정연구센터 (ARC, 한국과학기술원 ERC)의 연구지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

1. M. Miwa, T. Ohsawa, and K. Tahara, *J. Appl. Polym. Sci.*, **25**, 795 (1980).
2. A. Kelly and W. R. Tyson, *J. Mech. Phys. Solids*, **13**, 329 (1965).

3. G. E. Hammer and L. T. Drzal, *Application of Surface Science*, **4**, 340 (1980).
4. A. Takaku and R. G. C. Arridge, *J. Phys. D. Appl. Phys.*, **6**, 2038 (1973).
5. L. J. Broutman and R. H. Krock (Eds.), "Modern Composite Materials", Addison-Wesley, New York, 1967.
6. J. D. H. Hughes, Applied Chem. Division, AERE, Harwell, Reoprt No. R8683 (1977).
7. M. J. Folkes and W. K. Wong, *Polymer*, **28**, 1309 (1987).
8. C. K. Moon, H. H. Cho, and J. O. Lee, *Polym. Sci. and Tech.*, **2**, 284 (1991).
9. K. P. McAlea and G. J. Besio, *J. Mat. Sci. Lett.*, **7**, 141 (1988).
10. C.-K. Moon, *Polymer(Korea)*, **16**, 529 (1992).
11. J. L. Thomason and G. E. Schoolenberg, *Composite*, **25**, 197 (1994).
12. P. J. Herrera-Franco and L. T. Drzal, *Composite*, **23**, 2 (1992).
13. D. T. Grubb and Z. F. Li, *J. Mater. Sci.*, **29**, 203 (1994).
14. Z. F. Li and D. T. Grubb, *J. Mater. Sci.*, **29**, 198 (1994).
15. M. R. Piggot and S. E. Dai, *Polym. Eng. Sci.*, **31**, 1246 (1991).
16. S. M. Kang and M. C. Lee, *Polymer(Korea)*, **19**, 302 (1995).
17. W. D. Bascom and R. M. Jensen, *Journal of Adhesion*, **19**, 219 (1986).
18. M. J. Folkes and W. K. Wong, *Polymer*, **28**, 1309 (1987).
19. M. Narkis and E. J. H. Chen, *Polym. Compos.*, **9**, 245 (1988).
20. A. N. Netravali and P. Schwartz, *Polym. Compos.*, **10**, 385 (1989).
21. A. T. Dibendetto and P. J. Lex, *Polym. Eng. Sci.*, **29**, 543 (1989).
22. B. D. Agarwal and L. J. Broutman, "Analysis and Performance of Fiber Composites", John Wiley and Sons, New York, 1990.
23. W. N. Kim and C. M. Burns, *Polym. Eng. Sci.*, **28**, 1115 (1988).
24. J. D. Keitz, J. W. Barlow, and D. R. Paul, *J. Appl. Polym. Sci.*, **29**, 3131 (1984).
25. H. F. Wu, G. Biresan, and J. T. Laemmil, *Polym. Compos.*, **12**, 281 (1991).
26. H. G. Karian and H. R. Wagner, *SPE ANTEC Tech. Papers*, **39**, 3449 (1993).
27. D. R. Paul and J. W. Barlow, *Polymer*, **25**, 487 (1984).
28. M. Suess, J. Kressler, and H. W. Kammer, *Polymer*, **28**, 957 (1987).
29. T. Shiomi, F. E. Karasz, and W. J. Macknight, *Macromolecules*, **19**, 2274 (1986).
30. J. S. Lee, Ph. D. Thesis, Sogang University, Seoul, Korea (1996).
31. J. Y. Cha and H. C. Kwon, *Polym. Sci. and Tech.*, **3**, 406 (1992).
32. J. A. Brydson, "Plastic Material", 5th Ed., Butterworths, London, 1989.
33. B. S. Lombardo, H. Keskkula and D. R. Paul, *J. Appl. Polym. Sci.*, **54**, 1697 (1994).