

유기섬유 강화 열가소성 복합재료의 유변학적 특성

이용무 · 차윤종 · 김성현 · 윤여성 · 윤주호 · 최형기

국립기술품질원 화학부

Rheological Properties of Organic Fiber-Reinforced Thermoplastics

Yong-Moo Lee, Yoon-Jong Cha, Sung-Hyun Kim, Yeo-Sung Yoon,

Ju-Ho Yoon and Hyeong-Ki Choi

Department of Chemistry, National Institute of Technology and Quality

2, Chungangdong, Kwacheon city, Kyunggido 427-010, Korea

초 록 열가소성 고분자 복합재료 개발을 위하여 매트릭스 수지로는 폴리프로필렌섬유(PP)를 사용하고 유기계 강화소재로 폴리비닐알코올(비닐론, VF), 아라미드(케블라-49, KF) 및 폴리아미드섬유(PAF) 등을 사용하였다. 복합매트제조장치로서 복합매트를 제조하고 가열·압축하여 고분자 복합재료를 성형하였다. 제조한 고분자 복합재료의 형태학, 유변학적 및 기계적특성 등을 측정하였다. 형태학에서 매트릭스와 강화섬유 간의 젖음성은 강화섬유의 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보였다. PAF/PP와 VF/PP 복합재료에 대한 점성도는 낮은 주파수 영역에서 강화섬유의 함량이 증가됨에 따라 증가하였으나, 높은 주파수 영역에서 5~20wt%로 강화된 복합재료는 매트릭스인 PP에 근접하게 감소된 점성도를 나타냈다. 기계적 특성은 강화 섬유의 함량에 따라 변하였으며, VF/PP 및 KF/PP복합재료가 PAF/PP계에 비해 우수한 현상을 보였다.

Abstract The fiber reinforced thermoplastics(FRTP) were prepared with polypropylene fiber(PP) as matrix and polyvinyl alcohol(VF), aramid(KF) or polyamide fiber(PAF) as the reinforcing materials using the integrated fiber mixing apparatus. The reinforced thermoplastic sheets were prepared by compression molding and their morphology, rheological and mechanical properties were characterized. In the morphological properties of composites, the wettability of the reinforced thermoplastics were decreased in proportion to the content of fibers. At low angular frequency, the viscosity of PAF/PP and VF/PP composite was increased with the content of reinforced fiber. However at high frequency the viscosity of composite reinforced with 5~20wt% fiber, was shown the reduced values which approaches that of the neat matrix. The mechanical properties of the composite were changed with the content of reinforced fiber, and VF/PP and KF/PP composite had better properties than PAF/PP system.

1. 서 론

고분자재료는 가볍고 부식성이 없다는 장점으로 인하여 최근 자동차산업, 전기전자산업, 항공우주산업 등 많은 분야에서 새로운 기능과 특성을 갖는 고기능성 재료로 이용되고 있다^{1~4)}.

복합재료 중에서 열가소성수지를 매트릭스로 한 섬유강화 복합재료(FRTP)가 열경화성수지(FRP)계에 비해 경제성이 크며, 용이한

성형가공성, 우수한 내충격성 및 재활용 가능성 등 여러가지 장점으로 인하여 최근에 많은 연구가 이루어지고 있다^{5~9)}.

한편, 보강소재로서 유리섬유 등의 무기섬유 강화체가 종래에 많이 사용되어져 왔지만, 최근에는 환경오염문제로 인하여 재생이용 및 경량화에 유리한 폴리아미드나 폴리비닐알코올 등의 유기계 강화섬유에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다^{10~12)}. 무기계 강화섬유와 비교하여 계면 접착성이 좋고, 표면처리도 용이

Table 1. Characteristics of Reinforcing Fiber and Thermoplastic Resin Fiber

Fiber	Thensile strength (kg/mm ²)	Thensile modulus (kg/mm ²)	Elongation at Break (%)	Density (g/cm ³)
PP	3.0	25	100	0.92
PAF	7.0	45	25.4	1.14
VF	230	6,100	5.0	1.30
KF	280	13,000	2.3	1.45

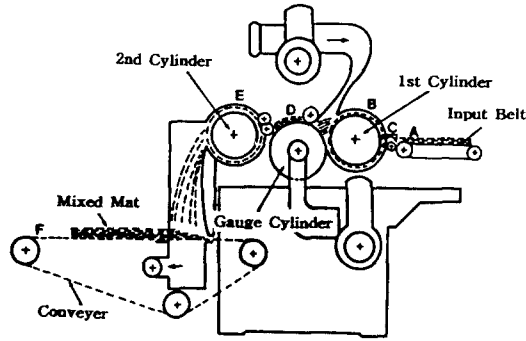


Fig. 1. Scheme of preparation process of mixed mat.

하며 섬유의 파단이 적기 때문에 각종 유기계 강화섬유의 이용가능성에 대한 연구는 여러모로 유용하다^{13~15}).

열가소성수지는 용융된 다음에 온도가 증가할수록 점성도는 감소되나 일정한 온도 이상에 도달하면 열분해반응과 부반응 등이 발생하여 물성이 저하된다. 따라서 열가소성수지에 강화섬유를 보강시킬 때에는 온도에 따른 점성도변화를 고려하고 수지가 열에 안정한 영역에서 가공조건을 설정하여야 한다. 섬유강화 복합재료의 유변학적특성은 성형을 위한 중요한 기초자료이지만 유동중 강화섬유의 운동이나 상호작용, 형상효과 등의 영향을 크게 받기 때문에 복잡하다^{16~17}). 섬유강화 복합재료의 점성도 등의 유동성을 좌우하는 인자로서는 섬유의 크기 및 그 분포, 강화섬유의 함량, 섬유의 배향상태, 복합재료의 유동성, 전단속도 및 온도 등 여러가지가 있다. 강화섬유 복합재료의 유변학적 특성에 대한 연구의 주목적은 섬유의 함량 및 섬유의 길이 등이 계의 점성도 등에 미치는 영향과 그 전단속도 및 온도의존성을 조사하는 것이다. 일반적으로 복합재료의 점성도는 강화섬유의 함량에 따라 급격한 증가를 보인다. 본 연구

에서 취급하는 강화섬유의 길이는 약 50mm 정도로 길고 점도계 내에서는 근사적으로 연속섬유로 보여진다. 이와같이 계의 유동성을 아는 것은 복잡한 형상의 압축성형(stampable sheet성형 등)이나 복합재료의 재활용시 필요한 자료이기 때문에 중요하다.

본 연구에서는 유기계 섬유강화 복합재료 제조의 새로운 방법으로서 두 종류의 유기섬유상을 사용하여 복합매트를 제조한 후, 용점이 낮은 섬유는 용융하여 매트릭스가 되게 하고 용점이 높은 섬유는 강화섬유로서 작용하도록 하였다. 열가소성수지 섬유인 폴리프로필렌섬유(PP)를 매트릭스 섬유로 하고 폴리비닐알코올섬유(VF), 아라미드섬유(KF) 및 폴리아미드섬유(PAF)를 유기계 강화섬유로 사용하였다. 매트릭스용 섬유와 강화섬유를 고속원심력을 이용한 장치로서 각각 균일하게 혼합시켜 복합매트를 제조하고 가열·압축성형하였다. 성형한 각각의 복합재료에 대하여 성형공정에서 유동중 강화섬유의 운동과 상호작용, 성형조건 등을 알아볼 수 있는 유변학적특성과 기계적특성을 검토하였다.

2. 실험 방법

시료

유기계 강화섬유로는 폴리비닐알코올섬유(일본 Kuraray사, VF), 아라미드섬유(미국 Du Pont사, 케블라-49, KF) 및 폴리아미드섬유(일본 Unitika사, PAF)를 각각 사용하였다. 매트릭스용섬유로는 가볍고 내마모성이 우수할 뿐만 아니라 가격이 저렴하여 많은 분야에 응용될 수 있는 폴리프로필렌섬유(고려합섬, PP)를 이용하였다. 각 섬유에 대한 특성은 Table 1에 나타내었다.

복합매트 제조 및 성형

Fig. 1에 도시한 복합매트 제조장치를 사용

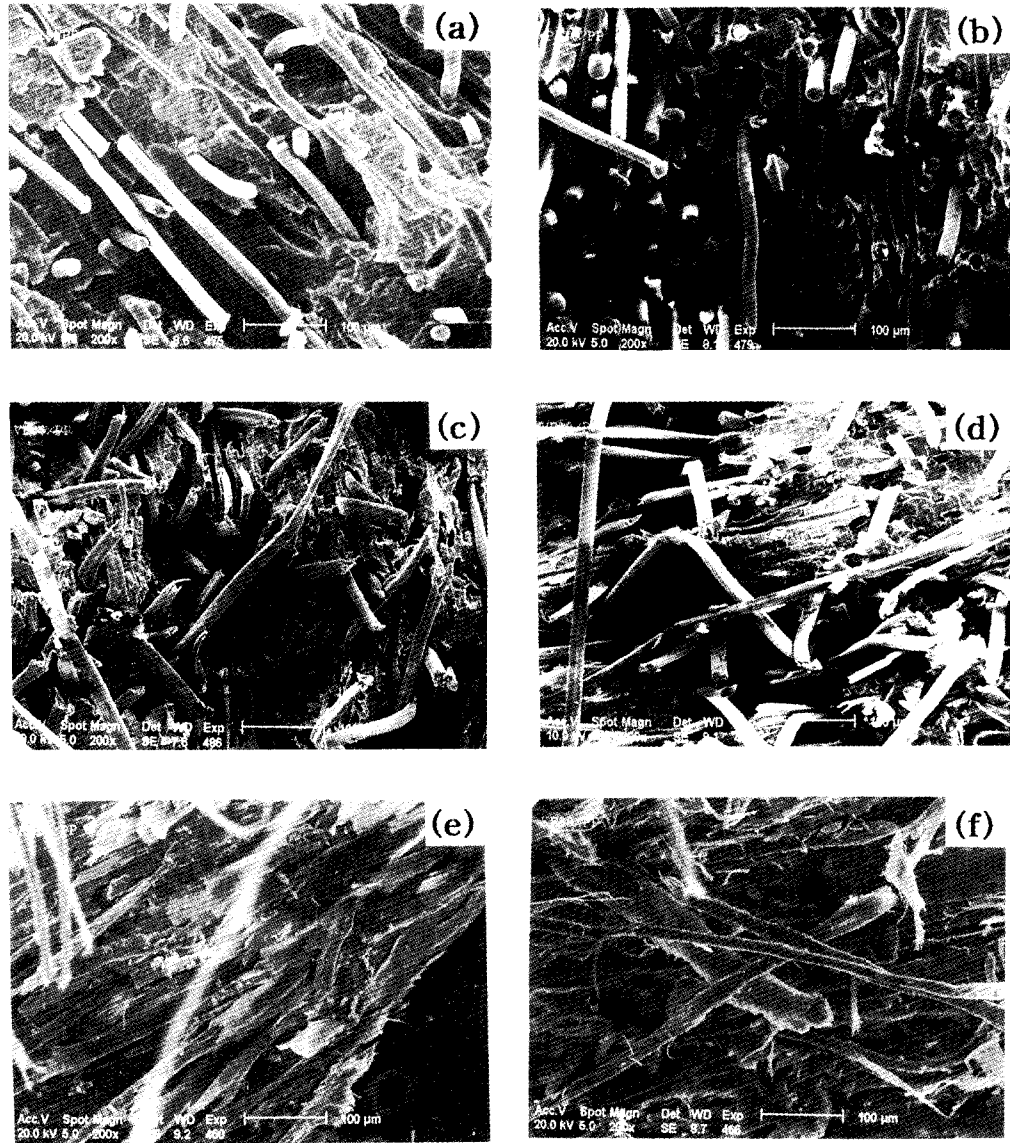


Fig. 2. SEM micrographs of fractured surface for various composites. (a) PAF 15%/PP (b) PAF 30%/PP (c) VF 15%/PP (d) VF 30%/PP (e) KF 15%/PP (f) KF 30%/PP.

하여 매트릭스용 열가소성수지섬유와 강화섬유를 균일하게 혼합시켰다. 이 장치는 섬유를 효과적으로 분산시킬 수 있는 장치로서 분산 후 복합매트에서의 섬유가 3차원적 배향을 이루도록 하는데 유용한 장치이다¹⁾. 공급 belt(A)에 의해서 일정량 공급된 강화섬유와 매트릭스섬유는 연속강화섬유(robing)의 경우 제 1분섬 실린더 B가 회전되어 원심력에 의해 절단·분섬되며, 또한 여기서 분섬작용을 받는 섬유는 재차 혼합되어 D의 섬유집적부

까지 날라가 얇게 적층된 제 1분섬 혼합매트가 만들어진다. 혼합된 매트는 gage cylinder D에 의해 제 2분섬 cylinder E로 들어 가면서 다시 분섬되어 날아가 섬유포집 belt F에 적층되어 제 2분섬 매트가 되어 나온다. 각 분섬 cylinder에 의해서 절단이 불가능한 강화섬유인 KF는 분섬 cylinder에서 얽히지 않을 정도로 사전에 일정한 길이로 절단한 chopped fiber를 매트릭스섬유와 균일하게 혼합하여 공급한다. 복합재료의 성형방법은 복

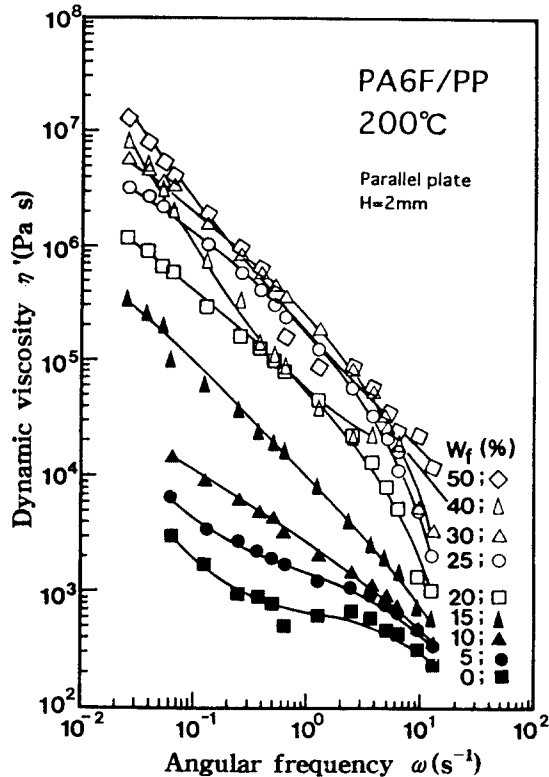


Fig. 3. Relationship between dynamic viscosity and angular frequency for PAF reinforced thermoplastics at 200°C.

합매트를 가로, 세로 약 150mm×150mm로 절단하고 적당량(약 60g~70g)의 매트를 적층하여 90°C에서 24시간 진공 건조시킨 후 가로, 세로 약 150mm×150mm, 두께 3mm크기의 금형내에 넣고 200°C에서 서서히 압력을 가하여 최고압력 100kg/cm²로 가열·압축하여 복합재료를 성형하였다.

형태학

강화섬유의 분산상태 및 배열상태를 분석하기 위하여 Philips사의 SEM-XL 30을 사용하였다. 시험편은 액체질소로 급냉하여 파단시킨 다음 그 파단면을 금으로 코팅하여 가속전압 20KV, 배율 200배로 관찰하였다.

유변학적특성

매트릭스가 용융된 상태의 유변학적특성은 Dynamic Spectrometer(Model RDS 7700, Rheometrics)로 측정하였으며 반경 2.54cm의 parallel plate를 사용하여 측정온도 200°C, gap point 2.0mm, strain ±5%의 측정조건으로 질

수 분위기에서 각 주파수(angular frequency, ω)에 따른 저장탄성률, 동적점성도 등을 측정하였다.

기계적특성

복합재료의 인장특성은 한국공업규격(KS M 3006)에 따라 길이 130mm, 너비 10mm, 두께 3mm로 만든 시험편을 만능재료시험기(Model SFM-20, United Calibration Co.)를 사용하여 측정온도 20±2°C와 상대습도 60%분위기하에서 cross head speed를 10mm/min로 하여 측정하였다.

굴곡특성은 길이 50mm, 두께 3mm의 시험편을 제조하여 한국공업규격(KS M 3008)에 따라 만능재료시험기를 사용하여 측정온도 20±2°C, 굴곡속도 1.5mm/min로 하중을 가하여 시험하였다. 이때의 하중범위는 최대하중이 기록계 눈금범위의 15%~18%이내에 들어 오도록 택하였다.

3. 결과 및 고찰

복합재료의 형태학적특성

Fig. 2는 각종 강화섬유의 함량은 15%와 30%로 보강한 복합재료 파단면의 SEM사진으로서, 이들 강화섬유가 매트릭스내에 어떠한 형태로 분포되어 있으며 파단시 어떠한 상태로 변화하는지를 나타내었다.

PAF/PP복합재료 [Fig. 2(a), (b)]인 경우, 강화섬유인 PAF는 복합매트 제조장치에서 고속으로 회전하여 혼합시켰음에도 불구하고 섬유 끝의 손상이 전혀 없었다. 대체로 강화섬유의 함량이 15%인 경우 여러 방향으로의 배향형태를 보였으나, 30% 이상에서는 매트릭스인 PP에 대하여 한쪽 방향으로만 배향되어 있음을 확인할 수 있었다. 100kg/cm²의 압력하에서 성형할 경우 PAF강화섬유는 프레스판과 평행하게 배향하려는 경향을 보였고 젖음성 및 접착상태가 좋지 않음을 확인할 수 있었다. 또한 30% 이상의 고충전영역에서는 용융된 PP가 PAF섬유간 공극을 충분히 채워주지 못하여 가늘게 된 강화섬유가 매트릭스로부터 인발된 현상을 보였다고 생각된다.

VF/PP복합재료 [Fig. 2(c), (d)]는 강화섬유인 VF가 각각의 방향으로 배향이 비교적 잘 이루어져 있으며 강화섬유의 젖음성이 PAF/PP복합재료보다 양호하여 보강효과가

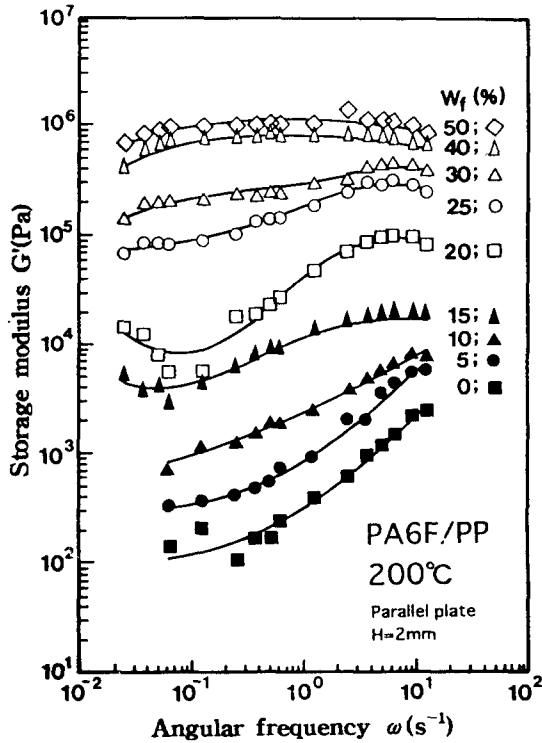


Fig. 4. Relationship between storage modulus and angular frequency for PAF reinforced thermoplastics at 200°C.

PAF시스템보다 크리라 예측할 수 있다. 30% 이상의 고충전계에서 VF강화섬유가 인발된 현상을 보이지 않았으나, 매트릭스섬유가 강화섬유 전체를 충분히 침적시키지 못하여 강화섬유와 매트릭스간의 분리가 어느정도 일어났음을 예측할 수 있다.

Fig. 2(e)와 (f) KF/PP계로서 전반적으로 KF가 강직하고 유연성이 작아 매트제조장치의 고속회전에 의해 갈라진 형태를 보이고 있으며, 30% 강화섬유로 충전된 계는 여러방향으로 얽혀있는 현상을 보였다.

복합재료의 유변학적 특성

본 연구에서 사용한 유기섬유강화 열가소성 복합재료는 가열압축법으로 성형하였으므로 매트릭스섬유만 용융시키고, 강화유기섬유에 열적영향을 미치지 않도록 하는 것이 중요하므로 사용한 각종 섬유의 열적 특성을 우선 검토하였다. PP와 PAF의 용융온도는 각각 168°C, 210°C였고, VF의 경우 용융온도와 분해온도가 비슷하여 240°C부근에서 용융과 분해가 동시에 일어났다. KF는 용융되지 않고

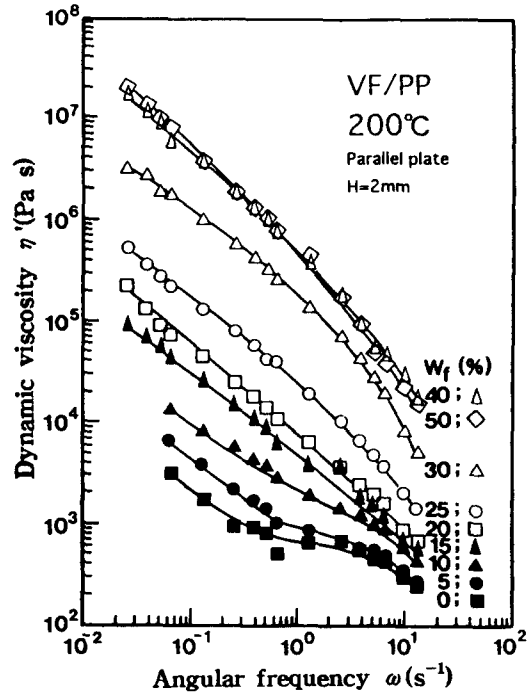


Fig. 5. Relationship between dynamic viscosity and angular frequency for PAF reinforced thermoplastics at 200°C.

600°C에서 분해되는 변화를 보였다.

Fig. 3에 PAF/PP복합재료의 동적점성도 (η')의 변화를 각종 강화섬유의 중량분률에 따른 ω 의 함수로 나타내었다. 매트릭스 섬유인 PP의 η' 는 ω 가 커지면서 감소하다가 1.1sec⁻¹ 이상의 ω 에서 변곡점이 나타났다. 전반적으로 PAF/PP복합재료의 η' 와 ω 가 커짐에 따라서 감소하나 그 경향은 강화섬유의 함량이 높을수록 급격히 감소하였다. PAF섬유의 함량이 5%로 강화된 경우, 매트릭스섬유인 PP의 η' 와 그 경향이 유사하여 0.25~0.89sec⁻¹의 주파수 부근에서 변곡점이 나타났다. 이 현상은 10%이상의 강화섬유가 충전된 계에서의 η' 는 ω 가 커짐에 따라 그 변곡 경향이 거의 없이 단조롭게 감소하였다. 그러나 40%의 강화섬유가 충전된 계는 0.5sec⁻¹의 주파수를 기점으로 변곡하면서 ω 에 따른 η' 의 감소현상이 둔화되었다. 또한 0.5~5sec⁻¹ 주파수 범위에서 25%와 30%의 PAF로 강화된 복합재료의 η' 는 50%의 강화섬유 충전계와 비슷한 값을 나타냈으며 대단히 높았다. 이는 25%와 30%의 PAF섬유로 강화된 복합

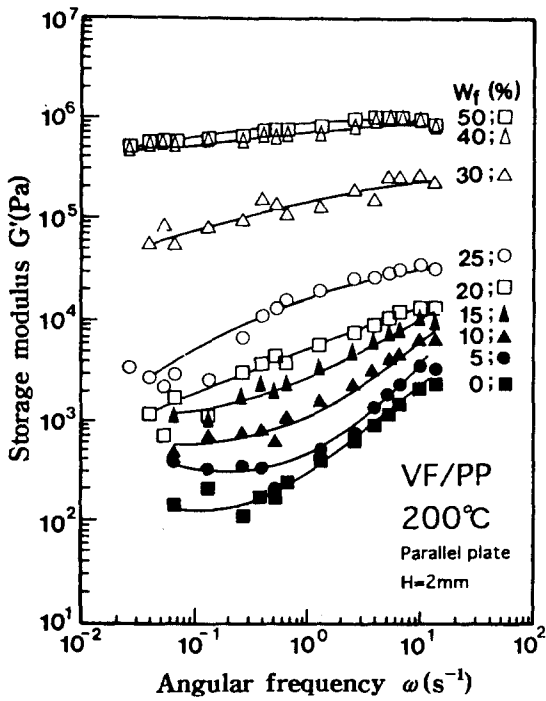


Fig. 6. Relationship between storage modulus and angular frequency for VF reinforced thermoplastics at 200 °C.

재료는 매트릭스와 강화섬유의 계면접착상태가 그 이상 충전한 영역보다 양호한 결과라고 생각되며 특히 PAF가 유동하기 전에 연신하면서 전단응력을 나타내기 때문이라고 해석된다.

PAF/PP복합재료의 ω 에 따른 저장탄성률 (G')을 Fig. 4에 나타내었다. PP매트릭스 섬유는 저장탄성률은 장섬유충전 복합재료의 전형적인 변화형태를 보여 ω 가 커질수록 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 강화섬유인 PAF의 용융온도는 약 210°C부근이므로 측정 온도 200°C에서 섬유가 상당히 연화(경우에 따라 용융되는 부분도 존재)될 가능성이 있다. 따라서 PAF의 함량이 증가함에 따라 단조롭게 변하는 것이라 생각된다. 보강섬유의 함량이 10%이하의 낮은 계에서는 장섬유 충전 복합재료의 전형적인 형태로서 ω 의 증가와 더불어 G' 은 선형적으로 증가하였다. 그러나 이러한 경향은 강화섬유의 함량이 높아질수록 G' 의 증가폭은 점점 작았으며, 섬유 함량이 40% 이상 충전된 계는 1.1sec⁻¹의 주파수를 중심으로 약간 변화는 경향은 있으나 대체로 동일한 값을 나타내어 G' 은 50%의

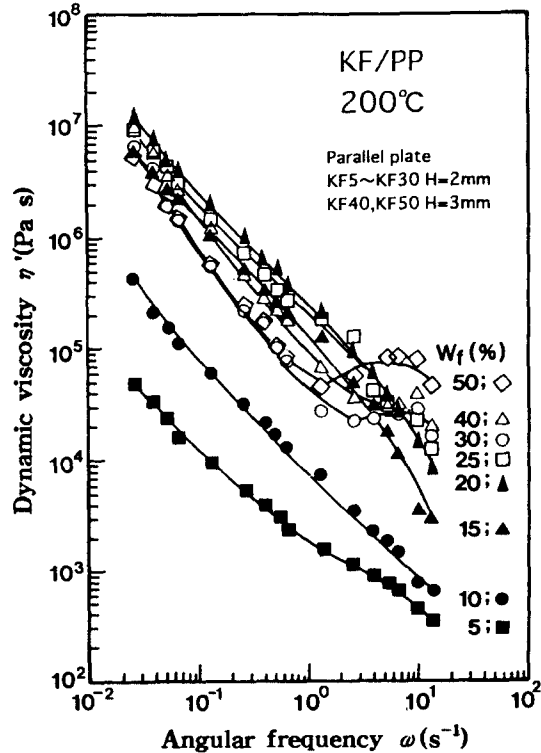


Fig. 7. Relationship between dynamic viscosity and angular frequency for KF reinforced thermoplastics at 200 °C.

PAF가 보강된 복합재료의 경우 10⁶Pa, 40%가 보강된 계인 경우 7×10⁶Pa이었다. 그러나 PAF섬유의 함량이 15~25%인 계에서는 0.1sec⁻¹인 ω 까지는 감소하고 그 이상의 영역에서는 증가하다가 다시 5sec⁻¹부터 약간 감소하는 독특한 변화를 보였다. 이 계에서는 강화섬유의 얽힘현상이 크기 때문에 전단속도의 변화에 따라서 섬유의 얽힘이 재배열하기 때문이라고 해석된다.

Fig. 5에 200°C에서 측정된 VF/PP복합재료의 η' 를 ω 의 함수로 나타내었다. 전반적으로 변화의 경향은 PAF/PP복합재료의 경우와 유사하였으나, VF 충전계에서의 η' 값이 PAF/PP복합재료보다 약간 크게 나타났다. VF가 5%와 10%로 강화된 계에서는 0.5sec⁻¹과 5sec⁻¹부근에서 각각 변곡하면서 감소하는 경향을 보였으나, 그 이상의 계에서는 ω 의 증가에 따라서 선형적으로 감소하였으며 5sec⁻¹ 이상의 고주파수 영역에서는 더욱 급격히 η' 가 낮아졌다. 가소성이 현저한 VF로 강화된 복합재료는 전단방향으로의 배향이 비교적 일어

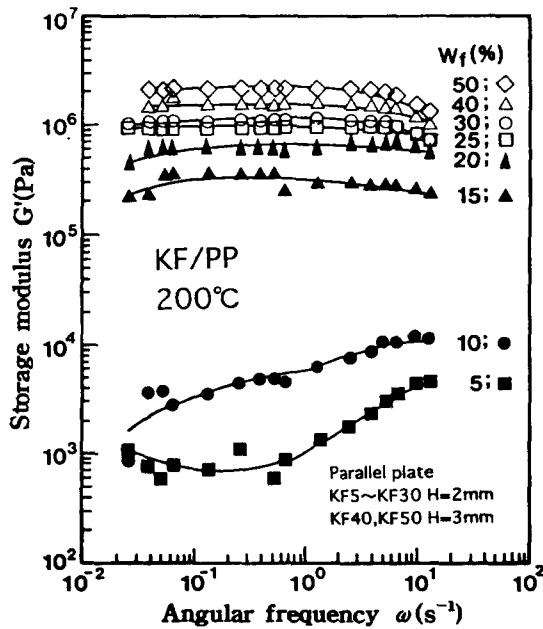


Fig. 8. Relationship between storage modulus and angular frequency for KF reinforced thermoplastics at 200 °C.

나기 쉽고, 강화섬유가 많이 포함된 복합재료의 점성도도 낮아 비뉴톤 점성이 증가하는 현상을 보여주고 있다¹⁹⁾.

Fig. 6에 VF/PP복합재료의 저장탄성률을 나타내었다. VF의 함량이 15%이하인 계에서, G' 은 0.5sec^{-1} 의 주파수까지는 ω 의 증가와 더불어 완만히 증가하다가 그 이상의 고주파수 영역에서는 급격히 증가하였다. 이러한 증가 경향은 강화섬유의 함량이 높을수록 완만해졌으나 40%이상의 VF가 강화된 계에서도 G' 은 $4 \times 10^5 \sim 9 \times 10^5 \text{Pa}$ 의 범위에서 미세하게 증가하였다. 측정온도 200°C에서 VF가 연화되므로 섬유배향상태의 변형이 ω 의 함수로 나타났음을 알 수 있다.

Fig. 7에 KF/PP복합재료의 동적 점성도 η' 를 ω 의 함수로 나타내었다. 일반적으로 η' 는 ω 의 증가에 따라 급격히 감소하는 결과를 보였으나 11.1sec^{-1} 의 높은 주파수 영역에서 변곡하는 경향이 있고, 특히 KF의 함량이 30%~50%인 계에서는 독특한 변화를 보여 다시 증가하다가 감소하였다. Fig. 2의 형태학적 관찰에서와 같이, KF강화 복합재료는 다른 계 보다 강화섬유와 매트릭스와의 계면접착상태와 젖음성이 비교적 우수하여 KF의 함량에

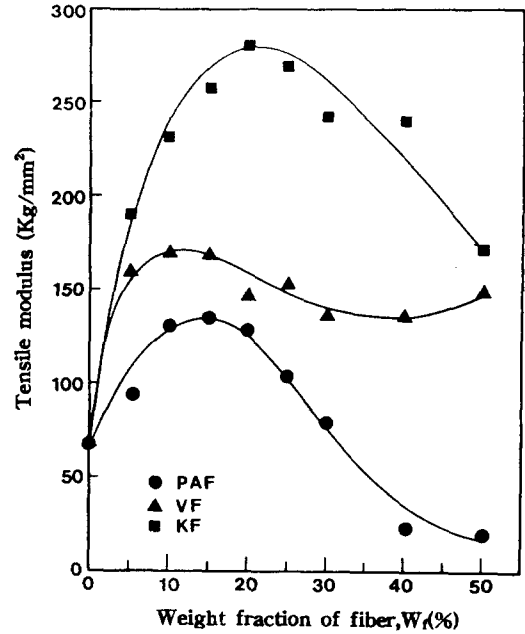


Fig. 9. Relationship between tensile modulus and fiber weight fraction for thermoplastics reinforced with various fiber.

따라 interface barrier면적이 증가하기 때문에 동적 점성도가 감소하다가 다시 증가하는 현상을 보이는 것이라 생각된다. 또한 강화섬유가 일정한 함량이상으로 충전되는 경우에는, 매트릭스 수지에 충분히 침적되지 못한 강직한 분자쇄를 갖고 있는 KF섬유가 전단속도가 빠른 영역에서는 매트릭스와 따로 거동하여 움직임에 따라 큰 전단응력을 나타내기 때문이라고 사료된다.

Fig. 8에 KF로 강화된 복합재료의 저장탄성률을 나타내었다. KF의 함량이 5%~10%로 강화된 복합재료는 KF의 함량이 증가함에 따라 커지다가 변곡점을 나타내며 대체로 ω 의 증가와 더불어 증가하는 경향을 보였다. KF의 함량이 10%에서 15%로 증가되는 영역에서 저장탄성률은 급격히 커져 강화섬유의 함량이 15%이상인 계에서는 ω 의 변화와 관계없이 거의 일정한 값을 나타내고 있다. KF강화계의 저장탄성률은 대단히 커서 KF섬유의 함량 25%를 기준으로 할 경우 KF/PP계의 G' 는 10^6Pa 로서 $1 \times 10^5 \text{Pa}$ ($\omega = 1.1\text{sec}^{-1}$ 기준)인 PAF/PP복합재료나 $1 \times 10^4 \text{Pa}$ ($\omega = 1.1\text{sec}^{-1}$) 정도인 VF/PP복합재료보다 큰 값을 나타내었다. 위의 결과로부터 KF의 함량이 다량 보강된 복

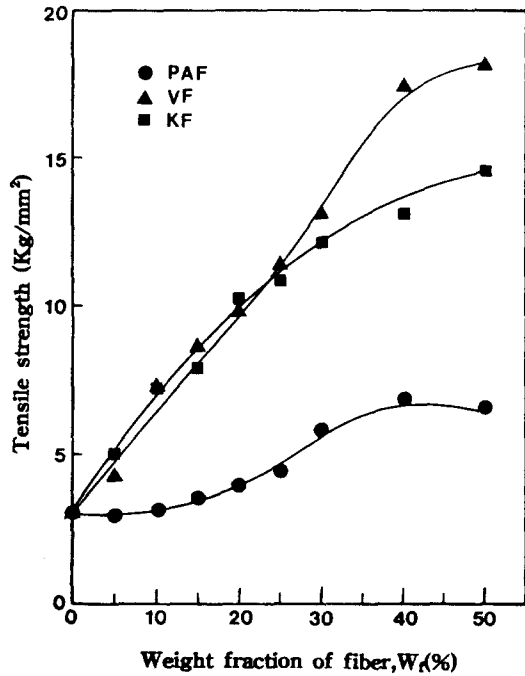


Fig. 10. Relationship between tensile strength and fiber weight fraction for thermoplastics reinforced with various fiber.

합재료는 강화섬유의 함량이 증가함에 따라 탄성체로서의 성질은 증가하나 점성적성질은 감소하고, 또한 고주파수 영역에서도 탄성적 성질이 강함을 알 수 있다.

인장특성

복합재료의 인장탄성률과 섬유중량분률과의 관계를 나타낸 Fig. 9에서 보는 바와 같이 일반적으로 강화섬유의 함량이 10~20%인 계는 인장탄성률이 증가하다가 20% 이상에서는 감소하는 경향을 보이고 있다. 이는 유기섬유계 복합재료는 강화섬유의 함량이 15% 정도까지는 강화섬유가 PP매트릭스에 충분히 분산되어 불규칙하게 얽혀 있으며 PP가 강화섬유계면 전체에 균일하게 접촉되어 인장탄성률 값이 증가되는 것으로 생각된다. 즉 VF/PP복합재료에서 VF섬유함량 10% 이상의 고충진 영역에서도 PAF의 경우와 다르게 탄성률값이 거의 변화가 없는 것은 강화섬유 함량이 증가할수록 섬유얽힘이 재배열하며, 강화섬유 고충진 영역에서도 섬유의 인발이 거의 없기 때문으로 해석할 수 있다. 또한 PAF/PP의 경우 섬유함량 15% 이상에서 탄성률이 급격히 감소하다가 섬유함량 30% 이상에서는

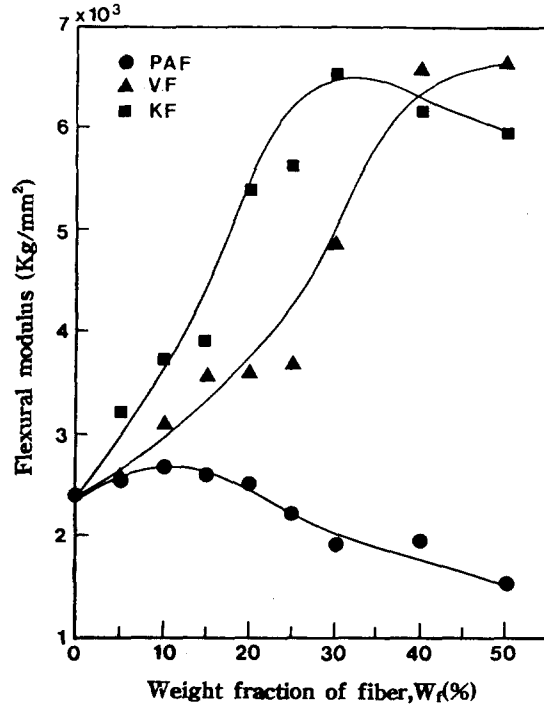


Fig. 11. Relationship between flexural modulus and fiber weight fraction for thermoplastics reinforced with various fiber.

매트릭스인 PP자체보다 낮은 탄성률을 보여 주고 있다. 유기-유기계 복합재료에서 인장탄성률에 미치는 요소는 성형가공시 섬유분포의 균일성 및 충분한 공극률, 섬유계면과 매트릭스간의 접촉특성 등이다. 특히 PAF/PP복합재료는 매트릭스인 PP보다 탄성률이 더 낮게 나타났다. 이는 PP매트릭스수지와 PAF강화섬유 사이에 접착력 및 젖음성이 매우 적어 두 섬유간에 slip현상이 발생되고, 또한 성형가공시 PAF 섬유공극사이로 PP가 용융하여 들어갈 수 있는 용적률이 작기 때문으로 판단된다.

PAF/PP, VF/PP 및 KF/PP유기계 섬유강화 복합재료의 인장강도와 섬유중량분률과의 관계를 Fig. 10에 나타내었다. 인장강도는 VF/PP복합재료의 경우 높은 값을 갖는데 비해 PAF/PP복합재료의 경우는 가장 낮은 값을 보여주고 있다. 또한 VF 및 KF강화계에서는 강화섬유의 함량이 증가할수록 인장강도가 선형적으로 급격히 증가하지만 PAF계에서는 섬유함량이 40%까지 완만하게 증가하나 그 이상에서는 인장강도가 약간 감소하는 경향을

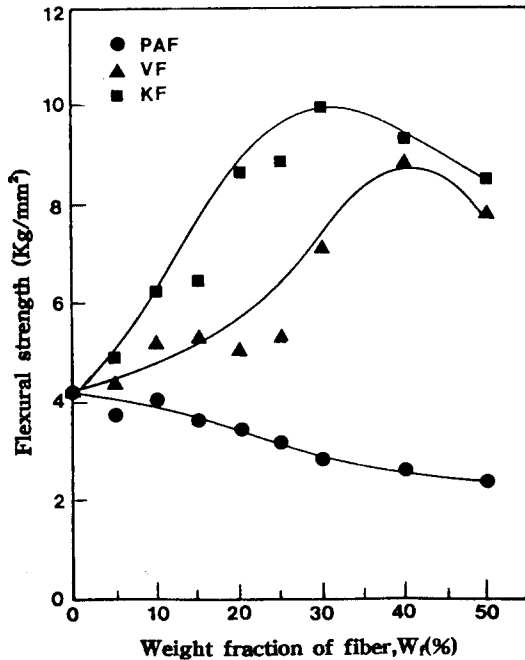


Fig. 12. Relationship and flexural strength and fiber weight fraction for thermoplastics reinforced with various fiber.

보이고 있다. 이는 VF/PP복합재료의 경우 성형온도 200°C에서 VF와 PP매트릭스와의 젖음성이 커지는 반면 PAF/PP복합재료의 경우는 PAF섬유자체의 강도나 탄성률이 KF나 VF강화섬유보다 작을뿐만 아니라 젖음성도 떨어지기 때문에 섬유함량이 증가하더라도 인장강도 증가율은 완만하여 매트릭스 섬유인 PP보다 약간 큰 강도를 갖는다. 이상에서 인장강도는 강화섬유 자체의 강도뿐만 아니라 강화섬유와 매트릭스와 계면접착상태의 영향을 받으므로, 고온에서의 반응에 의해서 계면접착성이 좋아지는 VF강화계가 큰 인장강도 값을 나타내고 있다.

굴곡특성

섬유중량분률에 따른 굴곡탄성률 및 굴곡강도를 Fig. 11과 12에 각각 나타내었다. 그림에서 보는바와 같이 PP자체만의 굴곡강도는 4.1kg/mm²인데 비해 PAF/PP복합재료의 경우 PAF섬유함량이 증가할수록 굴곡강도는 감소하는 경향을 보이고 있으며, 굴곡탄성률도 10%를 최대점으로하여 강화섬유 함량이 증가할수록 감소함을 볼 수 있다. 이와같이

PAF/PP복합재료의 굴곡탄성률과 굴곡강도가 감소하는 것은 강화섬유인 PAF 섬유자체의 강도가 작어 낮은 굴곡탄성률을 갖기 때문이라고 해석할 수 있고, 또한 성형가공시 섬유배향성의 영향이 있다고 생각된다.

VF/PP의 굴곡탄성률은 강화섬유함량이 25%까지는 매트릭스인 PP보다 약간 증가한 상태에서 거의 변화가 없었으나 섬유함량 30% 이상에서는 급격히 증가함을 볼 수 있다. 굴곡강도는 PAF섬유함량 25%까지는 큰 변화가 없었으며, 30%~40%의 강화섬유함량에서 급격히 증가되며 그 이상에서는 굴곡강도값이 감소하였다.

KF/PP복합재료의 굴곡탄성률과 굴곡강도는 KF섬유함량이 30%포함된 계까지 강화섬유의 함량에 따라 급격히 증가하다가 30%이상부터는 서서히 감소하는 경향을 보였다. 전반적으로 KF강화 복합재료의 굴곡특성이 VF나 PAF강화계보다 높게 나타났으며, 이러한 현상은 KF자체가 방향족 고리를 가지고 있는 고강도 섬유로서 굴곡에 대한 내성이 VF나 PAF보다 크기 때문이다.

4. 결 론

유기계 강화섬유로서 폴리비닐알코올섬유(VF), 아라미드섬유(KF) 및 폴리아미드섬유(PAF)를 사용하고, 매트릭스는 폴리프로필렌섬유(PP)를 사용하여 유기-유기 고분자 복합재료를 제조하였다. 이들 복합재료에 대한 용융점성도, 저장탄성률 및 기계적특성을 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 측정온도 200°C에서도 강성이 큰 KF로 강화된 복합재료의 저장탄성률은, KF의 함량이 15%이상 강화된 계에서는 주파수에 의존하지 않는 큰 값을 나타냈으며 낮은 주파수 영역에서의 동적 점성도도 컸다.

2) VF 및 PAF강화 복합재료는 측정온도 200°C에서 상당히 연화되므로 강화섬유가 많이 포함된 복합재료의 점성도도 비교적 낮아 전단방향으로의 배향이 비교적 쉽게 일어나는 경향을 보였으며, KF/PP복합체와 같은 거동은 강화섬유함량이 30%이상 강화된 시료부터 나타났다.

3) 유기계 섬유로 강화된 PP복합재료의 물성은 강화섬유 자체의 특성과, 매트릭스와 강

화섬유와의 젖음성 등이 복합적으로 작용하므로 VF/PP와 KF/PP복합재료의 인장 및 굴곡특성이 PAF/PP제에 비해 우수하였다.

참 고 문 헌

1. J. Noolandi, *Polym. Eng. Sci.*, **24**, 70 (1984).
2. K. Matsushige, S.V. Radcliffe and E. Baser, *J. Appl. Polym. Sci.*, **20**, 1853 (1976)
3. A.B. Strong, "Fundamentals of Composites Manufacturing : Materials, Methods, and Applications", SME, 1989.
4. L. George, ed. "Handbook of Composites", New York, Van Nostrand Reinhold, 1982.
5. I. Gawin. 31st ational SAMPE Symp., 1204, 1986.
6. 北野 武, 化學工學, **48**(12), 912, 1982.
7. 北野 武, 高分子, **35**(12), 1090, 1986.
8. M.G. Bader and W.H. Bowyer, *Composites*, July, 150(1973).
9. J.B. Myhre and J.A. Baumann, 37th Annual Conf., Reinforced Plast./Compo. Lnst., SPI, Jan., **11-15**, Session 25-D, 1. 1982.
10. R. Dave and L. Lorenzo, *ibid*, **10**, 199 (1989)
11. C.K. Moon, *Polym. Sci. Tech.*, **2**, 284 (1991)
12. L. Cercone, *Polym. Compos.*, **12**, 81 (1991).
13. 長塚惟宏, 青木榮次, 北野 武, 平在興彦, "日本織高研 研究發表會 資料," 157, 1991.
14. 長塚惟宏, 青木榮次, 北野 武, 平在興彦, "日本纖維機械學會 第44回 年次大會 研究發表論文集, 77, 1991.
15. 長塚惟宏, 北野 武, "日本纖維機械學會 第45回 年次大會 研究發表 論文集, 20, 1992.
16. D.G. Thomas, *J. Colloid Sci.*, **20**, 267 (1965).
17. J.G. Brodnyan, *Trans. Soc, Rheol*, **111**, 61 (1959).
18. 原田博之, *Plastics Age*, **36**(3), 145 (1990).
19. T. Kitano, T. Kataok and Y. Nagatsuka, *Rheol. Acta*, **23**, 20 (1984).