

단섬유강화 복합재료에서 사출측/금형측 노즐 크기 변화에 따른 섬유손상 및 기계적 성질

이 인 섭* · 이 동 주*
(2000년 3월 4일 접수, 2001년 2월 17일 심사완료)

The Fiber Damage and Mechanical Properties of Short-fiber Reinforced Composite Depending on Nozzle Size Variations in Injection / Mold Sides

In-Seob Lee and Dong-Joo Lee

Key Words: Injection Molding(사출성형), Fiber Damage(섬유손상), Fiber Volume Fraction(섬유체 적분율), Aspect Ratio(섬유종횡비), Pyrolytic Decomposition(열분해), Survival Rate(섬유생존율), Nozzle Size(노즐크기), Short Fiber(단섬유)

Abstract

The mechanical properties of short carbon/glass fiber reinforced polypropylene are experimentally measured as functions of fiber content and nozzle diameter. Also, these properties are compared with the survival rate of reinforced fibers and fiber volume fraction using image analysis after pyrolytic decomposition. The survival rate of fiber aspect ratio as well as fiber volume fraction is influenced by injection processing condition, the used materials and mold conditions such as diameter of nozzle, etc. In this study, the survival rate of fiber aspect ratio is investigated by nozzle size variations in injection /mold sides. It is found that the survival rate of glass fiber is higher than that of carbon fiber. Both tensile modulus and strength of short-fiber reinforced polypropylene are improved as the fiber volume fraction and nozzle diameter are increased.

1. 서 론

사출성형에 의한 섬유강화 복합재료는 본질적으로 섬유체적비, 섬유배향, 기지재와 강화재의 접착력, 사용된 재료의 특성, 성형조건 등에 따라서 그 우수성이 달라진다. 또한, 섬유강화 복합재료의 강성은 기지재 속에 강화된 섬유가, 가해지

는 외부하중에 얼마나 잘 견디는지에 달려있다고 할 수 있다. 일반적으로 단섬유 보다는 연속섬유가 강도나 성능적인 면에서 더욱 유리하다고 알려져 있다. 그러나 단섬유는 제조과정에서 기지재료와의 혼합이 쉽고, 사출성형에 의해서 정밀하고 기하학적으로 복잡한 형상을 가진 구조물의 생산이 가능하다. 따라서 연속섬유강화 복합재료의 특성에 최대한 접근하고, 대량생산이 가능한 단섬유강화 복합재료의 성형이 요구되고 있고, 많은 연구가 수행되고 있다.

단섬유강화 복합재료에서 섬유의 길이가 기계적 성질에 미치는 영향은 많이 연구되었으며,^(1~13) Turkovich와Erwin⁽⁶⁾은 가공방식에 따른 섬유파손

* 책임저자, 회원, 영남대학교 기계공학부

E-mail : djlee@ynucc.yeungnam.ac.kr

TEL : (053)810-2469 FAX : (053)813-3703

* 영남대학교 대학원 기계공학부

에 대해 연구하였고, Spahr⁽⁹⁾ 등은 섬유길이에 따른 복합재료의 미세구조와 파괴거동에 대해서 연구하였다. 최근에는 Landis⁽¹⁰⁾ 등이 단일방향의 응력을 예측하기 위하여 파손된 섬유에 대해서 전단지연이론을 적용시켰고, Fu⁽¹¹⁾ 등은 섬유체적비에 따라서 혼합된 유리섬유와 카본섬유에서 각 섬유의 파손과 충격파괴저항에 대해서 연구하였으며, Inberg⁽¹²⁾ 등은 기지재와 강화섬유의 혼합방법과 섬유함유량에 따른 섬유손상에 대한 연구를 수행하였다.

그러나, 사출성형시 조정가능한 사출측/금형측 노즐의 크기 변화에 따른 섬유생존율 및 섬유생존율이 단섬유강화 복합재료의 기계적 성질에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구는 미흡하다. 그래서 본 연구에서 기지재는 폴리프로필렌, 강화재는 단섬유 형태인 탄소섬유와 유리섬유를 사용하여 실험하였으며 이때, 사출측/금형측 노즐의 크기 변화에 따른 섬유손상의 정도를 실험한 후, 사출성형시 단섬유강화 복합재료의 기계적 성질에 어떠한 영향을 주는지에 대해서 비교 검토하였다.

2. 이론적 배경

2.1 섬유체적비

사출성형품의 기계적 성질은 보강된 섬유가 제품전체에서 차지하는 비가 어느정도 인지에 따라 중요한 영향을 미친다. Nabi와 Hashemi⁽¹³⁾는 섬유체적비 (V_f)를 섬유와 기지재 각각의 밀도와 연소전후 복합재의 무게비로 정의된 섬유함유율 (W_f)을 구하여 식 (1)과 같이 계산하였다.

$$V_f = \left[1 + \frac{\rho_f}{\rho_m} \left(\frac{1}{W_f} - 1 \right) \right]^{-1} \quad (1)$$

여기서, ρ_f 는 섬유의 밀도이고, ρ_m 은 기지재의 밀도이다.

2.2 인장강도

단섬유강화 복합재료의 강도를 구하는데는 혼합법칙이 적용된 몇 가지 이론적인 식들이 있다.

Kelly와 Tyson⁽¹⁴⁾은 섬유함유율에 따른 복합재료의 인장강도 (σ_c)를 식 (2)와 같이 섬유길이효

과, 섬유체적비, 섬유의 배향 등을 고려하여 구하였다.

$$\begin{aligned} \sigma_c &= \lambda_1 \lambda_2 \sigma_f V_f + \sigma_m V_m \\ &= \lambda_1 \lambda_2 \sigma_f V_f + \sigma_m (1 - V_f) \quad (2) \end{aligned}$$

$$\lambda_2 = L - [L_c / 2L] \quad (L > L_c \text{ 일 경우}) \quad (3)$$

$$= \frac{L}{2L_c} \quad (L < L_c \text{ 일 경우}) \quad (4)$$

$$L_c = \sigma_f d / 2 \tau \quad (5)$$

여기서, λ_1 은 섬유배향계수(3/8), λ_2 는 섬유길이효과이고, σ_f , σ_m 및 V_f , V_m 은 섬유(fiber)와 기지재(matrix)의 인장강도와 섬유체적비를 각각 나타낸다. L 은 평균섬유길이(mean fiber length), L_c 는 임계섬유길이(critical fiber length), τ 는 계면전단강도, d 는 섬유의 직경이다.

임계섬유길이 (L_c)는 식 (5)와 같이 섬유의 최대 인장강도와 직경 그리고 섬유의 최대변형율에서의 기지재의 강도를 계면전단강도 τ 로 가정하여 구하였고, 카본과 유리섬유 모두 평균섬유길이 임계섬유길이보다 작다. 임계섬유길이 임계값을 넘을 때, 평균섬유길이 증가할수록 섬유의 길이효과 (λ_2)가 커지게 되고, 인장강도 (σ_c)는 증가하게 된다.

2.3 탄성계수

단섬유강화 복합재료의 탄성계수를 이론적으로 예측하는 해석모델⁽¹⁴⁾은 많이 있다. 그 중에서도 Hwang과 Gibson⁽¹⁵⁾에 의해 섬유중량비를 고려한 수정된 Cox모델과 Hui와 Shia⁽¹⁶⁾가 제안한 단일방향으로 배열된 단섬유강화 복합재료의 탄성계수를 효과적으로 측정하는 모델, 그리고 섬유의 불규칙 배열에 대한 탄성계수를 예측하는 Halpin-Tsai의 식 등이 있다. 특히 Halpin-Tsai식은 섬유의 불규칙 배열에 대한 탄성계수의 실험식과도 비교가 용이하며, 단섬유강화 복합재료에서의 탄성계수를 예측하는데 많이 이용되고 있으며 식은 다음과 같다.

$$\frac{E_L}{E_m} = \frac{1+2(L/d)\eta_L V_f}{1-\eta_L V_f} \quad (6)$$

$$\frac{E_T}{E_m} = \frac{1+2\eta_T V_f}{1-\eta_T V_f} \quad (7)$$

$$\eta_L = \frac{(E_f/E_m)-1}{(E_f/E_m)+2(L/d)} \quad (8)$$

$$\eta_T = \frac{(E_f/E_m)-1}{(E_f/E_m)+2} \quad (9)$$

여기서 E_L 과 E_T 는 섬유와 매트릭스의 종방향과 횡방향의 탄성계수이고, E_m 은 기지재의 탄성계수이다. η_L 과 η_T 는 종방향과 횡방향의 강화효율이다. E_L 은 섬유종횡비(L/d)의 영향을 받지만, E_T 는 섬유종횡비에 거의 무관하게 된다. E_L 은 섬유종횡비나 섬유체적비가 증가할수록 커진다.

강화 섬유가 불규칙하게 배향된 복합재료의 탄성계수(E_c)를 예측하는데에는 다음과 같은 실험식⁽⁴⁾이 이용되고 있다.

$$E_c = (3/8)E_L + (5/8)E_T \quad (10)$$

본 연구에서 실험적 종탄성계수는 응력-변형률 곡선에서 초기 직선 부분에 해당하는 탄성한도 내에서 Hook의 법칙을 이용하여 구하였다.

3. 실험방법

본 연구에서 사용된 기지재는 (주)선경의 폴리프로필렌이고, 강화재는 길이 3mm의 초트스트렌드인 (주)한국화이버의 카본섬유(TZ-507)와 유리섬유(E-Glass)를 사용하였다.

Table 1은 기지재인 폴리프로필렌의 물성을 나타낸다. 초기 섬유의 길이는 3mm로 일정하며, 기지재와 강화섬유의 배합에 정밀도 0.001g의 저울을 이용하였다. 먼저 기지재인 폴리프로필렌과 강화재인 탄소(유리) 섬유를 같은 형태의 용기 2개를 이용하여 각각의 무게비로서 측정하여 담고, 이 두재료를 또다른 용기에서 임의로 혼합한 뒤, 호퍼속에 투입하였다. 일반적으로 기지재와 강화재의 비중이 서로달라서 배합에 어려움이 있기 때문에, 성형전 압출기등을 이용한 배합작업이 먼저 이루어진다. 그러나 배합작업에서 섬유

Table 1 Mechanical properties of Polypropylene

Mechanical properties	Polypropylene
Tensile strength	20~35(MPa)
Tensile modulus	0.7~1.4(GPa)
Specific gravity	0.91
Elongation	500~10(%)

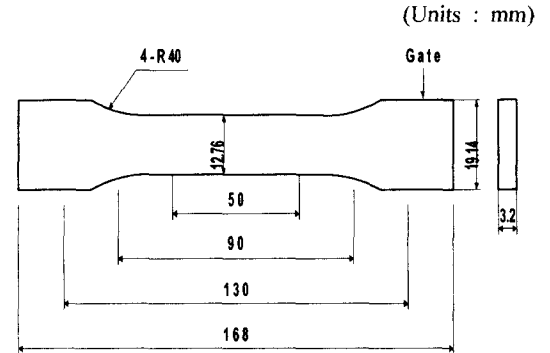


Fig. 1 Geometry of tensile test specimen

상호간의 전단력에 의해 섬유파손이 일어나고, 섬유함유량이 증가할수록 그 영향이 더 크다.^(12,13)

본 연구에서는 최대한 초기 섬유길이를 일정하게 유지하기 위해서 성형전 별도의 혼합방식은 채택되지 않았고, 이론식에 사용된 섬유의 길이는 각 섬유함유량에서 측정된 전체 평균섬유길이 값을 사용하였다.

양노즐의 크기가 3/3, 6/6, 9/9(mm)로 동일하게 증가하는 노즐크기 변화에 대한 각각의 섬유체적비율, 연소후 카본섬유와 유리섬유가 공통적인 범위에 속하는 3%, 5%, 7%로 결정하였다. 사용된 강화재의 섬유직경은 카본섬유가 6.8 μm 이고 유리섬유가 13.7 μm 이다.

시험편을 만들기위해서 재료의 성형수축률(1.2~2.0%)을 고려하여 금형을 제작하였고, 시험편의 형태는 ASTM D638⁽¹⁷⁾에 따라 Fig. 1과 같았다.

본 연구에서 사용된 사출기 최대압력은 13.7 MPa이고, 인장실험에 사용된 장비는 Shimadzu AG 5000을 사용하였다. 각각의 조건에 대해 제작된 시험편의 인장실험은 실온상태($23 \pm 2^\circ\text{C}$)에서 이루어졌으며, 실험의 속도는 5mm/min로 하였다.

Table 2 Conditions for injection molding

Cylinder temperature					Mold temperature		
NH	H1	H2	H3	H4	Stationary	Movable	
220°C	220°C	210°C	200°C	***	20°C	20°C	
Injection		Cooling			Stop		One cycle
10 sec		5 sec			3 sec		18 sec
Injection pressure-1		Injection pressure-2			Injection pressure-3		Injection pressure-4
8.9MPa		9.6MPa			8.2MPa		***
Injection speed-1		Injection speed-2			Injection speed-3		n3/m3 n6/m6 n9/m9 (mm)
24 m/s		30 m/s			33 m/s		

(* n : nozzle, m : mold)

Table 2는 적용된 사출성형조건이다.

사출측/금형측 노즐크기를 변화시키는데 대한, 실제 섬유손상길이와 섬유체적비를 구하기 위해 각조건 의 시편으로부터 연소실험을 하였다. 연소 실험은 전기로에서 카본섬유와 유리섬유가 손상을 입지 않는 온도범위인 약 400°C에서 90분 동안 실시되었다. 연소후 잔존하는 섬유무게를 측정하여 섬유함유율을 구하고, 식 (1)에 의해 섬유체적비를 계산하였다.

손상된 섬유길이는 50배율 컬러 영상 현미경으로 연소후의 섬유 약300개 이상의 표본을 채취하여 Image Pro 3.0에서 직접 측정하였고, 그때의 평균섬유길이를 나타내었다. 여기서 구한 평균섬유길이는 이론적인 물성값을 구하는데 이용되었다. 물성치는 실험에서 가장 유사한 값을 보인 시편5개의 값을 평균하여 나타내었고, 각 조건에 대해서 10개 이상의 시편이 사용되었다.

4. 실험결과 및 검토

사출측/금형측 노즐의 크기를 변화시키고, 섬유함유율별로 제작된 시편을 연소 시켰을 때, 섬유함유율에 대한 섬유체적비의 결과를 Table 3에



Fig. 2 Fiber length distribution after pyrolytic decomposition

나타내었다. 노즐크기 변화에 대해서 초기 성형된 섬유함유율이 성형후 섬유함유율과 일정하지 않음을 알 수 있었다. 이는 기지재인 폴리프로필렌과 강화재로 사용된 각각의 섬유의 비중이 달라 배합이 잘 이루어지지 않은 원인이기도 하다. 탄소섬유와 유리섬유의 혼합정도는 비중이 높은 유리섬유가 좀더 잘 이루어졌다.

단섬유강화 복합재료에서 기계적 성질에 커다란 영향을 미치는 섬유길이 즉, 성형과정에서 손상된 섬유길이에 대한 측정^(6,8,12,13)은 매우 중요하다. 사출성형으로 생산된 단섬유강화 복합재료의 경우, 성형시 많은 변수들의 영향으로 섬유의 손상이 다르게 되고 강화 섬유길이는 균일하지 않다. 그리고 대부분의 섬유들이 기지속에 묻혀있어 제품 표면상에서는 손상된 실제의 섬유길이를 측정하기가 매우 곤란하다. 따라서 성형후의 손상된 섬유길이를 측정하기 위해 연소를 실시하였고, 이때 잔존하는 섬유들을 Image Pro 3.0을 이용하여 섬유길이의 손상정도를 측정하였다.

Fig. 2는 연소후의 섬유의 상태이다. 초기 섬유의 길이가 카본섬유와 유리섬유 각각 3mm로 일정한데 대해, 노즐의 크기를 3/3, 6/6, 9/9(사출측/금형측, mm)로 변화시키면서 사출성형 했을 때 각각의 손상된 섬유길이의 분포상태를 Fig. 3과 Fig. 4에 나타내었다.

Fig. 3은 초기 섬유길이가 3mm인 카본섬유의 경우로, 노즐의 직경 3/3, 6/6, 9/9(mm)를 각각 사용하여 사출한 후에, 측정된 평균섬유길이가 0.4637, 0.6614, 0.7796(mm)를 각각 나타내고있다.

Table 3 Fiber volume fraction and survival rate of fiber length after injection molding

Fiber	Nozzle diameter (mm)	Aspect ratio(L/d)				FRP weight (g)	Weight(g)		Fiber weight rate (Initial,%) W_f	Fiber volume fraction V_f (%)
		Initial	After molding (mean)	Standard deviation	Survival rate		Matrix	Fiber		
CF	n3/m3	441	68 (0.4637)	38 (0.2604)	15.4%	21.94	18.37	3.57	16.3(20)	8.87
						21.72	19.38	2.34	10.8(10)	5.71
						21.95	21.19	0.76	3.5(5)	1.78
	n6/m6		97 (0.6614)	74.8 (0.5085)	22%	22.23	18.65	3.58	16.1(20)	8.75
						21.06	19.23	1.83	8.69(10)	4.54
						20.88	19.3	1.58	7.57(5)	3.93
	n9/m9		115 (0.7796)	67 (0.4553)	26.1%	22.7	18.1	4.6	20.3(20)	11.3
						21.8	19.5	2.3	10.5(10)	5.54
						21.6	20.8	0.8	3.7(5)	1.88
GF	n3/m3	219	50 (0.6804)	25.7 (0.3526)	23%	23.37	19.05	4.32	18.5(20)	7.44
						22.53	20.79	1.74	7.72(10)	2.88
						22.15	20.97	1.18	5.33(5)	1.96
	n6/m6		67 (0.9183)	33.6 (0.4601)	30.6%	24.68	19.4	5.28	21.4(20)	8.8
						21.36	19.32	2.04	9.55(10)	3.61
						21.38	19.84	1.54	7.2(5)	2.67
	n9/m9		68.1 (0.9324)	35.8 (0.4905)	31.1%	24.1	19.6	4.5	18.7(20)	7.52
						22.5	20.4	2.1	9.3(10)	3.5
						21.8	20.6	1.2	5.5(5)	2.02

(* n : nozzle, m : mold)

Fig. 4는 초기 섬유길이 3mm인 유리섬유의 경우로 동일한 노즐크기 변화에 대해서 평균섬유 길이가 0.6804, 0.9183, 0.9324(mm)를 각각 나타내고 있다.

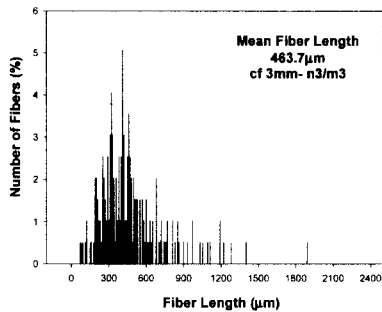
카본섬유의 경우는 노즐크기 변화에 대해서 뚜렷한 섬유생존율의 영향을 보였고, 유리섬유는 초기 섬유길이와 비교해서 노즐크기가 같았을 때에만 섬유생존율이 현저히 낮게 나타났다.

카본섬유와 유리섬유 모두 노즐크기가 클 때에는 노즐크기 변화에 상관없이 섬유생존율이 거의 유사한 경향을 보였다. 이러한 현상은 사출시 보강된 섬유들이 노즐을 통과할 때, 노즐크기와 사출속도에 따른 영향을 받은 전단저항력의 차이이며, 노즐크기가 같거나 작을 때에 더욱 큰 영향을 받을 수 있다. 즉, 섬유생존율은 노즐크기 변화에 큰 영향을 받고 있음을 알 수 있었다.

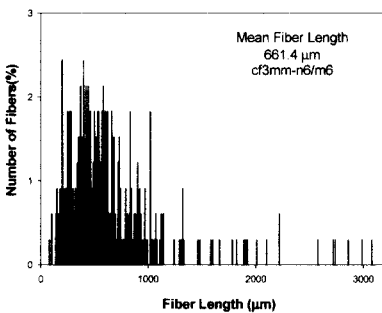
따라서 단섬유강화 복합재료를 사출성형으로 제작할 때에는, 성형품의 품질에 영향을 주지 않는 한 사출측/금형측 노즐을 주어진 조건에 맞게 조정할 필요성이 있다. 카본섬유와 유리섬유의 손상 정도는, 카본섬유가 유리섬유에 비해서 섬유손상이 많이 발생되었음을 알 수 있었다. 이는 카본섬유가 유리섬유보다 강성이며, 취성적인 성질을 가지기 때문에 쉽게 파손을 일으킨 결과이다.

섬유의 손상이 많이 일어났다는 것은 섬유생존율이 낮다는 것을 의미한다. 여기에서, 섬유의 생존율은 성형후의 평균섬유중량비를 성형전 원래의 섬유중량비에 대한 비로 정의했다.

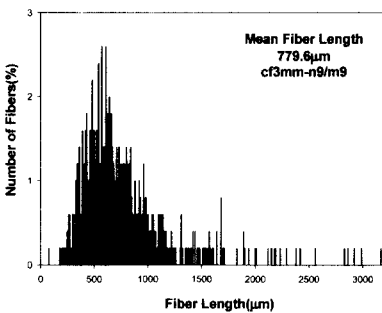
Table 4는 노즐크기가 증가함에 따라, 각조건에서 존재하는 섬유들 중에서 임계섬유길이보다 긴 섬유들이 존재할 확율이 높다는 것을 나타내고 있다. 이는 노즐의 크기가 증가될수록 물성면에



(a) Nozzle size ; 3/3(mm)

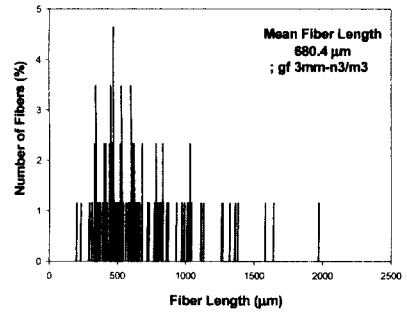


(b) Nozzle size ; 6/6(mm)

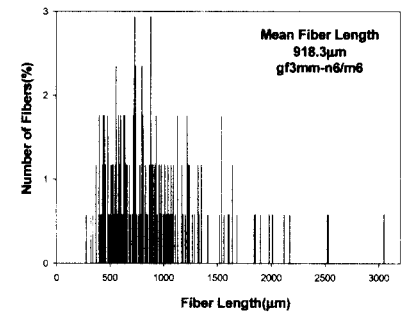


(c) Nozzle size ; 9/9(mm)

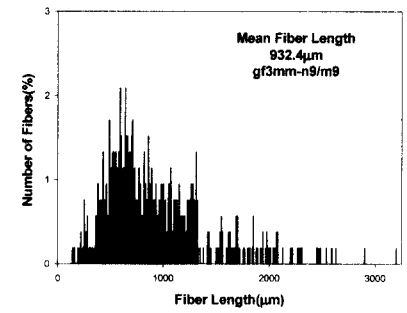
Fig. 3 Fiber length distribution in PP/CF composites specimens with each nozzle



(a) Nozzle size ; 3/3(mm)



(b) Nozzle size ; 6/6(mm)



(c) Nozzle size ; 9/9(mm)

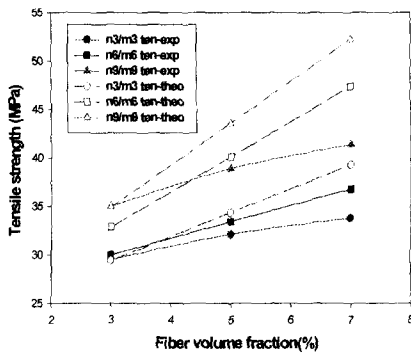
Fig. 4 Fiber length distribution in PP/GF composites specimens with each nozzle

서 섬유강화 효과를 가진다는 것을 나타낸다. 유리섬유의 경우가 카본섬유보다 그 효과가 컸다. 이는 유리섬유의 직경이 카본보다 크나 노즐 통과시 굴곡이 잘되어 섬유파손이 상대적으로 작았기 때문이다.

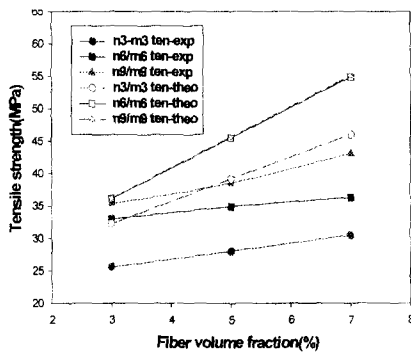
Table 4 The probability longer than critical fiber length

Fiber	N.Dia		
	n3/m3	n6/m6	n9/m9
CF(%)	2.6	18.8	28.4
GF(%)	12.7	40.5	43.3

(* n : nozzle, m : mold)



(a) Carbon fiber

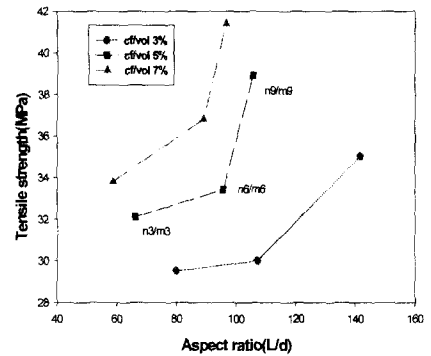


(b) Glass fiber

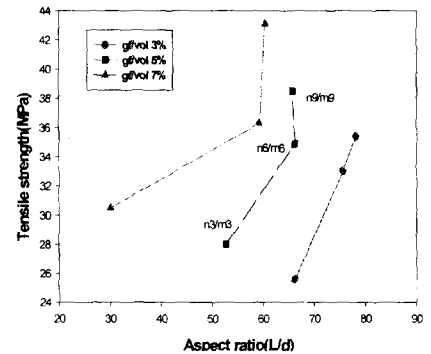
Fig. 5 Comparison of tensile strength between experimental results and theoretical prediction as functions of fiber volume fraction and each nozzle diameter

임계섬유길이는 강화된 탄소섬유와 유리섬유의 최대변형율 1.5%와 4.0%에서 지지재인 폴리프로필렌의 인장강도를 계면강도로 가정하고 구한 값 1.32mm와 1.19mm를 기준으로 하였다.

Fig. 5는 (a)카본섬유와 (b)유리섬유 각각의 경우로 사출측/금형측 노즐의 크기가 증가할 때, 섬유체적비에 따른 인장강도 값을 이론치와 실험치로 나타내었다. 일반적으로 노즐의 크기와 섬유체적비가 증가할수록 인장강도의 값이 향상되었다. 또한, 이론치가 실험치에 비해서 높은 값을 나타내었다. 이는 단섬유강화 복합재료에서 용융된 수지가 게이트로부터 캐비티 내로 주입될 때 수지의 유동선단이 금형 벽면에 충돌시 발생하는 분수흐름으로 인한 섬유배향과 분포가 주원인이고 그 외의 영향은 제품 내부의 기공 등의 결합 때문으로 생각되며, 섬유체적비가 증가할수록 더욱 영향이 컸다.



(a) Carbon fiber



(b) Glass fiber

Fig. 6 Tensile strength as a function of aspect ratio

Fig. 6은 사출측/금형측 노즐크기와 섬유체적비의 증가에 따른 생존한 섬유 각각의 섬유중형비로 (a)카본섬유와 (b)유리섬유에 대한 인장강도 값을 나타내었다. 카본섬유와 유리섬유 모두, 노즐의 크기와 섬유체적비가 증가할수록 향상된 강도 값을 나타내었다. 이것은 노즐의 크기가 증가할수록, 사출될 때 전단저항을 작게 받기 때문에 섬유생존율이 높아진 결과이다.

본 연구에서 실험적인 인장강도 값이, 섬유체적비가 5% 미만일 때 유리섬유가 카본섬유에 비해서 약간 높은 값을 보였다. 물론 섬유체적비가 낮았고, 섬유중형비가 같지는 않았지만, 카본섬유가 유리섬유보다 물성면에서 우수하다는 것을 고려했을 때, 유리섬유가 카본섬유 보다 우수한 물성값을 보인 것은, 유리섬유의 섬유생존율이 높았고, 카본섬유에 비해서 유리섬유가 배향과 분산이 더 잘 이루어졌기 때문으로 보인다.

카본섬유의 경우에는 섬유체적비가 증가할수록 뭉쳐진 형태를 많이 보였고, 이로 인한 내부 기공의 발생이 강도 값을 떨어뜨린 원인으로 생각된다. 강도값은 이론치가 실험치보다 높은 값을 나타내었고, 섬유체적비가 낮을수록 이 두값의 차가 작았다. 이것은 이론치를 구할 때 섬유배향 계수를 일정하게 계산했고, 섬유체적비가 낮은 경우 인접한 섬유간의 상호작용을 무시할 수가 있지만, 섬유체적비가 증가할수록 무시할 수 없기 때문이다.

Fig. 7에서는 (a)카본섬유와 (b)유리섬유의 경우로 사출측/금형측 노즐의 크기가 증가할 때, 섬유체적비에 따른 탄성비를 이론치와 실험치로 나타내었다. 양측 노즐의 크기와 섬유체적비가 증가할수록 탄성비가 향상되었다.

본 연구에서 이론적 종탄성계수는 실험에서 직접 측정된 평균섬유중형비를 Halpin-Tsai의 실험식에 대입하여 구하였다. Halpin-Tsai의 실험식은 초기 섬유중형비를 고려하지만, 성형후 평균섬유중형비를 고려했을때가 실험치에 가까웠기 때문이다. 일반적으로 이론치와 실험치가 잘 일치하고 있다.

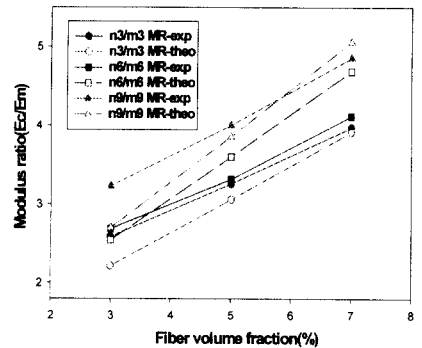
Fig. 8에서는 노즐크기와 섬유체적비의 증가에 따른 각각의 생존한 섬유중형비로 (a)카본섬유와 (b)유리섬유에 대한 탄성비를 나타내었다.

응력-변형곡선 초기에는 외력의 대부분이 단섬유에 의해 지지되므로, 탄성비가 증가한다. 따라

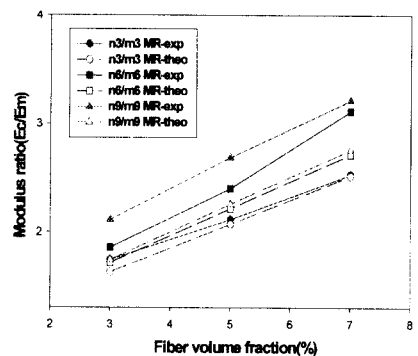
서 섬유중형비가 클수록 탄성비가 높아진다. 카본섬유와 유리섬유모두, 노즐의 크기와 섬유체적비가 증가할수록 향상된 탄성비를 나타내었다. 이것은 노즐이 클수록 초기 설정압력이 떨어졌고, 그에 따르는 전단저항력이 감소하여 실제의 섬유생존율이 높았기 때문이다.

카본섬유의 경우가 강성이며 취성적인 성질로 인해 그 영향을 더욱 많이 받았다.

유리섬유의 경우는 초기 섬유길이에 비해서 노즐이 클경우에 평균섬유중형비가 유사하여 이론적인 물성값은 비슷한 경향을 보였으나, 실험적인 물성값은 노즐크기와 섬유체적비가 증가할수록 향상되었다.

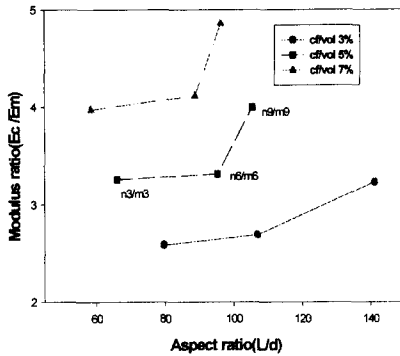


(a) Carbon fiber

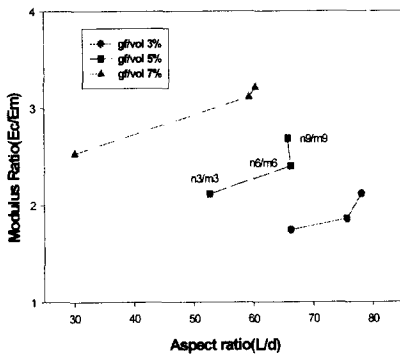


(b) Glass fiber

Fig. 7 Modulus ratio as functions of fiber volume fraction and each nozzle diameter



(a) Carbon fiber



(b) Glass fiber

Fig. 8 Modulus ratio as a function of aspect ratio

카본섬유와 유리섬유의 탄성비를 섬유중량비를 무시하고, 초기 섬유길이가 같다는데 대해서 단순비교하면, 카본섬유의 탄성비가 유리섬유의 탄성비에 비해서 높았다. 이는 카본섬유가 유리섬유에 비해 우수한 물성을 갖고 있다는 사실을 뒷받침 하는 것이다.

5. 결론

사출성형에 의한 단섬유강화 복합재료에서, 사출측/금형측 노즐의 크기 변화가 섬유생존율에 미치는 영향과, 이러한 섬유생존율이 기계적 성질에 어떠한 영향을 주는지에 대한 연구를 수행하여, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 강화된 카본섬유와 유리섬유의 경우 모두, 노즐의 크기가 증가할수록 섬유생존율이 높았고 노즐크기 변화에 대해서 뚜렷한 영향을 보였다. 노즐의 크기가 작을수록 섬유생존율이 낮았던 것은 사출성형시 강화된 섬유가 노즐을 통과할 때, 사출속도에 따른 전단력의 영향을 받았기 때문이다.

(2) 강화섬유의 생존율은 유리섬유에 비해서 카본섬유가 전체적으로 약 7% 정도 낮게 나타났고, 그것은 카본섬유가 보다 취성적이기 때문에 노즐 크기에 큰 영향을 받으며, 노즐직경이 작은 경우에는 쉽게 손상됨을 알 수 있었다.

(3) 단섬유강화 복합재료의 기계적 성질은 노즐의 크기와 섬유체적비가 증가할수록 향상되었다. 노즐크기와 섬유체적비가 가장 클때를 작을 때와 비교해보면, 인장강도와 탄성비가 최대 탄소섬유 40.3% 87.8%, 유리섬유 68.4% 84.4% 각각 증가하였다. 이는 단섬유의 중량비가 기계적 성질에 영향을 주는 중요한 인자임을 증명한다.

(4) 단섬유강화 복합재료의 사출성형시 성형품의 품질에 영향을 주지 않는한, 노즐의 크기를 단섬유 길이보다 크게 할 필요성이 있고, 배합작업시에도 주의를 기울여야한다.

참고문헌

- (1) Kelly, A. and Tyson, W. R., 1965, "Tensile Properties of Fiber-Reinforced Metals : Copper/Tungsten and Copper/Molybdenum," *J. Mech. Phys. Solids*, Vol. 13, pp. 329~350.
- (2) Hancock, P. and Cuthbertson, R. C., 1970, "The Effect of Fibre Length and Interfacial Bond in Glass Fibre-Epoxy Resin Composites," *J. Mater. Sci.* 5, pp. 762~768.
- (3) Bowyer, W. H. and Bader, M. G., 1972, "On the Reinforcement of Thermoplastics by Imperfectly Aligned Discontinuous Fibres," *J. Mater. Sci.* 7, pp. 1315~1321.
- (4) Ohsawa, T. Nakayama, A. Miwa, M. and Hasegawa, A., 1978, "Temperature Dependence of Critical Fiber Length for Glass Fiber-Reinforced Thermosetting Resin," *J. Appl. Polym. Sci.* Vol. 22, pp. 3203~3212.
- (5) Miwa, M. Ohsawa, T. and Tahara, K., 1980,

- "Effect of Fiber Length on the Tensile Strength of Epoxy/Glass Fiber and Polyester/Glass Fiber Composites," *J. Appl. Polym. Sci.*, Vol. 25, pp. 795~807.
- (6) Turkovich, R. V. and Erwin, L., 1983, "Fiber Fracture in Reinforced Thermoplastic Processing," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 23, No. 13, pp. 743~749.
- (7) Silverman, E. M., 1987, "Effect of Glass Fiber Length on the Creep and Impact Resistance of Reinforced Thermoplastics," *Polym. Composites*, Vol. 8, No. 1, pp. 8~15.
- (8) Fischer, G. and Eyerer, P., 1988, "Measuring Spatial Orientation of Short Fiber Reinforced Thermoplastics by Image Analysis," *Polym. Composites*, Vol. 9, No. 4, pp. 297~304.
- (9) Spahr, D. E. Friedrich, K. Schultz, J. M. and Bailey, R. S., 1990, "Microstructure and Fracture Behaviour of Short and Long Fibre-Reinforced Polypropylene Composites," *J. Mater. Sci.*, 25, pp. 4427~4439.
- (10) Landis, C. M. Meglockton, M. A. and Mcmeeking R. M., 1999, "An Improved Shear Lag Model for Broken Fibers in Composite Materials," *J. Composite Material*, Vol. 33, No. 7, pp. 667~680.
- (11) Fu, S. Y. Lauke, B. Mader, E. Hu, X. and Yue, C. Y., 1999, "Fracture Resistance of Short-Glass Fiber-Reinforced and Short-Carbon Fiber-Reinforced Polypropylene under Charpy Impact Load and its Dependence on Processing," *J. Materials. Processing Technology*, 89-90, pp. 501~507.
- (12) Inberg, J. P. F. Hunse, P. H. and Gaymans, R. J., 1999, "Long Fiber Reinforcement of Polypropylene/Polystyrene Blends," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 39, No. 2, pp. 340~346.
- (13) Nabi, Z. U. and Hashemi, S., 1998, "Influence of Short Glass Fibres and Weldlines on the Mechanical Properties of Injection-Moulded Acrylonitrile-Styrene acrylate copolymer," *J. Mater. Sci.*, 33, pp. 2985~3000.
- (14) Dong-Joo Lee., 1996, "On Studies of Tensile Properties in Injection Molded Short Carbon Fiber Reinforced PEEK Composite," *KSME Journal*, Vol. 10, No. 3, pp. 362~371.
- (15) Gibson, R. F., 1994, *Principles of Composite Material Mechanics*, McGraw-Hill, pp. 156~189.
- (16) Hui, C. Y. and Shia, D., 1998, "Simple Formulae for the Effective Moduli of Unidirectional Aligned Composites," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 38, No. 5, pp. 774~782.
- (17) Annual Handbook of ASTM Standard, 1995, "Standard Test Method for Tensile Properties of Plastics," ASTM D638M-93, pp. 59~67.
- (18) Truckenmuller, F. and Fritz, H. G., 1991, "Injection Molding of Long Fiber-Reinforced Thermoplastics : A Comparison of Extruded and Pultruded Materials with Direct Addition of Roving Strands," *Polym. Eng. Sci.*, Vol. 31, No. 18, pp. 1316~1329.