

나일론 6의 琉離 纖維 合成率이 疲勞 破壞 特性에 미치는 影響

Effects of the Glass Fiber Synthetic Rate on the Characteristics of Fatigue Failure for Nylon 6

허윤경* · 태순호** · 김용수**

Y.K. Hou · S.H. Tae · Y.S. Kim

(1998년 9월 19일 접수, 1998년 11월 10일 채택)

ABSTRACT

In recent years, a number of metal machine parts, in the field of the car manufactures and electronic goods for home, have been replaced by nylon-6 in order to weight, cost, and a period of process of manufacture. It's because nylon-6 materials as an industrial material have higher economical and productive advantage than the metallic ones.

However, in domestic injection manufactures, there are few data on fiber glass synthetic on nylon-6. It is said that plastic in process of manufacture using the same injection materials make their results different in large scale according to fiber glass synthetic rate conditions.

In this study, we have studied effects of the glass fiber synthetic rate on the characteristics of fatigue failure for nylon-6.

1. 서론

최근 폴리머블렌드(polimer-blends)는 산업분야의 고성능화, 고기능화의 요구에 따라 슈퍼엔지니어링플라스틱(super engineering plastic)과 함께 활발하게 연구가 진행되고 있고, 새로운 기능을 갖춘 다양한 플라스틱 재료가 개발되어

산업에 응용되고 있다¹⁾.

플라스틱 재료는 우수한 내구성, 내열성 및 기계적 성질 등으로 산업용 재료로서 이용가치가 높고 금속재료와는 다르게 경량이고 내식성 및 완충성이 크며 우수한 성형성을 갖고 있다. 따라서 경제성, 생산성 및 안전성 등을 고려하여 금속재료들이 플라스틱으로 대체되는 경우가 점

* 서울산업대학교 안전공학과 대학원

** 서울산업대학교 안전공학과

점 많아지고 있다. 플라스틱의 성형기술이 추구하는 것은 일반적으로 원하는 성형품의 모양을 만드는 것과, 그 성형품이 구비하여야 할 재질의 품질을 만드는 것 등을 동시에 고려해야 한다.

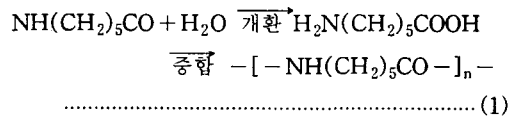
사출성형에 관한 연구는 사출품의 기계적 성질에 관한 연구들이 주로 진행되어 왔다. A. Siegmann등²⁾은 금형의 온도를 20°C~90°C의 범위로 사출하였을 때 제품의 두께 방향에 대한 잔류응력 측정시 금형온도가 높아짐에 따라 잔류응력이 감소함을 보였고, Cha³⁾는 유도가열장치를 이용하여 금형온도를 50°C~125°C의 범위로 변화시켜 금형온도를 높일수록 잔류응력이 감소함을 보였다. 즉 금형의 온도변화가 사출성형 제품의 물성에 영향을 미치고 있음을 제시하였다. 또한 수지의 가소화에 대한 연구에는 R.C. Donobsn등⁴⁾이 냉각실험을 통하여 실린더 내의 수지 용융 상태를 관찰하여 낮은 스크류의 회전수와 전체 사이클 시간에 대한 스크류의 회전시간비율을 높이는 것이 수지의 가소화에 좋다는 연구와 B. Moletgen등⁵⁾이 용융수지의 균질성을 향상시키기 위해 실린더의 공급영역온도를 높이고 스크류의 회전수를 낮추며 약간의 배압을 작용시키는 것이 좋다고 보고하였다. 보압 과정에 관한 연구는 A.I. Isayev등⁶⁾이 polystyrene와 polymethyl methacrylate를 이용하여 보압을 크게 할수록 성형품의 밀도가 증가하고 수축률이 감소함을 밝힌 것이 있다. Y.T. Koita⁷⁾는 PVC를 이용하여 보압시간에 따른 성형품의 무게, 치수, 잔류 응력, 성형품의 기계적 강도 등을 관찰한 결과 보압시간을 게이트의 경화시간 이상으로 하는 것이 최소한 수지의 역류로 인한 잔류응력을 방지 할 수 있다고 하였다. 또한 Catic⁸⁾은 금형 캐비티 표면온도의 분포를 냉각에 있어서 중요한 인자라고 하였으며 이에 영향을 주는 인자는 냉각수의 온도 및 유속, 수지의 사출온도, 금형과 수지의 물성, 냉각구의 위치 및 크기라고 하였다. Harumi Furue⁹⁾는 탄소섬유강화수지 복합재료의 승온에 의한 크립(creep)특성을 연구하였고 Toru Horiuchi등¹⁰⁾은 나일론 6의 결정구조가 폴리아미드/폴리에틸렌 브렌드의 마모특성에 미치는 영향을 연구 발표

하였다. 국내의 연구로는 생산기술연구원 부설 기술연구센터에서는¹¹⁾ 사출품의 기계적 성질을 검토하기 위한 금형 설계 및 제작을 연구하였고, 황봉갑 등은^{12,13)} 사출 성형조건(온도, 압력 및 습도 등)이 피로강도에 미치는 영향에 대해 연구·발표하였다.

따라서 본 연구에서는 플라스틱으로 만든 부품을 장시간 사용했을 경우 발생될 수 있는 피로파괴와 관련한 실험을 하고자 나일론 6(polyamide 6)에 유리수지를 비율에 따라 첨가·성형하여 대비경도 및 인장강도를 나일론 6와 비교하고, 특히 피로강도에 미치는 영향을 실험하여 고찰함으로써 재료의 안전율을 미리 파악하여 기계·기구의 허용강도에 맞게 이용하는데 있다.

2. 나일론 6의 제조

나일론 6은 카프로락탐에 물, 산, 아미노산 등을 촉매로 소량 첨가하고 220~300°C에서 수시간에서 수십시간 가열하면 개환 중합하여 나일론 6가 생성된다.



나일론은 결정성 고분자로서 성형조건에 따라서 다르나 약 20~30%가량 결정화하고 있으며, 결정부는 특히 마찰저항이나 편도가 크다.

용융된 나일론을 급냉하면 결정화도가 작은 나일론 플라스틱으로 된다. 나일론수지는 높은 충격강도를 가지며 마찰계수가 작고 내마모성이 크다. 또한 비중도 폴리올레핀(polyolefin), 폴리스티렌(poly-styrene) 다음으로 가벼우며 1.14 정도이다. 그러나 열전도율은 작으며 열팽창계수는 강의 약 10배 정도이다. 화학적 성질도 일반 합성 고분자와 같이 화학 약품에 대해서는 저항성이 크다. 나일론 수지는 이상과 같이 특성이 있으며 그 외에 복잡한 형상도 능률적으로 대량 성형할 수 있다.

나일론 칩은 주로 사출성형과 압출성형으로 성형품을 제작할 수 있다. 나일론수지는 자기 윤활성, 내약품성 및 내마모성이 우수하고 마찰계수가 작기 때문에 기어, 베어링과 같은 기계

부품이나 전선피복 등으로 성형된다.

3. 피로시험

피로는 특별한 예고도 없이 큰 변형이 수반되지 않은 상태에서 갑자기 일어나는 까닭에 파괴 역학적인 중요성이 더욱 크다 하겠다. 플라스틱 재료는 진동시 내부 마찰에 의한 발열의 영향을 받기 쉽고, 또 응력의 반복속도에 의해서도 달라지기 쉽기 때문에 자료의 해석에는 주의가 필요한데, 일반적으로 일정한 반복 응력(S) 하에서 파괴를 일으키는 데 필요한 반복 횟수(N)의 관계인 S-N 선도로서 표시한다. S-N 선도는 세로축에 응력 또는 응력진폭을, 가로축에는 파괴에 이르기까지의 반복횟수의 대수로 표시한다.

재료의 피로시험방법에는 작용되는 하중의 반복 회수에 따라 소성역내에서 10⁵이하로 하는 저주파피로(low-cycle fatigue)시험과, 강성역내에서 10⁵이상으로 하는 고주파피로(high-cycle fatigue)시험이 있고, 하중의 작용방법에 따른 피로시험방법 중에는 축방향으로 인장 또는 압축 응력을 반복하여 작용시키는 축방향 피로시험이 있다. 축방향 피로시험은 Fig. 1과 같이 최소응력과 최대응력값의 범위에 따라 양진, 부분양진, 편진, 부분편진으로 구분한다.

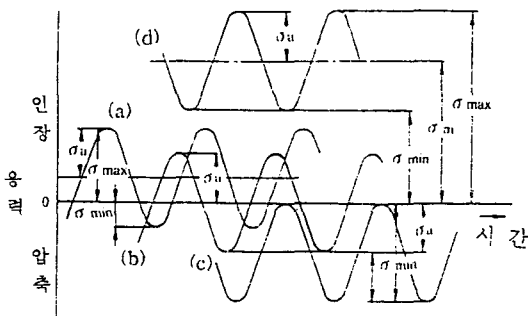


Fig. 1 Varieties of axial fatigue test

Fig. 1의 각 응력은 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$\sigma_m = \frac{\sigma_{max} + \sigma_{min}}{2} \dots\dots\dots (2)$$

$$\sigma_a = \frac{\sigma_{max} - \sigma_{min}}{2} = \sigma_{max} - \sigma_m \dots (3)$$

플라스틱 재료의 피로시험편은 관련규격 또는 당사자 간에 협정한 방법에 따라서 사출 또는 압축성형으로 만들거나 성형한 판, 환봉 등으로 제작하며, 시험은 시험온도 20±2°C, 상대습도 65±5%의 실내에서 실시한다

3. 실험방법

3.1 실험장치 및 시험편

3.1.1 실험장치

(1) 금형의 설계 및 제작

사출성형용 금형은 사출 형의 능력 및 성형품의 품질을 결정할 만큼 중요한 기능을 가지고 있고, 성형품의 형상에 맞추어서 사용되는 재료의 특성을 살리도록 설계하여야 한다. 일반적으로 금형 베이스는 일반 금형공장에서 대량 생산되는 것을 용도에 알맞게 구입하여 사용하는 것이 보통이다. 금형에 대한 규격화는 한국산업규격에 플라스틱용 MAGUD의 메인플레이트(KS B 4151), 가이드핀(KS B 4152), 이젝터핀(KS B 4153), 리턴핀 (KS B 4154), 가이드핀부시(KS B 4155), 로케이팅링(KS B 4156), 스프루우부시(KS B 4156) 등 일부가 되어 있지만, 보통 생산업체의 사내규격에 의해 제작된다.

본 연구에서는 필요한 금형을 제작하기 위하여 수지생산업체에서 추천하는 설계자료를 근거로 하여, 다음과 같이 설계하여 제작하였다.

① 금형 베이스(Mold base)

금형은 1회 사출당 2개의 성형품을 생산할 수 있는 2캐비티(cavity) 금형을 필름게이트(film-gate) 형식으로 자체제작하여 사용하였다.

② 스프루우부시(Sprue bush)

용융수지를 사출할 때 사출성형기의 노즐과 접촉하는 부분으로 수지를 금형내로 유입시키는 동로 역할을 한다. 스프루우부시의 작은 부위 직경은 기계 노즐의 직경보다 1mm정도 크게 설계하도록 수지생산업체에서는 추천하고 있다. 본 연구에서는 지름을 Ø3.5, 테이퍼 각을 3.5°로 제작하였다.

③ 런너(Runner)

스프루우부시를 통해 유입된 수지를 각 캐비티로 분배하는 통로로서 가능한 한 빠른 시간 내에 최소의 압력손실을 가지고 용융수지가 유입되도록 해야 하며, 런너시스템은 1차 런너직경이 완전 원형으로 최소한 $\phi 5\text{mm}$ 이상으로 유지되어야 한다. 또 런너의 길이에 따라 런너지름은 수지생산업체에서 정하고 있다. 본 연구에서는 이 자료를 참고하여 최대의 원료흐름을 얻을 수 있고, 원자재에 최소의 냉각효과를 가져올 수 있는 완전 원형 런너로 설계하였고 지름은 6mm로 제작하였다.

④ 게이트(Gate)

런너와 캐비티를 연결하는 좁은 유로로서 스프루우부시와 런너를 지나는 동안 냉각된 수지를 마찰열에 의해 다시 가열하여 유동성을 좋게 한다. 일반적으로 수지가 미리 냉각되는 것을 방지하기 위하여 게이트랜드(gate land)는 짧아야 하고, 크기와 형상은 원료가 게이트로 빨리 유입 되도록 충분히 커야한다. 게이트의 설계는 뒤틀림을 최소화하고 납작하며 두께가 얇은 제품일 경우 추천하는 필름게이트(film-gate)로 제작하였으며, 두께는 0.8mm, 폭은 24.5mm, 길이는 4mm로 제작하였다.

⑤ 냉각수 통로

제품공차를 유지하기 위하여 금형 온도조절이 균일하게 잘 되도록 하기 위하여 적합한 크기의 냉각수 통로를 알맞게 배열하여야 한다. 냉각수 통로의 배열은 불균일한 냉각에 의해 변형이나 뒤틀림이 일어나지 않도록 성형품의 형상에 따라 결정한다. 본 연구에서는 지름 8mm의 냉각수 구멍을 제작하였다.

(2) 사출성형기

사출성형기는 수지를 여러 형상의 제품으로 성형하는데 있어서 중요한 역할을 하는 제조기술의 하나이다. 본 실험에서는 금형온도를 제어할 수 있는 온도제어장치가 부착된 사출성형기를 사용하였으며, 제원은 Table 1과 같고 Fig. 2는 실험에서 사용한 사출성형기이다.

(3) 실험장치

실험장치는 시험의 성과를 좌우할 수 있는 중요한 장비로서 본 실험에서 사용한 시험기는 INSTRON사의 만능시험기(universal testing ma-

Table 1 Major specifications of injection molding machine

ITEM		UNIT	CAPACITY
Manufacture		ENGEL	
International size designation		ES 330/80	
Injection unit	Screw diameter	mm	35
	Metering stroke	mm	160
	Screw speed	r.p.m	20-400
	Recovery rate	g/sec	32
	Injection rate	g/sec	97
	Max. stroke volume	cm ³	154
	Max. injection weight	g	140
	Specific injection pressure	bar	2200
	Nozzle stroke	mm	200
	Nozzle contact force	KN	47
	Heating capacity	KW	9, 2
Number of heating zones		3+DU	
Clamping unit	Clamping force	KN	800
	Opening stroke	mm	310
	Ejector force	KN	25, 4
	Ejector stroke	mm	100
	Mold height maximum	mm	430
	Mold height minimum	mm	150
	Mold fixing platens		
	- total size	mm	570×522
	- between tie-bars horizontal	mm	405
	- between tie-bars vertical	mm	345
Tie-bar diameter	mm	60	
Dry cycle time	sec	1. 5	
Drive	Motor for pump drive	KW	15
	Oil filling	liter	155
Weight	Gross	kg	3800
	Net	kg	3100

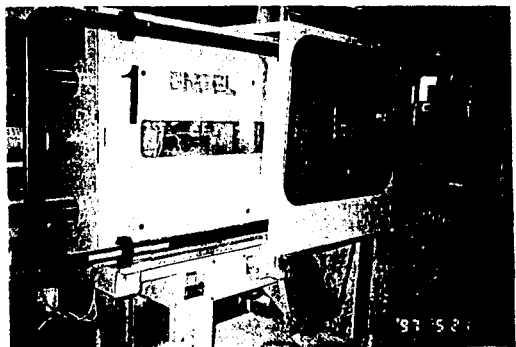


Fig. 2 The whole view of the experimental equipment

chine)로 Table 2와 Fig. 3과 같다.

Table 2 Major specification of UTM

Item	Unit	Capacity
Manufacture	KN	INSTRON Model No 8502
Maximum dynamic capacity	KN	± 300
Hydraulic actuator stroke	mm	± 250
Maximum working pressure	bar	± 50
Frequency range	Hz	207
Interface		0.0001~400 GPIB interface board

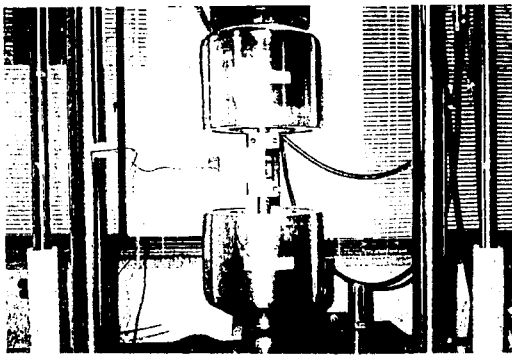


Fig. 3 Figure of INSTRON universal testing machine

3.1.2 시험편

(1) 시험편 재질

본 실험에서 사용한 플라스틱 재료는 나일론 6를 사용하였다. 나일론 6는 융점 및 연화점이 높고 내열성이 양호함과 동시에 내약품성, 한지성 등이 우수하며, 사출 유동성이 좋아 많은 용도에 사용되고 있다. 또 유리 섬유 첨가는 재료의 경도와 강도 및 열 변형온도를 향상시키는 효과를 가져온다. 나일론 6 및 유리섬유의 물성 값은 Table 3 및 4와 같다.

Table 3 Properties of Nylon 6

Properties	Value
Relative Viscosity (H ₂ SO ₄)	2.45+0.02
Extractables in methanol (%W)	<1.1%
Extractables in Water (%W)	<0.6%
NH ₂ endgroup content (me9/kg)	39+3
Moisture content (%W)	<0.05%
Chip size(L×D) (mm)	2.2×2.2

Table 4 Properties of glass fiber p355

Property	Value
Coupling system	SILAN 0.7%
Moisture	≤0.15%
Filament diameter	10 μm
Fiber length	3 mm

(2) 시험편의 혼합조건

본 실험에 적용한 시편별 혼합조건은 PA6/GF 10%(polyamide 6/glass fiber, 나일론 6 90%와 유리섬유 10%를 혼합), PA6/GF 30%, 및 PA6/GF 50%로 하고 각 조건의 최초 사출품은 조건이 안정될 때까지 무시하고, 조건당 시편은 10개씩 준비하였으며, 사출순서에 따라 일련번호를 부여하여 시편이 섞이지 않도록 하였다.

Table 5 Overall conditions of molding experiments

Injection conditions		Glass fiber percentage		
		10%	30%	50%
Melting plastic temperature (°C)	zone 1 (nozzle)	255	255	255
	zone 2	250	250	250
	zone 3	250	250	250
	zone 4 (hopper)	245	245	245
Mould Temperature (°C)		80	80	80
Injection Pressure (bar)		70	90	110
Holding Pressure (bar)		35	35	35
Back Pressure (bar)		3	3	3
Injection time (sec)		0.45	0.50	0.51
Holding time (sec)		20	20	20
Cooling time (sec)		10	10	10
Plasticizing time (sec)		8	8	8
Injection Speed (%)		100	100	100
Screw Speed (%)		95	95	95
Plasticizing set (mm)		35	35	35
Cushion (mm)		6.0	5.8	6.1
Flow No.		10.3	12.5	14.1
Moisture content (%)		0.07 ↓	0.07 ↓	0.07 ↓

(3) 시험편 형상 및 치수

시험편은 KS M 3508에 의해 제작하였으며 형상과 치수는 Fig. 4와 같다.

3.2 시험조건 및 방법

함유한 시편강도는 약 2.6배가 증가하였고, 30%인 때는 약 6.1배, 50%의 경우는 7.1배나 되었다.

따라서 유리섬유 30%일 때의 증가율이 10%일 때보다 약 2.3배가 증가하여 가장 높은 증가율을 보였다. 또한 경도시험 결과 유리섬유 30%인 때가 10%보다 1.4배정도 증가하였고 50%에서는 1.6배 증가하여 경도시험에서도 30% 함유한 경우가 효과면에서는 크게 나타났다.

4.2 피로시험

피로강도시험은 나일론 6에 유리섬유(10%, 30%, 50%)를 첨가한 시험편을 각각 동적 하중하에서 하였다. Table 8 및 Fig. 6은 유리섬유를 10% 첨가한 경우로 반복하중의 60%에서는 피로한도가 2.4×10^4 이고, 40%인 경우는 2.3×10^5 이며 20%에서는 10^6 의 피로한도 값을 나타냈다.

반복하중을 30% 감소시킨 결과 피로한도 값은 약 9.6배나 증가하였으며, 65%를 감소시킨 경우에는 피로한도 값이 약 42배나 증가하였다.

Table 8 Fatigue limit of glass fiber 10%

N	Stress(kgf/mm ²)		
	4	2.8	1.4
10^1	2.4×	-	-
10^2	-	2.3×	-
10^3	-	-	1×

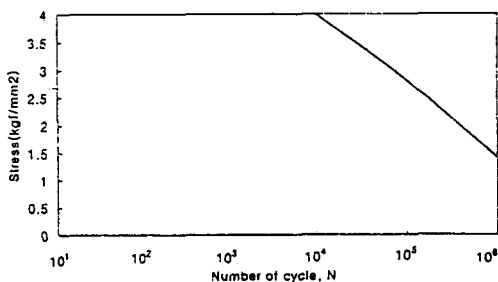


Fig. 6 Fatigue limit of glass fiber 10%

Table 9 및 Fig. 7은 유리섬유 함유율 30%인 경우의 피로한도 값을 구한 것으로, 인장하중의 60%에서 40%로 3.3kgf/mm^2 로 감소하면, 피로

한도 값은 6.3배 증가하고, 40%에서 20%로 3.2kgf/mm^2 로 감소하면 피로한도 값은 200배나 증가하였다.

Table 9 Fatigue limit of glass fiber 30%

N	Stress(kgf/mm ²)		
	9.7	6.4	3.2
10^2	7.9×	-	-
10^3	-	5.6×	-
10^6	-	-	1×

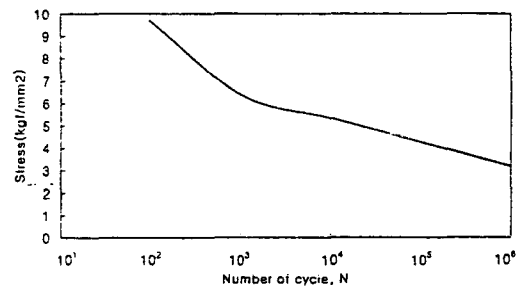


Fig. 7 Fatigue limit of glass fiber 30%

Table 10 Fatigue limit of glass fiber 50%

N	Stress(kgf/mm ²)		
	11	7.4	3.7
10^2	4.3×	-	-
10^3	-	1.3×	-
10^6	-	-	1×

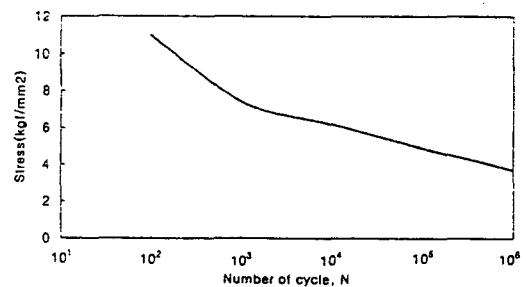


Fig. 8 Fatigue limit of glass fiber 50%

Table 10 및 Fig. 8은 유리 섬유 50%를 함유한 시험편의 피로한도 값을 구한 것으로, 인장하중의 60%가 40%로 3.6kgf/mm^2 감소시킨 경우 cycle수는 3배 증가하였고 40%에서 20%로 3.7kgf/mm^2 감소시킨 때는 cycle수가 약 770배

나 증가하였다.

Fig. 9는 유리섬유 함유율(10%, 30%, 50%)별로 비교한 그림이며, 피로한도 값은 유리섬유 함유율이 높을수록 cycle수는 낮게 나타났고, 인장하중의 60%에서 실험한 경우는 유리 섬유율이 30%, 50%로 증가할 때 cycle수는 1/30배, 1/56배로 나타났고, 인장하중의 40%에서 실험한 값은 유리 섬유율이 30%, 50%로 증가하면 cycle수는 1/46배, 1/177배가 되었다. 또한 하중값의 20%에서의 실험값은 모두가 10⁶ cycle이 피로한도 값이었다.

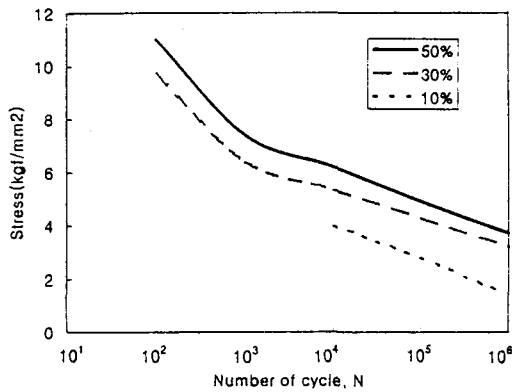


Fig. 9 Fatigue limit by glass fiber percentage

4.3 내구비

정하중에서 실험한 인장시험과 동하중에서 실험한 피로시험과의 비를 내구비(endurance ratio)라고 하며, 정적인 응력에 대한 동적인 응력의 비를 나타내면, 다음과 같이 표시한다.

$$e = \frac{\text{피로한도}(\sigma_L)}{\text{인장강도}(\sigma_r)} \dots\dots\dots (4)$$

유리섬유의 함유율별 피로한도와 인장강도와의 관계를 Table 11과 Fig. 10에 나타냈으며, 함유량이 변화하여도 내구비는 거의 변화하지 않음을 알 수 있었다.

4.4 시험편의 조직

시험편의 조직은 SEM(scanning electron microscope)사진으로 분석하였으며, 분석한 사진은 Fig. 12에서 동근막대 모양으로 나타나는 것이

유리섬유(30%)이며, filament 지름이 약 10 μ m 로써 시편제작시 혼합한 규격임을 검정할 수 있다. Fig. 11은 순수 나이론 6의 사진으로 판상형태를 보이고 있다.

Table 11 Endurance ratio by glass fiber percentage

Specimen	Tensile strength (σ , kgf/mm ²)	Fatigue limit (σ_L , kgf/mm ²)	e (%)
10%	7	1.4	20
30%	16	3.2	20
50%	18.5	3.7	20

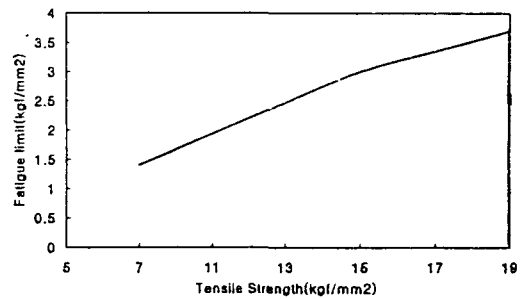


Fig. 10 Endurance ratio in glass fiber percentage



Fig. 11 Photograph of nylon 6

5. 결 론

모든 산업 분야에서 플라스틱 재료의 활용도가 높아지면서 산업용 재료로서의 기계적 성질이 더욱 중요해가고 있어 본 논문에서는 나일론 6에 유리 섬유 함유율의 변화를 주어 실험한 결과는 다음과 같다.

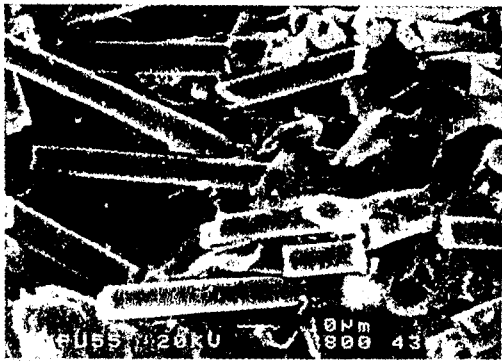


Fig. 12 Photograph of glass fiber 30%

- 1) 경도 시험 결과 순수 나일론보다 유리 섬유를 함유한 시편의 경우 경도면에서는 30%가 E50으로 가장 높은 향상률을 나타냈다.
- 2) 인장 시험에서 10%는 순수 나일론 6보다 2.6배, 30%는 약 6배, 50%는 7.1배의 강도가 향상되어 유리 섬유를 혼합함으로써 강도는 매우 크게 증가함을 알 수 있었고 특히, 30%에서 가장 높은 향상률을 보였다.
- 3) 피로 한도 실험에서는 유리 섬유 함량이 높을수록 cycle수는 낮게 나타났고, 반복 하중값이 낮을수록 피로 한도값은 직선적으로 증가하였으며, 유리 섬유 함량 30%의 경우 반복 하중값을 20%로 낮추면 피로 한도값은 200배나 증가하였고, 특히 50%의 경우 반복 하중값을 20%로 낮추면, 약 770배나 증가하였다.
- 4) SEM분석 결과 10 μm 유리 섬유가 함유되어 있음을 검정할 수 있었다.
- 5) 내구비는 20%로 유리 섬유의 함유량 변화와는 관련이 거의 없음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

- 1) Toru Horiuchi, Hideki Yamane, Masaoki Takahashi and Tatsuki Matusuo, "Effects of Crystalline Structure of Polyamide 6 on Mechanical and Tribological of Polyamide/Polyethylene Blends", J. Soc. Mat. Sci., Vol. 45, No. 12, pp. 1290~1295, December,

- 1996.
- 2) A. Siegmann and A. Buchman, "Residual Stresses in Polymers III: the Influence of Injection Molding Process Condition", Polymer Eng. and Sci., pp. 560~568, June, 1982.
- 3) D.H. Cha, "The Quality Improvement of Injection Molded Product by the Control of Mold Temperature", Hanyang Univ., 1987.
- 4) R.C. Donovan, D.E. Thomas and L.D. Laversen, "An Experimental Study of Plasticating in a Reciprocating-screw Injection Molding Machine", Polymer Eng. and Sci., Vol. 11, No. 5, pp. 353~360, September, 1979.
- 5) B. Moltgen, Dusseldorf, "Productivity Improvement in Injection Molding Machine", Polymer Eng. and Sci., Vol. 11, No. 5, pp. 353~360, September, 1971.
- 6) A.I. Isayev and T. Hariharan, "Volumeter Effects in the Injection Molding of Polymer", Polymer Eng. and Sci., Mid-april, Vol. 1, 1985.
- 7) Y.T. Koita, "Packing and Discharge in Injection Molding", Polymer Eng. and Sci., Vol. 14, No. 12, pp. 840~847, December, 1974.
- 8) Igor. J. Catic, "Cavity Temperature-An Important Parameter in Injection Molding Process", Polymer Eng. and Sci., Vol. 19, pp. 893-899, 1979.
- 9) 古江治美, "炭素纖維強化ポリアミドのステップ昇温によるクリープ特性評價", J. Soc., Mat. Sci., Japan, Vol. 45, No. 5, pp. 507~510, June, 1996.
- 10) 堀内徹, 山根秀樹, 高橋雅典, 松尾達樹, "ポリアミド/ポリエチレンブレンドのトライボロジ-特性に及ぼすポリアミドの結晶構造の影響", J. Soc., Mat. Sci., Japan, Vol. 45, No. 12, pp. 1290~1295, December, 1996.
- 11) 현동훈외 4인, "사출품 기계적 성질 검토를 위한 금형 설계·제작에 관한 연구", 생산기술연구원 부설 기술교육센터, May, 1994.

12) 박상용, “플라스틱 재료와 射出成形條件이 기어精度에 미치는 影響”, 단국대학교 교육대학원, 1996.

13) 황봉갑, “폴리프로필렌의 사출성형조건이 피로강도에 미치는 영향”, 서울산업대학교 산업대학원, 1995.
