

경량화와 안전을 위한 폴리머 복합재료 사출품의 강도특성

윤여권* · 김진호**

*유한대학 기계설계과 · **한국폴리텍V대학 컴퓨터응용금형과

The Strength Characteristics of Polymer Composites Injection Parts for Lightness and Safety

Yeo-Kwon Yun* · Jin-Ho Kim**

*Dept. of Mechanical Design, Yuhan College

**Dept. of Computer Aided Die & Mould, Korea Polytechnic V

Abstract

In this paper deals with strength of glass fiber reinforced plastics produced by shouting machine was investigated by universal testing instrument. We can obtain following results by performing the strength evaluation of polymer composite material according as varied environment temperature. The effect of environmental temperature on Strength properties was more sensitive in the weld specimen than parent. When changed environmental temperature, variation of strength in the parent was much bigger than it of weld specimen, that is, matrix in the parent, orientation in the specimen ware more sensitive to environmental strength. Tensile strength of polycarbonate matrix was similar regardless of mold temperature.

Keywords : Polymer Composite Material, Glass Fiber Reinforced Plastics, Tensile Strength, Polycarbonate Matrix

1. 서론

현대문명에 사용되는 철강재료, 세라믹 등을 비롯한 기초재료는 아주 오래전부터 발견되어 이용하고 있다. 이러한 기초재료 중에서 폴리머는 19세기 후반에 발견되어 현재에 이르기까지 식기류를 비롯한 생활기구와 가전제품 및 기계부품에 대한 대체 기초재료로 각광을 받고 있다. 더욱이 최근 들어 저탄소 녹색성장과 에너지 고효율화를 위해 자동차 및 항공분야에 대한 경량화 요구와 함께 안전성도 강조되고 있는 실정이다.

특히 자동차 산업분야에서 연료효율을 증가시키기 위해 승용차 기준으로 차체중량을 1,000kg 수준에서 700kg수준으로 감량할 목표로 플라스틱재료의 부품채용 비율을 점차로 늘려가는 추세에 있다.

근래에는 이러한 플라스틱 재료는 기어, 캠, 나사 등을 비롯한 기계요소와 자동차의 범퍼 등과 전기, 전자 제품, 토목, 건축분야에 이르기 까지 모든 산업분야에 사용되고 있고, 특히 항공우주산업의 중요한 구성요소로 복합재료의 응용이 증가됨에 따라 많은 종류의 폴리머 복합재료가 개발되고 있다. 이러한 폴리머 재료 중에서 열가소성 수지는 열을 가하면 용융되고 액상으로 되어 사출을 위한 유동성이 확보되며 고화된 수지라도 다시 열을 가하면 용융되어 재사용이 가능하며, 높은 하중에 의한 소성변형에 대해 내부응력이 감소하는 장점이 있어서 구조물의 재료 사용이 점점 증가하고 있다.

† 교신저자 : 김진호, 전북 김제시 백학제길 154 한국폴리텍V대학 김제캠퍼스 컴퓨터응용금형과

M · P : 010-5612-6331, E-mail : kjh833@kopo.ac.kr

2011년 10월 10일 접수; 2011년 12월 6일 수정본 접수; 2011년 12월 9일 게재확정

그 중에서 1957년에 개발된 PC (polycarbonate)는 내충격성, 내열성과 기계적 강도가 우수하여 공업용 재료로서 이용가치가 점차 높아지게 되었다. 단섬유강화 PC수지는 파괴 직전까지의 영구변형이 매우 작고, 아주 많은 변형에도 외력을 제거하면 원래의 형태로 복원되는 탄성이 우수하여 경량화와 더불어 안전을 담보할 수 있는 선박, 자동차 분야의 부품산업에 널리 이용되고 있다.

이러한 폴리머 복합 재료로서 비강도, 비탄성률이 큰 장섬유강화 플라스틱에 대해서는 많은 연구가 이루어져 왔다. 그러나 단섬유강화 플라스틱(short fiber reinforced plastics)에 대해서는 섬유단, 섬유와 모재 계면 및 제조과정에서 생기는 결함 등 파괴현상이 복잡하고 장섬유보다 비강도, 비탄성률이 크게 높지 않는 등의 이유로 많은 연구가 이루어지지 않았으나, 열가소성인 단섬유강화 플라스틱은 사출성형에 의해 빠른 제조공정으로 다량의 부품을 제작할 수 있어 많은 분야에 응용되고 있다.

이러한 폴리머 복합재료를 이용한 사출성형품에는 용접부가 존재하게 되는데 이 용접부가 강도를 저하시키지 않기 위해서는 용접부의 구조 및 파괴 역학적인 연구가 필수적인데, 이의 기구 해석에서는 아직 충분치 않은 형편이다.

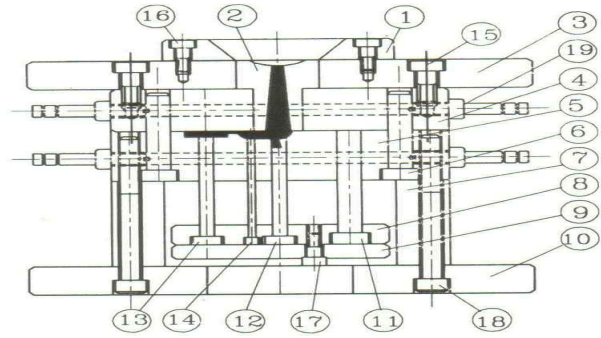
따라서 본 연구에서는 단유리섬유가 혼입된 폴리머 복합재료를 사출할 때 금형의 온도와 유리섬유의 함유량이 사출품의 강도에 미치는 영향과 환경온도의 변화와 흡습율에 따른 사출품 강도를 평가하여 보다 안전한 환경에서 폴리머 복합재료를 사용할 수 있는 자료를 구축하고자 한다.

2. 시험편 사출 및 실험

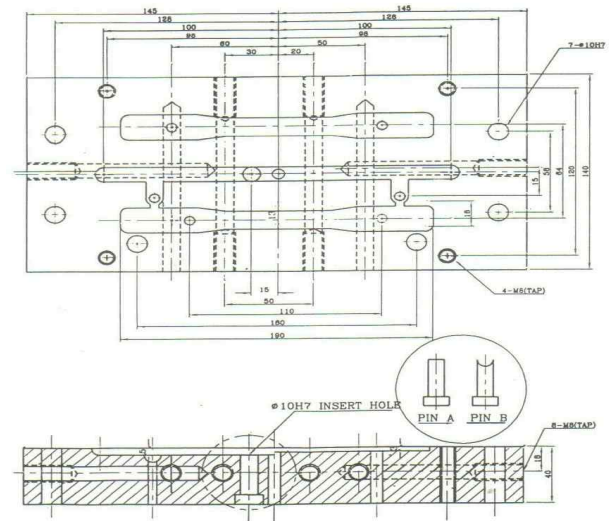
2.1 사출금형의 제작

폴리머 복합재료를 사출하기 위하여 [그림 1]과 같이 2매판(plate)구조의 사출금형을 설계하여 제작하였다. 금형의 구조에서 시험편의 특성과 역학적 하중을 고려하여 고정측 형판과 가동측 형판의 두께를 35mm로 제작하였으며, Sprue-Runner-Gate-Cavity까지의 수지 유동성을 고려하여 스프루 $\phi 12\text{mm}$, 런너 $\phi 10\text{mm}$, 게이트 $5 \times 2 \times 2.5\text{mm}$ 의 치수로 가공하였다. 게이트는 side-gate 형식을 취하였다. [그림 2]는 캐비티(cavity)의 구조를 나타낸 것으로서 폴리머 복합재료의 유동에 따른 강도 변화를 평가하기 위하여 핀 인서트(pin insert)를 사용하여 용접선(weld line)의 생성유무를 결정할 수 있는

구조로 제작하였다. 이와 같이 제작된 캐비티 구조는 핀 인서트를 사용하여 용접선이 없는 매트릭스(matrix) 형태와 용접선이 있는 웰드 라인(weld line) 형태의 시험편을 사출할 수 있게 된다. 또한 금형온도를 조절하기 위하여 금형에 $\phi 10\text{mm}$ 크기의 구멍을 뚫고 체결장치를 사용하여 직류순환방식으로 금형 자동온도조절기와 연결시키도록 제작하였다.



[그림 1] 폴리머 복합재료 사출금형의 구조



[그림 2] 캐비티(cavity)측 형판의 형태

2.2 사출용 복합재료의 구성

2.2.1 폴리카보네이트(Polycarbonate)

본 폴리머 복합재료 사출에서 매트릭스로 사용된 PC(Polycarbonate)는 인장, 충격, 굽힘강도를 비롯한 기계적 성질이 우수하고, 내열성과 성형정밀도가 뛰어나 엔지니어링용 플라스틱으로 많이 사용되고 있다. 인장강도는 상온에서 400kg/cm^2 정도이며, 인장탄성률도 상온에서 200kg/cm^2 정도로 상당히 큰 값을 가지고 있다. 또한 폴리카보네이트는 유리섬유와의 친숙성이 우수

하여 유리섬유를 첨가한 사출 성형품은 인장강도와 충격강도 등이 강화될 것으로 기대된다.

특히, 자동차 분야의 활용에서 폴리카보네이트의 우수한 성질을 살려서, 안정성을 중요시한 요구 특성을 만족시키는 소재로서 높은 평가를 받고 있다.

2.2.2 유리섬유(Glass Fiber)

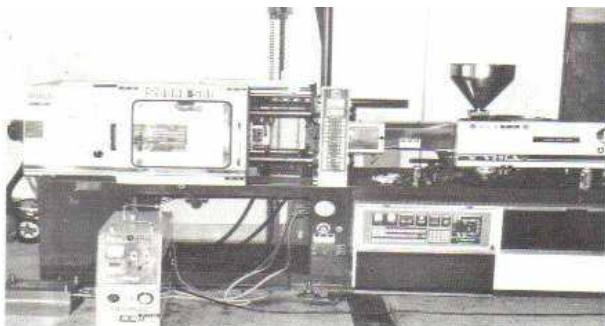
유리섬유 또는 카본섬유로 보강된 복합재료는 보강재의 혼입량에 따라 여러 가지 특징의 변화가 생긴다. 유리섬유의 관점에서 보면 혼입량이 30%까지는 특성이 많이 변화되지만, 그 이상의 혼입량에서는 매트릭스가 비결정성인 폴리카보네이트일 경우에는 대폭적인 성질의 향상은 나타나지 않는다. 따라서 본 실험에서 사용한 폴리머 복합재료는 매트릭스 재료를 PC(polycarbonate)로 하고 단유리섬유를 각각 10%, 20%, 30% 포함하고 있는 고성능의 열가소성 엔지니어링 플라스틱이다. 본 실험에 사용된 단유리섬유의 치수는 직경이 $\phi 13\mu\text{m}$ 길이가 $200\sim 400\mu\text{m}$ 정도이다.

2.3 폴리머 복합재료의 사출성형

2.3.1 폴리머 복합재료의 사출

폴리머 복합재료를 사출성형하기 위한 사출기는 [그림 3]과 같이 4온스(ounce)용량의 토글식 수평형 사출성형기를 사용하였다.

사출성형조건은 [표 1]에 나타내었으며, 금형온도의 변화를 주기위해 금형온도를 상승 또는 하강시키며 설정온도를 일정하게 유지시켜 주는 자동금형온도 조절기를 사용하여 금형의 온도를 각각 70°C, 90°C, 110°C, 130°C로 변화시키면서 시험편을 사출하였다. 금형온도를 조절하기위해 [그림 2]와 같이 금형의 상, 하 형판에 $\phi 12\text{mm}$ 의 구멍을 관통하여 열매체유가 흐르게 하고 온도센서를 부착하였으며, 금형온도를 상승시키기 위한 열매체는 오일(씨미아OIL-B)과 물을 사용하였고 냉각 방식은 간접식으로 하였다.



[그림 3] 수평형 사출성형기

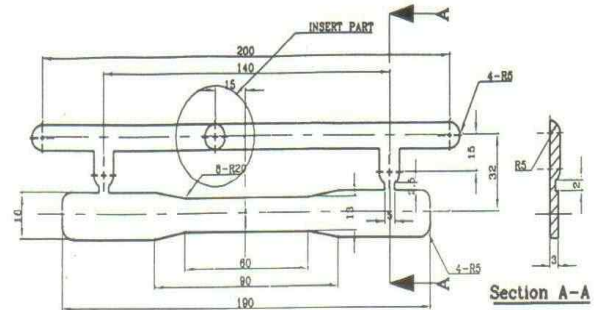
[표 1] 사출성형 조건

사출조건		노즐부 온도 (°C)	금형온도 (°C)
1차 사출압력 (kg/cm ²)	110	267	70 90 110 130
2차사출압력 (kg/cm ²)	70		
보압 (kg/cm ²)	60		
형폐압력 (kg/cm ²)	100		
형개압력 (kg/cm ²)	90		
Ejector 압력 (kg/cm ²)	50		
계량압력 (kg/cm ²)	80		
형체압력 (kg/cm ²)	110		

2.3.2 폴리머 복합재료 사출 시험편

본 실험에서는 사출된 시험편의 인장강도를 평가할 목적으로 시험편의 형상은 [그림 4]와 같이 아령형태(dumbbell type)의 인장시험편을 제작하였다. 또한 [그림 4]에서 볼 수 있는 바와 같이 Double-gate mold에서 하나의 런너(runner)에서 핀 인서트 방식을 채택하여 모재와 용접재를 구분하여 사출할 수 있는 구조로 제작하였다. 즉, 모재를 성형할 경우에는 핀을 닫은 상태에서 사출하고, 용접재는 핀을 연 상태에서 사출함으로써 중심부에서 용접선(weld line)이 생성된다.

사출된 시험편은 용접선이 없는 모재와 용접선을 가진 용접재 두 가지 형태로 3mm×13mm×190mm의 크기를 가진 인장시험편이다. 폴리카보네이트는 흡습하기 쉬우며, 수분이 0.03% 이상 함유되면 백화, 실버발포 등의 원인이 되므로 100°C~110°C 온도의 열풍 건조기에서 10시간 동안 수분 함량이 0.01%이하가 되도록 충분히 건조하였다.



[그림 4] 시험편의 형상과 치수

2.4 시험편의 평가실험

본 연구에서는 PC 매트릭스에 단유리섬유를 강화하여 사출한 폴리머 복합재료를 대상으로 금형온도와 환경온도의 변화에 따른 재료의 강도를 평가하고 온도에 따른 모재와 용접재의 흡습율을 측정하고자 인장시험과 흡습율 시험을 실시하였다.

2.4.1 인장시험

PC 매트릭스와 유리섬유강화 폴리머 복합재료에서 모재와 용접재의 인장강도 및 변형률, 탄성계수를 비교하기 위해 인장시험을 실시하였다.

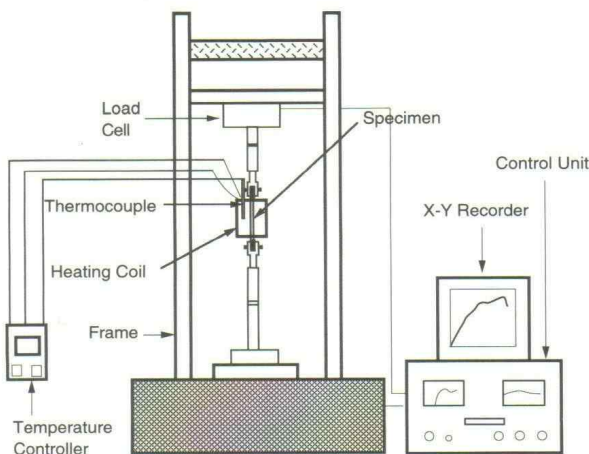
[그림 5]는 인장시험에 사용된 시험장치의 개략도로써 다양한 환경온도에서 인장시험을 실시하기 위하여 인장시험편의 중앙부위에 벨트(belt)형 가열장치(heating coil)를 설치하여 가열을 하였으며 저온실험은 dry-ice를 이용하였다.

실험온도는 소형 온도조절기를 사용하여 $\pm 3^{\circ}\text{C}$ 이내로 조절하였다. 인장시험에 사용되는 시험편은 금형온도가 70°C , 90°C , 110°C , 130°C 에서 사출된 것으로 환경 온도를 -30°C 에서 80°C 범위에서 -30°C , 0°C , 20°C , 50°C , 80°C 에서 인장시험을 실시하였으며, 모재의 경우 $1.0\text{mm}/\text{min}$, 용접재의 경우에는 $0.5\text{mm}/\text{min}$ 의 인장속도로 시험을 실시하였다.

[그림 6]은 만능시험기(UTM)를 이용하여 인장시험을 실시하는 것을 보여준다.

2.4.2 흡습율 실험

물의 온도변화에 따른 복합재료의 포화 흡습율을 측정하기 위하여 온도조절 교반기를 사용하여 시간의 경과에 따른 흡습율을 전자저울로 측정하였다.



[그림 5] 인장시험 장치의 개략도



[그림 6] 인장시험 장치

3 실험결과 및 고찰

3.1 폴리머 매트릭스의 인장강도

본 연구에서는 단섬유를 포함하지 않은 폴리머 매트릭스 재료를 용접선이 없는 형태의 모재와 용접선을 갖는 용접재로 구분하여 사출 성형한 사출품에 대한 인장강도를 평가하였다. 이를 단섬유를 보강하여 사출한 성형품과 비교함으로써 단섬유의 함량이 인장강도에 미치는 영향을 비교분석하였다. [그림 7]의 (a)와 (b)는 각각 모재와 용접재의 하중-변형률 곡선을 나타낸 것이다.

[그림 7]의 (a)와 같이 모재의 경우 항복강도가 약 $2,200\sim 2,300\text{N}$ 의 범위에서 발생하였으며 금형온도의 변화에 따라서 큰 차이가 없음을 알 수 있었다.

[그림 7]의 (b)와 같이 용접재의 경우에는 항복이 약 $2,000\sim 2,150\text{N}$ 에서 발생하여 모재의 경우보다 약 10% 정도 작은 하중에서 항복이 발생함을 알 수 있었다.

[그림 8]은 폴리머 재료를 사출하는 금형온도의 변화에 따른 모재와 용접재의 인장강도를 나타낸 것이다.

여기에서 금형온도의 변화가 인장강도에 미치는 영향은 작게 나타났으며, 전체적으로 모재보다 용접재의 인장강도가 5MPa 정도 낮아짐을 알 수 있다.

3.2 유리섬유 함유 폴리머 복합재료의 인장강도

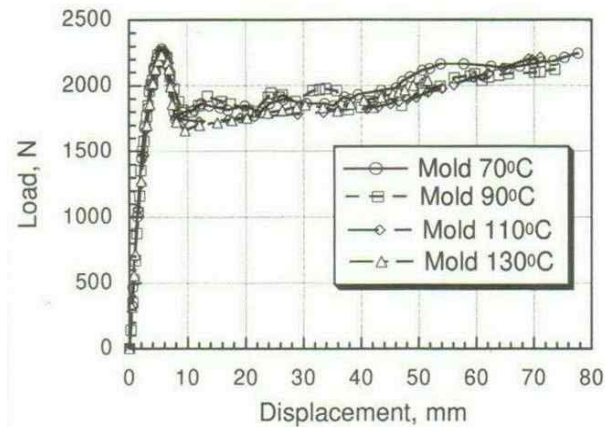
폴리머 복합재료에서 섬유함유량이 인장강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 섬유 함유량을 10%, 20%, 30%로 변화시켜 가면서 금형온도를 110°C 에서 사출 성형하였다. [그림 9]는 섬유 함유량에 따른 하중-변형률 곡선으로서 섬유함유량이 증가할수록 인장강도도 증가하며, 섬유함유량이 20% 이상에서는 탄성계수가 급격하게 커짐을 볼 수 있다.

[그림 10]은 섬유 함유량에 따른 인장강도의 변화를 보여주는 것으로서 섬유함량이 10%일 경우에 모재와 용접재의 인장강도가 거의 같은 값을 나타낸다.

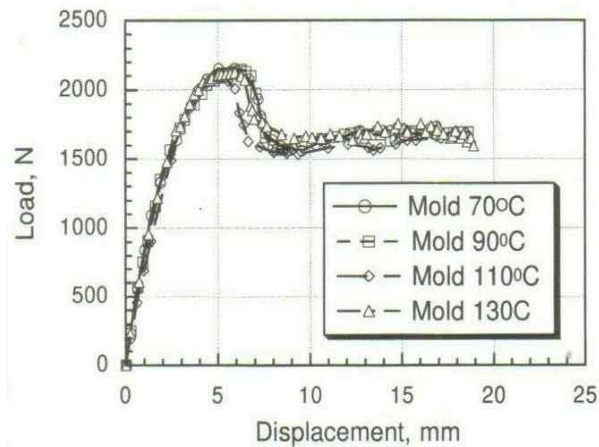
또한, 섬유함유량이 20%로 증가함에 따라 모재의 경우에는 인장강도가 95MPa 정도로 약 30%가량 증가하지만, 용접재의 경우 오히려 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 섬유함유량이 증가하면 폴리머 매트릭스의 점성 영향으로 용접부에서의 섬유배열이 불규칙해 짐에 기인하는 것으로 판단된다.

[그림 11]은 섬유함유량에 따른 변위를 나타낸 것으로서 모재의 경우가 용접재에 비하여 2배 이상 우수한 변위특성을 가지고 있음을 알 수 있었다.

따라서 폴리머 복합재료의 사출 성형에서 섬유함량이 10%이하일 경우에는 모재와 용접재의 경우 인장강도가 비슷하게 되지만, 섬유함유량을 20%이상으로 증가할 경우에는 모재와 용접재의 인장강도의 차이가 크게 나타나므로 금형을 용접부가 발생하지 않는 구조로 설계하는 것이 인장강도 측면에서 매우 중요할 것으로 판단된다.

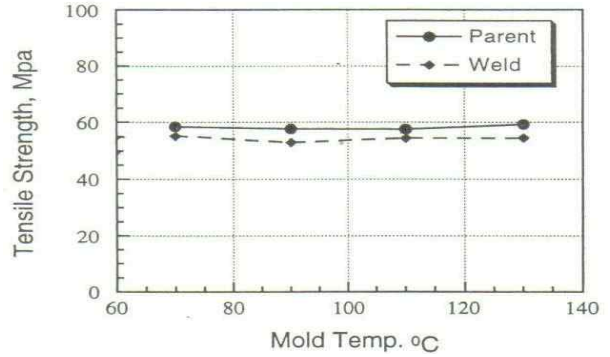


(a) 모재

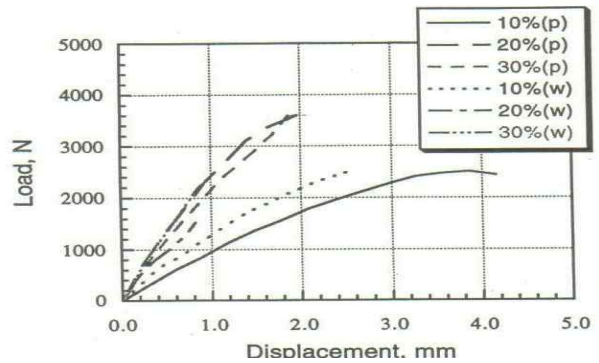


(b) 용접재

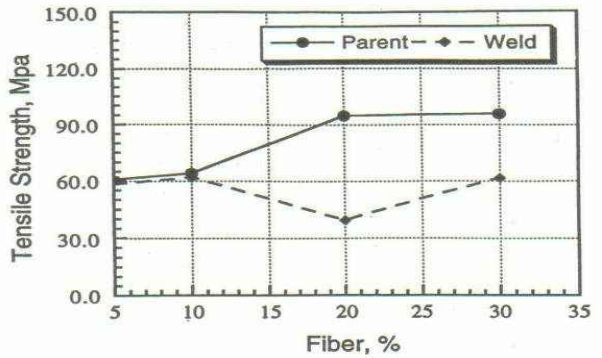
[그림 7] 폴리머 재료의 하중-변형량 곡선



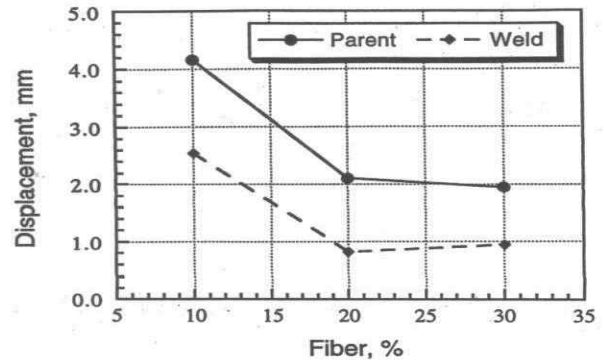
[그림 8] 금형온도에 따른 폴리머의 인장강도



[그림 9] 폴리머 복합재료의 하중-변형량 곡선



[그림 10] 섬유 함유량에 따른 인장강도



[그림 11] 섬유 함유량에 따른 변형특성

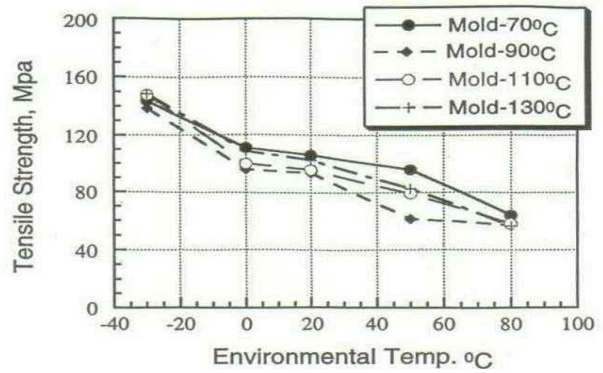
3.3 환경온도에 따른 폴리머 복합재료의 인장강도

폴리머 복합재료를 사용한 사출 성형품은 전기전자 부품, 자동차 등 다양한 산업분야에서 여러 가지 환경 조건에서 사용된다. 그중에서 환경온도가 인장강도에 미치는 영향을 살펴보기 위하여 환경온도를 -30°C에서 80°C까지 5구간으로 나누어 인장강도를 평가하였다. [그림 12]는 섬유함량이 30%인 폴리머 복합재료 사출 성형품을 환경온도를 -30°C, 0°C, 20°C, 50°C, 80°C로 변화시켜 인장시험을 실시한 결과를 보여준다. 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 상온이하에서는 높은 강도를 유지하며 상온이상에서 환경온도가 높아짐에 따라 인장강도가 저하됨을 알 수 있다.

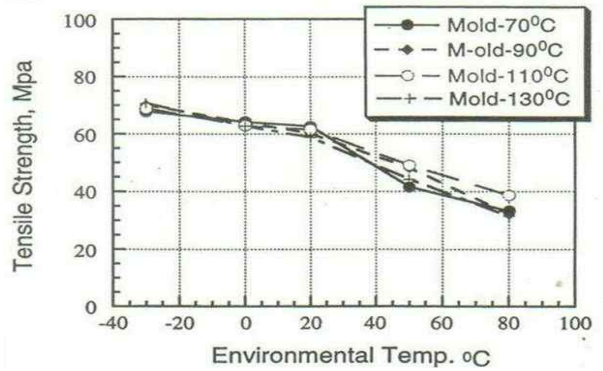
또한 환경온도의 변화에 따라 금형온도가 미치는 영향은 모재의 경우에 비교적 많은 변화를 주는 것으로 나타났고 용접재에서는 거의 비슷한 수준으로 평가된 것으로 보아서 환경강도에 미치는 금형온도의 영향은 용접재보다 모재에서 크게 작용함을 알 수 있었다.

그리고 용접재에서는 20°C상온까지는 완만한 감소를 보이다가 그 이상의 환경온도에서는 인장강도 감소폭이 크게 나타나므로 고온에서의 영향이 상대적으로 큰 것으로 나타났다. 또 용접재의 경우 환경온도가 상승함에 따라 강도 감소폭이 모재에 비해 작게 나타나는 것으로 보아 모재가 환경온도에 더 민감하게 작용함을 보여주고 있다. 즉, 환경온도가 변화됨에 따라 모재에서는 matrix가, 용접재에서는 섬유가 환경강도에 크게 영향을 주는 것으로 판단된다.

상온에서보다 -30°C에서 인장강도가 증가하는 현상은 저온에서 matrix 재료가 수축됨에 따라 fiber shrinkage 현상 때문인 것으로 생각된다. [그림 13]은 섬유 함유량에 따라 환경온도 변화가 인장강도에 미치는 영향을 평가하기 위하여 금형온도 110°C에서 사출한 복합재료 성형품에 대한 인장시험 결과이다. 그림에서와 같이 모재와 용접재 모두 환경온도가 높아짐에 따라 섬유 함유량에 관계없이 인장강도가 감소함을 알 수 있었다. 모재의 경우에는 섬유함유량이 증가함에 따라 인장강도가 증가하였으나, 용접재에서는 섬유함유량이 증가함에 따라 상대적으로 인장강도가 감소하는 현상을 보였다. 이것은 모재에서는 섬유가 인장방향과 수평하게 배열되어 matrix와 섬유의 결합력으로 인해 인장강도가 증가하며, 용접재에서는 용접부에서 섬유배열이 인장방향과 수직을 이루고 있어 섬유함유량이 증가함에 따라 인장강도 특성이 감소하게 되는 것으로 판단된다.

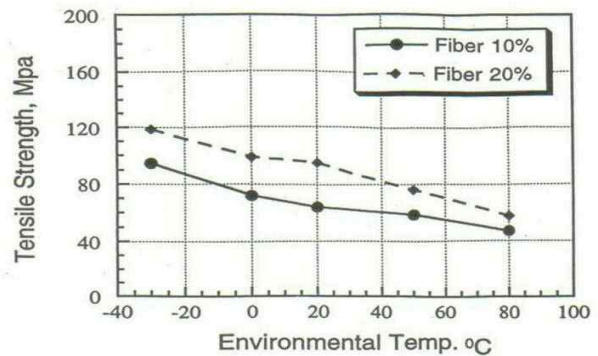


(a) 모재

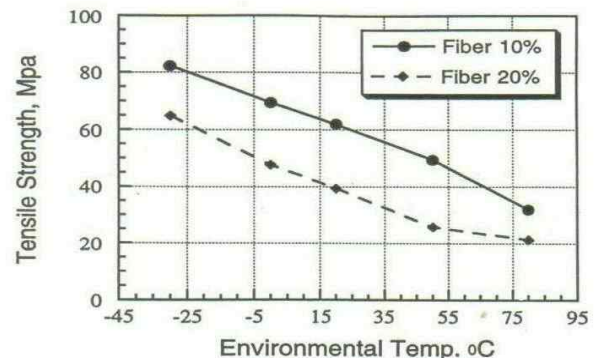


(b) 용접재

[그림 12] 금형온도와 환경온도에 따른 인장강도



(a) 모재

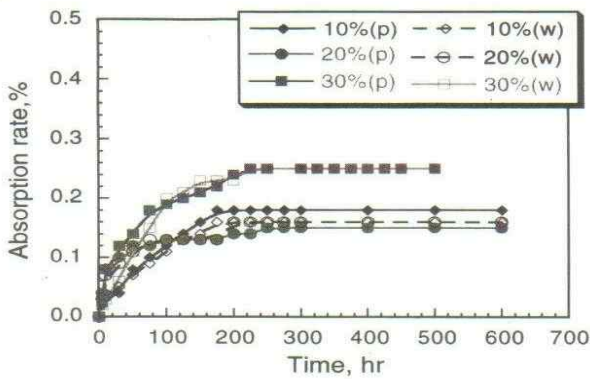


(b) 용접재

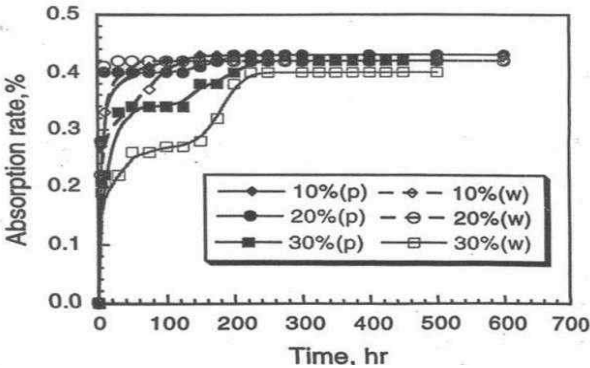
[그림 13] 섬유함량과 환경온도에 따른 인장강도

3.4 포화흡습제의 인장강도

폴리머 복합재료 사출 성형품의 모재와 용접제에서 수분 흡습율을 평가하기 위해 물의 온도를 20°C, 40°C, 60°C, 80°C 까지 4단계로 나누어 실시하였다. [그림 14]는 20°C의 수온에서 흡습율의 변화를 보여주는 것으로서 약 200시간 정도가 경과되면 온도에 및 섬유함량에 따라 0.15~0.42%의 포화 흡습율을 보여주고 있다. 이와 같이 포화 흡습된 폴리머 복합재료 사출 성형품에 대한 인장강도 시험을 실시하였다.

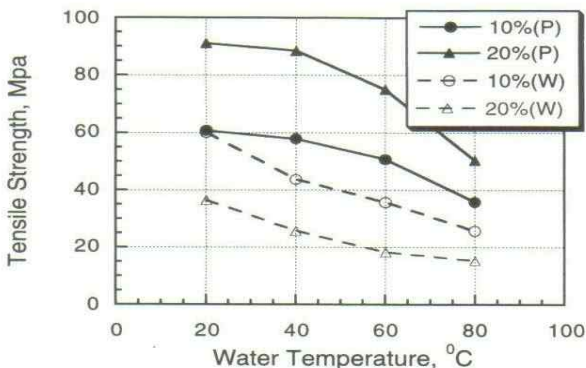


(a) 20°C

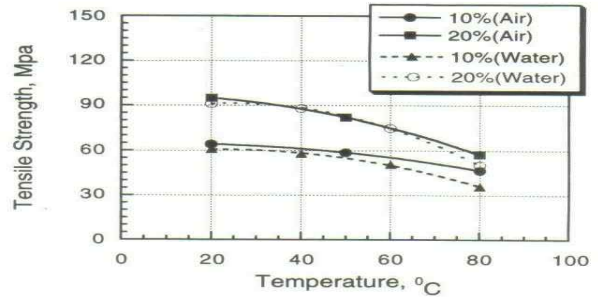


(b) 20°C

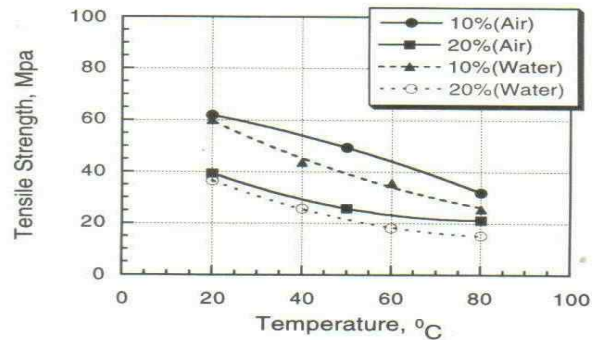
[그림 14] 폴리머 복합재료의 포화 흡습율



[그림 15] 흡습온도에 따른 인장강도



(a) 모재



(b) 용접제

[그림 16] 흡습율에 따른 인장강도

[그림 15]는 20°C, 40°C, 60°C, 80°C의 온도에서 포화 흡습된 복합재료의 인장강도를 나타낸 것으로서 섬유함량이 동일할 때 높은 온도에서 포화 흡습된 성형품일수록 인장강도가 저하되는 것을 볼 수 있다. 이것은 포화 흡습온도가 상승함에 따라 매트릭스와 섬유사이의 계면으로 수분이 쉽게 흡수되고 포화흡습율이 높아지게 되어 계면사이의 결속력이 떨어지는데 기인하는 것으로 판단된다. 또한 모재의 경우에는 섬유함유량이 10%일 경우보다 20%일 때 인장강도가 높은 것은 용접부가 없이 섬유가 인장방향으로 배열되어 나타나는 결과로 생각된다. 그리고 용접제의 경우에는 섬유함유량이 20%일 경우에 용접 경계에서의 섬유가 포화 흡습되어 매트릭스에 의한 인장강도 보다 강도가 떨어지는 역효과를 가져올 수 있다.

[그림 16]은 건조제와 포화 흡습제의 인장강도를 비교하여 나타낸 것이다. (a)와 같이 모재의 경우에는 용접제에 비해서 흡습여부에 따른 인장강도의 차이가 크게 나타나지는 않았으나, 섬유함유량 20%일 때 80°C에서는 포화 흡습율이 높아져 인장강도의 저하가 비교적 크게 발생하였다.

또한 (b)와 같이 용접제의 경우에는 건조제와 포화 흡습제 모두의 경우에서 섬유함유량이 10%일 때가 인장강도가 더 높음을 알 수 있는데, 섬유함유량이 높아지면 용접부에서 섬유가 인장방향에 수직방향으로 배열됨에 따른 것으로 판단된다.

4. 결 론

이상과 같이 보다 안전하고 경량화를 목적으로 단유 리섬유를 함유한 폴리머 복합재료 사출 성형품에 대한 인장강도를 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 섬유함유량이 10%일 경우에는 모재와 용접재의 인장강도 차이가 거의 없으나, 용접재의 경우에 섬유함유량이 20%이상으로 증가되면 오히려 인 장강도가 저하된다.
- 2) 모재의 경우 섬유함유량이 20%로 증가하면 인장 강도가 약 30% 정도 증가하고, 섬유함유량을 30%로 증가시켜도 인장강도의 향상 효과는 나타 나지 않았다.
- 3) 환경온도에서 모재의 경우 매트릭스, 용접재의 경 우에는 섬유방향의 배열이 인장강도에 큰 영향을 미친다.
- 4) 습도가 높은 환경에서 사용하는 폴리머 복합재료를 용접재로 사출할 경우 섬유함유량을 10%이하 로 하는 것이 유리하다.
- 5) 단유리섬유를 함유한 폴리머 복합재료의 사출성형 에서 용접부가 없도록 주입부를 설계하는 것이 가 장 중요하다.

5. 참 고 문 헌

- [1] 射出金型設計[1], 機電研究社, pp. 16-17, 1987.
- [2] 最新Plastic材料, 大光書林, pp. 3-5, 2009.
- [3] 高分子科學技術, poly science and technology Vol. 6, No. 4, pp 310-312, 1995.
- [4] 射出金型, 韓國産業人力管理工團, pp 42-46, 1995.
- [5] 射出成形金型(企劃, 設計, 製作), 機電研究社, pp. 1-5, 1987.
- [6] Hull, D., An Introduction to Composite Material, Cambridge Uni. Press. pp. 125, 1981.
- [7] M.Jorden, Looking Backward, Car and Driver, pp. 55, Mar 2001.
- [8] Wendy Soll, Gutowski, T.,G "Forming Thermo -plastic Composite Parts", SAMPE Journal, pp. 15-19, 1988.
- [9] C. Kroekel, E. Barzkus, Low Shrink Polyester Resins, Performance and Application, 23rd SPI 18-E, 1968.
- [10] Grafton, P., Handbook of Plastics and Elastomers, Mcgraw-Hill, New York, pp. 124, 1975.
- [11] Tomari, K., Tonogari, S. and Harada, T., Polymer Eng. and Science, Vol, 30, No. 15, pp.31, 1990.
- [12] Hobbs, S.Y., Polymer Eng. and Science, Vol. 14, No. 16, pp. 621, 1990.
- [13] Matsuoka, T., Takabake, J. I, Inoue, Y.,and Takahasi, H., Polymer Eng., and Science, Vol. 30, No. 16, pp. 57, 1990.

저 자 소 개

윤 여 권



명지대학교 대학원에서 석사, 박사학위를 취득하였으며, 관심분야는 CAD/CAM 및 초정밀 가공과 산업안전 관련 분야이며 현재 유한대학 기계설계과 조교수로 재직하고 있다.

주소: 경기도 부천시 소사구 괴안동 185-34 유한대학 기계설계과

김 진 호



전북대학교 대학원 기계공학과에서 석사학위를 취득하고 동 대학원 박사과정을 수료하였으며, 관심분야는 사출금형 설계 및 제작과 CAD/CAM 관련 분야이며, 현재 한국폴리텍V대학 컴퓨터응용금형과 부교수로 재직하고 있다.

주소: 전라북도 김제시 백학제길 154 한국폴리텍V대학 김제캠퍼스 컴퓨터응용금형과