

단섬유강화 사출성형 용접부의 환경강도평가에 관한 연구

A Study on environmental strength of short fiber reinforced polymer injection weld

김진호 · 박한주*, 임재규**

* 전북대학교 대학원

** 전북대학교 기계공학부

1. 서 론

다양한 환경조건을 만족시키기 위해 복합재료가 이용되는데 모든 산업에서 사용되고 있는 폴리머 복합재료는 에너지 파동과 환경문제가 등장하면서 경량화를 통한 에너지효율의 증대와 자원재활용 측면에서 많은 연구가 진행되고 있으며 특히, 우주항공, 자동차 분야에서 그 사용량이 점차 증가하고 있다.[1]

그런데 폴리머의 사출성형시에 core, corner등으로 인해 용접부의 발생은 피할 수 없는 현상[2~4]이며 이 용접부의 기계적 강도특성을 향상시키는데는 섬유상의 상태, 섬유방향 분포, 섬유길이, 섬유 집중부의 평가와 플라스틱 용탕과 mold의 최적온도 차이, 환경 인자변화 등의 연구가 필수적인데, 이의 기구 해석에서는 아직 충분치 않은 형편이다.

따라서 본 연구에서는 단유리섬유가 혼입된 폴리머 복합재료를 이용하여 금형온도영향과 환경온도 상태에서 인장실험을 실시하므로 용접부에서의 조직해석과 파면관찰을 통해 섬유조직과 미시적인 파괴기구를 해석하고 환경강도를 평가하고자 한다.

2. 실험재료 및 방법

본 실험에서는 직경이 $13\mu\text{m}$, 길이가 $200\sim 400\mu\text{m}$ 정도인 단유리섬유를 30%포함하고 있는 고성능의 열가소성 엔지니어링 플라스틱인 polycarbonate(PC)이며 유리섬유의 성분은 Table.1[5]과 같다. Fig.1에서 보여주는 것처럼 double-gate mold에서 하나의 덤벨형(dumbbell type)의 인장시험편을 금형온도를 $70\text{C}\sim 130\text{C}$ 까지 변화시켜 사출성형하였으며 미시조직관찰을 위해 microtoming기법[6]을 이용하여 $10\sim 15\mu\text{m}$ 의 초박판 시험편을 가공하였다.

인장강도 특성을 비교 분석하기 위해 만능시험기로 인장실험을 실시하였으며 환경강도평가를 위해 고온은 belt형 heating coil을 설치하여 가열을 하였고 저온실험은 dry ice를 이용하여 환경분위기를 유지시켰다. 이때 실험온도는 $\pm 3\text{C}$ 의 범위내에서 조절하여 -30C 에서 80C 까지의 범위내에서 cross head speed를 모재 $1.0\text{mm}/\text{min}$, 용접재 $0.5\text{mm}/\text{min}$ 의 속도로 실험하였다.

가공된 초박판 시험편을 편광 현미경(NIKON microphoto - SA)으로 모재와 용접재의 섬유방향을 관찰하였고 미소파괴가 일어난 후 파단면을 Scanning electronic microscope(주사전자현미경 : SEM)을 이용해 관찰하므로 파괴형태를 비교하여 모재 및 용접부에서 유리섬유와 matrix의 파괴기구를 해석한다.

3. 실험결과

3.1 모재와 용접재의 섬유분포 해석

Fig.2는 모재부의 섬유방향분포를 나타낸 것으로써 a)는 사출방향과 평행한 단면의 섬유분포를 나타내고 있으며 섬유가 사출방향에 따라 수평하게 나열된 모습을 보여주고 있으며 b)는 사출방향에 수직인 단면의 섬유분포를 보여 주는데 사출방향과 잘 일치된 섬유 분포를 관찰 할 수 있다.

Fig.3은 용접부의 섬유분포를 보여주고 있다. a)는 두 개의 flow line이 부딪치는 부분 즉, 용접부(weld line)에서의 섬유방향을 보여주며 섬유가 사출방향에 직각으로 위치하고 있는 것을 알 수 있다. b)는 두 flow line이 부딪친 후 혼합되는 영역(mixing zone)을 나타내 주고 있으며 섬유방향이 random한 형태를 하고 있음을 볼 수 있다.

Fig.4는 사출 용접부의 섬유방향을 거시적으로 나타낸 조직사진이다. 섬유방향이 화산모양을 하고 있어 volcano-like pattern이라고 하며 용접부에서는 사출방향과 수직인 섬유형태, 중앙부에서는 교차후 혼합된 모습을 나타낸다.

3.2 강도평가

Fig.5는 섬유가 함유되지 않은 폴리머의 성형온도와 인장강도와의 관계를 나타낸 것으로 모재와 용접재의 인장강도는 큰 차이 없이 비슷하게 평가되었으며 또한 성형온도에 관계없이 유사한 강도특성을 보이는 것으로 평가되었다..

Mold온도를 70℃~130℃까지 변화시켰을 때, 섬유강화 복합재료의 성형온도에 따른 인장강도 특성을 Fig.6에서 보여주고 있다. 성형온도의 변화는 용접재보다 모재에 영향을 주는 인자임을 알 수 있었으며 matrix와 강도를 비교해 보면 모재에서는 섬유의 영향으로 강도가 크게 향상된 반면 용접재에서는 증가 폭이 매우 적었다.

Fig.7은 파괴 변형에너지와 성형온도 관계를 보여준 것으로 강도는 성형온도 변화에 따라 유사한 특성을 보였으나 파괴 변형에너지는 모재에서 큰 차이를 보여 성형온도 130℃에서 가장 우수하게 평가되었다.

Fig.8은 30%섬유 함유 복합재료의 환경온도를 -30℃~80℃까지 변화시켜 환경강도를 평가한 것으로 상온이하에서는 강도가 증가하고 있는데 이는 저온에서 matrix의 수축에 의해 matrix와 fiber의 shrinkage 현상 때문인 것으로 생각되며 상온 이상에서는 온도의 영향으로 강도가 감소하고 있음을 볼 수 있다. 그리고 환경온도의 변화에 따른 성형온도의 영향은 용접재보다는 모재에서 크게 작용하며 모재에서는 matrix가 용접재에서는 섬유가 환경강도에 영향을 주고 있음을 알 수 있다.

3.3 파면관찰

Fig.9는 mold온도 변화에 따른 파면사진을 나타낸것으로 섬유배열이 사출방향과 잘 일치하고 있는 모습을 보여주며 mold온도 변화에 따른 파면 형태가 비슷하고 fiber break와 matrix fracture현상을 주로 보이는데 이는 mold온도의 영향에 관계없이 유사한 강도특성을 갖는다는 사실을 뒷받침해준다

Fig.10은 섬유강화 복합재료의 환경온도 변화에 따른 파면모습을 보여준다. 모재 및 용접재 모두 -30℃에서 matrix의 미소크랙과 fiber에 matrix의 탈착현상으로 보아 fiber와 matrix사이에 강한 접착력이 작용하여 matrix fracture와 fiber break 현상이 두드러지게 나타난 것을 관찰할 수 있었으며 이는 순간적인 파괴와 선형적인 하중-변위곡선을 뒷받침해준다. 그리고 온도가 올라갈수록 matrix가 약해져서 fiber와 matrix의 debonding현상과 fiber pull-out현상이 나타남을 볼 수 있다.

4. 결 론

폴리머 복합재료의 mold온도와 환경온도를 변화시켜 용접부의 강도특성을 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 환경온도와 성형온도의 변화에 따른 강도 특성은 모재에서 용접재보다 더 민감한 반응을 보이는 것으로 나타났다.

(2) 환경온도가 변할 때, 모재에서 인장강도의 변화는 용접부에서 변화보다 큰데 이는 모재에서는 matrix, 용접부에서는 섬유방향이 환경강도에 큰 영향을 주기 때문이다.

(3) 섬유를 첨가 하지 않은 PC의 경우 성형온도에 관계없이 비슷한 인장강도를 보였으나 섬유 강화복합재료의 파괴 변형 에너지는 모재에서 큰 변화를 보여 성형온도 130℃에서 가장 좋은 특성을 보였다.

5. 참고문헌

- 1 高分子科學技術(poly science and technology), volume 6, number4, 1995. p310-312
- 2 Grafton, P., Handbook of Plastics and Elastomers, Mcgraw-Hill, New York, 1975, p124
- 3 Tomari, K., Tonogari, S. and Harada, T., Polymer Eng. and Science, Vol, 30, No.15, 1990, p31
- 4 Tadmore, Z., and Gogas, C.G., Principles of Polymer Processing, John Wiley, New York, 1979, p603
- 5 Miller, D.M., "Glass Fibers Composite", Engineered Materials Hanbook, ASM International, Vol. 1, 1987, p45-48
- 6 Bell, G.R, Cook, D.C, and Rogers, D.D., Microtoming; An Emerging Tool for Analysing Polymer Structures, Plastic. Eng., No. 35, 1979, p18

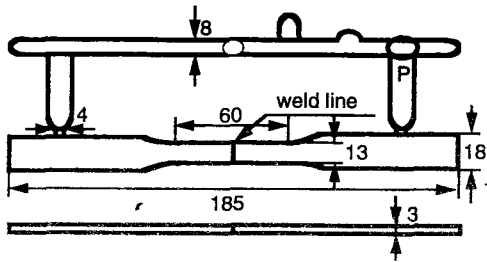
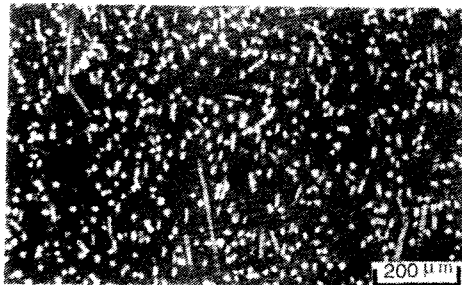
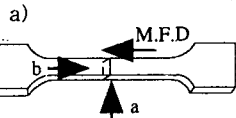


Fig.1 Layout of injection mold for specimen



b)

Fig. 2 Photomicrograph fiber orientation of PC parent

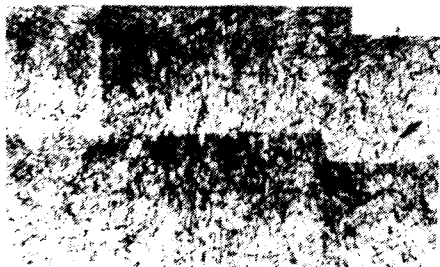
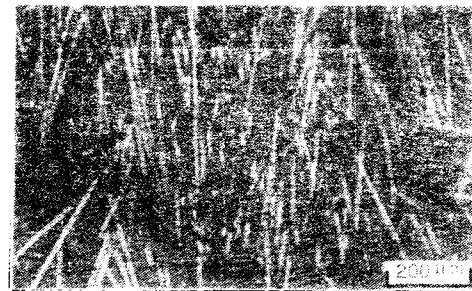


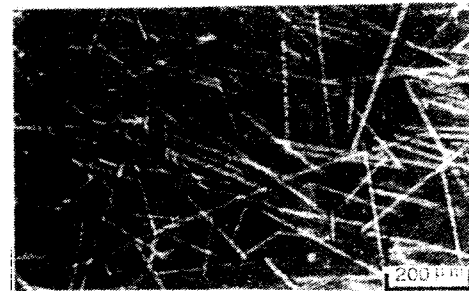
Fig. 4 Fiber orientation of PC weld

Table 1 Chemical composition of glass fiber(wt.%)

SiO ₂	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	CaO,MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Fe ₂ O ₃	F ₂
55.2	14.4	7.3	22.0	0.3	0.2	0.3	0.3



a) weld line



b) mixing zone

Fig. 3 Photomicrograph fiber orientation of PC weld

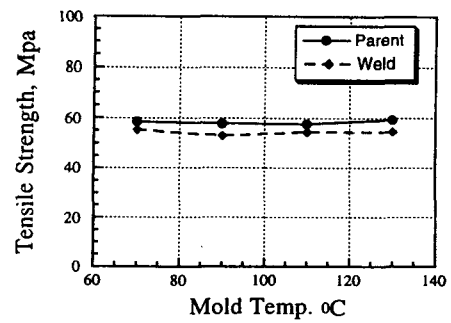


Fig.5 Relationship between tensile strength and mold temperature PC matrix

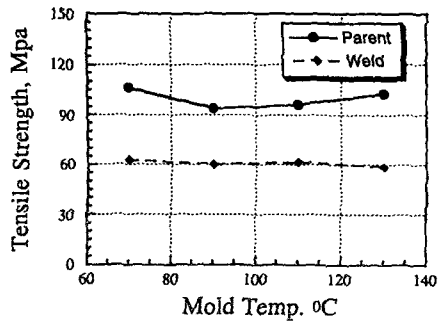


Fig.6 Relation between tensile strength and mold temperature

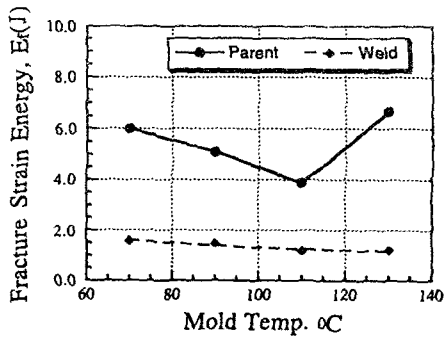
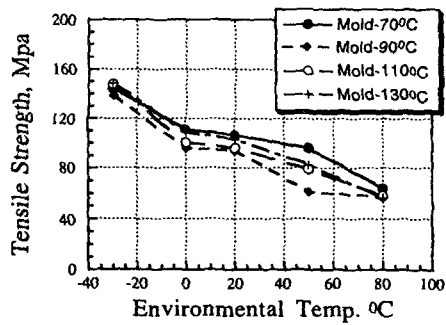
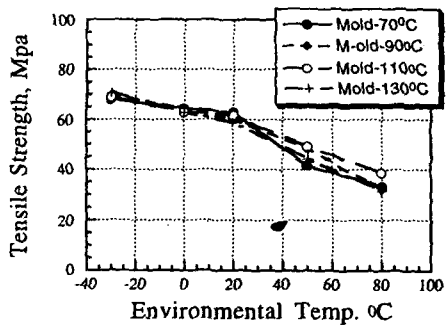


Fig.7 Relation between fracture strain energy and mold temperature



a) parent



b) weld

Fig.8 Relation tensile strength and environmental temperature in the varied mold temperature

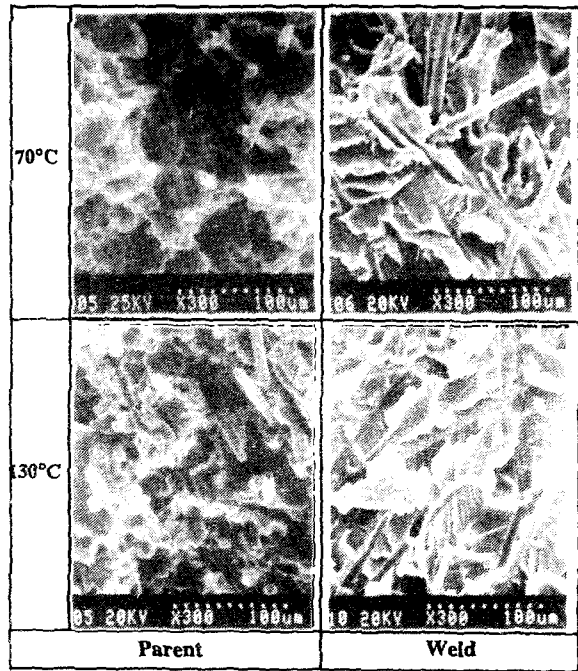


Fig.9 SEM photographs with the mold temperature

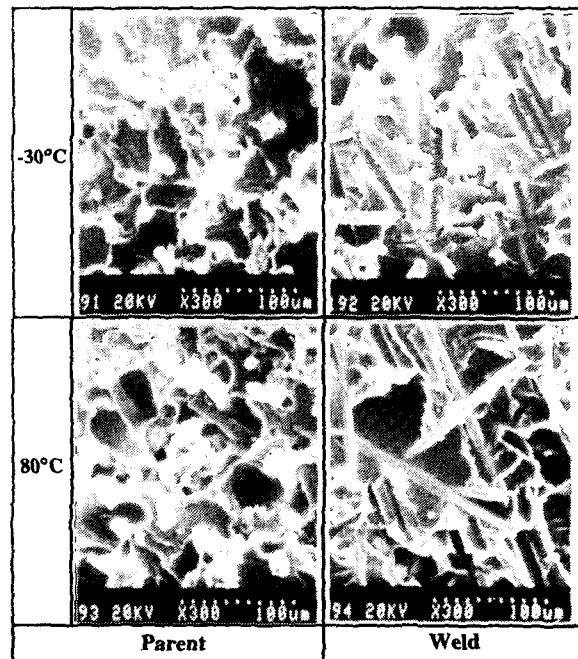


Fig.10 SEM photographs with the environmental temperature