

論文

단섬유강화 폴리머 사출성형 용접부의 섬유방향과 강도평가에 관한 연구

임재규* · 김광철** · 이형노***

Fiber Orientation and Weld Strength of Short Glass
Fiber Filled Polymer Injection Weld

Jae-Kyoo Lim*, Kwang-Chel Kim** and Hyoung-No Lee***

ABSTRACT

Recently, the polymer composite materials are used in lots of fields such as a part of automobile, aeronautic space, machinery and so on. But it has a little problems when it is made by means of injection molding because of its weld line which reduces strength of polymer composite materials. So this paper discusses relation between strength and fiber orientation, and observes fracture surface to analyze its fracture mechanism.

The polymer composite material used in this experiment is a polyphenylene sulfide(PPS) with amorphous structure, such as super engineering plastics, including 40% short glass fibers. The specimen with a weld line is a dumbbell-type for tensile test and a bar-type for three-point bending test, made by means of double-gate injection molding. The microtoming technique was used for slicing ultra-thin section from the molded polymer parts. Microstructural analysis of fiber orientation at the injection weld was carried using a light-transmission microscope. The appearance of fiber orientation in the mold was named either a flower-like pattern in a wide area or a volcano-like pattern in a narrow area. In addition, it was discussed the effect of the matrix and orientation of glass fiber on strength.

Key Words : GFRP(glass fiber reinforced plastics), Mixing Zone, Fiber Orientation, Short Fiber-Filled Polyphenylene Sulfide, Volcano-like Pattern, Microtoming Technique, Flower-like Pattern

초 록

최근 폴리머 복합재료는 자동차 분야 및 우주 항공 분야 그리고 기계류 등 기타 여러분야에서 널리 사용되고 있다. 그러나 폴리머 복합재료는 사출성형에 의해서 만들어질 때 용접부가 발생하게 되고, 이 부분은 강도의 저하라는 문제점이 발생한다. 그래서 이 논문에서는 섬유방향과 강도 사이의 관계와 파면관찰을 통한 파괴기구의 해석을 하고자 하였다.

* 전북대학교 공과대학 기계공학부

** 전북대학교 대학원(현재 전북직업전문학교)

*** 전북대학교 대학원

이 실험에서 사용되어진 폴리머 복합재료는 단유리섬유를 40% 포함하는 고성능엔지니어링 플라스틱인 polyphenylene sulfide(PPS)이다. 시험편은 용접부를 갖는 덤벨형태(dumbell-type)의 인장시험편과 봉형태(bar-type)의 굽힘시험편으로써 더블게이트 사출성형에 의한 방법으로 얻어진다. 또한 성형시험편으로부터 초박판 시험편을 얻기 위한 방법으로 microtoming technique이 사용되어진다. 사출 용접부의 섬유방향에 미시적 해석을 위해서 광학현미경을 이용하였다. 용접부의 섬유방향의 모양은 넓은 영역에서는 꽃과 같은 형태가, 좁은 영역에서는 분화구 형태를 나타내었다. 이 실험에서는 폴리머 복합재의 강도에 대한 매트릭스와 섬유방향과의 관계 및 그 영향에 관하여도 고찰하였다.

1. 서 론

최근 폴리머 복합재료는 자동차 및 항공 우주 분야를 위시해 많은 분야에서 사용되어지고 있다. 더욱이 섬유강화 폴리머 복합재료는 엔지니어링 플라스틱으로써 지난 십여년 사이에 그 개발이 활발히 진행되고 있다. 따라서 복합재료의 신뢰성과 안전성을 확보하기 위해서는 그의 강도평가가 중요한 문제로 되고 있다.

Engineering plastics는 역학적 특성, 열적 특성, 치수 안정성 등이 우수한 고성능 폴리머로 공업용 부품에 사용되는 금속 대체재료로[1] 그 사용도가 점점 확장되고 있다. 또한 폴리머가 가지는 외관성, 성형성, 내식성 등의 우수한 특징을 그대로 유지하면서 기계적 강도를 향상시키고 열적 안정성을 유지하기 위해서 유리섬유나 탄소섬유를 혼입한 복합재료의 용도가 점점 확대되어가고 있다. 그런데 폴리머 복합재료를 이용한 사출성형품에는 용접부가 존재하게 되는데 이 용접부의 강도를 저하시키지 않기 위해서는 용접부의 구조 및 파괴연구가 필수적이라고 할 수 있다.

Malguarnera와 Manisali[2]는 상용되는 폴리스틸렌의 인장강도에 미치는 melt 온도, mold 온도, 사출속도 및 사출압력의 영향에 대하여 연구하였다. 그들의 연구결과에 의하여 인장강도에 크게 영향을 미치는 인자로서는 melt 및 mold 온도이며 사출속도나 압력은 크게 영향을 미치지 않는다고 했다. 또한 Hubbauer[3]는 ABS와 PVC의 용접부에서 충격강도를 실험하였다. 그는 용접부가 있는 시험편은 용접부가 없는 시험편 보다 충격강도가 절반으로 떨어진다고 하였다.

또한 Bell[4~5]등은 유리섬유가 용접부에서 임의의 방향으로 되어 있기 때문에 모재보다 강도가 떨어진다고 하였다. Hagerman[6] 역시 ABS형 재료의 형태와 기계적 성질을 조사하였다. 그는 double-gate mold에 의하여 제작된 인장시험편을 사용하여 실험한 결과, 용접부의 강도저하는 melt flow front에서 분산 및 기계적 혼합이 충분히 일어나지 않기 때문이라고 하였다.

따라서 본 연구에서는 단유리섬유(short glass fiber)가 혼합된 PPS(polyphenylene sulfide) 복합재료에서 모재의 사출방향과 하중방향의 관계 및 용접부의 섬유방향과 하중방향의 관계에 대한 인장 및 굽힘강도 평가와 섬유방향에 따른 탄성계수의 평가, 그리고 편광현미경과 SEM(scanning electronic microscopy) 관찰을 통한 용접부에서의 유리섬유방향과 사출방향의 미시적 파괴기구를 해석하고자 한다.

2. 시험편 및 실험방법

2-1. 시험편

본 실험에서 사용되어진 폴리머 복합재료는 단유리섬유(short glass fiber)를 40% 포함하고 있는 고성능의 엔지니어링 플라스틱인 PPS이다. 그리고 유리섬유 치수는 직경이 13 μ m, 길이가 200~400 μ m 정도이다.

이 실험에서는 Fig.1에서 보여주듯 double-gate mold에서 사출성형에 의해 dumbbell-type의 인장시험편과 3점 굽힘시험을 하기 위한 굽힘시험편이 molding 판재로부터 기계가공으로 만들어졌다. 사

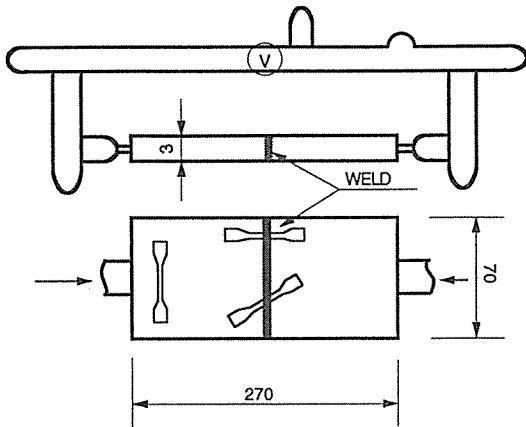


Fig. 1. Layout and dimensions of injection mold and specimens

출된 폴리머 판재는 중심에 용접부를 가지는 3 mm×70 mm×270 mm로 제작되었다. 또한 Fig.1과 같이 오른쪽 문을 닫기 위해 밸브 V를 돌림으로써 용접부가 없는 판재를 제작할 수 있게 하였다. 사출성형의 표준 조건들은, 사출온도 320°C, mold 온도는 115°C이며 성형사이클은 20~80sec이다.

인장시험편에서, 모재(parent)는 인장하중을 부가하는 방향이 MFD(mold filling direction)에 대하여 각각 0°, 30°, 45°, 60°, 90°가 되도록 제작되었고, 용접선(weld line)을 갖는 용접재(weld)는 용접선의 방향이 인장방향에 대해 각각 0°, 30°, 45°, 60°, 90°가 되도록 dog-bone type의 인장시험편을 제작하였다. 굽힘시험편은 인장시험편과 동일한 제작 방법으로 bar type으로 제작되었다.

편광현미경에 의한 유리섬유 방향을 해석하기 위해서 microtoming technique[8]을 이용하여 초박판 시험편을 절단한다. 절단된 시험편을 기계연마와 수동연마를 통하여 두께가 10~15µm가 될 때까지 연마 되어진다. 이와 같은 방법으로 제작된 초박판 시험편은 투과현미경의 시험편으로 사용된다. 또한 시험편의 파단면을 통한 파괴양상을 관찰하기 위해서 SEM을 이용하여 파면을 관찰하였다.

2-2. 실험방법

PPS의 모재와 용접재의 인장강도 및 변형률, 탄

성계수의 측정을 위해서는 SSRT(Slow strain rate test) 시험기를 사용하였다. 먼저 시험기의 시험 조건으로서는, 2GK3K의 감속기(speed reducer)와 load cell을 사용하여 CHS(cross head speed)는 0.3mm/min으로 인장하중을 가하였다. 그리고 여기에 X-Y recorder를 연결하여 하중과 변위 관계를 구하였다.

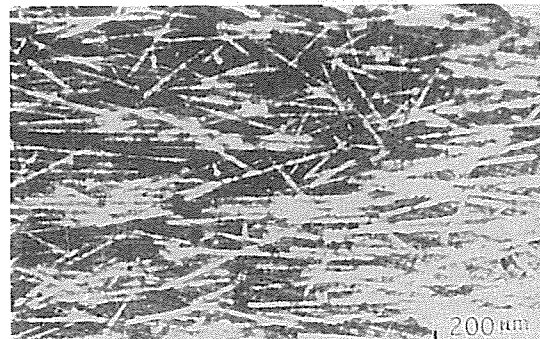
PPS 모재와 용접재의 굽힘시험에 의한 파괴기구를 평가하기 위하여 인장시험과 동일하게 CHS는 0.3mm/min으로, 3점 굽힘시험(3 point bending test)을 위하여 섬유 방향에 따른 시험편을 준비하였다. 굽힘시험은 span 길이를 40mm로 고정하고 굽힘시험장치에 의해 굽힘시험을 실시하였다.

전자현미경(SEM)에 의해 파면을 관찰하고 MFD와 용접부에 대한 단유리섬유의 각도에 따른 PPS의 파괴 형태를 비교하므로써 모재 및 용접부에서의 단유리섬유와 matrix의 파괴기구를 해석하였다. 또한 편광현미경(NIKON microphoto-SA)에 의해서, 10~15µm로 가공된 시험편의 섬유방향을 관찰하였다.

3. 실험 결과 및 고찰

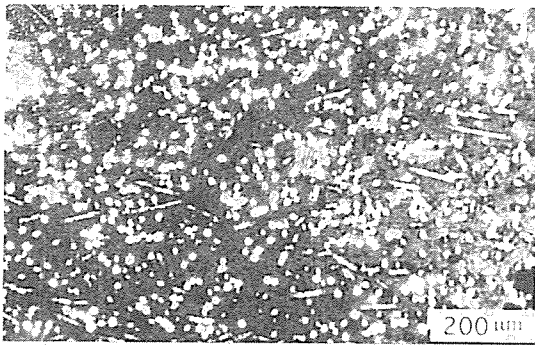
3-1. 사출부의 섬유방향 해석

용접부를 갖는 PPS 복합재료는 용접부에서의 강도저하가 필수적으로 나타난다. 이러한 용접부의 기계적강도 특성은 섬유상의 상태 및 섬유방향분포, 섬유길이분포, 섬유집중부 등의 영향에 따라서 강



(a) Transverse

Fig. 2. Microstructure of PPS parent



(b) Perpendicular
Fig. 2. Continued

도의 변화가 발생함을 알 수 있다.

Fig. 2(a), (b)는 각각 PPS 모재 파단면의 전단면과 횡단면에 대한 편광현미경에 의해서 얻어진 사진이다. 전단면은 유리섬유의 단면만이 관찰되어지고 횡단면에서는 섬유가 MFD에 평행하게 배열함으로써 일방향성을 보여줌을 알 수 있다.

Fig. 3은 용접재의 섬유방향 사진이다. 두개의

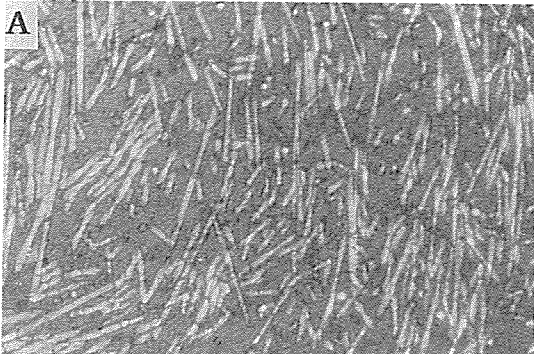
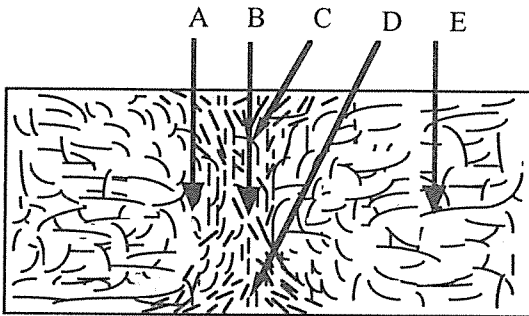
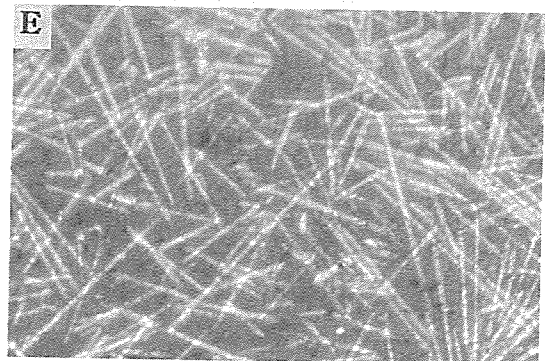
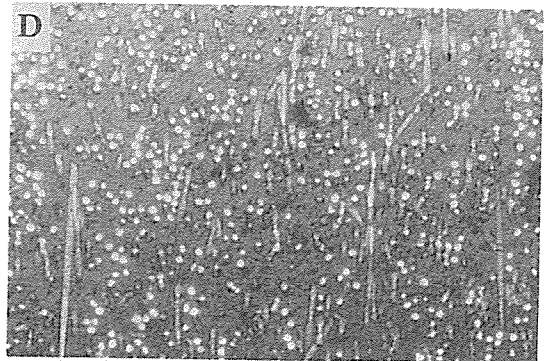
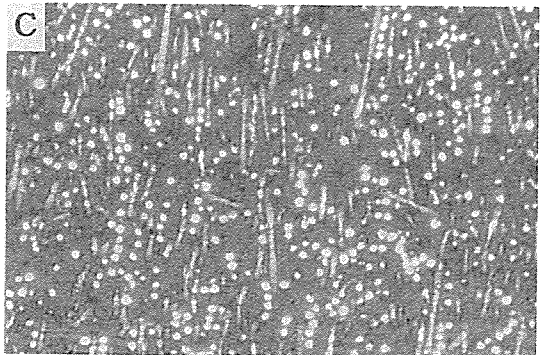
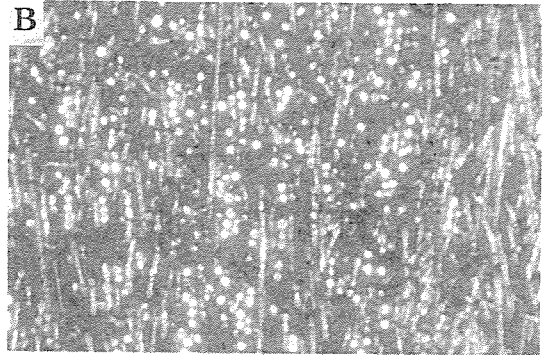


Fig. 3. Microstructure of PPS weld

flow가 만나는 선단에서 분화구 같은 모양의 섬유 방향 분포가 일어나고 있다. 또한 선단이 부딪히는 근처의 섬유방향은 MFD 방향에 대하여 수직인 방향으로 배열되어 있음을 알 수 있다. 또 선단으로부터의 거리에 따라 혼합역(mixing zone)의 수가 변화하고 있음을 알 수 있다.

3-2. 모재 및 용접부의 강도평가

Fig.4는 모재와 용접부의 섬유방향에 따른 인장 하중과 연신 사이의 관계 그래프이다. 모재는 섬유방향에 따라 탄성계수의 큰 차이를 보이나 용접부는 섬유방향에 따라 인장강도의 차이는 크지만 탄성계수의 변화는 거의 일어나지 않고 있다. 이것은 용접부에서 폴리머 matrix 보다는 섬유방향에 더 크게 영향을 받는 것으로 볼 수 있다.

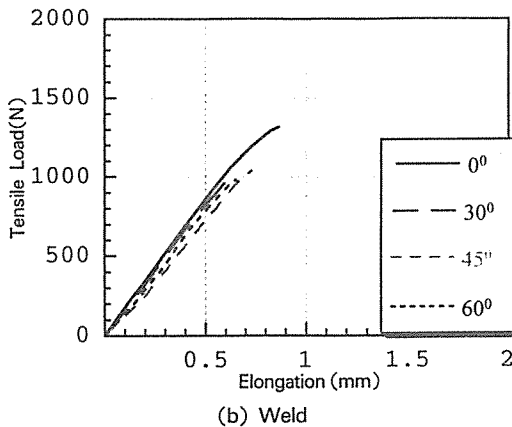
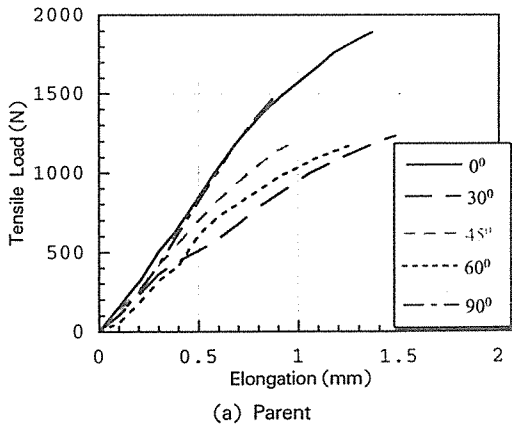


Fig. 4. Tensile load-elongation curves

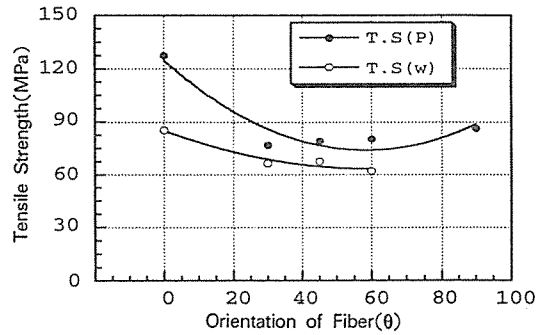


Fig. 5. Relationship between tensile strength and fiber orientation

Fig.5는 인장강도(tensile strength)와 섬유방향 사이의 관계를 보이고 있다. 모재의 인장강도는 용접재에 비하여 25~30% 정도 더 우수하였다. 모재와 용접부의 인장강도는 인장방향과 이루는 각이 0°일때 최대가 되어 각도의 증가에 따라 감소를 보였고 30°에서 부터는 완만한 감소현상이 나타났다.

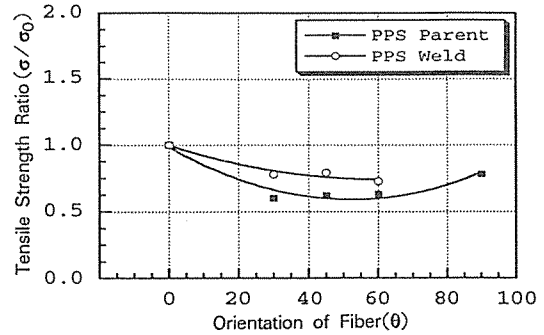


Fig. 6. Relationship between tensile strength ratio and fiber orientation

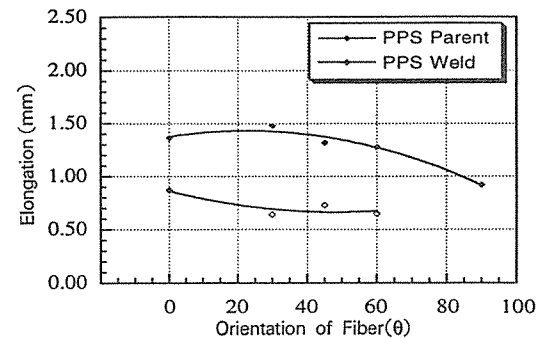


Fig. 7. Relationship between elongation and fiber orientation

Fig. 6은 인장강도비와 섬유방향 사이의 관계를 나타낸다. 이 결과에서 인장강도에 영향을 미치는 인자는 섬유방향과 matrix임을 알 수 있다. 또한 30° 이상에서는 감소 현상이 둔화되어 matrix의 영향이 더 크게 작용함을 알 수 있다. Fig. 7은 섬유방향에 따른 연신율을 보여준다. 모재는 용접재에 비하여 약 2배 가량 더 늘어났고 섬유방향의 증가에 따라 연신율은 감소하였다. 이는 인장하중에 따라 matrix와 fiber의 분포형태 영향으로 간주된다.

Fig. 8은 섬유방향과 인장탄성계수(tensile elastic modulus)와의 관계를 보인다. 모재의 탄성계수는 섬유방향의 증가에 따라 감소를 보이다가 90°에서는 다시 증가를 나타내었다. 이에 반하여, 용접재의 탄성계수는 섬유방향에 따라서는 완만한 감소를 나타내었다. 모재에서 matrix와 fiber의 파괴형태는 하중방향과 fiber의 방향에 크게 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

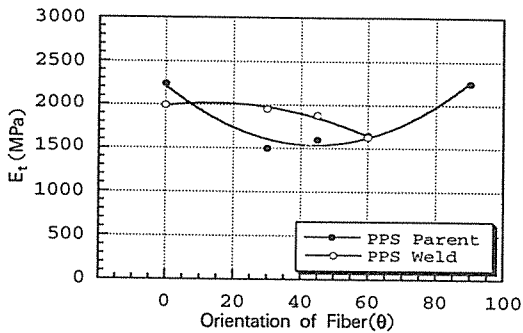


Fig. 8. Relationship between tensile elastic modulus and fiber orientation

Fig. 9는 굽힘강도와 섬유방향에 대한 관계를 보이고 있다. 모재가 섬유방향의 증가에 따라 굽힘강도가 급격히 감소하는데에 반하여 용접재는 섬유방향의 영향을 받지 않고 있다. 이는 용접부의 굽힘강도에 영향을 미치는 인자는 matrix 보다는 섬유가 지배적이라는 것을 보여주고 있다. Fig. 10은 섬유방향과 굽힘강도비율을 나타낸다. 이러한 굽힘강도 비율은 용접재에서는 섬유방향에 별 영향을 받지 않으나 모재에서는 섬유방향의 증가에 따라서 감소함을 알 수 있다. Fig. 11은 하중 작용점에서의 처짐량과 섬유방향과의 관계를 나타낸다. 모재의 deflection은 섬유방향의 증가에 따라서 근소한 감

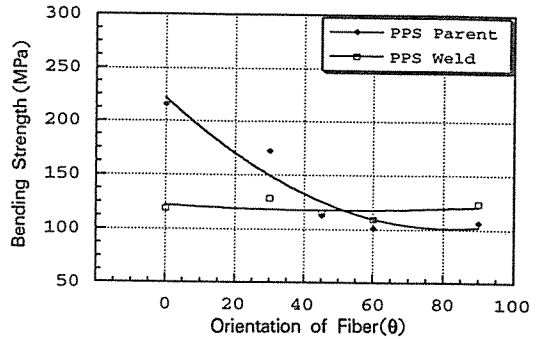


Fig. 9. Relationship between bending strength and fiber orientation

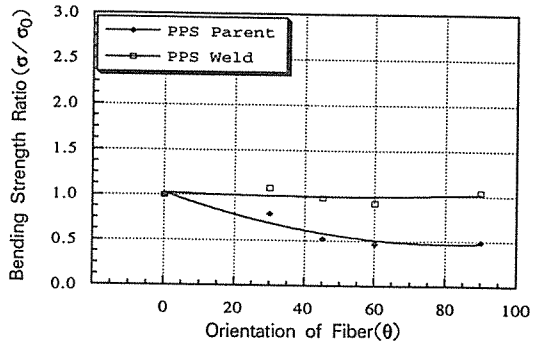


Fig. 10. Relationship between bending strength ratio and fiber orientation

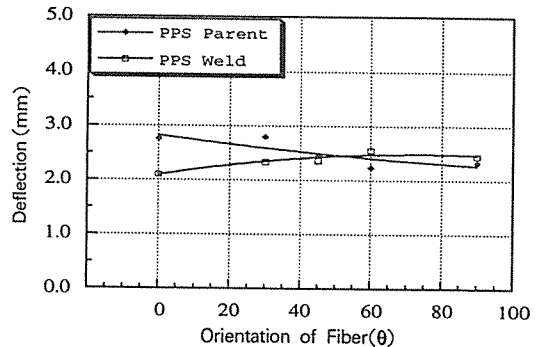


Fig. 11. Relationship between deflection and fiber orientation

소를 보였고, 용접재는 이와 반대의 경향을 보였다. Fig. 12는 굽힘탄성계수와 섬유방향의 관계를 보이고 있다. PPS 모재와 용접재의 탄성계수가 서로 거의 유사한 거동을 보이고 있다. 이는 섬유방향에 90°에 근접할수록 debonding 현상이 지배적으로 발생하는데에 기인하는 것 같다.

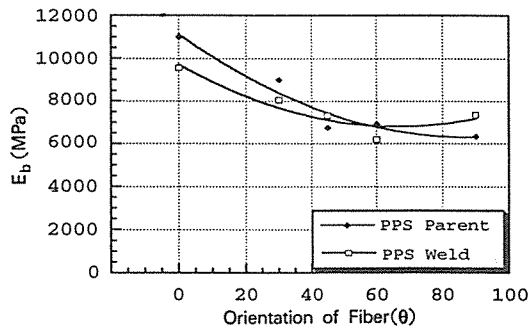


Fig. 12. Relationship between bending elastic modulus and fiber orientation

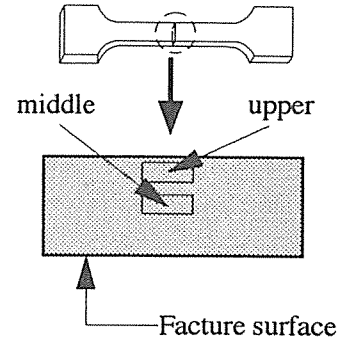
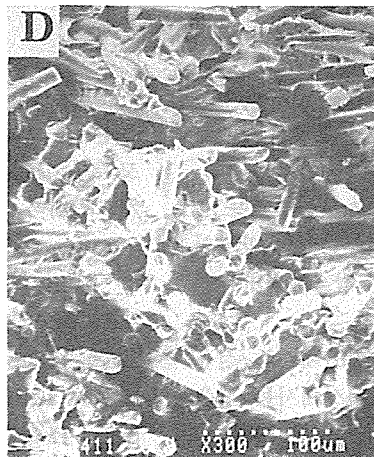
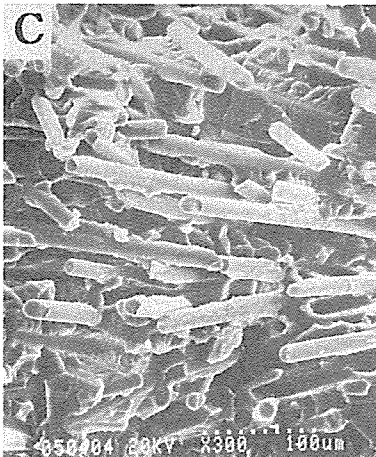
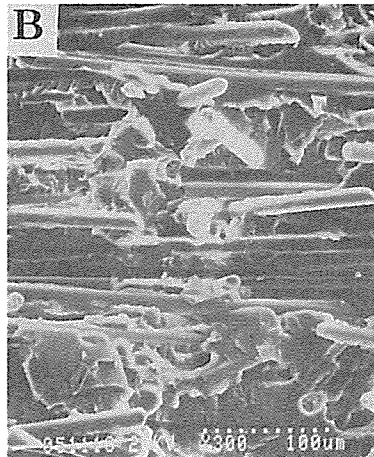
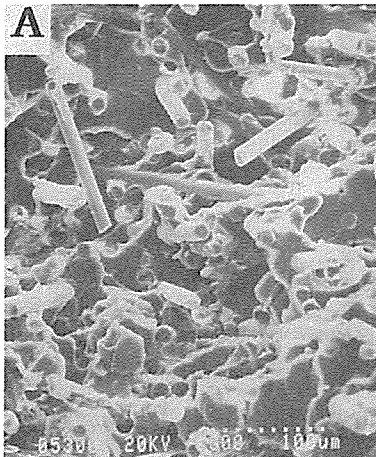
3-3. 파면 관찰

Fig. 13, 14는 인장시험 후의 모재와 용접제에서의

파면을 SEM에 의하여 촬영한 파면 사진이다. 각각 섬유방향이 0°와 45°인 경우에 있어서 파면의 윗부분과 중앙 부분을 나타내고 있다. Fig. 13 A, C는 섬유방향이 0°인 파면으로 pull-out된 fiber와 matrix의 단면을 볼 수 있고, B, D의 45° 파면은 혼합형태의 파면을 보여주고 있다. 특히 Fig. 14의 섬유방향이 0°인 파면사진에서 섬유가 인장방향에 수직됨으로서 debonding 현상에 의하여 강도가 저하될 수 있음을 보여주고 있다.

5. 결 론

방향성을 갖는 단유리섬유를 40% 포함하는 PPS의 사출성형 모재와 용접제를 SEM에 의한 파단면



- A = 0° (upper)
- B = 45° (upper)
- C = 0° (middle)
- D = 45° (middle)

Fig. 13. SEM fractograph after tensile(parent) fracture(fiber orientation : 0°, 45°)

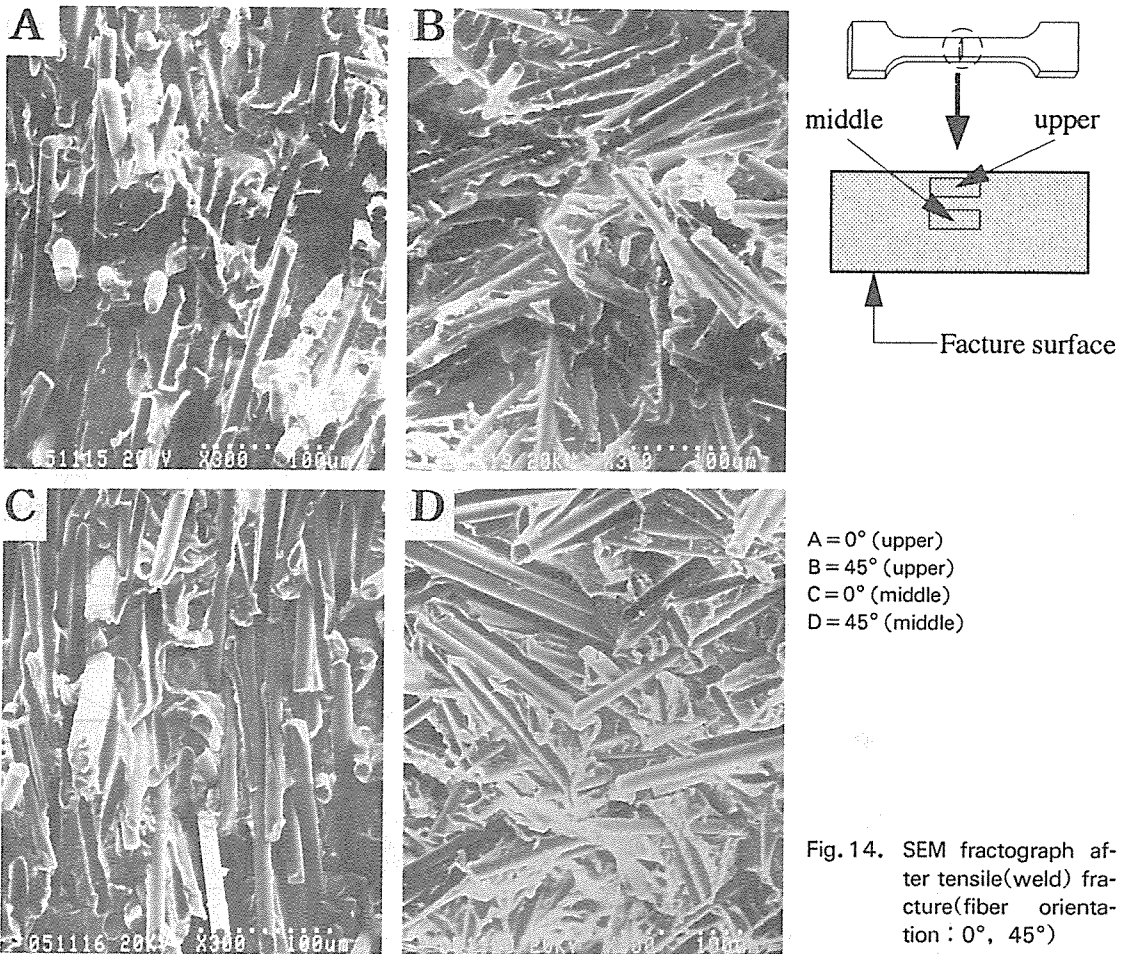


Fig. 14. SEM fractograph after tensile(weld) fracture(fiber orientation : 0°, 45°)

관찰과 섬유방향의 변화에 의한 강도평가 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) PPS 용접부의 섬유방향은 mold 위치와 크기에 좌우된다. 특히, 두 개의 유동이 만나는 사출 용접부(injection weld)는 flower-like pattern이나 volcano-like pattern 같은 형태로 섬유방향의 배열이 나타난다.

(2) PPS 모재에 있어서의 인장 및 굽힘강도는 용접선과 인장방향, 혹은 MFD와 이루는 섬유방향의 각도가 증가함에 따라 전반적으로 감소했지만 45° 이상에서는 둔화현상이 관측되었다.

(3) 인장강도는 섬유방향이 0°~30°에서는 섬유방향에 의해 영향을 받으나 30° 이상에서는 섬유방향의 영향 보다는 matrix의 영향이 더 크게 작

용함을 알 수 있으며, 용접부에서의 굽힘강도는 섬유방향 보다는 matrix에 더욱 크게 영향을 받고 있다.

후 기

본 연구는 1995년도 한국학술진흥재단의 자유공모과제(01E0235)에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 高分子學會編, 新片反高分子辭典, 朝倉書店, 1988, p.44.
2. Malgurnera, S.C., and Manisali, A., Polymer Eng. and Science, Vol.21, No.10, 1981,

p586.

3. Hubbauer, P., *Plast. Eng.*, 1973, p37.
4. Bell, G.R., Cook, D.C, and Rogers, D. D., *Plastic. Eng.* No.35, 1979, p18.
5. Hull. D., *An Introduction to Composite Material*, Cambridge Univ., 1981, p125.

6. Hagerman, E., *Plast. Eng.*, 1973, p67.
7. ASTM(E855-90)
8. Bell, G.R., Cook, D.C. and Rogers, D. D., *Microtoming; An Emerging Tool for Analysing Polymer Structures*, *Plastic. Eng.*, No.35, 1979, p18.

