

음향방출법에 의한 폴리마 복합재료 용접부의 파괴인성 평가에 관한 연구

* 송준희 임재규 정세희
(전북대학원) (전북대학교)

1. 서 론

근래에 전기·전자, 기계, 의료, 항공우주분야에서 폴리마 복합재료의 사용은 크게 요구되어지고 있다. 종래의 에폭시 수지를 基地材料로 한 장섬유복합재료는 比強度, 比彈性率에 있어서 우수하여 구조물의 적용에 중점을 두었으나 耐衝擊性, 耐熱性, 靱性의 강화에는 상당한 어려움을 지니고 있었다[1-2]. 이러한 단점들을 보완한 재료가 熱可塑性 복합재료로 국내외에서 지대한 관심속에서 개발이 촉진되고 있는 실정이다. 따라서 복합재료의 신뢰성과 파괴역학적 건전성을 확보하기 위해서는 이에 대한 응력평가가 중요한 문제로 대두되고 있다.[3] 단섬유강화 플라스틱(Short fiber reinforced plastics)의 열가소성 복합재는 사출성형에 의해 여러 분야에 적용되는데, Mold내 여러 사출 게이트가 만나서 생성되는 flow line의 용접부에서 강도 저하가 형성된다[4-6]. 이 용접부의 파괴역학적 특성을 향상시키는데는 응력상태, 섬유방향분포, 파면해석 등이 평가되어야 한다[7]. 그러나 얇은 두께의 시험편에 있어서 파괴인성에 대한 연구가 정립이 되지 않은 실정이며 진행된 것도 희박한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 비파괴 평가법인 Acoustic Emission(AE) 법을 사용하여 AE 특성과 파괴인성에 관련된 인자들을 각각의 시험편에 대해 상호 비교분석함으로써 보다 정량적인 해석을 제시하고자 한다[8-12].

2. 실험

2.1 시험편

본 시험에 제공될 폴리마 복합재료로는 단유리섬유가 30% 함유된 PC와 단유리섬유가 40% 함유된 PPS로써 사출성형 장치에 의해 3mm×70mm×270mm인 판재의 모재와 용접재를 제작하고 ICT, 0.8CT, 0.6CT, 0.4CT의 4종류로 CT시험편을 각각 가공한다. 각 시험편에 대한 기계적인 특성은 Table 1에 표시되어 있다.

2.2 실험장치 및 방법

실험에 사용한 장비는 Instron사의 10톤 만능시험기와 PAC사의 LACAN AT AE Analyzer를 사용하였다. 시험편 측면에 clip gage를 부착하여 X-Y Recorder를 통해 COD를 기록하였다. AE 센서의 부착은 시험편 상부면에 high vacuum grease를 바른 후 clamping을 사용하여 일정압력을 가하였다. 실험장치 및 AE 분석은 그림1에 보여진 system 경로를 통하여 해석되어졌다. AE 검출에 사용된 sensor는 150 kHz의 공진주파

수와 50~1000kHz의 광대역주파수 범위를 감지하는 압전형변환기를 사용하였으며 총이득(gain)은 75dB, Threshold는 65dB로 설정하였다. Sensor에서 발생된 탄성파(Elastic wave)가 BNC code를 통해 AE channel로 연결되어 AT parameter로 Hits, Counts, Energy, Amplitude, Duration 등을 채택하였다. 만능시험기의 하중속도는 0.2 mm/min, 기록계 Chart speed는 2 cm/min이며 COD를 기록하는 X-Y Recorder의 Chart speed는 1 cm/min로 하였다. 전자현미경(SEM)을 이용하여 파단면의 형태를 미시적으로 관찰하고 모재 및 용접부에서 유리섬유와 Matrix의 파괴기구를 해석한다.

3. 실험결과 및 분석

동일조건하에서 PC, PPS의 각 CT 시편 크기별로 재료특성들을 산출하였다. 외부의 잡음에 대한 영향을 최소화하기 위해 안정된 환경을 조성하고 초기하중을 10Kgf로 가하고 난후에 AE 신호를 수용하였다. 본 AE실험에서 얻은 누적 counts의 경향을 조사하여 AE-COD 선도에서 기울기가 급변하는 점선의 교점을 찾아 하중값을 환산하였다. 누적 counts의 점선기울기가 급변한다는 것은 복합재료에서 있어서 초기크랙 형태인 모재의 균열, matrix와 섬유의 debonding, 섬유파단까지의 크랙진전 거동에서 섬유파단의 높은 AE 방출로 인한 영향이므로 이때에 해당되는 부분이다. 그림 2는 각종 시편들중 1CT에 해당하는 것을 나타낸 AE Counts-COD 선도이다. 그림에서와 같이 PC시편편은 PPS의 재료에 비해 낮은 수준의 AE가 방출됨을 알 수 있었다. 그림3은 CT 실험에서 얻은 하중-COD 변위이다. AE에서 얻은 data와 하중을 연관시켜 산출해보면 평균적으로 모재부에 비해 용접부의 $P_{Q(AE)}$ 값이 10 Kgf정도 낮음을 보였다. 종래의 ASTM에서 계산하던 2% offset line의 하중 P_Q 값과 비교해 볼 때 AE로 찾은 하중 $P_{Q(AE)}$ 값이 0~5 Kgf정도로 낮게 측정되었다. 두께가 8mm인 동일한 시편에 있어서는 그 차이가 10 Kgf 정도이었다. 그림 4는 각 시험편의 파괴인성치 $K_{Ic(AE)}$ 값들이다. 그림에서 나타난 바와 같이 PPS의 모재부의 파괴인성치가 가장 높은 경향을 보이며 PC 모재부, 두께 8mm의 PPS 모재부, PPS 용접부, PC 용접부의 순서로 갈수록 작아진다. 크랙방향과 섬유사출 방향이 동일한 PPS P-5는 모재부와 용접부 사이에서 인성치가 보인다. 노치 선단에서 10mm에 용접부가 횡단한 PC-WT는 파괴인성 크랙길이가 4.8mm에서 결정되었기 때문에 용접부의 영향을 받지 않아서 PC 모재부와 거의 같은 값을 보였으며 CT시험상의 하중값은 용접부의 횡단으로 인하여 크랙진전이 이지점에서 약간 지연됨을 보였다. 그림 5는 각각 PC와 PPS의 모재와 용접부에서 P_Q 지점의 파면을 SEM으로 찍은 사진이다. 그림에서와 같이 모재부에서는 섬유의 pull-out과 단섬유의 파단으로 인한 영향이 크게 작용함을 알 수가 있으며, 용접부에서는 섬유와 matrix간의 debonding으로 인한 파괴를 관찰할 수 있었다. 용접부에서의 섬유단의 파면은 섬유방향과 경사형태이며, 모재부에서는 섬유방향과 직각형태가 많음을 보인다. 또한 PC와 PPS의 모재부를 비교해 보면, PC에서는 섬유와 기지간의 공유결합면의 간격이 크고 PPS에서는 미소함으로 보아 PC보다는 PPS의 접촉강도가 높음을 알 수 있다. 그러므로 AE에서 분석한 P_Q 값이 PC보다는 PPS가 크다는 것이 증거될 수 있다. 그림 6(A)는 두께가 8mm인 시편의 파괴면 SEM 사진으로 사출성형시 기공이 나타나 있으며 그림5의 모재부와 비슷하다. 그림 6(B)는 PC재의 prenotch된 선단에서 10mm의 지점의 용접부가 횡단된 시편의 단면을 나타낸 것이다.

4. 결 론

1. AE실험에서 PC 보다는 PPS가 AE 누적카운트가 많이 발생됨을 알았다.
2. 파괴인성치는 PPS가 PC보다 높게 나타났으며, 용접부보다는 모재가 약 10정도 높음을 알았다. 또한 두께가 두꺼워지더라도 오히려 파괴인성치는 작아짐을 알 수 있는데 이는 사출성형시 두꺼운 부재일수록 기공이 생성되기 때문이다.
3. 미소파면의 SEM관찰로 용접부에서는 섬유와 기지간의 debonding영향으로 파괴되며, 모재부에서는 섬유의 파단으로 크랙이 성장하였다.
4. 용접부의 인성을 높이기 위해서는 섬유와 기지의 접착강도를 높이거나 섬유의 배열이 크랙방향과 되도록 일치하지 않도록 제작해야 한다.

参 考 文 献

1. 般橋 池上, 일본기계학회논문집(A) 52-481 (1986) P2117
2. Hull, D., An Introduction to Composite Material, Cambridge Univ Press. (1981) P125
3. 박영기, "고분자 파괴역학의 기본개념" LUCKY Polymer Technology, No5, Jun. 1988.
4. Grafton, P., Handbook of Plastics and Elastomers, McGraw-Hill, New York, (1975) P124
5. Tomari, K., Tonogai, S. and Harada, T., Polymer Eng. and Science, Vol 30, No15 (1990) P931
6. Tadmore, Z., and Gogas, C.G., Principles of Polymer Processing, John Wiley, New York, (1979) P603
7. Kamal, M.R., and Singh, P., ANTEC'89 (1989) P240
8. 이강용, 백충현, "유형 방출법에 의한 파괴인성치 측정 및 파괴안정성 평가를 위한 연구" 대한기계학회논문집, 제13권 제 1호 pp 96-104, 1989.
9. 鈴木 恵 外 6, "AE法 による CFRP의 破壊機構に關する研究" 일본기계학회논문집 53권 492호, pp 1459-1466
10. Virendra Kumar and C.F. Shih, "Fully Plastic Crack Solutions, Estimation Scheme, and Stability Analysis for the Compact Specimen" ASTM STP 700, PP.406-438.
11. P.C. Paris, H. Teda, A. Zahoor, and H. Ernst, "The Theory of Instability of the Tearing Mode of Elastic-Plastic Crack Growth" ASTM STP 668, pp 5-36.
12. 송삼홍, 고성위, "평면응력 파괴인성치 거동에 관한 연구" 대한기계학회논문집 제10권 제 6호, pp 937-946 1986.

Table 1 Mechanical properties of PC and PPS

Properties	PC		PPS	
	Parent	Weld	Parent	Weld
Ultimate Strength (MPa)	116	62	144	63
Yielding Strength (MPa)	116	62	132	63
Elongation (%)	5.7	2.3	3.8	1.9
Tensile Modulus (MPa)	3178	2800	7058	3020
Hardness (HRB)	73	86	85	94

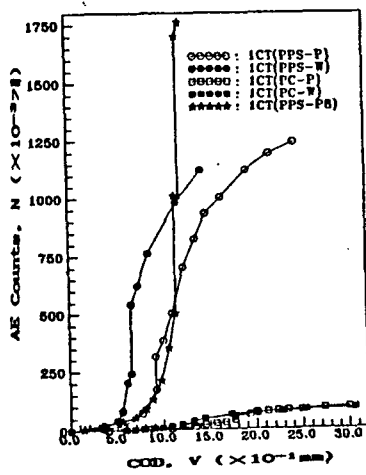
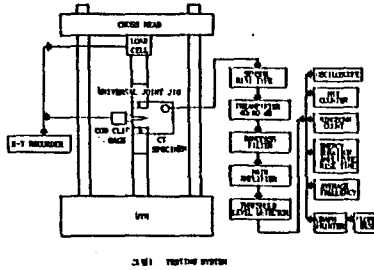


그림 2 AE 수의 Counts와 COD 선도

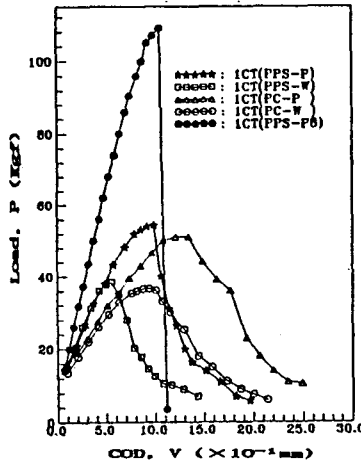


그림 3 하중과 COD 변위 선도

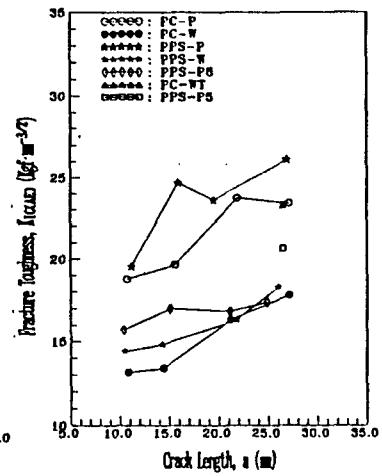


그림 4 크랙길이에 대한 KIC(a) 분포

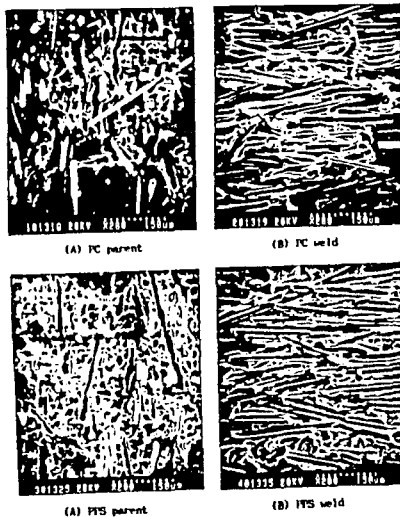


그림 5 PC, PPS의 모서리 용접부의 SEM 사진 비교

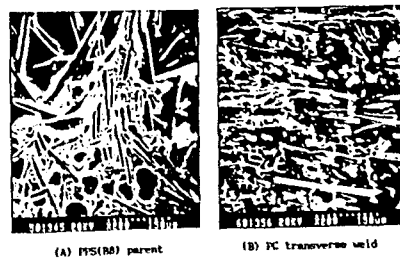


그림 6 PPS(B8)과 PC(weld-4)의 SEM 사진