

직조유리섬유강화 PET수지 복합체의 인장특성에 관한 연구

김홍건*, 최창용†

(논문접수일 2002. 11. 5, 심사완료일 2002. 11. 28)

A Study on the Tensile Strength of Glass Woven Fiber Reinforced PET Composites

Hong Gun Kim*, Chang Yong Choi†

Abstract

Tensile strength of the woven glass fiber reinforced PET (Poly-Ethylene-Terephthalate) matrix composite manufactured by rapid press consolidation technique was investigated and evaluated. During pre-heating, consolidation and solidification stages, the optimal manufacturing conditions for this composite were discussed based on the void content and tensile properties depending on vacuum condition. It is found that the effect of vacuum condition during preheating gives a substantial difference on the strength as well as microstructure. It is also found that the failure micromechanism shows several energy absorption processes enhancing fracture toughness.

Key Words : Tensile Strength, Glass Woven Fiber, Matrix, Composite, PET, RPCT(고속압밀법)

1. 서론

복합재료는 비강도, 비강성, 내부식성, 저중량의 측면에서 금속재료보다 우수한 특성을 나타내며 보강재료의 방향을 임의로 조정하여 재료의 이방성을 변화시킬 수 있는 것 등 여러 가지 장점들 때문에 실제 구조물에 사용되는 빈도는 점차 증가하고 있다⁽¹⁻²⁾.

이러한 복합재료의 적용에 있어서 가장 큰 문제점은 재료가 하중을 받을 때 보강재료와 기지재료간의 손상으로

강성 및 수명의 감소를 일으키는 복잡하고 불규칙한 파괴 현상을 일으키는 것이다. 이러한 문제점을 알아보기 위해 최근 구조물의 손상 및 파손을 평가하는 공학적 수법으로 음향방출법(AE, Acoustic Emission)의 연구가 활발히 이루어지고 있다⁽³⁻⁷⁾. 또 파괴된 단면을 정밀하게 분석함으로써 파괴 메커니즘을 관찰할 수 있으며 이 재료에 관한 실용성 여부를 판단하는데 주요한 요소를 제공한다.

이 논문에서 연구한 재료는 고속압밀법(RPCT, Rapid Press Consolidation Technique)⁽⁸⁻⁹⁾을 통해 제작된 열가소

* 주저자, 전주대학교 공학부 기계공학전공 (hkim@jeonju.ac.kr)
주소: 560-759 전북 전주시 완산구 효자동3가 1200
† 전주대학교 공학부 기계공학전공

성수지를 기지재료로 하는 유리섬유강화 복합재료인 Plain Woven Fabric 형태의 복합재료이다. 이 구조는 일반복합재료 구조와 다르게 유리섬유가 엮여있는(Woven) 구조에 PET 필름을 씌워서 진공상태에서 고온, 고압으로 압축한 PET 필름이 Woven Fabric 형태의 유리섬유에 배어있는 형태이다.

이 논문에서는 이러한 복합재료 제작시 예열공정에서 진공효과가 Void 생성에 미치는 영향 및 인장 특성에 관하여 연구하였다. 이와 같은 시험결과 이 방법에 의해 제작된 복합재료는 Engineering Plastics 재료로서의 충분한 강도를 가지는 결과를 얻게 되었으며 미세구조 조직의 관찰을 통해 진공공정으로 제작된 재료가 더 적은 Void 수를 보일뿐만 아니라 강도에도 큰 영향을 미침을 알 수 있었다.

2. 시편 제작

열가소성 복합재료의 제작에 있어서 예열상태, 압력 및 냉각속도에 따라 성질이 변하게 된다. 즉, 동일한 조건으로 제작된 시편이라 할지라도 제작조건을 변화시키기에 따라 기계적 물성도 달라지게 된다. 이 연구에서는 시편을 고속압밀법에 의하여 Fig. 1과 같은 경로에 의해 제작하였다. 이러한 복합재료 제작공정에 중에서도 기계적 물성변화에 민감하게 영향을 주는 예열장치 금형온도와 프레스 금형온도를 변화시켜 가며 제작하였으며 예열 금형온도가 290℃, 프레스 금형온도가 140℃일 때 파괴인성이 가장 큰 값을 나타내었으므로 이 조건을 택하여 제작하였다.

이와 같은 과정으로 제작된 재료를 Fig. 2와 같은 시편가공기를 이용하여 Fig. 3와 같은 KSB 0801에 의한 인장시험편 (250mm(L)×25mm(B)×1.7mm (T))을 제작하였으며 또 이를 응용한 일자형 시편(Fig. 4 참조)을 제작하여 그 결과를 비교해 보았다.

Processes for RPCT

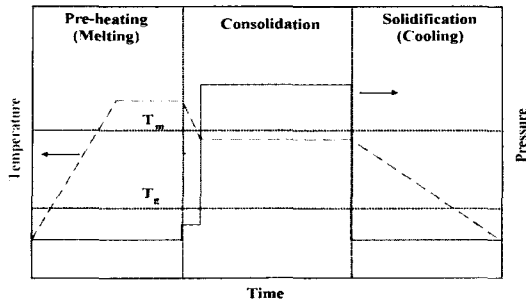


Fig. 1 Typical Process for RPCT

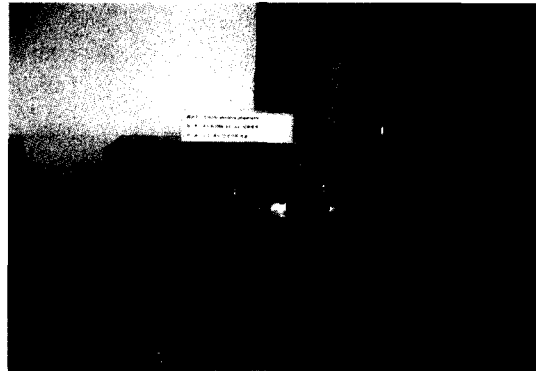


Fig. 2 Photograph of specimen manufacturing machine

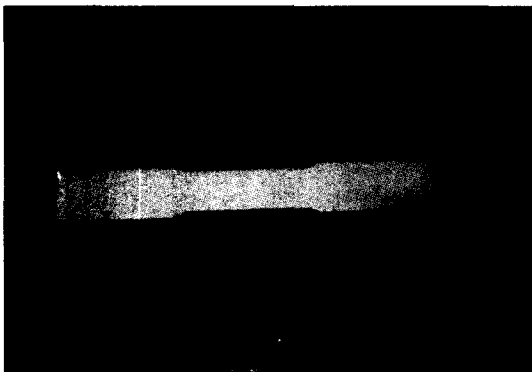


Fig. 3 Test specimen using specimen manufacturing machine

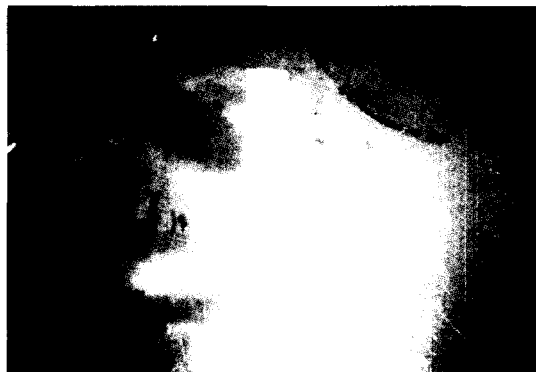


Fig. 4 Uniform test specimen modified by KSB 0801

3. 실험장치 및 실험방법

재료시험에 사용된 만능재료시험기는 Fig. 5와 같으며 제작회사는 JT Tohsi Inc., 형식능력은 2MN/6단을 사용하였으며 이 만능시험기를 이용하여 인장시험을 수행하였다. 이때 하중범위(Load Range)를 4000N으로 설정하였으며 하중 속도(Load Speed)를 0.2mm/min으로 설정하여 복합재료의 인장시험을 실시하였다.

한편 미세조직을 관찰하기 위해 필요한 Image Analysis System은 제작회사 Buehler(U.S.A)의 OMNIMET II Model로서 Max Maginification 1500X24 Parameter analysis의 규격을 가지는 상분석기(Fig. 6 참조)를 사용하였다. 이 기기를 이용하여 인장시험후 복합재료 시편의 파단면 조직을 관찰하였다.



Fig. 5 Universal testing machine used in this paper

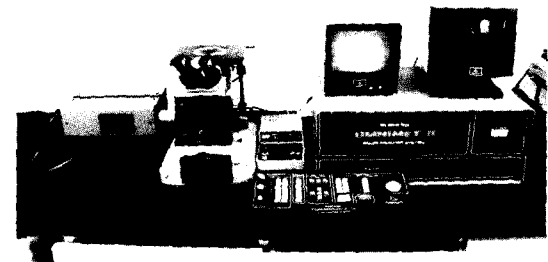
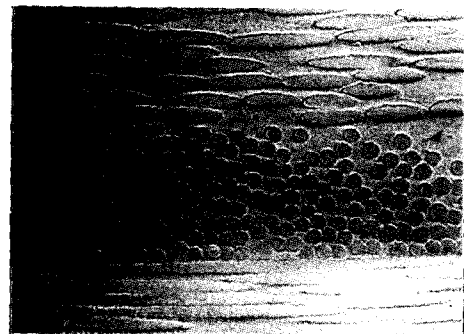


Fig. 6 Image Analysis System(Buehler, Omnimet II)



Scale : X 200

Fig. 7 Microstructure of the specimen without vacuum process during preheating (Void formation : 1.9%)



X 200

Fig. 8 Microstructure of the specimen with vacuum process during preheating (Void formation : 0.3%)

4. 실험 결과 및 고찰

4.1 예열시의 진공효과

예열시의 진공처리가 Void 생성에 미치는 영향을 조사하기 위해 진공처리가 안된 상태의 시편 및 진공처리 된 시편을 각각 제작하여 미세구조를 관찰해 본 결과 Fig. 7 및 Fig. 8에서 각각 보이는 바와 같이 PET film 및 Fiber, 그리고 Glass woven fabric 및 Fiber의 형태를 관찰할 수 있으며 이 때 Fiber의 체적함유율 Vf는 40%이고 총두께는 1.7mm이다. 이 그림에서 볼 수 있듯이 Void 형성에 큰 차이가 있음을 알 수 있었다. 즉, 진공처리가 안된 상태의 시편은 1.9%의 Void가 형성되어 있는 반면, 진공처리 된 시편은 0.3%의 Void가 형성되어 있는 것이 관찰되었다. 이 차이는 강도에도 큰 영향을 미칠 것으로 예측되며 예열시의 진공처리공정이 매우 중요한 것임을 시사해 준다. 이 그림에 의해

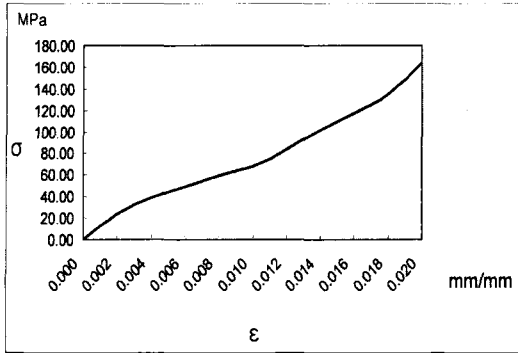


Fig. 9 Stress-strain curve of dumbbell type specimen in the rapid consolidated thermoplastic composites

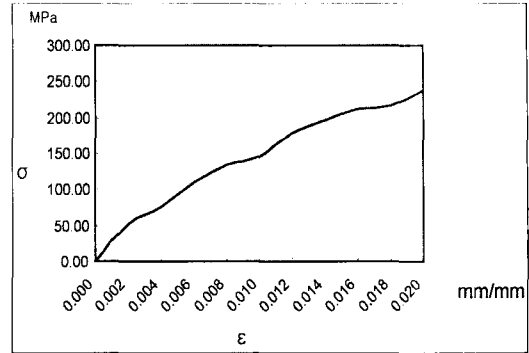


Fig. 10 Stress-strain curve of uniform specimen in the rapid consolidated thermoplastic composites

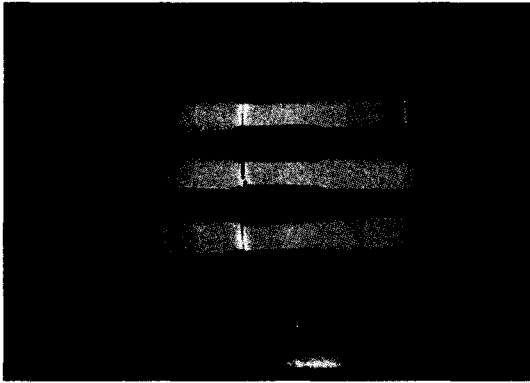
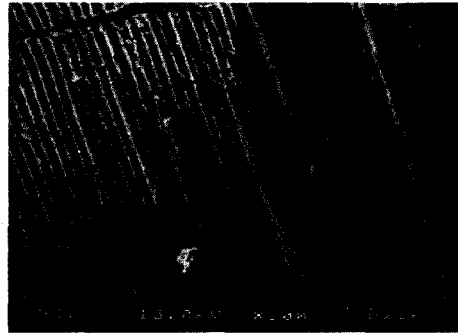


Fig. 11 Dumbbell type specimen after fracture



Left : X 300, Right : X 1500

Fig. 12 Microstructure of the specimen in the rapid consolidated thermoplastic composites after fracture

서 또한 Plain woven fiber fabric 상태가 진공처리에 의해 매우 조밀하게 정렬됨을 알 수 있었으며 진공처리가 안된 경우 부분적으로 파손된 Fiber도 관찰되었다.

4.2 시편가공시의 노치(Notch) 효과

위의 Fig. 2에서 보여진 시편제작기에 의해 제작된 Dumbell 형 시편(Fig. 3 참조)으로 시험해 본 결과 응력-변형률선도가 Fig. 9와 같이 나타났다. 이는 물론 예열시 진공처리된 상태의 시편이며, 이며 Fig. 9에서 보이는 바와 같이 최대응력이 165MPa 정도에 그치는 것을 알 수 있었다. 이 결과는 기대치에 크게 못 미치는 원인은 시편가공시 Woven Glass Fiber에 미세Notch 및 Crack을 함유함으로써 인하여 Fig. 10에서와 같이 표점거리 사이가 아닌 가공부위에서 파단됨에 기인한다는 것을 예측할 수 있다.

4.3 시편 재가공후의 인장특성

위의 문제를 해결하기 위해서 Fig. 4와 같은 Uniform specimen을 제작하여 동일재질에 관해 정밀하게 재시험 해 본 결과 파단위치가 적절한 곳에서 발생했으며 시험결과가 Fig. 11과 같이 매우 다르게 나타나는 것을 알 수 있었다. Fig. 11에서 보이는 바와 같이 최대응력이 238MPa 정도로 나타나는 것을 알 수 있었으며 이 결과는 기대치에 충분히 미치는 값이 된다. 또 이 응력-변형률 선도에서 연신율은 최대 2%정도까지 나타남을 알 수 있다.

Fig. 12는 이 복합재료의 파괴된 단면을 300배 및 1500 배로 확대하여 나타낸 그림이다. 이 파괴단면의 관찰결과 일반적으로 장섬유 보강 복합재료의 파괴단면에서 볼 수 있는 유리섬유들의 뽑히는 현상(Pull-Out)을 관찰할 수 있으며 또 Fiber의 파괴 및 Matrix의 파괴가 동시에 부분적으로 나타남을 알 수 있었다. 이는 파괴인성치를 향상시켜야 하

는 관점에서 볼 때 매우 도움이 되는 파괴 Mode임을 알 수 있었다. 또 이 재료가 공업적으로 사용되는데 대한 인장강도 및 파괴인성치가 큰 문제가 없음이 실증되었다.

5. 결 론

이 연구에서는 고속압밀법을 통해 제작된 유리섬유강화 열가소성수지 복합재료에 대하여 인장특성에 관해 평가하였다. 즉, 고속압밀된 열가소성 수지인 Polyethylene-Terephthalate (PET)를 기지재료로 사용한 Plain Woven Fabric 형태의 유리섬유 618CR 복합재료의 인장거동과 미세조직과의 관계를 규명하기 위해 인장시험을 수행한 후 응력-변형률 선도를 구한 결과 진공처리 효과가 매우 중요한 것으로 나타났다. 진공효과에 의해 Void 발생이 감소됨은 물론 50% 이상의 인장강도가 증가되는 것을 알 수 있었다. 또 이 복합재료의 시편 제작시에는 유리섬유의 직조상태가 손상됐을 시 매우 작은 값으로 떨어지게 되며 Uniform한 시편사용이 바람직함을 알게 되었다. 그리고 파괴단면의 미세조직 관찰 결과 여러 가지의 복합적인 파괴현상을 수반함으로써 파괴인성치가 매우 향상됨을 예측할 수 있게 되었다.

참 고 문 헌

- (1) 김홍건, “불연속 금속복합체에서의 탄성거동에 관한 미세구조역학적 해석”, 한국공작기계학회논문집, Vol. 6, No. 3, pp. 58~64, 1997.
- (2) 김홍건, “단섬유 보강 복합재료에서의 열탄성 거동에 관한 해석”, 한국공작기계학회논문집, Vol. 6, No. 3, pp. 89~95, 1997.
- (3) Hill, R., Brooks, R. and Kalodes., “Transverse Cracking of Fiber Bundle Composites Studied by Acoustic Emission and Weibull Statistics - Effects of Postcuring and Surface Treatment”, Journal of Materials Science, Vol. 34, pp. 5215~5226, 1999.
- (4) Ni, Q. and Jinen, E., “Fracture Behavior and Acoustic Emission in Bending Tests on Single-Fiber Composites”, Engineering Fracture Mechanics, Vol. 56, No. 6, pp. 779~796, 1997.
- (5) Gorman, M., “Acoustic Emission in 2D Carbon-Carbon Coupons in Tension”, Journal of Composite Materials, Vol. 25, pp. 703~714, 1991.
- (6) Rouby, D., “Acoustic Emission : A Micro-Investigation Technique for Interface Mechanisms in Fibre Composites”, AECM3 proceeding Ed. by ASNT, pp. 313~322, 1989.
- (7) 민현식, 이성환, 안선웅, “AE센서를 이용한 레이저 용융 절단 모니터링”, 한국공작기계학회논문집, Vol. 11, No. 3, pp. 39~44, 2002.
- (8) Andersent, T., “Development of a Rapid Press Consolidation Technique for Continuous Fibre Reinforced Thermoplastic Composites”, Proceedings of 18th Risø International Symposium on Materials Science, pp. 237~244, 1997.
- (9) Shin, I. J., Kim, D. Y. and Lee, D. J., “Crystallinity and Mechanical Properties of Glass Fiber Reinforced Thermoplastic Composites by Rapid Press Consolidation Technique”, Key Engineering Materials, Vols. 183-187, pp. 1171~1176, 2000.