

# RTM 성형 GFRP 차체 설계에 따른 강성연구

## Stiffness Comparison with Design of GFRP Roof Panels Prepared by RTM Method

유 용 문\*, 윤 의 박\*, 윤 여 성\*\*, 이 순 흥\*\*\*  
Y. M. Ryu, E. P. Yoon, Y. S. Yoon, S. H. Lee

### ABSTRACT

In order to investigate the relationship between the stiffness and structure of the automotive roof panels, two kinds of glass fiber reinforced plastic(GFRP) roof panels without and with insert material were fabricated by resin transfer molding(RTM) method. The stiffness test was performed at the same condition as it of actual driving. The structural design and material selection for improving the recyclability of GFRP roof panels were also covered.

주요기술용어 : RTM(수지충전공정), GFRP(유리섬유 강화 플라스틱 복합재료), Roof Panel(지붕판), Stiffness(강성), Recyclibility(재활용성)

### 1. 서 론

현대산업의 분업화, 세분화 추세로 다양한 신소재가 요구됨에 따라 현존하고 있는 소재보다 우수한 고성능 신소재 개발 및 서로 다른 소재를 복합시켜 각각의 소재료가 가지고 있지 않은 새로운 성능의 소재개발 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 경량대체소재의 대표적 재료중 하나인 복합재료는 경량화, 높은 비강도, 높은 비탄성

특성에 의한 경량화 및 재료의 재단성(Tailorability)으로 인한 일체성형가능성으로 전체적 경량화 특성이 뛰어나다. 아울러, 제품성형시 사용되는 금형 또한 열팽창계수의 일치, 제조공법 특성상 복합재료 금형 사용가능성으로 인해 높은 재료비를 충분히 상쇄할 수 있는 잇점을 가지고 있다. 이러한 기계적, 경제적 성질을 강화시킨 대표적인 복합재료는 불포화 폴리에스테르 수지와 에폭시 수지 등과 같은 열경화성 수지에 유리섬유 또는 탄소섬유 등으로 강화시킨 섬유강화 복합재료(FRP)로서 비강도가 금속보다 우수한 성능을 가지고 있어 항공기, 선박, 정밀기기, 전기·전자기기 부품으로 널리 사용되고 있다.

\* 한양대학교 금속공학과 & RASOM

\*\* 충북대학교 화학과

\*\*\* 정희원, 안양대학교 환경공학과

자동차 부품용 복합재료 활용시 예상대수를 고려하여 적절한 성형법 및 금형선택을 하여야 하며 현재 적용분야는 대부분 5만대 이하 고가의 적은 생산대수차량(버스, 지프, RV 등)용 부품 성형에 국한되고 있다. 복합재료 부품 성형법중 RTM(Resin Transfer Molding)방법은 항공기 제작시 사용되어 온 Autoclave 제조방안보다 경제적, 기술적 측면 모두 우월한 기술이며 최종 제품은 SMC 제품에 비해 손색이 없고 낮은 설비투자, 높은 기술성취성으로 상용차량 제품개발에 매우 적합하다.

구체적으로 최근 자동차분야에서의 사용현황은 RTM공법과 관련하여 크라이슬러의 4~5만불대의 스포츠카 "Viper", GM의 전기자동차 "Impact", 일본의 동경 R&D 전기자동차 "IZA", 국내의 R2 지프의 뒷차체부위, 스포티지의 뒷차체부위 및 기아자동차의 "Elan" 등에 실제 적용되고 있다. 그러나 현재 적용되고 있는 부품은 단순한 경량화 효과를 위한 것으로 특수한 강도 및 강성을 요구하는 부품의 개발 및 재활용을 위한 구조설계가 전무한 실정이다.

본 논문에서는 운전자는 차량을 운행하고 조수석에서는 사냥 및 사진촬영을 할 수 있는 특수한 용도의 레저용 차량의 운전석과 조수석 전체를 차지하는 차체 부품(이하에서는 "지붕판"이라 칭함)과 같이 특수한 강도 및 강성을 요구하는 GFRP 차체 부품의 개발을 위하여 설계에 따른 강성테스트를 통한 설계기술을 확립하고, 재활용을 위한 구조설계방안을 제시하였다.

## 2. 본 론

### 2.1 실험방법

#### 2.1.1 사용재료

산업적으로 존재하는 RTM용 수지의 종류는

오르토프탈릭 폴리에스테르(Orthophthalic Polyester), 이소프탈릭 폴리에스테르(Isophthalic Polyester), 비닐에스테르/비스페놀수지(Vinylester/Bisphenol Based Resin), 에폭시(Epoxy), 우레탄(Urethan), 아크릴/폴리에스테르 하이브리드(Acrylic/Polyester Hybrid), 나일론 수지(Nylon Resin) 등이 있으며, 이소프탈릭 폴리에스테르(Iso-phthalic Polyester)는 높은 강도와 중간적인 내화학성을 요하는 부품에 사용되며 비닐에스테르/비스페놀수지(Vinylester/Bisphenol Based Resin)은 높은 내부식성을 요하는 부품에 사용되고 있다. 본 논문에서는 자동차부품의 개발시 원료수지의 가격 경쟁력이 필수적이므로 불포화 폴리에스테르를 선택하였으며, 물성치를 표 1에 나타내었다(Ashland사의 측정값).

기지재료 수지와 함께 강화재는 최종제품의 용도에 따라 선택되어야 한다. 강화재의 성질, 강화재의 형태, 강화재의 재질 및 크기, 곡면형성능력, 수지호흡에 대한 변형가능성, 기지재료와의 결합력에 관련된 원활한 수지함침성 등이 강화재의 선택에 중요한 영향을 미친다.

본 논문에서는 일반적으로 가격경쟁력이 요구되는 자동차부품에 많이 사용되고 있는 연속 유리섬유(Continuous Glass Fiber)를 선택하였으며 선택한 글라스 화이버의 물성치를 표 4.5에 나타내었다(Ashland사의 측정값).

#### 2.1.2 복합재료 차체 제작

복합재료 차체는 소량·다품종 부품에 유리한 RTM 공법으로 제조하였으며 그림 1에 제조된 여

Table 2 Properties of continuous glass fiber

물성 종류	비중 (g/cm <sup>3</sup> )	인장강도 (MPa)	인장탄성율 (GPa)	열팽창계수 (10 <sup>-6</sup> /K)
물성치	2.58	3,450	72.5	5.0

Table 1 Properties of polyester

물성 종류	상온에서의 비중 (g/cm <sup>3</sup> )	바깥경도 (934-1)	열변형온도 (°C)	신율 (%)	굴곡강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	굴곡탄성율 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장강도 (kg/cm <sup>2</sup> )	인장탄성율 (kg/cm <sup>2</sup> )
물성치	1.20	40	60	2.5	1,200	30,000	550	35,000

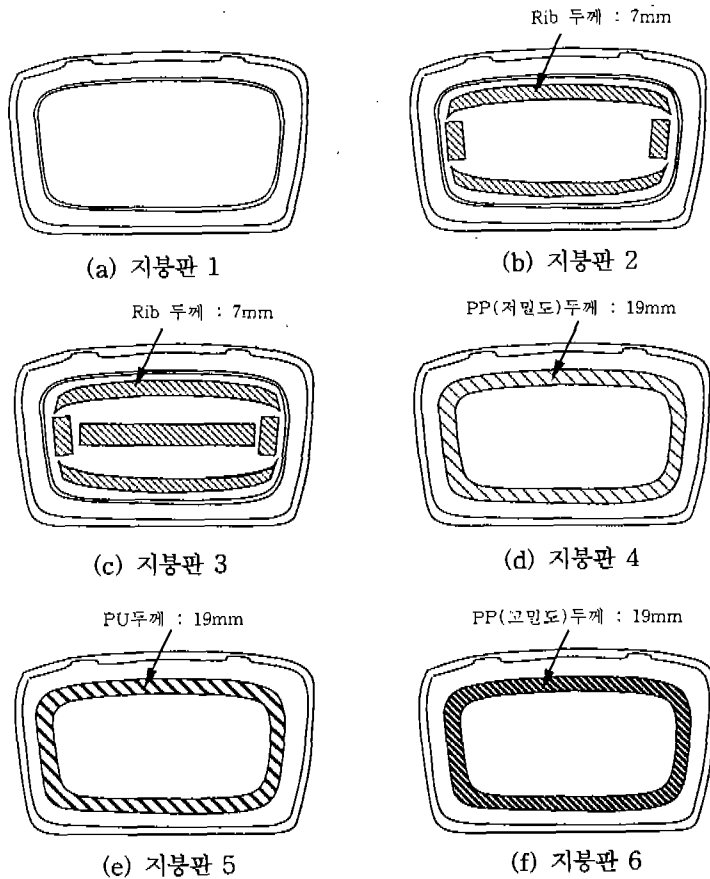
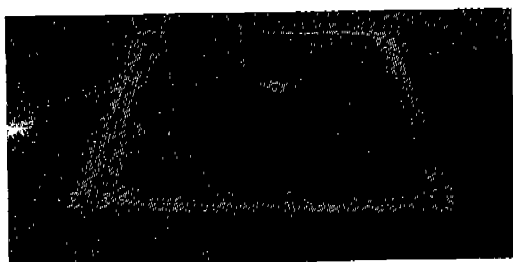
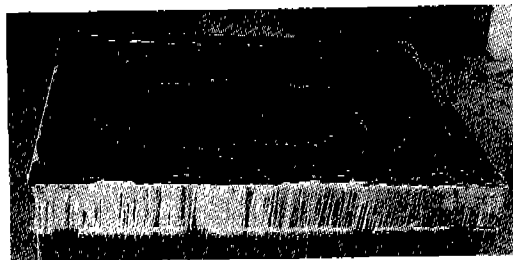


Fig.1 GFRP roof panel with various rib positions and reinforcements



(a) Upper mold

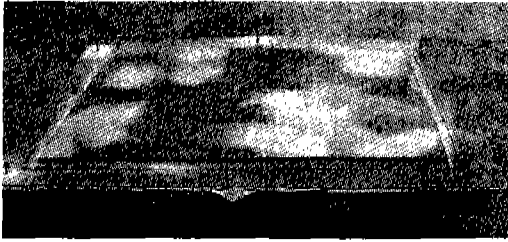


(b) Lower mold

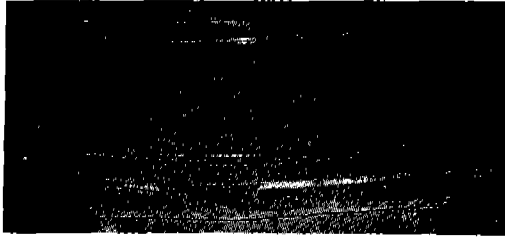
Fig.2 Mold for fabricating GFRP roof panels with various rib positions

러 가지 형태의 복합재료 차체를 나타내었다. 그림 1 (a), (b), (c)는 그림 2 금형으로 제조된 것으로 Rib 형상에 따른 강성시험을 위하여 두께 7mm GFRP 평판을 접착하여 Rib 형상을 변화시켰다. 그림 1 (d), (e), (f)는 보강재 종류에 따른 강성시

험을 위하여 19mm 두께의 보강재료를 삽입하여 그림 3 금형으로 제조하였으며, 보강재로는 비중이  $0.068\text{g/cm}^3$ 인 폴리우레탄(PU),  $0.060\text{g/cm}^3$ 인 고밀도 폴리프로필렌(PP) 및  $0.020\text{g/cm}^3$ 인 저밀도 폴리프로필렌을 각각 선택하였다.



(a) Upper mold



(b) Lower mold

Fig.3 Mold for fabricating GFRP roof panels with various reinforcements

### 2.1.3 강성테스트

본 논문에서의 연구 대상품인 GFRP 지붕판을 적용할 차량은 차량의 전복 등과 같은 돌발적인 사고에 대한 충격은 차량의 스페이스 프레임에서 담당하며, 지붕판은 최소한의 강도를 요구하므로 GFRP 지붕판의 차량 적용에서는 지붕판을 개방하고 주행시 바람에 의한 지붕판 끝부분의 진동 및 소음을 방지할 수 있는 GFRP 지붕판의 충분한 강성이 가장 중요한 제한요소이다. 따라서 본 논문에서는 간이 강성시험을 통하여 지붕판 형상에 따른 강성을 비교하였다. 즉, 그림 4에서 보는 바와 같이 스틸 브라켓(Steel Bracket)으로 차체에 고정되는 지붕판 앞부분과 개폐장치가 부착되는 지붕판 뒤쪽의 중앙부분을 고정시키고, 실제 주행시 바람의 영향을 받는 부분인 지붕판 뒤쪽의 끝부분(그림 4. A 부분)에 지붕판 무게와 같은 중량의 데드 웨이트(Dead Weight)를 주어 데드 웨이트(Dead Weight)에 의한 각 지붕판의 변형량을 측정·비교하였다.

## 2.2 결과 및 고찰

### 2.2.1 설계에 따른 강성테스트

그림 1과 같은 지붕판 형상에 따른 강성테스

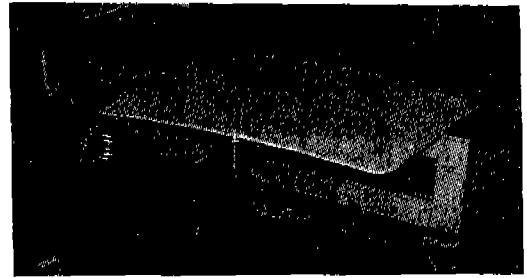


Fig.4 Stiffness test of roof panel

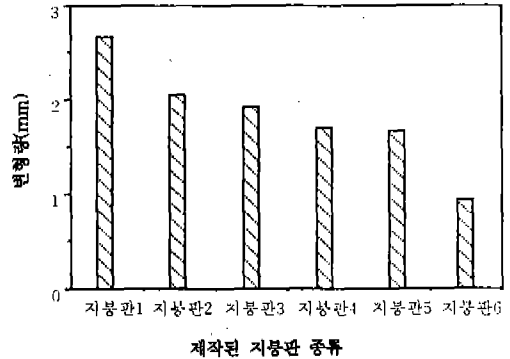


Fig.5 Comparison of Stiffness of various roof panels

트 결과를 나타내는 그림 5에서 보는 바와 같이 비중  $0.060\text{g/cm}^3$  폴리프로필렌을 보강한 지붕판 6이 최소의 변형량을 보여 가장 우수한 강성을 지녔음을 알 수 있었다. 이것은 보강재로 사용한 고분자 발포체가 지니고 있는 구조적 특징에 기인한 것으로 사료된다.

즉, 고분자 발포체의 물성은 발포체 조성 및 기포형태 등에 의하여 영향을 받는다. 발포체 조성에 따라 비중이 클수록 고분자 발포체의 압축강도 및 인장강도 등 기계적 강도가 크다. 이러한 이유로 고밀도 폴리프로필렌을 보강한 지붕판의 강성이 저밀도 폴리프로필렌을 보강한 지붕판보다 큼을 알 수 있다.

거의 동일한 밀도를 갖는 고밀도 폴리프로필렌과 폴리우레탄을 보강한 지붕판의 강성 차이는 발포체의 물성을 좌우하는 또 다른 중요한 요인인 기포의 크기, 모양, 각 기포의 배치 등 기포의 구조에 기인한다. 즉, 기포 크기가 작고 기포수가 많을수록 탄성 및 강도적 성질이 좋아진다. 본 연구에서 사용한 폴리우레탄 및 고밀도 폴리프로

필렌 폼(foam)은 그림 6에서 볼 수 있듯이 폴리우레탄 폼보다 고밀도 폴리프로필렌 폼의 기포 크기가 작고 단위면적당 기포수가 많아 고밀도 폴리프로필렌 폼을 보강한 지붕판이 강도적 물성면에서 더 우수한 성질을 나타냄을 알 수 있었다.

그림 7~그림 9는 지붕판의 보강재료와 FRP 간의 계면을 나타낸 것으로 폴리우레탄 보강 지붕판의 계면은 계면간의 분리가 일어나지 않았으나 폴리프로필렌 보강 지붕판의 계면은 폴리프로필렌과 FRP계면이 분리된 부분이 발생하였다. 폴리우레탄 보강 지붕판의 경우 수작업으로 보강재를 가공하여 두께가 불균일하였으나 열적으로 안정하기 때문에 계면박리현상은 발생하지 않았으나, 폴리프로필렌 보강 지붕판의 계면 박리현상은 폴리프로필렌을 수작업으로 가공하여 계면박리부분의 FRP 두께가 커짐에 따라 계면박리부분

에 기지재료인 폴리에스테르의 유입량이 많아져 다량의 폴리에스테르 경화로 인한 높은 발열량으로 폴리프로필렌이 열수축되어 발생하였으리라 사료된다. 이러한 현상은 계면박리현상을 보이지 않는 부분에서 알 수 있듯이 설계시의 두께 즉, 금형에 의한 제조로 보강재의 정확한 치수가 유지된다면 계면박리현상이 없을 것이다. 따라서 폴리프로필렌 보강재를 보강한 지붕판이 우수한 강성, 경량화 및 GFRP 재활용 측면에서 폴리우레탄을 보강한 지붕판보다 유리하리라 사료된다.

강성테스트, FRP와 보강재료의 계면관찰 및 중량측정 결과(그림 10), 고밀도 폴리프로필렌 보강 지붕판이 가장 우수하였으며, 중량이 5.61kg으로 Steel Bracket 및 기타 부속품을 장착할 경우 총 중량이 6.34kg로서 Steel로 차체를 제작하였을 경우의 예상 중량인 12kg보다 47% 경량화 효과를 얻을 수 있었다.

### 2.2.2 재활용 구조설계

오늘날 경량화 및 기능성 향상을 위한 각종



(a) PP Foam



(b) PU Foam

Fig.6 SEM Photographs of cross-sectional view of PP and PU Foam

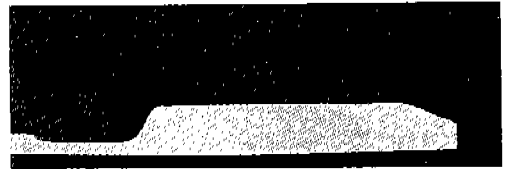


Fig.7 Cross-sectional view of FRP and PU reinforcement

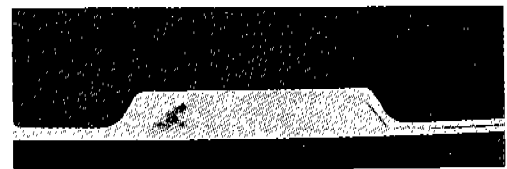


Fig.8 Cross-sectional view of FRP and low density PP reinforcement

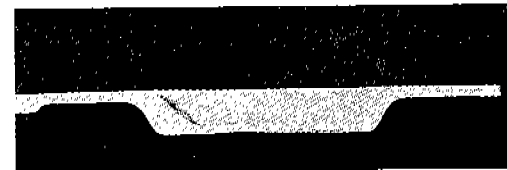


Fig.9 Cross-sectional view of FRP and high density PP reinforcement

섬유강화 플라스틱의 사용증가로 인한 복합재료 폐기물이 증가되어 심각한 환경문제가 되고 있다. 섬유강화 플라스틱 폐기물이 발생하는 분야로는 자동차 부품, 육조, 물탱크, 건축조형물, 선박, 산업용 부품, 스포츠/레저용품, PCB(Printed Circuit Board) 및 항공/우주용 제품 등이 있으며, 현재 대부분 매립에 의존하고 있어 매립지 부족 및 환경규제 강화에 따라 적절한 폐기물 처리 방법의 확립이 필요하다.

본 논문에서는 섬유강화 플라스틱부품의 설계시 재활용이 가능한 재료를 제품 설계시 반영하여 본 고안품의 완전 폐기시 섬유강화 플라스틱 폐기물의 절대량을 감소하고자 하였으며, 그림 11과 같이 섬유강화 플라스틱의 재활용에 의한 제2차 부품(보도블럭 등) 제조시 재활용 재료가 바인더로서 작용하여 폐기물이 발생하지 않도록 하였다.

그림 12와 그림 8는 지붕판의 40% 부피를 재활용이 가능한 폴리프로필렌계 보강재를 적용한 부위 및 단면을 보여주고 있다.

### 3. 결 론

특수한 강도 및 강성을 요구하는 GFRP 차체 부품의 개발을 위하여 설계에 따른 강성테스트를 통한 설계기술을 확립하고, 재활용을 위한 구조설계방안을 제시하고자 수행한 본 논문의 연구결과는 다음과 같다.

- 1) 지붕판의 강성테스트, FRP와 보강재료의 계면관찰 및 증량측정 결과 고밀도 폴리프로필렌 보강 지붕판이 가장 우수하였으며, 자체중량 5.6kg, Steel Bracket 및 기타 부속품을 장착시 6.3kg이므로 Steel 제품의 예상 중량 12kg대비 약 47%의 경량화 효과를 얻었다.

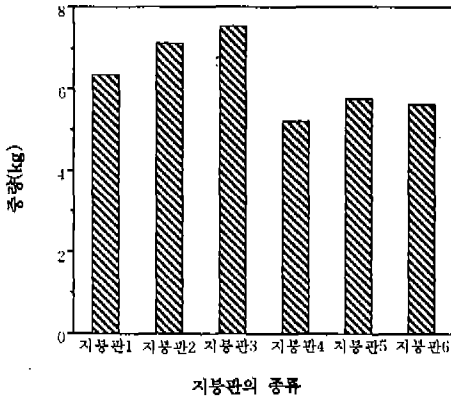


Fig.10 Effect of roof panel design on weight

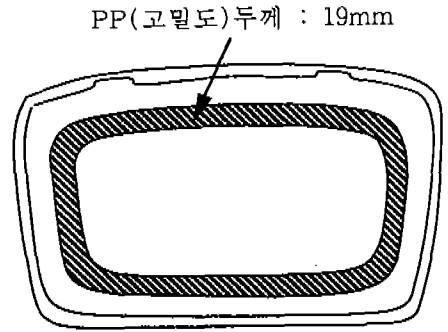


Fig.12 Roof panel with recyclable polypropylene reinforcement

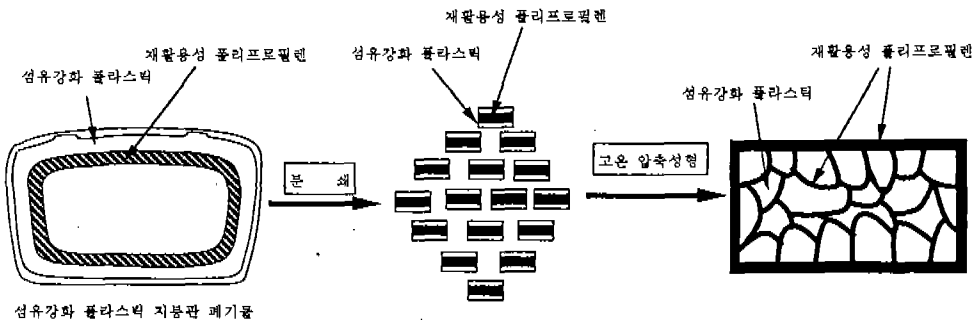


Fig.11 Possible recycling process of polypropylene reinforced roof panel

2) 지붕판의 강성을 유지하기 위한 보강재로 재활용이 가능한 폴리프로필렌계 보강재를 사용하면 폐기물의 절대량을 감소시킬 수 있으며, 재활용에 의한 제 2차 부품(보도블럭 등) 제조시 재활용 재료가 바인더로서 작용하여 폐기물을 발생시키지 않을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Ashland Chemical Lab, "RTM Report", 1992.
2. 이상관, "RTM 성형기술개발", KIMM 연구보고서, 1992.
3. A. Owens and J. Henshaw, "Recycling Composites and Design", University of Tulsa, 1991.
4. Tatsundo Kitamura, "Market Development for Recycling Thermoset in Japan", 49th Annual Conference Institute, The society of the Plastics Industry, Inc. February 7~9, 1994.
5. Hiroyuki Hamada, Sumu Yamaguchi, Gabriel O. Shonaike, Teruo Kimura and Zenichiro Maekawa, "Recyclability of Long Glass Mat Reinforced Thermoplastic Composite", 49th Annual Conference Institute, The society of the Plastics Industry, Inc. February 7~9, 1994.
6. J. D. Friffin and R. E. Skochdopole, "Plastic foams", in E. Baer, Ed., Engineering Design for plastics, Reinhold Publishing Corp. New York, 1964.
7. Shu-Bong, Rhee, "발포체의 생성원리와 응용", Polymer, Vol. 10, No. 5, p. 509, October, 1986.