

# RTM 을 이용한 복합재료 Bus Housing Panel 의 개발

김포진 \* · 이대길\*\*

## Development of the Composite Bus Housing Panel Using RTM

Po Jin Kim and Dai Gil Lee

KEY WORDS : Resin Transfer Molding (RTM), Unsaturated Polyester (불포화 폴리에스터), Curing Condition (경화 조건), Surface Quality (표면 정도).

### ABSTRACT

Resin transfer molding process has been widely used in the automobile industry, because the product with large area can be manufactured easily and the cost for the manufacturing is lower than that of compression molding and hand lay up method. Since RTM process is suitable for large bus housing panels, in this work, the composite housing panel was manufactured by RTM process and the mechanical properties, surface quality and the condition of manufacturing process were studied.

### 1. 서 론

가볍고 기계적 성질이 우수한 복합재료를 차체 외판을 비롯한 하중지지 구조로의 적용은 자동차 선진국을 중심으로 활발히 이루어지고 있다. 이미 버스 복합재료 차체외판은 선진국을 중심으로 연구와 개발이 활발히 진행되어 미국, 유럽, 일본 등 자동차 대 메이커들에서는 대형버스나 중형버스에 적용되고 있으나 국내에서는 관련기술의 낙후로 아직까지 저가이면서 고품질의 제품을 제조하기는 힘든 실정이다.

일반적으로 섬유로 보강된 복합재료는 기존의 강철이나 알루미늄에 비하여 비강성 (강성/밀도) 및 비강도 (강도/밀도)가 높아서 인공위성이나 항공기의 재료로 많이 사용되고 있다 [1-3]. 고분자 복합재료는 이방성 물질이므로 적층각도의 변화에 따라 원하는 방향으로 강도와 강성을 높여서 재료

의 낭비를 막을 수 있고, 특히 RTM (Resin transfer molding) 방법을 적용할 경우 대형의 복잡한 상업용 제품을 낮은 생산비용으로 제조할 수 있다 [4-6]. 일반적으로 버스 차체는 철판으로 제작하거나 압축 성형 (Compression molding)을 이용하여 제작된 복합재료를 사용하나, 성형 압력이 높으므로 견고한 금형이 필요하며 금형의 가격 또한 높다. 그러나, RTM 을 이용하여 복합재료를 제작할 경우 성형압력이 낮으므로 강철이나 압축성형에 비해 현저히 낮은 가격으로 금형을 제작할 수 있다. 또한, 낮은 성형압력으로 인하여 폼 (Foam)의 삽입이 가능하여 복합재료 제품의 재료비를 낮출 수 있다. 소량다품종 제품인 상용차의 경우 라이프 사이클의 단축으로 제품개발 기간 단축 및 투자비 감소 기술이 요구되는데, 기존의 강철 부품으로 이러한 요구를 충족시키기는 부적합하나 RTM 은 이에 적합한 공법이다. RTM 공법을 이용한 복합재료 차체외판 개발에 있어 중요한 기술은 금형제작 기술, 프리폼 제조 기술, 공정 제어 (Process

\* KAIST 기계공학과 대학원

\*\* 정희원, KAIST 기계공학과

control) 기술 등이다. 현재 선진국의 자동차 메이커에서는 이미 이러한 기술을 적용하여 저가이면서 고품질의 제품을 제조하고 있는 상태이나, 국내의 기술은 저조한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 자동차용 복합재료 차체의 외판인 하우스징 패널 (Housing panel)을 제작하기 위한 기술을 개발하는데 목적이 있다. 이를 위하여 경화 조건, 유리섬유 매트와 적층각, 금형의 수지 주입구 및 공기 배출구 등을 결정하였으며, 이를 이용하여 하우스징 패널을 제작하였다.

## 2. 물성 시험

### 2.1. 유리섬유 매트와 적층순서

자동차 외판의 경우, 기계적 물성, 표면 정도 등을 고려하여 보강재의 적층각도를 결정하여야 한다. 우선, 복합재료의 물성을 파악하기 위하여 유리섬유 매트인 Satin, Continuous strand mat 와 Roving cloth 를 이용하여 인장실험을 하였으며, 하우스징 패널의 유리섬유 매트와 적층순서를 결정하였다. 일반적으로, 버스 패널에는 두께 1mm 의 철판을 사용하며 복합재료의 경우 3mm 의 두께를 적용한다. 하우스징 패널의 적층순서는 [Satin 2ply/continuous strand mat 1ply/roving cloth 1ply]<sub>sym</sub> 이며, 0.324 의 섬유부피분율을 가진다. 결과는 Table 1 과 같으며, 그림 1 은 시편형상을 나타낸다. 이와 같이 적층된 복합재료를 이용하면 복합재료는 기존의 철판구조물보다 2 배의 굽힘강성 값을 가진다.

또한, 표면정도를 향상시키기 위하여 유리섬유 매트와 적층순서를 바꾸며 실험하였다. Roving cloth 를 사용할 경우, 유리섬유의 형상이 표면에 전사되어 좋은 표면 정도를 가지지 못한다. 그러므로, 표면쪽에 Continuous strand mat 와 Satin 을 적층하여 Roving cloth 가 전사되는 것을 방지하였으며, 표면용 매트와 이용하여 표면 정도를 향상시켰다.

### 2.2. 경화조건

본 연구에서는 하우스징 패널의 수지인 불포화

Table 1. Mechanical properties of the composite specimen.

Reinforcement	Satin	Continuous strand mat	Roving cloth	Housing Panel
$v_f$	0.424	0.266	0.285	0.324
Young's Modulus (GPa)	28.2	8.8	13.5	18.0
Tensile strength (MPa)	471	150	259	342

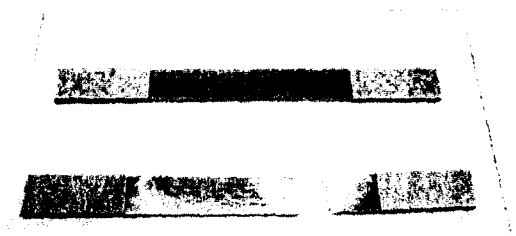


Fig. 1 Photograph of the tensile test specimen.

폴리에스터 (PC-670, 애경화학 (주))를 이용하여 DSC (Differential scanning calorimetry) 실험을 수행하여 경화조건을 파악하였다. 사용된 촉매는 MEKPO (Methyl ethyl keton peroxide)이며 수지와 촉매의 혼합비율은 100 : 2 이다. 등온 주사 실험은 60, 70, 80, 90 °C 에서 수행하였으며, 동적 주사 실험을 수행하여 불포화 폴리에스터의 완전 경화시의 열발생량을 측정하였다. 총 발열량 ( $H_u$ )은 328.4 J/g 이었으며 경화율  $d\alpha / dt$  는 식 1 과 같이 표시된다.

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{1}{H_u} \left( \frac{dQ}{dt} \right)_T \quad (1)$$

그림 2 는 등온 주사 실험 결과를 나타내며, 그림 3 은 시간에 따른 경화도 (Degree of cure)를 나타낸다.

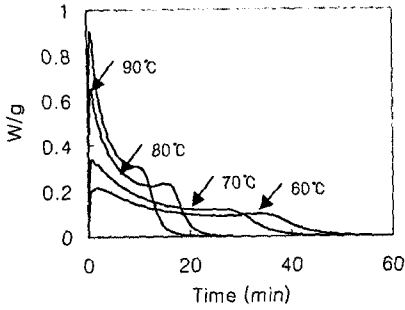


Fig. 2. Heat generation of unsaturated polyester in isothermal scanning calorimetry.

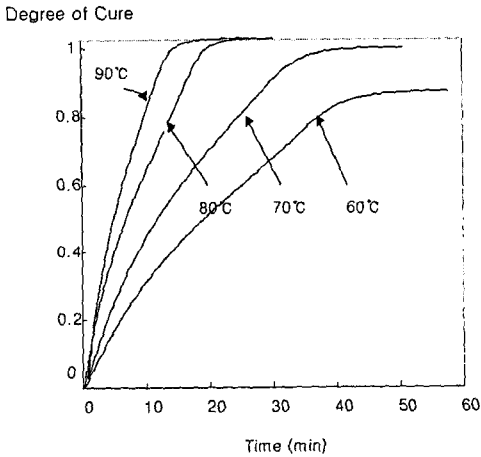


Fig. 3. Degree of cure with respect to time.

실험결과, 80 °C 와 90 °C 에서 경화도가 1 이 되는 것을 알 수 있다. 따라서, 하우징 패넬의 경화조건은 80 °C 에서 20 분으로 설정하였다.

### 3. 제품 제작

#### 3. 1. 복합재료 하우징 패넬의 금형

복합재료 하우징 패넬을 제작하기 위하여, 알루미늄 금형을 제작하였다. 그림 4 는 유리섬유가 적층된 알루미늄 금형을 나타낸다. 알루미늄 금형은 에폭시 금형에 비하여 열전도도가 높아서 경화온도가 균일하게 적용될 수 있으며, 사용온도가 높아서 제품의 후경화에도 적용될 수 있다. 또한, 다중순차 주입법을 사용할 수 있도록 5 개의 수지주입구를 장착하였으며, 공기의 배출을 위하여 핀치

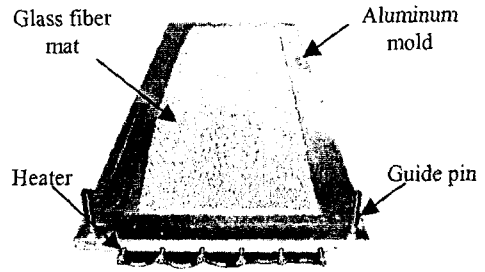


Fig. 4. Photograph of the aluminum lower mold where the glass fiber mat is stacked.

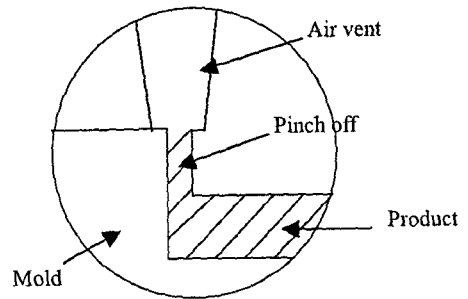


Fig. 5. Schematic diagram of pinch off and air vent.

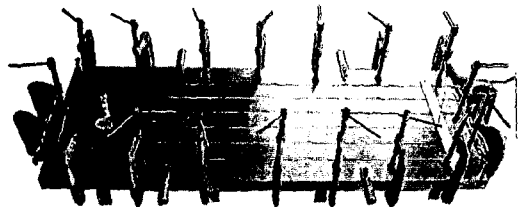


Fig. 7. Photograph of the RTM mold closed by the clamp.

오프 (Pinch-off)와 공기 배출구 (Air vent)를 가공하였다. 그림 5 는 핀치오프 및 공기배출구의 개략도를 나타낸다. 그림 7 은 고정구를 이용하여 금형을 체결한 모습을 나타낸다.

#### 3. 2. 복합재료 하우징 패넬의 제작

## 참고문헌

알루미늄 금형을 이용하여 복합재료 하우징 패널을 제작하였다. 수지의 주입압력은 3기압이며, 5개의 수지 주입구를 이용한 다중 순차 주입법의 경우 3분의 수지 충전 시간이 요구되며, 하나의 수지 주입구를 이용하면 5분의 충전 시간이 요구된다. 수지와 촉매의 비율은 100:2이며, 경화 온도는 80 °C 이다.

그림 6은 RTM 공법으로 제작된 하우징 패널을 나타낸다. 제작된 하우징 패널은 에폭시를 이용하여 강철 리브 (Steel rib)와 결합하였다.

또한, 제작된 하우징 패널을 버스에 장착하여 5,000 km의 실차테스트를 수행하였으며, 버스 구동시의 피로하중에 의하여 파손되지 않았다.



Fig. 8 Photograph of the housing panel manufactured by RTM process.

## 4. 결론

본 연구에서는 RTM 공법을 이용하여 복합재료 하우징 패널을 제작하였다. 기계적 물성과 양호한 표면정도를 만족하기 위하여 유리섬유 매트와 적층순서는 [Satin 2ply/continuous strand mat 1ply/roving cloth 1ply]<sub>sym</sub>이며, 기존의 철판에 대하여 2배의 굽힘강성을 가진다. 경화조건은 수지와 촉매의 혼합비가 100 : 2이며, 경화온도는 80 °C 이다. 또한, 5,000 km의 실차 테스트를 수행하여, 실제 버스에 적용이 가능함을 파악하였다.

## 후 기

본 연구는 산업자원부에서 시행한 산업기반기술 개발사업에 의해 연구비 지원을 받아 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

- (1) Reinhart, T. J., 1987, *Composites*, ASTM International, Vol. 1, pp. 816-822.
- (2) Bang, K. G., Choi, J. K., Kim, H. S., Lee, D. G. and Jeon, H. S., 1997, "Development of Guide Roller Using Electroplated Carbon Fiber Composite for Thin Polymer Film Processing," *Composite Structures*, Vol. 38, pp. 321-328.
- (3) Lee, D. G., Jeong, K. S., Kim, K. S. and Kwak, Y. K., 1993, "Development of the Anthropomorphic Robot with Carbon Fiber Epoxy Composite Material," *Composite Structures*, Vol. 25, pp. 313-324.
- (4) Owen M. J, V. Middleton, etc, 1989, "Materials behavior in RTM for volume manufacture," *Plastic Rubb Process Applications*, Vol. 12, No. 4, pp. 221.
- (5) Patel, N., V. Rohatgi and Lee, L. J., 1993, "Influence of Processing and Material Variables on Resin-fiber Interface in Liquid Composite Molding," *Polymer Composites*, Vol. 14, No. 2, pp. 161-172.
- (6) Skartsis, L., J. L. Kardos and B. Khomami, 1992, "Resin Flow through Fiber during Composite Manufacturing Processes. Part1: Review of Newtonian Flow through Fiber Beds," *Polym. Eng. Sci.* Vol. 32, pp. 221-230.