

# RTM 공법을 이용한 승용차용 복합재료 휠의 표면정도 향상 및 개발

김포진\*, 이대길 (한국과학기술원 기계공학과)

## Improvement of Surface Quality and Development of Composite Wheel for Passenger Cars Manufactured by RTM

Po Jin Kim, Dai Gil Lee (Mecha. Eng. Dept. KAIST)

### ABSTRACT

Since passenger cars require five wheels including a spare, the weight reduction of wheels without sacrificing performance is important. Recently, the structured components of cars made of steel are replaced by composites, plastics and other nonmetallic materials such as aluminum and magnesium for weight reduction. From these new tried materials are most promising due to their high specific stiffness and specific strength. The composites manufactured by resin transfer molding (RTM) process has not only low cost for the manufacturing but also reduces the lead time and development because the molds for RTM is easy to manufacture.

In this work, composite wheels for passenger cars were designed and manufactured by RTM process. Since surface quality of wheels is important for passenger cars, the optimal stacking sequence for composite wheels was selected considering surface quality and mechanical properties. Also, the manufacturing method for the composite mold was depicted.

**Key Words** : Resin Transfer Molding (RTM), Unsaturated Polyester (불포화 폴리에스터),  
Composite Wheel (복합재료 휠), Surface Quality (표면 정도).

### 1. 서론

자동차 연비 향상을 위한 구조 경량화의 경우 강도와 강성이 우수하며 기존의 강철재료보다 무게가 가벼운 고분자 복합재료를 사용하여 큰 실효를 거두고 있다 [1]. 이미 차체의 일부 혹은 전부를 복합재료로 만든 스포츠카와 승용차가 등장 하였으며, 복합재료 자동차들은 중량의 감소로 연비가 증가할 뿐만 아니라, 가속성능이 우수하고, 높은 감쇠성능 때문에 우수한 NVH (Noise, vibration and harshness) 성능을 보여주고 있다. 현재, 승용차의 중량 감소는 더욱 요구되고 있으며, 이를 위하여 자동차의 외판이나 엔진룸내의 여러 구조들을 복합재료로 대체하기 위한 연구가 수행되고 있다.

특히 다품종 소량 생산의 추세로 인하여 라이프 사이클이 단축되며 제품개발 기간 단축 및 투자비 감소 기술이 요구되는데, 기존의 강철 부품으로 이러한 요구를 충족시키기는 부적합하다. 따라서, 개발시 투자비용이 낮고 개발기간이 단축되며 내충격성이 우수한 복합재료로 제조하여 승용차 및 상용차 외판의 후드(Hood), 범퍼빔(Bumper beam) 등을, 제조하여 경량화하고 있다. 이러한 자동차의 부품 중에서 회전하고 있는 부품의 경우, 경량화에 따른 에너지 절약 효과는 일반 부품의 경량화 효과보다 1.2~1.3 배 이상 큰 것으로 알려져 있다 [2]. 특히, 자동차용 휠은 차체에 직접적인 동력을 전달하므로 경량화의 효과가 크므로 [3,4], 본 연구에서 휠을 복합재료로 개발하고자 하였다. 또한, 휠은 차체 구

조를 지지하면서 회전하기 때문에 기계적 성질 및 경량화가 동시에 고려되어야 하며, 차체의 직접적인 동력 전달 역할을 하기 때문에 동특성 및 열특성에 대한 많은 연구가 필요하다.

따라서, 저가의 금형제작비, 복합재료의 높은 기계적 물성 및 대량생산이 가능한 RTM 공정을 복합재료 휠의 제작에 적용하면, 다이 캐스팅으로 제조되는 알루미늄·휠에 비하여 경쟁성이 있을 것으로 사료되어, RTM 공정을 적용하여 복합재료 휠을 개발하였다.

## 2. 표면정도 향상

본 연구에서는 제품 설계시에 고려되는 유리섬유 적층각 및 부피분율에 대하여 표면정도를 측정하였으며, 수지의 경화수축으로 인한 표면정도의 저하를 최소화 할 수 있는 복합재료 적층각을 파악하고자 하였다.

시편의 크기는  $200 \times 200 \times 3$  mm 로 하여, surface waviness 의 측정이 가능하도록 하였으며 절단휠로 절단하여 인장시편으로도 사용이 가능하게 하였다. Table 1 은 유리섬유 매트 의 사양을 나타낸다. Plain weave 와 continuous strand mat 는 satin 에 비하여 두께가 두꺼우므로, 제품 제작시 유리섬유 매트 의 재단 및 적층시간을 줄일 수 있다. Satin 은 두께가 얇으며 density ratio 가 높으므로 표면정도를 높이거나, 높은 기계적 물성을 원하는 경우에 사용된다. Table 2 는 본 연구에 불포화 폴리에스터의 사양을 나타낸다.

복합재료의 표면정도를 향상시키기 위하여, 복합재료의 적층각을 변수로 하여 RTM 공법으로 제조된 시편의 표면정도를 측정하였다. Table 3 은 표면정도 측정에 사용된 시편의 사양을 나타낸다. 시편의 waviness 는 상용 표면분석기인 Rank Taylor Hobson (England) 사의 Talysurf Series 2 를 이용하여 측정되었다. Fig. 1 은  $w_a$  (Arithmetic mean surface waviness)와  $w_{max}$  (Maximum surface waviness)를 나타낸다. Fig. 1 에 나타난 바와 같이, continuous strand mat 로 제조된 시편 1, 2 번은 낮은 유리섬유 부피분율로 인하여 표면정도가 낮다. 시편 3 번의 경우, plain weave 의 유리섬유 다발 (Bundle)이 규칙적으로 표면에 나타나 표면정도가 낮다. 이러한 plain weave 의 직조 형태 (Textile pattern)를 제거하기 위하여 satin 과 continuous strand mat 가 plain weave 위에 적

층되었다. 시편 6, 7 번의 경우 표면정도가 높음을 알 수 있으며, 이는 두꺼우면서도 섬유밀도가 낮은 continuous strand mat 가 plain weave 의 직조 형태를 흡수하고 표면의 satin 이 높은 표면정도를 가지기 때문이다. 따라서, [Satin 2 plies / continuous strand mat 1 ply / plain weave 1 ply]<sub>sym</sub> 의 적층각을 가질 경우,  $w_{max}$  는  $9 \mu\text{m}$  이며  $w_a$  는  $2.7 \mu\text{m}$  이다.

따라서, 복합재료 휠의 디스크 부분의 적층순서는 [Satin 2plies/continuous strand mat 1ply/plain weave 1ply]<sub>sym</sub> 이고 0.40 의 유리섬유 부피분율 ( $v_f$ )을 가진다.

Table 1 Specification of the glass fiber mat.

		Continuous strand mat	Plain weave	Satin
Thickness (mm)		0.5	0.6	0.224
Surface density (kg/m <sup>2</sup> )		0.45	0.58	0.308
Density ratio (Count/inch)	Warp	-	6.3	50
	Fill		6.3	26

Table 2 Properties of unsaturated polyester (PC-670, Aekyung Chemicals Inc., Korea).

Young's modulus	3.7 GPa
Tensile strength	55.0 MPa
Viscosity	200 – 250 cPs
Gel time	$18 \pm 2$ min
Shrinkage	4.8 %
Coefficient of thermal expansion	$85.0 \times 10^{-6}$ m/m°C

## 3. RTM 용 복합재료 금형 개발

Fig. 2 는 복합재료 휠용 금형의 구조를 나타낸다. 복합재료 금형은 상부, 하부금형 및 3 개의 측면금형으로 이루어진다. 수지 주입구는 상부 금형의 중심부에 위치하여 있으며, 5 개의 금형은 볼트, 너트로 체결된다. 결합된 금형의 사이에는 0.1mm 의 pinch-off 가 있으므로, 공기는 배출되고 수지는 유동할 수 없으므로 공기 트랩 (Air trap)의 생성을

방지한다. 추가적인 수지주입구와 공기배출구의 위치는 실험을 통하여 결정하였다.

Table 3 Specifications of the multi-directional specimen.

Specimen number	Stacking sequence	Volume fraction of glass fiber
#1	[Continuous strand mat 4 plies]	0.20
#2	[Continuous strand mat 5 plies]	0.24
#3	[Plain weave 4 plies]	0.285
#4	[Satin 1 ply / Plain weave 4 plies]	0.34
#5	[Satin 3 plies / Plain weave 4 plies]	0.43
#6	[Satin 1 plies / continuous strand mat 1 ply / plain weave 1 ply] <sub>sym</sub>	0.36
#7	[Satin 2 plies / continuous strand mat 1 ply / plain weave 1 ply] <sub>sym</sub>	0.40

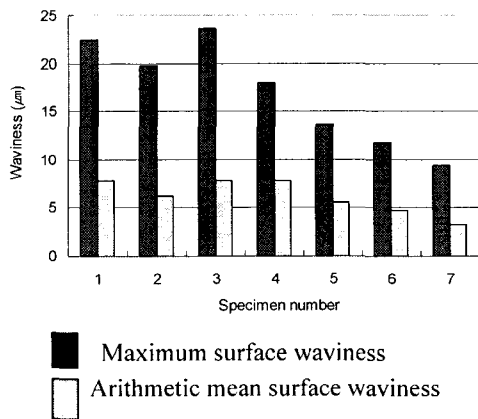


Fig. 1 Surface waviness value of the composite specimens in Table 2-4 with respect to the stacking sequence of the composite.

본 연구에서의 복합재료 금형은 기존 제품의 본뜨기 형식으로 제작되었으며, 16 inch 투스카니용 (중현대자동차) 알루미늄 휠을 패턴 (Pattern)으로 사용하였다. 차체와 결합되는 원판형상의 disk 와, 타이어가 장착되는 rim 으로 이루어져 있다. 알루미늄

휠을 패턴으로 사용하기 위하여, 표면이 거친 부분은 2000 메쉬 (Mesh) 사포로 표면처리 하였으며 이형제를 도포하여, 금형 제작 후 금형과 패턴의 탈형이 용이하도록 하였다. 본 연구에서 사용한 이형제는 Chemlease 사 (USA)의 MR-3 를 사용하였다. MR-3 금형 이형제의 특징은 일 액형이며, 액상의 물질로 도포가 용이하다. 금형 제작을 위하여 아크릴 판을 이용하여 형틀을 제작하였으며, 스프레이 방법을 이용하여 gel-coat 를 도포하여 두께가 균일하도록 하였다. Gel-coat 의 gel time 이 지나면, 표면용 유리섬유 매트를 이용하여 Gel-coat 표면층을 보강한다. Gel-coat 및 표면용 유리섬유 매트를 이용하여 표면을 형성한 후, satin, continuous strand mat, plain weave 와 금형용 불포화 폴리에스터를 핸드 레이업 (Hand lay-up) 복합재료 성형법을 이용하여 적용하였다. Fig. 3 은 제작된 복합재료 금형의 모습을 나타낸다.

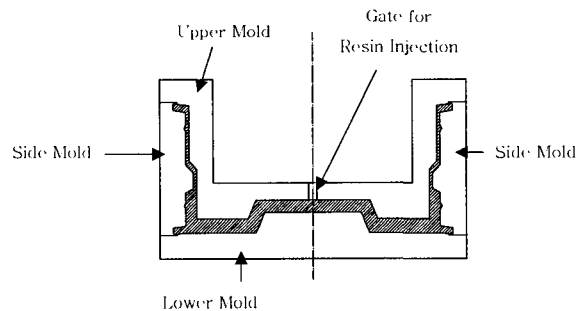
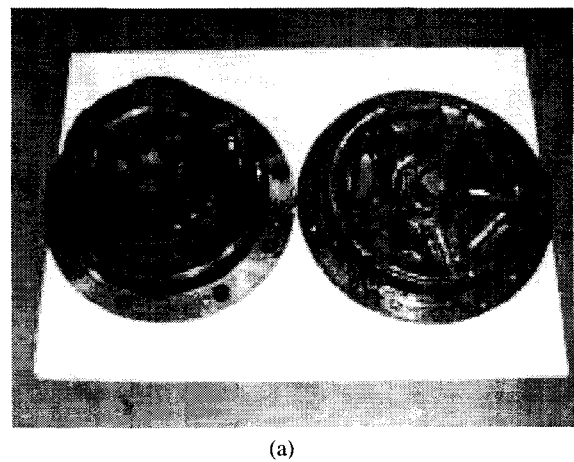
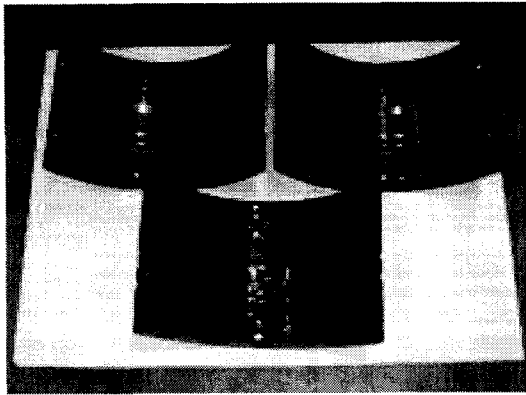


Fig. 2 Schematic diagram of composite mold for the manufacturing of composite wheel by RTM process.



(a)



(b)

Fig. 3 Photograph of composite mold for the manufacturing of the composite wheel by RTM process; (a) upper and lower mold, (b) side mold.

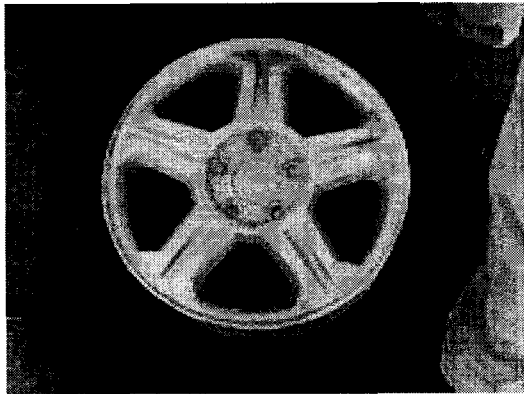


Fig. 4 Photograph of composite wheel manufactured by RTM process.

#### 4. 승용차용 복합재료 휠 개발

유리섬유 매트는 waterjet cutting 을 이용하여 휠의 형상대로 재단하여 사용하였다. 또한, 제품의 경화 후에 복합재료 금형과 휠의 탈형을 원활히 하기 위하여 3 장에서 언급한 금형 이형제를 코팅하였다. 복합재료 휠의 경우, 형상이 복잡하고 부피에 비하여 금형과의 접촉면적이 넓으므로 이형 처리가 중요하다. 5 회 미만의 금형 이형제 코팅은 금형의 gel-coat 층의 손상을 유발하였으며, 8 회 미만일 경우 금형의 손상은 없었으나 탈형에 큰 힘이 요구된다. 금형 이형제는 10 회 이상 코팅 (Coating)하였을 경우에 휠이 금형으로부터 원활하게 탈형되었다. 이형제가 코팅된 복합재료 금형에 스프레이 건을 사용하여 gel-coat 를 도포하고, 미리 재단 된 유리

섬유 매트를 복합재료 금형 내부에 충전한 후, 0.3 MPa 의 압력으로 수지를 주입하였다. 수지와 경화제의 비율은 100 : 1.5 를 사용하였으며, 80 °C 에서 경화하였다. Fig. 4 는 제작된 복합재료 휠의 형상을 나타낸다. 기존의 알루미늄 휠은 9 kg 인데 반해, 복합재료 휠은 6 kg 이므로 33%의 질량감소를 가져온다. 자동차 연료절약 효과에서 있어서 회전물체는 1.3 배의 질량감소 효과가 있기 때문에, 승용차 1 대당 16 kg 의 질량 감소효과가 있는 것으로 사료된다.

#### 5. 결론

본 연구에서는 RTM 공법을 이용하여 승용차용 복합재료 휠을 개발하였다. 우선, 복합재료 금형 및 복합재료 휠의 표면경도 향상을 위하여 적층각을 고려하여 실험하였으며, [Satin 2plies/continuous strand mat 1ply/plain weave 1ply]sym 의 적층각을 금형 및 휠에 적용하였다.

제작된 복합재료 휠은 33 %의 무게감소 효과를 가져오며, 승용차 1 대당 16 kg 의 무게 감소 효과가 있는 것으로 사료된다.

#### 후 기

본 연구는 중점국가연구사업의 연구비 지원에 의하여 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] Cho, D. H. and Lee, D. G., "Manufacturing of Co-Cured Aluminum Composite Shafts with Compression during Co-Curing Operation to Reduce Residual Thermal Stresses," J. Composite Materials, Vol. 32, No.12, pp. 1221-1241.
- [2] Schuring, D. J., "The Plastic Wheel and Fuel Savings," Firestone Central Research Laboratory Report, 1979, No. 18.
- [3] Ridha, R. A., "Fiber-reinforced Automotive Wheels: Promises and Challenges," SAE Paper 790432, 1979.
- [4] ISO 3006, "Road Vehicles-Passenger Car Wheels-Fatigue Testing Methods." Vol. 2, Switzerland, 1976.