

# 복합재료 자동차 부품의 설계 및 제조방법

## Design and Manufacturing of Composite Automotive Parts

이 대 길,\* 오 박 균\*  
D. G. Lee, P. K. Oh



이 대 길  
• 1952년 1월생  
• 복합재료  
• 한국과학기술원 정밀공학과  
부교수



오 박 균  
• 1943년 10월생  
• 열·유체공학  
• 자동차부품연구원 부품개발  
연구부 부장

이는 노력을 하고 있으며 거의 실용단계에 이르고 있다.<sup>3)</sup> 그리고, 자동차의 Bumper를 Engineering Plastic으로 사용하는 예는 국내외에서 이미 많이 행하여지고 있으나, 선진국에서는 이를 SMC (Sheet Molding Compound)와 같이 성능이 더욱 우수한 복합재료로 대체하고 있는 중이다.<sup>4)</sup> 또한, 복합재료의 높은 고유진동 특성을 이용하여, 후륜 구동자동차의 Drive Shaft를 한개로 제작하여 Universal Joint등을 사용하지 않아도 되는 간단한 형상으로 대체하려는 시도가 성공적으로 수행되고 있다.<sup>5)</sup> 이 외에도 트럭의 Leaf Spring을 복합재료로 대체하고 있으며,<sup>6)</sup> SMC와 RTM(Resin Transfer Molding)을 이용하여 승용차의 Side Panel, Hood 및 Truck의 Tailgate 등을 제작하고 있는 실정이다.<sup>4)</sup>

최근 미국에서는 자동차 배기가스의 매연을 강력하게 규제하고 있으며 자동차의 연비를 향상시키기 위한 노력을 경주하고 있다. 그와 함께 전혀 매연이 없는 전기 자동차와 같은 무공해 자동차를 일정비율로 판매해야만 하는 의무 규정을 제정해 놓고 있다. Fig.1은 4명이 편안하고 안전하게 승차하면서도, 배기가스에 매연이 거의 없고 진동 및 소음이 감소된, 1리터당 40km 이상을 주행할 수 있는 General Motors에서 개발한 Concept Car를 보여주고 있다.<sup>6)</sup> 이러한 자동차는 2000년 경에는 실용화가 될 것으로 예상되고 있다.

### 1. 서 론

복합재료는 재료의 높은 비강성(강성/밀도), 비강도(강도/밀도) 및 높은 감쇠특성 때문에 항공기 및 우주선의 재료로 많이 사용되어 왔으나, 최근에는 복합재료의 가격이 저렴하여지면서 스포츠 및 레저용품에도 이의 사용이 확대되고 있다. <sup>1)</sup> 미국, 유럽 및 일본 등에서는 20여년전부터 자동차의 차체와 엔진에 복합재료를 사용하여 왔으며, 자동차의 무게를 감소시키면서도 안정성을 향상시키고 진동과 소음을 줄이려는 노력을 경주하고 있다.<sup>2)</sup> 예를 들면, 엔진의 Connecting Rod를 복합재료로 대체하여 관성과 진동을 줄

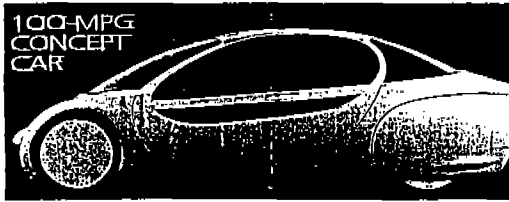


Fig.1 Photograph of the composite concept car of General Motors.

이와같은 자동차의 성능 향상은 엔진의 성능이 향상되어야 함은 물론 복합재료와 같은 경량의 고성능 신소재를 사용하여 차체의 무게를 경량화시켜야만 가능하다. 또한 전기자동차의 경우도 현재까지 개발된 Battery의 무게와 성능을 참작하면, 차체의 무게를 경량화 않고서는 실용성있는 전기 자동차의 개발은 거의 불가능할 것으로 여겨진다.

미국등 선진국에서는 복합재료 자동차 차체및 부품에 관한 연구를 활발히 수행하고 있다. 그러나, 국내 자동차 업계의 역사가 짧고, 보수성으로 인하여, 복합재료 차체와 부품에 대한 연구와 응용이 부족한 형편이다. 따라서 본 Article에서는 복합재료의 성질을 고찰한 후에, 드라이브 샤프트와 Door Side Impact Beam을 복합재료로 설계하는 예를 설명하고자 한다.

## 2. 자동차 부품제조에 사용되는 복합재료의 특성

복합재료의 성분중에서 가장 중요한 성분은 강화제와 강화제를 결합하는 모재 혹은 기지(Matrix)이고 이 외에도 복합재료의 다른 여러

가지 성질을 향상시키기 위한 첨가제(Additive)가 부가된다. 자동차의 부품이나 차체에 주로 사용되는 복합재료의 강화제는 가격이 저렴한 유리 섬유가 주로 사용되고 있다.<sup>7)</sup> 탄소섬유도 유리 섬유보다 가격이 비싸기는하나 재료의 우수한 성질 때문에 사용이 확대되고 있다. 이외에도 엔진등의 보강을 위한 SiC Whisker가 금속 복합재료의 강화를 위하여 사용되고 있다.

강화제를 결합하는 역할을 하는 모재는 크게 고분자 재료와 금속및 세라믹과 같은 무기재료로 나눌 수가 있다. 고분자 재료는 열 가소성 재료(Thermoplastic)와 열 경화성(Thermosetting)재료로 나눌 수가 있는데 열 가소성 재료는 주로 사출 성형(Injection Molding)시에 단섬유(Chopped Fiber)를 섞어서 사용하며, 이때 사용되는 고분자 재료는 나일론(나일론6, 나일론6.6), 폴리카보네이트(Polycarbonate), 폴리아세탈(Polyacetal)등이 있다.

열 경화성 고분자 수지로는 경화시간이 짧은 폴리에스테(Polyester)와 비닐에스터(Vinylester)가 주로 사용된다. 에폭시(Epoxy)재료는 기계적 성질이 우수하나 고가이고 경화시간이 길기 때문에 제한적으로 사용된다.

금속재료로는 알루미늄과 알루미늄의 합금, 타이타늄 합금, 니켈계통의 슈퍼 합금, 스테인리스 강등이 엔진 계통의 금속 복합재료를 제조하는데 사용되기 시작하고 있다.

세라믹(Ceramics)재료로는 알루미늄 산화물( $Al_2O_3$ ), 탄소(C), 실리콘카바이드(SiC), 실리콘 나이트라이드(Silicon Nitride,  $Si_3N_4$ ) 등이 재료의 좋은 고온 특성 때문에 엔진재료로 사용되기 시작하고 있다.

Table 1 Properties of composites and conventional materials

Material	Specific Gravity	Mod./S.G.( $10^9$ m)	Str./S.G.( $10^6$ m)	Damping Factor
SAE 1010	7.9	2.68	4.72	0.0017
AISI 4340	7.9	2.68	22.3	0.0017
Al 6061-T6	2.7	2.60	11.7	0.0009
Al 7178-T6	2.7	2.60	22.9	0.0009
E Glass/Epoxy	1.85	2.16	53.2	0.0070
Carbon/Epoxy	1.55	9.06	101.9	0.0160

이와같은 강화제와 모재를 혼합하여 만든 복합재료들은 기존의 강철이나 알루미늄 재료보다 비강도와 비강성이 향상되며 제조방법도 자동화의 실현이 용이하며 또한 생산성도 향상되게 된다. 이외에도 고분자재료를 모재로하는 복합재료는 모재의 높은 감쇠특성때문에 일반적으로 높은 감쇠값을 가지고 있다. 또한 금속복합재료는 일반적으로 강도, 강성및 열적성질이 향상되게 된다. Table 1은 여러가지 복합재료들과 기존재료들의 특성을 보여준다.

### 3. 자동차용 드라이브 샤프트

소형 트럭이나 후륜구동 승용차의 자동차의 드라이브 샤프트는 길이가 2m 정도가 되어야 하고 자동차체에 장착되어 있으므로 공간과 무게의 제약때문에 직경이 10cm 이하이어야만 한다. 또한 토크전달능력은 3,400Nm 이상이며, 샤프트의 횡방향 최소 고유진동수는 6,500RPM 이상이 요구된다. 종래에 사용되는 드라이브 샤프트의 재질은 강철이며, 샤프트의 길이가 2.0m 정도, 외경이 80mm, 내경이 76mm일때 샤프트의 토크전달능력을 계산하면 약 9,000Nm 이상으로 토크전달능력은 충분하다. 위의 드라이브 샤프트가 양단에 단순지지되어 있을 때 고유진동수의 계산식은 다음과 같다.

$$\omega = 9.869(EI/m)^{0.5} / (2\pi l^2) = 3.370RPM$$

$l$ : 샤프트의 길이,  $m$ : 샤프트의 단위길이당의 길이,  $I$ : 단면이차모멘트,  $E$ : 탄성계수

따라서 강철로 제작된 드라이브 샤프트는 회전수가 3,370RPM 일때 공진현상을 일으킬 수 있다. 샤프트의 공진주파수를 높이기 위하여, 샤프트의 중간을 잘라서 두개로 만들면 고유진동수가 약 13,480RPM으로 높아진다. 그러나 드라이브 샤프트를 두개로 나누면 두축을 연결하는 유니버설 조인트가 추가적으로 필요하게 된다. 따라서 기존의 드라이브 샤프트는 유니버설 조인트가 포함되는 구조이므로 소음, 진동등이 문제가되고 생산성이

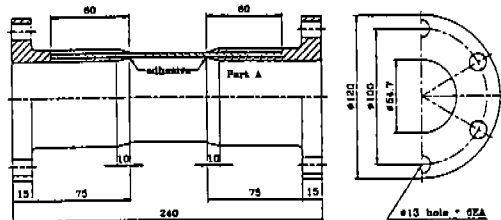


Fig.2 Configuration of the double lap joint whose outer diameter is 66mm

저하되며, 가격상승의 요인이 된다.

그런, 고강성 섬유강화 복합재료를 사용하여 드라이브 샤프트를 제조하면 드라이브샤프트의 고유진동수를 6,500RPM 이상으로 높힐 수 있다. 복합재료를 드라이브 샤프트에 적용하면 드라이브 샤프트를 일체형으로 제조할 수 있고 구조를 단순화시킬 수 있으므로 가격면에서도 유리하다.

그러나 드라이브 샤프트를 모두 복합재료로 제조하는 것은 불가능하므로 복합재료 샤프트와 엔진의 출력 샤프트를 연결하는 조인트를 설계하여야만 한다. 복합재료에 구멍을 가공하는 것은 복합재료의 강도저하를 가져오므로, 최근에는 접착제를 이용한 조인트를 많이 적용하고 있다. 접착형태는 Single lap, Double lap, Scarf 조인트등 여러가지 형태가 있으나 Fig.2와 같은 Double lap조인트를 사용하면 토크전달용량은 약 4,500 Nm 이상이되어 자동차에서 요구되는 토크전달용량을 충분히 만족하는 설계가 가능하다. Fig.1은 복합재료의 외경이 66mm인 경우로서, 복합재료의 외경을 증가시키면 토크전달용량은 훨씬 더 증가될 것이다.

### 4. 복합재료 Door Side Impact Beam

자동차의 충돌사고의 유형중 측면충돌에 의한 사고는 다른사고에 비하여 발생빈도가 높고, 정면충돌에 비해 충격을 완화해주는 보호구가 거의 전무한 상태이기때문에 인로 인한 인명피해가 심각하다. 따라서 승객에 대한 보호책이 다각도로 강구되어 왔으며, 차체의 설계에 대한 정부차원의 법률적인 규제가 더욱 강화되고 있다.

측면충돌에 의한 피해의 감소를 위하여 자동차의 문에 충격을 완화시킬 수 있는 충격 흡수보 (Impact Beam)를 장착하는 경향인데, 이것은 여러가지의 충돌상황하에서 좋은 결과를 나타내고 있다. 또한, 전세계적으로 자동차 경량화를 통한 연비의 향상에 초점을 맞추고 있어 자동차의 여러 부품을 알루미늄이나 복합재료와 같은 가벼운 재료로 대체하고 있는 실정이다. 특히 복합재료는 비강성, 비강도가 매우 우수하기 때문에 경량화를 위한 좋은 소재로 추천된다. 기존의 Impact Beam은 고강력 탄소강으로 제작되었으나, 이를 가격이 알루미늄과 비슷한 유리섬유복합재료를 사용하여 제작하면 충격강도를 탄소강보다 같은 무게일 경우에 5배정도 향상시킬 수가 있다.

현재 국내에서 사용되고 있는 Impact Beam의 단면형상은 Fig.3에서 보는 바와같이 환봉형상, 모자형상, Box형상이 있다. 복합재료 Impact

Beam을 사용하는 경우에는 제조시에 단면형상의 영향을 적게 받으므로, 굽힘을 받는 구조재로 가장 우수한 Box Type 형상을 사용하는 것이 바람직하다.

현재까지는 측면충돌에 대한 실험은 동적인 하중보다는 정적인 하중을 중요한 실험적 인자로 생각하였다. 그러나 실제 충돌시에는 동적인 하중이 차내의 승객에게 직접적인 영향을 주며, 또한 차 전체에 구조적인 영향을 미친다. Fig.4는 동적인 성능을 시험하기 위하여 최근까지 고안된 충격시험장치의 예를 보여준다.

이와같이 Side Impact Beam은 복합재료로 만들 경우 차체의 경량화에 기여함은 물론 우수한 내충격성 때문에 자동차의 안전성에 많은 기여를 하게 될 것이다.

## 5. 복합재료 제조방법 및 제조된 제품

### 5.1 압축성형공정(Compression Molding Process)

압축성형공정은 플라스틱 제품을 제조하는데 사용된 방법중에서 가장 오래된 방법중의 하나이나, SMC(Sheet Molding Compound)가 개발되기 전에는 페놀(Phenolic)이나 알키드(Alkyd)분말을 성형하거나 고무를 성형하는데 한정적으로 사용되었다. 그러나 SMC가 개발되면서부터 압축성형공정은 자동차, 가전제품 및 장치(Appliance) 산업에 널리 사용되기 시작하였다.

압축성형공정은 사출성형공정에 비하여 스프루(Sprue), 런너(Runner)와 게이트(Gate)가 없는 간단한 금형을 사용할 수 있기 때문에 금형의 값이 저렴하고, 재료의 낭비가 매우 적다. 또한 사출성형에는 길이가 3mm 이내의 단섬유를 넣은 부피분율만 함유하게 할 수가 있으나, 압축성형에는 장섬유를 매우 높은 부피분율까지 함유하게 할 수가 있다. 따라서 압축성형으로 제조된 제품은 좋은 기계적인 성질을 갖는다. 압축성형공정에서 사용되는 압력은 사출성형으로 제조된 제품은 좋은 기계적인 성질을 갖는다. 압축성형공정에서 사용되는 압력은 사출성형에서 사용되는 압력보다 낮으며, 따라서 사출성형보다 같은

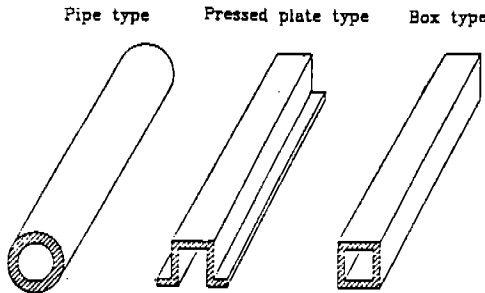


Fig.3 Shapes of the impact beams

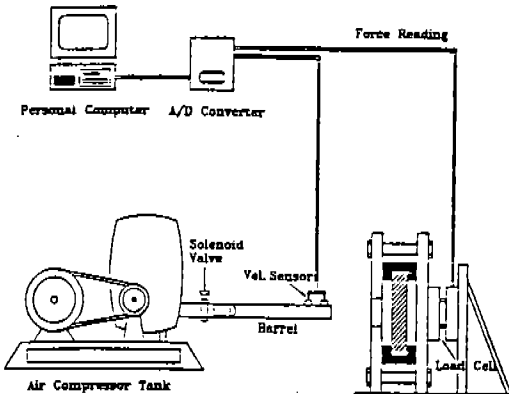


Fig.4 Impact tester

크기의 표면적을 갖는 제품을 생산하기 위하여 낮은 용량의 프레스를 사용할 수가 있다. 이러한 이유 때문에 넓은 단면적을 갖는 제품을 생산할 때는 사출성형보다 압축성형이 더 적합하다. Fig.5는 압축성형공정을 보여준다.

압축성형공정에 사용되는 복합재료는 SMC, BMC(Bulk Molding Compound)등으로 이중에서 SMC는 섬유와 광물성 충전제가 열 경화성 수지에 함침되어 있는 연속적인 판재로, 이 재료는 금형에서 그대로 성형시킬 수가 있다. 수지는 경화가 되지 않은 상태에 있으나, 매우 점도가 높은 상태, 즉 증점된(Thickened)상태에 있다.

Fig.6은 자동차 바퀴를 SMC로 제조하기 위한 금형을 보여준다.<sup>8)</sup> 일반적으로 자동차 바퀴는 SAE 1010 혹은 1020과 같은 저 탄소강을 사용하여, 바퀴의 테(RIM)부분과 원판(DISK)부분을

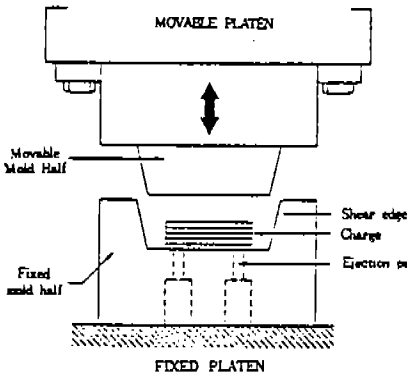


Fig.5 Compression molding

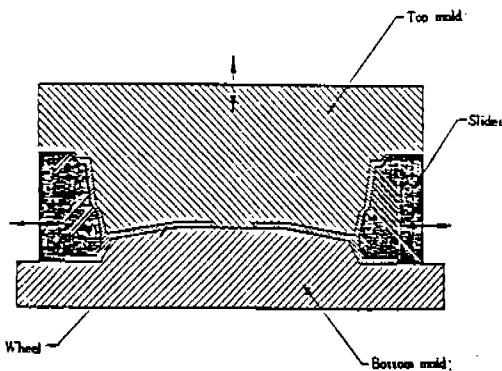


Fig.6 Molds for the SMC automotive wheels

따라 스탬핑한 후에 스폿용접을 하여 사용한다. 최근에 고강도 SMC를 사용하여 자동차 바퀴의 시작품이 제조되었는데, 바퀴는 위(Top), 아래(Bottom) 및 두개의 측면으로 미끌어지는 부분, 즉 네개의 부분으로 이루어진 금형에서 한번에 제조되었다.

압축성형제품을 생산하는데 사용되는 제품은 SMC외에도, BSMC(Bulk Molding Compound)와 TMC(Thick Molding Compound)가 있다. BMC는 두꺼운 로프나 통나무 형태로 제조되며, 유럽에서는 DTMC(Dough Molding Compound)로 알려져 있다. BMC는 6-12mm 정도의 E-glass 섬유를 무게로 15-20% 정도 포함하는 폴리에스터 수지로 이루어져 있다. 수지의 배합은 SMC와 비슷하며 수지와 자른 유리섬유의 혼합물이 믹서로 혼합되어 통나무 형태로 압출되어, 작은 길이로 잘라진다. 압출기에서 압출된 후 곧 성형될 경우에는 수지에 증점제를 넣지 않는다. 그렇지 않은 경우에는 MgO 분말과 같은 증점제를 수지에 넣은 후 점성을 증가시키기 위하여 숙성기간을 거친다. BMC로 성형된 제품의 인장강도, 인장강성 및 충격흡수에너지 등의 기계적 성질은 SMC로 성형된 제품보다 떨어진다. 이러한 기계적 성질의 저하는 포함된 섬유의 길이가 작고, 섬유의 양이 적기 때문이다.

TMC는 SMC의 일종이나, SMC의 두께가 6mm 이하인데 반해서, TMC는 판의 두께가 50mm까지 된다. TMC는 미리 혼합된 수지페이스트와 단섬유를 커다란 함침롤 사이를 통과시켜서 제조한다. 롤을 빠져나온 TMC는 두개의 폴리에틸렌 필름에 포장된다. SMC내의 유리섬유의 배열이 기본적으로 2차원 형상인데 비해, TMC내의 유리섬유의 배열은 3차원 분포를 갖는 장점이 있다. 또한 압축성형시 플라이(Ply)의 갯수를 적게 사용하여도 되므로, 층간균열(Interlaminar Crack)이 생길 확률이 적다. 이외에도 TMC공정은 좋은 함침효율과, 제어특성 때문에 높은 충전제의 함유율을 가져온다.

### 5.2 필라멘트 와인딩(Filament Winding)공정

필라멘트 와인딩 공정은 섬유상의 양(Yarn)이

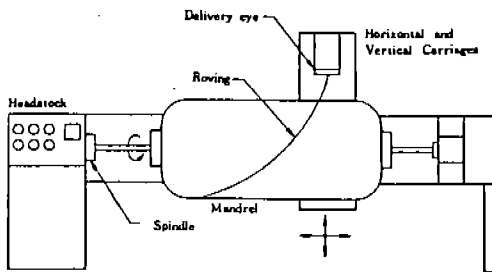


Fig.7 Horizontal type filament winding machine

나 토우(Tow)에 수지를 함침시킨 후 회전하는 맨드릴 주위에 일정하게 감은 후 경화(Cure)시키는 공정이다. 내부의 맨드릴은 제거하거나, 제거하기가 어려운 경우에는 복합재료의 내부에 그냥 남겨놓은 경우도 있다. 이 공정으로 얻을 수 있는 제품의 모양은 간단하며, 후륜 구동 자동차의 동력 전달축을 이 방법으로 제조하고 있다. 이 공정에 주로 사용되는 섬유로는 유리섬유, 탄소섬유, Aramid 섬유등이고, 수지는 폴리에스터, 비닐에스터와 에폭시 수지등이다. Fig.7은 수평형 필라멘트 와인딩 기계를 보여준다.

필라멘트와인딩공정은 다른 복합재료 가공법에 비하여 사용되는 재료의 가격이 저렴하고 인건비가 적게들며, 컴퓨터 제어나 로봇등을 사용하면 생산공정의 균일성을 이룩할 수가 있기 때문에 제품의 복제성(Reproducibility)이 좋다는 이점이 있다. 이 공정의 가장 큰 취약점은 Mandrel의 제거가 어렵고, 안으로 들어간 면의 제조가 불가능하다는 것이다.

필라멘트 와인딩 제어장치는 맨드릴의 회전속도와 좌우 이동속도를 조화시켜야만 한다. 제어장치는 한가지 제품만을 위한 것과 여러가지 제품을 위한 것이 있다. 제어장치는 기계적인 작동방법과 컴퓨터를 사용하는 것이 있는데, 기계적인 작동방법은 초기 투자비용은 적게드나, 제품을 바꾸어 생산할 경우에 복잡한 계산이 필요하고, 하드웨어를 바꾸어야만 하는 번거로움이 있다. 간단한 모양의 제품을 대량 생산하는 경우에는, 기계적인 제어장치가 유리하며, 이 경우에는 주축과 이송장치사이의 운동을 기어 변속비를 조정(Coordination)함으로써 해결한다. 풍차

의 날개와 같이 복잡한 형상의 제품을 설계, 제작할 경우에는 5축의 와인딩 기계가 필요하며, 컴퓨터를 이용한 칼라 그래픽스 터미널에서 와인딩 패턴을 결정하고 보정함으로써, 와인딩 시간을 단축하고, 기계의 가동효율을 증가시킬 수가 있다.

초창기의 필라멘트 와인딩 기계는 초보적인 컴퓨터 제어를 장착한 선반(Lathe)형식의 기계로, 회전하는 맨드릴과 좌우로 움직이는 이송장치에 의하여 제품을 생산하였다. Race Track 혹은 Orbital 와인딩 기계는 와인딩 헤드가 맨드릴 주위를 회전하면서 작업을 수행한다. 이 방법은 Polar 와인딩이 필요한 로케트의 모터 케이스등을 제조할 때에 주로 사용된다. 이외에도 Tumble형, Whirling Arm형, 및 구면 와인딩 기계가 있다.<sup>9)</sup>

### 5.3 RTM(Resin Transfer Molding)

RTM(Resin Transfer Molding)은 작은 물체에서부터, 큰 물체까지를 생산할 수 있는 방법으로 Fig.8은 기본적인 공정을 Hand Lay UP 및 Compression Molding과 비교하고 있다. RTM 공정에서는 프리폼(Preform)이라고 불리는 제품의 형상과 비슷하게 채단이 되거나 형체를 갖춘 강화재(Reinforcement)가 금형내부에 놓이게 된다. 금형이 닫히고 체결(Clamp)되면, 수지가 금형의 통기(Vent)구로 부터 흘러나오기 시작할 때, 수지의 유동이 정지되고 수지의 경화가 시작된다.

제품을 금형에서 꺼낼 수 있을 정도로 경화를 시키는 데에는 수지의 종류에 따라 수분에서 수시간이 걸리며, 금형에서 꺼낸 제품은 수지의 반응을 완전하게 하기위하여 후경화(Postcure)를 시킬수도 있다.

RTM에서 사용되는 수지의 점성은 상온에서 100~1,000cP이고, 수지는 일반적으로 두가지 성분으로 되어 있으며, 100:1의 조성비를 갖는다. 수지의 두 성분은 일반적인 믹서를 사용하여 낮은 압력에서 혼합시킬 수가 있다.

Fig.9는 자동차의 부품을 생산할 수 있는 HS-RTM(High Speed Resin Transfer Molding) 공정을 보여주고 있다. 우리가 강화된 평판 모양의 재료가 3차원 형상의 프리폼 셸(Shell) 형상으로

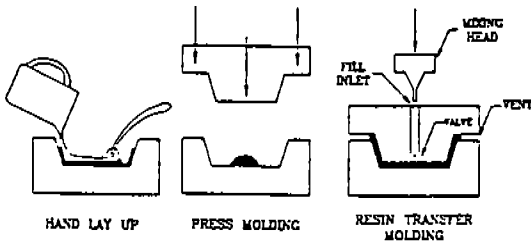


Fig.8 RTM, Hand-lay up and compression molding processes.

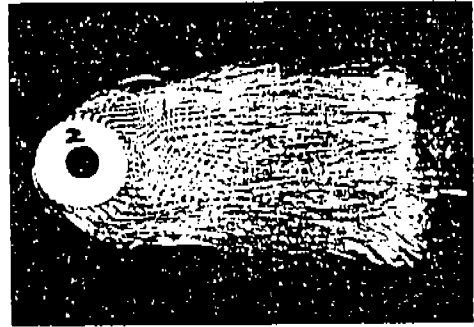


Fig.10 Shape of the braided free form

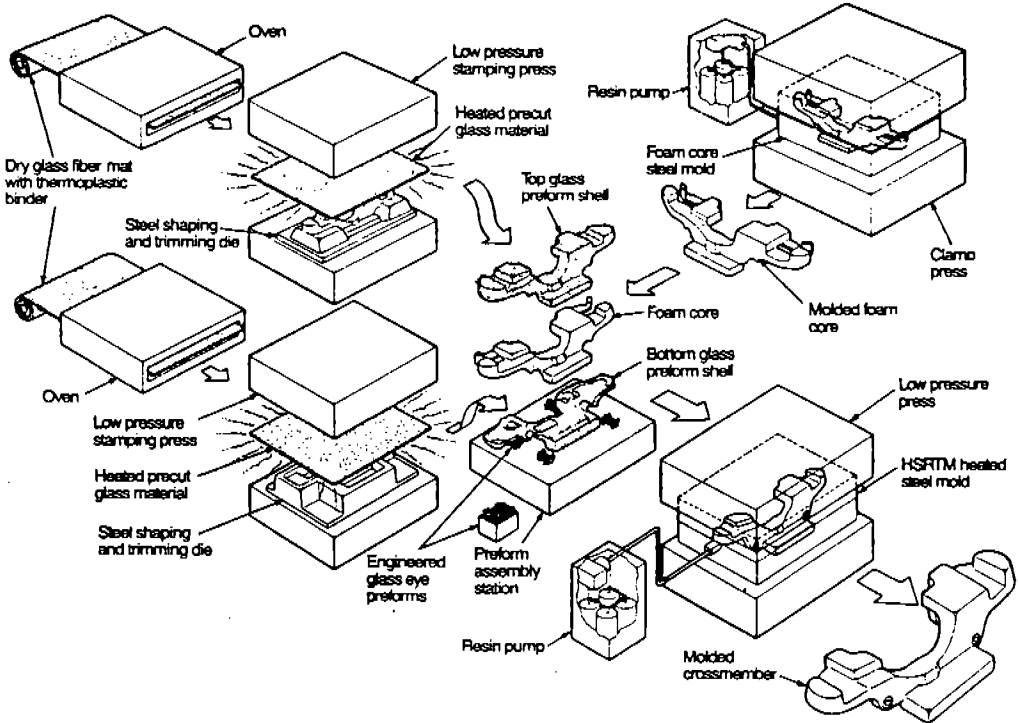


Fig.9 HSRTM process for the production of automotive parts

스탬핑(Stamping) 된 후에 성형된 포움코어(Foam Core) 위에 장착된다. 높은 응력을 받는 부분에는 고성능의 프리폼을 부분적으로 부가한 후에, 수지의 사출을 위하여 조립된 프리폼을 가열된 금속 강철 금형으로 옮긴다.

RTM의 가장 큰 이점은 제작 가능한 제품의 크기에 있다. RTM 공정은 낮은 압력을 사용하기 때문에 큰 단면적을 갖는 제품을 쉽게 만들 수가 있다. 사이클 시간이 중요하지 않은 경우에는 0.

068MPa(10psi) 정도의 압력도 사용할 수가 있으며, VARI(Vacuum Assisted Resin Injection) 공정인 경우에, 성형 사이클 전체 공정에서 금형내의 압력을 대기압 이하로 내릴 수가 있다. 이렇게 낮은 압력 때문에, RTM 공정은 최소의 금형 체결력만을 필요로 한다. 그러나 압축성형(Compression Molding)공정과 같은 복합재료 제조 공정은 표면의 좋은 조도와 기계적 성질을 얻기 위하여 13.8MPa(2,000psi) 정도의 압력을 필요로 한다.

넓은 단면적의 제품을 생산할 수 있다는 장점에  
에도, RTM 공정은 경화 전에 매우 낮은 점도의  
액체가 금형내에 존재하므로 합침이 향상되고  
기공이 최소화 되므로, 깊은 부분이나 최소한의  
경사(Draft 혹은 Taper)를 갖는 제품을 생산할  
수가 있다. 다른 성형 방법인 열경화성(Thermo-  
setting)수지의 압축 성형 공정이나, 열 가소성  
(Thermoplastic)수지의 압축 성형 공정은 Consoli-  
dation에 요구되는 압력때문에 성형할 수 있는  
깊이에 제한이 있다.

포드 자동차는 45개의 스펀핑한 강판으로  
이루어진 자동차의 앞부분 구조(Front Structure)  
를 한개의 RTM 공정으로 성형하였다. 이렇게  
제조된 부품은 무게가 30% 가벼울 뿐만 아니라  
충돌 성능및 내구성이 향상되는 것으로 나타났다.

하중을 받는 부분의 구조를 연결(Joining)하는  
것이 복합재료를 이용한 구조 설계및 제조의 중  
요한 분야이다. RTM 구조에서는 프리폼을 만들  
때 연결 부분을 미리 집어 넣는 것이 바람직하며,  
응력(Stress)을 잘 분산 시키기 위하여 연결 부  
분과 전체 구조를 매끄럽게 잘 연결하여야만 한  
다. Fig.10는 트럭의 아래부분의 서스펜션 팔을  
땀은(Braided) 유리 섬유로 제조한 프리폼을 보  
여준다. 이렇게 제조한 구조는 연결 부분의 눈  
(Eye)의 플랜지 부분을 통하여 응력이 분산이  
이루어 진다.

RTM의 장점은 제품을 생산하는 금형의 제조가  
용이하다는 것이다. RTM에 사용되는 수지의 압  
력은 낮으며, 때로는 대기압보다도 낮은 압력에서  
사용되기 때문에, 금형의 설계가 용이하고 비용도  
저렴하게 된다. 압력이 낮기때문에 저가의 에폭시  
(Epoxy) 금형을 사용할 수 있으며, 실제로 생산  
량이 많지 않은 경우에 RTM 금형의 대부분은  
에폭시로 제조되며, 에폭시 금형의 최대 생산량은  
수천 개이다. 제품의 형상이 복잡하여지면 프리  
폼을 장착하는 과정에서 발생하는 금형의 마멸과  
손상때문에 성형할 수 있는 제품의 개수가 감소  
된다. 일반적으로 에폭시 금형은 여러개의 분할된  
금형으로 제조되지 않으나, 금형의 한쪽이나 양쪽  
모두에 제거할 수 있는 삽입물(Insert)을 부가할  
수가 있다. 에폭시 금형의 내부는 고품질의 에

폭시 수지로 이루어지며 여러겹의 유리섬유 천과  
에폭시 수지에 의하여 지탱된다. 금형의 전체  
두께는 2.54cm(1 in)까지 될 수가 있으며, 금형의  
제조과정에서 가열및 냉각용 배관을 금형의 뒷  
면에 첨가할 수도 있으나, 금형면의 낮은 열 전달  
계수 때문에 효과가 떨어지게 된다.

좀 더 좋은 표면과, 향상된 내구성및 열적 반  
응이 빠르며, 높은 성형 압력이 필요한 경우는  
니켈 셸(Nickel Shell) 금형이 사용된다. 니켈 셸  
금형은 가격이 비싸나 품질의 우수함은 가격을  
능가한다. 니켈 셸 금형을 사용하면 매우 높은  
정도의 표면을 얻을 수가 있으며, 금형을 149°C  
(300°F)까지 쉽게 가열할 수가 있으므로, 여러  
종류의 열 수축이 작은 수지와 금형 이형체를  
이용할 수가 있다.

중간정도의 생산량을 위해서는 주형(Casting)  
금형이 사용될 수가 있다. 아연합금을 사용한  
금형이나, 알루미늄이나 강철의 얇은 셸 금형이  
RTM 금형으로 유효하게 사용될 수가 있다. 이  
러한 금형은 니켈 셸 금형과 비슷한 장점이 있  
으나, 니켈 셸 금형에서 발생하기 쉬운 뒤틀림이  
발생하지 않는 장점이 있다. 통기구와 실은 에  
폭시 금형보다 장착하기가 어려우나, 니켈 셸  
금형보다는 쉽다. 주형 금형으로는 일반적으로  
높은 정도의 표면을 만들 수가 있으나, 아연과  
알루미늄은 금형의 제조시 다공성이 되는 경향이  
 많으므로 이형체를 많이 도포하여야할 필요가  
있다. 주형 금형은 니켈 셸 금형과 생산량이 비  
슷하나, 니켈 셸 금형의 경우에 발생하는 잔류  
응력이 존재하지 않으므로 좀 더 긴 수명을 가질  
수가 있다.

생산량이 아주 많은 경우나, 복잡하면서 여러  
개의 부품으로 나누어진 금형이 필요한 경우는  
공구강을 가공하여 금형을 제조한다. 이러한 금  
형은 공정을 자동화하고 사이클 시간을 줄이기  
위하여 금형내에 로케이션(Location) 핀과 이젝터  
(Ejector) 동을 장착한다. 강철 금형은 가격이  
비싸나 500,000~1,000,000개의 부품을 한개의 금  
형으로 제조할 수가 있다. 강철 금형은 복잡하기  
때문에 금형의 게이트(Gate), 통기구(Vent) 및  
실을 미리 결정하여야만 하는 어려움이 있다.



현재 금형 내의 프리폼을 통과하는 수지의 유동 현상을 해석하여 게이트와 통기구를 결정할 수 있게하는 프로그램이 존재한다.<sup>5)</sup> 복잡한 강철 금형의 경우에는 열의 효율을 높이기 위하여 열 전달 해석을 필요로 할 경우도 있다. 자동화된 RTM 금형에는 수지의 입구와 통기구를 자체로 청소할 수 있는 유압작동 밸브가 장치되어 있다. 강철 금형은 사이클 시간, 표면경도, 제품간의 균일성, 금형의 내구성 및 자동화의 관점에서 가장 좋으나, 높은 가격때문에 생산량이 10,000~50,000 정도인 경우에는 비용 문제를 신중히 고려하여야만 한다.

### 5.4 펄투르전(Pultrusion)

펄투르전은 높은 섬유함유율을 가지는 고분자 복합재료를 제조하기 위하여 사용되는 연속공정이다.<sup>4,5)</sup> 펄투르전은 강화섬유가 주로 축 방향으로 배열되며, 이 점이 강화섬유가 회전방향으로 놓이는 필라멘트 와인딩과 다르다. 따라서 축에 수직인 방향으로 섬유를 특별히 강화를 시키지 않으면 펄투르전으로 제조한 제품의 강성 및 강도는 섬유방향인 축 방향에서 주로 나온다.

펄투르전은 초기에 고안되었을 때에는 고정단면을 가지는 직선형태의 제품을 생산하는데 주로 사용되어 왔으나, 최근에는 펄투르전 방법으로 B 스테이지로 경화된 반제품을 사용하여 곡선형상의 제품을 생산할 수 있게 되었다. 현재 이 세상에는 650 대 정도의 펄투르전 장치가 연간 100,000톤 정도의 제품을 생산하고 있다.

펄투르전은 초창기에는 낚시대와 같은 간단한 막대기 모양의 제품을 생산하였으나, 최근에는 펄투르전을 사용하여 구조재를 생산하고 있다. ANSI(American National Standards Institute)는 펄투르전으로 생산한 유리섬유 계단과 사다리에 대한 표준을 만들었으며, ASTM(American Society for Testing and Materials)은 펄투르전에 관련된 세부사항을 제정하였다(ASTM D 20-18.02)<sup>4, 5)</sup>. 최근에는 유리섬유와 탄소섬유를 알루미늄튜브 위에 펄투르전 방법으로 적층한 자동차용 드라이브 샤프트가 Morrison Molded Fiber Glass Company에 의하여 개발되었다. 이 드라이브 샤프

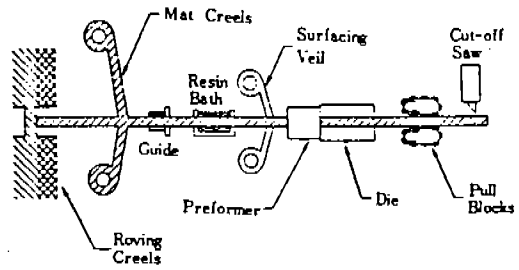


Fig.11 Pultrusion process

트는 한개의 샤프트로 이루어져있기 때문에 중간에 유니버설조인트가 없으며 벤과 경트력에 채용되고 있다.

펄투르전공정에서는 강화섬유와 첨가물(Additive)이 수지에 함침되어 가열된 다이(Die) 내부를 통하여 당겨진다. 이 공정은 금속의 압출(Extrusion)과 비슷한 데, 다른 점은 압출공정에서는 금속이 다이 내부를 밀려나가나, 펄투르전에서는 복합재료가 당겨진다. 펄투르전 공정에서는 내부가 차거나(Solid) 혹은 빈(Hollow) 제품을 모두 생산할 수가 있으며, 연속공정중에 적당한 길이로 잘라서 운반 및 하역이 용이토록한다.

펄투르전 공정은 제조할 제품의 형상에 의하여 차이는 있으나 대개 1.5~60m/h의 연속적인 속도로 제품의 생산이 가능하다. 이 공정은 쉬지 않고 주야로 작업을 할 수 있다는 장점이 있으며, 2주에 한번 정도 정기적인 청소를 위하여 작업을 정지한다. Fig.11은 펄투르전 공정의 기본적인 기능을 보여준다.

## 6. 결 론

본 Article에서는 자동차용 복합재료 부품 및 복합재료 차체의 설계방법, 현재까지의 개발현황 및 제조방법을 고찰하였다. 자동차의 연비 및 안전도를 향상시키고 승차감을 좋게하며 자동차 생산 선진국과의 자동차 수출경쟁에서 승리하기 위해서는 자동차에 복합재료 차체와 부품을 사용하는 것이 필수적이다. 이를 위하여는 복합재료 부품 및 차체를 제조하기 위한 적합한 기존의 공정을 선정하거나 새로운 공정을 개발하며, 적합한

재료를 선택하여 비용을 최소화 하면서도 만족할만한 성능의 제품을 양산할 수 있는 제조방법을 개발하는 것이 시급한 과제이다.

### 참 고 문 헌

1. T. J. Reinhart(Eds). Engineered Materials Handbook, Composites, ASM International, Metals Park, Ohio 44073, U.S.A., 1987.
2. M. Schwartz, Composite Materials Handbook, 2nd Edition, McGraw-Hill, Inc., Section 7, 1991.
3. J. W. Weeton, D. M. Peters and K. L. Thomas, Engineers Guide to Composite Materials, American Society for Metals, Section 4, 1987.
4. P. K. Mallick and S. Newman(Eds.) Composite Materials Technology, Processes and Properties, Hanser Publishers, 1990.
5. 이대길, 복합재료 역학및 가공론, 성안당, 1993.
6. General Motors Catalogue.
7. P. K. Mallick, Fiber-reinforced Composites, Materials, Manufacturing, and Design, Marcel Dekker, Inc., Chapter 2, 1988.
8. M. Dewan and T. N. Coppock, Proceedings of the 36th Annual SPI Technical Conference, 16-B, 1981.
9. G. Lubin(Eds.), Handbook of Composites, Van Nostrand Reinhold, Chapter 16, 1982.