

자동차 현가장치용 FRP 판 Spring 제조기술 개발

최선준 · 박진용

(대원강업(주) 기술연구소)

1. 서 론

최근 선진국들은 지구의 대기오염 등 환경문제가 심각해지자 이의 해결에 큰 관심을 보여 환경오염 방지를 위하여 여러 가지 제도적 장치를 마련하고 있으며 나아가 자신들의 앞선 환경 관련 기술을 바탕으로 자국의 산업보호와 연계시키는 움직임도 일어나고 있다. 자동차 분야에서는 배기가스 규제 움직임이 본격적으로 추진되고 이에 대응하기 위한 수단으로써 자동차의 경량화 문제가 심각히 거론되고 해결방안이 연구 및 개발되고 있는 실정이다.

이 추세의 일환으로 스프링에서는 고강도 재료 개발, 내구수명 및 항복 강도의 증가를 위한 새로운 공정 개발, 신 소재 적용 연구 등이 이루어지고 있으며 FRP 스프링 개발도 하나의 부분으로 추진 되어 왔다.

FRP 판스프링은 기존 강재 스프링에 비해 중량의 경감, 안전성, 소음의 저하, 승차감 향상, 내구성 향상, 최적 설계 등의 장점을 갖고 있으며 가격이 비싸지며, 사용 온도의 제한, 폭 방향의 강도 저하, 취부 부분의 복잡성 등의 단점이 있다.

미국 GM 사가 1980년 세계에서 처음으로 스포츠카에 FRP 판 스프링을 채용한 이래 미국의 경우는 GM 사가 1985년형 모델의 밴 아스트로에 채용하였고, 1986년에는 주력 승용차인 캐딜락 시리즈의 세빌, 엘도라도, 뷰익 시리즈의 리비에라, 올즈모빌 시리즈의 드로나트 등에 채용하였다. 또한 GM은 현재 개발중인 중, 소형 승용차(GM-10)에도 FRP판 스프링을 채용하고 있는 것으로 보고하고 있다.

일본의 경우는 1985년에 일본 발조가 개발한 FRP판 스프링이 일산 자동차 바네트의 전륜용 판

스프링에 채용된 것이 처음이다. 또한 일본 발조는 85년에 대형 트럭용 FRP 판스프링도 개발하였으며, FRP판 스프링이 대형트럭에 채용된 것은 세계에서 최초이다. 대형트럭의 경우 스프링의 중량은 스프링강에 비해 50% 이상 낮게 되고, 1대당 300 Kg 정도 경감할 수 있었으며, 연비율, 주행성 등의 개선효과도 컸다. 한편 미쓰비시 제강은 영국 GKN사와 일본에 합작 회사 트랜스라이트를 설립하여, 86년 4월에는 영국 GKN 사와 미쓰비시 자동차의 중형, 소형 트럭에 적용하였는데, Fig. 1에서 볼 수 있다. 더욱이, 토요타 자동차의 증앙발조도 85년 모터쇼에 FRP 판 스프링을 출품하여 실용화를 서두르고 있으며, 이미 실차 시험을 끝내고 자동차 회사의 채용을 기다리고 있는 단계이다.

영국의 GKN사는 86년 로버사의 밴과 미니버스에 FRP판 스프링을 채용하는 한편 일본 미쓰비시 제강과 합작하여 일본 시장에 진출하였으며, 독일에서는 석유화학 회사인 BASF사에서 FRP 판스프링을 제작하여 벤츠의 경트럭 및 MAN사의 중트럭에 채용하였다.

그러나 근래에 들어 와서는 FRP판스프링의 채용에 대한 보고는 거의 없어 FRP의 채용이 크게 활성화되지 못하고 있는 것 같다. 당사도 스프링 전문업체로써 이러한 세계적인 추세에 보조를 맞추기 위하여 1982년도부터 연구에 착수하였는데, 1985년까지는 FRP판스프링의 가능성을 검증하기 위하여 자료수집, 설계방법, 공정시험 등을 하였으며, 1986년부터 1989년에 걸쳐서는 필라멘트와인딩법과 프레스법을 이용하여 소형 상용차용 견본을 제작하여 실차시험을 하였다. 1990년부터 국내 여러 자동차사의 소형차량에의 적용을 위해 자동차와 공동개발을 하여 일부는 실차 시험까지 하였으며 1994년 후반부터 1995년 사이에 일부 차종에 대해 양산 납품하였으나 당사의 사정상 현재는 생산하지

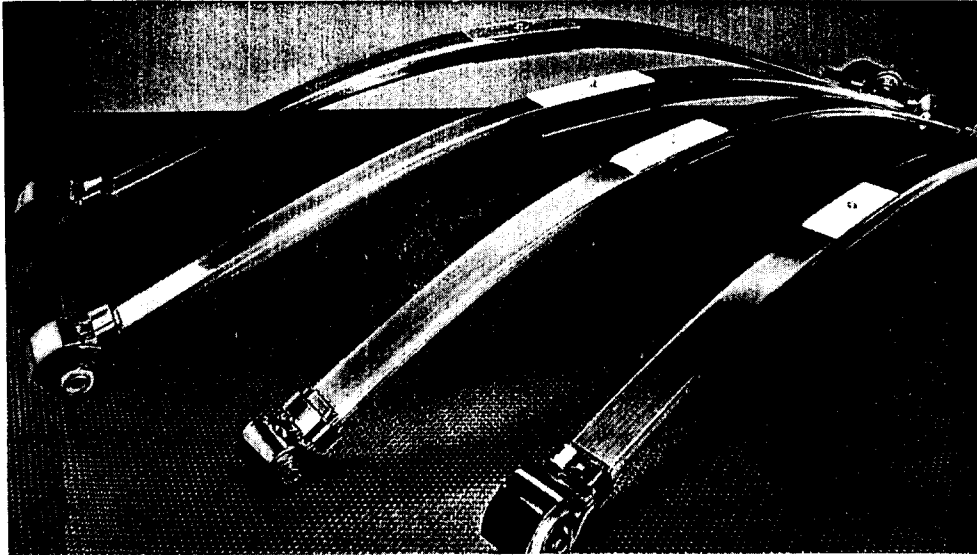


Fig. 1 FRP Leaf spring made by GKN-Mitsubishi

않고 있다.

이러한 당사의 연구개발을 기초로 하여 본 발표는 당사에서 개발한 FRP 판스프링 제조공정개발, 시험 평가한 결과 등에 대해 정리 및 요약한 것이다.

2. 재료 선정 및 시험 시험

2.1 재료 선정

FRP 판스프링은 크게 FRP 판, 센터클램프, 아이부 등 3부분으로 나눌 수가 있는데 이 중 가장

중요한 것이 FRP판이며 이것을 제조하기 위해서는 강화 섬유, 수지, 경화제가 필요하다.

본 연구에서는 강화섬유로써는 로빙형상의 유리 섬유(Glass fiber)를 사용하였는데 강도와 가격을 고려하여 선정하였다. 이 재료의 화학성분과 물성은 Table 1과 같다. 수지는 비스페놀형 에폭시 수지를 사용하였으며 수지와 경화제는 스프링에서 요구하는 측면강도, 당사가 개발한 성형 및 경화 공정에 알맞게 조제 및 배합되었으며 그 배합된 상태의 기계적 성질은 Table 2와 같다.

Table 1 Chemical composition and mechanical properties of glass fiber

Comosition	SiO ₂	CaO	Al ₂ O ₃	B ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	F ₂
Percent	52~56	16~25	12~16	5~10	0~5	0~2	0~1.5	0~0.8	0~1.0
Specific gravity					2.5				
Tensile strength psi * 10					200~300				
Tensile modulus psi * 10					10.5				
Coeff. thermal expansion liner/°F * 10					2.8				

Table 2 Mechanical properties of Epoxy resin (150°C * 30 min)

Property	Unit	Values
Bending strength	kg/cm ²	943
Compressive strength	kg/cm ²	871
Tensile strength	kg/cm ²	271
Impact strength	kg/cm ²	2.87
Adhesive load	kg/cm ²	105
Hardness	Barber colman	75

2.2 시편시험

FRP의 기계적 성질은 성형온도, 시간, 압력, 화이버 밀도 및 기타 조건에 의하여 변화하는데 설계 및 성형조건을 설정하기 위한 기초 자료로써 활용하기 위해 시편시험을 하였는데 FRP에 관련된 시험규격인 KSF 2240-2249, ASTM D790M에 의거 시험편을 제작하고 그 규격에 따라 시험하였다. 이때 화이버의 체적밀도는 수지와의 최적 강도 유지가 가능한 55%, 60% 두 가지에 대해 시험하였으며 결본제작시에도 가능한 FRP판 전체에 걸쳐 이 비율이 유지될 수 있도록 하였다. 시편시험은 굽힘 시험(Long-bean, short-bean), 중간전단시험, 압축강도시험, 면내 전단 강도 시험, 90° 인장강도시험, 0° 인장강도시험 등이 행하여졌다.

3. 제조 공정

FRP판스프링의 공정은 Fig. 2와 같이 강화섬유에 에폭시 수지를 혼합시키는 공정에서부터 출발하여 시험까지 크게 7개의 공정을 거치는데 이 중에서 가장 중요한 것이 와인딩, 성형, 그리고 경화공정이며 이 세 가지 공정이 스프링의 품질, 공정시간을 결정하는 가장 큰 변수이다. 당사에서는 스프링을 위한 최적의 조건을 찾기 위해 이 세 가지 공정에 대해 여러 가지의 방법을 시험하였는데 필라멘트 와인딩(filament winding)과 프레스 경화, 적층 성형과 프레스 경화 등의 시행착오를 거쳐 스프링에 필요한 강도를 유지하면서 공정 시간을 단축시

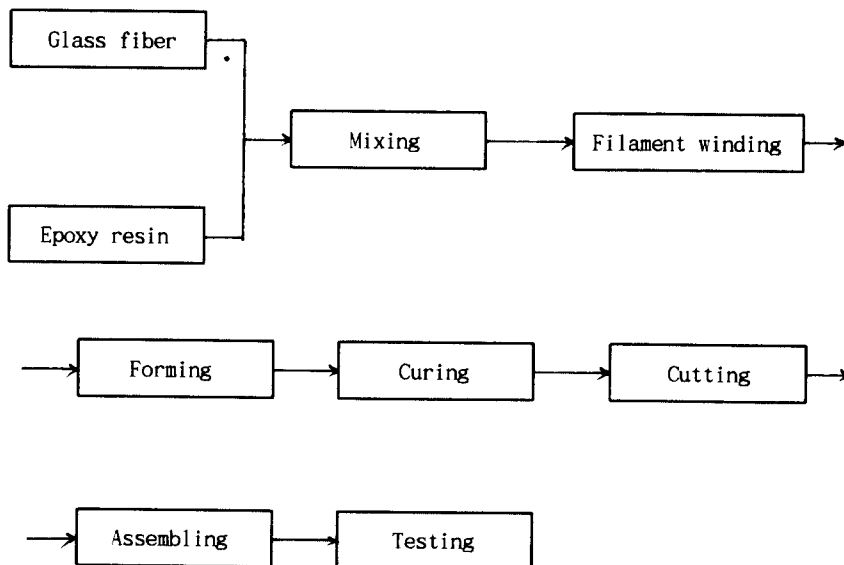


Fig. 2 Manufacturing process of FRP leaf spring

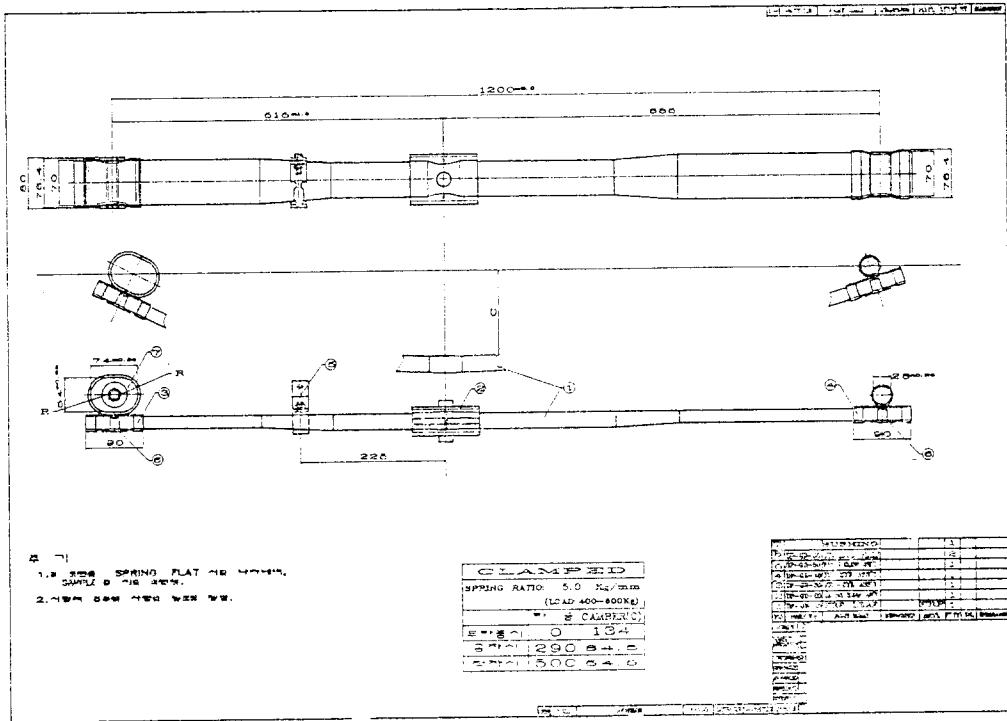


Fig. 3 FRP leaf spring for Small commercial vehicle

킬 수 있는 수정 필라멘트 와인딩 방법을 개발하였다.

당사에서 개발한 제조공정의 각각에 대하여 소형 상용차에 사용되는 FRP판 스프링 (Fig.3 참조)을 대상으로 기술코자 한다.

3.1 혼합공정

강화섬유에 수지를 묻히는 공정으로 와인딩 공정에서의 섬유와 수지의 혼합 비율에 큰 영향을 미치므로 수지가 묻는 비율을 조정할 필요가 있다. 당사에서는 강화섬유를 수지에 침적시킨 후 1올씩 구멍을 통과시켜 구멍의 크기로 섬유와 수지의 혼합 비율을 조정하는 방법을 사용하였다.

3.2 필라멘트 와인딩 공정

수지를 묻힌 강화섬유를 금형에 적층시키는 공정으로 Fig.4와 같이 반경이 가변적인 물레에 적절한 숫자의 금형(하형)을 장착한 후 물레를 돌려 강화섬유를 금형에 적층시켰다. 이때 적층 결합력은 강화섬유의 인장력, 물레의 반경, 금형형상 등에 의해 결정되므로 주의하여야 하며 적층 결합력의 증

가 및 금형에의 충전을 증대시키기 위하여 별도의 압착 롤러를 사용하였다.

3.3 성형공정

적층이 완료되면 금형의 뚜껑(상형)을 체결하고 금형 사이의 강화섬유를 절단한 후 금형을 물레에서 탈착시킨다. 이때 FRP판의 두께 및 볼록 부분은 금형의 상형체결력에 의해 결정되므로 금형의 상, 하형 체결력이 발생할 수 있는 상형 및 체결기의 설계가 필요하다.

3.4 경화 공정

수지를 경화시켜 형상을 만드는 공정으로 탈착된 금형을 콘베어가 설치된 경화로를 통과시키는 것이다. 경화조건은 수지와 경화제에 따라 다르며 대개 130~140°C에서 20~30 min 정도이다. 일반적인 적층법이나 필라멘트 와인딩법에서는 이 경화공정이 설비와 시간이 많이 소요되어 생산성 저하의 주요인으로 작용하였으나 당사에서는 성형공정의 상하형법과 경화로 통과 방법을 이용하여 이러한 단점을 해결하였다.

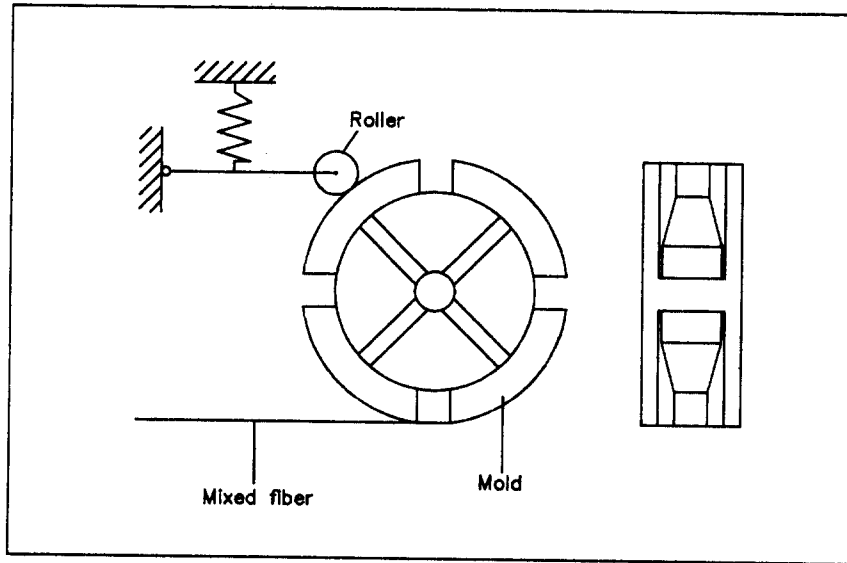


Fig. 4 Filament winding machine

3.5 절삭 공정

금형 간의 연결부위를 잘라내어 길이를 맞추는 절단작업, 모서리의 트리밍 작업 등을 거쳐 FRP 판 형상을 완료시키는 공정이다. 당사의 경우 강화 섬유를 길이 방향으로만 배열하였기 때문에 이 방향과 90° 방향은 수지의 결합력만 작용하여 판의 모서리를 따라 전단응력이 발생하면 이 부분의 박리현상이 발생하므로 판의 비틀림 등에 의한 전단응력의 집중현상을 막기 위하여 트리밍 작업이 꼭 필요하다. 당사의 경우 모방 트리밍기를 자체 제작하여 사용하였다.

3.6 조립 공정

FRP판, 센터 클램프, 아이부를 조립하는 공정으로 집합, 볼트 결합, 프레스 결합, 면압을 이용하는 방법 등 여러 가지 있으며 여러 가지 아이디어가 특허로 출원도 나와있다. 당사에서는 변압을 이용하는 방법, 프레스 결합, 볼트 결합 등의 방법을 사용하였다.

3.7 시험

조립된 FRP 판스프링의 외관, 결합, 스프링 특성, 조립부 강도, 내부성능 등을 시험하는 공정으로 최종품질 확인 작업이다.

4. 시험 및 고찰

4.1 시험

(1) 시험장비

- 50 Ton 만능재료시험기
- 1.5 Ton 동하중 시험기
- 각종 시험치구

(2) 시험 항목 및 결과

시험 항목은 크게 4그룹으로 나눌 수가 있는데 FRP 판스프링의 강도 시험, 조립품의 강도시험, 특성시험, 내구시험이 그것이다. FRP 판스프링의 강도시험에는 다시 수직방향, 수평방향, 비틀림, 와인드업 강도 시험으로 나눌 수가 있으며 조립품의 강도시험에는 길이 방향 강도 시험이 있고 수평방향 강도 시험도 포함된다. 특성시험에는 상하방향 정적 및 동적 스프링 상수 시험이 포함된다. 각 시험에 대한 시험 사양, 규격, 시험결과는 Table 3에서 볼 수 있는데 이 결과는 소형 상용차용 FRP 판스프링에 대한 것이다.

4.2 고찰

시험 결과 FRP판 스프링은 기존의 강재 판스프링에 비해 수직 강도면에서는 동등 수준으로 평가되었으나 FRP판에 조립되는 부분의 취약성으로 인해 비록 사용상 필요한 강도를 가지고 있지만 강

Table 3 Test specifications and results of FRP leaf spring

No	Test	Checking point	Specification	Results
1	Vertical strength	- Max load - load loss	>1000 kgf < ±2mm	No failure No load loss
2	Lateral strength	- Max. load	>1000 kgf	No failure
3	Longitudinal strength	- Max. load	>500 kgf	No failure
4	Torsional strength	- Twist angle	>10°	No failure
5	Wind-up strength	- Moment	>500 * 604 kgf. mm	No failure
6	Static spring rate	- Spring rate	K ±7%	< ±5%
7	Dynamic spring rate	- Spring rate	Static spring rate + Max. 50%	Static spring rate + (26 ~ 36) %
8	Fatigue test	- Fatigue cycles - load loss	>200,000 cycles < ±2 mm	No failure after 500,000 cycles 5 ~ 1.5 mm

재스프링에 비해 떨어짐을 알 수 있었다. 그러나 정적 스프링 상수를 기준으로 한 동적 하중 상태에서의 스프링상수 증가율은 강재 스프링에 비해 떨어져 차량의 승차감 향상에 기여함을 알 수 있으며 또한 내구력도 강재에 비해 매우 향상되며 피로 파손 시에도 강재는 길이 직각 방향으로 파손이 진전되어 구조물의 역할을 겸하고 있는 판스프링의 용도에 비추어 볼 때 매우 위험하나, FRP스프링의 경우 길이 방향으로 파손이 일어나므로 구조물 역할은 그대로 수행할 수 있어 안전성 측면에도 매우 바람직함을 알 수 있다. 나아가 가장 중요한 효과인 중량감소 측면에서는 기존 강재 스프링에 비해 66%의 경량화 효과를 볼 수 있었다.

5. 결 론

- FRP를 이용한 판스프링의 제조공정을 개발하였다.
- 개발한 제조공정은 수정 필라멘트 와인딩 법과 상하 금형 방법의 성형공정을 개발하여 기존의 공정보다 생산성을 3~5배 향상시킬 수 있었다.

- 이 공정으로 만든 FRP 판스프링을 시험한 결과 강도가 실차적용에 문제가 없었으며 내구력 및 영구변형, 동특성 등은 기존 강재판스프링에 의해 향상되었음을 알 수 있었다.
- 그러나 작업시 유리섬유 및 에폭시 수지에 의한 작업환경 문제, 폐기물 처리 문제, 재활용 문제 등 환경 측면에서 해결해야 할 과제가 남아 있다.

참고문헌

- (1) 이우일 외, 1994, 대한기계학회, 34권 5호, p. 310.
- (2) Atsushi M. 외, 1982, 자동차기술, 36권 8호.
- (3) Shoji S., 1974, 바네논문집, 19권.
- (4) 신정강부 외, 바네학회 추계강연회, 1985.
- (5) Murayama 외, FRP 성형가공기술, 공업 조사회, 1983.
- (6) FRP 생산과 기술, 플라스틱스, 1976.
- (7) 유원재외, FRP 판 스프링의 공정연구 특정연구 과제최종 보고서, 과기처, 1993.