

복합재료 타원형 스프링을 이용한 저속 충돌용 자동차 범퍼에 대한 연구

The Study of Low Speed Impact Car Bumper Useful Composite Material Elliptical Spring

박 인 송
I. S. Park



박 인 송
 • 1960년 8월 3일생
 • 기아자동차 중앙연구소
 • 강화프라스틱 자동차 차체

1. 서 론

복합재료를 이용한 부품의 개발이 전 산업에 걸쳐 다양하게 연구되고 그리고 실용화 되고 있다. 특히 복합재료는 높은 비강성 비강도 및 높은 감소의 특성을 지니고 있어 항공산업에는 그 적용범위가 필수적이라 할 수 있으며 최근에는 자동차 산업에도 각 시스템별로 경량화 및 가격 경쟁력 확보를 위해 적용 범위를 넓혀가고자 연구가 활발히 진행되고 있다. 분야별로 보면 엔진분야의 엔진커넥팅 로드 및 메니폴드 등을 들 수 있으며 차체는 본넷트, 트렁크 리드(Lid), 펜더(Fender), 쿼터(Quarter), 루프(Roof) 등 외관 전체를 적용코져 하는 연구가 계획되고 있으며, 특히 자동차 제작에 있어 인증사항의 중요한 부분인 프론트 범퍼와 리어 범퍼에는 그 사용범위 및 설계구조가 간단하고 제작이 손쉽게 되도록 하기위한 개발이 실제로 진행되고 있다. 샤시분야에서도 서스펜션의 스프링은 물론 arm에 이르기까지 적용되고 있다. 상용차 분야에서도 트

럭의 캐빈이나 콘테이너도 복합재료를 응용하여 실용화 되고 있다.

이를 위한 생산공법도 적용부품의 물성에 맞도록 하기위해 많은 연구개발이 되고 있으며 많이 사용되고 있는 SMC는 물론 RTM이 실용화 되고있고 최근에는 Vacuum RTM이나 RTM이나 LPMC등이 신기술로 개발 실용화 되어가고 있다. 본 논문에서는 복합재료를 응용하여 충돌에너지 흡수하도록 구조를 설계 개발하여 각종 자동차의 범퍼등에 응용하고 이 원리를 좀더 확대 응용되어지도록 하고자 하였다.

그러나 국내에서는 복합재료의 실용화 방안의 연구가 각 분야별로 전개 된다고 하더라도 원자재의 생산이 분야별로 부품의 특성에 맞는 물성의 원자재 공급이 불가능 한것이 현 복합재료 연구 및 실용화에 큰 문제로 대두되고 있다. 그러므로 복합재료의 원자재 개발과 실용화 연구가 조화가 되도록 관련 산업에 있어서 계획적으로 단계적 연구가 되어져야만 한다.

2. 복합재료의 특성

2.1 보강제의(Reinforcement) 특성

복합소재의 구성은 이미 알고 있는 사항들로서 보강제의 Fiber와 고분자수지의 각종 Resin 그리고 경화제를 첨가하여 제조된다.

이러한 복합재료는 사용하고자는 분야의 기능에 따라 라미네이트(Leminate)의 물성치가 다르게 요구되는데 이때 비강성의 결정은 보강제 Fiber의 특성에 의해 결정된다.

그 분류별로는 첫째로 Glass Fiber에는 E-Glass와 S₁, S₂-Glass가 있으며 S₂는 S₁급을 상업화한 것이다.

둘째는 ARAMID Fiber로서 Kevlar 49와 Kevlar 29가 있으며 Kevlar 29는 복합소재로는 약간 성분이 떨어진다. 그래서 Kevlar 49가 주로 사용된다.

셋째는 Carbon Fiber로서 High Strength와 High Modulus Ultra High Modulus로 구별된다.

넷째로 Boron Fiber로서 Polyester와 Polyethylene가 있다.

이와 같은 분류의 보강제는 물성치는 물론 가격도 상이하며 선택할 때에는 실험 연구가 필요하다. 이처럼 보강제의 사양에 따라 물성치가 다양하나 본 논문에서는 크게 Glass Fiber의 E-Glass와 S-Glass, Carbon Kevlar 49에 대한 물성치를 표 1과 같이 나타내고자 한다.

각 부품에 대체적으로 많이 사용되는 것이 E-Glass Type이며 그 이유는 일반 기능부품의 물성치에 알맞고 가격도 저렴하기 때문이다.

특히 Kevlar와 Carbon은 가격이 고가이며 강성을 특히 요하는 자동차 경우 "A" Pillar에 사용되며 많은 힘을 요하는 부위에 사용한다.

2.2 에폭시(Epoxy) 고분자 수지에 대한 물성

고분자 수지는 Polyester와 Vinylester, Epoxy

Phonalic, Polynnid등으로 구분되는데 일반적으로 폴리에스터 수지가 많이 사용되며 팬올 수지나 비일에스터는 공해문제 등으로 사용도가 저조하며 에폭시는 여러면으로 물성이 좋으나 가격이 다소 고가이다.

본 논문에서는 연구하고자 하는 부품의 기능을 감안하여 에폭시 수지를 사용하였다.

에폭시 수지는 다양한 특성으로 인하여 폴리에스터 수지보다 비행기 제작의 소재도 더욱 많이 사용되고 있다. 이것은 높은온도나 표면에 사용하는 하드너(Hardner)의 적절한 선정에 따라 화학적인 접착에 있어서도 그 수명이 보다 우수하게 된다. 그러나 산성에서는 그렇지 못하다. 이외로 우수한 점은 부품과 부품의 접착성 Bond로 사용되어 그 접착력이 상당히 우수하다. 그리고 수축율이 폴리에스터 수지에 비해 체적당 1-2% 정도로 상당히 우수하다.

경화시간은 몇분에서 부터 몇시간에 이르기까지 다양하며 경화온도 열의 180°C에 이르기까지 한다. 특히 하드너의 선택은 경화시 물성치에 영향을 미치게 하므로 그 선택이 중요하다. 또한 에폭시는 항상 점성유체이며 낮은 용융점을 가지며, 제품의 제작이 다른것에 비해 어렵다. 그러기 때문에 Hand Lay Up에 사용하는 수지는 묽게 해야 하므로 반응액을 첨가하여 경화시간을 조절하여야 한다.

또 수지가 완전경화가 되기전 상태로 하여 Pre Prg공법에 사용되기도 하며 이때의 상태는 끈적 끈적하게 보강제에 수지를 함침시킨 경우와 에폭시 수지와 보강제가 함침되었으나 건조된 상태로 된것이 있다. 이것에 열을 가하거나 압력을

표 1 Selected Filament Properties

Filament	Density (kg/m ³)	Tensile Strength (Gpa)	Specific Strongth (Mpa · m ² kg)	Modulus (Gpa)	Specific Modulus (Mpa · m ² kg)	Elonga-tion
E-Glass monofilament	2550	3.45	1.35	72.4	28.4	4.8
S-Glass monofilament	2500	4.59	1.84	96.9	38.9	5.3
Garbon ThorneI	1770	2.24	1.26	234	132	1.0
Aramid Kevlar 49	1400	2.76	1.92	131	91	2.0

가하여 제품을 성형한다.

장점으로는 접착성이 우수하며, 적은 습기와 병합이 가능하며 화학반응에 강하며 경화시 적은 수축율을 가졌으며 높은 강성과 강도를 가지며 높은 온도에서 내구성을 충분히 발휘할 수 있고 Polyester 수지는 낮은 압력 즉 5Psi에 비해 Epoxy 수지는 높은진공 상태에서도 경화가 가능하며 젤타임이 길며 복잡한 물체도 성형이 손쉽게 할 수 있다.

단점으로는 면이 우수하지 못하며 Polyester보

다 14%이상 고가이다. 또한 경화시간이 길며 경화시 항상 열원을 필요로 한다. 표 2는 Polyester와 Epoxy에 대한 물성을 나타내었다.

2.3 Laminated에 대한 물성

2.1, 2.2에서 보여준 물성을 가지고 복합재료를 만들게 되는데 그 물성치는 표 3과 같이 나타난다.

표는 본 논문의 시편에 사용된 Glass Fiber의 E-Glasst Epoxy와 Carbon Fiber의 High Strength + Epoxy, Aramid Fibe(Kevlar) + Epoxy를 적용하

표 2 에폭시수지와 폴리에스터수지의 비교물성표

Properties	Polyestor수지	Epoxy수지
Specific Gravity	1.12~1.46	1.35~1.5
Tensile Modulus Gpa	1.0~4.1	2.8 ~4.5
Tensile Strength	30~70	95~130
Failure Strain	1.5~2.6	1.5~8.0
Coefficient of ehernal expansion $\times 10^{-6}/^{\circ}C$	70~110	50~80

표 3 Laminate에 대한 물성표

	물 성	Glass fiber		Carbon fiber		Aramid fiber	
		E-Glass		High Strength		Kevlar49	
		Gpa	10 ⁶ psi	Mpa	10 ⁶ psi	Mpa	10 ⁶ psi
Elastic Constant	Longitudinal modulus : EL	45	6.5	220	32	76	11
	Transverse Modulus : ET	12	1.8	6.9	1.0	5.5	0.8
	Axial Shear Modulus GLT	5.5	0.8	4.8	0.7	2.1	0.3
	Poisson's Ratio DLT	0.28		0.25		0.34	
Strength Properties	Longitudinal Tension : FL ^{tu}	1020	150	760	110	1240	180
	Longitudinal Compression : FL ^{cu}	620	90	690	100	280	40
	Transverse Tension FT ^{tu}	40	7	28	4	30	4.3
	Longitudinal Compression Yield : FL ^{cy}	--	--	--	--	230	33
	Transverse Compression : FT ^{cu}	140	120	170	25	140	20
	In-plane Sheare FL ^{su}	70	10	70	10	60	9
Ultimate Strain(%)	Longitudinal Tension εL ^{tu}	2.3		0.3		1.6	
	Longitudinal Compression : εL ^{cu}	1.4		0.3		2.0	
	Transnsverse Tension : εT ^{tu}	0.4		0.4		0.5	
	Transverse Compression : εT ^{cu}	1.1		2.8		2.5	
	In-plane Shear : YLT ^G	1-6		1-6		1-6	
	Density kg/m ²	21×10 ³		1.64×10 ³		1.38×10 ³	
	Longitudinal Compression Yield : εL ^{cy}					0.3	

였을 때 나타나는 각각의 물성치를 보여준다. 각각의 Fiber의 함유량은 60%이며 보강재의 형상은 Unidirection Type이 사용되어졌다.

3. 실험과 고찰

3.1 저속충돌에너지 흡수의 스프링의 원리와 구조

3.1.1 개요

먼저 연구하고자 하는 과제와 목적은 북미 자동차 법규에 만족하는 정면충돌에너지 흡수 범퍼구조를 설계 연구하는데 있다.

북미는 물론 국내, 유럽에서도 충돌에 대한 안전규제가 명문화 되고 있는 실정이고 특히 북미 시장에는 현재 안전규제를 통과하지 않으면 수출이 불가능하다. 그래서 이러한 규제를 만족하게 하기위해 저속정면충돌에너지 흡수방안이 여러 가지 구조를 가지고 개발 실용되고 있으며 본 과제도 이러한 문제를 복합소재 스프링을 가지고 충돌에너지 흡수 구조를 연구하고자 한다.

그리고 북미 및 유럽 그리고 국내 안전규제는 Fig.1과 같으며 이러한 규제치를 만족시킬 수 있는 구조를 다음과 같이 설계했다.

3.1.2 구조

본 구조는 Space Frame 구조에 특히 적용이

Fig.1 자동차 Bumper에 대한 인증 규격표

국명	규격 No.	인 증 사 항				
북미	FMV581(미) CHVSS215(캐)	Test종류	위 치	횏 수	속 도	요 건
		Barrier Test	전·후	각1회	5MPH (캐) 2.5MPH (미)	-각 Lamp와 반사장치는 정상 작동(번호판 Lamp제외) -Hood/Trunk/Door 정상작동 -연료, 냉각, 배기장치가 누설이 없을것
		진 자 Test	전·후 양코너	각1회 (총4회)	5MPH 3MPH	-범퍼 찌그림량이 -9.5mm이하 -영구변형량 -19mm이하
유럽	E-CE42	-코너 충돌속도 : 2.5km/l -(기타는 미국과 동일)				
중동	GC41	Test종류	위 치	횏 수	충돌속도	요 건
		진 자 페스트	5평방향	전·후면 각2회	4± 0.5km/h	-정상작동장치 · L : ght Signal류 · Bnenet, Trunk · 배기, 현가, 제동, 조향 -Side Door는 열리지 않을 것
			코 어	전·후면 각2회	2.5± 0.1km/h	
한국 호주 일본 대만 홍콩 싱가폴		FMV SS 미국 인증 규제를 만족해야 함.				

유리하도록 촛점을 맞추었다. 그러나 그 원리는 자동차 전차종과 토목, 건축, 항공설비 등의 충돌완화 장치로 다양하게 응용될 수 있다.

구조는 중심선의 양쪽에 박스(Box)형 구조의 지지형 Support Beam을 설치하고 이 Supports Beam에 실험용 복합소재의 스프링의 양 %단을 고정하도록 하고 복합소재 스프링 뒷편에는 엔진과 라디에타, 라디에타 팬벨트 등에 설치되어 있다.

여기서 충돌완화 장치의 역할은 정면충돌시 중심선의 양쪽 Supports Beam이 전혀 손상이 가지 않도록 충격을 흡수하여 주는 것이다.

만약, Support Beam이 충돌에 의해 고정지지 Point가 치수 변형에 생긴다면, 차량의 좌표구조가 망그러져 차량의 주행은 물론 동력성능이 떨어지고 특히 승객 안전에 있어 큰 손상을 입힐 수 있는 상황까지 오게 된다. 그러므로 전장에 언급한 안전규제치를 만족할 수 있도록 범퍼의 구조를 만들어야 한다.

지금까지의 승용차의 구조는 Bumper 자체의 PNL과 내부에 충격완화 물질을 삽입하여 충격완화를 할 수 있도록 되어져 있다.

그러나 본 연구는 Bumper를 단지 차량의 스타일에 맞도록 외관구조로 되어있고 내부에 복합소재 충돌에너지 흡수 스프링 구조를 설치하여 충돌 규제를 만족시키도록 하였다. 이렇게 함으로써 지금까지의 충돌흡수 범위가 $\frac{1}{3}$ 가량 증가하고 얼마든지 완화장치는 그대로 두고 Bumper 외판을 자유자재로 형상을 만들 수 있게 되므로 차량 스타일에 무한한 자유도를 제공케 한다. 그리고 복합소재의 이용으로 경량화를 추구할 수

있고 가격면에서도 저렴해진다.

그렇다면 이러한 구조를 가지고 안전규제를 만족시킬 수 있는가 하는 실험은 Pendulum 실험과 Barrier 실험 2가지가 있다. Fig.2는 Pendulum 실험의 Side View의 Diagram이며 진자시험 역시 고정벽에 차량이 정해진 속도로 직진하여 충돌하도록 하는 실험이다.

실제 차량의 설계에 있어서는 Support Beam의 구조가 단단하게 할수 있고 차량 스타일 역시 Arow Dynamic하게 하여 고정 차체에 조금의 무리가 가지 않도록 설계 된다면 이상적이라 하겠다.

Fig.3은 Beam Frame의 예이지만 차량의 스타일이나 구조에 따라 응용되는 것은 다소 차이가 있으므로 기술적인 연구가 필요하겠다.

충돌면은 그림과 같이 중심선을 기준으로 중앙 24inch 충돌지역이 있고 모서리에 충돌할 때에는 접선선에서 30° 기울어져 충돌하도록 되어져 있음을 보여준다.

현재까지의 각종 차량에 이러한 규제를 만족하지 못한 이유는 충돌흡수 구조가 충돌시 굽힘 Curvature가 너무 적게 만들어져 있거나 그소재가 그러한 충돌에너지를 충분히 흡수하지 못하는 것이기 때문이다.

1973년에 북미 규제는 Banier 실험시 차량의 속도가 5mph과 3mph로 규정되어져 있다.

그렇다면 우리는 이러한 규제를 만족시키면서 그 구조는 무게를 가볍게 경량화시켜 연비를 향상시킬 수 있도록 하고 Bumper의 스타일을 세

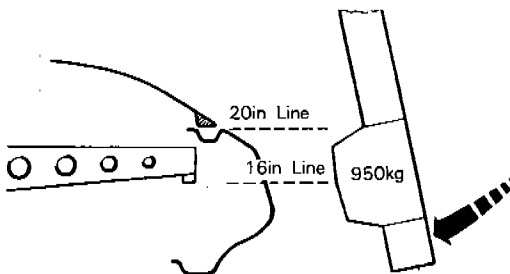


Fig.2 Sectional View

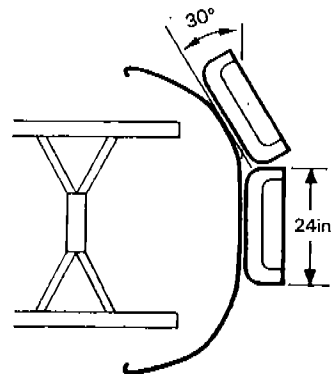


Fig.3 Plan View

Fig.4 저속충돌에너지 완충장치에 대한 시대별 기술비교

년도	기술 내역	예
1970년대	· Rigid Steel이나 Al Beam을 수압을 이용하여 취부	미국의 대부분의 차량
	· Rigid Steel이나 Al Beam을 고무큐손을 이용하여 취부	Jaguar의 MondSCO Strut
1980년대	· 인력선 성형의 탄성력이 있는 계란형 규손을 알루미늄 법에 취부	GM Guldflex
1980년 후반 이후, 현재	· 열가소성법에 복합소재 보강제를 결합(G.M.T) · 폴리우레탄 폼을 Al이나 GMT Beam에 결합	G.E Azael · 각종 승용차

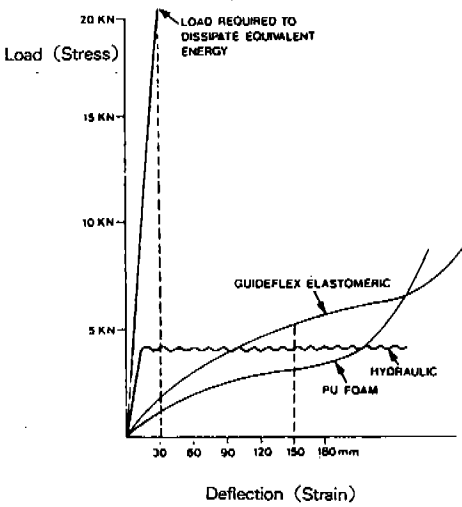


Fig.5 Energy Absorption Devices

런미있게 하여 공력학적인 면에서도 우수한 차량이 되도록 해야만 하며 개발을 위한 투자비 역시 저렴하게 되도록 이상적인 설계구조 및 재료선정이 필요하다.

참고적으로 70년대부터 현재까지 유명차량의 Bumper의 구조에 대한 사례를 Fig.4에서 설명하고자 한다.

현재 응용되고 있는 구조는 모자모양의 Beam 구조에 탄력성이 있는 폴리미 Foam을 흡수하여 만든 구조가 사용되고 있곤하다. 특히 A.G.M.T Beam을 응용한다면 알루미늄소재를 사용할 때 보다 가볍고 Deflection도 향상시킬 수 있을 것이다.

그래서 본 연구에서는 보다 높은 Strain 에너지를 갖추고 있는 복합소재를 가지고, 보다 가볍게 Beam을 제작하고 여기에 안쪽으로 복합재료 스프링을 역시 가볍고 Deflection이 우수한 복합소재를 이용하여 제작한후 Beam과 조합하여 안전규제를 물론 그이상의 효과를 낼 수 있도록 하였다.

여기서 각 자동차에 사용되고 있는 소재와 구조에 따라 어떠한 물성을 갖추고 있는지 Fig.5에서 살펴보기로 한다.

Fig.5에서 보면 Hydraulic(수압)을 이용하여 충돌에너지를 흡수하고자 했을때는 약 4kN의 Stress에 Deflection 15mm 정도에서 끝나므로 만족치 못한 결과를 보여주고 있으며, Pu Foam의 경우는 실제 자동차 설계에 있어서 Bumper의 Over Hang이 150mm로 한정되어 있을때 Pu Foam은 150mm Deflection에 만족할 수 있는 소재임을 보여주고 있다.

특히 Stress가 22kN을 가했을 경우 Deflection이 30mm에서 에너지 흡수가 완벽히 소산되어야만 하는 것을 보여주고 있다. 그래서 본 연구에서는 22kN의 힘에 대한 30mm 처짐을 기준 물성으로 삼아야만 한다. 그리고 이것에 만족하도록 복합소재의 선택과 구조, 형상, 설계, 연구되어야 한다.

이와같은 사항을 만족시킬 수 있도록 이론을 전개하고자 한다.

3.1.3 고찰

먼저 Pendulum 실험시에 나타나는 충격에너지는

$$E = \frac{1}{2} mV^2 \quad (m = 950\text{kg}) = \frac{950}{2} \times 1.1 \times 1^2 = 590 \text{ KJ}$$

이며

여기서 Pendulum 에너지를 Bumper 내에서 소화할 수 있는 것은 95%라고 하면(차량이 가속했을 때)

$$\therefore E = 322\text{KJ}$$

이다.

그리고 앞의 표에서 언급한 바와 같이 22KN의 힘에 30mm 처짐을 받으면서 에너지의 완전소산을 할 수 있는 스프링비는 720N/mm이다. 이와 같은 것을 만족하기 위해 실험을 실시하였다.

이와 같이 실험을 한 결과 사진 1과 같이 만족한 결과를 얻었다. 그렇다면 이처럼 만족한 결과를 얻기위해 사용된 소재에 대한 내용을 살펴보기로 한다.

이와 같은 조건을 만족시킬 수 있도록 하기 위해서는 복합소재에서 가장 중요한 것이 Reinforcement MAT(보강재)로서, 어떠한 사양을 선택하느냐 하는 것이다. 그래서 Fig.6은 이와같은 Stress-Strain을 그래프로 보여 주고 있으며 표에 나타나 있는 것과 같이 각각의 종류별 Reinforcement MAT(보강재)는 상당히 높은 수준의 충돌 에너지를 흡수할 수 있는 물성을 갖춘 강인하고 강력한 소재의 Fiber임을 할 수 있다.

특히 E-Glass Fiber가 Carbon Fiber보다 강인성면에서 다소 높은편으로 나타나있고 신율면에



사진 1 탄성력 실험

서는 상당히 우수한면을 보여주고 있다.

그리고 S, S₂ Glass Fiber 역시 상당히 높은 Strength와 Stianess을 갖추고 있으며, 더불어 적당신율도 겸비된것을 알 수 있다.

이러한 물성의 Fiber를 사용한다면 어떠한 다른 소재를 사용했을 때보다 약 25%의 에너지 흡수 효과를 높일 수 있을 것이다. 그러나 문제는 값이 E-Glass보다 고가라는 것이다. 그래서 본 연구에서 사용한것은 양산시 가격경쟁이 있고 물성면에서도 다른것에 떨어지지 않고, 기능에서도 알맞은 E-Glass를 충돌에너지 흡수 스프링의 보강제로 사용하였다. 그리고 E-Glass의 물성은 2.1장에서 자세히 언급한바 있다.

위에서 언급한바와 같이 실제차량에 응용할 때에는 안전규제에 만족할 수 있도록 Spring을 설계해야 하는데 이때 가장 기본적이며 중요한 것이 보강제와 수지의 선정이다.

이와 같은 선택을 하기위해서는 첫번째로 알아야 하는것이 가해지는 힘 즉, 충돌에너지이다. 참고적으로 미국의 시보레 크베트 스포츠카에 판스프링이 사용되는데 이제품은 특별히 원자재 생산업체 즉, Fiber나 수지를 생산하는 업체에서 그 충돌에너지 견딜수 있는 원자재를 실험등을 통하여 개발되고 제품을 제작하여 공급하여 준다.

이처럼 원자재의 선정이 중요한 것이다. 그리고 그러한 실험 데이터는 또다른 분야의 부품 개발에 널리 이용된다. 생산업체로는 GKN 역시 이러한 복합소재의 판스프링을 생산공급한다.

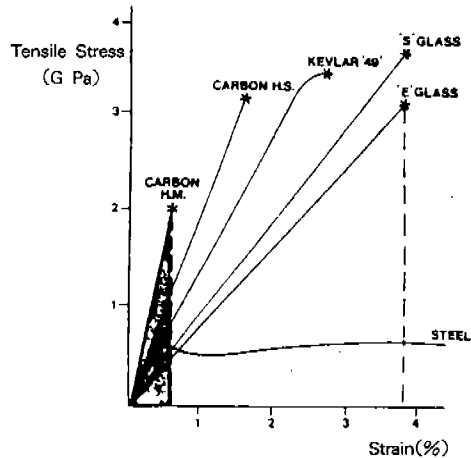


Fig.6 Single Fibre Properties

그리고 충돌에너지를 알고 Spring의 물성이 결정되면 다음으로 스프링이 고정되는 지지점이 얼마의 지지력으로 고정되어야 하는가 하는 것이다.

그래서 계산을 통해

- ① 간단히 지지될 경우는 49.7N/mm
- ② 완전한 지지일 경우 1860N/mm가 필요하게 된다.

이때의 실제 차량에 적용 가능한 Youngs MD 값은

$$y = \int \frac{MX}{EX} dx \quad \left(\text{여기서 } M = \frac{FX}{2} \right)$$

M=Monent(모멘트)

E=Youngs Modalu

X=스프링 길이

I=면적의 2차 모멘트

F=힘

(y=처짐량 Centre=1mm)라면

$$= \int_0^{530} \frac{49.7}{2} \cdot \frac{X^2}{E}$$

$$E = \frac{1}{1 \cdot I} \times \frac{49.7}{2} \left(\frac{X^3}{3} \right)_0^{530}$$

여기서 (I=40mm×17.5mm=40.195mm²)로 시편은 제작했음

E=30,680N/mm²(필라멘트 와인딩으로 제작)

결과적으로 ①의 조건은 너무 낮고 ②의 조건은 충분히 만족했다. 이처럼 안전규정에 만족할 수 있는 충돌에너지에 대한 견딜수 있는 Spring의 형상과 물성 그리고 양지지점의 힘이 모두 만족해야 됨을 알았다. 이와같은 힘의 균형은 성립이 되었으나 실제차량에서는 판스프링은 조립상 문제점이 있다. 그것이 스프링이 충돌의 임의의 힘을 받으며 양끝단이 스프링의 처짐량만큼 벌어지는 현상이 나타나게 된다. 이것을 어떻게 고정시켜주는가 하는 문제이다. 그래서 Fig.7과

같이 판스프링 대신 임의의 Coil 스프링을 양끝단에 설치하여 그 효과를 대신하기로 했다. 이때 앞에서 계산 E값을 임의의 양끝스프링이 만족시켜 주어야 하는 것이다.

이 코일 스프링을 Composite(복합재료)을 사용하여 타원형으로 만들어 충격에너지를 흡수할 수 있도록 하였다. 이 타원형 Composite복합소재의 스프링은 앞에서 제시한 스프링 상수 720N/mm에 처짐 30mm에 만족할수 있는 물성을 갖추어야만 한다. 이것을 만족할 수 있는 물성치는 표 4에 나타냈다.

이와 같은 굽힘 벌과 양쪽 압축 스프링이 합쳤을 때가 본 연구의 안전규제를 만족할 수 있는 스프링비이므로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{I}{K_t} = \frac{I}{K_1} + \frac{I}{K_2 + K_3}$$

- K_t=Total Rate
- K₁=Beam Rate
- K₂=Ellipse Rate

$$\frac{I}{720} = \frac{I}{K_2} + \frac{I}{1440} \quad K_1 = 1440N/mm$$

이때의 처짐은 15mm임을 알 수 있다.(앞에서 전개한 720N/mm에 30mm 처짐이므로)

이때의 Deflection의 구해보면

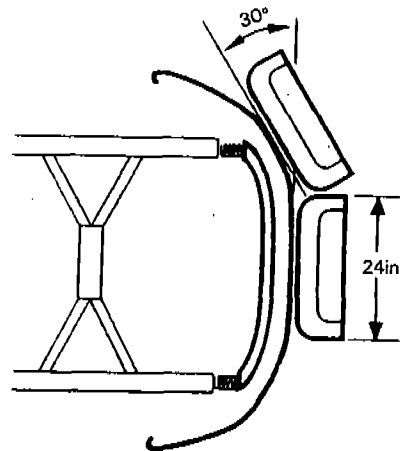


Fig.7 Plan View

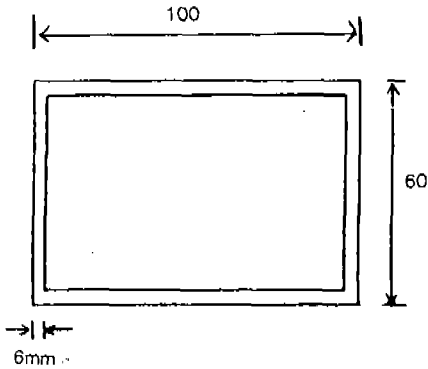
$$\begin{aligned}
 f &= \text{처짐 (Deflection)} \\
 F &= \text{힘 (Force)} \\
 f &= FL^3/48.EI \quad L = \text{길이} \\
 E &= \text{Youngs Modulus} \\
 I &= \text{2nd Moment Area}
 \end{aligned}$$

여기서 $F=ma=950 \times 21=20\text{KN}$
 ($E=20\text{GPS}$ 라고 가정(보강재의 물성치))
 (1) 식으로 부터

$$I = \frac{21 \times 10^3 \times L^3}{48 \times 20 \times 10 \times 0.015} = 1.45 \times 10^6 \text{mm}^4 \quad (2)$$

임을 알 수 있었다.

그렇다면 Beam의 구조는 어떻게 할 것인가.
 그래서 그림과 같이 하였다. 이것에 대해 계산해보면



$$I = \frac{BF^2 - bd^2}{12} = 1.3 \times 10^6 \text{mm}^2$$

(2)식에 산출한 치수에 상용함을 그리고 이때의 최고 응력값은

$$\begin{aligned}
 a &= \frac{My}{2} \quad (\text{모멘트 } M = \frac{F \cdot L}{4}) \\
 &= \frac{21 \times 10^3 \times 1000 \times 40}{4 \times 1.3 \times 10^6} = 161.26 \text{N/mm}^2 (= \text{MPa})
 \end{aligned}$$

임을 알았다.

본 Sample 보강재는 E-Glass를 사용하였고

앞에서의 물성치를 참조해야하며 특히 물성을 맞추기 위해 보강재의 함유율 60%에서 30%~40% 정도의 1/3로 낮추어 Longitudinaltensile을 340 MPa 정도로 적용했다.

이러한 이론이 실제 4장에서 차량의 구조와 기능에 맞도록 설계되고 연구 제작 되어져야 한다.

다음은 이러한 복합소재의 사각 Beam과 타원형 스프링을 실제 응용하여 임의의 차량에 설치하도록 하였다.

3.1 실제 Beam과 구 타원형 스프링의 제작과 실험

앞장에서 전개된 내용을 응용하여 실제 차량에 장착 가능하도록 Beam을 제작하여 실험하였다. 사진 12는 실제 실험 장면을 보여주고 있다.

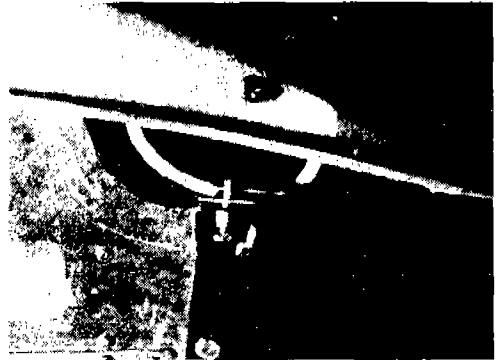


사진 2 양지지점 고정 실험



사진 3 Composite 타원형 스프링 실험

표 4 타원형 스프링 상수

a/b	1	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7
K ₁	0.318	0.295	0.274	0.255	0.240	0.227	0.216	0.205
K ₂	0.182	0.186	0.191	0.195	0.199	0.203	0.206	0.208

a/b	1.8	1.9	2.0	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
K ₁	0.195	0.185	0.175	0.167	0.161	0.155	0.150	0.145
K ₂	0.211	0.213	0.215	0.217	0.219	0.220	0.222	0.223

Beam 단면은 모자모양으로 깊이가 110mm로 하여 안전율이 2가 되도록 하였고 중심선에는 양쪽으로 할수록 기울기가 있게 하여 초생달 모양으로 만들었다.

그리고 양옆의 프랜지는 한쪽 방향으로만 힘을 받을수 있는 Unidirection MAT을 사용하여 있으므로 45° 각도로 적층하였다. 제작공법을 RTM공법으로 제작하였다.

그리고 양쪽 지지점의 타원형 복합소재의 스프링은 값이 싸고 품질이 우수하며 손쉽게 만들수 있는 제작공법을 선정하여 제작하였으며 그 공법을 필라멘트 와인딩으로 제작하였다. 이때 사용한 기계는 2중선반에 Steel 맨드릴을 이용하여 만들었다. 사용한 보강재는 E-Glass Fiber을 사용하였다. 그림 타원형 스프링의 시험은 다음과 같다.

이때 역시 부품의 규격은 주어진 치수보다 항상 2배이상의 물성이 있도록 제작하여야 하며 타원형 스프링의 커다란 변수 두께이므로 주어진 도표를 잘 이해해야만 한다.

그리고 본 스프링은 다른 부품과 다르게 탄성력이 민감하므로 Glass Fiber의 선경과 전단력 완화를 위해 수지의 사용이 또한 중요하다. 왜냐하면 복합소재에서는 신율조정은 수지로 하기 때문이다.

본 논문에서는 수지는 Epoxy 수지를 사용했으며 이에 대한 설명은 언급한 바 있다.

이와 같은 실험을 통해 앞에서 전개한 이론치로 만족할수 있었다. 그림 4에서 보면 실제 Pendulum 시험에서와 Barrier 실험의 저속충돌이 이루어졌을 때 실제 30mm의 Deflection 효과가 다른것에 영향을 주지 않고 있음을 확인하였다. 결론적으로

복합재료의 이용에 있어서 가장 중요한 것은 보강재의 물성을 잘 이해하고 적절한 사양을 사용하고자 하는 부품의 특성에 잘 맞추어야 하는 것이며 무조건 물성치만 만족한다고 좋은것이 아니다. 가격경쟁력도 고려해야하므로 다양한 보강재 물성에 신중한 연구가 필요하다.

그리고 수지의 경우도 신율율이나 굽힘강도 등에 지대한 영향을 주는 성분이므로 수지와 Fiber의 성분비에 대한 연구가 세부적으로 이루어져야 하는것을 알아야 한다.

4. 결 언

지금까지 자동차의 저속충돌에 대해 안전규제 범위와 이것을 만족하기 위한 Composite 소재를 이용한 Bumper의 내부구조에 대한 스프링의 설계와 제작에 관한 이론과 실제를 논하였다.

본 논문은 특히 고속의 자동차에 많이 사용되는 Space Frame 구조에 적용이 손쉽게 되도록 연구되어졌다.

그러나 이론과 실제를 이외의 차량의 범퍼나 충격완화 장치로 응용 사용이 가능하며 스포츠 카는 물론 승용차, 쥘프차량등의 넓은 활용이 가능하다.

특히 복합재료의 탄성력이 우수한 특성을 이용하여 충돌 범위에 적절한 응용을 한다면 전 산업에 걸쳐 좋은 결과를 기대할수 있음을 보여주고자 한다.

현재까지 국내의 승용차의 Bumper의 제작은 RRM성형의 외관에 SMC 성형 그외의 공법에 의한 외관이 제작되고 외판안쪽에는 특별한 충격완충설비를 하지않고 Bumper의 강성만 가지고

차량을 생산하는 실정이다.

최근에는 Blow Molding으로 연료탱크나 Bumper를 밀폐를 성형하여 보다 나은 충돌완화를 제어하고 있기도 하다.

그러나 그 형상과 크기가 실제 차량 스타일이나 경량화에 저축을 받기 때문에 이러한 문제의 해결에 연구가 되고 있다.

본 논문은 이상과 같은 문제를 실제로 해결 가능하도록 하여 보았다. 즉 내부에 복합소재의 스프링을 이용하여 충돌에너지를 흡수케함은 충분한 안전규제를 만족시킬 수 있으며 그 이상의 안전을 보장할 수 있으며 외관은 차량 스타일에 어울리도록 디자인이 가능하여 여러면에서 유리한 점을 강조하고자 한다. 본 논문에 사용된 소재의 특징은 특히 Laminate의 특성이 도표 2에 설명된바와 같고 Glass Fiber의 E-Glass소재를 사용하였고 수지는 에폭시 수지를 사용하였다. Laminate의 물성중 특별한것은 Longitudinal 모듈이 45Gpa이고 Tension이 1020Gpa등임을 알아야 한다.

그러나 복합재료의 보강 Fiber의 특성이 매우 다양한 변화가 내포되어 있는 물성을 지니고 있으므로 그 이해와 응용하는데 좀더 신중한 연구가

필요하며 특히 이러한 원자재 제품의 생산이 국내에서도 완벽히 종류별로 다양하게 생산될수 있도록 전문업체들의 투자확대와 연구가 폭넓게 되었으면 한다.

그러기 위해서는 복합소재의 활성화가 전 산업에서 응용되고 실용화되어 그분야에 알맞은 원자재 개발되었을때 많은 소비가 뒷받침되어져 전문업체들의 경영에 보탬이 되는 그러한 연구 활성화와 실용화가 병행되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Composit Design Guide/T.R.Chardson
2. Advenced Composit materal NEW Development and Application Proceeding
3. Influence of RTM are SRIM Processing Parametions on Mlding and mechanical Property.
4. Flament Weding Cowens-Corning Fiberglas Co.
5. Reinforeed Plastis For Composite
6. Intrduction to Composit material/stephen Witsai
7. 재료역학(材料力學) H. Thomas Hahn
8. Composite Materials Hand Book M.M Schwartz