

내구성 향상을 통한 고 신뢰성 Strut Mount 개발

정찬홍

대구대학교 화학공학과

Development of a Strut Mount with High Reliability by Improving Durability

Chan Hong Chung

Dept. of Chemical Engineering, Daegu University

Abstract

A strut mount is an important part of vehicles which reduces the vibration and the impact transmitted from the wheels while supporting a shock absorber and a coil spring. Rubber compounding, shape design, and process design technologies are important components to improve the functionality of a strut mount such as durability, static, dynamic, and torsional characteristics. Among them the rubber compounding technology is the key technology which dominates the quality of a strut mount. In this study a strut mount with high reliability has been developed by adopting new rubber compounding and improving the shape of the inner plate and the isolator. Through the tests for prototypes it has been shown that the durability has been improved more than 2.5 times, from about 60,000 cycles to about 160,000 cycles.

Keywords : Strut Mount(스트러트 마운트), Reliability(신뢰성), Durability(내구성), Rubber Compounding(고무배합), Shape Improvement(형상개선)

1. 서 론

스트럿 마운트(strut mount)란 쇼크업소버 및 코일 스프링을 보디로 지지하고 차륜으로부터의 진동 및 충격을 막아내는 역할을 하고 있는 기능부품이다. 스트럿 마운트는 금속으로 제작된 내통과 외통 사이에 고무가 채워진 핵심부품인 부싱스트럿(bushing strut)와 금속성 외피로 구성되어 있다. 차량에 탑재할 때의 주하중 입력방향은 축(전단)방향이며 요구되는 스프링 특성은 차종에 따라 달라지므로 형상도 여러 가지로 고안되고 있다. 스트럿 마운트의 내구성이 약하게 되면 컨트롤 암(control arm)에서의 이탈사고나 차량의 떨림, 소음으로 인한 고객 불만이 발생하게 된다.

부품의 품질특성인 내구성, 정특성, 동특성, 비틀림 특성을 만족시키기 위한 기술로는 재료 배합설계기술, 형상설계기술 및 공정설계기술이 중요하며, 그 중에서도 재료배합설계는 품질의 50% 이상을 결정하는 중요한 기술이다.

스트럿 마운트의 특성상 복합적인 외력이 작용하는 자동차 부품으로서 최적의 성능 발휘를 위해서는 단품의 가공 정밀성 및 재료 개발이 필수적이라 할 수 있다. 그 중에서도 성능평가의 중요 포인트인 내구성 향상은 고객 만족은 물론 대외적인 경쟁력 확보로 연결될 수 있는 필수적인 기술이라 할 수 있다.

다양한 원인으로 인해 발생하는 진동현상은 구조물의 안정성에 심각한 영향을 미치며 제품의 수명 단축에 결정적인 원인으로 작용하게 된다. 진동제어 및 안정성 확보의 역할을 수행하는 스트럿 마운트의 경우 고무가 가지는 특유의 비선형성으로 인하여 그 특성 파악에 많은 노력이 필요하나 재료 개발의 어려움 및 적용 하중의 산출에 대한 분석 부족으로 인하여 경험적인 수치를 적용하는 경우가 대부분이다. 국내의 경우 종류가 다양한 수많은 자동차에 적용되는 스트럿 마운트의 경우 하중 및 진동에 의한 내마모성 및 내구성을 증가시켜 신뢰성을 향상시키기 위한 새로운 기술 개발이 절실하게 요구되어지고 있다. 국외의 경우 많은 선진국에서 기술력 확보를 위해 다양한 노력을 하고 있는 현실이며, 보다 다양한 재질의 개발 및 메커니즘을 개발하여 적용되어지고 있다.

본 연구에서는 내구성 향상을 위한 재료 개발과 설계 제안을 통하여 기존제품 수준을 상회하는 내구 수준을 달성하고자 한다. 재료의 개발 측면에서는 기존 제품이 가지고 있는 정/동특성은 물론 내구성 향상 방안을 중점적으로 연구하여 최적화된 배합을 개발함에 있으며, 설계 제안의 경우 내구성 향상을 위한 설계변경을 통하여 기존의 제품보다 내구성이 향상된 스트럿 마운트의 개발에 그 목적을 두고 있다.

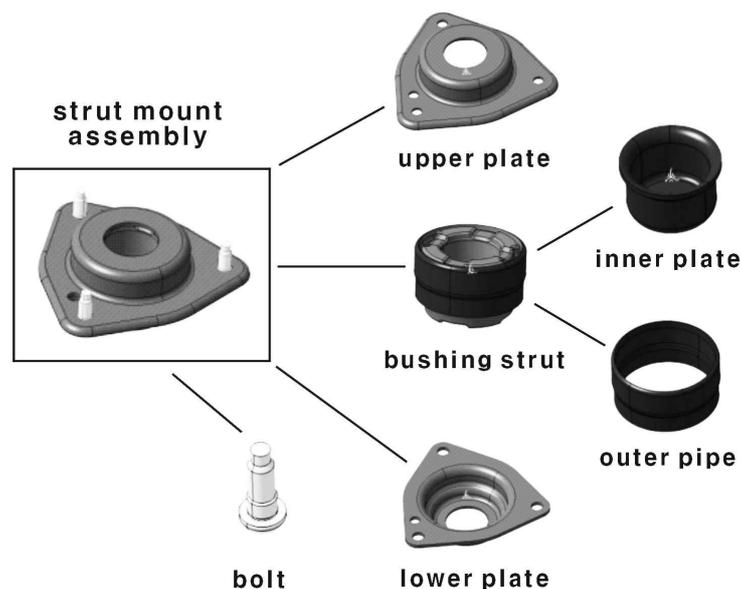
형상설계에서는 제품의 생산성과 조립성 그리고 향후 발생할 NVH 특성에 대한 상호 보완적인 개념을 적용하며, 고무배합은 기초배합을 설정한 후 인장강도와 신장율, 경도, 반발탄성, 인열강도, 인장응력, 노화 후 물리적 현상 등을 고려한 충전제의 조합을 조사한다. 이를 통하여 기존 제품의 정/동특성을 유지하면서 고 하중의 진동소음에도 안정성을 확보할 수 있는 고 내구성 고무소재를 개발하고, 기존 마운트에 비하여 내구성이 우수한 고 신뢰성 스트럿 마운트를 개발하고자 한다.

2. 스트러트 마운트

자동차용 방진고무는 진동 및 소음을 방지하고 승차감과 안전성을 유지할 수 있게 하는 중요한 부품이다 (김완두와 김완수(2004)). 방진고무는 차량에서 발생하는 엔진 및 각 부위의 진동을 억제하는 동시에 큰 하중을 지지할 수 있고, 반복적인 피로에 견딜 수 있도록 설계 되어져야 한다 (이성훈(2004)). 스트러트 마운트의 핵심 부품인 부싱스트러트는 금속으로 제작된 내통과 외통 사이에 고무가 채워진 부싱형 방진고무로 원하는 방향의 강성을 용이하게 조절할 수 있는 특성을 지니고 있다 (김완두 외(1999)).

본 연구개발에서 개발할 스트러트 마운트의 일반적인 구성은 <그림 1>과 같다. 스트러트 마운트는 부싱스트러트와 윗덤펀, 아래덤펀이 볼트로 조립되며, 부싱스트러트는 외판과 내판 사이에 고무가 채워져 있다. 차량에 탑재할 때의 주하중 입력방향은 축(전단)방향이며 요구되는 스프링 특성은 차중에 따라서 달라 형상도 여러 가지로 고안되고 있다.

제품의 개발 시 그 기본 특성에 있어서 기존제품의 요구사항을 만족하는 동시에 기존제품보다 성능이 향상된 제품에 대한 부분도 고려해야 한다. <그림 1>에서 알 수 있듯이 많은 구성 부품들이 조합되어 스트러트 마운트는 그 역할을 수행하게 된다. 이에 공차 관리는 물론 제품 제작에 있어서 경험적 노하우가 많은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 또한 구성부품들의 기본특성 파악과 각 단품들의 조합을 이해함으로써 스트러트 마운트 내구성의 향상을 기할 수 있을 것이다.



<그림 1> 스트러트 마운트의 구성 부품

3. 제품 개발

3.1 내구성 향상을 위한 고무재료의 개발

내구성 향상을 위한 고무배합은 황화제, 촉진제, 가공제, 유기산, 금속산화제, 노화방지제, 보강제, 충전제 등으로 기초배합을 설정한 후 인장강도와 신장율, 경도, 반발탄성, 인열강도, 인장응력, 노화 후 물리적 현상 등을 고려하여 배합 설계를 하게 된다. 특히, 고무 제품의 경도를 높이기 위한 보강성과 경도가 높으므로 잘 마모되지 않는 내마모성 관련하여 카본블랙(Carbon black)을 충전제로 사용하며 고무제품의 특성을 결정하는 중요한 부분이다 (Kim and Jeong(2005)). 카본블랙은 석유 타르(Tar)를 탄소물질로 불완전 연소하여 열로 분해시켜 만든 제품이며 성분자체는 탄소이다. 상용중인 카본블랙은 ASTM(American Standard Test Method)의 분류 방법에 의해 <Table 1>과 같이 구분된다.

<Table 1> Classification of Carbon Black

ASTM CODE	일반 명칭	입자경(μm)
N110	SAF (Super Abrasion Furnace : 초내마모성)	11 ~ 19
N220	ISAF (Intermediate Super Abrasion Furnace : 준초내마모성)	20 ~ 25
N330	HAF (High Abrasion Furnace : 고내마모성)	26 ~ 30
N440	XCF (Extra Conductive Furnace : 초전도성)	31 ~ 39
N550	FEF (Fast Extruding Furnace : 양압출성)	40 ~ 48
N660	GPF (General Purpose Furnace : 범용성)	49 ~ 60
N774	SRF (Semi Reinforcing Furnace : 중보강성)	61 ~ 100
N880	FT (Fine Thermal : 미립열분해)	101 ~ 200
N990	MT (Medium Thermal : 중립열분해)	201 ~ 500

카본블랙은 요오드가(Iodine number)와 광흡수도(tint)가 높을수록 입자경은 작고 DBP(Di-Butyl Phthalate) 흡수율(oil absorption)이 클수록 구조가 발달되어 있다. 카본블랙은 입자경이 작고, 고무와의 결합하는 표면적이 클수록, 고무의 경도(hardness)와 내마모성(abrasion resistant) 등의 물성을 보장하는 능력이 크다. 그러나 경도와 탄성(elasticity)은 반비례적으로 탄성은 감소하게 된다. 또한 작은 입자경은 탄성체(elastomer)의 항복점(micro-Brownian motion)을 연장하는데 탁월하다. 탄성체는 항복점 이후에 탄성의 성질을 잃어버리고 소성을 띠게 되는데 카본블랙은 이러한 고무의 물성을 조정하는데 있어서 중요한 인자이다.

마운트에 사용되는 고무재료의 내구성향상을 위해서는 혼합물설계에 관한 실험계획법을

활용하여야 한다. 혼합물설계 최적화에 적용되는 실험계획으로는 심플렉스 격자형배열법, 심플렉스 중심배열법, 꼭지점 계획법 등이 있다.

만약 고무마운트의 재료배합에 m 개의 성분이 있다면, 이들을 어떤 비율로 배합하는 것이 품질특성치를 가장 좋게 하는가를 찾는 것이다. 성분의 혼합에 있어서 r_m 를 m 번째 성분의 혼합비율이라고 하면 다음과 같은 관계식을 만족시켜야 한다.

$$r_1 + r_2 + \dots + r_j = 1, r_j \geq 0, j = 1, 2, \dots, m \quad (1)$$

이러한 경우는 일반적 실험계획법처럼 심플렉스의 모든 영역에 실험이 배치되는 것이 아니고, 제한된 영역에서만 실험을 하는 경우이다. 즉, 각 인자(factor)가 $0 \leq r_j \leq 1$ 의 모든 값을 취할 수 있는 것이 아니라 제한된 구간

$$0 \leq c_j \leq r_j \leq d_j \leq 1 \quad (2)$$

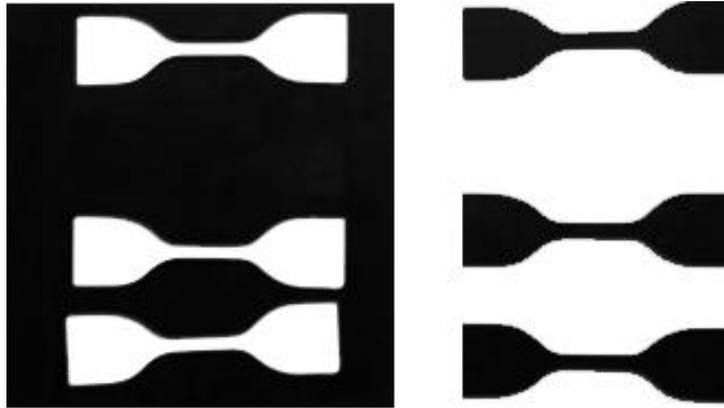
안에서만 값을 취한다. 이와 같은 경우는 경제적인 이유나, 또는 실험 전에 인자들의 성질에 대하여 상당한 정보가 있는 경우이다. 식 (2)와 같은 인자의 구간이 설정되면 실험가능영역은 심플렉스 상의 좁은 영역이 된다.

<Table 2> Rubber compounding

No.	Additives	용도	배합비				
			46duro	48duro	50duro	52duro	54duro
1	A	Polymer	100				
2	B	충진제	16	18	20	22	25
3	C		25	28	34	40	43
4	D	가소제	5				
5	E	산화방지제	1.5				
6	F		7.5				
7	G	프로세스 오일	7.5				
8	H	황	0.85				
9	I	촉진제	1.45				
10	J	기타	4.35				

본 연구개발에서 재료의 개선은 우선 10가지의 인자 중 혼합물최적화를 위해 MINITAB을 활용하여 <Table 2>와 같이 충진제를 제외한 8개의 인자를 고정하였으며, 기존 제품의 경도조건(Hs 45~55)의 제한조건을 만족하면서 내구성을 향상시킬 수 있는 고무재질을

파악하기 위하여 경도에 따른 인장시편을 제작하였으며, 인장시험을 통한 실험데이터를 비교 검토하여 재료 개발의 기준으로 삼고자 하였다. 5가지 경도별 시편을 바탕으로 1축 인장 시험을 수행하였으며, <그림 2>는 UTM 장치를 이용한 인장 시험에 적용한 아령 시편을 보여주고 있는 그림이다. 일반적인 시편 형상을 적용하여 사용하였으며, <Table 3>은 50duro 고무의 한국화학융합시험연구원 분석결과이다.



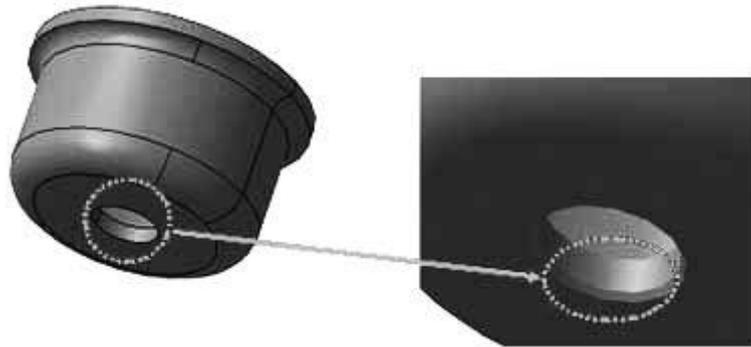
<그림 2> 아령시편

<Table 3> Rubber specimen test result

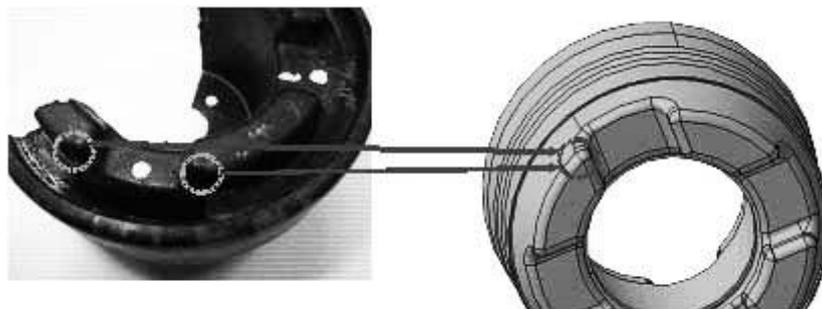
Test Item	Unit	Result	Test Method
Durometer Hardness(A Type)	-	50	SAE J 200
Tensile Strength	MPa	22.1	SAE J 200
Ultimate Elongation	%	574	SAE J 200
Heat Aging Test			
- Durometer Hardness Change(A Type)		1.000	SAE J 200
- Percentage Change in Tensile Strength	%	0.4	
- Percentage Change in Ultimate Elongation	%	-2.6	
Compression Set, (70 ± 1)°C, 22h	%	10	SAE J 200
Ozone Test, (50 ± 5)pphm, (40 ± 2)°C, 20% Elongation, 70h	-	No Defects	ASTM D 1149:2007
Brittleness Point Temperature, (- 40)°C	-	No Defects	SAE J 200

3.2 내구성 향상을 위한 형상 개선

내구성 향상을 위해서는 고무개발이 필수적이라 할 수 있지만, 형상설계에 있어서도 내구성 향상에 대한 컨셉을 적용한다면 내구성 향상에 많은 도움이 될 것이라고 판단된다. 스트러트 마운트의 외형형상은 자동차 모델에 따라 수요기업에서 설계를 제공하지만 철판의 접촉부분 등 세부설계는 제조업체에서 실시하여야 한다. 따라서 각 부분의 세부적 모양이나 각도에 따라 고무량에 영향을 미치게 되며 주요 요소로는 내철(inner pipe) 구배각도, 외철(outer pipe), 접촉부분 등이다. 이밖에 외경크기의 산포에 따라 내구성에 영향을 미칠 수 있으며, 이는 품질관리 활동에 의해 사이징(sizing)공정에서 최종규격을 맞추게 된다.



<그림 3> 부싱스트러트 인너플레이트 형상 변경



<그림 4> 아이솔레이터(Isolator) 형상 변경

설계제안의 개념은 제품의 생산성과 조립성 그리고 향후 발생할 NVH 특성에 대한 상호 보완적인 개념을 적용함으로써 최적의 디자인이 완성될 수 있다. 아래 <그림 3>은 상대부품(로드, rod)과 조립되는 부분으로 상대 파트의 가공성에 따라 간섭이 생길 수 있는 잠재적인 원인을 제거하고자 하는 디자인 컨셉이며, 응력 집중 현상도 해소 할 수 있다. 또한 고무에 발생할 수 있는 응력 집중 현상 감소 및 성형에 대한 생산성을 향상시키기 위하여 <그림 4>와 같이 고무 부분의 아이솔레이터(isolate)의 형상을 변경하였다.

3.3 시제품 평가

<그림 5>는 본 연구의 결과로 선택된 형상개선과 고무배합 조건에 따라 제작된 시제품이다. 개발 기술에 대한 성능 평가를 위하여 벤치마킹(benchmarking)을 통한 기존 제품의 성능 시험을 수행하여 보았으며, 이 성능 평가 자료를 바탕으로 개발 제품의 성능향상을 위한 기본 자료로 활용하고자 한다. 또한 향후 본 연구에서 제안한 제품의 평가 방법을 현 제품에 대한 방법과 동일한 시험을 수행함으로써 제안된 설계 제품의 신뢰성을 확보하고자 한다.



<그림 5> 스트러트 마운트 시제품

본 연구에서 개발한 스트러트 마운트를 차량에 탑재할 때의 주하중 입력방향은 축(axial)방향이며 따라서 축방향의 스프링 특성이 제일 중요하다. 새로 개발될 제품은 고객 만족과 안정성 확보를 위하여 정특성, 동특성, 비틀림 특성 등 기존 제품의 스프링 특성을 유지하면서 내구성 및 신뢰성을 확보하여야 한다. 기존 제품의 axial static rate와 axial dynamic rate 특성값은 각각 770N/mm 와 970N/mm(pre-load 0N) 및 975N/mm(pre-load 267N)이며, 개발제품의 목표값은 Target $\pm 10\%$ 로 선정하였다. Target은 기존제품의 특성값이다.

<Table 4> Axial static rate(N/mm)

	Sample No.					
	#1	#2	#3	#4	#5	#6
46Duro	603.96	604.73	609.61	605.43	607.36	605.17
48Duro	591.88	606.03	599.41	601.29	605.52	598.45
50Duro	724.88	709.38	690.63	715.26	712.47	708.49
52Duro	748.56	748.13	754.58	752.23	754.91	750.67
54Duro	821.2	834.78	899.45	859.48	858.78	857.62

<Table 4>는 각각 46Duro~54Duro의 경도를 갖는 6개의 샘플들에 대한 axial static rate 값을 나타낸다. <Table 5>는 각각 46Duro~54Duro의 경도를 갖는 6개의 샘플들에 대한 pre-load가 0N인 경우와 267N인 경우의 axial dynamic rate 값을 나타내낸다. <Table 4>에서 볼 수 있듯이 고무 대비 카본충전제의 양이 상대적으로 적은 46Duro와 48Duro에서는 충전제의 증가가 axial static rate에 변화를 주지 못하였으나 50Duro ~ 54Duro에서는 충전제의 증가가

axial static rate를 증가시켰으며, 50Duro와 52Duro의 axial static rate 값이 개발제품의 목표값인 Target $\pm 10\%$ 를 만족시킴을 알 수 있다.

<Table 5> Axial dynamic rate(N/mm)

	pre-load	Sample No.					
		#1	#2	#3	#4	#5	#6
46Duro	0 N	804.13	787.87	792.97	791.48	796.85	789.41
	267 N	805.25	787.07	793.89	792.83	797.38	790.47
48Duro	0 N	763.12	778.06	773.97	775.77	777.19	776.47
	267 N	765.15	779.31	775.39	777.67	779.26	778.14
50Duro	0 N	993.91	991.41	999.77	998.26	996.29	995.75
	267 N	992.92	991.5	995.79	999.48	997.45	996.47
52Duro	0 N	1014.7	988.05	976.06	999.48	1006.84	1010.25
	267 N	1015.7	989.62	977.73	1000.63	1007.58	1011.69
54Duro	0 N	1101.1	1114.1	1186.5	1157.59	1165.39	1166.74
	267 N	1099.6	1115.3	1183.8	1158.41	1168.81	1117.28

<Table 5>에서 볼 수 있듯이 axial dynamic rate도 axial static rate와 유사한 결과를 보였다. 고무 대비 카본충전제의 양이 상대적으로 적은 46Duro와 48Duro에서는 충전제의 증가가 axial dynamic rate에 변화를 주지 못하였으나 50Duro ~ 54Duro에서는 충전제의 증가가 axial dynamic rate를 증가시켰다. 50Duro와 52Duro의 axial dynamic rate가 Target $\pm 10\%$ 이내로 개발제품의 목표값을 만족시키며, 그 중에서도 50Duro에서 기존제품과 가장 유사한 특성값을 보이는 것을 알 수 있다.



a) axial direction



b) void direction

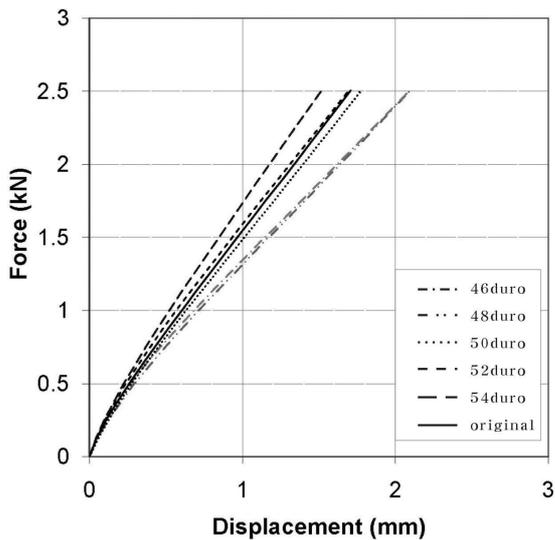


c) solid direction

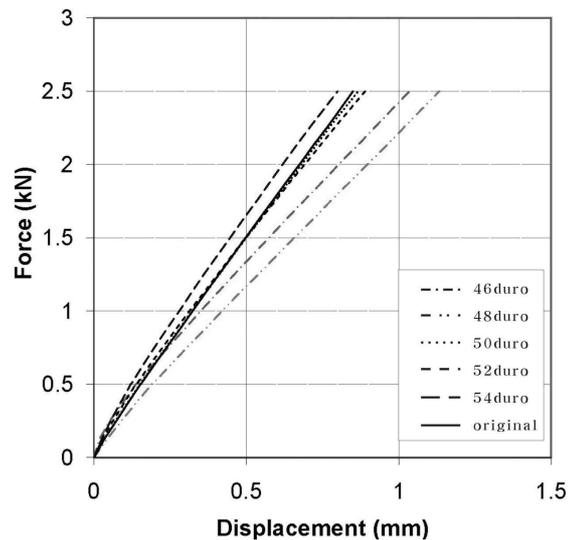
<그림 6> 특성 시험 방향

축방향(axial direction)의 스프링 특성 외에도 중요한 특성으로 전후좌우의 진동 특성을 나타내는 void direction과 solid direction의 진동특성을 유지하면서 내구성 및 신뢰성을 확보하여야 한다. <그림 6>은 스트러트 마운트의 axial, void 및 solid의 3가지 특성 시험

방향을 나타낸다. <그림 7>과 <그림 8>은 각각 void 및 solid 방향에 가해진 외력(kN)과 이에 따른 displacement(mm)를 나타낸다. Axial 특성과 유사하게 고무 대비 카본충전제의 양이 상대적으로 적은 46Duro와 48Duro에서는 충전제의 증가가 void 및 solid 특성에 변화를 주지 못하였으나, 50Duro ~ 54Duro에서는 충전제의 증가가 void 및 solid 특성을 변화시켰으며 특성값이 Target $\pm 10\%$ 이내로 개발제품의 목표값을 만족시키는 것을 알 수 있다.



<그림 7> Void 특성



<그림 8> Solid 특성

<Table 6> Durability test result

Original Strut Mount		New Strut Mount	
CYCLE	Product Appearance	CYCLE	Product Appearance
0	Good	0	Good
1,487	Good	1,498	Good
44,650	Good	44,711	Good
59,087	FINE CRACK	59,127	Good
73,493	CRACK	73,521	Good
87,891	CRACK	87,933	Good
131,083	CRACK	131,136	Good
145,478	CRACK	145,486	Good
159,872	CRACK	159,921	FINE CRACK
174,292	CRACK	174,358	CRACK
200,000	Test Complete	200,000	Test Complete

모델의 특성 평가 결과 Target $\pm 10\%$ 이내로 개발제품의 목표값을 만족시키며, 그 중에서도

기존제품과 가장 가까운 특성값을 보이는 <Table 2>의 50Duro 고무를 부싱스트러트용 고무로 최종 선정하였다. <Table 6>은 각각 기존 제품과 50Duro의 고무로 제작된 시제품을 대상으로 진행된 내구시험에서 200,000cycle 까지의 내구성 평가 자료이다. 기존 제품의 스펙이 60,000cycle이고 목표 제안 스펙이 120,000cycle이었으나, 본 연구에서 개발한 시제품의 경우 160,000cycle을 상회하는 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

차륜으로부터의 진동 및 충격을 막아내는 역할을 하고 있는 기능부품인 스트러트 마운트의 경우 부품의 신뢰성 및 내구성을 고려한 설계, 개발능력의 부족으로 선진국제품에 비해 내구성과 신뢰성문제가 많이 발생하였다. 본 연구를 통하여 해외선진업체에서 요구하는 수준의 내구성과 신뢰성을 갖는 스트러트 마운트 개발에 성공함으로써 내구성에 대한 체계적 분석과 설계능력을 갖출 수 있게 되었다.

스트러트 마운트의 특성상 복합적인 외력이 작용하는 자동차 부품으로서 최적의 성능 발휘를 위해서는 단품의 가공 정밀성 및 재료 개발이 필수적이라 할 수 있다. 그 중에서도 성능평가의 중요 포인트인 내구성 향상은 고객 만족은 물론 대외적인 경쟁력 확보로 연결될 수 있는 필수적인 기술이라 할 수 있다.

기술적 측면에서는 하중이 적용되는 다양한 형태의 구조물의 경우 그 특성으로 인하여 내구성이 현저하게 떨어지게 된다. 본 기술개발에서 제안한 기술개발 방법이 성공적으로 이루어져 제품에 적용되어 내구성 향상은 물론 신뢰성의 문제도 해결 된 것으로 판단된다. 또한 여타 NVH 제품에도 적용할 수 있는 기술력을 가질 수 있게 되어 연구다각화가 기대된다. 향후 관련업체와의 기술 협의를 통하여 추가적인 신뢰성과 내구성 향상 방안에 대한 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

참고문헌

- [1] 김완두, 김완수(2004), 방진고무부품의 유한요소해석 및 수명예측 기술, 고무기술, 5권 1호, 1-11.
- [2] 이성훈(2004), 자동차용 방진고무의 신뢰성, 고무기술, 5권 1호, 12-15.
- [3] 김완두, 우창수, 조성도성(1999), 비선형 유한요소해석을 이용한 부쉬형 방진고무의 변형 및 강성 예측 기술, 1999년 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 A, 907-912.
- [4] J.-H. Kim and H.-Y. Jeong(2005), A study on the material properties and fatigue life of natural rubber with different carbon blacks, International Journal of Fatigue, Vol. 27, 263-272.