



## 스트러트 인슐레이터 열화가 차량 소음에 미치는 영향에 관한 연구

손성현·강성수·김국용<sup>†</sup>·박순철\*

부산대학교 기계공학부, \*현대자동차 시험팀

접수일(2010년 10월 18일), 수정일(1차: 2010년 11월 29일, 2차: 12월 7일), 게재확정일(2010년 12월 7일)

### A Study on the Influence of Strut Insulator Aging on Vehicle Noise

Seong-hyun Son, Sung-su Kang, Gug-yong Kim,<sup>†</sup>  
and Soon-cheol Park\*

School of Mechanical Engineering, Pusan National University,

Jangjeon-dong, Guemjung-gu, Busan 609-735, Korea

\*Durability & Reliability Team, Hyundai Motors Co. Ltd.

Jangduk-dong, Hwaseong, Gyeonggi-do, 445-706, Korea

(Received October 18, 2010, Revised November 29, 2010, December 7, Accepted December 7, 2010)

**요약** : 차량에서 스트러트 인슐레이터는 도로노면으로부터 발생하는 소음과 진동을 방지하는 역할을 한다. 대부분의 점탄성 마운트들은 고무로 되어있으며 천연고무가 주성분이다. 이러한 고무 부품들은 초기에는 제 역할을 하지만 오랜 시간 고온과 반복하중에 노출되면 성능저하가 일어난다. 고무성능 변화는 NVH를 떨어뜨리고 승차감을 저하시킨다. 본 연구에서는 차량실험을 통해 스프링 변위를 측정하였고, 재현실험에서 가속도 센서를 이용하여 운행거리와 차량연식에 따른 인슐레이터 고무성능을 가속도 값, 고무 영구 변형량, 경도를 나타내었다.

**ABSTRACT** : Strut insulator in a vehicle is an important part to prevent noise and vibration which is created for driving on the road. Most of the viscoelastic-mounts are made of rubber and natural rubber is the key ingredient. These rubber products show well performance for the initial time, but they will degrade after they are exposed to a high temperature circumstance and a cyclic load. NVH performance and comfort in a vehicle were decreased by these degradation of the rubber. In this study, spring displacement in a vehicle was measured to make a profile in the simulation test performed with an acceleration sensor. In addition, acceleration level, rubber permanent deformation and hardness of the rubber were measured according to drive distance and vehicle model.

**Keywords** : Strut insulator rubber, Aging, NVH, Acceleration level, Rubber permanent deformation, Hardness

## I. 서 론

최근 사용자의 요구와 차량 부품의 신뢰성 보증기간 확대추세에 따라 방진 고무부품의 내구성 평가 및 수명 향상에 대한 관심이 높아지고 있으며, 개발 초기에 내구 수명을 예측할 수 있는 기술개발이 요구 되고 있다. 따라서 초기 성능뿐만 아니라 각 부품의 기능이 오래도록 유지하여 사용자로 하여금 제품에 대한 신뢰성을 가지게 하는 것이 중요해지고 있다.<sup>1</sup>

차량에 사용되는 여러 재료들이 있지만 특히 고무재료는 탄성 복원 능력 및 신장성 진동, 감쇠 특성이 좋아 엔진마운트(Engine Mount), 현가 부시(Suspension Bush)등에 사용될 뿐 아니라 차량 곳곳에 폭넓게 사용되는 재료이다.<sup>2</sup>

고무류 기계부품의 신뢰성 확보를 위해 이들 부품이 실제로 사용되는 환경에서의 피로수명, 내구성능에 관한 검토가 수행

되어야 하는데 차량에 사용되는 방진고무는 차량 소음을 감소시키고 승차감의 향상을 위해 스프링 상수를 저하시켜 일반적으로 내구성이 저하된다. 또한 고무 부품은 재료의 비선형성과 대변형 등의 특수한 성질들을 가지고 있어 고무 재료의 수명을 예측하기란 쉽지가 않다.<sup>3,4</sup>

기존의 고무와 관련된 연구는 피로 내구시험이나 NVH(Noise, Vibration, and Harshness)성능을 통해 초기 성능을 확보할 수 있게 되었지만 장시간 사용했을 경우, 성능확보를 하는데 어려움을 겪었다.<sup>5</sup>

차량 운행 중 스트러트 소음이 발생할 수 있는데 이때 소음 발생 이유에 대해 검증된 것이 없다. 스트러트는 크게 댐퍼와 마운트로 나눌 수 있는데 댐퍼는 하중 자극을 감소시키고, 마운트는 흘러들어오는 자극에 의한 소음과 진동을 감쇠시켜주는 역할을 한다.<sup>6</sup> 하지만 마운트 내부에 들어가 있는 고무 재료는 천연고무(Natural Rubber)로써 산소나 오존의 침투에 의해 노화되며 열화현상을 촉진시켜 탄성 등의 고무 특성을 잃게

<sup>†</sup> 교신저자 E-mail: beaverx@empal.com

된다. 특히 마운트는 차량 내 높은 온도와 상하 반복하중, 주위 환경 등으로 인해 가교 구조가 변하게 된다.

화학적으로 볼 때 초기 고무는 Figure 1과 같이 가황된 천연 고무로써 polysulfide 가교구조가 많은 상태로 되어있다. 이때 초기 고무는 대체로 과산화물에 의해 가교된 고무로 고무사슬 사이에 다량의 sulfide 가교를 이루고 있어 탄성력을 그대로 유지해 준다. 하지만 열에는 약해 지속적으로 열이 주어지게 되면 사슬과 사슬에 있던 polysulfide 가교구조가 열화로 인해 구조가 변하게 되어 Figure 2처럼 monosulfide 가교구조로 변하게 된다.<sup>7,8</sup>

초기 상태인 polysulfide 가교구조는 사슬을 연결하는 것이 여러 개로 줄지어 있어 동적인 특성에는 강하지만 열에는 약해 지속적인 열에 노출되어 있으면 길게 늘어져 있던 것들이 끊어지면서 하나의 점의 형태로 나타나게 되어 monosulfide 가교구조로 변하게 된다. monosulfide 가교결합은 사슬을 연결해주는 역할을 하는 것이 하나로만 되어있어 열에는 강하지만 동적인 특성, 즉 반복하중이나 큰 하중에는 약해 감쇠 능력이 떨어져 차량에 소음을 유발하거나 승차감을 저하시킨다.

이때 발생하는 소음은 일반적으로 차체 간섭 소음이나, 고무 메탈 접촉음, 댐퍼로드 상대 마모 충격 소음 등으로 나뉘진다. 특히 고무 메탈 접촉음은 스트러트 마운트 열화로 인해 소음이 발생한다.<sup>9</sup>

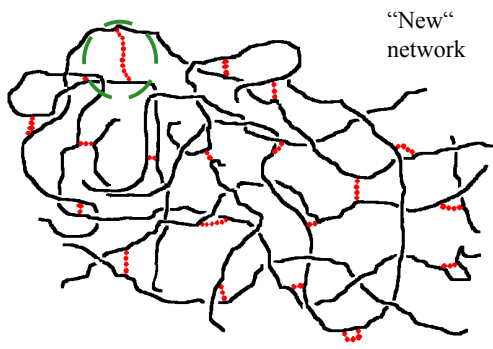


Figure 1. Representation of a conventionally cured natural rubber.<sup>8</sup>

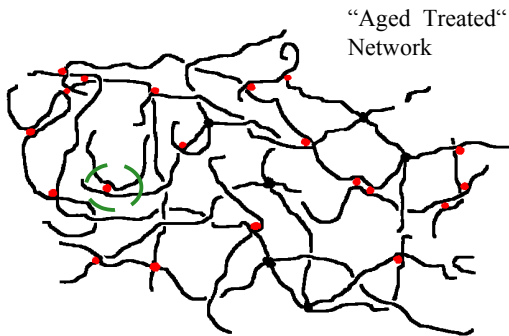


Figure 2. Natural rubber network, which occur as a result of aging phenomena.<sup>8</sup>

기존에 실험은 제품 하나에 대하여만 실험하였지만 본 연구에서는 제품을 각 제품을 모듈로 구성하여 벤치상태에서 실험하였다. 소음이 나는 인슐레이터를 고품이라 명명하고 이러한 제품을 확보 한 후 재현실험을 통해 둘의 특징을 가속도센서 (Accelerometer)를 이용하여 기록한다. 이때의 들어오는 값(댐퍼 Input)과 스트러트 인슐레이터를 통해 나오는 값(인슐레이터 Output)을 Voltage 값으로 받아들여 최대 가속도(g) 값으로 변환하여 나타내었다. 마찬가지로 운행거리에 따른 인슐레이터의 특성을 최대 가속도(g) 값, 가속도 RMS(g), 고무 영구 변형량, 경도 등으로 확인하고 특성을 서로 비교분석한다.

## II. 실험

### 1. 고품수집

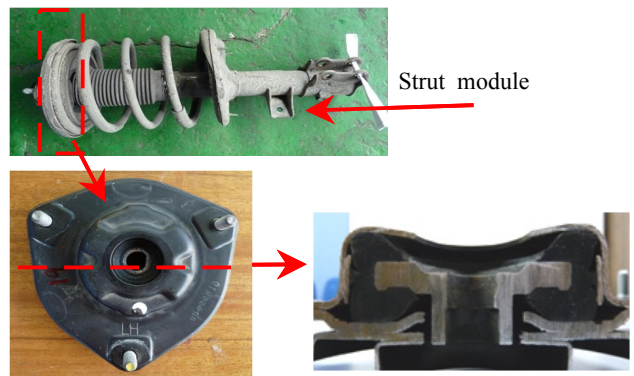
본 실험에서는 시중에 사용되고 있는 스트러트를 모듈 상태로 수집하여 인슐레이터를 따로 분리하였다. 인슐레이터에 내장된 고무는 천연고무로써 Figure 3에 나타난 인슐레이터 절단면의 내부 부분이다. 이러한 스트러트 인슐레이터를 소음이 발생하는 것, 차량 거리별, 정상제품으로 구분하여 Figure 3과 같이 제품 수집 및 분해하였다.

### 2. 실제차량 노면 측정

재현실험을 하기 위해 실제 차량에서 변위 센서를 댐퍼 스프링에 부착하여 시간에 따른 변위 값들을 기록하였다. 이때의 노면은 일반 아스팔트 노면으로서 실제 차량에서 일어날 수 있는 조건이다.

### 3. 재현실험

실차 실험 노면 전체구간 중 큰 진폭이 발생하고, 가장 소음



Strut insulator & Cutting plane  
Figure 3. Strut module and insulator of the vehicle.

이 잘 들리는 구간을 따로 결정하였는데 Figure 4에서 나타나 있는 덧칠하거나 깨진 노면이며 무음향실에서 재현 실험을 할 시 입력 파형으로 구성하였다.

제품하나로만 작동하여 실차 측정에서 나타나던 소음과 같은 특징이 나타나는지 확인하였다. 차량 주행거리에 따른 가속도 값을 보기 위해서 Figure 5처럼 무음향실에서 스트러트 모듈 상태로 장비에 장착하고 정확한 소음 확인을 위해서 댐퍼 rod 외부를 감싸고 있는 더스트 커버를 제거하였다. 가속도 센서를 부착하고 NI-USB4432를 통해 각 센서에서 나오는 신호를 받아 기록하였다.

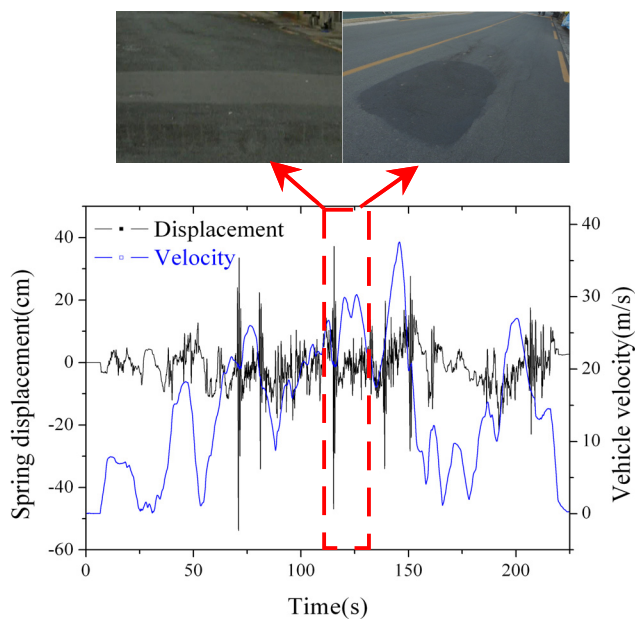


Figure 4. Vehicle test road and reproduced waveform.

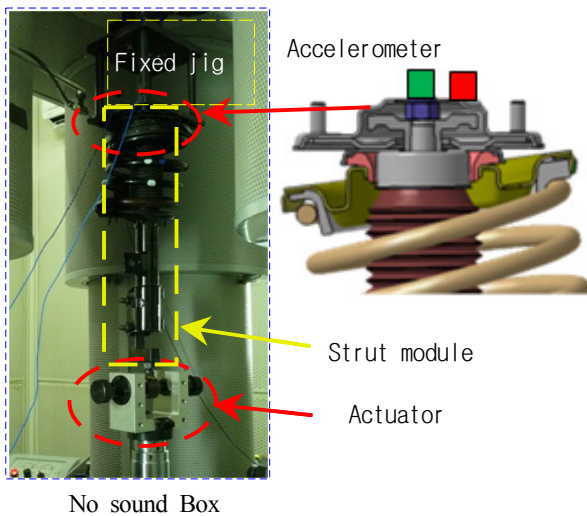


Figure 5. Equipment and sensors formation in no sound box.

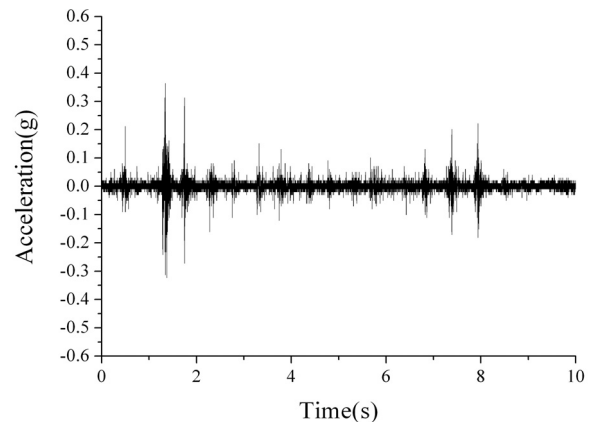
### III. 결과 및 고찰

재현실험을 통해 얻은 파형을 binary 형식으로 입력된 파형을 ASCII 형식으로 변환하여 Voltage 값을 가속도(g)로 나타내었다. 가속도 레벨의 변환 식은 다음과 같다.

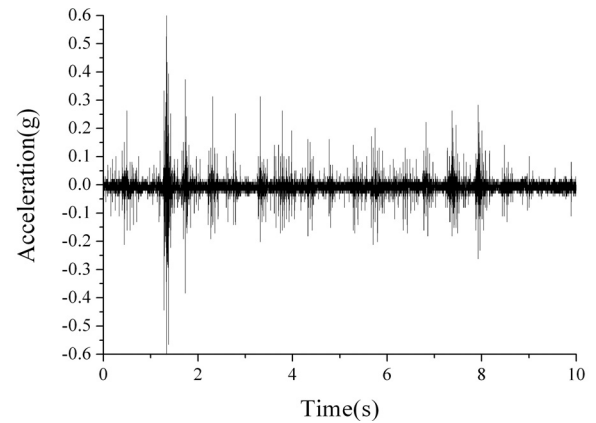
$$\text{Chan1 Acceleration (g)} = \frac{\text{Chan1 Voltage}}{0.1011}$$

여기서 Chan1 Voltage는 가속도 센서로 노면으로부터 들어온 압력을 뜻하며 측정 센서의 Sensitivity가 0.1011 V/g값을 나타내는 것을 사용했으므로 입력 Voltage 값을 여기서 나누어 주게 되면 가속도 레벨을 나타내게 된다.

정상제품과 고품의 파형은 Figure 6과 같다. 정상제품의 파형을 보면 진폭이 크게 나타나는 부분 없이 전체적으로 낮은 파형이 진행되고 있음을 볼 수 있고, 고품의 파형에서는 전체적으로 높은 진폭을 형성하고 있다. 또한 둘의 가장 큰 진폭 값을 나타내는 1.3초에서는 정상제품은 0.6 g를 나타내고 있는 반면에 고품은 1.2 g이상을 나타내 2배 이상의 차이를 보였다.



(a) Acceleration of normal insulator in no sound box



(b) Acceleration of noise occurred insulator in no sound box  
Figure 6. Measurements of insulator acceleration in no sound box.

고품과 정상제품의 내부 고무의 형상적인 차이를 알아보기 위해 스트러트 마운트를 분해하여 내부에 있는 고무 형상을 비교해 보았다. Figure 7을 보게 되면 정상제품의 고무 높이는 37.76 mm로 나타났고, 고품의 고무 높이는 30.9 mm로 나와 6.86 mm의 차이를 보였다.

둘의 고무 경도를 비교하기 위해 KSA M 6518 고무 경도시험 방법에 준하여 Shore A로 측정하였다. 이때 고품의 경도는 77을 나타내었고, 정상제품의 경도는 55을 나타내어 22의 차이를 보였다. 이는 서두에서 언급한 열에 의한 노화와 반복하중을 지속적으로 받음으로써 마운트 내부고무의 높이가 변하고 고무 성질이 변하여 그 결과 동특성이 떨어져 진동을 걸러 내지 못함으로써 소음이 발생하였다고 볼 수 있다.

이로써 정상제품과 고품의 재현실험을 통해 소음이 재현된다는 것을 확인하였고, 주행거리 및 사용시간이 소음에 미치는 영향을 살펴보기 위해 재현실험을 실시하였다. 차량의 주행거리 및 연식은 Table 1과 같고 거리가 증가하는 순으로 실험을 진행하였다. 이때 차량을 A형과 B형으로 구분하였고, A형은 중형차, B형은 해치백 차량의 인슐레이터를 수거하여 실험하였다.

운행거리별 인슐레이터와 정상제품인 댐퍼를 한 set로 구성



Figure 7. Normal insulator rubber height and noise occurred insulator rubber height.

Table 1. Noise test according to drive distance

Rubber	Driving distance(km)	Model(Year, Month)
A-1	25,678	2008, 10
A-2	25,758	2008, 09
A-3	66,898	2005, 12
A-4	80,010	2005, 10
A-5	82,353	2006, 02
A-6	114,922	2007, 12
B-1	39,315	2007, 07
B-2	59,615	2007, 01
B-3	66,507	2006, 11
B-4	85,773	2006, 07
B-5	97,071	2006, 05
B-6	123,612	2006, 12

하여 실험하였고 거리에 따른 최대 가속도 값(g)과 가속도 Root Mean Square(g, 이하 RMS)로 나타낸 것이 Figure 8, Figure 9이며 차량연식에 따른 결과가 Figure 10과 Figure 11이다.

Figure 8을 보게 되면 A형 차량보다 B형 차량에서 전체적으로 가속도 값이 크게 나타났지만 두 차량 모두 사용 거리에 따라 최대 가속도 값과 가속도 RMS 모두 증가 하지 않았고, 가속도 값과 RMS의 값은 같은 경향을 나타낸다는 것을 볼 수 있다. 이는 정해진 구간 내에서 가장 큰 값을 나타내는 것이 최대 가속도 값이고 가속도 RMS는 그 구간에 대한 평균을 나타내는 것에 따름이다.

Figure 9에서도 마찬가지로 연식이 오래 되었다고 해서 높은 가속도 값을 가지지 않았고, 경향을 나타내지 않아 차량 연식에 따른 소음 영향도는 없다는 것을 볼 수 있다.

두 차량에서 사용 거리에 따른 인슐레이터 내부 고무 높이, 정상제품의 고무와 거리별 인슐레이터 고무 영구 변형량, 그리고 경도를 정리한 것이 Table 2이다. 두 차량의 초기 경도 값은 A차량은 55였고, B차량은 62로 나타나 차량별로 경도 값의 차이가 있는 것을 확인하였다. 사용 거리에 따른 고무 영구 변형량과 경도를 나타낸 것이 Figure 10, Figure 11이고 거리가 증가하면서 고무 영구 변형량과 경도는 증가 하지 않

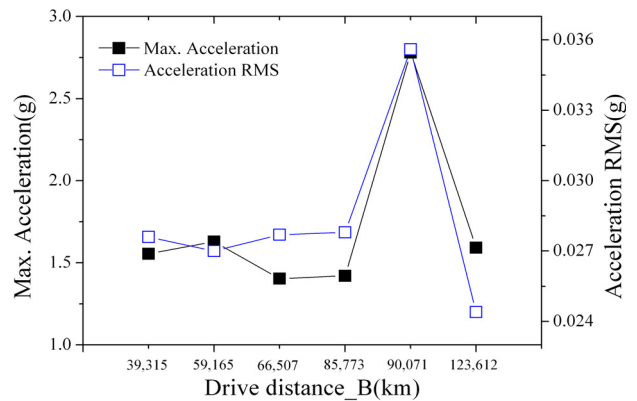
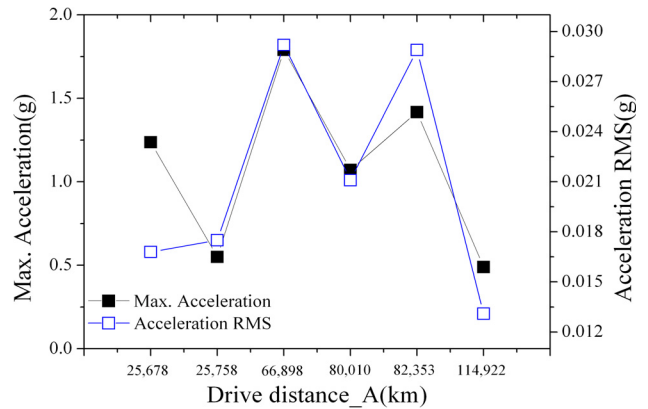


Figure 8. Max acceleration level and root mean square according to B vehicle's drive distance.

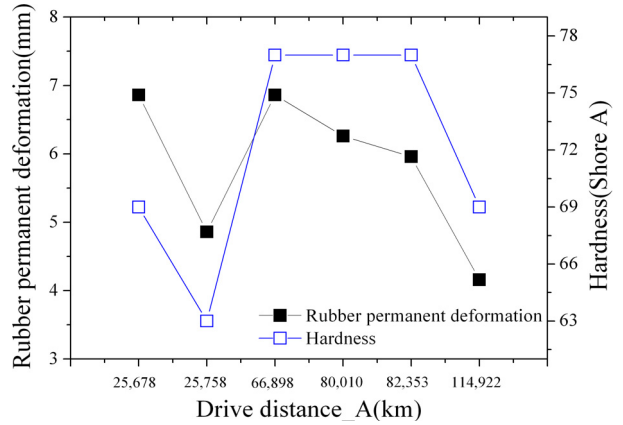
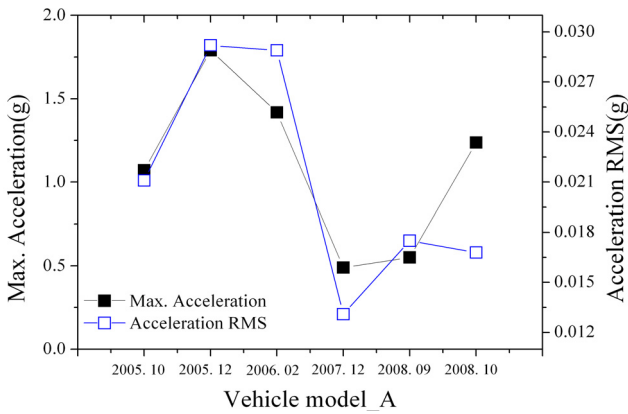


Figure 10. Rubber height distinction and hardness according to A vehicle's drive distance.

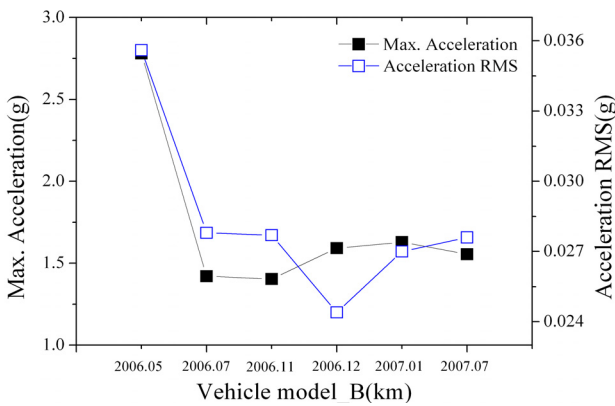


Figure 9. Acceleration level and root mean square according to B vehicle model.

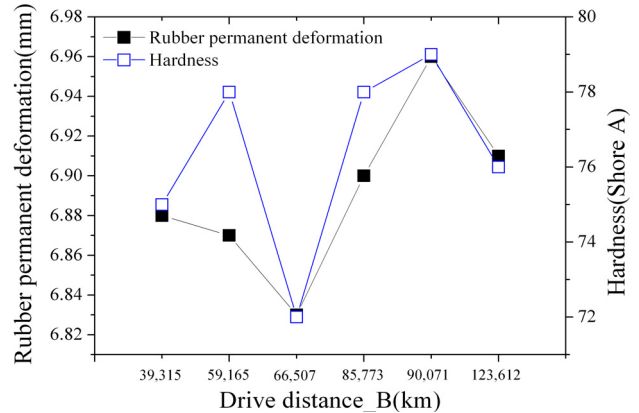


Figure 11. Rubber permanent deformation and hardness according to B vehicle's drive distance.

Table 2. Rubber height(mm), permanent deformation(mm) and hardness according to drive distance

Rubber	A-1	A-2	A-3	A-4	A-5	A-6
Height(mm)	30.9	32.9	30.9	31.5	31.8	33.6
Permanent deformation (mm)	6.86	4.86	6.86	6.26	5.96	4.16
Hardness	69	63	77	77	77	69
Rubber	B-1	B-2	B-3	B-4	B-5	B-6
Height(mm)	30.7	30.8	31.2	30.2	29.9	30.4
Permanent deformation (mm)	6.88	6.87	6.83	6.90	6.96	6.91
Hardness	74	78	72	78	79	75

았다. 하지만 두 그래프 모두 고무 영구 변형량이 증가하면 경도도 같이 증가하였고, 감소하면 경도 또한 작은 값을 나타나는 경향을 보였다.

앞선 그래프로 보아 운행거리나 차량연식에 따라 어떠한 경향이 없어 고무높이와 경도 순서에 따라 가속도 값을 통한

결과를 Figure 12, Figure 13에 나타내었다. 앞서 나타낸 그래프에서는 두 차량을 구분하여 실험을 하였지만, 경도와 고무 영구 변형량에 따른 가속도 값의 관계를 보기 위해서 차량 구분 없이 실험을 진행하였다. 결과에서 가속도 값과 RMS 값이 같은 경향을 띄었기 때문에 최대 가속도 값만 나타내었다.

Table 2를 보면 전체적으로 경도 값이 상승한 것을 확인할 수 있다. 이것은 인슐레이터 내부 고무가 열화 되면서 경도가 상승한다는 것을 확인할 수 있다. 그리고 69와 77에서 보게 되면 69에서의 고무 영구 변형량은 4.16 mm와 6.86 mm으로 다르게 나타났고, 이때 가속도 값이 0.5 g, 1.3 g로 다른 값을 나타냈다.

같은 경도 값에서 서로 다른 최대 가속도 값을 가지고 있고 같은 영구 변형량에도 다른 최대 가속도 값을 가지는 것을 볼 수 있다. 이것은 같은 경도 값을 가지는 인슐레이터 내부 고무라도 서로 고무 영구 변형량이 다르기 때문이고 같은 고무 영구 변형량에도 서로 다른 경도를 가지기 때문이다. 이것으로 고무 열화로 인해 경도와 고무 영구 변형량이 커지게



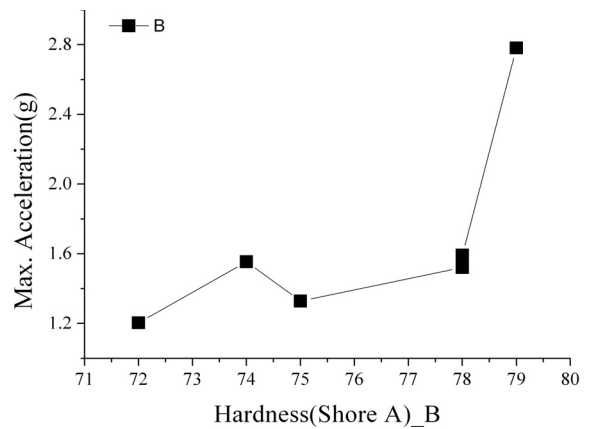
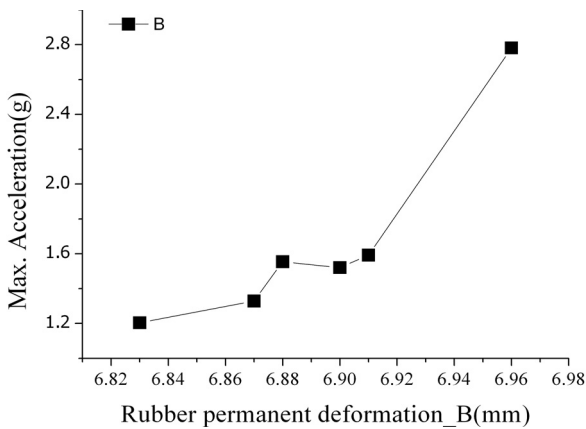
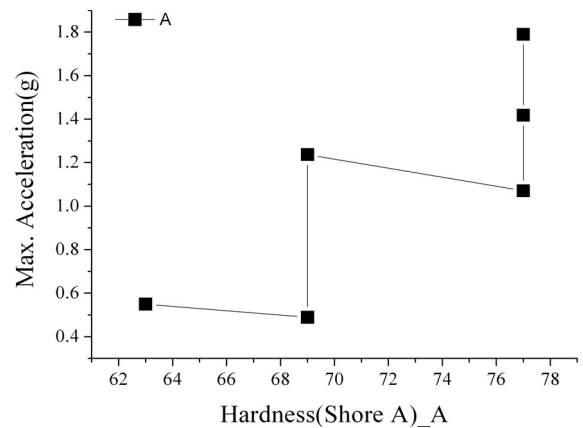
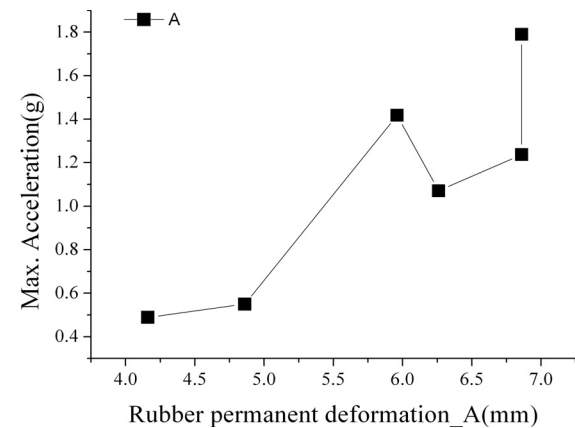


Figure 12. Acceleration according to rubber permanent deformation.

Figure 13. Acceleration according to hardness.

됨을 확인 할 수 있다.

Figure 12, Figure 13의 그래프에서는 고무 영구 변형량과 경도가 상승할수록 차량에 따른 정도의 차이는 있지만 가속도 값이 점점 크게 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 이는 서론에서 언급한 고무가 열화됨에 따라 경도 값이 상승하고 고무 영구 변형량이 커짐에 따라 절연 역할을 제대로 하지 못하였다. 이러한 결과로 고무 영구 변형량과 경도 값의 변화가 스트러트 소음에 영향을 준다는 것을 확인할 수 있다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 재현실험을 통해 차량 운행거리와 연식에 따른 가속도 값과 고무 높이, 경도를 측정하여 다음과 같은 결론에 도달할 수 있었다.

1) 기존에는 단품으로 실험하였고, 소음이 아닌 동적 특성만을 확인하였지만, 본 연구에서는 부품을 모듈로 구성하여 실제와 가까운 실험 조건으로 소음을 검증하고 제품 소음을 보다 정량적으로 나타내기 위해 필드에서 발생하는 소음 환경을 벤치 상태에서 재현 할 수 있도록 시험법을 개발하였다. 본 재현 시험법을 통해서 스트러트 인슐레이터의 소음 특성이

재현됨을 확인하였다.

2) 인슐레이터 내부 고무 영구 변형량을 비교한 결과 소음제품을 정상제품과 비교하였을 때 영구 변형량이 더 많았고, 경도 값은 크게 나타났다. 그 이유는 소음제품이 열악한 사용환경에 의한 상대적으로 높은 온도, 노면으로부터의 큰 반복 하중을 받아 열화가 더 많이 진행된 것으로 판단할 수 있다.

3) 실험 전에는 차량 주행거리가 증가할수록 인슐레이터 내부 고무의 열화가 더 많이 될 것이라 생각하였지만, 본 연구에서 개발된 재현시험법을 통해서 최대 가속도 값, 가속도 RMS 값, 고무 영구 변형량, 경도 분석 결과 주행거리와 사용기간이 스트러트 인슐레이터 소음 특성 변화에는 많은 영향을 주지 않는 것을 확인하였다.

4) 인슐레이터 고무의 영구변형량과 경도 변화가 클수록 소음 특성이 나빠짐을 확인 할 수 있었고, 특히 같은 경도를 나타내는 시료에서 영구 변형량이 큰 것이 더 큰 소음을 발생한다는 것을 확인하였다. 이를 통해 고무의 열화가 차량 또는 스트러트의 소음에 중요한 인자임을 알 수 있다.

단순히 운행거리가 증가하거나 차량이 더 노후 된다고 해서 소음이 발생한 한다는 것이 아니라 차량의 운행조건들, 특히 온도의 영향에 의해 스트러트 마운트 내부 고무 영구 변형량

과 경도 값을 상승시켜 소음을 발생시킨다. 추후 연구 진행시 본 연구에서 개발한 재현실험법으로 소음을 검증할 수 있어 심도 있는 연구에 도움을 줄 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

1. K. Takeuchi and M. Nakagawa, "Fatigue Test Technique of Rubber Materials for Vibration Insulators and Their Evaluation", *International Polym. Sci. and Tech.*, **20**, 64 (1993).
2. E. H. Smith, "Mechanical Engineer's Reference book", *12th ed.*, 194 (1994).
3. R. H. Salzman and S. L. Ciemniecki, "Reliability Predictions Using Probabilistic Methods and Key Life Testing," *SAE-972587* (1997).
4. W. F. Cole Jr. and D. Scheufler, "Rubber Plastic News", *May* 20 (1996).
5. E. Y. Kuo, D. Li, and W. Loh, "The Effects of Bushing Degradation on Vehicle High Mileage NVH Performance", *SAE-960732* (1996).
6. A. Kruse, "Characterizing and Reducing Structural Noises of Vehicle Shock Absorber Systems", *SAE-011234* (2002).
7. S. G. Kim and S. H. Lee, "Changes of the Crosslink Density and Crosslink Structures of NR Vulcanizates with Various Aging Conditions", *Polymer(Korea)*, **18**, March (1994).
8. M. A. Samus, "The Utility of Crosslink Characterization in Validating Predicted Lifetime NR Components", *SAE-010751* (2000).
9. F. E. Ngolemasango, "Degradation and Life Prediction of a Natural Rubber Engine Mount Compound", *J. Polym. Sci.*, **110**, 348 (2008).