



## 소음 차단 성능 향상을 위한 부틸 탄성체 배합 및 진동제어 시스템 디자인 연구

김원택 · 정경호<sup>†</sup>

수원대학교 신소재공학과

접수일(2014년 2월 5일), 수정일(2014년 2월 22일), 게재확정일(2014년 3월 3일)

### Study on the Design of Butyl Rubber Compound and Noise Reduction System for Sound Insulation

Won-Taek Kim and Kyung-Ho Chung<sup>†</sup>

Department of Polymer Engineering, The University of Suwon, Suwon 445-743, Korea

(Received February 5, 2014, Revised February 22, 2014, Accepted March 3, 2014)

**요약** : 최근 공동주택의 층간 소음으로 인하여 사회적 문제가 크게 대두되고 있다. 본 연구에서는 소음 차단 성능을 향상시키기 위해 바닥 진동 제어 시스템에 적용되어질 방진고무를 제조하였다. 다양한 유형의 고무 중 우수한 노화특성, 낮은 반발탄성 및 높은 댐핑특성의 성질을 갖는 부틸 고무를 방진고무의 원료 고무로 선정하였다. 그리고 부틸 컴파운드에 첨가되는 카본블랙의 유형과 함량에 따른 방진고무의 물성을 확인하였다. 표면적이 큰 카본블랙을 사용하거나 함량이 증가할수록 고무와 카본블랙간의 결합고무의 함량이 증가하여 높은 기계적 물성, 낮은 반발탄성과 높은 댐핑특성을 나타내었다. 연구 결과를 토대로 최적의 카본블랙 종류와 함량을 결정하고 방진고무를 제조한 뒤 바닥 진동제어 시스템에 적용하였다. 바닥충격음을 측정한 결과 경량충격음 40 dB, 중량충격음 43 dB을 나타내어 소음 차단 성능이 우수한 것을 확인할 수 있었다.

**ABSTRACT** : The noise between floors of apartment has been hot issue nowadays. In order to improve the noise insulation performance, we proposed the antivibration rubber system which can be applied to the floor system for sound insulation. Among various types of elastomer, butyl rubber showed the good aging characteristic, low rebound resilience and high damping factor. Thus, the butyl rubber was selected as a basic rubber for antivibration rubber system. The effects of type and loading amounts of carbon black on antivibration properties of butyl rubber were studied. The increase of surface area and the content of carbon black resulted in high bound rubber fraction, high mechanical property, low rebound resilience, and high damping factor of butyl rubber. Based on the results of this study, the new antivibration rubber was prepared and applied to the floor system for sound insulation. The impact sounds of floor system proposed in this study were 40 dB and 43 dB in cases of light weight and heavy weight impact sound, respectively.

**Keywords** : antivibration, butyl rubber, IIR, carbon black, sound insulation, noise reduction.

#### I. 서론

현재 국내 주거형태의 70% 이상을 차지하고 있는 공동주택(아파트)의 공통적인 특징인 벽식 콘크리트 구조는 높은 강성과 밀실함을 나타내어 공기로 전달되는 공기 전달음에 대해서는 충분한 차단 능력이 있다. 그러나 콘크리트의 특성 상 자체적인 진동 감쇄 기능이 낮음으로 인하여 고체 충격음(바닥으로 전달되는 진동음)의 차단 능력이 떨어지기 때문에 특별한 저감방법을 사용하지 않는다면 층간소음 문제가 발생할 수 밖에 없다. 국토교통부에서는 최근 발생하고 있는 층간 소음

의 문제를 해결하고자 표준바닥구조의 바닥 슬래브 두께를 150 mm에서 210 mm로 60 mm 이상 높였으나 공사 원가의 상승으로 인한 소비자 부담이 과중되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 층간소음을 차단하기 위하여 기존에 사용되어진 스티로폼, 우레탄, 섬유, 고무, 스펀지 등의 완충재 대신 플라스틱 구조체, 단열재와 함께 일체화된 패널형 구조의 바닥 시스템에 적용할 수 있는 방진고무 마운트를 개발하고자 하였다. 방진고무는 건축물에서 수십년 동안 사용되기 때문에 노화특성을 고려해서 원료고무를 선정해야 한다. 다양한 합성 고무 중 부틸고무(IIR)는 불포화도가 적기 때문에 내후성이 우수하므로 특별한 산화방지제를 필요로 하지 않으며 내열노화성, 내노화성, 내화학약품성이 좋으며 특히 산화제에 강하

<sup>†</sup> Corresponding Author. E-mail: khchung@suwon.ac.kr

**Table 1. Recipe of Butyl Rubber Compounds Containing Different Blacks and Contents**

(Unit : phr)

Ingredients	A	B	C (330)	C (550)	C (990)	D	E
Butyl rubber (IIR)	100	100	100	100	100	100	100
Carbon black (N 330)	0	25	45	-	-	65	85
Carbon black (N 550)	-	-	-	45	-	-	-
Carbon black (N 990)	-	-	-	-	45	-	-
ZnO	5	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Sulfur	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75
Tetramethylthiuram disulfide	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75	1.75

다. 또한 반발탄성이 작아 충격흡수성이 큰 장점이 있다.<sup>1</sup> 방진 고무의 요구 특성을 보완하기 위해 손실계수를 조절하여 방진 성능을 개선할 수 있다. 고무에 충전제를 배합하여 탄성률을 높이는 보강작용은 고무와 충전제의 계면에서 발생하는 히스테리시스 손실로 인하여 높은 방진 효과가 있으며 입자의 크기, 구조, 표면 활성 등이 영향을 미친다. 카본블랙의 첨가에 의한 손실계수의 변화는 고분자와 카본블랙 사이에 일어나는 내부 마찰 면적과 고분자 사이의 내부 마찰 기회의 변화로 인한 것이라고 생각된다. 고무 재료의 방진 성능을 높이기 위해서는 많은 에너지 소비를 일으킬 수 있는 카본블랙을 다량 투입하거나 분산도를 높이는 것이 좋다.<sup>2,3</sup>

본 연구에서는 충전 소음을 차단하기 위해 바닥 진동 제어 패널 시스템에 적용 최적의 방진고무 마운트를 제조하였다. 진동에너지가 효율적으로 열에너지로 변환하여 최적화된 완충 성능을 발휘할 수 있는 부틸 탄성체 배합 및 형상을 설계하였다. 또한 방진고무가 적용된 진동 제어 패널 시스템을 디자인하고 제조하여 바닥충격음 차단 성능을 평가하였다.

## II. 실험

### 1. 원료 및 배합

본 연구에서는 카본블랙의 종류와 함량을 다르게 하여 진동 절연 효과가 우수한 배합 조성비를 결정하기 위해 Table 1과 같이 부틸 탄성체를 배합하였다. 부틸고무는 JSR Corporation의 JSR butyl 268을 사용하였다. 보강제로는 코리아 카본블랙(주)의 furnace black 계의 HAF(N330)과 FEF(N550), cancarb의 thermal black 계의 thermax N990을 사용하였다. 3가지 카본블

**Table 2. Physical Properties of Carbon Blacks and Bound Rubber Fraction of Butyl Rubber Compounds Containing Different Carbon Blacks**

Carbon black	Iodine adsorption (g/kg)	Particle size (nm)	Bound rubber fraction (%)
N330	79.7	26~30	51
N550	43.1	40~48	35
N990	11.2	280	0

랙을 사용하였으며 종류에 따른 물리적 특성은 Table 2에 나타내었다. 가교제와 가교촉진제는 sulfur와 tetramethylthiuram disulfide를 각각 사용하였고 가교조제는 zinc oxide와 stearic acid를 사용했다.

부틸 고무 배합물을 제조하기 위하여 냉각수 순환방식의 open two roll mill을 사용하였으며 고무를 충분히 소련(mastication) 시킨 뒤 카본블랙, 가교조제, 가교제 및 촉진제와 기타 첨가제들을 배합하였다. 배합된 고무는 레오미터(DRM-100, (주)대경엔지니어링)를 이용하여 경화특성을 측정하였다. 스코치시간( $ts_2$ )과 90 % 경화시간에 의거하여 15 MPa의 압력으로 180 °C에서 유압프레스를 통해 경화를 시켜 실험에 필요한 시험편들을 제조하였다.

### 2. 물리적 특성

제조된 부틸 고무 배합물의 물리적 특성은 KS M 6518에 따라서 유압프레스에서 제조된 2 mm 두께의 시트를 아령형 1호 규격으로 제작하여 UTM(Universal testing machine, (주)대경

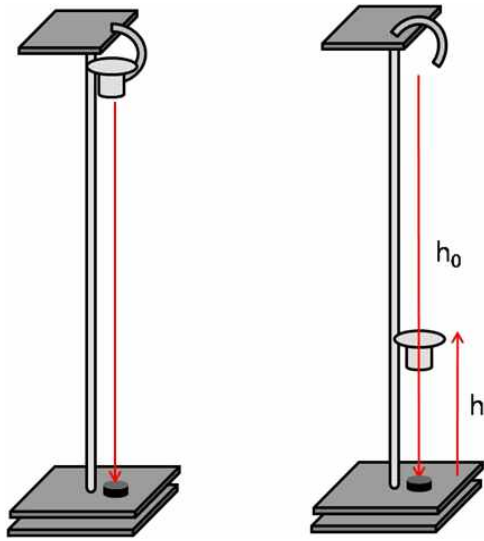


Figure 1. Ball rebound resilience test.

엔지니어링)을 사용하여 500 mm/min의 속도로 인장강도와 신장률을 측정하였다. 또한 에너지 손실을 구하기 위하여 편리하고 반복 작업이 쉬운 반발탄성 시험을 ball rebound tester를 사용하여 진행하였다. 식 (1)은 측정계의 전체에너지이고, 식 (2)의  $R_{ET}$ 는 손실 반발탄성률이며, 식 (3)에서  $E_R$ 은 반발탄성계의 손실에너지이다.<sup>4</sup> 고무의 경우 점탄성 물질로 추가 고무로 낙하여 충돌한 뒤 처음 높이에 못 미치게 되고, 이 손실 높이 만큼의 위치에너지가 열로 전환된다. Figure 1은 반발탄성 시험을 도식화한 그림이다.

$$E_{TOTAL}(J) = m_b \times g \times h \tag{1}$$

$$R_{ET} = 1-(h/h_0) \tag{2}$$

$$E_R = R_{ET} \times E_{TOTAL} \tag{3}$$

여기에서  $m_b$ 는 추의 무게,  $g$ 는 중력가속도,  $h_0$ 와  $h$ 는 초기 높이와 추가 고무시편에 떨어진 뒤 튀어오른 높이를 의미한다.

### 3. 결합 고무 함량

부틸 고무 배합물의 가황 전 1 g의 고무 시료를 60 ml의 톨루엔에 담근 후 상온에서 1주일이 지난 뒤 꺼내어 70 °C의 진공오븐에서 24 시간 동안 건조시킨 후 톨루엔에 용해되지 않은 시료의 무게를 측정한다 다음 식 (4)에 따라서 계산하여 bound rubber fraction(BRF)를 얻었다.

$$BRF(\%) = \frac{g \text{ of undissolved rubber}}{g \text{ of initial rubber}} \times 100 \tag{4}$$



(a) Lightweight impact test (equipment : tapping machine)



(b) Heavyweight impact test (equipment : bang machine)

Figure 2. Pictures of floor impact sound test.

### 4. 동적 점탄성 분석

손실계수는 재료의 변형 시 열로서 방출되는 에너지의 양, 재료의 방진 성능 또는 내부마찰과 관계가 있다. 부틸 고무 배합물의 손실계수를 확인하기 위하여 Alpha Technologies의 RPA2000 (Rubber Processing Analyzer 2000)을 사용하였으며 1 Hz, 10 % strain으로 고정하고 30 ~ 80 °C의 온도 범위에서 진행하였다.

### 5. 바닥충격음 측정

방진고무가 적용된 바닥 진동제어 패널 시스템은 KOLAS 인증기관인 (주)한국소음진동에서 KS F 2810-1(경량충격음), KS F 2810-2(중량충격음)에 근거하여 바닥충격음 차단성능을 평가하였다. Figure 2에는 측정한 실제 사진을 나타내었다. Figure 2의 (a)는 경량충격음을 측정된 사진이고, Figure 2의 (b)는 중량충격음을 측정된 사진이다. 180 mm 두께의 실험동 2층 바닥에 방진고무가 적용된 진동제어 시스템을 놓고 그 위에 다시 50 mm 두께의 마감 몰탈을 올려 놓는다. 그 위에 표준 경량 또는 중량 충격원을 설치하고 충격음을 발생시킨다. 충격원의 설치위치는 실의 주변 벽으로부터 50 cm 이상

떨어진 바닥 평면내로 증양점 부근의 1점을 포함하여 균등하게 분포하는 4점에서 측정하였다. 실험동 1층에서는 마이크로 폰으로 충격음의 음압 레벨 측정을 진행한다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 카본블랙 종류에 따른 물성

Table 2는 카본블랙의 입자크기에 따른 IIR 고무 컴파운드의 bound rubber fraction을 측정한 결과를 나타낸 것이다. 요오드 흡수가의 증가에 따라 bound rubber 함량이 증가하는 것을 확인할 수 있었다. Bound rubber의 형성은 소련과정에서 고무 분자가 절단될 때 생성되는 자유라디칼이 활성을 가진 카본블랙의 표면에 화학적으로 결합하거나 물리적으로 연결되는 것으로 알려져 있다.<sup>5</sup> 따라서 표면적이 크고 입자크기가 작은 N330이 첨가된 배합물이 더 많은 고무와 카본블랙의 상호결합으로 인해 bound rubber의 함량이 증가하는 것으로 판단된다.

Figure 3은 bound rubber의 함량을 측정하기 위해 카본블랙이 첨가된 고무 배합물을 톨루엔에 넣은 후 건조시킨 사진을 나타낸 것이다. N990이 첨가된 배합물은 bound rubber를 거의 형성하지 못하고 고무가 톨루엔에 거의 용해되어 bound rubber의 함량을 측정할 수 없었다. 그에 반해 N330은 고무와 카본블랙

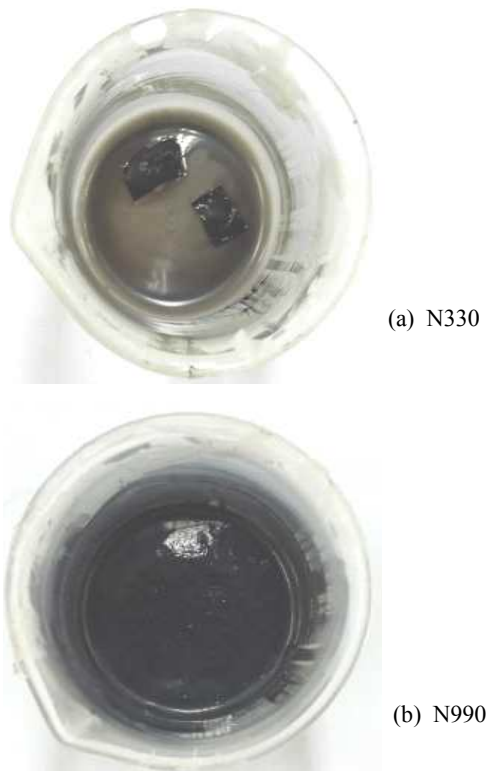
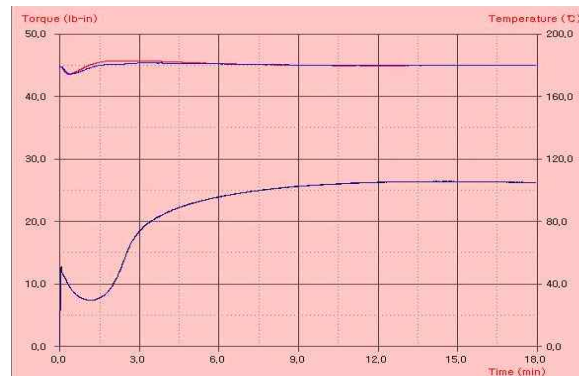


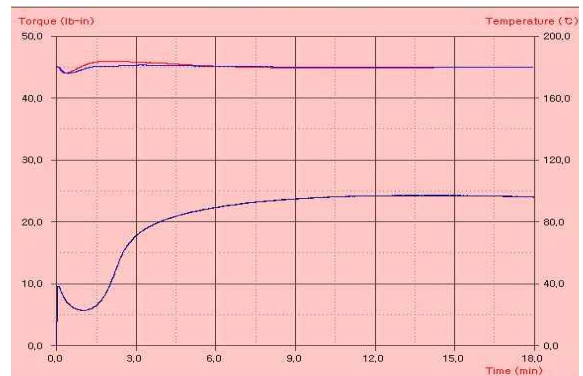
Figure 3. Experiment method for measuring the bound rubber fraction.

의 물리적 또는 화학적 결합이 발생하여 톨루엔에 용해되지 않은 것을 확인할 수 있었다. 천연가스의 열분해로 얻어지는 N990 카본블랙은 고무에 대해 준보강성충전제(semireinforcing filler)이고 구형 입자상이 대부분으로 물리적 흡착이 어렵고 Taylor 등이 지적한 바와 같이 카본블랙 표면의 활성이 낮아 결합고무의 형성이 적은 것으로 알려져 있다.<sup>6</sup>

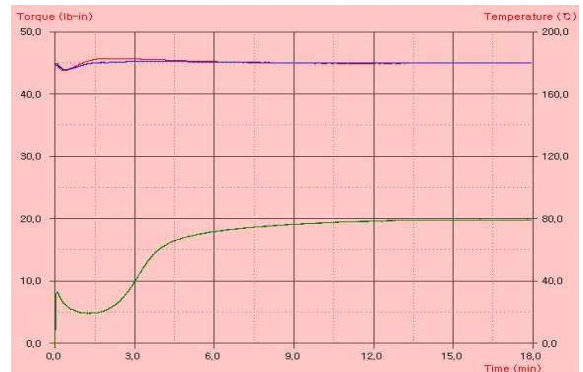
Figure 4는 종류가 다른 카본블랙을 배합한 부틸 고무 배합



(a) N330



(b) N550



(c) N990

Figure 4. Rheocurves of butyl rubber compounds containing different carbon blacks.

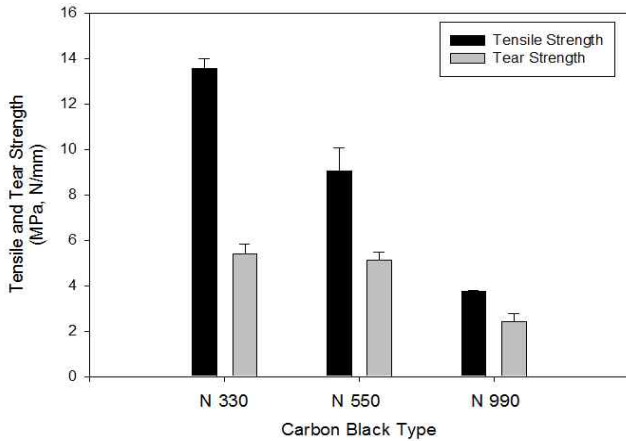


Figure 5. Strength of butyl rubber compounds containing different carbon blacks.

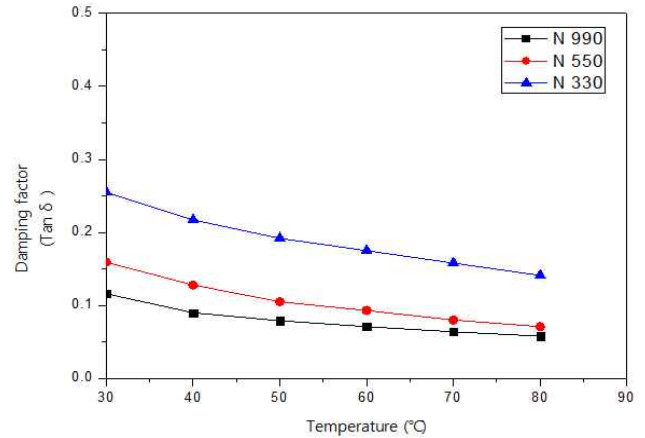


Figure 7. Damping factor of butyl rubber compounds containing different carbon blacks with temperature.

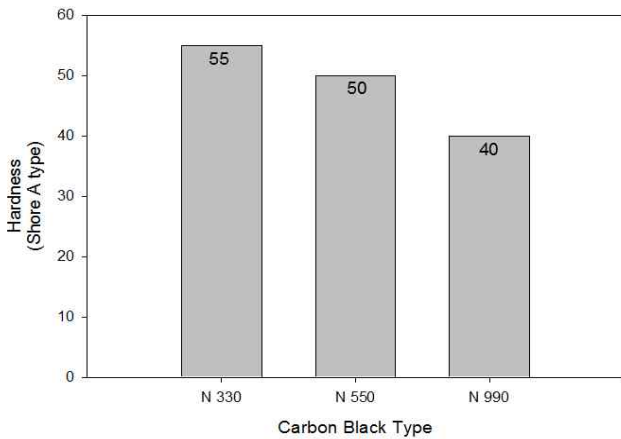


Figure 6. Hardness of butyl rubber compounds containing different carbon blacks.

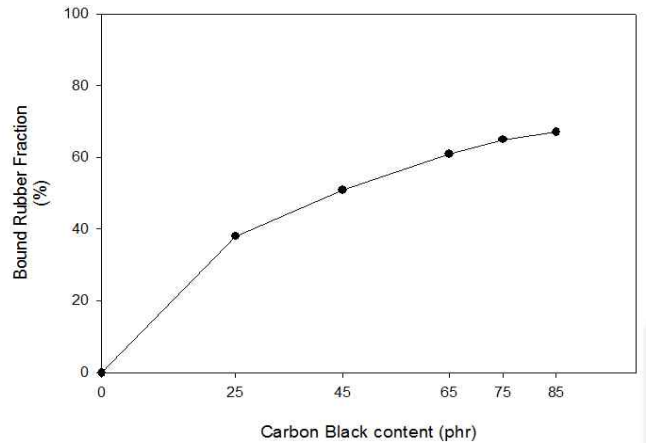


Figure 8. Bound rubber fraction of the butyl rubber compounds with the contents of carbon black.

물의 경화 특성을 나타낸 그래프이다. 가황반응 개시 전의 최저 torque 값과 최대 torque 값은 Table 2에 나타난 카본블랙의 요오드 흡수율(iodine adsorption)이 클수록 증가하는 경향을 보였다. 이것은 bound rubber 함량의 측정 결과에서 알 수 있듯이 N330의 카본블랙을 사용했을 경우 고무와 카본블랙의 상호작용이 증가하기 때문에 높은 torque 값을 나타내었고 Figures 5와 6에서 나타난 바와 같이 인장강도, 인열강도, 경도가 높은 것을 확인할 수 있었다. 가황속도의 경우에는 요오드 흡수율이 가장 낮은 N990의 카본블랙을 사용했을 때 비교적 느린 것을 확인할 수 있었다.

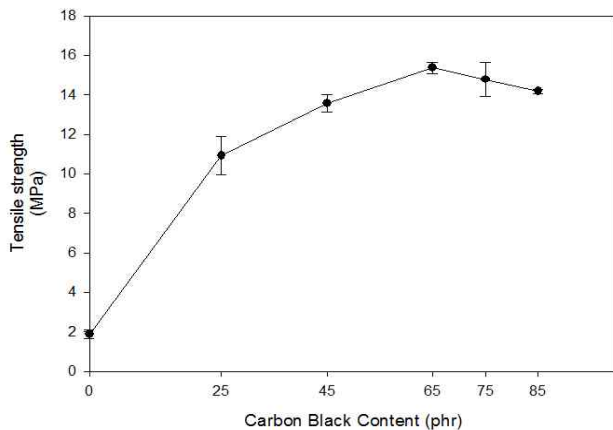
Figure 7은 RPA를 사용하여 온도 변화에 따른 부틸 고무 배합물의 damping factor를 측정된 결과이다. 일반적으로 방진 고무의 요구 특성을 보완하기 위해 damping factor를 조절하여 방진 성능을 개선할 수 있다. N330 카본블랙을 첨가한 고무 배합물의 damping factor가 가장 높은 것을 확인할 수 있었다. Bound rubber 함량이 높은 배합물은 일정한 주기의 변형을

받을 때 고무와 카본블랙의 마찰에 의해서 진동이 감쇄되어 damping factor가 증가하는 것으로 판단된다.

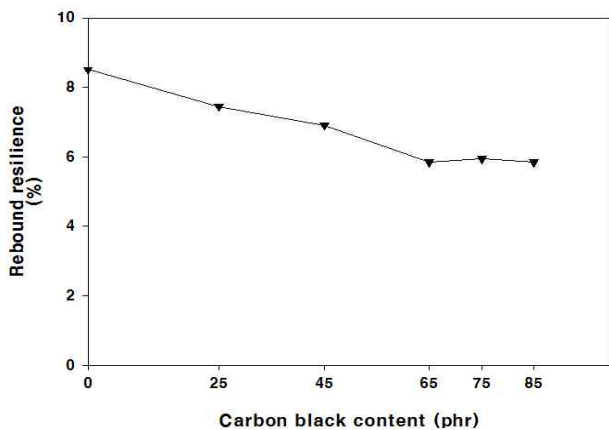
## 2. 카본블랙 함량에 따른 물성

Figure 8은 N330 카본블랙의 첨가량에 따른 부틸 고무 배합물의 bound rubber fraction을 측정된 결과를 나타낸 것이다. 65 phr까지 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 bound rubber fraction이 선형적으로 증가하였고 첨가량이 65 phr 이상에서는 증가폭이 작아지는 것을 확인할 수 있었다. 카본블랙의 함량이 증가하면 소련과정 중 화학적으로 결합하거나 물리적으로 연결되는 bound rubber fraction이 증가하다가 포화점에 도달하게 되면 고무와 카본블랙의 결합, 카본블랙과 카본블랙의 결합이 동시에 존재할 것으로 판단된다.

Figure 9에 나타난 바와 같이 65 phr까지는 형성된 bound rubber가 증가되면서 보강효과가 향상되어 인장강도가 증가



**Figure 9.** Tensile strength of the butyl rubber compounds with the contents of carbon black.



**Figure 10.** Rebound resilience of the butyl rubber compounds with the contents of carbon black.

하였지만 그 이상이 첨가되면 오히려 감소하는 것을 확인할 수 있다. 이는 카본블랙의 최적 첨가량은 고무와 카본블랙간의 최대 결합량에서 형성된다는 견해로 볼 때 그 이상의 카본블랙이 첨가되면 고무분자가 충전된 카본블랙 사이의 빈 공간들을 모두 채우지 못하기 때문에 카본블랙과 카본블랙의 접촉이 고무와 카본블랙 간의 접촉보다 더 많아짐으로써 기계적 물성이 저하되게 된다.<sup>7</sup>

Figure 10은 가황고무의 점탄성 특성과 매우 밀접한 관련이 있는 반발탄성의 결과를 나타낸 그래프이다. 카본블랙의 첨가량이 많아질수록 고무 배합물의 반발탄성은 감소하는 경향을 나타내는데 이는 고무배합물에 진동이 가해지면 카본블랙이 형성하는 그물구조의 사슬 내에서 마찰이 일어나 진동에너지가 열에너지로 변환되기 때문이다. 또한, 고무의 비율이 적어짐에 따라 탄성 거동영역이 좁아지기 때문에 반발탄성이 감소하게 되고 진동 감쇄 능력이 향상된다. 또한 65 phr 이상의 카본블랙이 첨가되었을 경우에는 더 이상 반발탄성이 감소하지 않는 것을 확인할 수 있었다.



(a) front



(b) bottom

**Figure 11.** Shape of vibration absorbing rubber.

### 3. 방진고무의 형상과 적용

Figure 11은 실험을 통해 선정된 부틸 고무 배합 조성을 토대로 설계된 방진고무의 형상이다. Figure 11 (a)는 방진고무의 정면을 나타낸 것이며 윗부분의 홈은 플라스틱 격자와 결합하기 위한 부분이다. Figure 11 (b)의 사진은 방진고무의 아랫부분의 사진이다. 방진고무의 아랫부분에 내입공간이 바닥면에 맞닿아 공기가 외부로 빠져나가지 않는 공간이 생긴다. 이 빈 공간에 의해서 상부에서 전해진 충격이 감쇄되면서 완충 효과를 높일 수 있다. 이러한 내입공간의 형태를 반구형으로 설계함으로써 하중이 발생될 경우 어느 한쪽으로 치우치지 않고 안정적으로 지지할 수 있게 된다. Figure 12 (a)는 기존 건물의 바닥구조이고 (b)는 기존의 건축물에서 층간 소음을 방지하기 위해 사용된 층간 소음 방지재와 기포 콘크리트를 대신해서 플라스틱 패널, 단열재, 방진고무가 일체화된 바닥 진동 제어 시스템이 적용된 바닥구조이다. 바닥에 충격이 가해지면 충격력이 플라스틱 패널과 단열재에서 1차적으로 감쇄되고 남은

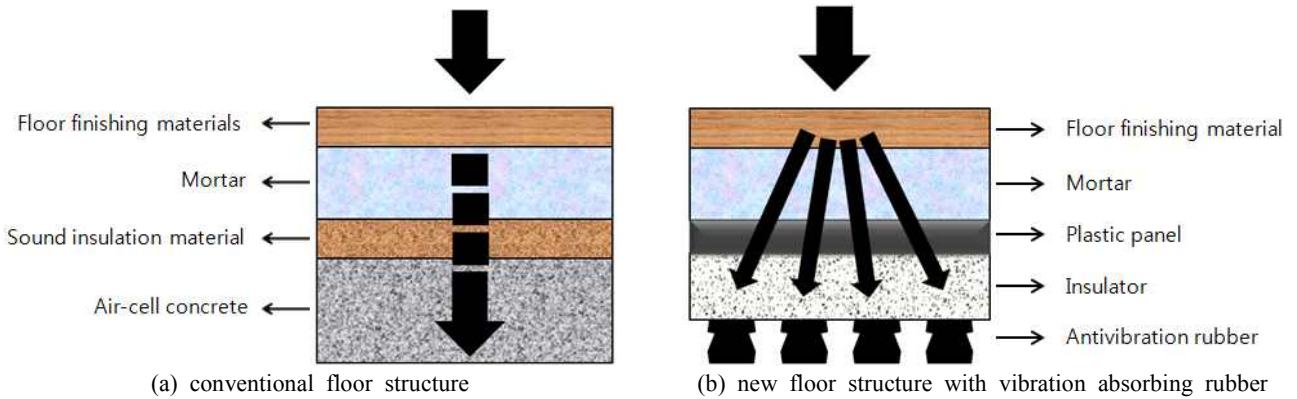
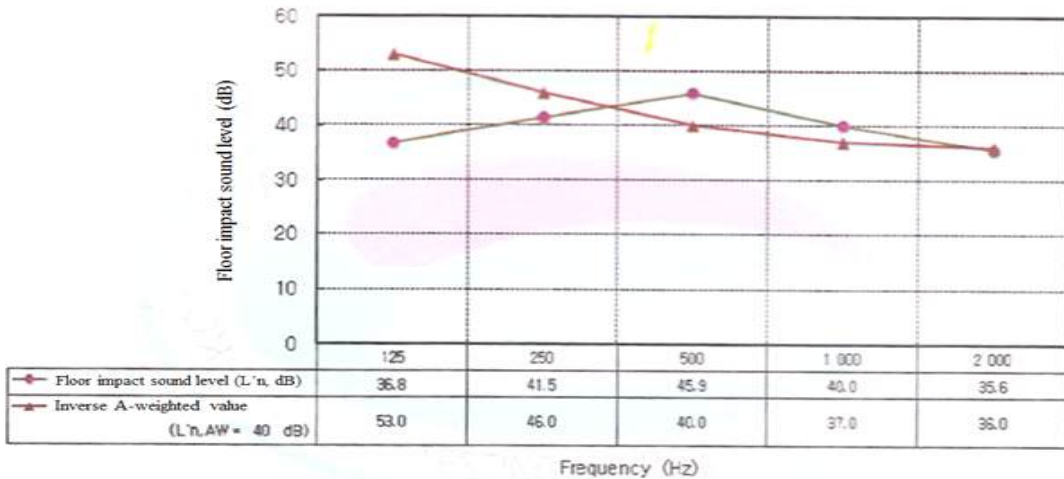
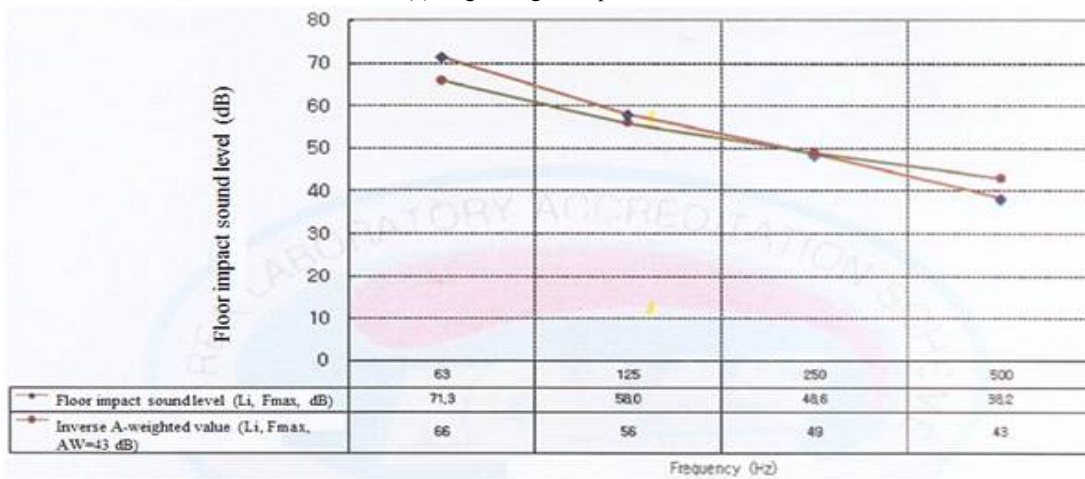


Figure 12. Comparison of transmission characteristic of floor impact.



(a) Lightweight impact sound



(b) Heavyweight impact sound

Figure 13. Results of floor impact test.

충격력은 부분적층 구조로 분산된다. 또한 방진고무가 없는 부분에는 자체 공기층이 생겨 아래의 슬라브로 전달되는 충격이 저감된다.

#### 4. 바닥 충격음

Figure 2에 나타난 바와 같이 제조된 방진고무를 적용한 바닥 진동제어 시스템에 대한 바닥충격음을 측정하고 그 결과를

Figure 13에 나타내었다. Figure 13 (a)와 (b)는 측정된 경량충격음과 중량충격음의 결과를 나타낸 것이다. 실험동 맨바닥에 바닥 진동제어 시스템을 놓고 그 위에 마감몰탈(50 mm)를 올려놓은 뒤 tapping machine으로 진동을 가하여 측정된 경량충격음 성능레벨을 나타내고 있다. 측정값은 1층 수음실에서 측정된 잔향시간 측정결과로부터 산출된 표준화 바닥충격음 레벨로서, 역 A특성 기준곡선에 의해 산출된 경량 충격음 단일 수치는 40 dB로 측정되었다.

동일한 시험 바닥구조를 준비한 뒤 bang machine으로 진동을 가하여 측정된 중량충격음 성능레벨을 나타낸 것이다. 역 A특성 기준곡선에 의해 산출된 중량충격음 단일 수치는 43 dB로 측정되었다.

기존의 바닥구조와 달리 부틸 고무 배합물의 조성을 구축하여 제조된 방진고무를 적용하고 소음 차단 효과가 우수하도록 디자인한 진동제어 시스템의 바닥충격음을 측정된 결과 국토교통부에서 공시한 표준바닥인정 기준치(경량충격음 58 dB, 중량충격음 50 dB)보다 우수한 소음 차단 성능을 나타내는 것을 확인하였다.

#### IV. 결론

본 연구에서, 층간 소음을 차단하기 위하여 플라스틱 구조체, 단열재와 함께 함께 일체화된 패널형 구조의 바닥 시스템에 적용할 수 있는 방진고무 마운트를 개발하였다. 표면적이 크고 입자크기가 작은 N330 카본블랙이 사용된 배합물이 물리적 흡착이 어렵고 카본블랙 표면의 활성이 낮은 N990이 사용된 배합물보다 bound rubber의 함량이 증가하여 높은 기계적 물성을 나타내며 고무와 카본블랙간의 마찰에 의해 진동이 많이 감쇄되어 높은 damping factor를 나타내는 것을 확인하였다. 또한 N330의 첨가량이 증가함에 따라 bound rubber 함량이 선형적으로 증가하다 65 phr 이상에서는 증가 폭이 작아지는 것을 확인하였다. 인장강도 또한 bound rubber 함량이 증가하면서 보강효과가 상승되어 선형적으로 증가하였지만 65 phr 이상 첨가되면 카본블랙-카본블랙 접촉이 고무-카본블랙 간의 접촉보다 더 많아져 기계적 물성이 오히려 저하되는 것을 확인하였다. Bound rubber가 증가하여 고무 배합물에 진동이 가해질 경우 카본블랙이 형성하는 그물 구조의 사슬내에서

마찰이 일어나 진동에너지가 적어지고 탄성거동 영역이 좁아져 반발탄성이 감소하고 충격흡수 능력이 향상되는 것을 확인하였다. 따라서 N330 카본블랙 65 phr을 첨가한 부틸 고무 배합물이 최적의 물성과 방진 특성을 갖는 것으로 판단된다.

본 연구를 통해 제조된 방진고무를 적용한 새로운 바닥 진동제어 시스템을 설계하였다. 바닥 진동제어 시스템의 바닥충격음을 측정된 결과 국토교통부에서 공시한 표준바닥구조의 바닥충격음 기준(경량충격음 58 dB, 중량충격음 50 dB)보다 우수한 경량충격음 40 dB, 중량충격음 43 dB를 나타내었다.

#### 감사의 글

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2012년도 산학연공동 기술개발사업(No.C0034011)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다. 본 연구를 위해 재료를 제공해주시고 바닥충격음 시험을 위해 협조해주신 소닉스시스템에 감사드립니다.

#### References

1. (사)한국고무학회, “고무재료와 가공기술”, p. 47, 2008.
2. J. S. Youn, “Rubber anti-vibration, vibration and cushioning properties”, *Elast. Compos.*, **31**, 4 (1996).
3. D. H. Kang and S. M. Kim, “Preparation and properties of polyorganosiloxane modified maleated EPDM/EPDM rubber vibration isolator”, *Appl. Chem. Eng.*, **21**, 5 (2010).
4. C. Y. Park and B. Y. Sohn, “Estimation of loss energy from the measurement returning time of rebound for carbon black-filled natural rubber compounds”, *J. Korean Inst. Chem. Eng.*, **35**, 154 (1997).
5. 김완영, 이대수, 김윤섭, “카본블랙의 종류와 충전량이 NR Compound의 동적 점탄성에 미치는 영향”, 전북대학교 논문집, **32**, 105 (1990).
6. W. Y. Kim, D. S. Lee and B. C. Lee, “A study on the vibration damping of natural rubber vulcanizates filled with various carbon blacks”, *Polymer(Korea)*, **20**, 971 (1996).
7. C. H. Yoon, I. Lee, C. T. Cho and K. H. Chae, “The study on the optimum loading of carbon black for the different kind of rubber compounds”, *Korean Inst. Chem. Eng.*, **7**, 565 (1996).