

에틸렌-프로필렌-디엔 삼원 공중합 (EPDM) 발포체의 충격음 저감 특성에 관한 연구

이 경 원 · 이 정 희 · 손 호 성[†]

LG전선 연구소
(2000년 5월 30일 접수)

A Study on Impact Sound Insulation Properties of EPDM Micro Cellular Pad

Kyung-Won Lee, Jung-Hee Lee, and Ho-Soung Sohn[†]

LG Cable Ltd., R&D Center, Anyang, Korea

(Received May 30, 2000)

요 약: EPDM 발포체의 정적/ 동적 특성을 측정하여 재료 특성과 진동 특성과의 연관성을 알아보고 이로부터 충격음 저감재로서의 적용 가능성을 검토하였다. 정적/동적 특성은 material test system (MTS)를 사용하여 시편의 형상, 두께, 초기하중, 발포도 등에 따라 정적 탄성계수, 동적 탄성계수, 전달율의 변화를 조사하였다. 정적 탄성계수와 동적 탄성계수의 경우, 형상이 단순하고 두께가 얇을수록 큰 값을 나타냈고, 전달율과 동적 탄성계수는 상호 비례 관계에 있음을 확인할 수 있었다. 특징적으로 동적 탄성계수가 증가하면, 전달율의 특성 피크치는 같은 주파수 영역에서의 증가 혹은 고주파수 영역으로의 전이의 형태로 일어나게 되는 것을 알 수 있었다. 실험실적 모사 시험장치를 통해 충격에 따른 주파수별 진동 속도 측정과 유한 요소 해석 모델을 사용하여 mode shape에 의한 충격 해석 결과를 알아보았는데, EPDM 발포체를 사용함으로써 2.5-3.5배의 진동 속도 저감이 이루어짐을 알 수 있었고, mode shape의 경우 몰타르와 콘크리트만으로 구성된 구조물에 비해 진동 충격에 대한 변위가 급감함으로써 충격음 저감재로서의 EPDM 발포체의 적용 가능성은 상당히 높은 것을 확인할 수 있었다.

ABSTRACT: In order to investigate the possibility of EPDM micro cellular pad (MCP) as an impact sound insulation product, we studied static/ dynamic properties and vibration transfer characteristics of EPDM MCP depending on shape, thickness, degrees of foaming by using material test system (MTS) and lab scale mock-up test apparatus. Static/dynamic rigidity is increased when shape is simple, thickness and degrees of foaming low. We could see that dynamic stiffness is proportional to the transmissibility of EPDM MCP. When dynamic stiffness is increased, characteristic peak at transmissibility curve moves high frequency range or shows increase of maximum value of transmissibility. For lab scale mock-up test and finite element method, EPDM MCP shows low vibration velocity and superior mode shape to just concrete plus

[†] 대표저자(e-mail : hsson@cable.lg.co.kr)

slab structure. We could confirm that possibility of EPDM MCP as a impact sound insulation product is high.

Keywords : EPDM, static rigidity, dynamic stiffness, transmissibility, impact sound

I. 서 론

공동 주택이 가지고 있는 여러가지 문제중 현 시점에서 가장 크게 대두되고 있는 것 중의 하나가 소음 문제이다. 이는 공동 주택이 안고 있는 근본적인 취약성, 즉 하나의 건물내의 상하/좌우에 생활 양식이나 가족 성원의 구조가 전혀 다른 사람이 바닥이나 벽 한 장을 사이에 두고 생활하는 공동 주택 특유의 생활 양식으로 인해 소음은 불가피하게 발생하기 때문에 그 문제의 심각성이나 해결 방안이 있어 점차적으로 관심이 집중되고 있는 상황이다. 공동 주택에서의 소음 문제는 물리적인 소리 (음)의 크기뿐만 아니라 발생형태 등 각종 요인이 복합적으로 작용하여 발생하게 되고 또한 이를 받아들이는 것도 개인별 또는 심리 상태등에 따라 차이가 크므로 이의 객관적인 평가는 어렵다고 할 수 있다.

음환경 측면에서 볼 때 공동주택을 구성하는 바닥이나 벽, 설비 등은 거주자들이 편안한 환경에서 생활할 수 있도록 기본적인 성능을 유지하고 있어야 한다. 즉 세대를 구획하는 경계 벽은 인접세대에서 발생하는 말소리나 TV소리 등의 소음을 차단해 주는 역할을 해야 하며, 바닥은 공기 전파음은 물론 바닥 충격음과 같은 고체 전파음을 차단해 주어야 한다. 그리고 창을 포함한 외벽은 도로 교통소음 등 외부에서 발생하는 소음을 차단해주어야 하며, 건물 안에 설치되는 승강기나 급배수 설비 등은 소음의 발생이 적은 기기나 공법을 사용해야 한다. 최근 들어 바닥 충격음 저감재로서의 고무 재료의 적용 가능성에 대한 관심이 증가되고 있으나 그에 대한 연구는 아직 많이 미진한 상

태이고, 따라서 실제 효과적인 충격음 저감 특성을 나타내고 있는 제품은 전무한 실정이다. 이에 본 연구에서는 내열성, 내오존성, 내약품성이 우수하고, 일반적인 가공 특성도 우수한 고무로 알려져 있는 EPDM 발포체의 충격음 저감 재료로서의 가능성을 알아보고, 이를 위해 EPDM 발포체의 정적, 동적 특성에 관하여 검토하였으며, 실제 건물에 적용되었을 때의 충격음 저감 특성을 예측할 수 있는 방안을 실험실적 방법과 해석적 방법을 통하여 검토하고자 하였다.

II. 실험

1. 재 료

본 연구에서 사용된 EPDM은 금호 석유화학에서 제조된 KEP 2504를 사용하였으며, 충전제로는 탄산 칼슘 (CA #1000; 중앙 화학), 탈크 (PG 600; 다원 화학), 카본 블랙 (SRF-LM N-762; DEGUSSA)이 사용되었으며, 가공조제로서 Sontack RG2 (동남 석유), 가공유는 P-4 oil (미창 석유)을 사용하였다. 가교제 및 가교조제는 ZnO (한일 화학), stearic acid (LG 화학), sulfur (미원), oricel DM (동양 화학), Naugex SD-1 (UNIROYAL), DPTT (AKZO)를 사용하였으며, 발포제로는 마스터 배치 형태의 EPO 50 (금양)을 사용하였다.

2. 고무 시편의 준비

EPDM 발포체의 제조는 가황 시스템을 제외한 배합제를 internal mixer (Banbury type)를 사용하여 상온에서 40 rpm으로 약 8분간에 걸

처 혼합한 후 two-roll mill 상에서 가황 관련 배합제를 투입하고 약 7분간에 걸쳐 밀링하였다. 이후 12시간 이상 방치된 배합고무를 고온 프레스를 통해 1차로 180 °C상에서 5분간 압축 성형한 후, 160 °C상에서 12분간 발포공정을 거치도록 하고, 이후 70 °C의 오븐에서 48시간 이상의 숙성과정을 통해 얻어진 시편으로 시험하였다. 이 때 제품의 겉보기 비중은 약 0.56 g/cm³ 인 것으로 나타났다. 시편 제작은 material test system (MTS) 시험의 경우는 141×141×10 (mm)으로, Lab scale 모사 시험의 경우는 500×500×10 (mm)으로 제작한 뒤 5, 10, 15, 20 mm의 두께를 가지도록 절삭 또는 적층하여 실험하였다.

3. 시험 조건

정적 특성: 정적 탄성계수 (Ks)는 MTS를 이용하여 상온에서 450 kg까지 연속으로 load cell에 의한 하중을 가한 후 다시 하중을 제거 시키고, 그에 따른 변형 이력 (hysteresis)을 구하여 하중 인가시와 하중 제거시의 정적 탄성계수 Ks1과 Ks2로부터 그 평균에 해당하는 Ks를 아래의 식 (1)과 같이 구하게 된다.

$$K_s = \frac{1}{2} (K_{s1} + K_{s2}) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{\Delta m}{(\Delta d_{450} - \Delta d_8)} + \frac{\Delta m}{(\Delta d_{450} - \Delta d_8')} \right\} \quad (1)$$

- Δm : 재하질량 변화분 (442 kgf/200cm²)
- Δd_{450} : 재하질량 450 kgf로 증가시의 변위
- Δd_8 : 초기질량 8 kgf에서의 변위
- $\Delta d_8'$: 질량을 450 kgf에서 8 kgf로 제거할때의 변위

동적 특성: 동적 특성은 각각 30 kgf, 240 kgf, 450 kgf의 하중에 대해 ±0.05 mm의 변위로 100 Hz까지 주파수를 증가시키면서 상온에서 측정하였다. 이를 통해 제품의 형상과 두께, 발포도의 차이에 따른 Transmissibility (Tr), Dynamic Modulus (K*) 등 동적 특성의 주파수의존성을 알아보려고 하였다.

유한요소 해석: 충격에 의하여 발생된 진동이 슬래브 등의 구조물에 전달되어 공기중에 음으로 방사될 것이라는 추론에 따라 외부에서 충격이 가해질 때 구조체의 진동 형태와 진동 발생 양상에 대한 주파수별 특성을 알아보기 위하여 유한 요소 모델에 의한 수치해석을 실시하였다.

Lab급 구조체 진동 모사 시험: 수치해석에서 나타난 구조체의 진동 특성을 확인하고 완충재를 적용하였을 때와 적용하지 않았을 때의 진동 특성을 측정하기 위하여 실험실적으로 Fig. 1과 같이 구조물과 시험장치를 제작하여 충격원으로부터 구조체를 통과하는 진동 속도를 측정하였다. 충격원은 0-3200 Hz까지 가진 가능한 충격 해머를 사용하였고, 측정설비로는 B&K의 8 channel type FFT analyzer 및 accelerometer를 사용하여 측정한 시험 결과를 해석 결과와 비교, 검토하였다.

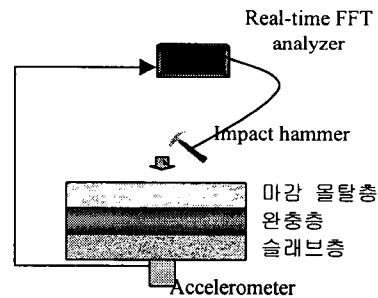


Fig. 1. Lab scale apparatus for vibrating-simulation.

III. 결과 및 고찰

1. 정적 특성

EPDM 발포체의 정적 특성을 알아보기 위해 하중 인가와 제거에 따른 초기 하중 8 kg에서 450 kg까지의 변위의 변화를 연속적으로 측정하여 하중의 변화에 대한 변위의 변형값인 정적 탄성계수를 산출하였다.

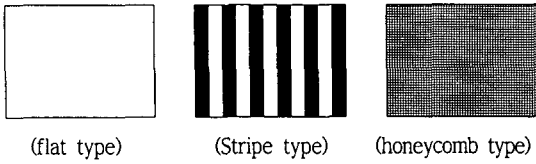


Fig. 2. Shape of EPDM MCP. (■: protrusion parts, □: sinking parts)

먼저 제품 형상의 차이에 따른 EPDM 발포체의 정적 특성을 알아보았다. 실제로 형상인자는 방음 및 흡음이 요구되는 사용 환경에서 중요한 제어 인자로 사용되고 있다. 이에 본 시험에서는 시편의 두께는 13mm로 하고 Fig. 2와 같이 표면 형상이 평평한 flat type, 줄무늬형상의 요철이 있는 stripe type, 정사각형 형태의 요철을 지닌 honeycomb type에 대하여 각각의 정탄성 계수를 측정하였다. 측정 결과 정탄성계수는 하중을 받는 면적이 넓은 경우 다소 증가하는 것으로 나타났으나, 그 변화폭은 미미한 것으로 나타났다. 한편, 하중 인가시의 정탄성계수 $Ks1$ 에 비해 하중 제거시의 정탄성계수 $Ks2$ 가 약 15~20% 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 하중 인가에 의해 변형된 부분이 하중 제거 후 미처 다 회복하지 못하고 변형된 상태로 남아 있게 되어 결국 시편의 강성을 증가시키는 결과로 나타났기 때문이다. 따라서 $Ks1$ 과 $Ks2$ 의 차이를 통해 시편의 하중 제거 후의 회복 정도를 나타낼 수 있다. 하중 인가시의 정탄성계수 $Ks1$ 과 하중 제거시의 정탄성계수 $Ks2$ 를 Table 1에 나타내었고, Fig. 3에 하중 인가시와 하중 제거후의 변형 정도에 따른 EPDM 발포체의 형상의 차이에 따른

Table 1. Static Rigidity of EPDM MCP as a Function of Shape

	Flat type	Stripe type	Honeycomb type
$Ks1$	102	100	96
$Ks2$	122	116	112
Ks	111	108	104

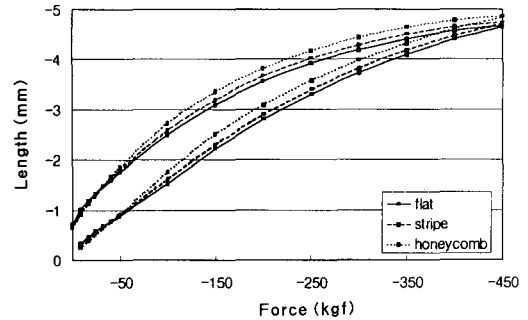


Fig. 3. Hysteresis curve of static characteristics of EPDM MCP as a function of shape.

hysteresis curve를 도시하였다.

다음으로 EPDM 발포체의 두께 차이에 따른 정적 특성의 변화를 살펴보기 위해 flat type 시편에 대해 5, 10, 15, 20mm의 두께별로 각각의 정적 탄성계수와 변형이력 곡선을 살펴보았다. 실험 결과 두께가 두꺼울수록 낮은 정탄성계수를 나타냈다. 두께 차이에 따른 하중 인가시의 정탄성계수 $Ks1$ 과 하중 제거시의 정탄성계수 $Ks2$ 를 Table 2에 나타내었다. 한편 하중 인가시와 제거시의 회복 곡선을 살펴보면 두께가 얇을수록 변형 정도는 작아짐을 알 수 있고, 이 hysteresis curve 안쪽의 면적에 해당되는 부분을 비교하면 두께가 두꺼울수록 면적이 증가함을 알 수 있으며, 이 면적은 변형과 회복에 따른 에너지 손실에 해당하는 부분이다. 따라서 두께가 증가할수록 낮은 탄성계수와 높은 에너지 손실특성을 나타내는 것으로부터 진동 및 소음 저감 특성이 우수할 것이라는 추정이 가능하며 이것은 일반적인 생각과도 일치하

Table 2. Static Rigidity of EPDM MCP as a Function of Thickness

	5 mm	10 mm	15 mm	20 mm
$Ks1$	169.9	88.8	59.	45.1
$Ks2$	183.8	95.4	63.5	47.9
Ks	176.8	92.1	61.5	46.5

는 것이다. Fig. 4에 하중 인가시와 하중 제거 후의 변형 정도에 따른 EPDM 발포체의 두께 차이에 따른 hysteresis curve를 도시하였다.

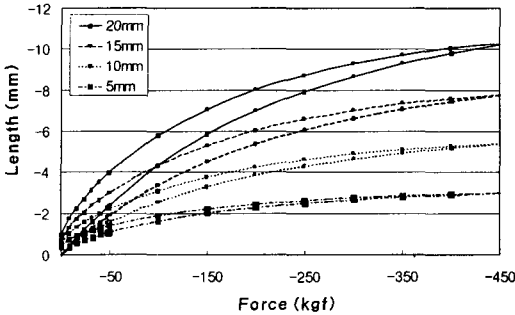


Fig. 4. Hysteresis curve of static characteristics of EPDM MCP as a function of thickness

2. 동적 특성

앞서 언급한대로 재료의 동적 특성에는 동적 감쇄 (Damping; C), 전달율 (Transmissibility; Tr), 동적 탄성계수 (K^*), Loss factor ($\tan \delta$) 등과 같은 많은 결과치가 있으나 본 연구에서는 1-100 Hz 영역에서의 주파수 변화에 대한 동적 탄성계수와 전달율을 중심으로 동적 특성을 살펴보았다. 전달율의 기본적인 개념을 설명하기 위해 Voigt model에 대한 이해가 필요한데, Voigt model은 점탄성재료의 거동을 도시하는데 있어 자주 이용되며 수학적 분석을

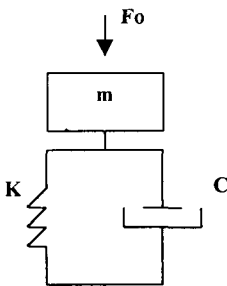


Fig. 5. Voigt model (m: mass, K: Elastic modulus, C: Damping)

위하여 사용되는 기계적 모델로서 이를 그림으로 나타내면 Fig. 5와 같다.

Voigt model의 운동 방정식을 살펴보면

$$F = Kx + C (dx/dt) \tag{2}$$

로부터

$$F/F_0 = [(1 + \tan^2 \delta) / \{1 - (\omega/\omega_n)^2\} + \tan^2 \delta]^{1/2} \tag{3}$$

까지 유도되는데^{1,2} 여기서 F와 F_0 는 각각

F : The highest value of transmitted force

F_0 : The highest value of exciting force

를 의미한다. 이때 F/F_0 를 Transmissibility라 부르며 공명시에 진폭이 몇 배나 증폭되는가 하는 정도를 나타내게 된다. 감쇄가 없을 경우 ($C = 0, \tan \delta = 0$), 진동 전달율은 외력의 진동수와 일치하여 공진을 일으키게 되므로 전달율은 무한대가 되어 기계 또는 건조물의 파괴에 이르게 되므로 스프링 특성에 적당한 감쇄를 부여하는 것은 필수적이며 통상 고유 진동수 ω_n 은 외부 진동수 ω 의 1/3 정도로 선정되는 것이 일반적이다. 손실계수 $\tan \delta$ 가 클수록 전달율은 작게 되고 우수한 진동 절연 효과를 나타내게 된다. 하지만 진동수의 비 ω/ω_n 가 1.414보다 큰 높은 진동영역에서는 진동 전달율이 높아져 진동 절연 효과가 악화된다. 이것은 진동수가 높은 진동영역에서는 $\omega/\omega_n \gg \tan \delta$ 으로 되므로 전달율의 관계식은

$$F/F_0 = 1 / \{1 - (\omega/\omega_n)^2\}^{1/2} \tag{4}$$

로 되고, $\omega_n = (K^*/m)^{1/2}$ 을 대입하면

$$F/F_0 = K^* / (K^* - m\omega^2)^{1/2} \tag{5}$$

이 된다. 전달율은 동적 탄성계수 K^* 에 의하여 좌우되며 이 값이 작을수록 전달율은 작아지게 된다. 따라서, 최적의 진동, 소음 방지 효과를

위하여는 손실계수와 동적 탄성계수와와의 적절한 조화가 필요하며, 이상적인 진동 소음 방지 효과를 얻기 위해서는 높은 손실계수와 낮은 동적 탄성계수가 요구된다.

충격음과 관련된 여러가지 인자중 충격의 크기에 따른 영향을 생각할 수 있는데, 이를 위해 EPDM 발포체의 초기 하중의 차이에 따른 동적 특성을 알아 보았다. 30, 240, 450 kgf의 인가 하중에 대해 전달율과 동적 탄성계수를 측정하여 Fig. 6에 나타내었다. 전달율의 경우 30 kgf에서는 40 Hz 영역에서, 240, 450 kgf의 경우는 20 Hz 영역에서 특징적인 peak가 나타나고 있으며, 초기 하중의 증가에 따라 동적 탄성계수는 증가하는 현상을 보이고 있다. 전달율 곡선의 특성 peak는 같은 주파수 영역에서 하중의 증가에 따라 급격한 증가를 보이거나, 최대값에 해당하는 특성 peak가 저주파수 영역으로 이동함을 알 수 있다.

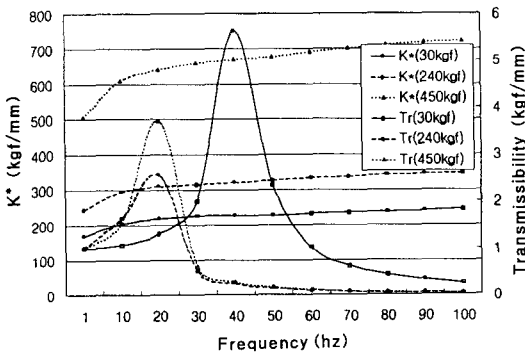


Fig. 6. Curve of transmissibility and dynamic rigidity of EPDM MCP as a function of loading force.

충격음 저감재의 경우, 건축자재의 성격상 두께가 얇을수록 생산 및 시공 환경에 있어 유리한 점이 있으나, 두께에 의한 충격음 저감 효과의 차이가 있을 것으로 판단되어 두께 차이에 따른 EPDM 발포체의 전달율과 동적 탄성계수의 변화를 살펴보았다. 두께 차이에 따른

EPDM 발포체의 전달율과 동적 탄성계수의 변화를 나타낸 Fig. 7에서 보는 바와 같이 두께의 증가에 따라 동적 탄성계수가 감소하였고, 이때의 전달율 곡선의 특성 피크는 동적 탄성계수의 감소에 따라 낮은 전달율 특성 곡선을 보이거나 고주파수 영역으로 이동하였다. 두께의 증가는 동적 탄성계수를 감소시키는 초기 하중이 작은 경우를, 두께의 감소는 동적 탄성계수를 증가시키는 초기 하중이 큰 경우에 해당하는 것이라 생각할 수 있는데 이는 앞서의 초기 하중 차이에 따른 동적 탄성계수와 전달율의 변화 양상과 일치한다.

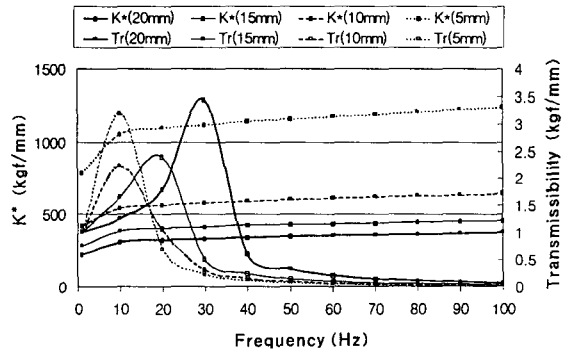


Fig. 7. Curve of transmissibility and dynamic rigidity of EPDM MCP as function of thickness. (loading force: 450kgf)

다음으로 제품 형상의 차이에 따라 충격 인가시 진동 및 소음의 회절, 반사, 굴절 등의 영향에 의해 충격음 저감 특성에 있어 차이가 있을 것으로 생각되므로, 이에 따른 동적 특성을 알아보기 위해 형상에 따른 영향을 가장 극명하게 보여줄 수 있는 450 kgf의 하중에 대해 형상의 차이에 따른 동적 특성을 살펴보았다. Fig. 8에서 보는 바와 같이 flat type의 경우가 가장 작은 전달율과 동적 탄성계수를 보였다. 이는 앞서의 정적 탄성계수의 결과와는 다소 상반된 결과로 볼 수 있는데, 정적 탄성계수의 경우, 하중을 받는 면적이 넓은 경우 하중에

대한 저항이 증가하지만, 동적 탄성계수의 경우는 주파수와 변위를 갖고 반복 하중이 가해지게 되므로, 정적 실험과 동적 실험은 실험상 근본적 차이가 있게 되며 이에 따라 오히려 요철이 있는 형상을 가진 시편의 동적 탄성이 더 높게 나타나는 것으로 보여진다.

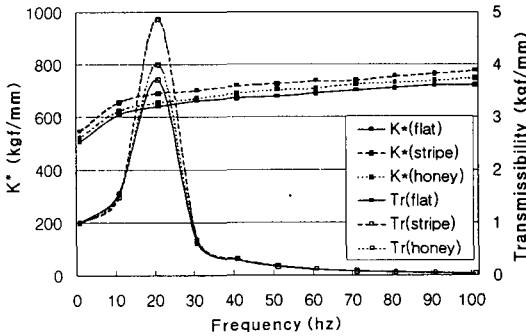


Fig. 8. Curve of transmissibility and dynamic rigidity of EPDM MCP as a function of shape.

마지막으로, 재료의 강성에 영향을 미치는 발포도의 차이에 따른 동적 특성을 알아보고 이를 Fig. 9에 나타내었다. 발포도의 증가에 따라 전달율과 동적 탄성계수 모두 점진적인 감소가 이루어짐을 알 수 있는데, 이것은 발포도의 증가가 제품의 강성 (rigidity)을 감소시켜,

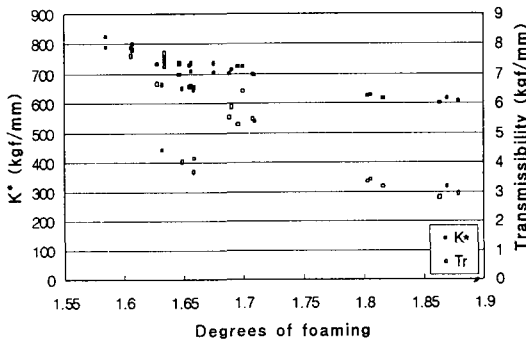


Fig. 9. Curve of transmissibility and dynamic rigidity of EPDM MCP as a function of degrees of foaming.

인가 하중에 대한 저항을 감소 시키기 때문으로 생각된다.

3. 유한 요소 모델에 의한 mode shape 분석

공동 주택의 상부층에서 의자, 가구, 생활도구 등을 이동하거나, 물건을 떨어뜨리거나, 아이들이 뛰 때 아래층에서 듣게 되는 소리는 상층부에서 생활도구의 이동, 물건의 낙하 및 아이들이 뛰게 될 때 발생한 충격이 상부층 건물 바닥의 슬래브층을 진동시켜 이 진동이 아래층의 공간을 만나게 될 때 공기를 진동시켜 방사되는 음을 듣게 되는 것이라 생각되며, 이것을 발생원으로부터 직접 공기중에 음파가 방사, 전파되어 귀에 들리게 되는 공기음과 구별하여 고체음이라 한다. 따라서 건물의 바닥 구조물을 통하여 전달되는 고체음의 특성에 따라 하부층에서 듣게 되는 소음의 정도가 다르게 되며, 이것은 상층부에서 충격을 받았을 때 구조물에 어떠한 형태의 진동이 어떠한 주파수에서 발생하는가에 의존할 것으로 판단되어 Fig. 10과 같이 실험실적 상, 하층의 구조물을 모사하여 충돌해석 software인 PAMCRASH를 사용하여 유한요소 모델에 의한 수치해석을 실시하였다. 실험실적 구조물을 이용하여 해석을 실시한 것은 해석 결과와 실험실적 구조물을 실제 제작하여 실험을 실시하고 이로부터 해석 결과와 실험의 결과를 비교, 검토하고자 하였기 때문이다. Fig. 11은 완충층이 없는 slab와 mortar만으로 구성된 구조물의 수치해석 결과에 의한 mode shape을 나타낸 것이며, Fig. 12는 완충층으로 EPDM 발포체를 사용하였을 때의 mode shape을 나타낸 것이다. 완충재를 사용하지 않고 slab와 mortar만으로 구성된 구조물에 대한 mode shape을 나타낸 Fig. 11의 경우 727.7 Hz로부터 3344 Hz 까지 6개의 주파수에서 외부 충격에 의하여 발생하는 구조물의

진동 형태를 나타내고 있는데, 가장 낮은 주파수인 727.7 Hz에서는 전체 구조물이 아래쪽으로 휘어지는 형태의 진동으로 나타나고 있으며, 2967 Hz 및 3344 Hz의 고주파수 영역에서는 진동의 변위가 크고, 구조물의 중앙부와 모서리부의 진동 방향이 반대인 형상으로 나타나고 있다 (점선 부분이 구조물의 진동전 위치를 나타낸다). 이러한 결과로부터 외부 충격에 의한 구조물의 진동은 저주파 대역보다는 고주파 대역의 진동이 큰 것으로 추정되었다. 한편, EPDM 발포체를 완충재로 적용한 경우의 mode shape을 나타낸 Fig. 12의 경우 완충재를 적용하지 않았을 때에 비하여 진동에 대한 특성 주파수가 전혀 다른 영역에서 나타나고 있으며, 상당히 낮은 쪽으로 shift한 것을 볼 수 있는데, 이것은 완충재가 포함된 구조물 전체 system의 고유 진동수가 낮은 쪽으로 이동한 것이거나, 완충재를 적용하지 않은 구조물 자체의 mode shape을 해석할 때 실제구조물은 slab층과

mortar층이 분리되어 있으나 해석 tool상의 경계 조건이 slab층과 mortar층을 한 몸체로 해석한 것에 기인한다고 생각된다. 완충재가 저주파수 대역인 59.39 Hz에서는 전체 구조물이 고르게 진동하고 있는 것을 볼 수 있으며, 고주파수 대역으로 갈수록 몰타르와 콘크리트만을 시공한 구조물과 비교할 때 구조물의 진동과 변위의 변화가 작은 것을 알 수 있다. 즉, 진동에 의한 모드 형상의 왜곡이 작고 구조물

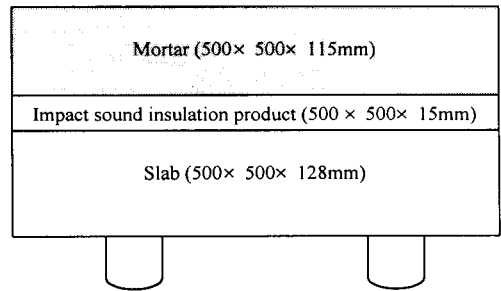


Fig. 10. Finite-element analysis model for mock-up test.

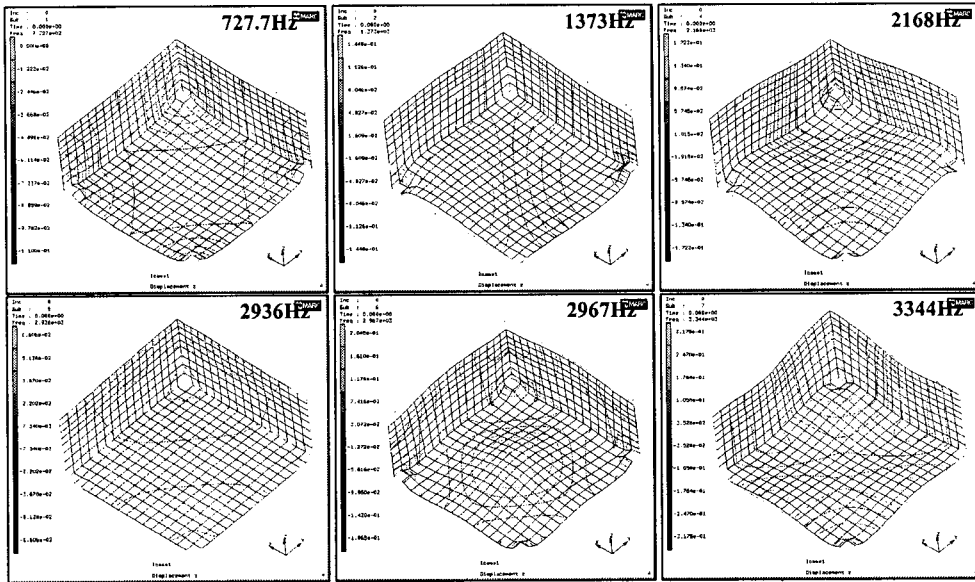


Fig. 11. Mode shape for the reference structure (mortar/ slab) without impact sound insulation product.

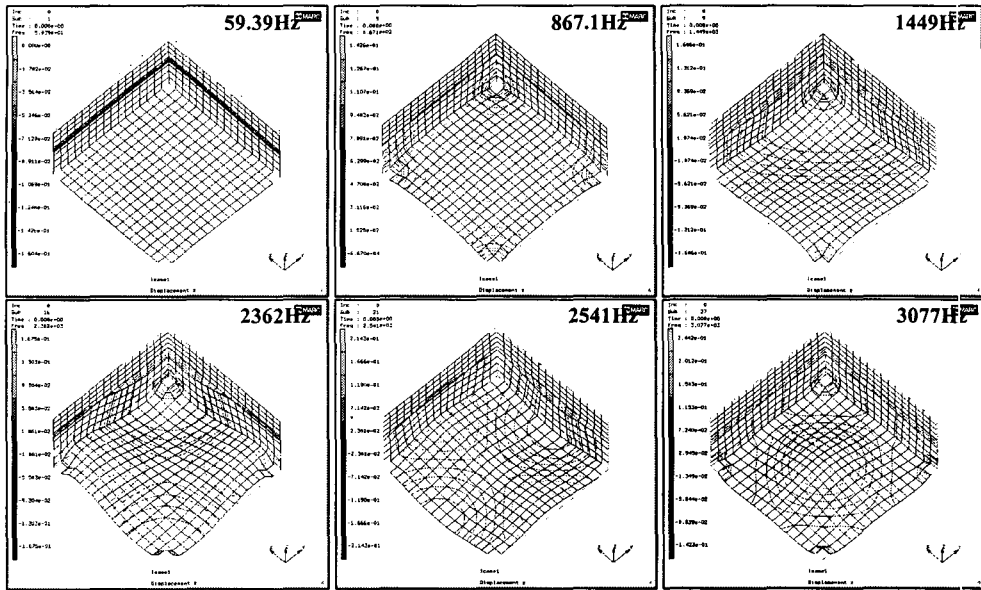


Fig. 12. Mode shape for the mortar/ EPDM MCP/ slab structure.

자체의 변형도 미미하여 EPDM 발포체를 완충재로 사용할 경우 저주파수 영역과 고주파수 영역에 걸쳐 진동 및 소음 차단 효과가 기대된다.

4. Lab급 구조체 진동 모사 시험

충격에 의하여 발생된 진동이 슬래브 등의 구조물에 전달되어 공기중에 음으로 방사된다는 추론으로부터 Fig. 1과 같이 실험실적 구조체 진동 모사 시험기를 제작, 이를 통하여 모형 충격원인 impact hammer에 의해 0-3200 Hz 영역에서의 진동수에 걸쳐 증폭된 구조체의 진동의 속도를 측정하였다. 진동 속도는 소음을 일으키는 음압에 비례하므로 외부 충격에 대한 진동속도를 측정하여 이를 비교, 분석하고자 하였다.

EPDM 발포체의 진동 저감 특성을 확인하기에 앞서 완충재를 사용하지 않은 경우, 즉, mortar와 slab만으로 구성된 구조물의 충격에 대한 진동속도를 주파수에 대하여 측정하여 이를 Fig. 13에 나타내었다. 150, 900, 1500, 2100, 3000 Hz 영역의 주파수에서 특성 진동속도 peak

가 나타나는 것을 볼 수 있고, 특히 150 Hz 영역에서는 진동속도가 다른 주파수에서 나타나는 진동속도의 peak 보다 높은 특징을 나타내고 있다. Lab급 구조체의 진동모사 시험에서 나타난 진동속도 peak가 나타나는 주파수 영역이 유한요소 해석 모델에서 나타난 결과와 차이를 나타내고 있는데, 이는 해석 실행시 slab와 mortar의 물성치의 정확성 및 slab와 mortar를 한 구조체로 가정한 데 따른 한계 등이 복합화되어 나타난 결과가 아닌가 생각된다. 다음으로 mortar와 slab만으로 구성된 구조체에서의 주파수에 따른 진동속도와 비교하여 EPDM 발포체를 완충재로 사용한 경우의 충격에 따른 진동 속도를 측정하였다. 이를 위해 EPDM 발포체의 적용시 그 형상과 두께에 따른 영향을 각각 Fig. 14와 Fig. 15에 나타내었다. EPDM 발포체가 적용된 경우 mortar와 slab만으로 구성된 경우에 비하여 900, 3000 Hz 부근에 나타났던 peak는 상대적으로 거의 소멸되었으며 1500, 2100 Hz 영역에서 나타났던 peak는 1300, 1900 Hz 부근으로 shift한 것을 볼 수 있는

데 EPDM발포체가 적용되었을 경우 특성 peak 치의 주파수가 낮은 쪽으로 이동하는 현상은 유한요소 해석 모델에서 얻었던 결과와 일치하는 것이다. 또한 peak 값이 상당히 감소한 것도 일치하는 결과이다. 형상 인자의 경우 stripe 의 경우가 최대값 기준으로 가장 낮은 진동 속도를 나타내는 것을 알 수 있는데, 이것은 발포체의 동적특성에서 측정하였던 전달율의 결과와는 차이가 나는 것이며, 초기 인가 하중의 차이 및 인가 주파수의 한계가 100 Hz인 것에 따른 것으로 추정된다. 또한 Fig. 14에 나

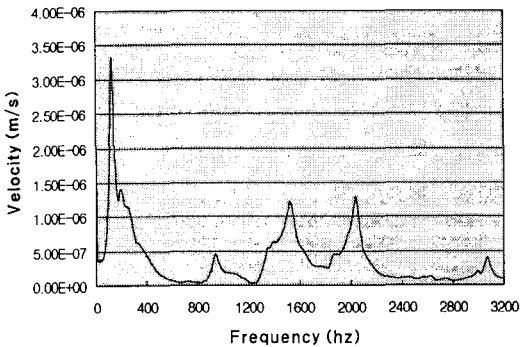


Fig. 13. Vibration velocity as a function of frequency for the reference structure (mortar/ slab) without impact sound insulation product.

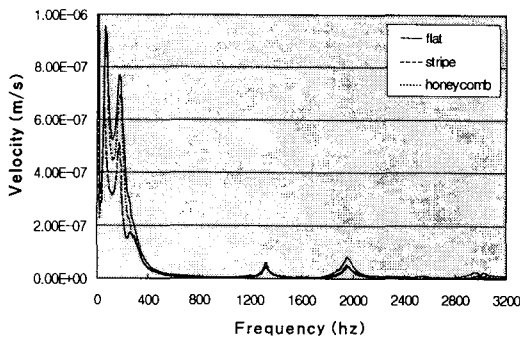


Fig. 14. Vibration velocity as a function of frequency and shape for the mortar/ EPDM MCP/ slab structure.

타낸 형상에 따른 진동 속도 측정결과에서 알 수 있듯이 형상의 영향은 작은 것으로 생각되지만 앞서의 mortar와 slab만으로 구성된 구조체와 비교했을 때, EPDM 발포체를 완충재로 적용하게 되면 약 3배 이상 진동 속도가 감소하는 것을 볼 수 있다.

다음으로 두께 인자의 경우, Fig. 15에서 알 수 있듯이 두께가 증가할수록 낮은 진동 속도를 나타내고 있는데, 이것은 앞의 발포체의 두께 변화에 대한 동적특성 측정 결과와도 일치하고 있다. 또한 두께가 10 mm에서 15 mm로 증가할 때 나타나는 진동 감소 효과가 15 mm에서 20 mm로 증가할 때 나타나는 효과보다 큰 것으로 나타났는데, 이것은 두께가 증가함으로써 나타나는 효과가 어느 수준 이상에서는 크지 않을 것이라는 추정을 가능케 한다.

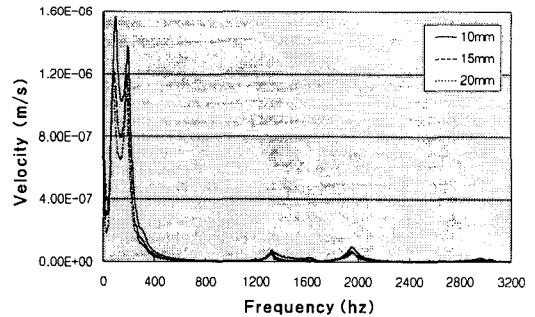


Fig. 15. Vibration velocity as a function of frequency and thickness for the mortar/ EPDM MCP/ slab structure.

Fig. 14와 Fig. 15에서 보는 바와 같이 두께가 증가할수록, 형상은 flat한 경우가 진동 전달 속도의 감소 측면에서 유리한 것으로 나타났으나, 형상에 의한 효과보다는 두께에 의한 효과가 더 큰 것으로 보인다. EPDM 발포체를 사용한 경우와 단지 slab와 mortar만으로 구성된 구조물의 경우를 비교하면, 약 2.5-3.5 배의 진동 속도 차이가 남을 알 수 있는데 이것은 EPDM 발포체를 완충재로 사용함으로써 진동

속도 저감이 이루어짐을 알 수 있고, 이는 충격음을 감소시킬 수 있는 가능성이 충분한 것으로 추정된다. 그러나 진동속도의 저감 효과가 고주파 영역에서는 크게 나타나지만 저주파 영역에서는 상대적으로 작게 나타나고 있는 것은 저주파의 충격음에 대한 효과에 문제가 있을 수 있는 것으로 판단된다.

IV. 결 론

본 연구에서는 EPDM 발포체의 정적/동적 특성을 측정하여 재료 특성과 진동 특성과의 연관성을 알아보고 이로부터 충격음 저감재로서의 적용 가능성을 검토하였다.

1. 정적 탄성계수는 두께가 얇을수록, 형상은 honeycomb > stripe > flat의 순으로 증가한다.

이 때, 실제 하중인가에 따른 회복 정도를 나타내는 에너지 손실은 두께의 증가에 따라 크게 증가하지만, 형상에 따른 영향은 미미한 것으로 나타났다.

2. 동적 탄성계수는 하중의 증가와 두께의 감소에 따라 크게 증가하는 것으로 나타났다. 한편, 발포도와 형상에 따른 영향은 상대적으로 작은 것으로 보이는데, 발포도가 낮은 경우와 flat, honeycomb, stripe의 형상 순으로 동적 탄성계수는 증가되는 결과를 나타냈다.

3. 전달율은 하중의 증가에 따라 30 kgf에서는 40 Hz 영역에서, 240, 450 kgf에서는 20 Hz 영역에서 특성 peak를 나타낸다. 또한 5 mm와 10 mm의 두께에서는 10 Hz 영역에서, 15 mm에서는 20 Hz 영역, 20 mm에서는 30 Hz 영역에서 특성 peak를 보임으로써, 두께의 증가에 따라 특성 peak를 나타내는 주파수 대역이 증가함을 알 수 있었다.

4. 유한 요소 해석 모델을 적용한 mode shape의 경우, EPDM 발포체를 사용함으로써

충격에 대한 mode shape의 왜곡과 구조물 자체의 변형이 감소하였으며, 특히 고주파 영역에서 더욱 효과적인 것으로 나타났다

5. 실험실적 모사 시험장치를 통해 측정된 충격에 따른 주파수별 진동 속도의 경우, EPDM 발포체를 사용함으로써 slab와 mortar만으로 구성된 구조체와 비교하여 약 2.5-3.5 배의 진동 속도 저감이 이루어지는 것으로 나타났다. 또한, 두께가 증가할수록 진동 감소 효과는 증가하지만, 그 증가 폭은 감소하는 것으로 나타났다.

6. 유한요소 해석 모델과 실험실적 모사시험 결과를 비교하면, 특성 주파수 및 특성치에 있어서 차이를 보이고는 있으나, 충격음 저감재의 상대적 성능 평가는 가능할 것으로 보인다.

7. 충격음 저감재로서 EPDM 발포체의 적용 가능성은 높은 것으로 보이며, 저주파 영역에서의 저감 효과는 고주파 영역에 비해 다소 떨어지는 것으로 추정되었다. 그러나 진동에 의하여 충격음 저감 효과를 예측 하였으므로 실제 충격음과 진동의 관계 및 그 저감 정도의 연관성에 대한 지속적인 연구가 요망된다.

참 고 문 헌

1. R. G. White and J. G. walker, Noise and Vibration, Ellis Horwood Limited, Chichester, 1982.
2. C. M. Harris and C.E. Crede, Shock and Vibration Handbook, McGRAW HILL Book Company, New York, 1976.
3. V. Brajko et al, Elastomers and Rubber Compounding Materials, Elsevier, New York, 1989.
4. 양관섭, 건축물의 바닥충격음 저감설계기법, 한국건설기술연구원, 1998.