

플라스틱 보조재를 갖는 영화관 의자 시트의 진동전달 특성

Vibration Transfer Characteristic of Seat with the Auxiliary Plastic Member for Movie Theater Chair

강화중** · 김태균*** · 문덕홍*†

Hwa-Joong Kang** , Tae-Gyun Kim*** and Deok-Hong Moon*†

(접수일 : 2014년 08월 18일, 수정일 : 2014년 10월 22일, 채택확정 : 2014년 10월 22일)

Abstract: In the previous paper, we have reported on the development of foaming sponge seat with the auxiliary spring member and suggested new possibility of the special seat with the auxiliary plastic member for movie theater chair. In this study, we have examined the major design parameters needed in the development of a foaming sponge seat in which the mesh type plastic member are inserted to improve the vibration transfer effect of a chair seat. Through analyzing several prototypes by applying experimentation as well as the experimental modal analysis method, it was confirmed that the effect of vibration transfer can be improved through the use of a mesh type plastic member and applied to the design of practical chair seat.

Key Words : Experimental Modal Analysis, Foaming Sponge, Global Curve Fitting, General Viscous Damping, Frequency Response, Movie Theater Chair, Auxiliary Plastic Member

1. 서 론

영화산업의 발전과 더불어 극장용 관람의자에 특수 장치를 하여 관람효과를 극대화시키는 노력이 증가하고 있다. 특수 장치는 영화의 음향신호에서 저주파수 영역의 신호를 추출하여 의자시트를 진동시키는 시스템으로, 기존의 시각과 청각만으로 관람하던 영화를 관람용 특수의자를 통하여 인체의 다른 감각기능인 촉각으로도 동시에 느낄 수 있게 하여 관람효과를 배가시킨 것이다. 이때 인체의 접촉부위에 인가하는 저주파수의 접촉진

동은 인체에 이롭게 작용한다는 연구결과들을 찾아볼 수 있다^{1,2)}.

저자들은 이전 논문들^{3~5)}에서 영화관 관람용 특수의자의 시트의 제작 시 발포과정에서 시험적으로 보조재를 삽입하여 진동전달 효과가 개선됨을 확인하였다. 보조재로 스프링을 사용한 경우는 이미 실용화되었고, 플라스틱 보조재의 경우는 이전 논문⁵⁾에서 스프링 보조재와 진동 전달 효과가 비슷하여 보조재로서 사용 가능성을 확인 한 바 있다. 특수의자의 구조는 Fig. 1과 같은 메쉬(mesh)형 플라스틱보조재를 의자시트 스펀지 발포

*† 문덕홍(교신저자) : 부경대학교 기계시스템공학과
E-mail : dhmoon@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6190

**강화중 : 부경대학교 대학원

***김태균: (주)아쿠브

*† Deok-Hong Moon (Corresponding author) : Department of Mechanical System Engineering, Pukyong National University
E-mail : dhmoon@pknu.ac.kr, Tel : 051-629-6190

**Hwa-Joong Kang : Department of Control and Mechanical Engineering, the Graduate School, Pukyong National University

***Tae-Gyun Kim : The director of Acouve Co. Ltd

2. 이론^{3,6)}

시 Fig.2와 같이 삽입하여 발포하고, 진동 트랜듀서는 Fig.2의 #2의 위치에 부착시킬 수 있게 제작한다.

이 연구에서는 보조재의 제작 및 생산단가가 현저하게 높은 이전 논문^{4,5)}의 주물로 제작한 강재스프링 보조재 대신에 성형 사출한 메쉬형 플라스틱 보조재를 사용한다. 이들 보조재는 Fig. 1과 같이 메쉬 수에 따라 4개를 성형 사출하고, Fig. 2와 같은 시트의 스펀지 발포 시 이들 보조재를 그림과 같이 삽입하여, 4가지의 실험용 의자 시트를 제작한다. 이들 시작품들에 대하여 실험적 모드해석법⁶⁾으로 진동전달특성을 비교·검토하여 진동전달 효과가 가장 우수한 시작품을 연구 검토하여 주요 설계기준 요소로 제안한다.

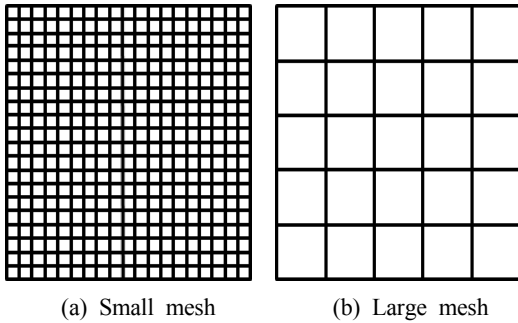


Fig. 1 The auxiliary plastic member of mesh type

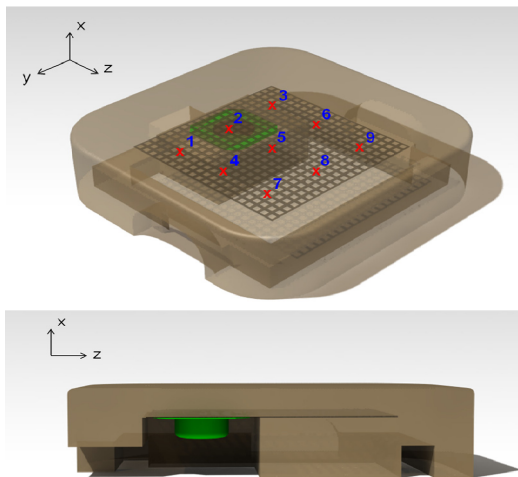


Fig. 2 The schematic diagram of foaming sponge seat with the auxiliary plastic member

2.1 실험모드해석법의 적용

Table 1은 Fig. 1과 같은 플라스틱보조재를 메쉬 수에 따라 4종류 성형 사출한 것들을 각각 삽입하여 스펀지 발포한 시트의 특성을 나타내고 있다. 각 시트(m1 ~ m4)는 동일한 경화제를 사용하여 같은 치수이므로 질량이 동일하고 플라스틱보조재의 메쉬 수만 다르다.

Table 1 The properties of sponge seat samples with the auxiliary member

Type	Hardener	Mass	Auxiliary member
m1	M47	1.25kg	Mesh 1,210 holes/m ²
m2			Mesh 1,890 holes/m ²
m3			Mesh 9,150 holes/m ²
m4			Mesh 47,259 holes/m ²

Fig. 2는 보조재가 삽입된 발포스펀지 시트의 형상과 #2점에 진동 트랜듀서가 장착된 형상을 보여주고 있다. 그리고 상하진동의 전달특성을 분석하기 위하여 9개의 점에 질량이 집중된 것으로 모델링한다.

상하 즉 x 방향만의 운동을 가정하면, 운동방정식은 식(1)과 같다.

$$[M]\{\ddot{x}\} + [C]\{\dot{x}\} + [K]\{x\} = \{f\} \quad (1)$$

여기서, $[M]$ 은 질량행렬, $[C]$ 는 감쇠행렬, $[K]$ 는 강성행렬, $\{x\}$ 는 변위벡터, $\{f\}$ 는 가진력벡터이다. 그리고 플라스틱보조재가 삽입된 발포스펀지 시트는 감쇠가 크기 때문에 감쇠행렬 $[C]$ 의 감쇠요소들을 비례감쇠계로 모델링하는 것은 타당치 않아 일반 점성감쇠계로 모델링하였다.

일반 점성감쇠계의 경우 비감쇠진동의 고유모드로 운동방정식 (1)을 비연성화 할 수 없다. 따라서 실제계의 실험값을 이용하는 실험적 모드해석법을 적용하기 위하여, 다음 식 (2)를 이용하여 새

로운 운동방정식 (3)을 도입한다.

$$[M]\{\dot{\mathbf{x}}\} - [M]\{\dot{\mathbf{x}}\} = \{0\} \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} C & M \\ M & 0 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{\mathbf{x}} \\ \ddot{\mathbf{x}} \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & -M \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \mathbf{x} \\ \dot{\mathbf{x}} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix} \quad (3)$$

식(3)에서,

$$[D] = \begin{bmatrix} CM \\ M0 \end{bmatrix}, \quad [E] = \begin{bmatrix} K & 0 \\ 0 & -M \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$\{\mathbf{q}\} = \begin{Bmatrix} \mathbf{x} \\ \dot{\mathbf{x}} \end{Bmatrix}, \quad \{\mathbf{p}\} = \begin{Bmatrix} \mathbf{f} \\ \mathbf{0} \end{Bmatrix}$$

식(4)와 같이 정의하면,

$$[D]\{\dot{\mathbf{q}}\} + [E]\{\mathbf{q}\} = \{\mathbf{p}\} \quad (5)$$

식(5)의 일반고유치 문제를 풀어, 다음의 전달 함수를 구한다.

$$h_{ij}(\omega) = \frac{x_i}{F_j}(\omega) \quad (6)$$

$$= \sum_{r=1}^N \left(\frac{\phi_{ri} \cdot \phi_{rj}}{d_r(j\omega - \lambda_r)} + \frac{\overline{\phi_{ri}} \cdot \overline{\phi_{rj}}}{\overline{d_r}(j\omega - \lambda_r)} \right)$$

$$[\mathbf{d}_r] = [\Psi]^T [D] [\Psi] \quad [\Psi] = \begin{bmatrix} [\phi] & [\overline{\phi}] \\ [\phi][\lambda] & [\overline{\phi}][\overline{\lambda}] \end{bmatrix},$$

$[\phi]$ 는 모드행렬, $[\lambda]$ 는 고유진동수 행렬, $\lambda_r = -\omega_{nr}\zeta_r + j\omega_{nr}\sqrt{1-\zeta_r^2}$ 여기서 ω_{nr} 는 비감쇠 고유진동수, ζ_r 은 모드감쇠비이다. 곡선맞춤의 효율성을 위하여 $A_{rij} = \frac{\phi_{ri} \cdot \phi_{rj}}{d_r}$, $\sigma_r = \omega_{nr}\zeta_r$, $\omega_{dr} = \omega_{nr}\sqrt{1-\zeta_r^2}$ 로 두고 잉여질량(R_m)과 잉여강성(R_k)을 고려하면 식(6)은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$h_{ij}(\omega) = \sum_{r=1}^N \left(\frac{A_{rij}}{j(\omega - \omega_{dr}) + \sigma_r} + \frac{\overline{A_{rij}}}{j(\omega - \overline{\omega_{dr}}) + \overline{\sigma_r}} \right) \quad (7)$$

$$- \frac{1}{\omega^2 R_m} + \frac{1}{R_k}$$

2.2 전체전달함수 산정

자유도가 N 인 계의 전달함수는 $N \times N$ 의 행렬로 나타낼 수 있으며, 이 중 임의의 가진 점(j)에 대한 N 개의 응답을 선택하고 식(7)의 전달함수 ($\{h_{1j} h_{2j} \dots h_{Nj}\}^T$)에 있는 계수를 쓰면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} A_{11j} & A_{21j} & \dots & A_{j1j} & \dots & A_{Mj} \\ A_{12j} & A_{22j} & \dots & A_{j2j} & \dots & A_{M2j} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{1jj} & A_{2jj} & \dots & A_{jjj} & \dots & A_{Mjj} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{1Nj} & A_{2Nj} & \dots & A_{jNj} & \dots & A_{MNj} \end{bmatrix} = [A], \quad (M \leq N) \quad (8)$$

j 점을 가진시켜 측정된 전달함수와 이전 연구의 곡선맞춤 프로그램³⁾을 적용하여 ω_{dr} 과 σ_r 을 구하고, 식(8)과 식(9)를 이용하면 모달매트릭스 $[\phi^\dagger]$ 를 구할 수 있다.

$$[\mathbf{d}^\dagger] = \text{diag} \left(\left[\frac{1}{A_{1jj}} \quad \frac{1}{A_{2jj}} \quad \dots \quad \frac{1}{A_{Mjj}} \right] \right) \quad (9)$$

$$[\phi^\dagger] = [[A][\mathbf{d}^\dagger]]^T$$

실험의 가진 점(j)을 각각 다른 점으로 변화시켰을 경우의 전달함수는 직접 실험에 의하여 구하지 않아도, 이미 구한 $[\phi^\dagger]$, $[\mathbf{d}^\dagger]$ 와 식(10)을 이용하여 구할 수 있다.

$$h_{ij}(\omega) = \sum_{r=1}^M \left(\frac{\phi_{ri}^\dagger \cdot \phi_{rj}^\dagger}{d_r^\dagger(j\omega - \lambda_r)} + \frac{\overline{\phi_{ri}^\dagger} \cdot \overline{\phi_{rj}^\dagger}}{\overline{d_r^\dagger}(j\omega - \overline{\lambda_r})} \right) \quad (10)$$

$$- \frac{1}{\omega^2 R_m} + \frac{1}{R_k}$$

3. 실험 및 결과 고찰

3.1 실험 장치 및 실험

Fig.3는 실험장치의 개략 도를 나타낸다.

가진 창치는 Fig.3에 나타난 바와 같이 Fig. 2의 #2점의 뒷면에 부착한 진동 트랜듀서와 앰프를 연결하고, 앰프는 C사(社)의 PXI-6722의 Analog out기능과 연결된다.

측정시스템의 측정센서로 A사의 4507 B 004

가속도계 3개(측정용)를 Fig.3의 의자시트의 표면의 9개의 질량집중 점에 3개점씩(#1 ~ #3, #4 ~ #6, #7 ~ #9) 이동시키며 부착한다. 그리고 B사의 KS95B-100 가속도계 1개(기준용)를 Fig.3와 같이 진동 트랜듀서에 직접 부착하여, C사의 PXI-4472B에 연결하고 이를 통하여 진동데이터를 수집한다.

Table 1의 m1~m4의 각각의 시작품에 대하여 가진장치를 통해서 가진 실험을 수행한다. 입력신호는 Fig.3에서 PXI-6722의 함수발생기능을 사용해서 정현파의 신호를 발생시키고, 앰프를 통하여 신호를 증폭시키고, 입력신호의 주파수를 20Hz에서 210Hz까지 1Hz씩 증가(sweep)시키며 진동 트랜듀서에 입력시켜 가진시킨다.

정상상태(steady state)에서 Fig.3의 측정시스템을 통하여 응답을 측정한다. 가진 점을 포함한 9개점의 전달함수를 측정하였다.

가진 점을 #2점이 아닌 다른 점을 가진 하였을 경우의 모든 점에서의 전달함수는 직접 측정하지 않아도 위의 식(9)와 식(10)을 사용하여 모두 구할 수 있다.

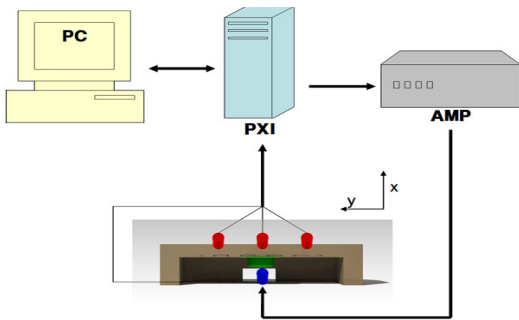


Fig. 3 The schematic of experimental apparatus

3.2 결과 및 고찰

3.2.1 플라스틱 보조재 삽입 시트의 진동전달 특성의 비교

Fig. 4는 메쉬 수가 1,210 holes/m² 로 홀의 수가 비교적 작고 크기가 큰 플라스틱보조재가 삽입된 경우의 시트시작품(m1)에 대해서 가진 실험의 응답을 나타낸 것이다. 즉, #2점 뒷편의 진동 트랜듀서에 정현파 신호를 20Hz에서 210Hz까지 1Hz씩

증가시키며 가진시킨 경우, 시트 표면의 9점(Fig.2의 질량집중 점)에서 측정된 실험값과 실험모드해석법으로 구한 주파수 전달함수의 응답을 나타낸 것이다.

20Hz~30Hz의 낮은 주파수영역에서 #2가진 점의 응답이 현저하게 크고, #5, #3, #6, #1, #4 순으로 가진 점 주위의 응답이 크다는 것을 알 수 있고 #7~#9점 즉, 가진 점에서 멀리 떨어진 점들에는 진동의 전달이 미미하다는 것을 알 수 있다.

Fig. 5는 메쉬 수가 1,890 holes/m² 로 좀 더 큰 플라스틱보조재가 삽입된 시작품(m2)에 대한 가진 실험의 주파수 응답 결과이다. 이 경우도 m1형과 같이 가진 점 응답이 가장 크고, 다음으로는 가진 점 좌우로 진폭이 큰 것을 제외하고는 Fig. 4에서와 같이 #7~#9점에서의 진동의 전달이 잘 되고 있지 않음을 알 수 있다.

Fig. 6은 메쉬 수가 m2보다도 몇 배 더 큰 m3형 시트에 대한 주파수 응답의 결과를 나타내고 있다. 역시 #2가진 점의 진동 응답이 제일 크나 Fig. 4와 Fig. 5보다는 진폭의 피크치가 작아졌고 다른 점들의 응답들은 비슷한 경향을 보이고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 메쉬 수가 47,259 holes/m² 로 홀의 수가 현저하게 많은 m4형에 대한 가진 실험의 응답들을 나타낸 것이다. 앞서의 응답 결과들과는 다르게 20Hz~300Hz에서의 응답을 보면 #2가진 점보다 #5, #6점 등의 응답이 커서 다른 점들로의 진동에너지의 분산 즉, #7~#9점에서의 진동전달이 잘 되고 있음을 확인할 수 있다.

따라서 진동의 효과적인 분산 또는 전달이라는 측면에서 생각한다면 메쉬 수가 현저하게 많은 보조재를 삽입한 m4형 의자시트로 하는 것이 진동을 고르게 분산 전달시킬 수 있음을 확인할 수 있다.

Table 2는 Table 1의 각 시작품에 대한 9개의 각 측정 점의 진폭 응답에 의한 각 측정 점의 ESD(Energy spectral density)를 구하여, #2점의 ESD로 나누어 상대적인 진동에너지의 크기를 나타내었다. 여기서도 m4 플라스틱 보조재가 삽입된 진동시트에서 #2점의 진동 트랜듀서에서 입력

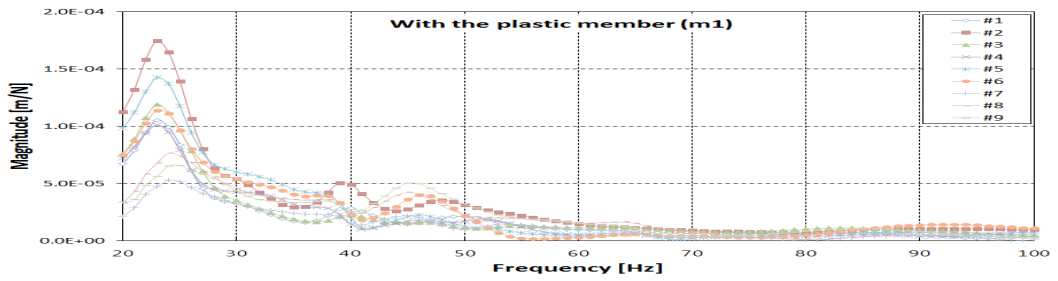


Fig. 4 Frequency responses of 9 point of sponge seat with the auxiliary plastic member(m1 type).

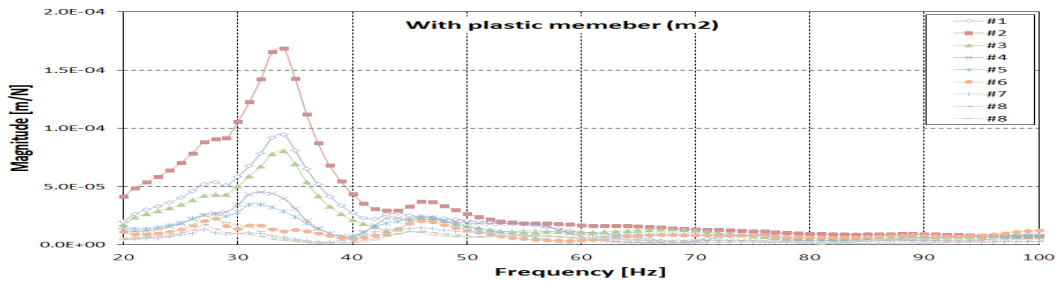


Fig. 5 Frequency responses of 9 point of sponge seat with the auxiliary plastic member(m2 type).

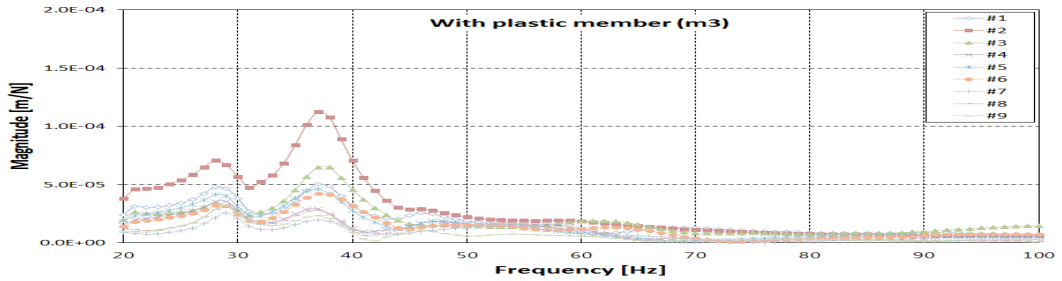


Fig. 6 Frequency responses of 9 point of sponge seat with the auxiliary plastic member(m3 type).

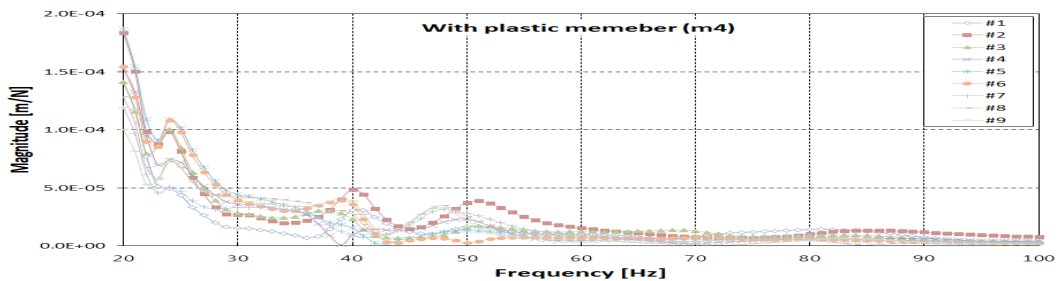


Fig. 7 Frequency responses of 9 point of sponge seat with the auxiliary plastic member(m4 type).

Table 2 The ESD ratios of each points to excitation point

Type	Point #1	Point #2	Point #3	Point #4	Point #5	Point #6	Point #7	Point #8	Point #9
m1	61.12%	100.00%	71.07%	66.66%	94.45%	80.32%	39.02%	57.50%	52.27%
m2	59.26%	100.00%	49.63%	29.88%	26.42%	16.61%	9.37%	7.52%	6.51%
m3	58.29%	100.00%	58.89%	37.67%	49.19%	45.26%	22.85%	28.72%	22.10%
m4	70.70%	100.00%	92.09%	93.04%	116.17%	103.52%	68.32%	82.53%	71.86%

된 에너지가 의자 시트의 모든 점으로 잘 분산되고 있음을 알 수 있어, Fig. 7에서 여러 점에 고르게 진동이 분산 전달되는 결과를 잘 뒷받침하고 있다.

3.2.2 모드 인자

Table 3은 Table 1의 각 시작품 9점의 측정데이터를 곡선 맞춤하여 얻은 비감쇠 고유진동수와 모드 감쇠비를 나타낸다.

Table 3 The modal parameters of 8 samples which were curve fitted to 4th order

Type	Parameter	Order			
		1	2	3	4
m1	ω_n [Hz]	23.5	41.9	44.0	-
	ζ_n	0.11	0.09	0.04	-
m2	ω_n [Hz]	27.69	33.82	45.37	81.14
	ζ_n	0.07	0.07	0.07	0.60
m3	ω_n [Hz]	28.79	37.44	49.16	54.15
	ζ_n	0.06	0.06	0.22	0.17
m4	ω_n [Hz]	20.27	23.82	38.56	49.19
	ζ_n	0.08	0.06	0.08	0.08

5. 결 론

이 연구에서는 메쉬 수가 다른 플라스틱보조재들을 삽입하여 스펀지 발포한 의자시트(m1 ~ m4)를 제작하여, 가진 실험을 한 결과, 메쉬 수가 현저하게 많은 m4형 시트가 진동 전달 효과가 가장 우수함을 확인할 수 있었다. 따라서 m4형 시트는 보조재의 성형사출에 의한 제작 생산이 손쉬워

가격 면에서 경쟁력이 있고 충분히 실용가능하리라 생각한다.

후 기

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2014년 : C-D-2014-1083)에 의하여 연구되었음.

References

- O. Skile, 1989, "Vibration therapy", Music therapy, 8, pp. 61-77.
- C. D. Maranto, 1993, "Music therapy and stress management", Guilford press, pp. 407-443.
- S. H. Kim, H. J. Kang, T. K. Kim AND D. H. Moon, 2012, "Vibration transfer characteristic of foaming sponge chair seat", Journal of korean society for power system engineering, Vol.16, No.1, pp. 24-29.
- D. H. Moon, 2013, "Development of vibroacoustic stimulation seat for a movie theatre chair", Journal of korean society for power system engineering Vol. 17, No. 1, pp. 42-49.
- S. H. Kim, H. J. Kang and D. H. Moon, 2013, "Vibration transfer characteristic of foaming sponge seat with the auxiliary member for movie theater chair", Journal of korean society for power system engineering, Vol. 17, No.6, pp. 24-29.
- K. Yasuda, 1993, "Modal analysis and dynamic design", CORONA PUBLISH CO. LTD, Japan, pp.161-171.