

장기하중을 받는 바닥완충재의 처짐 예측 평가

김정민¹, 홍윤기², 김진구³, 이정윤^{4*}

Evaluation on Expectation of Deflection of Floor Damping Materials Subjected to Long-Term Load

Jung-Min Kim¹, Yoon-Ki Hong², Jin-Koo Kim³, Jung-Yoon Lee^{4*}

Abstract: Floor damping materials used in floating floor system to diminish the floor noise have been made with low density and dynamic stiffness. Owing to this low density and dynamic stiffness, the deflection in these materials under long-term loading and cracking of the floor finishing mortar in the floating floor system may occur. This paper presents the results of long-term loading effects on the deflection of different types of floor damping materials. The experimental program involved the long-term loading tests for 490 days loading period on sixteen specimens. Specimens were classified as DM1(Damping Materials) to DM8, depending upon the four main parameters; types, bottom shapes and densities of floor damping materials and amount of loading. Results indicated that the long-term deflection of all specimens of damping materials remained unchanged after 200 days at all loading amounts, except the specimens made up of Polystyrene, in which long-term deflection remained unchanged after 160 days at 250 N load and 100 days 500 N load. In this paper, two types of correlation expressions were shown in the deflection range prior to the range where deflection remained constant; two analyses by ISO 20392 and linear regression. In comparison of two analyses and experimental results on the difference of deflection of 16 specimens, the difference of deflection was below 0.4 mm in those analyses in case of that total deflection was below 10 mm. Restrictively, it was judged that the analysis for the deflection of specimens made up of Polystyrene is more appropriate using ISO 20392.

Keywords: Floating floor system, Floor damping materials, Long-term deflection, Floor noise, ISO20392

1. 서 론

우리나라 60%이상의 국민이 아파트에 거주함에 따라 층간 소음으로 인한 이웃 간 분쟁이 사회문제가 되고 있다. 환경부 층간소음 이웃사이센터에 따르면 층간소음 상담 건수는 2012년 7,021건, 2013년 1만 5,455건, 2014년 1만 6,370건으로 해마다 증가하고 있다. 이와 같이 매년 증가하는 층간소음 문제를 해결하기 위해 공동주택에 “법정바닥기준”과 뜬바닥과 같은 층간소음 억제 바닥시스템 등을 적용하고 있다. 뜬바닥은 Fig. 1과 같이 콘크리트 슬래브와 마감물탈층 사이에 설치된 완충재의 완충효과를 이용하여 충격음을 저감시키는 바닥 구조시스템이다. 특히, 완충재의 동탄성계수는 바닥 충격

음 차단 성능과 밀접한 관계가 있으며 동탄성계수가 작으면 바닥 충격음을 차단하는 효과가 크다(KS F 2868, 2013).

기존 연구에 의하면 바닥완충재의 동탄성계수는 장기처짐과 밀접한 관련이 있었으며, 장기처짐이 증가함에 따라 동탄성계수도 증가하는 것으로 나타났다(Kim and Lee, 2014). 또한, 바닥완충재의 밀도가 증가할 경우에 상부 하중에 대한 저항능력 및 내구성이 증가하지만 완충효과는 감소되었다. 이러한 연구 결과는 뜬바닥 구조시스템에 사용되는 바닥완충재의 동탄성계수가 완충재의 처짐 및 밀도에 영향을 받음을 나타내며, 처짐으로 인한 밀도 증가는 동탄성계수의 증가를 유발한다는 것을 알 수 있다. 반대로 밀도의 감소는 동탄성계수의 감소를 나타내며, 바닥충격음 차단 효과를 증대시킨다

¹정회원, 성균관대학교 건설환경시스템공학부 석사과정
²정회원, 성균관대학교 글로벌 건설엔지니어링학과 석사과정
³정회원, 성균관대학교 건설환경공학부 정교수
⁴정회원, 성균관대학교 건설환경공학부 정교수, 교신저자

*Corresponding author: jungyoon@skku.edu
Professor in the School of Civil and Architectural Engineering at Sungkyunkwan University, Suwon-si, Gyeonggi-do, Korea

•본 논문에 대한 토의를 2016년 8월 1일까지 학회로 보내주시면 2016년 9월 호에 토론결과를 게재하겠습니다.

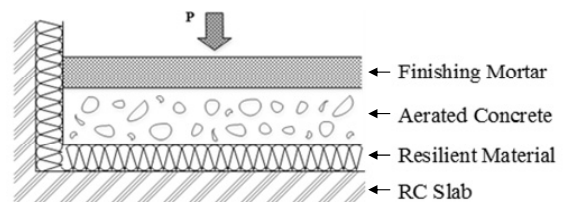


Fig. 1 Floor floating structure system

(Housing and Urban Research Institute, 2005). 그러나 바닥완충재의 밀도 감소는 뜬바닥구조의 마감물탈층의 균열을 야기시킬 수 있다. 뜬바닥구조의 균열강도에 가장 큰 영향을 주는 것은 완충재의 강성이었다. 완충재의 강성이 증가함에 따라서 균열강도도 함께 증가하였으며, 완충재의 활선계수가 약 0.2 MPa인 경우에는 낮은 하중에서 마감모르타르에 균열이 발생함을 보여주었다(Lee et al., 2015). 일반적으로 재료의 강성은 밀도와 관계가 있으며, 뜬바닥 구조에서 완충효과를 내기 위한 완충재의 밀도 감소는 상부 하중에 대한 저항능력 및 내구성에 영향을 미칠 수 있다는 것을 알 수 있다.

구조적 안정성 문제를 유발할 수 있는 처짐 현상은 단기적으로 파악하는 것이 어렵기 때문에 완충재의 장기적 처짐에 대한 현상 파악이 필요하다. 단기 하중에 대한 두께 변화를 살펴보는 잔류변형시험(KS F 2873, 2011)에 대한 검토는 이루어져 있으나 장기처짐에 대한 연구는 미흡한 실정이라 지적하고 있다(Kim et al., 2012). 또한, 장기간 하중 재하에 따른 완충재의 처짐 변화에 대해서는 특별한 제한이 없다. 기존 연구에서는 장기처짐 측정결과와 ISO 규격과는 다소 차이가 있었으며 완충재 장기처짐 현상을 분석할 수 있는 국내 규격 마련이 필요하다는 결론을 내었다(Kim et al., 2012). 또한, 장기하중 재하에 따른 바닥완충재의 장기처짐 증가에 대한 연구도

발표되었다(Kim and Lee, 2014). 이처럼 상부 하중 재하에 따른 바닥완충재의 장기처짐 증가에 대한 연구는 이루어지고 있으나 바닥완충재의 장기 내구성능을 평가할만한 기준은 부족한 실정이다. 또한, 완충재에 대한 기존 연구의 대부분은 단기하중에 대한 재료 물성 평가에 대한 연구가 대부분이며, 장기하중을 받는 완충재의 거동 평가에 대한 연구는 부족하다.

이 연구에서는 선행 연구(Kim and Lee, 2014)에 의해 수행된 실험결과와 추가적인 실험을 통해 장기간 하중을 받는 바닥완충재의 장기처짐을 평가하고자 하였다. 또한, 실험값과 ISO 20392(2007)의 장기처짐 계산법에 따른 처짐을 비교분석하여 ISO 20392의 장기처짐 평가의 적절성을 판단하였다. 이 연구에서 수행한 바닥완충재의 장기 거동 평가 실험은 장기간 하중을 받는 바닥완충재의 처짐 예측방법 마련에 도움이 될 것으로 판단된다.

2. 바닥완충재 처짐 실험

2.1 실험체 계획

바닥완충재 처짐 실험을 통해 장기간 하중을 받는 바닥완충재의 처짐 변화를 알아보고자 하였다. Table 1에 실험체명,

Table 1 Specification of sixteen types of specimens

Specimens (material-density-shape)	Load (N)	Material	Density (kg/m ³)	Bottom Shapes	Thickness (mm)	Modulus of Elasticity (MPa)
DM1 (EPS-13-F)	250	Ethylene Polystyrene 1*	13.20	Flat	28.94	0.2267
DM2 (EPS-12-C)	250	Ethylene Polystyrene 1	12.08	Corrugated	29.80	0.1499
DM3 (PE-24-F)	250	Polystyrene***	23.96	Flat	30.98	0.1600
DM4 (EPS-25-F)	250	Ethylene Polystyrene 1	24.70	Flat	29.33	3.3144
DM5 (EPS2-25-C)	250	Ethylene Polystyrene 2**	25.53	Corrugated	31.85	0.1247
DM6 (EPS2-15-C)	250	Ethylene Polystyrene 2	15.40	Corrugated	30.89	0.1095
DM7 (EPS-24-F)	250	Ethylene Polystyrene 1	24.12	Flat	29.30	3.7536
DM8 (EVA-59-E)	250	Ethylene Vinyl Acetate****	59.26	Embossed	30.15	0.1145
DM1 (EPS-13-F)	500	Ethylene Polystyrene 1	13.20	Flat	28.94	0.2267
DM2 (EPS-12-C)	500	Ethylene Polystyrene 1	12.08	Corrugated	29.80	0.1499
DM3 (PE-24-F)	500	Polystyrene	23.96	Flat	30.98	0.1600
DM4 (EPS-25-F)	500	Ethylene Polystyrene 1	24.70	Flat	29.33	3.3144
DM5 (EPS2-25-C)	500	Ethylene Polystyrene 2	25.53	Corrugated	31.85	0.1247
DM6 (EPS2-15-C)	500	Ethylene Polystyrene 2	15.40	Corrugated	30.89	0.1095
DM7 (EPS-24-F)	500	Ethylene Polystyrene 1	24.12	Flat	29.30	3.7536
DM8 (EVA-59-E)	500	Ethylene Vinyl Acetate	59.26	Embossed	30.15	0.1145

* Ethylene Polystyrene 1 (EPS1) : polystyrene resin, made from plastic and styrene, inflated by steam after injecting hydrocarbon gases

** Ethylene Polystyrene 2 (EPS2) : polystyrene resin inflated by steam after injecting improved addition agent

*** Polystyrene (PE) : plastic made by polymerizing ethylene gas and polyethylene

**** Ethylene Vinyl Acetate (EVA) : synthetic rubber made from ethylene and vinyl acetate

가력하중, 완충재의 재질 및 밀도, 바닥형상, 두께, 탄성계수에 대하여 정리하였다. 본 실험에서는 250 N, 500 N 두 종류의 하중을 사용하였다. 250 N과 500 N은 각각 가정에서 생길 수 있는 최대 하중으로, 이는 2도어 냉장고 다리 한 개 무게와 그랜드 피아노 다리 한 개 무게에 근거하여 산출되었다. 실험에 사용된 바닥완충재는 현재 우리나라에서 가장 널리 사용되고 있는 제품으로 총 8종류이며, EPS, EPS2, PE, EVA 4종류의 재질을 사용하였다. 또한, 3종류(12~15 kg/m³, 24~25 kg/m³, 59 kg/m³)의 밀도, 3종류(평판형, 골판형, 엠보싱형)의 하부형상 등을 고려하여 실험체를 선정하였다. 바닥완충재의 크기는 뜯바닥 구조에서 냉장고 다리 혹은 그랜드 피아노 다리 한 개의 무게만큼 집중하중을 받을 때, 바닥완충재에 하중이 고르게 분포될 수 있도록 150 mm x 150 mm로 설계하였다. 바닥완충재의 두께는 현재 대다수 건설사에 납품되고 건설현장에 사용되는 30 mm로 선정하였다. 또한, 바닥완충재 상부에 동일한 분포의 하중을 가력하기 위해 지름 150 mm의 원형 하중판을 사용하였다. 처짐 측정 기구로는 M사의 2052S 다이얼계기기를 사용하였으며, 계기기를 이용하여 소수 둘째자리까지

의 처짐을 측정하였다.

2.2 실험 방법

Fig. 2과 같이 150 mm x 150 mm의 8종 완충재 위에 250 N, 500 N 두 종류의 하중을 가력하여 바닥완충재의 처짐 변화를 관측하였다. 하중판 상부에 다이얼계기기를 설치하여 가력시간에 따라 변화하는 완충재의 처짐량을 측정하였다. 하중가력 초기에는 1분, 10분, 30분, 1시간, 3시간, 5시간, 10시간, 24시간 후에 처짐을 측정하였으며, 이후 일주일간은 하루 단위, 그 이후에는 10일 단위로 측정을 하였다.

3. 실험 결과 및 분석

3.1 완충재의 장기처짐 실험 결과

공동주택에 사용되는 바닥완충재는 대부분 비탄성영역을 가지고 있으며 장기하중을 받을 경우에 급격한 침하가 발생한다. 이 연구에서는 총 490일간 장기 하중을 받는 바닥완충재의 장기처짐 실험 결과를 분석하였으며, 선행 연구(Kim and Lee, 2014)에 의해 수행된 160일간의 장기처짐 실험에 이어 추가적으로 330일을 진행하였다. 따라서 이 연구에서는 추가적인 장기처짐 실험을 통해 개선된 바닥완충재의 장기처짐 거동 평가를 하였다.

Fig. 3는 490일간 250 N과 500 N의 하중 재하에 따른 완충재의 장기처짐 변화를 보여주고 있다. EPS재질이며 밀도가 약 24~25 kg/m³인 실험체 DM4-250N, DM4-500N, DM7-250N, DM7-500N에서는 처짐이 발생하지 않았다. 나머지 실험체들은 하중가력 시간에 따라 처짐이 증가한 후, 실험체별로 특정 시점부터 처짐이 더 이상 증가하지 않고 일정한 경향을 보였다.

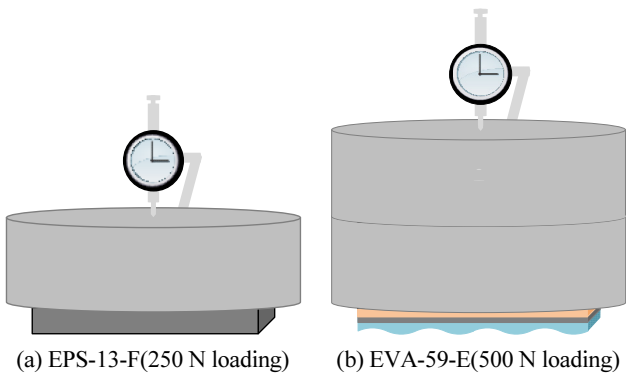


Fig. 2 Specimen setting to measure deflection

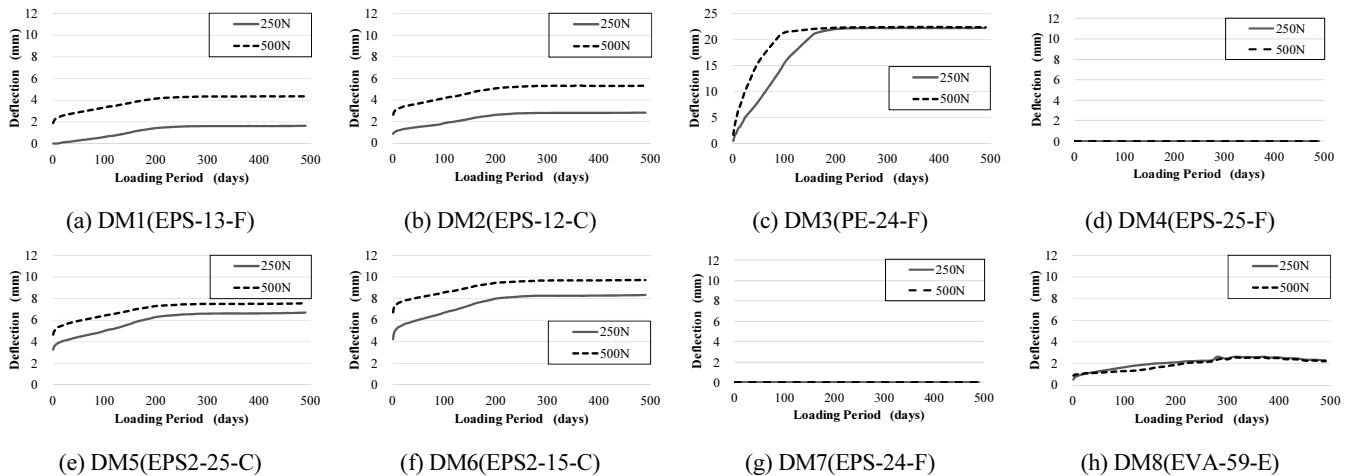


Fig. 3 Changes of long-term deflections of floor damping materials under the loads of 250 N and 500 N

Table 2 Convergent points of deflections of floor damping materials under the loads of 250 N and 500 N

Specimens (material-density-shape)	Convergent Point(days)	
	250 N	500 N
DM1(EPS-13-F)	200	200
DM2(EPS-12-C)	200	200
DM3(PE-24-F)	160	100
DM4(EPS-25-F)	-	-
DM5(EPS2-25-C)	200	200
DM6(EPS2-15-C)	200	200
DM7(EPS-24-F)	-	-
DM8(EVA-59-E)	200	200

Table 3 Increase of deflections of floor damping materials for 490days under the loads of 250 N and 500 N

Specimens (material-density-shape)	Increase of Deflection(mm)	
	250 N	500 N
DM1(EPS-13-F)	1.64	4.36
DM2(EPS-12-C)	2.83	5.32
DM5(EPS2-25-C)	6.71	7.57
DM6(EPS2-15-C)	8.34	9.72
DM3(PE-24-F)	22.24	22.38
DM4(EPS-25-F)	-	-
DM7(EPS-24-F)	-	-
DM8(EVA-59-E)	2.29	2.21

Table 2는 실험체별로 장기처짐이 증가하지 않고 일정해지기 시작하는 수렴시점을 나타내고 있다. 수렴시점은 490일 실험결과와 비교하여 처짐이 약 95%를 초과할 때 수렴시점이라고 정하였다. DM3를 제외한 나머지 실험체는 하중 가력 200일 이후 완충재의 장기처짐이 일정함을 알 수 있다. DM3-250N과 DM3-500N는 타 실험체와 달리 각각 하중 가력 160일과 100일 이후 처짐이 일정한 상태로 유지되었다.

또한, 실험결과를 통하여 완충재의 처짐이 재질, 밀도, 바닥형상, 가력하중 크기에 의한 복합적인 영향을 받는 것을 알 수 있었다. 4종류의 완충재 재질(EPS, EPS2, PE, EVA)과 3종류의 밀도(12~15 kg/m³, 24~25 kg/m³, 59 kg/m³), 3종류의 바닥형상(평판형, 골판형, 엠보싱형), 2종류의 가력하중 크기(250 N, 500 N)에 따라 완충재의 처짐량이 다르게 나타났다.

Table 3을 통해 각 실험체별로 490일 동안의 하중 재하에 따른 처짐 증가량을 알 수 있다. 하중에 따른 완충재의 처짐을 비교하였을 때, 500 N 하중 재하일 경우, 250 N 하중 재하보다 처짐이 크게 나타났다. 단, 처짐이 발생하지 않은 DM4, DM7은 예외였고 250 N과 500 N의 하중재하에서 처짐 증가량이

거의 유사하게 나타난 DM3, DM8도 예외였다. 비교 분석을 쉽게 할 수 있도록 490일 동안의 처짐의 크기에 따라 실험체를 나열하였으며 DM4, DM7은 처짐의 발생이 없고 DM8은 비교 실험체가 없었기 때문에 순서에서 제외하여 따로 표현했다.

밀도와 바닥형상이 동일한 완충재에 대하여 재질에 따른 처짐 증가량을 비교 하였을 때, PE-EPS2-EPS 순으로 처짐 증가량이 컸다. Table 3의 DM3(PE)과 DM1, 2(EPS)를 보면, DM3의 처짐 증가량이 확연이 크게 나타났다. 또한, DM2(EPS)와 DM6(EPS2)을 보면, DM6의 처짐 증가량이 5.5 mm(250 N 하중 재하 기준) 이상 컸다.

재질과 바닥형상이 동일한 완충재에 대하여 밀도에 따른 처짐의 증가량을 비교 하였을 때, 밀도가 클수록 처짐이 적게 발생하였다. Table 3의 DM1(13 kg/m³)과 DM4(25 kg/m³)를 보면, DM1보다 밀도가 약 2배 큰 DM4의 처짐은 발생하지 않은 반면, DM1은 1.5 mm(250 N 하중 재하 기준) 이상 발생하였다. DM5(25 kg/m³)와 DM6(15 kg/m³)을 보면, 밀도가 약 1.7 배 큰 DM5의 처짐이 1.5 mm(250 N 하중 재하 기준) 이상 적게 발생하였다.

Table 3을 보면, 완충재의 장기처짐은 밀도 보다 재질에 따라 영향을 크게 받는 것을 알 수 있다. DM1(EPS, 13 kg/m³)과 DM3(PE, 25 kg/m³)을 비교하였을 때, DM3의 밀도가 약 2배 크지만, 처짐 증가량은 21 mm(250 N 하중 재하 기준) 이상 더 컸다. DM2(EPS, 12 kg/m³)와 DM5(EPS2, 25 kg/m³)를 보면, DM5의 밀도가 2배 이상 크지만, 처짐 증가량은 4 mm(250 N 하중 재하 기준) 이상 더 컸다.

재질과 밀도가 동일한 완충재에 대하여 바닥형상에 따른 처짐의 증가량을 비교하였을 때, 평판형보다 골판형의 완충재가 처짐이 더 증가하였다. DM1(평판형)과 DM2(골판형)를 보면, DM2의 처짐 증가량이 1 mm(250 N 하중 재하 기준) 이상 크게 나타났다. DM8의 엠보싱형일 경우, DM8의 밀도인 59 kg/m³과 유사한 밀도를 가진 실험체가 없어 엠보싱형의 바닥형상이 완충재의 장기처짐에 미치는 영향을 분석하기에는 어려움이 있었다.

3.2 완충재의 장기처짐 평가

완충재의 장기처짐 평가를 위한 방법으로 국제 표준인 ISO 20392가 있다. ISO 20392에는 압축 크리프에 의한 단열재(완충재)의 장기 변형 값을 계산하기 위한 추정법이 명시되어 있다. 이 연구에서는 현재 우리나라에서 가장 널리 사용되는 8종 완충재의 장기처짐 실험 결과를 ISO 20392에 따른 처짐 예측식과 실험값의 추세를 이용한 선형회귀식을 이용하여 예측하였다. 3.1절의 완충재의 장기처짐 실험 결과에 의하면, 초기 200일까지는 처짐이 증가하지만 이후 약 290일 동안은 처짐

이 증가하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 처짐 수렴시점 기준으로 두 예측식을 작성하였으며, 최종적으로 두 예측식에 의한 처짐과 실제 처짐을 비교하여 처짐 예측의 적절성을 판단하였다.

3.2.1 ISO 20392에 의한 분석

ISO 20392에 의한 완충재의 장기처짐 추정법은 Findley 방정식(Findley, 1944)을 기반으로 하며, 최소 90일 이상 처짐을 측정하여 장기처짐을 예측한다.

$$X_t = X_0 + mt^b \quad (1)$$

$$m = 10^a$$

$$a = y_m - bx_m$$

$$b = \frac{\sum x_t y_t - \sum x_t \sum y_t / n}{\sum x_t^2 - (\sum x_t)^2 / n}$$

Eq. (1)의 결정계수가 $r^2 > 0.9$ 일 때, Eq. (1)의 결정계수가 높음을 나타낸다. 여기서, a, b는 상수이며 물질에 따라 다르다. X_t 는 시간 t에서의 변형, X_0 는 하중재하 60초 후의 초기변형, x_m 은 x_t 의 평균값, y_m 은 y_t 의 평균값, x_t 는 $\log t$ (t는 시간 단위), y_t 는 $\log X_d$ ($X_d = X_t - X_0$)를 의미한다.

ISO 20392에서는 하중 가력 후 0.1시간, 1시간, 5시간, 1일, 2일, 4일, 7일, 9일, 11일, 14일, 18일, 24일, 32일, 42일, 53일, 65일, 80일 그리고 90일과 100일 사이에서 최소 한 번 더 측정한다. 90일 이후의 처짐 측정에서는 대수 단위의 동일한 시간 증분에서 측정한다. ISO 20392에서는 7일 이후의 데이터를 사용하여 540일까지의 측정결과를 바탕으로 약 11.4년 후의 장기처짐을 예측하고 있다.

이 연구에서는 2.2절에서 설명한 바와 같은 시간 간격으로 처짐을 측정하였다. ISO 20392의 장기처짐 측정 시간 간격에 따르면 시간을 로그(log)화 하였을 때, 시간 증분은 0.02에서

0.12의 범위의 오차를 보이고 있다. 이 연구에서 완충재의 장기처짐 측정을 위한 10일 간격을 로그(log)화 하였을 때, 시간 증분은 0.02에서 0.15 범위의 오차를 나타내었다. ISO 20392의 시간 간격 조건과 일치하지는 않지만 ISO 20392에서도 0.02~0.12의 로그(log)화된 시간 증분 오차를 허용하며, 이 연구에서 사용된 시간 간격과 차이가 크지 않는 것으로 판단하였다.

ISO 20392에 의한 장기처짐 평가에서는 3.1절에서 제시한 8종 완충재의 장기처짐 수렴시점 이전의 처짐 측정값을 사용하였다. 처짐이 발생하지 않은 DM4-250N, DM4-500N, DM7-250N, DM7-500N은 분석에서 제외하였다. 장기처짐 수렴시점에 대해 간단히 정리하면, DM3-250N과 DM3-500N은 각각 160일, 100일부터 처짐이 일정하기 시작하였으며, DM3을 제외한 나머지 실험체들은 대략 200일부터 처짐이 일정하게 수렴하였다(Table 2).

Table 4는 ISO 20392에 따라 7일부터 실험체별 처짐 수렴시점까지의 데이터를 활용한 완충재의 장기처짐 추세식을 보여주고 있다. 모든 실험체들에 대한 ISO 20392 예측식의 결정계수는 0.90 이상으로 높게 나타났으며, 이러한 결과는 완충재의 장기처짐에 대한 예측의 적절함을 보여주고 있다.

3.2.2 선형회귀 분석

선형회귀 분석에서는 장기 하중을 받는 바닥완충재 처짐이 선형적으로 증가하는 특성을 바탕으로 간편한 처짐 선형회귀식 작성이 가능하였다. ISO 20392에 의한 완충재의 장기처짐 평가와 같이 7일부터 처짐 수렴시점까지 데이터를 활용하였으며, Table 5에 실험체별로 선형회귀식을 정리하여 나타내었다. 선형회귀식의 기울기는 장기처짐의 변화 정도를 나타내며, 이는 완충재의 재질과 관계가 있는 것으로 판단된다. 3.1절의 장기처짐 결과에 의하면, 장기처짐은 PE-EPS2-EPS 순으로 크게 발생하였다. Table 5를 보면, 마찬가지로 선형회

Table 4 Trend equation of floor damping materials based on the calculation of long-term compressive creep of ISO 20392

Material	250 N loading		500 N loading	
	Trend Equation	Determination Coefficient(r^2)	Trend Equation	Determination Coefficient(r^2)
DM1(EPS-13-F)	$y(t) = 0.23 \times 10^{-4} t^{1.31}$	0.98	$y(t) = 0.09 + 0.76t^{0.19}$	0.96
DM2(EPS-12-C)	$y(t) = 0.03 + 0.22t^{0.28}$	0.95	$y(t) = 0.09 + 1.20t^{0.16}$	0.95
DM3(PE-24-F)	$y(t) = 0.04t^{0.75}$	0.99	$y(t) = 0.60t^{0.44}$	0.96
DM4(EPS-25-F)	No deflection	-	No deflection	-
DM5(EPS2-25-C)	$y(t) = 1.48t^{0.16}$	0.93	$y(t) = 2.86t^{0.11}$	0.96
DM6(EPS2-15-C)	$y(t) = 0.12 + 2.27t^{0.14}$	0.95	$y(t) = 4.88t^{0.08}$	0.95
DM7(EPS-24-F)	No deflection	-	No deflection	-
DM8(EVA-59-E)	$y(t) = 0.15t^{0.31}$	0.99	$y(t) = 0.05 + 0.29t^{0.20}$	0.90

y : deflection(mm), t : time(hour)

Table 5 Trend equation of floor damping materials based on the convergent points of deflections

Material	250 N loading		500 N loading	
	Trend Equation	Determination Coefficient(r^2)	Trend Equation	Determination Coefficient(r^2)
DM1(EPS-13-F)	$y(t) = 0.0074t - 0.0794$	0.99	$y(t) = 0.009t + 2.3962$	0.99
DM2(EPS-12-C)	$y(t) = 0.0075t + 1.12$	0.99	$y(t) = 0.0098t + 3.1722$	0.99
DM3(PE-24-F)	$y(t) = 0.1278t + 1.8326$	0.97	$y(t) = 0.1661t + 5.7075$	0.96
DM4(EPS-25-F)	No deflection	-	No deflection	-
DM5(EPS2-25-C)	$y(t) = 0.0125t + 3.791$	0.99	$y(t) = 0.0101t + 5.357$	0.99
DM6(EPS2-15-C)	$y(t) = 0.0139t + 5.2826$	0.99	$y(t) = 0.0097t + 7.5704$	0.99
DM7(EPS-24-F)	No deflection	-	No deflection	-
DM8(EVA-59-E)	$y(t) = 0.0066t + 0.909$	0.97	$y(t) = 0.0042t + 0.9374$	0.95

y : deflection(mm), t : time(hour)

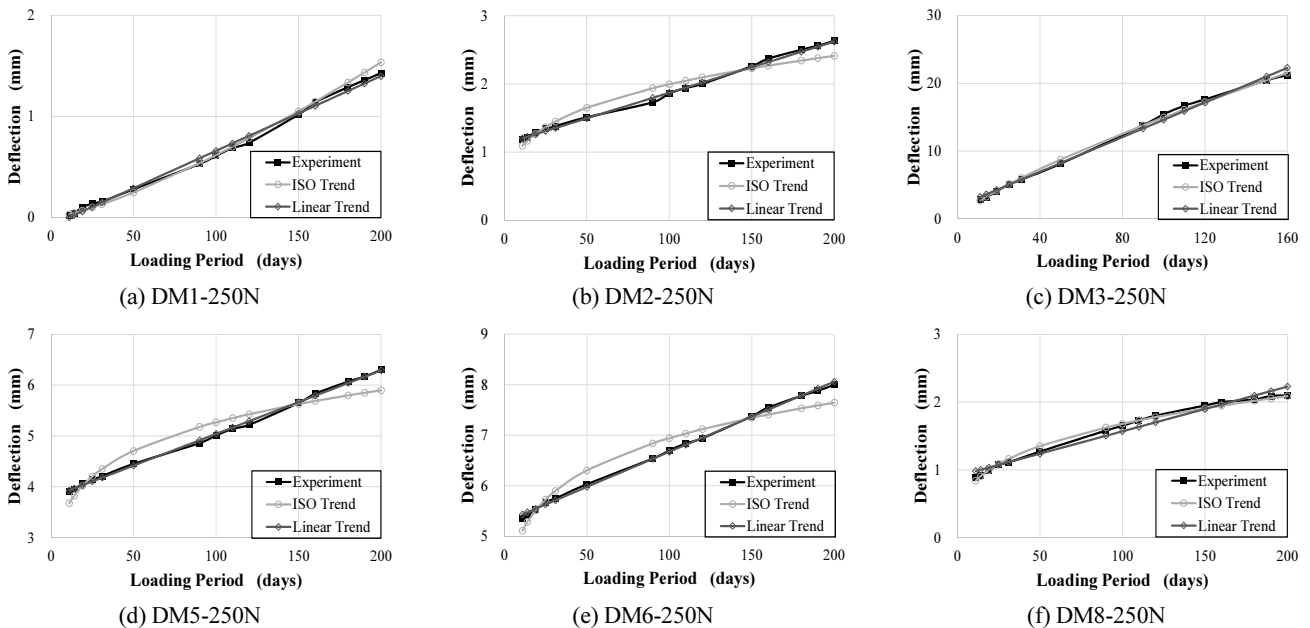


Fig. 4 Comparison among three deflection tendencies based on ISO 20392, linear regression analysis and experiment when 250 N was loaded

귀식의 기울기가 PE-EPS2-EPS 순으로 크게 나타났다. 또한, 선형회귀식의 기울기는 밀도와 낮은 관계성을 보이며, 이러한 결과는 3.1절의 결과와 같이 완충재의 밀도보다 재질이 처짐에 영향을 크게 미치는 것과 연관이 있었다. 모든 실험체의 회귀식 결정계수는 0.95 이상으로 높게 나타났으며, 이는 실제 처짐의 경향을 유사하게 나타내고 있음을 보여주고 있다.

3.2.3 예측식과 실제 처짐 간의 비교 평가

3.2.1절의 ISO 20392에 의한 분석과 3.2.2절의 선형회귀 분석을 통해 작성한 예측식을 바탕으로 처짐을 예측하고, 이를 실제 처짐과 비교하여 예측식의 장기처짐 평가의 적절성을 평가하였다.

Fig. 4과 Fig. 5는 각각 250 N과 500 N의 하중을 받은 완충

재에 대하여 7일부터 각 실험체의 처짐 수렴시점까지의 실험값과 ISO 20392에 따른 처짐 및 선형회귀분석에 따른 처짐과의 비교를 나타내고 있다. 전체적으로 실험값과 선형회귀분석에 의한 처짐의 경향이 유사하였다. 이러한 결과는 실제 처짐의 경향이 선형적으로 증가하였음을 의미한다. 반면, ISO 20392에 의한 처짐 분석은 Eq. (1)과 같이 로그(log)로 환산한 결과이기 때문에 선형적인 결과인 실제 처짐 및 선형회귀분석에 의한 처짐과는 차이가 발생하였다.

실제 처짐과 ISO 20392에 따른 처짐의 최대값을 비교하면 하중가력 250 N일 때 0.11~0.40 mm의 차이가 났으며, 500 N일 때 0.21~0.25 mm의 차이를 보였다. 단, DM3-250N과 DM3-500N의 경우, 각각 0.61 mm, 0.70 mm의 차이가 났다.

실제 처짐과 선형회귀 분석에 따른 처짐의 최대값을 비교

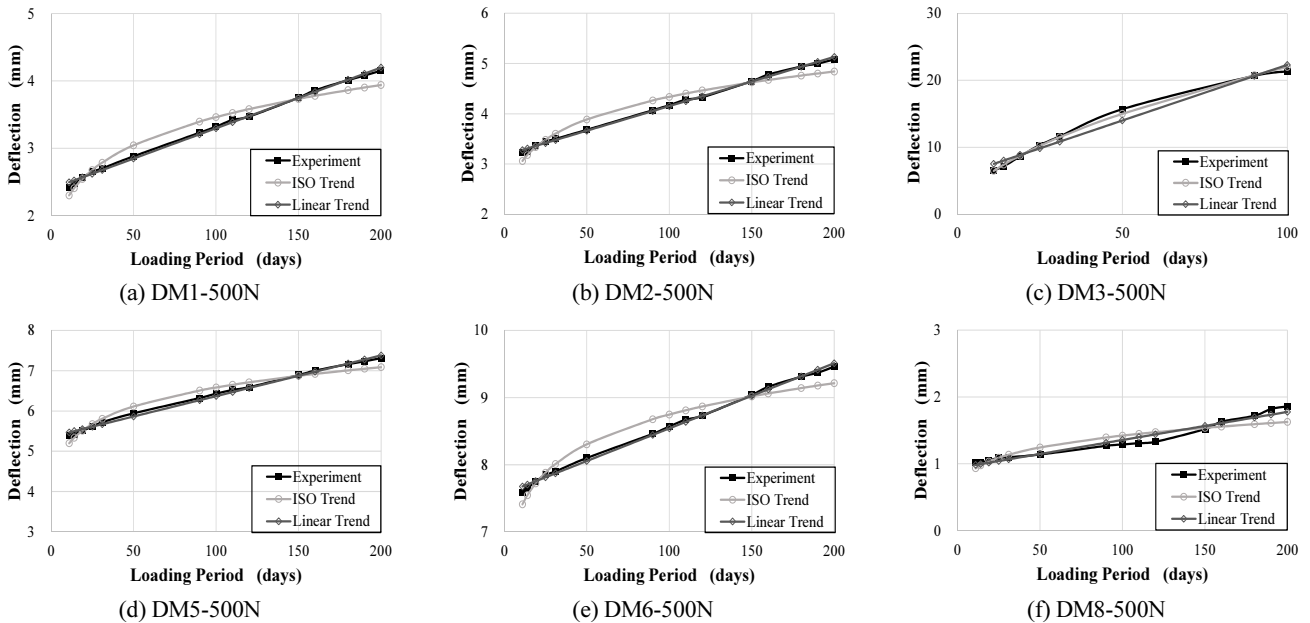


Fig. 5 Comparison among three deflection tendencies based on ISO 20392, linear regression analysis and experiment when 500 N was loaded

하면 하중가력 250 N일 때 0.06~0.13 mm의 차이가 났으며, 500 N일 때 0.06~0.11 mm의 차이를 보였다. 단, DM3-250N과 DM3-500N의 경우, 각각 1.07 mm, 1.69 mm의 차이가 났다.

이러한 결과를 통해 선형회귀 분석에 따른 처짐이 ISO 20392에 따른 처짐보다 실제 처짐과 오차가 적음을 알 수 있다. 그러나 DM3의 경우, ISO 20392에 따른 처짐과 실제 처짐과의 오차가 더 적게 나타났다. 이는 처짐 증가 경향과 관련이 있는 것으로 판단된다. DM3을 제외한 나머지 실험체의 경우, 실제 처짐은 선형적으로 증가하지만, ISO 20392는 로그(log)식 형태로 증가하기 때문에 실제 처짐과는 상이한 결과가 나타나게 된다. 반면, 선형회귀 분석의 경우 실제 처짐 경향과 유사하게 선형적으로 결과가 나타나기 때문에 처짐의 오차가 적게 나타난다. DM3의 처짐 경향은 로그(log)형태의 곡선을 띄기 때문에 ISO 20392에 따라 분석하였을 때, 오차가 더 적게 나타났다.

또한, DM3의 경우, ISO 20392에 따른 분석과 선형회귀 분석에서 모두 다른 실험체들에 비해 오차가 크게 나타난 것을 알 수 있다. 이는 처짐량과 관련이 있는 것으로 판단된다. DM3은 처짐 수렴시점에서 처짐량이 초기 두께의 73%인 22 mm 까지 발생하였기 때문에 작은 처짐 경향의 변화에도 오차는 크게 나타나게 된다. 반면, DM1, DM2, DM5, DM6, DM8과 같이 처짐 수렴시점에서 처짐량이 10 mm 이하의 경우, ISO 20392에 따른 분석과 선형회귀 분석에서 모두 실제 처짐과의 오차가 0.40 mm 이하였으며, 두 분석 방법 모두 실제 처짐과 유사하게 나타나는 것으로 판단된다.

처짐 수렴시점과 처짐 곡선의 기울기의 관계를 살펴보면, DM3-500N과 같이 처짐 수렴시점(100일)이 빠를수록 처짐

증가 곡선의 기울기가 점점 완만해지는 경향을 볼 수 있다 (Fig. 4(c)). 반면, 처짐 수렴시점이 200일인 실험체들(DM1, DM2, DM5, DM6, DM8)은 처짐이 선형적으로 증가하는 경향을 볼 수 있다(Fig. 3 and Fig. 4). 따라서, 처짐 수렴시점에 따라 처짐 곡선의 형태의 변화를 결정할 수 있을 것으로 판단된다. 하지만 다양한 완충재들에 대하여 추가적인 실험을 통해 처짐 수렴시점과 곡선 형태의 변화의 관계에 대해 규명할 필요가 있다.

4. 결론

이 연구에서는 층간소음을 억제하기 위하여 사용되는 바닥 완충재의 장기처짐 예측에 관한 연구를 하였다. 연구방법으로 490일간의 장기처짐의 경향을 분석하고, 이를 바탕으로 ISO 20392의 장기 압축 크리프 계산법에 의한 예측식과 선형회귀식을 각각 작성하였다. 또한, ISO 20392와 선형회귀분석의 결과를 실제 처짐과의 비교를 통해 장기처짐 평가에 대한 두 예측식의 적절성을 판단하였다. 장기처짐 평가에 관한 연구 결론을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 완충재의 장기처짐은 PE-EPS2-EPS재질 순으로 크게 나타났다. 재질에 따른 장기처짐의 영향은 선형회귀식의 기울기와 관련이 있었다. 또한, 완충재의 재질이 밀도보다 크게 장기처짐에 영향을 미쳤다.
- 2) 하중 가력 200일 이후 완충재의 장기처짐량이 일정한 값으로 수렴하였다. 단, DM3-250N과 DM3-500N는 각각

160일과 100일 이후 처짐량이 수렴하였다. DM4와 DM7은 처짐이 발생하지 않았다.

- 3) 처짐 수렴시점까지의 ISO 20392와 선형회귀 분석에 의한 장기 처짐 평가는 처짐량이 10 mm 이하의 경우 두 분석 방법 모두 오차 0.4 mm 이하로 실제 처짐과 유사하게 나타났다. 처짐 수렴시점 전의 장기처짐은 250 N과 500 N의 하중 재하에서 오차 0.4 mm 이하의 평가가 가능하며(DM3 제외), ISO 20392와 선형회귀분석 모두 완충재의 장기처짐 예측에 적절한 것으로 판단된다.
- 4) 처짐 수렴시점이 비교적 빠른 DM3-500N(100일)은 처짐 증가 곡선이 로그(log)식의 형태를 나타내었다. 반면, DM1, DM2, DM5, DM6, DM8과 같이 처짐 수렴시점이 200일인 경우에는 처짐 증가가 선형적인 형태를 나타내었다. DM3(PE)의 경우, 선형회귀 분석보다 ISO 20392에 의한 분석방법이 처짐의 오차가 적었으며, ISO 20392에 의한 분석방법이 장기 처짐 평가에 더 적절한 것으로 판단된다.
- 5) 처짐의 경향이 선형적으로 나타나는 완충재는 선형회귀분석이 유리, 처짐의 경향이 log와 같은 비선형으로 나타나는 완충재는 ISO 20392에 의한 분석이 유리할 것으로 판단된다.

이 연구에서는 250 N과 500 N의 하중 재하와 8종 완충재에 대해 완충재의 장기 특성을 검토하였다. 그러나 다양한 하중 조건과 재질의 완충재를 이용한 추가 실험을 통해 선형회귀식의 기울기와 재질과의 상관관계에 대해 더 정확히 규명할 필요가 있다. 또한, 다양한 하중과 재질의 완충재에 대한 처짐의 수렴성에 대해서도 추가적인 검토가 필요하다고 판단이 된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 한국건설교통기술평가원 건설교통 기술촉진연구사업 연구비에 의해 수행되었으며(과제번호

15CTAP-C066421-03)이에 감사드립니다.

References

Findley, W. N. (1944), Creep Characteristics of Plastics, *Symposium on Plastics, American Society of Testing and Materials*.

Housing and Urban Research Institute (HURI) (2005), A Study on the Development of the Structural Analysis Method for Floor Heating System with Insulation, *Technical Report*, Seoul, Republic of Korea, 134.

ISO 20392 (2007), Thermal-insulating materials - Determination of Compressive Creep, *International Standards*.

Kim, J. M., and Lee, J. Y. (2014), Evaluation of Long-term Deflection and Dynamic Elastic Modulus of Floor Damping Materials Used in Apartment Buildings, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, 30(11), 29-36.

Kim, K. W., Yeon, J. O., and Yang, K. S. (2012), Correspondence Research of Long-term Compressive Creep of Resilient Materials and ISO 20392, *Journal of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*, 22(12), 1250-1256.

KS F 2868 (2013), Determination of Dynamic Stiffness of Materials used Under Floating Floors in Dwellings, *Korean Industrial Standards*.

KS F 2873 (2011), Measuring Method of Compressibility of Resilient Materials for Floor Impact Sound, *Korean Industrial Standards*.

Lee, J. Y., Lee, B. S., Jun, M. H., and Kim, J. M. (2015), Evaluation of Cracking Strength of Floating Floor System, *Journal of the Korea Institute for Structural Maintenance and Inspection*, 19(1), 53-61.

Received : 10/21/2015

Revised : 04/26/2016

Accepted : 05/23/2016

요 지 : 최근 층간소음을 저감시키기 위하여 밀도와 동탄성계수가 낮은 바닥완충재를 뜬바닥구조에 사용하며, 이로 인하여 바닥완충재의 처짐 및 상부 마감물탈의 균열이 발생할 가능성이 높아지고 있다. 이 연구에서는 층간소음 저감을 위하여 사용되는 바닥완충재의 장기처짐을 실험을 통하여 평가하였다. 완충재의 재질, 하부형상, 밀도, 가력하중을 변수로 하는 16개의 바닥완충재에 대하여 490일간의 장기처짐 실험을 하였다. 실험에 의하면 완충재의 장기처짐은 하중가력 200일 시점 이후로 일정한 경향을 보였다. 예외적으로 Polystyrene 재질의 완충재 경우, 250 N 하중재하에서는 160일, 500 N 하중재하에서는 100일 이후로 일정한 경향을 보였다. 이 연구에서는 처짐이 일정해지는 구간을 제외한 증가 구간에 대해 두 가지의 장기처짐 평가식을 작성하였으며, 각각 ISO 20392와 실험값의 추세를 이용한 선형회귀 분석을 이용하였다. 두 평가식과 실험값과의 비교분석에서 처짐량이 10 mm 이하의 경우, ISO 20392와 실험값의 추세를 이용한 선형회귀 분석 방법 모두 오차 0.4 mm 이하로 실제 처짐과 유사하게 나타났다. 단, Polystyrene 재질의 완충재 경우, ISO 20392에 의한 처짐 분석 방법이 더 적절한 것으로 판단되었다.

핵심용어 : 뜬바닥구조시스템, 바닥완충재, 장기처짐, 층간소음, ISO 20392
