

건식이중바닥구조의 중량충격음에 대한 실험적 평가 - 지지구조 및 천장구조 구성에 따른 영향 -

Experiment Evaluation for the Heavy-weight Impact Sound of Dry Double-floor System - Effect of Rubber Hardness and Ceiling Structure -

연준오*·김경우†·최현중*·양관섭*·김경호**

Junoh Yeon, Kyoungwoo Kim, Hyunjuong Choi, Kwansop Yang and Kyungho Kim

(Received September 13, 2012 ; Revised December 4, 2012 ; Accepted December 4, 2012)

Key Words : Floor Impact Sound(바닥충격음), Dry Double-floor System(건식이중바닥구조), Ceiling Structure(천장구조), Heavy-weight Impact Sound Source(중량충격음), Light-weight Impact Sound Source(경량충격음)

ABSTRACT

The 1st assessment(performance test) was applied to assure the floor impact sound performance for developing the dry double- floor with the change of rubber hardness of the upper panel's support and the ceiling structure of the sub-floor. Depends on the change of the rubber hardness in sub-structure, the heavy-weight sound impact value is improved up to 3 dB, and the light-weight sound impact value is moved up to 21 dB, comparing with the bare-slab. Also, the improved value for the floor impact sound conjugating with the sub-floor's ceiling was 5 dB. Based on this result, the 2nd assessment(performance test) was made the state that the rubber hardness of the sub-floor support was ranged between 50 and 70 for considering the stability of walking patients. In addition to this process, the assessment was carried out with a variety of ceiling structure applied to the dry double-floor structure with the air flow system on the sub-floor's ceiling. The result for the 2nd assessment proved that TYPEⅡ-3 had the better sound reduction performance in the heavy-weight impact sound test than other types, and also for the light-weight impact sound TYPEⅡ-3 had the 29 dB sound reduction performance overall. Henceforth, based on the result the research for the sound reduction performance from the floor impact sound shall be ongoing process as well as the development of a double-dry floor and a sound reduction ceiling to suitable on the field.

1. 서론

국내의 공동주택 보급률은 지속적으로 증가하고

있는 추세이며, 거주자들의 삶에 대한 질의 향상으로 층간 소음은 공동주택에서 발생하는 민감한 환경요인으로 오랜 기간 동안 자리 잡고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 사용되는 대표적인 바닥구조

† Corresponding Author ; Member, Korea Institute of Construction Technology

E-mail : kwj@kict.re.kr

Tel : +82-31-910-0356, Fax : +82-31-910-0361

* Member, Korea Institute of Construction Technology

** Member, KCC Central Research Institute

A part of this paper was presented at the KSNVE 2012 Annual Autumn Conference

‡ Recommended by Editor Jin Yong Jeon

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

는 완충재를 사용한 뜬바닥구조가 일반적이다. 하지만 완충재 사용은 저주파수 대역에 공진을 발생시켜 충격음 저감 효과를 약화시키는 것이 일반적이다. 국내의 대부분 바닥구조가 완충재 성능개선에 초점을 맞추어 개발되고 있어 다양한 바닥구조에 대한 검토가 미흡하다.

모르타르가 적용되는 습식바닥구조는 완충재 공진, 노후시 유지보수의 어려움, 리모델링 한계 등 제한 사항이 있다. 리모델링 대응, 재료의 재활용 등을 위하여 건식바닥구조에 대한 검토가 진행되고 있으나 충격음 성능 미흡, 경제성 부족, 거주자 인식 부족으로 적용에 한계를 보이고 있는 실정이다. 그러나 최근 사용재료의 재활용, 에너지 절약 등 자원순환의 개념이 고조됨에 따라 건식바닥 시스템에 대한 검토가 필요하게 되었다.

이 연구에서는 자원순환이 가능한 재료를 바탕으로 리모델링 대응, 시공기간 단축 등에 유리한 건식바닥구조를 개발하고자 한다.

건식바닥구조는 습식바닥구조보다 일반적으로 바닥충격음 성능이 미흡하기 때문에 건식바닥구조의 구성방법 변경과 하부세대 천장의 활용을 통하여 종합적으로 충격음 성능을 확보할 수 있는 저감 시스템을 개발하고자 한다.

2. 실험 개요

이 연구에서 개발 중인 건식이중바닥구조는 Fig. 1과 같이 일정한 간격의 고무 지지각을 목재 장선으로 연결하여 상부에는 PB(파티클 보드) 18 mm와 골판지 보드가 얹혀지는 형태이다. 또한, 단일 성능을 만족하기 위해서 상판재 하부에는 글라스울을 시공하고 상판의 상부에는 방열판을 시공한다.

건식이중바닥구조는 습식구조와 달리 바닥면에 맞닿는 부위가 고무 지지각으로 한정되어 있어 바닥충격음 성능에 고무 지지각의 경도가 가장 큰 영향을 줄 것으로 판단된다.

따라서, 1차 실험에서는 고무 지지각의 경도에 따른 바닥충격음 실험과 기존⁽¹⁾ 연구내용을 토대로 건식바닥구조의 충격음 개선에 있어 단점을 보완하기 위해 Fig. 2와 같이 하부 천장 공기층의 air spring 작용을 방지하기 위해서 내부의 공기가 소통될 수 있도록 석고보드 표면에 타공처리하여 유효성 검증에

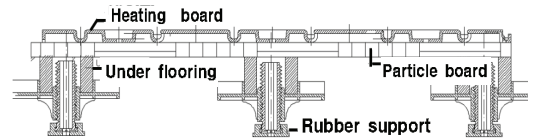


Fig. 1 Drawing of dry double-floor

대한 실험을 진행하였다.

2차 실험에서는 1차 실험 결과를 토대로 건식바닥구조 고무 지지각의 경도를 결정하고 하부층 제실의 천장 타공 위치 및 실제 공동주벽 천장 여건에 맞는 시스템을 적용하여 실험을 진행 하였다. 또한, 충격원에 의해 천장 내부 발생하는 소음을 최소화하기 위하여 철재 스타드 대신 일반적인 목재를 사용하였다.

2.1 실험 조건

(1) 고무경도와 하부세대 타공 천장 검토

1차 실험 조건은 Table 1과 같이 바닥충격음 차단 성능을 하부 고무 지지각의 경도를 40 HB에서 80 HB까지 10씩 증가시켜 평가하였다. 또한, 바닥충격음 측정 시 하부천장 공기층의 증폭에 따른 충격음 개선문제를 해결하기 위한 방법으로 일정한 간격으로 타공된 석고보드를 설치해 바닥충격음 차단 성능을 평가 하였다⁽²⁾.

1차 실험중 고무 지지각의 경도에 따른 바닥충격음 실험은 180 mm 슬래브 바닥충격음 시험동에서 진행 되었으며, 바닥구조는 반건식 구조로서 슬래브 상부에 고무 지지대를 장선으로 연결하여 상판을 조립한 상태이다. 그 상부에는 마감 몰탈 40 mm를 시공하였다.

하부 천장에 대한 시험구성은 Table 2와 같이 천장이 없을 경우와 슬래브 하단 부분으로 200 mm 이격시켜 9.5 mm 석고보드 1장을 설치해 200 mm의 공기층을 갖는 구조이다. 또한, 공기의 유동을 위해 Ø10, 간격 200 mm으로 타공한 석고보드를 설치하였다. 상부바닥 조건은 표준바닥구조이다.

(2) 하부세대 천장 변화와 건식바닥구조 검토

1차 실험 결과로 토대로 보완된 건식이중바닥구조는 바닥충격음 성능과 상부하중에 의한 처짐과 제실자의 보행함에 따른 안전성을 추가적으로 고려하여 Fig. 3과 같이 간격 600 mm로 고무 지지대와 가

로재 장선을 설치하여 연결하였다⁽³⁾. 또한, 하부 고무 지지각의 경도는 50 HB과 70 HB으로 정하였다. 지지각 상부는(파티클보드), 방열판, 마감재(wood flooring)이 차례로 올라가는 구조이다. 슬래브와 상부 판까지 발생하는 공간에는 단열을 위해 그라스울을 시공하였으며, 상부 마감판은 폐지를 활용하여 제작한 보드를 이 실험에 적용하였다. 상부 건식이 중바닥구조에 따른 하부 천장의 타공 디자인 설정은 실제 공동주택에서 실제 적용 가능한 위치를 고려해 제설자의 시각범위에서 벗어난 우물천장 측부와 천장 몰딩 위치로 정하여 우선적으로 타공 위치에 따른 바닥충격음 성능을 검토한 후 동일한 위치에 실제 공동주택과 동일한 조건에서 Fig. 4와 같이 공기를 유동시킬 수 있는 시스템을 적용하여 측정을 진행하였다.

2차 실험은 벽식구조 바닥충격음 시험동에서 실시하였으며, 단위실 크기는 가로 5.0 m, 세로 4.4 m 규모로서 180 mm 슬래브로 이루어져 있다.

바닥충격음 차단성능을 평가하기 위해 KS F 2810-1,2^(4,5)에 의거하여 측정을 진행하였다.



Fig. 2 Construction scene for ceiling structure(1st assessment)

실험은 주파수 분석기를 옥타브 밴드로 설정하여 각각 측정하였으며, 중량충격원의 공기압은 2.4 Kg/m²로 맞춘 후 동일한 공기압 조건에서 측정하였다.

Table 1 Experiment condition with rubber hardness

Mode	Floor type	Ceiling type	Rubber hardness (HB)	Note
TYPE I-1	Semi-dry (panel +finishing mortar)	9.5 mm plaster board (air space 200 mm)	40	With hardness
TYPE I-2	"	"	50	
TYPE I-3	"	"	60	
TYPE I-4	"	"	70	
TYPE I-5	"	"	80	

Table 2 Experiment condition with the ceiling type

Mode	Floor type	Ceiling type	note
TYPE I-6	Standard floor	No ceiling installed	-
TYPE I-7	"	9.5 mm plaster board (air space 200 mm)	-
TYPE I-8	"	"	Plater board with apertures (Ø10, between 200 mm)

Table 3 Test conditions depends on rubber hardness(50, 70 HB) and ceiling type(position, opening rate)

Mode	Floor type	Ceiling type	Ceiling aperture	Rubber hardness(HB)
TYPE II-1	Particle board finish	9.5 mm plaster board (air space 180 mm)	-	70
TYPE II-2	Dry double-floor type	"	-	50,70
TYPE II-3	"	"	Middle(with aperture) (opening rate 0.4 %)	
TYPE II-4	"	"	Middle, ceiling molding (opening rate 0.9 %)	
TYPE II-5	Dry double-floor type	9.5 mm plaster board (air space 180 mm 200 mm)	-	50
TYPE II-6	"	"	Side(with aperture) on the well ceiling	
TYPE II-7	"	"	Side(with aperture) on the well ceiling, molding(with aperture)	

- 측정장비

- Microphone : G.R.A.S(Type 40AE)
- Microphone preamplifier : G.R.A.S(Type 26CA)

3. 측정결과

3.1 고무경도와 하부세대 타공 천장 성능 고찰

건식이중바닥구조의 고무 경도에 따른 중량충격음에 대한 바닥충격음 결과는 Table 4와 같이 나타났다

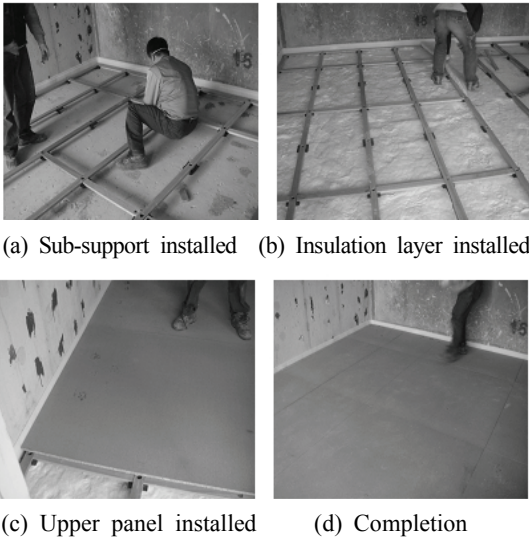


Fig. 3 Dry double-floor system's construction process

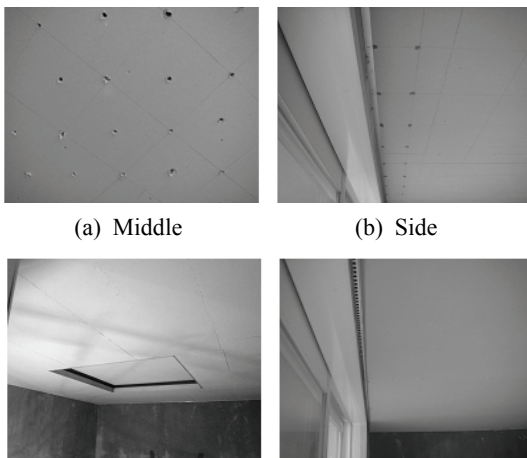


Fig. 4 Ceiling structure with the aperture types(2nd assessment)

으며, 결과값은 맨슬라브 레벨 대비 타입별 구조체 레벨 차이로 표현하였다.

하부 고무 지지각의 경도가 40 HB인 경우 차단성능 개선 효과가 3 dB로 나타났으며, 하부 고무 지지각의 경도 50, 60, 70 HB에서의 충격음 개선량은 2 dB로 동일하게 나타났다.

하부 천장의 공기층으로 인한 63 Hz의 충격음 영향은 미미하였지만, 125 Hz 대역의 충격음 레벨은 증가하였다.

경량충격음 측정결과는 Table 5와 같이 중량충격음 결과와 동일하게 고무 경도가 작을수록 바닥충격음 차단 성능은 향상되었다. 또한, 고주파수 대역으로 갈수록 최대 40 dB까지 충격음 개선 효과가 나타났다. 단일평가수치값을 살펴보면 경도 40 HB일 경우 최대 21 dB의 저감 성능이 나타났으며, 하부 고무의 경도 증가에 따른 단일 수치평가량 차이는 4 dB로 나타났다.

하부층 천장 유·무와 타공석고보드를 설치했을 경우 결과를 보면 Table 6과 같다. 중량충격음 측정시 하부 천장 없을 경우 바닥충격음 차단성능 개선량이 가장 뛰어났다. 하지만, 일반적인 공동주택은 반드시 천장을 설치해야 하기 때문에 공기층 200 mm를 가지는 천장을 가정해 측정한 결과 오히려 6 dB 가량 증가한 것을 알 수 있었다. 따라서, 천장 공기층 내부의 공기를 외부로 유도할 수 있도록 석고보드에 Ø10 mm, 간격 200 mm 타공한 후 차단성능을 평가한 결과 중량충격음의 차단성능은 5 dB 가량 개선되었다.

천장 조건에 대한 경량충격음 측정결과는 타공되지 않은 석고보드가 설치되어 있을 경우에 개선량이 3 dB로 가장 좋게 나타났다. 경량충격음은 중량충격음과 다른 조건에서 개선된 것은 경량충격음은 1차적으로 중량충격음에 비해 저주파수를 재현하는 충격음이 작고 건식바닥구조와 하부 천장에서 충격음을 충분히 차단하기 때문이라고 사료된다.

3.2 천장 변화에 따른 건식이중바닥구조 평가

첫 번째 결과를 토대로 건식이중바닥구조 고무 지지각의 경도는 50 HB과, 70 HB으로 정하여 하부층 천장구조 변화에 따른 바닥충격음 차단성능 평가를 진행하였다.

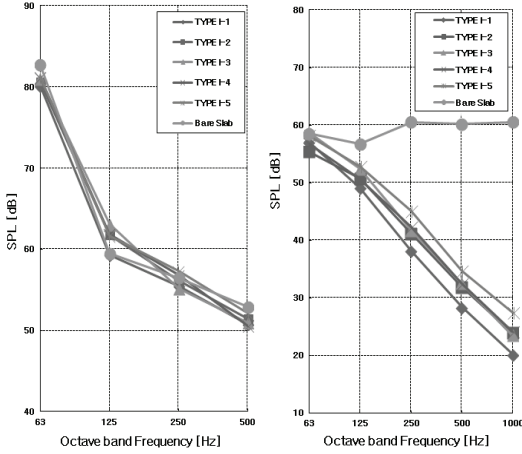
측정 결과는 Table 7과 같으며 중량충격음 평가에

서 단일수치평가값을 결정짓는 주파수 대역 63 Hz 와 125 Hz 대역은 실험조건 TYPE II-2,3,4에서 맨 슬라브에 비해 바닥충격음 개선 성능은 저하되었다. 하지만, 고주파수 대역으로 갈수록 9 dB까지 차단성능은 개선되었다.

고무 경도와 하부 천장 타공에 따른 충격음 성능은 고무경도 50, 70 HB에서 125 Hz 대역에서만 고무

Table 6 The results according to ceiling type

	Heavy-weight	Light-weight	Ceiling type	Note
TYPE I-6	41 dB	40 dB	None	Standard floor
TYPE I-7	47 dB	37 dB	9.5 mm plaster board (air space : 200 mm)	
TYPE I-8	42 dB	39 dB	9.5 mm plaster board (air space : 200 mm, aperture Ø10, distance between 200 mm)	



(a) Heavy-weight (b) Light-weight

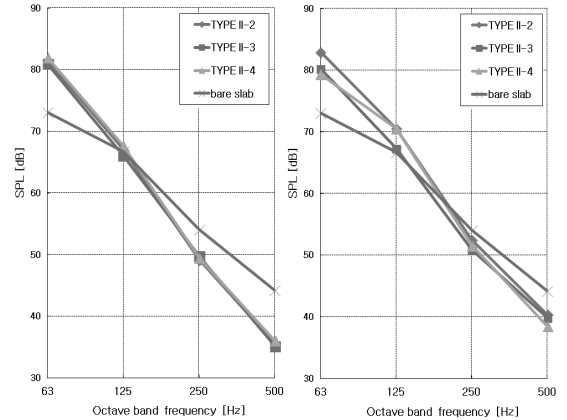
Fig. 5 The result of impact sound

Table 4 Test results of heavy-weight impact sound

$\Delta L : L_{bare\ slab} - L_{Hardness}(dB)$					
(Hz)	63	125	250	500	$L_{i,Fmax,AW}$
TYPE I-1	2.6	0.2	1.0	2.1	3
TYPE I-2	0.6	-0.1	1.1	0.7	2
TYPE I-3	1.7	-3.6	1.3	1.9	2
TYPE I-4	1.6	-2.4	-1.3	2.3	2
TYPE I-5	1.5	-2.2	-0.8	0.8	1

Table 5 Test results of light-weight impact sound

$\Delta L : L_{bare\ slab} - L_{Hardness}(dB)$						
(Hz)	125	250	500	1000	2000	$L'_{n,AW}$
TYPE I-1	1.5	7.6	22.3	31.8	40.3	21
TYPE I-2	3.1	5.9	19.3	28.3	36.6	20
TYPE I-3	-0.2	4.3	18.8	27.7	37.0	18
TYPE I-4	1.8	6.0	18.2	27.7	36.3	19
TYPE I-5	0.3	3.9	15.4	25.5	33.1	17



(a) Rubber hardness 50 (b) Rubber hardness 70

Fig. 6 The results of heavy-weight impact sound

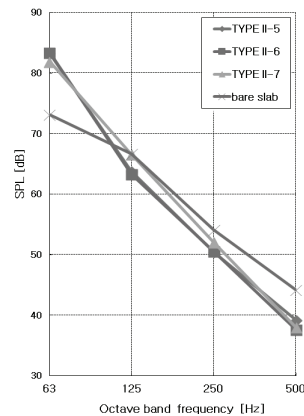


Fig. 7 The results of ceiling change-rubber hardness 50

경도 70 HB이 다소 높게 나타났다. 또한, 63 Hz 대역 부근의 차단성능 확보를 위한 천장 공기층의 개구율 증가는 바닥충격음 개선과는 상관성이 없는 것으로 나타났다.

경량충격음은 고무 지지각의 경도 50에서 개구율의 증가에 따라 1 dB씩 바닥충격음 차단성능이 개선되었으며 주파수 대역별 결과는 고주파수 대역으로 갈수록 바닥충격음 개선량은 증가하였다.

고무 경도 50 HB과 70 HB의 바닥충격음 차단성능 차이가 없었기 때문에 진진용⁽⁶⁾ 등이 연구한 건식 이중바닥구조의 보행감 평가 결과를 토대로 보행감에 유리한 경도 50 HB에 대하여 중량충격음 평가를

진행하였다. 실험대상 하부층은 실제 공동주택의 천장과 동일하게 모사한 후 공기가 유동할 수 있는 타공판을 적용하여 실험을 진행한 결과 Table 9와 같으며, 하부 공기층의 용적과 개구부의 방향과 상관없이 유사하게 나타났다. 또한, 타공 석고보드를 설치해 공기를 유동시켜 검토한 경우보다 63 Hz 대역은 다소 미미한 결과를 나타났다. 이는 첫 번째 타공 천장 검토 경우보다 공기를 유동시키는 타공의 크기, 타공률, 방향 그리고 우물천장을 적용시키므로 천장의 폭이 작아져 1차적인 고유진동수가 높아졌기 때문이라고 사료된다.

4. 결 론

향후, 자원순환에 용이한 건식이중바닥구조에 대해 다양한 조건에서 중량충격음 및 경량충격음 차단 성능을 평가한 결과 다음과 같다.

(1) 1차 실험결과 반건식바닥구조의 하부 지지대의 경도를 40 HB에서 80 HB까지 10씩 증가시켜 측정한 결과 고무 경도 40 HB에서 중량충격음 3 dB, 경량충격음 21 dB로 바닥충격음 차단 성능이 가장 우수했으며, 상부바닥구조가 표준바닥구조일 때 하부 천장에 대한 검토 결과 공기층이 있을 때 보다 공기층의 유동을 위해 타공된 천장에서 중량 및 경량충격음의 바닥충격음 차단성능이 개선되었다.

(2) 1차 실험을 토대로 결정된 2차 실험 중 하부 지지대 고무의 경도와 하부 천장 공기 유동 시스템을 적용하여 평가한 결과 하부 고무 지지각의 경도 50 HB, 70 HB의 중량충격음 결과는 대동소이 하였지만, TYPE II-3에서 경도 50 HB과 70 HB에서 중량충격음에 대해 가장 우수한 바닥충격음 차단성능 개선을 보였다. 그러나 천장의 개구율을 증가한 TYPE II-4에서는 오히려 바닥충격음 차단성능 개선이 되지 않았는데 충격음 측정 시 천장의 개구율, 개구위치에 따라 천장구조와 바닥구조의 공진 주파수 대역이 유사했기 때문이라고 사료된다.

(3) 국내 공동주택 제설의 실정에 맞게 천장내 공기를 유동 시킬 수 있게 디자인하여 건식이중바닥구조와 동시에 적용시켜 중량충격음 측정된 결과는 개구 위치와 비율에 상관없이 유사하게 나타났다. 또한, 맨슬라브에 비하여 충격음 레벨이 저주파수 대

Table 7 Test results of heavy-weight impact sound

$\Delta L : L_{bare\ slab} - L_{Hardness} (dB)$						
(Hz)	63	125	250	500	$L_{i,Fmax,AW}$	Rubber hardness (HB)
TYPE II-2	-8.4	-0.4	4.9	8.6	-5.0	50
	-9.9	-3.9	1.6	3.8	-7.0	70
TYPE II-3	-7.9	0.6	4.3	9.0	-4.0	50
	-7.2	-0.7	3.2	4.3	-4.0	70
TYPE II-4	-8.9	-1.0	4.6	8.1	-5.0	50
	-6.3	-3.9	2.5	5.7	-5.0	70

Table 8 Test results of light-weight impact sound

$\Delta L : L_{bare\ slab} - L_{Hardness(50)} (dB)$						
(Hz)	125	250	500	1000	2000	$L'_{n,AW}$
TYPE II-2	9.5	23.7	33.5	45.4	54.1	29
TYPE II-3	8.8	23.1	34.0	46.0	57.0	28
TYPE II-4	6.7	22.6	34.2	46.1	56.7	27

Table 9 Test results of heavy-weight impact sound

$\Delta L : L_{bare\ slab} - L_{Hardness} (dB)$					
(Hz)	63	125	250	500	$L_{i,Fmax,AW}$
TYPE II-5	-10.2	2.9	3.7	5.0	-5
TYPE II-6	-10.3	3.4	3.6	6.6	-5
TYPE II-7	-8.8	0.1	2.1	6.2	-5

역은 다소 증가 하였으나 고주파수 대역으로 갈수록 개선되었다. 따라서, 저주파수 대역의 증폭 현상을 추가적으로 줄이기 위해 타공되는 위치와 공기층 내부의 디자인을 추가적으로 고려해야 할 것으로 판단 된다.

후 기

이 연구는 국토해양부 건설혁신사업의 일부로 수행되었습니다(과제번호:10CCTI-B066240-01).

참 고 문 헌

(1) Suzuki, H., 2000, Resonance Frequencies and Loss Factors of Various Single-degree-of Freedom Systems, J. Acoust. Soc. Jpn.(E), Vol. 21, No. 3, pp 163~166.

(2) Choi, H. J., Kim, K. W., Yeon, J. O., Yang, K. S. and Kim, K. H., 2011, 2011, Evaluation of Ceiling Structure Influencing to the Floor Impact Sound, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 246~247.

(3) Kim, J. H., Yoo, S. Y., Jeon, J. Y. and Kim, K., 2012, Evaluation of Floor Serviceability for Dry Floor Systems in Residential Buildings, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 699~700.

(4) KS F 2810-1: 2001, Field Measurements of Impact Sound Insulation of Floors Part 1 : Method Using Standard Light Impact Source.

(5) KS F 2810-2: 2001, Field Measurements of Impact Sound Insulation of Floors Part 1 : Method Using Standard Heavy Impact Source.

(6) Jeon, J. Y., Ryu, J. K., Jeong, J. H. and Tachibana, H., 2006, Review of the Impact Ball in Evaluating Floor Impact Sound, Acta Acustica United with Acustica, Vol. 92, No. 5, pp. 777~786.



Kyoung-woo Kim, received Ph.D in architecture engineering from hanyang university in 2009. He is working at KICT(Korea Institute of Construction Technology) as a senior researcher. His research interests are floor impact sound, vibration, insulation and absorption in architecture environment.



Kwan-seop Yang is senior research fellow and director at Korea institute of construction technology. He received his Ph.D in architecture engineering form chonbuk university in 1997. His research interests are floor impact sound, noise reduction in apartment, especially base on architecture environment.



Jun-on Yeon, received master degrees from hanyang university in 2010 and he is currently majoring in floor impact sound and vibration in apartment. He especially is interested in sound characteristics due to insulation assembly.



Hyun-juong Choi, received master degrees from seoul national university of science & technology in 2010. He is working at Korea Institute of Construction Technology as a researcher. His research interests are architecture environment.