

바닥건축재료의 충격하중에 대한 반응*1

장 상 식*2

Impact-Response of Floor Construction Materials*1

Sang-Sik Jang*2

ABSTRACT

Impact-bouncing height of steel balls dropped from 1m height on various floor materials were measured to evaluate impact-bouncing characteristics depending on floor materials and the effect of these properties on walkability and fatigue of humanbody.

Stone and tile finished concrete floor showed the highest bouncing height of around 70%, and soil showed the lowest bouncing height of around 3%. The second highest bouncing height was about 40% which corresponded to terazo finished concrete floor and about twice as high as the bouncing height on concrete floor without finishing. The impact-bouncing height could be lowered to 15~20% by using gum tile on concrete floor.

Steel showed similar bouncing height to concrete floor, and wood-based materials showed the second lowest bouncing height next to soil. Among wood-based materials, hardwood species having higher specific gravities showed relatively high bouncing height of 8~24%, softwood species having low specific gravities showed relatively lower bouncing height of 5~18%, and wood composites showed bouncing height of 8~18%. Among all the materials used in this study, wood-based floor materials corresponded to the bouncing height of 10~15% which is considered to be best for humanbody. Surface painting on wood-based materials increased the bouncing height, and the number of bouncing of steel balls after dropping from 1m height increased as the bouncing height increased.

Keywords: Floor materials, impact, bouncing height, concrete floor, wood-based floor

1. 서 론

사람들의 생활은 어떠한 형태로든지 바닥재료 위에서 이루어진다. 대부분의 낮시간은 사무실이나 공장 등과 같은 비주거용 건물의 바닥 위에서,

그리고 밤에는 주로 주거용 건물의 바닥위에서 시간을 보낸다. 그러므로 이와 같이 많은 시간을 보내는 건축물의 바닥 주거환경은 그 위에서 생활하는 사람들의 긴장완화 및 생활의 편이 등에 큰 영향을 주게 된다. 바닥재료가 그 위에서 생활하는

*1 접수 1995年 2月 15日 Received February 15, 1995

본 논문은 1993년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

*2 충남대학교 농과대학 College of Agriculture, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea

사람들에게 주는 영향에는 여러가지 요인들이 있으며 그 중에서 가장 중요한 요인들로 충격, 마찰, 체감온도 및 진동을 들 수 있다. 이러한 바닥재료의 주거성질들 중에서 충격반발은 가장 중요한 성질들 중의 하나이다. 충격반발의 성질은 바닥재료의 충격하중에 대한 흡수능력에 좌우되며 인체의 다리 및 척추에 반발력을 작용시켜 피로를 가중시키는 요인이 된다.

20세기에 들어와서 우리나라 사람들의 주거용 바닥재료는 대부분이 세멘트 또는 콘크리트 위에 장판이나 타일과 같은 마감재료를 사용한 것이다. 이러한 경향은 최근에 바닥의 난방방법이 개선되면서 여러가지 목재바닥들이 도입되어 다양화되고 있는 추세이다. 이와 같이 다양한 바닥 재료들이 사용되고 있으나, 이러한 바닥재료들이 사람들의 주거환경에 미치는 영향에 관한 평가는 매우 드물게 이루어지고 있으며 특히 국내에서는 전무한 실정이다.

서양의 경우에는 일반적으로 항상 신발을 신고 카펫 위에서 생활하는 주거양식이기 때문에 바닥재료의 주거환경에 크게 영향을 받지 않는다. 그러므로 대부분의 연구가 바닥재료의 구조적 성능 (Atherton, 1979 ; Falk, 1989) 및 동적하중에 대한 반응 (Polensek *et al.*, 1971·1972) 등에 집중되어 있다. 그러나 서양식 생활환경에서도 외부로부터의 소음이나 진동의 전달 또는 내부의 소음이나 진동의 외부전달 그리고 이러한 진동이 사람에게 주는 불쾌감에 관한 연구 (Atherton *et al.*, 1976·1979)는 부분적으로 이루어지고 있다.

서양의 생활환경과는 달리 한국이나 일본에서의 가정의 주거양식은 주로 신발을 신지않고 맨발 또는 양말을 신은 상태에서 이루어지므로 바닥재료의 주거성질에 보다 많은 영향을 받게 된다. 그러므로 일본의 경우에는 이러한 분야에 대한 연구가 광범위하고 다양하게 이루어지고 있다. 일본에서는 주거용으로 목조주택이 선호되고 있으며 공동주택에서 세대 및 층 사이의 충격음, 소음 또는 진동의 전달 및 감쇄에 관한 연구 (日本木材學會, 1990 ; 井上稔 等, 1991 ; 高橋徹 等, 1992 ; 鈴木茂久 等, 1992)가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 연구는 바닥구조의 변경 또는 상이한 재료의 조합을 통한 흡음능력의 개선 (大塚保則 等, 1991 ; 古信 等, 1992)으로 발전되고 있다. 또한 바닥덮개

재료 자체의 성질을 개선하여 흡음 및 감쇄능력이 뛰어난 목질재료를 개발하고자 하는 노력 (菊地輝彦·信田聰, 1991)과 함께 바닥의 진동 흡수능력을 높인 새로운 바닥구조의 개발 (末吉修三·外崎眞理雄, 1991)도 병행되고 있다. 이러한 노력의 일환으로 기존의 합판바닥 대신에 PB 바닥덮개를 사용한 마루판의 충격하중하에서의 변형거동과 감쇄에 관한 연구 (田茂裕·又木義博, 1991)도 이루어지고 있다.

국내에서는 날로 다양화되고 있는 바닥재료에 비하여 그 주거성질에 관한 연구는 전혀 이루어져 있지 못하기 때문에 새로운 바닥재료의 개발이 가장 기본적으로 고려되어야 할 주거성질에 기초하지 못하고 있는 것이 우리나라의 현실이다. 우리나라에서도 목재 및 목질재료를 이용한 바닥이 날로 증가하고 있는 추세이며 이들 재료는 기존의 시멘트 또는 콘크리트 재료에 비하여 우수한 주거성질을 나타낼 것으로 생각된다.

본 연구에서는 목질계 및 시멘트계 바닥 구조재료와 여러가지 마감재料到에 대하여 충격반발성능을 측정하고 인체에 가장 적당한 바닥 구조재료를 평가하고자 한다.

2. 재료 및 방법

2.1 공시재료

목질계의 바닥재료로는 육송 (radiata pine), 미송 (Douglas-fir), 낙엽송 (larch), 소나무 (red pine) 등의 침엽수종과 참나무 (oak), 느티나무 (zelkova), 감나무 (persimmon), 백라왕 (white laun), 아카시아 (acacia) 등의 활엽수종 그리고 합판, PB, MDF

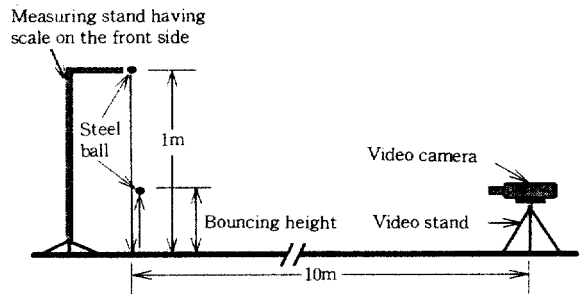


Fig. 1. Experimental arrangement for measuring impact-bouncing height of steel balls.

등의 목질재료가 사용되었다. 목재의 두께는 30~50mm의 범위를 가졌으며 합판은 12mm 그리고 PB 및 MDF는 18mm의 두께가 사용되었다. 이들 목질재료는 실내에서 5개월 이상 충분한 기간 동안 건조를 실시하여 시험전에 실내의 환경과 평형상태가 되도록 하였다.

시멘트계 바닥재료로는 콘크리트 바닥과 그 위에 고무타일(gum tile), 타일(tile), 테라조(terazo)마감을 실시한 바닥에 대한 충격반발 시험을 실시하였다.

그 외의 재료로는 강철, 대리석 및 흙에 대하여 충격반발시험을 실시하여 상기 재료들에 대한 시험결과와 비교하였다. 자유낙하용 쇠구슬은 직경 31.8, 25.4, 20.0 및 15.0mm의 네가지 크기를 사용하였다.

2.2 충격반발시험

바닥재료의 충격반발 성능을 측정하기 위하여 그림 1과 같은 시험장치를 제작하였다. 그림 1에서 보는 바와 같이 쇠구슬을 바닥으로부터 1m 높이에서 자유낙하시키고 반발높이를 측정하여 바닥재료의 충격하중에 대한 감쇄능력과 인체에 미치는 반발력의 정도를 평가하였다. 이 때 반발높이는 video camera를 통하여 촬영한 후 느린 속도로 재생하면서 최고에 도달한 반발높이를 측정하였다.

3. 결론 및 고찰

3.1 충격반발 높이

시멘트계 바닥재료위에서 쇠구슬의 충격반발높이는 표 1과 같다. 표 1에서 보면 타일마감 바닥에서 충격반발높이가 가장 높게 나타나며 다음으로 테라조마감바닥에서 높게 나타난다. 고무타일을 사용한 경우에는 마감없는 콘크리트바닥에 비하여 충격반발높이가 약 3/4 정도로 감소하였으며

Table 1. Impact-bouncing height of steel balls on concrete floors.

| Diameter of steel balls (mm) | Bouncing height depending on finishing materials(cm) | | | |
|------------------------------|--|------------------|----------|------|
| | No finishing | Terazo finishing | Gum tile | Tile |
| 31.8 | 20.2 | 47.5 | 15.6 | 59.4 |
| 25.4 | 20.4 | 45.6 | 18.3 | 70.9 |
| 20.0 | 19.2 | 43.4 | 20.3 | 74.7 |
| 15.0 | 26.0 | 36.9 | 20.3 | 77.6 |

이로써 고무타일이 약 25% 정도의 충격을 흡수할 수 있는 능력이 있음을 알 수 있다.

목질계 바닥재료위에서 쇠구슬의 충격반발높이는 표 2와 같다. 표 2에서 보면 PB 및 합판과 같은 목질재료는 충격반발높이가 육송(radiata pine)이나 미송(Douglas-fir)과 비슷하였으며 MDF는 작은 구슬의 경우에는 비슷한 반발높이를 보였으나 큰 구슬의 경우에는 약간 낮은 값을 나타내었다.

목질계 및 시멘트계 이외의 재료에 대한 쇠구슬의 충격반발높이는 표 3과 같다. 석재(대리석)의 충격반발높이가 가장 크게 나타났으며, 강철은 20~25%의 반발로서 콘크리트 바닥과 비슷하였다. 흙은 3~4%의 가장 낮은 충격반발을 나타내었다.

표 1, 2 및 3의 바닥재료에 따른 쇠구슬의 충격반발높이를 종합하여 각 재료별로 충격반발높이의 범위를 나타내면 그림 2와 같다. 그림 2에서 보면 석재 및 타일마감 콘크리트의 경우에 가장 높은 반발높이를 나타내었고 다음으로는 테라조마감 콘크리트가 높은 반발력을 나타내었다. 마감이 없는 콘크리트 바닥과 강철은 20~25%의 비슷한 충격반발범위를 나타내었으며 콘크리트 바닥에 고무타일을 사용한 경우에는 15~20% 정도로 충격반발을 줄일 수 있음을 알 수 있다. 목질계 재료중에서는 활엽수가 8~25%의 범위, 목질재료가 8~18%의

Table 2. Impact-bouncing height of steel balls on wood-based floors.

| Diameter of steel balls (mm) | Bouncing height depending on wood materials (cm) | | | | |
|------------------------------|--|-------------|------|---------|------|
| | Radiata pine | Douglas fir | PB | Plywood | MDF |
| 31.8 | 7.3 | 8.5 | 8.5 | 9.5 | 6.8 |
| 25.4 | 9.0 | 9.4 | 9.4 | 12.8 | 7.5 |
| 20.0 | 11.3 | 11.0 | 11.0 | 14.8 | 9.3 |
| 15.0 | 14.8 | 18.6 | 18.6 | 16.8 | 16.2 |

Table 3. Impact-bouncing height of steel balls on other materials.

| Diameter of steel balls (mm) | Bouncing height depending on material types (cm) | | |
|------------------------------|--|-------|------|
| | Steel | Stone | Soil |
| 31.8 | 20.1 | 76.3 | 3.9 |
| 25.4 | 18.9 | 71.5 | 3.1 |
| 20.0 | 20.5 | 68.3 | 3.3 |
| 15.0 | 25.4 | 65.5 | 3.0 |

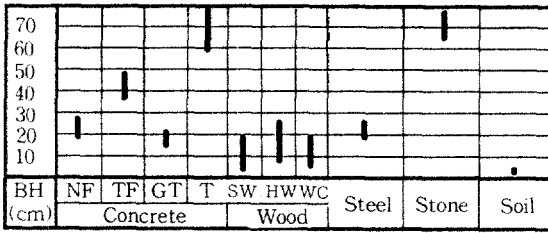


Fig. 2. Range of impact-bouncing height of steel balls on various kinds of floor materials:

Notes : BH : Bouncing height, NF : No finishing, TF : Terazo finishing, GT : Gum tile, T : Tile, SW : Softwood, HW : Hardwood; and WC : Wood composites.

범위 그리고 침엽수가 5~18%의 충격반발을 나타내었다. 흙은 충격흡수 능력이 매우 좋아서 3~4%의 작은 반발력만을 나타내었다.

바닥재료의 충격반발높이가 높을수록 인체에 충격을 가하여 피로가 쌓이게 되며 반발높이가 너무 낮은 경우에도 모래위에서 걷는 경우와 같이 피로를 가중시킨다. 일반적으로 10~15%의 반발력을 나타내는 재료가 보행과 생활에 가장 쾌적한 것으로 인식되고 있다. 따라서 이 기준에 의하면 여러 가지 종류의 목재 및 목질재료가 인간에게 가장 쾌적한 바닥조건을 제공한다는 것을 알 수 있다.

3.2 목재의 비중과 충격반발높이

목재의 수종에 따른 충격반발높이는 표 4와 같다. 표 4에서 보면 비중이 높을수록 충격반발높이

Table 4. Impact-bouncing height of steel balls on wood blocks.

| D ¹⁾ (mm) | Bouncing height depending wood species(cm) ²⁾ | | | | | | | | | |
|-------------------------|--|------|------|------|------|------|------|--------------------|------|--|
| | RP | DF | LA | O | Z | P | L | RPK | A | |
| 0.40 | 0.45 | 0.56 | 0.66 | 0.62 | 0.65 | 0.43 | 0.38 | 0.43 ³⁾ | | |
| 31.8 | 7.3 | 9.1 | 9.7 | 12.2 | 12.6 | 12.4 | 8.3 | 4.3 | 12.0 | |
| 25.4 | 9.0 | 11.8 | 11.5 | 14.3 | 15.4 | 15.6 | 11.2 | 7.9 | 15.5 | |
| 20.0 | 11.3 | 14.9 | 14.6 | 21.1 | 18.5 | 20.2 | 13.4 | 7.9 | 17.4 | |
| 15.0 | 14.8 | 18.0 | 15.3 | 22.6 | 19.4 | 24.5 | 14.2 | 13.1 | 20.9 | |

*1 D : Diameter of steel balls

*2 RP: Radiata pine, DF : Douglas-fir, LA : Larch,

O : Oak, Z : Zelkova, P : Persimmon,

L : White laun, RPK : Red pine grown in Korea,

A : Acacia

*3 Specific gravity.

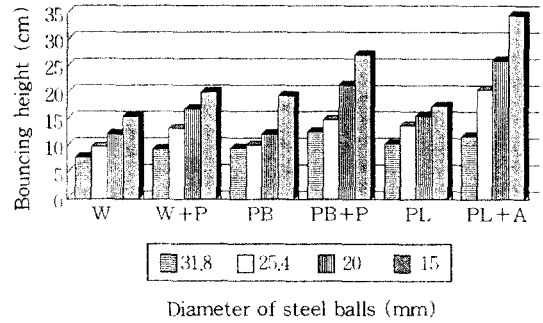


Fig. 3. Effect of surface finishing on impact-bouncing height of steel balls on wood-based floor materials.

Notes : W : Wood, P : Paint, PB : Particleboard, PL : Plywood, and A : Acryl overlay.

가 높고 비중이 낮을수록 충격반발도 작음을 알 수 있다. 대체적으로 비중이 낮은 침엽수재의 반발높이가 비중이 높은 활엽수재보다 낮게 나타났다. 공시목재중에서는 감나무가 가장 높은 반발력(12~25%)을 나타내었으며 소나무가 가장 낮은 반발력(4~13%)을 나타내었다.

3.3 표면도장과 충격반발높이

육송, PB 및 합판을 이용하여 표면도장을 한 경우와 무처리를 비교한 결과는 그림 3과 같다. 육송과 PB에는 락카도장을 실시하였고 합판에는 아크릴(acryl)표면판을 집착하였다. 그림 3에서 보면 모든 재료에서 공히 표면도장 또는 아크릴표면판의 사용에 의한 마감을 한 경우에 충격반발이 증가함을 알 수 있다.

3.4 충격반발횟수

쇠구슬을 1m 높이에서 자유낙하시킨 후 계속적인 반발횟수를 비디오로 명확히 구분할 수 있는 범위까지 측정된 결과는 표 5와 같다. 쇠구슬의 반발횟수를 그림 2의 반발높이와 비교해 보면 반발높이가 높은 재료에서 반발횟수도 많게 나타남을 알 수 있다. 석재위에서 가장 많은 반발횟수(5~7회)를 나타내었으며 다음으로 타일바닥(5~6회), 테라조마감 바닥(4회), 콘크리트 바닥(3회), 고무 타일 바닥 및 강철(2~3회), 목재바닥(2회) 그리고 흙(1회)의 순으로 나타났다.

Table 5. Number of bounce on various floor materials.

| D ¹ (mm) | Number of bounce depending on floor materials ² | | | | | | | | |
|------------------------|--|----|----|---|------------|----|-------|-------|------|
| | Concrete floor | | | | Wood floor | | Steel | Stone | Soil |
| | NF | TF | GT | T | W | WC | | | |
| 31.8 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 2 | 2 | 5 | 1 |
| 25.4 | 3 | 4 | 2 | 5 | 2 | 2 | 2 | 6 | 1 |
| 20.0 | 3 | 4 | 3 | 6 | 2 | 2 | 3 | 7 | 1 |
| 15.0 | 3 | 4 | 3 | 6 | 2 | 2 | 3 | 7 | 1 |

¹ D : Diameter of steel balls

² NF : No finishing, TF : Terazo finishing,

GT : Gum tile finishing, T : Tile finishing,

W : Wood, WC : Wood composite.

4. 결 론

여러가지 바닥재료에 대하여 4가지 크기의 쇠구슬을 1m 높이에서 자유낙하시킨 후 반발높이를 측정함으로써 바닥재료에 따른 충격반발성질과 이러한 성질이 인체의 보행감 및 피로에 미치는 영향을 평가하고자 하였다.

실험에 사용된 바닥재료들중에서 석재와 타일 마감 바닥이 70% 내외의 가장 높은 반발력을 보였으며 흙은 3% 정도의 가장 낮은 반발력을 나타내었다. 테라조마감 바닥은 40% 내외의 두번째로 높은 반발력을 보였으며 이는 콘크리트 바닥의 경우보다 약 2배 정도 높은 값에 해당하였다. 콘크리트 바닥위에 고무타일로 마감한 경우에는 충격반발을 약 15~20%로 낮출 수 있었다.

강철의 충격반발 성능은 콘크리트 바닥과 비슷하였으며 목재바닥은 흙 다음으로 두번째로 낮은 반발높이를 나타내었다. 목재재료중에서는 비중이 높은 활엽수가 8~24%의 비교적 높은 반발높이를 나타내었고 비중이 낮은 침엽수가 5~18%의 비교적 낮은 값을 나타내었으며 목질재료는 7~18%의 반발을 보였다. 시험에 사용된 재료들중에서 목질계 재료들이 인체에 가장 적당한 반발력에 해당되는 10~15% 범위를 나타내었다. 목재에 표면도장을 한 경우에는 반발높이가 증가되었으며 쇠구슬의 반발횟수는 반발높이가 높을수록 많게 나타났다.

참 고 문 헌

1. Atherton, G. H., *et al.* 1976. Human response to walking and impact vibration of wood

fibers. *Forest Prod. J.* 26(10):40~47

- Atherton, G. H. and S. E. Corder. 1979. Human response to vibration of floor in occupied dwellings. *Forest Prod. J.* 29(7):29~38
- Falk, R. H. and R. C. Moody. 1989. Wood diaphragms: Performance requirements and analytical modeling. p 101~111 of Proc. of the Session related to Design, Analysis and Testing at Structures Congress '89. ASCE. 1989 May 1~5, San Francisco, CA.
- Falk, R. H. and R. Y. Itani. 1989. Finite element modeling of wood diaphragms. *J. Struc. Eng.* 115:543~559
- Polensek, A. 1971. Static and dynamic properties of glued wood~joist floors. *Forest Prod. J.* 21(12):31~39
- Polensek, A. *et al.* 1972. Response of nailed wood~joist floors to static loads. *Forest Prod. J.* 22(9):52~61.
- 日本木材學會. 1990. 住まいと木材. 海青社.
- 田茂裕, 又木義博. 1991. 木質床の動的變形舉動~衝擊荷重を受ける木質床の釘接合部. *木材學會誌* 37(4):309~315
- 井上稔 等. 1991. 戸建住宅における床衝撃音遮断性能(III)~2×4住宅の場合. 第41回 日本木材學會大會 研究發表要旨集 : 8
- 菊地輝彦, 信田聰. 1991. 木質材料の衝擊吸收特性. 第41回 日本木材學會大會 研究發表要旨集 : 2
- 末吉修三, 外崎眞理雄. 1991. 直張り床板の振動傳達特性. 第41回 日本木材學會大會 研究發表要旨集 : 4
- 大塚保則 等. 1991. 動吸振機構による床衝撃音の改善. 第41回 日本木材學會大會 研究發表要旨集 : 7
- 高橋撤 等. 1992. 吊り床工法2X4工法住宅の床衝撃音の低減および31.5Hz帯域でのL値の評価について. *木材學會誌* 38(3):228~232
- 古信 等. 1992. 木造住宅における改良木質床の振動性状と音に関する實驗的研究. 第42回 日本木材學會大會 研究發表要旨集 : 53
- 鈴木茂久, 等. 1992. 吊り床工法による2×4住宅の床衝撃音の低減. 第42回 日本木材學會大會 研究發表要旨集 : 57