

인체충돌시 바닥의 안전성에 관한 시험방법간 연관성 분석

Relationship of Test Methods of Impact Absorbing Effect of Floors from a viewpoint of Safety in Accidental Collisions

김 상 현¹ 지 석 원² 윤 정 식³ 최 수 경^{4*} 서 치 호⁵

Kim, Sang-Heon¹ Ji, Suk-Won² Yoon, Jung-Sik³ Choi, Soo-Kyung^{4*} Seo, Chee-Ho⁵

The Academy of Applied Science and Technology, Konkuk University, Gwangjin-Gu, Seoul, 143-701, Korea¹

Department of Architecture, Induk University, Nowon-Gu, Seoul, 136-777, Korea²

Graduate School, Konkuk University, GwangJin-Gu, Seoul, 143-701, Korea³

Department of Architecture, Hanseo University, Haemi-Myeon, Seosan, 356-706, Korea⁴

Devision of Architectural Engineering, Konkuk University, GwangJin-Gu, Seoul, 143-701, Korea⁵

Abstract

Since the study of building performance design was first undertaken by Building Research Station in 1930s, the results of such study has been reported from many parts of the world, building construction codes and standards have been revised based on performance in advanced nations as well in Korea, and various performance certification systems are in operation. The purpose of this study is to build a database of performance certification systems to investigate the co-relationship of various test methods related to the same test items. As test methods for case study, we selected test methods involving collision of the human body. Through analysis of Critical fall height test of EN 1177 and Head Model test of JIS A 6519 about 8 species of floor test-bodies, it was found that there are limits of application in terms of the depth and strength of cushion. Furthermore, although the measured physical parameters are the same, when the co-relationship between test methods is uncertain, the various physical parameters may not be compatible with the results.

Keywords : Impact Absorbing Effect Of Floors, Test For Determination Of Critical Fall Height, Hardness Test Of Floors

1. 서 론

건축재료분야의 성능설계에 관한 연구는 부위별 요구조건에 대응하는 성능항목 및 성능수준 설정과 그 부위에 적용 가능한 재료의 보유성능에 대한 객관적이고 정량적인 평가를 골자로 하는 최적재료 선정시스템 구축을 목표로 한다. 건축의 부위별 요구조건이나 이에 대응하는 성능항목에 대해서는 오래 전부터 연구되어 온 만큼 비교적 참고할 자료가 많고 설정도 용이한 편이다. 하지만 동일한 성능항목에 대한 적정 시험방법의 선택은 그리 간단한

문제가 아니다. 시험방법의 메커니즘 자체가 다른 경우가 있는가 하면 시험 목적과 방법이 유사하더라도 시험조건이나 평가지표 등이 상이하여 측정결과를 직접 비교하기 힘든 경우도 많이 있다.

건축재료설계 혹은 개발 과정에서 합리적으로 재료를 선택하거나 개발목표를 설정하기 위해서는 무엇보다도 성능항목(시험항목)마다 공통된 시험·평가방법이 정립되어 있는 것이 가장 바람직하다. 그러나 각국은 저마다 독자적인 시험체계를 운영하고 있고 산업기반 또한 자국 표준을 중심으로 구축되어 있어 ISO, EN, ASTM 등과 같은 국제적 표준에 관련 시험규정이 있다고 해도 국내 실정과의 부합화를 거치지 않고 그대로 받아들이기는 곤란하다.

이처럼 현재로서는 건축부위에 대한 요구성능이나 그 대응특성을 측정·평가하기 위한 공통적 시험방법이 확립되어 있지 않고 또 통합시기조차 요원하여 성능중심의 건축재료설계시스템을 개발하는데 큰 장애요인이 되고 있다.

본 연구에서는 건축재료를 선정 또는 개발시 주요 지표가 되는 시험방법이 어떤 성능에 대해 복수로 존재할 경우 합리적인 대안

Received : November 1, 2010

Revision received : December 5, 2010

Accepted : January 19, 2011

* Corresponding author: Choi, Soo-Kyung

[Tel: 82-41-660-1030, E-mail: skchoi@hanseo.ac.kr]

©2011 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

선택을 위해 필요한 DB 구축의 일환으로, 동일한 시험조건 하에서 바닥의 인체충돌시 안전성에 관한 국내의 대표적인 시험방법 간의 연관성을 분석하였다.

2. 시험방법의 조사

2.1 조사대상

국제표준이나 국가표준, 단체표준 등은 그 목적에 따라 적용범위를 엄격히 제한하고 있다. 그러나 표준을 구성하는 시험방법의 적용대상에 대해서는 별도의 규정을 두지 않는 경우가 대부분이다. 특히 건축재료분야에서는 부위의 요구성능을 중심으로 후보 재료를 선정해야 하므로 특정 재료만을 대상으로 하는 시험방법은 표준으로서 채용하지 않는 것을 원칙으로 한다. 따라서 성능의 중요도에 따라 다소간의 차이는 있지만, 통상 재료설계를 하다보면 동일한 성능항목에 대해 준용할 여지가 있는 시험방법의 종류가 다양한 경우가 종종 발생한다.

사용자가 어떠한 이유로 바닥과 충돌했을 때의 상해방지 관점에서 안전성을 평가하기 위한 시험방법은 Table 1과 같이 여러 가지가 제안되어 있다. 이들 시험방법은 크게 놀이시설 바닥을 대상으로 하는 것과 스포츠시설 바닥을 대상으로 하는 것으로 나눌 수 있다. 이들 중 건축재료와 관련하여 많이 적용되는 것으로는 EN 1177(KS G 5758) 및 JIS A 6519에 있는 시험방법을 들 수 있다.

EN 1177 등에서 채용하고 있는 “Test methods for determination of the critical fall height(한계하강높이 시험)”는 대상이 주로 어린이놀이터 바닥재이며 놀이기구 위에서 추락했을 때의 두부손상 방지를 목적으로 한다. JIS A 6519에서 채용하고 있는 “Hardness test of floor(헤드모델 시험)”는 대상이 체육관을 포함한 모든 시설물 바닥이며 동일 평면상에서 넘어졌을 때의 두부손상¹⁾ 방지를 목적으로 한다. 이들 시험방법은 시험목적, 시험조건 등으로 볼 때 엄밀한 의미에서 동일 목적의 시험방법이라고 말하기 힘들다. 그러나 각국에서는 어린이놀이터 혹은 일반시설물 바닥은 물론 옥외 보행로나 카터·자전거전용도로 바닥 등에 대한 인체충돌시 안전성을 평가할 때 이들 시험방법을 구분없이 폭넓게 준용하고 있다[1,2].

따라서 본 연구에서는 동일한 바닥시험체에 대한 EN 1177과 JIS A 6519의 시험결과를 다각도로 비교 분석함으로써 향후 인체충돌시 안전성 관점에서 바닥을 설계하거나 개발할 때 유용한 자료로서 제시하였다.

1) 인체를 대상으로 해야하는 실험의 한계로 인해 아직 두부 손상에 대한 정량적 기준이 없으며 일반적으로 두개골골절, 뇌좌상, 뇌진탕 등의 두부의 심각한 손상을 대상으로 함.

Table 1. Test Methods of Impact Absorbing Effect of Floors

Code No.	Code Name
EN 1177	Impact absorbing playground surfacing -
KS G 5758	Safety requirements and test methods
ASTM F1292 ^{*)}	Standard Specification for Impact Attenuation of Surfacing Materials within the Use Zone of Playground Equipment
JIS A 6519	Steel furring components for gymnasium floors
ASTM F355	Standard Test Method for Shock-Absorbing Properties of Playing Surface Systems and Materials
ISO 5903	Gymnastic equipment; Landing mats and surfaces for floor exercises; Determination of hardness and impact damping ISO5903 ISO5903 ISO5903
DIN 7914	Gymnastic equipment - Mats - Dimensions DIN7914 DIN7914 DIN7914

*) It's the method is the same with EN 1177 and there are regulations of $G_s G_{max} \leq 200G$ besides $HIC \leq 1,000$.

2.2 한계하강높이 시험방법

놀이시설의 안전과 관련하여 유럽에서 만들어진 최초의 표준은 1978년에 제정된 독일의 DIN 7926이다. 영국에서도 1986년에 BS 5696이 제정되었다. 이들 표준은 각자 자국 내에서의 개정을 거친 후 1998년에 유럽표준인 EN 1176-1~1176-7, EN 1177이 되었다. 놀이시설 바닥의 인체충돌시 안전성에 관한 표준인 EN 1177은 현재 유럽 19개국에서 채용하고 있다.

EN 1177에서는 놀이기구에서 떨어졌을 때 두부가 받는 충격력이 Head Injury Criterion(HIC) tolerance level 1,000 미만이면 두부손상이 치명적이지 않다는 가정 하에서 놀이기구 아래의 지표면이 충분한 충격감쇠력을 가질 수 있도록 그 요구조건과 시험방법을 기술하고 있다. 시험에서는 지표면 재료에 대하여 규정한 방법으로 머리모양 시험물체를 몇 단계의 높이에서 낙하시켰을 때의 가속도를 계측한다. HIC는 계측한 가속도와 충격 개시부터 종료까지의 시간과의 관계로부터 산출한다. 낙하시킨 높이와 그 때의 HIC와의 관계로부터 HIC가 1,000일 때의 낙하높이를 구하여 이것을 Critical Fall Height(한계하강높이)로 한다.

우리나라에서는 2004년 6월에 놀이시설 바닥의 인체충돌시 안전성에 관한 KS G 5758(충격흡수 놀이터 표면처리)을 제정하였으며 시험방법은 EN 1177과 동일하다.

2.3 헤드모델 시험방법

JIS A 6519의 헤드모델 시험은 동경공업대학의 오노교수 등이 1980년부터 수행한 “충돌시 인체의 안전성 관점에서 바닥·벽체의 완충성능 평가방법”에 관한 일련의 연구[3,4,5]를 통해 개발된 것이다.

이 시험방법은 인간의 머리를 형상화한 헤드모델을 소정의 높이에서 자유낙하 시켰을 때 얻어지는 최대가속도(G_s)를 안전성

평가지표로서 이용한다. 전도충돌시 두부손상을 방지하기 위한 성능기준은 실제 학교체육관 등에 대한 실태조사[6]를 토대로 설정되었으며, 체육관 및 일반건축물 바닥에 대해서는 Gs 100G 이하, 유도장 바닥에 대해서는 Gs 65G 이하를 규정하고 있다.

3. 인체충돌시 바닥의 안전성 시험

3.1 한계하강높이 시험

EN 1177의 한계하강높이 시험은 각기 다른 높이에서 반구형 머리모형을 바닥에 낙하시켰을 때 얻어지는 Figure 1과 같은 가속도 · 시간 곡선으로부터 두부상해기준(HIC)으로 정의되는 충돌 에너지를 구한 후, 각 하강높이에 대한 HIC로부터 한계하강높이(Hc)를 산출한다. 한계하강높이 시험의 개요를 Figure 2에 나타낸다.

시험장치는 머리모형과 하강높이 조절대, A/D보드, 전하증폭기, 컴퓨터로 구성하였다. 머리모형은 직경 160mm, 중량 4.6kg의 알루미늄제 반구형 발사체로서 내부에 가속도계(500G)를 부착하였다.

HIC는 10kHz의 표본주파수로 구한 시간 · 가속도곡선의 전체 시간간격(t_{start} 와 t_{end} 사이)에 대해 Formula (1)을 이용하여 산출하였다. 한계하강높이(Hc)는 하강높이별 HIC와 대응하는 하강높이와의 관계로부터 구한 회귀곡선을 이용하여 Figure 3과 같이 HIC=1,000에 상응하는 값으로 산출하였다.

$$HIC = \left[\left\{ \frac{\int_{t_1}^{t_2} a \times dt}{t_2 - t_1} \right\}^{2.5} \times (t_2 - t_1) \right] \max \dots \dots \dots (1)$$

- t_{start} 머리모형의 가속도가 0 이상일 때, 충격이 시작하는 시간
- t_{end} 머리모형의 가속도가 처음으로 0 이하일 때, 충격이 끝나는 시간
- a 머리모형이 받게 되는 g(중력가속도)로 표현되는 가속도
- t_1, t_2 t_{start} 와 t_{end} 사이 t 의 어떤 두 개의 중간값(t 는 초단위의 시간)
- 비고 : 이 과정은 3ms 이상의 총 지속시간인 경우의 충격결과에 대해서만 유효하다. 즉, $(t_{end} - t_{start}) \geq 3ms$

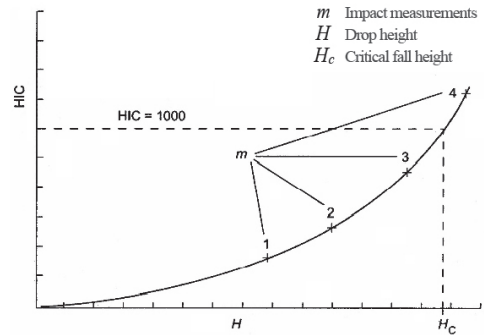


Figure 3. Typical curve of HIC values against drop height

3.2 헤드모델 시험

JIS A 6519의 헤드모델 시험은 머리가 바닥에 부딪힐 때의 상대질량 및 충돌속도, 접촉면적 등에 대한 분석결과에 기초하여 개발된 헤드모델을 이용하여 전도충돌시 바닥의 안전성을 평가한다. 헤드모델 시험장치의 개요를 Figure 4에 나타낸다.

바닥의 완충성능은 높이 20cm에서 8mm 두께의 고무판을 매개로 헤드모델을 자유낙하(낙하속도 V=2m/sec) 시켰을 때 장치에 부착된 가속도계(500G)에서 발생하는 최대가속도값(Gs)을 이용하여 평가한다.

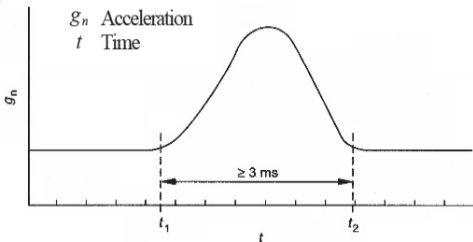


Figure 1. Typical trace of acceleration against time

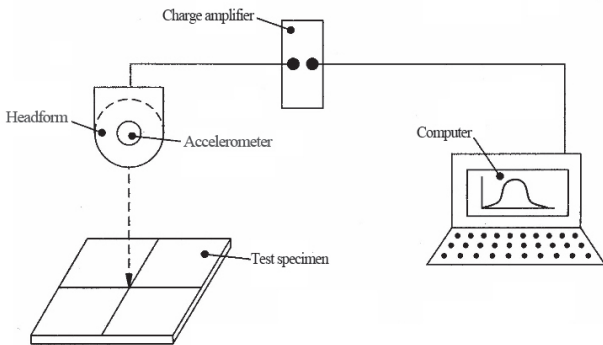


Figure 2. Test rig for the determination of critical fall height

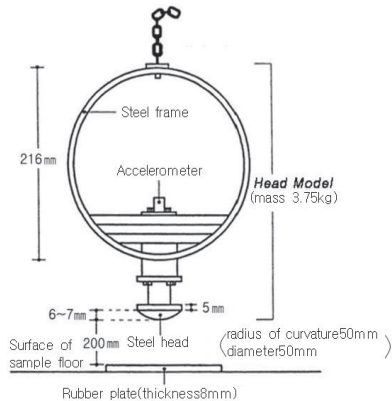


Figure 4. Head model tester

3.3 바닥시험체

바닥시험체로서 Table 2에 나타내는 8종류의 모의바닥을 제작하였다. 바닥시험체의 전경을 Figure 5에 나타낸다.

어린이놀이터 바닥재를 상정한 시험체 P-1, P-2, P-3은 배면완충재로 폐폴리올레핀폼(두께 30mm, 50mm, 70mm)을 사용하고 그 위에 두께 12mm의 탄성포장재(고무칩)를 도포한 현장시공형 충격흡수바닥재이다.

콘크리트 슬래브 등에 직접 깔아서 시공하는 바닥재를 상정한 시험체 A-1, A-2 A-3은 고무시트(Shore A 75)의 두께로 쿠션을 조정하였다.

가구식 바닥을 상정한 시험체 F-1, F-2는 힌지간격을 조절하여 바닥의 강성(K_a 20,000N/cm, K_b 2,500N/cm)을 구현하도록 설계하였다.

Table 2. Testing models specification sheet

Sample No.	Composition of Testing models	
Playground	P-1	Polyolefin foam(30mm) + Rubber chip(12mm)
	P-2	Polyolefin foam(50mm) + Rubber chip(12mm)
	P-3	Polyolefin foam(70mm) + Rubber chip(12mm)
Building floors	A-1	Concrete slab + PVC sheet(1.8mm)
	A-2	Rubber sheet(10mm) + PVC sheet(1.8mm)
	A-3	Rubber sheet(20mm) + PVC sheet(1.8mm)
	F-1	Joists span 300mm + PVC sheet(1.8mm)
	F-2	Joists span 1,000mm + PVC sheet(1.8mm)

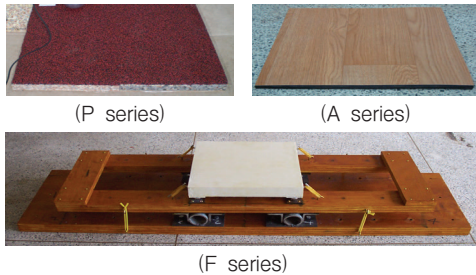


Figure 5. Flooring models

3.4 시험결과 및 고찰

1) 한계하강높이 시험결과

한계하강높이 시험전경을 Figure 6에 나타낸다. 그리고 한계하강높이 시험결과를 Table 3, Figure 7에 나타낸다.

한계하강높이 시험에서는 HIC=1,000의 값과 동등한 최저낙하높이(Hc)를 산출하기 위한 조건으로서 HIC 1,000 이하의 최소한 개의 값과 HIC 1,000 이상의 최소한 한 개의 값을 충격측정치로 이용하도록 규정하고 있다.



Figure 6. Picture of critical fall height test

Table 3. HIC and Hc in each fall height

Sample No.	H(cm)	HIC	$G_{max}(G)$	Hc(cm)
P-1	100	297.6	89.3	204.3
	150	585.0	130.1	
	250	1,442.0	211.0	
	350	2,732.7	311.3	
P-2	100	234.8	74.9	267.3
	150	415.1	96.8	
	250	869.9	137.2	
P-3	350	1,681.9	193.0	303.5
	100	225.6	69.4	
	150	365.6	83.3	
A-1	250	753.0	117.2	-
	350	1,252.5	146.8	
	10	178.4	283.9	
A-2	20	117.0	115.1	-
	30	202.3	160.3	
	50	496.6	222.9	
A-3	20	77.3	80.6	112.0
	50	312.6	152.8	
	100	845.8	257.6	
	150	1,574.9	359.6	
F-1	50	265.9	131.6	146.0
	100	679.4	195.8	
	150	953.7	222.5	
	200	1676.2	284.3	
F-2	50	131.7	132.8	175.7
	100	367.4	178.5	
	150	601.6	228.0	
	200	1392.3	294.2	

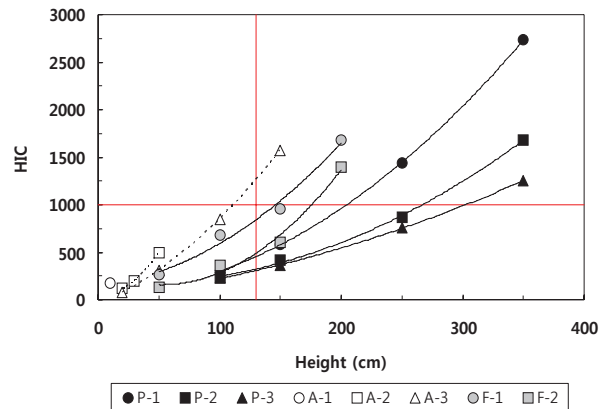


Figure 7. Relationship between fall height and HIC

P시리즈와 F시리즈 시험체의 경우는 이 조건을 충족하여 어린이놀이터용 바닥재처럼 완충성이 상당한 재료나 가구식 구법의 바닥에 대해서는 EN 1177의 한계하강높이 시험을 적용할 수 있을 것으로 판단된다.

A시리즈 시험체의 경우는 A-1이 하강높이(H) 10cm에서 최대 가속도(Gmax) 283.9G, A-2는 H = 50cm에서 Gmax 222.9G, A-3은 H = 100cm에서 Gmax 257.657G로 나타나 낮은 하강높이에서도 Gmax가 지나치게 높게 측정되었다. 따라서 콘크리트 슬래브와 같이 강성이 크고 딱딱한 바탕에 직접 깔아서 시공하는 바닥재에 대해서는 EN1177의 한계하강높이 시험이 부적합하다고 할 수 있다.

한계하강높이 시험의 경우 A-3 시험체와 같이 다소 완충성이 있는 바닥재에 대해서는 하강높이를 높인다면 얼마든지 HIC 1,000 이상의 충격측정치를 얻을 수 있고 또 한계하강높이(Hc)도 산출할 수 있을 것이다. 따라서 이러한 충돌시 안전성에 관한 시험에 대해서는 합리적인 적용을 위한 가이드라인이 필요하다. 그러나 아직은 이에 관한 명확한 기준이 없는 상태이므로 관련 표준·규격²⁾ 등을 참조하여 예컨대 Gmax 200G 이하 및 한계하강높이(Hc) 130cm 이상으로 설정하는 것도 하나의 방법이라고 생각된다.

2) 헤드모델 시험결과

JIS A 6519의 헤드모델 시험방법에 따른 결과를 Figure 8에 나타내었다. 헤드모델 시험의 경우 한계하강높이 시험에서는 한계하강높이(Hc)가 204.3~303.5cm로서 차이를 확실히 알 수 있었던 P시리즈 시험체의 최대가속도(Gs)가 22.3~25.1G로 측정되어 모두 대단히 안전한 것으로 나타났지만 그 차이가 너무 작아 안전성의 서열은 판단하기 힘들다. 반면에 각종 건축물 바닥의 구법 및 강성을 폭넓게 포함하는 A시리즈와 F시리즈 시험체에 대해서는 바닥 강성 및 딱딱한 정도에 따른 최대가속도(Gs)의 차이를 분명하게 나타내어, 바닥용도에 따른 전도충돌시 안전성(일반건축물 바닥 : Gs 100G 이하, 유도장 바닥 : Gs 65G 이하)을 명확히 평가할 수 있다.

또한 고소로부터의 추락을 상정한 Hc에서는 뚜렷한 차이를 나타내었던 A-3(112cm)과 F-1(146cm) 시험체의 경우는 동일 평

면상에서의 전도충돌에 의한 Gs 값에는 거의 차이를 보이지 않았다(A-3 : 81.1G, F-1 : 80.2G). 이는 동일한 바닥재라도 채용하는 시험방법에 따라 보유성능에 대한 가치판정에 많은 차이가 발생할 수 있음을 의미한다.

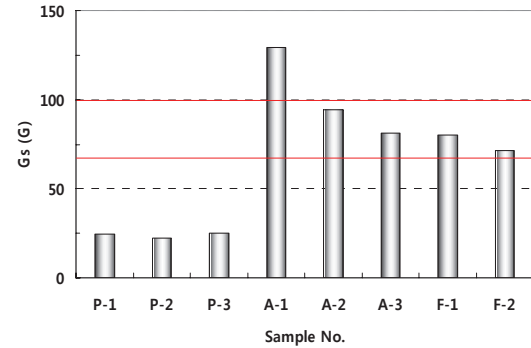


Figure 8. Comparison of Gs between the specimens

4. 결 론

본 연구에서는 성능중심의 건축재료설계를 수행하는 과정에서 어떤 요구성능에 대응하는 시험방법이 복수로 존재할 경우 최적 대안 선택에 필요한 시험방법 DB 기반구축의 일환으로, 인체충돌시 바닥의 안전성에 관한 시험방법을 예로서 연관성을 분석하였다. 본 연구를 통해 얻은 결론은 다음과 같다.

- 1) 인체충돌시 바닥의 안전성에 관해서는 세계적으로 많은 시험방법이 적용되고 있으며, 이들 시험방법은 크게 놀이시설 바닥을 대상으로 하는 것과 스포츠시설을 포함한 일반시설물 바닥과 운동매트를 대상으로 하는 것으로 분류할 수 있다.
- 2) 놀이시설 바닥의 충격완충성에 관한 대표적인 시험방법으로는 EN 1177의 한계하강높이 시험을 들 수 있으며, 일반시설물 바닥의 충격완충성으로는 JIS A 6519의 헤드모델 시험을 들 수 있다.
- 3) 한계하강높이 시험은 어린이놀이터용 바닥재와 같이 완충성이 큰 바닥재에 대해서는 Hc 차이가 분명하게 나타나 유효한 시험결과를 얻을 수 있으나, 일반건축물 바닥에 대해서는 낮은 높이에서도 Gmax가 지나치게 높아 HIC 산출이 곤란한 등의 적용상에 한계가 있다.
- 4) 헤드모델 시험은 어린이놀이터용 바닥재와 같이 완충성이 큰 바닥재에 대해서는 측정값의 크기가 작고 차이도 거의 없어 변별력이 떨어지지만, 일반건축물 바닥에 대해서는 Gs 차이가 명확하게 나타나 전도충돌시 안전성을 정량적으로 평가할 수 있다.

2) ASTM F1292, JPFA-S(일본 “놀이기구의 안전에 관한 기준”) 등에서는 지표면 재료의 충격저감성능에 대한 요구조건을 Gmax 200G 및 HIC 1,000 이하로 규정하고 있음. 또한 기술표준원 GR M 6004(재활용고무 어린이놀이터용 바닥재)에서는 어린이놀이터용 바닥재를 L형(Hc 130cm 이상), M형(Hc 150cm 이상), H형(Hc 170cm 이상)의 3종류로 구분하여 각각 한계하강높이 이하에서 사용하도록 규정하고 있음. 이들 정량적 기준에 관한 과학적 근거는 명확히 제시되어 있지 않지만 관련산업에서 관행적으로 적용되고 있는 만큼 한계하강높이 시험에 대한 적용한계로서 준용하더라도 큰 문제는 없을 것으로 판단됨.

5) G_{max} 와 G_s 등과 같이 시험을 통해 얻을 수 있는 물리량 단위가 같다고 해도 시험방법이 다르면 대상 재료의 보유성능에 대한 가치판정이 달라진다. 따라서 시험방법의 연관성이 불분명한 상태에서는 동일 항목에 대한 복수 시험방법간의 결과(측정값)를 서로 혼용하거나 대체 적용하지 않아야 한다.

요 약

성능중심의 건축재료설계 수행과정에서 어떤 성능에 대한 시험방법이 복수 존재할 경우 최적 대안 선택에 필요한 시험방법 DB 기반구축의 일환으로, 인체충돌시 바닥의 안전성을 예로서 시험방법간의 연관성을 분석하였다. 8종류의 바닥시험체를 대상으로 EN 1177의 한계하강높이 시험과 JIS A 6519의 헤드모델 시험을 적용한 결과, 주로 바닥의 강성(쿠션) 크기에 따라 각 시험방법의 적용상 한계가 있다는 것을 알 수 있었다. 또한 시험을 통해 측정하는 물리량 단위가 같은 경우라도 시험방법간 연관성이 불분명한 상태에서는 각각의 물리량이 호환되지 않는다는 것을 알 수 있었다.

키워드 : 바닥의 충격완충성, 한계하강높이 시험, 헤드모델 시험

4. Ono H, Mikami T. Study on the evaluating method of hardness of floors and walls from a viewpoint of safety in accidental collisions : Part 2 : Design and manufacture of new hardness tester. Journal of structural and construction engineering. Transactions of AIJ 1987;381:10-16.
5. Mikami T, Ono H. Study on the evaluating method of hardness of floors and walls from a viewpoint of safety in accidental collisions : Part 3 : Presentation of the evaluating method of hardness of floors and walls from a viewpoint of safety in accidental collisions. Journal of structural and construction engineering. Transactions of AIJ 1988;394:1-7.
6. Ono H, Mikami T, Watanabe H. Research study on hardness of school gymnasium floors from the viewpoint of safety. Journal of structural and construction engineering. Transactions of AIJ 1982;321:11-30.

Acknowledgement

This paper is a part of the result from the "Standardization of Construction Specifications and Design Criteria based on Performance('06~'11)", the "Construction & Transportation R&D Policy and Infrastructure Project".

References

1. Brian W, William E, John D. Estimation, simulation, and experimentation of a fall from bed. Journal of rehabilitation research & development 2008;45(8):1227-1236.
2. Lee SS. A study on the improvement of laws related to the safety management of children's play facilities. Journal of the korean institute of landscape architecture 2009;37(2):47-61.
3. Ono H, Mikami T. Study on the evaluating method of hardness of floors and walls from a viewpoint of safety in accidental collisions : Part 1 : Accumulation of analysis data on typical parts of human body for design and manufacture of new hardness tester. Journal of structural and construction engineering. Transactions of AIJ 1987;373:9-18.