폐폴리올레핀 폼과 탄성 포장재로 구성된 어린이 놀이터 바닥의 안전성에 관한 실험적 연구

Study on the Safety of Playground Flooring Made of Polyolefin Foam Waste and Rubber Paving

최수경^{1*} · 전명훈² · 이도현²

Soo-Kyung Choi^{1*} · Myoung-Hoon Jun² · Do-Heun Lee²

(Received December 12, 2013 / Revised December 24, 2013 / Accepted December 24, 2013)

This study is purposed to verify the safety of the floor of the children's playground using polyolefin foam waste and rubber paving. The critical fall height, walking suitability, long term physical fatigue expectation and slipperiness were tested. Polyolefin foam wastes in thickness of 30mm, 50mm and 70mm were prepared with paving the rubber paving materials in 12mm and 15mm thickness respectively. The test on the critical fall height was carried out according to KS G 5758:2009. The floor hardness test equipment (O-Y HMA) was used for the test on hardness of the floor from a viewpoint of walking suitability and fatigue. A portable slipperiness tester (ONO PPSM) was used for slipperiness test. It was revealed from the test that the floor made of the polyolefin foam waste and rubber paving were considerably safe from a viewpoint of impact absorption. With regards to the hardness of the floor, it was shown the excellent performance in the aspects of walking and fatigue for male. But it was not suitable with walking on the shoes(middle heels) for female. And they will be very fatigue if they were in a long time walking or standing. As far as the slipperiness is concerned, it was shown that it was comparatively safe for the ordinary motions even though the surface was wet.

키워드 : 폐폴리올레핀 폼, 어린이 놀이터, 한계하강높이, 보행적합성, 피로, 미끄럼저항성

Keywords : Polyolefin foam waste, Playground, Critical fall height, Walking suitability, Physical fatigue, Slipperiness

1. 서론

가교 발포 폴리올레핀 폼은 1980년대 초부터 국내에서 본격적으로 생산되기 시작한 보온·단열 및 완충용 소재로서, 1990년대 이후부터는 바닥충격음 완충재로도 많이 사용되고 있다(Jun et al., 2010a). 이처럼 폴리올레핀 폼의 생산량이 매년 증가함에 따라 폐기물의 양도 증가하여, 국내에서는 2005년 현재 약 3,500톤의 폐기물이 발생하는 것으로 추정되고 있다(Jun et al., 2010b).

폐폴리올레핀 폼을 적정하게 처리하기 위해서는 오염방지 대책이 수립된 시설에서 소각하는 것이 좋지만, 이 경우에는 톤당 20만 원에 이르는 소각비용은 물론 원유로 만든 소재의 소각으로 인한

자원 낭비 및 대기오염, CO₂ 발생 등의 경제적, 환경적 문제를 피할 수 없다(Jun et al., 2010a). 이에 Yu et al.(2008)은 가열 압착에 의한 폐폴리올레핀 폼의 재활용 기술을 개발하였으며, 개발 기술의 유효성 검증을 위해 인장 특성, 투수 특성, 탄성계수 등 폐폴리올레핀 폼 재활용품의 기본 물성에 관한 일련의 연구(Jun et al., 2008a; Jun et al., 2008b; Jun et al., 2010b)를 수행한 바 있다.

본 연구에서는 기존 연구(Jun et al., 2010a)에서 활용 가능성이 높다고 판단되었던 폐폴리올레핀 폼을 완충재로 이용한 어린이 놀이터 바닥을 대상으로, 한계하강높이(Critical Fall Height) 및 보행적합성·장기피로예측, 미끄럼저항성에 대하여 시험한 결과를 보고한다.

* Corresponding author E-mail: skchoi@hanseo.ac.kr

¹한서대학교 건축학과 (Department of Architecture, Hanseo University, Chungnam, 356-706, Korea)

²한국토지주택공사 토지주택연구원 (Land & Housing Institute, Korea Land & Housing Corporation, Daejeon, 305-731, Korea)

2. 어린이 놀이터 바닥의 안전성 시험

2.1 시험체

바닥 시험체는 두께가 30mm, 50mm, 70mm인 페폴리올레핀 폼 위에 각각 탄성 포장재를 12mm 및 15mm 두께로 포설한 총 6종류로 하였다. 페폴리올레핀 폼(완충재)은 폴리올레핀 제품 생산과정에서 발생하는 가공 폐기물과 발포과정에서 발생하는 발포 폐기물을 일정한 크기로 파쇄한 후 가열 접합하여 제작하였다(Yu et al., 2008). 탄성 포장재(표면재)는 KS F 3888-2:2011(학교 체육 시설 - 운동장 부대시설 시공)에 따라, 우레탄 수지와 고무분말을 일정 비율로 혼합하여 완충재 위에 고르게 포설하고 전용 롤로 가열 다짐한 후 자연 경화시켰다. 시험체의 개요를 Table 1에 나타낸다. 그리고 시험체의 제작 전경을 Fig. 1에 나타낸다.

Table 1. Summary of test specimens

Series No.	Specimen composition
30-12	Polyolefin foam waste(30mm)+ Rubber paving(12mm)
30-15	Polyolefin foam waste(30mm)+ Rubber paving(15mm)
50-12	Polyolefin foam waste(50mm)+ Rubber paving(12mm)
50-15	Polyolefin foam waste(50mm)+ Rubber paving(15mm)
70-12	Polyolefin foam waste(70mm)+ Rubber paving(12mm)
70-15	Polyolefin foam waste(70mm)+ Rubber paving(15mm)

Fig. 1. Construction of test specimens

2.2 시험방법

2.2.1 한계하강높이 시험방법

어린이 놀이터 바닥의 추락시 안전성 평가를 위한 한계하강높이 시험방법은 KS G 5758:2009(충격흡수 놀이터 표면처리 - 안전 요구사항 및 시험방법), EN 1177:1998((Impact absorbing playground surfacing - Safety requirements and test methods) 등에 규정되어 있다(Kim et al., 2011).

한계하강높이 시험장치의 개요를 Fig. 2에 나타낸다. 시험장치는 가속도계가 내장된 직경 160mm, 무게 45N의 알루미늄제 반구형 머리 모형, 하강높이 조절대, 데이터 수집 시스템 등으로 구성된다.

한계하강높이 시험에서는 머리 모형을 각기 다른 높이에서 규정된 횟수에 걸쳐 연속적으로 떨어뜨린다. 각 충격이 가해지는 동안에 충격에너지는 머리 모형 내부의 가속도계를 통해 머리상해기준치(HIC)로 나타낸다. HIC 값은 Fig. 3과 같이 t_{start} 와 t_{end} 사이에서 최소 8000Hz(본 연구에서는 10kHz의 표본 주파수로 측정함)의

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

Fig. 3. Typical trace of acceleration against time

표본 주파수를 사용하여 Formula (1)으로부터 전체 시간간격(t_1, t_2)에 대하여 계산한다. 한계하강높이(Hc)는 각 충격의 HIC 값을 그래프로 나타내어 HIC 값이 1000을 갖는 가장 낮은 높이로서 결정한다.

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

t_{start} 머리 모형의 가속도가 0 이상일 때, 충격이 시작하는 시간

t_{end} 머리 모형의 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} 사이의 중간값(는 ms로 표현된다)

[비고] 이 과정은 3ms 이상의 총 지속시간인 경우의 충격결과에 대해서만 유효하다. 즉, $(t_{end} - t_{start}) \geq 3ms$

2.2.2 보행적합성 및 장기피로예측 시험방법

바닥의 보행적합성 평가 및 장기피로예측에 관한 시험방법으로서 Ono and Yokoyama(1985, 1987)가 제안한 보행시 바닥 경도 시험방법이 있다. 이 시험방법은 일본방음바닥재공업회의 방음바닥재 물성시험 규격(1996.11), 일본건축학회의 바닥 성능평가방법의 개요 및 성능의 권장값(안)* 등에 규정되어 있다.

보행적합성 및 장기피로예측 시험에 이용되는 바닥 경도 시험장치(O-Y HMA)의 개요를 Fig. 4에 나타낸다. 이 장치는 전자석을 이용하여 소정의 높이까지 들어 올린 추를 완충고무 위에 낙하시킴으로서, 하중판이 설치되어 있는 바닥에 인간이 보행할 때와 동등한 동적 하중을 작용시키는 것이다. 이 때 바닥에 작용하는 동적 하중 및 바닥의 동적 변형을 로드셀과 변위계로 측정한다. 추의 무게는 392N이며, 추의 하단과 완충고무 상단이 접한 상태에서 낙하시켜 하중과 변위를 구한다. 하중판의 직경은 70mm이다. O-Y HMA를 이용하여 얻을 수 있는 하중 · 시간 곡선과 변형 · 시간 곡선의 예를 Fig. 5에 나타낸다. 또한 이들 곡선으로부터, 변형이 시작되는 시점에서 최대에 달하는 시점까지의 하중 · 변형 곡선을 구한 것이 Fig. 6이다.

변형이 최대에 달하는 시점까지의 바닥의 변형에너지 U_F (Fig. 6에서 사선으로 표시한 부분의 면적)와, 반발 정도를 나타내는 물리량 $D_R \cdot D_R / T_R$ 로 구성되는 Formula (2)에 의해 산출되는 값을

Fig. 4. Summary of O-Y HMA

Fig. 5. Typical curve of load and deflection against time

Fig. 6. Typical curve of load against deflection

* <http://news-sv.aij.or.jp/zairyou/s10/YKWGindex1.html>

보행적합성 및 장기피로예측 관점에서 바닥의 경도를 나타내는 특성 값으로서 구한다. 여기서, D_R 은 변형이 최대에 달한 후의 바닥의 복원량, T_R 은 복원에 필요한 시간이며, D_R/T_R 은 복원속도이다.

$$\log(U_F - 8 \cdot D_R \cdot D_R/T_R) \quad (2)$$

2.2.3 미끄럼저항성 시험방법

보행시 안전성 관점에서 바닥의 미끄럼저항성을 측정하기 위한 시험방법은 많이 제안되어 있지만, KS M 3510:2010 (고분자계 바닥재 시험방법)에서 규정하고 있는 경사인장형 바닥 미끄럼 시험방법이 가장 타당성이 있는 것으로 알려져 있다(Choi and Kim, 2004).

미끄럼저항성 시험에 이용되는 경사인장형 미끄럼 시험기(O-Y PSM)는 Fig. 7과 같이 무게 785N의 추 하부에 설치한 미끄럼편의 전면(Whole surface)이 바닥면과 접하는 순간 미끄럼편을 일정한 하중속도(785N/s)로 18° 상방향으로 비스듬히 잡아당기고, 미끄

러짐이 발생하는 순간의 최대인장하중(P_{max})을 측정한다(Ono et al., 1984). O-Y PSM으로 측정되는 하중 · 시간 곡선의 예를 Fig. 8에 나타낸다. 미끄럼저항계수 CSR(Coefficient of Slip Resistance)은 P_{max} 를 연직하중(785N)으로 나누어 산출한다.

한편, O-Y PSM은 장치가 크고 무거우며, 모터 구동을 위한 전원이 필요하여 현장으로 반입하여 시험하기에는 적절하지 않다(Shin and Choi, 2009). 이를 보완하고자 O-Y PSM의 개발자인 Ono(2004)는 O-Y PSM과 측정결과를 공유할 수 있는 휴대형 미끄럼 시험기(ONO PPSPM)를 개발하였다. ONO PPSPM은 현재 일본에서 각종 육내외 바닥의 미끄럼저항성을 측정하는 시험장치로서 폭넓게 채용되고 있다*, Shin and Choi(2009)는 O-Y PSM과 ONO PPSPM과의 연관성에 관한 연구를 통해, 고분자계 바닥재의 경우는 양자가 거의 1:1로 대응하지만, 무기질계 바닥재의 경우는 ONO PPSPM의 측정값(CSR')이 O-Y PSM의 측정값(CSR)에 비해 약 10% 정도 작게 측정되는 경향이 있으므로, ONO PPSPM을 채용할 경우에는 미끄럼 성능기준을 좀 더 엄격히 적용할 필요가 있다고 제안하였다.

본 연구에서는 시험체 크기의 제약(O-Y PSM을 이용하기 위해서는 300×300mm 크기로 절취해야 함)과 향후 개발 제품의 현장 실증(Test bed) 등을 감안하여 미끄럼저항성 시험에 ONO PPSPM을 이용하기로 하였다. 미끄럼저항성 시험 전경을 Fig. 9에 나타낸다. ONO PPSPM은 무게 196N의 추 하부에 설치한 미끄럼편의 전면이 바닥면과 접하도록 놓은 후 곧바로 핸들을 돌려 미끄럼편을 균등한 하중속도(196N/s)로 18° 상방향으로 비스듬히 잡아당겼을 때 미끄러짐이 발생하는 순간의 최대 인장하중(P_{max})을 측정한다(Ono, 2004). 미끄럼저항계수 CSR '은 P_{max} 를 연직하중(196N)으로 나누어 산출한다.

Fig. 7. Summary of O-Y PSM

Fig. 8. Typical curve of tensile load against time

Fig. 9. Testing sight of slipperiness

* <http://www.boukatsu.jp/sokutei.php>

Fig. 10. Typical curve of HIC values against drop height

3. 바닥의 안전성 평가지표

3.1 한계하강높이 평가지표

한계하강높이(Hc)를 구하기 위해서는 하강시험에서 산출된 각 충격의 HIC 값을 Fig. 10과 같은 그래프로 나타내어, HIC=1000의 값과 동등한 최저하강높이를 찾는다.

ASTM F1292-13(Standard Specification for Impact Attenuation of Surfacing Materials Within the Use Zone of Playground Equipment), JPFA-S(일본의 놀이기구 안전에 관한 기준) 등에서는 어린이 놀이터의 지표면 재료의 충격저감성에 대한 요구조건으로서 G_{max} 200G 및 HIC 1000 이하를 규정하고 있다. 또한 기술표 준원의 GR M 6004(재생고무 어린이 놀이터용 바닥재)에서는 어린이 놀이터용 바닥재를 L형(Hc 130cm 이상), M형(Hc 150cm 이상), H형(Hc 170cm 이상)의 3종류로 구분하여 각각 한계하강높이 이하에서 사용하도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 이러한 요구 조건들을 어린이 놀이터 바닥의 추락시 안전에 관한 평가지표로서 활용하기로 하였다.

3.2 보행적합성 및 장기피로예측 평가지표

Ono and Yokoyama(1985, 1987)가 제시한 보행적합성 및 장기 피로예측에 관한 물리량 $\log(U_F - 8 \cdot D_R \cdot D_R / T_R)$ 의 적용에 대해서는 일본건축학회의 바닥 성능평가방법의 개요 및 성능의 권장 값(안)*에서 바닥 용도별로 사용자의 성별이나 동작, 신발의 종류에 따른 최적값 및 허용범위를 제시하고 있다. 그러나 이 평가지표는 바닥의 경도에 관한 심리학적인 척도를 일본인의 감각, 평가를 토대로 구성하였다. 따라서 국내에서 바닥 경도 시험장치(O-Y HMA)를 이용하여 보행적합성 평가 및 장기피로예측을 하기 위해

Table 2. Evaluation criteria of hardness from a viewpoint of walking suitability and physical fatigue

Evaluation perspective	Sex	Footwear	$\log(U_F - 8 \cdot D_R \cdot D_R / T_R)$	
			Optimal value	Permissible range
Walking suitability	Male	Bare foot	1.94	1.28~1.47
		Socks	1.86	1.26~2.46
		Slipper	1.94	1.27~2.44
		Shoes	1.83	1.16~2.34
	Female	Bare foot	1.88	1.11~2.49
		Socks	1.74	1.00~2.43
		Slipper	1.50	0.63~2.31
		Shoes	1.02	0.47~1.89
Physical fatigue (Walking)	Male	Bare foot	2.22	1.48~2.53
		Socks	2.11	1.45~2.53
		Slipper	2.04	1.35~2.53
		Shoes	2.04	1.41~2.53
	Female	Bare foot	1.77	0.99~2.53
		Socks	1.71	1.05~2.49
		Slipper	1.79	0.90~2.40
		Shoes	1.59	0.93~2.22
Physical fatigue (Standing)	Male	Bare foot	2.15	1.50~2.53
		Socks	2.16	1.51~2.53
		Slipper	2.24	1.53~2.53
		Shoes	2.11	1.52~2.53
	Female	Bare foot	2.06	1.23~2.53
		Socks	2.07	1.32~2.53
		Slipper	1.95	1.17~2.53
		Shoes	1.77	1.06~2.47

(note) 1. Walking suitability: Evaluation level of “④ Neither good nor bad”

2. Physical fatigue: Evaluation level of “③ Feeling a little fatigue”

서는 바닥 경도에 대한 한국인의 기호, 특성을 반영한 평가지표를 적용하는 것이 보다 합리적이다(Choi and Ono, 2003; Choi, 2004). Choi et al.(2002)은 PVC계 바닥재의 보행감 및 피로 경감성 개선을 위한 연구를 진행하는 과정에서 국내 실정에 부합하는 보행적합성 및 장기피로예측 평가지표를 새롭게 개발하여 Table 2와 같이 제시하였다. 본 연구에서는 Choi et al.(2002)이 제시한 $\log(U_F - 8 \cdot D_R \cdot D_R / T_R)$ 의 최적값 및 허용범위를 어린이 놀이터 바닥의 보행적합성 및 장기피로예측에 관한 평가지표로서 적용하기로 하였다.

* <http://news-sv.ajj.or.jp/zairyou/s10/YKWGindex1.html>

3.3 미끄럼저항성 평가지표

경사인장형 미끄럼 시험기(O-Y PSM)에 의한 미끄럼저항계수(CSR)의 적용에 대해서는 일본건축학회의 바닥 성능평가방법의 개요 및 성능의 권장값(안)에서 Table 3과 같이 바닥의 종류나 동작의 종류별로 상세히 제시하고 있다. 그리고 일본 국토교통성의 건축설계표준*(고령자, 장애인 등의 원활한 이동 등을 배려한 건축설계표준)에서는 이것을 인용하여 Table 4와 같이 바닥의 미끄럼저항성에 대한 기준을 규정하고 있다. 국내에서는 KS F 3230:2011(목재 플라스틱 복합재 바닥판), LH 전문시방서(45010 타일공사), 한국장애인개발원의 장애물 없는 생활환경 인증기준,

Table 3. Evaluation criteria of slipperiness in case of wearing footwear (by AIJ)

Floor	Action	Recommended CSR value
Floor, Pavement (motion to wearing footwear)	Ordinary motion (Include a trot)	more than 0.4
	Move to a slow	more than 0.3
Gym floor	badminton, volleyball, basketball etc.	0.4 ~ 0.9 [Special consideration for safety: 0.6 ~ 0.8]
Sports space	Baseball	0.6 ~ 1.1
	Soccer	0.5 ~ 0.9
	Rugby	more than 0.6
	Tennis	0.5 ~ 0.8

- (note) 1. Viewpoint of evaluation: Safety (It shall be protective against the falling down by slipping and friction. No hindering the motions during exercising and less probable for injury.)
2. Slipperiness measuring condition (Sliding piece, substances adhered to floor surfaces): Every condition corresponds within the range set for actual use.

Table 4. Evaluation criteria of slipperiness in case of wearing footwear (by MLIT, Japan)

Floor	Type of space	Recommended CSR value
Floor, Pavement (walk to wearing footwear)	Passage in site, Entrance of the building, Passage in building, tread-board and stair landing, Restroom and lavatory	more than 0.4
	Ramps (Angle of inclination: θ)	CSR-sin θ : more than 0.4
	parlor floor	more than 0.3

* http://www.mlit.go.jp/jutakukentiku/house/jutakukentiku_house_fr_000049.html

한국고령친화용품산업협회 단체표준(SPS-KSPA 1018-1888 가 정용 미끄럼방지용품) 등에서 이 기준을 인용하고 있다. 본 연구에서는 일본건축학회에서 제시하고 있는 신발을 신고 동작하는 바닥, 노면에 대한 미끄럼저항성 권장값(CSR 0.4 이상)을 기본으로 하되, ONO PPSM에 의한 CSR' 는 CSR보다 약 10% 정도 작게 측정될 수 있다는 점(Shin and Choi, 2009)을 고려하여, 어린이 놀이터 바닥의 미끄럼저항성 평가지표로서 CSR' 0.45 이상을 설정하기로 하였다.

4. 시험결과 및 분석

4.1 한계하강높이 시험결과

머리 모형을 소정의 높이에서 자유 낙하시켜 시험체와 충돌했을 때 발생하는 가속도(G)를 측정한 결과를 Fig. 11에 나타낸다. 본 연구에서는 각 하강높이에서 머리 모형을 3회씩 자유 낙하시켜

Fig. 11. Acceleration values against drop height

Fig. 12. HIC values against drop height (No.30-12)

Fig. 13. Hc values of each series number

서 구한 가속도 중에서 가장 큰 값을 택하여 HIC의 산출에 이용하는 것으로 하였다. 다만 시험체 표층부(탄성 포장재)의 시공두께 오차나 표면형상 등에 따라 가속도 측정값이 달라질 수 있으므로 측정값 3개의 평균에서 $\pm 10\%$ 를 초과하는 값이 있을 경우는 이상 값으로 간주하여 버리고 그 높이에서 재차 가속도를 측정하였다.

어느 시험체나 하강높이가 높아질수록 머리 모형 충돌시의 가속도가 뚜렷하게 증가하며 시험체의 두께가 얇을수록 높이에 따른 가속도의 증가 폭이 상대적으로 커진다는 것을 알 수 있다. 또한 동일한 하강높이에서의 가속도 크기는 주로 폐폴리올레핀 품의 두께에 좌우되고 탄성 포장재의 두께에는 크게 영향을 받지 않는다는 사실을 알 수 있다.

각 하강높이에 대한 HIC 값을 산출하기 위해 작성한 그래프의 예를 Fig. 12에 나타낸다. 여기서 그림 중의 일점쇄선은 $HIC=1,000$ 과 이 값에 대응하는 한계하강높이(Hc)를 표시한 선이다. 모든 시험체에서 하강높이와 HIC 값 사이에 아주 높은 상관성을 보이고 있어, 이들의 관계로부터 회귀식을 이용하여 $H=1,000$ 일 때의 Hc를 산출하는데 큰 문제가 없다는 것을 알 수 있었다. 이렇게 산출한 각 시험체의 Hc를 Fig. 13에 나타낸다. 폐폴리올레핀 품의 두께가 두꺼울수록 Hc가 증가한다는 점을 명확히 알 수 있다. 또한 표층 마감용으로 도포한 탄성 포장재의 두께는 Hc에 큰 영향을 미치지 않는다는 사실을 확인할 수 있다.

금번 연구를 통해 두께 30mm 폐폴리올레핀 품을 이용한 바닥재의 경우는 Hc 203.5~210.7cm, 두께 50mm의 경우는 262.4~289.1cm, 두께 70mm의 경우는 301.3~304.8cm라는 결과를 얻을 수 있었다. 이 시험결과로부터, 폐폴리올레핀 품을 완충재로 이용한 바닥의 경우 국내외에서 시판되는 동등한 두께의 충격저감용 바닥재(Hc 150~200cm)에 비해 Hc가 약 1.5배 정도 커서 추락시 안전성 관점에서 훨씬 우수한 성능을 발휘한다고 할 수 있다.

Table 5. Test results of hardness

Series No.	$P_{max}(N)$	$d_{max}(cm)$	$\log(U_F - 8 \cdot D_R \cdot D_R/T_R)$
30-12	661.0	0.48	2.25
30-15	668.4	0.43	2.22
50-12	664.7	0.39	2.18
50-15	658.6	0.59	2.36
70-12	668.3	0.39	2.17
70-15	633.0	0.70	2.41

Fig. 14. Test results of hardness

4.2 보행적합성 및 장기피로예측 시험결과

바닥 경도 시험장치(O-Y HMA)로부터 획득한 물리량을 이용하여 산출한 각 시험체의 $\log(U_F - 8 \cdot D_R \cdot D_R/T_R)$ 을 Table 5에 나타낸다. 그리고 이들 시험결과와 범위를 Table 2의 평가지표에서 신발 조건이 구두인 경우의 최적값 및 허용범위와 대조하여 Fig. 14에 나타낸다.

남성의 경우에는 모든 시험체가 보행감이 좋은 것으로 나타났으며, 그 위에서 장시간 걸거나 서 있을 때 피로감을 거의 느끼지 않는 것으로 예측되었다. 그러나 여성의 경우는 구두(미들힐)를 신고 보행하기에는 너무 폭신하여 보행감이 떨어지며, 서 있을 때는 덜 하지만 구두를 신은 채 장시간 걸으면 쉽게 피로해지는 것으로 예측되었다. 따라서 보행적합성 및 장기피로예측 관점에서 성능을 개선하고자 할 경우에는 표층부의 마감을 탄성 포장재에 비해 강성이 좀 더 크고 딱딱한 소재로 하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

4.3 미끄럼저항성 시험결과

휴대형 미끄럼 시험기(ONO PPPSM)로 측정한 미끄럼저항계수를 Table 6에 나타낸다. 여기서, 보행시의 미끄럼저항성은 주로 바닥재의 표면 상태와 신발 조건 등에 좌우되는 성능이므로, Table

Table 6. Test results of slipperiness

Number of times	CSR'	
	Dry	Dust wet
1	0.65	0.56
2	0.64	0.53
3	0.65	0.52
Mean	0.65	0.55

6의 시험결과와는 엄밀한 의미에서 본다면 탄성 포장재의 미끄럼저항성이라고 할 수 있다.

시험체의 표면 상태가 깨끗하고 건조한 상태(Dry)에서는 CSR'이 0.65, 젖은 상태(Dust wet)에서는 CSR'이 0.55인 것으로 나타났다. 본 연구에서는 미끄럼저항성의 평가지표를 CSR' 0.45 이상으로 설정하였다. 시험체의 CSR'가 이 값에 비해 0.1 이상 큰 점으로부터, 예컨대 비가 와서 표면이 젖어 있는 상태라도 통상적인 보행 동작에 대해서는 비교적 안전한 바닥이라고 할 수 있다.

5. 결 론

본 연구에서는 페폴리올레핀 폼과 탄성 포장재로 구성된 어린이 놀이터 바닥의 안전성을 검토하기 위하여 한계하강높이 및 보행적합성·장기피로예측, 미끄럼저항성을 시험, 평가하였다. 이들 시험결과로부터 얻은 결론은 다음과 같다.

1. 페폴리올레핀 폼과 탄성 포장재로 구성된 바닥은 국내외 유사 바닥재에 비해 한계하강높이(Hc)가 약 1.5배 큰 것으로 나타나 충격저감성 관점에서 우수한 성능을 지닌 바닥재라는 것을 확인하였다.
2. 페폴리올레핀 폼과 탄성 포장재로 구성된 바닥은 남성이 구두(신사화)를 신고 다닐 때에는 보행감이 좋고 장시간 이용해도 피로감이 덜 하지만, 여성이 구두(미들힐)를 착용한 채 이용하기에는 보행이 불편하고 쉽게 피로를 느낄 수 있을 것으로 평가되었다.
3. 표층 마감재로 사용한 탄성 포장재의 미끄럼저항성은 젖은 상태(Dust wet)에서도 CSR'가 0.55로 나타나 표면에 물기가 있더라도 일상적인 동작에 대해서는 비교적 안전한 것으로 나타났다.

References

Jun, M.H., Lee, D.H., Yu, S.W. (2010a). Development and Use

of Building Material made of Polyolefin form Waste, Journal of the Korean Recycled Construction Resources Institute, **4(2)**, 37–44 [in Korean].

Jun, M.H., Yu, S.W., Lee, D.H., Lee, S.W. (2010b). "Estimation of Compressive Elastic Modulus of Recycled Polyolefin foam by Heat Compressive method," Proceedings of RCR Spring Conference 2010, Seoul, Korea, **10(1)**, 187–190 [in Korean].

Yu, S.W., Jun, M.H., Park, Y.B., Lee, D.H., Lee, S.W., Hong, J.W. (2008). "Development of Heat Compression method of Polyolefin foam Waste," Proceedings of RCR Spring Conference 2008, Seoul, Korea, 306–309 [in Korean].

Jun, M.H., Yu, S.W., Park, Y.B., Lee, D.H. (2008a). "Tensile Properties of Recycled Polyolefin foam by Heat Compression method," Proceedings of RCR Fall Conference 2008, Seoul, Korea, 276–279 [in Korean].

Jun, M.H., Yu, S.W., Sung, H.W., Lee, S.W., Park, K.H., Ju, I.K. (2008b). "Permeability Properties of Recycled Polyolefin foam by Heat Compression method," Proceedings of RCR Spring Conference 2008, Seoul, Korea, 302–305 [in Korean].

Kim, S.H., Ji, S.W., Yoon, J.S., Choi, S.K., Seo, C.H. (2011). Relationship of Test Methods of Impact Absorbing Effect of Floors from a viewpoint of Safety in Accidental Collisions, Journal of the Korea Institute of Building Construction, **11(1)**, 29–34 [in Korean].

Ono, H., Yokoyama, Y., Ohno, R. (1985). Study on hardness of Building Floors and Its Method of Evaluation from a Viewpoint of Comfortableness: Part 1. The scaling of human senses on Hardness of building floors, Journal of structural and construction engineering, Architectural Institute of Japan, **(358)**, 1–9 [in Japanese].

Ono, H., Yokoyama, Y. (1987). Study on hardness of Building Floors and Its Method of Evaluation from a Viewpoint of Comfortableness: Part 1. Design and development of a hardness tester and presentation of the evaluating method of hardness of building floors, Journal of structural and construction engineering, Architectural Institute of Japan, **(373)**, 1–8 [in Japanese].

Choi, S.K., Kim, D.H. (2004). Testing and Evaluation of Slipperiness of the Ceramic Tile and Stone for Floors, Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **20(7)**, 101–110 [in Korean].

Ono, H., Kawata, A., Miyaki, M., Kawamura, S., Konishi, T., Mikami, T., Hashida, H., Yoshioka, M. (1984). Study on the

- Slipperiness of Building Floors and It's Method of Evaluation: Part 3. Design and development of a new slipperiness tester. Transactions of the Architectural Institute of Japan, **(346)**, 1-8 [in Japanese].
- Shin, Y.H., Choi, S.K. (2009). Development of Calibration Equation of Portable Slip Meter(ONO · PPSM) through Comparative test of O-Y · PSM and ONO · PPSM. Journal of the Korea Institute of Building Construction, **9(5)**, 29-34 [in Korean].
- Ono, H. (2004). Development of Portable Slip Meter (ONO · PPSM). Journal of structural and construction engineering, Architectural Institute of Japan, **(585)**, 51-56 [in Japanese].
- Choi, S.K., Ono, H. (2003). "Korea-Japan Comparison about Evaluation Index of the Hardness of Residential Floors from a Viewpoint of Sensation Hardness," Summaries of technical papers of Annual Meeting Architectural Institute of Japan, A-1, Materials and construction 2003, Tokyo, Japan, 71-72 [in Japanese].
- Choi, S.K. (2004). The Scaling of Human Senses on Hardness of Residential Building Floors from a Viewpoint of Walk and Fatigue. Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction, **20(10)**, 159-166 [in Korean].
- Choi, S.K., Ono, H., Yokoyama, Y., Takahashi, H. (2002). A Study on the Improvement of Hardness and Fatigue Sensation of PVC Floor-covering, Report No.HBM-001, Industrial Research Institute, LG Chem, Cheongju, Korea, 38-41 [in Korean].

페폴리올레핀 폼 및 탄성 포장재로 구성된 어린이 놀이터 바닥의 안전성에 관한 실험적 연구

본 연구에서는 페폴리올레핀 폼을 완충재로 이용한 어린이 놀이터 바닥의 안전성을 알아보기 위하여 한계하강높이, 보행적합성 및 장기피로예측, 미끄럼저항성에 대하여 시험하고 평가하였다. 시험체는 두께 30mm, 50mm, 70mm의 페폴리올레핀 폼에 각각 탄성 포장재를 12mm, 15mm 두께로 포설한 6종류로 하였다. 한계하강높이 시험은 KS G 5758:2009에 의거하여 실시하였다. 보행적합성 및 장기피로예측 시험에는 바닥 경도 시험장치(O-Y HMA)를 이용하였으며, 미끄럼저항성 시험에는 휴대형 미끄럼 시험기(ONO PPSM)를 이용하였다. 시험결과, 페폴리올레핀 폼과 탄성 포장재로 구성된 바닥은 충격저감성 관점에서 상당히 안전한 것으로 나타났다. 바닥의 경도는 남성에게는 보행감이나 피로 측면에서 우수한 성능을 발휘하지만, 여성에게는 구두(미들 힐)를 신고 보행하기에 적합하지 않고 오래 사용할 경우 쉽게 피로감을 느낄 수 있는 것으로 나타났다. 미끄럼저항성은 표면에 물기 등의 이물질이 있더라도 일상적인 동작에 대해서는 비교적 안전한 것으로 나타났다.