

톱밥과 우레탄 수지 혼합물로 제조한 탄성 포장재의 특성

최재진¹, 이관호^{1*}, 문승권²

¹공주대학교 건설환경공학부, ²한국에스지에스(주) 건설시험연구원

Characteristics of Elastic Paving Material Made of Sawdust and Urethane Resin Mixture

Jae-Jin Choi¹, Kwan-Ho Lee^{1*}, Seung-Kwon Moon²

¹Department of Civil & Environmental Engineering, Kongju National University

²SGS Korea Construction Materials Testing Center

요약 공원 산책로 및 관광지의 포장재로서 목재 칩-우레탄 수지 혼합물의 연구 및 상업화가 진행 중에 있다. 본 연구에서는 활발한 몸동작이 일어나는 놀이터에서 이러한 포장재의 이용을 확대하기 위한 방안을 강구하고자 하였다. 이를 위해, 목재 칩 (10mm 체를 통과하고 3mm 체에 남는 것)의 일부 또는 전부를 톱밥으로 대체한 목질 포장재의 물리적 성질 및 안전성을 실험에 의해 검토하였다. 우레탄 수지, 톱밥 및 목재 칩의 혼합비를 변화시켜 인장 강도, 휨강도, 탄성계수, 미끄럼 저항성, 충격 흡수성, 중금속 함량 및 용출 시험을 실시하였다. 그 결과, 톱밥과 목재 칩의 총 질량에 대한 수지의 질량비가 1.0 및 1.2이고, 톱밥과 목재 칩의 총 질량에 대한 톱밥의 질량비가 0~0.4인 시험체의 경우, KS F 3888-2의 표준을 대체로 만족함으로써 놀이터 등에서의 이용 가능성을 확인하였다. 그러나 목질 재료로 톱밥만을 사용한 경우에는 충격 흡수성이 기준치를 밑돌고, 규정된 인장 강도를 확보하기 위해서 톱밥과 수지의 질량비는 1.2 이상을 필요로 하는 것으로 나타났다.

Abstract Research and commercialization of wood chips-urethane resin mixtures as paving materials for park trails and tourist attractions are underway. The aim of this study was to expand the use of such paving materials to the playgrounds, where vigorous physical movements occur frequently. For this purpose, the physical properties and safety of the paving material, in which some or all of the wood chips(passing through a 10mm sieve and remaining in a 3mm sieve) were replaced with sawdust, were studied experimentally. Strength, elastic modulus, slip resistance, shock absorption and heavy metal content tests were carried out by varying the mixing ratio of urethane resin, sawdust and wood chip. As a result, in the case of wood chip-resin mixtures with mass ratios of the resin to total mass of sawdust and wood chips of 1.0 and 1.2 and having a ratio of sawdust mass to total mass of sawdust and wood chips of 0-0.4, it was found that the properties satisfied KS F 3888-2. On the other hand, in case of using sawdust only as a woody material, the shock absorbability was below standard, and the mass ratio of resin to sawdust required 1.2 or more to ensure the specified tensile strength.

Keywords : Heavy Metal, Paving Material, Sawdust, Urethane, Shock Absorption, Strength

1. 서론

운동장 등의 바닥재로서 수지와 합성고무 칩 또는 우레탄 칩 등을 혼합한 다양한 재질의 탄성 포장재가 널리 사용되고 있다[1,2].

합성고무 가운데 EPDM(Ethylene Propylene Diene Monomer)은 내후성이 우수하나 비교적 고가이기 때문에 현재 EPDM과 비닐 등의 부산물을 섞어서 만든 것이 많이 사용되고 있고, 우레탄 칩의 경우는 액상 우레탄에 충전제와 안료 등을 혼합한 것이 널리 사용되고 있다. 한

이 논문은 2016년 공주대학교 학술연구지원사업의 연구지원에 의하여 연구되었음.

*Corresponding Author : Kwan-Ho Lee(Kongju National University)

Tel: +82-41-521-9313 email: kholee@kongju.ac.kr

Received March 2, 2017

Revised April 21, 2017

Accepted June 9, 2017

Published June 30, 2017

편 결합제로서는 일반적으로 우레탄 수지가 사용되는데 이는 사용온도의 범위가 넓고 내충격성이 강하며, 탄력성이 우수하기 때문이다. 그런데 최근 일부 학교 운동장의 탄성 포장재에서 기준치를 초과하는 납 성분이 검출되는가 하면 우레탄 제조에 사용되는 프탈레이트가 유해한 환경호르몬 물질이라는 점이 알려지면서 프탈레이트계 가소제의 함량규제가 요구되는 등 제품의 엄격한 관리의 필요성이 대두되고 있다[3].

이러한 상황 하에서 실외 체육 시설의 탄성 포장재에 대한 한국산업규격(KS F 3888-2)이 2016년 12월 개정되었고, 그 개정 규격[4]에서는 탄성 포장재 제품의 품질 기준으로 유해성 검사 대상 물질을 기존의 중금속 4종(납, 카드뮴, 유가크롬, 수은)의 함량 이외에 추가적으로 중금속 14종의 용출량 및 프탈레이트계 가소제의 함량 규정을 추가하였다.

한편 탄성 바닥재와 관련하여 목재 칩과 우레탄 수지 혼합물을 보행자 도로 포장재로 이용하기 위한 연구와 그의 실용화가 진행되고 있으며[5,6] 이러한 보도포장은 버려지고 있는 간벌재 등 폐목재를 칩으로 만들어 활용함으로써 자원의 유효이용에 기여할 뿐만 아니라 충격흡수성에 의해 보행에 편안함을 제공하고 주변경관과도 잘 어울리는 쾌적한 환경의 조성에 기여할 수 있다. 그러나 이 재료를 격렬한 몸동작이 수반되는 생활 체육 시설이나 어린이 놀이터 등의 바닥재로서 확대 사용하기 위해서는 표면의 거칠기를 어느 정도 완화시킬 수 있는 보완책이 필요하며, 이를 위해 톱밥을 섞어 사용하는 방법이 하나의 대안이 될 수 있다고 생각한다. 그래서 본 연구에서는 목재 칩의 일부 또는 전체를 톱밥으로 대체 사용하고 우레탄 바인더를 사용하여 경화시킨 탄성 포장재의 특성 및 유해 중금속 함량을 검토하고자 하였다. 이를 위해 우레탄 수지와 톱밥 및 목재 칩의 혼합비율에 따른 혼합시험과 또 경화 후의 인장강도, 휨강도, 탄성계수, 미끄럼 저항성, 충격 흡수성 및 중금속 함량을 시험하고 생활 체육용 탄성 포장재에 관한 규격의 규정과 비교 고찰하였다.

2. 시험계획

2.1 사용재료

2.1.1 결합재

목질 재료의 결합제로서 탄력성과 내충격성이 우수한

우레탄 수지를 선정하고, K사의 1액 상온 습기 경화형으로 점도 2500cps, 밀도 1.05g/cm³ 및 불휘발분 93.5%의 제품을 사용하였다.

2.1.2 톱밥 및 목재 칩

톱밥은 소나무를 켜는 과정에서 발생된 것으로, 실내에서 3주간 널어 말린 후 5mm체로 쳐서 그 통과 분을 사용하였으며, 목재 칩은 간벌 소나무를 파쇄한 것을 10mm 체로 친 다음, 다시 3mm 체로 쳐서 그 위에 남는 것을 사용하였다.

2.2 재료 혼합 및 시험체 제작

2.2.1 재료 혼합

재료 혼합에는 Fig. 1과 같이 강제식 믹서를 사용하고 톱밥 및 목재 칩을 먼저 믹서에 넣은 다음 우레탄 수지를 투입하여 3분간 혼합하는 방법으로 진행하였으며 1회 혼합량은 10~20ℓ로 하였다.



Fig. 1. Mixing of materials

Table 1. Mix proportions

Test series	Specimen no.	Material mixing ratio (mass ratio)		
		Resin	Saw dust	Wood chip
Series 1	1-1	1.0	1.0	0
	1-2	1.1	1.0	0
	1-3	1.2	1.0	0
	1-4	1.3	1.0	0
	1-5	1.4	1.0	0
Series 2	2-1	1.0	0	1.0
	2-2	1.0	0.2	0.8
	2-3	1.0	0.4	0.6
	2-4	1.2	0	1.0
	2-5	1.2	0.2	0.8
	2-6	1.2	0.4	0.6

재료 배합비는 예비시험을 통해 믹서에서의 믹싱이 원활한 혼합비율을 검토한 후 Table 1에 나타난 바와 같이 목질 재료로서 톱밥만을 사용한 Series 1의 배합과, 목재 칩과 함께 톱밥을 일부 사용한 Series 2의 배합을

선정하였다. Series 1에서 톱밥에 대한 수지의 질량비는 1.0~1.4로 하였으며, Series 2에서는 톱밥과 목재 칩에 대한 수지의 질량비를 1.0 및 1.2로 하고, 목질 재료 총량에 대한 톱밥의 질량비를 0, 0.2 및 0.4로 정하였다.

2.2.2 시험편의 성형

- (1) 인장강도 및 미끄럼 저항성 시험편 : 폭 400mm, 길이 670mm, 높이 30mm의 철제 용기 속에 혼합한 시료를 넣은 다음 약 1kPa의 압력으로 가압하면서 3000 vpm의 진동판에서 30초간 진동 다짐으로 성형하였다.
- (2) 휨강도 시험편 : 폭 40mm, 높이 40mm, 길이 160mm의 몰드 속에 혼합한 시료를 채운 후 그 위에 철판을 두고 누르면서 3000 vpm의 진동판에서 30초간 진동 다짐으로 성형하였다.
- (3) 탄성계수 및 충격 흡수성 시험편 : 폭 1.0m × 너비 1.0mm × 높이 30mm의 4각 틀 안에 혼합된 시료를 넣은 다음 약 1kPa의 압력으로 10분간 가압하여 성형하였다.

2.3 시험방법

시험편을 성형한 다음 2주 동안 실내에서 보관하였으며, 그 후 Table 2와 같이 인장강도, 휨강도, 미끄럼 저항값(BPN : British Pendulum Number), 탄성계수 및 충격 흡수성을 시험하였다.

Table 2. Test items

Test series	Specimen no.	Test Items				
		Strength		BPN	Elastic modulus	Shock absorption
		Tensile	Flexural			
Series 1	1-1	O	O	O	-	-
	1-2	O	O	O	-	-
	1-3	O	O	O	-	-
	1-4	O	O	O	-	-
	1-5	O	O	O	O	O
Series 2	2-1	O	O	O	-	-
	2-2	O	O	O	-	-
	2-3	O	O	O	-	-
	2-4	O	O	O	O	O
	2-5	O	O	O	-	-
	2-6	O	O	O	O	O

2.3.1 강도 시험

인장강도 시험은 성형된 시험편을 원형 톱으로 폭 30mm, 길이 400mm의 크기로 절단한 다음 UTM에 의

해 최대인장력 10kN으로 스케일을 조정한 후 실시하였으며, 인장강도는 3개의 시험체에 대한 시험값의 평균으로 나타냈다. 휨강도 시험은 시험기의 지간을 120mm로 조정된 다음 중앙점에서 하중을 재하 하였으며, 각 3개의 시험편에 대한 평균값으로 휨강도를 나타냈다.

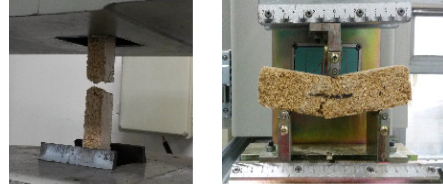


Fig. 2. Tensile & Flexural strength test

2.3.2 미끄럼 저항성 시험

영국식 미끄럼 저항 시험기(British Pendulum Tester)를 사용하고, KS F 2375 (노면의 미끄럼 저항성 시험 방법)[7]에 따라 시험하였으며, 한 곳에서 10회씩 측정된 결과의 평균값으로 미끄럼 저항값(BPN)을 나타냈다.



Fig. 3. Slip resistance test

2.3.3 LFWD 시험

탄성계수 측정에는 낙하추, 고무완충기, 로드셀, 변위계 및 데이터 출력장치 등으로 구성되는 LFWD(Light Falling Weight Deflectometer)를 사용하고, 낙하추 무게 98N, 낙하높이 60mm, 재하판 지름 300mm의 조건으로 시험하였으며, 각각 10회씩 시험하였다. 탄성계수는 최대 하중과 최대 처짐을 사용하여 식(1)에 의해 구했으며, 포아슨 비 v 는 0.4로 가정하였다.

$$E_{LFWD} = \frac{\pi(1-v^2)q \cdot a}{2w} \tag{1}$$

여기에서, E_{LFWD} : 노면 탄성계수(MPa)

v : 포아슨 비

q : 하중판에 작용하는 응력(MPa)

w : 최대 처짐(mm)

a : 재하 반경(m)



Fig. 4. LFWD test

2.3.4 충격 흡수성 시험

충격 흡수성은 네덜란드 DelTec 社의 5A 충격 시험기(Artificial athlete apparatus)에 의해 시험하였으며, 이 시험기는 KS F 3888-2(실외 체육 시설-탄성 포장재)에 정한 제원을 갖는다.



Fig. 5. Shock absorption test

시험편의 크기는 1m × 1m 로 하고, 낙하 중량 20kg, 낙하 높이 55mm의 조건으로 시험편의 4곳에서 충격 시험을 실시하였다. 탄성 포장재의 충격 흡수성은 포장재 표면과 단단한 표면에서 각각 동일한 충격 시험으로 측정된 힘-시간 기록의 피크값을 식 (2)에 대입하여 계산하였다.

$$R = \left(1 - \frac{F_t}{F_r}\right) \times 100 \quad (2)$$

여기에서, R : 충격 흡수성 (%)

F_t : 시험편의 최대 충격값 (N)

F_r : 콘크리트의 최대 충격값 (N)

2.3.5 중금속 함량 시험

중금속 함량은 한국건설생활환경시험연구원에 의뢰하여 납, 카드뮴, 육가크롬, 수은 등 중금속 4종류에 대

하여 분석하였으며, 중금속 용출량은 납, 카드뮴, 구리, 니켈 및 아연에 대하여 자체시험으로 실시하였다. 이때 용출시험은 다음 순서로 진행하였다. 먼저 목재 칩 또는 목재 칩-수지 혼합 시험체를 5mm 이하의 크기로 분쇄하여 삼각 플라스크에 넣은 다음 증류수에 염산을 섞어 pH 5.8~6.3으로 한 용매를 1:10의 비율로 투입하였다. 그 후 상온, 상압에서 항온 수평 진탕기를 사용하여 6시간 진탕한 후 1.0 μ m의 유리 섬유여과지로 여과시킨 것을 유도결합플라즈마(ICP) 분광계로 용출성분을 측정하였다.

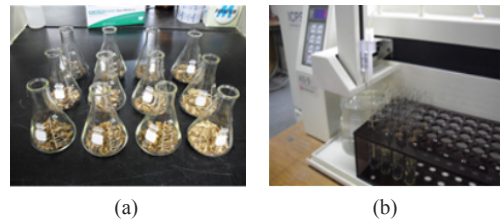


Fig. 6. Heavy metal leaching test (a) Sample preparation (b) ICP spectrometer

3. 시험 결과 및 고찰

Table 3는 우레탄 수지와 톱밥 및 목재 칩의 혼합비율에 따른 포장재의 인장강도, 휨강도, 미끄럼 저항성, 탄성계수 및 충격 흡수성을 시험한 결과를 나타낸 것이다.

Table 3. Results of physical property test

Test series	Specimen no.	Test items				
		Strength (MPa)		BPN	E_{LFWD} (MPa)	Shock absorption (MPa)
		Tensile	Flexural			
Series 1	1-1	0.3	1.2	66	-	-
	1-2	0.5	2.0	63	-	-
	1-3	0.6	2.4	54	-	-
	1-4	0.7	2.7	49	-	-
	1-5	0.9	3.3	40	82	20
Series 2	2-1	0.8	3.1	63	-	-
	2-2	0.7	2.7	62	-	-
	2-3	0.7	2.6	74	-	-
	2-4	1.0	3.8	59	48	27
	2-5	1.1	3.8	60	-	-
	2-6	1.1	4.1	78	64	30

3.1 강도 특성

Fig. 7과 Fig. 8은 인장강도와 휨강도 시험결과를 나타낸 것으로 Fig. 7은 목질재료로서 톱밥만을 사용한 경우에 대한 것이며, Fig. 8은 목질재료로서 목재 칩과 톱밥을 함께 사용한 경우에 대한 것이다.

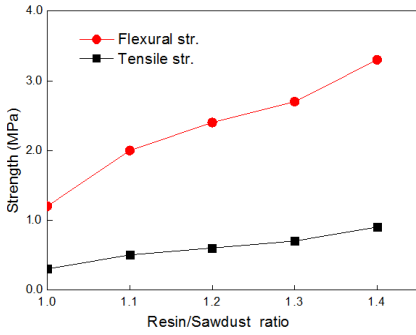


Fig. 7. Strength test results (Series 1)

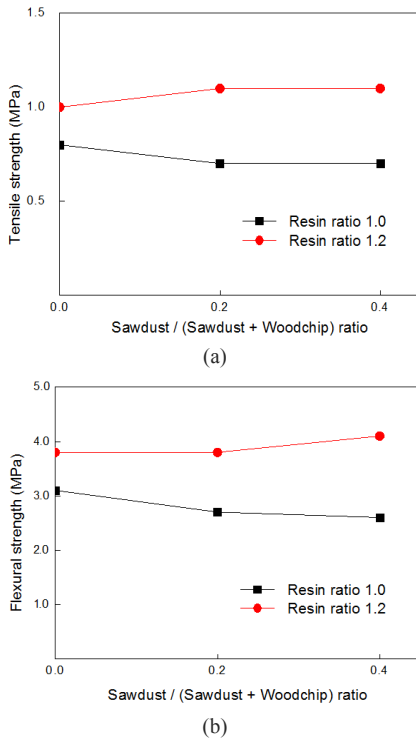


Fig. 8. Strength test results (Series 2) (a) Tensile strength (b) Flexural strength

Fig. 7에서 톱밥에 대한 수지의 질량비를 1.0으로부터 1.4로 증가시키에 따라 시험편의 인장강도는 0.3MPa에서 0.9MPa로 증가하고, 휨강도는 1.2MPa에서 3.3MPa

로 증가한 것을 알 수 있다.

한편 Fig. 8에서 목질재료로서 목재 칩과 톱밥을 함께 사용한 경우는 목질 재료 합에 대한 수지의 질량비 1.0 및 1.2일 때, 인장강도는 각각 0.7~0.8MPa 및 1.0~1.1MPa 정도를 나타냈으며, 휨강도는 각각 2.6~3.1MPa 및 3.8~4.1MPa의 범위를 나타냈다.

한편 Table 4는 실외 체육 시설의 탄성 포장재 제품에 대한 KS F 3888-2의 품질 기준을 나타낸 것으로 여기서 인장강도 기준을 보면 포설형 탄성 포장재(다목적용 5종)의 경우 0.6MPa 이상으로 규정되어 있다. 이 강도기준에 의할 때 목질 재료에 대한 수지의 질량비 1.0 이상이며 목질 재료에 대한 톱밥의 질량비 0.4 이하일 때는 모두 규정을 만족하고 있다. 그러나 목질재료로서 톱밥만을 사용하는 경우는 톱밥에 대한 수지의 질량비 1.2 이하에서는 이 기준을 만족하지 못하였기 때문에 톱밥에 대한 수지의 질량비는 1.2 이상이 필요한 것으로 판단된다.

Table 4. Quality standards for elastic paving products (KS F 3888-2)

Test items	For track		Multi purpose			
	Type 1,3,4	Type 2	Type 5	Type 6	Type 7, 9	Type 8
Tensile strength (MPa)	0.6 ↑	0.5 ↑	0.6 ↑	0.5 ↑	0.6 ↑	0.9 ↑
Elongation (%)	60 ↑	40 ↑	60 ↑	40 ↑	60 ↑	180 ↑
BPN	47 ↑		-	-	-	-
Shock absorption (%)	35 - 50		25 - 50	25 - 50	25 - 50	-
Vertical deform (mm)	0.6-3.5		3.5 ↓	3.5 ↓	3.5 ↓	-

3.2 미끄럼 저항성

Table 3에서 미끄럼 저항성 시험결과를 보면, Series 1의 시험에서, 톱밥에 대한 수지의 질량비를 1.0에서 1.4로 증가시키에 따라 미끄럼 저항값(BPN)은 66에서 40까지 점차 감소하였으며, 이로써 수지 사용량의 증가에 따라 표면은 미끄럽게 변화되는 경향이 있음을 보여준다. 한편 Series 2의 시험 결과에서는 목질 재료 중 톱밥의 질량비 0.2 이하에는 60BPN 전후이였으나 톱밥의 질량비를 0.4로 늘렸을 때는 75BPN 전후로 미끄럼 저항성이 향상된 것으로 나타났다.

실의 체육 시설의 탄성 포장재에 대한 KS F 3888-2의 기준에서는 트랙용의 경우 미끄럼 저항값을 47 이상으로 규정하고 있을 뿐 트랙 이외에 대한 기준은 정하고 있지 않다(Table 4 참조). 그러나 보도포장의 미끄럼 저항성 기준으로 서울시에서는 경사에 따라 평지, 완경사지 및 급경사지로 구분하고 각각 40BPN, 45BPN 및 50BPN 이상일 것을 규정하고 있으며, 일본과 유럽연합에서는 40BPN 이상을 규정하고 있다[8].

결국 톱밥과 수지를 사용한 경우 평지에서 미끄럼 저항성에 대한 국내외의 규정을 만족하며, 목재 칩과 톱밥을 사용한 경우는 미끄럼 저항성이 보다 더 우수한 것으로 판단된다.

3.3 탄성계수

탄성계수의 측정에는 소형 충격재하 시험기(LFWD)를 사용하였으며 이것은 자유 낙하시킨 추로 인해 발생하는 충격에 의한 하중과 처짐의 측정에 의해 탄성계수를 측정하는 기기이다.

Table 3에 나타난 바와 같이 탄성계수는 톱밥에 대한 수지의 질량비를 1.4로 한 경우 82MPa 이었으며, 목질 재료로서 목재 칩만을 사용하고, 목재 칩에 대한 수지의 질량비를 1.2로 한 경우의 탄성계수는 48MPa로 측정되었다. 또한 목질 재료 합에 대한 수지의 질량비 및 톱밥의 질량비를 각각 1.2 및 0.4로 한 경우의 탄성계수는 64MPa로 나타났다.

포장재의 탄성계수는 보행의 편안함과 쾌적성에 영향을 미치는 것으로 알려져 있다[8]. 이와 관련하여 Nabeshima 등[9]은 보도 포장재에 적합한 경도를 확인하기 위해 포장재 표면 경도 시험(JIS A 6519)을 실시하였으며, 이때 충격 가속도가 대략 70~90G인 경우 편안한 보행감을 갖게 된다고 보고하였다. 또한 Takeuchi 등[10]은 LFWD 시험에서 얻은 탄성 계수와 포장 표면의 경도 시험에 의한 충격 가속도의 관계를 시험하고 노인 및 휠체어 사용자를 포함하여 보행자에게 안전하고 쾌적한 포장재의 탄성계수 범위는 30 ~ 120 MPa 이라고 하였다. 이러한 연구결과를 참고할 때, 톱밥에 대한 수지의 질량비 1.4의 시험편에서 얻은 탄성계수 82MPa 및 목재 칩을 사용한 경우와 목재 칩과 톱밥을 함께 사용한 시험편에서 각각 얻은 탄성계수 48MPa와 64MPa은 보행자가 걷기에 편안함을 주는 범위에 있는 것으로 평가할 수 있다.

3.4 충격 흡수성

IAAF (International Association of Athletics Federation)에서는 트랙 표면 승인을 위한 충격 흡수성과 수직 방향 변형량에 대한 표준시험 기준으로 EN 14808[11] 및 EN 14809[12]을 채택하였으며, 이 시험에는 운동선수의 뒤꿈치 충격을 모사한 Fig. 5의 시험기가 이용된다. 본 시험에서도 동일한 규격의 충격 흡수성 시험기를 사용하였으며, 그 결과를 Table 3에 나타냈다.

충격 흡수율은 톱밥에 대한 수지의 질량비를 1.4로 한 시험편의 경우는 20%로 나타났으며, 목질 재료로서 목재 칩을 사용하고, 목재 칩에 대한 수지의 질량비를 1.2로 한 경우의 충격 흡수성은 27%로 측정되었다. 또한 목질 재료 합에 대한 수지 및 톱밥의 질량비를 각각 1.2 및 0.4로 한 경우의 충격 흡수성은 30%로 나타났다.

충격 흡수성에 대한 기준으로 KS F 3888-2에서는 실외 체육 시설의 탄성 포장재 중 트랙용의 경우 35~50%로 규정하고 있으며, 트랙 이외에 다목적용으로 5종(포설형 탄성 포장재), 6종(포설 위 우레탄 수지 탄성 포장재), 7종(시트 위 우레탄 수지 탄성 포장재) 및 9종(시트형 탄성 포장재)의 경우는 25~50%로 규정하고 있다(Table 4 참조). 따라서 이 기준을 적용할 때 목질 재료로서 톱밥만을 사용한 경우는 규정을 만족하지 못하며, 목질 재료로서 목재 칩을 단독으로 사용하거나 또는 목재 칩과 톱밥을 함께 사용하는 경우는 다목적용 탄성 포장재의 기준을 만족하는 것으로 나타났다. 다만 충격 흡수성은 같은 종류의 포장재라 하더라도 배합이나 포장재의 두께 등에 따라라도 변화하는 것으로 알려져 있으며[13], 실제의 시공 조건을 고려한 탄성 흡수성의 평가가 필요한 것으로 판단된다.

3.5 유해 중금속 및 환경 유해물질

Table 5는 톱밥-수지 혼합 시험체 및 목재 칩-수지 혼합 시험체에 대한 중금속 함량 측정 결과를 나타낸 것이며, Table 6은 목재 칩-수지 혼합 시험체 및 목재 칩 자체에 대한 중금속 용출 시험 결과를 나타낸 것이다.

중금속 함량 측정 결과 납, 카드뮴, 육가크롬 및 수은은 기기의 측정 범위 이하로서 검출되지 않았으며, 용출 시험에서는 납, 카드뮴, 구리 및 니켈이 미량 검출되었다.

Table 5. Heavy metal content test results

Sample	Heavy metal	Test results	Detect limit (mg/kg)	KS F 3888-2 (mg/kg)
Specimen no. 1-3 & 2-1	Pb	Not detected	5	90 ↓
	Cd	Not detected	1	50 ↓
	Cr ⁶⁺	Not detected	1	25 ↓
	Hg	Not detected	1	25 ↓

Table 6. Heavy metal leaching test results

Sample	Extraction of heavy metals (mg/kg)				
	Pb	Cd	Cu	Ni	Zn
Wood chip	0.05	0.04	0.05	0.04	0.14
Specimen no. 2-1	0.05	0.04	0.05	0.04	0.10
KS F 3888-2	-	-	77,000 ↓	930 ↓	46,000 ↓

KS F 3888-2에서는 실외 체육 시설의 탄성 포장재의 납, 카드뮴, 육가크롬 및 수은 등 중금속 4종류의 합량 허용기준을 제시하고 있으며(Table 5 참조), 구리, 니켈, 아연을 포함한 14종류의 중금속에 대한 용출량 허용기준을 정하고 있다. 이 기준에 의할 때 톱밥-수지 혼합 시험체 또는 목재 칩-톱밥-수지 혼합 시험체는 KS의 중금속 허용 기준을 만족하며, 또한 구리, 니켈, 아연에 대한 용출 기준을 만족하고 있음을 알 수 있다. 다만 본 시험에서 포함시키지 않은 알루미늄 등 나머지 11종류에 대해서는 추가적인 용출 시험을 필요로 한다. 또한 우레탄 수지 속의 프탈레이트계 가소제의 함량에 대한 추가검토도 필요한데, 탄성 포장재의 실제 시공에 있어서는 유해성 논란이 야기되지 않도록 프탈레이트계 가소제를 포함하지 않는 수지 제품을 선정 사용하는 것이 보다 바람직해 보인다.

4. 결론

생활 체육 시설이나 어린이 놀이터 등에서의 목질계 포장재의 사용 가능성을 검토한 결과를 정리하면 다음과 같다.

- (1) 목질 재료로서 목재 칩과 톱밥을 사용할 때, 목질 재료에 대한 수지의 질량비 1.0 이상 및 목질 재료에 대한 톱밥의 질량비 0.4 이하인 시험체는

KS F 3888-2의 포설형 탄성 포장재에 대한 인장강도 및 충격 흡수성 기준을 만족하며, 미끄럼 저항성 또한 우수한 것으로 나타났다.

- (2) 목질 재료로서 톱밥만을 사용한 시험체는 충격 흡수성이 포설형 탄성 포장재에 대한 기준에 미치지 못하였으며, 소요의 인장강도를 얻기 위하여 요구되는 톱밥에 대한 수지의 질량비는 1.2 이상으로 경제성 측면에서 불리한 것으로 나타났다.
- (3) 톱밥-수지 시험체 및 목재 칩-수지 시험체에 대한 중금속 함량 시험에서 납, 카드뮴, 육가크롬 및 수은 등 중금속 4종류는 검출되지 않았다. 다만 중금속 용출 시험에서는 납, 카드뮴, 구리, 니켈 및 아연이 소량 검출되었으나 허용기준과 비교할 때 매우 적은 양으로 실용상 문제가 없는 것으로 판단된다.
- (4) 목질 포장재는 그 특성 상 고무 제품을 대상으로 정한 KS F 3888-2의 신장률 기준을 만족하기 어려우며, 여기서 검토되지 않은 포장재의 수직방향 변형량 및 기타의 중금속에 대한 용출 시험 등과 함께 포장재의 표면상태 등을 평가하기 위한 계속적인 연구가 필요하다고 생각된다.

References

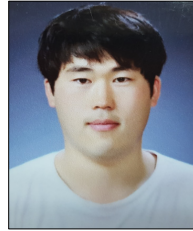
- [1] H. B. Ko., M. Y. Ko., "An Experimental Study on Basic Properties of Elastic Paving Materials", Journal of Korean Academia- Industrial Cooperation Society, vol. 16, no. 7, pp. 5021-5028, 2015. DOI: <http://doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.7.5021>
- [2] C. W. Hong, "Examination of Color Difference in Elastic Pavement that Uses EPDM Chip Using Ultraviolet Ray Accelerated Weathering Test", Journal of Korean Society of Civil Engineers, vol. 31, no. 1D, pp. 91-98, 2011.
- [3] Ministry of Environment, Measures for Hazard Assessment and Management of Artificial Turf and Elastic Paving Materials. p.200, 2010.
- [4] KS F 3888-2 : Outdoor facilities-Elastic Paving Materials, 2016.
- [5] H. Tokushige, M. Kawakami, Y. Kurimoto, H. Yamauchi, T. Sasaki, "Porous Polymer Concrete Using Polyurethane Resin and Chipped Aggregate made of Wood Wastes", RILEM International Symposium on Environment-Conscious Materials and Systems for Sustainable Development, pp. 321-328, Koriyama, Japan, 2004.
- [6] J. J. Choi, K. H. Lee, "Performance of Sidewalk Pavement Containing Waste Wood Chips", Journal of Testing and Evaluation", vol. 42, no. 1, pp. 151-161, 2014.

DOI: <https://doi.org/10.1520/JTE20120253>

- [7] KS F 2375 : Testing Method for Measuring Surface Frictional Properties Using the British Pendulum Tester, 2016.
- [8] D. G., Park, S. Y. Jung, J. K. Kim, H. G. Jung, "Establishment of Slip Resistance Standard, Magazine of Korean Society of Road Engineers", vol. 13, no. 1, pp. 33-40, 2011.
- [9] M. Nabeshima, M. Yamada, "Range of Proper Hardness for Aged about Walkway Pavement", Journal of Japan Society of Civil Engineers, no. 788/V-67, pp. 117-126, 2005. DOI: https://doi.org/10.2208/jscej.2005.788_117
- [10] Y. Takeuchi, K. Sato, M. Aoki, Y. Kuni, K. Sato, H. Yaginuma, "Development of Pavement Design Method for Walkers in Consideration of Comfort and Safety", Journal of Japan Society of Civil Engineers-E1, vol. 67, no. 3, pp. 1_1-I_8, 2011.
- [11] EN 14808 : Surfaces for Sports Areas- Determination of Shock Absorption, 2005.
- [12] EN 14809 : Surfaces for Sports Areas- Determination of Vertical Deformation, 2005.
- [13] J. V. Dura`, A. C. Garcı`a, J. Solaz, "Testing Shock Absorbing Materials : The Application of Viscoelastic Linear Model", Sports Engineering, vol. 5, pp. 9-14, 2002. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1460-2687.2002.00085.x>

문 승 권(Seung-Kwon Moon)

[정회원]

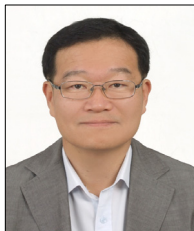


- 2012년 2월 : 공주대학교 공과대학 토목공학과 (공학사)
- 2016년 8월 : 공주대학교 대학원 건설환경공학과 (공학석사)
- 2013년 12월 ~ 현재 : 한국에스지에스(주) 건설시험연구원

<관심분야>
구조재료, 콘크리트

최 재 진(Jae-Jin Choi)

[정회원]



- 1984년 2월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학석사)
- 1987년 8월 : 한양대학교 대학원 토목공학과 (공학박사)
- 2005년 3월 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>
구조재료, 콘크리트

이 관 호(Kwan-Ho Lee)

[정회원]



- 1991년 2월 : 고려대학교 토목공학과 (공학석사)
- 1996년 12월 : 미국 Purdue Univ. Civil Eng. (공학박사)
- 2006년 9월 ~ 현재 : 공주대학교 건설환경공학부 교수

<관심분야>
도로공학 및 지반공학