실외에 설치되는 인조잔디의 연소시험에 관한 연구

민세홍 · 김연황*[†]

가천대학교 공과대학 설비플랜트 · 소방방재공학과, *가천대학교 일반대학원 소방방재공학과

A Study on the Combustion Test of Artificial Turf Installed on Field

Se-Hong Min · Yeon-Hwang Kim*[†]

Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Gachon Univ.

*Dept. of Fire & Disaster Protection Engineering, Graduate School, Gachon Univ.

(Received February 11, 2014; Revised February 28, 2014; Accepted April 17, 2014)

요 약

본 연구에서는 운동장과 건물의 옥상 등 실외에 설치되고 있는 인조잔디에 대해 국내 기준에 의한 화재위험성을 평가하고자 한다. 현재 인조잔디에 대한 국내 기준은 실외에 한하고 있으며 특히 학교체육시설이라고 국한하여 KS M 3888-1에 강제하고 있고, 실내 기준은 소방방재청고시(2012-35호)에 권장사항으로 규정하고 있다. 이에 본 연구는 강제 규정하고 있는 실외에 설치되는 인조잔디에 국한하여 연소시험을 진행하였다. 45° 방염시험을 진행하여 분석한 결과, 현재 설정되어 있는 기준이 화재의 위험성을 판단하기에 매우 미흡함을 확인하였다. 이에 바닥재로 통용되고 있는 방염처리된 카페트의 연소시험을 통해 그 특징을 비교한 후 분석하였다. 45° 방염시험기를 이용하여 착화성을 시험한 후 평가한 결과, 해당기준에서 크게 벗어난 인조잔디와 달리 카페트는 방염성능기준을 만족하였다. 이에 추가로 인조잔디에 대해 콘칼로리미터시험을 진행하여 착화 이후의 연소특성을 분석 및 평가함으로써 실외 적용되는 인조잔디의 기준 강화를 위한 대책을 제안하였다.

ABSTRACT

In this study, we would evaluate fire risk by domestic standard for artificial turf installed on field and roofs. Today domestic regulation for artificial turf only applies to outdoor uses and especially KS M 3888-1 has compulsion but limited to school athletic facilities. Indoor regulation complying with National Emergency Management Agency (No. 2012-35) was enacted as recommendations. Thus this study did combustion test of artificial turf installed on field. Analyzed result by 45 degree flammability test, standard was inadequate to judge the fire risk so we compared and analysed its characteristic through combustion test of flame retardant finishing carpet used as flooring. Test and assessment result of its ignitionability by 45 degree flammability test showed that carpet was satisfied with flame retardant finishing performance standard contrary to artificial turf. For this reason, by conducting cone calorimeter test, the combustion property after ignition would be analyzed and evaluated and then this study will suggest a countermeasure for strengthening standard.

Keywords : Artificial turf, General carpet, 45 Degree flammability test, Cone calorimeter test

1. 서 론

삶의 질이 높아짐에 따라 우리 주변에 생활체육시설 및 인공녹지조성 공간이 증가하였고 편안한 실내 공간을 위하여 다양한 내장 마감재들이 사용되면서 인조잔디에 대한 수요가 크게 증가하였다. 2010년 10월 1일에 발생한 부산 해운대 W스위트 화재 시 옆 건물 옥상 바닥에 설치된 인조잔디에 비화하여 화재가 발생하였고⁽¹⁾, 2012년 3월 14일 YS세계박람회 국제관 C동 옥상화재와 2011년 12월 신월동 소재 실내골프연습장 화재는 인조잔디에 불이 옮

겨 붙으면서 화재가 확산되어 많은 재산피해를 냈다⁽²⁾. 그동안 주거용 실내바닥재, 선박용 표면바닥재, 목질바닥재 등에 관한 여러 연구가 있음에 불구하고 최근 수요가 많아지고 있는 인조잔디의 화재위험성과 관련한 연구가 부족한 실정으로, 이번 연구에서는 「방염성능기준」⁽³⁾에 따라 방염 처리되는 일반 카페트와 소재의 특성상 방염처리가 어려운 인조잔디를 비교하기 위하여 연소시험을 하였다.

현재 우리나라의 바닥재 기준은 전무한 실정으로 2014년 3월 이전까지 유효했던 「도시철도차량 안전기준에 관한 규

[†]Corresponding Author, E-Mail: mzk206@naver.com
TEL: +82-31-750-5714, FAX: +82-31-750-8749

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2014.28.2.048>

칙」⁽⁴⁾에 일부 규정되어 있었다. 현재 건축물 실·내외에 인조잔디를 설치하기 위해서는 소방방재청고시(2012-35호)⁽⁵⁾ 또는 KS M 3888-1⁽⁶⁾을 따라야 한다. 그러나 실내 기준의 경우 법적인 강제성이 없어 그 효용성이 떨어지고 실외기준 또한 45° 방염시험으로 착화성만을 평가하고 있어 소재에 대한 연소특성을 제대로 반영하지 못하고 있다. 그 결과 우리 주변에 쓰이고 있는 인조잔디의 대부분이 기준에 현저히 미달되는 제품들이며 화재발생 시 큰 인명피해가 예상된다.

이에 본 연구에서는 현재 설정된 국내 기준에 따른 카페트와 인조잔디의 45° 연소시험과 화재발생 시 열에 노출되는 특성 및 착화 이후의 열방출특성을 고려하여 콘칼로리미터 시험을 병행함으로써 그 기준의 효용성을 평가하고 문제점을 보완하기 위한 대책을 제안한다.

2. 바닥재 및 인조잔디 연소시험 기준

2.1 바닥재 기준

2014년 3월 이전까지 우리나라의 바닥재 기준이었던 「도시철도차량 안전기준에 관한 규칙」⁽⁴⁾ 제 10조2항에는 차량의차체중 차체구조 및 외장재와 실내설비 중 내장판, 의자, 통로연결막, 바닥재 및 단열재는 불연재료를 사용하거나 별표 1의2의 차체구조 및 차량실내·외설비의 화재안전 시험방법 및 기준에 적합한 재료를 사용하여야 한다고 규정되어 있다.

하지만 본 기준은 객차 내로 한정하고 있었기 때문에 건축물에 적용이 불가능하였고 건축법과 소방법에는 현재 내장마감재와 방염대상물품에 대한 법적 규제만 있을 뿐 바닥재에 대해서는 규제하고 있지 않다. Table 1에 바닥재에 대해 유일한 기준이었지만 2014년 3월 18일 자로 「철도안전법 시행규칙」과 통합된 안전기준에 관한 규칙

제10조 2항 중 별표 1의2의 내용을 나타내었다.

2.2 인조잔디 기준

실내는 권장기준으로 소방방재청고시(2012-35호)⁽⁵⁾에 따르며 실외기준은 KS M 3888-1⁽⁶⁾에 적용받는다. 실내, 실외 모두 45° 방염시험기를 이용하며 법적 강제성이 있는 실외에 경우 연기밀도를 제외한 잔염시간 및 탄화깊이를 평가기준으로 삼고 있다. Table 2에 인조잔디에 대한 실내·실외 기준을 나타내었다.

3. 45° 방염시험

3.1 시험장치 및 시험방법

국내 표준규격 KS M 3888-1⁽⁶⁾에 따라 한국건설생활환경시험연구원의 45° 연소시험장치로 시험을 진행하였다. 45° 연소시험장치는 방염 제품의 「방염성능기준」⁽³⁾의 부합 여부를 측정하는 장치로서 45°로 장착된 시험 시편의 연소 특성인 잔염(After Grow), 잔신(After Flame)을 측정할 수 있는 장비이다.

소재는 방염처리된 일반 카페트와 인조잔디를 각각 선정하여 가로 40 cm, 세로 22 cm로 하여 총 6회 실시하였으며, 규격에 따라 가스압력은 4 kPa로 하였고, 에어믹스 버너를 사용하여 수평으로 하여 30초간 24 mm의 소형 불꽃으로 시험체 중앙 하단 표면을 30초간 가열하여 착화성능을 평가하였다.

3.2 소재 사양

시험에 사용된 카페트의 경우 국내 K사에서 방염처리되어 시중에 판매되고 있으며, 해당 사(社)의 자체시험을 통과한 제품이다. 정전기 발생원리를 이용하여 과일 사(絲)를 식모시키는 공법을 써서 만들었기 때문에 기존 카페트

Table 1. Standard of Flooring by Railroad Car Safety Standard

Classification	Oxygen Index	Flame Spread		Smoke Density			Smoke Toxicity
Test method	KS M ISO 4589-2	KS F 2844		ASTM E 662			BS 6853
Test Items	Oxygen Index LOI	Average Continued fever Qasb (MJ/m ²)	Critical Heat Flux CFE (kW/m ²)	Smoke Density Ds (1.5 min)	Smoke Density Ds (4 min)	Smoke Density Ds (10 min)	Hazard Index R
Flooring	28	0.25	7	100	200	-	5.0

Table 2. Domestic Fire Safety Standard of Artificial Turf

Classification	Contents			Remarks Columns
	Remaining Flame Time	Carbonization Length	Smoke Density	
Indoor Space	Less than 20 s	Less than 10 cm	Less than 400	National Emergency Management Agency No. 2012-35
Outdoor Space	Less than 20 s	Less than 10 cm	-	KS M 3888-1

Figure 1. 45° Flammability tester.

와 달리 파일의 밀도가 약 80,000,000 Ponit/m²로 매우 조밀하게 구성된다. 카페트는 「소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 시행령」⁽⁷⁾ 제20조에 따른 방염대상물품이므로 방염처리되지 않은 제품의 시험은 무의미하다고 판단, 시험에서 제외하였다.

인조잔디는 실내골프장이나 생활체육시설 등에 많이 설치된다. 본 연구를 위해 실내골프장과 생활체육시설에 설치되어있는 102곳의 인조잔디를 현장 조사하여 약 43% 점유율로 가장 많이 사용된 S사의 인조잔디 모델을 선정하여 본 시험에 적용하였다. 시험에 적용한 인조잔디는 표면 파일 사는 폴리프로필렌이고 충격완화 역할을 하는 백킹(backing)재는 Styrene-Butadiene Rubbe (SBR), 일명 합성고무로 코팅되어 있으며 외관 형태는 화학섬유 등의 장섬유에 양모와 같은 주름을 만들어 주는 가공으로 열가소성을 이용하여 가연(假燃)을 한 후 열셋트를 하는 방법의 크림핑 파일 타입(Crimping Pile Type)이다. 소재의 특성상 방염처리가 불가능하며 판매 시 상태대로 시험하였다.

Figure 2. Material for test.

Figure 3. Carbonization image of artificial turf.

3.3 시험 진행 및 시험결과

3.3.1 인조잔디

인조잔디 시험결과, 잔염시간이 48초에서 8분 이상으로 나타났고, 탄화길이는 최소 6.3 cm에서 완전연소까지 발생하였다. 이는 잔염시간 20초 이내, 탄화길이 10 cm 이내로 규정하고 있는 「방염제품의 성능인증 및 제품검사의 기술기준」에 못 미치는 결과로서 국내기준도 통과하지 못한 많은 인조잔디가 유통되는 것과 현재 설정되어 있는 인조잔디 기준의 실효성이 떨어짐을 확인할 수 있었다. Figure 3은 실험 후, 탄화된 인조잔디의 모습이며, 일반 카페트에 비해 잔염시간 및 탄화길이가 크게 나타난 결과를 Table 3에 나타내었다. 가열시간 30초 이후에 버너가 제거됐음에도 인조잔디의 불꽃이 최소 48초 이상 지속되는 위험성을 확인하였다.

3.3.2 일반 카페트

방염처리된 일반 카페트 시험결과, 잔염시간은 없었으며 탄화길이는 약 6 cm로 30초간 열을 가한 후 불꽃을 멀리하였을 때 잔염시간없이 오직 불꽃에 의해 불꽃 자국만 생겨났다. 이는 잔염시간 20초 이내, 탄화길이 10 cm 이내로

Table 3. Remaining Flame Time and Carbonization Length of Artificial Turf

	Remaining Flame Time	Carbonization Length
Test 1	48 s	6.3 cm
Test 2	Over 6 min	18.0 cm
Test 3	5 min 50 s	17.0 cm
Test 4	over 8 min	26.0 cm
Test 5	Over 8 min	Perfect combustion
Test 6	0 s	5.0 cm

Figure 4. Carbonization length of general carpet.

Table 4. Remaining Flame Time and Carbonization Length of General Carpet

	Remaining Flame Time	Carbonization Length
Test 1	0 s	5.6 cm
Test 2	0 s	6.0 cm
Test 3	0 s	6.0 cm
Test 4	0 s	6.0 cm
Test 5	0 s	6.0 cm
Test 6	0 s	6.0 cm

규정하고 있는 방염성능기준의 제4조 1항 1호를 만족하는 결과로서 Figure 4에 탄화된 모습을 나타내었다. 소재의 특성상 잔염시간이 0초로 측정되었기 때문에 버너가 제거된 후 곧바로 연소가 멈췄으며 짧은 탄화길이를 나타내었다. Table 4에 잔염시간과 탄화길이 데이터를 나타내었다.

3.3.3 실험결과 및 고찰

앞서 실험한 인조잔디 시험결과 방염처리된 카페트와는 상이하게 KS M 3888-1 기준에 못미치는 것을 확인하였다. 결론적으로 기준에 못미치는 제품이 판매되어 설치되고 있다는 사실이며, 학교체육시설에 설치된 많은 인조잔디가 화재에 매우 취약하다는 것을 단적으로 입증하는 결과인 것이다. 이는 실내에 설치되는 카페트의 방염성능기준을 실외에 설치되는 인조잔디 기준에 그대로 적용한 결과이다. 이에 대한 기준 설정의 제안을 위해 여러 연소시험 중 가장 기본이 되는 시험인 콘칼로리미터를 적용하여 그 기준에 대해 고찰하고자 한다.

4. 콘칼로리미터 시험

4.1 시험장치 및 시험방법

Figure 5에 나타난 바와 같이 KS F ISO 5660-1⁽⁸⁾에 따

Figure 5. Cone calorimeter test device.

른 콘칼로리미터 시험을 한국건설기술연구원에 있는 장비로 진행하였다.

본 시험장비는 콘형태의 복사 전기히터, 시편의 질량측정을 위한 무게측정장치, 시편홀더, 산소분석장치, 유량측정장치를 부착한 배출시스템, 스파크점화회로, heat flux meter, 고정용버너 및 데이터 수집을 위한 분석시스템으로 구성된다⁽⁹⁾.

콘칼로리미터 연소시험으로 열방출률(HRR), 재료가 화재조건에 노출되는 시간동안의 착화시간(TTI), 총방출열(THR), 질량감소율(MLR)을 측정하였다. 시편은 가로 100 mm × 세로 100 mm 크기로 시편방향은 수평으로 하여 총 9회(복사열 값에 따라 각 3회) 시험을 진행하였다.

4.2 소재 사양

적용한 소재는 인조잔디 S사제품으로 표면 파일 사(絲)는 폴리프로필렌이고 충격완화 역할을 하는 백킹(backing)재는 Styrene-Butadiene Rubbe(SBR), 일명 합성고무로 코팅되어 있으며 외관 형태는 Crimping Pile Type이다. 45° 방염시험과 동일하게 판매 시 상태대로 시험하였다.

4.3 시험 진행 및 시험결과

콘칼로리미터 연소시험에 적용되는 복사열강도의 기준은 0~100 kW로, 먼저 본 실험의 복사열 강도를 설정하기 위해 15 kW에서 20 kW, 25 kW로 순차적으로 최적의 복사열강도를 찾고자 실험을 진행하였다. 시험시간은 예비시험을 시행하였을 때 빠른 시간 안에 시험소재가 연소되는 것이 확인되었고, 이를 통해 15분(900초)으로 설정하였다.

시험결과 복사열 15 kW에서 3개의 시편 중 1개에서만 화염이 발생하였는데, 이는 시험체 놀림틀이 있었음에도 불구하고 복사열로 인해 오그라든 인조잔디가 전기히터에 닿으면서 생겨난 결과이다. 나머지 2개의 시편은 소재가 전기히터에 닿지 않았기 때문에 화염이 발생하지 않았으

Table 5. Result of Artificial Turf Test by Cone Calorimeter

No.	TTI	THR	HRR(kW/m ²)		MLR(g/s)	
	(s)	(MJ/m ²)	Peak	Mean	Peak	Mean
T1-15	310	28.03	257.45	46.57	0.221	0.014
T2-15	-	1.62	7.43	2.55	0.280	0.001
T3-15	-	1.11	8.13	1.46	0.233	0.001
Average	103	10.25	91	16.86	0.244	0.005
T1-20	167	29.69	399.28	39.94	0.361	0.011
T2-20	115	33.13	370.21	42.42	0.257	0.012
T3-20	135	30.71	320.05	42.07	0.352	0.011
Average	139	31.17	363.18	41.47	0.323	0.011
T1-25	129	30.39	400.17	38.70	0.205	0.011
T2-25	82	33.19	384.65	79.97	0.345	0.010
T3-25	106	34.72	397.58	46.36	0.608	0.011
Average	105	32.76	394.13	55.01	0.386	0.010

Figure 6. Graph of PHRR and THR.

며 다소 약한 연기를 발생시켰다. 20 kW와 25 kW에서는 모두 화염과 함께 다량의 유독가스가 발생하였고, 특히 25 kW의 복사열을 받은 인조잔디는 평균 2분 안에 착화가 일어났다. 그 결과를 Table 5에 나타내었다.

인조잔디가 보통 바닥에 설치되는 것을 감안할 때 건물 실내에 설치된 인조잔디는 복사열의 크기에 따라 급격하게 연소가 이루어질 수 있으며 구획화재에서의 플래시오버 시점을 단축시킬 수 있다. 콘칼로리미터 시험을 통해 소재가 가지고 있는 특성 중 총방출열(THR)과 열방출률(HRR)을 Figure 6에 나타내었다.

5. 결 론

건축물 바닥재중 카페트는 소방방재청 고시 2013-25호 「방염성능기준」에 의해 방염처리를 반드시 하도록 규정되어 있으나, 동일한 바닥재로 사용되고 있음에도 인조잔디는 잔디모양을 한 제품의 특성상 방염처리가 불가하여 화재의 취약한 소재임에도 불구하고 방염처리를 하지 않

고 사용되고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 건축물의 녹지화 및 생활체육 시설에 대해 현장실사를 통해 사용 점유율이 높은 인조잔디의 모델을 선정하여 「방염성능기준」⁽⁵⁾에 따라 생산되고 있는 일반 카페트와 비교 연소시험하고 그 위험성을 확인하기 위해 본 연구를 진행한 결과 다음과 같은 결론을 도출할 수 있었다.

(1) 인조잔디에 대해 실내는 소방방재청고시 2012-35호에 「방염제품의 성능인증 및 제품검사의 기술기준」에 45° 방염시험과 연기밀도시험을 하도록 규정되어 있으며, 또한, 실외는 학교체육시설에 한하여 KS M 3888-1에 45° 방염시험을 하도록 규정되어 있다. 하지만, 실내에 대한 규정은 강제규정이 아니며, 또한 실외에 대한 기준은 학교 운동장시설에 국한하고 있어 실내 풋살경기장, 건물외벽의 외장재로의 사용, 아파트 옥상의 조경시설 및 놀이터 등 다양하게 사용되고 있는 인조잔디에 대한 법적 제한의 필요성을 확인할 수 있었다.

(2) 콘칼로리미터 시험결과 가열강도가 25 kW에서 HRR 400 kW/m²의 값을 측정할 수 있었다. 이에 NFPA 기준에 명시된 Flash Over 발생 가능성의 기준이 되는 실내 온도 600 °C 이상, HRR 1 MW 이상, 바닥에서 측정된 열유속 20 kW/m² 이상이라는 값과 비교해 볼 때 화재 위험성에 매우 취약함을 인지할 수 있었다. 소재의 특성상 400 kW/m²라는 값은 지속시간이 길지는 않지만 빨리 연소한다는 것을 의미하며 이는 주위에 대한 화염전파의 위험도를 나타내는 기준이 될 수 있어 화재에 매우 취약한 소재임을 판단할 수 있었다.

(3) 건축물 바닥재와는 별도로 도시철도차량과 관련하여 현재는 「철도안전법 시행규칙」⁽¹⁰⁾으로 통합되었지만, 2014년 3월 이전까지의 기준이었던 「도시철도차량 안전기준에 관한 규칙」 제 10조 2항의 별표 1의2 바닥재 기준에 의하면 산소지수, 화염전파, 연기밀도, 연기독성에 대한 시험 기준을 마련하고 있었던 바, 인조잔디도 이와 같은 시험을 통하여 그 기준을 새로이 확립해야 한다.

(4) 또한 착화 이후의 화염확대 및 열방출 특성을 평가할 수 있도록 시험기준을 콘칼로리미터로 확대하여 실제 화재현상을 반영한 시험방법이 되도록 강화하여야 하며, 학교 운동장 및 조경용, 보도용, 전문구장에도 적용할 수 있도록 그 적용범위를 넓혀야 하겠다.

후 기

본 연구는 2014년도 가천대학교 학술지원(GCU-2014-R034)에 의해 연구되었음.

References

1. S. H. Min, M. S. Kim, Y. J. Jang, J. C. Sa, Y. J. Bae and

- J. M. Lee, "A Study on the Development of a Head for Prevent the Fire Spread of Exterior", Fire Science and Engineering, Vol. 26, No. 1, pp. 113-119 (2012).
2. S. H. Min, J. M. Lee, Y. H. Kwon, S. J. Kim and Y. H. Kim, "Installation Trend of Artificial Turf and Analysis of Fire Risk", Proceedings of 2013 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 33-34 (2013).
3. National Emergency Management Agency No. 2012-35, "Flame Retardant Finishing Performance Standard", (2013).
4. Ministry of Land, Infrastructure and Transport Ordinance No. 1, "Rule for Safety Standard of Urban Railroad Car" (2013).
5. National Emergency Management Agency No. 2012-35, "Technical Standards for Performance Certification of Flame Retardant Finishing Product and Product Inspection" (2012).
6. KS M 3888-1, "School Athletic Facilities - Artificial Turf" (2013).
7. President Ordinance No. 25050, "Low on Fire Fighting Facility Installation Maintenance and Safety Management" (2013).
8. KS F ISO 5660-1, "Reaction to Fire Test - Heat Release, Smoke Production and Mass Loss Rate - Part 1 : Heat Release Rate (Cone Calorimeter Method)" (2013).
9. S. H. Min and M. S. Kim, "A Study on the Fire Risk Assessment of EIFS by Cone Calorimeter Test & Single Burning Item Test", Journal of the Korea Safety Management & Science, Vol. 12, No. 1, pp. 1-9 (2010).
10. Ministry of Land No.81, "Korean Railway Safety Law Enforcement Regulations" (2014).