

파스콘 트로프의 연기유독성에 관한 연구 A Study on the Toxic Gases and Smoke Hazard of PASCON Trough

이창우[†] · 현성호* · 최돈묵**

Chang-Woo Lee[†] · Seong-Ho Hyun* · Don-Mook Choi**

KCU한국사이버대학교 소방방재학부, *경민대학 소방안전관리과, **경원전문대학 소방시스템과
(2005. 11. 7. 접수/2006. 5. 3. 채택)

요 약

본 연구는 파스콘 트로프의 화재시 발생하는 연기의 유독성 평가를 위해 KS F 2271에 의한 연기유해성 시험 및 NES 713방법에 의해 연소가스를 분석하고, 독성지수를 확인해 봄으로서 연소시 인체에 미치는 영향을 간접적으로 확인해 보고자 한다. 실험결과 파스콘 트로프는 KS F 2271인 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험기준에 적합한 것을 확인하였다. NES 713 방법에 의한 파스콘 제품에서 발생하는 연소가스는 이산화탄소와 일산화탄소가 전부임을 알 수 있으며, 연소가스의 독성지수는 0.944로 나타났다. 이러한 수치는 제품의 연소시 발생하는 연소가스를 30분 이상 노출되어야 위험한 농도에 이를 수 있다는 것을 의미한다. 난연성능 요구시 연기유독성 평가나 연기의 발생량을 규제하지 않고 있는 국내의 실정에 비추어 볼 때 파스콘 제품의 연소가스 독성지수는 비교적 낮은 수치이다.

ABSTRACT

The aim of the research is to estimate the effect of smoke and combustion gases on humane body indirectly through measuring the toxicity of those. For this purpose, the toxic index of smoke and combustion gases was investigated by smoke hazard test and analysis of smoke which were conducted by KS F 2271 and NES 713 method respectively. It is proved by KS F 2271 method that PASCON trough is suitable to the testing standard of interior material and construction of building. In addition, it is identified by NES 713 method that combustion gases occurring in PASCON product were only carbon dioxide and carbon monoxide, and the smoke index of those was 0.944. This value means that the hazard effect of smoke gases on humane ! body can possibly happens when exposed to the smoke gases for more than 30 min. In aspect of the domestic situation that have not regulated the hazard estimation and the emissions of smoke when the flame retarding ability of the products have been requested, the toxic indexes of PASCON products are comparatively low.

Keywords : PASCON trough, Toxic gases, Smoke hazard, Toxic index, NES 713

1. 서 론

오늘날 급속한 산업사회의 발전과 생활수준의 향상으로 전기 에너지의 증가 및 차량용 전기 에너지의 사용 범위가 증가 추세에 있다. 발전소에서 생산된 전기 에너지는 도심까지 송전되어 각 부하로 배전된다. 전기 에너지를 소비하는 대형 전기 부하는 에너지를 받기 위하여 전선을 통하여 연결되고 이 전선을 따라 대전력의 전기에너지가 이동된다.

현재 국철, 지하철 및 고속철도에서는 전선을 보호

하기 위한 방법으로 트로프를 설치 운영하고 있으며, 그 트로프의 종류는 일반 콘크리트와 파스콘 재질의 레진콘크리트가 사용되고 있다. 천연 골재로부터 만들어진 일반 콘크리트 트로프는 불연재로 화재에 대한 우려가 없는 장점을 가지고 있으나, 동일한 용량의 케이블을 설치하기 위해서는 트로프의 외형이 크고 단가가 비싸며, 그 용도를 다했을 경우 건설폐기물로 분류되어 환경오염의 용인으로 작용하는 단점이 있다.^{1,2)} 반면에 레진콘크리트는 일반 콘크리트에 비해 압축강도 및 난연성에서 다소 떨어지나, 시멘트 콘크리트에 비해 재료의 기계적인 특성인 인장강도 및 휨강도가 크고 산업폐기물 활용이 가능하여 환경성이 좋으며 설치

[†]E-mail: lcw119@mail.kcu.ac

공간이 작아 타 시설과의 인터페이스 확보가 유리하며, 중량은 1/10에 지나지 않아 시공이 용이하며 경제적인 이점이 있어 최근 그 사용이 증가하고 있다. 또한, 경량화가 요구되는 제품개발이 용이하며 내구성, 내약품성이 우수하여 공기단축이 요구되는 공정과 공사비 절감이 필요한 각종 건설분야에 반영구적인 제품으로 이용이 가능한 특징을 가지고 있다. 그러나 이들 새로운 재료들은 기존의 재료들에 비해 뛰어난 많은 장점들이 있지만 대부분 가연성인 경우가 많다. 그럼에도 불구하고 새로운 재료들이 이전에 사용되던 재료들의 대체품으로서 안전한지를 판단해 보고자하는 시도도 없이 사용되는 경우도 있다. 더욱이 새로운 재료가 개발되면 기존의 재료를 사용한 제품의 장점들이 잘 파악되어 있는데도 이를 무시하고 새로운 재료의 진보된 특성들만 이용하려는 경향이 있었다.

따라서 화재안전의 확보라는 측면에서 각 재료의 특성에 적합한 평가방법의 적용이 필요한 것이다. 화재가 발생할 때 각 재료의 위험성을 결정하는데 고려해야 할 요소들은 재료의 착화성, 연소성, 열발생속도, 연기발생 및 독성가스 등이 있다.^{3,4)} 특히, 탄화수소계 제품에서 발생하는 일산화탄소와 이산화탄소에 의한 인명피해 비율이 높은 것으로 알려져 있다. 이러한 이유로 연소가스의 방출량을 평가하는 것은 매우 의미있는 일이라 할 수 있다.

이미 본 연구자는 파스콘 트로프의 화재안전성에 관한 연구를 발표한 바 있으며, 당시 재료의 내연성 시

험 위주의 연구를 하였다.⁵⁾ 파스콘 트로프의 경우에도 그 주원료가 폴리에틸렌(PE)과 폴리프로필렌(PP)이 혼합된 재생 복합PP로서 가연성의 합성수지를 약 50% 정도 포함하고 있다. 내연성에 대한 충분한 성능을 가지고 있다 하더라도 화재 시 연소가스를 포함한 연기의 방출이 크다면 인명피해가 우려되는 곳에 사용하기에는 적합하지 않을 것이다.

따라서, 본 연구에서는 파스콘 트로프를 KS F 2271에 의한 연기유해성 시험⁶⁾ 및 NES 713방법⁷⁾에 의해 연소가스를 분석하고, 독성지수를 확인해 봄으로서 연소시 인체에 미치는 영향을 간접적으로 확인해 보고자 하였다.

2. 연기 유독성 시험방법의 비교

연소가스의 독성 평가방법은 미국에서 '70년대 중반 고분자산업 위주로 연방무역위원회의 추진하에 최초로 개발되었다. 초기에 가장 폭넓게 사용된 실험방법은 NBS(National Bureau of Standards, U.S) 및 UPITT(University of Pittsburgh, U.S)이었으며, 그 후 U.S-Rad(Radiant Furnace Test) 실험방법이 개발되었다. 또한 거의 비슷한 시기에 일본에서는 JGBR(Japanese Government Building Regulation Toxicity Test) 및 독일에서 DIN 53436(Deutsche Institut Fuer Normung)의 연소가스독성 실험방법이 개발되었다.

재료의 연소가스 독성평가를 위한 대부분의 실험방

Table 1. Toxicity valuation method of fire gases

	NES 713	DIN 53436	NF X 70-100	IMO MSC 61. Part2
Chamber	Over 0.7 m ³	Tuve Furnace	Tuve Furnace	914×914×610 mm
Furnace Temp.	Bunsen Burner : Over 1,150°C	200~600°C	400, 600, 800°C	Radiation Heat
Specimen	Definite Mass	Stable, Same Mass	1±0.05 g	75×75×25 mm
Before Test	Temp. = 23±2°C Humidity: 50±5% 24 Hours	-	Temp. = 23±2°C Humidity: 50±5% 24 Hours	Temp. = 23±2°C Humidity: 50±5% 48 Hours
Ignition	Bunsen Burner : Methane Gas	Electricity	Electricity	Electricity
Air	Dynamic	Dynamic	Dynamic	Dynamic
Combustion Time	Completely Combust	30 min	20 min	10 min
Measurement Gas	CO, CO ₂ , O ₂ , NO _x , SO ₂ , HCN, HCl, NH ₃ , HF, HBr, HCHO, CH ₂ CHCN	CO, CO ₂ , O ₂ etc.	CO, CO ₂ , O ₂ , SO ₂ , HCN, HCl, NH ₃ , HF, HBr	CO, NO _x , SO ₂ , HCN, HCl, HF, HBr
Analysis	Gastec	-	As specified	As specified

Table 2. Hazard of the major toxicity gas concentration

Method	Gases	Exposure Time					
		2 Minute (ppm)		5 Minute (ppm)		30 Minute (ppm)	
		consciousness lesion	Death	consciousness lesion	Death	consciousness lesion	Death
NES 713	CO ₂	-	-	-	-	-	100,000
	CO	-	-	-	-	-	4,000
	HCl	-	-	-	-	-	500
	NO _x	-	-	-	-	-	250
	HCN	-	-	-	-	-	150
BSI DD 180	CO ₂	70,000	150,000	70,000	100,000	60,000	100,000
	CO	12,500	40,000	5,000	16,000	1,000	3,000
	HCl	1,000	40,000	1,000	16,000	200	3,000
	HCN	200	400	150	300	50	100

법은 동물노출을 이용한 방법(KS F 2271)과 몇몇 정부기관 및 생산회사가 재료의 선택을 위하여 개발된 실험방법 중의 하나인 가스 감지관을 이용한 NES 713 (British-Naval Engineering Standard)을 채택하였다.

이후의 재료의 연소가스 독성 평가방법으로는 '86년에 프랑스에서 NF X 70-100로, 국제 표준화 기구에서 '89년에 ISO TR 9122로, 영국에서는 BSI DD 180으로, 국제해사기구에서 '96년에 IMO MSC 61 Part2 등이 제정되었다.

각국의 연소가스 독성 실험방법을 비교·검토하여 Table 1에 나타내었다.⁸⁾ 이 중 본 연구에서는 다양한 연소가스의 측정이 가능한 NES 713 방법을 선택하여 연소가스의 독성을 알아보고자 하였다.

각 독성가스에 인간이 가벼운 활동에서 2분, 5분 및 30분 동안 노출될 때 의식장애 및 사망에 이를 수 있는 독성가스농도의 위험성 기준은 Table 2와 같다.

3. 연구방법 및 대상

파스콘 트로프에 대해 KS F 2271에 의거하여 연기유해성 시험을 하였으며, NES 713방법에 의해 연소가스를 분석하고 독성지수를 평가해 보았다.

3.1 가스유해성 시험

3.1.1 시료의 준비

시험체의 크기는 가로·세로 각각 220 mm로 하고, 두께는 실체의 것과 같은 것으로 하였으며, 시험체의 개수는 2개로 하였다. 시험체는 제조 후 35~45°C의 건

조기 안에서 24시간 이상 건조한 후 데시케이터 안에서 24시간 이상 보관하여 사용하였다.

3.1.2 실험방법

가열시험은 시험체의 열을 받는 면의 크기를 가로·세로 각각 180 mm로 하고, 처음에는 부열원으로 프로판가스 350 cc/min으로 3분간 가열한 후 다시 전열 1.5 W의 주열원으로 3분간 가열하였다. 공기는 가열 중에 한하여 공급하며, 그 공급량은 가열로의 1차 공급 장치에 의해 3.0 l/min, 2차 공급 장치에 의해 25.0 l/min으로 하였다. 피검상자의 배출장치에 의한 기체는 가열 중에 한하여 배출하며, 그 배출량은 10.0 l/min으로 하였다. 가열 시험은 시작 전에 표준판(석면 필라이트, 두께 10.0 mm)을 사용하여 예비 가열한 후 뒤 뚜껑을 제거하여 배기온도를 측정하는 열전대의 표시온도가 약 50°C로 강하한 다음 시작하였다. 가열시험을 시작할 때 피검 상자 내의 온도는 30°C로 하고, 실험용 흰 쥐(혈통: ICR계, 성별: 암컷, 주령: 5주, 체중: 18~22 g) 1마리를 회전 바구니에 넣었다. 가열을 시작해서 시험용 흰 쥐가 행동을 정지할 때까지의 시간 즉, 행동정지 시간을 측정하여 판정하였다.

3.2 연소가스의 독성지수

3.2.1 시료의 준비

시험체로부터 각각의 시료는 화염에 의해 가열되는 면적을 동일하게 하고자 2 cm×2 cm(1~3 g)로 절단하여 23±2°C, 상대습도 50±5%의 조건에서 24시간 보관한 후 실험에 사용하였다.



Fig. 1. Toxicity analysis apparatus of fire gases.

3.2.2 실험장치

NES 713 방법에 의한 시료의 연소가스 분석을 위해 제작된 실험장치는 Fig. 1과 같다. 실험 장치는 체적 0.96 m^3 인 연소챔버, 분젠버너(높이 125 mm, 구경 11 mm), 연소챔버 외벽의 가스검지관 삽입구, 강제배출장치, 혼합팬으로 구성되어 있으며, 메탄가스 및 공기를 조절하는 유량조절장치, 시간측정장치, 가스검지관 등으로 구성되어 있다. 이들 구성요소의 규격 및 용도는 Table 3에 나타내었다.

3.2.3 NES 713 방법에 의한 위험성 평가 방법

본 실험에서는 NES 713 방법을 이용하여 실험을 하였으며 규격에 맞추어 Test Chamber 및 시료 등을 준비하여 실험하였다. 각종 발생 가능한 연소가스의 측정은 가스 검지관(Gastec Chemical Detector)을 이용하였다. 일정공간 내에서 공기가 충분히 유입되는 경우 연소시 발생하는 유독가스의 양을 측정하였다. NES 713 방법은 시료의 유독가스 위험성을 평가하기 위하여 가스를 100 g/m^3 을 기준으로 각 유독가스별로 ppm 또는 %의 단위로 측정된다. 이렇게 측정된 각 유독가스의 농도를 각 가스의 C_f 값으로 나눈 것을 합하여 그 물질의 독성지수를 계산할 수 있다. 이 독성지수의 값이 크면 그 만큼 인체에 유해한 환경이 조성된다는 결

과를 얻을 수 있다.

3.2.4 실험방법

연소챔버 바닥 중앙에 위치한 시편지지대에 시편을 올려놓고 버너로 들어가는 연료인 메탄가스를 10 l/min , 공기를 15 l/min 으로 유지시키고, 버너 불꽃의 길이를 100 mm 정도로 유지시킨다. 온도계를 이용하여 버너의 온도가 $1,150 \pm 50^\circ\text{C}$ 가 되도록 하여 시편에 접촉시켰다. 연소챔버의 밀폐를 확인하고 강제배출장치가 꺼져 있는지 확인한 다음, 연소챔버 우측면에 장치된 가스검지관 삽입구를 통하여 가스검지관을 삽입하고 연소챔버의 문을 닫고 버너에 연료를 공급함과 동시에 점화시킨 다음 시간을 측정하였다. 연소시간은 시편이 완전연소될 수 있는 충분한 시간 동안이며, 이 시간을 기록하고 버너를 끈 후 30초 동안 혼합팬을 작동시킨 후 즉시 연소챔버로부터 각각의 가스검지관을 통하여 차례로 가스를 뽑아내는 가스샘플링을 개시하였다. 본 실험에 사용된 각 가스별 검지관의 규격은 Table 4에 나타내었다.

각 연소가스의 농도는 3회의 실험을 통해 얻어진 값을 평균해서 사용하였으며, 측정오차범위는 10% 이내의 값을 사용하였다. 이때 이산화탄소(CO_2), 일산화탄소(CO) 및 질소(NO_x) 가스 농도는 실험전 연소챔버 내에서 버너의 불꽃을 $1,150 \pm 50^\circ\text{C}$ 로 조정한 다음 점화하고 1분 동안 자유연소시킨 후 연료를 차단하고 30초 동안 혼합팬을 작동시킨 후 가스농도를 분석하고 이 값을 보정하여 사용하였다.

가스분석이 끝나면 즉시 문을 열고 강제배출장치를 통하여 연소챔버내의 잔류 연소생성물을 완전히 배출시키고 3분 이상 강제배출을 계속하였다. 시편 모두 연소되었는지 확인하기 위해 시편의 잔량을 확인한 다음, 만약 타지 않은 부분이 있는 것은 새로운 시편을 사용하여 실험을 다시 실시하였다.

4. 결과 및 고찰

파스콘 트로프의 연소 시 발생하는 연소가스의 유독

Table 3. Standard and use of constitution elements for experimental apparatus

Elements	Standard and use	Remark
Combustion Chamber	Volume 0.96 m^3	
Bunsen burner	Height 125 mm, Diameter 11 mm	
Mixing Fan	Fire gases concentration in chamber it is uniform	
Foreced exhaust equipment	Fire gases exhaust equipment	
Gas detector inserted hole	Measurement of fire gases Concentration	

Table 4. Standard of Gastec chemical detector

Gases	Measurement Range	Standard Absorption number	Sensing Limit	Remark
CO ₂	0.13~6%	n = 1	30 ppm(n = 1)	
CO	5~3,000 ppm	n = 3	0.5 ppm(n = 3)	
NO _x	0.2~5 ppm	n = 2	0.01 ppm(n = 8)	
HCN	2.5~60 ppm	n = 1	0.1 ppm(n = 5)	
HF	0.5~20 ppm	n = 4	0.1 ppm(n = 7)	
HCl	1~20 ppm	n = 1	0.05 ppm(n = 5)	
HNO ₃	1~20 ppm	n = 1	0.05 ppm(n = 10)	
SO ₂	2~30 ppm	n = 2	0.1 ppm(n = 8)	
NH ₃	0.5~78 ppm	n = 1	0.2 ppm(n = 2)	

성 여부를 알아보고자 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험기준인 KS F 2271에 의거하여 연기유해성 시험을 하였으며, NES 713방법에 의해 연소가스를 분석하고 독성지수를 평가해 보았다.

4.1 가스유해성 분석

KS F 2271에 의거하여 연기유해성 시험을 한 결과를 Table 5에 나타내었다.⁹⁾ Table에서 보는 바와 같이 마우스의 행동 정지시간이 14분을 넘고 있으며, 이는 판정기준 9분 이상을 넘고 있다. 따라서 파스콘 트로프는 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험기준에 적합한 것을 확인하였다.

4.2 연소가스 분석

NES 713(Naval Engineering Standard 713) 방법에 의거하여 3 g의 시료를 공기가 제공되지 않는 환경에서 밀폐시켜서 연소하는 경우에 생성되는 유독가스를

를 가스텍과 각 가스 검지관을 이용하여 측정하였다. 이와 같이 측정된 가스농도를 아래의 식에 적용하여 시료 100 g당에 대한 유독가스 발생량을 식 (1)에 의해 계산하였다.

$$C_0 = \frac{C \times 100 \times V}{m} [\text{ppm}] \quad (1)$$

여기서, C = 챔버 내부 가스농도[ppm]

m = 시료 질량[g]

V = 챔버 용적[m³]

이렇게 계산된 각 제품별 유해가스의 발생량을 Table 6에 나타내었다. Table에서 보는 바와 같이 파스콘 제품에서 발생하는 연소가스는 이산화탄소와 일산화탄소가 전부임을 알 수 있으며, 암모니아를 비롯하여 비교적 독성이 강한 이산화황(SO₂)과 시안화수소(HCN) 및 불화수소(HF)와 염화수소(HCl)와 같은 할로겐화수소와

Table 5. Analysis results of gas maleficence

		Gas hazard test		Standard of judgment
Samples		1	2	
Action stop time of mouse	1	14 min 48 sec	14 min 25 sec	
	2	14 min 39 sec	14 min 10 sec	9 min over
Standard deviation		00 min 09 sec	00 min 15 sec	
Judgment		suitability	suitability	

Table 6. Quantity of fire gases for sample [ppm/100 g]

Gases Product	CO ₂	CO	NO _x	HCN	HF	HCl	SO ₂	NH ₃
Pascon trough	30,400	2,560	-	-	-	-	-	-

Table 7. Fatal gas concentration of human body at 30 min exposure[C_f]

Gas	Conc.[ppm]	Gas	Conc. [ppm]
CO ₂	100,000	SO ₂	400
CO	4,000	NO _x	250
H ₂ S	750	C ₆ H ₅ OH	250
NH ₃	750	HCN	150
HCHO	500	HBr	150
HCl	500	HF	100
CH ₂ CHCN	400	COCl ₂	25

같은 비교적 독성이 강한 유독가스는 발생되지 않는 것을 볼 수 있다. 할로겐족 원소를 분자 자체 내에 포함하고 있지 않은 경우에도 할로겐화수소가 발생하는 사례가 있는데, 제품 자체의 연소성을 낮추고자 제조 시 첨가된 할로겐화 난연제를 포함하고 있기 때문이다. 파스콘 제품의 경우 난연제로서 할로겐화 난연제를 사용하고 있지 않기 때문에 이들 가스가 발생되지 않고 있다. 한편 제품 자체의 기본 조성 중 가연성 성분의 원료가 폴리프로필렌(PP)과 폴리에틸렌(PE)으로서 탄소와 수소만으로 이루어진 유기화합물이기 때문에 이론적으로도 예측 가능하나, 연소시 발생하는 일산화탄소와 이산화탄소의 발생되는 양에 따라 독성의 정도가 달라지기 때문에 양을 정량적으로 측정하여 아래와 같이 독성지수를 계산하였다.

시료의 독성 지수(Toxicity Index, T.I.)는 다음의 식 (2)에 의해 계산하였다.

$$\text{Toxic index} = \sum \frac{C_{\theta 1}}{C_{f1}} + \frac{C_{\theta 2}}{C_{f2}} + \dots + \frac{C_{\theta n}}{C_{fn}} \quad (2)$$

여기서, 1, 2, 3, ..., n = 검출된 각 가스

C_f = 30분 노출시 치명적인 가스농도[ppm]

여기서 30분 노출시 치명적인 가스농도[C_f]는 가스의 종류에 따라 서로 다르다. 그 값을 Table 7에 나타내었다.

$$\begin{aligned} \text{T.I.} &= \sum_{i=1,2,\dots} \frac{C_{\theta i}}{C_{fi}} \\ &= \frac{30,400}{100,000} + \frac{2,560}{4,000} \\ &= 0.944 \end{aligned}$$

파스콘 시료의 독성지수는 0.944로 나타났으며, 이러한 수치는 제품의 연소시 발생하는 연소가스를 30분

한국화재소방학회 논문지, 제20권 제2호, 2006년

이상 노출되어야 위험한 농도에 이를 수 있다는 것을 의미한다. 난연성능 요구시 연기유독성 평가나 연기의 발생량을 규제하지 않고 있는 국내의 실정에 비추어 볼 때 파스콘 제품의 연소가스 독성지수는 비교적 낮은 수치이다. 이는 모재가 탄소와 수소로만으로 이루어진 유기화합물이기 때문에 일산화탄소외의 유독가스가 검지 않았기 때문이며, 난연제에 의한 난연성 향상으로 파스콘 트로프의 연소가 어려워 그 연소가스의 발생량에 있어서도 적게 발생되었기 때문이다.

5. 결 론

파스콘 트로프 재질에 대한 연소가스의 연기유해성 시험 결과 마우스의 행동 정지시간이 14분을 넘고 있으며, 이는 판정기준 9분 이상을 넘고 있다. 따라서 파스콘 트로프는 KS F 2271인 건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험기준에 적합한 것을 확인하였으며, NES 713 방법에 의한 파스콘 제품에서 발생하는 연소가스는 이산화탄소와 일산화탄소가 전부임을 알 수 있으며, 비교적 독성이 강한 유독가스는 발생되지 않았다. 이는 제품 자체의 원료가 폴리프로필렌(PP)과 폴리에틸렌(PE)으로 이루어져 있기 때문이다. 유독가스의 독성지수를 살펴본 결과 0.944의 값을 나타냈으며, 이러한 수치는 제품의 연소시 발생하는 연소가스를 30분 이상 노출되어야 위험한 농도에 이를 수 있다는 것을 의미한다. 난연성능 요구시 연기유독성 평가나 연기의 발생량을 규제하지 않고 있는 국내의 실정에 비추어 볼 때 파스콘 제품의 연소가스 독성지수는 비교적 낮은 수치이다.

참고문헌

1. 대한건축학회, “건축재료”, p432, 기문당(2002).
2. 김무한 외 2명, “건축재료학”, p243, 문운당(2002).
3. L. Frank, “Fire, Combustibility of Plastics”, Van Nostrand Reinhold(1991).
4. Marcelo M. Hirschler, “Fire Hazard and Toxic Potency 0.1 the Smoke from Burning Materials”, Advances in Combustion Toxicology, Technomic Publishing Co., Inc., Vol. 2(1983).
5. 이창우, 박재성, 최충석, 이의평, 윤명오, “PASCON 케이블 트로프의 화재안전성에 관한 연구”, 한국화재·소방학회지, 16(1), pp.51-59(2002).
6. KS F 2271, “건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법”(1998).
7. NES 713(Naval Engineering Standard 713), “Determination of the Toxicity Index of the Products of

- Combustion from Small Specimens of Materials Issue 3", March(1985).
8. 박영근, 김동일, 현성호, "가스검지관법에 의한 플라스틱재료의 연소가스 독성평가", 한국화재·소방논문지, Vol. 16, No. 4, pp.77-84(2002).
9. 한국화재보험협회 부설 방재시험연구원, 시험성적서 (2002).