

PASCON 케이블 트로프의 화재안전성에 관한 연구 A Study on Fire Safety of PASCON Cable Trough

이창우[†] · 박재성 · 최충석** · 이의평*** · 윤명오*

Chang-Woo Lee[†] · Jae-Seong Park · Chung-Seog Choi** ·
Eui-Pyeong Lee*** · Myung-O Yoon*

서울시립대학교 지진·방재연구소
*서울시립대학교 건축도시조경학부
**한국전기안전공사부설 전기안전시험연구원
***광주소방안전본부
(2002. 01. 30. 접수/2002. 03. 08. 채택)

요 약

신소재 PASCON 케이블 트로프로서의 여러 가지 물성을 평가하고, 국내 내연성 시험방법의 적합성을 고찰하였으며, 특히 고속철도 선로변에 사용한 PASCON 케이블 트로프의 법적 타당성과 화재안전성에 대한 연구를 통해 PASCON 재질의 적합성을 살펴보았다. 연구결과 국내에서 적용하고 있는 PASCON 케이블 트로프의 재질에 대한 내연성 시험방법(KS M3015)은 국제적인 시험방법(UL 94)과 큰 차이가 없으며, 시험 결과 우수한 성능을 나타내었다. 또한 고속철도 선로변에 설치된 PASCON 케이블 트로프 내에서의 화재 발생시 화재에 대한 확산 경로로서의 가능성이 매우 작으며, 화재에 대한 안전성 또한 매우 높은 것으로 나타났다.

ABSTRACT

Manifold physical properties of PASCON cable trough were evaluated, and its suitability of domestic test for flammability of plastic materials was examined. Particularly, suitability of PASCON material was investigated through study on the legal propriety of PASCON cable trough used for highspeed rail line and on a fire safety. As results, domestic test for flammability of PASCON cable trough material(KS M3015) was similar to UL 94 flammability testing and from the test outstanding capability of PASCON cable trough material was proved. Besides, possibility of fire enlargement would be very low in case of fire in PASCON cable trough installed around train express. Also, fire safety of PASCON cable trough was shown to be credible.

Keywords : PASCON cable trough, Flammability, UL 94, Highspeed rail

I. 서 론

시멘트 콘크리트는 20세기 최고의 건설소재로서 그 가치와 편리성은 사회전반에 지대한 영향을 미쳤다고 할 수 있다. 그러나 오늘날 대기오염으로 인한 산성비 등 각종 공해로 인하여 침식과 노화가 가속화되면서 그 수명은 점차 단축되고 있으며, 건설폐기물의 양은 급증하여 환경저해의 큰 요인으로 작용하기 시작하였다[1]. 또한, 각종 산업폐기물의 양이 날로 급증하고 있

으며, 이를 재활용(recycling)하려는 많은 노력이 행해지고 있으나 이에 대한 사회적 관심과 지원이 적은 것이 현실이다.

PASCON의 주원료인 폐합성수지(열가소성수지)는 연간 발생량이 200만톤 정도이며 매년 20%씩 증가 추세를 보이고 있으나 약 30~35% 정도만이 재활용되고 있으며 화력발전소에서 발생하는 탄재(fly-ash)는 연간 400만톤으로 10%만이 재활용되고 나머지는 전량 산업폐기물로 매립 처리되어 이로 인한 부지확보의 애로와 침출수에 의한 토양 및 수질오염이 가속화되고 있는 실정이며 고로 slag 또한 연간 1,000만톤 이상 발생되

[†]E-mail: lcw119@hanmail.net

어 약 20% 정도만이 재가공 후 재활용되고 있는 실정이다[2,3]. 이러한 현실에 비추어 볼 때 신소재 PASCON의 개발은 폐합성수지의 재활용을 광범위하게 촉진시킬 수 있으며, 특히 탄재와 고로 slag의 재활용 비율을 높여 산업폐기물에 의한 환경파괴를 현저히 격감시키며 산업폐기물을 자원으로 재활용할 수 있는 현실적 기술로서 관련분야의 사업방향을 제시할 수 있을 것이다.

PASCON은 시멘트 콘크리트 구조물을 가장 효과적으로 대체할 수 있으며 시멘트콘크리트에 비해 설치공간이 줄어 타 시설과의 인터페이스 확보가 유리하며, 재료의 기계적인 특성인 압축, 인장, 휨강도가 우수하며 파손이 거의 없고 중량은 1/10에 지나지 않아 경량화가 요구되는 제품개발이 용이하며 내구성, 내약품성(해수)이 우수하며 공기 단축이 요구되는 공정과 공사비 절감이 필요한 각종 건설분야(전기, 통신, 토목, 건축)에 반영구적 제품으로 이용이 가능한 특징을 가지고 있다. 또한, 시멘트콘크리트 구조물은 시멘트, 모래, 자갈 등 자연골재가 주원료임에 따라 자연환경을 파괴하고 한정된 골재고갈로 인한 영구적인 생산이 불가능할 뿐만 아니라 파손이나 보수 후 발생하는 다량의 대형건설 폐기물은 심각한 환경문제로 대두되고 있는 실정이다[4]. 이러한 여러 가지 문제점을 일시에 해소할 수 있는 신소재 파스콘은 환경 친화적이며 자원개발적인 미래지향적 특수소재로서 국내 관련 건설 분야는 물론 일본, 유럽 지역의 제품 수출 및 기술이전을 통해 세계적 선진환경기술로 인정받고 있으며, 관련 산업의 대체 소재로 다양한 제품개발이 가능할 것이다.

이와 유사한 제품으로는 미국의 Carson 사에서는 열가소성 수지인 HDPE(High Density Polyethylene)를 이용하여 Railduct라는 제품을 생산하고 있으며, 일본에서는 일동공업주식회사 등 FRP재질의 트로프를 생산하고 있다[5,6]. 그러나 Carson 사의 HDPE 제품은 충격강도가 작아 깨지기 쉬우며, FRP의 경우 본 제품에 비해 고가이며 시멘트 콘크리트 구조물을 대체하기에는 충격강도가 작은 단점이 있다.

따라서 본 연구에서는 레진 콘크리트(resin concrete, PASCON)를 이용하여 한국고속철도공단에서 요구하는 케이블 트로프로서의 특성을 만족하는 물성을 가진 제품을 제조하고, PASCON 케이블 트로프의 내연성 시험방법의 적합성을 고찰하였으며 고속철도 선로변에 사용한 PASCON 케이블 트로프의 화재안전성에 대한 연구를 통해 PASCON 재질의 적합성을 살펴보았다.

2. 실험방법

2.1 PASCON 케이블 트로프의 제조 및 물성측정

본 실험에서 사용한 케이블 트로프의 원료인 PASCON은 화력발전소에서 발생하는 최종연소 부산물인 탄재와 제철소의 철광석 용해 부산물인 고로 슬래그(Blast-furnace slag)에 폐합성수지(HDPE 및 LDPE)를 용융하여 결합하고, 여기에 (주)더코에서 독자적으로 개발된 보강제를 혼합하여 1,000톤급 이상의 다이캐스팅 사출성형기로 50 kg/cm²의 성형압으로 각각의 금형을 통하여 케이블 트로프를 제조하였다. 이렇게 제조된 PASCON 케이블 트로프의 압축강도, 인장강도, 굴곡강

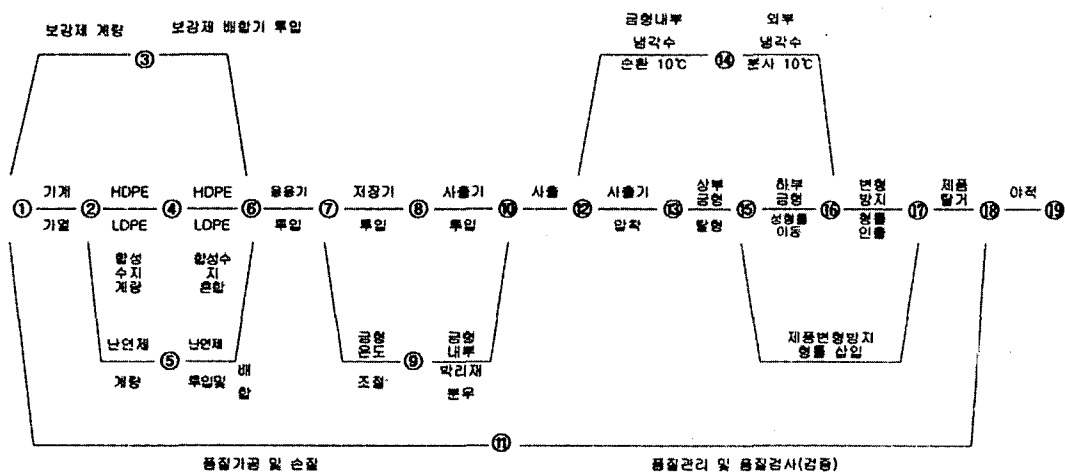


Fig. 1. 레진 콘크리트(Resin Concrete, PASCON) 제조공정도.

Table 1. PASCON 케이블 트로프의 성분 및 조성

성분	합성수지	규사(SiO ₂)	산화알루미늄 (Al ₂ O ₃)	산화철 (Fe ₂ O ₃)	산화마그네슘 (MgO)	기타
조성[%]	40~60	18~25	10~15	4~5	1~2	5~7

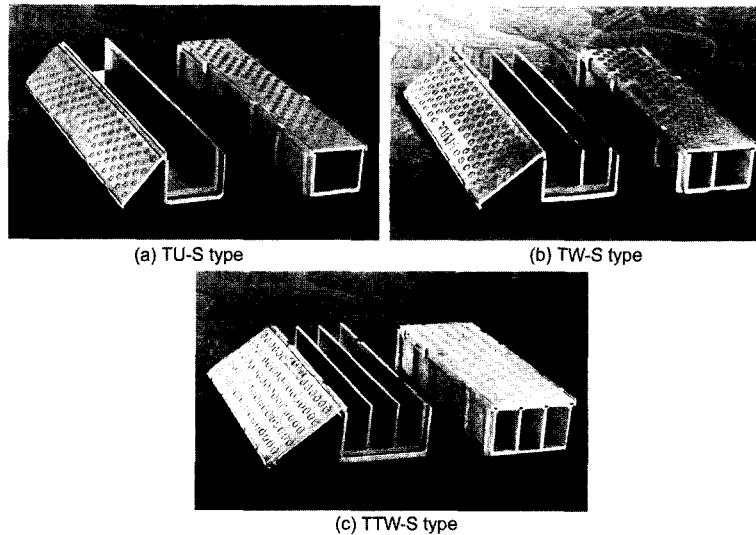


Fig. 2. PASCON 케이블 트로프의 종류.

도, 충격강도 및 기타 여러가지 물성은 한국공업규격 (KS) 및 한국통신제정에서 정하는 바에 따라 시험하였다. PASCON의 제조공정을 간략하게 Fig. 1에 나타내었으며, 그 성분 및 조성은 Table 1과 같다.

한편 PASCON 케이블 트로프의 종류는 Fig. 2에 나타내었다. 각 제품에는 여러 가지 규격제품을 가지고 있으며, 용도 및 공간에 맞게 규격의 제품의 제작이 가능하다. 본 연구에서는 케이블의 종류별 수용이 가능하고 화재시 가장 큰 영향을 받을 것으로 사료되는 공동관로형(TTW-S) 케이블 트로프에 대한 화재 안전성에 대해 실험하였다. 현재 고속철도 양쪽 선로변에 이와 같은 형태의 케이블 트로프가 설치되어 있으며, 고속철도와 동일한 조건으로 케이블 트로프를 설치하고 케이블을 포설한 상태에서 케이블 트로프에서 발생할 수 있는 화재에 대한 시나리오 선정하고 각 시나리오별 화재 확대 가능성 및 안전성에 대한 재료의 적합성을 평가하였다.

2.2 화재안전성 평가

2.2.1 케이블 트로프 설치 및 케이블 포설 현황

본 연구의 대상인 고속철도 선로변에 설치되어 있는

PASCON 재료의 공동관로형 케이블 트로프는 재료의 열팽창 특성상 트로프 간의 연결부의 간격이 2~3 cm 벌어져 시공되어 있고, 케이블 트로프내 케이블 포설은 전력, 통신 및 신호케이블을 각 칸에 포설하였다. 전력 및 신호 케이블은 난연 케이블을 사용하고 있으며, 통신 및 접지케이블이 비난연 케이블이다.

2.2.2 시나리오 분석

케이블 트로프에서 화재의 발생 가능성이 존재하는 원인별 화재시나리오를 Fig. 3에서 나타내었다. 이들 시나리오 중 본 연구에서는 화재 발생시 트로프 재질 및 구조적 특성으로 인한 화재의 확산 가능성 여부에

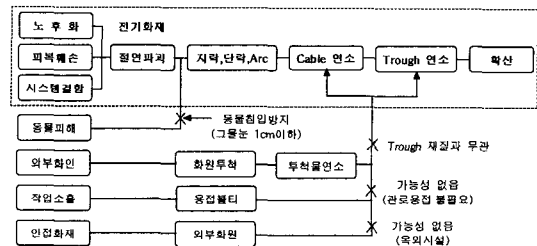


Fig. 3. 화재원인별 시나리오.

초점을 맞춰 연구를 진행하고자 인위적/의도적인 화재 및 트로프 재질과 무관하게 발생될 수 있는 화재 시나리오에 대해서는 연구 대상에서 제외하였다. 즉, 노후화, 피복의 훼손 및 시스템 결함에 의한 지락, 단락 및 아크(Arc)에 의한 전기화재 및 외부요인에 의한 공사 중 화재 발생에 따른 케이블 및 케이블 트로프의 손상 여부를 확인하고 화재의 확산 가능성을 살펴보았다.

2.2.3 케이블의 지락사고 및 내전압 모의시험

전력케이블에 대한 지락사고 및 내전압 시험은 한국 전기연구원에서 시험하였다. 전력케이블의 지락 사고 시험은 22 kV 특고압 케이블 CV 60 mm² 심선에 450 A의 전류를 5분간 통전하였을 때 화재 발생 등 이상유무를 조사함으로써 평가하였으며, 내전압 시험은 22 kV 특고압 케이블 CV 60 mm² 심선과 차폐층간에 AC 50 kV, 60 Hz 전압을 10분간 인가하였을 때 절연 파괴가 일어나는지 여부를 봄으로써 평가하였다.

2.2.4 PASCON 케이블 트로프의 내연성 및 연소시험

PASCON케이블 트로프의 내연성 시험을 한국공업규격의 KS M3015와 KS M3305 및 국제적인 규격인 UL 94법에 의하여 평가하였다. 또한 케이블 트로프의 연소시험은 22 kV 특고압 케이블에 인위적인 전기화재 유발이 어려워 특고압 케이블에 화원으로서 토치를 이용하여 불이 붙을 때까지 인위적으로 가열함으로써 인위적인 화재를 발생시키고, 케이블 트로프 내에서의 화

재 전이 상태 및 케이블 트로프의 손상여부를 관찰하였다. 또한 PASCON 케이블 트로프를 직접 토치로 5분간 가열하여 화재의 전이 및 트로프의 손상 정도를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 PASCON 케이블 트로프의 물성 측정

PASCON 케이블 트로프의 여러 가지 물성을 한국공업규격 및 기타 관련 규격에 의하여 시험하였으며, 그 결과 및 한국고속철도건설공단에서 요구하는 시방서상의 기준을 Table 2에 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 케이블 트로프의 물성은 모두 기준에 적합한 것을 알 수 있다.

3.2 케이블 포설에 따른 관련법규 검토

3.2.1 전력케이블 상호간의 이격거리에 대한 검토

국내 및 일본의 전력케이블 상호간의 이격거리에 대한 관련규정을 Table 3에 정리하여 나타내었다. 표에서 보는바와 같이 국내 전기설비기술기준 제157조에 의하면 특별고압케이블과 저압케이블 사이에 30 cm의 이격거리를 두고 설치하도록 규정하고 있으나, 각각의 지중전선을 난연성의 피복이 있는 것을 사용하는 경우 예외 조항을 두고 있다. 일본의 경우에도 내연조치를

Table 2. PASCON 케이블 트로프 시험 방법 및 고속철도 기준에 대한 결과

시험 항목	시험 방법	기준	시험결과	비고
압축강도[MPa]	KS M 3816	22.6	42.2	
인장강도[MPa]	KS M 3006	8.83	17.0	
굴곡(휨)강도[MPa]	KS M 3015	29.42	32.3	
충격강도[J/cm]	KS M 3015(아이쥬드)	0.3	0.38	
열선팽창[1/°C]	KS M 3015	15×10 ⁻⁵ 이하	8.2×10 ⁻⁵	
용융점[°C]	KS M 0007	150°C이상	168	
하중휨온도[°C]	KS M 3065	90°C이상	94	
난연성	KS M 3015	불연	불연성	
내약품성	한국통신제정통신5975-2213-타의 30 mm×15 mm의 시험편을 온도 60±5°C에서 5시간이상, NaOH 40%, H ₂ SO ₄ 30%, HNO ₃ 40%, Fuel Oil, NaCl 10%에 침지하여 변색, 변형, 균열, 부풀음 등이 없어야 한다.	이상유무	이상없음	
자외선	KS F 2274(건축용 합성수지제의 촉진노출시험방법)에 규정된 방법으로 2000시간이상 노출시험(WV형) 시행한 후 육안으로 보이는 변색, 변형, 균열, 부풀음 등이 없어야 한다.	이상유무	이상없음	
온도변화시험	한국통신제정통신5975-2262-타(열수축관) 3.6.3 (3)에 의해 1주기를 8시간으로 한 20주기 동안 시험한 후 변색, 변형, 균열, 부풀음 등이 없어야 한다.	상유무	이상없음	

Table 3. 국내 및 일본의 관련규정

국 내	일 본
<p>제157조(지중전선 상호간의 접근 또는 교차) 지중전선이 다른 지중전선과 접근하거나 교차하는 경우에 지중함내 이외의 곳에서 상호간의 거리가 저압 지중전선과 고압 지중전선에 있어서는 15 cm이하, <u>직압이나 고압의 지중전선과 특별고압 지중전선에 있어서는 30 cm이하</u>인 때에는 다음 각 호중 1에 해당하는 경우에 한하여 시설할 수 있다. 시·도지사의 인가를 받은 경우에는 그러하지 아니하다.</p> <p>1. 각각의 지중전선이 다음 1에 해당하는 경우 가. <u>난연성의 피복이 있는 것(별표1 제2항의 시험방법에 의한 시험에 합격한 케이블을 말한다.)을 사용하는 경우</u> 나. (생략) 2~4. (생략)</p>	<p>● 지중선로의 시설 1~2. (생략) 3. 지중전선로를 전력구식으로 시설하는 경우는 전력구에 가해지는 차량, 기타 중량물의 압력에 견디는 것을 사용하고 지중전선에 내연조치를 시행하거나 또는 전력구내 자동소화 설비를 시설할 것. 4~6. (생략) 7. 제3항의 내연조치로는 다음 각 호에 의할 것. 가. 불연성 또는 자소성이 있는 난연재의 피복을 갖는 지중전선을 사용할 것. 나~다. (생략)</p>

시행한 경우 별다른 문제가 없는 것으로 판단된다. 따라서 특별고압케이블인 22 kV CV 케이블과 저압케이블인 600 V CV 케이블은 난연성 케이블이므로 특별고압케이블과 저압케이블 상호간의 이격거리에 대한 법적 문제점은 없는 것으로 판단된다.

3.2.2 전력케이블과 통신케이블 사이의 이격거리에 대한 검토

전력케이블과 통신케이블 사이의 이격거리에 대한 국내 관련법규를 Table 4에 정리하였다. 전기설비기술기준 제156조 항에 의거하여 지중전선이 지중약전류전선 등과 접근하거나 교차하는 경우에 상호간의 이격거리가 특별고압 지중통신선의 경우 60 cm 이하인 때에는 지중전선과 지중 약전류전선등 사이에 견고한 내화성 격벽을 설치하도록 되어 있다. 또한 접지설비·구내통신설비·선로설비 및 공동구 등에 대한 세부기술기준 제21조 항에 의거하여 지중통신선을 특별고압의 지중강전류전선과의 최소 이격거리는 60 cm이며, 60 cm 이내로 설치하는 경우에는 지중통신선과 지중강전류전

선상에는 설치장소에서 발생할 수 있는 화염에 견딜 수 있는 격벽을 설치하여야 한다. 다만, 난연성의 보호 피복을 사용하고 상호 접촉되지 아니하도록 설치하는 경우로서 지중강 전류전선 설치자의 승낙을 얻은 경우에는 예외로 할 수 있다. 현재 고속철도 케이블 트로프 내에 설치되어 있는 통신케이블이 비난연 케이블이므로 전력케이블과 통신케이블 사이의 격벽 재질인 PASCON이 전기설비기술기준에 의하면 “내화성 격벽”이어야 하며, 접지설비·구내통신설비·선로설비 및 공동구 등에 대한 세부기술기준에 의하면 “설치장소에서 발생할 수 있는 화염에 견딜 수 있는 격벽”이어야 한다. 한편, 산업자원부의 전기설비기술기준 제156조에서 언급하고 있는 “내화성”에 대한 정의와 시험방법이 명시되어 있지 않으며, fire rating 기준이 없기 때문에 성능 시험방법이 애매 모호하다. 또한 정보통신부의 전기통신설비의 기술기준 관련고시에서 언급하고 있는 설치장소에서 발생할 수 있는 화염에 견딜 수 있는지의 여부의 판단이 필요하다. 일본 관련법규의 경우 용어

Table 4. 국내 관련법규

전기설비기술기준	접지설비·구내통신설비·선로설비 및 공동구등에 대한 기술기준
<p>제156조(지중전선과 지중약전류전선 등 또는 관과의 접근 또는 교차) ① 지중 전선이 지중 약전류전선등과 접근하거나 교차하는 경우에 상호간의 이격거리가 저압 또는 고압의 지중전선은 30 cm 이하, 특별고압 지중전선은 60 cm 이하인 때에는 <u>지중 전선과 지중 약전류전선등 사이에 견고한 내화성의 격벽을 설치하는 경우 이외에는 지중전선을 견고한 불연성 또는 난연성의 관에 넣어 그 관이 지중 약전류전선등과 직접 접촉하지 아니하도록 하여야 한다.</u>(이하생략)</p>	<p>제21조(지중통신선) ① 지중통신선을 지중강전류전선으로부터 30 cm(지중강전류전선이 특별고압인 경우에는 60 cm)이내의 거리에 설치하는 경우에는 지중통신선과 지중강전류전선간에는 <u>설치장소에서 발생할 수 있는 화염에 견딜 수 있는 격벽을 설치하여야 한다.</u> 다만, 전기용품 안전관리법에 의한 전기용품 기술기준 중 수직트레이 불꽃시험에 적합한 보호피복을 사용하고 상호 접촉되지 아니하도록 설치하는 경우로서 지중강전류전선 설치자의 승낙을 얻은 경우에는 예외로 할 수 있다.</p>

의 정의가 명확하게 명시되어 있으며, 그 성능 시험방법 또한 구체적으로 언급하고 있다.

한편, PASCON 재질의 케이블 트로프는 재료의 열팽창 특성상 트로프 내의 격벽이 2~3 cm 벌어져 시공되어 있으므로 법적 타당성에 부합되기 위해서는 전력칸과 통신칸 사이의 틈새를 칸막이를 별도 설치하여 보강할 필요가 있다.

3.3 PASCON 케이블 트로프의 재질 및 성능시험 방법의 적합성

현행 전기설비기술기준 상 옥외의 시설(제237조~제245조)에는 케이블 트로프에 대한 재질의 규정이 없으며, 옥내의 시설규정에 불연성 또는 난연성 재료의 사용을 허용하고 있다. 한편 옥외에 비해 옥내의 화재 위험성이 매우 높은 것을 감안하면, 케이블 트로프의 재질을 옥내기준으로 준용하더라도 무방할 것으로 판단된다. 따라서 케이블 트로프의 재질은 난연성의 재료로 사용하더라도 무방할 것으로 판단된다. 현행 전기설비기술기준에는 관 또는 트로프의 재질과 관련하여 난연성의 정확한 용어의 정의가 없으며, 그 성능 시험방법 또한 명백하지 않다. 이에 대한 일본 전기설비기술기준에는 “자소성이 있는 난연성”으로 표시하고 있으며, 그 성능은 “관 또는 트로프의 경우 전기용품기술기준을 정한 정·령의 제2부표 제24의 내연성 시험에 합격한 것 또는 이것과 동등 이상의 성능을 갖는 것”이라고 명확히 구분하여 제시하고 있다. 따라서 이에 대한 국내 관련법 규정에 재질의 성능시험에 관해 구체적으로 명시하는 방향으로 보완되어야 할 것으로

사료된다. 한편, 한국공업규격(KS)에 명시된 플라스틱 제품의 난연성 시험방법은 다음과 같으며, 그 구체적인 시험 조건은 Table 5에 나타내었다.

■ 전기규격

- KS C8331(경질비닐 전선관)
- KS C8455(파상형 경질 폴리에틸렌 전선관)

■ 화학규격

- KS M3015(열경화성 플라스틱 일반 시험 방법)
- KS M3305(섬유 강화 플라스틱용 액상 불포화 폴리에스테르 수지)

■ 건축규격

- KS F2271(건축물의 내장재료 및 구조의 난연성 시험방법)

케이블 트로프는 건축 대상물이 아니므로 건축물의 내장재에 사용하는 재료와 구조에 해당하는 난연성 시험방법인 KS F2271를 적용하는 것은 무리가 있다고 생각된다. 또한 케이블 트로프가 관은 아니나 전기관련규격을 적용함이 가장 적합할 것으로 사료되나, KS C8331 및 KS C8455은 둘 다 전선관의 재질적 특성상 열가소성 플라스틱의 내연성 시험방법이다. 따라서 열경화성 플라스틱의 난연성 시험방법으로는 적합하지 않을 것으로 판단된다. 열경화성 플라스틱의 경우 화학규격인 KS M3015 및 KS M3305에 의한 시험방법이 타당할 것으로 판단된다. 본 연구의 대상인 PASCON 케이블 트로프의 경우 열가소성 및 열경화성

Table 5. 플라스틱 제품의 내연성 시험에 대한 KS 규격

항 목	KS C8431	KS C8455	KS M3015	KS M3305	KS F2271
시료길이[mm]	50	150	120	120	220
불꽃길이[mm]	15	15			
불꽃과 시료의 간격[mm]	15	15	속불꽃이 시료에 직접 닿도록	속불꽃이 시료에 직접 닿도록	전기가열
인가시간	1분	1분	30초 이내	30초 이내	10분
불꽃인가	수직	수직	30도	30도	배기온도 305°C
적용시험항목	내연성	내연성	내연성(KS M3015 A 법)	내연성(연소시간)	난연
판 정	불꽃이 자연히 꺼질 것	불꽃이 자연히 꺼질 것	- 연소 25 mm 이하인 경우 불연성 - 연소 25~100 mm 이하인 경우 자기소화성	- 연소거리가 25 mm 이하인 경우 난연성 - 연소 25~100 mm 이하인 경우 자기소화성	- 난연1급 - 난연2급 - 난연3급

Table 6. 국내·외 플라스틱 제품의 내연성 시험 방법

항 목 \ 사 양	KS M3015	JIS 1322	UL 94
시료길이[mm]	120	300	125~150
불꽃길이[mm]	65	총 125, Blue 40±2	
불꽃과 시료의 간격[mm]	속불꽃이 시료에 직접 닿도록	76	속불꽃이 시료에 직접 닿도록
버너 노즐 지름[mm]	8.5~11.5		9.5±0.3 mm
인가시간	30초 이내	10초, 20초, 30초, 1분, 3분	5초×5회
불꽃인가	30도	45도	20±5도
적용시험항목	내연성(KS M3015 A법)	난연성	(UL 94(5VA))
판 정	- 연소 25 mm 이하인 경우 불연성 - 연소 25~100 mm이하인 경우 자기소화성	- 탄화길이 · 방염1급 50 mm이하 2급100 mm이하 3급150 mm이하 잔진이 1분후 존재하지 않을 것	끝까지 타지 않을 것

레진 콘크리트로서 이와 같은 시험 방법이 적합할 것이다. 한편 국내·외에서 사용하고 있는 플라스틱 제품의 난연성 시험방법을 Table 6에 나타내었으며, 그 시험방법에 있어 매우 유사하며 선진외국의 경우 열가소성 및 열경화성 플라스틱류에 대해 UL 94를 동일하게 적용하고 있다. 따라서 PASCON 케이블 트로프의 내연성 시험방법에 대한 국내 규정인 KS M3015와 국외 규정인 UL 94나 IEC 60695-11과 시험방법이 매우 유사하므로 KS M3015의 적용이 가능할 것이며, 그 성능면에서 국제적인 요구에 합당할 것으로 판단된다. 한편 한국전력공사에서는 트로프 이외의 플라스틱류의 전기제품에 대한 내연성 시험은 모두 KS M3015로 하고 있다.

3.4 화재 안전성 검토

3.4.1 케이블 화재

고속철도 전 구간에 걸쳐 케이블 및 핸드홀이 접지되어 있으며, 케이블 트로프 내에서 전력케이블의 단락 및 지락에 의한 화재는 전력 케이블의 자체 성능이 좌우할 것이므로 특별고압 전력케이블에 대해 공인기관에 의해 지락시험(심선 양단에 450 A 5분간, 쉘드선 양단에 450 A 7초간 인가) 및 내전압시험(44 kV 10분간 인가)을 수행하였다. 이를 Fig. 4, 5에 나타내었다. 실험결과 케이블 및 케이블 트로프에 아무런 이상이 없음을 확인하였다. 따라서 케이블 자체에서의 화재발생 가능성은 공학적으로 무시 가능할 정도로 매우 희박하다. 그러나, 케이블의 접속부가 존재하는 핸드홀



Fig. 4. 22KV 심선의 지락(과전류) 시험(450A 전류를 5분간 인가).

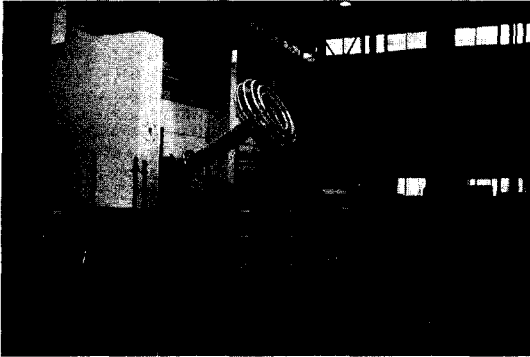


Fig. 5. 22 kV 전력케이블의 내전압 시험(44 kV 전압을 10분간 인가).

내에서의 화재 가능성은 존재하며 대부분의 케이블 화재 원인으로 나타나고 있다. 화재가 발생된다 해도 전력계통의 redundancy 회로와 차단기 설치로 열차운행의 제약이나 대규모 연소피해를 가져올 수 없으며, 케이블이 자소성이 있는 난연성이므로 피해는 핸드홀에 국한될 것으로 판단된다. 따라서 케이블 접속부가 존

재하는 핸드홀 내에서의 화재가 발생하더라도 케이블이 자소성이 있는 난연성 케이블이므로 PASCON 케이블 트로프의 열팽창 특성상 트로프가 2~3 cm 벌어져 시공되어 있다하더라도 화재의 확대 경로로서 작용할 우려는 극히 미약하다.

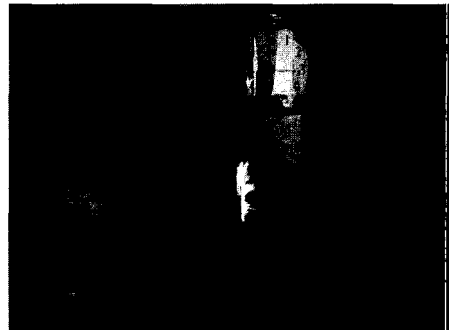
3.4.2 외부 발화원에 의한 화재

고속철도는 옥외시설물로서 인접지역에 가연물이 없으며, 타구역에서 발생한 화재가 케이블로 전이되어 착화 가능성 매우 희박하고 볼 수 있으며, 공사 중 용접 불똥에 의해서 케이블로의 착화 가능성은 공사의 빈도수를 고려하였을 때 외부 발화원에 의한 화재 발생 가능성은 매우 희박하다고 할 수 있다. 한편 Fig. 6은 PASCON 케이블 트로프의 재질이 화재에 어느 정도 견디는지를 확인하기 위하여 토치를 이용하여 착화시켜 보았다. 5분 동안 가열했음에도 뒷면에 손을 댈 수 있을 정도로 열전도가 잘되지 않았으며, 토치 제거시 화염은 19초만에 자연스럽게 소화되었다. 이 때 탄화면적은 확대되지 않았으며, 트로프의 형태에 있어 변형이 발생하지 않았으므로 외부 발화원에 의한 화재에 충분히 견딜 수 있을 것으로 판단된다.

3.4.3 화재성장 및 방재수준



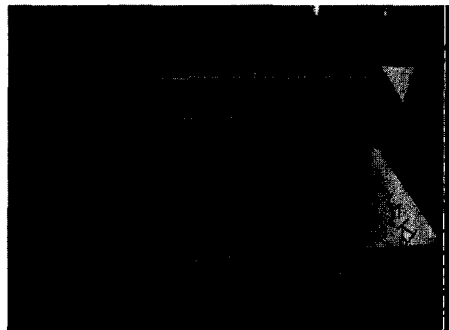
(a) 토치로 착화



(b) 5분간 가열후 열전도 확인



(c) 토치 제거 후



(d) 19초만에 자연소화

Fig. 6. PASCON 케이블 트로프의 연소시험.

PASCON 케이블 트로프 뚜껑과의 상부틈새는 화재 확대의 경로로서 작용하기 어렵다. 트로프 내에 화재의 발생을 가정하여 화염이 직접 격벽을 넘어 아래로 이동하거나 대류에 의한 열이동으로 인한 통신케이블에 착화 가능성은 열의 이동방향과 반대이므로 가능성이 희박하며, 복사열에 의한 통신케이블의 착화 가능성은 일정시간 이상 화염에 노출되어 복사열을 받아야 하나 전력케이블이 난연케이블로 자소성이 있으므로 가능성이 희박하다. 한편, 케이블 트로프 유닛간 이음부 틈새는 arc방전 시 복사열 전달 경로가 되므로, 최소한의 비용으로 복사열 차단 수준의 대책은 바람직할 것으로 판단된다. 그러나 일반적으로 특별고압이 Arc방전된다해도 2 cycle(2/60초)이내에 차단되므로 연소 확률이 매우 적다. 또한 일반 시설과 달리 전구간 redundancy가 확보되어 있기 때문에 직접손실에 의한 피해는 케이블이 자소성이므로 피해범위는 교체 가능한 단위범위로 매우 적다고 볼 수 있다. 예상되는 피해가 매우 적으므로 비용 최소화 방안이 필요할 것이다.

4. 결 론

이상과 같이 레진 콘크리트 재질의 케이블 트로프의 화재안전성에 관한 연구 결과로부터 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

(1) 관련법규상 고속철도와 같은 특수 시설물의 특수성을 고려할 필요가 있으며, 전기설비기술기준 등 관련법규의 선진화가 필요하다.

(2) 국내에서 적용하고 있는 PASCON 케이블 트로프의 재질에 대한 내연성 시험방법(KS M3015)은 국

제적인 시험방법(UL 94)과 큰 차이가 없으며, 시험 결과 우수한 성능을 나타내었다.

(3) 고속철도 선로변에 설치된 PASCON 케이블 트로프에서의 화재 발생시 화재의 확산 경로로서의 가능성이 매우 작으며, 화재에 대한 안전성이 매우 높은 것으로 나타났다.

(4) 본 연구에 사용된 PASCON 재질의 케이블 트로프는 지하철, 철도와 같은 선로배선, 교량, 터널, 지상, 지중 및 옥내·외 기타 케이블 배선 시 보호관으로 적용이 가능하며, 콘크리트나 철재 등 기타 재질의 다양한 용도로의 대체가 가능하다.

감사의 글

본 연구를 수행하는데 많은 도움을 주신 한국고속철도건설공단에 감사드립니다.

참고문헌

1. 한국유기성폐자원학회, 「건설폐기물의 재활용」, 동화기술(1999).
2. 플라스틱 사이언스, “국내 폐플라스틱 발생현황 및 처리 동향”, 7(11), pp.15-73(1993).
3. 이남훈 외 9인, 「폐기물 처리 재활용」, 동화기술, pp.194-196(1999).
4. 정구섭 외 4인, 「건축재료학」, pp.177-182(1999).
5. Carson industries llc, “Railduct 2000-installation guide”(1998).
6. 日東工業(주), “日東FRP케이블트ouw”(1990).