도시철도 지하역사의 가스계소화설비에 관한 연구 Safety Problem of Gaseous Extinguishing System in Underground Subway Station

황현배* · 민세홍**

Hwang, Hyun-Bea*, and Min, Se-Hong**

Abstract

The gaseous fire extinguishing agents CO₂, Halon 1301, and HCFC-BLEND A and a clean fire extinguishing agent are installed and operated in 85.5%, 6.19%, 4.14%, and 4.62% of the city railroad subway stations of Korea, respectively. The fire extinguishing halon gases Halon1301 and HCFC-BLEND A currently used in city railroad subway stations are already regulated globally because of global warming and ozone layer destruction. Moreover, the use of Halon 1301 is prohibited because of the development of alternative clean fire extinguishing gas. However, newly installing and operating CO₂, unlike the use of halon gas, has not been sanctioned. In particular, even though a fire extinguishing CO₂ facility has the serious safety problem of choking accidents occurring as a result of operation in a closed space because of the characteristics of a subway station, the situation has not been improved. The Organisation for Economic Co-operation and Development designates CO₂ as the major substance causing global warming and forcibly allocates the reduction of carbon emissions to member countries through a reduction policy. Therefore, overall annual replacement of CO₂ fire extinguishing facilities installed and operated in subway stations is necessary, and the problems of fire extinguishing operation characteristics and maintenance of fire extinguishing gas facilities should be reviewed. The purpose of this work is to present the maintenance status of fire extinguishing gas facilities installed and operated in the city railroad subway stations of Korea. Furthermore, the preparation of measures and laws for preventing fatalities resulting from choking caused by fire extinguishing CO₂ facilities and for improving cooperation with the international environmental response is proposed.

Key words : Subway Station, Fire Extinguishing Gas Facility, Carbon Dioxide

요 지

우리나라의 도시철도 지하역사에 설치한 가스계소화약제는 CO₂ 85.5%, Halon 1301 6.19%, HCFC-BLEND A 4.14%, 할로젠화합물 및 불활성기체소화설비 4.62%를 설치·운용하고 있다. 현재 도시철도 지하역사에 설치된 하론계 소화가스인 Halon 1301, HCFC-BLEND A는 지구온난화 및 오존층 파괴 등으로 이미 전 세계적으로 규제하고 있고, CO₂ 소화약제는 하론계 소화가스와는 달리 신규 설치·운영하는데, 아무런 제재가 없었다. 특히, CO₂ 소화설비 동작시 지하역사의 특성으로 밀폐공간에서의 질식사고 등이 안전에 심각한 문제점이 있는데도 불구하고, 이미 설치된 설비라는 이유로 대체 가스의 대응이 이루어지고 있지 않다. 최근 OECD에서 지구온난화의 주요물질로 지정하고 회원국에 감축정책으로 국가에 탄소배출을 강제적으로 할당하고 있는 현 상황에서 기존의 지하역사에 설치되어 운영중인 CO₂ 소화설비에 대하여 연차적으로 교체가 필요하고 가스계소화설비의 동작특성과 유지관리 등의 문제점에 대하여 재검토가 필요한 시점이다. 본 연구에서는 우리나라 도시철도 지하역사에서 설치·운영되고 있는 가스계소화설비의 유지관리와 CO₂ 소화설비의 질식에 의한 인명피해 방지대책과 법령제정으로 국제적 환경대응에 동참하기 위한 개선방안을 연구하여 제안하고자 한다.

핵심용어 : 지하역사, 가스계소화설비, 이산화탄소

*정회원, 한국교통안전공단 철도검사처 처장 공학박사(E-mail: hurihui130@naver.com)

Member, Korea Transportation Safety Department Manager Inspector of Railway

**교신저자, 평생회원, 가천대학교 설비·소방공학과 교수(Tel: +82-31-750-5714, Fax: +82-31-750-8746, E-mail: shmin@gachon.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of HVAC & Firefighting Engineering, Gachon University

1. 서 론

최근 도시의 발전과 경제성장에 따라서 도시 기반 시설을 포함한 공공시설 확충에 대한 수요로 지하 공간 활용이 증가되고, 이에 대도시 지하역사는 대심도화로 발전하고 각종 기능실을 필요로 더 많은 지하공간이 요구되고 있다.

따라서 현재 우리나라 지하역사에서 화재발생시 물을 사용할 수 없는 각종 기능실이 증가하고 있다. 이러한 공간에는 가스계 소화설비를 설치하여 화재에 대비하고 있다. 도시 철도 지하역사에 물을 사용할 수 없는 기능실은 CO₂ 소화약제 및 Halon 1301과 HCFC-BLEND A를 사용하고 있지만 이러한 소화약제는 국제적으로 사용을 규제하고 있다.

Halon 1301 소화약제는 소화효과는 우수하지만 오존층 파괴 및 지구온난화 등 환경파괴를 유발하게 되어 규제하고 있고, CO₂는 국가적으로 탄소배출권 거래가 되고 있으며, 또한, 우리나라에서도 탄소배출량 저감을 위해 2015년도에 열린 국무회의에서 2030년 국가 온실가스 감축목표를 배출 전망치(BAU) 대비 37% 감축하는 것으로 최종 목표를 결정한 바 있다.

그럼에도 불구하고 도시철도 지하역사에서 철도운영에 필요한 기능실의 수손피해를 방지하기 위하여 가스계 소화약제를 많이 사용하고 있다. 질식과 냉각 소화효과가 있는 CO₂ 소화약제는 대부분 전기관련 설비공간에 사용하고 있으며, 소화약제 방출시 소화를 위해서는 일정시간 동안 소화농도가 유지되어야 한다. CO₂ 소화약제는 출입문 틈새와 각종 배관의 틈새로 누출이 쉽게 발생할 수 있다. 또한, 소화 후 CO₂는 공기보다 비중이 크기 때문에 배출이 어려워 초기에 신속한 대응을 할 수 없는 단점도 갖고 있다.

CO₂ 소화약제는 사람이 일정농도 이상을 흡입하면 질식 사고(Ku, 2014)로 이어져 인명피해가 발생할 우려가 있다.

본 논문에서는 현재 지하역사에 설치·운영되고 있는 가스계 소화설비 중 CO₂ 소화설비의 오동작 및 동작 시 질식으로 인한 인명피해 방지대책과 더불어 탄소배출량 저감이라는 국제적 환경보호에 동참하기 위하여 개선방안을 제안하고자 한다.

2. 가스계 소화설비의 설치기준 및 지하역사의 설치현황

2.1 가스계 소화설비의 설치기준

가스계 소화설비의 적용은 수계 소화약제에 의한 수손피해가 우려되는 장소 및 분말소화약제로 인하여 장비의 손상이 발생할 수 있는 장소에 사용하고 있다. 또한, 가스계 소화설비의 설치기준은 국가화재안전기준(NFSC)에서 이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC 106, 2019), 할로소화설비의 화재안전기준(NFSC 107, 2018), 할로겐화합물

및 불활성기체소화설비소화설비의 화재안전기준(NFSC 107A, 2018)에 따라 설계 및 시공을 하고 있다.

국제적으로는 가스계소화약제인 Halon 1301 소화약제는 1987년 9월 16일 ‘몬트리올 의정서’에 의해 오존층 파괴물질로 규정하고 있다. 1992년 11월 25일 몬트리올 의정서 코펜하겐 개정 및 조정 ‘규제물질 추가’ HCFC-BLEND A (NAFS-III) 신규 규제물질의 규제일정 등을 채택하였다. 또한, 1995년 12월 7일 몬트리올 의정서 비엔나 조정에서 Halon 1301은 2010년에 전면 생산중지를 협정하였고, HCFC-BLEND A (NAFS-III)에 대해서 선진국은 규제일정 단축 및 개발도상국의 규제일정을 설정하여 2030년부터 생산중단을 협정하였다.

그러나 기존 도시철도 지하역사에는 수손피해 및 장비의 손상이 발생할 수 있는 변전실, 전기실, 신호기계실, 통신기계실, 역무자동화기계실, 전자장비를 설치한 장소에 Halon 1301 소화약제와 HCFC-BLEND A (NAFS-III)를 사용하고 있다.

2.2 지하역사의 가스계 소화설비의 설치현황

현재 철도운영기관별 지하역사의 현황은 서울교통공사 261개역, 서울메트로 9호선 29개역, 우이신설경전철 13개역, 김포골드라인 9개역, 부산교통공사 89개역, 대구도시철도공사 61개역, 인천교통공사 48개역, 광주도시철도공사 13개역, 대전도시철도공사 22개역, 공항철도 7개역, 신분당선 11개역, 한국철도공사 수도권 광역철도 54개역을 운영하고 있다.

도시철도 지하역사의 가스계소화약제 사용현황을 아래 Table 1에 나타낸 바와 같으며, 사용약제별 통계결과 CO₂ 85.5%, Halon 1301 6.19%, HCFC-BLEND A 4.14%, 할로겐화합물 및 불활성기체소화설비 4.62%를 사용하고 있었다.

Halon 1301 · HCFC-BLEND A (NAFS-III)는 전 세계적으로 오존층 파괴를 이유로 감축을 계획하고 있다. 따라서 도시철도 지하역사에 설치된 Halon 1301 소화설비에 대해서는 역사 환경개선공사를 통해 할로겐화합물 및 불활성기체 소화설비로 교체가 진행되고 있다.

CO₂는 OECD에서 지구온난화 기본 주요물질로 지정관리하고 있다. 지구환경오염 물질로 지정한 Halon 1301 · HCFC-BLEND A (NAFS-III) · CO₂ 소화약제에 대해서 면밀한 감축계획으로 교체하여야 된다.

Table 1에서는 철도운영기관별 지하역사에서 사용하고 있는 가스계 소화약제 사용현황과 더불어 CO₂와 Halon 1301 가스소화약제 설치 현황을 나타내었다. 표에 나타낸 바와 같이 지하역사에서 탄소배출량 저감 및 질식사고 우려되는 CO₂ 소화약제 23,474명과 오존층 파괴와 지구온난화 등 환경파괴 원인이 되는 Halon 1301 1,710명을 사용하고 있다.

Table 1. Statistics Report of Gas-based Fire Extinguishers Pharmaceuticals Bottles in Each Operating Corporation (2017)

Corporation	Gas-based Fire Extinguishers Pharmaceuticals (Unit:Bottle Container)					
	CO ₂	HFC-23	HFC-125	HFC-227ea	HCFC BLEND A	Halon1301
Seoul Metro	12,378	346			92	1,321
Seoul Metro 9	2,202	21	9		145	
Incheon Transit Corporation	872	199	26		374	
Daejeon Express Transit Corporation	1,304					
Daegu Metropolitan Transit Corporation	2,860				0	
Gwangju Metropolitan Rapid Transit Corporation	389				188	
Airport Express	631				81	
Korea Railroad Corporation	826	144	110		80	254
Busan Transportation Corporation	1,391			16	164	135
Sinbundang Line	621	134			21	
UI Trans			138			
Gimpo Goldline			133			
Total	23,474	844	416	16	1,145	1,710

3. 지하역사에 설치된 가스계 소화설비의 문제점

지하역사에서 철도운영에 필요한 각종 기능실 수손피해를 방지하기 위하여 1980년대에는 Halon 1301을 소화약제로 대부분 설치되었고, 1990년대에는 상대적으로 가격이 저렴한 CO₂ 소화약제를 주로 설치하였다. 2000년 초반에는 HCFC-BLEND A (NAFS-III) 소화약제를 많이 설치하였다. 최근에는 할로겐화합물 및 불활성기체소화설비를 설치하고 있으나, 일부 지하역사에 초기 투자비 절약을 위해 CO₂ 소화약제를 설치하고 있다.

현재 사용하고 있는 가스계 소화약제는 환경, 안전, 내진, 운영상의 문제점이 있음을 확인할 수 있었다.

3.1 환경적 문제

도시철도 지하역사 기능실에 사용하고 있는 가스계소화약제의 문제점으로는 Halon 1301과 HCFC-BLEND A (NAFS-III) 대기권에서 오존층파괴로 인하여 육상식물의 광합성 작용방해로 식물의 성장장애, 곡물의 수확량 감소, 해양의 플랑크톤 감소로 먹이사슬 파괴, 공해(산업 및 환경)로는 대기의 냉각, 기후변화·인체에 피부암·백내장을 유발하는 등의 문제점이 있다.

또한, 오존층 파괴로 인하여 강한 자외선이 지표면에 도달하여 생태계에 악영향을 미치고 지구환경변화를 일으키는 물질로서 ‘몬트리올 의정서’에서 전 세계적으로 사용을 규제하고 있으며, CO₂ 소화약제는 지구온난화의 원인이 되는 물질로 규정하고 있다.

국제적으로 탄소배출량 저감을 위하여 많은 노력하고

있으며, 국내에서도 국가온실가스 감축목표(배출전망치 대비 37% 감축)를 수립하여 감축일환으로 탄소배출권 거래에 대한 비용지출이 요구되고 있어 경제적인 문제점도 동반되고 있다.

3.2 안전상의 문제

도시철도 지하역사의 공간적 특성으로는 자연적인 공기 흐름이 거의 없고, 불특정 다수인이 이용하는 시설이다. 각종 기능실에서 수계소화가 불가능한 장소에는 가스계 소화설비를 사용하고 있다. 할로겐화물소화약제는 소화약제 자체가 인체 유해한 물질을 함유하고 있으며, CO₂ 소화약제는 일정량 이상 흡입하면 질식으로 인하여 인명사고로 이어질 수 있다(Ku, 2014).

도시철도 지하역사의 가스계소화약제 작동시 누출의 원인으로 문 틈새 및 공조 덕트 틈새 등이 있으며, Fig. 1과 같이 시설물 이용자 출입문 자동폐쇄장치 미설치 및 훼손, Fig. 2와 같이 방호구역의 벽체 마감처리 불량, Fig. 3에서와 같이 천장부 각종 배관의 관통부 틈새마감처리의 불량 및 전선 케이블 덕트 틈새 발생, Fig. 4와 같이 유리 칸막이 벽체를 설치운영하고 있다. 특히, CO₂ 소화약제방출 시 방사압력에 의해 유리의 파손, Fig. 5의 방호구역과 인접구역의 벽체가 샌드위치 패널 구획된 장소에 CO₂ 소화설비의 작동시 자체압력으로 샌드위치 판넬의 틈새발생과 칸막이 벽체붕괴로 인하여 약제누출 등으로 구분되어 진다.

CO₂ 소화약제는 높은 압력으로 방출되며 소화농도를 일정시간 동안 유지하여야 한다. 그러나 그 압력으로 인하여 출입문의 미세한 틈새로 소화약제 누출로 인하여 열차 이용 승객 이동통로 및 대합실이 오염될 수 있다. 따라서 승객이

CO₂를 일정량 이상 흡입하면 인명사고가 발생하는 것이다.

CO₂ 소화약제로 소화 후 방호구역에는 별도의 배출설비를 설치하지 않고 공조시스템으로 소화약제를 배출하는 시스템으로 구성되어 있어, 공조덕트 틈새 및 인접구역으로 CO₂ 확산으로 인명사고로 이어 질수 있는 것이다.

CO₂ 소화약제는 고압과 고농도가 필요한 약제로서 출입문 틈새로 누설량이 많이 발생될 수 있고, CO₂ 소화약제 물질 자체특성으로 공기보다 비중이 약 1.5배가 되어 지상의 부로 배출이 어려워 지면이 발생되고, 공기 중 농도가 10% 이상이면 승객은 1분 이내 의식을 잃고 시력장애가 될 가능성이 높다. CO₂가 20%일 때에는 중추신경 마비가 나타나며, 단시간 내 사망하게 될 수 있다. 따라서 도시철도 지하역사에 CO₂ 소화약제 사용은 안전사고가 예상되므로 사용 시 충분한 검토가 요구된다.

Fig. 1. Automatic Closing Device Damage

Fig. 2. Protected Area Walls Poor Finish

Fig. 3. Cable and Pipe Penetrations Protected Area Gap

3.3 내진 무방비 문제

가스계 소화설비는 화재예방·소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률 제9조의2 물분무등소화설비에는 지

진이 발생할 경우에도 소방시설의 정상적으로 작동될 수 있도록 내진설계기준에 맞게 소방시설물을 설치하도록 2011년 8월 법령으로 규정되었다(Act on Fire Prevention and Installation, Maintenance, and Safety Control of Fire-Fighting Systems, 2020).

현재 운행중인 도시철도 지하역사의 소방시설물은 내진 설계가 미 반영되어 지진으로 인한 화재발생과 소방시설물이 작동불능(Shut-down)이 예상 된다. 특히, 역무자동화기계실, 통신기계실, 신호기계실, 일부 전기실에는 이중바닥마감(약세스폴로어) 위에 각종 기계장비를 설치하고 있다. 이중 바닥재의 내진설계가 미반영되어 지진발생시, 전도 등으로 각종 시스템의 작동불능(Shut-down) 및 화재수신반의 작동 불능(Shut-down)되어 소화가 불가능함으로써 대형화재로 성장하여 인명사고 및 재산피해 증가됨을 예상할 수 있다.

3.4 운영상의 문제

3.4.1 가스계 소화설비에 대한 관리자 이해 부족

가스계 소화설비는 전역방출방식으로서 방호구역은 밀폐된 공간이 반드시 필요하다. 국내에서는 Door Fan Test의 시행에 대하여 법령으로 규정하고 있지 않고 있다. 발주기관의 선택사항 사항으로 예산절감에 중점을 두고 있어 방호구역 밀폐여부를 확인하지 않아 화재발생시 소화가 불가능한 경우도 예상할 수 있다.

방호구역의 밀폐부족 현상은 Fig 1과 같이 관리자 출입문 자동폐쇄장치 훼손으로 인한 방호구역이 밀폐되지 않아 약제량 누출로 인하여 설계소화농도가 유지하지 못하는 등의 문제점이 있다. Fig 2와 같이 방호구역의 벽체 마감처리 불량으로 소화약제 누출로 인하여 설계소화농도 유지가 어렵다. Fig 3과 같이 천장부 각종 배관의 관통부 틈새마감처리 불량 및 전선 케이블 덕트 틈새발생으로 소화약제 누출되어 소화농도를 일정시간 유지하지 못하여 소화가 불가능하며, 마찬가지로 Fig. 4와 같이 유리벽체에 설치한 경우에는 소화약제방출시 방호구역 내부압력 상승으로 유리가 파손되어 설계소화농도를 유지할 수 없다.

도시철도 지하역사는 설계당시 가스계 소화설비의 과압 배출구에 대한 설계기준이 없어 과압 배출구가 미설치되어 있다. 따라서 소화약제방출시 과압에 의한 구조물 손상 및 파괴로 인하여 화재진압 불가 및 인접구역으로 화재가 확산되어 큰 화재로 전이될 수 있다. Fig. 5와 같이 방호구역과 인접구역의 벽체가 샌드위치 패널 구획되어 가스계 소화설비의 작동 시 그 압력에 의해 벽체가 붕괴되어 화재진압이 불가능하다. 특히, CO₂ 소화약제의 경우 일반적으로 설계소화농도가 34% 이상 필요하므로 약제방출시 매우 큰 압력과 소화농도 유지시간으로 인하여 샌드위치 패널 벽체가 붕괴되면 인접구역으로 화재가 확산되어 큰 화재로 전이될 수 있다.

이산화탄소소화설비의 화재안전기준(NFSC 106)에서는

하나의 방호구역 내에 2 이상의 화재감지기회로를 구성하도록 규정하고 있으며, 2 이상 화재 감지기가 작동하면 소화설비가 작동하는 규정만 정하고 있다. 따라서 도시철도운영기관에서는 소화약제시스템의 오동작을 우려하여 화재감지기를 열-연기 감지기를 교차회로방식으로 설치하고 있다. 그러나 이러한 소화설비는 작동지연이 발생되어 화재초기 소화가 어렵다. 이와 관련하여 변전실·전기실은 대부분 천장높이가 3.7 m 이상을 요구하여 열 감지기는 화재발생 초기에 감지가 어려워 피해 증가 및 인명사고 이어질 수 있다.

더불어 역무자동화기계실은 전자장비 및 통신기계장비 등 각종운영에 필요한 시설물을 설치하고 있다. 이 공간에는 Fig. 6과 같이 스프링클러를 설치하여 운영하고 있어 스프링클러 오동작 및 화재로 인하여 정상 작동되는 경우 전자장비 및 통신기계장비·전기시설물이 수손피해로 인하여 설비가 작동 불능(Shut-down)된다. 따라서 열차운행중단·장애와 화재수신기의 작동불능으로 이어져 인명사고 및 재산피해가 증가될 수 있는 문제점이 있다.

Fig. 4. Installation of Glasswalls Protected Area

Fig. 5. Installation of Sandwich Panel Protected Area

Fig. 6. Installation of Sprinkler in AFC Machine Room

3.4.2 유지관리상의 문제

가스계 소화설비 유지관리의 문제점은 도시철도운영기관에는 대부분 전역방출방식인 가스압력식 기동장치를 설치하여 운영하고 있다. 그러므로 기계적인 오동작으로 소화약제 방출되는 것을 방지를 위하여 Fig. 7에 나타난 바와 같이 평상시 솔로레이드에 안전핀을 설치하는 사례가 있다. 이러한 경우 화재시 가스계소화시스템은 동작을 할 수가 없다. 그리고 가스계 소화약제 저장용기 및 기동용기의 적정약제량과 충압상태 확인하기 위해서는 저울 및 액화가스 레벨메터를 사용하여 적정량을 확인이 필요하다. 그러나 평상시에 육안점검으로 하고 있어 적정량 확인이 어렵다.

도시철도 지하역사 기능실은 장비가동에 따라 실내온도가 상승한다. 따라서 온도상승방지를 위하여 Fig. 8과 같이 배기팬을 이용하여 열을 배출하고 있다. 이러한 설비는 화재로 인하여 소화약제 방출시 자동정지 되지 않아 소화약제가 배출되어 소화농도 유지시간을 확보하지 못하여 화재진압이 불가능하게 된다. 도시철도 지하역사의 기능실은 철도보안시설로 지정하고 있어 출입을 통제를 하고 있다. 그러므로 소방안전관리자가 일상점검 및 정기점검 시 출입이 원활하지 않다. 따라서 화재발생시 현장 확인지연으로 초기소화에 어려움이 있을 수 있다.

Fig. 7. Install Safety-pin Solenoids

Fig. 8. Wall Exhaust Fan Installation

4. 대응방안 및 개선대책

도시철도 지하역사 운영에 필요한 각종 기능실에는 다양한 가스계 소화약제를 사용하고 있다. 그 중 Halon 1301과

CO₂ 소화약제는 할로젠화합물 및 불활성기체소화설비로 연차적으로 교체계획·시행이 필요하며, 신설 지하역사의 경우 인체에 무해한 청정소화시스템의 설치가 요구된다. 도시철도 지하역사의 특성을 고려한 화재예방과 진압에 대응하는 소화시스템 설치가 필요하고, 특히, 가스계 소화약제의 환경적인 측면과 인명사고방지와 유지관리 문제점에 대한 개선대책 및 지진에 대한 개선대책도 반영되어야 한다.

4.1 가스계소화약제의 환경적 대응방안

철도운영기관에서 사용하고 있는 가스계소화약제인 Halon 1301은 2010년부터 생산이 중단되어 사용할 수 없으므로 단기간에 교체가 필요하고, HCFC-BLEND A (NAFS-III)은 2030년부터 생산이 중단을 국제협약으로 규정하고 있어 빠른 시일 내 교체되도록 계획수립이 요구된다.

CO₂ 소화약제는 국제적으로 탄소배출량 저감에 노력하고 있으므로 국제정서에 부응하기 위하여, 우리나라도 2015년에 열린 국무회의에서 2030년 국가 온실가스 감축목표를 ‘배출전망치(BAU) 대비 37% 감축을 목표를 발표하여 이산화탄소배출 감축에 동참하고 있다.

문제는 이에 따른 예산 확보에 있다. 그리고 소화약제에 대한 연구로 인체에 무해 및 지구온난화환경에 미치지 않은 소화약제에 개발에 대해 철저한 준비와 투자가 요구된다.

4.2 지하역사 가스계소화약제 작동 시 질식사고 안전대책

도시철도 지하역사는 자연배기 공기흐름이 난해하여 각종 기능실에는 가스계 소화설비를 가급적 사용자가 필요하다. 이유는 할론계열 소화약제를 흡입하면 인체에 유해하고, CO₂ 소화약제를 일정량 이상 흡입하면 인명사고가 발생될 수 있다(Ku, 2014).

가스계 소화약제를 사용하는 방호구역의 문 틈새 및 공조 덕트의 틈새, 방호구역의 벽체틈새, 각종 배관의 관통부·전선 케이블 덕트 틈새의 정밀한 시공과 출입문 자동폐쇄장치가 정상 작동될 수 있도록 유지관리가 필요하다.

따라서 개구부 및 방호구역의 기밀성 정도를 확인하기 위하여 Door Fan Test가 필요하다(Park et al., 2015). 그리고 Door Fan Test를 실시하되 누설부위는 보완하여 소화약제 누설을 방지하여야 한다. 이러한 가스계 소화약제를 설치하는 방호구역에는 Door Fan Test 실시에 대한 법령 제정도 동반되어야 한다.

가스계 소화약제를 설치하는 방호구역에 유리칸막이 벽체를 설치하는 경우와 방호구역 벽체를 샌드위치 패널을 사용하는 경우, 소화약제방출시 방사압력을 고려한 구조계산을 실시하여 내부압력에 대응할 수 있는 벽체로 설계·시공이 요구된다. 특히, CO₂ 소화약제는 높은 압력 및 설계능력 유지시간에 견딜 수 있는 벽체가 필요하다. 또한, 소화약제 방출시 그 압력에 의해 샌드위치 패널이 붕괴와 유리벽체

등이 소화약제 방출압력으로 인하여 붕괴되지 않도록 하는 구조적 보완도 요구된다.

가스계 소화약제를 사용하는 방호구역에서는 지상 외부로 신속하게 배출할 수 있는 별도의 배출설비가 필요하다. 화재를 진압한 후 인명사고 및 열차운행을 위하여 잔류 소화약제를 신속하게 배출하여야 한다. CO₂ 소화약제는 고압과 고농도가 필요한 약제이므로 출입문 틈새로 CO₂ 소화약제 누설이 많고, CO₂ 소화약제는 공기보다 비중이 약 1.5배가 되어 지상 외부로 자연배출이 어렵다. 이런 사황에 대책으로는 별도의 배출설비를 설치하여 인명사고방지와 신속한 열차운행 체계가 될 수 있도록 하여야 한다.

4.3 가스계 소화설비 유지관리 대책

도시철도 지하역사 가스계 소화설비 전역방출방식에서 방호구역 밀폐공간이 반드시 필요하다. 그러므로 자동폐쇄장치설치 및 유지관리와 방호구역의 마감처리 부실, 각종 배관의 관통부, 전선 케이블 덕트 틈새 등은 밀폐된 방호구역이 형성되어야 한다. 밀폐된 방호구역에서 화재진압이 될 때까지 설계능도를 유지할 수 없다면 화재진압이 불가능하다.

가스계 소화설비의 유지관리를 위해서는 형식적이 외관점검을 지향하고 정기점검을 실시하여 한다. 평상 시 소방설비에 대하여 정상작동 될 수 있도록 관리하며, 반드시 기동장치의 솔레노이드 안전핀을 제거한 상태로 유지관리 하여야 한다.

각종 기능실은 장비가동으로 인하여 실내온도 상승 방지를 위하여 벽체 환기팬 설치를 지향하고, 개별 냉방기를 설치하여 적정온도를 유지하여야 한다.

가스계 저장용기 및 기동용기의 적정 소화약제량 및 압력 상태를 쉽게 확인할 수 있도록 압력게이지 설치 및 육안점검으로 쉽게 할 수 있는 측정장비 개발이 필요하다. 특히, 소방안전관리자는 각종 기능실에 소방시설물 점검 및 관리를 위해서 원활하게 출입이 가능하도록 운영절차 개정이 요구된다.

역무자동화 기계실의 스프링클러설비는 전자장비·통신장비 등 수손피해가 발생되므로 스프링클러시스템을 할로젠화합물 및 불활성기체소화설비로 교체하여야 한다. 또한, CO₂ 소화설비의 전역방출방식에서 과압배출구를 설치하여야 한다. 샌드위치 패널로 구획되어 있는 벽체는 견고한 벽체로 보강 및 소화약제 방출시 압력에 견디는 강도를 확보해야 한다.

신설하는 도시철도 지하역사에는 가스계 소화설비 방호구역 건물구조의 붕괴(파손)방지 및 방호구역 밀폐정도를 확인 할 수 있는 Door Fan Test 및 방호구역의 화재를 초기에 감지할 수 있는 연기-연기감지기의 교차회로방식으로 설치하는 법령 제정이 절실히 요구된다.

4.4 지하역사 가스계 소화설비 지진대책

도시철도 지하역사를 신축 및 개선공사를 하는 경우, 가스계 소화설비는 화재예방·소방시설 설치·유지 및 안전관

리에 관한 법률 제9조의2에 따라 물분무등 소화설비는 지진이 발생할 경우 소방시설은 정상적으로 작동될 수 있도록 내진설계기준에 준하여 소방시설을 설계·시공을 하도록 하고 있다.

운행 중인 대부분의 도시철도 지하역사 소방시설물은 내진설계가 미 반영되어서 지진발생시 소방시설물은 작동 불능(Shut-down)되어 화재진압이 불가능하므로 지진력을 흡수·감소·소멸시키는 내진 안전성을 확보하도록 연차적인 내진보강이 필요하다.

특히, 역무자동화기계실에 다량의 전선 케이블로 인해 이중바닥마감(악세스플로어)을 시공하고 있으며, 이중바닥 마감 위에 화재수신기 및 운영에 필요한 각종 장비가 설치되어 있다.

이러한 상태에서 지진발생시 이중바닥이 붕괴 및 파손되면 시스템 및 화재수신반의 작동불능(Shut-down)이 될 수 있어 이중바닥에 대한 내진설계가 필요하다. 도시철도 지하역사의 역무자동화기계실, 통신기계실, 신호기계실, 전기실에 설치하는 이중바닥마감(악세스플로어)에 대하여 내진설계기준의 법령 제정도 이루어져야겠다.

5. 결 론

- (1) 본 연구를 통해 우리나라 593개의 지하역사에 총 이산화탄소 23,474명, 하론 1,710명 등 많은 양의 위험 소화약제가 설치된 것을 확인할 수 있었다.
- (2) 몬트리올 의정서에 의거 기준에 설치된 가스계 소화설비 중 CO₂와 하론 1301의 탄소배출량 저감 및 환경오염에 문제가 해결되지 않고 있다. 이에 이미 설치된 CO₂와 하론 1301에 대해서 예산 확보를 위한 장기적인 계획에 의거 할로젠화합물 및 불활성기체소화설비로의 교체가 요구된다.
- (3) 밀폐된 공간적 특징의 지하역사에 적용되어 화재에 의해 가스계 소화설비의 정상적인 동작과 오동작시 지하공간의 이용자와 상주인원 등의 질식사가 심각히 우려된다. 이에 대한 대책 마련이 시급한 실정이다.
- (4) 가스계 소화설비가 동작 시 가스의 압력을 이겨내어 방호구획을 형성해야 화재의 진압이 가능한데, 현재 지하역사 기능실에 설치된 가스계 소화설비의 방호구획은 유리, 샌드위치 패널, 알루미늄 창호 등으로 설치되어 가스계 소화설비 동작 시 방호구획이 붕괴되어 화재진압이 불가능한 구조가 대부분이다. 이에 가스계 소화설비의 동작 시 그 압력을 이겨낼 수 있는 방호구획의 공간적 대응이 절대적으로 요구된다.
- (5) 방호구획내의 관통부가 상당히 많이 확인되었다. 이러한 관통부는 가스계 소화설비 동작 시 가스의 누설이 발생하여 화재진압에 효용성을 저하시키는 결과를 초래할 것이다. 방호구획내의 관통부를 전수 조사하여

관통부 보수공사를 진행하도록 하여야 한다.

- (6) 가스계 소화설비가 설치된 장소에 대해 내진설계가 적용이 안 되어, 지진 발생 시 가스계 소화설비 시스템이 붕괴되어 이후의 화재에 전혀 대처할 수 없다. 이에 공공기관 시설물에 의무적으로 적용하게 되어 있는 내진용 악세스플로어 및 먼진테이블을 반드시 적용해야 한다.
- (7) 가스계 소화설비의 유지관리부분에 대해서는 도어펜 테스트를 실시하고 있지 않아 가스의 누설량을 확인할 수 없다. 이에 가스계 소화설비에 대해서는 전 구역에 대해서 도어펜 테스트를 실시하도록 하여야 한다.
- (8) 도시철도 지하역사 가스계 소화설비가 설치된 장소에는 화재감지시스템은 열-연기, 또는 열-열로 설치되어 있어 화재를 조기에 감지가 지연되어 조기감지를 위해서는 연가-연기로 감지시스템의 변경이 요구된다.

References

- NFSC 106. (2019). *Carbon dioxide fire extinguishing facility*.
- NFSC 107. (2018). *Halon fire extinguishing facility*.
- Act on Fire Prevention and Installation, Maintenance, and Safety Control of Fire-Fighting Systems (2020).
- NFSC 107A. (2018). *Halogen compound fire extinguishing facility*.
- Ku, J.H. (2014). A study on personal safety improvement of gaseous fire extinguishing system. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 3, pp. 193-199.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2014). *Urban railroad facility construction rules*.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT). (2019). *Enforcement rule of the railway construction and railway facility maintenance act*.
- Nam, S.W. (2012). *Design & construction of fire protection systems*. Paju: Seongandang.
- Park, J.H., Kang, T.S., Kim, J.H., and Kim, W.K. (2015). A study on on-site discharge testing for carbon dioxide fire extinguishing systems. *Fire Science and Engineering*, Vol. 29, No. 4, pp. 26-32.
- Seo, W., Hwang, E., and Choi, D. (2019). Securing the design concentration maintenance time of gaseous fire extinguishing. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 19, No. 2, pp. 121-127.

Received	September 15, 2020
Revised	September 17, 2020
Accepted	October 21, 2020