

가스계 소화설비의 밀폐도 시험에 영향을 미치는 사전조치에 관한 연구: 발전소를 중심으로

김영철 · 조일현* · 이수경†

서울과학기술대 에너지환경대학원, *서울과학기술대 산업대학원

A Study on the Precautions Effects of the Enclosure Integrity Test for the Gaseous Extinguishing Systems: Focusing on the Power Plant

Young-Chul Kim · Il-Hyun Jo* · Su-Kyung Lee†

Dept. of Energy Safety Engineering, Seoul National University of Science & Technology

*Dept. of Safety Engineering, Seoul National University of Science & Technology

(Received February 12, 2015; Revised February 28, 2015; Accepted February 28, 2015)

요 약

본 연구에서는 가스계 소화설비시스템이 설치된 방호구역에 소화농도유지시간 성능실험인 밀폐도 시험(Enclosure Integrity Test)을 진행하여, 성공에 미치는 사전조치요인에 대하여 실험하였다. 국내외에 발전소 방호구역에 사전 조치를 취한 방호구역과 사전 조치를 취하지 않은 방호구역으로 나누어 Enclosure Integrity Test를 진행하였다. 따라서, 사전조치 여부에 따라 시험의 성공률을 알아보고, 각각의 가스계 소화시스템 및 실의 종류에 따른 Enclosure Integrity Test의 실패 요인, 설계 농도 유지시간 및 체적대비 누설면적의 크기를 확인하였다. 그리고 사전조치를 수행하여 Enclosure Integrity Test의 성공률이 증가되는 것을 알 수 있으며, 실패에 의해 반복되는 실험의 수를 줄임으로 인하여 발생하는 비용을 절약할 수 있었다.

ABSTRACT

The present study was aimed to analyze enclosure integrity test, which is the performance experiment of soaking time, in a fire zone equipped with gaseous extinguishing system in an effort to find understand the effect of precaution factors upon the success of fire extinguishment. To achieve the goal of this study, it divided the fire zones of internal and external power plants into ones taking precaution measures and not taking them and then enclosure integrity test was given respectively. Therefore, this study examined the success rate if the test according to the presence and absence of the precaution measure and confirmed the failure factors, designed concentration soaking time and proportion of leakage area to total volume area by type of gaseous extinguishing system and rooms. Precaution measures were applied to the fire zones without them to confirm the increase of the success rate of enclosure integrity test. By doing so, it was found that reduced number of experiments caused by failure led to cost saving.

Keywords : Enclosure integrity test, Gaseous extinguishing system, Precautions

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 가스계 소화설비에 사용되는 소화약제는 2013년 한 해에 약 1300톤으로 나타났다. 2012년에 비하여 약 400톤 증가되었으며, 이는 전기나 통신 등 특수 시설의 초기 화재 진압을 위해 가스계 소화설비를 채택하고 있기 때문이다⁽¹⁾. 하지만 국내에서는 아래와 같이 가스계 소화설비의 설치로 신뢰성을 확보하지 못하는 사례가 많다. 그 문제점으로 세

가지를 분류할 수 있으며, 첫째는 가스소화설비의 성능 확보를 위해서 소화농도를 유지하는 것이 중요하지만 이를 위한 검토 과정 없이 설치되는 문제가 있다. 두 번째는 설치장소 즉 전기실, UPS실, 배터리 실 등 실의 고유한 특성이 있지만 이를 고려하지 않고 가스계 소화시스템을 채택하여 설치하고 있다. 세 번째는 가스계 소화설비의 설치 이후에 유지관리 미흡으로 정상작동에 무리가 있다.

앞선 문제점을 개선하기 위해서 가스소화설비의 성능과 관련된 소화 약제농도의 유지를 위해 사전 테스트인 밀폐도

†Corresponding Author, E-Mail: lsk@seoultech.ac.kr
TEL: +82-2-970-6374, FAX: +82-2-977-9303

시험(Enclosure Integrity Test)를 실시하여 최적의 안전성을 확보하는 것이 필요하다. 하지만 해당 테스트는 고급인력과 고가의 장비 사용에 따른 비용적인 측면에서 국내의 대부분 사업장에서 실행되지 않고 있다. 이에 Enclosure Integrity Test 시간을 최소화 하는 방법을 제시하여 경제적인 문제를 해결함과 동시에 Enclosure Integrity Test의 사전조치를 통해 가스계 소화설비의 성능 증대에 목적인다.

1.2 선행 연구 및 연구방향

국내 관련 연구를 참고하면, Enclosure Integrity Test의 필요성과 가스계 소화설비의 개선방안에 대해서는 다양한 연구가 있다. 박영근⁽²⁾은 Enclosure Integrity Test를 통하여 방호구역내의 누설면적과 설계농도 유지시간을 확인함으로써 가스계소화설비의 신뢰성을 확보할 수 있다고 보고하였다. 그리고 정기신⁽³⁾은 이산화탄소 심부화재의 경우, 미국과 국내의 산출 보정량의 산출방식의 차이로 가스계 소화설비의 소화농도에 관하여 문제점이 있다고 제기하였으며, 문소라⁽⁴⁾는 설계농도 유지시간에 대한 개선방안으로 화재의 성상, 방호구역의 중요도, 소화약제의 종류에 따라 최소한의 설계농도 유지시간을 규정이 필요하다고 설명하고 있다. 이창욱⁽⁵⁾ 등은 가스계 소화설비는 소화약제의 특성상 방호구역내의 누설면적에 민감하게 영향을 받고, 누설면적이 크면 제대로 된 소화성능을 발휘 할 수 없기 때문에 설계 및 시공, 그리고 설치 후 성능 검증 등에 주의가 필요하며 이러한 상황을 감안하여 가스계 소화설비의 성능검증을 위해 Enclosure Integrity Test 활용을 제안하였다. 본 연구에서는 Enclosure Integrity Test의 성공여부에 영향을 미치는 요인 및 사전조치에 대하여 연구하였으며, 이를 통해 Enclosure Integrity Test의 신뢰성확보와 활성화를 기대해볼 수 있다.

2. 실험 방법 및 범위

본 연구는 국내외의 발전소 방호구역에 설치되어 있는 이산화탄소 소화설비시스템과 현재 청정소화약제 시스템 중 대표적으로 사용되는 4종류(IG-541, HFC-227ea, HFC-125, HFC-23)의 가스계 소화시스템을 지정하여, 국내의 발전소 내에 적용되어 있는 130개 방호구역에 대하여 Enclosure Integrity Test를 진행하였다. Enclosure Integrity Test 절차는 아래의 6단계로 진행되었으며, 흐름도는 Figure 1과 같다.

- 1) 1단계: 설계자료검토(Design Review)와 공조설비 및 소화설비에 대한 도면검토, 관련법규, 외국규격 검토(NFPA, IRI 규정의 농도유지시간 등)
- 2) 2단계: 방호대상물의 시설점검 - 현장조사(Site Survey), 방호구역 크기의 실측, 방화구획 관통부 조사(배관, 공조 덕트, Cable Tray 등) 방화담퍼, 공조담퍼 유무 조사(평상시 개 · 폐 상태 등) 방호대상물 조사(방호구역 내 방호대상물의 보호높이) 방호구역 및 인접실의 방화문, 방화셔터

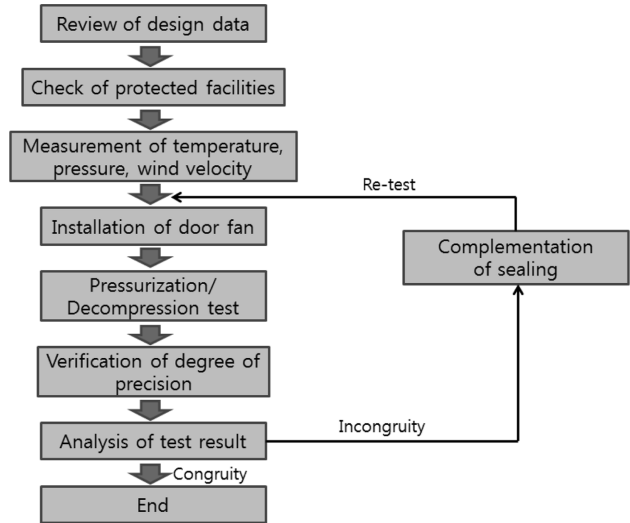


Figure 1. Flow chart of enclosure integrity test.

및 창문 등의 조사, 소화설비 조사

- 3) 3단계: 최초시험(Initial Testing), 현장 확인시험(Field Verification Test), whole room test (WRT), BCLA (Below Ceiling Leakage Area) Test: 필요 시, Sub-Floor Only Test: 필요 시
- 4) 4 단계: 누출부위(Leakage Point) 조사, 누출부위 확인, 밀봉작업 필요 부위 제시
- 5) 5 단계: 확인시험(Re-Test) 밀봉작업 후 재시험
- 6) 6 단계: 보고서 작성 및 제출

Punch list를 작성하여 사전조치를 취한 방호구역(46 실)과 그렇지 않은 방호구역(84 실)으로 나누어 연구를 진행하였으며, 사전조치로 각종 누설면적에 테이프나 실리콘 등으로 밀폐시키는 작업을 진행하였습니다. 사전조치의 구성은 기존 Enclosure Integrity Test의 수행을 통해서 실패 원인을 분석하여 8가지로 분류하였으며, 해당 8가지 요인으로 개구부, 덕트, Cable Tray, 천장, 바닥, 벽면, Panel, 방호 대상물과 천장의 거리로 되어있다.

3. 실험 결과 분석

가스계 소화설비가 작동하여 소화약제가 방출될 때에는 순간적으로 방호구역 내 압력이 상승하면서 소화약제가 실내 공기와 혼합하게 된다. 실내에 충분한 소화약제가 가연물을 소화하려면 소화약제의 농도가 설계농도 이상이 되어야 하며, 재 발화를 방지하기 위해 규정된 시간동안 소화농도가 유지되어야 한다. 이것을 소화농도유지시간(Soaking Time)이라 하며, 국내 화재안전기준에는 규정이 없으나, 국외 UL2166 (Standard for Halocarbon Clean Agent Extinguishing System Units), UL2177 (Standard for Inert Gas Clean Agent Extinguishing System Units), ISO 14520 (Section4 Annex E)에서는 최소 10분 이상의

소화농도유지시간을 규정하고 있으며, CO₂는 20분 이상으로 규정하고 있다⁶⁾. 해당 규정시간에 미달되는 방호구역에 대해서는 개구부 밀폐조치를 한 후 규정시간에 도달할 때까지 Test를 진행하였다.

국내 2개소, 국외 3개소, 총 5개소의 발전소내의 130개 방호구역에서 실험한 데이터를 바탕으로 분석을 하였으며, 방호구역에 따른 Enclosure Integrity Test의 성공률과 평균 실험 횟수를 확인하고, 실패요인 및 횟수를 분석하였다. 또한, 소화시스템별 결과 및 누설면적과 소화농도유지시간을 비교·분석하였다.

3.1 사전조치 유무에 따른 Enclosure Integrity Test 성공률 및 실험 횟수

발전소 내의 특수방호구역 중에 사전조치하지 않고 실험하였던 곳은 84곳 중 50곳 성공하여 59.5%의 성공률을 보였으며, 사전조치하고 실험하였던 곳은 46곳 중 40곳이 성공하여 87.0%의 성공률을 보였다. 사전조치로 진행되었던 Enclosure Integrity Test가 미 조치되었던 실험보다 27.5% 높은 것을 알 수 있었다. 이에 Figure 2에 도표로 표시하였으며, 왼쪽 그래프는 사전조치 여부에 따른 실험 장소 수를 나타내고 있으며, 오른쪽 그래프는 사전조치 여부에 따른 실험성공률을 나타내었다.

Enclosure Integrity Test 성공여부에 따라 반복적인 실험을 해야 한다. 한 방호구역 실험에 필요 소요시간은 짧게는 1시간에서 길게는 몇 시간이 필요하다. 또한 실패로 인한 해결방안으로 실험을 통해 누설부위를 찾아 이에 대한

조치를 수행해야 하는데, 이런 작업들이 장시간이 필요로 한다. 그러므로 시험 횟수는 비용과 인력소모에 심각한 영향을 준다. 그래서 사전조치 여부에 따른 평균 실험횟수의 차이를 분석했다.

Table 1은 사전조치 유무에 따른 평균 횟수를 나타내고 있다. 사전 조치 없이 Enclosure Integrity Test를 진행하였을 경우에는 한 구역당 평균 2.04회의 실험이 진행되었으나, 사전조치를 취하여 진행하였을 경우에는 평균 1.13회로 사전조치 없이 진행되었던 실험보다 실험횟수를 줄일 수 있는 것으로 나타난다. 따라서 사전조치를 취하고 Enclosure Integrity Test를 진행하게 되면 Test 횟수가 2.04회에서 1.13회로 55.4%로 감소하였다.

3.2 방호구역 Enclosure Integrity Test 실패 요인 및 횟수

Enclosure Integrity Test를 통하여 발전소내의 실패 요인을 아래와 Figure 3과 같이 8가지로 분류 하였으며, 방호구역별 실패요인에 대하여 조사하였다.

1) 개구부: 개구부는 IRI 연구에 의하면 Enclosure Integrity Test의 실패 요인으로 가장 높은 비중을 차지하고 있으며, 이는 방호구역 내에서 개구부의 크기가 차지하는 비중에 영향을 받는 것으로 판단된다. 개구부는 자동 폐쇄장치 여부 및 개구부의 틈새부분에 대한 조치를 필요로 한다.

2) 덕트: 공조기, 향온 향습기, 배기 및 환기장치, Package Air-Conditioner는 자동으로 정지되어야 하며 구획을 관통

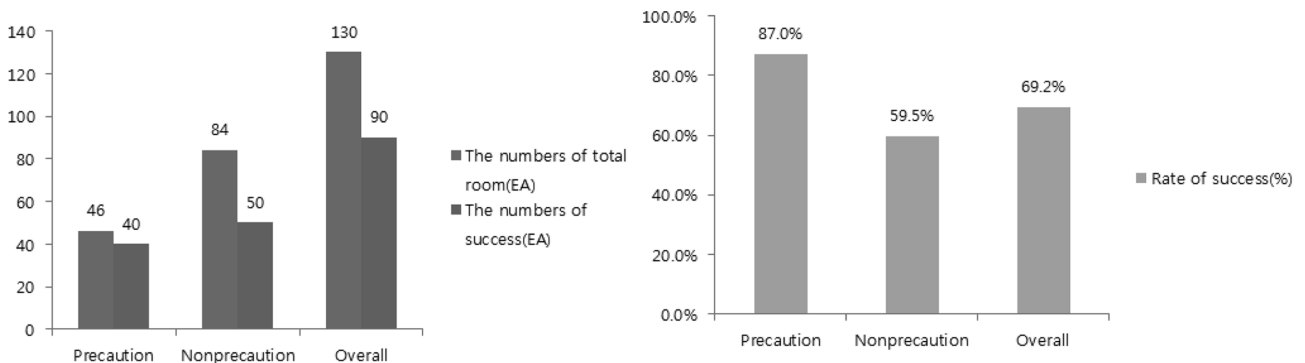


Figure 2. Rate of success for enclosure integrity test.

Table 1. The Test Numbers of Enclosure Integrity Test

Status	Result	Numbers of protected rooms	Numbers of test	Average numbers of test
Non precautions	Success	50	50	1.00
	Failure	34	121	3.56
	Total	84	171	2.04
Precautions	Success	40	40	1.00
	Failure	6	12	2.00
	Total	46	52	1.13

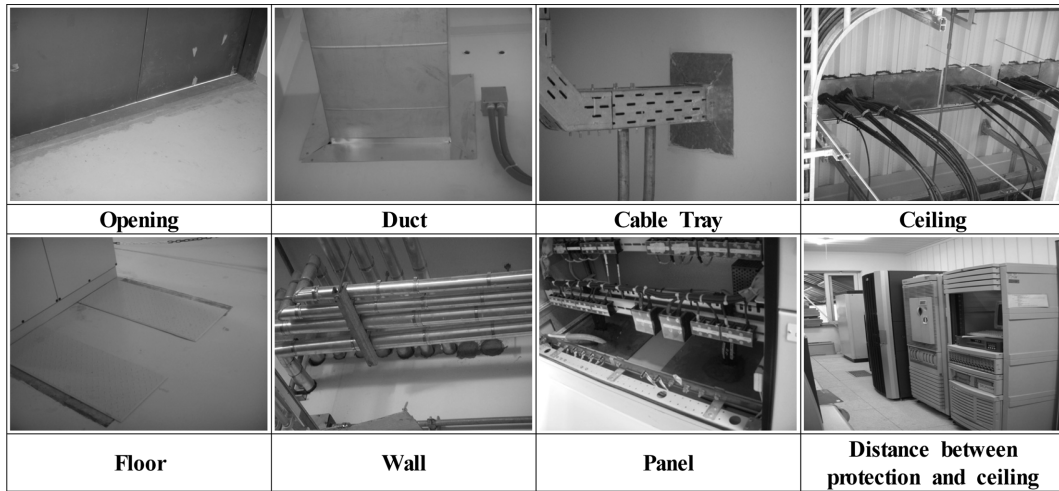


Figure 3. The factor of failure for enclosure integrity test by protected area.

Table 2. The Reasons of Failure for Enclosure Integrity Test by Protected Area with Nonprecautions at Power Plant

Protected Area	Number of protected area	Opening	Duct	Cable Tray	Ceiling	Floor	Wall	Panel	Distance between protection and ceiling
MCS	11		2	2		2	2		
UPS	4			2		2		1	
Battery room	5		1	1		2	2	1	
Substation	4	2	1	1	1	1	1		
Switchgear room	1		1	1		1	1	1	
Electric room	9		1	1		1	1	2	1
Electronic equipment room	10	5	4	5		3	4	5	
Central control room	9	3		4	2	4		2	
Computer room	6			1	2	2			
Cable room	5		1	2	1		2	1	1
Control room	3			1				1	
Others	17	5	2	3	2	4	2	1	
Total zone	84	14	12	23	8	22	15	15	2

하는 모든 Duct 등에 설치되어있는 Damper가 폐쇄되어야 한다.

3) Cable Tray: Cable Tray이가 관통하는 벽, 천장 및 바닥을 비롯한 Cable Tray Box에 대한 밀폐도 고려해야 한다.

4) 천장: Duct, Cable 및 다양한 설비가 관통하며 생기는 누설공간과, 벽체와 지붕간의 이음부분에 발생하는 누설면적을 고려해야 한다.

5) 바닥: 바닥의 Access floor 유무에 따라 밀실이 필요한 공간이 많으며, 인접 방호구역 간 Access floor가 개방되어 있는 곳들이 많아 직접 확인이 필요하다.

6) 벽면: 천장과 마찬가지로 각종 설비의 관통으로 인한 누설공간이 있으므로 이에 대한 조치가 있어야 한다.

7) Panel: Panel에 연결되는 전선은 바닥을 관통하여 연결된다. 이러한 과정에서 생기는 누설공간에 대하여 밀봉

이 이루어져야 한다.

8) 방호 대상물과 천장 거리: 방호 대상물과 천장간의 거리가 짧을수록 소화약제 방출시 방호물의 상단 부분에 대한 소화농도유지시간이 짧다. 이로 인해 일정한 공간 확보가 필요하다.

Table 2과 Table 3는 사전조치 유무에 따라 전체 방호구역 및 실패 요인별 횟수를 각각 나타내고 있다. 발전소에서는 Cable Tray 관련 부분과 개구부, 바닥, 벽면, Panel 등에서 많은 원인이 발생한 것을 알 수 있다. 사전조치를 통하여 방호구역의 Enclosure Integrity Test를 한 경우 실패원인 수치가 사전조치를 취하지 않고 실험한 경우보다 감소한 것을 확인 할 수 있었다.

특히, Table 2를 보면, Cable Tray, 바닥과 벽에서 누설되는 부분으로 인하여 실패한 사례가 가장 많았다. Cable

Table 3. The Reasons of Failure for Enclosure Integrity Test by Protected Area with Precautions at Power Plant

Protected Area	Number of protected area	Opening	Duct	Cable Tray	Ceiling	Floor	Wall	Panel	Distance between protection and ceiling
MCS	4		1				1		
UPS				2	1	1			
Switchgear room	15							1	
Electric room	4								
Electronic equipment room	3								
Central control room	3					1			
Computer room	0								
Cable room	0								
Control room	1								
Panel room	7		1				1	1	
Others	2								
Total zone	46	0	2	2	1	2	2	2	0

Tray의 경우는 이동하는 Cable Tray Box를 틈새를 막거나 밀봉된 Box로 교체하여 누설면적을 줄였으며, 바닥의 경우에는 Access Floor의 공간으로 누설되는 경우가 많았다. 그래서 바닥의 경우 내화충진재를 통해 누설공간에 마감 처리하여 누설면적을 줄이는 사전조치를 하였다. 그리고 벽부분에는 각종 관이 지나갈 수 있도록 틈새가 있는 곳을

마감 처리하여 누설면적을 줄였다.

3.3 소화시스템별 Enclosure Integrity Test의 결과 비교

Figure 4는 소화시스템별 실험횟수와 성공률을 표로 각각 표시하였으며, Figure 5는 사전조치 유무에 따라 Enclosure Integrity Test 성공률을 표시하였다. CO₂ 설비

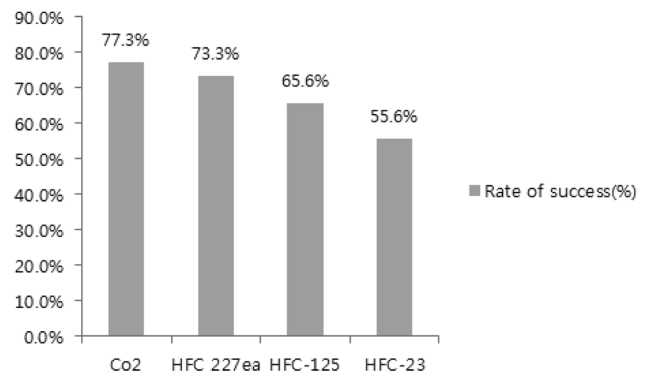
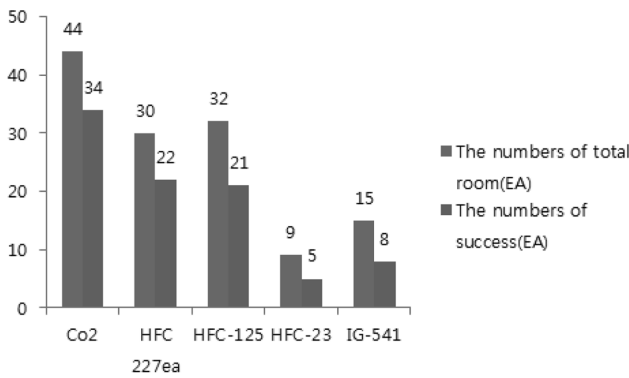


Figure 4. The rate of success for enclosure integrity test by system.

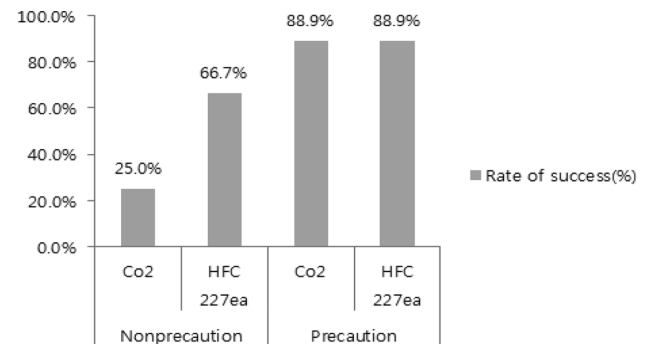
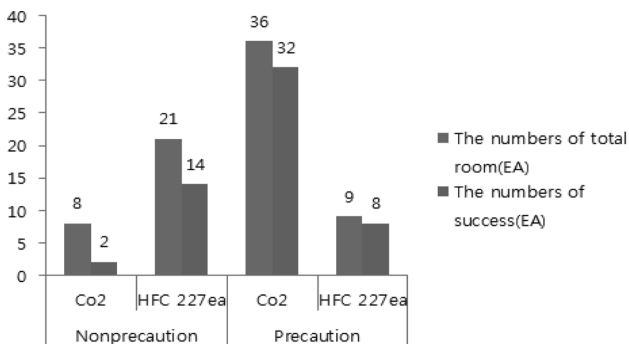


Figure 5. The rate of success for enclosure integrity test by precaution and nonprecaution.

Table 4. The Test Numbers of Enclosure Integrity Test

Status	Num.	Result	Leakage area per volume (m ² /m ³)
Non-precautions	50	Success	0.04
	34	Failure	0.26
	84	Total	0.13
Precautions	40	Success	0.04
	6	Failure	0.04
	46	Total	0.04

와 HFC-227ea 설비를 제외하고 HFC-125 설비와 HFC-23 설비는 사전조치한 실험이 없기 때문에 CO₂ 설비와 HFC-227ea 설비에 대한 사전조치 유무별 성공률을 표시하였다. Figure 5에서 사전조치 하지 않았을 경우 CO₂ 설비가 낮은 이유는 소화농도 유지시간 기준이 20분으로 청정소화설비의 10분에 비하여 길기 때문에 그에 따른 누출이 큰 것으로 분석된다.

3.4 누설면적과 소화농도유지시간

사전조치의 유무별 누설면적은 각 실의 체적이 동일하지 않으므로, 체적대비 누설면적으로 계산하여 분석하였으며, 소화농도 유지시간은 사전조치 유무별로 진행되었던 CO₂와 HFC-227ea에 해당하는 부분만을 분석하였으며, 기준은 CO₂ 소화설비 20분, 청정소화설비 10분으로 하여 그 유지시간이 초과하였을 경우 성공으로 판단하였다.

Table 4는 사전조치 및 성공여부에 따른 체적대비 누설면적을 조사하였다. 이는 사전조치를 할 경우에 미 조치보다 누설되는 면적이 0.09 (m²/m³) 정도 감소하는 차이가 발생하였다. 따라서 가스계 소화설비의 소화농도 유지시간을 확보하는데 용이하다고 판단된다. 또한 소화농도 유지시간의 평균시간을 Table 5에 나타내었다.

해당 실험은 1차에서 합격한 방호구역은 성공으로 표시하였으며, 실패의 경우 보완된 재 실험을 통하여 성공할 때까지 실험을 진행하였다. 평균 소화농도 유지시간에서 사전조치 유무에 따라 차이가 나고 있다. 사전조치를 하여 실패하더라도 소화농도유지시간이 16.7분으로 규정시간 20분

의 80%이므로 1차 실험에 실패를 하더라도 미비한 수준으로 현장에서 바로 조치 후 단시간에 해결 될 수 있다.

4. 결 론

가스계 소화설비시스템이 설치되는 방호구역에 소화농도유지시간에 영향을 주는 요인을 사전에 미리 인지하여 여러 공정의 시공단계에서부터 Enclosure Integrity Test 전까지 이에 대한 조치가 이루어진다면 Enclosure Integrity Test의 실패율이 적어지며, 실패하더라도 간단한 조치를 통하여 단시간에 해결할 수 있다. 사전조치를 유무를 통한 Enclosure Integrity Test의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 사전조치의 유무에 따라서 미 조치한 경우 59.5%, 사전 조치를 취한 경우 87%로 상당한 차이를 보였다. 또한, Enclosure Integrity Test의 실패로 인한 재실험 횟수가 약 45%로 감소되는 것을 알 수 있다.

2) 방호구역별 Enclosure Integrity Test의 실패원인은 Cable Tray와 바닥 그리고 벽에서 누설되는 부분이 가장 큰 원인이었다. 따라서 Cable Tray Box를 틈새를 막거나 밀봉된 Box로 교체하여 누설면적을 줄였으며, 바닥의 경우에는 Access Floor를 두는 곳에 따라 그 공간으로 누설되는 경우가 많았다. 그래서 바닥의 경우 내화충진재를 통해 누설공간에 마감 처리하여 누설면적에 대한 사전조치를 하였다. 그리고 벽부분에는 각종 관이 지나갈 수 있도록 틈새가 있는 곳에서는 해당 크기에 맞는 덮개를 장착하여 누설면적을 줄여 실패원인이 감소한 것을 알 수 있다.

3) 소화설비 시스템별로 비교하면 차이가 거의 없었으며, CO₂ 시스템의 경우 성공률이 낮은 이유는 다른 시스템에 비해 소화농도 유지시간이 10분 더 길기 때문이라고 할 수 있다.

사전조치를 수행하므로 Enclosure Integrity Test의 성공률이 증가되며, 방호구역별로 누설되지 않도록 누설면적에 테이프나 실리콘 등으로 밀폐시키는 작업을 진행한다면 불필요한 비용과 시간을 줄일 수 있으며, Enclosure Integrity Test에 대한 신뢰성을 확보할 수 있을 것이다.

본 연구는 발전소라는 특정장소에 해당하는 데이터를 기반으로 결과를 얻었다면, 향후 연구에 대해서는 발전소

Table 5. Soaking Time of Enclosure Integrity Test by The Using Systems

Status	Num.	CO ₂			HFC-227ea		
		Result	1st test (min)	Final test (min)	Num.	1st test (min)	Final test (min)
Non precautions	2	Success	33.0	-	10	24.1	-
	5	Failure	12.2	25.0	11	7.6	29.1
	7	Total	18.2	27.3	21	18.6	25.8
Precautions	31	Success	30.7	-	9	25.4	-
	6	Failure	16.7	29.9	0	-	-
	37	Total	28.4	30.5	9	25.4	25.4

외의 다양한 가스계 소화설비시스템과 일반 건축물 및 여러 사업장에 대한 Enclosure Integrity Test를 통한 데이터 연구가 이루어져야 하며, 또한 이러한 데이터의 축적으로 사전조치사항 매뉴얼 및 리스트를 작성하여 가스계 소화설비시스템이 설치되는 현장에서 시공, 관리 및 점검 등에 중요한 자료로 활용될 것으로 판단된다.

후 기

본 연구는 서울과학기술대학교의 지원을 받아 수행되었으며 관계제위께 감사드립니다.

References

1. C. G. Jee, "A Comparative Study on the Design Standard of Clean Agent Extinguishing Systems between Korea and United States of America", The University of Seoul (2005).
2. Y. G. Park, "Reliability Test of Gaseous Fire Extinguishing System at Protection Zone", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 4, No. 1, pp. 27-31 (2008).
3. K. S. Jeong, "A Study on Estimating of Additional Gas for the Unencloseable Openings of The Gaseous Extinguishing Systems", Journal of Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 26, No. 6, pp. 1-6 (2012).
4. S. R. Moon, "A Study on the Improvement of Fire Extinguishing System using the Door Fan Test", Gachon University (2012).
5. C. W. Lee, Y. A. Yun, J. S. Na and K. J. Um, "A Study on Gaseous Fire Extinguishing System Adaptability using the Door Fan Test", Proceedings of 2010 Fall Annual Conference, Korean Institute of Fire Science & Engineering, pp. 99-102 (2010).
6. NFPA 2001, "Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems" (2011).
7. S. M. Park, "Design and Construction of Gaseous Fire Extinguishing System for Performance-Based Design", Fire Protection Engineering Handbook (2012).
8. T. G. Lee, "Standard on Installation and Design of Gaseous Extinguishing Agents", Fire Protection Engineering Handbook (2012).