

가스계 소화약제 자동 감지에 관한 연구

김엽래, 이동명, 박정렬*, 김윤증**
경민대학 소방과학과, 건국방재(주)*, 한신공영(주)**

A Study on the Auto Detector of Chemical Agent in Gas Fire Extinguishing System

Yeob-Rae Kim, Dong-Myung Lee, Jeong-Reol Park*, Yun-Zeung Kim,**

Kyungmin College, Dept. of Fire Protection Science

*Kunkook Fire Protection Co., Ltd.**

*Hanshin Construction Co., Ltd.***

1. 개요

소방의 선진화와 국민생활의 안전을 감안 소방대상물에 대하여 화재에 완벽한 소화시스템의 구축이 이루어질 수 있다면 국민의 안정과 국가의 경제발전에 소방분야가 일익을 담당할 수 있으리라 본다.

화재 및 폭발사고로 인한 인명과 재산의 피해를 최소화하기 위하여 전 세계적으로 소방분야에 많은 투자를 하고 있다. 화재에 대한 재난을 미연에 예방하지 않으면 사회의 혼란은 물론 국민생활에 막대한 손실을 가져오는 바, 가스계소화시스템의 소화약제는 고압으로 축압되어 있어 누수로 인한 소화설비의 소화 작동이 원활히 이루어지지 않는 것을 미연에 방지하고자 본 연구를 하게 된 동기이다.

가스계소화시스템의 소화약제 감지 기능은 선진국에서 소화약제 누수로 인한 피해를 방지하기 위하여 고가의 소방대상물에 소화약제 감지 기능을 갖춘 시스템을 설치하여 유사시에 피해를 최소한으로 줄이기 위하여 설치하고 있다.

일부 국내의 소방대상물에서 소화약제 감지기능을 갖춘 시스템을 도입하고 있으며, 실질적으로 선진국형 방화관리를 하기 위해서는 국내에서도 필연적으로 받아들여지고 있는 실정이다.

본 연구는 가스계소화시스템에 소화약제 감지기능을 추가한 것으로 비화재시에 시스템을 항상 감시하는 역할을 하고 화재에 민감하고 신속하게 대응할 수 있는 구조로 개발되었으며, 선진화된 기술을 연구 개발하여 이를 소방대상물에 적용함으로써 소화설비로 인한 손실을 최소화하고 국내의 소방산업을 선진화할 수 있도록 한다.

2. 소화약제 무게 감지를 위한 개발내용

가스계 소화약제 자동 감지기능을 부가함으로 저장용기 내 소화약제가 항상 충만으로 화재시 신속한 소화가 이루어질 수 있는 자동 감지장치로서 화재안전에 만전을 기할 수 있도록 하며, 소방의 안전성을 더욱 확실히 제공할 수 있다.

현 소방대상물의 가스계소화시스템 소화약제 점검은 1년에 1회 또는 전혀 소화약제량을 측정하지 못하는 경우가 대부분이라 해도 과언은 아닐 것이다.

무게 단위 감지기능의 시스템으로 가스계소화시스템을 영구적으로 안전하게 관리하도록 하며, 본 시스템은 다른 전원 공급과 수신기 등 부속기기를 요구하지 않는다. 또한, 설치가 용이 하고 일정량의 소화약제 감소시 즉시 경보를 발하여 이상여부를 통보하도록 한다.

미국 NFPA 기준인 12, 12A, 2001과 영국 BS5306 part4 등 선진국에서는 소화약제 감량 5%~10%에 대한 약제 보충이 법으로 규정되어 있다. 국내에서도 선진국형 방화관리를 하기 위해서는 화재에 적극 대처할 수 있는 소화약제 자동 감지장치의 사용이 필연적으로 받아들여지고 있는 실정이다.

소화약제 자동 감지의 특징으로 항시 약제량에 따라 시스템을 조정, 경보를 발할 수 있도록 하여 소화설비 및 일반 산업시설에서도 사용이 가능하도록 하며, 소화약제 자동 감지장치는 국내에서도 사용을 하고 있으나, 개발이 되어 있지 않아 전량 수입에 의존하고 있는 실정이다.

화재로 인한 피해가 재산뿐만 아니라 인명의 손상 또한 크다. 완벽한 소방설비만 구비된다면 화재로 인한 손실을 최소화할 수 있으리라 본다. 소화약제 저장용기의 소화약제량 측정실험에서 장기간 보관된 저장용기내 소화약제량은 누수로 인하여 약제 살수가 제대로 이루어지지 않아 그로 인해 화재의 진압이 어렵다는 실험분석이 나왔다. 재충전하여 사용이 가능하지만 그러나 누수 확인이 힘들고, 자동 감지장치에 의해 소화약제량의 누수를 감지하여 재충전 시킨다면 소화약제 소화설비를 완벽하게 갖추게 되어 화재로 인한 피해를 미연에 방지할 수 있다.

현재 선진국에서는 소방용 소화약제 자동 감지장치의 사용이 보편화 되어 있으며, 소화설비에 필연적으로 사용되어지는 현실이다. 소화약제 자동 감지장치의 개발 내용은 다음과 같다.

- 선진국 소화약제 자동 감지장치 자료수집 및 분석
- 수입 감지장치를 정밀 분석하여 국내 소화설비에 맞는 시스템 개발
- Load Cell, 전원 공급장치, PCB, 무게감지 판넬의 프로세서 정립
- 소화약제 자동 감지장치 메카니즘 분석
- 자동 감지장치의 Optimal Design & Simulation, Engineering Data 확보
- Load Cell을 이용한 소화약제 자동 감지장치 제작

그림 1과 같이 소화약제의 Load Cell을 이용하여 소화약제의 무게를 감지하며, Load Cell에 부착된 감지기능을 전자회로를 이용해 소화약제 누수여부를 중앙 방재실에 연결하여 누수시 경보를 발하여 즉각적인 소화설비의 기능을 복원할 수 있는 소방용 소화약제 자동 감지장치의 개발을 내용으로 한다.

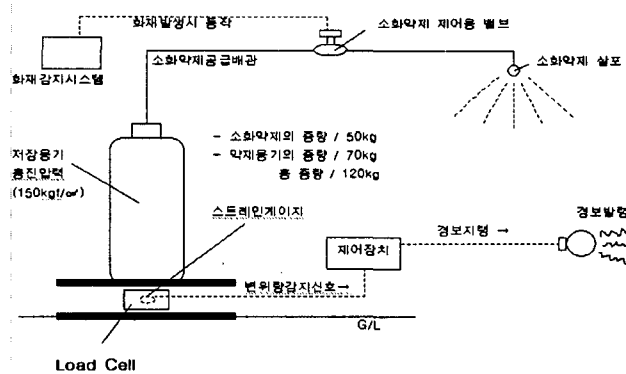


그림 1. 가스계 소화약제 자동 감지 흐름도

3. 소화약제 감지장치 개발목표

국내·외 문헌조사를 통하여 소화약제 감지장치의 Concept을 설정한 후 요구되는 Mechanism을 파악한다. 국내 소방·방재분야 소화시스템을 분석하여 선진국에서 사용하고 있는 소화약제 자동 감지장치 시스템에 대한 정밀분석 및 조사를 수행한다.

국내 소화시스템에 맞는 소화약제 자동 감지장치 Concept을 통해 System Basic Engineering, Layout Engineering Design(Layout Drawing), Optimal Design & Simulation, Engineering Data 정리, Technical Description 작성을 함으로서 무게 변형률에 의해 하중을 감지할 수 있는 Load Cell을 설계한다.

설계해석 KIT로서 PCB를 구성하여 Load Cell에서 감지된 변위량을 해석 프로그램을 통해 분석하고, 무게 감지 판넬, 전원 공급장치, 경보장치 등을 통해 소화약제 자동 감지장치 시스템을 개발한다.

가스계 소화설비의 소화약제량을 영구적으로 파악하기 위하여 소화약제 저장용기의 무게와 소화약제의 무게를 측정함으로 소화약제량을 파악하여 화재시에 발생하는 소화약제의 부족을 미연에 방지하고 완벽한 소화기능을 발휘할 수 있도록 소화약제 자동 감지장치를 통해 중앙 방재실에서 항시 감시기능 부여하고자 한다. System Design을 하여 소화약제를 유용하게 감시할 수 있는 적합성, 실용성 검토하여 소화약제 자동 감지장치 시스템이 최적설계에 의해 제작되도록 개발목표는 <표 1>의 내용으로 한다.

표 1. 소화약제 감지장치 구성별 개발목표

항 목	개 발 목 표	비 고	
소화약제 자동 감지시스템	감지 판넬	* 무게 판넬은 하중에 견딜 수 있는 구조 * 판넬의 강도, 두께, 크기는 소화약제 저장용기의 크기에 맞게 설계	약제용기 규격별 크기 설계
	Load Cell	* 하중의 변위량을 측정할 수 있는 능력 범위 선정 * 변위량으로 무게를 감지하며, 변위량이 변할 때 무게감지가 가능하도록 설계 * 스트레인게이지를 풀브릿지로 구성하여 하중-변형률을 얻을 수 있는 구조로 설계 * 굽힘하중에 의한 변위를 해석	Load cell의 높이, 폭 선정
	전원 공급장치	* DC24V의 전원 사용이 가능하도록 설계	
	경보장치	* Load Cell에서 변위량을 측정한 후 전원을 공급받아 약제의 누수여부를 알림	
	PCB 회로설계	* PCB 회로에 최적설계가 되도록 PCB 구성	
	설계해석 KIT	* Chip에 무게 감지를 해석할 수 있는 프로그램 입력	프로그램내 약제감지 용량 구성

4. LOAD CELL 하중-변형률

4.1 Load Cell의 기계적 성질

구조물을 설계하려면 재료를 선택하고 어떤 제작공정으로 만들 것인가를 결정하는 것이 중요하다. 재료를 선택하는데 있어 강도와 강성이 중요한 요소가 되나 신뢰성과 내구성도 고려해야 한다. 또한 극한온도에서 재료의 선택은 각별한 주의가 필요하다. 이와 같은 재료의 구비조건을 만족하기 위해 본 소화약제 감지장치의 하중-변형률 해석을 위한 Load Cell은 표 2에서와 같이 강도, 강성, 내식성, 내열성 등에 만족하는 재료로 구성하였다.

표 2. Load Cell의 기계적 성질

Material	Tension strength (N/mm ²)	Yield strength (N/mm ²)	Elongation (%)	성분							
				Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Al
Al 2024-T4	392	294	12	0.5 이하	0.5 이하	2.8~4.9	0.3~0.9	1.2~1.8	0.1 이하	0.25 이하	나머지

Load Cell에서는 하중이 탄성체의 변형으로 변환되고 이러한 변형을 전기적인 신호로 변환시키는 간접적인 방법을 이용하게 된다. 여기에 사용된 하중센서의 방식에는 Strain Gage식 비자가발진형의 Load Cell이다.

탄성(Elasticity)과 관련해 탄성한계 내에서는 물체에 변형은 가해지는 하중과 비례한다. 변형률(Strain)은 원래의 길이(L)에서 변화된 길이(dL)의 비율이며, $\text{Strain}(\epsilon) = dL/L$ 로 표시한다.

변형률과 저항체의 저항변화와의 관계를 규명하는 것은 어떤 물질의 저항은 저항체의 길이에 비례하고 단면적에 반비례하며, $dR/R = dL/L$ 로 표시한다.

저항선의 조각을 탄성체에 장착한 후 하중이 탄성체에 작용하였을 때 저항 변화가 나타나므로 저항변화는 작용하는 하중에 비례하는 다른 전기적인 신호로 변환될 수 있다.

하중 F가 작용하였을 경우 단면에 발생하는 응력은 $\sigma = F/A$ 이며, 또한 이 때 발생하는 변형률 $\epsilon = dL/L$ 이다. Hooke의 법칙에서 $dL/L = \text{Stress}/E_m$ 와 같이 정리된다.

하중 F가 기둥에 작용하였을 경우, Strain Gage에서의 저항변화는 다음과 같이 발생한다.

하중방향과 평행하게 위치한 Strain Gage의 경우는 dR만큼 저항이 감소하게 되어 $R \rightarrow R - dR$ 이며, 하중방향과 수직방향으로 위치한 Strain Gage는 탄성체의 포아슨비(ν)만큼 저항이 증가하게 되어 $R \rightarrow R + \delta dR$ 로 된다.

금속 포일식 Strain Gage를 사용한 Load Cell의 경우 피동형 센서이므로 저항변화를 측정 가능한 전압변화를 얻기 위해서는 일정한 전압이 있어야 한다.

그림 2에 Strain Gage식 LOAD CELL의 형상으로 Strain Gage는 4장으로 최대 응력발생 지점에 접착되게 되며, 저항변화를 전압변화로 전환시켜주기 위하여 Wheatstone Bridge로 배열시킨다.

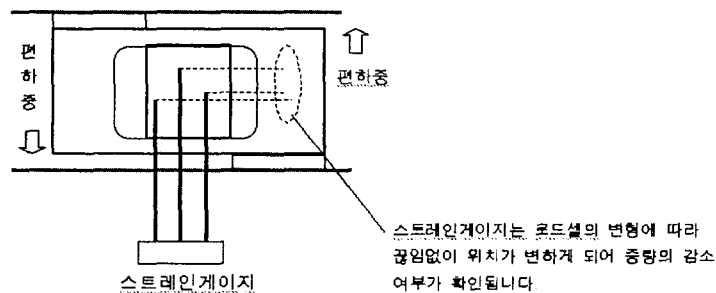


그림 2. Strain Gage식 LOAD CELL

4.2 응력-변형률

소화약제 자동감지장치 시스템은 하중에 의한 Load Cell에서 변위량을 측정하여 하중 범위를 계산하므로 응력-변형률의 관계를 해석할 수 있다. 재료의 탄성계수 범위내에서 응력(σ)과 변형률(ϵ) 사이는 Hook's의 법칙이 성립하므로 $\sigma = E\epsilon$ 이며, E는 재료의 탄성계수이다.

인장, 압축에 의하여 재료에 가해지는 하중은 초기와 최후의 부피가 일정한 경우 다음식이 성립한다.

$$A_o L_o = A_f (L_f + \Delta L) = A_o L_f (1 + \epsilon), \quad \text{Area ratio } R = \frac{A_o}{A_f} = 1 + \epsilon$$

하중이 가해진 상태에서 재료의 최대탄성 변형률이 크게 늘어난다면 하중이 가해진 상태에서의 단면적으로 나누어 구한 진응력(true stress) σ_T 를 계산하는 것이 바람직하다.

$$\sigma_T = \left(\frac{P}{A_0}\right)(1 + \epsilon) = \sigma(1 + \epsilon) = \sigma R$$

같은 조건으로 변형률이 커지면 진변형률(true strain) ϵ_T 를 사용해야 하며, 진변형률의 수식은 다음과 같다.

$$\epsilon_T = \sum_{L_0}^{L_f} \frac{\Delta L}{L} = \int_{L_0}^{L_f} \frac{dL}{L} = \ln R = \ln(1 + \epsilon)$$

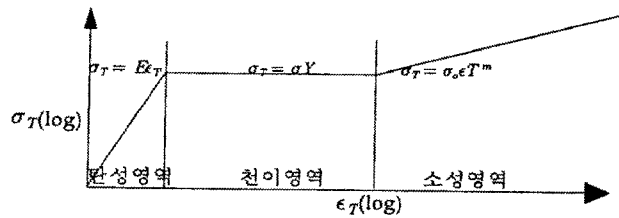


그림 3. 진응력-변형률 선도

소화약제 자동감지장치 시스템은 진응력-변형률의 관계에서 탄성영역내(그림 3)의 하중에 의한 변위량을 측정하여 하중범위를 계산한다.

5. 제어장치

Load Cell을 이용하여 자동으로 하중을 측정하고 그것을 기준값과 비교하여 일정값을 넘어섰을 때 경보를 출력하는 장치를 구현하였다. 기본적으로 하중을 주기적으로 자동 측정하기 위해서는 마이크로프로세서 제어에 의해 동작하는 프로그램을 통하여 구현하게 되며, 그 프로그램에 의해 자동으로 Load Cell로부터 신호를 측정한다. 그림 4는 Load Cell 및 PCB의 구성도로서 Load Cell에서 발생되는 변위는 제어장치로서 해석하여 무게 감지를 할 수 있도록 한다.

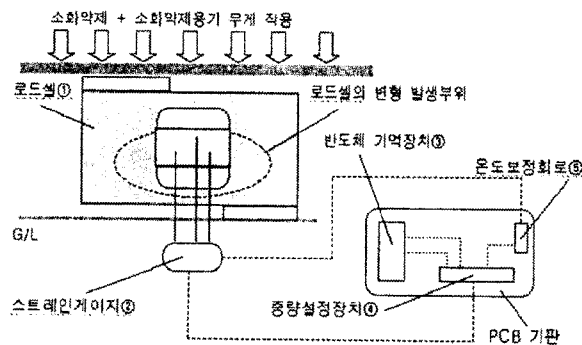
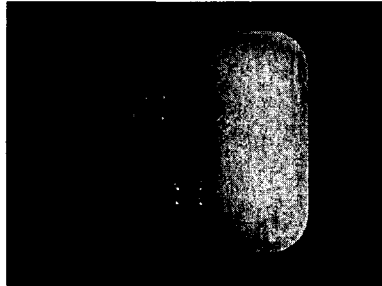
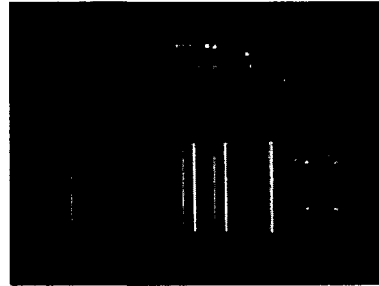


그림 4. Load Cell 및 PCB의 구성도

이러한 기능을 구현하기 위해서 기본적으로 Load Cell로부터 오는 신호를 증폭하고 그 신호를 프로세서가 처리할 수 있는 디지털 값으로 변환하기 위해 AD 변환기를 사용하였다.



<무게 감지 판넬>



<LOAD CELL 및 PCB>

사진 1. 감지장치 구성도

6. 결론

본 연구는 소방분야의 제품생산에 있어서 기술력을 이용하여 확대 적용이 가능하고 소방분야에 응용범위가 넓을 것으로 판단된다. 또한 적극적인 홍보를 통하여 소화약제 자동 감지장치에 대한 관심을 촉진시킴으로써 기술전파 효과를 유도할 수 있으리라 본다.

본 연구를 토대로 소화약제 자동 감지장치를 개발하여 가스계 소화시스템을 구축함으로써 화재의 위험에서 벗어나 재산과 인명의 손실을 미연에 방지할 수 있는 예방효과도 가져온다.

또한, 국가적으로 안전의 문제점을 해소하고 경제적으로 생산성 향상 효과를 도출해 낼 수 있으므로 산업에 미치는 영향에 많은 효과를 볼 수 있으리라 생각된다.

소방분야 Engineering Data를 확보함으로써 다른 시스템에 적용하여 효율적인 소방시스템을 구축할 수 있다. 우선적으로 유사제품에 확대 적용하는 방안을 적극 강구할 수 있는 기술적 토대가 될 수 있어 소방제품에 향후 적극 활용이 가능하리라 본다.

따라서 국내 기술력으로 가스계소화시스템 소화약제 감지장치의 개발로 인하여 다음과 같은 기대효과를 얻을 수 있으리라 본다.

- 국내 소방설비에 대한 기술축적
- 소방분야에 대한 국내기술의 신뢰도 향상
- 국내시장 개방에 따른 외국기술 도입으로 인한 시장점유 예방
- 국내 여건에 적합한 가스계소화시스템 구축
- 소방·방재분야 국내 기술력 향상
- 기술개발로 인한 동기로 타 분야의 기술개발 활성화

화재로 인한 재난을 미연에 방지할 수 있는 소방 기술력을 향상시켜 국내 소방분야에

이바지할 것으로 사료된다.

참고문헌

1. Philip J. DiNunno, Craig L. Beyler, etc, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", NFPA, 1995.
2. 한국화재보험협회, "NFPA 가스계 소화설비기준", 2001.
3. 유현일, "기계설계공학" 동명사, 2002.

본 연구는 2002년도 <경기도지방중소기업청> 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄 연구 지원사업 결과로 이에 감사드립니다.