

# 최적설계법을 응용한 가스계 소화설비의 약제방출량 산출

이동명

경민대학교 소방안전관리학과

## Application of Optimal Design Method to Agent Discharge Flow Calculation of Gaseous Fire Extinguishing Systems

Dong-Myung Lee

Dept. of Fire Protection Safety Management Engineering, Kyungmin Univ.

(Received August 11, 2015; Revised August 20, 2015; Accepted August 24, 2015)

### 요 약

본 연구에서는 설계프로그램의 공학적 분석의 수단 또는 가치공학 측면에서 원가절감 등의 목적으로 최적설계 이론과 공학적 이론을 접목시킨 최적설계법을 가스계 소화설비 중 청정소화약제 소화설비의 약제방출량 산출에 응용하였다. 청정소화약제 소화설비의 설계이론과 최적설계 이론을 바탕으로 약제방출량을 최적화시킬 수 있는 최적설계인자를 도출하였고, 이를 설계인자로 구축된 소화설비의 소화성능시험으로 최적설계법의 적합성 여부를 검증함으로써 다른 소화설비에도 최적설계법을 접목할 수 있는 기틀을 마련하였다. 방출헤드의 약제방출량 최적화는 방출헤드 및 배관의 내경, 약제 도달시간, 유량과 압력변화 등의 소화약제 유동특성에 대한 제한조건에 의해 결정됨을 확인하였고, 방출헤드의 방출압력과 약제도달시간의 편차는 배관의 압력변화만큼 발생되고 상관관계가 있음을 알 수 있었다.

### ABSTRACT

In this study, optimal design methods were applied to the agent discharge flow of clean agent fire extinguishing systems. The methods combined optimal design theory and engineering theory for engineering analysis in a design program or coast savings in value engineering. Optimal design parameters were determined to optimize the agent discharge flow based on the design theory of the clean agent fire extinguishing systems and the theory of optimal design. The design factors were verified in regard to suitability for the performance of fire extinguishing systems. The results provide a foundation for optimal design method methods in other fire extinguishing systems. Optimization of the agent discharge flow of the discharge nozzle was confirmed by the constraints on the inner diameter of the discharge nozzle and the pipe, agent arrival time, flow, and pressure variation of the agent. The deviation of discharge pressure and agent time of the agent discharge nozzle were found to correlate with the pressure variation.

**Keywords :** Optimal design method, Discharge flow, Object function, Constrain equations, Steepest descent method

## 1. 서 론

국내의 소방법<sup>(1,2)</sup>에서는 물을 사용할 수 없는 전산실이나 전기실, 통신기기실, 박물관, 비행기 격납고, 주차용 건축물 등의 방호구역과 국가기간시설에 화재진압을 위해 가스계 소화설비의 설치를 의무화하고 있다. 가스계 소화설비의 소화약제로 약 50년 이상 사용되어 오던 할론계 소화약제가 1987년 몬트리올 의정서와 1997년 교토 의정서에 의해 온실가스의 배출과 오존층 파괴 등의 문제로 인해 전 세계적으로 사용이 금지되었고, 2011년부터 우리나라도 저탄소 녹색성장사업에 동참하고자 가스계 소화설비

의 소화약제로서 친환경적이며 침투성이 높고 청정소화약제를 사용하도록 규정하고 있다.

아무리 친환경적이고 침투성이 높은 청정소화약제를 사용한 가스계 소화설비가 방호구역에 설치되고, 화재 시 정상적으로 동작되어 소화약제가 방출되었다고 하더라도 정확치 못한 소화배관, 소화약제의 유동특성 등에 의해 방출헤드의 약제방출량 및 약제방출시간의 설계 값이 실제 건축물에 설치된 소화설비와의 차이로 화재가 진압되지 않는 경우도 발생할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 국민안전처에서는 가스계 소화설비를 설치할 때 적절한 약제량, 약제방출시간 등의 검증절차로 고시 제2015-

74호<sup>(3)</sup>에 따라 설계프로그램을 개발하거나 인증된 설계프로그램을 사용하여 설계하도록 규정하고 있다. 하지만 성능이 인증된 프로그램을 사용하여 소화설비를 설계하였다 하더라도 소화설비가 설치되는 건축물의 방호구역은 기하학적 구조, 크기, 형상 등의 물리적 조건이 설계프로그램의 결과와 다를 수 있기 때문에 설계프로그램의 적용범위를 벗어난 설계가 이루어질 수 있다. 따라서 설계프로그램에 입력된 데이터와 설치된 소화설비의 일치성 여부, 배관내 유량 및 압력 변화 등의 소화약제 유동특성에 대한 공학적 분석결과가 필요하다. 또한 소방대상물에 설치되는 대부분의 소화설비가 필요 약제량, 약제이송경로인 배관내의 유량 및 압력변화, 소화약제의 유동특성 등을 파악하고 방호구역 내 방출헤드에 약제가 효율적으로 분배되고 방출된다면 효과적인 화재를 진압할 수 있을 것이다. 또한 소화설비의 목적은 최소의 약제방출로 최대의 화재진압효과를 얻는 것이라 판단된다.

이러한 공학적 분석의 수단으로 또는 가치공학 측면에서 원가절감 등의 목적으로 수학의 최적화 이론과 공학적 이론을 접목시킨 최적설계법(optimal design method)이 많은 공학분야에서 응용되고 있지만 국내 소방분야에서는 최적설계법의 접목이나 응용연구가 매우 미진한 실정이다.

본 연구에서는 가스계 소화설비 중 청정소화약제(HFC-125) 소화설비의 공학적 설계이론과 수학의 최적화 이론(optimization theory)을 접목하여 청정소화약제 소화설비의 방출헤드에서 방출되는 약제방출량을 최적화하기 위해 최적설계법<sup>(4,5)</sup>을 응용하였다. 최적설계법에서 결정된 설계인자(약제방출량과 약제도달시간 등)와 소화성능시험에서 결정된 인자들을 비교·검토하고 최적설계법의 적합성 여부를 검증하였다.

## 2. 최적설계법

### 2.1 최적설계이론

청정소화약제 소화설비의 약제량  $M_s$ (kg)는 식(1)과 같이 나타낼 수 있다. 식(1)에서  $V$ 는 방호구역의 체적( $m^3$ ),  $S$ 는 소화약제별 선형상수( $m^3/kg$ ),  $C$ 는 체적에 따른 소화약제의 설계농도(%)를 의미하고, 식(2)에서  $t$ 는 방호구역의 최소 예상온도( $^{\circ}C$ ),  $K_1$ 은 방출계수,  $K_2$ 는 개구부 보정계수를 의미한다<sup>(1)</sup>.

$$M_s = \frac{V}{S} \times \left[ \frac{C}{100 - C} \right] \quad (1)$$

$$S = K_1 + K_2 \times t \quad (2)$$

청정소화약제는 포화압력의 액체상태에서 저장용기 밖으로 분출되면서 배관 내에서는 2상(액체와 증기) 유체로 배관망을 이동하기 때문에 배관에 따라 압력손실이 일정하지 않다. 배관마찰로 인해 압력손실이 발생하면 액체는

끓어오르게 되고 액체와 증기의 혼합물을 생성시키기 때문에 혼합물의 유량과 유속 또한 증가하게 된다. 따라서 마찰손실은 배관의 입구보다 출구에서 더 크며, 소화약제가 방출헤드를 통과할 때 발생한다. 각 방출헤드의 필요 약제방출량과 배관망 각 배관의 약제이동량은 배관내경 또는 방출헤드의 오리피스 내경 및 배관의 마찰손실에 따라 결정되기 때문에 약제방출량과 약제이동량은 식(3)으로부터 구할 수 있다<sup>(6)</sup>. 난류의 유체유동특성은 다소 계산하기가 곤란한 점이 있으나 식(3)은 신뢰성이 입증되어 현재 널리 사용되고 있고 유체의 난류유동에도 적용할 수 있다. 식(3)에서  $M_h$  (kg/s)는 방출헤드의 약제방출량,  $M_p$  (kg/s)는 배관망 각 배관의 약제이동량,  $D = D_h = D_p$ 로서  $D_p$  (m)는 배관내경,  $D_h$  (m)는 오리피스내경,  $L$  (m)은 배관 등가길이,  $Y$ 와  $Z$ 는 충전밀도와 충전압력에 의해 결정되는 계수를 의미한다. 식(3)에 의해 약제방출량을 계산할 때는  $D = D_h$ , 약제이동량을 계산할 때  $D = D_p$ 로 계산한다.

$$M_h^2 = M_p^2 = \frac{3.647(D^{5.25}Y)}{60L + 484.8(D^{1.25}Z)} \quad (3)$$

식(3)에서  $Y$ 와  $Z$ 는 참고문헌<sup>(6)</sup>의 값을 이용해도 되고,  $Y$ 는 압력변화를 나타낸 식(4),  $Z$ 는 밀도변화를 나타낸 식(5)를 이용하여 구해도 된다<sup>(6)</sup>. 식(4)와 (5)에서  $P$  (kPa)는 배관출구의 압력,  $P_1$  (kPa)는 배관 입구의 압력,  $\rho$  ( $kg/m^3$ )는 압력  $P$ 에서 밀도,  $\rho_1$  ( $kg/m^3$ )은 압력  $P_1$ 에서 밀도를 의미한다.

$$Y = - \int_{P_1}^P \rho dp \quad (4)$$

$$Z = - \int_{P_1}^P \frac{1}{\rho} dp = \ln \frac{P_1}{P} \quad (5)$$

소화배관 내에 약제가 이동할 때 배관 벽과 약제의 흐름에 의해 발생하는 에너지손실(유체유동의 마찰손실)은 유체의 난류 유동현상에도 적용할 수 있는 식(6)의 Hazen-William 식을 이용하였다<sup>(7)</sup>. 식(6)에서  $\Delta P$  (MPa)는 마찰손실에 의한 압력손실,  $M_p$  (kg/s)는 약제이동량,  $D_p$  (m)는 배관내경,  $C$ 는 배관의 조도에 의한 마찰계수,  $L$  (m)은 등가길이를 의미한다. 소화설비 배관망의 높이변화에 따른 압력보정  $DP$  (MPa)는 식(7)에 의해 계산한다. 식(7)에서  $\Delta EL$  (m)는 배관망의 높이변화 길이,  $\rho$  ( $kg/m^3$ )는 높이변화 지점의 배관내 소화약제의 밀도를 의미한다.

$$\Delta P = 6.05 \times 10^4 \frac{M_p^{1.85}}{C^{1.85} \times D_p^{4.87}} \times L \quad (6)$$

$$DP = 0.478\rho(\Delta EL) \quad (7)$$

청정소화약제는 충전압력에 의해 저장용기 밖으로 분출될 때 관마찰의 압력손실로 인해 단열팽창과 운동에너지가 변화하게 되고, 청정소화약제의 방출조건은 저장용기의

압력에 의해 결정된다. 저장용기의 압력에 의해 용기에서 단위시간당 방출되는 청정소화약제의 질량  $M_{loss}$  (kg)은 식(8)과 같이 압력이 증가되는 배관 끝부분에서의 청정소화약제의 체적으로부터 결정할 수 있다<sup>(8)</sup>. 식(8)에서  $V_{loss}$  ( $m^3$ )는 압력이 변하는 동안 저장용기에서 방출된 청정소화약제의 체적,  $V_{fluid}$  ( $m^3$ )는 배관망의 배관 끝점에서 압력과 온도의 변화가 시작되는 구간에서 저장용기 내에 있는 청정소화약제의 질량이 차지하는 체적,  $V_{cyl}$  ( $m^3$ )는 저장용기의 체적,  $\rho_{loss}$  ( $kg/m^3$ )는 저장용기에서 방출된 청정소화약제의 밀도를 의미한다.

$$V_{loss} = V_{fluid} - V_{cyl} \tag{8}$$

$$M_{loss} = V_{loss} \times \rho_{loss}$$

저장용기와 방출헤드에서 소화약제가 방출되는 동안 두 부분에서 모두 동일한 유량이 이동되는 것으로 가정하면, 소화약제의 온도는 기화가 발생하는 경계에서 소화약제가 방출되기 바로 직전의 저장용기와 임의의 경계면 사이에서의 에너지 균형으로부터 해결할 수 있다. 또한 방출헤드에서 방출되는 소화약제의 약제방출시간(= 약제도달시간)  $t_h$  (s)는 소화약제의 질량균형으로부터 식(9)에 의해 결정된다<sup>(8)</sup>. 이때 질량균형의 조건이나 질량균형이 이용되는 조합은 방호구역에 따라 결정된다. 식(9)에서  $M_{np,i}$  (kg)와  $M_{np,j}$  (kg)는 시간변화에 따른 배관의 시작과 끝점에 저장된 청정소화약제의 질량이고,  $i$  ( $= 1 \sim n$ )는 배관망 각 배관의 시작점 및  $j$  ( $= 1 \sim m$ )는 배관망 각 배관의 끝점이며,  $M_{h,k}$  (kg/s)는 각 방출헤드의 약제방출량이고,  $k$  ( $= 1 \sim o$ )는 방호구역에 설치된 방출헤드의 번호를 의미한다.

$$t_h = \frac{M_{loss} - (M_{np,i} - M_{np,j})}{M_{h,k}} \tag{9}$$

가스계 소화설비의 약제방출량은 배관 및 방출헤드의 내경, 배관내의 유량 및 압력변화, 약제방출시간 등에 의해 좌우됨으로 이들 인자를 최적화하면 약제방출량을 최소화할 수 있다. 최적설계는 요구조건에 따른 목적함수(object function)와 제한조건식(constrain equations)에 의해 설정된다. 본 연구에서는 최적설계법으로 제한조건이 목적함수의 최종 목적점인 최적점(optimum point)을 수렴해가는 민감도 해석(sensitivity analysis)에서 비선형 문제를 선형문제로 바꾸기 위해 미분을 취하는 방법인 최대 경사법(steepest descent method)을 이용하였다<sup>(4,5)</sup>. 최대 경사법은 Figure 1에 나타난 것처럼 목적함수와 제한조건식을 선형화시켜 목적함수를 감소시키는 방향을 직각(orthogonal) 방향으로 최적점을 찾는 방법이다.

소화설비 방출헤드의 약제방출량을 최소화하기 위한 목적함수  $F$ 는 식(10)과 같이 약제방출량  $M_h$ 의 함수로 나타낼 수 있고, 식(10)의 약제방출량은 방출헤드 오리피스내경  $D_h$ 의 함수가 된다. 제한조건식은 목적함수를 최소화하기 위한 조건(식(6), 식(7)과 식(9)들로서 식(11)~(13)과

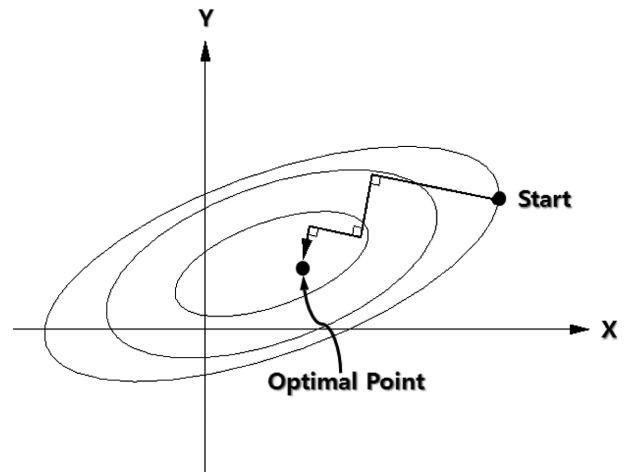


Figure 1. Paths of steepest descent method.

같이 나타낼 수 있다. 이들 제한조건식의 선형화와 민감도 해석을 위해 최대 경사법이 적용된다.

식(11)~(13)에서  $i$ 는 배관망 각 배관의 시작점,  $j$ 는 배관망 각 배관의 끝점,  $k$ 는 방호구역에 설치된 방출헤드의 번호를 의미한다. 제한조건식 식(11)과 식(12)에서 배관망 각 배관내의 약제이동량과 방출헤드의 약제방출량은 항상 영(zero)보다 크게 제한하고, 제한조건식 식(13)의 방출헤드 방출시간은 국민안전처 고시 제2015-74호에 따라 10초보다 작게 제한하였다.

$$F(D_k) = \sum_{k=1}^o M_h(D_h) \tag{10}$$

$$(M_{np})_{i,j} > 0, \text{ for all } i = 1, 2, \dots, n \tag{11}$$

$$j = 1, 2, \dots, m$$

$$(M_h)_k > 0, \text{ for all } k = 1, 2, \dots, o \tag{12}$$

$$(t_h)_k < 10(s), \text{ for all } k = 1, 2, \dots, o \tag{13}$$

## 2.2 최적설계

최적설계 대상은 전역방출방식으로 화재를 진압하기 위해 방호구역에 설치된 청정소화약제 소화설비이며, 각 방출헤드의 약제방출량을 최적화하는 것이다. 방출헤드 약제

Table 1. Specification of the Test Model and Clean Agent

Name	Specification
Fire room volume	207.20 $m^3$
Entrance door area	1.89 $m^2$
Opening (Venting) area	0.09 $m^2$
Agent/Density	HFC-125/1,218 $kg/m^3$
Agent cylinder	50 kg (68 L)
Pressure of cylinder	4.13 MPa
Discharge time of agent	10 s

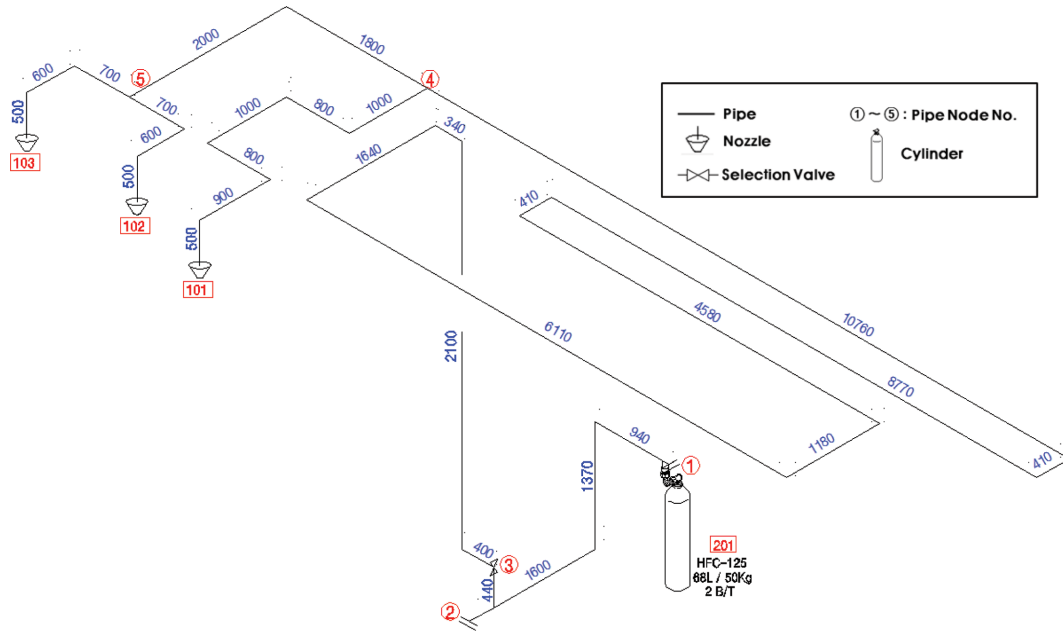


Figure 2. Schematic of the clean agent fire extinguishing systems.

방출량을 최적화하기 위한 방호구역과 청정소화약제 물리적 특성 및 초기조건은 Table 1과 같고, 방호구역에 설치될 청정소화약제 소화설비의 계획도는 Figure 2와 같다. Figure 2에서 101~103과 201은 방출헤드 및 저장용기, ①~⑤는 제한조건식 식(11)과 식(12)에서 사용될 배관망 각 배관의 시작점(i) 및 끝점(j), 배관 위와 좌측 값은 배관의 길이 및 높이를 의미한다.

방호구역에는 일반화재의 표면화재가 발생한 것으로 가정하고, 방호구역의 최소 예상온도  $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$  그리고 설계농도  $C = 8.66\%$ 로 가정한다. 이들 값과 HFC-125의 방출계수와 보정계수<sup>(1)</sup>  $K_1 = 0.1825$ 와  $K_2 = 0.0007$ , Table 1의 조건을 식(1)과 식(2)에 대입하고 개구부 면적을 보정하면 방호구역의 필요 약제량(91.96 kg)이 계산된다. Table 1과 필요 약제량으로부터 실린더 수량(2병), 총 약제이동량(10 kg/s), NFPA 12A<sup>(6)</sup>의 파이프(방출헤드)의 호칭지름에 따른 최대 유량값에 의해 주 배관경(65A)과 방출헤드의 개수(3개) 및 방출헤드 1개당 평균 약제방출량(3.33 kg/s), 충전밀도(735 kg/m<sup>3</sup>), 배관비(131.4%)를 결정할 수 있다. 이들 값은 각 방출헤드(101~103)의 약제방출량을 최적설계하는데 필요한 초기 값으로 적용된다.

각 방출헤드의 약제방출량  $M_h$  최적설계는 식(10)의 목적함수 F를 최적화할 수 있도록 Figure 2의 배관망의 각 배관구간마다 제한조건식 식(11)~(13)이 만족되는 최대 경사법으로 조건을 찾아가면서 목적함수 식(10)을 최적화하게 된다. 즉, 식(3)의 약제방출량  $M_h$ 를 최적화할 수 있는 방출헤드 오리피스 내경  $D_h$ 를 찾는 것이다. 이때 제한조건식에 만족되는 조건은 최대 경사법의 적분 수렴을 통해 제한조건을 선형화시켜 민감도 해석을 하였고, 적분수렴 값은  $10 \times 10^{-9}$ 까지로 제한하였다. 식(6)과 식(7)은 최적설계 과정에서 방출헤드와 각 배관구간별 시작점과 끝점의 압력을 계산할 때 압력손실수두로 이용된다. 최적설계 결과 방출헤드의 오리피스 내경이 최소화될 때 약제방출량이 최적화됨을 알 수 있었다. Figure 2의 경우, 각 방출헤드의 약제방출량을 최적화하는 각 방출헤드의 오리피스내경, 약제 도달시간, 방출압력, 헤드규격은 Table 2와 같다.

Table 2의 최적설계 결과에 나타난 바와 같이 각 방출헤드의 초기 약제방출량은 3.33 kg/s로 계산되었지만, 최적설계법로부터 최소화된 방출헤드 오리피스 내경(0.023~0.0266 m)에 의해 최적화된 방출헤드 101, 102 및 103의 약제방출량은 3.50 kg/s, 2.04 kg/s 및 4.46 kg/s로 계산되

Table 2. Optimal Design Factors of Each Nozzle

Nozzle no.	Orifice diameter (m)	Size	Discharge flow (kg/s)		Agent arrived time (s)	Discharge pressure (MPa)
			Initial	Optimization		
101	0.0230	32A	3.33	3.50	2.3	1.06
102	0.0164	25A		2.04	2.3	1.07
103	0.0266	32A		4.46	2.0	0.80

**Table 3.** Optimal Design Factors of Pipe Line

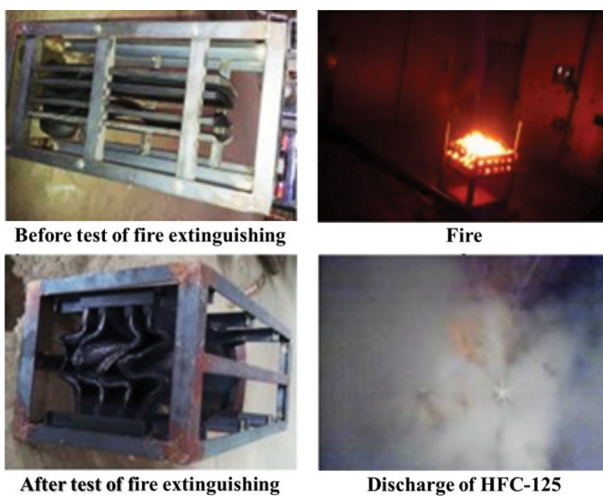
Section	Start point	End point	Size	Flow (kg/s)	Input pressure (MPa)	Output pressure (MPa)
1	201	1	40A	5	2.00	1.89
2	1	2	65A	10	1.89	1.88
3	2	3	50A	10	1.88	1.87
4	3	4	50A	10	1.87	1.30
5	4	101	32A	3.5	1.30	1.06
6	4	5	40A	6.5	1.30	1.17
7	5	102	25A	2.04	1.17	1.03
8	5	103	32A	4.06	1.17	0.80

었다. 따라서 최적설계법과 같은 공학적인 분석없이 단순 계산에 의해 약제방출량 분배하는 것은 상당히 위험할 수 있다.

각 방출헤드의 약제방출량을 최적화한 Figure 2의 배관망 각 배관구간의 최적설계인자(배관규격, 약제이동량, 배관의 시작점과 끝점의 압력분포 등)는 Table 3과 같다. Table 3에서 배관구간 중 방출헤드 101, 102 및 103가 포함된 5, 7 및 8구간의 약제이동량 및 끝점의 압력은 Table 2의 약제방출량 및 방출압력과 같음을 알 수 있다.

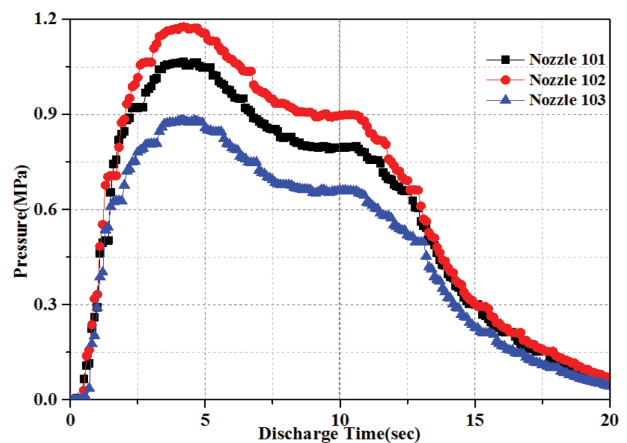
### 3. 소화성능시험

청정소화약제(HFC-125) 소화설비의 소화성능시험은 Table 1의 실험모델, 최적설계 결과로부터 얻어진 Table 2, Table 3의 방출헤드 및 배관망의 규격 및 Figure 2의 계획도에 따라 일반화재가 발생했을 때 표면화재에 대해 Figure 3과 같이 하였다. 소화성능시험으로부터 소화성능시험의 지표가 되는 각 방출헤드의 방출압력과 온도를 측정하였고, 그 결과는 Figure 4와 Figure 5에 제시한바와 같다.

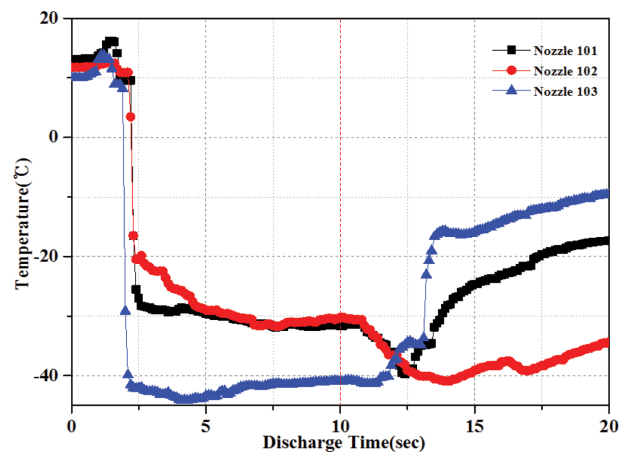


**Figure 3.** Fire extinguishing performance test for the optimal design factors verification.

소화성능시험에서 지표가 방출헤드의 압력과 온도이다. 높은 압력으로 저장되어 있는 청정소화약제(HFC-125)가 방출되면서 배관 내에서 액체상태의 청정소화약제가 증발됨에 따라 헤드에서 압력은 급격히 상승한다. Figure 4에 나타난 바와 같이 선택밸브가 열리고 4.2 s에서 각 방출헤드의 압력이 101 = 1.066 MPa, 102 = 1.177 MPa, 103 = 0.803 MPa로 최대 압력을 나타냈고, 화재가 진압되는 10 s 후 방출



**Figure 4.** The pressure of each nozzle.



**Figure 5.** The temperature at each nozzle.

**Table 4.** Comparison of ODM and FEPT for Each Nozzle

Nozzle no.	Size	Agent arrived time (s)			Discharge pressure (MPa)		
		ODM	FEPT	Deviation	ODM	FEPT	Deviation
101	32A	2.2	2.4	+0.2 (9.1%)	1.060	1.066	0.64%
102	25A	2.2	2.4	+0.2 (9.1%)	1.070	1.077	0.65%
103	32A	2.0	2.0	0%	0.800	0.803	0.38%

※ ODM = Optimal design method.

FEPT = Fire extinguishing performance test.

헤드의 압력은 서서히 줄어드는 것으로 나타났다. Figure 5에 나타낸 바와 같이 각 방출헤드의 온도는 헤드 101과 102는 2.4 s일 때, 헤드 103은 2.0 s일 때 101 = -25.52 °C, 102 = -20.46 °C와 103 = -29.17 °C로 급격히 떨어져서 10 s 일 때 101 = -31.63 °C, 102 = -30.23 °C와 103 = -40.95 °C로 더 급감되었다. 아울러 선택밸브가 열리고 소화약제가 각 방출헤드에 도달하는 약제도달시간은 청정소화약제의 증발지연시간이 매우 짧기 때문에 방출헤드의 온도가 급감하는 시점을 소화약제의 방출시점으로 판단할 수 있다<sup>(8)</sup>. 따라서 소화약제가 각 방출헤드에 도달하는 약제도달시간은 방출헤드의 온도가 급감하는 시간인 101 = 2.4 s, 102 = 2.4 s, 103 = 2 s가 된다.

최적설계법로부터 결정된 Table 2의 방출헤드 유동특성(약제도달시간, 방출압력)과 소화성능시험으로부터 얻어진 Figure 4와 Figure 5의 방출헤드 유동특성을 비교·검토해보면 Table 4와 같다. Table 4에 제시한 바와 같이 약제도달시간의 편차는 10% 미만, 방출압력의 편차는 각 헤드 모두 1% 미만으로 나타났고, 방출헤드 101과 102의 약제도달시간 편차가 큰 이유는 배관의 방향을 바꾸는 엘보 등에 의한 압력손실 때문인 것으로 판단된다. 소화성능시험과 최적설계법으로부터 결정된 인자들의 편차가 다소 크지만 최적설계법의 적합성을 검증하였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 설계프로그램에 입력된 데이터와 설치된 소화설비의 일치성 여부(배관 내 유량 및 압력변화, 소화약제 유동특성)에 대한 공학적 분석수단 또는 가치공학 측면에서 원가절감 등의 목적으로 최적설계 이론과 공학적 이론을 접목시킨 최적설계법을 가스계 소화설비 중 청정소화약제 소화설비에 응용·적용하였고, 청정소화약제 소화설비의 설계이론과 최적설계 이론을 접목하여 약제방출량을 최적화시킬 수 있는 최적설계인자를 도출하였으며, 이를 근거로 구축된 소화설비로부터 소화성능시험을 실시하였다.

방출헤드의 약제방출량 최적설계 결과로부터 방출헤드 및 배관의 내경, 약제도달시간, 유량과 압력변화 등의 소

화약제 유동특성에 대한 제한조건에 의해 결정됨을 확인하였고, 방출헤드의 방출압력과 약제도달시간의 편차는 배관망의 압력변화만큼 발생되고 상관관계가 있음을 알 수 있었다. 이들 편차를 최소 5% 이하로 줄이기 위해 배관망의 압력손실을 최대한 줄이는 것이 필요하며, 또한 이들 편차를 줄이기 위해서는 제한조건의 선형화와 민감도 해석을 수행하는 최대 경사법의 적분 수렴 값을 좀 더 엄밀하게 조정할 필요가 있다.

소화성능시험을 통해 최적설계법에서 결정된 최적설계 인자의 적합성을 검증함으로써 다른 유형의 가스계 소화설비에서도 방출헤드의 약제방출량 산출기법으로 응용이 가능할 것으로 판단되며, 또한 다른 유형의 소화설비에도 최적설계법을 접목할 수 있는 기틀을 마련하였다.

#### References

1. NEMA, "National Fire Safety Code of Clean Agent Fire Extinguishing System", NFSC 107A (2013).
2. NFPA, "Standard on Clean Agent Fire Extinguishing Systems", NFPA 2001 (2008).
3. MPSS, "The Certification Performance of Design Program and the Technical Standard of Product Inspection of Gas Extinguishing Systems", MPSS Notice 2015-74 (2012).
4. E. J. Haug and J. S. Arrora, "Applied Optimal Design", John Wiley & Sons Inc., pp. 15-94 (1979).
5. D. M. Lee, "A Study on the Design Program Development of the Carbon Dioxide Fire Extinguishing System Using an Optimization", Fire Science and Engineering, Vol. 28, No. 3, pp. 1-9 (2014).
6. NFPA, "Standard on Halon 1301 Fire Extinguishing Systems", NFPA 12A (2006).
7. SFPE, "SFPE Handbook of Fire Protection Engineering", Third Edition, NFPA (2002).
8. P. J. DiNenno, E. W. Forsseli, M. J. Ferreira, C. P. Hanauska and B. A. Johnson, "Modeling of the Flow Properties and Discharge of Halon Replacement Agents", NFPA Technical Papers, pp. 117-129 (1994).