스프링클러헤드 살수를 통한 연기 및 독성가스 제거 연구

Removal of Smoke and Toxic Gases Through Sprinkler Head Spray

윤종칠* · 최용섭** · 김학중***

Yoon, Jongchil*, Choi, Yongseob**, and Kim, Hakjoong***

Abstract

This study was conducted with the aim of reducing the concentration of smoke and toxic gases by quickly capturing large amounts of these substances using a venturi tube and sprinkler head in a fire. To this end, a new experimental model sprinkler head has been developed. The ability to remove carbon monoxide and smoke was tested using a standard sprinkler head with a scaled-down chamber and smoke of cigarettes. The carbon monoxide concentration and visibility were measured at 1, 2, and 3 min after filling the chamber with smoke. The proto-model confirmed a significant drop in the carbon monoxide concentration and a remarkable smoke dilution at a discharge pressure of 0.1 MPa. Therefore, the test model could extend the evacuation time and stay time by removing smoke and toxic gases.

Key words : Smoke and Toxic Gas, Venturi Effect, Sprinkler Head, Concentration Drop, Visibility

요 지

본 연구에서는 화재 시 스프링클러헤드의 살수와 더불어 벤츄리 원리로 빠르고 많은 양이 연기 및 독성가스를 포획하여 농도를 감소시키는데 목표를 두고 수행하였다. 이를 위해 새로운 실험모형의 스프링클러헤드를 제작하였고 축소모형의 실험상자와 담배연기로 일산화탄소 및 연기의 농도저감 능력을 표준형 스프링클러헤드와 비교하였다. 실험은 상자에 연기를 충전한 후, 1분, 2분, 3분에 일산화탄소 농도와 가시도를 측정하였고 그 결과, 방사압력 0.1MPa의 제작된 실험모델 헤드에서 현저한 일산화탄소 농도저하와 연기희석에 따른 가시도가 밝게 확인되었다. 따라서, 제작된 모형의 스프링클러헤드는 연기 및 독성가스 제거로 피난시간 및 체류시간의 연장이 가능하였다.

핵심용어 : 연기 및 독성가스, 벤츄리효과, 스프링클러헤드, 농도저하, 가시도

1. 서 론

국가화재정보센터(National Fire Data System, 2016)의 화재연감통계에 의하면, 화재로 인한 인명피해가 직접적인 화상의 원인보다는 연기 및 독성가스 흡입 등에 의해 60 % 이상 발생되고 있어 연소가스의 위험 및 유해성에 대하여 사회전반적인 우려와 관심을 받고 있다.

스프링클러소화설비는 화재 시, 화재감지특성과 화재제

어 및 진압의 방사특성을 가진 수계소화설비로서 동작특성과 더불어 성능위주 설계에(Performance Based Design, PBD) 적용을 위해 다방면에서 연구가 진행되어지고 있으며, 이와 관련된 국내 연구로 Kim (2012)은 구획화재에서 스프링클러헤드 동작이 유출되는 연소가스의 질량유량을 감소시킨다는 실험을 통해 스프링클러소화설비의 우수성을 언급하였고 Seo et al. (2014)는 스프링클러헤드에서 살수되는 물방울 입자에 의해 피난 및 진압, 구조 등의 소방활동에

*정회원, 경기대학교 일반대학원 도시방재공학과 박사과정(E-mail: ycj74@hanmail.net)

Member, Ph.D Candidate, Department of Urban and Fire Protection Engineering, Kyonggi University

**경기대학교 일반대학원 도시방재공학과 박사과정

Ph.D Candidate, Department of Urban and Fire Protection Engineering, Kyonggi University

***교신저자, 정회원, 초당대학교 소방행정과 교수(Tel: +82-61-450-1228, Fax: +82-61-450-1271, E-mail: hakjungkim@cdu.ac.kr)

Corresponding Author, Member, Professor, Department of Fire Service Administration, Chodang University

장애원인이 되는 스모크-로깅(Smoke-Logging)현상의 연기 하강기류에 대한 분석을 수행하였다. 또한, Cha et al. (2006)은 스프링클러설비의 살수에 의한 연소가스 및 연기의 제어(Control)효과에 대하여 설명하였고 Park et al. (2014)은 미분무소화설비에서 분사압력, 분사밀도 등에 따른 액체미립자와 연기입자 접촉으로 연기의 저감효과에 대하여 연구하였다. 결과적으로 스프링클러헤드로 비산되는 수적과 연기와의 접촉 속도, 포획, 면적 등 여러 방법으로 화재 시 발생하는 연기의 농도를 낮춤으로써 가시도를 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

아울러, Park et al. (2004)은 터널 화재 시 물분무노즐의 제연수막을 통해 일산화탄소(CO)농도가 감소하여 독성가스로부터 피난자의 피해를 저감시킬 수 있는 것으로 확인하였다. Sim and Cho (2018)은 화재발생 시, 유독가스에 의한 인명피해를 최소화하는 방법으로 젖은 수건을 이용하여 시안화수소(HCN), 염화수소(HCl)와 같은 독성가스 흡입을 일정시간 지연할 수 있다고 제시하였다. 이는 대표적인 독성가스 CO, HCN, HCl가 물과 반응하는 수용성이면서 농도를 감소시킬 수 있다는 증명이기도 하다.

국내의 선행된 연구결과에 따르면, 연기, 연소가스 등이 스프링클러설비와 같은 물분무소화시스템동작에 형성된 액체미립자에 의거 제거(Removal) 및 수분과 혼합, 화학반응 함으로써 농도가 희석(Dilution)이 가능할 것으로 사료된다. 기존연구가표준형 스프링클러헤드를 사용하여 연구를 진행하였다면, 본 연구에서는 화재발생 시 발생하는 연기 및 독성가스에 대하여 최적의 포획, 농도저하를 위해 스프링클러헤드의 형상과 더불어 동작 시 유로에서 벤츄리 원리를 이용한 스프링클러헤드 실험모형을 제작하여 축소된 모형 실험을 통해 연기의 제거 및 독성가스 농도저하 가능성을 확인하였다.

2. 실험 모형의 제작

2.1 이론 및 원리

2.1.1 베르누이 방정식

베르누이 방정식(Bernoulli's Equation)은 이상유체에 대하여 유체에 가해지는 일이 없는 경우, 유체의 속도, 압력, 위치에너지 사이의 관계를 나타낸 식으로서 유선(Streamline)상의 모든 에너지의 합은 일정하다.

$$\frac{P}{\rho} + Z + \frac{V^2}{2g} = C(\text{일정상수}) \quad (1)$$

여기서, P/ρ : 압력수두(Pressure Head)
 $V^2/2g$: 속도수두(Velocity Head)
 Z : 위치수두(Potential Head)

베르누이 방정식은 마찰이 없고 온도가 일정한 정상적이고 비압축성 유체가 하나의 유선을 따라 유동할 때, 임의의 어느 점에서의 에너지 총합은 항상 일정함을 나타낸다.

$$\frac{P_1}{\rho} + Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho} + Z_2 + \frac{V_2^2}{2g} = H(\text{일정}) \quad (2)$$

Fig. 1은 에너지구배선(Energy Gradient Line)과 수력구배선(Hydraulic Gradient Line)과의 상관관계에서 임의의 두 점의 에너지는 일정하게 같음을 알 수 있다.

Fig. 1. Bernoulli's Equation Adapt

에너지구배선(EGL)은 어느 기준 높이에 대한 유체 각 지점의 총 에너지 값 들을 이어 놓은 선이고 수력구배선(HGL)은 $P/\rho + Z$ 가 관을 따라 어떻게 변하는지 보여주며 속도수두($V^2/2g$)만큼 에너지구배선 보다 밑에 있다.

2.1.2 벤츄리 효과

한쪽 끝은 넓고 중간에 좁아졌다가 다시 넓어지는 형태로 되어 있는 것이 벤츄리 관이다. 이는 베르누이 방정식에 의해 유체 흐름의 속도가 증가함에 따라 압력의 변화를 알 수 있는 장치로 입구와 출구의 환경이 같고 중간 부분에서 폭이 좁아질 때 Fig. 2와 같이 유체의 속도는 빨라지고 압력의 차이가 발생한다.

Fig. 2. Venturi Effect

벤츄리 원리를 적용하여 스프링클러헤드가 화재 시 열기류 등에 동작할 때, 수류가 오리피스를 통해 빠르게 통과함으

로써 주위 연기 및 연소가스를 포획하도록 벤츄리 효과를 이용하였다.

2.1.3 독성가스의 용해성

화재 시, 발생하는 연소가스는 가연물의 화학적 특성과 연소상태에 따라 자극성, 마취성 및 독성가스가 발생되며 이러한 연소생성물은 호흡기, 소화기, 피부 등을 통해 체내에 흡수되면 산소결핍, 마비 및 마취, 현기증, 호흡기 계통을 자극하여 피난자의 호흡 및 심신기능 장애를 일으킨다.

연소가스 중 독성은 가장 크지 않지만, 가연성 물질 대부분이 탄소성분을 가지고 있어 화재 시 거의 빠짐없이 발생하는 일산화탄소(CO)와 공기중의 질소와 모직류, 건직물이 불완전 연소되면서 발생하는 시안화수소(HCN) 및 염소(Cl)가 함유된 수지류(Polyvinyl Chloride)가 탈 때 주로 생성되는 염화수소(HCl)의 물리·화학적 특성을 국내 안전보건공단의 물질안전보건자료에서 몇 가지 특성을 살펴보면 Table 1과 같다(KOSHA).

Table 1. Combustion Gases's Characteristic

Division	Toxicity [LC50]	Specific gravity	Solubility
CO	1300 PPM	0.97	2.3g/100 ml at 20℃
HC L	1408~1576 PPM	1.27	67g/100 ml at 30℃
HCN	103 mg/m ³	0.69	≥100 Vol% at 20℃

독성농도 LC50 (Lethal Concentration)이란 쥐에 대하여 4시간 동안 흡입실험을 했을 때 실험대상의 50%를 사망시킬 수 있는 농도를 말한다. 세 가지 독성가스의 공통점이 물과 반응하여 용해되는 성질을 가지고 있어 스프링클러헤드가 동작하여 살수를 시작하면 벤츄리 효과로 연소가스를 빠른 수류에 흡착 및 녹임으로 독성가스의 농도를 낮추는 효과를 얻고자 하였다.

2.2 실험모형

2.2.1 벤츄리 관의 제작

한국소방산업기술원의 ‘스프링클러헤드의 형식승인 및 제품검사시험세칙’(KFI, 2018)에 의하면 물이 통과하는 주 유수로는 5.6 mm 이상의 간격을 확보하도록 하고 있다. 스프링클러헤드의 경우 방수상수, 제조사 사양 및 성능에 따라 오리피스 구경이 9.0 mm ~ 13.5 mm로 다양하며 실험에 적용할 벤츄리 관은 유속의 흐름속도를 빠르게 하고 압력의 감소를 이용하여 주위 연기 및 독성가스를 흡입할 수 있도록 Fig. 3(a)와 같이 일반적인 헤드의 오리피스 구경보다 작은 중간의 좁은 통로는 9.8 mm이고 입, 출구의 구경은 13 mm 구경의 오리피스를 사용하여 한국소방산업기술원 기술기준 5.6 mm 이상의 통로를 확보하였다.

Fig. 3. Venturi Tube

Yun and Kim (2014)은 벤츄리 관에 대한 수치해석을 통하여 벤츄리 목의 최적 직경비와 확대관이 시작되는 부분에서 공기 공급 구멍을 설치할 경우, 가장 많은 공기가 유입되고 유입량은 설치되는 구멍의 수량에 따라 선형적으로 증가한다고 보고하였다.

Fig. 4는 벤츄리 관 축소부분에서 공기구멍 위치에 따른 흡입되는 공기의 체적분율을 나타낸 것이다. 그림과 같이 벤츄리 목을 지나 확대가 시작되는 부분에서 가장 많은 공기가 물로 유입된다고 보고하였다. 또한, 벤츄리 관의 입구 직경과 목 부분의 직경과의 직경비(β)는 좁은 통로의 최소 압력이 물의 포화증기압 보다 작은 값을 가질 경우 캐비테이션(Cavitation)이 발생하므로 25 ℃ 물의 포화증기압 3,125 Pa 보다 큰 값을 갖도록 $\beta \geq 0.75$ 의 값이 필요하다고 제시하였다.

Fig. 4. Effect of Hole Position on Air Volume Fraction

실험에서 사용되는 오리피스 Fig. 3(b)와 같은 모형의 직경비는 $\beta = 0.754$ 로 제시된 값을 만족하였다. Yun and Kim (2014)의 논문에서 제시된 결과를 참고하여 가장 많은 양의 연소가스를 흡입하기 위하여 확대가 시작되는 부분에 구멍(Hole)이 아닌 가늘고 긴 홈 형태(Slot)로 Fig. 3(c)와 같이 제작하였다.

2.2.2 스프링클러헤드 모형 제작

스프링클러헤드는 화재감지와 소화를 동시에 수행한다. 화재감지 특성은 열기류에 반응하는 감도로 International Organization for Standardization (ISO)기준에 의거 반응시간 지수(Response Time Index, RTI)에 따라 속동형, 특별 반응형 그리고 표준형으로 분류되고 화재진압에 필요한 단위면적당 최소수량(Required Delivery Density, RDD)과 실제 가연물 상단에 침투된 물 분포밀도(Actual Delivery Density, ADD)와의 상관관계로 화재제어 및 화재진압의 방사특성이 결정되어 진다. 또한, 이러한 방사특성은 오리피스의 구경에 따라 방사되는 물의 양이 달라지므로 방수상수 K-factor에 따라 물방울의 운동력과 방사밀도가 결정되어 진다.

$$Q = K\sqrt{10P} \quad (3)$$

Q: 방수량 [ℓ/min]

K: 방수상수[0.653D²]

P: 방수압력 [MPa]

방수상수 ‘K’ 값을 크게 하면 방수되는 물의 양이 커져 상대적으로 물방울의 질량이 증가하게 되고 방수압력 ‘P’를 증가시키면 물방울의 속도가 커지면서 가연물에 도달하게 된다.

Table 2. Classification of Sprinkler Head-K Factor

Discharge Coefficient	K-factor	Orifice Diameter[mm]	Occupancy
Low	30~60	9~10	Residence
Medium	80	10~15	General
High	115~202	13.5~20	Rack-storage etc

Table 2는 국내 스프링클러헤드의 방수상수에 따른 오리피스 구경 및 용도를 표시하였다. 표준형 스프링클러헤드 (K=80)의 경우 방수압력 0.1 MPa에서 방수량은 80 ℓ/min을 나타내는데, 실험에 사용될 오리피스 구경은 9.8 mm로 낮은 방수상수를 갖는 주거형(K = 50)에 해당된다. 벤츨리 관의 중간구경이 작아지면서 헤드를 통해 방사되는 물의 양과 압력변화를 일본 ‘센쥬 스프링클러헤드’ 제조사의 자료

(Senju Sprinkler)를 통해 방출압력에 따라 유량도 증가함을 Figs. 4(a) and (b)을 통해 알 수 있다. (a)는 공동주택과 소구획 공간의 스프링클러헤드로 방수상수 K=50, 오리피스 구경은 9.8 mm이고 (b)는 표준형 헤드(플러쉬형)로 K=80, 오리피스 직경은 11.5 mm이다.

국내 국가화재안전기준(National Fire Safety Codes)에서 스프링클러헤드 최소 방수압력을 0.1 MPa 이상 요구하는 이유를 방수상수와 관련됨을 그래프를 통해 알 수 있고 주거형 공동주택 및 소공간 스프링클러헤드의 방수유량 곡선 Fig. 5(a)를 살펴보면, 오리피스 구경 9.8 mm가 표준형 헤드와 같이 80 ℓ/min을 방수하기 위해서는 방수압력을 0.25 MPa로 높이면 가능할 것으로 사료된다. 실험모형에는 0.1MPa 방수압력과 표준 방수량 80 ℓ/min에서 연기 및 독성가스 제거 능력을 비교하기 위해 0.25 MPa 방수압력으로 조정하여 실험하였다.

(a) K=50, Multi-Family Housing Sprinkler Head

(b) K=80, Standard Sprinkler Head

Fig. 5. Discharge Water Quantity According to Pressure

일반적으로 하향식 스프링클러헤드를 천장면에 설치하면 Fig. 6(a)와 같이 헤드 마감 캡 아래쪽에 감열판을 제외한 몸체 부분이 천정 안쪽으로 들어가고 헤드가 열기류에 동작하여 감열판의 탈락과 동시에 반사판이 내려와 살수패턴을 형성한다. 실험 모형은 스프링클러헤드의 몸체를 마감 캡 아래에 돌출되도록 하여 몸체 안쪽 오리피스의 벤츨리 효과에 의해 슬롯을 통해 연기 및 연소가스가 수류에 흡수될 수 있도록 Fig. 6(b)와 같이 2 mm 크기의 홈 16개를 일정한 간격으로 제작하였다.

(a) Sprinkler Head Installation-General

(b) Sprinkler Head Installation-Proto Model

Fig. 6. Comparison with Standard Sprinkler and Proto-model of Installation

3. 실험장치 및 방법

3.1 실험장치

실험장치는 Fig. 7과 같이 1, 2차측 압력계, 개폐밸브, 감압밸브, 유량조절용 글로브밸브, 실험상자로 구성하였으며 Poly Butylene (PB)관에 상수도를 연결하였다.

①, ② Pressure Gauge ③ Pressure-Reduce Valve
④ Ball Valve ⑤ Globe Valve ⑥ Chamber

Fig. 7. Test Equipment

일반적으로 상수도 공급압력이 0.3~0.4 MPa로써 스프링클러헤드의 최소방사압력 기준 0.1 MPa으로 조정하기 위하여 감압밸브를 설치하였고 실험상자에는 육안으로 가시도를

확인하기 위하여 뒷면, 좌, 우측면에 사진을 부착하였다. 실험상자의 크기는 ISO 9705 실물 화재시험 규격 3.6 m × 2.4 m × 2.4 m의 1/6 축소형 모형으로 가로 및 높이 400 mm, 세로 600 mm인 합성수지 재질의 상자를 사용하였다.

3.2 측정기구

실험에는 시중에 판매하는 담배를 구매하여 상자 내부에 연기를 충전하였고 담배연기에는 이산화탄소, 타르, 니코틴과 같은 대표적인 유해성분과 벤젠, 비소, 벤조피렌 등이 함유된 것으로 알려져 있다. 스프링클러헤드를 통해 일산화탄소의 농도변화를 확인하기 위하여 산소, 일산화탄소, 시안화수소, 폭발성가스의 농도를 측정하는 미국 Honeywell 회사의 Minimax-4 복합가스측정기를 사용하였다(Fig. 8).

Fig. 8. Multi Gases Measuring Instrument

3.3 실험방법

화재 발생에 따른 스프링클러헤드가 동작하여 화원에 살수되었을 때 발생하는 연기, 안개 등 부차적인 생성물은 고려하지 않았으며, 살수를 통해 일산화탄소의 농도 변화와 연기의 제거 및 가시도 확인을 목적으로 Fig. 9와 같이 헤드를 설치하고 상자 내 연기충전, 살수, 측정, 확인 등의 과정으로 실험을 진행하였다.

스프링클러헤드의 살수패턴을 축소된 상자 내부에서 형성하지 못하므로 폐쇄형 스프링클러헤드를 실험 전에 라이터로 퓨즈를 가열하여 집열판을 탈락시키고 분해하여 반사판을 제거한 개방형 형태의 표준형 스프링클러헤드와 실험모델을 사용하였다. 상자 내부의 공급되는 연기의 정량화를 위하여 담배 2 개피를 연소시켰고 복합가스농도 계측기로 헤드로 물을 공급하기 전과 실험을 진행하면서 1분, 2분, 3분에 모형 내부의 일산화탄소농도를 측정 하였으며 동시에 육안으로 연기의 제거능력을 알 수 있도록 상자 뒷면에 부착된 사진의 선명도를 확인하였다.

실험은 0.1 MPa의 송수압력에서 표준형과 실험모형 헤드로 진행 한 다음, 제작된 헤드모형의 오리피스 구경이 9.8 mm에 따른 표준형 스프링클러헤드의 방사량 80 l/min을 충족하기

위해 Fig. 5(a)를 참고하여 0.25 MPa로 감압밸브를 조정하여 실험모델에 적용하였다.

Fig. 9. Process of Test

4. 실험결과

4.1 일산화탄소 농도 변화

첫 번째에는 표준형 스프링클러헤드와 실험모델에 방사압력 0.1 MPa에서 일산화탄소의 농도변화를 확인하였고 두 번째로 모형헤드에 방사압력을 0.25 MPa로 조정하여 일산화탄소 농도를 측정하였다.

Table 3은 일산화탄소의 용해와 더불어 농도변화 측정결과를 나타낸 것으로서 제작된 헤드에서 일산화탄소의 농도감소가 표준형 스프링클러헤드 보다 우수한 것으로 해석되었다.

Table 3. Result of Measurement CO Gas

Division	CO Concentration (PPM)				Test Pressure
	Start	1 min	2 min	3 min	
Standard SP Head	394	299	231	132	0.1 MPa
Proto SP Head	397	273	188	115	
	383	181	142	103	0.25 MPa

Fig. 10은 일산화탄소 농도감소를 측정시간대별로 표시하였다. 실험을 시작하고 1분 후에 농도 변동이 실험모형의 스프링클러헤드에서 급격하게 나타났고 그 중 0.25 MPa의 실험모형에서 실험시작 전 보다 농도감소 범위가 202 PPM으로 가장 크게 측정됐는데, 이는 실험압력이 상대적으로 높고 상자의 규모가 작아 방사되는 수류가 바닥에 부딪히면서 튀어 오르는 물방울에 의한 영향으로 판단된다. 방사 시작으로부터 2분 후 농도변화는 표준형과 실험모델의 경우 CO 농도감소가 완만하였으나 제작된 모형에 방사압력 0.25 MPa를 송수한 실험의 감소폭이 가장 낮았다. 3분에 측정하였을 때에는 모든 실험에서 일산화탄소 농도감소가 완만하게 낮게 측정되었으나, 실험을 통해 벤츨리 원리를 이용한 제작된 모델이 표준형보다 많이 일산화탄소 농도가 감소됨을 알 수 있었다.

Fig 10. Measured of CO Concentration

4.2 연기제거 및 가시도 변화

담배 2 개피를 연소시켜 연기를 상자에 충전하였을 때, 측면 및 뒷면에 부착된 사진이 보이지 않을 정도로 짙은 것을 육안으로 확인하였다. 스프링클러헤드로부터 물이 공급되면서 연기가 희석 및 제거 되어 가시도가 향상되는 것을 알 수 있었고 실험모형의 스프링클러헤드가 표준형보다 벤츨리 효과에 기인하여 빠르게 연기를 수류에 포획하여 연기의 입자와 함께 낙하하면서 연기의 농도를 감소시키는 것으로 해석된다.

Fig. 11은 실험을 진행하면서 일산화탄소의 농도를 측정 한 1분, 2분, 3분에 촬영한 상자 뒷면의 사진을 나타낸 것으로 제작된 모형의 스프링클러헤드가 표준형 스프링클러헤드 보다 더 나은 선명도를 보여 주었다. 실험모형에 적용한 방사압력 0.1 MPa, 0.25 MPa에서는 일산화탄소 농도감소와 같은 차이는 없었고 육안으로 보았을 때, 크게 다르지 않았다.

(a) Standard SP Head at 0.1 MPa - 1 min, 2 min, 3 min

(b) Proto SP Head at 0.1 MPa - 1 min, 2 min, 3 min

(c) Proto SP Head at 0.25 MPa - 1 min, 2 min, 3 min

Fig. 11. Visibility of Measure Time

5. 결 론

본 연구에서는 화재발생 시 연기, 유독가스에 의한 인명피해 최소화 및 체류시간 연장 및 피난안전성 확보 등 성능위주 설계를 위하여 스프링클러헤드 살수와 더불어 연소생성물을 수류에 빠른 시간에 많은 양을 포획하여 가시도 향상과 독성가스의 농도를 저감하는 방법으로 새로운 모형의 스프링클러헤드를 제작하고 성능을 확인하였다. 본 연구를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 벤츨리 원리로 화재 시 발생된 연기 및 독성가스가 표준형 스프링클러헤드 보다 빠르게 많은 양을 제거되는 것을 알 수 있었다.
- (2) 화재발생 시 발생하는 독성가스 중 한 성분인 일산화탄소가 벤츨리 효과를 이용한 실험모형에서 표준형 스프링클러헤드의 경우, 실험시작 후 3분이 지난 일산화탄소의 농도 감소율은 66.5 % 이었으나 실험모형은 방사압력 0.1 MPa에서 71.0 %, 0.25 MPa에서 73.1 %로 일산화탄소가 제거 되었다.
- (3) 연기는 물 및 물방울과 접촉하여 입자의 낙하로 제거가 가능한 것으로 나타났으며 제작된 모형의 스프링클러헤드가 표준형 스프링클러헤드 보다 빠르게 연기의 농도를 낮추는 것으로 확인 되었다.

화재 시 제작된 모형의 스프링클러헤드가 동작하면 발생하는 독성가스 및 연기를 효과적으로 감소시켜 질식가스의 농도저하, 연기의 전파속도 지연, 청결층 확보 등의 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 실험결과를 토대로 실규모의 실험규모와 반사판을 결합한 실험모형의 스프링클러헤드를 이용한 실험을 통해 화재 시 가연물에

서 발생하는 연기, 독성가스의 농도저하, 방출수와의 화학반응, 화재실 환경변화 등을 확인하여 스프링클러소화설비의 성능위주 설계기법과 최적화의 도모가 가능할 것으로 판단된다.

References

- Cha, J.H., Yoon, M.O., Choi, C.B., and Lee, S.K. (2006). A brief study on smoke suppression effects by sprinkler spray system. *Proceedings of 2006 Summer Conference, The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea*, pp. 560-565.
- National Fire Data System. (2016). *Fire statistical yearbook*.
- Kim, S.C. (2012). A numerical study of the effect of sprinkler spray on the flow characteristics induced by fire. *Fire Science and Engineering*, Vol. 26, No. 5, pp. 105-110.
- Korea Occupational Safety & Hazard Agency (KOSHA). *Material safety data sheet*.
- Park, H.J., Choi, Y.S., and Jee, N.Y. (2004). Experimental research on effects of water sprayed curtain on anti-diffusion of fire gases in case of tunnel fire. *Journal of the Korean Institute of Building Construction*, Vol. 4, No. 1, pp. 97-103.
- Park, T.S., Kong, H.S., and Kim, M.C. (2014). Smoke removal effect by water mist spraying. *Fire Science and Engineering*, Vol. 27, No. 3, pp. 43-47.
- Seo, D.G., Kim, D.E., Koo, I.H., Matsuyama, K., Kwon, Y.J. (2014). A study of the effect of spray droplets on the smoke behavior during sprinkler system. *J. Korean Soc. Hazard Mitig.*, Vol. 14, No. 3, pp. 43-50.
- Sim, J.U., and Cho, N.W. (2018). Study on the effect of toxic gas filter effect of wet towel during fire. *Fire Science and Engineering*, Vol. 32, No. 5, pp. 52-56.
- Senju Spinkler Co., Ltd. *Sprinkler spray distribution graph*.
- Korea Fire Institute (KFI). (2018). *Type approval and product inspection testing details of sprinkler head*.
- Yun, J.E., and Kim, J.H. (2014). Development of venturi system for micro-bubble generation. *Transactions of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol. 38, No. 10, pp. 865-871.

Received	March 29, 2019
Revised	April 4, 2019
Accepted	April 18, 2019