

불활성 압축가스를 이용한 미세물분무 소화시스템의 유류화재 소화특성

신창섭[†] · 전고운 · 김기환^{*}

충북대학교 안전공학과 · ^{*}한국소방안전협회

(2010. 8. 19. 접수 / 2010. 11. 9. 채택)

Extinguishing of Oil Fire by Water Mist Suppression System Using Compressed Inert Gas

Changsub Shin[†] · Goun Jeon · Kiwhan Kim^{*}

Department of Safety Engineering, Chungbuk National University

^{*}Korea Fire Safety Association

(Received August 19, 2010 / Accepted November 9, 2010)

Abstract : Water mist fire suppression system is environmental system and needs a flange pump to jet water. In this research, high pressure Nitrogen cylinder is used as a pressurizing source instead of flange pump, and also we tried to find the possibility of using compressed Nitrogen as a fire suppression agent. As a result, it was possible to design water mist fire suppression system with Nitrogen cylinder and suppress oil fire effectively. With DK1.58 nozzle, the optimum Nitrogen pressure was 80bar and the pressure was stable during water mist spray. However, jet of Nitrogen was not effective fire suppression agent when it was dually used with water mist because water mist has blown away, and it is efficient way to use compressed Nitrogen as a pressurizing source only.

Key Words : water mist, inert gas, fire suppression, nitrogen

1. 서론

CFC를 사용하는 화학물질의 제조가 몬트리얼 의정서에 의거 금지됨에 따라 Halon 1211, Halon 1301로 대표되던 Halon 계통 소화제의 대체물질을 찾게 되었고, 산업의 그린화 추세에 맞추어 환경 친화적 소화설비에 대하여 많은 연구를 하게 되었으며, 이중 가장 각광을 받고 있는 것이 물을 이용한 미세물분무 소화설비이다¹⁾.

미국 NIST 에서는 각종 약제의 소화능력을 평가하는 지표로 필요소화약제비인 REMP(Required Extinguishing Media Portion)를 제시하였으며, 할론 1301의 REMP 값은 4~5이나 미세물분무는 그 값이 1.9로, 할론의 2배 이상 효과가 높은 소화약제가 미세물분무라고 하였다^{2,3)}.

미세물분무는 가격이 저렴하고 변질의 위험이 없으며, 인체에 무해하여 소화제로 가장 많이 사용되고 있는 물을 200 μ m 정도로 미립화하여 냉각, 질

식, 복사열차단 등의 작용에 의해 화재를 소화하는 것으로 매우 친환경적이다⁴⁾. 대량의 물을 필요로 하고 반도체 · 컴퓨터 등의 고가장비를 사용하는 곳에 적용할 경우 화재 진압 후 장비를 폐기할 수밖에 없는 기존의 스프링클러 설비에 비해 수손피해가 매우 적은 장점도 있다⁵⁾. 선진국에서는 이미 고정식, 이동식 미세물분무 소화 장비가 보편화되는 추세이며, 지금까지 Halon 소화제에 많이 의존해오던 엔진, 터빈, 항공기, 해상유전시설 및 인화성 액체의 보관시설 등의 소화장치로 대체하여 사용되고 있다⁶⁾.

미세물분무 소화설비는 효율증대를 위해 보통 100bar 이상의 고압시스템에서 운용되기 때문에 고가의 플렌지 펌프, 엔진 등의 부대설비가 필요하다. 그러나 이를 압축된 불활성가스 실린더로 대체하여 사용하게 되면 장비가 훨씬 소형 · 경량화되고 또한 소형 선박 등의 소규모 방호구역에 적용할 경우 경제적이다. 그리고 플렌지 펌프는 압력의 변화가 심한 반면 실린더를 사용하면 압력을 일정하게 유지시킬 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에

[†]To whom correspondence should be addressed.
cshin@chungbuk.ac.kr

서는 미세물분무의 장점과 가스계소화약제의 장점을 접목한 소화시스템을 구성하여 유류화재에 적용하고자 하였다.

즉, 미세물분무 시스템을 구성하기 위해서는 플렌지 펌프의 설치가 필요한 바, 고가의 가압펌프로 인한 비용과 공간적 제약을 많이 받는 등의 단점이 있으므로, 본 연구에서는 미세물분무 시스템에 플렌지 펌프 대신 고압의 불활성 가스 실린더를 가압원으로 사용함으로써 경제적이고, 공간적인 제약을 적게 받는 시스템을 적용하고자 하였으며, 이때 미세물분무와 함께 불활성가스를 청정소화약제로도 이용하여 소화효율을 높이고자 하였다.

가연성 혼합가스의 경우 MOC(Minimum Oxygen for Combustion) 이하가 되면 가연물은 연소할 수 없게 되며 대부분의 경우 MOC가 10% 보다 높다. 미세물분무를 화염면으로 분사시키기 위한 압력원으로써 질소는 불활성 가스이고 이것을 공기중에 혼합하여 산소 농도를 MOC 이하가 되도록 하면 화재는 질식작용에 따라 소화된다⁷⁾. 또한 질소가 방사될 때의 단열팽창에 따라 온도가 저하되어 그 냉각작용으로 소화를 돕는 효과가 있다⁸⁾.

따라서 미세물분무에 질소의 가스계 소화설비를 적용하게 되면 냉각, 질식효과에 의한 소화작용을 최대로 발휘할 수 있게 되므로, 고압 실린더의 질소를 가압원으로 뿐만 아니라 소화약제로서 적용할 수 있다.

즉, 본 연구에서는 고압 실린더를 가압원으로 사용하는 미세물분무 시스템의 적용과 함께, 미세물분무 시스템과 불활성가스 소화시스템을 동시에 사용하는 복합소화시스템의 가능성에 대하여 검토하였다.

2. 실험장치 및 방법

질소를 가압원으로 사용한 미세물분무의 유류화재에 대한 적용을 실험하기 위하여 Fig. 1과 같이 실험장치를 구성하였다. 실험장치는 크게 연소실, 연료팬, 실린더, 레귤레이터 밸브, 온도계측장치, patternator로 구성된다.

연소실의 크기는 3.09m(W)×3.09m(L)×3.09m(H)이며, 중앙에 0.2m(W)×0.2m(L)×0.4m(H)인 연료팬을 위치시켰다. 물을 저장하는 실린더의 크기는 83L, 질소를 저장하기 위한 실린더는 68L용 2개를 사용하였고, 저장된 질소 압력을 조절하기 위한 레귤레이터를 각각 설치하였다. 또한 미세물분무의 방

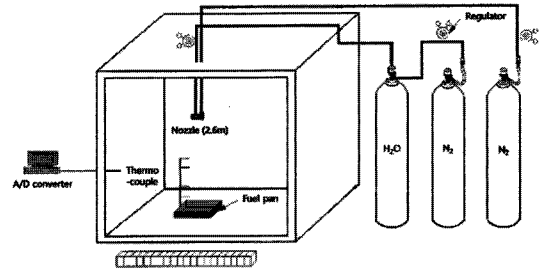


Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

사분포를 측정하기 위한 patternator와 화염의 온도를 측정하기 위한 열전대를 설치하여 0.1초 마다 컴퓨터에 저장되도록 하였다. 실험에는 DK1.58, DK1.60 노즐을 사용하였다. DK노즐은 기존의 나선형 태인 swirl 형식이 아닌 새로운 형태로 고압의 물을 V형 홈을 통해 방출함으로써 와류를 발생시킬 수 있도록 한 것으로 숫자는 V자 홈의 깊이를 나타낸다.

화재실험에서 자유연소시간은 30초로 하였으며, 이후 질소와 미세물분무를 방출하였다. 이때 소화는 30초 이내 화염의 완전한 소멸을 소화로 간주하였다.

본 연구에서는 고압 질소실린더를 가압원으로만 사용한 경우의 실험과 함께 질소를 미세물분무와 동시에 방사하는 실험을 실시하여 그 효과를 측정하고자 하였으며, 이 경우 미세물분무와 불활성가스를 혼합한 소화시스템으로 그에 의한 상승효과를 기대하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1. 노즐의 방사분포, 입자크기 및 유량측정

실험에 사용한 DK노즐에 대하여 각각 3m, 3.5m, 4m의 설치높이에서 방사압력 100bar로 1분간 방사한 후 노즐을 중심으로 거리별 방사분포를 측정된 결과를 Fig. 2에 나타내었으며 이때 방사분포 측정은 patternator를 이용하였다. 노즐 높이의 변화에 따른 방사분포를 측정된 것으로 DK 노즐은 미세 마이크로 홀이 노즐 전면에 가공되어 있어 방호면적 전체에 고른 방사분포를 나타냈다.

Fig. 3과 4는 70bar, 100bar의 방사 압력에서 입자 크기와 입자 분포를 측정된 결과이다. 측정결과 DK1.58 노즐은 방사 압력이 높을 때 입자직경이 작게 나타났다. 이는 방사 압력이 증가할수록 노즐의 분무입자도 미세화되는 경향을 나타내었다. 반면 DK1.6은 방사 압력이 증가한 경우 입자직경에 큰

변화가 없었으며 이는 미립자를 형성하기 위한 노즐 홀 크기가 커짐으로써 유량이 증가함에 따라 미립자가 멎치는 현상도 많아졌기 때문으로 판단된다.

화재 진압시 물분무 입자크기가 작은 경우에는 화염 면에서의 증발, 열전달 등의 화염 면과의 상호작용에 있어서 작은 입자들에 의한 표면적 증가에 따라 소화 작용이 가속화되고 이에 따른 수증기 생성, 복사열 감소 등의 작용이 이어진다. 미세물분무 입자크기가 작을수록 열 흡수 능력이 증대되고 화염 면에서의 수증기 발생량이 증가됨으로써 B급 화재인 유류화재의 진압에 유리하며, 입자크기 200 μm 가 최적의 입자크기로 밝혀져 있으나, 이에 반해 A급 가연물까지 고려할 때에는 400 μm 의 입자크기가 최적의 크기로 보고된 바 있다⁹⁾. 즉, B급 화재시에 입자크기가 큰 경우 연료의 표면을 교란시키고 연소율을 증가시키기는 하지만,

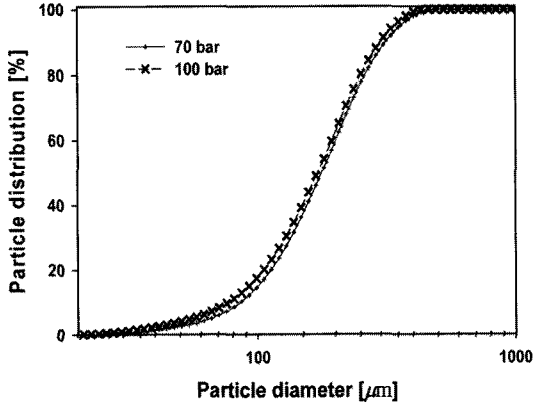


Fig. 4. Particle distribution of DK1,6 water mist nozzle.

동시에 A급 가연물 화재시에는 입자크기가 증가함으로써 화염면의 통과와 표면을 적시는데 있어서 유리하다.

3.2. 미분무수와 질소의 동시 방사실험

불활성계 소화약제인 IG계 소화약제는 질소, 아르곤, 이산화탄소의 혼합물로 이루어진 소화약제로 할론이나 분말소화약제와 같이 화학적 소화특성이 있는 것은 아니고 주로 밀폐된 공간에서 산소농도를 낮추는 것에 의해 소화한다. 이 소화약제의 장점은 독성이 낮아 사람이 거주하는 지역에서도 사용할 수 있으며, 오존층 파괴지수와 지구온난화 지수가 0인 반면⁷⁾, 청정소화약제와 비교하여 높은 소화농도가 요구되는 단점이 있다¹⁰⁾.

불활성계 소화약제 중 질소를 주성분으로 하는 IG-100 등 소화설비는 화재시 대기중에 산소농도를 12.0%까지 떨어뜨려 연소현상을 정지시켜 소화목적을 달성하는 시스템으로 여러 가지 장점이 있다. 첫째, 지구환경에 무해하다. 대기중 78%를 차지하는 질소가스를 소화제로 사용하므로 오존층에 대한 위험이 전혀 없다. 둘째, 질소는 인체에 무해하며 시계확보가 용이하다. 셋째, 소화약제에 의한 오손이 없다. 질소 가스는 불활성 상태의 기체이므로 정밀기구나 미술품 등의 착상에 의한 수손이 없다. 넷째, 소화효력이 장시간 확보된다. 질소가스의 비중은 공기와 거의 같은 것으로서 방출시 실내에 장기간 체류하고 소화효력이 오래 지속되는 장점이 있으며, 타 설비보다 간단하고 가격이 저렴하다.

가스계 소화설비 중 IG-100은 일반화재(A급), 유류화재(B급), 전기화재(C급)에 적용이 가능하며, 소화 메커니즘은 방출 후 방호구역내의 가스농도를 37.5%가 되게 설계하여 실내의 산소농도를 15% 미

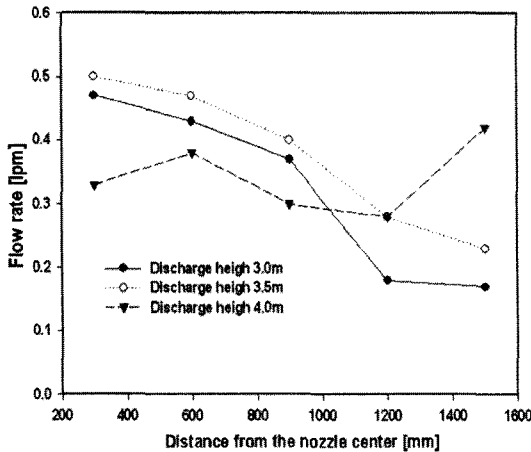


Fig. 2. Discharge distribution by the change of height.

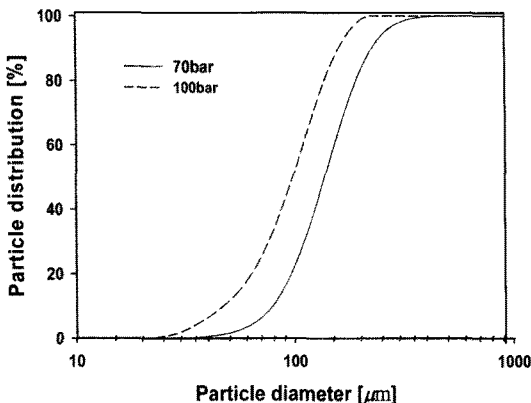


Fig. 3. Particle distribution of DK1,58 water mist nozzle.

만으로 낮추어 화재를 진압한다.

Fig. 5는 미세물분무를 생성하기 위한 가압원으로 질소를 70bar로 가압하여 미분무수를 방사하고 이와 동시에 질소 청정소화약제를 55bar로 방사한 경우 화염온도와 방사압력을 나타낸 결과이다.

이때 질소와 미분무수를 동시에 방사한 경우 화염온도는 저하되었으나, 미분무수만을 방사하였을 때의 소화시간과 비슷하게 나타났다. 이는 질소와 미분무수를 동시에 방사한 경우 질소의 방사 압력으로 인하여 미립자가 화염주위에서 흩날려 화염으로의 침투가 어려워진 것으로 관측되었다. 때문에 소화에 별로 도움을 주지 못하여 미세물분무만 방사하였을 때와 별 다른 차이가 없었다.

Fig. 5에서 사용한 미세물분무 노즐은 DK1.58로 SMD(Sauter Mean Diameter)가 70 μ m로 입자크기와 유량이 작아 질소의 방사 압력에 흩날려 소화시간이 길게 나타난 것으로 판단된다. SMD가 80 μ m인 DK1.6을 이용하여 실험한 결과를 Fig. 6에 나타냈다. 이때 질소의 방사 압력은 70bar로 높여 실험하였다. 그 결과 화염의 온도는 저하되었으나, 화염 소멸 시간은 DK1.58보다 길게 나타났다. 이는 미분무수와 질소를 동시에 방사하는 경우 질소의 방사 압력이 높을수록 화염면에서의 미세물분무 입자의 흩날림 현상이 나타나며, 이로 인한 낮은 화염의 온도가 일정시간 지속되었다. 또한 질소의 방사 압력이 20bar 이하로 떨어지면서 화염의 소멸이 일어났다.

그리고 미세물분무의 방사에 따라 화재실 내부의 급격한 압력상승이 발생하였으며, 이는 물분무의 급격한 기화에 따른 현상으로 이해되었다.

Fig. 6에서는 가압원으로 사용된 질소와 청정소화약제로 사용된 질소의 시간에 따른 압력변화를 각각 나타내고 있다. P1은 압력조절기 후 압력, P2는 미분무수 분사압력, P3는 질소 분사압력을 나타내고, T1은 연소팬 위 0.5m, T2는 연소팬 위 0.8m, T3는 연소팬 위 1.2m에서의 온도를 나타낸다. 소화약제로 사용된 질소는 많은 양이 분출되기 때문에 시간에 따라 압력이 빠르게 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러나 가압원으로 사용된 질소의 경우는 소모되는 양이 많지 않아 압력이 비교적 일정수준을 유지하고 있는 것을 볼 수 있다. 따라서 본 시스템에서 질소를 가압원으로 사용하여 미세물분무를 방출할 경우 시간의 변화에 따른 미세물분무 방출량의 변화는 거의 없는 것으로 안정적인 방사가 가능함을 확인할 수 있다.

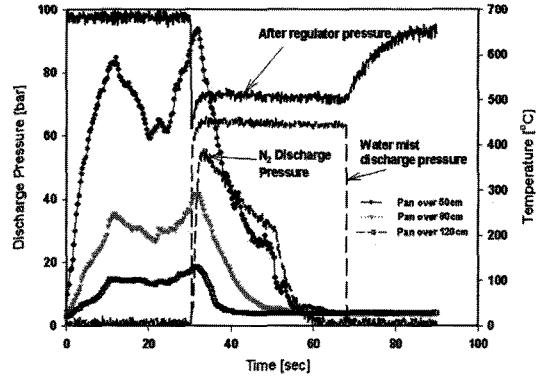


Fig. 5. Flame temperature and discharge pressure at N₂ + water mist type suppression system(discharge pressure : 55bar).

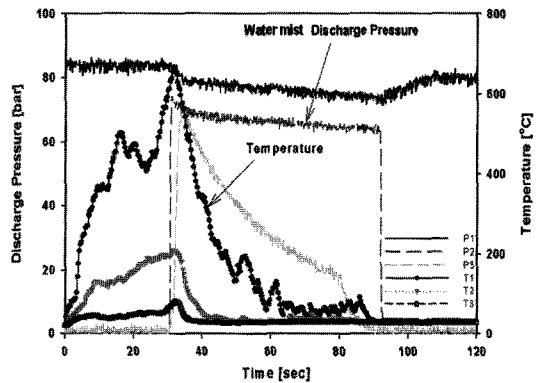


Fig. 6. Flame temperature and discharge pressure at N₂ + water mist type suppression system(discharge pressure : 70bar).

(P1 : pressure after regulator, T1 : 0.5m
P2 : water mist nozzle discharge pressure, T2 : 0.8m
P3 : N₂ discharge pressure, T3 : 1.2m)

Table 1. Extinguishing time by nozzle type

Discharge type	Nozzle NO.	N ₂ nozzle pressure	Water mist nozzle pressure	Extinguish Time
N ₂ + water mist	DK1.58	55bar	70bar	30"
N ₂ + water mist	DK1.6	70bar	70bar	50"

3.3. 질소방사 후 미분무수 방사실험

Fig. 7은 30초 동안의 자유연소 후 질소를 약 45초 동안 방사 하고 질소노즐의 압력이 20bar가 되는 시점에서 미세물분무를 방사하여 실험한 결과이다. 이때 질소를 방사 후 화염의 온도는 약 400 $^{\circ}$ C로 저하되었으나 화염이 소멸되지 않았으며, 이후 미세물분무를 70bar의 압력으로 방사하였을 때 화염온도는 저하되면서 화염이 소멸하였다. 이때 질

소의 방사시간은 63초였으며, 미세물분무의 방사시간은 22초이다. 화염은 미세물분무를 방사 후 14초에 소멸되었다. 따라서 이 실험결과 질소방사 후 미분무수를 방사하는 시스템은 소화효율이 높지 않은 것으로 나타났다.

3.4. 질소만을 이용한 소화성능 실험

Fig. 8은 질소만을 초기 방사 압력 55bar로 방사한 실험으로 질소를 방사하였을 때 화염의 온도는 약 300℃로 저하되었으나 소멸은 나타나지 않았다. 화염온도의 변화는 질소의 방사압력으로 인해 화염이 훑날려 온도가 저하된 것이지만 화염을 소멸시키기에는 부족한 조건임을 나타내고 있다.

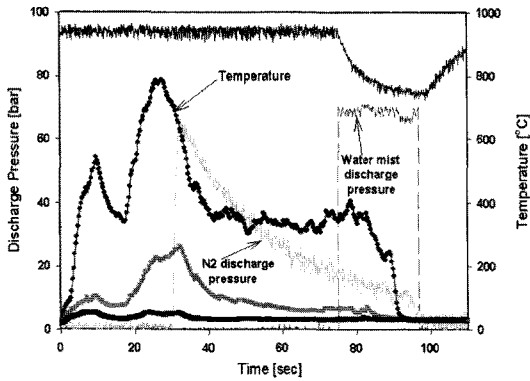


Fig. 7. Flame temperature and discharge pressure at water mist after N₂ type suppression system(discharge pressure : 70bar).

Table 2. Extinguishing time at water mist after N₂ type

Discharge type	Nozzle NO.	N ₂ nozzle pressure	Water mist nozzle pressure	Extinguish Time
Water mist after N ₂	DK1.58	70bar	70bar	55"

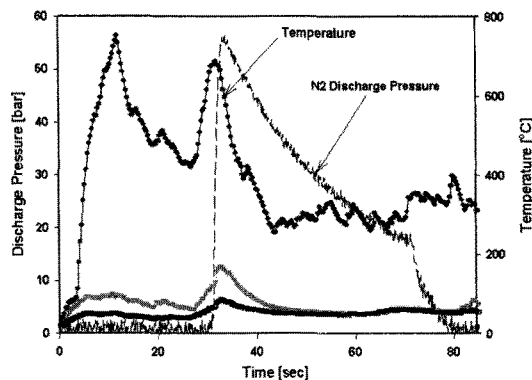


Fig. 8. Flame temperature and discharge pressure at only N₂ type suppression system.

Table 3. Extinguishing time by only N₂ type suppression system

Discharge type	Nozzle NO.	Nozzle pressure	Extinguish Time
Only N ₂	DK1.58	55bar	Fail

3.5. 고압질소를 가압원으로만 사용한 미세물분무 소화성능실험

앞에서의 실험과 같이 플렌지 펌프 대신 고압의 질소를 가압원으로 사용한 경우 이때의 고압질소를 청정소화약제로도 이용하여 소화효율을 높이고자 하였다. 이를 위하여 미세물분무와 함께 질소를 방사하거나 미세물분무와 순차적으로 방사 또는 질소만을 방사하는 등 여러 가지 방안에 대하여 실험을 하였다. 그러나 실험결과 미세물분무와 질소를 동시에 방사한 경우 소화효율은 미세물분무만을 사용한 경우에 비하여 큰 향상을 기대할 수 없었으며, 이에 따라 고압의 질소는 미세물분무의 가압원으로만 이용하는 것이 바람직한 것으로 판단되었다.

Fig. 9는 DK1.58을 사용하여 고압의 질소를 미세물분무의 가압원으로만 사용한 경우 질소의 압력이 80bar인 경우 소화시간을 나타낸 것이다. 미세물분무 방출의 가압원으로 사용된 질소의 시간에 따른 압력변화는 거의 없이 일정한 수준을 유지하는 것을 확인할 수 있어 안정적 미세물분무 방출이 되고 있는 것을 확인할 수 있다. 소화시간은 8초로 가장 빠른 소화시간을 나타냈다.

Table 4는 질소 압력 변화에 따른 소화시간을 나타낸 것으로 80bar에서 소화시간이 가장 짧게 나타나 이를 기준압력으로 사용할 수 있는 것을 알 수 있다.

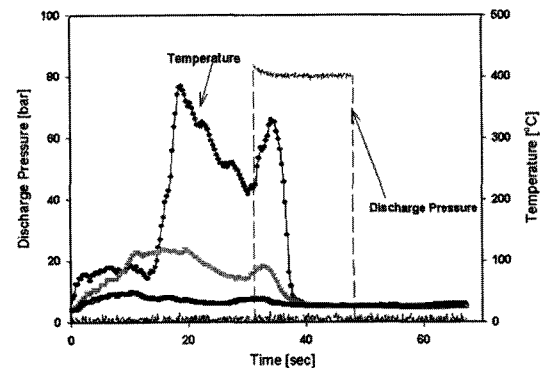


Fig. 9. Flame temperature and discharge pressure at only water mist type suppression system(Discharge pressure : 80bar).

Table 4. Extinguishing time by the change of discharge pressure

Discharge type	Nozzle NO.	Nozzle pressure	Extinguish Time
Only water-mist	DK1.58	60bar	32"
Only water-mist	DK1.58	80bar	8"
Only water-mist	DK1.58	100bar	17"

4. 결론

본 연구에서는 할론 대체 소화시스템으로서 미세물분무의 분무방법을 플렌지 펌프 방식에서 질소를 가압원으로 한 시스템에 대하여 실험하였으며, 이와 함께 가압원으로 사용된 질소의 청정소화약제로서의 사용가능성에 대하여 고찰하였다.

1) 기존에 가압원으로 사용되었던 플렌지 펌프 대신 고압 실린더를 이용한 소화시스템의 효율적 구성이 가능하였으며 이에 따라 경제성이 높고 안정적인 시스템의 현장적용이 가능하게 되었다.

그리고 미세물분무 과정에서 압력이 비교적 일정하게 유지될 수 있어 안정적 분무가 가능하였다.

2) 질소와 미분무수를 동시에 방사한 경우 질소의 방사압력에 의해 미세물분무 입자가 흩날리는 현상이 나타났으며, 화염의 온도는 급격히 저하되었으나 소화가 잘 이루어지지 않았다. 소화약제로서 질소는 높은 질식 효과는 있으나 미세물분무와 동시에 방사하면 질소의 유동과 화재실 내부의 급격한 압력팽창으로 인해 미세물분무의 화염으로의 접근이 어려워짐으로써 미세물분무만을 방사한 경우와 비슷한 소화시간을 나타내었다. 또한, 질소 방사 후 미분무수를 방사한 경우와 질소만을 방사한 경우는 질소를 가압원으로만 사용했을 경우보다 소화성능이 저하되었다.

따라서 본 시스템에서는 질소를 가압원으로만 사용하는 것이 효율적이며, DK1.58 노즐을 사용할 경우 질소 80bar에서 가장 짧은 소화시간을 나타내었다.

감사의 글 : 이 논문은 2009년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었음.

참고문헌

- 1) United Nations Environmental Program(UNEP), "Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer. Final Act", 1987.
- 2)鈴木弘昭, "ウォーターミスト(マイクロフォグ)による消火に関する研究開発(その1)", 消防検定協会, Vol. 7, pp. 20~23, 1997.
- 3)鈴木弘昭, "ウォーターミスト(マイクロフォグ)による消火に関する研究開発(その2)", 消防検定協会, Vol. 7, pp. 23~27, 1997.
- 4)이경덕, "주 변압기실 화재시나리오에 적용한 미세물분무 노즐의 소화성능", 한국안전학회지, 제21권, 제6호, pp. 46~54, 2006.
- 5)박재만, "알칼리 금속염을 함유한 미분무수의 웹단 Pool Fire 소화", 한국안전학회지, 제20권, 제3호, pp. 105~111, 2005.
- 6)이경덕, "저압식 미세물분무 시스템의 소화성능 최적화와 첨가제의 영향", 충북대학교 대학원, 박사학위논문, pp. 1~6, 2002.
- 7)김성민, "불활성 가스계 혼합소화약제의 불꽃소화농도와 첨가제에 따른 영향", 충북대학교 대학원, 석사학위논문, pp. 19~21, 2008.
- 8)전고운, "불활성가스를 가압원으로 이용한 미세물분무 소화시스템의 최적화", 충북대학교 대학원, 석사학위논문, pp. 17~23, 2010.
- 9)NFPA 750, "Standard on the Installation of Water Mist Fire Protection Systems", National Fire Protection Association, 1996.
- 10)민철웅, "Cup-burner를 이용한 불활성가스의 소화농도에 관한 연구", 부경대학교 대학원, 석사학위논문, pp. 9~15, 2007.