

## 변압기실 화재에 대한 미분무수 소화시스템의 적용 - 소화특성을 중심으로(Part 1) Application of Water Mist System for a Power Transformer Room - Fire Extinguishment(Part 1)

한용식<sup>†</sup> · 최병일 · 김명배

Yong-Shik Han<sup>†</sup> · Byung-Il Choi · Myung-Bae Kim

한국기계연구원 에너지기계연구센터 화재폭발연구팀  
(2005. 10. 18. 접수/2005. 12. 19. 채택)

### 요 약

고전력 변압기에 설치되어있는 가스계 소화설비는 초기 화재에는 대응할 수 있지만 소화후 다시 발화되는 화재에 대하여는 아무런 대책이 될 수 없다. 따라서 초기 소화와 재발화된 화재의 소화 또는 재발화방지가 가능한 소화 및 냉각시스템이 변압기에 필요할 것이다. 이러한 시스템으로 미분무수 설비가 선택되었으며, 본 연구에서는 주로 소화특성에 대하여 기술한다. 시험 대상으로 특정한 고압과 저압시스템을 선정하여 그 소화능력을 비교하였다. 변압기실은 약 10 m×10 m×10 m의 공간이며 변압기의 크기는 이 공간의 7% 정도이다. 실험규모의 소화실험이 6개의 화재시나리오(2개의 분무화재, 3개의 풀 화재, 1개의 흐름화재)에 의하여 수행되었으며, 고압시스템이 저압시스템에 비하여 산소희석 및 냉각효과 측면에서 우수한 소화특성을 나타내었다.

### ABSTRACT

A water mist system was considered as a possible alternative to a gaseous suppression system that can not prevent re-ignition after fire extinguishment for a power transformer room. This study deals with the fire suppression capability of the water mist systems. High-and low-pressure water mist systems were examined to compare efficiency of both systems. The power transformer examined in this study occupied about 7% of a 10 m×10 m×10 m transformer room. Full-scale suppression tests were performed for six different fire scenarios: two spray fires, three pool fires and one cascade fire. The fire suppression test results demonstrated that the high-pressure system was superior to the low-pressure system, especially considering oxygen depletion and the ambient temperature distribution.

**Keywords:** Water mist, Fire suppression, Re-ignition, Power transformer

## 1. 서 론

다양한 분야에서 미분무수 소화설비<sup>1)</sup>가 적용되고 있지만 전기적인 시스템도 적용 대상중의 하나이다. 미분무수 소화설비의 저 유량, 작은 입자 등의 특성으로 인하여 통신설비 및 컴퓨터실 등의 전기적인 화재에도 사용되고 있다. 고 전력 변압기에 대한 적용사례는 국내외적으로 매우 드물지만 미분무수의 소화원리에 비추어 변압기에 대한 적용도 가능할 것이다. 특히 고전

력 변압기에는 다량의 절연유가 포함되어 있어 초기 화재 진압후에도 재발화의 원인이 되기도 한다.

본 연구의 대상인 변압기는 용량 60 MVA이며 154 kV를 22.9 kV로 전환한다. 그 내부에는 60,000 kg 이상의 철심과 이 철심을 냉각시키기 위한 절연유가 들어 있다. 단락에 의한 사고의 경우 순간적으로 철심의 온도가 700°C까지 상승한다고 분석된 바 있다. 이러한 열에너지는 절연유에 직접 전달되어 화재 및 재발화의 원인이 되기도 한다. 실제로 많은 변압기 화재에서 재발화가 발견되었으며<sup>2)</sup>, 재발화는 기존의 가스계 소화설비로 충분한 방호를 할 수 없는 원인이다.

<sup>†</sup>E-mail: yshan@kimm.re.kr

본 연구의 목적은 미분무수 소화설비의 변압기에 대한 소화특성을 평가하기 위한 것이다. 비교를 위하여 특정한 고압과 저압시스템을 선정하였다. 검토된 6개의 화재 시나리오<sup>3)</sup>에 의하여 실험규모의 화재진압 시험이 수행되었으며, 소화시간과 온도 및 산소농도의 공간분포를 측정하여 고압과 저압시스템의 화재진압 성능을 비교 평가하였다.

## 2. 소화실험

### 2.1 성능평가 기준

미분무수 소화설비의 변압기 화재진압 성능을 평가하기 위하여 6개의 화재 시나리오가 화재사고 분석을 통하여 검토되었으며 여기에서는 그 결과만을 Table 1과 Fig. 1과 같이 요약한다<sup>3)</sup>.

### 2.2 시험 및 측정 설비

방호공간에 설치되는 노즐의 배치와 개수는 밀접한 관련이 있다. 원하는 소화특성이 구현될 수 있는 최적의 유량과 노즐 배치는 오로지 시행착오에 의해 구해

질 수 있다. 이러한 사실이 미분무수 소화설비에 대한 일반적인 성능평가기준은 물론 일반적인 설계기준을 기술적으로 제정하기 어렵게 만드는 요인이다. 시험에 사용된 시스템의 배치를 Fig. 2에 제시하였다. 저압식 시스템은 기 설치되어있는 배치를 그대로 활용하였고 고압식 시스템은 여러번의 시도후에 결정된 배치이다. 저압식 노즐은 solid cone 형식의 노즐로 k-factor와 사용압력은 각각 1.66과 13 bar이며, 고압식 노즐은 hollow cone 형식의 노즐로 k-factor와 사용압력은 2.4와 80 bar, SMD와  $Dv_{0.9}$ 는 각각 76.4  $\mu$ m, 123.5  $\mu$ m이다. 입자의 측정위치는 분사축을 따라서 노즐선단으로부터 1 m 떨어진 지점이다.

변압기가 설치된 공간의 높이에 따른 온도분포와 벽면의 온도를 측정하기 위하여 열전대가 사용되었다. 높이에 따른 온도분포는 지면으로부터 매 1 m 간격으로 k type 열전대에 의해 계측되었으며 열전대의 water mist에 의한 wetting을 방지하기 위하여 분사된 water mist가 직접적으로 열전대에 닿지 않도록 보호대를 장착하였다. 또한 화재의 소화 여부를 판단하기 위하여 매 화재 시나리오별로 화염 위치에 열전대를 설치하였다. 공간의 산소농도를 확인하기 위하여 지면으로부터 1 m 높이에서 산소농도가 측정되었다. 모든 시험은 CCD 카메라로 촬영되었다. 미분무수 설비의 작동은 점화후 15초로 하였다. 소화시간은 CCD 카메라에 의한 영상자료와 화원 근방에 설치된 열전대의 온도 기록을 근거로 측정하였다.

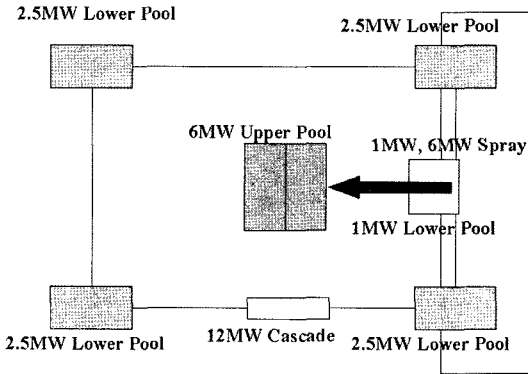


Fig. 1. Location of each fire source.

### 2.3 소화시험 결과 및 토의

소화시험 결과 점화 순간으로부터 측정된 소화시간은 Table 2와 같다. 고압식의 경우 분사화재와 흐름화재는 비교적 쉽게 소화되었으나 나머지 형태의 화재는 7분이상의 소화시간을 필요로 하였다. 차폐가 있는 화재의 경우(L-10M, L-01M) 소화되기가 어려운 것을 알

Table 1. Fire scenarios

기호	화재형태	발화 위치	비고
S-01M	분사화재(1 MW)	변압기 상단 표면으로부터 1m 상부	Full-cone (120°), diesel oil 0.03 kg/s, 8.5 bar
S-06M	분사화재(6 MW)	변압기 상단 표면으로부터 1m 상부	Full-cone (80°), diesel oil 0.16 kg/s, 8.0 bar
L-10M	고입화재(10 MW)	바닥의 변압기 모서리 주위(4 곳) - 부분차폐화재	4 (0.6 × 1.4 m) fires, heptane
U-06M	고입화재(6 MW)	변압기 상단 표면	2 (0.6 × 1.4 m) fires, heptane
L-01M	고입화재(1 MW)	변압기 바닥-차폐화재	0.6 m × 0.7 m, heptane
C-12M	흐름화재(12 MW)	변압기 전면	Heptane

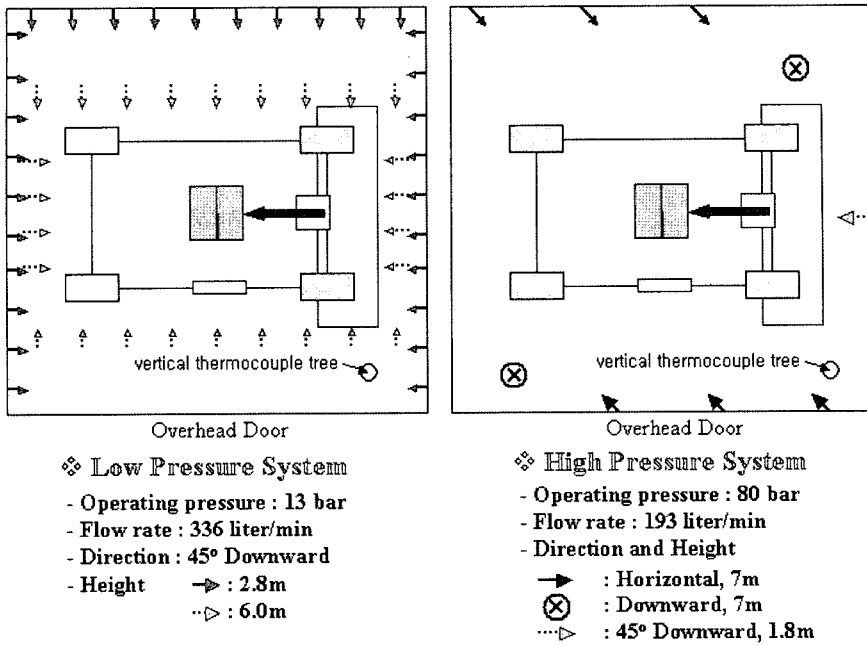


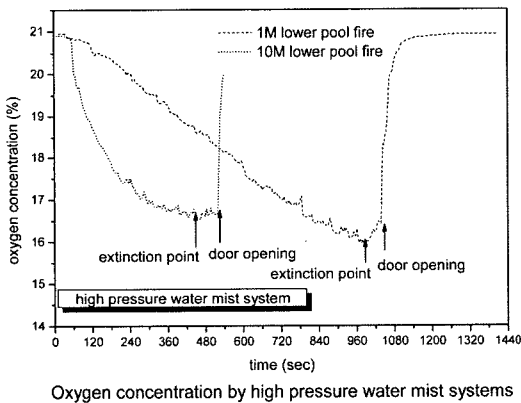
Fig. 2. Arrangement of mist nozzles.

Table 2. Fire extinguishment time (sec)

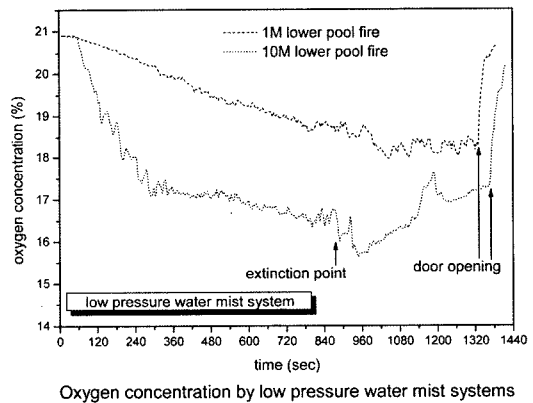
Fire scenario	High pressure	Low pressure
S-01M	40	44
S-06M	70	179
L-10M	429	1084
U-06M	431	509
L-01M	956	Failed
C-12M	113	171

수 있다. 특히, 고압식의 경우 바닥의 고임화재중에서는 1 MW의 경우(L-01M)가 6MW(L-10M)의 경우보다 오히려 2배 이상의 소화시간을 필요로 하였다. 저압식의 경우 전반적으로 화재진압성능이 고압식에 비교하여 떨어지는 것을 알 수 있으며, L-01M의 경우는 소화가 불가능하였다.

화재규모가 더 작음에도 불구하고 고압식과 저압식 모두 소화성능이 떨어지는 사실은 미분무수의 특성<sup>4)</sup>에 기인한다고 판단된다. 주로 냉각작용에 의해 화재를 소



(a) High pressure system



(b) Low pressure system

Fig. 3. Oxygen concentration for the scenario L-10M and L-01M.



Fig. 4. Extinguishment of 6 MW spray fire (S-06M).

화하는 스프링클러의 경우 이러한 상황은 발생되지 않을 것이다. 그러나 냉각작용과 질식작용에 의해 소화하는 미분무수의 경우 방호공간의 산소농도 관점에서,

즉 질식작용의 관점에서 이를 설명하면 다음과 같다. 화재규모가 크면 미분무수로부터의 증발량과 연소가스의 양이 많아지고 이는 Fig. 3의 측정결과와 같이 작은 화재에 비하여 방호공간의 산소농도를 효과적으로 감소시키게 된다. 여기에서의 산소농도는 변압기 모형의 상단에서 측정된 값이다. 따라서 일반적인 경향으로 미분무수의 경우 동일한 조건하에서 작은 화재의 진압이 상대적으로 어려울 수 있다. 그러나 노즐배치, 분사유량 등의 조건에 따라 달라질 수 있을 것이다.

분사화재의 진압 영상의 일부가 Fig. 4에 제시되었으며, 미분무수 입자와 그에 의해 유발된 연기의 흐름이 화염과 격렬히 반응하고 있는 것을 보여준다. 6 MW 급 분사화재(S-06M)의 소화실험에서 얻어진 온도분포와 바닥근처에 설치한 농도계로부터 얻어진 산소농도를 Fig. 5에 나타내었다. 온도분포로부터 고압식과 저압식 시스템의 뚜렷한 차이를 알 수 있다. 저압식의 경

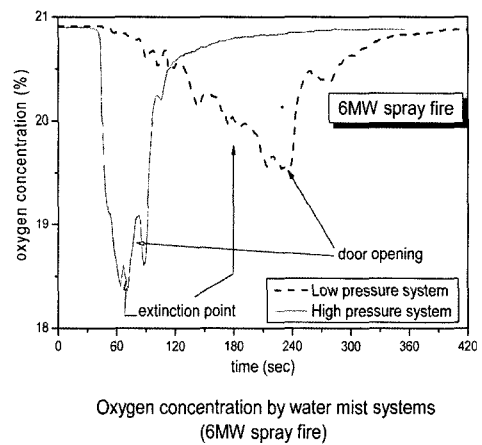
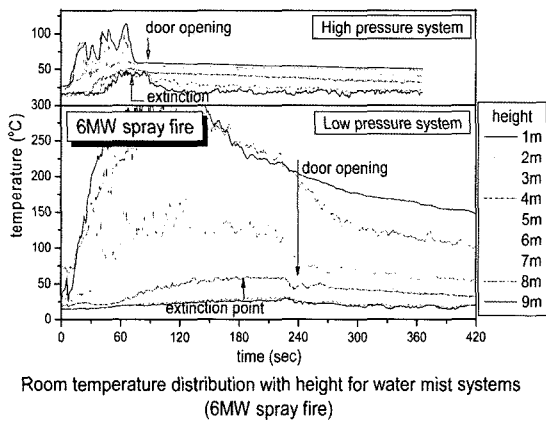


Fig. 5. Temperature and oxygen concentration for the scenario S-06M.

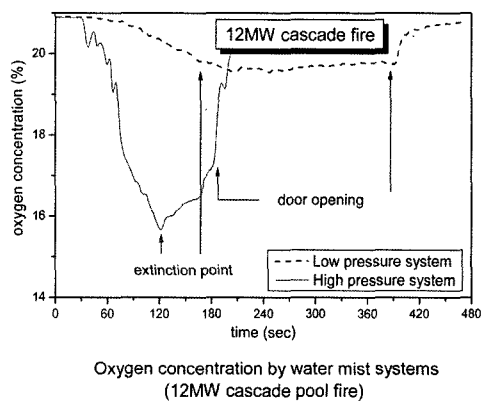
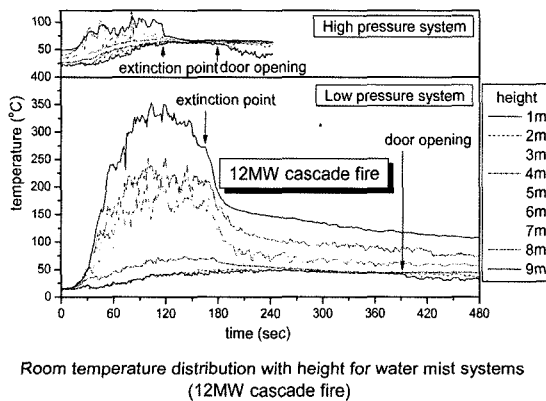


Fig. 6. Temperature and oxygen concentration for the scenario C-12M.

우 화재실 상하의 최대 온도차이가 약 300°C 인대 고압식은 그 차이가 100°C 이하이다. 따라서 고압식의 미분무수가 저압식에 비하여 방호공간을 효율적으로 냉각시키는 것을 알 수 있다. 시간에 따른 산소농도의 변화로부터 역시 고압시스템이 유리함을 알 수 있다. 급격한 산소농도의 감소는 전형적인 미분무수 소화설비의 공간 소화특성을 나타낸다 할 수 있다. 이러한 온도와 산소농도의 변화로부터 고압식의 우수한 소화 성능이 예측되는 것은 당연한 결과이다.

비슷한 결과가 Fig. 6과 같이 흐름화재에도 나타난다. 고압식의 경우 산소농도가 16%까지 감소하였지만 저압식의 경우 20% 정도밖에 감소되지 않았다. 이러한 사실로부터 저압식의 경우 질식작용보다는 냉각작용에 의해 흐름화재가 소화되었다고 판단할 수 있다. 소화실험중 관측된 영상으로부터 산소농도의 급격한 감소에는 미분무수의 증발뿐만 아니라 유동과 관련된 요소도 존재함을 알 수 있었다. 점화초기에 형성되어 천장 부근에 머물던 연기가 강한 분사에 의하여 미분무수 속으로 유입되어 화염으로 접근하는 현상을 관찰하였다. 미분무수와 초기에 형성된 연기의 혼합물이 화염에 접근함으로써 산소농도가 급격하게 감소될 수 있었다고 판단된다. 이러한 현상은 산소농도의 감소 메커니즘을 정적인 관점- 물의 증발과 연소가스의 생성-에서만 생각한 방식에서 분무수의 강력한 유동에 의해 발생된 연기의 유입이라는 새로운 동적인 관점을 제공해 줄 수 있다.

### 3. 결 론

고전력 변압기실에 사용되어왔던 가스계 소화설비의 대체로써 미분무수 소화설비의 타당성을 평가하기 위

하여 6개의 화재시나리오에 따라 소화시험을 수행하였고 결과를 분석하였다. 성능의 비교를 위하여 특정한 형식의 고압과 저압시스템을 선정하였다.

실물규모의 소화성능시험 결과 고압식 시스템의 성능이 저압식에 비하여 우수함을 확인하였다. 이 사실은 소화시간, 화재실의 온도 및 산소농도 분포로부터 입증 된다. 고압식의 경우 화재실에 대한 냉각성과 산소농도 감소 능력이 저압식에 비해 전반적으로 우수함을 알 수 있었다.

소화실험에서 촬영된 사진들로부터 그 동안 일반적으로 인식되어왔던 미분무수의 산소농도 감소 메커니즘인 정적인 관점- 물의 증발과 연소가스의 생성-에 분무수의 강력한 유동에 의해 발생된 연기의 유입이라는 새로운 동적인 관점을 추가할 수 있었다.

### 감사의 글

본 연구를 수행할 수 있도록 재정적 지원과 고견을 들려주신 한국전력(주) 관계자 여러분께 감사드립니다.

### 참고문헌

1. NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems, 2000 ed., NFPA.
2. Analysis of Transformer Incidents, Korea Electric Power Corporation(2003).
3. 최병일, 한용식, 김명배, “변전소 주변압기실 미분무수 소화시스템 성능평가를 위한 화재시나리오”, 한국화재소방학회논문지, Vol. 19, No. 3, pp.52-57(2005).
4. G. Grant, J. Brenton, and D. Drysdale, “Fire Suppression by Water Spray”, Progress in Energy and Combustion Science, Vol. 26, pp.79-130(2000).