주 변압기실 화재시나리오에 적용한 미세물분무 노즐의 소화성능

이 경 덕
(주)거송시스템
(2006. 8. 17. 접수 / 2006. 11. 29. 채택)

Performance of Fire Extinguishing of Water Mist Nozzle for Power Transformer Fire Scenario

Kyoungduck Lee
Geosong System Co. Ltd.
(Received August 17, 2006 / Accepted November 29, 2006)

Abstract : Fire extinguishing experiment was conducted with water mist nozzle in case of the pool fire, cascade fire and spray fire on flammable liquid of class B whether water mist system can be effective system for power transformer fire scenario. In the event of a pool fire, flow rate and time to extinguish was inclined to be increased according to the obstruction rate of ignition space. Furthermore, the performance of fire extinguishing depended upon the spraying angle of the nozzles. In case of cascade fire, the effect of extinguishment was began to show from a combustion pan filled with fuel and fuel flowing plate later on.
Key Words : water mist, fire suppression, nozzle, droplet size, power transformer

1. 서 론

최근 할론 물질의 사용 금지로 인하여 대체 소화약제 및 설비에 대한 방안이 대두되었다. 이들 소화설비는 화재로부터 인명 및 재산 피해를 줄이고 신속·정확하게 진압하기 위하여 효율적인 소화약제 및 설비의 사용이 요구되고 있다. 1987년 몬트리올 의정서에 의해 CFCs에 의한 지구 오존층의 파괴를 막기 위해 할론계 소화약제의 사용을 금지시키고 있고 전 세계적으로 확대 시행되고 있다. 이에 따라 인체는 물론 환경에 악영향을 주지 않는 대체 소화설비의 하나로 미세물분무 소화시스템이 크게 각광을 받고 있다.

이에 대한 연구로 2000년 Back는 선박 기계실에 적용 시 미세물분무 화제억제 시스템의 성능을 보고하였고, Mawhinney와 Kim은 미세물분무 소화시간은 연료의 형태, 분무 특성 및 연소실과 노즐의 기하학적 특성의 함수라고 제시하였다[1-3]. 이러한 미세물분무에 대한 연구는 이론적인 연구와 함께 소형화재 실험에서부터 실규모 화재 실험에 이르기까지 폭넓게 연구되고 있다.

이렇듯 화재의 진압 성능에 있어 타 소화설비와 비교하여 소화성능이 우수하며, 환경 친화적인 미세물분무 소화설비에 대한 연구는 외국의 여러 기관들에 의해 진행되고 있다. 한편 미세물분무 소화설비에 의한 화재 진압특성은 미세물분무의 특성과 방호대상물의 특성에 따라 달라지는데 이들의 관계가 아직도 명확히 규명되고 있지 못한 실정이며, 미세물분무 시스템의 설계를 완벽하게 설명한 정보가 많지 않다. 따라서 미세물분무의 분사특성 및 입자특성과 화재 진압 특성의 관계 규명에 대한 연구와 함께 성능위주의 실험을 행하여 각각의 적용 장소에 따른 화재 진압 성능을 평가하고 있는 실정이다. 이는 미세물분무 소화시스템의 성공적인 개발 및 실용화를 위한 필수 단계이다.

따라서 본 연구에서는 성능위주의 소화성능을 검증하기 위한 적용 장소로 국가 기간산업 중의 하나인 주 변압기실에 미세물분무 시스템을 적용하여 시스템의 적용성과 함께 유효성을 입증하고자 한다. 이를 위해 연소표면이 여러 조건으로 차폐되어 있는 액

marry114@geosong.net

면화재(Pool fire)와 분무화재(Spray fire), 흐름화재(Cascade fire)에 대한 실규모 화재실험을 수행하였다[4].

2. 이론적 배경

물은 높은 비열과 증발잠열로 인해 다른 소화약제보다도 화재를 억제·소화하기 위한 가장 좋은 물리적 특성을 가지고 있으며, 증발될 때 약 1,700배의 증기팽창을 하게 되므로 화염주변에서의 산소농도 희석과 연료로부터 발생되는 증기를 희석시킨다. 또한, 물을 50~300μm로 미립화하여 분산시키게 되면 입자의 표면적이 넓어지므로 물과 화염 표면 사이의 열전달 속도가 증가한다. 또한, 작은 물방울은 빠르게 수증기로 바뀌면서 주위의 수증기 함량이 늘어나 화재의 확대가 억제되고 연소실내의 산소농도의 저하와 증기의 희석 및 질식효과로 소화효과를 증대시킨다.

이러한 미세물분무의 적용에 따른 화재의 소화메카니즘은 화재영역으로부터 미세물분무의 증발에 의한 산소의 제거속도와 화재로부터 발생되는 열의 흡수량과 제거량에 의해 소화성능이 결정되며, 이러한 속도와 양에 영향을 미치는 인자는 유량밀도의 분배, 물방울의 크기, 속도, 분무각도, 분무 형태, 운동량 및 분사특성과 같은 여러 인자들에 의해 그 영향정도가 결정된다.

이중 화재진압에 있어 가장 중요한 변수는 미세물분무의 입자크기이며, 화재진압에 이용되는 미세물분무의 입자크기에는 하한치가 존재하게 된다. 그 이유는 화염으로부터 발생되는 고온의 난류성 가스의 흐름을 극복할 수 있는 에너지를 가질 수 있을 만큼 충분한 운동량을 가지고 있어야 하기 때문이다. 이러한 미세물분무 입자의 화재기류 침투에 대한 능력은 노즐로부터 방사된 미립자가 중력과 마찰력이 동일하게 되는 종말속도에 의해 결정된다.

Andersson은 실온의 공기중에 증발을 무시한 물입자에 대한 종말속도 Vterm(terminal velocity)를 제시하였다[5]. 또한, Yao는 입자크기에 따른 종말속도를 Fig. 1과 같이 제시하고, NFPA에서 규정하고 있는 1,000μm 이하에서의 종말속도는 약 5.6m/s를 나타내며, 2,500μm 이상에서는 물방울 입자의 종말속도는 9.3m/s 이상이라고 보고하고 있다[6].

물입자에 대한 종말속도 Vterm(terminal velocity)는 식 (1)과 같다.

$$V_{term} = 31 \cdot D^2 \qquad 0 < D < 0.1mm \tag{1}$$

$$V_{term} = 4 \cdot D \qquad 0.1 < D < 1mm$$

$$V_{term} \approx 4.6 \cdot \sqrt{D} \qquad 1 < D < 4mm$$

여기서 D는 미세물분무 입자의 직경[mm]이며, V_{term}은 종말속도[m/s]를 의미한다. 이때, 미세물분무를 화재에 적용한 경우 그 종말속도는 화재 기류에 침투되는 물입자의 중력과 화재기류의 상승 추진력의 균형에 영향을 받으며, 만일 화재기류의 속도가 미세물분무의 종말속도보다 클 경우 미세물분무 입자는 화재기류와 함께 상승하여 흩날리게 된다. 물입자의 종말속도는 입자크기가 작을수록 작아지고 또 일정직경에서는 화재기류의 온도가 높을수록 대기의 밀도가 낮아져 비중량이 감소됨으로써 입자의 종말속도가 커진다.

따라서 직경이 작은 물입자의 종말속도는 느리므로 화재기류의 작은 상승 추진력에도 쉽게 휩싸여 날아가 버린다. 그러나, 입자의 표면적 증가에 따른 고온가스와의 접촉 면적이 증가됨으로써 화염으로부터 발생되는 고온가스의 냉각작용과 화염의 고온기류에 의해 부유 상태로 존재하는 미세물분무 입자의 수증기 증발에 의한 질식작용의 증가에 의해 화염이 진압된다. 반면 미세물분무 입자의 크기가 큰 경우는 입자의 종말속도가 빠르므로 이로 인한 화염으로의 침투력 증가에 따른 화염의 냉각 및 연료표면의 냉각 작용이 증가함으로써 소화가 이루어진다. 이는 입자에 미치는 중력과 항력이 입자의 직경에

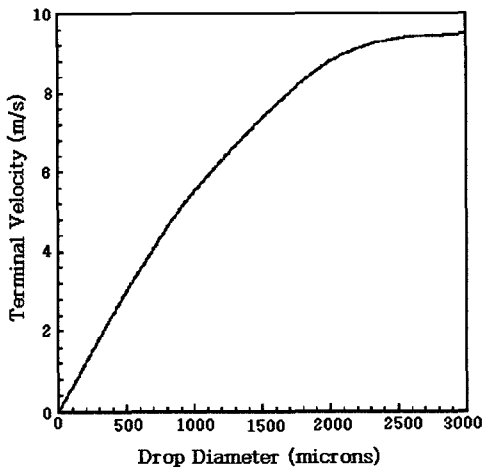


Fig. 1. Terminal velocity by droplet size[5].

따라 변화되기 때문이며, 화재를 진압하기 위해 방사되는 미세물분무는 입자의 직경이 작을수록 화염이나 열기류에 체류하는 시간이 길어지며, 미세물분무의 입자가 증발하는 시간은 입자 직경의 제곱에 비례하기 때문에 화염의 기저까지 도달하지 못하고 증발하여 수증기로 변화하게 된다.

3. 실험장치 및 방법

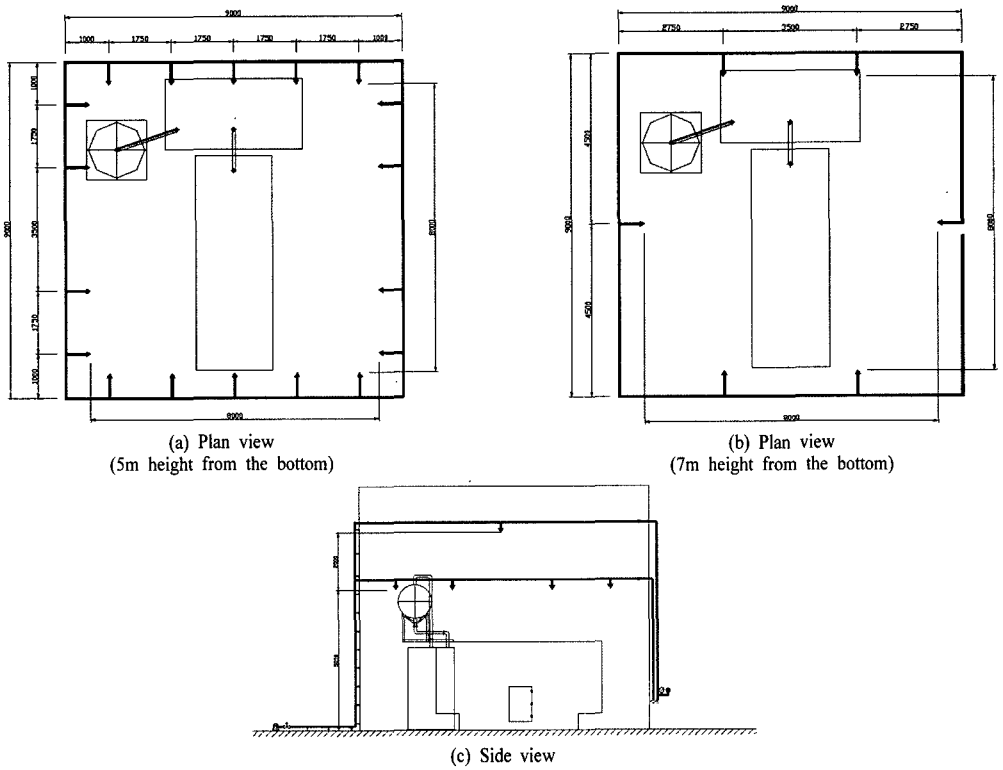
3.1. 실험장치

미세물분무의 소화설비의 화재 시험실 체적은 10 m(W)×10m(L)×10m(H)이며, 시험실 내부 중앙에 시험용 모의 변압기는 Fig. 2와 같이 배치하였다.

또한, 본 연구에서 사용된 미세물분무 노즐은 Fig. 3과 같고, 현재 상용화된 노즐로 단일 유체방식을 적용하고 있으며, 정격 작동압력은 80bar이다. 노즐의 몸체는 7개의 마이크로 노즐로 구성된 건식노즐이며, 각각의 마이크로 노즐에는 물을 미립화시키기 위한 스월러가 장착되어 있다. 노즐의 k-factor는 0.93이며, full cone 형태의 방사분포를 나타내고 있다. 본 연구에서 사용한 입자크기는 물질이동, 화학반응, 연소 등에 적용되므로 SMD(Sauter Mean Diameter)를 채택하였으며, 사용된 노즐의 입자측정은 NFPA 750에서 제시한 측정방법을 적용하여 높이 1m에서 입자측정기(PDA)을 이용하여 측정하였다.

본 실험에서 사용한 연료는 분무화재의 경우 경유를 사용하였으며, 액면화재와 흐름화재는 노르말 헵탄, 100% 차폐되어 있는 액면화재는 절연유를 사용하였다. 노르말 헵탄은 물보다 낮은 비점을 갖고 있어(98℃) 물입자가 화염으로 낙하할 때 화염 표면에서의 splashing 영향을 방지할 수 있고, alkane의 대표적 물질로서 개질 가솔린과 고품질 디젤류 성분의 alkane을 각각 70%와 95% 포함하고 있어, 가솔린과 함께 IMO와 NFPA에서 화재실험을 하기 위한 적합한 물질로 알려져 있다[7]. 분무화재의 경우 분무변수는 Table 1과 같이 적용하여 실험하였으며, 100% 차폐된 액면화재의 경우 절연유와 성분이 유사한 미네랄 오일을 사용하였다.

분무화재를 발생시키기 위해 사용한 노즐의 유량과 방사각도 및 특성치는 Table 1과 같다.



(a) Plan view (5m height from the bottom)

(b) Plan view (7m height from the bottom)

(c) Side view

Fig. 2. Schematic of full-scale experimental apparatus.

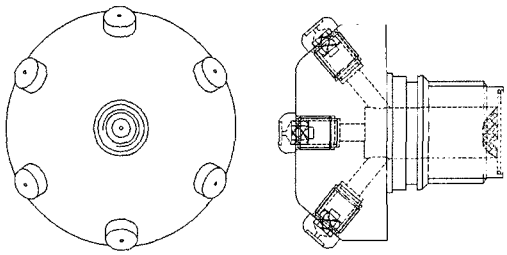


Fig. 3. Water mist nozzle for power transformer fire test scenario.

Table 1. Parameters of the spray fire test

Nominal HRR(MW)	5.8±0.6	1.1±0.1
Fire Type	Low Pressure	Low Pressure & Low Flow
Spray Nozzle	Wide Spray Angle (120~125°) Full Cone Type	Wide Spray Angel (80°) Full Cone Type
Spray Pressure(bar)	8	8.5
Oil Flow(kg/s)	0.16±0.01	0.03±0.005
Oil Temperature(℃)	20±5	20±5

3.2. 실험방법

본 실험에 사용된 노즐은 총 24개로 Fig. 2와 같이 주 변압기실 중심선을 기준으로 좌·우 대칭으로 설치하였으며, 높이 5m와 7m 지점에 정사각형의 배치로 각각 18개와 6개의 노즐을 끝단 간 거리 8m 이내에 설치하였다.

주 변압기실 모형의 화재 시나리오는 Table 2와 같이 실시하였으며, 화재 시나리오별 화원의 위치는 Fig. 4와 같이 위치 시켰다.

화재 시나리오 1은 HRR이 1MW의 분무화재로 Fig. 4에서와 같이 모형 상단 1m 위에 분사노즐을 설치하여 경유를 8.5bar의 압력으로 분사 후 점화하였으며, 자유연소 30초 후 미세물분무 노즐을 방사하였다. 이때 방사 후 15분 이내 소화되면 소화성공으로 간주하였다. 이는 IMO 기준을 소화 성공의 판단기준으로 선정하였다.

화재 시나리오 2는 HRR이 6MW의 분무화재로 Fig. 4에서와 같이 분사각도가 80°이며, 화재시나리오 1은 분사각도가 120° 로 화재실험을 실시하였다.

화재시나리오 3은 액면화재로, Fig. 4에서와 같이 주 변압기 모형의 각 코너에 0.6m×1.4m×0.3m의 연소 팬 4개를 물 150mm, 노르말 헵탄 50mm의 깊이로 채운 후, 연소팬의 25%를 차폐시켜 화재를 발생시켰다. 실험은 자유연소 15초 후 미세물분무를 방사시켜 각 코너의 4개의 화염이 15분 이내 소멸되었을 때 소화의 성공으로 간주하였다.

화재 시나리오 4는 액면화재로 모형상단의 중앙에 0.6m×1.4m×0.3m의 연소팬 2개를 이용하여 각각 물 150mm, 노르말 헵탄 50mm를 채운 후 6MW로 화재를 발생시켰다.

화재 시나리오 5는 12MW의 흐름화재(Cascade)로 모의 변압기 상부로부터 0.25kg/s로 노르말 헵탄을 모형 하부로 흘려 화재를 발생시켰으며, 0.6m×1.4m×0.3m의 연소팬 1개를 흘러내린 하부에 위치시켜 노르말 헵탄을 고이게 하였다.

화재 시나리오 6은 1MW의 액면화재로 Fig. 4에서와 같이 모의 변압기 하부에 0.6m×0.7m×0.3m의 연소팬에 물 150mm, 미네랄 오일 50mm, 절연유를 점화시키기 위한 노르말 헵탄 1.5L를 채운 후, 연소시켰다. 이때 화원면적 100%를 차폐시켜 변압기실의 차폐화재에 대한 미세물분무 노즐의 성능을 평가하였다. 소화는 점화 5분 후 시작하였으며, 소화시작 후 15분 이내에 화염이 소멸되었을 때 소화의 성공으로 간주하였다.

또한, 시험 중에는 미세물분무 노즐의 방사압력, 유량은 일정하게 유지하였으며, 연소팬의 크기와 위치를 제외한 다른 실험조건은 동일하게 유지하였다.

화재가 진압된 시간의 측정은 개개의 시험 화원에 k-type 열전대를 설치하여 측정하였으며, 미세물분무 노즐의 방사압력은 노즐의 설치 높이 5m와 7m에 위치한 배관의 말단에 압력센서를 설치하여 측정하였다. 화재의 진압시간, 방사유량 및 방사압력은 A/D converter를 이용하여 1초 간격으로 측정하였다.

Table 2. Fire test scenario for power transformer mock-up

No	Fire scenario	Fire source location	Contents
1	Spray fire (1MW)	1m above the mock-up	Full-cone(120°), Diesel, 0.03kg/s Spraying Pressure : 8.5bar
2	Spray fire (6MW)	1m above the mock-up	Full-cone(80°), Diesel, 0.16kg/s Spraying Pressure: 8bar
3	Pool fire (10MW)	Floor around the corners of the mock-up	0.6m×1.4m×0.3m (water 150mm, n-heptane 50mm)×4ea, Fire area 25% obstructed (2.5MW Pool source × 4ea)
4	Pool fire (6MW)	Top surface of the mock-up	0.6m×1.4m×0.3m (water 150mm, n-heptane 50mm)×2ea
5	Cascade fire (12MW)	Front side of the mock-up	0.6m×1.4m×0.3m (water 150mm, n-heptane 50mm)×1ea
6	Pool fire (1MW)	Floor under the mock-up	0.6m×0.7m×0.3m (water 150mm, Mineral Oil 50mm, n-heptane for ignition 1.5 liter) Fire area 100% obstructed

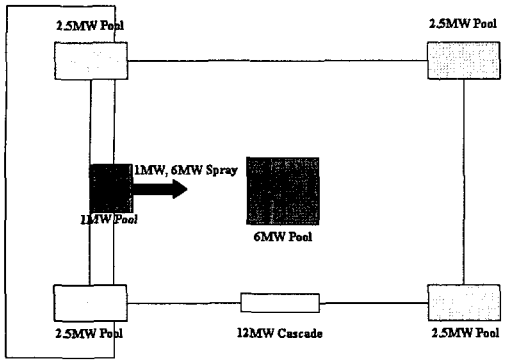


Fig. 4. Fire source position by each fire scenario.

4. 결과 및 고찰

4.1. 미세물분무 노즐의 특징

방사압력 80bar에서의 미세물분무 입자 측정 결과, 노즐 중앙부분에서의 SMD는 60μm이며, 평균유속은 4.21m/s이고, 이때의 방사각도는 80°로서 Table 3과 Fig. 5에 나타내었다.

실험에 사용된 미세물분무 노즐의 방사분포를 측정하기 위해 채수통과 노즐을 각각 Fig. 6과 같이 배치하였다. 바닥면으로부터 7m 높이에서 3m의 정방향 간격으로 설치하여 정격 작동압력 80bar로 10분 동안 방사하였다. 노즐의 직하부와 노즐 사이에 한 변의 길이 300mm인 정방향 용기를 이용하여 미세물분무 노즐의 방사분포를 측정하였으며, 측정조건과 측정결과를 Table 4에 나타내었다.

Table 3. Droplet measurement result by PDA

Position	Mean velocity(m/sec)	Spray Pressure (kg/cm^2)	Spray Angle (°)	SMD (μm)	Dv0.9
Center	4.21	80	80	60.43	185.16
b/2	2.15	80	80	121.37	220.0

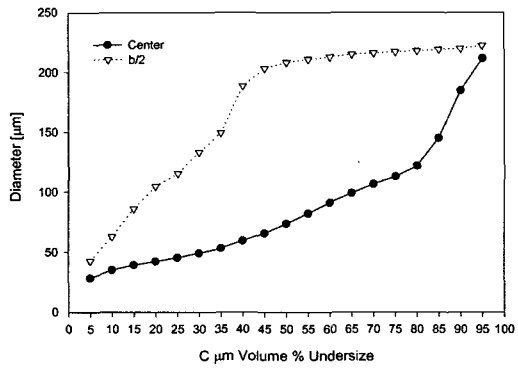


Fig. 5. Droplet measurement graph by PDA.

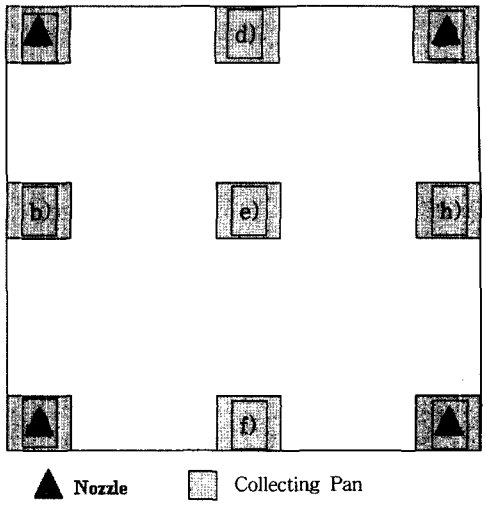


Fig. 6. Nozzle arrangement for flux density measurement.

Table 4. Test results and condition for flux density of installed nozzle

Installed height (m)	Distance of installed nozzle (m)	Installed degree (°)	Operating pressure (bar)	Spraying time (min)	Flux density (mL/min/m^2)
7	3	Direct downward	80	10	1,879

Position	10 minute Collecting (mL)	Position	10 minute Collecting (mL)
a	3,300	f	400
b	420	g	3,510
c	3,160	h	410
d	380	i	3,350
e	290	Sum	15,220

4.2. 분무화재(Spray fire) 실험

분무화재는 모형상단 1m 위에 연료분사 노즐을 설치하여 HRR이 1MW와 6MW로 변수를 설정하여 테스트를 수행하였다. 그 결과를 Fig. 7과 Fig. 8에 나타내었다.

Fig. 7은 1MW 크기의 경유 분무화재 시험(화재 시나리오 1) 결과를 나타낸 것으로 점화 후 15초 후에 미세물분무를 방사한 결과, 방사 35초 후에 소화가 이루어졌다. 이때 전체노즐의 방사 총 유량은 분당 220L으로 나타났으며, 높이 5m와 7m의 배관 말단에 각각 설치한 압력센서를 이용하여 측정한 결과 80bar로 나타났다. 미세물분무를 방사하기 직전 화염의 온도는 약 350℃로 나타났으며, 방사 후에는 화염의 불규칙한 변화가 관찰되면서 화염온도는 475℃까지 상승하였다가 35초 만에 화염이 소멸되었다.

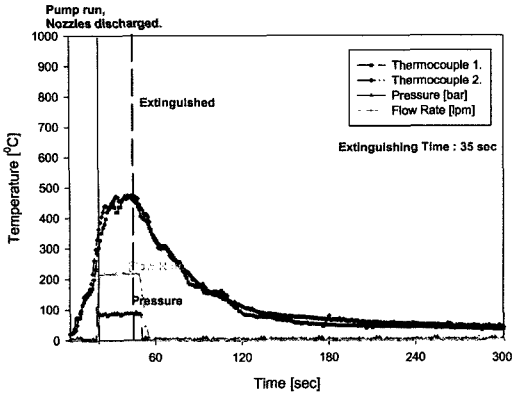


Fig. 7. Extinguishing time of 1MW diesel spray fire test(No.1 scenario).

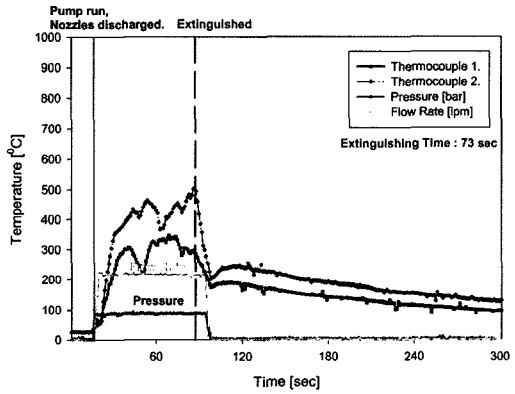


Fig. 8. Extinguishing time of 6MW diesel spray fire test(No.2 scenario).

Fig. 8에는 6MW 크기의 경유 분무화재 시험(화재시나리오 2) 결과를 나타낸 것으로 점화 후 15초 후에 미세물분무를 방사한 결과, 방사 73초 후에 소화가 이루어졌다. 이때 분당 방사유량은 220L로 동일하였으며, 1MW 크기의 경유 분무화재 시험보다 더 많은 시간이 필요하였다.

즉, 6MW 분무화재는 초당 0.16kg의 경유를 분사함에 따라, 1MW 분무화재의 0.03kg보다 더 큰 화염을 형성하며, 그에 따라 화염면으로 침투하는데 더 많은 유량이 필요한 것으로 나타났다.

또한, 분무화재에서 화염온도가 낮게 측정되었는데, 이는 fire plume과 미분무수 간의 충돌로 발생되는 난류 기류에 의해 화염 위치의 지속적 변화에 따른 것으로 판단된다.

4.3. 액면화재 실험

Fig. 9는 화재시나리오 6에서 1MW 크기의 절연유 화재시험을 나타낸 것으로, 연소팬의 바닥에 물을 150mm 채운상태에서 절연유 50mm를 채워 수행하였으며, 점화용 노르말 헵탄 1L를 이용하여 절연유를 착화시켰다. 화원이 피트 변압기 하부에 100% 차폐되어 있으며, 노즐 설치 위치가 변압기 절연유 보관탱크에 의해 방해를 받아 미세물분무 입자들이 화염에 직접 전달되지 못하는 공간적 특수성을 갖고 있다. 따라서, 절연유 보관탱크에 부딪히는 미세물분무 입자를 최소화하여 최대한 모형 하부로 미세물분무 입자들이 침투하기 용이한 각도(하향 45°)로 노즐을 설치 및 조정하였다. 또한, 주변 바닥에 분사된 미세물분무 입자가 부유상태로 되어 화염면으로 흘러들어 갈 수 있도록 하였다. 미세물분무 소화시스템 가동 후, 722초에 화재가 완전 소화되었으며 100% 차폐화재에서도 화원에 대한 미세물분무 입자의 침투 및 주변 분위기 조성에 의해 소화가 이루어 질 수 있다는 사실을 알게 되었다.

반면, Fig. 10에는 Fig. 9와 일부 노즐의 방사각도를 달리하였을 때의 시험으로서, 방사유량, 방사 압력 및 연료량 등의 다른 시험조건은 동일하게 하였다. Fig. 10에서 알 수 있듯이 미세물분무 방사후 100-200℃의 온도 감소 현상은 나타났으나 화재를 소화하는데 큰 영향을 미치지는 못하였다. 즉, 미네랄 오일을 이용한 100% 차폐화재에서 노즐의 방사각도가 소화 성공에 미치는 주요 변수임을 알 수 있었다.

Fig. 11은 모형 상단에 6MW(화재시나리오 4)의 노르말 헵탄 화재시험을 나타낸 것으로, 화원이 미세물분무 입자들에 100% 노출되어 있어, 430초 만에 화재가 완전 소화되었다. 즉, 화원이 노출됨에 따라

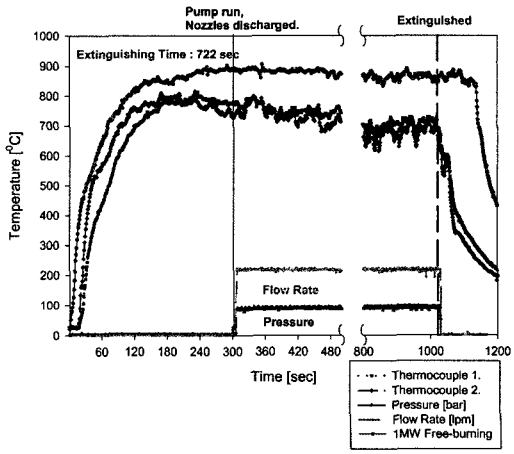


Fig. 9. Extinguishing time of 1MW mineral oil pool fire test (No.6 fire test scenario, fire area 100% obstructed).

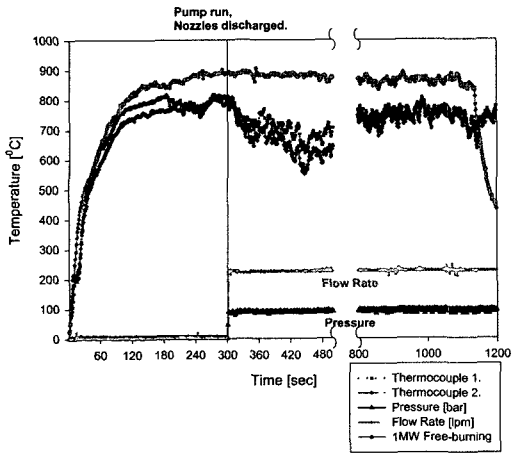


Fig. 10. Failure test of 1MW mineral oil pool fire(No.6 fire test scenario, fire area 100% obstructed).

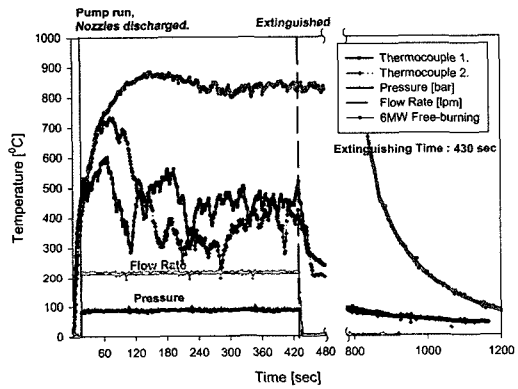


Fig. 11. Extinguishing time of 6MW n-heptane pool fire test (No.4 scenario).

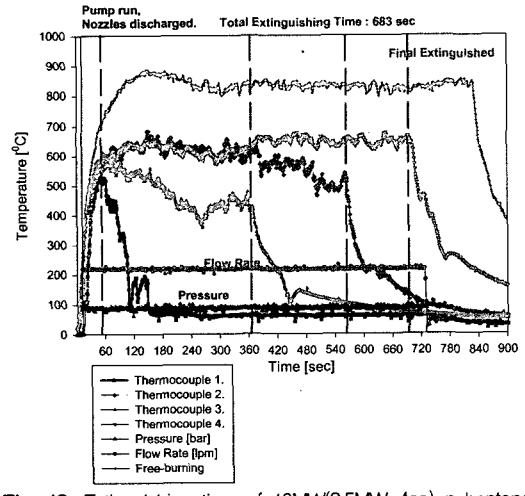


Fig. 12. Extinguishing time of 10MW(2.5MW×4ea) n-heptane pool fire test(No.3 scenario).

노즐에서의 입자들이 직접 화염에 전달됨으로서, 연료표면으로 미세물분무 입자 침투에 따른 냉각 및 수증기 막의 형성에 의한 산소공급 차단이 동시에 이루어진 것으로 판단된다.

이는 미세물분무 입자가 화염에 침투시, 화염으로 혼입되는 산소를 방해하고 또한, 미세물분무 입자와 화염, 고온가스, 고온표면 간의 상호작용으로 인해 발생되는 증기가 구획실 내의 산소농도를 현저히 떨어뜨리는 이론에 부합하는 것으로 판단된다[7].

Fig. 12는 변압기 모형의 각 모서리에 연소면이 25%씩 변압기 하부에 의해 차폐된 2.5MW(화재시나리오 3)의 연소팬 4개를 배치한 10MW 크기의 노르말 헵탄 화재시험을 나타낸 것이다. Fig.5.에서 왼쪽 하단부부터 시계방향으로 1번 팬이라 선정하였을 때, 미세물분무 소화시스템 가동 45초 후 1번 팬의 소화가 가장 먼저 이루어졌으며, 344초, 546초에 각각 3번 팬, 2번 팬이 소화되었다. 그리고 마지막으로 4번 팬이 683초에 소화되어 소화 성공의 기준인 900초 이내에 모두 소화된 것으로 나타났다. 연소팬에 각각 25% 차폐 면적을 적용한 10MW 고임화재 시험은 화염면 전체가 노출된 Fig. 11에 비해 더 많은 시간이 소요되었지만, 일부 차폐된 화염면을 가진 화재시험에서의 미세물분무 소화시스템의 소화효과를 잘 나타낸 것으로 판단된다.

Fig. 13에 각각의 고임화재 시험에서 소요된 소화시간과 시험에 사용된 총 유량을 비교하여 나타내었다. 노출된 화염을 가진 6MW 화재에서 가장 빠른 소화시간과 더불어 방사된 유량도 1,540L로 가장 적게 나타났으며, 100% 차폐된 1MW 화재, 25% 차폐된 10MW 화재 순으로 방사시간과 방사유량이 증가하였다.

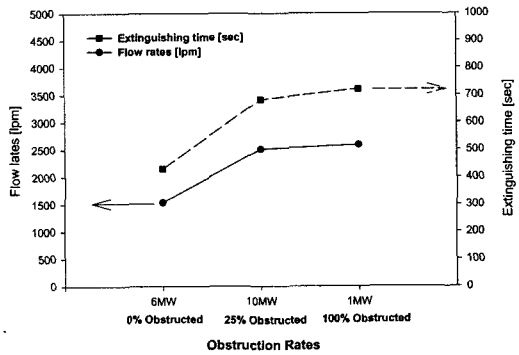


Fig. 13. Extinguishing time and flow rate by the obstruction rates of pool fire test.

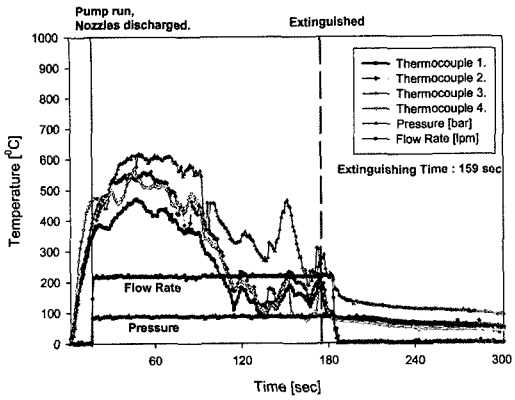


Fig. 14. Extinguishing time of 12MW n-heptane cascade fire test(No.5 scenario).

즉, 미세물분무에 의한 소화성능은 화염에 직접적으로 방사함으로서 화염냉각, 연료표면 냉각, 수증기막 형성에 의한 산소 공급차단 등이 복합적으로 작용하여 소화성능이 증가한 것으로 판단되며, 화염의 차폐율이 증가함으로서 방사유량이 증가하고 방사시간이 길어지는 것으로 나타났다.

4.4. 흐름화재(Cascade fire) 실험

변압기 상부로부터 하부의 연소팬으로 노르말 헵탄을 0.25kg/s로 흘려보내 화재를 발생키는 시험(화재시나리오 6)으로, 가장 큰 화재규모로 미세물분무 입자의 활동관측이 가장 용이한 실험이었다.

Fig. 14는 12MW 크기의 노르말 헵탄 흐름화재 시험을 나타낸 것으로, 화재 크기가 가장 크고 노출된 화원을 갖는 화재인 만큼 미세물분무 입자에 의한 화염면 침투 및 화염으로의 하강현상이 가장 잘 관측되었다. 미세물분무 입자의 지속적인 방사와 더불어 화염면의 냉각효과가 지속적으로 나타나 노즐 방사후 159초 만에 화재는 완전 소화되었다. 또한, 화염의 소화는 연료 고임이 발생하는 하부 연소 팬에서 소화가 먼저 이루어졌고 차례로 연료 흐름판 하부에서 상부로의 소화 현상이 나타났다. 즉, 고여 있는 연료에서 소화효과가 먼저 나타나면서, 지속적인 연료공급이 이루어지는 연료 흐름판으로 소화현상이 전이되는 것으로 나타났다.

5. 결 론

미세물분무 노즐을 이용하여 주 변압기실 모형에 B급 액면화재, 흐름화재 및 분무화재에 적용한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 초당 0.16kg의 경유를 분사하는 6MW 분무화재가 1MW 분무화재보다 소화하는데 더 많은 유량을 필요로 하였다. 즉, 화염면으로 침투하는데 더 많은 시간이 소요되었다.

2) 액면화재의 연소면 차폐율(0%, 25%, 100%)이 증가할수록, 소화하는데 필요한 유량과 시간은 증가하였다. 또한 동일 크기의 화재시험에서 방사각도 조정에 따라 소화성공의 결과가 달라져, 차폐율, 방사유량 뿐만 아니라 다른 기하학적 요인도 소화성능에 미치는 영향이 큰 것으로 나타났다.

3) 25% 차폐된 액면화재(No.3 시나리오)의 경우, 4개의 연소 팬에서의 화재는 순차적으로 소화되었으며, 일부 차폐된 화염에서도 미세물분무 입자의 직, 간접적인 침투 효과가 잘 나타난 것으로 판단된다.

4) 완전 노출된 액면화재(No.4 시나리오)의 경우, 2개의 연소 팬에서 동시에 소화되었으며, 노출된 화원 특성에 기인한 미세물분무 입자의 침투가 원활이 이루어져 빠른 소화 특성을 나타내었다.

5) 액면화재 특성도 포함하고 있는 흐름화재(No.5 시나리오)의 경우, 화염의 소화는 연료 고임이 발생하는 하부 연소 팬에서 소화가 먼저 이루어졌고 차례로 연료 흐름판 하부에서 상부로의 소화 현상이 나타났다. 즉, 고여 있는 연료에서 소화효과가 먼저 나타나면서, 연료공급이 지속적으로 이루어지는 연료 흐름판으로 소화현상이 전이되는 것으로 나타났다.

참고문헌

1) Mawhinney, J.R., B.Z. Dlugogorski and A.K. Kim, "A Closer Look at the Fire Extinguishing Properties of Water Mist", Fire Safety Science Proceedings of Fourth International Symposium, pp. 47~60, 1994.
2) Liu, Z.G., A.K. Kim and J.Z. Su, "Examination of Performance of Water Mist Fire Suppression Systems under Ventilation Conditions", J of Fire Prot. Eng., Vol. 11, No. 3, pp. 164~193, 2001.
3) Liu, Z.G., A.K. Kim, D.W. Carpenter and P.L. Yen, "Extinguishment of Liquid Fuel Fires by Local Application of Water Mist", The Combustion Institute/ Canada Section, 2001 Spring Technical Meeting, 13-16, pp. 21.1~21.4., 2001.
4) 최병일, 한용식, 김명배, "변전소 주 변압기실 미

분무수 소화시스템 성능평가를 위한 화재시나리오", 한국화재소방학회지, 제19권, 제3호, pp. 52~57, 2005.
5) P. Andersson and G. Holmstedt, "Limitations of Water Mist as a Total Flooding Agent", J. of Fire Prot. Engr., Vol. 9, No. 4, pp. 31~50, 1999.
6) B. Yao, F. Weicheng and Guangxuan Liao, "Interaction of Water Mists with a Diffusion Flame in a Confined Space", Fire Safety J., Vol. 33, No. 2, pp. 129~139, 1999.
7) J.R. Mawhinney and S. Robert, "Water Mist Fire Suppression Systems", NFPA Handbook. 2nd Ed. Sec. 6 Cha. 15, pp. 216~248, 1997.
8) Mawhinney, J.R., and S. Robert, "Water Mist Fire Suppression Systems", NFPA Handbook. 2nd Ed. Sec. 6 Cha. 15, pp. 216~248, 1997.