

Foam을 혼합한 Water Mist의 소화성능 향상 방안에 관한 연구

황원준, 오규형

호서대학교 소방방재학과

A Study on the betterment of Fire Extinguishing Performance of Water Mist With Foam

Won-jun Hwang*, kyu-hyung Oh

Dept. Of Fire & Disaster Protection Engineering of Hoseo University

*Dept. Of Fire & Disaster Protection Engineering Graduate School of Hoseo
University

I. 서론

우리나라의 경우 화재 통계상 방재분야에 비교적 선진국인 독일, 미국, 일본, 호주 등에 비교하여 연간 발생하는 화재의 건수는 작으나 그로 인한 인명의 피해는 많다. 이러한 화재 발생은 대부분 화재안전관리의 부족이나 설비적 결함에 의해 발생하며, 화재발생시 신속한 진압이 어려워 인명 및 재산상의 막대한 손실을 가져다준다. 특히 산업현장에서의 경우 직접적인 재산손실 뿐만 아니라 복구비용 및 대외 이미지 실추 등 부가적인 손실비용은 천문학적이라고 할 수 있다. 이에 따라 화재의 신속한 진압을 위하여 새로운 소화약제 및 소화시스템에 관한 지속적인 연구 개발이 필요하다.

최근 물의 냉각효과와 경제성이 뛰어난 장점을 증대시키고 2차적인 수손피해를 초래하는 부작용을 줄이기 위해 개발되는 water mist 소화시스템에 관한 많은 연구가 이루어지고 있다.

따라서 본 연구에서는 Mist 주수에 의한 소화성능에 관한 연구로서 71m³의 방호체적에서 B급 0.5단위, 1단위, 2단위 Pool fire를 대상으로 포소화약제를 첨가하여 소화효과의 성능향상을 확인하고 최적의 설치 방안에 대하여 연구하는데 그 목적이 있다.

II. 실험장치 및 방법

본 실험에서는 미분무 노즐을 이용하여 B급 Pool fire의 소화특성에 대한 실험과 F계열

계면활성제를 주성분으로 한 AFFF 소화약제를 첨가한 경우의 소화효과에 대하여 실험을 하였다. Fig.1은 본 실험장치에 대한 개략도이다. 실험실의 외벽은 석면이 내부에 있는 판넬을 사용하였으며 실내부의 체적은 71m³이다. 수원의 공급 고압 전용Pump를 사용하였으며, 조작 Switch, 압력조절용 Regulator가 있으며 Nozzle 연결에 사용한 배관구경은 3/8" SUS Tube를 사용하였다.

화염면의 크기에 따라 실험실 내부의 온도와 화염의 온도, 그리고 시간에 따른 연료와 수온의 온도, 배기구의 온도의 변화를 알아보기 위하여 9개의 Thermocouple를 설치하였다.

방사높이에 따른 소화특성을 연구하기 위하여 미분무 Head를 4m, 3.5m, 3m로 조절할 수 있는 3개의 Adapter를 사용하였다. 화원의 크기에 따른 소화특성 실험을 위하여 B급 0.5단위, 1단위, 2단위의 연소Pan을 사용하였다.

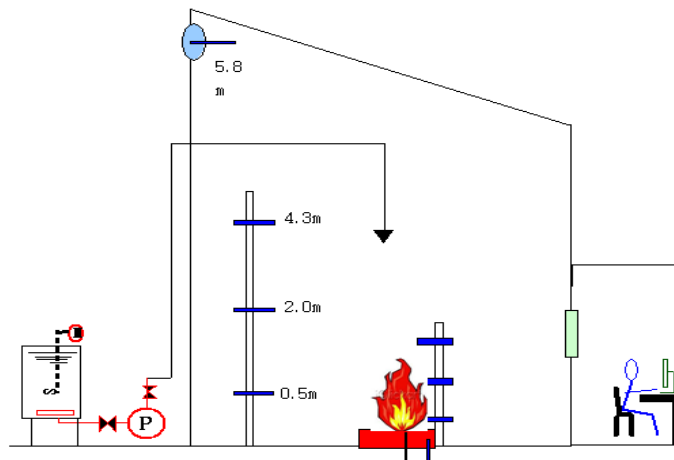


Fig.1. Schematic diagram of experimental setup

각 미분무 Head의 유량을 측정하기 위하여 Gun Type의 Tool을 만들어 측정하였다. 그 외에 실험장비는 약제혼합용 교반기, 점화봉, 유량 측정을 위한 전자저울 및 데이터를 기록을 위한 데이터기록계와 노트북으로 구성하였다.

1. 실험재료

미분무 Head는 미분무 입자 크기와 방사량이 각기 다른 3Type의 노즐을 사용하였으며, 각 특성은 Table 1.과 같다.

B급 유류화재의 연료로는 n-Heptane을 사용하였으며, 유면과 방사 입자와의 접촉각을 확대하여 유면으로의 침투에 대한 소화 특성실험을 위하여 AFFF 소화약제를 사용하였고 그 물성은 Table 2.와 같다.

Table 1. Water mist nozzle data

구 분	AType	BType	CType
NozzleType	MultiOriffice	Swirl	MultiOriffice
K-factor	0.64	2.7	2
Flowrate	6.4L/min/bar ^{1/2}	27L/min/bar ^{1/2}	24L/min/bar ^{1/2}
Operating Pressure(bar)	100~110	100~110	100~110
SprayAngle(°)	70	60	75
Fluidtype	Single Fluid		
Thread type	3/8"BSP		

Table 2. Mechanical data AFFF(3%)

사용농도	비중(20℃)	점도(20℃)	보관온도	pH(20℃)	유동점	색
3%	1.035	5.5cst	-10~30℃	8	-18℃	담홍색

2. 실험방법

미분무의 방사높이와 화염면의 특성에 따른 화재진압 실험과 Head의 중심거리로부터 화염면 이동에 따른 최적화실험, 포소화약제 혼합시 소화특성 및 최적화 실험을 나누어 실시하였다. 공기공급은 밀폐와 개방(출입문 개방) 두 조건으로하여 실험하였다.

2.1 소화 실험

화재의 진압실험은 입자와 방사량이 다른 3개 Type의 Head를 사용하여 0.5단위, 1단위, 2단위의 화염면 크기에 따라 실험하였다.

- 가) 화염면의 크기가 0.5단위, 1단위의 경우에는 화염온도가 최고 온도의 도달된 상태에서 소화시험을 하기 위해 점화 후 60sec에 방사를 실시하였다. 화염면이 큰 2단위 실험에서는 50sec 후에 방사를 실시하였다.
- 나) 방사 후 소화시간은 Thermocouple(온도)를 통해 측정한다.
- 다) 측정이 완료되면 방사를 약 60sec간 실시하여 실내의 온도를 냉각시킨 후 실험실 내부의 조건을 동일하게 하기위하여 20분 후에 재실험을 실시하였다. 재실험 전에는 연소Pan에 있는 물과 연료의 양을 Jig를 이용하여 초기화시켰다.
- 라) 화면으로부터 4m 상부의 방사실험이 종료되면 Adapter를 이용하여 높이를 변화시켜 (3.5m, 3m) 반복 실험하였다.

2.2 최적화 실험

미분무 Head를 4m, 3.5m, 3m로 상하로 조정하고 연소 Pan을 Head중심으로부터 0.5m, 1m를 이동하면서 최적화 실험을 하였다. 최적화 실험의 특징은 반복성과 재현성이 가능할 경우에 적용할 수 있다. B급 유류화재 1단위에 대하여만 실험을 하였다.

- 가) A Type의 Head를 각 4m, 3.5m, 3m에 고정시키고 방사 실험을 하였다. B와 C Type의 Head를 번갈아가면서 동일 실험을 하였다.

- 나) 연소Pan을 중심으로부터 0.5m 이동하여 반복실험을 하였다.
- 다) 0.5m 실험이 종료 후 연소Pan을 중심에서 1m 이동하여 반복 실험을 하였다.
- 라) 연료양과 실험실내 온도냉각, 측정대기시간은 진압실험과 동일하게 실시한다.

2.3 포소화 약제를 혼합한 소화 특성실험

포소화 약제를 혼합한 미분무의 입자가 작은 Head(50~130 μ m)와 입자가 큰 Head(150~180 μ m)와의 특성차이를 위한 화재진압 및 최적화 실험을 하였다.

- 가) 물 탱크 상부에 설치한 Stirrer를 이용하여 3%의 포수용액을 만들었다.
- 나) 교반이 완료되면 위와 같은 방법으로 소화실험을 실시하였다.
- 다) 연료의 양과 실험실 내의 온도냉각 및 온도측정 대기시간은 위의 실험과 동일하게 실시한다.

III 실험결과 및 고찰

본 연구에서 온도에 관련된 모든 Data는 Computer에 의해 자동 제어되는 Data Log를사용하였다. 입자의 크기와 방사량이 각기 다른 Head의 높이를 4m, 3.5m, 3m로 변화시켰고 화염면의 크기는 0.5단위,1단위, 2단위로 변화를 주었다.화염은 Head의 중심에 위치하여 측정된 화재 진압의 특성을 Table 3.에 나타내었다. Table3.에서는 미분무 Head의 높이가 화염면과 가까울수록 화재가 빨리 진압된다는 것을 알 수 있으며, Fig.2. ~ Fig.4.까지는 높이와 화염면의 크기에 따른 각 Type별 화재 진압시 온도의 변화를 나타내었다.

Table 3. Fire extinguishing data according to height and unit

Head 높이	중심거리	화재단위	Head Type	소화시간(sec)	
				개방계	밀폐계
4m	0m	0.5단위	A	32	34
			B	17	33
			C	34	91
3.5m	0m	1단위	A	44	50
			B	35	38
			C	9	10
3m	0m	2단위	A	27	25
			B	11	15
			C	10	10

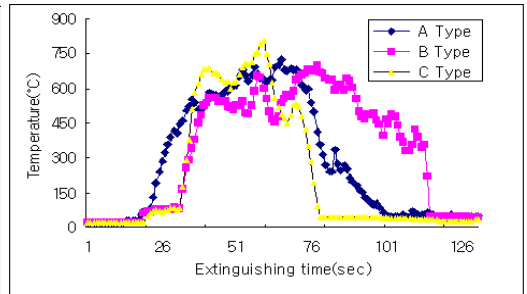
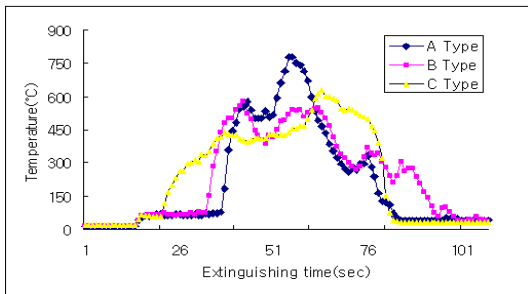


Fig.2. Fire extinguishing time according to head type
(head height:4m, fire size:0.5unit)

Fig.3. Fire extinguishing time according to head type
(head height:3.5m, fire size:1unit)

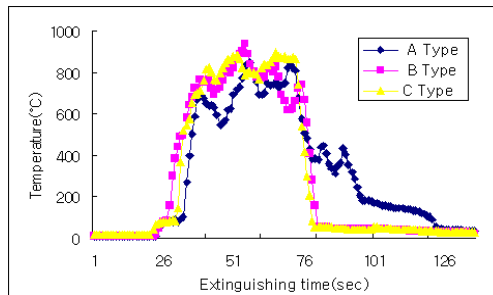


Fig.4. Fire extinguishing time according to head type
(head height:3m, fire size:2unit)

Table 4. Fire extinguishing data according to distance(중심, 0.5m, 1m)

Head 높이	중심거리	화재단위	Head Type	소화시간(sec)	
				개방계	밀폐계
4m	0m	1단위	A	50	53
			B	42	40
			C	21	24
3.5m		1단위	A	44	50
			B	35	38
			C	9	10
3m		1단위	A	22	34
			B	18	26
			C	9	9
4m	0.5m	1단위	A	273	91
			B	147	64
			C	26	16
3.5m		1단위	A	51	63
			B	97	34
			C	9	26
3m		1단위	A	15	22
			B	38	28
			C	6	14

4m	1m	1단위	A	119	93
			B	254	146
			C	86	149
3.5m		1단위	A	101	71
			B	45	32
			C	106	31
3m		1단위	A	283	250
			B	110	29
			C	91	36

Table 4.에서는 각 Type의 Head를 이용하여 1단위 화염을 중심으로부터 0.5m, 1m씩이동시켰을때의 소화 특성을 나타내었다. 동일한 크기의 화염이 Head중심으로부터 멀어질수록 소화시간이 길어진다는 것을 알 수 있다.

Fig.5.는 각 Head높이, 중심으로부터 거리,입자의 크기,개.폐 4개의 인자들에 대하여 ANOVA Tool을 사용하여 분산 분석하였다. 1차 분석시 P값이 0.05보다 큰것은 최적화에 유의하지 않은 인자를 Pooling한 후 유의 인자에 대하여만 재분석하였다. P값은 해당되는 효과의 유의성 여부를 판정하기 위한 가설 검정의 통계량으로 사용되며 P값은 귀무가설 즉 "효과가 없다"를 기각하는 최소 유의 확률을 의미한다. 최적화에 영향을 미치는 것은 P값이 0에 가까울수록 크게 미친다. 화재진압에 영향을 미치는 순서는 중심으로부터의 거리, 입자의 크기, Head의 높이 순이었고 실험실 내부의 개.폐 여부는 큰 영향을 미치지 못함을 알 수 있었다.

분산분석은 척도로 측정된 독립변수와 등간 또는 비율척도로 측정된 종속변수 사이와 관계를 연구하는 통계기법으로 둘 이상의 집단들 간에 어떤 변수의 평균 점수에 차이가 있는지를 검정하는 것이다. 둘 이상의 독립변수들을 함께 고려 했을때 이들이 종속변수에 미치는 효과를 분석하는 이원 분산분석으로 분류할 수 있다.

Fig.6은 각각의 인자들에 대한 교호작용(Interaction)을 나타낸 것으로 인자간의 교호작용은 없음을 알 수 있다. 교호작용은 어떤 인자의 주효과 이외에 우리의 관심의 대상이 되는 효과를 말한다.

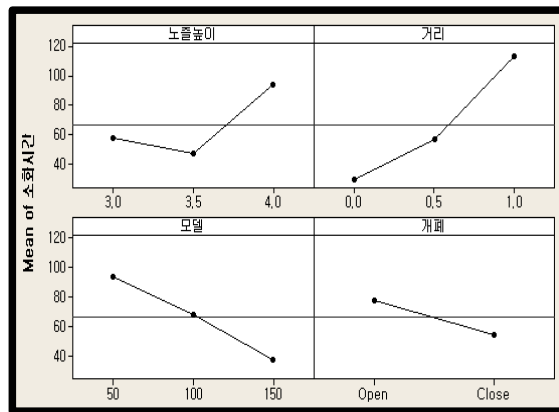


Fig.5 Main effect plot(data means)for extinguishing time

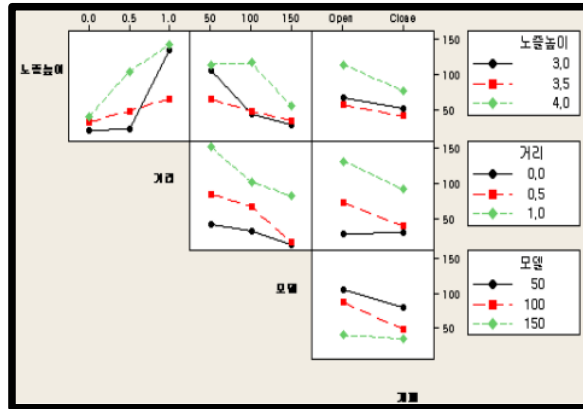


Fig.6 Interaction plot(data means)for extinguishing time

Table 5.에서는 1단위와 2단위의 화염을 Head의 중심에 위치하여 Head의 높이에 따른 화재진압의 특성을 나타내었다. 물과 F계열 AFFF 약제를 혼합 사용하여 소화에 걸리는 시간에 대한 결과를 나타내었다.

미분무 Head의 높이가 화염면과 가까울수록 화재가 빨리 진압된다는 것을 알 수 있다. Table 5에서 수성막포인 AFFF 약제를 혼합한 미분무가 순수 물을 사용할 때보다 진압 효과와 있다는 것을 알 수 있다. Head 고유의 방사각(75°)으로 분사시 진압효과를 높이기 위해서는 3.5m가 최적의 높이임을 알 수 있었다.

Table5. Fire extinguishing data according to height

Head 높이	중심거리	화재단위	Head Type	소화시간(sec)			
				Water(개/.폐)		AFFF(개/.폐)	
4m	0m	1단위	C (1.58)	108	167	75	153
		2단위		210	112	170	103
3.5m		1단위		실패	실패	58	127
		2단위		150	77	60	52
3m		1단위		89	125	63	120
		2단위		실패	110	208	102

Fig.7 ~ Fig.9까지는 1단위에서 미분무 헤드의 높이에 따른 소화시 온도의 변화이다.

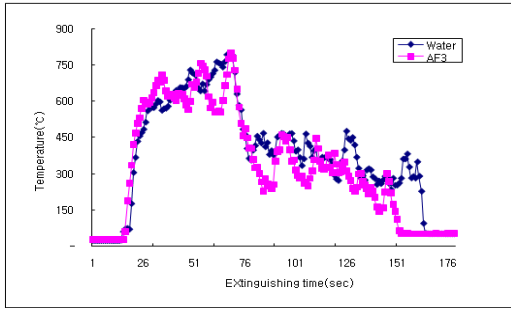


Fig.7 Temperature profile above fuel pan according to water & AFFF (head high : 4m)

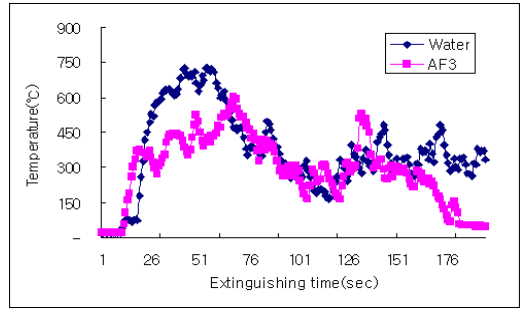


Fig.8 Temperature profile above fuel pan according to water & AFFF (head high : 3.5m)

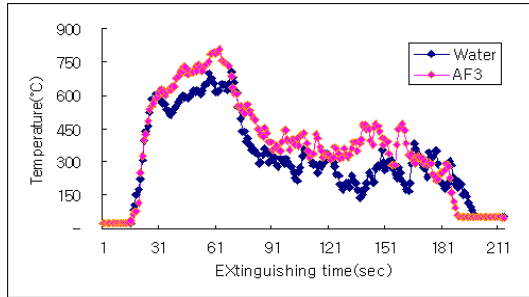


Fig.9 Temperature profile above fuel pan according to water & AFFF (head high : 3m)

Fig.8은 Head위 높이가 4m에서의 화염의 온도를 나타냈다.AFFF를 혼합한 소화약제가 일반물을 사용할 때보다 14초 빠르게 소화되었다. 혼합약제를 사용할때에는 화현상이 화염이 사그러들듯이 소화되는 현상을 보였으나 물만 사용할 때는 소화직전 화염이 비산되는 현상을 보였다. Fig.9는 Head위 높이가 3.5m에서 방사하여 소화할때 화염의 온도를 나타냈다. 특징적인 것은 일반 물을 사용할 때에는 소화시간이 5분이 넘어 소화에 실패를 하였다. 화염의 지속적인 와류현상을 동반하며 잘 소화되지 않았다. Fig.9는 Head위 높이가 3m로 낮은 위치에서 방사시에는 혼합약제의 소화가 약간 빠르게 소화됨을 보였으나 4m와 3.5m 보다는 차이가 적었다.

IV 결론

- 1) 동일한 크기의 화염이 Head중심으로부터 멀어질수록 소화시간이 길어진다는 것을 알 수 있다.1개의 Head가 방호할수 있는 면적 초과시에는 소화효과가 현저히 떨어지므로 Water mist 설계시에는 Head의 특성에 따라 조금씩 다를 수는 있지만 실험검증 후 설

치를 해야 한다.

- 2) 미분무 Head의 높이가 화염면과 가까울수록 화재가 빨리 진압되나 Head 고유의 방사각(75℃)에 따라 소화 효과를 높이기 위해서는 최적 조건의 도출이 필수적이다.
- 3) AFFF 3% 약제를 혼합 수용액이 순수 물을 사용할 때보다 소화 효과가 우수함을 알 수 있다. 향후에도 Water mist 설비에 적용 가능한 혼합약제 개발 및 Head의 연구가 지속적으로 이루어져야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 행정자치부, 2001 소방행정자료 및 통계, 행정자치부 소방국, 2001
2. NFPA 750, Standard on Water Mist Fire Protection Systems, pp.1-14(2007)
3. 한완수, “계면활성제를 첨가한 물소화제의 특성에 관한 연구”
4. 이경덕, 김성원 공저, “주변압기실 화재 시나리오에 적용한 미세물분무 노즐의 화재 소화성능”, pp.4-6 (2006)
5. 배강열, “미분무수 소화특성 예측을 위한 CFD기법적용”(2007)