B-07

FDS를 이용한 교번식 미분무방식의 소화 성능 분석

Analysis for fire suppression efficiency of intermittent water spray pattern with FDS

지문학* · 이병곤**
Jee, Moon Hak · Lee, Byung Kon

Abstract

Water mist fire suppression system utilizes the fire suppression features such as cooling of fire source, dilution of ambient oxygen, and shielding of radiation heat with the evaporation of microscopic water droplets. The momentum of water mist is relatively low and the infiltration of water mist to the fire source is not effective. In addition to lower penetration force, the evaporated water vapor is liable to decline to limited portion of fire source due to its light weight and sparse density. On the other hand, the cycling water mist system is expected to improve the penetration force of water mist as well as the dilution coverage capability with the stratified spray characteristics. At this paper we present the analyzed fire suppression capability of intermittent water spray pattern by use of FDS which is computational fire dynamics fire model. We expect this analysis shall be supportive to the development of the prototype of water mist nozzle.

key words : water mist, FDS, intermittent water spray

1. 서 론

몬트리올 프로토콜 국제협약에 의해 우리나라의 경우 할론 소화약제 생산이 2010부터 금지되며 재고물량 또한 충분치 못한 실정이다. 할론을 대신한 소화약제로서 사람이 상주하지 않는 밀폐공간에는 이산화탄소를 사용할 수 있으며 사람이 상주하는 장소에는 청정소화약제를 적용할 수 있다. 반면, 이들 소화약제는 일회성 소화의 특성을 갖거나 다량의 보충약제를 구비하지 않는 한 재발화의 위험을 피할 수 없다. 최근 개발된 청정약제는 구입과 유지 비용이 높으며 오존층 파괴와 지구온난화의 영향으로부터 완전하지 못하다. 이와 같은 상황에 따라 최근 국내외에서 최신기술을 이용하여 저가이며 재발화에 효과가 있으며 환경에 영향이 없는 수계소화설비를 개발하기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

화재시 주요한 소화효과는 화원 냉각, 복사열 차단, 산소 희석이나 질식, 연쇄반응 차단을 들 수 있으며 대표적 수계소화설비인 스프링클러설비 또는 물분무설비는 주로 냉각과 복사열 차단의 소화효과를 이용한다. 해외에서 개발되어 실용화 단계인 미분무소화설비는 NFPA-750에 의하여 기술기준이 마련되었으며 전기 및 제어설비에 적용성이 있으며 특히 선박에는 필수 소화설비로 설치되어야 한다. 최근 미분무소화설비는 노즐과 설비를 개선하여 항공기, 우주선, 수소생산설비 등 특별한 용도로 활용하기 위한 연구에 박차를 가하고 있다. 미분무소화설비의 중요한 연구 분야는 냉각에 의한 소화, 미세 물방울의 기화에 의한 산소희석, 복사열 차단에 대한 기본 소화성능뿐만 아니라 소화수의 공급량과 소화효과에 대한 최적의 적용기법을 개발하는 것이다. 이의 한 분야로서 캐나다 국립화재연구원(NRC)은 미분무 노즐의 연속분사 (continuous spray)와 변동분사 (cycling spray)에 대한 화재 실물시험을 실시하고 그 결과를 1999년 소방기술지에 발표하였다. 그것에 따르면 대부분의 실험에서 변동분사의 경우 연속분사에 비하여 소화시간이 단축되고 소화수의 공급량이 낮은 상태에서도 성공적으로 화재를 진압하는 결과를 제시하였다. 이에 따라 본 논문에서는 유류화재에 대한

연속분사와 교번분사에 의한 소화효과를 미국립표준연구원에서 개발한 전산유체역학 화재모델인 FDS를 이용하여 소화시간과 소화수량을 분석한 결과를 제시하였다.

2. 연구범위 및 제한사항

최근 개발된 전산유체역학 화재모델은 과거에 비하여 정량적 화재리스크를 혁신적으로 상세 평가하고 있으나 미분무의 수력학적 거동과 열적 특성은 많은 불확실성을 포함하고 있다. 본 연구에서 입력파일은 미국 Thunderhead사에서 개발한 FDS 전용 PyroSim을 사용하였고 프로그램 해석은 FDS를 사용하였다. 미분무수의 입자와 분포는 PyroSim의 입력 테이블에서 Rosin-Rammler 식을 이용하여 평균 100 마이크로미터의 직경과 감마 분포값을 2.4로 지정하였다. 한편, 최신 버전의 FDS에서 이들 값에 대한 명료한 해석과 계산이 이루어지지 않을 경우 미분무노즐은 물분무노즐과 유사한 거동을 갖게 되므로 실용화 과정에서 이에 대한 추가적인 해석이 필요하다. 반면, 본 연구결과에서 제시한 연속분무와 교번분무에 의한 소화시간 및 필요한 소화수량은 캐나다 국립화재연구원의 실증시험 결과를 참고할 때 타당한 것으로 판단된다.

2.1 기본조건

본 논문에서 화재구역은 공기 유입이 자유로운 자연환기방식 화재공간으로 유류화재를 기준하였다. 화재의 크기는 온도함수의 성장곡선 (t-square fast fire)을 갖는 3,516 kW이며 시뮬레이션 시간은 260초를 기준하였다. 화재 시나리오는 9개의 경우를 가정하였으며 이들에 대한 조건과 가정사항은 아래 표와 같다.

표1. 화재실조건 및 입력사항

화재조건	구 분	비 고
화재실 규격	6.0 x 6.0 x 4.0 [m]	콘크리트 벽체 기준
화원 규격	1.4 x 1.4 = 1.96 [m^2]	바닥에서 0.1m 상부 위치
개구부 규격	좌측 및 우측 : 0.4 x 0.4 = 0.16 [m^2]	바닥에서 1.0m 및 3.0m 에 위치
열발생율 기준	3,516 [kW]	절연유 연소율, 발열량 기준
화재성장율	fast t-square fire	tan_Q=-98 기준
화재지속시간	260 [sec]	10 Kg 가연물 완전연소 기준
노즐 위치 (총수량 : 5)	중앙 및 동서남북 방향에 각각 설치	노즐 orientation은 화원 방향
노즐 유량 조건	1) case 1, 2, 3 : 60 lpm/노즐 2) case 4, 5, 6 : 30 lpm/노즐 3) case 7, 8, 9 : 10 lpm/노즐	case별 연속 또는 교번분사

표2. 케이스별 노즐분무 형태

노즐 위치	case-1, case-4, case-7	case-2, case-5, case-8	case-3, case-6, case-9
#1 (중앙노즐)	30초 이후 연속분사	30초 이후 연속분사	30초 이후 연속분사
#2 (동측노즐)	30초 이후 연속분사	5초 간격 교번분사	5초 엇갈린 교번분사
#3 (서측노즐)	30초 이후 연속분사	5초 간격 교번분사	5초 엇갈린 교번분사
#4 (남측노즐)	30초 이후 연속분사	5초 간격 교번분사	5초 엇갈린 교번분사
#5 (북측노즐)	30초 이후 연속분사	5초 간격 교번분사	5초 엇갈린 교번분사

2.2 화재모델 분석

미분무노즐의 분무 형태에 따른 소화성능은 FDS(Version 5.1.3)을 사용하여 분석하였다. 주요 분석사항은 미분무노즐이 동작한 시간부터 열발생율이 0이 되는 시간까지를 화재진압시간으로 계산하였으며 실내의 대표적 위치에 대한 온도와 복사열을 확인하기 위하여 화원 직상부에 설치된 목표대상물의 표면온도와 열속을 측정하였다. 분석결과 노즐 유량이 60 lpm인 case 1,2,3의 경우 화재진압시간은 약 83초, 노즐유량이 30 lpm인 case 4,5,6의 경우 약 85초, 그리고 노즐유량이 10 lpm인 case 7,8,9의 경우 약 99초가 소요되었다. 또한 화재진압시간은 연속분사의 경우 교번분사에 비하여 약 7~9초 단축되었으나 평균분사 유량을 고려할 때 교번분사의 효과가 매우 높은 것으로 분석되었다. 한편, 분사유량이 감소하였음에도 불구하고 모든 시나리오에서 화재는 진압되었으며 목표대상물의 표면온도와 열속은 분사유량이 감소할 경우 증가하는 양상을 보였다.

각 시나리오별 목표대상물에 대한 온도분포는 노즐유량이 감소할 경우 시간에 따라 증가하는 모습을 보였으며 분사 교번유량 10 lpm인 case 8에서 125.1 ℃의 최고온도와 19.8 kW/m^{2}의 최대열속을 보였다. 이와 같은 현상은 교번분사에 따른 실내공기가 유동되고 화염이 심하게 흔들림에 따라 국부적으로 열속이 높게 나타난 것으로 판단된다. 한편 해당 시나리오의 결과 파일에서 온도와 열속의 분포를 확인한 결과 이와 같은 국부적인 온도와 열속상승은 매우 짧은 시간 변화한 것으로 관측되었다. 아래의 표 3은 각 시나리오의 평균유량과 화재 진압시간을 보이고 있으며 그림 1과 그림 2는 목표대상물의 표면온도와 열속에 대한 비교상태를 나타내고 있다.

표3. 화재시나리오별 소화특성

시나리오	case-1	case-2	case-3	case-4	case-5	case-6	case-7	case-8	case-9
노즐당 유량 [lpm]	60	60	60	30	30	30	10	10	10
분사형태 : 노즐갯수	연속:5	-연속:1 -교번:4	-연속:1 -교번:4	연속:5	-연속:1 -교번:4	-연속:1 -교번:4	연속:5	-연속:1 -교번:4	-연속:1 -교번:4
실내평균분사량 [lpm/m^2]	8.33	5.0	5.0	4.17	2.5	2.5	1.38	0.83	0.83
화재진압시간 [sec]	74.5	81.8	82.8	76.1	84.9	82.5	92.5	99.2	96.4
목표대상물 최대온도[℃]	38.8	46.9	42.4	44.6	52.2	58.7	70.5	125.1	94.5
목표대상물 최대열속[kW/m^2]	1.8	4.0	2.1	3.4	3.3	7.2	7.5	19.8	11.5

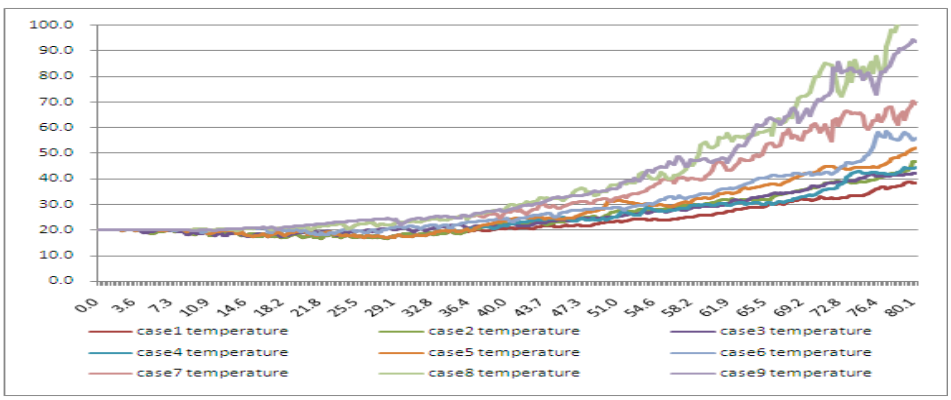

그림 1. 각 시나리오별 온도 분포 곡선 (시간[sec]-온도(℃))

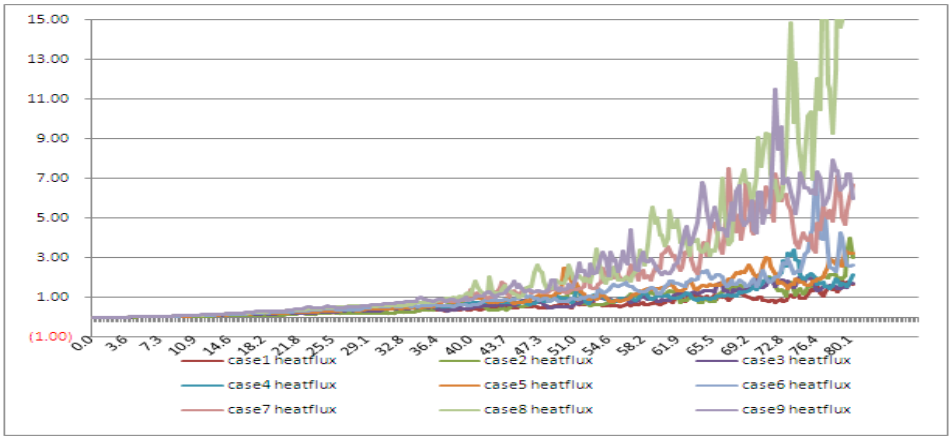

그림 2. 각 시나리오별 열속 분포 곡선 (시간[sec]-열속[kW/m^2])

3. 결 론

화재모델을 이용하여 교번식 미분무노즐의 소화특성을 검토한 결과 캐나다 국립화재연구원에서 발표한 화재 실증시험의 내용과 유사하게 화재 진압시간 및 소화수량이 감소하였다. 이런 결과를 바탕으로 미분무노즐의 열적특성을 개선하여 교번 분사방식을 개발할 경우 기존 방식과 비교하여 화재 진압효과가 매우 클 것으로 기대된다. 교번 분사방식은 또한 소화수의 감소로 화재 공간의 열적 오염을 줄일 수 있을 뿐만 아니라 화원 주변에 수증기 기류를 여러 층으로 형성함으로서 화원 주변의 산소를 배출하고 희석하는 결과를 유발함으로서 소화효과를 더욱 높이게 될 것이다.

한편, 전산유체역학적 화재모델을 이용한 최신의 정량적 화재위험기술은 아직까지 여러 가지 적용상 제한사항이 있으며 열역학적 거동과 수치역학적 해석을 명확히 반영하지 못한 부분이 있다. 특히 미분무소화방식의 경우 노즐 출구의 유동 특성으로 인한 운동량 저하, 심부화재의 접근성 결여, 고도의 수처리설비, 전기적 절연성 확보 등 여러 가지 난제들이 있다. 이러한 문제점들은 화재 실증시험을 통한 종합적 화재역학 해석을 필요로 하며 화재모델과 경험식을 이용하여 일반화된 실용기술이 개발될 때 미분무 소화설비는 보다 광범위하게 적용될 것으로 예상된다.

참고문헌

1. Zhigang Liu, Andrew K. Kim, and Joseph Z. Su (1999), "Examination of the extinguishment performance of a water mist system using continuous and cycling discharges"
2. NIST (2007), "FDS (Fire Dynamics Simulator) User's Guide and Technical Guide"
3. NIST (2007), "Smokeview User's Guide"
4. Thunderhead Engineering (2007), "Pyrosim User Manual"
5. NFPA 750 (2006), "Standard on water mist fire protection systems"
6. Fire Protection Handbook (18th edition), "Section 6/Chapter 15, Water mist fire suppression systems"
7. SFPE Handbook (3rd edition). "Section 4/Chapter 14, Water mist fire suppression systems"