

미분무수 분사의 제연효과

박태성 · 공하성 · 김명철[†]

경일대학교 소방방재학과

Smoke Removal Effect by Water Mist Spraying

Tae-Sung Park · Ha-Sung Kong · Myung-Chul Kim[†]

Department of Fire Safety, Kyungil University

(Received April 28, 2015; Revised May 28, 2015; Accepted May 28, 2015)

요 약

구획된 소규모 공간내부에 각 경우별로 서로 다른 두 종류의 가연물로부터 발생된 연기(smoke)를 채운 후 미분무 헤더를 통해 분사압력과 분사시간을 서로 달리하면서 미분무를 분사하였으며, 이후 시간경과에 따른 광소멸상수의 변화 값을 측정하였다. 미분무가 구획된 공간내부에서 분사될 경우 각각의 실험조건에 따른 연기제거효과의 패턴과 차이점은 감광식 연기농도계를 통해 고찰하였다. 실험에 이용된 감광식 연기농도계를 통해 시간변화에 따른 연기밀도의 변화값을 직류전압(DC voltage)의 변화값으로 확보할 수 있었으며, 이를 통해서 광소멸상수의 변화를 알 수 있었다. 훈소(glowing)에서 발생한 연기가 불꽃연소(flaming combustion)에서 발생한 연기보다 연기의 제거효과가 컸으며, 분사압력이 높을수록, 분사시간이 길수록 연기제거효과는 크게 나타났다.

ABSTRACT

Water mist was sprayed on small compartment areas filled with smoke that formed from two different combustibles. The water-mist injection pressure and time were varied, and changes in the light extinction coefficient were measured over time. The smoke removal effect was analyzed with a light sensing smoke meter in different experimental conditions. Using the meter, the changes in smoke density were converted to changes in DC voltage over time to obtain the changes in the light extinction coefficient. The water mist was more effective in eliminating the smoke formed from glowing compared to flaming combustion. The smoke removal effect was significantly better with greater injection pressure and injection time.

Keywords : Smoke removal, Water mistm, Ligt extinction coefficient

1. 서 론

최근 지구환경보호차원에서 할론 소화약제의 대체물로서 미분무(water mist)의 사용이 부각되고 있다. 이러한 관심은 소형 화재시험으로부터 폭넓은 분야로의 응용에 이르기까지 다양한 연구로 나타나고 있다.

물방울 크기, 방사분포, 유량밀도 및 방사운동량 등에 의해 결정되는 미분무의 특성⁽¹⁾은 소화작용뿐만 아니라 연소생성물인 연기의 제거 및 확산을 제한하는 효과⁽²⁾가 있음이 알려져 있다.

미분무수가 가지는 큰 표면적은 물의 냉각소화작용을 극대화할 뿐만 아니라 연기입자와의 접촉을 통해 제연효과를 나타낸다고 Rosanderand 등⁽³⁾은 보고한 바 있다.

미분무수는 화재안전기준(NFSC 104A)에서 “미분무란

물만을 사용하여 소화하는 방식으로 최소설계압력에서 헤드로부터 방출되는 물입자 중 99%의 누적체적분포가 400 μm 이하로 분무되고 A, B, C급 화재에 적용성을 갖는 것을 말한다”라고 정의⁽⁴⁾하고 있다.

또한 NFPA 750에서는 미분무 노즐의 최소설계작동 압력에서 $Dv_{0.99} = 1000 \mu m$ 로 미분무수를 정의⁽⁵⁾하고 있다.

본 연구에서는 미분무의 특성분석과 함께 헤드에서 분사되는 미분무의 연기입자 제거효과를 정량적으로 분석함으로써, 미분무소화설비의 소화적용성을 고찰하고자 한다.

2. 실 험

2.1 실험기구

미분무의 연기입자 제거효과를 파악하기 위해 구성된

[†]Corresponding Author, E-Mail: mckim@kiu.ac.kr
TEL: +82-53-600-5404, FAX: +82-53-600-5419

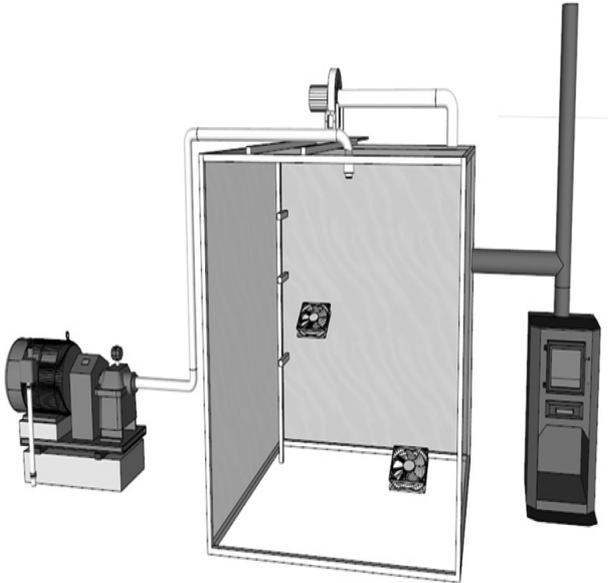


Figure 1. Scheme of chamber equipped smoke generator and water mist.

발연장치 및 급수장치의 구성도는 Figure 1과 같다. 실험장치는 세부적으로, 구획공간에 해당하는 시험실과 연기발생장치 및 배연설비, 연기농도계측시스템, 급수장치, 미분무헤드, 영상촬영설비, 기타시설로 구성된다.

실험장치를 구성하는 각 부분의 특징은 다음과 같다.

2.1.1 미분무 제연장치(시험실)

재질은 연기의 집진상태, 미분무의 분사상태 등을 시각적으로 확인가능토록 아크릴재질로 제작되었다. 그 크기는 가로 1.7 m, 세로 1.7 m, 높이 1.6 m로 제작하였으며 내부의 출입이 가능토록 가로 0.5 m, 세로 0.5 m의 출입문을

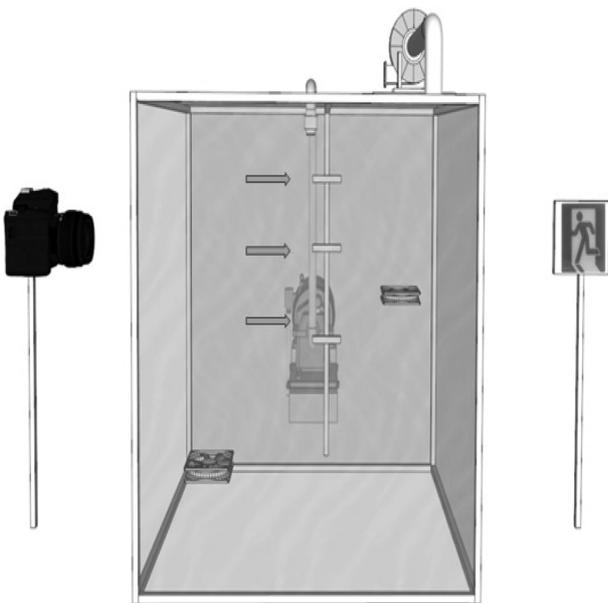


Figure 2. Schematic depiction of test room.

설치하였다. 또한 내부의 연기밀도와 온도를 측정하기 위하여 Figure 2와 같이 상, 중, 하부에 감광식 연기농도계의 검출부와 열전대를 설치하였으며, 내부연기 혼합을 위하여 내부순환식 팬(fan)과 상부에 미분무헤드, 연기배출설비를 설치하였다.

또한, 미분무 제연장치 내부의 가시도를 평가하기 위한 영상촬영을 위하여 외부의 앞, 뒷면에 카메라와 발광식 유도등을 설치하였다.

2.1.2 발연장치

종이와 폴리에틸렌 연소에 의한 연기발생이 가능하게 하였으며, 발생연기를 시험실까지 유도하기 위하여 함석재질의 원통형 연도(125 mm)를 설치하였다. 또한 시험실에서 연기의 농도가 설정된 값에 도달했을 때 연기를 차단하기 위한 댐퍼도 설치하였다.

2.1.3 감광식 연기농도계

발광부와 수광부사이에 연기가 존재할 경우 광량의 증감에 따른 전압치의 변화로 나타낼 수 있는 검출부를 시험실 내부에 설치(위치 1 = 시험실 천정에서 400 mm 하부, 위치 2 = 시험실 천정에서 700 mm 하부, 위치 3 = 시험실 천정에서 1100 mm 하부)하였다.

또한 연기농도 측정에서의 오차를 줄이기 위한 방법은 기존 연구⁶⁾를 참고로 하여, 광도 측정에서의 노이즈제거 및 먼분을 이용한 렌즈세척 등을 매 측정 시 시행하였다.

2.1.4 급수장치

급수펌프는 고압의 토출압력이 가능한 플런저(plunger) 펌프를 사용하였으며 급수배관은 고압에서 사용 가능한 압력배관용 탄소강관(KSD 3562)을 사용하였다. 또한 미분무헤드는 고압용으로서 분사구가 7개이고 분사각은 170°인 것이었다.

2.2 실험방법

미분무의 연기입자 제거능력 측정을 위하여 연기발생원과 연소형태에 따른 발생연기의 종류에 따라 Table 1과 같은 실험조건을 설정하였다.

조건 #1은 미분무를 분사하지 않은 상태에서 시간경과에 따른 광소멸상수(k) 변화를 파악하기 위한 실험조건이며, 대표적으로 종이에서 발생된 연기에서만 측정하였다. 조건 #2는 종이류의 불꽃연소에서 발생된 연기에 미분무

Table 1. Experimental Conditions at Various Smokes

	Combustible	Mist Pressure (MPa)
# 1	Paper	-
# 2	Paper	3.5
# 3	Polyethylene	3.5

Table 2. Retention Time (min) for Each Steps of Experimental Procedure

Smoke Filling	Smoke Mixing	Smoke Stabilization	Mist Spray	Mist Stabilization
4~9	2	2	0.5, 1	10

를 분사할 때의 실험조건이며, 조건 #3은 폴리에틸렌의 불꽃연소에서 발생된 연기에 미분무를 분사할 때의 실험조건을 나타낸다. 가연물의 종류에 따른 발연량의 차이는 초기 감광도를 통해 보정하였다. 실험순서는 다음과 같다.

① 먼저 가연물을 연소에서 연소시켜 불꽃발생 후 일정시간 경과되어 연소가 안정적으로 지속되기까지의 연기는 시험실에 집연 하지 않고 배연시설을 통해 배출시킨다.

② 안정적인 연소가 이루어진 이후 연기를 시험실에 집연하고 일정농도에 이를 때 연도의 댄퍼를 닫아서 집연을 중단한다.

③ 시험실 상부의 연층과 하부의 공기를 균일하게 혼합하기 위해 시험실 내부에 설치된 팬(fan)을 2분간 가동하고 내부 기류를 어느 정도 안정화시키기 위해 다시 2분간 중지한다.

④ 급수배관의 밸브를 열고 미분무 헤드를 통해서 각 규정된 시간의 미분무를 분사 한다.

⑤ 시험실 내부에 설치된 감광식 연기농도계의 검출부 및 열전대를 통해 실험 전 과정의 상태량을 매 초 간격으로 계측 한다.

⑥ 미분무 분사 전, 분사 1 분후, 분사 10 분후의 시험실 내부 상태를 순서적으로 촬영한다.

⑦ 이후 10 분간 중지후 시험실 상부의 배기장치를 통해 연기를 배출하면서 하나의 시나리오를 종결 한다.

실험순서에 따른 경과시간은 Table 2와 같다.

2.3 연기제거능력 평가항목

미분무의 연기제거 능력에 영향을 미칠 수 있는 요소는 물방울의 크기, 분사 압력, 분사 시간 등의 많은 요소가 있으며⁽⁷⁾, 또한 그 평가 기준도 다를 수 있다. 본 실험에서는 다음 항목으로 국한해서 평가하고자 한다.

① 연기농도계측기의 상태량을 광소멸상수(k)로 변환하여 정량적 수치로 연기제거능력을 평가.

② 투명아크릴판으로 제작된 시험실 내부의 연기농도에 의한 가시도를 사진촬영에 의해 시각적으로 평가.

광소멸상수는 미분무 분사전후를 통해 상대적인 크기를 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 조건 #1의 경우

시험실 내부에 설치된 광검출기에서 시간에 따른 각 위치별 계측된 전압변화값 신호를 광소멸상수(k)값으로 변화

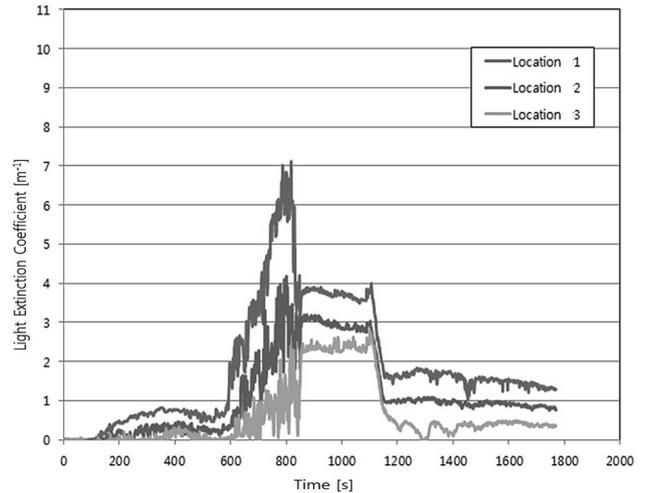


Figure 3. Changes of light extinction coefficient against time.

시키면 Figure 3과 같다.

Figure 3에서 연기채움구간(0~810 s), 연기혼합구간(810~1100 s), 미분무분사(1100 s 부근), 분사이후 존치시간에 따른 구간별 광소멸상수의 변화를 볼 수 있다.

광소멸상수(light extinction coefficient)는 가시거리에 반비례하고 감광도의 대수치(logarithm)에 비례하므로, 그 값이 작을수록 연기 밀도가 낮다.

특히 미분무 분사직후 공간적 위치와 무관하게 공통적으로 광소멸상수값의 감소를 볼 수 있으며, 그 감소율이 평균적으로 60% 정도이었다. 이점은 정성적 예상과 일치되는 결과이며 정량적인 크기를 실험적으로 도출했다는 의미를 가질 수 있다.

가연물이 종이의 경우 발생된 연기에 미분무를 분사하지 않은 상태에서 측정된 광소멸상수(k) 및 온도 변화를 각각 Figure 4와 Figure 5에 나타내었다.

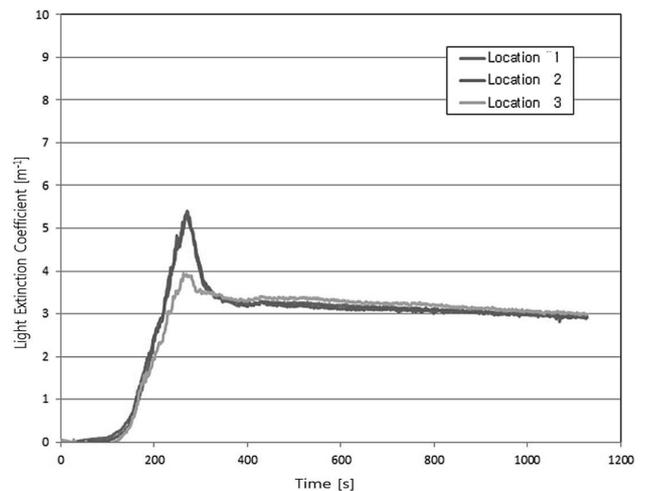


Figure 4. Changes of light extinction coefficient against time under no spraying.

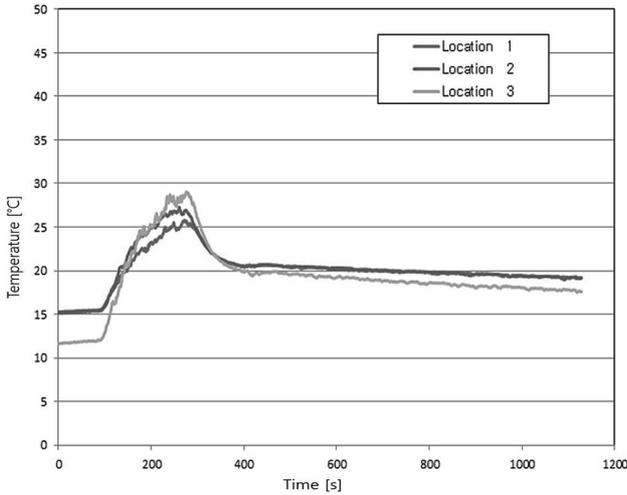


Figure 5. Changes of temperature against time.

여기서 광소멸상수(k)는 시험실의 공간적 높이에 따라 상층부로 구분하여 위치 1, 위치 2, 위치 3로 표현하였다. 광소멸상수값은 시험실에 연기를 집연하는 과정에서 지속적으로 상승하는 것은 연층의 형성 때문인 것으로 판단된다. 이후 집연이 중단되고 팬을 가동하는 300 s까지의 연기농도는 급격히 감소하여 400 s 이후 지속적인 감소가 이루어지는데, 이는 시간에 따른 연기입자의 자유낙하 때문인 것으로 판단된다.

위치별 온도의 변화는 연기혼합 후 거의 없으나 위치 3에서 상대적으로 약간 떨어짐을 볼 수 있다. 이점은 온도 특성에 따른 부력과의 상관관계에 의한 것으로 판단된다.

3.2 조건 #2의 경우

가연물은 종이이며 연소형태는 불꽃연소에서 3.5 MPa의 분사압력으로 미분무를 60 s간(2.15 L/m²) 분사하였다. 시

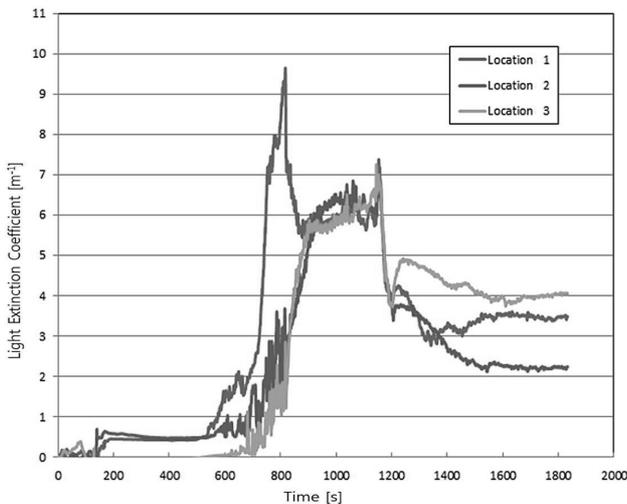


Figure 6. Changes of light extinction coefficient after spraying 60 s.

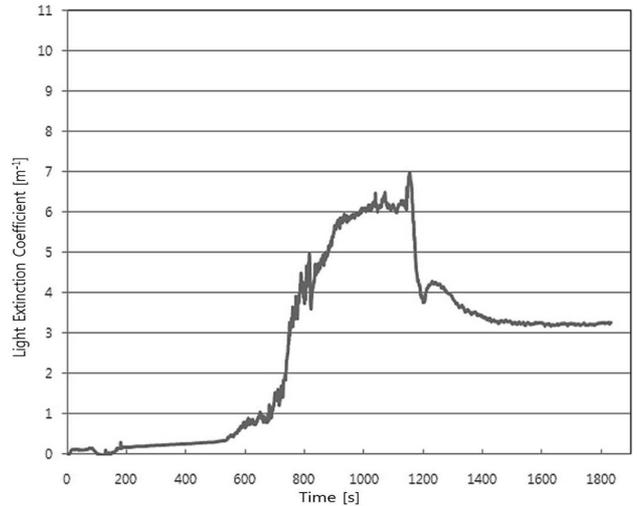


Figure 7. Changes of average coefficient against time.

간의 경과에 따른 k값은 각각 Figure 6 및 Figure 7과 같다. 구획된 공간의 상층부에 해당하는 위치 1에서의 연기혼합 전 k값이 상대적으로 다른 위치보다 높은 것은 연기가 공간내부의 상층부부터 채워지는 것에 기인된 결과로 여겨진다.

Figure 7에서는 시간에 따른 각 위치별 k의 평균값을 나타내고 있다. 미분무 분사가 시작(1147 s)되면서 k값이 약간 증가 하였다가 급속히 감소하는 것은 각 경우의 모든 실험에서 나타나는 공통된 현상이다.

이것은 분사 시작과 동시에 연기와 미분무가 혼합되면서 일시적으로 k값이 증가하지만 이후엔 미분무가 분사에 따른 운동에너지에 의해 연기입자를 하부로 밀어 내리거나 또는 연기입자를 포집 낙하하면서 연기밀도가 급속히 떨어지기 때문이라 판단된다.

또한, k값은 미분무 분사 종료직후 약간 증가하다가 다시 낮아지며 1600 s 이후부터는 거의 변화가 없는 모습을 보이고 있다. 이것은 미분무 분사시 분사밀도가 적은 공간 내부의 구석진 곳으로 몰려있던 일부의 연기입자가 시간의 경과함에 따라 공간내부로 확산되기 때문인 것으로 판단된다.

3.3 조건 #3의 경우

가연물은 폴리에틸렌이며 분사압력 3.5 MPa에서 미분무를 60 s간(2.15 L/m²) 분사하였으며 결과는 Figure 8과 같다.

연기혼합 구간(460~700 s)에서 위치 1에서의 k값이 상대적으로 높은 것은 상층부와 하층부가 충분히 혼합되지 않은 결과로 판단된다. 미분무 분사가 시작(714 s)되면서 k값이 약간 증가하였다가 급속히 떨어지나 하층부에 해당하는 위치 3에서는 890 s 부근부터 다시 상승하여 분사이전의 수준보다 약간 더 올라간 것을 볼 수 있다. 이는 상층부의 연기가 시간이 경과함에 따라 하층부로 내려온 결

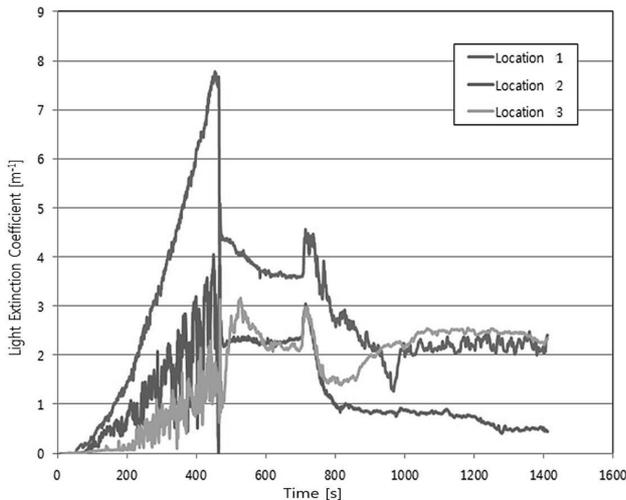


Figure 8. Changes of light extinction coefficient after polyethylene combustion.

과로 판단된다.

상층부의 k값은 분사 이후 다소 불안정한 특징을 보이고 있다. 이 현상은 고압의 미분무 분사에 따른 미분무 입자의 불균형적 공간분포에 기인된 것으로 생각되며 170°로 분사되는 분사각 사각지역의 존재로 인한 유체층 불안정성의 영향도 작용함에 따른 결과로 여겨진다.

4. 결 론

연기발생원의 종류에 따른 실험데이터의 분석을 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 미분무에 의한 제연 효과는 연기의 종류와 미분무 분사조건에 따라 달라지나 최소 60% 이상을 나타내었다. 이것은 연기입자와 미분무가 서로 접촉할 경우 두 입자가 응집(aggregation)하여 중량증가로 인해 낙하하는 것으로 판단된다.

둘째, 미분무의 분사에 따른 제연효과는 시간에 비례하나, 1600 s 이후에는 거의 나타나지 않았다. 또한 400 s 근

방에서 가장 큰 제연효과를 나타내었다. 이 점은 연기 입자의 온도에 따른 부력과 미분무와의 유효적인 접촉에는 일정 기간의 시간이 필요함을 보여주는 것이라 할 수 있다.

셋째, 공간 내 수직적 높이에 따른 제연효과의 차이는 미미하였으나, 미분무 분사 초기에는 상층부가, 시간이 경과에 따라서는 하층부에서, 연기 밀도가 높음을 나타내었다. 이 점은 초기 분사 시 연기 입자의 큰 운동성에 따른 현상으로 보여지며, 시간의 경과 후에는 미분무와의 접촉에 따라 더 무거워진 연기 입자들의 하강작용에 기인된 것으로 보여진다.

References

1. K. D. Lee and C. S. Shin, "Extinguishing Characteristics of Water Mist by Discharge Properties", *Fire Science and Engineering*, Vol. 15, No. 4, pp. 41-47 (2001).
2. D. H. Han and S. R. Lee "Study on Water Spray Leverage for Smoke Removal from Fire", *Research Report*, National Fire Service Academy, pp. 26-71 (2009).
3. M. Rosander and K. Giselsson, "Making the Best Use of Water for Fire Extinguishing Purposes", *Fire*, Vol. 26, pp. 43-46 (1984).
4. NFSC 104A, "National Fire Safety Code for Water Mist Fire Extinguishing System" (2014).
5. NFPA 750, "National Fire Protection Association for Standard on Water Mist Fire Protection System" (2003).
6. S. C. Kim, "Uncertainty Analysis of the Optical Smoke Density Measurement through the Doorway in a Compartment Fire", *Fire Science and Engineering*, Vol. 27, No. 2, pp. 77-79 (2013).
7. W. J. Hwang, H. J. Kim, S. E. Lee, S. W. Kim and K. H. Oh, "Optimum Fire Extinguishing Modeling using Impact Factor Analysis on Water Mist System of Pool Fire", *Fire Science and Engineering*, Vol. 23, No. 5, pp. 84-88 (2009).