

< 기술논문 >

폼 분무 노즐 방사 분포 및 폼의 열적 특성 연구

김 홍 식* · 김 윤 제†

(2004 년 7 월 31 일 접수, 2004 년 10 월 26 일 심사완료)

Thermal Characteristics of Foams and Discharge of Fire-Protection Foam Spray Nozzle

Hong-Sik Kim and Youn-Jea Kim

Key Words : Foam Spray Nozzle(폼 분무 노즐), Discharge Distributions(방사분포), Air Hole(공기 흡입구), Fire-Protection Foam(소방용 폼), Heat Radiation(복사열), Foam Expansion Ratio(폼 팽창비)

Abstract

A characteristic of discharge for a foam spray nozzle with various parameters was investigated. The discharge patterns from a fire foam spray nozzle are important to evenly spray over a maximum possible floor area. Two parameters of a foam spray nozzle were chosen, and compared with those from the standard one. Also, in order to evaluate the performance of discharged foam agents used to protect structures from heat and fire damages, the thermal characteristics of fire-protection foams were experimentally investigated. A simple repeatable test for fire-protection foams subjected to fire radiation was developed. This test involves foam generation equipment, a fire source for heat generation, and data acquisition techniques. Results show that the bubble size of foam is increased by large inside diameter of orifice or closed air hole, but phenomenon of discharge angle and expansion ratio is opposite. For the case of the open air hole, liquid film of a circular cone discharges with formation, growth, split and fine grain. In case of the closed air hole, a pillar of foam solution discharges with that. Though the temperature gradient in the foam increases with increased foam expansion ratio, it is not change with increased intensity of heat flux.

기호설명

1. 서론

- T : 온도
- V : 용기 내의 폼 체적 (mL)
- W : 용기 내에 폼이 충만됐을 때의 총중량 (g)
- W_i : 용기 중량 (g)
- X_{exp} : 폼 팽창비
- d_o : 오리피스 목 지름
- N_h : 공기 흡입구 개수

소화설비는 산업시설 및 인명, 그리고 건물 보호를 위해 필수적인 설비이다. 소화설비는 주로 물을 이용하거나 약제, 가스에 의한 질식 효과를 이용하여 화재를 진압한다. 특히, 폼(foam) 소화설비는 물에 의한 소화방법으로 효과가 미미하거나 화재가 확대될 위험성이 있는 가연성 액체 등의 화재에 사용하는 설비이다. 물과 폼 소화약제가 일정한 비율로 혼합된 수용액이 공기에 의하여 발포되어 형성된 미세한 기포의 집합체가 연소물의 표면을 차단함으로써 질식소화하고 기포에 함유된 수분에 의한 냉각소화 효과도 있다.

폼 소화설비 중에서 가장 중요한 부분의 하나가 폼 방출구이다. 폼 방출구는 분무노즐 설계 구

* 회원, 성균관대학교 대학원 기계공학부
 † 책임저자, 회원, 성균관대학교 기계공학부
 E-mail: yjkim@skku.edu
 TEL: (031)290-7448, FAX: (031)290-5849

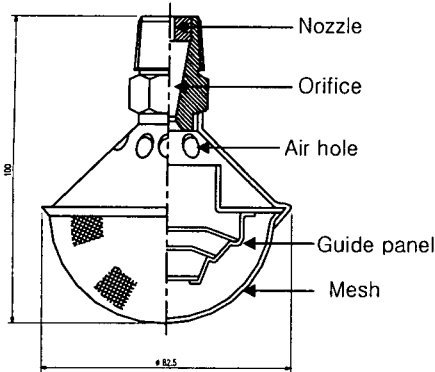


Fig. 1 Schematic of the air foam spray nozzle

역 내에서 어느 장소이든지 화재를 제압하기 위해서는 충분한 양의 폼을 골고루 분사시킬 수 있어야 한다. 특히, 폼 분무 노즐 (foam spray nozzle)의 살수 분포는 수력학과 분무 노즐 자체의 형상 변수에 의하여 좌우되며, 소화 효과는 폼 입자가 화원의 상승기류를 관통하여 침투할 수 있는 적절한 방수율, 수분 함량을 평가하는 팽창비, 그리고 방출 분포 및 영역 등에 의해 결정된다.⁽¹⁾

분무 노즐에서 분사되는 압력에 의한 폼의 살수분포는 폼 분무 노즐을 구성하는 오리피스 (orifice), 바디부의 공기 흡입구 (air hole), 가이드 판넬의 형상 및 각도, 그리고 망에 의해 크게 좌우되는데, 이러한 변수들은 폼 입자의 균일도, 분사각을 달라지게 한다. 이 변수들의 변화에 따라 방출형태와 방출 후 폼의 특성을 정확히 파악하는 것이 화재 진압을 효율적으로 하기 위해 또한 중요하다.

Madrzykowski⁽²⁾는 가스 연료를 사용하여 복사열이 부가되는 압축공기 폼시스템을 이용하여 폼을 시험용 수직 판넬에 도포하였는데, 동일한 양의 물을 사용하는 것과 비교할 때 발화시간이 두 배정도 지연된다는 연구결과를 얻었다.

이보다 더 상세한 연구로 Persson⁽³⁾은 폼 표면 바로 위에 원추 모양의 방열체로부터 복사열을 부가하는 방식으로 폼의 성능을 시험하였다. 여러 가지 폼을 건조한 또는 인화물이 도포된 비이커에 담은 후 폼의 수명과 증발율에 대하여 연구를 수행하였는데, 증발율은 통상적인 복사 강도에 비례한다는 것을 밝혔다. 하지만 폼 내부의 온도 측정 및 열적 특성 파악에 대한 내용은 부족하였다.

본 논문에서는 열이나 화재 등의 피해로부터 건물을 보호하기 위해 사용되는 소방용 폼 분무 노즐의 오리피스 목 (throat) 안지름 변화와 공기

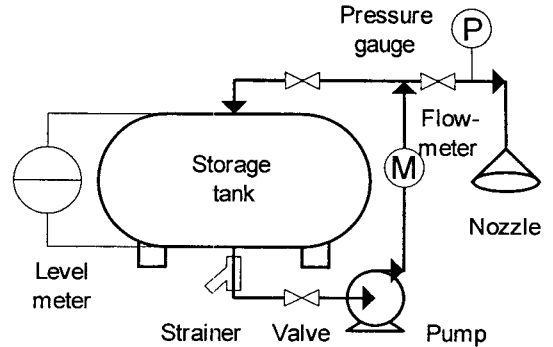


Fig. 2 Photograph of test apparatus

흡입구 유무에 따른 방출 현상 및 폼의 분포를 조사하였으며, 분무 노즐에서 방출된 폼에 대해 폼 팽창비 (수분 함유량)를 측정하여 복사량에 따른 열 침투 깊이 (thermal penetration depth), 열 침투 시간 (온도 기울기), 폼 온도 변화 등의 특성을 고찰하였다.

2. 실험적 연구

2.1 실험 장치 및 방법

2.1.1 폼 분무 노즐 방출특성

Fig. 1은 폼 분무 노즐의 구조를 나타낸 것으로 폼 수용액을 곧 바로 방출시키는 형태의 노즐이다. 폼 분무 노즐은 일반 노즐과는 다른 방출 형태 및 폼 특성을 갖는다.

폼 노즐의 방사특성을 알아보기 위해 폼 분무 노즐이 장착된 소화설비 실험장치를 제작하였다. 실험장치는 Fig. 2와 같이 약제와 물을 저장하는 탱크 (용량, 150 L)와 약제 혼합물을 방출시키는 펌프, 그리고 폼 분무 노즐과 연결하는 배관으로 구성하였다.⁽⁴⁾

폼 분무 노즐이 장착된 이동식 소화설비 실험 장치의 저장 탱크에서 폼 용액을 이송하기 위한 펌프는 폼 약제를 사용하므로 스테인리스로 제작된 펌프 (EBARA, CDXM 70/156, 유량 20~100 L/min)를 사용하여 부식을 방지하였다. 배관과 폼 분무 노즐이 연결되는 직전에 압력계를 설치하여 폼 분무 노즐의 방출압을 측정하였고 일정하게 조절하였다.

방출특성을 고찰하기 위하여 분무 노즐로부터 방출압 3kg/cm², 방출량 85L/min을 갖는 폼 분무 노즐을 사용하였으며, 위치는 바닥에서 1.5m 높이

Table 1 Dimension of air foam head

Parameter	Dimension
Orifice throat diameter (d_o)	9.5 mm 11.5 mm
Number of air hole (N_h , inside diameter, 8 mm)	9
Number of nozzle (inside diameter, 5 mm, 45°)	7
Guide panel (outside/inside diameter, angle)	1stage: 57/33 mm, 30° 2stage: 35/20mm, 30° 3stage: 20/5mm, 0°
Mesh	2 mm

에 설치하였다. 실험에 사용된 폼 분무 노즐 (FH550, FESCO) 형상 변수는 Table 1과 같다.

폼 약제는 물 50 L에 ANSULITE(Ansul Fire Protection, Inc.) 3% 조내한용 수성막폼(Aqueous Film Forming Foam: AFFF) 1.5L를 혼합하여 사용하였다.⁽⁶⁾ 실험장치를 간단하게 구성하기 위해 비례제어장치 (proportioner)와 같은 혼합장치를 설치하지 않고 바로 폼 약제와 물을 저장탱크에서 혼합하여 사용하였다. 정확한 약제량을 위해 10L마다 눈금이 있는 5000L 비이커를 사용하여, 97:3의 비율로 물과 약제를 혼합하여 사용하였다.

방출되는 폼량을 측정하기 위해 성능시험기준기에 따라 폼을 받기 위한 채수통을 아크릴로 제작하여 각 분무 노즐마다 분출되는 폼을 수집하였다.⁽⁶⁾ 폼 받이 채수통은 모두 25개를 제작하여 노즐 중앙에서부터 1/4 넓이에 5개씩 정사각형으로 25개를 배열하였다. 실제로는 노즐 중앙에서 사방으로 100개의 채수통을 배열하여야 하지만 방사형으로 일정하게 분사되기 때문에 1/4 구역에만 채수통을 배열하였다. 채수통 1개의 용적은 소방감지기기준에 의해 31cm × 31cm × 20cm로 제작하였으며, 각 채수통의 폼 수집 무게를 매 실험마다 측정하였다. 측정할 수 있는 저울(CAS, 10CS)을 사용하였다.

폼이 분무 노즐로부터 분출되는 순간 방출 형상을 가시화하기 위해 CCD 카메라(Kodak, Ektapro HG Imager Model 2000)를 이용하였다. 분출되는 형상을 촬영하기 위해 카메라와 연동하여 조명을 사용하였으며, 야간에 촬영을 하였다. 조명은 할로젠 램프(220V, 500W)를 사용하였고, 5.6" TFT LCD

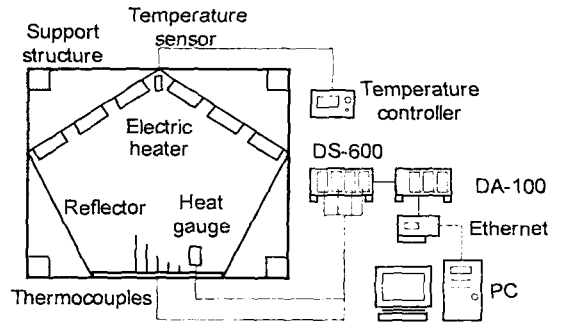


Fig. 3 Photograph of experimental apparatus

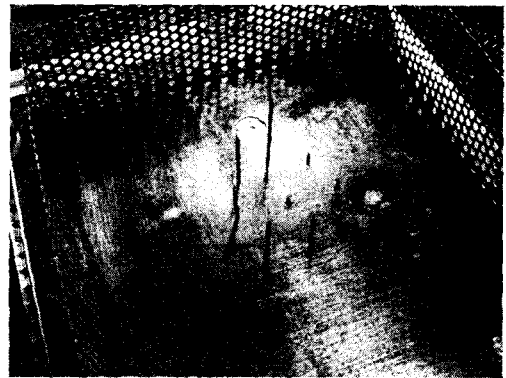


Fig. 4 Photograph of foam test plate

Color TV를 사용하여 CCD 카메라의 초점을 조정하였다.⁽⁷⁾

2.1.2 폼의 열적 특성

폼 분무 노즐에서 방출된 폼에 복사열이 가해질 때 폼의 특성 파악을 위한 구성장치로는 크게 열 발생을 위한 가열장치, 폼을 놓는 시험 강판, 그리고 데이터 수집 장치 등으로 구성하였다.

Fig. 3의 실험장치 사진을 보면 화원의 강도를 크게 하기 위해 양쪽 면에 각각 3개의 전기히터를 설치하였으며, 전기 히터에 의한 복사열은 폼에 조사되도록 구성하여 폼 내부 온도를 측정하였다. 전기 히터는 폼으로 덮인 강판(30cm × 30cm × 0.4cm) 위에 일정 복사량이 공급되도록 방향을 설정하였으며, 반사판을 설치하여 복사열의 손실을 작게 설계하였다.

Fig. 4를 보면, 복사열의 측정은 Schmidt-Boelter 형식의 열유속 변환기(heat flux transducer, MEDTHERM)를 사용하였고, 폼이 도포되는 시험 강판(900cm²)에는 폼의 두께에 따른 온도를 측정하기

위해 높이 차를 두고 열전대를 설치하였다. 즉, TC 1은 강판에서 8cm 높이, TC 2는 7cm 높이, TC 8은 1cm 높이, TC 9는 강판에서의 온도를 측정하기 위해 10cm 원둘레에 높이 차를 두고 열전대를 설치하였다. 그 위에 일정한 두께로 폼을 도포한 후 강판을 전기 히터의 바로 아래에 위치시켰다.

증발온도 및 침투깊이 등의 폼 특성을 위한 측정은 폼이 강판에서 완전히 증발되는 5~15분 동안 수행하였다. 또한, 폼의 화재 지연시간을 측정하기 위해 강판 온도도 측정하였다. 폼 내부 온도와 복사량은 데이터 수집장치(YOKOGAWA, data acquisition control unit, DA-100, DS-600)를 이용하여 기록하였으며, 폼 표면의 온도를 가시화하기 위해 적외선 온도 측정기(infrared thermography, JENOPTIK, VARIOSCAN 3011)를 사용하였다.

폼의 수분 함유량을 알아보기 위해 폼의 체적을 측정하여 폼 팽창비를 계산하였으며, 폼 팽창비(foam expansion ratio, X_{exp})는 8~12 사이의 범위를 나타내었다. 팽창비는 일정 압력과 유량에서 폼 분무 노즐의 형상변수에 따라 변하게 되는데, 계산은 다음 식을 이용하여 구할 수 있다. 폼 농축액의 밀도는 1 g/mL로 가정하였다.⁽⁴⁾

$$X_{exp} = \frac{V \text{ (mL)} \times 1 \text{ (g/mL)}}{W \text{ (g)} - W_1 \text{ (g)}} \quad (1)$$

3. 결과 및 고찰

Fig. 5는 오리피스 목의 안지름(9.5mm, 11.5mm) 변화와 공기 흡입구 유무(0, 9개)에 따른 방출 사진과 바닥에 방출된 폼의 분포도를 나타낸다.

폼 분무 노즐로부터의 방출이 정상화되었을 때, 바닥에 떨어진 폼을 확대하면 폼 입자의 크기는 (a), (b), (c), (d) 순으로 입자크기가 커지는 것을 알 수 있다. 이는 안지름이 9.5mm이고 공기 흡입구가 있을 때 속도와 유량이 폼 수용액을 미립화하는데 효과적임을 알 수 있다. 따라서, 분사각의 경우도 (a)와 (b)는 거의 유사한 각도를 보이며, (c)와 (d) 순으로 작아지는 것을 알 수 있다.

각 채수통에 떨어진 폼을 수집하여 폼의 분포를 보면, (a)의 경우(오리피스 지름 9.5mm, 공기 흡입구 유), 분무 노즐 중심 하부에 지름이 약 35cm 정도는 폼이 거의 분포되지 않았지만, 전체적으로는 균일한 분포를 나타내었다. 분포된 폼의 밀도

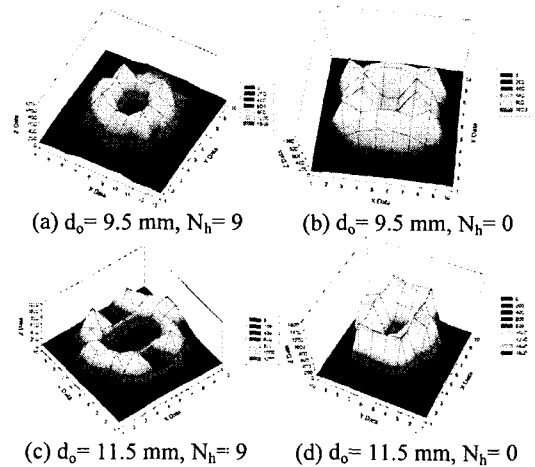


Fig. 5 Effects of the inside diameter of orifice throat and the number of air holes on the discharge and distribution of foam

가 높은 영역은 지름이 약 210cm 정도까지 나타났으며, 약 210~280cm 정도에서는 밀도가 작게 나타났다.

(b)의 경우(오리피스 지름 9.5mm, 공기 흡입구 무)는 분무 노즐 중앙 하부에 일부 폼이 분포되었다. 전체적으로 균일한 분포를 보이지는 않지만, 분포 밀도가 높은 영역(지름, 약 280cm)이 넓게 나타나는 것을 알 수 있다. 결국 중앙과 테두리의 분포 밀도차가 작은 것을 알 수 있다.

오리피스 지름을 11.5mm로 증가시키고 공기 흡입구가 있는 (c)의 경우 노즐 중앙 아래 폼 분포가 없는 영역이 크며 전체적으로도 크게 불균일한 분포를 나타내었다. 하지만 방출 높이는 지름이 약 300cm로 가장 넓게 분포되는 것을 알 수 있다.

공기 흡입구가 없는 (d)의 경우, 중앙 부분에서는 오리피스 안지름 9.5mm 이고, 공기흡입구가 없는 경우와 유사하며, 분포 밀도가 높은 구역은 지름이 약 210cm까지 넓게 퍼지지 않는 것을 알 수 있다.

방출된 폼의 특성인 수분 함유량을 파악해 보기 위해 각 폼 분무 노즐에서 방출된 폼을 받아 팽창비를 계산하였다. 팽창비는 (a), (b), (c), (d)의 순으로 각각 11.4, 11.2, 9.6, 8.2의 값을 나타내었다. 이 결과로 볼 때, 팽창비는 공기 흡입구보다 오리피스 안지름에 의해 증가되는 것을 알 수 있다.

Figs. 6과 7은 오리피스 안지름과 공기 흡입구 유무에 따라 고속 카메라를 이용하여 초당 1,200장의 사진을 얻어 폼 수용액이 분무 노즐을 나와 공기 중에서 어떻게 비산되어 공기와 섞이며 어떤

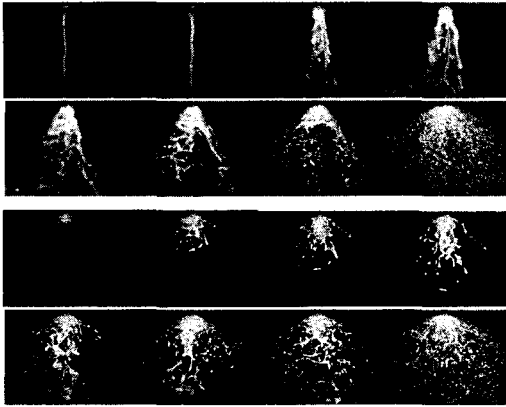


Fig. 6 Photograph of discharge pattern(inside diameter of orifice throat; $d_0=9.5\text{mm}$, the number of air hole; up: 9, down: 0)

형태로 폼이 변형되는지를 가시화하였다.

먼저 분사 형태를 살펴보면 공기 흡입구가 있는 경우(오리피스 안지름 9.5mm)는 초기에 분사각이 없이 물줄기처럼 분사되는 것을 알 수 있다. 이후 속이 빈 방추형의 액막이 형성되고 시간이 지남에 따라 이 액막이 반지름 방향으로 성장하였다. 시간이 더 경과하면서 속이 빈 방추형의 액막 하단이 열리면서 액막의 반지름 방향 각도는 계속 증가하였다. 이때 액막에는 공기와 섞이는 천공현상으로 인하여 분열이 급격히 일어나며 최대 분사각과 반지름 방향으로의 운동에너지를 갖고 분사되면서 미립화되어 분출되는 것을 알 수 있다. 오리피스 안지름이 11.5mm의 경우도 9.5mm와 유사한 방출형태를 보였지만, 액막이 훨씬 얇고 넓게 분포하고 반지름 방향 각도도 크게 나타났다.

한편, 폼 분무 노즐 본체에 공기 흡입구가 없을 경우(오리피스 안지름 9.5mm)에는 완전히 다른 방출 형태를 나타내었다. 방출 초기부터 분사각을 따라 전체적으로 방출되는 것을 알 수 있으며, 분열이 일어나지 않으므로 폼 수용액이 덩어리 형태에서 길게 늘어나는 형태로 변화되었다. 시간이 경과되면서 길게 증가된 수용액은 공기 중에서 소산되는 것을 알 수 있다. 일정시간이 경과하면서 이러한 과정이 연속적으로 일어나며 폼이 방출되는 것을 알 수 있다. 오리피스 안지름이 11.5mm의 경우도 유사한 방출형태를 보이지만 방출 유량이 많으므로 인해 분열이 오리피스 안지름 9.5mm 보다 늦게 발생하였으며 분사각도 작은 값을 나타내었다.

Fig. 8은 팽창비(X_{exp})가 각각 8.2, 9.6, 11.2, 11.4이고 폼에 복사열 4.6kW/m^2 를 가하였을 때, 높이가

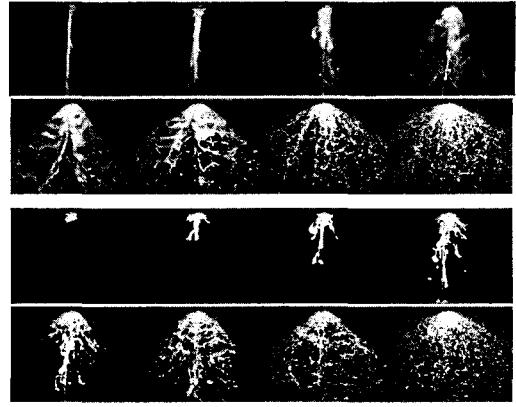


Fig. 7 Photograph of discharge pattern(inside diameter of orifice throat; $d_0=11.5\text{mm}$, the number of air hole; up: 9, down: 0)

에 따른 폼 내부 9곳의 온도 변화를 측정된 결과이다. 폼의 높이는 10cm이상이므로 강판 위의 열전대를 덮을 수 있게 하였다.

폼 내부에 설치된 9개의 열전대는 초기에 약 $15^\circ\text{C}\sim 20^\circ\text{C}$ 를 나타내지만, 약 70°C 까지 일정한 상승률로 급격히 상승하였다. 그 후 온도 상승률은 서서히 증가하여 약 90°C 까지 도달하였다. 이는 폼 내부 수분이 증발하는 동안 열을 흡수하여 방출하기 때문에 폼이 완전히 기화될 때까지 폼 표면온도는 물의 기화온도에 가까운 90°C 이상까지는 상승하지 않기 때문이다. 일정한 형태의 온도 상승 이후에는 온도 분포가 크게 변동하는 것을 알 수 있다. 이는 열전대를 덮고 있던 폼이 증발하여 열전대가 폼 밖으로 노출되어 복사열에 직접 노출되었기 때문이다.

폼 팽창비가 작은 (a)의 경우($X_{exp}=8.2$), 폼에 함유되어 있는 수분이 많아 열전대가 반응하는 시간이 오래 걸리는 것을 알 수 있다. 강판에서 가장 멀리 위치한 열전대(TC 1) 즉, 복사열원에 가장 가까운 열전대는 복사열이 가해짐에 따라 급격하게 상승하여 80°C 까지 도달하는데 약 100sec 정도가 소요되었다. 하지만 강판(TC 9)의 온도는 폼이 완전 증발한 후인 350sec가 되어야 상승함을 알 수 있었다. 이 결과를 유추해 보면 약 $25\text{cm} \times 25\text{cm} \times 10\text{cm}$ 체적의 폼이 복사열 4.6kW/m^2 을 갖는 화재에 노출될 때 350sec 동안 보호 받을 수 있다는 것을 알 수 있다. 따라서, 폼 팽창비가 작을 경우 화원에 폼이 많이 쌓이지 않으므로 냉각 효과는 크지만 질식 효과는 작게 된다. 반대로 팽창비가 클 경우 화원에 폼이 많이 쌓이기 때문에 질식효과는 크고 냉각효과는 작게 나타났다. 따라

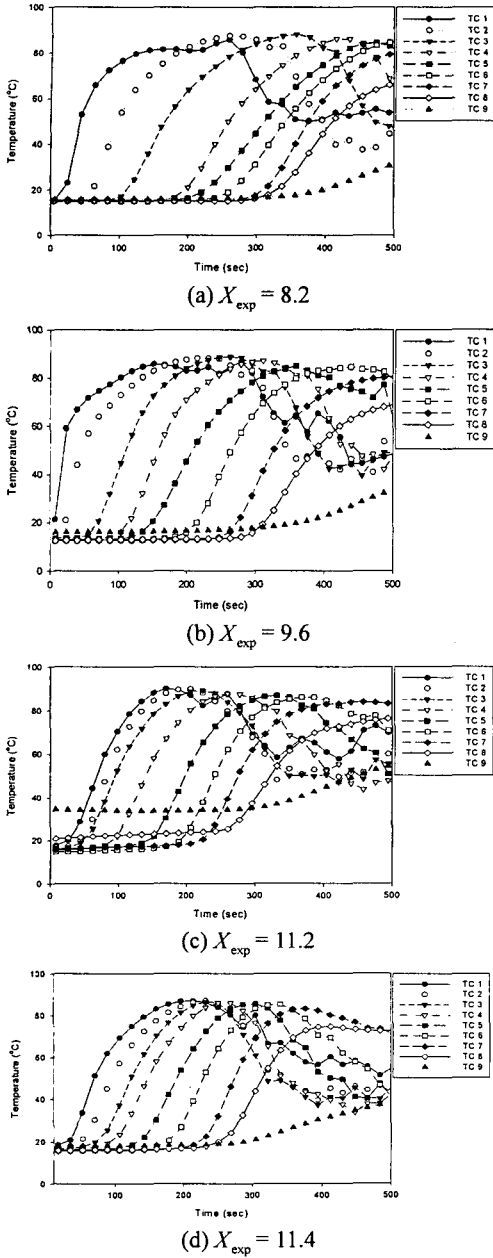


Fig. 8 History of temperature distribution in the foam ($\dot{q} = 4.6 \text{ kW/m}^2$)

서, 화재의 특성에 따라 폼 팽창비를 다르게 방출할 수 있는 노즐을 사용하는 것이 바람직할 것으로 판단되었다.

팽창비 9.6인 (b)의 경우, 팽창비가 커짐에 따라 폼 내부의 온도 상승시간이 짧아진 것을 알 수 있

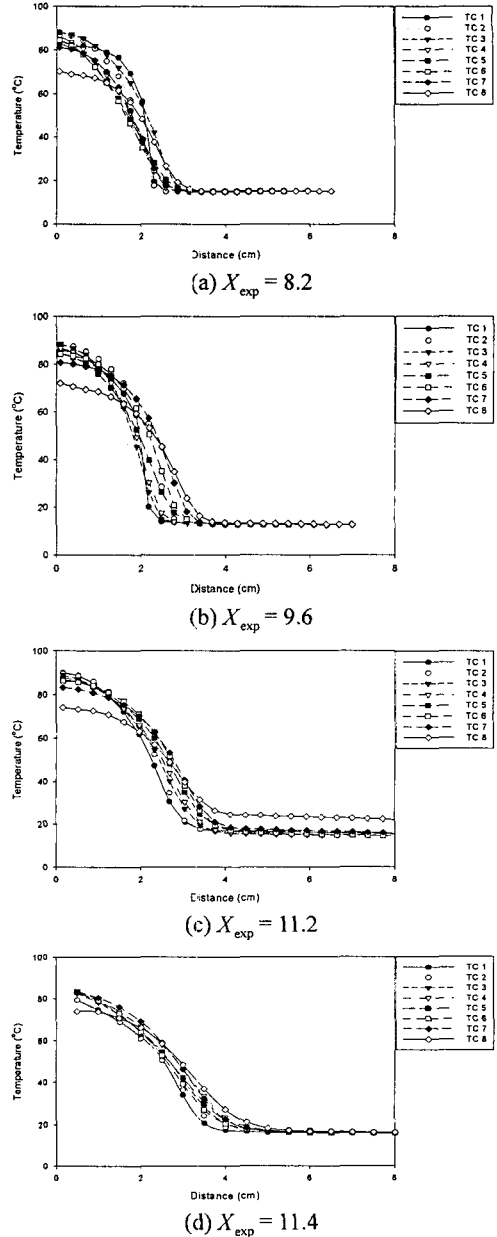


Fig. 9 Temperature distribution along the foam depth ($\dot{q} = 4.6 \text{ kW/m}^2$)

다. 예를 들어, 복사열원에서 가장 멀리 위치한 열전대 TC 8이 팽창비가 8.2일 때 보다 빨리 상승하였다. 또한, 팽창비가 11.2, 11.4인 (c), (d)인 경우는 더욱 온도 상승 시간이 단축되었으며, 폼이 완전히 증발되는 강판의 온도 상승 시간도 약 300sec

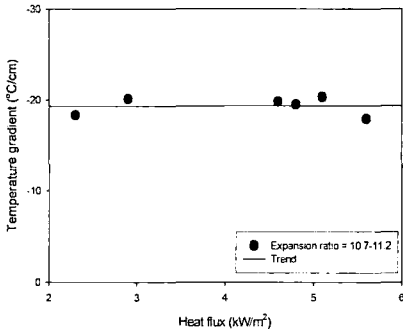


Fig. 10 Temperature gradient versus heat flux

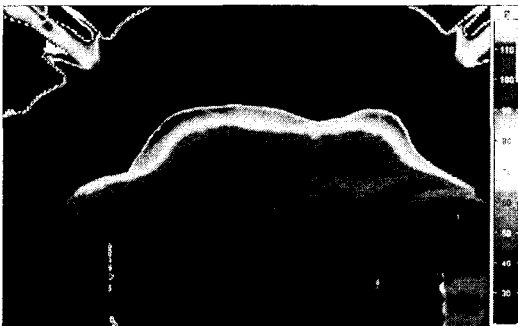


Fig. 11 Temperature visualization on the surface of fire-protection foam ($X_{exp} = 11.4$, $q'' = 4.6$ kW/m²)

이하로 짧아진 것을 알 수 있다.

폼 표면에서 강판까지 폼 팽창비 변화에 따른 온도 변화를 Fig. 9에 도시하였다. 폼 내부로 복사열이 전달되어 폼 두께에 따라 분포되는 폼 온도는 Fig. 8에 도시한 각 열전대의 시간적 차이에 일정 시간을 곱하여 소거시키고 시간축을 거리축으로 바꾸면 Fig. 9처럼 나타낼 수 있다. 온도 변화를 보면 (a)의 경우($X_{exp} = 8.2$), 복사열은 약 2.5cm 정도까지 전달되었으며, 그 이상에서는 거의 대기 온도 상태로 유지되는 것을 알 수 있다. 또한, 각 열전대로부터 측정된 폼 내부의 온도 기울기는 30°C~70°C 범위 내에서 거의 선형적으로 변하는 것을 알 수 있다.

폼 팽창비가 9.6으로 커질 경우, 온도 기울기는 8.2일 때 보다 감소하였지만, 복사열의 침투 깊이는 약 3.0cm로 증가하였다.

Fig. 9의 (c), (d)에 도시한 것처럼 11.2, 11.4로 팽창비가 증가함에 따라 침투 깊이도 3.5cm, 4.0cm까지 증가하였으며, 온도 기울기는 더욱 감소하였다.

복사량 변화에 따라 폼 온도 특성을 알아보기

위해 Fig. 10에 복사량에 따른 온도 기울기를 나타내었다. 온도 기울기는 거의 선형적으로 변하는 30°C~70°C 범위에서 계산하였다.

폼 내부의 온도 기울기는 복사량이 증가하여도 변하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 폼이 증발되는 시간은 감소하여도 폼 내부의 온도 변화는 거의 없는 것을 알 수 있다.

Fig. 11은 팽창비가 11.4인 폼에 복사열 4.6 kW/m²를 가하였을 때 적외선 온도 측정기 (infrared thermography)로 폼 표면의 온도를 가시화한 것이다. 가시화 결과를 비교 및 평가하기 위해 폼 표면에 열전대를 설치하여 온도를 측정하였는데 거의 유사한 결과를 얻을 수 있었다.

4. 결 론

본 연구에서는 오리피스 지름 변화와 공기 흡입구 유무에 따른 폼 방출 분포와 방출된 폼에 복사열이 가해질 때 폼의 특성에 따른 정성적인 관측과 함께 폼 온도 변화를 실험적으로 고찰하였으며, 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 폼 입자의 크기는 오리피스 목의 안지름이 커지거나 공기 흡입구가 없을 때 크게 나타났으며 분사각과 팽창비는 목 안지름이 증가하거나 공기 흡입구가 없을 때 작아졌다.

(2) 분사형태는 공기 흡입구가 있는 경우, 속이 빈 방추형의 액막이 형성, 성장, 분열, 미립화되어 방출되고, 공기 흡입구가 없을 경우에는 폼 수용액이 덩어리에서 신장, 분열, 흩어지며 방출되는 특징을 나타내었다.

(3) 폼 내부의 온도 기울기는 폼 팽창비가 커질수록 증가하지만 복사량이 증가함에 따라서는 거의 일정함을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 교육인적자원부의 BK21(Brain Korea 21) 신규사업을 통하여 수행되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

(1) Colletti, D. J., 1994, "Class A Foam: An Emerging Technology, Compressed-Air Foam Mechanics," *Fire Engineering*, Vol. 147, No. 3, pp. 61~66.
 (2) Madrzykowski, D., 1988, "Study of the Ignition Inhibiting Properties of Compressed Air Foam," *NISTIR 88-3880, U. S. Department of Commerce, NIST, Gaithersburg, MD.*

- (3) Persson, H., 1992, "Fire Extinguishing Foams Resistance Against Heat Radiation," *Proceedings of the 1st International Conference on Fire Suppression Research*, Stockholm, Sweden, pp. 359~376.
- (4) Christopher, F. Boyd and Marino Di Marzo, 1998, "The Behavior of a Fire-Protection Foam Exposed to Radiant Heating," *Int. J. Heat and mass transfer*, Vol. 41, No. 12, pp. 1719~1728.
- (5) ANSUL Fire Protection, 1990, "Foam Systems Design and Applications."
- (6) KOFEIC, 1998, "Standard of Performance/Test/Technique for Foam Spray Nozzle," *Notification of Ministry of Government Administration and Home Affairs*, No. 1998-87.
- (7) Park, B. S. and Lee, S. Y., 1993, "Experimental Study of Flash Atomization Mechanism," *Transactions of the KSME*, Vol. 17, No. 4, pp. 936~947.