

노즐 구경에 따른 포 수용액의 압력과 유량 및 농도 변화에 관한 실험적 연구

장경남 · 이맹로 · 박봉래* · 윤기조** · 백은선***†

동신대학교 대학원 소방학과, *미르엔지니어링(주), **휴캠스(주), ***동신대학교 소방행정학과

An Experimental Study on a Discharge Pressure, Flow Rate and Foam Discharge Concentration through the Nozzle According to the Foam Suction Nipple Diameter

Kyung-Nam Jang · Maing-Ro Lee · Bong-Rae Park* ·
Ki-Jo Yun** · Eun-Sun Baek***†

Graduate School of Fire Department, Dong-shin Univ.

*Mir Engineering. Co. Ltd.

**Hu-chems. Co. Ltd.

***Depart. of Fire Administration, Dong-shin Univ.

(Received March 15, 2015; Revised March 30, 2015; Accepted March 31, 2015)

요 약

본 연구는 소방펌프차에서 사용 중인 라인프로포서너 방식의 포 소화설비에 대하여 노즐의 구경변화에 따른 포 수용액의 압력, 유량 및 농도의 변화에 대한 실험적 연구로 실험 데이터를 이론적 계산을 수행함으로써 포 소화약제 성능인 증기준에 적합한 폼 흡입 노즐의 흡입측 압력 및 폼 흡입 니플의 구경 모델을 제시하고자 한다. 실험 장치는 소방방재청 고시 제2012-81호 제8조(기능시험) 규정을 바탕으로 실험 장치를 구성하였으며, 포 소화약제는 수성막포 3%를 사용하였고, 혼합장치는 현재 소방관서에서 사용 중인 폼 픽업식 라인프로포서너 혼합장치 구경 40 mm를 사용하였다. 본 연구를 통하여 라인프로포서너 혼합장치의 인입측 압력 변화 및 폼 흡입 니플 구경의 변화에 대하여 폼 흡입 노즐의 구경이 4 mm일 때 노즐 흡입측 압력은 0.25~0.35 MPa 범위 내에서 이론적 포 소화약제 성능 인증 기준에 적합함을 증명할 수 있었다. 또한 폼 흡입 노즐의 구경이 5 mm일 때는 폼 흡입 노즐의 구경이 4 mm일 때 보다 높은 압력 0.45~0.60 MPa 범위 내에서 포 소화약제 성능 인증기준에 적합한 것으로 나타났다.

ABSTRACT

The purpose of this study is to suggest the reasonable model of the caliber in suction nozzle, the pressure of suction nozzle, and the flow rate about foam system of line proportioner type using in the pumpcar. To test this, the experimental study was accomplished on the ground of the standards for the Performance Certification and Product Inspection of Foam Fire-extinguishing Chemical Mixing Machine. Aqueous Film Forming Foam in 3% and pipe type air foam nozzle with line proportioner FE 40 type were used. Test result showed that the pressure of suction nozzle within the limits between 0.25 MPa and 0.35 MPa was appropriate when the caliber in suction nozzle is 4 mm. Also, the pressure of suction nozzle within the limits between 0.45 MPa and 0.60 MPa was appropriate in the higher pressure than 4 mm when the caliber in suction nozzle is 5 mm.

Keywords : Foam system, Foam mixing performance, Line proportioner, Suction nozzle caliber

1. 서 론

현재 소방펌프차량에 탑재되어 사용되고 있는 포 소화설비는 대표적으로 펌프 프로로셔너 방식과 부수적으로

라인프로포서너 방식이 있다. 이중 대형 유류 화재 발생 시에 사용하는 포 소화설비는 펌프 프로로셔너 방식을 사용하고 있다. 펌프 프로로셔너 포 소화설비는 펌프 내에서 폼과 물이 혼합이 되어 발포기에서 거품이 안정적이고

†Corresponding Author, E-Mail: catia26@korea.kr
TEL: +82-10-2671-1921, FAX: +82-62-606-4299

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2015.29.2.084>

대량으로 형성할 수 있어 소화효과가 우수한 수계소화설비이다. 그러나 화재 진압 후 소방펌프 및 배관 내 잔존하는 폼을 세척하는데 있어 다량의 물이 필요함과 동시에 세척 시 발포되는 폼으로 인해 환경오염을 일으키는 문제점을 안고 있다. 실제로 00소방서 소방펌프 차량에서 폼을 발포 후 소방펌프 및 배관을 세척하는데 있어 시간은 15분, 세척하는데 수량은 5,000리터가 소요되었다. 이는 화재 진압을 위해 사용하는 포 소화약제보다 세척을 하는데 있어 방출되는 포 소화약제 및 세척용 수원의 낭비가 많음을 시사한다. 대규모 유류 화재시 화재 진압을 위해서 펌프 프로포셔너 포 소화설비를 적극적으로 활용하여야겠으나, 세척 시 방출되는 폼으로 인한 환경오염을 최소화하기 위하여 소방관서에서는 소규모 유류 화재시에는 라인프로포셔너 포 소화설비인 폼 흡입 노즐을 사용하고 있다.

이에 따라 본 연구에서는 차량 화재 등 소규모 유류 화재 발생 시 소방관서에서 사용하는 라인프로포셔너 포 소화설비에 관하여 연구를 진행하였다. 소방관서에서 사용하는 라인 프로포셔너 방식에 의한 폼 흡입 노즐은 펌프 프로포셔너 포 소화설비 시스템에 비하여 구조면에서 매우 단순하고 이동이 원활하여 휴대가 편리하고 포 소화약제 사용 후 소방펌프 및 배관을 세척해야 하는 문제가 없어 환경오염을 최소화할 수 있는 장점이 있다. 그러나 라인프로포셔너 방식에 의한 혼합장치는 폼 흡입 노즐을 통과하면서 압력 손실이 발생하고 또한 폼이 흡입측 Venturi관을 통하여 흡입되는 포 원액양이 폼 흡입 노즐 압력, 유량 및 포원액 흡입 니플 구경에 대하여 많은 영향을 받게 된다. 그러나 소방관서에서 사용하는 폼 흡입 노즐은 압력 및 유량 변화에 대하여 흡입 노즐 구경의 변화를 고려하지 아니한 채 어떤 기준이나 근거 없이 관행적으로 사용되고 있는 실정이다. 실제 실험에서 사용된 폼 흡입 노즐은 소방관서에서 사용하고 있는 폼 흡입 노즐로 폼 흡입니플 구경 4 mm, 흡입측 압력 0.25 MPa, 유량 300 LPM일 때로 압력과 유량을 한정하고 있다. 그러나 시시각각 변하는 압력과 유량에 대하여 최적의 폼을 형성하는데 있어 압력과 유량을 매뉴얼대로 조정하기는 쉽지 않다.

라인 프로포셔너 방식을 활용한 포 소화설비는 주로 위험물 제조소 등에 설치되어 화재진압용으로 사용이 되고 있으며 그에 따른 연구는 보고 및 발표되고 있으나 소방차량에서 사용하는 라인프로포셔너 방식을 활용한 포 소화설비에 관한 연구는 전무한 실정이다. 따라서 본 연구는 라인프로포셔너 방식을 활용한 포 소화설비 노즐의 폼 흡입 노즐 구경에 따른 흡입측 압력 그리고 그때의 유량을 실험을 통해 측정된 실험값을 기초로 포 소화약제 성능인 증기준에 적합한 라인프로포셔너 모델을 제시하여 소방차동차에서 안정적으로 포 소화설비의 사용이 가능하도록 하고자 한다.

2. 이론적 배경

2.1 포 소화 약제의 특성

포 소화설비는 물로서 소화가 곤란한 방호대상물에 소화를 목적으로 개발된 설비로서 물과 포소화약제가 일정 비율로 혼합된 수용액이 공기에 의하여 발포되고, 이 미세한 기포가 연소물질의 표면을 덮어 공기를 차단하는 질식 효과에 의해 소화하는 설비이다. 즉, 포 소화약제의 소화 성능은 포수용액이 공기와 혼합되어 거품을 만들고, 이때 발생한 포가 연소물의 표면을 덮어 질식소화 시키는 것이 주 소화 효과이며, 포 수용액에 함유된 수분에 의한 냉각 효과가 부과적인 효과로 사용되어 지고 있다⁽¹⁾.

2.2 포소화설비 혼합장치

2.2.1 펌프 프로포셔너(Pump Proportioner)

펌프의 토출측과 흡입측 사이를 바이패스배관으로 연결하고, 그 바이패스 배관 도중에 포약제를 접속한 후 펌프에서 토출된 물의 일부를 보내고, 벤츄리 작용에 의해 포 원액이 흡입된다. 이때 포약제 탱크에서 농도조절밸브를 통하여 펌프 흡입측으로 흡입된 약제가 유입되어 이를 지정농도로 혼합하여 발포기를 보내주는 방식이다.

2.2.2 라인 프로포셔너(Line Proportioner)

송수배관 도중에 오리피스형태의 혼합기를 접속하여 벤츄리 효과를 이용해 유수 중에 포약제를 흡입시켜서 지정농도의 포수용액으로 조정하여 발포기로 보내 주는 방식이다. 소규모 또는 이동식 간이설비에 사용되는 방법으로 일명 관로혼합방식이라 한다. 포소화전 또는 한정된 방호대상물의 포 소화 설비에 적용한다.

라인프로포셔너 방식은 가격이 저렴하고 소방 현장 활동시 활동성이 용이하고 필요시 최소한의 포 소화 약제를 사용할 수 있는 장점이 있어 펌프 프로포셔너 방식의 환경오염을 최소화할 수 있는 대안으로 소방관서에 비치되어 널리 사용되고 있다⁽²⁾.

2.3 방사압과 방사량의 관계

노즐의 단면적 A를 통하여 소화수가 방사될 때의 방사압력(P)과 방사량(q)과의 관계를 구하면, $Q = Av$ 로부터 유도된 식으로 Figure 1과 같은 경우 식(1)이 된다⁽³⁾.

$$q = 0.6597Cdd^2\sqrt{10P} \tag{1}$$

여기서, q: 노즐의 방사량(LPM)

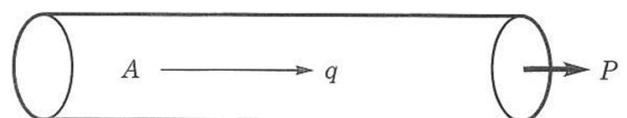


Figure 1. Discharge pressure (P) and flow rate (q).

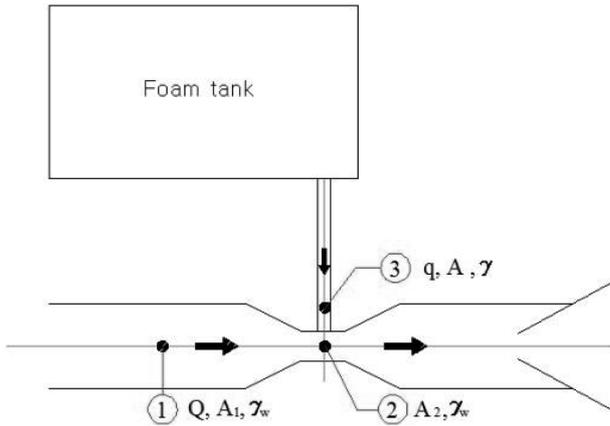


Figure 2. Foam suction rate (q) and flow rate (Q).

Cd : 방출계수
 d: 노즐의 내경(mm)
 P: 노즐방사압(MPa)

2.4 약제 이송량과 혼합비

약제 이송량(q)과 노즐을 통과하는 유량(Q)의 혼합비(q/Q)는 물 및 약제의 비중량과 관의 단면적에 따라 결정된다. 위 Figure 2와 같은 포 소화설비의 Pressure proportioner 혼합장치에서 물의 비중량을 γ_w , 약제의 비중량을 γ , ①점의 단면적을 A_1 , 압력을 P_1 , ②점의 단면적을 A_2 , 압력을 P_2 , 포 소화약제 이송관의 단면적을 A 라고 할 때 포 소화약제를 밀어내는 힘은 ①점과 ②점의 압력차 $P_1 - P_2 (= \Delta P)$ 이며, 주어진 $\gamma_w, \gamma, A_1, A_2$ 를 이용하여 q를 구하면 다음 식(2)와 같다.

$$q = \sqrt{\frac{2g(P_1 - P_2)}{\gamma}} \times A = \sqrt{\frac{\gamma_w V_2^2 \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]}{\gamma}} \times A$$

$$= V_2 \sqrt{\frac{\gamma_w}{\gamma} \left[1 - \left(\frac{A_2}{A_1} \right)^2 \right]} \times A \quad (2)$$

여기서 약제의 배관 내 유속을 V라고 하면 V는 압력차 $\Delta P(P_1 - P_2)$ 에 의하여 발생한다. 압력차 $(P_1 - P_2)$ 는 $\gamma_w V_2^2 / 2g[1 - (A_2/A_1)^2]$ 이고 노즐을 통과하는 유량(Q)는 $A_2 \cdot V_2$

이므로, 약제 이송량(q)과 노즐을 통과하는 유량(Q)의 혼합비(q/Q)는 다음의 식(3)이 성립한다⁽⁴⁾.

$$\frac{q}{Q} = A \cdot \sqrt{\frac{\gamma_w}{\gamma} \left[\frac{1}{A_2^2} - \frac{1}{A_1^2} \right]} \quad (3)$$

이 경우 q/Q는 물 및 약제의 비중량 γ_w, γ , 관의 단면적 A_1, A_2, A 에 따라 결정되는 값으로 표현할 수 있다. 이에 따르면, 혼합비(q/Q)는 약제의 비중량(γ)과 약제 흡입구의 단면적인 A와 호스 부분의 단면적인 A_2 , 그리고 노즐의 교축부 단면적인 A_3 에 영향을 받으며 펌프의 송출압력과는 무관하다는 것을 알 수 있다. 즉, 펌프 송출 압력이 높아지면, 교축부의 유속도 증가하여 흡입 능력이 커져서 비례관계가 형성되므로 약제의 농도에는 변함이 없는 것으로 생각된다.

2.5 Venturi Effect

관로 중의 한 지점을 점차 축소시켰다가 다시 확대하는 관을 Venturi관이라 한다. 이렇게 한 지점의 수류 단면적을 극히 작게 하면 베르누이정리에서와 같이 작은 단면적을 통과하는 물의 유속이 크게 증가하게 된다. 유속이 증가되는 만큼 베르누이 식에서의 동압 성분이 커지게 되며, 물의 전압(Total Pressure)은 일정하게 유지되어야 하므로 정압(Static Pressure, 또는 Normal Pressure) 성분이 감소하게 된다. 이를 Venturi 효과라 하며 Venturi 관을 통과하는 유속이 대단히 커서 정압이 대기압 이하로 감소하게 되면 Venturi 관에 흡인력이 생겨 이 부분에 다른 유체가 흐르는 관을 연결할 때 압력이 낮은 Venturi 관 쪽으로 유체가 빨려 들어가게 된다. 소화설비 중 이러한 Venturi 효과를 이용한 것으로 Foam Proportioner 중 관로혼합기와 Venturi 유량계를 들 수 있다⁽⁵⁾.

2.6 포 소화약제 혼합장치의 성능인증

포 소화약제 혼합장치의 성능인증은 「소방시설 설치·유지 및 안전관리에 관한 법률」 제39조 제4항 및 「소방용품의 품질관리 등에 관한 규칙」 제15조제1항에 따른 소방방재청 고시 제2012-81호 「포소화약제혼합장치의 성능인증 및 제품검사의 기술기준」 제8조(기능시험) 규정에 의해 Table 1의 기술기준을 준용하였다⁽⁶⁾.

Table 1. Technical Standards for the Performance Certification and Product Inspection of Foam Fire-extinguishing Chemical Mixing Machine

<p>Article 8 (Functional Test) The performance of the foam fire-extinguishing chemical mixing machine shall be above the rated concentration of the foam fire-extinguishing chemical when tested under the following conditions and shall be equal to or lower than the lower concentration between 130% of the rated concentration and the rated concentration plus 1:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. The mixing machine shall be set up in accordance with the design method presented by applicant. 2. The test shall be performed within the flow rate and pressure ranges presented by applicant. 3. The measurements shall be made with an orifice designed for the minimum and maximum flow rates of water. 4. The mixing ratio shall be measured by measuring the incoming (consumed) flow rate of water and fire-extinguishing chemical. 5. The test in no. 4 shall be performed five times each for the minimum and maximum flow rates and their arithmetic means shall be used.
--

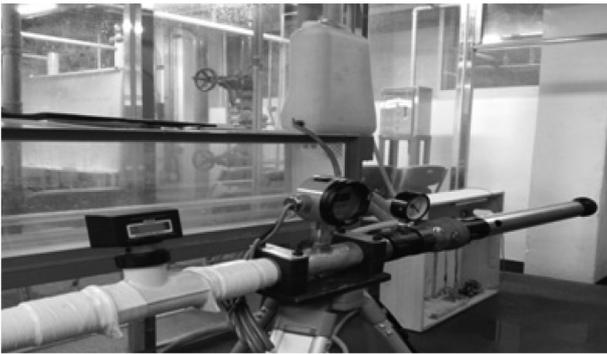


Figure 3. Discharge pressure, flow pressure test device diagram.

2.7 포 소화약제 혼합장치 정격허용농도 범위

포 소화약제 혼합장치 성능인증기준에 따른 3% 정격 허용농도 범위는 Technical Standards for the Performance Certification and Product Inspection of Foam Fire-extinguishing Chemical Mixing Machine 각 호의 기준에 의하여 시험하는 경우 정격 농도 이상이어야 하며 정격 농도의 130% 또는 정격 농도에 1을 더한 수치 중 작은 농도 수치의 이하이어야 하므로 포 소화약제 정격혼합농도를 3%로 설계한 조건에서 실험에 의해 구한 농도 허용범위가 3.0~3.9% 실험 결과값을 가진 조건에 대해서만 소방방재청 고시 제2012-81호 「포소화약제혼합장치의 성능인증 및 제품검사의 기술기준」을 만족하는 것으로 인정하였다⁽⁷⁾.

3. 실험 장치의 구성 및 실험 방법

3.1 방수압, 방수량 측정 실험장치

라인프로포서 포 소화설비의 압력 및 유량을 측정하기



Figure 5. Foam suction nipple caliber type.

위하여 라인프로포서너 노즐 인입측에 압력계 및 디지털 유량계를 설치하였고, 또한 폼 픽업식 장치의 구성을 아래의 Figure 3과 같이 구성하였다.

3.2 실험 방법

폼 흡입 니플 구경에 대하여 노즐 흡입측 압력 및 유량을 측정하기 위하여 입형 다단터빈 펌프(PPL 8-120)를 사용하였고, 폼 노즐 흡입측 압력을 0.25 MPa, 0.30 MPa, 0.35 MPa, 0.40 MPa, 0.45 MPa, 0.50 MPa, 0.55 MPa, 0.60 MPa로 조절하기 위해 압력조절용 밸브를 사용하였다. 호스는 현재 소방차량에 탑재되어 사용하고 있는 이중피 소방호스 15 m 1본을 사용하였다. 그리고 노즐의 폼 흡입 니플 직경의 변수를 주기 위하여 니플 구경을 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm (Figure 5)로 제작하였다.

3.3 실험장치의 구성 및 절차

폼 노즐 흡입 니플 구경 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm 각각에 대하여 폼 흡입 노즐 흡입측 압력 및 유량 변화를 측정하였으며, 또한 소화약제가 분당 흡수되는 양(L)을 측정하여 소화약제의 농도를 구하였다. 실험진행 순서는 먼저 Figure 4와 같이 실험 장치를 구성하였고, 흡입 니플 ⑧을 장착하였다. 가압 펌프 ①을 작동시키고, 앵글밸브 ②를 완전히 개방하였다. 압력계이지 ④를 실험 데이터 값(0.25

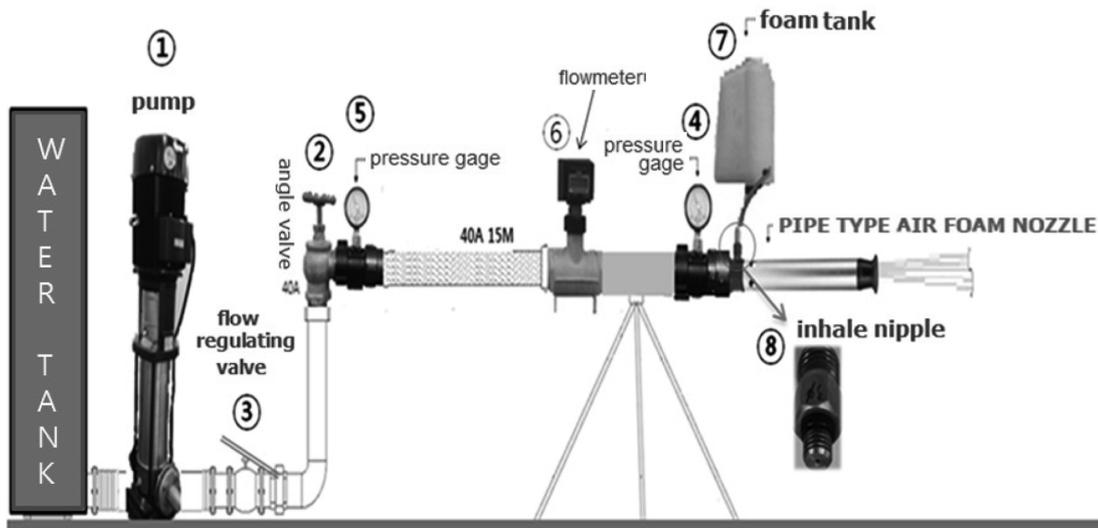


Figure 4. Line proportioner type test device.

MPa, 0.30 MPa, 0.35 MPa, 0.40 MPa, 0.45 MPa, 0.50 MPa, 0.55 MPa, 0.60 MPa)을 가리킬 때 ③번 실험 조작자에게 신호를 보내어 앵글밸브 조작을 멈추도록 하였다. ③번 앵글밸브의 조작이 멈춘 상태에서 ④번 실험 조작자는 그 때의 ④번 압력과 ⑥번 디지털 유량계의 값을 기록하였다. ③번 조작자도 ⑤번의 압력게이지 압력을 실험 기록지에 기록하였다. 방수중인 가운데 ⑦번 폼 약제 밸브를 개방하여 1 L 감소에 따른 시간(Sec)을 기록하였다. 위 실험 과정이 모두 끝이 나면 흡입 니플 구경을 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm 순으로 교체해 가면서 위 과정 ②에서 과정 ⑦까지 반복하여 실험하였다.

흡입 니플 각 구경별 사진은 Figure 5와 같다.

4. 실험결과 및 분석

4.1 실험 결과

흡입 니플 구경 3 mm, 4 mm, 5 mm, 6 mm에 대하여 폼 흡입 노즐 흡입측 압력변화에 따른 농도 측정 결과 흡입 니플 구경이 3 mm, 6 mm일 때는 포 소화약제 혼합장치의 성능 인증 및 기술 기준에서 정하는 3.0~3.9% 범위를 벗

어났으며, 흡입 니플 구경이 4 mm, 5 mm일 때 만족하였다. 흡입 니플 구경이 4 mm일 때는 압력이 비교적 낮은 0.25 MPa~0.35 MPa 범위에서 포 소화약제 혼합장치의 성능 인증 기준에 적합하였다. 그리고 흡입 니플 구경 5 mm일 때는 압력이 비교적 높은 0.45 MPa~0.60 MPa 범위에서 포 소화약제 혼합장치의 성능 인증 및 기술기준에 적합하였다.

4.1.1 흡입 니플 구경 3 mm일 때 폼 흡입 노즐 압력에 따른 유량과 방출 폼 농도의 관계

흡입니플 구경이 3 mm일 때 폼 흡입 인입측 노즐 압력 0.25 MPa에 대하여 유량 172.94 LPM, 폼 흡입 속도 4.40 LPM이 측정되었다. 위 실험으로 구한 값을 바탕으로 이론적 방출 폼 농도를 구하여 보면 $2.28\% = ((4.40 \text{ LPM}) / (172.94 \text{ LPM} + 4.40 \text{ LPM}))$ 이다. 흡입 니플 구경 3 mm에 대한 실험 결과 펌프 방수압과 말단 폼 흡입 노즐에 걸리는 폼 노즐 사이의 호스 1본에 대한 마찰손실 압력은 평균 0.171 MPa, 방출 유량 평균 211.13 LPM, 폼 흡입 평균 속도 4.46 LPM이었다. 또한 흡입 니플 구경을 3 mm로 사용할 때 폼 노즐 방출 압력이 커질수록 방출 폼 농도는 평균

Table 3. Foam Discharge Concentration for Nozzle Discharge Pressue when Foam Suction Nipple Caliber Type is 3 mm

Pump discharge pressure [MPa]	Pipe type air foam nozzle		Foam suction rate [LPM]	Foam discharge concentration [%]
	Discharge pressure [MPa]	Flow rate [LPM]		
0.40	0.25	172.94	4.40	2.48
0.45	0.30	191.61	4.58	2.33
0.50	0.35	197.78	4.60	2.27
0.56	0.40	203.85	4.67	2.24
0.61	0.45	215.87	4.41	2.00
0.67	0.50	224.46	4.51	1.97
0.74	0.55	237.06	4.20	1.74
0.80	0.60	245.43	4.29	1.72

Table 4. Foam Discharge Concentration for Nozzle Discharge Pressue when Foam Suction Nipple Caliber Type is 4 mm

Pump discharge pressure [MPa]	Pipe type air foam nozzle		Foam suction rate [LPM]	Foam discharge concentration [%]
	Discharge pressure [MPa]	Flow rate [LPM]		
0.40	0.25	172.8	6.12	3.42
0.45	0.30	186.14	6.17	3.21
0.50	0.35	192.62	6.42	3.17
0.56	0.40	207.99	6.19	2.89
0.61	0.45	215.19	6.38	2.88
0.67	0.50	225.27	6.12	2.65
0.73	0.55	233.10	5.94	2.49
0.79	0.60	243.54	6.00	2.40

적으로 0.31% 감소하는 것으로 나타났다. 방출 유량과 폼 흡입 속도 측정을 통해 방출 폼 농도 평균을 구해보면 2.09%로 흡입 니플 구경 3 mm에 대한 실험 결과 포소화약제혼합장치의 성능인증 및 제품검사의 기술기준에 부적합 하였으며, 식(4)와 달리 압력 변화에 따라 약제 농도에 변화가 있음을 알 수 있다.

4.1.2 흡입 니플 구경 4 mm일 때 폼 흡입 노즐 압력에 따른 유량과 방출 폼 농도의 관계

흡입니플 구경 4 mm에 대한 실험 결과, 펌프 방수압과 말단 폼 흡입 노즐에 걸리는 폼노즐 사이의 호스 1본에 대한 마찰손실 압력은 평균 0.164 MPa, 방출 유량 평균은 209.58 LPM, 폼 흡입 평균 속도는 6.17 LPM이었다. 방출 유량과 폼 흡입 속도를 통해 방출 폼 농도 평균을 구해보면 2.89%로 흡입니플 구경 3 mm에서의 측정 결과와 비교했을 때 폼 흡입 노즐의 흡입 니플 구경이 커졌을 때 포소화약제 혼합장치의 성능 인증 기준에 근접함을 알 수 있다. Table 4의 결과를 통해 폼 흡입 노즐에 걸리는 압력이 0.25 MPa, 0.30 MPa, 0.35 MPa일 때 포소화약제혼합장치의 성능인증 기술기준에 적합함을 알 수 있다. 폼 흡입 노즐 방수압이 0.40 MPa, 0.45 MPa, 0.50 MPa, 0.55 MPa, 0.60 MPa일 때는 기준에 적합하지 않으며 흡입니플 4 mm에 대한 실험 결과도 흡입 니플 구경 3 mm에 대한 실험 결과와 마찬가지로 폼 흡입 노즐 방수압 및 방수량 증가에 따라 방출되는 폼 농도가 작아짐을 알 수 있다. 흡입 니플 구경 4 mm 사용시 폼 노즐 방수 압력이 커질수록 방출 폼 농도는 평균적으로 0.15% 감소하였다. 흡입 니플 구경 4 mm에 대한 최적의 폼 방출 농도를 얻기 위한 흡입 노즐 인입측 압력 범위는 0.25 MPa~0.35 MPa로 확인되었다.

4.1.3 흡입 니플 구경 5 mm일 때 폼 흡입 노즐 압력에 따른 유량과 방출 폼 농도의 관계

흡입 니플 구경 5 mm에 대한 실험 결과 펌프 방수압과 말단 폼 흡입 노즐에 걸리는 폼노즐 사이의 호스 1본에 대

한 마찰손실 압력은 평균 0.165 MPa, 방출 유량 평균은 210.84 LPM, 폼 흡입 평균 속도는 8.63 LPM이었다. 방출 유량과 폼 흡입 속도를 통해 방출 폼 농도 평균을 구해보면 3.97%로 흡입니플 구경 3 mm와 4 mm에서의 측정 결과와 비교했을 때 폼 흡입 노즐의 흡입 니플 구경이 커졌을 때 포소화약제 혼합장치의 성능 인증 기준에 근접함을 알 수 있다. 위 Table 5 결과를 통해 폼 흡입 노즐에 걸리는 압력이 0.45 MPa, 0.50 MPa, 0.55 MPa, 0.60 MPa일 때 포소화약제혼합장치의 성능인증 기술기준에 적합하였다. 폼 흡입 노즐 방수압이 0.25 MPa, 0.30 MPa, 0.35 MPa, 0.40 MPa일 때는 기준에 적합하지 않았다. 또한, 흡입 니플 구경이 5 mm일 때 포소화약제혼합장치의 성능인증 기술 기준에 적합한 압력은 흡입 니플 구경이 4 mm일 때와 달리 낮은 압력이 아닌 방출 압력이 0.45 MPa 이상의 범위에서 폼 방출 농도를 만족함을 알 수 있다. 이 결과를 통해 흡입 니플 구경이 4 mm일 때는 낮은 압력 범위에서 흡입 니플 구경이 5 mm인 경우는 높은 압력 범위에서 포소화약제혼합장치의 성능인증 기술 기준에 적합함을 알 수 있다. 흡입 니플 구경 5 mm에 대한 실험 결과도 흡입 니플 구경 3 mm와 흡입 니플 구경 4 mm에 대한 실험 결과와 마찬가지로 폼 흡입 노즐 방수압 및 방수량 증가에 따라 방출되는 폼 농도가 작아짐을 알 수 있다. 흡입 니플 구경 5 mm 사용시 폼 노즐 방수 압력이 커질수록 방출 폼 농도는 평균적으로 0.15% 감소하였다. 결과적으로 흡입 니플 구경 5 mm에 대한 최적의 폼 방출 농도를 얻기 위한 흡입 노즐 인입측 압력 범위는 0.45 MPa~0.60 MPa로 확인되었다.

4.1.4 흡입 니플 구경 6 mm일 때 폼 흡입 노즐 압력에 따른 유량과 방출 폼 농도의 관계

흡입 니플 구경 6 mm에 대한 실험 결과 펌프 방수압과 말단 폼 흡입 노즐에 걸리는 폼노즐 사이의 호스 1본에 대한 마찰손실 압력은 평균 0.168 MPa, 방출 유량 평균 211.34 LPM, 폼 흡입 평균 속도 10.92 LPM이었다. 방출

Table 5. Foam Discharge Concentration for Nozzle Discharge Pressue when Foam Suction Nipple Caliber Type is 5 mm

Pump discharge pressure [MPa]	Pipe type air foam nozzle		Foam suction rate [LPM]	Foam discharge concentration [%]
	Discharge pressure [MPa]	Flow rate [LPM]		
0.39	0.25	173.52	8.33	4.58
0.45	0.30	188.91	8.96	4.53
0.49	0.35	189.45	8.00	4.05
0.56	0.40	209.79	8.96	4.09
0.60	0.45	215.73	8.57	3.82
0.68	0.50	227.79	8.45	3.58
0.75	0.55	237.42	8.82	3.58
0.80	0.60	244.08	8.96	3.54

Table 6. Foam Discharge Concentration for Nozzle Discharge Pressure when Foam Suction Nipple Caliber Type is 6 mm

Pump discharge pressure [MPa]	Pipe type air foam nozzle		Foam suction rate [LPM]	Foam discharge concentration [%]
	Discharge pressure [MPa]	Flow rate [LPM]		
0.40	0.25	174.10	10.31	5.59
0.45	0.30	190.10	11.03	5.49
0.49	0.35	193.19	10.86	5.32
0.56	0.40	210.18	10.72	4.85
0.62	0.45	216.43	11.27	4.95
0.68	0.50	226.31	11.17	4.70
0.74	0.55	236.81	11.07	4.47
0.80	0.60	243.56	10.93	4.29

유량과 폼 흡입 속도를 통해 방출 폼 농도 평균을 구해보면 4.96%로 흡입 니플 구경 3 mm, 4 mm, 5 mm에서의 측정 결과와 비교했을 때 폼 흡입 노즐의 흡입 니플 구경이 커짐에 따라 방출 폼 농도가 증가함을 알 수 있다. 또한, Table 6의 결과를 통해 알 수 있듯이 폼 흡입 노즐 구경이 6 mm일 때는 압력범위 전체에 대하여 포소화약제혼합장치의 성능인증 기술기준에 부적합하였다.

5. 결 론

Table 3~Table 6의 결과에서 알 수 있듯이 흡입 니플 구경에 대하여 폼 흡입 노즐 방수 압력 변화에 따라 포 수용액 흡입 속도 및 방출된 포 수용액의 이론적 폼 농도가 민감하게 변함을 알 수 있다.

폼 흡입 노즐 방수 압력 0.25 MPa, 0.30 MPa, 0.35 MPa, 0.40 MPa, 0.45 MPa, 0.50 MPa, 0.55 MPa, 0.60 MPa에 대한 포 수용액 평균 흡입 속도는 다음과 같다. 흡입 니플 구경이 3 mm일 때 포 수용액 평균 흡입 속도는 4.46 LPM, 4 mm일 때 포 수용액 평균 흡입 속도는 6.17 LPM, 5 mm일 때 포 수용액 평균 흡입 속도는 8.63 LPM, 6 mm일 때 포 수용액 평균 흡입 속도는 10.92 LPM의 결과를 얻을 수 있었으며, 폼 흡입 노즐 압력 0.25 MPa일 때 평균 유량은 173.53 LPM, 0.30 MPa일 때 평균 유량은 187.15 LPM, 0.35 MPa일 때 평균 유량은 194.68 LPM, 0.40 MPa일 때 평균 유량은 208.77 LPM, 0.45 MPa일 때 평균 유량은 215.59 LPM, 0.50 MPa일 때 평균 유량은 236.23 LPM, 0.55 MPa일 때 평균 유량은 236.23 LPM, 0.60 MPa일 때 평균 유량은 244.52 LPM으로 압력 증가에 따라 유량도 함께 증가하였다. 위 결과를 통해 흡입 노즐 구경별 방출된 폼 농도 산출 결과, 3 mm일 때 방출폼 농도는 압력 0.25 MPa에서 포 수용액 농도 2.48%의 결과를 얻을 수 있었으며 압력증가에 따라 포 수용액 농도가 2.33%, 2.27%, 2.24%, 2.00%, 1.97%, 1.74%, 1.72%로 떨어짐을 확인할 수 있었다. 흡입 니플 구경 4 mm, 5 mm, 6 mm에

대해서도 저압 0.25 MPa에서 포 수용액 농도가 큰 범위에서 기술기준 범위를 벗어났으며, 고압으로 갈수록 포 수용액의 농도가 낮아지는 결과를 얻었다. 이는 식(3)과 달리 압력 변화에 따라 약제 농도의 변화가 있다는 것을 알 수 있다. 즉, 라인 프로포셔널 방식에 의한 폼 흡입 노즐은 압력, 유량 및 포 수용액 흡입 니플 구경에 대하여 방수 압력이 커질수록 유량이 증가하고 방출 되는 포 수용액 농도는 낮아지는 것을 알 수 있다. 이는 식(3)에 대하여 펌프 송출 압력에 따라 약제의 농도가 변함이 없다는 것을 반증하는 예가 될 수 있다. 압력이 저압일 때와 고압일 때 유량 변화의 폭이 큰 것에 반하여 폼이 흡입 되는 양은 저압일 때와 고압일 때의 변화의 폭이 크지 않기 때문인 것으로 판단된다.

이상의 실험을 통해 흡입 니플 구경 4 mm와 5 mm를 사용할 때 성능 시험에 적합한 압력 범위를 확보할 수가 있었다. 현재 소방관서에서 사용하는 흡입 니플 구경은 4 mm를 주로 사용하고 있으나, 실험을 통해 확인해 본 결과 흡입 니플 구경 4 mm일 때는 소방 펌프 압력 0.50 MPa 이하의 압력 범위에서 성능 시험에 적합하였고, 흡입 니플 구경 5 mm일 때는 소방펌프 압력 0.60 MPa 이상의 압력 범위에서 성능 시험에 적합한 것으로 나타났다. 따라서 소방펌프 차량의 압력을 제어함에 있어 흡입 니플 구경 4 mm일 때는 소방 펌프 압력 0.50 MPa 이상이 되게 되면 성능 시험에 부적합 하게 되어 고압으로 제어하더라도 포 수용액 성능 시험에 적합한 농도를 안정적으로 확보할 수 있는 흡입 니플 구경 5 mm를 사용하는 것이 타당할 것이다.

References

1. H. H. Choi, "Fire Protection System Handbook", DAIN, pp. 354-370 (2011).
2. J. P. Asselin, G. P. Crampton, A. K. Kim and J. K. Richardson, "Compressed-Air Foam Fixed-Pipe Fire Suppression Systems", Fire Protection Engineering, pp. 1-10 (2007).

3. S. O. Nam, "Design & Construction of Fire Protection Systems", Sungandang, pp. 170-173 (2014).
4. S. O. Nam, "Design & Construction of Fire Protection Systems", Sungandang, pp. 345-346 (2014).
5. C. O. Lee, "Firefighting Fluid Mechanics", Sidaegosi Publisher, pp. 438-439 (2010).
6. K. J. Yun, "An Experimental Study on the Improvement of Foam Fire-Extinguish System's Mixing Ratios by Expanding the Cross Sectional Area of the Stock Solution inhaling Piping", Korean Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 27, No. 3, p. 31 (2013).
7. J. H. Ku, "Study on Foam Mixing Characteristics in Steady State to Enhance the Performance of Proportioner for Foam System", Journal of KOSHAM, Vol. 9, No. 5, p. 65 (2009).