

포 소화설비용 소화약제 혼합장치의 성능향상을 위한 정량 혼합특성에 관한 연구

A Study on Foam Mixing Characteristics in Steady State to Enhance the Performance of Proportioner for Foam System

구재현*
Ku, Jae-Hyun

Abstract

This study describes to analyze foam mixing characteristics in steady state to enhance the performance of proportioner for foam system designed to accurately proportion a foam liquid concentrate into a water stream up to constant concentration. The proportioner developed is experimentally evaluated in performance evaluation system consisted of a pump, tanks, pressure gauges, flow meters, a nozzle. As a result, the foam mixing performance of the line proportioner is found to increase with increased the water flow rate due to the venturi effect and with increased the cross-sectional area of the orifice and is analysed with 3% in the error rate of $\pm 4\%$. For the pressure proportioner, the foam mixing performance is analyzed to increase with increased the water flow rate and with increased the inlet pressure and is analysed with 3% in the error rate of $\pm 2\%$.

Key words : foam system, foam mixing performance, line proportioner, pressure proportioner

요 지

본 연구에서 물 흐름에 일정한 농도로 포 소화약제를 정확하게 혼합하는 포 소화설비용 소화약제 혼합장치의 성능향상을 위하여 포소화약제의 정량 혼합특성을 분석하였다. 펌프, 탱크, 압력계, 유량계, 노즐로 구성되는 성능평가 시스템을 사용하여 개발된 라인프로포셔너의 성능이 실험적으로 평가하였다. 결과적으로 라인프로포셔너의 포소화약제 혼합성능은 벤츄리 효과에 의한 물 유량 증가와 오리피스 단면적 증가에 따라 증가하고 오차율 $\pm 4\%$ 이내의 범위에서 물 유량과 포소화약제 양의 혼합농도 3%의 성능을 보였다. 프레스프로포셔너의 경우 물 유량 증가와 입구압력 증가에 따라 혼합성능이 증가하고 오차율 $\pm 2\%$ 이내의 범위에서 물 유량과 포소화약제 양의 혼합농도 3%의 성능으로 분석되었다.

핵심용어 : 포 소화설비, 포소화약제 혼합성능, 라인프로포셔너, 프레스프로포셔너

1. 서 론

포소화설비는 가연물의 표면에 거품형태의 포를 살포하여 가연물과 공기를 차단하는 질식 효과에 의거 소화하는 설비로 특히 인화성/가연성 액체 위험물의 소화설비로 널리 사용되고 있다.

특히 석유류 제품 저장탱크 등의 화재는 제품의 특성상 조기 진화가 되지 않으면 대형사고로 확대되어 막대한 인명 및 재산상의 손실을 초래하며, 사회적 문제가 증가될 가능성이 있다(동경소방기계연구회, 1994).

현재, 국내 일부업체에서 포소화설비용 혼합장치를 제조하고 있으나, 이는 선진국의 제품을 전체 모방하고 있는 단계로 외국 기술에 전적으로 의존하고 있으며 실제 성능검증이

되지 않은 제품이 국내에 유통되고 있는 실정이다. 이는 시제품 개발에 있어서 유체의 정량 혼합기술 관련 실험적 데이터 부족 및 해석방법이 명확하게 정립되지 않은 점에 기인하는 것으로 분석된다. 따라서, 위험물 저장소 및 위험물 옥외 저장 탱크의 화재로부터 보호 등을 위해 정량 혼합장치 개발 기술 관련 국내 소방법령에 의거하여 충분한 실험데이터 확보 및 분석을 통하여 국내 실정에 적합한 포소화약제 혼합장치의 국산화가 절실히 필요하다.

혼합장치(Proportioner)는 가압용수에 포소화약제를 적정비율(포소화약제의 종류에 따라 다르나 보통 3% 또는 6%임)로 혼합하여 주는 장치로 라인프로포셔너(Line Proportioner), 펌프로포셔너(Pump Proportioner), 프레스프로포셔너(Pressure Proportioner), 프레스사이드프로포셔너(Pressure Side Proportioner)

*정회원 · 한국소방산업기술원 소방산업기술연구소 과장(E-mail: kujh@empal.com)

등으로 분류된다(Kidde Fire Fighting, Inc., 2000/2002).

정량 혼합장치 중 가장 많이 사용되는 것이 라인프로포셔너 및 프레스프로포셔너이다. 라인프로포셔너는 펌프와 발포기 간 송·수송배관의 도중에 포소화약제와 혼합기를 접속하여 벤츄리효과(Venturi Effect)(Fisenko, 1995)를 이용하여 유수중에 포소화약제를 흡입시켜서 지정농도의 포 수용액으로 조정하여 발포기로 보내 주는 원리를 갖는다. 이 장치는 소규모 또는 이동식 간이 설비에 사용되는 방법으로 일명 관로 혼합 방식이라 하며 포소화전 또는 한정된 방호 대상물의 포 소화설비에 적용된다. 프레스프로포셔너는 펌프와 발포기 간의 배관 중간에 포소화약제 저장탱크 및 혼합기를 설치하여 약제탱크의 소화용수를 유입시켜 소화용수의 수압에 의한 압입과 혼합기의 벤츄리효과에 의한 흡입을 이용하는 차압혼합 방식으로 작동한다(소방시설의 설계 및 시공, 2007).

중간에 설치된 벤츄리 관의 벤츄리효과 작용과 함께 펌프 가압수의 포 소화약제 저장탱크에 대한 압력에 의하여 포소화약제를 흡입 혼합하는 장치이다(김태완, 2003). 현재 라인프로포셔너와 프레스프로포셔너 관련 기술은 국외에서는 개발이 완료되어 실용화단계이나, 국내에서는 국외기술에 의존하는 개발초기 단계로 정량 혼합장치의 혼합특성에 관한 연구결과 데이터베이스 구축이 요구된다.

본 연구는 포소화설비용 소화약제 혼합장치의 성능향상을 위한 정량 혼합장치의 혼합특성에 관한 연구로, 소방법령 기준에 따른 성능시험 조건하에서 물과 포소화약제 혼합농도 3%용 라인프로포셔너 및 프레스프로포셔너 개발품을 사용하여 유량, 압력 및 오리피스 단면적 및 포소화약제 혼합농도의 상관관계를 측정함으로써 포 소화약제의 정량 혼합특성을 실험적으로 분석하였다. 향후, 본 결과는 고효율 정량 혼합장치 개발을 위한 기초자료로 활용하고자 한다.

2. 실험개요 및 실험방법

2.1 실험조건

본 연구에서 사용한 포소화설비용 정량 혼합장치인 라인프로포셔너와 프레스프로포셔너에 대한 기능 및 성능을 측정하기 위해서 우선적으로 한국소방산업기술원 KFI 인정기준 “포소화약제혼합장치의인정기준(KFIS 011)” (한국소방검정공사, 2004)에 근거하여 포 소화설비용 혼합장치의 혼합특성 성능 분석을 위한 실험조건을 설정하였다.

표 1은 본 연구에서 사용한 라인프로포셔너 및 프레스프로포셔너의 시험조건을 나타낸 것이다.

2.2 실험방법

그림 1과 그림 2는 각각 포 소화설비용 혼합장치의 혼합특성 성능분석을 위한 라인프로포셔너와 프레스프로포셔너에 대한 성능시험장치 개략도를 나타낸 것으로서, 펌프, 물탱크, 라인프로포셔너, 압력계, 유량계, 포소화약제 탱크, 노즐 등으로 구성된다.

혼합장치의 주요변수인 유량, 압력, 오리피스 단면적 및 포소화약제 혼합농도를 측정하여 그 상관관계를 실험적으로 분

표 1. 소화설비용 소화약제 혼합장치의 혼합특성 성능시험 조건

항목	시험 조건
혼합장치	- 라인프로포셔너 : 청동주물(몰체), 길이 384 mm, 중량 5.85 kg - 프레스프로포셔너 : 청동주물(몰체), 길이 33 mm, 중량 4.20 kg
포소화약제	- 수성막포 (비중 1.00~1.15) (AFFF, Aqueous Film Forming Foam)
포소화약제 정량혼합농도	- 3%
유량	- 물유량 0~2,400 L/m
압력	- 혼합장치 입구압력 < 7 kg/cm ²
오리피스 단면적	- 혼합장치 입구오리피스 단면적 < 500 mm ²

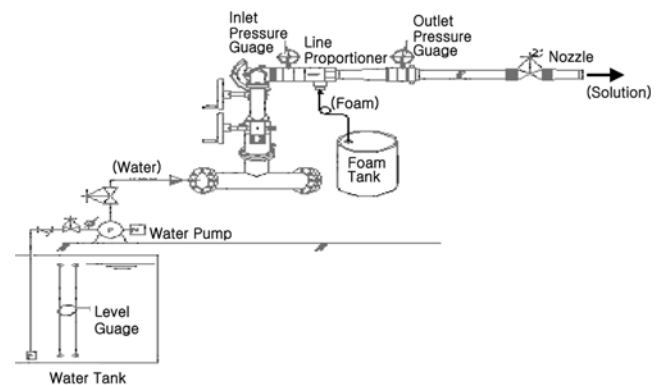


그림 1. 라인프로포셔너의 성능시험장치 개략도.

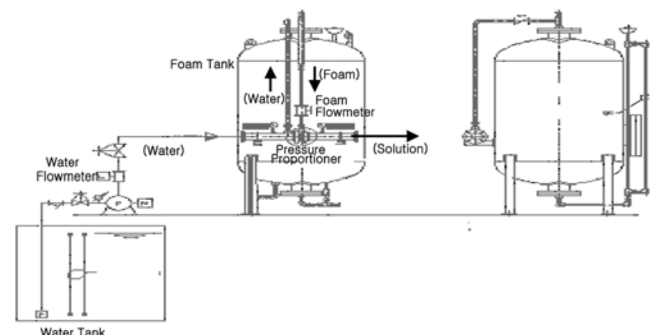
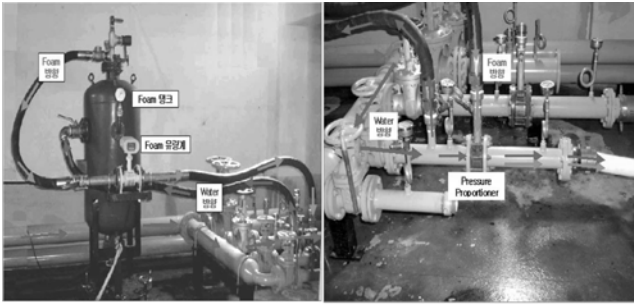


그림 2. 프레스프로포셔너의 성능시험장치 개략도..

석하였다.

실험순서는 먼저 물 펌프를 가동하고 밸브조작을 통하여 혼합장치 입구압력을 7 kg/cm²로 고정시키고 1분 동안 물을 방사하여 유량계(전자유량계, ELIS FLOW MAG FM 20XX, 108~10,800L/min)와 물탱크의 레벨게이지 눈금의 차를 측정하여 유량을 측정한다. 포소화약제 탱크에 포소화약제를 채워 넣은 후, 물 펌프를 가동하고 밸브 조작을 통하여 혼합장치의 입구압력 7 kg/cm², 출구압력 3.5 kg/cm²로 설정한다. 그리고 포소화약제 탱크에 흡입관(Pick-up Pipe)을 넣고 1분 동안 물을 방사하여 포소화약제 탱크로부터 흡입되는 포소화약제 유량을 유량계를 사용하여 측정한다.

여기서 라인프로포셔너의 경우 벤츄리 효과에 의해서만 포소화약제가 흡입되고, 프레스프로포셔너는 벤츄리 효과와 함



(a) 전체 모습 (b) 혼합장치 장착 모습
 그림 3. 프레셔프로포셔너의 성능시험장치 사진.

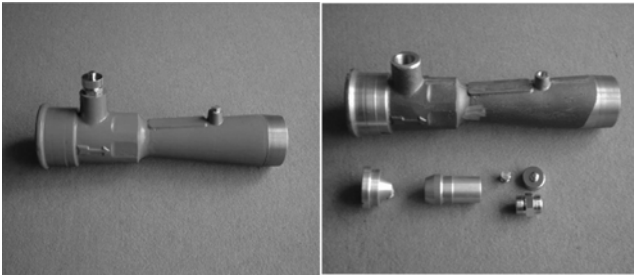


그림 4. 라인프로포셔너의 조립품 및 구성부품.

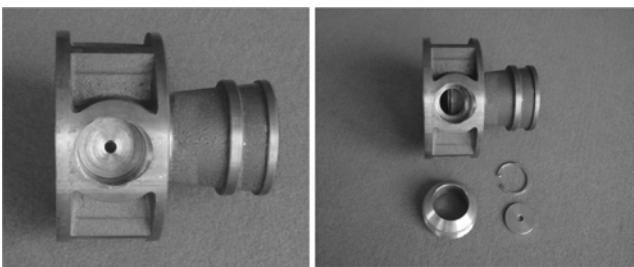


그림 5. 프레셔프로포셔너 조립품 및 구성부품.

개 펌프 가압수에 의한 포소화약제 저장탱크에 압력을 가함으로써 포소화 약제를 흡입 혼합하게 된다.

이때, “포소화약제혼합장치인정기준(KFIS 011)”에 따라 측정되는 혼합농도는 정격농도 이상이어야 하며, 정격농도의 130% 또는 정격농도에 1을 더한 수치 중 작은 농도수치이하로 포소화약제 혼합농도 기준이 결정된다(한국소방검정공사, 2004 ; NFPA, 2002). 따라서, 포소화약제 정격혼합농도는 3%로 설계하였으므로 혼합농도 기준인 3~3.9% 범위에 포함되어야 최적성능을 얻게 된다.

그림 3은 프레셔프로포셔너 성능시험장치로서, 그림 (a)는 전체장치이며 그림 (b)는 프레셔프로포셔너를 장착하였다. 그림 4와 그림 5는 각각 라인프로포셔너 및 프레셔프로포셔너 조립품과 구성요소 부품이다.

3. 연구결과 및 고찰

3.1 라인 프로포셔너의 성능분석 결과

3.1.1 유량 특성 분석

그림 6은 라인프로포셔너에 대하여 입구압력 7 kg/cm², 출구압력 3.5 kg/cm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤1,000 L/

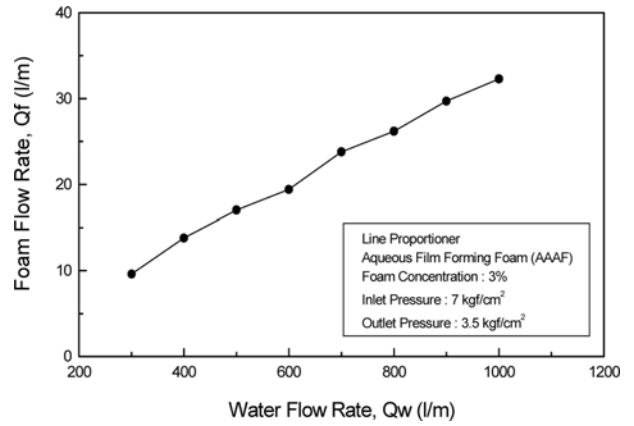


그림 6. 라인프로포셔너의 물유량에 따른 포소화약제 흡입유량 측정 결과.

min의 조건하에서 라인프로포셔너의 입구 오리피스 단면적에 따라 물 유량에 따른 포소화약제 흡입유량 측정결과를 나타낸 것으로, 물 유량에 따라 흡입되는 포소화약제의 양이 비례적으로 증가함을 볼 수 있다. 이는 물 유량이 증가함에 따라 프로포셔너의 벤츨리관 효과에 의하여 발생된 음압의 증가로 인하여 흡입되는 포소화약제 양이 증가하는 것으로 분석되었다. 입구 오리피스(Inlet Orifice) 단면적 150 mm², 305 mm², 423 mm²인 경우 물 유량 300 L/min, 600 L/min, 900 L/min인 경우 흡입되는 포소화약제의 양은 각각 9.6 L/min, 19.4 L/min, 29.7 L/min으로 측정되었다.

3.1.2 오리피스 면적에 따른 유량 특성 분석

그림 7은 라인프로포셔너에 대하여 입구압력 7 kg/cm², 출구압력 3.5 kg/cm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤1,000 L/min의 조건하에서 라인프로포셔너의 입구 오리피스 단면적에 따라 물 유량, 포소화약제 양 및 포수용액 양의 측정결과를 나타낸 것으로, 오리피스 단면적이 증가함에 따라 물 유량, 포소화약제 양 및 포수용액 양이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 입구 오리피스(Inlet Orifice) 단면적 150 mm², 181 mm², 249 mm², 305 mm², 330 mm², 373 mm², 423 mm², 475 mm²인 경우 통과되는 물 유량은 각각 300 L/min, 400 L/min, 500 L/min, 600 L/min, 700 L/min, 800 L/

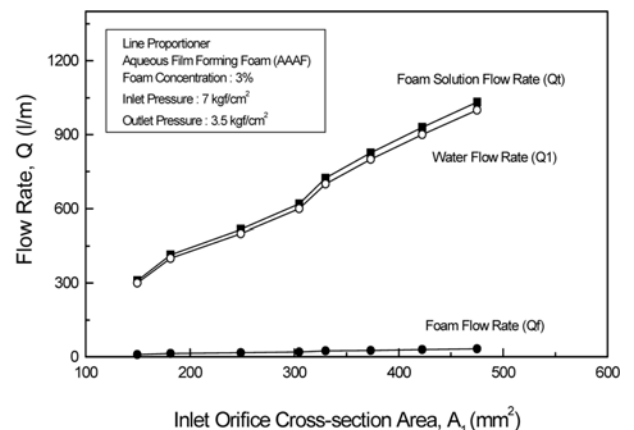


그림 7. 라인프로포셔너의 오리피스 단면적에 따른 유량 측정결과.

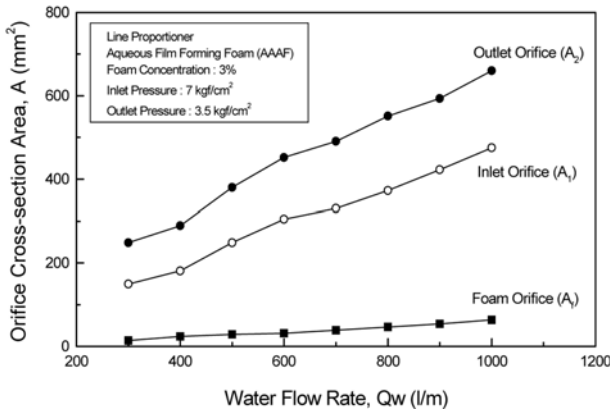


그림 8. 라인프로포셔너의 물유량에 따른 오리피스 단면적변화 분석 결과.

min, 900 L/min, 1,000 L/min이고, 포소화약제 흡입량은 9.6 L/min, 13.8 L/min, 17.0 L/min, 19.4 L/min, 23.8 L/min, 26.2 L/min, 29.7 L/min, 32.3 L/min이며, 포수용액 양은 309.6 L/min, 413.8 L/min, 517.0 L/min, 619.4 L/min, 723.8 L/min, 826.2 L/min, 929.7 L/min, 1,032.3 L/min으로 측정되었다.

그림 8은 라인프로포셔너에 대하여 입구압력 7 kg/cm², 출구압력 3.5 kg/cm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤1,000 L/min의 조건하에서 라인프로포셔너의 입구 및 출구 오리피스 단면적, 포소화약제 흡입부 오리피스 단면적의 변화에 따른 물 유량의 변화를 보여주는 측정결과로서, 오리피스 단면적 증가로 인하여 물 유량이 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 입구 오리피스 단면적이 각각 150 mm², 305 mm², 423 mm², 출구 오리피스 단면적이 각각 249 mm², 452 mm², 594 mm², 포소화약제 흡입부 오리피스 단면적이 각각 14 mm², 31 mm², 54 mm²에서 물 유량은 300 L/min, 600 L/min, 900 L/min로 측정되었다.

3.1.3 물유량에 따른 포소화약제 혼합농도 특성 분석

그림 9는 라인프로포셔너에 대하여 입구압력 7 kg/cm², 출구압력 3.5 kg/cm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤1,000 L/min의 조건하에서 물 유량에 따른 포소화약제 혼합농도 측정결과로서, 물 유량 증가에 따라 포소화약제의 혼합농도가

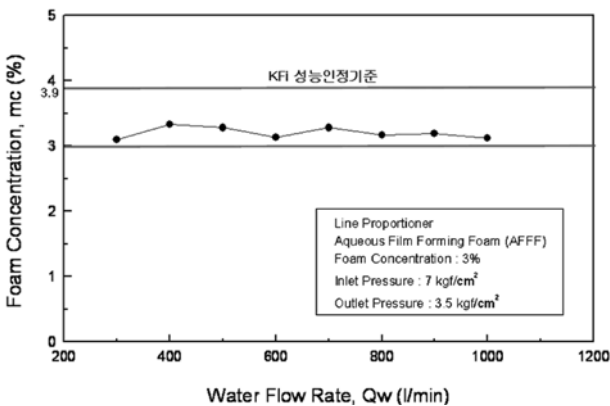


그림 9. 라인프로포셔너의 물유량에 따른 포소화약제 혼합농도 측정 결과.

3%로 일정함을 보여 주고 있다. 이는 라인프로포셔너의 기능적 성능을 나타내는 결과로서, 오차를 ±4%이내의 범위에서 물 유량과 포소화약제 양의 혼합농도 3%의 성능을 만족하는 것으로 분석하였다. 따라서 라인프로포셔너는 국내 소방법령에 제시된 포소화약제혼합장치인정기준(KFIS 011) 중 혼합농도 항목의 기준에 적합한 성능을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

3.2 프레셔 프로포셔너의 성능분석 결과

3.2.1 유량특성 분석

그림 10은 프레셔프로포셔너에 대하여 오리피스 단면적 63.6 mm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤2,400 L/min의 조건하에서 물 유량에 따른 포소화약제 흡입유량 측정결과를 나타낸 것으로, 물 유량 증가에 따라 비례적으로 포소화약제의 흡입유량이 증가한다. 이는 물 유량 증가에 따라 벤츨리 효과와 물 유량에 의한 가압작용에 의하여 흡입되는 포소화약제 양이 증가하는 것으로 나타났다. 물유량 1,565 L/min, 2,005 L/min, 2,340 L/min에서 포소화약제의 흡입량은 각각 54 L/min, 70 L/min, 79 L/min으로 측정되었다.

3.2.2 압력에 따른 유량 특성 분석

그림 11은 프레셔프로포셔너에 대하여 오리피스 단면적 63.6 mm², 포수용액 혼합농도 3%, 물유량≤2,400 L/min의 조

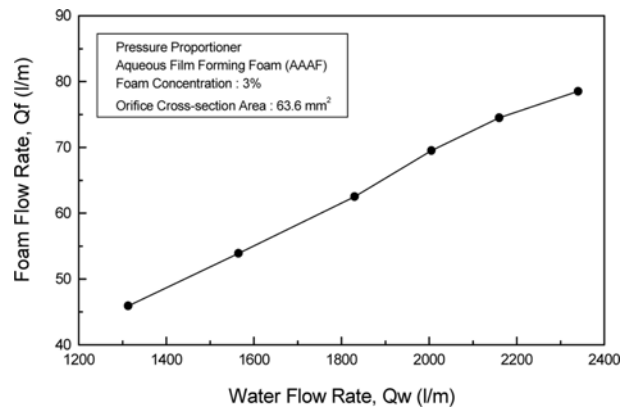


그림 10. 프레셔프로포셔너의 물유량에 따른 포소화약제 흡입유량 측정결과

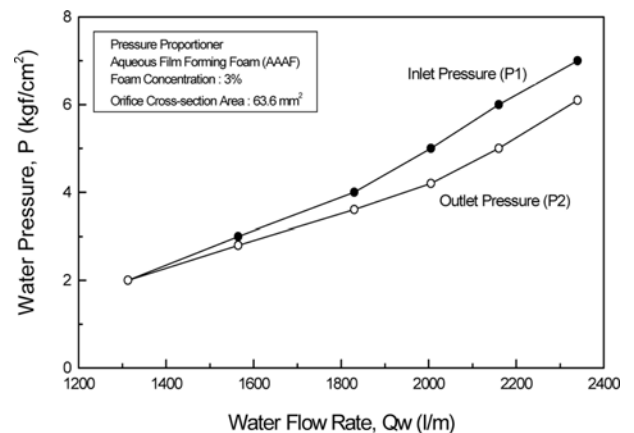


그림 11. 프레셔프로포셔너의 물유량에 따른 압력변화 측정결과..

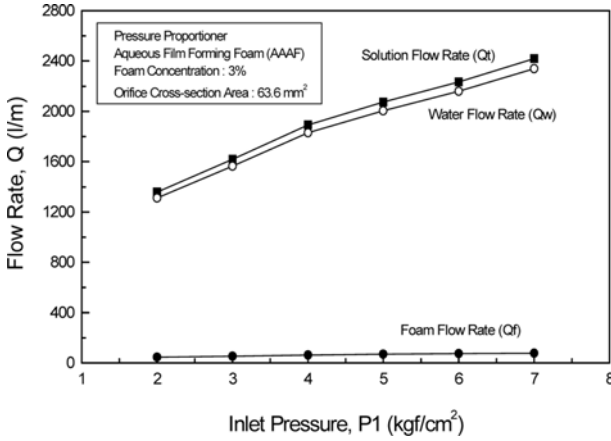


그림 12. 프레스프로포셔너의 입구압력에 따른 유량 측정결과.

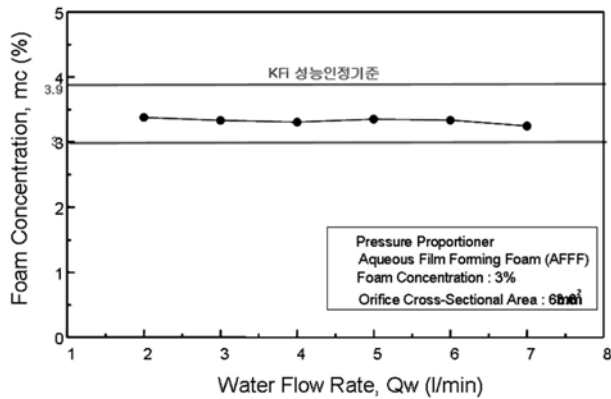


그림 13. 프레스프로포셔너의 물유량에 따른 포소화약제 혼합농도 측정결과

건하에서 물 유량에 따라 입구 및 출구압력의 변화를 보여주는 측정결과로서, 물 유량이 증가하기 위하여 프레스프로포셔너의 입출구 압력이 증가함을 알 수 있다. 물유량 1,565 L/min, 2,005 L/min, 2,340 L/min에서 입구압력은 각각 3 kg/cm², 5 kg/cm², 7 kg/cm², 출구압력이 각각 2.8 kg/cm², 4.2 kg/cm², 6.1 kg/cm²로 측정되었다.

그림 12는 프레스프로포셔너에 대하여 오리피스 단면적 63.6 mm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤2,400 L/min의 조건하에서 입구압력 증가에 따라 물, 포소화약제 및 포수용액의 유량 변화를 측정된 결과로서, 입구압력 증가에 따라 혼합장치를 통과하는 유량이 증가하므로 물과 포소화약제 유량이 증가하게 되고 결과적으로 포수용액 양이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 입구압력이 3 kg/cm², 5 kg/cm², 7 kg/cm²에서 물유량은 각각 1,565 L/min, 2,005 L/min, 2,340 L/min, 포소화약제 흡입양은 각각 54 L/min, 70 L/min, 79 L/min, 포수용액 양은 1,619 L/min, 2,075 L/min, 2,419 L/min으로 증가되었다.

3.2.3 물유량에 따른 포소화약제 혼합농도 특성 분석

그림 13은 프레스프로포셔너에 대하여 오리피스 단면적 63.6 mm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤2,400 L/min의 조건하에서 물 유량에 따른 포소화약제 혼합농도 측정결과로

서, 물 유량 증가에 따라 포소화약제의 혼합농도가 3%로 일정함을 보여 주고 있다. 이는 개발된 프레스프로포셔너의 기능적 성능을 나타내는 결과로서, 오차를 ±2%이내의 범위에서 물 유량과 포소화약제 혼합농도 3%의 성능을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 프레스프로포셔너는 국내 소방법령에 제시된 포소화약제 혼합장치의 인정기준(KFIS 011) 중 혼합농도 항목의 기준에 적합한 성능을 나타내고 있는 것을 알 수 있다.

결과적으로 본 연구에서 사용한 라인프로 포셔너와 프레스프로포셔너는 유량, 압력, 오리피스 단면적 및 혼합비의 상관관계 실험을 통하여 혼합특성을 분석한 결과, 한국소방산업기술원 KFI 인정기준 “포소화약제 혼합장치의 인정기준(KFIS 011)”을 만족하는 기능적 성능을 만족시키고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 포소화설비용 소화약제 혼합장치의 성능향상을 위한 정량 혼합특성에 관한 연구로서, 국내 소방법령에 제시된 포소화약제 혼합장치의 인정기준(KFIS 011)에 근거하여 포소화약제 혼합농도 3%용 라인프로포셔너와 프레스프로포셔너 개발품을 사용하여 유량, 압력, 오리피스 단면적 및 혼합농도의 주요 변수들 상관관계를 실험적으로 측정하여 혼합특성을 분석하였다.

- 1) 라인프로포셔너에 대하여 입구압력 7 kg/cm², 출구압력 3.5 kg/cm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤1,000 L/min의 조건하에서 유량, 오리피스 단면적 및 포소화약제 혼합농도의 특성을 분석한 결과, 물 유량이 증가할수록 벤츨리 효과에 의하여 비례적으로 포소화약제 흡입유량이 증가하므로 결과적으로 포수용액 유량도 증가하는 것으로 나타났다. 라인프로포셔너의 오리피스 단면적 증가에 따라 유량이 증가함을 파악하였으며, 오차를 ±4%이내의 범위에서 포소화약제의 혼합농도 3%의 성능을 만족하는 것으로 나타났다.
- 2) 프레스프로포셔너에 대하여 오리피스 단면적 63.6 mm², 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량≤2,400 L/min의 조건하에서 유량, 압력 및 포소화약제 혼합농도의 특성을 분석한 결과, 물 유량 증가에 따라 벤츨리 효과와 물유량에 의한 기압작용에 의하여 흡입되는 포소화약제 양이 증가하는 것으로 나타났다. 또한 입구압력이 증가할수록 혼합장치를 통과하는 유량이 증가하므로 물과 포소화약제 유량이 증가하게 되고 결과적으로 포수용액 양이 비례적으로 증가하는 것으로 파악되었다. 본 연구에서 개발한 프레스프로포셔너 시제품은 오차를 ±2%이내의 범위에서 물 유량과 포소화약제 양의 혼합농도 3%의 성능을 만족하는 것으로 나타났다.
- 3) 개발된 포소화설비용 소화약제 라인프로포셔너 및 프레스프로포셔너 개발품의 혼합특성을 분석한 결과, 본 연구결과는 포소화설비용 소화약제 혼합장치의 성능향상을 위한 기초 설계자료로 활용되리라 기대한다.

감사의 글

본 연구는 중소기업청 산·학·연 컨소시엄사업의 연구비 지원에 의하여 수행하였으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

동경소방기계연구회 (1994) 소방기계기구편람, 내무부/한국소방검정공사.
김태완 (2003) 그림, 사진으로 배우는 소방 시설의 이해 인체출판토포민.
남상욱 (2007) 소방시설의 설계 및 시공 성안당.
인세진의 4인 (1999) 소방약제화학 형설출판사.
한국소방검정공사 (2004) 포소화약제 혼합장치의 KFI인정기준

(KFIS 011) 한국소방검정공사.
Fisenko, V.V. (1995) *The Fisonic Energy Device Physical Principles, Technical Papers.*
Kidde Fire Fighting, Inc. (2000) *In-Line Balanced Pressure Proportioning Module, Operating & Maintenance Manual* Kidde Fire Fighting, Inc.
Kidde Fire Fighting, Inc. (2002) *Ratio Controllers Model RCF, Data Sheet #NPR090* Kidde Fire Fighting, Inc.
NFPA (2002) *NFPA11 Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam* pp. 130-141.

◎ 논문접수일 : 09년 08월 14일
◎ 심사의뢰일 : 09년 08월 17일
◎ 심사완료일 : 09년 09월 18일