

**B-13**

## 포 소화설비용 소화약제 혼합장치의 혼합특성에 관한 실험적 연구

구재현, 백창선, 박준양, 나병균, 박희중\*

한국소방검정공사, 신라파이어(주)\*

### A Experimental Study on the Foam Mixing Characteristics of Proportioner for Foam System

Jae-Hyun Ku, Chang-Sun Baek, Joon-Yang Park, Byeong-Gyun Na, Hui-Jung Park\*

*Korea Fire Equipment Inspection Corporation, Shilla Fire co., Ltd\**

#### 1. 서론

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 확대되므로 막대한 인명 및 재산상의 손실을 초래하며, 사회적 문제가 증가될 가능성이 있다.<sup>1)</sup>

현재, 국내 일부업체에서 포소화설비용 혼합장치를 제조하고 있으나, 이는 선진국가의 제품을 전체 모방하고 있는 단계로 국외 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 옥외저장 탱크의 화재로부터 보호 등을 위해 혼합장치 개발기술 관련 국내 소방법령에 의거하여 충분한 실험데이터 확보 및 분석을 통하여 국내 실정에 적합한 포소화약제 혼합장치의 국산화가 절실히 필요하다.<sup>2)</sup>

혼합장치 (Proportioner)는 가압용수에 포소화약제를 적정비율 (포소화약제의 종류에 따라 다르나 보통 3% 또는 6%입)로 혼합하여 주는 장치로 라인프로포셔너 (Line Proportioner), 펌프프로포셔너 (Pump Proportioner), 프레스어펌프로포셔너 (Pressure Proportioner), 프레스어사이드프로포셔너 (Pressure Side Proportioner) 등으로 분류된다.<sup>3,4)</sup>

정량 혼합장치 중 가장 많이 사용되는 것이 라인프로포셔너 및 프레스어프로포셔너로서, 라인프로포셔너는 펌프와 발포기 중간에 설치된 벤츄리효과 (Venturi Effect) 작용에 의해 포소화약제를 흡입혼합하는 장치이고 프레스어프로포셔너는 펌프와 발포기 중간에 설치된

벤츄리관의 벤츄리효과 작용과 함께 펌프 가압수의 포 소화약제 저장탱크에 대한 압력에 의하여 포 소화약제를 흡입 혼합하는 장치이다.<sup>4,5)</sup> 현재 라인프로포셔너와 프레스 프로포셔너 관련 기술은 국외에서는 개발이 완료되어 실용화단계이나 국내에서는 국외기술에 의존하는 개발초기 단계로서 현재까지 공식적으로 국내 소방법 기준에 의거 하여 성능인정을 받은 제품이 없는 실정이다.

따라서 국내 실정에 적합한 포 소화설비용 포 소화약제 정량 혼합장치 개발품에 대하여 국내 소방법의 성능검증을 받은 후 제품화하는 것이 필요하다.

본 연구는 포 소화설비용 소화약제 혼합장치의 혼합특성에 관한 것으로, 라인프로 포셔너와 프레스프로포셔너에서 수성막포를 사용하여 주요변수인 유량, 압력, 오리피스 단면적 및 포 소화약제 혼합농도의 상관관계를 파악하고 혼합특성을 분석하고자 한다. 향후 포 소화설비의 성능향상을 위하여 설비 설계를 위한 기초 데이터를 제공함을 목적으로 수행하였다.

## 2. 실험장치 및 실험방법

포 소화설비용 혼합장치인 라인프로포셔너와 프레스프로포셔너에 대한 혼합특성 연구는 분석을 위하여 우선적으로 소방법시행령 제24조 제4호의 규정에 의한 "포 소화약제혼합 장치의 인정기준(FIS 011)" 기준에 의거하여 실험을 실시하였다.<sup>6,7)</sup>

표 1은 본 연구 개발품인 라인프로포셔너 및 프레스프로포셔너의 시험조건을 나타낸 것으로, 수성막포 (AFFF, Aqueous Film Forming Foam)를 사용하여 물 유량 <2,400 L/m, 프로포셔너 입구압력 <7 kg/cm<sup>2</sup>, 혼합장치 입구 오리피스 단면적 <500 mm<sup>2</sup>, 혼합농도 3%의 조건하에서 성능시험을 실시한다.

표 1. 포 소화약제 혼합장치 혼합성능 분석을 위한 실험조건

항 목	시험 조건
개발품	- 라인프로포셔너, 프레스프로포셔너
포 소화약제	- 수성막포 (AFFF, Aqueous Film Forming Foam)
포 소화약제 정액혼합농도	- 3%
유량	- 물 유량 0~2,400 L/m
압력	- 혼합장치 입구압력 < 7 kg/cm <sup>2</sup>
오리피스 단면적	- 혼합장치 입구 오리피스 단면적 < 500 mm <sup>2</sup>

그림 1과 그림 2는 각각 라인프로포셔너와 프레스프로포셔너의 성능시험장치 개략도를 나타낸 것으로서, 펌프, 물탱크, 라인프로포셔너, 압력계, 유량계, 포 소화약제 탱크, 노즐 등으로 구성된다. 혼합장치의 주요변수인 유량, 압력, 오리피스 단면적 및 포 소화약제 혼합농도를 측정하여 그 상관관계를 실험적으로 분석하였다. 우선적으로 물 펌프를 가동하고 밸브 조작을 통하여 혼합장치 입구압력을 7 kg/cm<sup>2</sup>로 고정시키고 1분동안 물을 방사하여 유량계 (전자유량계, ELIS FLOW MAG FM 20XX, 108~10,800 L/min)와 물탱크의 레벨

게이지 눈금의 차를 측정하여 유량을 측정한다. 포소화약제 탱크에 포소화약제를 채워 넣은 후, 물 펌프를 가동하고 밸브 조작을 통하여 혼합장치의 입구압력  $7 \text{ kg/cm}^2$ , 출구압력  $3.5 \text{ kgf/cm}^2$ 로 설정한다. 그리고 포소화약제 탱크에 흡입관 (Pick-up Pipe)을 넣고 1분동안 물을 방사하여 포소화약제 탱크로부터 흡입되는 포소화약제 유량을 유량계를 사용하여 측정한다. 여기서 라인프로포셔너의 경우 벤츨리 효과에 의해서만 포소화약제가 흡입되고, 프레스어 프로포셔너는 벤츨리 효과와 함께 펌프 가압수에 의한 포소화약제 저장탱크에 압력을 가함으로서 포소화약제를 흡입 혼합하게 된다.

소방법시행령에 의한 "포소화약제혼합장치의인정기준 (FIS 011)"에 의거 측정되는 혼합농도는 정격농도 이상이어야 하며, 정격농도의 130% 또는 정격농도에 1을 더한 수치 중 작은 농도수치이하로 포소화약제 혼합농도 기준이 결정된다. 따라서, 포소화약제 정격혼합농도 설계치는 3%이므로 혼합농도기준인 3~3.9% 범위에 포함되어야 제품으로서 성능을 얻어야 된다.

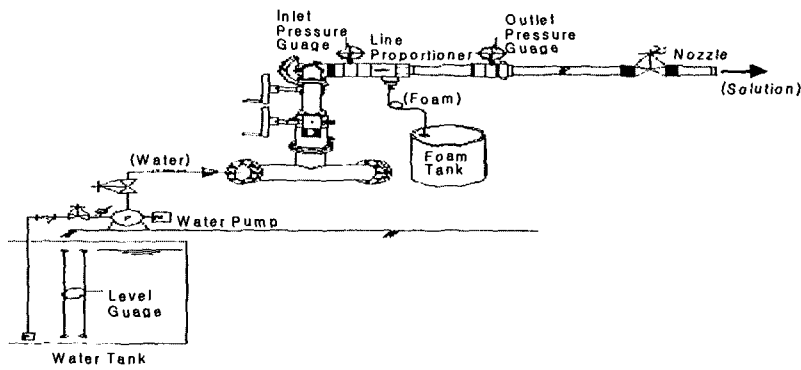


그림 1. 라인프로포셔너의 혼합성능 분석을 위한 실험장치 개략도

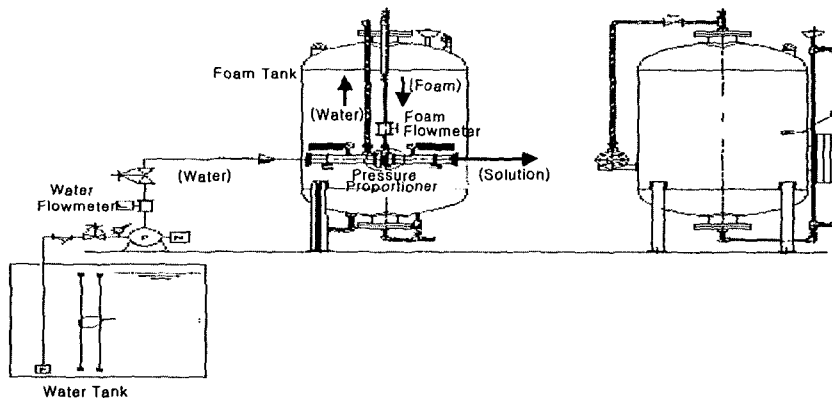


그림 2. 프레스어프로포셔너의 혼합성능 분석을 위한 실험장치 개략도

### 3. 실험결과 및 고찰

#### 3.1 라인프로포서너의 혼합성능 분석 결과

##### 3.1.1 물 유량에 따른 포소화약제 흡입유량 특성 분석

그림 3은 라인프로포서너에 대하여 입구압력  $7 \text{ kg/cm}^2$ , 출구압력  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ , 포소화약제 혼합 농도 3%, 물 유량  $\leq 1,000 \text{ L/min}$  조건하에서 물 유량에 따른 포소화약제 흡입 유량 측정결과를 나타낸 것으로, 물 유량 증가에 따라 흡입되는 포소화약제 양이 비례적으로 증가함을 볼 수 있다. 이는 물 유량이 증가함에 따라 프로포서너의 벤츄리관 효과에 의하여 발생된 음압증가로 인하여 흡입되는 포소화약제 양이 증가하는 것으로 분석되었다. 물 유량  $300 \text{ L/min}$ ,  $600 \text{ L/min}$ ,  $900 \text{ L/min}$ 인 경우 흡입되는 포소화약제 양은 각각  $9.6 \text{ L/min}$ ,  $19.4 \text{ L/min}$ ,  $29.7 \text{ L/min}$ 으로 측정되었다.

그림 4는 라인프로포서너에 대하여 입구압력  $7 \text{ kg/cm}^2$ , 출구압력  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ , 포소화약제 혼합농도 3%, 물 유량  $\leq 1,000 \text{ L/min}$ 의 조건하에서 물 유량에 따른 포수용액 유량 측정결과를 나타낸 것으로, 물 유량 증가에 따라 포수용액의 양이 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 이는 물 유량이 증가에 따라 포소화약제 양이 비례적으로 증가하기 때문에 물과 포소화약제의 혼합액인 포수용액의 유량도 비례적으로 증가하는 것으로 분석하였다. 물 유량  $300 \text{ L/min}$ ,  $600 \text{ L/min}$ ,  $900 \text{ L/min}$ 인 경우 포수용액 양은 각각  $309.6 \text{ L/min}$ ,  $619.4 \text{ L/min}$ ,  $929.7 \text{ L/min}$ 으로 측정되었다.

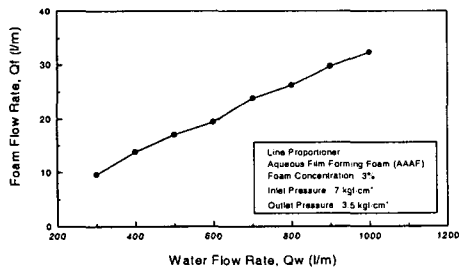


그림 3. 라인프로포서너의 물 유량에 따른 포소화 약제 흡입유량 측정결과

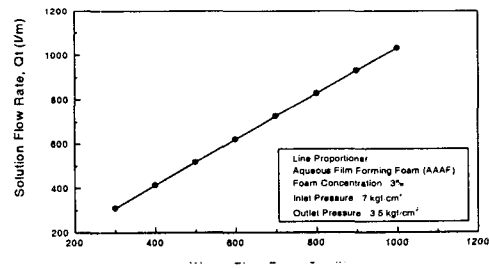


그림 4. 라인프로포서너의 물 유량에 따른 포수용액 유량 측정결과

##### 3.1.2 오리피스 면적에 따른 유량 특성 분석

그림 5는 라인프로포서너에 대하여 입구압력  $7 \text{ kg/cm}^2$ , 출구압력  $3.5 \text{ kg/cm}^2$ , 포소화약제 혼합농도 3%, 물 유량  $\leq 1,000 \text{ L/min}$ 의 조건하에서 라인프로포서너의 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 증가함을 알 수 있다. 이는 질량보존의 법칙에 따라 관내 일정한 압력조건 위에서 오리피스 단면적이 증가함에 따라 통과하는 유량이 증가하는 것으로 나타났다. 오리피스 단면적  $150 \text{ m}^2$ ,  $305 \text{ m}^2$ ,  $423 \text{ m}^2$ 인 경우 통과되는 물 유량은 각각  $300 \text{ L/min}$ ,  $600 \text{ L/min}$ ,  $900$

L/min이고, 포소화약제 흡입량은 9.6 L/min, 19.4 L/min, 29.7 L/min이며, 포수용액 양은 309.6 L/min, 619.4 L/min, 929.7 L/min으로 측정되었다.

그림 6은 라인프로포셔너에 대하여 입구압력 7 kg/cm<sup>2</sup>, 출구압력 3.5 kg/cm<sup>2</sup>, 포소화약제 혼합농도 3%, 물 유량 ≤ 1,000 L/min의 조건하에서 라인프로포셔너의 물 유량에 따라 입구 및 출구 오리피스 단면적, 포소화약제 흡입부 오리피스 단면적의 변화를 보여주는 측정 결과로서, 물 유량이 증가하기 위해서는 오리피스 단면적이 비례적으로 증가함을 알 수 있다. 물 유량 300 L/min, 600 L/min, 900 L/min인 경우, 입구 오리피스 단면적은 각각 150 m<sup>2</sup>, 305 m<sup>2</sup>, 423 m<sup>2</sup>, 출구 오리피스 단면적은 각각 249 m<sup>2</sup>, 452 m<sup>2</sup>, 594 m<sup>2</sup>, 포소화약제 흡입부 오리피스 단면적은 각각 14 m<sup>2</sup>, 31 m<sup>2</sup>, 54 m<sup>2</sup>로 측정되었다.

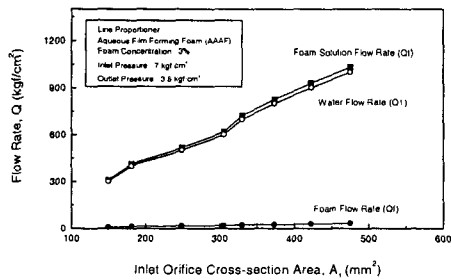


그림 5. 라인프로포셔너의 오리피스 단면적에 따른 유량 측정결과

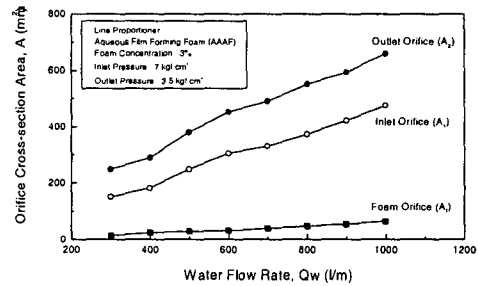


그림 6. 라인프로포셔너의 물 유량에 따른 오리피스 단면적변화 분석결과

### 3.1.3 물 유량에 따른 포소화약제 혼합농도 특성 분석

그림 7은 라인프로포셔너에 대하여 입구압력 7 kg/cm<sup>2</sup>, 출구압력 3.5 kg/cm<sup>2</sup>, 포소화약제 혼합농도 3%, 물 유량 ≤ 1,000 L/min의 조건하에서 물 유량에 따른 포소화약제 혼합농도 측정결과로서, 물 유량 증가에 따라 포소화약제의 혼합농도가 3%로 일정함을 보여 주고 있다. 이는 라인프로포셔너의 기능적 성능을 나타내는 결과로서, 오차율 ±4%이내 범위에서 물유량에 따른 포소화약제 양의 혼합농도 3%의 성능을 만족하는 것으로 분석하였다. 따라서 라인프로포셔너는 국내 소방법령에 제시된 포소화약제혼합장치인정기준(FIS 011) 중 혼합농도 항목의 기준에 적합한 성능을 나타내고 있는 것을 알 수 있었다.

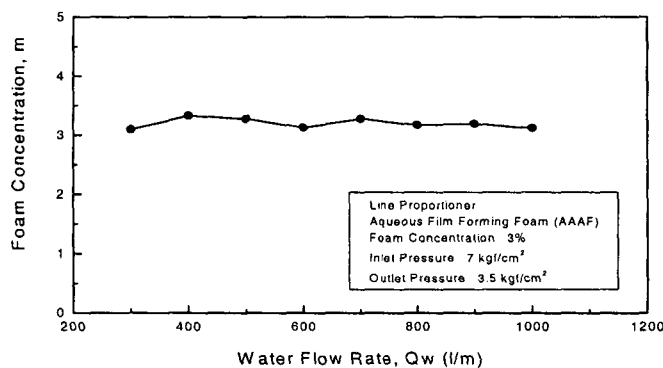


그림 7. 라인프로포셔너의 물유량에 따른 포소화약제 혼합농도 측정결과

### 3.2 프레스프로포서너의 혼합성능 분석 결과

#### 3.2.1 물 유량 증가에 따른 포소화약제 흡입유량 특성 분석

그림 8은 프레스프로포서너에 대하여 오리피스 단면적  $63.6 \text{ mm}^2$ , 포소화약제 혼합 농도 3%, 물 유량  $\leq 2,400 \text{ L/min}$ 의 조건하에서 물 유량에 따른 포소화약제 흡입유량 측정 결과를 나타낸 것으로, 물 유량 증가에 따라 비례적으로 포소화약제의 흡입유량이 증가한다. 이는 물 유량 증가에 따라 오리피스 단면적이 감소하게 되면 벤츨리 효과와 물 유량에 의한 가압작용에 의하여 흡입되는 포소화약제 양이 증가하는 것으로 나타났다. 물 유량 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.

그림 9는 프레스프로포서너에 대하여 오리피스 단면적  $63.6 \text{ mm}^2$ , 포소화약제 혼합농도 3%, 물 유량  $\leq 2,400 \text{ L/min}$ 의 조건하에서 물 유량에 따라 포소화약제가 혼합된 포수용액 유량 측정결과를 나타낸 것으로, 물 유량의 증가에 따라 포수용액의 양이 비례적으로 증가한다. 이는 물 유량이 증가에 따라 포소화약제 양이 비례적으로 증가하기 때문에 물과 포소화약제의 혼합액인 포수용액의 양도 비례적으로 증가하는 것으로 분석하였다. 물 유량 1,565 L/min, 2,005 L/min, 2,340 L/min에서 포수용액량은 각각 1,619 L/min, 2,075 L/min, 2,419 L/min으로 측정되었다.

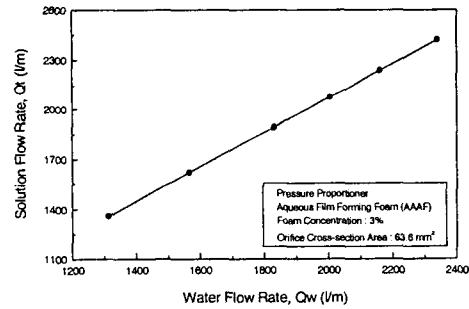
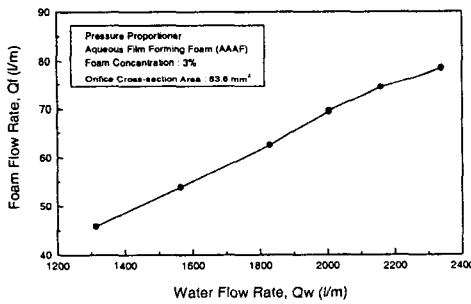


그림 8. 프레스프로포서너의 물유량에 따른 포소화약제 흡입유량 측정결과  
그림 9. 프레스프로포서너의 물유량에 따른 포수용액 유량 측정결과

#### 3.2.2 압력에 따른 유량 특성 분석

그림 10은 프레스프로포서너에 대하여 오리피스 단면적  $63.6 \text{ mm}^2$ , 포소화약제 혼합농도 3%, 물 유량  $\leq 2,400 \text{ L/min}$ 의 조건하에서 입구압력 증가에 따라 물, 포소화약제 및 포수용액 유량변화를 측정된 결과로서, 입구압력 증가에 따라 혼합장치를 통과하는 유량이 증가하므로 물과 포소화약제 유량이 증가하고 결과적으로 포수용액 양이 비례적으로 증가하는 것으로 나타났다. 입구압력이  $3 \text{ kg/cm}^2$ ,  $5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $7 \text{ kg/cm}^2$ 에서 물유량은 각각 1,565 L/min, 2,005 L/min, 2,340 L/min, 포소화약제 흡입량은 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.

그림 11은 프레스프로포서너에 대하여 오리피스 단면적  $63.6 \text{ mm}^2$ , 포수용액 혼합농도

3%, 물유량  $\leq 2,400$  L/min의 조건하에서 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  $3 \text{ kg/cm}^2$ ,  $5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $7 \text{ kg/cm}^2$ , 출구압력이 각각  $2.8 \text{ kg/cm}^2$ ,  $4.2 \text{ kg/cm}^2$ ,  $6.1 \text{ kg/cm}^2$ 로 측정되었다.

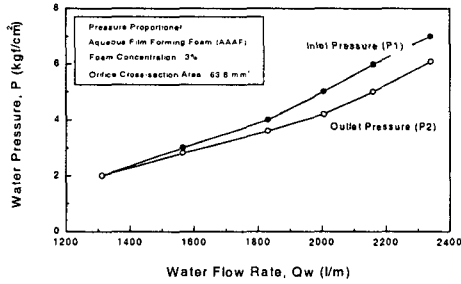


그림 10. 프레스프로포셔너의 물유량에 따른 압력변화 측정결과

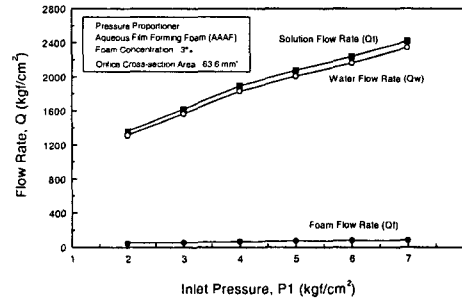


그림 11. 프레스프로포셔너의 입구압력에 따른 유량 측정결과

### 3.2.3 물 유량에 따른 포소화약제 혼합농도 특성 분석

그림 12는 프레스프로포셔너에 대하여 오리피스 단면적  $63.6 \text{ mm}^2$ , 포소화약제 혼합농도 3%, 물 유량  $\leq 2,400$  L/min의 조건하에서 물 유량에 따른 포소화약제 혼합농도 측정 결과로서, 물 유량 증가에 따라 포소화약제의 혼합농도가 3%로 일정함을 보여 주고 있다. 이는 개발된 프레스프로포셔너의 기능적 성능을 나타내는 결과로서, 오차를  $\pm 2\%$ 이내의 범위에서 물 유량과 포소화약제 혼합농도 3%의 성능을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 프레스프로포셔너는 국내 소방법령에 제시된 포소화약제 혼합장치인정기준(FIS 011) 중 혼합농도항목의 기준에 적합한 성능을 나타내고 있는 것을 알 수 있었다.

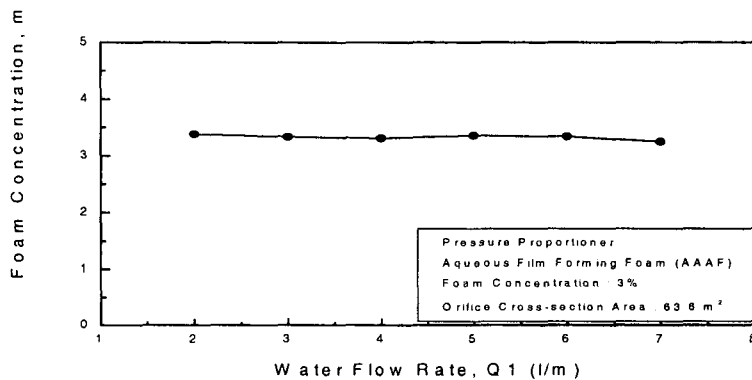


그림 12. 프레스프로포셔너의 물유량에 따른 포소화약제 혼합농도 측정결과

#### 4. 결론

본 연구는 포소화설비용 소화약제 혼합장치의 혼합특성에 관한 실험적 연구로서, 포소화약제 혼합농도 3%용 라인프로포서너와 프레스프로포서너에 대하여 유량, 압력, 오리피스 단면적 및 혼합농도의 주요 변수들 상관관계를 실험을 통하여 파악하였다.

라인프로포서너에 대하여 입구압력 7 kg/cm<sup>2</sup>, 출구압력 3.5 kg/cm<sup>2</sup>, 포소화약제 혼합농도 3%, 물 유량 ≤ 1,000 L/min의 조건하에서 유량, 오리피스 단면적 및 포소화약제 혼합 농도의 특성을 알 수 있었다. 물 유량이 증가할수록 벤츄리 효과에 의하여 비례적으로 포소화약제 흡입유량이 증가하므로 결과적으로 포수용액 유량도 증가하는 것으로 나타났다.

또한 유량증가를 위하여 입구 오리피스 단면적이 증가함을 파악하였으며, 결과적으로 라인프로포서너 시제품은 오차율 ±4%이내의 범위에서 포소화약제의 혼합농도 3%의 성능을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 국내 소방법령에 제시된 포소화약제 혼합장치의 인정 기준(FIS 011) 중 혼합농도항목의 기준에 성능이 적합한 것으로 나타남을 만족함을 알 수 있었다.

개발된 프레스프로포서너에 대하여 오리피스 단면적 63.6 mm<sup>2</sup>, 포소화약제 혼합농도 3%, 물유량 ≤ 2,400 L/min의 조건하에서 유량, 압력 및 포소화약제 혼합농도의 특성을 알 수 있었다. 물 유량 증가에 따라 오리피스 단면적이 감소하게 되면 벤츄리 효과와 물 유량에 의한 가압작용에 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. 프레스프로포서너 시제품은 오차율 ±2 %이내의 범위에서 물 유량과 포소화약제 양의 혼합농도 3%의 성능을 만족하는 것으로 나타났다. 따라서 국내 소방법령에 제시된 포소화약제 혼합장치의 인정 기준(FIS 011) 중 혼합농도항목의 기준에 성능이 적합한 것으로 나타남을 만족함을 알 수 있었다.

본 연구결과는 국내 소방법령 성능기준에 부합되는 포소화약제 혼합장치의 기초 설계 자료 데이터베이스화를 통하여 장치 성능향상에 기여하리라 판단된다.

#### 감사의 글

본 논문은 2002년도 중소기업청 지원의 산·학·연 공동기술개발 컨소시엄사업을 통하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 최희형, 불과 소화약제, (주)도서출판 은성문화, 1992.
2. Haessler, W. M., Fire Fundamentals and Control, MARCEL DEKKER, Inc., 1989.



3. Babrauskas, V. & S. J. Grayson, Heat Release in Fire, ELSEVIER SCIENCE PUBLISHERS LTD, 1992.
4. 한국소방검정공사, 소방기기 및 소방시설의 구조원리, pp. 11-286, 2001.
5. 행정자치부, 소화설비 기술자료집 (가스계 및 포소화설비), 행정자치부 예방과, 2001
6. 한국소방검정공사, 포소화약제혼합장치의 인정기준 (FIS 011), 2002.
- 7 김윤중, 윤명오, 김상욱, “용기일체형 가스소화 방식의 오리피스 방사 특성에 관한 실험적 연구”, (사)한국화재·소방학회, 2002년도 한국화재·소방학회 추계학술대회 논문집, pp. 60-67, 2002.