[Research Paper]

포소화약제 혼합장치의 시험용 대체 약제에 관한 연구

정재한 · 박승근* · 임우섭** · 오재성†

한국소방산업기술원 기술연구소 기술기준연구센터장, *한국소방산업기술원 기술연구소 연구원,

**한국소방산업기술원 기술연구소 연구소장

A Study on Alternative Foam Agents for Model Approval Test of Foam Extinguishing System

Jae-Han Jung · Seung-Geun Park* · Woo-Sub Lim** · Jae-Sung Oh†

Head of Fire R&D Laboratory, R&D Laboratory, Korea Fire Institute,

*Researcher, R&D Laboratory, Korea Fire Institute,

**Researcher Director, R&D Laboratory, Korea Fire Institute

(Received October 19, 2020; Revised October 30, 2020; Accepted November 2, 2020)

요 약

본 연구는 기존 포소화약제(알코올포)와 테스트포를 실험을 통해 성능을 비교·분석하였다. 약제를 1%, 3% 혼합 비율로 방출시키기 위하여 라인 프로포셔너 방식을 사용하였다. 프로포셔너의 입/출구 둘레는 40 A이며 폼 조절기를 1%, 3%로 각각 사용하였다. 기본 변수인 유량, 압력, 측정시간은 200 LPM, 350 kPa, 60 s로 유지하였으며, 물, 알코올포, 테스트포 순으로 혼합 비율의 변화를 중점적으로 분석하였다. 실험 데이터 처리 방법은 「포소화약제혼합장치 등의 성능인증 및 제품검사 시험세칙」 규정에 따라 진행하였다. 실험 결과는 테스트포 1% 혼합 실험의 경우, 평균 방출 혼합 비율이 1.19%로 1% 포소화약제 혼합 비율 기준인 1~1.3% 범위 내에 있으므로 성능 인증되었다. 테스트포 3% 혼합 실험의 경우, 평균 방출 혼합 비율은 3.05%로 3% 포소화약제 혼합 비율 기준인 3~3.9% 범위 내에 있으므로 성능 인증되었다.

ABSTRACT

In this study, the performance of foam agents and test foam is compared and analyzed through experiments. The line proportioner method is used to release the foam agents at a mixing ratio of 1% and 3%. The inlet/outlet circumference of the proportioner is 40 A, and foam regulators are used at 1% and 3%, respectively. The basic variables such as flow rate, pressure, and measurement time are maintained at 200 LPM, 350 kPa, and 60 s, and the change in the mixing ratio is analyzed in the order of water, alcohol foam, and test foam. The experimental data processing method is carried out in accordance with the regulations of Korea Fire Institute (KFI). In the case of the test foam 1% mixing experiment, the performance is certified because the average emission mixing ratio is 1.19%, which is within the range of 1~1.3%. In the case of the test foam 3% mixing experiment, the average emission mixing ratio is 3.05%, which is within the range of 3~3.9%.

Keywords : Foam concentrate, Foam agents, Foam extinguishing systems, Alternative foam concentrate, Test foam

1. 서 론

급격한 산업발전에 따른 에너지의 사용량 급증으로 인해 석탄, 석유, LNG 등의 연료 또는 위험물을 보관하는 저장 탱크 또한 급증하고 있다. 하지만 최근 고양 저유소 화

재(2018), 울산 염포부두 화재(2019) 등 위험물을 보관하고 있는 장소에서의 화재가 잇달아 발생했다. 위험물 탱크의 화재는 산불, 건물 화재와는 다르게 폭발을 일으킨다는 특징을 가지고 있으며 막대한 인명 및 재산상의 손실을 초래한다. 이에 따라 국내에서는 사회적인 문제로 확대되는 것

† Corresponding Author, TEL: +82-31-289-2955, FAX: +82-31-287-1067, E-Mail: ojs921@kfi.or.kr

© 2020 Korean Institute of Fire Science & Engineering. All right reserved.

을 예방하기 위하여 위험물 저장 탱크의 점검 기준 강화에 대한 실험 데이터 확보 및 분석 등의 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

위험물 화재를 진압하기 위해 대표적인 소화 설비로는 포소화약제를 사용하여 화재를 진압하는 포소화설비가 있다. 포소화설비는 물에 의한 소화 방법으로는 효과가 작거나 화재가 확대될 위험성이 있는 가연성 액체 등의 화재에 널리 사용되고 있는 설비이다⁽¹⁾. 기본적인 진압 원리는 포소화약제와 물을 일정한 비율로 혼합한 수용액을 공기로 발포시켜 형성된 미세한 기포의 집합체가 연소물의 표면을 차단하는 원리이다. 여기서 포소화설비 중 가장 핵심이 되는 장비는 포소화약제와 물을 일정한 비율로 혼합시켜주는 혼합장치(Proportioner)이다. 혼합장치의 주 작동원리는 펌프에 의한 압력과 벤투리관에 의한 벤투리 효과 (Venturi effect)를 이용하여 포소화약제를 혼합하고 발포기로 보내주는 원리이다.

이러한 포소화설비는 기초적인 기계역학의 원리를 사용하여 소화 성능을 극대화할 수 있는 장치이다. 이 강점을 더욱 극대화하기 위하여 포소화약제 및 포소화설비에 대한 연구는 활발하게 이루어져 있다. 먼저, 포소화약제에 대한 연구로 Maini와 Ma⁽²⁾는 고온 고압에서 혼합되어 발포되는 포의 안정성을 측정하였으며, 적정 온도 이상으로 온도가 상승하게 되면 포의 부피가 감소한다는 것을 밝혀냈다. Ku⁽³⁾는 물 흐름에 일정한 농도로 포소화약제를 정확하게 혼합하는 포소화설비용 소화약제 혼합장치의 성능향상을 위한 포소화약제의 정량 혼합특성을 분석하였다. 이 연구를 통해 포소화설비 종류에 따라 물 유량, 입구의 압력, 오리피스 면적과 혼합성능 간에 관계를 밝혀냈다. 포소화설비에 대한 연구로는 Joo 등⁽⁴⁾은 포소화약제 혼합장치의 직경의 적정성에 관하여 연구하였다. 이 연구를 통해 최적의 가압수 지름을 확인하였다. Zhang 등⁽⁵⁾은 내알코올 수성막포(Alcohol-resistant aqueous film forming foam)와 내알코올 불화단백포(Alcohol-resistant fluoroprotein foam)간의 소화 성능을 비교·분석하였으며, 내알코올 수성막포의 소화성능이 상대적으로 우수하다는 것을 확인하였다. 이처럼 포소화설비 및 포소화약제에 대한 연구는 활발하다. 하지만 친환경 포소화설비 및 포소화약제에 대한 연구는 상대적으로 매우 부족하며, 더 나아가 포소화설비 인증을 위한 대체약제 등의 연구 또한 부족한 상황이다.

위에서 언급한 것과 같이 한국에서는 현재 포소화약제 혼합장치의 제품 양산을 위해서는 한국소방산업기술원(KFI)의 형식승인이 필수적이다. KFI에서는 포소화약제 혼합 장치를 형식 승인하기 위하여 포소화약제를 사용하여 혼합 비율을 측정한다. 일반적으로 포소화약제는 일반적으로 잔류성 유기오염물질인 PFOS, PFOA가 포함되어있으며, 이 성분은 환경오염의 원인이 된다. 또한 포소화약제 사용 시 발생하는 포(Form)는 물로 쉽게 제거되지 않아 정화 및 처리 문제가 이차적으로 발생하며 불편함을 유발한다. 최

근에는 오염을 줄이고자 잔류성 유기오염물질을 제거한 포소화약제가 개발 및 양산되고 있지만, 포소화약제의 질적 효과를 극대화하기 위해 발생하는 포는 소화 성능을 확보하기 위해 제거하는 것은 불가능하다.

또한, 현재 KFI에서는 포소화약제 혼합장치의 형식승인 시험을 포소화약제를 사용하여 진행하고 있다. 이는 『포소화약제혼합장치 등의 성능인증 및 제품검사 시험세칙』 규정에 따라 진행되고 있다⁽⁶⁾. 하지만 규정 항목 중 “포소화약제 유입 배관에 최대 점도의 포소화약제를 유입시킬 것. 이 경우 포소화약제는 점도 등이 동일한 시험용 약제를 사용할 수 있으며, 물(소화수)과 혼합하지 않고 시험할 수 있다.” 라는 내용이 있다. 즉, 점도가 동일하다면 포소화약제를 대체할 수 있는 약제를 사용할 수 있다고 해석할 수 있다. 그러나 아직까지 형식승인 시 포소화약제를 대체할 수 있는 약제가 없다.

포소화약제는 소화 능력은 뛰어나지만, 환경오염과 더불어 포의 처리와 같은 후처리 과정을 갖고 있으므로 약제사용이 제한적이어야 한다. 따라서 혼합장치의 형식승인과 같이 포소화약제를 대체하여 사용할 수 있는 약제를 연구 개발하는 것이 필수적이다. 그러나 현재 한국에서는 테스트포로 형식승인을 진행한 사례가 없으며, 인증된 테스트포가 없으므로 혼합장치의 형식승인 시 포소화약제의 사용이 불가피하다. 형식승인 시 포소화약제를 대체할 수 있는 약제를 사용한다면 환경오염 및 이차적인 문제를 해결할 수 있다. 더불어 더 많은 제품을 안심하고 형식승인을 할 수 있으며 제품의 안전성 및 신뢰성을 향상할 수 있을 것이다.

따라서 본 연구에서는 1%, 3% 포소화약제의 KFI 포소화약제 혼합 비율 기준인 1~1.3%, 3~3.9% 범위 내에서 혼합이 가능한 테스트포에 대하여 기존 포소화약제와 비교·분석 실험을 진행하였다. 포소화약제를 1%, 3%의 혼합 비율로 방출시키기 위하여 라인 프로포서너 방식을 사용하였으며, 프로포서너의 직경은 40 A로 설정하였다. 기본 변수인 유량, 압력, 측정시간은 200 L/min, 350 kPa, 60 s로 유지하였으며, 물, 기존 약제, 테스트포 순으로 혼합 비율의 변화를 중점적으로 분석하였다. 이를 통해 대체 약제의 연구 개발을 확대 및 활성화할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 기초실험

본 연구의 면밀한 분석을 위하여 포소화약제의 점도 변화에 따른 소화 특성을 기초실험을 통해 확인하였다. 이는 대체 약제 개발에 가장 기본인 점성과 혼합 비율 간의 관계를 밝혀내기 위함이다. 기초실험은 KFI의 포소화약제 혼합 비율 기준인 3~3.9% 범위 내에서의 소화 성능을 분석하였다. 이를 위해 3% 포소화약제(수성막포, 합성계면활성제포)를 이용하여 혼합 비율(2.6%, 3.0%, 4.5%)을 변화시켰으며, 소화 성능을 실험을 통해 비교 검증하였다.

Figure 1. Experimental equipment [(a): Foam mixing equipment, (b): Foam generator, (c): Nitrogen gas, (d): Equipment installation and construction].

2.1 실험 장비 및 방법

혼합장치는 포 생성을 위하여 벤투리 효과, 공기와의 접촉 등을 고려하여 설비를 제작하였다. 실험 장비는 Figure 1과 같다. Figure 1의 (a)를 사용하여 물과 포소화약제를 혼합하여 실험에 따라 2.6%, 3.0%, 4.5%를 혼합하였다. (a)의 토출구를 따라 방출되는 유체는 (b)의 포생성장치를 통하여 포가 발생하여 소화한다. 방출되는 유량을 유지하기 위하여 컴프레서와 같은 펌프가 아닌 질소가스를 이용하여 압력을 유지하였다.

포의 생성 원리는 Figure 2와 같다. Figure 2에 순서와 같이 ①은 Figure 1의 (a) 토출구의 형상이다. Form mesh와 같은 형상을 구현하기 위하여 5개의 구멍을 뚫었으며, 이를 통해 벤투리 효과를 극대화했다. 자세한 또한 포생성장치에 설치된 ②, ③을 통해 산소와의 혼합을 극대화해 포를 생성하였다. 물과 헵탄의 양은 KFI의 포소화약제 검증 실험 기준을 토대로 Froud number를 통한 Scale down 했다. 실험은 헵탄을 점화시킨 후 Fire stability 시간인 1 min 후에 포를 분사하는 방식을 택하였으며, 주요 측정 결과값은 소화되는 시간(s)이다. 실험은 각 혼합 비율에 대하여 5번의 반복 실험을 진행하여 신뢰성을 확보하였다.

Figure 2. Foam generating device and principle.

2.2 실험 결과 및 고찰

2.2.1 3% 수성막포를 사용한 혼합 비율 변화에 따른 소화 성능 실험

수성막포의 혼합 비율 변화에 대한 소화 성능 실험은 상기 언급한 헵탄을 점화시켜 소화되는 시간(s)을 측정하였다. 실험 변수의 변화에 영향을 최소화시키기 위하여 압력과 배출 유량을 각각 0.16 MPa, 22 ml/s로 고정했다. Table 1

Table 1. Comparison of Extinguishing Time according to The Change in the Mixing Ratio of Aqueous Film Forming Foam

AFFF	Entry 1	Entry 2	Entry 3	Entry 4	Entry 5	Avg.
2.6%	67	60	74	72	59	66.4
3.0%	77	79	68	70	79	74.6
4.3%	72	77	73	87	78	77.4

Table 2. Comparison of Digestion Time according to The Change of Mixing Ratio of Synthetic Foam

S.F	Entry 1	Entry 2	Entry 3	Entry 4	Entry 5	Avg.
2.6%	63	82	70	62	53	66
3.0%	100	101	123	117	106	109.4
4.3%	123	100	111	109	116	111.8

은 혼합 비율 변화에 따른 소화 시간을 비교한 것이다. 성능 비교의 기준인 혼합 비율 3%의 경우 평균 소화 시간은 74.6 s로 측정되었다. 2.6%의 경우 66.4 s로 기준치인 74.6 s보다 약 12 s 빨리 소화(10%)되었으며, 4.3%의 경우 약 2 s 느리게 소화(4%)되었다. 따라서 수성막포의 경우 2.6-4.3% 범위에서는 소화 성능에 큰 영향을 주지 않는다. 이러한 현상을 통해 혼합 비율이 낮을수록, 즉 물과 약제의 비율 중 약제의 비율이 낮을수록 혼합 약제의 점도가 떨어진다는 것을 확인하였다. 이로 인해, 약제의 이동속도가 빨라짐에 따라 소화 시간이 빨라지는 것으로 판단된다.

2.2.2 3% 합성계면활성제포를 사용한 혼합 비율 변화에 따른 소화 성능 실험

합성계면활성제포를 사용한 시험은 수성막포 소화 시험과 같은 방식으로 진행하였다. 헵탄을 점화시켜 소화되는 시간(s)을 측정하였으며, 실험 변수를 최소화시키기 위하여 압력과 배출 유량을 각각 0.16 MPa, 24 ml/s로 고정했다. Table 1은 혼합 비율 변화에 따른 소화 시간을 비교한 것이다. 성능 비교의 기준인 혼합 비율 3%의 경우 평균 소화 시간은 109.4 s로 측정되었다. 2.6%의 경우 66 s로 기준치인 109.4 s보다 약 43.4 s 빨리 소화(40%)되었으며, 4.3%의 경우 약 2.4 s 느리게 소화(2.2%)되었다. 따라서 합성계면활성제의 경우 2.6-4.3% 범위에서는 소화 성능에 큰 영향을 주지 않는다. 또한, 수성막포와 마찬가지로 혼합 비율이 낮을수록 소화 시간이 빠른 것으로 판단된다.

2.3 기초실험에 대한 결론

기초실험은 혼합 비율에 변화에 따른 점성의 변화가 소화 성능에 미치는 영향을 확인해보았다. 기본적으로 점성이 감소할수록 포가 확산하는 시간이 빨라지므로 소화 시간이 감소하는 것을 확인하였다. 이는 점성의 변화가 소화 성능에 큰 영향을 줄 수 있는 변수라고 판단된다. 하지만, 기초

실험의 결과를 통해 점성과 소화 성능의 관계를 입증하였다고 보기는 힘들다고 판단된다. 이는 본 기초실험은 3가지의 한계점이 존재하기 때문이다. 한계점은 다음과 같다.

- 다 음 -

1. 기초실험을 통한 결과는 Scale down 된 화재 실험을 통해 도출된 결과이며, 실 화재 실험에서의 결과와 차이가 발생할 수 있다.
2. 기초실험에서 혼합된 약제는 실험 전 일정 비율의 물과 약제를 혼합시켜 놓은 것으로 프로포서너의 작동 원리와 다르므로, 이미 혼합되어 있는 약제의 특성 변화만을 고려한 실험이다.
3. 실제 약제의 형식승인에서 방출시키는 혼합 약제의 양에 비해 매우 작은 양과 압력으로 방출시킨 것이므로 소화 시간에 관한 결과의 차이가 나타날 것으로 판단된다.

기초실험은 상대적으로 작은 양의 약제를 통해 점성이라는 고유 물성을 물과 혼합하였을 때의 변화를 확인한 것이다. 향후 실 화재 실험을 통해 결과의 인증이 필수적이라고 판단된다. 하지만, 앞서 언급한 것처럼 본 연구의 최종 목표는 포소화약제 혼합장치 시험용 대체 약제에 관한 연구이다. 이는 포소화약제 혼합장치의 형식승인만을 위해 사용될 약제에 관한 연구이므로 대체 약제는 소화 성능이라는 특성을 고려하지 않아도 된다. 즉, 점성 및 물과의 혼합특성만을 고려하여 연구 및 개발을 진행하면 될 것으로 사료된다.

따라서 기초실험을 통하여 형식승인 시 포소화약제를 대체할 테스트포는 2가지 특성을 도출할 수 있다. 첫 번째는 벤치마킹한 포소화약제와 테스트포의 점도는 같거나 근사하여야 한다. 두 번째 포의 생성이 억제되어야 하며, 포 생성 시 처리 및 정화 과정이 축소되어야 한다. 이 2가지 특성을 고려한 테스트포를 개발 및 양산된다면 더 많은 제품을 안심하고 형식승인을 실시할 수 있으며, 또한 정화 및 처리 비용 등의 이차적 문제 해결 비용이 획기적으로 감소함으로써 경제적인 측면에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 판단된다.

3. 테스트포 성능 인증 시험

3.1 포소화약제와 테스트포

프로포서너 형식승인 시 주로 포소화약제를 사용되고 있으며, 검사 시에 사용되는 포소화약제를 대체할 수 있는 약제를 개발하기 위한 2가지 고려사항은 테스트포 원액의 점성과 물과 혼합되었을 때의 점성이 같아야 한다는 것은 제2장 기초실험을 통해 확인되었다. 실제로 테스트포를 개발하기 위한 연구는 최근 활발하게 진행되고 있다. 하지만

Figure 3. Principle of line proportioner.

Figure 4. Flow rate of water for mixing rate 1%.

Figure 5. Flow rate of water for mixing rate 3%.

약제의 성분, 성능, 오염도, 물과의 반응식 등의 여러 이유로 KOTRIC 인증기관과 같은 인증기관에서의 검인증 받은 약제는 매우 소수이다. 또한 검인증 받은 약제일지라도 프로포셔널 형식승인 시 사용 가능 여부를 판단할 수 있는 연구 결과 및 자료가 매우 부족하다.

따라서 본 연구에서 KOTRIC 인증기관으로부터 검인증 받은 약제의 성능 인증을 확인해보고자 KFI의 1%, 3% 포소화약제 혼합 비율 기준인 1~1.3%, 3~3.9% 범위 내에서

(a)

(b)

Figure 6. Construction of experimental equipment [(a): proportioner and flow meter, (b): outlet and hydraulic meter].

혼합이 가능한 테스트포에 대하여 기존 포소화약제와 비교·분석 실험을 진행하였다. 포소화약제를 1%, 3%의 혼합 비율로 방출시키기 위하여 라인 프로포셔널 방식을 사용하였으며, 프로포셔널의 직경은 40 A로 설정하였다. 기본 변수인 유량, 압력, 측정시간은 200 L/min, 350 kPa, 60 s로 유지하였으며 물, 알코올포, 테스트포 순으로 혼합 비율의 변화를 중점적으로 분석하였다.

3.2 시험 장비 및 방법

본 연구에서는 라인 프로포셔널 방식으로 실험을 시행하였으며, Figure 3은 라인 프로포셔널 방식을 도식화하여 나타낸 것이다. 라인 프로포셔널 방식의 원리는 펌프와 발포기의 중간에 설치된 벤츨리관의 벤츨리 작용 때문에 물과 포원액을 혼합하는 것으로 흡입기에 보내어진 압력수에 의해서 흡입기 내부가 부압으로 되어 흡상관에 의해서 포소화약제를 흡입시키는 방식이다. 본 연구에서 라인 프로포셔널 방식을 채택한 이유는 약제의 양을 정량으로 혼합시킬 수 있는 프레저사이드 프로포셔널 방식과 달리 벤츨리 효과를 통해 약제를 흡입하여 혼합시키는 방식을 사용한다. 이는 약제의 변화에 따라 혼합 비율이 민감하게 변화할 수 있으며, 실험 결과에 따라 객관적으로 분석할 수 있기 때문이다. 또한, 상대적으로 쉽게 설치 및 해체할 수 있으며, 상업적으로 흔히 사용되는 혼합 방식이므로 채택하였다. 실제 실험 장비 구축 모습은 Figure 6과 같으며 사용한 시험 장비는 Figure 7에서 나타낸다. Figure 7의 (a)와 (b)는 유량 및 배출 압력을 측정 및 유지하기 위한 유량계

(a)

(b)

(c)

(d)

(e)

Figure 7. Experimental equipment [(a): flow meter, (b): hydraulic meter, (c): proportioner (top: 1%, bottom: 3%), (d): scale, (e): comparative foam agents].

(ELECTROMAGNETIC FLOWMETER, KTM-800)와 압력계 (DWYER)이다. 유량계의 유량 범위는 0.005~112926.96 m³/h이며 정확도는 ± 0.5% 이다. 압력계의 압력 범위는 0 ~300 psi (2068 kPa)이며 정확도는 ± 1%이다. 유량계와 압력계는 각각 프로포서너 전단, 배출구 전단에 설치하였다. Figure 7의 (c)는 사용된 프로포서너이다. 프로포서너의 입/출구 둘레는 40 A이며 폼 조절기를 1%, 3% 전용으로 각각 사용하였다. Figure 7의 (d)와 (e)는 3가지 비교 약제(물, 알코올포, 테스트포)의 무게 변화를 1 min 간 (60 s) 측정하기 위하여 저울 (METTLER TOLEDO)과 약제의 체적 및 흡입 압력을 고려하여 같은 체적을 갖는 용기를 나타낸 것이다.

실험 데이터 처리 방법은 『포소화약제 혼합 장치 등의 형식승인 및 제품검사 시험세칙』 규정에 따라 실시하였다. 실험 방법은 기본 변수인 유량, 압력, 측정시간은 일정하게 유지하였으며, 규정에 따라 측정시간 1 min을 일정 간격으로 5회 측정(12 s)하여 산술 평균으로 나타내었다. 실험 진행을 위한 기본 변수 설정은 프로포서너 사양에 맞춰 진행하였다. 펌프를 통해 배출되는 유량은 Figure 4와 5와 같이 프로포서너 1%, 3%에 따라 총 5회 시험을 통해 200 LPM에서 오차 ± 5% 이내(190~210 LPM)를 유지되는 것을 확인하였고, 배출되는 압력은 연구에 사용되는 라인 프로포서너의 사용 매뉴얼에 따라 300~350 kPa로 유지하였다. 이는 해당 압력 이외의 압력일 경우, 포소화약제를 사용하였을 경우 요구되는 혼합비율로 방출될 수 없게 설계되었기 때문이다. 실험 시 외기 온도와 상대습도는 각각 26 ℃, 55%로 설정하였다. 실험은 폼 조절기에 따라 물, 알코올포, 테스트포 순으로 5번 반복 실험(총 30번 실시)을 진행하여 결과의 신뢰성을 확보하였다.

3.3 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 혼합 비율의 변화를 중점적으로 분석한다. 먼저 혼합 비율은 다음과 같은 식을 통해 구해진다.

$$Mixing\ ratio(\%) = \frac{L_2}{L_1 + L_2} \times 100 \quad (1)$$

여기서 L1은 물(소화수) 공급량이며, L2는 포배관 유입량을 의미한다. 또한, 상기 식에서 L1은 1 min 간 일정 간격으로 5회 측정하여 산술 평균한 값이다. L2는 2가지 정의가 존재한다. 첫 번째는 1 min 간 일정 간격으로 5회 측정하여 산술 평균한 값(유량계를 사용한 경우)이며 두 번째는 약제의 비중을 고려한 1 min 간 유입량(전자저울을 사용한 경우)이다. 본 연구에서 두 번째 L2의 정의를 사용하였다. 두 변수(L1, L2)에서 명시한 1분간 일정 간격으로 5회 측정된 시간은 12 s 간 5회 측정하였다. L2에서 명시한 약제(물, 알코올포, 테스트포)의 비중은 각각 1, 1.03, 1.019이다.

Table 3. Foam Agents Comparison Table

	Alcohol foam	Test foam
Ingredient	Water, Polymer, Synthetic surfactant, Ethylene glycol, Diethylene glycol monobutyl ether	Water, Antifreeze, Surfactants
Viscosity (20 °C)	200 cSt	208.7 cSt

Figure 8. Comparison of foam agents equilibrium.

3.3.1 알코올포와 테스트포 특성 비교

2장에서 제시하였던 테스트포의 2가지 특성은 첫 번째는 벤치마킹한 포소화약제와 테스트포의 점도는 같거나 근사하여야 한다. 두 번째 포의 생성이 억제되어야 하며, 포 생성 시 처리 및 정화 과정이 축소되어야 한다. 시험을 진행하기에 앞서 테스트포의 2가지 특성을 포소화약제와 비교·분석을 해보고자 한다.

첫 번째로 비교할 특성은 점도이다. 점도의 역할과 중요도는 2장 기초실험을 통해 나타난 바가 있다. 점도는 혼합 비율을 변화시키는 매우 중요한 변수이며, 혼합 비율의 적정성에 따라 형식승인 시 사용 가능 여부가 판단된다. 본 연구에서 사용한 약제는 D사의 알코올포와 G사의 테스트포다. Table 3은 약제의 주성분 및 점도를 비교한 것을 나타낸다. 성분 측면에서 테스트포는 물, 부동액, 계면활성제로 이루어져 있으며, 소화 성능을 위한 성분은 제외하고 점도와 사용 온도만을 고려하여 제작된 것으로 판단된다. 점도 측면에서는 20 °C 환경에서 D사의 알코올포와 G사의 테스트포의 점도 차이는 약 4.4%로 매우 근사한 수치로 확인하였다. Figure 8은 약제의 평형상태를 보여준다. 알코올포는 진한 갈색빛을 띠고 있으며, 테스트포는 연한 갈색빛을 띠며 표면과 내부에 기포가 생성된 것을 확인하였다.

두 번째로 비교할 특성은 포 생성 여부이다. 포 생성은 정화 및 처리 비용 등의 이차적 문제가 발생하므로 포 생성이 억제되거나 포 생성 시 정화 및 처리 과정이 축소되어야 한다는 것은 상기 언급한 바가 있다. Figure 9은 약제 분사 형태를 나타낸다.

(a)

(b)

Figure 9. Foam agents injection type [(a): alcohol foam injection type, (b): test foam injection type].

Figure 9의 (a)는 D사의 알코올포의 분사 형태로 흔히 보이는 포소화약제의 형태로 포를 생성하여 분사되는 형태로 나타난다. 이는 일반적인 포 처리 및 정화 과정을 실시해야 하며, 반복 시험 시 포 정리 및 처리 등의 후처리 작업으로 시험 시간이 추가로 소요되었다. Figure 9의 (b)는 G사의 테스트포의 분사 형태이다. 분사 시 포가 생성되지 않으며, 1회 시험 시 포를 제거하기 위한 추가 살수량이 약 70% 감소하였으며, 추가적인 청소 등의 처리 과정이 약 30 min이 단축되는 효과를 확인하였다. 이로 인해 테스트포를 사용함에 편리성이 향상되는 것을 확인하였다.

이번 장에서는 알코올포와 테스트포를 점도와 포 생성 여부를 시험을 통해 비교 분석을 해보았다. 그 결과, 테스트포의 점도는 알코올포의 점도와 근사하므로 주성분 조정은 불필요할 것으로 판단되지만, 다음 장에서 언급할 혼합 비율 시험을 통해 더욱 세밀한 분석을 진행하고자 한다. 다음으로 테스트포는 포가 생성되지 않는 형태로 분사되기 때문에 포 처리 및 정화, 정리 등의 이차적인 과정(후처리 과정)이 축소되므로 프로포셔널 형식승인 시 반복 시험을 진행하여도 기존 형식승인 대비 일정 시간(기존 검사 시간) 내에 많은 형식승인을 진행할 수 있을 것을 판단된다.

3.3.2 비교 약제의 혼합 비율 측정 시험

이번 장에서는 비교 약제(물, 알코올포, 테스트포) 변화에 따른 혼합 비율의 변화를 확인해보았다. 시험은 폼 조절기 변화에 따라 5번의 반복 시험을 진행하였다. Table 4와 Table 5는 각각 혼합 비율 1%, 3% 경우의 시험 결과를 나

Table 4. Mixing Ratio 1% Test

1%	Entry 1	Entry 2	Entry 3	Entry 4	Entry 5	Avg.
Water	1.28	1.28	1.28	1.28	1.24	1.27
A.F	1.20	1.20	1.16	1.15	1.16	1.17
T.F	1.17	1.23	1.16	1.16	1.22	1.19

Table 5. Mixing Ratio 3% Test

3%	Entry 1	Entry 2	Entry 3	Entry 4	Entry 5	Avg.
Water	3.03	3.12	3.11	3.20	3.12	3.12
A.F	3.04	3.03	3.08	3.00	3.08	3.05
T.F	3.06	3.02	3.12	3.02	3.02	3.05

타낸다. 혼합 비율 1%의 경우는 KFI의 포소화약제 혼합 비율 기준인 1~1.3% 범위에 들어와야 성능인증을 받을 수 있다. 마찬가지로 혼합 비율 3%의 경우는 포소화약제 혼합 비율 기준인 3~3.9% 범위에 들어와야 성능인증을 받을 수 있다. 비교 약제 중 물은 약제사용 여부와와의 차이를 나타내고자 비교 약제에 포함하여 진행하였다.

혼합 비율 1%에서 물과 약제(알코올포, 테스트포)를 비교하였을 경우, 혼합 비율은 약 8.5% 차이가 난다. 반면에 알코올포와 테스트포의 혼합 비율은 약 1.7% 차이가 난다. 혼합 비율 3%에서 물과 약제를 비교하였을 경우, 혼합 비율은 약 2.3% 차이가 난다. 반면에 알코올포와 테스트포의 혼합 비율은 차이가 발생하지 않는다. 이는 점도가 낮을수록 혼합 비율이 증가하게 된다는 점도와 혼합 비율의 관계를 보여준다. 이러한 관계는 프로포셔너의 정확하고 신뢰성 있는 형식승인을 위해서는 적절한 점도가 필요하다는 것을 보여준다.

알코올포와 테스트포의 혼합 비율을 비교하였을 경우, 혼합 비율이 1%에서는 알코올포는 1.17%이며 테스트포는 1.19%로 모두 포소화약제 혼합 비율 기준 범위 안에 포함되는 것으로 나타난다. 혼합 비율이 3%에서는 알코올포와 테스트포 모두 3.05%로 포소화약제 혼합 비율 기준 범위 안에 포함되는 것으로 나타난다. 이 결과를 통해 테스트포가 혼합 비율 기준 범위 내에 포함되므로 성능이 입증된 것으로 판단된다. 즉, 테스트포를 형식승인 시 포소화약제를 대신하여 사용하여도 될 것으로 사료된다.

4. 결 론

본 연구의 목적은 포소화약제를 대체할 수 있는 약제의 성능을 확인하고, 연구 개발 가능성을 기초실험 및 혼합 비율 시험을 통해 입증하는 것이다. 기초실험을 통하여 대체 약제 개발의 가장 기본이 되는 요소가 점도라는 것을 밝혀냈으며, 혼합 비율 측정 시험을 통해 점도의 중요성을 입증할 수 있었다. 폼 조절기로 흡입되는 약제의 양은 점도에

따라 달라지며, 또한 흡입되는 약제와 물(소화수)의 혼합 성능에 따라 혼합 비율이 변화할 수 있다는 것을 확인하였다. 즉, 적절한 점도와 적당한 친수성을 가진다면 최적의 대체 약제가 될 것으로 판단된다. 부가적으로 포 생성 여부를 통해 이차적 처리 과정 축소가 형식승인 시 효율성 향상을 도모할 수 있다는 것도 확인할 수 있었다. 하지만 이번 연구는 상온에서의 혼합 비율만을 확인하였다는 한계점을 갖는다. 약제는 온도가 상승할수록 점도가 낮아진다는 특성이 있다. 이 특성은 형식승인 시 계절 및 승인을 시행하는 공간의 온도 및 약제의 온도의 영향으로 혼합 비율이 변화되어 형식승인의 결과가 달라질 수 있다. 따라서 대체 약제를 사용할 온도 및 점도를 지정하여 형식승인 시 사용하는 것이 필요할 것으로 판단된다.

이번 연구 결과를 통해 대체 약제가 형식승인 시 사용이 활발하게 이루어진다면 향후 알코올포를 벤치마킹한 대체 약제뿐만 아니라 그 외의 약제에 관한 연구 개발이 활발하게 이루어질 것이다.

끝으로, 본 연구를 통해 형식승인 시 포소화약제를 대체할 테스트포는 2가지 특성을 도출할 수 있다. 첫 번째는 벤치마킹한 포소화약제와 테스트포의 점도는 같거나 근사하여야 한다. 두 번째 포의 생성이 억제되어야 하며, 포 생성 시 처리 및 정화 과정이 축소되어야 한다. 이러한 연구 결과를 포소화약제 및 대체 약제의 연구 개발을 확대 및 활성화할 수 있는 기초자료로 제시하고자 한다.

향후 연구에서는 약제의 특성 변화에 따른 혼합 비율의 변화를 자세히 실험을 통해 분석해 볼 것이다. 점도가 같은 약제일지라도 친수성에 따라 혼합 비율이 변화될 수 있을 것이다.

References

1. Korea Fire Protection Association (KFPA), "Foam Extinguishing systems", Disaster Prevention Technical Data (7th edition), No. 03 (2020).
2. B. B. Maini and V. Ma, "Laboratory Evaluation of Foaming Agents for High-temperature Applications - I. Measurements of foam Stability at Elevated Temperatures and pressures", Journal of Canadian Petroleum Technology, Vol. 25, No. 6 (1986).
3. J. H. Ku, "A Study on Foam Mixing Characteristics in Steady State to Enhance the Performance of Proportioner for Foam System", J. Korean Soc. Hazard Mitig., Vol. 9, No. 5, pp. 63-68 (2009).
4. S. H. Joo, H. S. Kong and Y. S. Gong, "Improving Performance of Foam Proportioner Utilizing Metering Venturi Type", Fire Science and Engineering, Vol. 29, No. 3, pp. 48-52 (2015).
5. Q. Zhang, L. Wang, Y. Bi, D. Xu, H. Zhi and P. Qiu,

- “Experimental Investigation of Foam Spread and Extinguishment of the Large-scale Methanol Pool Fire”, Journal of Hazardous Materials, Vol. 287, pp. 87-92 (2015).
6. Korea Fire Institute (KFI), “Detailed Test Rules for Performance Certification and Product Inspection of Foaming Extinguishing Systems, Etc.” (2020).
7. Korea Fire Institute (KFI), “Technical Standards for Performance Certification and Product Inspection of Foaming Extinguishing Systems, Etc.” (2019).