

친환경 고발포 소화약제 개발 및 성능 분석 연구

김하영 · 남준석* · 이동호***

인천대학교 안전공학과 대학원 · *한국소방산업기술원 · **인천대학교 안전공학과

(2010. 1. 20. 접수 / 2010. 7. 20. 채택)

Analysis of Performance and Development of Environment-friendly High Expansion Foam Concentrate

Ha-young Kim · Jun-seok Nam* · Dong-ho Rie***

Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon

*Korea Institute of Fire Industry & Technology

**Department of Safety Engineering, University of Incheon

(Received January 20, 2010 / Accepted July 20, 2010)

Abstract : Foam concentrate is used for fire-extinguishing purposes, occurring foam, mixed with air. In huge oil-fire or the efficiency of fire-extinguishing with small quantity of water, Foam concentrate is used widely. However, per-fluorooec tanoicsulfonate and nonylpenol that are included in Foam concentrate could be exposure in danger while they were discharged. The purpose of the research is the development of environment-friendly high expansion foam that exclude the dangerous substances and improvement of danger of the existing foam concentrate. The developed foam is analyzed as the environment-friendly foam in indexes of the environment-toxicity, the biodegradation appraisal, and the dangerous substances-detecting. In addition, the performances of expansion rate, discharge rate, and fire-extinguishing are suitable in the domestic regulation, so it is useful for fire-extinguishing in real fire situation.

Key Words : fire fighting, foam concentrate, foam system, biodegradable, eco-friendly

1. 서론

포소화약제는 다량의 물에 포소화약제 원액을 녹인 포수용액을 발포기에 의하여 기계적인 수단으로 공기와 혼합 교반하여 거품을 발생시키는 약제를 말한다.

이러한 포소화약제의 사용은 다양한 설비(이동식, 고정자동식) 대형의 유류화재 적합, 대량·연속적 생산 가능, 약제의 특수성 및 장기 보관 가능의 이유로 널리 사용되고 있다.

최근의 포소화약제의 분야에는 과거에 석유류 등의 가연성 화재를 주 대상으로 하는 소화기용 화학포소화약제와 유사한 성능의 단백질 소화약제가 불소계, 실리콘계 등 합성 계면활성제를 기제로 하는 새로운 포소화약제로 잇달아 개발되었다¹⁾.

이러한 포소화약제는 자연생태계에 대량으로 방

류될 수 있는 화학물질로서 구성에 따라 동식물에 대한 피해와 지하수의 오염 등 2차 피해, 3차 피해를 유발할 수 있는 위험성을 내포하고 있다.

본 연구에서는 이러한 위험성을 미연에 방지하기 위해 할로겐류, 페놀 및 중금속이 첨가되지 않은 친환경 계면활성제 포소화약제의 개발을 목표로 한다. 또한 개발된 포소화약제의 발포성능 및 소화성능을 측정하고 기존의 국내 및 해외 시판되는 약제와의 성능 비교를 통해 본 소화약제의 적용성을 분석한다.

2. 계면활성제 포소화약제의 특징 및 문제점

계면활성제 포소화약제는 주로 발포를 위한 기포제, 발포된 기포의 지속성 유지를 위한 기포안정제, 빙점을 낮게 하기 위한 유동점강하제로 구성되어 있다.

계면활성제 포소화약제는 유동성이 좋아 소화속도가 빠르며 화세가 세지 않아 포가 깨질 염려가 없

* To whom correspondence should be addressed.
riedh@incheon.ac.kr

으므로 유류 유출 화재에 적합한 특징을 가지고 있다. 또한 저 팽창에서 고 팽창까지 팽창범위가 넓어 고·기체 연료의 화재에 사용하는 등 사용범위가 넓다.

그러나 기존의 계면활성제 포소화약제는 주로 계면활성제에 불소계(Perfluorooctanoic sulfonate)나 NP계(Nonylpenol)를 사용하여 왔다.

불소계의 경우 잔류성 유기화합물(PFOS)인 잠정적 발암물질로 규정되어 EU에서는 소화약제의 경우 2011년 6월 27일 이후 전면 규제되며 국제적으로 PFOS에 대한 규제가 확대되고 있다. NP계의 경우 호르몬제 교란물질로서 환경에 살포시 오염될 위험이 있다.

이러한 계면활성제포는 독성 뿐 아니라 생분해도가 낮은 특성으로 인해 환경에 방치될 시 생태계를 교란시킬 위험이 발생해 이를 대체할 소화약제 개발이 시급한 실정이다.

3. 친환경 포소화약제의 개발

본 연구에서는 이러한 계면활성제포의 독성 및 생분해도 향상을 위해 Table 1의 합성계면활성제 포소화약제의 일반조성 중 위험성이 있는 물질의 대체를 통해 친환경 포소화약제를 개발 연구하였다.

3.1. 기포제

기존의 제품에서 사용하는 기포제는 Sodium laurylsulfonate, Sodium laurylsulfate 등이 주로 사용되었으나 내유성이나 내화성이 취약한 단점을 갖는다.

본 연구에서는 기포성이 좋은 Laurylbetaine을 적용하고자 하였으나 원료가 고가이고, 사용상의 제한이 있어, Cocoabaine을 적용하였다.

기포보조제로서 기존의 sulfate류나 sulfonate류가 많이 사용되었으나 생분해가 어려운 단점을 가지고

Table 1. General chemical properties of synthetic surfactants foam concentrate

구분	품명	혼합비
기포제	라우릴 황산나트륨 라우릴 황산 트리에타놀아민 라우릴 황산 에틸 암모늄 라우릴 황산 에틸트리에타놀아민	40~50%
안정제	고급알콜(C10-C16)	1~5%
부동제	에틸렌글리콜	10~15%
용제	부틸세로소르부	15~20%
물		34~10%
방부식제	폴리인산염	미량

있어, Cocoacetate류를 채택하였다.

3.2. 기포안정제

최근 Sodium carboxymethyl cellulose를 활용한 기포안정화가 추진되고 있으나 내유성, 내화성이 취약한 단점을 갖는다.

본 연구에서는 Sodium carboxymethyl cellulose의 내화단점을 보완하기 위하여 Sodium carboxymethyl cellulose와 Polyacrylamide, 올리고당을 혼합하여 배합하였다.

3.3. 유동점감하제 및 기타 첨가제

일반적으로 ethylene glycol을 많이 사용하고 해외 친환경 개발 약제는 Hexylene glycol과 Diethyleneglycol monobutylether을 사용한 반면 개발약제는 생분해성을 감안하여 Glyceline, Propylene Glycol, Diethyleneglycol monobutylether을 혼합사용하였다.

또한 내화성을 증진하고 기포안정성 향상을 위하여 소량의 우레아를 첨가하였다.

4. 개발약제의 친환경성 검증

현재 국내 포소화약제는 소방방재청 권한으로 화재진압성능에 만족하면 형식 승인 검정을 부여하고 있으나 친환경 요소에 대한 규제가 전무하며 이에 따른 국내 포소화약제는 환경영향시험을 시행한 바도 없다.

본 연구에서는 개발된 포소화약제의 친환경성을 검증하기 위하여 한국화학시험연구원에 의뢰하여 개발약제 원액의 Table 2의 항목에 대해 검증하였다.

Table 2에 나타난 바와 같이 환경생태 독성에 대한 시험결과 어독성(송사리), 지렁이 독성시험, 급성 물벼룩 시험 결과는 검출한계를 모두 초과하는 것으로 나타났으며 담수조류 및 성장저해는 평균 64.278mg/L, 최소 28.884mg/L의 결과로 나타남에 따라 원액과 물의 3% 혼합시 환경에 미치는 영향은 매우 미미한 것으로 분석되었다.

또한 생분해도 평가 결과 28일 생분해도가 93.5%로 나타났다. 일반적으로 생분해도는 60% 이상일 경우 생분해성이 우수한 것으로 평가되며 유럽에서 시판되고 있는 친환경 약제의 경우 76.1%의 생분해도를 나타내 본 개발 약제가 우수한 것으로 분석되었다.

Table 2. Experimental results for environment-friendly(Non-diluted)³⁾

구분	항목	시험방법	단위	시험결과	친환경기준
환경생태독성	어독성 (송사리)	OECD TG203	mg/L	48hr-LC50: >100	
				96hr-LC50: >100	
	지렁이 독성시험	OECD TG207	mg/kg	14일 LC50: >1000(dry weight)	
				급성 물벼룩 시험	
담수조류, 성장저해	OECD TG201	mg/L	72hr-ErC50 64.278		
			72hr-EyC50 28.884		
생분 해도 평가	생분해도	OECD 301A DOC Die-Away Test:1992	%	93.5	60 이하
유해 물질 검출	PFOS	EPA 3550	mg/kg	검출안됨	50 이하
	노닐페놀 계면활성제	EPA 3550	mg/kg	검출안됨	100 이하
	납	ISO 3856	mg/kg	검출안됨	20 이하
	카드뮴	ISO 3856	mg/kg	검출안됨	5 이하
	육가크롬	ISO 3856	mg/kg	검출안됨	5 이하
	수은	ISO 3856	mg/kg	검출안됨	20 이하

또한 유해 물질 검출 시험 결과 규제되는 모든 종류의 항목이 검출이 되지 않는 것으로 분석되어 본 개발 약제의 친환경성이 우수한 것으로 판단된다.

5. 성능 분석

본 연구에서는 개발된 포소화약제의 성능 분석을 위해 한국소방산업기술원(전 한국소방검정공사)에서 제시하고 있는 포소화약제의 형식승인 및 검정 기술기준·시험세칙(KOFEIS 0103)²⁾에 기준하여 발포성능 및 소화성능을 측정하였다.

5.1. 발포 성능 시험

1) 발포 성능 시험 방법

본 연구에서는 고발포성능 시험을 위해 Fig. 1의 표준 발포장치를 제작하여 측정하였으며, Table 3은 KOFEIS 0103에서 제시하고 있는 발포성능 적합 조건을 나타낸다.

발포성능의 경우 팽창율 측정과 25% 환원 시간 측정으로 구분된다. 팽창률의 측정은 아래의 식 (1)에 의해 2회 측정치를 산술 평균하여 분석하며, 환원 시간 측정은 200L의 포수집용기에 수집하여 포의 무게가 25%가 되는 시간을 측정하여 산정한다.

발포성능 분석은 기 개발된 기성약제와의 객관적 비교를 위해 국내 개발약제 1점(일반 계면활성제)과 해외 개발약제 1점(친환경 계면활성제)을 동일한 조건에서 발포력과 환원시간을 측정하였다.

$$\text{포 팽창율} = \frac{V}{Q \times S / 60} \quad (1)$$

Q : 발포기의 1분간당 방출량(L)

S : 거품수집기간(초)

V : 금망용기의 용적(L)

Table 3. Suitable conditions for performance of expansion rate(KOFEIS 0103)

종류	팽창율	25% 환원시간
저발포	6배 이상	1분 이상
저발포 (수성막포소화약제)	5배 이상	1분 이상
고발포 (합성계면활성제)	500배 이상	3분 이상

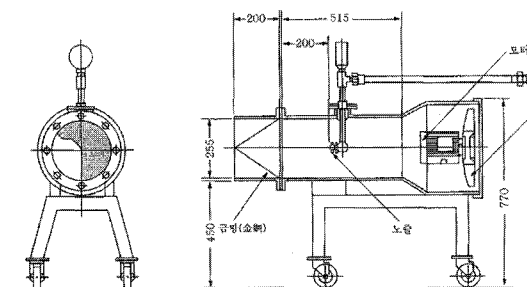


Fig. 1. Production drawing for standard foaming device.



Fig. 2. Performance test of expansion rate.



Fig. 3. Performance test of discharge rate.

2) 발포 성능 시험 결과

발포 성능 시험 결과 팽창율의 경우 개발약제는 507배로 나타나 기존약제에 비해 국내 3.06%, 해외 1.74%가 팽창률이 낮은 것으로 분석되었으나 적합조건인 500배에 충족되는 것으로 나타났으며 환원시간의 경우 25%로 환원이 되는 시간은 1910초로 나타나 22.44%, 76.85% 높은 것으로 분석되었다.

Table 4와 Fig. 4는 KOFEIS 0103에 의거한 발포 성능 측정결과를 나타낸다.

Table 4. Performance test results of expansion and discharge rate

시료	팽창율	25% 환원시간	적합여부
개발약제	507배	1910초	적합
국내 A 약제	523배	1560초	적합
해외 B 약제	516배	1080초	적합
적합기준	500배 이상	180초 이상	

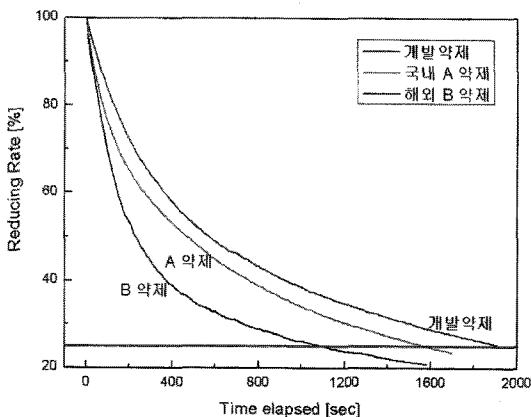


Fig. 4. Test result of discharge rate.

5.2. 소화 성능 시험

Table 5. Suitable conditions for performance of fire-extinguishing(KOFEIS 0103)

종류	시험 연료	발포시간	소화시간 적합조건
A급 고발포	건조목재 90개	5분	5분 이내
B급 고발포	n-Heptane 80L	2분30초	3분 이내

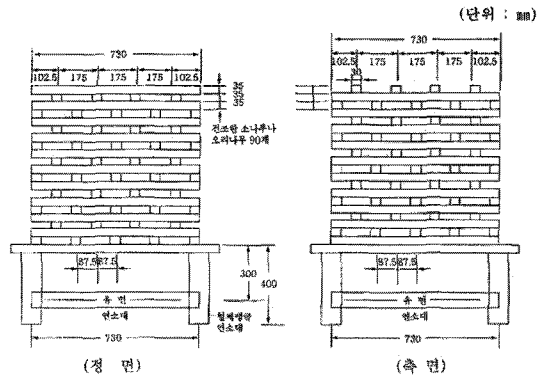


Fig. 5. Fire model of A Class.

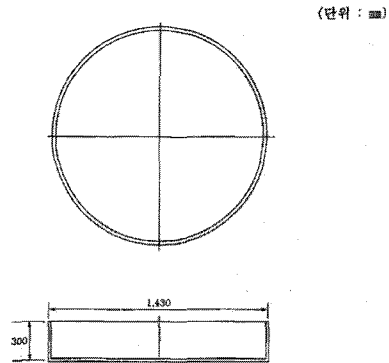


Fig. 6. Fire model of B Class.



Fig. 7. Performance test of fire-extinguishing(A Class).

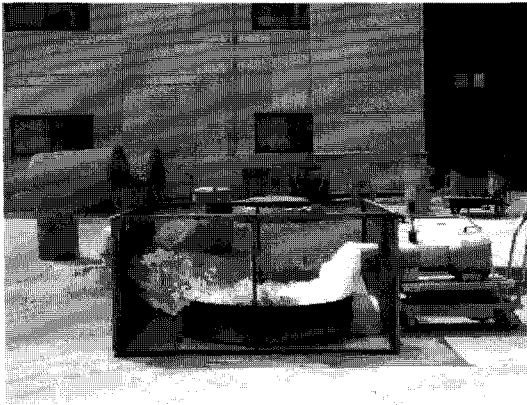


Fig. 8. Performance test of fire-extinguishing(B Class).

Table 6. Performance test results of fire-extinguishing

종 류	적합조건	시험결과	적합 여부
A급 고발포	포수용액을 8분간 연속 발포시키는 경우 5분 이내 소화될 것	소화시간 2분 21초	적합
B급 고발포	포수용액을 2분 30초간 연속 발포시키는 경우 3분 이내 소화될 것	소화시간 35초	적합

1) 소화 성능 시험 방법

본 연구에서는 소화성능 분석을 위해 KOFEIS 0103에서 제시한 기준으로 소화 성능 시험을 실시하였다. Table 5는 소방산업 기술원에서 제시하고 있는 소화 성능 시험조건 및 적합조건을 나타내며 Fig. 5-8은 A, B급 화재 모형 및 실험 예를 나타낸다.

2) 소화 성능 시험 결과

소화 성능 시험 결과 소화시간은 각각 1분 50초(B급 저발포), 35초(B급 고발포), 2분 21초(A급 고발포)로 나타나 소화 성능 적합조건에 적합한 것으로 나타났으며 Table 6은 소화성능 시험결과를 나타낸다.

6. 결론

친환경 고발포 특수소화약제 개발을 위한 연구 결과 다음의 결론을 얻었다.

1) 계면활성제포의 독성 및 생분해도 향상을 위해 합성계면활성제 포소화약제의 일반조성 중 위험성이 있는 물질의 대체를 통해 친환경 포소화약제를 개발 연구하였다.

2) 개발된 약제의 친환경성 분석을 위해 한국화학 시험연구원에 의뢰한 결과 환경생태독성, 생분해도 평가, 유해물질검출 항목에서 모두 친환경성에 적합한 것으로 나타났다.

3) 발포 성능 시험 결과 팽창율의 경우 개발약제는 507배로 나타나 기존약제에 비해 국내 3.06%, 해외 1.74%가 팽창률이 낮은 것으로 분석되었으나 적합조건인 500배에 충족되는 것으로 나타났으며 환원시간의 경우 25%로 환원이 되는 시간은 1910초로 나타나 22.44%, 76.85% 높은 것으로 분석되었다.

4) 소화 성능 시험 결과 소화시간은 각각 2분 21초(A급 고발포), 35초(B급 고발포)로 나타나 소화 성능 적합조건에 적합한 것으로 나타났다.

5) 친환경 평가 및 성능 시험결과 개발된 친환경 포소화약제는 친환경성의 확보와 한국소방산업 기술원에서 제시하는 검정기준을 모두 만족하는 것으로 나타남에 따라 실제 화재시에 소방활동을 위한 적용이 가능한 것으로 분석되었다.

참고문헌

- 1) 차시환, 현성호, 소방약제화학, 신광문화사, 2004.3.
- 2) 한국소방산업기술원, KOFEIS 0103(포소화약제의 형식승인 및 검정기술기준·시험세칙), 2005.8.
- 3) 한국화학시험연구원, 시험성적서, pp. 1~2, 2009.6.
- 4) Krister Holmberg, Bo Jönsson, Bengt Kronberg and Björn Lindman, "Surfactants and Polymers in Aqueous Solution", John Wiley & Sons, pp. 437~450, 2002.
- 5) NFPA, "NFPA 11 Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam 2002 Edition", NFPA, 2002.
- 6) Elaine N. B. Stasiuk and Laurier L. Schramm, "The Temperature Dependence of the Critical Micelle Concentrations of Foam-Forming Surfactants", Journal of colloid and interface science, pp. 324~333, 1996.