

고발포 소화약제의 온도 변화에 따른 최적발포성능 유지를 위한 자동혼합시스템 개발

Development of Auto Mixing System of High Expansion Foam for Optimal Expansion Performance according to Changing Temperature

김하영 · 김성수 · 이동호*†

Ha-Young Kim · Sung-Soo Kim · Dong-Ho Rie*†

인천대학교 안전공학과 대학원, *인천대학교 소방방재연구소
(2010. 10. 11. 접수/2010. 12. 10. 채택)

요 약

기계포소화약제는 다량의 물에 포소화약제 원액을 녹인 포수용액을 발포기에 의하여 기계적인 수단으로 공기와 혼합 교반하여 거품을 발생시키는 약제를 말한다. 다양한 설비(이동식, 고정자동식) 적용성, 대형의 유류화재 적합, 대량·연속 생산이 가능한 약제의 특수성 및 장기보관이 가능한 특징이 있어 이에 대한 개발 및 연구가 꾸준히 진행되고 있다. 그러나 이러한 포소화약제는 주변의 온도 및 운용조건에 따라 발포력의 변화가 큰 특징이 있어 실제 겨울철 소방 활동시에는 사용을 자제하고 있다. 본 연구에서는 소화 활동시 온도가 발포력에 미치는 영향을 분석하고 이를 활용하여 소방차에 적용 가능한 시스템을 개발하였다. 결과로 기준 약제 혼합비인 3.0%일 경우 온도차에 따라 최대 30.08%의 발포성능차가 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 자동 혼합 시스템의 적용성을 분석한 결과 설계값과 실제실험값의 오차가 최대 0.012%로 나타남에 따라 해당 시스템의 적용성이 확보된 것으로 판단되었다.

ABSTRACT

Fire fighting foam is expanded when it mix with many water in mechanical method. It have adaptability, mass production possibility, long-time storage possibility. But foam isn't recommended that it use for extinguish the fire in winter. Because of, expansion ratio is changed according to exterior temperature and environment. In this study, we analysis to effect of expansion according to temperature and develop auto mixing system available for fire engine. As a result of non-standard drug mixture is 3.0% up to 30.08% depending on the temperature of the fire showed that the difference in performance occurs. In addition, analysis of the applicability of automatic mixing system design values and actual experimental data as 0.012% maximum error of the applicability of the system obtained according nataname was judged.

Key words : Fire fighting foam, Foam concentrate, Foam system

1. 서 론

기계포소화약제는 다량의 물에 포소화약제 원액을 녹인 포수용액을 발포기에 의하여 기계적인 수단으로 공기와 혼합 교반하여 거품을 발생시키는 약제를 말한다. 포소화약제를 이용한 소화활동은 일반 가연성 물질에 의한 A급 화재뿐 아니라 B급(인화성/가연성액체) 화재에도 적합하다. 또한 소화방법에 따라 물에 비해

8~15배의 소화효과가 있어 유류저장고, 액화가스 저장고, 유류차량 뿐 아니라 산불, 대공간, 지하공간 등 건축물, 공항과 같은 곳에서 사용분야가 급격히 확대되고 있다.

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

그러나 이러한 포소화약제는 주변의 온도 및 운용조

† E-mail: riedh@incheon.ac.kr

건에 따라 발포력의 변화가 큰 특징이 있어 실제 겨울철 소방활동 시에는 사용을 자제하고 있다.

따라서 본 연구에서는 소화활동 시 온도가 발포력에 미치는 영향을 분석하고 이를 활용하여 소방차에 적용 가능한 자동 혼합 시스템을 개발한다.

2. 온도에 따른 최적혼합비 산정

2.1 발포 성능 시험 방법

본 연구에서는 온도에 따른 포소화약제의 발포성능 분석을 위해 한국소방산업기술원(전 한국소방검정공사)에서 제시하고 있는 포소화약제의 형식승인 및 검정기술기준시험세칙(KOFEIS 0103)에 기준하여 발포성능을 측정하였다.

발포성능 시험을 위해 Figure 1의 표준 발포장치를 제작하여 측정하였으며, 2×2×1m 크기의 3 mesh의 금망틀에 포소화약제가 충만한 시간을 측정한다. Figure 2는 실제 표준 발포장치를 이용한 시험 모습을 나타낸다.

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

Q: 발포기의 1분간당 방출량(l)

S: 포수집기간(초)

V: 금망용기의 용적(l)

발포비 측정방법은 다음과 같다.

- a) 포수용액의 온도를 20±2°C로 한다.
- b) 포수용액은 물 또는 합성해수와 일정 비율 섞어 만든다.
- c) 물 또는 합성해수를 표준발포노즐의 방출압력 1.0±0.2kg/cm²로 하여 1분당 포수용액 방출량을 6.0±0.2로 조정하여 둔다.
- d) 포수용액을 시험용 용기에 넣는다.
- e) 노즐의 방출압력 및 방출량을 기존의 조정된 조건으로 방출시킨다.

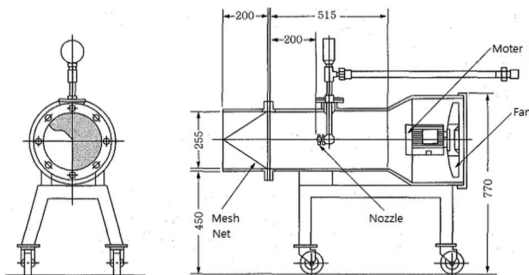


Figure 1. High-expansion foam quality test generator (KOFEIS 0103).



Figure 2. Experimental of high-expansion foam.

건으로 방출시킨다.

- f) 2×2×1m의 금망 용기에 포를 넣고 동시에 시간 측정을 개시한다.

- g) 금망용기에 포가 충만 되었을 때 포 수집을 중지하고 스톱 위치도 정지시켜 수집시간을 측정한다.

- h) 발포비 측정은 식(1)과 같으며 2회 측정한 산술 평균값으로 한다.

발포성능의 측정은 오차를 최소화하며 정량적인 시험 결과 도출을 위해 아래의 실험 전제조건으로 분석을 실시하였다.

- 물과 약제를 혼합하여 5분간 교반
- 표준발포기의 공기 Fan의 회전수를 2250rpm(13m³/min)으로 설정
- 실내 온도와 수용액의 온도를 동일하게 유지
- 포수용액의 양을 30로 제작하여 실험 실시

2.2 실험 설정 및 분석 방법

본 연구에서는 온도에 따른 발포비 변화를 측정하기 위해 다음 Table 1의 설정 조건으로 실험을 진행하였다.

또한 본 연구에서는 혼합율 3.0%, 20°C의 온도에서의 발포비를 기준으로 하여 온도별로 기준과 동일한 발포비를 유지할 수 있는 적정 혼합율을 도출하여 다양한 온도 조건에서 최적의 발포 성능 유지를 위한 모

Table 1. Boundary Conditions

Division	Boundary Conditions
Temp.	6 Case (5, 10, 15, 20, 25, 30°C)
Aqueous Solutions	7 Case (2.5, 2.7, 2.9, 3.0, 3.1, 3.3, 3.5%)

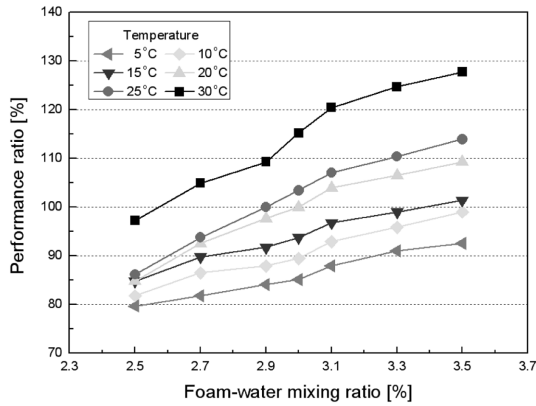


Figure 3. Expansion foam performance ratio with variable temperature.

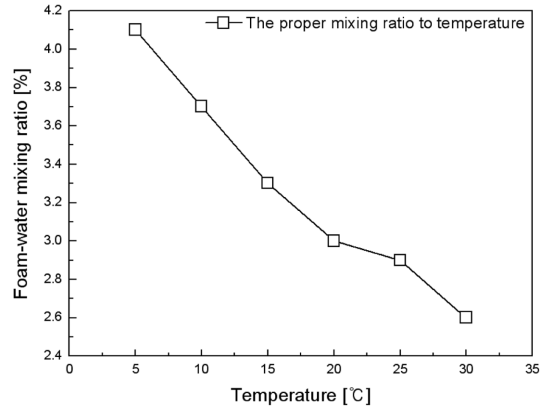


Figure 4. Optimal foam-water mixing ratio with temperature.

들 구축의 기초자료로 활용하였다. 또한 Table 1의 설정 조건 내에 적정혼합비가 도출되지 않을 경우 혼합비 조건을 추가하여 산정하였다.

2.3 온도 조건에 따른 포소화약제의 발포성능 분석 결과

온도 조건 6 Case와 혼합비 조건 7 Case의 실험결과 온도에 따른 포소화약제의 발포성능을 Figure 3과 Table 2에 나타냈다.

Figure 3에 나타난 바와 같이 기준 약제 혼합비인 3.0%일 경우 온도차에 따라 최대 30.08%의 발포성능차가 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 온도가 높을수록 농도차에 따른 발포비의 변화가 큰 것으로 나타나 30°C의 경우 혼합비에 따른 발포성능차가 30.46%로 나타났다.

2.4 온도에 따른 포소화약제의 적정 혼합비 산정 결과

2.3절에서 도출된 분석 결과를 토대로 20°C, 3.0% 혼합비의 성능을 유지하기 위한 온도별 적정 혼합비를

Figure 4에 나타내었다. Figure 4는 Figure 3의 각 온도별 Performance ratio가 100%가 되는 혼합비를 나타내며 10°C 미만의 온도는 추가 실험을 통해 100%가 되는 혼합비를 도출하였다.

Figure 4에 나타난 바와 같이 기준 발포성능 유지를 위해서는 5°C의 경우 4.1%의 혼합비가 필요하며 30°C의 경우 2.6%의 혼합비가 필요한 것으로 분석되었다.

3. 온도 변화에 따른 자동혼합시스템 개발

3.1 자동 혼합시스템 개발 개요

본 절에서는 온도에 따른 적정혼합비 연구 결과를 활용하여 이를 모듈화 하였으며 소방차 자동 주입/혼합 시스템에 모듈을 적용하여 소방차에 적합한 인공지능형 자동 혼합 시스템을 개발하였다. Figure 5는 온도 변화에 따른 자동 혼합 시스템의 개요도를 나타낸다.

Table 2. Experimental Result to Expansion Foam Performance Ratio with Variable Temperature

Division	2.5%	2.7%	2.9%	3.0%	3.1%	3.3%	3.5%
40°C	82.55	102.83	115.09	117.92	117.92	122.17	124.06
30°C	78.30	95.75	106.13	108.02	111.32	115.57	119.34
25°C	75.47	91.51	98.11	102.36	108.96	113.68	116.51
20°C	74.53	86.79	96.23	100.00	106.60	111.79	114.62
15°C	73.58	83.49	92.45	96.23	103.30	107.55	110.38
10°C	71.23	80.19	89.15	93.87	100.94	104.25	106.60
5°C	69.81	77.83	83.49	91.51	98.58	100.94	105.19

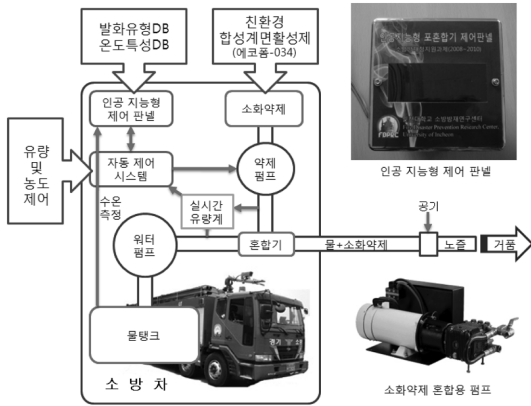


Figure 5. An outline of auto mixing system for variable temperature.

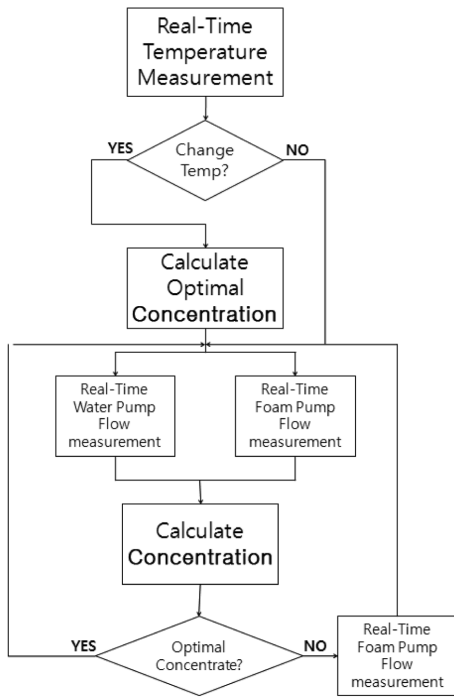


Figure 6. Flowchart of auto mixing system for variable temperature.

3.2 자동 혼합시스템 개발 흐름

Figure 6은 인공지능형 제어 시스템의 계산 Flowchart를 나타낸다. Figure 6에 나타난 바와 같이 개발된 시스템은 약제 발포 시 수온을 측정하여 온도를 확인한 후 온도에 따른 적정 혼합비 산정식을 이용하여 혼합비를 산정한다. 시스템에서는 물펌프의 토출되는 유량

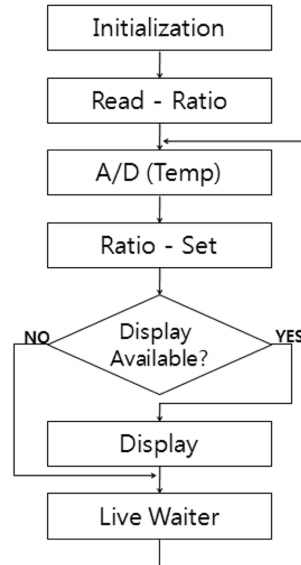


Figure 7. Control panel main flowchart.

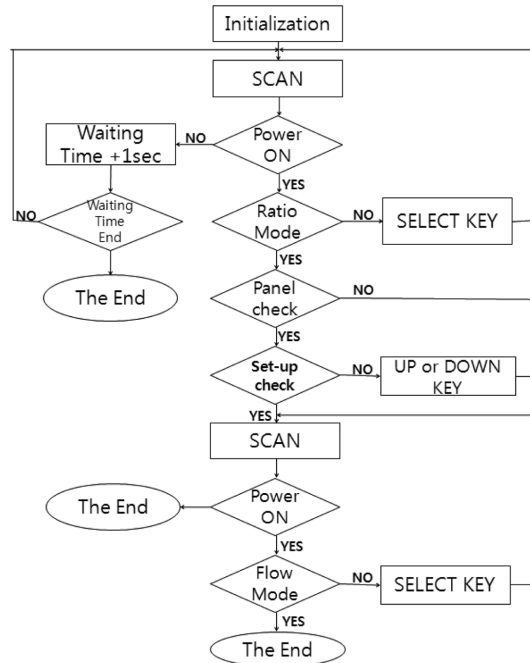


Figure 8. Ratio-set flowchart.

을 기준으로 하여 해당 유량에 맞게 실시간으로 약제 펌프의 유량을 제어 및 보정하여 계산된 혼합비가 유지되도록 한다.

컨트롤 패널의 메인시스템은 Figure 7의 Flowchart로

진행되게 된다. 전원을 키면 초기화 상태에서 입력된 혼합율을 읽고 온도를 확인한 후 다시 온도에 맞는 혼합율을 계산하여 설정한다. 그 후 디스플레이 창에 출력하여 보내주게 되고 이것이 계속적으로 순환하여 온도 변화에 따른 혼합율을 변경하며 작동한다.

적정 혼합율의 제어는 전원이 켜져 있는 상태로 비율 조정 모드로 진행되며 혼합율을 확인하고 Figure 8 과 같이 설정 검정에서 혼합율의 증가 및 감소를 조정한다. 여기서 설정된 혼합율은 전원이 off 될 때까지 계속적으로 순환하며 온도의 변화가 있을 시 실시간으로 혼합율을 조정하게 된다.

4. 온도 변화에 따른 자동 혼합 시스템 적용성 실험

4.1 자동 혼합 시스템 적용성 실험 방법

본 연구에서는 개발된 자동 혼합 시스템의 적용성 시험을 위하여 아래에 방법과 같은 시험을 통하여 제작된 혼합 시스템의 성능을 검토하였다.

- a) 판넬의 온도에 따른 혼합률을 확인하기 위하여 시리얼 포트를 컴퓨터와 연결하여 5초 단위로 데이터를 출력한다.
- b) 판넬을 매뉴얼 모드로 전환하고 시험할 온도로 조작하여 온도를 맞춘다.
- c) 발포 압력은 5kgf/cm²의 압력으로 조작하여 작동

Table 3. A Specific Gravity and a Mixing Ratio of Variable Temperature

Temperature (°C)	10	15	20	25	30	35
Mixing Ratio (%)	3.7	3.3	3	2.7	2.5	2.3
Specific Gravity	1.0079	1.0064	1.0052	1.0040	1.0034	1.0028

Table 4. Experiment Result for a Variation of Time to Specific Gravity

Division			Variation of Time to Specific Gravity				
Temperature (°C)	Mixing Ratio (%)	Specific Gravity	30 sec	60 sec	90 sec	120 sec	150 sec
10	2.3	1.0028	1.0028	1.0029	1.0027	1.0029	1.0028
15	2.5	1.0034	1.0032	1.0034	1.0033	1.0035	1.0034
20	2.7	1.0040	1.0040	1.0041	1.0039	1.0041	1.0041
25	3.0	1.0052	1.0052	1.0051	1.0053	1.0053	1.0052
30	3.3	1.0064	1.0063	1.0063	1.0065	1.0064	1.0064
35	3.7	1.0079	1.0080	1.0081	1.0079	1.0080	1.0078

한다.

d) 각 온도 10, 15, 20, 25, 30, 35°C로 온도를 조작한 후 발표한다.

e) 각 온도 마다 발표 되는 소화약제를 60초 단위로 샘플링하여 보관한다.

본 연구를 위해 온도값을 수동으로 설정할 수 있도록 하였으며 정확한 데이터 산정을 위해 제어판넬에 표시되는 데이터를 컴퓨터로 저장할 수 있도록 제작하였다.

Table 3은 적용성 평가를 위한 온도에 따른 적정 혼합율이며 해당 혼합율에 따른 비중을 나타낸다.

4.2 자동 혼합 시스템 적용성 실험 결과

각 온도에 따른 혼합률 데이터와 샘플링된 약제의 비중 비교를 통하여 개발된 자동 혼합 시스템의 적용성을 검증한 결과 Table 4 및 Figure 9~10에 나타났다.

Table 4 및 Figure 9에 나타난 바와 같이 온도별 총 5회의 비중 측정결과 대조군의 비중이 오차범위 내로 일치하는 것으로 나타났다.

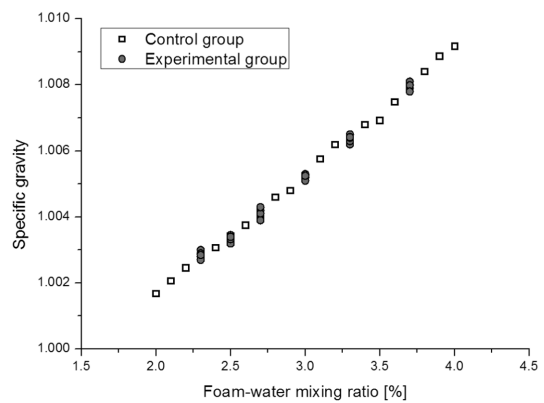


Figure 9. Assessment result of experimental group for comparison.

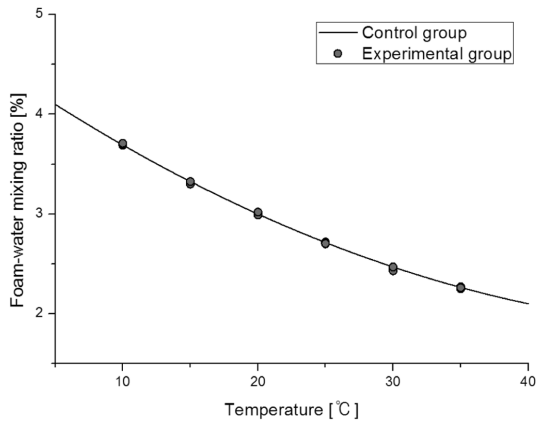


Figure 10. Experiment result for a variation of time to specific gravity.

Figure 9를 환산하여 실험군의 온도에 따른 혼합률과 온도에 따른 발포율 식에 의해 산정된 혼합율 비교한 결과는 다음 Figure 10과 같다. Figure 10에 나타난 바와 같이 오차는 최대 0.012%로 나타났으며 구간별 표준편차는 0.01 ± 0.002 내로 나타남에 따라 발포된 혼합율이 계산된 혼합율과 일치하는 것으로 분석되었다.

5. 결 론

온도 변화에 따른 최적혼합비 산정 및 자동혼합시스템 개발 연구 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 기준 약제 혼합비인 3.0%일 경우 온도차에 따라 최대 30.08%의 발포성능차가 발생하는 것으로 분석되었다. 또한 온도가 높을수록 농도차에 따른 발포비의 변화가 큰 것으로 나타났다.
2. 20°C, 3% 시의 발포성능 유지를 위해서는 5°C의 경우 4.1%의 혼합비가 필요하며 30°C의 경우 2.6%의 혼합비가 필요한 것으로 분석됨에 따라 기존의 성능을

유지하기 위해서는 온도의 보정이 필요한 것으로 분석되었다.

3. 온도에 따른 최적혼합비 산정 결과를 활용하여 이를 모듈화 하였으며 모듈화된 내용을 적용하여 소방차에 적용 가능한 자동 혼합 시스템을 개발하였다.

4. 개발된 자동 혼합 시스템의 적용성을 분석한 결과 실험군의 온도에 따른 혼합률과 온도에 따른 발포율 식에 의해 산정된 혼합율을 비교한 결과 최대 0.012%로 차이가 발생하는 것으로 나타났으며 구간별 표준편차는 0.01 ± 0.002 내로 나타남에 따라 해당 시스템의 적용성이 확보된 것으로 판단된다.

5. 본 연구를 통해 온도에 변화에 대응한 최적의 혼합비 도출 및 이를 적용한 자동 혼합 시스템을 개발함으로써 소화활동 시 인명의 신속한 구조와 재산피해의 최소화에 기여할 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 차시환, 현성호, 소방약제화학, 신광문화사(2004).
2. 한국소방산업기술원, KOFEIS 0103(포소화약제의 형식승인 및 검정기술기준 · 시험세칙)(2005).
3. 김하영, 남준석, 이동호, “친환경 고발포 소화약제 개발 및 성능 분석 연구”, 한국화재소방학회 논문지, Vol.25, No.4, pp.25-29(2010).
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).