

고정배관 화재진압설비를 이용한 압축공기포설비 (Compressed-Air Foam Fixed-Pipe Fire Suppression Systems)

J. P. Asselin, G. P. Crampton, A. K. Kim and J. K. Richardson

□ 역사와 배경

압축공기포(CAF)는 포 용액 안으로 압축된 공기를 주입하여 만들어지는 화재진압 수단이며, CAF 화재진압설비는 고운동량의 분출을 통해 작고 안정적이며 균일한 거품을 만드는 고에너지 포 발생 설비이다.

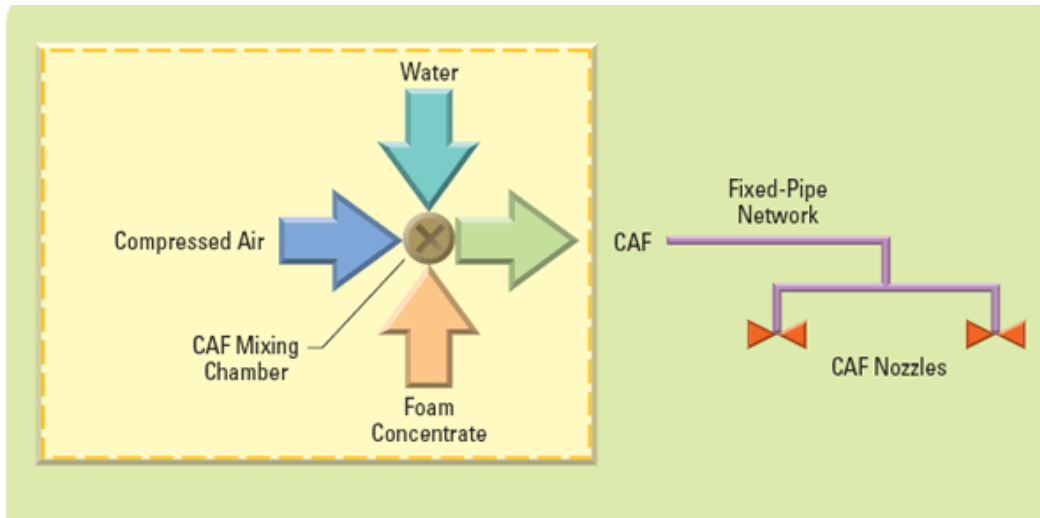
약 100년이 넘는 포 소화의 역사에서 호스를 사용하는 CAF 화재진압은 부교의 화재진압의 수단으로 1941년에 최초로 나타났다.

CAF 고정배관 화재진압설비는 CAF를 확실히 발생시켜 고정 배관망을 통하여 이동시키며 효과적으로 위험 지역에 살포하는 장비로서, 1990년대 말에 NRCC (National Research Council of Canada)에서 개발되었다. 이 CAF 설비가 개발되기 전까지 고정포 화재진압설비는 흡입식 노즐, 송풍기와 스프링클러를 사용하였다.

CAF 고정파이프 기술의 첫 번째 적용은 가연성 액체 누출 화재와 선반형창고 화재의 진압이었다. 이 연구에서는 Class A와 Class B의 포를 사용하여 이러한 화재위험요소에 대하여 CAF 설비가 일반적인 스프링클러 및 미분무수기술에 비하여 우수한 화재진압 성능을 증명하였다. 또한 CAF 기술로 보다 적은 물과 약제 농도 유량비를 보여주었고, 화재발생지역에서의 가시도도 향상되었다. CAF 기술의 평가 및 향상의 발전은 그 이후로도 계속되고 있다.

□ CAF 화재진압의 이해

CAF 설비 연구를 통해 CAF 화재진압능력에 대한 과학적인 근거를 더욱 이해할 수 있게 되었다. [그림 1]은 고정파이프 CAF 발생 설비의 개요도이다. 효과적으로 물, 압축공기와 포 농축액이 혼합기에 함께 주입되어 생성된 CAF는 관로망을 통해 노즐로 압송된다. 회전 노즐에 의해 살포된 CAF는 그 거품이 눈이 내리는 것처럼 비유되었다. 연구를 통해 포 발생의 CAF 방식이 포의 안정성에 긍정적인 영향을 미치는 균일한 크기의 거품을 만들어낸다는 것이 증명되었다.



[그림1] 고정배관 CAF 개요도

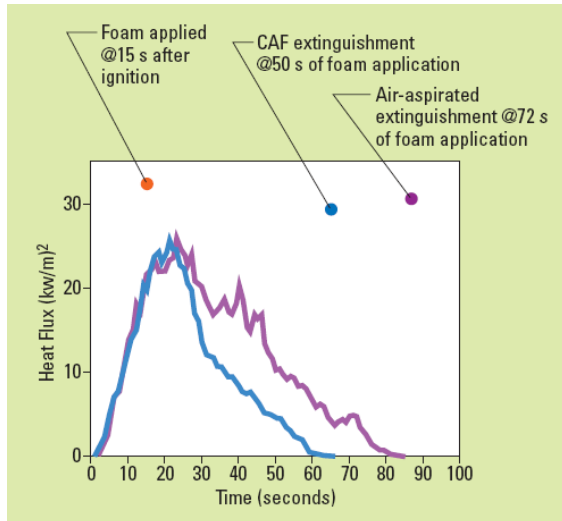
이 CAF 포 막은 큰 비균질 거품의 살포보다 화재진압 특성을 더 빠르게 안정시키고 더 오래 유지한다. 파이프와 노즐을 통하는 포의 유량과 모양 변형에 대한 한층 앞선 연구에서 연구원들은 포의 유량과 안정성은 포 거품 크기의 분포 상태와 기체-액체의 비율에 의해 크게 영향을 받는다는 것을 알아냈다. 작은 거품은 환원의 감소로 발생한다. 즉, 균등한 크기의 거품 분포와 초기의 높은 기체-체적 비율로 안정성이 높아진다. CAF에서 공기와 포 용액의 비율은 발화원을 적시거나 화재에 직접 적용하기 위한 저팽창과 열 복사를 차단하는 방벽 역할로서 물질과 수직 표면에 점착시키는 고펡창 등 거의 모든 적용에 따라 변화될 수 있다.

또 다른 연구는 CAF가 얼마나 더 좋은 거친 특성(거품 파괴를 일으키는 평균 거품 직경의 확대를 의미함)과 더 좋은 불균형적인 특성(거품 크기분포를 확대시켜 성능저하로 귀결됨)을 나타내는지 보여준다. 호주 연구원들은 파이프를 통하는 CAF의 복잡한 흐름 성질에 대해 더 좋은 해석을 제공하였다. 또한 캐나다 회사는 파이프를 통해 흐르는 CAF의 유압-기압 부분을 계산하기 위한 컴퓨터 프로그램을 개발하였다. CAF 흐름은 위험 지역으로 방출될 때까지 CAF 거품 구조를 보존하기 위하여 함께 보내져야만 하는 유압 및 기압 요소들의 혼합물에 관련이 있다. 새로운 계산 기술에 의해 수용되어야만 하는 CAF와 물 흐름 사이의 차이를 예로 들면, 높이 차이로 인한 CAF의 압력손실은 거의 물의 1/10이다.

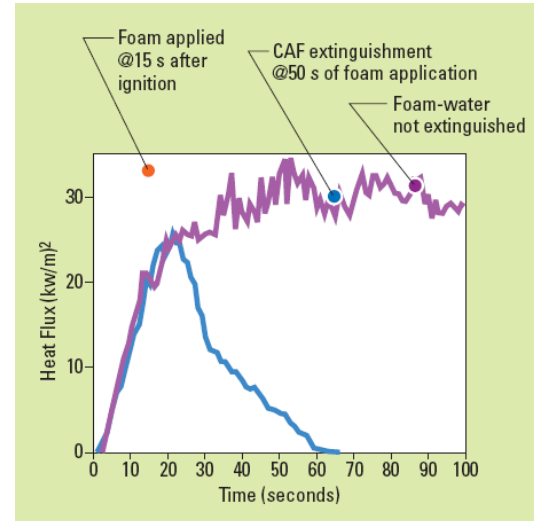
□ 공기흡입포와 비팽창 폼-워터 용액의 비교

NRCC의 과학자들은 공기흡입방법을 통하여 생성된 폼과 CAF의 화재진압 특성을 비교 분석하였다. 그들은 또한 Class B의 폼-워터 용액과 CAF를 사용하는 화재진압에서의 차이를 설명하였다. 과학자들은 이러한 비교 화재실험을 위해 CAN/ULC-S560 (Standard for Category 3 Aqueous Film-Forming Foam(AFFF) liquid Concentrates, Underwriters

of Canada, Scarborough, ON, 1998)을 선택하였다. 이러한 실험에서 열선속계는 화재진압 면적을 산정하기 위해 전체 팬(Pan)을 관측하기 위해 설치되었다. 열선속계 수치에 기초한 CAF와 공기흡입포와의 성능 비교는 [그림 2]와 같다. 폼-워터 용액과의 유사한 비교는 [그림 3]과 같다.



[그림2] CAF와 공기흡입포의 열속 성능비교



[그림3] CAF와 폼워터 용액의 열속 성능비교

이 연구는 3% Class B의 포를 헵탄 화재에 사용하는 것과 슬롯타입 노즐을 통해 CAF를 방출하는 것이 거의 같은 재발화 시간을 갖는 공기흡입포 사용시 요구되는 시간의 70% 내에 화재진압을 한 것을 보여주었다. 이것은 30% 작은 포 용액의 사용으로 달성된 것이었다. 가솔린 화재에 3% Class B 포를 사용한 실험에서 CAF는 평균적으로 공기흡입노즐 사용시 요구되는 용액량의 35%만을 사용하였고, 공기흡입노즐 사용시 요구되는 시간의 33% 내에 화재를 진압하였다. 3% Class B의 비팽창 폼-워터 용액을 사용하는 대부분의 실험에서, [그림 3]에 나타난 것과 같이 화재는 진압되지 않았다. 그러나 0.6% Class A 농도를 사용한 CAF는 3% Class B의 공기 흡입포에 상응할 만한 화재진압 능력을 보여 주었다.

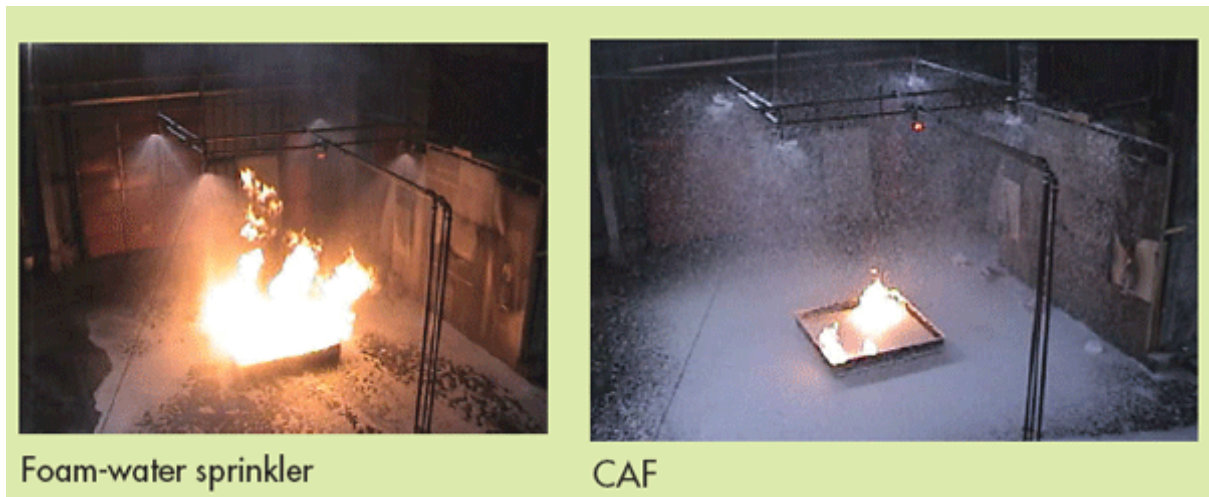
□ 다양한 변수의 영향

기압, 수압과 포 농도와 같은 CAF 변수가 변화하여 설계수준을 넘거나 모자랄 때 소화 능력에 미치는 영향을 밝히기 위한 연구가 착수되었다. Class A 화재는 450KW의 열 발생[압축공기포 고정식 배관 소화설비]으로 타도록 설계된 목재통을 사용하였다. Class B 실험은 치수가 1m×1m×0.15m 깊이의 50% 차폐 헵탄 화재와 비차폐 헵탄 화재를 사용하였다. 또한, 동시 스프링클러 작동과 함께 발생 가능한 CAF 소화능력의 손실을 결정하기 위하여 실험이 수행되었다.

이 연구의 결과는 CAF는 안정적이며 기압과 수압, 그리고 포 농도 등급 등 일반적인 변화에도 여전히 좋은 화재 진압 능력을 제공한다는 것이다. Class A 화재의 경우, 포와 물을 개별적으로 사용하는 것보다 동시 스프링클러/포 작동으로 목재통 소화가 보다 빨라지는 긍정적 효과가 있었다. Class B 화재의 경우, 소화시간은 동시 작동시에도 동일하였다.

□ 폼-워터 스프링클러와 비교

UL 162 (Standard for Safety for Foam Equipment and Liquid Concentrates, Underwrites Laboratories Inc., Northbrook, IL, 1999)의 실험 방법을 사용하여 CAF와 폼-워터 스프링클러설비의 상대적 성능을 조사하기 위하여 화재시험이 수행되었다. 진행중인 시험의 배치는 [그림 4]와 같다. 이 실험은 헵탄 연료를 사용하는 4.65m² 팬 화재 상부에 설치된 4개의 스프링클러헤드 또는 노즐을 사용하였다.



[그림 4] CAF와 폼-워터 스프링클러 설비의 화재시험 (40초 후)

CAF 설비는 포 방출에 뒤이어 물이 방출되도록 설계되지 않았기 때문에 극성 포에 대한 UL 162의 기준(포 방출에 이은 스프링클러의 방출이 없는 것을 허용하지만 팬에서 포 밀봉 시간의 연장을 요구함)을 사용하였다.

Class B 포의 경우, 폼-워터 스프링클러설비(3% 수성막포)과 CAF설비(2% 수성막포)이 평가되었다. 바닥에서 높이 4.42m 상부에 설치된 스프링클러헤드와 노즐에 대한 동일한 두 실험의 결과는 [표 1]에 나타나 있다.

[표 1] Class B Foam (AFFF) 실험결과 (4.42m 높이)

노즐 종류	폼-워터 스프링클러설비	CAF
포 종류, 농도	Class B, 3%	Class B, 2%
유량 GPM (L/min)	60(227)	23.8(90)
살수밀도 GPM/ft ² (L/min/m ²)	0.1(4.07)	0.04(1.63)
팽창비	3.5 : 1	10.9 : 1
환원시간 (min:sec)	<1min	3:30
소화시간 (min:sec)	2:32	0:50
재발화시간 (min:sec)	9:00	23:35

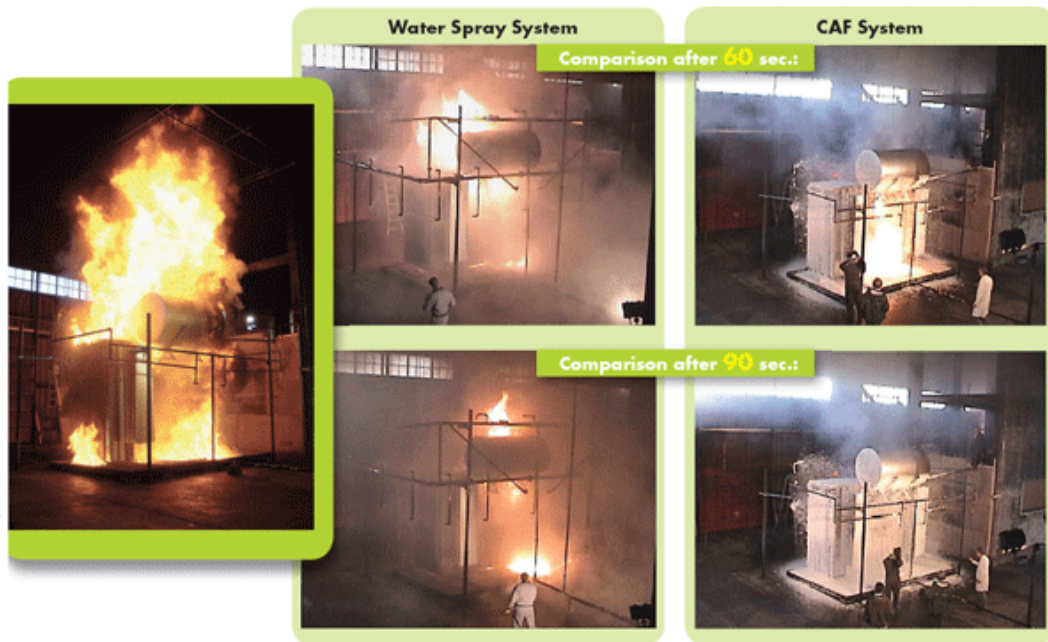
이 실험들에서 CAF 설비는 폼-워터 스프링클러의 진압시간의 33%의 시간 내에 화재를 진압하였고 재발화시간은 2.6배 더 길었다. CAF에 대한 용액 유량비는 60% 낮고 1/3 작은 양의 포 용액을 사용하였다. 스프링클러헤드와 노즐의 높이를 7.62m로 바꾼 결과 [표 2]에 보여지는 것과 유사한 결과를 얻었다.

[표 2] Class B Foam (AFFF) 실험결과 (7.62m 높이)

노즐 종류	폼-워터 스프링클러설비	CAF
포 종류, 농도	Class B, 3%	Class B, 2%
유량 GPM (L/min)	60(227)	23.8(90)
살수밀도 GPM/ft ² (L/min/m ²)	0.1(4.07)	0.04(1.63)
팽창비	3.5 : 1	10.9 : 1
환원시간 (min:sec)	<1min	3:30
소화시간 (min:sec)	2:16	0:50
재발화시간 (min:sec)	9:21	23:40

□ CAF 설비의 적용

CAF 설비에 대한 두 가지 적용(가연성 액체 위험과 전기 변압기)이 초기에 시험되었다. 연구결과 CAF가 가연성 또는 인화성 액체를 저장, 조작 또는 처리하는 장소에서 또는 노출 및 차폐된 Class B의 탄화수소 화재에 사용될 수 있음을 증명하였다. 또한 물분무소화설비 대신에 CAF 설비를 사용하여 대용량 전기 변압기를 보호하는 것이 가능한지 여부를 결정하기 위하여 연구가 수행되었다. 이런 실제 규모의 실험을 통해 CAF 설비는 우월한 소화성능과 보다 작은 용액 유량 사용으로 변압기의 3차원 화재에 대해 방호가 가능하다는 것을 보여주었다.



[그림 5] 물분무와 CAF 방출의 비교실험

[그림 5]는 각기 다른 시간대에서의 물분무와 CAF 방출의 비교 실험을 보여준다. [표 3]은 CAF와 물분무설비를 사용한 동종의 변압기에 대한 실험을 보여준다.

[표 3] 변압기 화재진압 실험비교

	물분무설비	CAF설비
포(AFFF) 농도	-	2%
유량 (L/min)	890	165
총 소화수량 (L)	-	248
사용한 포 농도 (L)	-	5
소화시간 (min:sec)	3:55	1:30

□ 강화된 FM Approval-혼합가능한 액체와 탄화수소물질에 대한 최대 노출 높이

2006년 9월에 혼합 가능한 액체에 대한 적용(알콜 & 케톤)을 포용하기 위해 강화된 FM Approval의 강화를 이끈 극성 용매 화재에 대한 일련의 화재시험이 완료되었다. 실제규모 화재시험은 폼-워터 스프링클러설비로 같은 시간 또는 보다 짧은 시간 내에 완전소화를 보여주었다. 재발화 시험에서는 화재가 스스로 소멸되어 방출주기가 완료된 후에도 확장된 소화성을 제공하는 CAF의 능력이 나타났다. 이 결과는 재발화의 위험성을 막아내는 CAF의 능력이 내재된 안정성과 긴 환원시간에 의한 것임을 더욱 자세히 설명하기 위해 중요하다. CAF 설비는 각각 0.24GPM/ft²(9.8L/min/m²)와 0.26GPM/ft²(11L/min/m²)의 살

수밀도로 폼-워터 스프링클러를 사용한 3% AR-AFFF에 비교했을 때 6% AR-AFFF를 사용하여 0.06GPM/ft²(2.4L/min/m²)의 농도로 팬(Pan) 화재를 진압하였다. CAF 설비의 용수 소비량은 폼-워터 스프링클러보다 4배 적은 수준을 유지하였다.

또한, NRCC의 새로운 화재 실험실에서는 고층 창고건물 화재시험이 가능하다. 이로 인해 새로운 노즐 높이 시험이 가능하게 되어 탄화수소 연료에 대해 최대 노즐 설치 높이가 46ft(10m)로 개정되는 것을 가능하게 하였다. 개정된 노즐 높이는 강화된 FM Approval에 포함되었다.

□ 기준

이 새로운 화재 진압 기술의 승인에서 2006년 3월 NFPA 기준위원회는 NFPA 11 Standard for Low-, Medium- and High-Expansion Foam에 대한 임시 개정안을 공포하였다. TIA 05-1은 화재 방호를 위한 CAF 설비의 설계, 설치, 작동 및 시험을 포함하는 NFPA 11의 새로운 장으로 참조되었다.

출처 : Fire Protection Engineering No.35 (2007년 6월)

번역 : 업무·진단팀 사원 이흥수