

## 압축공기포 소화설비의 소화성능 평가에 관한 연구

이장원 · 임우섭 · 김성수\* · 이동호\*\*†

한국소방산업기술원, \*인천대학교 대학원, \*\*인천대학교 소방방재연구센터

### A Study on Fire Extinguishing Performance Evaluation of Compressed Air Foam System

Jang-Won Lee · Woo-Sub Lim · Sung-Soo Kim\* · Dong-ho Rie\*\*†

Korea Fire Institute of Industry & Technology

\*Graduate School of Safety Engineering, University of Incheon

\*\*Fire Disaster Protection Research Center, University of Incheon

(Received August 24, 2012; Revised October 10, 2012; Accepted October 12, 2012)

#### 요 약

본 연구는 압축공기포 소화설비의 소화성능을 평가하기 위해 포헤드 설비를 이용하여 실험을 진행 하였다. 압축공기포 소화설비는 포수용액에 압축공기를 혼입하여 포를 발생시키는 방식으로 해외에서는 원거리 방수가 가능하고 물 사용량을 줄여 수손피해를 최소화할 수 있는 압축공기포 소화설비(CAFS: Compressed Air Foam System)가 많이 활용되고 있다. 본 연구에서는 UL162 기준으로 수성막포 3% 포 소화약제를 적용하여 기존의 공기 혼입 방식에 의한 포 소화설비와 압축공기포 소화설비간 비교 실험을 통하여 소화 성능 효과를 비교 분석하였다. 압축공기포 소화설비의 공기 혼입 비율은 포 수용액과 1:1의 부피 비율로 하였으며 발포유량은 각각 140 L/min, 160 L/min, 180 L/min, 200 L/min으로 변화를 주면서 소화효과를 검증하였다. 그 결과 소화 성능면에서는 압축공기포 소화설비가 공기 혼입 방식보다 모든 유량 조건에서 소화시간이 빠르게 나타났다.

#### ABSTRACT

This research is to evaluate the fire extinguishing performance of Compressed Air Foam System and this test was conducted using Foam Head System. Compressed Air Foam System adopt the methods of causing the foam by mixing compressed air in foam-aqueous solution, In Overseas, CAFS (Compressed Air Foam System) is generally used because long distance discharge is possible and the water damage can be minimized by reducing the water usage. In this study, Comparative analysis on fire extinguishing effect is done through test to compare the performance between Foam System applied existing air mixture method and Compressed Air Foam System applied AFFF 3%, foam-extinguishing-agent based on UL162 standard. In Compressed Air Foam System, the volume proportion of air mixture to foam-aqueous solution is 1 to 1 and discharging flow rate is 140 L/min, 160 L/min, 180 L/min, 200 L/min each. As a result of the test, in terms of fire extinguishing performance, fire suppression time for Compressed Air Foam Systems is shorter than for General Air Mixture System in all flow conditions.

**Keywords :** Compressed air foam system, Foam, Fire extinguishing, AFFF3 %, UL162

### 1. 서 론

가연성 액체류에 대한 화재 진압 방법으로 가장 널리 사용되는 소화약제는 포소화약제이며, 이는 가연성 액체의 표면에 거품(Foam)을 덮어 질식효과를 나타내는 주된 원리와 포수용액속의 수분에 의한 냉각 작용을 부수적으로 수행하여 화염을 소거하는 원리를 지닌다.

이러한 포 소화약제의 성능을 평가하는 요소로는 소화

약제가 거품으로 형성되는 발포 성능과 화재를 진압하는 소화 성능시험으로 크게 나눌 수 있으며, 국내는 소방시설 설치유지 및 안전관리에 관한 법률에 따라 포 소화약제에 대한 형식승인 및 제품검사를 거친 포 소화약제만이 소화설비에 사용될 수 있도록 되어 있다<sup>(1)</sup>.

일반적으로 포 소화설비에 사용되는 포 소화약제의 종류는 수성막포, 합성계면활성제포, 단백포 및 알콜류와 같은 수용성 액체 화재 진화를 목적으로 제조된 알코올포 소

†Corresponding Author, E-Mail: riedh@incheon.ac.kr  
TEL: +82-10-911-0119, FAX: +82-22-333-444

ISSN: 1738-7167  
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.5.073

화약제가 있으며, 물과 혼합하여 사용하는 포 소화약제는 물과 일정농도로 섞여 포수용액 상태에서 발포되어야 유류 화재를 진압 할 수 있기 때문에 이를 혼합하는 기계적인 장치 즉 포 소화약제 혼합장치가 중요하다.

포 소화약제 혼합장치는 성능인증기준<sup>(2)</sup>에 따라 인증된 포 혼합 장치만을 설치하도록 포소화설비의 화재안전기준(NFSC 105)을 정하고 있는데 작동하는 방식에 따라 크게 라인 프로포서너, 펌프 프로포서너, 프레저 프로포서너, 프레저사이드 프로포서너 방식의 4종류가 현재 널리 사용되고 있다.

이러한 장치들을 통해서 정격농도로 혼합된 포수용액은 발포 노즐을 통하여 외기의 공기를 흡입하여 포를 형성시켜 발포하게 되는데, 해외에서는 압축공기(Compressed air)를 이용한 방식 즉 포수용액에 공기를 강제 주입시켜 원거리 방수가 가능하고 물 사용량을 줄여 수손피해를 최소화할 수 있는 압축공기포 소화설비(CAFS: Compressed Air Foam System)가 활용되고 있다. 최근에는 미국의 NIST를 중심으로 압축공기포의 포 팽창비와 유효점도에 대한 연구가 이루어지고 있으며, 캐나다 국립연구소(NRCC)에서는 항공기 격납고·변압기, 등을 대상으로 포워터스프링클러 설비와 비교한 성능확인 연구가 진행되었다<sup>(3)</sup>.

압축공기포 소화설비가 최근에 보급되고 있는 이유는 화재 현장의 오염된 공기에 의해 양질의 포를 형성하기 어려운 기존 포 소화시스템의 단점을 보완할 수 있으며, 수손 피해를 최소화할 수 있는 장점이 있어 영국, 일본 등에서는 이미 압축공기포 소화시스템을 상용화하고 있다<sup>(4)</sup>.

따라서 국내에서도 이러한 압축공기포 소화설비에 대한 선구적인 측면에서 소화 성능평가 실험을 시행하였으며, 국내 전문 기술 도입에 대한 기초 자료로 활용하고자 한다.

## 2. 이론 및 원리

압축공기포 소화설비란 혼합챔버(Mixing Chamber)로부터 이송된 포를 배관망에 연결된 압축공기포 방출 장치를 통하여 방출구 또는 노즐로 포를 방출하는 설비를 말한다. 압축공기포는 물과 포원액을 가압된 공기 또는 질소와 조합하여 균일한 포를 형성하는 것을 말하며, 작동원리는 Figure 1에 나타내었다.

압축공기포 소화설비는 물과 공기, 포 소화약제를 혼합

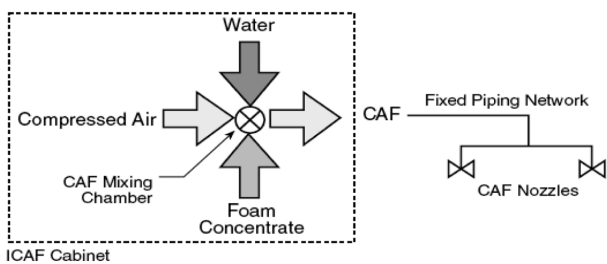


Figure 1. CAFS system diagram.

시켜 물의 표면장력의 저하를 유도하여 연소물 쪽으로 침투를 촉진하여 보다 빠르고, 손쉬운 소화를 유도한다. 즉, 이는 수분의 표면적을 크게 확보하고 기화열을 유효하게 이용해 냉각하는 시스템이다. 압축공기포 소화설비의 핵심인 고압축 기포는 일반적인 모양의 구 형태 기포를 압축하여 납작한 평면의 다면체로 변화시켜 만듦으로써 기포를 천정면과 수직면에 쉽게 달라붙게 해준다<sup>(5,6)</sup>.

## 3. 실험

### 3.1 실험장치

본 연구에 사용되어진 실험 장치는 UL-162과 NFPA Code 11<sup>(7,8)</sup> 기준을 적용하여 제작한 것으로 캐나다 국립연구소에서 시험한 장치와 동일한 형식과 크기로 하였다. Figure 2는 압축공기포 소화설비 실험 장치이며, 구성은 포헤드 4개를 설치간격 3,600 mm 격자형으로 설치하고 높이는 지상으로부터 포헤드 선단까지 4,500 mm로 하였다. 압축공기 혼입은 시험의 연속성과 안정성을 위해서 포 소화약제 혼합장치를 통과한 포 수용액에 콤퓨레셔를 이용하여 시간에 제한없이 계속해서 압축 공기를 공급할 수 있도록 하였다.

계측장비는 방출압력 측정을 위한 압력센서, 화염 온도를 측정하는 열전대 온도계를 바닥에서 수직으로 0.5 m, 0.8 m, 1.2 m, 1.5 m 지점에 4개를 배치하여 측정하였으며, 화염으로부터 6 m 지점에 복사열 측정 장치를 설치하여 발포 시점의 열량(5.6 KW)이 동일한지 확인하였다.

### 3.2 시료

본 연구에 사용되어진 포 소화약제는 제품검사를 필한 국내 A사의 수성막포 3% 포소화약제를 사용하였으며, 연료는 일정한 발열량 유지를 위하여 동일한 휘발유(gasoline)를 사용하여 실험을 실시하였다.

### 3.3 실험방법

본 실험은 수성막포 3% 포 수용액을 제조하여 탱크에 저장하고 0.7 MPa을 유지하도록 하였다. 포 수용액 이송

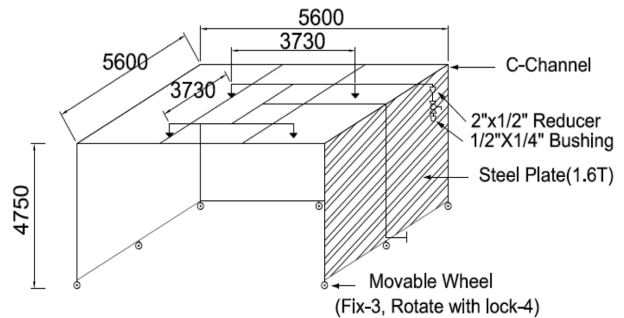


Figure 2. Performance test apparatus of compressed air foam system.

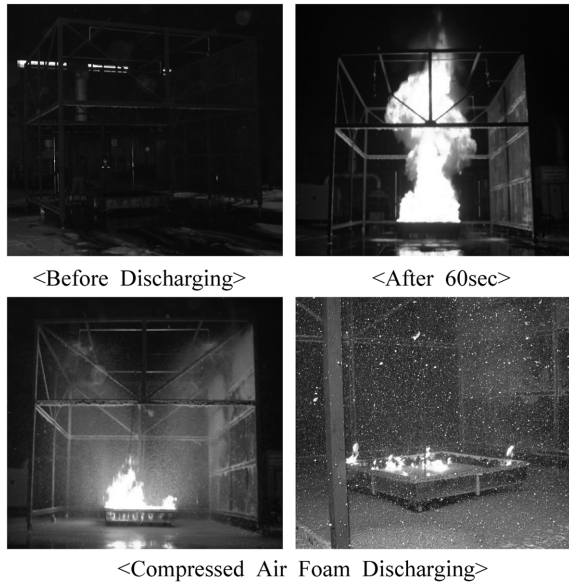


Figure 3. Test apparatus of compressed air foam system.

배관 중간에 유량계를 설치하고 실험하고자 하는 유량으로 조절하였으며, 중간에 압축공기 혼합기를 통하여 압축공기를 주입하였다. 소화모형은 소화기의 형식승인 및 제품검사의 기술기준<sup>(9)</sup>에 의한 유류화재 소화모형 20단위를 적용하여 Figure 3과 같이 실험하였으며, 실험의 안전성 확보와 범위를 확정하기 위한 기초연구로 포 수용액의 발포유량을 200 L/min로 하여 예비 소화 실험을 진행하였다. 실험결과 소화모형에 점화 후 60초가 되어야 화염온도가 일정하게 되는 것으로 나타나 발포 시작 시간을 점화 후 1분으로 하였다.

포 수용액의 발포유량을 120 L/min부터 실험 했으나 살수분포가 제대로 되지않아 소화 성능을 비교하는데 도움이 되지 못하여, 발포유량 조건은 140 L/min부터 20 L/min간격으로 증가 시키면서 200 L/min까지 진행하였으며, 소화시간 측정은 방출압력 그래프를 통하여 시작할 때부터 끝날 때까지의 시간을 소화시간으로 하였다.

압축공기 혼합방식의 압축공기 주입은 압축공기 혼합기에 연결된 공기 유량계를 통하여 조정된 다음 주입하였다.

#### 4. 실험결과 및 고찰

##### 4.1 포 수용액 발포유량 140 L/min

공기 흡입방식에 의한 소화능력 20단위, 수성막포 3%에 대한 실험결과 Figure 4와 같이 소화 시간은 82초, 방출압력은 0.12 MPa로 나타났다.

잔열소거 후, 포 방출을 멈춘 시간이후에도 열전대 온도는 다시 상승하는 경향을 나타내었다. 이것은 소화모형 20단위에서 발생된 복사열이 주변의 온도 상승을 가져왔고, 화염이 완전히 소진되었으나, 실험장치에 남아있는 잔열로 인한 것으로 판단된다.

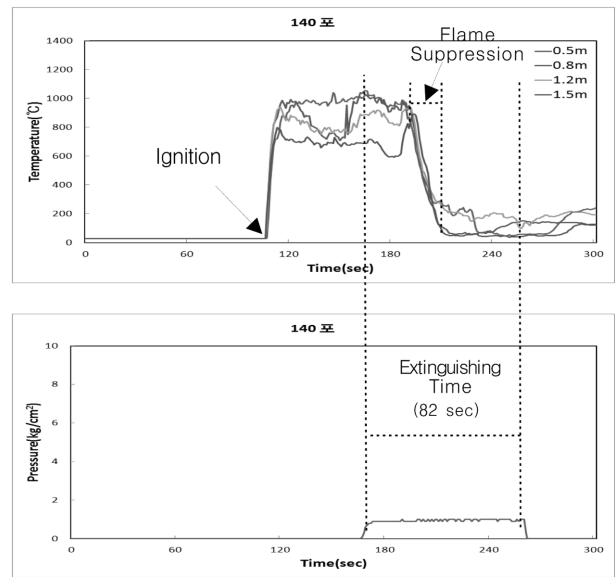


Figure 4. Temperature of flame - discharge pressure graph (AFFF3 % 140 L/min).

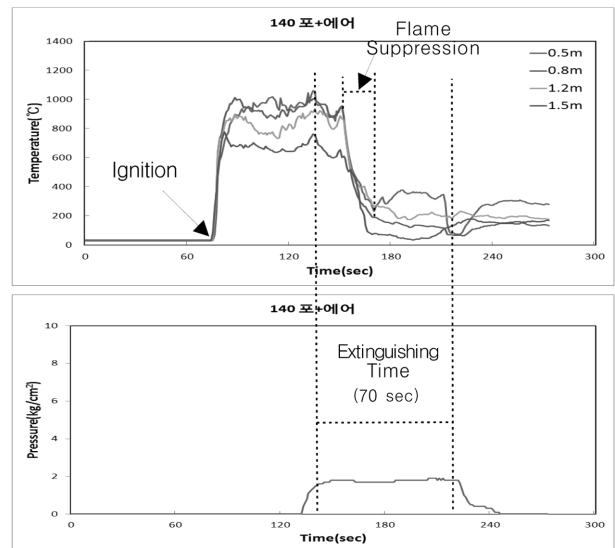


Figure 5. Temperature of flame - discharge pressure graph (compressed air ratio 1 : 1).

압축공기 혼합방식은 포 수용액을 방출하는 중에 압축공기 유량을 140 L/min로 혼합시켜 실험한 결과 점화 1분 후에 소화에 걸린시간이 Figure 5와 같이 70초로 나타났다. 이는 공기 흡입방식과 같은 방출유량으로 비교하면 압축공기포 혼합방식이 12초 더 빨리 소화되는 경향을 나타내었다. 방출압력이 0.20MPa로 압축공기에 의하여 방출압력은 상승하는 것으로 나타났다.

##### 4.2 포 수용액 발포유량 160 L/min

공기 흡입방식의 발포유량 160 L/min에 대한 소화 실험결과 소화모형 점화 1분 후 방출을 시작하여 소화에 걸리

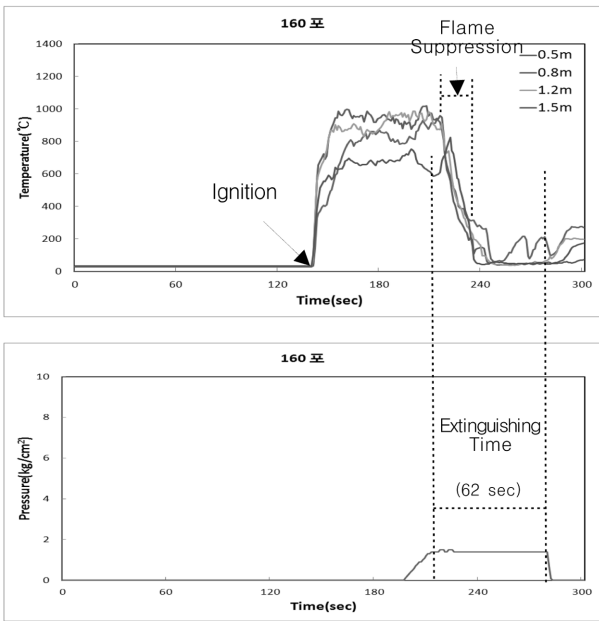


Figure 6. Temperature of flame - discharge pressure graph (AFFF3 % 160 L/min).

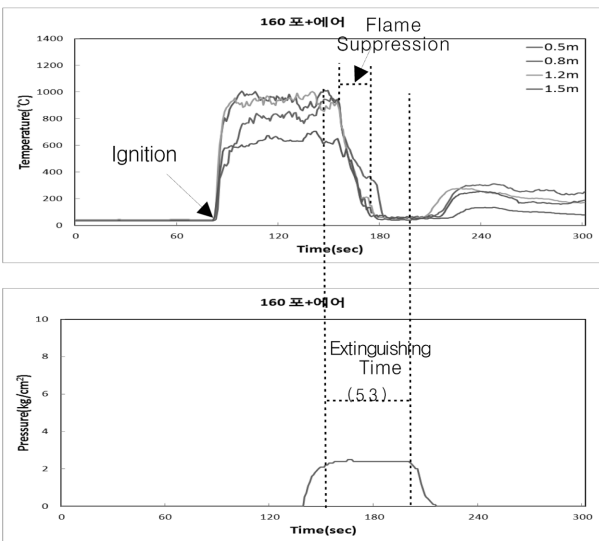


Figure 7. Temperature of flame - discharge pressure graph (compressed air ratio 1 : 1).

는 시간은 Figure 6과 같이 62초였으며 방출압력은 0.18 MPa로 나타났다.

압축공기 혼입방식으로 실험결과 소화모형 점화 1분 후 압축공기포를 발포하여 소화에 소요된 시간은 Figure 7과 같이 53초로 나타났다. 이는 같은 유량에서 공기 혼입방식과 비교할 때 9초가 더빠르게 소화되었으며 방출압력은 0.28 MPa로 높게 나타났다.

4.3 포 수용액 발포유량 180 L/min

공기 혼입방식으로 발포유량을 180 L/min로 하여 실험

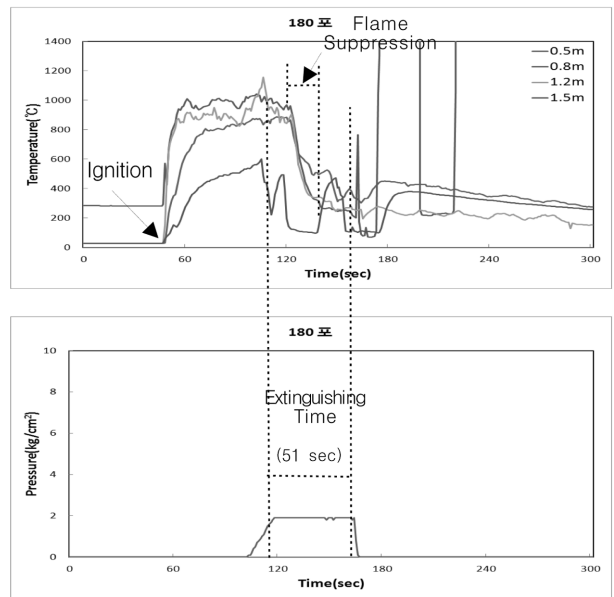


Figure 8. Temperature of flame - discharge pressure graph (AFFF3 % 180 L/min).

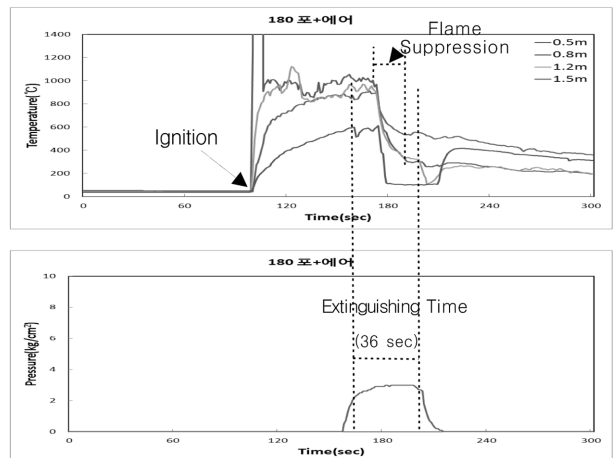


Figure 9. Temperature of flame - discharge pressure graph (compressed air ratio 1:1).

결과 소화모형에 점화 1분 후 발포를 시작하여 소화에 소요된 시간은 Figure 8과 같이 51초로 나타났다. 이는 발포 유량 140 L/min와 비교하면 31초가 단축된 시간이고, 발포 유량 160 L/min과 비교해서는 11초 빠른 시간이다. 이는 포 수용액의 발포유량에 따라 소화시간이 일정하게 감소하는 경향을 나타내는 것을 알 수 있다. 압출 압력은 0.22 MPa 유량이 증가할수록 높게 나타났다.

압축공기 혼입방식으로 압축 공기량 180 L/min로 주입하여 실험결과 소화모형 점화 1분 후 압축공기포를 발포하여 소화에 소요된 시간은 Figure 9와 같이 36초로 나타났다. 이는 동일유량 조건에서 압축공기가 혼합되지 않은 공기 혼입방식과 비교할 때 17초 빠르게 나타난 결과로 같은 압축공기 혼합 방식과 비교하여도 발포유량 140 L/

min에서의 소화시간보다 34초 빠른시간이고, 발포유량 160 L/min에서 걸린 시간보다 19초 단축된 시간이다. 따라서, 발포유량 증가에 따라 압축공기포 방식의 소화시간이 일정하게 단축되는 경향을 나타내었다.

4.4 포 수용액 발포유량 200 L/min

공기 혼입방식으로 포수용액 발포유량 200 L/min에 대한 실험결과 점화 모형에 점화 1분후 소화에 소요되는 시간은 Figure 10과 같이 40초였으며, 앞서 공기혼입 방식의 발포유량 140 L/min보다 42초가 빠르고, 발포유량 160 L/min보다는 22초 단축되었으며, 발포유량 180 L/min보다 11초가 더 빠르게 소화가 이루어졌다.

방출압력의 변화에 있어서 발포유량 140 L/min에서는 0.12 MPa, 160 L/min는 0.18 MPa, 180 L/min에서는 0.22 MPa로 상승하였고, 200 L/min에서는 0.3 MPa로 일정 비

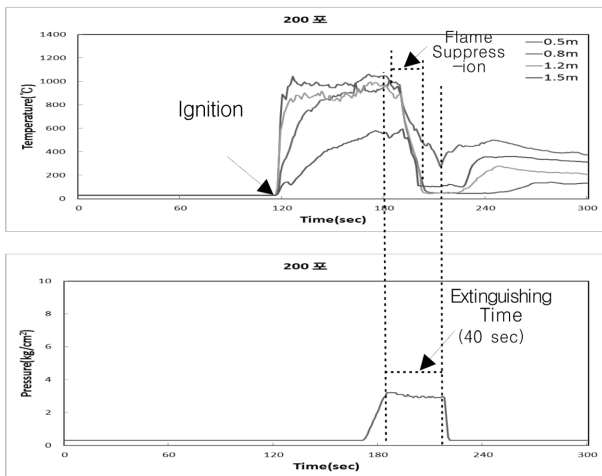


Figure 10. Temperature of flame - discharge pressure graph (AFFF3 % 200 L/min).

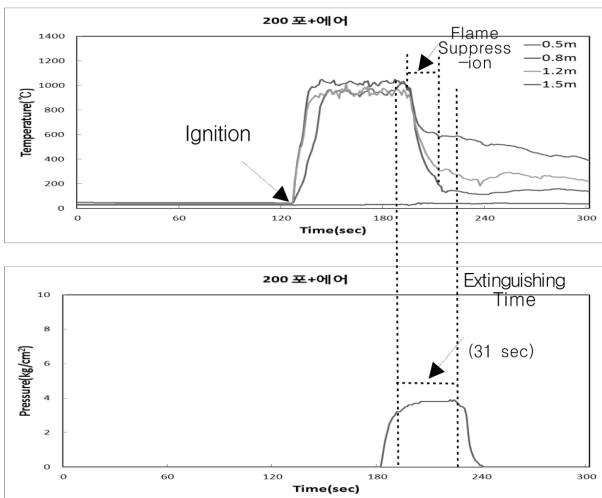


Figure 11. Temperature of flame - discharge pressure graph (compressed air ratio 1 : 1).

율로 상승하였다.

압축공기 혼입방식으로 압축공기 200 L/min를 혼합시켜 발포 실험결과 소화모형 점화 1분 후 소화에 걸린 시간은 Figure 11과 같이 31초로 나타났다. 이는 동일유량의 공기 혼입방식보다 9초 빨리 화염이 소거되는 것으로 나타나 가장 빠른 소화시간을 보였다.

방출압력은 0.40 MPa로 가장 높게 나타나 압축공기 혼입방식이 공기 혼입방식보다는 압축공기로 인하여 압출압력이 높게 나타나는 경향을 보였다.

5. 결 론

공기 혼입방식과 압축공기 혼입방식(포 수용액 : 압축공기 부피비 1 : 1)에 대한 전체적인 경향성을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 포 수용액 발포유량 140 L/min에서의 소화시간은 압축공기 혼입방식이 공기 혼입방식보다 12초 빠르게 나타났으며 압출압력은 0.08 MPa 더 높게 나타났다.
- (2) 포 수용액 발포유량 160 L/min에서의 소화시간은 압축공기 혼입방식이 공기 혼입방식보다 9초 빠르게 나타났으며 압출압력은 0.10 MPa 더 높게 나타났다.
- (3) 포 수용액 발포유량 180 L/min에서의 소화시간은 압축공기 혼입방식이 공기 혼입방식보다 15초 빠르게 나타났으며 압출압력은 0.10 MPa 더 높게 나타났다.
- (4) 포 수용액 발포유량 200 L/min에서의 소화시간은 압축공기 혼입방식이 공기 혼입방식보다 9초 빠르게 나타났으며 압출압력은 0.10 MPa 더 높게 나타났다.

이상과 같이 모든 발포유량 실험조건에서 압축공기 혼입방식이 공기 혼입방식보다 소화시간이 빠르게 나타났으며, 방출압력은 각 유량에 따라 압축공기 혼입방식이 0.08~0.10 MPa 더 증가하는 것으로 나타나 향후 압축공기포 전용헤드 개발시 설계압력을 충분히 고려해야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. NEMA Code 2012-57, "Approval of Type & Test Methods for Fire Extinguisher Agent" (2012).
2. NEMA Code 2012-81, "Standard for Performance Certification & Product Inspection of Foam-Extinguishing-Agent Proportioner" (2012).
3. J. S. Nam, "A Literature Investigation of Compressed-Air Foam System (CAFS)", A Nationwide Fire related College and University Professor Council Academic Seminar (2008).
4. W. S. Lim, S. H. Sakong, J. O. Lee, J. H. Jeong, J. S. Nam, D. G. Nam, Y. U. Na, K. H. Park, et al., "A Study of Establishment on the Compressed-Air Foam System", Korean Institute of Fire Science & Engineering Confer-

- ence (2011).
5. Miracle CAFS of Japan, "Introduction to and Operation of Compressed Air Foam Systems" Miracle co (2008).
  6. Andrew K. Kim and George P. Crampton "Application of Anewly-developed Compressed-air-foam Fire Suppression System", 9th International Fire Science and Engineering Conference (2001).
  7. UL162, "Standard for Safety for Foam Equipment and Liquid Concentrates", Underwriters Laboratories, Northbrook, IL (1999).
  8. NFPA 11, "Standard for Low-, Medium-, and High-Expansion Foam" (2005 Edition, NFPA).
  9. NEMA Code 2012-56, "Approval of Type & Test Methods for Fire Extinguisher" (2012).