

# 물 폭탄을 이용한 소화의 실험적 연구

## An experimental study on fire suppression by water bombs

\*윤병만<sup>1</sup>, #김권희<sup>2</sup>, 윤석구<sup>2</sup>

\*B. M. Yoon<sup>1</sup>, #K. H. Kim(kwonhkim@korea.ac.kr)<sup>2</sup>, S. K. Yoon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 대학원 기계공학과, <sup>2</sup>고려대학교 기계공학부

Key words : fire suppression, fire extinguishing, explosives, water bombs

### 1. 서론

오존층을 보호하기 위한 몬트리얼 의정서(1987)<sup>[1]</sup>에 의해 그 동안 널리 사용되어 왔던 할론(Halon)소화제의 생산과 사용이 단계적으로 금지되었다. 미국, 유럽, 일본 등 선진국은 1994년부터 생산을 중단하였으며, 우리나라와 같이 개발도상국 조항으로 가입한 국가들은 2010년부터 생산을 중단할 예정이다. 이에 따라 미국, 영국 등 선진국들은 대체 소화제를 개발하는데 많은 노력을 해오고 있다.<sup>[2][3]</sup> 개발 방향은 크게 할로카본계(halocarbon) 소화약제, 불활성가스계(inert gas) 소화약제, 미분무수(water mist)로 나뉜다.<sup>[4]</sup> 할로카본계는 고가이며, 화재 진압시 유독성 분해 부산물 생성량이 높고, 지구 온난화를 유발하는 물질로 교토의정서에 의해 규제물질로 분류되어 있다. 불활성가스계소화제는 환경에 영향을 미치지 않으나, 소요 저장용기수가 할론에 비해 5배 이상 필요하고 설비가 고가여서 시장 확대에 한계가 있다. 미분무수는 소화성능을 높이기 위해서 고압을 사용해야 하는데 이에 따른 설치비가 상승하는 문제가 있다.<sup>[5]</sup>

본 연구의 목적은 물 폭탄을 이용한 소화의 가능성을 실험적으로 확인하는 것이다. 이를 위해 물 폭탄과 스프레이 노즐의 소화 실험을 하였고 그 결과를 비교하였다. 또한 물 폭탄의 소화 성능에 영향을 주는 4가지 변수를 설정하여 다구찌(Taguchi) 실험계획법을 통해 최적조합을 찾는 데 있다.

### 2. 물 폭탄을 이용한 실험

#### 2.1 화재 시나리오

화재 시나리오는 전차(military tank)가 대전차 미사일에 의해 피격되었을 경우, 고온과 고압의 메탈제트(metal jet)에 의해 전차의 장갑이 관통되고 그 과정에서 장갑 외부에 위치한 연료탱크의 연료가 전차의 승무원 공간으로 침투하여 화재가 일어나는 상황이다.<sup>[6]</sup> 본 시나리오의 검증은 위해 밀폐공간에서 너관 폭파 실험을 하였다. 너관 폭파 시 고온의 파편으로 인해 바닥에 뿌려져 있던 경유에 불이 붙어 화재가 일어났다. Fig. 1은 착화 후 시간에 따른 화염의 성장 곡선이다. 0~30ms까지는 착화단계로 화염의 큰 성장이 없었다. 30ms~240ms까지는 화염의 성장단계로 화염의 성장이 지속되다가 240ms에서 화염의 성장이 완료되었다. 따라서 초기 30ms 안에 소화하는 것이 대단히 중요하다.

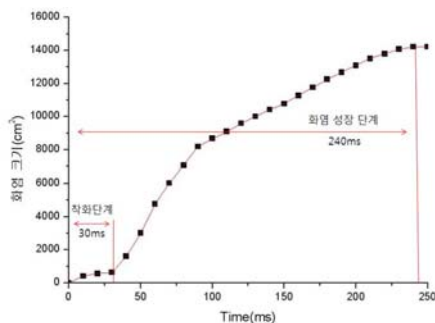


Fig. 1 The initial growth of flame at fire ignition

#### 2.2 실험 계획

챔버(1m x 1.5m x 1m)의 부피는 전차 승무원 공간 부피의 0.5배 스케일이다. 전방과 우측면에 관찰용 강화유리를 부착하

여 고속 촬영 카메라(model:microscope M1, redlake)로 화염의 유동을 관찰하였다. 연료 컨테이너 A는 직경  $\phi$ 200mm, 높이 50mm이고 B는 직경  $\phi$ 300mm, 높이 50mm이다. 화염의 온도를 측정하는 4개의 k-type thermocouple을 화원 위에 50mm 간격으로 설치하였고 챔버의 내부 온도를 측정하기 위해 두 개의 thermocouple을 위쪽(T5)과 아래쪽(T6)에 설치하였다. 챔버 내부의 산소 농도와 일산화탄소 농도를 측정하기 위해서 인피트론사(infitron)의 가스모니터를 사용하였다. 물 폭탄 용기는 pc(polycarbonate) sheet (0.5t)를 진공 성형하여 반구형상으로 제작하였다. 물 폭탄 안에는 1L의 물이 들어가며 그 중심에 너관과 에멀전(emulsion) 폭약이 위치한다.

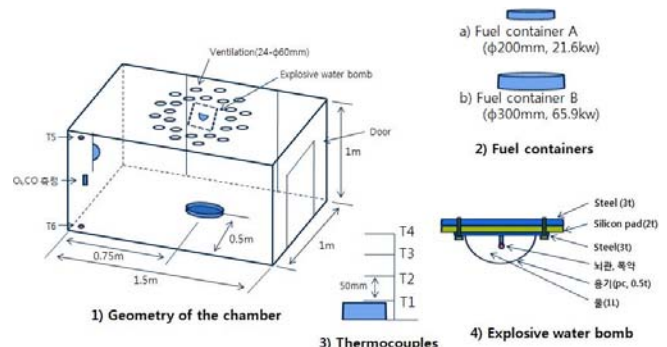


Fig. 2 Experimental setup

물 폭탄을 이용한 실험은 경유를 사용하여 밀폐 공간 안에 Pool fire를 소화하는 실험이다. 다구찌 실험계획법으로 4가지 제어 변수를 설정하여 L8(2<sup>4</sup>) 직교 배열표로 실험을 하였다. Table 1은 제어 변수의 조건을 나타낸다.

Table 1 Conditions of control factor

변수	1	2
A. 폭약의 양(g)	5	2
B. 설치 위치	Top	Side
C. 노치 개수	6	8
D. 노치 깊이(mm)	0.1	0.2

#### 2.3 실험 결과 및 토의

$\phi$ 200mm 화원의 경우, Run 1(A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>, 4ms)에서 최소 소화 시간이 나왔고 Run 7(A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>, 32ms)에서 최대 소화 시간이 나왔다. 최적 변수조합을 찾기 위해 평균치분석(Fig. 3)을 하였다. 평균치 분석 결과 최적조합은 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>이고 이 조합은 직교배열 표상에 없기 때문에 그 값을 예측한 결과 3ms가 나왔다. 교호작용 분석 결과 약한 교호작용(Fig. 4)이 나타났다. 따라서 최적 변수조합은 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>이고 그 값은 3ms이다. 이 결과는 향후 실험을 통한 검증이 필요하다.

$\phi$ 300mm 화원의 경우, Run 4(A<sub>1</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>, 8ms)에서 최소 소화 시간이 나왔고 불이 꺼지지 않았던 Run 7(A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>1</sub>D<sub>1</sub>)의 경우를 제외하고 Run 8(A<sub>2</sub>B<sub>2</sub>C<sub>2</sub>D<sub>2</sub>, 24ms)에서 최대 소화시간이 나타났다. 평균치 분석결과(Fig. 6) 최적조합은 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>이고 이 조합은 직교배열표상에 없기 때문에 그 값을 예측한 결과 7ms로 나타났다. 교호작용 분석 결과 약한 교호작용(Fig. 7)으로 나타났다. 따라서 최적 변수조합은 A<sub>1</sub>B<sub>1</sub>C<sub>2</sub>D<sub>1</sub>이고 그 값은 7ms이다. 이 결과는 향후 실험을 통한 검증이 필요하다.

Table 2 Results of the water bombs experiment

Pool size(mm)	소화 시간(ms)		
	최소	최대	평균
∅ 200	4	32	18
∅ 300	8	24	14

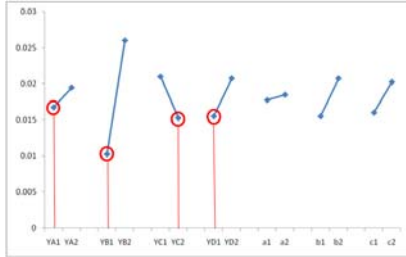


Fig. 3 Analysis of means(∅ 200mm)

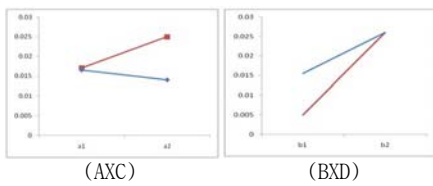


Fig. 4 Interaction plots(∅ 200mm)

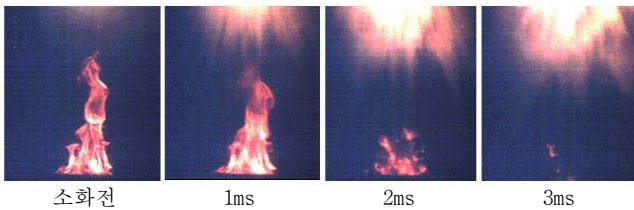


Fig. 5 Snapshots of run 1(∅ 200mm)

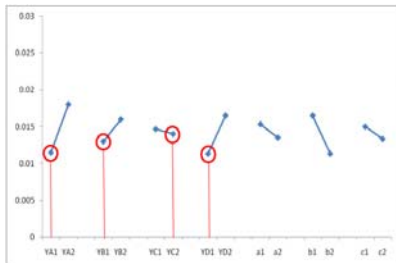


Fig. 6 Analysis of means(∅ 300mm)

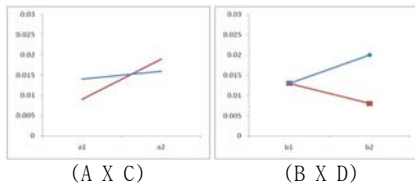


Fig. 7 Interaction plots(∅ 300mm)

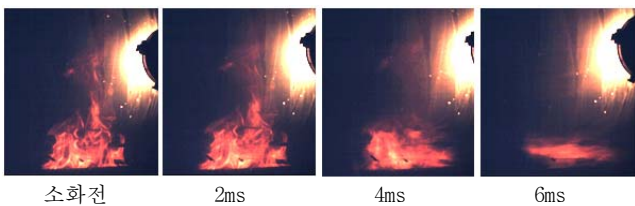


Fig. 8 Snapshots of run 4(∅ 300mm)

∅ 200mm 화원의 Run 1의 경우(Fig. 5)에 폭발 후 1ms에서 폭발압력에 의해 화염의 크기가 작아졌고 2ms에서 물 입자와 화염이 충돌하였다. 3ms에서 물 입자가 화염의 기저부분에 닿으면서 4ms에서 완전한 소화가 이루어졌다. ∅ 300mm 화원의 Run 4의 경우(Fig. 8) 폭발 후 4ms에서 물 입자와 화염이 충돌하였고 6ms에서 물 입자가 화염의 기저부분에 닿으면서 8ms에서 완전한

소화가 이루어졌다.

두 가지 화원에 대한 최적조합은 모두 A1B1C2D1이다. 폭약의 양이 많을수록 폭발압력이 증가하므로 물 입자는 더 큰 에너지를 받게 된다. 설치위치에 따른 소화성능은 화염의 기저부분에 충돌하는 물 입자의 속도와 양에 비례한다. 위쪽에 설치한 경우에 물 입자는 화염과 수직방향으로 비산하며 보다 많은 물 입자들이 빠르게 화염의 기저부분과 충돌하게 된다. 용기의 노치 개수가 많을수록 물 입자의 비산형태는 균일해지므로 더 빠른 소화가 가능하다. 노치의 깊이는 용기의 폭발 시 용기가 파단 되는 속도의 차이를 발생시켜 결국 물 입자가 받는 에너지의 차이를 발생시킨다. 소화가 이루어지지 않았던 ∅ 300mm 화원 Run 7의 경우 폭발압력으로 인한 연료 컨테이너의 흔들림이 발생하여 연료의 일부가 챔버의 바닥에 흘렀다. 추후 추가실험을 통한 확인이 필요하다.

### 3. 스프레이 노즐을 이용한 비교 실험

#### 3.1 실험 계획

스프레이 노즐을 이용한 실험은 물 폭탄을 이용한 실험값과 비교하기 위한 실험이다. 물 폭탄을 이용한 실험과 같은 조건에서 스프레이 노즐을 챔버의 상판 중앙에 설치하여 실험을 실시하였다.

Table 3 Characteristics of nozzle

살수압력	분사각도	분사형태	입자크기	유량
130bar	85°	원뿔형	120 μm	3.1 lpm

#### 3.2 실험 결과 및 토의

∅ 200mm, ∅ 300mm 화원의 소화실험을 각 3회씩 실시하였다. ∅ 200mm 화원의 평균 소화시간은 15.5s(σ=0.82), ∅ 300mm 화원의 평균 소화시간은 12.3s(σ=3.3)로 나타났다. ∅ 300mm 화원의 소화시간이 ∅ 200mm 보다 짧은 것은 산소농도의 변화가 ∅ 200mm 화원에서는 3%, ∅ 300mm 화원에서 5%로 나타나 산소농도의 차이에 의한 것으로 판단된다.

Table 4 Results of the spray nozzle experiment

Pool Size(mm)	실험 회수	경유량(g)	평균 소화 시간(s)
∅ 200	3	360	15.5
∅ 300	3	810	12.3

### 4. 결론

물 폭탄의 소화 성능을 확인하기 위해 소화 실험을 하였다. 소화 성능에 영향을 주는 4가지 변수의 최적조합을 찾기 위해 다구찌 실험계획법에 의해 실험을 하였다. 최적조합은 ∅ 200mm, ∅ 300mm의 두 화원에서 모두 A1B1C2D1이며 최소 소화시간은 각 3ms, 7ms로 나타났다. 물 폭탄을 이용한 실험 결과와 비교하기 위해 스프레이 노즐실험을 실시하였으며 같은 조건에서 물 폭탄이 스프레이 노즐보다 소화시간이 ∅ 200mm화원에서는 860배, ∅ 300mm 화원에서는 870배 정도로 단축되었다. 본 실험결과는 제시한 시나리오와 같은 긴급한 상황의 화재에서 초기에 소화할 수 있는 가능성을 제시하였다.

#### 후기

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국 과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(R11-2007-028-03001-0)

#### 참고문헌

1. United Nation Environmental Program(UNEP), "Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer"(1987)
2. R. E. Tapscott and J. R. Floden, "Halon Replacements : What and When", Fire Systems, Nov. Jan, 4(1989)
3. R. E. Tapscott, "Halon Fire Extinguishants", Proc. of the Global Business Outlook for CFC Alternatives, March, London, Falmouth Asso.(1991)
4. NFPA, "Clean Agent Fire Extinguishing System", NFPA Standard Code 2001, 2004
5. 김재덕, "할론 대체물질의 동향", 한국화재소방학회, "청정소화약제 및 시설기준" 1-30, 1995
6. 강명구, "전투피해요소산정을 위한 전차파괴실험", 한국국방경영분석학회, 추계학술대회발표집 4분과, 52~58, 2005