

CH₄/Air 확산화염에서 불활성기체의 소화성능에 관한 실험 및 수치적 연구

조재호 · 황철홍 · 박설현*

대전대학교 소방방재학과, *한국항공우주연구원 항공우주융합기술연구소

최근 환경규제의 강화로 인한 청정 소화약제의 개발에 많은 관심이 집중되고 있다. 청정소화약제는 많은 발전에도 불구하고 소화성능, 인명안전, 친환경(낮은 ODP 및 GWP) 그리고 경제성 측면 모두를 충족시키는 단일 성분의 차세대 소화약제의 개발은 사실상 불가능에 가깝다. 따라서 사용 목적 및 적용대상에 따른 혼합 청정소화약제의 적용이 합리적인 대안으로 인식되고 있으며, 이를 위해서는 소화약제의 성분별 소화성능 및 소화원리에 대한 구체적인 연구가 선행되어야 한다. 이러한 배경 하에 본 연구에서는 전역방출방식의 개념이 적용될 수 있는 Cup 버너를 대상으로 CH₄/air 확산화염에 대한 다양한 불활성기체의 소화성능 및 소화원리를 검토하고, Cup 버너를 통한 소화성능 측정의 문제점을 제시하고자 한다. 또한 불활성기체의 소화원리에 대한 이해를 돕기 위하여 상세반응기구를 이용한 완전혼합반응기(PSR)의 수치해석을 수행하였다.

컵버너 실험 장치는 NFPA 기준을 통해 제작되었다. 소화성능은 표준 시험법에 따라 공기유량을 40L/min으로 고정시키고, 소화약제로서 불활성기체(N₂, CO₂, He, Ar) 유량을 점차적으로 증가시켜 소화 순간의 농도를 통해 측정하였다. 이때 연료량은 소화약제의 첨가 전 화염길이가 8cm가 되도록 고정(약 0.18cm/s)하였다. Figure 1은 적용된 Cup 버너의 사진, 공기류에 N₂ 첨가량 증가에 따른 화염형상 그리고 소화조건 근처에서 발생하는 단계별 화염불안정성을 갖는 화염의 순간적인 형상을 제시한 것이다. 소화조건 근처에서 화염은 노즐 림에서 수직방향으로 부착-부상을 반복하는 진동(vibration), 반경방향으로 화염의 기부(base)가 움직이는 스윙(swing), 특정한 방향이 없이 화염면 전체가 회전(rotation) 그리고 최종 하류 방향으로 화염 전체가 이동 및 완전 소화되는 blowout 단계를 경험하게 된다. 그러나 소화약제의 변경에 따라 이러한 단계적 화염불안정성을 발생시키는 추가 소화약제의 양은 상당한 차이를 보이게 된다. 특히 He은 매우 작은 첨가량에도 불구하고 진동→소화의 순간적인 변화를 갖는다. 이에 Cup 버너를 이용한 소화약제의 소화농도의 측정기준은 크게 완전 소화(blowout) 조건과 화염불안정성의 개시조건을 두 가지가 혼용되고 있다.

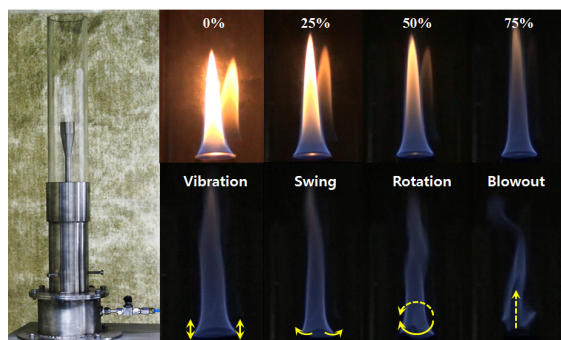


Figure 1. Flame images with increasing N₂ agent and flame instabilities near flame extinction.

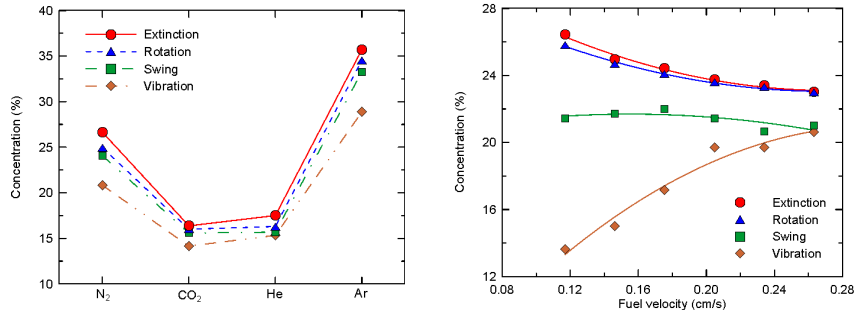


Figure 2. Concentrations related to flame instabilities with the standard test method and the increase in fuel velocity.

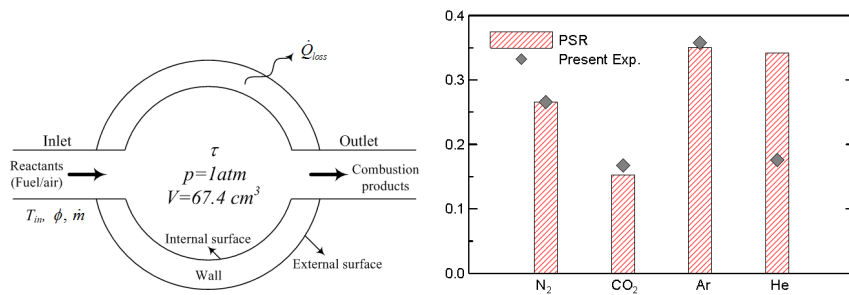


Figure 3. Critical volume fraction of inert gases at extinction with the air dilution.

Figure 2는 표준 실험법 및 연료 유속변화에 따른 불활성기체의 단계별 화염불안정성을 발생시키는 농도를 도시한 결과이다. 먼저 표준 실험법을 통한 결과를 살펴보면, 최종 blowout 기준으로 $\text{CO}_2 > \text{He} > \text{N}_2 > \text{Ar}$ 의 순서로 소화능능이 확인되며, 단계별 화염불안정성을 야기하는 농도 역시 동일한 경향을 보이고 있다. 그러나 각 화염불안정성 변화를 야기하는 농도의 차이는 소화약제의 종류에 따라 상당한 차이를 보이고 있다. 연료의 유속을 증가시킨 조건에서 N_2 소화약제의 단계별 농도를 살펴보면, 연료 유속증가에 따라 진동을 야기하는 농도는 크게 증가하는 반면에 회전 및 blowout에 해당되는 농도는 점차적으로 감소되는 결과를 확인할 수 있다. 결과적으로 Cup 버너를 이용하여 다양한 화재강도 및 연소방식을 갖는 화재의 소화농도를 정확히 측정 및 판단하는 것은 실제 화재의 소화농도와는 상당한 차이가 있음을 예측할 수 있다.

Figure 3은 불활성기체가 소화에 미치는 열적효과를 규명하기 위하여 PSR 수치해석을 이용하여 Cup 버너에서의 소화농도를 예측한 결과이다. 그림에서 확인되듯이 PSR을 통해 N_2 , CO_2 , Ar의 소화농도는 매우 정확히 예측되는 반면에, He의 경우는 2배 이상의 소화농도 과다예측 결과를 보이고 있다. 이는 He의 높은 열 및 물질확산계수와 같은 전달물성치를 PSR 수치해석에서 고려되지 않았기 때문이다. 다양한 소화약제의 전달물성치의 변화가 소화능능에 미치는 민감도 분석은 향후 연구를 통해 수행될 예정이다. 또한 기존 Cup 버너의 문제점을 보완하고 보다 현실적인 소화농도를 측정할 수 있는 새로운 개념의 소화농도 측정 장치를 개발 중에 있다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업(No. 2012R1A1A1009708).