P-28

풀화재에서 연료 기준면의 높이가 화염길이에 미치는 영향

양하영 · 문선여 · 박충화 · 황철홍†

대전대학교 소방방재학과

단일 화재의 특성을 갖는 풀화재는 다양한 원인에 의한 화재특성을 체계적으로 검토하기 위하여 일반적으로 사용되는 방법이다. 연료의 종류 및 버너의 직경에 의해 큰 차이를 보이는 풀화재의 특성은 화염길이, 연료의 질량 감소율, 화염온도 및 연료 표면으로의 복사 열전달, 연소생성물, 진동 주파수 및 동적거동의 복잡한 상호작용을 통해 결정될 수 있다. 또한 이들의 복잡한 원인들은 외부 공기의 유입 및 버너 외부(바닥 및 천장의 높이) 및 내부(연료 기준면의 높이)의 경계조건에 큰 영향을 받게 된다. 특히 시간의 증가에 따른 연료 기준면 높이의 감소는 버너 림 근처에서 발생되는 확산화염의 동적거동에도 큰 영향을 미치게 되며, 결과적으로 연료의 질량 감소율, 화염온도 및 발열량의 변화를 동반할 것으로 예상된다. 이러한 배경 하에 본 연구에서는 사각 버너를 이용한 액체 풀화재에서 연료 기준면의 높이의 변화가 화염길이 및 질량 감소율에 미치는 영향을 실험적으로 검토하였다.

Figure 1은 사각 버너를 이용한 풀화재 실험장치 사진이다. 보조 용기와 재순환 펌프를 이용한 동일한 위치에너지 설정을 통해 액체 연료의 기준면의 높이가 일정하도록 조절되었다. 보조 용기, 연결관 및 버너의 하부는 물이 채워졌으며, 약 5분의 헵탄 확산화염을 생성시킬 수 있는 연료량이 연료 기준면 높이까지 공급되었다. 감소된 연료량에 해당되는 체적의 물이 보조 용기에서 배출됨으로써, 로드셀을 통해 측정된 물의 질량 감소율과 물과 헵탄의 밀도비를 통해 최종 헵탄 연료의 질량 감소율을 산출하였다. 2개의 정사각형 단면의 버너(L=0.04m, 0.12m)가 사용되었으며, 림 근처에 바닥벽면의 경계조건을 부여하도록 평판이 설치되었다. 연료 기준면의 높이(z)는 중력 방향으로 0L, 0.25L, 0.50L 및 0.75L의 4가지 조건이 고려되었다. 화염길이에 대한 다양한 측정방법이 적용되고 있으나, 본 연구에서는 Figure 1에 제시된 바와 같이 부력에 의해 진동하는 화염의 간헐성(intermittency)이 50%가 되는 길이를 화염길이로 정의하였다. 캠코더에서 연속 촬영된 흑백이미지를 이용하여, 버너 림으로부터 측정된 화염길이는 화염의 가시거리와의 비교·검증을 통해 흰색 강도의 약 40%에 해당되는 그레이 스케일의 위치에서 측정되었다.

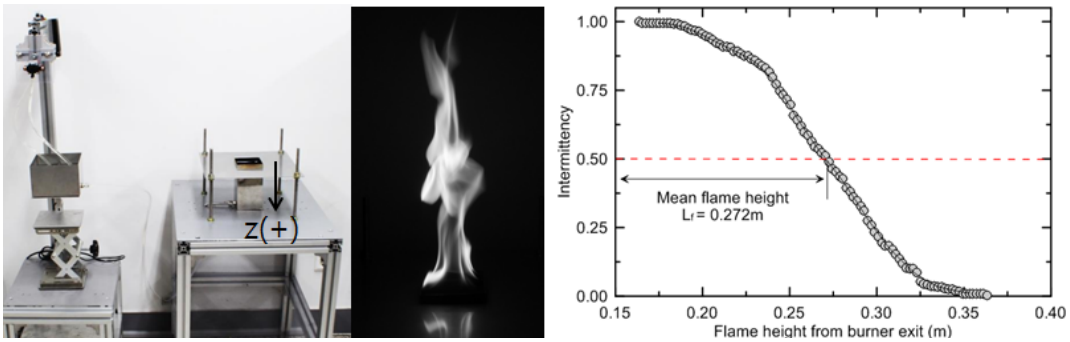

Figure 1. Direct photographies of pool fire apparatus and definition of mean flame height.

† 연락저자: chehwang@dju.ac.kr Tel: 042)280-2592 Fax:(042)280-2596

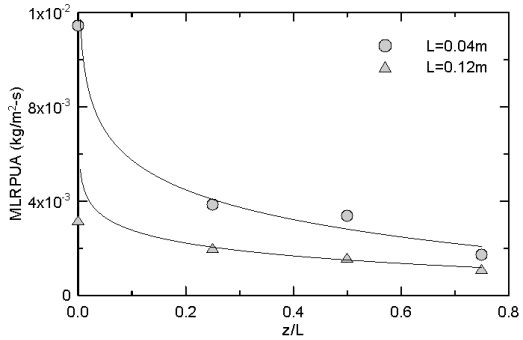

Figure 2. MLRPUA as a function of the height of fuel level.

Figure 2는 2개의 사각형 버너에 대하여 연료 기준면의 높이에 따른 단위 면적당 질량 감소율(MLRPUA)을 도시한 결과이다. 버너의 크기에 상관없이 연료 기준면의 높이가 버너 림(z=0m)에서 중력방향으로 증가함에 따라 MLRPUA는 크게 감소되며, z/L=0.2 이상에서는 감소율이 크게 낮아짐을 확인할 수 있다. z/L=0.0m 일 때는 림을 기준으로 기화된 연료와 외부에서 유입되는 공기에 의해 화염이 안정화되지만, z/L이 증가함에 따라 공기는 버너 내부로 유입되어 화염면은 버너 내부에서 생성된다. 안정된 화염에 비해 간헐적 성격이 강하며, z/L이 더욱 증가함에 따라 연료 기준면에서 부상된 화염거동을 보이게 된다. 그 결과 보다 감소된 화염의 강도로 인하여 연료 면에 복사 유입량의 감소로 질량 감소율 역시 감소됨을 예측할 수 있다.

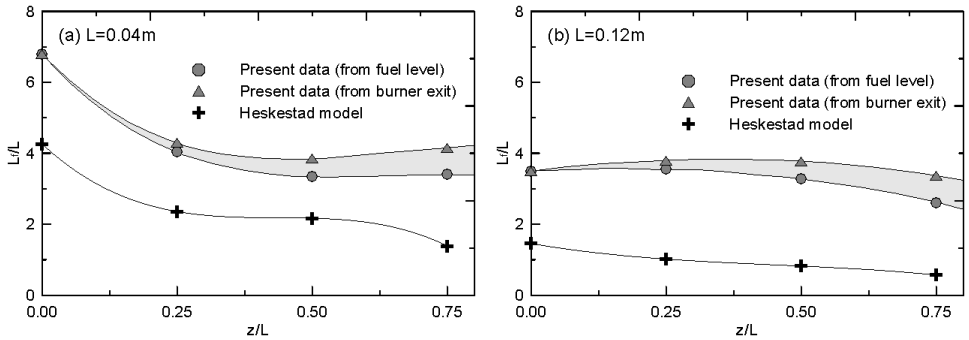

Figure 3. Normalized mean flame height as a function of the height of fuel level.

연료 기준면의 높이가 중력방향으로 증가함에 따라 부상된 화염으로 인하여 화염 기부(base)는 버너 내부에서 매우 불규칙하게 거동하기 때문에 정확한 화염길이를 측정하는 데는 많은 한계가 있다. Figure 3은 크기가 다른 2개의 버너에 대하여 버너 림에서부터 측정된 화염의 길이와 중력방향으로 증가된 연료 기준면의 높이를 산술적으로 고려한 화염길이를 동시에 제시하였다. 결과적으로 실제 화염길이는 음영으로 표현된 영역 내에 존재하게 된다. L=0.04m의 경우, 감소된 질량 소모율과 유사하게 z/L이 증가함에 따라 무차원된 화염길이가 감소됨을 볼 수 있다. 또한 발열량과 버너의 직경을 통해 화염길이를 예측하고 있는 Heskestad 모델($L_f = 0.235\dot{Q}^{2/5} - 1.02D$)은 실제 측정결과를 크게 과소예측하고 있음을 확인할 수 있다. L=0.12m의 경우, z/L의 증가에 따른 무차원된 화염길이 역시 감소되지만, 변화량은 상대적으로 감소되었음을 알 수 있다. 위 결과로부터 연료 기준면의 높이는 질량소모율, 발열량 및 화염길이에 상당한 변화를 발생시키지만, 버너의 크기가 증가된 경우 그 영향이 크게 감소될 수 있음을 확인할 수 있다.

감사의 글

이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. NRF-2012R1A1A1009708).