레이저와 열전대를 이용한 연기선단의 위치 추적 비교에 관한 연구

(Tracking of the smoke front under a ceiling by a laser sheet and thermocouples)

김명배* (Kim, Myung Bae), 한용식* (Han, Yong Shik)

1. 서론

연기의 확산, 연층의 형성 및 하강은 건물의 화재안전설계(Fire safety design)를 위하여 반드시 평가되어야 하는 중요 연구분야이다. 연층의 형성 및 하강현상은 2층 zone 모델과 같은 해석적인 방법을 이용하여 잘 다루어져 왔으며, 모델의 타당성을 밝히기 위한 많은 실험이 수행되었다.[1] 실험적으로 연층하강을 측정하기 위하여 열전대, 광학식 농도계, 육안관찰 등의 방법이 사용되어 왔다.

열전대와 연농도계를 이용하여 연기 경계면의 순간위치를 측정된 신호로부터 파악하기 위하여는 합리적인 판단조건이 필요한데, 주위온도 또는 농도로부터 급격히 상승하는 순간을 연층이 도달한 시점이라고 판단하는 방법과 임의의 조건을 부여하는 방법이 있다. 후자의 방법[2]은 연층하강이 발생하는 상황에서 적용된 것으로, 가장 높은 위치에 설치된 측정기 온도 및 연농도 값의 10%, 15%, 20% 변화 시점을 추적하여 연층도달 순간이라고 가정하였다.

육안 관찰의 경우 상대적으로 경계면이 뚜렷할 경우는 비교적 정확하게 순간연층 위치가 측정될 수 있으나, 실험실에서와 같이 오염의 문제 때문에 알코올 등의 청정연료를 사용하는 경우는 연기를 가시화하기 위하여 별도의 방법이 동원되기도 한다. 특히 바닥으로부터 급기가 이루어지고 있는 구획에서의 연층하강 실험결과 다른 조건의 실험에 비교하여 육안관찰의 경우 측정자료가 부족할 뿐만아니라 온도, 연농도측정을 이용한 방법과 뚜렷한 차이를 보여주고 있다.[3] 이러한 차이점은 바닥으로 부터의 급기에 의해 연층경계면이 다른 조건의 실험과 비교하여 뚜렷하지 않기 때문인 것으로 판단된다.

연기를 가시화하기 위하여 사용되는 별도의 연기발생기는 화재로 인해 형성된 유동장에 교란을 일으키는 문제점 뿐만아니라 화재와 상관관계가 없는 연기가 화재로부터 발생된 연기량에 추가된다는 문제점을 가지고 있다. 이러한 경우 대부분 연기발생기에서 생성된 연기가 화재로 인해 생성된 연기량보다 매우 작을 것이라는 예측을 하지만, 정량적인 비교를 통하여 그 근거를 확실히 제시하고 있는 연구결과는 보고되고 있지 않다. 연기발생기에 의한 연기가 주위 공기를 유입(Entrainment)하고 화재로부터 발생된 연기에의 유입과 상호작용을 하기 때문에 정량적인 비교는 매우 어렵다고 생각되지만 공학적 설계 또는 평가 수단의 관점에서는 대부분 무시할 만한 오차인 경우가 많다.

본 연구에서는 복도형상의 구획을 대상으로 하여 별도의 연기 발생기를 사용하지 않고 Laser sheet을 이용 천장제트의 전파과정을 가시화하였다. 가시화 사진으로부터 연기선단의 이동속도를 측정하고 열전대에

* 한국기계연구원 환경설비연구부

의한 이동속도와 비교하였다. 열전대의 온도신호와 단발(A single shot) 연기선단 사진을 동기시켜 연기선단의 도착순간을 급격한 온도상승 시점으로 간주해 왔던 종래의 직관적 판정기준을 평가하였다.

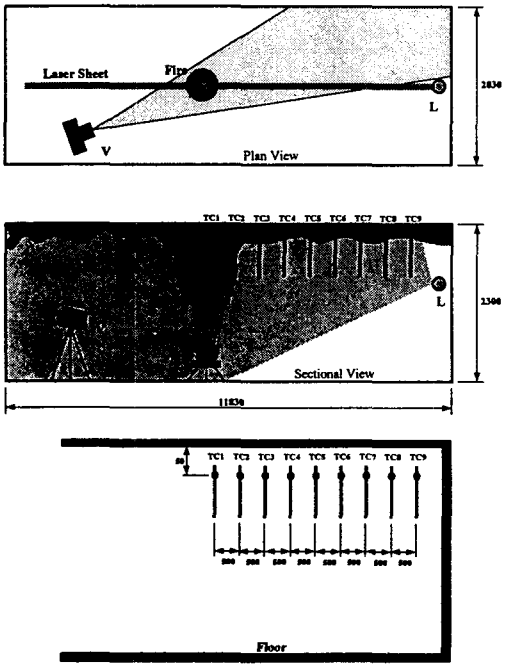

그림. 1 실험장치 개략도

2. 실험장치 및 실험방법

실험에 사용된 복도 형태의 공간은 그림.1과 같이 폭 2.83m, 길이 11.83m, 높이 2.3m이며 개구부가 전혀없는 1실의 밀폐공간이다. 공사현장에서 많이 사용되는 container를 사용했기 때문에 문의 틈새나 각종의 이음새 사이의 누설이 존재하지만 본 연구의 목적에는 영향을 미치지 않았다. 화원은 직경 150, 200mm의 휘발유 풀 화재(Pool fire)를 사용하였으며, 복도의 한쪽 벽으로부터 5.75m 떨어진 위치에 화원을 설치하였다. 폭방향으로의 중심위치에 카메라를 제외한 모든 계측요소들을 설치하였다.

천장제트로 형성되는 연기선단의 위치추적과 선단의 이동속도를 구하기 위하여 열전대와 Ar-ion laser를 이용하였으며, 비디오 카메라로부터 연기선단의 속도를 측정하기 위하여 그림.1과 같이 화원으로부터 500mm간격으로 얇은 스테인레스판을 천장에 고정시켜 매달아 놓았다. 열전대는 천장아래 50mm위치에 화원의 중심으로부터 시작하여 스테인레스판과 같은 위치에 설치하였다.

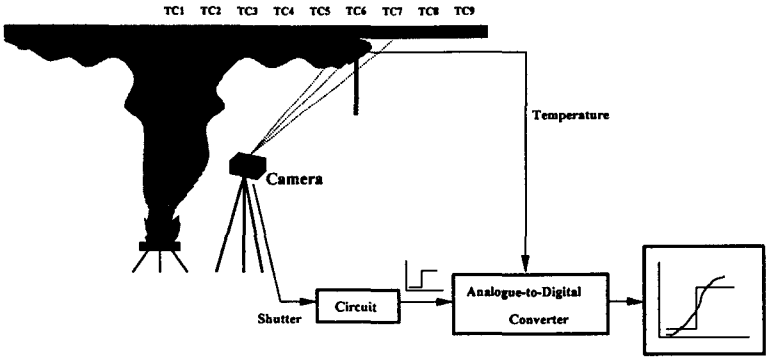

그림 2. 신호 동기 장치

Laser beam은 Sheet형태로 화원에서 멀리 떨어진 복도 끝에 설치하였으며, 연기에 포함되어있는 여러 입자들에 의해 Laser sheet가 산란되기 때문에 연기가시화를 위한 별도의 연기발생장치는 필요하지 않았다.

화원 중심으로부터 복도길이 방향으로 같은 위치에 설치된 열전대와 얇은 스테인레스판을 이용하여 열전대에 의한 연기선단의 순간위치와 가시화 사진에 의한 순간위치를 비교하기 위하여 그림.2 와 같이 일반 카메라와 카메라가 작동되는 순간을 알 수 있도록 해주는 전자회로를 이용하였다. 촬영되는 순간 카메라에서 발생된 계단(Step)신호는 전자회로에서 증폭되어 자료처리 장치에 입력되며, 이와 동시에 열전대로부터의 온도 신호도 자료처리 장치에 입력된다. 따라서 열전대의 급격한 온도상승 순간과 가시화 사진으로부터 실제 연기선단의 도달 순간과의 차이를 평가할 수 있게 된다.

3. 실험결과 및 토의

3.1 연기선단속도

화재로부터의 연기가 상승하여 천장에 충돌한 다음 복도의 길이 방향으로 연기선단이 이동해가는 형태를 그림.3 로부터 관찰할 수 있다. 이 사진은 해상도 1/30 초인 비디오 카메라로부터 얻어진 영상이며 육안관찰에 의한 연기선단의 이동속도를 측정하기 위하여 얇은 스테인레스판이 천장에 부착되어 있는 것을 알 수 있다.

열전대로부터 얻어진 온도곡선들이 그림.4 에 표시되었는데, 이로부터 급격한 온도상승 순간을 연기선단의 도착순간이라 가정하면 온도의 급격한 상승순간의 시간차와 열전대들의 설치 간격으로부터 연기선단 속도를 계산할 수 이다. 두 가지 방법에의한 속도측정 결과를 그림.5 에서 비교하였는데 열전대를 이용한 경우는 각 조건에서 6회 실험하여 평균하였으며, 비디오 카메라를 이용한 경우는 3회 평균한 결과이다.

그림.5 와 같이 복도의 길이방향으로 연기선단 속도가 감소하는 현상은 타 연구결과[4,5]에 잘 설명되어 있다. 두가지 방법에 의한 속도차이는 화원근처에서 크며 하류로 갈수록 그 차이가 줄어들고 있는 것을 알 수 있다. 화원근처에서는 천장제트로 형성되는 단계이기 때문에 활발한 혼합현상에 의해 연기선단의 위치가 그림.3 과 같이 불명확할 뿐만아니라 높이 방향으로도 균일한 선단을 이루지 못하기 때문이다. 하류에서는 천장제트로 완전히 형성되어 균일한 선단을 이루게 된다. 하류부분에서의 두 가지 방법에 의한 속도차이는 공학적 설계 관점에서 큰 차이는 아니라고 생각된다. 한편, 그림.3 과 같이 선명한 연기선단의 이동형태를 가시화할 수 있는 것은 Laser sheet의 장점이라고 판단된다.

3.2 연기선단의 순간위치

열전대의 급격한 온도상승 순간과 실제 연기선단의 도달순간과의 차이를 평가하기 위하여 온도신호와 촬영순간을 동기시키는 장치를 이용한 측정결과들이 그림.6 에 제시되어 있다. 그림.6은 200mm 풀화재의 경우로 연기선단의 이동에 의한 열전대의 온도변화와 순간사진을 동기시킨 것이다. 좌측열의 그래프에서 계단함수 형태의 신호가 카메라로부터 출력된 신호이며 수직상승하는 순간이 사진이 촬영된 시점이다.

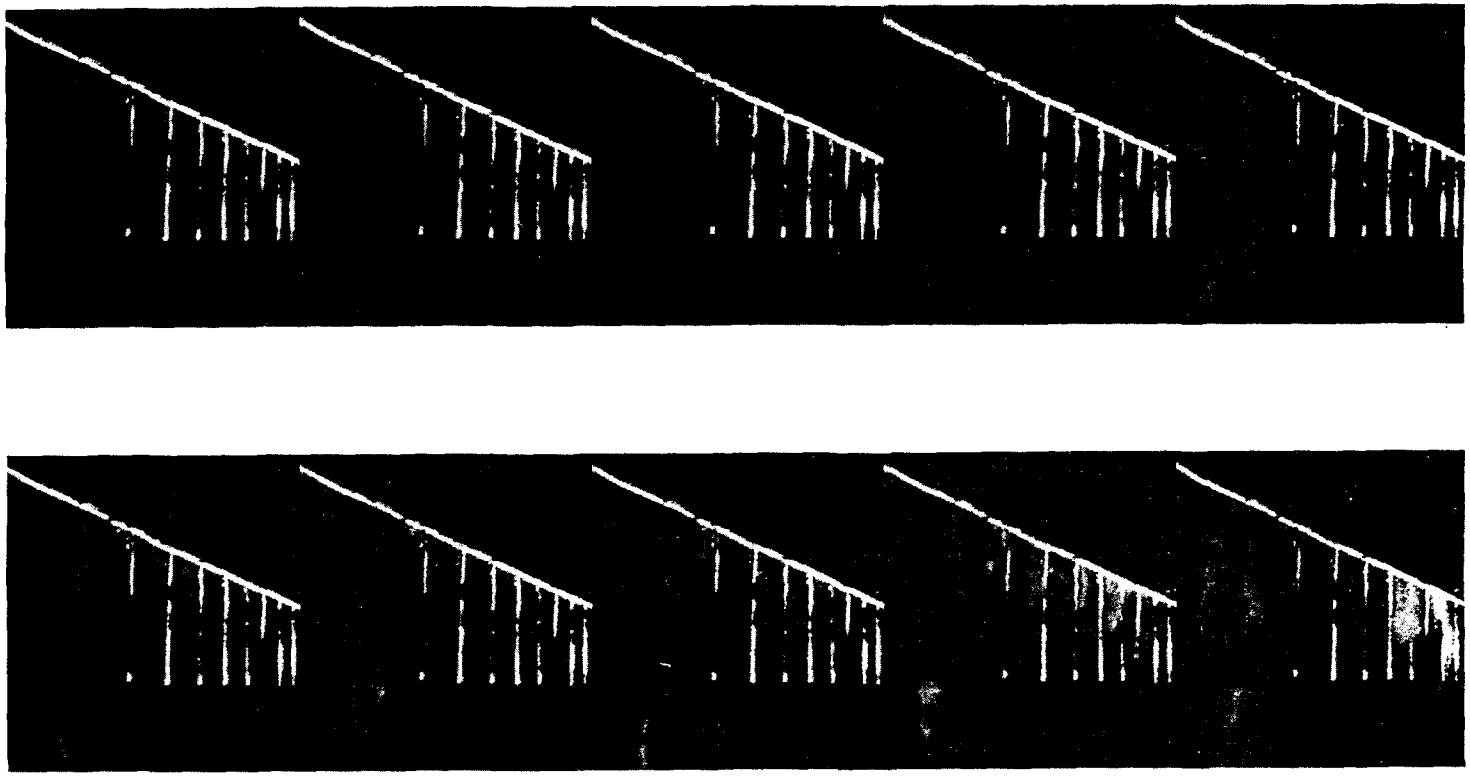

그림 3. Development of the ceiling jet of 200mm pool fire

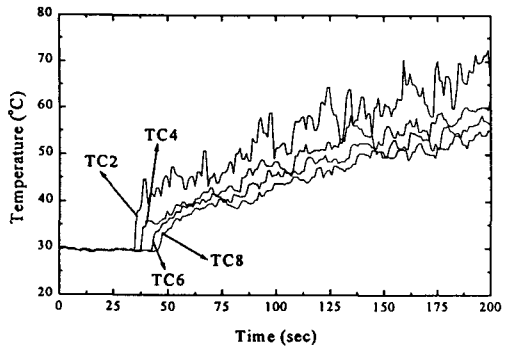

그림 4. 연기의 온도 변화

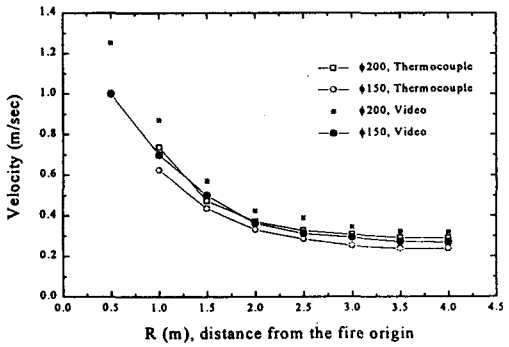

그림 5. 연기선단의 속도 비교

그림.6 으로부터 알 수 있듯이 열전대의 급격한 온도상승전에 촬영된 사진은 연기선단이 해당열전대에 아직 도달하지 않은 것을 보여주고 있다. 온도의 급격한 상승순간에 촬영된 사진에서는 해당열전대 근처에 연기선단이 형성되어 있는 것을 알 수 있으며, 이하에서는 온도의 급격한 상승 이후에 촬영된 사진이기 때문에 연기선단이 해당 열전대 위치를 지나고 있음을 알 수 있다. 따라서 온도의 급격한 상승시작 시점을 연기선단의 도달순간이라고 가정하는 판정조건은 직관적으로 타당할 뿐만아니라 측정결과로 부터도 타당성이 있음을 알 수 있다. 다만, 온도의 상승기울기는 사용되는 열전대의 감도에 따라 상이하기 때문에 그 기울기가 작을 경우는 연기선단의 도달 시점을 결정하기 어려울 수도 있다.

4. 결론

연층의 하강 또는 천장제트 형태의 연기선단의 이동 현상을 관찰하고 그 특성을 파악하기 위하여는 연층의 하강속도나 연기선단의 이동속도를 측정하여야 한다. 이를 위하여 열전대를 이용한 온도계측이나 광학식 연농도계, 육안관찰등의 방법이 사용된다.

본 연구에서는 복도형태의 공간내부에 화원을 설치하여, 연기선단의 이동특성을 열전대와 Laser를 이용한 가시화 방법에 근거하여 관찰하고 비교하였다. 온도측정 결과로부터 연기선단의 이동속도를 측정하기 위하여 온도의 급격한 상승시작 순간을 연기선단의 도달시점이라고 가정하였다. 한편, 육안관찰에 의한 선단속도를 측정하기 위하여 Laser sheet를 연기 가시화 수단으로 활용하였다. 연기선단의 이동형태는 비디오 카메라에 녹화되고 재생되어 연기선단의 이동속도가 측정되었다.

상기 두 가지 측정방법의 결과 화원부근에서는 혼합현상등 복잡한 유동형태에 의하여 속도차이가 비교적 크지만 하류로 갈수록 그 차이가 줄어들어 엔지니어링 설계의 관점에서는 만족할만한 수준의 차이를 보여주었다. 이에 더하여 Laser sheet를 이용한 가시화 기법이 종래의 방법 즉, 연기발생기를 사용한 연기가시화 방법에 비교하여 여러 가지 장점을 가지고 있을 뿐만아니라

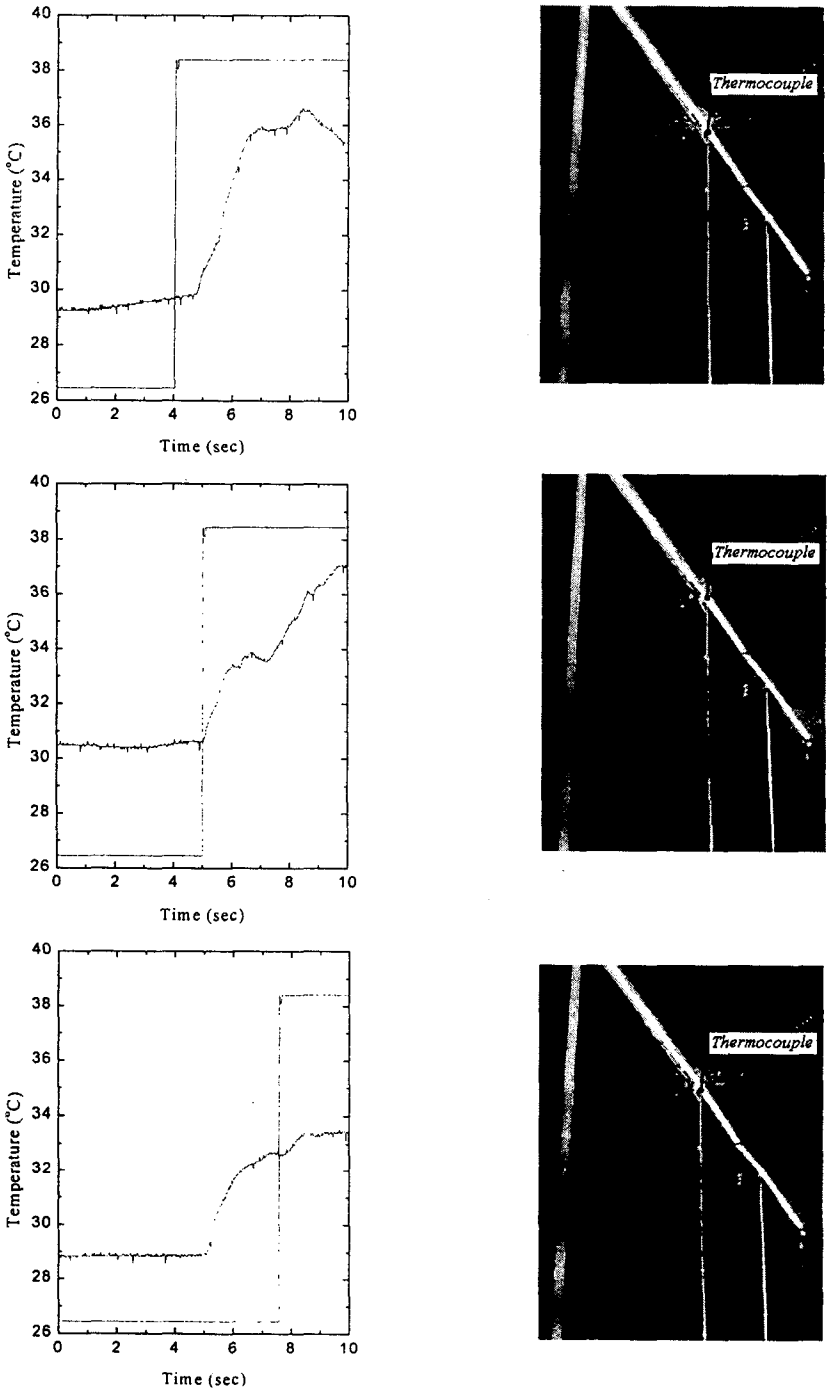

그림 6. The synchronized smoke fronts with temperature signals around TC6 (200mm pool fire)

연기선단의 이동현상을 선명하게 추적할 수 있는 방법임을 입증하였다.

열전대의 온도신호와 동기된 순간단발 연기사진들로부터 연기선단의 도착순간을 급격한 온도상승 시점으로 간주해왔던 종래의 직관적 판정기준이 적합함을 보여주었다.

■ 참고문헌

1.Tanaka , T., "A model of multiroom fire spread", Nat. Bur. of Stand. (U.S.), *NBSIR 832718 (1983).*

2.Zukoski, E.E. and Kubota, T., "Two layer modeling of smoke movement in building fires", Fire Mat., Vol.4, pp.17-29 (1980).

3.Tanaka, T., "A model of fire spread in small scale buildings", Research Paper No.79 and No.84, Building Research Institute (Japan) (1980).

4.Kim, M.B., Han, Y.S. and Yoon, M.O., "Laser-assisted visualization and measurement of corridor smoke spread, Fire Safety Journal, Vol.31, pp.239-251 (1998).

5.Jones, W.W., Matsushita, T. and Baum, H.R., Smoke movement in corridors Adding to the horizontal momentum equation to a zone model, 12th Joint Meeting of the UJNR Panel on Fire research and Safety, pp.42-54(1992).

6.Jones, W.W. and Quintiere, J.G., "Prediction of corridor smoke filling by zone models, Comb. Sci. Tech., Vol.35, pp.239-253 (1984).

7.Tanaka, T. and Yamana, Y., Smoke control in large scale spaces (Part 1 and 2), Fire Science and Technology, Vol.5, No.1 (1985).