

액체 연료 표면에서의 화염확장기구에 관한 실험적 연구

An experimental Investigation on Flame spreading over liquid fuel surface

김 한 석*
Kim, Han Seok

Abstract

Flame spreading over liquid fuel surface has been investigated using thermocouple and schlieren photograph. Without forced convection, it was clearly found that the flame spreading is mainly controlled by surface flow which is maybe generated by change of surface tension. Furthermore, the radiative heat transfer is dominant over a conductive heat transfer in kerosene. But the latter was found more influential than the former in diesel. Oscillation of flame spreading was found. It maybe cause of surface flow.

Key Words : Flame spreading velocity(화염확장속도)
Forced convection(강제대류)
Surface flow(표면유동), Barrier(장애물)

1. 서 론

일반적인 화재의 시작은 가연물 표면을 어떤 인공적인 혹은 자연적인 발화원에 의하여 화염이 확장되고, 그 화염이 연료 탱크 또는, 폭발성 물질에 접촉하거나, 화염자체의 증대에 의하여 생기는 복사열에 의하여 건물내부의 가연성 물체가 가연성 가스를 발생함으로써 일어난다. 따라서 이것의 방재에 대한 연구에 있어서 화재 초기 상태에 있는 가연성 물질의 표면을 번져나가는 화염의 기구를

이해하는 것이 필요로 되며, 화염확장 속도에 대한 정보도 필요하다. 일반적으로 화염의 확장은 화염으로부터의 대류, 복사 그리고 가연성물질을 통한 전도 등에 의하여 이루어지며, 가연물이 액체인 경우에 있어서는 가연물의 온도변화에 의한 표면유동도 많은 영향을 준다. 액체연료의 화염확장의 기구는 초기 온도가 가연물의 인화점(flash point)보다 낮은 경우, 화염으로부터의 열전달에 의하여 연료가 증발되어 산소와 반응을 하는 확산. 이 반응을 지배하게 되는 확산화염을 형성하게 된다. 연료내부의 국부적 온도변화에 의한 표면장력의 변화로 표면유동이 존재하게 되어, 이것도 화염확장에 영향을 주게 된다. 따라서 화염의 확장

* 한국기계연구원

은 화염으로부터의 열전달뿐만 아니라 연료의 유동도 영향을 미친다. 공기의 유동이 없는 경우 화염으로부터의 전도, 복사에 의한 열전달 그리고 표면유동에 의하여 화염확장이 결정된다. 전도는 연료 고유의 성질에 관계되며, 복사는 화염 형상에 따라 결정된다. 또한 공기의 유동은 화염으로부터의 대류전달과 화염형상 변화에 대한 복사열전달 그리고 공기와 연료와의 점성에 의한 표면유동 등에 영향을 준다. 연료의 초기 온도가 연료의 인화점보다 높은 경우에는 화염의 확장은 화염으로부터의 열전달 및 표면유동에 관계없이 예혼합 화염이 형성되며, 빠른 속도로 화염이 진행되고 이차적인 표면화염이 형성된다.

화염확장에 대한 연구는 여기에 관련되는 각 열전달 및 표면유동을 각 경우에 따라 분류하여 수행되어 왔다. K.E.Torrance¹⁾와 R.L.Mahajan 등은 화염확장에 중요한 영향을 주는 표면유동의 원인인 표면장력, 부력, 프란틀수, 연료의 깊이 등을 열거하였으며, 표면유동에 영향을 주는 주된 요인은 표면장력이라는 것을 이론적인 방법으로 예상하였다. 연료의 표면유동은 K.Akita²⁾가 메탄올을 사용하여 사진촬영을 하였으며, 메탄올에 대하여 외부 공기 흐름의 방향과 속도, 연료의 초기온도가 화염확장속에 어떠한 영향을 미치는가에 대하여도 실험을 수행하였다.

본 실험에서는 액체 연료인 석유와 등유를 사용하여 전도, 복사, 대류 그리고 표면장력에 의한 연료의 표면유동 등이 각각 어느 정도 화염확장에 영향을 주는가를 예측하기 위하여 위의 각각을 제어할 수 있는 장애물을 설치하였으며, 연료깊이에 의한 화염확장의 영향을 알아보기 위하여 3가지 종류의 깊이에 대하여 실험을 수행하였다.

2. 실험장치 및 실험방법

2.1 실험장치

화염확장의 기구를 구명하기 위한 실험장치는 Fig. 1과 같은데, 표면장력에 의한 유체의 유동, 기름 아래 '방향으로의 열손실의 효과를 알아보기 위하여 5cm, 10cm, 15cm 깊이의 기름 그릇을 제

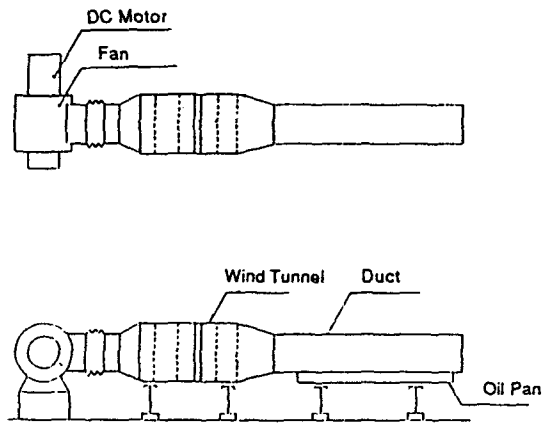


Fig. 1 Description of windtunnel, duct and pan

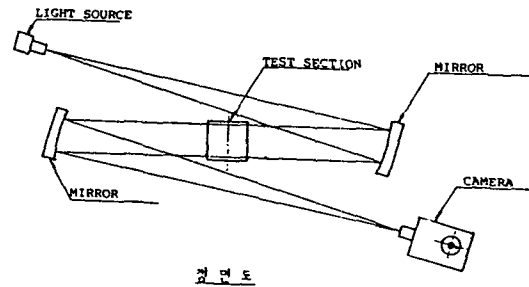


Fig. 2 Schlieren apparatus

작하였으며, 옆면효과를 피하기 위하여 너비를 15cm로 하였고 그릇 밖으로의 연손실을 억제하기 위하여 그릇을 이중으로 하여 그 사이에 단열재를 넣었다. 액면 위의 공기의 유동 즉, 강제대류가 화염확장에 미치는 효과를 알아보기 위하여 액면 위에 공기 속도를 조절할 수 있는 관로를 설치하였다. 관로 내의 공기의 난류강도를 줄이고 속도를 균일하게 해주기 위하여 풍동을 송풍기와 관로 사이에 설치하였다. 초기점화장치는 열선을 이용하였으며, 화염의 확장속도 측정은 C-A 열전대를 이용하여 오실로 그래프로 처리하였다. 연료표면위의 화염확장현상을 가시화하기 위하여 Schlieren 광학장치를 Fig.2와 같이 구성하였다. 초점거리 5m, 직경 50cm의 오목거울을 사용하였으며, 광원으로는 Xn Lamp를 이용하였다.

2.2 실험방법

화염의 확장속도를 측정하기 위하여 열전대를 연료표면위 1mm위치에 10cm 간격으로 11개를 설치하였다. 열전대로부터 화염의 위치 예측은 온도 상승율이 급속히 증가하는 점을 열전대가 화염에 도착한 점으로 가정하였다. 연료의 초기 온도는 연료의 인화점보다 낮은 20℃에서 실험을 행하였다.

화염의 확장속도는 초기점화 위치로부터 10cm 간의 평균화염확장속도로 측정하였다. 점화용 전선에 가해주는 전원은 등유의 경우 55V, 8A, 경유의 경우 80V, 11A로 하였으며, 바람의 속도는 마이크로 마노메타를 사용하여 관로 중심에서 측정하였다. 화염확장에 미치는 화염으로부터의 복사열, 대류, 연료면내의 열전도, 연료의 표면유동 등이 화염확장에 각각 어느 정도 작용하는가를 예측하기 위하여 각각을 제어할 수 있는 형상과 재질인 장애물을 Fig.3과 같이 만들었다. 장애물이 있는 때와 없을 때의 시간의 차이로 지연 시간을 계산하여 각각의 영향을 예상하였다.

화염으로부터의 복사열 전달을 제어하기 위하여

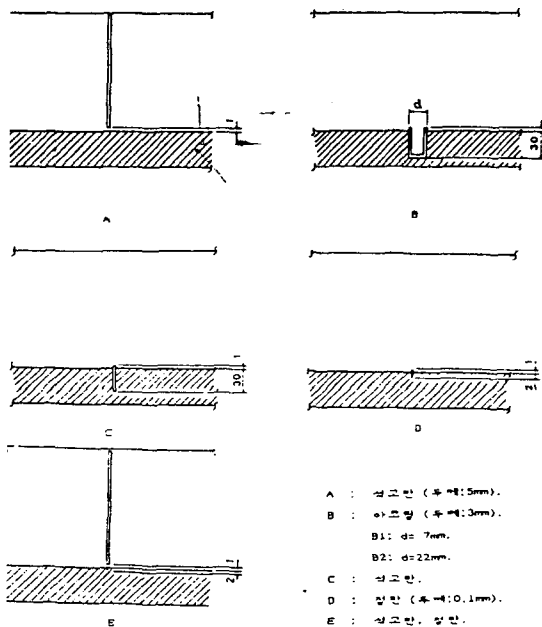


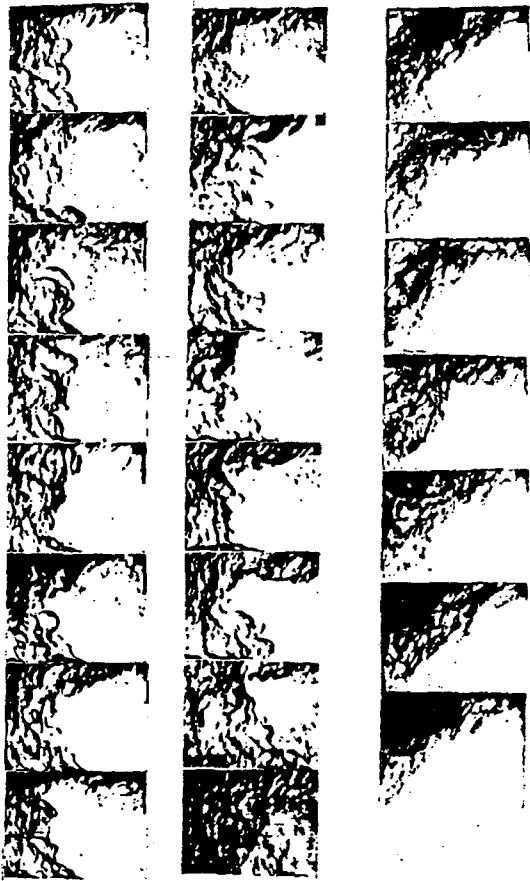
Fig. 3 Installation of flame barriers

여 석고판을 A와 같이 Duct전면에 설치하였고, 표면유동의 장애를 피하기 위하여 유면과 최소한의 간격을 두었다. 표면유동의 제어는 두께 0.1mm의 철판을 유면에 수직으로 D와 같이 설치하였는데 철판을 통한 아랫면으로의 열손실을 줄이고 열용량을 적게하기 위하여; 그리고 연료의 소모율을 고려하여 폭을 최소한(3mm)으로 하였으며, 복사열 전달의 영향을 고려하여 그 끝을 최소한으로 낮추어 유면에 설치하였다. 액체내의 전도의 영향을 알아보기 위하여 연료 표면에 전도율이 다른 3종류(Fig. 3 B, C, D)의 장애물을 사용하여 지연시간의 차이를 비교하였다. 바람에 의한 복사열 전달과 대류열 전달의 영향을 예상하기 위하여 표면유동을 장애물로 제어했을 때 바람의 세기와 화염의 지연 시간과의 관계, 그리고 복사의 화염확장에의 영향을 알기 위하여 표면유동을 차단한 상태에서 복사를 제어했을 때와 제어하지 않았을 때와의 지연시간을 비교하였다. 또한 장애물의 너비에 대한 복사열 전달의 감소효과를 알아보기 위하여 B와 같이 전도와 표면유동을 제어한 상태에서 복사열 전달의 감소량을 2가지 너비에 대하여 장애물에 의한 화염확장 지연시간의 차이로 비교하였다.

3. 실험 결과 및 검토

3.1 화염확장에 대한 전도, 대류, 복사의 영향

연료의 전도성의 영향을 알아보기 위하여 열전달 계수비가 1:54, 5:2.27 X10⁵인 장애물 B2, C, D를 사용하여 연료의 표면유동을 억제한 상태에서 연료면의 열전도만을 조절하였다. Fig. 5에서와 같이 등유의 경우 세 장애물에 의한 지연시간의 차이는 2% 미만이었다. 따라서 표면유동이 없는 상태에서 등유의 경우 장애물의 열전달 계수에 관계없이 지연시간이 거의 일정하므로 이 경우 복사에 의한 열전달이 화염의 확장에 커다란 영향을 주는 것으로 보여진다. 경유의 경우에는 위의 장애물을 사용하였을 때 화염확장의 지연시간의 차이가 20%, 100%이었다. 따라서 경유는 화염확장에 있어서 등유보다는 전도가 차지하는 비율이 크



(Vw : 0) (Vw : 0.3 m/sec.) (Vw : 0.6 m/sec.)

Fig. 4 Schlieren photograph of flame spreading

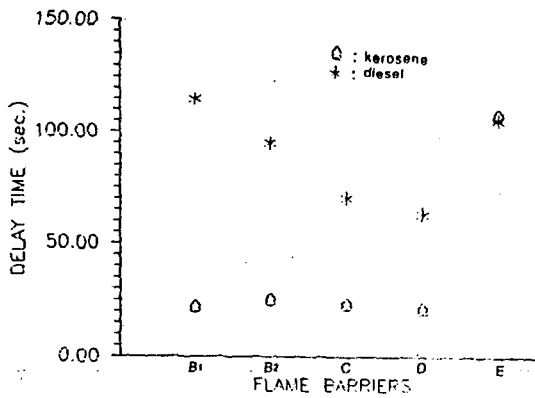


Fig. 5 Delay time of flame by barriers

다고 생각된다. 그러나 열저항 계수의 비에 비하여 시간지연율이 적다는 것과 표면유동만을 제어한 장애물 D와 복사열 전달을 제어한 장애물 E의 지연시간의 비교로 전도 뿐만 아니라 복사열 전달도 무시할 수 없음을 알 수 있다.

3.2 화염확장에 대한 연료의 표면유동의 영향

장애물 A는 연료면에는 아무런 영향을 주지 않고 유면 위의 대기 부분만을 차단하므로써 복사에 의한 열 전달을 차단하고자 하였다. 연료보다 전도성이 큰 철판을 사용하여 연료의 표면유동만을 차단한 장애물 D의 경우 Fig. 5에서와 같이 지연시간은 등유의 경우 22.8sec, 경유의 경우 49.3sec이다. 장애물 A에 의한 지연시간은 등유와 경유 각각 1sec미만이었다. 앞에서의 결과에서 보듯이 등유에 있어서 전도보다는 복사가, 경유에 있어서는 전도와 복사가 차지하는 비율이 거의 같으므로 위의 두 결과로 보면 표면유동은 등유와 경유의 화염확장에 있어 절대적인 영향을 미친다고 볼 수 있다.

3.3 바람의 영향

연료의 표면유동을 차단하기 위하여 장애물 C를 사용하였고 바람의 방향을 화염의 확장방향과 같게 하여 바람의 속도를 조절하였으며 바람의 속도와 지연시간은 Fig.6에 나타나 있다. 등유의 경

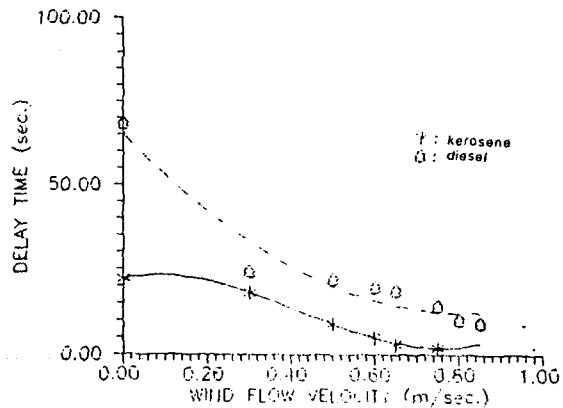


Fig. 6 Delay time of flame by barrier (Fig. 3 C) with windflow

우 바람속도가 0.8m/sec 이상에서는 장애물에 의한 지연시간은 0에 가깝다. 따라서 등유의 경우 바람속도가 0.8m/sec 이상에서는 화염의 확장은 연료의 표면유동보다는 복사와 대류에 의한 열전달이 지배적이라고 볼 수 있다. 그러나 경유의 경우는 바람속도 0.5m/sec.에서는 장애물에 의한 지연시간이 바람속도의 증가에 비하여 등유는 경우보다 감소되지 않았다.

3.4 화염의 평균확장속도

등유와 경유의 평균화염 확장속도는 Fig.7, Fig.8에 나타나 있다. Fig.7과 Fig.8로부터 등유의 경우 바람속도가 0.5m/sec. 이상에서는 화염확장속도가 급격히 증가하나 경유의 경우에는 완만히

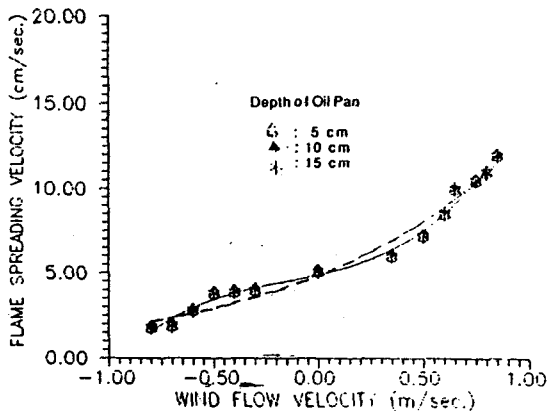


Fig. 7 Flame spreading velocity of kerosene

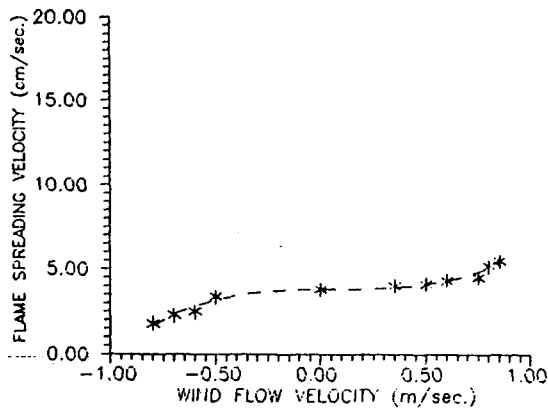


Fig. 8 Flame spreading velocity of diesel

증가함을 알 수 있다. 바람이 화염확장과 반대인 경우에는 화염의 확장속도는 감소한다. 전도나 복사가 화염의 확장에 미치는 영향은 3.2의 결과로 표면유동에 비하여 아주 작으므로 화염확장속도의 감소는 바람이 표면유동에 영향을 줌으로써 일어나는 것으로 생각된다. 또한 Fig. 7로부터 연료의 깊이에 대하여는 깊이 5cm 이상에서 연료의 깊이는 화염의 확장에 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

3.5 화염확장속도의 변화

Fig.9와 Fig.10은 바람이 없는 상태에서 등유와 경유의 화염확장속도를 나타내고 있다. Fig.9와 Fig.10으로부터 화염확장속도는 진동을 하면서 진행되는 것을 알 수 있다. 이것은 연료의 표면온도의 변화 등에 의한 표면유동에 기인한다고 예상된다.

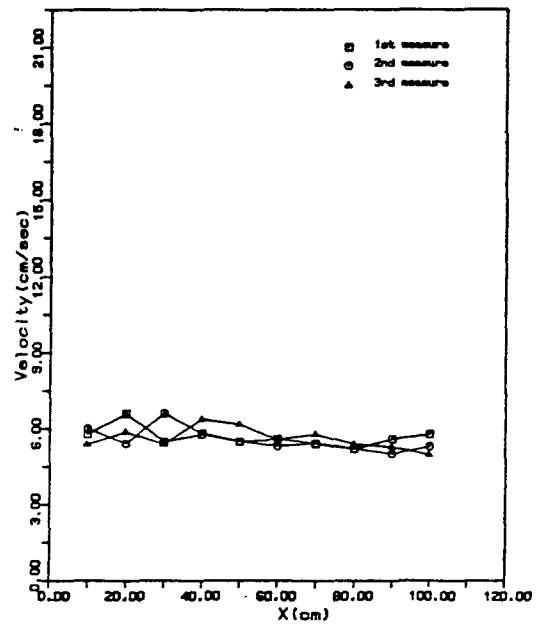


Fig. 9 Oscillation of flame spreading in kerosene (without windflow)

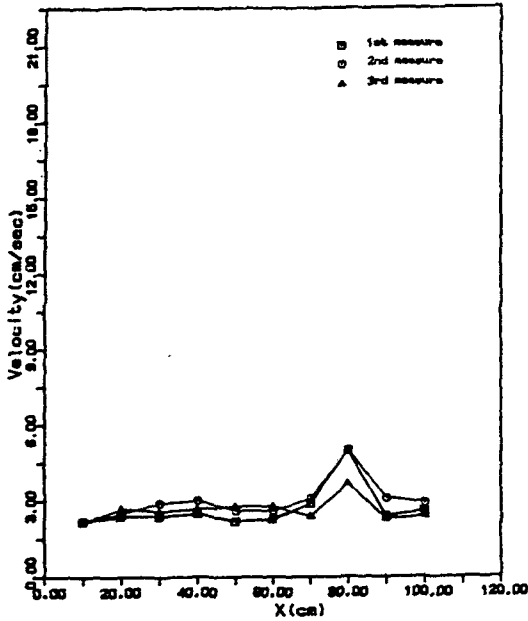


Fig. 10 Oscillation of flame spreading in diesel (without without windflow)

4. 결 론

- (1) 화염확장에 영향을 미치는 화염으로부터의 복사, 연료면 열전도, 대류 열전달, 연료의 표면유동중 공기유동이 없는 경우에는 연료표면의 유동이 화염의 확장을 지배한다.
- (2) 등유의 경우—순방향 바람속도 0.8m/sec. 이상에서는 화염의 확장속도는 연료의 표면유동보다 대류와 복사의 지배적 영향을 받는다.
- (3) 화염확장에 있어 유면을 통한 전도의 영향은 등유보다 경유가 많이 받는다.
- (4) 기름그릇의 깊이에 의한 화염확장속도의 영향은 깊이 5cm이상에서는 표면유동이 깊이에 영향을 받지 않는다.

참 고 문 헌

1. Torrance, K. E., and Mahahajan, R. L. 1975,

“Fire Spread Over Liquid Fuel: Liquid Parameters”, Fifteenth symposium (International) on Combustion, The combustion, Institute.

2. K. Akita. 1973, “Some Problem of Flame Spread Along a Liquid Surface”, Forteenth Symposium(International)on Combustion, p. 1075. The combustion Institute.

3. Tarifa. C. S. and Torralbo. A.M., 1967, “Flame Propagation Along the Interface a Gas Reacting Medium”, Eleventh Symposium(International)on Combustion, p.533, The Combustion Institute.

4. A. C. Ferendes-Pello and T. Hirano., 1983, “Controlling Mechanism of Flame Spread”, Combustion and Technology, Vol.32, pp.1~31.

5. A. Fernandez-pell and F.A. Williams, 1975, “Laminar Spread Over PMMA Surfaces”. Fifteenth Symposium(International)on combustion Institute.

6. Toshisuke Hirano and Takuzuki., 1984, “Flame Spread Over Oil Sludge”, Twentieth Symposium(International)on Combustion Institute. pp.1611~1617.

7. Toshisuke Hirano and Takuji Suzuki., 1980, “Gas Movement in front of Flame Propagating Across Methanol”, Combustion Science and technology. p.83~91.

8. Takuji Suzuki and Toshishuke., 1982. “Flame Propagation Across Liquid Fuel in Air”, Ninteenth symposium(International)on Combustion, p.877, The combustion Institute.

9. H. W. Emmons., 1965, “Fundamental Problems of the Free Burning Fire”, Tenth Symposium(International)on Combustion, pp. 951~964, The Combustion Institute.

10. J. Quintiere. M Harkieroad and 9. D.Walton., 1983, “Measurement of Material Flame Spread Properties”, Combustion Sience and Technology, Vol 32, pp.67~81.