

# 기화식 석유버너의 설계기술 향상 연구

심성훈\*, 김석준\*, 길상인\*, 홍용주\*, 윤진한\*, 김인규\*\*, 김영수\*\*

## Study on the Enhancement of Design Technology for the Evaporation Pot Type Kerosene Burner

S.H.Shim, S.J.Kim, S.I.Keel, Y.J.Hong, J.H.Yun, I.K.Kim, Y.S.Kim

### Abstract

Characteristics of evaporation, flame propagation at moment of ignition and steady state combustion, and flow characteristics of combustible mixture have been investigated by experiments and computational simulation for the evaporation pot type kerosene burner. The results show how to design the evaporation pot in order to minimize the sticking of residual tar, and also indicate that symmetrical flame propagation along the flame ring from the kernel of ignition is achieved by modification of the shape of ignition part. In the case of steady state combustion, the uniform distribution of flame at each flame hole is accomplished by proper modification of the piping instruments. The improved design of the structure and parts of the kerosene burner make up enhancement of flame stability and considerable reduction of CO and bad smell emission at moment of ignition.

### 1. 서 론

기화식 석유버너는 주로 업소용 난방기기인 석유 팬히터에 채용되는 버너이다. 석유 팬히터는 연소배가스를 직접 실내 난방에 이용하는 방식이므로 열효율이 높고, 신속한 난방이 이루어지게 하며, 연료비가 저렴한 등 여러 장점을 지니고 있으나, 배기가스를 실내에 바로 배출하기 때문에 버너에서의 연소상태가 지극히 양호하지 않으면 건강에 악영향을 미치기 쉽다. 따라서, 연소시에 발생하는 일산화탄소나 미연탄화수소 등의 공해 및 불쾌한 냄새를 유발하는 성분의 발생이 극소화되도록 설계, 운전되어야 한다. 국내에서 생산되는 석유 팬히터들도 이런 관점에서

연소나 제어장치의 개선을 통하여 종래의 제품에 비하여 그 성능이 비약적으로 우수해졌음을 알 수 있으나 아직도 점화 및 소화시에 발생하는 미연분 및 냄새의 문제는 크게 개선되지 못하고 있으며, 정상 연소시에도 부분적이거나 연소 불안정성의 문제를 안고 있다. 특히 본 기화식 석유버너는 액체연료인 등유의 연소효율을 높이기 위하여 미리 가열된 기화기의 포트에 분사된 연료가 일차 증발한 연료증기에 착화하여 연소시키는 방식을 취하고 있으므로, 장기간 사용시에는 이 기화기 포트에 원료유의 열분해 잔류물인 타르가 침착되어, 기화를 위한 열전달을 방해하여 기화불량으로 인해 점화시 더욱 심한 악취와 미연분을 발생시키는 현상을 보이며, 또한 연료유가 노천에 방치되어 자외선으로 인해 변질된 등유를 사용하거나, 경유가 혼

\* 한국기계연구원 열유체환경연구부

\*\* LG전자(주) 리빙시스템연구소

합된 경우에는 짧은 시간의 사용에서도 이러한 문제를 발생시키므로 근본적으로 이에 대처할 수 있는 설계기술이 확보되어야 한다. 본 연구에서는 기화식 석유버너의 기화, 유동기구 및 점화기구를 집중적으로 분석하여 이러한 문제를 해결하고자 하였다.

## 2. 기화기 구조 설계

다음의 그림 1에 나타낸 것이 LG전자(주)에서 생산하였던 최대 6,500kcal/hr 용량의 기화식 석유버너의 구조이다. 전자펌프에서 가압된 연료유는 동축류의 연소용 공기가 분사되는 공기노즐의 중앙에 위치한 니들을 통해 히터에 의해 가열되어 있는 기화기 포트에 분무되고 증발한다. 증발된 연료증기는 선회하는 공기류와 혼합되어 상부의 버너부로 이동하여 연공을 통해 분출되면서 점화 스파크에 의해 착화되어 화염을 형성한다.

버너의 성능을 개선하기 위해서는 일차적으로 기화기 포트에서 연료유가 원활하게 증발하여 장기간의 사용에도 포트의 벽면에 타르가 침착되지 않도록 하여야 하며 또, 증발한 연료증기가 공기와 고르게 혼합되게 하고 상부의 버너연공에서 균일하게 분포할 수 있도록 유동을 형성하는 구조를 가져야 한다. 본 연구에서는 우선 사진 1과 같은 수정설계전의 기화기에 대하여 기화기 벽면에 충돌한 연료유가 증발하면서 빼앗는 열로 인하여 벽면의 온도가 어떻게 변화하는지를 확인하기

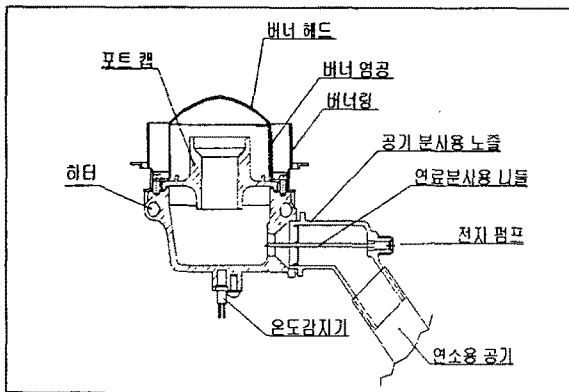


그림 1. 기화식 석유버너의 구조

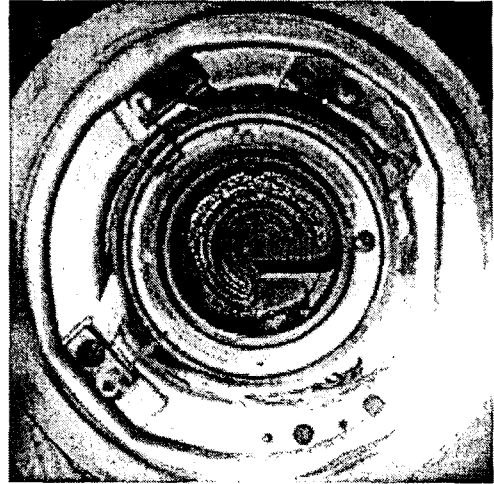


사진 1. 기존 기화기 포트

위하여 연료 분무 상태에서 기화기 벽면의 온도장을 Thermo Vision System (Inframetrix 600 model)을 이용하여 분석하였다. 본 기화기는 사진 1에서 보는 바와 같이 공기류와 동축으로 분사되는 연료유가 기화기의 한쪽 벽면에 충돌하면서 증발하여 상부에서 볼 때 우측방향으로 선회하면서 혼합되게 되어있다. 따라서, 사진 2에서 분사 직후의 Thermo Vision 촬영 결과에서 보는 바와 같이 분무액적이 집중적으로 충돌하는 우측(본 촬영은 반사경을 이용하여 촬영하였으므로 좌우가 반대이다)벽 및 바닥의 상당히 넓은 부분의 온도가 현저히 낮아짐을 알 수 있다. 이 현상은 시간이 경과할수록 심화되나, 상부의 버너에서 연소가 이루어지지 않아 실제 운전과는 다르기 때문에 분사 직후의 상태가

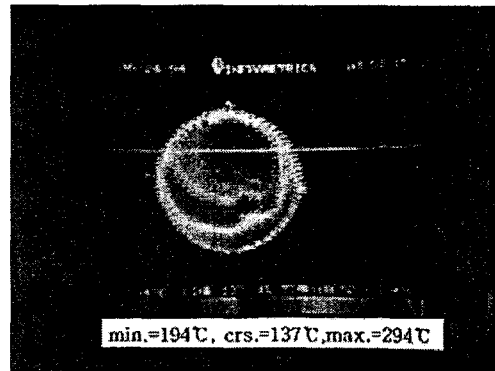


사진 2. 기존 기화기 포트의 온도분포

점화에 필요한 혼합기를 형성하므로 이 조건에서 비교 분석하였다. 이 결과에서 기화기 바닥면의 온도 분포에서 연료유가 직접 충돌하는 부분과 그 외의 부분과의 온도편차가 60℃ 이상으로 상당히 심하게 나타나고 있다. 이는 증발이 좁은 영역에서 집중적으로 일어나므로 인해 기화에 필요한 열량이 지속적으로 충분히 공급되지 못함에 기인한다. 이로 인해 분무된 연료유가 즉시 증발하지 못하고 벽면 또는 바닥을 따라 액면을 형성하면서 가열되면서 열분해로 인해 타르가 발생되어 침착되는 것이다. 사진 1에서 타르의 침착 형태를 같이 보여주고 있다. 또한 사진 2에서 하부 오른쪽 부분의 연료증기가 접촉하지 않는 부분과 최저온도부와의 온도차는 100℃ 정도의 편차가 있는데, 이는 기화기에서 연료가 직접 접촉하는 부분의 온도를 높이고자 할 때에 상당한 제약조건이 된다.

따라서, 기화기 포트 설계의 주안점은 기화기의 국부적인 과열 때문에 가열온도를 과다하게 올릴 수 없음을 감안하여 분사되는 연료유가 벽면의 좁은 부분에 집중되지 않도록 최대한 분산시켜 온도편차를 최소화 하는데 있다. 본 연구에서는 분무되는 위치에 열교환 핀 형태의 분산판을 설치하는 등 여러 가지의 시도를 하였으나, 유동이나 혼합을 고려하고 또 양산을 위한 제작성을 고려하여 최종적으로 사진 3과 같은 형태의 기화

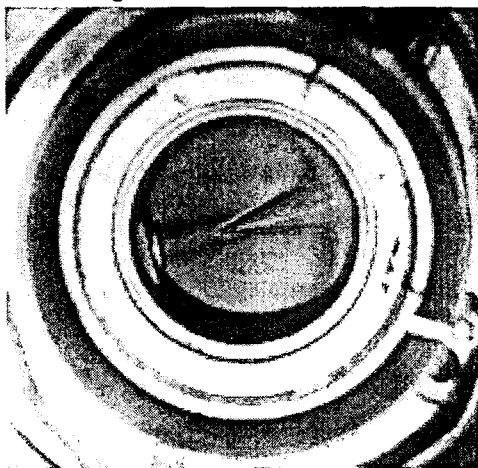


사진 3. 수정 기화기 포트

기 포트를 설계 제작하였다. 사진에서 보는 바와 같이 본 수정 설계된 기화기 포트는 공기노즐 및 연료분사용 니들을 중앙에 위치시키고 포트의 내부를 nose를 중심으로 분리하여 연료유가 nose부분에서 충돌하여 양쪽으로 유동하면서 증발되고 혼합되도록 하였다. 즉, 연료유가 집중적으로 충돌하는 부분을 최대한 적게하고 열이 전달되는 면적을



사진 4. 수정 기화기 포트 온도분포 (발열량 3,500kcal/hr)

확대한 것이다. 본 수정설계된 기화기에 대하여 역시 Thermo Vision으로 온도분포를 촬영한 결과가 사진 4이다. 이 사진에서 보면 Thermo Vision의 온도 span이 50℃로 연료가 직접 충돌하는 부분의 가장 온도가 낮은 부분과 증발된 연료증기가 접촉하지 않는 상부의 가장 온도가 높은 부분과의 온도 편차도 50℃ 이내임을 알 수 있다. 이 결과는 수정 설계된 기화기 포트의 온도 편차가 기존의 것보다 현저하게 개선되었음을 보여준다.

또한, 타르의 침착이 생기지 않도록 하기 위해서는 기화기 포트의 온도 분포뿐만 아니라 관리온도가 매우 중요한 인자이다. 기존의 기화기에서 침착되는 타르는 매우 점착성이 강해 제거가 거의 불가능한 정도이나 온도를 점차 높여가면 타르의 점착성이 없어지고 잘 부수어지는 형태로 되어 제거가 쉽게 된다. 근본적으로 기화기 포트의 재질이나 연소성능에 문제가 없는 한 높은 온도로 관리하는 것이 좋다. 본 수정된 기화기 포트는 온도 검출부인 바닥면에서 깊이 2mm부분을

280℃까지 상승시켜 제어하였는데 100시간 연속 운전의 결과 정상유에서는 타르의 침착이 전혀 나타나지 않았으며, 4개월간 노선에 방치한 변질유에서도 제거가 쉬운 형태로 아주 미미한 정도의 소량만이 발생하였다.

### 3. 공기 유로 설계

수정설계된 기화기 포트에서 온도분포를 촬영한 사진 4를 자세히 관찰해 보면 온도가 nose를 중심으로 양쪽으로 대칭이 되지 못하고 사진의 중앙 우측부분(실제로는 상부에서 볼 때 좌측부분)의 온도가 낮음을 알 수 있다. 이는 분무되는 연료량이 양쪽으로 같은 양이 분포되지 못함에 기인하는데 이를 확인하기 위하여 기화기 포트의 상부에서 직접 사진을 촬영한 결과가 사진 5이다. 이 사진에서 보면 노즐에서 분사되는 연료유의 액적이 기화기 포트의 좌측으로 많이 분포되고

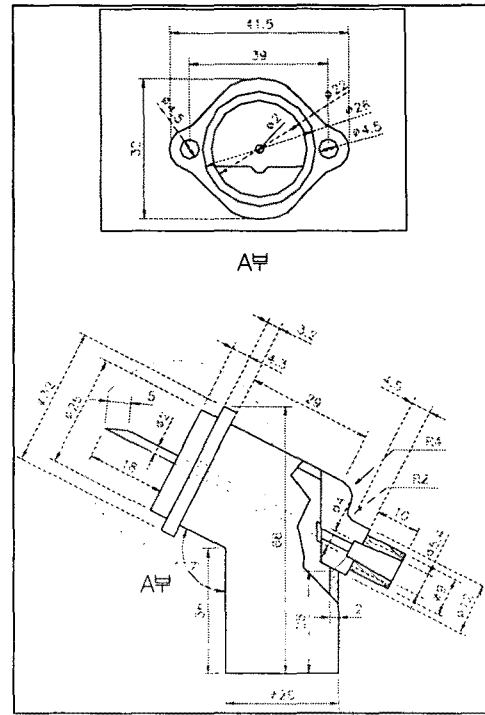


그림 2. 기존의 공기분사 노즐

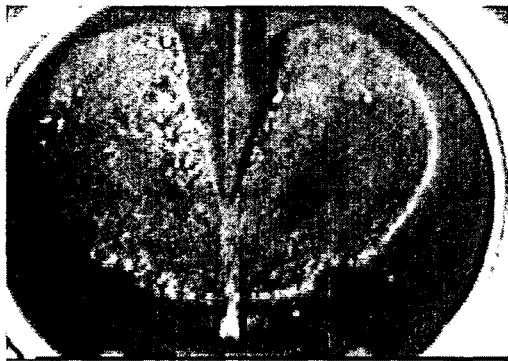


사진 5. 분사 연료유의 분포형태  
(발열량 6,500kcal/hr, 기존 공기노즐)

있음을 알 수 있다. 기화기 포트나 분사용니들, 공기노즐의 형상이 모두 좌우 대칭인데도 이런 현상이 생기는 것은 팬에서 공급되는 공기의 유동에서 그 원인을 찾을 수 밖에 없으므로 공기가 공급되는 유로에 대하여 여러 가지 수정을 가하여 실험하였다. 먼저 공급되는 공기자체에 선회가 걸려있는 경우를 감안하여 그림 2의 공기노즐의 입구와 연결되는 유로내에 flow straightner를 장착하여 분무 연료유의 분포를 관찰하였으나 비대칭성에는 거의 변화가 없었다. 즉, 팬 출구에

서부터 공기노즐의 전단까지의 유동에는 연료유 분포의 비대칭성이 전혀 영향을 받지 않았다. 따라서, 공기노즐 내부의 형상에 문제가 있는 것으로 보고 그림 2와 같은 공기노즐의 내부형태에서 돌출되어 있는 턱부분을 제거하여 그림 3과 같이 수정하였다. 이 수정된 노즐을 가지고 연료유를 분사시켜 촬영한 결과가 바로 사진 6이다. 이 사진을 보면 nose를 중심으로 좌우 대칭적으로 잘 분하여 거의 바닥에 뭉치는 액적이 나타나지 않음을 알 수 있다. 6,500kcal/hr이 최대 발열량이므로 이 이하로 연료 유량을 감소시키면 바닥에 분포하는 액적은 전혀 발생하지 않았다.

다시 이 수정된 공기노즐을 장착하여 연료유를 분사하면서 Thermo Vision으로 온도분포를 촬영한 결과가 사진 7이다. 이 사진에서 역시 nose를 중심으로 양쪽으로 온도분포가 대칭적으로 형성되고 있음을 알 수 있으며 사진 4에서 보다 온도가 낮은부분의 면적이 현저히 줄어들었음을 알 수 있다. 따

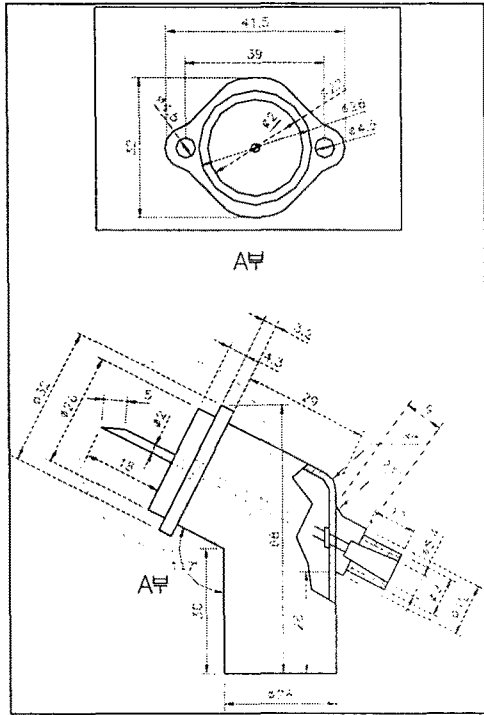


그림 3. 수정된 공기분사 노즐

라서, 공기 유로의 설계시에는 팬에서부터 분사노즐에 이르기까지 철저하게 유동을 교란시키는 요인이 발생하지 않도록 설계하여

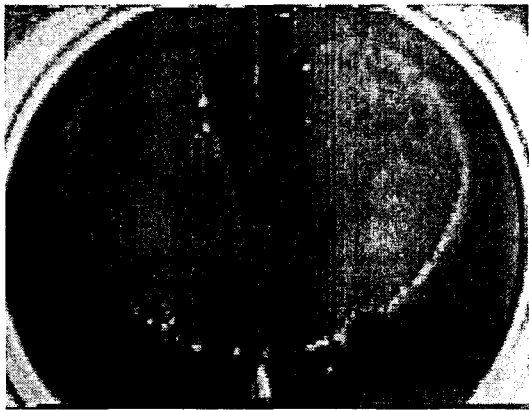


사진 6. 분사 연료유의 분포형태  
(발열량 6,500kcal/hr, 수정 공기노즐)

야 한다.

#### 4. 혼합기 유로 설계

기화기 포트에서 증발한 연료증기는 공기와 혼합되어 가열되면서 기화기 포트의 상부에 장착된 포트 캡을 통해 버너의 상부로 유

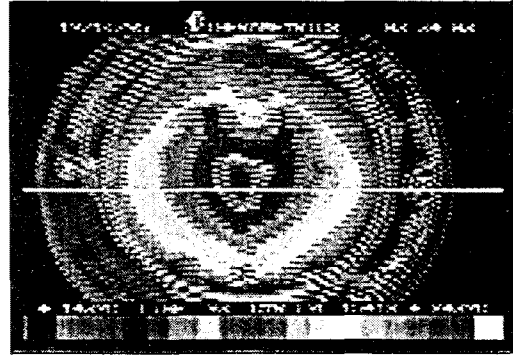


사진 7. 수정된 공기노즐을 장착한  
기화기의 온도분포 (6,500kcal/hr)

동하며 버너 헤드의 내부를 따라 측면 원주상으로 분포되어 있는 염공으로 분출되게 된다. 버너 헤드의 염공에서 균일한 분포가 이루어져야 점화 스파크에 의해 양호한 점화가 이루어지고 착화시의 미연분의 발생도 감소하게 되며, 화염도 안정되게 되므로 포트 캡 출구에서 혼합기의 분출은 매우 중요하다. 포트 캡에서 분출되는 혼합기가 출구에서 균일하면 버너 헤드 부분에서는 교란될 수 있는 부분이 없으므로 본 연구에서는 포트 캡의 출구부에서 유출되는 혼합기의 유동 형태를 전산 시뮬레이션 및 가시화 실험을 통해 분석하여 최적의 포트 캡 형상을 설계하였다. 먼저 그림 1에서 보는 바와 같은 기존의 포트 캡에 대하여 공기를 분사하여 기화기 내부 중앙단면 및 포트 캡 출구에서의 유동을 FLUENT code를 이용하여 시뮬레이션한 결과가 그림 4이다. 이 결과에서 보면 공기

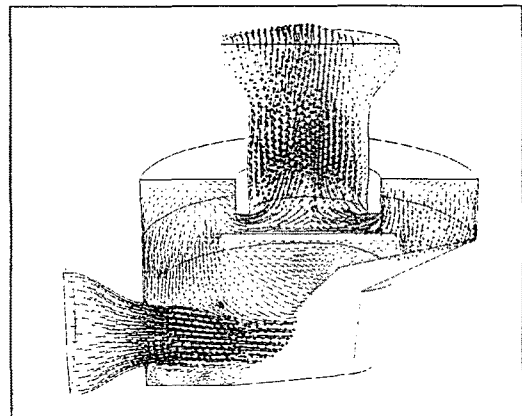


그림 4. 기존 포트 캡 출구의 속도분포

분사용 노즐에서 분사된 공기는 노즐 반대쪽의 포트 캡 하부의 턱 부분에서 재순환 영역을 형성하고, 포트 캡 내에서 보면 공기분사 노즐쪽으로 많은 양이 편중 유동하여 출구부에서 균일한 분포가 되지 않고 있음을 알 수 있다. 공기 유량을 바꾸어도 정도의 차이일 뿐 이런 양상은 그대로 유지된다. 이 결과는 PIV(Particle Image Velocimetry)로 가시화한 결과인 사진 8에서도 역시 동일한 양상을 알 수 있다. 시뮬레이션의 결과와 마찬가지로 버너 캡의 출구에서 노즐의 반대쪽에서는 가시화를 위한 산화마그네슘의 입자가 보이지 않고 있다. 이는 팬의 회전수를 조정하여 공기 유량을 바꾸어도 거의 같은 양상을 보인다. 이와 같은 출구에서의 불균일은 버너 헤드의 염공에서의 불균일을 야기하며 혼합기 중의 연료 함유농도도 다르게 되어 당량비 차이로 인해 각 염공에서의 화염의 균일도를 해치게 되며 부하가 변할 때에는 lean한 쪽이 먼저 부상하게 되는 등 악영향이 나타나게 된다.



사진 8. 기존 포트 캡 출구 유동

따라서, 버너 캡 출구에서의 유동을 균일하게 하기 위해서 포트 캡의 형상을 변화시켜 시뮬레이션하였다. 다음의 그림 5는 버너 캡의 중간 부분을 좁게 만든 형상에서의 결과인데 유동이 약간 개선되기는 하였으나 아

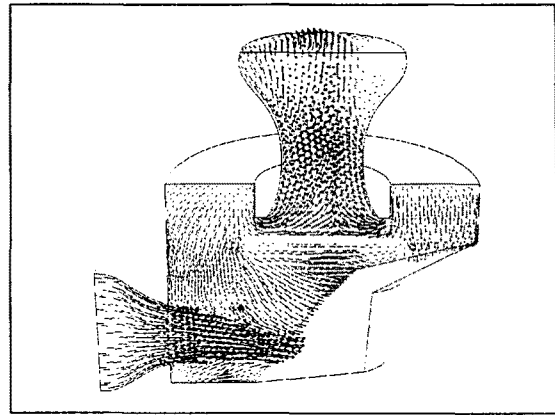


그림 5. 수정 포트 캡 출구 유동(1)

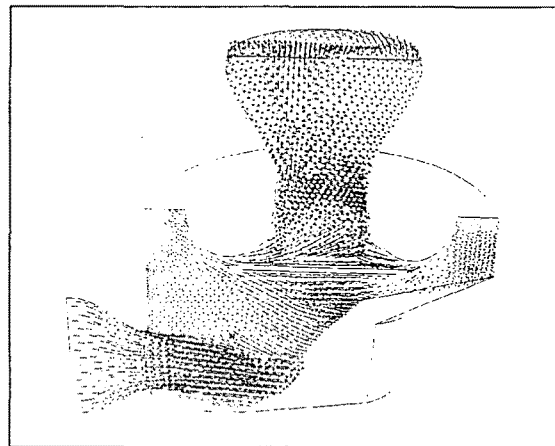


그림 6. 수정 포트 캡 출구 유동(2)

직까지 노즐 쪽으로 편중된 분포를 보이고 있다. 이 결과를 참고로 하여 그림 6과 같이 포트 캡의 하부 유입구 부분을 유선 형태로 수정하여 재순환 영역을 제거하도록 하였다. 이 결과에서 보는 바와 같이 포트 캡의 출구부에서 상당히 균일한 분포를 보임을 알 수 있다. 이 시뮬레이션 결과를 바탕으로 그림 7과 같은 포트 캡을 설계하였다. 이 포트 캡을 제작하여 장착하여 PIV로 유동을 가시화한 결과가 사진 9이다. 이 사진에서 보는 바와 같이 수정 전과 달리 포트 캡의 출구부에서 상당히 균일하게 유동이 분포됨을 알 수 있다. 즉, 공기의 유로와 마찬가지로 혼합기 유로에서도 특별히 난류의 형성이 필요하지 않은 한 유선을 잘 추종할 수 있는 형태로 유로를 설계하는 것이 필요하다.

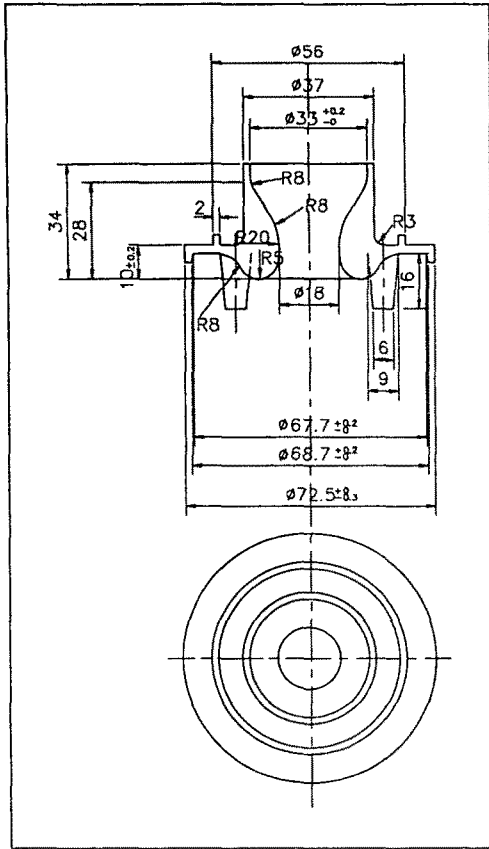
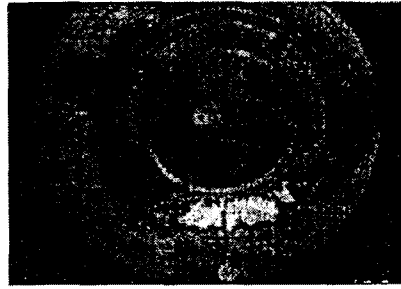
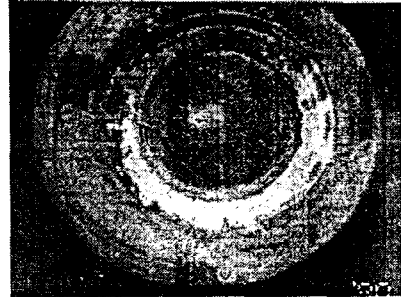


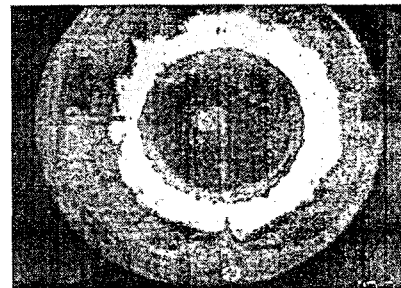
그림 7. 수정된 포트 캡



1



2



3

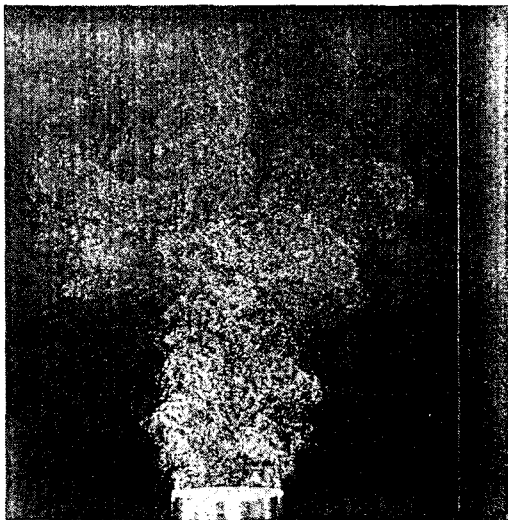


사진 9. 수정 포트 캡 출구 유동

사진 10. 기존 버너에서의 화염전파

방향으로 전파되어 가는 형태를 영상증폭기능이 있고 100nsec의 셔트타임을 갖는 단화상 카메라로 포착한 결과를 pseudo color를 입혀 나타낸 사진 10을 보면 ignitor를 중심으로 전파되어 가는 화염이 좌우로 대칭이 되지 않음을 알 수 있다. 이 비대칭은 어느 한 쪽으로 일정하게 일어나는 것이 아니고 좌우로 전파되는 것이 불규칙적으로 반복되었는데, 정밀한 촬영을 계속하여 이 원인을 분석한 결과, 기존의 버너에서는 버너의 염공 주위를 감싸도록 장착된 버너 링이 사진 11에서 보는 바와 같이 점화 스파크의 위치에서 바깥쪽으로 넓혀진 홈이 있다. 즉, 착화시에 이 홈에 모여진 혼합기가 스파크에 의

## 5. 버너 연소부의 설계

### 5-1. 착화 및 화염의 전파

먼저 ignitor에서 화염핵이 형성되어 원주

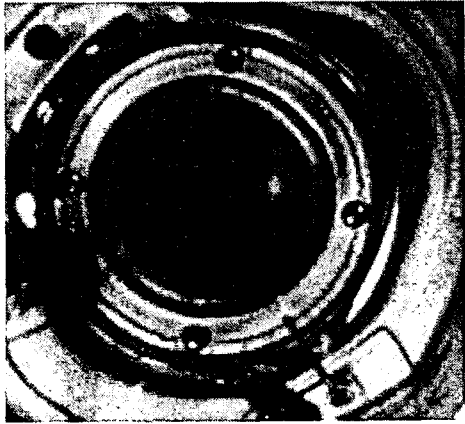
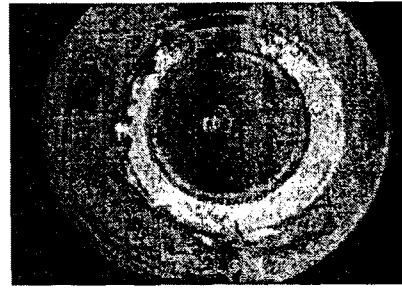


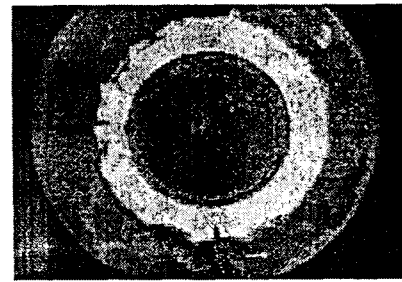
사진 11. 기존버너에서의 화염핵 형성

해 원활하게 화염핵을 형성하도록 하기 위해 설치된 것이나, 실제로 이 홈과 ignitor의 사이에서 화염핵이 형성될 때 ignitor의 좌우에서 불규칙적으로 형성되어 한 쪽으로 먼저 전파되어 감을 알 수 있었다. 또한, 화염감지를 위한 flame rod도 초기에는 냉각된 상태로 있으므로 화염의 전파를 지연시키는 것으로 나타났다. 결과적으로 화염의 전파는 좌우 대칭적으로 되는 것이 가장 짧은 시간에 착화되는 것이 되므로 버너 링의 홈을 제거하고 완전히 원형으로 제작하여 장착 실험해 보았다. 그 결과가 사진 12이다. 여기서는 착화된 화염이 양방향으로 대칭적으로 전파됨을 확인할 수 있다. 화염의 전파시간은 30~40 msec의 범위에 있었다.

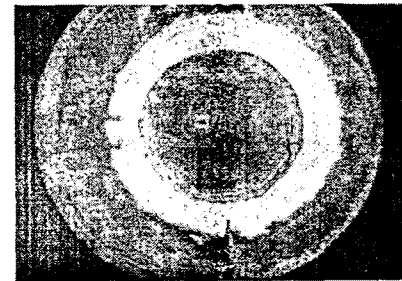
다음은 착화조건을 설정하기 위하여 착화시에 발생하는 최초 전파 화염을 역시 영상 증폭 기능이 있는 High Speed Video (KODAK EKTAPRO model 1012)를 이용하여 촬영한 결과를 분석하였다. 이 초기의 화염은 착화 직후에 형성되는 청염보다 훨씬 밝은 것으로 미루어 미연분이 많은 화염인 것으로 추정되는 바, 이 초기 화염의 크기를 작게 하는 것이 초기 미연분의 발생을 감소시킬 수 있는 한 방법일 것이다. 사진 13은 기존의 버너에서 발열량 4,500 kcal/hr의 연료유량에 대하여 팬의 회전수를 각각 1,315 rpm(공기비 0.8), 1,113 rpm(공기비 0.65)의 조건으로 착화할 때 버너 헤드의 원주 방향



1



2

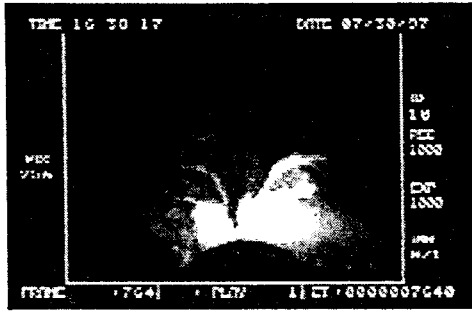


3

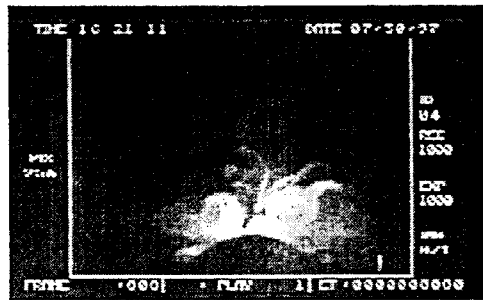
사진 12. 수정 버너에서의 화염전파

으로 화염이 전파되는 마지막 순간에 초기 화염이 상부로 확산되어 가는 모습을 측면에서 촬영한 것이다. 여기서 보면 같은 연료유량에서도 공기량이 많으면 초기 화염이 상부로 많이 확산됨을 알 수 있다. 이러한 현상은 수정된 버너에서도 같은 경향을 보였다. 즉, 정상 화염이 형성되기 전에 초기 유출된 혼합기에 점화 스파크에 의해 착화된 화염은 미연분을 많이 함유한 채 상승하여 불쾌한 냄새를 유발하게 되므로 이 확산의 정도를 적게 하기 위해서는 실험에서와 같이 낮은 공기비, 즉, 팬 회전수를 적게 하여 착화하는 것이 유리한 것으로 생각할 수 있다. 그러나, 낮은 공기비는 또한 많은 미연분을 발생시킬 수 있으므로 무조건 낮은 공기비의 착화 조건을 설정하기에는 문제 발생의 소지





가) 1,315 rpm (공기비 0.8, 29ms 후)



나) 1,113 rpm (공기비 0.65, 34ms 후)

사진 13. 화염전파 형태 (gain=70)  
(기존버너, 정면, 4,500kcal/hr)

가 있다. 본 실험에서 연료유량을 아주 적게 하여 2,000 kcal/hr로 하여 팬의 회전수를 900 rpm으로 하여 착화, 화염 전파가 끝나는 순간을 촬영한 것이 사진 14인데, 현저하게 초기 화염의 발생이 적음을 알 수 있다. 그러나, 이런 착화 조건에서는 착화 실패의 확률이 높으므로 오히려 더 큰 문제를 발생시킬 소지가 있다. 결론적으로 착화의 조건은 버너의 성능을 최대한 낮은 연료 유량에서

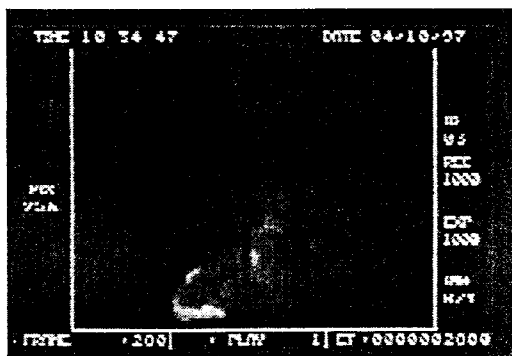


사진 14. 저유량에서의 착화  
(2000kcal/hr, 900 rpm)

점화 실패 없이 착화되도록 해 놓고 초기 화염의 크기가 최소화될 수 있도록 착화 조건을 결정하는 것이 올바른 방향이다. 본 연구에서 수정 설계된 버너에서 기존의 버너보다 약 1,000 kcal정도 낮은 발열량으로도 원활하게 착화되는 것으로 보아 상당히 착화 조건의 결정에서도 개선된 결과를 보였으나 이와 관련하여서는 보다 지속적인 연구가 필요한 것으로 사료된다.

### 5-2 정상화염의 분포

점화 스파크에 의해 화염의 핵이 형성되어 전파되면서 초기 유출 혼합기에 의한 화염이 확산되고 난 후에 청염 상태의 정상화염이 형성되는데, 실제 육안으로 관찰하면 버너 헤드의 엄공 주위로 화염의 균일성을 판별하기가 곤란하다. 이런 경우에 특정 파장만을 통과시키는 radical filter를 사용하여 ICCD (Intensified CCD) 카메라로 촬영하면 그 균일도를 보다 명확하게 판별할 수가 있다. 본 고에서는 정상상태의 화염에서 CH radical을 촬영하여 분석한 결과만을 게재하였다. 여기에 사용된 filter는 CH radical용으로 투과파장 430.6 nm, 밴드폭 1.6 nm이다. 실험은 수정된 기화기 포트에 대하여 기존의 공기 노즐 및 포트 캡을 장착한 버너와 공기 노즐 및 포트 캡까지 수정한 버너에 대해서 행하였다. 사진 15가 전자에 대하여 발열량 6,500 kcal/hr, 팬 회전수 2,180 rpm (공기비 1.0)으로 형성된 화염을 포착한 것이다. 물론

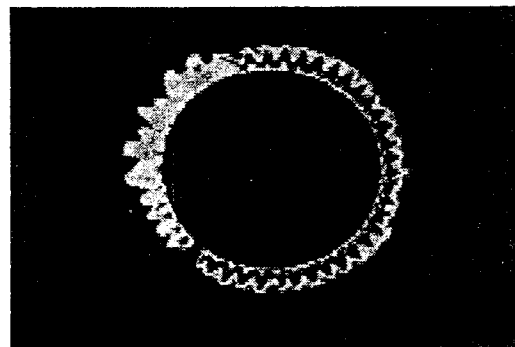


사진 15. 정상연소중의 CH radical 분포  
(기존버너, 6,500kcal/hr, 공기비 1.0)

이 사진은 430.6 nm대의 파장이 열방사(thermal radiation)대와 겹치므로 순수하게 CH radical 만이 촬영된 것으로 볼 수는 없으나 monochrometer로 분석하여 보면 이 부분에서 피크가 나타나므로 filter를 통한 영상은 CH radical의 영상과 같이 취급하는 것이 가능하다. 이 사진에서焰공 가까이 노란 부분이 CH의 농도가 높은 부분이며 외부로 갈수록 농도가 낮게 나타나고 있다. 이 결과를 보면 완전히 수정되지 않은 버너의 화염은 헤드의 주위로 균일하지 못하고 일부에서 부상하고 있음을 알 수 있다. 이 사진의 6시 방향이 ignitor, 12시 방향이 노즐의 위치인 바 부상 화염의 위치가 노즐 쪽의 9시에서 11시 방향에서 나타나고 있다. 이는 기존의 공기 노즐 및 포트 캡을 사용하였을 경우 노즐 쪽의 유속이 빠르고, 노즐위치에서 불 때 오른 쪽이 연료의 분포량이 적어 lean한 영역이 먼저 부상하고 있음을 알 수 있다. 즉, 이러한 화염의 불균일은 당량비 변화의 폭을 좁혀 결과적으로 버너에서 연소가 가능한 발열량 범위를 축소시키는 결과를 초래하는 것이다.

다음의 사진 16이 완전히 수정된 버너에서의 촬영 결과이다. 결과는 완전한 균일 분포는 아니지만 기존의 버너에 비해 상당히 개선되었음을 보여준다. 본 고에서 게재되지는 않았지만 공기비 0.9 이하의 낮은 공기비에서는 거의 완전한 균일 분포를 보여주었

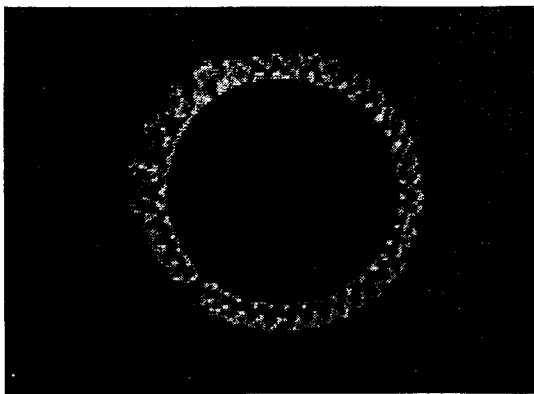


사진 16. 정상연소중의 CH radical 분포 (수정버너, 6,500kcal/hr, 공기비 1.0)

다. 또한 본 버너의 용량 범위 이상인 7,000 kcal/hr의 연소에서도 안정된 화염이 형성되었다. 다소 불완전한 부분은 공기 및 혼합기 유로의 세밀한 수정을 통하여 이루어질 수 있을 것이다.

결과적으로 버너의 각 부분에서 유동의 분석을 통하여 상당히 개선된 설계가 가능하다는 것을 알 수 있다. 참고로 점화 및 정상 화염상태에서 발생하는 CO를 버너 상단부 25 지점에서 측정하였는데, 기존의 버너에서 CO의 피크치에 대한 평균이 평균 약 35 ppm, 수정된 버너에서 28.6 ppm으로 6.5 ppm정도 감소하였는데, 이는 착화순간의 30 msec정도에서 발생한 것이며 화염전파가 끝나고 나면 두 버너 모두 CO는 검출되지 않았다. 또한 수정된 버너에서 점화시의 불쾌한 냄새는 거의 인지할 수 없었다.

## 6. 결 론

기화식 석유버너에서 연료유의 기화기구 및 공기와 혼합기의 유동, 점화 및 화염전파 기구를 실험과 전산 시뮬레이션을 통하여 분석하고 이 결과를 바탕으로 각 부분을 수정 설계, 제작하여 적용한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 기화기의 구조는 타르가 침착되지 않도록 연료유가 좁은 영역에 집중적으로 충돌하지 않게 분산시킬 수 있는 구조로 설계하여 온도 편차가 커지지 않도록 해야 하며, 따라서, 포트의 전체적인 관리온도를 높게 유지할 수 있도록 하여야 한다.
- 2) 공기의 공급 유로는 특별히 난류의 형성이 필요하지 않는 한 관로의 단면에서 균일 분포하도록 하며 재순환 영역이나 교란이 없도록 설계하여 공기량이나 분사 연료유의 편중 분포가 되지 않도록 하여야 한다.
- 3) 혼합기의 유로가 되는 포트 캡 역시 재순환 영역이 발생하지 않도록 유선을 따를 수 있는 형태로 설계하여 포트 캡의 출구 단면에서 균일하게 분출할 수 있도록 하여야 한다.

4) 버너 헤드의 염공 주위를 둘러싸는 링에서 점화 스파크에 의해 형성된 화염핵이 화염의 전파 방향에 영향을 미치지 않도록 교란 원인을 제거하여 설계하여야 한다. 또한 착화 조건도 점화 실패가 없는 가장 낮은 발열량에서 설정하여 미연분의 확산을 최소화하여야 한다.

이상과 같이 수정한 버너의 화염 분포는 각 염공에서 거의 균일한 상태를 보여 주었으며 안정 연소 범위를 확장할 수 있음을 확인하였다. 이와 같은 방식으로 개발단계에서 보다 우수한 성능의 버너를 설계할 수 있을 것이다.

#### 참고문헌

1. LG전자(주)리빙시스템연구소, HRF-060T 기화식 석유버너 설계매뉴얼, 1996
2. 李載淳, 燃燒工學, 보성문화사, 1992.
3. 齊藤茂夫, 燃料, 燃燒器具 概論, 共立出版株式會社, 1988
4. 省エネルギー-センタ, 油燃燒の理論と實際, 1992.
5. Alan Williams, Combustion of Liquid Fuel Sprays, Butterworth, 1990.
6. A.K. Gupta, D.G. Lilley, N. Syred, Swirl Flows, Abacus Press, 1984.
7. 日本 液體の微粒化に関する講演會, 講演論文集.
8. Grant R. Fowles, Introduction to Modern Optics, Holt, Rinehart & Winston, 1975
9. 이우진, 층류화염에서의 중간생성물( $C_2, CH, OH$ )측정, KAIST 석사학위논문, 1994