

## 디젤을 이용한 차량용 히터의 연소특성

이상석\* · 이진석\*\* · 이도형\*\*\* · 석경호\*\*\*

### Combustion characteristics of the heater for the vehicle

Sangseok Lee\*, Jinseok Lee\*\*, Dohyung Lee\*\*\* and Kyungho Suk\*\*\*

**Keywords :** Diesel(디젤), Wick Combustion(등심연소), Numerical analysis(수치해석)

#### Abstract

Most heater being used in vehicles has been used to a cabin heating by being supplied from a heat loss of the engine coolant for heat source efficiency. Recently, the heat loss is reduced by high efficiency in the engine. It becomes to require the combustion heater that directly burns the heater used in vehicles to provide heat source of the heater. The purpose of this study is to research a burner which will applicate combustion heater by the numerical analysis. There are the 5 different types of burners, which is designed by differently each design of the swirler. N-DODECANE by used the burner fuel is performed by numerical analysis in every 5 burner. The burner's efficiency testing is evaluated on the basis of the Exhaust gas temperature.

#### 1. 서론

현재 자동차의 실내 난방은 엔진의 냉각수로 버려지는 엔진의 폐열을 이용하여 외부의 차가운 공기를 데워 실내로 유입시키거나 실내의 차가운 공기를 재순환 시킨 후 가열하여 다시 실내로 공급하는 형태이다. 하지만 최근 엔진의 효율이 높아짐에 따라 냉각수로 버려지는 폐열이 지연되었으며, 이에 따라 실내 난방을 위한 에너지의 공급이 지연되게 되었다. 이는 겨울철 승객의 쾌적성을 떨어뜨리는 주원인이 된다. 이러한 단점을 없애고자 대체 열원이 필요하게 되었다. 현재 난방을 하기 위한 열원은 크게 엔진 폐열을 이용하는 방법, 연료를 연소시킨 후 연소열을 이용하는 방법과 전기적인 가열장치를 이용하는 방법이 있을 수 있다. 하지만 첫 번째 방법은 앞에서 언급했듯 엔진 효율의 상승으로 인하여 폐열이 줄어들었고, 세 번째의 경우는 현재 승용차의 경우 12V, 상용차의 경우 24V인데 이러한 저전압으로 히터를 작동시키기에는 어려움이 있다. 이러한 이유로 두 번째 방법인 연료를 직접 연소시켜 배기가스의 열을 열원으로 사용하는 방법이 대안으로 제시되고 있다. 이것은 차량의 연료와 같은 종류의 연료를 사용함으로써 연료의 공급에 문제가 없으며, 차량의 시동유무에 관계없이 승객이 원할 때에는 언제든지 Heater를 작동시켜 실내 난방에 사용할 수 있는 장점이 있다.

본 연구에서는 이 Heater에 사용될 Burner의 연소 수치해석을 통하여 Burner의 성능 평가를 하는데 중점을 두고 본 연구를 수행하게 되었다.

#### 2. 수치해석

##### 2.1 해석 모델

Fig.1은 본 해석에 사용된 Burner의 형상을 보여주고 있으며, Fig.2에서는 Burner의 각 부분을 정의하고 있다. 본 연구에 사용된 Burner의 연소형태는 등심연소이다. 액상의 연료가 Swirler 하단의 Glue Plug로 가열된 Metal Fiber에 공급되면 가열된 등심에 의하여 기화된 후 Swirler에 공급되게 된다. 이후 연료는 적절한 공기와의 혼합으로 자가 착화하여 연소가 시작되게 된다. 하지만 본 연구에서는 연료가 Metal fiber에 공급되어 기화하는 과정은 생략하고 기화된 연료가 Swirler에 공급된다고 가정하였다. 이는 액상의 연료가 기상의 연료로 상이 변화하는 과정이 일어나는 위치를 정의하기 모호하고, 해석 과정을 간략화 하기 위함이다. 또한 실제 화염이 형성되는 위치가 등심의 표면이 아닌 등심으로부터 약 5mm 떨어진 위치에서 생성되는 것을 실험을 통하여 알 수 있었기 때문에 연료의 기화 과정은 생략하여도 커다란 문제가 되지 않을 것으로 판단하였다. 전체 해석을 위한 Model은 5가지이며, 이들의 형상은 Fig.3에 나타내고 있다.

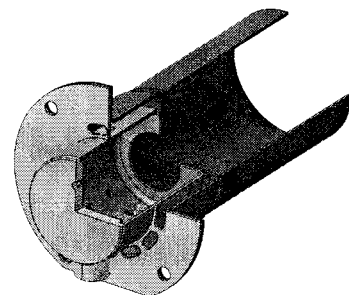


Fig. 1 Burner

\* 부경대학교 대학원, senna79@nate.com  
\*\* 부경대학교 대학원, jinseok.lee@cdak.co.kr  
\*\*\* 부경대학교 기계공학부, leedh@pknu.ac.kr  
\*\*\* (주)동환산업 연구소, khsuk@donghwan.co.kr

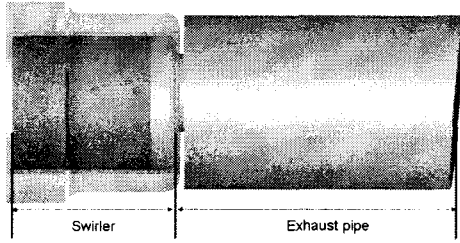


Fig. 2 Define of burner

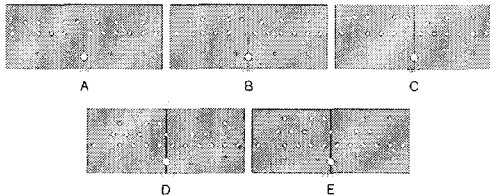


Fig. 3 Swirler models

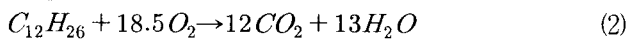
## 2.2 지배방정식

연소 수치해석을 위하여 지배방정식은 연속 방정식 및 N-S 방정식, 난류 에너지 수송 방정식, 난류 운동에너지 소산을 방정식이 사용 되었으며, 난류 모델로는 k-ε 모델을 사용하였다. 연소 모델은 Magnussen 등이 제안한 EBU Model(1)을 사용하였으며, 이번 해석에서는 상용 열유체 프로그램인 STAR-CD V3.26<sup>[5]</sup>을 사용하였다.

$$R_f = -\frac{\rho \epsilon}{k} A_{ebu} \min \left[ Y_F, \frac{Y_O}{s_O}, B_{ebu} \frac{Y_P}{s_P} \right] \quad (1)$$

## 2.3 격자 생성 및 경계조건

Fig.4는 수치해석을 하기위한 Burner의 격자 형상이다. 격자는 STAR-CD 전용 격자 생성틀인 Pro-AM을 사용하여 생성하였으며, Burner의 격자수는 약 25만개이며, 수치해석을 위한 Dummy 격자를 포함한 전체 격자수는 약 32만개이다. Fig.5는 Burner의 경계조건이며 각 경계조건은 Table.1에 나타내었다. 공기는 상온의 공기로 가정하였으며, 질소와 산소의 비는 0.79:0.21이라고 가정하였다. 연료는 Diesel과 특성이 유사하다고 알려져 있는 N-DODECANE을 사용하였으며, 화학반응식은 (2)와 같다.



Fuel Inlet에서의 온도는 해석모델의 형상적인 특성으로 인하여 측정을 하지 못하였지만 등심 가열에 사용되는 Glue Plug의 최대 발열 온도가 1476K인 것으로 확인이 되었다. 하지만 본 수치해석에서 가정한 479K은 연료로 사용한 N-DODECANE의 Boiling Temperature이다. 이는 본 해석을 실시하기 전 Test 해석에서 Fuel의 온도를 Glue Plug의 최대 발열 온도인 1473K과 임이의 온도인 1273K, 873K 및 Boiling Temperature인 479K의 비교 해석에서 Fuel의 온도는 해석 자체에 커다란 영향을 미치지 않는 것으로 판단이 되었다. 하지만 연료의 온도가 아닌 연료의 점화 영역이 해석에 커다란 영향을 미친다는 사실을 알게 되었으며, 특히 Temperature의 결과에 있어서 많은 영향을 미치는 것을 알 수가 있었다. 점화 영역을 Swirler에 배치된 구멍의 위치에 따라 영역을 조정하였으며 5가지 모델 중 실험을 실시한 모

델과의 결과 비교를 통하여 적절한 점화 영역을 선택하였다.

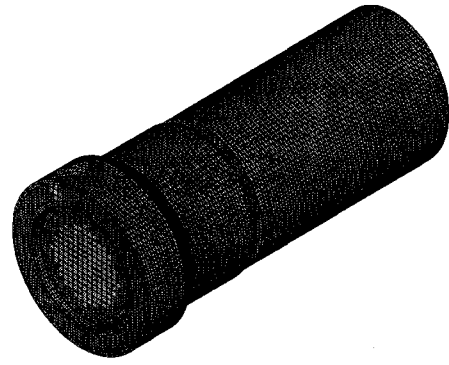


Fig. 4 Mesh model of Burner

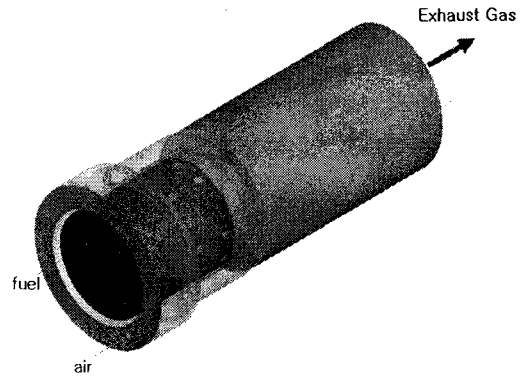


Fig. 5 Boundary condition of Burner

Air	9.3m <sup>3</sup> /h	293K
Fuel	0.3ℓ/h (L)	479K
Exhaust Gas	Pressure	Grad zero

Table. 1 Boundary Condition

## 3 결과 및 고찰

본 해석에서는 Burner의 성능평가는 배기가스 온도를 기준으로 하였다. 이는 배기가스가 열교환기를 직접적으로 가열하기 때문이다. 온도 측정은 배기가스 토출구 면에서 측정하였으며, 평균온도를 구하여 Burner의 성능을 평가하였다. Fig.6에서 버너 토출구의 온도 분포(900K~1200K)를 보여주고 있다.

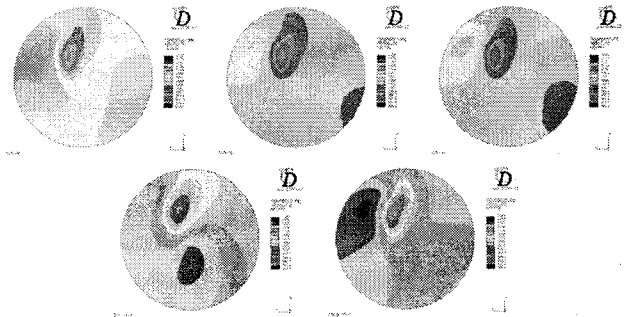


Fig. 6 Temp distribution of Exhaust gas

Burner type	Average Temp of Exhaust Gas
Model A	804
Model B	768
Model C	769
Model D	847
Model E	856

Table. 2 Average Temp of Exhaust Gas(°C)

Table 2는 Fig.6에서의 평균 온도이다. Model E가 가장 높은 온도이다. Fig.7과 Fig.8에서는 YZ-plane과 XZ-plane Section에서의 온도 분포를 보여주고 있다. 유동은 각 Model에서 유사한 경향을 보여주고 있다. Swirler주위의 구멍에서 공급된 공기중 일부는 등심 표면으로 향하는 유동을 만들고 있다. 이 유동이 등심 표면에 충돌 후 Swirler의 벽면쪽으로 이동하고 있으며 이 과정에서 등심에서 공급되고 있는 연료를 Swirler의 중심부가 아닌 벽면쪽으로 밀어내는 주요인이 되고 있다. 이런 이유로 Fig.7과 Fig.8에서와 같은 연료의 농도 분포를 보여주고 있다. 농도 분포에 따른 화학 반응후의 연소열의 분포 역시 이러한 이유로 인하여 Fig.7과 Fig.8에서의 온도 분포를 보여주고 있다. 배기파이프에서 유동이 치우치는 현상은 배기가스의 온도의 파이프내에서의 불평형으로 인하여 발생하는 것으로 생각되며 이와 함께 배기파이프의 끝단 형상 역시 유동의 치우침에 영향을 주는 것으로 생각된다.

Swirler 내에서의 최대 온도는 각 Model에서 약 2000K 이며 화염의 생성은 실험에서의 5mm보다는 약간 낮은 부분에서 형성되기 시작한다. 이와 함께 화염 역시 Swirler의 벽면을 따라 형성되는 것으로 보여진다. 이는 앞에서 언급했던 연료의 확산이 벽면을 따라 이루어지기 때문인 것으로 생각되며, 이는 실험에서 확인 된 것과 유사하다.

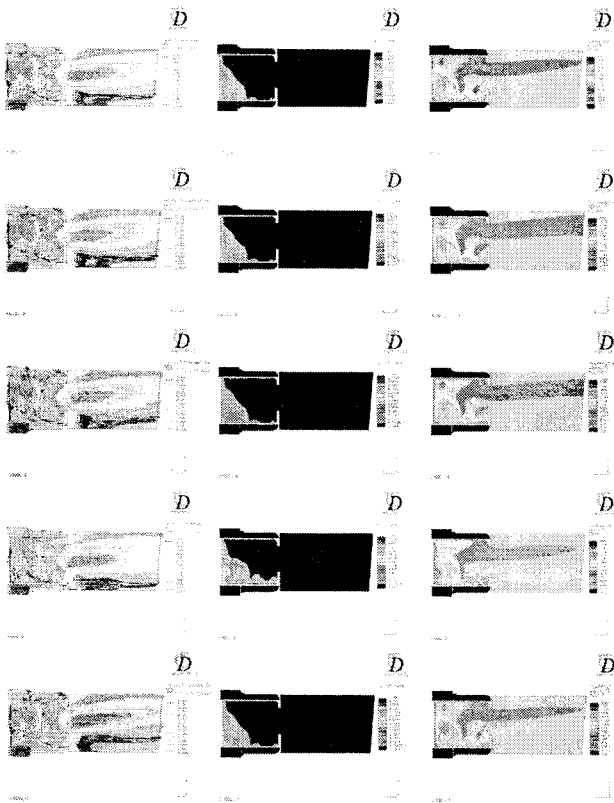


Fig. 7 Velocity, Fuel, Temp distribution of YZ-plane

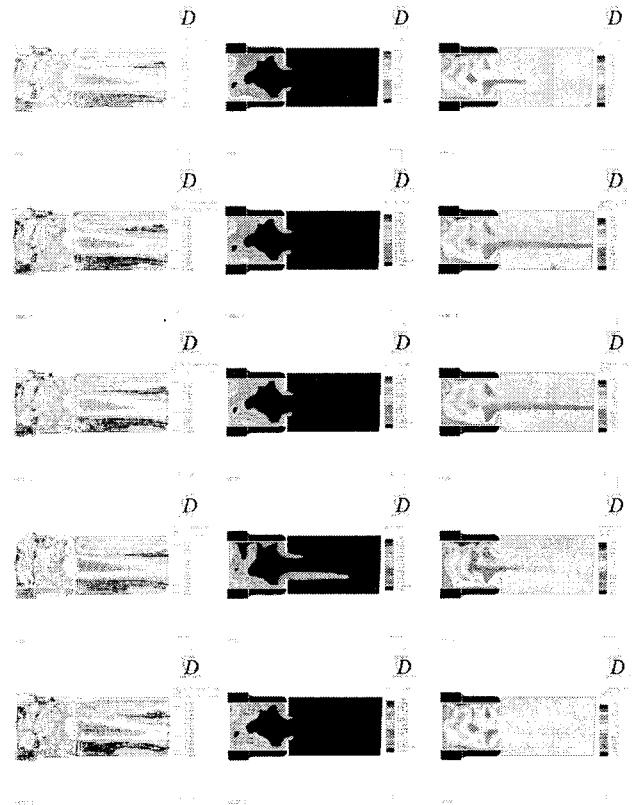


Fig. 8 Velocity, Fuel, Temp distribution of XZ-plane

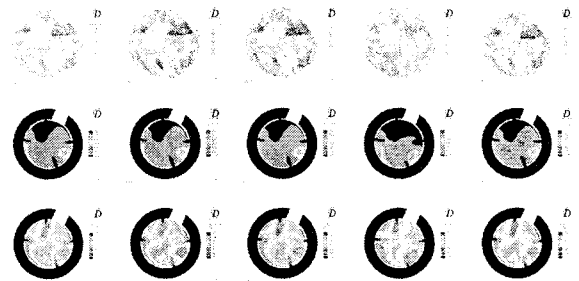


Fig. 9 Vorticity, Fuel, Temp distribution of section A

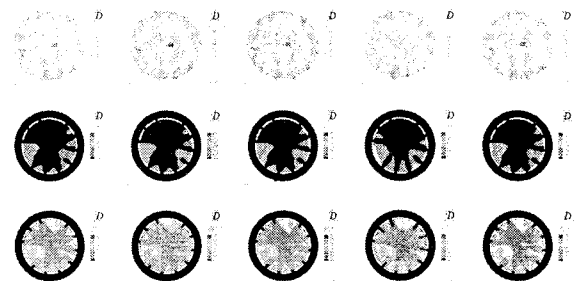


Fig. 10 Vorticity, Fuel, Temp distribution of section B

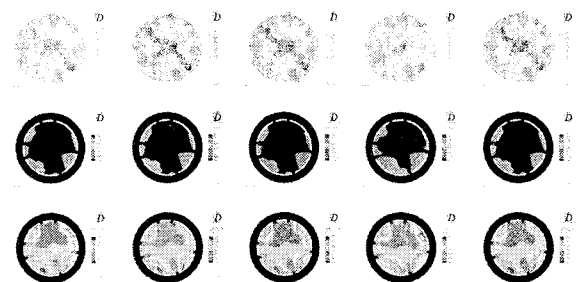


Fig. 11 Vorticity, Fuel, Temp distribution of section C

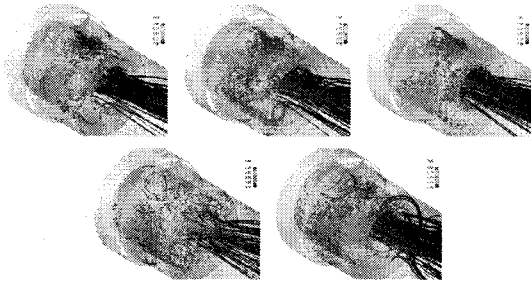


Fig. 12 Streamline of each model

Fig.9~Fig.11은 Swirler의 단면을 보여주고 있다. 각 단면의 위치는 Swirler 주위에 배열된 구멍의 각 열별 중심에서의 단면이다. 앞서 언급했듯 연료의 확산은 벽면을 따라 확산되는 것으로 확인이 되었으며 구멍이 있는 위치에서 Vorticity가 높게 나타나고 있다. 하지만 온도가 높은 부분은 상대적으로 Vorticity가 낮은 벽면 부근이며 특히 Fig.10의 경우는 각 구멍의 사이에서 높은 온도를 보여주고 있다. Fig.12에서 연료의 확산을 Streamline을 통해서 볼 수 있다. 연료가 벽면을 따라 이동하는 것을 확인할 수 있다.

#### 4. 결론

본 연구의 연소 형태는 등심연소이다. 하지만 Simple한 수치 해석을 위하여 기화된 연료가 직접적으로 공급된다고 가정한 후 수치해석에 임하였다. 본 해석에 사용된 기화된 연료의 공급은 실제 현상인 등심에서의 상변화를 거친 연료의 공급과 차이가 있으나 본 해석에 사용된 Burner의 성능을 평가함에 있어 납득할만한 방법이라고 생각되어진다.

화염이 벽면에 생성되는 주요한 요인은 Swirler의 하단의 공기 공급 구멍 4개와 함께 상단에서 발생한 유동 중 등심쪽으로 향하는 유동으로 인하여 상대적으로 유동이 없는 벽면쪽으로 모인 것으로 때문인 것으로 생각된다. 이는 연료의 밀도가 공기에 비해 높기 때문에 Swirler 중심부의 유동에 합류하지 못했기 때문인 것으로 생각된다.

Burner의 성능은 전체적으로는 Model A~C의 Swirler 주위의 구멍이 2열로 배치된 Model 보다는 Model D, E에서의 3열로 배치된 Model이 좋은 것으로 나타난다. 이는 각 구멍에서 Swirler로 공급되는 공기의 유속이 2열보다는 3열에서 낮은 유속을 보여주고 있으며,  $Q=AV$ 라는 기본적인 유량산출 공식에 있어서 당연한 결과이다. 이러한 유속의 차이는 각 MODEL의 Vorticity에 영향을 준다.

Vorticity의 경우 높은 Vorticity 영역이 낮은 Vorticity영역에서 보다는 연료와 공기의 혼합에 있어서 좋지않은 것으로 판단이 된다. 특히 Fig.9~Fig.11에서의 Vorticity, 연료 그리고 온도의 분포를 볼 때 Vorticity가 높은 영역에서의 온도 보다는 상대적으로 낮은 부분에서 온도가 더 높다. 이는 본 연구에 사용된 Burner Model 에서는 연료와 공기의 혼합에 적정한 Vorticity가 존재하는 것으로 생각된다.

#### 후 기

본 연구는 자동차 기반기술 개발사업의 일환으로 (주)동환산업과 공동연구로 진행되었습니다.

#### 참고문헌

- [1] 박상욱, 전병일, 류태우, 황정호, 2006, "연소로 내 2차공기의 주유동 수직방향 선회분사로 인한 선회류가 스웰수에 따른 가스 체류시간과 혼합 특성에 미치는 영향", 대한기계학회논문집 B권, 제30권 제1호, pp 48~56
- [2] 김만영, 2003, "스웰이 있는 3차원 모델 연소기 내의 연소특성", 대한기계학회논문집 B권, 제 27권, 제 1호, pp95~104
- [3] 강동구, 류병남, 김봉환, 1997, "와류가 가스혼합에 미치는 영향에 관한 연구", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 B, pp465~470
- [4] Kazuhiro Y, Naoki T, Masaki M, 2005, "Combustion simulation with Lattice Boltzmann method in a three-dimensional porous structure", Proceedings of the Combustion Institute 30, pp1509~1515
- [5] STAR-CD V3.20 METHODOLOGY, 2004
- [6] J.Warnatz, U.Maas, R.W.Dibble, 2001, "COMBUSTION, Physical and Chemical Fundamentals, Modeling and simulation, Experiments, Pollutant Formation" springer
- [7] Cing-Jen CHEN, Shenq-yuh JAW, 1997, "Fundamentals of Turbulence Modeling", Taylor & Francis
- [8] J.H.Ferziger, M.Peric, 1999, "Computational Methods for Fluid Dynamics", springer