

한가지 연소기에서 불길의 열류체력학적특성에 대한 수치모의

민 혁, 한충성

우리는 한가지 연소기에서 가스의 정상연소시 생기는 불길에 대한 열류체력학적특성에 기초하여 온도와 속도분포특성을 수치모의하였다.

연소기에서 가스의 연소로 생기는 불길의 형성과정은 복잡한 화학반응과정으로서 이때 생기는 열은 공기와의 열교환에 의하여 기류상태를 변화시킨다.

선행연구[2, 3]에서 여러가지 형태의 연소기들에 대한 열류체력학적특성해석이 진행되었지만 연소기주위의 기류특성에 대해서는 연구하지 못하였다.

론문에서는 한가지 연소기의 열류체력학적특성해석에 대한 수치모의에 기초하여 온도와 속도분포특성을 예측하고 불길에 의한 기류속도의 변화특성을 연구하였다.

1. 문 제 설 정

연소기에 배치된 69개의 노즐에서 내쏘는 프로판(C_3H_8)가스가 산소와의 화학반응에 의하여 불길이 형성되는데 수치모의를 위하여 면대칭문제로 취급하였다.(그림 1)

수치모의에서는 고정된 연소기모형에 대하여 류량을 $0.135\sim 0.405\text{kg/s}$ 로 변화시킬 때 윗흐름의 속도 및 온도분포, 불길이 합쳐진 후의 최대속도와 온도를 결정하고 류량에 따르는 안정화된 기류흐름속도사이의 관계를 결정하였다.

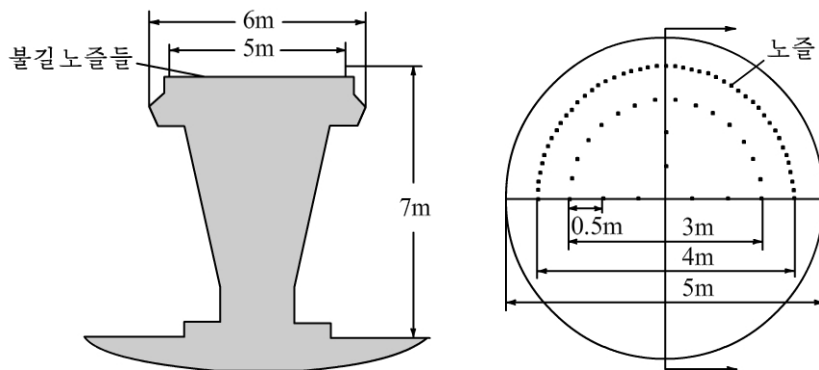


그림 1. 연소기의 기하학적모형

계산구역에서의 류체흐름은 연소반응을 동반하는 3차원압축성정상란류흐름으로서 다음과 같은 기본방정식들이 성립한다.[1-3]

연속방정식

$$\text{div} \rho \mathbf{v} = 0 \quad (1)$$

운동방정식

$$(v \cdot \nabla)v = F - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \frac{\lambda}{\rho} \text{grad}v_i + \frac{\mu}{\rho} \Delta v \quad (2)$$

에네르기방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \nabla \cdot (\bar{v}(\rho E + p)) = \nabla \cdot \left(k_{eff} \nabla T - \sum h_j \bar{J}_j + (\tau_{eff} \cdot \bar{v}) \right) + S_h \quad (3)$$

종수송방정식

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho Y_i) + \nabla \cdot (\rho \bar{v} Y_i) = -\nabla \cdot \bar{J}_i + R_i + S_i \quad (4)$$

표준 $k-\varepsilon$ 모형

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k U_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \varepsilon - Y_m + S_k \quad (5)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \varepsilon U_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] + G_\varepsilon \frac{\varepsilon}{R} (G_k + C_{3\varepsilon} G_b) - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} + S_\varepsilon \quad (6)$$

$$C_{1\varepsilon} = 1.44, C_{2\varepsilon} = 1.92, C_\mu = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\varepsilon = 1.3$$

2. 수치모의와 결과분석

3차원면대칭 흐름에서 연소기를 포함한 외부구역의 크기가 25m×50m×57m 인 계산모형에 노즐부분의 그물밀도를 조밀하게 하고 그에 기초하여 외부경계쪽으로 가면서 점점 커지는 100, 170, 240여만개의 4면체그물을 작성하고 그물의존성을 검토하여 100여만개의 그물모형을 리용하였다.

붕화대의 온도 및 속도분포특성을 모의하기 위하여 같은 계산모형에서 프로판가스의 류량 0.27kg/s를 기준으로 1/2, 3/2배 변화시켰다.

입구조건으로는 노즐에서 질량입구조건(프로판가스의 질량비=1), 노즐이 설치된 평면에서는 압력조건(산소의 질량비=0.21)을 주었으며 입구에서 기체의 온도는 25°C 로, 출구조건으로는 바깥경계에서 대기압조건을 주었다.

벽경계조건으로는 바닥에서 온도경계조건, 붕화대에서는 대류경계조건을 주었다.

먼저 프로판-공기혼합가스의 비열을 상수 (1 000J/kg·K)로 보고 계산을 진행하여 수렴한 다음 혼합가스의 개별적성분들의 온도에 따르는 비열변화를 고려하여 계산을 계속 진행하였다.

프로판가스가 각각 0.27kg/s(㉠), 0.135kg/s(㉡)로 공급되는 경우 속도 및 온도분포특성은 그림 2와 같다.

그림 2에서 보는것처럼 류량이 0.27kg/s일 때 불길의 높이는 7m정도이지만 류량이 절반으로 줄어들었을 때 불길의 높이는 거의 절반으로 줄어든다.

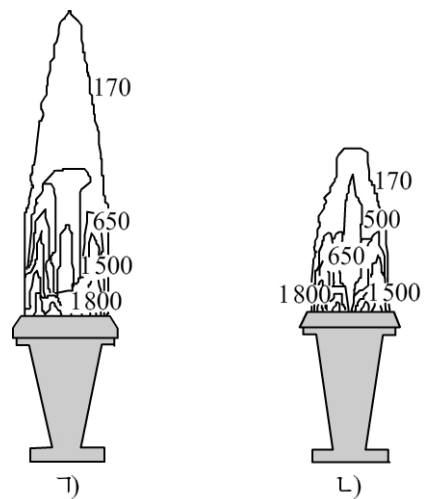


그림 2. 속도 및 온도분포특성

속도분포도류량이 0.27kg/s인 경우 속도가 3m/s이상이고 폭이 4m인 상승기류를 형성 하지만 류량이 절반인 경우에는 속도와 폭은 크게 변하지 않았지만 상승기류의 높이는 절반이하로 줄어들었다.(그림 3)

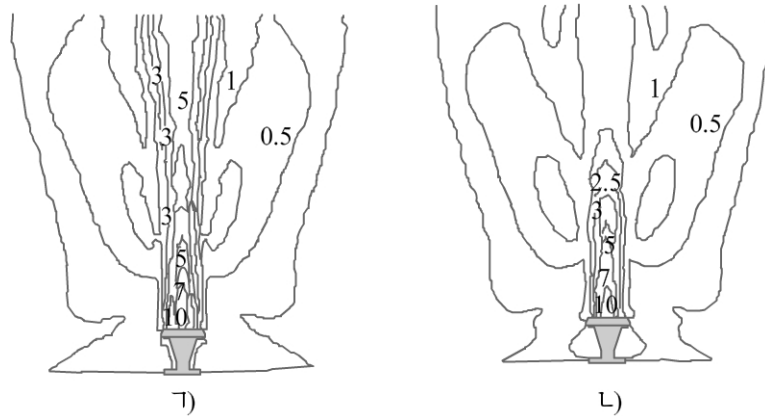


그림 3. 대칭면에 수직인 면에서의 속도등값선

다음 그림 4에 봉화대의 축을 따르는 속도곡선을 보여주었다.

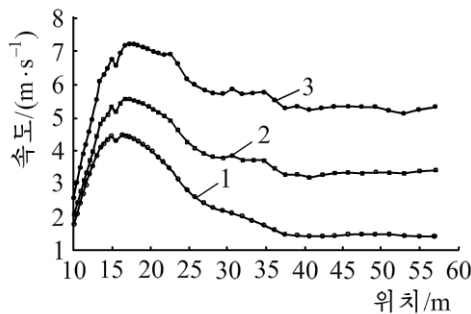


그림 4. 축을 따르는 속도곡선

1—0.135kg/s, 2—0.27kg/s, 3—0.405kg/s

그림 4에서와 같이 속도에서의 차이는 있으나 비슷한 양상 즉 38m 위치에서부터 속도($\pm 0.5\text{m/s}$)가 비교적 변화되지 않는다.

프로판가스의 류량에 따르는 입구공기의 량과 최대온도, 불길이 합쳐진 후의 최대속도, 안정화된 구역에서의 평균속도와 최대온도는 표와 같다.

표. 류량에 따르는 열류체력학적특성

류량/ ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	입구공기량/ ($\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$)	최대온도/ $^{\circ}\text{C}$	합쳐진 후 최대속도/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	안정화된 구역에서	
				평균속도/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	최대온도/ $^{\circ}\text{C}$
0.135	1.75	1 723	4.5	1.5	35.5
0.27	4.67	1 799	5.6	3.3	52
0.405	7.32	1 827	7.2	5.3	75

류량에 따르는 안정화된 구역에서의 평균속도와 최대온도사이의 관계를 그래프로 그리면 그림 5와 같다.

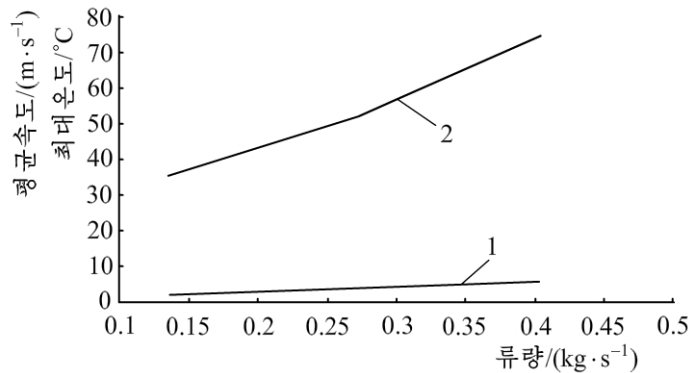


그림 5. 류량에 따르는 평균속도와 최대온도

1-평균속도, 2-최대온도

맺 는 말

수치모의를 통하여 속도분포와 온도분포를 예측하였으며 류량이 변화되는데 따라 봉화대의 축방향을 따르는 속도가 변화되다가 일정한 구간에서부터는 거의 변화되지 않는다는것을 알수 있다. 0.135~0.405kg/s의 류량에서 속도가 일정한 구간에서의 평균속도와 최대온도를 결정하였다.

참 고 문 헌

- [1] Y. A. Cengel; Thermodynamics An Engineering Approach, McGraw-Hill, 98, 2006.
- [2] N. R. Caetano et al.; Experimental Thermal and Fluid Science, 63, 20, 2015.
- [3] S. G. Kotenkov et al.; Combustion, Explosion, and Shock Waves, 37, 1, 372, 2001.

주체108(2019)년 3월 15일 원고접수

Numerical Simulation for Thermohydrodynamical Characteristics of the Flame in a Burner

Min Hyok, Han Chung Song

In this paper, we predicted the temperature and velocity distribution characteristic and researched the changing characteristic of the air velocity by a flame, based on the numerical simulation for the thermohydrodynamical characteristic of a burner.

We determined the average velocity and maximum temperature in the domain of which velocity is constant in mass flux of 0.135~0.405kg/s.

Key words: burner, flame, thermohydrodynamical characteristic