

廢油소각로 設計를 위한 氣相 난류반응장 수치해석

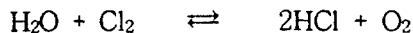
송우영, 이은주, 박병수, 장동순, 최갑석*
 충남대학교 환경공학과 전산열유체실, 기계연구원 연소환경연구팀*

A Numerical Study on the Gaseous Turbulent Combustion for the Design of Waste Oil Incinerator

Song, W.Y., Lee, E.J., Park, B.S., Jang, D.S., Choi, G.S.
 Chungnam National University, Korea Institute of Machinery & Metal*

서론

폐액이나 슬러리를 원료로 하는 액상폐기물 소각로는 스토키, 로타리킬른, 유동층 소각로와 함께 가장 널리 사용되고 있는 소각장치의 하나이며 이러한 액상폐기물 소각로의 연소효율은 주로 효과적인 무화과정(atomization)과 강한 선회에 의한 난류혼합 및 증가된 체류시간에 크게 左右된다. 이러한 폐유액적 연소는 液-氣 二相 난류반응에 선회가 수반된 복잡 다단한 유동으로서 이러한 시스템에 대한 設計는 'black art'식의 경험적인 방법 위주로 되어 왔으며 항상 'over-design' 되어 필요以上の 高溫과 긴 체류시간으로 그 운영이 비효율적이었다. 더구나 요즘 사회적으로 현안이 되고 있는 폐기물 처리와 그에 따른 보일러 가동은 에너지 재생산에 매우 유망한 방법으로 부각되고 있으나 폐액에 함유된 각종 부식성분에 대한 적절치 못한 소각처리는 소각로의 내구성과 사용 연한을 크게 단축시키는 것으로 보고되고 있다. 그 代表的인 例증의 하나가 할로겐 화합물을 함유한 폐기물 소각처리 문제로서 完全燃焼를 유도하기 위한 과잉공기의 투입은 Deacon반응식에 의해 부식성과 세정제거가 매우 어려운 Cl_2 등이 발생하는 점이다.⁽¹⁾



본 논문은 이러한 폐유소각로의 효율적인 설계를 위한 일차연구로서 전산유체 역학을 이용한 폐유소각로 설계 프로그램을 개발중이며 그 일단계로서 선회를 동반하고 氣相 난류 반응장의 결과를 제시하고자 한다.

이러한 목적을 위해 본 논문에서는 한국기계연구원에 설치된 2차원 축대칭연소로를 그 대상으로 선정하였으며 폐유 무화과정을 氣相으로 單純 가정한 경우에 대한 수치해석을 시도하였다. 본 수치해석에 앞서서 문헌에 나타난 비반응 선회유동에 대한 실험자료와 LNG연소로의 실험결과를 수치해석 결과와 비교하여 프로그램 검증하였다. 본 논문에서 고려한 폐유의 성분은 $C_{20}H_{42}$ 이며 발열량은 10425 kJ/kg, 비중은 0.95 그리고 비열은 일반적인 petroleum oil의 경우를 가정하였다.

지배방정식과 수학적 모델

2차원 축대칭 좌표에서 유체의 운동과 반응을 기술하기 위한 운동방정식은 비압축성 뉴우톤 유체를 가정할때 아래와 같은 일반 지배방정식으로 나타난다.

$$\frac{\partial(\rho\phi)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \vec{u}\phi) = \nabla \cdot (\Gamma \nabla \phi) + S$$

윗 식에서 ϕ 는 단위질량당의 일반 종속변수로서 x,y방향의 속도, 압력(p), 난류운동에너지 k와 k의 소산율(ϵ) 그리고 각종 화학성분에 대한 질량분율 m_i 와 엔탈피 h를 각각 나타낸다. 위의 식은 검사체적에 기초한 유한차분 방법에 의해 이산화하였으며 이산화방정식은 line-by-line TDMA에 의한 그 해를 얻었다. 한편 운동량방정식에 나타나는 압력과 속도의 연계문제는 SIMPLEC 알고리즘을 사용하였으며 유동비선형항의 난류모델에서 발생하는 Reynolds 전단력은 표준 k- ϵ 모델을 고려하였다. 한편 난류반응 문제는 Magnussen과 Hjertager가 제시한 eddy breakup 모델을 사용하였다.⁽²⁾

본 논문에서 사용한 eddy breakup 모델은 난류반응장 해석에 대표적으로 사용되고 있는 'fast chemistry' 모델의 하나이다. 다른 하나인 'conserved scalar' 모델이 화학반응이 매우 빨라 연료와 산화제가 같은 점에서 동시에 존재할 수 없다는 가정에 근거를 둔 것인데 반해 'eddy breakup' 모델은 난류eddy가 vortex stretching mechanism에 의해 작은 에디로 붕괴하는 시간이 난류반응 시간임을 가정한 모델이다. Table 1에 일반 지배방정식의 종속변수 ϕ 와 그에 따른 Γ 와 S 표현식을 각각 나타내었다.

Table 1. Expression of Γ & S for the k- ϵ turbulence model and eddy breakup combustion model in an axi-symmetric cylindrical coordinate

ϕ	Γ_ϕ	S_ϕ
u	μ_t	$\frac{\partial}{\partial x}(\mu_t \frac{\partial u}{\partial x}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\mu_t r \frac{\partial v}{\partial x}) - \frac{\partial p}{\partial x}$
v	μ_t	$\frac{\partial}{\partial x}(\mu_t \frac{\partial v}{\partial r}) + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r}(\mu_t r \frac{\partial v}{\partial r}) - 2\mu_t \frac{v}{r^2} + \frac{\partial w^2}{r}$
w	μ_t	$-\left(\frac{\mu_t}{r} + \frac{\partial v}{r} + \frac{1}{r} \frac{\partial \mu_t}{\partial r}\right) w$
f	$\frac{\mu_t}{\sigma_f}$	
k	$\frac{\mu_t}{\sigma_k}$	$G_k - \rho \epsilon$
ϵ	$\frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon}$	$\frac{\epsilon}{k} (C_1 G_k - C_2 \rho \epsilon)$
m_{i_h}	$\frac{\mu_t}{\sigma_{i_h}}$	w_{i_h}
h	$\frac{\mu_t}{\sigma_h}$	$w_{i_h} H_{i_h}$
G_k		$\mu_t \left[2 \left\{ \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial v}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{v}{r} \right)^2 \right\} + \left(\frac{\partial w}{\partial x} \right)^2 + \left(r \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{w}{r} \right) \right)^2 + \left(\frac{\partial u}{\partial r} + \frac{\partial v}{\partial x} \right)^2 \right]$
$C_1 = 1.44$	$C_2 = 1.92$	$C_\mu = 0.09 \quad \sigma_k = 1.22 \quad \sigma_\epsilon = 0.9$
$C_{i_1} = 2.8$	$C_{i_2} = 2.0$	$\sigma_f = \sigma_g = \sigma_{i_h} = \sigma_h = 0.9$

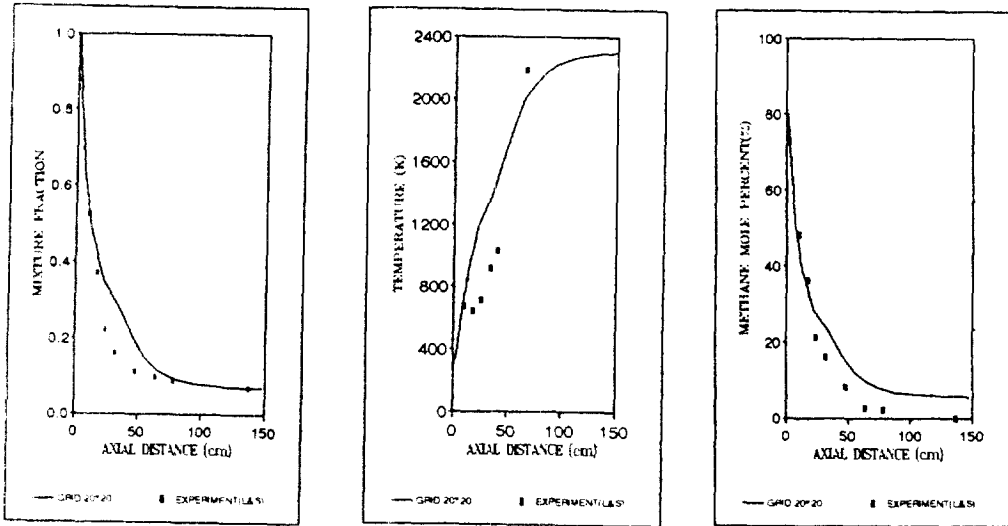


Fig 3. Comparison between experimental data and prediction

이상의 결과를 토대로 하여 기계연구원에서 제작 실험중인 전장0.9m×직경 0.42m이 축대칭 시험연소로에 대한 수치해석을 시도하였다. Fig 4는 선회수 S=0 과 S=0.85(vane angle 60°)에 대한 벡터 유동장을 각각 나타내었다.

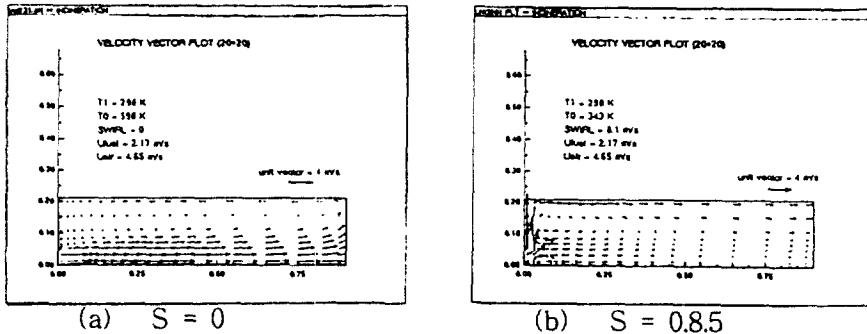


Fig 4. Velocity vector plots in terms of swirl intensity

참고문헌

1. 엄태인, 장동순, 채재우, "로타리 킬른 소각로 고도 설계를 위한 연구III: 3차원 CCl₄/CH₄ 기상난류 반응 모델", 한국에너지공학회지(1993), vol 2, No.1 pp54~67.
2. Magnussen, B. F. & H. Hjertager, 16th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, p.719 (1979)
3. Lewis, M. H. & L. D. Smoot, Combustion and Flame 42, 183 (1981)
4. El-Mahallawy, F. M. and M. A. Harbib, "Flow, Mixing and Heat Transfer in Furnaces", p. 35 Pergamon Press (1977)