

電算 流體 역학을 이용한 싸이클론 연소로 設計 研究

나혜령, 김복순, 박선희, 장동순, 현주수*, 손웅권*
충남대학교 환경공학과 전산열유체실, 에너지 기술연구소*

A Study on the Design of a Cyclone Combustor by Computational Fluid Dynamics

Na, H. R., Kim, B. S., Park, S. H., Jang, D. S., Hyun, J. S. *, Sohn, E. K.*
Chungnam National Univ. Environmental Engr. Dept.
Korea Institute of Energy & Technology*

서론

강한 접선 方向 운동에 의해 나타나는 선회유동(Swirling Flow)은 공기와 연료의 混合 효율 증대 뿐만 아니라 원심력에 의한 固-氣相물질 分離에도 효율적이어서 지난 100년 동안 각종 연소기, 집진기 및 입도분석용 장치 등에 널리 사용되어 왔다. 그러나 강한 선회를 동반한 고기상 유동의 복잡성과 큰 動力의 소요는 싸이클론 장치의 효율적인 설계를 위한 연구를 지속시키는 원인이었다.⁽¹⁾ 특히 강한 난류 혼합에 의한 싸이클론 연소 기술은 1940년 대에 미국 Babcock & Wilcox 회사에서 처음 개발된 것으로써⁽²⁾, 같은 처리 용량을 가진 기존의 연소로에 비해 1/5 정도로 작을 뿐만 아니라 보통 회분이 액체 상태로 제거되기 때문에 IGCC나 유동층 연소 등과 함께 유망한 차세대 환경오염 저감기술 중의 하나로 알려져왔다.⁽³⁾

보통 싸이클론 또는 슬래깅 연소 방식은 회분을 많이 함유한 석탄이나 폐기물 그리고 긴 처리시간을 요구하는 폐유와 같은 난분해성 물질의 소각처리에 이용되고 있다. 이것은 싸이클론 연소로가 위에서 언급한 대로 강한 선회에 의한 난류 혼합 효과의 증대 뿐만 아니라 3개 동심원 형상을 한 축방향 왕복 반복 운동을 하기 때문이다. 이와같은 운동은 싸이클론 내의 기상연료 및 미세입자의 체류 시간을 극대화할 수 있는 것으로써 연소 장치의 집적화를 이룰 수 있는 중요한 특성 중의 하나이다.⁽⁴⁾ 본 연구는 수치해석적 방법에 의해 싸이클론 연소기의 크기, 모양, 공기량 및 속도, 선회강도등 제변수에 따른 비반응 유동 특성을 규명하고자 했다. 이는 싸이클론 연소로의 설계 및 운전 조건 자료를 제공하기 위한 것으로서 특히 3개의 왕복운동을 가지는 재순환 영역 형성, 접선 방향의 속도 분포(Solid, Rankine vortex 등) 그리고 입자의 궤적 양상의 파악이 본 연구의 주요 과제이다.

수학적 모델 및 지배 방정식

기상에서 운동량과 기타 물리량을 나타내는 일반 지배 방정식은 아래와 같은 2차 편미분 방정식으로 나타난다.

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

윗 식에서 왼쪽으로부터 非定常項, 유동항, 확산항 그리고 生成項을 각각 나타내며 ϕ 는 단위질량당 물리량을 표시한다. 또 ρ 와 Γ 는 밀도와 확산 계수를 각각 나타낸다. 윗식은 검사체적에 기초한 유한차분방법에 의해 이산화하였으며 이산화 방정식은 line-by-line TDMA방법에 의해 解를 구하였다. 운동량 방정식에 나타나는 압력과 속도의 연계는 SIMPLEC(SIMPLE Consistent)방법을 사용하였으며 비선형 유동항 시간 평균에 따른 Reynolds 전단력은 표준 k- ϵ 모델과 RNG k- ϵ 모델에 의해 해결하였다. 본 論文에 사용한 종속변수 ϕ 와 그에 따른 Γ 와 S값은 다른 문헌에 나타내었다.⁽⁴⁾

한편 固相 粒子에 대한 지배 방정식은 유체역학적 항력, 전향력, 원심력을 고려하여 계산하였으며 기타 apparent mass 효과나 부력 등의 영향은 입자의 밀도가 공기의 밀도에 비해 매우 크므로 무시하였다. 또한 상대속도의 비선형적인 항에 의해 나타나는 항력에 대한 난류모델은 본 연구에서 고려하지 않았다.

계산결과 및 토론

Fig.1은 싸이클론 연소로의 작동원리를 보여 주는 그림으로서 3개의 동심원에 의한 재순환 유동 특성을 나타내고 있다. Fig.2는 본 연구에서 목표하고 있는 연소로의 도식도로써 본 논문에서는 일차적으로 상단에 나타난 일차 연소로(precombustor) 형태의 연소로의 유동장 특성 규명에 중점을 두었다. Fig.3은 주입 공기의 위치와 각도에 따른 접선방향 속도변화와 접선방향 속도의 직경방향 분포의 대표적 형상을 나타내고 있다. Fig.4는 난류 강도에 따른 축방향 속도의 민감도 변화를 나타내며 Fig.5와 6은 접선방향의 속도 10m/s, 직경방향의 속도 -5m/s 유동장과 입자 궤적을 나타낸다. Fig.7은 일정 조건 하에서 왕복 반복 운동을 하는 싸이클론의 대표적 유동 특성으로서 수치해석에 의해 얻은 결과를 나타낸다.

참고문헌

- (1) Syred, N. and J.M. Beer, Combustion & Flame Vol.23, p.143 (1974).
- (2) Babcock & Wilcox, "Steam: it's Generation & Use" New York (1987).
- (3) 손웅권, 현주수 외 "Slagging Combustor 개발에 관한 연구(III)" 한국에너지 기술 연구 보고서 KE-920205 (1992).
- (4) 장동순, 나혜령, 송우영, 김복순, 박선희, 이은주, 박병수, 엄태인 "싸이클론 연소기 난류 流動場 高度 數值 解析" 충남대 환경공학과 電算열유체실험실 보고서 (1995.2).

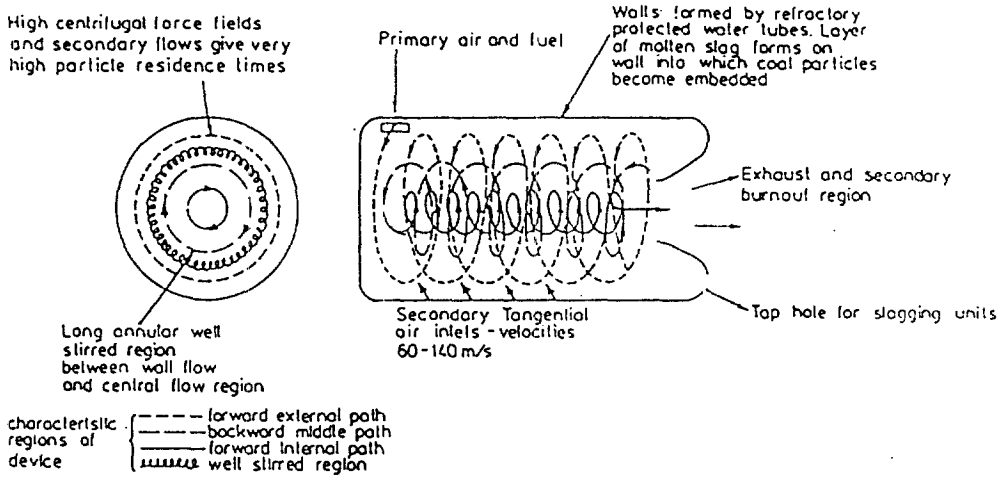


Fig. 1 Principles of operation of a Cyclone Combustor (Syred et al. 1987)

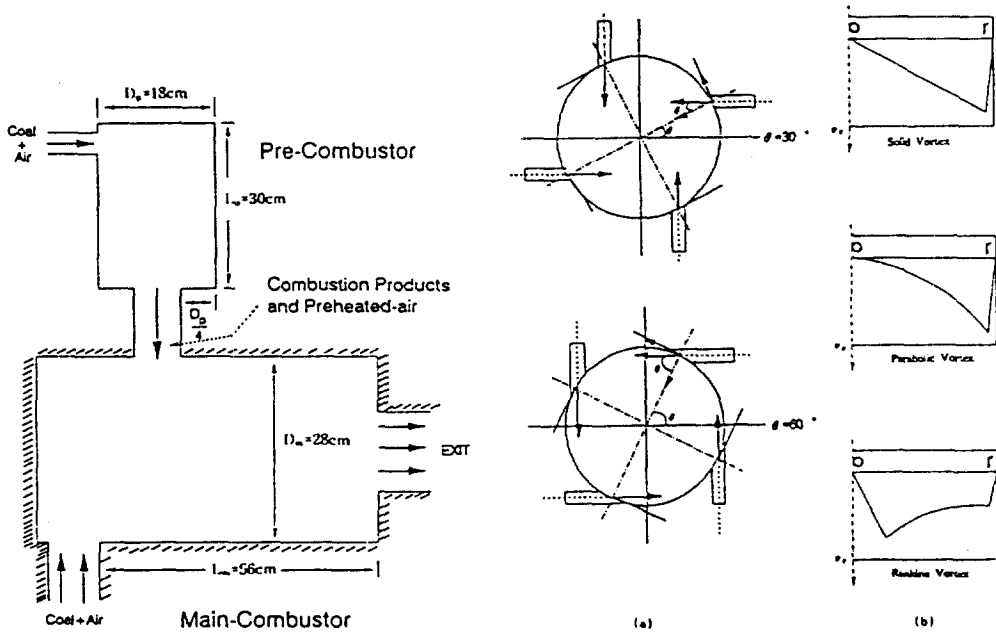


Fig. 2 Schematic Diagram of Experimental Facility

Fig. 3 (a) Positions and Angles of Air Inlet (b) Vortex Types

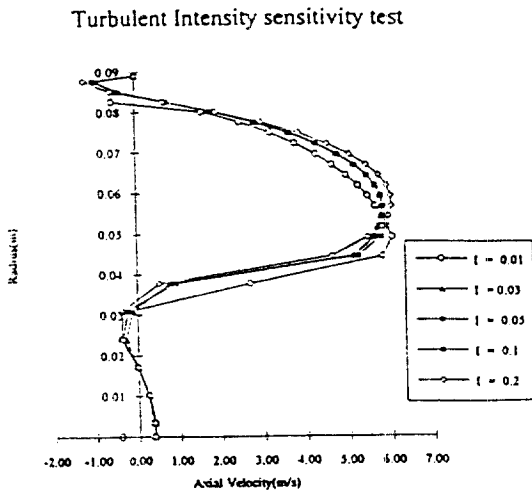


Fig. 4 Effect of Turbulence Intensity on Axial Velocity

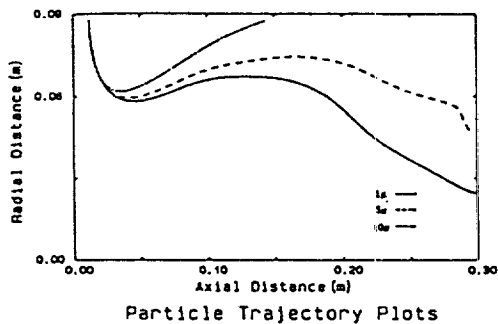
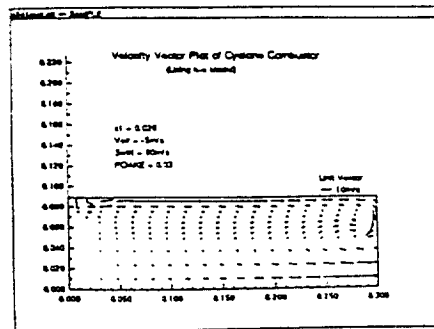
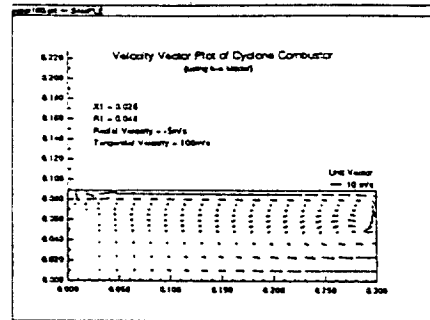


Fig. 6 Particle Trajectory Plots at Standard Condition for 1 μ , 5 μ , 10 μ Particle Size

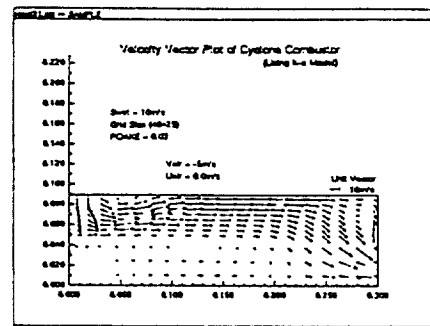


(a)

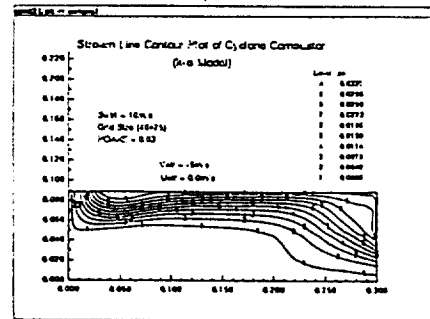


(b)

Fig. 5 Velocity Vector and Streamline Plots of Standard Conditions: $v_r = -5m/s$, $v_\theta = 10m/s$
(a) Vector Plot (b) Streamline



(a)



(b)

Fig. 7 Velocity Vector Plots of $v_r = 80, 100m/s$
(a) $v_\theta = 80m/s$ (b) $v_\theta = 100m/s$