

전산유동 해석을 이용한 Oxy-PC 버너 형상 변화에 따른 화염 특성 연구

채태영* · 류창국** · 양원*†

A Numerical Study on Combustion Characteristics for Various Configurations of Oxy-PC Burners

Taeyoung Chae*, Changkook Ryu**, Won Yang*†

ABSTRACT

The oxygen concentration of primary oxidizer is decided under 10% due to flammable risk. It can be a spontaneous combustion inside burner or tube if the excess oxygen is added to primary oxidizer in Oxy-PC burner. In this case, the rest oxygen which can not be injected to primary oxidizer should be injected to another port. If added it to a second oxidizer, the ignition is unstable at outlet of burner. Accordingly an extra lancing port is needed to insert into the burner unlike other common air mode. And the flame formation and combustion characteristic differ from lancing port position. Therefore we observed flame formation which has stable combustion characteristic according to the shape and position of lancing port.

Key Words : CFD, Pulverized coal, Oxy-fuel combustion, radiation, oxygen lancing

현재 순산소 연소에 관한 많은 연구가 진행되고 있고 순산소 버너의 개발도 이루어지고 있다. 순산소 연소 시스템의 설계에 있어서 버너는 가장 중요한 고려대상 중의 하나이다. 순산소 연소의 경우 미분탄을 이송하는 1차 산화제의 산소 농도를 높게 하여 투입할 경우 실제 운전에서 이송 배관 및 버너 내부의 발화 위험성이 제기 되고 있기 때문에 최근 들어 1차 산화제의 농도를 줄이고 나머지 산소를 다른곳에 투입하여 화염의 부착 특성을 개선하려는 연구가 진행되고 있다[1]. 이 경우 1차 산화제에 투입되지 못한 나머지 산소를 다른 port에 투입하여야 하는데 2차 산화제 port에 투입할 경우 일반적으로 버너 전단부에 소량의 산소가 투입되어 착화가 불안정하게 진행되기 때문에 별

도의 lancing port를 사용하여 나머지 산소를 투입하여야 한다. 그러므로 순산소 연소 버너의 경우 공기 연소 버너와는 달리 추가 순산소 lancing port가 버너에 삽입되게 된다. 두 가지 모드에서 발생하는 가장 중요한 물리적인 차이점은 공기 모드에서 산화제인 공기는 산소를 제외하고 대부분 질소로 이루어져 있는 반면에 순산소 운전 모드에서는 산화제 중 산소를 제외하고 대부분 이산화탄소로 이루어져 있다는 것이다. 이는 결국 산화제 내에 포함된 질소와 이산화탄소가 연소 운전에서 어떠한 영향을 미치는지 파악해야 한다는 것이다.[2-4]. 질소와 이산화탄소의 물성치 차이 및 이들이 순산소 연소 조건에서 화염 특성에 미치는 영향에 대해서는 그 동안 많은 연구들이 수행되었다[2,3]. 그러므로 공기 연소 조건과 순산소 연소 조건에서 동일한 버너를 사용할 경우, 공기 모드의 운전을 방해하지 않는 조건에서 순산소 모드 운전이 가능한 버너를 개발하는 것이 중요한 과제

* 한국생산기술연구원 에너지시스템연구그룹

** 성균관대학교 기계공학부

† E-mail : yangwon@kitech.re.kr

Tel : (041)589-8265 Fax : (041)589-8323

이다. lancing port의 형상 및 위치 또한 순산소 버너 설계에 중요한 인자이다. 본 연구에서는 이와 관련된 인자들을 결정하기 위하여 수치해석적 방법과 접근을 통하여 버너 형상 변경에 따른 버너 특성과 성능을 평가하고 최적의 설계 인자를 도출하기 위한 기초적인 연구를 수행하였다.

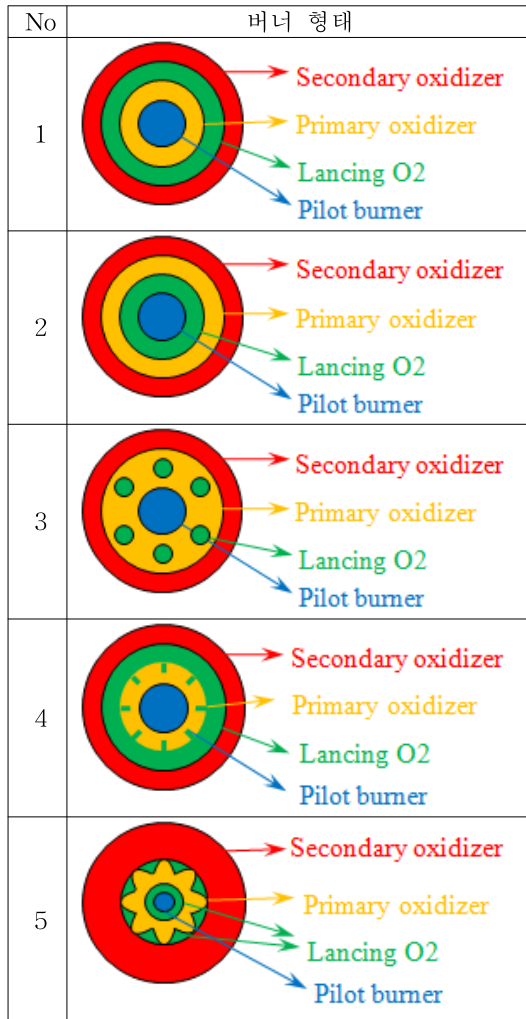


Fig. 1 Type of burner outlet

설계된 버너는 원형의 tangential vane swirl type 버너로서 총 5가지 형상으로 분류 하였다. 전체적인 swirl number는 0.85로 설정하였다. 5가지 버너의 1차, 2차, lancing 산화제의 양과 유속은 같지만 형태가 다르기 때문에 화염의 모양 및 길이가 다르게 나타난다. 전산해석을 위해 구성한

가상연소로의 크기는 직경 8 m, 길이 15 m 이고 원통형 연소로로서 cyclic boundary를 고려하여 1/4면만 해석을 수행 하였다. 약 39만개의 격자를 사용하였다. 본 연구에서 이용한 CFD 코드는 FLUENT ver. 6.3[5]이다. 연소해석에 적용된 모델을 간단히 요약하면 다음과 같다. 먼저 난류 계산의 경우-Realizable k- ϵ 모델을 적용하였고, 복사 열전달 계산은 DO(Discrete ordinate) 모델을 적용하였다. CO₂와 H₂O를 포함한 가스의 복사 참여는 WSGGM (Weighted sum of gray gases model) [6]을 적용하였는데, 기존에 사용되던 Smith et al (1982)[7] 제안한 WSGGM은 공기 연소 조건(P·L≤10atm·m)에 유효한 것으로 CO₂와 H₂O의 분압 높은 순산소 연소 조건에서는 적합하지 않다. 따라서, Yin et al (2011)[8]이 이를 보완한 새로운 WSGGM을 제시하였다. 본 연구에서는 Yin et al (2011)[8]이 제안한 모델을 FLUENT user defined function을 사용하여 직접 프로그래밍 한 뒤 대입 하여 해석을 수행 하였다. 석탄 입자의 추적은 stochastic tracking model을 적용하여 난류에 따른 궤적 변화를 고려하였다. 석탄의 탈휘발 모델은 single rate 모델을 적용하였다. 휘발분 및 좌 연소 생성물의 화학종 구성과 반응은 총 8개로 구성하여 kinetic rate와 eddy dissipation rate를 함께 고려하였다. 미분탄은 수분 농도가 비교적 높은 아역청탄으로서 Rosin-Rammle 입도 분포를 적용하였고 평균 입도는 50 μ m이다. 투입되는 미분탄의 총량은 1.3156 kg/s이며, 버너의 총 당량비는 1.17이다. 공기 연소 조건과 순산소 연소 조건 총 2가지 case를 설정하였다. 각 조건은 Table 1에 나타나 있다.

Table 1. Simulation cases.

Cases	Flowrates [kg/hr]			
	Primary [kg/hr]	Secondary [kg/hr]	Lancing [kg/hr]	Total [kg/hr]
Air mode	8,299.5	33,198.1	0	41,497.6
Oxy mode	6,794.8	29,982.2	1,559.8	38,336.8

버너 설계에 중요한 가장 중요한 인자 중 하나가 산화제 투입구의 위치 및 형태이다. 해석을 수행한 버너는 tangential vane swirl type 버너들로서 유량은 같고 버너의 형태만 다르게 하여 변화를 살펴보았다. 공기 연소 조건과 순산소 연소 조건의 가장 큰 차이점은 산화제에 N₂ 대신 CO₂를 사용하는 것이다. CO₂의 열용량은 N₂보다 약 1.7

배 가량 크기 때문에, 기본적으로 순산소 연소 모드에서는 공기 중 산소 mole fraction 인 20.9% 보다 더 높은 산소 농도로 운전을 수행하게 되고, 이는 결국 순산소 조건에서의 산화제 유량 감소로 이어지게 된다. 또한 N_2 의 비체적은 CO_2 의 비체적보다 1.57배 크기 때문에 공기 연소 조건의 유량이 많게 된다. 그래서 총 유량은 air mode가 oxy mode에 비하여 많고 유속도 빠르다. 유속이 빠른 air mode의 경우 oxy mode 보다 강한 swirl이 형성되어 전체적으로 화염이 짧게 형성되는 것을 볼 수 있다. 버너의 형상 변화에 따른 화염의 형태 변화를 살펴보면 다음과 같다. 버너 type-1, 4의 경우 1차 산화제와 2차 산화제 투입구 사이에 lancing 투입구가 설치되어 있는데, 이렇게 버너를 제작하게 되면 1차 산화제와 2차 산화제의 혼합이 버너 출구 초기에 원활히 이루어지지 않아 화염이 전체적으로 길어지는 것을 볼 수 있다. 버너 type-4의 경우 oxy mode에서 1차 산화제와 lancing O_2 혼합을 좀 더 빠르게 하기 위하여 1차 산화제 출구에 총 8방향으로 분산 구멍을 설치하였으나 2차 산화제 swirl의 영향으로 lancing O_2 가 2차 산화제와 우선 혼합되기 때문에 분산구멍의 효과는 크지 않고 type-1과 유사한 결과를 나타내는 것을 볼 수 있다. 버너 type-2의 경우 전체적으로 화염이 안정적으로 형성되는 것을 볼 수 있으나 oxy mode의 경우 초기 산소가 미분탄과 국부적으로 혼합되어 버너 출구에 고온부가 집중적으로 형성되는 것을 볼 수 있는데 이렇게 되면 NO_x 의 생성량이 증가하기 때문에 바람직하지 않다. 버너 type-3, 5의 경우 air mode, oxy mode 모두 안정적인 화염 형태를 나타내는 것을 볼 수 있다. 버너의 형태는 다르지만 1차 산화제와 lancing O_2 가 순서대로 원형을 이루어 전체적으로 혼합이 잘 이루어지고 2차 산화제와의 혼합도 같이 이루어지기 때문에 국부적인 고온부 형성점이 없고 화염이 짧게 형성되는 것을 볼 수 있다. Oxy-PC 버너의 경우 lancing O_2 투입구의 위치 및 형태에 따라 화염의 형태가 크게 달라지는 것을 볼 수 있다. 이것은 산화제의 혼합 정도와 밀접한 관련이 있는데 미분탄, 1차 산화제, 2차 산화제, lancing O_2 가 일정한 비율로 동시에 혼합되는 버너의 형태에서 화염이 가장 안정적으로 형성되고 국부적인 고온부도 없는 것을 볼 수 있다.

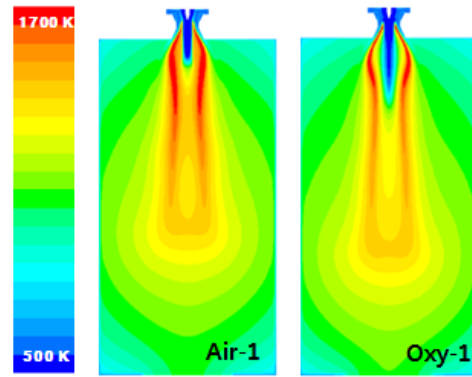


Fig. 2 Temperature for burner type 1 of air and oxy case

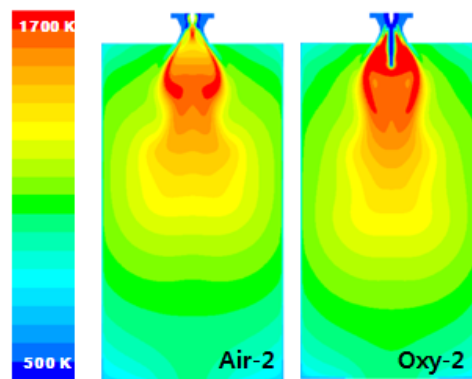


Fig. 3 Temperature for burner type 2 of air and oxy case

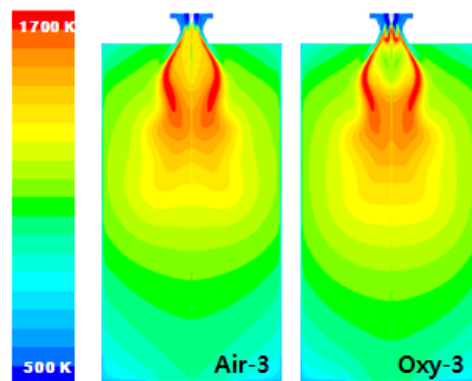


Fig. 4 Temperature for burner type 3 of air and oxy case

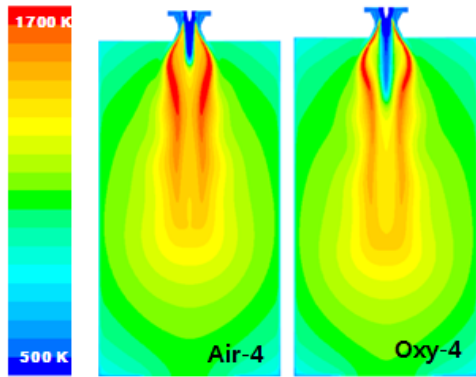


Fig. 5 Temperature for burner type 4 of air and oxy case

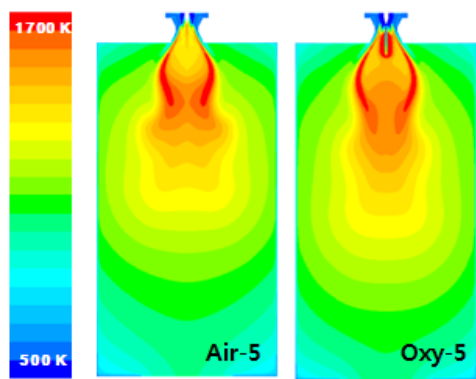


Fig. 6 Temperature for burner type 5 of air and oxy case

후 기

이 연구는 지식경제부의 에너지기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- [1] Dae Keun, L., Dong-Soon, N., Dong Myung, S., Chang-Bog, K., Eun Kyung, L. and Kyong-Bin, C., "Performance Test of Oxy-PC Swirl Burner with Primary Oxygen Direct Injection through Multi-nozzle", The Korean Society of Mechanical Engineers, Gangwon, pp. 327-331, 2009.
- [2] Khare, S., Wall, T., Farida, A., Liu, Y., Moghtaderi, B. and Gupta, R., "Factors influencing the ignition of flames from air-fired swirl pf burners retrofitted to oxy-fuel", Fuel, Vol. 87, pp. 1042-1049,

- 2008.
- [3] Kiga, T., Takano, S., Kimura, N., Omata, K., Okawa, M., Mori, T. and Kato, M., "Characteristics of pulverized-coal combustion in the system of oxygen/recycled flue gas combustion", Energy Conversion and Management, Vol. 38, pp. S129-S134, 1997.
- [4] Shaddix, C. R. and Molina, A., "Particle imaging of ignition and devolatilization of pulverized coal during oxy-fuel combustion", Proceedings of the Combustion Institute, Vol. 32, pp. 2091-2098, 2009.
- [5] Fluent Inc. Fluent 6.3 user's guide, Lebanon, New Hampshire, USA, 2006
- [6] Smith, T.F., Shen, Z.F., and Friedman, J.N., "Evaluation of coefficients for the weighted sum of gray gases model", J. Heat Transfer, Vol. 104, 1982, pp. 602-608
- [7] Smith, T.F., Shen, Z.F., and Friedman, J.N., "Evaluation of coefficients for the weighted sum of gray gases model", J. Heat Transfer, Vol. 104, 1982, pp. 602-608
- [8] Yin, C., Johansen, L.C.R., Rosendahl, L.A., Kær, S.K., "New weighted sum of gray gases model applicable to computational fluid dynamics (CFD)
- [9] Jones, W.P., and Lindstedt, R.P., "Global reaction schemes for hydrocarbon combustion", Combustion and Flame, Vol. 73, 1988, pp. 233-249