이산화탄소 저감을 위한 SMV의 순산소 연소 시뮬레이션

김 호 연[1*], 손 화 승[1], 김 철 만[1]

SIMULATION ON PURE OXYGEN COMBUSTION OF SMV FOR CO_2 REDUCTION

H.Y. Kim[1*] and H.S. Sohn[1] and C.M. Kim[1]

KOGAS(Korea Gas Corporation) uses two-type vaporizers to send customers natural gas with imported LNG. In winter season, SMVs(SubMerged combustion Vaporizers) are mainly operated due to low seawater temperature. SMVs consume the natural gas of 1,520 Nm^3/hr and emit a lot of CO_2 in winter time. If carbon taxes are activated on climate change, the tax burden will be severely heavy. Accordingly this work carried out numerical simulation with a commercail CFX code to investigate its possibility on the practical use of pure oxygen combustion of SMVs to reduce CO_2 and to improve its efficiency.

First, a nozzle of a SMV's combustor is modelled. The combustion characteristics of Air/Fuel and Oxygen/Fuel are analyzed under fully insulated condition. Although we couldn't find the carbon reduction and the efficient elevation when the pure oxygen/fuel type was compared to the existing air/fuel one, we need a further study to investigate the effect of CO_2 recirculation.

Keywords: 연소식기화기(SMV), 탄소세(Carbon Tax), 전산해석(Numerical Simulation), 연소기(Combustor)

1. 서 론

한국가스공사는 수입 액화천연가스(LNG)를 천연가스(NG)로 수용가에 송출하기 위해 두가지 형식의 기화기를 사용하고 있다. 해수온도가 낮아지는 동절기에는 주로 연소식 기화기 (Submerged Combustion Vaporizer), 일명 SMV를 사용하고 있다. 연소식 기화기(SMV)는 시간당 1,520 Nm^3의 천연가스를 연소시킨다. 본 설비는 동절기 많은 양의 이산화탄소를 발생시키고 있으며, 기후변화협약에 의거 탄소거래제가 활성화가 되면, 기업부담이 가중되게 된다. 따라서 본 연구는 이런 문제를 해소하기 위한 방안으로 이산화 탄소 배출량을 줄이기 위한 순산소 연소방식의 적용 가능성을 파악하고자 CFX 상용코드를 이용한 전산해석을 수행하였다.

우선, 연소식 기화기(SMV)의 연소노즐 한 개를 모델링하여, 완전 단열조건 하에서 공기/연료 및 산소/연료 연소에 대한 특성을 분석하였다. 산소/연료 연소방식이 기존 연소방식인 공기/연료 연소방식에 비해 큰 효과가 나타나지 않았다. 다만, 이산화탄소를 재순환하는 것에 의한 온도효과가 있을 것으로 예상되고 있으며, 향후 추가적인 연구에서 그 효과와 실규모의 연소기 해석을 수행코자 한다.

1 한국가스공사 연구개발원
* TEL : 031) 400-7551
* Corresponding author E-mail: hoykkim@kogas.re.kr

2. SMV 연소기 시뮬레이션

2.1 SMV연소기

SMV의 연소기는 시간당 90톤의 LNG를 NG로 기화시킬 수 용량을 가지고 있으며, 연료는 천연가스를 시간당 15,250 입방미터를 소비한다. 산화제로서 공기는 시간당 21,250입방미터를 사용한다. 본 기화기의 개략도는 Fig. 1에 보여 주고 있다.

SMV의 기화프로세스에 대하여 간단히 소개하자면, SMV는 연소기는 수중에 설치되어 있다. 공기와 연료의 연소압력에 의해 챔버 내에 있는 물을 밀어 내면서 챔버의 기공을 통하여 기포형태로 수조로 상승하게 되며, 고온의 기포는 LNG가 지나는 튜브번들을 가열하게 된다. -155°C로 들어온 LNG

는 0°C 이상의 NG로 수용가에 송출된다. 수조의 온도는 약 35°C 이내로 유지가 되며, 배기가스는 수조를 통과한 기포형태로 굴뚝을 통해 대기에 방출된다.

본 연구에서는 연소기의 수직 강하부분만 모델링 하여 공기/연료방식과 순산소/연료방식에 대한 시뮬레이션을 수행하고자 한다.

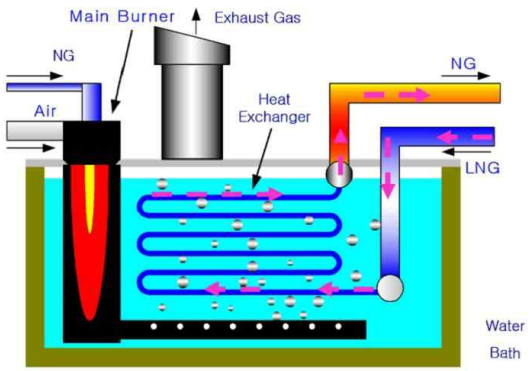


Fig. 1 Schematic of SMV with a Combustor in Water

2.2 연소기의 3차원 모델링

연소기는 노즐 1개로 연소하도록 하였고, 상당직경을 산출하여 3차원으로 형상화하였다. 3차원 형상은 Design Modeller를 사용하였다. 격자는 ICEM CFD를 사용하여 Tetra mesh만을 사용하여 생성하였다. Fig. 2에서 그 격자를 볼 수가 있다. 본 격자는 유동관점에서가 아닌 연소특성에 대한 효과만을 관찰하기 위해 벽근처에서 Prism mesh를 사용하지 않았다. 단열화염온도 조건 하에서 시뮬레이션을 수행하기 때문에 연소기 벽에서의 벽효과는 고려 대상이 되지 않는다.

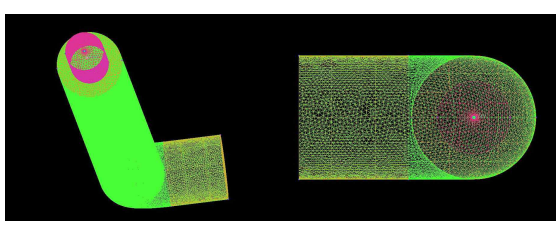


Fig. 2 Grid of SMV generated by Tetra Mesh

2.3 연소기 시뮬레이션 조건

본 연소기는 연료의 분사속도는 311m/s이고, 공기의 주입속도 약 30m/s 정도로 난류모델 k-ε을 적용하였고, 연소모델은 EDM(Eddy Dissipation Model)을 사용하였다. 그리고 공기 및 연료의 온도는 273.15K으로 초기화 되었다. 시뮬레이션을 위한 네가지 사례는 Table 1에 보여 주고 있다. 본 사례에서

Table. 1 Four Cases of SMV Simulation

Case	N_2(%)	O_2(%)	CO_2(%)
Case 1	77.0	23.0	-
Case 2	-	100.0	-
Case 3	-	50.0	50.0
Case 4	-	23.0	77.0

연료는 동일한 양이 공급되며, 산회제는 Case 1의 경우 공기를 의미하고, 나머지 3가지의 경우는 100% 산소를 공급하는 방법과 산소 체적비율 감소시 감소량에 해당되는 부분을 이산화탄소로 대체하여 재순환시키는 방법을 의미한다. 체적비율을 일정하게 유지해야 하는 이유는 기존 설비의 공연비가 공기에 최적화 되어 있기 때문에, 가능한 연소기 형상을 개조하지 않는 조건에서 관찰하기 위해서 선택되었다.

상기 사례는 CFX 상용코드를 이용하여 정상상태에서의 연소해석을 수행하였다. 단열화염조건에서 연소특성을 비교 분석하고자 한다.

3. SMV 시뮬레이션 결과

3.1 단열화염온도 및 속도 분포

단열화염조건 하에서 네가지 사례에 대해 수행된 결과는 연소특성이 확연히 다른 결과를 Fig. 3에서 보여 주고 있다. Case 1의 경우, 공기/연료 연소방식으로 연소기 내에 적정한 크기의 화염이 형성되어 있는 온도분포를 확인할 수 있다. 천연가스가 공기와 혼합하여 연소할 경우 2,300K 정도까지 온도가 상승하는 것으로 나타났다. 반면, 100% 산소만을 산화제로 사용하는 Case 2의 경우에서 보는 바와 같이 상당히 넓고 긴 화염이 형성되는 것을 확인할 수 있다. 이 경우 화염온도는 약 5,000K 까지 상승하는 것으로 나타났다. 산소가 50%이

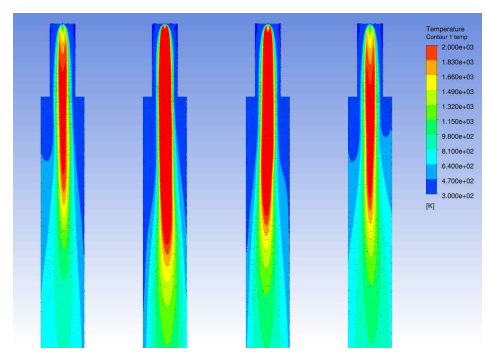
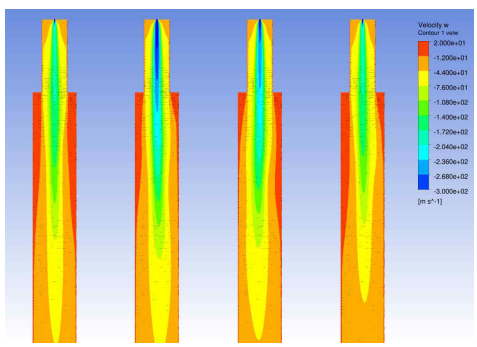


Fig. 3 Adiabatic Flame Temperature of Each Case

고, 재순환 이산화탄소가 50%인 경우, 화염의 형성이 상대적으로 감소하는 것으로 나타났다. 또한, 산소 체적비율이 23%이고, 재순환 이산화탄소가 77%인 경우는 공기연소방식과 비슷한 연소온도분포를 보여주고 있으며, 약간 화염길이가 긴 것으로 나타났다. 순산소 연소방식이 Case 4와 같은 연소방식을 적용할 경우, 연소기 온도상승 및 화염길이에 의한 구조변경은 필요하지 않을 것이다.

연소기 내의 속도변화를 관찰하기 위해 흐름방향의 속도분포를 비교하였다. Fig. 4는 연소기 하부로 진행되는 화염속도분포를 보여 주고 있다. 순산소시 화염온도가 높은 부분에서 상대적으로 속도가 낮게 나타나고 있으며, 순산소 연소방식의 속도가 조금 낮은 것을 case 1과 case 4로 부터 확인할 수 있었다.

단열화염조건 하에서 각 사례에 대한 단열화염온도분포와 속도분포 차이를 비교할 수 있었다. 세부적인 차이를 다음 절에서 기술하고자 한다.



case 1 case 2 case 3 case 4

Fig. 4 W-velocity Field of Each Case

3.2 순산소 연소효과

공기/연료 및 산소/연료의 연소방식에 대한 시뮬레이션 결과를 볼 때, 메탄의 농도는 Fig. 5에서 보는 바와 같이 약간의 차이는 있지만, 실제 적용된 체적유량은 동일하게 적용이 되었다. Fig. 6에서 보는 바와 같이, 각 사례별에 대하여 모니터링 포인트에서의 온도를 확인한 결과 화염부근에서는 다르게 나타나고 있으나 출구근처에서 온도차이는 크지 않은 것으로 나타났다.

본 결과로 볼 때, 순산소방식에 의해서 이산화탄소를 저감할 수 없는 것으로 나타났고, 공기/연료 및 산소/연료 연소방식에서 발생되는 산소는 동일하며, 화염온도 상승에 의한 열적인 개선효과도 크게 기대할 수 없는 것으로 나타났다. 화염온도의 상승은 배가스 온도를 상대적으로 크게 상승시켜 연료사용량을 줄일 수 있는 측면과 배가스의 온도상승으로 인한 온도효과로 LNG의 기화량을 증가시킬 수 있을 것으로 기대 했으나, 미미한 차이뿐이 확인할 수 없었다. 향후 재순환하는 이산화탄소의 온도상승에 의한 배가스의 온도상승효과가 발생되는 지를 검토할 필요가 있을 것으로 본다.

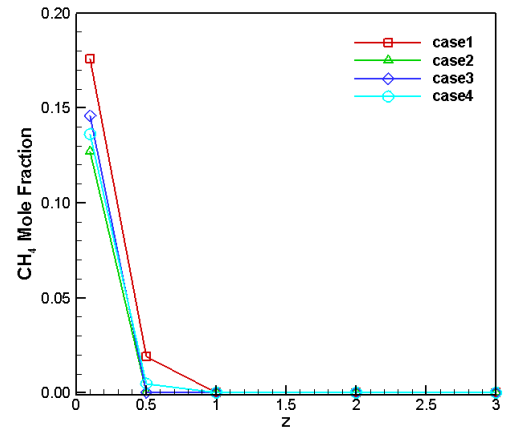


Fig. 5 Methane Mole Fraction of Each Case

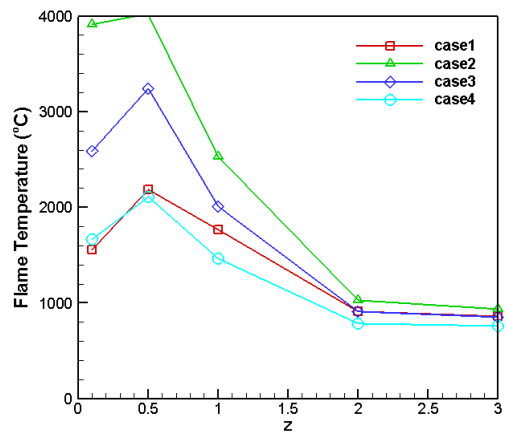


Fig. 6 Temperature with Monitoring Point of Each Case

4. 결 론

본 연구의 결과로부터 공기/연료 및 산소/연료 방식에 대한 시뮬레이션을 수행하였고, 그 결과로부터 SMV의 이산화탄소 및 효율향상 효과를 기대하기가 어려운 것으로 나타났으며, 추가적인 연구에서 재순환되는 이산화탄소의 온도상승 효과에 대한 효율개선 효과를 검토할 계획이다.

참고문헌

[1] Anflux, "CFX Advanced Training (Combustion & Radiation)", 2010.