

대형 가스오븐 시스템의 최적 설계

김도현* · 유병훈*** · 금성민**** · 이창언**†

Optimization Design of Large Gas Oven Systems

Dohyun Kim*, Byeonghun Yu**, Sungmin Kum****, ChangEon Lee**†

ABSTRACT

In this study, we examined through experimental study of the combustion conditions in order to optimize the 20,000kcal/hr class combustor being used in the commercial large gas oven. Through a consideration of the shape and the heat transfer area of the heat exchanger that is suitable for supplying heat quantity is designed and manufactured two heat exchangers were examined cooking chamber temperature change of the oven by the convection fan control method through advanced research.

Key Words : Gas oven, Heat exchanger, Heat exchanger tube array

최근 급격한 산업발전으로 인하여 세계적으로 에너지의 과소비와 환경오염 문제가 커다란 문제점으로 부각되고 있다. 특히 2012년을 기준으로 주요 국가의 CO2 배출량 증가율을 살펴보면, 우리나라의 CO2 배출량은 1990년 대비 약 156%가 증가하여 중국, 인도에 이어 3번째로 높은 CO2 배출량 증가율을 보이고 있다. 이러한 상황에서 CO2 배출량을 선진국의 감축 목표인 1990년 이전 수준으로 낮추기 위해서는 현재 사용하고 있는 화석연료의 사용량을 60% 이상 절감해야만 하는 상황이다. 현재 기존의 화석연료 사용으로 인한 에너지의 과소비와 환경오염 문제를 해결하기 위해 많은 연구자들에 의해 신재생에너지 분야에 대한 연구가 활성화되고 있지만, 신재생에너지의 사용량은 2012년을 기준으로 전체 에너지 사용량 중 약 2.9%에 불과하여 이들로 문제를 해결하기 위해서는 장기간의 시간이 필요할 것으로 예측된다. 따라서 이들 문제를 가장 효율적이면서 경제적으로 해결할 수 있는 방안은 기존 화석연료를 사용하는 연소시스템에 대한 고효율 및 저공해 기술개발이라 할 수 있다. 연소시스템은 산업용, 수송용, 가정 및 상업용에 이르기까지 다양한 방면에서 이용되고 있다. 이 중 국내 부문별 에너지 소비현황을 살펴보면, 전체 에너지 소비량 중 산업용으로 사용되는 에너지를 제외하고 가장 많은 에너지를 소비하는

분야는 가정·상업용으로 전체 에너지 소비량 중 18.2%를 차지하고 있는 것을 확인할 수 있다^[1]. 이렇듯 다량의 에너지를 소비하고 있는 가정·산업용 분야에서 많은 비중을 차지하는 연소시스템은 난방을 위한 보일러 제품과 음식 조리를 하는 오븐 제품이라 할 수 있다. 이 중 보일러 제품은 계절적 특성을 가지고 있는 우리나라에서 많이 사용하고 있는 것으로, 이전부터 국내외 많은 기업들에 의해 기술개발이 꾸준히 진행되어 왔다. 하지만 공공기관뿐만 아니라 학교의 급식시설에서도 사용되고 있는 대형 가스오븐의 경우 관련 기술 수준이 미흡하여 수입제품에 의해 시장이 주도되고 있는 상황이다. 이러한 상황을 해결하기 위해서는 오븐제품의 기술개발 및 개선이 선행되어야 한다. 따라서 본 연구진은 오븐 내 온도를 단시간(8분)내에 가열하고 균일한 온도조건을(200℃±4%) 만족할 수 있는 대형 가스오븐을 개발하고자 하였다^[2].

Table 1 주요 국가의 1990년 대비 CO2 배출량 증가율 (2012년 기준, 단위: %) [1]

중국	미국	인도	러시아	일본
292.8	4.0	198.5	-27.5	13.8
독일	한국	이란	캐나다	영국
-20.6	156.0	95.2	24.4	-16.9

Table 2 국내 부문별 에너지 소비현황 (2012년 기준, 단위: %) [2]

산업 부문	수송 부문	가정□상업 부문	공공□기타 부문	계
61.7	17.8	18.2	2.3	100

* 인하대학교 기계공학과 대학원
 ** 인하대학교 기계공학과
 *** LG전자 L&E 연구센터 ES(연) 공조 컴프팀
 **** 한라대학교 기계자동차 공학부
 † 연락처, chelee@inha.ac.kr
 TEL : (032)860-7323 FAX : (032)876-7838

본 연구에서는 앞서 서술한 바와 같이 대형 가스오븐의 가열 공정을 최적화하기 위하여 가열 시 배출되는 공해물질을 최소화 하고 전열면적을 최적화하였다. 공해물질을 저감하기 위해 메탈화이버형 예혼합 연소기를 사용하였으며, 전열면적을 최적화 하기 위해 공급 열량을 고려한 열교환기를 설계를 하였다. 또한 대류 팬 제어 연구를 통해 가열 공정 내 온도편차를 최소화하고 최적의 운전조건을 도출하였다.

메탈화이버형 예혼합 연소시스템을 적용한 오븐의 공해물질 저감특성을 검토하기 위해 당량비 변화(0.78~0.95)에 따른 실험적 연구를 진행하였다.

Fig. 1 은 당량비 변화에 따라 오븐에서 배출되는 배기가스의 온도와 O₂농도 공해물질인 NO_x와 CO의 배출농도를 도시한 것이다. 당량비(산소농도) 0.78(5%)근처의 연소조건은 NO_x 배출량과 CO배출량이 가장 낮았지만 화염온도가 낮아 시스템효율을 고려하였을 때 적절하지 않았다. 또한 고효율을 고려한 당량비인 0.95(1%)근처의 연소조건에서는 화염온도는 높았지만 당량비 0.87(3%)근처의 연소조건부터 NO_x와 CO의 배출량이 급격하게 증가하여 적절하지 않았다. 이를 모두 고려하였을 때 당량비 0.78(5%)의 연소조건보다 화염온도는 높으며 NO_x 36.2ppm 배출량과 CO 2ppm이하로 배출되는 당량비0.82(4%)의 연소조건이 최적임을 확인하였다.

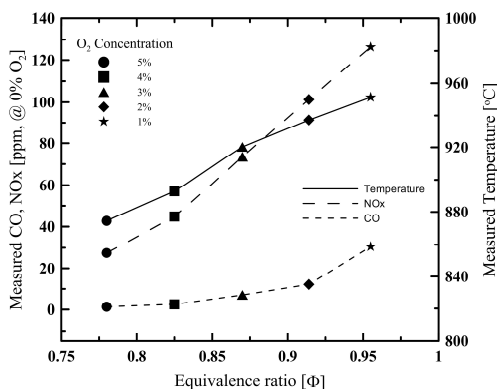


Fig. 1 Emission characteristics with equivalence ratio [Temperature, NO_x, CO]

충분한 전열면적을 갖는 열교환기를 설계하기 위하여 설계인자인 총괄열전달계수와 대수평균 온도차를 계산하였으며, 공급열량에 따른 필요 전열면적을 계산하였다. 계산된 필요 전열면적 값은 약 0.56m²이었으며, 계산과정에 있어 총괄 열전달계수와 대수평균온도차는 전열면적 계산 값에 많은 영향력을 주는 것을 확인하였다. 여기서 계산된 전열면적을 대형가스오븐에 적용하기 위해서는 가스오븐의 내부공간을 고려해야

된다. 때문에 Table. 3 과 같이 배열이 다른 두 가지 형상의 열교환기를 설계하여 제작하였다^{[3][4][5][6]}.

Table. 3 characteristics of heat exchanger

Shape		
Array	(In)2row-(Out)1row	(In)1row-(Out)2row
Heat transfer area	0.47m ²	0.55m ²
Material	STS 316L	

조리실 내 온도를 균일하게 하기 위하여 대류 팬의 작동방법 따른 오븐 내 조리실 온도변화를 측정하였으며, 결과는 다음과 같다.

Fig. 2과 Fig. 3는 두가지 열교환기에 대해 대류 팬 작동주기 변화에 따른 조리실 내 중앙부가 최초 200℃까지 승온하는데 걸리는 시간을 비교한 결과이다. 열교환기의 안쪽 배열을 2열로한 Case1이 Case2보다 200℃까지 최대 약 15초로 빠르게 200℃에 도달하였다. Table. 4는 조리실 내 온도를 1시간동안 200℃로 유지하였을 때 상단, 중단, 하단의 평균온도와 온도편차를 비교한 결과로 상단과 중단에서는 비슷한 평균온도와 온도편차를 보였지만, 하단의 경우 Case1이 Case2 보다 온도편차가 크게 나타나는 것을 확인하였다. 이와 같은 결과를 통하여 열교환기 배열 및 대류 팬의 작동방법은 승온구간 및 온도유지 구간에서 중요한 인자임을 확인하였다.

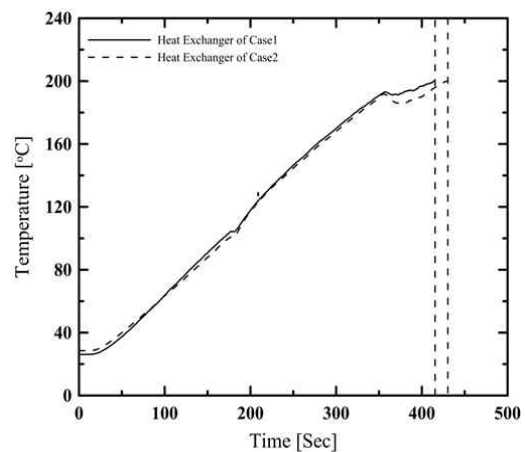


Fig. 2 Comparison of center temperature according to times at a temperature rising period [20,000Kcal/hr, Clockwise]

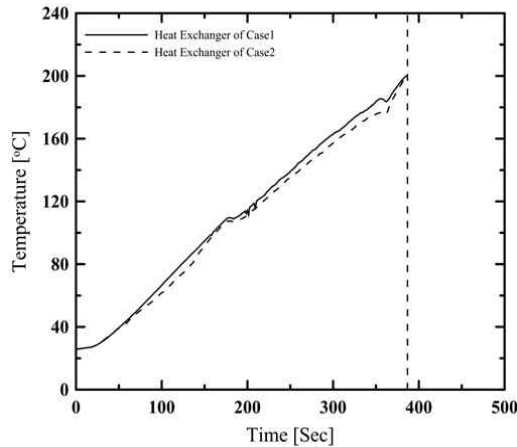


Fig. 3 Comparison of center temperature according to times at a temperature rising period [20,000Kcal/hr, Counterclockwise]

Table.4 Comparison of the mean temperature and the standard deviation(SD)

	Heat Exchanger	Convection fan Start direction	Top	Middle	Bottom
Mean Temp (°C)	Case1	Clockwise	201.7	202.4	199.5
		Counter Clock wise	201.6	202.4	198.7
SD (°C)	Case1	Clockwise	3.53	3.10	3.35
		Counter Clock wise	3.04	3.18	5.02
Mean Temp (°C)	Case2	Clockwise	199.1	202.3	201.5
		Counter Clock wise	198.8	202.2	201.0
SD (°C)	Case2	Clockwise	3.14	3.47	4.69
		Counter Clock wise	3.06	3.22	4.36

대형가스오븐의 시스템 효율을 검토하기 위하여 조리실 내 가열과정 동안 배출되는 배기가스의 열량을 계산하여 공급열량에 따른 시스템 효율을 계산하였다. 계산 결과로 Case1의 열교환기는 최대 75.81%, Case2의 열교환기는 최대 77.27%이었으며, 이 결과를 통해 전열면적이 시스템 효율에 직접적으로 영향을 주는 것을 확인하였으며, 최근 에너지 과소비 문제 측면에서 볼 때 Case2의 열교환기는 상업용 대형 가스오븐에 Case1의 열교환기 보다 더 적합하다고 판단되었다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2014년도 산학협력 기술개발사업(No.C0249848)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

참고 문헌

[1]Olivier, Jos G. J., Janssens-Maenhout, G., Muntean, M. and Peters, J. A. H. W., 2013,

“Trends in global CO2 emissions: 2013 Report,” PBL Netherlands Environmental Assessment Agency, Hague, pp.12~20.
 [2]Sonn, Y. H., 2013, Yearbook of Energy Statistics, Korea Energy Economics Institute, Uiwang-si, Republic of Korea, pp. 4-21.
 [3]Incropera, F.p., David P. Dewitt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. Fifth Edition. John Wiley & sons, Inc. Hoboken, NJ. 2002.
 [4]Grimison, E. D., “Correlation and Utilization of New Data on Flow Resistance and Heat Transfer for Cross Flow of Gases Over Tube Banks”, Transactions of the ASME. Vol. 59, pp. 583-594. 1937.
 [5]Zhukauskas, A., R. Ulinskas. Heat Transfer in Tube banks in Crossflow. Hemisphere Publishing Corporation. New York, NY. 1988
 [6]Bejan, Adrian. Convection Heat Transfer. Third Edition. John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, NJ. 2004