

상업용 대형 가스오븐 시스템의 최적 설계

김도현* · 유병훈* · 금성민** · 이창언***†

*인하대학교 자동차동력계부품 지역혁신센터, **한라대학교 기계자동차공학부, ***†인하대학교 기계공학과
(2016년 4월 14일 접수, 2016년 5월 24일 수정, 2016년 6월 16일 채택)

Optimization Design of Commercial Large Gas Oven Systems

Do-Hyun Kim*, Byeonghun Yu*, Sungmin Kum** and Chang-Eon Lee***†

*Regional Innovation Center for Automobile Inha University

**School of Mechanical and Automotive Engineering, Halla University

***†Department of Mechanical Engineering, Inha University

(Received 14 April 2016, Revised 24 May 2016, Accepted 16 June 2016)

요 약

본 연구는 국내 상업용 대형 가스오븐 시스템 개발을 목표로 연소기의 연소조건에 대한 수치해석 및 실험을 통해 적정 당량비를 결정한 후 공급열량(20,000 kcal)에 적합한 열교환기를 설계하고 대류 팬 제어방법을 검토하여 상업용 대형 가스오븐 시스템 설계 및 최적운전조건을 도출하는 것이다. 실험결과 당량비는 0.82가 가장 적절하였고 오븐 내부 중앙지점의 온도가 200℃까지 도달하는데 걸리는 시간은 대류 팬의 회전방향이 반시계방향일 때 시계방향 보다 단축되었다. 또한 오븐 내부의 온도를 균일하게 유지하기 위해서는 대류 팬 제동장치가 필요하였다. 오븐 내부의 승온구간과 온도유지구간 동안 배출되는 배기가스의 열량을 통해 시스템 효율을 비교한 결과 전열면적이 큰 열교환기를 설치한 시스템의 효율이 높게 나타났다.

주요어 : 가스오븐, 열교환기, 당량비, 대류 팬

Abstract - This research was conducted for the optimal design of large commercial gas oven system. Equivalent ratio was determined through a numerical analysis and experiments on the combustion condition of the combustor. After reviewing the supply capacity of burner(20,000 kcal) and control method of convection fan, two types of heat exchangers designed. In order to maintain a uniform temperature inside the oven is required convection fan braking system. The center temperature in the oven rises more rapidly when the convectional fan is rotated in the counterclockwise direction than the counter-clockwise direction. And The efficiency of the system by installing a large heat transfer area was higher.

Key words : Gas oven, Heat exchanger, Equivalence ratio, Convection fan

1. 서 론

상업용 오븐은 열풍과 스팀을 이용해 짧은 시간에 많은 양의 요리와 다양한 종류의 요리를 만들 수 있는 조리 기기로 음식의 영양가 손실을 최소화하고 위생적인 조리

가 가능하여 학교, 병원, 기업체 구내식당, 호텔, 상업용 주방 등에서 주로 사용되고 있다. 상업용 오븐 국내시장 규모는 2013년 기준 약 500억원이다. 이 중 조달시장의 50%와 일반시장의 80%는 외국제품(독일, 미국, 이탈리아 등)이며 2015년 국내 약 15~20개 업체가 국산화개발을 통해 수입산 제품과 경쟁을 벌이고 있다. 상업용 오븐은 크게 전기식과 가스식으로 구분되는데 전기식은 온도 조절이 용이하다는 장점은 있으나 전력소모량이 많고 조

†To whom corresponding should be addressed.
Department of Mechanical Engineering, Inha University
Tel : 032-860-7323 E-mail : chelee@inha.ac.kr

리시간이 길어 소형에 적합하다. 반면 가스식은 전기식에 비해 높은 발열량으로 인한 조리시간단축과 운영유지비의 절감이 가능하고 특히 구이, 찜, 튀김, 데침, 삶기 등의 많은 양을 조리할 수 있어 상업용이나 단체급식용으로 사용되고 있다.

오븐 성능을 좌우하는 것은 기본적으로 오븐실의 온도 상승시간과 내부온도를 얼마나 균일하게 유지하는가 하는 것이다. 초기에는 버너에서 발생하는 열기가 오븐실 내로 흘러들어가게 하는 자연대류 방식이었으나, 현재는 대류 팬을 이용하여 송풍하는 컨벡션 방식이 오븐 기능에 적용되어 온도상승시간을 자연대류 방식 대비 5~7분 정도 단축시키게 되었고, 오븐실 내부의 온도 차이도 약 10°C 이내로 줄여 오븐 요리성능을 한 단계 향상시켰다. 또한 오븐실내에 칠한 코팅재료를 신소재로 개발하여 요리시 음식물에 원적외선이 침투되어 육질의 맛을 향상시키는 기술도 상품화되었다.

현재 상업용 가스오븐에 대한 국내연구는 거의 없으며, 전기 오븐에 대한 연구는 박영훈[1] 등이 오븐의 스팀 출구위치에 따른 오븐 내부유동을 수치해석적으로 연구하였다. 노선중[2] 등은 전기오븐의 팬에 의한 강제대류 열전달 특성을 보고하였으며, 정준규[3] 등은 전기오븐에서 조리성능 예측의 중요 인자들 중 하나인 강제대류에 의한 오븐 내부유동 정확도를 예측하기 위해 PIV측정과 CFD 해석 결과를 비교 검토하였다.

지금까지 언급한 국내 연구 결과들은 전기 오븐에 해당되는 기술로서 수치해석적 연구이기 때문에 상업용 가스오븐을 개발하기 위한 핵심기술과는 연관성이 적다고 할 수 있다. 특히 상업용 가스오븐의 경우 첫째 가스버너

의 당량비 및 배기가스 공해물질 저감 등에 대한 검토가 이루어져야 하며, 둘째 오븐 내부의 조리 기준온도까지의 상승과 적정온도 유지를 최적화 할 수 있는 열교환기 설계 및 대류 팬에 대한 제어를 검토해야만 한다.

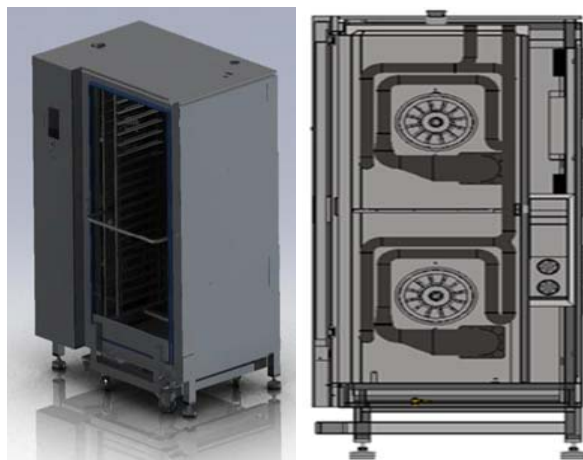
따라서 본 연구에서는 국내 상업용 대형 가스오븐 시스템 개발을 목표로 연소기의 연소조건에 대한 선행연구 및 실험을 통해 적정 당량비를 결정한 후 공급열량에 적합한 열교환기를 설계하고 대류 팬 제어방법을 검토하여 상업용 대형 가스오븐 시스템 설계 및 최적운전조건을 도출하고자 한다.

2. 실험장치

2-1. 가스오븐 구조

Fig. 1은 본 연구 대상인 상업용 대형 가스오븐 개략도이다. 가스오븐 내부용적은 805×520×1583 mm이고 재질은 스테인레스(SUS 304)이다. 오븐 내부 선반(shelve)은 20단으로 설계하였고 오븐 내부 좌측에 연소기, 열교환기 및 대류팬(원심식, 지름: 250 mm, 갯개수: 12개)을 설치할 수 있도록 하였으며 내부용적을 감안하여 연소기, 열교환기 및 대류팬은 두 세트이다. Fig. 2는 연소기 개략도이다. 연소기는 원통형 메탈화이버(지름: 36 mm, 높이: 90 mm)로 제작하였고 연소방식은 예혼합방식이다. 열교환기는 컴팩트하게 부착할 수 있도록 튜브형으로 설계하였고 열교환 효율을 높이기 위해 대류 팬을 열교환기 중앙에 설치하였다.

Fig. 3은 대류 팬(송풍기)의 개략도이다. 대류 팬은 원심식인데 원심식은 서지(surge)현상이 없고 공기량 변화



(a) Front view (b) Left side view

Fig. 1. Gas oven

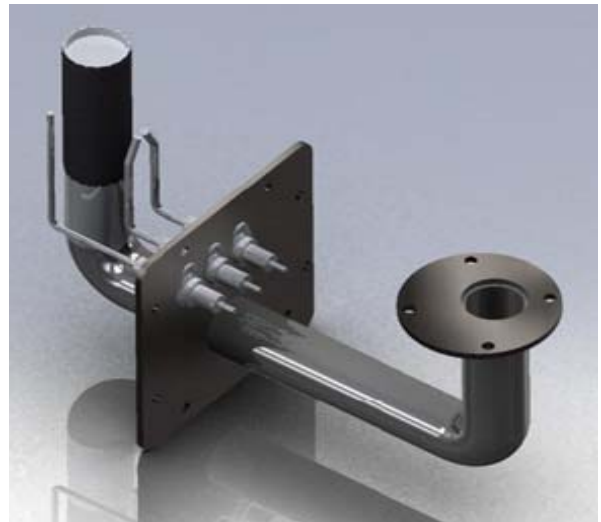


Fig. 2. Metal-fiber burner

에 대해 축동력이 선형적으로 증가하는 것이 장점이 있기 때문에 송풍기 제어에 유리하다. 본 연구에서 사용한 대류 팬은 열교환기와 360° 방향에서 열교환을 하기 위해 케이싱이 없고 휠(Wheel)로 구성되어 있다. 그리고 팬 형태는 레이디얼 형태인데 이것은 시계방향과 반시계방향으로 회전해도 열교환하는 공기 방향이 특정방향으로 치우치지 않게 하기 위한 것이다.

2-2. 열교환기

가스오븐에 공급되는 열량은 약 20,000 kcal/h로 정하고 오븐 내부구조를 감안하여 형상은 튜브형 다관식으로 제작하였다. 열교환기 설계시에 첫째 열교환기 중앙부에 대류팬이 위치해야하고, 둘째 열교환기 입구안쪽에 연소기가 배치되어야하며, 셋째 519×138×779 mm 용적안에 열교환기가 설치되어야 하고, 넷째 열교환기 안쪽 공간의 지름을 250 mm 이하로 하여 대류팬을 부착해야 한다는 점을 고려하였다. 열교환면적은 공급열량, 연소가스의 입 출구온도, 대류팬의 송풍량 등을 감안하여 계산하였고 열교환기 안쪽에 대류팬을 부착하기 위해 관직경을



Fig. 3. Convection fan and motor

조정(부분적으로 100A와 40A를 함께 사용)하였다. Fig. 4는 두가지 형태의 열교환기(Case 1, Case 2)를 나타내며 Table 1은 Case 1과 Case 2의 제원이다.



Case 1



Case 2

Fig. 4. Heat exchanger

Table 1. Characteristics of heat exchanger

Heat exchanger type	Case 1	Case 2
Arrangement	(In) 2 Lines - (Out) 1 Line	(In) 1 Line - (Out) 2 Lines
Heat transfer area(m2)	0.48	0.55
Material	STS 316L	
Pipe size	100A→40A	

3. 실험방법

3-1. 연소기 배기가스 배출 특성

오븐에 공급되는 연료는 LNG이며 당량비 변화에 따른 배기가스의 CO와 NO_x 배출량을 측정하기 위해 TESTO 340을 사용하였다. 정확한 당량비 조정을 위해 질량유량계 및 습식 가스미터를 사용하였으며 최적의 당량비를 정하기 위해서 PREMIX코드를 이용하여 수치해석을 하였고 그 결과를 기초로 예비실험을 통해 최적의 당량비를 결정하였다.

3-2. 온도측정

열교환기 표면온도에 대한 데이터를 수집하기 위해 열화상 카메라(JADE J550M)를 사용하였으며 위치별 온도측정은 K-Type 열전대를 사용하였다. 온도 측정 위치는 열교환기의 각 파이프 중앙이며 데이터 수집장치인 데이터로거(HP 3852A)를 사용하여 컴퓨터로 처리하였다.

오븐 내부 조리실 온도변화를 측정하기 위해 오븐에 들어가는 20단 트롤리(Trolley)를 상단, 중단, 하단으로 나누어, 한국산업규격[4]에 제시된 Fig. 5와 같은 위치에 열전대를 설치하였다. 측정범위는 한국산업규격에 근거하여 200°C±4%를 목표로 대류팬 작동방법에 따른 오븐 내부 온도변화를 검토하였다.

3-3. 열교환기 면적 계산

연소기의 공급열량 20,000 kcal/h에 적합한 열교환기 전열면적을 계산하기 위해 먼저 식 (1)과 같이 대수평균 온도를 설정하였다.

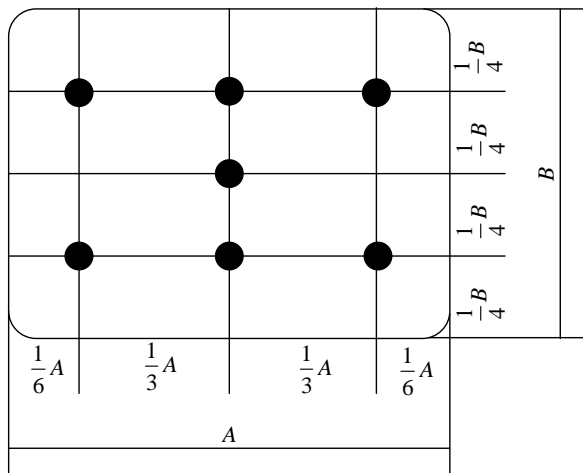


Fig. 5. Temperature measured point.

$$\Delta T_{LMTD} = \frac{\Delta T_1 - \Delta T_2}{\ln(\Delta T_1 / \Delta T_2)} \quad (1)$$

여기서 $\Delta T_1 = T_{g,i} - T_{a,o}$, $\Delta T_2 = T_{g,o} - T_{a,i}$ 이며 $T_{g,i}$ 는 열교환기 입구 연소가스온도, $T_{g,o}$ 는 열교환기 출구 배기가스온도이고 $T_{a,i}$ 는 오븐 내부 공기입구온도, $T_{a,o}$ 는 오븐 내부 공기 출구온도이다.

이때 관 직경은 오븐 내부 용적, 열교환기 설치위치 및 대류 팬 크기를 고려하여 100A와 40A를 조합하여 제작하였다. 열교환기 관 내부유동에 대한 대류열전달계수(h_i)와 관 외부유동에 대한 대류열전달계수(h_o)는 식 (2), (3), (4)의 Nusselt number로 계산하였고 총괄열전달계수(U_o)는 식 (5)로 구하였다.

$$Nu_{D_i} = 0.023 Re_{D_i}^{0.8} Pr^{0.3} \quad (2)$$

$$Nu_{D_o} = 1.13 C_1 C_2 Re_{D_o, max}^m Pr^{\frac{1}{3}} \quad (3)$$

여기서 D_i 는 열교환기 관 내부 직경, D_o 는 관 외부 직경이며 계수 C_1 , C_2 , m 은 Zukauskas[5] 자료를 활용하였다.

$$Nu = \frac{hD}{k} \quad (4)$$

$$U_o = \frac{1}{\frac{A_o}{A_i} \frac{1}{h_i} + \frac{A_o \ln(r_o/r_i)}{2\pi kl} + \frac{1}{h_o}} \quad (5)$$

여기서 첨자 i 는 관 내부, o 는 관 외부를 의미한다. 그리고 열교환기 면적은 식 (6)으로 계산하였다.

$$Q = U_o A \Delta T_{LMTD} \quad (6)$$

4. 실험결과 및 고찰

4-1. 당량비 변화에 따른 연소특성

Fig. 6은 당량비 변화에 따른 배기가스의 온도, NO_x 그리고 CO의 배출농도를 나타낸 것으로 당량비 $[\Phi = (FA)_{act} / (FA)_{stoich} = (AF)_{stoich} / (AF)_{act}]$ 가 증가할수록 CO가 증가하는데 이것은 당량비가 증가할수록 CO를 산화시킬 수 있는 O₂의 유효성이 감소하고 또한 높아지는 화염 온도 때문에 CO₂가 CO로 해리되는 경향이 강해지기 때

문이다. NOx 배출량 역시 당량비가 증가할수록 높아지며 이것은 당량비가 증가할수록 화염온도가 높아지기 때문이다. 실험결과 당량비가 0.78인 연소조건은 NOx와 CO 배출농도가 가장 낮았지만 화염온도가 낮아(열교환기 입구 연소가스 온도 약 880°C) 오븐 내 가열시간을 고려할 경우 적합하지 않다.

빠른 가열시간을 고려한 당량비 0.95인 연소조건에서는 화염온도는 높았지만 당량비 0.82인 조건(NOx는 50 ppm 이하)보다 NOx와 CO의 배출농도가 급격하게 증가하기 때문에 향후 강화되고 있는 환경마크인증 기준을 고려할 때 적합하지 않다. 따라서 열교환기 입구 연소가스 온도와 NOx 및 CO 배출농도를 고려할 때 당량비는 0.82(NOx는 50 ppm 이하이며 연소가스 온도도 당량비 0.78보다 약 14°C 높음)가 적절할 것으로 판단된다.

4-2. 오븐 내부 온도편차

열교환기 안쪽에 위치한 대류 팬은 가동-정지-재가동

을 반복하는데 오븐 내부 온도를 균일하게 유지하기 위해서는 대류 팬이 정지되는 시간을 조절할 필요가 있을 것을 예비실험을 통해 확인하였다. 즉 대류 팬에 제동장치를 설치하여 대류 팬이 정지하는데 소요되는 시간을 단축시킨 후 재가동을 시키면 오븐 내부의 온도가 적정하게 유지될 수 있다. 본 연구에서는 이것을 확인하기 위하여 Case별 열교환기를 설치하고 대류 팬의 초기 회전방향이 시계방향일 때 대류 팬의 제동장치 유·무에 따른 실험을 수행하였다. 제동장치가 없을 경우 대류 팬의 정지시간은 약 30초, 있을 경우는 약 7초이다.

Fig. 7은 Case 1 열교환기에 대하여 대류 팬 제동장치 유, 무에 따른 오븐 내부 중앙부(Fig. 5 참조) 온도분포를 시간에 따라 나타낸 것으로 온도 유지구간에서 제동장치가 없는 경우 온도 평균은 204.4°C, 표준편차는 5.45°C였다. 제동장치가 있는 경우 온도 평균은 202.4°C, 표준편차는 3.10°C로 나타났다. Table. 2는 Case별 열교환기에 대해 제동장치 유, 무에 따른 온도 평균과 표준편차를 나

Table 2. Comparison of temperature according to with or without braking system.

Heat exchanger	Braking system	Mean temperature(oC)	Standard deviation(oC)
Case 1	with	202.4	3.10
	without	204.4	5.45
Case 2	with	202.3	3.47
	without	204.4	5.62

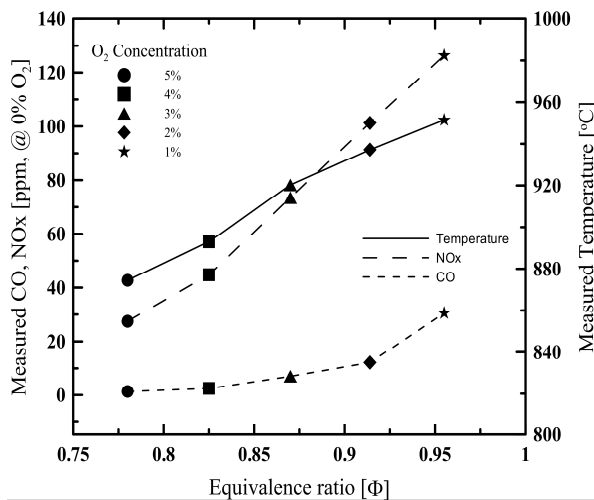


Fig. 6. Distribution of measured NOx, CO and exhaust gas temperature for various equivalence ratios.

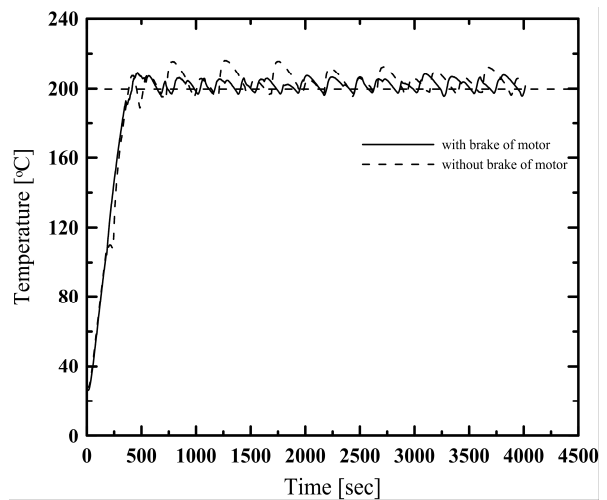


Fig. 7. Comparison of center temperature according to times(Clockwise, Case 1).

타낸다.

실험결과 대류 팬 제동장치가 없는 경우 오븐 내부 온도유지구간에서 대류 팬의 정지시간이 길어져 온도 편차가 커지기 때문에 온도를 균일하게 유지하기 위해서는 대류 팬 제동장치가 필요하다고 판단된다.

4-3. 대류 팬의 회전방향에 따른 오븐 내부 승온시간 및 유지구간 온도

앞서 언급했듯이 오븐 내부 피가열체가 균일한 온도로 조리되기 위해서는 오븐 내부의 설정 온도(200°C)까지 빠르게 승온이 되어야 하고 또한 조리기간 동안 적정 온도를 균일하게 유지하는 것은 매우 중요하다. 오븐 내부에서 최초 200°C까지 승온하는 시간을 단축하고 적정 온도를 유지하기 위해 대류 팬은 시계방향으로 일정시간 회전한 후 정지되고 다시 반시계방향으로 회전하는 동작을 반복한다.

본 절에서는 각각의 열교환기에 제동장치가 장착된 대류 팬을 적용하여 초기 회전방향에 따른 오븐 내 중앙부 온도가 200°C까지 승온하는데 걸리는 시간과 온도유

지구간 동안에 오븐 내부 상단, 중단, 하단의 온도변화를 비교하였다.

Fig. 8은 Case 2 열교환기를 설치한 후 대류 팬의 초기 회전방향에 따른 오븐 내부 중앙지점의 온도가 200°C까지 승온하는데 걸리는 시간을 나타낸 것으로 시계방향일 경우 7분9초 반시계방향일 경우 6분 26초로 나타났다.

Table 3은 열교환기 별 대류 팬의 초기 회전방향에 따른 승온시간을 나타낸다. Case 1과 Case 2 모두 회전방향이 반시계방향일 때 승온시간이 짧게 나타났다. 이것은 대류 팬의 회전방향(모터쪽 기준)이 반시계방향일 때 열교환하는 공기는 연소가스 방향과 대향류 형태로 열교환하기 때문으로 판단된다.[6, 7]

Table. 4는 열교환기 별 대류팬의 초기 회전방향에 따른 온도유지구간에서 상단, 중단, 하단의 온도변화를 나타낸 것으로 열교환기 Case 별 온도분포는 200±3°C 정도 이고 표준편차의 차이도 크지 않기 때문에 본 연구에서 선정할 열교환기는 시스템 효율을 계산한 후 결정해야 할 것으로 판단된다.

Table 3. Time of temperature rising according to rotation direction of convection fan

Heat exchanger	Direction of convection fan	Temperature rising time
Case 1	Clockwise	6' 54 "
	Counterclockwise	6' 26 "
Case 2	Clockwise	7' 09 "
	Counterclockwise	6' 26 "

Table 4. Comparison of the mean temperature and the standard deviation at oven chamber

	Heat exchanger	Direction of Convection Fan	Top	Middle	Bottom
Mean temperature(°C)	Case 1	Clockwise	201.7	202.4	199.5
		Counterclockwise	201.6	202.4	198.7
Standard deviation(°C)		Clockwise	3.53	3.10	3.35
		Counterclockwise	3.04	3.18	5.02
Mean temperature(°C)	Case 2	Clockwise	199.1	202.3	201.5
		Counterclockwise	198.8	202.2	201.0
Standard deviation(°C)		Clockwise	3.14	3.47	4.69
		Counterclockwise	3.06	3.22	4.36

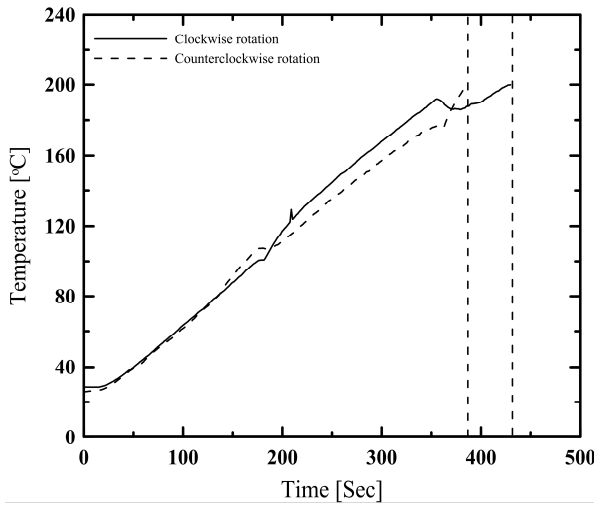


Fig. 8. Comparison of center temperature according to times at a temperature rising period(Case 2)

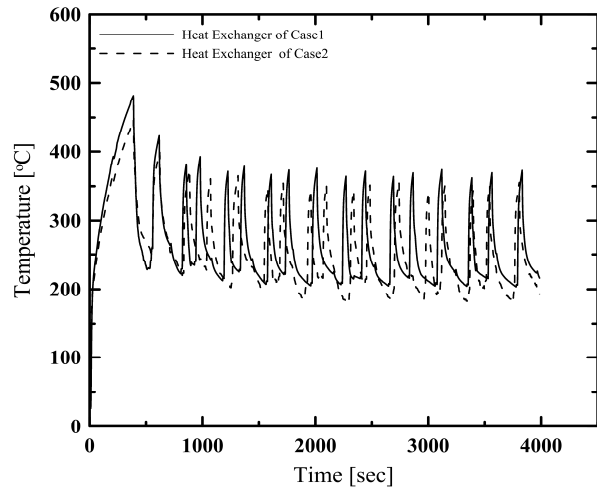


Fig. 10. Comparison of exhaust gas temperature according to times(Counterclockwise).

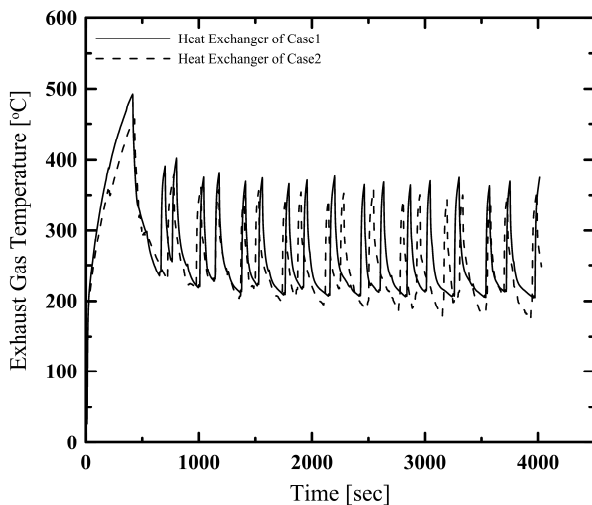


Fig. 9. Comparison of exhaust gas temperature according to times(Clockwise).

4-4. 배기가스 배출온도에 따른 가스오븐 효율

가스오븐의 효율을 계산하기 위해 가열시간 동안 배출되는 배기가스의 온도를 열량으로 환산하였으며, 총 열량값은 시간에 따라 적분하고 가열시간 동안 공급된 총 열량을 계산하여 가스오븐의 효율을 산출하였다.

Fig. 9는 열교환기 Case 1과 Case 2에서 대류 팬의 초기 회전방향을 시계방향으로 회전시켰을 때 배출되는 배기가스의 온도를 비교한 것이다. 승온구간과 온도유지구간에서 배출되는 배기가스의 온도는 전열면적이 큰 Case 2가 Case 1보다 낮았고 실험 측정시간 동안 가열되는 횟수는 총 18회였다. 효율을 계산한 결과 Case 1은 75.30%,

Case 2는 77.27%로 나타났다

Fig. 10은 열교환기 Case 1과 Case 2에서 대류 팬의 초기 회전방향을 반시계방향으로 회전시켰을 때 배출되는 배기가스의 온도를 비교한 것으로 Fig. 9와 같이 전열면적이 큰 Case 2가 Case 1 보다 승온구간 및 온도유지구간에서 낮은 온도로 배출되었고 실험 측정시간 동안 가열되는 횟수는 총 17회였다. 효율은 Case 1이 75.81%, Case 2는 76.30%로 계산되었다.

5. 결론

본 연구는 국내 상업용 대형 가스오븐의 열시스템 개발을 목표로 연소기의 연소조건에 대한 적정 당량비를 결정하고 공급열량에 적합한 열교환기를 설계한 후 최적인 운전조건을 도출하기 위한 것으로 다음과 같은 결론을 얻었다

- 1) 연소가스 온도와 공해물질인 NOx, CO의 배출특성을 감안할 때 당량비는 0.82가 가장 적절하였다.
- 2) 공급열량 20,000 kcal/h를 기준으로 하여 설계된 두가지 열교환기 모두 배기가스가 안정적으로 배출되어 연소시스템의 안전성에는 문제가 없다고 판단된다.
- 3) 두가지 열교환기를 적용하였을 때 오븐 내부 온도를 균일하게 유지하기 위해서는 대류 팬의 제동장치가 필요하며, 오븐 내부 중앙지점의 온도가 200°C까지 도달하는데 걸리는 시간은 대류팬의 회전방향이 반시계방향일 때 시계방향 보다 단축된다. 또한 오븐 내부 온도유지

구간에서 온도변화는 연구 목표인 $200 \pm 4\%$ 의 기준에 두 가지 열교환기 모두 만족하였다

4) 승온구간과 온도유지구간 동안 배출되는 배기가스의 열량을 통해 시스템 효율을 비교한 결과 전열면적이 큰 Case 2 열교환기를 설치한 시스템의 효율이 높게 나타났다.

후 기

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

References

1. Young Hun Park, Yu Jin Kim, Young Man Jung, Warn-Gyu Park, Study on the Internal Flow of an Electric Oven with Variation of Steam Outlet Position, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, 25(8), pp.450-456, 2013.
2. Sun Jong Noh, Cho Seong Ho, Hyeong Sik Kim, Dongseong Kwag, A Numerical Analysis of Forced Convection Heat Transfer in an Electric Oven, Proceeding of Korean Society of Computational Fluids Engineering, 5, pp.124-128, 2011.
3. J. K Jung, J. H. Lee, C. W. Lee, E. Y. Seo, Y. J. Park, M. K. Kwon, Experimental and Numerical Study on The Flow Field of An Electronic Oven, Proceeding of Korean Society of Computational Fluids Engineering, 11, pp.27-30, 2012.
4. Korea Industrial Standard, KS B 8115-Gas Oven Range, 2013, Seoul, Korea.
5. A. Zukauskas, Heat Transfer from Tubes in Cross-flow-Advances in Heat Transfer (18), Academic Press, 1972, NY.
6. Incropera, Dewitt. Fundamentals of Heat and Mass Transfer. 7th Edition. John Wiley & sons, 2011, NY.
7. Bejan, Adrian, Convection Heat Transfer. Third Edition. John Wiley & Sons," Inc. Hoboken, 1988, NY.