

대용량 청정 공기 가열 장치 설계

김정우* · 정광수** · 전민준*** · 이규준*

Design of Large Capacity Clean Air Heater

Jeongwoo Kim* · Kwangsoo Jung** · Minjoon Jeon*** · Kyujoon Lee*

ABSTRACT

2 Types of heater (Vitiated Type, Clean Air Type) in order to increase the temperature for a test are used for industry. In this report, large capacity clean air type heater was designed. Heater capacity and LNG consumption rate can be calculated by the air mass flow and heater inlet/outlet temperature. The heater is composed by Burner, Furnace, Heat Exchanger, and Stack. The hot air from the burner and cold air from the tube inlet exchange their heat indirectly in the heat exchanger, so the desired temperature can be achieved at the exit of the tube.

초 록

공기 가열 장치는 크게 연소식과 열교환식 2가지가 있으며, 본 논문은 공기를 오염시키지 않은 열교환 방식인 청정 공기 가열 장치의 설계 방법을 기술하였다. 가열 장치는 크게 연소기 (Burner), 가열로 (Furnace), 열교환기 (Heat Exchanger), 배기구로 구성되어 되며, 가열되는 공기 유량과 입/출구 온도 값으로부터 가열원인 연소기의 열용량과 연소기 연료인 LNG의 소요량을 구한다. 열교환기 내부에서 연소기의 뜨거운 연소가스와 가열되는 차가운 공기간의 열매체를 통한 간접 열교환이 이루어지므로, 가열되는 공기의 입/출구 온도에서 열교환기의 용량, 크기, 작동 최대 온도를 얻을 수 있게 된다.

Key Words: Clean Air Heater(청정 공기 가열 장치), Heat Capacity (열용량), LNG Burner (LNG 버너), Heat Exchange (열교환), Metal Linear Expansion (금속 선팽창)

1. 서 론

고온 공기를 공급하는 시험용 공기 가열 장치

는 크게 2가지 형태로 나뉘게 된다. 첫 번째 연소식(Vitiated Type) 가열장치(Fig. 1)는 탄화수소나 수소 계열의 연료를 가열되는 공기 중에서 연소시키고 그 연소열로 공기를 가열하는 방식이다.

이 연소식 가열장치 (Vitiated Type) 는 연료의 연소열을 직접 이용하므로 쉽게 고온의 공기를 만들 수 있다는 장점이 있지만, 연소 생성물

* 국방과학연구소

** 한화

*** 수국 에너지환경사업본부

연락처, E-mail: kjw8211@freechal.com

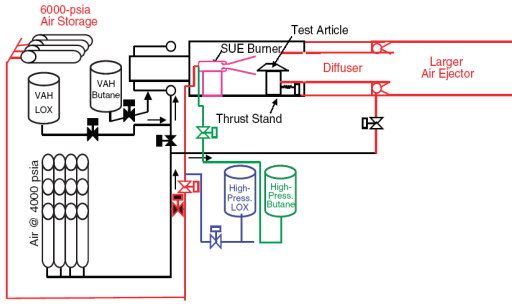


Fig. 1 Vitiated Heater Schematic

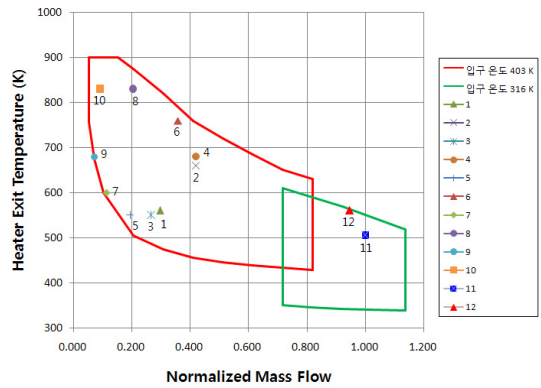


Fig. 2 Heater Performance Envelope

로 인해 가열되는 공기의 성분이 바뀌는 단점이 있다.[1] 두 번째 열교환식 가열장치 (Clean Air Type) 는 고온의 발열체와 가열되는 공기간의 간접 열교환을 통해 고온 공기를 만드는 방식이다.

두 가지 형태 중 열교환식 가열장치를 선정하였고, 본 논문에서 이 청정 공기 가열 장치의 설계 기법에 대하여 기술하였다.

2. 본 론

2.1 가열 장치 용량 설계

Table 1은 시험 조건 (공기 유량, 입출구 온도)

Table 1 Heater Performance Design

시험 조건	공기 유량	입구 온도 (K)	출구 온도 (K)	평균 C_p (kJ/kgK)	열용량
1	0.30	403	560	1.029	0.20
2	0.42	403	660	1.040	0.47
3	0.27	403	550	1.028	0.17
4	0.42	403	680	1.043	0.51
5	0.19	403	550	1.028	0.12
6	0.36	403	760	1.053	0.57
7	0.11	403	600	1.033	0.10
8	0.20	403	830	1.061	0.39
9	0.07	403	680	1.043	0.09
10	0.09	403	830	1.061	0.18
11	1.00	316	506	1.019	0.82
12	0.95	316	560	1.025	1.00

으로부터 열용량을 계산한 표이다. 공기 유량 값과 열용량 값은 최대값을 기준으로 Normalize 하였다. 열용량을 구하기 위하여 정압 비열 C_p 값을 알아야하는데, 일반적으로 상온에서의 C_p 값은 1.0035 (kJ/kgK) 로 알려져 있지만, [2] 요구 출구 온도 조건이 높으면 온도에 따른 C_p 값의 변화를 고려해 주어야 한다. 온도에 따라 변하는 C_p 값을 참고문헌 [3] 에서 확인할 수 있고, 입구 온도, 출구 온도에서 각각 구한 C_p 값을 산술평균한 값을 대표 C_p 로 사용하여 식, $Q = C_p m \Delta T$ 를 이용해 열용량을 구할 수 있다. 가열장치의 열용량은 최대 열부하조건인 12번 조건에서 계산할 수 있다.

공기 가열 연료는 LNG를 선택하였으며, LNG의 LHV (Lower Heating Value) 는 47.1 MJ/kg 이므로 최대 열용량 값으로부터 LNG의 최대 소모량을 계산할 수 있다.

Figure 2 에 시험 조건들을 토대로 설계한 가열 장치의 Envelope를 나타내었다.

2.2 가열 장치 구성

가열 장치는 Fig. 3과 같이 크게 연소기 (Burner), 가열로 (Furnace), 열교환기 (Heat Exchanger), 배기구로 구성된다.

연소기는 LNG를 점화시키는 역할을 하고, 가열로에서 이 화염에 의해 고온의 연소 가스를 생성한 후 이 가스가 배기구를 통해 빠져나가는

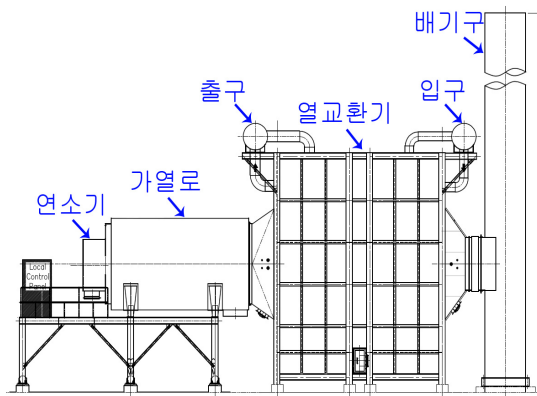


Fig. 3 Heater Schematic

동안 열교환기 입구로 들어온 공기가 열교환기 내부에서 간접 열교환을 통해 가열되는 공기의 온도를 높인 후 열교환기 출구로 빠져나가게 된다. Fig. 3 에는 보이지 않지만, 연소 팬 (Combustion Fan) 과 열희석 팬 (Dilution Fan) 이 각각 있어 연소기에서의 점화 및 화염 형성과 가열로 외벽 냉각을 돕는 역할을 한다.

① 연소기 및 가열로 (Burner & Furnace)

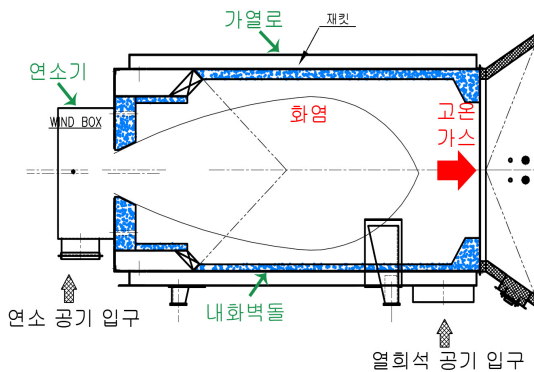


Fig. 4 Burner & Furnace

연소기에서 LNG를 점화한 후 가열로 내부에서 큰 화염이 형성되는데, 이 가열로 내부에 내화벽돌 (Castable Refractory) 이 있어 열로부터 보호를 해 주고 그 외부를 열희석 공기 (Dilution Air)가 흘러 공기층을 형성하게 된다.

② 열교환기 (Heat Exchanger)

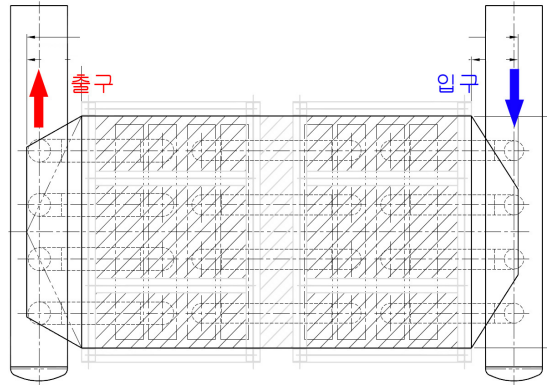


Fig. 5 Top View of Heat Exchanger

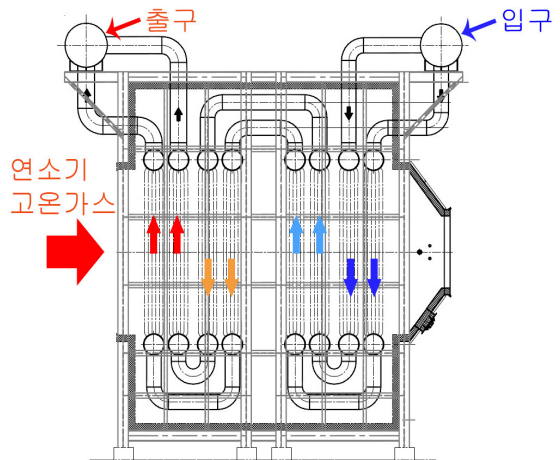


Fig. 6 Front View of Heat Exchanger

열교환기 입구로 들어간 공기는 4 갈래씩 2개의 경로로 나뉘며, 그 후 직경 6.5 mm 튜브 다발로 나뉘어 들어간다. 열교환 튜브들은 열교환기 내부에서 4번 왕복하며 연소기에서 온 고온가스와 간접 열교환을 통해 필요한 온도를 얻게 된다. 열교환 튜브들은 고온에 견뎌야하므로 튜브의 재질은 SUS 304로 선택하였고, 열교환기 상단을 고정점으로 하고, 각각의 튜브들이 아래로 자유롭게 팽창할 수 있도록 설계하였다. 가장 입출구 온도 차이가 큰 8번 시험조건에서의 열팽창을 다음과 같이 계산하였다.

- SUS 304 의 열팽창계수 : $17.3 * 10^{-6}$ m/mK
- 입구온도 : 403 K
- 출구온도 : 830 K
- 튜브길이 : 4.35 m
- 열팽창률 = 처음 길이 * 열팽창률계수 * 온도 차이 = $4.35 \text{ m} * 17.3 * 10^{-6} * (830 - 403) = 0.032 \text{ m}$

열교환 튜브가 4번의 경로를 거치면서 출구 온도를 얻기 때문에 하나의 튜브에서 (830 - 403) 만큼의 온도차이가 나지는 않으므로 이 0.032 m 값은 마진을 포함한 값이다. 튜브들 각각의 아래쪽에는 열팽창을 충분히 고려하여 약 100 mm 가량의 거리를 가지도록 설계하였다.

③ 배기구

배기구는 LNG 연소가스에 의한 주변의 피해를 최소화할 수 있도록 높게 설계하였고, 검사 구멍(Inspection Hole)을 설치하여 필요시 연소가스의 성분을 검사할 수 있다. 아래쪽에 사람이 통과가능한 구멍을 만들어 검사가 용이하게 하였다.

3. 결 론

대용량 열교환 방식의 청정 공기 가열장치 설계 과정을 기술하였다. 시험 조건 (공기 유량, 입출구 온도) 에서 가열 장치의 열용량을 구할 수 있고, 이 열용량을 구현하기 위해 필요한 LNG 소모량을 계산할 수 있다. 연소기에서 LNG를 점화하여 가열로에서 화염을 생성한 후 열교환기에서 간접 열교환을 통하여 가열되는 공기의 온도를 올릴 수 있도록 설계를 하였다. 열교환 튜브를 설계할 때 열팽창 뿐만 아니라 열팽창 차이로 인한 열응력을 고려하여 고온에서의 열 부하에 의한 파손을 방지하여야 한다.

참 고 문 헌

1. Adrian Blot, "Design of a Non-vitiated Heater Ground Test Facility for Supersonic Combustion," University of Florida, 2009
2. 노승탁, 공업열역학, 3판, 문운당, 2002
3. Anderson, John David, Fundamentals of Aerodynamics, 3rd ed., McGraw-Hill, 2001