

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol.18. No.1, 1998

흡수식 냉동기 고온재생기 내의 가스복사체 열전달 특성에 관한 연구

정 대 인 * 김 용 모 ** 배 석 태 ***

* 동명전문대학 교수
** 한국열유체 연구소장
*** 동명전문대학 전임강사

A study on the heat transfer characteristics of gas-radiative medium into a high temperature generator of an absorption refrigerator

Jung Dae-In *, Kim Yong-Mo **, Bae Suk-Tae ***

* *Dong Myung College*
** *Korea Heat & Fluid Co.*
*** *Dong Myung College*

Abstract

In this paper an experimental was done to design combustion chambers which is required radiation strength of high temperature generator of absorption rigerator. Particularly, in combustion chamber radiative mediums were set and basic experiments were done according to its size by radiation strength and effects of heat transfer promotion.

The results are as follows :

- 1) When radiative mediums were set in small combustion furnace burning nonframely radiative heat transfer was effected.
- 2) In case that area ratio(A/A_0) of radiative medium is 0.82 or over, temperature fluctuation effects of furnace inside were not nearly.
- 3) In experimental boundary heat transfer effects were 1.8 times by setting up radiative medium. Specially, $q/\Delta T$ values of furnace inside were uniformed nearly by setting up radiative mediums.

1. 서론

오존층 감소, 대기온도 상승등 환경파괴에 의한 지구 이상기후등의 환경문제가 최근 크게 크로즈업된 이후 이러한 문제에 대한 대응책이 여러가지의 방면에서 활발히 이루어지고 있다. 특히 프레온에 의한 오존층 감소문제가 대두되고 있다.¹⁾ 즉

1. 수소분자가 없는 염소만을 함유한 프레온은 대기중에 수명이 길고 성층권까지 도달하여, 분자중의 염소가 오존층을 파괴한다.
2. 이러한 이유로 단파장의 자외선 흡수가 감소하여 지표로의 조사량이 증가하는 악영향을 가져온다.
3. 대책으로서는 수소를 포함한다던가, 염소가 없는 물질로 대체화할 필요가 있다.

이러한 측면에서 건물의 냉난방 대체방법으로 흡수식 냉방장치의 설치를 의무화하고 있는 실정이다. 한편 물+리튬화브롬 흡수식 히트펌프는 흡수제의 독성이 거의 없고 화학적으로도 매우 안정되어 있어, 현재 거의 대부분의 흡수식 히트펌프가 리튬화브롬을 이용하여 상용화되고 있다.²⁾ 이러한 흡수식 히트펌프를 가동하기 위한 분리방식으로는 비등점차에 의한 분리하게 되는데 이러한 가열방식으로는 가스의 열원을 이용하여 분리하는 방식을 주로 채택하고 있다. 가스복사체의 전열기구 해명은 최근 대기환경오염을 줄이기 위한 방책으로 벙커C 연료에서 도시가스로의 전환 의무화되고 있는 연소로, 가열로 등의 연소실 해석에도 필요로하고 있다. 또한 공업로 열처리로 등과 같이 고온의 전열효과를 요구하는 공업로등에서의 LNG사용은 현실적으로 매우 어렵기 때문에, 고온의 연소실을 유지시키기 위하여서는 불완전연소와 2차 연소

를 통한 화염발생을 유도하는 등의 여러 가지 방법이 모색되고 있다.³⁾ 그 중에 최근에 시도되고 있는 방법이 복사 변환체를 이용한 방법으로 연소실내에 다공질체를 설치하여 이 다공질체를 가열하여 고온의 복사강도를 얻고자 하는 시도이다. 일반적으로 복사에너지 전달은 자외선의 일부로부터 적외선에 이르는 파장역의 전자파에 의해 이루어지는 것으로 알려져 왔다.⁴⁾ 그런데 연소가스중에 함유되어 있는 수증기 이산화 탄소에 의하여 흡수 복사되어지는 전자파는 그 파장역 전역에 분포되는 것이 아니고 각각의 분자 고유의 짧은 파장영역(흡수밴드)에 한하여 분포되어 있다.⁵⁾ 본 연구에서는 최근 사용이 급증하고 있고 LNG사용이 의무화되고 있는 공업용로에서 고온의 복사강도를 요구하는 연소실을 구성하고 흡수식 냉동기에서 최적형상의 가스연소실을 시뮬레이션으로 구하기 위한 실험으로서 실물보다 큰 구형의 실험장치로 만들어 복사 다공질 복사변환체의 크기에 따른 복사강도와 전열촉진 효과에 대한 실험을 행하였다.

2. 실험장치와 실험방법

2.1 실험장치

Fig.1은 연소실 주요부를 나타내고 있다. 연소실 단면은 $3.5 \times 4m^2$ 이고 연소실 길이는 1005mm이다. 연소실내의 온도는 연소버너로부터 단면의 중앙부위의 각각 80, 249, 418, 587, 756, 925 지점에 열전대를 설치하여 측정하였으며, 열전대를 깊이 방향으로 움직일 수 있도록 하여 연소실내의 온도를 측정할 수 있도록 하였다. Photo.1은 실험장치의 전경을 보여주며 가스량과 공기량이 조절가능한 연소버너의 최대열용량은 97,000cal/hr이다.

있다. 또한 열전달량을 측정하기 위하여 냉각수온도를 측정하였으며, 냉각수량의 측정을 위해서 비이커와 면적식 체적유량계를 설치하였다.

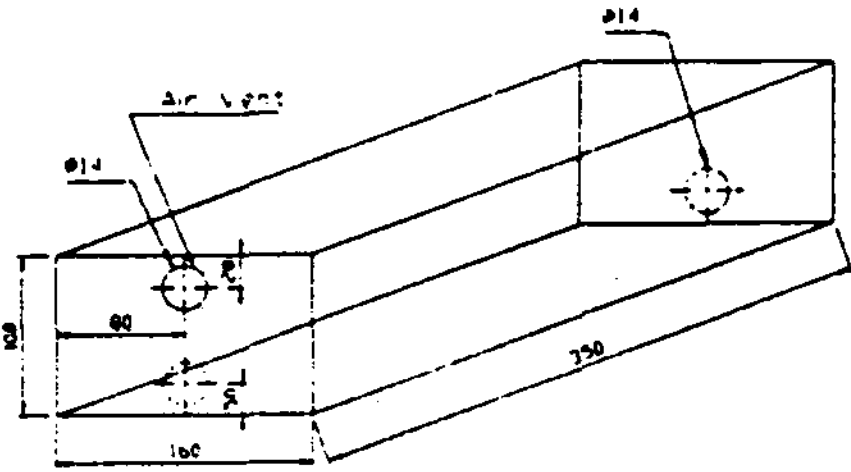


Fig.3 Size of cooling of water jacket

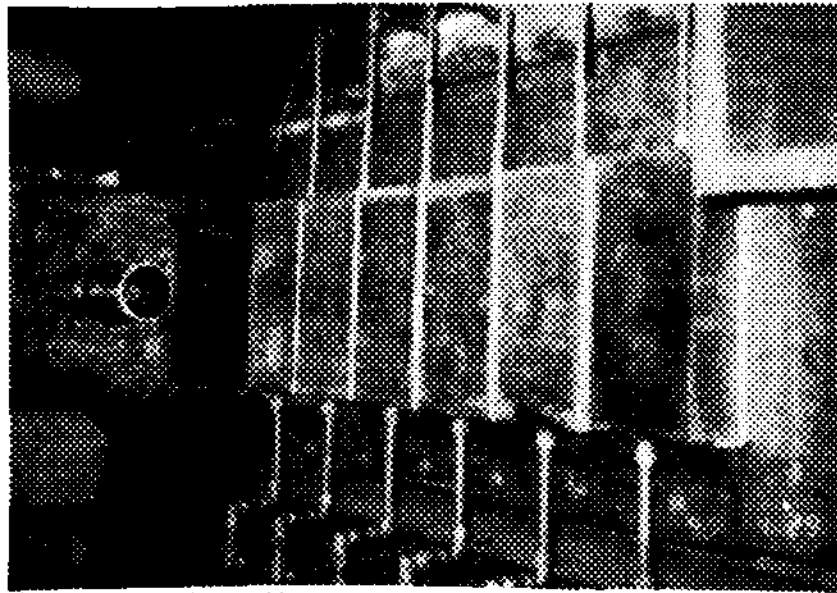


Photo.3 Cooling Water Tank

2.2 실험방법

연료는 LPG 가스를 사용하였으며, 사용량은 가스통의 일정압력하에서 단위시간당 가스 소비량을 정밀저울에 의하여 측정하였다.

Fig.4는 일정가스압력에 있어서 그때 소비된 가스량과의 관계를 나타낸 그림으로 실험시 가스 소모량은 가스압력을 측정함으로써 구하였다. 본 실험범위는 연소가스의 사용압력은 0.9 - 1.0 kg/cm² 이고, 질량유량은 1.45 - 1.8 g/sec 이다. 실험방법은 먼저 냉각수 펌프를 가동시킨 다음 각 구역별 냉각수가 정상상태에 도달되었는가를 확인한다. 가스버너를 가동시킨후 가스압력을 일정히 유지시키면서 각부 열전대의 온도가 정상상태에 도달되었을 때 각부의 온도를 측정하였다. 또한 각구역별

열전달량은 각 수냉벽 입출구 온도와 그때의 수량을 측정하여 구하였다.

한편 복사 변환체는 3번과 4번 열전대 사이에 삽입하였으며, 복사체의 크기에 따른 온도변화 및 복사변환 효과를 조사하였다.

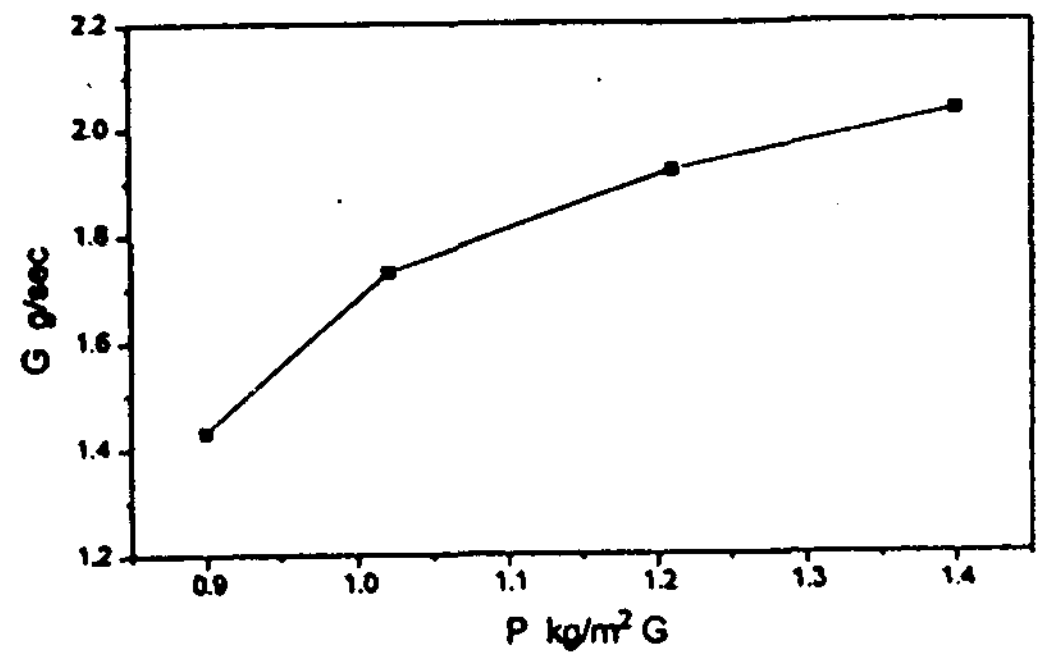


Fig.4 Gas Tank Pressure vs Gas Consumption rate

3. 실험결과 및 고찰

3.1 수치계산

본 실험에서와 같은 다공질판에서의 방사, 흡수 및 비등방적으로 산란하는 입자매체에서의 복사열전달 해석은 다공질판에서의 복사에너지의 흡수 산란등 계의 기하학적 형상 등에 지배되는 관계로 그 해석이 매우 복잡하게 된다. 따라서 해석적 방법에 의해 정확한 해를 구하는 것이 곤란하므로 일반적으로는 수치해석에 의한 근사해를 구하고 있다.

본 논문에서는 계의 평균거동을 결정하기 위한 확률론적, 통계적인 방법을 이용하여, 계의 물리적인 법칙을 수학적 함수로 표시하여 그 함수를 난수를 이용하여 수치해석하는 몬테카르로법으로 해석하였다. 그러나 기존의 몬테카르로법의 경우, 모든 관자에 대한 수치해석하는 것은 시간적,메모리적으로 너무나

방대하여 거의 불가능함으로 일반적으로는 난수를 이용하여 무작위로 추출한 유한 개의 에너지束으로 이것을 대표된다. 따라서 표본수의 감소와 사용하는 유사난수의 불완전성에 의하여 오차가 생기게 될 뿐만 아니라 계산시간이 많이 소요되는 등의 문제가 있다. 이에 대해 최근 이 방법의 문제점을 개선하기 위하여 연구⁶⁾가 이루어지고 있다.

해석방법은 먼저 복사에너지의 비행거리는 비어의 법칙에 의해 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$S_a = (I(o) - I(s)) / I(o) = 1 - \exp(-Ks) \quad (1)$$

여기서 K 는 감쇠계수이며, I는 복사강도, S는 위치를 나타낸다. 이것은 0에서 1까지의 값을 등확률적으로 가지는 것으로 난수 Rn에 의해 다음과 같이 표시될 수 있다.

$$R_n = 1 - \exp(-Ks) \quad (2)$$

따라서 복사 매체에서의 에너지 비행거리 s 는 그것이 상각되기 전에 비행한 거리로서 식 (3)과 같이 된다.

$$s = -\ln(1 - R_n) / K \quad (3)$$

한편 복사변환체 내에서의 복사에너지의 방사는 등방적임으로 Fig.5에서 알 수 있는 바와 같이 방사체의 미소체적 dV로 부터 방사된 에너지중 천정각 θ 는 방사되는 에너지의 누적방사 확률로 부터 다음과 같이 구하여 지며

$$R_n = 1/2 (1 - \cos \theta) \quad (4)$$

방위각 ϕ 는 식 (5)와 같이 구하여 진다.

$$R_n = \phi / 2\pi \quad (5)$$

상기와 같은 방법으로 복사에너지 방사위치 등을 난수를 사용하여 구한 다음 각각의 요소에서 방출되는 복사에너지의 방사량과 흡수율 등을 구한다. 본 논문에서와 같이 벽면과 열 방사성 입자로 구성된 계에 있어서 대류와 복사열전달이 공존하는 상태의 열전달 해석은 Fig.6에서 나타낸 바와 같이 계를 적당한 수의 벽요소와 매체요소로 나누어 한 요소에 출입하는 열교환량을 해석함으로써 구할 수 있다. 이것은 에너지 방정식

$$\delta \frac{Di}{Dt} = \frac{DP}{Dt} + \nabla \cdot (k \nabla T - q_r) + q_h + \phi_a \quad (6)$$

을 각 요소에 대하여 적분한 것으로서 매체요소와 벽요소에 있어서의 에너지 평형식은 각각 다음과 같이 표시된다.

$$\begin{aligned} Q_{m,rout} + Q_c + Q_{fout} &= Q_{m,rin} + Q_{fin} \\ Q_{w,rout} + Q_n &= Q_{w,rin} + Q_c \end{aligned} \quad (7)$$

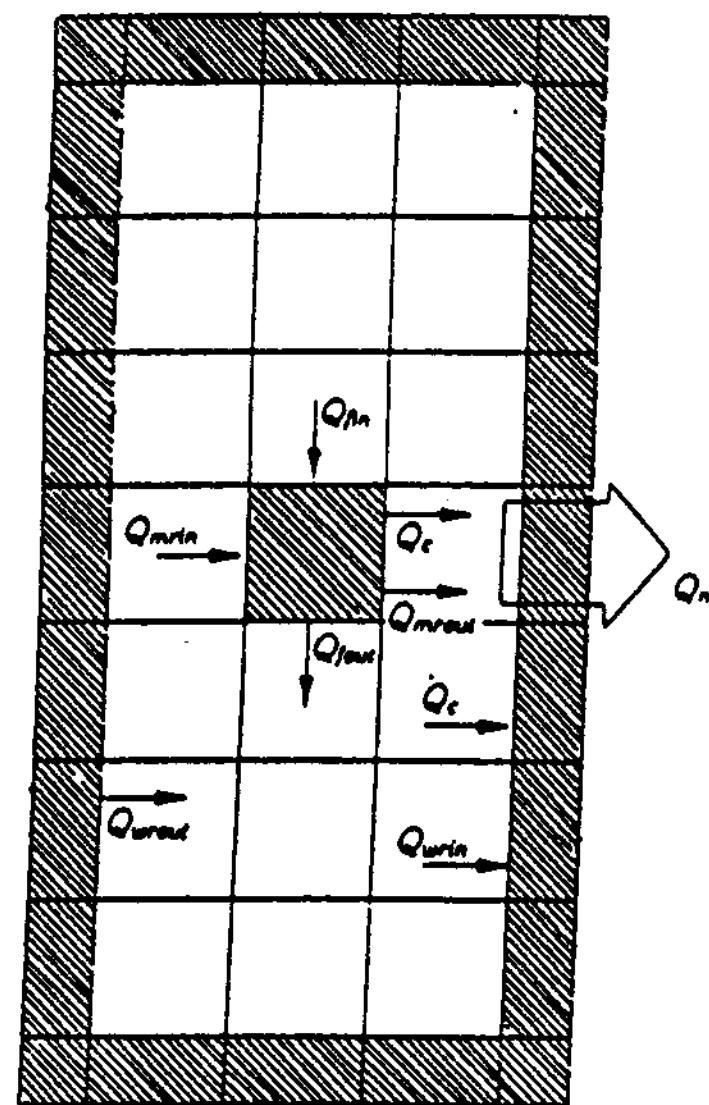


Fig.5 Energy balance in the system

3.2 실험 및 수치계산결과

Fig.6은 가스압력이 0.9 kg/cm^2 이며 이 값은 가스 질량유량이 1.45g/sec 일 경우 로내의 온도분포를 나타낸다. 이 그림은 복사변환체를 삽입하지 않은 경우의 로내 온도분포를 나타낸 그림으로서 버너 출구에서부터 화염과 상관없이 출구쪽으로 점진적인 증가를 나타내고 있다. 여기서 \blacksquare 은 외벽의 노내 표면 온도를, $+$ 는 가스 중앙부의 온도를 나타내고 있다.

그리고 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 로내의 중앙부는 외벽부근에 비하여 높게 나타나고 있음을 알 수 있으며 가스의 길이방향의 온도는 출구방향을 향하여 점차 증가하고 있음을 알았다. 이는 노내의 화염이 가지고 있는 열량이 미처 냉각수에 전달되지 못하고 출구로 빠져나가고 있는 현상으로 가스와 냉각수와의 충분한 열교환이 이루어지지 않았기 때문이다.

한편 수치해석결과를 연소실내에 가스의 연소가 1에서 4구역까지 균일한 발열로 가정하였으며, 가스 흐름은 균질한 피스톤흐름으로 가정하였다. 또한 단열벽의 흡수율 ϵ 은 0으로 가정하여 계산하였다. 그림에서 보는바와 같이 계산에서는 각 구역별 연소율이 일정하다고 가정하였기 때문에 실험결과에 비하여 전구역에 걸쳐 온도 상승율이 일정하게 나타난다. 특히 계산에서는 1에서 4구역까지 균일 발열로 가정하였기 때문에 5구역 이후 구간에서는 온도가 하강하고 있다. 여기서 전열면의 복사 흡수율이 증가할 수록 전열면과 가스의 열전달이 촉진되기 때문에 전열면의 흡수율이 0.1인 경우에 비하여 0.6인 경우 연소실내의 가스 온도가 낮게 나타난다는 것을 알 수 있다. 또한 이때의 각구역별 히트 플럭스

를 Fig.7에 나타내고 있다. 이 그림에서도 알 수 있는 것은 열전달량이 가스 온도와 흐름형태에 영향을 받고 있기 때문에 로내의 중앙부의 수열량이 비교적 높게 나타나고 있다는 것이다. 그러나 출구부의 열전달량은 온도가 높음에도 불구하고 낮게 나타나고 있는 것은 실험부의 상세도에도 알 수 있는 바와 같이 출구부에는 상측에 연돌이 설치되어 있기 때문에 대부분의 가스가 연돌로 빠져나가 하부의 수냉벽과 고온가스의 열전달을 어렵게 만들기 때문이라고 판단된다.

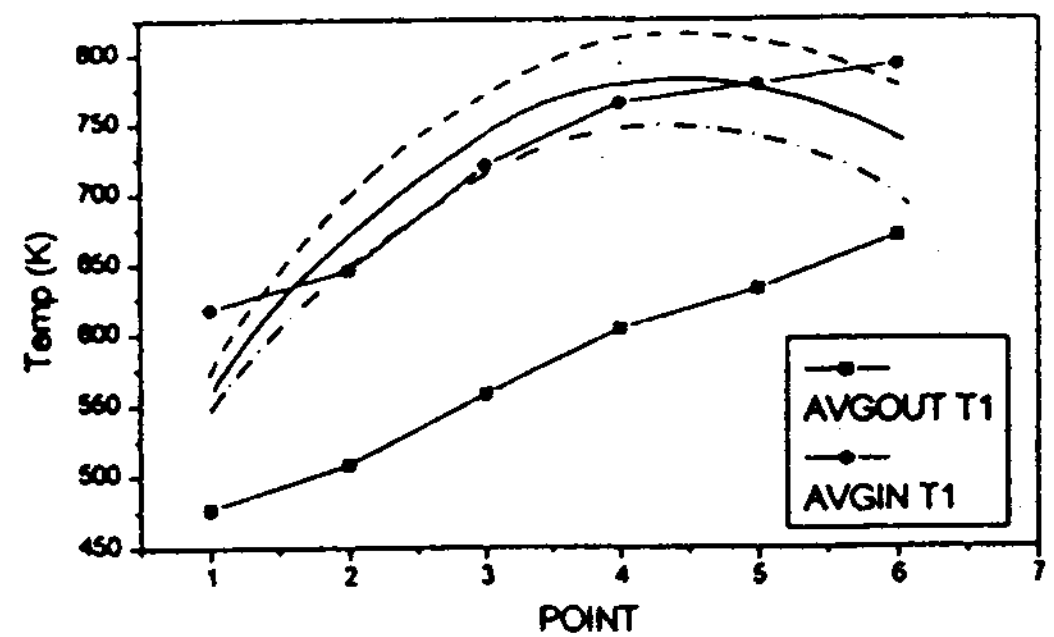


Fig. 6 Temperature Distribution in Furnace without Radiator

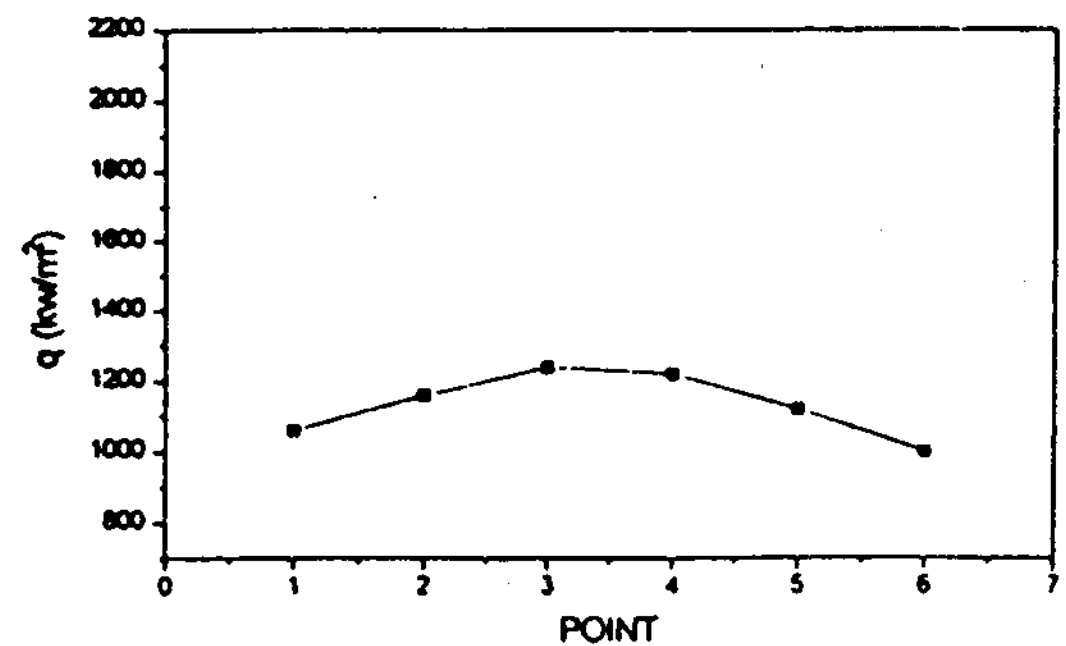


Fig.7 Heat Flux of each Zone without Radiator

Fig.8는 수냉벽 각구역에 있어서 실험적으로 구한 $q/\Delta T$ 값을 나타낸 그림이다. 그림에서 세로축은 대류 열전달계수를 의미하는데 버너 노즐 입구측의 값이 비교적 높고 출구측

으로 가면서 낮아짐을 알 수 있다. 일반적으로 대류열전달계수는 레이놀드수에 지배를 받기 때문에 본 실험장치의 경우 이 $q/\Delta T$ 값이 일정하게 나타나는 것이 보편적이라 판단되나, 본 실험장치에서는 노즐 입구측이 비교적 높게 나타나고 있다. 이것은 입구측의 고온의 단열벽으로부터 복사에너지가 유입되기 때문에 상대적으로 입구측 구간의 수냉벽에서의 열전달값이 높게 나타나고 있다고 판단된다.

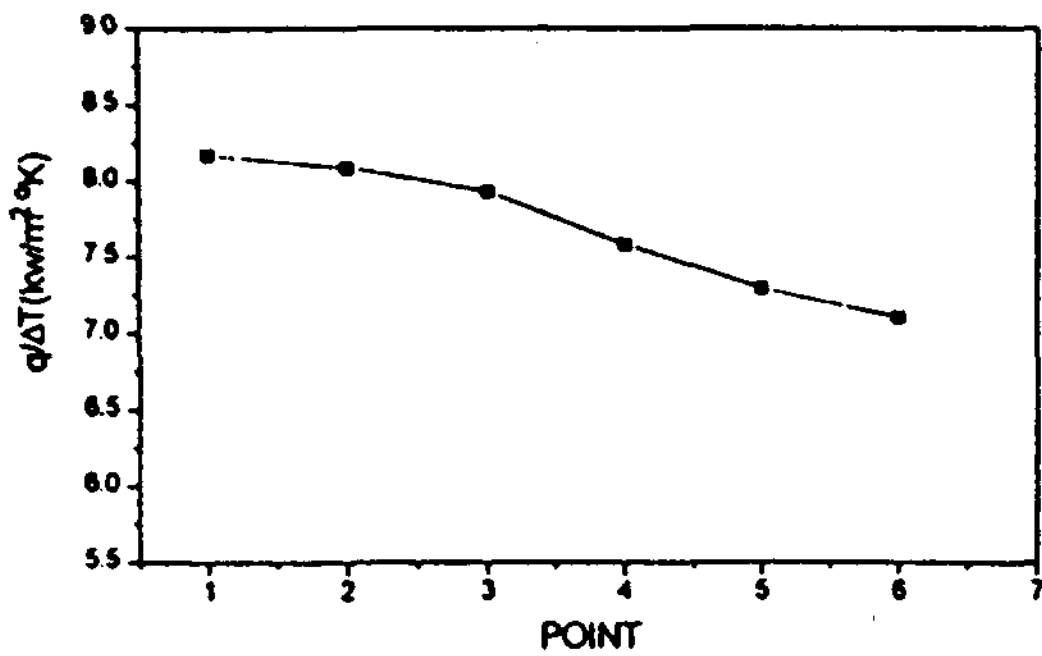


Fig.8 Heat transfer Coefficients without Radiator in each Water Wall

Fig.9은 복사변환체를 설치하였을 경우의 로내 온도분포를 나타내고 있다. 그림에서 보는 바와 같이 복사변환체를 설치하였을 경우는 설치 안하였을 경우에 비하여 로내의 화염 온도가 비교적 높게 나타남을 알 수 있다.

그러나 복사변환체를 지난 화염의 온도는 급격히 작아짐을 알 수 있다. 이러한 로내의 온도상승 효과는 비화염 가스의 일부가 복사변환체의 복사체를 고온으로 유지시키고 이 고온으로 유지된 고온의 복사변환체가 복사에너지를 로내에 방사시키기 때문이라 생각된다. 즉 서론에서도 말한 바와 같이 가스의 화염은 비복사체로서 수냉벽과의 열전달은 대류

에 의존하지만 복사 변환체를 설치함에 따라 가스체의 온도가 복사변환체에 복사에너지로 변환되어 로내로 재복사 하기 때문에 로내의 온도는 상승하게 되는 것이다. 이러한 현상은 복사변환체의 크기가 커짐에 따라 더욱 뚜렷히 나타나고 있음을 알 수 있다. 그러나 본 연구의 실험범위 내에서는 면적율= 0.28 이상에서는 복사변환체의 면적 변화에 따른 온도분포의 변화가 거의 없어 짐을 알았다.

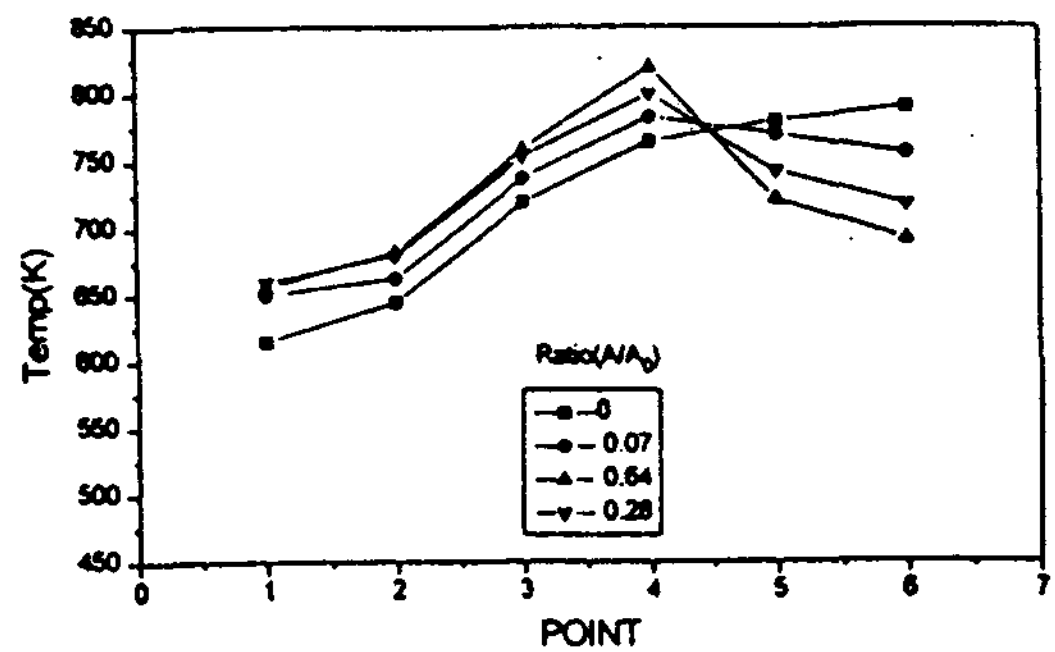


Fig.9 Temperature Distribution into Furnace with Radiator

Fig.10은 복사변환체가 있을의 연소실내의 온도분포 및 실험결과를 비교하였다. 복사변환체가 있을 경우의 온도분포는 복사변환체전까지 온도분포가 비교적 높게 나타내고 있다는 것을 알 수 있으며, 복사변환체를 지난후의 온도는 급격히 떨어지고 있음을 알 수 있다. 특히 계산결과에서는 복사변환체를 지난 다음의 온도분포가 실험시에 비하여 큰폭으로 온도가 떨어지고 있으나, 이것은 실험에서는 미 연소분이 복사변환체를 지난 다음에도 계속 연소가 일어나기 때문이라고 판단된다.

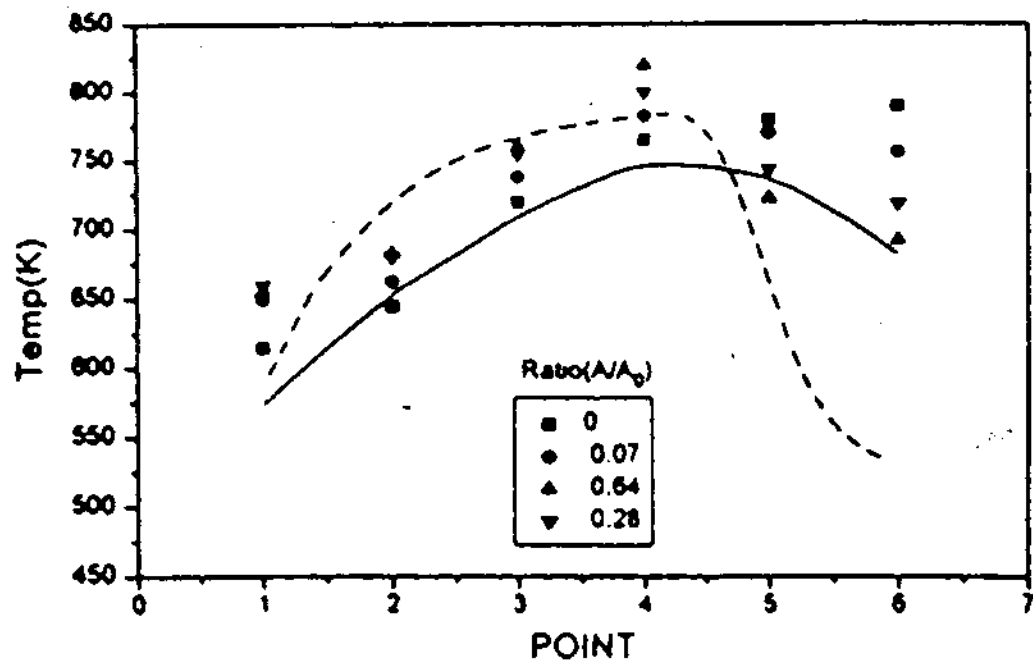


Fig.10 Simulation result into Furnace with Radiator

Fig.11는 복사 변환체의 크기에 따른 각 구역별 히트플럭스의 변화를 보여주고 있다. 앞서서 말한 바와 같이 로내의 온도가 높아짐에 따라 각 구역별 히트플럭스는 점차 증가하지만 복사변환체 후의 히트플럭스는 작아진다는 것을 알 수 있다. 특히 복사변환체의 크기가 커짐에 따라 열전달량은 급증하고 있으나, 어느 정도의 면적 이상에서는 이러한 효과가 반감되고 있음을 알 수 있었다. 본 연구실험 범위내에서 열전달량은 복사변환체를 설치전에 비하여 최대 1.8배 증가한다는 것을 알 수 있었다.

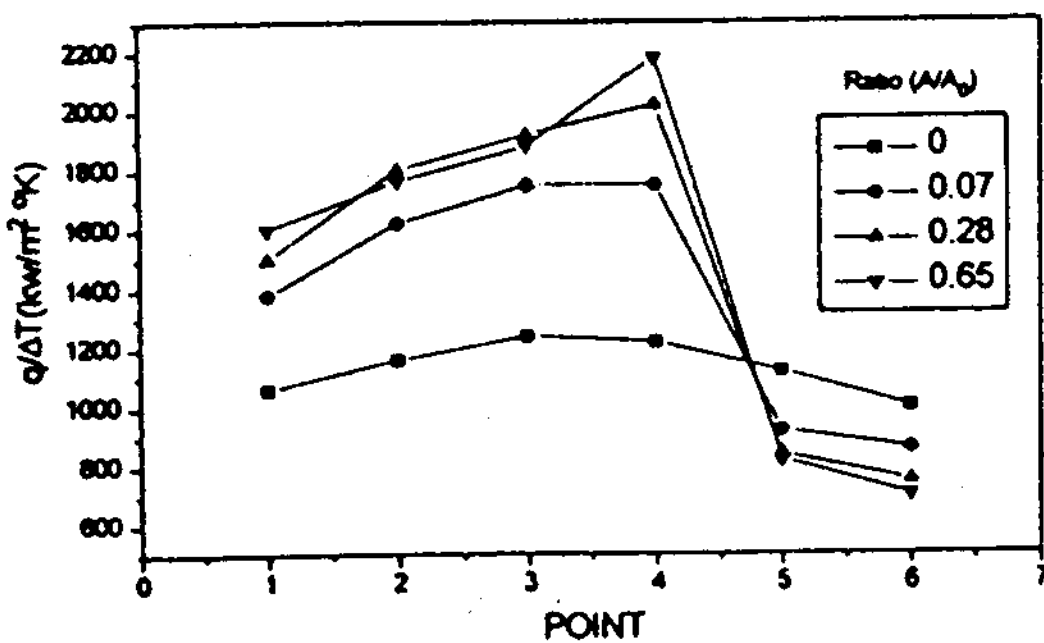


Fig.11 Heat Flux of each Zone with Radiator

Fig.12은 로내의 각 수냉벽에 있어서의 $q/\Delta T$ 값을 복사변환체의 크기를 파라메타로

하여 나타낸 그림이다. 복사변환체의 설치후 $q/\Delta T$ 는 복사변환체를 설치하기 전에 비하여 크게 증가함을 알았으며, 특히 복사변환체 전까지의 이 수치는 비교적 일정하게 나타나고 있으나, 복사변환체를 지나서 $q/\Delta T$ 는 급격히 작아짐을 알았다.

한편 복사변환체가 없을 경우에는 $q/\Delta T$ 값이 입구에서 출구로 향하면서 점차 작아지는 경향이 있었으나, 복사변환체를 설치함에 따라 이러한 수치는 로내에 전반적으로 거의 일정한 높은값을 갖게 됨을 알 수 있었다. 이것은 앞서서도 설명한 바와 같이 로내의 온도상승으로 인한 복사전열량이 급증함에 따른 것으로 복사변환체에 의하여 연소로내의 열전달 효과가 증가한다는 것을 알 수 있다.

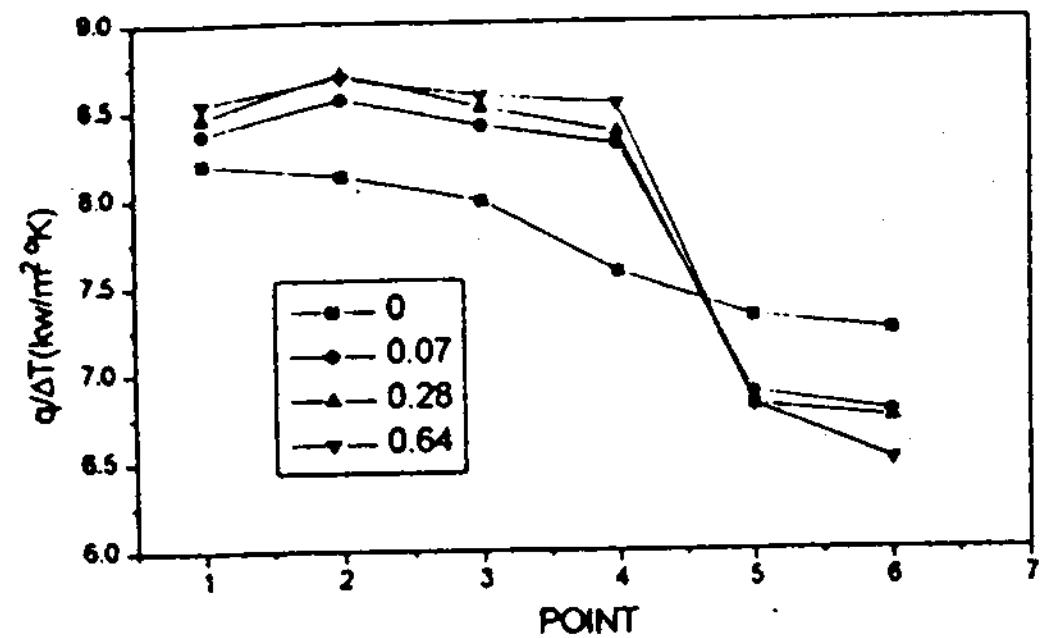


Fig.12 Heat Transfer Coefficients with Radiator in each Water Wall

4. 결론

본 연구에서는 LNG를 사용하는 공업용로 또는 흡수식 냉동기의 고온 재생기등과 같이 고온의 복사강도를 요구하는 연소실에 대하여 실험적 연구를 행하였다.

특히 연소실에 복사변환체를 설치하고 그의 크기에 따른 복사강도와 전열촉진 효과에

대한 기초적인 실험을 행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 비화염연소를 하는 소형 연소로에서 복사변환체를 설치함으로 복사열전달을 효과적으로 사용할 수 있었다.
- (2) 복사변환체의 면적을 A/A_0 가 0.28 이상에서는 복사변환체의 면적증가에 따른 로내의 온도변화의 영향이 거의 없었다.
- (3) 복사변환체를 설치함에 따라 본 실험범위내에서는 최고 1.8배의 열전달 효과를 가져옴을 알았다. 특히 복사변환체를 설치함에 따라 로내의 $q/\Delta T$ 값이 균일한 값을 갖는다.

- (2) 윤상국, LNG 냉열이용의 현황과 전망, 냉동공조기술, Vol.10, No.4 한국냉동공조기술협회, pp34-42(1993).
- (3) 小澤外 2名, 多孔性固體輻射變換體を用いた水蒸氣改質反應裝置の非正常特性の解析, 第25回傳熱シンポジウム講演論文集, pp370(1988)
- (4) 齊木外 2名, 輻射變換體を用いたメタノール水蒸氣改質に関する研究, 第27回傳熱シンポジウム講演論文集, pp 370 (1990)
- (5) 백창인 외 2명, 돌출열원을 갖는 3차원 밀폐공간 내에서의 자연대류-복사 복합열전달에 대한 실험적 수치적연구, 대한기계학회 논문집, 제 20권, 제10호, pp 3344 (1996).
- (6) Taniguchi, H. 외 5명, Radiant Transfer in Gas Filled Enclosures by Radiant Energy Absorption Distribution Method, 8th Int. Heat Transfer Conference, 1986, Vol.2, pp757-762(1986)

참 고 문 헌

- (1) LNG편람, 한국가스공사, pp385-420(1985.6)

A study on the heat transfer characteristics of gas-radiative medium into a high temperature generator of an absorption refrigerator

Jung Dae-In *, **Kim Yong-Mo Bae ****, **Suk-Tae *****

* *Dong Myung College*

** *Korea Heat & Fluid Co.*

*** *Dong Myung College*

Abstract

In this paper an experimental was done to design combustion chambers which is required radiation strength of high temperature generator of absorption rigerator. Particularly, in combustion chamber radiative mediums were set and basic experiments were done according to its size by radiation strength and effects of heat transfer promotion.

The results are as follows :

- 1) When radiative mediums were set in small combustion furnace burning nonframely radiative heat transfer was effected.
- 2) In case that area ratio(A/A_0) of radiative medium is 0.82 or over, temperature fluctuation effects of furnace inside were not nearly.
- 3) In experimental boundary heat transfer effects were 1.8 times by setting up radiative medium. Specially, $q/\Delta T$ values of furnace inside were uniformed nearly by setting up radiative mediums.