

〈論 文〉

참여기체를 가진 무한 원형관 계의 복사 열전달 증진

변 기 흥*

(1992년 3월 10일 접수)

Augmentation of Radiative Heat Transfer in an Infinite Cylindrical Pipe Enclosing a Participating Gas

Ki-Hong Byun

Key Words : Infinite Cylinder(무한원통), Coaxial(동축), Augmentation(증진), Radiative Heat Transfer(복사 열전달), Participating Gas(참여기체), Gray Wall(회체면)

Abstract

The purpose of this study is to identify the radiative heat transfer augmentation by a coaxial cylinder introduced in the infinite cylindrical pipe enclosing a participating gas. The gas is either a mixture of water vapor and carbon dioxide or gray. The gas is assumed to be homogeneous at a constant temperature, and has a refractive index of unity. All of the surfaces are opaque and gray, diffusely emitting and reflecting at a constant temperature. The effect of system diameter, diameter ratio, wall emittances, gas and surface temperatures, mixture component on heat transfer augmentation are studied by using the zone method with participating gas radiative properties evaluated from the weighted sum of gray gases model. From the radiative equilibrium condition, the installed wall temperature is formulated and calculated by the iteration method. If the medium is a gray gas, the augmentation observed are negligible. For the range of values studied for a real gas, if the system diameter is larger than about 0.1m the augmentation parameter increases up to about 1.2 as the system diameter increases. The augmentation parameter have a maximum value at a certain diameter ratio. The augmentation parameters decreases as the emittance of the installed wall decreases. If the gas temperature is higher than about 1273 K, the augmentation parameter decreases as the gas temperature increases.

———— 기 호 설 명 ————	
D	: 직경, m
$GG \overline{GG}$: 가스와 가스사이의 전교환 면적, 전유속 면적
$GS \overline{GS}$: 가스와 면 사이의 전교환 면적, 전유속 면적
P	: 압력, atm
Q	: 복사 열유속, W/m^2

q	: 무차원 복사 열유속, $Q/\sigma T_2^4$
$SG \overline{SG}$: 면과 가스사이의 전교환 면적, 전유속 면적
$SS \overline{SS}$: 면과 면 사이의 전교환 면적, 전유속 면적
T	: 절대온도, K
α	: 흡수율
ϵ	: 방사율
θ	: 무차원온도, T/T_2
τ_0	: 광학적 두께

*정회원, 동국대학교 기계공학과

ϕ : 열전달 증진율, q_e/q_b

하첨자

- 1 : 도입면
- 2 : 외벽면
- a : 흡수
- b : 기본계
- c : 이산화탄소
- e : 증진계 또는 방사
- g : 가스
- w : 면 또는 수증기

1. 서 론

로, 보일러, 과열기, 절탄기, 공기 예열기, 폐열 회수기기와 급탕기 등에는 고온의 복사에 참여하는 참여가스가 존재한다. 이 열교환기들의 효율을 가스로부터 벽면으로의 열전달을 증진시켜서 증가시킬 수 있다. 또한 이 열교환기들은 대체로 원형관의 형상을 하고 있다. 화석연료를 연소하는 경우, 참여가스는 수증기와 이산화탄소의 혼합물이며, 이 참여가스의 복사물성치는 온도, 파장, 압력과 혼합물 성분비의 함수이다.

Hirano⁽¹⁾ 등은 수증기와 이산화탄소의 혼합가스를 둘러싸고 있는 두 무한평면 중간에 놓인 무한평면이 경계면으로의 복사 열유속을 증가시킨다고 발표했다. 복사 열전달만 고려했으나, 후에, 층류 대류와 복사 열전달이 함께 일어나는 경우에 도입면이 열전달 증진에 미치는 영향에 대해 연구를 확장시켰다.⁽²⁾ Smith⁽³⁾ 등은 매질이 수트(soot), 또는 수트와 수증기, 이산화탄소가 혼합된 경우에서도, 중간에 면을 도입시켜서 경계면으로의 복사 열전달을 증가시킬 수 있음을 확인하였다. Byun⁽⁴⁾은 조운방법(zone method)⁽⁵⁾을 사용하여, 수증기와 이산화탄소를 둘러싸고 있는 무한 평면계를 해석하였으며, Hirano⁽¹⁾ 등의 결과와 잘 일치하는 결과를 얻었다. 가스의 온도, 두 무한평면 사이의 거리, 도입면의 위치, 면들의 온도와 방사 등의 영향이 고려되었다. 두 무한평면의 온도가 다른 경우에는 경계면으로의 열전달이 증진되기도 하고(증진효과), 감소되는 경우(차단효과)도 있음을 발표했다.

Perlmutter와 Howell⁽⁶⁾은 동축 무한 원형관 계에 놓인 비등온 참여가스에 의한 복사 열전달 현상을 몬테카를로(monte carlo) 방법에 의해서 연구

하였다. 동축 원형관 계에 대한 복사 열전달 연구가 발표된 경우는 드물다.

이 연구의 목적은, 무한 원형관 안의 복사에 참여하는 참여가스에 면을 도입시키면, 참여가스로부터 원형관 벽면으로의 복사 열유속(radiative heat flux)이 증진 또는 감소되는 현상을 연구하는 데 있다. 참여가스는 흡수, 방사 특성이 온도와 파장에 변하지 않는 회체가스(gray gas)이거나, 화석연료 연소시 연소가스의 성분이며, 복사에 참여하는, 수증기와 이산화탄소의 혼합물이다. 편의상, 이 가스를 실제가스(real gas)라 부르기로 한다. 도입면은 동축 무한 원형관(coaxial infinite cylinder)이다. 참여가스의 성분, 계의 직경, 동축 무한 원형관 사이의 직경비, 면의 방사율, 면과 가스의 온도가 열전달 증진에 미치는 영향을 연구하고자 한다.

2. 이론 해석

연구하고자 하는 계를 Fig. 1에 표시된 것과 같이 기본계(basic system)와 증진계(enhanced system)라 하자. 기본계는 직경이 D_2 인 무한 원형관과 관 안에 움직이지 않고 균일하게 분포되어 있는 참여가스로 구성되어 있다. 증진계는 기본계의 참여가스에 직경이 D_1 인 동축 무한 원형관이 도입되는 경우이다. 직경이 D_2 인 면을 「외벽면」, D_1 인 면을 「도입면」이라 부르기로 하자. 참여가스의 온도는 T_g 로 상수이다. 참여가스는 회체가스 또는 실제가스이다. 실제가스는 수증기와 이산화탄소의 혼합물이다. 도입면의 안과 밖의 표면 온도와 방사율은 같다고 가정한다. 도입면과 외벽면의 온도와 방사율은 각각, T_1 , T_2 와 ϵ_1 , ϵ_2 이다. 모든 면은 비투과성이며, 난방사와 난반사 특성을 갖는다. 열전달은 복사에 의해서만 일어난다고 가정한다.

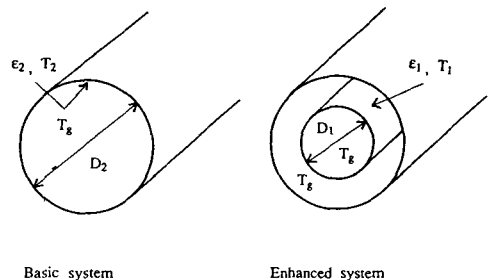


Fig. 1 System description

2.1 기본 방정식

기본계의 경우, 외벽면에서의 무차원 복사 열유속(radiative heat flux)을 조운방법(zone method)⁽⁶⁾에 의하여 유도하면 다음과 같다.

$$q_{2b} = \epsilon_2 - \overline{SS} - \overline{GS}\theta_o^4 \quad (1)$$

식 (1)에서, \overline{SS} , \overline{GS} 는 각각 면과 면, 가스와 면 사이의 전유속 면적(direct flux area)이다. 전유속 면적의 화살표의 시작은 복사에너지가 방사되는 조운이며, 화살표의 끝은 복사에너지가 흡수되는 조운이다. ϵ_2 는 외벽면의 방사율이며, θ_o 는 외벽면의 온도 T_2 로 무차원화시킨 가스 온도이다. 식(1)의 우변 첫째항은 외벽면의 복사 방사량, 둘째항은 외벽면에서 방사되어 외벽면에서 흡수된 복사 열유속, 셋째항은 가스에 의하여 방사되어 외벽면에서 흡수된 복사 열유속이다.

증진계의 경우, 외벽면의 복사 열유속을 구하기 위해서는 도입면의 온도를 구해야 하며, 복사평형(radiative equilibrium) 조건을 적용하여 유도하면 다음과 같다.

$$\theta_1^4 = \frac{(\overline{S_2S_1} + (\overline{G_2S_1} + \overline{GS})\theta_o^4)}{2\epsilon_1 - \overline{SS} - \overline{S_1S_1}} \quad (2)$$

하첨자 1,2는 각각 도입면, 외벽면을 가리킨다. 하첨자가 없는 경우는 도입면과 도입면이 둘러싼 가스사이의 전유속 면적을 의미한다. 전유속 면적이 온도의 함수이므로 θ_1^4 은 축차대입(iteration)에 의하여 구하였다.

증진계의 경우, 외벽면에서의 무차원 복사 열유속은 조운방법에 의하면 다음과 같다.

$$q_{2e} = \epsilon_2 - (\overline{S_2S_2} + \overline{S_1S_2}\theta_1^4) - \overline{G_2S_2}\theta_o^4 \quad (3)$$

식(3)의 우변 첫째항은 외벽면의 복사 방사량, 둘째항은 외벽면에서 방사되어 외벽면에서 흡수된 복사 열유속과 도입면에서 방사되어 외벽면에서 흡수된 복사 열유속의 합이며, 마지막 항은, 도입면과 외벽면 사이에 놓인 가스에 의하여 방사되어 외벽면에서 흡수된 복사 열유속이다. θ_1 은 외벽면의 온도 T_2 로 무차원화 시킨 도입면의 온도이다.

따라서, 외벽면에서 도입면에 의한 복사 열유속의 증진율은 식(1)과 식(3)에 의하여 아래와 같이 정의할 수 있다.

$$\Phi = q_{2e}/q_{2b} \quad (4)$$

전유속 면적(direct flux area)은 전교환 면적(to-

tal exchange area)과 가중 회체가스 모델(weighted sum of gray gases model)^{(5),(6)} 상수들의 함수이다. 전교환 면적은 조운사이의 직접교환과 다중난반사에 의한 간접교환의 영향을 모두 나타낸다. 따라서, 전교환 면적은 직접교환 면적(direct exchange area)과 면의 방사율(ϵ)의 함수이다. 전교환 면적은 Noble⁽⁷⁾의 행렬(matrix) 표현을 사용하여 계산하였다. 직접교환 면적은 기하학적 형상과 광학적 두께(τ_o)의 함수이다. 광학적 두께는 산란이 없는 경우 흡수계수(absorption coefficient) κ 와 직경의 곱으로 무차원수이다. 직접교환 면적들은 직접교환 면적의 정의⁽⁸⁾를 무한 원형관과 동축 무한 원형관에 적용하여 유도하였다. 이 면적에 대한 표현식은 참고문헌^{(9),(11)}에 발표되어 있다.

2.2 전유속 면적(Direct Flux Area)

전유속 면적은, 실제가스의 경우, 한개의 조운에서 방사된 복사방사량이 면의 다중 난반사와 산란의 영향을 받으며 최종적으로 다른 조운에서 흡수될 때, 복사 흡수량의 복사 방사량에 대한 비율을 나타낸다. 전유속 면적은 아래와 같다.

$$\overline{SS} = \sum_{i=0}^n a_{ai}(T_s, T)\{SS\}_i \quad (5)$$

$$\overline{GS} = \sum_{i=0}^n a_{ei}(T)\{GS\}_i \quad (6)$$

$$\overline{SG} = \sum_{i=0}^n a_{si}(T_s, T)\{SG\}_i \quad (7)$$

$$\overline{GG} = \sum_{i=0}^n a_{gi}(T)\{GG\}_i \quad (8)$$

전유속 면적의 화살표의 시작과 끝은 각각 복사에너지가 방사되고 흡수되는 조운을 나타낸다. n 은 회체가스의 수를 나타내며, $i=0$ 는 투명한 매질의 경우이다. a_{ei} 와 a_{si} 는 각각 가중 회체가스 모델의 온도 가중치이며 온도에 대한 정차함수(polynomial)이다. T_s , T 는 각각 복사에너지가 방사되는 조운의 온도와 가스의 온도이다. ()안의 양들은 전교환 면적이다.

2.3 가중 회체가스 모델(Weighted Sum of Gray Gases Model)

전압력(P_T) 1기압에서, 수증기의 분압(P_w)과 이산화탄소의 분압(P_c)이 0.1/0.1 기압인 경우와 0.2/0.1 기압인 혼합가스의 전흡수율 α_o (total absorptivity)과 전방사율(total emissivity) ϵ_o 자

Table 1 Root Mean Square Errors of Weighted Sum of Gray Gases Model(3gray gases) (Case 1) $P_w = P_c = 0.1 \text{ atm}$, $P_T = 1 \text{ atm}$

	This Study	Ref. ⁽⁸⁾
Total Emissivity	3.69%	4.82%
Total Absorptivity	3.86%	7.26%

	This Study	Ref. ⁽⁸⁾
Total Emissivity	3.48%	4.09%
Total Absorptivity	3.59%	4.40%

료⁽⁸⁾를 가지고, Smith⁽⁸⁾ 등의 연구결과를 사용하여 가중 회체가스 모델 상수들을 계산하였다. 이 연구에 사용된 전흡수율과 전방사율 자료의 온도 범위는 600 K-2400 K 사이에서 200 K 간격으로 10개의 온도와 0.001, 0.006, 0.01, 0.06, 0.1, 0.6, 1.0, 6.0, 10.0 atm-m의 9개의 압력과 거리의 곱으로써 90개의 전흡수율과 전방사율 자료를 이용하였다. 이 연구에서는 3개의 회체가스가 사용되었고, 온도에 대한 정차함수의 차수들은 모두 4이며, 이 경우, 전방사계수와 전흡수계수의 기하자승 평균오차 (root mean square error)는 Table 1과 같다. 회체가스의 흡수계수와 온도에 대한 정차함수들의 계수는 참고문헌⁽¹¹⁾에 발표되어 있다.

3. 결과 및 고찰

전압력 1 기압에서, 수증기와 이산화탄소의 분압이 0.1/0.1 기압인 혼합가스를 「실제가스 1」(RG1), 0.2/0.1 기압인 혼합가스를 「실제가스 2」(RG2)라 부르기로 한다. 실제가스들은 흡수와 방사만을 한다고 가정한다. 화석 연료를 연소할 때, 연소가스중에서 복사에 참여하는 주성분은 수증기와 이산화탄소이다. 따라서, RG1, RG2는 각각 액체상태의 연료와 기체 상태의 연료가 이론 공연비 (theoretical air fuel ratio) 근방에서 연소할 때를 대표해서 나타낸다고 볼 수 있다. 복사 물성치가 온도, 압력, 파장에 변하지 않는 가스를 「회체가스」(GG)라 부르기로 한다.

가스와 외벽면의 온도가 일정하고, 가스의 산란을 무시할 수 있는 경우의 실제가스의 결과를 발표하기로 한다. 열전달 증진율 Φ 의 값이 1보다 크

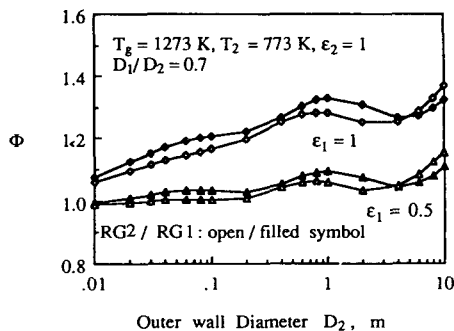


Fig. 2 Effect of system diameter on enhancement

면, 도입면은 열전달을 증진하며, 1보다 작으면, 도입면은 열전달을 차단하고 있다. Fig. 2에서 Fig. 8까지에서, 하첨자 1은 도입면을 하첨자 2는 외벽면을 나타낸다.

Fig. 2에는, 계의 직경과 도입면의 방사율이 복사 열전달 증진에 미치는 영향이 표시되어 있다. 가스와 외벽면의 온도는 각각 1273 K와 773 K이다. 외벽면은 방사율이 1인 흑체이다. 도입면의 위치는 직경비 0.7이다. 도입면이 흑체인 경우, 계의 직경이 0.01 m에서 10 m로 증가하면 RG1의 경우, 열전달 증진율은 1.077에서 1.325로 증가하고 있으며, RG2의 경우, 열전달 증진율은 1.060에서 1.370으로 증가하고 있다. RG2 가스의 방사 및 흡수능력이 RG1 가스에 비해 크다. 기본계의 경우, 외벽면은 첫째, 가스와 둘째, 외벽면과 열전달을 한다. 증진계의 경우, 외벽면은 첫째, 도입면과, 둘째, 도입면과 외벽면 사이에 놓인 가스와, 셋째, 외벽면과 열전달을 한다. 직경이 약 3 m보다 작으면, 도입면에 의한 열전달 증진율 효과는, 가스의 방사 및 흡수능력이 작은 RG1의 경우가 RG2에 비해 크다. 직경 약 3 m와 10 m 사이에서, RG1 RG2 가스 모두 광학적으로 두꺼워져서, 도입면과 외벽면 사이의 열전달은 거의 비슷하나, 가스로부터 외벽면으로의 열전달 양이 RG2 경우가 RG1 경우에 비해서 크다. 따라서, 열전달 증진율은 RG2가 RG1 비해 크다.

도입면의 방사율이 감소하면, 도입면의 방사율이 증가하여, 가스로부터 도입면으로의 열전달이 감소함에 따라 도입면의 온도는 낮아진다. 도입면의 방사율과 온도의 감소로, 도입면으로부터 외벽면으로의 열전달이 감소한다. 따라서, 도입면의 방사율이 감소하면, 열전달 증진율은 도입면이 흑체인 경우

에 비해서 감소하는 경향을 보이고 있다. 직경이 0.01 m인 경우에서, 방사율이 1에서 0.5로 감소하면, *RG1*의 경우 열전달 증진율은 1.077에서 0.992로 감소하고 있고, *RG2*의 경우, 열전달 증진율은 1.060에서 0.986으로 감소하고 있다. 즉 직경이 0.01 m인 경우는, 면의 방사율이 감소함에 따라 도입면은 열전달을 증진하기보다는 차단하기 시작하고 있다. *RG1*의 경우, 직경이 0.02 m 이상이 되어야 방사율이 0.5인 경우에도 열전달 증진율이 1.008로서 증진현상을 보이기 시작하고 있다. *RG2*의 경우, 직경이 0.04 m 이상이 되어야 방사율이 0.5인 경우에도 열전달 증진율이 1.003으로 증진현상을 보이기 시작하고 있다. 직경이 1 m인 경우에서, 도입면의 방사율이 1에서 0.5로 감소하면, *RG1*의 경우, 열전달 증진율은 1.331에서 1.096으로 감소하고 있고, *RG2*의 경우, 열전달 증진율은 1.282에서 1.061로 감소하고 있다. 직경이 10 m인 경우에서, 방사율이 1에서 0.5로 감소하면, *RG1*의 경우 열전달 증진율은 1.325에서 1.109로 감소하고 있고, *RG2*의 경우 열전달 증진율은 1.370에서 1.156으로 감소하고 있다.

Fig. 3에는, 외벽면과 참여가스의 온도가 도입면의 온도 T_1 에 미치는 영향이 표시되어 있다. 도입면과 외벽면의 방사율은 1인 흑체이다. 계의 직경은 2 m이고, 도입면의 위치는 직경비 0.7이다. 가스의 온도는 1273 K, 1773 K, 2273 K의 세가지 경우가 고려되어 있다. 도입면의 온도는, 가스로부터 도입면으로의 열전달과, 도입면으로부터 외벽면으로 열전달의 평형에 의해서 결정된다. 도입면의 위치와 가스의 온도가 일정한 경우, 외벽면의 온도가 증가하면, 도입면과 외벽면 사이의 순 복사 열전달이 감소하여, 도입면의 온도는 증가하는 경향을 보이고 있다. 도입면의 온도는 *RG2*의 경우가 *RG1*의 경우에 비해 항상 큰 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 4에는, Fig. 3의 경우에서, 외벽면과 참여가스의 온도가 열전달 증진율에 미치는 영향이 표시되어 있다. 도입면과 외벽면의 방사율은 1인 흑체이다. 계의 직경은 2 m이고, 도입면의 위치는 직경비 0.7이다. 가스 온도는 1273 K, 1773 K, 2273 K의 세가지 경우가 표시되어 있다. 가스 온도가 증가함에 따라, *RG1*, *RG2* 가스의 방사 및 흡수 능력이 감소하여, 복사 열전달 증진율은 감소하고 있는 것을 관찰할 수 있다. 또한, 같은 가스 온도

에서, 열전달 증진율은, *RG1*의 경우가 *RG2*의 경우에 비해서 큰 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 5에는, 직경비가 열전달 증진에 미치는 영향이 나타나 있다. 외벽면과 참여가스의 온도는 773 K와 1273 K이다. 외벽면은 방사율이 1인 흑체이다. 계의 직경은 2 m이다. 도입면의 방사율이 1과 0.5인 경우가 나타나 있다. 도입면의 방사율이 1인 경우, *RG1*, *RG2* 모두 직경비가 0.1에서 증가함에 따라 증가하여 0.7 근방에서 최대값을 갖

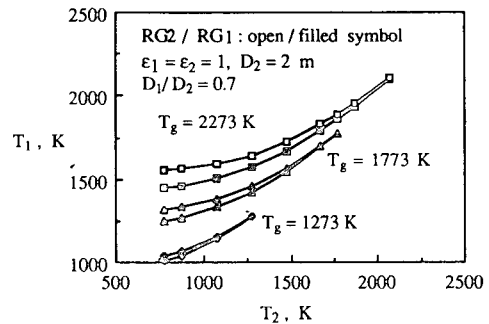


Fig. 3 Effect of outer wall temperature on installed coaxial cylinder wall temperature

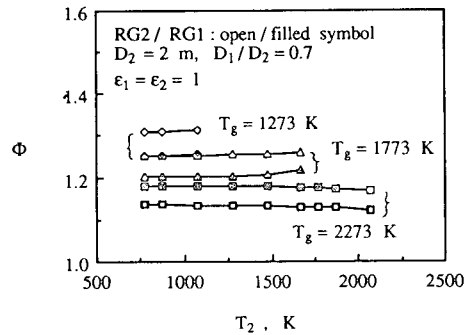


Fig. 4 Effect of gas and outer wall temperature on enhancement

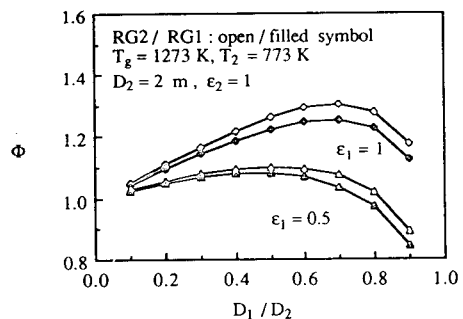


Fig. 5 Effect of diameter ratio on enhancement

고, 직경비가 더 증가함에 따라 다시 감소하는 경향을 관찰할 수 있다. 이는, 참여가스로부터 벽면으로의 열전달이 최대가 되는 광학적 두께가 존재하며, 이 광학적 두께보다 작거나 크면 열전달이 감소되기 때문이다.⁽¹²⁾ 도입면의 방사율이 0.5인 경우, RG1, RG2 모두 직경비가 0.1에서 증가함에 따라 증가하여 0.5 근방에서 최대값을 갖고, 직경비가 더 증가함에 따라 다시 감소하는 경향을 관찰할 수 있다. RG1의 경우는 직경비가 0.8보다, RG2의 경우는 직경비가 0.7보다 크며는 열전달 증진율이 1보다 작아서 도입면이 열전달을 증진시키기 보다는 차단시키고 있음을 관찰할 수 있다.

Fig. 6에는, 외벽면의 방사율이 열전달 증진에 미치는 영향이 나타나 있다. 외벽면과 참여가스의 온도는 773 K와 1773 K이다. 내벽면은 방사율이 1인 흑체이다. 계의 직경은 2 m이며, 도입면의 위치는 직경비 0.7이다. 외벽면의 방사율이 0.1에서 1로 증가함에 따라, RG1은 2.018에서 1.265로, RG2는 1.950에서 1.212로 열전달 증진율이 감소하는 경향을 보이고 있다. 도입면이 열전달 증진율에 미치는 영향은 외벽면의 방사율이 작을수록 크다 하겠다. 이는, 외벽면의 방사율이 낮을수록, 외벽면의 방사율이 증가하여, 가스로부터 벽면으로의 열전달이 감소하나, 도입면이 반사된 양을 흡수하여 외벽면으로 돌려 보내기 때문이다. RG1의 광학적 두께가 RG2에 비해서 작으므로, 다중 난반사된 복사 열유속이 가스를 통과하며 덜 감쇄된다. 따라서 외벽면의 방사율이 같은 경우, 열전달 증진율은 RG1이 RG2보다 큰 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 7에는, 도입면의 방사율이 열전달 증진에 미치는 영향이 나타나 있다. 외벽면과 참여가스의

온도는 773 K와 1273 K이다. 외벽면의 방사율은 1인 흑체이다. 계의 직경은 2 m이며 도입면의 위치는 직경비 0.7이다. RG1, RG2 모두 도입면의 방사율이 흑체인 경우에 열전달 증진율이 1.265와 1.212로 최대였다. 도입면의 방사율이 감소함에 따라, 도입면과 외벽면 사이의 열전달은 도입면의 방사량의 감소로 감소하며, 가스로부터 도입면으로의 열전달은 도입면의 방사율의 증가로 감소한다. 따라서, 도입면의 방사율이 감소함에 따라, 열전달 증진율이 감소하고 있으며, 도입면의 방사율이 0.5보다 작아지면 열전달 증진율이 1보다 작아져서, 도입면은 열전달을 차단하고 있는 것을 관찰할 수 있다.

Fig. 8에는, 회체가스의 경우, 직경비와 광학적 두께가 열전달 증진에 미치는 영향이 나타나 있다. 회체가스의 경우, 도입면이 열전달 증진에 미치는 영향은 작다. 따라서, 도입면에 의한 열전달 증진은, 주로, RG1과 RG2 가스의 흡수 및 방사 특성

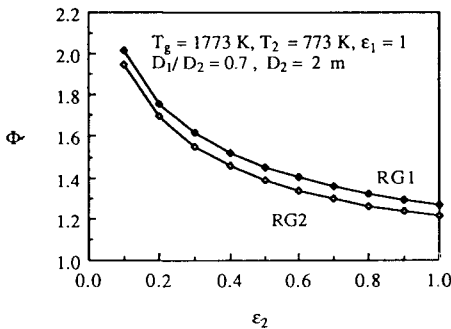


Fig. 6 Effect of outer wall emittance on enhancement

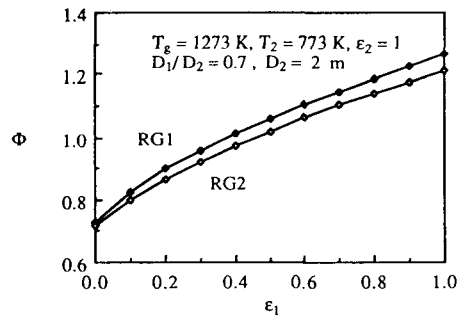


Fig. 7 Effect of installed wall emittance on enhancement

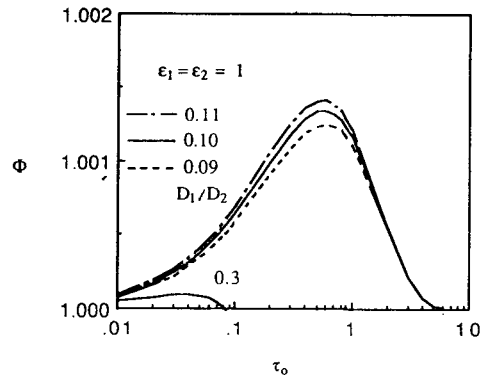


Fig. 8 Effect of diameter ratio and optical thickness on enhancement

에 의해서 일어나고 있다고 생각할 수 있다.⁽¹⁾ RG1과 RG2 가스는, 근 적외선 영역에서 복사에 참여하는 여러 개의 파장에 불연속인 밴드(band)와 밴드들 사이에 창문(window)들을 가지고 있다. 가스는 밴드들에서 흡수 및 방사를 하여 도입면 및 외벽면과 열전달을 하며, 도입면은 가스의 밴드와 창문을 통과하여 파장에 연속적으로, 외벽면과 열전달을 한다.^{(1),(2)} 열전달 증진율은 광학적 두께가 0.01에서 증가함에 따라 0.5 근방에서 최대 값을 갖고, 더 증가하면 다시 감소한다. 이는, 광학적 두께가 증가하면, 가스로부터 면으로의 열전달이 증가하지만, 광학적으로 두꺼워지면 투과율이 급격히 감소하기 때문이다.⁽¹²⁾ 직경비가 0.3보다 작은 경우는 열전달이 증진되고, 0.3보다 큰 경우에 도입면은 열전달을 감소시키고 있음을 관찰할 수 있다.

4. 결 론

이 연구의 목적은 무한 원형관 안에 정지되어 놓여 있는 흡수, 방사를 하는 실제가스 또는 흡수와 방사를 하는 회체가스에 동축 원형관을 도입시키는 경우 복사 열전달이 증진 감소되는 현상을 연구하는 데 있다. 주요변수는 계의 직경, 면과 가스의 온도, 직경비, 면의 방사율, 가스의 구성성분이다. 회체가스의 경우, 도입면이 열전달 증진에 미치는 영향은 작다. 실제가스의 경우 발표된 값의 범위 내에서 아래의 경향을 보이고 있다.

(1) 직경이 약 0.1 m보다 큰 경우, 도입면은 열전달을 약 20% 이상 증진시키며, 계의 직경이 증가하면 증가하는 경향을 보이고 있다.

(2) 도입면과 외벽면이 모두 흑체인 경우, 도입면의 직경이 증가함에 따라, 열전달 증진율은 증가하여, 직경비 0.7근방에서 최대가 되고 다시 감소한다.

(3) 도입면의 방사율이 감소하면, 열전달 증진율은 감소하며, 방사율이 특정값보다 작거나, 직경비가 특정값보다 크면, 도입면은 오히려 열전달을 감소시킨다.

(4) 외벽면의 방사율이 낮아지면, 도입면은 열전달 증진율을 증가시킨다.

(5) 가스의 온도가 1273 K보다 큰 경우, 가스의 온도가 증가하면, 열전달 증진율은 감소하는 경향이 있다. 외벽면의 온도 변화가 증진율에 미치는 영향

은 작다.

(6) 외벽면의 온도와 가스의 온도가 증가함에 따라 도입면의 온도는 증가한다.

(7) 계의 직경이 약 3 m보다 작으면, 도입면에 의한 열전달 증진효과는 기체 연료를 연소하는 계보다 액체연료를 연소하는 계에서 더 크다.

후 기

이 논문은 1990년도 교육부 지원 한국 학술진흥재단의 자유공모 과제 학술 연구 조성비에 의해 연구 되었으며, 이에 관계자 여러분께 감사 드립니다.

참고문헌

- (1) Hirano, M., Miyauchi, T. and Mori, Y. 1986, "Enhancement of Radiative Heat Transfer Based on Non-Gray Feature of Radiative Gas," Eighth Int'l Heat Transfer Conference., Vol. 2, pp. 773~778.
- (2) Hirano, M., Miyauchi, T. and Takahira, Y., 1988, "Enhancement of Radiativ Heat Transfer in the Laminar Channel Flow of Non-Gray Gases," Int. J. Heat and Mass Transfer, Vol. 31, No. 2, pp. 367~374.
- (3) Smith, T.F., Ford, M.j. and Byun, K.H., 1987, "Augmentation of Radiative Heat Transfer Using Radiatively Participating Gases, Soot, and Particles," Proceedings of Symposium on Heat and Mass Transfer in Honor of B.T. Chao, Oct. 1 and 2.
- (4) 변기홍, 1989, "참여가스가 있는 평판면 계의 복사 열전달 증진," 남현, 이택식 교수 정년퇴임 기념논문집, pp. 207~213.
- (5) Hottel, H.C. and Sarofim, A.F. 1967, Radiative Transfer, McGraw-Hill.
- (6) Perlmutter, M. and Howell, J.R., 1964, "Radiant Transfer Through a Gray Gas Between Concentric Cylinder Using Monte Carlo," J. OF Heat Transfer, May, pp. 169~179.
- (7) Noble, J.J., 1975, "The Zone Method : Explicit Matrix Relations for Total Exchange Areas," Int. J. Heat Mass Transfer, Vol. 18,

- pp. 261~269.
- (8) Smith, T.F. Shen, Z.F. and Friedman, J.N., 1982, "Evaluation of Coefficients for the Weighted Sum of Gray Gases Model," *J. of Heat Transfer*, Vol. 104, pp. 602~608.
- (9) 변기흥, 1991, "회체의 참여가스를 가진 무한 원형관계의 복사 열전달증진," *대한기계학회 91년도 춘계학술대회 논문집 (II)*, pp. 366~369.
- (10) 변기흥, 1991, "실제 참여가스를 가진 무한 원형관계의 복사 열전달증진," *대한기계학회 91년도 추계학술대회 논문집* pp. 530~534.
- (11) 변기흥, 1991, "참여기체를 가진 무한 원형관계의 복사 열전달 증진," *한국학술진흥재단 자유공모과제 보고서 1991년 8월*.
- (12) Siegel, R. and Howell, J.R., 1981, *Thermal Radiation Heat Transfer*. McGraw-Hill.