

복합산화물적외선복사재료에서 혼합효과에 대한 연구

리진혁, 최창호, 강영숙

위대한 수령 김일성동지께서는 다음과 같이 교시하시였다.

《우리는 어떻게 하나 과학과 기술을 발전시키고 과학기술에 의거하여 살아나갈 생각을 하여야 합니다.》(《김일성전집》 제27권 270페이지)

적외선응용기술은 최신에너지절약기술로서 널리 응용되고있다.[1, 2, 4] 여기서 나서는 문제의 하나는 적외선복사재료를 선택하는것인데 응용에 적합한 적외선의 파장대역이 정해진 다음에는 복사능이 큰 재료를 선택이용하거나 개발하는것이다.[3, 4]

이 논문에서는 널리 응용되고있는 산화물적외선복사재료들을 복합할 때 적분복사능에 영향을 주는 몇가지 인자들에 대하여 연구하였다.

복합산화물적외선복사재료로는 SiO_2 을 주성분으로 하고 거기에 Fe_2O_3 , MgO , K_2O 등 산화물들과 C가 미량으로 포함된 혼합물과 그 소결체가 리용되였다. 그것의 질량조성은 $92.16\text{SiO}_2 + 1.27\text{Fe}_2\text{O}_3 + 0.84\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.84\text{CaO} + 1.14\text{MgO} + 1.20\text{K}_2\text{O} + 1.27\text{C} + 1.38$ 기타이다.

성분산화물들의 적분복사능은 표 1과 같다.

표 1. 성분산화물들의 적분복사능값

조성성분	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	K_2O	C
복사능(ϵ)	0.83	0.7	0.69	0.5	0.7	-	0.81

혼합물과 90MPa의 압력으로 성형하고 1 150°C에서 1h동안 소결한 소결체들의 온도에 따르는 적분복사능값변화는 표 2와 같다.

표 2. 온도에 따르는 적분복사능값

온도/°C	100	200	300	400	500	600	700
혼합물	0.70	0.72	0.66	0.66	0.64	0.61	0.62
소결체	0.92	0.92	0.87	0.85	0.84	0.82	0.82
$\Delta\epsilon$	0.22	0.20	0.21	0.19	0.20	0.21	0.20

혼합물성분들의 평균립경은 0.3 μm , 소결체분말의 평균립경은 50 μm 이다. 두 경우의 적분복사능은 온도가 증가할 때 점차 감소하며 그 경향성은 유사하다.(그림)

그림에서 보는바와 같이 혼합물과 소결체의 적분복사능은 크기에서 0.2정도의 차이가 있다. 온도의존경향성이 유사한것은 그 원인이 같다는것을 의미하며 혼합물인가 소결체인가에는 크게 의존하지 않는다는것을 보여준다.

우리의 경우에 문제점은 두가지인데 하나는 두 경우에 적분복사능의 크기가 왜 0.2정도 차이나는가 하는것이며 다른 하나는 두 경우에 적분복사능과 온도의존성이 왜 유사하며 온도가 증가할 때 적분복사능의 감소원인이 무엇인가 하는것이다.

먼저 혼합물과 소결체에서 적분복사능이 차이나는 원인을 설명하자.

그것은 기하학적인 거시적상태와 미시적인 결합상태에서의 차이와 관련될것이다.

혼합물의 적분복사능은 $\varepsilon = \sum_i \varepsilon_i \eta_i \beta_i \sum_j \gamma_{ij} \bar{\rho}$ 로 표시할수 있다. 여기서 ε_i 는 i 번째 성분

의 적분복사능, η_i 는 이 성분의 무게조성, β_i 는 i 번째 성분분말립자들의 크기 및 모양을 특징짓는 인자, γ_{ij} 는 i 번째 성분과 j 번

째 성분의 분자간 혹은 립자간결합을 반영한 인자, $\bar{\rho}$ 는 상대밀도로서 $\bar{\rho} = \rho / \rho_{리}$ 로 주어지는데 ρ 는 혼합물의 밀도, $\rho_{리}$ 는 기공이 전혀 없을 때의 밀도이다. 혼합물의 적분복사능을 물질량비로 표시하는 경우에는

$$\varepsilon = \frac{1}{m_0} \sum_i \varepsilon_i \alpha_i m_{0i} \beta_i \sum_j \gamma_{ij} \bar{\rho} \text{ 와 같이 되는}$$

데 여기서 m_{0i} 와 α_i 는 i 번째 성분의 물질량비와 분자량, m_0 은 혼합물의 총

분자량이다. 그러므로 $\sum_i \eta_i = \sum_i \alpha_i = 1$, $m_0 = \sum_i \alpha_i m_{0i}$ 이다. 이제 식 $\varepsilon = \sum_i \varepsilon_i \eta_i \beta_i \sum_j \gamma_{ij} \bar{\rho}$ 에 따

라 적분복사능을 계산하면 (리상적인 조건 $\beta_i = \beta_0 = 1$, $\bar{\rho} = 1 \sum_j \gamma_{ij} = \gamma_i \equiv \gamma_0$ 일 때) $\varepsilon = 0.815 \gamma_0$

을 얻는다. 여기에는 γ_0 즉 립자간 결합상태가 반영되어있는데 소결에 의하여 립자들이 결합되어있는 경우에는 ($\bar{\rho} > 1$) $\gamma_0 \geq 1$, 립자간결합이 없는 경우에는 $\gamma_0 = 0$ 이라는 사실이 반영되어있다. 이제 $\bar{\rho} \neq 1$, $\bar{\rho} > 0$ 이라면 $\varepsilon = 0.815 \bar{\rho} \gamma_0$ 와 같게 되는데 $\varepsilon > 0$ 이 되려면 $\bar{\rho} \gamma_0 > 0$ 이여야 한다. 그러면 소결되지 않은 혼합물일 때 $\gamma_0 = 0$ 이므로 $\varepsilon = 0$ 이 나오게 된다. 이것은 출발성분물질들이 임의의 혼합상태일 때 $\varepsilon > 0$ 이라는 사실과 맞지 않는다.

이것은 우리의 경우에도 그대로 성립한다. 만일 단순산화물련속체라면 $\varepsilon = \varepsilon_1 (\bar{\rho} = 1, \beta = 1, \gamma_0 = 1)$ 인데 혼합물에서 $\varepsilon_1 > \varepsilon_i$ 이라면 틀림없이 $\sum_i \varepsilon_i \eta_i < \varepsilon_1$ 이다. 사실 표

2에서 보는바와 같이 $n=1$ 이 SiO_2 이라면 $\varepsilon_1 = 0.83$ 인데 $\varepsilon_{\text{혼}} = 0.7 < \varepsilon_1$ 이다. 그런데 소결체에서는 $\varepsilon_{\text{소}} = 0.92 > \varepsilon_1$ 이다. 이것은 모순되는 현상이다. 여기서 $\rho_{\text{혼}} \cong 0.25 \text{g/cm}^3$, $\rho_{리} \cong 2.20 \text{g/cm}^3$, $\rho_{\text{소}} \cong 4.9 \text{g/cm}^3$ 를 고려하는 경우 $\varepsilon_{\text{혼}} < \sum \varepsilon_i \eta_i$ 일 때 $\rho_{\text{혼}} \gamma_0 / \rho_{리} < 1$ 이여야 한다. 그런데 $\varepsilon_{\text{혼}} / \sum \varepsilon_i \eta_i \cong 0.86$, $\rho_{\text{혼}} / \rho_{리} \cong 0.114$ 이므로 γ_0 은 증가하여야 한다. 소결후이므로 γ_0 은 령보다 클수 없다. $\varepsilon_{\text{소}} > \sum \varepsilon_i \eta_i$ 일 때는 γ_0 이 감소되어야 하는데 소결이 진행되었으므로 $\gamma_0 < 0$ 일수 없다. 이 모순은 $\bar{\rho}$ 와 γ 가 적으로 고려된것과 관련된다. 그러므로 $\bar{\rho}$ 와 γ 의 영향은 분리되어야 한다. 따라서

$$\varepsilon = \sum_i \varepsilon_i \eta_i \left(A \bar{\rho} + B \sum_j \gamma_{ij} \right) \text{ 와 같이 쓸수 있다. 여기서 } A, B \text{ 는 기공과 소결정도를 특징짓는 결수들로서}$$

실험적으로 결정할수 있다. 이 식에 따라 두 경우의 온도에 따르는 적분복사능변화의 류사성을 리해할수 있다.

우리가 받아들인 γ_{ij} 에는 분자궤도준위들사이의 이행복사와 결정인 경우의 포논—포톤호상작용,

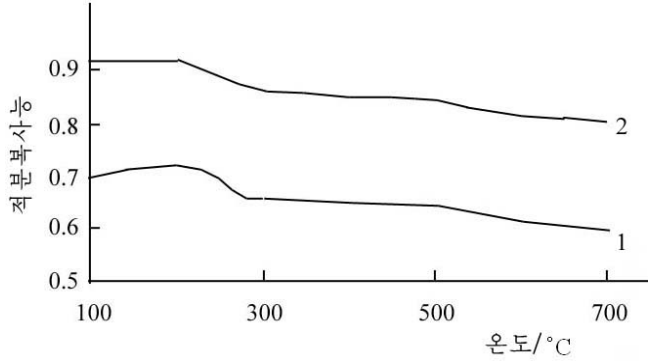


그림. 소결전과 소결후 적분복사능의 온도의존성
1, 2는 각각 소결전과 후

분자를 이루고있는 핵들의 각종 진동과 관련한 복사들, 열복사현상들이 반영되어있다. 결국 적분복사능변화의 크기변화는 거시적으로는 기공, 미시적으로는 분자들의 종류와 결합(즉 소결)상태에 따른것이다. 성분산화물들사이의 호상작용은 본질에 있어서 소결과정에 이루어진 립자들의 결합이며 이 결합은 최외각전자들에 의하여 일어난다. 선행연구자료들에서는 혼합효과를 서로 다른 성분산화물립자사이의 경계에서 일어나는 복사선들의 흡수와 반사현상에 의한것이라고 보고있는데 복사선들의 흡수 및 반사의 담당자가 바로 물질분자에서 최외각전자들인것만큼 서로 다른 종류의 립자사이의 경계에서만 혼합효과가 있다고 보는것은 거시적인 기하학적상태만을 고려한것으로 된다. 왜냐하면 혼합효과가 서로 다른 종류의 립자들이나 같은 종류의 립자들사이에서 다 나타난다면 그것은 틀림없이 분말효과이며 따라서 그것은 기하학적인자에 의하여 표시되어야 한다. 소결체의 경우에는 소결립자의 내적상태와 기하학적상태가 복사능에 영향을 주므로 분말효과는 기하학적상태의 영향으로 나타나며 내적상태의 영향은 결합상태의 영향으로 나타나게 된다.

다음으로 적분복사능의 온도의존성은 스페쎌-볼츠만법칙과 윈의 변위법칙에 따른다는것을 쉽게 알수 있다. 복사체의 온도가 높아질 때 러기준위에서 포톤의 농도는 증가한다. 그러므로 복사체의 적분복사능은 스페쎌-볼츠만법칙 $\varepsilon = E\sigma T^4$ 에 따라 변한다. 여기서 σ 는 스페쎌-볼츠만상수, E 는 흑체도를 특징짓는 복사률이다. 이 식에서 보는바와 같이 적분복사능은 온도의 4제곱에 비례하여 증가한다. 그러나 실험에서는 반대로 감소하였다.

우리가 취급하는 재료는 적외선복사재료이므로 적외선대역에서의 복사능이 크며 따라서 적외선대역에서의 복사에너지도 적분복사능의 주되는 몫을 감당한다. 윈의 변위법칙에 의하면 온도가 높아질 때 복사능이 커지는것은 사실이지만 복사능극대파장도 짧은 파장쪽으로 이행한다. 따라서 복사체의 온도가 높아질 때 주어진 대역에서의 복사능도 작아지며 적외선대역 적분복사능도 줄어들게 된다.

맺는 말

1) 복합산화물적외선복사재료에서 나타나는 출발성분물질들이 혼합될 때 나타나는 적분복사능변화와 그것의 온도의존성을 연구하였다.

2) 적분복사능에 주는 기공(거시적상태)과 분자간이나 립자간결합상태의 영향은 서로 독립이며 적분복사능의 온도의존성은 적외선대역으로부터 가시선대역으로의 복사능극대파장의 이동에 의한것이다.

참고 문헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 45, 5, 17, 주체88(1999).
- [2] 김철순; 건재공업, 3, 25, 주체101(2012).
- [3] 오려명; 건재공업, 1, 15, 주체102(2013).
- [4] A.Spahoudake et al.; Phys. Rev., B 64, 064205, 2001.

주체104(2015)년 2월 4일 원고접수

Study on Mixing Effect in Complex Oxide Infrared Radiation Materials

Ri Jin Hyok, Choe Chang Ho and Kang Yong Suk

We studied change of the integral emissive power and its dependency on the temperature in complex oxide infrared radiation materials when initial materials are mixed.

Firstly, influences of a pore and bond states between molecules or particles on the integral emissive power are independent.

Secondly, it is cleared that dependency of the integral emissive power on the temperature is because of displacement of the maximum amplitude from an infrared band to a visible band.

Key words: infrared radiation material, integral emissive power