

원적외선의 방사와 응용(Ⅱ)

김충혁* · 송민종** · 박춘배*** · 이준웅*

(*광운대 전기공학과 · **홍익대 대학원 전기공학과 · ***원광대 재료공학과)

1. 서 론

적외선 에너지는 아주 오래전 부터 이용되어 왔으며, 그 응용분야로서는 산업, 민생, 의료 및 군사 등 실로 광범위하다.

특히, 파장이 약 3~100[μm] 범위의 원적외선은 현재 다음 3분야에서 크게 주목을 받고 있다.

첫째는 식품, 가전을 비롯한 각종 산업에 있어서 에너지 이용분야이며, 둘째는 계측분야로서 초전도 세라믹스를 이용한 원적외선 센서의 개발이 중요한 과제로 되어 있다. 셋째는 통신분야이며, 현재 광 fiber통신은 세계각국마다 거의가 1.3[μm]의 파장을 갖는 광을 이용하고 있지만 중계기를 줄이기 위해서는 광의 파장을 보다 긴 적외선 쪽으로 가져가야 할 필요가 있기 때문에 3~5[μm]의 적외선을 투과하는 적외선 투과 광 케이블 개발이 기대되고 있다 [1~3].

본 기술해설에서는 이들 3가지 응용분야 가운데서 에너지 이용분야를 중심으로 원적외선에 관한 최근 기술개발 동향을 살펴보고 앞으로의 전망에 대하여 기술하고자 한다.

2. 원적외선의 이용

2.1 원적외선의 공업가열 분야에 응용

원적외선가열은 그 응용분야로서 플라스틱이나 도

료와 같은 수지가열을 중심으로 하는 공업분야에서 그동안 많은 실적을 쌓았으며, 이미 정착단계에 와 있다[4].

2.1.1 원적외선 가열판에 있어서 주의 사항

(1) 고효율 히타의 선택

소비전력을 최소화 하기 위해서는 가열장치로 부터 대기로의 열방사를 없게 하는 것이지만 이용에 따라서 피할 수 없는 경우가 많으므로 히타 자신의 방사효율이 중요한 요소가 된다. 히타로 부터 방사 되는 적외선의 양과 히타표면 온도의 관계는 Stefan-Boltzman의 법칙으로부터 다음식으로 표시된다.

$$E = 4.88 \epsilon [(T_1/100)^4 - (T_2/100)^4] \quad (1)$$

E=단위 면적당의 방사량[kcal/m²·h]

ϵ : 히타표면의 방사율

T₁: 히타표면의 온도

T₂: 주위온도

(1)식으로 부터 알 수 있는 바와같이 방사량 E를 증가시키기 위해서는 히타표면온도 T₁을 높게 하든가, 또는 히타온도 T₁이 일정한 경우에는 히타의 방사율 ϵ 이 높은 히타를 선택하면 좋을 것이다. 따라서 히타의 재질은 금속성 보다 방사율이 높은 세라믹스 히타를 사용하는 것이 좋다.

(2) 균일가열

가열할 때에 온도분포는 매우 중요한 문제이다. 넓은 면적을 균일하게 가열하기 위해서는 히타를 복수 영역으로 분할하여 주변손실을 보상하거나, 때로는 필요에 따라 부분적인 고온부를 설치하는 경우도 있다.

그러나 최근 점점 온도 분포의 고정밀화가 요구되고 있어 통상의 봉상(棒狀) 히타에서는 깊쪽에 대한 온도분포의 조정이 불가능 하고, 상자형의 면 히타에서는 1개당 면적이 너무커서 미세한 분할제어가 불가능하게 된다.

그러므로 현재의 경우 방사율이 높고, 모자이크(mosaic)상(狀)의 자유로운 분할제어가 가능한 면상 세라믹히타가 균일가열에는 최적일 것이다.

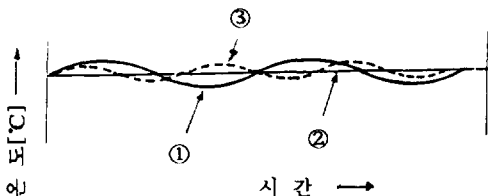
(3) 온도 제어

온도센서를 어디에 설치하는가에 따라서 제어성능이 크게 좌우되며, 그 방법들은 다음과 같이 3가지로 생각될 수 있다.

- a. 노내(爐內)의 분위기온도를 감지하는 방법
- b. 히타 자체의 분위기온도를 감지하는 방법
- c. 피가열물의 온도를 감지하는 방법

이들 각각에 대한 실험 데이터를 나타내면 그림 1과 같다.

그림에서 보는 바와같이 ①의 경우에는 감지부와 히타 온도사이에 시간지연이 발생하여, 수열면의 온도는 맥동한다. 또 ③의 경우에는 비접촉형의 적외선 온도계 등이 이용되지만, 감지 방법이 어렵고 가격도 비싸 유지가 어렵다. 이들에 비하여 히타의 표면온도를 감지하는 ②의 경우에는 방사량이



- ① 분위기 온도 감지
- ② 피크 온도 감지
- ③ 제품 온도 감지 (출입구)

그림 1. 온도감지 장소와 제어성

일정하게 되고, 응답도 빠르므로 정밀도가 높은 제어가 가능하다.

2.1.2 원적외선 가열에 있어서 에너지의 절약

원적외선의 특성을 살려 설계하면 가열시간의 단축을 통하여 에너지절약을 얻을 수 있다.

다음과 같이 어떤 가열시스템의 열효율 η 는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\eta = W_k / Q_A = (Q_A - Q_R) / Q_A \quad (2)$$

여기서, W_k : 실질적인 일의 량,

Q_A : 가해진 열량

Q_R : 배출된 열량

이 식에서 배출된 열량 Q_R 이 적게 되면, η 는 1에 가깝게 된다. 즉, Q_R 을 어떻게 최소로 할 것인가가 에너지 절약의 기본이 된다.

그런데, 원적외선 가열은 노내(爐內)열원으로 사용되기 때문에 배출열량을 구성하는 것은 대류손실과 열관류손실(熱貫流損失)이므로 이들의 저감이 곧 에너지의 절약이 된다.

(1) 대류손실의 저감

아무리 원적외선 발열체라고 하여도 입력된 에너지가 모두 적외선으로 방사되는 것은 아니며, 그 표면으로부터 대류하여 열방사하는 요소가 다르다. 이관계를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$W = W_1 + W_2 + W_3 \quad (3)$$

여기서, W : 입력 W_1 : 방사분 W_2 : 대류분 W_3 : 전도분을 표시한다.

내방사형(內放射形) 원적외선 히타를 사용할 경우 W_3 는 미소하기 때문에 생략하면 다음과 같은 실험식을 얻을 수 있다.

$$W = 4.88\epsilon \{ (T_1 / 100)^4 - (T_a / 100)^4 \} \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{h]} \quad (4)$$

$$W = 1.66C(T_1 - T_a)^{5/4} \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{h]} \quad (5)$$

여기서 T_1 : 히타 표면온도[k] T_2 : 주위온도[k]

C : 히타의 위치계수(직립의 경우 C=1, 상향의 경우 C=1.3, 하향의 경우 C=0.65이다)

각 온도에 대하여 계산한 결과를 나타내면 표 1과 같다.

이상과 같이 원적외선히타의 경우 그 표면온도에 따라 11%~36%의 대류 열방사가 있으며, 이를 최소화 하기 위한 방법으로는 다음과 같은 것이 있다.

- a. 대류 유출을 방지하기 위하여 tunnel노(爐)의 출입구를 산형(山形)으로 한다.
- b. 적정 배기량의 검토를 통하여 필요 이상의 배기는 피한다.
- c. 배기통에 열교환기를 배치하여 배기열의 회수율을 도모한다.

(2) 열관류 손실의 저감

- a. 노의 표면적을 적게 한다.
- b. 단열재를 두껍게 한다.
- c. 효율이 높은 단열구조를 선정한다.

열관류 손실이란 노벽을 관통하는 손실로서 노내 온도를 t_A , 노외 온도를 t_B 라 할때 노벽을 단위 시간당으로 통과하는 열량 Q는 다음식으로 구할 수 있다.

$$Q=KA(t_A - t_B) \text{ [kcal/h]} \quad (6)$$

$$K=\frac{1}{1/\alpha_A+d_1/\lambda_1+d_2/\lambda_2+1/\alpha_B} \text{ [kcal/m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{°C]} \quad (7)$$

여기서, K : 노벽의 열전달 계수, A : 노의 표면적

표 1. 방사와 대류의 비

히타 온도[K]	방사분[%]	대류분[%]
1000	88.6	11.4
800	82.6	17.4
600	73.2	26.8
400	64.1	35.9

($\epsilon=1$: 대류는 자연대류로 함)

α : 노벽의 표면 열전달 계수, d : 단열재의 두께이다.

위 식에서 알 수 있는 바와같이 단열재의 두께 d를 크게 하면 열전달계수가 적게 되어 열관류손실 Q는 작게 되지만, 경제성을 고려하여 노외 벽 온도를 일정하게(일반적으로 실온보다 15[°C]~25[°C]정도 높게)하여 그 온도 이하로 유지하는데 필요한 두께를 선정하면 좋다.

2.2 원적외선의 건조

원적외선에 의한 가열, 건조는 근적외선과는 다르게 물질표면의 온도와 물질속의 온도와의 차이가 적다고 하는 특징이 있다. 이러한 특징을 이용하여 원적외선의 건조기구가 개발 실용화 되어 있다.

2.2.1 원적외선 건조의 특징

- a. 복사성이 강하기 때문에 히타와 피사체와의 매질인 공기층의 온도상승은 거의 없다.
- b. 피사면의 색상에는 거의 무관한 가열특성을 나타낸다.
- c. 피사체의 표면과 내부 열전달 시간차가 적다.
- d. 합성수지나 유지류(油脂類)등 고분자 화합물에서 가열효율이 높다. 공업용 건조로에 대하여 원적외선로와 기타 각종 가열로를 비교하면 표 2와 같다.

2.3 원적외선의 식품공업에 응용

원적외선을 식품공업에 이용하는 경우는 다른 공

표 2. 각종건조 방식의 특징

건조 방식	시간	장치비용	취급	운용비	활용성
열 풍	▲	◎	●	◎	●
유도가열	◎	◎	◎	◎	◎
유전가열	●	▲	◎	◎	▲
자 외 선	●	▲	◎	◎	▲
전 자 선	●	▲	▲	◎	▲
원적외선	◎	●	●	◎	●

주) ● : 우수 ◎ : 양호 ▲ : 불량

업에 이용하는 경우 보다 역사가 짧기 때문에 아직 그 이용이 확실하게 정착되지 못하고 있다. 그 원인으로서는 식품이라고 하는 인간의 미각에 호소하는 소재는 좋고 나쁨의 판정이 규격적으로 되지 않고, 오랜 경험과 감각으로 판정되기 때문일 것이다. 그러나 원적외선이 갖고 있는 기능 가운데에는 식품의 가공공정과 많은 상관관계를 지니고 있기 때문에 앞으로 더욱 적극적인 원적외선 이용이 기대되고 있다 [5][6].

2.3.1 식품가공에서 가열 기능

(1) 굵기

- a. 식품 내부에서 열 침투력이 강하여 소재의 심부(芯部)까지 균일하게 구울 수 있다.
- b. 소재의 표면을 연한 갈색으로 알맞게 구울 수 있어 식감(食感)을 좋게 한다.

(2) 보존

- a. 조리한 식품을 보존한다.
- b. 냉동식품을 재가열하여 가운한다.

(3) 건조

- a. 가열에 의하여 식품을 구분 건조.
- b. 건조 속도가 빠름(통풍건조의 약 2~7배).

(4) 숙성

원적외선의 열방사에 의한 숙성속도의 촉진율도도.

(5) 살균

- a. 가열에 의한 열 살균이 가능.
- b. 소재의 표면은 물론 심부까지 열 침투가 되므로 식품의 보존이 용이.

2.3.2 식품가공에서의 특징

- (1) 열처리 시간이 짧고, 설치나 장비를 소형화 할 수 있음.
- (2) 소재의 표면과 심부와의 온도차가 적으므로 균일 가열이 가능.
- (3) 표면이 타지 않기 때문에 탄화하여 식감을 손상시키지 않음.
- (4) 식품에 함유된 미량성분의 휘발이 없기 때문에 색, 향, 맛이 변하지 않음.
- (5) 열효율이 적으므로 에너지 비용이 절감.
- (6) 가스나 냄새가 발생하지 않으므로 위생적임.

(7) 온도 제어가 용이하여 품질관리가 수월.

이상의 예 외에도 많지만 원적외선을 식품가공에 응용하는 것은 관능적 판단이 깊게 뿌리내리고 있기 때문에 화학적인 판단이나 실증이 어려운 경우가 많지만, 살균효과, 숙성효과 및 미각의 향상 등 각각의 메카니즘에 대한 보다 깊이 있는 연구를 통해서 화학적으로 실증되기를 기대한다.

2.4 원적외선의 조명에 응용

광의 본질은 적외선과 같이 에너지 전달과정의 하나인 전자파의 일부분이다. 전자파내에서 사람의 눈에 시각각을 일으킬 수 있는것은 파장범위가 약 380[nm]~760[nm]이며, 시각 지원을 위해서는 이 파장범위의 방사(가시방사)가 필요하다. 일반적으로 광에는 가시방사 외에 자외방사와 적외방사를 포함하며, 태양광이나 인공광원에 포함되어 있는 적외선은 파장 4[μm]이하라면, 중적외선 정도 되므로 「원적외선」과 「조명」과는 배타적인 관계가 되지만 그러나 원적외선의 변환기술을 응용하여 조명용 광원의 성능 향상을 실현할 수가 있다[7][8].

2.4.1 광원의 성능 향상에 응용

그림 2는 다층박막에 의한 적외선택반사막(적외선은 반사하며 가시광선은 투과하는 막)을 이용한 백열전구의 예이다.

그림에서처럼 유리구의 내면과 외면에 적외선 선

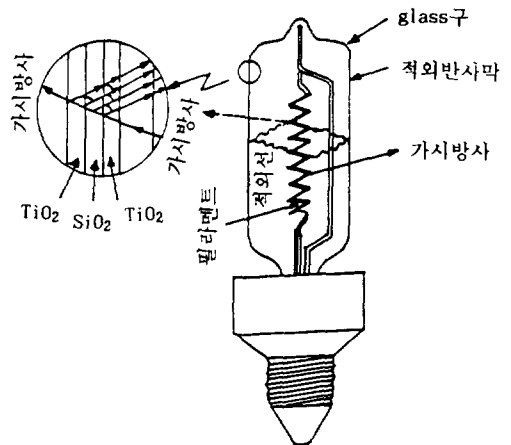


그림 2. 적외반사막 백열전구의 기본구조

택반사막을 적층하여 필라멘트로부터 방사되는 적외선만을 반사시키게 하며 이 적외선은 필라멘트로 되돌아가 흡수되고 열에너지로 재변환되어 필라멘트의 가열에 다시 이용되어진다.

백열전구의 경우 필라멘트로 부터 방사되는 에너지는 거의 90%가 적외선이기 때문에 이러한 구조를 이용하여 에너지절약을 도모할 수 있으며, 그 정도는 적외선택반사막의 선택반사특성에 따라 변화한다. 현재 실용화되어 있는 백열전구에서는 약 15% 정도의 에너지 절약이 가능하다.

또한 조명기구의 제조공정에도 원적외선이 이용되고 있는데, 백열전구나 형광램프 등 배기를 필요로 하는 관구형(管球形)의 광원에서 유리구나 유리관의 벽면에 흡착하여 있는 불순기체의 배기 효율을 높이기 위해 원적외선 가열을 이용한다.

이밖에도 백열전구의 백색확산을 위한 도포막의 도장 후의 소성이나, 형광램프의 형광체층 도포 후의 소성 등에도 원적외선에 의한 가열이 이용되어지고 있다.

2.5 원적외선의 전열에 응용

2.5.1 원적외선에 의한 가열

적외선에 의한 가열과 같은 에너지의 전달을 방사라 하고, 열에너지의 전달에는 이밖에도 전도와 대류가 있으며 이들의 경우는 열의 이동량이 쌍방 물체의 온도차이에 대한 함수인것에 비해서 방사는 절대온도의 4승차로 되어있다. 따라서, 열에너지를 이동시키는 물체간의 온도차가 큰 경우에는 방사에 의한 에너지 전달을 택하는 것이 유리하게 된다[8][9]

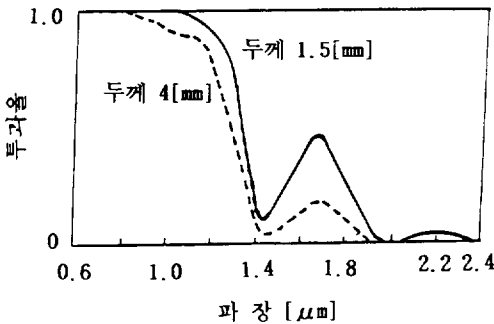


그림 3. 물의 분광흡수 특성

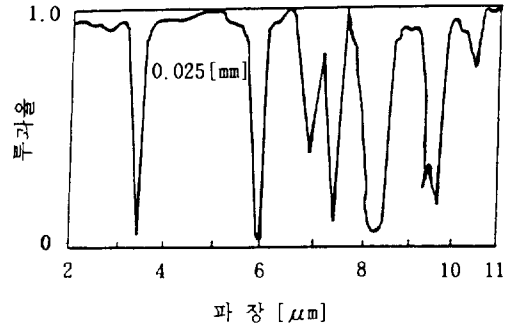


그림 4. 플라스틱의 분광흡수 특성

[10].

원적외선에 의한 가열이 종래의 적외전구를 이용한 가열(근적외 가열) 대신에 실용화 되어온 이유로는 방사원의 방사효율과 피가열물의 분광흡수 특성이 좋기 때문이다. 최근 널리 이용되고 있는 원적외 방사세라믹스를 사용한 원적외히터는 세라믹스의 원적외역에 있어서의 분광방사율이 크기 때문에 종래의 관구형 적외전구에 비하여 입력전력의 적외선으로의 변환효율이 5~10[%] 정도 높게 되어 있다.

또, 피가열물의 분광흡수특성을 살펴보면, 그림3과 그림4에 표시되어진 것처럼 물이나 플라스틱과 같은 고분자 화합물의 흡수파장영역은 4[μm]보다 긴 원적외선 영역에 있다.

2.5.2 원적외선과 온열감각

원적외선이 인체에 조사되어 흡수되면 열에너지로 변환되며, 이 변환된 열에너지는 그 주변조직의 온도를 상승시키는 것으로 된다. 인체조직의 온도가 적정한 온도로 상승할 때에 얻어지는 감각을 온열감각이라 하며, 난방등의 조건설정에 기준이 된다.

이 온열감각을 일으키는 방사조도가 적외선의 파장에 따라 다르며, 파장이 긴 원적외선 쪽이 근적외선에 비하여 낮은 방사조도에서 같은 온열감각을 일으킨다. 이것은 원적외선과 근적외선의 피부에 대한 흡수부위의 차이에 의한 것이다.

그림 5는 피부 밑 1.0[mm] 및 1.4[mm]에 있어서 적외선이 도달할 때 파장 특성을 측정할 것으로서 근적외선 쪽이 보다 피부 깊숙히 침투하며, 원적외선쪽이 보다 피부의 표면으로 흡수되고 있는 것을 알 수 있다.

인체가 「온열감각」을 일으키는 부위(온점이라 말

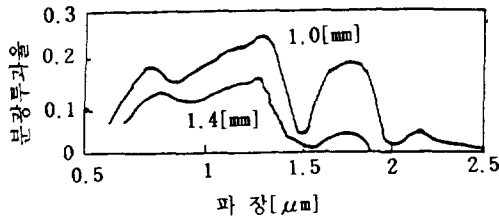


그림 5. 인체의 피부에 대한 적외선파장 특성

하여지는)는 피부 밑 0.3[mm] 정도의 곳에 있다고 되어 있다. 따라서 피부의 표면에서 같은 방사조도 일지라도 원적외선쪽이 피부 가운데서 보다 온점에 가까운 곳으로 흡수되므로 온점 부근의 피부온도가 상승하여 결과적으로 보다 따뜻하게 느끼는 것으로 된다.

이것을 응용하여 원적외히타를 난방에 사용하는 것이 검토되어 「원적외스토브」 등이 개발 제품화되어 있다.

2.6 적외선 센서 기술

적외선 센서란 적외선을 감지하는 센서를 말하며, 그 동작원리로 부터 「양자형」 또는 「광전형」과 「열형」으로 나누어지고, 전자는 InSb와 같은 2가의 반도체 화합물, HgCdTe와 같은 3가의 반도체 화합물 등이 있으며, 후자의 적외선센서로는 Thermistor, Thermopile 등이 있다[11][12].

양자형 적외선센서는 광도전효과, 광기전력 효과를 이용한 적외선센서이며, 열형적외선센서는 초전효과를 이용한 적외선 센서로서 이들의 특징을 나타내면 표3과 같다.

적외선센서를 적용하는 경우에 필요한 조건은 대상물체의 적외선방사율과 적외선센서의 적외선 검출도로서, 일반적으로 센서의 성능은 감도, 응답속도 및 검출도 등에 의하여 결정된다. 그 동안 이러한 조건에 의해서 많은 적외선센서가 개발 실용화되었으며, 앞으로 초전도 세라믹스를 이용한 조셉슨 센서가 적외선센서로서 많은 주목을 받을 것이다.

2.7 적외선 통신기술

전파란 통상 3[kHz]로 부터 300[GHz]주파수의

표 5 적외선 센서의 분류

종 류	동 작 원리	재 료	감도	응답 속도 사용 파장의존성
열형 적외선 센서	열도전 효과	Thermister	낮다	높다
	열기전력효과	Thermopile		
	초전 효과	TGS, PZT, PbTiO ₃		
양자형 적외선 센서	광도전 효과	PbS, PbSe HgCdTe, GeAu GeHg	높다	빠르다
	광기전력효과	InAs, InSb PbSnTe HgCdTe		

전자파를 가르키며, 이러한 전파는 여러통신 수단으로서 이용되고 있다. 현재 주목받고 있는 광통신 분야에서는 적외선의 이용이 큰 과제로 되어 있으며, 데이터통신, 화상통신의 발전에 따라 대량의 정보전송을 가능케하는 새로운 통신기술이 요구되고 있다.

전송방식으로는 대용량 동축전송방식, 밀리파전송방식, 광전송방식 등이 있으며, 이중에서도 특히 광전송방식은 눈부신 발전을 이루고 있다. 광전송방식은

- (1) 자유공간을 사용하는 대기전송방식
- (2) 광 fiber를 사용하는 광 fiber전송방식

의 2가지로 크게 나눌 수 있다.

(1)의 대기전송방식은 광의 사용파장에 의하여 안개 등 기상조건의 영향을 받기 쉬우므로 신뢰도를 그 정도로 필요로하지 않는 회선에 주로 사용된다.

(2) 광 fiber전송방식은 다음과 같은 특징을 가지고 있기 때문에 현재 급속히 실용화 되고 있다.

- a. 非帶域(전송주파수 대역의 중심주파수에 대한 비)을 일정하게 하면 마이크로파에 비하여 광 대역이다.
- b. 유도장해가 없다.

- c. 전기케이블에 비하여 대량정보를 전송할 수 있다.
- d. 전기케이블에 비하여 전송손실이 훨씬 적다.
- e. 재료비의 비율이 낮기 때문에 장래 저가격화가 기대된다.

이 광통신 기술의 개발은 저손실 광 fiber의 출현과 double hetero 접합형 실온연속발진 레이저의 출현에 의하여 보다 실용화에 크게 진전하고 있다. 그러나 자외흡수, 산란, 적외흡수 등에 의한 손실은 피할 수 없으며 이 가운데 적외흡수는 물질을 구성하고 있는 원자의 격자진동에 의한 흡수로서 적외역에 있는 파장의 광을 흡수한다[12]. 따라서 fiber의 장파장 측 투과한계는 이 흡수에 의하여 제한되며, 광 fiber의 손실이 3[μm] 이상의 파장대에서 급격히 증가하게 되는 것은 적외흡수 때문이다. 그러므로 적외 흡수가 적은 광fiber나 3~5[μm] 적외선 레이저의 개발은 장거리광통신의 큰 과제라 할 수 있다.

3. 결 론

원적외선의 이용은 에너지절약을 목적으로한 효율이 높은 열전파형태로서 주로 응용되고 있다. 따라서 방사체의 적외선 방사특성과 피가열체의 적외선 흡수특성과의 관계가 먼저 명확하게 규명되어야 한다. 그러면 그 흡수특성과 정합된 원적외선 방사세라믹스의 제작도 가능하게 되어갈 것이므로 원적외선의 작용효과가 각종 분야에서 이용되어 갈 것이다.

예를들면 의료분야에서 과거에는 인체의 일부를 가온할 필요가 있을 때에는 고주파전류, 마이크로파 또는 환부를 유도 파라핀속에 넣어 환부를 따뜻하게 하는 방법 등이 있지만 만약 어떤파장의 원적외선이 인체의 피부 깊숙이 투과가 가능하다면 마이크로파 발생장치 대신에 원적외선의 발생장치가 값이 저렴

하고 가온부를 국소로 제한 할 수 있으므로 널리 사용되어질 것이다.

또, 식품분야에서는 에너지절약의 관점에서 뿐만 아니라 조리의 관점에서도 원적외선의 이용이 진전되어 갈것으로 생각된다.

한편 원적외선센서의 진전은 놀랄만하며, 앞으로 초전도세라믹스를 이용한 원적외선 검출의 조셉슨 센서는 더욱 진전되어 질것으로 생각된다.

어떻든 각종 원적외선방사 세라믹스의 개발과 원적외선 영역에서의 파장 특성에 대한 측정법이 확립되어짐에 따라서 원적외선 이용은 앞으로 각종방면에 진전되어질 것이다.

참 고 문 헌

- (1) 大森, 遠赤外線 利用技術 の 現想 と 展望, 日本學會誌, (1984)
- (2) 大森, 赤外線 の はなし, 日間工業 新聞社, (1986)
- (3) 遠赤外線 放射 セラミックス の すへて, オフトロニクス社 編集部, (1990)
- (4) 高田紘一, 遠赤外線의 工業加熱 分野への 應用,セラミックス, 23, No. 4(1988)
- (5) 佐・本 完, 遠赤外線 の 食品工業への 應用,セラミックス, 23, (1988)
- (6) 清水賢, 食品工業における 遠赤外線의 利用技術의 基礎,セラミックス, 23, No. 4(1988)
- (7) 島田, 井口, 照明學會誌, 58, 179, (1974)
- (8) 河本 康太郎, 遠赤外線의 照明 電熱への 應用,セラミックス, 23, No.4 (1988)
- (9) W.H.McAdams, Heat Transmission, Mcgraw Hill Co. (1954)
- (10) 芳賀, 電熱, 22, 1, (1985)
- (11) M. Inaba et al., "Infrared Sensing Properties of BaTiO₃ PTC Thermistor" Nippon Serumikkusu, 97(10), pp. 1250-55, (1989)
- (12) R.A.Smith, F.E.Jones and R.P.Chasmar,"The Detection and Measurement of Infrared Radiation", Oxford Press, pp. 8~11, (1968)



김충혁(金忠熾)

1959년 9월 27일생. 1986년 광운대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 광운대 대학원 전기공학과 박사과정.



송민중(宋敏鍾)

1963년 8월 10일생. 1989년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 홍익대 대학원 전기공학과 박사과정



박춘배(朴椿培)

1950년 11월 1일생. 1973년 조선대 공대 전기공학과 졸업. 1976년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1991년 미국 Mississippi 주립대 교환교수. 현재 원광대 공대 재료공학과 부교수.



이준웅(李準雄)

1940년 10월 24일생. 1964년 한양대 공대 전기공학과 졸업. 1970년 동 대학원 졸업. 1979년 프랑스 국립 Montpellier 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1990~91년 미국 Mississippi 주립대 전기전산공학과 교환교수. 현재 광운대 공대 전기공학과 교수. 당학회 평의원.