

자 료

원적외선과 세라믹스

Far Infrared Rays and Ceramics

한 총 수

정회원

C. H. Han

1. 원적외선 개요

원적외선(Far Infrared Rays, Long wave Infrared Rays)은 열 효과가 큰 적외선영역(0.76μm~1,000μm) 내에서 파장이 긴 4.0~5.6μm부터 1,000μm까지로 정의하고 있다. 그러나 경계 파장은 관련분야에 따라 약간의 차이가 있다.

파장 λ은 주파수(진동수)ν(Hz)와 빛의 진공내 속도 C (2.9979 × 10¹⁰μm/s)와의 관계로 λ(μm) = $\frac{2.9979 \times 10^{14}}{\nu}$ 되고, 또한 파수(cm⁻¹)로도 나타내는데 1cm 사이에 들어가는 파장의 수로 카이저라고도 하며 파수(cm⁻¹) = $\frac{10,000}{\lambda(\mu m)}$ 나타낸다.

원적외선 가열에 응용되는 주요 법칙은 소정 온도의 흑체 표면으로부터 파장별 복사되는 에너지량의 분포 특성을 나타내는 프랑크의 법칙, 방사체 온도와 최대 에너지를 복사하는 파장과의 관계를 나타내는 빈(윈)의 변위 법칙, 흑체의 단위 표면적으로부터 단위 시간에 반공간에 복사되는 에너지는 절대온도의 4제곱에 비례하는 것을 나타낸 스테판-볼츠만 법칙이 있다. 상세한 설명은 참고 문헌을 참조하기 바란다.

2. 원적외선 복사와 재료

가. 원적외선 복사

광양자에너지 이론을 응용하여 원적외선 복사를

해석하면 다음과 같다.

광양자에너지는 전자파를 구분하는 인자로 진동수와 파장 외에 다른 표현으로 보면 되고 eV(전자볼트 electron volt)로 나타낸다. 1eV란 전자가 1V의 전위차(電位差)의 속에 놓여 가속될 때 얻는 에너지의 크기로 1.6022 × 10⁻¹⁹J과 같다. 이것을 응용하여 파장 1μm의 적외선복사 광양자에너지를 구하면 1.2398eV가 된다. 이 이론에 입각한 파장 λ [μm]인 전자파의 광양자에너지는 1.2398/λ이다. 따라서 원적외선 가열로서 이용되고 있는 2.5μm에서 30μm에 상당하는 부분은 0.5~0.04eV로 작기 때문에 거의 화학작용은 하지 않지만, 물질의 분자진동이나 결정의 격자진동을 여기하는 크기로 알려져 있다.

물질이 +(양), -(음) 이온사이의 결합력으로 구성되어 있는 이온결정 등과 같이 물질 내에서 양·음의 전하가 결합하여 존재하고, 이것들이 원적외선 영역에 상당하는 진동수로 진동하면 이에 상당하는 크기의 원적외선 복사에너지가 흡수된다.

원적외선 복사에너지가 흡수되지 않은 금속(표면에 산화피막이 없는 상태)을 제외한 대부분의 물질은 원적외선 복사에너지를 조사하면 일부가 흡수되고, 이것은 분자와 격자의 진동을 여기시켜 물질내의 진동을 보다 활발하게 한다. 따라서 가열인 경우에는 효율 좋게 물체의 온도를 상승시키는 효과와 열매체 없이 바로 피가열 물체에 원적외선 복사에너지가 전달되는 장점이 있다.

원적외선을 열작용에 의한 효과 외에 전자파와

* 충북대학교 농과대학 농기계공학과

물질내의 분자간에 진동을 여기시켜 변화를 일으킬 수 있다고 보면 상온에서의 원격외선 복사 응용은 상당한 가능성이 있다고 할 수 있다. 이 가능성은 모든 물질에 해당되는 것은 아니며, 물질의 구성 성분과 구조에 따라 큰 차이가 있다. 따라서 상온의 상태에서 원격외선 복사에 대한 메카니즘은 관계자들 사이에서 논의가 진행되고 있는 상태이고, 바로 결론을 내리기 어려운 상황이다.

나. 원격외선 복사율

물체의 복사 특성은 분광복사발산도 곡선과 분광복사율 곡선으로 나타낸다. 전자를 복사강도 스펙트럼, 후자를 분광복사스펙트럼이라고도 한다. 분광복사발산도 곡선(복사강도 스펙트럼)은 측정 파장별 복사에너지 발산도를 나타낸 것이고, 분광복사스펙트럼은 대상물체의 복사발산도와 이와 같은 온도의 흑체 복사발산도와의 비를 측정 파장 또는 파수에 따라서 나타낸 것이다.

복사율은 대상물체의 복사발산도(복사에너지)와 이와 같은 온도의 흑체 복사발산도와의 비로 정의하고, 복사스펙트럼에 나타난 파장별 복사율을 분광복사율이라 하고, 일반적으로 이것을 복사율(방사율)이라 한다. 한편 전파장 영역에 걸친 분광복사율의 평균치를 전복사율(전방사율)이라 한다.

복사율은 FT-IR분광법과 Mg-Cd-Te계 반도체를 이용한 광역고감도검지소자에 의해 상온 영역에서 복사율 측정이 가능하게 되었다. 특히 상온에서 시료로부터 복사되는 에너지는 미약할 뿐 아니라 주위 환경에서 복사되는 에너지와 같은 수준이므로 정확한 복사 특성을 측정하기 위해서

(1) 주위의 복사에너지가 변동하지 않도록 측정실 내의 온·습도를 항상 일정하게 유지해야 한다.

(2) 상온에서 분광복사율을 측정하는 경우 시료 온도의 오차를 작게 해야 정밀도를 유지할 수 있다. 예를 들면 5~10 μ m 파장영역에서 분광복사율의 오차를 2% 이내로 억제하기 위해서 시료온도가 500 $^{\circ}$ C와 40 $^{\circ}$ C인 경우 시료온도 측정오차를 각각 5 $^{\circ}$ C와 -0.5 $^{\circ}$ C 이내로 조절해야 한다.

(3) 같은 물질이라도 밀도, 두께, 표면상태 등이 다르면 복사율도 변한다. 따라서 시료의 물리적 조건을 동일하게 하고, 동일 장치로 측정해야 한다.

(4) 측정실 내의 환경 및 기기 내의 환경을 항상 청결하고 일정하게 유지해야 한다.

다. 재질 및 특성

원격외선 복사 세라믹스는 지금까지 많은 종류가 개발되었다. 가열하면 3 μ m 이상의 원격외선을 복사하는 재료로는 규소, 알루미늄, 지르코늄, 티탄, 칼슘, 마그네슘 등의 산화물과 탄화물, 질화물 또는 뮤라이트(3Al₂O₃·2SiO₂), 코디라이트(2MgO·2Al₂O₃·5SiO₂), 지르콘(ZrO₂·SiO₂), 티탄산알루미늄(Al₂O₃·TiO₂), β -스포츄멘(Li₂O·Al₂O₃) 등의 복합산화물이나 이들 복수조합에 의한 복합산화물세라믹스가 있다. 더욱이 복사율을 높이기 위한 첨가재료로써 철, 코발트, 니켈, 크롬, 망간, 구리 등의 산화물이 이용되고, 또 소성온도를 낮추고 반응을 촉진시키기 위한 소결보조제로써 알칼리금속, 알칼리토류금속, 전이금속, 희토류원소 등의 산화물이 이용된다.

한편 상온에서 사용하는 원격외선 세라믹스의 특성 중 원격외선 효과와 세라믹스의 성분에 의한 기능을 분명히 해야 한다. 상온에서 원격외선 효과와 메카니즘에 대한 연구는 미진한 부분이 많지만 연구가 진행중인 것이 많다.

표 1. 단일 성분의 세라믹스 물성과 기능

항 목 세라믹스	비표면적 (m ² /g)	수소이온 (pH)	탈 취 율 (%)		항 균 율 (%)	
			암모니아	황화수소	대장균	포도상구균
α -알 루 미 나	3.0	10.4	8.0	7.0	0	0
γ -알 루 미 나	277.0	10.2	89.7	93.2	99.9	0
輕 칼 습	8.7	8.6	8.3	61.3	23.4	0
산 화 아 연	2.6	8.3	17.0	100.0	82.0	15.0
산 화 티 탄	8.4	7.1	58.0	14.0	23.5	30.5
마 그 네 습	7.9	7.7	92.9	100.0	8.4	30.1

상온에서 세라믹스의 항균 또는 탈취 기능은 원적외선 효과라고 하기보다는 세라믹스의 기능성에 의한 것이다.

표 1에 단일 성분의 세라믹스 물성과 탈취·항균 기능을 나타내었다.

3. 원적외선의 가열 특성

가. 재료의 색과 흡수열량

면상원적외선 히터와 근적외선 램프를 열원으로 사용했을 경우, 수열관의 명도(흑색:17, 녹색:34, 주황색:42, 흰색: 92)와 흡수열량과의 관계는 원적외선 가열(246℃, 290℃)의 경우 흡수열량은 명도가 증가함에 따라서 백색을 제외하고는 차이가 없는 것으로 나타냈지만, 근적외선 가열은 명도가 증가함에 따라서 흡수열량이 크게 감소하는 것으로 보고되어 있다.

나. 원적외선 가열의 해석

상온(28.4℃)에서 원적외선 가열(가열거리 75mm, 357℃)과 열풍가열(100℃)에 의한 시료(전분+한

천) 내부의 깊이(표면, 2, 4, 6mm)별 온도변화를 열전대를 이용하여 측정된 값과 이론값을 비교하였다.

시료 깊이가 2mm에서 원적외선 가열 경과시간 1, 5, 10분 후 측정온도와 이론온도는 각각 40.2℃와 38.5℃, 53.6℃와 53.6℃, 59.1℃와 61.7℃로 거의 일치하고, 깊이가 4, 6mm인 경우 2mm 보다 시료 온도가 늦게 상승하기 때문에 원적외선 가열은 시료 표면에 침투되면서 대부분이 흡수되어 전도되는 것으로 해석하였고, 열풍 가열보다 시료의 온도상승이 빠른 것으로 보고하였다.

다. 원적외선 가열에 의한 색소 분해율

가열·건조할 때 시료가 가지고 있는 색소를 분해 또는 탈색시켜 변색이 되면 상품가치는 저하되고, 가열원으로서 적합하다고 할 수 없다.

가열방식(태양광선, 근적외선, 열풍, 원적외선)에 따른 β-카로틴의 분해율을 시료온도 60℃, 3시간 가열 후 비교해 보면, 분해율이 제일 높은 것은 태양광선 조사로 70.1%, 다음이 근적외선 가열로 47.7%를 나타내 원적외선 가열보다 각각 2배, 1.4배 분해되었다.

표 2. 원적외선의 응용분야

분 류	응 용 분 야	효 과
건 조	자동차·가전제품·목재가구·거울 도장건조, 회로판건조, 인쇄잉크건조, 염색건조, 농수축산물·식품건조, 약품건조, 한약재건조	균일하고 신속히 건조됨. 화학변화 적음. 에너지 절약됨.
가 열	제빵·과자류 구움, 냉동식품 해동, 바베큐, 땅콩·커피볶음, 계란 삶음, 수지(樹脂)가공, 열경화성수지 경화, 접착제경화, 인쇄소부, 식품 포장후 살균, 얼음·눈 녹임	균일하고, 신속히 가열됨. 고품질 유지. 풍미 향상. 에너지 절약됨.
예열·보온	식물재배·가축사육 난방, 전기요·장판, 욕내·옥외국소난방, 공장난방	열매체가 불필요하고 직접 열전달이 가능함. 쾌적한 온감.
의료·건강	신체 일부 가열 및 맛사지, 사우나, 상처부위 가열 치료	쾌적한 온감, 신체흡수성 및 혈액순환 양호 대사촉진(혈류, 발한)
비 가 열	양조품 숙성 및 발효, 신선도 유지, 물·식품 품질 개선, 재배 및 양식용수 개선 항균, 항곰팡이, 방충, 탈취	보존기간 연장, 식미 향상 세라믹스의 기능성임.

따라서 원적외선 가열은 재료 색에 영향을 받지 않고 균일하게 가열되며, 가열할 때 시료의 온도 상승이 빠르고, 색소 분해율이 낮아 가열·건조열 원으로 효율적이고 적합한 것으로 보고하였다.

4. 원적외선 복사 세라믹스의 응용

원적외선 복사 세라믹스를 이용한 제품은 가열 상태에서 사용하는 것과, 비가열 즉, 상온상태에서 사용하는 것으로 분류된다. 국내에서 원적외선 복사 세라믹스 응용은 주로 상온상태에서 사용하는 것이 많고, 다른 산업과 비교해서 기술적으로 상당히 뒤떨어져 있는 상황이다.

국내에서 원적외선을 응용하기 시작한 기간은 1985년 이후로 주로 민생 용품이 대부분이었다. 특히 원적외선 응용 가열·건조 분야는 1990년대부터 응용하기 시작하여 실제로 산업분야에 적용되기 시작한 것은 1995년 전후로 판단된다. 현재 국내의 원적외선 시장 현황은 건축, 사우나 계통 및 다양한 민생용품이 주종을 이루고 있고, 산업분야의 적용은 농수·식품건조(육포, 누룽지, 산채나물류, 고추, 두충차, 빵류), 타이어 유약건조, 밧테리건조 등 그리 많지 않은 편이다.

표 2에 국내외 원적외선 복사 세라믹스를 산업 분야에 적용되고 있는 사례를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 한충수, 伊藤和彦, 3인. 1995. 遠赤外線 복사의 가열·건조 특성, 제1회 한·일 원적외선 심포지움 pp. 15-30.
2. 韓忠洙. 1992. 遠赤外線を 利用한 應用技術, 國立工業技術院 窯業技術院 第2回 遠赤外線 放射體應用技術 심포지움. pp. 87-115
3. 韓忠洙. 1990. 遠赤外線による農産物の乾燥に関する研究. 博士學位論文 日本北海道大學.
4. Henry L. Hackforth著, 和田正信, 中野朝安 共譯. 1974. 赤外線工學. 近代科學社.
5. 한충수, 박완서 역. 1995. 遠赤外線 加熱의 理論과 實際. 원적외선응용연구소.
6. 高田纘一 外 2人. 1999. 實用遠赤外線. 人間と歴史社.
7. 池澤幹彦 外 29人, 박완서 역. 1997. 遠赤外線技術과 그 應用. 원적외선응용연구소.
8. 伊藤和彦, 韓忠洙. 1994. 遠赤外線による農産物の乾燥(I). 遠赤外線の加熱基礎特性, 日本農業施設學會誌 25(1):39-45.