

遠赤外線의 特性과 效果

工學博士 池 哲 根

서울大學校 工科大學 教授

1. 遠赤外線産業의 發展

21세기의 목전에서 遠赤外線産業은 遺傳子工學, 超電導를 제치고, 새로운 産業分野로서 技術革新의 뉴페이스로 확립되어 가고 있다.

遠赤外線産業은 日本에서 비교적 활발하여 약 3,000~4,000個社가 이 産業에 참가하고 있으며, 1988년에 약 1兆円, 2,000年代에 30兆円으로 예측할 정도로 巨大한 市場으로 확대되리라고 보고 있다.

初期에는 각 企業이 노하우의 公開기피로 業界의 閉鎖性이 강하였으나 遠赤外線과 物質相互作用 및 遠赤外線效果의 메커니즘이 해명되지 않아 共同開發研究가 활발해지고 있다.

예컨대, 異種業種 10個社와 公共研究機關 5個社가 합동으로 産業技術振興財團을 설립하여 遠赤外線에 대한 共同研究를 하고 있고, 食品關聯企業 29個社가 공동으로 出資하여 食品機械基盤技術을 關發하고 있는 등 協同研究가 활발하다.

한편 우리나라에 遠赤外線이 소개된 것은 高級 호텔의 遠赤外線 사우나의 導入으로부터이

며, 그후 遠赤外線 히터가 패널형, 막대기형으로 美國, 日本 등지에서 수입되었다.

常溫遠赤外線의 boom은 1987년경부터 일어나 遠赤外放射體의 분달, 반제품 및 완제품이 속속 수입되고 있으며, 현재는 1개사의 遠赤外放射體, 근 20개사의 素材 히터, 70여 개사의 박스 및 필름 시트, 45여 개사의 健康用品, 근 20개사의 調理容器, 6개사의 섬유류, 10개사의 醫療用品 등 200여개 업체가 있다.

그간 우리나라에서도 遠赤外線用品의 販賣宣傳을 위한 세미나 성격의 說明會가 3번 있었고 學術的으로는 國立工業試驗院의 陶磁器試驗所에서 遠赤外線放射體應用에 관한 심포지엄이 있었다. 그리고 뒤이어 韓國産業技術教育院에서 세미나가 개최되었고, 學會에서는 韓國照明·電氣設備學會에서 遠赤外放射 세라믹스 應用技術에 관한 세미나가 개최되었으며 遠赤外線의 特性, 遠赤外線放射測定, 遠赤外線放射體 세라믹스, 遠赤外線의 應用 그리고 日本과 韓國에서의 遠赤外線應用事例 등 광범위한 범위에 걸친 발표가 있었다. 그리고 韓國照明·電氣設備學會

에서는 學會內에 日本照明學會의 光應用研究會와 같은 성격의 遠赤外線研究會가 국내에서 처음으로 발족되어 學界의 관심을 모으게 되었다.

한편, 遠赤外線應用産業이 국내에 수입된지 불과 5~6年만인 '91年8月 현재 遠赤外線關連技術과 연관된 特許出願이 200여건 이상 되었으며 '91年 應用赤外線의 市場규모는 '88年度 100億원의 20배가 넘는 2천~3천億원으로 보고 있다.

또한 遠赤外線 에너지를 측정할 수 있는 赤外線 分光光度計를 확보하고 있는 곳으로는 國立工業試驗院 陶磁器試驗所와 韓國에너지技術研究所, 韓國技術研究所 등이 있고 業體로는 金星社의 研究所 등이 있다.

2. 遠赤外線이란

1800年에 英國의 天文學者인 William Herschel은 太陽光線의 分光연구중 赤色外에도 寒暖界에 감지되는 放射線이 있으며, 이 放射線이 光線보다 溫度上昇이 強하다는 것을 발견하였다. 赤色光 外側에 있는 熱線이라는 뜻으로, 赤外線이라고 이름지었다. 그 후에 Maxwell은

光線도 赤外線과 같이 電磁波라는 것을 이론적으로 체계화하였다.

電磁波란 電力會社 등이 이용하고 있는 電力周波, 通信에 이용되는 電波, 빛이라고 부르는 光波, X線, γ 線 등 放射線 등의 총칭이다.

赤外線은 波長이 $0.7\mu\text{m}$ 인 光線과 $2,000\mu\text{m}$ 인 마이크로波의 中間에 위치하고 있으며, 波長은 $0.76\sim 1,000\mu\text{m}$ 사이를 말한다.

赤외線을 波長別로 區分하면 近赤外線, 中間赤外線 및 遠赤外線 등으로 나누어진다. 國際照明委員會(CIE)에 따르면 다음과 같이 분류하고 있다.

近赤外線 $0.78\sim 1.4\mu\text{m}$

中間赤外線 $1.4\sim 3.0\mu\text{m}$

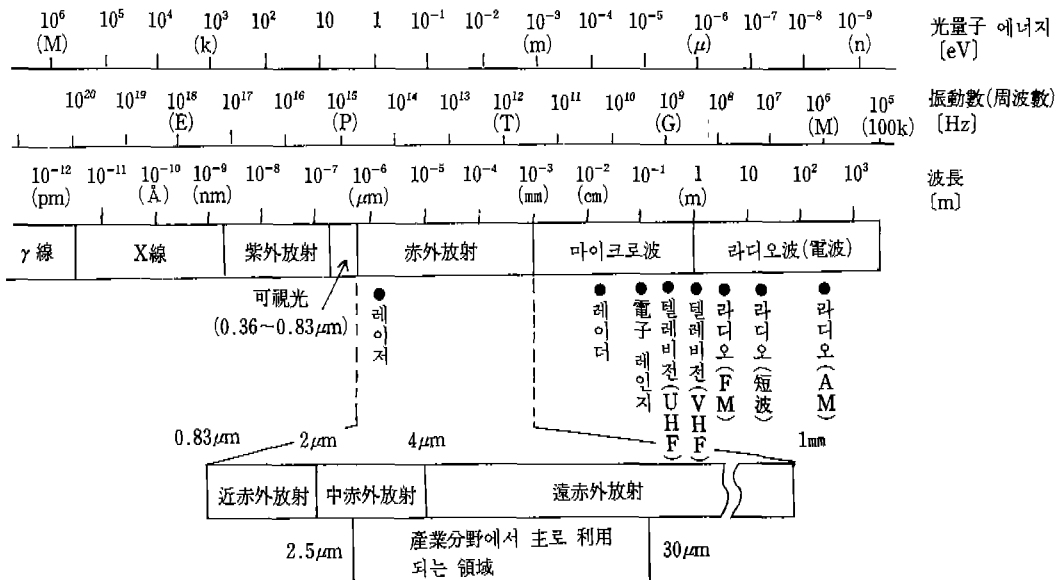
遠赤外線 $3.0\sim 1,000\mu\text{m}$

그리고 業界에서는 보통 $3.0\sim 1,000\mu\text{m}$ 의 범위를 遠赤外線이라고 부르고 있다.

그림 1에 電磁波의 스펙트럼을 나타낸다.

3. 電磁波와 物質과의 相互作用

電磁波는 波長 또는 振動數에 따라서 각각 특유의 성질을 갖는다. 電磁波를 波로서가 아닌



<그림 1> 電磁波의 스펙트럼

多數의 세세한 粒子的 흐름으로 보며, 최소의 단위인 1개의 粒子는 각각의 振動數 ν 에 비례하는 에너지 $h\nu$ 를 갖는다고 정하고 있으며, $h\nu$ 를 電磁波의 光量子 에너지라고 한다.

光量子의 에너지 단위는 eV이며 1eV는 電子가 1V의 電位差에서 加速될 때 얻는 에너지의 크기이다.

電磁波의 波長이 클수록 光量子 에너지는 적어지고, 波長이 짧을수록 光量子 에너지는 커진다.

波長 $\lambda(\mu\text{m})$ 인 電磁波의 光量子 에너지[eV]는 $1.2398/\lambda(\mu\text{m})$ 으로부터 구해진다.

그리고, 電磁波를 波長과 光量子 에너지로 크게 분류하면 표 1과 같다. 여기서는 電磁波를 특성에 따라 크게 나누고 이들의 波長 및 光量子 에너지 범위를 표시한다.

각 波長의 物質과의 相互作用을 들어보면 다음과 같다.

(1) 라디오波

라디오波인 電波는 波長이 매우 길므로 에너지는 매우 미약하다. 그러나 안테나에서 受信할 수 있다.

이것은 電波가 안테나線 中の 自由電子와 相互作用을 함으로써 가능하다. 電波의 종류에 따라 이것을 수신하는 안테나의 치수나 형태가 다른 것은 波長이 서로 다르기 때문이다.

<표 1> 電磁波의 스펙트럼

電磁波의 분류	波長 범위(μm)	光量子 범위(eV)
γ 線	$10^{-8}\sim 10^{-4}$	$10^6\sim 10^8$
X 線	$10^{-5}\sim 10^{-2}$	$10^2\sim 10^5$
紫 外 線	$10^{-3}\sim 0.36$	$1.5\sim 10^2$
光 線	$0.38\sim 0.76$	$1.5\sim 3$
赤 外 線	$0.76\sim 1,000$	$3\sim 10^{-2}$
遠赤外線	$2.5\sim 30$	$0.04\sim 0.5$
마이크로波	$1,000\sim 1(\text{m})$	$10^{-2}\sim 10^{-5}$
라 디 오 波	$1(\text{m})\sim 10^3(\text{m})$	$10^{-5}\sim 10^{-9}$

(2) 마이크로波

마이크로波의 에너지는 통상적인 電波 크기이고, 물체에 대해서는 分子의 回轉運動이나 反轉運動에 관련된다.

電子 레인지에서 사용되고 있는 周波數는 分子의 雙極子能率(分子내에서의 正電荷와 負電荷의 간격)이 共鳴하여 심하게 反轉하는 周波數로서 이 작용으로 電子 레인지 속에 놓인 食品에 함유된 水分에 선택적인 에너지가 전달되어 효율 좋게 가열된다.

(3) γ 線

한편, 반대로 가장 短波長인 γ 線은 光量子 에너지가 매우 크며, 이러한 크기의 에너지는 物質을 구성하는 原子를 둘러싸고 있는 각종 상태의 電子에 變化를 일으키는 에너지보다 더 크고, 原子核 그 자체와의 相互作用의 영역에 들어간다.

γ 線은 放射性物質로부터 발생하지만 이 물질은 不安定한 原子核構造를 가지고 있으며, 이 구조가 자연히 崩壞하여 별개의 구조로 이행될 때 放射線을 발산한다. 또한 加速器 등으로 강한 에너지를 가하여 강제로 放出시킬 수도 있다. γ 線의 특성은 물질에의 透過力이 극히 크다는 것이다.

(4) X線

X線은 波長이 짧고, $10^5\sim 10^2\text{eV}$ 정도의 에너지를 갖고 있으며, 이 에너지 레벨은 原子核에 비교적 강하게 속박된 內殼電子와의 相互作用에 의한 에너지 변환에 의하여 발생한다. X線은 透過力이 높기도 하고 化學作用도 있다.

(5) 紫 外 線

光線의 紫色光보다 短波長側에 있으며 化學作用이 큰 것이 특징이다. 이 波長은 原子核을 둘러싸고 있는 最外殼電子와의 相互作用에 의한 에너지 변환에 의하여 발생한다.

이 紫 外 線은 殺菌作用, 紅斑效果, 비타민 D

生成, 光化學作用 및 螢光, 光電效果 등이 있다.

(6) 光線

可視光線은 1.5~3eV의 에너지를 갖고 있으며, 사람의 눈에 빛이 감지되는 물질과 相互作用을 한다.

光線은 視覺作用은 물론 光電效果도 있다.

(7) 赤外線

赤外線領域은 마이크로波와 可視光線 사이의 波長域이며, 波長 0.76~1,000 μ m까지를 말한다.

그러나 이 波長中에서 50 μ m~1mm 정도까지의 電磁波는 실용상 거의 이용되지 않고 있다.

현재 遠赤外線이 산업적으로 이용되고 있는 波長은 2.5~30 μ m까지이다.

近赤外放射는 종래의 赤外線加熱로 이용된 영역으로, 金屬物質을 高溫으로 加熱할 때 放射되는 熱線이다.

대표적인 近赤外放射原으로는 赤外電球가 있으며, 發熱部인 텅스텐 코일의 溫度를 2,000°C까지 올리고 있다. 이때 可視光線도 방출하지만, 波長이 1.2~1.3 μ m의 近赤外放射가 가장 많이 발생한다. 電熱器의 니크롬線이 1,000°C로 가열된다면 放射되는 熱線은 2.3 μ m의 中赤外放射가 가장 많다.

赤外域의 光量子 에너지는 1.5eV 이하이며, 이들 중에서 遠赤外加熱로 이용되고 있는 것은 2.5~30 μ m에 상당하는 부분이고, 0.5~0.04eV의 적은 에너지로서 거의 化學作用은 없다.

이 레벨의 光量子 에너지는 物質의 分子振動이나 結晶의 格子振動을 勵起하는 크기이다.

4. 赤外線放射

物質은 그 溫度가 上昇하면 그것을 구성하고 있는 分子나 原子가 勵起狀態로 된다. 勵起狀態는 不安定한 상태이며, 分子와 原子는 에너지를 放出함으로써 安定된 상태로 되돌아 가려고 한

다. 이때 放出되는 에너지는 電磁波로 放射되는데 이것을 熱放射라고 하며, 주로 分子內의 勵起에 기인한다.

固體는 分子團의 集合이며, 熱勵起에 의하여 속박된 原子團은 1개 이상의 軸을 중심으로 回轉하고 있는 分子의 回轉運動, 分子內의 原子는 서로 振動하고 있는 分子振動, 또한 分子로 구성되고 있는 格子도 振動하고 있는 格子振動 등에 의하여 雙極子能率이 변화하는 경우에 電磁波가 放射된다.

熱放射에 의한 赤外放射는 電子遷移, 分子의 回轉運動 및 分子振動에 의한 電磁放射의 총합으로도 발생하지만 주로 回轉運動, 分子振動 및 格子振動에 의한 雙極子能率變化에 의해 발생한 放射源으로는 高溫의 金屬, 세라믹스 등이 있다. 遠赤外放射는 物體가 그리 高溫이 아니더라도 絕對溫度를 基準으로 하여 그 이상의 어떠한 溫度에서도 발생한다.

赤外線放射에는 熱放射 외에 冷放射가 있다. 冷放射는 熱 에너지 이외의 刺戟인 光, X線, 加速電子 등을 가함으로써 物質의 電子 에너지 狀態인 에너지 레벨을 높은 狀態로 끌어 올리고, 그곳으로부터 低位의 레벨로 다시 떨어질 때 외부로 그 에너지 差에 상당하는 振動數의 電磁波를 放出한다. 이런 종류의 赤外放射源으로는 水銀, Xe, Ce, Na 등의 放電燈이나 CO₂ 레이저 등이 있다.

冷放射에서의 放射波長은 0.8~2.5 μ m이고 熱放射에서의 放射波長은 1~50 μ m로서 産業的 利用에는 주로 熱放射가 이용된다.

5. 赤外線發生에 관한 法則

(1) 溫度放射

모든 物體는 溫度를 높이면 放射가 발생된다. 발산 스펙트럼은 연속적이며 스펙트럼 에너지 分布의 모양은 溫度에 따라 결정된다.

(2) 黑體

入射되는 모든 放射를 吸收하고, 反射도 透過

도 하지 않는 이상체를 黑體라고 하며, 모든 波長에서 最大의 溫度放射를 한다.

(3) 킬커프의 法則(Kirchhoff's Law)

一定溫度에서 동일한 波長の 放射線에 대한 物質의 吸收能力과 放射能力의 比는 物體의 성질에 관계없이 溫度에만 의존하여 一定한 값을 갖는다.

(4) 스테판·볼츠만의 法則(Stefan-Boltmann's Law)

溫度 $T^{\circ}K$ 의 黑體로부터 放射되는 全放射 에너지 S 는 其의 絶對溫度 T 의 4제곱에 比例한다.

$$S = aT^4$$

여기서 a : 상수

즉, 物體表面의 絶對溫度가 2배로 되면 全放射 에너지는 16배가 된다.

(5) 윈의 變位則(Wiean's displacement Law)

黑體에서 最大分光放射가 일어나는 波長 λ_m

은 溫度에 反比例한다.

즉, 溫度가 높아질수록 λ_m 은 짧아진다.

$$\lambda_m = \frac{C}{T}$$

여기서 C 는 상수이며 2877이다.

그러므로 人體의 體溫 $37^{\circ}C$ 에서 放射되는 最大分光放射 λ_m

$$\lambda_m = \frac{2877}{(37+273)} = 9.35\mu m$$

그러므로 약 $10\mu m$ 의 遠赤外線을 人體로부터 發산하고 있다.

(6) 플랑크의 放射法則(Plank's Radiation Law)

黑體의 溫度放射에서 其의 分光放射가 溫度와 더불어 변화함을 표시한 것이다. 즉, 波長 λ 의 分光放射束의 發散度 $S\lambda$ 는 溫度 $T^{\circ}K$ 에서

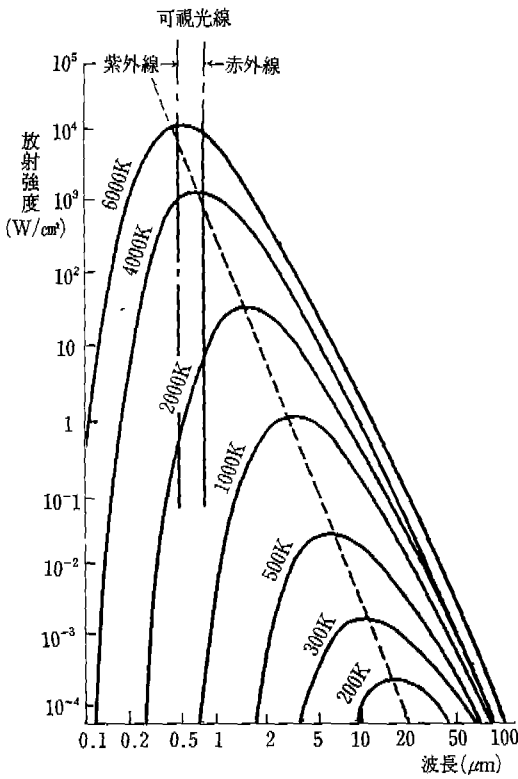
$$S\lambda = \frac{C_1\lambda^{-5}}{e^{(C_2/\lambda T)} - 1}$$

(7) 放射率

실제의 物體는 黑體와 같이 放射 能量을 放射하지 않고, 放射를 받아도 모든 波長의 에너지

<표 2> 赤外線放射源

分類	方式	放射物質	放射事例	放射波長域(μm)	비고
熱放射	通電에 의한 抵抗發熱 利用	텅스텐	赤外線電球	1~2.5	外管엔브에서 長波長側이 차단된다. 外管엔브로부터 2次放射가 있다.
		니크롬 탄 탈	電熱器 히 터	2~5	
		炭化珪素	글로바	1~50	低電壓 大電源
		세라믹스	네른스트글로아	1~50	通電 初期豫熱 필요
	다른 熱源에 의한 2次加熱 이용	금 속	시즈히터	4~10	
		세라믹스	IRS형램프	4~25	
放電에 의한 加熱 이용	카본		카본아크燈	1~20	가스熱燒에 의한 加熱
冷放射	氣體放電 利用	水 銀	水銀램프 크세논램프 CO ₂ 레이저	0.8~2.5	外管엔브에서 長波長側 차단된다. 外管엔브로부터 2次放射 있음
		세 습 크세논 二酸化炭素			



<그림 2> 각종 온도에서의 黑體放射 에너지 密度

지를 전부 吸收하지 않는다.

$$\text{全放射率} = \frac{\text{실제 물체로부터의 全放射量}}{\text{同一한 온도에서 黑體로부터의 全放射量}}$$

6. 遠赤外線의 特徵

遠赤外線의 物性으로는 放射 이외에 共鳴吸收과 浸透力作用 등이 있다.

(1) 放射

遠赤外線은 電磁波의 일종이며, 直進性, 屈折, 反射 등의 光學的 特性이 있고, 熱의 媒體가 불필요하며, 熱源으로부터 직접 電磁波가 放射되어, 상대 物體에 照射되어 즉시 熱로 된다.

그러므로 도중의 空氣나 眞空에 관계없이 空間을 통과하여 光線과 같이 傳達되므로 예컨대,

表面溫度가 약 5,500°C인 太陽으로부터의 熱 에너지가 이 地球上으로 전달되는 것은 이 원리이다.

(2) 共鳴吸收作用

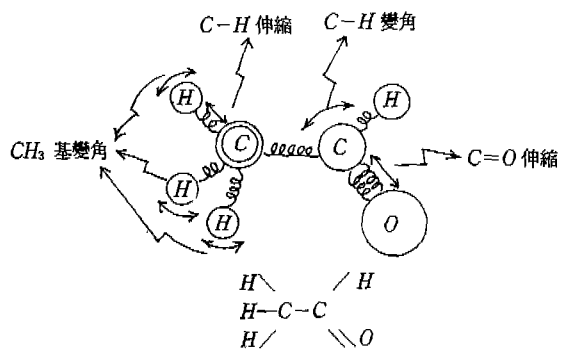
各 物質을 구성하는 여러 分子의 구조는 그 原子의 質量 構造的인 集合方式이나 配列의 상태 그리고 集合力의 차이로부터 特有的인 振動과 回轉의 周波數를 가지고 있다.

즉, 分子는 끊임없는 伸縮振動과 變角振動을 계속하고 있으며, 이 경우 振動의 周期는 각각의 結合力的인 종류만으로 정해지는 것이 아니라, 分子結合 全體의 영향을 받는다.

그림 3에서와 같은 構造를 갖는 分子에 어떤 振動數를 갖고 있는 赤外線이 照射될 경우, 이것과 同一한 振動數로 진동하고 있는 스프링이 分子中에 있다면 그 스프링은 赤外線의 에너지를 吸收하여 스프링 運動은 더욱 活潑하게 된다. 이 現象을 共鳴吸收現象이라고 부르며, 共鳴現象이 일어나면 原子間의 運動이 活潑해져 이 運動 에너지는 대부분 熱로 변하고, 일부는 活性化 에너지로 변하여 分子를 活性化시킨다.

그러나 分子中에 해당되는 振動數가 없을 경우에는 赤外線은 吸收되지 않고 分子를 통과한다.

각종 物質에 赤外線을 照射할 경우 共鳴吸收가 일어나는 방법은 그 물질마다 分子의 結合狀



<그림 3> 아세트알데히드의 振動

態가 다르므로 각각의 특징이 있으며, 그 固有의 赤外線吸收 스펙트럼으로 나타난다.

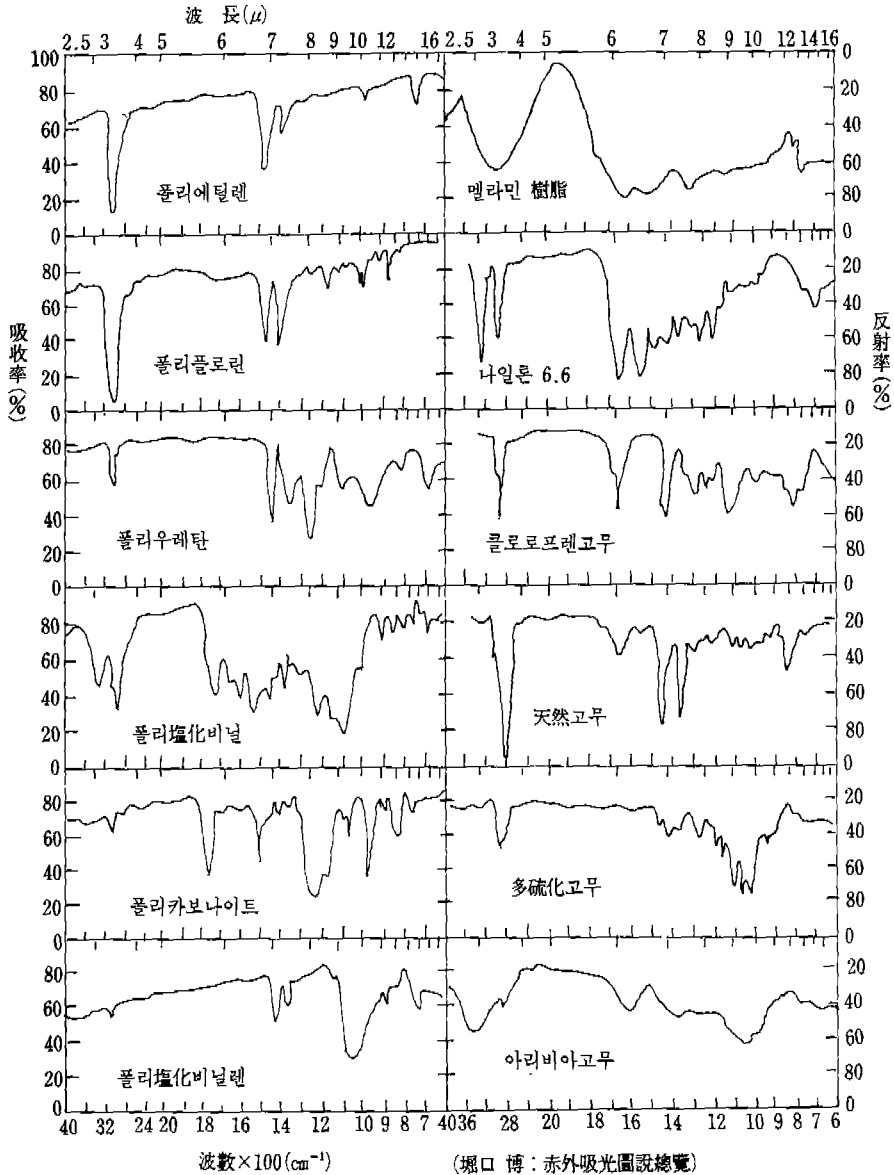
그림 4와 그림 5에 각종 物質의 赤外線吸收 스펙트럼의 예를 표시한다.

이 그림으로부터 有機物質이 遠赤外線帶域에서 共鳴吸收를 일으키는 것이 明白해지며 有機分子의 경우 赤外線吸收 프랙트럼이 나타나는

것은 波長범위가 3~100 μm 이고, 近赤外線의 放射 에너지는 有機分子에 거의 吸收되지 않으므로 效果가 매우 적음을 알 수 있다.

(3) 侵透力

人體에 대한 빛의 侵透力은 波長의 平方根으로서



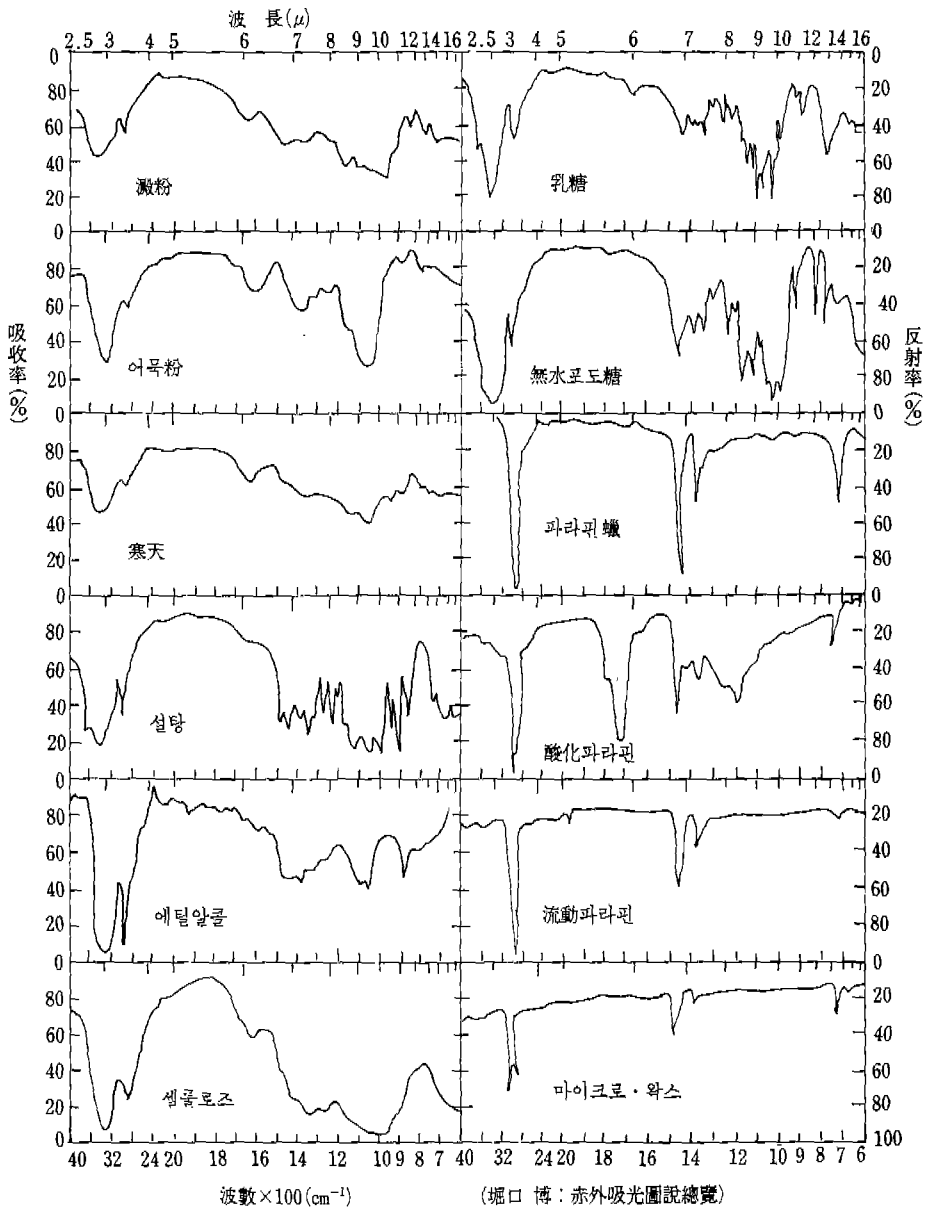
<그림 4> 각종 物質의 遠赤外線 領域에서의 分光吸收 特性

浸透力 = $\sqrt{\text{波長}}$
 이다. 즉, 照射되는 放射 에너지의 波長이 4배
 가 되면 浸透力은 2배로 되어 體中 깊이 들어간
 다.

따라서 波長이 짧은 近赤外線은 波長이 긴 遠
 赤外線에 비하여 浸透力이 떨어진다.

有機體인 人體內에 共鳴吸收現象이 생기면
 分子內에 커다란 에너지가 발생하여 그 대부분
 이 熱 에너지로 변하고, 일부는 活性 에너지로
 변하여 分子가 活性化된다.

人體는 體溫이 平均 36.5°C인 일종의 天然熱
 源으로, 즉 천연의 生物學的 赤外線放射源이다.



<그림 5> 각종 食品 등의 遠赤外線 領域에서의 分光吸收 特性

人體의 피부로부터 放射되는 赤外線의 波長은 3~50 μm 이며, 이 중에서 8~14 μm 波長의 赤外線은 人體로부터 放射하는 全放射 에너지의 46%를 점유하고 있다.

人體 皮膚의 透過力은 共鳴吸收의 경우 30~50 mm 로서 共鳴吸收가 아닌 경우는 1~2 mm 에서 吸收되고, 나머지는 反射된다.

7. 遠赤外線放射의 效果

遠赤外線放射의 效果중 중요한 것을 들면 다음과 같다.

(1) 물分子的 活性化

물分子的 波長帶인 10 μm 전후의 遠赤外線이 照射되면 共鳴吸收現象으로 물分子가 活性化된다. 즉, 물의 分子運動이 빨라지게 되는데 이러한 물이 맛이 있다.

(2) 生體效果

生體는 대부분 물과 蛋白質로 이루어져 있으며, 水分이 75% 정도이다.

물이나 蛋白質을 이루는 有機化合物의 分子運動의 振動波長帶가 照射되는 遠赤外線 波長帶와 동일할 경우 生體는 活性化된다.

光線이나 近赤外線 등은 生體에 吸收되지 않고 反射되지만 遠赤外線은 吸收되어 浸透力에 의하여 生體內에 침투, 自己發熱을 일으켜 溫熱效果 및 發汗效果를 가져온다.

이 作用으로 微細血管 擴張, 血液循環 促進, 組織의 活性化, 新陳代謝 促進, 老廢物 및 有害金屬 등을 體外로 排出시킨다.

地球上에 20萬에 달하는 有機化合物의 에너지 吸收 波長帶가 6~12 μm 에 집약되어 있고, 遠赤外線波長帶가 3~1,000 μm 범위내에 있으므로 共鳴吸收作用이 일어나며 이 경우 有機物의 內部와 外側이 동시에 溫度上昇이 된다.

(3) 臭氣除去

遠赤外線은 空氣를 陰이온化시키므로 臭氣의

주범인 物質의 陽이온을 中和시켜서 냄새를 제거한다.

(4) 熟成

熟成이란 食品의 蛋白質, 脂肪, 炭水化物 등이 酵素, 微生物 등의 作用으로 부패함없이 分解되어 특수한 香味를 띠는 상태를 말한다.

遠赤外線의 照射로 食酢에서는 菌의 增殖이 활발해지거나 菌 자체가 活性化되고, 또한 된장에서는 酵母 및 乳酸菌이 각종 酵素작용으로 熟成이 進行되는 등, 遠赤外線은 물을 活性化시킴으로써 水和性이 높아져 熟成을 촉진시킨다고 보고 있다.

예컨대 果實酒의 熟成은 자연상태에서 2個月이 필요하나 遠赤外線을 照射하면 1日로 熟成된다.

(5) 生育促進

遠赤外線 處理로 活性化된 물은 植物의 成長을 촉진시킨다.

물分子는 遠赤外線을 받으면 表面張力이 커지며 따라서 毛細管現象이 좋아지고, 또한 代謝活動도 促進되어 成長速度를 높인다.

花草의 成長도 빠르고, 꽃잎도 오래 지속된다.

(6) 에너지 節約

遠赤外線은 浸透力이 뛰어나서 物質內部에 깊숙히 침투하여 深部에서 自己發熱을 일으키고 內部가 均一하게 加熱되므로 塗料, 食品, 人體 등의 效率的인 加熱이 가능하여 가스, 電氣 등에 의한 방법보다 경제적인 效果를 얻을 수 있다.

積算電力計 外函의 塗裝乾燥時 종래에는 赤外線電球爐를 사용하여 건조하였으나 이것을 遠赤外線 乾燥爐로 개선한 결과 消費電力이 1/3로 減少되고, 乾燥時間도 1/10로 短縮되었으며, 加熱爐의 길이 및 設置面積이 1/4로 縮小되었다.