

원적외선 복사특성에 관한 온열효과

백 우 현

경상대학교 기초과학부 화학전공

1. 머리말

원적외선의 응용은 선택흡수작용을 이용한 가열수단과 함께 최근에는 원적외선의 복사 효과에 대한 관심이 의료 부분에서도 주목되기 시작했다.

원적외선은 전자파의 일종으로 스펙트럼상에서는 가시광선의 붉은쪽보다 더욱 긴 파장쪽에서 나타나며 강한 열작용을 가진 복사선으로 4미크론에서부터 14미크론사이의 원적외선 복사에너지가 생물학적 효과와 깊은 관계가 있는 것으로 알려지고 있으며, 특정파장과 일정한 광량을 가진 원적외선 복사에너지를 인체에 조사시키면 피부로부터 흡수된 열에너지가 피부의 수용기를 자극하여 인체에 영향을 미칠 수 있다고 생각할 수 있다.

원적외선 복사체에서 복사되는 원적외선의 복사특성이 열에너지 이동의 효율성이나 신속성을 이용한 가열 수단이 각광을 받게 됨에 따라 산업계뿐만 아니라 최근에는 상온영역에서도 복사되는 원적외선 복사체의 이용이 크게 주목되어 식품의 선도유지, 건강분야, 생활용품, 센서 등 비가열 효과를 내건 다양한 원적외선 복사체의 복사특성을 이용한 제품이 등장함으로써 이러한 제품들에 대한 효과규명이 활발하게 전개되고 있다.

최근 원적외선에 대한 연구, 개발이 폭넓게 진행된 결과, 다양한 기능을 나타내는 원적외선 복사소재와 제품이 등장하게 되었고 원적외선 제품들이 널리 사용되고 있는 실정이다. 그러나 이렇게 점점 다양화되고 있는 복사소재, 응용제품에 관하여 불분명한 점이 많고 확대 해석되는 경우가 많았다. 따라서 원적외선의 이화학적 특성과 원적외선 복사소재와 피사체의 물질상호간의 작용효과에 관한 일련의 메카니즘을 정확하게 규명하여 원적외선의 이용에 대한 올바른 평가를 해야한다.

인간은 지구상의 환경에 대해 최고의 진화론적인 적자 생존의 예술품이며, 태양의 따스함을 최대한 이용하여 살아왔다고 할 수 있다. 인체의 피부 복사 파장이 8~14 μm 영역의 원적외선은 대기 창외의 파장영역인 7~14 μm 의 파장과도 일치한다는 사실에서 인간이 태양에너지를 최대한 사용하여 왔다는 증거를 찾을 수 있으며 인체는 대기로부터 복사된 원적외선 영역의 에너지를 반사시키지 않고 거의 흡수한다는 것을 알 수 있다.

가장 기본 좋은 온도감각의 파장인 원적외선이 인체에 대하

여 혈액순환촉진, 신진대사의 활성화, 각종 호르몬의 분비촉진, 신경계 및 경락체계의 활성화, 물분자의 활성화들을 통하여 치료 의학적 수단과 동시에 예방 의학적 건강유지 목적에 유의한다는 것은 수많은 증명과정을 거쳐 원적외선 산업이 발전하여 왔다.

그러나 원적외선 복사체를 응용한 제품 가운데는 효과가 있다고 인정된 것도 있으나 많은 제품 가운데 과학적 근거가 명확하지 않은 것도 있어서 원적외선 복사체의 관련산업을 촉진하기 위해서는 그 효과에 대한 검토가 강력하게 요구되고 있는 실정이다.

따라서 본고에서는 원적외선과 인체상호간의 원적외선 효과에 대한 다양한 논의가 일고있는 원적외선 복사체에 대한 복사특성이 인체의 생리활성화에 미치는 효과에 대하여 논의하고자 한다.

2. 인체에 미치는 원적외선의 효과

최근 건강증진에 관심이 높아지면서 원적외선 복사체의 이용이 급증하고 있으나 원적외선의 생체 활성화 효과에 대한 과학적인 평가는 미약한 실정에 있다. 국내에서 개발되고 있는 원적외선 복사체를 이용한 제품에 대한 평가는 주로 FT-IR에 의한 복사량과 복사강도에 따라서 제품을 평가해 오고 있다.

그러나 FT-IR에 의한 평가방법에는 다소 미흡한 점이 있다. 예를 들면 시멘트에서 복사되는 원적외선 영역의 복사량과 복사강도는 다른 재료에 비해서 높게 나타나지만 시멘트의 독이 인체에 유해하다는 것은 잘 알려져 있으므로 인체의 적합여부를 다른 방법으로 평가해야한다.

따라서 본고에서는 원적외선과 인체 상호작용에 대한 효과를 가능한 반응 메카니즘을 통하여 규명하고자 한다.

2.1. 체내 자유활동 에너지

체세포는 혈액을 통하여 pH 7.4와 체온 36.5°C의 조건을 중심으로 신진대사가 이루어지므로 이를 위해 인체는 내적 세포 환경의 항상성(Homeostasis)을 유지하며 살아간다. 필자는 체세포 신진대사의 원동력이 되는 ATP생성의 효율적인 측면을 중요시하여 왔다. 그러나 36.5°C의 체온유지를 위해 방출된 에너지는 체내 체온유지 측면도 중요하지만 그보다 더 중요하게 체

내 자유활동에너지 측면에서 그 비중에 초점을 맞추고자 하였다.

세포는 신진대사에 이용되는 열량보다도 포도당 1몰당 발생하는 열량이 2배 이상 더 많다. 이 에너지에 대해 단순히 36.5°C의 체온유지라는 목적보다 또 다른 에너지 측면이 있음을 강조하고자 한다.

최근 경락학의 연구동향은 경락 혈위와 주위신경과의 관계, 혈관, 인파관과의 관계로 연구되고 있다. 그밖의 신경체액 조절 기능, 경락과 주위신경과의 관계설, 신경분절과의 관계설, 중추신경과의 관계설, 신경-내장-내피질과의 관계설, 유전도설, 생물전기 등으로 경락의 실체를 입증하려는 연구가 계속되고 있는 실정이다.

또 한의학에서는 경락에서 기혈이 유주순행(流注循行)할 수 있는 것은 주로 경락을 통과함으로써 생리기능이 실현된다고 했다. 혈액이 전신을 순행유주(循行流注)하는 것은 열기와 직접적으로 관계가 있으므로 그 열기를 혈기라고도 한다. 기혈의 원천은 음식물 중의 영양물질이 변화해서 생성된 것이며 이것을 곡기(穀氣)라고 칭한다. 영위(營衛)의 기는 모두 수곡의 정미가 변해서 생성된 것이며 경락을 통하여 전신에 산포된다고 했다. 중기는 수곡의 기와 대기의 기와 결합하여 생성되는 것이라고 했다.

위의 사실에서 필자가 생각한 체내유지활동에너지(Internal Free Active Energy:IFAE)개념을 포함한다고 볼 수 있으므로 이것을 기의 원천이라고 보았다.

$\Delta IFAE = \text{방출에너지} + \text{ATP이용}$ 중에 발생하는 에너지 + 체외부터 조사받을 물리적 에너지 + 기타

Table 1을 토대로 보면 세포신진대사에 이용된 ATP에너지보다도 2배 이상 더 많은 양의 방출에너지와 체내자유활동에너지의 비중에 대하여 초점을 맞추고자 하는 이유는 체내자유활동에너지($\Delta IFAE$)가 에너지의 원천이 된다는 개념을 피력하기 위해서이다.

2.2. 체내자유활동에너지의 흡수와 생리기능

체표면에서 복사되는 3~5 μm 파장의 에너지중에서 46%를 차지하는 8~14 μm 파장의 원적외선이 인체에 흡수되면 이것은 물과 유기체 화합물의 흡수스펙트럼과 일치하고 8~14 μm 파장은 인체가 요구하는 흡수파장대이므로 피부가 온화하고 기분 좋은 온도감각을 유지하면서도 공명흡수와 분자 및 원자의 공명과 공진운동을 통하여 자연의 순리본능적 흡수방법을 이용하여 체세포의 신진대사활성화를 얻을 수 있다고 본다.

혈액 속의 K^+ 와 Na^+ 의 흡수파장이 각각 766.5 nm와 570 nm에서 최대라는 사실과 더욱이 이 파장대는 세포속으로 아

미노산에 대하여 공명흡수작용을 일으켜 세포속의 신진대사를 촉진한다는 사실을 알게 되었고 또 630 nm 파장은 혈액속 Hb 및 수분에 침투하여 생체신진대사를 활성화시키는 사실도 알게 되었다.

피부흡수는 원적외선의 심달력에 의하여 4~5 cm까지 도달하며 이는 실제로 표피의 10 μm 이하 얇은 부위에서는 Fig. 4와 같이 모두 흡수되고 그 다음부터는 분자운동의 에너지 전달 방법에 의하여 심달력의 깊이까지 영향을 미친다.

인체는 미량의 원적외선으로도 상대방에게 원적외선 전달을 효과적으로 할 수 있다고 본다. 여기서는 원적외선이 신비의 비결을 간직한 세포의 receptor에 어떻게 작용하는가에 대한 작용기전을 규명하기 위하여 원적외선 복사체로 황도를 이용하여 일련의 에너지 변화과정을 의료용 써모그래피를 이용하여 인체에 미치는 온열효과를 정량적으로 접근해 보았다.

3. 의료용 적외선 체열영상장치의 개요

본 기기는 적외선의 원리를 이용하여 전체적인 온도분포를 보여주는 장비로서 적외선 파장 에너지와 온도와의 비례관계인 Steffan Boltzmanqjqlcr 즉, $W = \sigma T^4$ 의 원리를 이용, 적외선 파장에너지를 전기신호로 전환, 영상분석기를 통하여 열화상을 보여준다.

적외선은 대기 중에서 전혀 간섭을 받지 않고 통과하기 때문에 거리에 관계없이 동일한 온도를 나타낼 수 있다. 본 적외선 기기는 적외선을 흡수하여 전기신호를 전환, 영상신호로 전송되는 적외선 카메라와 이 영상을 분석할 수 있는 영상분석기 및 각종 적용분야에서 사용할 수 있도록 부속품으로 구성되어 있다.

신체의 피부에는 혈관과 신경이 밀집되어 있어 말단부의 체온조절에 중요한 역할을 하며 체표면에서 수mm 이내의 혈류조절은 주로 자율신경계에 의해서 조절이 되는데 인체표면의 국소적이며 비대칭적인 온도변화는 예로부터 많은 사람들의 관심의 대상이 되었다. 기원전 400년전 그리스의 히포크라테스(Hippocrates)는 이러한 인체의 온도분포를 이용하여 질병을 알아내고 치료에 이용하려 하였으며 환자의 몸에 진흙을 얹게 도포한 후 빨리 건조되는 곳에 질환이 있다고 추측한 것이 체열검사의 시초이다.

그러나 그 후 컴퓨터 및 전자공학 기술의 급속한 발달로 컴퓨터 적외선 체열영상진단시스템이 개발되어 신체에 접촉하지 않고 편안한 자세로 촬영할 수 있게 되었으며 인체의 모든 집합 부위의 미세한 체열 변화도 정량적으로 정확히 측정할 수 있게 되었다.

Table 1. 인체 생성에너지

체내대사상태	1mol Glucose	ATP생성효율	방출에너지
Anaerobic condition (무산소상태)	56,000 cal	2ATP (16,000 cal) 29%	40,000 cal
Anaerobic condition (유산소상태)	686,000 cal	38ATP (304,000 cal) 44%	382,000 cal

4. 황토를 이용한 원적외선 복사체의 제조

4.1. 황토 선정의 배경

온돌용 바닥재를 이용 개발하여 본 실험에서 사용한 원적외선 복사체는 인체에 적합한 파장과 복사에너지의 특성을 갖는 황토를 선정하였다. 왜냐하면 원적외선의 복사체에 신체의 체온 정도의 열을 가해주면 광에너지가 복사되어 나오는데 황토를 이용한 바닥재에서 나오는 원적외선복사에너지는 인체의 감각에 직열감이 없으며 온화하고 부드러운 열감을 주는데 이 약한 듯한 온감이 가장 중요한 점이며 원적외선의 5.6-14미크론 파장대의 "미약한 광에너지"가 인체를 구성하는 분자와 공진작용을 일으켜 분자운동을 활발하게 함으로써 열에너지로 전환되어 신진대사를 촉진시키는 효능이 뛰어난 재질을 선정하였다.

4.2. 황토의 물리화학적 특성

본 실험에 사용된 황토는 국내에서 산출되고 있는 여러 지

Table 2. 황토의 물리화학적 특성

광물구조	2:1형(양쪽공극)
비표면적(BET식)	35.3~48.15
양이온교환용량(meq./100 g)	80~150

Table 3. 황토의 화학적 조성

SiO ₂	63.5	MgO	4.0
Al ₂ O ₃	17.9	TiO ₂	0.4
Fe ₂ O ₂	3.1	CuO	1.23
CaO	2.6	Na ₂ O	2.27
K ₂ O	0.6	CuO	1.32

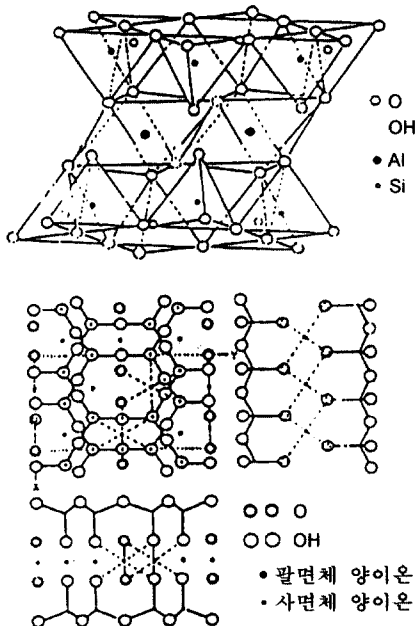


Fig. 1. 황토의 결정구조

역의 황토를 채취하여 본 실험에 부합되는 황토의 물리적특성은 Table 2에 나타내었으며 화학적 조성은 Table 3에 나타내었다.

황토의 결정구조는 Fig. 1에서 보는 바와 같이 2:1 층상구조를 가지는 3층 구조로서 Si와 O의 결합으로 이루어진 tetrahedral sheet와 Al과 O와의 결합으로 이루어진 octahedral sheet가 tetrahedral-octahedral-tetrahedral sheet와 같이 3개의 sheet가 반복적으로 겹쳐서 1개의 layer를 구성하는 2:1형 구조이다. 이와 같은 구조적 특성은 tetrahedral내에 Si⁴⁺이온 대신 Al³⁺이온과 octahedral내에 Al³⁺, Fe³⁺이온 대신 Mg²⁺, Fe²⁺이온 등의 isomorphic substitution에 의하여 negative charge가 일어나며 이것은 중화하기 위하여 Na⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ 및 H⁺이온이 약하게 부착된다.

4.3. 원적외선 복사체(황토)의 분광학적 특성

미국의 Electro-optical의 흑체로와 Bio-Red사의 FTS-40 FT-IR을 이용하여 복사에너지 및 복사율은 다음과 같은 조건으로 측정하였다. 온돌용 바닥재에 사용한 황토와 원토를 비교, 평가한 결과 원토보다도 온돌용 바닥재에 사용한 황토의 원적외선 복사율이 더 좋은 결과를 보였으며 그 복사율과 복사에너지

Table 4. 원적외선 복사율과 복사에너지

시료명	평균복사율	복사에너지 (w/m ² · μm, 40°C)
황토(원토)	0.88	3.54 × 10 ²
황토(가공토)	0.93	3.74 × 10 ²

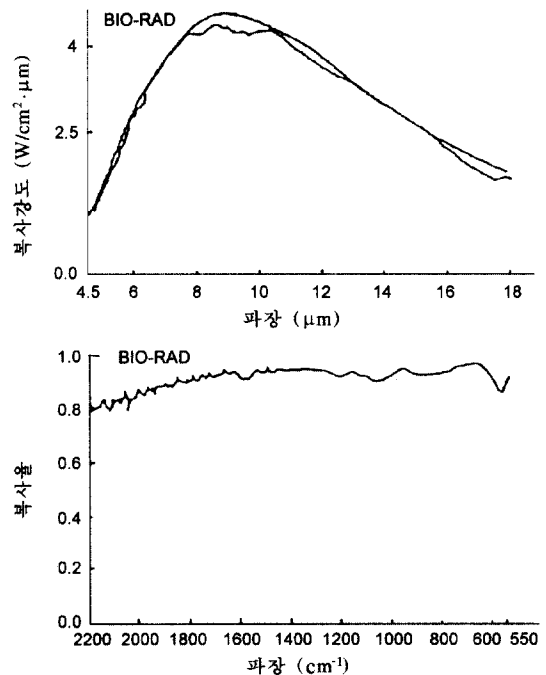


Fig. 2. 황토(원토)의 복사율과 복사강도

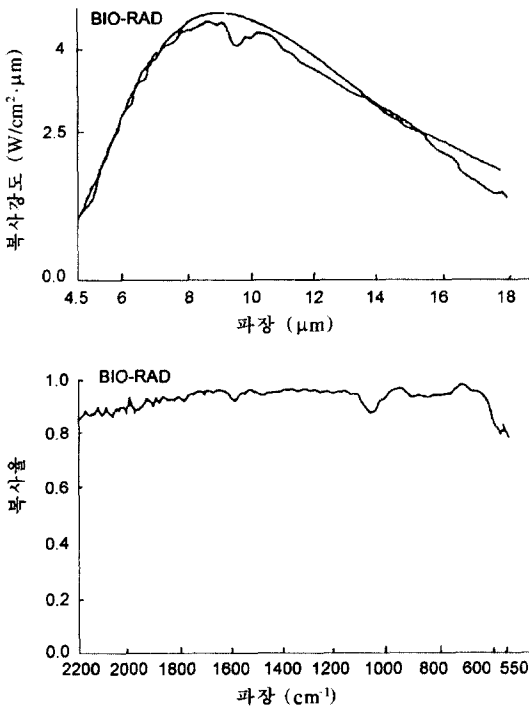


Fig. 3. 황토(가공품)의 복사율과 복사강도

지를 Table 4에 나타내었고 원적외선 복사량과 복사에너지 강도는 Fig. 2와 3에 나타내었다.

결국 국내산 황토의 원석을 용도에 알맞은 소재로 가공하여 사용하는 것이 제일 중요하게 생각되며 원적외선 복사특성을 조사해 본 결과 온돌용 바닥재에 투입한 황토의 선정은 우수한 것으로 평가된다.

5. 써모그래피를 이용한 원적외선 온열효과 측정

써모그래피란 인체의 피부표면 온도를 2차원 영상으로 표시하는 방법으로 이학적으로 표현하면 원적외선(8-12미크론) 사이의 에너지 분포를 가시화한 것이다. 의료용 써모그래피는 최근 디지털 영상처리 장치를 개발함으로써 비약적으로 진단 가치가 높아지고 원적외선을 피부에 조사시키면 피부조직 내에 흡수되어 열로 변하고 이 열을 피부조직의 온도를 상승시켜 조직내의 열과 통각 수용기를 자극해서 온열감과 통각을 느끼게 한다.

이와 같은 원적외선 복사체에 대한 인체의 온열효과를 조사하기 위해서 황토를 사용한 온돌용 바닥재와 기존 시멘트온돌 바닥면을 상온에서 온도의 분포 37°C로 가열하면서 시간의 경과에 따라 인체에 대한 온열효과를 조사하기 위하여 일본의 Nippon Avionics사의 Thermal video system(TVS-200MKII) 장치를 이용하여 비교 실험을 행하였다.

6. 온열효과에 대한 써모그래피 영상 측정 결과

인체에 대한 보온 여부는 원적외선 복사체(황토바닥)의 조합에 따라 온수보일러로 보온 여부를 행하였고 인체에서 등부위를 써모그래피로 촬영하였다. 방바닥의 표면온도를 37°C까지 상승시키면서 관찰하였다. Fig. 4는 시멘트 온돌 바닥위에 굽기 전에 건강한 40대 남자의 등부위를 촬영한 사진이며 Fig. 5는 표면온도가 37°C가 될 때까지 온도를 상승시킨 후 일정한 온도를 유지하면서 20분간 누운 후 등부위를 촬영한 사진이다. Fig. 6은 황토를 시공한 바닥에 눕기전에 촬영한 등부위 사진이고 Fig. 7은 일반 시멘트 바닥재와 동일한 조건에서 온도를 올려 20분간 황토바닥에서 누운 후 촬영한 사진이다.

보온 부여효과에 의한 인체 열화상의 시각판정 및 보온부여 전.후 방열상태의 등부위의 피부온도변화를 측정, 방열 변화율과 피부온도 변화를 수치해석한 결과 Line에서 제작한 황토바닥재가 온열효과에 의한 높은 열복사(피부온도)가 나타나게 되었다.

이와 같이 바닥재로 시공한 실내에서는 실내 바닥온도를 높게 되며 생체로의 보온효과에 차이를 보이고 있으며 보온부여에 의한 온열효과에 따라 발한현상에 가까운 수분증발이 생

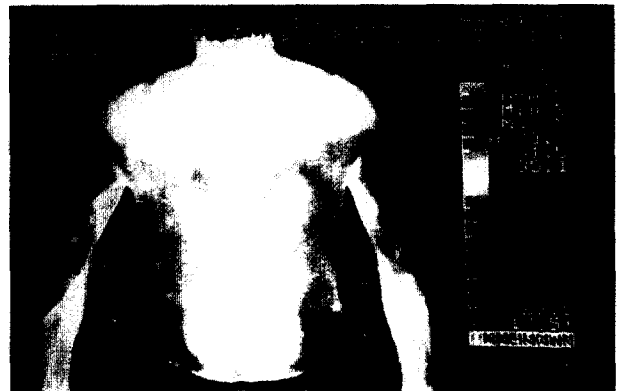


Fig. 4. 시멘트 온돌바닥에 눕기전

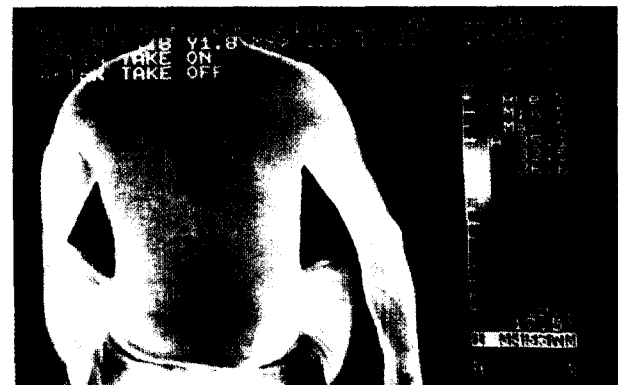


Fig. 5. 시멘트 온돌바닥에 누운후 20분

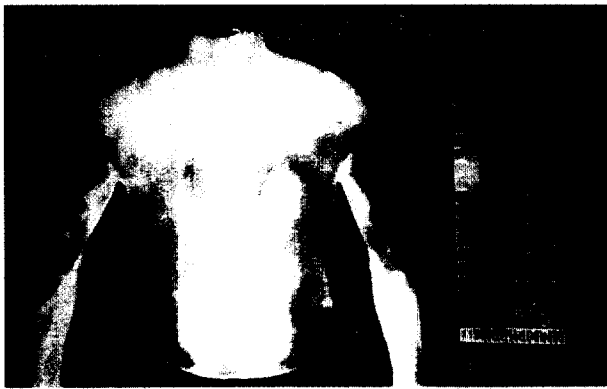


Fig. 6. 황토 온돌바닥에 눕기전

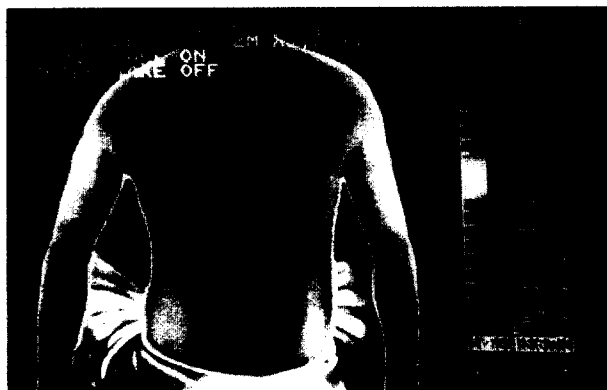


Fig. 7. 황토 온돌바닥에 누운 후 20분 후

겨 피부의 열전도계수가 증대되는 사실을 확인할 수 있었다.
또한 인체 열화상에 의한 피부온도 해석은 보온 직후 피부 온도와 수분(땀)을 동시에 열복사로써 계측하고 있으므로 피부 온도가 낮게 나타난다고 판단할 수 있다.

7. 결 론

의료용 써모그래피를 이용하여 원적외선 복사체의 온열효과와 복사체의 특성에 대한 이용 가능성에 대하여 일부 검토해 보았다. 이 결과 전체적으로 현저한 변화는 인식되지 않았으나 원적외선 복사체의 온도가 35.39가 되었을 때 인체의 등부위의 피부온도가 일정하게 유지되는 상태를 보였다.

이것은 조건에 의해서 원적외선 복사체가 발산하는 원적외선 영역의 에너지가 온열효과를 지속적으로 보여주는 것으로 인식되며 원적외선 복사체의 종류(특성), 형상, 가공기술에 따라 상당한 차이가 있는 것으로 생각된다.

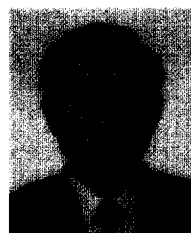
따라서 원적외선 복사체의 복사특성에 따라 상당한 차이를

보이고 있으며 원적외선 복사체의 복사스펙트럼 분포와 복사에너지를 정확하게 알 필요가 있다.

그러나 의료용 써모그래피에 의한 원적외선 복사체의 관측은 가능할 것으로 생각되며 인체에 대한 온열효과를 생각할 때는 원적외선 복사에너지가 인체성분에 어떻게 미치는지 여러가지 조건을 충분히 확인한 후 시행하여야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

- 菊地安行 外 (1980) “生理人類學入門”. 南江堂, 東京
- Michael Anbu (1990) Recent technological development in thermology and their impact on clinical application. *Biomedical Termology*, 10(4).
- 中山昭雄 (1981) “溫熱生理學”. 理工學社, 東京.
- 高田紘一, 遠赤外線セラミヤの科學. 機能材料.
- 高嶋廣雄, 遠赤外線 利用技術とその用實例. 技術出版社.
- 백우현 (1996) 한국의 원적외선 복사체의 분광학적 특성. 제1회 한·일 원적 외선 심포지움.
- Inou S. and Honda K. (1986) Growth of rats exposed to far-infrared radiation. *Zool Sci.*, 731-732.
- 石倉信作 (1996) 원적외선가공제품의 써모그래피의 열특성해석. 제1회 한·일 원적외선 심포지움.
- 백우현 (1996) The Journal of the Korean Society for Hyperthermia & Oncology. 1(2).
- S. Inoue and M. Kabaya (1989) Biological activities caused by far-infrared radiation. *Int. J. Biol.*, 11, 145-150.
- 정구영·백우현 (1997) 생체조직에 미치는 원적외선의 효과. 제3회 한·일 원적외선 심포지움.
- 백우현 (1997) 제1회 올바른 원적외선 산업 정착을 위한 심포지움.
- 백우현 (1996) 원적외선 복사체 재질의 구조와 복사율 특성의 관계. 제2회 한·일 원적외선 심포지움.
- 백우현 (1996) 써모그래피로 본 원적외선 온열 효과. *대한온열종양학회지*, 1(2).
- 정구영·백우현 (1997) 생체조직에 미치는 원적외선의 효과. 제3회 한·일 원적외선 심포지움.
- 정구영·백우현 (1997) 세포에 미치는 원적외선 온열효과. 제4회 한·일 원적외선 심포지움.



백우현(U-Hyon Paek)

1988 동국대학교 대학원 화학과 (이학박사)
1997 러시아 과학원 명예이학박사
1990 유라시아 화학회의 재정분과위원장
2000 한국환경과학회 회장
현재 경상대학교 화학과 교수
현재 러시아과학원 무기화학연구소 연구교수

현재 한국원적외선응용연구회 회장

Tel. +82-55-751-6018 Fax. +82-55-757-6504

E-mail: uhpaek@nongae.gsnu.ac.kr