

## 원적외선 방사체인 경옥 파우더를 함유하는 스킨케어 화장품 제형이 피부 온도 변화에 미치는 영향에 대한 연구

김 나 리·심 종 원<sup>†</sup>

동덕여자대학교 응용화학과 화장품전공  
(2018년 6월 4일 접수, 2018년 6월 24일 수정, 2018년 6월 25일 채택)

### A Study of Effect on Skin Temperature by Jadeite Powder Containing O/W Emulsion Formulation

Eunjung Moon<sup>†</sup>, Junmyeong Jeon, Gahee Lee, Minyoung Baik, and Dae Woo Lee\*

Na Ri Kim and Jongwon Shim<sup>†</sup>

Department of Applied Chemistry, Cosmetic science major, Dongduk Women's University,  
60, Hwarang-ro, 13-Gil, Seongbukgu, Seoul 02748, Korea

(Received June 4, 2018; Revised June 24, 2018; Accepted June 25; 2018)

**요약:** 본 연구에서는 원적외선 방사체로 알려져 있는 준 보석 광물인 옥(jade)의 한 종류인 경옥(jadeite) 파우더를 함유하는 스킨 케어용 O/W 유화 제형을 제조하였다. 경옥 파우더는 화장품 원료로 기 등록된 옥의 다른 한 종류인 연옥(nephrite) 파우더나, 자외선 차단을 목적으로 화장품에 적용되는 이산화티탄 파우더와는 달리, 아무런 분산 첨가제 없이도 수상에서 한달 이상 안정하게 분산이 유지되며 저점도 유화 제형에 5 wt% 이상 균질 유화기로 용이하게 분산이 가능하였다. 이렇게 제조된 경옥 파우더가 2% 함유된 제형을 피부에 도포하고 피부의 표면 온도변화를 적외선 열 영상 분석기로 측정된 결과 동일인의 안면 피부에 경옥 파우더가 함유된 O/W 유화제형을 도포한 부위가 30 min 경과 시 대조군을 도포한 부위의 온도 대비 평균 약 + 1.5 °C, 최대 + 2 °C의 온도차이를 나타내는 것을 확인하였다. 이와 같은 현상의 원인을 보다 분명하게 확인하기 위하여 경옥 파우더 자체를 가온한 뒤 복사에 의한 열 방출을 살펴보고, 전과장대에서의 흡광 분석, 원적외선 방사율 및 표면 원소 분석을 진행한 결과, 이와 같은 피부 온도 변화는 경옥 파우더의 원적외선 방사 효과에 의존하는 것이 아니라 경옥 파우더의 표면에 노출된 원소들과 스킨케어용 화장품에 높은 비율로 포함되어 있는 물 분자와의 수소결합으로 인해 수분 증발을 억제하여 열에너지의 손실을 막기 때문인 것으로 확인되었다. 결론적으로 경옥 파우더는 화장품용 새로운 보습, 보온 소재로서 활용이 가능하며, 흡광 분석결과로 미루어 보아 이산화티탄과 같은 무기 자외선 차단제와 간단히 혼합 병용하여 자외선 및 유해 가시광선 영역의 차단을 증대시키는 보조 소재로도 유용할 것이다.

**Abstract:** In this study, we formulated oil-in-water emulsion composition for skin care products containing jadeite powder which is well known as far-infrared radiating material. Jadeite powder could sustain stable dispersion in aqueous solvents over a month and this helped mixing it high content in oil-in-water emulsion formulation. To identify the effect of jadeite as a far-infrared radiator materials relating to the skin surface temperature change, we applied emulsion formulation containing 2 weight percent jadeite powder onto facial skin surface and blank formulation together and ana

<sup>†</sup> 주 저자 (e-mail: blueray@dongduk.ac.kr)  
call: 02)940-4792

lyzed surface temperature with thermo-vision. Our results showed that the temperature difference between jadeite powder formulation applied region and blank formulation reached to 1.5 ~ 2.0 degree Celsius. We also performed same test with nephrite powder and titanium dioxide powder but only jadeite powder containing formulation showed significant skin temperature change. To elucidate main cause of heat energy transfer, we tested heat radiation, energy dispersive spectrometer analysis and measured far infrared radiance emissivity, diffuse reflectance spectra and water evaporation rate. We found out jadeite powder could retard water evaporation effectively from the skin surface and resist temperature drop down. This is because of the innate chemical composition and surface structure of jadeite, which can bind with water molecules to form hydrogen bonds. It is concluded that we can develop novel skin care products for moisturizing and thermos with jadeite powder.

**Keywords:** jadeite, nephrite, far-infrared, skin temperature, emulsion

## 1. 서 론

태양광 트럼은 자외선과 가시광선 그리고 적외선으로 크게 구분할 수 있다. 전체 스펙트럼의 파장 범위는 약 290 nm ~ 1 mm에 이르는 넓은 영역인데, 이 중 약 절반 이상을 차지하는 760 nm ~ 1 mm 구간을 근적외선(near-infrared) 영역이라고 하고, 다시 이 근적외선 영역을 파장에 따라 세 구역으로 나누어 IR-A (760 nm ~ 1400 nm), IR-B (1400 nm ~ 3000 nm), IR-C (3000 nm ~ 1 mm) 구분하고, 특히나 가장 긴 파장 영역인 IR-C를 원적외선(far-infrared)로 구분한다[1]. 이러한 적외선 영역의 파장은 피부의 표피와 진피, 그리고 피하지방까지 투과가 가능하다고 알려져 있다. 우리는 이러한 적외선을 피부의 온도의 변화를 통해 감지할 수 있으나 그 감도는 다른 동물에 비해 높지 않다[2].

의학영역에서 적외선의 적용은 통증완화, 염증완화, 혈류속도증가 등의 치료 또는 재활을 위해 환부의 온도를 높이는 보조적 기능을 목적으로 사용되는데, 복사에 의한 열 에너지 전달과 직접 접촉에 의한 열전도 에너지 전달의 효율 비교는 조건에 따라 매우 상이하지만 인체 표피의 열전도율은 0.209 W/mK로 크게 높지 않기 때문에, 효율면에서 같은 열량의 열원으로 피부 표면이 아닌 심부에 열을 전달한다고 가정하면 원적외선 복사에 의한 에너지 전달이 효율적이라고 할 수 있다. 또한 원적외선의 방출 파장 영역 일부가 물의 흡수 파장 영역(3000 nm ~ 4000 nm)에 포함되기 때문에 이를 이용하여 생체 내부에 열을 전달하는 것이 용이하다고도 알려져 있다[3].

반면, 원적외선 방사체라고 불리는 물질은 그 특징을 명확하게 구분하기 어려운데, 절대온도 0 K (-273

°C) 이상의 온도를 갖는 모든 물체에서는 적외선이 방사되고 특히 낮은 온도를 가지는 물체에서 원적외선의 방사량이 많다. 지구 자체로서도 3 ~ 30  $\mu\text{m}$ 의 원적외선을 방출하고, 인체도 8 ~ 14  $\mu\text{m}$ 의 원적외선을 방출한다. 따라서 방출 효율 수준에 따라 적절히 구분하는 것이 바람직하다. 이때 사용되는 기준이 원적외선의 방사율인데, 흑체(black body; 흡수한 에너지의 100%를 방사할 수 있는 가상적인 물질)를 기준으로 하여 약 90% 이상의 효율을 갖는 물질이 주로 사용된다[4].

한편, 이렇게 다양한 원적외선 방사체 중에서도 원적외선 방사율이 높은 물질은 대부분 산화알루미늄이나 산화실리콘 구조체로 이루어져 있고, 토양이나 광물질에서 쉽게 발견된다. 이러한 광물질에는 준 보석류가 포함되며 전기석(토르말린) 또는 옥(jade) 등이 대표적이다. 옥(jade)은 역사적으로 오랜 옛날부터 한국, 중국, 일본 등 동아시아 지역에서 다양하게 보석으로서 주로 사용되고 있으며, 동의보감(東醫寶鑑)과 본초강목(本草綱目) 등의 한방문헌들을 통해 옥가루를 복용 시 노폐물 배출이나 어혈제거, 근육유연, 스트레스 감소 등의 증진 등을 돕고 몸에 지니고 다니는 경우 혈액순환 촉진, 신경안정, 피부 거칠기 개선, 탄력 증가, 얼굴, 손, 발 등의 부기 감소의 다양한 약리적 효능을 발휘하는 것으로 알려져 있다[5]. 이렇게 통칭 옥이라고 불리는 광물은 비취로 알려진 휘석의 일종인 경옥(jadeite)과 각섬석의 일종인 연옥(nephrite)으로 구별되는데, 이 두 광물은 물리적, 화학적 특성이 매우 상이하다. 연옥의 화학적 조성은  $\text{Ca}_2(\text{MgFe})_3\text{Si}_8\text{O}_{22}$ 이고 경옥의 화학적 조성은  $\text{NaAl}(\text{Si}_2\text{O}_6)$ 로 실리콘 산화물인 점은 동일하나 연옥은 칼슘과 마그네슘이, 경옥은 소듐과 알루미늄이 함유되어 있는 점이 다르다[6]. 또한 경옥이 경도가 더 높고, 결정상이 침상이나 판상인 연

옥에 비해 경옥의 결정상은 입상에 가까우며, 색이 녹색에 가까워 예로부터 고급의 옥인 '비취'로 따로 불리웠다.

현재 옥은 미국의 INCI 및 국내 화장품 성분명 사전에 연옥가루(영문명: nephrite powder)로 등록되어 안티 케이징제, 벌킹제(증량제), 미끄럼조정제/활택제 역할을 하는 배합 목적으로 사용되고 있으며, 화장료에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔다[7,8]. 대표적으로는 등록된 특허로서 '옥설(nephrite powder)을 함유하는 화장료'(등록번호 0441773호)로서 연옥 파우더를 팩과 에센스로 제조하여 사용감과 미백, 보습, 윤기, 피부 자극의 항목에 대하여 21인의 임상평가 결과를 통해 특별히 효능이 우수하지는 않으나 화장품에 조성물로서 적용가능함을 소개하였다. 또한 최근 공개된 화장품 원료 특허에서는 연옥 분말을 380 ~ 550 nm의 가시광선 영역의 블루라이트(blue-light)를 차단할 수 있는 원료로서 보고한 바 있으며[9], 그 외에는 다양한 식품 및 건강 용품에 적용된 바 있다. 그러나 연옥과는 달리 경옥가루(jadeite powder)는 현재 화장품 성분 사전에 등재되어있지 않기 때문에 화장품 개발 적용 사례는 찾아볼 수 없다. 다만, 특허 및 연구 논문으로 확인할 수 있는 원적외선 방사체의 화장품 제품 적용 범위는 노폐물 제거, 콜라겐 생성 촉진, 주름 감소 등을 목적으로 하며, 그 이외에 피부 미용기기, 화장품 용기 등에 적용되어 있으나 그 과학적 근거는 매우 미비한 것으로 분석된다[10,11].

원적외선의 흡수가 피부 온도에 미치는 영향에 대한 과학적인 연구는 그 사례가 많지는 않으나 1980년대에 시작되어 2000년대 초반에 다수 진행된 것으로 확인된다. 일련의 연구에 따르면 원적외선은 에너지 레벨이 높지 않아 동물의 피부에 지속적으로 조사하여도 실제 피부 온도는 37 ~ 39 °C 정도에 그치게 되고, 피부의 온도 증가와 혈액순환의 상관관계 등은 관찰되지 않았다는 보고가 있고[12], 일부 연구자들에 의해서 원적외선 방사체를 피부에 직접 접촉시키거나 원적외선 램프를 이용하여 피부 표면 온도를 약 0.5 ~ 1.0 °C 근방에서 변화시킬 수 있다고 보고한 바 있다. 이러한 보고는 모두 원적외선 에너지의 흡수가 피부 모세혈관의 혈류속도를 증가시키거나 또는 물 분자의 진동수와 공명하여 온도를 증가시켰다고 설명하고 있다[13,14].

그러나 거의 대부분의 연구결과들은 원적외선 방사

체를 열원에 부가하여 지속적으로 에너지를 가한 상태에서 얻어진 것으로 피부에 도포하는 화장품 제형에 세라믹이나 옥과 같은 원적외선 방사체를 혼합하여 사용하는 경우에는 오히려 인체에서 방사되는 열 에너지를 흡수하여 다시 원적외선 파장으로 재방출하거나 태양광 에너지를 흡수하여 원적외선의 파장으로 방출하는 경우의 고려가 가능하다. 전자의 경우에는 에너지 보존 법칙을 고려하면 피부 온도의 상승이 전혀 기대되지 않으며, 후자의 경우에는 가능하지만 에너지 레벨이 높은 가시광선 및 자외선의 영향으로 원적외선 방사의 효과를 확인하기 어려울 것으로 생각된다.

따라서 본 연구에서는 원적외선 고효율 방사체인 경옥(jadeite) 파우더를 이용하여 화장품 제형을 제조하고 이의 피부 표면 온도에 미치는 영향을 확인하고 그 원인을 과학적으로 규명하고자 하였다. 이를 통해 보다 새로운 기능과 형태를 갖는 화장품의 개발에 기여하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1. 형태 및 원소분석

실험에 사용된 경옥 파우더(jadeite powder, (주)제드월드, 미얀마)와 연옥 파우더(nephrite powder, 반석춘천옥, 한국)는 (주)에프지 뷰티에서 제공받았으며 이산화티탄 파우더(titanium dioxide powder, Ishihara Sangyo, Japan)는 (주)모아켄에서 제공받았다. 파우더의 성분과 입도 분석, 그리고 옥 파우더의 성분분석(EDS)에는 주사전자현미경(FE-SEM, Thermo Fisher Scientific, INSPECT F50, USA)을 사용하였으며, 비대칭인 입자의 크기 분포는 장축의 길이의 평균으로 계산하였다.

### 2.2. 원적외선 방사율 및 방사에너지

경옥, 연옥, 이산화티탄 파우더의 원적외선 방사율과 방사에너지는 한국원적외선 시험연구원에 의뢰하여 FT-IR로 인체의 평균적인 체온 근처인 37 °C로 가온한 상태에서 파장영역 5 ~ 20 μm로 미터 범위에서의 흑체(black body) 대비 방사율과 방사에너지(W/m<sup>2</sup> · μm)로 나타내었다. 또한 각 파우더를 2% 포함하는 O/W 유화제형을 제조하여 동일한 방법에 의해 원적외선 방사율과 에너지를 측정하였다.

**Table 1.** Composition of Oil-in-water Emulsion Formulations

Ingredient	Content (%)			
	1	2	3	4
Water	60.26	60.26	60.26	60.26
Glycerin	3.00	3.00	3.00	3.00
Butylene glycol	3.00	3.00	3.00	3.00
Disodium EDTA	0.02	0.02	0.02	0.02
Alcohol	1.00	1.00	1.00	1.00
10-Hydroxysteric acid	1.00	1.00	1.00	1.00
Sorbitan stearate	1.40	1.40	1.40	1.40
PEG-60 Sorbitan stearate	0.70	0.70	0.70	0.70
Simmondsia Chinensis (Jojoba) Seed Oil	8.00	8.00	8.00	8.00
Dimethicone	0.50	0.50	0.50	0.50
Cetyl ethylhexanoate	7.00	7.00	7.00	7.00
Jadeite powder	2.00	-	-	-
Nephrite powder	-	2.00	-	-
Titanium dioxide powder	-	-	2.00	-
Poly C10-30 Alkyl Acrylate (1%)	12.00	12.00	12.00	12.00
Potassium hydroxide	0.12	0.12	0.12	0.12

### 2.3. 파우더 열에너지 복사

열 에너지를 흡수한 경옥, 연옥, 이산화티탄 파우더의 복사에 의한 에너지 감소 속도를 비교하기 위해 동일 질량의 파우더를 각각 유리 신틸레이션 용기에 담아 밀폐하고 45 °C 고온 오븐에 1 h 이상 방치하여 온도를 안정화 시킨 후, 이를 상온의 오븐에 넣고 5 min 마다 각 파우더의 온도 변화를 측정하였다. 이때 최대한 전도에 의한 열 에너지 손실을 막기 위해 바닥과 일정 간격을 띄워 방치하여 관찰하고 공기의 열전도에 의한 에너지 손실은 무시하였다.

### 2.4. 파우더 함유 O/W 제형 제조

경옥, 연옥 및 이산화티탄 파우더를 각각 2%로 함유하는 O/W 유화 제형 및 파우더가 전혀 포함되지 않은 유화 제형은 솔비탄스테아레이트, 폴리솔베이트60, 10-하이드록시스테아릭애씨드, 세틸알코올, 호호바씨오일, 사이클로펜타실록세인, 세틸에틸헥사노이트를 가온하여 용해한 후 폴리올류가 함유된 수상에 첨가하고 고속 교반한 후 경옥 파우더, 연옥 파우더 또는 이산화티탄 파우더를 첨가하고 재 교반하여 고르게 분산한 후 점증하여 제조하였다. 각 제형의 자세한 조성은

Table 1에 게시하였다. 사용된 폴리올 및 오일, 계면활성제 등의 모든 물질들은 화장품 원료 등급의 물질을 사용하였다.

### 2.5. 피부 온도 변화 열화상카메라 측정

경옥 파우더 및 이산화티탄 파우더를 함유하는 O/W 유화제형과 파우더가 포함되어 있지 않은 제형을 도포한 후의 피부 온도 변화를 열감지감도가 0.05 °C, 해상도 320 × 240에 정확도는 ± 2% 수준인 열화상 카메라 (FLIR, E60, USA)로 측정하였다. 피시험자는 총 5명으로 각 피시험자는 얼굴 전체를 세안한 후 항온 항습 조건(온도 25 ± 2 °C, 상대습도 46 ± 2%)에서 1 h 동안 시험 부위의 온도를 안정화 시킨 다음, 동일 피시험자의 좌측 뺨에 시험군인 경옥 파우더를 2 g 도포하고 반대편인 우측 뺨에 대조군인 파우더 미 함유 제형을 도포하였다. 이후 이산화티탄 파우더 함유 제형과 연옥 파우더 함유 제형 및 파우더 미 함유 제형을 동일질량으로 순차적으로 도포한 후 도포 전, 도포 직후, 도포 후 30 min 경과 시 피부 온도의 변화를 비교하였다. 본 실험은 기관생명윤리위원회 규정을 준수하여 진행되었으며, 본 실험으로 얻어진 데이터는 JMP 통계 프로

**Table 2.** Far-infrared Radiance Emissivity and Radiance Energy at 37 °C

	Radiance emissivity (5 ~ 20 $\mu\text{m}$ )	Radiance energy ( $\text{W}/\text{m}^2 \cdot \mu\text{m}$ , 37 °C)
Jadeite powder	0.923	$3.56 \times 10^2$
Nephrite powder	0.923	$3.56 \times 10^2$
Titanium dioxide powder	0.894	$3.45 \times 10^2$
Jadeite powder 2% formulation	0.894	$3.45 \times 10^2$
Nephrite powder 2% formulation	0.885	$3.41 \times 10^2$
Titanium dioxide powder 2% formulation	0.867	$3.34 \times 10^2$

그림 버전 10을 사용하여 온도의 변화 및 one-way ANOVA를 실시하여 신뢰수준 95%에서 판정하였다.

## 2.6. 흡광분석

경옥과 연옥, 이산화티탄 파우더의 확산반사스펙트럼(diffuse reflectance spectra)은 분광분석기(Carry 5000 UV/VIS-NIR spectrophotometer, Agilent, USA)를 사용하여 측정하였다. 각 파우더 샘플은 KBr과 혼합하지 않고 순수한 파우더를 채워 넣은 상태에서 전 파장대의 흡광을 분석하였다.

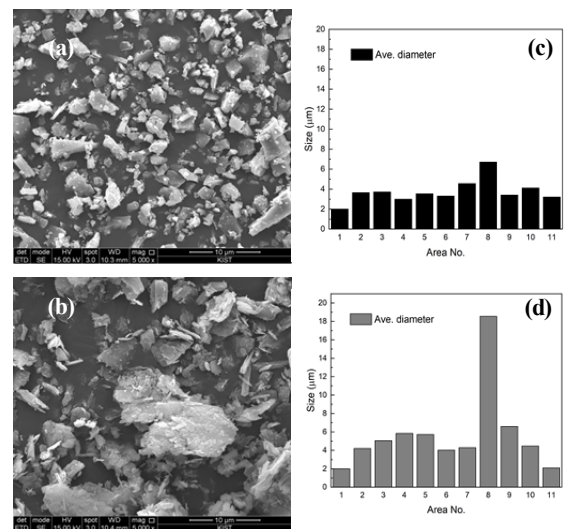
## 2.7. 증발에 의한 질량 감소 측정

경옥파우더 2% 함유 O/W 제형과 이산화티탄 파우더 2% 함유 O/W 제형 10 g을 각각 지름 12.2 cm 시계 접시에 올리고, 2 h 동안 20 min 간격으로 무게를 측정하여 증발된 수분량을 확인하였다.

## 2.8. 분산 안정성 비교

침강속도 상대비교( $S_{app}$ )를 측정하기 위해 경옥파우더와 연옥파우더, 그리고 이산화티탄 파우더 0.5 g을 각각 사이클로펜타실록산(DC 345) 및 50% 1,3-부틸렌 글리콜 수용액 10 g에 각각 분산하였다. 이후 각 분산액을 같은 양 만큼 15 cm 시험관에 넣은 후 초기 용액의 높이와 시간 경과에 따라 파우더가 가라앉아 용매가 투명해진 부분의 길이( $l(t)$ )의 비를 식 (1)으로 정의하여 각 파우더의 침강 속도를 비교 및 측정하였다[15].

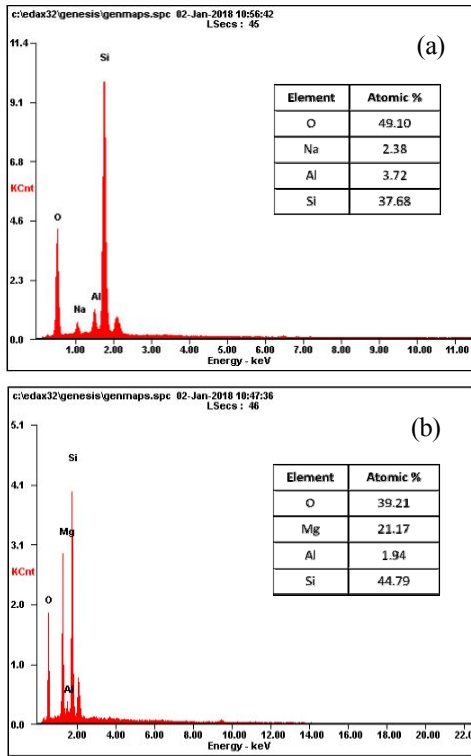
$$S_{app}(\%) = \frac{l(t)}{l_0} \times 100 \quad \text{식 (1)}$$



**Figure 1.** Field emission scanning electron microscope (FE-SEM) image of jadeite powder (a) and nephrite powder (b). ( $\times 5000$ ) and average size distribution of jadeite powder(c) and nephrite powder (d). Average particulates diameter in 11 sectioned area of each image was measured.

## 3. 결과 및 고찰

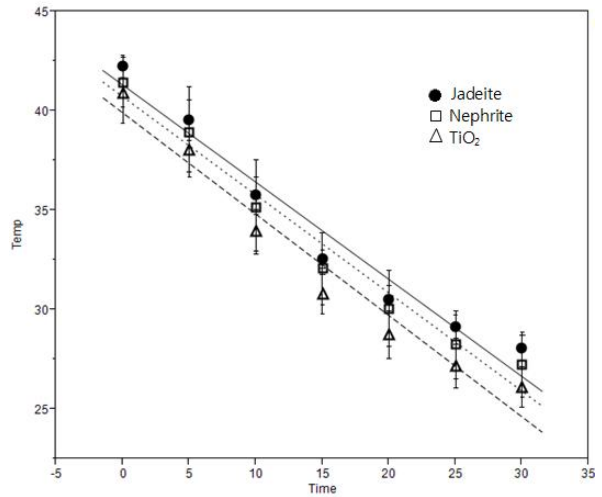
경옥과 연옥 파우더를 각각 주사전자현미경(SEM)으로 입도와 표면구조를 분석한 결과 연옥은 평균  $6.08 \mu\text{m}$ , 경옥은  $3.92 \mu\text{m}$ 의 입도 분포를 나타내었다(Figure 1). 이와 같은 입도의 분포는 분체 가공 방법에 따라 달라질 수 있으나, 연옥과 경옥 파우더의 결정성상을 살펴보면, 침상에 가까운 판상형의 연옥에 비하여 상대적으로 각이 없고 구형에 보다 가까운 경옥의 특성상, 동일한 가공방법으로도 더 균일하고 작은 입자가 제조된 것으로 생각된다. 이 같은 경옥 입자의 물리적인 형태



**Figure 2.** Energy dispersive spectrometer (EDS) analysis of jadeite powder (a) and nephrite powder (b). Atomic composition of each powder listed in inset tables.

는 피부에 도포하여야 하는 화장품의 특성상 피부의 결을 고르게 하고 매끄러운 사용감을 부여하기 위한 분체 원료로서 적합하다. 또한 EDS분석으로 경옥과 연옥 표면에서 나타나는 원소들의 비율을 확인해 본 결과 연옥에서 마그네슘의 함량이 21%로 높게 나타났고, 경옥에서는 산소와 규소의 함량이 연옥에 비해 각각 10%, 7% 이상 높게 나타났다(Figure 2).

한편, 연옥과 경옥 모두 원적외선 방사율이 높은 광물질로 알려져 있는 바, 이를 실제로 한국원적외선 시험연구원에 위탁하여 37 °C 조건에서 방사율을 측정된 결과 각각 0.923으로 비교군인 이산화티탄의 방사율 0.89에 비해 높은 방사율을 나타내는 것을 확인할 수 있다. 또한, 이를 아래의 Table 1의 조성을 갖는 제형 1 ~ 4에 적용하여 방사율을 비교해 보면, 파우더 비율 감소로 인하여 방사율은 각각 0.894, 0.885, 0.867로 감소되었다. 각 파우더 자체의 방사율은 경옥과 연옥 사이에서는 의미 있는 차이가 없었고, TiO<sub>2</sub>의 경우에 약간 낮은 값을 나타냈으나, 2% 함유 제형에서의 방사율



**Figure 3.** Energy dissipation of heated powders. Jadeite (circle), nephrite (square), titanium dioxide (triangle) (n = 4).

및 방사에너지 차이는 세가지 시료 모두 유의미한 차이가 나타나지 않았다(Table 2).

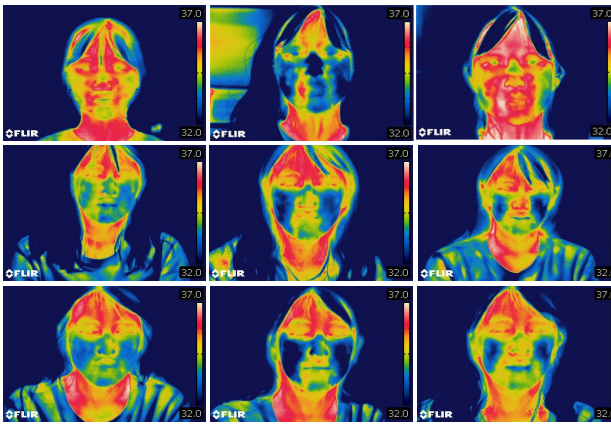
이때, 방사율이 서로 다른 원적외선 방사체가 동일한 양의 에너지를 흡수한 경우라면 방사율에 따라 원적외선 복사에 의한 에너지 감소 속도가 달라질 것이라고 가정하고 이를 확인하고자 하였다. 실험 결과 이산화티탄 파우더의 초기 온도가 옥파우더에 비하여 유의적으로 낮게 나타났으나 세 가지 종류의 파우더 모두 측정 시간 동안 온도 하강 속도의 차이가 유의하게 나타나지 않았다. 따라서 모든 파우더 원료에서 원적외선 방사율 차이 의한 열에너지 변화 속도에는 차이가 없는 것으로 판단하였다(Figure 3).

따라서, 원적외선 에너지 방사체를 직접 피부에 도포하였을 경우에 피부의 표면 온도가 유의적으로 상승하는 지를 보다 직접적으로 확인하기 위하여 상대적으로 원적외선 방사율의 차이가 있는 이산화티탄과 연옥 파우더, 경옥 파우더가 각각 동일 함량(2%) 함유된 제형을 비교군으로, 파우더가 들어있지 않은 제형을 대조군으로 제조하고 적외선 열화상 카메라를 이용하여 동일한 피시험자의 안면 피부에 좌측과 우측으로 나누어 도포하기 전과 후의 피부 표면 온도의 변화를 측정하였다. 연구결과, 실온과 같은 온도(23 °C)에서 평형 상태를 이룬 제형을 약 34 °C의 평균 온도 분포를 갖는 피시험자의 안면 피부에 도포하는 즉시 피부의 평균 온도가 약 2 °C 하강하였다. 이는 제형으로 피부의 열이 전도 됨과 동시에 제형 내에 다량 존재하는 수분의

**Table 3.** Skin Temperature Evaluation by Jadeite Powder 2 % Containing O/W Emulsion

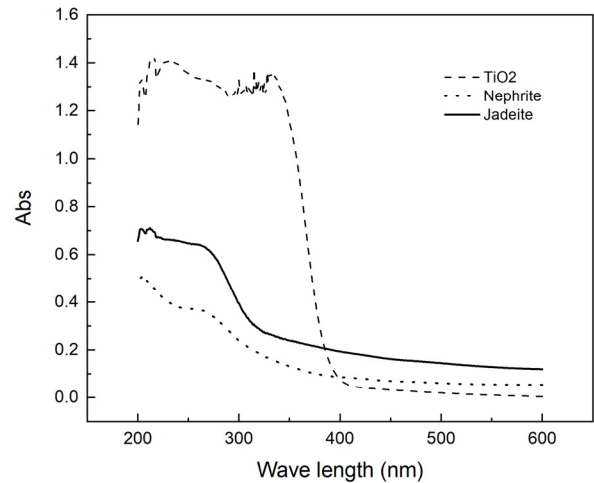
O/W Formulation	Average Temperature Difference ( $\Delta T_{ave}$ ) <sup>1)</sup>	
	Before Application	After Application (30 min)
Jadeite powder 2 % vs Nephrite powder 2 %	-0.2 ( $\pm$ 0.35)	1.4 ( $\pm$ 0.43)
Jadeite powder 2 % vs TiO <sub>2</sub> powder 2 %	-0.02 ( $\pm$ 0.49)	0.97 ( $\pm$ 0.56)
Jadeite powder 2 % vs Powder free	-0.06 ( $\pm$ 0.18)	1.65 ( $\pm$ 0.23)

1)  $\Delta T^{ave}$  : Average skin temperature differences on the face. Temperature of nephrite powder 2 %, TiO<sub>2</sub> powder 2 % and powder free formulation treated skin subtracted from the skin temperature of jadeite powder 2 % containing formulation treated.



**Figure 4.** Thermographs of the jadeite powder 2 % containing O/W emulsion (left) and powder free emulsion (right), (a) before treatment, (b) after treatment, (c) after 30 min. Thermographs of jadeite powder 2 % containing O/W emulsion (left) and titanium dioxide powder 2 % containing O/W emulsion (right), (d) before treatment, (e) after treatment, (f) after 30 min. Thermographs of jadeite powder 2 % containing O/W emulsion (left) and nephrite powder 2 % containing O/W emulsion (right), (g) before treatment, (h) after treatment, (i) after 30 min. All thermographs were taken at constant room temperature of 25 ± 0.2 °C.

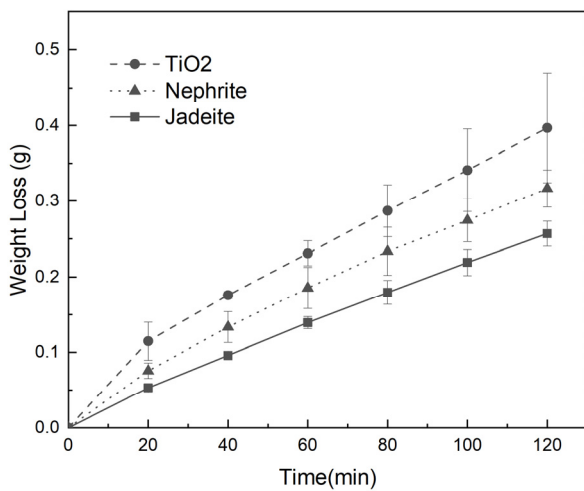
증발에 의해 피부 표면의 온도가 저하되기 때문으로 판단되었다. 이후 30 min 경과 후 시험군인 경옥 함유 제형과 대조군인 파우더 미 함유 제형이 도포된 양쪽 뺨 부위에서의 온도 변화의 차이가 약 1.5 °C로 분명하게 나타났는데, 경옥 함유 제형 도포 직후 낮아졌던 실험자의 우측 뺨(사진 상 좌측) 피부 표면의 온도가 파우더가 포함되어 있지 않은 제형이 도포된 왼쪽 뺨(사진 상 우측)의 온도에 비하여 현저하게 빠르게 재상승하여 온도 차이를 나타내는 것으로 확인되었다. 또한 경옥 파우더 함유 제형과 함께 이산화티탄 파우더 함유 제형 및 연옥 함유 제형을 동일한 방법으로 비교 실험



**Figure 5.** Diffuse reflectance spectra of jadeite powder (solid line), nephrite powder (dot line), titanium dioxide powder (dashed line).

험한 결과에서도 경옥이 포함된 제형을 도포한 쪽의 온도 회복이 더 빠르게 나타났다(Figure 4). 그러나 이와 같은 온도의 변화가 정상적인 인체 피부 온도 범위를 벗어나는 것은 아니었으며 원적외선 방사체를 함유한 제형을 피부에 도포한다고 해도 외부에서의 지속적인 에너지 공급이 없이는 원래의 피부 표면 온도보다 높게 상승하지 않는 것이 당연하다. 변화된 피부 온도는 비교군 제형의 종류나 피시험자에 따라 조금씩 다르게 나타났으나(Table 3), 약 1 ~ 1.5 °C로 5명을 대상으로 하는 실험 결과를 통계처리 프로그램(JMP version 10)으로 ANOVA test 하여 유의성을 검증한 결과 경과 연옥, 경옥과 파우더 미 함유 제형은 신뢰수준 95% ( $p < 0.05$ )에서, 경옥과 이산화티탄 파우더 함유 제형의 온도변화는 신뢰수준 90% ( $p < 0.1$ )에서 유의한 차이가 나는 것으로 나타났다.

이와 같은 온도 상승의 차이가 외부 환경에서 파우



**Figure 6.** Weight loss of powder containing O/W formulations. Jadeite powder (square), nephrite powder (triangle), titanium dioxide powder (circle). (n = 4)

더가 흡수하는 빛 에너지 분포의 차이에 의한 것인지 확인하기 위하여 각 파우더들의 전 파장에서 확산반사 스펙트럼(diffuse reflectance spectrum)을 측정하였다. 경옥과 연옥, 이산화티탄 파우더의 흡광 곡선에서 경옥 파우더는 연옥 파우더에 비해 자외선 영역 및 유효가시광선 영역의 블루라이트의 흡광이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었으나 자외선 영역의 흡광은 이산화티탄에 비하여 절반 정도에 불과함을 확인하였다 (Figure 5). 태양광 스펙트럼의 에너지 분포는 500 nm 이하 파장의 자외선 및 일부 블루라이트 영역이 약 46%를 점유하므로. 측정된 흡광 스펙트럼의 500 nm 이하 적분 면적을 고려할 때, 동일 세기, 동일 면적, 동일 시간에서 흡광 에너지의 크기는 이산화티탄-경옥-연옥의 순으로 나타나며, 따라서 각각의 파우더에 흡수된 에너지가 모두 원적외선의 형태로 방사된다고 가정할 때, 피부 온도의 상승은 이산화티탄, 경옥, 연옥의 순으로 나타나야 하지만, 열화상 측정 실험을 통해 확인한 피부 온도 변화 측정 결과에서는 경옥, 연옥, 이산화티탄의 순으로 나타났고 따라서 외부에서 빛으로 흡수된 에너지의 원적외선 에너지 방사는 본 연구의 시험 제형이 나타내는 피부 온도 상승의 주 원인이 될 수 없는 것으로 판단된다.

따라서 본 연구자들은 이와 같은 경옥 파우더 함유 제형의 피부 온도 변화의 차이가 나타나는 지배적인 원인을 원적외선 에너지 전달이 아닌 다른 영역에서

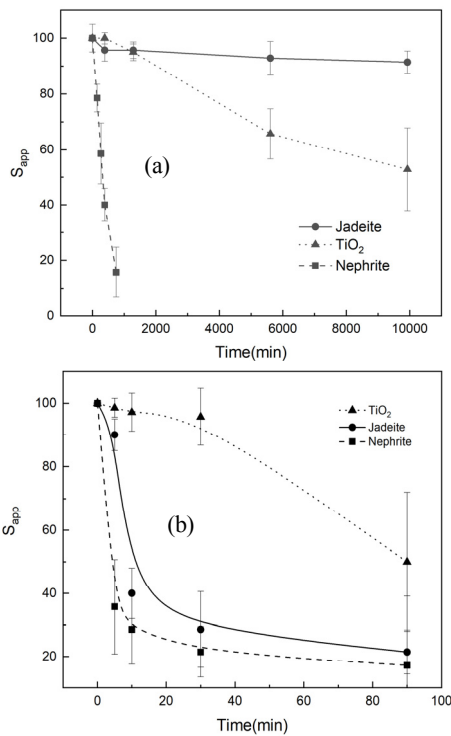
찾고자 하였고, 경옥 파우더의 원소분석 결과에 주목하였다. 앞서의 EDS분석에서 확인하였던 것처럼 경옥에서 특이적으로 높게 나타나는 산소(49.1%)와 규소(44.79%)에 의해 제형 내 수분과 수소결합 등의 인력을 형성하여 수분의 증발을 억제하고 있을 것으로 가정하고 이를 확인하기 위하여 동일 함량의 경옥과 이산화티탄 파우더 함유 O/W 제형을 제조하여 컨백션 챔버 내에서 2시간 동안 매 20 min 경과 시마다 질량의 변화를 측정된 결과 경옥 파우더 함유 제형에서의 증발에 의한 질량 감소는 비교군인 이산화티탄 파우더 함유 제형에 비해 절반으로 억제되는 것을 확인하였다 (Figure 6). 따라서 이와 같은 증발량의 차이가 피부 표면에서의 온도변화에 직접적인 영향을 미치게 되어 경옥 파우더 함유 제형은 도포 직후 저하된 피부 온도가 체온에 의해 상대적으로 빠르게 상승되는 반면, 지속적으로 증발이 일어나는 이산화티탄 파우더 함유 제형에서는 피부 온도의 회복이 느려지는 것으로 판단된다. 또한 추가 비교군으로서 사용된 연옥 파우더가 함유된 제형에서는 이산화티탄 파우더 함유 제형과의 비교 시에는 낮은 증발 속도를 나타내었으나 그 차이에 대한 통계적인 유의성이 부족하였고, 경옥 파우더가 함유된 제형에 비해서는 유의적으로 빠른 증발에 의한 질량 손실을 나타내었다( $p < 0.05$ ).

위와 같은 결과는 각 파우더의 표면에 노출된 원소와 분산 용매들과의 상호인력에 의한 것이므로 50% 1,3-부틸렌글리콜 수용액 상과 사이클로펜타실록산 상에 각각의 파우더를 동일량으로 분산하고 시간 경과에 따라 침강되는 정도를 측정하여 이를 추가적으로 확인하고자 하였다. 모든 입자가 동일 화학조성을 갖는 표면이라고 가정할 때 침강속도는 Stock's law에 의해서 식 (2)로 나타낼 수 있다.

$$u = \frac{2r^2(\rho - \rho_0)g}{9\eta} \quad \text{식 (2)}$$

따라서 파우더의 침강속도  $u$ 는 파우더 입자의 평균 크기  $r$ 의 제곱 및 분산매와 입자의 밀도차에 비례하고 분산용매의 점도에 반비례한다. 만약 입자의 표면과 분산용매 사이에 아무런 상관관계가 없다고 가정하면, 본 연구에 사용된 경옥의 평균입경을  $r$ 이라고 할 때 연옥은 약  $2r$ , 이산화티탄 파우더는 약  $0.1r$ 로 표시 가능





**Figure 7.** Apparent sedimentation stability,  $S_{app}$ , of jadeite (circle), nephrite (square) and titanium dioxide (triangle) in a 50 % 1,3-butylene glycol (a) and cyclopentasiloxane (b). (n = 4)

하다. 각 파우더의 밀도는 경옥 3.33, 연옥 2.90, 이산화티탄 4.23  $g/cm^3$ 이고 분산매인 50% 1,3-부틸렌글리콜은 약 1.01, 사이클로펜타실록산의 상대 밀도는 약 0.96 이므로 1,3-부틸렌글리콜 수용액 상에서 침강 속도의 비는  $u(\text{jadeite}) : u(\text{nephrite}) : u(TiO_2) = 2.33 : 7.56 : 3.23 \times 10^{-2}$ 이 된다. 사이클로펜타실록산의 경우에도 거의 유사하므로 입자의 표면과 분산매와의 화학적인 상호작용을 고려하지 않은 이론적인 침강 속도의 순서는 두 용매 모두에서 빠른 순서로 연옥-경옥-이산화티탄의 순 이어야 한다.

그러나 실험 결과는 7 days 동안 1,3-부틸렌글리콜 수용액 상에서 경옥 파우더는 거의 침강되지 않았는데 반해 이산화티탄 파우더는 상대적으로 경옥 파우더보다 빠른 침강을 나타내어 연옥-이산화티탄-경옥 순이었고, 사이클로펜타실록산 상에서는 연옥과 경옥은 유의적인 속도 차이가 없이 빠르게 침강한 반면 이산화티탄은 상대적으로 서서히 침강하여 연옥(경옥)-이산화티탄의 순이었다(Figure 7). 1,3-부틸렌글리콜 수용액 상에서는 이산화티탄이 이론적으로 가장 침강이 느려

야 하지만 경옥의 표면 성질에 의해 이 결과가 역전된 것으로 판단되며, 사이클로펜타실록산 상에서는 이론적인 예측값과 유사한 결과가 나타났다. 이같은 결과는 이산화티탄 파우더 함유 제형의 수분 증발에 의한 질량 감소가 동일 함량의 경옥 파우더가 함유된 제형의 수분 증발에 의한 질량 감소보다 크다는 원인이 경옥 파우더의 화학적 조성과의 관련이 있음을 간접적으로 뒷받침하며, 따라서 해당 파우더가 함유된 제형을 도포하였을 때 피부 온도의 변화에 차이가 발생하는 주요 원인이라고 판단할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구를 통해 원적외선 방사체로 알려진 경옥 파우더(jadeite powder)를 함유하는 화장품 제형이 피부 표면의 온도변화에 미치는 효과와 그 이유를 확인하였다. 먼저, 경옥파우더의 우수한 원적외선 방사율 및 방사 에너지를 측정 하고 이를 스킨케어용 O/W 제형에 도입하여 피부에 도포한 결과 피부 표면 온도에 비해 낮은 온도의 제형에 의해 저하된 피부 온도가 경옥 파우더가 포함되지 않은 대조군 제형이 도포된 경우에 비해 원래의 피부 온도로 빠르게 회복되는 것을 관찰하였다. 이후 원소분석, 확산반사스펙트럼 분석 및 침강속도 측정, 증발량 비교분석 등의 결과를 통해 경옥 파우더가 우수한 수분 유지 능력으로 피부 표면에서의 증발현상을 억제하여 피부의 온도가 저하되지 않도록 유지시켜 줄 수 있다는 결론을 도출하였다.

또한, 이산화티탄과 같은 화장품 자외선 차단용 파우더 원료 또는 피지 흡수를 위한 고분자 파우더 원료들은 대부분 다량의 분산제 없이는 제형 내 분산 안정도가 낮고 피부의 유분과 수분을 흡수하고 증발시켜 피부의 건조를 촉진하는 원인이 될 수 있는데 반해 경옥 파우더는 화장품 제형 내 수상에서의 분산 안정성이 매우 뛰어나 이를 화장품 제품에 적용할 경우, 사용감이 매끄럽고 수분감은 높으면서도 환경에 의한 피부의 온도 저하를 효과적으로 억제할 수 있는 새로운 화장품의 개발이 가능할 것으로 판단된다. 뿐만 아니라, 경옥 파우더의 흡광 데이터로부터 미루어볼 때, 자외선 흡광 능력이 우수하지만 유해 가시광선 영역인 블루라이트의 흡광이 없는 이산화티탄 파우더와 혼합 사용하면 종래의 선케어 제품에 자외선으로부터 블루라

이트까지 유해한 빛 에너지 영역을 동시에 차단하는 효과를 부여할 수 있는 제품으로도 응용할 수 있을 것으로 생각된다.

### Acknowledgement

본 과제는 (주)에프지뷰티의 지원으로 진행되었습니다. 유병성 대표님께 감사의 말씀을 전합니다.

### Reference

1. F. Vatansever and M. R. Hamblin, Far infrared radiation (FIR): its biological effects and medical applications, *Photonics. Lasers Med.*, **4**, 255 (2012).
2. S. M. Schieke, P. Schroeder, and J. Krutmann, Cutaneous effects of infrared radiation: from clinical observations to molecular response mechanisms, *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.*, **19**, 228 (2003).
3. D. Barolet, F. Christiaens, and M. R. Hamblin, Infrared and skin: Friend or foe, *J. Photochem. Photobiol., B: Biology*, **155**, 78 (2016).
4. F. P. Incropera, D. P. DeWitt, T. L. Bergman, and A. S. Lavine, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 6th ed., 724, John Wiley & Sons, USA (2007).
5. J. Heo, Donguibogam, Bubin Publ., Seoul, Korea (2007).
6. C. T. Prewitt, The crystal structure of jadeite, *The American Mineralogist*, **51**, 956 (1966).
7. Korean Patent 10-0803941 (2008).
8. Korean Patent 10-0441773 (2004).
9. Korean Patent 10-2016-0072931 (2017).
10. S. Schieke, H. Stege, V. Kürten, S. Grether-Beck, H. Sies, and J. Krutmann, Infrared-a radiation-induced matrix metalloproteinase 1 expression is mediated through extracellular signal-regulated kinase 1/2 activation in human dermal fibroblasts, *J. Investig. Dermatol.*, **119**, 1323 (2002).
11. H. Piazena and D. K. Kelleher, Effects of infrared-a irradiation on skin: discrepancies in published data highlight the need for an exact consideration of physical and photobiological laws and appropriate experimental settings, *Photochem. Photobiol.*, **86**, 687 (2010).
12. S.-Y. Yu, J.-H. Chiu, S.-D. Yang, Y.-C. Hsu, W.-Y. Lui, and C.-W. Wu, Biological effect of far-infrared therapy on increasing skin microcirculation in rats, *Photodermatol. Photoimmunol. Photomed.*, **22**, 78 (2006).
13. K. M. Kim, Y. W. Kim, I. G. Hong, and S. N. Park, Physicochemical properties of jadeite powder and its application to cosmetic formulations, *Appl. Chem. Eng.*, **29**, 81 (2018).
14. B. H. Yoo, C. M. Park, T. J. Oh, S. H. Han, H. H. Kang, and I. S. Chang, Investigation of jewelry powders radiation far-infrared rays and the biological effects on human skin, *J. Cosmet. Sci.*, **53**, 175 (2002).
15. J. W. Kim, J. W. Shim, J. H. Bae, S. H. Han, H. K. Kim, I. S. Chang, H. H. Kang, and K. D. Suh, Titanium dioxide/poly(methyl methacrylate) composite microspheres prepared by in situ suspension polymerization and their ability to protect against UV rays, *Colloid Polym. Sci.*, **280**, 584 (2002).