

## A Study on the Infrared Emission Properties and Freeze-thaw Resistance for Calcined Clay by Carburization Treatment

Kiho Kim, Sangmyoung Kim\*<sup>†</sup>, Byungchul Kang\*

Department of Materials Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea

\*Korea Institute of Construction Materials, Seoul 137-707, Korea

(Received May 7, 2008; Accepted July 2, 2008)

### 소성 점토의 침탄에 따른 동결융해 저항성 및 적외선 방사특성 연구

김기호 · 김상명\*<sup>†</sup> · 강병철\*

충북대학교 신소재공학과

\*한국건설자재시험연구원

(2008년 5월 7일 접수; 2008년 7월 2일 승인)

#### Abstract

The Physical property changes of calcined clay by carburization were investigated studied. The carburization mechanism is the penetration of carbon which occurred during incomplete fuel combustion into crevice of clay structure.

The experiments for elasticity and freeze-thaw resistance were conducted, and the results can be summarized as follows:

Dynamic modulus of elasticity and also freeze-thaw resistance of calcined clay by carburization treatment increased more than 92% after testing 300 cycle, which was more improved than 88% of calcined clay. Therefore, it can decrease the possibility of winter-sowing, which is one the weakness of calcined clay. It is on the basis of the fact that the porosity of calcined clay by carburization treatment is about 12%, which indicates smaller pore spaces comparing with the 14% of porosity of calcined clay and those values were calculated by apparent porosity show and also supported by SEM images. Infrared emissivity of calcined clay by carburization treatment and calcined clay were respectively 0.92 and 0.91 at 80°C. However, those values were 0.91 and 0.88 at 200°C, which means infrared emissivity of calcined clay by carburization treatment shows 3.6% higher than the calcined clay. Moreover, within the wavelength range from 3 to 7 μm, while the calcined clay had low infrared emissivity, the calcined clay by carburization treatment had increased infrared emissivity. It is inferred that it was affected by carbon element that has high infrared absorptivity within this wavelength range.

**Key words :** Calcine clay, Carburized treatment, Crystalline graphite, Freeze-thaw, Dynamic modulus of elasticity, Thermal analysis, Infrared, Emissivity, Emissive power

### 1. 서 론

소성점토는 인류역사 이래 벽돌, 기와, 오지그릇, 도기, 화분 등의 용도로 전통적으로 흔하게 사용되어온 구조재료다. 그러나 이 재료는 세라믹의 특성인 기계적 강도가 약하고 깨지기 쉬우며 동파에도 약하다. 본 연구에서는 이러한 취약점의 개선과 새로운 특성을 부여하고자 침탄 처리한 소성점토를 제조하여 그 특성을 알아내려는 목적으로 계통적 실험을 수행하여 왔으며, 침탄에 따른 성분 분석 및 탄소의 결합상태, 물에 대한 접촉각 등은 이미 발표한 바 있다.<sup>1)</sup> 본 연구에서는 소성점토의 침탄 처리에 따른 동결 융해저항성과 적외선 방사 특성에 대한 시험

결과를 발표하고자 한다.

소성 점토에서 동결융해에 의한 내구성 저하는 표면의 공극에 있는 수분이 동결되면서 약 9.1%의 체적증가로 팽창력이 발생하여 동결부의 주위에 응력이 형성되고, 같은 원리로 구조물 내부에 포함되어 있는 수분의 동결융해 반복 작용으로 구조물 내에 큰 응력이 작용하여 균열이 발생하거나 표층부가 박리되어 전체적인 내구성이 나타나는 것으로 알려져 있다.<sup>2)</sup> 이러한 문제점을 개선하는 방안으로서 소성점토 구조물의 수분 흡수량을 감소시키거나 내부의 공극을 메꾸어 주면 동파의 방지효과가 있을 것으로 판단된다. 따라서 침탄처리로서 그러한 효과를 얻을 수 있을 것으로 예상되어 침탄 처리된 소성 점토의 동결융해 특성에 대한 연구를 수행하였다.

한편, 적외선은 물체 표면에서 방출되는 전자기파로서 물체의 온도에 따라 복사에 의해 에너지를 전달하며, 적

<sup>†</sup>Corresponding author : Sangmyoung Kim

E-mail : ksm@kicm.re.kr

Tel : +82-31-389-9191 Fax : +82-31-389-9199

외선에 의한 에너지 전달은 손실이 적고 열효율이 양호한 특징이 있다. 적외선은 종래의 수증기, 열풍 등의 열매개체를 필요로 하는 대류에 의한 가열방식에 비하여 복사 에너지에 의해 물체를 가열할 수 있으며, 농수산물의 건조, 식품가공, 가열가공, 난방 등의 여러 분야에서 이용되고 있다.<sup>3)</sup> 본 연구의 대상인 침탄 소성점토는 점토를 소성하는 과정에서 연료의 공급과 공기를 차단, 불완전 연소로 발생한 가스 중의 탄소성분(Carbon)이 점토 구조체내의 공극(Pore)으로 침투, 퇴적하는 메커니즘을 통하여 제조하였다. 이렇게 만들어진 침탄 소성점토는 탄소의 침투로 인해 공극이 치밀해져 동결융해 저항성의 향상 및 탄소성분에 의한 적외선 방사 특성의 변화가 있을 것으로 판단하고 이를 실험으로 확인하게 되었으며, 침탄 처리된 소성 점토가 주로 건축용 조적재로 사용하는 점에 착안하여 동결융해저항성과 적외선 방사 특성을 조사함으로써 이를 근거로 새로운 침탄 소성점토 제조법을 창출해 내는 것을 목적으로 하여 연구를 진행하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1. 침탄 처리

연료를 연소시킬 때 가연성분을 완전히 연소시키는 것을 완전 연소, 그렇지 못한 것을 불완전 연소라 한다. 산소공급이 충분하여 탄소를 완전 연소시키면 이산화탄소(CO<sub>2</sub>)가 생성되지만, 만약 산소가 부족하여 불완전연소가 되면 CO가스가 생성되게 된다. 본 연구에서의 침탄처리는 점토의 소성과정에서 연료의 완전연소에 필요한 과잉 공기량보다 적은 공기를 공급하여 불완전 연소로 얻어진 CO가스의 “Boudouard reaction”에 의해 발생한 Carbon이 소성점토 표면에서 포화상태가 되면 확산에 의해 표면농도가 감소하면서 소성점토 내의 공극으로 탄소가 침투하는 메커니즘을 통하여 이루어진다.<sup>4)</sup> 이때, 로 내 분위기는 탄소 과포화 상태가 되기 때문에 그을음(Sooting)이 함께 발생되고, 미세한 그을음 입자가 기체의 흐름에 의해 소성점토 내의 공극으로 함께 침투될 수 있다. 침탄처리 과정의 노 내의 온도는 800°C로 약 1시간 정도 유지시켜 주게 된다.

### 2.2. 점토의 조성 분석

점토는 자연 상태에서 흔히 존재하는 물질로써 건축 기초재료로 널리 활용되며 본 연구에서는 경상북도 상주 지방의 점토를 사용하였으며, 소성점토 및 침탄 소성점토에 대한 조성분석은 KS L 4007 점토 분석 방법에 따라서 일본 Rigaku사의 모델 PRIMUS XRF을 사용하여 분석하였다. 탄소와 유황 분석은 KS M 0014에 따라 미국 LECO사의 CS-444모델의 C-S분석기를 이용하였으며, 소성점토와 침탄처리 된 소성점토를 1400°C까지 연소시킨 후 연

소가스를 포집하여 적외선 흡수법에 따라 분석하였다. 파단면 관찰은 일본 Hitachi사의 TM1000 모델의 현미경을 사용하였다.

### 2.3. 겉보기 기공률 및 동결 융해 저항성 시험

기공률과 동결융해저항성에 대한 관련성을 확인하기 위하여 KS L 3114에 따라 겉보기 기공률을 시험하였으며 시험과정은 다음과 같다. 우선 시료를 (110±5)°C의 항온기에서 건조하고 항량이 되었을 때의 건조무게(W<sub>1</sub>)를 측정한다. 포수방법은 비등법의 경우 건조 무게를 칭량한 시료를 끓는 물속에 담가 3시간 이상 끓이고 실온까지 냉각한 후 이것을 포수 시료로 한다. 다만, 물을 가하여 냉각하여도 무방하다. 시료를 지름 1 mm 이하의 철사로 묶어 물속에 매단 채로 무게를 측정한 후 철사의 무게를 뺀 값을 포수 시료의 무게(W<sub>2</sub>)로 한다. 포수 시료를 물속에서 꺼내어 젖은 수건으로 표면을 닦고, 무게를 측정하여 포수 시료의 무게(W<sub>3</sub>)로 한다. 겉보기 기공률은 식 (1)에 의해 계산하였으며 그 결과는 Table 1과 같다.

$$\text{겉보기 기공률 (\%)} \quad P_0 = \frac{W_3 - W_1}{W_3 - W_2} \times 100 \quad (1)$$

여기에서 W<sub>1</sub> : 건조 시료의 무게 (g)  
W<sub>2</sub> : 포수 시료의 물 속 무게 (g)  
W<sub>3</sub> : 포수 시료의 무게 (g)

동결융해에 의한 내구성 저하는 재료 내부에 포함되어 있는 수분의 동결과 융해의 반복, 동결 시 내부에 남아 있던 수분이 팽창하여 재료 내에 큰 응력이 작용, 균열이 발생하거나 표층부가 박리됨으로서, 전체적인 내구성 저하가 나타나는 것이다. 동결융해에 따른 물성의 변화정도를 미리 예측하기 위해 동결융해 사이클 시험 후 상대동탄성계수를 측정하게 되는데 상대동탄성계수는 아래 식 (2)와 같이 계산한다.

$$P_c = (n_1^2 / n^2) \times 100 \quad (2)$$

여기서, P<sub>c</sub> : 동결융해 C사이클 후의 상대동탄성계수 (%)  
n : 동결융해 초기 사이클에서의 가로 1차 진동 주파수  
n<sub>1</sub> : 동결융해 C사이클 후의 가로 1차 진동 주파수

Table 1. Apparent Porosity Test

carburized clay	calcined clay
$P_0 = \frac{118.0 - 111.3}{118.0 - 67.1} \times 100$ = 11.8%	$P_0 = \frac{108.0 - 101.6}{108.0 - 61.4} \times 100$ = 13.8%
W <sub>1</sub> : 111.3 (g)	W <sub>1</sub> : 101.6 (g)
W <sub>2</sub> : 67.1 (g)	W <sub>2</sub> : 61.4 (g)
W <sub>3</sub> : 118.0 (g)	W <sub>3</sub> : 108.0 (g)

**Table 2.** Condition of Freeze-thaw Test

Test Methods	Temperature Range	Time of Cycle
KS F 2456 (Method "B")	-18°C~4°C	3 h 20 min

동결융해 시험은 대표적으로 KS F 2456에 A법(기중 융해, 수중 동결)과 B법(기중 동결, 수중 융해)의 두 가지 시험 방법이 있고, 본 시험은 Table 2와 같이 B법의 시험 규정에 따라 진행하였다.

**2.4. 압축강도 시험**

압축강도는 재료의 물성 중에 가장 기본이 되는 특성으로, 특히 구조체로 사용하는 재료에서의 압축강도시험은 필수적으로 소성점토의 침탄에 따른 강도변화를 알아보기 위해 압축강도 시험을 실시하였다. 압축강도시험은 약 가로 60 mm×세로 90 mm의 크기로 소성점토와 침탄처리 된 소성점토 시편을 각각 3개씩 제작하여 KS L 3115에 따라 시험을 실시하였으며, 시험장비는 일본 Shimadzu사 100톤 용량의 만능재료시험기를 사용하였다. 압축강도는 단위면적당 누르는 힘에 대한 저항력으로 나타내며, 단위는 MPa로 표시한다.

**2.5. X선 회절분석 및 적외선 방사특성 측정**

소성 점토와 침탄 처리 소성 점토의 결정학적 차이를 알아내기 위하여 일본 Rigaku사의 모델 XRD D/MAX-2500PC를 사용하여 X선 회절 분석을 실시하였다.

적외선 방사율 측정 장치는 FT-IR(MIDAC M2410-C, MIDAC, USA), 외부광학계, 방사율이 0.999인 흑체로 (I.S.D. Corp. Model 563), 40°C~400°C까지 조절이 되는 시편 가열로로 구성되어 있다. 측정방법은 흑체와 시료가 동일 온도가 되었을 때 먼저 흑체의 적외선 방사에너지  $E_{b\lambda}$ 를 측정하고, 시료의 적외선 방사에너지 강도  $E_{s\lambda}$ 를 측정하여 방사율을 식 (3)에 의해 계산하였다.

$$\epsilon_s(\lambda, T) = \frac{E_s(\lambda, T)}{E_b(\lambda, T)} \tag{3}$$

여기서  $E_s(\lambda, T)$ 와  $E_b(\lambda, T)$ 는 물체표면과 흑체의 방사에너지이다. 흑체의 방사에너지는 식 (4)의 플랑크의 방사 법칙(Plank's law)<sup>4)</sup> 의해 구해진다.

$$E_b(\lambda, T) = \frac{C_1}{\lambda^5} \left[ \exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1 \right] \tag{4}$$

여기서  $C_1=3.742 \times 10^8$  [W· $\mu\text{m}^4/\text{m}^2$ ],  $C_2=1.439 \times 10^4$  [ $\mu\text{m} \cdot \text{K}$ ]이다.

$\lambda_1$ 에서  $\lambda_2$ 까지의 에너지분포를 적분하면 온도 T에서 흑체의 방사에너지가 된다.

**3. 결과 및 고찰**

**3.1. 시료 분석**

본 연구에서 사용한 소성점토와 침탄처리 된 소성점토의 조성에 대한 XRF(X-Ray Fluorescence)분석결과 Table 3과 같았다. Table 3에서와 같이 주성분은 SiO<sub>2</sub>가 68로서 가장 많았고 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, K<sub>2</sub>O, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 등으로 이루어져 있으며, 침탄 처리 후 소성 점토의 조성은 변화가 없는 것으로 나타났다.

**3.2. 겔보기 기공률 및 동결 융해 저항성**

점토의 성형을 위하여 첨가한 다량의 수분 및 점토성분 중의 유기물 등은 소성하는 과정에서 증발되거나 연소되어 소성점토 내부에 공극(Pore)을 형성하게 된다.

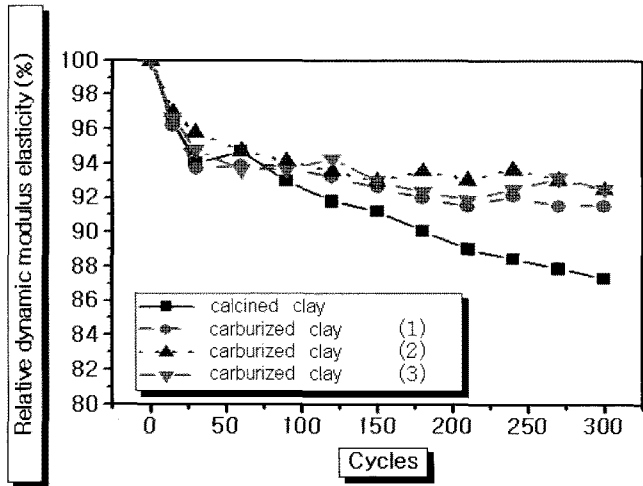
이러한 공극은 습기나 수분을 흡수하게 되며, 결빙점 이하의 온도에서 흡수된 수분이 동결하면서, 수분의 동결 팽창에 따른 정수압이 작용하여 소성점토 조직에 미세한 균열이 발생하게 된다.<sup>2)</sup> 이러한 동결·융해의 반복으로 소성점토의 내구성이 저하되기 때문에, 사용재료, 배합설계 등에 유의하여야 하며 소성점토의 공극을 줄여줄 수 있는 공정 관리가 중요할 수 있다. 소성점토와 침탄소성점토의 공극률을 확인하기 위하여 KS L 3114에 따라 겔보기 기공률을 측정하였으며, 그 결과 소성점토의 기공률이 13.8%이고 침탄 소성점토가 11.8%로 나타나 침탄 소성점토가 침탄처리 하지 않은 소성점토보다 공극이 적은 것을 확인할 수 있었으며, 이는 침탄처리 하지 않은 소성점토에 존재하는 공극(Pore)에 수분이 흡수, 동결되어 파손

**Table 3.** Composition of Clay Sample

Component	Result (wt%)	
	calcined clay	carburized clay
SiO <sub>2</sub>	68.0	68.1
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	18.2	18.1
K <sub>2</sub> O	5.0	5.0
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.0	5.1
Na <sub>2</sub> O	1.2	1.2
MgO	1.0	1.0
TiO <sub>2</sub>	0.8	0.8
CaO	0.6	0.6
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1	0.1
MnO	0.1	0.1

**Table 4.** Relative Dynamic Modulus of Elasticity by Each Specimen

specimen	weight (kg)	Relative dynamic modulus			result	acceptable level
		0 cycle	150 cycle	300 cycle		
calcined clay (1)	1.94	100	91.0	87.0	normal	
calcined clay (2)	1.94	100	broken	broken	fail	
carburized clay (1)	1.94	100	92.6	91.5	pass	80
carburized clay (2)	1.94	100	93.0	92.5	pass	
carburized clay (3)	1.94	100	93.0	92.5	pass	



**Fig. 1.** Relative dynamic modulus of elasticity by cycle.

되는 동파의 문제점을 침탄처리를 통해 어느정도 개선할 수 있을 것으로 판단된다.

동결융해 저항성을 예측하기 위해서는 먼저 동 탄성계수를 측정하게 되며, 측정 결과는 Table 4에서 보는 것과 같이 침탄 소성점토벽돌이 일반적인 소성점토벽돌보다 우수한 결과를 나타내었다. 일반적으로 상대 동 탄성계수는 정량적인 판단보다는 양호/불량 등의 정성적인 결과를 판단하기 위한 것이기 때문에, 단지 표에 나타난 수치를 그대로 믿어서는 안 될 것이며 단지, 침탄소성점토가 일반적인 소성점토와 비교할 때 동등 이상의 동해 저항성을 가지고 있다고 보는 것이 타당할 것으로 사료된다.

Fig. 1은 사이클에 따른 상대 동 탄성계수를 계열별로 나타낸 것이다. 아래와 같이, 침탄 소성점토는 상대 동 탄성계수가 300 사이클 가동 후에 90 이상으로 우수한 결과를 나타내었으나, 일반 소성점토 2계열 중 한 계열은 실험 중에 손상이 나타났으며, 다른 시편은 손상은 가지

specimen	0 cycle	150 cycle	300 cycle
calcined clay (1)			
calcined clay (2)			
carburized clay (1)			
carburized clay (2)			
carburized clay (3)			

**Fig. 2.** Surface observation by cycle.

**Table 5.** Test Result of Compression Strength

specimen	specimen number	width (mm)	length (mm)	Press (N)	Compression Strength (MPa)	average
calcined clay	n=1	52.3	87.5	294,000	64.3	69.9
	n=2	60.0	88.2	319,480	60.3	
	n=3	70.9	88.4	533,610	85.0	
carburized clay	n=1	59.4	86.4	294,000	57.3	71.3
	n=2	54.5	86.9	319,480	67.3	
	n=3	68.1	87.6	533,610	89.4	

않았지만, 침탄 소성점토벽돌 보다 저조한 결과를 나타내었다.

상대 동 탄성계수 판단기준(80)은 300 사이클 시험 후의 값이며(규격으로 제정된 값은 아니며, 일반적으로 통용되는 기준임.), 본 실험에서 정량적인 값을 분석할 수는 없으며, 단지 침탄처리 된 소성점토가 일반 소성 점토보다 동결융해저항성면에서 약간 우수하다고 판단할 수 있다. Fig. 2와 같이 동결융해 저항성을 측정하면서, 사이클에 따른 표면의 변화상을 관찰하였다. 관찰 결과, 침탄처리 된 소성점토와 일반 소성 점토(1)은 외관 상으로 보기에 특별한 손상이 발견되지 않았다. 그러나, 일반 소성 점토(2)는 사진에서 보는 것처럼 파손되어 상대 동 탄성계수를 측정하지 못하였다. 본 실험을 통해서만은 단지, 침탄처리 된 소성점토의 동결융해저항성이 소성 점토벽돌보다 약간 우수하다는 정성적인 분석 결과만을 도출하는 것이 옳을 것이라고 판단된다.

**3.3. 압축강도**

압축강도는 재료의 물성 중에 가장 기본적인 특성으로 Table 5에 압축강도 시험결과를 나타내었다.

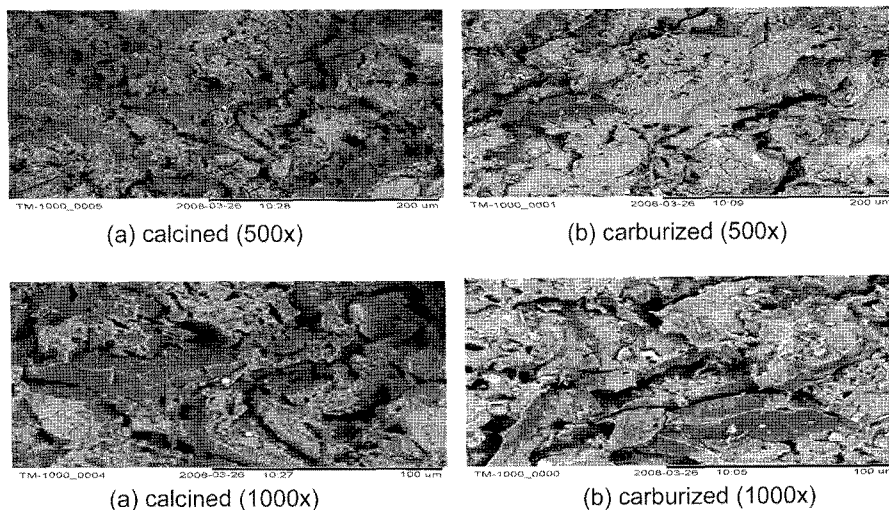
압축강도 시험결과를 살펴볼 때 침탄처리 된 소성점토가 일반 소성점토보다 약 2% 정도 압축강도가 향상된 것으로 나타났으나, 시험편차를 고려하면 침탄에 의한 압축강도 상승효과는 미미한 것으로 판단된다.

그러나 일반적으로 건축용 조적재로 많이 사용하는 시멘트블록의 압축강도가 20 MPa정도 인 것에 비하면 침탄처리 된 소성점토의 압축강도는 71.3 MPa로 약 3배 정도 강도가 높은 것을 알 수 있다.

**3.4. 현미경 분석**

일본 Hitachi사의 TM1000 모델의 현미경을 이용하여 가속전압 15 kV 조건으로 관찰한 소성점토와 침탄 처리된 소성점토의 파단면 사진을 Fig. 3에 나타내고 있다.

(a)는 소성점토의 사진으로, 사진에서 볼 수 있듯이 개개 입자의 단면에 많은 공극을 포함하고 있음을 확인할 수 있었고 이 공극들은 소성점토 제조 시 천연의 점토 원료에 존재하던 유기물질과 원료 성형 시 점성을 부여하기 위해 첨가한 수분 등이 소성 시 강열에 의하여 증발되면서 형성된 것으로 판단되며, 이러한 내부의 공극들은 침탄 처리 과정에서 탄소가 침착되는 장소를 제공하게 된



**Fig. 3.** Photo of SEM for clay. (a) calcined (b) carburized.

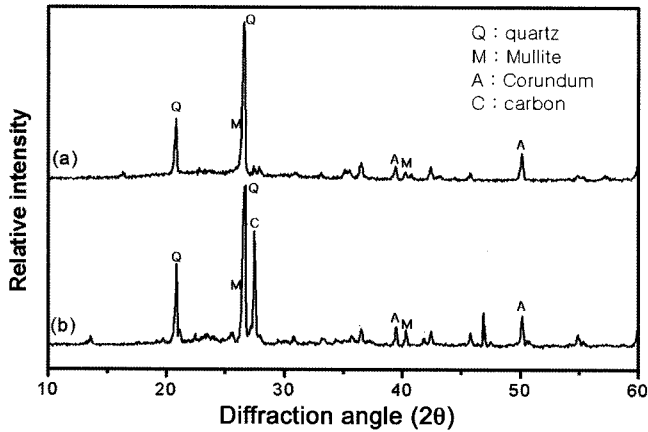


Fig. 4. X-ray diffraction curves for clay. (a) calcined (b) carburized.

다. (b)는 소성점토를 침탄 처리한 파단면에 대한 SEM사진으로 소성점토의 사진과 비교할 때 소성점토에 비해 상대적으로 공극이 적고 치밀한 것을 볼 수가 있다.

이것은 소성점토에서 보이고 있는 공극에 탄소가 침투되어 공극이 채워진 것으로 판단되며 공극에 탄소의 탄착으로 인해 수분이 침투할 여지가 없어 강열감량도 소성점토에 비해 낮은 것으로 사료된다.<sup>1)</sup>

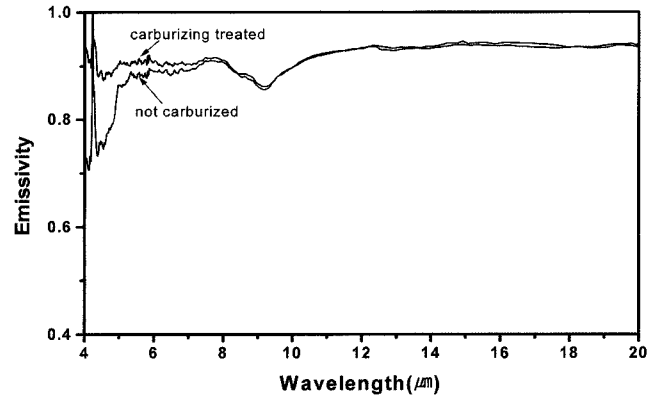
3.5. X선 회절 분석

소성점토 및 침탄처리 된 소성점토의 결정상의 변화를 확인하기 위한 XRD 분석 결과를 Fig. 6에 나타내었다. Fig. 4에서 (a)는 소성 점토로서 mullite( $3Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ ) 조성물이 나타나고 있으나 피크의 Intensity가 약한 형태로 분석되었으며, 대부분  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  등이 주 결정상으로 나타나고 있음을 확인할 수 있었다.

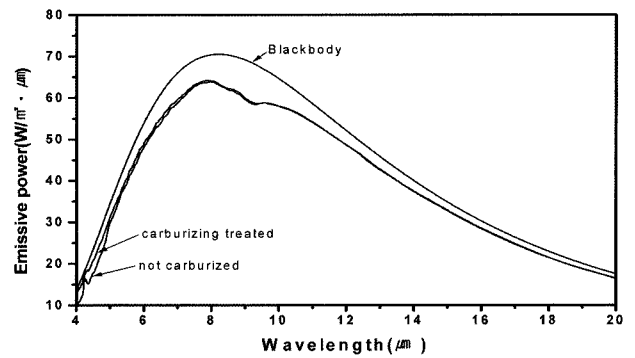
(b)의 침탄 처리된 소성 점토는 위에서 소성점토에서 보이고 있는 결정상 외에 침탄에 의한 영향으로 보이는 결정질 흑연의 회절피크가 나타나고 있다. XRD 분석결과, 침탄에 의한 탄화물 결정의 생성은 없는 것으로 판단되며, 단지 소성점토의 공극으로 탄소가 침투한 것으로 판단된다.<sup>1)</sup>

3.6. 적외선 방사특성

적외선 복사에너지를 효율적으로 사용하기 위해서는 적외선 방사체의 방사특성이 매우 중요하다. 적외선 방사체의 제조에는 주로 전이금속 산화물과 같은 방사율이 큰 재료들을 소결하거나 용사 등의 성형기술을 이용하는 제조방법<sup>6,7)</sup>과 상온에서 졸-겔법에 의해 제조된 액상세라믹을 금속표면에 코팅하여 제조하는 방법을 주로 사용하고 있다.<sup>8,9)</sup> Figs. 5, 6은 소성 점토와 침탄 처리된 소성 점토를 각각 80°C, 200°C로 가열하여 표면에서 방출되는 적외선량을 측정된 것으로, 적외선 방사율은 흑체의 방사에



(a)



(b)

Fig. 5. IR emittance properties for calcined clay measured at 80°C. (a) emissivity, (b) emissive power.

너지와의 비로서 나타내며, 1.0의 값은 흑체의 적외선 방사율에 상응하고 실존 물체표면의 복사율은 0~1 사이의 값을 갖는다.

Fig. 5의 (a)는 80°C에서 측정한 소성 점토와 침탄 처리된 소성 점토의 적외선 방사율 그래프로서 4 μm~20 μm 전파장 범위에서 소성점토의 적외선 방사율은 0.906이고 침탄 처리된 소성 점토는 0.916의 적외선 방사율 값을 나타내어 침탄 처리된 소성 점토가 0.010의 정도 적외선 방사율이 높았다. 7 μm 이상의 파장에서는 두 재료가 거의 유사한 값을 나타내지만 4 μm~7 μm 파장범위에서는 침탄 처리된 점토의 적외선 방사율은 0.900을 나타내어 0.862의 적외선 방사율을 나타내는 소성점토에 비해 약 3.8% 정도 적외선 방사율이 높았다. 또한 Fig. 5의 (b)는 4 μm~20 μm의 파장영역에서 두 시료의 플랑크의 방사법칙(Plank's law)<sup>5)</sup>에 따른 적외선 방사에너지 분포를 나타내고 있다. 4 μm~20 μm 전파장 범위에서 소성점토의 적외선 방사에너지는 641 W/m<sup>2</sup>이며 침탄 처리된 소성 점토는 647 W/m<sup>2</sup>의 적외선 방사에너지 값을 나타내어 침탄 처리된 소성 점토가 6 W 정도의 적외선 에너지가 더 많이 방사되는 것을 알 수 있다. 따라서 80°C 온도에서 사용되는 방사체로서는 소성 점토와 침탄 처리된 소성 점토는 큰

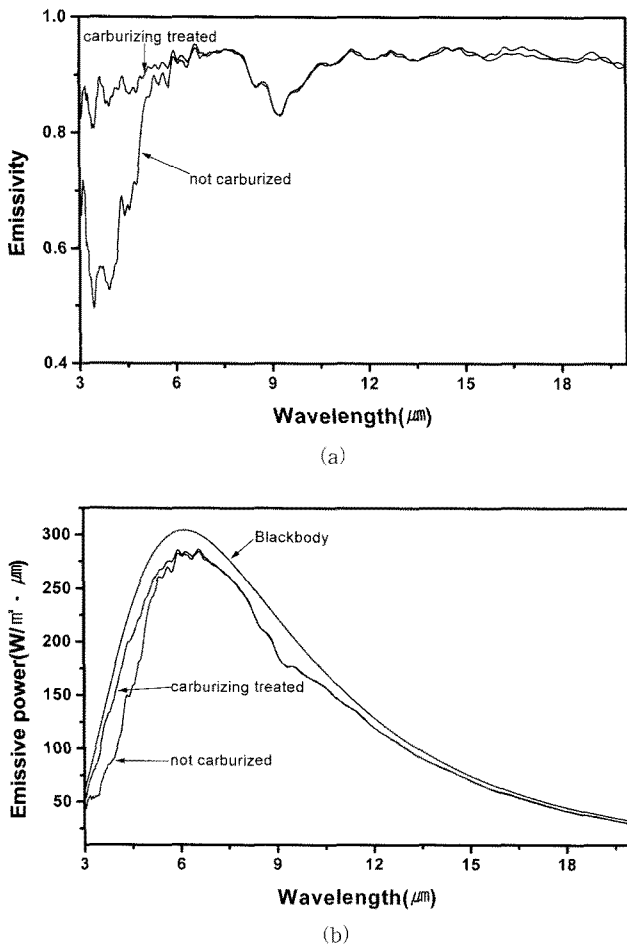


Fig. 6. IR emittance properties for calcined clay measured at 200°C. (a) emissivity, (b) emissive power.

차이가 없음 알 수 있다.

Fig. 6의 (a)는 200°C에서 측정된 소성 점토와 침탄 처리된 소성 점토에 대해 적외선방사율 그래프로서 3~20 μm 전파장 범위에서 소성점토의 적외선 방사율은 0.877이며 침탄 처리된 소성 점토는 0.913의 적외선 방사율 값을 나타내어 침탄 처리된 소성 점토가 3.6% 정도 적외선 방사율이 높았다. 7 μm 이상의 파장에서는 두 재료 모두가 거의 유사한 값을 나타내었지만 4~7 μm 파장범위에서는 침탄 처리된 점토의 적외선 방사율이 0.902로 0.808의 적외선 방사율을 나타내는 소성점토에 비해 약 9.4% 정도 방사율이 높았다. 200°C에서 측정한 적외선 방사율이 80°C에서 측정한 값보다 떨어지는 이유는 흑체의 방사율이 1.0 이기 때문에 온도가 상승함에 따라 플랑크의 방사법칙(Plank's law)<sup>4)</sup>에 따라 단파장 쪽으로 방사에너지 분포를 이루는 반면, 소성점토와 침탄처리 된 점토의 최대 방사파장은 고정되어 있기 때문이다.

또한 두 시료의 3 μm~20 μm 파장영역에서의 방사에너지를 Fig. 6의 (b)에 나타내고 있다. 3 μm~20 μm 전파장

범위에서 소성점토의 적외선 방사에너지는 2 222 W/m<sup>2</sup>이며 침탄 처리된 소성 점토는 2 314 W/m<sup>2</sup>의 적외선 방사 에너지 값을 나타내어 침탄 처리된 소성 점토가 92 W의 적외선 에너지가 더 많이 방사되는 것을 알 수 있다. 따라서 200°C에서 측정된 적외선 방사에너지 분포의 결과로 볼 때 침탄 처리된 소성점토가 200°C 부근의 온도에서는 소성점토에 비해 적외선 방사체로서 더 효율성 있게 사용이 가능하다고 판단 할 수 있다.

#### 4. 결 론

점토를 소성시키는 공정에서 연료의 완전연소에 필요한 과잉공기량보다 적은 공기를 공급하여 불완전연소로 발생하는 퇴적 탄소에 의해 침탄 처리 된 소성점토의 물성에 관한 내용 중 동결융해 저항성 및 적외선 방사특성의 변화를 연구하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 동 탄성 계수 및 동결융해 시험결과, 침탄처리 된 소성점토가 침탄 전의 소성 점토보다 동결융해 저항성이 약간 우수한 것으로 확인되어 소성점토의 취약점인 겨울철 동파의 위험성을 어느 정도 개선할 수 있을 것으로 판단된다. 이것은 겉보기 기공률 측정결과에서도 알 수 있듯이 소성점토의 기공률이 13.8%인 반면, 침탄 소성점토의 기공률은 11.8%로 침탄소성점토의 공극(Pore)이 상대적으로 적기 때문이라고 판단된다. 침탄에 따른 SEM 사진 분석결과에서도 소성점토는 많은 공극을 포함하고 있었으나 침탄 처리 된 소성점토는 탄소 침투에 의한 영향으로 공극이 적고 치밀한 것을 확인할 수 있었다. 압축강도는 일반 소성점토에 비해 침탄처리 된 소성점토가 약 2% 정도 상승되어 침탄에 따른 강도 상승효과는 미미한 것으로 나타났다으나, 시멘트블록 보다는 약 3배 정도 강도가 높아 건축용 조적재로 활용성이 높을 것으로 판단된다. 또한 결정상의 분석을 위한 X-ray 회절분석 결과, 주성분은 SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 이고, 침탄에 의한 탄화물의 결정상은 확인할 수 없었으며, 침탄 처리된 소성 점토의 적외선 방사율은 80°C에서는 0.916으로 소성점토의 방사율 0.906에 비해 약 1% 정도 상승하였지만, 200°C의 온도에서 측정 한 결과는 0.913으로 소성점토의 방사율 0.877에 비해 약 3.6% 상승하였다. 또한 침탄 후에는 주로 7 μm 이하의 단 파장에서 방사율이 상승하였으며, 소성점토는 단파장에서 원적외선 방사율이 낮게 나타난 반면, 침탄에 의해 소성점토에 착탄된 탄소성분의 영향으로 단파장에서 방사율 상승이 있음을 알 수 있었다. 80°C 온도에서의 방사율은 소성 점토와 침탄 처리된 소성 점토가 큰 차이는 없었으나, 200°C 부근의 온도에서는 침탄 처리된 소성점토가 일반 소성점토에 비해 적외선 방사율이 높아 원적외선 방사체로서의 활용이 가능하다고 판단할 수 있다.

## REFERENCE

1. K. H. Kim and S. M. Kim, "Characteristics of Calcined Clay by Carburization Method(*in Korean*)," *J. Institute of Surface Engineering*, **41** [2] 63-8 (2008).
2. S. G. Yang, "The Property of Freeze-thaw and the Strength of Recycled Aggregate Concrete Mixed with Fly Ash(*in Korean*)," pp. 11-3, Master's treatise, Chungbuk University, CheongJu, 2002.
3. S. A. Hujiya, "The Effect of Heating on Infrared Radiation(*in Jpn.*)," *Painting Technology*; **3** 95 (1990).
4. S. K. Dong, "Development of Process Technology for Low Pressure Vacuum Carburizing(*in Korean*)," *KOSCO Sym.*, **29** 231-38 (2004).
5. S. M. Kawaguchi, "Infrared Radiating Elements(*in Jpn.*)," *Ceramics.*, **23** 301 (1988).
6. K. Kawamoto, "Application of Far Infrared Radiation to the Field of Lighting and Eletro-Heating(*in Jpn.*)," *Ceramics.*, **23** 297(1988).
7. H. Takashima, "Infrared Radiant Ceramics and their Utilization(*in Jpn.*)," *Ceramics Committee*, **10** [7] 373 (1982).
8. Y. Yamamoto, K. Makita, K. Kamiya, and S. Sakka, "Optical Absorption of Transition Element Oxide-Silica Coating Films Prepared by Sol-Gel Method(*in Jpn.*)," *Ceramics Committee.*, **91** [5] 222-29 (1983).
9. N. J and J. Arfsten, "Non-cryst," *Solid.*, **63** 243 (1984).