

## Thermal Conductivity of Compacted Bentonite and Bentonite-Sand Mixture

### 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도

Won-Jin Cho, Jae-Owan Lee and Sangki Kwon

Korea Atomic Energy Research Institute, Daedeokdaero 1045, Yuseong-gu, Daejeon

[wjcho@kaeri.re.kr](mailto:wjcho@kaeri.re.kr)

조원진, 이재완, 권상기

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 1045

(Received April 8, 2008 / Revised May 7, 2008 / Approved May 19, 2008)

#### Abstract

For the Kyungju bentonite which is considered as a candidate material for the buffer and backfill in the high-level waste repository, the thermal conductivities of compacted bentonite and a bentonite-sand mixture were measured. The thermal conductivities of the compacted bentonites with a dry density of 1.2 to 1.8 Mg/m<sup>3</sup> and the bentonite-sand mixture with a dry density of 1.6 and 1.8 Mg/m<sup>3</sup> were measured within the gravimetric water content range of 10 wt% to 20 wt% and the sand fraction range of 10 to 30 wt%. The thermal conductivity of compacted bentonite and a bentonite-sand mixture increases with increasing dry density and sand weight fraction in the case of constant water weight fraction, and increases with increasing water weight fraction and sand weight fraction in the case of constant dry density. The empirical correlations to describe the thermal conductivity of compacted bentonite and a bentonite-sand mixture as a function of water fraction at each dry density were suggested. These correlations can predict the thermal conductivities of bentonite and a bentonite-sand mixture with a difference below 10%.

---

**Key words** : bentonite, bentonite-sand mixture, thermal conductivity, buffer material

#### 요약

고준위폐기물 처분장의 완충재 및 뒷채움재 후보물질로 고려되고 있는 경주벤토나이트를 대상으로 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도가 측정되었다. 압축벤토나이트

는 건조밀도가 1.2 Mg/m<sup>3</sup>에서 1.8 Mg/m<sup>3</sup> 범위에 대해, 압축 벤토나이트-모래 혼합물은 건조밀도가 1.6 Mg/m<sup>3</sup>에서 1.8 Mg/m<sup>3</sup> 사이이고, 모래의 함량이 중량비로 10 wt%에서 30 wt%인 범위의 혼합물에 대해 측정하였다. 측정시료의 수분 함량은 중량비로 10 wt%에서 20 wt% 까지 변화시켰다. 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도는 수분 함량이 일정할 때, 건조밀도가 증가할수록, 모래 함량이 많을수록 증가하였으며, 건조밀도가 일정한 경우에는 수분 함량과 모래 함량이 증가할수록 증가하였다. 각 건조밀도에서의 수분함량의 증가에 따른 열전도도 변화를 나타낼 수 있는 실험적 관계식들이 제시되었다. 이 관계식들은 10% 오차 범위에서 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도 값을 예측할 수 있다.

**중심단어** : 벤토나이트, 벤토나이트-모래 혼합물, 열전도도, 완충재

### I. 서론

고준위폐기물처분장은 지하 수백 미터 깊이에 있는 심부 지층에 건설된 여러 개의 처분동굴들과 이를 연결하는 터널로 구성된다. 현재 제안되고 있는 고준위폐기물처분장의 설계개념[1,2]에 따르면, 이들 처분동굴 바닥에 수직으로 처분공(borehole)을 굴착하고, 그 속에 방사성폐기물을 밀봉한 처분용기를 넣은 후 처분용기와 처분공의 암반 벽 사이의 공간은 완충재(buffer material)로 충전시킨다. 처분동굴 내의 처분공들이 모두 폐기물로 채워지면, 처분동굴과 연결터널들은 뒷채움재(backfill material)로 채운 후 폐쇄시킨다. 따라서 고준위폐기물처분의 장기 안전성은 처분동굴이 위치한 심부 지층인 천연방벽(natural barrier)과 방사성폐기물 고화체, 처분용기 및 완충재와 뒷채움재로 구성된 공학적방벽(engineered barrier)의 상호 보완적이고, 복합적인 작용에 의해 보장된다. 공학적방벽시스템의 구성요소 중 완충재와 뒷채움재는 방사성폐기물로부터 발생하는 붕괴열을 주위 암반으로 발산시켜, 처분용기 및 폐기물이 과도한 열응력을 받지 않도록 하고, 외부의 물리적인 충격으로부터 폐기물과 처분용기를 보호해주는 역할을 한다.

고준위폐기물처분장이 폐쇄된 후, 완충재 내에서는 폐기물로부터의 붕괴열의 방출, 주위 암반으로부터 완충재 내로 지하수의 침투, 지하수의 침투에 따른 완충재의 팽윤 및 이로 인한 응력변화가 동시에 일어

나며, 이 열-수리-역학적 복합거동(coupled thermal, hydraulic and mechanical behavior)은 고준위폐기물 처분장의 장기 성능에 중요한 영향을 미치므로 이를 규명하기 위한 많은 연구가 수행되고 있다. 완충재의 열전도도는 열-수리-역학적 복합거동을 좌우하는 중요 인자로서, 고준위폐기물로부터 발생하는 붕괴열을 주위 암반으로 신속히 발산시켜, 완충재의 온도가 설정된 최고온도를 넘지 않도록 하여 공학적방벽의 장기 건전성을 유지하는데 중요한 역할을 한다. 완충재의 재료로는 압축 벤토나이트 또는 벤토나이트-모래 혼합물이 제안되고 있으며, 뒷채움재 재료로는 벤토나이트와 모래의 혼합물이 고려되고 있다. 그러므로 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도를 규명하는 것은 공학적방벽의 장기 안정성을 해석하는데 매우 중요하다.

압축벤토나이트의 열전도도에 관한 연구는 많은 연구자들에 의해 수행되어 왔다. Knutsson[3], Bergesson 등[4]은 MX-80 벤토나이트에 대해, Radhakrishna[5]는 Avonlea 벤토나이트에 대해 압축 벤토나이트와 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도를 보고하였으며, Kunigel VI 벤토나이트에 대한 열전도도도 측정되었다 [6]. 우리나라에서는 전 등[7] 및 김 등[8]이 경주지방에서 산출되는 벤토나이트에 대해 열전도도를 측정한 바 있으며, 조 등[9]은 문헌에서 보고된 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도 자료를 수집하여 평가하였다. 그러나 우리나라 고준위폐기물처분장 완충재 후보물질로 제안되

고 있는 경주벤토나이트에 대해 보고된 열전도도 데이터는 상당히 제한되어 있고, 분석 내용도 열전도도에 미치는 주요 인자들의 영향을 정성적으로 평가하는데 머물러, 완충재의 열-수리-역학적 장기거동 해석 및 공학적방벽 설계를 위한 입력인자로 사용하기에는 한계가 있다. 따라서 이 논문에서는 경주벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물에 대해 다양한 조건에서 열전도도를 측정하고, 이들 데이터로부터 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도를 추정할 수 있는 정량적인 실험 관계식을 제시하고자 하였다.

## II. 실험

### 가. 시료

#### ① 벤토나이트

이 연구에 사용된 벤토나이트는 경주시 양남면에서 산출된 것으로, 벤토나이트 원광을 미처리 상태에서 분쇄한 후 200 mesh ASTM 망채를 통과시켜 얻은 분말을 사용하였다. 벤토나이트의 화학적 조성은 SiO<sub>2</sub> 56.8 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 20.0 %, F<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6.0 % 및 소량의 기타 성분으로 구성되어 있다(표 1). 벤토나이트의 주요 교환가능 양이온은 Ca<sup>++</sup>로서, 양이온교환능은 57.6meq/100g 이다. 벤토나이트의 광물조성은 몬모릴로나이트(70 %)와 장석(29 %)이 주성분이고 소량의 석영(~1 %)을 함유한다(그림 1). 이 벤토나이트의 자세한 물리화학적 및 광물학적특성은 조 등[10]에 의해 보고되었다.

#### ② 모래

모래는 경기도 용진군 자월도 주변에서 채취된 모래를 물로 씻고 굵은 입자를 제거한 후 건조시켜 사용하였다. 모래의 비중은 2.7 이었으며, ASTM C 136-84 방법[11]에 의해 측정된 입도분포를 그림 2에 나타내었다. 모래는 주로 세립질의 입자로 구성되어 있으며, 40번 체 (0.420 mm)이상의 입자를 2.6 %,

200번 체 (0.075 mm)이상의 입자를 0.2 % 함유하고 있다. 모래는 주로 석영, 장석 및 운모로 구성되어 있으며, 편광현미경에 의한 관찰 결과, 장석은 미사장석(microcline), 사장석(plagioclase) 및 정장석(perthite)으로, 운모는 백운모와 흑운모로 구성되어 있다. 모래의 화학조성은 표 2와 같다. 이 모래의 자세한 광물학적특성은 조 등[10]에 의해 보고되었다.

### 나. 열전도도 측정

압축 벤토나이트의 열전도도는 건조밀도가 1.2 Mg/m<sup>3</sup>에서 1.8 Mg/m<sup>3</sup> 사이의 벤토나이트에 대해, 압축 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도는 건조밀도가 1.6 Mg/m<sup>3</sup>에서 1.8 Mg/m<sup>3</sup> 사이이고, 모래의 함량이 중량비로 10 wt%에서 30 wt%인 범위의 혼합물에 대해 측정하였다. 측정시료의 수분 함량은 중량비로 10 wt%에서 20 wt% 까지 변화시켰다. 열전도도 측정을 위해, 설정된 건조밀도, 모래 함량, 수분 함량을 갖도록 제조한 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물 시료를 스텐레스강 몰드에 넣고, 유압프레스로 일축방향 압축을 하여 150×60×20 mm 크기의

Table 2. Chemical composition of Jawaldo sand.

Chemical constituent	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Ka <sub>2</sub> O
wt%	83.32	9.789	1.32	0.48	0.31	3.55	1.46

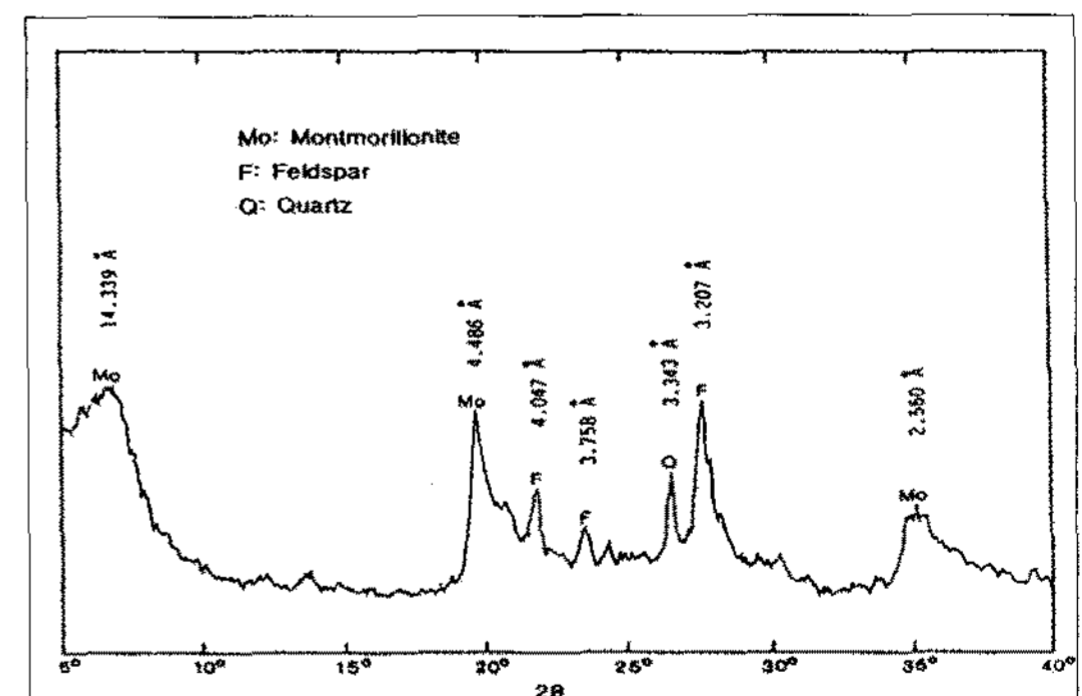


Fig. 1 X-ray diffraction patterns of the Kyungju bentonite

Table 1. Chemical composition of Kyungju bentonite.

Chemical constituents	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Ka <sub>2</sub> O	FeO	SO <sub>3</sub>
wt%	56.80	19.96	6.03	2.59	0.77	0.93	1.25	0.15	1.28

직육면체형 시편을 제작하였다. 열전도도 측정에는 순간열전도측정계(Kyoto Electronics, QTM-500)가 사용되었으며, 모든 측정은 25 °C에서 행하여졌다.

### III. 결과 및 토의

열전도도는 단위온도 차에 의해 물체의 단위면적을 통하여 단위시간당 흐르는 열의 양으로 표시된다. 압축 벤토나이트의 열전도도는 일반적으로 벤토나이트의 건조밀도, 수분 함량 및 측정온도에 따라 달라진다[4,5].

압축 벤토나이트의 열전도도 측정결과를 그림 3에 나타내었다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 수분 함량이 일정할 때, 열전도도는 벤토나이트의 건조밀도가 증가함에 따라 증가한다. 이것은 건조밀도가 증가함에 따라 벤토나이트 입자들이 서로 밀착하게 되어, 입자 사이의 간격이 작아져서 열전도를 촉진시키는데 기인하는 것으로 생각된다. 벤토나이트의 건조밀도가 일정할 경우에는 열전도도는 수분 함량의 영향을 크게 받아, 수분 함량이 증가함에 따라 열전도도도 증가했다. 이것은 벤토나이트의 수분함량을 증가시킬수록 다공성 매질인 압축벤토나이트의 공극 내에 존재하던 낮은 열전도도를 가진 공기가 열전도도가 상대적으로 높은 물로 대체되는데 기인하는 것으로 생각된다. 또 수분 함량이 증가함에 따라, 벤토나이트의 팽윤이 잘 일어

나 벤토나이트 개개 입자 사이의 접촉이 좋아지고, 벤토나이트 블록 내에 존재하는 작은 균열도 메워지기 때문에 열전도도가 증가하는 것이다. 벤토나이트의 밀도가 큰 경우에는 수분 함량을 조금만 증가시켜도, 열전도도가 급격히 증가한다. 이것은 밀도가 높은 경우, 벤토나이트에 존재하는 공극이 적어 수분 함량이 조금만 증가해도 벤토나이트가 포화상태에 접근해 가는데 기인하는 것으로 생각된다. 벤토나이트의 건조밀도가 일정할 때, 수분 함량 증가에 따른 열전도도도 변화를 그림 4~8에 나타내었으며, 전 등[7]과 김 등[8]에 의해 보고된 데이터도 비교를 위해 함께 나타내었다. 이 그림들에서 보는 바와 같이, 실험 조건 하의 모든 건조밀도에서 벤토나이트의 열전도도는 수분 함량에 대해 선형적 증가관계를 나타냈다. 각 건조밀도에 대해 벤토나

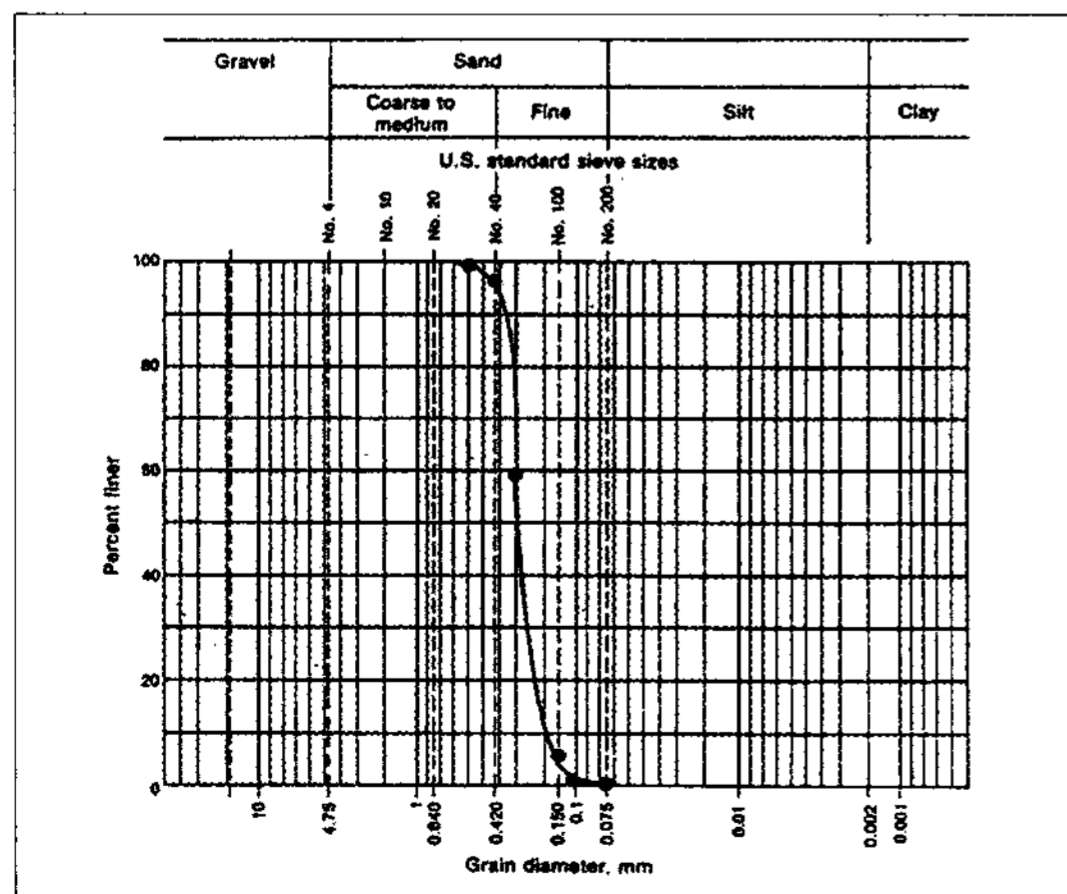


Fig. 2 Particle size distribution curve for the Jawoldo sand.

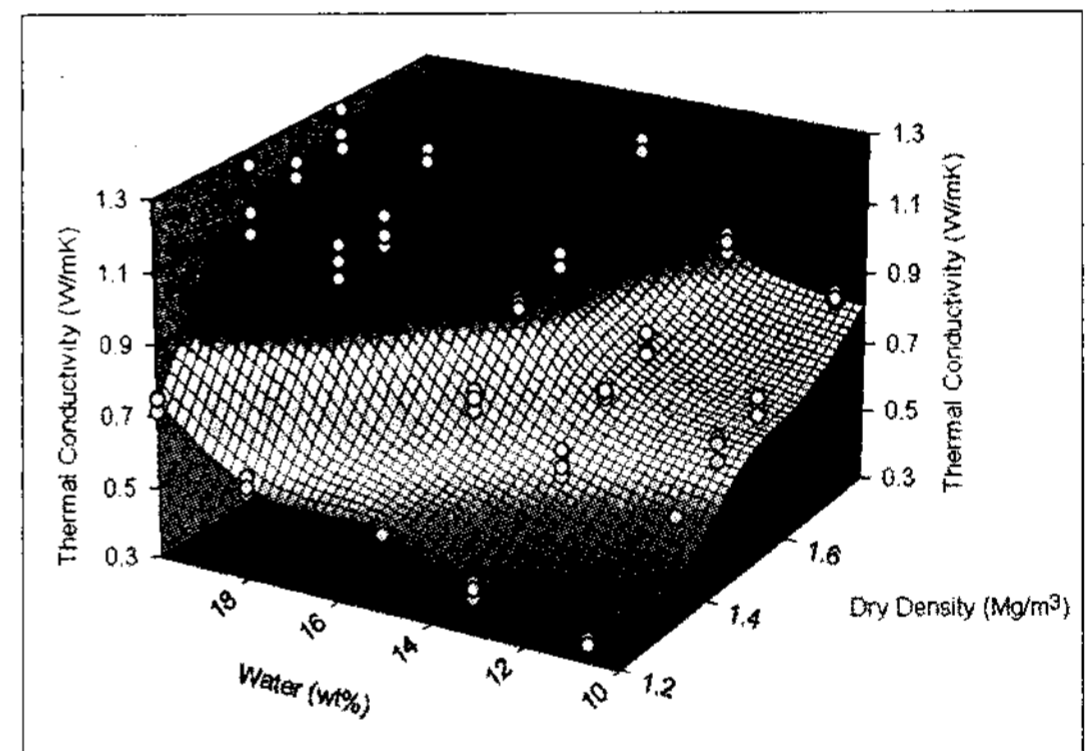


Fig. 3. Thermal conductivities of the compacted bentonite.

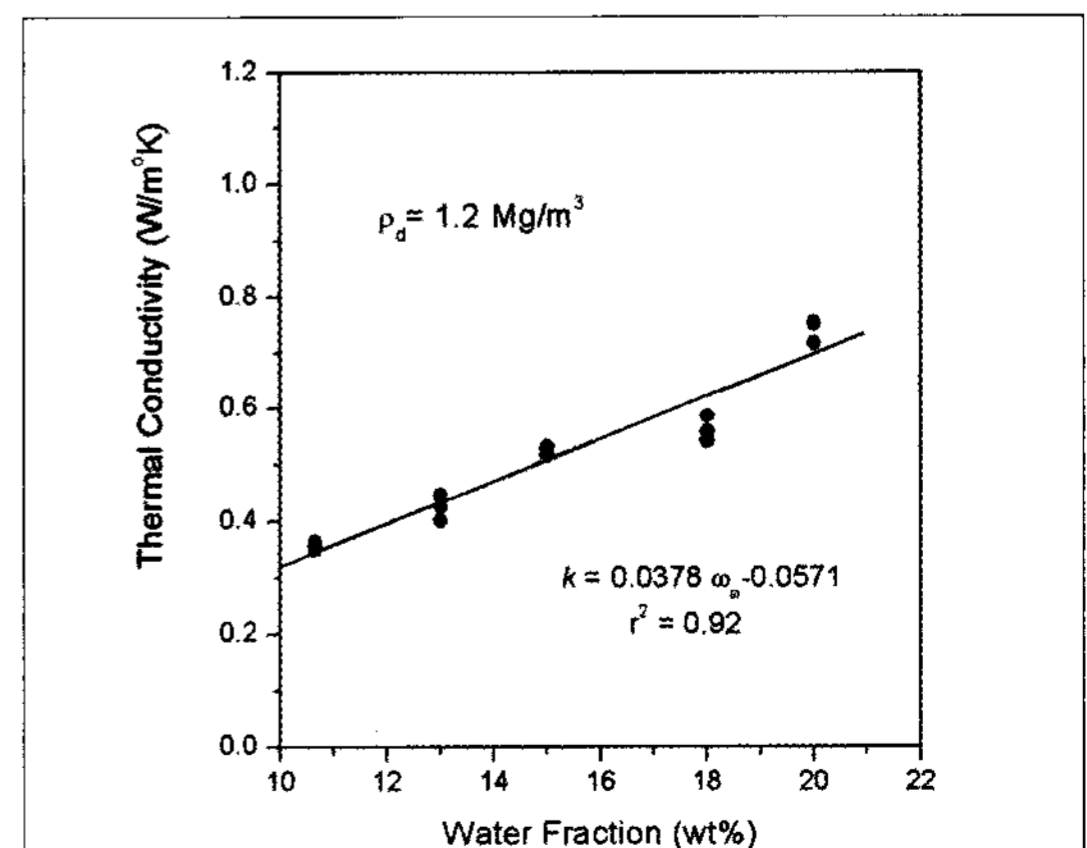


Fig. 4. Thermal conductivities of the bentonites with a dry density of 1.2 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction.

이트의 열전도도와 수분 함량 사이의 관계는 회귀 분석법을 사용하여 다음과 같은 선형관계식으로 나타낼 수 있다.

$$k = 0.0378 \omega_w - 0.0571 \quad (\rho_d = 1.2 \text{ Mg/m}^3) \quad r^2 = 0.92 \quad (1)$$

$$k = 0.0681 \omega_w - 0.2519 \quad (\rho_d = 1.4 \text{ Mg/m}^3) \quad r^2 = 0.95 \quad (2)$$

$$k = 0.0599 \omega_w - 0.0232 \quad (\rho_d = 1.5 \text{ Mg/m}^3) \quad r^2 = 0.97 \quad (3)$$

$$k = 0.0640 \omega_w - 0.0236 \quad (\rho_d = 1.6 \text{ Mg/m}^3) \quad r^2 = 0.95 \quad (4)$$

$$k = 0.0574 \omega_w + 0.2129 \quad (\rho_d = 1.8 \text{ Mg/m}^3) \quad r^2 = 0.94 \quad (5)$$

여기서  $k$ 는 열전도도(W/mK),  $\omega_w$ 는 수분함량(wt%),  $\rho_d$ 는 건조밀도(Mg/m<sup>3</sup>)이다. 상기 관계식을

이용해서 계산한 각 건조밀도와 수분 함량에서의 압축 벤토나이트의 열전도도 값을 측정치와 비교한 결과를 그림 9에 나타내었다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 계산 값과 측정치의 차이는 10% 이하로 전체적으로 잘 일치하고 있다.

건조밀도 1.6 Mg/m<sup>3</sup> 및 1.8 Mg/m<sup>3</sup>인 압축 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도 측정결과를 그림 10과 11에 나타내었다. 이 그림들에서 보는 바와 같이, 혼합물의 열전도도는 모래 함량이 증가할수록 커진다. 이것은 모래가 벤토나이트에 비해 입자간 밀도(inter-particle density)가 높고, 입자간의 접촉이 양호하여 열전달이 잘 일어나는 데 기인하는 것으로 생각된다. 또 모래 함량의 증가에 따른 열전도

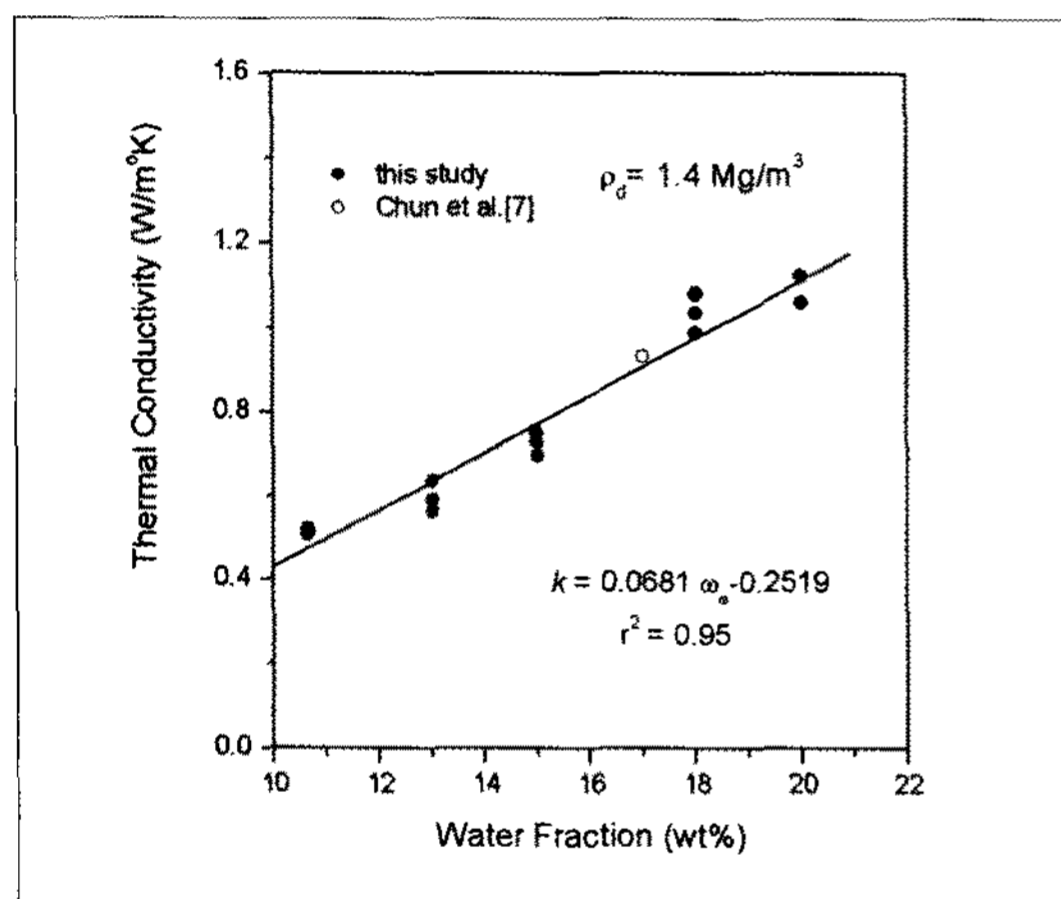


Fig. 5. Thermal conductivities of the bentonites with a dry density of 1.4 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction.

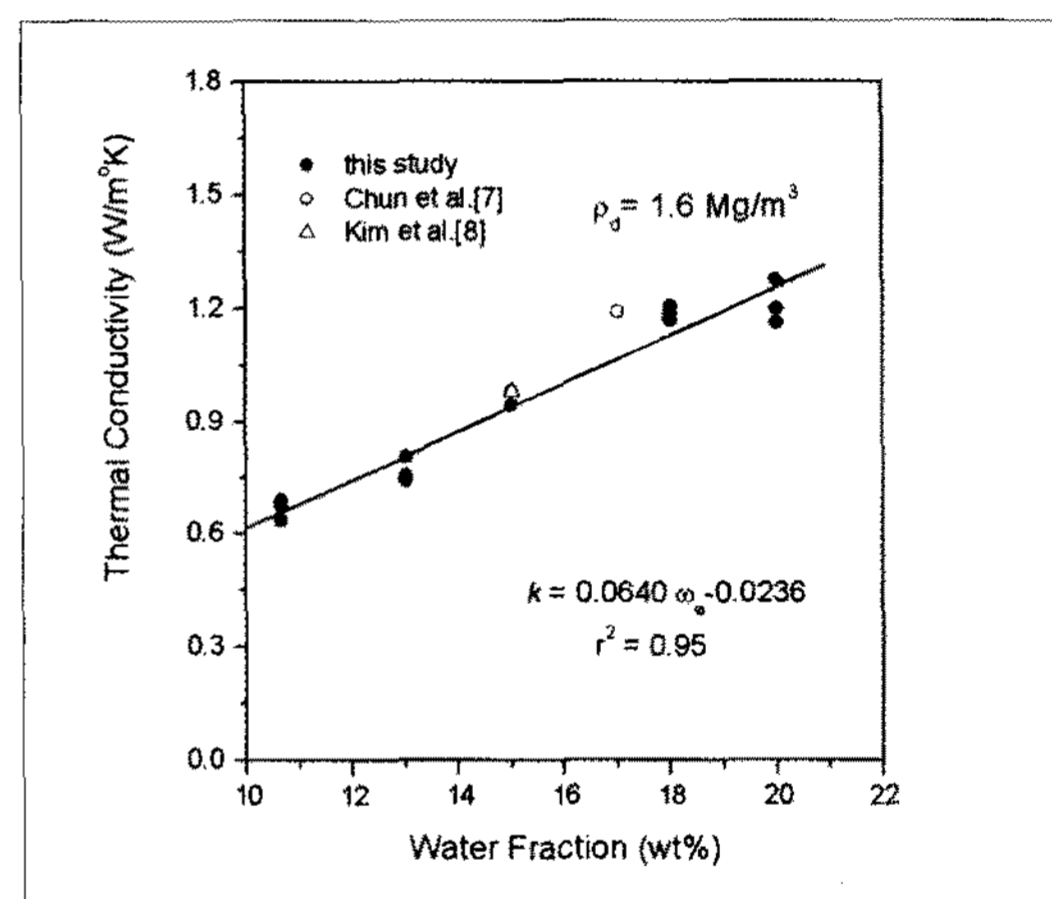


Fig. 7. Thermal conductivities of the bentonites with a dry density of 1.6 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction.

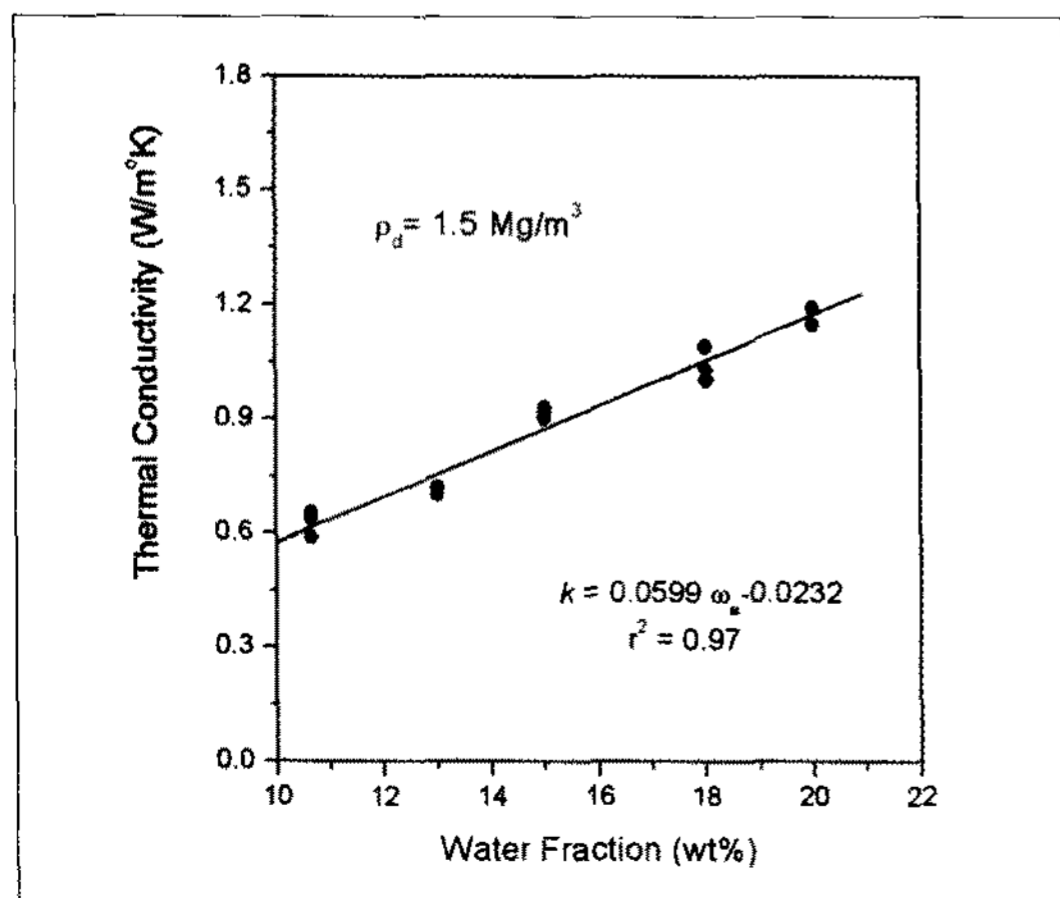


Fig. 6. Thermal conductivities of the bentonites with a dry density of 1.5 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction.

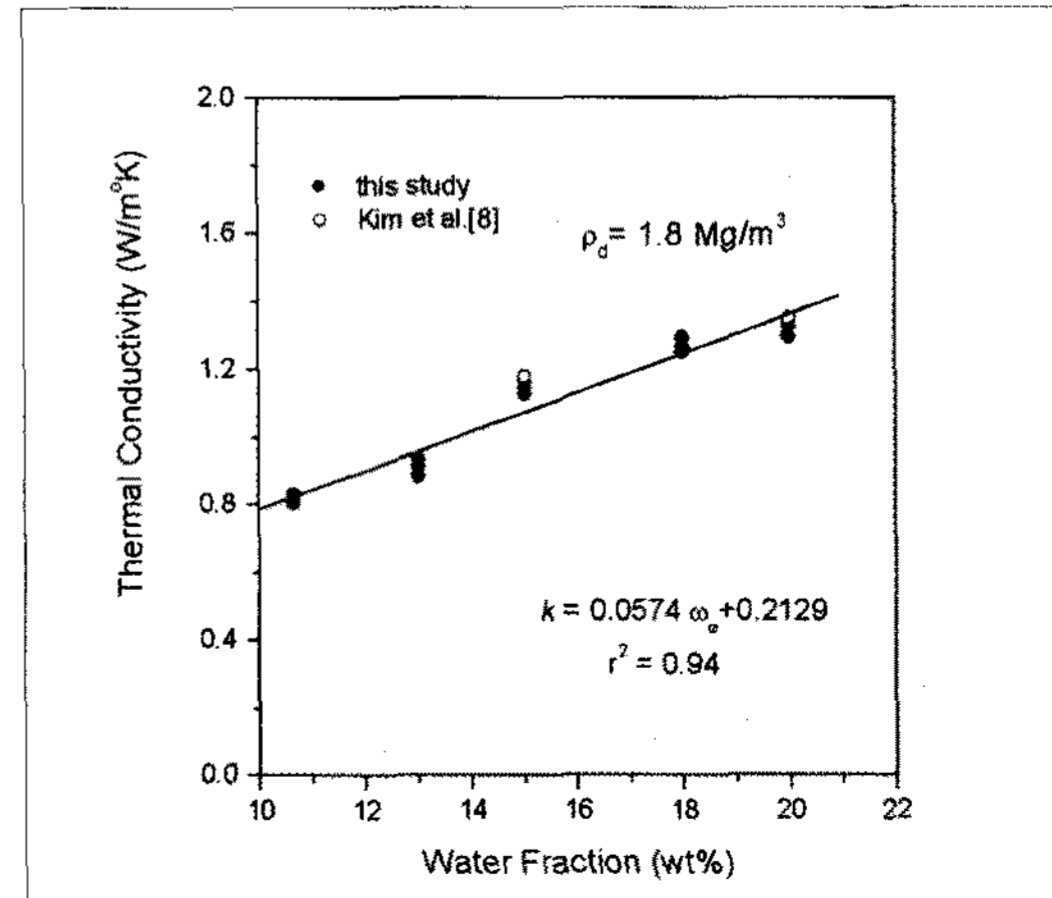


Fig. 8. Thermal conductivities of the bentonites with a dry density of 1.8 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water content.



도의 증가 정도는 혼합물의 건조밀도가 높을수록 현저하다. 모래의 함량이 20 wt% 및 30 wt%일 때, 건조밀도가 1.6 Mg/m<sup>3</sup> 인 혼합물의 열전도도는 동일 건조밀도를 가진 벤토나이트의 열전도도에 비해 각각 약 20% 및 35% 정도 증가하나, 건조밀도가 1.8 Mg/m<sup>3</sup> 인 혼합물의 열전도도는 동일 밀도의 벤토나이트의 값에 비해 각각 약 25% 및 45% 정도 증가한다. 벤토나이트-모래 혼합물의 경우에도 수분 함량이 증가할수록 열전도도가 증가하는데, 그 이유는 앞에서 설명한 압축 벤토나이트의 경우와 같다. 혼합물의 건조밀도와 모래 함량이 일정할 때, 수분 함량 증가에 따른 열전도도도 변화를 그림 12~17에 나타내었으며, 전 등[7]과 김 등[8]에 의해 보고된 데이터도 비교를 위해 함께 나타내었다. 이 그

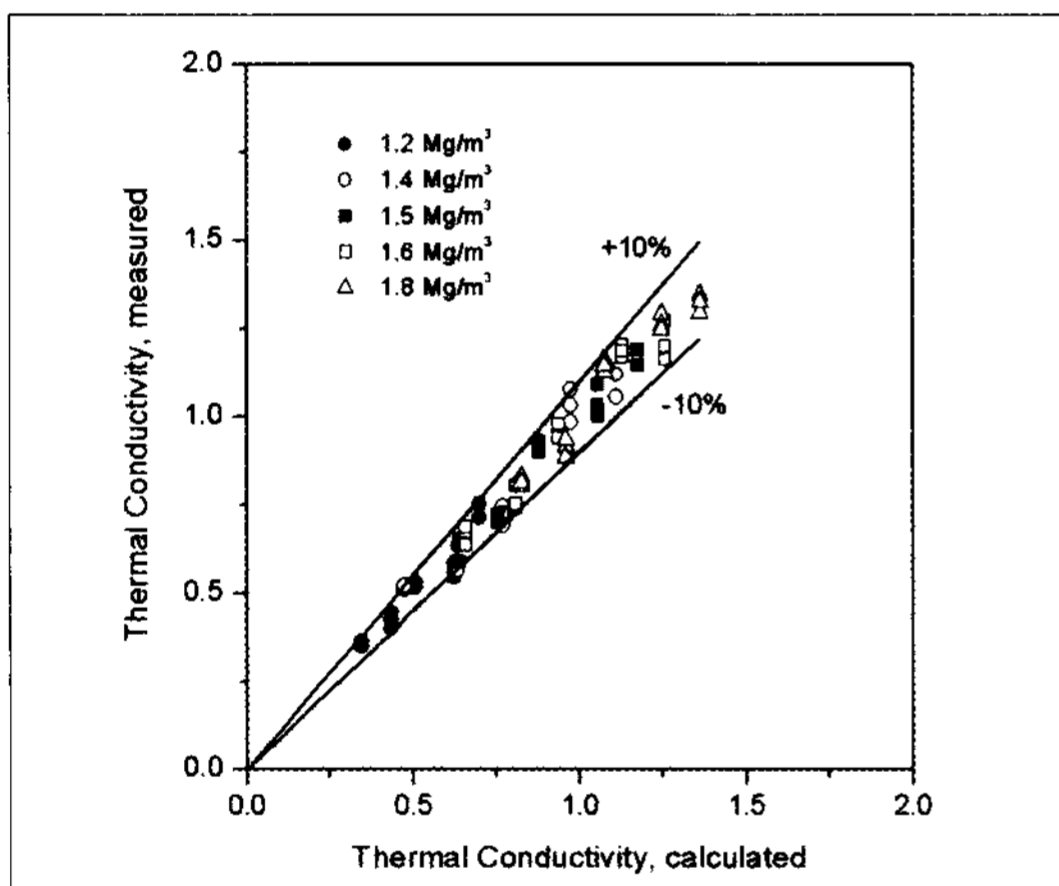


Fig. 9. Comparison between the calculated thermal conductivities and the measured data for the compacted bentonite

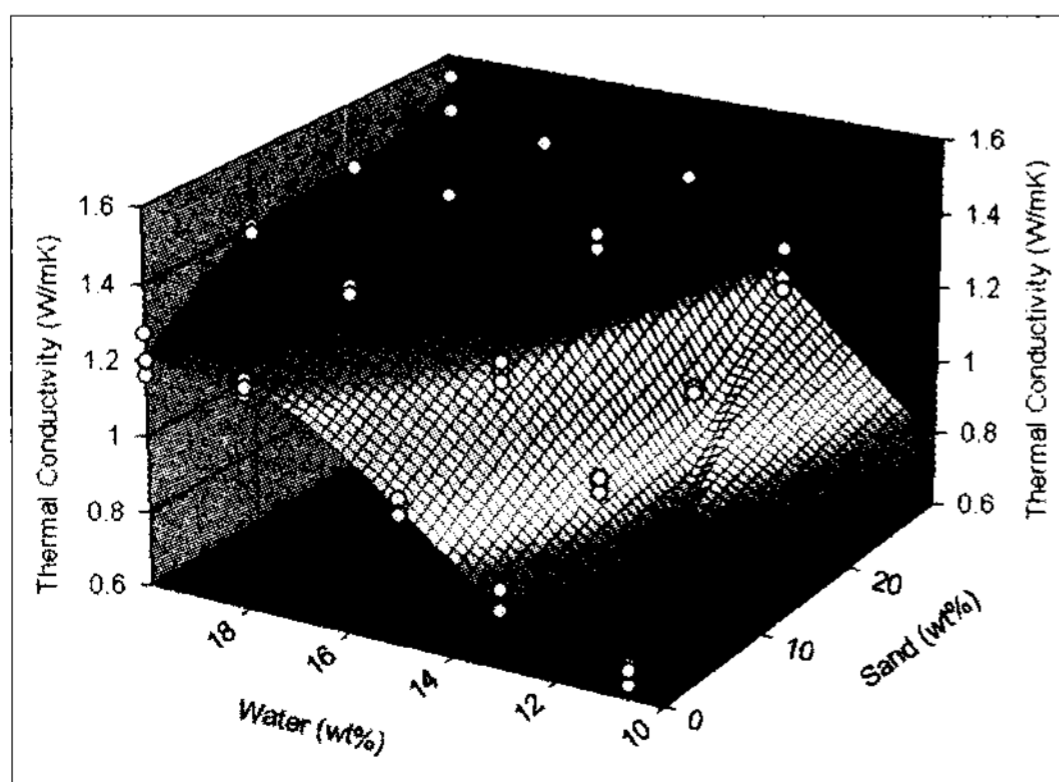


Fig. 10. Thermal conductivities of the bentonite-sand mixture with a dry density of 1.6 Mg/m<sup>3</sup>

림들에서 보는 바와 건조밀도와 모래 함량이 일정한 혼합물의 열전도도는 수분 함량에 대해 선형적인 증가 관계에 있다. 회귀분석법을 이용하여, 각 건조밀도와 모래 함량에서 열전도도와 수분함량 사이의 관계를 구하면, 다음과 같은 선형관계식으로 나타낼 수 있다.

$$k = 0.0672 \omega_w + 0.0763 \quad (\rho_d = 1.6 \text{ Mg/m}^3, \omega_s = 10 \text{ wt\%}) \quad r^2 = 0.94 \quad (6)$$

$$k = 0.0649 \omega_w + 0.1639 \quad (\rho_d = 1.6 \text{ Mg/m}^3, \omega_s = 20 \text{ wt\%}) \quad r^2 = 0.95 \quad (7)$$

$$k = 0.0496 \omega_w + 0.5160 \quad (\rho_d = 1.6 \text{ Mg/m}^3, \omega_s = 30 \text{ wt\%}) \quad r^2 = 0.93 \quad (8)$$

$$k = 0.0802 \omega_w - 0.0874 \quad (\rho_d = 1.8 \text{ Mg/m}^3, \omega_s = 10 \text{ wt\%}) \quad r^2 = 0.98 \quad (9)$$

$$k = 0.0861 \omega_w + 0.0335 \quad (\rho_d = 1.8 \text{ Mg/m}^3, \omega_s = 20 \text{ wt\%}) \quad r^2 = 0.96 \quad (10)$$

$$k = 0.1098 \omega_w - 0.1051 \quad (\rho_d = 1.8 \text{ Mg/m}^3, \omega_s = 30 \text{ wt\%}) \quad r^2 = 0.89 \quad (11)$$

여기서  $\omega_s$ 는 혼합물 중의 모래의 중량비(%)이다. 상기 관계식들을 이용한 각 건조밀도와 수분 함량에서의 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도 계산

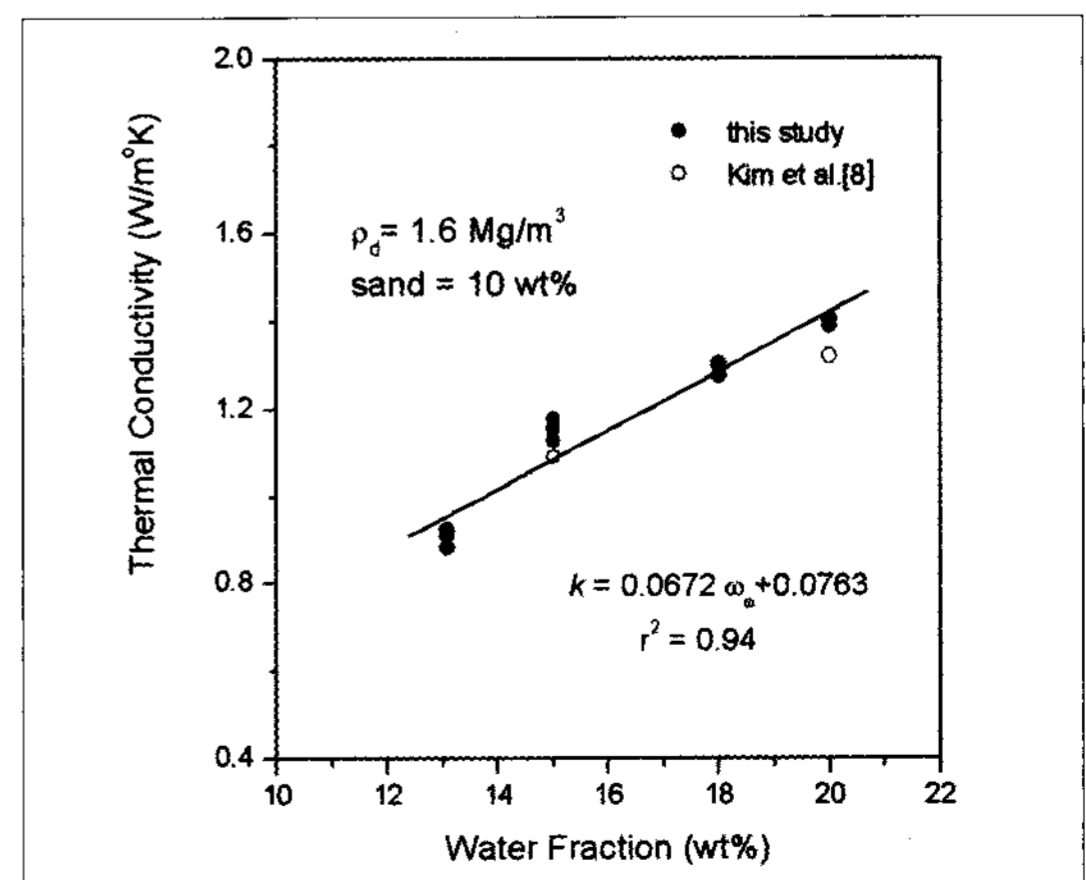


Fig. 11. Thermal conductivities of the bentonite-sand mixture with a dry density of 1.8 Mg/m<sup>3</sup>

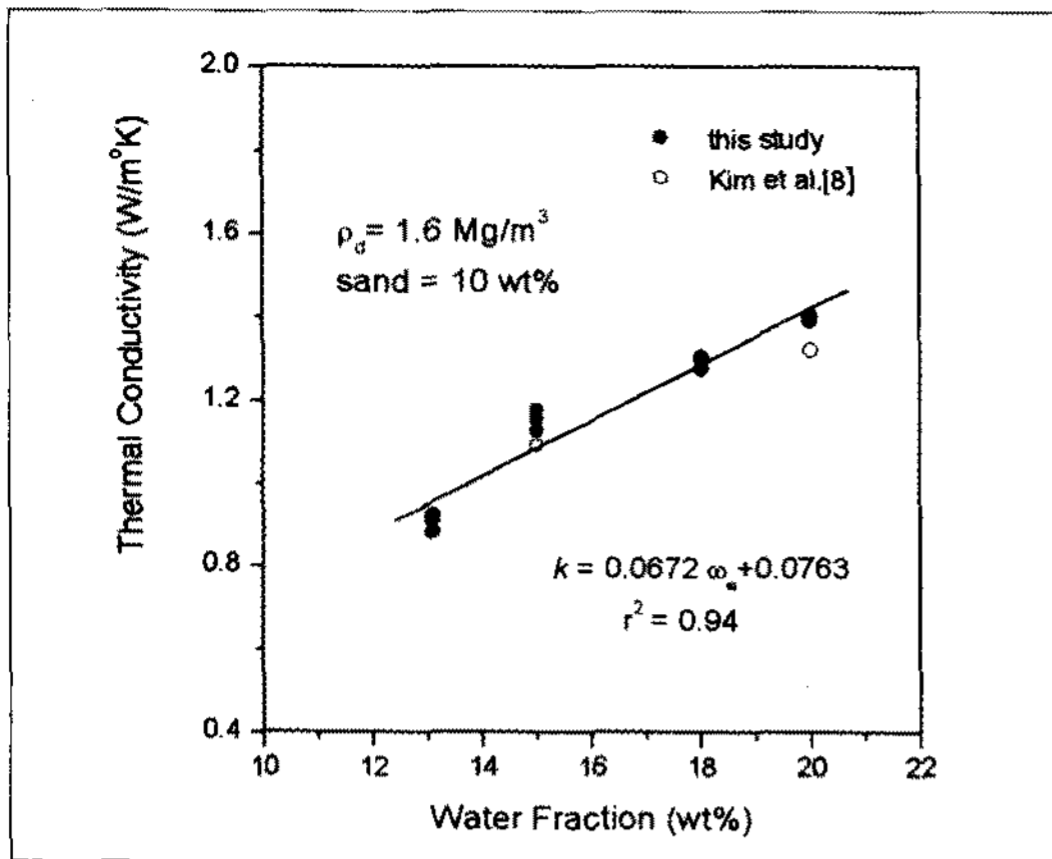


Fig. 12. Thermal conductivities of the bentonite-sand mixture (90:10) with a dry density of 1.6 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction

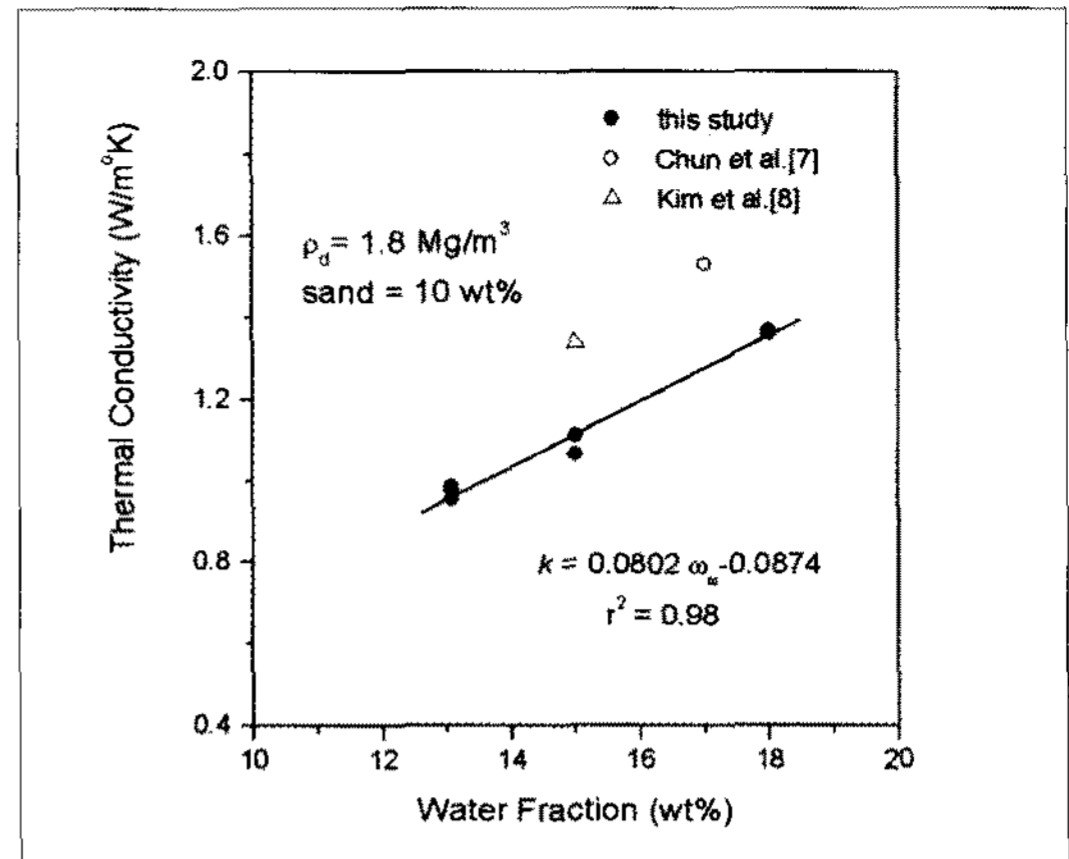


Fig. 15. Thermal conductivities of the bentonite-sand mixture (90:10) with a dry density of 1.8 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction

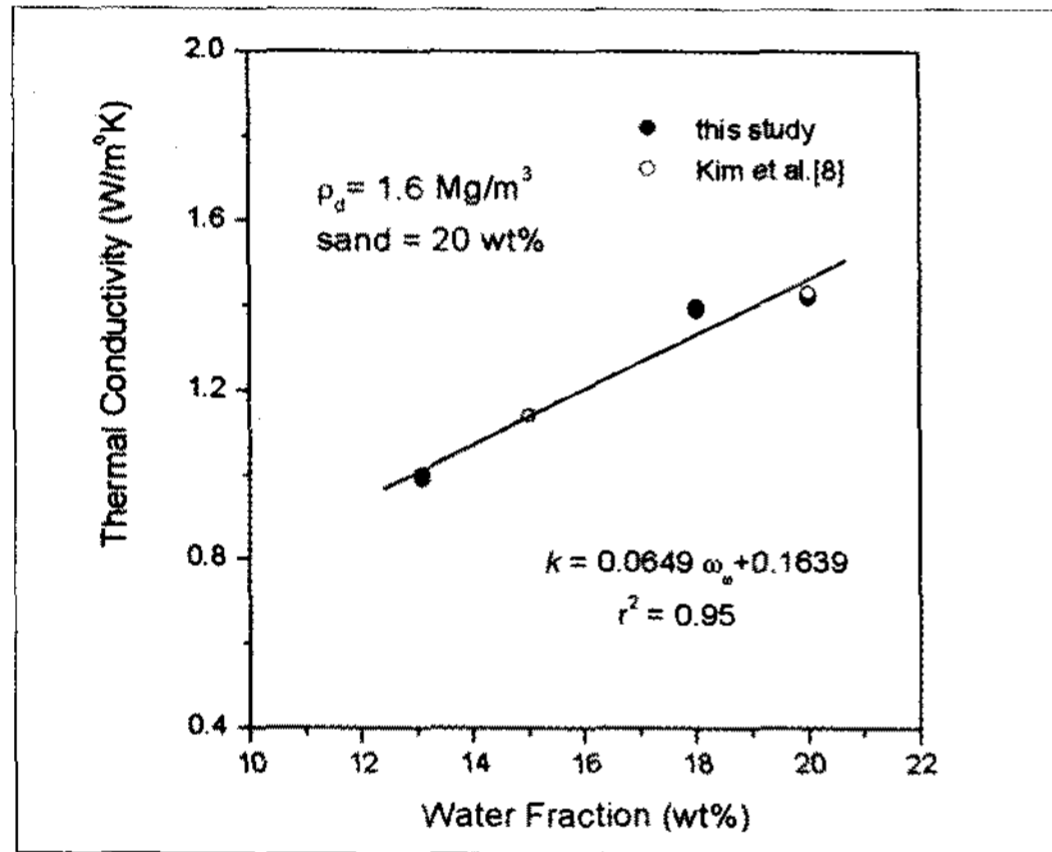


Fig. 13. Thermal conductivities of the bentonite-sand mixture (80:20) with a dry density of 1.6 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction

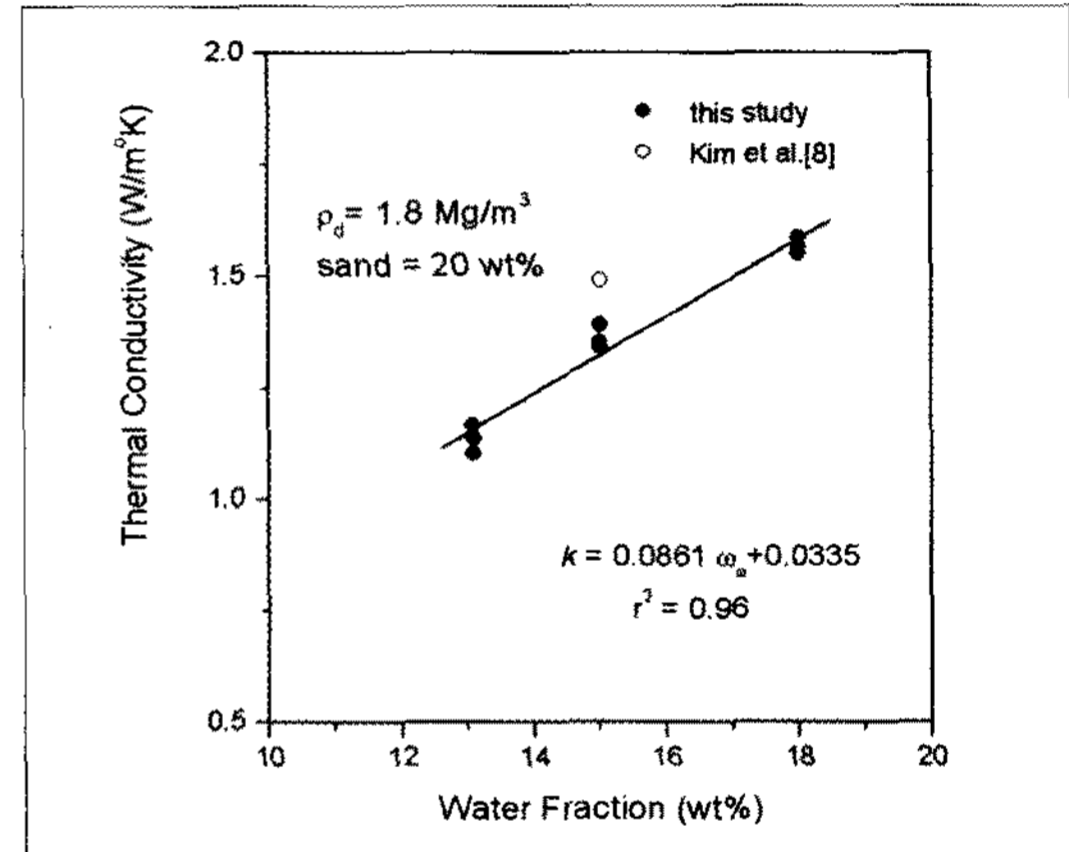


Fig. 16. Thermal conductivities of the bentonite-sand mixture (80:20) with a dry density of 1.8 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction

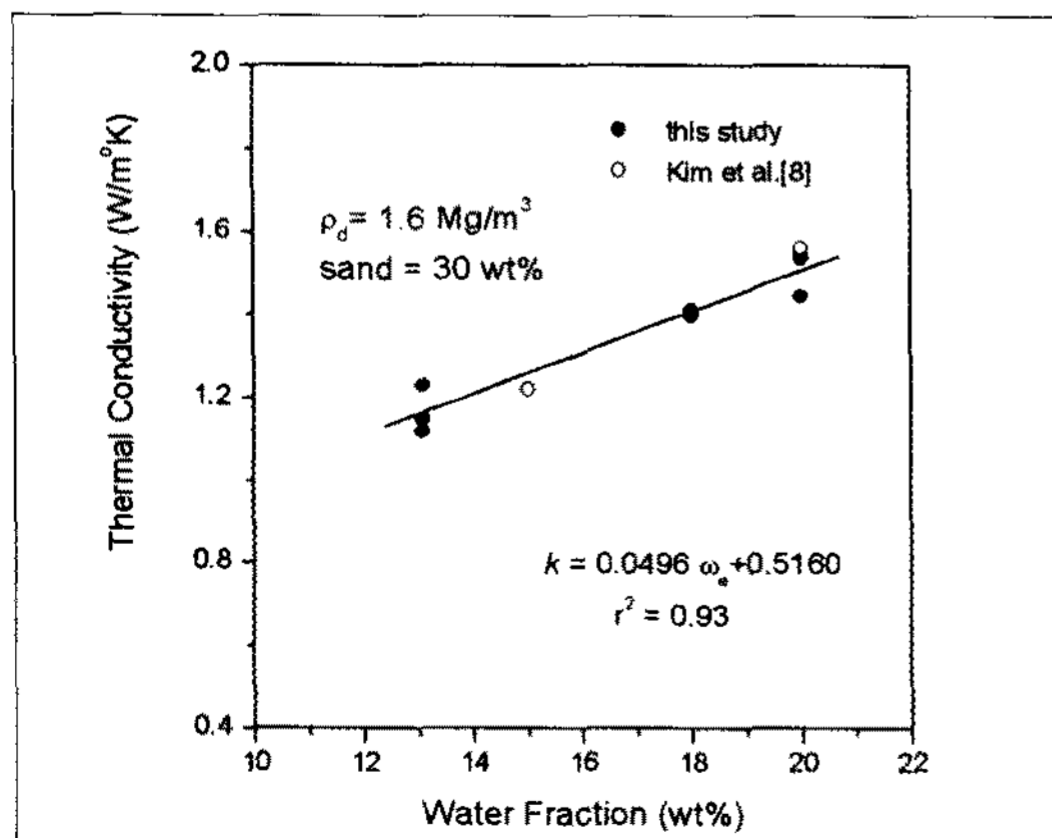


Fig. 14. Thermal conductivities of the bentonite-sand mixture (70:30) with a dry density of 1.6 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction

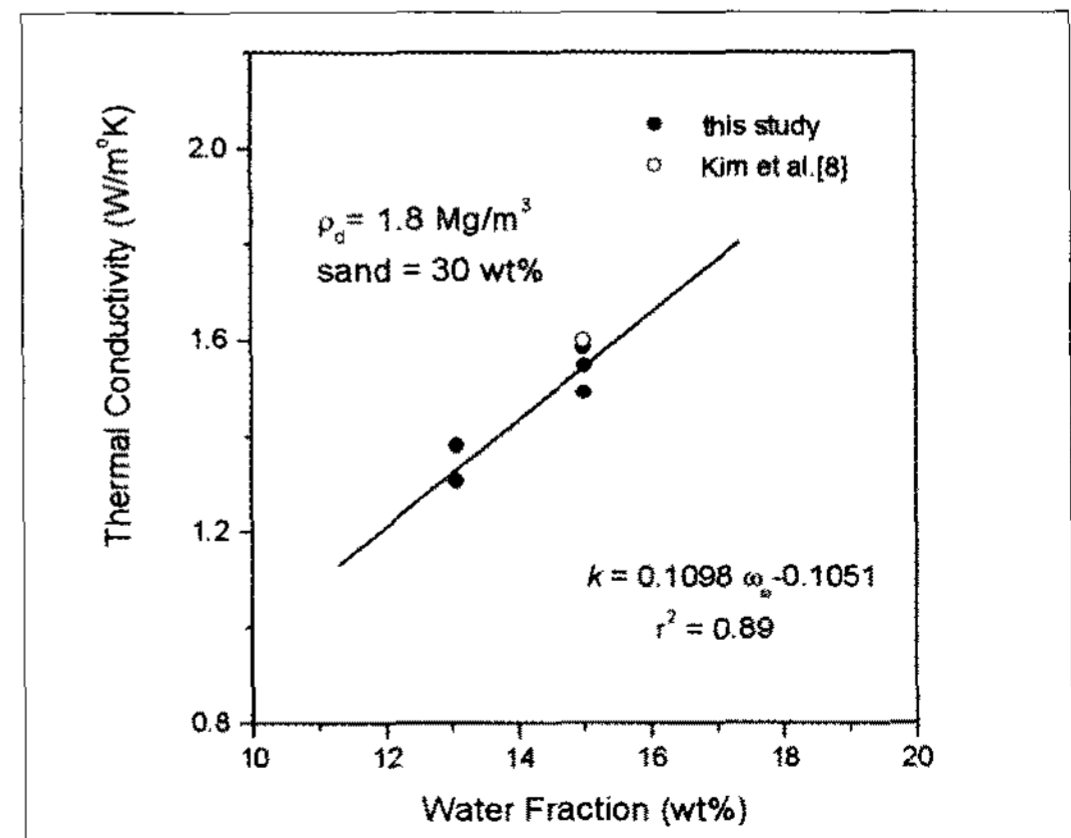


Fig. 17. Thermal conductivities of the bentonite-sand mixture (70:30) with a dry density of 1.8 Mg/m<sup>3</sup> as a function of the water fraction

결과와 실험에서 얻은 측정치의 비교를 그림 18에 나타내었다. 이 그림에서 볼 수 있는 바와 같이, 계산 값과 측정치의 차이는 10% 이하로 전체적으로 잘 일치하고 있다.

벤토나이트의 열전도도는 온도가 상승함에 따라 증가하는 경향이 있으나 그 정도는 크지 않으므로, 온도 상승의 폭이 작은 경우에는 열전도도에 미치는 온도의 영향은 적다. 고준위폐기물처분장 공학적방벽시스템 설계 시, 완충재의 온도를 100 °C 이하로 제한하고 있으며, 이러한 온도 제한조건 하에서는 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도가 온도에 그다지 영향을 받지 않는다[5]. 또 20~100 °C 범위에서, 건조밀도가 1.8 Mg/m<sup>3</sup>인 벤토나이트의 열전도도는 변화가 거의 없고, 건조밀도가 1.6 Mg/m<sup>3</sup>인 벤토나이트-모래 혼합물의 경우에는 수분 함량이 15 wt.%인 조건에서만 온도 증가에 따라 열전도도가 서서히 감소하였으나 그 정도는 크지 않았다고 보고되었다[6]. 따라서 위 식 (1)~(11)에 의해 계산된 압축벤토나이트와 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도는 10% 오차 범위 내에서 완충재의 열-수리-역학적 거동해석 및 설계에 필요한 입력 자료로 사용될 수 있을 것이다.

벤토나이트의 주성분인 몬몰리로나이트는 판이

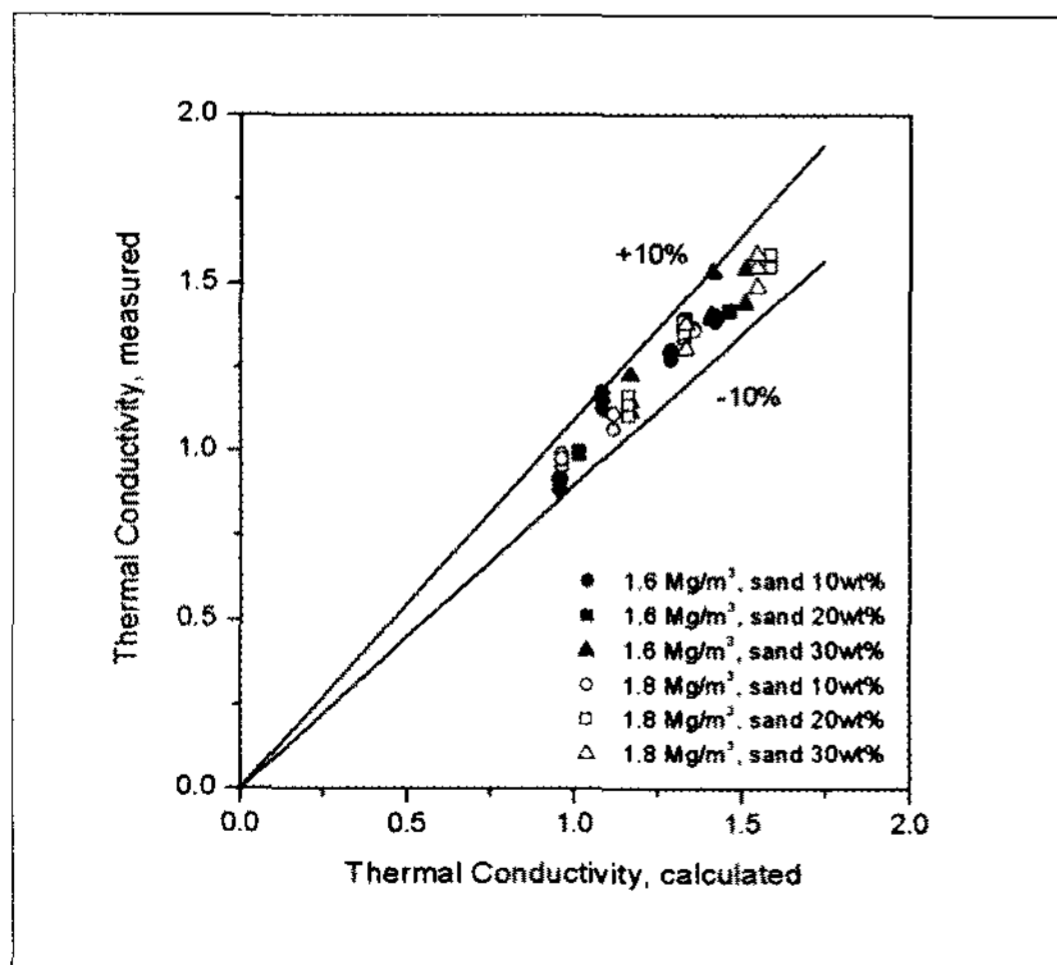


Fig. 18. Comparison between the calculated thermal conductivities and the measured data for the bentonite-sand mixture

쌓여있는 구조를 갖고 있으며, 판 사이에는 공극이 존재한다. 벤토나이트를 일축 압축할 경우, 힘이 가해지는 축 방향에 수직으로 판들이 배열되어, 압축 벤토나이트 블록의 종 방향과 횡 방향 미세구조가 달라져, 이 미세구조의 이방성(anisotropy)이 압축 벤토나이트의 물성에 영향을 미칠 가능성이 제기되었다[12]. 이러한 압축벤토나이트 미세구조의 이방성이 열전도도에 미치는 영향을 조사하기 위해, 건조밀도 1.6 Mg/m<sup>3</sup> 및 1.8 Mg/m<sup>3</sup>인 압축벤토나이트 시편의 열전도도를 두 방향에 대해 측정하였다. 즉 한 방향은 압축방향에 수직면(축방향)에 대해 측정하고, 다른 방향으로 압축방향과 평행면(횡 방향)에 대해 열전도도를 측정하였으며, 그 결과를 그림 19에 나타내었다. 이 그림에서 보는 바와 같이, 수분 함량 13 wt%에서는 두 방향에서 측정한 값이 잘 일치하고 있으며, 수분함량 20 wt%에서는 두 값 사이에 약간의 차이가 있었으나, 이 차이도 벤토나이트의 건조밀도가 증가할수록 감소하였다. 이것은 압축밀도가 높아질수록 벤토나이트 입자들 사이의 공간이 감소하고, 입자들이 서로 밀착하게 되어 압축방향에 따른 벤토나이트 미세구조의 차이가 줄어들기 때문으로 추정된다. 따라서 고준위폐기물 처분장 완충재로 사용되는 고밀도 벤토나이트 블록에서는 미세구조의 이방성에 의한 영향은 중요하지

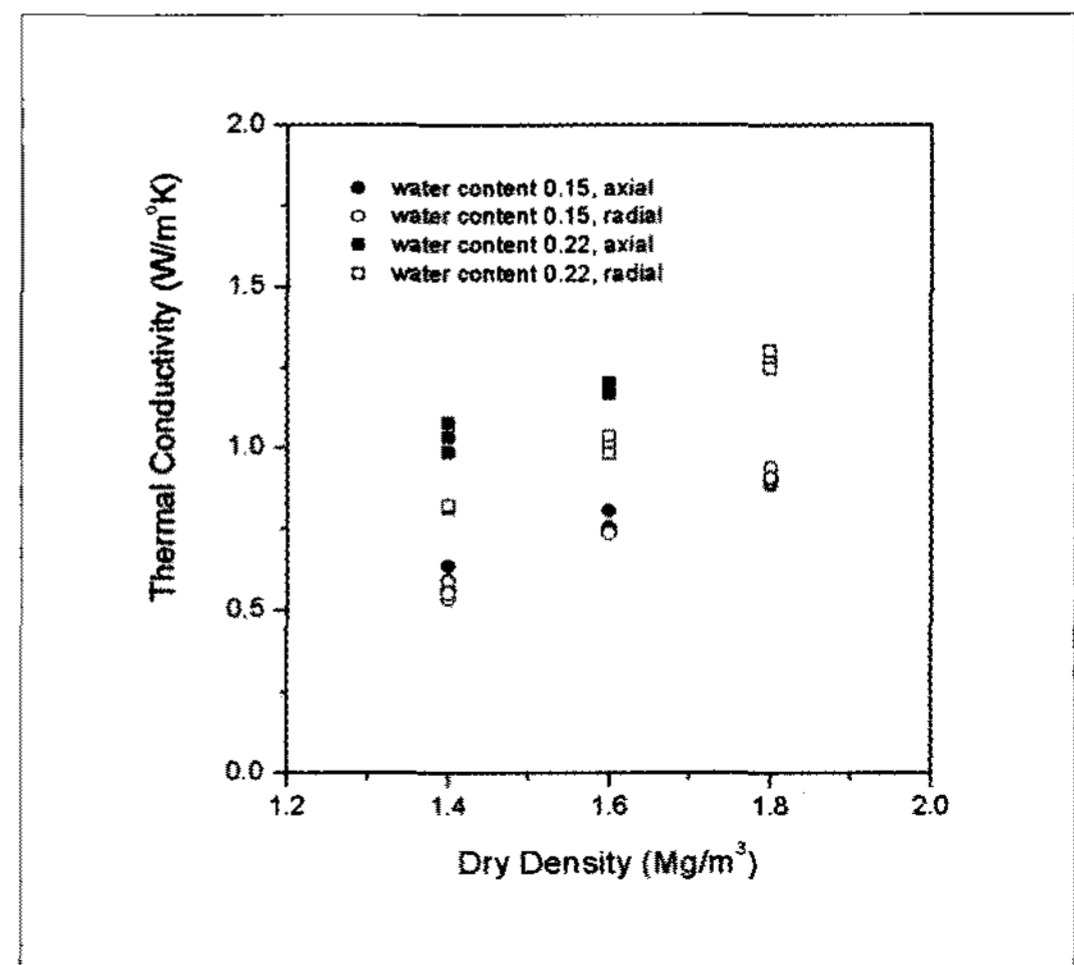


Fig. 19. Comparison between the thermal conductivities of compacted bentonite measured in the axial and the radial directions



않은 것으로 판단된다.

#### IV. 결론

고준위폐기물 처분장 공학적방벽의 주요 구성요소인 완충재 재료로 사용되는 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도가 측정되었다. 압축 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 열전도도는 수분함량이 일정할 때, 건조밀도가 증가할수록, 또 모래 함량이 커질수록 증가하였다. 건조밀도가 일정할 경우에는 수분함량의 증가에 따라 선형적으로 증가하였다. 이 연구에서 얻어진 결과는 한국형처분시스템의 설계, 공학적방벽시스템의 열-수리-역학적 거동 해석을 위한 입력 자료로 사용될 수 있으며, 완충재 성능 개선을 위한 기초 자료로도 활용될 수 있다. 향후 뒷채움재로 사용될 가능성이 있는 모래 함량이 높은 벤토나이트-모래 혼합물과 벤토나이트-분쇄암석 혼합물의 열전도 특성에 관한 연구가 필요하며, 완충재의 열전도 성능을 향상시키기 위한 방안도 연구되어야 할 것이다.

#### 감사의 글

본 연구는 과학기술부에서 주관하는 원자력 중장기계획사업의 일환으로 수행되었다.

#### 참고문헌

[1] 강철형 외, "고준위폐기물처분기술개발-심지층 처분시스템개발, 최종보고서, KAERI/ RR-2336/2002, 한국원자력연구소 (2003).

[2] G.R. Simmons and P. Baumgartner, "The disposal of Canada's nuclear fuel waste: engineering for a disposal facility," Atomic Energy of Canada Limited Report, AECL-10715, COG-93-5 (1994).

[3] S. Knutsson, "On the thermal conductivity and thermal diffusivity of highly compacted bentonite," SKB Technical Report 83-72

(1983).

[4] L. Borgesson, A. Fredrikson, and L.-E. Johannesson, "Heat conductivity of buffer materials," SKB Technical Report 94-29 (1994).

[5] H. S. Radhakrishna, "Thermal properties of clay-based buffer materials for a nuclear fuel waste disposal vault," Atomic Energy of Canada Limited Report, AECL-7805 (1984).

[6] JNC, "H12 Project to establish technical basis for HLW disposal in Japan," Supporting Report 2, Japan Nuclear Cycle Development Institute, Japan (1999).

[7] 전관식, 조원진, 이재완, 김승수, 강문자, "고준위폐기물처분기술개발-공학적방벽개발," KAERI/RR-1897/98. 최종보고서, 한국원자력연구소 (1999).

[8] 김건영, 김승수, 최종원, 박성원, 배대석, "완충재의 물리적 성능 향상을 위한 국내 벤토나이트의 열전도도 측정 실험," 한국광물학회지, 19, 89-98 (2006).

[9] 조원진, 이재완, 강철형, "고준위폐기물처분장 공학적방벽의 성능평가를 위한 압축벤토나이트의 열적 및 역학적 특성 자료 수집 및 평가," 기술보고서, KAERI/TR-1826/2001, 한국원자력연구소 (2001).

[10] 조원진, 이재완, 강철형, 전관식, "고준위폐기물처분장 완충재용 국산 벤토나이트 및 벤토나이트-모래 혼합물의 물리화학적, 광물학적 및 역학적특성," 기술보고서, KAERI/TR-1388/99, 한국원자력연구소 (1999).

[11] American Society for Testing and Materials, Annual Book of ASTM Standards. Vol. 04.08 (1991).

[12] R. Pusch, "Microstructural evolution of buffers," Engineering Geology, 5, 33-41 (1999).