

저회 퇴메움재의 열저항 특성

Thermal Resistance Characteristics of the Backfill Material with Bottom Ash

정혁상¹⁾ · 조삼덕²⁾ · 김주형²⁾ · 박종식³⁾ · 공진영[†]

Hyuksang Jung · Sam-Deok Cho · Ju-Hyong Kim · Jongsik Park · Jin-Young Kong

Received: March 22nd, 2016; Revised: April 11th, 2016; Accepted: April 28th, 2016

ABSTRACT : This paper deals with the result of thermal resistance test with backfill materials as bottom ash by using backfill material. Bottom ash, one of coal ashes, can be reused to replace sand because of its similar engineering properties. But without considering the thermal property, the abuse of bottom ash resulted in damage for existing structures. To investigate the thermal conductivity of bottom ash, laboratory tests for thermal resistance of that were carried out in this study. Thermal properties of bottom ash was compared with those of in-situ soil, sand, backfill material which can be applied as filling material. The tests were classified by water contents defined as the major influence factor. The beneficial use method of bottom ash was suggested as backfilling material.

Keywords : Coal ash, Bottom ash, Thermal resistance, Thermal conductivity

요지 : 본 논문은 화력발전소 부산물인 저회를 뒤채움재로 활용하고자 열저항 특성에 대한 연구내용을 다루었다. 석탄회의 일종인 저회는 공학적 특성이 모래와 유사하여 모래 대체재로 사용 가능하다. 그러나 열적 특성을 무시한 무분별한 적용은 오히려 기존 구조물에 악영향을 미칠 수 있기 때문에 이에 대한 신중한 선택이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 저회의 열전도도를 확인하기 위해 실내시험을 실시하였으며, 뒤채움재로 활용될 수 있는 현장유용토, 성토재료, 모래 등과 열저항 특성에 대하여 비교·분석하였다. 또한, 이들 재료들의 열저항 특성이 함수비에 따라 큰 영향을 미칠 수 있어 이에 대해 분석을 실시하였고 저회가 뒤채움재로 유효 활용될 수 있도록 방안을 제시하였다.

주요어 : 석탄회, 저회, 열저항, 열전도율

1. 서론

현재의 도심지 지반은 도시철도, 도로, 지하건축물 등의 지하구조물과 전력, 통신, 상·하수도, 가스 등의 라이프라인들이 복잡하게 얽혀 있어 지하구조물의 건설과 운영과정에 크고 작은 문제를 일으키고 있다. 최근 우리나라에서 발생한 도심지의 도로함몰과 동공으로 인한 도로의 침하하는 이와 무관하지 않으며 국민의 안전을 저해 받고 있어 심각한 사회적 문제로 대두되고 있다. 서울시의 경우 지반침하로 인해 발생한 도로함몰은 하수관 손상(80%), 상수관 누수(2%), 굴착복구 공사 미흡(18%) 등의 원인으로 조사되었으며 특히 우기철은 봄과 여름에 약 66%가 발생하는 것으로 조사되었다(Seoul Metropolitan Government, 2016). 이렇듯 상·하수도 관로의 누수와 우기철 지하수의 변화는 지반 내에 존재하는 토사의 유실로 기인된 것으로 나타났으며, 유실을

방지할 수 있는 관로 뒤채움재가 지반함몰을 방지하는 중요한 고려사항이다.

퇴메움이란 일반적으로 토목구조물을 시공하면서 지반을 굴착하고 다시 메우는 행위를 말한다. 그러나 구조물을 기준으로 배면을 메우는 경우 즉, 교대 접속부를 채우거나 옹벽의 배면을 채우는 것을 일반적으로 뒤채움이라 하며 구조물을 기준으로 상·하면을 메우는 경우 즉, 트렌치 등을 메우는 경우는 퇴메움이라는 표현을 쓰고 있는데 포괄적으로 같은 의미로 혼용해 사용하기도 한다.

지금까지 퇴메움을 할 경우 대부분 현장에서 발생하는 현장유용토를 사용하였다. 굴착을 한 후 발생한 흙을 다시 현장 외 지역으로 옮기는 것 또한 비용이 발생하므로 현장에서 발생한 흙을 다시 사용할 수밖에 없는 실정이었다. 발생된 흙이 퇴메움재로 사용하기에 부적합한 유기질토, 동토, 빙설, 초목, 다량의 부식물을 포함한 흙, 이암과 셰일 같은

1) Department of Railroad and Civil Engineering, Dongyang University

2) Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology

3) Daewoo Shipbuilding & Marine Engineering R&D Institute (DSME)

† Geotechnical Engineering Research Division, Korea Institute of Civil Engineering and Building Technology (Corresponding Author : kgy2013@kict.re.kr)

팽창성 재료 등이 사용될 경우 문제가 야기될 수 있다. 이러한 문제들은 시공 직후 바로 나타나는 것이 아니라 시간이 경과하여 유기물이 부식되거나 팽창성 재료에 의한 수축과 팽창으로 인한 지반의 연화, 지하수의 유입 등으로 인한 미립자의 유출 등 복합적인 문제로 드러나는 경우가 대부분이다.

또한, 지반침하의 문제는 앞서 언급한 채움 혹은 되메움 재료뿐만 아니라 시공관리에 의해서도 나타나게 되는데, 특히 현장 여건상 되메움재의 다짐 여건이 충분하지 못한 개소에 대하여 다짐 불량으로 인해 문제점들이 발생하기도 한다.

석탄회가 발전소의 산업부산물로서 재료의 수급이 경제적이어서 공급에 있어서 대량의 물량이 확보되어 있고, 석탄회 중 저회(Bottom ash)는 공학적으로 기준에 되메움재로 활용되는 모래의 성질과 유사한 장점을 지니고 있어 많이 사용하고 있다.

지역의 냉·난방 배관, 지역난방의 열배관, 지중송전관로 등에 사용되는 되메움재는 열 특성을 고려해야 하는 특징을 가지고 있다. 지역난방에 사용되는 열배관의 경우 열원으로부터 안정된 열수를 공급하고 회수하여 다시 재공급해야 하는 차원에서 보온력이 열배관의 중요한 요소임에 틀림없다. 열수의 보온력을 증대시키기 위해 배관의 보온두께를 증대시키거나 이중보온관 등을 사용하는 등 막대한 예산을 사용하고 있다.

또한, 지중송전관로 공사는 송전 시 발생하는 케이블에서 최대허용온도를 넘지 않는 것이 중요하다. 되메움재도 열 방출에 효과적이지 못한 재료를 사용하였을 경우 열폭주로 인한 케이블의 절연파괴를 일으킬 수 있어 되메움재에 대한 열저항률을 되메움재의 엄격한 기준으로 관리하고 있다 (Oh & Kim, 2010; Yoshinari et al., 2007).

따라서 본 논문에서는 되메움재로 사용하는 저회의 열저항 특성에 대하여 연구하였다. 연구방법으로는 자연 토사인 현장유용토, 되메움에 주로 사용하는 성토재료, 모래, 석탄회 중에서 저회에 대한 열저항률을 분석하였고 석탄회(저회)의 열저항 특성을 효과적으로 활용할 수 있도록 유효 활용에 대해서 언급하였다.

2. 이론적 배경

2.1 열저항 정의 및 영향 인자

열저항이란 단위길이인 정육면체 내부를 통해 1 Watt의 열이 흐르면 정육면체에 1°C의 온도상승을 일으키는 토사의 열특성을 나타내는 것으로써 토사가 열원으로부터 받은

열을 얼마나 쉽게 외부로 전달할 수 있는가를 의미하며 단위는 열저항률($m \cdot K/W$ 또는 $m \cdot ^\circ C/W$)로 표시한다. 또한, 일반적으로 열전도도($W/m \cdot K$)는 열저항의 역수를 의미한다.

흙의 열저항은 크게 흙의 광물 구성, 함수비, 밀도, 입도 분포 및 입자의 크기와 형상, 온도에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다(Lee et al., 2012a; Lee et al., 2009). Table 1에 나타내었듯이 동일 조건일 때 석영이 많이 포함된 모래는 운모의 비율이 많이 포함된 흙에 비해서 더 낮은 열저항을 보이며, 밀도 건조단위중량이 높은 토양일수록 입자의 접촉면이 증가하고 입자 간의 공극도 조밀하여 열저항은 감소하는 경향을 보이는 것으로 알려져 있다(IEEE Std. 442, 1981). 더욱이 무엇보다 중요한 열저항 인자 중에 하나는 흙의 함수비이다. 흙 입자에 붙은 수분에 의해 형성된 얇은 수막 층은 흙 입자들 간의 접촉면을 증가시키고 공극을 감소시키므로 열저항을 감소시키는 역할을 한다. 흙 입자의 입자 크기와 형상, 이를 통한 입도의 분포는 단위중량과 높은 상관 관계를 가지고 있으며 높은 단위중량에서 열의 전도가 유리하게 된다. 온도의 경우 흙의 모든 결정형 광물들은 온도가 증가하면 열저항이 증가하며, 물의 열저항은 온도가 증가하면 약간 감소하는 반면 포화된 간극의 공기의 열저항은 상당히 많이 감소하는 경향을 나타낸다. 참고적으로 공기의 열저항률은 약 $40m \cdot K/W$ 로서 상당히 높아 다공질의 흙 입자를 가지는 토양의 경우 열전도도가 낮은 것으로 알려져 있다.

2.2 열저항 측정 방법

열저항 측정 방법은 직접법과 간접법으로 나눌 수 있다. 직접법의 경우 열원에서 방출한 열이 시료를 거쳐 토사 내에서 온도 차가 발생하게 되는데 이를 측정하는 방법이며, 간접법의 경우 Kersten(1949) 등이 제안한 토사의 건조밀도, 수분함량, 구성비율에 대한 토사의 모델을 가정한 방법이다.

Fig. 1(a)는 비정상 열선법(Transient hot wire method)의 열전도도 측정원리를 보여주고 있는데 열량이 공급될 때, 시

Table 1. The thermal resistivity by soil materials (IEEE Std. 442, 1981)

Soil material	Thermal resistance ($m \cdot K/W$)
Quartz grains	0.11
Granite grains	0.26
Limestone grains	0.45
Sandstone grains	0.58
Mica grains	1.70
Water	1.65
Organic	4.0 (Wet)~7.0 (Dry)
Air	40

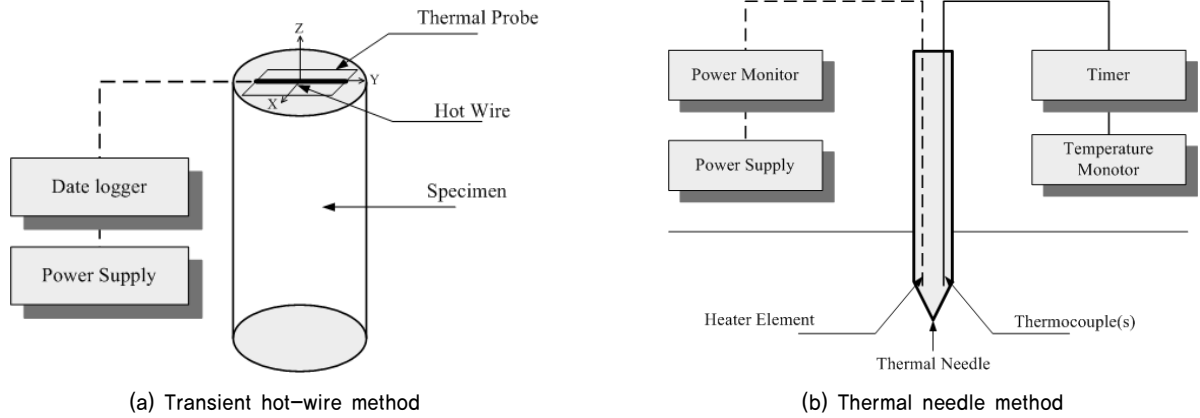


Fig. 1. Thermal resistance measurements method

Table 2. Correction factors for cables in buried direct in the ground or in buried ducts for soil thermal resistivities other than 2.5 m·K/W

Thermal resistance (m·K/W)	0.5	0.7	1.0	1.5	2	2.5	3.0
Correction factor of buried cables in the duct	1.28	1.20	1.18	1.1	1.05	1	0.96
Correction factor of buried cables	1.88	1.62	1.5	1.28	1.12	1	0.90

간에 따라 열선의 온도가 상승하게 되며 온도와 시간의 관계가 직선 형태로 나타나고 이때 직선의 기울기의 역수를 계산하여 대상시료의 열저항을 측정하게 된다. 열저항이 낮은 시료(매질)에서는 열선에서 발생한 열이 매질 내로 비교적 빠르게 전달되기 때문에 열선의 온도 상승 폭이 작은 반면, 열저항이 높은 매질에서는 열선에서 발생하는 열이 매질로 전달이 지연되기 때문에 열선의 온도 상승 폭이 커지게 된다. Fig. 1(b)의 경우 IEEE Std. 442(1981)에 제시된 프로브 방식의 열저항 측정장비의 개념도를 보여주고 있다. 본 방식은 비정상 탐침법이라고도 하며 이는 시료에 삽입된 탐침에 열량을 일정하게 공급할 때 직선으로 나타나는 시간대 열선의 온도상승 관계에서 직선의 기울기와 공급 열량 등을 이용하여 열전도도(열저항)를 구하는 방법이다.

2.3 되메움 재료에 대한 열특성 기준

지중송전관로 시공 시 금속 외장이 없는 케이블에 대한 되메움재의 열저항은 Table 2의 열저항률을 적용하고 있으며 실제의 토양 열저항치가 Table 2의 열저항률과 다를 경우 이에 대한 보정을 실시하도록 되어 있고 보정 시 매설덕트 내에 케이블을 설치하는 경우와 직접 케이블을 매설하는 경우로 나누어 보정하도록 되어 있으며 이때의 보정계수는 Table 2와 같다(IEEE Std. 525, 2007; Lee et al., 2012b).

해외 각국의 경우 지중송전관로 시공 시 토양의 열저항에 관한 대표적인 조건은 Table 3과 같다. 각국의 토양의 열저항률은 매설 깊이 0.5m~1.2m의 범위에서 열저항률이 0.85~1.2m·K/W의 범위에서 관리하는 것으로 조사되었다.

Table 3. Representative conditions for various countries (IEC, 1999)

	Thermal resistance (m·K/W)	Burial depth (m)
Canada	1.2	0.9
France	1.2	-
Germany	1.0	0.7
Japan	1.0	1.2
United Kingdom	1.2	0.5
United states of America	0.9	0.9

3. 열저항 평가 방법

3.1 시험개요 및 방법

석탄회 중에서 모래의 대체재, 경량 골재 등의 되메움재로 사용되고 있는 저회의 열저항 특성을 파악해보기 위한 실내시험을 수행하였다. 또한, 일반적으로 되메움재로 사용되고 있는 현장유용토와 성토재료, 모래 등도 시험에 포함하여 비교군으로 비교·분석을 실시하였다. 이들 재료의 열특성은 다짐특성인 함수비와 건조단위중량에 따라 열저항 특성이 변화하므로 이를 분석하였다. 이들 재료가 지중에 존재할 때 재료의 함수 특성을 비교하였으며 지중조건에서 함수비가 열저항에 미치는 영향을 분석하였다. Fig. 2(a)는 시험 준비 전경을 보여주고 있다.

Fig. 2(b)는 시험에 사용된 열저항 측정장비를 보여주고 있으며 열저항 측정장비는 비정상열선법을 기반으로 하는 Kyoto Electronic사의 QTM-500을 사용하였다. 박스형 프로브(PD-13)의 규격은 95×40mm로 시료와 직접 접촉시켜 열



(a) Thermal resistance test



(b) Thermal resistance measuring equipment

Fig. 2. Thermal resistance test and measuring equipment

전도율을 측정하고 이를 다시 열저항으로 환산하였다. 열전도율의 측정범위는 0.023~11.63W/m·K이며 측정시간은 60초이고 센서 열전대히터는 콘스탄탄소재로 이루어져 있다. 열전도율은 Eq. (1)과 같은 산정식에 의해 결정된다.

$$\lambda = \frac{q \cdot \ln(t_2 - t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} \quad (1)$$

- 여기서, λ : 열전도도 [W/m·K]
- q : 단위길이당 발생된 열 [W/m]
- t_1, t_2 : 측정시간 [sec]
- T_1, T_2 : t_1, t_2 시간에서의 온도 [K]

3.2 되메움재의 기본적 성질

시험에 사용된 현장유용토, 모래, 성토재료, 저회 등 4가지 시료에 대한 체분석 시험 결과는 Fig. 3 및 Table 4와 같다. 체분석 결과 통일분류법에 의한 분류 시 현장유용토는 입도가 양호한 모래(SW)로 분류되었으며 모래, 성토재료, 저회는 입도가 불량한 모래(SP)로 분류되었다.

시료의 다짐성능을 평가하기 위해 실시한 다짐시험 결과는 Fig. 4와 같다. 현장유용토의 건조단위중량과 최적 함수비는 각각 18.0kN/m³와 14.0%로 나타났으며, 성토재료도 현장유용토와 비슷하게 19.0kN/m³와 11.8%로 나타났다. 그러나 모래의 경우 현장유용토와 성토재료보다 낮은 건조단위중량을 보였다. 저회의 경우 9.2kN/m³ 낮은 건조단위중량

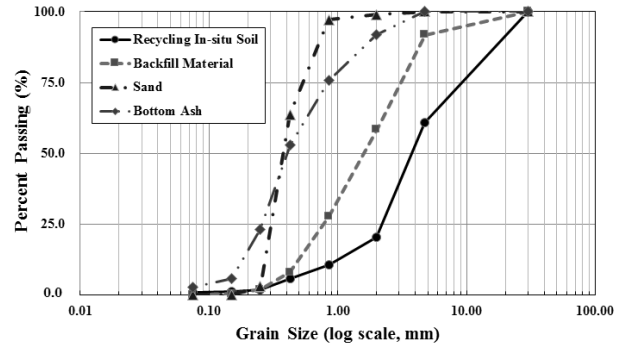


Fig. 3. Result of sieve analysis test

을 보였으며 최적 함수비는 18.0%의 높은 최적 함수비를 보이는 것으로 나타났다. 또한, 변곡점이 2개의 양상을 보였으며 대부분 입도가 불량한 모래의 다짐곡선의 경향을 보였고 낮은 함수비 구간에서는 함수비가 증가하여도 건조단위중량이 감소하는 벌킹 현상이 발생하는 것으로 나타났다. 이러한 현상은 흙 입자에 존재하는 간극수의 모관장력이 흙 입자의 미끄러짐을 방해하여 오히려 부피가 증가하는 것으로 분석된다.

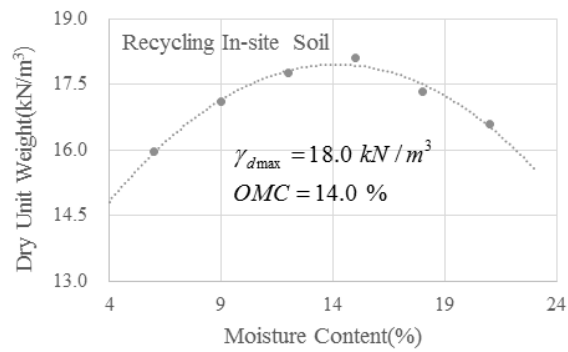
4. 시험 결과

4.1 열저항 특성

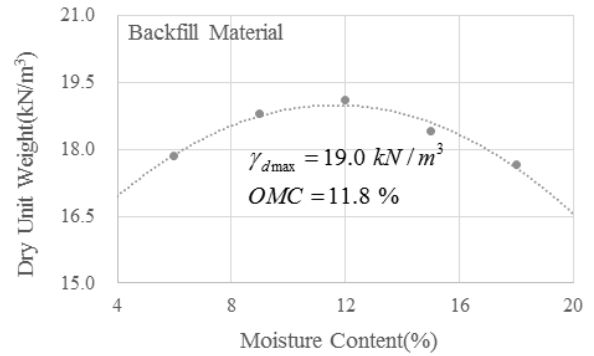
현장유용토, 성토재료, 모래, 저회에 대한 다짐시험을 실

Table 4. Result of sieve analysis test

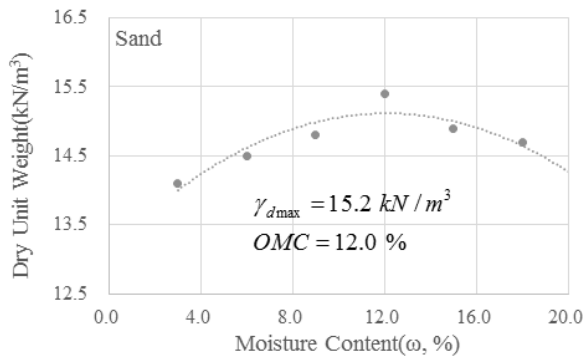
	Effective size (mm)	Uniformity coefficient	Coefficient of curvature	USCS
Recycling in-situ soil	0.76	6.18	3.18	SW
Backfill material	0.50	4.40	0.74	SP
Sand	0.25	1.56	0.92	SP
Bottom ash	0.20	2.40	1.07	SP



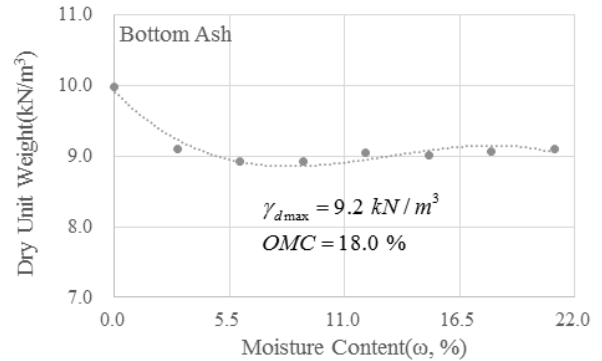
(a) Recycling in-situ soil



(b) Backfill material



(c) Sand



(d) Bottom ash

Fig. 4. Compaction test result for four materials

Table 5. Thermal resistance value of various backfill materials

	Recycling in-situ soil		Backfill material		Sand		Bottom ash	
	D.U.W.* (g/cm³)	T.R. (m·K/W)	D.U.W. (g/cm³)	T.R. (m·K/W)	D.U.W. (g/cm³)	T.R. (m·K/W)	D.U.W. (g/cm³)	T.R. (m·K/W)
Min.	1.52	0.43	1.73	0.54	1.38	0.60	0.89	2.22
Max.	1.81	1.17	1.91	1.22	1.54	1.32	1.00	5.81
Avg.	1.67	0.74	1.80	0.78	1.45	0.89	0.91	3.52

*D.U.W. : Dry Unit Weight

시하였고 각각의 시료에 대하여 함수비와 건조단위중량을 측정하였으며, 건조단위중량별 열저항률을 측정한 결과를 Table 5에 나타내었다. 최대건조단위중량 부분에서는 성토재료와 현장유용토가 각각 1.91g/cm³, 1.81g/cm³로 나타났으며 다음으로는 모래가 1.54g/cm³로 나타났다. 저회는 가장 낮은 최대건조단위중량을 보였으며 약 1.0g/cm³인 것으로 나타났다. 저회를 제외한 모든 퇴매음 재료에서는 평균 열저항률(T.R. : Thermal Resistance)이 1m·K/W 이하의 낮은 열저항률을 보였으며, 최대치가 1m·K/W를 상회하나 1.32m·K/W를 넘지 않는 범위에 있는 것으로 확인되었다. 이는 동일 함수상태에서 퇴매음 재료의 종류에 따라 열저항 특성이 다를 수 있음을 의미하고 저회와 같이 건조단위중량이 낮은 재료일수록 열저항률이 높은 것으로 나타났다.

4.2 함수비에 따른 열저항 특성

현장유용토, 성토재료, 모래, 저회의 함수비에 따른 열저항률을 살펴본 결과 건조한 상태에서 각각의 퇴매음 재료들은 1m·K/W의 범위에 있는 것으로 나타났으나, 저회의 경우 건조 상태에서도 5.81m·K/W의 높은 열저항률을 보이는 것으로 나타났다. 모든 퇴매음 재료에 있어서 함수비가 증가함에 따라 열저항률도 감소하는 것으로 나타났고 현장유용토, 성토재료, 모래의 경우 대략 함수비 6~9% 범위에서 1m·K/W 이하의 열저항률을 보이는 것으로 나타났다. 저회의 경우 현장유용토, 성토재료, 모래와는 다르게 함수비의 증가에 따라 급격한 열저항률 감소현상이 발생하는 것으로 나타났다. 위 결과들을 종합해 볼 때 일반적으로 사용하고 있는 퇴매음 재료(현장유용토, 성토재료, 모래)의 경우 함수비의 증가에 따라 열저항률의 감소현상이 발생하였으나 그

폭은 작은 것으로 나타났고 저회의 경우 함수비의 증가에 따라 열저항률의 감소현상이 발생하였으나 9% 이하의 낮은 함수비에서 감소폭이 두드러지는 것으로 나타났다.

네 가지 되메움 재료는 함수비가 증가함에 따라 열저항률이 감소하는 현상은 동일하나 그 크기나 경향에 있어서 많은 차이를 보이고 있어 되메움 재료로 사용할 경우 그 목적에 따라 다르게 적용할 필요가 있다. 현장유용토, 성토재료와 모래의 경우 열저항률이 상대적으로 낮은 값을 보유하고 있고 특히 지중송전선로 공사 시 되메움 재료의 열저항률 기준인 1m·K/W를 만족하고 있어 열을 방출하는 되메움

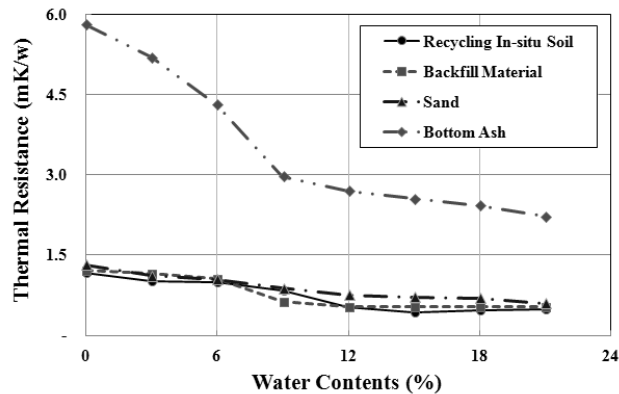


Fig. 5. Thermal resistance test results with water content

재료로 적당할 것으로 보인다. 그러나 저회의 경우 함수비의 증가에 따라 열저항률이 감소하기는 하나 상대적으로 높은 열저항률을 보유하고 있어 열의 유출을 막아야 하는 지역 난방배관에 적용하는 데에는 적절할 것으로 판단된다. Table 6과 Fig. 5는 되메움 재료의 함수비에 따른 열저항 특성을 보여주고 있다.

4.3 건조단위중량에 따른 열저항 특성

현장유용토, 성토재료, 모래, 저회의 건조단위중량별 열저항률 측정결과를 Table 7과 Fig. 6에 나타내었다. 현장유용토의 건조단위중량은 15.2~18.1kN/m³의 범위에서 0.43~1.17m·K/W의 열저항률을 보였으며 성토재료의 경우 17.3~19.1kN/m³의 건조단위중량의 범위에서 0.54~1.74m·K/W의 열저항률을 보였다. 그러나 저회의 경우 8.9~10.0kN/m³의 낮은 건조단위중량의 범위에서 2.22~5.81m·K/W의 높은 열저항률을 보였다. 저회가 높은 열저항률을 보이는 원인은 저회의 형상에 기인된 것으로서 다공성으로 이루어진 저회의 특성상 공극을 많이 내포하고 있고 낮은 건조단위중량이 열저항률을 높이는데 추가적인 역할을 하고 있는 것으로 판단된다.

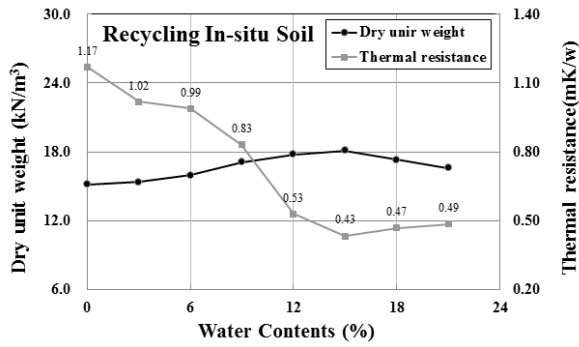
최대건조단위중량 상태에서 되메움재의 종류별 열저항

Table 6. Thermal resistance test results with water content

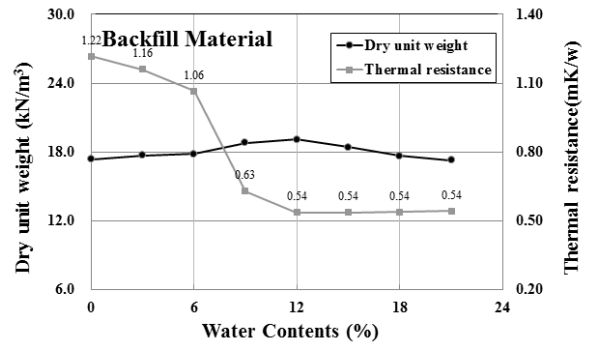
Water content (%)	Thermal resistance (m·K/W)			
	Recycling in-situ soil	Backfill material	Sand	Bottom ash
0.0	1.17	1.22	1.32	5.81
3.0	1.02	1.16	1.11	5.20
6.0	0.99	1.06	1.04	4.32
9.0	0.83	0.63	0.88	2.97
12.0	0.53	0.54	0.75	2.70
15.0	0.43	0.54	0.71	2.55
18.0	0.47	0.54	0.69	2.42
21.0	0.49	0.54	0.60	2.22

Table 7. Thermal resistance test results with dry unit weight

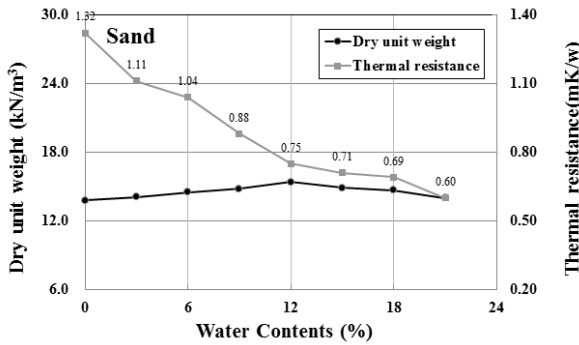
Recycling in-situ soil		Backfill material		Sand		Bottom ash	
D.U.W. (g/cm ³)	T.R. (m·K/W)	D.U.W. (g/cm ³)	T.R. (m·K/W)	D.U.W. (g/cm ³)	T.R. (m·K/W)	D.U.W. (g/cm ³)	T.R. (m·K/W)
1.52	1.17	1.74	1.22	1.38	1.32	1.00	5.81
1.54	1.02	1.77	1.16	1.41	1.11	0.91	5.20
1.60	0.99	1.78	1.06	1.45	1.04	0.89	4.32
1.71	0.83	1.88	0.63	1.48	0.88	0.89	2.97
1.78	0.53	1.91	0.54	1.54	0.75	0.90	2.70
1.81	0.43	1.84	0.54	1.49	0.71	0.90	2.55
1.73	0.47	1.77	0.54	1.47	0.69	0.91	2.42
1.66	0.49	1.73	0.54	1.40	0.60	0.91	2.22



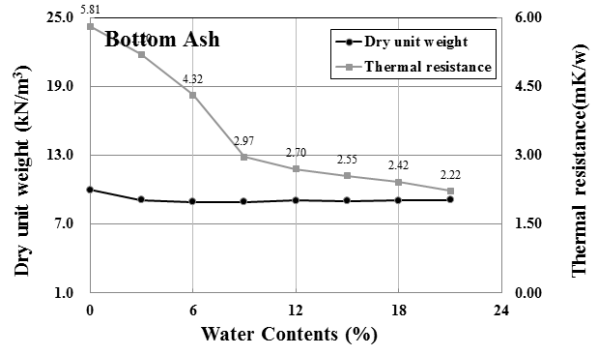
(a) Recycling in-situ soil



(b) Backfill material



(c) Sand



(d) Bottom ash

Fig. 6. Thermal resistance test results with dry unit weight

치의 특성을 살펴본 결과 전반적으로 낮은 건조단위중량을 가지는 저회의 경우 높은 열저항률을 보이는 것으로 나타났다. 현장유용토의 경우 건조단위중량이 1.52g/cm^3 이상, 성토재료의 경우 1.78g/cm^3 이상, 1.45g/cm^3 이상에서 지중송전관로 되메움재($1\text{m}\cdot\text{K/W}$ 이하)로 활용이 가능할 것으로 분석되었다. 그러나 저회의 경우 건조단위중량의 증가가 미소하며 증가하더라도 높은 열저항률을 보이고 있어 직접적인 지중송전관로 되메움재료의 활용이 어려울 것으로 판단된다. 다만 열저항의 영향 인자 중에 하나인 함수비의 영향이 지배적이므로 지중상태에서 각 재료들이 가지는 함수특성을 반영한 열저항률 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

5. 결 론

본 연구에서는 되메움재로 사용하는 저회의 열저항 시험에 대한 내용을 다루었다. 일반적으로 사용하는 흙(현장유용토, 모래, 성토재료)과 대체재로 사용될 수 있는 저회에 대해 열저항률을 분석하였고 효과적인 열저항 특성이 반영될 수 있는 되메움재의 유효 활용에 대해서 언급하였으며 이를 요약·정리하면 다음과 같다.

- (1) 현장유용토, 성토재료, 모래, 저회에 대한 열저항률 측정 결과 함수비가 증가함에 따라 열저항률은 감소하는 것으로 나타났고 현장유용토, 성토재료, 모래의 경우 $1.32\text{m}\cdot\text{K/W}$ 를 넘지 않는 범위에 있는 것으로 확인되었으나, 저회의 경우 건조상태(함수비 0%)에서 $5.81\text{m}\cdot\text{K/W}$ 의 높은 열저항률을 보였다.
- (2) 현장유용토, 성토재료, 모래의 건조단위중량은 $13.8\sim 19.1\text{ kN/m}^3$ 의 범위에서 $0.43\sim 1.32\text{m}\cdot\text{K/W}$ 의 열저항률을 보였으나, 저회의 경우 $8.9\sim 10.0\text{ kN/m}^3$ 의 낮은 건조단위중량의 범위에서 $2.22\sim 5.81\text{m}\cdot\text{K/W}$ 의 열저항률을 나타내었다.
- (3) 저회는 다공성으로서 공극을 많이 내포하고 있어 건조단위중량이 낮아 열저항률이 높은 것으로 판단되며 지중송전관로 되메움재 기준($1.0\text{m}\cdot\text{K/W}$)에 미치지 못하는 것으로 나타나 지중송전관로에 저회를 사용할 경우 면밀한 검토가 필요하다. 다만 저회의 이러한 열저항 특성을 지역난방 열배관이나 지열 등의 되메움재로 활용할 경우 열저항률이 높아 열 보온효과가 탁월하여 활용도가 높을 것으로 판단된다.

열저항의 영향 인자 중에 하나인 함수비의 영향이 절대적인 바 지중상태에서 각 재료들이 가지는 함수 특성을 반영한 열저항률 연구가 추가적으로 필요할 것으로 사료된다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부/국토교통과학기술진흥원이 지원한 “도심지 지반함몰 저감을 위한 지하매설물 설치기술 개발” (14SCIP-C091084-01) 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

1. IEC (1999), IEC60287-3-1, Electric cables, pp. 4~6.
2. IEEE Std. 442 (1981), IEEE guide for soil thermal resistivity measurements, pp. 2.
3. IEEE Std. 525 (2007), IEEE guide for the design and installation of cable systems in substations, pp. 26.
4. Kersten, M. S. (1949), Thermal properties of soil report, Bulletin of the University of Minnesota, Institute of Technology, pp. 55.
5. Lee, C. H., Lee, K. J., Choi, H. S. and Choi, H. B. (2009), Thermal conductivity and viscosity of graphite-added bentonite grout for backfilling ground heat exchanger, Korea Society of Geothermal Energy Engineers, Vol. 5, No. 1, pp. 19~24 (in Korean).
6. Lee, S. J., Lee, J. H., Cho, H. S. and Chun, B. S. (2012a), An experimental study on thermal conductivity of controlled low strength materials with coal ash, Korean Society of Civil and Environmental, Vol. 32, No. 3C, pp. 95~104 (in Korean).
7. Lee, J. C., Kim, G. H., Lee, Y. C., Kim, S. D., Choi, Y. K. and Kim, C. F. S. (2012b), Studying soil thermal resistivity in accordance with international standards, The Korean Institute of Illuminating and electrical Installation Engineers, Proceedings of KIIEE Annual Conference, pp. 250~260 (in Korean).
8. Oh, G. D. and Kim, D. H. (2010), Thermal resistant characteristics of flowable backfill materials using surplus soil for underground power utilities, Korean Geo-Environmental Society Vol. 11, No. 10, pp. 15~24 (in Korean).
9. Seoul Metropolitan Government (2016), Urban road subsidence cause and reinforcement, Workshop book, pp. 5~26 (in Korean).
10. Yoshinari, N., Hironori, M., Makoto, U., Hiroshi, S., Takeshi, I. and Satoshi, M. (2007), Development on the mortar material for cable systems in a directional drilling, 7th International Conference on Insulated Power Cable, Jicable, Versailles-France, pp. 684~689.