

## 방식사의 지중 전력설비 되메움재로의 활용성 평가

### The Utilization of Waste Foundry Sand as Backfill Material for Underground Electric Utility Systems

이 대 수\*<sup>1</sup> Lee, Dae-Soo

홍 성 연\*<sup>2</sup> Hong, Sung-Yun

김 경 열\*<sup>3</sup> Kim, Kyoung-Yul

상 현 규\*<sup>4</sup> Sang, Hyun-Kyu

#### Abstract

In this paper, the utilization of waste foundry sand produced in the molding process is studied as a backfill material for underground electric utility systems such as concrete box structures and pipe lines for power supply. The physical, chemical and thermal properties for waste foundry sand are investigated for mechanical stability, environmental hazard and power transmission capacity. Also its properties are compared with those of the natural river sand. The test results show that waste foundry sand can be utilized for underground concrete box structures as a backfill material; however, it can not be applied to underground pipe lines due to high thermal resistivity or low power transmission capacity.

#### 요 지

본 연구에서는 주물공정에서 발생하는 폐주물사를 가공처리한 방식사를 지하 전력구 및 전력선용 보호관로 공사의 되메움재로 사용하는 데 따른 적합성을 분석하고자 물리적, 화학적, 열저항 특성실험을 실시하고 현재 지하 전력구공사의 되메움재로 사용하고 있는 강모래와 비교 분석하였다. 분석결과, 방식사는 전력구 되메움재로서 물리적 기준에 적합하며, 화학적으로 유해성이 적은 것으로 판단되나, 허용전류 측면에서는 함수비 변화에 따른 열저항율의 변동폭이 커서 강모래에 비해 불리하게 나타났다. 이는 방식사가 전력선용 보호관로의 되메움재로 사용하기에는 부적합하나, 토양의 열저항과 무관한 콘크리트 Box로 차폐된 전력구에서는 되메움재로 사용할 수 있는 가능성을 보여주는 것이다. 향후, 이러한 측면에서 방식사의 활용성을 높이기 위해서는 열저항율에 대한 저감방안 등이 연구되어야 할 것이다.

**Keywords** : Backfill material, Thermal resistivity, Waste foundry sand

#### 1. 서 론

시대의 변화와 사회적 욕구에 의해 산업의 형태는 나날이 발전을 거듭해 왔으며, 그에 따른 산업부산물들 또한 다양해지고 있는 실정이다. 최근에는 이러한 산업부산물의 양이 방대해지고 커짐에 따라 사회적으로 자원 재활용측면에서 경제적인 처리방안을 모색하는 연구가

다양하게 수행되어지고 있다.

이러한 산업부산물중의 하나인 폐주물사는 국내에서는 2000년 현재 연간 약 150만톤이 발생되고 있으나, 경인주물공단 및 수도권지역의 일부 업체에서 도로 기층재 등으로 활용하는 양(6%)을 제외한 나머지 (94%)는 단순매립하는 형태로 처리되고 있는 실정이다(이관호 외 3인, 2001). 폐주물사를 재활용하고 있는 분야로는

\*1 정회원, 한전 전력연구원 책임연구원 (Member, M.T.S, Korea Electric Power Research Institute, dslee@kepri.re.kr)

\*2 정회원, 한전 전력연구원 일반연구원 (Member, M.T.S, Korea Electric Power Research Institute, sungyun@kepeco.co.kr)

\*3 정회원, 한전 전력연구원 선임보안연구원 (Member, P.M.T.S, Korea Electric Power Research Institute, patric@kepri.re.kr)

\*4 정회원, 한전 전력연구원 위촉연구원 (Member, M.T.S, Korea Electric Power Research Institute, sang72@kepri.re.kr)

주로 토목, 건축 분야인데, 근래 들어 다방면에서 폐주물사를 재활용하려는 연구가 시도되고 있다. 토목분야의 활용연구로는 이관호외 3인(2001)이 폐주물사를 옹벽의 되메움재료로 활용하기 위해 물리, 역학적 특성을 분석하였고, 조재운외 2인(2000)은 폐주물사에 대한 다짐 및 흐름특성을 분석하여 보고하였다. 또, 박종원(1998)은 폐주물사를 이용한 방식재 제조기술을 개발하기도 하였다. 건축분야의 연구로는 아직까지 탈흑처리에 대한 기술이 개발되지 않아 극히 소량의 시멘트제품(벽돌, 기와, 블록, 흙관)에 방식사를 재활용하여 왔으며, 문중수(2000)는 수역합성법에 의한 건축용 바닥재의 제조기술을 연구한 바 있다.

이상과 같이 폐주물사에 대한 국내의 연구 활동은 주로 물리적특성(전단강도, 함수비, CBR, 밀도, 다짐도 등)과 화학적 특성(방식효과)에 대한 연구를 다루고 있을 뿐, 지하전력 시설물과 밀접한 관계가 있는 재료의 열저항 특성에 대해서는 연구된 바가 없는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 주물과정에서 발생하는 폐주물사를 가공처리한 방식사를 지하전력 시설물 되메움재료로 적합한지에 대하여 물리적, 화학적실험 및 열저항특성 실험을 수행하고 그 활용 가능성을 분석하였다.

이러한 산업폐기물의 일종인 방식사를 자원 재활용 차원에서 지하전력시설물 되메움재료로 활용할 수 있다면 새로운 자원의 발생원으로 경제적 가치를 얻을 수 있을 것이다.

## 2. 실험재료 및 방법

실험에 사용된 방식사는 주물과정에서 이용된 폐주물사를 가공처리한 후, 폐주물사의 표면에 규산소다와 액상의 마그네슘을 합성시켜 생산된 방식사를 이용하였고, 강모래는 충남 공주시 금강변에서 채취한 재료를 사용하였다.

방식사의 역학적 안정성을 검토하기 위한 물리적 실험(입도분석실험, 실내다짐실험(A 다짐), 비중실험, CBR시험, 직접전단실험)을 실시하였으며, 화학적 특성실험(폐기물 용출실험, PH시험)을 실시하여 방식사의 유해물질 함유 가능성을 분석하였다. 또한, 전기적 사용 특성인 허용전류량을 산정하기 위해 열저항 특성 실험을 실시하였고, 방식사의 다짐특성 확인 및 실무자의 시공관리 기준 제시를 위하여 현장 시험다짐을 실시하고, 그 결과 값을 강모래의 다짐특성과 비교하였다.

## 3. 물리적 실험 및 분석

### 3.1 입도분석 실험

노건조시킨 방식사를 입도분석한 결과, 입경가적곡선은 경사가 급한 형태를 나타내고 있고(그림 1), 균등계수( $c_u$ )와 곡률계수( $c_c$ )는 각각 2.4와 1.2로 계산되었다. 이 값은 방식사의 입도분포가 균등한 입자로 구성되어 있으며, 흙의 분류상 입도분포가 불량한 모래(SP)의 성질을 갖고 있음을 보여주는 것이다(표 1). 한편, 강모래의 균등계수( $c_u$ )와 곡률계수( $c_c$ )는 각각 6.8과 1.2로 입도분포가 좋은 모래(SW)의 성질을 갖는 것으로 나타났다.

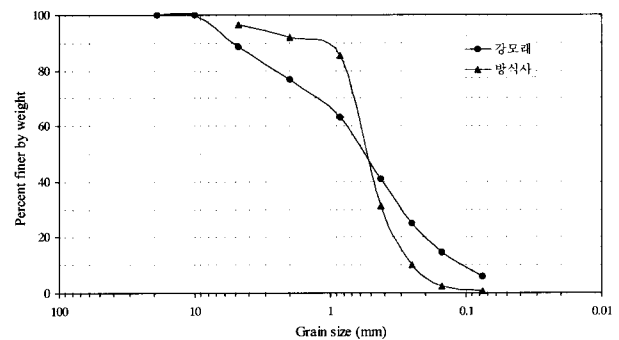


그림 1. 방식사 및 강모래 입경가적곡선

표 1. 방식사 및 강모래 입도분석 결과

구 분	방식사	강모래
$D_{10}$ (mm)	0.25	0.11
$D_{30}$ (mm)	0.43	0.32
$D_{60}$ (mm)	0.60	0.75
$C_u$	2.4	6.8
$C_c$	1.2	1.2
분 류	SP	SW

### 3.2 실내다짐 실험

다짐방법은 반복법/건조법에 의한 “A” 다짐방법을 실시하였다. 시험결과, 방식사의 최대건조밀도는 1.649

표 2. 실내다짐 결과

구 분	최대건조밀도 $\gamma_{dmax}$ (g/cm <sup>3</sup> )	최적함수비 OMC(%)
방식사	1.649	17.4
강모래	1.620	18.6

g/cm<sup>3</sup>이고, 강모래의 최대건조밀도는 1.620g/cm<sup>3</sup>로 나타났으며 이때의 최적함수비는 17.4%와 18.6%로 나타나 두 재료가 비슷한 다짐특성 갖고 있는 것으로 나타났다(표 2).

### 3.3 CBR실험

도로공사 표준시방서(건교부)에 따르면, 성토재의 지내력특성은 수정 CBR값을 이용하여 분석하도록 규정하고 있으며, 하부노상에 대한 CBR값의 기준은 5% 이상으로 규정하고 있다.

실험결과, 방식사의 수정 CBR값은 18.7%, 강모래의 값은 17.9%로 모두 기준치(5% 이상)를 만족하는 것으로 나타났으며, 두 재료 모두 비슷한 CBR특성을 갖고 있는 것으로 나타났다(그림 2).

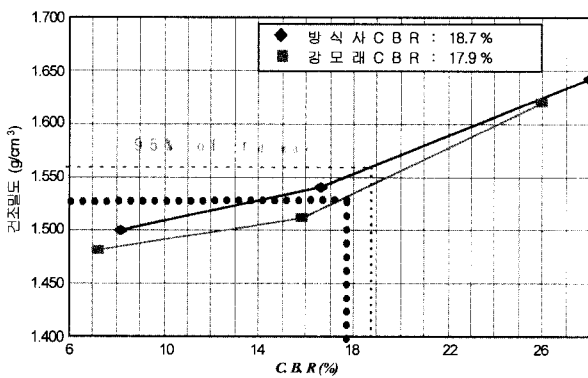


그림 2. 방식사 및 강모래 CBR 실험

### 3.4 직접전단실험

직접전단실험은 상하로 분리된 전단상자 속에 시료를 넣고 수직하중을 가한 상태로 수평력을 가하여 전단상자 상하단부의 분리면에 따라 강제로 파괴를 일으켜서 지반의 강도정수를 결정하는 실험이다.

실험결과, 표 3에서처럼 두 재료가 비슷한 내부마찰각( $\theta$ ) 및 점착력(C)을 갖고 있는 것으로 나타났다(표 3).

표 3. 전단강도 실험 결과

구 분	방식사	강모래
점착력 C(kg/cm <sup>2</sup> )	0.02	0.01
내부마찰각 $\theta(^{\circ})$	46.6	41.1

## 4. 화학 실험 및 분석

### 4.1 폐기물 용출실험

폐기물 용출시험은 지정 폐기물에 대한 유해 판단기준과 처리기준을 평가하는데 이용되는 실험이다. 특히, 방식사중에 함유되어 있는 유해물질은 우수와 기타 침투수에 의해 지반 및 지하수를 오염시킬 수 있어 이에 대한 분석이 필요하다. 분석에 사용된 실험 방법은 시료를 수평왕복 진탕기에 넣고 6시간동안 진동을 주어 중금속의 농도를 분석하는 고액분리분석법이다.

분석 결과, 방식사에서는 납(Pb), 구리(Cu), 기름성분 등만이 기준치 이하로 검출되었을 뿐, 그 이외의 항목에서는 유해성분이 전혀 검출되지 않아 환경적 유해성이 적은 것으로 분석되었다(표 4).

표 4. 폐기물 용출시험 결과

(단위 : mg/ℓ)

시험항목	결과치	유해 판정 기준(이내)	판정
Pb	0.06	3	적합
Cu	0.13	3	
Hg	불검출	0.005	
As	불검출	1.5	
CN	불검출	0.3	
Cr <sup>6+</sup>	불검출	1.5	
Cd	불검출	1	
유기인	불검출	1	
TCE	불검출	0.3	
PCE	불검출	0.1	
기름성분	0.02%	5%	

### 4.2 PH 실험

PH실험은 지하매설물의 부식성과 토양이 식생공에 미치는 정도를 알아보기 위한 실험으로 증류수와 입경 10mm 미만의 방식사를 2~3배율로 섞어 유리막대를 사용하여 약 30분 정도 저어 방치한 후 PH 농도를 측정하는 실험이다. PH값이 4보다 작은 산성토양이나 지하수 속에 있는 금속은 자연 부식될 위험성이 있으나, PH값이 4보다 클 경우에는 금속 표면이 수산화철( $Fe(OH)_2$ )의 포화용액 피막으로 싸여 있기 때문에 부식의 정도가 적으며, 특히 PH 농도가 10~11 정도에서는 안정한 부동태 피막이 형성되어 금속의 부식은 무시할 수 있는 정도로 작은 것으로 알려져 있다.

실험결과, 방식사에서 측정된 PH의 값은 10.6으로 부식에 대해 안전한 것으로 측정되었다.

## 5. 열저항 실험 및 분석

### 5.1 열저항 실험

토양의 열저항을 측정하는 방법에는 탐침법, 가열구(加熱球)매설법, 모의케이블 매설법 등이 있으나, 본 실험에서는 탐침법을 이용하였다. 실험에 사용된 열저항 시험기는 열원과 열전대를 조합한 선형 열원모델인 원통형 탐침시험기(Cylindrical Probe)이며, 사용된 몰드의 크기는 직경( $\phi$ )이 10.16cm이고 높이(h)가 11.64cm인 원통형 몰드이다(사진 1).

토양의 열저항율이란 한번의 길이가 1m인 정육면체 내부를 통해 1W의 열이 흐르면 정육면체 전체에 1°C의 온도상승을 일으키는 토양의 특성을 나타내는 것으로, 전력 케이블에서 발생한 열을 얼마나 쉽게 토양 주변으로 전달할 수 있는 가를 나타내는 수치이다.

토양의 열저항율에 가장 큰 영향을 미치는 요소로는 토사의 구성성분, 다짐도, 함수비 등이고, 그 외로는 케이블의 매설깊이, 토양의 온도, 케이블 표면의 온도 등이 열저항율에 영향을 미치는 인자이다.

본 연구에서는 되메움재의 역학적 특성과 관련이 깊은 다짐도, 함수비 등만을 고려하였으며, 다짐도의 효과를 분석하기 위하여 동일한 함수비에 대해 다짐에너지를 달리하여 3층 10회, 3층 25회, 5층 25회 다짐의 3가지 방법으로 다짐시험을 수행하였다.

일반적으로 다짐도 및 함수비가 증가할수록 토양의 열저항율은 감소한다고 알려져 있으며(Imajo, 1976) 또한, 토양의 열저항율이 높을수록 전력선을 통과할 수 있

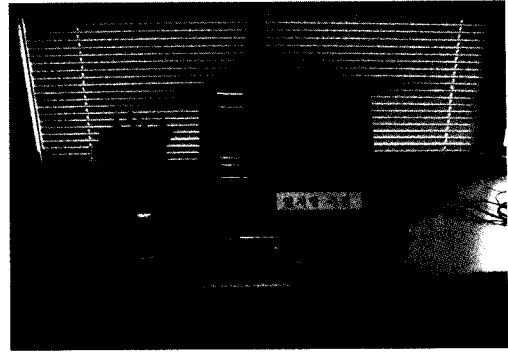


사진 1. 토양 열저항 시험기

는 허용전류량이 감소하므로 열저항율이 낮은 되메움재가 지중전력 설비용으로 선호된다고 연구된 바 있다 (Mitchell, 1982).

실험결과 그림 3, 4에서와 같이 방식사와 강모래의 공통적인 특징으로 낮은 함수비(0~2%)에서 열저항율이 상대적으로 크게 나타나고 있으나, 함수비가 5% 이상일 때는 그 크기가 작게 나타나고 있다. 또한 다짐도의 영향을 살펴보면, 낮은 함수비(0~2%) 구간에서는 다짐도가 높을수록 열저항율이 크게 감소하며, 상대적으로 높은 함수비(5% 이상)에서는 그 변화가 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 따라서, 건조측보다는 습윤측에서 열저항율이 1/2 이하로 크게 감소하므로, 되메움재의 시공관리 측면에서는 다짐도 보다는 적정 함수비 유지가 열저항율 감소에 유리함을 알 수 있다.

함수비의 영향을 자세히 살펴보면, 그림 5에서와 같이 두 재료 모두 열저항율이 급격히 감소하는 범위가 함수비 0~5%의 범위로 나타났으며, 그 변동폭은 방식사가 강모래에 비해 더 크게 나타났다. 강모래의 경우 함수비 5% 이상에서 열저항율의 변동폭이 감소하기 시작하여 함수비 6% 이상의 범위에서는 안정화되는 경향을 보여 주고 있다. 그러나, 방식사는 열저항율이 함수비 증가에

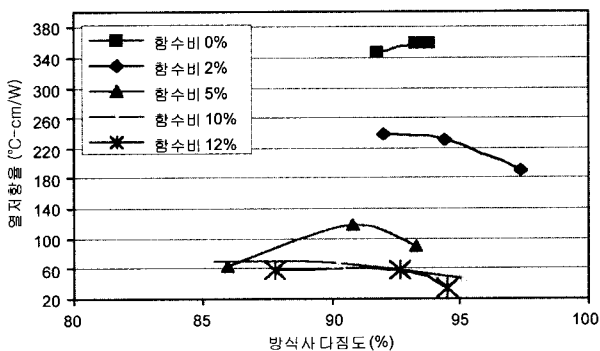


그림 3. 방식사의 열저항율과 다짐도 관계

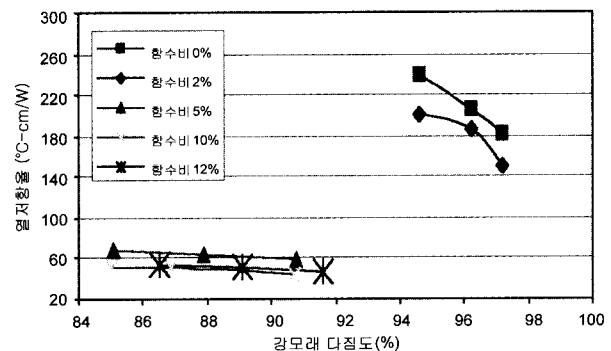


그림 4. 강모래의 열저항율과 다짐도 관계

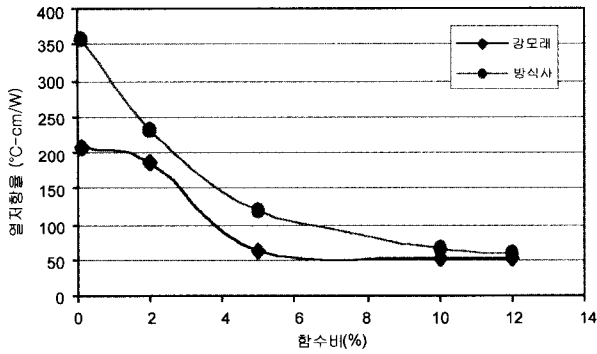


그림 5. 함수비에 따른 열저항을 변화(3층 25회 다짐)

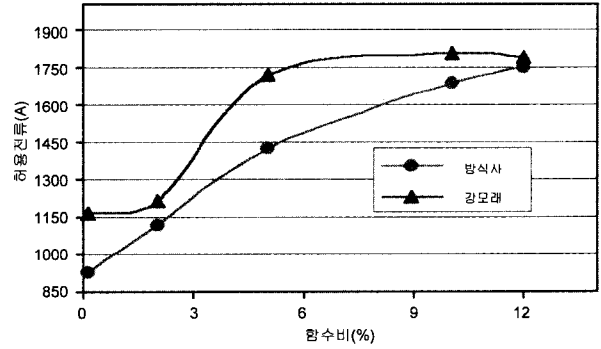


그림 6. 허용전류와 함수비 관계

따라 서서히 감소하다가 함수비 12%에 이르러 강모래와 비슷한 값을 보이는 것으로 나타났다. 한편, 두재료 모두 함수비 12% 이상에서는 열저항율의 변동이 거의 없고, 포화도 70% 이상이 되어 실험이 불가능하여 본 연구에서는 함수비 12%까지를 비교 대상으로 하였다.

지중전력설비의 되메움재가 허용전류 측면에서 유리한 특성을 갖기 위해서는 장기적인 열적 안정성이 확보되어야 하는데, 이를 위해서는 되메움재의 열저항율 변동폭이 작아야 유리하다. 실험결과 방식사와 강모래가 어느 정도 열적 안정성을 갖기 위해서는 약 5% 이상의 함수비 유지가 필요함을 알 수 있으며, 방식사의 건조(함수비 0%)시 열저항율(359.70°C-cm/W)이 습윤(함수비 12%)시의 열저항율(59.00°C-cm/W)보다 약 6배 큰 값을 보이는 것을 볼 때 방식사가 강모래에 비해 열저항율의 변동폭이 크므로, 허용전류 측면에서는 불리하다고 판단된다.

## 5.2 허용전류 특성

전선의 단면적에 대응하여 안전하게 흘릴 수 있는 전

류의 한도를 허용전류라고 한다. 허용전류 계산은 식 (1)의 IEC (International Electrotechnical Commission) 287규격을 따르며, 본 검토에서 사용된 해석조건은 정상상태의 관로포설(1공1조) 조건으로 케이블에서 상시 허용전류를 산정하였다.

허용전류 계산결과에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 외부 열저항( $T_4$ )으로써, 케이블 표면에서부터 관로의 외부 열저항을 고려하여 산정한다. 방식사와 강모래의 허용전류를 비교하기 위하여 식 (1)에서 모든 조건은 표 5과 같이 동일하게 사용하고 관로 주변의 되메움재에 대한 토양의 열저항( $\rho_T$ )만 실험값을 이용하여 외부 열저항( $T_4$ )과 허용전류( $I$ )를 계산하였다. 계산결과, 방식사와 강모래 모두 함수비가 증가할수록 허용전류가 증가하였고, 토양의 열저항율이 증가할수록 허용전류가 감소하는 경향을 보이고 있다(표 5와 그림 6). 또한, 방식사는 강모래에 비해 함수비 0~12% 범위내에서 허용전류가 3~26% 정도 작게 산출되었으며, 특히, 일반적 모래의 자연 습윤 상태인 함수비 5% 구간에서는 약 20% 정도 허용전류가 작은 것으로 나타났다.

표 5. 함수비 변화에 따른 허용전류값 비교

함수비 (%)	방식사			강모래			허용전류 비교 $\frac{I_2}{I_1} \times 100(\%)$	상시 허용전류조건
	토양열저항 $\rho_T$ (°C·m/W)	외부열저항 $T_4$ (°C·m/W)	허용전류 $I_1$ (A)	토양열저항 $\rho_T$ (°C·m/W)	외부열저항 $T_4$ (°C·m/W)	허용전류 $I_2$ (A)		
0	3.597	2.916	927.0	2.068	1.479	1168.7	126%	- 표준규격 : IEC287 - 케이블 : 154kv XLPE 1C - 포설조건 : 관로포설(1공1조) - 케이블 중심거리 : 360mm - 지표면에서 케이블거리 : 9540mm - 부하율 : 1 - 주위온도 : 25°C - 도체온도 상승(K) : 65°C
2	2.322	1.883	1116.0	1.873	1.519	1214.4	109%	
5	1.190	0.965	1428.1	0.634	0.514	1716.7	120%	
10	0.676	0.548	1688.7	0.518	0.420	1801.8	107%	
12	0.590	0.478	1747.5	0.522	0.422	1798.6	103%	

상시허용전류 계산식

$$I = \frac{\sqrt{\Delta\theta - W_d \times [0.5 T_1 + n(T_3 + T_4)]}}{R T_1 + nR(1 + \lambda_1)(T_3 + T_4)} \quad (1)$$

여기서,  $I$  : 상시허용전류(A)

$\Delta\theta$  : 도체온도 상승분(°C)

$R$  : 교류도체저항(ohm/m)

$W_d$  : 유전체 손실(W/m)

$T_1$  : 절연체의 열저항(°C · m/W)

$T_3$  : 방식층의 열저항(°C · m/W)

$T_4$  : 외부 열저항(°C · m/W)

$n$  : Cable 가닥수

$\lambda_1$  : 시스 손실율

여기서, 외부열저항 :  $T_4$

$$T_4 = T_4' + T_4'' + T_4'''$$

i) 케이블과 관로사이의 열저항 :  $T_4'$

ii) 관로의 열저항 :  $T_4''$

iii) 관로의 외부 열저항 :  $T_4'''$

$$T_4''' = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln[(U + \sqrt{U^2 - 1})]$$

또,  $U : 2L/D_e$

$D_e$  : 관로의 외경(mm)

$L$  : 지표면에서기존 케이블 중심사이의 깊이(mm)

$\rho_T$  : 토양의 열저항율(°C · m/W)

6. 현장 시험다짐

방식사의 다짐 시공성을 파악하기 위하여 방식사와 강모래에 대해 현장에서 주로 사용하는 다짐방법(발다짐, 물다짐+발다짐, 진동plate 다짐, Tire Roller다짐)으로 시험 다짐을 실시하였다. 이 때 다짐도를 판정하는 방법으로 방사능밀도측정기(Radiation Instrument)가 사용되었다(사진 2~3).

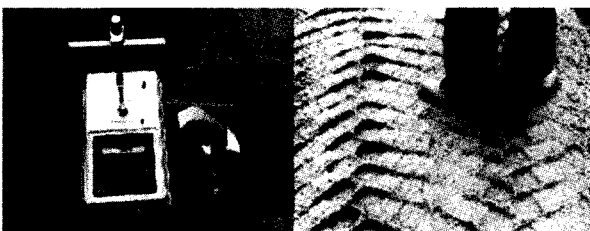


사진 2. 방사능밀도측정기 및 발다짐 장면

표 6. Tire roller 및 진동 Plate 다짐도 비교 (단위:%)

다짐 횟수	Tire roller(5ton)		진동Plate(90kg)		함수비
	방식사	강모래	방식사	강모래	
1	83.51	<b>89.88</b>	80.11	<b>86.79</b>	10~12
2	<b>85.93</b>	89.44	82.29	87.71	
3	86.29	93.83	83.90	88.02	
4	-	-	<b>85.20</b>	88.78	

먼저, 발다짐은 체중 68kg의 몸무게를 가진 사람이 ① 10cm씩 총 40cm 두께까지 ② 20cm씩 총 40cm 두께까지 발다짐을 하는 조건이었다. 또, 발다짐의 조건과 동일하게 10cm씩 총 40cm 두께로 되메움을 실시하고, 매층마다 포화상태가 될 때까지 물을 부은 후 최대 6회까지 다짐을 실시하는 물다짐+발다짐을 실시하였다. 실험 결과, 두 다짐방법 모두 규준다짐도 85%를 넘지 못하였다

진동 Plate다짐의 경우는 한번에 층 두께를 30cm로 되메움하고 다짐을 실시하였다. 실험결과, 모래는 1회 다짐에서 85%규준을 만족하였으며, 방식사는 4회 다짐에서 85%규준을 만족하는 것으로 나타났다.

타이어 진동롤러(5ton)의 경우는 층 두께 30cm로 되메움을 실시하고 다짐을 실시한 결과, 모래는 1회 다짐에서 85%규준을 만족하였으며, 방식사는 2회 다짐에서 85%규준을 만족하는 것으로 나타났다(표 6).

7. 결론

본 연구에서는 주물공정에서 발생하는 폐주물사를 가공처리한 방식사를 지하 전력구 및 전력선용 보호관로 공사의 되메움재료로 사용하는데 따른 적합성을 분석하고자 물리적, 화학적, 열저항 특성실험을 실시하고 현재 동일공사의 되메움재료 사용하고 있는 강모래와 그 특성을 비교 분석하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 방식사는 흙의 분류상 입도분포가 불량한 모래질

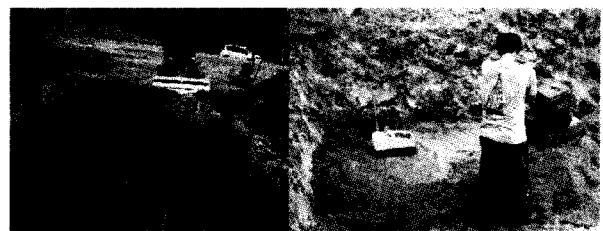


사진 3. Tire roller 및 진동 Plate 다짐장면

(SP) 성질을 갖고 있으며, 실내다짐 결과 최대 건조 밀도  $1.649\text{g/cm}^3$ , 최적함수비 17.4%으로 강모래의 성질과 매우 비슷한 형태를 보이고 있다.

- (2) 수정 CBR 실험결과 방식사는 18.7%, 모래는 17.9%로 나타나 일반적인 성토재료로는 활용이 가능한 것으로 판단되며, 직접전단시험 결과, 방식사의 점착력은  $0.02\text{kg/cm}^2$ , 내부마찰각은  $46.6^\circ$ 이며, 강모래의 경우 점착력은  $0.01\text{kg/cm}^2$ , 내부마찰각은  $41.1^\circ$ 로 나타나 서로 비슷한 성질을 보이는 것으로 나타났다.
- (3) 방식사에 대한 폐기물용출 실험분석 결과, 납(Pb), 구리(Cu), 기름성분 등만이 기준치 이하로 검출되었을 뿐, 나머지 시험항목에 대해서는 유해성분이 전혀 검출되지 않아 방식사를 되메움재로 활용함에 환경적 유해성은 적은 것으로 판단된다. 또한, 방식사의 PH값은 실험결과 10.6으로 부식성에 대해서도 안전한 것으로 분석되었다.
- (4) 전력설비는 열을 발생하기 때문에 되메움재의 열방산 효과가 우수해서, 허용전류 측면에서 유리해야 한다. 이를 위해서는, 다짐도가 높아야 하며 함수비 변화에 따른 열저항율의 변동폭이 작아야 유리하다. 방식사는 건조(함수비 0%)시 열저항율( $359.70^\circ\text{C}\text{-cm/W}$ )이 습윤(함수비 12%)시의 열저항율( $59.00^\circ\text{C}\text{-cm/W}$ )보다 약 6배 큰 값을 보이고 있고, 강모래에 비해 열저항율의 변동폭이 커서 허용전류 측면에서는 불리하다.
- (5) 방식사를 되메움재로 사용할 경우, 다짐도 기준인 85%를 만족하는 다짐기법은 다음과 같다.
  - ① 진동 Plate(90kg) : 4회 이상 (1층 다짐두께 30cm)
  - ② 타이어롤러(5ton) : 2회 이상 (1층 다짐두께 30cm)
- (6) 이상과 같이 일련의 실험을 통한 분석 결과, 방식사는 지하 전력설비 되메움재로서 물리적 기준에 적합

하며, 화학적으로 유해성이 적은 것으로 판단되나, 허용전류 측면에서는 함수비 변화에 따른 열저항율의 변동폭이 커서 강모래에 비해 불리하다. 따라서, 토양의 열저항율과 무관한 콘크리트 Box로 차폐된 전력구에서는 되메움재로 사용할 수 있는 것으로 판단되며, 전력선용 보호관로의 되메움재로 사용하기에는 부적합하고, 향후, 활용성을 높이기 위해서는 열저항율에 대한 저감방안 등이 연구되어야 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 강지원 외 11인(2002), "송전용량 증대를 위한 열방산회로 개선에 관한 연구", 한전 전력연구원.
2. 건설교통부(1996), 도로공사 표준시방서.
3. 김대홍, 이대수, 정원섭, 정범용(2001), "지중송전케이블 되메움토사의 열저항 특성", 대한토목학회 학술발표회논문집.
4. 문중수(2000), "폐주물사를 이용한 기능성 건축용 자재 개발", 연안역폐자원 및 환경연구센터.
5. 박종원(1998), "폐주물사를 이용한 방식제 제조 기술개발", 산업자원부 최종보고서.
6. 조재윤, 이관호, 이인모(2000), "모형용벽실험을 이용한 폐주물사 혼합재의 지반공학적인 이용성 연구", 한국지반공학회 학술발표회논문집.
7. 이용수, 정하익(2002), "일일 및 중간복토재로서 인산석고 재활용을 위한 실험 연구", 한국지반공학회논문집 제18권 제1호, pp.133-140.
8. 이용수, 정형식, 정하익(2001), "성토재료로서 인산석고의 공학적·환경적 특성", 한국지반공학회논문집 제17권 제4호, pp.331-339.
9. 이관호, 조재윤, 신현무, 김남호(2001), "폐주물사 및 방식사를 이용한 유동성 채움재의 최적배합설계 및 다짐특성연구", 대한폐기물 학회지.
10. Imajo, T. (1976), *Development of Backfill Soils for Underground Cables(2) - Study on the Optimum Grading Distribution*, CRIEPI-72061, 175063.
11. Mitchell, J. K. and Chan, C. K. (1982), *Backfil Materials for Underground Power Cables*, Phase 1~3, EPRI EL-506, EL-1894, EL-4150.
12. 今城尙久(1972), "Sandy Soil の 熱特性", 電力中央研究所 技術第一研究所.

(접수일자 2002. 11. 18, 심사완료일 2003. 2. 3)