

## 열저항 특성을 고려한 지중송전관로 되메움재의 최적화(II)

### Optimization of the Backfill Materials for Underground Power Cables considering Thermal Resistivity Characteristics (II)

김 유 성<sup>1\*</sup> Kim, You-Seong

조 대 성<sup>2</sup> Cho, Dae-Seong

박 영 준<sup>3</sup> Park, Young-Jun

#### ABSTRACT

In the precedent study it was presented that the comparison of thermal resistivity using various backfill materials including river sand regarding water content, dry unit weight and particle size distribution. Based on the precedent study, this study focused on developing the optimized backfill material that would improve the power transfer capability and minimize the thermal runaway due to an increase of power transmission capacity of underground power cables. When raw materials, such as river sand, recycled sand, crush rock and stone powder, are used for a backfill material, they has not efficient thermal resistivity around underground power cables. Thus, laboratory tests are performed by mixing Fly-ash, slag and floc with them, and then it is found that the optimized backfill material are required proper water content and maximum density. Through various experimental test, when coarse material, crush rock, is mixed with recycled sand, stone powder, slag or floc for a dense material, the thermal resistivity of it has  $50^{\circ}\text{C}\text{-cm/Watt}$  at optimum moisture content, and the increase of thermal resistivity does not happen in dry condition. The result of experiments approach the optimization of the backfill materials for underground power cables.

#### 요 지

본연구의 선행연구에서는 주로 강모래를 포함한 각종 되메움재 후보군에 대하여 함수비, 건조단위중량, 입도분포 등의 차이에 따른 열저항 특성을 조사, 비교 분석하였다. 이 연구에서는 선행연구 결과를 토대로 하여 지중송전관로의 송전용량의 증대 및 열폭주(thermal runaway) 현상을 방지할 수 있는 새로운 되메움재의 개발에 주안점을 두었다. 연구를 위해 강모래, 재생모래, 쇄석, 석분과 같은 원재료에 플라이 애쉬(fly-ash), 슬래그(slag), 플록(floc)과 같은 입자가 작고 보습효과가 있는 재료를 혼합하여 혼합비와 함수상태에 따른 열저항률의 변화를 측정, 분석하였다. 연구결과 단일재료만으로는 되메움재로의 사용이 어려울 것으로 판단되나, 쇄석의 입도분포 개선을 위해 평균입경이 작은 재생모래와 석분, 슬래그 및 플록을 혼합한 결과, 최적함수비에서  $50^{\circ}\text{C}\text{-cm/Watt}$  이하의 열저항률을 얻을 수 있고, 최적함수비 상태 후의 건조시에도 열저항률의 증가가 일어나지 않고 있어, 어느 정도 되메움재로서의 최적화에 근접한 것으로 판단된다.

**Keywords :** Thermal resistivity, Optimized backfill material, Recycled sand, Crush rock, Stone powder, Floc

#### 1. 서 론

경제성장과 더불어 전력수요가 매년 급증하고 있다. 이에 따라 대도시를 기반으로 한 전력송전선로의 지중화가

활발히 진행되고 있다. 이와 같은 전력수요 과밀화에 대처하기 위하여는 지중송전 관로의 확대와 더불어 송전케이블의 송전용량 증대 또한 시급한 실정이다. 지중송전 관로의 대용량화, 폭주화 및 기타 열수송 관로 등 여타 열원으

1\* 정회원, 전북대학교 토목공학과 교수 (Member, Professor, Dept. of Civil Engrg., Chonbuk National Univ., E-mail: yusung@jbnu.ac.kr)

2 학생회원, 전북대학교 토목공학과 석사과정 (Student Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Chonbuk National Univ.)

3 학생회원, 전북대학교 토목공학과 석사과정 (Student Member, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Chonbuk National Univ.)

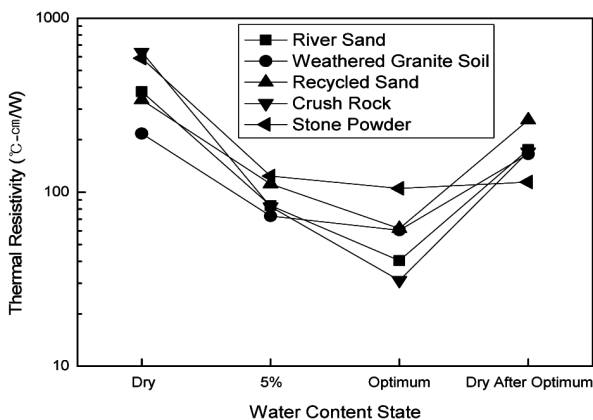
로부터의 열적간섭도 증대되고 있어 지중환경을 고려한 지중송전 관로의 설계 및 시공이 송전관로의 송전능력 증대를 위해 절실히 요구되고 있다. 지중송전관로의 송전용량의 증대를 위해서는 전압 및 전류를 증가시켜야하나, 이들의 증가는 관로내의 열 발생의 증가를 초래한다. 한편 관로주변의 되메움재의 열저항률은 함수비에 따라 변화한다. 따라서 통상적인 열(약 60°C)이 발생되고 있을 경우라 하더라도, 건조시에는 되메움재의 열저항 특성에 따라 열폭주(thermal runaway)현상이 발생하여 케이블의 절연과괴를 일으키거나 송전효율의 저하 요인이 된다(한국전력공사 전력연구원, 2003). 따라서 송전관로 주변의 되메움재는 발생열을 신속하게 소산시킬 수 있는 재료, 함수비 변화에 따라 열저항률의 변화가 작은 재료(습윤시 열저항률 50°C-cm/Watt, 건조시 열저항률 100°C-cm/Watt를 목표로 함)의 사용이 요구된다. 실제로 송전관로의 되메움재로 가장 사용빈도가 큰 강모래의 경우 습윤시 150°C-cm/Watt 정도이다. 건조시에는 이보다 2배 이상의 값을 나타낸다. 연구결과에 따르면 모래의 경우 100°C-cm/Watt의 건조 열저항률을 얻기 위해서는 간극률이 25%이하가 되어야 하는 것으로 나타났으나, 균등한 강모래의 경우 35%이하의 간극률을 얻기가 곤란하고 투수계수가 커 상대적으로 건조측으로 변화하기 쉽다(Imajo, 1976). 이를 대체할 수 있는 재료로 석재 생산과정에서 연간 수십만톤이 발생(일반폐기물)되어 현장 석산복구용이나 흙의 입도조정 이외에 대부분 매립 처리되고 있는 석분이 열소산 측면에서 우수한 재료로 분석되고 있다(김대홍과 이대수, 2002). 따라서, 석분과 같은 재료를 주재료로 하여 낮은 열저항률을 유지하기 위한 함수정도, 다짐밀도 등의 영향을 최소화하기 위해 쇄석, 모래 등의 기존의 되메움재 재

료를 일정배율로 혼합한 혼합토에 대한 열저항 특성의 검토가 필요하다. 이와 같은 혼합재료에 대하여, 다짐특성, 관로 주변 온도변화에 따른 함수특성, 열저항 특성 등을 다양한 현장조건과 시공성을 고려한 평가를 통해 열저항률을 최소화 할 수 있는 되메움재의 개발이 가능할 것으로 판단된다. 이와 같은 체계적인 연구를 통해 목표의 친환경 최적 열소산 되메움재가 개발된다면 지중송전효율 증대에 따른 경제성 향상과, 모래채취 및 운반에 따른 환경훼손 최소화 및 석분 및 쇄석 등 폐기물의 재활용이라는 경제적·환경적 측면에서 시너지효과를 제고 할 수 있을 것으로 판단된다. 이 논문에서는 되메움 재료의 최적화에 주안점을 두었다. 즉, 습윤시의 50°C-cm/Watt 이하이고 건조시에도 열저항률이 100°C-cm/Watt를 목표로 하나 건조시에도 그다지 증가하지 않는 혼합재료를 개발하고자 하였다.

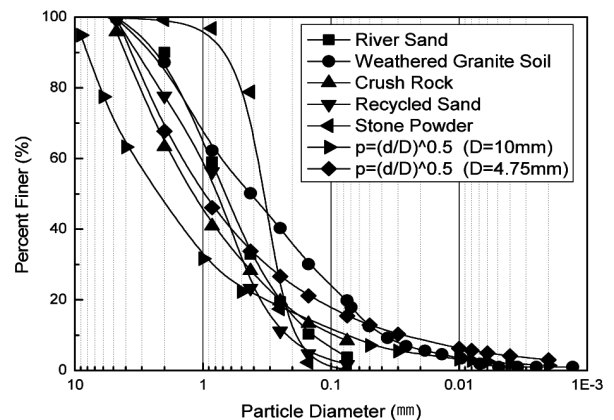
## 2. 원재료의 열저항 특성 비교

열저항 특성은 선행연구(열저항 특성을 고려한 지중송전관로 되메움재의 최적화(I)(김유성 등, 2011))에서 자세히 기술하였듯이, 되메움재의 열저항률을 측정하기 위해 탐침법을 적용한 Hukseflux사의 열전도를 측정장치인 TP System을 사용하였다.

그림 1(a)는 이 연구에서 선정한 되메움재 후보군(강모래(river sand), 재생모래(recycled sand), 풍화토(weathered granite soil), 쇄석(crush rock), 석분(stone powder))의 원재료의 함수비 변화에 따른 열저항률의 변화추이를 나타내고 있다. 이 그림에서 함수비 변화는 함수비의 정량적 변화가 아닌 함수비의 4가지 상태(건조(dry), 5%, 최적함수비(optimum), 최저함수비 후의 건조상태(dry after optimum))



(a) 여러 후보군의 함수비에 따른 열저항률

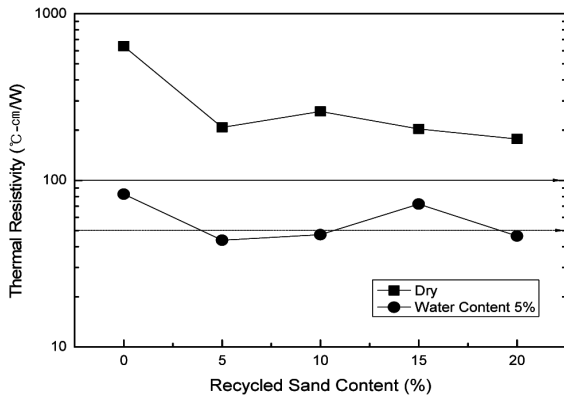


(b) 여러 후보군의 입도분포

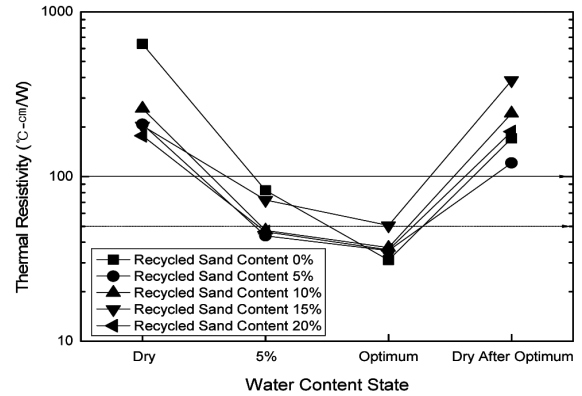
그림 1. 여러 되메움재 후보군의 열저항률과 입도분포

표 1. 실험내용 및 시료

시료	혼합재료	최저 열저항률(°C-cm/Watt)			
		Dry	$\omega=5\%$	Optimum State	Dry after Optimum
강모래(River Sand)	-	380	80	40	175
	Slag	170	90	-	-
	Fly-ash	265	90	-	-
	Glass Bead	270	60	45	185
	Glass Bead와 Slag	150	75	-	-
	물유리(Water Glass)	265	-	50	70
	물풀(Water Paste)	-	-	45	95
	유약(Glaze)	-	80	55	175
화강풍화토 (Whethered Granite Soil)	-	220	70	60	165
재생모래(Recycled Sand)	-	270	170	55	255
	Slag	210	145	70	180
쇄석(Crush Rock)	-	640	85	30	170
	재생모래	180	45	35	190
	재생모래와 Fly-Ash	190	55	25	200
석분(Stone Powder)	-	590	125	105	115



(a) 쇄석과 재생모래의 혼합비에 따른 열저항률 변화



(b) 쇄석과 재생모래 혼합시료의 함수비 상태에 따른 열저항률 변화

그림 2. 쇄석과 재생모래의 혼합비에 따른 열저항률과 혼합시료의 함수상태에 따른 열저항률 추이

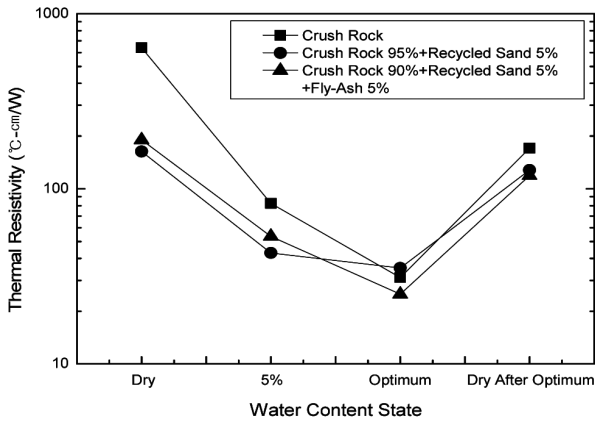
에 대한 변화이다. 위에서 검토하였듯이 모든 경우에서 함수비 증가에 따라 열저항률은 감소하고 있고, 최적함수비 상태에서 가장 작은 열저항률을 나타내고 있다. 이 그림에서 다음과 같은 사실을 읽을 수 있다. 첫째, 최적함수비에서 쇄석의 경우가 가장 작은 열저항률을 나타내고, 다짐 후 건조상태에서도 다른 재료에 비해 증가하고 있지 않다. 둘째, 석분의 경우 함수비 변화에 따른 열저항률 변화가 가장 작고, 또 다짐 후 건조시에도 열저항률이 증가하지 않고 있다. 따라서 최적함수비 상태에서 다짐 후 건조가 되어도 열저항률이 크게 증가하지 않는 석분과 최적함수비 상태에서 가장 낮은 열저항률을 보이는 쇄석(또는 강모래)을 혼합한다면 목표치의 낮은 열저항률을 갖는 되메움재의 개발이 가능할 것으로 판단된다. 또한 입자 크기가 강모래보다 작은 재생모래를 혼합하여 입도분포를 조정하여 낮은 열저항률을 갖는 되메움재의 개발이 가능하다면 건설폐기물의 재활용이

라는 환경적 측면에서 활용가치가 높을 것으로 판단된다. 이외에 열저항률에 영향을 미치는 것은 함수비로 보고되고 있다(Mitchell and Chan, 1982). 지반내 열적 조건의 변화에도 열저항률이 크게 변화하지 않을 보습재를 혼합할 수 있다면, 보다 낮고 안정적인 최적의 되메움재의 개발이 가능할 것으로 판단된다. 이 점에 주안점을 주어 시료의 혼합과 반복적인 시험을 거쳐 결론을 도출하였다. 시험에 사용된 시료와 시험내용은 표 1에 나타내었다.

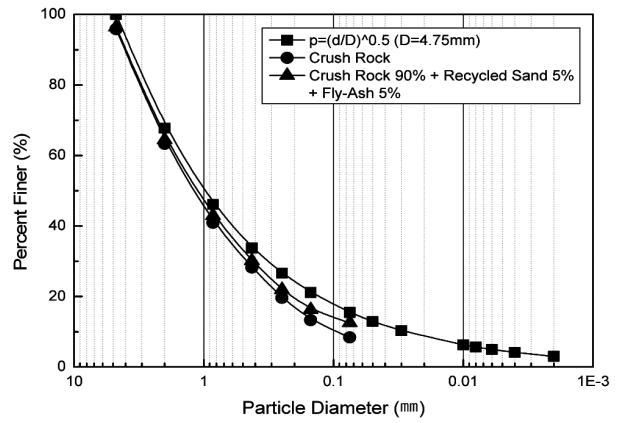
### 3. 원재료의 열저항 특성을 고려한 되메움재의 최적화

#### 3.1 쇄석과 재생모래의 혼합재료

그림 2(a)는 쇄석과 재생모래의 혼합비에 따른 열저항



(a) 쇠석과 재생모래, 플라이애쉬 혼합시료의 함수비 상태에 따른 열저항률



(b) 쇠석과 재생모래, 플라이 애쉬 혼합재료의 입도분포

그림 3. 쇠석과 재생모래, 플라이애쉬(fly-ash) 혼합재료의 열저항률과 입도분포



(a) Fly-Ash



(b) Slag

그림 4. 연구에 사용된 Fly-Ash와 Slag

를 나타내었다. 시험결과 재생모래가 혼합된 시료가 쇠석만 사용한 시료보다 모든 상태에서 열저항률이 크게 감소한 것으로 나타났고, 재생모래의 혼합비가 증가하여도 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 그림 2(b)는 함수비 상태에 따라 쇠석과 재생모래 혼합비율에 따른 시료들의 열저항률을 나타내었다. 그림 2(a)와 그림 2(b)에서 알 수 있듯이 재생모래의 혼합비 5%에서 모든 경우 열저항률이 가장 낮은 것으로 나타났으며 혼합비가 증가함에 따라 열저항률도 증가하는 것으로 나타났다.

따라서 재생모래를 혼합한 시료 중 모든 상태에서 가장 열저항률이 낮은 재생모래의 혼합비 5%인 시료에 대해 세립분의 추가를 위하여 플라이애쉬(fly-ash)를 혼합하여 열저항률 시험을 실시하였고, 그 결과를 그림 3(a)에 나타내었다. 시험결과 쇠석만의 시료에 비해 쇠석과 재생모래, 플라이애쉬(5%)를 혼합한 시료가 최적함수비상태와 최적함수비에서 다짐후 건조된 상태에서 가장 낮은 열저항률

을 나타내었다. 열저항률 변화의 원인을 파악하기 위해 쇠석과 재생모래, 플라이애쉬 혼합재료에 대해 입도분포시험을 실시한 결과는 그림 3(b)이다. 그림에서 쇠석과 재생모래, 플라이애쉬를 혼합한 시료의 입도분포가 일반 쇠석의 입도분포에 비해 최대건조단위중량을 얻을 수 있는 Mitchell and Chan(1982)의 이론식  $P = (d/D)^{0.5}$  ( $D = 4.75mm$ )의 입도분포에 근접한 것으로 나타났으며, 이로 인한 열저항 특성의 변화로 열저항률이 감소한 것으로 판단된다.

### 3.2 입도조정을 위한 플라이애쉬(fly-ash)와 슬래그(slag)의 비교

강모래와 쇠석, 재생모래, 석분에 결여되어 있는 세립분을 추가하기 위해 산업부산물로 발생하는 플라이애쉬와 슬래그(slag)를 혼합하는 것이 검토되었다. 그림 4에 연구에 사용된 플라이애쉬와 슬래그를 나타내었고, 각각의 화

표 2. 플라이애쉬의 화학적 구성성분

Components	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Ig
Fly-Ash	30,0	13,2	1,44	33,4	6,48	5,59	0,98	0,39	0,57	7,6

표 3. 슬래그의 화학적 구성성분

Components	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	F	MgO	S	MnO	TiO <sub>2</sub>
Slag	13,8	44,3	1,5	17,5	6,4	0,07	5,3	1,5

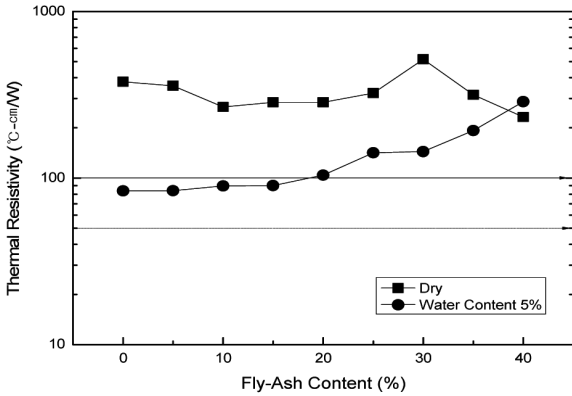


그림 5. 강모래와 플라이애쉬의 혼합비에 따른 열저항률

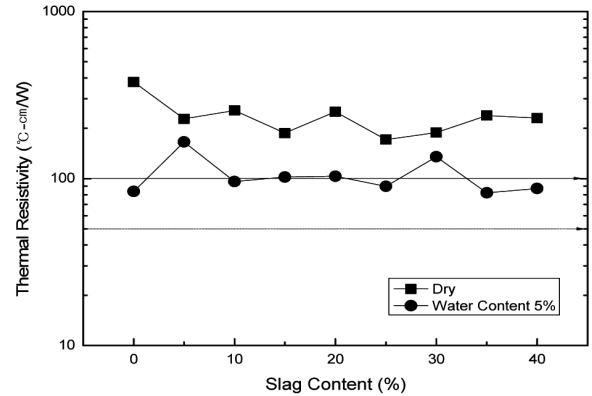
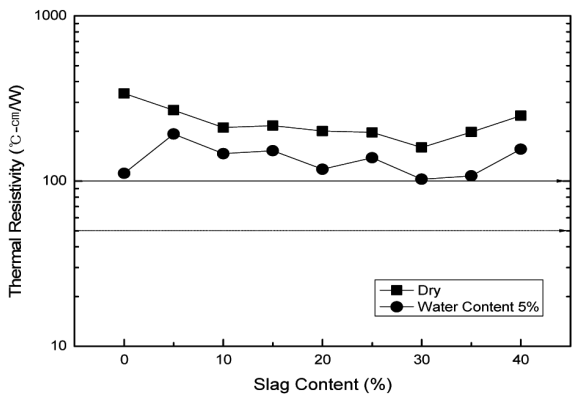
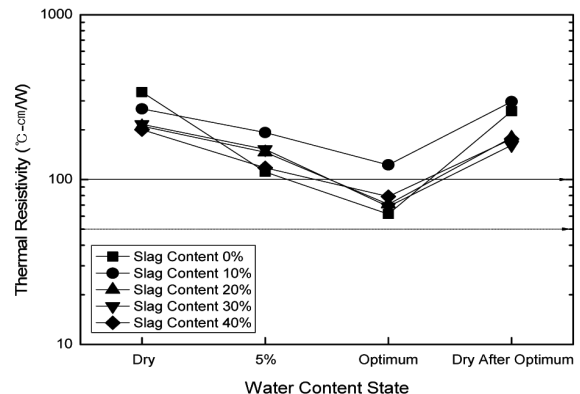


그림 6. 강모래와 슬래그의 혼합비에 따른 열저항률



(a) 재생모래와 슬래그의 혼합비에 따른 열저항률



(b) 재생모래와 슬래그의 혼합시료의 함수비 상태에 따른 열저항률

그림 7. 재생모래와 슬래그의 혼합비에 따른 열저항률과 혼합시료의 함수비에 따른 열저항률

학적 구성성분에 대하여 표 2와 3에 나타내었다. 이 연구에 사용된 플라이애쉬는 종이를 생산하는 공정에서 발생하는 페이퍼 슬러지(paper sludge)의 수분 제거과정을 거치고 소각로에서 소각된 후에 전기집진기에 의하여 포집되어진 플라이애쉬이며, 슬래그는 제철과정 중 선철을 전로에서 정련하여 불순물인 탄소, 인, 유황을 제거하는 과정 중에 발생하는 제강슬래그이다.

그림 5에 강모래와 플라이애쉬의 혼합비에 따른 열저항률을 나타내었다. 이 혼합재료의 경우 플라이애쉬의 혼합비가 증가함에 따라 건조상태에서는 열저항률이 큰 변화가 없는 경향으로 나타났지만, 함수비 5%의 상태에서는

점차 증가하는 경향으로 나타났다. 그림 6에는 강모래와 Slag의 혼합비에 따른 열저항률을 나타내었다. 슬래그의 경우에는 플라이애쉬와 같이 혼합비를 증가함에 따라 열저항률이 증가하지 않고 있고, 건조상태와 함수비 5%의 경우 모두 크게 변화하지 않는 것으로 나타났다. 따라서 입도조정을 위한 세립분 혼합은 플라이애쉬보다는 슬래그가 유리할 것으로 판단되었다. 슬래그의 혼합 유효성을 확인하기 위해 재생모래에 슬래그를 혼합하여 열저항률의 변화를 검토하였다.

그림 7에서 혼합비 30%까지는 열저항률이 감소하나 30% 이상에서는 다시 증가하는 경향을 보이므로 슬래그

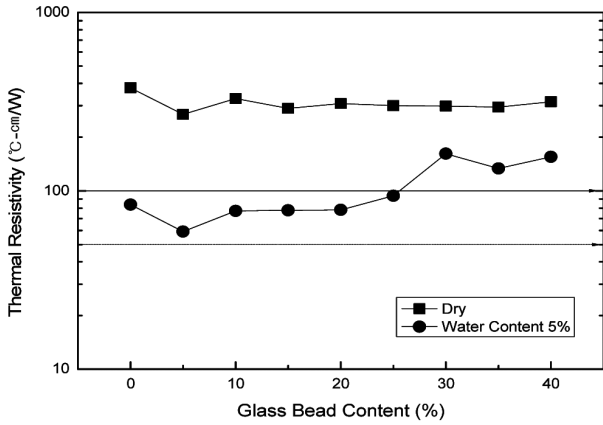


그림 8. 강모래와 글래스 비드(glass bead)의 혼합비에 따른 열저항률

를 30%이상 혼합하지 않는다면 그 재료적 성향에 의해 열저항률이 증가하지 않을 것으로 판단된다.

### 3.3 기타 혼합재료의 검토

다양한 열저항률 저감 가능성의 혼합재료에 대한 검토를 위해 몇가지 재료에 대해 추가적인 검토가 이루어졌다. 우선 구성성분 중 낮은 열저항률을 갖는 석영성분이 많이 포함되어 있고, 입자가 작은 글래스 비드(glass bead)의 사용이 검토되었다. 그림 8은 글래스 비드를 혼합한 강모래의 열저항률을 나타낸 것이다. 그림에서 글래스 비드의 혼합비가 증가함에 따라 건조시에는 열저항률의 변화가 거의 나타나지 않았다. 그러나 함수비 5%의 경우 글래스 비드의 혼합비가 증가함에 따라 플라이애쉬의 경우와 마찬가지로 오히려 열저항률이 증가하는 경향이 나타났다. 이러한 현상은 글래스 비드가 구성성분 중 열저항률이 낮은 석영을 많이 포함하고 있더라도 수분을 함유할 수 없는 성질을 가지고 있어 열 발생시 쉽게 수분이 이동하여 입자간 접촉면적의 증가(간극비의 감소)에 의한 열저항률의 감소를 기대할 수 없기 때문인 것으로 판단된다. 즉 낮은 혼합비에서는 강모래에 의해 수분이 유지되고 표면장력으로 인하여 입자간 접촉면적의 증가로 열저항률이 낮아질 수 있지만 혼합비가 증가함에 따라 쉽게 수분의 이동이 발생하여 함수비가 있더라도 건조시의 열저항률에 가깝게 증가하는 경향을 보이는 것으로 판단된다. 이에 가장 낮은 열저항률을 보이는 글래스 비드의 혼합비 5%에 대해 슬래그의 혼합비를 다르게 한 강모래 혼합시료에 대한 열저항률 시험을 실시하여 그 결과를 나타낸 것이 그림 9이다.

그림 9에서 강모래와 글래스 비드(5%), 슬래그 혼합 비

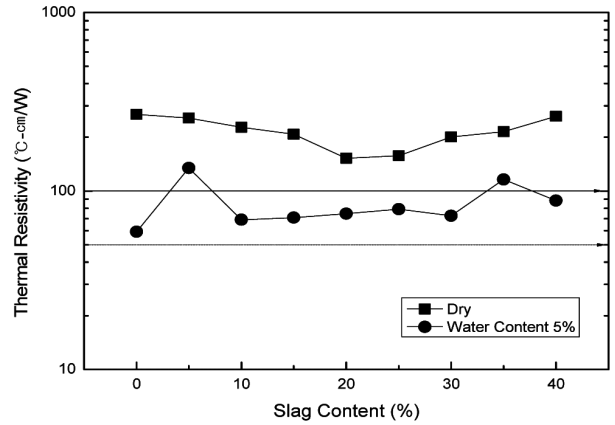


그림 9. 강모래와 글래스 비드(5%), 슬래그의 혼합비에 따른 열저항률

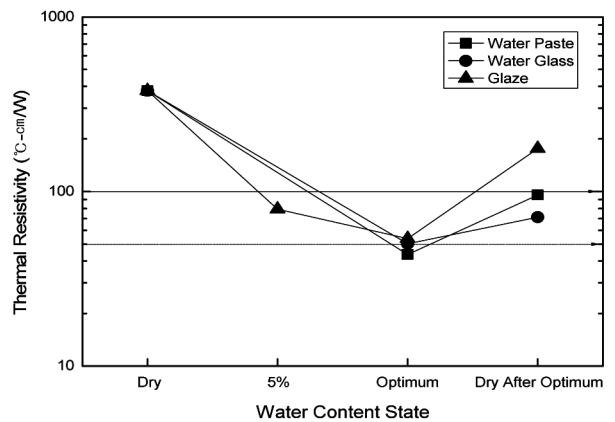


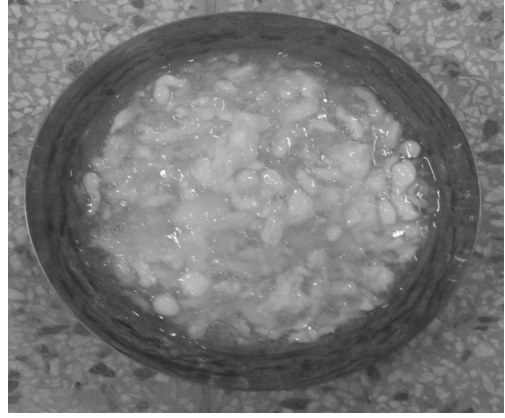
그림 10. 강모래와 물풀(water paste), 물유리(water glass), 유약(glaze) 혼합시료의 함수비 상태에 따른 열저항률

율에 따른 시료는 강모래와 글래스 비드만을 혼합하였을 경우에 비해 건조상태와 함수비 5%상태 모두 열저항률이 낮아지는 것으로 나타났다. 이를 토대로 되메움재로 사용 가능한 재료에 글래스 비드와 같은 재료를 혼합하여 되메움재가 낮은 열저항률을 갖기 위해서는, 글래스 비드가 열저항률이 낮은 광물인 석영으로 구성되어 있지만 다양한 흡에서의 열은 입자간 접촉면적에 의해 주로 전달되므로 구성물질 뿐만 아니라 입자크기 및 함수능력, 입도분포 등의 다양한 열저항특성을 고려하여 입자간 접촉면적을 증가시키는 방법이 먼저 고려되어야 할 것으로 판단된다.

추가적으로 입자간 접촉면적의 증가를 위해 쉽게 구할 수 있는 물풀(water paste)과 물유리(water glass), 유약(glaze)을 강모래와 혼합하여 열저항률 시험을 실시하였고, 시험결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 9에서 강모래와 유약을 혼합한 시료에서는 열저항률이 크게 변화하지 않고 있으나, 강모래와 물풀, 강모래와 물유리를 혼합한



(a) 고체상태의 플록(floc)



(b) 수중에서의 플록

그림 11. 시험에 사용된 플록(floc)

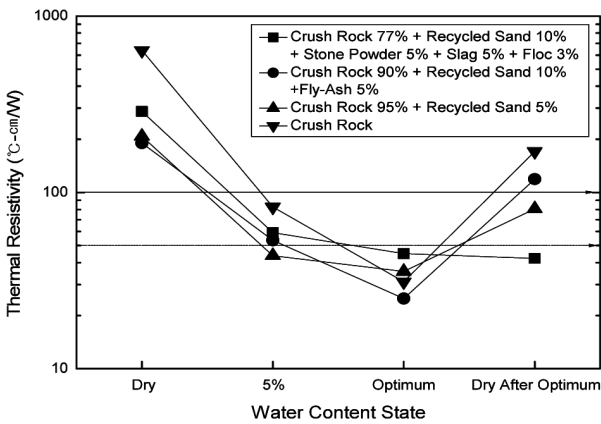


그림 12. 쇄석과 재생모래, 석분, 슬래그, 플록 혼합시료의 함수비 상태에 따른 열저항률

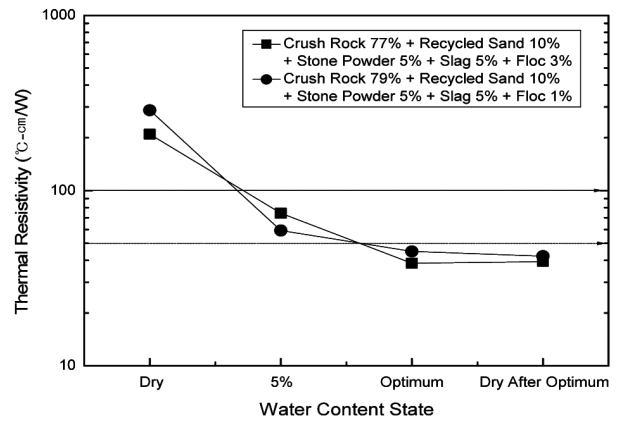


그림 13. 플록 혼합비를 달리한 복합시료의 함수비 상태에 따른 열저항률

시료에서는 최적함수비상태와 최적함수비에서 다짐 후 건조된 경우 모두 요구되는 열저항률(습윤상태시 50°C-cm/Watt, 건조상태시 100°C-cm/Watt)을 만족하였다. 그러나 강모래와 물풀, 강모래와 물유리를 혼합한 시료는 높은 강도를 가지고 있어 신속하게 케이블공사가 이뤄질 필요가 있는 지중송전관로의 경우 또는 신속한 보수가 이루어져야 하는 경우 등에는 되메움재가 과도한 강도를 가지게 되면 곤란하므로 되메움재로의 사용은 곤란할 것으로 판단된다.

### 3.4 되메움재의 최적화를 위한 혼합재료

지금까지의 검토결과를 통해 낮은 열저항률을 갖는 쇄석을 주축으로 여러 재료를 혼합하여 최대건조단위중량을 얻을 수 있는 입도분포에 유사한 입도분포를 갖도록 한다면, 열저항특성이 개선되어 되메움재의 최적화가 가능할 것으로 판단되었다. 따라서 최대건조단위중량을 얻을 수 있는 입도분포곡선과 유사한 입도분포를 보인 쇄석과 재생모래 외에도 평균입경이 작은 석분과 세립분의 추가를

위해 슬래그, 그리고 그림 11과 같이 보습력이 있어 수분 이동을 막을 수 있고 혼합시 점착력을 보이는 화학침전물인 플록(floc)을 혼합하는 방법이 검토되었다. 그림 12에 쇄석과 재생모래, 석분, 슬래그, 플록을 혼합한 시료에 대해 열저항률 시험결과를 나타내었다.

그림 12에서 쇄석과 재생모래, 석분, 슬래그, 플록이 혼합된 시료의 경우 최적함수비상태에서 가장 열저항률이 큰 것으로 나타났다. 그러나 최적함수비에서 다짐후 자연 건조시 모든 시료에 비해 가장 낮은 열저항률을 보였고, 최적함수비상태에서보다도 낮은 열저항률을 나타내었다. 이러한 이유는 플록의 보습효과로 완전한 건조상태가 되지 않고 낮은 함수비상태를 유지하기 때문인 것으로 판단된다. 그림 13에는 플록의 혼합비를 다르게 하여도 비슷한 열저항률을 나타내는지 알아보기 위해 플록의 혼합비를 달리한 혼합시료의 열저항률 시험결과를 나타내었다. 그림에서 함수비 5% 상태를 제외하면 플록의 혼합비가 낮은 1% 경우 3%에 비해 열저항률이 높은 것으로 나타났다.

이는 플록의 혼합비가 낮아짐에 따라 보습효과가 줄어들기 때문인 것으로 판단된다. 그러나 지중송전관로 설계시 요구되는 열저항률은 만족하고 있는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 여러 종류의 되메움재 후보군에 대한 시료를 대상으로 열저항률 특성을 고려한 되메움재로서의 최적화에 대하여 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 화강풍화토, 쇄석, 재생모래, 석분의 열저항률 시험결과, 모든 재료가 건조시 100°C-cm/Watt 이상의 열저항률을 나타내고 있어 단일재료만으로는 되메움재로의 사용이 어려울 것으로 판단된다.
- (2) 되메움재로 가장 많이 사용되는 강모래와 플라이애쉬, 슬래그, 물푸, 물유리 등을 혼합한 결과, 단순한 입도분포의 개선을 위해 세립분을 추가하는 것 외에도 입자간 접촉면적을 증가시킬 수 있는 혼화재를 사용하면 재료의 열저항률이 효과적으로 낮아질 것으로 판단된다.
- (3) 최적함수비상태에서 가장 낮은 열저항률을 나타낸 쇄석의 입도분포 개선을 위해 평균입경이 작은 재생모래와 석분, 슬래그 및 물푸를 혼합한 결과, 최적함수비에서 50°C-cm/Watt이하의 열저항률을 얻을 수 있었

고, 최적함수비 상태 후 건조시에도 열저항률의 증가가 일어나지 않고 있어, 되메움재로서 어느 정도 최적화에 근접한 것으로 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 지식경제부 한국에너지기술평가원의 전력산업 원천기술개발사업으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

#### 참고문헌

1. 김대홍, 이대수 (2002), “지중송전관로 되메움재의 열저항 특성”, *한국지반공학회논문집*, Vol.18, No.5, pp.209-220.
2. 김유성, 조대성, 박영준 (2011), “열저항 특성을 고려한 지중송전관로 되메움재의 최적화(I)”, *한국토목섬유학회논문집*, Vol.10, No.4 게재 확정.
3. 한국전력공사 전력연구원 (2003), *송전용량 증대를 위한 열방산회로 개선에 관한 연구 최종보고서*.
4. Imajo, T. (1976), *Development of Backfill Soils for Underground Cable(2) - Study on the Optimum Grading Distribution*, CRIEPI-72061, 175063.
5. Mitchell, J. K. and Chan, C. K. (1982), *Backfill Materials for Underground Power Cable*, Phase 1-4., EPRI EL-506, EL-1894, EL-4150, EL-4856.

(논문접수일 2011. 11. 18, 심사완료일 2011. 12. 23)