

지중송전 케이블 되메움 콘크리트의 열 저항 특성에 관한 연구

A Study on the Thermal Resistance Characteristics of Backfill Concrete for Underground Power Cables

정 원 섭*
Jung, Won Sup

권 기 주**
Kwon, Ki Joo

김 대 홍***
Kim, Dae Hong

ABSTRACT

Due to the recent economic growth and the subsequent increase in demand of electricity, the construction of underground transmission line is also on the rise. Especially, in the metropolitan area, we have much obstruction in laying the line to the central district because of difficulties in procurement of construction land and the increase in the construction cost. Therefore, the necessity of increasing the capacity of transmission line has been suggested. In order to increase the capacity, the electric voltage and current intensity in size-limited lines should be also increased. But, eventually, it leads to the generation of unnecessary heat and the heat radiates through insulation cables and backfill concrete. So we need to develop the material that has good heat radiation characteristics. In this study, we developed and tested backfill concrete that can be a substitute for previously used backfill sand.

1. 서론

최근 지속적인 경제 성장과 함께 전력수요가 급증함에 따라 전력을 공급하기 위한 송전 선로의 건설이 계속 증가 추세에 있다. 대도시의 경우, 부하 중심부인 도심까지 송전하기 위한 지중송전선로 건설시, 도심 내에서의 건설부지 확보 곤란과 건설비용 과다 등 많은 제약을 받고 있는 실정으로, 지중송전선로의 전력공급능력을 증대시키는 방안을 모색할 필요성이 제기되어 왔다. 지중송전케이블의 송전용량을 증가시키기 위하여 제한된 선로에 전압 및 전류를 증가시켜야 되나, 이들은 모두 발생 열을 증가시키게 된다. 이때, 발생하는 열은 절연 케이블과 되메움 콘크리트를 통해 외부로 발산되므로, 케이블에서 발생한 열을 효과적으로 방산 시키기 위하여 열방산 특성이 우수한 되메움재 개발이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 기존의 되메움재로 사용되고 있는 모래 대신, 열방산 특성과 시공성이 우수한 되메움 콘크리트를 개발하고자 실험을 수행하고 결과를 평가하였다.

* 정희원, 한국전력공사 전력연구원 연구원

** 정희원, 한국전력공사 전력연구원 책임연구원

*** 정희원, 한국전력공사 전력연구원 선임연구원

2. 실험 개요

2.1 실험재료

2.1.1 사용재료

되메움 콘크리트의 열 저항 특성 구명을 위해 선정된 재료의 종류는 잔골재, 굵은 골재(쇄석), 1종 포틀랜드 시멘트, Fly ash 및 석분이며, 이의 물성은 표 1과 같다.

표 1 물성시험 결과표

구 분	잔골재	굵은 골재 (쇄석)	시멘트	FLY ASH	석분	비고
최대입경(mm)	-	19	-	-	-	
조립률	2.97	6.65	-	-	3.44	
비중(SSD)	2.58	2.65	3.15	2.23	2.70	
흡수율(%)	2.20	1.95	-	-	1.88	

2.1.2 되메움 콘크리트의 배합설계

송전용량을 증대하기 위한 되메움용 콘크리트는 열 저항이 낮고 경화후 유지보수가 용이해야 하며, 시공성 및 경제성이 좋도록 배합설계되어야 한다. 따라서 재료의 물성 및 열적 특성을 분석한 후 재령 28일의 압축강도는 10~40kgf/cm² 정도를 목표로 하였으며, 배합설계표는 표 2와 같다.

표 2 배합설계표

구 분	번 호	잔골재 (%)	굵은 골재 (쇄석) (%)	시멘트 (%)	FLY ASH (%)	석 분 (%)	유동성 (cm)	비 고
SFC	A	91	-	2.3	6.7	-	19±5	
	B	88	-	"	9.7	-	"	
SGFC	A	51	39	"	7.7	-	"	
	B	47	39	"	11.7	-	"	
PGC	A	-	-	2.0	-	98	"	
	B	-	-	"	2.0	96	"	

2.1.3 실험변수 및 조건

본 실험에서 구멍코자 하는 열 저항은 열 전도율의 역수이므로 열 전도율 측정기를 이용하여 열 전도율을 측정된 후 열 저항을 계산하였다. 실험변수는 골재 함유량, 결합재의 종류 및 함유비 등이며, 되메움 콘크리트의 열 저항은 배합재료, 밀도 및 습윤 함유율에 따라 크게 좌우되므로, 시편 재령 28일차의 흡수율(10%)과 절건상태의 조건으로 시험하였다.

2.1.4 시편제원

본 연구에 사용된 열 전도율 측정기기는 시편의 크기가 클수록 열 전도율의 측정 정확도가 증가한다. 그러므로, 시편의 최소크기를 8cm×6cm×2.5cm(가로×세로×두께)로 제한하고 있어, 본 연구에서는 Ø15×30cm 콘크리트 표준 공시체를 시편의 크기로 채택하였으며, 측정 위치는 시편의 윗면은 거칠기 때문에 면이 고른 밑면에서 열 전도율을 측정하였다.

2.2 열전도율 측정기기

본 연구에서 사용된 열 전도율 측정기기는 일본 KEM사에서 제작한 QTM-D3이다. 이 기기는 과도열선 방식을 변형한 프루브법에 의해 열전도율을 측정하는 기기로서 이 기기의 특징은 열선과 측정온도의 증가량이 크지 않고 빠른 시간 내에 측정이 가능하므로 열 전도율의 온도 의존성이 큰 재료에도 사용할 수 있다는 것이다. 열 전도율의 측정 범위는 0.02~10.00kcal/m.hr.℃이내이며, 측정범위 내에서의 측정오차는0.3%이내이다.

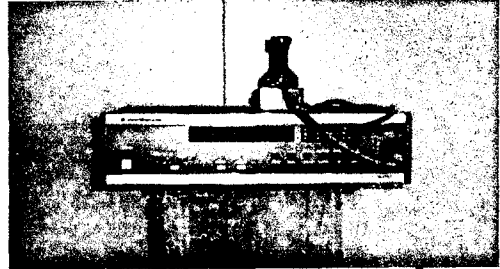


그림 1 열전도 측정기기

QTM-D3의 기본원리는 얇은 발열선에 정전류(일정한 열속)를 인가하면 그림 2 및 그림 3의 경우와 같이 지수적인 온도상승 특성을 관찰할 수 있다. 이에 대한 개념도는 그림 4와 같다. 이상의 이론을 바탕으로 열 전도율은 식 (1)과 같이 도출될 수 있다.

$$\lambda_N = \frac{q \ln(t_2/t_1)}{4\pi(T_2 - T_1)} = \frac{q \ln(t_2/t_1)}{4\pi \Delta T} \quad (1)$$

여기서 q : 발열선 1m에 대해 발생하는 열량 (kcal/mh)

$$q = 0.86RI^2 = 0.86VI/L$$

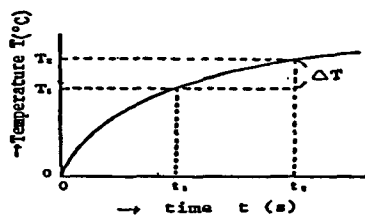
V : 전압 (V)

I : 전류 (A) 일정

L : 측정하고자 하는 전압 강하량 V에 해당하는 발열선의 길이 (m)

R : 발열선 단위 길이당 저항 (Ω/m)

t_1, t_2 : 시간(s)



T_1, T_2 : t_1, t_2 에서의 온도(℃)

그림 2 시간과 온도의 관계

The starting temperature is considered to be 0°C in this graph.

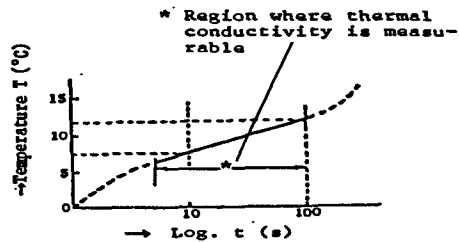


그림 3 온도의 관계

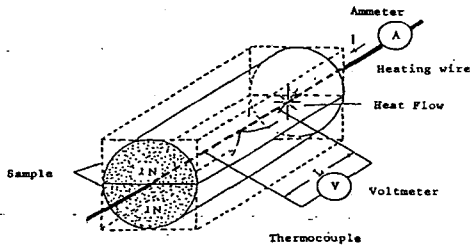


그림 4 열 저항 측정 개념도

2.3 실험방법

2.3.1 열 저항 시험

되메움 콘크리트의 열 저항을 나타내는 단위는 $^{\circ}\text{C}\cdot\text{cm}/\text{Watt}$ 로써 한번의 길이가 1cm인 정육면체 내부를 통해 1W의 열이 흐르면 정육면체 전체에 1°C 의 온도상승이 발생하는 것을 말하며 되메움 콘

크리트가 열원으로부터 받은 열의 발산정도를 나타낸다. 전력케이블의 전류용량은 도체 및 절연체의 최고허용온도에 의해 결정되며, 도체의 온도상승은 대부분 매설지점 되메움 콘크리트의 열 저항에 의해 좌우된다. 되메움 콘크리트의 열 저항 특성은 각 재료의 열 특성을 나타내는 의미로서 사용되며, 각 재료를 최적량으로 배합한 되메움 콘크리트의 열 저항으로 나타낼 수 있다. 열 저항 평가 시험은 주로 배합재료의 물성 및 함수비에 따라 크게 변화되므로 다양한 재료를 선택하여 배합설계를 수행하고 재령에 따라 절건상태와 흡수율이 10%정도인 상태로 구분하여 열 저항을 평가하였다.

2.3.2 압축강도 시험

압축강도는 ASTM C 39에 준하여 수행하였으며, 시편 규격은 $\text{O}15 \times 30\text{cm}$ 의 표준 공시체를 제작하여 $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ 의 항온에서 28일 양생후 압축강도를 측정하였다.

2.3.3 유동성 시험

되메움 콘크리트는 일반 구조물 콘크리트의 물성 및 역학적 특성을 따르기보다는 열 적 특성이 좋은 무다짐, 저 강도 콘크리트의 조건을 만족하는 범위에서 유동성이 우수하여야 한다. 유동성 시험은 시공성 확보, 블리딩, 재료분리 등을 평가하기 위한 한가지 방법으로 평판 위에 $D76\text{mm} \times H152\text{mm}$ 원통형 몰드를 놓고 시료를 충전한 후 원통 몰드를 수직으로 들어올려 시료의 퍼짐성을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1.1 열 저항

현재까지 설계에 반영된 열 저항값은 $100 \sim 120^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$ 의 값을 사용하고 있으나, 기존 되메움 재료인 모래는 함수비, 다짐도 등에 따라 $40 \sim 260^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$ (KEPRI 연구보고서)의 범위를 보이고 있다. 본 연구의 대상 되메움 콘크리트의 열 저항은 SFC, SGFC 및 PGC의 배합 모두 함수율 10%인 상태에서 $50^{\circ}\text{C} \cdot \text{cm}/\text{W}$ 이내의 우수한 결과를 보였으나, 절건상태의 열 저항은 SGFC 배합이 목표값 이내의 안정된 값을 나타내고 있다. 따라서 보수적인 설계값을 절건상태로 본다면 SGFC 배합이 가장 적절한 배합으로 판단된다. 열 전도율 및 열 저항 시험 결과는 표 3과 그림 5, 6, 7과 같다.

표 3. 시험 결과표

구분	번호	열 전도율(W/m·k)		열 저항(°C·cm/W)		비고
		흡수율상태	절건상태	흡수율상태	절건상태	
SFC	A	1.984	0.809	50	124	
	B	2.054	0.872	49	115	
SGFC	A	2.004	1.061	50	94	
	B	2.174	1.080	46	93	
PGC	A	2.418	0.907	41	110	
	B	2.191	0.869	46	115	

* SFC : sand + fly ash + cement
 SGFC : sand + gravel + fly ash + cement
 PGC : powderd granite + cement

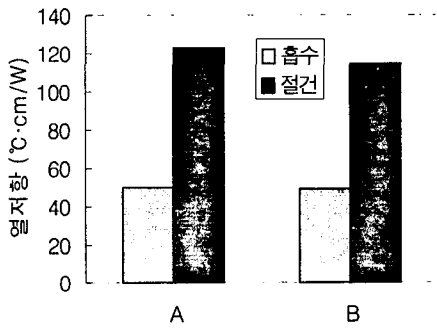


그림 5 SFC의 열 저항

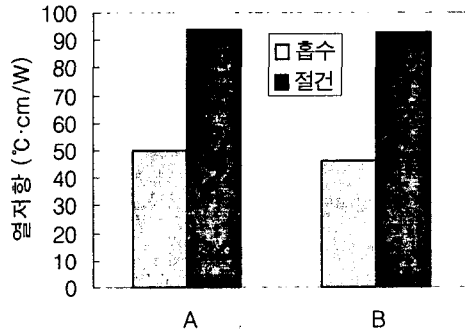


그림 6 SGFC의 열 저항

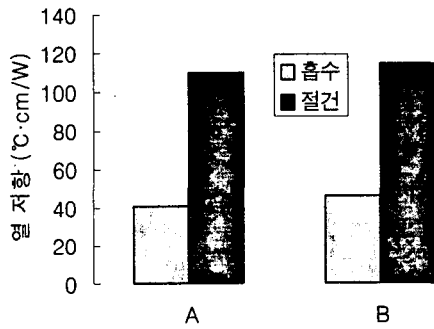


그림 7 PGC의 열 저항

3.1.2 압축강도

지중 송전선로의 되메움 콘크리트의 압축강도는 건설후 유지보수 등을 고려하면 설계강도 10kgf/cm² 이내가 적당하지만 SGFC, SFC 및 PGC배합 모두 양호한 결과를 보였다. 캐나다에서 연구한 자료를 참고하면 7~35kgg/cm² 정도로 매우 낮은 결과를 나타내고 있다. 본 연구의 압축강도, 흡수율 및 유동성 시험 결과는 표 4와 그림 8과 같다.

3.1.3 유동성

유동성 측정결과 SFC 및 SGFC 배합이 좋은 것으로 나타났고, PGC 배합은 약간의 골재분리가 있었다.

표 4. 시험 결과표

구분	번호	압축강도 (kgf/cm ²)	흡수율 (%)	유동성 (cm)	비고
SFC	A	9	10%	19±5	
	B	10	"	"	
SGFC	A	24	"	"	
	B	19	"	"	
PGC	A	5	"	"	
	B	6	"	"	

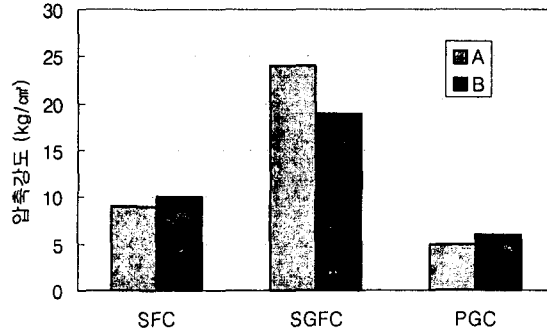


그림 8 압축강도 비교표

4. 결론

본 연구에서는 지중 송전선로의 되메움 콘크리트의 사용가능성을 평가하기 위해 혼합재료를 변화하여 열 저항을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 되메움 콘크리트의 열 저항은 재료, 혼합비율 및 함수비에 따라 큰 변화가 있음을 알았다.
- (2) SGFC 배합의 경우 습윤상태 및 절건상태의 열 저항이 100℃·cm/W 이내로 측정되어 송전선로에 적용 가능한 배합으로 나타났다.
- (3) 되메움 콘크리트의 현장 적용을 위한 실증시험 및 시공성 관련 후속 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

참고문헌

1. S.A. Boggs, F.Y. Chu, H.S.Radhakrishna, J.E.Steinmanin, "Underground Cable Thermal Backfill", Proceedings of the Symposium on Underground Cable Thermal Backfill, held in Toronto, Canada, September 17 and 18, 1981
2. K.L. Saucier, B.D. Neeley, "Anti-Washout Admixtures in Underwater concrete", ACI Concrete International, May, 1987.
3. 日本沿岸開發技術研究センター, "水中不分離性콘크리트マニュアル", 1990.
4. 日本土木學會, "水中不分離性콘크리트設計施工指針(案)", 콘크리트라이브러리第67號, 1991
5. 김국한, 전상은, 방기성, 김진근, "콘크리트의 열전도율에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트 학회 논문집, Vol.13, No.4, pp. 305~313, 2001. 8.
6. 조선규, "수중불분리성 혼화제를 첨가한 콘크리트의 최적배합비에 관한 실험적 연구", 한국콘크리트 학회 논문집, Vol.8, No.5, 1996. 10.
7. 윤영수, 이승훈, 원종필, 장일영, "수중콘크리트의 특성평가를 위한 실험적연구", 대한토목학회 논문집, 제17권, 제I-3호, 1997. 5.