

# 지하 전력구 단면 형상에 따른 터널내 열유동 특성

백두산, 이승철, 곽동걸  
강원대학교

## Heat Flow Characteristics by Sectional Shapes in Underground Electric Power Tunnel

Doo San Baek, Seung Chul Lee, Dong Kurl Kwak  
Kangwon National University

### ABSTRACT

This study has conducted a computational analysis to find out about characteristics of heat flow emitted from power lines when the sectional form of electric power tunnel that adopts forced ventilation is shaped like a rectangular, arch or horseshoe. The result of analysis shows that the temperature in the vicinity of the power line peaked at 70 °C when the sectional form is a rectangular, which indicates it is less affected by ventilation than the form of an arch or horseshoe.

### 1. 서론

경제성장으로 인한 전력수요의 증가로 송전용량을 증대시킬 수 있는 초고압 송전선로의 수 또한 증가하고 있다. 한편 도시에서는 효율적인 공간활용과 미관을 위해 전력시설과 통신시설 등을 지상에서 지하로 전력구 터널을 사용하여 옮기고 있는 추세이다.

전력구 터널의 단면형상은 직사각형, 말발굽형 등이 있다. 직사각형 모양의 전력구는 주로 얇은 곳에 시공하며, 지표면을 굴착하고 그 속에 지하구조물을 구축하고 완성한 후 다시 매몰하는 방법으로 시공한다. 굴착면적이 작은 장점이 있으나, 도심지에서 공사할 경우 교통의 흐름을 방해할 수 있는 단점이 있다. 말발굽형은 TBM공법이나 Shield공법을 이용하여 지중에서 굴착하는 방법으로 시공하며, 단면이 말발굽형으로 되어 있어 천정부가 흩이나 암반의 무게에 의한 힘이 벽면에서 압축력으로 변화하기 때문에 국부적으로 힘이 집중되지 않는 장점이 있지만 직사각형 형상에 비해 시공비용이 큰 단점이 있다.

또한 전력구 내의 초고압 송전선은 전류 등의 여러 가지 이유로 열을 발생시키기 때문에 전력구의 내부 온도 상승을 초래하며, 상승된 온도는 송전선의 송전 효율을 감소시킨다.<sup>[1]</sup>

따라서 본 연구에서는 전력구 내 화재 시 전력구의 단면 형상 차이에 따른 내부 열유동 특성에 대해 알아보려고 한다.

### 2. 본론

#### 2.1 해석 대상 및 방법

본 연구의 해석 대상을 Fig. 1에 나타내었다. 전력구 터널의 종류는 단면의 형상에 따라 직사각형, 아치형, 말발굽형으로 구분하였다. 각 전력구 단면의 면적은 직사각형 6.28 m<sup>2</sup>, 아치형

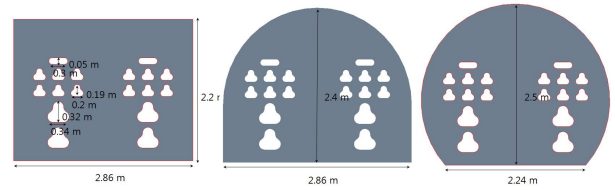


Fig.1 Cross-section of electric power tunnel

6.23 m<sup>2</sup>, 말발굽형 6.28 m<sup>2</sup>이며, 연장길이는 100 m 이다. 전력선은 5개 단을 배치 하였으며, 1단의 전선은 바닥으로부터 0.2 m 만큼 천장방향으로 이격되어 있다.

#### 2.2 지배방정식 및 경계조건

본 연구에서 전력구 터널 내 공기유동은 3차원, 비정상상태 난류유동으로 가정하였으며, 사용된 지배방정식은 연속방정식, 운동량방정식, 난류운동에너지방정식, 난류운동에너지소산율방정식, 에너지방정식으로써 식 (1)부터 (5)까지 나타내었다.

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + g_i(\rho - \rho_0) \quad (2)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\rho u_j k) - \left( \mu + \frac{\mu_t}{\tau_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] = \mu_t (P + P_B) - \rho \epsilon \quad (3)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} \left[ (\rho u_j \epsilon) - \left( \mu + \frac{\mu_t}{\tau_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] = C_{\epsilon 1} \mu_t \frac{\epsilon}{k} P - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_{\epsilon 3} \frac{\epsilon}{k} \mu_t P_B \quad (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i T) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left\{ \left( \frac{\mu_l}{\tau_l} + \frac{\mu_t}{\tau_t} \right) \frac{\partial T}{\partial x_i} \right\} + S_T \quad (5)$$

경계조건은 전력구 터널 입구에 2 m/s의 속도조건을 부여하고, 출구부분에는 대기압 조건을 부여하여 전력구 터널 환기시스템을 강제환기로 가정하였고, 계산비용을 줄이기 위해 우측 벽면에는 대칭조건을 부여하였다. 각 전력선의 발열량은 1단 209.99W/m<sup>2</sup>, 2단 211.17W/m<sup>2</sup>, 3단 183.52W/m<sup>2</sup>으로 부여하였다.

#### 2.3 격자 시스템

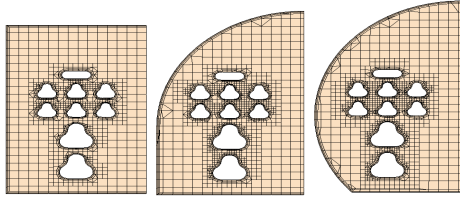


Fig. 2 Mesh grid system

해석에 사용된 격자 시스템을 Fig. 2에 나타내었다. 기본격자 크기는 0.1 m로 설정하였으며, 전력선과 전력구 터널 벽면에는 보다 세밀하게 격자를 세밀하게 하여 직사각형 약 360만개, 아치형 약 540만개, 말발굽형 약 570만개의 격자가 생성되었다.

## 2.4 수치해석 방법

수치해석을 하기 위해 상용 CFD코드인 STAR CCM<sup>+</sup> 9.06<sup>[2]</sup>을 사용했고, 전체 해석영역에 대하여 지배방정식을 유한 체적법(Finite Volume Method)으로 지배 방정식을 이산화 했으며, SIMPLE(Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations) 알고리즘<sup>[3]</sup>을 사용했고, 대류항 처리는 2차 상류차분법을 사용했다. 난류모형은 표준  $k-\epsilon$  난류모형<sup>[4]</sup>을 사용하였다.

## 2.5 해석결과

터널의 단면형상이 전력구 터널 열유동에 어떠한 영향을 미치는 지 확인하기 위해 전력선 선반의 단과 단 사이 중심점인 바닥으로부터 0.55 m, 0.95 m, 1.21m, 1.46m 높이에서의 온도를 Fig. 3에서 6가지 전력구 터널의 단면 종류와 길이방향에 따라 나타내었다.

단면의 형상이 직사각형인 경우 최고 온도가 70 °C로 아치형 60 °C 말발굽형 56 °C 보다 높았고, 그래프에 나타낸 모든 구간에서 다른 단면형상의 전력구 터널보다 온도가 높은 것을

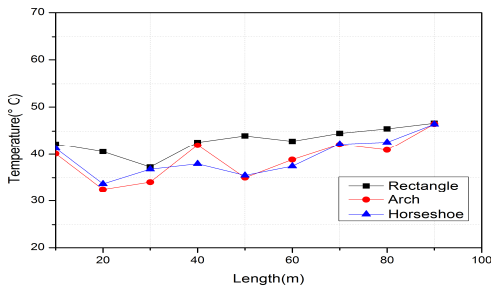


Fig. 3 Temperature on center of shelf according to longitudinal length (y=0.55 m)

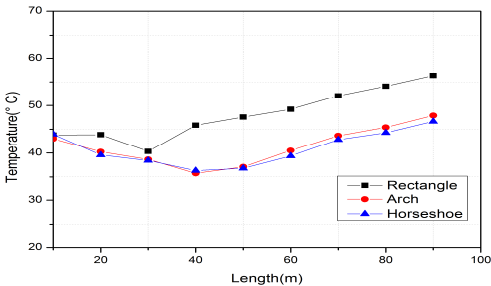


Fig. 4 Temperature on center of shelf according to longitudinal length (y=0.95 m)

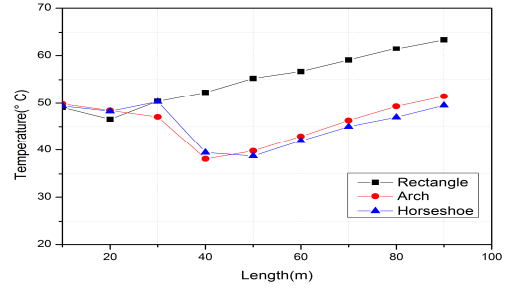


Fig. 5 Temperature on center of shelf according to longitudinal length (y=1.21 m)

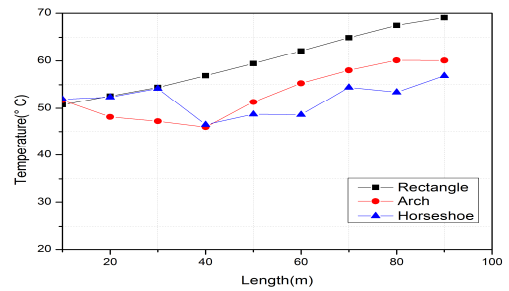


Fig. 6 Temperature on center of shelf according to longitudinal length (y=1.46 m)

확인하였다. 따라서 단면이 직사각형인 전력구 터널은 아치형, 말발굽형의 전력구 터널보다 환기에 대한 영향을 덜 받는 것으로 판단된다.

## 3. 결론

본 연구에서는 전력구 터널의 단면 형상에 따른 열유동 특성을 알아보기 위해 전산해석을 실시한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 단면의 형상에 따른 전력구 터널 내부의 온도 차이를 확인할 수 있었으며, 단면형상이 직사각형인 경우 아치형, 말발굽형일 때 보다 온도가 높은 것을 확인할 수 있었다.
- (2) 전력구 터널의 단면형상은 환기에 영향을 끼치기 때문에 전력구 터널 설계 시 형상에 대한 고려가 필요할 것으로 판단된다.

## 참고 문헌

- [1] Lee, H. H., Lee, S. C., Kwak, D. K. and Baek, D. S., "Numerical Simulation on the Temperature Distribution by Ventilation Type during Heat of the Power line in Electric Power Tunnel", 2014 Summer Power Electronics Annual Conference, The Korean Institute of Power Electronics, pp. 2-3, 2014.
- [2] CD ADAPCO Ltd., "STAR CCM+ Ver. 9.06 User Guide", CD ADAPCO Ltd., 2014.
- [3] Patankar, S. V., Spalding, D. B., "A Calculation Procedure for Heat, Mass and Momentum Transfer in Three dimensional Parabolic Flows", Int. J. Heat Mass Transfer, Vol.15, p. 1787, 1972.
- [4] Launder, B. E., Spalding, D. B., "The Numerical Computation of Turbulent Flows", Comput. Methods Appl. Mech. Eng., Vol 3, pp. 269-289, 1974.