

지하공동구 터널내 풍속 변화에 따른 열특성에 관한 수치 해석적 연구

유지오^{1*} · 김진수² · 라광훈³

¹정회원, 신한대학교 자동차공학과 교수

²비회원, 인천대학교 소방방재연구소 연구센터

³비회원, 이음엔지니어링

A numerical study of the effects of the ventilation velocity on the thermal characteristics in underground utility tunnel

Ji-Oh Yoo^{1*} · Jin-Su Kim² · Kwang-Hoon Ra³

¹Professor, Dep. of Automotive Engineering, Shin-Han University, Gyeonggi-do, Korea

²Researcher, Fire Disaster Prevention Research Center, Incheon National University, Incheon, Korea

³Director, EUM Engineering, Gyeonggi-do, Korea

*Corresponding Author: Ji-Oh Yoo, geotunnel@hanmail.net

Abstract

In this research, thermal design data such as heat transfer coefficient on the wall surface required for ventilation system design which is to prevent the temperature rise in the underground utility tunnel that three sides are adjoined with the ground was investigated in numerical analysis. The numerical model has been devised including the tunnel lining of the underground utility tunnel in order to take account for the heat transfer in the tunnel walls. The air temperature in the tunnel, wall temperature, and the heating value through the wall based on heating value(117~468 kW/km) of the power cable installed in the tunnel and the wind speed in the tunnel(0.5~4.0 m/s) were calculated by CFD simulation. In addition, the wall heat transfer coefficient was computed from the results analysis, and the limit distance used to keep the air temperature in the tunnel stable was examined through the research. The convective heat transfer coefficient at the wall surface shows unstable pattern at the inlet area. However, it converges to a constant value beyond approximately 100 meter. The tunnel wall heat transfer coefficient is 3.1~9.16 W/m²°C depending on the wind speed, and following is the dimensionless number: $Nu = 1.081 Re^{0.4927} (\mu/\mu_w)^{0.14}$. This study has suggested the prediction model of temperature in the tunnel based on the thermal resistance analysis technique, and it is appraised that deviation can be used in the range of 3% estimation.

Keywords: Underground utility model, Convective heat transfer coefficient on the wall, Utility tunnel ventilation

www.kci.go.kr

OPEN ACCESS

Journal of Korean Tunnelling and Underground Space Association
19(1)29-39(2017)
<https://doi.org/10.9711/KTAJ.2017.19.1.029>

eISSN: 2287-4747

pISSN: 2233-8292

Received January 9, 2017

Revised January 16, 2017

Accepted January 19, 2017



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution

Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Copyright © 2017, Korean Tunnelling and Underground Space Association

초 록

본 연구에서는 3면이 지중과 접하는 형태의 전력구에서 온도상승을 방지하기 위한 환기시스템 설계에 필요한 벽면에서 열전달계수 등 열설계 자료를 수치해석적인 방법으로 검토하였다. 수치해석 모델은 터널 벽체에서의 열전달을 고려하기 위해서 전력구의 터널의 라이닝을 포함하는 것으로 모델링하였으며, 전력구에 설치되는 전력케이블의 발열량(117~468 kW/km), 전력구내 풍속(0.5~4.0 m/s)에 따른 터널내 공기온도 및 벽체온도, 벽체를 통한 발열량을 CFD시뮬레이션에 의해서 구하였다. 또한 해석결과로부터 벽체열전달계수를 계산하고 환기구간의 터널내 공기온도를 유지하기 위한 한계거리를 검토하였다. 벽체표면에서 대류열전달계수는 입구영역에서는 불안정한 변화를 보이거나 약 100 m 정도의 이후에는 일정한 값에 수렴한다. 터널벽체열전달계수는 풍속에 따라 3.1~9.16 W/m²C 정도이며, 이를 무차원식으로 표현하면 $Nu = 1.081 Re^{0.4927} (\mu/\mu_w)^{0.14}$ 이 된다. 열저항 해석기법에 의해서 터널내 온도 예측방법을 제시하였으며, 약 3% 이내의 편차로 예측이 가능한 것으로 평가되었다.

주요어: 지하공동구, 벽체표면대류열전달계수, 공동구 환기

1. 서론

지하 공동구는 현대인의 도시생활에 필수적인 전기, 가스, 통신시설, 수도, 난방 등과 같은 인프라 시설을 통합 관리하기 위하여 하나의 공간에 공동으로 수용하는 공간이며, 대부분의 경우, 도로의 지하에 설치되는 터널형 지하시설물이다. 지하공동구는 터널형 폐쇄 공간으로 전력선의 송전효율 저하를 방지하기 위해서 공기온도의 상승을 억제할 필요가 있으며, 작업자나 관리자의 출입시에 대비하여 작업환경을 확보하기 위한 환기가 필요하다. 또한 내부에 수용되는 시설물에 의해서 화재가 발생할 경우에 대비하여 소화활동 및 구조활동을 위한 설비가 요구된다. 이에 공동구에는 터널내 적정 온도 및 습도를 유지하고 화재시에는 연기를 일방향으로 제어하여 대피환경을 확보할 수 있도록 환기설비를 설치하도록 시설기준에서 정하고 있다.

현재 공동구 관련 기준은 국토부에서 발간하고 국가건설센터에서 관리하는 터널설계기준의 “KDS 27 60 00-4.1.4 기타터널(통신구, 전력구, 수로터널 등)의 환기설비계획(Ministry of Land, 2010)”과 “KDS 27 60 00-4.3.5 기타터널(통신구, 전력구, 수로터널 등)의 방재설비(Ministry of Land, 2010)”편에 제시되어 있으며, 다음과 같다.

환기기 용량은 환기횟수, 터널내 풍속, 터널내 온도상승한계치 등이 기준이 되어 산정될 수 있다. 그러나 위 제시된 설계기준에서는 환기횟수는 2회/hr(환기구간 거리를 250 m로 하는 경우, 터널내 풍속을 0.14 m/s; 250 m/1800초)를 요구하고 있으며, 터널내 풍속은 전력구의 경우에는 2.0 m/s 이하, 작업원이 출입하는 터널은 풍속은 2.5 m/s 이상, 방재목적에서 최소풍속은 2.5 m/s 이상으로 제시하고 있다. 전술한 기준은 상호간에 일치하지 않으며, 이로 인해 적정풍속의 산정에 혼란이 야기되고 있는 실정이다.

또한 송전효율을 높이기 위해 전력구내 전선의 발열 및 시설물의 발열을 환기에 의해서 제거하여 공동구내의 온도를 적정온도로 유지하도록 하고 있으나 온도에 대한 기준이 외기온도 이하 또는 적정온도로 제시되어 있는 등 설계근거가 명확하지 못한 실정이다.

전력구내의 온도상승은 송전선의 전기저항의 증가로 송전용량이 감소하는 등의 문제를 발생시키고 있으며, 이에 대한 연구는 다음과 같다.

Bae (2011)의 연구에 의하면 북부산~남부산(총연장 21 km) 지중송전선로의 경우, 전력구내 온도가 44°C까지 상승하여 송전용량이 10%감소(518 MW/회선→469 MW/회선)하는 현상이 발생하며, 이를 40°C로 유지하기 위해 냉각시스템을 도입하고 있으며, 전력구 온도에 따른 송전용량은 전력구 온도를 40°C를 기준으로 하는 경우, 1°C온도상승당 약 2%의 송전용량 감소가 발생하는 것으로 보고하고 있다.

Cha (2003)의 연구에서는 전력구의 온도가 40°C이상이 되면 수냉각설비의 도입이 필요하지만 산업안전보건법의 경도 유지온도를 고려하여 37°C이하로 유지하는 것이 바람직한 것으로 제시하고 있다.

공동구내 온도는 공동구에서 전선 및 각종 배관에 의한 발열 및 공동구 벽체를 통한 열방출, 터널로 유입되는 환기용 공기의 냉각효과에 따른 열평형식에 의해서 결정되게 된다. 따라서 벽체를 통한 열방출량을 예측하기 위해서는 벽체열전달계수의 산정이 필요하다.

이에 본 연구에서는 전력구에 설치되는 전력케이블의 송전용량에 따라 변하는 발열량과 공동구내 풍속(0.5~4.0 m/s)을 변수로 하여, 수치시뮬레이션을 통해 벽체 열전달계수를 예측하고 환기구간 한계거리를 벽체온도상승 관점에서 수치해석적인 방법으로 검토하여 전력구 환기시스템 설계를 위한 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 해석모델

2.1 해석조건

본 연구의 터널단면은 Fig. 1과 같으며, 이 중 케이블이 통과하는 전력구를 해석대상으로 한다. 공동구 단면적은 Fig. 1(a)와 같이 $3.95(=폭1.7 \times 높이2.35)m^2$ 이다. Fig. 1(b)는 해석을 위한 격자형상을 나타낸 것으로 격자의 크기는 0.1~0.2 m로 하였다.

본 해석모델에서는 벽체의 열전달계수를 예측하기 위해서 공동구 라이닝의 두께를 0.5 m로 하고 라이닝의 라이닝 외측 표면의 온도는 6~7 m 깊이의 지중으로 가정하여 15°C로 설정하였다(Seoul Metropolitan Government Office of Subway Construction, 2005).

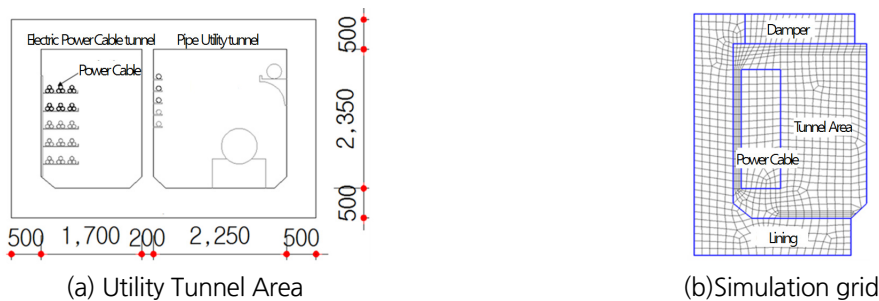


Fig. 1. Utility tunnel

전력구에 설치되는 전력케이블에서 발생하는 열량은 도체에서 발생하는 열량, 절연체에서 발생하는 열량, 시스에서 발생하는 열량의 합이 되나 본 연구에서는 각각의 열량 산정은 수행하지 않았으며, 습기가 높은 경우 표면 결로가 발생할 수 있는 latent heat 유입에 따른 내부의 열환경 변수는 고려하지 않았다.

본 연구에서의 전체 발열량조건으로 적용한 케이블은 일반적으로 사용되는 설계범위의 케이블을 선정하였다 (Yu, 2004). 이 경우 케이블 한가닥의 발열량은 19.52 W/km이며, 이를 설치되는 케이블의 가닥수로 하여 117 W/km (가닥수 = 6가닥), 234(12), 351(18), 468(24)로 하였다.

해석모델의 총길이는 1 km, 길이방향의 그리드 간격은 0.4 m이며 전력케이블에서 발생하는 열량은 Fig. 1(b)의 케이블 영역에 Volume source로 하였다. 또한 터널입구는 속도경계조건으로 하였으며, 유입되는 공기의 온도는 건축물의 에너지절약설계기준의 냉·난방장치의 용량계산을 위한 설계 외기온도 조건표에 따라 서울지역의 기준온도인 31°C, 풍속은 터널에서 자연적 혹은 기계적으로 발생할 수 있는 풍속의 조건 범위인 0.5~4.0 m/s로 하였다(Ministry of Land, 2015).

3. 해석결과

3.1 터널내 온도분포

Fig. 2는 전력선에 발생열량별로 터널풍속에 따른 공동구내 평균온도를 나타낸 것이다.

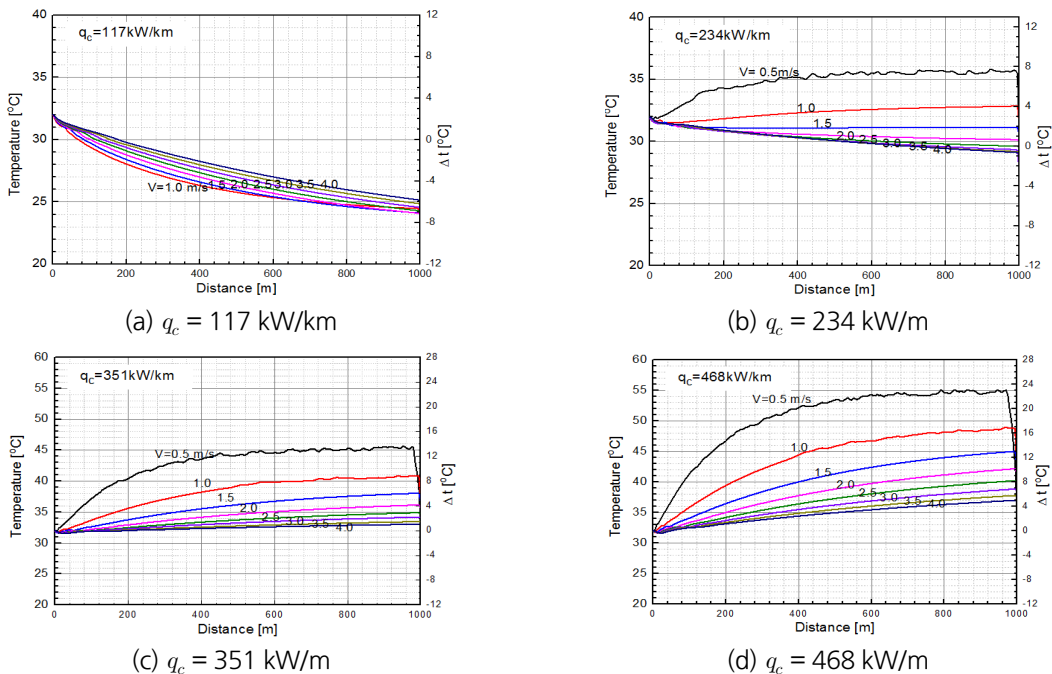


Fig. 2. Mean temperature of cable tunnel according to velocity

터널내 공기온도는 발열량이 117 kW/km로 작은 경우에는 입구온도보다 하강하는 경향을 보이며, 발열량이 234 kW/km인 경우에는 풍속이 낮은 경우(0.5~1.0 m/s)에는 유동하는 공기에 의한 냉각효과가 작기 때문에 입구 온도보다 상승하는 경향을 보이고 있으며, 풍속이 1.5 m/s이상으로 증가하면 감소하는 경향을 보이고 있다. Fig. 2(c)와 (d)는 각각 351 kW/km와 468 kW/km로 이 경우에는 풍속에 관계없이 터널내 공기온도가 입구공기온도보다 상승하는 경향을 보이고 있다. 또한 그림에서 풍속이 작은 경우(0.5 m/s)에는 터널내 공기온도는 입구에서부터 일정거리까지는 상승하는 경향을 보이나 일정거리 이상이 되면 온도상승이 거의 나타나지 않고 터널내 공기온도가 일정한 값에 수렴하는 것을 알 수 있다.

이와 같은 경향은 Fig. 3 및 식(1)의 열평형 관계식에 나타낸 바와 같이 전력선에서 발생하는 열량(q_c)이 벽체를 통해 방출되는 열량($q_w \cdot A_w$)보다 작은 경우에는 터널내 공기온도가 하강하나 케이블의 발열량이 벽체를 통한 열방출량 보다 큰 경우에는 터널내 공기온도는 상승하게 되며, 벽체를 통한 열방출량과 케이블의 발열량이 동일한 경우에는 터널내 공기온도가 일정하게 유지되기 때문이다.

$$q_c - q_w \cdot A_w = m C_p (T_{i+1} - T_i) \tag{1}$$

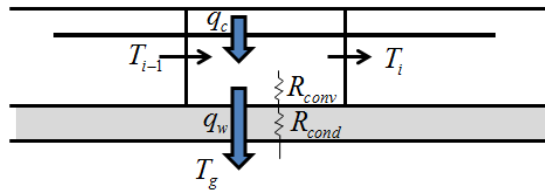


Fig. 3. Heat Transfer Process

3.2 벽체를 통한 열방출량 및 열전달계수 분석

터널의 종방향으로 5 m간격으로 공기평균온도(T_a :이하 공기온도), 벽체평균온도(T_w :이하 벽체온도)와 벽체를 통한 단위면적당 방출열량(\dot{q}_w ; 이하 방출열량)을 해석결과로부터 구하여 식(2)로 국소열전달계수(h_x)를 구하였다.

$$h_x = \frac{\dot{q}_w}{(T_a - T_w)} \tag{2}$$

Fig. 4는 풍속이 2.5 m/s일 때 각 케이블의 발열량에 대한 방출열량과 공기온도 및 벽체온도차(Δt), 열전달계수(h_x)를 나타낸 것이다.

Fig. 4(a)는 케이블 발열량이 117 kW/km인 경우로 벽체를 통한 방출열량 및 온도차는 연장이 길어지면 감소하

는 경향을 갖는다. 따라서 열전달계수는 입구부에서 불안정한 경향을 보이거나 시간이 지남에 따라 일정한 값에 수렴하는 경향을 보이고 있으며, 이 경우 열전달계수는 $6.9 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 이다. Fig. 4(b)는 케이블의 발열량이 234 kW/km 인 경우로 벽체를 통한 방열량과 온도차는 길이가 증가할수록 약간 감소하는 경향을 보인다. 열전달계수는 이 경우에도 입구영역에서 불안정하지만 일정한 값에 수렴하는 경향을 보이고 있다.

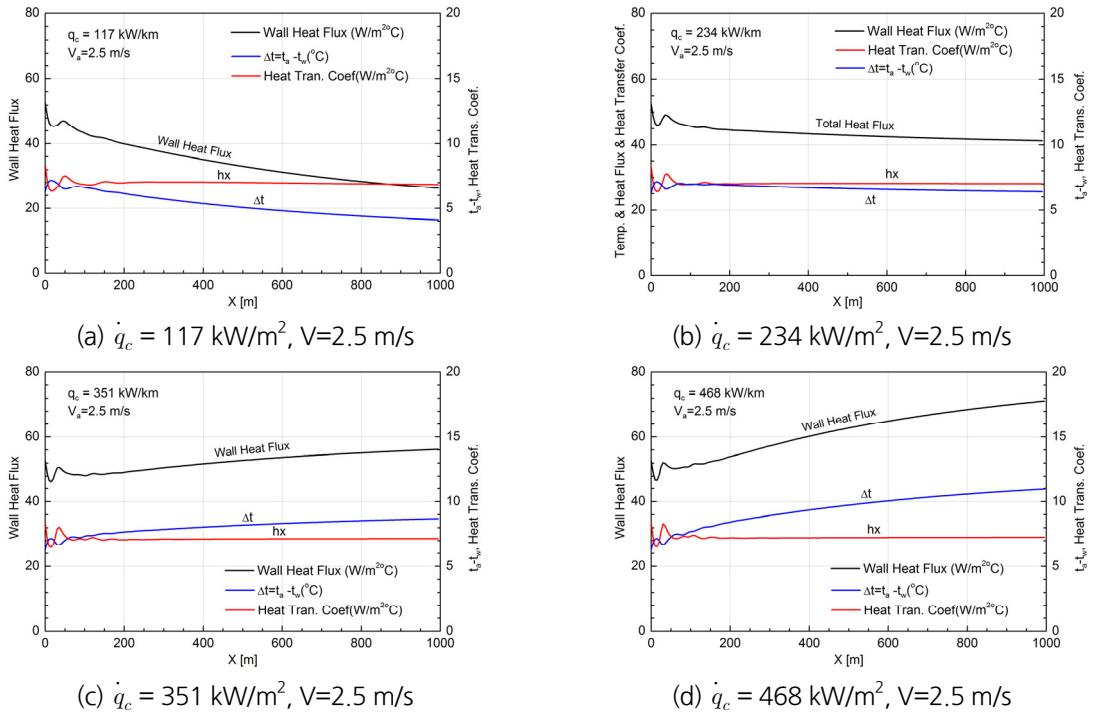


Fig. 4. Heat flux & Heat Transfer Coef. & Δt

풍속이 2.5 m/s 로 일정한 경우에 케이블 발열량에 따른 평균 열전달계수는 $6.97 \text{ W/m}^2\text{°C}$ ($q_c=117 \text{ kW/km}$), $7.04(234)$, $7.15(351)$, $7.25(468)$ 로 케이블의 발열량이 증가하면 약간 증가하는 경향을 보이는데 이는 터널공기 온도 상승의 영향으로 판단된다.

Fig. 5는 벽체표면에서 풍속에 따른 평균열전달계수를 전력선의 발열량로 정리하여 나타낸 것이다.

평균열전달계수는 전력선의 발열량이 동일한 경우에는 풍속이 증가할수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, 증가율은 풍속이 증가하면 둔화되는 것으로 나타나고 있다. 이는 일반적인 대류열전달 특성으로 볼 수 있다. 본 연구의 풍속범위($0.5\sim 4.0 \text{ m/s}$)에서 평균열전달계수는 전체적으로 $3.1\sim 9.16 \text{ W/m}^2\text{°C}$ 정도의 값을 보이고 있다. 또한 풍속이 동일한 경우에는 전력선의 발열량이 증가하면 약간 증가하는 경향을 보이고 있고 편차는 풍속에 따라서 차이가 있으나 $-4.0\sim +2.5\%$ 정도로 나타나고 있다.

Fig. 6은 터널의 등가직경을 대표길이로 하는 Re수와 Nu수의 관계를 나타낸 것으로 Nu와 Re의 관계식은 식

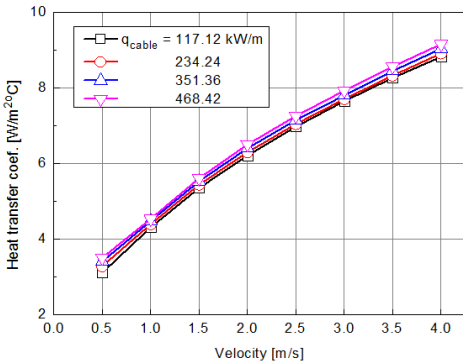


Fig. 5. Mean Heat Transfer Coef.

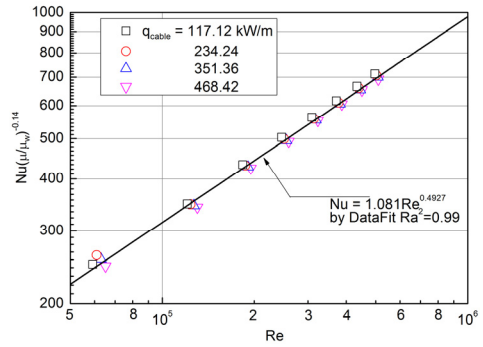


Fig. 6. Correlation Eq. Nu & Re

(3)과 같다.

$$Nu = 1.081Re^{0.4927} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (3)$$

그림에서 알 수 있는 바와 같이 전력선의 열발생량이 증가하면 Nu는 약간 감소하는 경향을 보이나 그 차이가 비교적 작기 때문에 식 (3)으로 예측 가능하며 상관관계식의 최대편차는 5.1%로 정도이다.

3.3 풍속에 따른 한계거리 분석

공동구내 기준온도를 35°C(터널온도-급기온도=4°C)와 37°C, 40°C로 하여 환기가 필요한 한계거리를 분석하였으며, 분석결과를 나타내면 Fig. 7과 같다. 단, 본 해석의 공동구는 Fig. 1(a)에 나타난 바와 같이 전력구와 배관

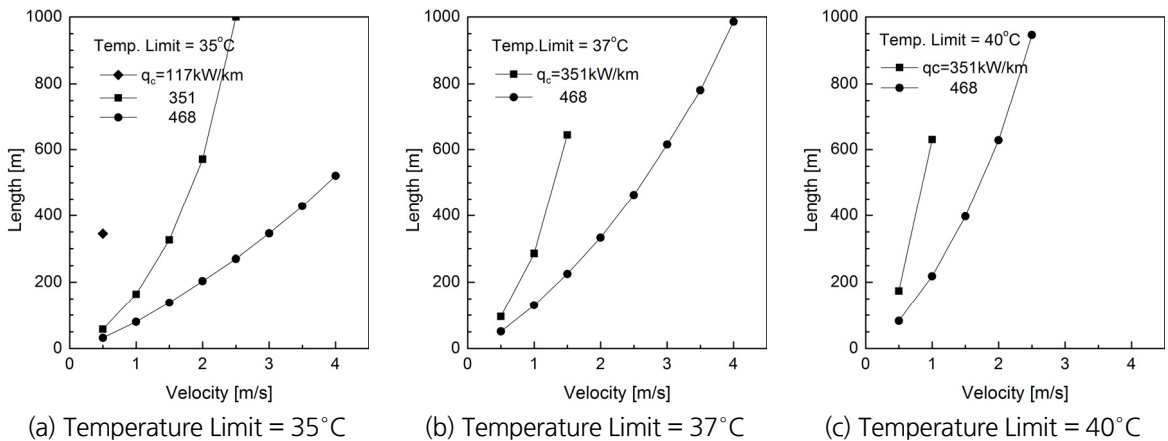


Fig. 7. Distance of Limit by temperature

구가 격벽으로 분리된 형태이다. 따라서, 한쪽 측벽에서의 열전달은 고려하지 않았다. Fig. 7에 의하면 풍속이 동일한 경우에 한계거리는 전력선의 발열량이 증가할수록 감소하며, 발생열량이 동일한 경우에는 풍속이 증가할수록 풍랑에 의한 냉각효과가 증가하여 한계거리가 증가한다.

특히, 본 해석에서는 Fig. 2에서 알 수 있는 바와 같이 전력선의 발생열량이 작은 경우($\dot{q}_c=117 \text{ kW/km}$)에는 벽체를 통한 방열량이 케이블의 발생열량보가 크기 때문에 하류측으로 갈수록 터널내 온도가 강하하는 현상이 발생하여 한계거리는 무한대로 나타나고 있다.

그림에서 각 조건별로 한계거리가 표시되지 않은 경우는 한계거리가 본 해석 범위인 1 km를 초과하는 것을 의미한다.

본 해석에서는 전력선의 발열량이 468 kW/km이고 풍속이 2.5 m/s일 때 40°C를 기준온도로 한다면 한계거리는 986 m로 분석되었다.

또한 공동구 설계기준(Ministry of Land, 2010)에서 제시하는 바와 같이 환기구 설치간격을 250 m로 하는 경우에는 전력선의 발열량이 468 kW/km이고 터널내 풍속이 2.0 m/s일 때 이를 만족할 수 있는 것으로 판단된다.

그러나 환기시 한계거리라는 전력선의 발열량, 전력구의 형태, 터널내 풍속, 한계온도 등에 영향을 받으므로 이를 최적화하는 기준의 제시가 필요한 것으로 판단된다.

3.4 터널내 공기온도의 예측

본 연구에서는 공동구 설계시 적용하기 위한 터널내 열저항 회로이론을 적용하여 터널내 온도 예측방법에 대해서 검토하였다.

터널 설계시 터널라이닝 외벽이 지중과 접하는 온도를 예측하는 것이 불가능하므로 본 연구에서는 외벽과 접하는 온도는 설계시 적용한 바와 같이 지중온도(T_g)로 일정한 것으로 가정하였다.

이와 같은 조건에서 총열저항(R_{total})은 대류열저항(R_{conv})과 벽체의 전도열저항(R_{cond})의 합이 된다. 본 연구에서는 해석결과로부터 식(4)을 구하였다.

$$q_w = \frac{1}{R_{th}}(T_a - T_g), R_{th} = \frac{T_a - T_g}{q_w} \tag{4}$$

Fig. 8은 식(4)로 구한 열저항을 나타낸 것이다. 터널입구에서 거리가 증가하면 풍속이 0.5, 1.0 m/s인 경우를 제외하고 입구영역에서 불안정한 양상을 보이다가 일정한 값에 수렴하는 것으로 나타나고 있다. 또한 풍속이 증가하면 열전달계수가 증가하기 때문에 열저항은 감소하는 경향을 갖는다. 이에 본 연구에서는 터널전체길이에 대한 평균 열저항을 구하였으며 이를 나타내면 Fig. 9와 같다. 그림에서 보는바와 같이 전력선의 발열량에 따른 열저항의 평균편차는 풍속이 작은 경우(1.0 m/s이하)에는 0.1정도이고 풍속이 1.5 m/s이상에서는 0.001이하로

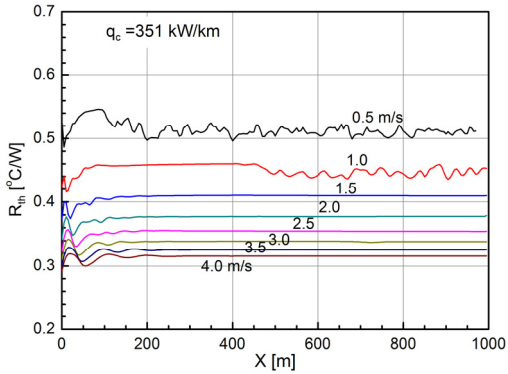


Fig. 8. Thermal resistance distribution ($q_c=351$ kW/km)

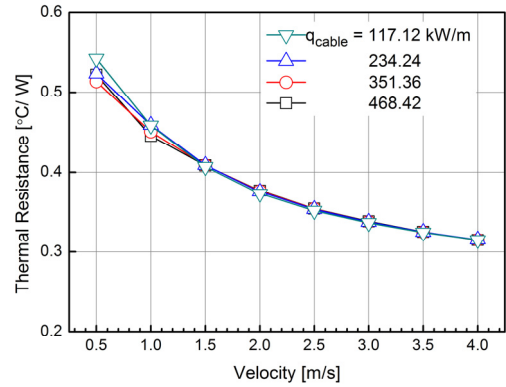


Fig. 9. Thermal resistance by velocity in tunnel

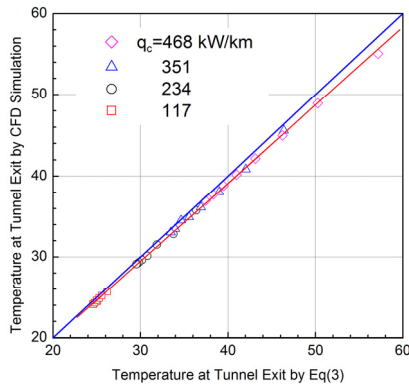


Fig. 10. Compare of temperature at tunnel Exit

열저항과는 무관한 것으로 나타났다.

Fig. 10은 평균열저항과 지중온도($T_g = 15^\circ\text{C}$)를 적용하여 터널내 평균온도를 식(5)에 의해서 예측한 출구온도와 시뮬레이션 결과를 비교하면 나타낸 것이다.

$$T_{i+1} = \frac{q_c - \frac{A_w}{R_{th}} T_g + (m C_p - \frac{A_w}{2R_{th}}) T_i}{m C_p + \frac{A_w}{2R_{th}}} \quad (5)$$

여기서, q_c 는 전력선에서 발생하는 열량, q_w 는 벽체에서 발생하는 열량, A_w 는 벽체의 면적, R_{th} 는 열 저항, T_i 는 터널내 공기 온도, T_g 는 지중온도(15°C)이다.

그림에 의하면 식(5)에 의해서 예측하는 결과는 수치시뮬레이션에 의해서 예측한 출구온도보다 1.0~3.9%정도 높게 예측하는 것으로 나타나고 있다. 따라서, 식(5) 및 열저항의 평균값을 적용하여 비교적 정확하게 터널내

온도를 예측하고, 이로 부터 온도기준 한계거리를 계산할 수 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

본 연구에서는 3면이 지중과 접하는 형태의 전력구의 환기시스템 설계를 위한 기초자료를 제시할 목적으로 전력구의 라이닝을 포함하는 수치해석 모델링을 하고 수치시물레이션을 통해 전력구에 설치되는 전력 케이블의 발열량(117~468 kW/km), 전력구내 풍속(0.5~4.0 m/s)에 따른 터널내 공기온도 및 벽체온도, 벽체를 통한 방열량을 구하였다.

또한, 해석결과로부터 벽체열전달계수를 예측하고 환기구간의 한계거리를 벽체온도상승 관점에서 검토하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 터널내 단면평균 공기온도는 예측되는 바와 같이 케이블의 발열량이 증가하고 풍속이 감소할수록 증가하는 경향을 갖는다.
2. 케이블의 발열량이 작은 경우에는 터널내 온도는 풍속이 작은 경우(0.5 m/s)에서도 입구온도보다 낮아지는 경향을 보이고 있다.
3. 케이블의 발열량이 234 kW/km 이상인 경우에는 풍속이 작은 경우(0.5 m/s)에 터널내 온도는 입구에서부터 급격하게 상승하여 일정거리 이상이 되면 일정한 온도에 수렴하는 경향을 보이고 있다.
4. 터널벽체에서 국소열전달계수는 입구영역에서는 불안정한 경향을 보이나 입구에서부터 약 100 m 이상되는 지점부터는 일정한 값을 보이는 것으로 나타나고 있다.
5. 터널벽체의 평균 대류열전달계수는 풍속이 증가하면 증가하며, 케이블 발열량에 따른 차이는 -4.0~+2.5%로 작으나 발열량이 증가하면 보다 높은 값을 보이고 있다.
6. 대류열전달계수는 다음의 무차원식으로 표현될 수 있으며, 식의 오차는 5.1% 정도로 나타나고 있다.

$$Nu = 1.081 Re^{0.4927} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14}$$

7. 터널 라이닝의 외측표면온도를 지중온도로 하여 열저항을 구한 결과, 열저항은 전력선의 발열량에는 무관하며 온도가 증가하면 감소하는 경향을 보이고 있다. 또한 열저항 해석방법에 의해서 터널내 공기온도를 예측한 결과 수치해석결과와 3%의 편차로 예측할 수 있다.
8. 환기구간의 한계거리는 전력선의 발열량, 전력구의 형태, 전력구내 풍속, 한계온도에 영향을 받으며, 본 해석 조건에서 전력선의 발열량이 468 kW/km, 풍속이 2.5 m/s, 한계온도 40°C로 할 때 한계거리는 986 m 정도로 분석되었다.

감사의 글

본 연구는 국토교통부 건설교통과학기술진흥원의 건설기술연구사업(고수압 초장대 해저터널 기술자립을 위한 핵심요소 기술개발, 13건설연구T01)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

References

1. Cha, B.K. (2003), "A Study on Water Cooling System for 345 kV, 154 kV Cable Underground Tunnel", The Korean Society of Mechanical Engineers autumn annual conference, pp. 131-155.
2. Bae, J.-H., Min, B.-W., Kim, T.-Y., Kim, J.-S., Suk, K.-H., Shon, H.-S. (2011) "Cooling System for the Increase of Underground Power Cable Capacity in Tunnel", The Transactions of the Korean Institute of electrical engineers summer annual conference, pp. 574-575.
3. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2010), "Utility Pipe Tunnel Design Criteria (KDS 27 60 00-4.1.4)", South Korea.
4. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (2010), "Utility Pipe Tunnel Design Criteria (KDS 27 60 00-4.3.5)", South Korea.
5. Ministry of Land (2015), "Energy Saving Design Standard of Building", South Korea.
6. Yu, S.-H., Yang, H.-K., Oh, C.-H. (2004), "High Voltage Underground Cable Cooling System", KEPCO.
7. Seoul Metropolitan Government Office of Subway Construction (2005), "Urban Railway Technical (Tunnel)", South Korea.

