

## 배관시스템을 활용한 도로용설 시스템의 설계방법

김진호<sup>†</sup>, 김중현, 이건태

삼성물산 건설부문, 기술연구센터, 친환경에너지연구소

### Design of Road Snow Melting system Using Piping System

Jin-Ho S. Kim<sup>†</sup>, Jung Hun Kim, Geon-Tae Lee

*Inst. of Sustainable Tech. Research, Technology Research Center, Samsung C&T, Seoul 137-956, Korea*

**ABSTRACT:** Snow melting system is adapted for safety and environment sides. Geothermal System has some problem of unbalance between summer and winter heat loads. Snow melting system with piping system is widely adapted in Japan. In this paper, the variation of road surface temperature along time for heating load is investigated. And for checking the difference between electrical melting system and piping melting system, other design parameters is investigated.

**Key words:** Snow melting system(도로용설시스템), Piping system(배관시스템), Simulation (시뮬레이션)

#### 1. 서론

도로가 경사면에 위치하거나, 산비탈에 위치하는 공동주택의 경우, 도로의 경사도가 크고, 고층아파트로 인한 일조권 불량으로 인하여 결빙될 가능성이 높기 때문에 주행차량 및 보행자의 안전을 위하여 도로용설시스템의 적용이 확대되고 있다. 또한 강설시 제설을 위하여 염화칼슘 및 모래 등을 살포하면서 야기되는 환경공해와 주변에 식재된 수목의 고사가 문제점이 되고 있다. 이에 따라 점차 도로용설시스템이 적용되는 경우가 증가하고 있다.<sup>(1)</sup>

국내에서 적용되고 있는 대부분의 도로용설시스템은 전기히터를 도로에 매설하여 가열하는 시스템이 사용되고 있으나, 운전비가 고가인 단점이 있다.

최근 신재생에너지의 보급활성화로 인하여 공동주택에도 지열난방 시스템이 증가하고 있다. 지열난방시스템의 특성상 여름철의 냉방용량이 겨울철의 난방용량에 비하여 크기 때문에, 지중온도의 경년변화가 문제가 될 가능성이 존재하여 난방부하를 크게 가져갈 필요성이 있다.<sup>(2)</sup>

이러한 관점에서 여름철 냉방부하와 겨울철의 난방부하의 차이만큼의 용량을 도로용설시스템에 적용한다면, 운전비의 절감을 꾀할 수 있을 뿐만 아니라, 지열을 활용하는 경우 발생할 수 있는 지중온도의 경년변화 문제를 한꺼번에 해결할 수 있는 장점에 있다.

지열을 이용한 도로용설시스템은 도로에 난방배관을 설치하고 배관 내에 온수를 공급함으로써, 배관이 전기히터의 역할을 하는 방식으로서, 이는 이미 일본에서 널리 활용되어 있는 시스템이다.<sup>(3-5)</sup> 하지만, 아직까지 국내에서 적용된 사례는 없다. 본 연구에서는 도로용설시스템의 도로마감재질의 종류 및 두께에 의한 도로 표면온도의 변화를 살펴보았으며, 이러한 설계의 타당성을 CFD를 활용하여 점검해 보았다.

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-2-2145-7640; fax: +82-2-2145-7660

E-mail address: jinho.s.kim@samsung.com

## 2. 도로용설시스템의 설계이론

도로용설설계란 동절기시 도로 또는 보도위에 내린 눈을 녹여 차량의 주행성 및 보행자의 안전성을 확보하기 위한 시설의 설계를 뜻한다. 용설의 설계는 외부 기온, 풍속 및 적설량 등을 포함한 기상조건과 포장마감재의 두께 및 재질 등을 고려하여 전력의 소요출력을 구하는 과정이다.<sup>(6)</sup>

일반적으로 눈은 대기온도 0°C~7°C사이에서 내리며, 기상조건이 -5.5°C이하인 경우, 강설이 없더라도 도로는 빙결되기도 한다.

용설은 눈을 녹이는 열량과 녹은 눈이 얼음으로 되는 것을 방지하는 빙결방지열량으로 나눌 수 있다. 이러한 용설에 미치는 대표적인 요소로는 강설강도, 기온, 상대습도, 풍속 등과 같은 기상요소와 마감재의 종류, 두께, 밀도 및 열전도율과 같은 마감재의 특성과 설계출력 및 노면상태 등이다.

설계출력 계산은 미국과 일본의 방법이 약간 다르다. 우선 미국의 방법을 보면, 지역별 기상자료를 근거로 용설열량과 빙결방지열량의 합산을 자유면적비율로 적용시켜 용설열량과 예열대기열량을 구분하는 방법이다. 일본은 많은 실험을 통하여 구한 실험식을 활용하고 있으며, 열방정식을 실험에 의하여 변형시켜 용설열량과 빙결방지열량을 구분하였다. 즉, 내린 눈을 용해해서 노면을 눈이 없는 상태로 하는 용설열량과 노면을 빙결시키지 않기 위해 0°C이상의 적당한 온도를 유지하는데 필요한 빙결방지 열량중 큰 값을 설계소요출력으로 한다.

서울의 경우, 설계기상조건은 Table 1에 나타내었다. 이러한 설계기상조건일 때 일본 및 미국의 설계출력값은 약간의 차이는 있으나 대략 200~250 W/m<sup>2</sup>정도이다. 본 연구에서는 200 W/m<sup>2</sup>을 설계출력으로 하여 도로마감 재질 및 두께의 변화에 의한 도로 표면온도의 변화를 알아

보았다.

시간에 따른 도로 표면온도의 변화를 구하기 위하여, 다음과 같은 과정을 거쳐야 한다.

전기히터 또는 배관이 매설되는 경우, 설치위치로부터 상향으로 소멸되는 열관류율  $k_0$ 은 식 (1)과 같다.

$$k_0 = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + \Sigma \frac{d}{\lambda}} \quad (1)$$

여기서,  $\alpha_0$ ,  $d$  및  $\lambda$ 은 각각 표면 열전달계수, 마감재의 두께 및 열전도율이다.

하향으로 소멸되는 열관류율  $k_u$ 은 식(2)과 같다.

$$k_u = \frac{1}{\Sigma \frac{d}{\lambda}} \quad (2)$$

표면에 작용하는 실제적인 출력  $q_0$ 은 식(3)과 같다.

$$q_0 = \frac{k_o}{k_0 + k_u} q + \frac{k_o}{k_0 + k_u} k_u (T_u - T_0) \quad (3)$$

여기서,  $q$ ,  $T_u$  및  $T_0$ 는 각각 설계출력, 지열 등에 의한 지중의 온도 및 외기온도이다.

시간상수  $t_a$ 는 식 (4)와 같다.

$$t_a = \frac{1.15 \Sigma c \delta d}{k_o} \quad (5)$$

여기서,  $c$  및  $\delta$ 은 각각 비열 및 밀도이다.

시간경과에 따른 노면의 상승온도는 식 (6)과 같다.

$$T = T_0 + T_{\max} (1 - e^{-\frac{t}{t_a}}) \quad (5)$$

일반적인 도로용설시스템은 전기히터를 도로 하부에 매립하는 형태이나, 본 연구에서는 검토하는 시스템은 배관을 매립하는 형태이기 때문에 그 차이에 의한 설계를 검증하기 위하여 CFD를 활용하였다. 즉, 기준모델을 결정하고, 이

Table 1 Atmospheric conditions

Conditions	Value
Atmosphere Temperature [°C]	-5.5
Snowing intensity [cm/hr]	1.5
Wind Speed [m/s]	4.0
Road surface temperature [°C]	1~3
Underground Temperature at -1 m	4.5

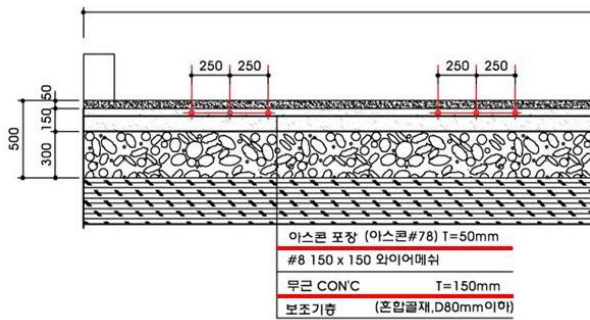


Fig. 1 Detail drawing of road finishing

모델을 CFD에 적용하여 배관에서 도로표면으로 전달하는 단위면적당의 발열량을 계산함으로써, 이를 설계에 반영하였다.

### 3. 결과 및 고찰

본 연구에서는 서울지역을 대상으로 하여, 도로마감 재질 및 두께의 변화에 의한 도로 표면 온도의 변화를 알아보았다.

#### 3.1 기본조건에서의 도로표면온도의 변화

도로 마감재질의 기본조건으로 Fig. 1에 나타내었다. 그림에서 도로표면으로부터 표층으로 아스콘 50 mm, 무근 콘크리트 150 mm이며, 무근 150 mm내에 배관을 삽입하게 된다. 무근 콘크리트 하부에는 혼합골재로 이루어진 보조기층이 자리하게 된다. 무근 콘크리트 내에 삽입되는 배관은 외경 25f의 X-L파이프로서 무근 콘크리트 상부로부터 50 mm하부에 매립하게 된다.

Fig. 2에는 도로 마감이 기본 조건일 경우의 가열을 시작한 후 시간에 따른 도로표면의 온도 변화를 나타내었다. 도로표면의 온도가 0°C 이상으로 도달하는데 걸리는 시간은 6.7시간 정도이며, 최대온도는 4.3°C로 예측되었다.

#### 3.2 도로마감재가 표면온도변화에 미치는 영향

최상층 도로 마감재 두께를 25 mm에서 100 mm로 변경해가면서 도로표면이 0°C에 이르는 시간 및 도로표면의 최대온도를 Fig. 3에 나타내었다. 일반적으로 도로포장시 아스콘은 최소 30 mm에서 100 mm정도를 포장하며, 200 W/m<sup>2</sup>의 융설용량을 갖는 도로융설시스템이 제대로 작동

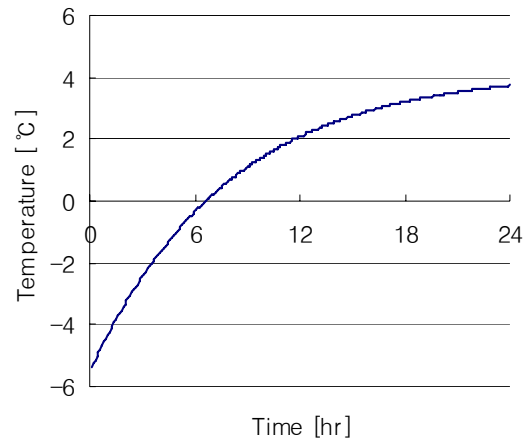


Fig. 2 Road surface temperature variation

하기 위해서는 가능한 한 최상층 마감재의 두께는 얇게 포장해야 함을 알 수 있다. 아스콘 두께당 도로표면온도가 0°C에 이르는 시간에 미치는 영향은 대략 15% 시간/mm이다. 즉, 아스콘 두께가 50 mm인 경우를 기준으로 도로표면온도가 0°C에 이르는 시간이 아스콘 두께를 10 mm 증가시키면 시간은 1.5시간정도 증가함을 의미한다. Fig. 4에는 무근 콘크리트내 배관의 매설 깊이의 영향을 나타내었다. 그림에서, 배관의 매설 깊이의 영향은 대략 10% 시간/mm이다. 즉, 매설

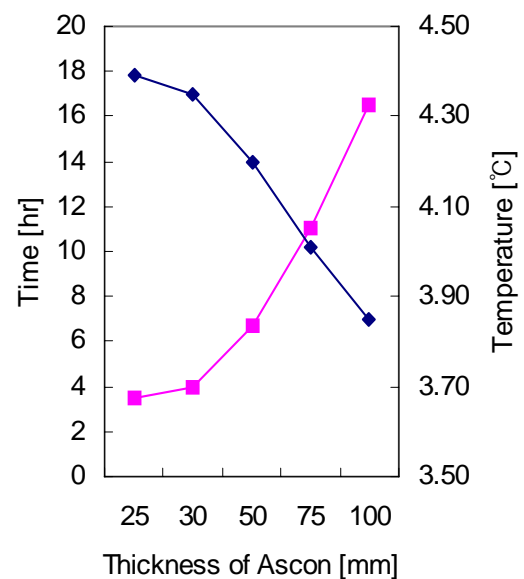


Fig. 3 Time and Temperature variation of road surface

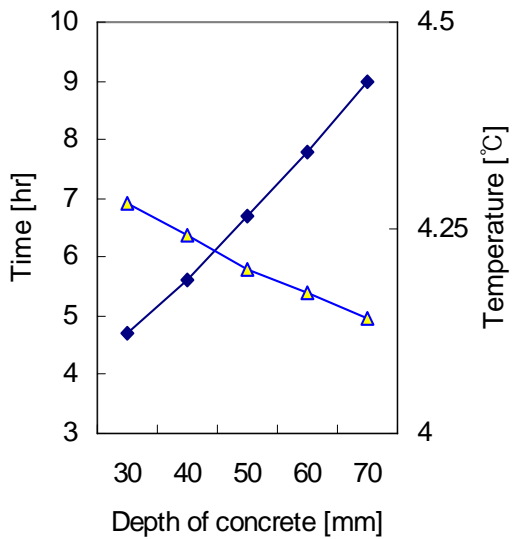


Fig. 4 Time and Temperature variation of road surface

깊이를 기준보다 10 mm 깊게 매설할 때, 도로표면의 온도가 0°C에 이르는 시간은 1시간정도 증가함을 의미한다. 이 두가지 사실에서 최상층인 아스콘 두께의 영향이 무근 콘크리트내 매설깊이의 영향보다 큼을 알 수 있다.

최상층 마감재질을 다른 재질로 바꾸었을 경우, 도로표면의 온도가 0°C에 이르는 시간과 최대도달온도를 Table 2에 나타내었다. 표에서 볼 수 있듯이, 마감재질의 열전도도가 높을수록 도로표면의 온도가 0°C에 이르는 시간이 짧아짐을 알 수 있다. 대부분의 도로의 최종 마감재는 아스콘으로 시공하기 때문에 아스콘에 열전도계수를 증가시킬 수 있는 다른 재료를 추가하는 방법을 고려하는 것이 좋을 것으로 사료된다.

### 3.3 CFD에 의한 설계검증

배관을 이용한 도로용설시스템은 전기히터방식

Table 2 Effects of finishing materials

Finishing Material		Time [hr]	temperature [°C]
Material	conductivity		
Ascon	0.7	6.7	4.20
Marble	2.4	4.4	4.47
Granite	3.3	4.1	4.50

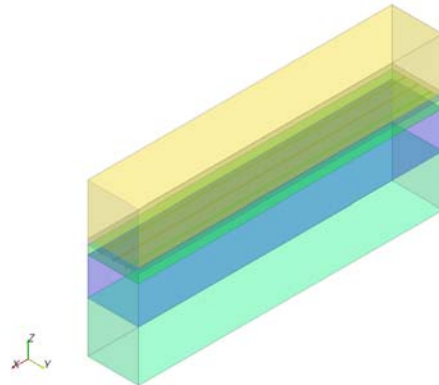


Fig. 5 CFD model for piping system of snow melting system

의 도로용설시스템과는 차이를 보인다. 전기히터 방식은 단위면적당 발열량을 원하는 설계용량에 맞춰 설계하는 것이 용이하지만, 배관을 이용한 시스템은 이 설계가 용이하지 않기 때문이다. 왜냐하면, 배관내 유속, 온도, 외기온도 등에 의하여 배관내부에서 외부로 공급되는 열량의 변화가 있고, 이는 단순 계산으로는 예측할 수 없기 때문이다. 이에 본 연구에서는 기존모델에 대하여 CFD를 이용하여 배관 단위길이당 온도강하를 예측한 다음 이를 설계에 활용하여 배관 간격 및 배관 직경 등을 결정하는데 활용하였다.

이때 사용한 CFD모델을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 노란색으로 표시된 부분은 외기부분이며, 도로 마감은 기준조건과 동일하게 하였다. 파이프 매설은 0.25 m 간격으로 3줄을 매설하였으며, 유체는 물이 평균유속 0.928 m/s로 이송된다고 가정하였다. 이때, 유체의 입구온도는 45°C이다. 지반의 최하층은 1 m로 가정하여 4.5°C로 일정하게 유지된다고 가정하였다. 공기는 -5.5°C 및 4 m/s의 온도와 속도로 유지된다고 가정하였다. 초기조건으로는 지하의 온도조건은 높이에 따라 온도가 변화한다고 가정하였다.

기준조건에서 파이프 길이방향으로 파이프내부 온도강하를 Fig. 6에 나타내었다. 그림에서, 전단부 및 끝단부의 입구영역 및 출구영역을 제외하면, 온도강하는 선형적으로 나타난다. 즉, 파이프 길이 5 m당 내부 유체의 온도강하는 대략 0.08°C이며, 0.25 m 간격으로 매설하는 경우, 도로 단위면적당의 발열량은 100 W/m<sup>2</sup>로 예측되어 용설설계기준인 200 W/m<sup>2</sup>보다 낮다. 즉, 배관 시스템의 설계조건을 바꾸어 용설설계조건을 맞출

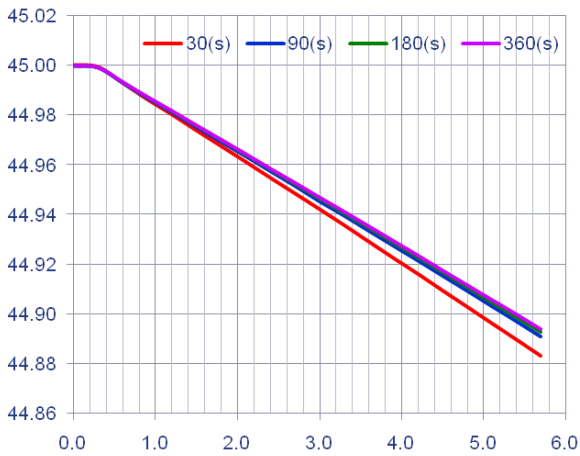


Fig. 6 Temperature distribution in a pipe

필요성이 있다. 실제 설계에서는 도로내 배관시스템을 몇가지로 변경해 가면서, 융설설계출력을 발생시킬 수 있도록 내관의 관경, 간격 및 유량을 결정하였다.

## 5. 결론 및 추후과제

본 연구에서는 도로융설시스템의 도로 마감재질의 종류 및 두께에 의한 도로 표면온도의 변화를 살펴보았으며, 이러한 설계의 타당성을 CFD를 활용하여 점검해 보았다.

도로표면온도가 0°C에 이르는 시간에 미치는 영향중 최상층인 아스콘 두께의 영향이 다른 층의 두께가 미치는 영향보다 큼을 알 수 있다.

최상층의 마감재질의 열전도도가 높을 수록 도로표면의 온도가 0°C에 이르는 시간이 짧아짐을 알 수 있었다.

융설설계출력을 제대로 내기 위해서 CFD를 활용하여 배관의 설계를 검증하였으며, 이 단계는

설계검증을 위하여 필수적인 단계임을 확인하였다.

## 참고 문헌

1. Shin, H. J., Cho, J. S. and Lee, T. W., 1992, A Study on the Snow Melting System Using Thermosyphon, Proceedings of the SAREK '92 Winter Annual Conference, pp. 43-48.
2. Hwang, K.-I., Woo, S.-W., Kin, J.-H., Yang, G.-Y. and Shin, S. H., 2006, An Experimental Study on the Thermal Performance Change of Horizontal-Type Geothermal Heat Exchanger with Long-Term Operation, Proceedings of the SAREK '06 Summer Conference, pp. 725-730.
3. Miyamoto, S. and Takeuchi, M., 2002, Snow-Melting and De-Icing System on Road Using Natural Thermal Energy Sources, Proceedings of the 11th International Winter Road Congress.
4. Miyamoto, S., Takeuchi, M. and Kaga, H., 2002, Snow-Melting System Using Underground Thermal Energy Collected by Foundation Piles, (in Japanese).
5. Miyamoto, S. and Hasegawa, Y., 2001, Design and Construction of Snow-Melting System Using Underground Thermal Energy Collected by Bridge Piles, Region Technology, Vol. 14(in Japanese).
6. Choi, J. K. and Jang, K. S., 1996, A Study on the Criteria of Design and Construction for Snow Melting System, Housing Research Institute, Korea National Housing Corporation.