

道路의 結氷防止를 위한 地熱利用 시스템 研究

A Study on the Highway Snow Melting and Deicing System Using Geothermal Energy

신 현 준* · 서 정 윤**
H. J. Shin · S. J. Seo

ABSTRACT

Thermosyphons are simple devices that can passively transport thermal energy over relatively long distance with little temperature degradation. These attributes permit the use of low grade thermal energy for thermal control of structures including the snow melting and deicing to the pavement surface.

The thermosyphon system requires no costly energy input and is completely maintenance free.

This paper presents the experimental results of the snow melting system in which thermosyphon was utilized to transfer the geothermal energy to the pavement to obviate slipping traffic accidents due to freezing of pavement in winter.

기 호 설 명

- F : 열유속 [W/m^2]
- K : Thermal Conductivity [$W/m \cdot ^\circ C$]
- L : Panel의 길이 [m]
- M : Panel의 폭 [m]
- N : Panel의 두께 [m]
- r : 열사이폰의 중심으로부터 거리 [m]
- r_o : 열사이폰의 외부반지름 [m]

- T : 온도 [$^\circ C$]
- T_o : 초기지중온도 [$^\circ C$]
- W : 열사이폰의 매설피치 [m]

그리스 문자

- ρ : 밀도 [kg/m^3]
- C : 비열 [$Kcal/kg \cdot ^\circ C$]
- τ : 시간 [Hr]

* 한국건설기술연구소

** 인하대학교 기계공학과

1. 서 론

우리나라 산간지방의 도로는 아직 구조적으로 겨울철 교통 안전사고에 대해 열악한 상태에 있는 곳이 많이 있다. 특히, 겨울철 도로에서 발생하는 교통사고의 원인 중에는 노면의 결빙에 기인하는 경우가 많이 있으며, 이들 사고는 대부분이 인명피해를 수반하는 대형으로 이어지고 있다. 한편, 오늘날 강설에 따른 제설작업은 주로 염화칼슘 등과 같은 화학제품의 용해작용을 이용하거나 불도저 등과 같은 제설용 중장비에 의한 기계적 방법에 의존하고 있으나, 이와같은 방법들은 제설당시의 일시적인 효과밖에 기대할 수 없고, 반복적인 작업을 필요로 할뿐만 아니라 기온의 강하시 노면의 결빙방지를 위한 근본적인 대책이 될 수 없다는 단점이 있다.

따라서, 겨울철에 도로의 결빙을 방지하기 위한 적절한 대책을 세우는 것은 겨울철의 교통사고를 줄이기 위해 제설에 못지 않은 중요한 사항이다. 이에 대한 가장 효과적인 방법은, 도로에 필요한 열을 지속적으로 공급하는 것이라 할 수 있으며, 이러한 관점에서 지열을 활용하기 위한 연구가 미국, 일본 등 선진국을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 그중에서 특히 관심을 끌고 있는 것이 열사이폰(Thermosyphon)을 이용하는 지열의 채열이다. 열사이폰은 비교적 적은 온도차를 가지고 다량의 열에너지를 원거리에 효과적으로 전달할 수 있는 傳熱素子로서, 이러한 전열특성을 이용한 廢熱의 回收시스템이 이미 오래전부터 산업계를 중심으로 널리 보급되고 있다.

地熱을 熱사이폰으로 採熱하여 도로에 쌓인 눈을 녹이거나 결빙을 방지하기 위한 기본개념은 1965년에 미국의 聯邦道路廳에 의해 처음으로 제안되었으며, 이 개념을 처음으로 현장에 적용한 것은 1,213개의 熱사이폰을 매설한 미국 Virginia주의 한 고속도로 현장이었다. 실험결과 이 시스템은 도로에 적설과 결빙을 방지하는데 있어서 효과적일 뿐만 아니라 겨울철 교통사고를 줄이는데 있어서 특히 효과가 있다는 것이 밝혀짐에 따라 그후 Wyoming주의 Cheyenne를 비롯한 전국 각지에 이들 시스템이 설치되었다.

이러한 融雪시스템은 일본과 유럽에서도 독자적으로 개발하여 실용화시키고 있는데, 일본에서는

1977년에 처음으로 시도되어 1982년까지 20여곳에 설치되었고 현재까지도 시스템의 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다.

한편, 겨울철에 특히 결빙이 되기 쉬운 橋梁의 상판부를 지열로 가열하기 위한 연구가 J. E. Nydahl등¹⁾에 의해 수행되었다. 이 연구에서는 교량의 각 모서리에 증발부 길이 30.5m, 凝縮部の 길이 12.5~6.4m인 열사이폰 15개를 피치 150mm 간격으로 설치하여 실험한 결과 설치한 교량의 상판부의 표면온도는 설치하지 않은 일반교량에 비해 평균 10℃ 정도가 더 높은 것으로 나타났다. 또한, O. Tanaka등²⁾은 열사이폰을 이용한 지열의 채열시스템과 지하수를 이용한 시스템의 성능을 비교하는 연구를 수행한 결과 각각의 採熱能力이 40~400W/m² 이라는 것을 밝혀냈다.

이와같이 선진국에서는 지열의 이용에 대한 관심이 날로 높아지고 있는데 반하여 국내에서는 아직까지 이에 대한 연구가 거의 이루어지지 않고 있다.

이러한 관점에서 본 연구에서는 열사이폰을 이용해서 지열을 채열하여 도로를 가열하는 실험장치를 설치하고 이를 이용한 실험을 통해 겨울철 道路의 融雪과 結氷防止에 대한 효과를 분석하므로써 겨울철에 발생하는 교통안전사고의 방지에 대한 타당성을 검토하여 교량, 산간지방의 경사로 등과 같은 특수지역에 대한 적용 가능성을 제시하고자 한다.

2. 이론해석

토양은 방대한 양의 열량을 함유하고 있지만 상대적으로 熱傳導率이 낮기 때문에 장기간에 걸쳐 열을 회수하면 熱사이폰 주위에 온도강하가 발생하게 된다. 따라서, 시스템이 용설에 필요한 충분한 양의 열량을 확보하기 위해서는 지중에 매설된 蒸發部에 충분한 열량을 공급해 줄 수 있는 양의 토양을 확보해야 된다.

즉, 실험장치의 구성에서 가장 중요한 파이프의 적정 埋設피치를 결정하기 위한 이론해석이 필요하다. 이러한 관점에서 해석모형을 설정하고 支配方程式에 적절한 境界條件을 적용하여 이론해석을 수행하였다.

2.1 解析모델

지중온도는 지표면으로부터 일정한 깊이 이상으로 내려가면 외기의 영향을 받지않고 연중 거의 일정한 온도를 유지하게 되며 본 시스템에서도 이러한 범위 내의 6~20m에 파이프를 설치하는 것으로 하였다. 토양이 함유하고 있는 에너지는 抽出되는 열량에 비해 월등히 많기 때문에 회수 열량으로 인한 에너지 감소에 따라 단기적으로 주위에 미치는 영향은 무시할 수 있다. 이러한 점을 고려하여 해석모델의 설정에 필요한 가정을 다음과 같이 設定하였으며, 이를 Fig. 1에 도시하였다.

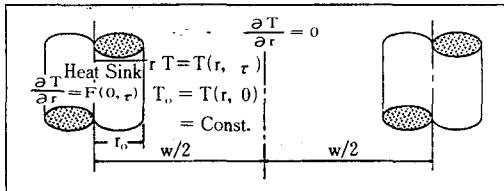


Fig. 1 Mathematical model

- ① 熱사이폰 단면 및 길이방향으로의 온도분포는 항상 일정(Constant)하고 균일(Uniform)하다.
- ② 토양에 의한 지표면에 수직한 방향으로의 열전달은 무시한다. 이는 고려중인 영역이 지표면으로부터 어느 한도 이상의 깊이에 위치하고 있기 때문에 대기 및 지표면의 환경상태에 의한 영향을 거의 받지 않는다는 것을 의미한다.
- ③ 토양으로부터 熱사이폰으로의 熱流束(Heat Flux)은 초기치로써 알려져 있다. 이는 대기 및 지표면의 상태를 지시해주는 척도로써 작용한다.
- ④ 熱사이폰을 매설한 간격 즉, 피치의 중앙단면에서는 熱流束이 없다.
- ⑤ 지중 토양의 물성치는 온도에 따라 변함이 없이 일정하고, 초기의 온도분포는 알려져 있다.

2.2 支配方程式 및 境界條件

2.1에서 제시한바와 같은 해석모델을 적용하면 다음과 같은 1次元 非定常 熱傳導方程式을 支配方程式으로 사용할 수 있다.

$$\rho C \frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left[r k \frac{\partial T}{\partial r} \right] \dots\dots\dots (1)$$

위의 支配方程式을 풀기 위해 다음의 初期條件을 적용한다.

즉, $\tau = 0$ 일때

$$T(r, 0) = T_0(r) \dots\dots\dots (2)$$

여기서, $T_0(r)$ 은 지표면의 환경조건에 의해 거의 영향을 받지 않는 즉, 지표면으로부터 어느 한계 깊이 이상 떨어진 지점의 초기상태의 지중온도로서 이 지점의 온도는 거의 일정하다고 볼 수 있으므로 熱사이폰 주위의 모든 위치의 초기온도는 T_0 로서 일정한 것으로 하였다.

또한, 支配方程式을 풀기 위한 境界條件은 熱사이폰의 표면과 매설된 파이프의 피치사이에 각각 적용할 수 있다. 먼저 熱사이폰의 표면에서는 熱流束이 알려진 것으로 가정한다. 즉,

$$-k \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=0} = F(0, \tau) \dots\dots\dots (3)$$

또한, 抽出되는 열량으로 인해 온도강하의 영향을 받지 않는다고 가정되는 파이프와 파이프 사이의 피치의 중앙에서는 다음과 같은 斷熱條件을 사용할 수 있다.

$$-k \frac{\partial T}{\partial r} \Big|_{r=w/2} = 0 \dots\dots\dots (4)$$

파이프의 적절한 매설피치를 결정하기 위하여 위의 식 (1)에 初期條件 및 境界條件의 식 (2)-(4)를 적용하여 數値解析을 수행하였다.

본 연구에 사용된 수치해석 방법은 有限次分法으로서 경계조건을 이용하는 지배방정식을 차분화하기 위하여 시간에 대하여는 Fully Implicit scheme을, 공간에 대하여는 중앙차분법(Central Difference Scheme)을 사용하였다.

3. 실험장치 및 방법

3.1 熱사이폰 제작

地熱回收 능력을 실험하기 위하여 제작한 熱사이폰의 파이프 재질은 $\Phi 25.4$ mm의 동파이프(KSD 5301, K-type)를 사용하고, 각종 부속품은 KSD 5578의 규격에 맞는 재료를 선택하였으며, 소요의 길이로 절단, 연결하여 엄밀한 전처리 공정과 제작 공정을 거쳐 作動液을 주입하였다. 이 경우 作動液을 파이프 내에 주입하기 전에 10kg/cm^2 의 압력을 가하여 耐壓·氣密試驗을 실시한 후 파이프의 조

작내부에 잔존해 있는 기체를 脫氣하기 위해 진공도를 2×10^{-6} Torr 이상으로 유지한 상태에서 약 4시간 동안 방치시킨 후 작동액을 주입하였다.

한편, 斷熱部는 polyurethane 發泡濟를 사용하여 30mm의 두께로 처리하고 외부는 수분의 침투를 방지하기 위하여 방수처리를 하였다.

제작이 완료된 熱사이폰은 열전달 성능에 대한 실험을 거쳐 크레인을 사용해서 파이프 設置孔에 삽입하였다.

Fig. 2에 熱사이폰의 구조를, Table 1에 제작사양을 나타낸다.

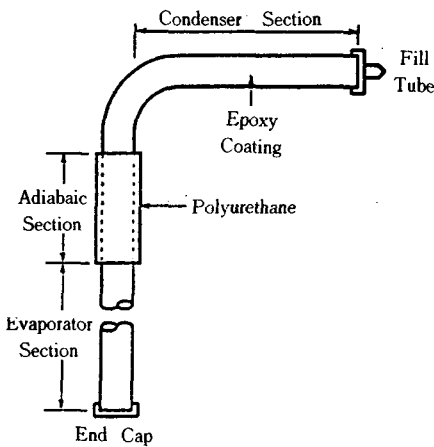


Fig. 2 Thermosyphon components

Table 1 Manufactured Specification of Thermosyphon

Items	Descriptions
Case Material	Copper(KSD 5301, K-type)
Diameter	Φ 25.4
Working Fluid	Methanol
Surface Treatment	Epoxy Coating
Detergent for Pipe Cleaning	Acetone Trichloroethylene

3.2 實驗裝置의 設置

3.2.1 熱사이폰의 挿入

熱사이폰의 체열성능을 실험하기 위하여 규격이 자기 다른 3종류의 熱사이폰이 매설된 판넬과 熱사이폰이 매설되지 않은 판넬을 설치하고 이들의 성능을 상호 비교하여 적정 매설깊이를 도출하도록

하였다. 지중에 설치한 熱사이폰 蒸發部의 깊이는 각각 14m, 6m, 4m이며, 斷熱部는 각각 6m, 4m, 2m이다.

蒸發部에 대한 지열의 열전달을 촉진시키기 위해 파이프의 設置孔에 파이프를 삽입한 후 파이프 외벽과 보오링孔 內壁사이의 틈새를 벤토나이트로 완전히 뒤채움을 함으로써 삽입공사를 완료하였다. 뒤채움 작업은 지열이 파이프의 蒸發部로 원활히 전달되도록 하기 위하여 충분히 채워져야 하는 중요한 작업이다.

Fig. 3에 열사이폰이 설치된 단면의 상세도를 나타낸다.

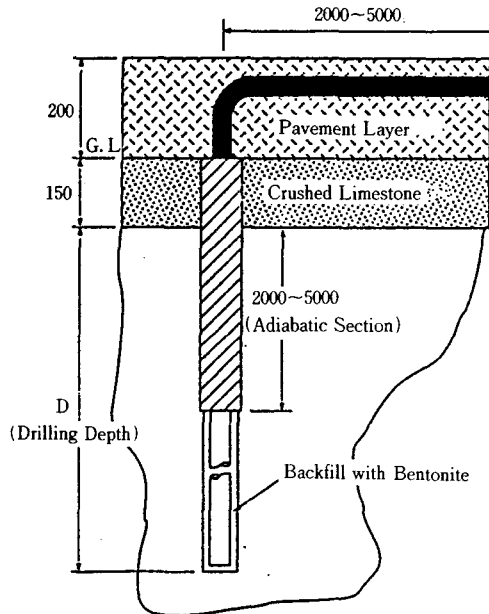


Fig. 3. Installed thermosyphon in cross section

3.2.2 凝縮部の 構造

지중으로부터 열을 회수하여 방열시키는 응축부를 설치하는 작업은 실험장치의 설치작업에서 가장 주의를 요하는 작업중의 하나로 특히, 熱사이폰의 응축부는 지중에 삽입되어 있는 증발부 쪽으로 약 3~5도의 낮은 경사를 유지하도록 한다.

응축부의 파이프 설치작업이 끝나면 열전달을 촉진시키고 온도가 균일하게 분포되도록 하기 위하여 열확산판을 부착시킨다.

이와같은 과정으로 응축부에 대한 파이프의 설치 작업이 끝나면 150mm의 두께로 자갈을 깔고 그위에 220mm의 두께로 레미콘을 타설하여 실험용 판

넬의 설치작업을 완성한다.

실험용 각 판넬의 규격과 완성된 실험장치의 전경을 Table 2와 Fig. 4에 나타낸다.

Table 2 Summaries of test sites

Site No.	Descriptions					Remarks
	Length of Evaporator Section(m)	Length of Adiabatic Section(m)	Length of Condenser Section(m)	Drilling Pitch(m)	Dimension(L×M×N)	
PANEL A	14	6	4	0.4	1×4.5×0.37	General Conditions • Pipe Diameter : $\phi 25.4$ • Pipe Material : Copper (KSD 5301) • No. of Installed Thermosyphons : 2 EA/Panel
PANEL B	None	None	None	None	1×4×0.47	
PANEL C	6	4	2.5	0.4	1×3×0.37	
PANEL D	4	2	2	0.4	1×2.5×0.37	

※ See Figure 4 for Site No.

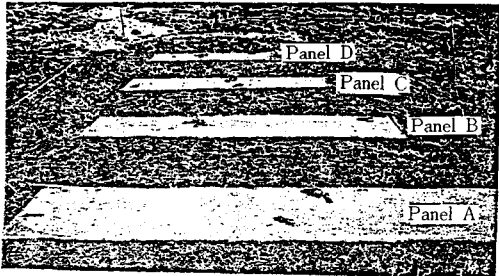


Fig. 4 Site Arrangement

3.3 實驗方法

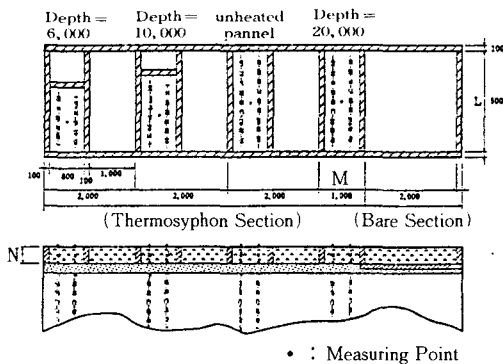


Fig 5. Schematic of monitoring position

熱사이폰의 지열회수 효과를 파악하기 위하여 Fig. 5와 같이 외기와 접한 판넬의 표면, 단면의 중간 및 단면하부 등에 열전대(Thermocouple)를 각각 설치하고 Data Acquisition System을 사용하여 10분 간격으로 자료를 수집하였다.

4. 결과 및 고찰

4.1 이론적 연구

熱사이폰의 採熱에 의한 주위의 열적 거동을 예측하고 이를 시스템의 적정 설계에 이용하기 위하

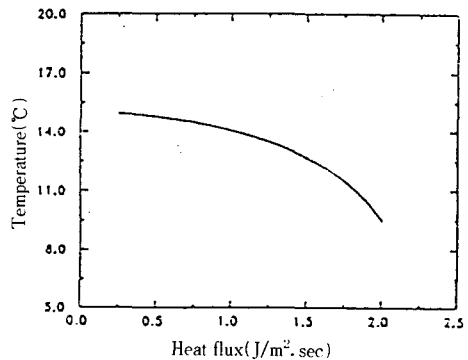


Fig. 6 Predicted thermosyphon temperature with heat flux of thermosyphon

여 熱사이폰의 매설간격과 熱사이폰 표면에서의 熱流束, 地中溫度 및 토양의 물성치 등을 파라미터로 하여 해석을 수행하였다. 이들 각 파라미터에 대하여 지중에서의 시간 변화에 따른 온도분포의 변화, 정상상태에 도달했을 때의 파라미터의 변화에 따른 온도분포, 최적 파이프 매설간격의 변화 등을 고찰하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

Fig. 6~Fig. 8은 熱사이폰 표면에서 熱流束의 변화에 따른 정상상태하에서의 파이프 표면온도, 최대온도차 및 최적 파이프 매설간격 등을 도시한 것이다.

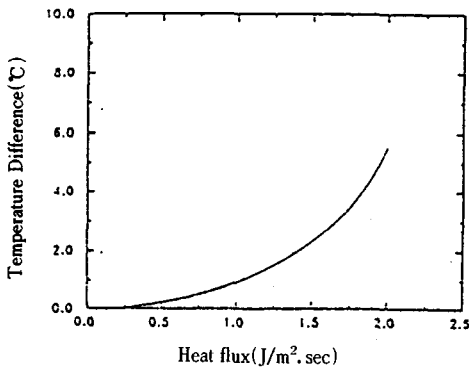


Fig. 7 Temperature difference between thermosyphon surface and ambient soil with heat flux of thermosyphon

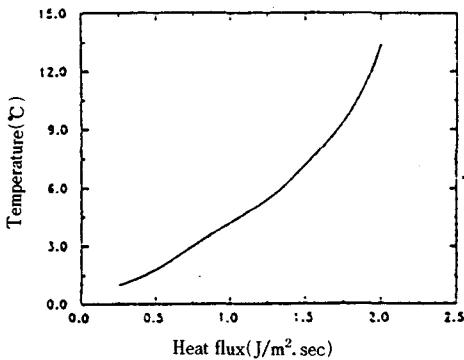


Fig. 8 Predicted optimum thermosyphon spacing with heat flux of thermosyphon

Fig. 6 및 Fig. 7은 파이프 표면에서 熱流束의 변화에 따른 파이프 표면 부근에 있는 토양의 온도

변화 및 최대온도차의 변화를 도시한 것으로, 熱流束이 커짐에 따라 방출되는 열량도 증가하므로 파이프 주위의 온도는 크게 낮아지고, 따라서 파이프 표면 온도와 파이프 사이의 最低溫度와의 차인 最大溫度差도 매우 커짐을 볼 수 있다.

이러한 영향으로 Fig. 8에서도 알 수 있는 바와 같이 적정 파이프 매설간격도 熱流束이 커짐에 따라 매우 급격히 증가하게 된다. 즉, 熱流束이 선형적으로 증가하면 파이프 매설간격은 指數函數의로 증가하게 된다. 따라서, 시스템의 초기시설 투자비를 고려할 때 가능한 한 하나의 파이프로부터 많은 열량을 抽出할 수 있도록 설계되어야 하고, 각각 필요한 熱流束에 대하여 파이프의 적정 매설간격이 설정되어야 할 것으로 판단된다.

또한 파이프 표면 열유속의 변화에 따른 파이프의 적정 매설간격은 파이프와 지중평균온도 사이의 최대온도차에 비례함을 볼 수 있다.

Fig. 9~Fig. 11은 지중 평균온도의 변화에 따른 정상상태하에서의 온도분포, 파이프 표면온도, 최대 온도차 및 적정 파이프 매설간격 등을 도시한 것이다.

Fig. 9 및 Fig. 10은 지중 평균온도의 변화에 따른 파이프 표면 부근에서의 온도변화 및 최대 온도차의 변화를 도시한 것으로, 지중 평균온도가 높을수록 단위체적당 토양이 가지고 있는 큰 열용량으로 인하여 지중온도는 높고 최대온도차는 작아지게 된다. 그러나, 지중 평균온도가 높을수록 방출되는 열량도 증가되기 때문에 이에 의한 영향을 받는 영역이 넓어지게 되므로, Fig. 11에서 보는 바와같이

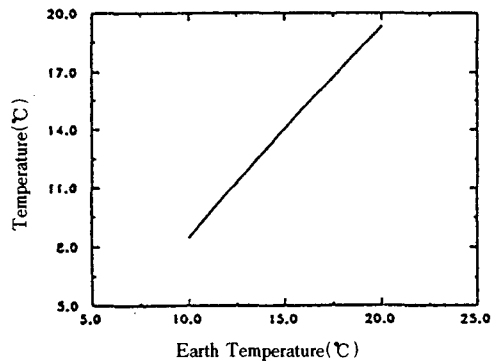


Fig. 9 Predicted thermosyphon temperature with soil thmperature

매설되는 파이프와 파이프의 거리도 가까워지게 된다.

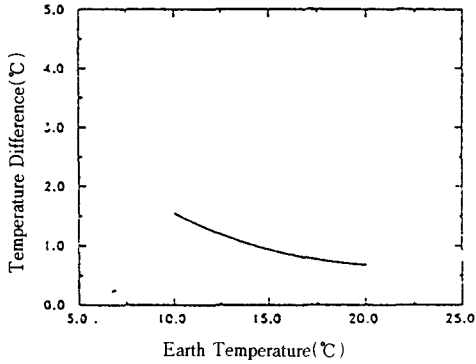


Fig. 10 Temperature difference between thermosyphon surface and ambient soil with mean underground temperature

이 경우에도 파이프의 적정 매설간격은 파이프와 지중 평균온도 사이의 최대온도차에 비례한다.

Fig. 12~Fig. 14는 토양의 熱傳導率의 변화에 따른 正常狀態하에서의 온도분포, 파이프 표면온도, 최대 온도차 및 최적 파이프 매설간격 등을 도시한 것이다.

Fig. 12 및 Fig. 13은 파이프 표면에서 토양 熱傳導率의 변화에 따른 파이프 표면과 인접한 토양의 온도변화 및 최대 온도차의 변화를 도시한 것이다. 熱傳導率이 클수록 단위시간당의 전열량이 증가하므로 파이프 표면의 온도는 높아지고, 따라서 파이프 표면에서의 최대온도차도 적어짐을 볼 수

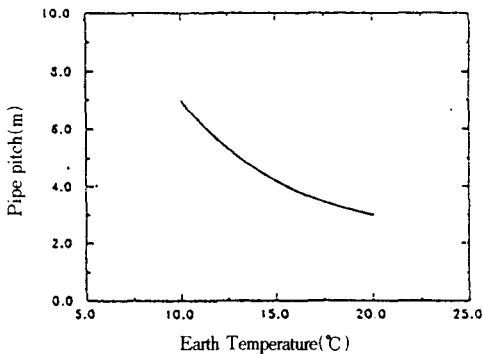


Fig. 11 Predicted optimum thermosyphon spacing with soil Temperature

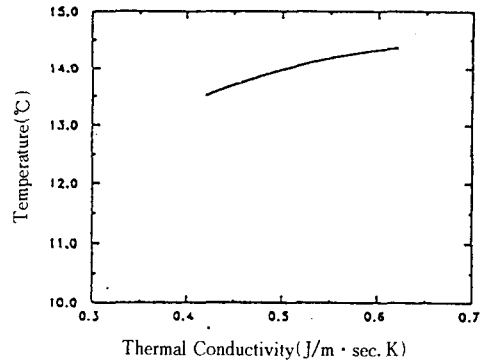


Fig. 12 Predicted thermosyphon temperature with soil thermal conductivity

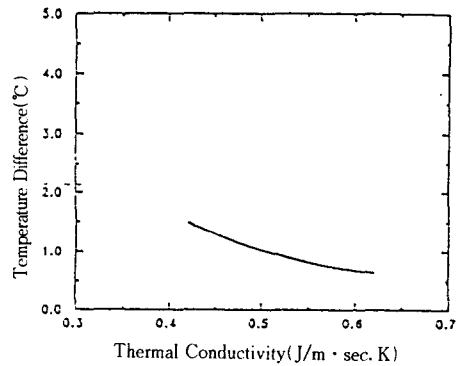


Fig. 13 Temperature difference between thermosyphon surface and ambient soil with thermal conductivity of soil

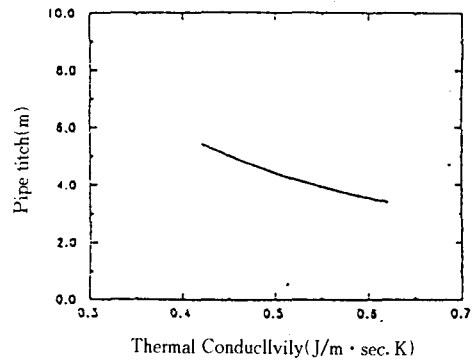


Fig. 14 Predicted optimum thermosyphon spacing with soil thermal conductivity

있다.

한편, 토양의 熱傳導率이 커지면 파이프 표면과 지중 평균온도 사이의 최대 온도차가 작아지기 때문에 Fig. 14에서 보는 바와 같이 파이프의 매설간격은 토양의 熱傳導率이 커짐에 따라 좁아져야 하는 것으로 나타났다.

4.2 실험적 연구

실험장치의 설치를 완료한 후 실험자료를 수집하기 시작한 시기는 10월 중순부터였다. 그러나 이시기에는 아직 기온이 높아 열사이폰의 설치효과를 확인하기 어려워 '92.12.31~'93.1.14까지 수집한 자료를 이용하여 熱사이폰의 채열 성능을 분석하였다.

Fig. 15는 해당 기간동안 수집한 각 판넬의 표면 평균온도와 대기온도, 각 판넬에 설치된 熱사이폰 응축부의 표면온도 변화상태를 나타낸 것이다.

여기에서 알 수 있는 바와같이 각 판넬의 표면온도는 대기온도에 의해 커다란 영향을 받으면서 일정한 주기로 변하는 것을 알 수 있다.

따라서 熱사이폰의 채열성능을 분석하여 판넬의 적정구조를 도출하기 위해서는 실험기간중 기온이 가장 낮은 기간을 선택하여 이때에 수집된 여러가지 판넬 사항들을 비교·분석하는 것이 합리적인

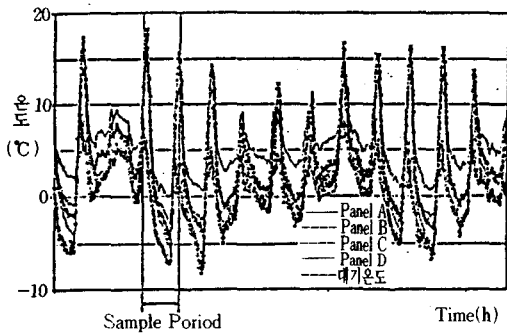


Fig. 15 Profile for surface temperature of panels installed thermosyphon and air temperature during 1st and 14th of January 1993.

다. 즉, 기온이 가장 낮은 날은 열손실이 많아 판넬 각부분의 온도가 역시 가장 낮은 온도분포를 나타낼 것이므로 채열능력의 정도를 비교·판단할 수 있다.

이와같은 취지에서 실험결과 분석을 위한 자료는 Fig. 15에 표시한 'Sampling Period'로 부터 발췌한 각종 자료를 분석의 기준으로 사용하였다.

Fig. 16에 해당기간 동안의 대기온도 변화상태를 나타낸다. 이 기간 동안의 최저온도는 -7.3°C이며, 하루중 대체적으로 오전 6~8시 사이에서 나타났다.

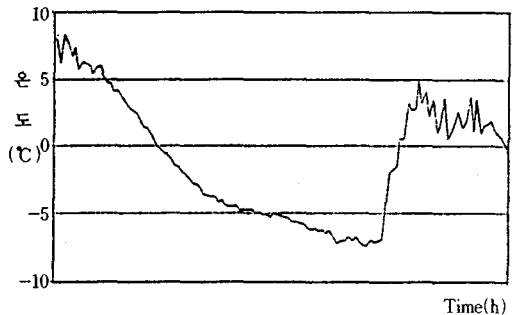


Fig. 16 Air temperature profile during sampling period

Fig. 17은 대기온도의 변화에 따른 각 판넬의 표면온도를 나타낸다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 파이프 蒸發部의 설치 깊이에 비례하여 판넬 표면의 온도가 높아져, 기온이 가장 낮은 시점(-7.3°C)에서 Panel A는 0°C, Panel C는 -3.2°C, Panel D는 -4.4°C인데 비해, 열사이폰이 설치되지 않은 Panel B의 경우는 -5.5°C를 나타내어 지열을 채열하는 熱사이폰의 효과를 확인할 수 있다.

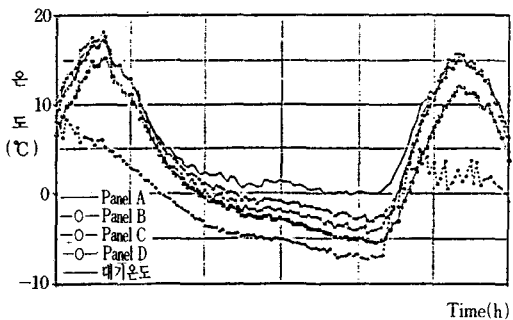


Fig. 17 Profile for surface temperature of panel installed thermosyphon during sampling period

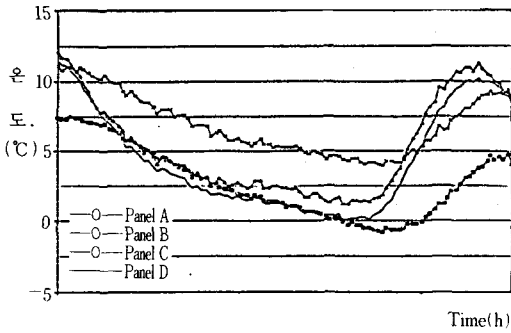


Fig. 18 Temperature profile for cross section($L/2$, $M=0.5m$, $N=0.11m$) of panels heated and unheated by thermosyphon during sampling period

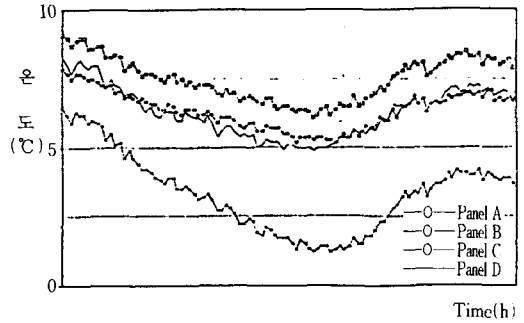


Fig. 20 Temperature profile for cross section($L/2$, $M=0.25m$, $N=0.22m$) of panels heated and unheated by thermosyphon during sampling period

이와같은 결과는 각 판넬 단면의 온도를 나타낸 Fig. 18~Fig. 20에도 잘 나타나 있다.

Fig. 18은 熱사이폰 응축부 사이의 중앙에 위치한 단면 한가운데 지점의 온도를 나타낸 것이며, Fig. 19는 자갈층과 접한 下部의 온도를, Fig. 20은 熱사이폰이 위치한 곳의 자갈층과 접한 단면 下部의 온도를 나타낸다. 이들 그림에서도 역시 熱사이폰을 설치하지 않은 판넬의 온도가 열사이폰을 설치한 판넬에 비해 크게 낮은 것을 알 수 있다.

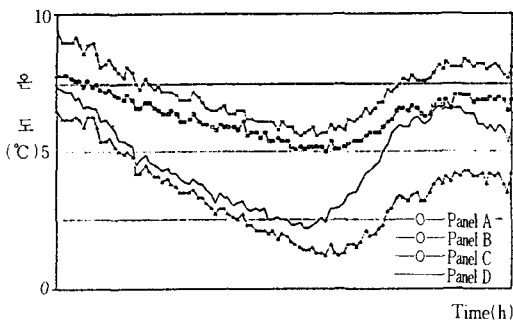


Fig. 19 Temperature profile for cross section($L/2$, $M=0.5m$, $N=0.22m$) of panels heated and unheated by thermosyphon during sampling period

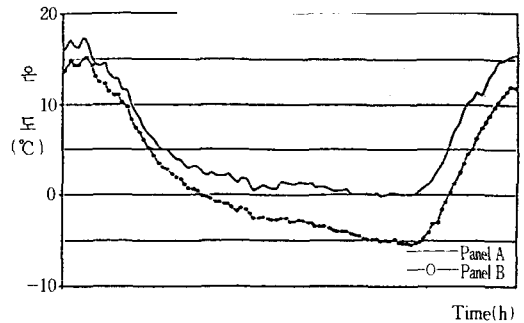


Fig. 21 Comparison of surface temperature on test panels with and without thermosyphon (I)

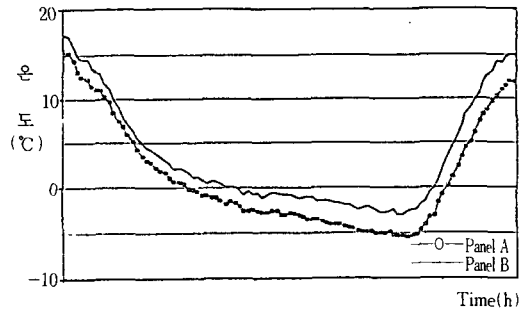


Fig. 22 Comparison of surface temperature on test panels with and without thermosyphon (II)

Fig. 21~Fig. 23은 熱사이폰의 설치효과를 보다 명확히 나타내기 위해 熱사이폰이 설치되지 않은

Panel B와 Panel A, Panel C, Panel D의 표

면에 대한 평균온도를 각각 비교한 것이다. 이들 그림으로부터 알 수 있는 바와같이 熱사이폰은 지열을 효과적으로 채열하여 실험구조체를 가열하고 있으며, 설치 깊이가 깊어질수록 가열효과를 한층 높일 수 있는 것으로 나타났다.

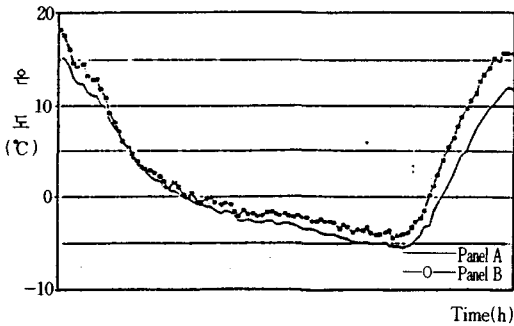


Fig. 23 Comparison of surface temperature on test panels with and without thermosyphon(Ⅲ)

5. 결 론

熱사이폰 고유의 기능을 이용하여 지열을 채열하고 이를 도로의 용설·결빙방지 등에 이용하므로써 겨울철 교통사고를 줄일 수 있는 시스템으로서의 적용 가능성을 도출하기 위한 기초자료를 얻기 위해 수행한 본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 열사이폰의 열유속이 커질수록 파이프 주위의 온도는 크게 낮아지고 파이프 표면과 피치사이의 토양온도와의 온도차가 커지므로 파이프의 매설간격은 지수함수적으로 증가한다.
- 2) 지중 평균온도가 높아질수록 토양이 함유하고 있는 체적당의 열용량이 증가하고 온도가 높아지므로 일정한 열유속을 얻기 위한 파이프의 매설피치가 작아진다.
- 3) 토양의 열전도율이 클수록 파이프의 표면온도가 높아지고 파이프 주위의 온도차가 작아지며, 파이프의 매설피치를 작게 할 수 있다.
- 4) 열사이폰의 地熱採熱成能은 蒸發部의 길이에 의해 가장 큰 영향을 받는 것으로 나타났으며, 실험결과 대기의 온도가 영하 7~10℃일 때 蒸

發部 길이 14m, 응축부 길이 4m, ø25.4의 동파이프를 사용하면 단면 두께 370mm의 도로 1.8~2.5m²를 영상의 온도로 유지할 수 있는 것으로 밝혀졌다. 즉, 열사이폰을 설치한 판넬의 표면온도는 설치하지 않은 판넬의 표면온도보다 평균 5~7℃가 높은 것으로 나타나 노면의 결빙방지에 커다란 효과가 있는 것으로 나타났다.

- 5) 지열을 이용하는 熱사이폰 응용도로 용설, 동결방지 시스템은 에너지의 비용이 들지 않고 대기 온도의 상태에 따라 자동적으로 열을 공급하거나 차단하므로 운전·관리비가 필요 없어 겨울철 도로의 유지관리가 곤란한 곳에 적용하면 도로의 관리비용이 절감되고 결빙에 따른 안전사고를 크게 줄일 수 있는 것으로 나타났다.
- 6) 다른 방법에 비해 비교적 초기 설치비가 높으므로 교차로 및 산간지방의 경사도로, 터널입구, 건물의 지하주차장 출입구, 교량의 상판부등에 우선 선택적으로 설치하면 커다란 효과를 얻을 수 있는 시스템이다.

참 고 문 헌

- 1) J.E.Nydahl, K.Pell and R.Lee, Bridge Deck Heating with Ground-Coupled Heat Pipes, ASHRAE Transaction, Vol.93, 1987.
- 2) O.Tanaka, H.Yamakage, Snow Melting Using Heat Pipes, IV International Heat Pipe Conference, 1981.
- 3) O.J.Svec, L.E.Goodrich and J.H.L.Palmer, Heat Transfer Characteristics of In-Ground Heat Exchangers, Energy Research, Vol.7, 1982.
- 4) G.Rosenbland, Earth Pump System with Vertical Pipes for Heat Extraction and Storages, Paper Presented at Nordic Symposium on Earth Source Heat Pumps, 1979.
- 5) P.D.Dunn, D.A.Reay, Heat Pipes, Pergamon Press, 1982.
- 6) Ingersoll, L.R.And Zobel, D.J. Heat Conduction with Engineering and Geological Application, McGraw-Hill, 1948.7