

[논문] 태양에너지  
*Solar Energy*  
Vol.17. No.4, 1997

## 히트파이프식 제설설비의 열응답 특성에 관한 연구

이영수\* 장영석\*\*

\* 한국에너지기술연구소, \*\*경남전문대, 차량기계과

### A Study on the Thermal Response Characteristics of Snow Removing Facilities using Heat Pipe

Yong-Soo Lee\*, Yeong-Suk Jang\*\*

\* *Korea Institute of Energy Research,*

\*\* *Kyeng Nam Junior College*

#### 요 약

본 연구는 제설설비에 히트파이프를 사용할때 기술적, 경제적 문제에 대해서 고찰하고, 히트파이프식의 제설구조물을 제작, 설치하는 경우의 적용범위와 작동조건에 따라 전열효과를 실험적으로 검토한 것이다. 제설, 제빙용으로 개발된 히트파이프식 설비는 히트파이프 배열의 피치에 관계없이 상호보완적으로 작동하였으며 제설설비를 위해 충분한 성능을 보였다. 작동액체의 충전량은 증발기의 체적을 기준으로 하여 0.96~1.3배인 경우가 가장 적합 하였다. 가열액체의 온도가 증가할수록 안정한 운전이 가능하였고 경사도는 4.5도에서 9도사이가 가장 양호했다. 경사가 크고 가열매체 입구온도가 증가할 때 온도진동수는 증가하고 진폭은 감소하고 열전달 효과는 크게 나타났다.

## Abstract

The purpose of this research was to study the characteristics of heat transfer of snow removing facilities using heat pipe by experimental method. Heat pipes was constructed a flexible tube connected between evaporator and condenser ends for altitude adjustment of evaporator and it was constituted an internal diameter of 25.4mm, a length of 950mm for heating section and a length of 6000mm for condenser section with copper material for closed system. The results showed that the effect of heat transfer was increased when inclination angle and inlet temperature of heating water increased. Wall temperature response by inclined angle  $4.5^{\circ}\text{C}$  -  $9^{\circ}\text{C}$  and working fluid amount 0.96 from to 1.3 times of evaporator volume were better than those of other working fluid and angle.

## 1. 서론

히트파이프(Heat pipe)는 열의 전달성이 탁월한 전열관으로서 빠른 열응답성과 무동력으로 열전달이 된다는 잇점이 있다. 이러한 특징을 도로면의 제설설비, 동결방지 시스템에 적용하여 그 성능평가를 고려해보는 것은 경제적, 도로안전에도 도움을 줄 것으로 판단된다. 히트파이프를 도로의 제설설비에 이용하는 경우 제설열원, 히트파이프 제작설비 그리고 주변조건에 매우 큰영향을 받는다고 생각된다. 제설열원으로서 폐열, 온천수, 지하수등의 자연열원을 이용하면 경제성이 뛰어나고 에너지공급에는 비용이 들지않는 경제적인 측면도 있다. 히트파이프의 제작설비는 먼저 각 지역의 도로 조건에 알맞는 히트파이프가 개발되어야 하고, 히트파이프 능력은 작동유체 종류, 워의 구조 그리고 컨테이너의 구조에 따라 의존하므로 지역에 알맞는 모델이 선택되어야한다. 이때 히트파이프의 성능 평가는 각도변화, 작동유체의 량에 대한 히트파이프의 열응답특성을 검토할 필요가 있다.

히트파이프의연구는1943년 Gaugler<sup>1)</sup>에 의해서 처음 시작되었고 그 후 50여년 동안 단일 히트파이프의 열성능 연구<sup>2)3)4)</sup>가 진행되어 왔다.

제설용 히트파이프에 대한 연구로서는 처음 미국에서 1972년경부터 지열을 도로제설 시스템에 응용하게 되어 Bienert<sup>5)</sup>가 1975년에는 실험과 실용을 겸해서 West Virginia에 설비한 경우가 있고<sup>6)</sup> 고속도로에서 지열을 히트파이프에 이용하는 경우는 전기로 가열하는 경우의 경비보다 5배정도로 줄일 수 있다고 보고 되고 있다. 일본에서는 1977년 건설성에서 소규모의 현장실험을 개시하여 1983년 2월까지 제설작업용 도로의 30개소를 지정하고 각 지역에 히트파이프를 매설하기 시작하여 실험을 실시하고 있으며, 1979년 일본의 북해도청 토목현장 출장소는 온천수를 열원으로한 도로제설작업, 빙결방지 시스템을 시운전이후 현재까지 활발한 연구가 계속되고 있다. 1981년 최대열유속  $380\text{w/m}^2$ 을 얻을 수 있는 칼루스온천지에서 자연의 조건하에서 실험한 결과 겨울동안 동결현상을 보지 못했다고 보고하고 있다<sup>6)</sup>

이외 히트파이프 시스템을 교각표면의 가열목적으로한 실험적연구<sup>7)8)</sup>가 있고, 고속도로의 제설을위해 주위의 지하수를 이용한 논문<sup>9)</sup>, 도로 현장에서 직접적으로 연구한 논문<sup>10)</sup>이 있다.

국내의 제설에 대한 연구로서는 전선을 도로

바닥에 깔아 도로상의 눈이나 얼음을 자동제거하는 스노멜팅시스템이 개발되고 있고<sup>11),12)</sup> 히트파이프용 제설 제빙 기술에 대한 연구는 롱히트파이프의 기초 연구<sup>13)14)</sup>가 있다. 그러나 히트파이프식 제설제빙 시스템은 아직 기술적인 축적이 없어 그 제작에 아직 시행착오가 예상되며, 히트파이프의 응용분야가 광범위해짐에 따라 제설.제빙시스템의 연구는 더욱 필요한 영역이라고 사료된다.

따라서 본 연구는 제설.제빙 설비를 위하여 히트파이프를 사용할때 기술적, 경제적 문제에 관여하고, 제설용 히트파이프는 증발관 1개에 대하여 응축관이 다관으로 병렬로 연결된 설비로 만들어 제설설비의 구조적문제, 제설열원 환경요소의 변화에 따른 제설 설비의 열응답 특성을 연구의 목적으로 한다.

## 2.기초이론

제설.제빙에 필요한 열량을 눈의 잠열, 현열, 환경적인 요소등 기준하여 단위적당 필요열량은 다음처럼 쓸 수 있다.

$$Q_m = \frac{1}{\eta} \{ q_s + q_m + A_s (q_e + q_b) \} \quad (1)$$

여기서

$Q_m$  : 필요열(  $W/m^2$  )

$q_s$  : 눈에 전해지는 현열량(  $W/m^2$  )

$q_m$  : 눈의 용해 잠열(  $W/m^2$  )

$q_e$  : 수증기의 증발잠열(  $W/m^2$  )

$q_b$  : 대류열복사에 의한 전열 (  $W/m^2$  )

$A_s$ : 전면적에 대하여 적설이 없는 부분의 면적비

$\eta$  : 열효율

히트파이프로 된 제설설비를 매설(埋設)된 경우 순환온수를 기준하여 적설도로 표면온도까지 필요 열수송량은 다음식으로 표현한다.

$$Q_n = \frac{\Delta T_{12} - \Delta T_{23} - \Delta T_{34}}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{\Delta T_{14}}{\sum R} \quad (2)$$

여기서

$\Delta T_{12}$  : 가열측의 표면온도와 가열액체의 온도 차이

$\Delta T_{23}$  : 방열측 표면온도와 적설된 내부 온도 차이

$\Delta T_{34}$  : 적설된 눈의 내외면의 표면온도차이

$R_1$  : 가열측의 열원의 표면온도까지 열저항

$R_2$  : 히트파이프의 내부저항

$R_3$  : 방열측의 제설 표면온도 까지 열저항

따라서 히트파이프 1 본이 공급할수 있는 열원과 제설에 필요한 전체열량의 관계로부터 히트파이프 매설피치는 다음식으로 표현된다.

$$p = \frac{Q_n}{Q_m \cdot l} \quad (3)$$

$Q_m$  : 제설에 필요한 열량(  $W/m^2$  )

$l$  : 히트파이프의 매설길이(  $m$  )

눈을 녹이는데 필요한 열은 눈에 따라서 밀도가 다른 값을 가지므로 다음식으로 표현 될 수 있다.

$$q_s = \rho chA_f (T_s - T_a) \quad (4)$$

$A_f$  : 면적(  $m^2$  )

$T_s, T_a$ : 눈의 온도 및 대기온도

$\rho$  : 눈의 밀도(  $kg/m^3$  )

$h$  : 눈의 강설량(  $m/h$  )

$c$  : 눈의비열 (  $kJ/kg.k$  )

제설시스템에서 공급된 온수의 공급열원은 다음

처럼 표시 된다.

$$Q_c = m c_f (T_i - T_{out}) \quad (5)$$

제설설비에 가열액체에의해서 공급되는 열유속은 다음처럼 쓸 수 있다.

$$q_c = \frac{Q_c}{A_n} \quad (6)$$

여기서  $A_n$ 은 제설설비 증발관의 벽면적이다.

### 3. 실험 장치 및 방법

#### 3.1 히트파이프 제작

Fig.1은 히트파이프가 응축부에 병렬로 연결된 A type, B type으로 나누고 증발부와 연결된 모양을 나타낸다. 히트파이프의 제작은 생산단가가 최소화 되게하고, 설비조건도 간단한 현장에서 조립되도록 설계하였으며 그리고 가열매체의 유동은 순환 펌프의 동력이 최소화 되도록 하였다. Fig.1에 나타난 번호는 측정점을 나타낸다.

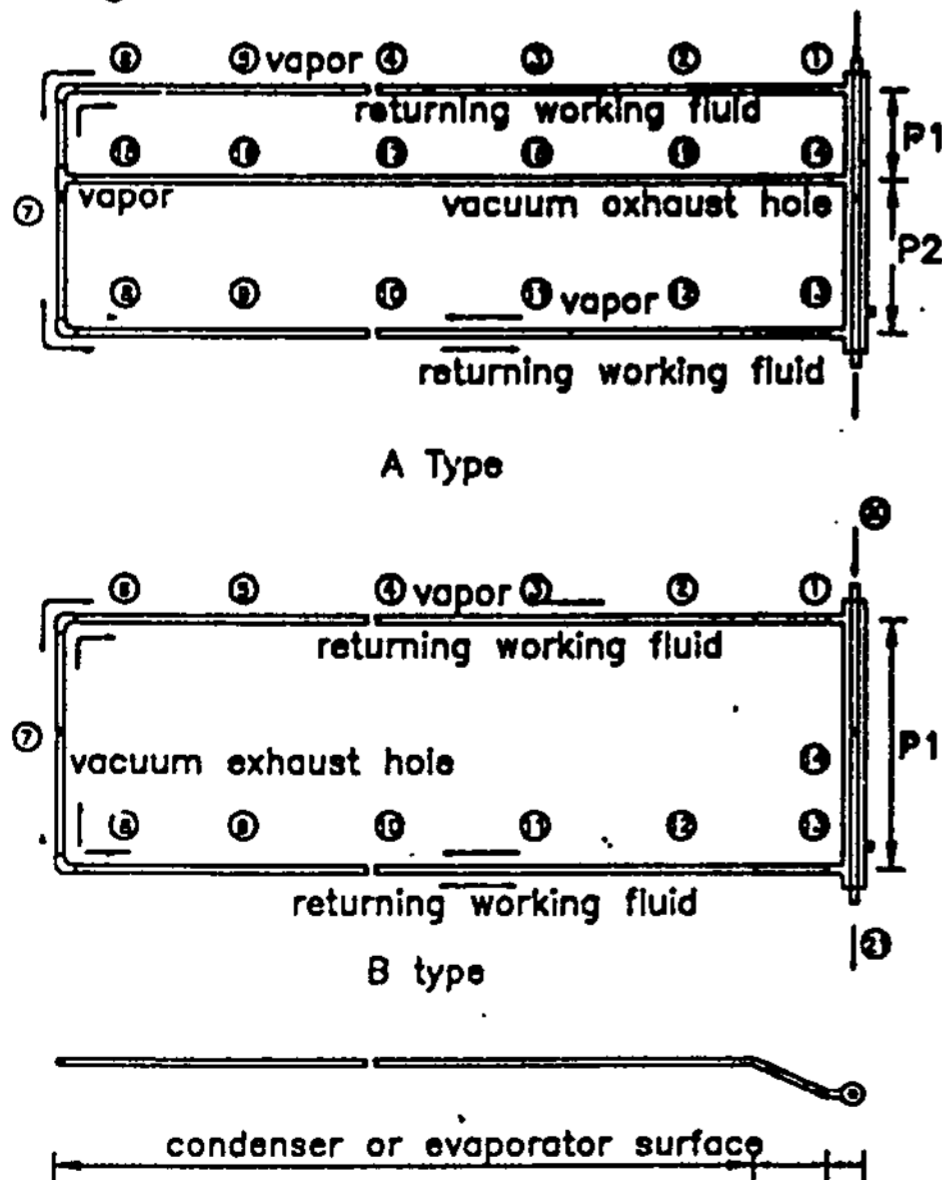


Fig.1 Shapes of A type and B type facilities with long heat pipes

Fig.2는 증발부와 응축부 말단에 이어주는 플렉시블 튜브의 단면을 보여 준다. 히트파이프의 길이는 제설도로의 2차선폭 및 상업용길이를 고려하여 3m의 구리관 2본을 연결하고, 응축부 길이는 노면(路面)의 폭을 기준하여 6m, 지름 2.54cm로 제작되어 있다. 컨테이너재질은 구리로 하며, 위의 재질은 황동 망사#100를 사용하였다. 작동유체는 증류수로 하여 진공  $5 \times 10^{-3}$  Torr이 되게 하였다.

#### 3.2 실험 장치

본 연구에 사용된 실험장치는 Fig.3에 보여준다. 겨울 도로조건과 유사하게 만들기위하여 조립앵글을 사용하여 폭 1m높이 0.5m 그리고 길이 10m되게 형태를 만들고 단열재,비닐등으로 단열 및 방수처리를 하여 그 위에 입자가 적은 하천모래를 10cm가량 채우고 히트파이프를 설치하였다. 저항을 감소시키기 위하여 증발기내로 가열액체가 지나도록 하였다. 온도측정은 히트파이프외벽에 K Type 열전대(지름0.3mm),관벽에 용접기(cooperheat)를 이용하여 고정하였다.

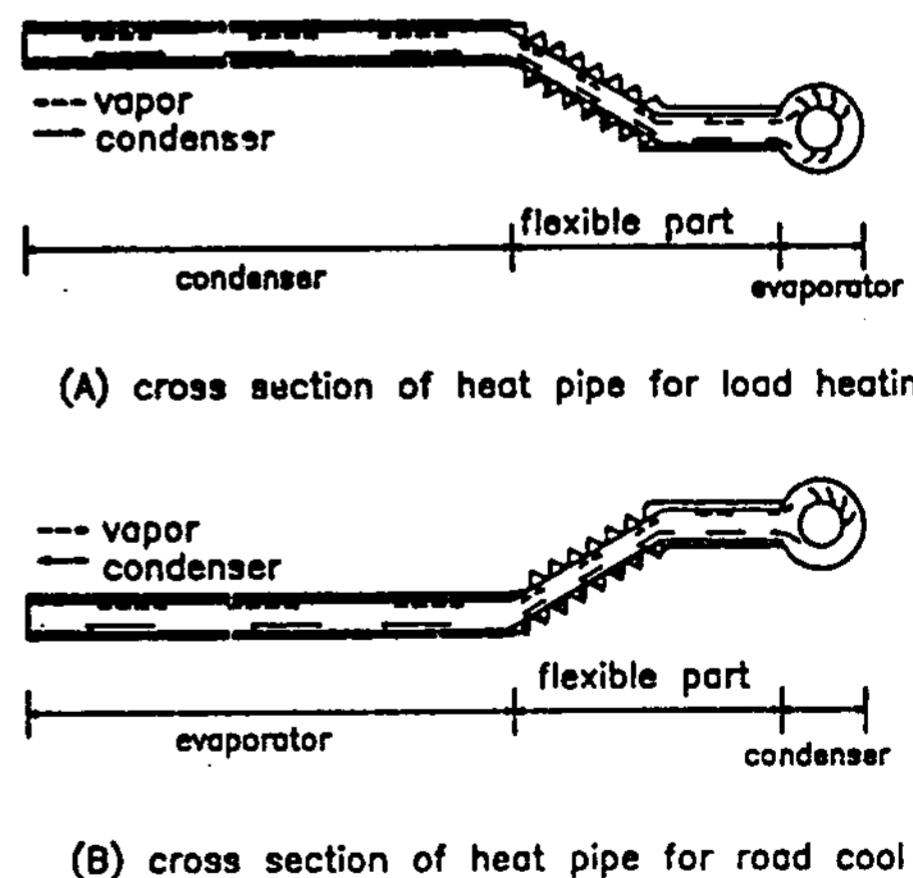


Fig.2 Cross section of the tube connected to evaporator and condenser

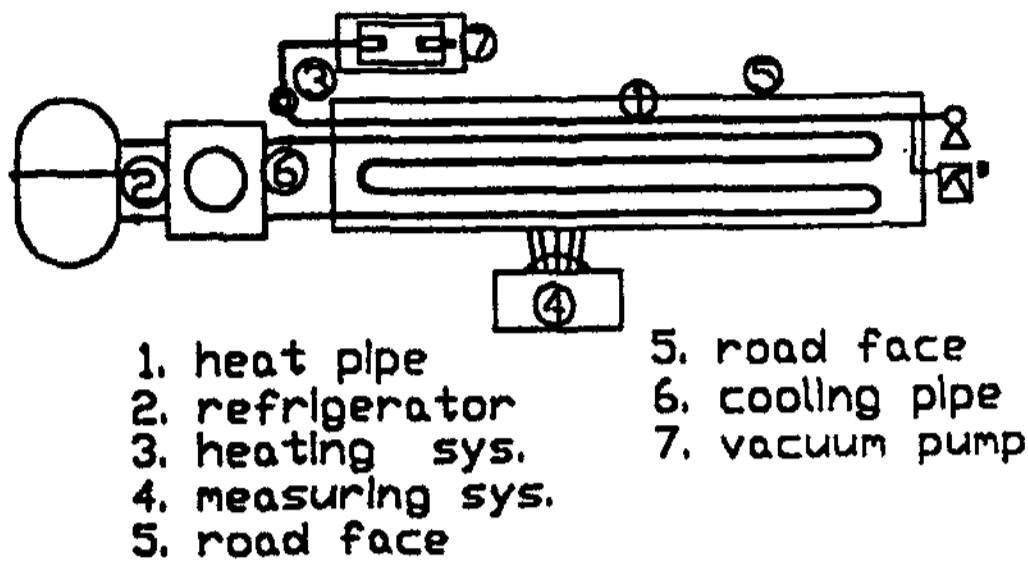


Fig.3 Schematic diagram of experimental set up

### 3.3 실험 방법

본 연구는 먼저 1본의 히트파이프<sup>13)14)</sup>대해 서 실험하였고, 그 특성을 이용하여 결합된 제설시설(除雪設備)의 모델의 연구를 수행하는 순서로 진행하였다. 순환유량을 일정하게 하고 온도를 변화할 때 노면에 미치는 전열응답을 알기 위하여 증발부에서 가열액체를 통하여 온도를 40도에서 80도까지 연속적인 가열을 하고, 응축부의 각도변화는 도로조건에 유사각도를 중심으로해서 0 에서 18도, 증발부의 각도 변화는 0 에서 60까지 변화하면서 응축부 및 증발부의 온도 분포를 측정하였다. 측정은 가열 매체온도를 변화할 때 벽온도의 과도적 응답, 히트 파이프의 배열 방법에 대한 각 히트파이프간의 응축부의 온도영향, 최적 증발부의 온도가 응축벽면에 제설응답, 보일러 특성을 고려한 최소 운전 경비 및 경제성 특성 고찰이 포함되게하여 실험,고찰 되었다.

## 4 결과 고찰

### 4.1 벽온도 특성

Fig.4는 작동유체가 700cc이고 응축부 경사각이 0.8° 일때 입구. 출구. 그리고 벽면의 온도를 시간변화에 대해서 보여준다. 가열액체온도는 40°C,50°C,60°C,70°C 그리고 80°C 단계로 가열되어졌며, 각 단계마다 온도 변화를 벽면이 정상점에 도달한 후에 다음 단계의 가열온도를 증가하였다.

정상점에 도달하는 시간은 가열매체 입구온도가 증가하면 지연되는 것으로 나타나며 80°C 이후에서는 정상점에 도달하는데 30분 이상인 것을 보여준다.

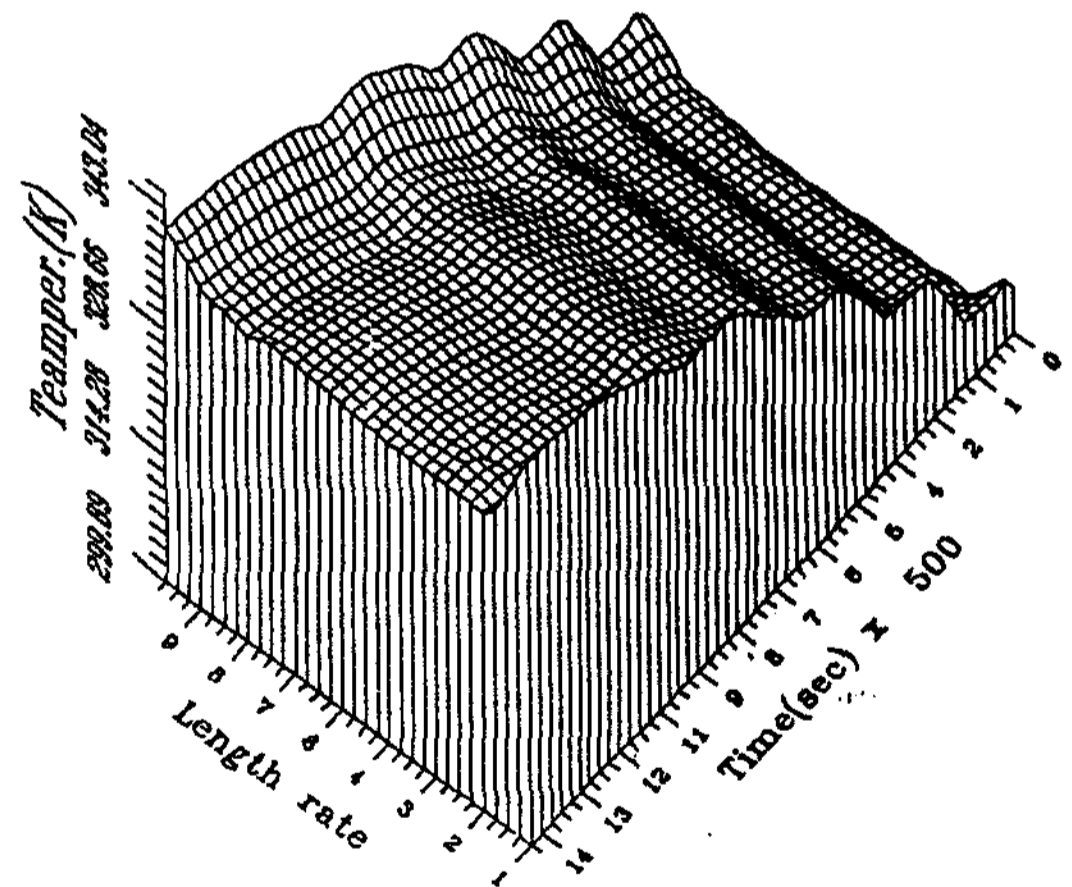


Fig.4 Axial wall temperature profile vs time for A type facilities

Fig.5는 작동유체 700cc, 경사각 0.8° 경우 가열온도를 40°C, 50°C, 60°C, 그리고 70°C로 증가할 경우 A Type 벽면온도를 보여준다. 여기서 1점이 가열 입구온도이며 출구온도는 14점으로 하여 표시한 것이다. 온도 변화구간에서 벽면의 온도는 거의 동일한 상태를 보여주며 온도증가는 거의 같은 범위로 증가됨을 알 수 있다. 응축부의 온도가 평형을 이룬 것은 같은 증발기를 가진 다관식 응축기는 피치에 관계없이 온도분포가 동일하며 1증발 다음축기가 동일제설 표면온도를 갖게하는 특색을 보여주며, 불응축가스 발생 없어 정상적인 온도로 작동하고 있음을 알 수 있다.

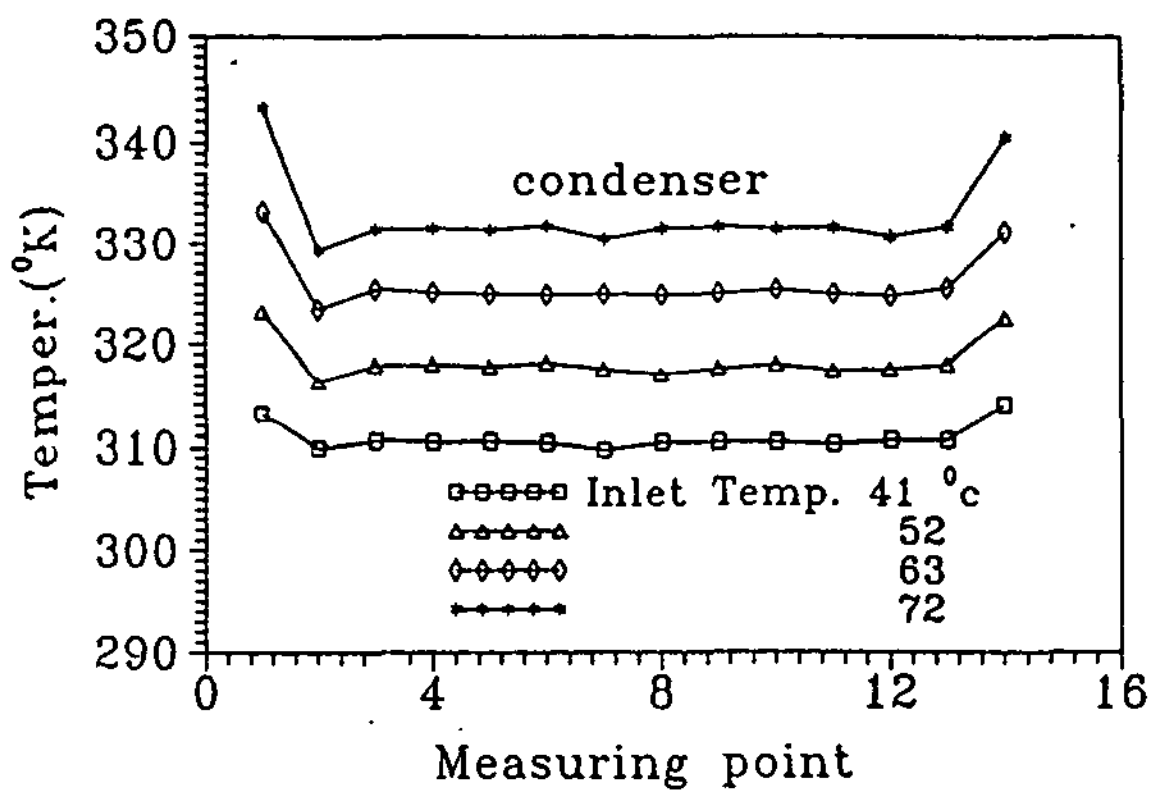


Fig.5 Axial wall temperature response by various inlet temperature.

Fig.6은 작동유체량이 700cc이고 경사각이 0.8도 일 때 Btype히트파이프를 가열유체온도 40, 50, 60, 70 그리고 80로 한 경우 정영역의 온도를 과도적으로 보여준다. 가열유체의 정상점온도는 700sec 정도인데 비하여 다른 벽면의 온도는 1000sec정도로 다소 지연 됨을 알 수 있다. 그러나 그 크기는 제설을 위해서는 큰 영향이될 수 없고, 전체의 온도 분포는 안정되어 있고 Fig. 5와 유사한 경향을 보여 준다.

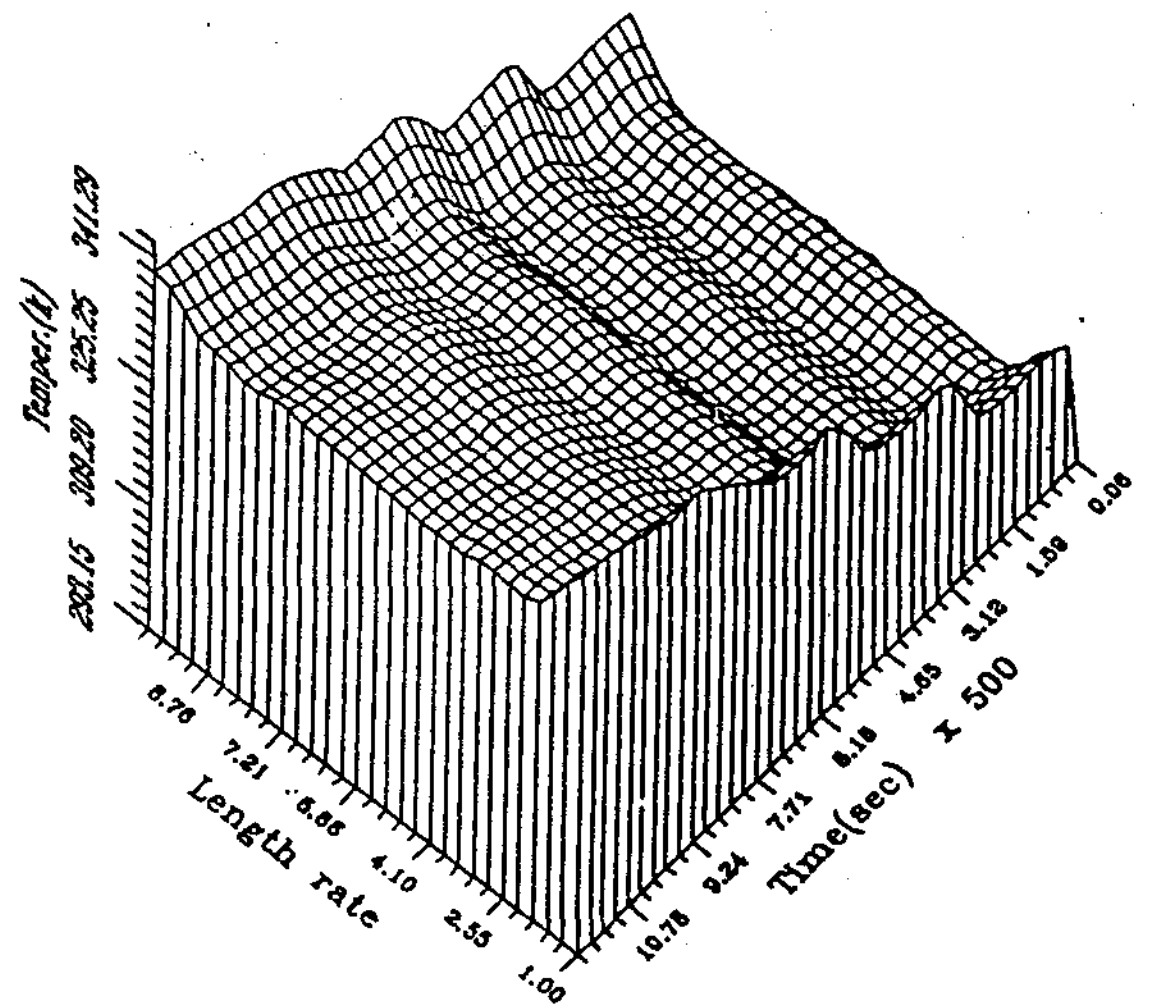


Fig.6 Axial wall temperature profile for B type facilities

Fig. 7은 Atype과 Btype를 같은 조건에서 벽면의 온도를 비교한 것을 보여 준다. B type은 A type에 비해 온도가 약간 증가한 것으로 보여진다. B type은 A type보다 전열 면적이 2/3정도로서 응축부의 열전달 저하라고 볼 수 있지만 2종류 모두 증발부보다 응축부측의 전열 면적이 월등히 크므로 큰 변화는 기대할 수 없다. 이것은 응축부가 다관일 지라도 증발부의 온도에 의존한다고 생각되며 A type과 B type처럼 다관 히트파이프로서 제설하는 경우 증발부의 온도 및 작동유체를 적정하게 선택하면 여러 가지의 다관 히트파이프의 사용에도 무리없이 사용 가능할 것으로 판단 된다.



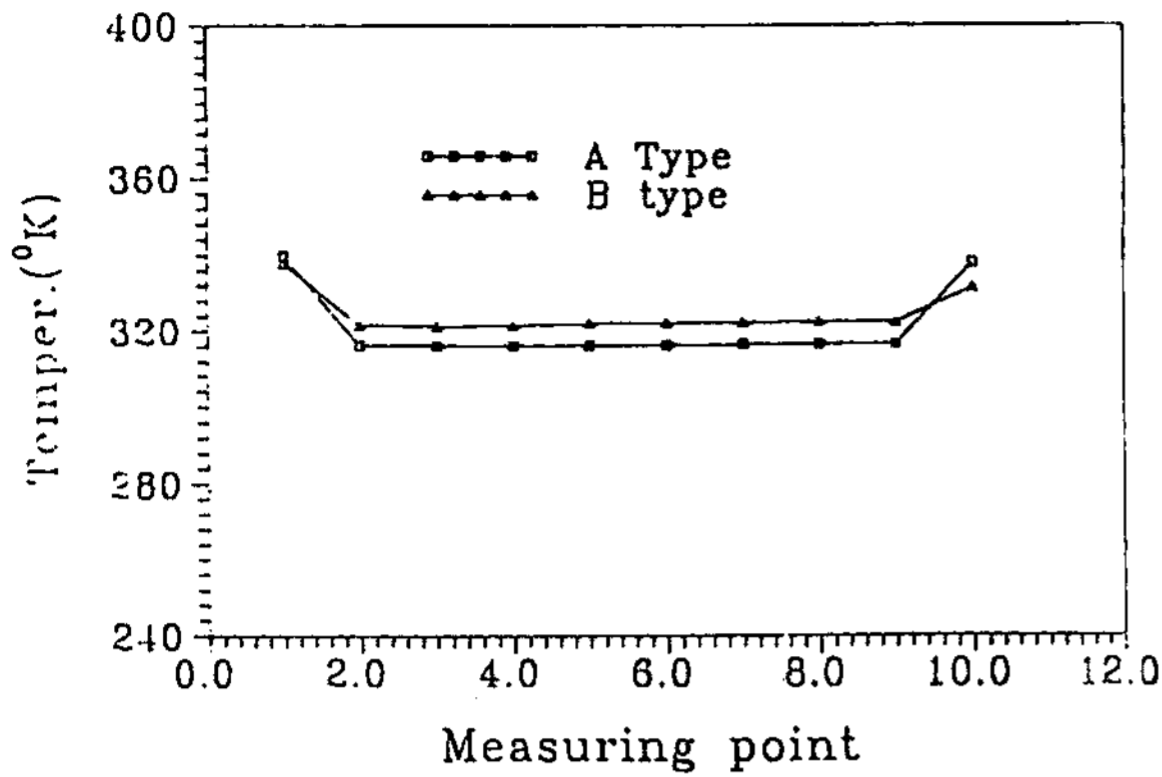


Fig.7 Comparison of wall temperature response between A type and B type facilities using heat pipe

4.2 작동유체량에 대한 변화

Fig.8은 응축부의 각도를 0.8° 로 두고 작동유체의 충전량을 400cc에서 1700cc 까지 변화할 때 증발기 온도와 응축벽면의 온도차에 따라 나타낸 것이다. 가열매체의 입구온도가 높으면 작동유체량이 증가할수록 그 온도차이가 적어지는 경향이 있으며, 가열매체의 입구온도가 낮을 경우 작동유체량이 400 cc일 때 온도차는 급격한 증가를 보여준다.

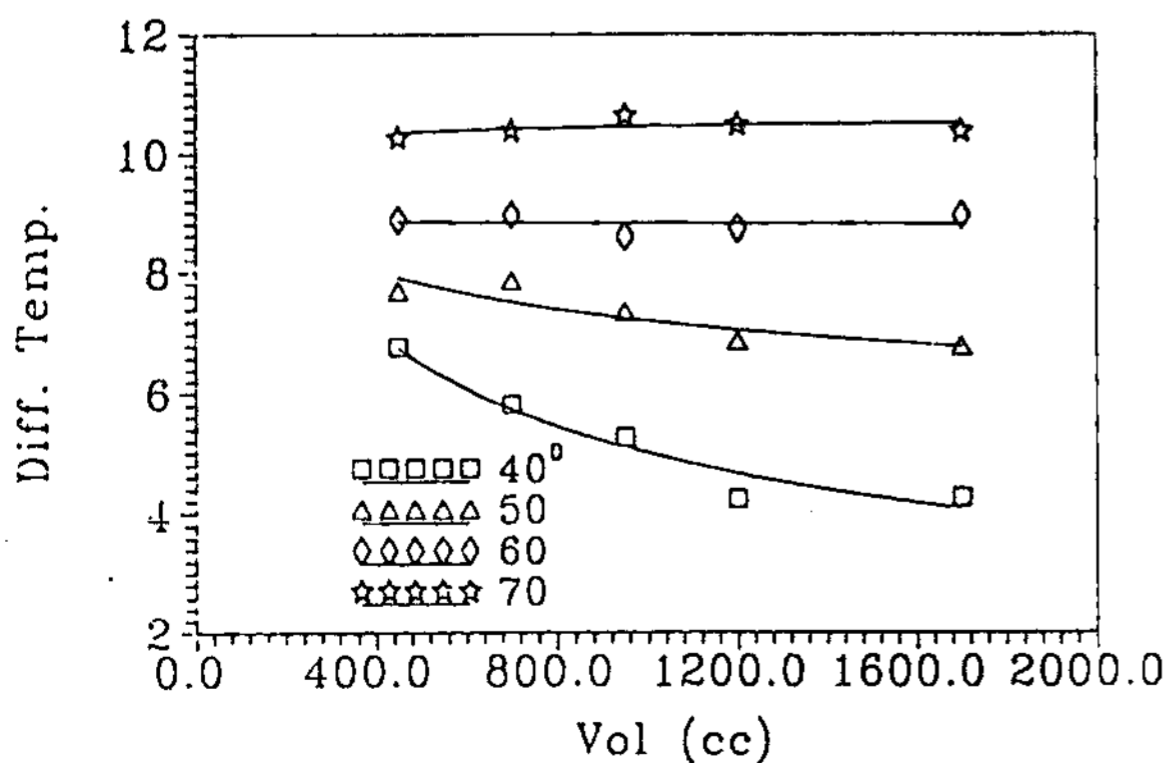


Fig.8 Difference temperature between evaporator and condenser wall by working fluid amount

Fig.9는 응축부의 경사도를 0.8로하고 가열액체 입구온도를 60° 로 하였을 때 증발부 및 응축부의 온도 진동을 보여 준다. Fig.9에서 위에서 아래로 곡선은 측정점 12, 9, 그리고 증발부를 나타낸다. 작동유체가 950cc부근에서는 증발부의 진폭이 적고 진동수는 다소 증가하여 응축부의 외벽온도는 거의 평활한 곡선 처럼 보여진다. 작동유체와 가열 액체온도 그리고 경사각이 적정으로 되면 증발저항이 최소화되고 증발부의 진폭이 감소됨을 알 수 있다.

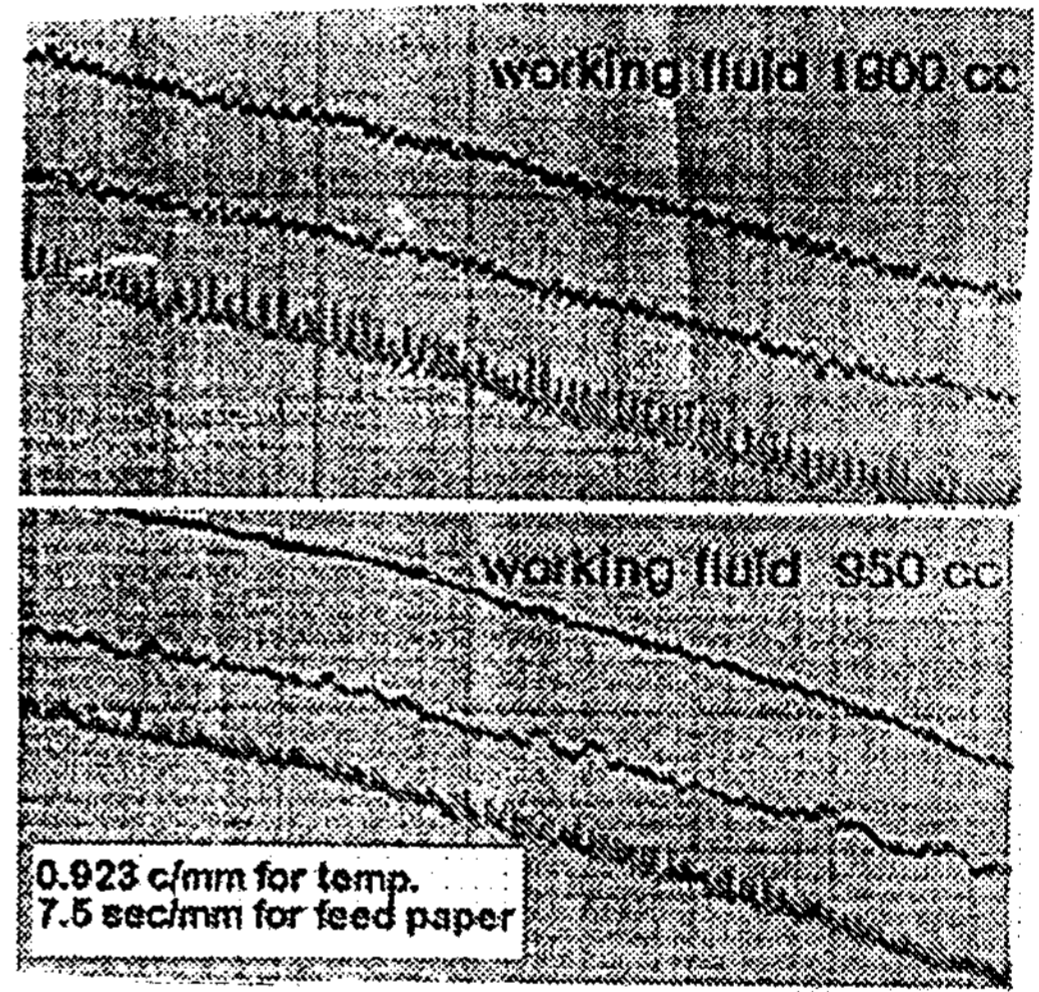


Fig.9 Temperature fluctuation for various working fluid amount at same inlet temperature of heating water.

Fig. 10은 작동유체량을 400cc에서 1700cc까지 증가할 때 경사도 0° 에서 18° 영역까지 열저항을 가열매체 온도 변화에 따라 나타낸 것이다. 가열매체 온도가 높은 경우에는 열 저항 분포가 다소 안정된 상태로 보여주지만 가열매체 온도가 낮은 경우는 저항값 분포도가 산만하고 특히 경사가 낮고 작동유체가 400cc 부근에서 더욱 큰 열저항 값을 갖는다.

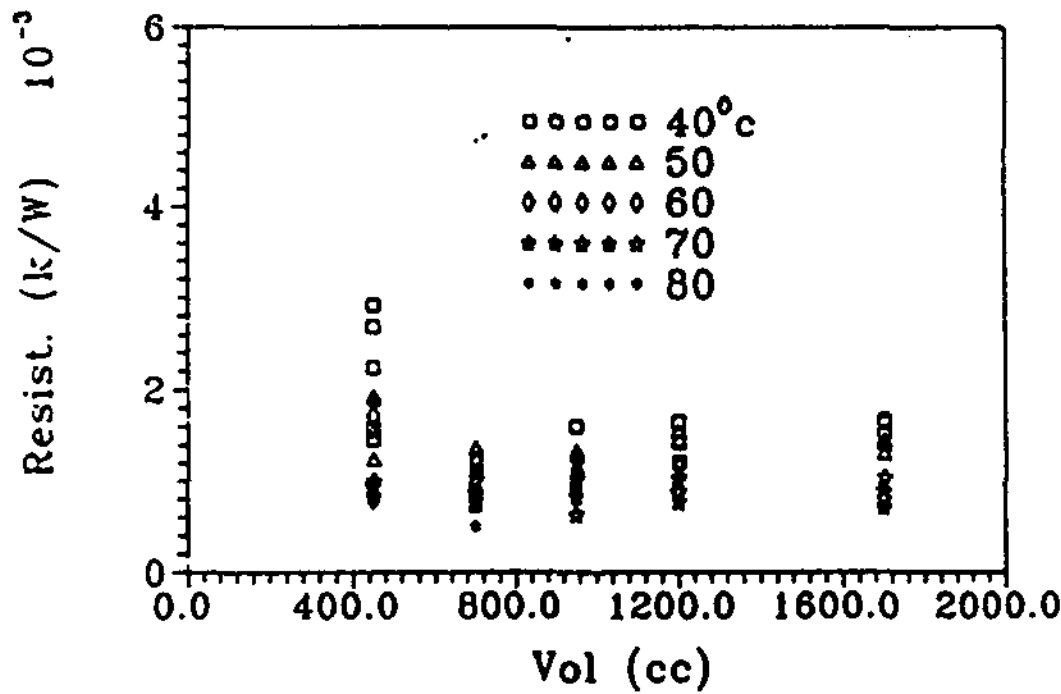


Fig.10 Thermal resistance for various working fluid amount by inlet temperature of heating water.

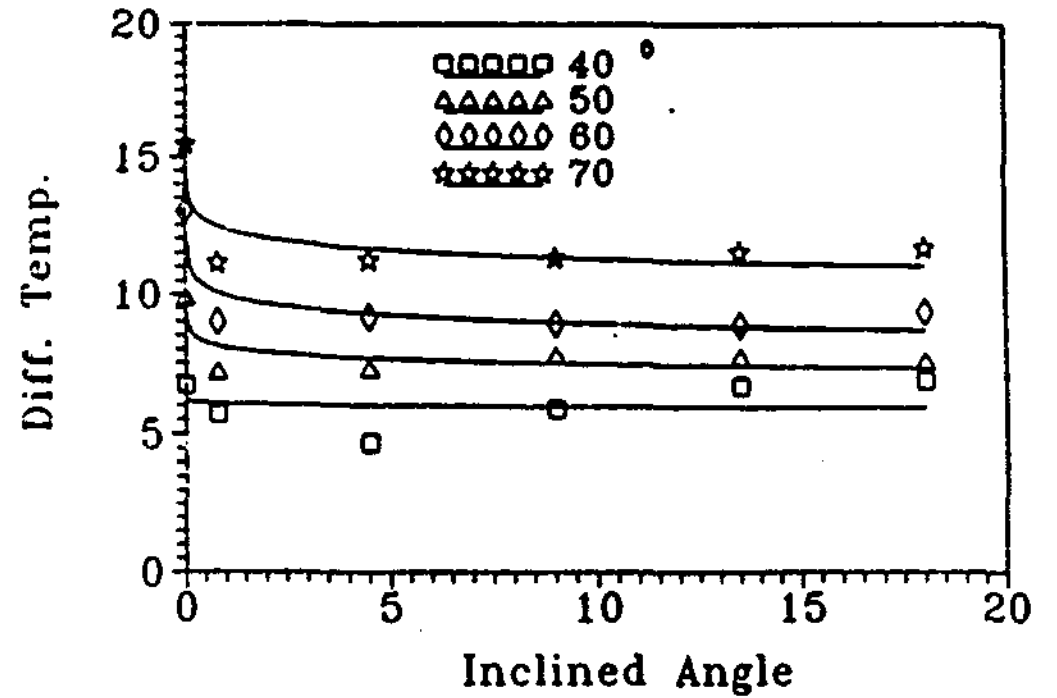


Fig.11 Difference temperature between evaporator and condenser wall by various inclination angle of condenser

### 4.3 경사도에 대한 변화

Fig.11은 작동유체를 700cc한 경우 가열액체 입구온도에 따라서 경사도변화에 의한 온도차이를 나타낸 것이다. 경사도가 증가하고 가열 액체 온도가 낮을수록 온도 차이는 적게 나타남을 보여준다. 가열액체온도가 적은 경우에는 경사도가 적으면 온도차는 급격한 증가를 보여 마침내 작동이 멈추는 경우도 있었고 경사도를 차츰 증가한 경우는 작동이 재시작 하는 것을 알 수 있었다. 이 현상은 경사도가 적으면 응축부에서 응축된 작동유체가 증발부에 귀환하는 방법이 증발부와 응축부의 수위의 차이에 의해서 결정된다고 볼 수 있으므로 가열매체 입구온도가 적으면 온도차이가 크게되고 입구온도가 증가하면 온도차이는 큰 변화를 볼 수 없음을 알 수 있다.

Fig.12은 경사도 변화에 따라 작동유체 관계를 가열액체 입구온도와 응축부의 온도 차이로 나타낸 것이다. 경사도가 적은 경우에는 작동유체량에 관계없이 모두 온도차는 증가하는 것을 보여주며 경사도가 증가하면 다소 감소하는 경우가 있다. 전체의 경향으로서는 유량이 적을 때는 경사도가 크고, 유량이 증가할수록 경사도가 적을 때 그 온도차는 감소한 것을 보여 준다.

응축부 각도를 0.8도로 고정하고 증발부의 각도를 0도에서 60까지 변화할 때 응축부 표면의 온도응답을 Fig.13에 보여 준다. 증발부와 응축부는 유연성이 있는 튜브로 연결되어 제설 작업을 위한 최적 경사각을 측정하기 위한 것으로서 경사각이 15에서 가장 안정한 것으로 보여준다. 제설시설을 도로에 설치할 때 증발부는 15도이상의 경사가 있도록 설치하는 것이 바람직하다고 생각된다.



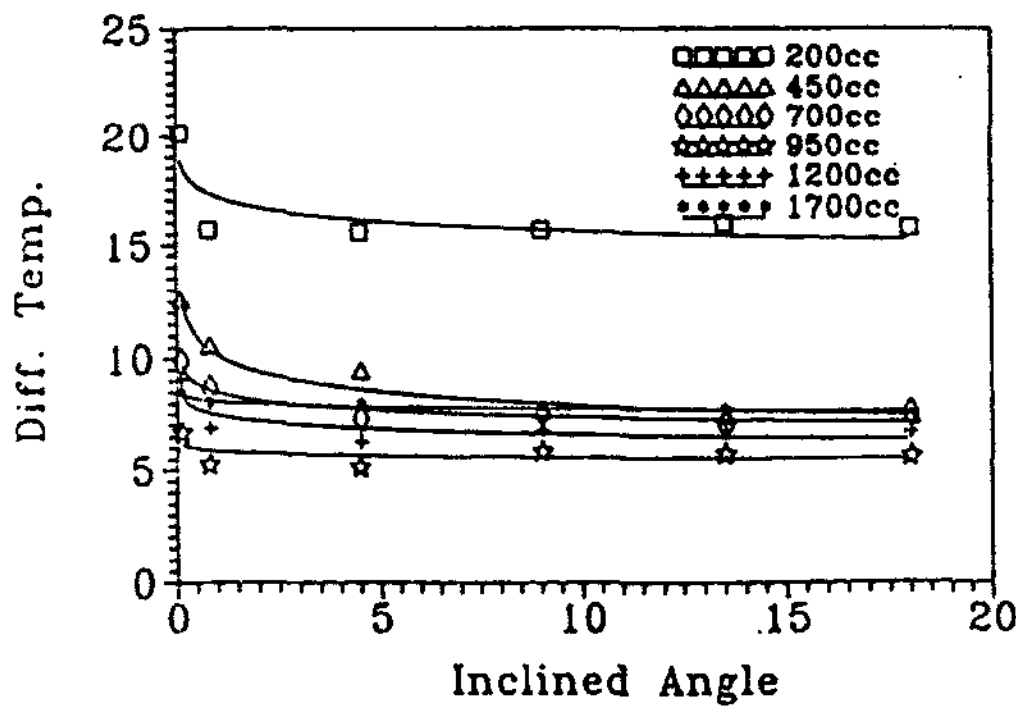


Fig.12 Difference temperature between evaporator and condenser wall by various inclination angle and working fluid amount.

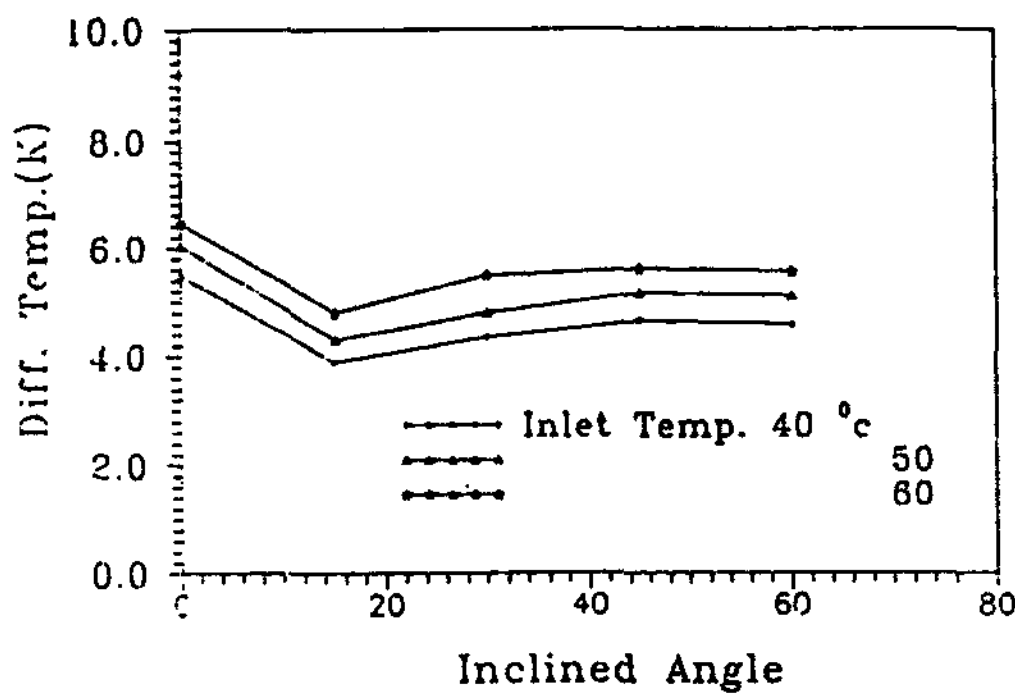


Fig.13 Difference temperature between evaporator and condenser wall by various inclination angle of evaporator

Fig.14는 70°C에서 경사도 0, 0.8, 9 인 경우의 온도진동, 온도진폭수의 모양을 보여준다. 경사도 0경우는 증발 간격이 매우 크게 나타나므로 온도 진동수가 적고 불안정하며 진폭도 순간적으로 피크를 나타내고 있다. 경사가 0.8인 경우는 거의 주기적이고 증발현상을 보여주며 증발부의 증발곡선모양에 거의 동일시간에 응축부 말단까지 전해지는 온도 전파를 보여준다. 벽면의 온도 역시 주기적임을 알 수 있다. 그러나 경사를 증가시키면 온도진동은 적어지며 그 진

폭도 적어지고 안정된 작업을 연속적으로 할 수 있다.

Fig.15은 증발기 내부온도와 측정점 9, 12 의 온도의 온도를 작동유체량 950cc 경사도 0.8° 일 때 온도 40°C, 60°C, 80°C의 온도진동, 온도진폭을 나타낸 것이다. 온도 40°C 경우 약간 불안정한 진동의 모양을 보여주며 온도가 증가할수록 진폭은 감소하며 그 진동수는 주기성을 가진 것은 볼 수 있다. 작동유체가 증가하면 점차 이 현상이 없어지고 1700cc에서는 전 영역에서 온도진동수와 진폭수는 거의 동일하게 나타났다.

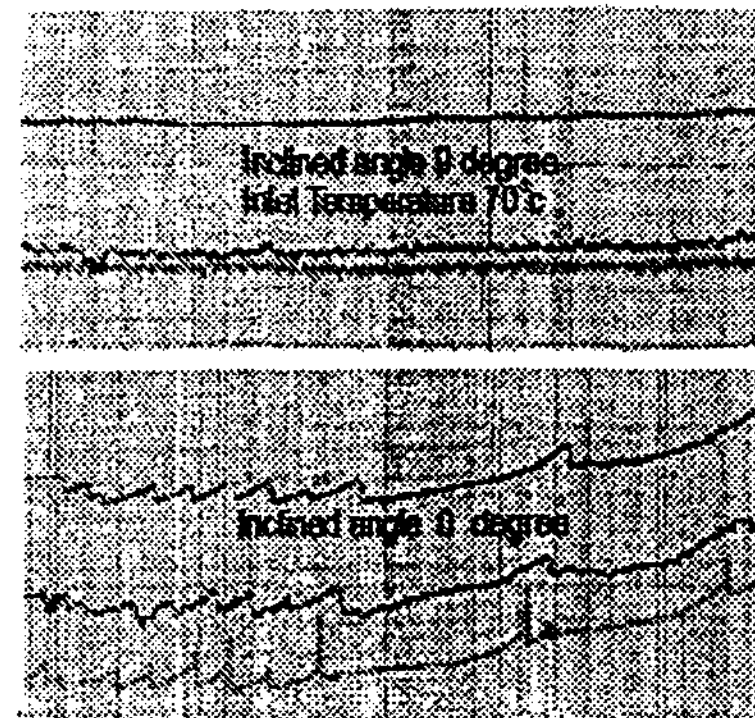


Fig.14 Temperature fluctuation with various inclination angle at inlet temperature of heating water.

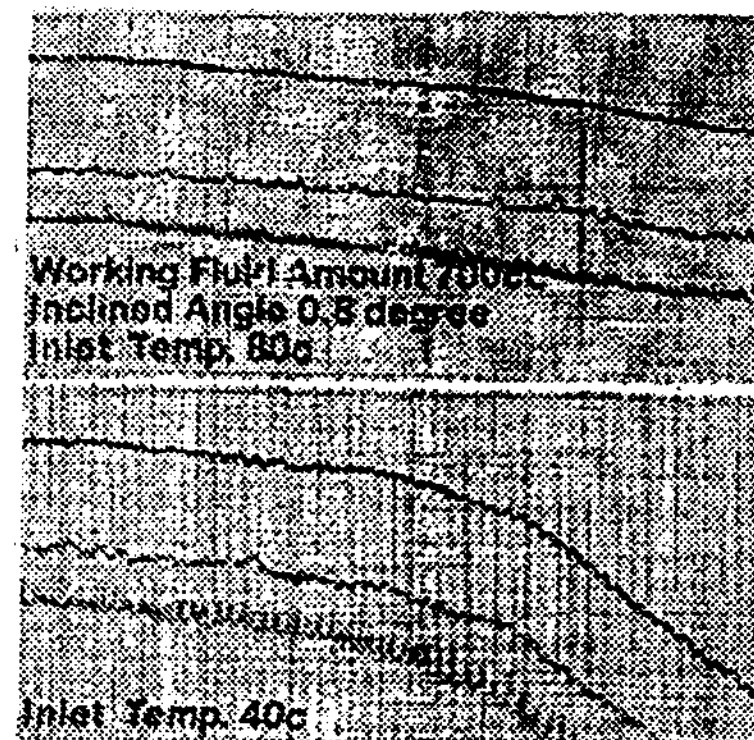


Fig.15 Temperature fluctuation with various inlet temperature of heating water

Fig.16는 경사도가 0에서 18까지 변화하고 가열매체 온도 40~70℃ 까지 변화하는 동안 작동유체 450~1700cc 범위에서 열저항 변화를 나타낸 것이다. 40℃의 경사도 0인 경우는 경사도 크기에 관계없이 증가 값으로 나타나지만, 그 외 영역에서는 열저항이  $0.8 \times 10^{-3}$ 에서  $1.8 \times 10^{-3}$  범위에서 안정되어 나타낸다. 경사도가 증가하고 작동액이 증가할수록 저항값은 밀집되어 나타나며, 측정결과로서 4.5° ~ 9° 부근에서 가장 낮은 저항으로 표시되었다.

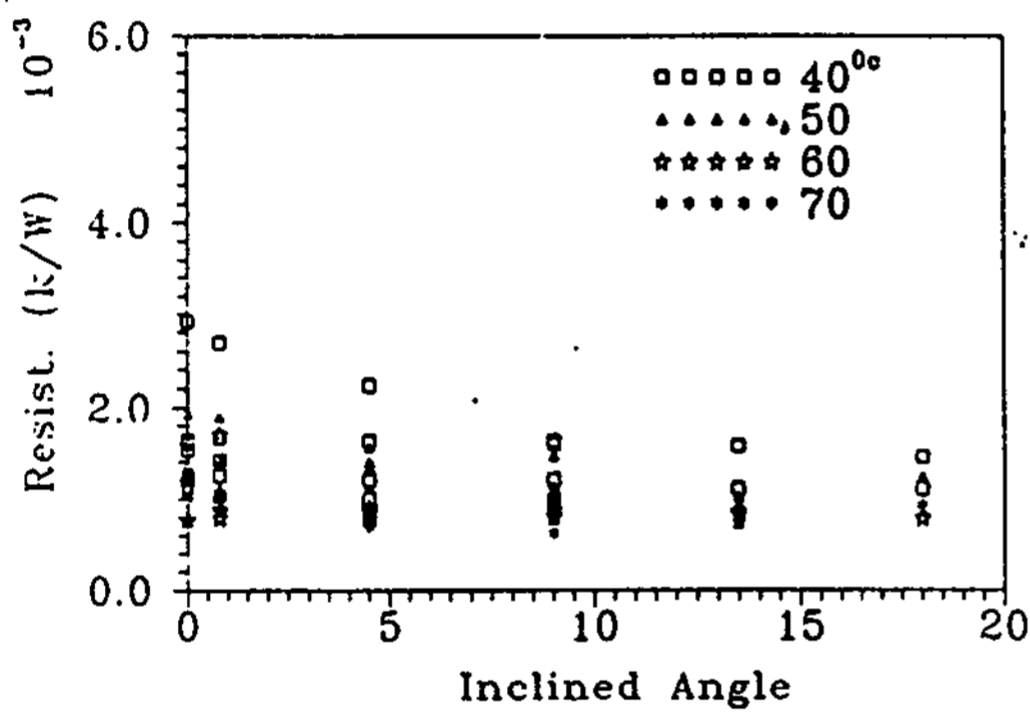


Fig.16 Thermal resistance for various inclination angle by inlet temperature of heating water.

#### 4.4 제설제빙 시설 전열 평가

Fig.17은 증발부 입구에서 응축벽면까지 열전달을 응축부의 경사각도와 가열 매체입구온도 변화로서 나타낸 것이다. 증발부 가열매체 60℃ 부근은 역시 높은 열전달의 값을 보여주며 경사도 9 에서는 더욱 높은 값을 나타내고 있다. 40℃ 의 경우 산만한 분포는 작동유체 비가 1이하인 경우의 것으로서 이때 경사가 증가하면 다소 열전달은 증가한 것을 알 수 있었다. 증발부 입구에서 응축부 벽면까지 열전달을 작동유체와 증발부 가열 매체온도 변화에 대하여 나타낸 것이다. 작동유체는 증발부의 입구온도가

60℃ 부근에서 가장 최상을 갖고 있으며 이때 작동유체량에 관계 없이 거의 유사한 값을 가지고 있음을 보여 준다. 도로의 표면에서 방열은 기온, 풍속, 습도, 강설량에 관계 한다고하여 기온 -5℃, 풍속 5 m/s, 강설량 200mm/day로 할 때 융설에 필요열 63W/m<sup>2</sup>, 대류증발열124W/m<sup>2</sup>, 복사열 15W/m<sup>2</sup>, 증발잠열 98W/m<sup>2</sup>로서 총필요열량 300 W/m<sup>2</sup> 이라고하면 Fig.17의 점선처럼 40도 경사도 0 를 제외한 모든 영역에서 제설설비의 제설능력의 범위에 있음을 알 수 있다.

Table 1은 히트파이프용 제설 제빙 시스템의 전비용을 열원을 전기, 지열, 온천수 또는 폐열,인 경우 설치 제작비의 비교를 나타낸 것이다.

히트파이프 제작비는 인건비 785원/m,재료비 7800원/m으로 하면 워이 있는 경우 9443.5원/m, 없는 경우 5443.5원/m,이며 히트파이프 제작비는 재료비의 워이 있는 경우는 재료비가 2배로 된다.

응축부 매설비 아스팔트공, 포장공, 다지기공 등의 인건비 2677.4원/m 이며 증발부의 설치비는 지열을 사용하는 경우 보링공사가 제빙제열 시스템의 제작비에 가장 큰 비중을 차지하여 1공당 700,000 - 1,000,000원로서 53,333원/m로 되며 만약 보링공수가 많을 경우 공사비는 반감할 수 있다. 일본과 미국과의 비교에서는 국내의 설비 인건비 때문에 다소 가격이 낮은 것으로 계산 되었다. 이처럼 히트파이프는 될 수 있는 데로 중력에의해서 움직이는 원리를 채용하는 것이 바람직하며,특히 도로면의 (-)경사가 있는 경우에는 워의 사용은 필수적이라고 하겠다. 사용열원에 대해서도 지열을 이용하는 경우 보링머신 사용료가 과도하므로 도로 주변 여건에 따라 온천수, 폐열, 지역난방 등의 온수를 사용하는 것이 바람직하다.

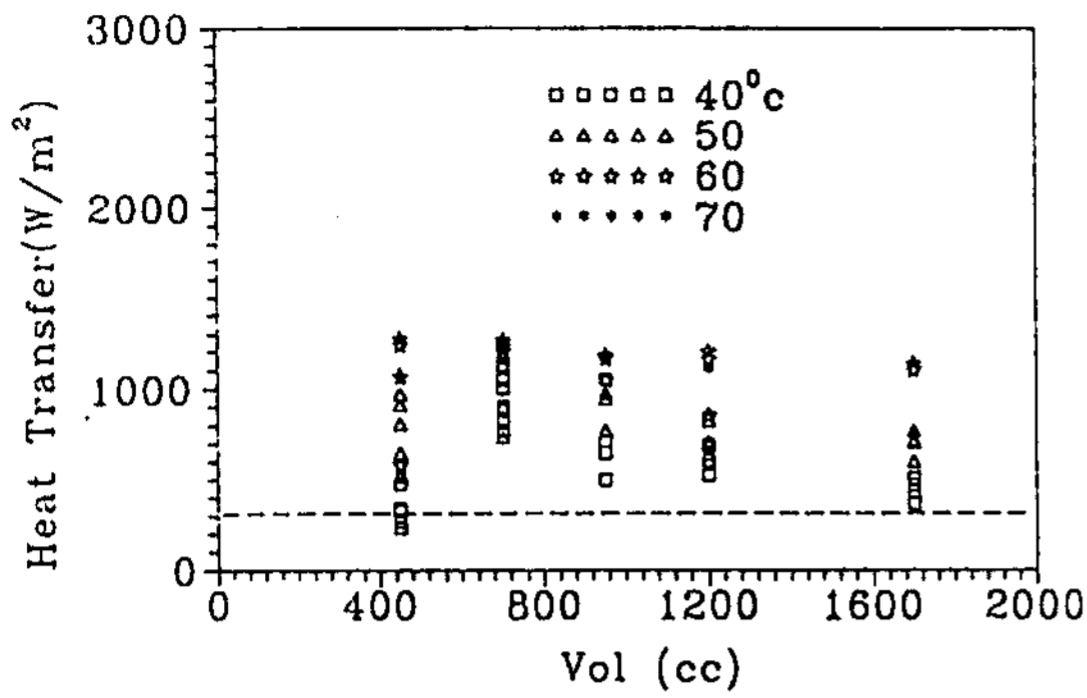


Fig.17 Effect of heat transfer in long heat pipe with A type condenser by working fluid amount.

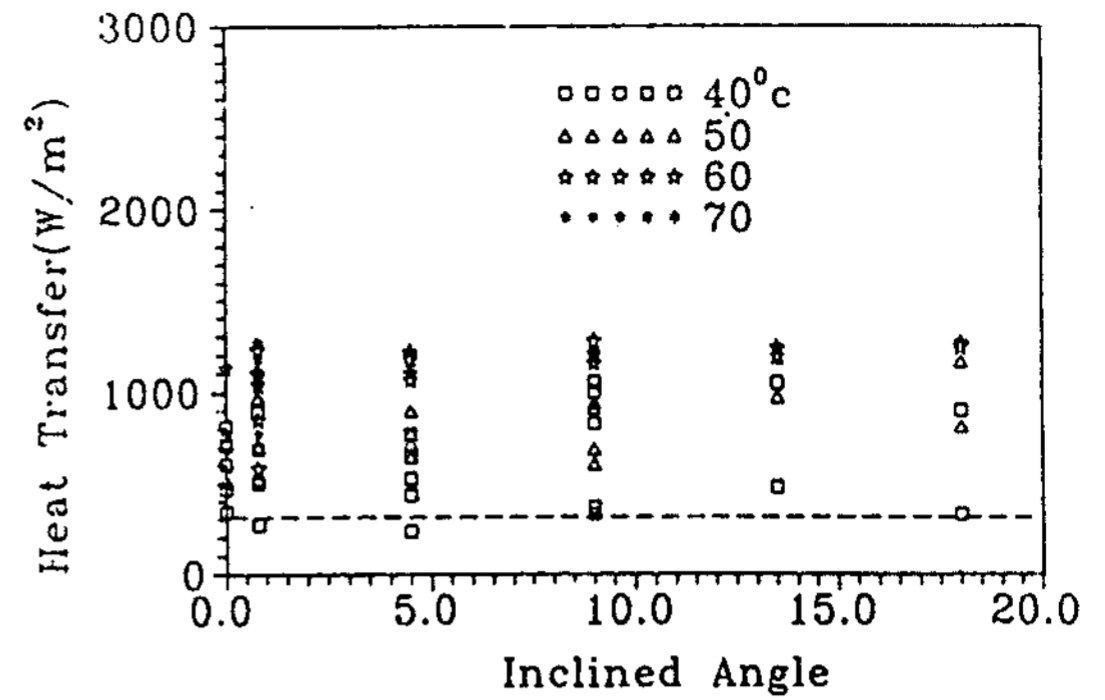


Fig.18 Effect of heat transfer in long heat pipe with A type condenser by inclination angle.

Table 1 Cost of Facilities using Heat Pipe

Heat Source	Earth Energy	Water Energy	Electrically Power
Heat Pipe Fabrication(won/m)	9443.5	9443.5	15000/kwh
Condenser Installation(won/m)	3703.8	3704.8	
Evaporator Instollation(won/m)	53.333	5443.5	
(won/m)	--		30/kwh
Total cost (won/m <sup>2</sup> )	850,451	90,553	31942

Fig.18은 Fig.17과 같은 조건으로 작동유체량, 가열액체의 온도변화가 있을 때 경사 변화도에 따라 전열량의 비교를 나타낸 것이다. 제설을 위한 최대열전달을 300W로 볼 때 Fig.18의 점선보다 모두 큰 값을 가지고 있는데 본 연구의 제설 제빙시설은 제설을 위해 사용가치가 충분하다고 판단된다.

### 5. 결론

본 연구는 제설설비를 위하여 히트파이프를 사용할때 기술적, 경제적 문제에 대하여 고찰하였고, 히트파이프식의 제설구조를 제작. 설비하는 경우의 적용범위와 작동조건에 따라 전열 효과를 실험적으로 검토하였으며 그 결과 다음의 결론을 얻었다.

1. 제설 제빙용으로 개발된 히트파이프식 설비는 히트파이프 배열의 피치에 관계없이 상호보완적 작동하며 제설설비를 위해 충분한 성능이 있었다.
2. 작동액체의 충전량은 증발기의 체적을 기준으로 하여 0.96~1.3배인 경우가 가장 적합하였다.
3. 가열액체의 온도가 증가할수록 안정한 운전이 가능하였고 경사도는 4.5에서 9사이가 가장 양호했다.
4. 경사가 크고 가열매체 입구온도가 증가할 때 온도진동수는 증가하고 진폭은 감소하고 열전달 효과는 크게 나타났다.
5. 경제성으로 보아 지열보다 온수용 공급열원을 사용하는 방법이 바람직 하고, 위의 사

용 범위를 제한하여 사용하는 것이 바람직했다.

## 후 기

본연구는 1996년도 학술진흥재단의 공모과제의 연구비에 의하여 연구 되었기에 이에 감사드립니다.

## 6.참 고 문 헌

- 1) R.S.Gaugler, "Heat Transfer Device",US Patent,2350348,June,1944.
- 2) Ortyo]rt and David Sarrf Flexible Heat Pipe Cold Plate for Aircraft Thermal Control. Phase1Final Report, NADC-62269-88-C-0210,(1991),pp2352-2360.
- 3) K.Vafari,Z.Zhu,W.Wang,Analysis of Asymmetric Disk Shaped and of Flat-Plat Heat Pipe,J. of Heat Transfer Feb. Vol.117,(1995),pp209-218.
- 4) G.S.H.Lock,J.Fu,Natural convection in the Inclined Crank Thermosyphon, ASME. Vol.115 Feb.(1993)pp166-172.
- 5) W.B.Bienert, M.F.Pravda, H.J.Suel, D.A. Wolt, Snow and Ice Removal Pavements using Stored Eath Energy, Report No.FHWA-RD-75-6 May ,(1974),PPI-1-VIII-2.
- 6) D.C.Long,J.s. 'Baldwin,'Snow and Ice Removal Pavements using Stored Eath Energy,Report No.Fh WATS80 - 227, Feb.,(1980), pp1-41.
- 7) O.Tanaka,H.Yamakage,T.ousi M.,Dnow, 'Melting using Heat Pipe, IV, Inter. Heat Pipe Conference, (1984), pp11-23.
- 8) C.L.Lee,K.M.Pell,J.E.Nydahi, 'Design and imple mentation of a water powered heat pipe system for bridge heating, Report No. FHWA-89-003.(1984).
- 9) G.F.Jones,J.Cai,'Analysis of a Transient Asymmetrically Heat/Cooled Open ThermoSyp hon,J. odf Heat Transfer , Aug. Vol.115 (1993), pp621-629.
- 10) 村松,冷木;'Heat Pipe에 의한 路面除雪.凍結防止,關技第147號83106C541,建設省 關東地方 建設局 關東技術 (昭和 54年) 10月 pp 1-104
- 10) V.Tanaka, ' Snow melting and deicing system using heat pipes, Heat research and development in Japan. insti of space and Astron. Science.Tokyo,(1983).
- 11) 금성전선, 스노멜팅시스템 개발 (1994),
- 12) 도로공사,영동고속도로 대관령구간 자동 제 설 장치 설치,(1996)
- 13) 이기우,이영수,장영석,'제설용 롱히트파이프 결합 및 전열효과',97-ㄴ-082 (1997),공기조 화.냉동공학화 하계발표,pp 518 - 522.
- 14) 이영수,장영석,'다관식 롱히트파이프 제작과 전열 평가',97-w-056,(1997),공기조화.냉동공 학화 동계발표

---

# A Study on the Thermal Response Characteristics of Snow Removing Facilities using Heat Pipe

**Yong-Soo Lee<sup>\*</sup>, Yeong-Suk Jang<sup>\*\*</sup>**

*\* Korea Institute of Energy Research,*

*\*\* Kyeng Nam Junior College*

## Abstract

The purpose of this research was to study the characteristics of heat transfer of snow removing facilities using heat pipe by experimental method. Heat pipes was constructed a flexible tube connected between evaporator and condenser ends for altitude adjustment of evaporator and it was constituted an internal diameter of 25.4mm, a length of 950mm for heating section and a length of 6000mm for condenser section with copper material for closed system. The results showed that the effect of heat transfer was increased when inclination angle and inlet temperature of heating water increased. Wall temperature response by inclined angle  $4.5^{\circ}\text{C}$  -  $9^{\circ}\text{C}$  and working fluid amount 0.96 from to 1.3 times of evaporator volume were better than those of other working fluid and angle.