

## 영구동토 지대에서 Thermal Siphon의 효율성 연구

### An Study on Efficiency and Application of Thermal Siphon in the Permafrost

강재모<sup>1)</sup>, Jae-Mo Kang, 김학승<sup>2)</sup>, Hak-Seung Kim

<sup>1)</sup> 한국건설기술연구원 연구원, Researcher, Geotechnical Engineering Division, IKorea Institute of Construction Technology

<sup>2)</sup> 한국건설기술연구원 Post Master, Researcher, Infrastructure Research Dept. Korea Institute of Construction Technology

**SYNOPSIS** : A Construction of pipe line foundation and railroad, buildings in a permafrost area requires engineering technology of ground stabilization. In the permafrost area, thermal siphons have been used to stabilize foundation by eliminating the heat of ground to the air. the thermal siphon is a passive heat transfer device that operates by convection through vaporization and condensation. The heat transfer from ground to the air is driven by a temperature difference across the unit. A buried part in ground working as vaporizing function and upper part work as condensing.

In this study, buried thermal siphon around the pipe lines laid in the Vladivostok site and measuring temperature variation. It is found that the thermal siphons freezing ground faster and decrease temperature variation in winter season.

**Keywords** : thermal siphon, ground stability, permafrost, pipe-line foundation

## 1. 서론

영구동토지대에서 건설되는 파이프라인, 철도, 항만 등 인프라의 설계 및 시공에서 기초지반의 거동에 따른 구조물의 안정성 문제는 중요한 부분으로 다루어 져야 한다. 특히 영구동토지역의 경우 시공과정 및 사용과정에서 발생할 수 있는 지반의 열변형을 차단하여 지반을 안정화 하는 기술이 근간을 이룬다.

Thermal siphon은 기체와 액체의 상변화에 의해 열을 수송하는 원리로 다양한 작동유체를 사용하여 사용 환경에 적합한 열적 안정화를 기대할 수 있는 장치이다.

본 논문에서는 러시아 블라디보스톡 현지에서 천연가스파이프 수송관을 매설하고, 주변부에 국내 제작된 Thermal siphon을 설치한 후 그 온도 분포와 토압변화를 분석 하였으며, Thermal siphon이 지열을 배출하여 지중 온도변화를 감소시키고, 지반의 열적 안정상태가 파이프라인에 작용하는 토압을 감소시키는 것을 확인하였다.

## 2. Thermal siphon의 작동 원리

Thermal siphon은 파이프 본체에 들어 있는 기체, 액체의 상변화에 의해 열을 수송하는 작동유체를 이용하여 효과적으로 지중의 열을 공기 중으로 배출할 수 있도록 고안된 장치이다. 작동유체는 기화열을 받아 급격히 증발을 시작하기 때문에 증발부는 기체압이 높아져 응축부와 압력차가 생기고 기체의

이동이 시작된다. 증발부에서 기체가 응축부로 흘러가면 낮은 온도 때문에 응축하여 액체로 변화하고 액체에서 기체로 변환되었을 때 흡수한 기화열을 파이프로 방출하기 때문에 파이프는 가열부와 거의 같은 온도까지 상승한다. 액화된 작동유체는 중력에 의해 증발부로 복귀하고, 다시 증발을 반복하는 과정을 거치면서 결과적으로 증발부의 높은 온도를 감소시키게 된다(Terry Mcfadden, 1987).

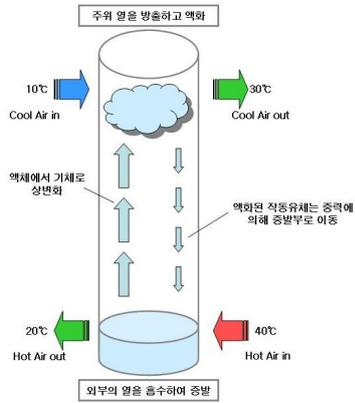


그림 1. Thermal siphon 작동 원리      그림 2. 다양한 종류의 Thermal siphon

### 3. 실험 방법

#### 3.1 Thermal siphon 설계

Thermal siphon은 영구동토지대에서 구조물을 시공하거나 사용하는 도중 발생할 수 있는 열적변형을 효과적으로 방지해서 구조물 전체의 안정성을 유지하는 장치로 활용된다. 특히 알래스카나 시베리아 지역에서 도로, pipe line 등 중요 구조물의 안정성을 확보하기 위해서 Thermal siphon을 활용한 사례가 많다(Anna Forsstrom 등 2002).

Thermal siphon의 장점 중 하나는 대상지반의 환경에 맞춰서 작동유체를 달리하거나 Thermal siphon의 형태 및 사이즈를 변경하여 효과적인 적용이 가능하다는 것이다(Wu Qingbai 등 2007).

블라디보스톡 현장실험에 사용된 Thermal siphon은 프레온(R-22)를 작동유체로 하였으며, 응축부 60cm, 단열부 40cm, 증발부 100cm로 설계하였다. 증발부와 단열부는 구리로 제작하였으며, 응축부는 외기에 의한 열 방출이 쉽도록 하기 위해서 알루미늄 소재에 fin 가공부를 별도로 두었다.

#### 3.2 현장시험시공 방법

현장실험은 러시아 블라디보스톡에 소재한 극동건설기술연구소 부지에서 실시하였으며, 먼저 해당 사이트의 지반을 1.5m 깊이로 굴착 하고 Ø530의 강관을 매설하였다.

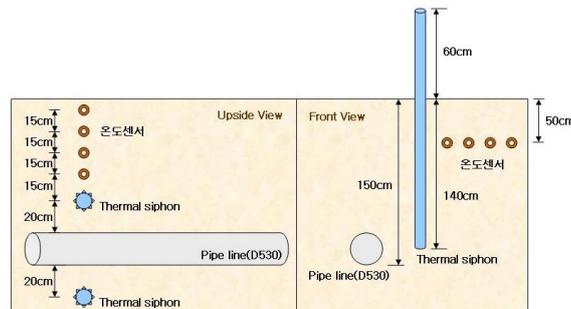


그림 3. 현장시험시공 모식도

매설관 양쪽으로 20cm 떨어진 지점에 Thermal siphon을 수직으로 설치하였고, 증발부(0.4m)와 단열부(1.0m)는 지중에 매설하고, 응축부는 외부로 나오게 하여 지중의 열을 외부로 배출하도록 하였다.

지표면으로부터 0.5m 깊이에 Thermal siphon 설치지점으로부터 수평으로 15cm 간격으로 4개의 온도 센서를 설치하여 Thermal siphon이 매설관 주변 지반의 온도분포에 미치는 영향을 파악하고자 하였다.



그림 4. Pipe line 매설작업



그림 5. Thermal siphon 설치작업

#### 4. 실험 결과 분석

현장실험은 2009년 1월 23일부터 2009년 5월 31일까지 진행되었으며, 데이터로그를 이용하여 블라디보스톡의 온도변화를 실시간으로 수집하였다. 온도 저하가 현격한 1월말부터 2월말까지 약 한달간의 데이터를 대상으로 분석을 실시하였고, 분석을 위하여 지표면에 별도의 온도센서를 설치하여 현장 기온을 측정하였으며, Thermal siphon이 매설된 반대편에도 온도센서를 설치하여 Thermal siphon이 설치된 지반의 온도변화와 비교를 하였다.

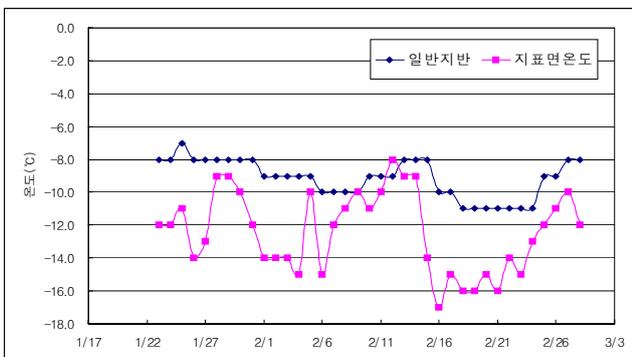


그림 6. 지표면과 일반지반(0.5m)의 온도분포

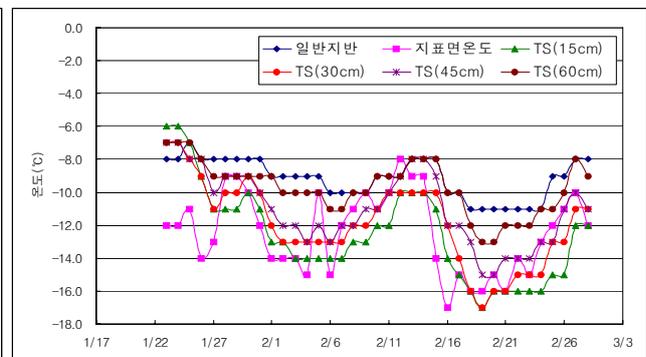


그림 7. 블라디보스톡 현장시험시공 온도분포

데이터분석결과 지표에서의 온도는  $-8^{\circ}\text{C}$ 부터  $-17^{\circ}\text{C}$ 까지 변화를 보였으며, Thermal siphon이 매설되지 않은 구간의 온도 변화는  $-7^{\circ}\text{C}$ 에서  $-11^{\circ}\text{C}$ 로 온도 편차가 작았다(그림 6 참조). Thermal siphon이 설치된 구간에서 지중 0.5m 깊이에서의 온도분포는 전체적으로 지표에서의 온도분포와 유사한 경향을 보였다(그림 7 참조). 이러한 결과는 Thermal siphon의 작용으로 인해 외부와 지중의 온도편차가 커질수록 지중의 열을 외부로 발산하는 열전달 효과가 커지고, 결과적으로 외부의 온도변화에 동조하는 경향을 보이는 것으로 판단된다.

특히, Thermal siphon 설치 지점에서 15cm 떨어진 구간(TS(15cm))에서는 지표의 온도가 급하게 상승하여도 기존의 온도를 유지하려는 경향을 보여 특정 구간에서는 지표의 온도보다 지중의 온도가 더 낮아지는 현상도 나타났다(그림 8 참조). Thermal siphon으로부터 60cm 떨어진 구간(TS(60cm))에서의

온도분포는 일반 지반의 온도 분포와 거의 비슷한 경향을 보였는데, 이는 Thermal siphon의 영향범위를 벗어났기 때문으로 해석된다.

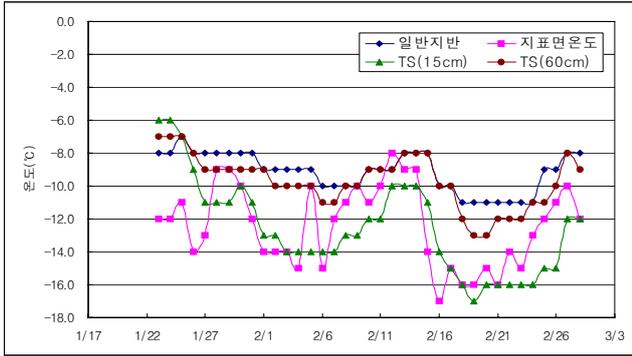


그림 8. 15, 30cm 구간의 온도분포

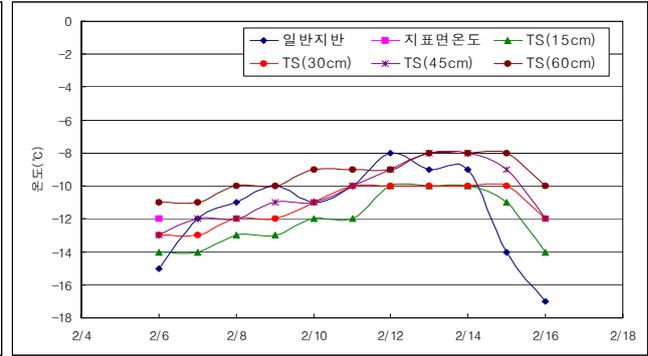


그림 9. 2월 6일부터 16일간의 온도분포

## 5. 결론

본 논문에서는 러시아 블라디보스톡 현지에서 가스 파이프라인을 매설하고, 주변부에 thermal siphon을 설치하여 그 온도 분포를 분석하였으며, 실험 결과 thermal siphon이 설치된 구간의 온도분포는 지표면의 온도와 비슷한 경향을 보이며, 지중 온도와 지표온도의 편차가 큰 경우 효과적인 열전달이 이루어지는 것을 확인 하였다.

이러한 결과를 토대로 thermal siphon이 영구동토지역에서 지반을 안정시키기 위한 효과적인 장치로 활용이 가능한 것으로 판단된다.

Thermal siphon의 영향범위는 작동유체와 형태에 따라 달라지며, 다양한 작동유체와 형태에 따른 영향범위 변화에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 판단된다.

## 감사의 글

본 연구는 2009년 국가 건설핵심기술연구사업인 “시베리아 동토지역 진출을 위한 미래건설기술 개발”과제의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사의 뜻을 표합니다.

## 참고문헌

1. Terry Mcfadden(1987), "Using Soil Temperatures to Monitor Thermosyphon Performance", Journal of Cold Regions Engineering, America, Vol.1, No.4, pp.145~157.
2. Anna Forsstrom, Erwin L. Long, John P. Zarling, Sven Knutsson(2002), "Thermosyphon Cooling of Chena Hot Springs Road", Proceedings of the eleventh international conference, Alaska, pp.645~655.
3. Wu Qingbai, Zhao Shiyun, Ma Wei, Zhang Luxin(2007), "Qinghai-Xizang Railroad Construction in Permafrost Regions", Journal of Cold Regions Engineering, America, Vol.21, No.2, pp.60~67.