

양돈용 지열교환기의 개발¹

오인환, 김일수, H. J. Heege*

건국대학교 자연과학대학 농업기계공학과

Construction of an Underground Heat Exchanger for Pig Housing

OH, In Hwan, Kim, Il Su and H. J. Heege*

Dept. of Agri. Machinery Engng., Kon-Kuk University, Chungju 380-701

Summary

To use the earth heat for the pig housing, an underground heat exchanger has constructed in depth of 2.5m and 20m length. The temperature of the outlet air was max. 8 kelvin higher than that of inlet air in winter season. In spite of the -7°C outside temperature, it could keep the air temperature from the earth-tube above zero degree. The heating performance was maximum in value of $3.25\text{Wh}/\text{m}^3$ and average of $1.75\text{Wh}/\text{m}^3$ by the airflow volume of $340\text{m}^3/\text{h}$

The slope of relative humidity from outlet air has shown gentler than that of inlet air. By using the underground heat exchanger, it would be possible to prepare an relatively uniform relative humidity in the swine stalls. The temperatures on the earth, where PVC pipes are buried, have shown $10\sim 12^{\circ}\text{C}$ on March. This can reduce the difference between day and night temperature during this season by using the underground heat exchanger.

(Key words : Underground heat exchanger, inlet air, outlet air, heating mode, alternate energy)

서 론

축산업에 있어서 가축의 사육환경을 최적의 상태로 하여줌으로서 생산성을 향상시키는 일은 중요하다. 환경적인 요인에는 사료급여, 사육방법, 축사의 기후환경 등이 있으며, 그 중에서도 축사환경에 의한 영향은 지대하다. 그 이유로 우리나라의 기후는 여름철에는 무덥고 습하며, 겨울철에는 매우 춥고, 환절기에는 낮과 밤의 일교차가 심하기 때문이다. 결과적으로 축사에 열의 초과 공급내지는 열부족 현상이 발생

하게 된다.

가축은 온도의 변화에 민감하여 여름철의 고온상태에서는 사료섭취가 줄어들어 일당 증체량이 감소하게 되며, 겨울철의 낮은 온도에서는 사료섭취는 증가하나 많은 부분이 체온유지에 소모된다. 근래에는 두당 사육면적이 점점 감소하여 사육밀도가 증가하고 있는 추세이다. 가축들은 열, 병원성 미생물, 수증기, 이산화탄소, 그리고 암모니아 가스 등을 발산함으로써 축사내의 공기를 오염시킨다. 따라서, 적절한 환기를 통하여 여름철에는 가축들이 발산하는 체열을

¹ 이 연구는 1994년도 건국대학교 동물자원연구센터 국제공동연구과제로 수행 되었음.

* Insitute of Agri. Engineering, University Kiel, Germany.

방출하고, 겨울철에는 축사에서 발생하는 습기와 유해가스를 제거하여서 축사내의 기후환경이 최적의 상태가 되도록 하여야 한다.

이러한 목적으로 땅속의 지열을 축사의 사육환경제어에 이용하는 방법이 고려되고 있다. 지열교환기를 이용함으로써 냉난방 효과를 얻고 축사의 환기도 도모할 수 있다. 본 연구에서는 우리나라의 입지조건에서 지열교환기의 적용가능성을 검토해 보고자 하였다. 즉, 지열교환기를 통한 겨울철 난방효율을 분석하며, 여름철의 지하온도와 일교차가 심한 환절기에 있어서 열에너지 보존효율을 분석하고자 한다.

연구사

땅속 일정한 깊이에서는 지중열에 의하여 계절에 의한 온도차가 적다. 이러한 토양의 열저장능력을 축사의 냉난방에 이용하는 연구가 수행되고 있다. Goetsch 등(1981)은 실제 양돈농가에 설치된 지열교환기의 성능을 분석하였다. 30개의 돈방으로 구성된 분만돈사에 79.2m의 배관길이와 30.5cm의 내경을 가진 50개의 배관을 지하 3.05m의 깊이에 매설한 시스템에서 겨울철에 난방비의 41%를 절감할 수 있었다. 하절기에는 외부온도가 15.6~33.6℃ 일 때, 돈사에 유입되는 공기의 온도는 17.8~20.6℃로 되었다.

Seufert와 Stingl(1983)은 독일 바이에른 지방에서 지열저장장치의 효능에 관한 시험을 수행하였다. 지열교환장치는 길이가 37.8m이고 직경이 20cm인 38개의 PVC로 구성되었으며 축사 옆 2m의 깊이에 매설하였다. 시험결과에 의하면 외부온도가 최소 -16.0℃에서 최고 26.6℃의 범위일 때, 지열교환기에 의해 조제된 공기의 온도는 3.2~16.4℃의 범위를 나타내었다. 배관 속의 유속은 1.1~2.6m/s였으며, 돈사 내부의 온도는 19.5~24℃ 사이를 가리켰다. 열분석에 의하면 냉각성능에서 최대 63kW, 그리고 난방에서는 최대 29.2kW의 열량을 얻을 수 있었다고 발표하였다. 매설깊이도 열전도에 영향을 주는데, Babari와 Chiappni(1984)는 북이탈리

아에서 외부온도가 최고 38~40℃ 되는 여름철에 지열교환기의 성능시험을 수행하였다. 표면이 주름진 70m 길이의 PVC 배관 3개를 3m 간격으로 깊이 1.2m와 2m에 매설하였다. 이 시험에서 기준으로 삼은 유속은 평균 5.7m/s로 약간 높은 편이었다. 배기의 온도를 측정한 결과는 외부온도가 38.1℃일 때 1.2m 깊이의 배관에서는 27.1℃였고, 2m의 깊이에서는 2K 더 냉각되어 25.1℃를 나타내었다.

상기의 문헌에서는 배관의 길이를 길게 한 반면에 Tiedemann(1990)은 지하 2.5m의 깊이에 직경 200mm의 배관을 20m의 짧은 길이로 매설하였으며, 유속은 4m/s 이하로 하였다. 지열교환기의 성능은 여름철에 풍량이 380m³/h일 때 배관당 2.6Wh/m³이었으며, 겨울철에 풍량이 95m³/h일 때, 4.8Wh/m³로 조사되었다. 전체적으로 외부온도가 -17~32℃로 변할 때, 지열교환기를 통과한 공기의 온도는 2~20℃ 범위이었다. 또한, 토양의 종류와 수분함량에 따라서 짧은 배관에서도 충분한 효과를 얻을 수 있다고 하였다.

Baxter(1994)는 냉각시험에서 지열교환기에 의한 에너지 변화량에 관한 실험을 수행하였다. 오후 시간 동안에 냉각을 위한 전체에너지 변화량은 6월의 경우 1,759~3,517W, 7월에는 1,466~2,931W, 8월에는 1,172~2,345W이었다. Diener 등(1990)은 이중벽으로 되어 있는 지열교환장치를 개발하였으며, 축사의 배기열도 이용하여서 열에너지의 42.5%를 회수할 수 있었다고 보고하였다.

재료 및 방법

본 시험에서 제작한 지열교환기는 일반 시중에서 쉽게 구할 수 있고 가격이 비교적 저렴한 PVC 배관을 사용하였다. 배관의 규격은 지름 200mm, 두께 4mm, 1개당 길이는 5m로서 표면의 상태는 등글고 매끄럽다.

돈사에서 약 5m 떨어진 곳에서 깊이 2.5m, 길이방향으로 20m가 되게 여러 개의 PVC 배관을

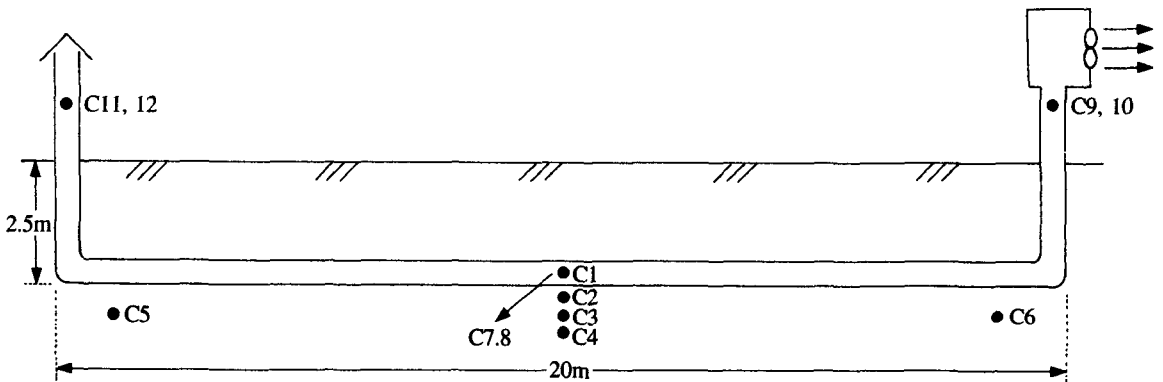
직선으로 연결하였고 1m 간격으로 3 줄에 걸쳐 매설하였다.

외부의 공기가 들어가는 입기구에는 갓과 철망을 이용하여 이물질이나 빗물이 들어가지 못하도록 하였다. 배기구 쪽에서는 3줄의 배관이 한 곳으로 모이도록 한 후 환풍기를 설치하여 공기가 강제적으로 축사 내로 송풍되도록 하였다. 배기구 쪽의 환풍기가 작동하면 지하 배관 내에 음압이 발생하기 때문에 자연적으로 외기가 배관속으로 유입되어 냉각 또는 가온된 후 돈사내로 송풍된다.

PVC 배관의 입기구를 통하여 흡입되는 공기는 지하 배관을 통과하면서 지열에 의해 열교환과 열전달이 이루어지는데, 이때 전체적인 가온 또는 냉각효과를 규명하기 위하여 지면에서 60cm 지점의 입기구쪽과 배기구쪽의 배관에 구멍을 뚫어 온습도 센서(HX93C, OMEGA사)를 각각 2 채널씩 설치하였다.

그리고, 지하 배관 내에서 지열에 의한 온도 변화를 측정하기 위하여 배관의 중간 지점에 온도 센서를 1개 설치하였다. 그 외에도 토양의 열전달을 분석하기 위하여 중간 부분에서 배관 아래쪽으로 약 5cm, 10cm, 30cm 지점에 온도센서를 각각 1개씩 설치하였으며 배관 왼쪽과 오른쪽 부분에서는 배관 옆으로 약 10cm, 30cm 지점에 온도센서를 각각 1개씩 설치하였다.

지열교환기의 입기구와 배기구에 설치한 온습도 센서(4 channel)와 지하배관 및 토양에 설치한 온도센서(6 channel)는 Data logger(Model 1250 series, Grant사)와 연결되어 30분 간격으로 데이터를 수집하도록 하였으며, 수집된 자료는 컴퓨터로 logging하여 데이터 분석 프로그램(Taskwise, Grant사)으로 분석하였다. 또한, 순간 온습도 측정용으로 디지털 풍속계(Testo 452, Germany)를 사용하였다. 전체적인 센서의 배치도는 Fig. 1과 같다.



- | | |
|-----------------------------------|------------------------------------|
| C1 : 중간부분 배관내의 공기온도 | C7 : 중간부분 배관옆으로 약 10cm 지점의 토양온도 |
| C2 : 중간부분 배관결의 토양온도 | C8 : 중간부분 배관옆으로 약 30cm 지점의 토양온도 |
| C3 : 중간부분 배관아래 약 10cm 지점의 토양온도 | C9, 10 : 배기구쪽 지면에서 약 60cm 지점 배관내의 |
| C4 : 중간부분 배관아래 약 30cm 지점의 토양온도 | 공기의 온도 및 습도 |
| C5 : 배관왼쪽부분 배관아래 약 10cm 지점의 토양온도 | C11, 12 : 입기구쪽 지면에서 약 60cm 지점 배관내의 |
| C6 : 배관오른쪽부분 배관아래 약 10cm 지점의 토양온도 | 공기의 온도 및 습도 |

Fig. 1. Location of measuring points

일반적으로 지열교환기에 있어서 환풍기의 유속은 상당히 중요한 변수로 작용하는데, 본 시험에 있어서 유속은 0.5~3m/s의 범위로 조절하여 온도변화를 측정하였다. 지열교환기용

PVC 배관이 매설된 토양의 시료를 채취하여 체 분석시험과 비중계시험을 병행하여 토양입도분석을 한 결과에 의하면 토양의 종류는 Silty sand(미사질토)로 규명되었다.

결과 및 고찰

디지털풍속계를 사용하여 1995년 2월 17, 18 일 동안의 입기구와 배기구에서의 온습도를 측정해 본 결과는 Fig. 2, 3과 같다.

Fig. 2는 입기구와 배기구에서의 온도차이를 나타내는 곡선인데 입기의 온도가 -7.3°C 에서 6.4°C 의 온도변화를 보일 때 배기의 온도는 $1.2\sim 7.3^{\circ}\text{C}$ 로 영상의 기온을 나타내었고, 최대 온도차 Δt 는 8.5°C 이었다. 배기온도의 곡선 기울기가 비교적 완만하게 진행되었다. 이 시험에서

기준으로 삼은 평균유속은 3m/s 이었다. Fig. 3은 입기구와 배기구에서의 습도변화를 나타내는 곡선인데 온도변화와 마찬가지로 지하배관을 통과한 공기의 습도는 입기의 습도보다 기울기가 완만하여서 습도의 급격한 변화를 방지할 수 있었다. 위의 자료를 토대로 난방효율을 아래의 식에 의하여 습공기선도를 이용하여 구하였다. 동 기간 중의 난방성능은 풍량이 $340\text{m}^3/\text{h}$ 일 때, 최대 $3.25\text{Wh}/\text{m}^3$ 이었으며 평균 $1.75\text{Wh}/\text{m}^3$ 이었다. 열에너지로 환산하면 시간당 최대 $1,105\text{W}$ 이고, 평균 595W 로 된다. 동일한 배관길이의

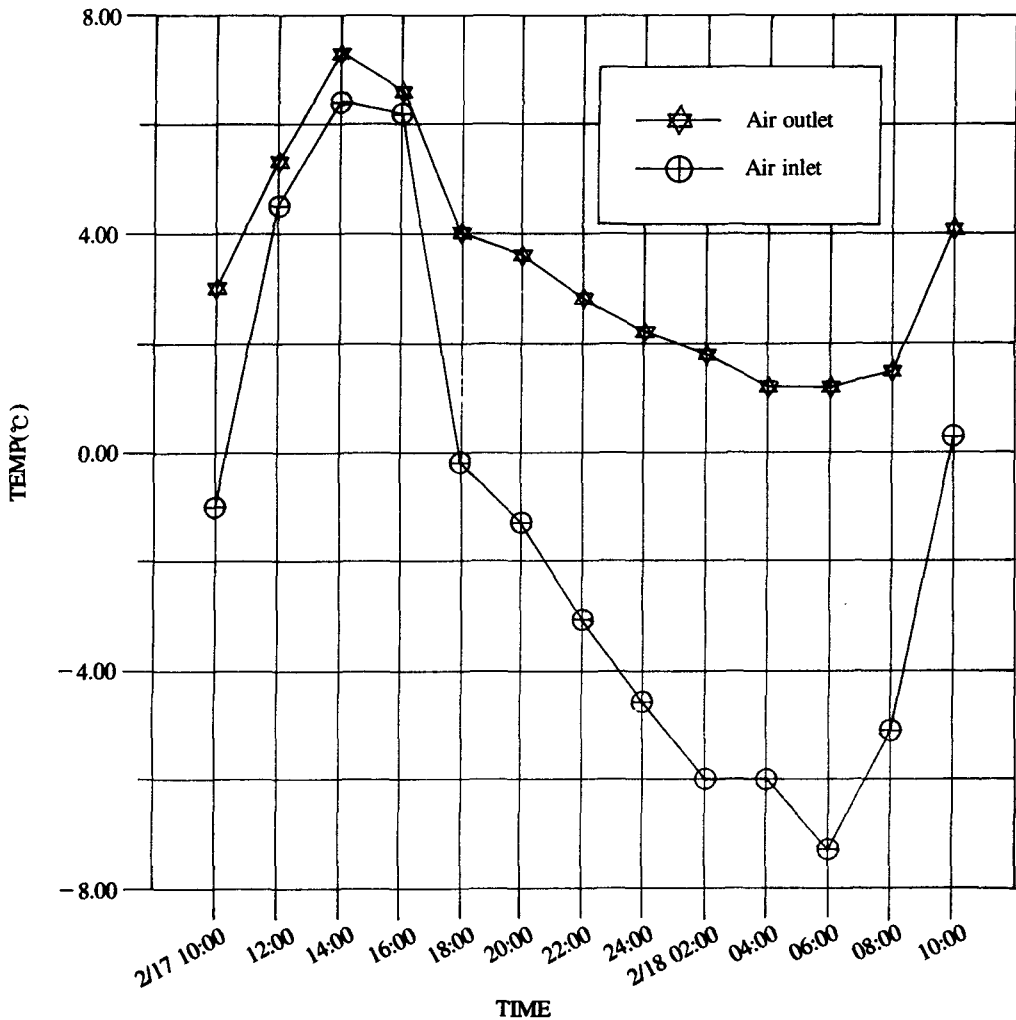


Fig. 2. Variation of temperature in air inlet and outlet from 17 to 18, February

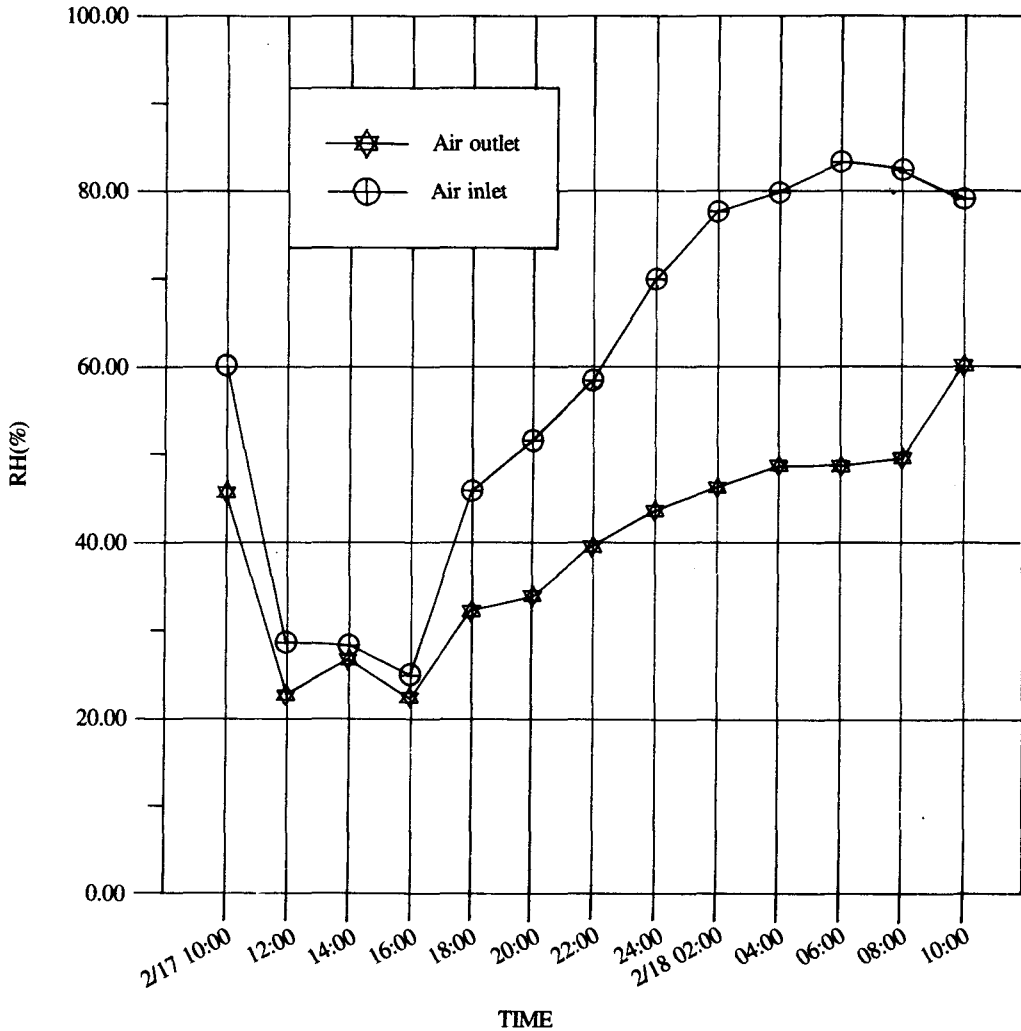


Fig. 3. Variation of relative humidity in air inlet and outlet from 17 to 18, February

Tiedemann (1991)에 의한 난방시험결과 4.8Wh/m³와 비교하면 효율이 적은 편으로 토양의 종류가 미사질토인 것과 배관이 주름관이 아니어서 열전도가 적은 것으로 판단되었다.

$$\text{난방 효율 (W)} = (h_1 - h_2) \times V$$

h_1 : 배기의 엔탈피

h_2 : 입기의 엔탈피

V : 유량 (m³/h)

온도효율은 다음의 식으로 나타낼 수 있으며, 이 기간의 온도효율은 땅속의 온도를 문헌(8)을 참고로 하여 6.0℃로 가정할 때, 64~70%로

되었다. Baxter(1994)의 온도효율 86~90% 보다는 낮은 효율로 배관재료에 기인하는 것으로 사료된다.

$$\varnothing = \frac{t_a - t_2}{t_a - t_b}$$

t_a : 외기온도

t_b : 토양온도

t_2 : 배기온도

3월 24일부터 4월 6일에 걸쳐 채널 1, 2, 3, 4에 대한 온도변화자료를 수집하여 분석한 결과는 Fig. 4, 5, 6과 같으며, 이때의 평균유속은 낮

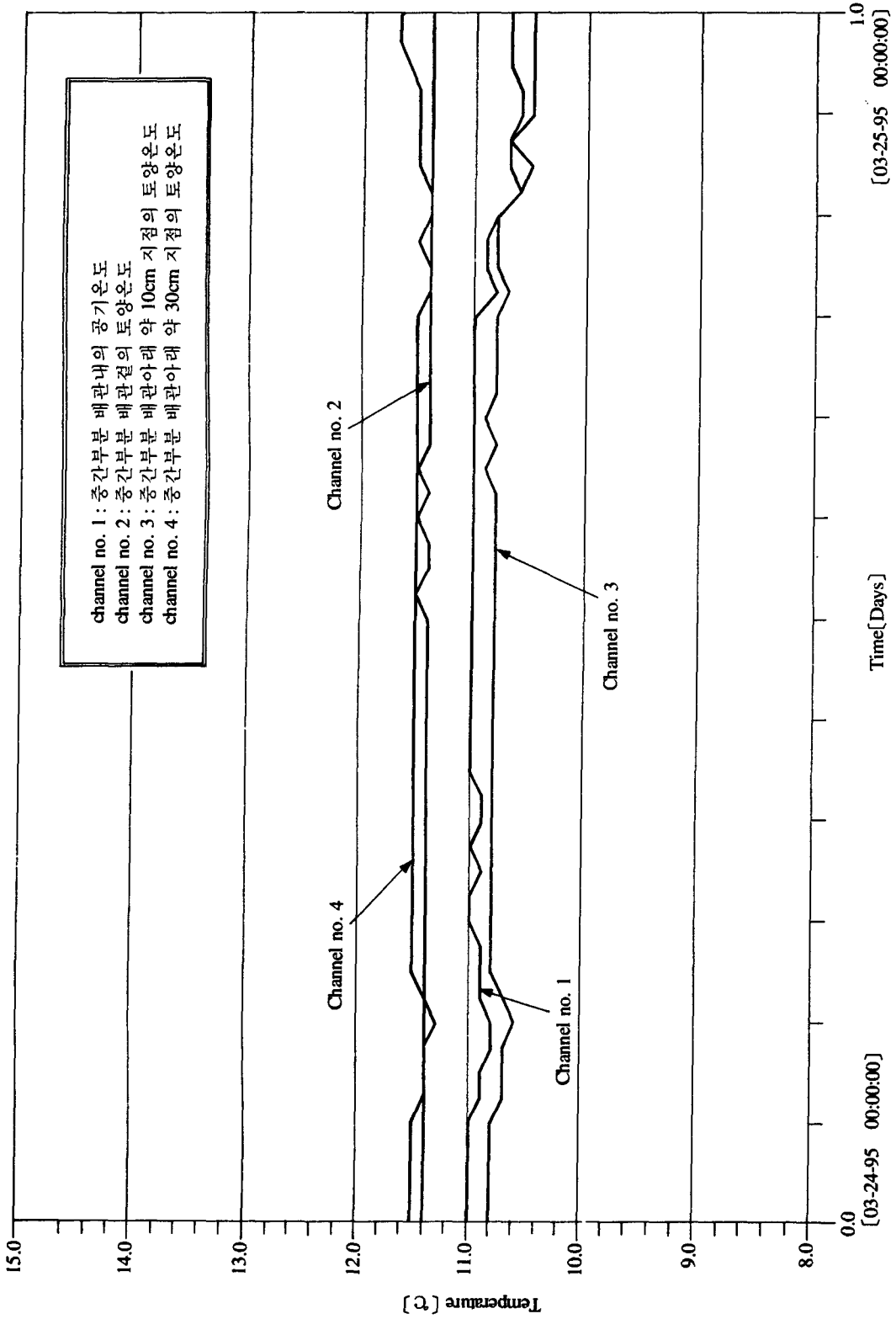


Fig. 4. Variation of mean pipe air and earth temperatures on March 24

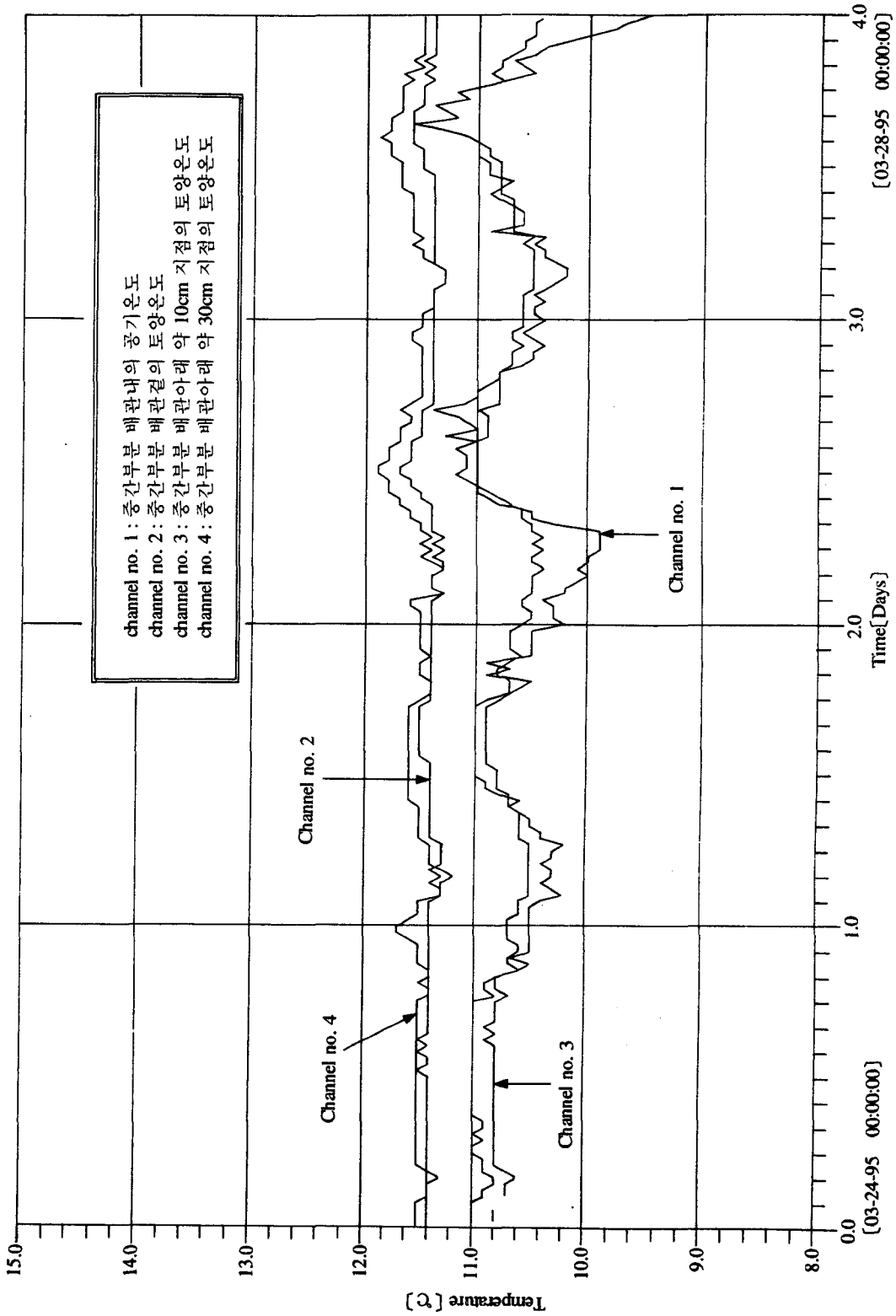


Fig. 5. Variation of mean pipe air and earth temperatures from 24 to 27, March

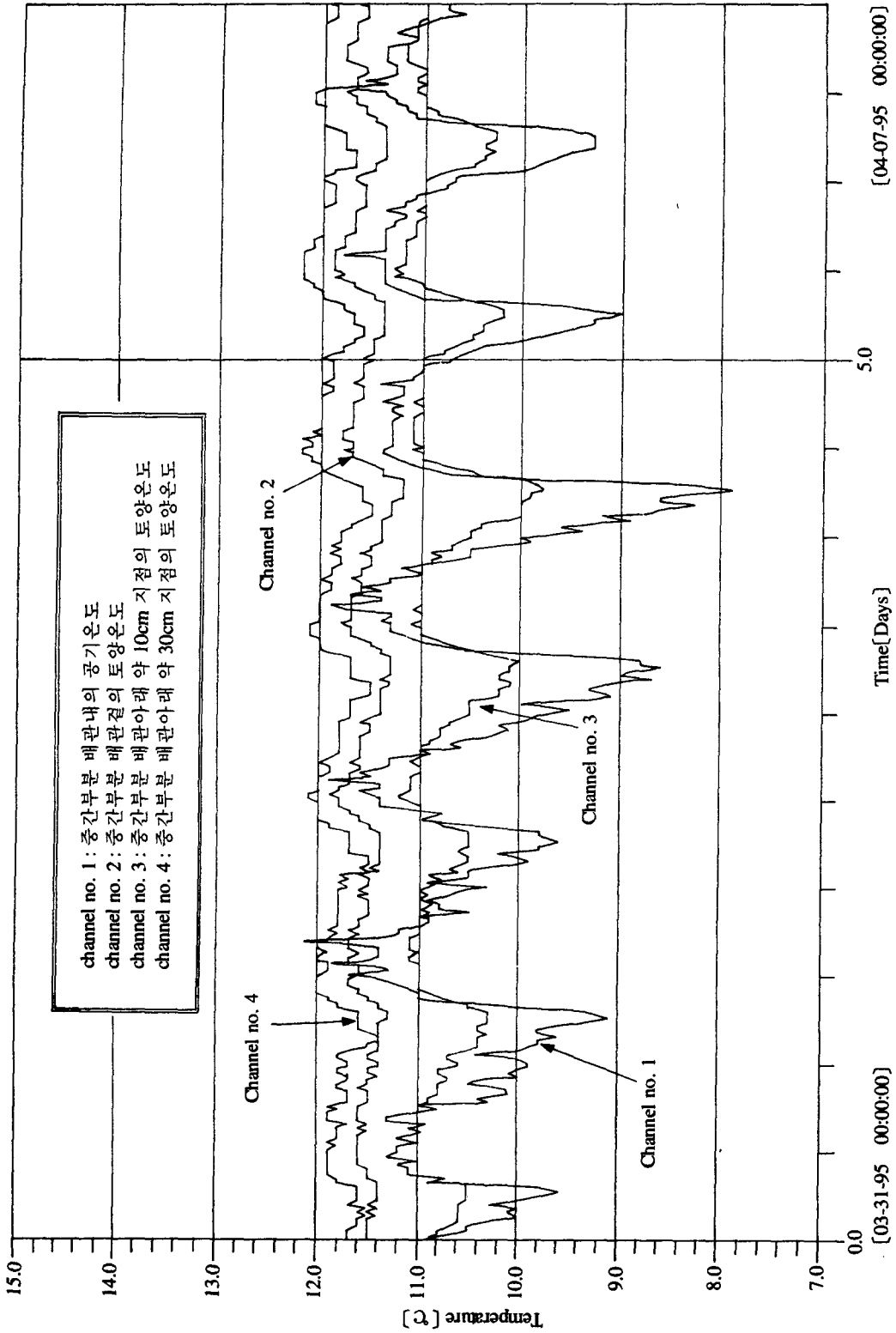


Fig. 6. Variation of mean pipe air and earth temperatures from March 31 to April 6

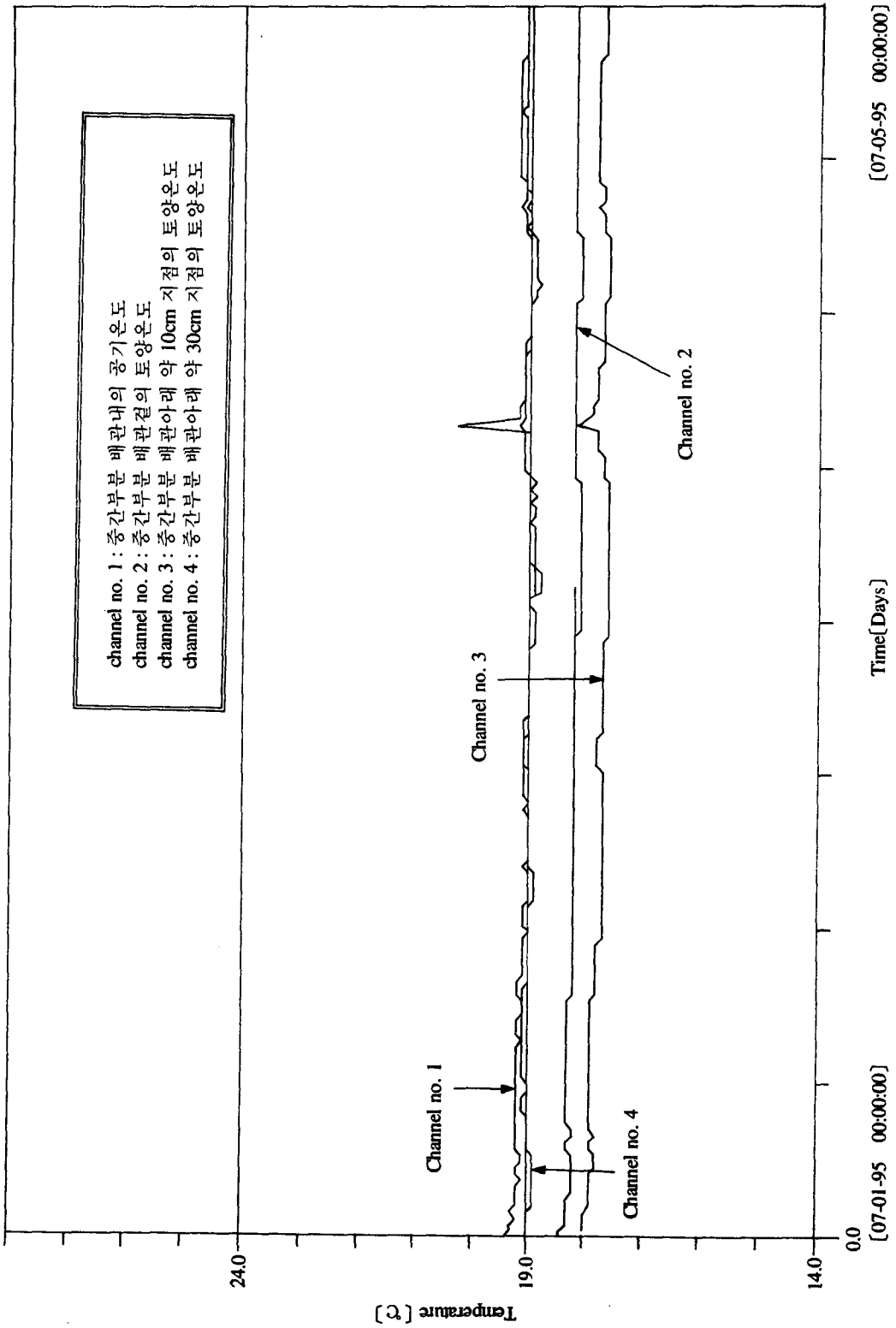


Fig. 7. Variation of mean pipe air and earth temperatures from 1 to 4, July

계 잡아 0.5m/s로 하였다. 채널 1은 배관 중간 부분의 온도, 채널 2, 3, 4는 배관결과 배관으로부터 각각 10cm, 30cm 지점의 토양온도 변화를 나타내는 곡선이다.

3월 24일부터 27일까지 외기의 온도변화가 최저 -1.1°C 에서 최고 12.2°C 의 범위를 나타낼 때, 배관 중간 부분의 공기온도는 $9.5\sim 11.5^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 분포를 보였다 (Fig. 4, 5). 또한 이 기간 동안 채널 1, 2, 3, 4 모두 $10\sim 12^{\circ}\text{C}$ 의 일정한 분포를 나타내었다. 특히, 배관내의 공기온도가 같은 범위에 있는 것으로 보아 저온의 외기가

배관속으로 유입되면서 항온층 지열에 의하여 땅속온도와 비슷한 범위까지 가온된 것으로 설명할 수 있다.

3월 31일부터 4월 6일까지의 기간동안에는 외기의 온도가 최저 -5.6°C 에서 최고 16.8°C 의 변화를 나타내었는데, 이 때 배관 중간 부분의 공기온도는 $7.6\sim 12.3^{\circ}\text{C}$ 의 분포를 나타내었다 (Fig. 6).

지열교환기를 사용함에 있어서 여름철의 토양온도를 측정하였으며, 냉각효율을 분석하고자 하였다. 여기에서 기준으로 삼은 평균유속은

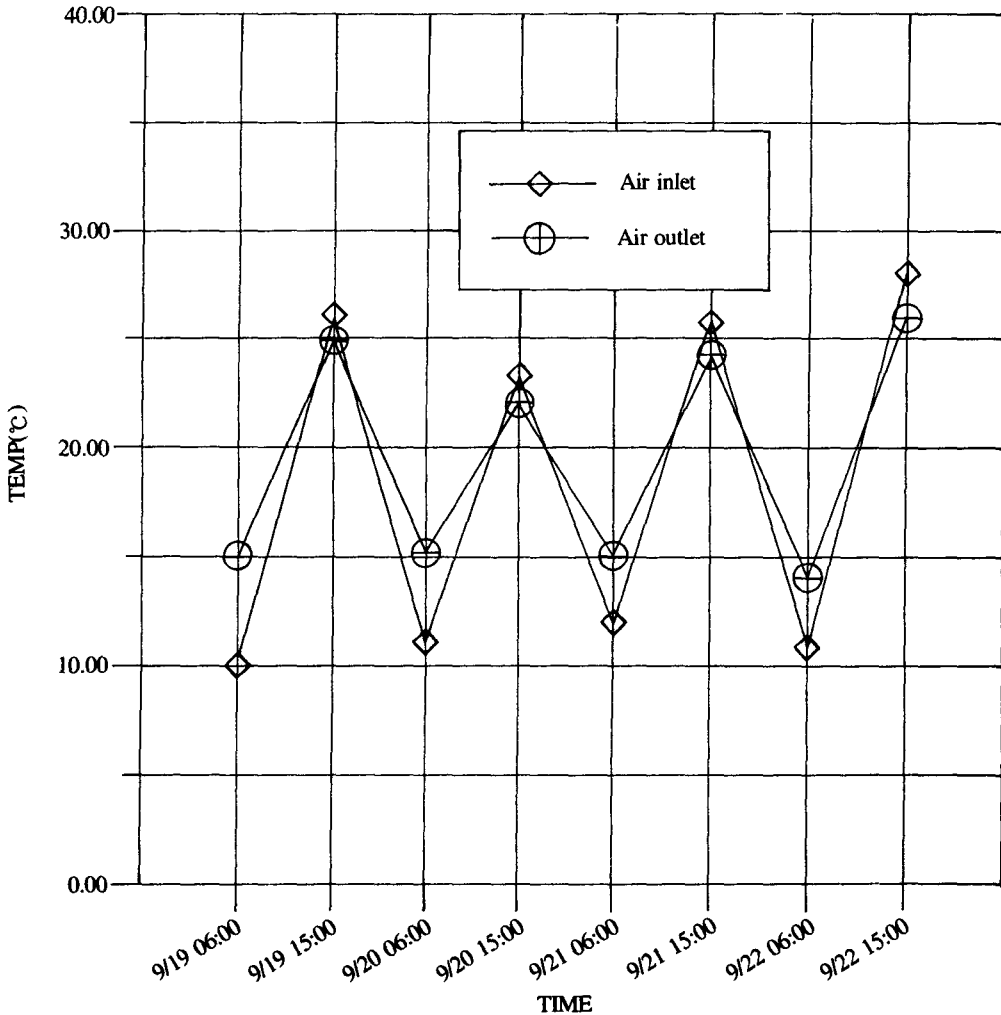


Fig. 8. Variation of temperature in air inlet and outlet from 19 to 22, September

1.5m/s로 하였다. 시험결과는 Fig. 7과 같다.

7월 1일부터 4일까지 외기의 온도는 최저 15.5℃에서 최고 28.4℃의 변화를 보인 반면에 4개의 온도채널에 대한 각각의 온도범위는 18~19℃의 일정한 분포를 나타내었다. 따라서 3월의 난방조건에서의 온도분포와 비교한다면 전체적으로 지열이 약 7℃ 정도 상승하였다. Baxter(1994)의 자료에 의하면 지하 1.8m에서 6, 7, 8월의 땅속온도는 15℃, 17℃, 20℃로 점차적으로 상승하였다고 하였다.

낮과 밤의 일교차가 심한 환절기에는 온도차

이를 적게 하여 주어야 한다. 본 시험에서는 환절기인 9월 중 일교차가 평균 15℃ 이상으로 가장 심했던 9월 19일에서 22일에 걸쳐 오전 06시와 오후 3시에 입기구와 배기구에서 순간 온습도를 측정하였다. 평균유속은 2m/s로 하였으며, 시험 결과는 Fig. 8, 9와 같다.

Fig. 8, 9에 보인 바와 같이 온도의 변동폭은 입기구에서 평균 15℃의 온도차를 보일 때 배기구쪽에서는 평균 10℃의 온도차를 나타내었으며, 습도변화의 경우 입기구에서는 50~88%로 변화를 보일 때 배기구에서는 58~80%를 나타내

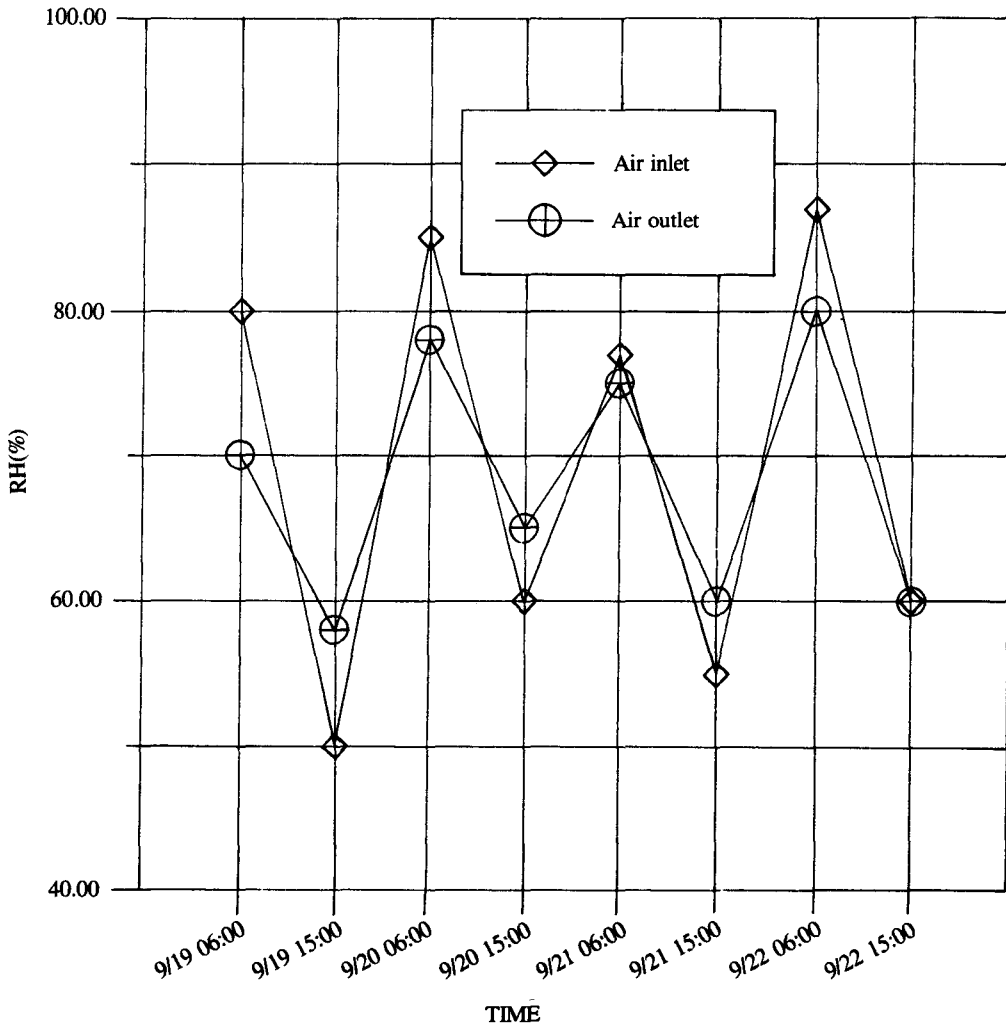


Fig. 9. Variation of relative humidity in air inlet and outlet from 19 to 22, September

어 배기의 습도가 최적 습도범위인 60~80%에 더욱 근접하였다.

적 요

항온층 지열을 이용하는 지열교환기를 개발하여 겨울철의 난방효과와 여름철과 환절기에 있어서 온습도변화를 분석하였다. 또한 지열교환기가 매설된 토양의 종류는 미사질토로 나타났다.

시험한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 다지탈풍속계를 사용하여 2월 중 하루동안의 온습도를 측정해 본 결과 입기의 온도가 -7.3℃에서 6.4℃의 변화를 보일 때 배기의 온도는 1.2~7.3℃로 영상의 기온을 나타내었으며, 최대의 온도차 Δt 는 8.5℃이었다. 난방성능은 최대 3.25Wh/m³이었으며, 평균 1.7Wh/m³이었다.

2. 3월과 4월의 온도변화를 측정해 본 결과 땅속 2.5m의 온도와 지하배관내의 공기온도가 모두 10~12℃의 일정한 온도범위를 보여 외기의 급격한 온도와는 상관없이 변화폭이 적은 온도의 공기를 축사내로 공급할 수 있었다.

3. 7월 1일 부터 5일 까지의 온도변화 자료를 분석해 본 결과 지하 2.5m의 온도가 18~20℃의 일정한 범위를 보여 지난 3,4월과 비교하여 지온이 약 8℃ 정도 상승하였다.

4. 9월 중 일교차가 가장 심했던 9월 19일에서 22일 사이에 입기구와 배기구에서 순간온도변화를 측정한 결과 입기구에서 온도변화는 9~28℃로 약 19℃의 온도차를 보였으나 배기구에서의 온도변화는 15~25℃의 범위를 보여 입기구의 온도변화에 비해 약 9℃ 정도의 온도차로 완화할 수 있었다.

이상의 시험결과에서 나타난 바와 같이 지열교환기는 축사의 난방 보조열원으로써 양호한 열효율을 나타내어 우리나라 축사시설에 적용가능성을 제시하였다. 본 지열교환기 시스템은 지열을 이용하는 환경보전형 에너지 시스템으

로서 시설하기 간편하고 경제적이며 반영구적인 난방 및 환기시스템이다. 따라서, 우리나라 축사시설에 실용화될 경우에 우수한 대체에너지원으로 에너지 절감효과에도 크게 기여하리라고 전망된다.

인용문헌

1. Barbari, M. and Chiappini, U. 1984 : Underground air cooling. In : Dokumentation vom 10. CIGR-Kongre in Budapest/Ungarn.
2. Baxter, D. O. 1994 : Energy exchanges and related temperatures of an earth-tube heat exchanger in the cooling mode. Transactions of the ASAE Vol. 37(1):257-267.
3. Diener, R. G., Moseley, J. L., Peterson, R. A., Jones, W. T. and Pentrack, M. L. 1990 : Construction of an underground heat exchanger for broiler housing-with preliminary results. Applied engineering in agriculture Vol. 6(1):82-86.
4. Goetsch, W. D., Peterson, W. H. and Muehling, A. J. 1981 : Field Study of Earth Tempered Swine Ventilation Systems. ASAE-Paper No. 81-4520.
5. Goetsch, W. D and Muehling, A. J. 1984 : Earth-tube heat exchangers for swine building. University of Illinois at Urbana-Champaign, Energy No. 2, Department of Agricultural Engineering, Cooperative Extension Service.
6. Seufert, H. and Stingl, W. 1983 : Luft, die aus dem Boden kommt. In : top agrar 6, S. 99-104.
7. Tiedemann, H. 1987 : Besseres Stallklima durch Erdwaermetauscher. Landtechnik 9/1987, S. 364-371.
8. Tiedemann, H. 1991 : Erdwaermetauscher. KTBL Arbeitsblatt Nr. 1086.
9. 오인환, 박명수. 1991 : 축사의 환경 설계. 한국농업기계학회 제16권 제2호 188-199.