

지열교환기의 배관자재에 따른 난방효율 분석

오인환 · 이준학 · 정우철

건국대학교 자연과학대학 농업기계공학과

Heating Efficiency of the Underground Heat Exchanger by Different Pipe Materials

Oh In-Hwan, Lee Jun-Hak and Jung Woo-Chul

Dept. of Agric. Machinery Engineering, Konkuk University

Summary

To use the earth heat for the livestock housing, an underground heat exchanger is developed and pipes are layed in the depth of 2.5m under the ground. The pipes have two different kinds of diameter (200mm, 100mm) and materials (PE, PVC).

The results of heating effect in winter and spring are following. The temperature in different soil depth varies from 5℃ by 1.5m depth, to 9℃ by 3.5m. So it should be better to have the depth greater than 2.5m. The difference of air temperature between the inside and outside pipe was 9.9 Kelvin(K) with 200mm diameter and 13.4K with the 100mm diameter with the same material in winter. By the lower outside temperature from -7.2℃, it could keep the air temperature above 6℃ through the 100mm diameter pipe. The heating performance was 593 W with 200mm diameter, 118W with 100mm diameter (PE), and 115W with 100mm diameter (PVC), respectively.

As the outside temperature varies from -1.5℃ to 18.6℃ in early spring, the air temperature through the pipes show 4~8℃. While the difference between maximum and minimum outside temperature is 14 K, the one through the pipes could be reduced by 2K. Pipes with small diameter can more reduce the difference than the pipe with larger diameter.

(Key words: Underground heat exchanger, Pipe material, Heating effect)

서 론

IMF 시대를 맞아 에너지 절약기술이 요구되며 이는 생산비의 절감에 기여한다. 사육환경의 최적화와 여기에 소요되는 열에너지의 효율적 이용이 중요하다. 축산경영에 있어서 사육환경을 최적의 상태로 해 주어야 가축이 지니

고 있는 유전적인 생산능력을 최대한으로 발휘할 수 있다. 즉, 축사내의 사육온도와 습도가 적정 범위내에 있을 때 비육능력, 분만성적, 산란성적, 산유능력 등이 향상된다.¹⁾⁹

우리나라의 기후는 여름철에는 습하며 무덥고, 겨울철에는 춥다. 계절별로 그리고 일교차의 변화는 축사의 환기에 문제가 되고 있다. 여

름과 겨울철의 극한적인 외부기온과 환절기에 있어서 낮과 밤의 일교차는 축사에 열의 초과 공급 내지는 열부족 현상을 초래한다. 이러한 현상은 가축들의 생산능력에 부정적인 영향을 주고 있다.⁹⁾ 계절적인 차이라든가 또는 일교차에 의하여 축사내의 환경이 좌우되기 때문에 인위적인 조절이 불가피하다. 특히, 밀집사육에서는 축사내에서 발생하는 유해가스, 습기 등도 제거해 주어야 한다.⁶⁾

땅속 2~3m에서는 외기온과 비교하여 상대적으로 년중 일정한 온도를 유지하고 있는 관계로 지중열을 이용하여 축사의 환경을 조절하고자 한다. 여름철에는 냉각된 저습의 공기를, 그리고, 겨울철에는 따뜻한 공기를 축사에 공급해 주어서 온풍기 등에 사용되는 화석연료를 절감하고, 가축에게 최적의 환경을 마련해 주어서 생산능력을 향상시키고자 한다. 지열교환기는 자연스러운 방법으로 땅속의 열 저장능력을 이용한다. 입기는 지하 2~3m에 매설된 배관을 통하여 축사에 들어가게 된다. 그 과정에서 주어진 외부기후의 조건에 따라서 데워지거나 냉각된다. 지중열을 이용하는 열 교환방식으로 축사에 냉난방 효과를 주어 최적의 환경을 마련하고자 한다.^{2,5,7,8,11)}

상기의 목적으로 지열교환기를 개발하고자 함에 있어서 현재 여러 종류의 배관자재가 시중에 판매되고 있으나 열전도에 관한 효율이 규명되어 있지 않기 때문에 배관자재에 따른

열효율 분석을 하기 위하여 하절기에 이어서 동절기에도 시험을 수행하였다.

재료 및 방법

본 실험에서는 전체적인 난방효과를 구명하기 위하여 지하 배관에 들어가는 공기와 배기의 온도 및 습도를 측정하였으며, 열 전도에 의한 난방성능을 분석하고자 배관의 중간 부분에도 계측장치를 마련하여서 온도를 측정하며 공기의 유속도 측정하였다.

- ① 온도센서 A1. 배관 입구의 공기온도
- A2. B2. C2 배관 중간의 공기온도
- A3. B3. C3 배관 끝부분의 공기온도

- 6. 지하 1.5m 지점의 토양온도
- 7. 지하 2.5m 지점의 토양온도
- 8. 지하 3.5m 지점의 토양온도

- ② 습도센서 A4. 배관 입구의 공기습도
- A5. B5. C5 배관 끝부분의 공기습도

- ③ 토양함수율측정센서는 9의 곳 한 군데로 도합 15 채널이 소요되었다.

배관의 자재로는 주름이 잡혀있는 전송관 (Polyethylene, 직경 100mm, 200mm)과 일반나선

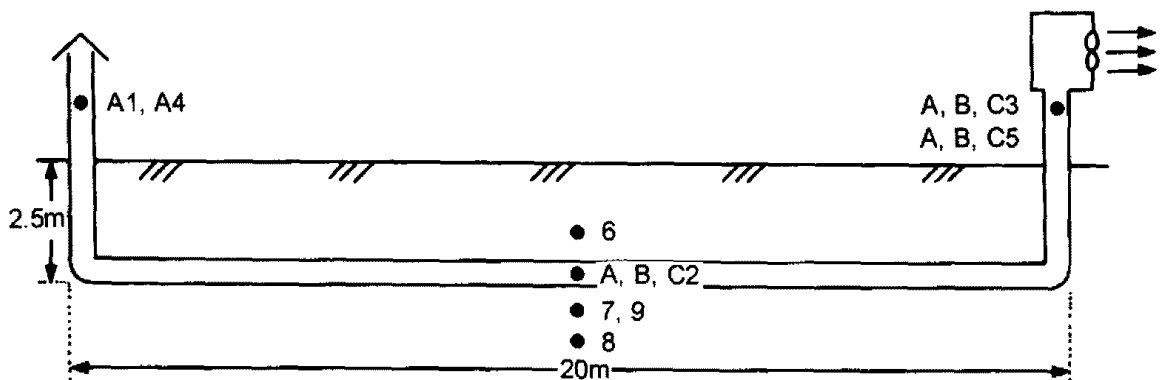


Fig. 1. Schema of the underground heat exchanger.

호스 (Polyvinylchloride, 직경 100mm)의 3가지를 택하였다. 전송관은 겉과 안에 주름이 잡혀있으며 나선호스는 겉에는 주름이 쳐 있으나 안에는 편평하게 되어 있다. 기타 알루미늄관, 아연도금관, 콘크리트배관 등은 강도에 약하다든가 가격이 비싸든가 연결하는데 번거로움이 수반되는 문제점 때문에 실용적인 가치가 적다고 판단되어 시험대상에서 제외하였다.

지하배관에서 온도 변이와 배관을 통과하면서 난방효과를 규명하기 위하여 그림 1과 같은 지하 열교환시스템을 설치하였다.

자료수집을 위하여 Data Logger (Model 1204, Grant)를 장착하였으며, 순간 온습도 측정용으로는 디지털 풍습계 (Testo 452)가 사용되었다. 입배기의 온습도 센서로는 Omega사의 HX93C, 배관 중간부분의 온도센서로는 PT100, 토양수분센서로는 Aqua-Tel Model 250-121을 사용하였다.

결과 및 고찰

1. 토양 온도

1998년 1월 22, 23일에 토양속 1.5m, 3.5m 깊이의 지점에서 측정한 토양온도를 그림 2에 나타내었다. 지하 1.5m 깊이에서는 약 5°C 정도이었으며 지하 3.5m 깊이에서는 9°C 정도가 되었다. 지하 2.5m 깊이에서는 시험장치의 오차로 정확한 온도를 계측할 수 없었으나 앞의 측정치에 미루어 보아서 약 7°C 정도를 유지하였으리라 예상된다. 지하의 깊이가 깊을수록 지구의 마그마의 영향으로 온도가 상승함을 알 수 있다. 하절기의 시험결과와 비교할 때 지하 1.5m의 온도는 년중 5~22°C, 지하 3.5m에서는 9~16°C를 유지하는 것으로 사려된다.³⁾ 지하의 깊이가 깊을수록 외부기후의 영향을 적게 받고 있는 것을 알 수 있다. 이 기간중에 외기 온도는 최고 5.7°C에서 최저 -7.2°C 사이를 나

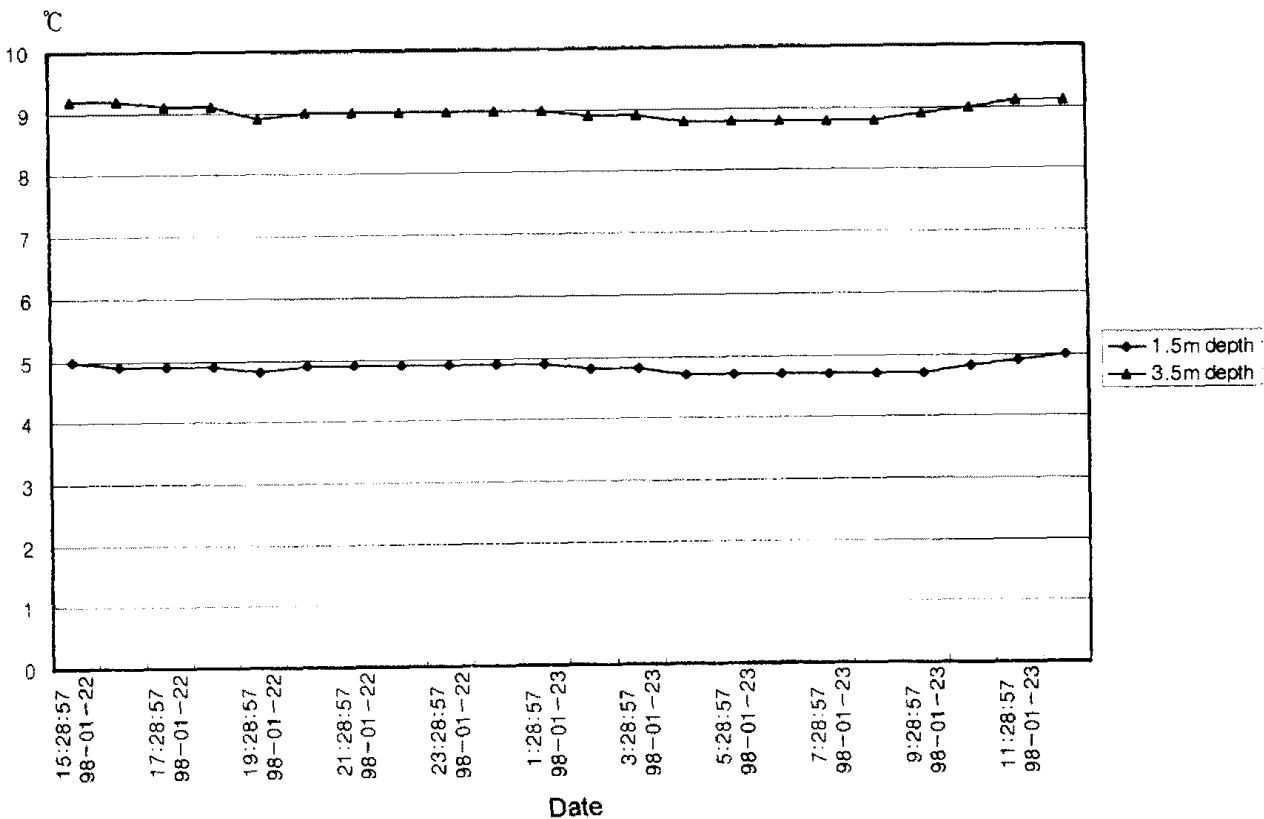


Fig. 2. Soil temperature(°C) in different depth.

타내었다.

2. 동절기에 배관의 열전도 효과

상기 기간중에 각기 배관을 통과한 공기의 온도, 습도를 그림 3에 나타내었다. 외기온이 5.7℃에서 -7.2℃로 급격하게 변할 때, 배관을 통과한 공기의 온도는 완만한 곡선을 나타내어 외기의 영향을 현저하게 줄이고 있다. 그 중에서도 직경 100mm의 배관에서 직경 200mm의 배관보다 양호한 열전도효과를 보이고 있다.

온도차이가 가장 큰 1월 23일 오전 7:30분경의 경우를 살펴보면 외기온도가 -7.2℃를 나타낼 때, 100mm 전송관에서 6.2℃, 100mm 나선호스에서 6.0℃, 그리고 200mm 전송관에서는 2.7℃를 나타내어 각기 13.4K, 13.2K, 9.9K의 가온효과를 나타내었다. 이와같은 이유는 송풍기를 배기구쪽에 시설하여 흡입하여 내기 때문에 각 배관내의 유속에 차이가 생겼으며 직경이 큰 배관에서는 직경이 작은 배관에서보다 유속이 빠르며, 따라서 직경이 작은 배관에서 상대적으로 체류시간이 길어졌기 때문으로 분석된다. 추후에는 배관내의 유속을 같게 하여 시험을 할 필요가 있다.

이 기간중의 외기습도는 30~60%의 범위에 있었으며, 배관을 통과한 공기의 습도도 유사한 범위를 나타내었으나 직경 200mm 전송관보다는 직경 100mm의 나선호스에서 약간 낮았다.

그림 4에는 난방 효율이 가장 우수한 직경 100mm 전송관의 경우에 배관길이 10m와 20m 지점에서의 공기온도를 나타내었다. 배관 10m 지점에서 1.9~3.7℃를 나타내고 있는 반면에 배관 20m 지점에서는 6.2~8.3℃를 보이고 있다. 재미있는 사실은 처음 10m 구간에서는 난방효과가 상이하나, 다음의 10m 구간에서는 온도차 Δt 가 약 4℃ 정도의 일정한 효과를 보이고 있는 점이다. 앞서 예를 든 시점의 경우에 -7.2℃에서 1.9℃로 상승하였다가 최종적으로 6.2℃가 되어서, 10m에서 9.1K, 20m에서 13.4K의

가온효과를 나타내었다. 10m 지점에서의 9.1K은 전체 상승폭의 68% 정도의 효율을 보이고 있다. 이러한 결과는 지열교환기의 배관길이를 결정하는데 중요한 요인이 된다. 이전에는 배관의 길이가 길수록 유리하다는 판단 아래 길이를 길게 하였으나 10m 정도까지에서 약 2/3의 열전도가 이루어지기 때문에 현재에는 배관의 길이를 길게 하지 않는 경향이 있다.¹¹⁾

온도 효율은 다음의 식으로 계산하였다.

$$\phi = \frac{t_A - t_z}{t_A - t_B}$$

t_A : 외기온도

t_B : 토양온도

t_z : 배기온도

온도 효율은 직경 100mm 전송관에서 94%, 직경 100mm 나선호스에서 92%, 그리고 직경 200mm 전송관에서 70%를 나타내었다. 직경 100mm의 전송관이 직경 100mm의 나선호스보다 약간 높게 나타난 것은 주름이 내부에도 있어 접촉 표면적이 크며, 공기의 소용돌이를 유발할 수 있기 때문으로 분석된다. 그러나, 유량을 고려한 난방효율의 분석에서는 다른 결과를 보여주고 있다. 겨울철이라 저속으로 송풍기를 가동하였으며, 배관내의 유속은 직경 100mm관에서 공히 1.2m/s이었고, 직경 200mm관에서 2.1m/s이었다.

난방 효율은 다음의 식으로 계산하였다.

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

h_1 : 배기의 엔탈피

h_2 : 입기의 엔탈피

V : 유량(m³/h)

난방 효율의 분석에서는 직경 200mm 배관에서 593W, 직경 100mm의 전송관에서 118W, 그리고 직경 100mm의 나선호스에서 115W로 나타났다. 직경 200mm의 배관에서는 유속이 빨

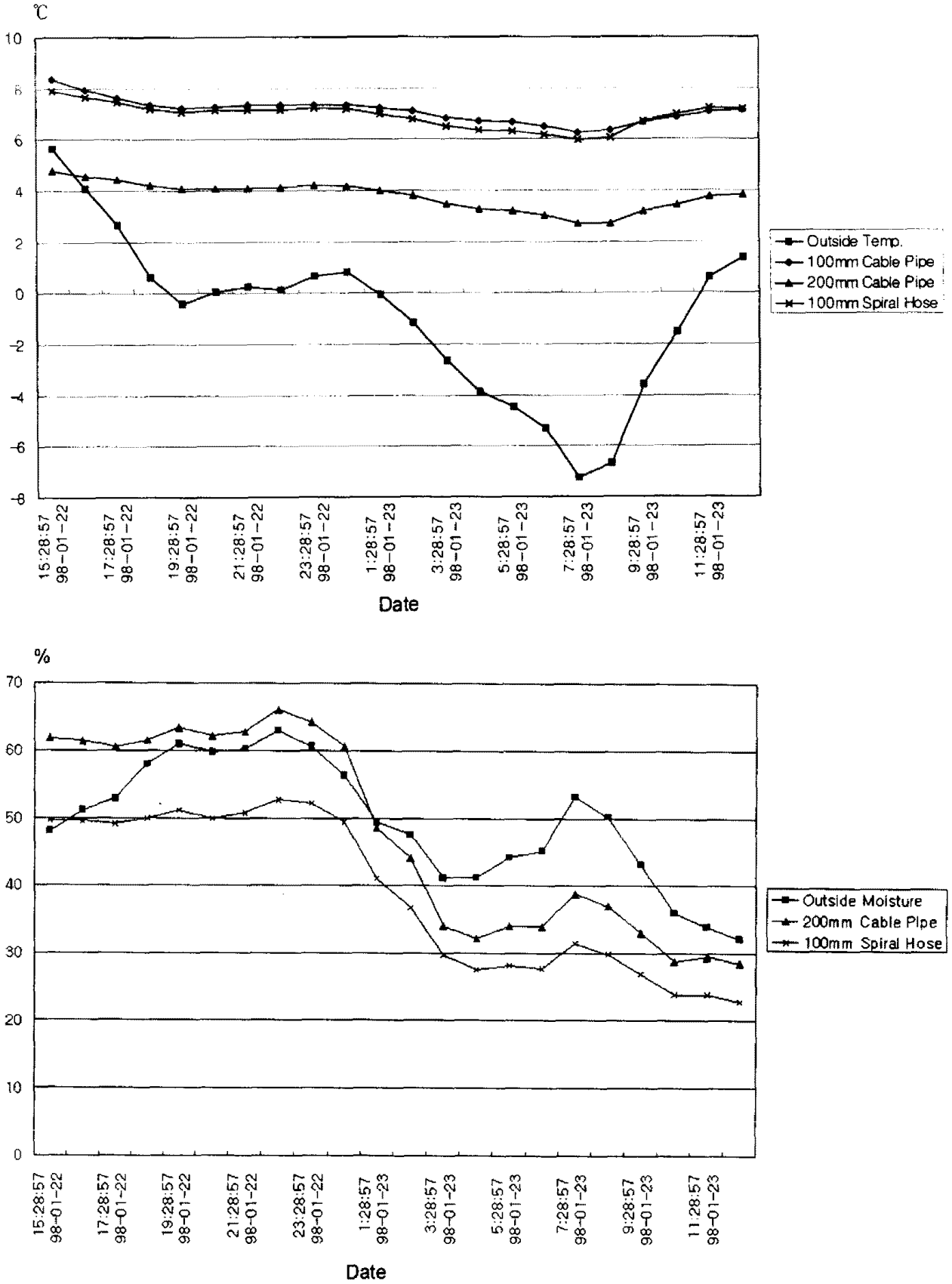


Fig. 3. Outlet air temperature(°C) and humidity(%) from different pipes on 22, 23 Jan.

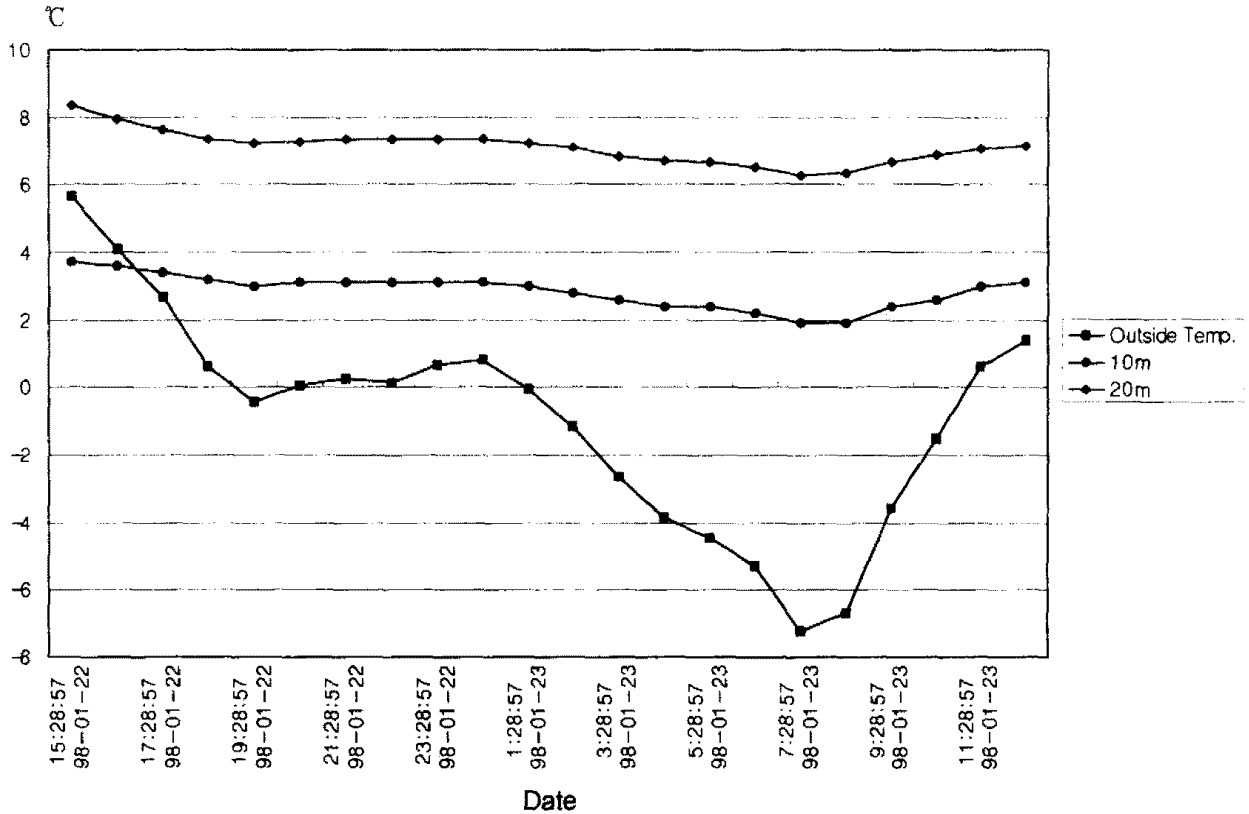


Fig. 4. Air temperature(°C) in 100mm diameter pipe from length of 10m, 20m in winter.

랐으며 직경도 크기 때문에, 결과적으로 유량이 많아서 열량면에서는 월등히 우수한 성능을 발휘하였다. 따라서 실제 축사에서 적용에서는 온도효율 뿐만아니라 풍량을 계산한 난방효율의 측면도 고려하여서 시설을 하여야 할 것이다.

외기온이 상승하면서 온도도 10°C 이상으로 올라가며 낮과 밤의 일교차도 커지려고 하는 2월 12~16일 사이의 온도와 습도를 그림 5에 나타내었다. 배관을 통과한 공기의 온도는 약간 외기의 영향을 받으나, 그래도 완만한 곡선을 유지하고 있다. 직경 100mm의 배관에서 배기 온도는 6~8°C의 사이를 나타내는 반면에 직경 200mm 배관에서는 4~6°C의 범위에 있다. 외기의 일교차 Δt 가 14K일 때 배관을 통과한 공기의 온도차는 2K 정도에 불과하였다.

이 기간중에 토양수분 함량은 66~70%의 범위를 나타내었으며 시일이 경과함에 따라 약간씩 증가하는 경향을 보이고 있다.

3. 환절기에 배관의 열전도 효과

2월말에서 3월초까지의 온도변화를 그림 6에 나타내었다. 일교차는 더욱 벌어져 하루의 기온은 -1.5°C에서 18.6°C까지로 나타나고 있다. 배관을 통과한 공기도 약간의 변동은 있으나 4~8°C의 범위에 있으며, 역시 직경 100mm의 배관에서 직경 200mm의 배관에서 보다 2K 정도 높게 나타나고 있다. 이 기간중에 토양의 수분 함량은 평균 74% 정도되었다. 얼었던 땅이 녹고 봄비가 오고 하여 이전 기간의 수치고 비교하면 수분 함량이 약간씩 증가함을 알 수 있다 (그림 7).

3월 24일부터 27일까지의 환절기에 온·습도를 측정된 자료를 그림 8에 나타내었다. 외기온도는 3.2°C에서 17.7°C까지의 변화폭을 보이고 있다. 이때 직경 100mm의 배관은 8~10°C 정도를 나타내었고 직경 200mm 배관에서는 7~9°C의 온도분포를 나타내었다. 외기온도차가 심하

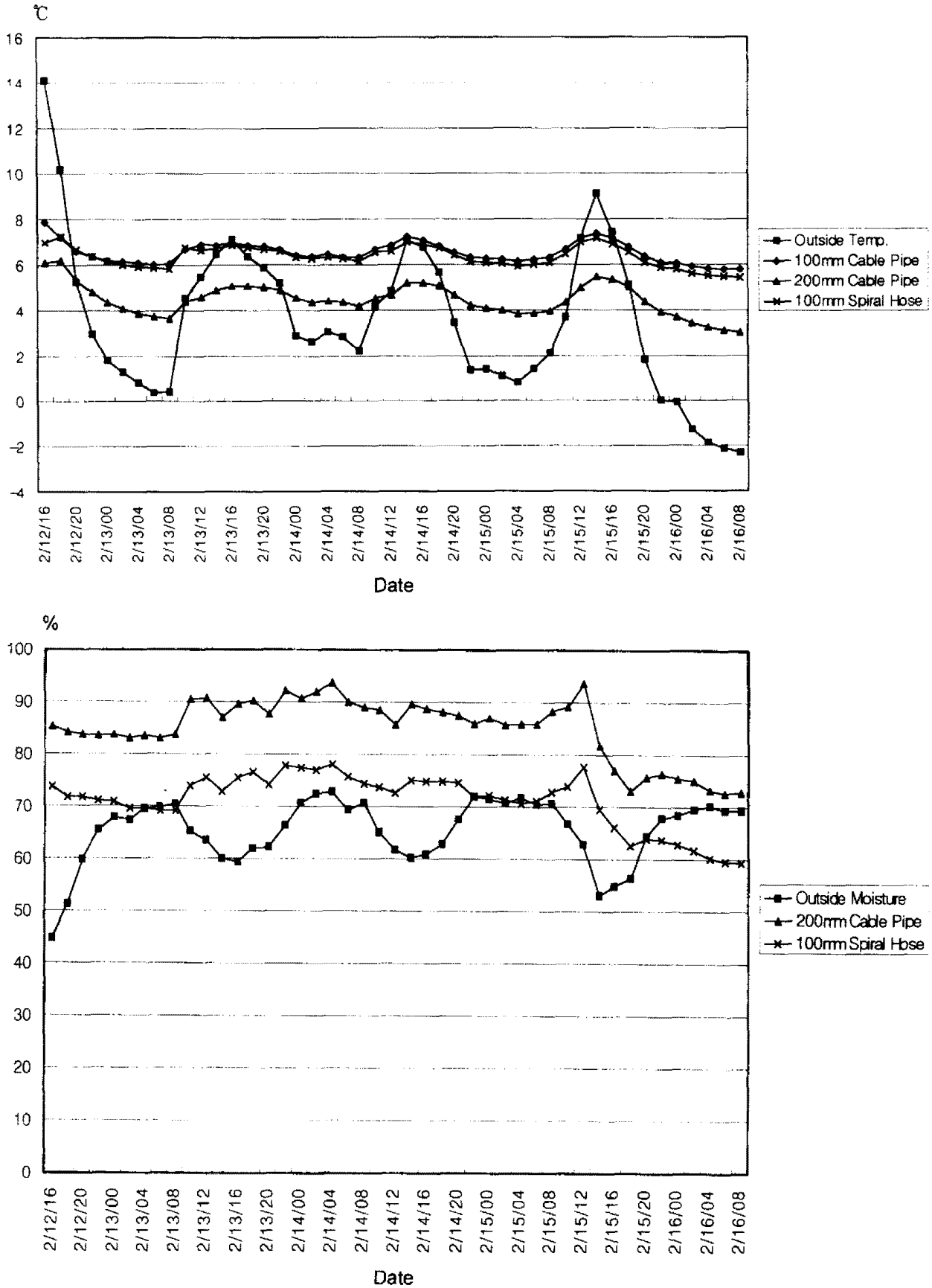


Fig. 5. Outlet air temperature(°C) and humidity(%) from different kinds of pipes on 12~16 Feb.

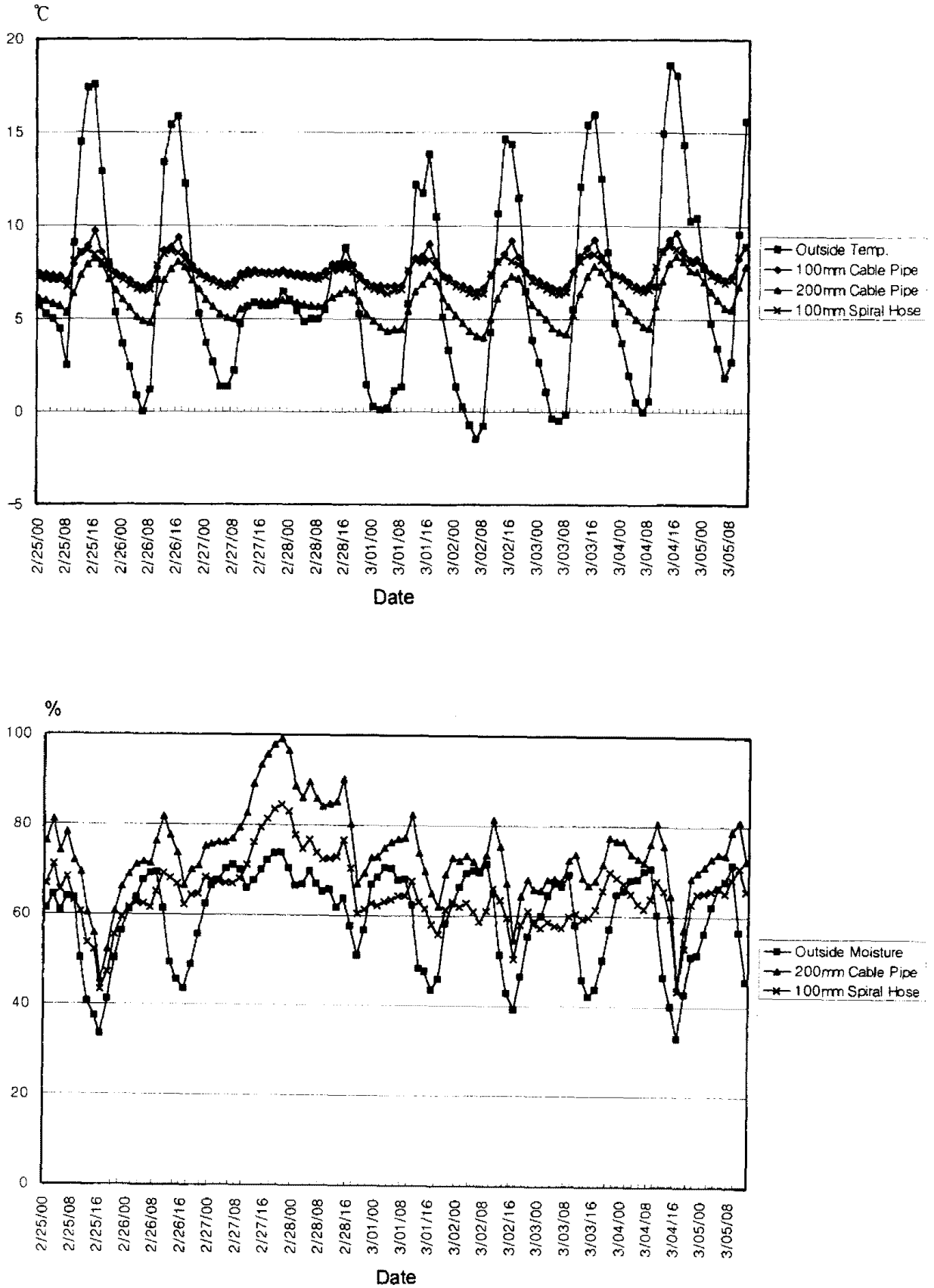


Fig. 6. Outlet air temperature(°C) and humidity(%) from different pipes in a change of season.

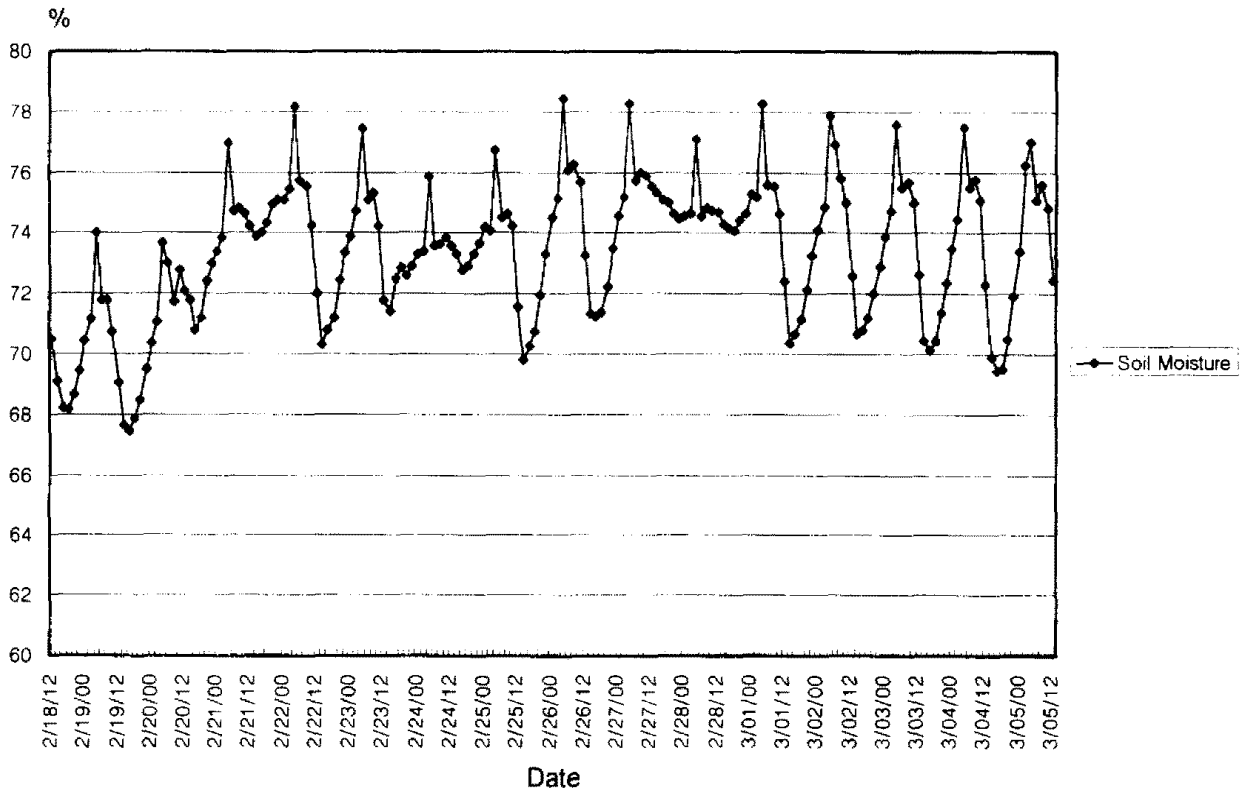


Fig. 7. Soil moisture contents(%) in 2.5m depth.

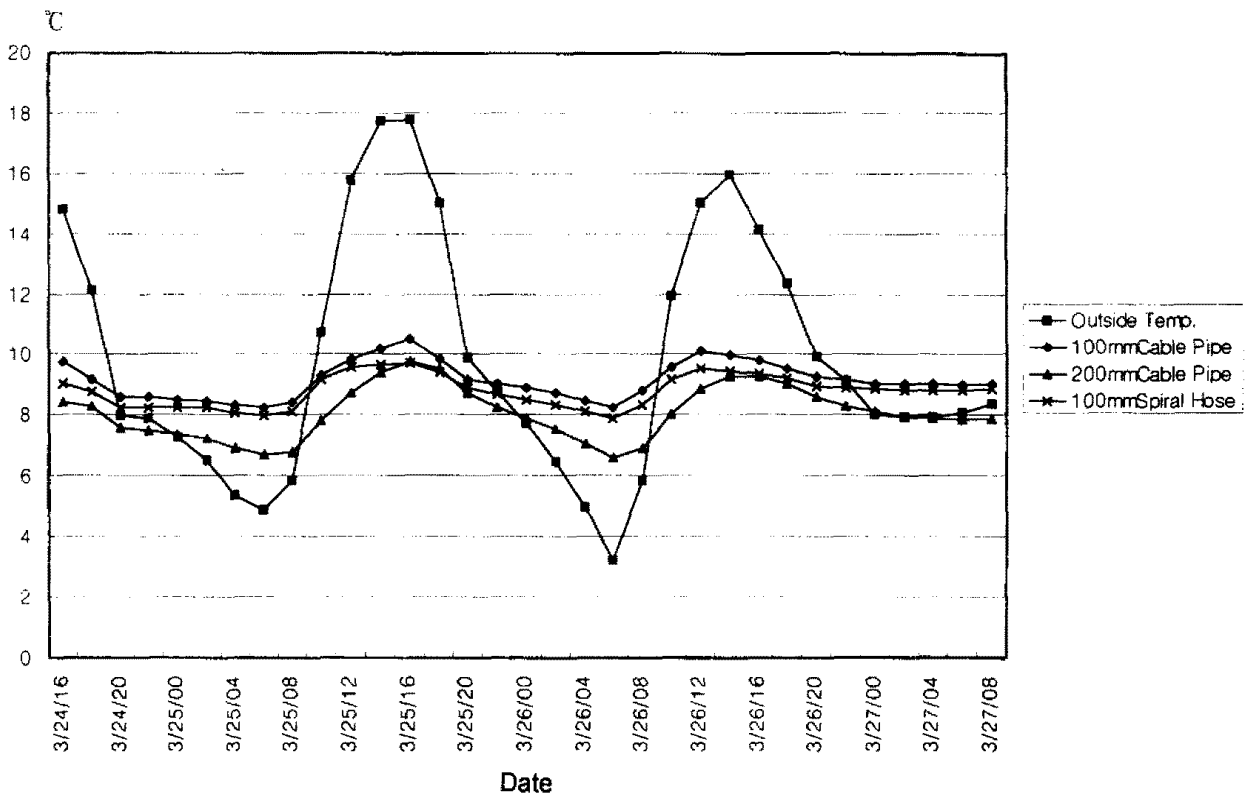


Fig. 8. Outlet air temperature(°C) from different pipes in spring.

였음에도 불구하고 균일한 온도를 유지하고 있다. 환절기의 온도차이는 가축들에게 호흡기 질병을 유발할 수 있으나 지열교환기를 통한 균일한 온도의 공기를 공급하면 질병방지에 큰 도움이 될 것으로 사료된다. 토양수분 함량은 76~86% 사이를 나타내었으며, 잦은 비로 인하여 점차적으로 증가함을 알 수 있다.

적 요

지열을 축사의 환기에 이용하고자 지열교환장치를 지하 2.5m에 시설하였다. 직경이 다른 주름진 3가지 배관(100mm PE, 200mm PE, 100mm PVC)의 겨울철 난방효율과 환절기의 일교차에 관한 시험을 수행한 결과는 다음과 같다.

토양깊이에 따른 시험에서는 지하 1.5m에서 5℃, 3.5m에서 9℃를 나타내었다. 겨울철에 지열교환기를 통과한 공기의 가온효과는 외기온도가 -7.2℃일 때 직경 100mm의 전송관에서 13.4K, 직경 100mm의 나선호스에서 13.2K, 직경 200mm의 배관에서 9.9K의 가온효과를 나타내었다. 영하 7.2℃의 저온에서도 100mm 직경의 배관에서는 6℃ 이상의 배기온도를 유지하였다. 동절기의 온도효율을 조사한 결과 직경 100mm의 전송관이 가장 높아 94%, 100mm의 나선호스가 92%, 그리고 200mm의 전송관에서 70%의 순으로 나타났다. 그러나 난방효율의 계산에 있어서는 200mm의 전송관에서 593W, 100mm의 전송관에서 118W, 그리고 100mm의 나선호스에서 115W로 풍량이 많은 200mm 배관에서 상대적으로 높은 난방효율을 나타내었다. 2월말과 3월초의 일교차가 커지는 경우에 외기의 온도가 -1.5℃에서 18.6℃로 변할 때, 배관을 통과한 공기의 온도는 4~8℃의 범위에 있었으며 직경 100mm의 배관에서는 직경 200mm의 배관보다 2K 정도 높게 나타났다. 지열교환장치를 이용하여 외기의 일교차를 완화할 수 있었다.

인 용 문 헌

1. 오인환, 박명수. 1991. 축사의 환경설계. 한국농업기계학회 제16권 제2호 188-199.
2. 오인환, 김일수, H. J. Heege. 1995. 양돈용 지열교환기의 개발. 축산시설환경학회지. 제1권 2호 125-136.
3. 오인환, 박상혁, 김용채. 1997. 지열교환기의 배관자재에 따른 냉각효율 분석. 건국대학교 건국자연과학지 제8집 61-72.
4. Barbari, M. und U. Chiappini. 1984. Underground air cooling. In:Dokumentation vom 10. CIGR-Kongre in Budapest/Ungarn.
5. 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.
6. Buescher, W. 1992. Experimentelle Untersuchungen zur Luftfuehrung in Stallanlagen. AEL Bericht 15.
7. Cramer, C. O. and Kammel, D. W. 1980. Underground Air Inlets for Farrowing House Cooling. ASAE-Paper No. 80-4556.
8. Goetsch, W. D. und 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.
9. Resk, B. 1984. Wechselbeziehung zwischen Stallklima und Mastleistung in der Schweineproduktion. Sonderheft, Tierhygiene-Information, Eberswalde-Finow. 16. Jahrg.
10. Seufert, S. H. und Stingl, W. 1983. Luft, die aus dem Boden kommt. In: top agrar 6, 99-104.
11. Tiedemann, H. 1991. Erdwaermetauscher. KTBL Arbeitsblatt Nr. 1086.
12. Vant Klooster, C. E. ir. 1988. Erdschlauchlueftung - Erfahrungen aus den Niederlanden. DGS 20/1988 582-583.