

지중매설관 열교환장치의 성능분석(I)<sup>+</sup>  
— 연속운전실험에서의 온도특성 및 열교환성능 —

Performance Analysis of an Earth Tube Heat Exchanger(I)  
— Temperature Variation Characteristics and Heat Exchange  
Performance on the Mode of Continuous Operation

김 영 복 · 백 이  
정희원            정희원  
Y. B. Kim        Y. Paek

ABSTRACT

An earth tube soil air heat exchange system was designed, installed and operated as a single pass heat exchanger to utilize the geothermal energy as a natural energy source. This study was undertaken to investigate the potential of the heating and cooling, energy gain, heat exchange efficiency and coefficient of performance of the system. The system consisted of 30m in length and 30cm in diameter polyethylene pipes buried 2m deep in soil.

Maximum heating and cooling performance were 2.51kW and 1.26kW at the air mass rate of 21cm. Energy gain and coefficient of performance were the function of temperature difference between outside air and soil temperature. They were expressed as  $Q = 0.33 \times \Delta T_{\max} + 0.134$  (kW) for energy gain and  $COP = 0.44 \times \Delta T_{\max} + 0.178$  for coefficient of performance with correlation factor of 0.95. The mean of heat exchange efficiencies was 85.6%.

**주요 용어(Key Words)** : 지열(Geothermal), 지중파이프(Earth Tube), 열교환(Heat Exchange), 효율(Efficiency), 성적계수(Coefficient of Performance)

1. 서론

환경제어형 농업생산시설이 증가하고 이에 따라 에너지 다소비형 농업시설이 늘어나면서 자연에너지이용의 중요성이 증대하고 있다. 그것은 환경보존적 측면과 에너지 해외수입의존 탈피의 관점에서 특히 중요하다. 자연에너지로서 지열에너지를 이용하고자 할 때 지하수를 직접

이용하는 것은 지반침하, 지하수 고갈 및 오염 등 많은 문제점이 나타나므로 지중열교환 방식을 채택하는 것은 그러한 문제점을 최소화하게 된다. 또한, 외기온에 비해 연중 온도변화가 적은 지중온도를 이용하면 여름철 냉방과 겨울철 난방의 두 기능을 수행할 수 있는 장점이 있다.

지중열교환방식으로서의 지중에 파이프를 매설, 공기를 통과시키므로써 토양과 공기사이에

<sup>+</sup> 이 논문은 1995년도 한국학술진흥재단의 공모과제 연구비에 의하여 연구되었음.

\* 경상대학교 농과대학 농업기계공학과

열교환을 하는 방식이 많이 쓰인다. 이와 관련한 연구로는 국내에서는 돈사용 목적의 지열교환기(오, 1995), 온실보온용 지중매설 잠열축열시스템(송, 1994), 수경재배온실용 지중열교환시스템(이, 1994), 원예시험장에서 온실바다 열교환장치(연 : 1984, 이 : 1982) 등에 대한 효과분석이 있고, 이론분석으로 지중매설 열교환장치 출구온도 예측에 관한 연구(김, 1996)가 있다.

그리고 지중온도예측에 관한 연구로서 최(1983)는 Fourier級數를 이용하여 진주지방의 토양온도를 예측하기 위한 시뮬레이션 모델을 제시하고 환기장치의 적절한 매설깊이로 지중 2~3m로 제안하였다. 재료특성과 관련하여서는 온실내 지중열교환파이프의 재료 및 매설특성에 따른 온실내부온도와와의 관계에 대한 연구(高倉, 1981)가 있다. 한편, 미국에서는 히트펌프용 지열교환기에 대한 분석이 1950년대부터 진행되어 왔으나(Ingersoll, 1951) 농업시설용 지열교환장치에 대한 분석은 축사 냉난방 목적으로 1960년대부터 꾸준히 진행되어 왔으며, 충분히 경제성이 있다고(Baxter : 1994, Bernier : 1981, Diener : 1990) 결론지어 왔다. 특히, 최근의 長期연속실험을 통한 여름철과 겨울철의 냉·난방성능을 분석한 연구결과에 의하면(Baxter, 1994) 지중매설관 열교환 효율에 영향을 주는 세가지 요소는 외기온도, 매설관부의 토양온도, 매설관 길이 방향으로의 온도구배라고 하였다.

이러한 연구들을 통하여 살펴보면 지중매설관의 재료 자체의 열물리적특성은 열교환효율에 큰 영향을 주지 않으며(김 : 1996, 山本 : 1977) 매설관의 크기는 보통 20~30cm정도이지만 동일한 풍량의 경우 대구경(大口徑)파이프 한 개보다 소구경(小口徑)파이프를 다수 설치하는 것이 효율이 좋고, 또한 토양수분이 50% 이상 포화되면 토양의 종류에 무관하다는(Spengler, 1983) 것이 알려져 있다. 본 연구에서는 자연에너지로서의 지열이용방법으로서 지중매설관을 통해 토양공기 열교환을 도모하여 조화된 공기를 농업시설의 냉난방에 이용하고자 하였고, 이를 위해 실험을 통한 지중매설관 열교환장치의 성

능을 분석하였으며, 그 구체적인 연구목표를 정리하면 다음과 같다.

1) 주·야간 연속운전을 통하여 냉방과 난방의 가능성을 확인한다.

2) 매설관 통과 공기온도, 열교환량, 열교환효율, 성적계수를 분석하므로써 시스템의 성능을 평가한다.

3) 매설관 설치조건을 알아보기 위하여 매설관 주위의 토양온도와 열교환영향을 받지 않는 토양온도를 비교분석한다.

4) 매설관 내부의 공기온도분포를 분석하므로써 적절한 매설관 길이에 대해 검토 분석한다.

## 2. 재료 및 방법

### 가. 토양공기 열교환장치 및 계측

토양-공기 열교환장치의 성능을 분석하기 위해 경상대학교 농과대학 부속농장의 포장에 사진 1, 그림 1(a)와 같이 실험장치를 설치하였다. 매설관은 안지름 300mm, 두께 2.5mm의 외주에 9mm높이의 돌기가 있는 폴리에틸렌파이프로 하였다. 지중열교환용 매설파이프의 재질은 열전달율, 強度, 가격면에서 결정되어야 하는데 재료가 다르더라도 열교환효율에는 별로 영향을 주지 않는다는 것이 연구결과로 알려져 있으므로(김 : 1996, 高倉 : 1981) 본 연구에서는 시공이 쉽고 가격이 저렴한 폴리에틸렌 파이프를 사용하였다. 매설관은 라인 간격을 1m로 하여 세 개의 라인을 매설하였다. 사진 1에 나타난 바와 같이 두 개의 라인은 지중 2m깊이에, 한 개의 라인은 지중 3m의 깊이에 매설하였으며, 매설관은 4m길이 단위로 되어 있는 것을 같은 재질의 소켓으로 연결가공하여 전체길이 30m가 되도록 하였다. 세 개의 라인은 공동의 피트로 연결되어 송풍기에 의하여 공기가 흡입 통과해 나가도록 되어 있다.

파이프 부분의 토양은 객토를 한 매립지로서 표토는 경작 토양, 심토는 잡석과 자갈로 이루어져 있었고, 지중 2m깊이의 매설관 주위는 잡석,

지중 3m 깊이의 매설관 주위는 岩碎土로 이루어져 있었다.

매설관은 공기진행방향으로 1/100의 구배를 두어 매설관내의 응축수를 배출할 수 있도록 하였는데, 응축수는 그림에서 보는 바와 같이 응축수 탱크에 집결하여 펌프에 의해 배출된다. 열교환실험장치에 사용된 각 구성요소의 구체적인 사양은 표1에 나타난 바와 같다. 송풍기는 동력 750W, 정압 53mmAq, 풍량 65cmm의 사양제품이었으나 본 실험에서는 동력을 적산적력계로 측정, 계산한 결과 750W이었고, 풍량은 약 21 cmm을 나타내었다.

토양공기 열교환장치의 성능을 평가하기 위해 그림 1(b)에 나타난 바와 같이 장치의 입구와 출구를 포함한 공기온도와 매설관 주위의 토양 온도로서 매설관 중앙부의 수평·수직방향 온도, 그리고 그림 1(C)는 열교환영향을 받지 않는 온도로서 장치로부터 9m떨어진 위치에 수직방향 1m깊이 간격으로 5m위치까지의 토양온도변화를 계속하였다. 온도는 K타입(CA) 열전대를 사용하여 30분 간격으로 다점온도기록계(40점)로

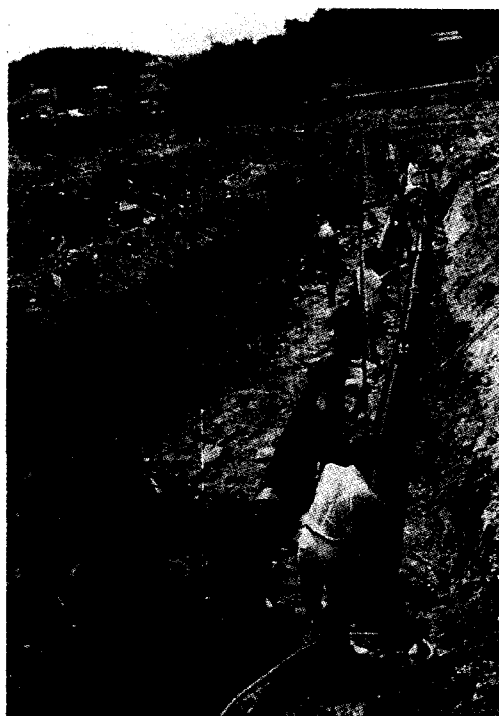


Photo 1. Installation of the experimental soil-air heat exchange system.

Table 1 Specification of the experimental equipments

Item	Specification
Earth tube	- Strong chemical Co. - New strong pipe, Polyethylene - Inner diameter 300mm, Thickness 2.5mm
Fan	- Sung Woo FAN - Width×Length of case : 500×500mm, Inlet diameter : 400mm - 750W (3Ph/1Ph), Airflow rate 65mm, Static pressure 53mmAq
Pit	- Steel Plate - Width×Length×Height×Thickness : 320×500×100×0.2mm - Inlet ports diameter(3EA) : 300mm - Outlet port diameter(1EA) : 400mm
Pump	- Hanil Electirc Co., LTD, self-priming, 110/220 Volts - 200W(1/4PS), Head 6m, 7200ℓ/h(4m max)
Water Drainage Tank	- Steel Plate - Width×Length×Height×Thickness : 500×400×1000×0.2mm
Temperature recorder	- Model : RD-350, NEC San-ei Instruments, Ltd. - Hybrid Temperature Recorder, 40 Channels, Thermocouple, Pt 100Ω - Inside Base Point Compensation : Accuracy - 200~650°C≡ 0.1%
Hygrometer	- Anemometer and Wet and Dry Bulb psychrometer - SAMPOONG ENGINEERING CORP.
Anemometer	- Temperature : 0~350°C - Relative Humidity : Low 3.9% ≡ 0.2%, High 94.8% ≡ 0.5% - Pressure : Zero : 0≡ 2 Pa, Gain : 2758≡ 30 Pa
Integrating Watt-meter	- Dongwon Co. 1Ph, 220V

지중매설관 열교환장치의 성능분석(I)

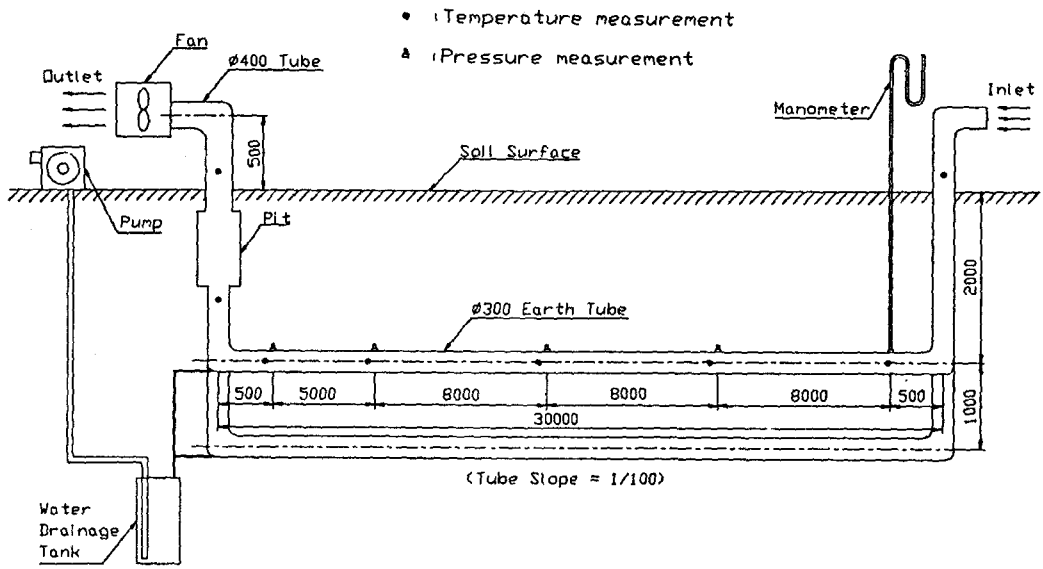


Fig. 1(a) Configuration of the soil air heat exchange system.

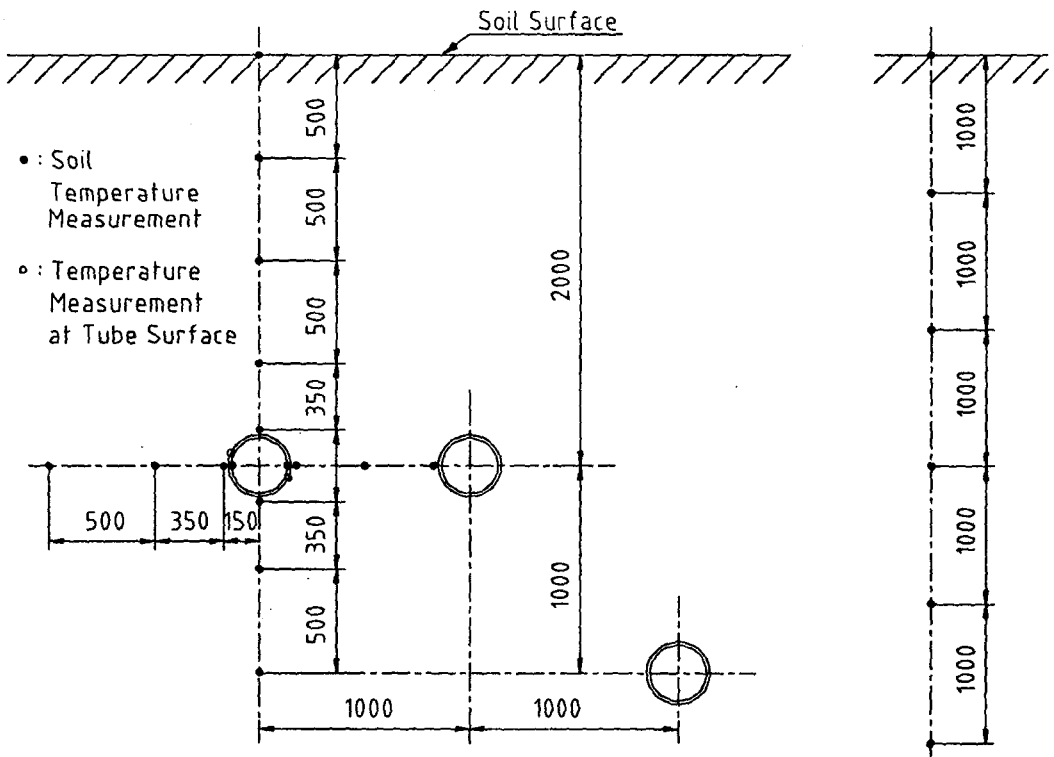


Fig. 2(a) Right side section view of the soil air heat exchange system at middle of tube.

Fig. 2(b) Measuring points of the undisturbed soil temperature.

기록함과 동시에 IEEE488 card를 통하여 컴퓨터로도 입력, 저장하였다. 그리고 공기의 풍속, 습도, 전력 사용량, 매설관내 공기의 정압 등을 측정하였다.

실험은 매설된 라인의 가동수를 조절하며 수행되었는데 본 논문에서는 매설된 세 개의 라인 중 2m깊이의 2개라인에만 공기가 통과하도록 하여 실시한 결과를 나타내었다. 실험기간은 1996년 8월 24일 오전 10시부터 8월 26일 오후 7시까지 주·야간 연속으로 57시간 측정 기록하였다.

나. 열교환 성능의 평가법

지중매설관 열교환장치의 성능을 평가하는데에는 장치로부터 배출된 공기의 온도수준, 열교환량, 열교환효율, 성적계수 등이 있는데 그것들은 다음과 같이 정의된다.

(1) 열교환량 ( $Q_{out}$ )과 최대열교환가능량 ( $Q_{max}$ )

$$Q_{out} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{aout} - T_{ain}) \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_{max} = \dot{m} \cdot C_p \cdot (T_{soil} - T_{ain}) \quad \dots\dots\dots(2)$$

- 여기서,
- $\dot{m}$  : 공기유량(kg/s)
  - $C_p$  : 공기비열(kJ/kg °C)
  - $T_{aout}$  : 매설관출구 공기온도(°C)
  - $T_{ain}$  : 매설관입구 공기온도(°C)
  - $T_{soil}$  : 매설관깊이 토양온도(°C)

(2) 열교환효율( $\eta$ )

$$\eta = \frac{Q_{out}}{Q_{max}} \times 100(\%) \quad \dots\dots\dots(3)$$

(3) 성적계수(COP)

$$COP = \frac{Q_{out}}{W} \quad \dots\dots\dots(4)$$

여기서,

$W$  : 송풍기 공급동력(kW)

3. 결과 및 고찰

가. 지중온도변화

토양-공기 열교환장치의 영향을 받지 않는 토양온도의 변화를 알아보기 위하여 그림 2(a)에 열교환장치로부터 9m 떨어져 있는 위치의 지중온도변화를 나타내었고, 열교환장치의 영향을 받는다고 생각되는 토양온도로서 매설관 중앙부 수직방향의 지중온도변화를 그림 2(b) 나타내었다. 본 실험기간의 후반부에는 날씨가 흐려져 지표면에 가까운 1m깊이에서는 토양온도가 서서히 하강하고 있으나 열교환파이프가 매설된 2m깊이에서는 약 24°C에서 상당히 일정하게 유지되는 것을 알 수 있었다. 그림 2(a)를 살펴보면 외기온도가 주간과 야간에 따라 약 17~28°C로 변하고 있는데 대하여 지중 1m위치에서는 약 26~28°C, 지중 2m위치에서는 약 24°C, 지중 5m위치에서는 약 20°C 범위에서 큰 변화가 없는 것을 알 수 있었다. 따라서 실험기간 중 지중 2m, 24°C 기준으로 볼 때 난방가능최대온도차 7°C, 냉방가능최대온도차 4°C가 되었다.

한편, 기상대 자료를 분석하면(진주시상대, 1990~1994) 지중온도는 연중 7월에서 9월까지의 기간중에 가장 높는데 지중 0.5m깊이에서는 8월이, 지중 1m 깊이에서는 9월이 최대치를 나타내고 있고 지중 깊이 내려 갈수록 최대치는 늦게 나타나고 있었다. 그리고 그림 2(b)에 나타난 매설관 중앙부 지중온도를 살펴보면 매설관에 가까운 토양온도라 하더라도 매설관내 공기와의 열교환영향이 그다지 나타나지 않음을 알 수 있다. 한편 매설관 중간부분에서의 수평방향 토양온도는 그림 2(c)에 나타난 바와 같이 시간에 따라서의 변화는 그다지 크지 않으나 인접한 매설관 및 매설상태의 영향으로 인하여 좌·우 대칭상태는 유지되지 않은 것으로 나타났다.

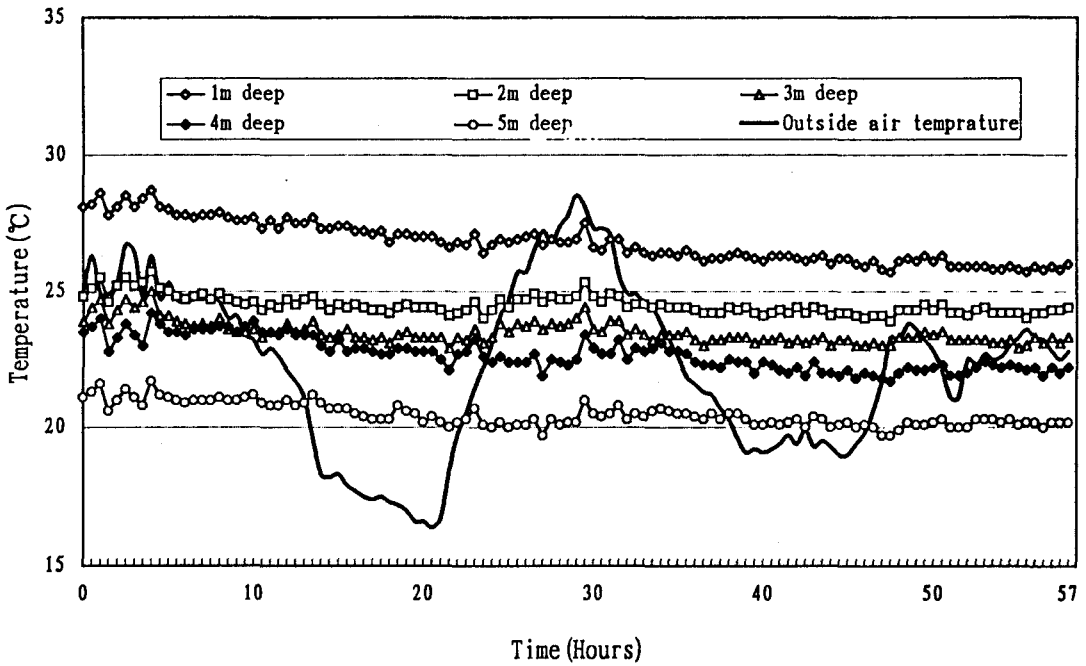


Fig. 2(a) Temperature variation of the undisturbed soil depending on the soil depth vs time during 8/24-8/26, 1996.

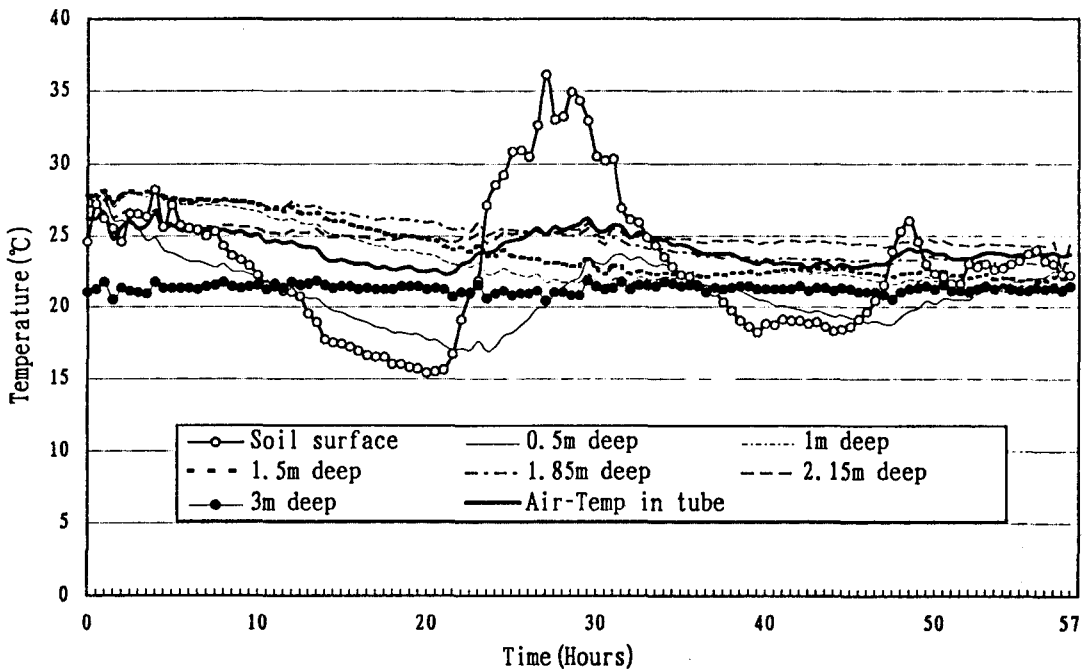


Fig. 2(b) Temperature variation of the soil in vertical direction to the tube axis vs time during 8/24-8/26, 1996.

나. 매설관 입·출구 공기온도 변화와 열교환량

지중매설관 열교환장치로 들어오는 공기의 온도는 외기상태로서 그림 3(a)에 나타난 바와 같이 약 17~18°C 범위인데 지중매설관을 통과한 후에는 실험초기의 과도상태를 제외하면 약 24~25°C 범위로 상당히 균일한 상태로 조화되어 나오는 것을 알 수 있다. 매설관 열교환 영향을 받지 않는 지중온도가 실험기간 중 약 24°C 정도로 유지된 점을 고려하면 비록 매설관 부근과의 위치에 따른 온도차이를 예상하더라도 이러한 정도의 출구온도상태는 상당히 우수한 열교환능력을 보여 주는 것으로 판단된다. 지중매설관의 열교환효율은 토양의 수분함량에 따라 큰 영향을 받는데 이는 토양의 겉보기 열전도율이 향상되기 때문으로서 본 연구의 실험지역이 비교적 저지대여서 지중수분이 많은 까닭에 열

교환효율이 우수한 것으로 판단된다. 열교환능력을 살펴보면 그림 3(a)에 나타난 바와 같이 최대난방 2.51kW, 최대냉방 1.267kW의 값을 나타내었고 실험기간 57시간 중의 총 냉방에너지 획득량은 그림 중負의 면적으로서 6.02kWh, 난방에너지 획득량은 正의 면적으로서 55.87kWh로 나타났는데 냉방의 경우 본 실험기간 중의 기온도가 최대 약 28°C였으나 여름철 냉방상태가 매우 필요한 때인 주간온도가 이보다 높을 경우에는 본 시스템의 냉방능력이 증대될 것으로 보인다. 즉, 표 2에서 살펴볼 때 진주지역의 경우 8월중 최고온도가 32~37°C 정도되므로 만약 최고온도가 35°C, 2m 지중온도가 본 연구에서 처럼 24°C라고 하면 최대 11°C의 온도차를 얻을 수 있을 것이 예상된다. 송풍기 배출유량당 최대 열교환율을 계산하면 난방과 냉방의 경우 각각 7.14, 3.571(kJ/m<sup>3</sup>)로 나타나는데 그림 2(a)에 나타난 바와 같이 지중 3m깊이에서는 그 온

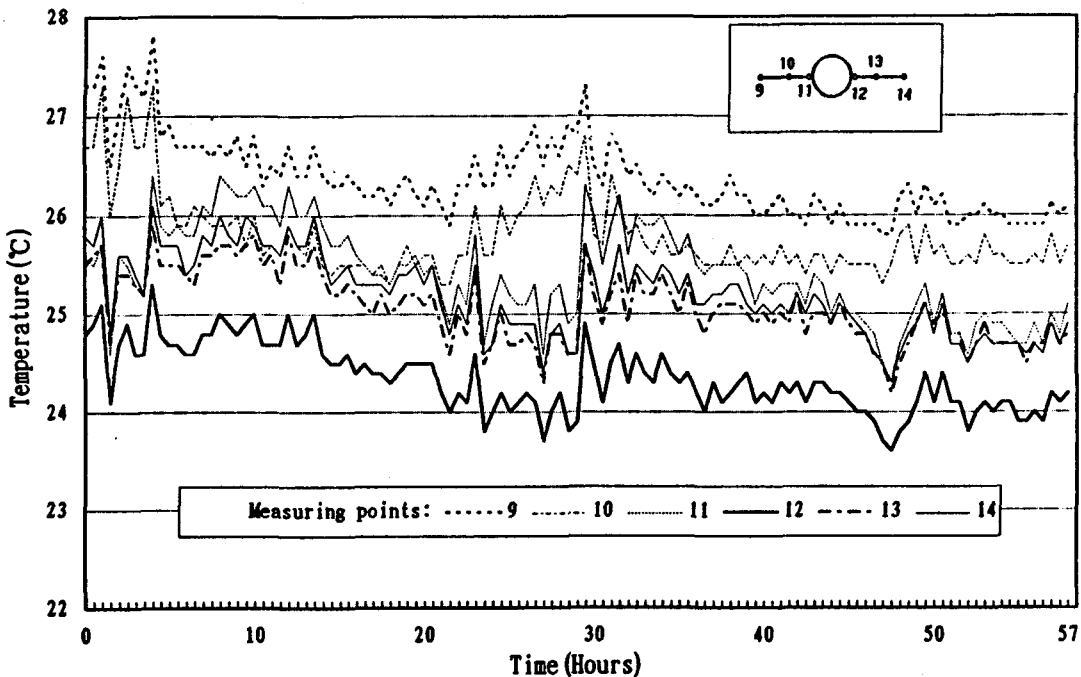


Fig. 2(c) Temperature variation of the soil in horizontal plane normal to the tube axis vs time during 8/24-8/26, 1996.

도가 약 23°C 이하로 유지되고 있는 점으로 보아 매설깊이가 깊으면 열교환능력이 향상될 것이나 매설깊이의 결정은 매설에 따른 작업량 증가와 경제성을 함께 고려할 필요가 있다.

Table 2. Weather data of Chinju(August)<sup>2)</sup>

Item		year			
		1990	1991	1992	1993
Air temp.	Ave. max	30.0	28.0	29.0	26.7
	Max.	36.7	33.0	32.2	32.1
Soil temp.	underground 1m	26.4	24.3	25.2	23.1

다. 열교환량과 성적계수

시간경과에 따른 에너지획득량을 나타낸 그림 3(a)를 외기온도변화, 즉, 지중매설관으로의 유입공기온도변화에 따른 에너지획득량으로 재구성하여 나타내면 그림 3(b)와 같다. 그림 3(b)에는 투입 송풍기동력에 대한 에너지획득량의 비율인 성적계수를 동시에 나타내었으며 에너지획득량과 성적계수의 유입공기온도에 대한 상관관계를 표시하고 있다.

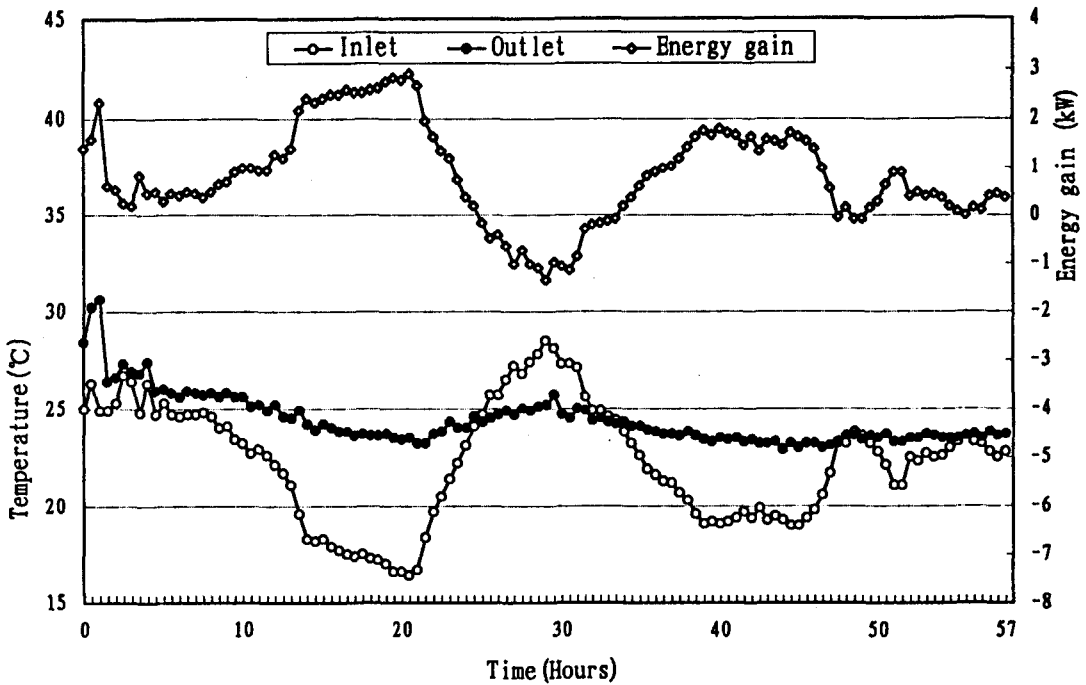


Fig. 3(a) Inlet and outlet air temperature and energy gain depending on time during 8/24-8/26, 1996.



그림 3(b)를 살펴보면 에너지획득량은 매설관 유입공기온도 약 24°C를 기준으로 온도가 올라갈수록 負의 에너지획득량, 즉, 공기의 냉각열량이 증가하고, 온도가 내려갈수록 正의 에너지획득량, 즉, 공기의 난방열량이 증가하게 되는데 이러한 경향은 그림에서 알 수 있는 바와 같이 비교적 직선적으로 변하고 있다. 이러한 결과는 파이프가 매설된 지중 2m위치의 지중온도가 대개 24°C 정도로 유지되는 것을 고려하면 매우 당연하다 할 수 있다. 한편, 본 실험조건에서의 에너지획득량(Q)과 성적계수(COP)의 매설관 유입공기온도에 대한 이러한 직선적 변화 경향을 상관 관계식으로 나타내면 각각  $\dot{Q} = -0.32 \times T_{in} + 7.9$ ,  $COP = -0.42 \times T_{in} + 10.536$ 로서 상관계수는 0.95로 나타났다. 그런데 지중온도가 계절에 따라 변하는 것을 고려하면 외기로서 지중매설관에 유입되는 공기의 온도와 지중온도의 차이에 따른 성능을 분석하는 것이 필요한데 이를 위해 그림 3(c)에 지중매설깊이에서의 토양 온도와 지중매설관 유입공기온도와 온도차를

변수로 한 에너지획득량과 성적계수를 나타내었다. 온도차가 零이 되면 에너지획득은 없으며, 온도차가 正의 방향으로 커지면 난방열량이, 온도차가 負의 방향으로 커지면 냉방열량이 증가하는데 그 경향은 상당히 직선적으로 변하고 있다. 그런데 그림 3(c)에서 온도차가 負가 될 때는 토양온도가 매설관 유입공기온도보다 낮을 경우로서 이때에는 이론적으로 볼 때 正의 에너지획득이 얻어질 수 없는데 그림에서는 이러한 현상이 일부 나타났던 바 이는 계산에 사용된 토양온도가 열교환영향을 받지 않는 위치인 열교환매설관에서 9m떨어져 있는 곳의 매설관과 동일 깊이의 온도이기 때문으로 판단된다. 온도차에 따른 에너지 획득량(Q)과 성적계수(COP)의 관계를 상관 분석해 보면 그 상관 관계식은  $\dot{Q} = 0.33 \times \Delta T_{max} + 0.134(kW)$ ,  $COP = 0.44 \times \Delta T_{max} + 0.178$ 이며 상관계수는 0.928로 나타났다. 이러한 상관관계로 볼 때 본 실험조건에서 온도차가 1°C나게 되면 성적계수는 0.441씩 변하는 것을 알 수 있다.

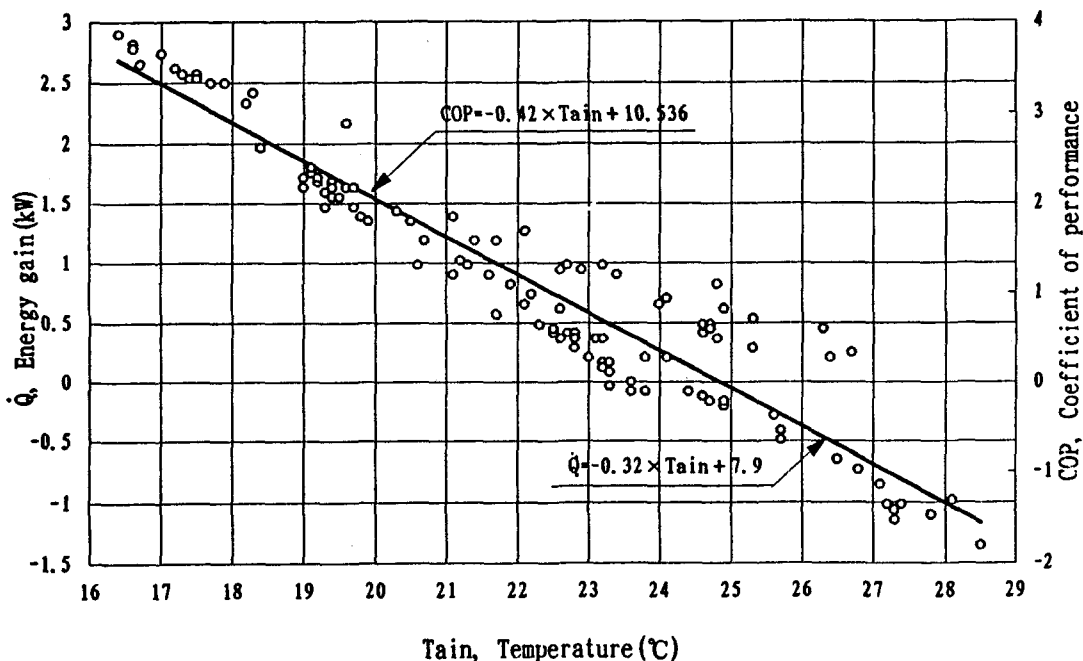


Fig. 3(b) Energy gain and COP depending the inlet air temperature during 8/24-8/26, 1996.

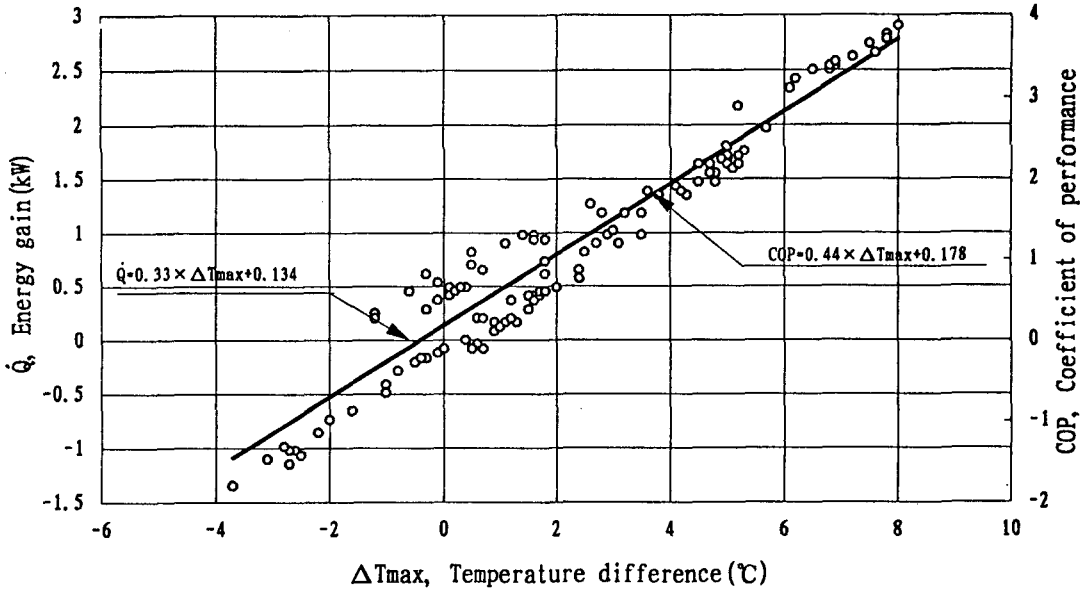


Fig. 3(c) COP variation depending on the temperature difference between the soil and the inlet air temperature ( $\Delta T_{max} = T_{soil} - T_{ain}$ ) during 8/24 - 8/26, 1996.

라. 열교환 효율

지중매설관 열교환장치의 성능을 나타내는 한 척도로서 획득가능한 최대에너지량에 대하여 실제 획득한 에너지량의 비율을 나타내는 열교환 효율을 구해보면 그림 4와 같다. 그림 4는 그림 3(a)에 나타난 경시별 측정자료 중 실험초기의 과도상태기간과 기상조건 변화로 인해 토양과 공기의 온도차가 적을 때 발생하는 오차를 제거하기 위해 실험 후기의 기간을 포함하지 않고 안정된 상태구간만을 대상으로 분석한 것으로서 연속 약 33시간동안의 열교환효율을 나타내고 있다. 그림을 살펴보면 매설관 토양온도와 매설관유입공기온도와의 온도차가  $-4^{\circ}\text{C}$ 에서  $8^{\circ}\text{C}$ 까지 변할 때 열교환효율은 약 65~100%범위에서 산포해 있으며 평균 약 85.6%의 열효율을 보이고 있다.

마. 파이프내 공기 온도 분포

지중열교환 파이프 깊이의 결정과 관련하여 파이프내 공기온도 분포에 관한 정보는 매우 중요하다. 즉 공기가 지중매설관을 통과하는 동안 토양의 온도와 비슷해지게 되면, 더 이상 파이프를 통과시킬 필요가 없으므로 그 수준 범위에서 유효한 파이프의 길이를 결정할 수 있다. 그림 5(a)에 나타난 경시별 파이프내 각 위치에서의 온도 변화를 살펴보면 파이프 유입공기 온도는 외기에 따라 크게 변하고 있는데 비해 21m이후의 지점, 즉, 21, 29, 30m 위치에서는 토양 온도 부근에서 큰 변화가 없는 것을 알 수 있다. 이를 한 순간에 있어서의 파이프내의 온도분포로 나타내면 그림 5(b)와 같은데 공기가 파이프 약 21m를 통과한 후 부터는 온도변화가 그다지 없는 것을 알 수 있다. 따라서 본 실험조건인 경우 파이프 길이가 21m로 되더라도 효율 손실이 그다지 크지 않을 것이 예상되나 적정 파이프 길이의 선택은 직경과 유속 등과 함께 검토되어야 할 것으로 판단된다.

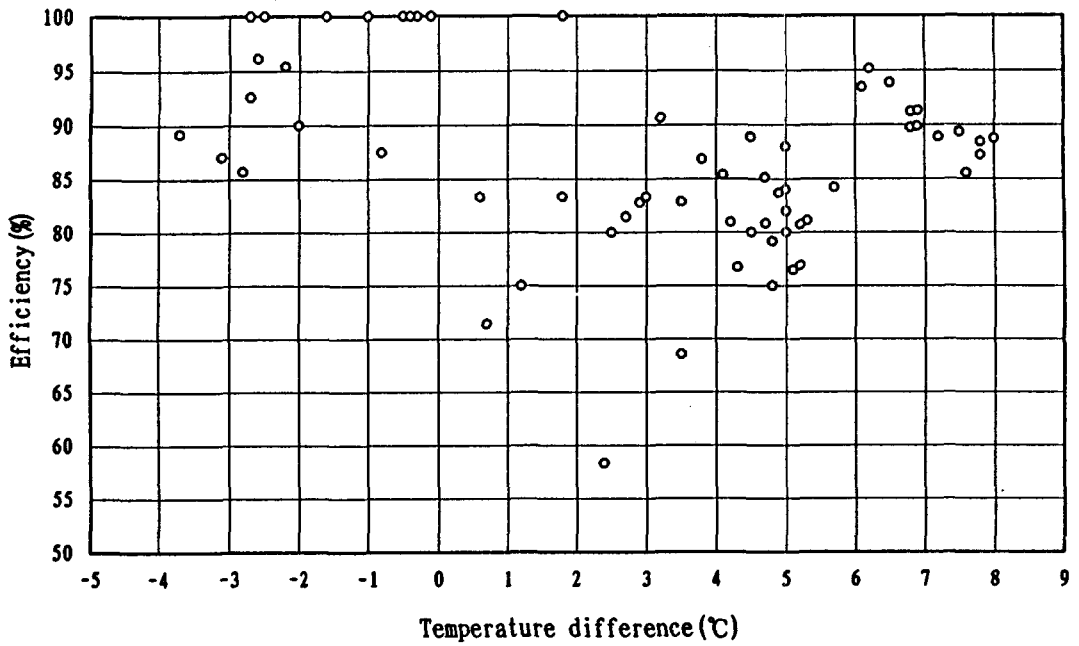


Fig. 4 Efficiency variation depending on the temperature difference between the soil and the inlet air temperature during 8/24 – 8/26, 1996.

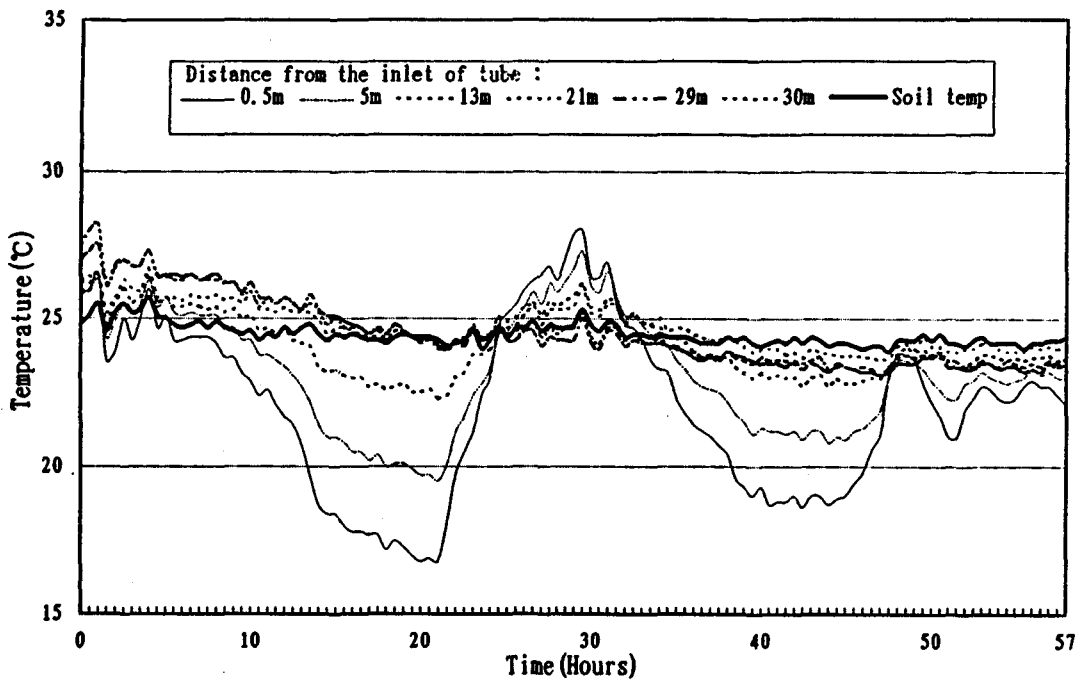


Fig. 5(a) Temperature variation of the air in the tube depending on the tube length vs time during 8/24 – 8/26, 1996.

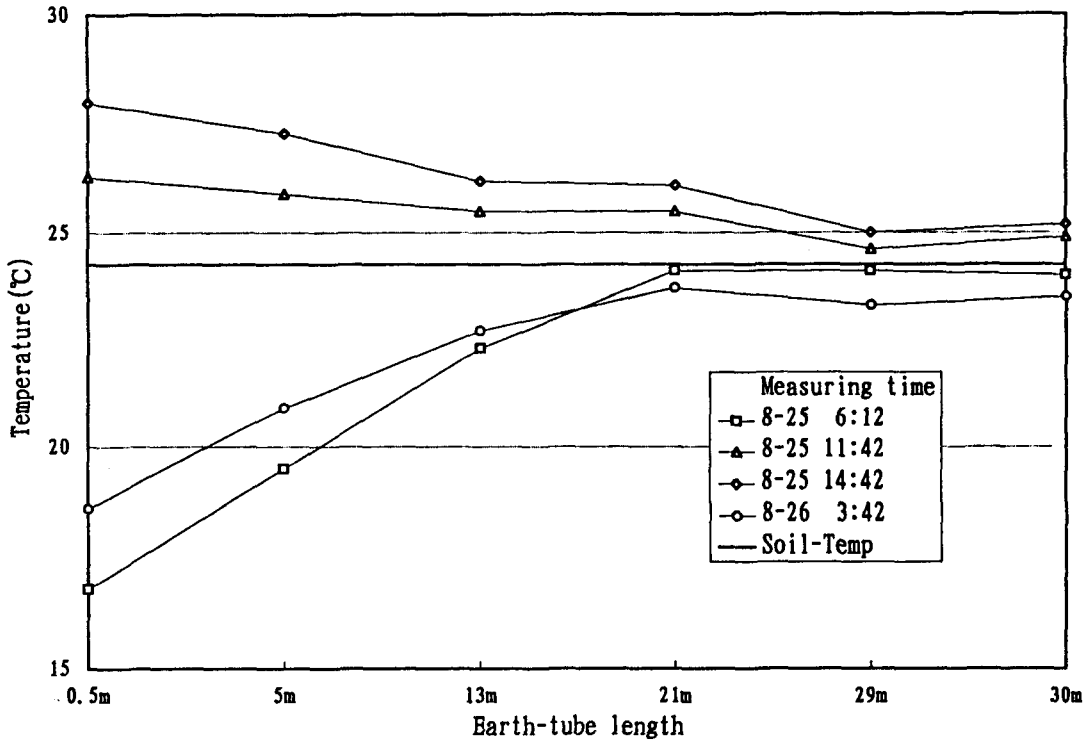


Fig. 5(b) Temperature distribution of the air in the tube.

#### 4. 요약 및 결론

본 연구에서는 환경보존형 에너지이용 방법으로서 지중매설관을 통한 토양공기 열교환을 도모하여 농업시설의 냉난방에 이용할 목적으로 실험을 통하여 지중매설관 토양공기열교환장치의 성능을 분석하였다.

직경 300mm의 폴리에틸렌파이프를 지중 2m에 30m길이를 매설하여 주·야간 연속운전하고 분석하였으며, 열교환량, 열교환효율과 성적계수, 매설관설치조건과 매설관적정길이에 대해 검토·분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 지중매설관장치의 영향을 받지 않는 토양온도는 약 3일간의 연속운전기간 중 외기온도가 약 17~28°C로 변하고 있을 때 지중 1m깊이에

서는 약 26~28°C, 지중 2m깊이에서는 약 24°C, 지중 5m깊이에서는 약 20°C 부근에서 유지되고 있었던 바 난방가능최대온도차 7°C, 냉방가능최대온도차 4°C로 나타났다.

나. 송풍기유량 21cm<sup>3</sup>/min일 때 매설관 출구온도는 약 24~25°C로서 상당히 균일하게 조화되어 나왔으며, 매설관 토양온도가 약 24°C인 점을 고려하면 상당히 우수한 열교환능력을 나타내었다.

다. 열교환능력은 최대난방 약 2.51kW, 최대냉방 약 1.26kW였으며, 송풍기 단위 유량당으로는 각각 약 7.14, 3.57kJ/m<sup>3</sup>, 성적계수는 난방 3.8, 냉방 1.8을 나타 내었다. 냉방성적계수 능력은 토양공기 최대온도차와의 상관관계로 보아 외기온도가 상승하면 상당히 향상될 것으로 판단되었다.

라. 본 실험조건에서 열교환량 ( $\dot{Q}$ )과 성적계

수(COP)는 외기와 토양의 온도차( $T_{max}$ )를 변수로 하여 나타내면 각각  $\dot{Q} = -0.33 \times \Delta T_{max} + 0.134$ ,  $COP = 0.44 \Delta T_{max} + 0.178$ 로 나타나는데 이때 상관계수는 0.928이었다.

마. 최대열교환가능량에 대한 실제 열교환량의 비율인 열교환효율은 65~100% 범위에 산포해 있었으며, 평균 약 85.6%를 나타내었다.

바. 매설관내 공기온도는 약 21m를 통과한 이후에는 큰 변화가 없었으므로, 본실험조건외의 경우에도 20m정도의 매설관길이를 하더라도 효율이 크게 나빠지지는 않을 것이나 매설관길이의 결정은 공기의 유속과 매설관직경, 토양조건 등을 고려하여 검토할 필요가 있다.

### 참고 문헌

1. 김영복. 1996. 환경보전형 지열이용시스템에 의한 생물생산환경 제어기술. 제 10차 IBRD 교육차관 해외훈련보고서.
2. 송현갑, 유영선. 1994. 온실난방을 위한 태양열-잠열축열 시스템 개발. 한국 농업기계학회지 19(3) : 211-221
3. 연구인, 송영준, 홍갑선. 1984. 지중열교환하우스의 효율적 이용에 관한 시험. 충북농진원 84 : 350-357
4. 오인환, 김일수, H. J. Heege. 1995. 양돈용 지열교환기의 개발. 축산시설환경 학회지. 1(2) : 125-136
5. 이용범, 표현구, 박상근, 권영삼. 1982. 지중열교환 하우스의 환경특성과 작물 생육에 관한 영향. 농시연보 24(원예) : 59-69
6. 이종호, 박승제, 김용현, 김철수, 이중용. 1994. 지중열교환 온실의 축열 및 방열 특성. 한국농업기계학회지 19(3) : 222-231
7. 진주시상대. 1990~1994. 우리나라 지역별 기상자료
8. 최홍림. 1983. 진주시지방의 지온이용 환풍장치설계를 위한 지온예측에 관한 연구. 경상대. 농업연구소보 17(1) : 153-162
9. 高倉 直, 山川建一. 1981. 地中熱交換ハウスの設計 1. 正常一次元モデルによる解析. 農業氣象 37(3) : 187-196.
10. 山本雄二郎, 青木清, 岡野利明. 1981. 地中熱交換ハウス基本設計. 電力中央研究所. 研究報告 481011. 31
11. Baxter, D. O. 1992/1994. Energy exchanges and related temperatures of an earth-tube heat exchanger in the heating/cooling mode. Transactions of the ASAE Vol. 35(1) : 275-285/ 37(1) : 257-267
12. Bernier, H., G. S. V. Raghaven and J. Paris. 1991b. Evaluation of a soil heat exchanger-storage system for a greenhouse. Part 1 : Energy saving aspects. Canadian Agri. Eng. 33(1) : 99-104
13. 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.
14. Ingersoll, L. R., F. T. Adler, G. J. Plass, A. C. Ingersoll. 1951. Theory of earth heat exchangers for the heat pump. ASHRAE Paper No. 1415. Presented at the 57th Annual meeting of ASHRAE, Philadelphia, Pa.
15. Spengler, R. W., D. P.stombaugh. 1983. Optimization of earth-tube heat exchangers for winter ventilation of swine housing. Transactions of the ASAE 0001-2351/ 83/ 2604-1186 : 1186-1193