

반밀폐형 지중열교환기 성능에 관한 실험적 연구

김 옥중¹⁾, 염 한길²⁾, 이 춘우³⁾

An Experimental Study on the Performance of Semi-Closed Loop Ground Heat Exchanger

Ook Joong Kim, Han-Kil Yeom, Chun Woo Lee

Key words : Semi-Closed Loop Ground Heat Exchanger(반밀폐형 지중열교환기), Effective Thermal Conductivity(유효 열전도도), Penetration water flow rate(투수량)

Abstract : A semi-closed loop ground heat exchanger is proposed and its performance is compared through the measuring the effective thermal conductivity of the ground. In-situ tests based on the line source model are carried out to evaluate the thermal characteristics of each ground heat exchanger which has different penetration water flow rate. The test results show the increasing effective thermal conductivity of ground as the penetration water flow rate(PWFR) is increased. Therefore, the higher thermal performance of the proposed semi-closed ground heat exchanger can be expected.

Nomenclature

k : thermal conductivity, W/m-K
L : depth of bore hole, m
m : slope of graph
Q : input power, W

1. 서론

최근 신재생에너지의 보급 확대에 힘입어 날로 이용이 증가하고 있는⁽¹⁾ 지열 히트펌프 시스템(ground source heat pump system)에서 지중열교환기(ground heat exchanger)는 히트펌프 시스템 전체의 성능과 초기 설치비를 결정하는 핵심기기이다.⁽²⁾ 현재 지중열교환기는 다양한 형태로 이용이 되고 있으며 열원에 따라 또는 설치형식에 따라 구분된다.⁽³⁾ 국내의 경우에는 설치공간을 최소화 할 수 있는 수직형이 가장 널리 채택이 되고 있으며 이 방식은 지하로 약 100~200 m 정도 천공된 보어홀에 고밀도의 폴리에틸렌 파이프를 수직으로 매설하는 방법으로 아래쪽 말단에는 2차 유체 순환을 위한 U 밴드가 연결되며 보어홀과 파이프 사이에는 그라우트(grout)로 채우게 된다. 이와 같은 수직형의 지중열교환기는 브라인

과 같은 2차 유체가 히트펌프 시스템의 열교환기와 파이프 내에서만 순환하는 밀폐형과 지하수가 열교환기 및 파이프내를 직접 흐르게 하는 개방형으로 또한 구분된다. 잘 알려진 바와 같이⁽²⁾ 수직형 지중열교환기의 성능은 지중열교환기 파이프 내를 순환하는 유체와 이 파이프 주위의 매질간의 열전달과 밀접한 관계가 있다. 따라서 지중열교환기의 성능 향상에는 파이프 주위의 환경 즉, 그라우트와 지중의 열전도도 및 보어홀의 열저항 등이 매우 중요한 변수로 작용한다.

본 연구에서는 지중열교환기의 성능 향상을 목적으로 밀폐형의 지중열교환기 그라우트 부분으로 일정량의 물을 흘려보내는 반밀폐형 지중열교환기를 구성하고 투수량에 따른 지중의 유효 열전도도를 현장 열응답 실험을 통하여 구함으로써 그 이용 가능성을 알아보려고 하였다.

- 1) 한국기계연구원 에너지기계연구센터
E-mail : ojkim@kimm.re.kr
Tel : (042)868-7326 Fax : (042)868-7335
- 2) 한국기계연구원 에너지기계연구센터
E-mail : hkyeon@kimm.re.kr
Tel : (042)868-7419 Fax : (042)868-7335
- 3) (주)탑솔
E-mail : ejium@hanmail.net
Tel : (042)388-3600 Fax : (042)934-1082

2. 반밀폐형 지중열교환기

기존의 수직 밀폐형 지중열교환기와 형태는 동일하나 그라우트 부분으로 물을 공급하는 파이프가 추가된 반밀폐형 지중열교환기를 Fig. 1에 나타내었다. 그림에 나타난 지중열교환기는 하계 운전을 묘사한 것으로 실제 운전시 공급되는 물은 자중열교환기가 설치된 장소에서 취출된 지하수를 사용하게 된다.

3. 실험 장치 및 방법

3.1 실험장치

제안한 반밀폐형의 성능 측정을 위해서 널리 사용되고 있는 현장 열응답 시험 장치를 Fig. 2와 같이 구성하였다. 그림에 보인 바와 같이 시험 장치는 시험용 반밀폐형 지중열교환기와 일정한 열량을 공급하는 가열장치, 유체 순환펌프, 데이터 취득 및 처리장치로 구성되어 있다. 반밀폐형 지중열교환기는 Fig. 3에 상세히 나타낸 바와 같이 32A의 폴리에틸렌관을 사용하였으며 15A의 엑셀관에 약 4 m 간격으로 물 흐름용 노즐을 만들어 투수용 파이프로 사용하였다. 보어홀의 직경과 깊이는 각각 0.15 m와 약 150 m이며 그라우트 재질로는 Fig. 4에 보인 바와 같은 쇄석을 사용하였다. 가열장치는 지중열교환기 순환유체에 약 10 kW의 열량을 가하는 전기히터와 단열된 수조로 구성되어 있으며, 브라인 순환을 위해서는 펌프를 사용하였고 투수용 물은 별도의 펌프를 사용하지 않고 수도로부터 공급된 시수를 사용하였다. 순환유체의 양은 초음파 유량계(AUTO FLOW사, TDS-100H) 및 적산식 유량계로 병행하여 측정하였으며 온도 측정에는 4선식의 RTD를 사용하였다. 가열열량은 전력량계(ELControl사, VIP 396)를 사용하여 측정하였으며 온도와 전력량 및 초음파 유량의 신호는 개인용 컴퓨터와 데이터 처리장치(HP, HP34970A)로써 저장하고 처리하였다.

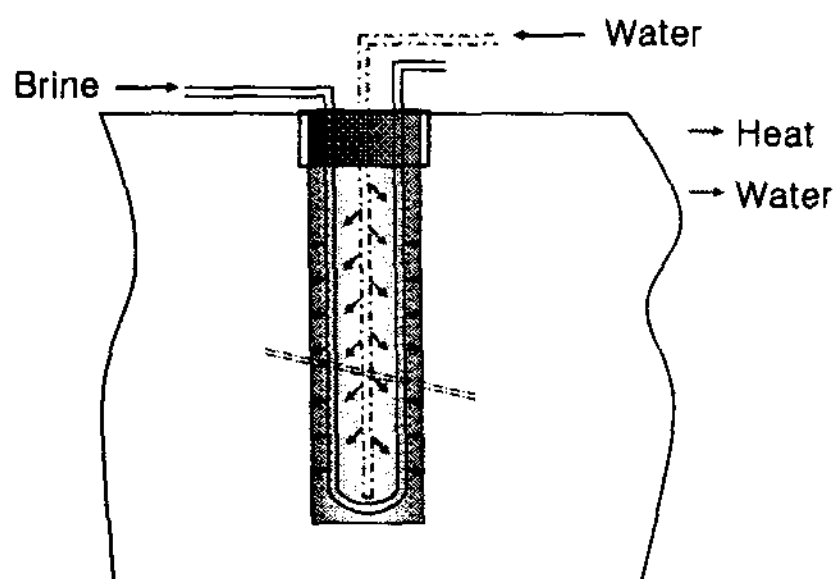


Fig. 1 Semi-closed ground heat exchanger

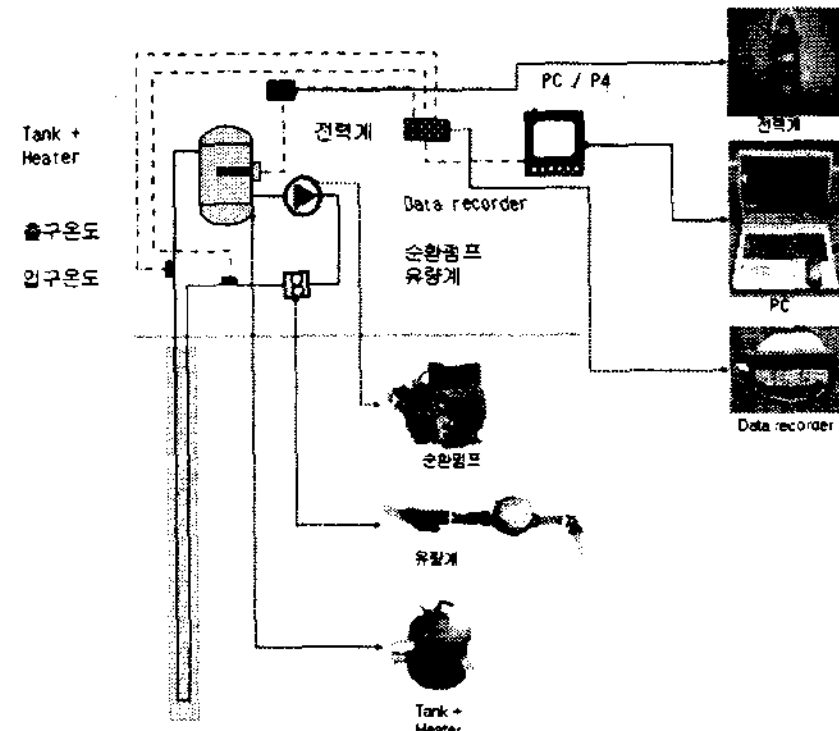


Fig. 2 Schematic of in-situ thermal response test equipment

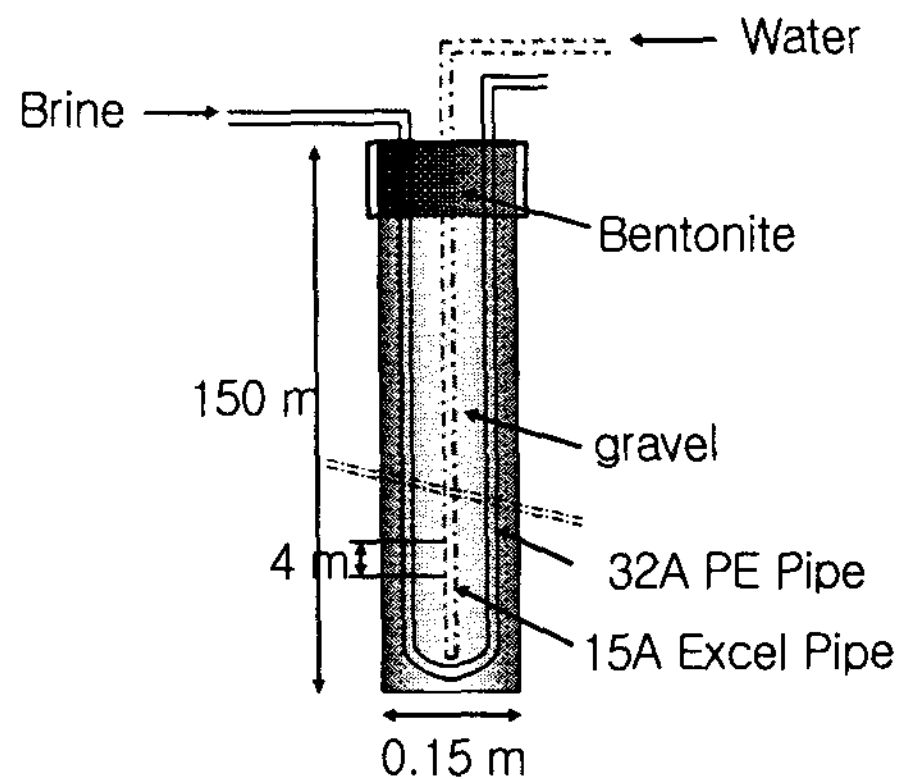


Fig. 3 Specifications of semi-closed ground heat exchanger



Fig. 4 Gravel for grouting

3.2 실험 방법

일반적으로 현장 열응답 시험에서 대두되는 문제는 시험 수행 시간이며 실제 현장 시험시간을 증가시켜가면서 그라우트와 지중의 열전도도를 측정는데 시간이 길면 길수록 정확한 값을 얻을 수 있다. 대체로 50시간 이상 측정하면 만족할 만한 결과를 얻을 수 있으며, 라인 소스 모델을 사용할 때의 오차도 줄일 수 있다.⁽⁴⁾

본 연구에서는 이와 같은 결과를 토대로 투수량을 0.0 ton/h부터 0.2 ton/h씩 증가시키면서 약 48시간 이상 실험을 수행하였으며 온도, 유량 및 전력량을 1분 간격으로 저장하였다. 그리고 측정 결과는 라인 소스 모델에 근거한 다음의 식으로부터 유효 열전도도를 계산하였다.

$$k = \frac{Q}{4\pi mL} \quad (1)$$

4. 실험 결과 및 고찰

현장 열응답 시험에서 얻은 시간에 따른 지중 열교환기 입.출구에서의 순환유체의 온도와 이를 평균한 값 및 전력량의 변화를 Fig. 5에 나타내었다. Fig. 5는 엑셀관을 통한 투수가 없는 경우로서 56시간 이상 측정이 이루어졌으며 그림에 보인 바와 같이 실험 시작 약 400분 이후부터는 입.출구 온도차가 거의 일정하게 유지되었다. Fig. 6은 기울기를 구하기 위해 로그값으로 변환된 시간에 따른 순환 유체의 평균 온도 변화를 나타낸 것이다. 손⁽²⁾ 등이 적용한 방법에 따라 현장 열응답 시험 데이터를 라인소스 모델에 적용하기 위한 기준을 근거로 400분 이후의 데이터를 이용하여 구한 유효 열전도도는 그림에 표시된 바와 같이 3.21 W/m-K로 나타났다.

Fig. 7은 엑셀관을 통한 투수량이 0.4 ton/h일 때의 시간에 따른 지중열교환기 입.출구에서의 순환유체의 온도와 이를 평균한 값, 외기온도 및 전력량의 변화를 보인 것이다. Fig. 5에 약간 못 미치는 약 48시간 측정이 이루어졌으며 역시 약 400분 이후에는 지중열교환기 입.출구의 온도차가 일정하게 유지됨을 볼 수 있다. 그러나 전술한 바와 같이 수돗물을 사용하여 투수함에 따라 순환유체의 온도 변화가 외기의 영향을 받을 수 있었다. Fig. 8은 Fig. 7의 경우에 대해 로그값으로 변환된 시간에 따른 순환 유체의 평균 온도 변화를 나타낸 것으로 구해진 기울기를 이용하여 구한 유효 열전도도는 5.21 W/m-K로 나타났다.

최종적으로 투수량을 0.8 ton/h까지 증가시키

면서 구한 유효 열전도도는 Fig. 9에 표시한 바와 같이 나타났으며 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 투수량이 증가함에 따라 지중의 유효 열전도도가 선형적으로 증가하며 투수량 시험 범위내에서 2배 이상 증가하였다.

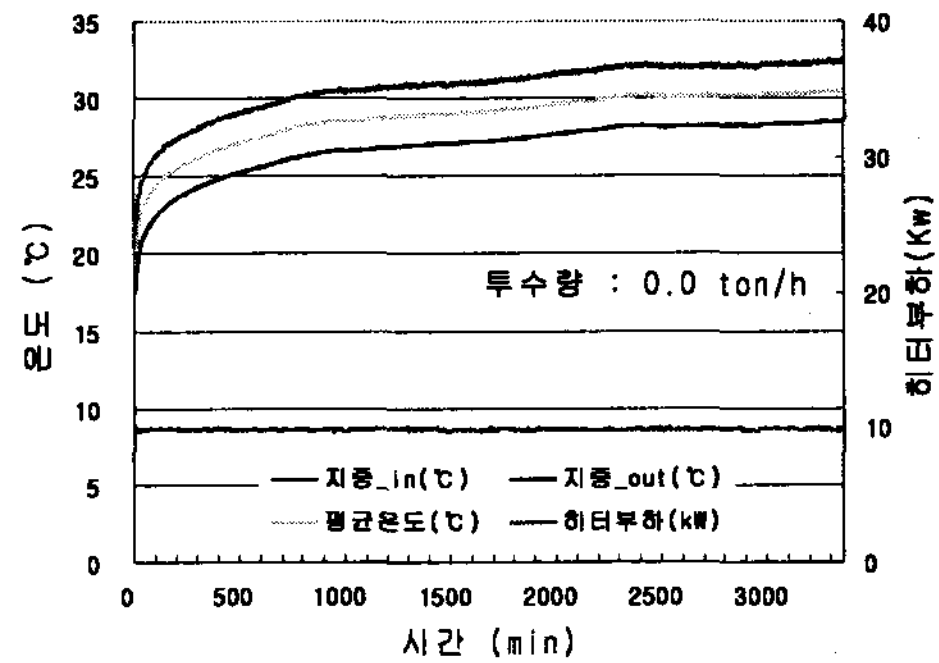


Fig. 5 Variations of temperature and input power with time (PWFR=0.0 ton/h)

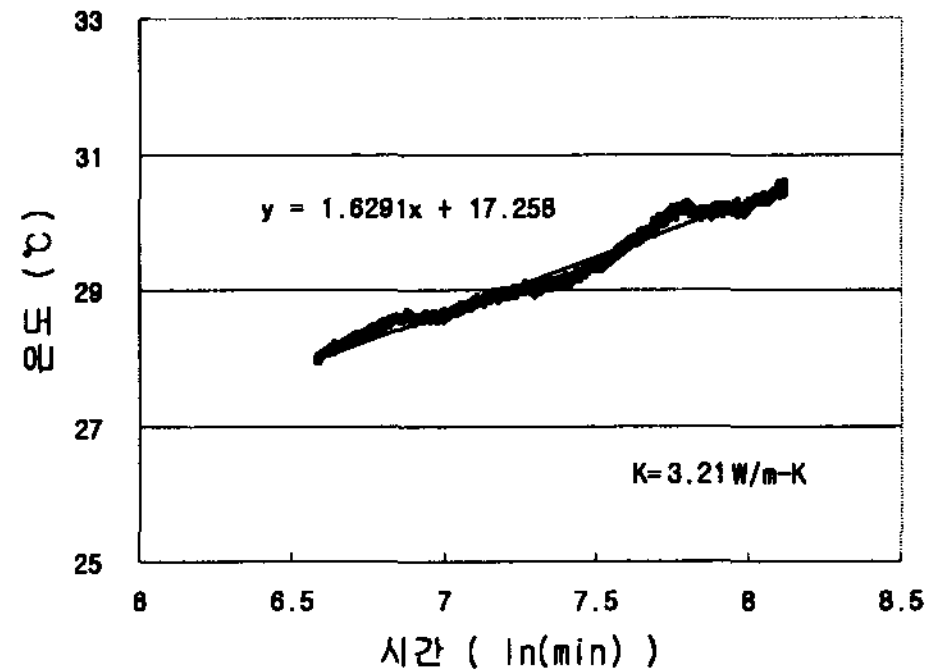


Fig. 6 Variations of temperature with logarithm time scale (PWFR=0.0 ton/h)

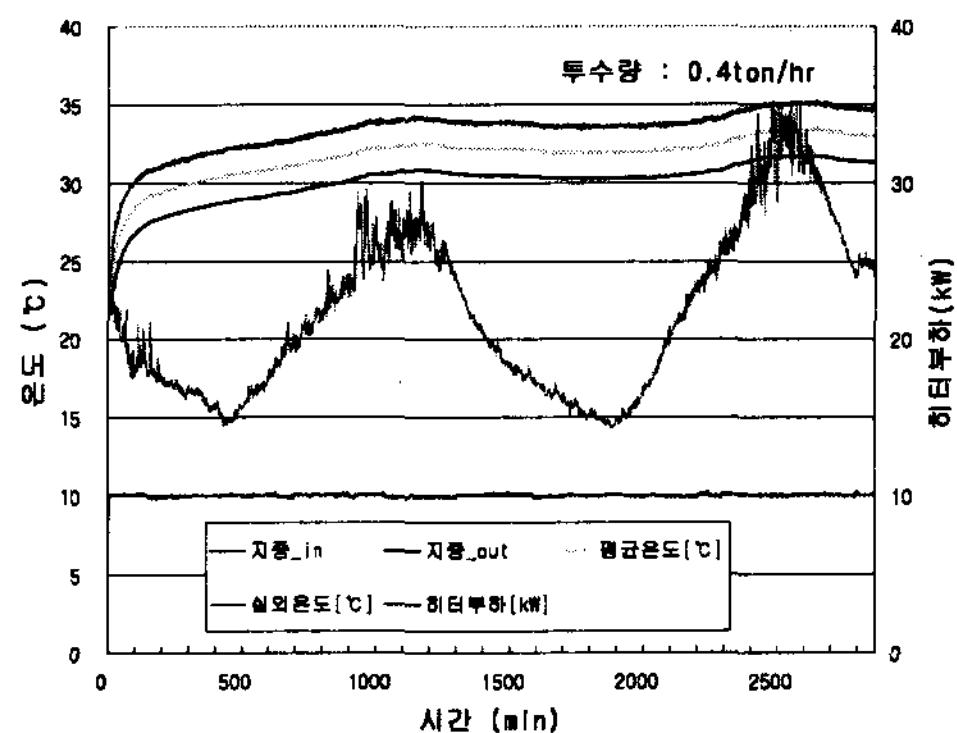


Fig. 7 Variations of temperature and input power with time (PWFR=0.4 ton/h)

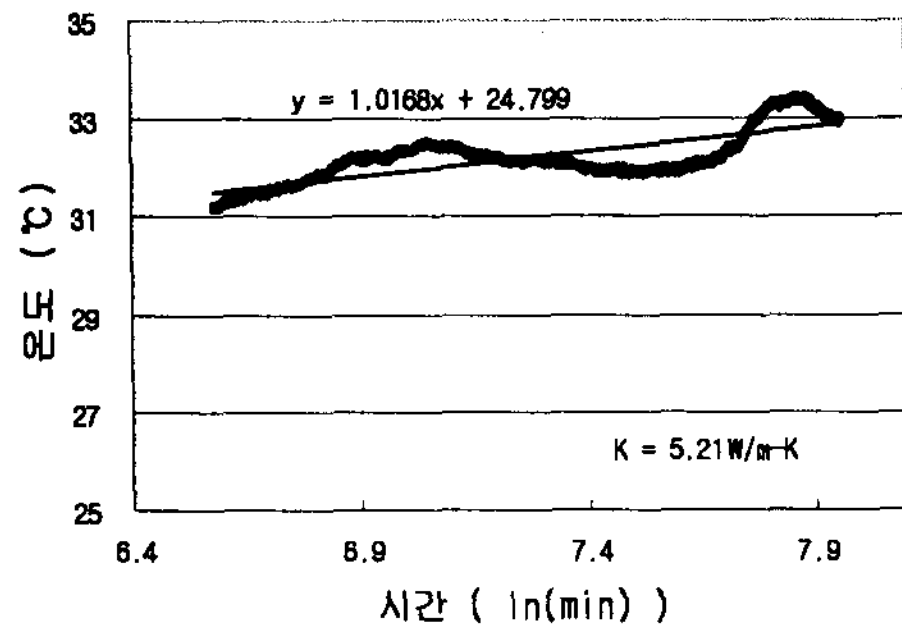


Fig. 8 Variations of temperature with logarithm time scale (PWFR=0.4 ton/h)

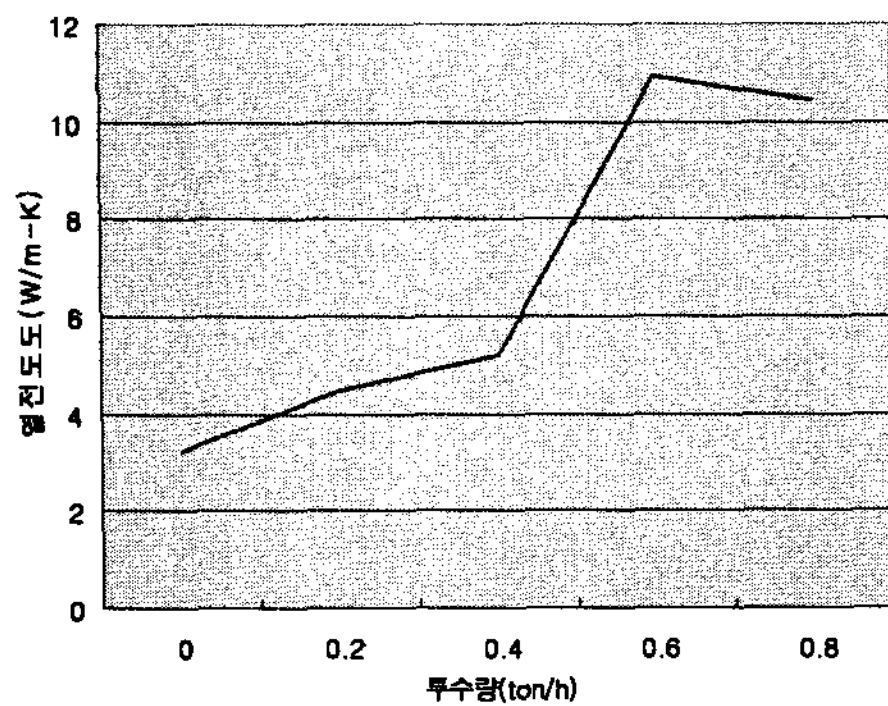


Fig. 9 Variations of effective thermal conductivity of ground with PWFR

그러나 투수량이 0.4 ton/h에서 0.6 ton/h으로 변화할 때 나타난 급격한 유효 열전도도의 증가와 0.8 ton/h으로 증가할 때 다시 감소하는 현상은 재현 시험을 통하여 더 규명할 필요가 있다고 판단된다. 또한 0.8 ton/h의 유량을 5°C 정도의 온도차로 직접 열교환하여 얻을 수 있는 열량은 4.7 kW 정도가 되므로 이를 직접 이용하는 방법과 앞에서 보인 바와 같은 지중열교환기의 성능 향상을 통하여 얻을 수 있는 간접적인 방법 즉, 히트펌프 시스템의 용량 및 성능 향상에의 기여도 등과의 비교는 실제 히트펌프 시스템의 운전을 고려하여 상세히 검토할 필요가 있다고 판단된다.

5. 결론

본 연구에서는 지중열교환기의 성능 향상을 목적으로 밀폐형의 지중열교환기 그라우트 부분으로 일정량의 물을 흘려보내는 반밀폐형 지중열교환기를 제안하였다. 제안된 반밀폐형 지중열교환기에 대하여 투수량에 따른 지중의 유효 열전도도를 현장 열응답 실험을 통하여 구한 결과 투수량이 증가함에 따라 지중의 유효 열전도도가 선형적으로 증가하였으며 투수량 실험 범위 내에서 2배 이상

증가하였다.

그러나 일부 범위에서 경향이 크게 바뀌는 현상에 대한 규명과 투수량으로부터 얻을 수 있는 지중 열교환기 성능 향상과 투수 열량의 직접 이용 등과의 비교 등을 위해서는 추가적인 연구가 필요하다.

References

- [1] 에너지관리공단 신.재생에너지센터, 2005년 신재생에너지통계(2006년판), 2006, p. 15.
- [2] 손병후, 신현준, 박성구, 2005, 지중 열교환기 보어홀에서의 유효 열전도도 및 열저항 산정, 설비공학논문집, 제17권, 제8호, pp. 695~703.
- [3] 김진상, 김옥중, 박준택, 2003, 지열이용 히트펌프 시스템, 설비, 제20권, 제7호 pp.71~pp.83.
- [4] 고득용 외, 2006, 부하추종형 고효율 지열히트펌프 시스템 개발 최종보고서, 산업자원부.