

碩士學位論文

지열원 열펌프를 적용한 농업용
난방시스템에 관한 연구



濟州大學校 大學院

機械工學科

高 東 觀

2010年 2月

지열원 열펌프를 적용한 농업용 난방시스템에 관한 연구

指導教授 玄 明 擇

高 東 觀

이 論文을 工學碩士學位 論文으로 提出함

2010年 2月

高東觀의 工學碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 _____ 印

委 員 _____ 印

委 員 _____ 印

濟州大學校 大學院

2001年 2月

A Study on Heating System Applied
Ground Source Heat Pump(GSHP) for the
Agriculture

Dong-Gwan Ko

(Supervised by Professor Myung-Taek Hyun)

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the
Requirement for the Degree of Master of Engineering

Department of Mechanical Engineering
Graduate School
Jeju National University

2001. 2

목 차

List of Figures	ii
List of Tables	iv
Nomenclature	v
Summary	vi
I. 서 론	1
1-1 연구의 필요성	1
1-2 연구의 목적	2
II. 제주지역의 지열 이용	3
2-1 지열에너지	3
2-2 제주지역의 지형 및 지질 특성	4
2-3 제주지역의 지온 특성	6
2-4 지중공기에 의한 지열의 이용 및 특성	7
III. 시험 장치 및 방법	19
3-1 지중공기 열원 열펌프 시스템	19
3-2 성능 시험 장치	20
3-3 시험 방법	21
IV. 성능 시험 결과	27
4-1 성능 시험 개요	27
4-2 지열 취득량 예측	27
4-3 운영 특성 시험	29
4-4 성능 평가	30
V. 결 론	51
참고문헌	52

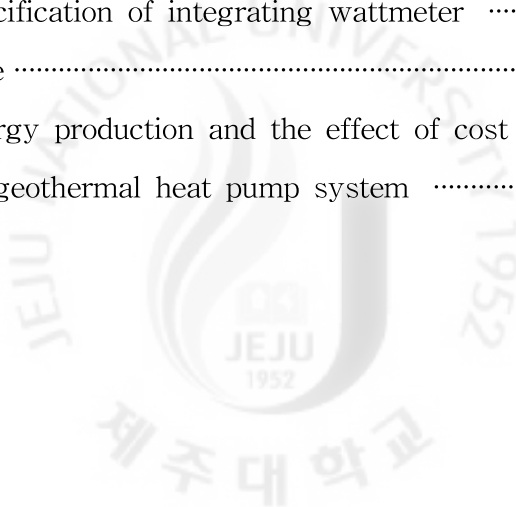
List of Figures

Fig. 2-1 The geological map in Jeju	12
Fig. 2-2 The geologic columnar section in boring points of underground water(latitude, longitude)	14
Fig. 2-3 The photo of the boring point	15
Fig. 2-4 The geologic columnar section and geothermal gradient in the boring point	15
Fig. 2-5 The fluctuation of temperature during a day at the classified depth of underground	16
Fig. 2-6 The mechanism for the occurring underground air	17
Fig. 2-7 The process of the immediate utilization by the underground air	17
Fig. 2-8 The fluctuation of physical characterizations for the underground air(X, Y)	18
Fig. 3-1 The schematic of heating and cooling system applied a compression heat pump	24
Fig. 3-2 The heating and cooling system by the heat pump system using the underground air heat source	24
Fig. 3-3 The installation of the circulating loop for water loop	25
Fig. 3-4 The air conditional system	25
Fig. 3-5 The heat tank and fan-coil unit	26
Fig. 3-6 The installation of the flow meter	26
Fig. 4-1 The test site	33
Fig. 4-2 The simulated result for the absorbed geothermal at the temperature of underground air, 18°C	34
Fig. 4-3 The simulated result for the absorbed geothermal at the temperature of underground air, 17°C	34

Fig. 4-4 The simulated result for the absorbed geothermal at the temperature of underground air, 16°C	35
Fig. 4-5 The simulated result for the absorbed geothermal at the temperature of underground air, 15°C	35
Fig. 4-6 The simulated result for the absorbed geothermal at the flow rate of underground air, 100m ³ /min	36
Fig. 4-7 The simulated result for the absorbed geothermal at the flow rate of underground air, 80m ³ /min	36
Fig. 4-8 The working progress for the system(17, March)	37
Fig. 4-9 The working progress for the system(20, March)	38
Fig. 4-10 The working progress for the system(21, March)	39
Fig. 4-11 The working progress for the system(22, March)	40
Fig. 4-12 The working progress for the system(24, March)	41
Fig. 4-13 The working progress for the system(6, April)	42
Fig. 4-14 The working progress for the system(9, April)	43
Fig. 4-15 The working progress for the system(11, April)	44
Fig. 4-16 The working progress for the system(12, April)	45
Fig. 4-17 The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger with the working during 45 hour	46
Fig. 4-18 The temperature difference between inlet and outlet in the condenser of heat pump with the working during 45 hour	46
Fig. 4-19 The temperature difference of the cold water and the hot water with the working during 45 hour	47
Fig. 4-20 The quantity of absorbed geothermal and producted heat by heat pump system with the working during 45 hour	47
Fig. 4-21 The result of working the heat pump system for the cases(March)	48
Fig. 4-22 The result of working the heat pump system for the cases(April)	49
Fig. 4-23 The result of working the heat pump system for the days(March)	50
Fig. 4-24 The result of working the heat pump system for the days(April)	50

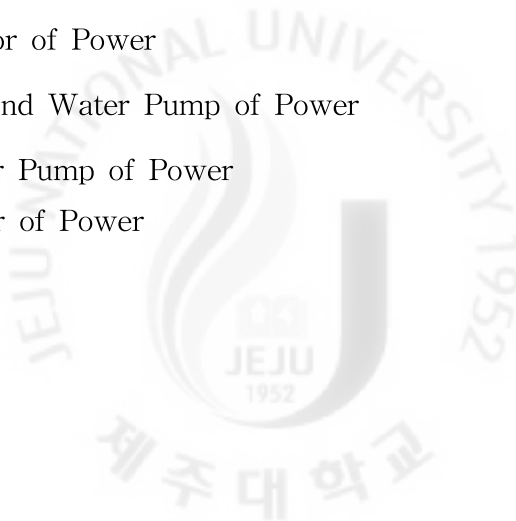
List of Tables

Table 2-1 The geothermal heat flow for geological and geophysical characterizations	10
Table 2-2 Physical characterizations of the underground air	10
Table 2-3 The environmental characterization of the underground air	11
Table 3-1 The specification of the installed heat pump system	23
Table 3-2 The heat exchanger of underground air heat source	23
Table 3-3 The specification of flow meter	23
Table 3-4 The specification of integrating wattmeter	23
Table 4-1 Test site	32
Table 4-2 The energy production and the effect of cost reduction by the geothermal heat pump system	32



Nomenclature

TOE	: Tonnage of Oil Equivalent
Q	: Flow Rate
W	: Humidity Ratio
m_a	: Mass flow rate of Condensation water
m_v	: Mass flow rate of Vapour
h_{fg}	: Latent Heat of Condensation
q	: Quantity of Absorbed Geothermal
\dot{V}	: Underground Air of Flow Rate
W_c	: Compressor of Power
W_{P1}	: Underground Water Pump of Power
W_{P2}	: Hot Water Pump of Power
W_B	: Fan Motor of Power



Summary

Geothermal energy is the energy contained as heat in the Earth's interior, and is divided into deep geothermal and shallow geothermal in the formation of energy. The geothermal energy in Korea is mainly used shallow. In shallow, the scheme of geothermal energy is heat pump, influenced by physical characterization of geological constitution, for the space heating and cooling

The shallow geothermal characterization, as the geothermal gradient and geothermal heat flow, is attributed to geologic columnar section and rock material. In Jeju, it is the structure of shield volcano and is construct most of volcanic rock contained air holes and caves into the ground. The distribution of geologic columnar section present to pile up alternately the layer of rock and the volcanoclastic. As the peculiar geologic columnar section, the air and waterdrop ordinarily remain on the volcanoclastic. This air, being to circulate through the volcanoclastic between underground and the atmosphere, is to call as underground air.

This paper investigate the characterization of shallow geothermal resources for the utilization of geothermal energy in Jeju. It is investigated the characterization of underground air and the practicality for the geothermal heat pump used the heat source of underground air.

For the utilization of geothermal energy in Jeju, it is investigated the characterization of underground air and the utilization of geothermal heat pump by circulating the underground air. On the underground air, it is the temperature, about 17 to 22°C and the flow rate, 1.3 to 2.3m³/s. And the environmental quality is very clean. It is installed the geothermal heat pump to warm the greenhouse. The result is that the capacity is 65~70kW and the COP of total system is 2.7~3.1. And it is absorbed 40~45kW to the geothermal heat exchange.

I. 서론

1-1 연구의 필요성

최근 화석 에너지(석유, 석탄) 가격의 급등으로 인한 에너지 절감과 기후 변화에 따른 이산화탄소 감축의 필요성으로 신재생에너지의 개발과 이용이 절실해지고 있다. 따라서 국가적으로 신재생에너지 이용을 장려하고 있으며 1990년 80만 TOE에서 2007년 484만 TOE로 년 평균 10% 이상 급격한 성장을 보이고 있다. 우리나라 신재생에너지의 이용은 풍력, 태양열(광) 등 발전사업과 같은 대형사업 위주로 보급이 이루어져 왔으나 최근 미활용되고 있는 지열 에너지 및 해수 에너지 등에 대한 에너지원 발굴 및 설치 이용에 관심이 높아지고 있다.

지열 에너지는 지구 내부에 포함되어 있는 에너지로 태양열 및 풍력과 달리 기후적 영향에 덜 민감하고 연중 이용가능하다. 또한 매우 많은 부존량을 가지고 있으며 매우 청정한 에너지이다. 그러나 상대적으로 에너지 밀도가 낮고 지역적인 제약성을 가지고 있다. 최근 저온 지열에너지를 이용하기 위해 열펌프를 적용한 시스템 기술의 도입과 발전으로 지열 이용에 지역적 제약성이 많이 해소되어 지열원 열펌프 시스템을 중심으로 세계적인 이용이 확대되고 있다[14], 15].

제주지역의 산업은 농축산업 및 수산업의 1차 산업과 관광 등 3차 산업을 기반으로 하는 산업 구조를 가지고 있다. 특히, 상대적으로 많은 에너지를 소비하는 시설 농업, 축산업 그리고 양식업 시설이 많이 보급되어 있다. 하지만 최근 에너지 가격 급등은 산업 경쟁력 약화에 결정적인 요인이 되고 있다. 따라서 청정에너지 발굴과 이용은 지역산업의 경쟁력 강화, 청정이미지 제고 및 지역의 에너지 자립도 향상을 위해 반드시 필요하다. 제주지역에서 지열에너지 이용은 지열원 열펌프 시스템인 수직형 2개소, 수평형 1개소가 보급되어 운영되었고 있다. 그러나 이용 평가에 있어 만족스러운 결과를 얻지 못하므로 인해 지열에너지 이용이 부적절한 지역으로 인식되어 왔다. 이러한 이유는 제주 지역이 화산활동에 의해 생성된 지질 구조로 지하 공동층이 발달되어 있고 주요 구성 암석인 현무

암은 많은 기공을 포함하고 있어 지열 취득에 직접적인 영향을 미치는 암반의 열전도 계수가 타 지역보다 작다. 따라서 기존의 지중열교환기에 의한 지열 취득 효율이 떨어지게 되어 지열원 열펌프 시스템의 효율성과 경제성이 떨어지기 때문이다.

최근 제주지역이 갖는 지질 특성을 이용하여 공기를 순환시켜 지열을 취득할 수 있는 방안이 개발되었으며 농축산 분야에 직접 냉방이나 난방에 이용하고 있다. 그러나 지역적으로 지열에너지에 대한 불신 문제와 직접이용방식이 갖는 제약성(16℃ 이상 가온 불가)으로 인해 우수한 경제성에도 불구하고 이용 및 보급에 한계를 겪고 있다. 따라서 지중공기를 이용한 새로운 방식의 지열 열교환기와 이와 연계한 열펌프 시스템에 대한 연구가 필요하다.

1-2 연구의 목적

제주 지역은 다수의 분출구에서 수십 회에 걸친 화산활동에 의해 생성된 화산섬으로 위치에 따라 암상 구조뿐 아니라 암층의 두께, 종류 등이 다르게 나타난다. 또한 용암분출과 화산재 분출의 반복으로 지층 구조는 매우 복잡하게 나타나며 지중에 용암동굴과 같은 대형 공동뿐만 아니라 지층 중간에 용암쇄석 등으로 인해 많은 공동이 형성되어 있는 구조를 갖는다. 따라서 대기와 지중 내부가 공기 순환작용이 일어나고 있으며 이러한 순환 공기(이하 지중공기)를 열매체로 하여 열에너지를 획득할 수 있다.

본 연구에서는 지중공기의 열유체학적 특성을 조사하고 이를 바탕으로 공기 순환에 의해 지열 취득 가능량을 예측한다. 또한 지중공기 순환에 의한 지열 열교환기가 적용된 열펌프 시스템에 관한 지열 취득량, 용량, 성적계수 등을 측정·분석하고 기존 난방 방식과의 경제성 비교를 통해 제주지역의 지열 이용 효율성을 입증하고 지역의 지열 이용확대에 기여하고자 한다.

II. 제주지역의 지열 이용

2-1 지열에너지

지열은 태양과 지구표면 그리고 지구내부의 에너지 평형에 의해 생성되는 에너지를 말한다. 지열은 대부분 지구 내부의 방사성 동위원소의 붕괴과정에서 생성되며 지구 중심과 지표면 사이의 지열 구배(geothermal gradient)에 의해 지표면으로 이동하여 지구 외부로 방출된다. 지구가 외부로 방출하는 총에너지량은 약 4천2백만MW이며 평균 지열류량은 약 87mW/m²이다. 지열은 생성원 특성에 따라 크게 천부지열과 심부지열로 구분된다. 천부지열은 지구 내부에서 전해지는 에너지와 태양의 복사 에너지가 대기의 온도의 변화에 따른 에너지 평형에 의해 형성되며 열적 특성은 지역적인 지질 특성과 계절의 영향을 받는다. 심부지열은 지구 생성 당시의 잔존 열과 방사성 동위원소 붕괴에 의해 발생되어 지구 내부로부터 전해지는 에너지로 지역에 따라 일정한 열적 특성을 가지며 심도에 따라 온도가 증가한다. 일반적으로 지열구배는 100m당 약 2~3℃ 정도를 가진다[1].

Table 2-1은 지층의 지층의 형성시기, 암석의 종류 및 암석의 분포지대에 따른 지열류량을 나타낸 것이다. 암석의 종류에 따라 차이를 보이는데 퇴적암층이 상대적으로 높은 지열류량을 가진다. 또한 암석 생성 시기 면에서 보면 생성 시기가 늦을수록 즉, 신생대>중생대>고생대>원생대>시생대 순으로 지열류량이 높게 나타나며 지각-맨틀의 경계지역이 가까워질수록 지열류량이 크게 나타나는 반면에 지각이 지표층에 가까워질수록 다시 작아지는 것을 알 수 있다.

지열 에너지 이용에 있어 국가별 이용현황을 살펴보면 전통적으로 신재생 에너지 이용에 관한 정책적 관심이 높은 스웨덴, 노르웨이, 아이슬란드 등 유럽 대부분의 국가에서 많이 이용되고 있다. 아시아 지역에서는 전반적으로 이용이 저조한 편이나 화산 지역이 많은 일본에서 많이 이용되어 왔고 최근 급격한 에너지 소비가 급증하고 있는 중국에서도 지열에너지 이용이 급증하고 있다. 우리나라는 과거 지열에너지의 이용방안에서 난방 혹은 발전 설비 등에 필요한 고온을

얻을 수 있는 지역이 없기 때문에 이용 설비는 매우 저조한 편으로 나타나 있다. 최근 저온 지열에너지를 이용하는 지열원 열펌프 기술의 발달과 신재생에너지 보급을 위한 정책적 지원으로 꾸준히 증가하고 있다[2].

2-2 제주지역의 지형 및 지질 특성

제주지역은 장축이 약 74km, 단축이 약 32km이며 면적이 1,825km²이며 1950m의 한라산을 중심으로 층상 화산(shield volcano)의 구조로 된 화산섬이며 일부 해안 지역의 퇴적암류를 제외하고는 섬 전체가 화산암류로 구성되어 있다. 섬 중앙부의 한라산을 중심으로 급격한 경사를 이루고 있는 반면 한라산채를 벗어난 제주 지역은 전체적으로 5°이내로 완만한 경사를 이루고 있으며 스킨리아(scoria)로 구성된 기생화산과 여러 군데의 분석구(cinder cone)가 발달되어 있다. 또한 화산쇄설층으로 구성된 응회환(tuff ring)이나 응회구(tuff cone)들이 서부지역인 고산리 일대, 서남부의 송악산 지역과 산방산 지역 그리고 동부지역의 일출봉 지역에 해안선을 따라 분포되어 있으며 북부지역에는 나타나지 않고 있다[3, 4].

제주지역은 화산활동에 의해 형성된 도서지역으로 지질구조나 구성 암석 형태에 있어 타 지역과 많은 차이를 보인다. 제주지역의 지질은 초기 지하수 개발과 관련하여 조사활동이 이루어졌고 그에 따른 지질도가 1968년에 최초로 완성되었다[5]. Fig. 2-1은 지질구상도의 축적과 조사연구 활동을 통해 2004년 지질도가 완성되어 현재 이용되고 있다. 제주지역의 지표 지질은 용암의 점성에 크게 좌우되며 '빌레'는 pahoehoe성 용암에 의해 형성된 암석 지대이고 '곶자왈'은 점성이 높고 온도가 낮은 용암에 의해 형성된 암석지대이다. 지표에 분포한 암석은 최소한 41회의 용암분출에 의해 형성되었으며 분출지역은 분출시기마다 분출위치가 다르며 분출지역에는 대부분이 분석구가 위치하고 있다. 지표에 분포한 분석구는 대략 350개 정도인데 이들 분석구는 대부분이 낮은 온도의 용암이 분출할 때 만들어진 것이며 분포 암석은 구성광물의 함량과 종류에 따라서 다음과 같이 크게 6종으로 구분된다.

○ 침상현무암(A) : 주로 제주지역 동측과 서측에 분포하며 높은 온도와 낮은 점성을 갖는 pahoehoe성 용암에서 형성된 암석으로 다량의 기공을 갖고 있으며 표면이 매끄러운 특징이 있다. 2mm크기의 장석이 침상으로 나타나며 장석은 조면 구조를 보이는 것이 이 암석의 특징이다. 일반적으로 두께는 1m 내외이나 고지형의 계곡을 채운 경우에는 두께가 수십 미터가 되기도 한다. 제주지역 형성기간에 5회에 걸쳐 분출하였다.

○ 감람석현무암(W) : 제주지역의 동측과 서측에 분포하며 pahoehoe성과 aa성의 중간 성격을 갖는 용암에서 형성된 암석으로 근원지 부근에서는 표면이 매끄러우나 멀리 흘러가면서 낮은 온도의 용암으로 바뀌어 많은 양의 크링커를 형성한다. 구성광물은 1mm크기의 감람석이 분포하는 특징이 있으며 기공은 2cm크기로 다소 길게 신장된 양상으로 나타난다. 부분적으로는 pahoehoe성 용암에서 형성된 침상현무암과 구분이 어려운 부분도 있다. 이 암석은 5회의 분출기로 구분된다.

○ 장석-휘석 조면현무암(D) : 대표적인 산출지는 주상절리가 잘 발달된 대포동 지역의 암석이 이에 해당된다. 제주시와 서귀포시 지역에 분포하며 낮은 온도 용암에 의해 형성된 암석이다. 이 암석의 표면에는 두꺼운 크링커가 형성되어 있는데 이런 표면을 갖는 암석이 분포한 지역이 곳자왈에 해당된다. 구성광물은 다량의 장석과 휘석이 반정으로 산점하며 장석과 휘석의 함량은 25~30% 정도이다. 이 암석은 5번의 분출기를 거치면서 형성되었다.

○ 휘석-장석 조면현무암(M) : 제주도 지표에서 가장 흔히 분포하는 암석으로 주로 제주도 동부에 분포하지만 서측에도 일부 분포한다. 낮은 온도 용암에 의해 형성된 암석으로 두꺼운 크링커를 형성한 것이 특징이다. 이 암석은 7mm 크기의 타형 모양을 갖는 투명한 사장석과 10mm 크기의 휘석이 1% 정도 산점하는 것이 특징이다. 이 암석은 15번 분출시기를 달리하면서 형성되었다.

○ 휘석-장석 조면현무암(S): 제주지역 중앙부에서 서귀포 쪽으로 넓게 분포한 암석으로 낮은 온도 용암에 의해 형성된 암석이다. 이 암석에는 자형의 사장석이 반정으로 25% 정도 함유되어 있는 것이 특징이며 휘석은 1~2% 정도 함유되어 있다. 분출시기를 달리하는 6번의 분출활동에 의해 형성되었다.

○ 조면암질암(T): 한라산 조면암, 산방산 조면암 등이 이에 속한다. 회색 내지는 담회색의 암석으로 치밀하고 쪼개짐이 발달한 것이 특징이다. 점성이 매우 높은 용암에서 형성된 것으로 한라산에서 제주와 서귀포 쪽으로 넓게 분포한다. 시기를 달리하는 4번의 분출에 의해 형성되었다.

그 이외에 퇴적층은 41번의 분출기 기간 동안에 낮은 지형을 쌓여 퇴적층을 형성하였는데 이 퇴적층은 그 당시의 좁고 긴 계곡에 국한되어 수평적인 연장성은 제한적이다. 퇴적층은 대부분이 미세한 스코리아로 구성되어 있으며 지표에 장기간 노출된 경우는 적황색의 점토로 변하기도 하였다. 퇴적층 위에 용암이 덮인 부분은 용암의 높은 열에 의해 구어지기도 하여 더 짙은 담황색으로 변해 있기도 하다. 그 이외 성산, 조천 일대에는 조개껍질로 구성된 풍성사구가 분포한다.

제주 지역은 도서지역으로 인해 과거부터 식수원 개발의 일환으로 많은 지하수 개발이 이루어져 왔으며 최근 지하수 자원의 고갈과 오염 방지를 위해 많은 관리가 이루어져 왔다. 따라서 지하수 개발과정에서 축적된 지질 주상도를 분석하여 지질 구조 특성을 분석하였으며 Fig. 2-2는 주요 지하수 천공 지역에 대한 지질 주상도를 나타낸 것이다. 제주도 전역에 걸쳐 암반과 용암쇄설층이 반복적으로 나타남을 알 수 있다[6].

2-3 제주지역의 지온 특성

일반적으로 지열에너지의 특성은 암상의 종류와 암상의 온도에 의해 달라지며 지열 에너지량은 지온 및 암상의 열용량에 지배된다. 따라서 암석 및 지질 구성

특성과 지온 변화는 지열에너지를 이용하는데 가장 기초적인 자료가 된다.

Fig. 2-3은 서귀포시 지역의 천공 현장이며 Fig. 2-4(a)는 그 지점의 지질 구조와 심도에 따른 암석의 사진을 나타낸 것이다. Fig. 2-4(a)에서 지질 주상도를 살펴보면 암반층과 용암쇄설층이 반복되어 나타나며 이는 화산활동에 의해 생성된 제주 지역에서 나타나는 보편적 지질학적 특성을 보이고 있다. 또한 Fig. 2-4(b)는 천공지의 심도별 지온 분포를 나타낸 것으로 심도별 지온 분포를 살펴보면 5m 부근까지 급격한 지온 변화를 보이는 반면 그 이후의 경우 지온 변화는 매우 작다. 또한 20m, 30m, 40m의 지점들에서 일반적인 지온 구배와 달리 온도 변곡점들이 나타나는데 지질 주상도(Fig. 2-4(a))상에 용암쇄설층에 해당하는 영역으로 암석의 열전도에 의한 온도구배와는 전혀 다른 특성을 보인다. 이러한 현상은 용암쇄설층에 존재하는 공기 및 지하 유입수에 의한 것으로 이러한 물과 공기가 정제된 것이 아니라 유동이 일어나고 있는 것으로 사료된다.

Fig. 2-5은 Fig. 2-3에 나타낸 천공지의 심도별 일 온도변화를 나타낸 것으로 일 온도변화는 지중 1m 약 5°C, 2m 약 4°C 그리고 5m 1.5°C 정도로 나타나고 있다. 또한 10m 이상에서는 $15\pm 1^\circ\text{C}$ 이내의 매우 낮은 온도 변화를 보이며 50m에서는 일 온도변화는 일어나지 않다는 것을 알 수 있다. 제주 지역의 지열 특성을 살펴보면 약 10m 정도에서 15°C 부근으로 빠르게 수렴하고 있을 뿐만 아니라 일간 온도변화가 타 지역과 달리 상대적으로 깊은 영역까지 영향을 받고 있는데 이는 지표 온도 변화가 빠르게 지하 내부로 영향을 미치는 특성을 나타내고 있다. 지중의 온도 변화 특성과 지질 구조 특성 그리고 지하수 유입속도(제주도의 지하수 유입속도는 타 지역에 비해 수~수십 배 빠름)등을 고려해볼 때 지표와 지중 간에 공기 순환이 이루어지고 있는 것으로 알 수 있다.

2-4 지중공기에 의한 지열의 이용 및 특성

제주지역의 지질은 암반과 용암쇄설층이 반복적으로 구성된 특성을 가진다. 또한 다수 지역에서 용암 분출로 인해 광범위한 암반 형성보다 소규모의 암반이 장시간에 걸쳐서 쌓여 형성되었다. 따라서 지표의 공기나 물의 지하로 유입되기

쉬운 구조를 형성하고 있으며 지하의 용암쇄설층과 화산활동에 의해 생성된 지하공동에는 많은 공기층이 있을 뿐만 아니라 공기나 물의 유동이 상대적으로 자유롭다.

Fig. 2-6은 지중공기 순환 원리를 나타낸 것으로 지표를 천공하고 강제로 공기를 흡입할 시 지하의 잔존했던 공기가 지중공기의 형태로 지표 외부로 유출한다. 또한 지표로 배출된 공기에 해당되는 양만큼의 공기가 지표로부터 지중으로(지표공기→지중 암반 및 용암쇄설층→천공부) 유입되어 순환되며 이때 공기가 지하의 암반과 용암쇄설층 등을 통과하는 과정에서 지열을 흡수(혹은 방출)하게 되며 이런 일련의 과정을 통해 지열을 얻을 수 있다. 또한 지하의 암반 혹은 용암쇄설층에는 지하수 유입과정중의 물이 존재하게 되며 이곳을 공기가 유동하게 되어 최종적으로 지표 외부로 배출될 때에는 100%에 근접하는 습도를 가지게 된다.

지중공기의 직접이용 시스템은 지하의 수십 미터(30~80m)의 공기(15~18℃)를 흡입하여 시설재배 시설(감귤류, 채소류, 버섯 등) 등에 냉·난방을 하는 시스템이다. 해수 유입 및 지하수원 파괴 등의 우려와 지중의 온도를 고려하여 표고가 30m 이상 지역에서 이루어지고 있으며 천공 심도 또한 표고에 따라 지하수 유입과 해수 유입 등을 고려하여 약 30~80m 내외로 천공이 이루어지고 있다. Fig. 2-7은 직접이용시스템을 나타낸 것으로 지하 천공부, 송풍기 및 제어장치, 냉·난방 덕트로 구성된다.

지하 천공부는 표고, 지질적 특성 등에 따라 30m~80m의 깊이와 20~50cm의 직경(현재 30cm를 주로 시설함)을 갖는 수직 지하공이다. 송풍기 및 제어장치로 구성된 송풍기 장치는 지하 천공부의 공기를 흡입을 위한 것으로 흡입력(압)이 상대적으로 큰 터보형 팬(fan)과 모터(motor)로 구성되었으며, 제어장치는 시설의 냉·난방 요구에 따라 시간 제어와 온도제어를 겸하고 있다. 냉·난방 덕트는 흡입된 공기를 시설 전체에 빠르게 분포하도록 하기 위한 것이다.

Table 2-2에 지중공기 이용지의 기본적인 열유체학적 특성을 조사하여 나타내었다. 지중공기 온도의 측정은 송풍기 출구에서 측정되어 송풍기의 열에 의해 실제 온도보다 약 1℃ 높게 나타난다. 지중공기 온도는 몇몇 특정 지역을 제외하고 표고가 낮은 지역은 18~19℃, 그리고 표고가 높은 곳은 16~17℃를 보이고 있다. 흡입공기량은 송풍기 용량에 영향을 받으며 5.5kW 용량의 송풍기에서는 1.3~

1.5m³/sec, 그리고 7.5kW 에서는 1.8~2.1m³/sec이다.

Fig. 2-8은 지중공기의 온도와 풍량에 대하여 약 6개월간에 걸친 주별 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 보면 온도의 연중 온도 변화는 1℃ 미만의 큰 변화는 일어나고 있지 않다. 육지부의 경우 지중의 온도는 대략 4~5월 중에 최하 온도를 보이는 일반적인 특성과 달리 지중공기의 경우 겨울철인 1~2월 중에 가장 낮은 온도를 보이고 있다. 이는 지표공기가 지중과의 순환되고 있음을 알 수 있다.

흡입되는 지중공기의 환경적 특성을 조사하기 위하여 제주 지역의 동부지역(가시리)과 서부지역(금릉리)에 대하여 각각 조사하였다. 그 결과 Table 2-3에 보이는 것과 같이 주요 환경오염 기여물질의 농도는 도심지 지역보다는 적게 나타나고 있으며 대부분이 청정 산림지역보다 적게 나타나고 있다. 이에 대기 환경학적으로 보았을 때 지중공기 이용 따른 환경 오염요소는 없다는 것을 알 수 있다.



Table 2-1 The geothermal heat flow for geological and geophysical characterizations

Rock type	Sedimentary	Sed./Vol.	Volcanic	Plutonic	Metamorphic
Average heat flow (mW/m ²)	71	68	-	67	62
Geologic time	Archean	Proterozoic	Paleozoic	Mesozoic	Cenozoic
Average heat flow (mW/m ²)	62	67	65	68	78
Moho depth (km)	29-30	30-31	31-32	32-33	33-34
Average heat flow (mW/m ²)	80	69	63	66	64

Table 2-2 Physical characterizations of the underground air

Boring position (X, Y)	Altitude (m)	Depth (m)	Physical characterization	
			Flow rate (m ³ /s)	Temperature (°C)
156177.196, 46762.163	117	40	1.90	18.7
141680.586, 44720.176	136	48	1.46	17.9
141683.698, 44722.314	122	62	2.11	16.8
132209.976, 34494.852	144	45	1.96	18.3
188801.014, 49051.156	53	40	2.12	18.9
129909.581, 28070.827	86	51	1.32	19.5
170614.331, 50410.687	119	49	1.53	18.5
131384.667, 35076.763	129	56	1.61	18.2
174894.058, 55124.927	60	42	1.53	19.5
180931.058, 38075.028	137	45	0.68	20.2
180929.738, 38060.860	99	45	2.32	18.4
128198.514, 29558.395	70	52	1.51	18.2
135520.179, 26432.479	155	40	1.91	19.1
174209.336, 29233.972	85	51	1.85	18.7
171548.582, 28930.263	139	68	1.52	18.5
162473.585, 26757.843	174	45	2.22	18.0
161520.806, 45807.495	367	55	1.31	16.0

Table 2-3 The environmental characterization of the underground air

-	CO (ppm)	SO2 (ppm)	NO2 (ppm)	Ozone (ppm)	Remark
Korea	~25	~0.15	~0.15	~0.10	Standards
Jeju	~15	~0.10	~0.10	~0.10	Standards
Region data (Jeju, downtown)	0.400~ 0.500	0.002~ 0.003	0.009~ 0.023	0.020~ 0.032	2000.1~2003.12 (the summer season, I-do dong)
Region data (Jeju, forest)	0.100~ 0.200	0.001	0.002~ 0.003	0.030~ 0.040	2001.1~2003.12 (the summer season, Chun-A Orm)
Measurement (Gum Rung)	0.035	0.000	0.002	0.003	One hour data
Measurement (Ga Si)	0.053	0.000	0.002	0.002	One hour data

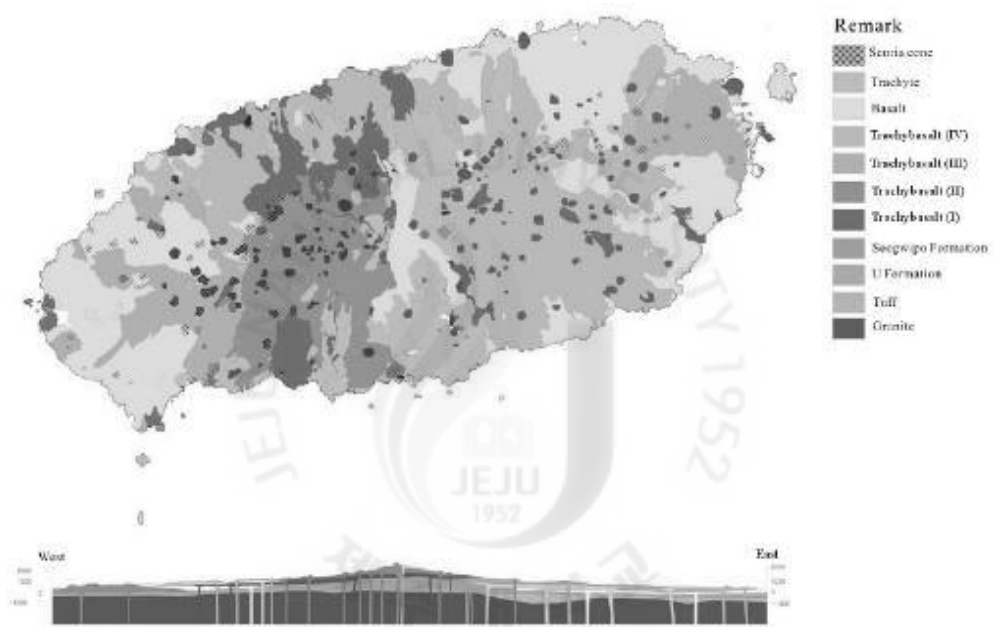
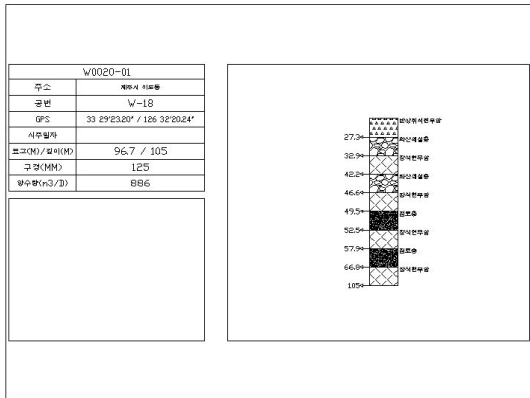
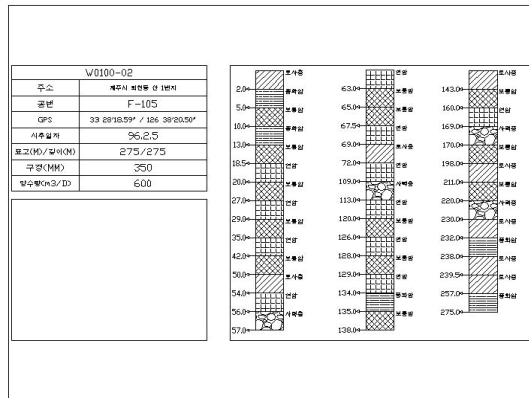


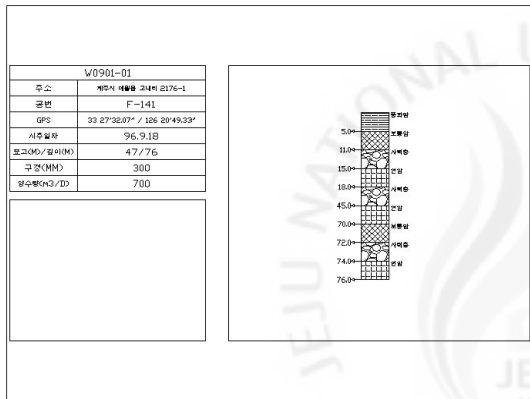
Fig. 2-1 The geological map in Jeju



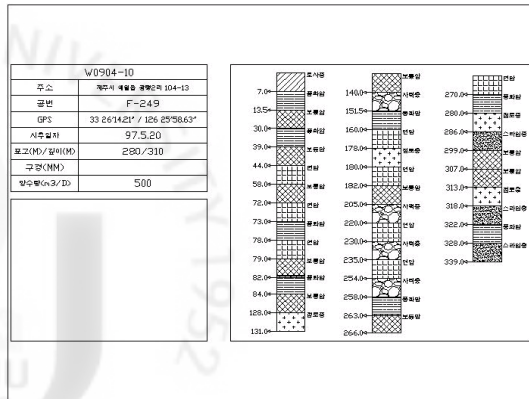
(a) 33° 29' 23", 126° 32' 20"



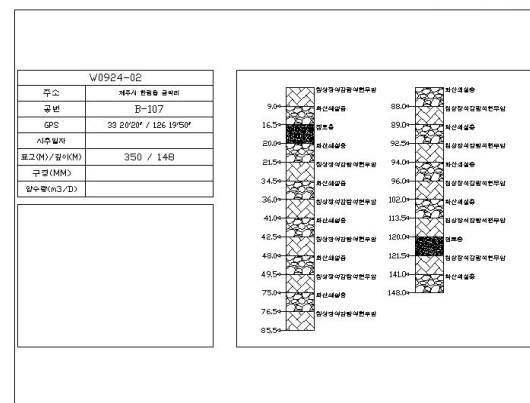
(b) 33° 28' 18", 126° 36' 20"



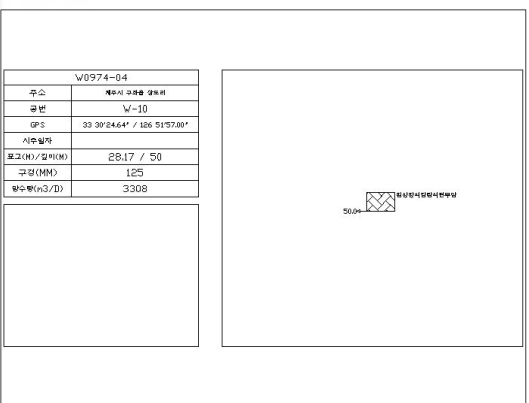
(c) 33° 27' 32", 126° 20' 49"



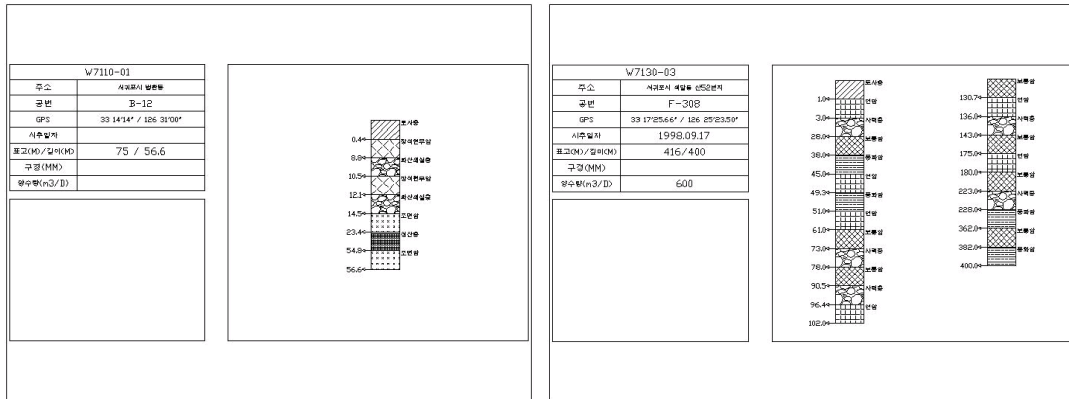
(d) 33° 26' 14", 126° 25' 58"



(e) 33° 20' 20", 126° 19' 50"

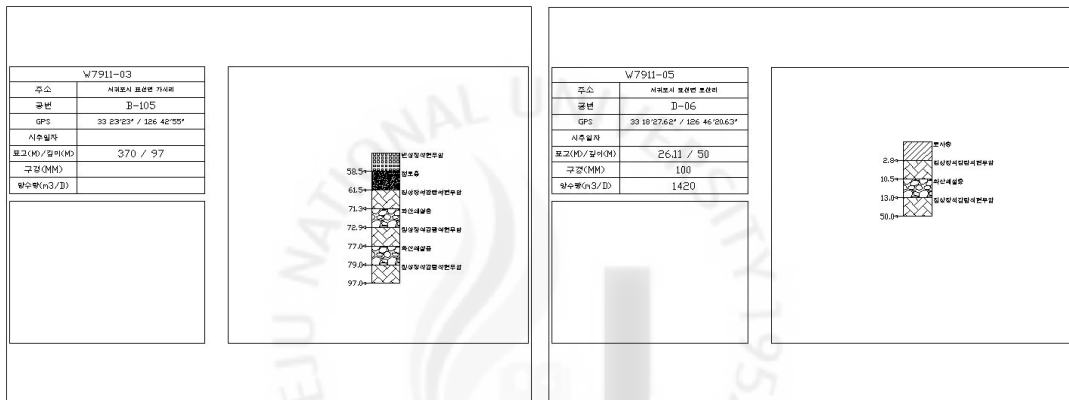


(f) 33° 30' 24", 126° 51' 57"



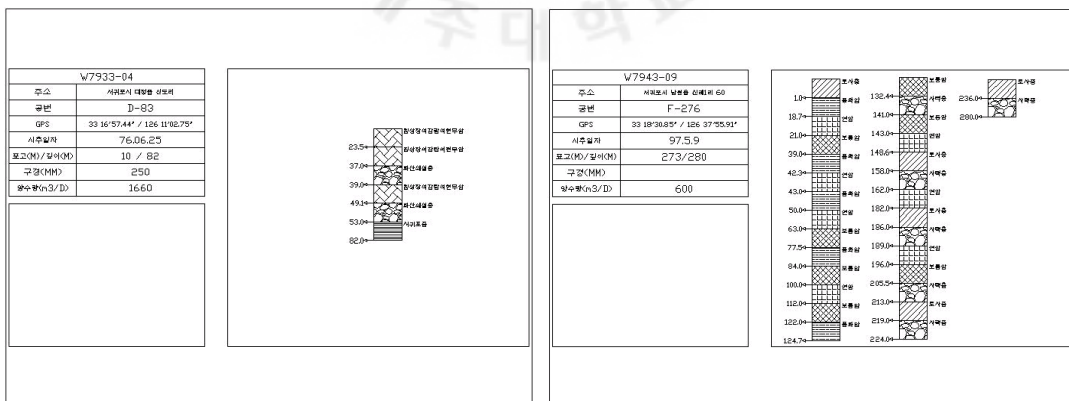
(g) 33° 14 ' 14 " , 126° 31 ' 00 "

(h) 33° 17 ' 25 " , 126° 25 ' 23 "



(i) 33° 23 ' 23 " , 126° 42 ' 55 "

(j) 33° 18 ' 27 " , 126° 46 ' 20 "



(k) 33° 16 ' 57 " , 126° 11 ' 02 "

(l) 33° 18 ' 30 " , 126° 37 ' 55 "

Fig. 2-2 The geologic columnar section in boring points of underground water(latitude, longitude)



Fig. 2-3 The photo of the boring point

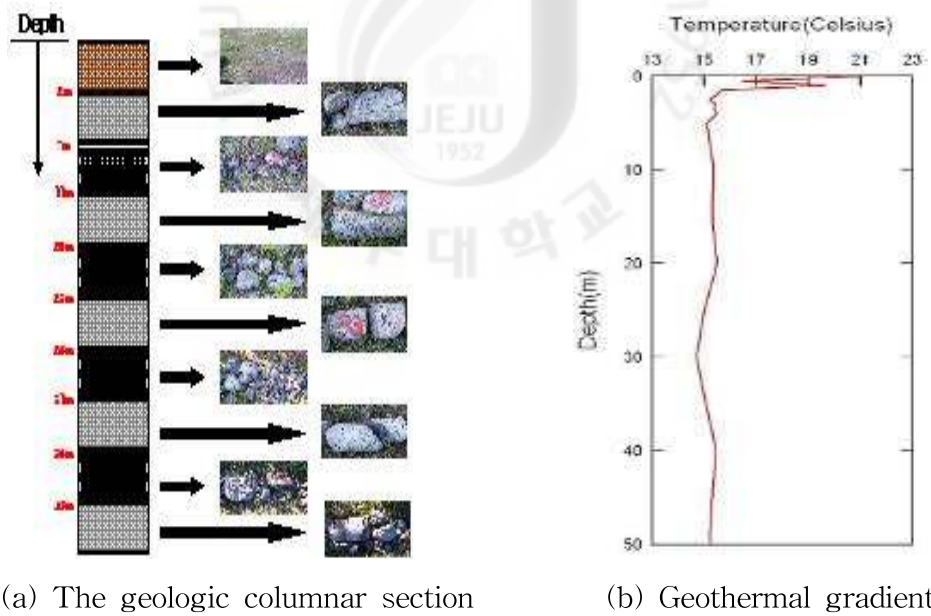
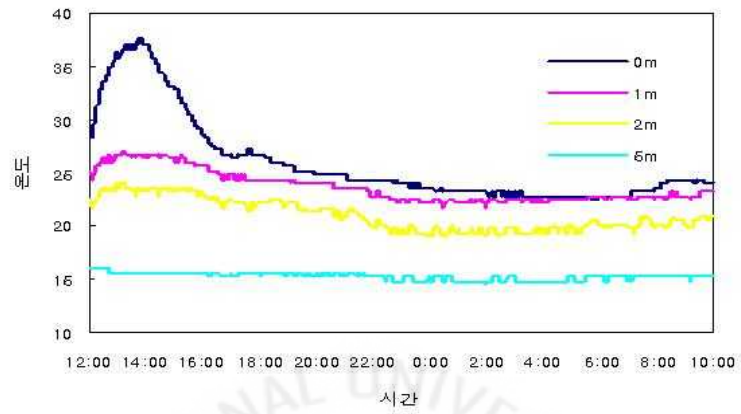
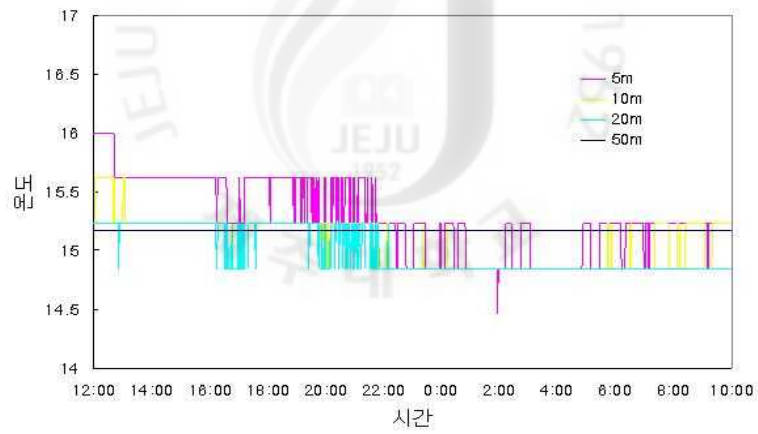


Fig. 2-4 The geologic columnar section and geothermal gradient in the boring point



(a) 0, 1, 2, 5m



(b) 5, 10, 20, 50m

Fig. 2-5 The fluctuation of temperature during a day at the classified depth of underground

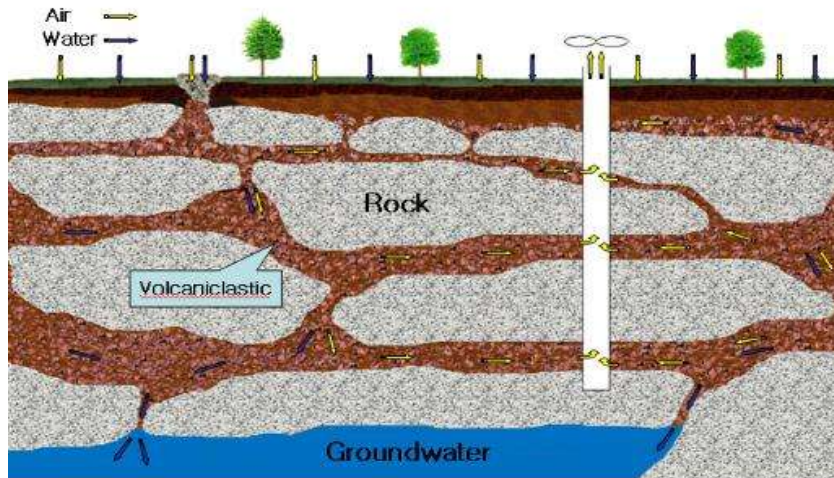


Fig. 2-6 The mechanism for the occurring underground air

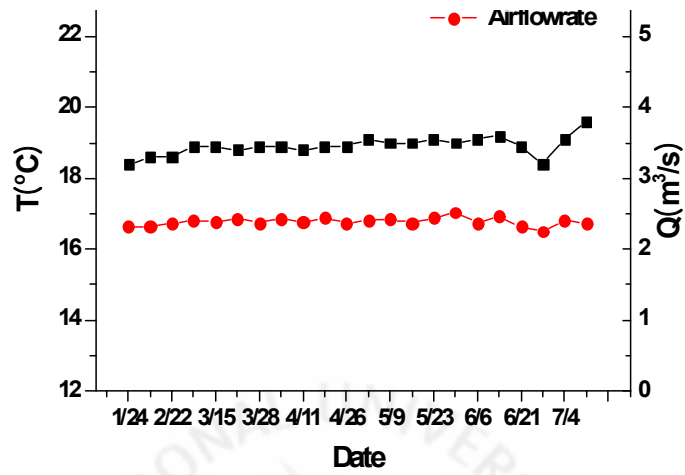


(a) The circulating system to underground air

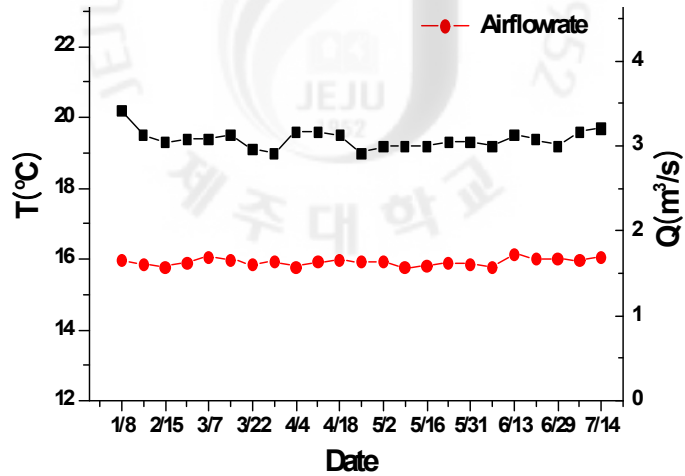


(b) The heating system in the greenhouse

Fig. 2-7 The process of the immediate utilization by the underground air



(a) the position(174209.336, 29233.972)



(b) The position(174894.058, 55124.927)

Fig. 2-8 The fluctuation of physical characterizations for the underground air(X, Y)

Ⅲ. 시험 장치 및 방법

3-1 지중공기 열원 열펌프 시스템

열펌프(heat pump)란 저온의 열을 흡수하여 고온으로 보내는 시스템을 말하며 지열원 열펌프인 경우 지열 특성상 저밀도 에너지로 인해 일반적으로 압축식 열펌프가 많이 쓰인다. Fig. 3-1은 압축식 열펌프시스템을 나타낸 것으로 증발기에서 증발하는 과정 중 외부의 열을 흡수하여 응축기에서 열을 방출하는 시스템이다. 이때 증발기의 흡수 열을 이용하여 냉방을 하고 응축기의 방출 열을 이용하여 난방을 할 수 있는 시스템이다. 열펌프의 동력원은 주로 전기에너지로 유해가스 배출이 없어 친환경적 시스템이며 기계적 안정성인 뛰어나다. 열펌프의 용량 및 성능 변화는 열원의 온도 변화에 따라 매우 민감하다. 난방 시 열원(저열원) 온도가 5℃ 이하 혹은 냉방 열원(고열원) 온도가 35℃ 이상이 되면 급격한 성능 저하가 발생하고 압축기의 과도한 동작으로 인한 기계적 손상 등 시스템이 불안정해지는 요인이 된다. 즉 열원 온도의 안정성은 성능뿐만 아니라 전체 시스템 안정성에도 중요하게 된다. 지열은 온도 변화가 미미하여 열펌프의 열원으로써 매우 우수한 특성을 가지고 있다. 따라서 지열을 열원으로 한 열펌프는 년 중 15~18℃ 내외의 안정적 열원으로 인해 시스템 안정성과 에너지 효율을 높일 수 있는 시스템이다.

Fig. 3-2는 본 연구에 적용된 지중공기 열원 열펌프 시스템이다. 지중공기가 대기로 배출하는 과정에서 지하공에 설치된 열교환 루프에 의해 열매체(물)로 열교환이 이루어지고 이를 열원으로 하여 열펌프를 구동하는 시스템이며 크게 지중공기 열을 취득하기 위한 열교환 시스템, 열펌프 시스템, 축열조 그리고 팬코일에 의한 공조 시스템으로 구성되어 있다.

열펌프 유닛(unit)의 주요 기기는 Table 3-1에 나타내었다. 지중공기 열원 열펌프 시스템은 지열 취득량에 의존하는데 개발 초기로 인해 지열 취득량에 대한 정량적 연구가 미미하여 시험을 위해 과다 설계를 실시하였다. 열펌프 유닛은 물

-물 열펌프이며 사용된 냉매는 R-22를 사용하였고 열교환기(증발기 및 응축기)는 판형 열교환기를 채택하였으며 팽창변은 최대 30HP이다. 또한 냉난방을 수행하기 위해 사방밸브를 적용하였다.

지중공기열 열교환기는 크게 지중공기를 얻기 위한 지중공기 취득 장치와 지중공기열을 지열수로 열교환하기 위한 지열수 순환루프로 구성되어 있다. 지중공기 취득 장치는 천공부의 공기를 흡입을 위한 것으로 흡입력(압)이 상대적으로 큰 터보형 팬(fan)과 모터(motor)로 구성되어 있으며 모터의 용량은 3.0kW를 사용하였다. 또한 지열수 순환루프는 지하공 측면에 순환루프를 설치하며 루프의 고정과 지중공기의 유동을 위한 유로관으로 구성되어 있다. 지중공기열 열교환기를 Table 3-2에 나타내었고 Fig. 3-3은 지열수 순환루프 설치 현장이다. 지열수 순환루프는 8조로 설치되어 있으며 유로관 총 길이는 1360m이고 직경이 25mm PE관이다.

Fig. 3-4는 공조방식으로 축열조와 팬코일 유닛으로 구성되어 있으며 실내(비닐하우스)에 설치된 팬코일 유닛에 의해 공조가 이루어진다. Fig. 3-5는 축열조로 30톤이며 비닐하우스 1580㎡에 팬코일 유닛 4조를 설치하였다.

3-2 성능 시험 장치

유량계는 열량계산을 위해 지열수 순환루프와 증발기 사이 그리고 축열조와 응축기 사이에 설치하였다(Fig. 3-6). 유량 측정 방식은 전자기 방식이며 특성을 Table 3-3에 나타내었다. 유량계는 4~20mA 전류신호를 출력하는데 전류 신호는 노이즈에 대해 민감하므로 전압 신호가 출력되도록 회로를 구성하였다. 또한 설치 후 보정(데이터로거의 데이터와 유량계 지시 값을 비교)을 하여 유량 환산을 하였으며 측정 단위는 5초 단위로 하였다.

- 유량 A (순환루프 라인)

$$Q(\text{유량}) = \frac{V(\text{data}) - 947}{179.15} \quad (3-1)$$

- 유량 B (축열조 라인)

$$Q(\text{유량}) = \frac{V(\text{data}) - 947}{119.43} \quad (3-2)$$

$$Q(\text{유량}) = \frac{V(\text{data}) - 950}{121} \quad (3-3)$$

온도 측정은 축열조 및 지열교환기 입출구와 지중공기 토출, 외기온도 등을 측정하였다. 온도센서는 열전대(T-type)를 이용 하였고 측정 단위는 5초로 실시간으로 저장되도록 하였다. 사용 전력량을 알기 위해 압축기, 지열수 순환루프 펌프, 축열조 순환펌프, 지중공기 흡입 송풍기 전력량에 대하여 개별적으로 측정하였다. 전력량 측정은 (주)한석테크의 원격 검침시스템을 사용하였으며 그 사양을 Table 3-4에 나타내었다.

3-3 시험 방법

현재 지중 열원 히트펌프 시스템의 성능은 국제 규격인 ISO-13256을 차용하여 성능이 인증되고 있으며, 물 대 공기(water to air) 열펌프인 경우 KS B ISO 13256-1(ISO-13256-1)을 적용하고 물 대 물(water to water) 열펌프인 경우 KS B ISO 13256-2(ISO-13256-2)를 적용하고 있다. KS B ISO 13256-1규격은 공장 에서 쓰이는 주택용, 상업용, 공업용 전기 운전식 기계압축식, 물-공기와 브라인-공기의 히트펌프에 대한 성능 시험 평가에 대한 규정이고, KS B ISO 13256-2는 가정용, 상업용 및 공업용의 물과 물, 그리고 염수와 히트펌프에 대한 성능 시험과 평가 기준으로 이 규격들은 ISO 13256-1과 2를 번역하여 기술적 내용을 변경하지 않고 작성한 한국 산업규격이다.

열펌프의 성능에 관한 시험 방법은 물 대 물 방식의 시험 방법인 KS B ISO 13256-2를 기초로 지중공기 순환에 필요한 송풍기 등의 영향을 추가로 하여 수행하였다. 시험 대상이 실제 난방 과정에서 이루어지기 때문에 분석을 위해 위

규정에 적합한 상황을 적용하여 실시하였고 성적계수 평가에 있어 기준의 지중 열원 열펌프 시스템에 없는 송풍기의 동력을 추가하여 실시하였다.



Table 3-1 The specification of the installed heat pump system

Element	Model	Maker	Capacity
Compressor	SY-300	DENFOSS	26kW
Condenser	ZL190-100	BURG	699×307×298(mm ³)
evaporator	ZL190-100	BURG	699×307×298(mm ³)
Expansion valve	TDEBX-30	DENFOSS	30HP
Refrigerant	R22	FOOSUNG	-

Table 3-2 The heat exchanger of underground air heat source

Boring part		Heat exchanger			Blower (kW)
Diameter (mm)	Depth (m)	Material	Diameter of pipe (mm)	Length (m)	
300	85	PE	25	1360	3.0

Table 3-3 The specification of flow meter

Maker	Model	Type	Deviation (%)	Max. flow rate (m ³ /h)
KFM IND., Ltd	KTM-800	Electromagnetic	±0.20	0~20
KFM IND., Ltd	KTM-800	Electromagnetic	±0.24	0~30

Table 3-4 The specification of integrating wattmeter

Maker	System	Model	Range(Amp.)
Han Suk Tech., Ltd	Telemetry system	TMS-3000	20, 50, 80, 120

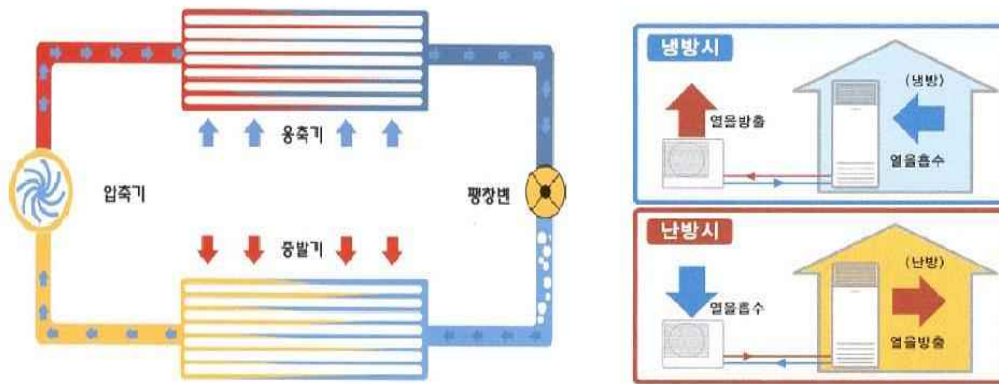
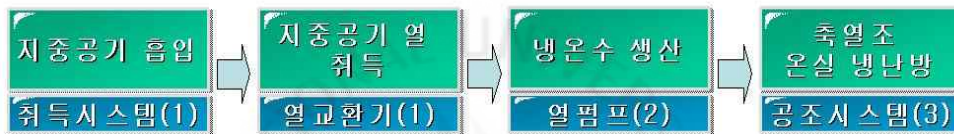
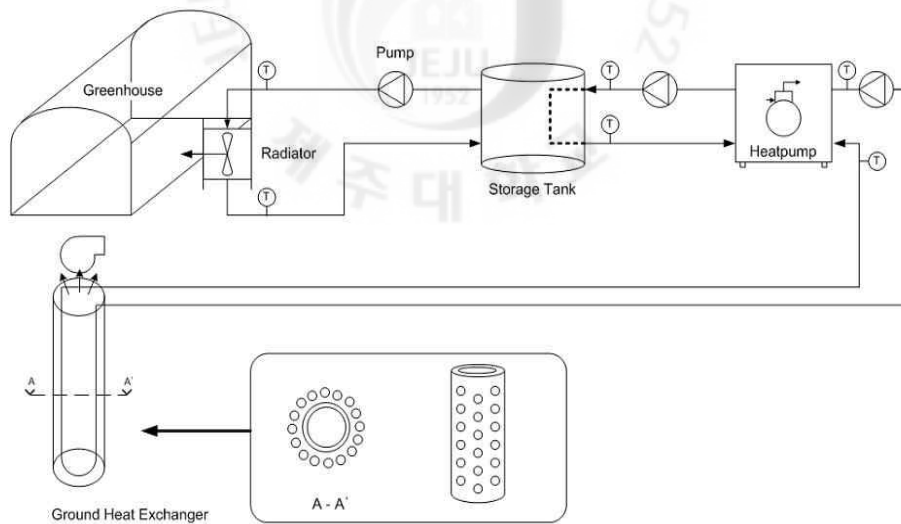


Fig. 3-1 The schematic of heating and cooling system applied a compression heat pump



(a) The mechanism of the system



(b) the schematic of the system

Fig. 3-2 The heating and cooling system by the heat pump system using the underground air heat source



Fig. 3-3 The installation of the circulating loop for water loop

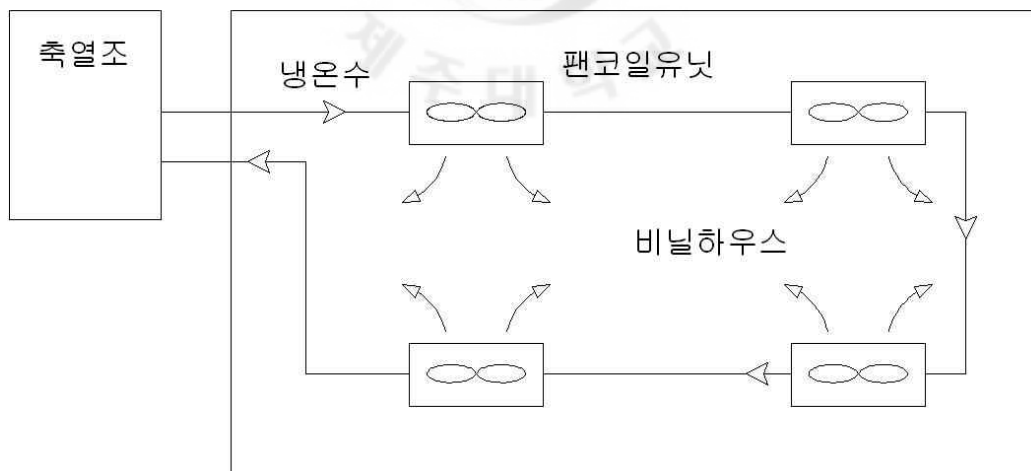


Fig. 3-4 The air conditional system



Picture 3-5 The heat tank and fan-coil unit



Fig. 3-6 The installation of the flow meter

IV. 성능 시험 결과

4-1 성능 시험 개요

성능 시험은 지중공기열 취득량 및 열펌프 적용 가능성을 위해 지열 취득량 평가와 열펌프의 성능에 대하여 실시하였다. Fig. 4-1은 시험장소의 전경을 나타낸 것이며 설치 시스템에 대한 사항은 Table 4-1에 나타내었다.

4-2 지열 취득량 예측

지중공기는 지표의 공기가 지중의 용암쇄설층을 통과하는 과정에서 열을 흡수하게 되며 이 과정에서 지하수로 유입되는 물과 접하게 된다. 따라서 포화과정과 유사한 과정을 거치게 되며 흡입되는 지중공기는 100%의 습도를 가지게 된다. 또한 열교환 과정에서 온도 강하에 의해 일부 수증기가 응축되며 최종적으로 배출되는 지중공기는 상대 습도가 100%인 상태로 배출된다. 따라서 열교환 가능량을 기초 조사로 통해 얻은 지중공기의 열유체학적 특성을 적용하고 배출 후 온도를 가정하여 다음의 과정에 따라 해석하였다.

습도비(humidity ratio), $W = m_v/m_a$ 는 습공기(moist air) 상태량 표에서 상태(온도, 압력)에 따라 얻을 수 있다. 여기서, m 은 질량이며 하첨자 a 는 공기, v 는 수증기 w 는 응축수를 의미한다. 단위 체적당 수증기량은 아래와 같이 얻을 수 있고 이때 순 공기량(m_a)은 일정하다고 다음과 같이 가정하였다

$$m_a = m_{a1} = m_{a2} \quad (4-1).$$

열교환 전 공기에 포함하고 있는 수증기량과 후의 수증기량은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$m_{v1} = W_1 \times m_{a1} \quad (4-2)$$

$$m_{v2} = W_2 \times m_{a2} \quad (4-3)$$

따라서 열교환 과정에서 응축 수증기량은

$$m_w = m_{v1} - m_{v2} \quad (4-4)$$

이다. 지열 취득량은 열교환 과정에서의 온도 변화에 의한 현열과 지중공기에 내포되어 있는 수증기의 응축 잠열의 합에 의해 결정된다. 따라서 지중공기 단위 질량당 지열 취득량(q)은 다음과 같다. 여기서, h 는 각 상태의 엔탈피(enthalpy)이며 h_{fg} 는 응축수의 응축 잠열이다.

$$q = m_a(h_1 - h_2) + m_a(W_1 - W_2)h_{fg} \quad (4-5)$$

따라서 지중공기의 풍량 조건(\dot{V})을 대입하면 단위시간당 얻을 수 있는 지열은 다음과 같이 계산할 수 있다. 여기서 ρ 는 밀도이고 \dot{V} 은 풍량이다.

$$Q = \rho \dot{V} q \quad (4-6)$$

Fig. 4-2 ~ Fig. 4-5에 지중공기의 온도에 따른 지열 취득량에 대해 예측하여 나타내었다. 그림에서 보면 온도 변화에 따른 지열취득량은 온도차가 클 때와 지중공기 온도가 상대적으로 클 때 더 크게 나타나고 있다. 예를 들어 지열 기초 조사에서 지중공기는 풍량 약 100m³/min, 온도가 16°C(송풍기에 의한 가열 효과 고려)라 가정할 때 열교환 후 배출 온도가 10°C인 경우 약 48kW의 지열을 취득할 수 있다.

풍량이 80m³/min과 100m³/min에 대하여 온도차에 따른 지열 취득량에 대하여 Fig. 4-6 ~ Fig. 4-7에 나타내었다. 지중공기가 16°C이상인 경우 온도가 감소함

에 따라 지열 취득량은 완만한 감소를 보이거나 16℃와 15℃를 비교하면 급격히 취득량이 떨어지는 것을 알 수 있다. 이는 온도가 떨어짐에 따라 지중공기 중에 내포된 수증기량이 감소 정도에 따른 영향으로 지중공기 내 수증기의 응축열에 급격히 감소하기 때문이다.

4-3 운영 특성 시험

지중공기 열원 열펌프 시스템에 대한 운영 실험은 시설농가의 난방 과정에서 수행하였고 난방 소비에 따라 시스템이 가동되어 대부분 야간에 운영되었다. 또한 시험 중 온수 라인 펌프를 교체하여 온수 라인의 유량에 다른 변화를 관찰하였다. 즉, 3월에는 유량이 9.8m³/h, 4월에는 19.5m³/h이다.

Fig. 4-8 ~ Fig. 4-12는 3월 데이터를 나타내며 지열수 온도변화, 지열 취득량 및 지열수 온도차 그리고 생산 열량을 나타낸 것이다. 그림에서 지열수 온도 변화를 살펴보면 가동 중에 야간부터 가동되는 경우 온도가 감소하여 8시경에 이르러 다시 온도가 상승하는 특성은 보이고 있는데 이는 야간에 온실내 가운데로 축열조 온도의 떨어져 열펌프의 응축기의 열교환 효율이 높아지기 때문이며 온도 감소는 약 1.5℃를 보이고 있다. 반면 지열수 온도는 7℃ 이상을 유지하고 있으며 지열수의 온도차는 오히려 상승하고 있다. 이때 지열 취득량은 약 40~45kW를 유지하고 있다.

또한 Fig. 4-13 ~ Fig. 4-16은 4월 데이터를 나타낸 것이다. 온수 라인의 유량을 증가 시켰을 때(4월 이후) 입출구 온수 온도변화가 작으며 열생산량 및 지열 취득량이 안정화되고 있는데 이는 온수 순환량을 증가시키므로 온수 입출구 온도 차가 작아짐에 따라 응축기에서 열교환이 안정적이기 때문이다.

시스템의 연속 운영 특성을 파악하기 위해 45시간 동안 연속 가동하여 각각의 특성을 살펴보았다. Fig. 4-17은 지열수의 온도변화를 나타낸 것으로 오전 6시~8시 사이에 최소 온도를 나타낸 이후 다시 온도가 상승하는 것을 알 수 있다. 이는 앞에서 설명된 것과 같이 야간 하우스 내 난방에 의해 축열조의 온도가 떨어

저 응축기 입구의 온도가 낮은 효과에 따른 것으로 온수 온도가 상승하면 같이 상승하는 특성을 나타내고 있다(Fig. 4-18). 또한 지열수의 온도변화는 응축기에서 열을 소산하는 것에 비례하여 같이 떨어지는 특성을 나타내고 있다. 이는 설계 인자의 결정과 시스템 운영 기준을 설정하는데 중요 인자로 작용할 것이다.

Fig. 4-19는 지열수 온도차 및 온수 온도차 변화를 나타낸 것으로 온수 온도변화(Fig. 4-18)와 비교하여 보면 온수 온도가 높은 경우(오후 8시경)에 상대적으로 높은 온수 온도(45℃)에서 작게 나타나 성능 저하 요인으로 작용하고 있다. 이러한 현상은 지열 취득량 및 열생산량을 나타낸 Fig. 4-20에서도 알 수 있는데 온수 온도가 높은 경우 시스템이 불안정(온수 온도 변동이 심함)하고 지열 취득량은 또한 소폭 감소하고 있다.

4-4 성능 평가

Fig. 4-21에는 3월 그리고 Fig. 4-22에 4월의 운영 성능에 대하여 나타내었다. 성적계수는 압축기, 열펌프 유닛 그리고 시스템 전체에 대하여 아래와 같이 해석하였다.

- 압축기

$$COP_{comp.} = \frac{Q}{W_C} \quad (4-7)$$

- 열펌프 유닛

$$COP_{unit} = \frac{Q}{W_C + W_{P1} + W_{P2}} \quad (4-8)$$

- 시스템

$$COP_{total} = \frac{Q}{W_C + W_{P1} + W_{P2} + W_B} \quad (4-9)$$

여기서, Q 는 열생산량, W_C 는 압축기 동력, W_{P1} 는 지열수 펌프 동력, W_{P2} 는 온수 펌프 동력 그리고 W_B 는 송풍기 동력이다.

Fig. 4-21에서 보면 3월달의 지열 취득량은 40~45kW이며 65~70kW의 온수 생산량을 보인다. 또한 성적계수는 열펌프 유닛 면에서는 3.1~3.4정도 나타나고 있으며 전체 시스템 면에서 보면 2.7~3.0정도를 보이고 있으며 지열 취득량이 높아질수록 성적 계수가 높아지고 있다. Fig. 4-22는 4월경 운영 상태를 나타낸 것으로 열생산량은 65~68kW이며 상대적으로 변화가 적다. 또한 지열 취득량은 40~43kW으로 나타나고 있다. 3월경과 비교했을 때 4월경 운영 상태는 온수 순환량을 증가시킴으로 인해 응축기 입출구 온도의 변화폭이 작게 되어 응축기에서의 열교환이 안정적으로 열생산량의 변화가 적게 나타났다. 이로 인해 지열 취득량 변동도 적게 나타나고 시스템의 성적 계수도 개선되어 열펌프 유닛 면에서는 3.2~3.5이고 전체 시스템 면으로는 2.8~3.1 정도로 나타나고 있다.

열펌프의 구동에 있어 지열 취득량은 지열수 온도 변화에 따른 영향보다 열생산량에 관계하고 있으며 열생산량은 온수 온도에 따라 온도가 낮은 경우에 더 높게 나타나고 있다. 이는 지열수 온도가 최하 6.5℃이하로 떨어지지 않기 때문에 증발기에서의 열교환 효율 저하가 없는 반면 온수 온도가 증가할수록 응축기의 출구 온도 변동이 심하게 일어날 뿐만 아니라 성능도 떨어지고 있다. 또한 온수 유량을 높여 응축기의 입출구 온도차를 낮췄을 때 열교환 출구 온도의 변동 폭은 완화되었으나 열교환 효율은 여전히 떨어지는 경향을 보이고 있다.

Fig. 4-23은 3월경 운영 상태이고 Fig. 4-24는 4월경 실제운영에 따른 전력소비량, 지열 취득량, 열생산량을 일별로 나타낸 것이다. 그림에서 보면 열생산량은 일별 변동이 심한데 이는 외기 온도의 영향으로 인한 시설의 난방 소비량의 영향으로 일 최대 생산량은 1500kW로 나타나고 있다. 또한 4월경에는 상대적으로 일 최대 생산량이 3월경보다 낮게 나타나고 있으며 외기 온도 상승으로 상대적으로 적은 난방 요구량에 따른 것을 확인할 수 있다.

Table 4-2는 3월경과 4월경의 운영 상태를 타 에너지원과 비교하여 에너지 절감효과를 나타낸 것이다. 3월 총 열 생산량은 14,118kWh로 경유 약 1,691ℓ이며 4월은 11,724kWh로 경유 1,405ℓ에 해당하는 열량으로 본 시스템 경우의 운영비로 환산해서 비교했을 경우 약 85%가 절감되고 있다.

Table 4-1 Test site

site	Area (m ²)	HP type	Heat tank (ton)	Air conditional sys.	Setting temp. (°C)
Wi-Mi	1580	water-to-water	30	hot water circulating	20

Table 4-2 The energy production and the effect of cost reduction by the geothermal heat pump system

	Absorption (kWh)	production (kWh)	contrasted with		effect of cost reduction (%)		
			light oil (litter)	heavy oil (litter)	light oil	heavy oil	heater
March (13 days)	9809.4	14118.1	1691.9	1572.3	85.2	85.0	63.6
April (13 days)	6766.0	11724.4	1405.1	1305.7	84.9	84.7	62.9

** Tax exemption oil : light oil - 815won/ℓ , heavy oil - 750won/ℓ ,

** Electronic charges(agriculture) : 37 won/kWh

** The efficiency of boiler(oil) : 0.78



Fig. 4-1 The test site

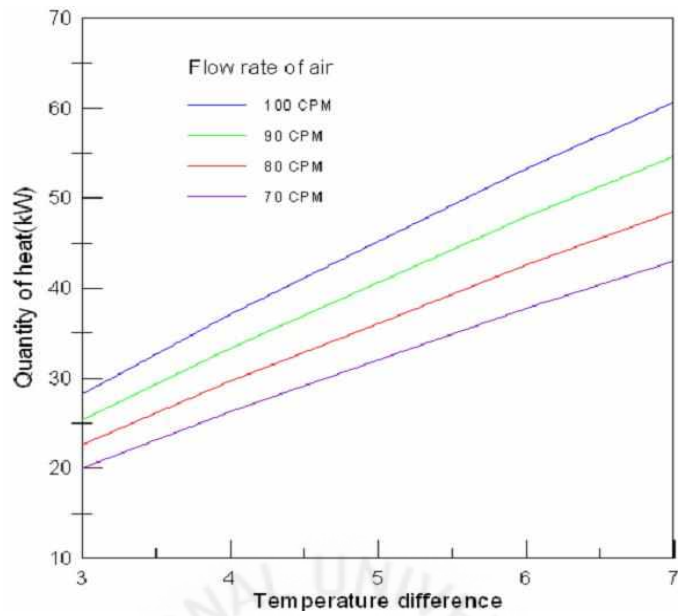


Fig. 4-2 The simulated result for the absorbed geothermal at the temperature of underground air, 18°C

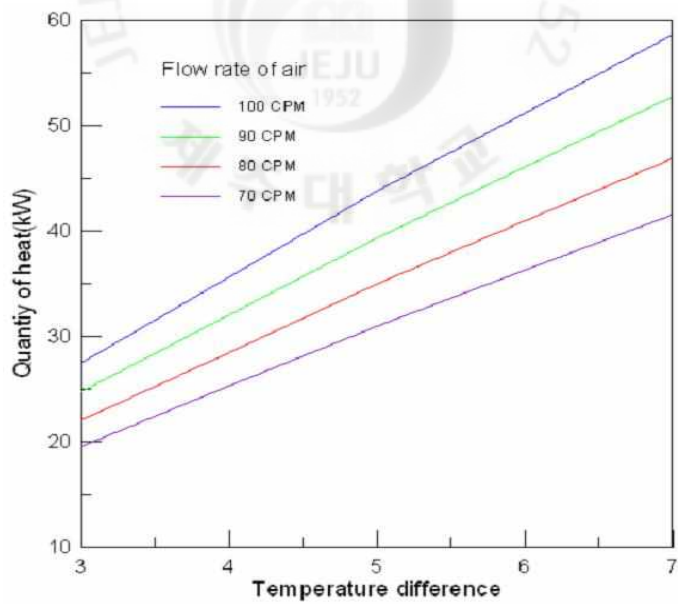


Fig. 4-3 The simulated result for the absorbed geothermal at the temperature of underground air, 17°C

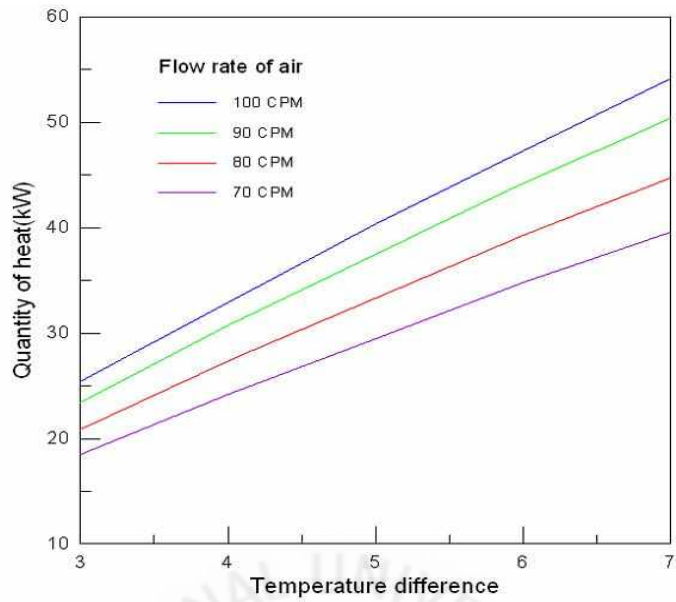


Fig. 4-4 The simulated result for the absorbed geothermal at the temperature of underground air, 16°C

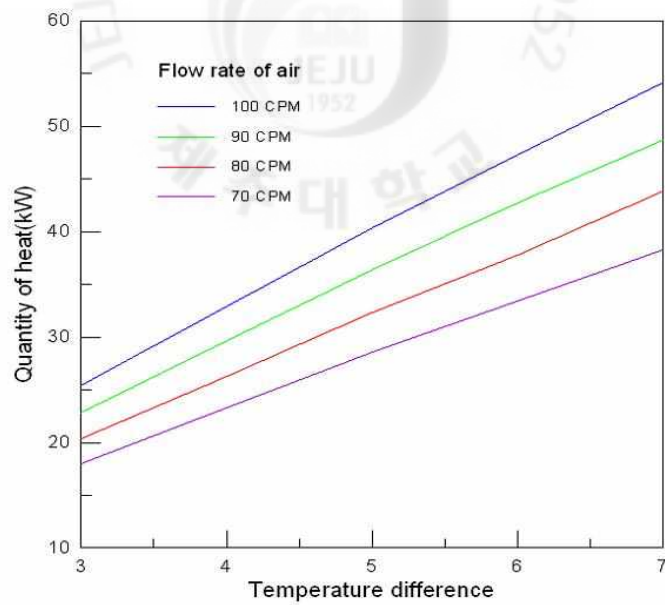


Fig. 4-5 The simulated result for the absorbed geothermal at the temperature of underground air, 15°C

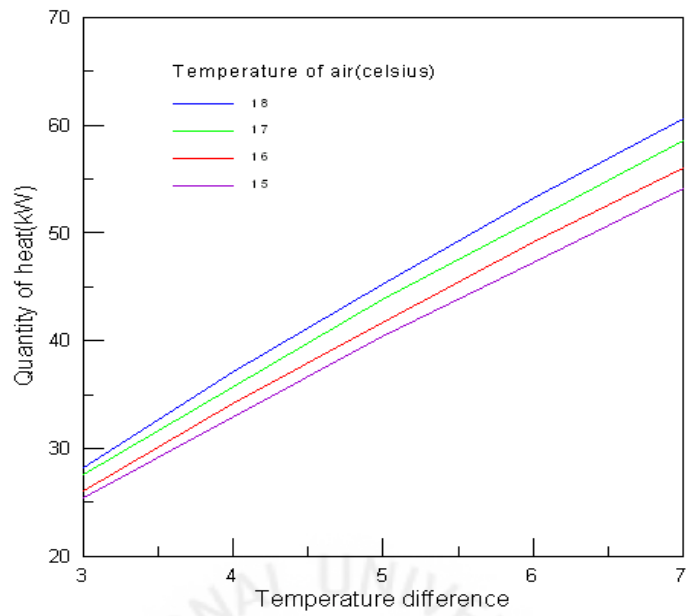


Fig. 4-6 The simulated result for the absorbed geothermal at the flow rate of underground air, 100m³/min

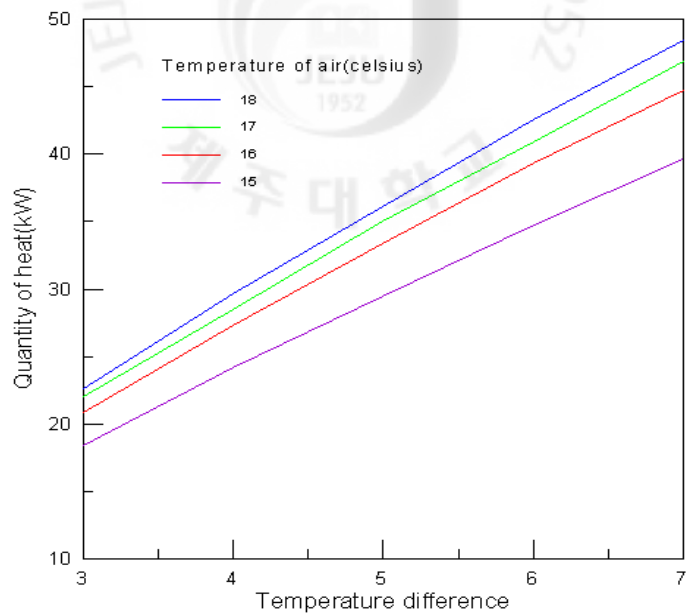
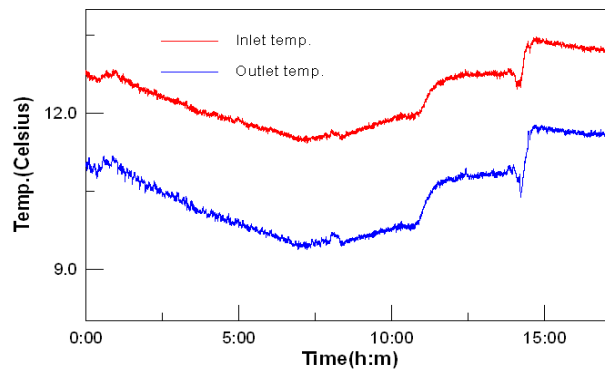
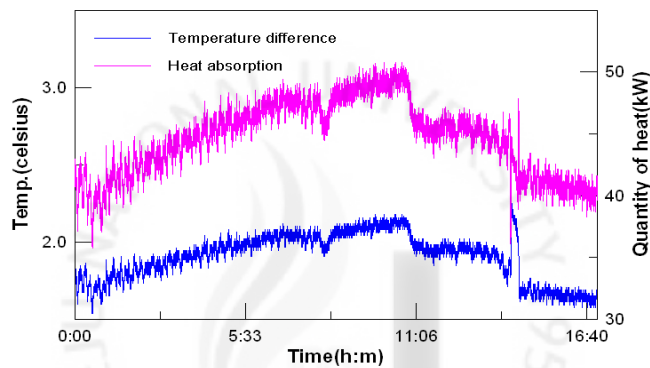


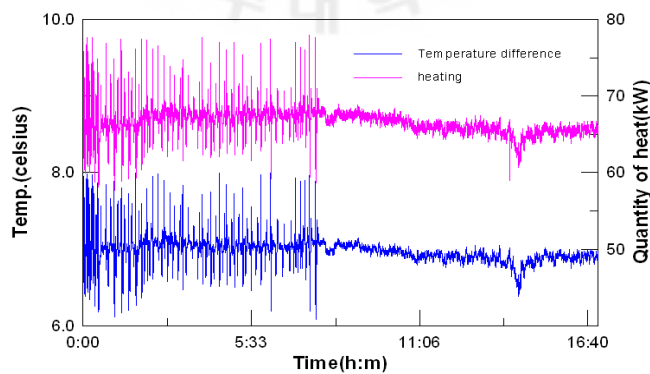
Fig. 4-7 The simulated result for the absorbed geothermal at the flow rate of underground air, 80m³/min



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger

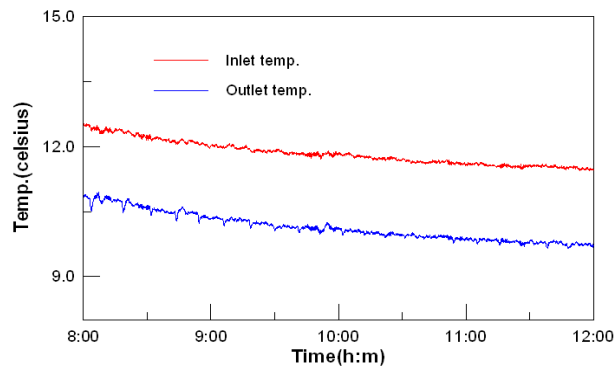


(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger

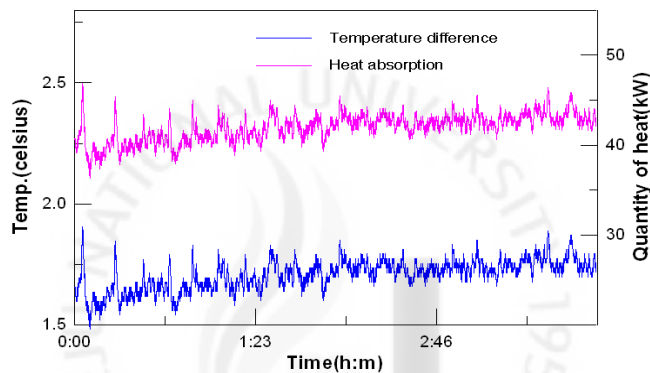


(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

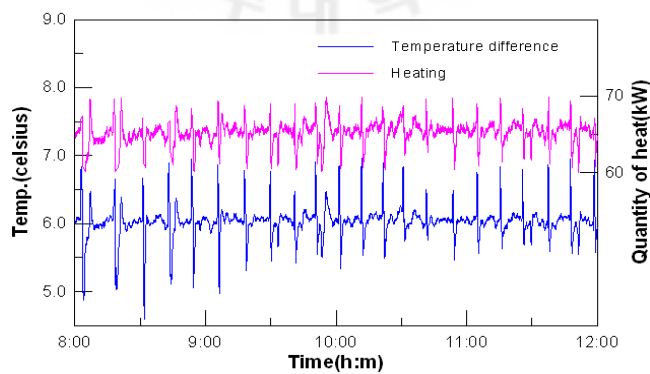
Fig. 4-8 The working progress for the system(17, March)



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger

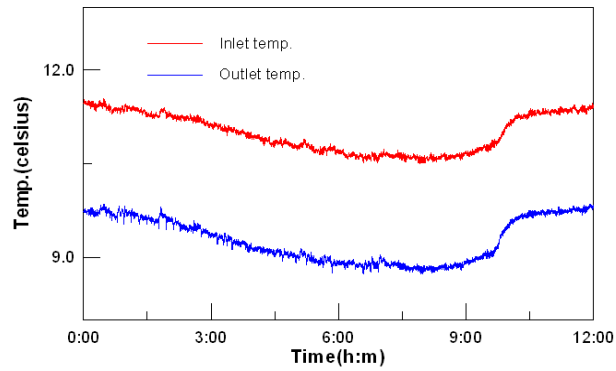


(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger

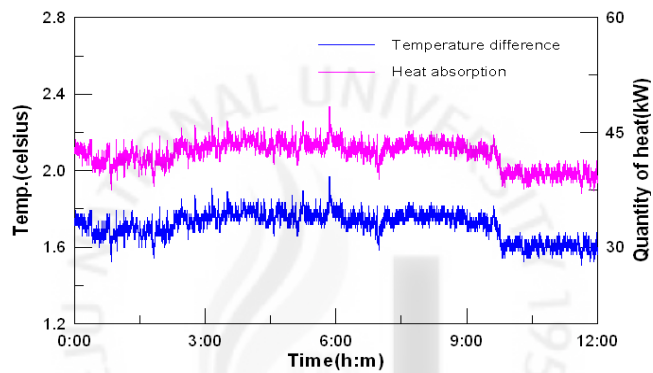


(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

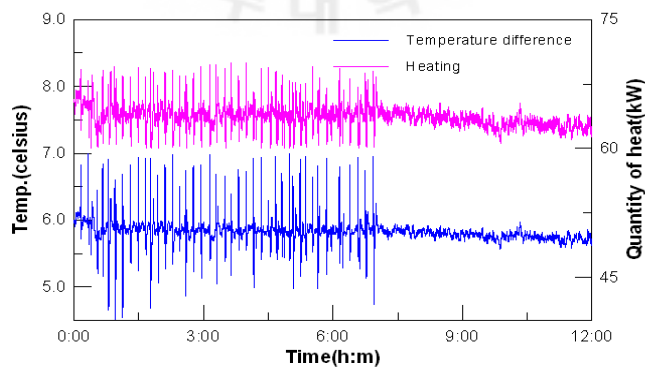
Fig. 4-9 The working progress for the system(20, March)



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger

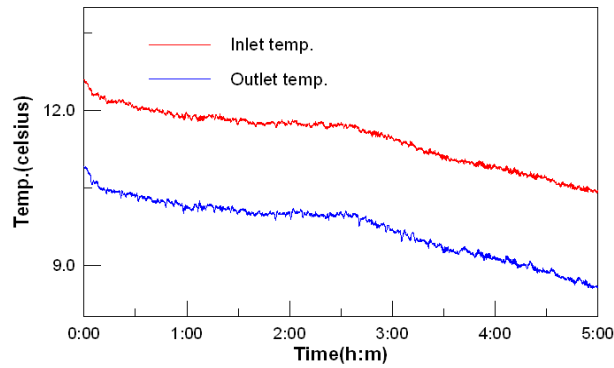


(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger

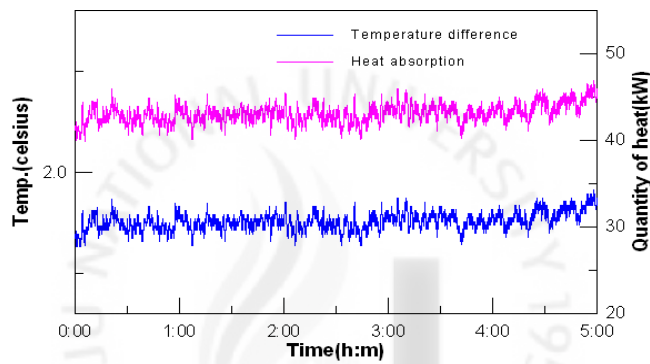


(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

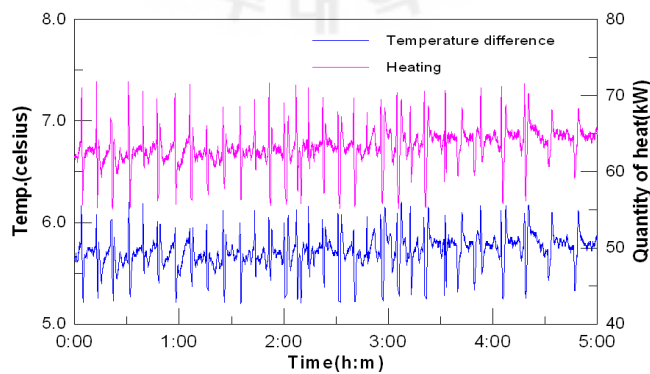
Fig. 4-10 The working progress for the system(21, March)



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger

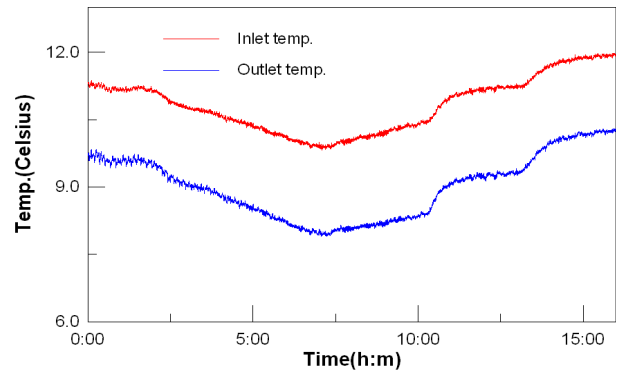


(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger

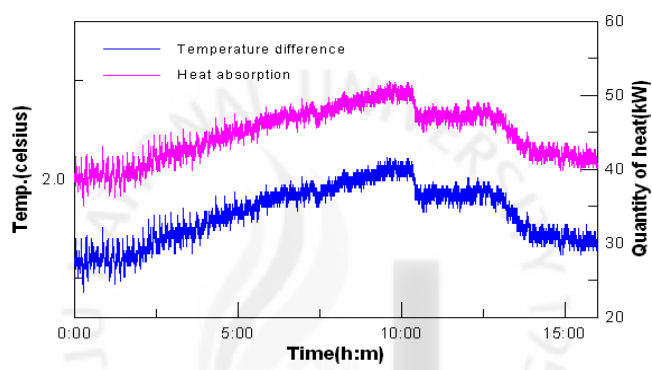


(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

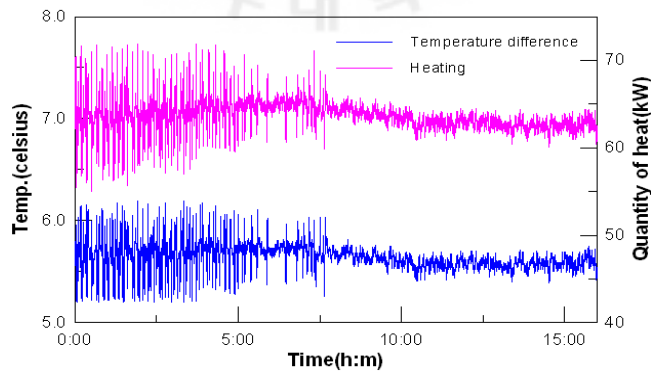
Fig. 4-11 The working progress for the system(22, March)



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger

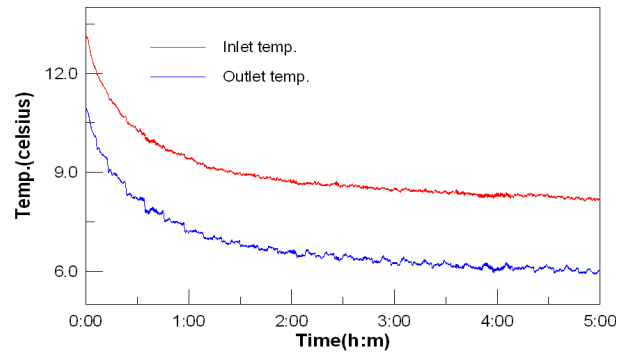


(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger

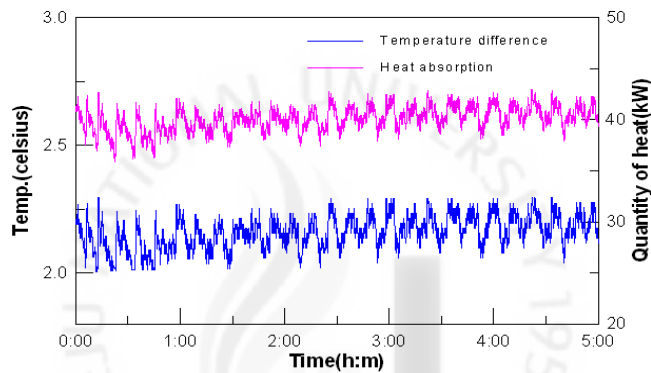


(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

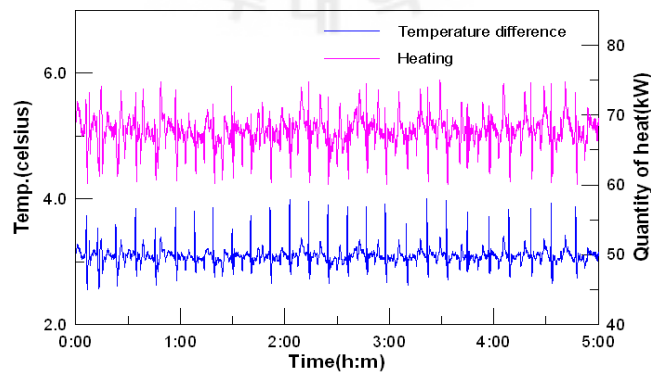
Fig. 4-12 The working progress for the system(24, March)



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger

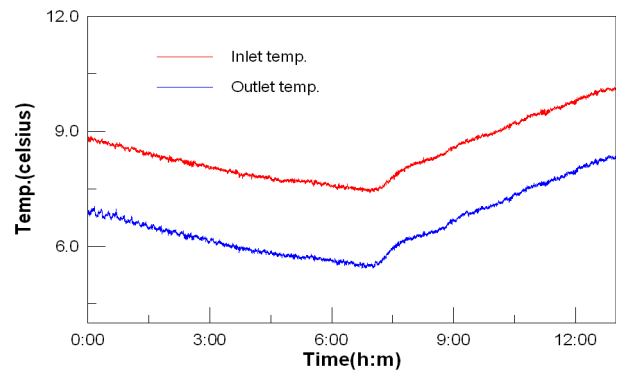


(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger

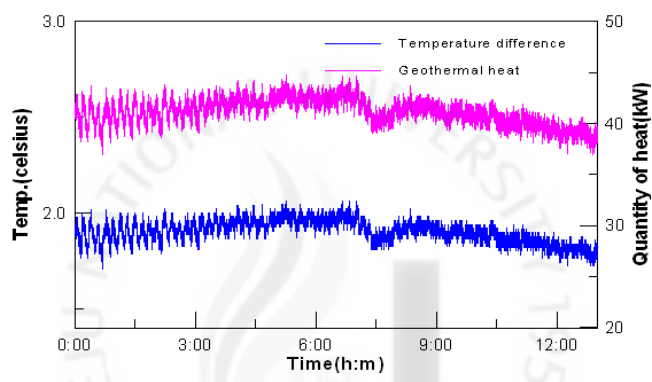


(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

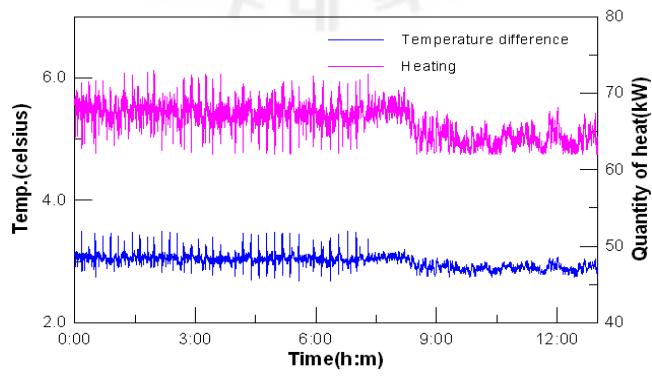
Fig. 4-13 The working progress for the system(6, April)



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger

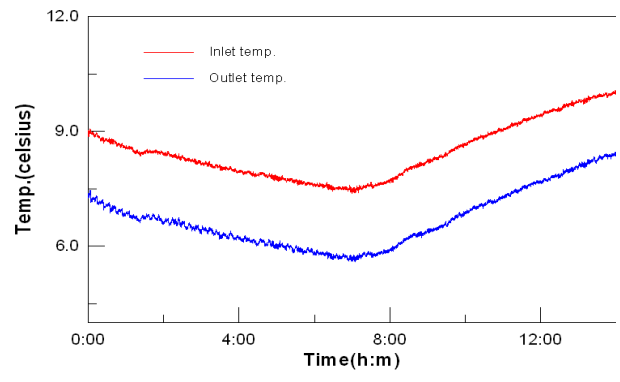


(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger

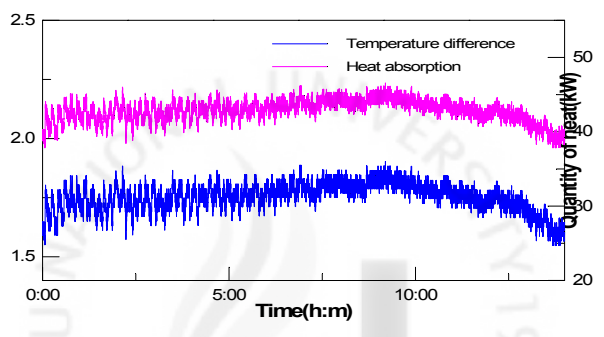


(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

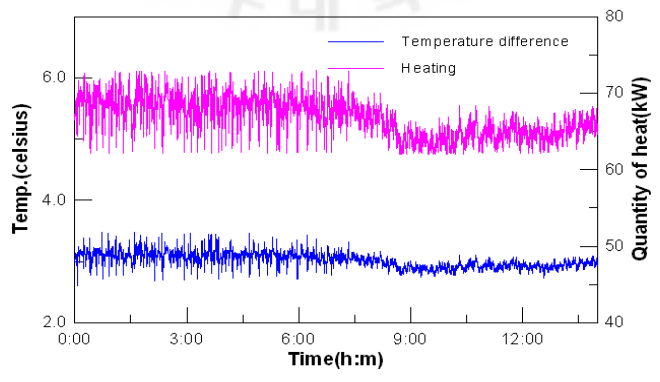
Fig. 4-14 The working progress for the system(9, April)



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger

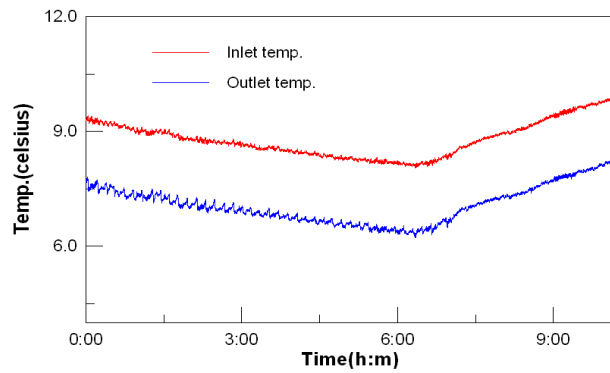


(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger

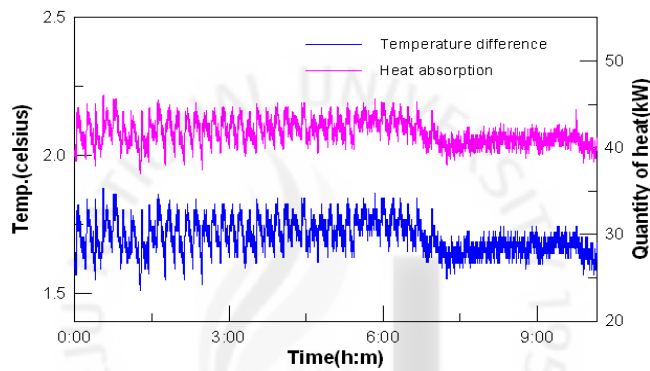


(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

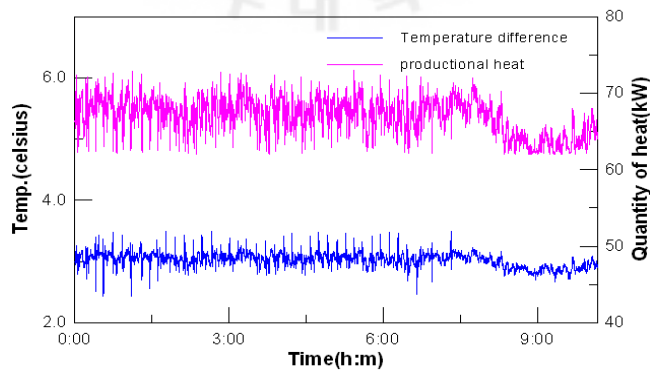
Fig. 4-15 The working progress for the system(11, April)



(a) The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger



(b) The temperature difference between inlet and outlet and the absorbed quantity of heat in the geothermal heat exchanger



(c) The temperature difference between inlet and outlet and the produced quantity of heat in the condenser of heat pump

Fig. 4-16 The working progress for the system(12, April)

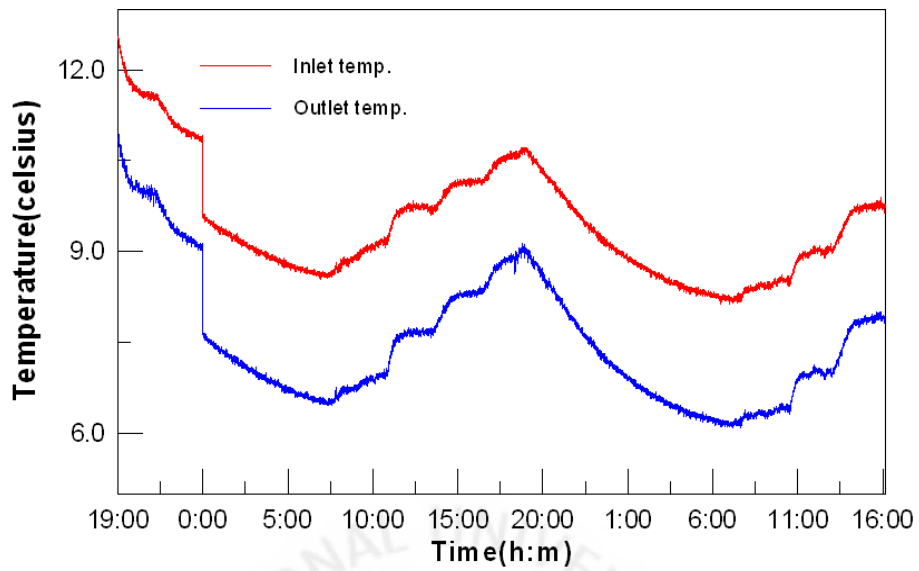


Fig. 4-17 The temperature fluctuation at the inlet and outlet in the geothermal heat exchanger with the working during 45 hour

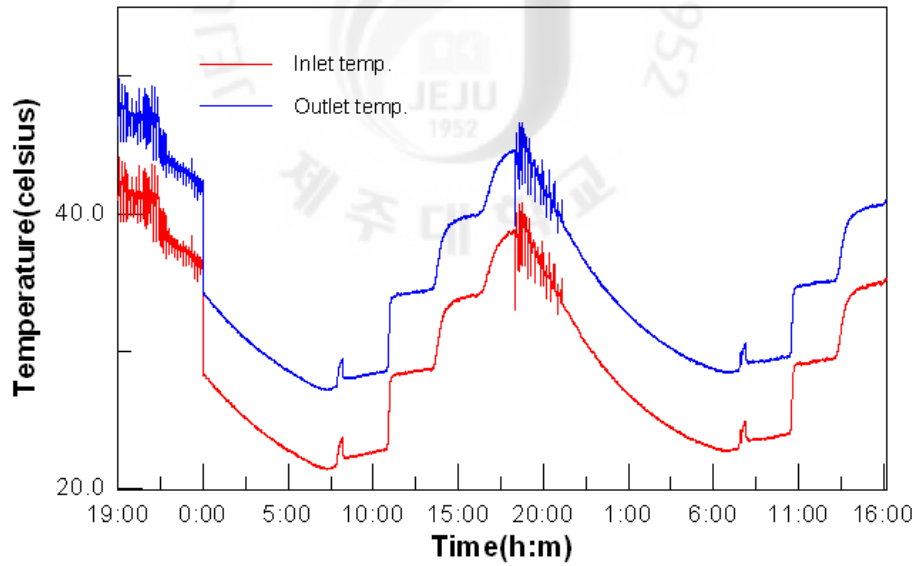


Fig. 4-18 The temperature difference between inlet and outlet in the condenser of heat pump with the working during 45 hour

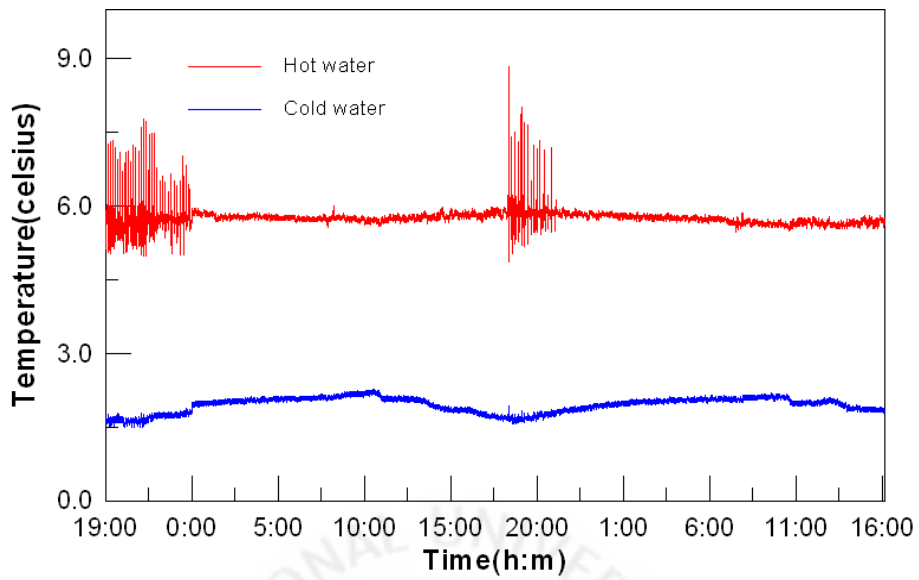


Fig. 4-19 The temperature difference of the cold water and the hot water with the working during 45 hour

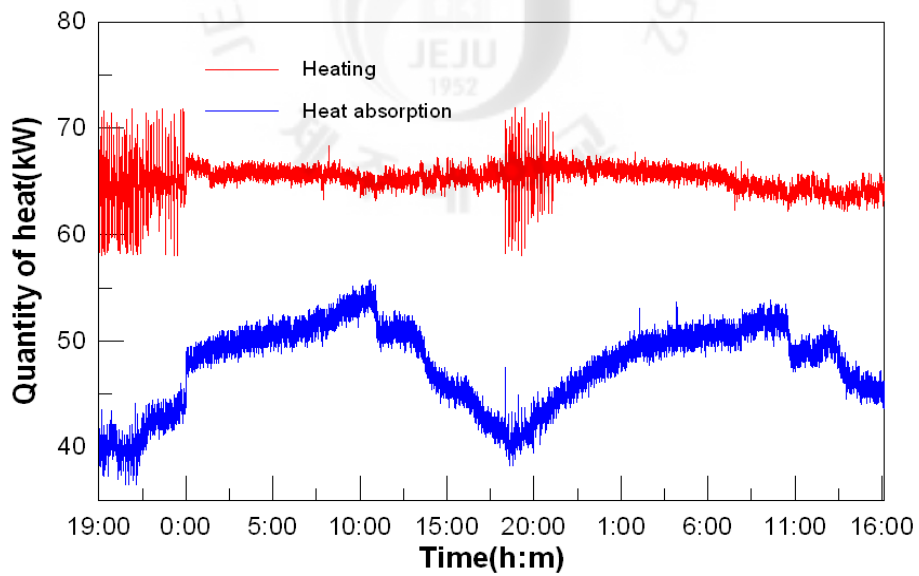
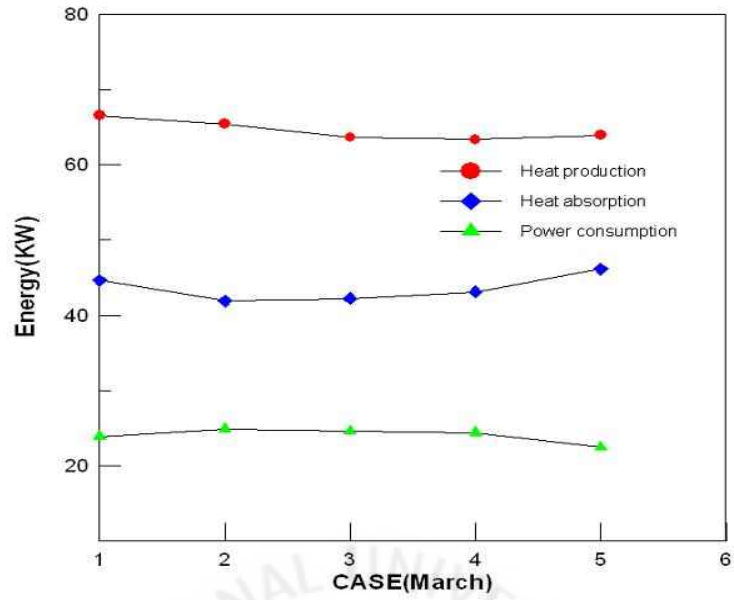
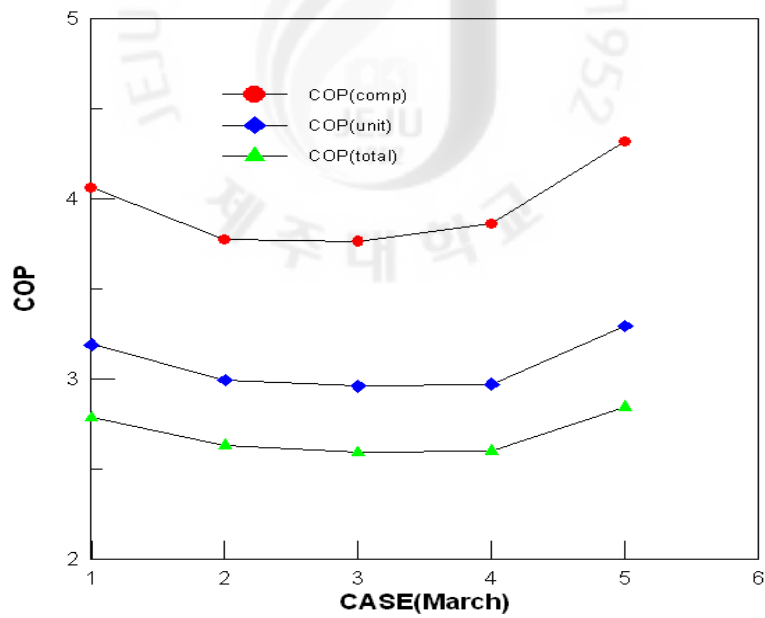


Fig. 4-20 The quantity of absorbed geothermal and produced heat by heat pump system with the working during 45 hour

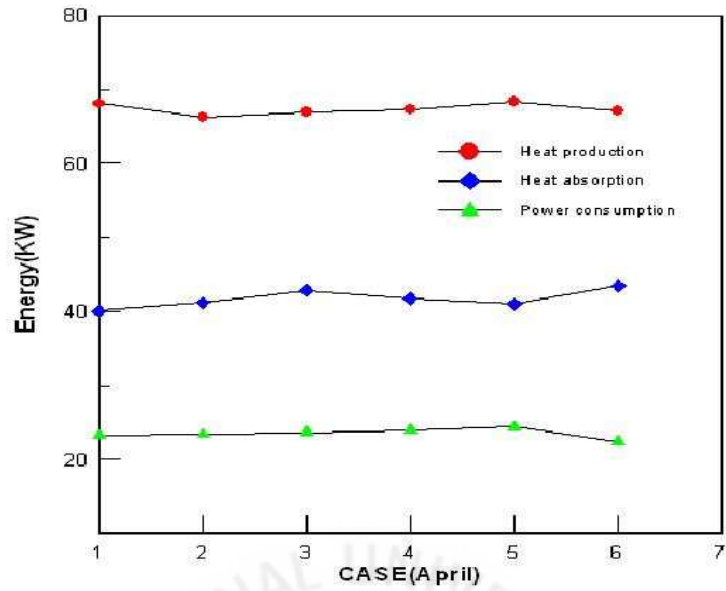


(a) The produced energy and consumed power

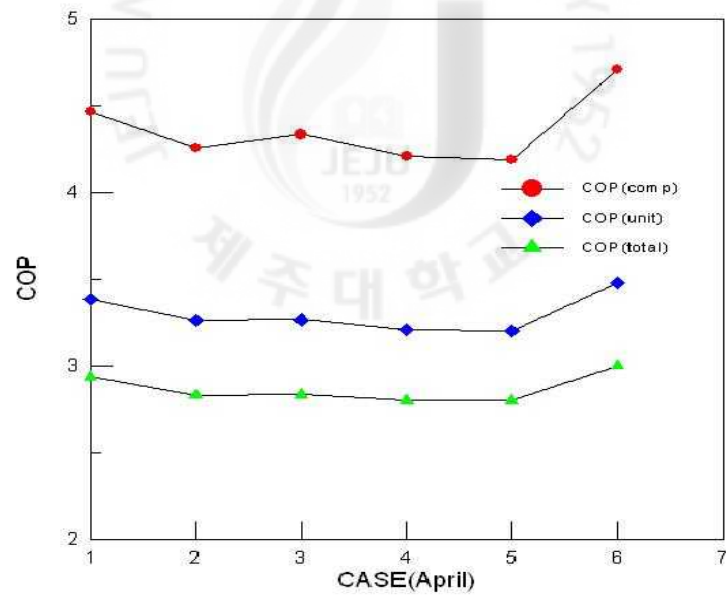


(b) COP

Fig. 4-21 The result of working the heat pump system for the cases(March)



(a) The produced energy and consumed power



(b) COP

Fig. 4-22 The result of working the heat pump system for the cases(April)

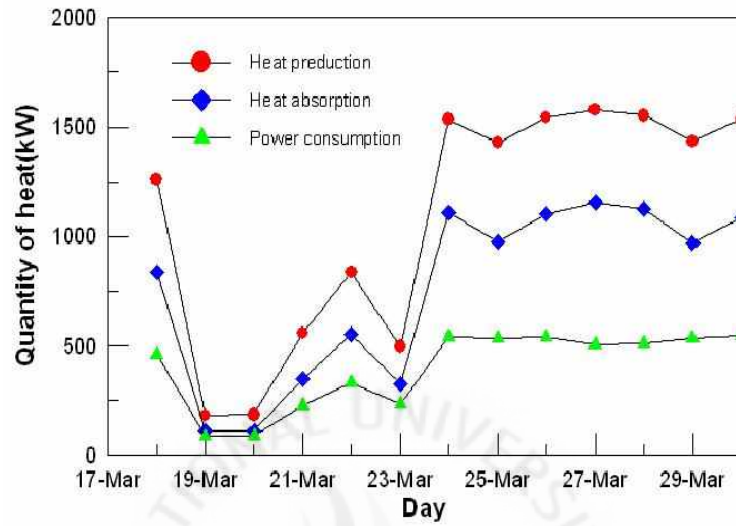


Fig. 4-23 The result of working the heat pump system for the days(March)

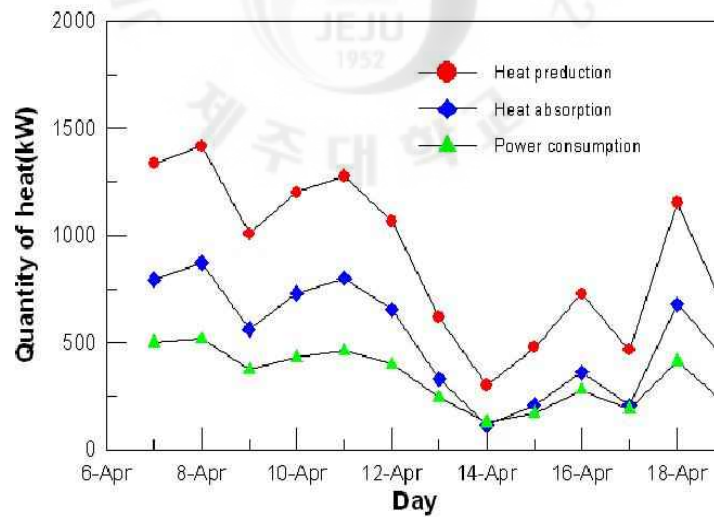


Fig. 4-24 The result of working the heat pump system for the days(April)

V. 결 론

제주 지역은 타 지역과 다른 지질 구조로 인해 기존의 지열 취득 방법으로 지열에너지를 이용하는데 한계에 부딪혔고 기존 지열 이용시스템을 설치하여 운영을 시범적으로 실시하였으나 성능이 떨어져 지열 이용이 부적절하다고 인식되어 왔으나 최근 지중공기를 취득하는 지열 이용방안이 개발되었다. 따라서 본 논문에서는 지중공기를 효율적으로 이용하기 위해 이를 열원으로 하는 열펌프 시스템에 대한 운영 및 성능에 대한 평가를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 지중공기 순환에 의한 지열 취득량은 약 40~45kW로 기존 지열원 열펌프 시스템에서보다 5~7배로 매우 높다. 또한 지열수 온도는 6.5℃ 이상으로 열펌프 구동에 적절한 온도를 유지하였다.
- (2) 지중공기 열원 열펌프 시스템의 열생산량은 약 65~70kW로 단위 지하공당 대용량의 열펌프 시스템 적용이 가능하여 시공비 및 설치 공간에 장점을 가지고 있다.
- (3) 지열 취득량 및 열 생산량은 열펌프의 온수 온도(응축기 입구 온도)에 따라 영향을 받으며 온수 온도(45℃ 이상)를 높게 설정할 경우 급격한 성능 저하를 일으키고 있다. 또한 응축기의 유량을 작게 하였을 경우 열교환이 불안정적(출구온도의 변동이 심함)으로 이루어져 성능 저하 원인이 되었다.
- (4) 열펌프 유닛의 성적계수는 3.1~3.5이고 전체 시스템에서는 2.7~3.1로 기존 지열원 열펌프 시스템에 비해 소폭 낮은 성능을 보이는데 이는 지중공기 순환을 위한 동력이 추가 소모되기 때문이다.
- (5) 본 시스템의 운영 경제성은 석유(경유, 중유)를 사용했을 때와 비교하여 약 85%의 운영비가 절감되고 있다.

참고문헌

- [1] 송윤호 외, 2005, 지열자원 부존특성 규명 및 활용기반기술 연구, 과학기술부
- [2] 조정식, 2004, 지열에너지 이용 냉난방시스템 성능분석 연구, 한국건설기술연구회
- [3] 이상규 외, 1994, 제주도 지열자원탐사 및 최적활용방안 연구(I), 상공자원부
- [4] 이상규 외, 1996, 제주도 지열자원탐사 및 최적활용방안 연구(III), 통상산업부
- [5] 박기화 외, 2004, 미래 제주도 청정 지하수 공급 시스템 구축 사업, 한국지질자원연구원 연차보고서, 일반-04(연차)-02
- [6] 제주도 지질 주상도 자료집, 2001, 제주도광역수자원관리본부
- [7] 신현준 외, 2005, 지열이용열펌프시스템의 성능평가기법 및 기술기준(안)구축, 산업자원부
- [8] 산업자원부, 2005, 지열냉난방시스템 실증연구
- [9] 이태중, 송윤호 역, 2004, 지열에너지란, 한국지질자원연구원 지열자원연구팀
- [10] 손병후, 2006, 지열 열펌프 시스템의 경제성 분석, 에너지관리공단 신재생에너지센터
- [11] 김미성, 김형찬, 2006, 국내지열분포현황, 지열에너지저널, 제1권, 제1호, P. 33~38
- [12] 박용부 외, 2006, 지열냉난방시스템의 적용현황 및 전망, 주택도시연구원
- [13] 황광일, 김중현, 2006, 지열에너지 이용 및 적용기술, 대한설비공학회 설비저널, 제35권, 11호, P. 38~45
- [14] Bose, J. E., M.D. Smith, J.D. Spitler., 2002, Advances in Ground Source Heat Pump Systems, An International Overview, 7th International Energy Agency Heat Pump Conference, Beijing, May 2002
- [15] DOE, 2001, Ground-source heat pumps applied to federal facilities-second edition, Federal Energy Management Program, DOE/EE-0245(PNNL-13534), US Department of Energy

감사의 글

지난 2년간의 대학원 생활동안 성심껏 지도해 주신 현명택 교수님께 감사를 드립니다. 또한 부족한 저의 논문을 세심히 살펴주신 허종철 교수님, 박윤철 교수님께도 감사드립니다. 그리고 학부생 시절과 대학원 때에도 항상 많이 부족한 저를 옆에서 조언을 해주시고 저를 도와주신 이동원 박사님께도 감사드립니다. 또한 옆에서 항상 지켜봐준 가족들에게 고마움을 전하고, 실험실에서 같이 즐거울 때나 힘들때에도 같이 생활한 실험실 식구들에게도 고맙습니다.

그리고 직장을 다니면서 이번 논문을 준비하는데 많은 시간을 내주신 회사 사장님과 직원분들에게도 감사합니다. 이렇게 많은 사람들의 도움으로 제가 졸업을 하게 되었습니다. 부족한 것도 많고 배워야 할 것도 많이 있지만 졸업이라는 학생의 마지막을 맡게 되었습니다. 앞으로 사회에 나와 사회의 한 일원이 되어 저에게 많은 도움을 주신 분들에게 걱정과 실망을 느끼지 않게 생활하는게 고마움을 전하는 길인 것 같습니다. 진심 어린 마음으로 감사하며 이 소중한 시간과 생활을 끝까지 기억하고 싶습니다.

2010년 1월

고 동 관 드림