

# 몽골의 천부 지열에너지(냉난방 에너지)개발 가능성에 관한 연구

한정상\*<sup>†</sup>, 윤운상\*, 윤건신\*, 이태열\*, 김형수\*\*

\*(주)넥스지오, \*\*중원대학교 에너지자원공학부

## A Study on Development Potential of Shallow Geothermal Energy as Space Heating and Cooling Sources in Mongolia

Jeongsang Hahn\*<sup>†</sup>, Yun Sang Yoon, Kern Sin Yoon, Tae Yul Lee\*, Hyong Soo, Kim\*\*

\*Nexgeo, Inc, Seoul, 138-800, Korea

\*\*College of Energy and Resources, Jungwon University

### Abstract

Time-series variation of groundwater temperature in Mongolia shows that maximum temperature is occurred from end of October to the first of February(winter time) and minimum temperature is observed from end of April to the first of May(summer time). Therefore ground temperature is a good source for space heating in winter and cooling in summer. Groundwater temperatures monitored from 3 alluvial wells in Ulaabaatar at depth between 20 and 24 m are  $(4.43\pm 0.8)^\circ\text{C}$  with average of  $4.21^\circ\text{C}$  but mean annual ground temperature(MAGT) at the depth of 100 m in Ulaanbaatar was about  $3.5\sim 6.0^\circ\text{C}$ . Bore hole length required to extract 1 RT's heat energy from ground in heating time and to reject 1 RT's heat energy to ground in summer time are estimated about 130 m and 98 m respectively. But in case that thermally enhanced backfill and U tube pipe placement along the wall are used, the length can be reduced about 25%. Due to low MAGT of Ulaabaatar such as  $6^\circ\text{C}$ , the required length of GHX in summer cooling time is less than the one of winter heating time. Mongolia has enough available property, therefore the most cost effective option for supplying a heating energy in winter will be horizontal GHX which absorbs solar energy during summer time. It can supply 1 RT's ground heat energy by 570 m long horizontally installed GHX.

**Key words:** Hydrogeothermal systems(수문지열계), Geothermal gradient(지열구배), Aestifer : 대열층  
GHX : geothermal heat exchanger(지중열교환기), GSHP : Ground source heat pump(지원 열펌프)  
m/RT : 1 RT의 열에너지를 생산하는데 필요한 천공 심도(m)

### 1. 서 언

몽골은 현재 석탄을 위시한 화석연료를 주로 난방열 에너지원으로 이용하고 있어 겨울철에 대 도시를 위시한 인구 밀집지들은 심각한 대기 오염문제에 직면하고 있다. 따라서 본 연구는 몽골

<sup>†</sup> Corresponding author

Tel.: +82-10-5232-5144, Fax: +82-10-448-6966

E-mail: jshahn@jejunu.ac.kr

접수일 : 2012년 4월 20일

심사일 : 1차:2012년 4월 24일, 2차:2012년 5월 18일

채택일 : 2012년 5월 30일

에서 재생 에너지원인 천부 지열을 이용한 냉난방 에너지원으로서 활용 가능성과 연구지역(Fig.1)에서 지중온도의 지시인자인 지하수 온도를 장기간 측정하여 연 평균 지중온도를 파악함은 물론 이를 이용하여 수직 지중 열교환기를 이용하여 난방열에너지로 이용할 경우의 1 RT당 필요한 천공심도 등을 연구하였다.

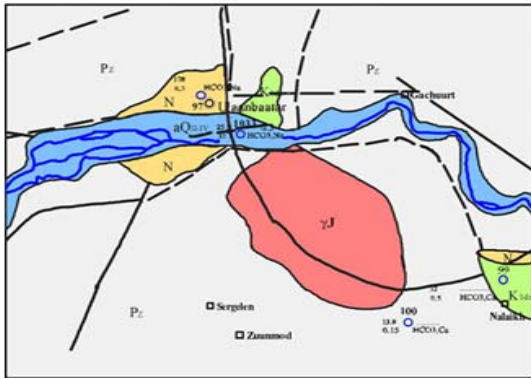


Fig. 1 Map showing study area and location of observation wells in Ulaabaatar area.

몽골은 대부분이 완만한 경사의 피드몬트(piedmont)형 지형을 이루고 있으며, 평균 고도는 1,580 m(600~4000 m)이고 전국토의 80% 이상이 해발고도 1,000 m 이상이다. 몽고의 서부지역은 일반적으로 저평지의 분지지형이며 남부지역은 Gobi사막이 동서방향으로 분포되어 있다. 서부지역은 고산지로서 Mongolian Altai, Goby Altai, Orhon Arkhangai 및 Henti Onon산맥들이 발달되어 있다

몽골의 총 인구(2011년도)는 2,823,716명이며 이 가운데 도시인구는 1,760,400명이고 비 도시지역의 인구는 1,063,316명(통계청 자료:1,020,400명)이다. 몽골의 수도는 Ulaanbaatar시이며 거주인구는 전체 인구의 40.8%에 해당하는 약 1,151,500명이다. 몽골의 총 가구 수는 713,000가구이고 1가구 당 가족수는 약 4인 정도이다. 몽고의 행정체계는 평균 거주인구가 50,000~110,000명 정도되는 21개주(aimag)와3개시로 이루어져 있으며, 1개 주는 거주인구가 4,000~5,000정도되는 12~22개의 소읍(soum)으로 구성되어 있고, 1개 소읍은 다시 여러 개의 북(bog)으로 이루어져 있다.

몽골의 대기온도는 11월부터 3월까지 0℃이 하이고 1월~2월은 -20℃정도이며 겨울철 야간은 -40℃까지 내려가는 반면 여름철에는 33~38℃까지 상승한다. 또한 연 평균 기온은 -2.9℃이며 일 평균기온이 영하에서 영상을 바뀌는 시기는 남부지역은 3월 말이고 북서부지역은 4월 중순이다. 몽골의 난방시기는 10월 중순부터 4월 중순까지의 약 6개월간이다.

몽골의 연 평균 강수 발생일은 15~20일 정도이며, 이 중 65~78%가 여름철에 발생한다 몽골의 하천 유출량 가운데 35%는 지하수, 60%는 용설수, 잔여 10%는 강수로 이루어져 있다.

몽골의 331개 소읍중 200개는 전력계통망과 연결되어 있으며, 115개 소읍은 디젤발전으로 인해, 나머지 15개 소읍은 재생에너지원을 이용한다. 중앙 에너지시스템인 열병합발전소의 전력 생산용량은 786.3 MWe이며, Choibalsan 열병합 발전소(동부에너지시스템)의 생산용량은 36 MWe이다.

## 2. 지 질

시생대 말기에 형성된 북쪽의 Siberian 강괴(Craton)와 Tarim, 남부의 Sino-Korean 강괴 등은 대륙강괴들 사이에 분포된 중앙아시아의 확장시 형성된 것들이다. 이런 확장은 초기 Caledonian 또는 Baikalian 지향사에서 시작되었으며, 계속하여 남쪽의 Hercynian 지향사로 계속되었다. Riphean 세와 고생대 말기 동안에 상술한 대륙강괴의 사이에서 다음과 같은 4개의 동서방향으로 발달된 지향사와 습곡대가 형성되었다(Zonenshayn, 1972, 그림-2 참조).

- 1) 초기 Caledonian 또는 Baikalian 지향사,
- 2) 초기 고생대 또는 Riphean 말기~초기 캄브리아기 사이의 Caledonian 지향사
- 3) Ordovician~Silurian의 고생대 중엽~Variscan 지향사
- 4) 중기 석탄기~페름기 사이의 고생대 후기 또는 후기 Variscan 지향사

모든 지향사에는 심성암과 몰라세(Molasse)이 분포되어 있으며 지향사 확장의 북쪽지역에는 결정질암 및 변성암형태를 이루는 몇 개의 Pre-Riphean 기저 고점이 있다. 지향사의 발달은 고생

대의 말에 종료되었으며 몽골 전역은 후기 고생대의 팽개아에 속한다 중생대 및 신생대 기간 동안의 지형은 조산작용(Orogenesis), 화성작용 및 퇴적작용 등에 의해 형성되었으며 현재까지 지구조 발달에 대한 특이한 연구결과는 없으나, 몽골 수문지질도에 따르면 몽고의 층서는 크게 2가지로 대분된다<sup>[1],[5]</sup>

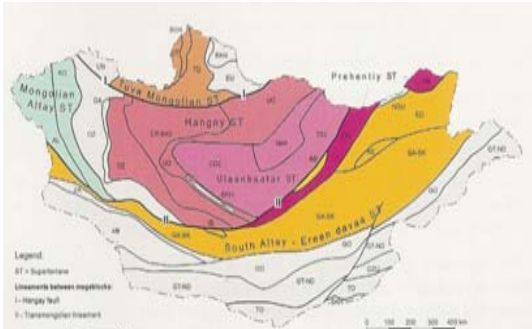


Fig. 2 Geologic map of Mongolia(Tumultogoo,1996)

<그림 설명> : ST: Superterrane  
Megablock사이의 선구조  
I: Hangai 단층, II: Transmongolian 선구조  
청색: 몽골 알타이 습곡대, 갈색: 북측 megablock, 담홍 및 적색: 몽골 Transbaikai 습곡대와 울란바타르 지향사 황색: 남 알타이 Supertrane 백색: 남 몽골 습곡대

① 층서 단위로 표현되는 선캠브리아기의 변성암 및 결정질암으로 구성된 복합 기저부 ② 선캠브리아기의 결정질암, Caledonian과 Hercynian 지향사의 발달로써 형성된 고생대의 해양 퇴적물과 화산암, ③ 페름기, 중생대 또는 신생대의 암들을 둘러싸거나 그 하부에 놓여있는 대지이다

### 3. 천부 지열에너지의 산출특성과 현황

#### 3.1 영구동토의 특성과 연평균 지중온도

몽골에 분포되어 있는 영구동토는 건조-산악지의 특징적인 영구동토로서 온도는 0℃에 가깝고 활성층((active layer, AL, 계절에 따라 해동되거나 동결되는 층)의 두께는 세계 다른지역의 영구동토에 비해 다소 두텁다. 활성층의 두께는 해당 지역의 고도, 경사지의 노출경사, 지표면을 이루고 있는 토양의 구성 물질과 같은 환경요인에 따

라 좌우된다. 대체적으로 활성층의 두께는 조립질 사력인 경우는 3~5m, 세립모래는 2~3.6m, 실트 및 점토로 구성된 호수층은 1~2.4 m이다.

몽골산악지에서는 고도가 100 m씩 상승할 때마다 지표하 10 m심도에서의 연평균 지중온도 (Mean Annual Ground Temp. MAGT)는 0.4~0.6℃씩 하강하고 북쪽지역에서 남쪽지역으로 감에 따라 100 km 당 0.8~1.0℃ 상승한다(Sharkhun, 2008)일반적으로 산간계곡이나 요곡지대에서 절대고도가 낮은 곳은 연평균 지중온도가 상승하며 동일지역에서 남측 사면하부의 연평균 지중온도는 북측사면 보다 높다<sup>[3]</sup>.

Ulaanbaatar시에서 동측 약 40 km되는 산악수림-평원지역에 소재하는 Terej 지역의 지표하 4 m 깊이에서의 연평균 지중온도는 Fig.2와 같이 -0.3~4.8℃이며 평균 지중온도는 영상인 1.57℃이다. 2005년~2010년 사이의 지표하 4m 지점에서 평균 지중온도는 1.09~2℃였다.

Burenkhan 지역의 계곡 바닥이나 상류지역의 남측과 북측사면에 설치된 관측공에서 연평균 지중온도의 상승률은 남측이 0.19~0.27℃이고 북측이 0.19~0.23℃이다.

그러나 Hovsgol 산악지의 심도 10~15 m지점에서 MAGT의 상승률은 연간 0.02~0.03℃/년이다.

몽골의 여러 관측공에서 관측한 지온 측정결과에 따르면 영구동토의 소멸을 또는 붕괴율은 기반암, 구간이 비고결암 구간보다 크고 빠르게 발생하며 동결이 잘 된 지층보다는 동결이 덜 된 지층에 발달된 영구동토에서 더 크게 발생하며, 남측사면이 북측사면보다 빠르다.

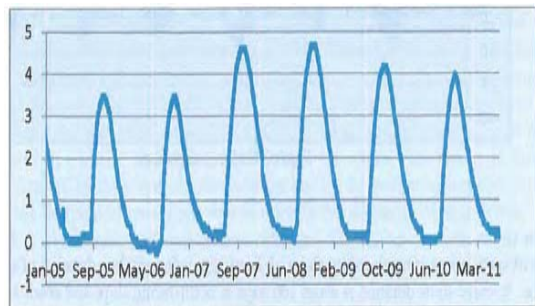


Fig. 3 MAGT at 4 m below ground surface at Terej area<sup>[3]</sup>

몽골에서 지구 온난화 현상으로 인해 발생한 영구동토의 붕괴현상은 1970~1980년대보다는 지난 1980~2010년도가 더욱 크게 발생했으며 활성층과 MAGT의 연평균 증가율은 각각 0.5~2 cm와 0.01~0.03℃이다. 현재 발생하고 있는 지구온난화로 인한 몽고의 기온상승은 활성층과 MAGT의 증가는 물론 몽고와 같은 준-건조지역에서 식생에 가장 중요한 요소인 토양함수비의 심각한 감소로 인한 초원의 소멸과 사막화 현상이다<sup>[3]</sup>.

고도가 비교적 높은 산악지역에 영구동토가 발달되어 있긴 하나 현재 지구 온난화 현상으로 동토두께는 감소되고 있는 실정이다. 특히 동절기에 지열에너지를 난방 에너지원으로 이용할 대상지인 인구밀집지는 대체적으로 산악지역이 아닌 저평지 지역의 초원지대에 소재하기 때문에 영구동토의 두께는 그리 두텁지 않고 그 하부구간의 지중온도는 0℃ 이상이다.

### 3.2 천부 지열 에너지의 산출특성

특정 지역에 설치한 우물내 1개 지점(심도)에서

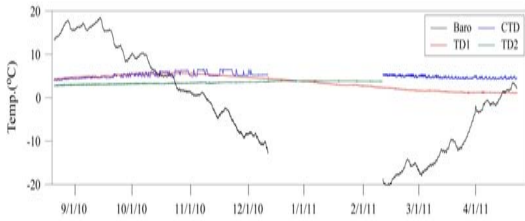
측정한 지하수의 수온은 해당 지역의 해당 지점에서의 지중온도를 나타내는 지시자이다. 일반적으로 몽골과 같이 겨울철의 월평균 기온이 -26℃ 정도되는 지역에서 측정한 지하수온도는 대기온도의 영향을 받아 실제 지중온도 보다는 낮다. 따라서 지중온도의 측정 자료가 가용하지 않는 곳에서는 해당 지역의 지하수 온도를 이용하여 이를 지중온도(ground temperature)로 가름할 수 있다.

2006년 12월14일~18일사이의 대기온도가 영하(27±2)℃인 혹한기에 KOICA가 몽골의 Tuv, Ulaanbaatar, Selenge, 및 Darhan 지역에 설치한 심정(75~90 m심도,균열 암반 지하수) 5개공에서 토출 지하수의 온도를 측정하였는데 온도범위는 Table 1과 같이 1.8~4.4℃였으며 평균 온도는 3.03℃였다.

Fig.4는 Ulaanbaatar시 남부에 소재하는 동시의 상수도 취수원인 우물장(well field)에 설치되어 있는 심도가 20~24 m인 3개 관측정에서 2010년 8월21일에서 2011년 4월21일까지 8개월 동안 측정한 경시별 지하수온의 변동곡선으로서 그 범

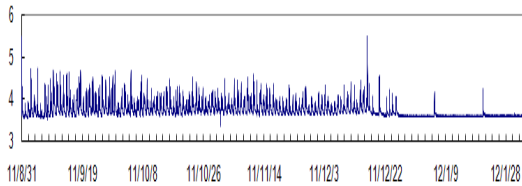
Table 1 Groundwater temperature measured at existing water wells of alluvium and fissured bedrock in Mongolia

Type of ground water	No	Location	Depth (m)	SWL BGL,m	Temp. (°C)	pH	EC (µs)	Remarks
	1-2	Tuv,Batandelqer, Khuren Asga	93	15.0	1.8	7.6	700	2006.12.16 KOICA Well
	1-3	UB,Bayanjurkh, Bayandukhum	75	12.27	1.9	8.1	184	06.12.14, "
	1-14	Tuv, Bayanchandmana	75	29.0	2.5	7.7	249	06.12.15, "
Fissured bedrock	2-2	Selenge, Eruu Narim Khundiinekh	76	24.0	2.6	7.8	300	06.12.18, "
	2-3	Darkhan, Mangrit	73.5	38.6	4.4	8.5	504	06.12.17, "
	1	Ulaabaatar, Dondsoo Kim Altitude : 1,281m,	50	17.98	4.0			2011.08.31
	2	East of Ulaabaatar, Altitude: 1,436m,	150	-	4.0			"
Alluvim	CTD	Ulaabaatar well field, Altitude: 1,295m	20	5.08	5.39±1.3			10/08~11/04 mean : 5.22℃
	Tb1	Ulaabaatar well field, Altitude : 1,308m	23	1.62	3.54±2.3			" mean : 3.78℃
	Tb2	Ulaabaatar well field, Altitude : 1,320m	24	1.49	3.57±0.7			" mean : 3.63℃
range			20~150	1.6~38.6	1.8~6.7	8.1±0.4		



(a) Seasonal temp. variation of 3 water wells in Ulaanbaatar (CTD,TD1,TD2)

Baro : Variation of air temperature.



(b) Seasonal temp. variation of a water well in Kim's farm land in western Ulaanbaatar

Fig. 4 Time series groundwater temperature variation of 3 water wells(20~23 m deep) in Ulaanbaatar municipal well field(a) and a well located in western Ulaanbaatar(b)

위의 평균 온도는 각각  $(4.43 \pm 0.8)^\circ\text{C}$ 와  $4.21^\circ\text{C}$ 로서 전술한 균열 암반지하수의 지하수온과 대동소이하다. Fig.4와 같이 경시별 지하수온은 관측정의 위치에 따라 약간씩 차이가 있으나 난방 초기인 10월말과 2월초에 가장 높고 하절기가 시작되는 4월말과 5월초에 가장 낮다

#### 4. 천부 지열에너지의 활용방안

##### 4.1 개방형 지열펌프 시스템

몽골지역에 부존되어 있는 천부 지하수의 연평균온도는 위도, 고도, 심도 및 계절에 따라 다소 차이가 있긴 하지만 금번에 확인한 결과에 의하면 최소  $3 \sim 6^\circ\text{C}$  규모이다.

만일 겨울철에 부동액을 사용하지 않고  $3 \sim 6^\circ\text{C}$ 의 지하수를 직접 열원으로 이용하는 지하수 열펌프를 사용하는 경우에 열펌프의 입구온도는  $3 \sim 6^\circ\text{C}$ 를 초과할 수 없다. 즉 max. EST(Source side entering temp.)가  $3 \sim 6^\circ\text{C}$ 이기 때문에 실내

난방 후 증발기를 통과한 열펌프의 LST(Source side leaving temp.)는  $0^\circ\text{C}$ 이하가 될 수 있기 때문에 지하수 동결로 인한 열펌프 운전은 불가능하다.

몽골에서 천부 지중열을 이용하여 냉난방 에너지를 생산하려면 반드시 부동액 혼합수를 지중순환수로 사용하는 것이 원칙이고, 아울러 저온 밀폐형 지원 열펌프시스템(Ground source heat pump system)을 이용해야 할 것이다.

##### 4.2 몽골의 기존 난방 형식과 몽골 겐(Ger)의 온수 바닥난방

몽골은 아직까지도 그들의 생활방식과 경제적인 여건 등으로 현대식 아파트가 널리 보급되지 않아 몽골인구 중 70%는 전통적인 겐(Ger)이나 소규모 주거지에서 생활한다. 겐은 현재 촌락이나 소읍과 같은 소규모 인구밀집지 뿐만 아니라 Ulaanbaatar시와 같은 대도시의 외곽지역에서 주거생활 공간으로 널리 이용하고 있다. 겐은 겨울철 혹한기에 어디서나 구할 수 있는 가축의 건조 배설물이나 땃감나무를 이용하여 난방을 할 수 있어 난방 연료의 수급이 용이하고 설치와 철거가 간편하고 따뜻하며 안락하여 몽골인들의 전통적인 생활방식에 적합한 주거시설이다. 일반 소규모 주택의 건축재는 아직까지도 두께가 약 64 cm 되는 벽돌로 축조된 벽체들이 주종을 이루고 있는데 이는 몽골처럼 극한 기후에 적합한 표준 벽 두께이다. 이 이외에 조립식 철근 콘크리트 건물이 널리 이용되고 있다. 콘크리트 건물 벽체의 열관류율(U-factor)은 Table 2와 같다. 독립적인 개인 가옥의 경우에 일반적으로 벽의 주골격은 두께가 15~20 cm되는 목재를 사용하고 벽 양면에 모래나 시멘트 몰탈을 바른 후 마감작업을 한다.

Ulaanbaatar시와 각 주의 주도과 같은 비교적 규모가 큰 도시의 사무실 빌딩은 중앙 난방시스템을 채택하고 있으며 산업이 발달된 일부 주의 중심지는 동절기 동안 난방 에너지를 열병합 발전시설을 이용하여 난방 에너지를 공급한다. 열에너지의 출구온도는  $70 \sim 150^\circ\text{C}$ 이며 환수온도는  $70 \sim 90^\circ\text{C}$ 이다. 연간 난방기는 10월 중순에서 4월 중순까지 약 6개월간이며 잔여 기간 동안은 지역난방 시스템은 가동하지 않는다. 빌딩의 난방기는

Table 2 Size and Thermal transmittance of elements of typical Mongolian Ger

Elements	Materials	Area(m <sup>2</sup> )	Thickness (m)	Thermal transmittance(W/K.m <sup>2</sup> )
Wall	Wooden lattice finished w/Felt	23.25	0.15	0.35
Roof	Wood supports finished w/Felt	36.32+1.135=	0.15	0.35
Floor	Wood or concrete	36.32	0.1~0.55	0.092
Window	Wood framework and glass	1.135/2	0.005	6.2
Door	Wood and Felt	1.38	0.03~0.05	0.94

$$q_{ger} = (\sum U \times A) \times (T_i - T_o) + \text{heating infiltration loss/air exchange} + \text{other heat loss}$$

cast iron으로 만들어진 방사기(radiator)를 사용한다. 이에 비해 소규모 촌락과 마을단위의 난방은 석탄로를 이용하여 난방열 에너지를 공급하며 소규모 시군 단위인 소읍 중심지는 자체의 난방시스템을 보유하고 있다. 소읍중심지에 설치되어있는 난방시설의 용량은 0.8~3.0 MWt 정도이며 첨두 난방부하는 0.4~2.0 MWt 정도이다.

이러한 난방시스템은 석탄을 연료로 이용하여 온수를 만든 후 소읍중심지에 소재한 병원, 초등학교, 기숙사, 전신전화국 등 공공건물과 기타 최종 수요자에게 온수를 공급하여 난방을 한다.

온수는 보온을 시킨 온수관을 지하에 매설하여 공급한다.

Table 2는 몽골 에너지 및 광물자원부의 Renewable Energy & Rural Electricity Access Project의 책임자인 Purevsuren<sup>[2]</sup>이 제시한 몽골형 겔의 구조와 바닥구조에 따른 겔의 각 부위별 재질과 면적, 두께 및 총괄 열관류율을 나타낸 표로서 겔의 바닥이 콘크리트구조로 되어 있을 경우에 겔의 각 부위별 단위 설계 온도차 당(1℃) 겨울철의 계략적인 열손실량은 Table 2에 제시된 식(q<sub>ger</sub>)으로 산정한다. 식에서 난방침투손실=공기환기율(0.35)×공간체적×난방침투인자(1.32)이다.

Table 2에서 제시된 식에서 공기환기에 따른 난방 침투손실과 바닥면 및 배관에 따른 열손실을 고려하지 않고 제시된 몽골형 ger당 열손실량은 1,318W이다(몽골의 실내의 설계기준이 각각 20℃와 -25℃이므로 T<sub>i</sub>-T<sub>o</sub>=45℃, Purevsuren<sup>[2]</sup>). 따라서 상기 열손실량은 상술한 각종 열손실을 감안하지 않은 난방부하로 사료된다.

몽골의 표준형 겔의 바닥 면적이 36.32m<sup>2</sup>이므로 실내온도를 20℃로 유지하기 위해 바닥면을 30℃로 난방을 하는 경우, 필요한 공급온수의 수온

(LLT)은 최소 40℃이고 이 경우에 단위면적당 방열량은 117W/m<sup>2</sup> 이므로 부설율을 80%을 적용하면 바닥을 통해 실내로 방열되는 총 열량은 약 3,4kW [36.32m<sup>2</sup>× 117W/m<sup>2</sup>×0.8=3,400≐1RT]규모이다(Table 3 b).

Table 3 Standard heating loads per unit floor area(m<sup>2</sup>) in case of floor heating

a) Japan

Contents Heating	Heating	Heat flow (W/m <sup>2</sup> )	Remarks
Floor heating (116W/m <sup>2</sup> )	Single house	81	placement ratio:70%
	Aggregate house	70	60%

b) Mongolia (Unit : ℃)

Contents Heating	In-door	Floor	Hot water	Heat flow (W/m <sup>2</sup> )
Floor heating	20	26	32	63
	20	28	36	87
	20	30	40	117

(Purevsuren,2001)<sup>[2]</sup>

4.3 수직 루프형-지원 열펌프시스템(GSHP)의 적용시 1 RT당 필요한 천공심도

Ulaanbaatar시 일원의 지표하 약 100 m 구간에 서 연평균 지중온도(MAGT, tg)는 6℃정도이므로 수직 루프형-지원 열펌프시스템(Ground source heat pump system)을 이용하여 동절기 6개월과 하절기 2개월간 천부 지열을 냉난방용 응축 및 증발열원으로 이용할 경우에 동절기에 열펌프로 유입되는 GHX순환수의 입구온도(EST)는 -5℃에서 1℃ [tg-(8.5±2.5)=6-(8.5±2.5)]정도될 것이며

하절기에 열펌프로 유입되는 GHX순환수의 입구 온도(EST)는 17°C에서 23°C [ $tg+(14\pm 3)=6+(14\pm 3)$ ] 정도될 것이다.

분석 대상인 몰골형 주거지들 가운데 동절기의 침투 난방부하가 약 21.1 kW(6 RT)정도이고 하절기의 주거지 냉방부하가 약 8 RT(28.1 kW) 정도되는 가상 주거지를 가정하여, 이에 적합한 저온 열펌프 시스템인 IKS-120형을 선택한 후, 1RT의 난방열에너지를 지중에서 추출하는데 필요한 천공깊이를 검토하였다.

#### 4.3.1. 분석 조건

분석조건은 연평균 지중온도( $tg=6^\circ\text{C}$ )에 따른 열원측 입구온도(Source side entering temperature)와 GHX를 설치한 천공(bore hole)사이 공간에 부설할 퇴매움재(backfill)의 종류와 HDPE Pipe의 부설방법(Geoclip 등의 사용여부에 따른 Pipe placement) 및 Ulaanbaatar지역에 분포된 빙하퇴적층과 고기 변성암의 열적 특성을 고려하여 Table 4와 같이 Case-1과 Case-2별로 구분하여 1 RT(3.5 kW)의 냉난방 열에너지를 생산하는데 필요한 천공심도를 산정하였다.

이를 위해 울란바토르지역의 연평균 지중온도는 금번에 확인한 6°C를 적용하였고 난방기의 겨울철 6개월간 실내 바닥으로 공급되는 온수의 공급수온(LLT)는 평균 48~50°C사이, 하절기인 약 2개월간의 냉방시기에 fan coil로 공급되는 chilled water의 수온은 7°C를 적용하였다

Table 4 Major parameters used for Case study

Case	Backfill materials	Thermal K (w/mK)	Method of GHX placement	EST
1	Normal bentonite,	0.74	average (centered)	8 kinds
2	Thermally enhanced bentonite,	1.7	along the wall	8 kinds

#### 4.3.2 분석 결과 (1RT당 필요한 천공심도)

각 Case와 냉난방시기 별로 구분하여 분석한 결과 내용은 Fig.5와 같다(Table 4)

난방시 Case-1의 경우에 3.5 kW(1 RT)의 난방

열에너지를 추출하여 이용하기 위해서는 EST에 따라 최소 90.5m에서 최대 183m의 천공을 해야 하며 평균 약 130 m를 굴착해야 한다 이에 비해 Case-2의 경우에 3.5 kW(1RT)의 난방열에너지를 추출하여 이용하기 위해서는 평균 98 m만 굴착하면 된다 즉 열 증강 그라우트재의 사용여부와 HDPE pipe의 부설방법에 따라 천공심도는 25%정도 단축시킬 수 있다.

냉방시 Case-1의 경우 1 RT(3.5 kW)의 냉방열에너지를 이용하기 위해서는 EST에 따라 최소 79 m에서 최대 102m의 천공을 해야하며 평균 90m이면 충분하다 이에 비해 Case-2의 경우에 3.5 kW(1 RT)의 난방열에너지를 추출하여 이용하기 위해서는 평균 66 m를 굴착해야 한다 따라서 열 증강 그라우트재와 geoclip등을 이용하여 HDPE pipe를 천공벽면에 밀착(along the wall방법)시키면 천공심도를 26.7%정도 단축시킬 수 있다.

Fig.5는 GLD program을 이용하여 냉난방시 분석 조건별(Case 및 EST)로 산정한 1 RT당 필요한 천공심도와 성적계수를 도시한 그림이다.

난방시에는 ESTh가 증가할 수록 m/RT와 COPh는 증가하나 냉방시에는 ESTc은 감소할 수록 m/RT와 COPc는 증가한다. 몰골의 암반 대열층(aestifer)은 대체적으로 열전도도가 화강암보다 낮은 퇴적암과 변성암으로 구성되어 있고 Table 1에서 언급한 바와 같이 균열암반 대열층 내에 부존된 지하수위가 지표하 (25.4±7.5 m)로 깊은 곳에 발달되어 있어 수직 지중열교환기(GHEX) 1개공에서 지속적으로 일정한 온도를 유지하면서 지중열을 추출할 수 있는 포화 대열층의 두께는 충분히 두텁지 않다.

따라서 1 RT의 지중열을 지속적으로 추출하여 난방용 열원으로 이용하려면 지중열교환기의 설치심도는 최소 110~180 m정도이며 평균 130 m는 되어야 하고, 반드시 부동액을 사용해야 한다 즉 천부 지중열을 추출하여 건축물에 6 RT규모의 난방열에너지를 공급하려면 최소 천공심도가 130 m정도되는 수직 지중열교환기(GHX) 6개공을 설치해야 한다.

몰골의 월평균 기온이 영하로 내려가는 겨울철의 난방기간은 전술한 바와 같이 10월~4월 중순까지 약 6개월간이며 하절기의 냉방기간은 6월~8월 중순까지의 약 2개월간이다.

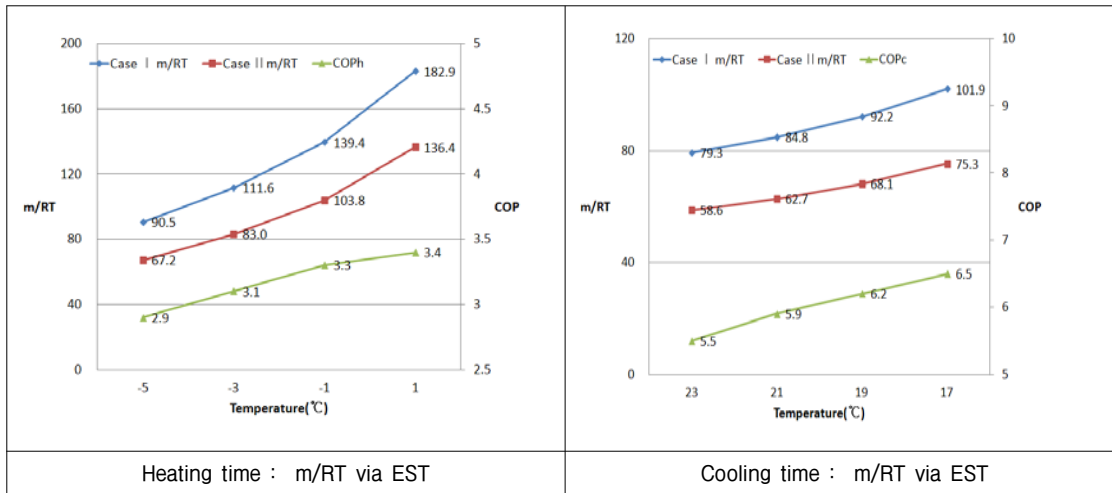


Fig. 5 Required bore hole length(in meter) to generate 1 RT heat energy and obtained COP by case analysis using GLD program

겨울철 난방기간 동안에는 지중열을 추출하여 난방열원으로 사용하기 때문에 장기간 밀폐형 지원 열펌프시스템을 운전하는 경우에 지중온도는 다소 하강할 수 있다(실제 10년간 본 시스템을 연간 냉난방용으로 동시 운영하는 경우에 예측된 지중 하강온도는  $-0.1^{\circ}\text{C}$  였음).

따라서 하절기 냉방기간 동안에 열펌프시스템을 가동시켜 실내 냉방을 시키고 이때 생성된 폐열은 지중 열교환기를 통해 지중으로 방열시키면, 겨울철에 추출된 지중 열에너지를 보충하여 열평형을 이루는데 크게 도움이 될 것이다.

#### 4.3.3. GHEX설치 공간의 여유가 있는 소규모 집합주택 (50가구 규모의 소규모 APT 단지)

고기밀 주택은 냉난방과 함께 24시간 연속적으로 환기를 시키기 때문에 항상 신선한 공기 및 쾌적한 온도를 유지할 수 있는 특징이 있다. 24시간 냉난방 및 환기시 부하계산은 주호 전체에 대해 24시간 연속 운전을 기본으로 하여 계산한다. 일본의 경우에 고밀도 집합주택에서 냉난방시 단위 면적당 부하계산 기준은 Table 3(a)에 제시한 바와 같이  $116\text{ W/m}^2$ 이며 부설율 60%를 적용하면  $70\text{ W/m}^2$ 으로서 일반 주택의 간헐 운전보다는 약간 적다. 이에 비해 몽골에서

바닥 난방을 하는 경우의 간이 부하기준은 온수의 온도와 바닥면의 온도를 기준으로 상이한데 바닥면의 온도를  $30^{\circ}\text{C}$ , 온수의 수온을  $40^{\circ}\text{C}$ 로 취했을 때, 간이부하 기준은  $117\text{ W/m}^2$ (Table 3(b) 참조)이다. 일반적으로 몽골의 건축재는 단열성이 불량하고 기존 주거지의 경우에 열 손실이 매우 크다. 따라서 간이부하 기준의 80%를 단위 면적당 부하계산 기준으로 적용하면 약  $93.6\text{ W/m}^2$  규모이다.

1가구당 면적이  $66\text{ m}^2$  정도이며 약 50세대로 이루어진 소규모 Apt 단지의 경우에 필요한 난방 부하는 약  $308,880\text{ W}$ ( $93.6\text{ W/m}^2 \times 66\text{ m}^2 \times 50$ 세대,  $308,880 \div 3,516=87.9\text{ RT}$ )로서 약 88 RT이다. 이 경우에 필요한 총 천공심도는  $11,440\text{ m}$ 이므로, 이는  $130\text{ m}$  심도의 수직 GHEX 88공이면 충분한 난방열에너지 공급이 가능할 것이다. 이 경우에 GHEX사이의 공간간격을  $10\text{ m}$  간격으로 설치하면 1개 GHEX설치에 필요한 공간 면적은  $100\text{ m}^2$  정도이다.

울란바토르시 중심지나 소음의 중심지를 제외한 인구 밀집지의 외곽지역이나 소음등지에 밀폐형 저온 지중 연결 지열펌프시스템(Closed loop, earth coupled system)을 이용하면 여름철 냉방은 물론 겨울철 난방문제와 화석연료 사용에 따른 인구밀집지의 심각한 대기오염 문제 해결에 크게 기여할 수 있을 것이다.



## 5. 천부 지열에너지 개발가능성 검토

### 5.1 수직루프형 지열 열펌프시스템 설치 적지

몽골에서 다음과 같은 곳은 밀폐형 지열 펌프 시스템을 이용하여 필요로 하는 냉난방 에너지를 겔과 같은 소규모 주택이나 소규모 APT단지(50세대 이하 규모)에 공급할 수 있는 지역이다.

- ① “지열유량이 높은 지역으로서 단층습곡대지의 용기대 가운데 A, B 및 C 열수시스템지구, 혼합중간대(D열수시스템지구) 및 요곡/대규모 침강대 중 E 열수시스템 지구내
- ② 지하수의 분포심도가 얇은 지역(지하수기 지표하 10 m 이내에 발달되어 있는 지역)
- ③ 강우량이 비교적 많은 지역으로서 저지대
- ④ 기존의 하천변에 분포된 제4기 충적층 분포지
- ⑤ 남사면
- ⑥ 순수초원지역과 사막형 초원지역

그러나 ① 지하수가 지표하 20 m 이하에 발달되어 있는 지역 ② Alpine형 고산지, 산림-산림형 초원지역, 산악형 침엽수 지역 등 영구동토 두께가 비교적 두터운 지역 ③ 고지대 ④ 북사면에 밀폐형 지열펌프 시스템을 적용할 시에는 유의해야한다.

### 5.2 천부 지열에너지의 개발 가능량 (밀폐형 지중연결 열펌프시스템 이용시)

몽골의 주요 인구 분포지역을 위시해서 비도시지역인 농촌과 목축지역의 주민들은 주로 순수초원지대와 일부 산악형 및 사막형 초원지대와 과거의 온천 유출지대에 주로 거주한다.

몽골의 3개 지열대와 8개 열수시스템지구 가운데 지열유량과 지온구배가 비교적 높은 지구는 단층 및 습곡대지로 이루어진 대기형 용기대에 소재하는 A, B, C 열수시스템 지구와 혼합 중간 및 전이대(Mixed intermediate 또는 Transitional zone)에 속하는 D 열수시스템 지구 및 요곡 및 대규모 침강대(Concave or largest subsidence zone)에 소재하는 E 열수시스템 지구와 일부 G열수시스템 지구이다(Table 5(a)). 상술한 지구의 총 면적은 몽골 전면적의 62.3%에 해당하는 약

974,434 Km<sup>2</sup> 정도이며 현 몽골의 온천 분포지대는 이들 지대와 일치한다.

특히 이들 열수시스템 지구와 온천 분포지역이 서로 중복되는 구간의 면적은 상술한 면적의 약 37.3%에 해당하는 363,433 Km<sup>2</sup>이다(몽골 전국토면적의 약 23.2%).

이들 중복지역 가운데서 지하수위가 비교적 깊고(지표하 20 m 하부에 분포), 사면이 북향이며, 고지대에 위치한 지역을 제외한 잔여 20% 구간에서만 주민들이 주로 거주하며, 이곳에 지중 열교환기를 설치하여 냉난방 열에너지로 이용하는 경우에 천부 지열에너지 개발 대상 면적은 몽골 전체 면적의 약 4.6%에 해당하는 약 72,686 km<sup>2</sup>이다.

이들 지역에 130 m 심도의 수직 GHEX를 10 m간격으로 1개공씩 설치하면 약 1 RT규모의 지열 에너지를 지중으로부터 추출하여 이용할 수 있으며, 1개 겔이 필요한 난방 부하량은 약 1 RT정도이므로 130 m 심도의 GHEX 1개 공과 1 RT 규모의 저온 열펌프시스템을 설치 운영하면 비도시지역의 몽골가정이 필요로 하는 친환경적인 난방에너지를 그들이 주거하고 있는 주거지 직하부의 지중(지하 대열대)에서 개발 이용할 수 있다.

이 경우에 몽골의 순수 초원지대를 위시해서 열수시스템과 기존의 온천 분포지가 서로 중복되는 지역 중 그 1/4에 해당하는 지역에서 천부지열을 이용하여 냉난방에너지로 이용하는 경우의 대상면적은 약 18,170 Km<sup>2</sup>(72,686×0.25)로서 전국토의 약 1.2%에 해당한다.

천부지열 개발 가능량 산정시에는 몽골의 지중 열 분포 특성에 관한 정보의 빈약성에 따른 불확실성, 몽골의 공간면적의 여유 등을 고려하여 1개 GHEX에 필요한 공간 면적을 원래 필요한 공간 면적의 약 4배인 400 m<sup>2</sup>로 가정하여 천부 지열에너지의 개발 가능량을 산정하였다. 이 경우에 개발 가능한 최소 천부 지열에너지 개발 가능량은 Table 5(b)와 같이 약 159,700 MWt정도로 추산된다.

몽골의 전체 인구가운데 겔이나 소규모 전통주거지에 거주하는 인구(비도시지역 인구=1,063,316인과 도시외각지역 인구=880,200인)는 몽골 전체 인구의 69%에 해당하는 약 1,945,000명 이다. 몽골의 1개 가정은 약 4인으로 구성되어 있고 총 가정수는

Table 5 Area of six(6) hydrothermal system zones and potential heat energy to be generated by shallow geothermal GHX(MW)

(a) Areas of hydrothermal zones

Legend	Zones/Regions	Overlapped area (km <sup>2</sup> )	Total (km <sup>2</sup> )	Ratio (%)
A	Khangai, Khentii	100,412		
B	Khovsgol	49,355		
C	Mongol-Altai	83,887	233,654	14.9
D	Mixed/intermediate	63,524	63,524	4.06
E	Dornod-Mongol	27,736		
G	Great Lake concaves	38,519	66,255	4.23
		363,433	363,433	23.2

(b) Potential heat energy able to create by shallow geothermal GHX (MW)

Hydrothermal zone	Total area (km <sup>2</sup> )	Applied ratio	Relevant area(km <sup>2</sup> )
A ,B, C	233,654	0.2×0.25	11,682
D	63,524	0.2×0.25	3,176
E 및 G	66,255	0.2×0.25	3,312
계	363,433		18,170

Numbers of installable GHEX:  
 $18,170 \times 106m^2 \div 400m^2 \div 45,425,000$  ea

Total heat energy  $45,425,000 \text{ 개} \times 1RT \times 3.516 \div 1000$   
 kW/MW  $\div 159,700$  MW

몽골의 총면적 :1,564,116km<sup>2</sup>

약 713,000가구이며 이 가운데 비 도시지역과 도시 외각지역에서 켈이나 소규모 전통 주거지에서 거주하는 가구 수는 약 492,000가구이다.

이들 비 도시지역과 도시 외각지역에서 1개 몽골가정이 1개 켈을 소유하고 있을 경우에 필요한 난방 열에너지는 여유 있게 보아 1 RT규모이므로 이들 가정이 연간 필요로 하는 총 열에너지는 1,730 MWt( $1RT \times 3.516 \times 492,000 \div 1,730,000$  kW) 규모이며 만일 몽골 1개 가정이 2개의 켈을 소유하고 있다고 하더라도 필요한 난방 열에너지는 3,460 MWt로서 이는 총 천부 지열에너지 개발 가능량의 약 2.2%정도에 해당한다. 즉 몽골에서 저온 열펌프시스템을 이용하여 개발 가능한 천부 지열에너지는 켈과 소규모 전통 주거지에서 필요

로 하는 전체 난방에너지의 약 46배에 이르는 막대한 양이다

### 5.3 온천수를 직접 이용(Direct use)시 난방 열에너지 개발가능량

몽골에서 현재 온천을 위시한 열수 분포지역은 43개 온천수 분포지인 지열대-열수시스템 지구이며, 기존 온천이 보유한 열에너지는 건물과 주택, 온실 및 양어장과 같은 각종 시설의 난방에너지로 직접 변환시켜 이용할 수 있다.

Table 6은 기존 온천의 초기 온도를 난방원으로 이용하고 이를 35℃까지 하강시킬 때 이들 지열대-열수시스템에서 개발 가능한 열에너지를 각 지역별로 산정한 내용이다.

이들 지역가운데 khentii지역의 Ikh onon과 Bayan-khongor지역의 Shargaljuut 및 Arhangai 지역의 Tsenher 온천은 수온이 각각 88℃, 92℃, 86℃이고, 용천 유출량이 각각 11 L/s(950 CMD), 25 L/s(2,160 CMD), 10 L/s(864 CMD)이므로 직접적으로 열에너지를 개발할 수 있는 가능량은 각각 2,443 kW, 5,971 kW 및 2,137 kW이며 43개 온천지역 가운데 수온이 35℃를 상회하는 31개 지역에서 개발 가능한 총 열에너지는 Table 6과 같이 18,438 kW이다.

## 6. 결론 및 제언

### 6.1 천부지열의 산출 특성과 활용 방안

몽골에 분포된 천부 대열층의 연 평균 지중온도는 3~6℃로서 1 RT의 지중열을 지속적으로 추출하여 난방용 열원으로 이용하려면 지중 열교환기의 설치 심도는 최소 110~180 m로서 평균 130 m정이며, 반드시 부동액을 사용해야 한다. 또한 겨울철 난방기간 동안에 지중온도는 다소 하강하기 때문에 하절기 약 2개월간 열펌프 시스템을 가동시켜 실내 냉방을 시킨 후, 생성된 폐열은 지중으로 방열시켜 겨울철에 추출된 지중 열에너지를 보충하여 열 평형을 이루도록 해야 할 것이다.

Table 6 Potential heating energy to be generated by direct use of existing 43 hot springs(Applied to springs : T>35℃)

No	Hot Spring	El (m)	Q (l/s)	Mean T (℃)	Heat generation (kW)
1	Utaat minjuur	720	-	67	
2	Baga onon	1450	0.1	73	16
3	Ikh onon	1470	11	88	2,443
4	Eustii	1150	3	34	
5	Euruu		3	43	101
6	Saikhan khulj	2130	2.3	55	193
7	Khujirt	1748	16	55	1,341
8	Emt	1850	0.5	39	8
9	Khuremt	1900	5	55	419
10	Mogoit	1650	7	72	1,085
11	Khamar	1750	4	39	67
12	Gyatruun	2500	5	36	21
13	Sharga	1900	1	30	
14	Taats	1335	2.5	55	210
15	Baga Shargaljuut	2150	10	58	964
16	Shargaljuut	2400	25	92	5,971
17	Uheg	2100	5	57	461
18	Orgoot	-	5	40	105
19	Teel	2200	5	32	
20	Tsokhiot	-	5	23	
21	Tsenher	1860	10	86	2,137
22	Tsagaan Sum	1840	8	69	1,140
23	Gyalgar	1900	1	52	71
24	Shivert	1710	4	55	335
25	Bortal	1880	4.5	46	207
26	Chuluut	2190	1.2	45	50
27	Noyon	2370	6	38	75
28	Testsuuh	2050	0.2	36	1
29	Zaart	2080	2.8	44	106
30	Khaluun us	2170	1	35	
31	Khojuul	2170	4	45	168
32	Otgontenger	2510	1.7	56	150
33	Ulaan khaalga	228	0.2	37	2
34	Bulnai	1660	5	47	251
35	Salbart	-	6	44	226
36	Urtrag	-	3.1	21	
37	Tsuvraa	-	0.1	35	
38	Khunjil	1950	0.1	62	11
39	Jalga	-	5	40	105
40	Bulgan	1670	0.6	29	
41	Gants mog	2590	1	31	
42	Chihert	2480	0.5	25	
43	Tsagaan gol	-	3	32	

몽골에서 저온 열펌프 시스템을 이용하여 개발 가능한 천부 지열에너지는 켈과 소규모 전통 주거지에서 필요로 하는 전체 난방에너지의 약 46 배에 이르는 159,700 MW이다.

특히 몽골의 기존 43개 온천지구 가운데 수온이 35℃를 상회하는 31개 지역에서 개발 가능한 총 지열 열에너지는 18,438 kW으로서 인근의 기존건물과 주택, 온실 및 양어장과 같은 각종 시설의 난방에너지로 직접 변환시켜 이용할 수 있다.

## 6.2 제언

금번 연구에서 확인한 각 조사 대상지점에 대해 최소 다음과 같이 몽골의 수문지열 여건에 가장 적합하면서 경제적인 지열개발 시스템을 규명하기 위해 단계적인 종합 지중열 시스템 활용을 위한 수문지열조사를 실시할 것을 제안한다.

- ① 시추 천공(6"---2공(2공×130 m=260 m).
- ② 10 m간격으로 지중온도를 측정하고 수직 지온구배 규명.
- ③ 10 m간격으로 시료 채취하여 실내 열전도도 측정
- ④ 수리지질조사를 실시하여 다음과 같은 정량적인 자료 도출(수위, 수온, 공내유량 및 유속측정, 수리특성인자 규명, 지하수 수질분석, 수위 수온측정은 시추공내에 diver를 설치하여 계절별 수위와 수온변동 특성과 평균 지중온도 규명)
- ⑤ 지열유량 측정
- ⑥ 천부 지열개발 가능성이 있다고 판단되는 경우에 수집된 자료를 근거로하여 열펌프시스템 설계한 후
- ⑦ 시추 천공 구간에 수직 지중 열교환기를 설치한 다음, 공벽 구간에 Grouting 실시
- ⑧ 현장 열전도도도 시험을 실시
- ⑨ 적정 열펌프시스템 설치하여 최소 1년간 장기성능시험을 실시한 후
- ⑩ 경제성평가와 최적 개발 방안을 도출해야 할 것이다.

## 후 기

이 연구는 에너지관리공단 신재생에너지 센터의 2011년도상반기 “신재생에너지 해외 진출 지원사업 중 해외시장 조사 및 프로젝트 발굴사업(2011-01-010)”의 일환으로 수행되었다.

### 참고문헌

1. Ochibat. P., etal, 2010, 몽골의 지질과 광물, 연세대학교 출판부 pp.13-30
2. Purevsuren Dorj, 2001, Design of small geothermal heating systems and power generators for rural consumers in Mongolia, The United Nations University Reports, No.3, pp 50-522.
3. Ya.Jamvaljav, et al 2011. Mapping of Permafrost in Mongolia and its relationship to the Environment, Extended Abstracts of Second Inter. Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, Mongolian Permafrost Association pp.25-30
4. Jargaltulga.Ts, Jamvaljav. Ya,Iijima.Yo 2011, The effects of Snow Cover on the Active Layer and the Seasonal Freezing. Extended Abstracts of Second International Symposium on Mountain and Arid Land Permafrost, Mongolian Permafrost Association pp.34-35
5. Nanjilin Jadambaa, Wolfgang Gremmelmann, and Aribert Kampe, 2003, Hydrogeologic Map of Mongolia, Institute of Geology and Mineral Resources(IGMR), pp 8-45