

# 세계 지열에너지 활용 현황 및 전망

송 윤호<sup>1)</sup>

## Status and Outlook of World Geothermal Energy Utilization

Yoonho Song

Key words : geothermal energy resource(지열에너지자원), geothermal power generation(지열발전), direct uses(직접이용), geothermal heat pump(지열 열펌프)

Abstract : World geothermal resources potential is estimated to supply 189 EJ annually, which can take charge approximately a half of annual world energy consumption, from considering identified resources and supplies in USA and Iceland. Present annual use of geothermal energy, on the other hand, is only 0.1 % of its potential, but still has 70 % share among total new renewables. World-wide installed capacity of geothermal power generation reaches 8,900 MWe and 27,825 MWt for direct uses in 2005 which is almost two-fold increase over 2000. This increase is mainly due to exploding expansion of geothermal heat pump utilization; USA and western European countries lead these trends. Although geothermal heat pump distribution in Korea is still in its starting phase, comparing to Swiss achievement in terms of areal utilization sense, we expect to come up with national supply of over 600,000 toe in near future.

### 1. 서론

지열에너지자원은 인류가 가지고 있는 가장 오래된 에너지자원 중의 하나이며, 현재 대수력을 제외한 신재생에너지자원 중에서 가장 많은 에너지를 공급하고 있음에도 불구하고 우리나라에서는 그 중요성이 상대적으로 낮게 평가되고 있다. 최근 들어 지하 300 m 이내의 일정한 지온을 이용하여 냉난방에 활용하는 지열 열펌프의 보급이 증가하고 있지만 아직도 일부 에너지 전문가 중에서는 지열을 태양열이 지하에 저장되어 있는 열 정도로만 오해하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 지열에너지자원의 정의를 간단히 살펴보고 전세계 부존량 추정에 대한 최근의 연구결과, 현재 전세계 지열에너지자원 활용 현황을 정리하였다. 또한 최근 우리나라에서도 그 보급이 활발해지는 지열 열펌프 활용 선진국인 스위스 및 미국의 현황을 분석하여 앞으로 우리나라에서의 활용 전망에 대하여 살펴본다.

### 2. 지열에너지의 정의

지열에너지란 지구가 가지고 있는 열 에너지를 총칭하나 최근에 지열에너지는 인간에 의해 발견되고 개발된, 또는 개발될 수 있는 지구의 열을 지칭하는 의미로 자주 쓰인다. 지열의 근원은 지각 및 맨틀을 구성하고 있는 물질 내부의 방사성 동위원소 즉, 우라늄( $U_{238}$ ,  $U_{235}$ ), 토륨( $Th_{232}$ )과 칼륨( $K_{40}$ )의 붕괴에 의한 것이 약 83%, 맨틀 및 그 하부 열의 방출 즉, 지구가 서서히 식어가는 과정에 의한 원인이 약 17%로 알려져 있으며, 지표에서 느껴지는 지열의 약 40%가 지각에 의한 것으로 추정되고 있다 (Beardmore and Cull, 2001). 따라서 지하로 내려갈수록 지온은 높아지게 되며 이를 지온증가율 또는 지온경사(geothermal gradient)라 부르는데, 현대의 시추기술로 파내려갈 수 있는 깊이 즉, 10 km까지의 평균 지온증가율은 약 25 ~ 30  $^{\circ}C/km$ 이다. 한편 지하 심부의 고온 지대와 천부의 저온 지대 사이의 온도차는 심부로부터 천부로의 전도에 의한 열의 흐름(conductive flow of heat)을 발생시키며, 평균적인 대륙 및 해양의 지열류량(terrestrial heat flow)은 각각 65와 101  $mW/m^2$ 이고 각각의 면적을 고려하여 평균하면 지구 전체의 지열류량 평균은 87  $mW/m^2$ 이 된다 (Pollack et al., 1993). 그러나 이러한 값 들은 모두 평균적인 것으로, 맨틀의 대류에 의한 지각 판의

<sup>1)</sup> 한국지질자원연구원 지하수지열연구부  
E-mail : song@kigam.re.kr  
Tel : (042)868-3175 Fax : (042)863-9404

경계에서는 화산활동과 관련된 고온 지열지대가 존재하여 지표 근처에서 100 °C 이상의 온도를 보이는 곳도 많으며 대부분의 지열발전소가 이러한 곳에 위치하고 있다.

### 3. 지열에너지자원 부존량과 사용량

Electric Power Research Institute (EPRI, 1978)에 따르면 대륙지각의 3 km 심도 이내에 저장되어 있는 지열의 총량은  $12 \times 10^{12}$  GWh 또는  $43 \times 10^6$  EJ (Exa= $10^{18}$ ) 에 이른다. 이 양은 2001년도 전세계 에너지소비량 420 EJ을 생각한다면 인류가 약 100,000년 동안 사용할 거대한 양이다. 그리고 Stefansson (2005)은 미국과 아이슬랜드의 지열발전 및 직접이용 현황으로부터 기술적으로 확인된 전세계 지열자원의 부존량 (potential)을 Table 1과 같이 추정하였다. Table 1에서 첨자 e는 전기에너지를, 첨자 t는 열에너지를 나타내며 열에너지의 약 10%가 전기에너지로 변환된다고 가정하였다. 확인된 자원으로 추정된 부존량은 6 TWt (=189 EJ/year)에 이르며 이는 전세계 연간 에너지 사용량의 1/2에 가까운 양을 공급할 수 있음을 말한다.

Table 1. Overview of estimated technical potential of geothermal resources in the world (after Stefansson, 2005).

	최소 추정 부존량	추정된 부존량	최대 추정 부존량
발전에 이용할 수 있는 자원량	0.05 TWe	0.2 TWe	1 - 2 TWe
직접이용 가능 자원량	1 TWt	4.4 TWt	22 - 44 TWt
전체 부존량	1.5 TWt	6 TWt	30 - 60 TWt

Table 2. Renewable's share of global primary energy consumption in 2001 (European Renewable Energy Council; EREC, 2004)

	바이오매스	대수력	기타 재생에너지						소계
			소수력	풍력	태양광	태양열	지열	해양	
Mtoe	1,080	222.7	9.5	4.7	0.2	4.2	43.2	0.05	61.85
%	79.2	16.3	15.4	7.6	0.3	6.8	69.9	0.0	4.5

\* 음영부분은 기타 재생에너지에 대한 비율

현재 전세계적으로 사용되는 지열에너지자원의 양을 살펴보면, 아직도 그 비중이 아주 미미하나 기타 재생에너지에 비해서는 막강한 우위를 점하고 있다. 2001년도 전세계 재생에너지원별 1차에너지 소비량을 나타낸 Table 2를 보면, 2001년도 세계 1차에너지 총 소비량 10,038.3 Mtoe (42 GJ = 1 toe)중 재생에너지는 약 13.6%인 1,364.5 Mtoe가 소비되었는데 이중 바이오매스가 1,080 Mtoe (79.15%), 대수력이 222.7 Mtoe (16.32%), 나머지 61.85 Mtoe가 소수력, 지열, 풍력 등의 기타 재생에너지에 의한 것이다. 한편 기타 재생에너지 중에서는 지열이 70%로 주를 이루고 있으므로 현재까지 가장 중요한 재생에너지

자원임을 잘 보여주고 있다.

Table 1에 나타낸 활용 가능 부존량과 Table 2에 나타낸 2001년도 사용량을 비교해보면 연간 사용할 수 있는 189 EJ(=4,500 Mtoe)의 0.1%도 활용되고 있지 않음을 알 수 있다. 이는 앞으로 우리가 노력함에 따라 얼마든지 많은 양의 지열 에너지자원을 활용할 수 있음을 뜻한다.

### 4. 세계 지열 발전 현황

1904년도에 지열발전에 성공한 후, 1913년에 이탈리아에서 최초로 상업적인 발전이 이루어졌으며 그 후 일본의 Beppu (1919), 미국 California의 The Geysers (1921), 그리고 뉴질랜드 Wairakei (1958), 멕시코 (1959) 등 세계로 퍼져나가 2004년말 현재 전세계 발전시설용량은 8,900 MWe에 이르고 있으며 연간 57,000 GWh의 전기를 공급하고 있다 (Bertani, 2005).

Table 3. Status of world geothermal power generation (Bertani, 2005)

Country	Installed Cap. [MW]	Running Cap. [MW]	Annual Energy Produced [GWh/y]	# of Units	% of National Cap.	% of National Energy
Australia	0.2	0.1	0.5	1	-	-
Austria	1	1	3.2	2	-	-
China	28	19	95.7	13	30%	30%
Costa Rica	163	163	1145	5	8.4%	15%
El Salvador	151	119	967	5	14%	24%
Ethiopia	7	7	N/A	1	1%	n/a
France	15	15	102	2	9%	9%
Germany	0.2	0.2	1.5	1	-	-
Guatemala	33	29	212	8	1.7%	3%
Iceland	202	202	1,406	19	13.7%	16.6%
Indonesia	797	838	6,085	15	2.2%	6.7%
Italy	790	699	5,340	32	1.0%	1.9%
Japan	535	530	3,467	19	0.2%	0.3%
Kenya	127	127	1,088	8	11.2%	19.2%
Mexico	953	953	6,282	36	2.2%	3.1%
New Zealand	435	403	2,774	33	5.5%	7.1%
Nicaragua	77	38	270.7	3	11.2%	9.8%
Papua New Guinea	6	6	17	1	10.9%	
Philippines	1,931	1,838	9,419	57	12.7%	19.1%
Portugal	16	13	90	5	25%	
Russia	79	79	85	11	-	-
Thailand	.3	.3	1.8	1	-	-
Turkey	20	18	105	1	-	-
USA	2,544	1,914	17,840	189	0.3%	0.5%
TOTAL	8,912	8,010	56,798	468		

한편 Table 3은 2005년 현재 각 나라별 지열발전 설비용량, 실제 가동되는 설비량, 연간 에너지 생산량 및 각 나라에서 지열발전이 차지하는 비율을 정리한 것이다 (Bertani, 2005). 역시 미국이 압도적으로 다수이며 (주로 California, The Geysers field), 다음으로 필리핀, 멕시코,

인도네시아, 이탈리아, 일본, 뉴질랜드가 많은 용량을 자랑한다. 특히 필리핀의 경우에는 전체 국가의 발전량 중 19.2%를 차지하고 있으며 전체 발전량도 곧 미국을 추월해서 전세계에서 가장 지열발전이 앞선 나라가 될 전망이다.

최근의 기술동향면에서 흥미로운 것은 독일, 오스트리아, 호주 등에서 1 MW급 보다 작은 소형의 지열발전이 새롭게 시작된 점이다. 이들 나라는 우리나라와 같이 고온성 화산활동이 없는 나라임에도 불구하고 지하 5 km까지의 심부 시추를 통해 인공적으로 물을 주입한 후, 데워진 고온의 물을 이용해 binary 발전을 함으로써 전기를 생산하고 있는데 이는 우리나라에서도 기술 개발 투자를 통해 소규모의 지열발전이 가능함을 보여주는 사례라 할 것이다. 지열발전이 기존의 화석연료나 대수력, 그리고 기타 재생에너지에 비해 유리한 점은 설비의 실제 가동률이 뛰어나다는 점이다. 이는 Table 3의 오른쪽 두 열에 나타낸 설비량 비율 및 생산량 비율의 비교에서 확인할 수 있는데, 즉 필리핀의 경우 설비량은 12.7%인데 비해 생산량은 19.1%, 그리고 미국은 설비량 0.3%인데 반해 생산량은 0.5%로 매우 높다.

### 5. 세계 지열에너지자원 직접 이용 현황

우리나라와 같이 화산활동과 관련된 고온성 지열 에너지가 부족하지 않은 지역에서의 지열 이용은 난방 등에 직접 활용하는 기술이 필요하게 된다. Table 4는 1995, 2000 및 2005년도의 활용방식별 전세계 지열에너지 직접이용 설비용량 및 사용량을 나타낸 것이다.

Table 4. Summary of the various worldwide direct-use categories, 1995-2005 (Lund et al., 2005a)

	시설용량 (MWt)			사용량 (TJ/yr)			가동률		
	2005	2000	1995	2005	2000	1995	2005	2000	1995
지열원 펌프	15,72	5,27	1,85	86,67	23,27	14,62	0.17	0.14	0.25
지역 난방 온실	4,16	3,26	2,58	52,87	42,93	38,23	0.40	0.42	0.47
난방 양어	1,35	1,25	1,09	19,61	17,86	15,74	0.46	0.45	0.46
농산물 건조	616	605	1,10	10,97	11,73	13,49	0.56	0.61	0.39
산업 이용	489	474	544	11,07	10,22	10,12	0.72	0.68	0.59
온천수영	4,91	3,96	1,08	75,29	79,55	15,74	0.49	0.64	0.46
제설	338	114	115	1,88	1,063	1,12	0.18	0.30	0.31
기타	66	137	238	1,04	3,03	2,25	0.39	0.70	0.30
합계	27,83	15,15	8,66	261,42	190,70	112,44	0.30	0.40	0.41

표에서 보면 2005년도의 직접이용 설비는 27,825 MWt로 5년전에 비해 거의 두배에 이르며 매년 약 12.9%의 증가율을 보이고 있다. 사용량 면에서는 2005년에 261,418 TJ로서 2000년 대비 40%(연간 6.5%)의 증가를 나타내었는데, 설비용량에 비해 사용량의 증가가 적은 것은 바로 지열

열펌프의 증가 때문이다. 지열 열펌프 설치 건수는 5년전에 비해 무려 세배나 증가했으며 전체 지열직접이용 설비용량 중 56.5%를 차지하고 있다. 이러한 폭발적 증가는 일정한 온도만을 필요로 하므로 지역적인 제한을 받지 않는 장점이 있기 때문이다. 지하수가 풍부한 지역에서 활용될 수 있는 개방형 열교환 방식 열펌프 또는 지하수 이용 열펌프(ground water heat pump)의 보급 증대도 지열 열펌프 설치 증가의 주요한 원인이 되고 있다. 지하수가 풍부한 지역에서는 지중 열교환기 설치를 위한 시추비를 절감할 수 있기 때문에 우리나라에서도 그 활용이 매우 기대된다.

Table 5는 사용량, 설비용량의 총량, 국도면적 대비, 인구 대비, 지난 5년간 증가율 대비 사용량 및 설비용량 별 상위 5개 나라를 정리한 것이다 (Lund et al., 2005). 설비용량면에서는 역시 지열자원의 부존량이 가장 많은 미국이 단연 1위이며 스웨덴이 2위, 다음으로 중국, 아이슬란드, 터키의 순이다. 우리나라와 비교하기 위해서는 고온 지열자원이 풍부한 미국이나 아이슬란드, 터키 등지보다는 중국이나 스웨덴 등을 살펴봄이 타당할 것이다. 중국의 경우에는 사용량면에서 제일 앞서고 있는데, 이중 상당히 많은 부분이 텡진, 산시, 헤베이 및 베이징 부근에서 지역난방과 온실농업에 활용되고 있는 지열의 직접 이용 선진국이다 (Zheng et al., 2005). 특히 2008년에 개최될 베이징 올림픽을 Green Olympic이라는 구호아래 준비하고 있는 베이징시에서는 Olympic Green이라는 선수촌의 온수를 모두 지열수로 공급하려고 준비 중에 있다. 베이징은 2003년말 까지 베이징 분지내에 최대 심도 4 km에 이르는 총 230개의 지열수 개발공을 굴착하고 38-89 °C의 지열수를 생산하고 있는데, 올림픽 선수촌 근처의 저류층에서는 52-75 °C 온도 범위의 지열수를 하루 2,000 m³씩 생산하고 이를 온수 및 난방용으로 공급할 예정이다. 제한된 지열수 함양율을 고려하여 상당히 많은 양을 재주입하는 방향으로 추진하고 있음은 물론이다 (Wei, 2005)

Table 5. Ranking of geothermal direct utilization in 2005 (Lund et al., 2005a).

순위	사용량 (TJ/yr)	설비용량 (MWt)	면적 대비 사용량	인구 대비 사용량	면적 대비 설비용량	인구 대비 설비용량	지난 5년간 사용량 증가율	지난 5년간 설비용량 증가율
1	China (45,37)	USA (7,817)	Iceland	Iceland	Den mark	Ice land	Norway	Denmark
2	Sweden (36,00)	Sweden (3,840)	Israel	Sweden	Ice land	Sweden	Denmark	Norway
3	USA (31,24)	China (3,687)	Switze rland	New Zealand	Switze rland	Den mark	Chile	Netherl ands
4	Iceland (23,81)	Iceland (1,791)	Den mark	Georgia	Sweden	Norway	Netherl ands	Chile
5	Turkey (19,62)	Turkey (1,177)	Geor gia	Denmark	Hun gary	Switze rland	Por tugal	Belgium

## 6. 지열 열펌프 활용 - 스위스와 미국

Table 5의 면적대비 상위국가인 스위스는 거의 모든 활용이 지열 열펌프 분야이며, 2004년말 현재 지열 열펌프의 설치 용량이 525 MWt, 연간 에너지 생산량은 780 GWh에 이른다 (Rybach and Gorhan, 2005). 이는 면적대비 지열 열펌프 설치 건수로는 전세계 1위이며, 2 km<sup>2</sup> 당 한 대 이상이 설치되어있는 폴인드 스위스 국토의 상당부분이 알프스 산맥임을 생각하면 1 km<sup>2</sup> 당 한 대 이상으로 볼 수 있다. 일반적으로 지열 열펌프는 지중 열교환기 설치를 위한 시추비용 즉, 초기투자비가 과다하여 민간에서 도입을 꺼린다고 알려져 있다. 그러나 스위스에서는 잘 구축되어있는 지하 열 물성 분포자료 D/B와 표준화된 시추기술로 초기투자비면에서도 일반 석유보일러 난방시설과 비슷하며 운영비는 절반에 불과하여 개인 주택에도 활발히 보급되고 있는데, 2003년에 지중 열교환기 설치를 위한 누적 시추 깊이가 550 km에 달하고 있다 (Rybach and Gorhan, 2005).

Table 6은 지열에너지자원의 활용기술별로 2004년도 스위스의 설비용량 및 실제 사용량을 나타낸 것이다. 대부분이 수직형 지중 열교환기 방식인 지열 열펌프의 설비용량이 77%에 이르며 지하수의 열을 이용하는 열펌프까지 포함하면 약 90%에 이른다. 스위스의 최근 기술개발 동향 중 흥미로운 것은 건축물의 기초 파일내에 열교환기를 설치하여 지열 열펌프를 가동하는 Geo-structure의 비중이 높아지는 것인데, 최근의 Zurich 공항의 터미널 신청사에 이러한 Geo-structure를 설치하였다.

Table 6. Direct use of geothermal heat in Switzerland in 2004 (after Rybach and Gorhan, 2005).

지열에너지 활용 방식	설비 용량		열 생산량	
	MWt	%	GWh	%
지열 열펌프 (수평형 포함)	450.0	77.0	666.3	56.0
지하수 이용 열펌프	75.4	12.9	114.4	9.6
온천	40.8	7.0	341.5	28.7
심부 지열수	6.1	1.0	37.2	3.1
터널 지하수	5.2	0.9	13.7	1.2
심부 시추공 열교환	0.2	0.03	0.9	0.1
Geo-structure	7.0	1.2	15.2	1.3
총 계	584.7	100.0	1189.2	100.0

미국의 직접이용량은 2000년이래로 연간 8.0% 증가율을 보여왔지만 지열 열펌프를 제외하고는 연간 2.6%에 불과할 정도로 지열 열펌프의 증가가(연간 11.0%) 두드러진다. Table 7은 2005년도 분야별 미국의 지열 직접이용 현황을 보여주는데, 시설용량면에서는 지열 열펌프가 92.1%로 대다수를 차지하고 있다.

현재 미국의 지열 열펌프 보급은 북서부 13%, 중서부 45%, 남부 36%, 서부 8%로 대부분이 난방보다는 냉방용으로 사용하고 있다. 따라서 냉방이 필요한 시간이 연간 1,000 시간 이내로서 가동률이 낮을 수밖에 없다. 이에 반해 유럽은 주로 기온이 낮은 서북부 유럽(독일, 덴마크, 노르

웨이, 스위스 등)에 많이 보급되고 있어서 난방용으로 주로 사용되며 연간 가동시간이 2,000 시간에서 6,000 시간에 이르러 가동률도 최대 0.23-0.68 범위에 있다. 따라서 겨울철에는 난방용으로, 여름철에는 냉방용으로 사용할 수 있는 우리나라의 기후 조건에서는 최소 0.3 이상의 높은 가동률을 낼 수 있으므로 매우 양호한 보급환경을 가지고 있음을 알 수 있다.

열교환 방식별로 살펴보면 미국의 지열 열펌프는 수직형 지중 열교환기가 44%, 수평형이 36%, 그리고 지하수 이용 열펌프가 20%를 차지하고 있다. 다른 나라에 비해 수평형 열교환기의 보급이 많은 것은 일부 대도시 중심가를 제외하고는 건물에 딸린 대지가 넓어서 시추공을 여러 개 굴착해야하는 수직형 보다 수평형이 경제적으로 유리한 경우가 많기 때문이다. 흥미로운 것은 1990년대 후반부터 지하수를 이용하는 열펌프의 보급이 매년 25%로 가파른 상승률을 보이는 것인데, 지하수의 양만 풍부하다면 시추비용을 절감할 수 있으므로 우리나라에서도 매우 유망한 활용 분야이다.

Table 7. Summary of geothermal direct heat uses as of 31 December 2004 (after Lund et al., 2005b)

구 분	시설용량 (MWt)	연간이용량 (TJ/year)	가동률
개발난방	146	1,335	0.29
지역난방	84	788	0.30
냉방	<1	15	0.95
온실농업	97	766	0.25
양어	138	3,012	0.69
농산물 건조	36	500	0.44
산업공정	2	48	0.80
제설	2	18	0.30
온천, 수영장	112	2,543	0.72
지열 열펌프	7,200	22,214	0.10
총계 (평균)	7,817	31,238	0.13

## 7. 결론 및 앞으로의 전망

2004년 European Renewable Energy Council (EREC)은 Dynamic Current Policies (DCP) 시나리오에 따르면 2030년까지 전세계 1차에너지 소비량 중 재생에너지가 차지하는 비중이 22.0%에 이를 것이며, 용량면에서는 3,416 Mtoe에 달한다 (Table 8 참조). 2030년에 바이오매스와 대수력을 제외한 기타 재생에너지중에서 가장 큰 부분은 풍력이 담당하게 될 것임은 이견이 없다. 그러나 그 다음은 지열에너지가 차지하게 될 것이며, 2030년까지 지열발전 용량은 4배 이상 증가할 것으로 예상된다.

최근의 고유가가 지속된다고 가정하면 지열발전을 위한 투자가 가속화할 가능성이 크며 특히, 인도네시아의 경우에는 세계 최대의 지열발전 국가를 목표로 지속적으로 노력하고 있으므로 지열발전의 비중이 더 높아질 가능성이 높다. 그리고 지열에너지의 장기적인 직접이용 증가 전망은 자세히 발표되지 않고 있으나 대체적으로 전세계적으로 연간 6%에서 8%를 전망하고 있는데, 이 또한 최근의 고유가에 힘입어 서유럽 선진국에서의

지열 열펌프 보급이 가파르게 상승할 가능성이 높아 전망은 밝은 편이라 생각된다.

우리나라와 지열 여건이 비슷한 스위스의 경우를 예를 들면 지난 10년간 매년 10% 이상의 증가율을 보이고 있다. 따라서 우리나라가 2011년 까지 스위스와 동일한 수준의 지중 열교환기를 설치한다면 전체 공급량은 623,000 toe에 이르며 2002년 에너지불변가격으로 9천만달러에 달한다 (Table 9 참조). 이는 2011년 우리나라의 재생에너지 공급목표의 4%를 차지하는데, 현재 추진중인 심부 지열수 개발을 통한 지역난방이 실현되고 또, 우리나라에는 지역적으로 풍부한 증적층 지하수 자원이 부존하고 있음을 감안한다면 대용량의 지하수 열교환방식 냉난방시스템을 설치할 수 있으므로 적극적인 투자를 통해 훨씬 많은 지열에너지의 보급이 가능할 것으로 전망된다.

Table 8. Share of renewables in world primary energy consumption projected in the Dynamic Current Scenario (EREC, 2004)

	에너지 소비량 전망 (Mtoe)			
	2001	2010	2020	2030
바이오	1,080.0	1,291.0	1,653.0	2,221.0
수력	222.7	255.0	281.0	296.0
소수력	9.5	16.0	34.0	62.0
풍력	4.7	35.0	167.0	395.0
태양광	0.2	1.0	15.0	110.0
태양열	4.2	11.4	43.0	136.0
지열	43.2	73.0	131.0	194.0
해양	0.05	0.1	0.4	2.0
재생에너지 합계	1,364.5	1,682.5	2,324.4	3,416.0
1차에너지 소비량	10,038.3	11,752.0	13,553.0	15,547.0
재생에너지 비율	13.6 %	14.3 %	17.1 %	22.0 %

Table 9. Estimates of domestic direct uses using geothermal heat pump assuming the same level of achievement as Switzerland in 2011.

	한국	스위스
2002년 지열에너지 공급량	119 toe	109,227 toe
면적	99,600 km <sup>2</sup>	41,284 km <sup>2</sup>
면적대비 지열에너지 공급량	0.0012	2.646
2011년 지열에너지 보급 가능량	623,000 toe	258,000 toe

## References

- [1] Beardsmore, G.R., and Cull, J.P., 2001, Crustal heat Flow - A guide to measurement and modeling, Cambridge Univ. Press, 324p.
- [2] Bertani, R., 2005, World geothermal generation 2001-2005: State of the art, Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- [3] Electric Power Research Institute, 1978, Geothermal energy prospect for the next 50 years, Special Report ER-611-SR.
- [4] Lund, J.W., 2004, 100 years of renewable electricity - Geothermal power production, Renewable Energy World, Vol. 7, No. 4, pp. 252-259.
- [5] Lund, J.W., Freeston, D.H., and Boyd, T.L., 2005a, World-wide direct uses of geothermal energy 2005, Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- [6] Lund, J.W., Bloomquist, R.G., Boyd, T.L., and Renner, J., 2005b, The United States of America country update, Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- [7] Pollack, H.N., Hurter, S.J., and Johnson, J.R., 1993, Heat flow from Earth's interior: Analysis of the global data set, Review of Geophysics, Vol. 31, pp. 267-280.
- [8] Rybach, L., and Gorhan, H.L., 2005, 2005 Country update for Switzerland, Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- [9] Stefansson, V., 2005, World geothermal assessment, Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- [10] European Renewable Energy Council, 2004, Renewable energy scenario to 2040, <http://www.erec-renewables.org/>.
- [11] Wei, L., 2005, The 2008 Olympics and geothermal project in Beijing, Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.
- [12] Zheng, K., Zhang, Z., Zhu, H., and Liu, S., 2005, Process and prospects of industrialized development of geothermal resources in China - Country update report for 2000-2004, Proc. World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April 2005.