

## 지열에너지 관련 특허 기술동향

나도백 · 김상철 · 오민수\*

한국과학기술정보연구원 Reseat 사업팀

### The Global Trends of the Patents for the Geothermal Energy

Do-Baek Nah, Sang-Cheol Kil and Mihn-Soo Oh\*

Korea Institute of Science and Technology Information (KISTI), Daejeon 306-806, Korea

#### 1. 서 언

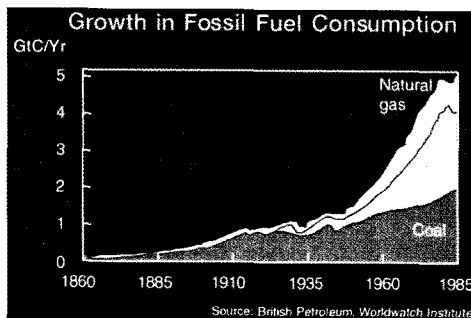
지구상에서 제한된 자원을 어떻게 유용하게 이용할 것인가는 한 나라뿐만이 아니라 전 세계가 함께 심각하게 고민하여야 할 문제로서 에너지 문제는 인구 문제, 식량 문제, 환경 문제, 물 문제 등과 더불어 인류 전체의 장래와 관계되어 중요하게 다루어야 할 문제이다.

지난 1860~1985년까지 125년간 지구상에서 화석연료(석탄, 석유, 천연가스)의 이용은 급증(Fig. 1)하였고, 최근의 에너지 소비추세로는 2005년 기준 2050년에는 약 1.8배가 증가(Fig. 2)할 것으로 예상되어 많은 에너지 자원이 필요한데, 세계적인 석화들은 21세기 간에 지구상의 자원은 공급이 그 수요를 충족시킬 수도 있지만, 그 보다 더 큰 문제는 화석연료 사용 후 방출되는 CO<sub>2</sub>에 의한 지구 환경오염(대기, 지하수, 토양) 문제를 경고하고 있다.

지난 2세기 동안 지구 대기 중의 CO<sub>2</sub> 농도는 19세기 동안에는 큰 변화가 없었지만, 20세기 들어오면서 화석연료 이용에 의해 빠른 속도로 증가(Fig. 3)하여 지구 온난화 문제가 현실로 나타나(빙하의 해빙으로 남태평양의 작은 섬들이 물속에 잠기고 있음) CO<sub>2</sub>의 방출량이 현저하게 적(Fig. 4)은 “신·재생에너지자원(지열, 소수력, 태양광, 풍력, 조력 등)”으로 대체에너지원 개발이 시급한 실정이다.

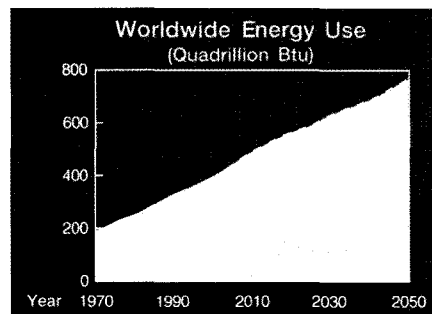
UN의 에너지 평가에 의하면 신·재생 에너지원별 발전단가(Table 1)는 지열·수력 발전 단가가 2~10USE/kWh로 가장 낮으며, 풍력 4~8USE/kWh, 화석연료 5~15USE/kWh, 태양열(solar PV) 12~34USE/kWh 등이고, 태양전지(solar cell) 25~160USE/kWh로 가장 높으며, 지금까지 지열에너지의 개발실적은 미미하지만 그 이용은 가속화 되고 있다.

세계 신·재생에너지에 의한 발전 총량은 2,826TWh



Source: British Petroleum Worldwatch Institute

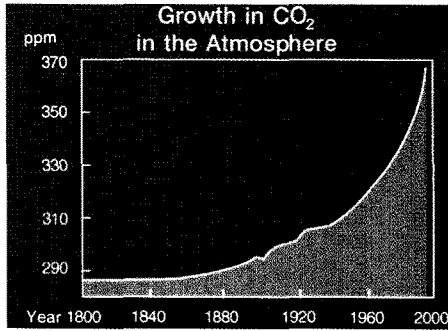
Fig. 1. Global growth in fossil fuel consumption(1860-1985).



Source: Geothermal Education Office

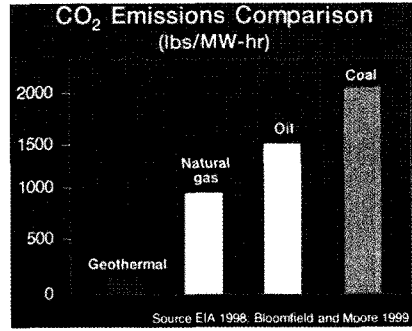
Fig. 2. Worldwide energy use(Quadrillion Btu, 1970-2050).

\*Corresponding author: mihns00@reseat.re.kr



Source: Geothermal Education Office

Fig. 3. Growth in CO<sub>2</sub> in the atmosphere(1800-2000).



Source: Geothermal Education Office

Fig. 4. CO<sub>2</sub> Emissions comparison.

Table 1. Status of electricity production from renewables, end 2001

Renewable Energy	Current energy cost(US€/kWh)	Potential future energy cost(US€/kWh)	Tunkey investment cost(US\$/kW)
<b>Geothermal</b>	<b>2~10</b>	<b>1~8</b>	<b>800-3,000</b>
Hydropower	2~10	2~10	1,000-3,500
Biomass	3~12	4~10	500-6,000
Wind	4~8	3~10	850-1,700
Fossil Fuel	5~15	-	-
Tidal Force	8~15	8~15	1,700-2,500
Solar PV	12~34	4~20	5,000-18,000
Solar Cell	25~160	5~25	2,500-6,000
Nuclear(ROK)	4	-	-

Source: Ingvar B. Fridleifsson, 2005(data extracted from Table 7 of 2004 update of World Energy Assessment, WEA, 2004)

(1998년)로, 그 중 수력발전이 전체의 92% (2,600TWh)를 차지하고, 화석연료 5.5% (155TWh), 지열에너지 1.6%(45TWh)의 순이고, 풍력(0.6%), 태양열(0.05%), 조석력(0.02%) 등은 극히 미약한 실정이다.

2001년도 세계 1차 에너지 총 소비량 10,038.3 MToe(42GJ=1Tae) 중 신·재생에너지가 차지하는 비중은 약 13.6%로 1,364.5MToe가 소비되었으며, 그 중 바이오메스가 1,080MToe(79.15%), 대수력이 222.7MToe(16.32%)로 전체의 95.5%로 대부분을 차지하고, 나머지 61.85MToe(4.5%)가 소수력, 지열, 풍력, 태양열 등이 차지하며, 기타 재생에너지 중에서는 지열에너지가 69.9%로 주를 이루고 있다(Table 2).

화산성 고온 지열 에너지의 분포가 많은 나라에서는 반영구적인 친환경성 청정 재생에너지 자원인 지열에너지(Geothermal energy)자원을 개발하여 지열발전, 지역난방, 지열펌프(geothermal heat pump)를 이용한 지역난방, 온천, 첨단시설 영농(온실, 곡물건조) 및 어업(양어)단지 조성 등에 활용함으로써 환경보전은 물론, 에너지 수입비용 절감 및 농어업의 경쟁력 제고 등을 하고 있다.

지구상에서 매년 8,035MWe(연간 에너지 생산량 56,786GWh/y)의 지열발전을 함으로써 화석연료를 이용하여 발전을 하였을 경우보다 대기 중으로 방출되는 2,200만 톤의 이산화탄소, 20만 톤의 질소 산화물, 11

Table 2. The ratio of the renewable energy among the global total primary energy consumption(2001)

Energy	Biomass	Large Hydro	Other Renewabl Energy							Total
			Small Hydro	Wind	Solar PV	Solar Cell	Geothermal	Ocean	Sub Total	
MToe	1,080	222.7	9.5	4.7	0.2	4.2	43.2	0.05	61.85	1,364.5
%	79.2	16.3	(15.4)	(7.6)	(0.3)	(6.8)	(69.9)	(0.0)	4.5	100

Source: EREC, 2004

만 톤의 분진 등에 의한 환경오염을 줄이는 효과를 얻고 있다.

화산성 고온 지열에너지의 노출이 없는 우리나라에서는 옛날부터 지금까지 약 50개 소의 온천에서 “저온성 지열에너지(40~70°C)”를 이용하여 왔으며, 최근에는 지역난방과 첨단 영농단지 조성을 위해 정부차원에서 심부 지열에너지 개발을 위한 R&D 기초연구에 투자가 적극적으로 이루어지고 있으나 아직 초기단계에 머물러 있다.

특히 기후적으로 사계절이 뚜렷하여 겨울에는 난방에, 여름에는 냉방에 많은 에너지가 필요한 에너지 소비구조를 가지고 있으며, 화석연료의 97%를 수입에 의존하고 있는 우리나라로서는 에너지자원의 안정적 확보가 중요하다는 것은 더 이상의 언급을 필요로 하지 않는다.

세계 지열에너지자원 분야의 관련기술 및 특허기술 등에 관한 심층 자료분석을 통해 지열에너지자원의 전반적인 동향을 제시하여 국내 관련 산업계, 학계, 연구계 및 정책부서 담당자들의 연구방향 설정과 이를 뒷받침하는 정책을 수립하는데 도움을 주어 국내 에너지자원 문제 해결에 일조를 하고 저 하는데 이 글의 목적이 있다.

## 2. 지열에너지(Geothermal energy) 기술

### 2.1. 지열에너지 자원의 역사

열은 에너지의 한 형태로 “지열에너지”란 지구 전체 규모로 지질학적 현상을 일으키는 지구 내부의 열이다. 화산, 온천, 그 밖에 지표상에 나타나는 열적 현상을 보고 우리의 조상들은 지구 내부가 뜨거울 것이라고 추측할 수 있었을 것이다.

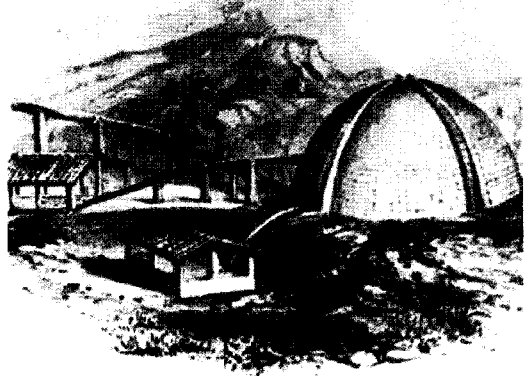
16~17세기에 들어오면서 최초로 지하 수 100 m를 굴하 한 광산에서 심도가 깊어질수록 온도가 상승한다는 사실을 체험하게 되었으며, 1740년 프랑스의 Belfort 인근 광산 갱내에서 De Gensanne이 지중 온도를 측정 한 것이 그 최초이며(Buffon, G.L., 1778; Dickson, M.H., Fanelli, M., 2005; Bullard, E.C., 1965), 20세기에 들어와 방사능 기원의 열을 발견함으로써 “지구의 열 역사”가 완전히 밝혀지게 되었다(Lubimova, E.A., 1968).

우리 생활의 많은 분야에서 과학적 연구나 기술개발보다는 실질적인 응용이 선행된 경우가 많은데, 지열에너지 분야가 그 대표적인 예로, 이탈리아 Larderello의 천부 시추공에서 용출하는 붕소(Boron: B)를 함유

한 열수로부터 붕산을 추출하는 화학공장을 설립하여, 철제 보일러에 붕소가 섞인 지열수를 넣고, 주변 숲의 나무를 때서 증발시켜 붕산을 생산하였다(Fig. 5).

1827년 공장 설립자 Francesco Larderello는 산림이 나날이 고갈되는 것을 보고, 목재 대신 지열수를 증발시킬 때 발생하는 열을 이용하는 시스템을 개발하게 되었으며, 1850~1875년 기간에 이 붕산공장은 유럽 전체의 붕산시장을 독점하기도 하였다.

1904년 7월 15일 이탈리아 Larderello에서는 최초로 지열증기로 0.75Hp의 발전기에 의해 10 kW의 전력을 생산하여(Fig. 6) 5개의 전등을 밝힌 것이 세계적으로 지열에너지 이용의 급속한 확대의 계기가 되었고, 1913년에는 출력 250 kW의 지열 발전소를 건설해 공



Source: International Geothermal Association, 2004

Fig. 5. The “covered lagoon” used in the first half of the 19th century in the Larderello, Italy, extract the boric acid.



Source: Geothermal Education Office(2004)

Fig. 6. First geothermal power plant and prince ginon conti, July 15, 1904, Larderello, Italy.

장의 조명용으로 이용함으로써 세계 최초의 지열 이용 상업적 발전이 이루어 졌다.

1919년 일본의 Beppu에 지열시추공이 굴착되었고, 1921년 미국 California의 The Geysers에 지열시추공이 굴착되었고, 1942년 이탈리아에 지열발전 시설용량이 127,650kW에 규모로 증설되었고, 1958년 뉴질랜드에 소형 지열발전기가 가동되었으며, 1959년 멕시코, 1960년에는 미국 등 여러 나라에서 지열발전이 이루어지기 시작하였다.

2005년 기준 세계 24개 국가에서 지열발전을 가동하고 있으며, 총 시설용량 8,933MWe, 연간 발전량 8,035MWe를 기록하고 있다.

세계 지열에너지 직접이용 현황은 1892년 미국 Idaho의 Boise지역에서 지열에너지를 이용한 지역난방이 가동된 이래, 1910~1940년 기간 이탈리아의 Tuscany지역에 저압증기를 산업, 주거용 건축물, 온실 등의 난방에 이용하였고, 1928년 Iceland에서 고온의 지열수로 건물난방을 시작하였고, 2005년 기준 세계 지열에너지 직접이용은 72개 국가에서 총 시설용량 28,269MWt, 연간 사용량은 273,372TJ/y에 달하고 있다.

2.2. 지열에너지자원의 성인

지열에너지는 지구(Geo, Earth) 내부로부터 자연적으로 얻을 수 있는 열(thermal, heat)로, 지각과 맨틀을 구성하고 있는 암석 자체나 또는 암석 내에 발달하는 열극 및 공극을 채우고 있는 유체(fluid) 중에 저장된 에너지이다(Fig. 7).

그 근원은 지각과 맨틀 중에 분산 분포하는 반감기가 긴 U238, U235, Th232, K40 등의 방사성 동위원소(Table 3)가 붕괴 시 발생시키는 열이 약 83%, 맨

Table 3. The half-lives of the radiogenic isotopes

Mother Element	Daughter Element	Half-life
<sup>238</sup> U	<sup>206</sup> Pb	4.5×10 <sup>9</sup> (45억년)
<sup>235</sup> U	<sup>207</sup> Pb	0.71×10 <sup>9</sup> (7억1천만년)
<sup>232</sup> Th	<sup>208</sup> Pb	1.39×10 <sup>10</sup> (139억년)
<sup>40</sup> K	<sup>40</sup> Ar	1.3×10 <sup>9</sup> (13억년)
<sup>87</sup> Rb	<sup>87</sup> Sr	5.0×10 <sup>10</sup> (500억년)

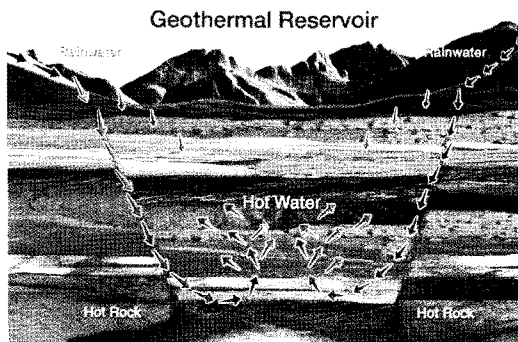
틀 및 그 하부(핵) 열의 방출이 약 17%로 알려져 있으며, 오랜 시간 일정한 장소(주로 magma chamber, 투수층 등)에 축적되어 나타나는 열에너지로 알려져 있다(Beardsmore, G.R. and Cull, J.P., 2001).

2.3. 지온 경사

지표 부근의 갱이나 시추공에서 측정된 바에 의하면, 지구 내부로 갈수록 온도가 거의 일정한 비율로 상승하는데, 이 비율을 “지하 온도 상승률” 또는 “지온경사(geothermal gradient)”라고 한다(Fig. 8).

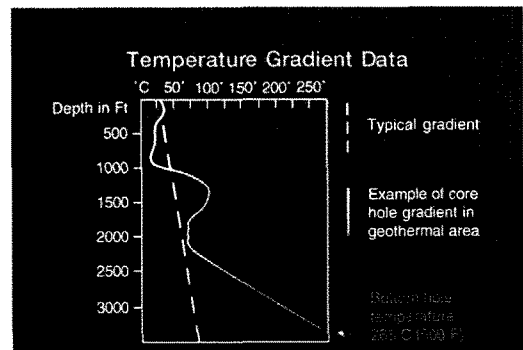
지온경사는 지질조건에 따라서 달라지는데, 15~35°C/km 범위로 나타나며, 20°C/km를 대표 값으로 보며, 이 값은 지각 부근 수 10 km 이내 구간에서만 적용되며, 현대의 시추기술로 파 내려갈 수 있는 10 km 이내의 심도까지 평균 온도 증가율은 100 m 당 약 2.5~3°C이다.

그러므로 일반적으로는 지표에서 수 m 이내에는 대기의 연평균기온과 비슷해서 약 15°C라고 가정하면, 2,000 m 심도에서는 약 65~75°C, 3,000 m에서는 약 90~105°C 범위이고, 그 이하 심도에서의 온도도 예측할 수 있다.



Source: Geothermal Education Office(2004)

Fig. 7. Schematic diagram of geothermal system.



Source: Geothermal Education Office(2004)

Fig. 8. Temperature gradient in the crust.

그러나 지온경사가 이러한 평균값으로부터 벗어나는 지역들이 나타나는데, 예로 심부 기반암이 급속하게 침강하여 형성된 분지가 지질학적으로 매우 젊은 퇴적물로 충전되어 있는 경우는 지온경사가  $10^{\circ}\text{C}/\text{km}$ 보다 작을 수 있고, 반면에 어떤 지역에서는 지온경사가 평균보다 10배 이상 클 수도 있으며, 이러한 지역이 바로 “지열지역”인 것이다(Fig. 8).

#### 2.4. 지열 시스템

지열 시스템은 ① 지온증가율이 보통 또는 이보다 약간 높은 지역이거나, ② 특히 지온증가율이 평균보다 높은 판의 가장자리에 분포하는데, 전자의 지열 시스템은 저온으로 특징지어지며 그 온도가 보통 경제적으로 개발 가능한 심도에서  $100^{\circ}\text{C}$  이하이지만, 후자의 경우 온도는 저온에서 고온, 심지어는  $400^{\circ}\text{C}$  이상까지 넓게 분포한다.

지열 시스템은 “열원”, “지열 저류층(저장소)”, “열 전달 매개체인 유체” 등 3가지 중요한 요소로 구성되는데, 열원은 비교적 천부까지 관입한 화강암 관입체이며, 지열 저류층은 불투수성 암층에 피복되어 있고, 지표의 강수 함양지역과 연결되어 있으며, 지열수의 근원은 대부분의 경우 강수이며, 열원의 온도와 저류층의 압력에 따라 액체(열수) 또는 기체상태(수증기)로 존재하며, 지열수 중에는 다양한 화학물질과  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$  등을 함유하는 경우가 있다.

이상적인 지열 저장소는 투수층 상하부에 불투수층이 분포하고, 그 하부에 열원으로서 생각하고 있는 마

그마의 존재와 부근 암석 내 방사성 원소가 붕괴 시내는 열을 필요로 하며, 지표에서 지하 심부까지 발달하는 수조의 단층구조는 유체(강수)의 보충 루트 역할을 하게 된다(Fig. 7; Fig. 9).

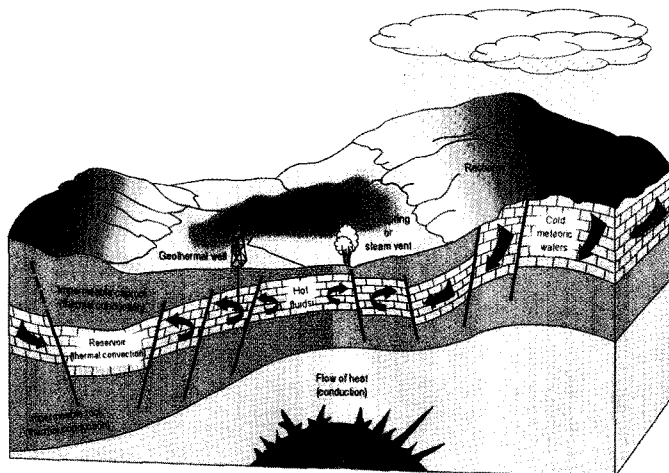
지열 시스템에서 작용하는 메커니즘은 주로 유체의 대류에 좌우되는데, 중온 열수 시스템에서의 대류는 가열과 그에 따른 중력장 내에서 유체의 열팽창 때문에 발생한다(Fig. 10).

순환시스템의 하부에서 공급되는 열이 시스템을 구동하는 에너지로, 가열되어 밀도가 낮아진 유체는 상승하려고 시스템의 주변으로부터 들어오는 차고 밀도가 높은 유체가 그 자리를 채우게 되며, 시스템의 하부에서는 온도를 낮추고, 계의 상부에서는 온도를 상승시키려는 성질이 있다(White, D.E., 1973).

지열 시스템의 모델은 여러 분야의 기술과 많은 경험을 필요로 하며, 다양한 지질학적, 물리학적, 화학적 특성이 조합된 복잡성을 띠고 있어서 각각의 특성별 모델을 고려할 수밖에 없는 단점이 있다.

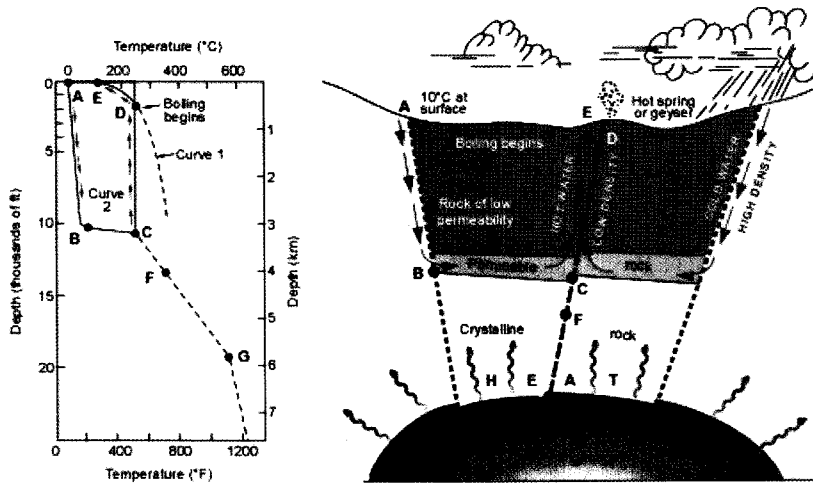
지열 시스템의 요소 중 열원만은 유일하게 “자연적”이지만, 주어진 조건이 적절하다면 다른 두 가지 요소(저류층과 유체)는 “인공적”으로 만들 수 있다.

지열발전소의 경우 저류층으로부터 뽑아 올린 지열 유체는 사용 후 폐수를 환원정(재주입공)을 통하여 저류층으로 재 주입함으로써 “자연적 함양(recharge)”에 “인공적 함양”이 더해진 상태로, 최근 수 년 동안 지열 발전소 가동에 따른 환경에의 충격을 크게 완화시켜주는 방법으로 세계적으로 널리 이용되고 있다.



Source: Mary H. Dickson and Mario Fanelli, 2004

Fig. 9. Schematic representation of an ideal geothermal system.



Source: Mary H. Dickson and Mario Fanelli, 2004

Fig. 10. Model of a geothermal system. Curve 1 is the reference curve for the boiling point of pure water. Curve 2 shows the temperature profile along a typical circulation route from recharge at point A to discharge at point E(From White, 1973).

2.5. 유체와 저류층이 인공적인 고온압체

1970년 미국 New Mexico주 Los Alamos에서 최초로 지하 심부에 잠두 고온압체(HDR; Hot Dry Rock)를 확인한 후 특별히 굴착된 시추공을 통해 심부의 치밀한 고온압체에 고압의 물을 주입하여 파쇄대를 형성하는 “수압파쇄”로 인공 저류층을 만들고, 물은 인공적인 파쇄대를 통하여 이동하게 되고, 주변 고온 압체로부터 열을 추출하게 되어 자연적인 저류층과 같은 역할을 하게 되며, 이 저류층에 별도의 시추공(생산공)을 굴착하여 가열된 열수를 생산하여 지열발전을 시도하였다(Shin, 2002).

Los Alamos의 HDR에 대한 연구 결과는 그 후 호주(Fig. 11), 프랑스, 독일, 일본, 영국 등에서 수행한 유사한 사업의 선구자적인 역할을 하였으며, 1980년대 일본에서는 Hijiori, Ogachi, Yunomori 등에서 과학적 및 상업적 성과를 얻었으며, 유럽에서는 시추심도 5,060 m를 굴착하기도 하였다.

2.6. 지열에너지자원의 정의와 분류

세계 지열에너지 분야에서 공통으로 사용되는 국제 표준 용어가 유감스럽게도 아직은 정의 되어 있지 않으나, 그 중 가장 보편적으로 사용되고 있는 정의 및 분류를 Fig. 12에 표시하였다(Mary H. Dickson and Mario Fanelli, 2004; Muffler, P. and Cataldi, R., 1978).

일반적으로 지열자원이라고 하면 “개발가능 원시자

원매장량”(accessible resource base)으로, 특정 지역의 국지적인 연평균기온을 기준으로 지표와 그 하부 지각의 특정 깊이 사이에 저장되어 있는 지열 에너지를 총

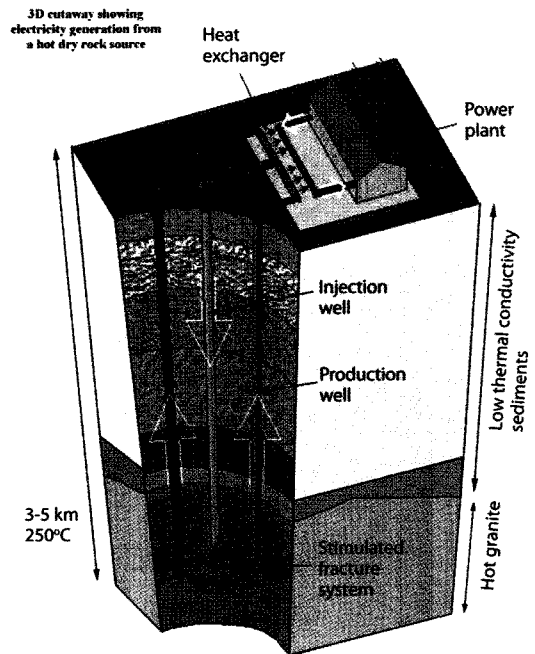
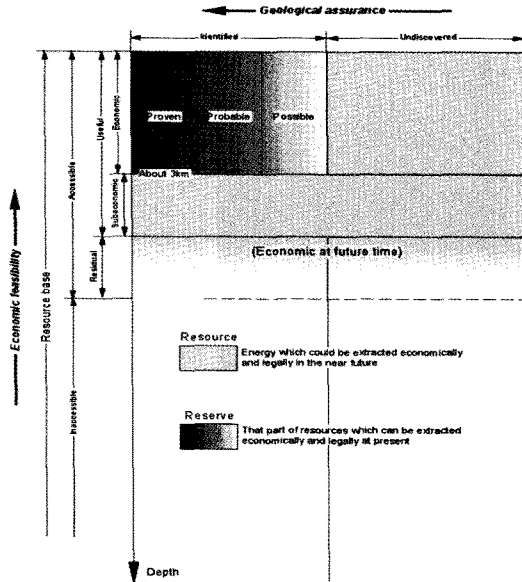


Diagram modified from ANU Hot Rock Energy website (<http://hotrock.anu.edu.au>)  
Source: Australian National University, Hot Rock Energy(<http://hotrock.anu.edu.au/>)

Fig. 11. Schematic Diagram of a commercial-scale Hot Dry Rock(HDR).



Source: Mary H. Dickson and Mario Fanelli, 2004

Fig. 12. Diagram showing the different categories of geothermal resources.(From Muffler and Cataldi, 1978). The vertical axis is the degree of economic feasibility; the horizontal axis is the degree of geological assurance.

칭한다.

“개발가능 원시자원매장량” 중 100년 미만의 어느 특정한 미래에 경제적 및 법적으로 개발이 가능한 부분을 “유효원시자원매장량(usefull accessible resource base)”으로 구분하며, 시추, 지하화, 지구물리 및 지질학적 증거에 의해 그 존재 및 특징이 확인된 자원으로서 다른 에너지원에 비해 시장 경쟁력이 있는 가격으로 합법적으로 채취할 수 있는 에너지를 포함한다.

그러나 가장 보편적인 지열자원의 분류는 지하 심부의 고온 암체로부터 지표까지 열을 전달해 주는 매개체 역할을 하는 지열유체의 엔탈피(enthalpy)를 기준으로 하는 것이 통례이다.

엔탈피는 거의 온도에 비례하고 유체에 함유된 열량

(열에너지)을 나타내기 위해 사용되며, 그 개략적인 가치를 나타내므로, 지열자원은 유체 속에 포함된 에너지량과 이용 가능한 형태에 따라 저, 중, 고 엔탈피(또는 온도) 지열에너지자원(Table 4)으로 구분되지만, 학자에 따라서 온도범위는 차이가 있다.

지열 시스템은 “열수 탁월형(water/liquid-dominant geothermal system)”과 “증기 탁월형(건조증기)vapor-dominant/(dry steam) geothermal system”으로 구분하기도 한다.

“열수 탁월형” 지열 시스템에서 액상의 열수는 연속적이고, 압력을 제어하는 유체상태로, 약간의 증기가 기포형태로 분산되어 있을 수 있으며, 온도범위가 125~225°C 구간으로 세계적으로 가장 널리 분포하며, 주어진 온도와 압력조건에 따라 열수, 열수와 증기의 혼합, 소량의 액상을 포함하는 습증기(wet steam), 경우에 따라 건증기(dry steam)를 생산한다.

“증기 탁월형” 지열 시스템은 흔히 액체와 증기가 저장소 내에 공존하지만, 증기가 연속적으로 분포하여 압력을 제어하며, 비교적 드물게 존재하지만 고온 시스템으로 보통 건증기 또는 과열증기를 생산하며, 이태리의 Larderello와 미국 California의 The Geysers가 대표적이다.

### 2.7. 세계 지열지역의 특성

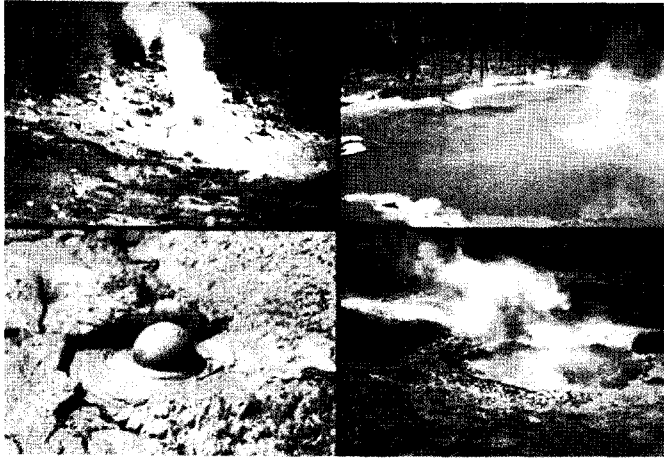
지열지역(geothermal field)은 지리적인 정의로 지표상에 지열 징후(분기공, 온천수, mud pot 등)가 있는 지역(Fig. 13)을 지칭하며, 지표상에 지열 징후가 나타나지 않을 경우에는 그 하부에 지열 저류층(저장소)이 있는 지표상의 지역이다.

세계 지열지역은 지각의 판구조(Plate tectonics)와 밀접히 연관되어 분포하며, 지각은 10여개의 판으로 나누어져 있으며, 지열지역은 이들 판이 만나는 지역과 해령·열곡이 분포하는 곳과 일치하고 있다(Fig. 14).

세계 7대 구역에서 확인된 총 69개 지열지역은 아시아에 24개 지역으로 최다이고, 다음 북미주가 18개

Table 4. Classification of geothermal resources by temperatue(°C)

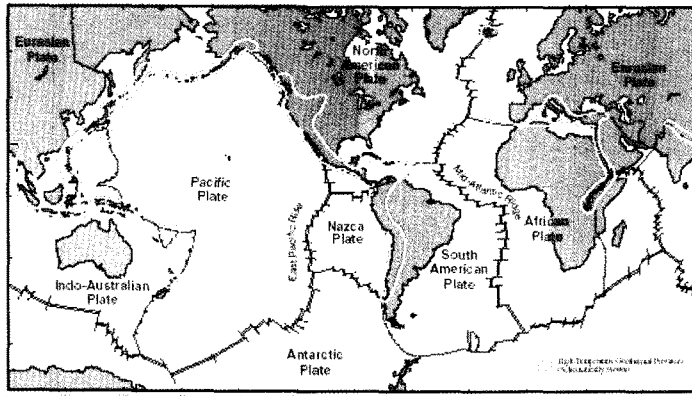
Reference	Geothermal Resources(°C)		
	Low Enthalpy	Intermediate	High Enthalpy
Muffler & Cataldi(1978)	<90	90-150	>150
Hochstein(1990)	<125	125-225	>225
Benderitter & Cormy(1990)	<100	100-200	>200
Nicholson(1993)	≤150	-	>150
Axelsson & Gunmlaugsson(2000)	≤190	-	>190



Source: Geothermal Education Office 2004.

**Fig. 13.** When hot water and steam reach the surface, they can form fumaroles, hot springs, mud pots and other interesting phenomena.

### World Geothermal Provinces



Source: Geothermal Education Office(2004).

**Fig. 14.** Hottest known geothermal regions, especially countries along the Circum-Pacific “Ring of Fire”, spreading centers, continental rift zones and other hot spots.

지역, 유럽 8개 지역, 남미주와 대양주에 각기 7개 지역, 아프리카 3개 지역, 러시아 2개 지역의 순으로 분포하며(Table 5), 저장 형태별로는 “열수상태”가 53개 지역으로 전체의 77%를 차지하며, “열수와 증기 혼합 상태”가 9개 지역(13%), “증기상태”가 7개 지역(10%) 이 분포한다(Fig. 15).

세계 69개 지열지역에는 2005년 말 기준으로 총 1,937개의 생산 공과 574개 채취입공이 가동하고 있으며, 지열 저장소의 심도는 200~4,000 m이고, 저장온도는 140~360°C이다. 세계 대륙별 특성은 Table 6에 표시하였다.

### 2.8. 세계 지열발전 현황

지구상에는 2005년 기준 총 24개 국가에서 490기의 지열발전기가 가동하고 있으며, 총 시설용량은 약 8,930MWe 규모이고, 연간 발전량은 8,030MWe (57,000GWe)이었다.

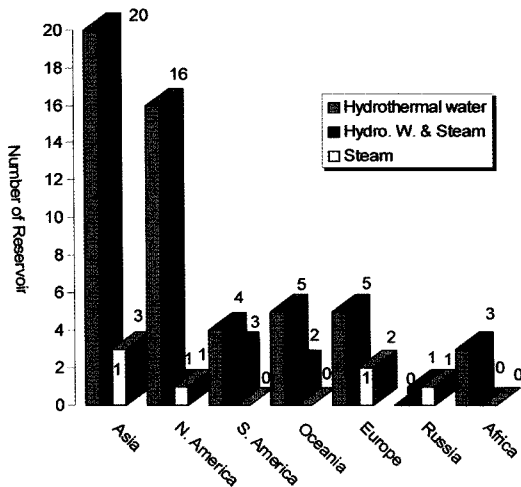
미국 DOE(에너지부)에 의하면 2003년도 세계 총 발전량은 1,580만 GWh/y이었고, 지열발전량은 57,000 GWh/y로 지열발전이 차지하는 비중은 0.5% 이하였으며, 최근 원유가격의 폭등과 원유 매장량의 감소는 지열발전량 증가를 유도하고 있지만 이는 일부 정부정책과 규정에만 영향을 미쳤거나 투자자들을 유혹하는 약



**Table 5.** The types of geothermal reservoirs in the world

Region	Hydrothermal water	Hydro. W. & Steam	Steam	Sub-Tot
Asia	20	1	3	24
N. America	16	1	1	18
S. America	4	3	0	7
Oceania	5	2	0	7
Europe	5	1	2	8
Rusia	0	1	1	2
Africa	3	0	0	3
Total	53	9	7	69

Source: Ruggero Bertani, 2005; Oh, 2006a; b; c.



Source: Ruggero Bertani, 2005; Oh, 2006a; b; c.

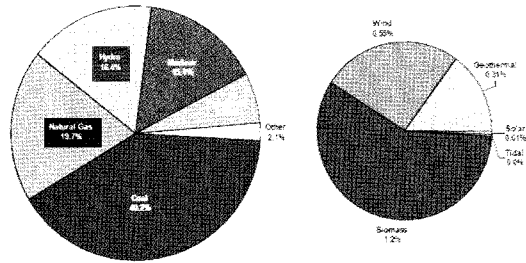
**Fig. 15.** The characteristics of geothermal reservoirs in the world.

**Table 6.** The characteristics of geothermal reservoirs in the world

Continent	Prod. Hole(#)	Inject. Hole(#)	Reservoir Depth(m)	Reservoir Temp.(°C)
Asia	562	219	200-3,000	140-360
N. America	851	220	200-3,500	150-300
S. America	84	46	300-3,000	180-300
Oceania	101	44	300-2,800	160-330
Europe	279	41	300-4,000	150-350
Rusia	24	4	300-2,500	180-300
Africa	36	0	500-2,700	250-300
Tot.(range)	1,937	574	(200-4,000)	(140-360)

간의 자극제가 되었을 뿐이다.

세계 다수 국가가 채택한 “교토 의정서(Kyoto Protocol)”는 2010년까지 전 세계 전기 생산량의 1%



Source: Energy Information Agency, U.S. DOE, 2007

**Fig. 16.** Global 2005 net electricity generation

를 차지할 수 있도록 지열발전시장을 독려하고 있으나 전 세계 재생에너지의 목표치를 달성하기에는 아직도 요원한 상황이다.

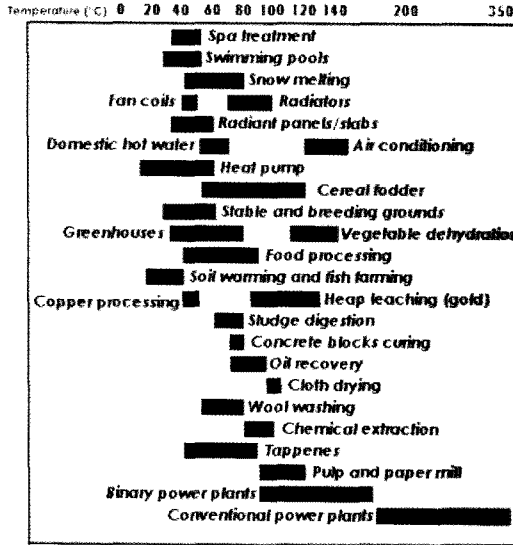
세계 에너지원별 전기 생산현황은 석탄발전(40.2%)이 가장 높고, 다음이 천연가스(19.7%), 수력발전(16.4%), 핵연료발전(15.1%), 석유발전(6.6%)이고, 기타가 재생에너지로 2.1%를 차지하였다. 재생에너지로는 바이오매스(1.2%), 풍력발전(0.55%), 지열발전(0.31%), 태양광발전(0.01%), 조력발전(0.0%)의 순이었다(Fig. 16).

### 2.9. 지열에너지 직접이용 현황

지구상에서는 총 72개 국가에서 지열에너지를 직접 이용하고 있으며, 연간 총 이용량은 75,943 GWh/y이다. 고온성(150°C 이상) 지열자원의 가장 중요한 이용형태는 지열발전이지만 중~저온성의 지열자원(150°C 이하)은 온도역역별로 다양하게 직접이용 되고 있으며(Fig. 17), 고온성 지열자원도 지열발전 후의 폐열수를 건물난방, 온실난방 등에 이용하여 에너지 효율을 높이고 있다.

2005년 5월 기준 세계 지열 직접이용 시설용량은 총 28,268MWt으로 2000년 대비 2배 증가하였으며, 연간 성장률 13.3% 규모이었고, 연간 지열에너지 이용량은 총 273,372TJ/y로 2000년 대비 43% 증가하였고, 연간 성장률 7.5%이었으며, 1995년 대비 시설용량 연간 12.6%, 에너지 이용은 연간 9.3% 증가하였다.

저가의 화석연료, 경제침체와 기타 요인에도 불구하고 지열에너지의 성장률은 최근 계속 상승하고 있으며, 세계 평균 설비 이용률은 2000년 0.40에서 2005년 0.31로 하향하였는데, 이러한 현상은 지열펌프의 이용이 증가한 결과이며, 지열펌프에 관한 인식과 전망의 증대는 지열에너지의 직접이용에 가장 뚜렷한 영향력을 미쳐서 연간 지열에너지 사용량이 2000년 대비 30.3%, 1995년 대비 19.6% 증가하였으며, 시설용량도

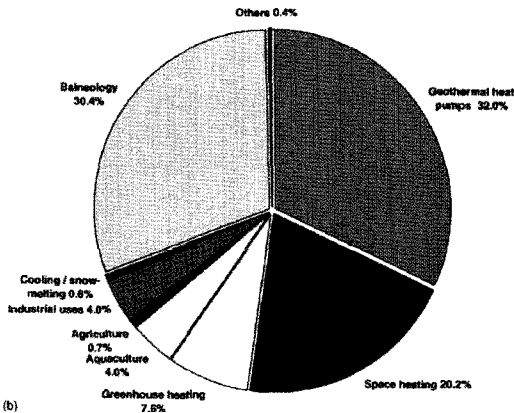


Source: Mary H. Dickson and Mario Fanelli, 2004

Fig. 17. Diagram showing the utilization of geothermal fluids(derived from Lindal, 1973).

각기 23.8%, 23.6% 증가하였다.

세계 지열에너지 직접이용 현황은 2005년 기준 지열펌프(32.0%)와 온천요양(balneology, 30.4%)에 이용률이 가장 높고, 다음으로 공간난방(20.2%), 온실난방(7.6%), 양식장 난방(aquaculture, 4.0%) 및 산업이용(4.0%)이고, 아주 적은 양이지만 농업(0.7%), 제설용용(0.6%) 및 기타 0.4%로 이용되는 등 다양하게 이용되고 있다(Fig. 18).



Source: John W. Lund et al., 2005

Fig. 18. Geothermal direct applications worldwide in 2005, distributed by percentage of total energy use.

### 3. 지열에너지 기술특허 정보 분석

#### 3.1. 개요

지열에너지 특허 기술 정보 분석은 DWPI (Thomson Reuters Derwent World Patents Index)를 이용하였다. DWPI는 1963년부터 현재까지 발행된 특허정보를 포함하여 모든 기술을 포괄적으로 다루고 있는 국제특허 정보의 대표적 데이터베이스이다.

**Search history**

(1) 785 geothermal\*.ti. AND (F03\* OR F24\*).IPC. AND @PUBD>="19860101"<="20100101"

(2) 465 geothermal\*.ti. AND (energy.tx. OR energies.tx.) AND @PUBD>="19860101"<="20100101"

Step Hits Search

(3) 902 (1) OR (2)

참고: F03 ; 역채용 기계 또는 기관, F024; 가열, 레인지, 환경



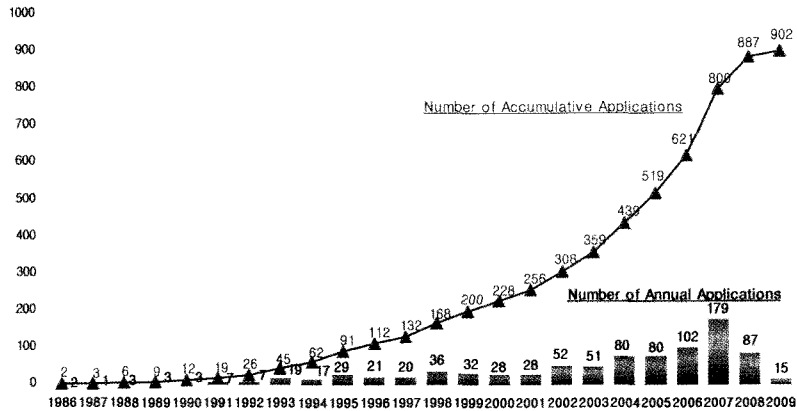
**Search Result : 902 articles (1986-2010)**

이러한 DWPI DB에 발표된 지열에너지(Geothermal energy) 관련 특허정보(1986년 이후 2010년 1월 1일 기준, 검색일 2010년 4월 28일)에 대한 검색결과 902건이 검색되었으며, 이를 대상(출원을 기준)으로 하여 국가별, 연도별, IPC 기술별 분포현황과 특허 인용현황 등을 분석하였다.

#### 3.2. 지열에너지 기술특허의 연도별 출원건수 동향

세계 지열에너지 관련 기술 특허는 1992년까지는 연간 10건 미만이 출원되었고, 1993년(19건 출원)부터는 연간 10건 이상 출원을 보이기 시작하여 2001년까지는 최소 17건(1994)에서 최대 36건(1998년)까지 감소와 증가를 반복하면서 서서히 증가하다가, 2002년부터는 52건 등 50건 이상의 출원을 보이며 지속적인 증가 추세를 보이고 있으며, 1986년 이래 2009년까지 총 출원 건수는 902건에 달하고 있다.

Fig. 19에서 보는 바와 같이 2006년에 102건, 2007년 179건 등, 최근 들어 100건 이상을 보이고 있어 본격적으로 기술이 발달하고 있음을 보여주고 있다. 다만 2008년 이후 출원건수 감소를 보이고 있는 것은 특허 제도상 그 내용을 공개 전까지 알 수가 없고, 일부 조기공개 출원을 제외하고, 출원 후 공개까지 1년 6개월이라는 공백기가 있기 때문에 2008년부터는 큰 의미가 없다고 할 수 있다.



Source: DWPI

Fig. 19. The trends of annual applications for the patents of the geothermal energy(1986-2009).

**3.3. 지열에너지 기술특허의 국별 출원건수 동향**  
 전체 27개 출원국가 가운데 지열에너지 관련 상위 국가를 살펴보면 일본(JP; 294건)이 가장 많은 출원을 하고 있는 것으로 나타났으며, 이어 미국(US; 143건), 독일(DE; 139건), 중국(CN; 117건), 한국(KR; 64건), 러시아(RU; 27건), 프랑스(FR; 16건), 네덜란드(NL; 14건), 캐나다(CA; 12건), 이태리(IT; 11건) 등이 10위 권 국가를 구성하고 있다.

그 중에서도 일본의 지열에너지 관련 기술특허 출원 건수가 2위 국가인 미국보다 2배 이상 많은 특징을 보이고 있다. 특히 100건 이상 출원국이 일본, 미국, 독

일, 중국 등 4개 국가이고, 우리나라가 5위권을 유지하고 있다(Fig. 20).

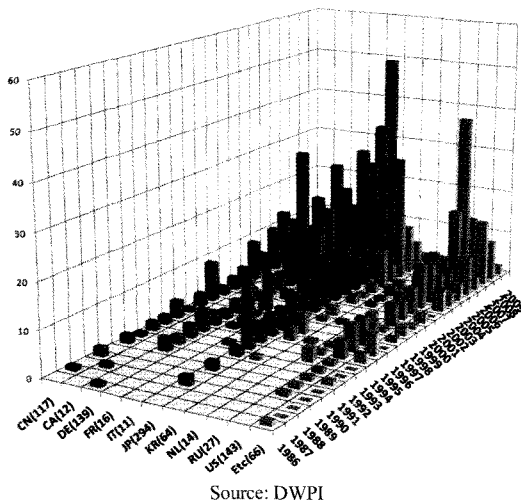
**3.4. 지열에너지 기술특허의 출원인 동향**

지열에너지 관련 기술 특허의 출원인 동향을 살펴 보면 일본(JP)의 Mitsubishi Materials Corp(16건), Ormat Ind Ltd(14건), Mitsubishi Jukogyo KK(12건), Kimura Kohki Co Ltd(11건), Toshiba KK(11건), Asahi Kasei Homes KK(10건), Misawa Kankyo Gijutsu KK(9건) 등이 가장 활동을 많이 하고 있는 것으로 나타났으며, 다음은 미국(US)의 Union Oil Co California(8건), 중국(CN)의 Xu S(6건), Zhang Y(6건), 한국(KR)의 LG Electronics Inc(6건), 독일(DE)의 BLZ Geotechnik GmbH(6건) 등의 출원 활동이 이루어지고 있는 것으로 나타났다(Fig. 21).

**3.5. 지열에너지 기술특허의 IPC분류**

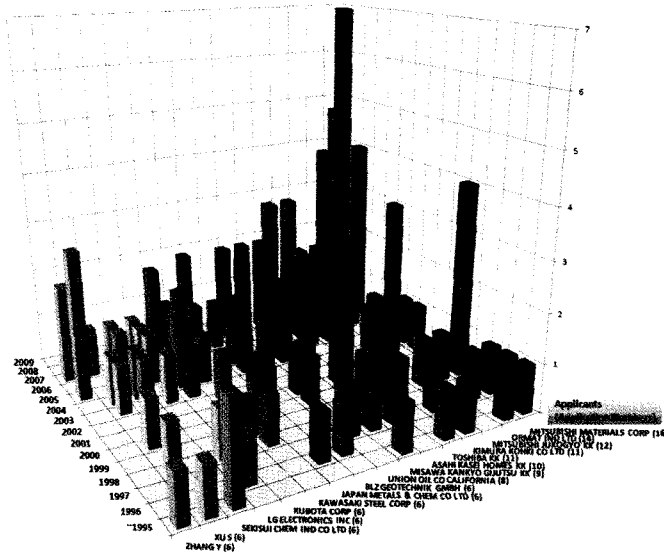
지열에너지 관련 기술특허 분석대상 902건 가운데 IPC Code F24J(달리 분리되지 않는 열의 발생 또는 사용; 296건; 32.8%), F03G(스프링, 동력, 관성 또는 비슷한 원동기; 기계적 동력을 발생하는 장치 또는 기구로서, 타류에 속하지 않는 에너지원을 사용하는 것; 128건; 14.2%), F24F(공기 조화; 공기 기습; 환기; 차폐를 위한 기류의 이용; 75건; 8.3%), F25B(냉동기계, 플랜트 또는 시스템; 가열과 냉동 조합 시스템; 히트펌프 시스템; 48건; 5.3%), F24D(가정용 또는 구역 난방 방식; 45건; 5.0%) 등이 주류를 이루고 있다.

점유율 6위권 이하 기술로는 상술한 분류 외에 E21B(지중굴착; 44건; 4.9%), F01K(증기 기관 설비;



Source: DWPI

Fig. 20. The trends of annual and major country applications for the patents of the geothermal energy (1986-2009).



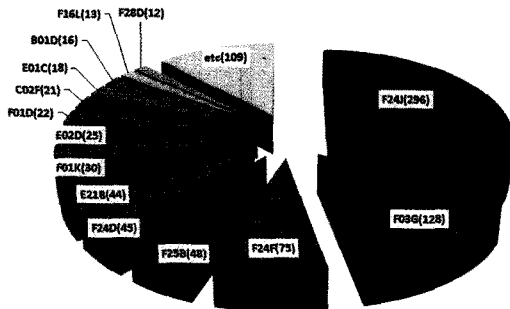
Source: DWPI

Fig. 21. The trends of ranking major applicants for the patents of geothermal energy(1986-2009).

증기 어큐뮬레이터; 달리 분리되지 않는 기관 설비; 특수한 작동유체 또는 사이클을 사용한 기관; 30건; 3.3%), E02D(기초; 굴착; 축제; 지하 또는 수중 구조물; 25건; 2.8%), F01D(비용적형의 기계 또는 기관; 22건; 2.4%), C02F(물, 폐수, 하수 또는 오니의 처리; 21건; 2.3%), E01C(도로, 경기장 또는 그와 유사한 것의 건설 또는 그 표면의 시공; 건설 및 보수용 기계 또는 보조 공구, 18건; 2.0%), B01D(분리; 16건; 1.8%), F16L(관; 관의 이음 또는 부착구; 관, 케이블 또는 지지; 열 절연 수단 일반; 13건; 1.4%), F28D(열교환 매체가 직접 접촉하지 않는 열 교환장치로 다른 서브클래스로 분류되지 않는 것, 축열 플랜트 또는

장치일반; 12건; 1.3%) 등의 기술 분포를 보이고 있으며, 기타기술이 109건(12.1%)을 차지하고 있다(Table 7; Fig. 22).

상위 출원국가를 중심으로 이들 이용기술의 상대적 점유율을 Fig. 23을 통해 나타내었다. 일본, 독일, 한국, 러시아, 네덜란드, 캐나다, 이탈리아 등은 F24J(달리 분리되지 않는 열의 발생 또는 사용)분야에 가장 많은 출원을 하고 있으며, 미국은 F03G(스프링, 동력, 관성 또는 비슷한 원동기; 기계적 동력을 발생하는 장치 또는 기구로서, 타류에 속하지 않는 에너지원을 사용하는 것)분야에, 중국은 F24F(공기 조화; 공기 가습; 환기; 차폐를 위한 기류의 이용)분야에 가장 많은 특허를 출원하고 있다.



Source: DWPI

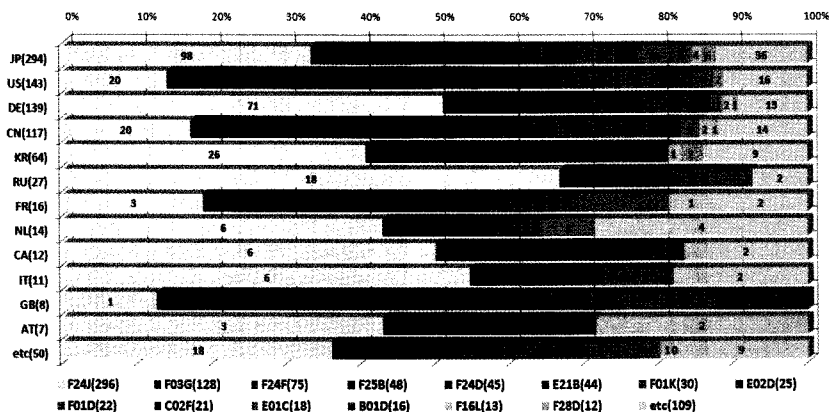
Fig. 22. Map showing the ranking IPC codes and its shares(numbers) for the patents of the geothermal energy.

### 3.6. 지열에너지 기술특허의 인용도 현황

지열에너지 관련 기술 특허의 인용도가 가장 높은 상위권 특허를 Tab. 8에 표시하였으며, Fig. 24에는 연도별 출원인 인용현황을 나타내었다. 인용도가 높은 지열에너지 기술특허 중 미국특허 US 5656172 A(pH modification of geothermal brine with sulfur-containing acid)는 187회로 가장 많이 인용되었으며, 중국특허 CN 1807996 A(Cold and warm air conditioning system with geothermal heat pump system)가 66회 인용되어 2위를 보이고 있으며, 일본의 JP 2009036413 A (Geothermal heat pump-type dry air conditioning

**Table 7.** The ranking 1st-14th IPC codes and shares(%) for the patents of the geothermal energy

IPC #	Ranking/Share(%)	International Patent Classification		
		Section	Subsection	Class
B01D 16	⑫/1.8	Performing Operations; Transporting	Separating; Mixing	B01: Physical or Chemical Processes or Apparatus in General
C02F 21	⑩/2.3	Chemistry; Metallurgy	Chemistry	C02: Treatment of Water, Waste Water, Sewage, or Sludge
E01C 18	⑪/2.0	Fixed Constructions	Building	E01: Cosstruction of Roads, Railways, or Bridges
E02D 25	⑧/2.8			E02: Hydraulic Engineering; Foundayions; Soil-shifting
E21B 44	⑥/4.9		Earth or Rock Drilling; Mining	E21: Earth or Rock Drilling; Mining
F01D 22	⑨/2.4		Engines or Pumps	F01: Machines or Engines in General
F01K 30	⑦/3.3	F03: Machines or Engines for Liquids		
F03G 128	②/14.2	Mechanical Engineering; Lighting; Heating; Weapons; Blasting	Engineering in General	F16: Engineering Elements or Units; General Measures for Producing and Maintaining Effective Functioning of Machines or Installations; Thermal Insulation in General.
F16L 13	⑬/1.4			F24: Heating; Ranges; Ventilating
F24D 45	⑤/5.0		Lighting; Heating	F25: Refrigeration or Cooling; Combined Heating and Refrigeration System; Heat Pump Systems; Manufacture or Storage of Ice; Liquefaction or Solidification of Gases.
F24F 75	③/8.3			F28: Heat Exchange in General
F24J 296	①/32.8			
F25B 48	④/5.3			
F28D 12	⑭/1.3			
ETC 109	12.1%	-	-	-



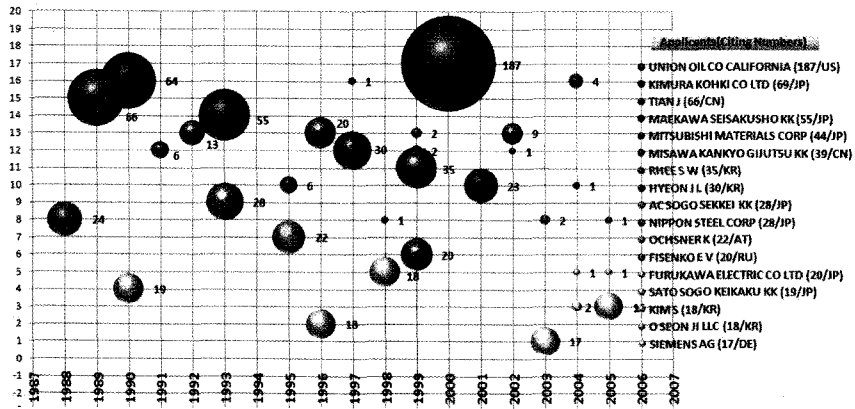
Source: DWPI

**Fig. 23.** The distribution of the patents for the geothermal energy of the major countries.

system)가 64회 인용되어 그 뒤를 따르고 있다.

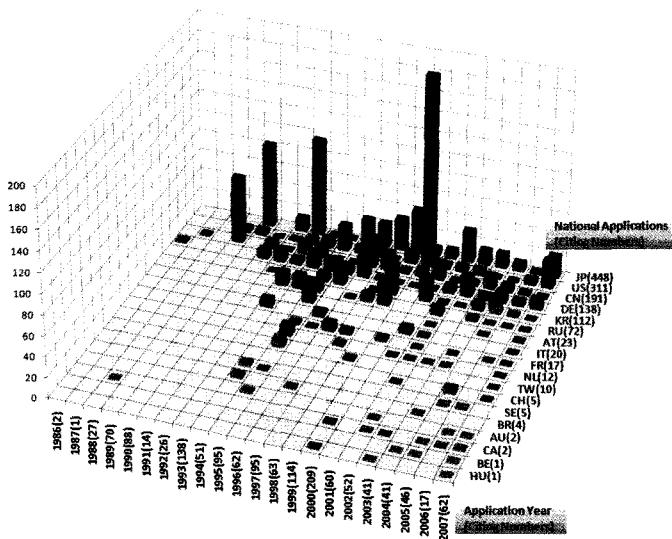
이어 일본의 JP 2009036415 A(Heat pump cycle system using geo-heat)가 64회, 한국의 KR

2009119118 A(Method of binary geothermal power generation using deep seawater)가 35회, 일본의 JP 2004333072 A(Geothermal sources utilizing device)



Source: DWPI

Fig. 24. The annual distribution of the major citing applicants for the patents of the geothermal energy(1986-2009).



Source: DWPI

Fig. 25. The annual and national distribution of citing for the patents of the geothermal energy(1986-2009).

가 24회, JP 2005048972 A (Underground heat utilizing system)가 24회, 한국의 KR 2009070157 A(Energy utility line)가 23회, 유럽의 EP 2025931 A1 (Geothermal heat probe)이 22회, 일본 JP 2001329943 A(Evaluation method for geothermal fluid circulation system)가 20회, 러시아 RU 2341736 C2(Method of usage geothermal energy “fill well”)가 20회 등의 인용 순위를 보이고 있다. Fig. 24는 상위 고인용 출원인 인용수 총계를 연도별로 그 분포 현황을 보여주고 있다.

출원인 국별 인용도 분포를 표시한 Fig. 25에 의하면

가장 많은 출원건수를 갖고 있는 일본(JP)이 피인용수면에서도 높은 순위를 보이고 있다. 그러나 2위의 미국이 2000년에 출원한 US 5656172 A(pH modification of geothermal brine with sulfur-containing acid)의 187회 인용으로 일본의 출원건수에 비해 상대적으로 높은 비율을 보이고 있다. 특별히 출원건수 순위로는 일본(294건), 미국(143건), 독일(139건), 중국(117건), 한국(64건), 러시아(27건) 등으로 되어있으나 인용도면에서는 독일(138회)과 중국(191회)이 순위가 바뀌어 있음을 보여주고 있다.

출원특허의 피인용수는 특허기술의 우수성을 나타내

**Table 8.** Most important citing patents of the geothermal energy

R	Applicant	# of Citation	IPC	Nation	Patent Number
1	UNION OIL CO CALIFORNIA	187	F24J	US	US 5656172 A
2	TIAN J	66	F24D	CN	CN 1807996 A
3	KIMURA KOHKI CO LTD	64	F24F	JP	JP 2009036413 A
4	MAEKAWA SEISAKUSHO KK	55	F25B	JP	JP 2009036415 A
5	RHEE S W	35	F03G	KR	KR 2009119118 A
6	AC SOGO SEKKEI KK	24	F24J	JP	JP 2004333072 A
7	NIPPON STEEL CORP	24	F25J	JP	JP 2005048972 A
8	HYEON J L	23	F24J	KR	KR 2009070157 A
9	OCHSNER K	22	F03G	AT	EP 2025931 A1
10	MINITUBISHI MATERIALS CORP	20	G01N	JP	JP 2001329943 A
11	FISENKO E V	20	F24J	RU	RU 2341736 C2

는 지표로서 큰 의미가 있지만, 특히 동양권(일본, 한국, 중국 등) 국가인 경우에 명세서 작성 시 인용문헌을 명시하지 않는 경우가 대부분이고, 또한 언어적인 문제로 거의 피인용수가 없는 실정이다. 이러한 이유로 일본을 비롯한 한국, 중국 등의 동양권 국가들은 출원건수에 비해 상대적으로 피인용수가 낮게 나타나고 있음에도 불구하고 높은 인용도를 보인 것은 지열 에너지 관련 기술이 동양권인 일본, 중국, 한국 등에서 활발한 기술개발이 이루어지고 있음을 유추해 볼 수 있다.

#### 4. 결 언

세계 모든 나라에서 지열에너지에 대한 연구는 정부 주도로 시작되었고, 그 연구지원이 큰 역할을 하여왔다. 1970년대 1, 2차에 걸친 유류 파동을 계기로 종래의 화석에너지에 대한 대체에너지원으로 신·재생에너지에 대한 관심이 높아져 이에 대한 정부의 지속적인 지원이 있었던 나라는 재생에너지 기술이 계속 발전해 오고 있다.

세계 지열에너지 관련 기술 특허는 1986년부터 출원이 시작되어 1992년까지는 연간 10건 미만이 출원되었고, 1993년(19건 출원)부터는 연간 10건 이상 출원을 보이기 시작하여, 1998년 36건, 2002년 52건 등 계속적인 증가추세를 보이고 있으며, 1986년 이래 2009년까지 총 출원 건수는 902건에 달하고 있다.

지열에너지 관련 기술특허의 출원국가별로는 일본(294건), 미국(143건), 독일(139건), 중국(117건), 한국(64건), 러시아(27건) 등의 순이지만 인용도면에서는 독일(138회)과 중국(191회)이 순위가 바뀌어 있음을 보

여주고 있다. 우리나라도 출원건수로는 5위를 유지할 정도로 기술이 발전하고 있음은 고무적이라고 하겠다.

한국, 중국 등의 동양권 국가들은 출원건수에 비해 상대적으로 피인용수가 낮게 나타나고 있음에도 불구하고 높은 인용도를 보인 것은 지열 에너지 관련 기술이 동양권인 일본, 중국, 한국 등에서 활발한 기술개발이 이루어지고 있음을 유추해 볼 수 있다.

에너지자원을 전량 해외 수입에 의존하는 자원빈국인 우리나라는 특히 에너지 절약형 신·재생에너지, 특히 지열에너지자원의 개발·이용을 극대화 하여 에너지 절약은 물론 열에너지의 안정적 공급과 예측 불가능한 국제 유가 변동과 에너지자원 고갈에 대비하여야 하겠다.

세계적인 화석연료의 고갈과 교토 의정서와 같은 기후변화 협약 등 국제환경 규제 강화에 대비하여 우리나라도 선진 제국과 같이 환경친화적인 신·재생에너지 개발·이용이 국가적인 명제임에 틀림이 없다.

오늘날 기존의 화석에너지원인 석유와 석탄은 고갈되고 있다. 천연가스 역시 마찬가지이다. 그러므로 앞으로는 이 신·재생에너지를 어떻게 다루느냐에 우리의 미래가 달려 있다고 할 수 있다.

#### 사 사

이 글(Review Article)은 한국과학기술정보연구원(KISTI)이 수행하고 있는 교육과학기술부의 과학기술진흥기금 출연사업인 “고경력 과학기술인을 활용한 지원사업(ReSEAT Program)”의 일부이다. 심사과정에서 미비점을 꼼꼼하게 지적, 보완하여 준 교열자에게 깊이 감사드린다.

## 참고문헌

- Australian National University, Hot Rock Energy, URL: <http://hotrock.anu.edu.au/>
- AXELSSON, G. and GUNNLAUGSSON, E. (2000) Background: Geothermal utilization, management and monitoring. In: Long-term monitoring of high- and low enthalpy fields under exploitation, WGC 2000 Short Courses, Japan, 3-10.
- Beardmore, G.R. and Cull, J.P. (2001) "Crustal Heat Flow-A guide to measurement and modeling". Cambridge Univ. Press, p. 324.
- BENDERITTER, Y. and CORMY, G. (1990) Possible approach to geothermal research and relative costs. In: Dickson, M.H. and Fanelli, M., eds., Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization, UNITAR, New York, pp. 59-69.
- Buffon, G.L. (1778) "Histoire naturelle, generale et particuliere", Paris Imprimerie Royale, pp. 1785-1791.
- Bullard, E.C. (1965) "Historical introduction to terrestrial heat flow". In: Lee, W.H.K., ed. Terrestrial Heat Flow, Amer. Geophys. Un., Geophys. Mon. Ser., 8, pp.1-6.
- Dickson, M.H. and Fanelli, M. (Eds) (2003) "Geothermal Energy: Utilization and Technology", Renewable Energy Series, UNESCO Publishing, Geothermics, 34(1), pp.119-121.
- EREC (2004) European Renewable Energy Council, Renewable Energy Scenario to 2040. URL: [www.erec-renewables.org/](http://www.erec-renewables.org/)
- HOCHSTEIN, M.P. (1990) Classification and assessment of geothermal resources. In: Dickson, M.H. and Fanelli, M., eds., Small Geothermal Resources: A Guide to Development and Utilization, UNITAR, New York, pp.31-57.
- Ingvar B. Fridleifsson (2005) "Geothermal Energy amongst the World's Energy Sources", Proceedings World Geothermal Congress 2005, Antalya, Turkey, 24-29 April, pp.1-5.
- John W. Lund, Derek H. Freeston, Tonya L. Boyd, 205, Direct application of geothermal energy: 2005 World-wide review, Geothermics, 34, pp.691-727.
- LINDAL, B. (1973) Industrial and other applications of geothermal energy. In: Armstead, H.C.H., ed., Geothermal Energy, UNESCO, Paris, pp.135-148.
- Lubimova, E.A. (1968) "Thermal history of the Earth". In: The Earth's Crust and Upper Mantle, Amer. Geophys. Mon. Ser., 13, pp.63-67.
- Mary H. Dickson and Mario Fanelli (2004) What is Geothermal Energy, International Geothermal Association, pp.1-39.
- MUFFLER, P. and Cataldi, R. (1978) Methods for regional assessment of geothermal resources. Geothermics, 7, 53-89.
- NICHOLSON, K. (1993) Geothermal Fluids. Springer Verlag, Berlin, XVIII-264pp.
- Oh, M.S. (2006a) Geothermal Energy among the World's Energy Sources, Korea Institute of Science and Technology Information, The analysis of Technical Information (2006-06-26), 8pp.
- Oh, M.S. (2006b) World geothermal power generation, Korea Institute of Science and Technology Information, Technical Information Analysis, 14pp.
- Oh, M.S. (2006c) The global trends of world geothermal energy, Ministry of Science and Technology - Korea Institute of Science and Technology Information, The analysis of Technical Trends, BB134, 117pp.
- Ruggiero Bertani (2005) "World geothermal power generation in the period 2001-2005", Geothermics, 34(6), pp.651-690.
- Shin, H.D. (2002) Development and Future Prospect of Hot Dry Rock Geothermal Power, Ministry of Science and Technology - Korea Institute of Science and Technology Information, Technical News Brief, 5pp.
- US DOE (2007) Energy Information Administration: in BLACK & VEATCH, 2008, Renewable Energy Options, pp.1-13.
- US DOE (2007) Energy Information Agency: in BLACK & VEATCH, 2008, Renewable Energy Options, pp.1-13.
- WEA: World Energy Assessment: overview 2004 Update. Prepared by UNDP, UN-DESA and the World Energy Council, United Nations Development Programme, New York, (2004), 85pp.
- WHITE, D. E. (1973) Characteristics of geothermal resources. In: Kruger, P. and Otte, C., eds., Geothermal Energy, Stanford University Press, Stanford, pp. 69-94.