

지열 에너지 보급 동향

공 형 진 사무국장
호서대학교 지열인력양성센터 기술연구소

1. 서론

World Geothermal Congress(WGC)는 International Geothermal Association(IGA)에서 개최하는 컨퍼런스로, 전 세계 지열 에너지와 관련된 회의 중에서, 가장 오래된 역사를 지닌 최대 규모의 회의로 5년에 한번 전 세계를 순회하며 개최되고 있으며, 지열 산업의 올림픽이라 일컬어지기도 한다.

이러한 WGC는 1995년 이탈리아 피렌체를 시작으로 2000년 일본의 벳푸-모리오카, 2005년 터키 안탈리아, 2010년 인도네시아 발리 그리고 2015년에는 호주-뉴질랜드 공동으로 웰버른에서 개최되었다. 또한 2020년에는 아이슬란드의 수도 레이카비크(Reykjavik)에서 개최하는 것으로 2014년 결정되었다.

WGC 2015에서는 87개 국가의 다양한 분야에 종사하는 전문가들이 모여 국가별 지열 에너지 보급 동향과 정책, 지열 냉난방 및 발전 등 36개 분야에서 약 1,300여건의 논문을 발표하였으며, 이는 2010년 대비 30%, 1995년 대비 250% 증가한 수치를 나타내고 있다.

본 원고에서는 WGC 2015에서 소개된 지열 에

너지 보급 동향을 냉난방 및 발전으로 나눠 소개하고자 한다.

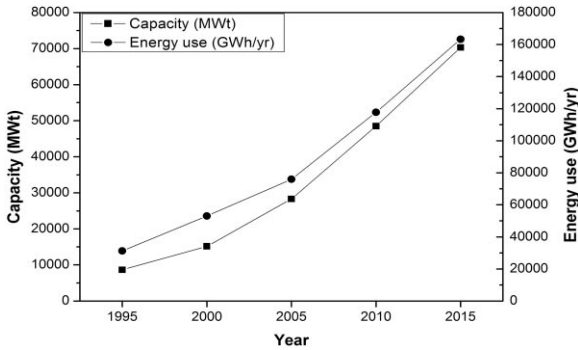
2. 지열 직접이용

지열 에너지의 직접이용은 지열 에너지 활용방법 중, 가장 오래되고, 일반적인 형태로 알려져 있으며, 전 세계 82개 국가에서 이용되고 있다. 이번 WGC 2015에서는 70국가에서 발표된 국가별 갱신자료와 추가된 12개 국가의 자료를 바탕으로 지열 직접이용 방식의 보급동향을 분석하였다.

2014년까지 보고된 전 세계 직접이용 시스템의 설치용량은 70,329 MWt로 2010년 대비 45% 증가하였으며, 연평균 7.7% 증가율을 보이고 있다. 그리고 연간 에너지 생산량은 163,287 GWh로 2010년 대비 38.7%, 연평균 6.8% 증가하였다.

국가별 에너지 용량계수(등가시간/연 시간)는 0.265(2,321 hr/8760 hr)로, 2010년은 0.28, 2005년 0.31, 2000년 0.4로 매년 줄어드는 추세를 보이고 있다. 이와 같이 용량계수가 낮아지는 이유로는 직접 이용 시스템 중에서 가장 큰 증가율을 보이는 지열 히트펌프 설비 증가에 기인한다.

그림 1은 1995년부터 20년간 설치용량 및 에너



[그림 1] 직접지열 설치 용량 및 에너지 생산량

지 생산량을 정리한 것이다.

설치용량 기준으로 상위 5개국은 중국, 미국, 스웨덴, 터키, 독일로서 전 세계 설치용량의 65.8%를 차지하고 있으며, 에너지 생산량 상위 5개국은 중국, 미국, 스웨덴, 터키, 일본으로 전체 63.6%를 차지한다. 그러나 국가별 인구에 설치용량을 분석하면 아이슬란드, 스웨덴, 핀란드, 노르웨이, 스위스이고, 국가별 인구에 따른 에너지 사용량은 아이슬란드, 스웨덴, 핀란드, 뉴질랜드, 노르웨이 순으로 분석된다.

지열은 지속적인 이용이 가능한 재생에너지며, 특히 화석연료를 대체할 수 있다. 실제로 지열 에너지를 이용함으로써 수입 연료 의존율을 절감하고, 온실가스 및 오염물질 감소에 지대한 역할을 담당하고 있다.

2015년 지열 시스템의 에너지 생산량은 163,287 GWh/yr이다. 이를 전력생산 효율 0.35 열생산 효율을 0.7로 가정하고 배럴당 6.06×10^9 Joule로 환산하면, 전력생산에 2.8억 배럴 혹은 석유 42백 만톤을 절감할 수 있다. 또한 열에너지 생산에 직접 이용된 경우, 1.4억 배럴 혹은 21백 만톤이다. 전력생산시 절감된 2.8억 배럴은 전 세계 석유 소비량의 3일치에 해당되는 양이다.

2.1 지열 히트펌프

표 1, 표 2는 설치용량과 에너지 생산량을 정리

한 것이다. 전체 항목중에서 지역 난방 부분이 설치용량의 88%, 에너지 사용량은 89%를 차지하고 있다.

특히 지열 열펌프는 49,898 MWt로 전체 설치용량의 70.9%, 연간 에너지 생산량은 90,284 GWh로 전체 에너지 생산량의 55.3%를 차지하고 있다. 그리고 용량계수는 난방운전 기준으로 0.21이다. 2015년에는 48개 국가에 설치되었으며, 단위 용량(12 kW) 기준으로 약 4.16백만대가 설치된 것으로 분석된다.

2.2 건물 난방

건물 난방 시스템의 설치용량은 7,556 MWt, 에너지 생산량은 24,508 GWh로 2010년에 비해 설치용량과 에너지 생산량이 약 44% 증가하였다. 전체 용량의 88%와 에너지 사용량의 89%는 28개국에 집중되어 있으며, 주요 국가로는 중국, 아이슬란드, 터키, 프랑스 및 독일이다.

2.3 온실 난방

온실 난방 시스템의 설치용량은 1,830 MWt, 에너지 생산량은 7,407 GWh로서 2010년 대비 설치용량은 19%, 에너지 생산량은 16% 증가하였다. 온실에서 재배하는 주요 작물은 채소와 화훼가 주종을 이루고 있으나, 미국의 경우 수목 종묘 시설에 이용하고 있으며, 아이슬란드는 바나나와 같은 과일 재배에 이용하기도 한다.

2.4 양식

양식장에서 이용하는 지열 설비의 설치용량은 695 MWt, 에너지 생산량은 3,326 GWh이다. 이를 2010년과 비교하면 설치용량은 6.7% 증가하였으며, 에너지 생산량은 2.7% 증가하였다. 양식산업은 훈련된 인력이 필요한 노동 집약적 산업으로 타 시스템에 비해 성장률이 비교적 저

조하다.

양식어종으로는 틸라피아, 연어 및 송어 양식장에 주로 이용되지만, 열대 물고기, 바닷가재, 새우 양식 등에도 이용되고 있다.

2.5 용설 및 건물 냉방

용설 시스템은 대부분 도로나 보도블럭 제설에 제한적으로 이용되고 있다. 추정되는 설치면적은 아이슬란드의 경우 설치면적 2,500,000 m²이고 전 세계 설치 용량의 74%를 차지하는 것으로 분석되었다. 그리고 미국에서는 난방시 환수라인의 저온 순환수(글리콜과 물 혼합물)를 순환하여 이용한다. 도로 용설을 위해 적용되는 순환수 공급 열량은 미국 130 W/m², 아이슬란드는 180 W/m²로 분석되었다. 본 시스템의 설치용량은 360 MWt, 연간 에너지 생산량은 722 GWh로서 2010년 대비 설치용량은 3% 감소하였으나, 에너지 생산량은 19% 증가한 수치를 나타내고 있다.

<표 1> 용도별 지열 직접 이용 시스템 설치용량 (MWt)

Categories	1995	2000	2005	2010	2015
Geothermal heat pump	1,854	5,275	15,384	33,134	49,898
Space heating	2,579	3,263	4,366	5,394	7,556
Greenhouse heating	1,085	1,246	1,404	1,544	1,830
Aquaculture pond heating	1,097	605	616	653	695
Agricultural drying	67	74	157	125	161
Industrial uses	544	474	484	533	610
Bathing and swimming	1,085	3,957	5,401	6,700	9,140
Cooling / snow melting	115	114	371	368	360
Others	238	137	86	42	79
Total	8,664	15,145	28,269	48,493	70,329

3. 지열 발전

전 세계 지열 발전 플랜트 설치 용량 및 에너지 생산량은 표 3과 그림 2에 정리하였다.

2015년 지열 발전 시스템 설치용량은 12,635 MWe, 에너지 생산량은 73,549 GWh로 2010년 대비 설치용량은 15.9%로 매년 약 347 MWe가 증가하였다. 그러나 2005년에서 2010년 설치용량 증가폭은 21.9%로 상승폭이 둔화되었음을 알 수 있다. 그리고 에너지 생산량은 2010년에 대비하여 약 9.3% 증가하였으나, 2005년에서 2010년 상승률인 20%를 밀돌고 있다. 그러나 기존의 프로젝트를 기반으로 성장률을 예측한 결과 2020년에는 설치용량이 21,443 MWe로 2015년 대비 69% 증가할 것으로 분석하였다.

표 4는 대륙별 설치용량 및 에너지 생산량을 1995년부터 2015년까지 정리한 자료이며, 2020년은 예측한 수치를 정리한 것이다.

2015년 지열 발전 시스템 가장 많이 설치된 지역은 아메리카로 5,089 MWe가 설치되어 전 세

<표 2> 용도별 지열 직접 이용 시스템 에너지 생산량(GWh/yr)

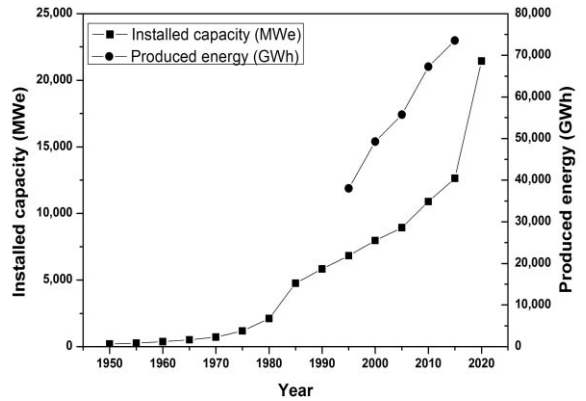
Categories	1995	2000	2005	2010	2015
Geothermal heat pump	4,060	6,465	24,306	55,597	90,284
Space heating	10,619	11,924	15,349	17,507	24,508
Greenhouse heating	4,373	4,962	5,739	6,462	7,407
Aquaculture pond heating	3,748	3,259	3,049	3,200	3,328
Agricultural drying	312	288	559	454	566
Industrial uses	2,811	2,839	3,019	3,263	2,905
Bathing and swimming	4,373	22,096	23,061	30,392	33,163
Cooling / snow melting	312	295	564	591	723
Others	625	843	293	265	403
Total	31,233	52,971	75,939	117,731	163,287

<표 3> 연도별 지열 발전 설치용량 및 에너지 생산량

Year	Installed Capacity (MWe)	Produced Energy (GWh)
1950	200	
1955	270	
1960	386	
1965	520	
1970	720	
1975	1,180	
1980	2,110	
1985	4,764	
1990	5,834	
1995	6,832	38,035
2000	7,972	49,261
2005	8,933	55,709
2010	10,897	67,246
2015	12,635	73,549
2020	21,443	

계 설치용량의 40.2%를 차지하고 있으며, 2010년 기준으로 11% 증가하였고, 에너지 생산량은 26,353 GWh로 전 세계 생산량의 35.8%를 차지하고 있다. 그러나 2010년 대비 1.7% 하락한 수치를 나타냈다.

그리고 아시아의 경우, 설치용량은 3,756 MWe, 에너지 생산량은 22,084 GWh다. 2010년 대비 설치용량은 11.4% 증가하였으나, 에너지 생산량



[그림 2] 연도별 설치용량 및 에너지 생산량

은 4.6% 하락하였다. 특히 아프리카는 설치용량이 601 MWe로, 2010년 대비 287%, 에너지 생산량은 2,858 GWh, 198% 증가하였다.

지열 발전 설비 설치용량을 기준으로 상위 5개 국가는 미국, 필리핀, 인도네시아, 멕시코, 뉴질랜드다. 미국은 3,450 MWe로서 전 세계 설치용량의 27.3%를 차지하고 있으며, 에너지 생산량은 16,603 GWh로 22.5%를 차지하고 있다. 이상 상위 5개국의 경우, 설치용량은 7,919 MWe, 전 세계 설치용량의 62.7%를 차지하고 있다. 그리고 에너지 생산량은 64.7% 수준인 47,616 GWh다.

지열 발전 설비 증가 상위 국가인 케냐는 392 MWe로 설치용량은 2010년 대비 194%, 터키는 설치용량 306 MWe로 336% 증가하였다.

<표 4> 대륙별 설치 용량 및 에너지 생산량

Country	1995		2000		2005		2010		2015		2020
	Capacity (MW)	Enenrgy (GWh)	Capacity (MW)	Enenrgy (GWh)	Capacity (MW)	Enenrgy (GWh)	Capacity (MW)	Enenrgy (GWh)	Capacity (MW)	Enenrgy (GWh)	Capacity (MW)
Europe	722	3,881	1,019	5,864	1,124	7,209	1,643	11,371	2,133	14,821	3,385
Africa	45	366	52	397	136	1,088	209	1,440	601	2,858	1,601
America	3,800	21,303	3,390	23,342	3,911	25,717	4,565	26,803	5,089	26,353	8,305
Asia	1,980	10,129	3,075	17,390	3,290	18,903	3,661	23,127	3,756	22,084	6,712
Oceania	286	2,353	437	2,269	441	2,792	818	4,506	1,056	7,433	1,440
Total	6,832	38,032	7,973	49,261	8,903	55,709	10,897	67,246	12,635	73,549	21,443

<표 5> 발전 방식에 따른 평균 에너지 생산량 및 설치용량

Type	Average energy (GWh/unit)	Average capacity (MWe/unit)
Binary	31	6.3
Back pressure	76	7.0
Single flash	179	30.4
Double flash	231	37.4
Triple flash	500	90.8
Dry steam	253	45.4

표 5는 발전 방식에 따른 평균 에너지 생산량 및 설치용량을 정리한 것이다.

Triple flash 방식의 경우, 평균 용량 90.8 MWe로 전체 용량의 41.8%를 차지하고 있다. 그리고 평균 에너지 생산량은 500 GWh로, 전체 에너지 생산량의 39.4% 수준이다. 전체 지열 발전 방식 중에서 평균 용량이 가장 적은 수준인 Binary 발전의 경우, 평균 용량 6.3 MWe로 전체 설치용량 중에서 2.9%, Triple flash 방식 대비 6.9% 수준이다. 그리고 에너지 생산량은 31 GWh로 전체 생산량 대비 2.4%, Triple flash 방식 대비 6.2%다.

4. 결론

International Energy Agency(IEA)에서는 2011년 지열 발전 및 냉난방 기술 Road map 수립을 통해 2050년까지 지열 발전은 1,400 TWh로 전 세계 발전량의 3.5%까지 보급예정이고, 지중 열 이용 시스템은 연간 1,611 TWh, 연간 에너지 사용량의 3.9% 생산을 목표로 하고 있으며, 이를 통해 연간 800 Mton의 CO2를 절감할 계획이다.

2050년 지열 발전 이용 가능 잠재량은 최대 1,200 TWhe/yr로 추산하고 있으며, 2008년 기준으로 전 세계 전력 생산량의 62% 수준으로 알려져 있다. 또한 2050년 직접 이용 방식 이용 가능 잠재량은 289,000 TWht로 2008 전 세계 에너지 사용량인 44,392 TWht의 6.5배에 달하는

양으로 추정된다.

WGC 2015에서 발표된 지열 보급동향은 다음과 같다.

지열 직접 이용 시스템의 설치용량은 70,327 MWt, 에너지 생산량은 163,287 GWh/yr다.

부하 용도별 시스템은 난방 부분이 설치용량의 88%, 에너지 사용량은 89% 수준이다.

지열 히트펌프 시스템은 전체 설치 용량의 70.9%, 에너지 생산량의 55.3%를 차지한다.

지열 발전의 경우, 2015년 설치용량 12,635 MWe. 에너지 생산량은 73,549 GWh로 2010년 대비 설치용량은 15.9%, 에너지 생산량은 9.3% 증가하였다.

지열 발전 설비 기준으로 상위 5개국은 미국, 필리핀, 인도네시아, 멕시코, 뉴질랜드다.

상위 5개국의 설치용량은 7,919 MWe로 62.7%, 에너지 생산량은 47,616 GWh로 64.7% 수준이다.

5. 참고문헌

1. Roland, N. Horne, Introduction to the world geothermal congress 2015 technical program, 2015, Melbourne, Australia, WGC 2015.
2. Juliet, Newson, The Futrue of geothermal energy 2015, 2015, WGC 2015 Melbourne, Australia, WGC 2015.
3. John, W. Lund, and Tonya, L. Boyd, Direct Utilization of geothermal energy 2015 world wide review, 2015, Melbourne, Australia, WGC 2015.
4. Ruggero, Bertani, Geothermal power generation in the world - 2010-2015 update report, 2015, Melbourne, Australia, WGC 2015.
5. International Energy Agency, Geothermal heat and power - technology roadmap, 2011. 