

천부 지열에너지로서의 지하 열에너지 저장 기술 동향

심병원* · 이철우

한국지질자원연구원, 국토지질연구본부

Status of Underground Thermal Energy Storage as Shallow Geothermal Energy

Byoung Ohan Shim* and Cholwoo Lee

Geological Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

Recently abrupt climate changes have been occurred in global and regional scales and CO₂ reduction technologies became an important solution for global warming. As a method of the solution shallow underground thermal energy storage (UTES) has been applied as a reliable technology in most countries developing renewable energy. The geothermal energy system using thermal source of soil, rock, and ground water in aquifer or cavern located in shallow ground is designed based on the concept of thermal energy recovery and storage. UTES technology of Korea is in early stage and consistent researches are demanded to develop environmental friendly, economical and efficient UTES systems. Aquifers in Korea are suitable for various type of ground water source heat pump system. However due to poor understanding and regulations on various UTES high efficient geothermal systems have not been developed. Therefore simple closed U-tube type geothermal heat pump systems account for more than 90% of the total geothermal system installation in Korea. To prevent becoming wide-spread of inefficient systems, UTES systems considering to the hydrogeothermal properties of the ground should be developed and installed. Also international collaboration is necessary, and continuous UTES researches can improve the efficiency of shallow geothermal systems.

Key words : underground thermal energy storage (UTES), geothermal system, hydrogeothermal, air-conditioning, aquifer

최근 급격한 기후변화가 세계적 또는 국지적으로 발생하고 있으며, 지구온난화에 대한 대책으로 CO₂ 저감 기술들이 중요한 해결책으로 여겨지고 있다. 이 기술들에 대한 한 방법으로서 대체에너지를 개발하고 있는 대부분의 국가에서 천부 지하 열에너지 저장 (UTES: underground thermal energy storage)은 신뢰성 있는 냉난방 기술로 적용되어 왔다. 천부의 토양이나 암반, 대수층내 지하수 및 지하공간내 저장된 유체 등의 열 에너지를 이용하는 지열 시스템은 일반적으로 열에너지의 회복과 저장의 개념을 기반으로 한다. 아직 국내에서는 이러한 기술 개발이 기초적이지만 지속적인 연구들을 수행한다면 보다 친환경적이며 경제성 및 효율이 높은 시스템을 개발할 수 있을 것으로 본다. 국내 지반은 대수층이 전국적으로 분포하고 있으므로 수리지열학적 특성을 활용한 고효율의 시스템 개발이 용이하다. 그러나 UTES에 대한 이해 부족 및 제도적 문제들로 다양한 시스템이 개발되지 못하고 국내에는 90% 이상이 단편적인 폐회로형 지열시스템으로 보급되고 있다. 비효율적인 지열시스템의 보급 확산을 방지하기 위해서는 지반의 수리지열학적 특성을 반영한 선진화된 UTES 시스템들을 개발할 필요가 있다. 개선된 시스템 보급을 위하여 국제적인 협력이 필수적이며, 지속적인 UTES 연구를 통하여 천부 지열시스템의 효율을 개선시킬 수 있다.

주요어 : 천부 지하 열에너지 저장, 지열 시스템, 수리지열학적, 냉난방, 대수층

*Corresponding author: boshim@kigam.re.kr

1. 서 론

지구는 거대한 열에너지 저장소(thermal energy storage)로서 최근 세계적 또는 국지적으로 지구 온난화나 급격한 기후변화가 나타나고 있다(Nordell, 2003). 이러한 환경변화에 대비하고 화석연료에 대한 의존성을 감소시키기 위한 에너지원으로서 지표에서 약 500 m 심도 이내의 천부 지하 열에너지는 국내외적으로 많은 관심을 받고 있다. 천부 지하 열에너지 저장(UTES: Underground Thermal Energy Storage) 기술은 천부 지반내 지열, 지하수, 지표수 등의 자연적 또는 인위적으로 열을 지반에 저장하여 이용하는 기술이다. 일반적인 GSHP(Ground Source Heat Pump)가 지반을 열원(heat source)과 수열체(heat sink)로 이용하는 반면 UTES는 지반을 열에너지 저장소로 이용한다. 따라서 지반의 수리지열학적 특성에 따라 UTES와 GSHP의 개념을 적절히 선택하여 설계하는 것이 바람직하다(Fig. 1). UTES는 큰 규모의 냉난방 시스템에 적합하며 지반의 지질 및 온도, 기후, 문화 등에 따라 활용 방식이 정해진다. UTES 기술은 국내 외에서도 일반적으로 지중열교환기(ground heat exchanger)와 열펌프(heat pump)를 활용한 건물 냉난방 기술로 알려져 있으며 아직까지 GSHP의 개념과 명확하게 구분되어 통용되고 있지 않다(Sanner *et al.*, 2003; Midttømme *et al.*, 2008).

일부 북유럽국가들과 미국을 중심으로 1990년대부터 GSHP 시스템이 급속히 보급되어 왔으며(Lund *et al.*, 2004), 국내에서도 정부 주도적으로 2000년대 초반부터 보급이 이루어져 왔다. 국내에는 지열분야 신재생에너지 정책 보고서로 ‘신재생에너지 RD&D 전략 2030-지열(Ministry of Commerce, Industry and Energy 2007)’가 있다. 천부지열을 이용한 냉난방 기술 로드맵에서는 지열냉난방 시스템을 이용한 열공급 시스템 개발, 지중열자원 개발 기술, 인증 및 표준화 기술, 응용기술로 분류하여 소개되었다. 그러나 이러한 내용들은 천부 지열 활용 기술에 대하여 개념적인 접근이 부족하여 기술 수요 측면에서 구체적으로 다루어 지지 못한 부분이 많으며, 국내외적인 UTES에 대한 연구개발 추세 및 환경에 대한 소개는 미미하다. 신재생에너지 기술들은 기후변화에 대한 에너지원 이동, 에너지 정책의 국제화, 에너지 시장의 기능과 조화, 그리고 각종 에너지원들에 대한 복잡한 인센티브와 각 국가들의 정치적인 목표 등에 따라 많은 영향을 받는다. 그 가운데 UTES는 최근 각 국가별 지열 시스템 개발

현황들을 참고하면 미래 에너지간의 경쟁에서 매우 중요한 역할을 할 것으로 기대된다(Sellberg, 1990; Ucar and Inalli, 2005; Yumrutas and sal, 2005; Gao *et al.*, 2009; Novo *et al.*, 2009).

천부 지하 열에너지 저장 기술과 관련된 대표적인 컨퍼런스로서는 최근 스웨덴에서 개최된 EFFSTOCK2009가 있다. 1973, 1978년의 1, 2차 석유파동이 일어난 이후 컨퍼런스가 시작된 1981년부터 2003년까지는 참가국이 약 16~26개국 정도이었으나 2006년과 2009년에는 31개국에서 참가하여 열저장 및 활용 기술에 대한 국제적인 관심이 최근 매우 높아진 것을 알 수 있다. 그리고 이러한 기술들의 궁극적인 목표가 환경적인 영향을 최소화하면서 경쟁력 있는 가격으로 열에너지를 공급하고자 하는 것으로서 발표 내용들도 현장 사례 연구가 많아 산업 응용성이 큰 편이다.

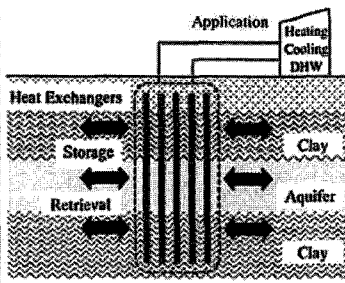
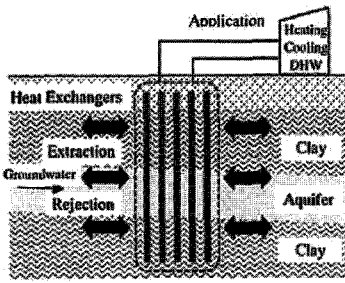
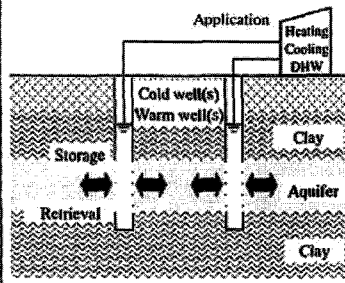
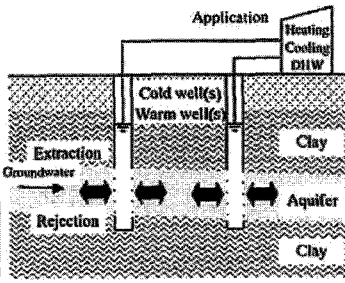
UTES와 관련된 연구를 국제적으로 진행하는 기구는 IEA ECES IA (International Energy Agency - Implementing Agreement on Energy Conservation through Energy Storage)가 있으며, 2008년에는 한국도 참여하게 되었다. 그러나 IEA ECES IA의 여러 세부 연구주제(Annex)들 가운데 우리나라의 참여 활동은 아직 미미한 상태이며 국제적인 기술 정보 소통에 보다 질실한 참여가 요구된다(Table 1).

2. 지하 열에너지 저장(UTES) 기술 개요

UTES는 토양이나 암반, 대수층내 지하수 및 지하공간내 저장된 유체 등의 열에너지원을 이용하는 시스템으로서 열에너지 저장의 개념을 이용하므로 시스템의 운영 및 목적에 따라 에너지원들이 장단기간에 걸쳐 저장 또는 회복된다. UTES는 세부적으로 대수층 열저장(ATES: Aquifer Thermal Energy Storage), 시추공을 이용하는 보어홀 열저장(BTES: Borehole Thermal Energy Storage), 지하공동내 열저장(CTES: Cavern Thermal Energy Storage) 등으로 구분할 수 있다(Fig. 2).

대수층을 이용하는 ATES는 비열이 높은 지하수를 이용하므로 폐회로형 지중열교환기보다 일반적으로 효율이 높고 대수층 특성에 따라 다양한 설계가 가능하다. 그리고 단일정(single well), 복수정(multi well), 축열식, 유출형 지하수 활용 등 지하수가 있는 지역이면 건물이나 지반 특성에 적합한 방식으로 유연성 있는 시스템 개발이 가능하다. 유럽, 미국, 중국 등에서는 대수층의 특성을 잘 이용하여 공항, 공공건물, 대형빌딩 등

(a)

		Borehole system with indirect heat exchange	
System		Borehole Thermal Energy Storage (BTES)	Ground Source Heat Pump (GSHP)
Layout			
Concept		- Indirect heat exchange system by using underground heat exchangers - Utilizes the underground as a thermal storage medium	- Indirect heat exchange system by using underground heat exchangers - Utilizes the underground as heat source and heat sink
Features		- Applicable to both soil saturated with groundwater and unsaturated soil - Suitable for regions which have complex underground layers - Closed cycle doesn't use groundwater directly	
		Aquifer system with direct use of underground water	
System		Aquifer Thermal Energy Storage (ATES)	Groundwater Heat Pump (GWHP)
Layout			
Concept		- Direct use of groundwater by using thermal wells - Uses an underground aquifer as a thermal storage medium	- Direct use of groundwater by using thermal wells - Uses an aquifer with higher ground water flow as heat source and heat sink
Features		- Limited to regions which have an underground aquifer for thermal energy utilization - Higher system efficiency than for borehole system with indirect heat exchange - Possible in regions which don't have regulations on groundwater use	

(b)

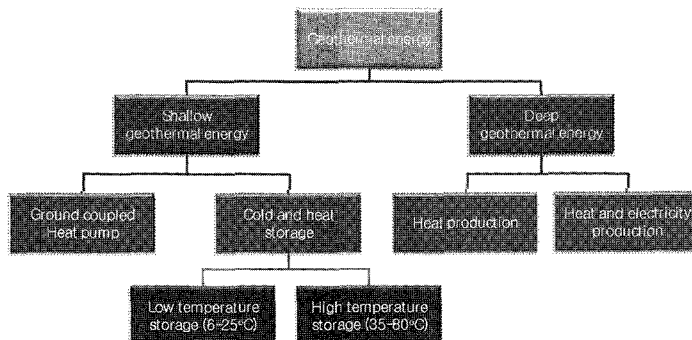


Fig. 1. Examples of simple classification of shallow geothermal energy (a: modified from Hamada *et al.*, 2002; b: IF Technology, 2009).

Table 1. IEA-ECES Annexes related to UTES research subjects (IEA-ECES, 2009)

IEA ECES Annexes	Start	End	Participated countries
Annex 1, Large Scale Thermal Storage Systems Evaluation	1981	1983	BE, CH, DE, DK, SE, US
Annex 3, Aquifer Storage Demonstration Plant in Lausanne Dorigny, Switzerland	?	1989	CH, DK, SE, US
Annex 4, Short Term Water Heat Storage Systems	?	1988	GE, NL, SE, US
Annex 6, Environmental and Chemical aspects of Thermal Energy Storage in Aquifers and Research and Development of Water Treatment	1987	1996	CA, CH, DE, DK, FI, NL, SE, US
Annex 7, Innovative and Cost Effective Seasonal Cold Storage Applications	1989	1996	CA, DE, NL, SE
Annex 8, Implementing Underground Thermal Energy Storage Systems	1994	1999	BE, CA, DE, NL, JP, SE, TK, US,
Annex 12, High-Temperature Underground Thermal Energy Storage	1997	1999	BE, CA, DE, SE, NL
Annex 13, Design, Construction and Maintenance of UTES Wells and Boreholes	1997	1999	BE, CA, DE, JP, NL, NO, SE, TK, US
Annex 21, Thermal Response Test for Underground Thermal Energy Storages	2007	2010	CA, DE, FI, ES, JP, KO, NO, SE,

IEA ECES Annex participating countries: Belgium (BE), Canada (CA), Denmark (DK), Finland (FI), Germany (DE), Japan (JP), Republic of Korea (KO), The Netherlands (NL), Norway (NO), Spain (ES), Sweden (SE), Switzerland (CH), Turkey (TK), United Kingdom (UK), United States (US).

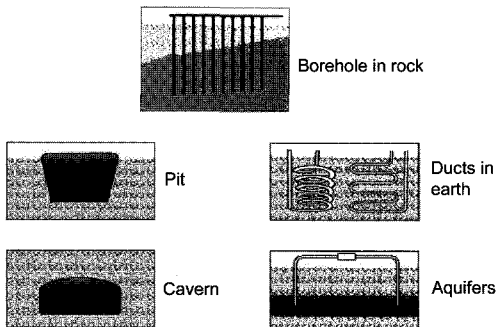


Fig. 2. Main concepts for underground thermal energy storage (Nielsen, 2003).

의 대규모 시스템에 많이 적용하고 있으나 BTES 보다 기술적으로 복잡하고 지하수 오염을 방지해야 되는 등의 설계 및 절차상 복잡한 면들이 존재한다.

BTES는 국내외적으로 가장 많이 분포되어 있는 시스템으로서 U-tube, coaxial tube, 에너지 파일(energy pile), 하이브리드 시스템 등의 지중열교환기에 열펌프를 연결하는 시스템으로 구성되며 특정 지역 지반의 온도조건, 건물특성, 운영방식 및 기후 등에 따라 설계가 달라진다(Ramamoorthy *et al.*, 2001; Nagano, 2007). 그리고 지하의 유효열전도도 측정을 위한 열응답 실험(TRT: Thermal Response Test)도 관련 연구분야로 다루어지고 있다(Shim, 2008). 반밀폐형(semi-closed loop)으로서 수주지열정(SCW: standing column well)은 아직 UTES로서 구체적으로 소개되진 않고 있

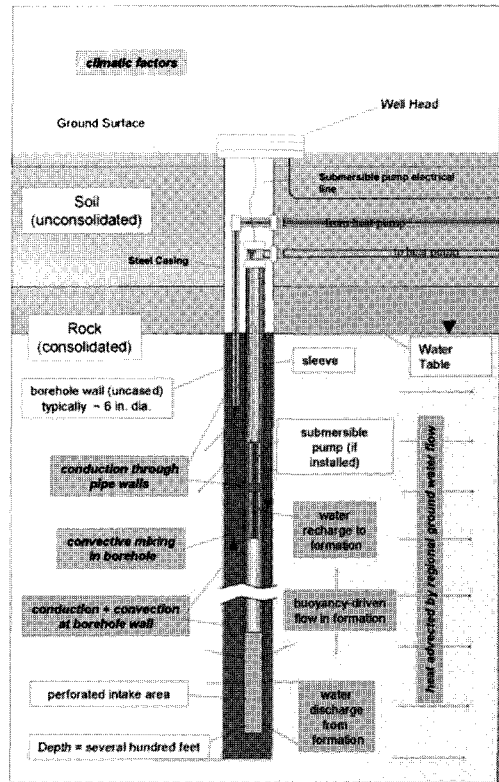


Fig. 3. A schematic of a typical standing column well (Spitler *et al.*, 2002).

으나 계절적으로 열저장 개념을 이용할 수 있으므로

이에 적합한 설계방법이 필요하다. SCW는 우리나라를 비롯한 중국, 미국, 캐나다 등의 국가들에서 많이 보급되고 있다(Fig. 3).

CTES는 기존의 터널이나 폐광, 지하동굴 등의 지하 공간이나 인공적인 설계를 통한 지하저장소에 물을 가두어 그 열에너지를 이용하는 것으로 마을규모나 지역 난방 등의 대규모 시스템에 적용되고 있다. 특히 북위도 지방이나 눈이 많은 지역에서는 눈이나 얼음을 저장(ice storage)하여 열을 이용하는 방법들이 있으며 (Skogsberg and Nordell, 2001), 폐열 저장, 여러가지 하이브리드 시스템 사례들(Ramamoorthy *et al.*, 2001; Ucar and Inalli, 2005; Wang *et al.*, 2009)이 있다.

3. 국외 현황

3.1. 미국

2004년 기준으로 전세계적으로 지열 열펌프 시스템의 설치 개수는 약 1,100,000대 정도이며, 미국이 최근 20,000~60,000대/년 정도 설치되어 왔으며 약 600,000대 정도 설치된 것으로 추정된다(Lund *et al.*, 2004). 그리고 그 이후로 급속히 보급이 확산되어 현재는 이보다 훨씬 많은 시스템이 설치되어 있다. 미국은 다양한 대규모 UTES 시스템이 개발되어 이용되고 있으며 이에 대한 국제 연구도 IEA 등을 통하여 지속적으로 참여하고 있다. 대표적인 GSHP 설계 프로그램으로서 오클라호마 주립대학에서 개발된 GLHEpro, Gaia geothermal, LLC에서 개발된 GLD가 있다. 이 프로그램들은 기본적으로 열에너지 저장의 개념을 부분적으로 적용하여 GSHP 운영에 따른 장기간의 지반 내 온도변화 시뮬레이션이 가능하다. 지하수를 이용하는 개방형(open loop) GSHP 시스템으로서 현재 운영 중인 가장 오래된 시스템은 1948년 건설된 The Equitable Building이며, 50 m 심도의 2개의 양수정과 170 m 심도의 1개의 주입정으로 이루어져 있다. 최대 양수량은 130 m³/h이며, 열펌프만 교체하면서 지금까지 이용되고 있다. 그리고 세계에서 가장 큰 지하수원 지열시스템의 하나인 KY Louisville에 있는 Galt House 호텔은 전체냉난방 면적이 158,400 m²으로 약 400 m 심도 4개 관정에서 2,650 l/min의 물을 양수하여 열교환기에 이용한다.

3.2. 유럽

많은 유럽국가들이 1970년대부터 UTES에 대한 연구를 시작하였으나, 본 연구에서는 몇 개국의 최근 현황만

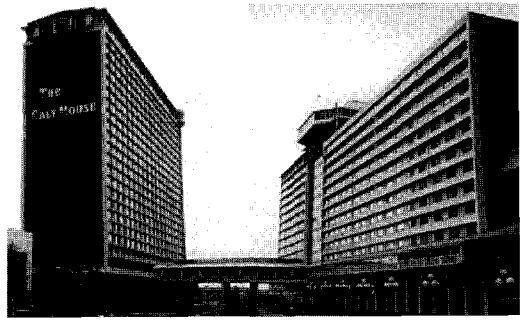


Fig. 4. Photo of Galt House hotel Louisville, KY, USA (Geothermal Heat Pump Consortium, 2009).

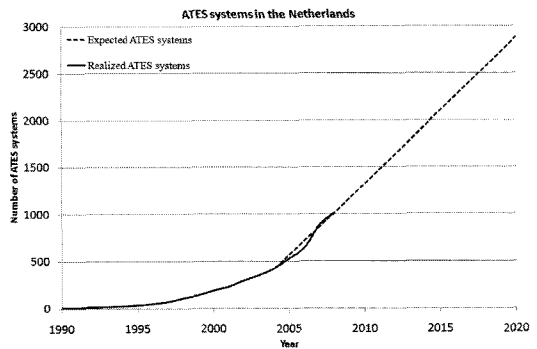


Fig. 5. Number of energy storage projects in the Netherlands and prospects until 2020; prognoses based on yearly grow during the last five years (from Godschalk and Bakema, 2009).

기술하였다. 네델란드는 총적 대수층이 전국토에 발달되어 지하수를 열에너지로 많이 이용하고 있으며 현재 1000여 개의 ATES 시스템이 설치되어 있다(Fig. 5). 특히 암스테르담 지역은 투수성이 크고 대량의 양수 및 주입이 가능한 총적층 대수층이 부존하고 있으며, 이 지역의 새로운 빌딩에 설치되는 ATES 냉난방 시스템 설치비를 회수하는 기간이 일반적으로 5년 이하이다 (Bakema and Snijders, 1998; Godschalk and Bakema, 2009). 이러한 수리지질적 장점을 이용하여 ATES 기술을 상업화하여 미국과 유럽, 아시아 등에 프로젝트들을 개발하고 있다(IFTechnology, 2009).

유럽에서 10 MW 이상의 대규모 시설들로는 노르웨이 Oslo Gardermoen 국제공항, 스웨덴 Arlanda 국제공항(Fig. 6), 네델란드 Technical University of Eindhoven 등이 있다(Holdsworth, 2004; Midttømme, 2005; Ingrid, 2009). 이러한 대규모 시설들은 정부 정책과 더불어 공항 운영 주체나 건물주들의 적극적인 경제성 분석에 의해 채택되어 시스템의 효율 및 운영

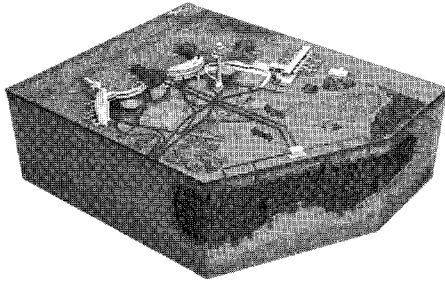


Fig. 6. Heat and cold is seasonally stored in an aquifer close to the airport. In winter the heat is used for heating ventilation air and for snow melting at gates. In summer the cold is used for comfort cooling (from Ingrid, 2009).

이 유기적으로 연결되어 있다. 스웨덴은 유럽에서 UTES 시스템을 적극적으로 개발하고 있는 국가 가운데 하나이며, 1970년대부터 적용하였다(Sellberg, 1990).

노르웨이는 전체 지열에너지로서 1.5 TWh를 이용하고 있으며, 국내 수리지질 형태와 유사한 결정질 암반이 발달되어 있다. GSHP 형태로 약 15,000 개소 보급되어 있으며, 그 가운데 중대형 규모의 시스템에서 약 30%가 UTES이다. Oslo 국제공항의 냉난방시스템은 난방용량이 8MW의 ATEs로서 45 m 심도 18개의 관정으로 구성되어 있다(Midttømme *et al.*, 2008).

3.3. 일본

일본은 2002년까지 천부 지하 열에너지 저장 시스템이 약 60여 개로 추정되며 2005년 이후부터 급속한

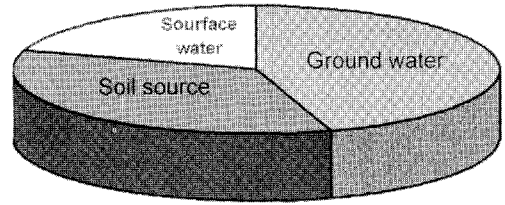


Fig. 7. GSHP markets distribution in China (from Gao *et al.*, 2009).

보급 증가가 이루어질 것으로 추정하였다(Yasukawa and Takasugi, 2003). 그러나 2007년 조사에서도 전체 GSHP 시스템은 400여 개가 설치되어 있는 것으로 추정되어 진행이 매우 느리게 나타나는데 그 이유는 높은 굴착 비용과 전기 요금 때문이다(Morita, 2007). 그러나 기술개발 분야에서는 많은 연구들이 진행되어 왔는데 Hamada *et al.* (2002)은 GIS (Geographical Information system)를 이용하여 지반내 열물성과 지하수 특성에 따른 저장 방법들을 선택할 수 있는 시스템을 개발하였다. 그리고 응설과 에너지파일, 대수층 축열 등에 많은 연구가 진행되어 왔다(Nagano *et al.*, 2002; Hamada *et al.*, 2007; Nagano, 2007).

3.4. 중국

중국은 아시아에서 가장 보급이 활발한 국가로서 2005년까지 조사된 지열 열펌프 프로젝트가 2,537개가 있으며, 이 가운데 지하수원 열펌프가 45%, 폐회로형 지중열교환기 형태가 35%, 지표수원 열펌프가 20%를 차지하고 있다(Fig. 7). 대수층 축열 시스템을 연구한 사례는 Xue 등(1990)에 의하여 나타나 있으며, 지속적

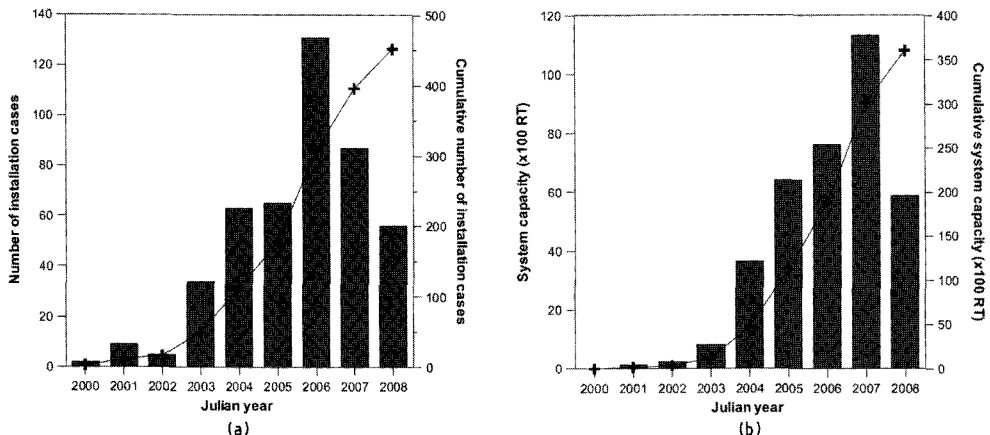


Fig. 8. Applications of GSHP systems in Korea. (a) number of GSHP installation for 2000–August 2008 (years of 99 cases are unknown) and (b) system capacity (191 cases are capacity unknown) (from Lee, 2009).

인 국제협력을 통하여 기술개발을 이루어 왔다. 가장 큰 단일 프로젝트 규모는 냉난방 면적이 186,000 m²이며, 베이징 올림픽 주경기장을 비롯한 많은 대규모 실용화 사례들이 있다(Jiurong and Jianping, 2005; Gao et al., 2009).

4. 국내 현황

국내에서는 천부 지열을 이용하는 폐회로형(closed loop)을 중심으로 시스템이 보급되어 있으며 시스템의 다양성이나 효율의 증대를 위한 연구는 미흡한 실정이다. 국내 GSHP 시스템 설치비용은 80% 이상이 수직 폐회로형으로 추정되며, SCW 방식이 다음 순으로 보급되어 있다. 지열 시스템의 보급이 시작된지 약 10년 정도 되어 2010년 현재 700 여개 이상의 시스템이 보급되어 있는 것으로 추정되나(Fig. 8) 아직 다양한 기술이 개발되지 못하고 있다. 이것은 국내 보급을 위해 정부에서 지원하는 제도가 아직 ATES, BTES, SCW 등의 다양한 시스템을 수용하기 어렵기 때문이다. 그리고 국내 실정에 맞는 다양한 시스템의 제도적 또는 기술적 표준화가 되어 있지 않기 때문이다. 국내 지질 및 지하수 환경은 개방형 시스템의 설치에 상당히 유리한 지역이 많아 에너지 효율성이 큰 ATES 시스템 설치가 가능한 곳은 많지만(Lee et al., 2006) 국내 제도적 여건으로 인하여 실질적인 보급이 진행되지 못하고 있다

최근 대수층을 활용한 연구들이 추진되어 복수정을 이용한 대수층 지열 활용, 강변여과수를 이용한 지열 이용, ATES 방식과 충적층 지중열교환기 등의 실증 연구(Fig. 9)가 이루어졌다(Hahn and Hahn, 2005; Hahn et al., 2007). 그리고 국내 지반은 결정질 암반 대수층이 많이 발달되어 있어 SCW는 수리지질 및 효율 측면에서 적합한 시스템으로 판단되나 아직 국내에서 제도적 지원을 위한 적합한 평가방법이 개발되지 않아 보급되는데 많은 어려움이 따른다. 그리고 국내에서는 개방형이나 SCW 시스템의 열교환율이나 열용량 계산 등에 대한 연구들이 이루어졌으나(Lim, 2009; Yang et al., 2009) 산업계로의 적용이 미미하며 이를 토대로 설계 기술을 개발할 수 있는 여건이 아직 갖추어지지 않았다. 국내외적으로 폐회로형처럼 개방형 시스템을 위한 상용화된 설계프로그램이 개발되어 있지 않다. 그 이유는 대수층의 특성과 지중열교환기내 지하수를 외부로 유출시키는 양에 따라 시스템의 효율이 크게 달라지므로 연구용으로만 프로그램들이 개발되어

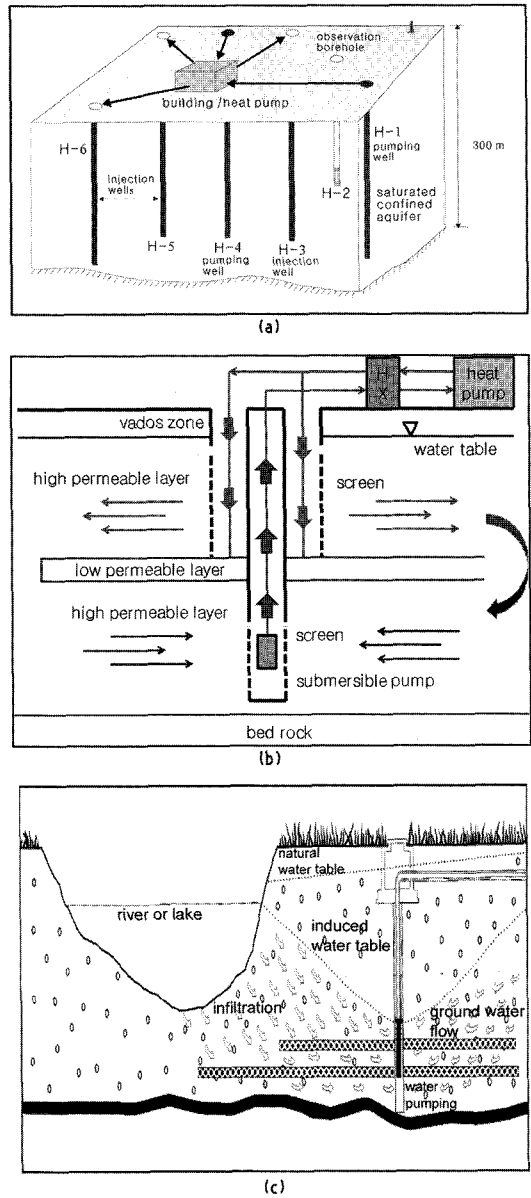


Fig. 9. Schematic diagrams of several groundwater source heat pump systems installed in the Republic of Korea. (a) is a schematic of multi well system using groundwater from two pumping wells and three injection wells (from Shim and Lee, 2007) and (b) is a single well system installed in an alluvial layer. (c) represents a schematic of riverbank infiltration (from Kim et al., 2006).

왔다(Spitler et al., 2002). 국내 개방형 지열시스템 보급에 대한 제도적 문제는 개방형 시스템의 설계 평가 및 표준화를 폐회로형 시스템과 같은 방식으로 수행하고자 있는데 있다. 따라서 이러한 문제 해결을 위하여

는 지반내 수리지질 특성을 이용한 지열 에너지 활용으로의 개념 확대가 필요하다. 그리고 국내 지열 관련 전문기업들이 친환경 고효율의 UTES 지열시스템 개발 및 설계를 위하여 수리지질 특성 평가와 지열시스템 설계가 가능한 인력을 양성할 필요가 있으며, 정부 차원의 보급을 위한 프로젝트 개발 및 연구가 필수적이다.

5. 결 론

UTES 기술은 열에너지의 소모적인 개념이 아니라 장단기간에 걸쳐 열을 저장 또는 회복시켜 지속가능한 시스템을 운영하는 개념으로서, 그 종류도 ATES, BTES, CTES 등으로 다양하다. 세계적으로 자국의 지질 및 대수층 여건에 적합한 고효율의 신뢰성 있는 UTES 시스템들이 개발되고 있다. 이러한 연구들은 국제적인 정보 소통에 의하여 급속히 진행되고 있으며, 미국과 유럽 국가들을 중심으로 많은 연구들이 추진되고 있다. 국내 지질과 기후 여건이 유사한 유럽 국가들과 시스템 설계에 대한 정보교류 및 벤치마킹을 지속적으로 추진한다면 국내에 적합한 UTES 시스템을 개발하는데 많은 시간을 단축시킬 수 있을 것으로 판단된다.

국내에서도 천부 지하 열에너지 특성에 따른 응용 기술들이 다양한 접근 방법으로 연구가 이루어지고 있으나 실제 프로젝트 개발 및 보급은 활성화되지 못하고 있다. 근본적인 문제는 아직 국내 설계 및 시뮬레이션 기술이 부족하여 신뢰성 있는 시스템으로 개발되지 못하고 있는 경우가 많다. 이러한 문제들은 지속적인 UTES 연구개발 투자와 기존의 실증연구 결과들을 통하여 실질적인 설계 표준화 작업으로 개선이 가능하다. 국내 설치된 지열 시스템수의 90% 이상이 폐회로형의 지중열교환기를 이용한 지열 열펌프 시스템으로서 정부 주도하에 보급이 진행되어 왔다. 이러한 단편적인 보급 방향은 국내 지하 열에너지 자원의 효율성을 감소시킨다. 그리고 미래를 위한 경쟁력 있는 기술 발전을 위해서는 국내 여건에 적합한 UTES에 대한 보다 기초적이고 원리적인 연구 및 기술 개발이 요구된다.

사 사

본 논문은 2010년 한국지질자원연구원 기본과제인 '저온 지열 열병합 발전에 활용가능한 심부 지열수 자원 확보 기술 개발' 연구의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Bakema, G. and Snijders, A. (1998) ATES and ground-source heat pump in the Netherlands, IEA Heat Pump Center Newsletter, v.16, p.15-17.
- Gao, Q., Li, M., Yu, M., Spitler, J.D. and Yan, Y.Y. (2009) Review of development from GSHP to UTES in China and other countries, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.13, p.1383-1394.
- Geothermal Heat Pump Consortium, Inc. (2009) Galt House East Louisville, KY. <http://www.GeoExchange.org/>.
- Godschalk, M.S. and Bakema, G. (2009) 20,000 ATES Systems in the Netherlands in 2020 - Major step towards a sustainable energy supply, Proceedings of 11th International conference on Thermal Energy Storage.
- Hahn, H. and Hahn, K. (2005) Technology development of ground source heat pump system applied to aquifer thermal energy storage, Magazine of the SAREK, v.34, p.55-62.
- Hahn, J.S., Han, H.S., Hahn, C., Jeon, J.S. and Kim, H.S. (2007) Optimum Pumping Rates of Ground-Water Heat Pump System Using Groundwater or Bank Infiltrated Water, Economic and environmental geology v.40, p.833-841.
- Hamada, Y., Marutani, K., Nakamura, M., Nagasaka, S., Ochifuji, K., Fuchigami, S. and Yokoyama, S. (2002) Study on underground thermal characteristics by using digital national land information, and its application for energy utilization, Applied Energy, v.72, p.659-675.
- Hamada, Y., Nakamura, M. and Kubota, H. (2007) Field measurements and analyses for a hybrid system for snow storage/melting and air conditioning by using renewable energy, Applied Energy, v.84, p.117-134.
- Holdsworth, B. (2004) Cool thinking: Unlocking earth's energy, Refocus, v.5, No.2, p.28-30.
- IEA-ECES (2009) IEA ECES. <http://www.energy-storage.org/>.
- IF Technology (2009) Geothermal energy. www.iftechnology.com.
- Ingrid, W. (2009) The ATES project - a sustainable solution for Stockholm-Arlanda airport The Proceedings of 11th International Conference on Thermal Energy Storage.
- Jiurong, L. and Jianping, C. (2005) The Geothermal Resources and Development Plan in the Olympic Green, Beijing, China, The World Geothermal Congress 2005.
- Kim, H.S., Jung, W., Ahn, Y. and Hwang, K.S. (2006) A Study on Application of The Available Geothermal Energy From Riverbank (including Alluvial and Riverbed deposits) Filtration, The 2006 Summer Conference Proceedings of The Society of Air-conditioning and Refrigeration Engineering of Korea.
- Lee, J.Y. (2009) Current status of ground source heat pumps in Korea, Renewable and Sustainable Energy Reviews, v.13, p.1560-1568.
- Lee, J.Y., Won, J.H. and Hahn, J.S. (2006) Evaluation of hydrogeologic conditions for groundwater heat

- pumps: analysis with data from national groundwater monitoring stations, *Geosciences Journal*, v.10, pp.91-99.
- Lim, J. (2009) Application of geothermal heat pumps in a renovated campus building, *International Journal of Energy Research*, Published online in Wiley Inter-Science.
- Lund, J., Sanner, B., Rybach, L., Curtis, R. and Hellstrom, G. (2004) Geothermal (Ground-Source) heat pumps - A world overview, *GHC Bulletin*.
- Midtt mme, K. (2005) Norway's Geothermal Energy Situation, *Proceedings World Geothermal Congress 2005*.
- Midtt mme, K., Ramstad, R., Stene, J., Skarphagen, H. and Borgenese, B. (2008) Status of direct use of geothermal energy in Norway, *The 33rd international geological congress*.
- Ministry of Commerce, Industry and Energy (2007) *New & Renewable Energy Research Development & Demonstration strategy 2030*, Geothermal.
- Morita, K. (2007) Status and Prospect of Ground-Source Heat Pumps in Japan, *Refrigeration*, v.82, p.45-50.
- Nagano, K. (2007) Energy pile system in new building of Sapporo city University Thermal Energy Storage for Sustainable Energy Consumption, p.245-253.
- Nagano, K., Mochida, T. and Ochifuji, K. (2002) Influence of natural convection on forced horizontal flow in saturated porous media for aquifer thermal energy storage, *Applied Thermal Engineering*, v.22, p.1299-1311.
- Nielsen, K. (2003) Thermal Energy Storage: A State-of-the-Art. http://www.ntnu.no/em/dokumenter/smarthygg_rapp/Storage_State-of-the-art.pdf.
- Nordell, B. (2003) Thermal pollution causes global warming, *Global and Planetary Change*, v.38, p.305-312.
- Novo, A.V., Bayon, J.R., Castro-Fresno, D. and Rodriguez-Hernandez, J. (2009) Review of seasonal heat storage in large basins: Water tanks and gravel-water pits, *Applied Energy*, v.87, p.390-397.
- Ramamoorthy, M., Jin, H., Chiasson, A.D. and Spitler, J.D. (2001) Optimal Sizing of Hybrid Ground-Source Heat Pump Systems That Use a Cooling Pond as a Supplemental Heat Rejecter-A System Simulation Approach, *ASHRAE Transactions*, v.107, p.26-38.
- Sanner, B., Karytsas, C., Mendrinos, D. and Rybach, L. (2003) Current status of ground source heat pumps and underground thermal energy storage in Europe, *Geothermics*, v.32, p.579-588.
- Sellberg, B. (1990) Sweden's research and development program for thermal energy storage, *Tunnelling and Underground Space Technology*, v.5, p.85-89.
- Shim, B.O. (2008) A review on a thermal response test to measure effective thermal conductivity, *KIGAM Bulletin*, v.12, p.47-58.
- Shim, B.O. and Lee, C. (2007) Hydrogeothermal Verification of a Site for the Groundwater Source Heat Pump System, *Journal of the Korean Society for Geosystem Engineering*, v.44, p.28-38.
- Skogsberg, K. and Nordell, B. (2001) The Sundsvall hospital snow storage, *Cold Regions Science and Technology*, v.32, p.63-70.
- Spitler, J.D., Rees, S.J., Deng, Z. and Chiasson, A. (2002) R&D Studies applied to standing column well design. *ASHRAE 1119-RP*, <http://www.northeastgeo.com/pdf/RP-1119.pdf>.
- Ucar, A. and Inalli, M. (2005) Thermal and economical analysis of a central solar heating system with underground seasonal storage in Turkey, *Renewable Energy*, v.30, p.1005-1019.
- Wang, H., Qi, C., Wang, E. and Zhao, J. (2009) A case study of underground thermal storage in a solar-ground coupled heat pump system for residential buildings, *Renewable Energy*, v.34, p.307-314.
- Xue, Y., Xie, C. and Li, Q. (1990) Aquifer Thermal Energy Storage: A Numerical Simulation of Field Experiments in China, *Water Resources Research*, v.26, p.2365-2375.
- Yang, S.J., Kim, J.Y., Hong, W.W. and Ahn, C.W. (2009) An Analysis of Underground Water Temperature during Heating and Cooling by Small-scale SCW Type GWHP System in Operation Modes, *Review of Architecture and Building Science*, v.25, p.263-270.
- Yasukawa, K. and Takasugi, S. (2003) Present status of underground thermal utilization in Japan, *Geothermics*, v.32, p.609-618.
- Yumrutas, R. and sal, M. (2005) Modeling of a space cooling system with underground storage, *Applied Thermal Engineering*, v.25, p.227-239.