



일반원고

지하 열에너지 저장 기술과 IEA ECES

심 병 완
한국지질자원연구원 선임연구원

1. 서론

최근 기후변화 대처 및 CO₂ 저감, 녹색 성장에 대한 국제적인 협력이 활발히 진행되고 있으며, 우리나라도 OECD(Organization for Economic Co-operation and Development) 회원국으로서 에너지의 안보, 경제적인 개발 및 환경 보존 등의 정책 및 연구 협력에 보다 절실한 국제 활동이 요구되고 있다. 이와 관련된 대표적인 국제기구로서 IEA(International Energy Agency)가 있으며, 1차 세계 석유 파동이 일어난 후 1974년에 설립되어 에너지와 관련된 모든 분야에서 발생하는 국지적 및 국제적인 문제들을 해결하는데 노력하고 있다. IA ECES(Implementing Agreement for Energy Conservation through Energy Storage)는 1978년에 구성되었으며, 지하 열에너지 저장 및 활용 기술뿐만 아니라, 저장된 에너지 이동, 전기에너지 저장, CO₂ 이동, 그린하우스 지하열에너지 활용 등의 여러 에너지 저장 및 활용기술들을 다룬다(<http://www.energy-storage.org/homepage.html>). IEA ECES의 주체로서 열과 전기에너지 저장 기술 분야들을 크게 나누면 에너지 저장과 개발(Energy Storage Research & Development), 지하 열에너지 저장(Underground Thermal Energy Storage), 상변화 물질과 화학 반응(Phase change materials and chemical reactions), 물탱크(Water tanks) 및 전기에너지 저장(Electrical energy storage)이 있다(그림 1 ~ 4). 세부적으로 연구가 필요한 기술들은 재생에너지원의 효율적인 사용과 보존

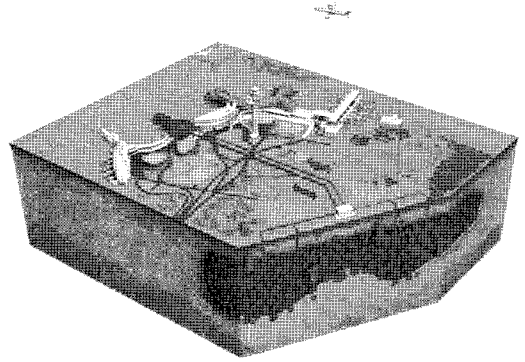
을 위하여 전략적으로 필요한지를 참가국들에 의하여 검토된 후 Annex로 진행될 것인지 결정된다. ECES IA 참가국들은 벨기에, 캐나다, 핀란드, 프랑스, 독일, 일본, 노르웨이, 스웨덴, 터키, 미국이며 우리나라도 2008년부터 참가국으로 활동하고 있다.

ECES IA는 주로 국제적인 수준의 전문가들로 구성된 Annex 활동과 ExCo(Executive Committee) 미팅들로 이루어지는데 Annex는 국제공동 연구 프로젝트라고 할 수 있으며, 대략 3 ~ 5년간의 연구기간을 정하여 주기적으로 모임을 가진다. IEA ECES의 대표들은 해마다 두세 차례의 ExCo Meeting을 통하여 Annex들의 진행 상황을 관리 운영하고 새로운 Annex를 개발한다. 최근까지 전체 17 개의 Annex가 진행되었으며, 진행중인 Annex도 6개가 있다. 우리나라는 2009년부터 ECES의 Annex21(Thermal Response Test for Underground Thermal Energy Storages)에 정식 참가국으로 활동하고 있으며, 국내 천부 지열 활용 및 열응답 실험, 국내 규정 등에 대한 현황을 Country Report로 발표하고 있다. 또한 열응답 실험 절차 등에 대한 국제적인 표준안에 대한 의견을 첨부하거나 실험 결과 해석 연구에 참여하고 있다. 지하 열에너지 저장 분야는 가장 일반적이면서 널리 쓰이고 있는 기술로서 ECES IA에서도 초기부터 다루어져 오던 주제이다.

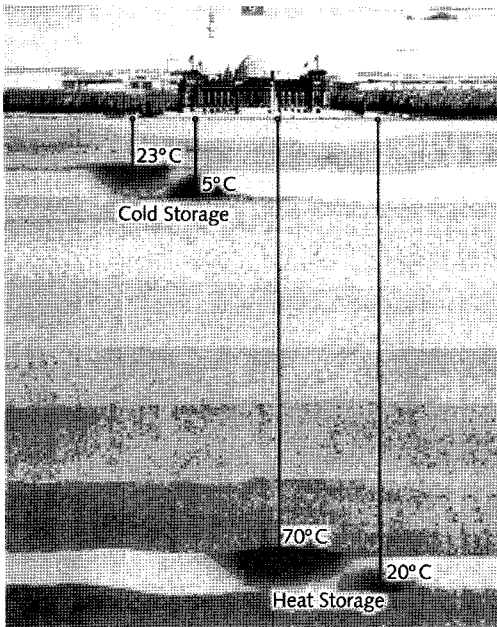
2000년대 초부터 많은 유럽 국가들은 신재생에너지와 관련된 TES(Thermal Energy Storage) 프로젝트에 적극적인 인센티브를 지원으로 기술

개발과 보급을 장려하고 있으며, 몇몇 기업들은 세계적인 회사로 성장하여 대규모 사업들을 수행 중이다. 국내에서도 기술개발을 진전시키기 위해서는 에너지가 연계된 지질 및 지하수 내 열에너지 활용 분야의 시장을 키울 수 있는 전문업체들이 필요할 것으로 판단된다. 최근 세계적으로 TES 기술을 이용하여 화석연료를 대체함으로써 CO2를 감소시키는 광범위한 시스템 개발 및 설치보급이 진행되고 있다. 미국과 유럽 등의 선진

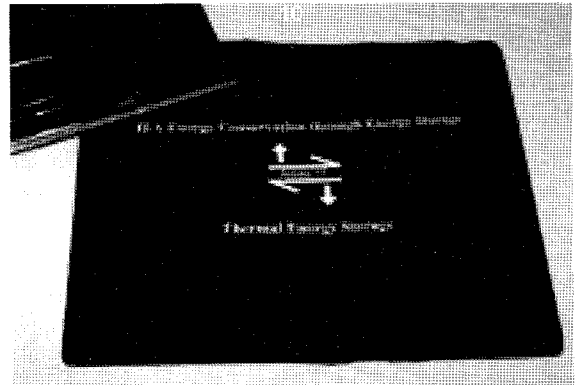
기술국들에서는 천부 열에너지 저장 기술이 다양한 분야에서 상용화되어 보급이 급속히 진행되고



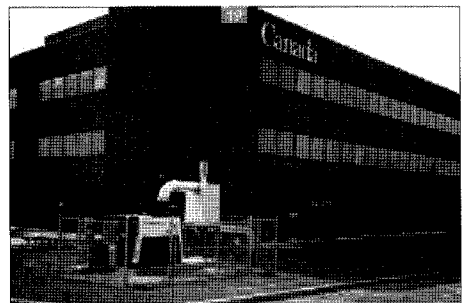
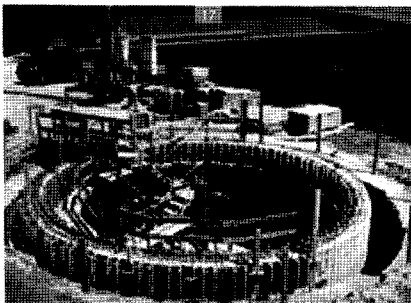
[그림 2] 스웨덴 Alranda 국제공항 ATES (Aquifer Thermal Energy Storage) 시스템 모식도 (from Ingrid, 2009)



[그림 1] 지하 열에너지 저장 시스템 모식도 (IEA ECES, 2009)



[그림 3] 상변화 물질 (PCM: phase change material) 사진 (IEA ECES, 2009)



[그림 4] Water tank 지하 열저장 시스템 건설현장 사진 (IEA ECES, 2009)

있다. 이에 반하여 국내에서는 이제 시작 단계지만 국제적인 기술협력 등을 통하여 단기간에 상당한 기술들을 흡수할 수 있다. 그러므로 관련 학회 및 IEA ECES Annex 등의 활동 참가가 필요하다.

2. IEA ECES Annexes 소개

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).

지하 열에너지 저장과 관련된 기술들은 80년대 초반부터 여러 Annex를 통하여 국제적인 연구가 진행되어 왔다(표 1). 초기 Annex들은 지리적으로 인접한 유럽 국가들과 미국 등이 참가한 5개국 안팎의 그룹을 구성하여 진행되었다. 그러나

2000년대에 시작된 Annex들의 참가국수가 늘어난 것으로 보아 최근 지하 열에너지 저장에 대한 관심이 국제적으로 증가한 것으로 판단된다. 이들 Annex 이전부터 스웨덴, 독일 등의 여러 나라에서 관련 분야의 많은 프로젝트들이 수행되었으며, 이러한 기존 연구 결과들을 바탕으로 세부 연구 주제들이 설정되었다. 미국 및 선진 유럽 국가들은 지하수의 풍부한 열적 자원을 80년대 이전부터 활용하여 왔으며, 국제적인 연구 기반도 오래전부터 구축되어 왔다. 초기 Annex 주제들에서 대수층을 지하 열에너지 저장을 위한 중요한 주제로 다루어 왔으며, 현재에도 많은 연구가 이루어지고 있다. 그리고 이러한 기술을 활용하기 위한 유럽 공동체에서의 기술 표준화나 절차 등에 대한 많은 토의가 워크샵 등을 통하여 지속적으로 진행되고 있다.

본고에서는 우리나라가 참여하고 있는 Annex21의 최근 활동을 중심으로 설명하고자 한다(그림 5). TRT의 장치와 실험절차는 Annex13에서 이전에 다루어졌으나 개선된 연구방향으로

<표 1> 지하 열저장 기술과 관련된 Annexes (IEA ECES, 2009)

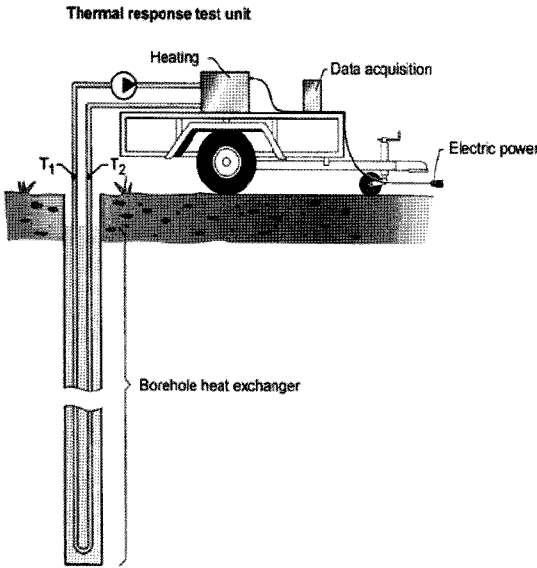
IEA ECES Annexes	Start	End	Participating countries
Annex 1, Large Scale Thermal Storage Systems Evaluation	1981	1983	BE, CH, DE, DK, SE, US
Annex 3, Aquifer Storage Demonstration Plant in Lausanne Dorigny, Switzerland	?	1989	CH, DK, SE, US
Annex 4, Short Term Water Heat Storage Systems	?	1988	GE, NL, 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,

Annex21로 다시 연구되고 있다. 6th Expert Meeting of Annex 21 “Thermal Response Test” (Operating agent: Manfred Reuss)가 2010년 4월 이탈리아에서 개최되었다. 참가국은 한국, 독일, 터키, 핀란드, 일본, 네덜란드, 스페인, 이탈리아, 캐나다이며, 각 나라별로 TRT에 대한 통계나 현황들이 소개되었다. 다음은 Annex21

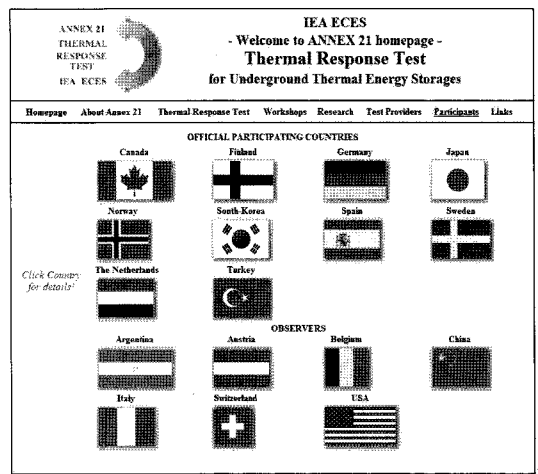
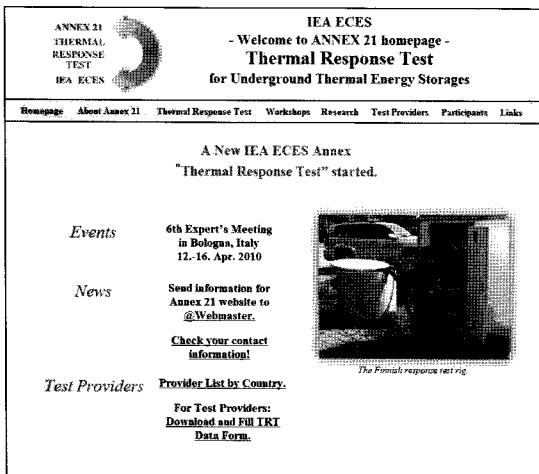
회의의 연구 주제 목록으로서 TRT에서 실험 및 해석에서 관련된 장비, 현장 조건, 이론적 해석 등에 대한 모든 주제들을 토의한다.

1. 국가별 열응답 실험 상황(State-of-the-art and country report presentations)
2. 새로운 열응답 실험 방법 개발(New TRT developments)
3. 열응답 실험 평가 방법 (TRT Evaluation methods)
4. 표준화된 열응답 실험 절차(Standard TRT Procedures)
5. 보급 방법 (Dissemination activities)

가장 활발하게 TRT의 정확한 실험 및 해석방법을 개발하기 위해 추진하는 곳은 독일로서 ZAE BAYERN의 Bavarian center for applied energy research에 소속된 팀에서 현장 경험과 해석방법을 국제적인 협력으로 개발하고 있었다. 최근 TRT 시간이 유효 열전도도의 정확도에 미치는 영향이나 실린더 소스모델을 이용하는 경우와 모델링을 통한 열전도도 해석 등에 대한 연구들이 진행중이다. 그리고 핀란드 지질조사소에서는 최근 TRT 장비를 만들어 TRT 실험을 시작하였으며, 세부과제로서 Annex 21의 홈페이지를



[그림 5] 열응답 실험 모식도 (Gehlin, 2002)

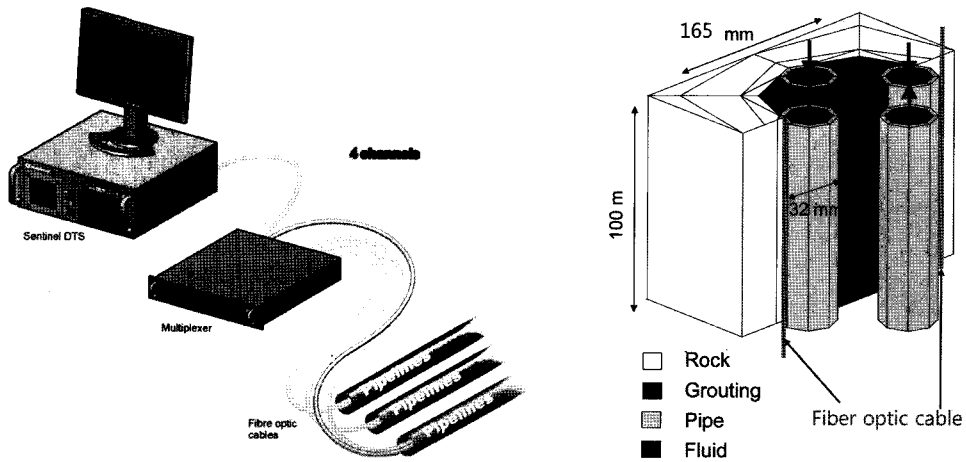


[그림 6] 준비중인 Annex21 홈페이지 및 참가국 리스트

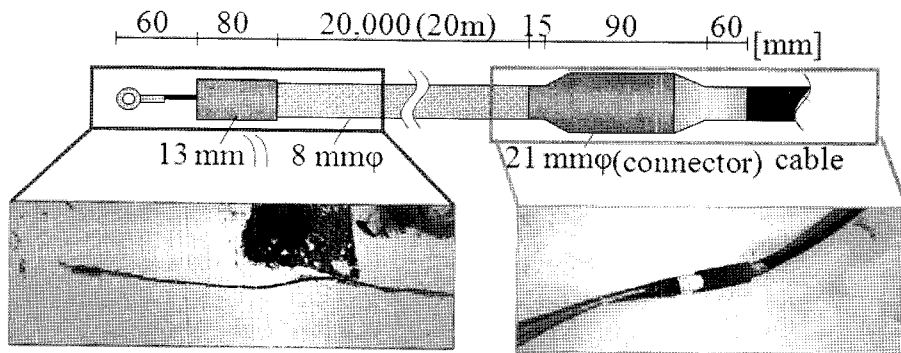
만들고 있다(그림 6). 일본에서는 대표적으로 큐슈대학, 홋카이도대학 그룹이 열응답 실험, 지열 열펌프 및 지중열교환기에 대한 연구에 참여하고 있다. 세부주제별로 여러 나라의 연구자들이 담당하고 있는데 네델란드에서는 지하수가 TRT에 미치는 영향에 대한 연구 결과들을 취합하여 그 가능성을 해석하고 있으며, 캐나다에서는 국제적인 TRT 방법 및 절차 표준화에 대한 조사 및 매뉴얼을 작성하고 있다. 그리고 이탈리아 및 터키에서는 TRT의 새로운 해석 방법에 대하여 이론적, 실험적 방법들을 이용하여 개발하고 있다.

국내에서도 표준화된 열응답 실험 방법을 고시의 세부 항목으로 열전도도 측정 기준을 마련하

고 있으나 열응답 실험결과 및 연구결과의 근거보다는 참고문헌 등을 통한 추정으로 신뢰성이 많이 떨어진다. 측정시간과 방법에 대한 견해는 참가국의 전문가들이 조사한 결과에 의하면 5일, 7일 등의 제안이 있었다. 이것은 보다 정확한 원위치 열전도도를 측정하기 위해서는 국내에서 적용하고 있는 48시간(2일)보다 많은 시간이 필요한 것으로 판단하고 있으며, 현실적인 문제를 반영하는 것과는 별개로 이론적 과학적 문제 해결을 함께 해결하는 방향으로 진행되었다. 이상적인 실험은 진행한 경우에도 약 10%의 오차가 전력, 시추공의 형태, 이론적인 해석방법 등에 의하여 발생할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그리고 최근



[그림 7] 광섬유온도센서를 활용한 지중온도 모니터링



[그림 8] 지중열교환기내 열선을 이용한 열응답 실험 (Nagano, 2010)

TRT 방법에서 심도별 원위치 열전도도를 측정하기 위한 연구방법으로 광섬유 온도센서를 이용하는 것이 많이 보편화되어 스웨덴, 핀란드, 프랑스 등의 여러 국가에서 시도하고 있다(그림 7).

일본 홋카이도대학의 나가노 교수에 의하여 기존의 파이프에 가열된 물을 순환시켜 열전도도를 측정하는 것이 아니라, 열선을 넣어 가열하여 열이 초기온도로 회복되는 것을 측정하여 열전도도를 측정하는 방법이 제한되기도 하였다(그림 8). 홋카이도와 같이 겨울에 추운 지역에서 순환수를 이용하는 것보다 간편하면서, 층별로 유효열전도도를 측정할 수 있으므로 효율적인 면도 있다. 그러나 열선을 깊은 심도까지 내리기 위해서는 공내 열량을 위한 충분한 전력이 요구되는 등의 문제들이 있기 때문에 추가적인 해결책들이 요구된다.

3. 관련 Conference 소개

IEA ECES 주관으로 학회가 3년마다 개최되며, 주제 설정도 ECES의 추진 방향과 유사하게 구성된다. 1981년에 첫 학회가 시작하여 2009년 스웨덴에서 개최된 Effstock이 11번째 컨퍼런스이며, 지열과 관련된 부분은 ATES, BTES (Borehole Thermal Energy Storage), TRT, UTES(Underground Thermal Energy Storage), Snow & ice application, Overviews로 나뉘어 있다. Effstock 2009에서는 전체 163편의 논문 발표가 31개국이 참여하였다. Case study 위주의 논문도 많이 있지만, 이론적인 부분에 대한 발표도 상당히 많이 포함되어 있다. 발표편수로 배열하면 PCM/Chem, BTES, Overviews, TRT, Solar, Water/Tank, Snow/Ice의 순으로 구성되어 있다.

4. 맺음말

최근 국내에서 해마다 많은 지열시스템이 설치되고 있으나 지하 열에너지 저장 기술을 통한 효

Strength 기초 D/B 단시간내 경험 축적 연구조직	Weakness 분야별 협력 체계 국제협력 기술적 전문성
Opportunity 경제, 사회적 관심 국가적 지원 연구의 필요성이 높음	Treat 관련 규제 비정부 분야 관심부족 연구결과에 적용

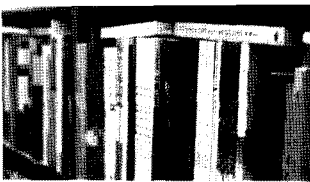
[그림 9] 국내 지하 열에너지 저장 기술에 대한 SWOT 분석

율 증대 및 최적화에 대한 연구는 상당히 미흡한 편이다. 따라서 고효율의 지하 열에너지 활용 시스템들이 체계적으로 개발되지 못하고 지질이나 기후가 다른 외국의 기술을 단순히 답습하여 설치하는 방식이 일반적이다. 이러한 문제들을 해결하기 위해서는 국제적인 기술교류가 요구되며, 국내 전문가들의 다양한 연구에 대한 활발한 교류가 필요하다. 지하 열에너지 저장 기술은 국내에서는 일반적으로 지열 열펌프 시스템으로만 알려져 있으며, 그 설계 기술에 대한 개념과 이해가 부족하여 다양한 시스템 개발이 이루어지지 못하고 있다.

지하 열에너지 저장 및 활용을 위한 대형 프로젝트에서는 정밀한 설계가 요구되는데 이를 위해서는 정확한 지반의 열전도도 측정이 요구되며, 이를 통하여 신빙성 있는 지반내 온도변화의 예측이 가능하다. 그러므로 국내에서 이루어지고 있는 열응답 실험들의 측정 절차와 해석에 대하여 새로운 연구가 필요하며, 국제적인 정보교류를 통하여 국내 지반에 적합한 해석기술 개발이 필요하다. 그림 9는 지하 열에너지 저장 및 활용 기술에 대한 국내 현황을 SWOT 분석을 통하여 나타내었다.

참고문헌

1. IEA ECES, IEA ECES homepage,



- <http://www.energy-storage.org/>, 2009
2. Ingrid, W., The ATES project - a sustainable solution for Stockholm-Arlanda airport The Proceedings of 11th International Conference on Thermal Energy Storage, 2009
 3. Gehlin, S., Thermal Response Test: Method Development and Evaluation, Doctoral Thesis, Lulea University of Technology, Sweden, 2002
 4. Nagano, K., TRT by using a hot wire cable, Presentation in 6th IEA ECES Annex21 TRT meeting, Italy, 2010