

2. 청정생산 : 환경보호와 자원절약을 위한 지열 이용 요약

1. 지열에너지란?

- 지구 중심부의 핵과 맨틀에서 일어나는 방사능 붕괴로부터 발생하는 에너지임
- 지구내부의 열은 지표면에 도달하면 매우 희박한 상태가 되지만 화산 및 온천지역에서는 지열 에너지가 외부로 드러나 있음

2. 지열에너지의 이용

- 지열에너지는 열원의 온도와 사용하는 기술에 따라 크게 지열발전, 직접 이용, 히트펌프를 이용한 지열이용 등으로 이용방법이 구분됨
- 고온의 열원은 전기발전에 사용되며 중간온도의 열원은 온천 등에 직접 사용하고 저온의 열원은 히트펌프를 통해 건물의 냉난방 등에 사용함

3. 히트펌프를 이용한 지열의 이용

- 히트펌프를 이용한 지열이용 시스템은 지질학적으로 고온의 열원을 포함하지 않는 지역에서도 사용이 가능함
- 히트펌프 시스템은 지열 교환기 역할을 하는 플라스틱 파이프를 땅속 깊이 묻어 땅속의 열을 교환하는 장치임
 - 겨울철에는 파이프 내를 순환하는 열이동 매체가 땅속에서 열을 흡수하여 히트펌프 시스템을 통해 건물에 열을 전달함
 - 여름철에는 건물의 열이 열이동 매체에 흡수되어 땅속으로 전달됨

4. 지열에너지 이용의 경제성

- 히트펌프 시스템의 경우 일반 보일러의 설치에 비해 초기시설비가 더 드는 편이지만 유지관리비가 거의 들지 않아 life cycle cost는 저렴한 편이며 투자회수기간이 5년 내외이어서 기존 냉난방 설비에 비해 경쟁력이 있음

5. 지열에너지의 환경친화성

- 지열 에너지의 사용은 화석연료의 사용에 비해 배출되는 배가스가 거의 없고 특히 히트펌프 시스템의 경우 지하수의 방류가 없어 매우 환경친화적임

6. 시사점

- 우리나라에서는 지열을 이용하여 발전을 하는 것은 불가능하나 히트펌프 시스템을 이용하는 것은 가능하므로 이 분야의 기술을 연구 보급하여 에너지 자원도 절약하고 환경도 보호해야 할 것임

1. 서론

○ 최근 유가상승에 따른 우리나라의 원유 수입은 올해 300억 달러를 넘어설 전망이다

- 우리나라는 에너지 절약의 필요성이 절실함에도 불구하고 에너지 사용 증가량은 연 10%를 넘어 세계에서 여섯 번째로 석유를 많이 사용하는 나라임
- 에너지 사용은 원유, 석탄, 가스등 화석에너지의 수입에 의존하고 있는 실정이며 기름 한 방울 나지 않는 데도 불구하고 우리나라의 국민 1인당 에너지 사용량은 선진국 수준에 육박하고 있음

○ 에너지 사용은 그 자체가 각종 공해의 원인이며 특히 화석에너지의 사용이 그 주범임

- 화석에너지의 사용을 줄이고 온실가스 발생을 저감하여 지구온난화 문제 등에 대응하기 위하여 청정에너지의 개발과 보급이 시급함

○ 정부는 에너지 절약과 대체에너지 개발 보급에 박차를 가하여 지금까지 보급된 대체에너지로는 태양열, 풍력, 바이오에너지 등이 있음

- 현재까지 국내에서 개발된 대체에너지는 에너지의 강도가 낮고 경제성이 맞지 않아 산업용으로 사용되지 못하고 소규모로 사용되는 정도에 머물고 있음

○ 이러한 상황에 우리에게 새로운 가능성을 보여주는 대체에너지로서 지열에 관한 관심을 가질 필요가 있음

2. 지열에너지란?

○ 지구핵은 바위와 마그마로 구성된 맨틀로 둘러싸여 있고 온도는 3000℃~5000℃ 정도로 추정되는데 지열에너지는 이러한 지구 내부 고온의 열원으로부터 발생하는 에너지임

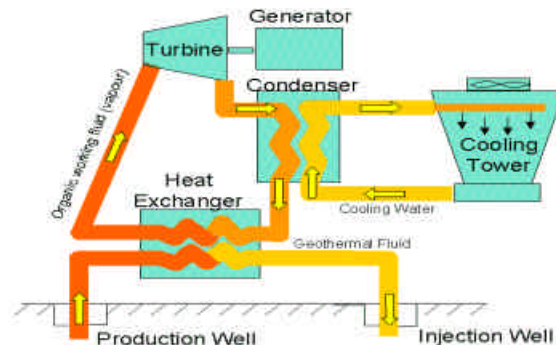
- 지열에너지의 원천은 지구 내부에서 일어나고 있는 방사능 붕괴라고 생각되지만 지구는 서서히 냉각되어 가고 있는 과정에 있음

- 지구는 태양에너지에 의해 냉각의 속도가 지연되며 용융상태의 지구가 태양으로부터의 에너지 공급이 없었다면 수천년전 완전히 식어 고체상태가 되었을 것임
- 지열 에너지가 외부로 드러난 모습 이 화산, 온천, 간헐천 등인데 대부분의 지역에 있어서 지구내부의 열은 지표면에 도달하면 매우 희박한 상태가 되지만 미국 서부의 여러 지역은 다양한 지질학적 과정에 의해 비교적 각각의 깊이 않은 지점까지 열원이 분포되어 있음
 - 열원은 저온(90℃ 이하), 중간온도(90℃~150℃), 고온(150℃ 이상)으로 구분하며 지열의 사용은 온도에 따라 구분됨
- 미국의 경우 최근 지열에너지에 의한 발전량은 대체에너지 중 소수력과 바이오매스에 이어 세 번째로 많은 양이나 지열에너지의 사용도는 그 잠재성에 비해 미약한 편임

3. 지열에너지의 이용

- 지열에너지의 활용은 열원의 온도와 사용하는 기술에 따라 크게 지열발전, 직접이용, 히트펌프를 이용한 지열이용 등으로 구분됨
 - 고온의 열원은 전기발전에 사용되며 미국의 경우 지열을 이용하여 원자력발전소 네 곳의 발전량과 맞먹는 2,200 MW의 전기를 발전함
 - 중간온도의 열원은 온천 등에 직접 사용하고 저온의 열원은 히트펌프를 통해 사용함
- 지열발전은 사용할 수 있는 지하수를 증기로 사용할 수 있는가의 여부와 온도 등의 조건에 따라 적용기술이 달라짐
 - 지하열수가 완전히 증기상태로 이용될 경우 증기터빈을 사용하여 발전을 하며 이때 화력발전에 필요한 화석연료와 보일러 등은 불필요함
 - 지하열수가 220℃ 이상이나 액상으로 추출될 때는 열수보다 낮은 압력으로 유지되는 탱크에 열수를 분무하여 증기상으로 만들어 터빈을 돌리는 방법을 사용함

< 그림 1 > Binary cycle technology의 도식적 개요



자료: www.worldbank.org/html/fpd/energy/geothermal/technology.html, 2000

- 지하열수의 온도가 220℃가 안 될 경우에는 그림1 에서 볼 수 있듯이 열수를 제 3의 유체를 증기화하는데 이용하고 제3의 유체가 터빈을 돌리는 binary cycle technology가 보다 경제적이다
- Binary cycle technology는 220℃ 이하의 열원으로도 발전이 가능하여 보다 광범위한 지역에서 사용할 수 있음

○ 지하열수의 온도가 100℃ ~220℃인 경우 열수를 직접 사용하는 방법이 일반적 인데 주로 온천, 온실, 양어장, 산업 공정, 건물의 난방 등에 활용함

- 미국의 경우 지열의 직접이용을 통해 500MW정도의 에너지를 얻고 있는데 이는 4만 가구 이상을 난방할 수 있는 에너지 양임
- 전형적인 지열의 직접이용법은 열수를 기계적인 장치로 끌어올려 열교환기를 사용하여 실내 난방 등에 사용하고 열을 빼앗긴 지하수를 다시 땅속으로 밀어 넣는 방식임

○ 저온의 열원인 경우 열을 이동시킬 수 있는 장치인 히트펌프를 사용하는데 열을 이용한 히트 펌프의 사용은 냉난방을 가능하게 하며 미국의 경우 주거용 건물, 관공서, 학교 등에 설치하여 4,000MW에 달하는 에너지 대체 효과를 얻고 있음

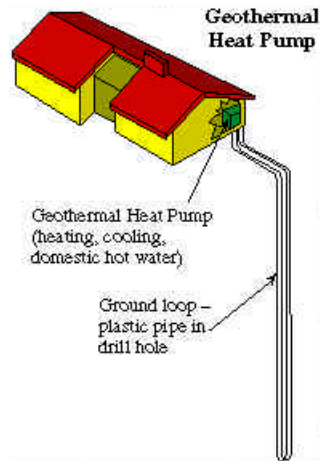
- 히트펌프란 열을 한 장소에서 다른 장소로 이동시킬 수 있는 장치로서 지열을 이용할 경우 겨울에는 지열을 실내로 이동시켜 난방의 효과를 얻고 여름에는 실내의 열을 땅속으로 이동시켜 냉방의 효과를 얻게됨

- 지열을 이용하여 발전을 하기 위해서는 지하수의 온도가 상당히 높아야 하므로 주로 화산지역과 온천지역 등에나 가능하며 미국의 경우에도 주로 서부의 록키산맥 일대에 지열발전소가 위치해 있으며 우리나라에서의 적용은 어려움

4. 히트펌프를 이용한 지열의 이용

- 히트펌프를 이용한 지열이용 시스템(GHP system: geothermal heat pump system)은 고온의 열원을 필요로 하지 않아서 우리나라의 지형에서도 적용 가능함
 - 이는 지구표면의 어느 곳이든 지하 50m 정도를 들어가면 계절에 관계없이 15℃ 정도의 상온을 얻을 수 있는데 이 온도를 지상으로 끌어올려 냉난방에 이용하는 기술임
 - GHP system은 지하수가 아닌 땅속의 지열만을 이용하는 방법이어서 거의 모든 지역에서 사용이 가능함
- GHP system은 건물을 시공할 때 pipe line을 그림 2와 같이 건물주위의 지하에 배치하고 열이동 매체를 관내로 순환시켜 여름에는 건물 내에서 열이 회수되어 땅속으로 전달되고 겨울에는 땅속에서 건물로 열이 이동되게 구성한 시스템임
 - 열을 이동시키는데는 전기를 사용하지만 결과적으로 냉난방에 필요한 에너지의 75%정도를 절약하는 결과가 됨
 - 이러한 기술은 냉난방 뿐 아니라 식품의 보관, 발효, 숙성이나, 농산물의 재배 등 여타산업에도 널리 이용할 수 있으며 시설비가 비교적 저렴하고 한번 설치 되면 가동비용이 거의 들지 않고 반영구적으로 사용할 수 있는 것이 장점임
 - 모든 건물뿐 아니라 공장, 비닐하우스, 양식장 등 다양한 장소에 설치되어 사용되며 투자비 회수기간은 3~5년임
- 미국 환경보호청은 히트펌프를 이용한 지열이용법을 현존하는 가장 효과적인 냉난방 방식으로 평가하고 있음

< 그림 2 > Geothermal heat pump system의 도식적 개요



자료: 미국 DOE, <http://id.inel.gov/geothermal/heatpumps.html>, 2000

- GHP시스템은 화석연료의 사용을 줄일 수 있으며 환경적으로 매우 친화적인 에너지 사용법임
 - 우리나라의 여건에서도 적용이 가능할 것으로 여겨져 관련 기술의 개발 및 적용을 위한 연구와 제도적 뒷받침이 필요함

○ GHP시스템은 냉난방 및 습도조절은 물론 온수까지 제공할 수 있는 데다 보일러 및 냉각탑의 설치가 필요 없고 유지와 조작이 간단하여 기존의 HVAC시스템 보다 훨씬 사용이 편리함

○ Galt House East Hotel 과 Waterfront Office Buildings에는 세계에서 가장 큰 규모의 GHP 시스템이 설치되어 있음

- 켄터키주 Louisville에 위치한 연면적 20,000평 정도의 규모인 Galt House East Hotel은 1984년 완공되었으며 이 호텔은 기존의 냉난방 시스템을 대신하여 1,700톤급 GHP를 채택하여 사용하고 있음
 - GHP시스템의 설치를 위한 비용이 톤당 1,500\$ 정도 들었는데 이는 기존 시스템의 설치비인 톤당 2,000\$~3,000\$보다 경제적이며 Galt House East Hotel은 에너지비용을 매달 25,000\$씩 절약할 수 있으며 공조(HVAC)시스템에 필요한

- 장치가 필요 없어 600평 정도의 공간을 상업용으로 사용함
- Galt House East Hotel주위의 25,000평 규모의 사무실용 건물인 Waterfront Office Buildings는 1994년 완공되어 3,000톤급의 GHP시스템이 추가되어 이 단지는 총 4,700톤급 규모로 세계 최대의 GHP시스템을 갖추고 있음

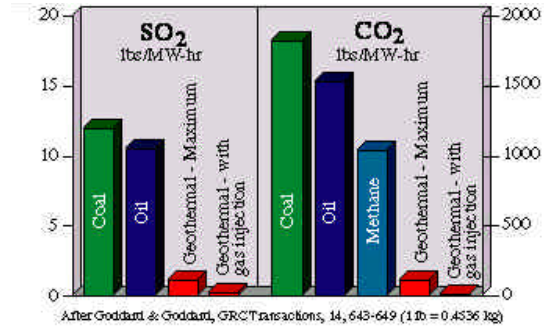
5. 지열에너지 이용의 경제성

- 지열발전을 위한 비용은 과거 20년 동안 25%정도 개선되어 세계 최대의 지열발전소인 미국 캘리포니아의 Geysers field에서 발전된 전기는 kWh당 3~3.5cent에 판매되며 이는 일반전력요금(5~8cent)에 비해 가격 경쟁력이 있음
 - 미국 에너지성은 지열발전에 의한 전력요금이 kWh당 3cent 이하로 유지된다면 향후 10년 간 10,000MW에 달하는 규모의 지열 발전 설비가 추가로 이루어 질 것으로 기대하고 있음
- GHP 시스템의 경우 초기시설비가 꽤 드는 편이지만 유지관리비가 거의 들지 않아 life cycle cost는 저렴한 편이며 투자회수기간이 5년 내외이어서 기존 냉난방 설비에 비해 경쟁력이 있음

6. 지열에너지의 환경친화성

- 지열 에너지의 사용은 화석연료의 사용에 비해 환경친화적일 뿐 아니라 여러 가지 장점이 있음
 - 지열을 사용함으로써 배출되는 배가스가 거의 없고 미래의 지열발전 방식으로 유명한 binary geothermal plant의 경우나 GHP 시스템 방식에서는 지하수의 양수 및 방류가 없어 환경에 대한 피해가 거의 없음
 - 지하수에는 종종 광물질이 다량 용해되어 있으나 이를 지표면에 방류하지 않는 기술이 개발되어 있으므로 이에 대한 오염은 없음

<표 1 > 화석연료와 지열에너지의 사용 시 배출되는 배가스 양의 비교



자료: 미국 DOE, <http://www.eren.doe.gov/geothermal/geobenefits.html>, 2000

- 표 1에서 보듯이 화석연료의 연소와 비교할 때 지열에너지의 사용은 이산화탄소 및 아황산가스를 거의 방출하지 않음
- 지열을 이용함으로써 미국은 작년 한해 2,200만 톤의 이산화탄소, 20만 톤의 질소산화물, 11만 톤의 입자상 물질의 대기중 방출을 줄여 대기오염을 상당히 감소시켰음

7. 시사점

- 지금까지 우리나라에서는 지열을 온천으로 이용하는 것 외에는 다른 용도의 이렇다 할 기술개발이 없었는데 이는 지하수가 포함하고 있는 에너지를 사용한다는 고정관념에 집착했던 것으로 생각됨
 - 높은 온도의 지하수를 사용하기 위해서는 지열을 확인하는 탐사 및 시추작업이 필수적인데 비용이 많이 들고 우리나라의 지질학적 조건에서는 높은 온도의 지하수를 포함하는 지역을 찾기 힘들어 경제성이 없으므로 지열에 대한 관심도 높지 않았음
- 지열에 대한 외국의 관심은 매우 높고 관련기술도 상당히 발전되어 있음
 - 미국을 비롯한 유럽 선진국들은 지열이용을 오래 전부터 연구해 왔으며 이제는

이 분야에 종사할 인력공급을 위하여 여러 대학에 지열학과가 설치되어 있을 정도임

- 미국은 작년 한해 지열을 사용해 2,800 MW의 전기를 발전하여 10억불 상당의 원유를 절약하였고 40만기의 GHP 시스템을 통해 얻은 1,500MW의 지열 에너지를 냉난방 등에 사용하였음

○ 우리나라에서는 지열을 이용하여 발전을 하는 것은 불가능하나 GHP 시스템을 이용하는 것은 가능할 것임

- 과거에는 지하매설 파이프의 부식 등 기술상의 문제점과 경제성 때문에 관심권 밖에 있었으나 최근의 여건을 고려할 때 화석연료의 사용에 대한 경쟁력이 있으므로 지열의 사용을 재조명할 필요가 있음

○ 지열을 이용하여 화석에너지 사용을 줄일 수 있다면 그것은 에너지자원 절약과 환경보호를 동시에 실천할 수 있는 길임

- 이를 위하여 우리는 이 분야의 기술을 연구함은 물론 우리 실정에 맞는 선진국 기술을 받아들여 보급토록 해야 할 것임
- 지열에너지의 보다 많은 사용을 위해서는 대중의 인식과 기술개발 또한 필수적이므로 이 분야의 교육과 홍보도 매우 중요함

조정국(02-3669-4095, jgcho@hri.co.kr)