

분산형 에너지시스템의 태양열 계간축열 기술

곽희열 <한국에너지기술연구원 책임연구원>

1 서론

마이크로그리드는 정의하는 주체에 따라 약간 다르

게 표현되고는 있지만 일반적으로 의미하는 것은 분산형 에너지공급시스템 기술이다. 마이크로그리드는 기존의 공급자 중심의 중앙공급시스템과 달리 생산자

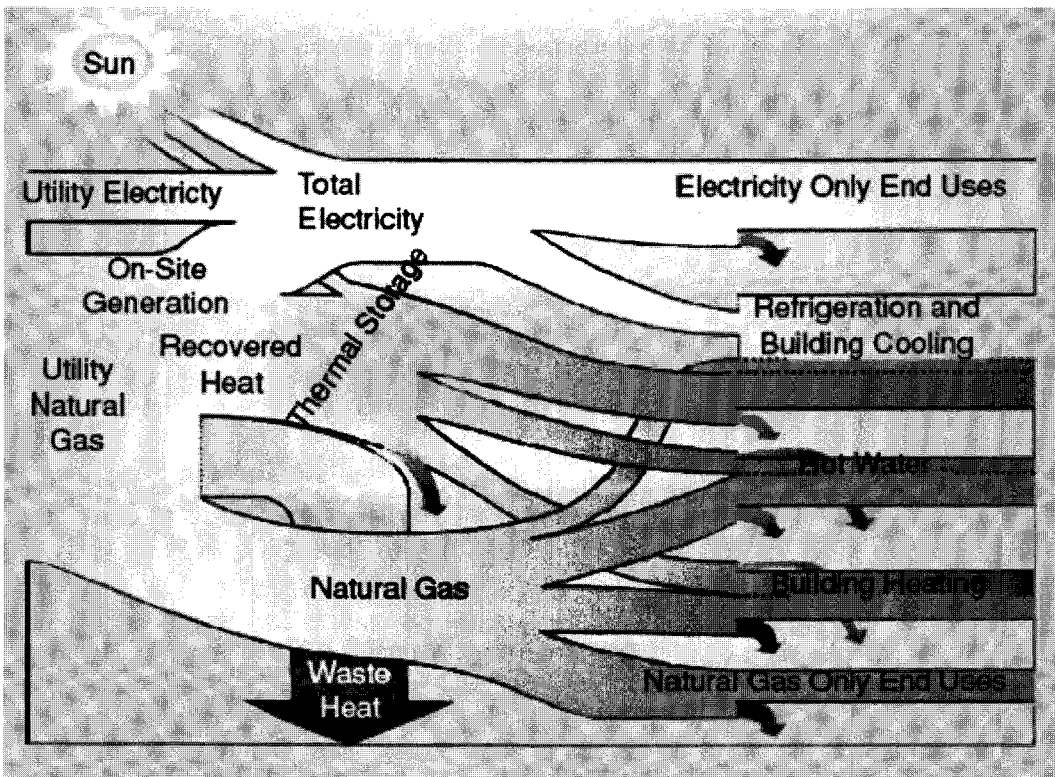


그림 1. 마이크로그리드 시스템에서 에너지 흐름

와 소비자 간의 상호간의 네트워크를 구성한다. 이는 즉 생산자가 소비자가 되고 소비자가 생산자가 될 수 있다는 뜻이다. 마이크로그리드는 수요지 근처에 신재생에너지 전원과 가스 기반의 소형열병합 발전 및 전기와 열저장 시스템을 결합하여 열과 전기를 동시에 공급함으로써 송배전 손실 저감 및 에너지 효율의 향상이라는 이익을 동시에 제공한다.

이러한 분산형 에너지공급시스템에서 열에너지 공급 방법 중에 대표적인 예가 지역난방이라고 할 수 있다. 지역난방의 장점은 각 건물에 열원장치를 설치할 필요가 없고 기기의 운전 및 관리인의 수를 줄일 수 있는 장점이 있다. 그러나 지역난방도 여타 가정용 보일러와 마찬가지로 열에너지를 생산하기 위해서 산업 쓰레기나 화석연료를 사용하기 때문에 현재 전 세계적으로 가장 심각하게 대두되고 있는 온실가스 배출 문제를 피할 수는 없다. 따라서 이러한 지역난방 시스템에서 배출되는 온실가스를 억제하기 위해서 이미 선진국에서는 지역난방에 사용되는 열원을 화석에너지가 아닌 청정에너지원인 태양에너지를 이용하는 연

구가 활발하게 진행되고 있다.

신재생에너지원으로써 태양에너지는 기존의 에너지 자원과 달리 대기오염, 방사능 오염이 전혀 없는 청정에너지라는 점에서 대단한 잠재력을 지니고 있다. 그러나

- 1) 지구에 떨어지는 태양에너지는 막대하지만, 지표면에서 환산해보면 대략 $1.0(\text{kW}/\text{m}^2)$ 정도로 비교적 저밀도 에너지이다.
- 2) 지상에서 이용되는 경우 야간과 주간의 주기가 있고, 기후 및 계절에 대한 변동이 있다는 점 등이 기존의 화석연료에 의한 에너지 형태와 상당한 차이가 있다.

이상과 같이 태양에너지는 저밀도 에너지라는 점과 동시에 기상학적으로 불안정한 에너지이기 때문에 이제까지 심분 활용되지 못했던 커다란 원인이 되고 있었다고 말할 수 있다. 그러나 고효율 태양열 집열기술, 축열조기술, 시스템 설계 기술 등의 꾸준한 기술 개발 결과로 태양에너지의 이용효율을 증대시키는 기술이 계속 개발되고 있으며, 이미 현재 선진국에서는

Central solar heating plant with seasonal storage (CSHPSS)

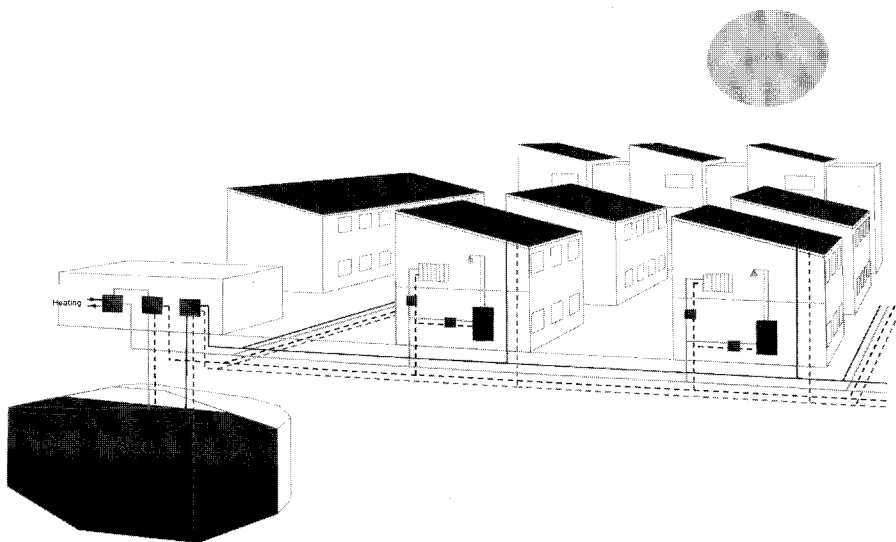


그림 2. 태양에너지를 이용한 지역난방 시스템

특집 : 소형분산 에너지시스템

개발된 기술을 도입한 지역난방 시스템이 가동 중에 있다.

지역난방지역에 태양열 적용은 지금까지 태양열 시스템이 적용되어오던 단일 건물 및 다른 단일분야와는 달리 지역난방 작동온도가 약간 높다는 단점은 있으나 부하가 지속적으로 있고, 시스템 규모가 대형화가 가능하며 또한 사후관리가 용이하다는 장점 때문에 태양열을 적용하기에 매우 좋은 여건을 가지고 있다. 따라서 지역난방 지역에 태양열시스템 적용은 지금까지 적용되어오던 단일건물이나 단일 적용분야의 태양열시스템과는 다음과 같은 측면에서 큰 차이점이 있다.

- 일 년 내내 상당히 많은 양의 부하가 지속적으로 발생함으로 연중 태양열을 효과적으로 활용할 수 있음.
- 지역난방수 열공급망을 통해 광범위한 지역으로

열을 공급하고 있으며, 태양열 적용도 광범위한 지역에 분산 설치가 가능

- 시스템 유지관리가 용이함.
- 신재생에너지 보급을 효과적으로 확대 가능

따라서 본고에서는 태양에너지 활용에 있어서 가장 선진국이라 할 수 있는 독일의 태양에너지를 이용한 지역난방 사례와 캐나다의 분산형 열에너지 공급시스템인 Drake-Landing 시스템의 사례를 토대로 태양에너지 활용 가능성에 대하여 기술하고자 한다.

2. 외국의 태양열 지역난방 사례

2.1 독일

전 세계적으로 지역난방에 태양에너지를 이용하는 연구가 최근 유럽을 중심으로 활발히 진행되고 있다. 그 중에서도 가장 대표적인 지역난방 시스템 연구 및

R&D Projects within Solarthermie-2000 / 2000plus

Hamburg (1996)

14,800 m² heated area,
3,000 m² flat plate collector,
4,500 m³ hot-water



Friedrichshafen (1996)

33,000 m² heated area,
4,050 m² flat plate collector,
12,000 m³ hot-water



Neckarsulm (1997)

25,000 m² heated area,
5,300 m² flat plate collector,
63,300 m³ BTES



Steinfurt (1998)

3,800 m² heated area,
510 m² flat plate collector,
1,500 m³ gravel/water



Rostock (2000)

7,000 m² heated area,
1,000 m² flat plate collector,
20,000 m³ ATES



Hannover (2000)

7,365 m² heated area,
1,350 m² flat plate collector,
2,750 m³ hot-water



Chemnitz, 1. BA (2000)

4,680 m² heated area,
540 m² Vacuum tubes,
8,000 m³ gravel/water



Attenkirchen (2002)

6,200 m² heated area,
800 m² flat plate collector
9,850 m³ hot-water / BTES



New Plants

- 2006/7: Munich Crailsheim
- 2007ff: Eggenstein-Leopoldshafen etc.

그림 3. 독일의 "Solarthermie 2000" 프로젝트에 의해 시범 적용된 태양열 지역난방

표 1. "Solarthermie 2000" 태양열 시스템 주요 제원

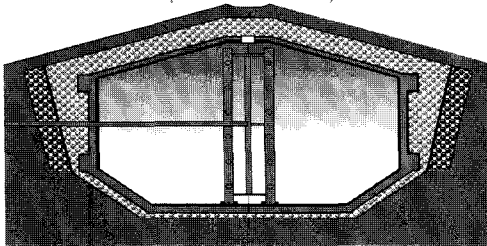
구분	Hamburg	Friedrich-sfen	Neckasulum, 2단계	Chemnitz (2단계부분만)	Steinfurt	Rostock	Hannover
주거면적	124 단독주택	570세대의 다세대주택	다세대주택, 학교, 상가등	오피스빌딩, 호텔, 창고	22개주택, 42개 다세대주택	108개다세대 주택	106개의다세대 주택
난방면적(m ²)	14,800	39,500	49,000	4,680	3,800	9,100	7,365
열부하(MWh/yr)	1,610	4,106	3,900	1층: 573	325	497	694
집열면적(m ²)	3,000	5,600	6,500	540, 진공관	510	980	1,350
축열조용적(m ³)	4,500 온수축열조	12,000 온수축열조	63,360 duct 축열조	8,000 자갈-물	1,500 자갈-물	20,000 aquifer	2,750 온수축열조
태양열이용량(MWh/yr)	789	1,915	1,950	1층: 169	110	307	269
태양열의존율(%)	49	47	50	1층: 30	34	48	39
설치비(정부보조금제외), 백만 Euro	2.2	3.2	1.5 ¹⁾	1, 2층: 1.4	0.5	0.7	1.2
태양열가격 (VAT 및지원금미포함) (Euro/MWh)	256	158	172 ¹⁾	1, 2층: 240	424	255	414

보급 프로젝트가 독일의 "Solarthermie 2000"이다. 독일에서 시행된 이 프로젝트는 1993년도에 착수되어 2003년까지 7개의 대규모 태양열 지역난방 시스템이 시범 적용되었으며, 약 10년간의 걸친 운전 결

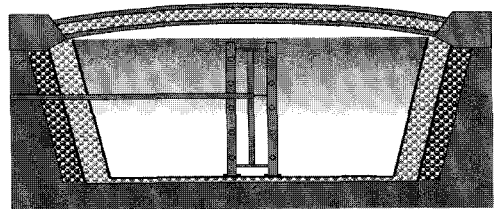
과 보급효과가 매우 좋아 "Solarthermie 2000 Plus"라는 프로젝트로 이 사업을 지속적으로 연장하여, R&D 및 보급사업을 현재 수행하고 있다. 이 프로젝트를 통해서 조성된 태양열 지역난방시스

Seasonal thermal energy storage (STES) - concepts

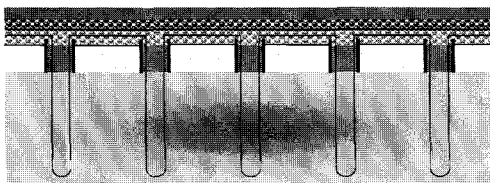
Tank thermal energy storage (TTES) (60 to 80 kWh/m³)



Pit thermal energy storage (PTES) (60 to 80 kWh/m³)



Borehole thermal energy storage (BTES) (15 to 30 kWh/m³)



Aquifer thermal energy storage (ATES) (30 to 40 kWh/m³)

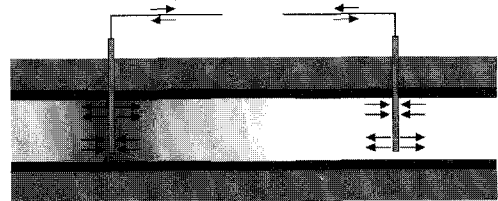


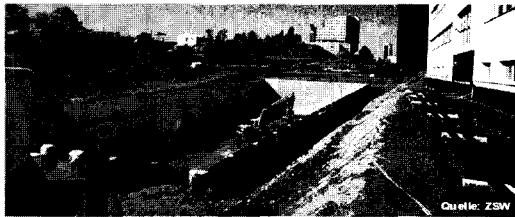
그림 4. 계간 축열조 개념도

템은 전부 신규로 조성된 단지로 조성단계에서부터 태양열 시스템이 고려되어 설계되었다. 따라서 대부분의 건물 옥상이나 주차장 등 집열기 설치 가능한 공간에는 대부분 집열기가 설치되었으며, 이들 모두가 한 개의 시스템으로 통합 운전되고 있다. 이 프로젝트를 통해 시범 적용된 지역난방 시스템의 주요 제원은 표 1과 같다. "Solarthermie 2000" 프로젝트에 의해 구성된 7개의 태양열 지역난방 시설은 주로 다세대 주택, 사무실 및 호텔, 단독주택 단지들로 구

성되어진 복합 주거단지이다.

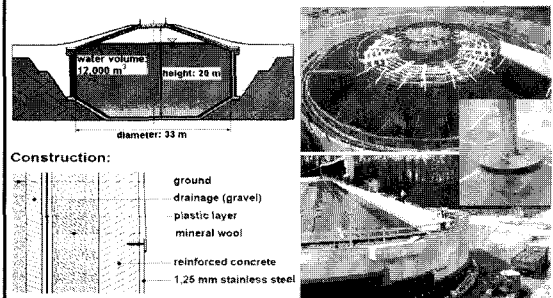
- Hamburg : 주거 건물의 난방 및 온수 급탕
- Friedrichsfen : 주거 건물의 난방 및 온수급탕
- Neckarsulm : 단독/다세대 주택, 학교, 사무실, 쇼핑센터 등의 난방 및 온수급탕
- Chemnitz : 오피스빌딩, 호텔, 창고 등의 난방 및 온수급탕
- Steinfurt : 주거 건물의 난방 및 온수 급탕
- Rostock : 다세대 주택건물 난방 및 온수급탕

Gravel-water pit in Chemnitz, 8 000 m³, 1997

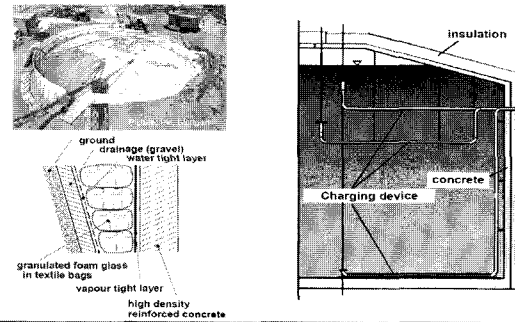


- temperatures 45 to 85 °C
- HD-PE liner
- insulation material: polystyrene
- direct heat (water) exchange

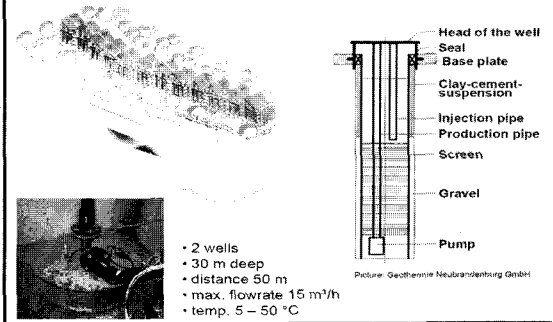
Hot-water tank in Friedrichshafen, 12 000 m³, 1996



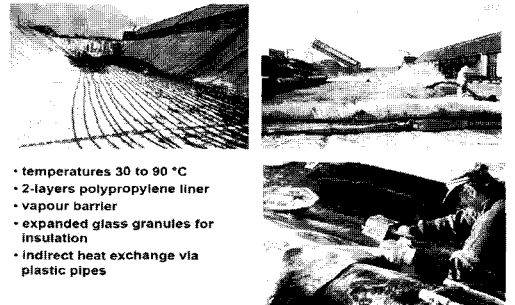
Hot-water tank in Hannover, 12 000 m³, 1996



ATES in Rostock, 1999



Gravel-water pit in Steinfurt, 1 500 m³, 1999



- temperatures 30 to 90 °C
- 2-layers polypropylene liner
- vapour barrier
- expanded glass granules for insulation
- indirect heat exchange via plastic pipes

Munich: Realization of tank thermal energy storage



그림 5. 계간 축열조 설치 사진

- Hannover : 다세대 주택 난방 및 온수급탕
7개의 태양열 지역난방 시설에 사용된 집열기는 평판형, 진공관형 및 메가집열기 등을 사용하였다. 시스템 규모는 가장 적은 규모가 집열면적이 3,800[m²]이며, 가장 큰 것이 Neckarsulm 시스템으로 집열면적이 16,000[m²]에 이른다. 이들 시스템은 부하가 비교적 적은 하절기에 태양열을 연중 효과적으로 활용하기 위해서 7개 시스템 모두 계간축열조를 사용하였다. 사용된 계간축열조는 집열면적당 용량이 크기 때문에 일반적인 축열조 형태로 설계 및 설치되면 매우 많은 비용이 들어 경제성이 현저히 떨어진다. 따라서 설치비용이 적게 드는 지중 축열이나 대수층 축열 등 그림 3에 있는 것과 같은 다양한 형태의 대규모 축열조가 개발되어 사용되고 있다.

“Solarthermie 2000” 프로젝트에 사용된 계간축열 방식은 대규모 태양열 지역난방시스템을 위해 특별히 개발된 계간축열장치는 축열매체에 따라 다음과 같은 것들이 있다(그림 4참조).

- 온수에 의한 축열방식 TTES(Tank thermal

energy storage)

- 온수 + 자갈에 의한 축열 방식 PTES(Pit thermal energy storage)
 - 지중열을 이용한 축열방식 BTES(borehole thermal energy storage)
 - 대수층을 이용한 축열방식 ATES(Aquifer thermal energy storage)
- 이들 4가지 형태의 축열조가 태양열 지역난방 시스템에 적용되었으며, 설치 광경을 그림 4에 나타내었다.

설치된 계간축열장치는 일정량의 열손실을 감한하더라도 대용량의 축열이 가능하면서 축열량당 비용이 저렴하다는 것이 중요하다. 지중축열이나 대수층 축열방식은 주위로의 열손실을 줄이는데 한계가 있기 때문에 축열조의 크기가 작을 경우에는 열손실이 너무 커서 비효율적이다. 따라서 규모가 큰 대용량의 태양열 시스템에서만 가능한 축열 장치이다.

“Solarthermie 2000” 프로젝트에 의해 구성된 7개의 태양열 지역난방 시스템은 계간 축열조의 종류 및 적용지역의 특성에 따라서 조금씩 다르게 설계되

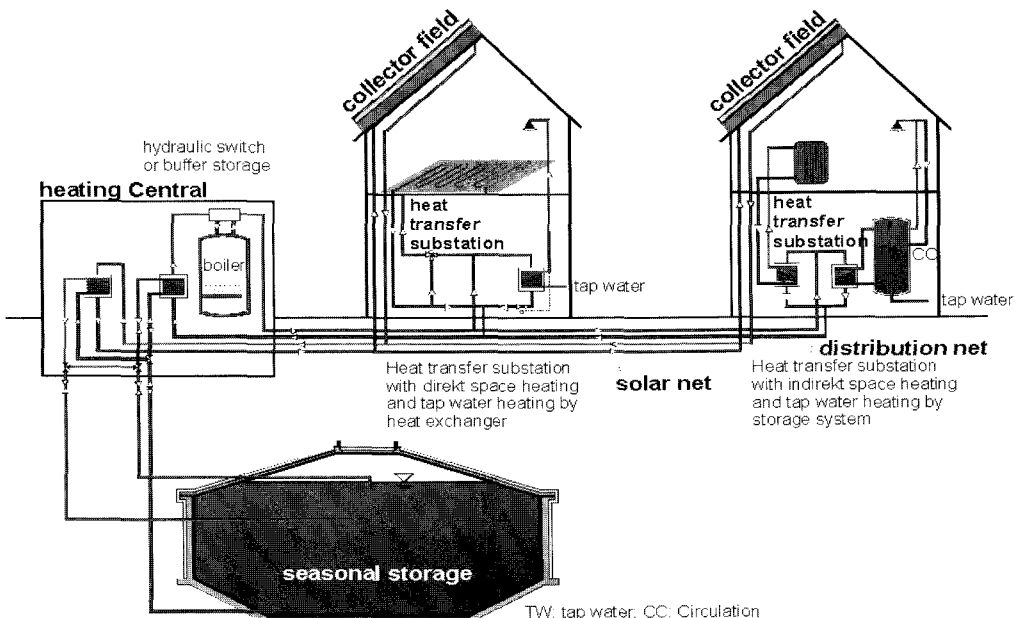


그림 6. 지중 계간축열 장치가 있는 중앙 집중식 태양열 시스템

어졌다. 그림 3은 대규모 중앙 집중식 태양열 시스템 구성의 한 예를 보여준다. "Solarthermie 2000"의 해 설치된 시스템은 부하가 없는 하절기에 남아도는 태양열을 축열장치에 장기간 저장하였다가 필요시 사용할 수 있는 계간축열 방식을 사용하며, 계간 축열조의 축열량으로 난방이 불가능할 경우는 온수의 예열 용으로 사용되어 최대한 태양에너지를 많이 이용할 수 있도록 시스템이 구성되어 있다. 또한 이들 대규모 단지에 건물은 각각의 건물들 간의 통합 관리 시스템을 적용하여 하나의 통합 시스템으로도 제어가 가능하며 동시에 개별 시스템으로도 작동이 가능하도록 설계되었다. 따라서 각각의 주택이나 건물에 설치된 태양열 집열기는 이 계간 축열조에 연결되어 하나의 대형 시스템의 일부분으로 작동된다. 일부 시스템에서는 개별적인 소형의 축열조가 별도로 각 건물에 설치되는 경우도 있다.

2.2 캐나다

캐나다에서는 북 아메리카 지역에 첫 번째 태양열 분산형 열에너지공급 시스템인 DLSC(Drake

Landing Solar Community) 단지를 조성하였다. DLSC 단지는 캐나다 앨버타 주의 오코톡스 지역에 위치하며 이 단지에서 사용되는 전체 열에너지를 태양에너지로 공급 받도록 설계되어졌다. 태양에너지를 통해 난방 및 온수급탕을 공급받는 가구는 총 52가구로 구성되어 있다.

DLSC는 지역단지를 정교하게 연결하여 여름철 남아도는 태양에너지를 BTES(borehole thermal energy storage) 축열방식을 이용하여 지중에 열원을 저장하며, 겨울철에 사용하는 방식으로 설계되었다. DLSC 단지에 사용된 태양열 집열기는 800개 약 2,300(m²)의 평판형 태양열 집열기가 사용되었다. 태양열 집열기를 통해 여름철 일일 평균 약 1.5(MW)의 태양에너지를 생산한다. DLSC 프로젝트는 지난 2007년 6월 21일부터 시범설치되었으며, 현재까지 획득된 에너지 저장량 및 사용량의 분석 및 연구를 통하여 5년 이내에 여름철 태양에너지로 겨울철 가정에서 필요한 에너지의 90[%] 이상을 공급할 수 있을 것으로 전망하고 있다. 현재까지 DLSC에서 사용된 BTES와 같은 축열방식은 DLSC 단지 내에

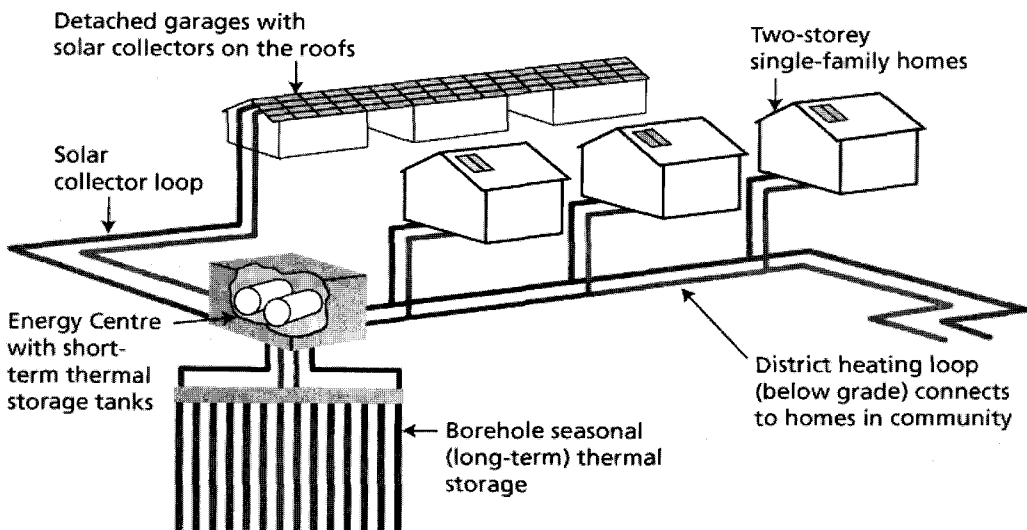


그림 7. Drake Landing Solar Community 구성도

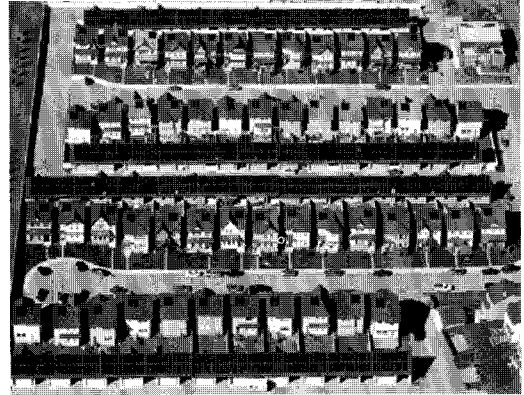
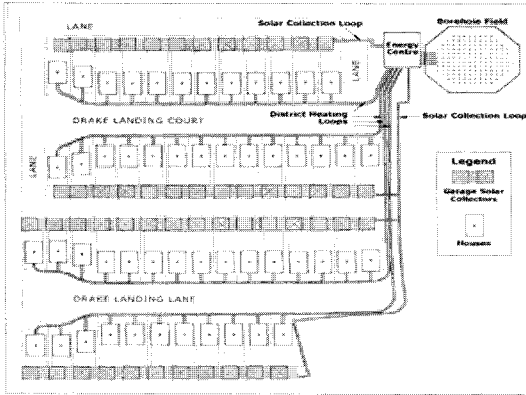


그림 8. DLSC 난방 공급 시스템

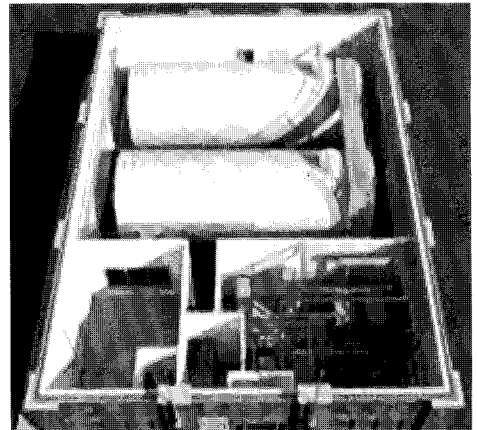
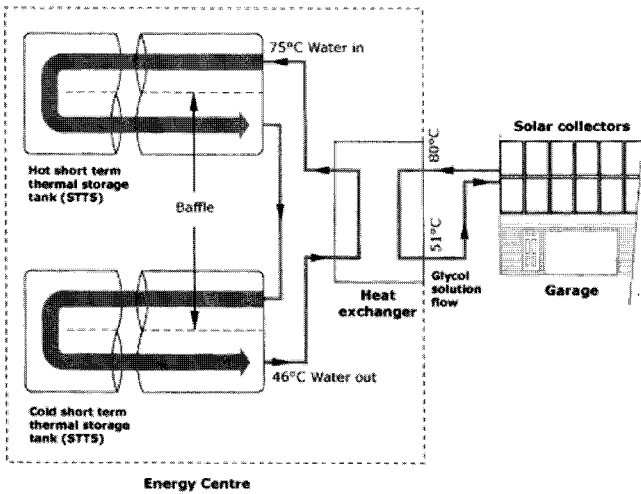


그림 9. DLSC Energy centre

있는 모든 주택과 연계되어 하나의 통합 시스템으로 구성되어 있다.

DLSC 단지의 52가구 주택 전체는 매장형 배관을 통해 열에너지를 공급받으며 각각의 가정에서 생산된 열에너지는 Energy centre를 거쳐 BTES에 저장된다. Energy centre는 지름 0.762(m), 길이 10.67(m), 120(m³)의 축열 탱크 2개로 구성되어 있으며, 각 가정에서 단기간 사용할 수 있을 만큼의 열을 Energy centre 에 있는 단기 축열탱크에 저장한 후 잉여열원을 BTES에 공급한다.

Energy centre에 위치한 축열조는 일반적인 종형 축열조 방식대신 횡형 축열조 방식으로 구성되어 있다. 횡형 축열조의 열성층화를 위하여 탱크내에 수평형 Baffle을 사용하여 물의 성층화 향상과 상단 및 하단의 플러그 흐름을 촉진시키는 기술을 도입하였다.

DLSC 프로젝트에 사용된 BTES(Borehole Thermal Energy Storage) 축열방식은 지름 150 [mm], 깊이 35(m), 간격 2.25(m)으로 지중에 구멍을 천공하여 지름 25(mm)의 PEX U-tube와 400(mm) grout tube를 삽입한 방식이다. DLSC

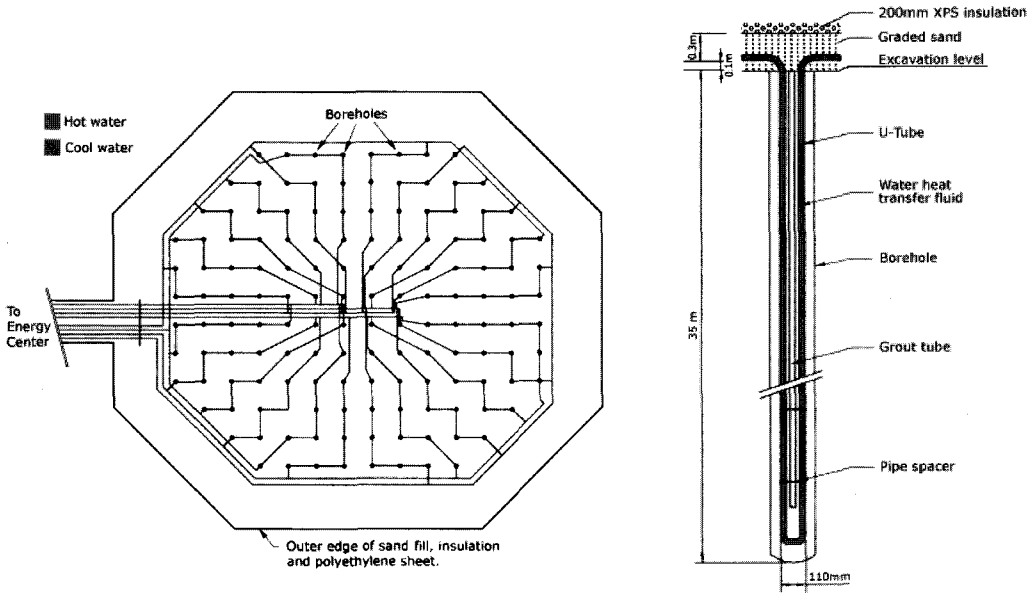


그림 10. DLSC BTES 시스템

의 BTES는 각각 6개의 borehole을 연결 24개의 배열로 구성되어 있으며, 4개의 순환 공급과 4개의 분원 분배를 통해 개별의 배열에서 발생하는 열손실 및 시스템 공급시 발생하는 열손실을 최소화시켰다. BTES의 모든 순환과 배열의 시작은 BTES의 중앙부터 시작하여 바깥쪽 방향으로 분배되어 BTES내의 열성층화를 최소화시키는 방법으로 구성되어 있다.

3. 국내 태양열 지역난방 적용 가능성

앞서 살펴본 선진국들의 태양열 지역난방 시스템의 결과를 토대로 국내에서도 계간축열 방식을 이용한 태양에너지 지역난방시스템의 적용 가능성은 열원 확보면에서 충분하고 화석연료의 대체효과는 상당할 것으로 사료된다. 우선 태양열시스템이 대체에너지원으로서 지역난방시스템에 적용을 가정하여 유리한 점을 정리해 보면 다음과 같다.

- 지역난방공사가 대단위 열공급 전문기관으로 에너지 절약과 환경오염 저감효과가 높은 선진 난

방시스템을 채택하고 있고, 열에너지 다루는 전문가 집단이므로 태양열시스템의 이해가 쉬워 유지 관리가 용이하고,

- 개발된 진공관형 태양열집열기의 적용온도가 중온용(70~130[°C])에서 높은 효율을 유지하므로 지역난방 시스템에서 요구되는 열원(70~115[°C])과 일치하며,
- 연간 열(온수)의 소비가 가능하며, 따라서 대부분의 태양열시스템에서 하절기 잉여열원으로 인한 시스템 과열 대책이 필요 없고,
- 대규모 축열조 및 배관 일부를 공동 사용하므로 비용 절감
- 지역난방 공사 및 지사의 입지조건 및 설치공간(건물 및 기계동 슬라브 옥상, 주차장 등)이 태양열에너지 활용 면에서 우수하다는 점 등이 있다.

따라서, 지역난방 시스템에 1단계로 pilot plant 규모의 태양열시스템을 설치, 운전을 통하여 태양열시스템의 이해가 선행되어야 한다고 본다. 아울러 현

재까지 연구결과를 토대로 향후 지역난방 시스템과 태양열시스템의 효율적인 시스템 설계, 제어 및 모니터링기법 등과 같은 기술개발을 통해서 접근하면 지역난방뿐만 아니라 대단위 열공급 시스템인 단지·도시 규모의 태양에너지를 이용한 열공급 시스템의 적용이 가능할 것으로 사료된다.

4. 결론 및 향후전망

앞으로 점점 늘어만 가는 우리나라 에너지 수급전망은 신재생에너지원 중에서 단기간의 연구개발에 의해서 실용화가 가능한 분야는 신재생에너지원을 적극 활용하고, 지구 환경문제를 유발하고 전적으로 수입에 의존하는 화석연료인 석유등의 사용은 불가결한 용도로 제한하는 정책이 이루어질 전망이다.

지금까지 선진국에서 태양열을 이용한 지역난방 사례에 대해 개괄적으로 알아보았다. 서론에서도 언급했듯이 오늘날에 있어 신재생 에너지의 개발을 통한 화석 에너지 소비의 감소와 이와 더불어 환경오염의 방지는 전 세계적으로 큰 이슈가 되고 있다. 이런 시점에서 신재생 에너지 중 하나인 태양열을 이용한 지역난방 시스템의 선두 주자인 독일과 캐나다의 사례를 통해 시스템의 장점 및 단점을 파악하고 우리나라 실정에 맞는 보다 진보된 시스템을 개발하여 에너지 절감과 환경오염 방지라는 두 가지의 목표를 달성하는 것은 매우 중요한 과제이다. 이런 관점에서 선진 난방시스템인 지역난방시스템에 태양열 기술을 접목하는 것은 화석에너지 소비 절감과 환경문제(CO₂ 저감) 해소뿐만 아니라 신재생에너지 보급 활성화에 크게 기여 할 것으로 사료된다.

◇ 저 자 소 개 ◇



곽희열 (郭熹烈)

1961년 5월 7일생. 1979년 3월~1983년 2월 조선대학교 기계공학과 기계전공 졸업. 1983년 9월~1985년 8월 인하대학교 기계공학과 열 및 유체전공 졸업(석사). 1990년 9월~1995년 8월 인하대학교 기계공학과 열 및 유체전공 졸업(박사). 1999년 2월~2000년 1월 호주 New South Wales대학 기계공학과 객원연구원. 2001년 9월~2003년 9월 공주대학교 기계공학과 겸임교수. 2007년 9월~2008년 8월 전주대학교 건축공학과 겸임교수. 1988년 5월~현재 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부 책임연구원.