

## 해수냉열원을 이용한 태양열계간축열시스템의 건물냉방 적용에 관한 연구

김명래\*, 윤재옥\*\*

\*호서대학교 대학원 건축공학과 박사수료(eco5157@naver.com)  
\*\*호서대학교 건축공학과(joy@hoseo.ac.kr)

### A Study on the Application of the Solar Energy Seasonal Storage System Using Sea water Heat Source in the Buildings

Kim, Myung-Rae\*, Yoon, Jae-Ock\*\*

\*Dept. of Architecture, Graduate School, Hoseo University(eco5157@naver.com)  
\*\*Dept. of Architecture, Hoseo University(joy@hoseo.ac.kr)

#### Abstract

Paradigm depending only on fossil fuel for building heat source is rapidly changing. Accelerating the change, as it has been known, is obligation for reducing green house gas coming from use of fossil fuel, i.e. reaction to United Nations Framework Convention on Climate Change. In addition, factors such as high oil price, unstable supply, weapon of petroleum and oil peak, by replacing fossil fuel, contributes to advance of environmental friendly renewable energy which can be continuously reusable. Therefore, current new energy policies, beyond enhancing effectiveness of heat using equipments, are to make best efforts for national competitiveness. Our country supports 11 areas for new renewable energy including sun light, solar heat and wind power. Among those areas, ocean thermal energy specifies tidal power generation using tide of sea, wave and temperature differences, wave power generation and thermal power generation. But heat use of heat source from sea water itself has been excluded as non-utilized energy. In the future, sea water heat source which has not been used so far will be required to be specified as new renewable energy. This research is to survey local heating system in Europe using sea water, central solar heating plants, seasonal thermal energy store and to analyze large scale central solar heating plants in German. Seasonal thermal energy store necessarily need to be equipped with large scale thermal energy store. Currently operating central solar heating system is a effective method which significantly enhances sharing rate of solar heat in a way that stores excessive heat generating in summer and then replenish insufficient heat for winter. Construction cost for this system is primarily dependent on large scale seasonal heat store and this high priced heat store merely plays its role once per year. Since our country is faced with 3 directional sea, active research and development for using sea water heat as cooling and heating heat source is required for seashore villages and building units. This research suggests how to utilize new energy in a way that stores cooling heat of sea water into seasonal thermal energy store when temperature of sea water is its lowest temperature in February based on West Sea and then uses it as cooling heat source when cooling is necessary. Since this method utilizes seasonal thermal energy store from existing central solar heating plant for heating and cooling purpose respectively twice per year maximizing energy efficiency by achieving 2 seasonal thermal energy store, active research and development is necessarily required for the future.

Keywords : 해양에너지(Ocean thermal energy), 계간축열(Seasonal thermal energy storage), 열펌프(Heat pump), 태양열중앙난방계간축열시스템(CSHPSS : Central solar heating plants with seasonal storage)

## 1. 서 론

건축물에서의 에너지 사용량은 그동안 건물의 단열 보강과 열사용기기의 효율 개선을 꾸준히 해 왔음에도 전체적으로는 계속 증가하는 추세이다. 또한 화석연료에 전적으로 의존하던 건축물에서 사용하는 열원 자체도 다양한 변화가 시도되고 있다. 그 변화에 가속도를 더해주는 이유는 화석연료 사용에 따른 온실가스 감축의무 즉, 기후변화협약 대응이란 지구환경차원이 있고, 고유가와 수급 불안정에 기인하는 석유의 무기화와 석유생산정점에 도달했다는 심리적인 요인을 들 수 있다. 그 대안으로 각국은 화석연료를 대체하여 지속적으로 사용할 수 있는 친환경적인 신·재생에너지 분야에 적극적인 정책목표를 세우고 연구 개발에 매진하고 있는 것이다.

우리나라에서는 태양광, 태양열, 풍력 등 11개 분야의 신·재생에너지를 규정하여 지원하고 있다. 이 중에 해양에너지 분야는 해양의 조수, 파도, 온도차를 이용한 조력발전, 파력발전, 온도차발전으로 세분하고 있다. 그러나 해수 자체의 열원을 열에너지의 형태로 이용하는 미활용에너지로써의 열 이용은 제외되고 있는 실정이다. 차제에 이러한 미활용에너지인 해수열에너지의 열원 이용도 신·재생에너지의 세부 분야로 규정해야 하고 그에 대한 지원을 해야 할 것이다.

본 연구에서는 삼면이 바다에 면해 있는 우리나라의 지리적 여건을 살려 해수의 열에너지를 직접 이용할 수 있는 활용방안을 다음과 같이 수행하였다. 스웨덴과 노르웨이 등 외국의 해수를 이용한 지역난방방식과 독일의 대규모중앙집중식태양열난방시스템을 고찰하였다. 이 시스템의 건설비는 계간축열조가 대부분을 차지하는데, 이러한 고가의 축열조가 연간 1회의 온수축열로 반년 간은 유휴상태로 방치된다.

여기서 계간축열난방방식은 대규모축열조를 필수로 구비하는데 착안하였다. 즉, 축열

조의 이용을 제고하는 방법으로 축열된 온수의 사용이 끝난 이후에, 해수냉열원을 축열했다가 여름철에 냉방용으로 사용하는 것이다. 이렇게 계간축열조를 연간 2회 사용한다면 시스템의 활용과 투자비회수 면에서 경제성을 제고해 줄 것이다.

이에 본 연구에서는 이미 독일, 덴마크 등에서 실용화되고 있는 태양열계간축열지역난방시스템의 온수 계간축열시스템을 더 효율적으로 활용하는 방안으로, 해수냉열원을 계간축열하여, 고가의 계간축열조를 한 번 더 활용함과 동시에 저밀도의 해양에너지를 건물의 냉방에 보충할 수 있도록 연구함을 목적으로 하고 그 실용화를 기대한다.

## 2. 계간축열시스템과 해수열에너지 이용

축열시스템(Thermal Energy Storage)은 에너지를 효과적으로 사용할 수 있도록 열에너지를 효율적으로 저장하였다가 공급하는 시스템이다. 축열시스템은 열에너지의 공급과 수요사이에 있을 수 있는 시간적·공간적, 그리고 양적·질적 부하격차를 해소함으로써 에너지 이용효율을 향상시키는 환경친화형시스템이다.

### 2.1 현열축열

현열축열 방법은 축열재의 열용량을 이용하여 열을 저장하는 방식으로, 물과 자갈을 사용한다면 기술적 문제점과 위험성이 거의 없으며 안정되고 값싼 재료이다. 또한 축열과 방열이 가역적이고 보수가 필요 없다.

### 2.2 온도성충화

축열조 내의 온도성충화는 물의 온도변화에 따른 밀도차이로 인하여 윗부분에는 온수, 아랫부분에는 냉수가 위치함으로써, 축열조 내의 유체가 안정된 상태를 유지함을 의미한다. 온도성충화가 이루어진 상태에서는 열의 대류는 일어나지 않으며, 단지 수직방향으로 온도변화가 있는 층인 온도경계층에

서 열전도만이 일어난다.<sup>1)</sup>

표 1. CSHPSS systems 기술데이터

	Hamburg	Friedrichshafen	Chemnitz1	Hanno ver2
Year of initial oper.	1996	1996	2000	2000
Supply area	124A	570A	office	106A
Solar plant				
*collector area/ m <sup>2</sup>	3,000	5,600	540V	1,350
*Storage type	hot water	hot water	gravel -w-	hot water
*heated storage/ m <sup>3</sup>	4,500	12,000	8,000	2,750
Total heat demand heating in MWh/a	1,610	4,106	1P :573	694
Heat solar system in MWh/a	789*	1,915*	1P :169*	269*
Solar fraction in %	49*	47*	1P:30*	39*
Cost of solar system in Mio. Euros	2.2	3.2	2P 1.4	1.2
Solar heat cost in Euro Ct/KWh	25.7	15.9	2P 24.0	41.4

P: Phase of construction, V: vacuum tube, A: accommodati on unit, \* : values (calculated with TRNSYS)

### 2.3 태양열중앙난방계간축열시스템

독일에서는 대규모지역난방 및 금탕시스템을 개발·보급하기 위해 1993년부터 'Solarthermie 2000'이라는 R&D 및 시범 프로젝트를 통해서 10개의 대규모태양열 지역난방시스템을 개발·보급하였고, 현재 7개 시스템이 운전 중이다. 대표적인 지역난방시스템에 대한 기술데이터를 표 1에 정리하였다.<sup>2)</sup>

중앙집중식 태양열 시스템(CSHPSS)의 계간축열조는 그림 1과 같이 온수형(hot water)과 온수-자갈형(gravel-water)이 있다.

태양열 축열조의 단위용량 당 설치비용 관계를 그림 2에 그라프로 표시한다. 규모가 클수록 축열조 단위 용적당 설치비는 감소하고, 단위 용적당 열손실량이 감소한다. 최근에 유럽의 경향은 태양열시스템을 대규모 쪽이다. 대규모 시스템은 효율, 설치비, 유지 관리 등의 측면에서 유리하기 때문이다.<sup>3)</sup>

1) 이동원, 저온 열에너지 저장 기술개발 동향, 태양에너지, 제5권제2호, pp.20-30, 2006

2) Dirk Mangold et, Seasonal thermal energy storage in Germany, Proc. FUTURE-STOCK 2003 9th International Conference on TES, Warsaw, Poland

3) 백남준, 태양열지역 난방시스템 기술개발 및 보급, 한국설비기술,

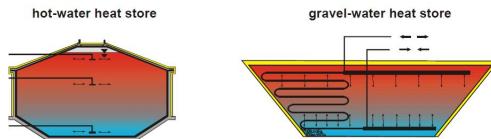


그림 1. 축열조의 종류

대규모중앙집중식태양열난방시스템(CSHP PS)의 구성도는 그림 4의 윗부분과 같다.

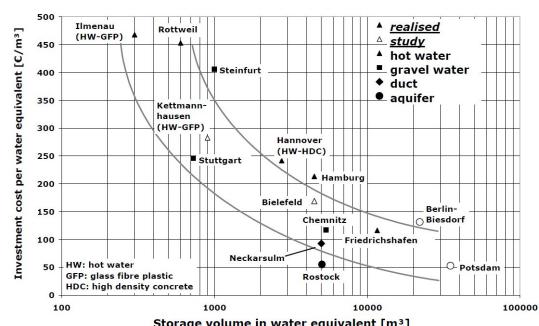


그림 2. 계간축열조의 용적과 설치가격<sup>4)</sup>

### 2.4 해수열을 이용한 지역난방시스템

해수열원공급시스템은 70년대 실용화 되었으며, 표 2는 대표적인 사례를 보여준다.

표 2. 해외의 해수열 이용 열공급 대표사례

국 명/운전연도	열공급량	온도	용도	HP
스웨덴스톡홀름 Lidingo/82	11MW +3MW	80°C	지역 난방	800KW 670KW
스웨덴스톡홀름 Ropsten/82	344Tcal/h	85°C	지역 난방	100 MW
노르웨이아란스타드 Havre	200KW	45°C	사무	120KW
프랑스/Havre	969KW		회사	240HP
일본 후쿠오카 Seaside Momochi/93	냉수 76Gcal/h 온수 58Gcal/h	47°C	사무 호텔 공용	9MW x3
일본 후쿠오카 CosmoSqu. 94	냉수 71Gcal/h 온수 49Gcal/h	47°C	사무 상업	2500RT 3Gcalx4

스웨덴에서는 지역난방용으로 2°C, 노르웨이는 4~7°C의 해수를 취수한다. 일본에서는

pp40-46, 2006.1.

4) Thomas Schmidt et al., Seasonal Thermal Energy Storage in Germany, ISES Solar World Congress, Goteborg, Schweden, Jun. 2003

최근에 해수, 하천수 등 온도차에너지를 이용한 지역냉난방시스템이 급증하고 있다.

### 2.5 해수 열에너지의 이용 특성

해수이용기기는 생물의 부착에 의한 효율 저하와 부식에 대한 대안이 있어야 하고, 저온의 저밀도에너지를 이용하기 위해서는 고성능의 전열기술이 필요하고, 열펌프의 성능 향상(COP 대략 3.2)이 불가피하다.

해수의 평균에너지 부존량은 유효해안선 1km 당 7,180 Gcal/월로 해안선 1 km당 약 5,000여 세대의 아파트를 난방 할 수 있는 열량으로 해양에너지<sup>5)</sup>는 실로 막대하다.

## 3. 해수냉열에너지의 계간 축열

해수열에너지는 스웨덴과 노르웨이 그리고 일본 등에서 상용운전이 되는 사례에서 운전 방법은 전장에서 고찰한 바와 같이 해수열에너지를 열펌프(heat pump)로 승온하여 필요한 온도의 온수열원을 생산하며, 해수열원의 이용방법상의 차이는 표 3에 정리하였다.

표 3. 해수 이용시스템의 비교

구분	간접이용	직접이용
장점	1. 순환수 이용가능 2. 유지관리 용이 3. 배관재료비 저렴	1. 냉방 시 효율이 높음 2. 열교환기 불필요 3. 설비공간 감소
단점	1. 냉방 효율 낮음 2. 열교환기 필요 3. 순환수펌프 필요 4. 기계실공간 증가	1. 응축기 부식 우려 2. 열펌프 고가 3. 해수의 생물 유입 4. 배관설비, 유지비 증

### 3.1 해수 온도

해수의 온도는 지역별로 대단히 차이가 많으므로 계획에 앞서 이를 철저하게 파악하여야 한다. 표 4에서 보는 바와 같이 1월의 경우 인천과 서귀포는 무려 11.9°C나 차이를

5) 박준택 외, 해수열에너지를 이용한 지역열공급시스템, 한국설비기술 협회지, pp.87-97, 2002.03.

보이고 있다.

표 4. 월 평균 해수온도

월	6	7	8	9	12	1	2	3
인천	19.4	23.2	25.4	23.4	7.6	4.0	2.8	5.0
부산	17.9	20.7	23.9	22.9	13.0	11.3	11.2	12.0
군산	22.2	25.1	25.6	26.2	6.0	2.3	3.5	6.8
서귀포	18.9	22.8	25.7	24.6	17.7	15.9	15.1	5.7

자료, 박준택, 해수열에너지를 이용한 지역열공급시스템, 한국설비

한국해양자료센타에서 측정한 해수온도 측정자료를 분석하여 2005년부터 2009년까지 5년간 보령시 오천면 효자동의 최저 해수온을 표 5에 정리하였다.

표 5. 보령(효자동) 최저 해수온도

월 일	05'	06'	07'	08'	09'	평균
2.25	4.6					4.22
2.13		2.9				
2.16			5.7			
2.18				3.2		
2.20					4.7	
2.11	4.9	2.9	6.0	3.5	5.0	4.07
2.28	4.7	3.9	6.8	3.6	4.8	4.35

자료://kodc.nfrdi.re.kr/한국해양자료센타, 단위 °C

이 지역의 최저해수온도는 매년 2월 11일에서 2월 28일 사이에서 나타났으며, 이 양일의 해수온과 최저수온과의 온도편차는 5년 평균 ± 0.5°C에 불과하였다. 고로 이때가 해수냉열원을 취수할 적기임을 알 수 있었다. 5년간 최저해수온은 2006년도 2월 13일에 2.9 °C이었으며, 보령지역의 1년간 해수온도 변화는 그림 3과 같이 변화가 심하였다.

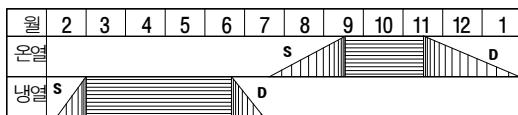


자료://kodc.nfrdi.re.kr/한국해양자료센타

그림 3. 해수온도의 변화, 보령시(효자동)

### 3.2 해수의 냉열에너지 축열

해수냉열에너지를 이용하기 위해서는 해수열에너지의 효율적인 축열 방법이 검토되어야 한다. 열교환기에 열교환에 의하여 축열조 내의 물을 축열하는 것으로 하고, 냉열 및 온수축열 온도범위는 2~85 °C로 정한다. 열전달매체는 해수를 직접 열교환기로 순환하는 방법으로 하고 그 상세한 디자인은 향후 과제로서 충분한 검토와 분석이 필요하다. 그림 4는 계간축열조의 축열과 방열에 관한 스케줄이다. 축열시기는 3.1장에서 설명한 바와 같이 충남 보령의 경우에는 2월 중에 해수온도가 최저치에 도달 하므로, 그 때를 맞춰 해수의 냉열에너지를 축열하도록 한다. 또한 축열된 냉열원은 냉방이 시작되는 초기부터 되도록 빨리 소모시켜, 다음 과정인 온수 축열에 지장이 없도록 고려하여야 한다.



주) 축열: S, 방열: D

그림 4. 계간축열조의 냉·온열원 축·방열 스케줄

### 3.3 축열효율 및 지중온도

상용규모의 계간축열시스템의 축열효율은 탱크형의 경우 70~80%로 실증되고 있다. 축열효율을 높이는 방법은 건물에서 난방부하를 줄이기 위해 단열을 하는 것과 같으며, 축열조를 어느 장소에 어떤 방법으로 건설하느냐에 따라서 크게 달라질 것이다.

지중온도는 지중에 설치하는 축열조의 성능에 큰 영향을 미치므로 축열조의 깊이는 중요한 고려사항이 된다. 지표면은 지표온도의 영향으로 온도변화가 크다가 일정깊이 이상에 도달하면 지층의 온도는 일정한 온도로 변화폭이 작아진다. 참고로 표 6은 깊이별 지중온도의 변화를 보여준다. 최고치와 최저치의 온도차를 살펴보면 지표면은 30.4°C인데, 5m 깊이에서는 7.1°C의 변화가 있었다. 지중온도를 계산적으로 예측하기 위한 방법은 토양의 열전도와 열확산계수를 이

용하여 Krarti 지중온도예측식과 Spitzer 지중온도예측식 등을 사용한다.

표 6. 지중 평균온도의 변화

깊이	2	4	6	8	10	12	평균
기온	-0.3	12.1	21.9	25.4	14.4	0.2	12.2
0m	-0.3	13.4	24.8	27.4	14.8	-0.1	13.2
1m	3.3	9.3	18.7	24.4	19.4	8.3	13.6
3m	11.2	9.6	12.9	18.4	19.4	15.8	14.5
5m	14.2	12.0	12.2	15.1	17.1	16.6	14.5

자료) 지열냉난방시스템 성능평가, 산자부, 2005, 단위 °C

### 3.4 시스템의 구성

본 연구에서의 시스템 구성은 대규모축열조가 반드시 수반되는 중앙집중식태양열시스템(CSHPSS)을 기본으로 하여 해수냉열원을 축열이 가능하도록 하는 순환펌프, 열교환기, 배관 그리고 분배장치를 결합하여 구성된다. 그림 5는 독일 Hannover유형의 CS HPSS모델에 해수냉열원공급장치(3)와 냉열분배시스템(2)을 조합한 구성도이다.

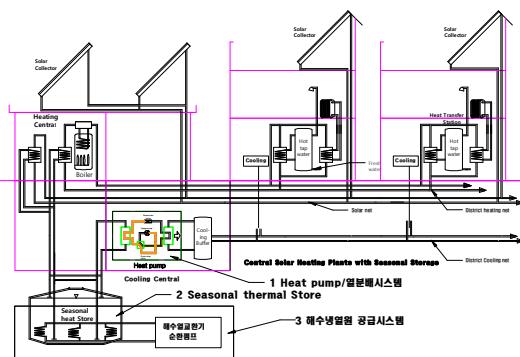


그림 5. CSHPSS에 해수냉열원시스템을 조합한 구성도

열교환기는 시스템의 중요한 구성요소이므로 성능과 경제성을 고려하여야 한다.

Hannover의 CSHPSS는 다세대주택(106세대)의 난방 및 온수급탕용으로 2000년 6월에 가동되었다. 신공법인 고밀도콘크리트(HDC: High density concret) 사용으로 물-수증기의 침투성을 낮춰, 축열조 내부에 비싼 스테

인리스 라이너 설비를 생략하고, 온도 성층화를 해결함과 동시에 축열과 방열이 동시에 가능토록 개선을 하였다. 이로서 대규모 축열조를 저가로 축조하는 기술이 개발되었다. 이 축열조의 개략적인 구조는 철근콘크리트 벽두께가 20~30cm이며 외벽을 입상형발포 유리섬유로 단열한 후, 흙으로 덮는다. 계간 축열시스템은 40년의 긴 수명으로 초기투자 비가 많은 단점이 있지만 장기적으로 볼 때 분명 메리트가 있으므로 국내 실정에 맞는 연구·개발이 될 것으로 기대한다.

앞으로 계간축열조와 해수냉열교환기설비에 관해서는 국내 실정에 부합되는 디자인과 시뮬레이션이 필요한 부분이다. 화석연료의 고갈과 지구환경 위기의 시대를 맞아, 비용이 많이 들어가는 미활용에너지라 할지라도 온실가스를 감축할 수 있는 대체에너지원이라면 적극 활용하여야 할 것이다.

#### 4. 결론

삼면이 바다인 점을 살려 해수의 미활용 에너지를 이용하는 것은 매우 바람직 기후변화 협약의 대응책이 될 것이다. 아직 국내에서 건물의 난방용으로 ‘중앙집중식 태양열 계간 축열 난방시스템’이 구현되지는 않았으나 불원간 실현될 것으로 예측하며, 그 시스템의 온수축열 계간축열조가 쉬는 시기에, 해수냉열을 축열하여 건물의 냉방열원으로 사용하게 되면 시스템의 효율이 매우 증가할 것이다. 지역적으로 계절적으로 해수의 온도변화는 다양하므로 해수열원은 지역특성을 조사·분석하여 그 활용방법이 도출될 것으로 판단하며, 이 연구에서의 결론은 다음과 같다.

첫째, 서해를 기준으로 매년 2월 중에 해수온도가 최저치에 이를 때, 해수의 냉열에너지를 계간축열조에 축열했다가 여름철에 건물의 냉방열원으로 직접 이용하도록 하는 미활용해수에너지 활용 방법을 제시하였다.

둘째, 중앙태양열계간축열시스템식에서 난

방전용의 계간축열시스템을 유휴기에 해수 냉열에너지를 축열하여 건물의 냉방에너지를 보조하도록 하여 축열조의 활용도를 배가 시켜줌으로써 시스템의 에너지 능률을 제고하도록 구성하였다.

향후 이 연구에서 제시한 중앙태양열계간 축열시스템과 해수냉열에너지를 축열시스템의 구성·운영방법이, 국내 환경에 부합되는 모델로 디자인되고 또 모의실험 단계를 거쳐 상용시스템이 개발·보급될 것으로 판단된다.

#### 참 고 문 헌

1. F. P. Incropera. 김철주역, 열전달(Fundamental Heat and Mass Transfer), 교보, 2008.
2. 한국태양에너지학회, 태양에너지 핸드북, 태림문화사, 1991.
3. 최현용, 황해중부연안 수온전선역의 정량적 해석, 한국해양논문, Vol.3, No.1, 1998.
4. 윤형기, 계간축열이용태양열시스템 기술개발동향, 한국태양학회지, 제5권 제2호, 2006
5. 김기철, 건물의 냉방을 위한 해수열 취득 연구, 한국마린학회 제29.제8호, 2005.
6. 대규모태양열 지역냉난방 및 급탕시스템 개발 및 적용 연구(보), 산자부, 2007.
7. 北山直方, 흥희기역, 공업열역학, 성안당, 99.
8. Dirk Mangold et, The new CSHPSS in Germany, Euro Sun 2007, June, UK
9. Daniel Pahud, Solar heating system with seasonal heat store at Heumatt, Heumatt-final report. Doc, 2003.
10. Jan-Olof Dalenback, Large scale solar heating and cooling systems in Europe, ISES SWC2007-Beijing, Sept 07.
11. PlanEnergi, DK, (Final technical report) Solar thermal and long term heat storages for district heating system, Marstal DK. 2004.
12. SHC, Solar heating & cooling programme -2007 annual report, IEA, 2008.
13. [www://kodc.nfrdi.re.kr](http://kodc.nfrdi.re.kr) 한국해양자료센타