

# 에너지 절감방안



김유종 | 환경관리공단 기술진흥처 근무

## 1. 소수력

### 1.1 개요

#### 1.1.1 내용

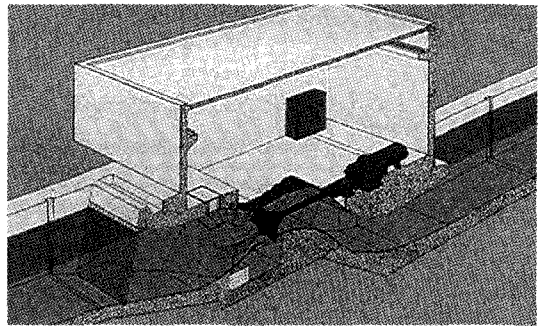
소수력발전은 물의 유동을 이용한 시설용량 10,000kW 이하의 소규모 수력발전을 말한다<sup>1)</sup>.

- 미국 : 시설용량 15,000kW 이하
- 중국 : 시설용량 25,000kW 이하를 소수력발전으로 정의하고 있음

국내 소수력발전은 '82년 이후 정부의 지원으로 현재까지 31개 지역에(용량 약 42,860kW) 설치되었으며, 연간전력생산량은 약 1억kWh에 달하고 있다. 소수력발전은 전력생산 외에 농업용 저수지, 농업용 보, 하수처리장, 정수

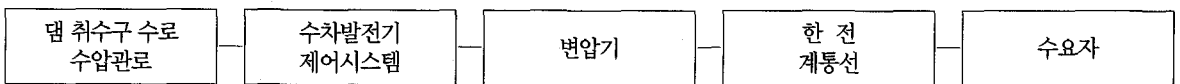
장, 다목적댐의 용수로 등에도 적용할 수 있어 개발잠재량이 풍부하며 청정자원으로서 개발 가치가 큰 부존자원으로 평가받고 있다.

#### 1.1.2 시스템 구성도



〈그림〉 시스템 구성도

〈표〉 소수력발전시스템 구성도



1) 대체에너지개발 및 이용보급촉진법시행규칙 개정 2003.01.03

1.1.3 종류 : 설비용량, 낙차, 발전방식에 따른 분류

여 저낙차 터빈을 이용한 발전방식으로 설비용량, 낙차 및 발전방식에 따라 다음 표와 같이 분류될 수 있음.

소수력발전은 소규모 하천의 물을 인공적으로 유도하

〈표〉 소수력발전의 분류

구분	분 류			비 고
소수력	설비용량	Micro hydropower Mini hydropower Small hydropower	100kW 미만 100~1,000kW 1,000~10,000kW	국내의 경우 소수력 발전은 저낙차, 터널식 및 댐식으로 이용 (예: 방우리, 금강 등)
	낙차	저낙차(Low head) 중낙차(Medium head) 고낙차(High head)	2~20m 20~150m 150m 이상	
	발전방식	수로식(run-of-river type) 댐식(Storage type) 터널식(Tunnel type)	-하천경사가 급한 중·상류지역 -하천경사가 작고 유량이 큰 지점 -하천의 형태가 오메가(Ω)인 지점	

표 내용 중 발전방식별로 살펴보면, 수로식은 하천을 따라 완경사의 수로를 결정하고 하천의 급경사와 굴곡 등을 이용하여 수로에 의해 낙차를 얻는 방식으로 하천경사가 급한 상·중류에 적합한 형식이다. 댐식은 주로 댐에 의해서 낙차를 얻는 형식으로 발전소는 댐에 근접해서 건설하고 하천경사가 작은 중·하류로서 유량이 풍부한 지점이 유리하며, 하천의 구배가 완만하나 유량이 풍부한 곳과 낙차는 크나 하천의 수위변동이 심한 지역을 택하는

것이 유리하다. 터널식은 댐식과 수로식을 혼합한 방식으로 지형상 지하터널로 수로를 만들어 큰 낙차를 얻을 수 있는 곳에 설치하게 되므로 수로식 소수력발전의 변형이라 할 수 있다. 우리나라는 대부분 토건비 부담 등의 이유로 수로식이나 터널식보다 경제성이 있는 농사용 댐 등을 주로 이용하고 있는 실정임.

소수력의 가장 중요한 설비는 수차(turbine)이며, 설비별 특징은 다음과 같다.

〈표〉 수차의 종류 및 특징

수차의 종류		특 징
수차	충격 수차 펠톤(Pelton)수차 튀고(Turgo)수차 오스버그(Ossberger)수차	- 수차가 물에 완전히 잠기지 않는다. - 물은 수차의 일부방향에서만 공급되며, 운동에너지만을 전환한다.
	반동 수차 프란시스수차(Francis)수차 프로펠러수차	- 수차가 물에 완전히 잠긴다. - 카플란(Kaplan)수차 - 수차의 원주방향에서 물이 공급된다. - 동압(dynamic pressure) 및 정압(static pressure) 이 전환된다. - 튜브라(Tubular)수차 - 벌브(Bulb)수차 - 림(Rim)수차

### 1.1.4 소수력 발전의 장점과 단점

장 점	단 점
<ul style="list-style-type: none"> <li>- 풍부한 국내 부존자원 활용 전력생산</li> <li>- 비교적 짧은계획, 설계 및 시공기간</li> <li>- 저렴한 설비를 포함한 낮은 투자비용</li> <li>- 민간 및 지자체 주도의 투자참여로 지역개발 효과</li> <li>- 사회적 이점 및 환경피해 최소화</li> <li>- 발전소 수명이 길고 운영비 저렴</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 출력이 기상과 계절의 영향을 받음</li> </ul>

## 1.2 국내·외 기술현황 및 동향

### 1.2.1 해외 현황

소수력 기술은 개발이 이미 완료되어 상용화 보급된 기술이다. 미국은 '80년대에 소수력발전의 잠재지역을 조사하였으며, '90년대에는 수차의 표준화와 개도국에 대한 기술지원을 하여왔다.

일본은 '80년대에 Sunshine 계획의 일환으로 수차의 국산화개발과 소수력발전 시스템 자동화연구를 수행하였으며 '90년대에는 New Sunshine 계획으로 수차의 표준화개발을 완료하였다.

### 1.2.2 국내외의 보급현황

#### 가) 해외 소수력 보급현황

소수력발전소의 보급현황을 살펴보면 아시아권에서는 중국이 58,000개소(13,250mw), 일본이 600개소(538mw)로써 가장 많이 운영되고 있으며, 미국은 1,715개소

(3,420mw), 유럽의 경우 독일 5,882개소(341mw), 프랑스 1,479개소(1,646mw), 이태리 1,420개소(1,969mw), 스웨덴 1,346개소(8,406mw), 스페인 1,102개소(1,010mw), 노르웨이 227개소(806mw) 등으로 매우 많은 소수력발전소가 건설, 운영되고 있다.

1개소당 발전용량을 살펴보면 중국은 228kW, 일본은 896kW, 유럽은 평균 1,200kW인 반면 우리나라의 경우에는 1개소당 평균발전용량이 약 1,500kW로 외국에 비하여 비교적 큰 편이다.

특히, 독일의 경우 소수력발전소 1개소당 평균발전용량은 58kW로 매우 작는데 이는 주어진 부존에너지를 최대한 활용하고 소수력발전소 건설 및 운영에 대하여 정부에서 많은 지원을 하기 때문으로 알려져 있다.

일반적으로 수력발전은 자연낙차가 크고 발전용량이 증가할수록 경제성이 향상되지만, 외국의 경우처럼 소규모용량의 소수력발전이 활성화된 것은 중·저낙차 소용량이면서 대용량에 비하여 경제성면에서 뒤떨어지지 않

(표) 세계 소수력 발전소 설치·운영현황

국 명	발전소 수	용량(mw)	국 명	발전소 수	용량(mw)
중 국	58,000	13,250	오스트리아	1,200	320
일 본	600	538	프랑스	1,479	1,646
한 국	21	38	독 일	5,882	341
미 국	1,715	3,420	이태리	1,420	1,969
카나다	321	1,056	스페인	1,102	1,010
브라질	232	483	스웨덴	1,346	8,406

※ 독일의 소수력발전소는 1개소당 평균발전용량은 58kW

는 중·저낙차용 수차를 개발, 보급하여 경제성을 향상시켰기 때문이다.

### 나) 국내 소수력 보급현황

우리나라의 소수력 개발은 1982년 제정된 '소수력 개발 활성화 방안' 이 공포 되면서부터 시작되었다.

현재 전국에 30개소의 소수력발전소가 운영되고 있으며, 설치장소는 하천(15개소), 기존댐(10개소)이 주를 이루고 있으며, 저수지(4개소), 하수처리장(1개소)에도 일부 설치되어 있다. 설치된 발전설비 용량은 총 42,440kW로써 이는 의암댐의 발전용량(45,000kW)에 근접하는 용량으로 외국에 비하면 아직은 미미한 형편이다.

2002. 5월 개발추진 중인 소수력발전소는 23개소에 총

설비용량은 16mw로서 일반 하천뿐만 아니라 경제성향상을 위하여 기존댐 등의 구조물을 이용한 소수력개발과 지방자치단체, 수자원공사, 농업기반공사 및 한전 등 공공기관이 사업주체가 되어 적극적인 개발을 추진하고 있으며, 특히 중·저낙차 소수력개발 입지인 농업용저수지와 다목적댐의 소수력개발에 주력하고 있다.

그러나 소수력 발전소 건설이 활성화되지 않는 이유는 경제성이 미흡하기 때문인 것으로 분석된다.

따라서, 우리나라의 소수력자원 특성에 적합한 중·저낙차용 수차발전기를 국산화하여 수차발전기의 제작비용 및 소수력발전소 건설비를 절감하고, 또한 수차발전기 운영 유지비의 절감이 필요한 실정이다.

〈표〉 국내 소수의 발전 보급 현황

구분	강원	경기	경북	경남	전남	전북	충남	충북	합계
시설수	5	1	9	2	1	4	4	3	30
시설용량(kW)	8,170	2,970	11,890	1,700	450	8,313	2,897	6,050	42,440
발전량(mwh/년)	16,957	4,748	36,776	8,298	2,788	8,953	12,893	19,166	110,579

※ 2002년 지역별 소수력 발전설비 및 발전량 현황

## 2. 지 열

### 2.1 개요

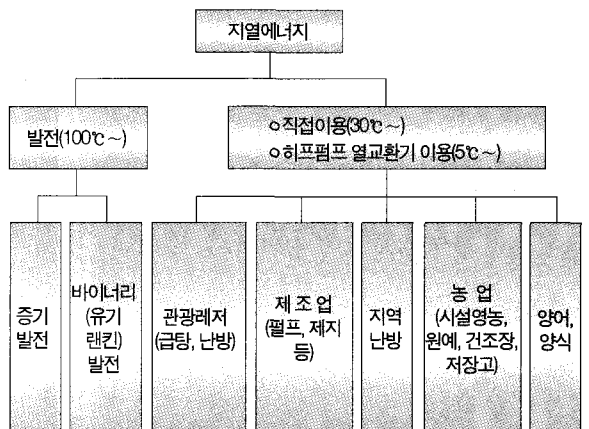
지열이란 지표면의 얇은 곳에서부터 수km깊이에 존재하는 뜨거운 물과 돌을 포함한 땅이 가지고 있는 에너지를 말하며, 통상 후자에 있어 뜨거운 물을 온천, 녹아 있는 돌을 마그마라고 부른다.

태양열의 약 47%가 지표면을 통해 지하에 저장되며, 이렇게 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르지만 지표면 가까운 땅속의 온도는 개략 10℃~0℃ 정도로 연중 큰 변화가 없으나 지하 수km의 지열온도는 40℃~150℃ 이상을 유지한다. 이렇듯 지열은 태양과 지구가 존재하는 한 계속 생성되는 에너지의 보고로서 지열에너지원은 무궁무진하다 할 수 있다.

우리나라의 경우 일본, 이태리 등과 같은 화산지대가

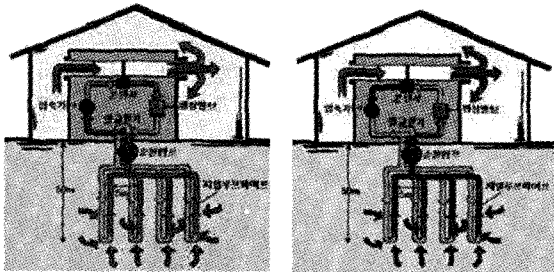
거의 존재하지 않아 심층지열 이용은 매우 어려운 것으로 판단되어 현재는 지하 100~150m 깊이의 지열을 이용하는 시스템의 개발 보급이 점차적으로 활성화되고 있다.

#### 2.1.1 시스템 구성도



### 2.1.2 지열기술

대체에너지원으로 활용하기 위한 지열source로는 지표면으로부터 수내지 수십 미터 깊이의 흙(ground source), 또는 지하수(ground water source), 호수나 강물(water source)등을 들 수 있으며, 이러한 지열은 통상 건물의 냉난방 열원으로 활용되는 데 이를 위한 주요설비로는 지열을 회수하기 위한 열교환기와 회수한 저온의 지열을 유효 에너지로 변환시키기 위한 히트펌프(heat pump)<sup>2)</sup>가 있다.



지열시스템의 종류는 대표적으로 지열을 회수하는 파이프(열교환기)의 회로구성에 따라 폐회로(Closed Loop)와 개방회로(Open Loop)로 구분된다.

일반적으로 적용되는 폐회로는 파이프가 폐회로로 구성되어 있는데, 파이프내에는 지열을 회수(열교환)하기 위한 열매가 순환되며, 파이프의 재질은 고밀도 폴리에틸렌이 사용된다. 폐회로시스템(폐쇄형)은 루프의 형태에 따라 수직, 수평 루프시스템으로 구분되는데 수직으로 100~150m, 수평으로는 1.2~1.8m정도 깊이로 묻히게 되며 상대적으로 냉난방부하가 적은 곳에 쓰인다.

개방회로는 수원지, 호수, 강, 우물 등에서 공급받은 물을 운반하는 파이프가 개방되어 있는 것으로 풍부한 수원

지가 있는 곳에서 적용 될 수 있으며, 폐회로가 파이프내의 열매(물 또는 부동액)와 지열source가 열교환 되는 것에 비해 개방회로는 파이프내로 직접 지열source가 회수되므로 열전달 효과가 높고 설치비용이 저렴한 장점이 있으나 지하수오염 등에 대한 우려의 단점이 있다.

## 2.2 국내외 기술개발 현황

기술명	국 내	국 외
유망지역 조사	<ul style="list-style-type: none"> <li>○마산, 창원지역 지열조사 (자원연 '92)</li> <li>○제주도지역 지열조사 (자원연 '95)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○극심부, 고온암체 지열자원 탐사 기술 개발완료</li> <li>○지열저류층 평가기술 완료</li> </ul>
이용기술 개발	<ul style="list-style-type: none"> <li>○중·저온 지열에너지 개발('03)</li> <li>○지열냉·난방시스템 성능측정('03)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>○지역난방 및 열수이용 시스템실용화</li> <li>○증기발전 실용화</li> </ul>

### 2.2.1 해외현황

지열시스템에서 가장 중요한 설비인 지열원 히트펌프에 대한 연구는 1940년대 후반과 1950년대에 미국과 유럽에서 시작되었으며 본격적으로 난방을 목적으로 사용되기 시작한 것은 1970년대 유가파동 이후로서 현재는 미국 내에서만 매년 수 만대의 지열원 히트펌프가 설치되고 있으며, 유럽국가에서도 사용이 급증하고 있는 추세이다(1998년말 기준 약 12만대 보급).

특히, 미국은 지열협회(ISGHPA)를 중심으로 연구를 시작하여 80년대부터 실용화 보급(2000년 기준 총 지열 이용 열펌프 약 35만대 보급)을 실시하고 있으며, 최근 오클라호마대학을 중심으로 히트펌프회사, 설계, 시공, 진단 등 500여개 업체가 활동 중에 있다.

2) 히트펌프란 지열과 같은 저온의 열원으로부터 열을 흡수하여 고온의 열원에 열을 주는 장치로서 열을 빼앗긴 저온측은 여름철 냉방에, 열을 얻은 고온측은 겨울철 난방에 이용할 수 있는 설비임.

일본은 지질구조상(지진 관련) 지열이용이 바람직하지 않은 것으로 여겨졌으나 미국회사와 공동으로 인공연못을 활용하는 지열교환기를 개발하여 지열 난방 시스템을 완성하였고 현재 공공시설 60여개소에 300여대가 보급되어 계속 연구 진행중에 있다.

## 2.2.2 국내의 보급 현황

### 가) 해외 지열이용 현황

2000년까지 공급된 지열원 열펌프(히트펌프) 댓수는 세계적으로 약 512,000여대로 추정하고 있으며 미국, 스위스, 스웨덴, 독일 등이 대표적인 사용국으로 나타나고 있다.

Geothermal heat pumps-An overview(John W. Lund)에 의하면 지열원 펌프의 보급율은 지난 10여년간 매년 10% 이상씩 증가하고 있으며, 미국의 경우 매년 12% 이상씩 증가하고 있는 것으로 보고되고 있다.

연속 난방 보급이 보편화되어 있는 미국, 유럽 등 선진국에서는 일반가정 및 중소규모의 건물, 스포츠센터, 원예단지 등을 대상으로 난방시스템에 지열을 이용하는 열펌프시스템이 일반적으로 설치되어 운용되고 있다.

미국에서는 일반주택을 중심으로 냉·난방시스템 및 항온·항습용의 보조에너지 개념으로 널리 이용되고 있

으며, 빌딩에 도입된 예로 오클라호마주의 주의회 의사당은 수직루프시스템을 적용하여 기존의 난방 시스템을 개선하였고 켄터키주의 갈트하우스호텔은 오픈루프시스템을 사용하여 600여개의 방을 난방하고 있으며, 미국 전역에 지열시스템을 설치한 수백 개소의 학교가 있다.

한편, 일본에서는 전력소비가 많은 주간의 전력부하 감을 위해 심야전기를 이용하는 열펌프를 설치하여 좋은 결과를 얻었으며 주거용 에너지시스템으로도 보급시키고 있음.

### 나) 국내 지열에너지이용 현황

히트펌프를 이용하는 지열이용시스템은 운영비가 기존의 설비에 비해 적은 반면 초기투자비가 커 경제성이 다소 약한 것이 단점이다. 이에 따라 국내 지열이용 시스템 도입 실적은 2000년도에 최초 도입된 후 2002년까지 설치된 곳은 학교, 모텔, 레스토랑 등 약 11개소이며, 미8군 내 아파트 156동에 지열이용 열펌프 244대가 외국사에 의해 설계, 시공된 바 있다.

앞으로 고성능 히트펌프의 개발과 지중열 교환기 효율이 높아진다면 히트펌프를 이용한 지열이용시스템의 보급은 점차적으로 증가할 것으로 예상된다. ◀

## 월간 '환경기술인' 광고 안내

환경기술인의 전문 월간지이며, 역사와 전통을 가지고 있어 홍보효과가 큼

- 문의 - TEL : (02)852-2291 / FAX : (02)852-2294
- 담당 : 김기섭 광고팀장(H.P : 019-436-3621)
- 홈페이지 : www.keef.or.kr / E-Mail : keef@keef.or.kr