

집단에너지 열원으로서의 댐 저층수 이용 타당성 검토

(The appropriateness examination to bottom water utilization of the dam as a community heat reservoir)

조 수* (한국에너지기술연구원)

1. 머리말

1.1 연구의 배경

본 연구는 기존 담수와 외기의 온도차를 이용하여 가동되는 히트펌프 활용 냉방방식과 상이하게 연중 일정한 온도로 유지되는 심층의 저온수를 도입하여 건축물의 냉방에 필요한 냉수(Chilled Water)로 직접 이용하는 기술에 대한 연구이다. 이러한 이용방식은 연중 일정한 온도의 저온수를 항상 보유할 수 있는 호소수가 건축물 또는 도심지역 주변에 있어야만 가능한 방식이었기에 에너지원으로서의 활용에 있어 국내에서는 현재까지 간과되어 왔다. 이러한 이유로 인하여 최근까지 심층 저온수는 대체에너지의 종류에 속하며 활용에 대한 가능성은 있으나 경제성이나 기타 이유로 개발되지 못하고 있는 미활용에너지기술에 속하였다.

저온의 호소수를 활용한 지역냉방시스템은 기후변화협약시대에 대응한 새로운 도시에너지공급시스템으로 선진국에서는 크게 관심을 갖고 진행되고 있는 혁신적 기술에 속한다. 하지만 저온수를 활용한 냉방에너지의 이용에는 초기투자비가 많이 소요되어 경제성이 부족한 것이 사실이다. 하지만 타 에너지원의 대체자원으로서 기능을 할 뿐만아니라 더불어 국가에너지 극복의 대안이며, 친환경적 에너지자원으로서의 기능을 할 수 있는 모델이기도 하다.

1.2 연구의 목적

특히 중점 대상지역은 대전지역 인근에 위치한 댐으로서 주변 도심지의 냉방열원으로 댐의 심층 저온수의 공급가능 여부에 대한 기반 조사와 평가를 통해 지역에너지사업으로의 확대 가능성을 확인하고자 하였다.

1.3 연구의 범위

저온의 호소수를 활용한 지역냉방시스템은 기후변화협약시대에 대응한 새로운 도시에너지공급시스템으로서 선진국에서는 큰 관심을 갖고 진행되고 있는 혁신적 기술에 속하지만 저온수를 활용한 냉방에너지의 이용에는 초기투자비가 많이 소요되어 경제성이 부족한 것이 사실이다. 하지만 타 에너지원의 대체자원으로서의 기능을 할 뿐만 아니라 국가에너지 극복의 대안이며 친환경적 에너지자원으로서의 기능을 할 수 있는 모델이기도 하다. 이에 본 연구에서는 댐의 심층저온수를 이용한 신재생에너지의 적극적 활용을 통해 심층저온수를 이용한 냉방 열원 공급가능성 여부를 확인하였다. 주요 연구범위는 심층수의 에너지 잠재량 조사, 순환시스템 선정, 경제성 평가이다.

2. 저층수 특성 분석

2.1 호소수의 성층현상

수온의 성층화 현상은 우리나라와 같이 중위도 지대에서 발생하는 현상이며 물의 밀도는 수온이 4℃ 일 때 가장 크다. 사계절을 갖고 있는 우리나라의 경우 외기온의 변화에 따라서 호소수의 깊이에 따른 층간 수온의 변화가 독특한 양상을 나타낸다.

수온의 분포에 따라 수온의 성층화가 발생하는 원인은 다음과 같다. 여름철에는 태양열에 의해 수표면의 온도가 20~28℃까지 상승하여 밀도가 낮은 층을 형성한다. 이에 반해 저층의 수온은 표면층의 온도까지 상승하지 않고, 아주 깊은 호소수의 경우는 4℃정도, 얕은 호소에서는 약 10℃정도가 되어 고밀도의 수체로 존재한다. 따라서 상층이 따뜻하고 하층이 차가운 형태의 성층이 발생한다. 이것을 여름철 성층이라 하고 겨울철 성층과는 반대의 수온분포를 보인다.

수온에 의한 성층구조중 수온이 급격하게 떨어지는 호소수의 중간층을 수온약층(thermocline, metalimnion, Birge's thermocline)이라고 부르고, 윗부분을 표수층(epilimnion), 하층부를 심수층(hypolimnion)으로 구별한다. 대개의 경우 수온약층에서는 수온이 5~10℃정도 급격하게 떨어져 표수층과 심수층으로 갈라놓아 한 수체이면서도 수질이 서로 다를 수 있게 된다.

2.2 깊이별 수온, 탁도 측정

2.2.1 측정장비

측정항목은 깊이별 수온과 탁도만을 선정하였으며 이를 실시간으로 측정할수 있는 장비를 선정하였다. 본체 중심부에 물이 통과할 수 있는 4개의 개통구가 설치되어 있고 이 개통구와 연결된 압력센서를 이용해서 수심을 체크하게 된다. 수온의 측정은 일반적으로 댐의 담수가 0℃이상에서 유지되기 때문에 -5℃까지이며 최대 측정가능 온도 범위는 75℃로서 측정에 있어 문제가 없다. 최대 측정가능은 수심은 60m이다. 탁도는 0~1000NTU까지 측정 가능하며 하단부 퇴적층을 제외한 본댐 유역은 측정 범위내에서 특별한 상황이 발생하지 않는 한 일반적으로 원활한 측정이 가능하다.

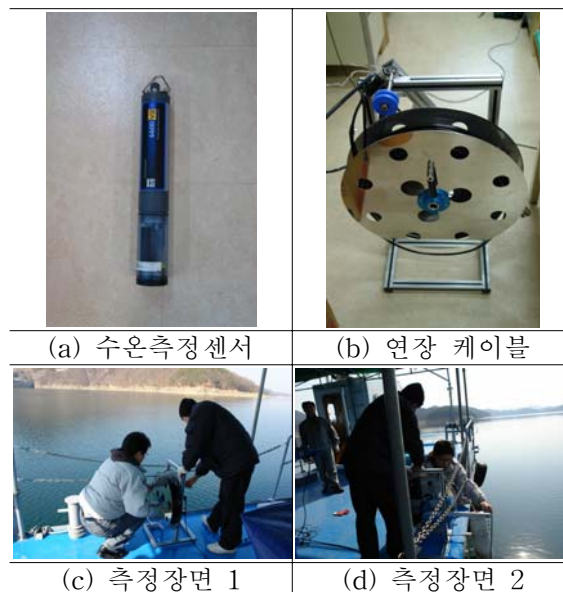


그림 1 수온 측정 장비 및 측정 장면

2.2.2 측정방법 및 범위

수온의 측정범위는 댐의 담수를 저장하고 있는 기존 지형도인 그림 2를 바탕으로 하여 가장 수심을

깊게 확보할 수 있는 지역과 향후 저온수의 안정적 취수가 가능하며 필요한 수량을 원활하게 확보할 수 있는 영역을 그림 3과 같이 선정하였다.

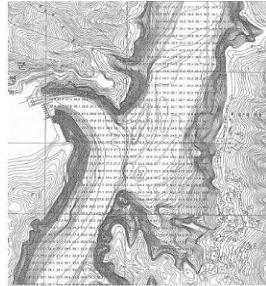


그림 2 대상 댐의 위치별 바닥 레벨

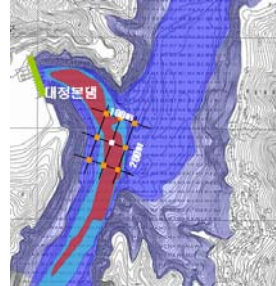


그림 3 측정 위치

측정은 격자 형태에 포함되는 9지점 외에 주변 지역의 지형도와의 비교를 위한 작업의 일환과 낮은 수심 확보시에 나타나는 수심별 온도변화 양상을 살펴보기 위하여 매 월별 측정하였으며 측정시 기본 격자 구성 지점 외에 2~10개의 지점을 추가로 측정하였다.

2.2.3 측정 결과

측정월별 수온데이터는 전체 측정 데이터중 가장 깊은 수심을 확보한 측정점을 기준으로 하여 분석하였다. 겨울철에 속하는 1월과 2월의 수온변화를 살펴보면 연직방향으로 수온변화가 거의 발생하지 않으며 5℃~9℃범위에서 일정함을 알 수 있다. 주된 냉방기간에 속하는 기간 역시 수온약층 발생이 뚜렷하게 나타나고 있으나 가장 아래쪽에 위치한 심층부분의 수온은 5~7℃ 사이에서 형성되고 있음을 알 수 있다. 또한 일정한 저온 영역 즉 냉방에 활용할 수 있는 낮은 수온 영역이 바닥면으로부터 10m 가량의 높이를 항상 유지하고 있는 것을 확인할 수 있다. 탁도는 바닥면의 부유물을 충격하지 않을 경우 심층 수 취수에 영향을 미칠만한 특성을 보이지 않은 것으로 판단된다.

위의 결과를 토대로 하여 하계에 최저 이용가능 온도 범위 설정에 따른 저온수 활용가능 범위와 용량 규모를 추산할 수 있다.

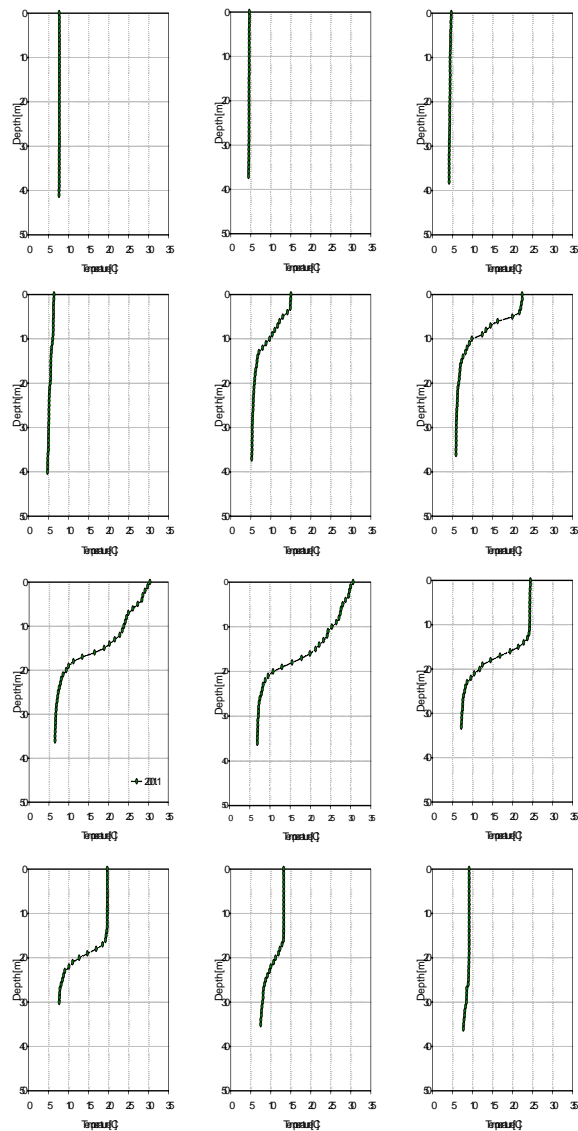


그림 4 연간 댐저장수의 깊이별 수온변화 양상

3. 취수가능 심층수량 분석

3.1 기본 수량 분석

댐 담수를 저장하고 있는 지역은 지형적으로 평탄한 구조가 아니고 수심을 깊게 확보할 수 있는 구역 역시 한정되어 있기 때문에 지형의 고저를 감안한 공급가능 수량을 예상해야만 한다. 이를 평가하기 위하여 격자구조로 측정된 수심과 온도를 분석하였다.

연중 실시된 수온 측정 중에서 가장 수심이 깊게 측정된 8월의 측정결과를 바탕으로 하여 격자의 위치별 수심(Depth)을 입체적으로 그림 5에 표시하였다. 댐이 종단형(댐구조물 방향) 구조임을 감안할 때 측정 대상 지역에서는 전체적으로 평탄한 구조를 갖고 있으며 체적 판별에 있어서 무시할만한 수준이라 판단된다.

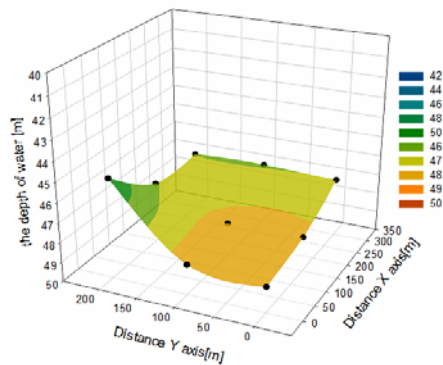


그림 5 격자별 최고수심(8월 기준)

격자구역은 종단면 길이가 400m, 횡단면 길이가 200m로서 취수가능 영역의 면적은 80,000m²에 이르며 5℃~10℃까지의 영역에서 연중 일정하게 취수 하는 것이라 가정할 경우 바닥으로부터 약 10m의 수심 구역이 확보된다. 이러한 영역의 전체 수량으로 환산시 여름철(8월)기준 약 80만m³의 저온수 수량 확보가 가능하다.

3.2 취수 가능 용량

격자구역 외에 취수가 가능할 것으로 판단되는 수심 즉 성층화 발생과 발생후 심층수의 온도가 일정하게 유지되는 조건이 만족되는 구역을 본댐 전면의 최고 수심지점을 중심으로 하여 가로, 세로 1km 영역을 지정하였고 바닥으로부터 10m의 수심구역의 지형에 따라서 3차원 지형도를 활용하여 그림 6과 같이 보유수량 계산을 실시하였다. 분석 결과 약 3백만톤의 저온심층수가 이용이 가능할 것으로 판단된다.

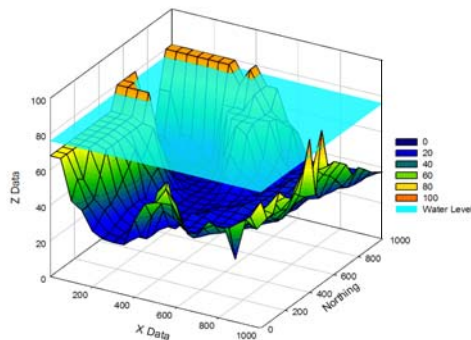


그림 6 3차원 지형도

4. 시스템 선정 및 평가

심층수이용 냉방시스템은 연중 일정하게 저온을 유지하는 댐 주변 및 호수의 심층수를 활용하여 수요처의 냉방 열원으로 공급하는 것이다.

공급방식은 직접, 간접의 공급방식으로 나뉘나 통상적으로 국외 사례에서도 간접방식은 열교환 효율에 있어 손실되는 부분이 직접보다 크나 배관이나 기타 기기의 오염, 부식 등에 의해 설비비, 유지관리 비용 등이 간접방식에 비해 커서 대부분 간접 열교환 공급방식을 사용하고 있다. 또한 본 연구에서도 수량이 한정되어 있으며 환경적으로 문제발생을 최소화하기 위해서는 시스템 구성이 간접 열교환 방식일 때 더 효과적인 것으로 판단하였다.

4.1 시스템 구성

심층수 이용 냉방시스템의 주요 구성부문으로는 공급, 순환, 수요, 제어부로 나눌 수 있다.

(1) 공급부

냉열 공급원인 저층수를 취수하고 1차 열교환하기 위해 사용되는 수송배관 및 열교환기를 포함 하고 있다.

(2) 순환부

폐회로의 열원순환 배관과 순환펌프가 냉난방 겸용으로 운용된다. 냉방시 수요처에 공급되는 냉방수의 온도가 냉방공급설계온도(12℃) 이상일 경우 냉난방 겸용 순환배관에서 바이패스(By-Pass)하여 보조 냉방시스템을 거쳐 설계온도로 공급된다. 또한, 수요처를 거쳐 회수되는 냉방수는 공급처의 열교환기로 연결되어 냉방운용기간중 지속적으로 열교환을 실시한다.

(3) 수요부

수요부는 순환부와 접해있으며 수요처의 냉열원을 공급할수 있는 배관 및 열교환기가 설치된다.

(4) 제어부

제어부는 각 시스템의 운용알고리즘과 모니터링을 위한 온도, 압력, 유량을 측정하는 계측기 및 데이터 수집장치로 구성된다. 이런 운용상의 정보를 토대로 펌프, 밸브, 보조냉열원 시스템 운용정보를 출력하게 되고 고장진단 및 냉방열원 공급량을 산출하게 된다.

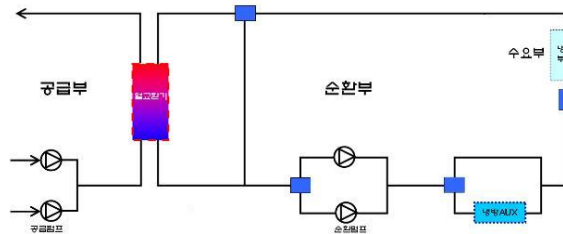


그림 7저층수이용 냉방시스템 계통도

4.2 시스템 평가

4.2.1 냉방 공급가능 규모

저층수 공급가능량과 시스템방식 선정을 통해 구성된 내용을 바탕으로 하여 냉방열원 공급시 담당할 수 있는 부하규모와 기기가동에 따른 보조냉열원 용량, 가동시간 등을 시뮬레이션을 통하여 산출하였다. 산출에 사용된 툴은 TRNSYS이며 산출근거는 열교환기 용량과 용도별 예상부하량을 기준으로 하여 주거용 5만세대, 사무소동 270동에 대한 공급가능량이 산출되었다. 결과를 표 2에 나타내었다.

표 1 Simulation 결과

구분		주거형건물	사무소건물
냉방부하 (Gcal/yr)		5만세대	270동
		109,289.06	80,410.75
보조냉열원 제거열량 (Gcal/yr)		1,985	1,668
펌프가동시간 (hr)	공급	2,501	2,172
	순환	2,501	2,172
	합계	5,002	4,344

5. 경제성 평가

5.1 투자비 산정

주요 구성요소별 사양을 바탕으로 투자비를 산출하면 표 3과 같다. 순환배관의 길이는 5 km로 설정하였으며 공급과 회수관을 매설하는 2-Pipe 시스템을 적용하였다.

표 2 심층수 냉방 구성 시스템 투자비

[단위 : 천원]

부 문	구성시스템	금액
공급부	공급펌프	19,420,796
	취수배관	
	열교환기	
	건축물 건설비(토목 + 건축)	2,800,000
순환부	순환배관(이중보온관)	19,611,007
	순환펌프	
	보조냉열장치(1,000RT)	3,000,000
	토지보상비	
제어부	고장진단, 모니터링시스템	318,600
합계		45,150,403

5.2 유지비 산정

펌프 가동전력량 및 보조열원 가동 전력량을 합산한 유지비용에 시스템 가동에 따른 계약전력의 기본 요금을 합산하여 총 유지비용을 합산하면 표 3과 같다.

표 3 시스템 유지비용

구분	전력사용량에 따른 유지비용	계약 전력요금	합계(연간)
주거용	2.62 억원	1.02 억원	3.64 억원
사무소	2.26 억원	1.27 억원	3.53 억원

5.3 판매비용 산정

심층수 이용 냉난방 시스템의 경제성 유무를 좌우하는 열원 판매금은 기존에 판매되고 있는 열원판매 단가 이하로 공급하여 수요자들로 하여금 수용성을 높일 수 있도록 결정되어야 하며 이에 따라서 현재 건물냉난방에 적용되는 열원 판매금액중 가장 저렴한 한국지역난방공사의 열요금을 기준으로 하였으며 냉방 수요용량을 고려하여 기본요금을 적용과 사용량에 따른 단가를 합산하여 판매액을 산출하였다.

5.4 경제성 평가 결과

저층수이용 냉방시스템의 경제성평가 방안은 냉열원 판매금액, 투자비와 생애기간동안의 유지관리비 등의 LCC를 현가로 환산하여 산출하고 산출된 LCC를 냉열원 판매금액과 대비하여 내구연한내 투자회수년과 총 수익금을 평가하였다. 경제성 결과, 냉방만 공급했을 경우 5 km 구간에서는 주거형 및 비주거형 건물에서 7년 이내에 투자비 회수가 가능한 것으로 나타났다.

표 4 경제성평가 적용조건

시스템 내구연한	할인율	냉방수가격상승률	일반물가상승률
30년	4.9	4	3.66

6. 맺음말

댐 심층 저온수를 활용한 지역에너지 사업에 대한 타당성을 검토한 결과, 다음과 같은 내용을 확인할 수 있었다. 타당성 검토에 활용된 방법은 심층수의 물리적 특성을 확인하기 위한 기본 측정 및 분석과 예상 수요처를 근간으로 한 경제성 분석 등이다.

1. 냉방기간 동안의 측정을 통해 확인된 10℃이하의 저온수를 취출할 수 있는 수심영역은 바닥면으로부터 10m 가량이 되는 것으로 나타났다.
2. 기존 지형도(실제고도 EL기준, 0)를 바탕으로 해서 가로, 세로 1km의 대상영역을 선정하여 저온 심층수의 수량을 분석한 결과, 10℃이하의 심층수 약 300만톤이 취수 가능 영역내에 존재하는 것으로 산출되었다.
3. 5 km 구간에 심층 저온수를 공급할 경우 주거용 및 비주거용 건물에서 각 5년과 7년 이내에 투자비 회수가 가능한 것으로 나타났다.

참고문헌

1. 박준택외, “온도차에너지를 이용한 지역난방기술”, 지역난방기술, Vol. 8, pp. 126-142, 2002.
2. 박창규, “하수처리수열의 지역난방 연계방안”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2007.
3. 김래현 외 2명, “광역에너지 이용 네트워크 구축”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 2007.
4. 이강국 외 1명, “도시지역 분산형 에너지 공급시스템 도입에 관한 연구”, 대한건축학회 논문집(계획계), v.23 n.1, 2007.
5. 박성룡외, 저온수열에너지를 이용한 지역난방기술, 온실가스저감기술종합심포지움, 2000.
6. 신현준, “도시재생 열공급시설 구축을 하수열원 열펌프시스템의냉방운전 성능평가”, 주택도시(주택도시연구원), 제91호, 2006.
7. 방광현, 해수열에너지를 이용한 지역열공급시스템, 설비, 19(3)87-91, 2002.
8. 김기철, 건물의 냉방을 위한 해수열 취득에 관한 연구, 동의 대학교 대학원 박사학위 논문, 2006