

발전소 해수 방류수를 이용한 소수력 개발 방안

강 금석¹⁾, 이 대수²⁾, 조 화경³⁾, 김 지영⁴⁾

Development Plan of Small Hydropower Using Discharged Cooling Water of Power Plant

Keum-Seok Kang, Dae-Soo Lee, Hwa-Kyung Jo, Ji-Young Kim

Key words : Discharged cooling water(방류수), 소수력(Small hydropower), Tidal power(조력), Discharge channel(배수로)

Abstract : 삼천포, 보령, 당진 등 국내 대형 기력발전단지에서 냉각수로 사용되고 방류되는 해수는 약 150 cms로 (100 Mwe당 약 5 cms) 약 3,000 kW 이상의 수력에너지를 보유하고 있으나, 현재 활용되지 못하고 그대로 해양으로 방류되고 있어 이 소수력에너지의 개발 방안을 검토하였다. 발전소 온배수의 원활한 배수를 위한 설계 낙차와 함께 남서해안의 조위변화에 따른 낙차를 이용하는 것으로 소수력 발전 방식과 조력 발전 방식의 특징을 동시에 활용하는 것이다.

국내의 기력발전소 가운데 삼천포, 보령, 하동화력발전소에 대하여 소수력에너지 개발방안을 검토하였으며, 배수로에 댐을 축조하여 방류수 전량을 발전에 이용하는 댐식, 배수로 중간에서 방류수 일부를 취수하는 수로식, 배수로의 빠른 유속을 이용하는 조류식 발전 방안을 중심으로 각 발전소의 구체적 적용여건에 따라 다양한 대안을 검토하여 기술적 가능성 및 경제성이 충분함을 입증하였다.

Nomenclature

- A : inflow area of turbine, m²
- η : efficiency
- g : gravity acceleration, m/s²
- H : head, m
- P : power, kW
- Q : discharge, m³/s
- ρ : seawater density, 1.025 t/m³
- T : period, hr
- V : velocity, m/s

1. 서 론

삼천포, 보령, 당진 등 국내 대형 기력발전단지에서 냉각수로 사용되고 방류되는 해수는 약 150 cms로 (100 MWe당 약 5 cms) 약 3,000 kW 이상의 수력에너지를 보유하고 있으나, 현재 활용되지 못하고 그대로 해양으로 방류되고 있어 이 소수력에너지의 개발 방안을 검토하였다. 발전소 온배수의 원활한 배수를 위한 설계 낙차와 함께 남서해안의 조위변화에 따른 낙차를 이용하는 것으로 소수력 발전 방식과 조력발전 방식의 특징을 동시에 활용하는 것이다.

하천의 소수력 발전은 하절기에 집중된 우리나라 강우 특성으로 인하여 발전가능 기간이 여름철로 제한을 받으나 발전소 방류구에서는 연중 방류량이 일정하여 이를 이용할 경우 연중 일정한 전력을 생산할 수 있고 발전량 또한 매우 큰 장점이 있으며, 발전소 냉각수는 해수이지만 흐름조건이 비교적 균일하고 파랑조건, 부유사, 해조류, 부유물 등의 문제가 자연 해양조건보다 양호하여 조력, 조류력 발전 방식보다 적용여건이 매우 양호하다. 또한, 발전소 방류구에서는 미관상 보기 좋지 않은 거품이 발생하고 있고 온배수 열영향 등으로 인하여 지역주민 및 환경단체와

-
- 1) 한국전력공사 전력연구원
E-mail : gldstn@kepri.re.kr
Tel : (02)865-5762 Fax : (02)865-5725
 - 2) 한국전력공사 전력연구원
E-mail : dslee@kepri.re.kr
Tel : (02)865-5760 Fax : (02)865-5725
 - 3) 한국전력공사 전력연구원
E-mail : ggoma@kepri.re.kr
Tel : (02)865-5764 Fax : (02)865-5725
 - 4) 한국전력공사 전력연구원
E-mail : jykim77@kepri.re.kr
Tel : (02)865-5772 Fax : (02)865-5725

마찰가능성에 항상 노출되어 왔으나, 온배수 배수구에 수력발전 시스템을 도입할 경우 수중방류구조를 취하게 되어 거품발생을 억제할 수 있으며 온배수 영향의 저감 효과도 기대할 수 있다.

본 연구에서는 국내의 기력발전소 가운데 삼천포, 보령, 하동 화력발전소에 대하여 소수력에너지 개발방안을 검토하였다. 배수로에 댐을 축조하여 방류수 전량을 발전에 이용하는 댐식, 배수로 중간에서 방류수 일부를 취수하는 수로식, 배수로의 빠른 유속을 이용하는 흐름식 발전 방안을 중심으로 각 발전소의 구체적 적용여건에 따라 다양한 대안을 검토하여 기술적 가능성 및 경제성이 충분함을 입증하였다.

2. 소수력에너지 개발 가능성

발전소의 순환수 계통은 냉각수를 바다에서 순환수펌프로 취수하여 복수기를 거쳐 다시 바다에 방류하는 구조로서 개념적으로 소수력발전에 이용할 만한 여유 낙차를 최대한 줄이는 것이 적절한 설계일 것이다. 그러나, 조석에 따른 해수위 변화가 클 때에는 간조시 상당한 여유낙차가 발생한다. 여기에서 발전소의 해수방류수를 이용한 소수력 개발의 가능성이 발견된다. 또한, 특정 발전소의 경우는 설계 여유낙차를 이용할 수 있는 구조인 경우도 있다.

발전소 해수냉각수를 이용한 소수력 발전의 특징은 다음과 같다.

- 연중 안정적인 고유량의 확보가 가능하다.
- 이용 가능한 낙차는 2~5 m로서 저낙차이다.
- 해수이므로 부식 및 해조류 등의 부착 가능성이 있다.
- 조위에 따라 발전시간의 제한을 받으며 발전소 하류 방류수위의 변화가 크다.
- 화력발전소의 배수로 및 방류구의 형식(개수로, Box Culvert 등)에 따라 에너지 개발에 영향을 받는다.
- 방류수 전량을 활용하는 안과 일부를 활용하는냐에 따라 공사비 규모 및 기존 화력발전소의 순환수계통에 대한 영향 및 관련성이 크게 좌우된다.
- 발전소 부지 외에 소수력 발전을 계획하게 되므로 공유수면 사용허가 등 관계기관과의 협의승인 등이 필요하다.
- 해변에 접하고 있으므로 태풍, 해일 등에 취약할 수 있다.

- 기존 화력발전소의 가동 중단 불가로 공사에 상당한 어려움이 있다.

- 국내외적으로 적용한 예가 거의 없다.

현재, 국내외적으로 화력발전소의 해수방류수를 이용한 소수력발전의 사례를 발견하기 힘들다. 그 원인으로는 기존 발전소 순환수 계통에 영향을 미칠 것이라는 점과 해수를 사용함에 따라 발전설비의 부식 및 해조류 부착의 문제가 심각할 것이라는 점, 공사비가 과다할 것이라는 점, 가동 중인 발전소 배수로를 변경하는 것이므로 시공성이 극히 불량할 것이라는 점이다.

그러나, 일본의 경우 해수를 이용하는 양수발전소가 운영되고 있고, 순환수 계통의 펌프 및 순환수 관로가 모두 해수를 이용하는 구조물이므로 부식 등 구조물 재료의 문제는 극복이 가능한 문제이다. 순환수 계통에 미치는 영향 또한 간조시의 여유낙차를 이용하는 것이므로 문제가 되지 않으며, 결국에는 개발 방식에 따른 시공성과 공사비 규모와 발전량을 고려한 경제성이 핵심적인 문제이다.

3. 발전량 산정

발전소의 해수냉각수 배수로는 일반적으로 그림 1과 같은 구조이다. Seal Well 이후는 중력에 의한 자연방류 구조를 취하고 있다. 조석에 의한 해수위의 변화에 따라 낙차가 변화하며, 방류량은 발전소 가동상황과 계절에 따른 냉각수량의 차, 조위에 따라 결정된다.

화력발전소의 방류수를 이용한 수력발전의 시설용량은 방류량과 낙차에 따라 결정되는데 일조석주기당 에너지는 다음과 같다.

$$E_0 = \rho g Q H T \quad [\text{kWh}] \quad (1)$$

여기서, ρ 는 해수밀도, g 는 중력가속도, Q 는 방류량, H 는 평균해수면에 대한 Weir 상단의 수두, T 는 조석 주기이다.

일조석주기당 평균출력(이른수력)은

$P_0 = \rho g Q H$ 이며, 대조기, 소조기의 조차의 변화에 관계없이 일조석주기당 에너지 및 평균출력은 일정하다. 즉, 일조석주기당 에너지 및 평균출력은 발전소 가동현황에 따른 방류량만의 함수인 것이다.

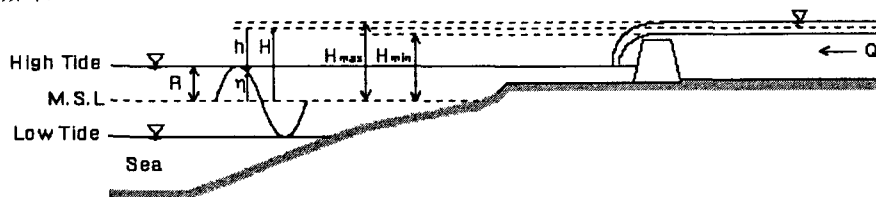


그림 1 방류수 이용 수력발전량 산정 개념도

표 1 방류구 주요 특성

구 분	단 위	삼천포화력	보령화력	하동화력
취수방식	-	1단 취수	2단 취수	1단 취수
호기당 취수량	m ³ /sec	19.5~26.0	26.1	26.0
총방류량	m ³ /sec	130.0	156.6	156.0
배수로 형식	m	Open Channel 28.15(폭)× 1런×680(길이)	Box Culvert 4.7(폭)× 5.0(높이)×3런	Box Culvert 4.7(폭)× 5.2(높이)×3런
Seal Well 및 Weir 정부 표고	El.m	+2.8	+4.0	+2.0
조차	평균	m	1.8	4.6
	최대	m	4.3	9.7
설계고조위	El.m	+1.585	+3.93	+2.358

그러나, 조위 변화에 따라 최소, 최대 낙차가 나타나므로, 수차의 낙차에 따른 효율의 변화를 포함하면 총발전가능량을 산정하는데 있어서 조위의 변화는 중요한 역할을 하게 된다. 또한, H 는 배수구조물의 형상, 마찰에 따른 수두손실을 고려하여 유효낙차(H_e)를 사용하게 된다.

한편, 흐름식발전의 경우 발전량 산출식은 다음과 같다.

$$P = 0.5 \times \eta \times \rho \times A \times V^3 \quad [\text{kW}] \quad (2)$$

여기서, P 는 출력, η 는 효율, A 는 수차의 전면 면적, V 는 유속이다.

4. 개발방안 검토

4.1 적용 가능 수차

화력발전소 방류수를 이용한 수력발전소의 이용낙차는 2 ~ 6 m 이하로 매우 작아서 저낙차용 수차 혹은 흐름에너지를 이용한 수차의 적용이 필요하다. 소수력발전 방식에는 입축 프로펠러 터빈 (Vertical Propeller Turbine), 튜브 수차(Tubular Turbine), 횡류수차(Cross-Flow Turbine)를 적용할 수 있으며, 흐름식 발전에는 Gorlov's Helical Turbine, Davis Turbine 등을 적용할 수 있다. 이 중 일반적으로 낙차 15 m 이하의 소수력용 수차로는 튜브(Tube)수차 및 입축 프로펠러 터빈 (Vertical Propeller Turbine)의 사용 범위가 가장 크다. 흐름식 발전의 경우 Helical 터빈 등이 개발되어 현재 실용화를 추진 중이다.

4.2 삼천포 화력

삼천포 화력발전소의 경우(그림 2) 방류부의 조건 및 해상조건 등을 고려하여, 댐식으로서 방류구 하류 전면 해상과 교량인근 육상부에 수력발전소를 두는 안과, 수로식으로서 기존 웨어 상하류부에서 취수구를 설치하여 발전하는 방식, 흐름식으로 배수로에 수차를 설치하여 발전하는 방식

을 검토하였다. 개발안 검토를 위해서 현지 여건을 감안, 9개의 대안을 설정하였으며, 소수력발전 6개안(댐식 2개안, 수로식 4개안), 흐름식발전 1개안, 혼합식 2개안으로 되어 있다. 댐식은 출력은 약 2,600 kW로 제일 크나 공사비가 과다하였고, 흐름식은 경제성이 높지 않았다. 수로식이 계통낙차의 이용이 가능하여 적용 여건 매우 양호하여 배수로 좌안에 수로식 발전 방식인 제3안을 최적으로 선정하였다.

4.3 보령 화력

보령 화력발전소의 경우(그림 3) 댐식으로 방류구 하류 전면 해상에 수력발전소를 두는 안과, 수로식으로 기존 방류구 Box Culvert부에서 취수구 및 Box 수로를 설치하여 발전하는 방식, 흐름식 발전으로 기존 방류구 Box 하류부 배수로에 수차를 설치하여 발전하는 방식을 검토하였다. 또한, 혼합식으로는 1안(댐식)과 3안(흐름식)의 조합으로 하였다. 댐식은 출력은 약 2,000 kW로 제일 크나 공사비가 과다하였고, 수로식은 경제성이 불리하였으며, 흐름식이 발전량은 크지 않지만 경제성 높아 (B/C Ratio 1.43) 배수로에 흐름식 수차를 설치하는 제3안을 최적으로 선정하였다.

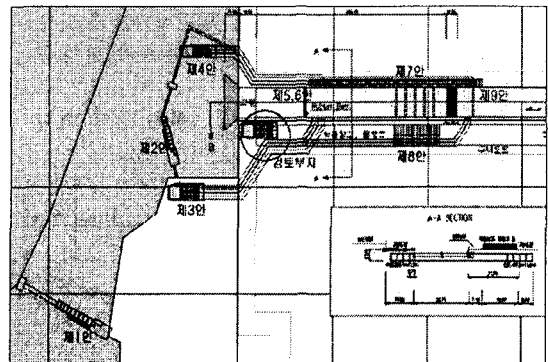


그림 2 삼천포 화력 소수력 개발안

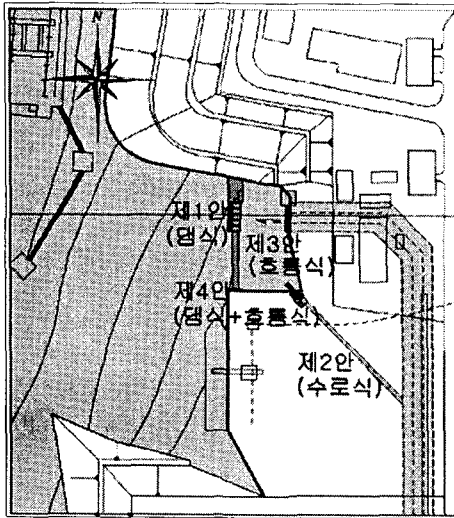


그림 3 보령 화력 소수력 개발안

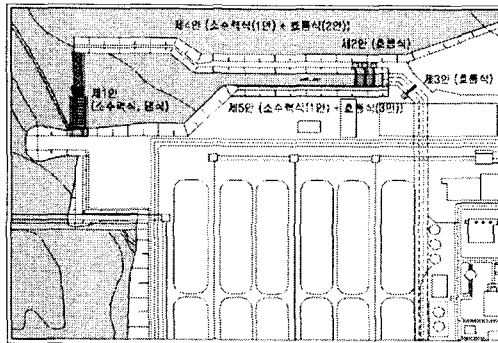


그림 4 하동 화력 소수력 개발안

4.4 하동 화력

하동 화력발전소의 경우(그림 4) 댐식으로 방류구 하류 전면 해상에 소수력발전소를 두는 안(1안)과 흐름식 발전으로 기존 방류구 Box 하류부에 배수로와 수차를 설치하여 발전하는 방식(2안, 3안)을 검토하였다. 혼합식을 포함하여 총 5개 기본안 수립하였으며, 댐식은 출력은 약 3,000 kW로 제일 크나 공사비가 과다하여 경제성이 불리하였으며, 수로식은 지형 및 조위 조건상 적용이 어려웠고, 흐름식은 발전량은 크지 않지만 경제성 높아 배수로에 흐름식 수차를 설치하는 제2안을 최적으로 선정하였다.

5. 결론 및 향후 연구방향

본 연구는 국내외에 아직 적용 실적이 없는 화력발전소의 해수방류수를 이용한 수력발전시스템의 타당성을 평가하기 위한 것으로서 삼천포화

력, 보령화력, 하동화력 3개의 발전소의 현장조사를 통하여 수력발전시스템을 적용하기 위한 수문, 지형조건, 순환수 계통의 조건을 파악하였으며, 수력발전 관련 국내의 기술을 파악하여 적용성을 검토하였다.

3개 대상발전소별로 수력발전 기본 계획안을 수립하였으며, 적용 가능한 수력발전시스템을 구성하고, 발전가능용량을 산정하였으며, 개략적인 경제성을 비교하였다.

현재, 본 연구에서 타당성을 밝힘으로서 삼천포, 태안, 하동, 당진화력에 대하여 온배수를 이용한 소수력발전시스템의 설치를 추진 중에 있다.

References

- [1] Frank M. White(1994). Fluid Mechanics(3rd edition), McGraw-Hill.
- [2] 電力土木技術協會(1995). 火力-原子力發電所土木構造物の設計.
- [3] 동력자원부(1991). 저낙차용 수차개발, 생산 기술 연구원.
- [4] 산업자원부(1999). 소수력발전소의 경쟁력 강화에 의한 개발활성화 방안 연구, 한국에너지기술연구원.
- [5] 한국전력기술주식회사(1994). 발전소 가동시 배수구 주위에 발생하는 거품저감대책.
- [6] 한국해양연구소(1993). 조력발전 기술 현황 분석.