



정문수 / 부회장
mpsmoony@empdl.com

발전소 방류수를 이용한 소수력발전 개요

한양대학교 기계공학과 학사
한양대학교 산업경영대학원 산업기계 석사
(전) 한국남동발전 발전처장

국내 화석연료의 부존자원이 빈약하고 석유는 전량 수입해야 하는 우리나라는 에너지 해외 의존도가 매년 심화되어 에너지 공급의 안정적 확보에 취약점을 가지고 있다. 공업화에 따른 고도 성장과 국민생활 수준의 향상에 의한 전력수요의 증가는 에너지 소비 구조를 석유 중심에서 점차 탈피하여 근래에는 석탄(유연탄)화력, 원자력발전, 수력발전 및 기타 대체에너지에 의한 전원 개발에 관심이 높아지게 하고 있다. 특히 청정자원인 물에 의한 수력에너지 개발은 초기투자비가 많이 소요되는 면이 있지만 지구온난화 및 환경문제를 고려하면 아주 매력적인 전원개발 방법으로 간주된다. 현재까지 알려진 수력에너지의 종류에는 다음과 같은 것이 있다.

- 물의 수위차에 의해 전기를 생산하는 수력에너지(소수력에너지 포함)
- 조류의 빠른 흐름을 이용하여 전기를 생산하는 조류에너지
- 해수의 조석 간만차에 의한 수위차에 따른 위치에너지를 운동에너지로 바꾸어 전기를 생산하는 조력에너지
- 입사하는 파랑에너지를 이용하여 전기를 생산하는 파력에너지
- 물과 바닷물이 마주치는 곳에서의 삼투압 차이에서 생기는 압력으로 전기를 생산 하는 염도차에너지
- 해조류를 발효시켜 메탄가스를 얻고 이를 에너지로 이용하는 해양 Biomass에너지

본고에서는 향후 개발여지가 많은 소수력에너지 활용방안에 관하여 중점적으로 기술하고 특히 화력발전소의 해수방류수를 이용한 소수력발전의 추진방안을 논의 하고자 한다.

1. 소수력에너지 개요

소수력발전은 국지적인 지역 조건에 크게 영향을 받으며, 규모가 작고 기술적으로 단순한 수력발전설비로서, 하천의 흐르는 물을 이용하기 위하여 댐을 막고 저수지의 물을 인공적으로 유도하여 저낙차 터빈을 회전시켜 전기를 생산하는 발전시설이다. 소수력발전은 국내부존 수력자원을 활용하여 전기를 생산하는 설비이므로 원자력, 화력발전 등 다른 에너지원에 비해 단위 출력당 투자비용이 많이 소요되나 수명이 길고, 운전·유지비용이 저렴하며, 조작제어가 간단하고 환경에 대한 영향이 거의 없는 청정한 에너지 설비이다.

일반적으로 소수력은 우리나라의 경우 10,000 kW 이하(2003. 1, 산업자원부 제 192호)의 소규모 발전설비를 나타낸다. 미국에서는 시설용량 15,000kW 이하, 중국에서는 시설용량 25,000 kW 이하를 말하지만 ASCE 기준에 의한 분류는 아래와 같다.

- Conventional : 15,000kW 이상
- Small-scale : 1,000kW ~ 15,000kW
- Mini : 100kW ~ 1,000kW
- Micro : 100kW 이하



낙차(Head)에 의한 구분은 다음과 같다.

- High head plants : 50m 이상
- Medium head plants : 15m ~ 50m
- Low head plants : 2m ~ 15m 이하

소수력발전은 높은 낙차를 이용하여야 하므로 입지여건에 따라 유리한 발전방식을 선택, 개발하여야 한다. 수력에너지 발전방식은 지형 및 수로 조건에 따라 다음과 같이 크게 구분될 수 있다.

1.1 수로식(run of river type)

하천경사가 급한 상류지역에서 수로를 통한 급류를 이용하여 터빈을 회전시켜 발전하는 방식이다.

1.2 댐식(stroage type)

하천경사가 낮은 중·하류 지역에서 풍부한 유량을 이용하기 위하여 댐을 설치하고 저수지 물의 낙차로 터빈을 회전시켜 발전하는 방식이다.

1.3 댐수로식(dam-waterway type)

굴곡이 심한 하천지역에 댐을 설치하고 저수지의 물을 수로(터널 등)를 통해 낮은 지역으로 유도함으로써 발생하는 낙차를 이용하여 발전하는 방식이다.

구미선진국과 중국 등지에서는 소수력 개발의 사회·경제적 중요성을 인식하고 수문학적 자료 등 기초 통계 자료의 확보와 기술 개발 및 보급에 힘을 기울여 소수력발전이 에너지원으로서뿐만 아니라 주요 산업으로 자리를 잡아가고 있으며, 소수력개발을 위한 자원의 타당성 평가 기법, 발전소의 최적 설계기법, 수차 발전 시스템의 표준화, 자동제어 시스템의 개발, 토목재료의 개발 및 최적 운용기법 개발 등으로 소수력발전소의 경제성 향상을 도모하기 위해 국가 차원에서 시범 소수력발전소를 개발하여 현재 수많은 소수력발전소가 가동·운영 중에 있다. 외국의 소수력발전소 운영현황은 표 1과 같으며, 세계적으로 매우 광범위하게 운영되고 있다는 것을 알 수 있다.

외국의 경우, 소수력발전소 1개소당 평균 발전용량은 약 1,000kW임에 비하여 우리나라의 경우에는 약 1,800kW로 외국에 비하여 매우 크다는 것을 알 수 있다. 이와 같은 현상은 일반적으로 소수력발전소의 발전용량이 증가할수록 경제성이 향상된다는 것에 기인하는 현상이지만, 외국의 경우에는 저낙차 소용량이면서 대용량에 비하여 경제성면에서 뒤떨어지지 않는 저낙차용 수차를 개발, 보급하여 경제성을 향상시켰기 때문이다. 특히 독일의 경우, 소수력발전소 1개소당 평균발전용량은 58kW로써, 이용 가능한 소수력자원을 적

<표 1> 주요국의 소수력발전 운영현황

국 명	발전소 수	용량(MW)	국 명	발전소 수	용량(MW)
아르헨티나	55	400	이 태 리	1,420	1,969
오스트리아	1,200	320	일 본	600	538
브 라 질	232	483	한 국	30	43
카 나 다	321	1,056	노르웨이	227	806
중 국	58,000	13,250	파키스탄	76	20
체 코	661	201	페 루	75	50
핀 란 드	156	313	루마니아	295	311
프 랑 스	1,479	1,646	스 페 인	1,102	1,010
독 일	5,882	341	스 웨 덴	1,346	8,406
인 도	100	53	터 키	53	83
인도네시아	66	58	미 국	1,715	3,420

주) 자료 : 국 내외 소수력개발 현황 및 전망(박완순, 이철형 : 한국에너지기술연구원)



〈표 2〉 국내 소수력자원 부존량

도 별	경기	강원	충북	충남	경북	경남	전북	전남	합계
입지수	114	869	208	118	584	245	156	106	2,400
부존량[MW]	22.9	259.8	71.8	26.1	110.6	46.9	27.4	17.0	582.5

출처) 국 내외 소수력개발 현황 및 전망(박완순, 이철형, 한국에너지기술연구원)

〈표 3〉 국내 소수력발전 제원

발전소	전력수급 개시일	시설용량 (kW)	'99매전량 (MWh/년)	시 설 장 소	소유법인
안 흥	1978. 6	450	2,106	강원 횡성군 안흥면 강림리	한국전력공사
봉 정	1993. 5	480 × 4	6,946	강원 정선군 북면 본정리	동진소수력
덕 송	1993. 3	1,000 × 2	6,552	강원 정선군 정선읍 덕송리	영동소수력
영 월	1994. 4	400 × 7	439	강원 영월군 영월읍 장양리	한국수력발전
연 천	1985. 5	3,000 × 2	6,154	경기 연천군 청산면 장탄리	현대건설
포 천	1986. 2	495 × 6	3,218	경기 포천군 영북면 대화산리	한국수력발전
추 산	1978. 8	600 × 2	4,459	경북 울릉군 북면 나리동	한국전력공사
임 기	1986. 8	550 × 2	2,171	경북 봉화군 법전면 놀산리	대동기업
소 천	1987. 7	480 × 5	10,028	경북 봉화군 소천면 현동리	한 여 울
봉 화	1988. 9	500 × 4	7,267	경북 봉화군 명호면 삼동리	현대건설
경 천	1995. 6	400 × 2	2,804	경북 문경시 동로면 마광리	경천소수력
반 변	1996. 10	530 × 2	2,869	경북 안동군 임하면 천전리	수자원기술공단
운 문	1998. 11	330 × 1	1,654	경북 청도군 운문면 대천리	수자원기술공단
성 주	1999. 9	500 × 3 300 × 1	2,219	경북 성주군 가천면 중산리	(주)성주발전
광 천	1991. 11	450	3,859	전남 승주군 주암면 광천리	수자원기술공단
동 진	1987. 1	500 × 4	3,728	전북 정읍시 정우면 우산리	연화산업
산 내	1989. 9	500 × 1 320 × 1	3,695	전북 남원군 산내면 장항리	산내소수력
대 아	1993. 6	500 × 6	-	전북 완주군 고산면 소항리	한국수력개발
부 안	1998. 6	193 × 1	1,494	전북 부안군 변산면 중계리	한국수자원공사
방우리	1987. 3	530 × 4	9,261	충남 금산군 부리면 방우리	서우수력
보 령	1997. 12	145 × 1 556 × 1	3,996	충남 보령시 미산면 상계리	한국수자원공사
괴 산	1957. 4	2,600	11,328	충북 괴산군 칠성면 사은리	한국전력
금 강	1988. 3	450 × 3	2,133	충북 옥천군 동이면 우산리	현대건설
단 양	1989. 4	350 × 6	10,111	충북 단양군 영춘면 사자원리	현대산업개발
계(24소)		42,164	108,491		

설명) 한국전력(주) 소유의 괴산, 안흥, 추산소수력발전소는 실제 발전량 기준이며, 기타 발전소의 경우 한전의 매입전력량 기준임.

연천 소수력은 '99. 12월 폐기.

출처) '99년도 신·재생 에너지관련 자료집(2000. 5, 산업자원부/에너지관리공단)



극적으로 개발하여 사용하고 있다는 것을 알 수 있다.

소수력발전 기술개발에 관한 정부차원의 사업은 제1차 석유파동 이후, 1974년 「소수력발전 입지조사」가 수행되었고, 1975년도에는 「시범 소규모 발전소의 연구조사 설계」가 수행된 바 있으며, 이를 기본으로 하여 한국전력공사에서 강원도 안흥에 설비용량 450kW의 소수력발전소를 건설한 것이 우리나라 국내 소수력의 효시이다. 그러나, 본격적인 소수력발전소의 개발은 제2차 석유파동 이후 대체에너지 개발의 중요성이 인식되면서부터 민간자본에 의한 소수력발전소의 건설을 장려하고, 개발에 수반되는 기술적인 사항에 관한 연구를 지원하기 시작하면서부터이다. 1974년 과학기술처와 한국 원자력 연구소에서 「소수력발전 입지조사」를 통한 국내 개발가능 자원량 평가를 수행한 결과, 표 2에 보이는 바와 같이 전국에서 2,400개소, 총 발전용량 582,500kW이 개발 가능한 것으로 추정되었다.

국내에서 가동되고 있는 소수력발전소의 설비용량은 표 3과 같이 3,000kW 미만이고, 대부분이 낙차가 큰 곳에 위치해 있다. 그러나 고낙차의 입지가 줄어들고 있어 앞으로는 저낙차 소수력 자원을 효과적으로 개발할 수 있는 기술의 개발이 필요하다. 아울러 소수력발전의 경제성을 극대화시킬 수 있는 소수력 발전소 최적 설계기법과 최적 운영기법 개발이 정부차원에서 적극적으로 추진되어야 할 것이다.

2. 소수력에너지원의 확장

전통적으로 소수력발전은 자연 지형이 만들어 준 물의 낙차를 이용한 것이었다. 근래에는 인공적인 시설에서 생기는 물의 낙차를 이용하는 소수력 에너지원으로의 확장에도 관심을 가지게 되었으며 아래와 같은 시설에서 소수력 발전이 가능하다.

2.1 하수처리장

하수처리장에서 처리된 방류수를 이용한 소수력발전은 다음과 같은 특징이 있다. 첫째, 일반 하천의 댐건설 등에 소요되는 토목공사비가 거의 없어 초기투자비 저감으로 하천을 이용하여 발전하는 것에 비해 경제성이 있다. 둘째, 안정적인 유량확보로 시스템의 고효율 발전이 가능하다. 셋째, 가동율은 하천(약 40 ~ 50%)의 두 배(약 90% 이상)로 발전량이 증대되는 등의 장점이 있다. 국내에서는 대표적으로 서울 가양, 난지 하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전 사업의 설계가 완료되어 있는 상태이며, 점차 지방자치단체에서의 추진의지가 확대되고 있는 실정이다.

2.2 정수장

취수댐으로부터 착수정까지 자연유하 시키는 정수장의 경우, 취수댐과 착수정사이의 낙차를 이용하여 수력발전이 가능하다. 정수장의 경우도 하수처리장과 마찬가지로 유량이 일정하여 연간 가동율이 90% 이상 되므로 일반 소수력발전에 비해 경제성이 우수하고 투자비 회수기간을 크게 단축시킬 수 있는 장점이 있다.

2.3 농업용 저수지

농업용 저수지는 관개시 표면수를 취수하여 사용해야하기 때문에 Cone 밸브 전단에 Y지관을 설치하여 수차 발전기를 설치하는 방법과 사이폰을 이용한 방법이 있다.

2.4 농업용 보

농업생산기반 정비사업 통계연보(1998, 농림부)에 의하면 농업용 저수지의 수와 거의 비슷한 약 18,000여 지점이 있다. 보의 높이는 위치에 따라 다르지만 대부분의 경우 2m 이하로 소수력발전용으로 사용하기에는 다소 낙차에 한계가 있다. 농업용 보의 이용방법은 기존 콘크리트



보의 상단에 Rubber댐등 가동보를 설치하여 소수력발전에 이용할 수 있다.

2.5 다목적댐의 용수로와 조정지

대형 다목적댐의 경우, 하천의 유량을 유지하기 위하여 항상 일정한 유량을 하천유지용수로 방출하고 있다. 수자원공사에서 관리 운영하는 대형 다목적댐의 하천유지용수와 조정지를 이용한 소수력발전소 개발이 활발하게 추진되고 있다.

2.6 화력발전소 냉각수

최근에는 화력발전소 냉각수 방류시의 낙차를 이용하는 소수력 발전이 실현되고 있다. 이 방식에서는 타 경우와는 달리 연중 내내 유량을 확보하게 되어 매우 유리한 여건이므로 많은 관심을 끌게 한다. 그러나, 화력발전소의 경우 해수를 이용하게 되므로 이에 대한 특별한 대책이 필요하다.

3. 발전소 방류수에 의한 소수력 발전 예

하천의 소수력 발전은 하절기에 집중되는 우리나라 강우 특성으로 인하여 발전가능기간이 제한을 받으나 화력발전소 방류구에서는 연중 방류량이 일정하여 이를 이용할 경우 연중 일정한 전력을 생산할 수 있을 것으로 예상된다. 발전소 방류구에서는 발전소에 따라 다르지만 미관상 보기 좋지 않은 거품이 발생하고 있고 온배수 열영향 등으로 인하여 지역주민 및 환경단체와 마찰가능성에 항상 노출되어 왔으나 새로운 수력발전 시스템을 도입하여 방류구의 시설 및 구조를 개선함으로써 이러한 문제를 방지할 수 있는 부수적인 효과도 기대된다.

화력발전소의 냉각수 방류를 활용하는 소수력 발전의 특징은 다음과 같다.

- 연중 고유량의 확보가 가능하다.(안정적인 유량확보)

- 해수이므로 부식 및 해조류 등의 부착이 심하다.
- 기존 화력발전소의 가동 중단 불가로 공사에 상당한 어려움이 있다.
- 조위에 따라 발전시간의 제한을 크게 받으며 발전소 하류 방류수위의 변화가 크다.
- 화력발전소의 배수로 및 방류구의 현황조건(개수로, Box culvert 등)에 따라 에너지 개발에 영향을 받는다.
- 방류수 전량을 활용하는 안과 일부를 활용하느냐에 따라 공사비 규모 및 기존 화력발전소의 순환수계통에 영향 및 관련성이 크게 좌우된다.
- 발전소 부지외에 주로 소수력 발전을 계획하게 되므로 공유수면 사용허가 등 관계 기관과의 협의·승인등이 필요하다.
- 해변에 접하고 있으므로 태풍, 해일등에 취약할 수 있다.

국내외적으로 화력발전소의 해수방류수를 이용한 소수력발전은 거의 없는 것으로 파악되고 있다. 그러나 일본의 경우 해수양수발전소가 운영되고 있으므로 적용 가능성은 증대될 수 있을 것이다. 따라서 이러한 이유로 삼천포 화력발전소의 복수기 냉각수의 수력에너지이용을 위한 소수력 발전 건설은 그 자체로써 많은 의미를 갖고 있으며, 1847년 소수력 방식 Francis turbine을 개발한 이래 최근의 흐름식발전기로서 Helical 수차의 개발 등 지금까지의 수력발전 특히 저낙차 수차의 개발기술을 감안할 때 적용 방안을 찾아 볼 수 있을 것이다.

한국남동발전(주)이 보유하고 있는 삼천포화력발전소는 경상남도 고성군에 위치한 발전소로 총 발전설비용량이 3,240MW이다. 이 발전소에서 복수기 냉각을 위하여 해수를 끌어다 쓰고 다시 바다로 방류하게 된다. 이때 방류하는 해수가 약간의 낙차를 갖고 있기 때문에 이를 이용하여 소수력 발전설비를 설치하였다. 세계 최초 사례로 기록되는 이 설비는 검토 단계에서부터 여러 가



[그림 4] 삼천포화력발전소 소수력발전소 전경

지 어려움이 많은 프로젝트였다. 실제 건설 단계에서는 검토단계에서 고려되지 않은 공사사례도 발생하는 등 많은 난관이 있었지만 건설에 성공하였다. 따라서 앞으로 유사 프로젝트에서 좋은 참고가 될 것이라고 생각된다. 설비용량은 주화력 발전에 비하면 아주 작으나 유류대체 효과와 온실가스인 CO₂ 저감량을 생각한다면 친환경프로젝트라는데 큰 의의를 둘 수 있다.

삼천포화력발전소에서 냉각수로 사용되고 방류되는 해수는 약 150CMS(100MWe당 약 5ton/sec)로서 약 3,000kW 이상의 수력에너지를 보유하고 있으나, 이 에너지는 더 이상 활용되지 못하고 그대로 해양으로 방류되고 있었다. 그림 1의 사진에서 삼천포화력발전소에 설치된 소수력 발전시스템은 발전소 온배수의 원활한 배수를 위한 설계 낙차와 함께 남서해안의 조위변화에 따른 낙차를 이용하는 목적 즉, 소수력 발전 방식과 조력발전 방식의 특징을 동시에 활용하는 목적으로 계획되어 건설되었으며 이 프로젝트의 개요는 아래와 같다.

- 설비용량 : 2,965kW(494.2kW × 6기, 최대 설비용량 : 5,412kW)
- 공사비 : 199.5억원(정부지원금 30억 포함)

- 공사기간 : '05. 09 ~ '06. 11
- 연간발전량 : 22,756MWh
- 유류대체효과 : 5,690 Ton/년
- CO₂ 저감량 : 17,300 Ton/년

이 프로젝트의 산업·경제적 측면의 필요성은 미활용 에너지의 회수를 통한 전력생산으로 전력회사의 원가절감에 기여하고, 국내기술을 활용함으로써 관련 국내산업에 미치는 영향이 클 것으로 기대된다. 이 프로젝트를 통하여 청정에너지로서의 수력발전의 장점을 부각시키는 기회가 될 수 있으며 또한 최근 중요시 되고 있는 청정에너지 및 대체에너지에 대한 투자를 통한 사회적인 기여와 미활용 에너지의 회수를 통한 발전회사의 원가절감이라는 두 가지 측면에서 매우 중요성이 높다고 할 수 있다.

그동안 대형 화력발전소의 해수 방류수를 이용한 수력발전 방안에 대한 검토가 개략적으로 시도되어 기술적 가능성은 충분한 것으로 밝혀졌으나 시공성, 경제성에 대한 충분한 검토가 이루어지지 않은 면도 있었다. 그러므로 향후 예상되는 여러 형태의 개별 화력발전소의 해수 방류수를 이용한 소수력발전 프로젝트의 타당성에 대한 심도 있는 연구는 계속 수행 되어야 할 것이다. (KIPED)