

소수력 수차발전기의 선정 주안점

이 경배¹⁾, 이 은웅²⁾

The Essential Point for the Selection of Small Hydropower Turbine & Generator

Gyeong-Bae Lee, Eun-Woong Lee

Key words : Small Hydropower(소수력발전소), Turbine Generator(수차발전기)

Abstract : We have studied the prearranged plan and the economy of a candidate site for the development of small hydro power. And also we have confirmed its economy by suggesting the technology of the unmanned operation and the selection of the water turbine generator which has a great efficiency, working rate and suitability to the topographical characteristics of various development sites, for example, irrigation reservoirs, water works pipes, sewage systems and cooling water of a steam power station. Besides we give more examples of the selection of Francis, propeller turbine and induction generator which can achieve a maximum of power production at a minimum construction cost. With a water turbine which runs at the low head, we are able to suggest many programs to boost a development of small hydro power more economically.

1. 서론

에너지 자원의 절대부족으로 국내 수요의 97% 이상을 해외에서 수입해야 하는 우리나라는 탄산가스 규제와 기후변화협약에 따르고 화석에너지의 고갈에 대비하며 환경오염 및 지구온난화에 대처하기 위하여 신·재생에너지를 개발하여 보급률을 높이려는 국가정책이 마련되었다. 2006년까지 1차 에너지 소비량의 3%, 2011년까지는 5% 목표로 중장기 신·재생에너지 기본계획을 구체적으로 수립하여 추진하고 있다⁽¹⁾.

개발되고 있는 신·재생에너지는 환경친화성, 비고갈성 및 기술주도형의 특성을 지니며 이산화탄소(CO₂)를 거의 발생시키지 않고 지속적이거나 무한하게 공급되는 미래 에너지원이기는 하나, 장기적인 선행투자에 따른 경제성 확보와 시장장점의 불확실성 때문에 정부주도로 개발되고 있다.

신·재생에너지의 한 분야인 소수력은 발전시설 용량 10,000kW 이하의 수력발전으로 국내의 자연적인 지역조건과 조화를 이루며, 부존 잠재량이 많고 특히 탄산가스를 배출하지 않는 청정에너지로서 범세계적인 환경오염 규제에 적극적으로 대비하며 지역의 분산전원에 기여할 수 있는 유용한 자원으로 평가되고 있다.

그래서 대규모 수력발전의 개발에 비해 경제성이 빈약하다고 보아지던 소수력 개발의 필요성이 증대되고 있다.

최근 유가 급등으로 인하여 안정된 전력의 확보라는 관점에서 자연의 순환에너지인 물을 이용한 수력발전개발의 필요성이 확대되고 있으나, 전 세계적으로 대규모 수력발전 개발지점은 한정되어 있고 환경보호 때문에 저수를 위한 댐 공사가 점점 어려워지고 있다. 그러나 소규모 수력발전 개발지점은 많이 남아 있다⁽²⁾.

소수력을 개발하기 위해서는 기존 상하수도 시설물을 비롯한 농업용저수지 등에 개발지점의 특성, 발전방식, 시설용량과 가동율 등을 고려한 타당성과 투자비와 수익성을 계산한 경제성이 높은 지점을 찾아내어 개발하기 위한 구체적인 연구가 필요하다.

소수력의 경제성을 높이기 위해서는 발전입지 조건이 개발에 적합한 곳에 가동율과 효율이 좋은 수차발전기를 설치 운영해야 경제성을 확보할 수 있다. 특히, 소수력 수차발전기는 건설비가 차지하는 비율이 크고 준공 후에도 지속적으로 유지관리하여야 하는 설비이다⁽³⁾.

선진국에서는 수차발전기 형식별로 적합한 장

1) 책임 저자의 소속 : 한국수자원공사
E-mail : leeekb@kowaco.or.kr
Tel : (061)749-7221 Fax : (061)745-6404
2) 저자의 소속 : 충남대학교
E-mail : ewlee@cnu.ac.kr
Tel : (042)821-5652 Fax : (042)821-8895

소와 설비 표준화 작업을 이미 완료하고 나차와 유량에 따라 적합한 수차발전기 형식을 표준화하여 대량생산에 의한 생산비와 건설비용을 절감하여 보급확산에 주력하고 있으나, 우리나라는 개발지점의 수력 제원에 근거한 주문생산 방식에 의하여 설계제작하고 있기 때문에 표준화간소화 작업이 미흡한 실정이다.

소수력 개발은 장기 투자사업으로 투자의 효용성을 극대화하기 위해서는 우리나라 실정에 적합한 저낙차 영역까지 안전범위를 확대한 최신기술로 설계 제작되는 수차발전기를 채용하여 가동율과 효율을 높일 수 있어야 경제적 타당성이 있어 소수력 개발이 촉진될 수 있다.

본 논문에서는 국내 소수력 개발지점의 수자원과 지형특성에 적합한 소수력 수차발전기를 선정하는 주요점을 제시하여 국내에서 절실히 요구되고 있는 산재생에너지의 한 분야인 소수력을 개발보급하기 위한 기초자료로 사용하고자 한다.

2. 국내 소수력 개발 현황

소수력 발전은 국내 부존자원을 활용하는 전력 생산으로 운영비가 저렴한 장점 등이 있는 반면에 대수력이나 양수발전과 같이 점두부하에 대한 기여도가 적을 뿐만 아니라 초기 투자비용이 크며 계절과 강수량에 따라 가동율 변동이 심하다는 것이 약점이다. 그러나 화력 및 원자력과 비교할 때 환경에 미치는 영향이 거의 없는 청정한 에너지이고 초기의 투자비에 비하여 유지관리비용이 아주 적으며 지역의 특성 및 수차발전기 형식에 따라 경제성을 높일 수 있어 에너지 자원이 빈약하여 대부분 수입에 의존하는 우리나라는 각 지역에 산재한 부존 소수력의 적극적인 활용이 필요하다. 소수력은 공사기간이 1년 이내이고 일부 형식을 제외하고는 수차발전기 국산화율이 80% 이상을 상회하고 있어 타 대체에너지원에 비하여 단기간에 에너지 생산이 가능한 에너지원이다⁽⁴⁾.

우리나라에서의 소수력 개발은 국내 부존자원량에 대한 경제성 부족과 주변 지역민의 각종 민원으로 개발이 미진하였다. 그러나 최근에는 지역 에너지사업과 연계한 소수력개발 자원조사, 장기저리의 시설자금 융자지원, 전력판매단가의 조정, 수차발전기의 국산화 및 정부의 보급확대정책 등으로 소수력 개발에 유리한 여건이 조성되고 있어 지방자치단체, 정부투자기관 등 공공기관이 사업주체가 되어 농업용 저수지, 수도용 관로, 하수종말처리장, 기력발전소의 해수 방류수 및 중소규모 댐 등의 기존 시설물을 이용한 소수력 개발이 추진되고 있다. 그리고 기존 시설물을 이용하면 토목공사비를 최소화하여 건설비를 절감할 수 있고 수차발전기 국산화로 경제성이 확보될 수 있어 활발하게 추진되고 있다. 현재 우리나라에는 표1과 같이 개인사업자 14개소, 수자원공사 11개소, 한전 및 자회사 6개소, 지자체 4개소(하수종말처리장 3개소, 정수장 1개소), 농업기반공사 1개소 등 36개소에 총 발전시설용량 50,455kW의 소수력 발전소가 가동 중에 있다. 발전시설용량 100kW 이하가 2개소, 1,000kW 이하가 13개소, 10,000kW 이하가 21개소로써 임하수력발전소의 시설용량(50,000kW)에 근접하는 시설용량이며, 연간전기

생산량은 약120백만kWh에 달하고 있다.

현재 평균 시설용량은 1,401kW이고, 시설용량은 1,000kW 이상이 70% 이상을 차지하고 있어 1988년 이전의 평균 시설용량인 1,648kW와 비교하면 작은 소수력발전소가 건설되고 있다는 것을 알 수 있다.

Table 1 소수력 발전소 현황

발전소	개발자	설비용량kW	발전소	개발자	설비용량kW
포천 임기 소천 방우리 금강 봉화 단양 산내 영월 덕송 정선 대아 경천 성주	한국수력발전(주)	1,485	괴산	한수원	2,600
	대동기업(합)	1,200	안흥	한수원	450
	한여울(주)	2,400	보성강	한수원	4,500
	서우수력(주)	2,120	산청	동원발전	400
	(주)크린에너지	1,350	무주	남동발전	400
	(주)크린에너지	2,000	광천		450
	한석소수력(주)	2,100	반면		1,060
	산내소수력(주)	820	운문		330
	한국수전(주)	2,800	보령		701
	(주)덕송수력	2,600	부안	수자원 공사	193
(주)정선소수력	1,920	황성		1,000	
한국수력개발(주)	3,000	영천		1,000	
경천소수력	800	밀양		1,350	
(주)성주발전	1,800	용담		4,100	
아산	아산시	36	안동		1,500
천안	천안시	40	성남		340
천상 진해	울산시	250	동진	농업기 반공사	2,000
	진해시	10			
추산	한전	1,400	계	36개소	50,455

3. 수차와 발전기의 개발현황

3.1 수차

소수력은 토목, 기계, 전기, 제철제어부문 등의 복합적인 시스템 기술로 구성된다. 소수력 발전소 건설비의 약25%를 차지하는 수차는 소수력발전소의 중요한 설비이다.

국내 소수력의 수차 설치 현황은 표2와 같다. 소수력 발전소에 설치된 수차 설치대수 총 95기이고 그중 국산 수차는 1986년에 가동된 임기소수력부터 현재까지 46기에 이른다. 국산 수차가 개발되기 전에는 대부분 외국에서 도입하였기 때문에 고가이었고 유지보수용 부품확보에 어려움이 있었다⁽⁵⁾.

국산 수차는 외국에서 제작한 수차와 비교해서 가격은 싸지만 효율은 대등하고 설계 및 제작의 품질과 수차 부속설비(개도조절장치, 수밀장치, 냉각설비 등)가 미흡하여 지속적인 기술개발이 필요하다.

수차 기술개발은 한국에너지기술연구원에서 추진하여 카플란 수차, 튜블러 수차 설계기술로 많은 부분의 국산화를 이루었고, 현재는 저낙차용 프란시스 수차의 표준화 설계모형개발이 진행되고 있다. 이와 같은 국산화 노력으로 카플란, 프란시스, 튜블러 수차는 대부분 국산화되었으나 사류수차, 횡류 수차, 펠톤 수차 등은 개발되어야 한다.

소수력 자원면에서 다른 나라에 뒤지지 않은 우리나라는 소수력 개발 지점의 특성에 적합한 수차를 표준화하고 건설비용을 절감시켜 경제성을 향상시킬 수 있다면 소수력 발전을 많이 개발할

것이다. 따라서 앞으로 다양한 국내 미활용 소수력 개발지점의 특성과 개발조건에 맞는 수차의 표준화 및 간소화 기술을 개발하여 초기 투자비의 20~30%이상을 절감할 수 있도록 산학연 협동이 절실히 필요하다.

Table 2 수차 설치 현황

제작회사	국명	수차대수	발전소명
대양전기	한국	46	임기, 덕송, 대아, 경천, 정선, 운문, 동진, 평성, 영천, 밀양, 안동, 용담제2, 무주, 안홍, 아산, 천안, 천상, 진해
Obermaire	미국	17	봉화, 단양, 영월
Flygt	스웨덴	15	소천, 방우리, 동진, 반변
Dependable	캐나다	4	산내, 광천, 부안, 보령제1
Fuji	일본	4	주산, 용담제1
ACEC	벨기에	3	금강
Hitachi	일본	2	보성강
James Leffel	미국	2	괴산
Ossberger	독일	1	산청
ATA	필란드	1	보령제2
계		95	36개소

3.2 발전기

소수력에 사용하는 발전기는 유도발전기와 동기발전기가 있다.

국내의 소수력 발전소에 설치되어 운전중인 발전기 형식은 표3와 같다.

Table 3 발전기 형식

구분	시설용량(kW)	발전소
동기	500이하	포천, 주산제2
	1,000이하	덕송, 주산제1
	1,500이하	괴산
	3,000이하	보성강
유도	500이하	임기, 소천, 방우리, 금강, 봉화, 단양, 산내, 영월, 정선, 대아, 경천, 성주, 광천, 운문, 보령, 아령, 부안, 평성, 영천, 안동, 안홍, 산청, 무주, 동진, 아산, 천안, 천상, 진해
	1,000이하	반변, 밀양
	1,500이하	용담제1
	3,000이하	용담제2

유도발전기는 여자장치, 동기투입장치 등이 필요한 동기발전기 보다 구조가 간단하여 유지보수 측면에서 경제적이다. 유도발전기는 발생한 전압, 주파수가 병렬로 연계된 전력계통과 일치하지 않는다. 따라서 전력계통과 병렬 투입할 때 전압과 주파수가 일치하지 않아 돌입전류가 발생하기 때문에 발전기의 운용과 접속되는 전력계통에 미치는 영향 등을 충분히 보완할 수 있도록 하여야 한다.

다. 동기발전기는 전압 조정이 쉽기 때문에 계통에 영향이 없고, 또한 단독으로 계통운전도 가능하기 때문에 정전시 비상(Backup) 전원으로 이용할 수 있다. 그러나, 유도발전기에 비해 시설비용과 유지비용이 높은 단점이 있다. 현재 국내 발전기 제작기술은 발전기 형식에 관계없이 베어링을 제외하고는 95%이상이 국산화되어 있다.

4. 수차와 발전기의 선정 주관점

4.1 수차

수차형식은 발전소 건물의 면적, 낙차, 수압철관, 수조, 방수로 등의 설계와 수차효율에 영향을 주어 경제성을 지배하는 주요인이다. 수력발전소는 물이 흐르고 낙차가 있는 곳이라면 어디든지 건설할 수 있는 만큼 자연적인 지형조건이 유리한 지점을 선정하고 그 지점에서의 유량과 낙차에 적합한 수차를 선정하여야 한다. 따라서 소수력 개발에 따른 경제성 확보를 위해서는 수차의 선정이 가장 중요하다. 국내의 지형적 특성이나 소수력개발 환경 측면에서 볼 때 소수력 개발지점은 자연환경에 변화를 주는 기존의 일반하천 개발 위주에서 농업용 저수지, 수도용 관로, 하수종말처리장, 기력발전소 냉각수 등 기존 시설물을 이용하는 소용량 저낙차 소수력 개발위주로 진행될 전망이다. 따라서 국내에서 적용 가능한 수차 형식은 소용량 저낙차 용으로 한정되며, 수차형식 선정이 경제성을 좌우하게 된다. 저낙차의 소수력 수차는 단위 유량당 생산전력이 적어 고낙차에 비해 단위출력당 비용이 많이 소요되나, 개발 지점 선정이 용이하고 환경훼손이 적은 장점이 있다. 이러한 국내의 소수력에 적합한 수차를 선정하는데는 개발지점의 유량(Q)이나 정격낙차(H)를 기초로 하여 효율, 비용 등 많은 파라미터를 고려하여야 한다. 발전기 조건 및 특성을 분석하여 제작업체와의 협조하에 낙차에 맞는 유량조정 필요여부, 가동시간, 발전효율 등을 고려한 개발지점에 적합한 수차를 채용하여야 한다. 그리고 건설비용과 유지보수, 운영비용을 최소화하고 발전편의를 최대화할 수 있어야 한다.

수차는 형식에 따라서 사용할 수 있는 낙차(H)와 유량(Q)에 따른 수차 제작회사의 수차선정도를 활용하여 수차형식을 선정한다. 발전지점의 출력과 유효낙차가 결정되면 비속도(N_s)를 구할 수 있으므로 이에 의해 회전수(N)를 구한다. 이때 수차의 회전수를 높게 구하면 발전기가 작아지고 효율이 좋아지며 수차발전기를 소형화할 수 있어 구조물과 건물 또한 줄일 수 있으므로 경제적이다. 따라서 가능한 한 높은 비속도의 수차를 선정하여 실제 수차 회전수를 높이는 것이 바람직하다.

펠톤 수차는 비속도가 적어 100m이상의 고낙차에 유리하고 프란시스 수차는 15~200m의 광범위한 낙차범위에서 유리하며, 비속도가 높고 효율이 좋은 프로펠러 수차는 저낙차 지점에 적합하다.

프로펠러 수차는 대부분의 시간을 런너를 조금 열고 운전해야 하는 경우에는 부적당하나 여러 대의 수차로 부하를 분담 운전하는 경우는 유리하다. 운전시간을 모르는 경우는 근사치를 적용하여

계산한다. 이러한 선정방법에 의해 부적절한 형식의 수차는 고려대상에서 제외하고, 나머지 형식에 대해 즉 어느 형식이 kWh당 비용이 최저가 되며, 가중평균효율이 최고가 되는가를 각각 검토하여 결정해야 한다⁽⁶⁾. 그리고 낙차와 유량, 가동시간 등을 고려한 수차의 효율을 선정요소로 결정해야 한다.

4.2 발전기

최근 3,000kW 이하 시설용량의 소수력용으로 적용되고 있는 발전기는 건설비용 및 경제성을 확보하기 위해서 유도발전기를 채용하는 것이 일반적이다. 유도발전기는 구조가 간단하고 보수와 점검이 용이하며, 여자장치를 필요로 하지 않기 때문에 소수력에 많이 채용한다⁽⁷⁾.

소수력용 유도발전기를 전력계통에 병렬 투입할 때 연계계통으로부터 무효전력을 취하여 고정자 권선을 여자하므로 별도의 여자설비가 필요 없으며, 초기여자시 상당한 돌입전류가 유입되면서 연계계통에 발전기 기동에 따른 전압강하가 발생하여 연계선로에 접속되어 있는 일반 부하에 악영향을 미친다. 그러므로 발전기 기동에 따른 전압강하가 10%이하로 유지되도록 연결 지점의 돌입전류에 대한 억제대책을 강구하여야 한다.

따라서 발전기의 선정시 유도발전기와 동기발전기의 장단점을 비교하여 적용여부를 충분히 검토할 필요가 있다.

또한 발생한 전압과 주파수가 병렬로 연계된 전력계통과 일치하게 되는 조절기능이 없는 유도발전기는 여자장치와 동기투입장치가 필요한 동기발전기보다 구조가 간단하여 설치공사 및 유지보수 측면에서 매우 경제적이다. 유도발전기를 채택할 경우에는 한전 송전 연계선로에 전압저하방지를 위하여 역률개선용 콘덴서나 돌입전류를 적게 하는 한류리액터를 설치해야 한다.

소수력 발전소의 경우 경제적인 측면을 고려하여 일반 배전선로에 연결하기 때문에 근처 전력수용가에 영향을 미칠 수 있어 유도성 전류에 따른 전압강하를 검토해야 한다. 따라서 소수력 발전소 주요선과 한전배전선로(22.9kV) 연결지점 및 근처 수용가 지점 등을 기준으로 계통병입에 따른 전압강하를 검토하여 전압강하 기준치(10%) 이하가 되도록 억제되어야 한다.

5. 결론

소수력은 환경 훼손이 상대적으로 적은 청정에너지면서 에너지 밀도가 높고 지역의 분산전원에 기여할 수 있는 유용한 에너지원이다. 그래서 선진국에서도 소수력 기술개발에 노력하며 개발 지원사업이 활발하게 진행되고 있다.

소수력은 국내 부존 자원량은 상당한 데 경제성이 부족하여 개발이 미진하였는데 최근에는 공공기관에서 민원발생 우려가 없는 기존 시설물을 이용한 소수력을 개발하여 타당성이 입증되고 있다.

소수력 개발은 장기 투자사업으로 한정된 투자비로 투자의 효율성을 극대화하기 위한 발전방식, 시설용량, 수차발전기 형식, 발전소 운영방법 등에 대한 기술력을 제고시켜야 건설비용과 상업발

전개시후의 운영비용을 절감할수있을 수 있어 경제성을 높일 수 있다. 따라서 일반 하천이나 기존 시설물을 이용한 농업용 저수지, 수도용 관로, 하수종말처리장, 기력 발전소의 냉각수 등 개발범위가 다양한 국내의 소수력 자원 특성에 적합한 수차발전기의 형식선정이 중요하다. 그리고 소수력 수차발전기의 형식에 따라 유량 및 낙차변화에 따른 효율 특성이 크게 다르고 전력생산량, 공사비 등에 큰 영향을 미치어 경제성을 좌우하게 된다.

소수력 발전소 개발은 부족한 에너지를 일부 부담하고 환경오염을 덜게 하는 효과가 있으므로 다음과 같은 다각적인 노력이 필요함을 제안한다.

① 기존 시설물인 농업용 저수지, 정수장, 하수처리장, 기력발전소 냉각수를 이용하는 등 다변화되는 소수력발전에 맞는 수차발전기의 선정 기준을 체계화하고 발전설비 기술기준 제정이 필요하다.

② 우리나라 특성에 적합하고 효율이 높은 수차발전기뿐만 아니라 보조설비 및 제어설비에 대한 기술을 개발하고 표준화하여야 한다.

③ 발전소 준공후의 운영유지비 절감을 위하여 최신 IT기술을 접목한 무인화 시스템을 표준화하여야 한다.

④ 인허가 절차의 획기적인 간소화와 소수력발전기에 필요한 전기사업법 개정 및 개발보급을 위한 관련법령을 시급하게 개정하여야 한다.

⑤ 소수력개발의 민간투자 활성화를 위해 차액지원기준가격 재산정을 통한 소수력의 적정기준가격 현실화와 총 건설비의 30%수준까지 보조금 지원 등 정부의 제도적 기반확충이 필요하다.

References

- [1] "제2차 신-재생에너지 기술개발 및 이용-보급 기본계획", 산업자원부, p.9, 2003.12
- [2] SHINJI KATO, NOBUKAZU HOSHI, & KUNITOMI OGUCHI "Small-Scale Hydropower" IEEE Industry Applications Magazine, pp.32-38, 2003.08
- [3] 이경배, 김영국, 백두현, 이은용, "국내 소수력 발전기술현황과 전망" 대한전기학회 2003 하계학술대회논문집B권, pp.762-764, 2003.07
- [4] 日本 新 Energy-産業技術綜合開發機構(NEDO : New Energy and Industrial Technology Development Organization), "Micro 水力 發電 導入 Guide Book", pp.5-54, 2003.03
- [5] 박완순, 이철형, "소수력발전소의 경쟁력강화에 의한 개발활성화방안 연구", 산업자원부, 1999-N-SH08-P-06, pp.30-37, 1999.12
- [6] 이경배, "소수력 수차발전기의 선정과 무인화 운영기술", 충남대학교 대학원 석사학위논문, pp.36-37, 1999.12
- [6] Kikuo Fukuchi, Masamichi Shigehara, Hideaki Mimura, "富士時報" 第55卷 第5號, 1982