

소수력발전 기술

이 글에서는 소수력발전의 개요 및 관련 기술에 관하여 소개하고자 한다.

이철형 / 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부, 책임연구원 e-mail : lchg@kier.re.kr
 박완순 / 한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부, 책임연구원 e-mail : pwsn@kier.re.kr

에너지자원이 절대 부족하여 에너지 해외 의존도가 97% 이상인 우리나라의 입장에서는 에너지 해외 의존도를 경감시키고 에너지를 안정시키기 위하여 국내의 부존에너지를 최대한 활용하는 것이 매우 중요하다. 또한 지구온난화에 대처하는 범세계적인 규제에 대비하기 위하여, 청정한 에너지를 적극 개발하여 에너지 자립도를 향상시켜야 한다.

소수력발전이란

소수력 자원은 다른 대체에너지원에 비하여 에너지

밀도가 매우 크기 때문에 개발할 가치가 큰 부존 자원으로 평가되고 있다. 정부에서는 소수력 자원의 최대 활용과 소수력발전소의 개발을 촉진하기 위하여 1982년 ‘소수력 개발 방안’을 제정하여, 민간자본에 의하여 소수력발전소를 개발할 수 있도록 하였다.

우리나라의 경우, 소수력발전은 설비용량이 10,000kW 이하의 수력발전소를 말하며, 소수력발전소의 개발자에게 기계·전기설비의 100%, 토목공사비의 25%를 5년 거치 10년 분할상환으로 융자하여 주고 있다. 또한 소수력발전소에서 생산된 전력은 73.69원/kWh(2005년 기준)으로 전량을 매입하여 주고 있다.

소수력발전은 화력 및 원자력과 비교할 때 환경에 대한 영향이 거의 없는 청정한 에너지로서, 현재 전 세계적으로 문제시되는 지구온난화에 대처하는 범세계적인 규제에 대비하기 위하여, 환경보전에 많은 영향을 미치는 소수력 자원을 적극 개발하여야 할 것으로 사려된다.

소수력발전 방식

소수력발전소의 발전방식은 지형조건에 따라 결정되며, 수로식, 댐식 및 터널식 소수력발전소로 분류한다.

수로식 소수력발전소는 하천을 따라서 환경사의 수로에 댐을 설치하고 하천의 급경사와 굴곡 등을 이용하여 수로에 의해서 낙차를 얻는 방식으로, 일반적



물의 위치에너지를 이용한 소수력발전

으로 경사가 급한 하천의 상·중류에 적합한 형식이며, 댐은 월류식으로 채택되는 경우가 많다.

댐식 소수력발전소는 주로 댐에 의해서 낙차를 얻는 형식으로 발전소는 댐에 근접해서 건설하고 일반적으로 경사가 완만하고 유량이 풍부한 하천의 중·하류에 적합한 형식이다. 댐식 소수력발전소는 하천 홍수의 범람 정도와 댐 상류의 농경지 및 가옥 등의 수물관계를 충분히 고려하여 댐의 높이를 결정하여야 한다.

터널식 소수력발전소는 댐식과 수로식을 혼합한 방식으로 하천의 형태가 오메가(Ω)형인 지점에 적합하며, 자연낙차를 크게 얻을 수 있고 댐은 일반적으로 월류식으로 한다.

수차의 종류 및 특징

소수력발전의 경우, 수차발전기는 소수력발전소 건설비 중 차지하는 비율이 크고, 소수력발전소 운영기간 내 지속적으로 유지·관리하여야 하는 중요한 핵심기이다.

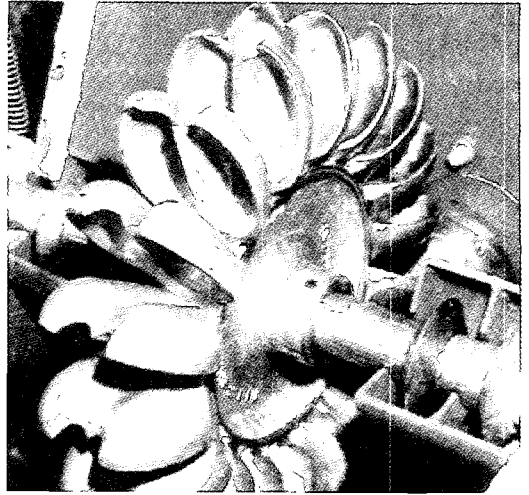
수차는 크게 중력수차, 충격수차, 반동수차로 대별할 수 있다. 중력수차는 물레방아와 같이 물의 중량을 이용하는 방식으로 발전용으로는 거의 사용하지 않는다. 일반적으로 수력발전용으로 충격수차와 반동수차가 주로 사용된다. 이와 같이 수차를 분류함에 있어서는 수차가 회전력을 얻는 방식에 따라 분류한다.

충격수차는 저유량 고낙차에 적합한 수차로 물의 위치에너지 전부를 운동에너지로 변환시킨 jet를 이용하여 회전력을 얻는다. 반동수차는 저낙차와 중낙차에 사용되는 형태로 물이 수차를 통과할 때 압력과 속도를 동시에 이용하여 회전력을 얻는다.

대표적인 충격수차는 펠톤수차를 예로 들 수 있으며, 반동수차로는 프란시스수차와 프로펠러수차를 들 수 있다.

또한, 수차의 특성은 $Ns = nP^{0.5} / H^{1.25}$ 로 표시되는 비속도에 좌우된다. 여기서 n 은 수차의 회전수(rpm), P 는 수차의 출력(kW), H 는 낙차(m)를 나타낸다.

일반적으로 충격수차는 반동수차에 비하여 작은



펠톤수차 런너의 외형

비속도 범위에서 사용된다. 펠톤수차는 10~25의 비속도 범위에서 사용되고, 프란시스수차는 50~350, 프로펠러수차는 250~1,200의 비속도 범위에서 사용된다.

수차의 중요한 특성 중 하나로 무구속속도(runaway speed)를 들 수 있다. 소수력발전기가 발전 중에, 송전망의 고장 등으로 발전기가 갑자기 무부하가 되는 경우가 있다. 이 경우, 수차 쪽으로의 송수를 갑자기 차단하면, 격심한 수격현상이 일어나, 수압관의 파괴 등에 의해 대형사고를 일으킬 위험이 있다. 따라서, 유량을 수격작용이 허용한도 내에 머물도록 천천히 잠그고, 그러는 동안, 발전기 축은 오버런해서 꽤 높은 회전속도에 달한다. 이 때, 도달하는 최대 회전속도를 무구속속도라 부른다. 무구속 속도비(무구속속도/정격속도)는, 수차의 형식에 따라 다르고, 비속도가 큰 것일수록 크다.

펠톤수차의 무구속속도는 1.6~1.9 정도이며, 프란시스수차는 1.4~2.0, 프로펠러수차는 1.4~2.0 정도이다.

펠톤수차는 수압관을 따라 수차입구까지 유도된 물은 니들밸브 모양의 노즐을 통해 속도가 급속히 가속되어 대기압 상태의 고속 제트로 분출된다. 이와 같은 제트가 런너의 버킷에 유입되어 반사할 때 동력이 발생한다.

노즐에서 유량을 조절하여 출력을 변화시키기 위해서 노즐의 니들밸브를 유압 서보모터로 조절한다. 각 노즐의 유량을 독립적으로 조절하기 위해서는 노즐마다 니들밸브 조절용 서보모터가 설치된다.

노즐의 출구에는 디플렉터(deflector)가 붙어 있다. 송전선의 사고 등으로 발전기가 갑자기 무부하로 되었을 때, 니들을 급히 닫으면 수격현상이 일어나게 되므로 니들을 닫는 대신에 디플렉터로 제트의 방향을 급히 바꾸어 수격현상을 방지하고 런너의 구동토크를 0으로 하여 발전기의 오버런을 피할 수 있다. 또한 제트 브레이크는 물을 차단한 후 수차의 감속을 빠르게 하고, 감속에 따라 부하 능력이 적어지는 베어링, 특히 스러스트 베어링(thrust bearing)을 보호해준다.

펠톤수차에서는 노즐을 줄여 유량을 감소시켜도 버킷에서의 속도삼각형에는 별 변화가 없고 효율의 변화도 적다. 이 때문에 펠톤수차는 설계점에서 다른 수차에 비하여 효율이 다소 낮으나 넓은 범위에서 높은 효율을 나타낸다. 특히 노즐수가 많은 수차에서는 사용하는 노즐수를 줄여서 최대 출력의 10%까지도 효율저하가 적으며 이는 다른 수차에서 볼 수 없는 특징이다.

횡류수차는 1903년 호주의 기술자인 A.G.M. Mitchell에 의해 개발되었다. 1916년부터 1918년까지 D. Banki에 의해 일련의 실험들이 행해지고 작동이론이 체계화를 이루었다. 횡류수차는 횡류 날개자를 러너로 사용하고 노즐로 증속된 2차원 제트를 런너 주위에 충돌시켜 구동 토크를 발생시킨다. 런너에서 운동에너지를 잃은 유동은 그대로 방수면으로 낙하한다.

횡류수차는 원리상 펠톤 수차에 매우 가까운 충격 수차이다. 노즐을 축 방향으로 분할하여 펠톤수차와 같이 낮은 출력에서도 효율적이므로 기존의 수차 중 저낙차, 소수력용으로 적합하다. 현재 횡류수차의 통상적인 효율은 70% 정도로 다른 수차에 비해 효율이 떨어지는 편으로 낙차 7.5~100m, 출력 50~1,000kW 정도의 소수력 발전에 적합하다.

수압관을 빠져나온 물이 두 번의 충돌과정을 거치는데, 첫 번째 단에서 런너 블레이드에 충격력을 전

달하고 직경방향으로 반대편 런너 블레이드에 두 번째 충격력을 전달하는데, 그 효율이 첫 번째 단보다 많이 떨어지는(전체 유체력 중에서 두 번째 단의 추력이 26~30% 정도이다) 것으로 알려져 있다. 두 번째 단에서는 유동의 방향을 조절할 수가 없기 때문에 효율면에서 불리하다. 또 토출되는 유동의 운동에너지를 흡수하기 위한 흡출관의 사용이 수월하지 않다.

프란시스 수차의 구조는 원심펌프의 구조와 거의 같다. 단지 유동의 방향과 회전방향이 반대이다. 고압의 물은 수압관을 통해 스크롤 케이싱(scroll casing)을 통해 안내기에 도달한다.

프란시스 수차는 기존 발전소에서 가장 많이 사용되는 낙차 범위에서 적용하므로 제작되는 전체 수차의 70%를 점유하고 있다. 구조는 비교적 단순하다. 특히 런너는 가변부분이 없는 일체로 되어 있고, 구조는 비교적 단순하여 소수력발전용 수차로도 많이 사용된다.

프란시스 수차 런너의 형상은 비속도에 따라 다르며, 비속도가 큰 런너일수록 주조 또는 용접조립에 의해 제조되며 주강, 스테인리스 주강의 재료가 사용된다.

프란시스수차의 안내기는 증속 원형날개열로 되어 있고, 유동을 가속함과 동시에 선회속도성분을 일으킨다. 프란시스 수차의 반동도(런너의 압력강하/전압력강하)는 보통 50% 이상으로 하여 안내기에서 운동에너지는 유효낙차의 절반 이상이다.

선회하면서 유입되는 유동은 런너 출구에서 완전히 선회속도를 잃으며 축방향으로 토출된다. 따라서 안내기 출구의 흐름은 런너에 유입되는 각운동량이 모두 런너의 토크가 된다. 런너를 나온 유동은 흡출관에서 감속되고 운동에너지는 압력에너지로 환원된다. 이는 손실이 최소가 되도록 설계된다.

프란시스 수차의 효율은 회전수와 안내기가 열림 정도에 따라 변한다. 수차는 설계된 열림 정도에서 효율이 최고로 되는 회전수에서 운전된다. 출력을 줄이기 위하여 안내기를 닫으면, 유량이 감소함과 동시에 유동의 방향도 변하여 런너 입구에서의 상대유입 각이 런너 블레이드의 입구각에서 벗어나 충돌손실

이 증가하여 효율이 감소한다. 부분부하에서 효율이 낮은 것이 프란시스 수차의 결점중의 하나이다. 한편, 최대효율을 얻을 수 있는 설계출력은 최대출력의 80~90%로 선정되어 부분부하 운전을 포함한 평균효율이 최대가 되도록 고려되어 있다.

동익형 축류펌프의 역으로 운전되는 것이 프로펠러 수차이다. 프로펠러수차의 반응도(degree of reaction)는 보통 70~80%이다.

프로펠러수차는 형태에 따라 튜브(tube)수차, 카프란(Kaplan)수차, 벌브(bulb)수차 및 림(rim)수차 등으로 구분한다.

프로펠러 수차 중 카프란수차는 런너가 축류식인 점 외에는 구조, 원리 모두 프란시스 수차와 공통점이 많다.

카프란수차는 안내깃의 열림 정도에 따라 런너 베인의 각도를 변화시켜, 부분부하에서 효율저하를 방지한다. 스크롤 케이싱, 안내깃을 통한 선회류는 90도 방향을 바꾼 다음에 축류 런너 베인을 구동한다. 런너를 빠져나온 유동은 흡출관에서 감속되어 운동 에너지가 흡수된다. 카프란수차는 속도 조절기가 안내깃과 런너 베인 양쪽을 연동시켜 제어하고 우수한 부분부하 효율을 발휘한다. 이에 반해 고정 날개 프로펠러 수차는 부분 부하 효율이 낮다.

낙차가 10~20m 이하로 카프란 수차가 사용되기에는 낙차가 너무 작은 경우에는 수직축 카프란 수차에서는 유동이 두 번 90도 방향을 바꾸어야 하므로 이에 의한 손실이 저낙차에서는 상대적으로 커지므로 수평축 카프란수차는 유로 형상이 단순하고, 저낙차에서 수직축보다 효율이 높다.

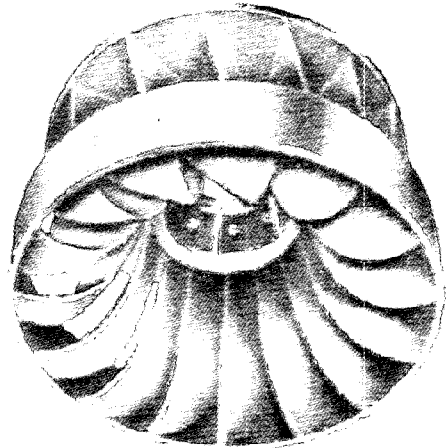
소수력발전 개발 현황

우리나라에는 현재 38개소의 소수력발전소가 운영되고 있으며, 총 용량은 53,255kW로서 이는 의암댐의 발전용량을 훨씬 상회하는 용량이다. 이는 국내 부존 잠재량의 3.2%, 개발 가능량의 21.2% 정도 밖에 안 되는 양으로서 소수력 에너지의 활용 확대를 위해서는 국민의 인식변화, 관련 기술개발, 정부의 제도적 기반 확충 및 관련 산업의 육성 등 다

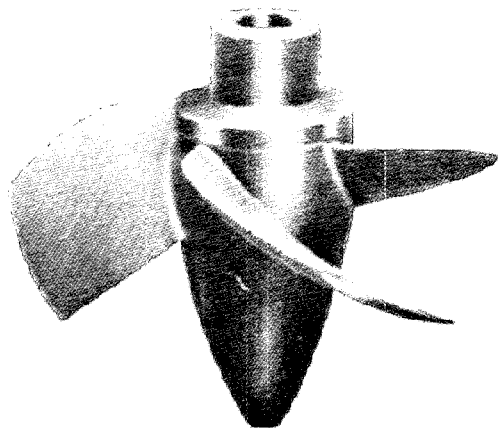
각적인 노력이 필요하다

소수력발전 개발 초기에는 주로 하천을 이용하여 개인 사업자에 의해 소수력발전소가 건설되었으나, 민원 등의 문제로 인하여 개발이 극히 위축되어, 최근에는 기존 구조물을 이용한 소수력발전소를 개발하는 추세이다.

현재까지 개발된 소수력발전소를 유형별로 구분하여 살펴보면, 하천에 개발된 소수력발전소는 15개소 29,745kW, 기존 대댐을 이용한 소수력발전소



프란시스수차 런너의 형상



프로펠러수차 런너의 형상

가 11개소에 10,634kW, 정수장을 이용한 소수력발전소가 두 개소에 590kW, 하수처리장을 이용한 소수력발전소가 세 개소에 86kW, 농업용저수지를 이용한 소수력발전소가 다섯 개소에 8,600kW, 양수발전소의 하부댐을 이용한 소수력발전소가 세 개소에 2,600kW 등이다.

소수력발전소는 전 세계적으로 매우 광범위하게 운영되고 있다. 아시아권에서는 중국이 58,000개소에 13,250MW, 일본이 600개소에 538MW로서 가장 많이 운영되고 있으며, 유럽의 경우 독일이 5,882개소에 341MW, 프랑스가 1,479개소에 1,646MW, 이태리가 1,420개소에 1,969MW, 스웨덴이 1,346개소에 8,406MW, 스페인이 1,102개소에 1,010MW, 노르웨이가 227개소에 806MW 등으로 매우 많은 소수력발전소가 건설되어 운영되고 있다.

독일의 경우, 소수력발전소 한 개소당 평균발전용량은 58kW로서, 이용가능한 소수력자원을 적극적으로 개발하여 사용하고 있으며, 중국의 경우도, 평균발전용량이 약 230kW이다.

우리나라의 경우, 소수력발전소 한 개소당 평균발전용량은 약 1,400kW로 독일과 중국 등에 비하여 매우 크다. 향후 우리나라의 소수력발전용량을 증가시키기 위해서는 부존자원을 효과적으로 개발할 수 있도록 정책적인 지원이 요구된다.

소수력발전의 개발 전망

소수력발전은 국내 부존 자원량에 비해서 경제성이 부족하여 개발이 미진하였다. 그러나 최근에는 지역에너지 사업과 연계한 소수력 개발 자원조사, 장기저리의 시설자금 융자지원사업의 확대, 전력판매단가의 보장, 수차발전기의 국산화 및 정부의 보급 확대정책 등으로 소수력 개발에 유리한 여건이 조성되어 기존 시설물인 농업용 댐, 하수종말처리장, 수도사업장의 용수로 관로, 중·소규모댐의 방류량을 이용한 소수력 개발이 추진되고 있다.

소수력 개발이 가능한 후보지 대상은 농업용 저수지는 유효저수량 300만 톤에 유역면적 15km² 이

상, 하수종말처리장은 하수처리용량이 20,000톤/일 이상, 정수장은 시설용량이 50,000톤/일 이상, 농업용 보는 기존 콘크리트 보의 상단에 가동보를 설치하면 낙차를 확보할 수 있어 소수력을 개발할 수 있다.

하천의 수계 및 농업용 보에 라버(Rubber)댐, 정수장의 관로, 폐광 용출수, 양어장의 순환수, 기력발전소의 해수 방류량, 양수발전소의 하부저수지 등 미활용 소수력 자원을 이용하면 개발지점은 매우 다양하다고 할 수 있다.

특히, 하천을 이용한 댐식의 경우 대규모 댐건설에서 발생하고 있는 님비(NIMBY)현상이나 지역간의 물고싸움, 환경단체의 반발과 같은 문제를 일으킬 소지가 극히 적다.

소하천을 이용한 취수보를 설치할 경우 생공용수, 하천유지용수 및 관개용수 등으로 이용하며 경관이 좋은 위치라면 수상레저와 같은 관광개발로 지역경제에 도움을 줄 수 있어 경제성 타당성만 입증되면 적극적인 개발이 요망된다.

소수력 개발 보급 잠재량은(총 1,500,000kW) 일반하천 1,412,500kW, 농업용 저수지 48,000kW, 다목적 댐의 하천 방류수 6,744kW, 하수 종말처리장 5,300kW, 정수장 2,500kW, 농업용 보 5,000kW, 양식장의 순환수 및 기력발전소의 냉각수 19,956kW)이고, 개발 가능량은 227,544kW(일반하천 147,000kW, 농업용저수지 48,000kW, 다목적댐의 하천방류수 6,744kW, 하수 종말처리장 5,300kW, 정수장 2,500kW, 농업용 보 5,000kW)이므로 허가 절차를 간소화하고 전력매입단가 현실화를 통한 경제성을 확보하면 부존 잠재량을 개발할 수 있다. 2005년 현재 소수력 시설용량이 50,455kW로서 부존잠재량의 약 3.2%로 극히 적은 비율이며, 개발 가능량의 약 21.2%에 불과하여 개발여지가 아주 많다.

소수력 전기사업 허가가 관련법(전기사업법, 하천법 및 환경영향평가법)에는 10,000kW까지 개발할 수 있으나, 관련법은 하천을 이용한 댐식 발전방식의 맥락으로 제정되어 있고, 하천의 송전선로 연결

문제로 3,000kW 이하로 개발되고 있는 것이 현실이다. 또한, 2004년도에 시설용량 200kW 이하까지의 허가절차는 일부 간소화되었지만, 200kW 이상은 발전사업 인?허가 절차가 복잡하고 규제가 심하여 발전사업을 추진하기에는 많은 어려움이 있으므로 관련법을 획기적으로 개정하면 소수력 개발이 활성화될 수 있다고 본다.

소수력발전의 필요성

우리나라는 연평균 강수량이 1,274mm로서, 비교적 강수량이 풍부하고 전국토의 2/3가 산지로 구성되어 있어 지형적 및 수문학적으로 소수력 자원이 많이 부존하고 있다.

우리나라의 소수력 자원 개발은 부존자원량에 비하여 개발이 부진하였으나, 최근에는 원유공급의 불확실성 및 유가의 상승 우려로 부존자원의 최대 활용 필요성 증대, 한국전력공사에서의 전력 매입단가의 현실적인 조정, 소수력개발 관련기술의 정립 및 시스템의 국산화 및 정부의 대체에너지 개발의 촉진 및 지원정책 등으로 소수력자원 개발에 유리한 여건이 조성되고 있다. 소수력발전은 사회적, 환경적 잇점으로 최근에는 선진국에서도 큰 관심을 가지고 있다. 특히 경제적 잇점 중의 하나는 초기의 투자에 반하여

유지관리비가 아주 낮다는 점이다.

소수력발전의 장점은 ① 풍부한 국내 부존자원 활용, 전력생산 ② 짧은 계획, 설계 및 시공기간 ③ 낮은 투자비용 ④ 민간 및 지자체 주도의 투자참여로 지역개발 효과 ⑤ 발전소 수명이 길고 운영비가 저렴함 등을 들 수 있다.

반면에 소수력발전의 단점은 ① 전체 투자비에 대한 조사 및 엔지니어링 비용의 비중이 큼 ② 출력기 기상과 계절의 영향을 받음 ③ 발전소 가동률은 설치에 따른 지형특성, 적응처에 따라 달라지며 이에 따라 경제성이 좌우될 수 있다는 점이다.

소수력 자원을 경제적으로 개발할 수 있도록 하기 위해서는 우리나라 소수력 자원의 특성에 적합하고 효율이 높은 수차발전기를 국산화하여 소수력발전소에 적용하여야 하며, 향후 소수력 자원의 최대 활용을 위하여 저 낙차용 수차 등을 표준화 개발하여야 한다.

아울러 축적된 기술을 이용하여 통일을 대비 북한에 설치 운영 중인 소수력발전 시스템의 노후설비 교체 및 소수력 자원 개발과 동남아 등 외국에 플랜트 수출을 위한 소수력발전 산업기반의 확충이 필요할 것으로 사료된다.

기계용어해설

적외선 가열(Infrared Heating)

적외선 가열은 전자파에 의하여 전달되는 복사열을 이용하여 물체를 가열하는 것으로 산업체에서 많이 이용되고 있다. 적외선 열원의 종류에 따라 고온 급속가열에서부터 저온 가열까지 다양한 종류의 가열에 활용된다. 열원은 화석연료를 직접 사용하는 히터로부터 전기에너지 사용하는 히터를 목적에 따라 선정하여 사용할 수 있는데 전기 히터를 사용하면 배출 가스가 없는 청정한 환경에서의 가열이 가능하다. 전자파에 의하여 열이 전달되는 특성상 열전달 매체가없는 진공 환경에서 가열에는 필수적이다. 그리고 전자파의 중요한 특성인 직진성 때문에 열원 및 가열 대상의 형상이 중요한 인자가 되므로 멍푼한 물체보다는 평판과 같이 면적이 넓은 물체의 가열에 유리하다.