

## 소수력용 수차의 종류 및 설치 예

최 영도<sup>1)</sup>, 김 유택<sup>2)</sup>, 이 영호<sup>3)</sup>

### Classification and Installation Cases of Small Hydraulic Turbine

Young-Do Choi, You-Taek Kim, Young-Ho Lee

**Key words** : Small hydropower(소수력발전), Hydraulic turbine(수차), Head(낙차), Flow rate(유량), Water supply system(상수도관로), Sewage water recycle center(하수재처리시설)

**Abstract** : Recently, small hydropower attracts attention because of its clean, renewable and abundant energy resources to develop. However, suitable turbine type is not normalized yet in the range of small hydropower and it is necessary to study for the effective turbine type. Moreover, relatively high manufacturing cost by the complex structure of the turbine is the highest barrier for developing the small hydropower turbine. Therefore, this study is trying, not only, to classify the type of current operating turbines installed in the domestic power plants and turbines supplied in Japan by Japanese manufacturer, but also, to examine the practical turbine type and installation site to extract the small hydropower energy effectively.

#### 1. 서론

석유나 석탄 등의 화석연료의 대량소비는 지구 온난화와 산성비 등의 환경문제를 발생시키고 있고, 한정된 자원으로 인하여 화석연료의 고갈이라는 문제에 직면해 있다. 이러한 문제점들에 대한 대책으로서 현재 주목받고 있는 것이 재생 가능한 자연에너지이다. 그 중에서 소수력발전은 물의 자연순환을 이용하는 것으로서 이산화탄소 등의 가스배출이 없기 때문에 온실효과 등에 의한 지구환경에 대한 부하가 거의 없는 깨끗하고 재생 가능한 에너지이며, 안정적인 전력공급의 확보 및 지구환경보전 등의 관점에서 앞으로 더욱더 계획적으로 개발이 촉진되어야 하는 중요한 자연에너지이다.

소수력발전에서 수차발전기는 소수력발전소 건설비 중에서 차지하는 비율이 높고, 준공 후에도 지속적으로 운영 관리하여야 하는 가장 중요한 설비이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 수차의 종류 및 특성에 대하여 간략하게 정의하고, 국내에서 현재 운전중인 수차 및 일본의 주요업체 5개사에서 최근 납품한 400set의 소수력용 수차의 납품실적을 근거로 하여 낙차, 유량 그리고 수차종류별 현황을 검토하였다.

또한, 최근 도입이 활발하게 진행중인 수력발전시설로서 상수도관로 말단의 정수장 입구 및 하수재처리시설의 관로 등에 설치되어 종래에는 폐기되었던 압력에너지를 효율적으로 이용하는 소수력발전용 수차의 도입사례를 소개한다.

#### 2. 수차의 종류

발전설비에 이용되는 수차는 약 100년의 역사를 갖고 있다. 지형에 따라 다양한 낙차와 유량이 있기 때문에 수차도 이에 맞추어 다양한 종류가 사용되고 있다. 이 때문에 각각의 지점에 맞는 수차를 선정할 필요가 있으며, 이것은 주로 효율의 관점에서 선정하게 된다. 잘못된 선정을 하는 경우에는 수차의 효율이 저하할 뿐만 아니라 진동이나 소음이 크게 되는 경우가 많으며 수차의 수명도 짧아지게 된다.

실제의 수차 선정에 있어서는 제조사와 협의 하여 유량조절운전의 필요 유무 등도 고려하여 각각의 지점에 최적인 수차를 선정하는 것이 중요하다. 일반적인 수차의 종류는 Table 1에 보이는 바와 같이 그 발전원리에 따라 구분할 수 있다. 한편, 각 수차별 일반적인 소수력발전 적용 범위에 대해서는 Table 2에 보이는 바와 같으며, 각 수차의 낙차 및 유량에 대한 성능특성에 따라서 구분되어 사용되고 있다.

- 
- 1) 한국해양대학교 산학협력단  
E-mail : ydchoi@ivlab.net  
Tel : (051)410-4940 Fax : (051)403-0381
  - 2) 한국해양대학교 기관시스템공학부  
E-mail : kimyt@mail.hhu.ac.kr  
Tel : (051)410-4258 Fax : (051)404-3985
  - 3) 한국해양대학교 기계정보공학부  
E-mail : lyh@mail.hhu.ac.kr  
Tel : (51)410-4293 Fax : (051)403-0381

Table 1 수차의 종류

수 차	충동수차	펠톤수차	
		횡류수차	
		Turgo impulse 수차	
	반동수차	원심식	프란시스수차
		사류식	Deriaz 수차
		축류식 (프로펠러 수차)	튜블러수차 일체형 수차
펌프수차	원심식	프란시스형	
	사류식	사류형	
	축류식	프로펠러형	

Table 2 소수력용 수차의 적용범위

Turbine type	Variable	Range	Unit
Pelton	Output power	100~5,000	kW
	Flow rate	0.2~3	m <sup>3</sup> /s
	Head	75~400	m
Cross flow	Output power	50~1,000	kW
	Flow rate	0.1~10	m <sup>3</sup> /s
	Head	5~100	m
Turgo impulse	Output power	50~1,000	kW
	Flow rate	0.1~10	m <sup>3</sup> /s
	Head	5~100	m
Francis	Output power	200~5,000	kW
	Flow rate	0.4~20	m <sup>3</sup> /s
	Head	15~300	m
Tubular	Output power	200~5,000	kW
	Flow rate	1.5~40	m <sup>3</sup> /s
	Head	3~18	m
Straight flow	Output power	10~600	kW
	Flow rate	0.5~4	m <sup>3</sup> /s
	Head	3~20	m
Submerged	Output power	30~850	kW
	Flow rate	0.6~12	m <sup>3</sup> /s
	Head	2.5~20	m

2.1 충동수차

압력수두를 갖는 물을 노즐로부터 분출시켜서 전부 속도수두로 전환시키며, 분출수의 충동에 의하여 러너를 회전시키는 구조의 수차를 말한다. 펠톤수차, 횡류수차 그리고 Turgo impulse 수차가 대표적이다.

펠톤수차는 노즐로부터 분출하는 물을 러너 주변의 버킷에 충돌시키고, 회전 조절은 노즐의 니들밸브의 전진·후퇴에 의해 분출수를 가감하거나, 분출수가 버킷에 닿지 않도록 디플렉터로 분출수의 방향을 바꾼다. 펠톤수차는 일반적으로 200m 이상의 고낙차에 사용되지만, 중소수력용 펠톤수차로서는 횡류형이 주로 사용되고, 최소낙차 75m까지 사용가능하다. 횡류수차는 소수력

플랜트 개발의 활성화와 함께 경제성 면에서도 각광을 받고 있는 수차이며, 중저낙차로 사용유량이 적고, 유량변화가 큰 수로식 발전소에 적합한 수차이다. 횡류수차의 출력 상한은 1,000kW 정도이지만 구조가 간단하고, 운전보수가 용이하며, 펠톤수차와 비슷하게 유량변화에 따른 효율특성이 비교적 좋고 경부까지의 넓은 운전영역을 가지고 있으며, 기기 가격도 저렴한 것이 특징이다. Turgo impulse 수차는 펠톤수차와 같이 주요부는 러너와 노즐로 구성되어 있지만, 노즐로부터 분출된 물은 러너의 평평한 면에 대각선 옆으로 3~4개의 익에 동시에 분출되어 러너를 구동시키는 것이 특징이다.

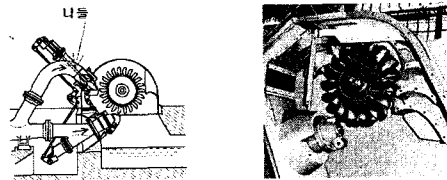


Fig. 1 펠톤수차

2.2 반동수차

압력수두를 갖는 물의 수압을 러너에 작용시키는 구조의 수차를 말하며, 소수력발전용으로는 프란시스수차와 프로펠러수차가 대표적이다.

프란시스수차는 물을 러너의 외주로부터 중심을 향하여 유입시키며, 수압에 의해 러너를 회전시키고 흡출관을 지나 방수정으로 보낸다. 고낙차에서 저낙차까지, 또는 대용량에서 소용량까지 넓은 범위에 사용되고, 구조도 간단하므로 중소수력 발전에 있어서 제일 많이 채용되고 있다. 또한, 유량이 많고, 낙차가 매우 낮은 곳에 프란시스수차를 사용하면, 수차의 효율이 현저히 저하하므로, 그 대체용으로 고안된 것이 프로펠러수차이다. 튜블러수차가 주로 사용되며, 대략 3~18m의 저낙차에 적합하다.

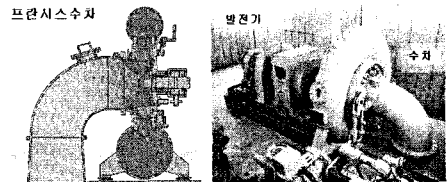


Fig. 2 프란시스수차

2.3 펌프수차

일반적으로 사용되는 원심펌프, 사류펌프 또는 축류펌프에 물을 역으로 흘려보내, 펌프를 역방향으로 회전시켜서 발전에 사용하는 수차이다. 러너의 익 형상 이외는 펌프와 같은 부품을 사용하므로 저가이지만, 효율은 다른 종류의 수차보다 낮다.

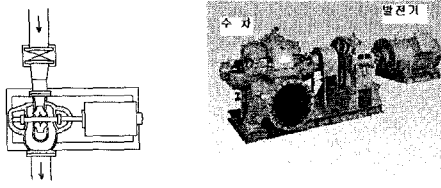


Fig. 3 펌프수차

### 3. 소수력용 수차의 도입현황

국내의 소수력발전소에 설치되어 현재 운전중인 수차 및 일본의 주요업체 5개사에서 납품한 400set의 소수력용 수차의 납품실적을 근거로 하여 도입현황을 정리하였으며, 최근 상수도관로시스템 및 하수처리시설의 배수관로 등에 소수력발전용 수차를 도입한 사례에 대해서 소개하고자 한다.

#### 3.1 국내 소수력용 수차 설치현황

국내 소수력발전소에 설치된 수차의 종류별 낙차 및 유량분포를 Fig. 4에 보이고 있다. 프란시스수차는 비교적 고낙차, 저유량역에서 많이 사용되고 있고, 프로펠러수차는 저낙차의 넓은 유량범위에서 사용되고 있다. 또한, 프로펠러수차의 일종인 카플란수차와 Bulb수차는 비교적 중저낙차 및 중저유량역과, 저낙차 및 중고유량역에서 주로 사용되고 있음을 알 수 있다. Fig. 5에서도 알 수 있듯이 프란시스수차는 비교적 고낙차 영역에서 많이 설치되고 있음을 알 수 있다.

따라서, 현재 국내에 설치되어 사용되고 있는 수차는 거의 반동형수차가 대부분이기 때문에, 각 지점의 낙차와 양정을 고려하여 고효율로 발전할 수 있는 충동형수차의 도입도 기대된다.

#### 3.2 일본의 소수력용 수차 납품현황

일본의 주요업체 5개사에서 납품한 400set의 소수력용 수차의 납품실적을 근거로 하여 낙차 및 유량에 따른 각 수차별 납품실적을 Fig. 6에 보인다. 횡축펠턴수차, 횡류수차, Turgo impulse수차, 중축프란시스수차, 카플란수차, 펌프수차 등 대부분의 수차는 일반적인 수차의 적용범위와 납품실적이 유사함을 알 수 있다. 그러나, 중축펠턴수차는 저낙차 범위에서도 일부 납품되었으며, 횡축프란시스수차도 저유량에 상당수 납품되었음을 알 수 있다. 또한 튜블러수차도 넓은 유량범위에서 납품되고 있음을 알 수 있다.

Fig. 7은 수차를 낙차별, 수차종류별로 구분하여 나타낸 것이다. 낙차별로는 중낙차(20m~150m 미만, 270set), 저낙차(20m 미만, 102set), 고낙차(150m 이상, 28set) 순임을 알 수 있다.

낙차별로 세분해보면, 저낙차용은 중축펠턴수차, 프로펠러수차, 펌프수차의 순이다. 또한 중낙차용은 횡축프란시스수차, 펌프수차, 횡류수차의 순이며, 고낙차용은 횡축펠턴수차, 중축프란시스수차, 횡축프란시스수차 순이다. 저유량 고낙차에 유용하다고 알려진 펄슨수차가 마이크로수차의 저낙차용으로 많이 납품되고 있는 것은 특이할 만한 사항이다.

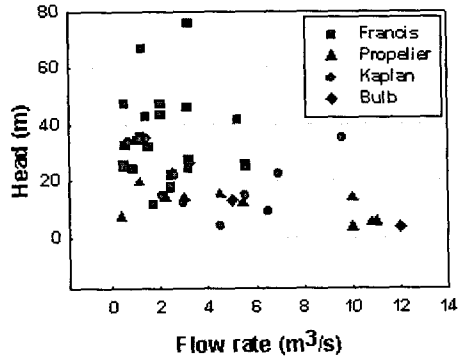


Fig. 4 국내 소수력용 수차의 설치현황

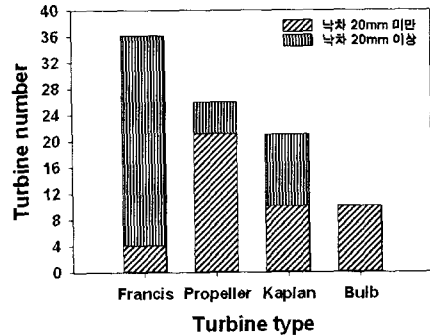


Fig. 5 국내 낙차별·수차종류별 설치현황

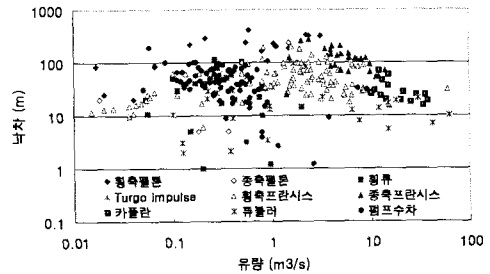


Fig. 6 소수력용 수차의 납품현황 (일본)

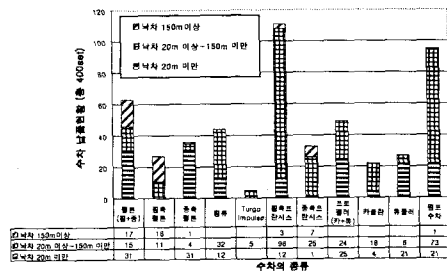


Fig. 7 낙차별·수차종류별 납품현황 (일본)

### 3.3 소수력용 수차의 최근 설치사례

중래의 소수력용 수차의 설치지점은 일반적으로 중소규모 댐이나 제방 등에 한정되어, 수로를 통한 유입수의 낙차와 유량을 이용하여 발전하였으나, 최근에는 도심지의 상수도관로나 하수재처리시설 등에서 폐기되어온 관로말단의 압력에너지를 이용하여 일정한 낙차와 유량으로 고품질의 전력을 생산할 수 있게 되었다. 중래에는 댐 등에 수력발전소를 건설할 경우 막대한 토목공사비가 필요하였으나, 이와 같은 기존의 시설을 이용할 경우 수차발전기를 신규로 설치하더라도 건설비를 크게 절감할 수 있는 장점이 있기 때문에 소수력발전의 보급에 큰 도움이 될 수 있다.

Table 3은 일본의 동경전력(주)에서 설치하여 공공기관 및 지방자치단체에서 관리하고 있는 소수력발전소의 개요를 보이고 있으며, Fig. 8에서 Fig. 10은 각 발전소별 전경과 수차발전기의 설치상태를 보이고 있다. Egasaki 소수력발전소는 상수도관로에 Bypass 관로를 설치하여, Bypass 관로내의 일정한 압력과 유량을 이용하여 소수력용 수차로 발전을 하고 있다.

Table 3 Small hydraulic Power station in Japan

Power station	Installation site	Specification	
Egasaki	City water supply system	Max. output	170kW
		Ave. output	80kW
		Annual energy generation	540,000kWh
		Business power generation	April 2003
		Type of turbine	Twin Axial Flow Propeller Turbine
		Manufacturer	Fuji Electric Systems Company
		Discharge	0.9m <sup>3</sup> /s
Kasai	Sewage water recycle center	Max. head	36m
		Max. output	37kW
		Ave. output	10kW
		Annual energy generation	100,000kWh
		Business power generation	July 2004
		Type of turbine	Axial Flow Propeller Turbine
		Manufacturer	Fuji Electric Systems Company
Riheichaya	Water reserved dam (for anti-land slides)	Discharge	0.93m <sup>3</sup> /s
		Max. head	5m
		Max. output	90kW
		Ave. output	70kW
		Annual energy generation	530,000kWh
		Business power generation	May 2006
		Type of turbine	Axial flow propeller turbine
		Manufacturer	Fuji Electric Systems Company
		Discharge	0.96m <sup>3</sup> /s
		Max. head	35m

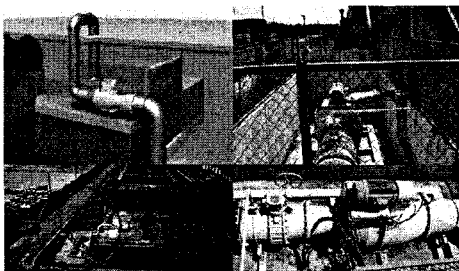


Fig. 8 Egasaki 소수력발전소 (일본)

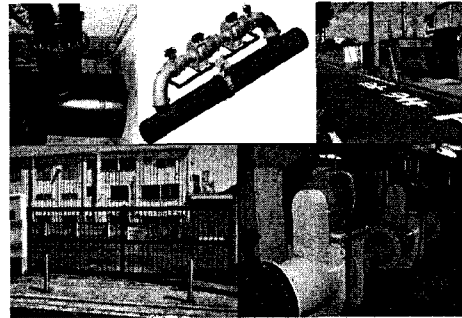


Fig. 9 Kasai 소수력발전소 (일본)



Fig. 10 Riheichaya 소수력발전소 (일본)

또한, Kasai 소수력발전소에서는 하수재처리시설의 배수관로에 수차를 설치하였으며, Riheichaya 소수력발전소에서는 산사태 방지용 옹벽에 저수조를 설치하여 발전하고 있다.

## 4. 결 론

소수력용 수차의 종류 및 특성에 대하여 간략하게 정의하였고, 국내에 설치된 수차 및 일본의 기업에서 최근 납품한 소수력용 수차의 납품실적을 분석하여 다음과 같은 사실을 알 수 있었다.

- 1) 국내에 설치된 수차중 비교적 고낙차, 저유량역에서는 프란시스수차가 많이 사용되고 있고, 저낙차의 넓은 유량범위에서는 프로펠러 수차가 사용되고 있다.
- 2) 소수력용으로 가장 많이 사용되는 수차는 횡축프란시스수차, 펌프수차, 펠튼수차의 순이고, 낙차별로는 중낙차용, 저낙차용, 고낙차용의 순이다
- 3) 최근에는 상수도관로나 하수재처리시설 등의 배수관 등에 소수력발전용 수차를 설치하여 관로말단의 압력에너지를 효율적으로 이용하여 고품질의 전력을 생산할 수 있다.

## References

- [1] 신에너지재단, 2005, "중소수력발전 가이드북" (일본어)
- [2] 마이크로수력발전 도입 가이드북 검토위원회, 2003, "마이크로수력발전가이드북" (일본어)