

구미하수처리장 방류구에서의 소수력발전 설치 및 운영에 관한 연구

Feasibility Study on the Construction of Small Hydro-Power Plants in Gumi Sewage Treatment Plant Discharge Point

나동훈 · 이승환*

Dong-Hun Nah · Seung-Hwan Lee*

금오공과대학교 환경공학과

(2009년 11월 1일 접수 ; 2010년 2월 18일 1차수정 ; 2010년 3월 22일 2차수정, 2010년 3월 26일 채택)

Abstract

This study was conducted to investigate the possible installation of small hydro-power plant at the discharge point of Gumi sewage treatment plant (STP) using treated wastewater. Sufficient amount of water to transfer to electric power and the selection of proper location are two essential elements for the construction of small hydro-power facility. Preliminary analysis based on site visit and existing data in Gumi STP were made. Capacity of the small hydro-power plants and exact location were determined by geomorphological condition and flow duration characteristics. Flow duration characteristics and its duration curve were identified using monthly rainfall data in Gumi STP. Relevant facts of small hydro-power system in other STP were referred to adopt to Gumi STP situation. Flowrate of treated effluents and effective head between flow chamber and the location of hydraulic turbine in Gumi STP are found to be 3.70m³/sec and 3.5m respectively. Electric generation rate based on this feasibility study was estimated to be 86.3kW/h. Yearly electric generation rate was expected to be 932.4MWh. Proposed small hydro-power plant construction in Gumi STP is to be reasonable.

Key words : small hydro power, sewage treatment plant, electric generation

주제어 : 소수력발전, 하수처리장, 전기발전

1. 서론

석유나 석탄과 같이 현재의 주 에너지원인 화석에너지는 한정된 자원량과 특정 지역에서의 편중으로 인해 항상 불안정한 요소를 지닌다. 또한 환경과 파괴에 대한 비판의 소리와 더불어 국제유가가 지속적으로 상승하면서 대체 에너지 개발이 시급히 필요한 실정이다. 인류는 화석에너지의 의존도를 줄여나갈 뿐만 아니라 환경에 영향을 미치지 않고 고갈될

염려가 없는 새로운 에너지원을 찾아 오래 전부터 대체에너지와 청정에너지 개발을 위하여 노력하고 있다. 태양열·지열(地熱)·풍력·조력(潮力)·수력 등의 자연 에너지가 그 대표적인 예이다. 그 중에서 소수력발전에 의해 생산된 에너지는 공해가 없는 청정에너지로 다른 대체에너지에 비해 높은 에너지 밀도를 가지고 있어 개발 가치가 충분한 것으로 평가받고 있다 (김길호, 2008). 이러한 소수력발전은 일반하천, 농업용저수지, 하수처리장, 정수장 등의 수자원을 이용하여

* Corresponding author Tel:+82-54-478-7632, Fax:+82-54-478-7629, E-mail: dlee@kumoh.ac.kr(Lee, S.)

만들 수 있다. 특히 하수처리장이나 정수장 등 기존구조물을 이용한 소수력 개발의 경우 하천에서의 소수력발전에 비하여 댐과 부속건물 설치비가 소요되지 않으므로 수력발전소 건설비의 약 60% 정도만 소요되고, 하천에 적용되는 소수력발전소의 가동률이 연간 약 40~50%임에 반하여 하수처리장의 경우에는 연중 일정한 처리수가 방류되므로 가동률이 90%이상 유지되며, 안정적으로 에너지를 공급할 수 있다는 장점이 있다. 소수력발전은 토목공사비가 작게 소요되어 초기건설비가 낮을 뿐만 아니라 공기의 단축, 민원의 소지가 없는 등의 장점이 있어 최근에 부존에너지로서 각광을 받고 있다 (조은주, 2006).

최근 들어 소수력발전에 대한 관심이 증가하면서 소수력에 관한 연구가 증가하고 있는 추세이다. 기존 소수력발전에 관한 연구 경향을 정리해 보면 소수력 발전소 건설의 타당성 및 경제성에 관한 연구(조은주, 2006 등; 김동식·홍원화,

2005; 박완순 등, 1998; 이철형 등, 1989; 박완순, 2003), 하수처리장 방류수를 이용한 소수력 발전에 관한 연구(박완순·이철형, 2007; 이영대, 2008; 남광현, 2002; 문일성, 2005), 환경친화적 소수력발전소 건설에 관한 연구(산업자원부, 2006; 권영한 등, 2004) 등이 국내에서 수행되었다. 대체 에너지원으로서 기존 구조물을 이용한 소수력 발전소 건설에 관한 연구가 이루어지고 있으나, 현재까지 하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전에 관한 연구는 매우 부족한 실정이다. 일부 이루어지고 있다 하더라도 일반적인 접근에서 하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전 건설에 대해서만 언급하고 있는 상황이다. 따라서 본 연구에서는 경북 구미시에 소재하고 있는 구미하수종말처리장을 대상으로 하수처리장 방류수를 이용하여 소수력 발전소 건설 가능성 여부를 살펴보고자 한다.

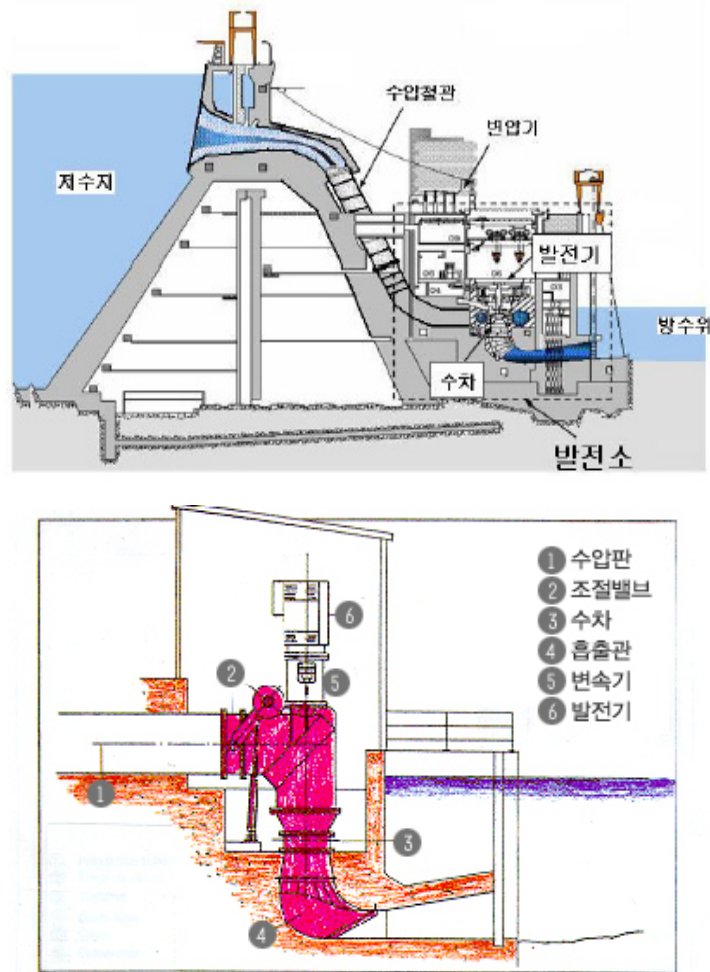


Fig. 1. Elements and Flow Diagram of Small Hydro-Power Plants
[Source: Park, B.I., et al (2006)]

2. 국내 소수력 발전 현황

소수력발전은 하천이나 저수지의 유량과 낙차의 위치에너지를 이용하여 전기에너지를 생산하는 방식이다. 소수력은 2005년도 이전에는 설비용량 1만kW이하의 수력발전소를 의미하였으나, 2005년도에 개정된 신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급시행규칙에서는 설비용량이 삭제되어 '물의 유동에너지를 변환시켜 전기를 생산하는 설비'로 수력설비를 일원화하였다. 아래 Fig. 1은 소수력 발전 시스템의 구성도를 보여주고 있다.

소수력발전은 소규모 하천의 물을 인공적으로 유도하여 저낙차 터빈을 이용한 발전방식으로 설비용량, 낙차 및 발전 방식에 따라 Table 1과 같이 분류될 수 있다. 발전방식을 살펴보면 수로식은 하천을 따라 환경사의 수로를 결정하고 하천의 급경사와 굴곡 등을 이용하여 수로에 의해 낙차를 얻는 방식으로 하천경사가 급한 상·중류에 적합한 형식이다. 댐식 소수력발전소는 댐에 의해서 낙차를 얻는 형식으로 발전소는 댐에 근접해서 건설하고 일반적으로 경사가 완만하

고 유량이 풍부한 하천의 중하류에 적합한 형식이다. 터널식 소수력 발전소는 댐식과 수로식을 혼합한 방식으로써 하천의 형태가 오메가(Ω) 형인 지점에 적합하며, 자연낙차를 크게 얻을 수 있고 댐은 일반적으로 월류식으로 한다 (이철형, 2004).

소수력의 가장 중요한 설비는 수차(turbine)이며, 설비별 특징은 Table 2에서 보여주고 있는 바와 같다. 수차는 소수력 발전소 건설비의 약 25%를 차지하고 있어 발전시스템에서 가장 중요한 설비로서, 최고의 경제성을 위해서는 적합한 수차의 결정이 가장 중요하다. 높은 낙차를 이용하는 충격수차와 낮은 낙차이지만 풍부한 유량을 이용하는 반동수차로 나누어진다.

국내에서는 소수력 개발에 따른 인·허가의 어려움, 정부의 기준가격 지원제도, 한전의 송전선로 연계로 인하여 시설 용량 3,000kW 이하로 대부분 개발되고 있어 유도발전기를 채용하고 있으며 유도발전기 제작기술은 베어링을 제외하고는 90% 이상이 국산화되어 있다. 국산 발전기는 외산에

Table 1. Classification of Electric Power Generation in Small Hydro-Power Plant

Classification		
Facility Capacity	-Micro Hydro-Power -Mini Hydro-Power -Small Hydro-Power	-Below 100kW -100~1,000kW -1,000~10,000kW
Type of Head	-Low head -Medium head -High head	-2~20m -20~150m -Above 150m
Generation Type	-Run-of-river type -Storage type -Tunnel type	-High slope -Low slope and high flowrate - Ω -type river shape

Table 2. Classification and Characteristic of Turbine

	Classification		Characteristic
Impulse water turbine	Pelton turbine Turgo turbine Ossberger turbine		-Turbine doesn't sink completely -Supplied with water by one side -Converted to kinetic energy
Reaction turbine	Francis turbine		-Turbine sink completely
	Propeller turbine	Kaplan turbine Tubular turbine Bulb turbine Rim turbine	-Supplied with water by column of turbine -Dynamic pressure and static pressure is converted

비해 고정자 권선절연과 효율 등이 다소 미흡하다. 발전기 설치대수 108기 중에서 동기발전기는 15기이고 유도발전기는 93기가 운용중이며, 발전기 설치대수 108기 중에서 국산 발전기는 75기가 설치되었다. 유도발전기는 여자장치, 동기투입장치 등이 필요한 동기발전기 보다 구조가 간단하여 유지보수 측면에서 경제적이다 (이경배, 2007).

하수처리장 방류수의 경우 연중 무휴로 폐수의 양이 일정하게 발생되어 방류됨으로 시설용량에 맞는 발전설비만 하면 된다. 일반 댐은 막으면 수몰지가 발생하고 환경 문제 등 여러 가지 문제점이 발생하나, 하수처리장 폐수처리방류수를 이용한 소수력발전은 댐 조성에 따른 공사비가 거의 들지 않고 발전설비만 갖추면 된다는 이점이 있다. 또한 가동률은 하천(약 40~50%)을 이용할 때보다 두 배(약 90% 이상)로 발전량이 증대되는 장점이 있다. 안정적인 유량확보로 시스템의 고효율 발전이 가능하다. 농업용 저수지는 관개시 표면을 취수하여 사용하는데, 대표적인 사례로 장성호를 이용한 소수력 발전을 들 수 있다. 농업기반 공사 장성지사에 따르면 소수력 발전 사업은 기존 장성댐의 좌안 직하부에 발전 시설용량 1,220 kw(260kw x1기, 960kw x 1기) 규모의 소수력발전소를 건설하는 사업으로서 에너지합리화 기금과 농업기반공사 자체자금을 각각 50%씩 총사업비 26억 4천200만원을 투자해 연간 2천861Mwh전력을 생산하고 있다. 농업용 물막이(보·泫) 위를 넘어 흐르는 방류수를 이용, 프로펠러(수차)를 돌려 전기를 생산하는 소수력발전으로 환경변화를 최소화하고 자연을 효과적으로 활용해 청정에너지를 생산하는 것이 특징이다. 농업용 물막이(보·泫)를 이용해 전기를 생산하는 발전소가 경기도 연천군 한탄강변에 처음으로 건설됐다. 발전에 필요한 유입수에는 이 물질이 없어야 하므로 발전소가 가동되면 평소 강을 따라 흘러내리던 쓰레기가 제거돼 하천환경이 예전보다 개선될 것으로 보인다. 이 발전소는 총사업비 47억원을 투입했고, 건설자금 중 27억원은 산자부가 용자 지원했다. 1500kW급 발전설비와 계통연료시스템, 취수보와 유입수로 등으로 구

성돼 있으며, 연간 5251MWh의 전력을 생산할 수 있다. 1년간 1600가구가 사용할 수 있는 전력량이다. 농업생산기반 정비사업 통계연보(1998, 농림부)에 의하면 농업용저수지의 수와 거의 비슷한 약 18,000여 지점이 있다. 보의 높이는 위치에 따라 다르지만 대부분의 경우 2m 이하로 소수력발전용으로 사용하기에는 다소 낙차에 한계가 있다(박원순, 2004). 취수댐으로부터 착수정까지 자연 유하시키는 정수장의 경우, 취수댐과 착수정사이의 낙차를 이용하여 수력발전이 가능하다. 정수장의 경우도 하수처리장과 마찬가지로 유량이 일정하여 연간가동률이 90%이상 되므로 일반 소수력발전에 비해 경제성이 우수하고 투자비 회수기간을 크게 단축시킬 수 있는 장점이 있다 (산업자원부, 2006).

3. 하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전

일반 댐은 막으면 수몰지가 발생하고 환경 문제 등 여러 가지 문제점이 발생하나, 하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전은 댐 조성에 따른 공사비가 거의 들지 않고 발전설비만 갖추면 된다는 이점이 있다. 또한 가동률은 하천(약 40~50%)을 이용할 때보다 두 배(약 90% 이상)로 발전량이 증대되는 장점이 있다. 그리고 안정적인 유량확보로 시스템의 고효율 발전이 가능하다. 소수력 발전(small hydro power)은 설비 용량이 10,000kwp 미만의 소규모 수력 발전을 의미하나 국내에서는 보통 3,000kwp 미만을 소수력 발전으로 부르고 있다. 대부분 하수처리장에서는 방류구에서 수두차가 존재하기 때문에 이러한 수두차를 이용한 소수력은 대표적인 하수처리장 미활용 에너지 분야로 그 개발 잠재량은 약 5,300kwp (50,000m³/일 이상 처리규모를 가진 하수처리장 기준)으로 예측되고 있다(이영대, 2008). 현재까지 개발된 하수처리장을 이용한 소수력발전소는 5개소이며 2007년 준공된 안양 석수 하수처리장 소수력 발전소가 400kwp로 가장 큰 발전용량을 나타내고 있다. Table 3에서는 국내 하수처리장에서 시행 중인 소수력 발전 시설 현황을 요약해 주고 있다.

Table 3. Situation of small hydro-power plant construction in STP
[Source: Lee, Y.D (2008)]

Plant name	Location	Capacity (kwp)	Head (m)	Date of operation
Asan	Chungnam asan	36	6.9	2000.12
Cheonan	Chungnam cheonan	40	2.5	2002.01
Jinhae	Gyeongnam jinhae	10	1.6	2004.10
Shinshun	Daegu	139	3.7	2005.06
Seoksu	Gyeonggi anyang	400	14.8	2007.11

하수처리장 방류수를 이용한 소수력 발전 활성화를 위한 정부의 노력에도 불구하고 담보를 거듭하고 있는 상황이다. 우선 사업 규모에 비해 사업성이 떨어지며, 또한 방류수질에 대한 위생적, 심리적 불안감으로 기피현상이 만연하다는 것이다. 이러한 이유들로 인해 하수처리수 재이용 산업의 국가 목표치에 대해 일부 회의적으로 보는 시각이 존재하고 있다. 또한 1980년대 초 토목건설부문에 대한 기술력은 확보되어 있었으나 소수력 개발에 대한 국내의 수요가 적을 것으로 판단하여 대기업 등 관련 기업들이 소수력 발전시스템의 핵심인 수차 발전기 개발과 국산화에 대한 관심은 거의 없었다. 이렇다 보니 민간 사업자들이 소수력 개발을 위해서는 외국 산 수차 및 기기 등을 수입해서 사용할 수밖에 없는 실정이었다. 따라서 소수력 자원을 경제적으로 개발할 수 있도록 하기 위해서는 기술적으로 우리나라 소수력 자원 특성에 적합한 효율이 높은 수차발전기를 국산화하여 소수력 발전소에 적용하여야 하며, 하수처리장의 경우 대부분의 소수력 자원이 저 낙차 조건이기 때문에 이러한 자원의 최대 활용을 위하여 저 낙차용 수차 등을 표준화 개발하는 것도 필요하다 (이영대, 2008).

안양시가 사업비 7억8천만 원을 투입해 설치를 완료하고 가동되고 있는 안양시 석수동 석수하수처리장의 소수력 발전 설비는 시간당 400kW 전기를 생산하며 이는 사무실 형광등(32W×2개) 9천700개를 동시에 켤 수 있는 전력이다. 석수하수처리장은 하루 최대처리용량이 30만^m³이고, 이중

안양천으로 흘러가는 방류수는 20만2천^m³에 달한다. 이때 안양천으로 향하는 방류수는 14.8m의 낙차를 거치게 되는데 이를 이용하여 소수력 발전을 하는 것이다. 국내 최초로 하수종말 처리장에서 하수 처리 후 나오는 물의 낙차를 이용한 소수력발전사례는 충남 아산에서 시작되었다. 소수력 발전소(수량 0.37^m³/sec, 유효낙차 7.2m)는 하수 처리 후 발생하는 방류수의 낙차를 이용해 연간 28만3천824kWh의 전력을 생산, 하수처리장 운영에 필요한 전력을 자체 공급함으로써 연간 1천800만원의 비용을 절감하는 효과를 보고 있다. 또한 충북 청주시는 상당구 명암동 우암어린이회관 옆 주차장에 태양광 발전시설을 설치하고, 청원군 옥산면 가락리 하수처리장 방류지역에 소수력 발전시설 설치를 추진하고 있다. 이를 위해 2009년 1월 소수력발전 타당성 조사용역을 발주하였고, 2010년까지 국비 4억5600만원과 시비 3억400만원을 확보할 계획이다.

4. 구미하수처리장 방류구에서의 소수력발전 설치

구미하수처리장은 구미공업단지의 공장폐수와 생활오수 및 하수를 정화함으로써 낙동강의 수자원을 보호하기 위해 건설되었다. 1일 하수처리 능력은 약 33만^m³, 부지면적은 21만 4,743^m²인데 구체적인 구미하수종말처리장의 현황은 **Table 4**에 요약되어 있다. 연간총하수발생량은 126,231(천^m³/일)이며 연간총하수처리량은 125,858(천^m³/일)로 하수처리율은 100%로 나타나고 있다(2008년 기준).

Table 4. Current Situation of Gumi STP

Classification	Index	Unit	2007	2008
Facility situation	Total population(A)	person	396,884	398,949
	Population of sewage(B)	person	369,132	375,442
	(B)/(A)	%	93	94.11
	Equipment capacity	1,000 ^m ³/day	449.5	449.5
	Sewer pipe length	km	1,002	1,026
General situation	Annual total sewage prouction	1,000 ^m ³	134,111	126,231
	Average of 1day sewage production	1,000 ^m ³/day	367	344
	Average of 1 day sewage production per head	ℓ/day	995	919
	Annual total sewage treatment	1,000 ^m ³	134,111	125,858
	Average of 1 day sewage treatment	1,000 ^m ³/day	367	343.9
	Average of 1 day sewage treatment per head	ℓ/day	955	919
	Sewage treatment ratio	%	100	100
Facility plan	Sewage treatment	1,000 ^m ³/day	457.5	457.5
Cost of sewage treatment		^m ³	254.28won	254.97won

4.1. 발전량 검토

구미하수종말처리장에서 소수력발전의 계획하수량을 결정하기 위하여 2006년부터 2008년까지 3년간의 일간 유입하수량을 분석하였다. 일간 유입하수량에 있어서 2006년의 월별 최대유입량은 7월이 366,116m³/일로 가장 높았으며, 10월이 221,607m³/일로 가장 낮았다. 월별 평균유입량은 292,891m³/일 에서 329,131m³/일 범위로 월별 차이는 그다지 크지 않게 나타났다. 2007년 월별 최대유입량은 6월이 387,484m³/일로 가장 높았으며, 10월이 299,994m³/일로 가장 낮았다. 월별 평균유입량은 281,988m³/일에서 332,115m³/일의 범위로 나타나 월별 차이는 크지 않는 것으로 나타났다. 2008년의 월별 최대유입량은 1월이 374,723 m³/일로 가장 높았으며, 12월이 208,692m³/일로 가장 낮았다. 월별 평균유입량은 254,021m³/일에서 326,367m³/일 범위에 있어 월별차이가 다소 있는 것으로 나타났다. 위에서 나타난 유량데이터를 바탕으로 하수처리장의 유입하수량을 통계분석한 후 2006년부터 2008년까지 평균 일유량을 기준으로 작성한 유황곡선은 Fig. 2에서 보여주고 있는 바와

같다. 가로축은 초과유량의 시간축(percent time of flow value equaled or exceeded)이 되고, 세로축은 평균 일유량(averge daily flow)을 나타내고 있다. 이 유황곡선에서 도출된 최대유량, 풍수량, 평수량, 저수량 및 갈수량 등의 유황값들은 Table 5에 정리하여 나타내었다. 최대 사용수량은 평수량을 적용하게 되는데, Table 5에서 보여주고 있는 바와 같이 2006년에서 2008년까지 년도별 풍수량은 조금씩 차이가 나지만 대략 320,000m³/(3.70m³/sec)일 정도인 것으로 나타났다. 따라서 구미하수종말처리시설의 소수력 발전을 위한 최대사용수량은 320,000m³/일로 보아야 할 것이다.

4.2. 유효낙차 및 발전기

발전용 낙차는 소수력 발전시스템의 출력을 산정 하는데 있어서 매우 중요한 인자로서 물이 수차발전기에 도달하기 까지의 수직거리를 말하며 수차발전기에 유용한 에너지를 주는 낙차를 설계 유효낙차라 한다. 구미하수종말처리장의 경우 낙차가 2.0~3.5m의 범위로 나타났고 낙차가 낮은 점

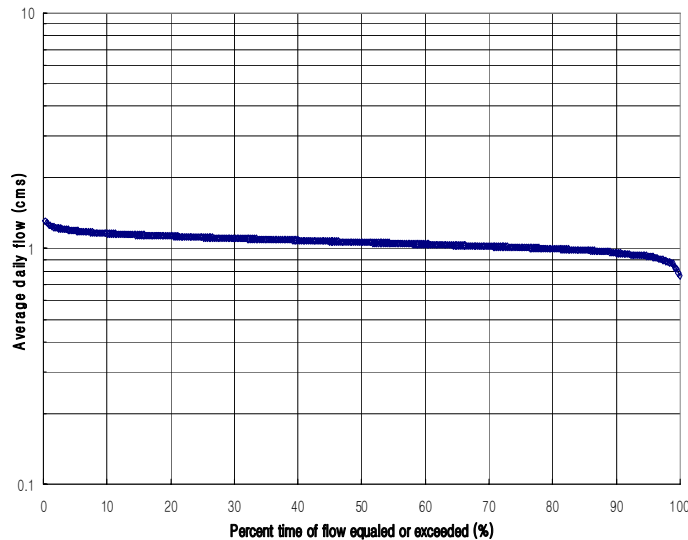


Fig. 2. Percent time of flow equaled or excelled vs average daily flow curve in Gumi STP

Table 5. Yearly Inflow Flowrate in Gumi STP

(Unit: m³/d)

Year	Capacity	Maximum Flowrate (Q ₁)	95day water flow (Q ₉₅)	Ordinary(185day)water flow (Q ₁₈₅)	Low(275day) water flow (Q ₂₇₅)	Drought(355day) water flow (Q ₃₅₅)
2006	330,000	366,116	325,493	313,366	301,898	278,045
2007	330,000	387,484	326,902	312,931	296,744	268,253
2008	330,000	374,723	307,753	289,924	272,799	227,273

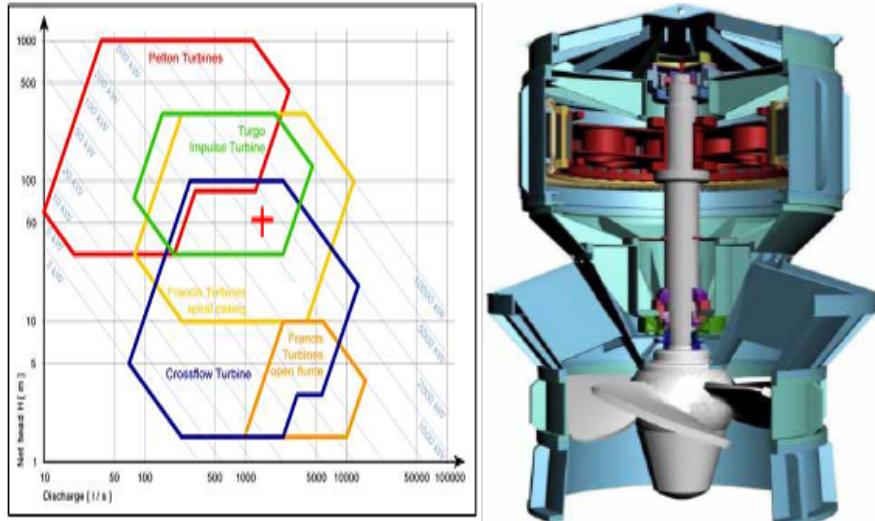


Fig. 3. Selection chart of turbine type and tubular turbine sectional view
[Source: Park, B.I. et al. (2006)]

을 감안할 때 발전기는 낙차가 낮아도 설치가 가능한 것을 선택하는 것이 바람직할 것이다. 소수력발전에 주로 많이 적용되고 있는 발전기는 유도발전기와 동기발전기가 있는데 유도 발전기는 동기발전기에 비해 경제적이고 구조가 간단하여 유지보수가 용이한 것이 장점이 있으나 단독운전이 불가능하고 전력계통 병입 시 독립전류가 계통의 전압강하를 초래하여 계통으로부터 여자전류를 공급받기 때문에 무효전류를 소비하게 되어 계통의 역률을 저하시키는 단점이 있다(제주시, 2004). 구미 하수종말 처리시설에 적합한 발전기는 구조적인 측면과 운전의 안전성 및 경제성 측면에서 유도발전기가 유리할 것으로 판단된다. 평균유량과 최대유량에서의 손실수두를 산정한 결과 각각 1.05m (기타 손실

수두 1.0m 포함), 1.19m(기타 손실수두 1.0m 포함)로 나타났다.

4.3. 수차형식

수차형식 선정은 수차형식 선정도를 이용하게 되는데, 수차형식 선정도는 사용유량과 적용하려는 유효낙차에 적합한 수차들을 그래프 내에서 쉽게 찾을 수 있도록 하였는데 구미하수종말처리장 소수력발전의 경우 사용유량이 320,000m³/sec(3.70m³/sec), 유효낙차가 2.0~3.5m의 범위에 있으므로 충동식의 크로스플로우(cross flow) 수차나 반동식의 튜브형(Tubular) 수차에 가깝게 해당된다. 구미하수종말처리장의 경우 장래 예상되는 대량생산 가능성,

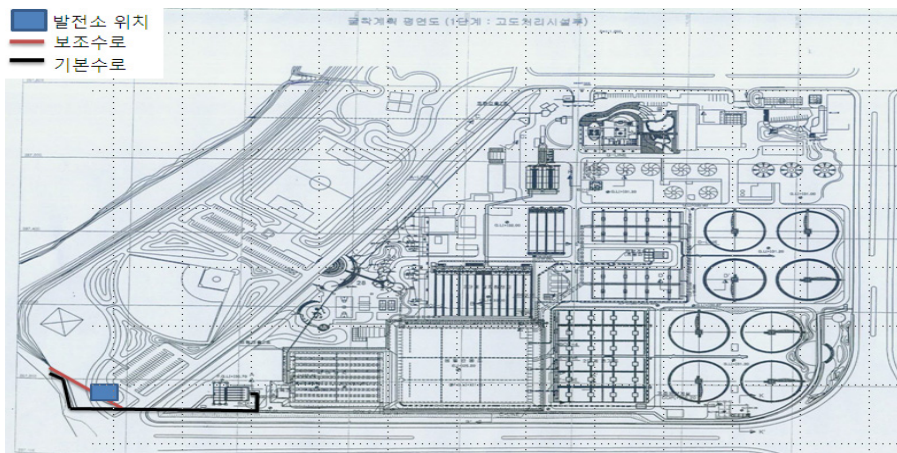


Fig. 4. Layout of Gumi STP and proposed location of small hydro-power plant

운전조건 변화, 건설비 등을 고려할 때 Fig.3에서 보여주고 있는 튜브형 수차가 유리할 것으로 판단된다. 튜브형 (Tubular) 수차는 원통형 수차와 같은 구조로서, 발전기가 수로 밖에 위치한다. 통상 3~90m의 낙차에 적용되는데, 구조나 작동이론은 프란시스 수차와 비슷하며, 수리학상으로는 카프란 수차와 동일하다.

4.4. 소수력발전시설 적용위치

일반적으로 하수종말처리장의 하수처리용량이 2만톤/일 이상일 경우 소수력발전 설치가 가능한 것으로 알려져 있다. 구미하수종말처리장내 소수력발전을 적용하기에 가장 적합한 곳은 방류펌프장으로부터 약 90m 떨어진 지점(방류펌프장으로부터 방류구까지의 2/3 지점임)으로 보인다. Fig. 4는 구미하수종말처리장의 도면으로, 그림의 왼쪽 아랫부분에 발전소 적용위치와 보조수로(규격: 2m×2m) 설치 경로를 나타내고 있다.

4.5. 예상 발전량 산정

소수력발전은 그 형식에 따라 약간의 차이는 있으나, 기본적인 원리는 높은 곳에 있는 물을 아래로 흘러 떨어지는 힘, 즉 물의 고저차 (낙차)에 의한 위치에너지로 수차의 회전력을 발생시키고 수차와 직결되어 있는 발전기에 의해서 전기 에너지를 생성하는 발전방식으로써 수차를 회전시키는 물의 수량이 많을수록 물이 떨어지는 낙차가 클수록 발전가능량 즉, 시설용량이 커지고 전력 생산량도 그 만큼 많아진다. 물이 위치에너지에서 전기에너지로 변화되는 소수력발전능력의 유도식은 통상 Eq.1에서 보여주고 있는 바와 같다.

$$P = 9.8 \times Q \times H \times \eta_t \times \eta_g \quad \dots(1)$$

여기서, P = 시설용량(kW)

Q = 사용수량(m³/sec)

H = 유효낙차(m)

η_t = 수차효율

η_g = 발전기 효율

η = 합성효율($\eta_t \times \eta_g$)

여기서 발전기의 합성효율은 낙차별 수차효율, 수차종류 및 여유를 감안하여 수차 효율은 74%, 발전기 효율은 92%로 산정하였으며, 이를 토대로 합성효율을 산정하였다. 발전시설의 가동률은 일반 하천 및 소계곡의 경우 유효량이 불규칙하기 때문에 약 40~50% 정도이나 하수종말처리시설의 경우에는 유입유량이 다소의 일간변동은 있으나 일반하천이나 소계곡에 비해서 1일 유입량이 거의 일정하기 때문에 가동률을 통상 약 90%이상으로 적용한다. 이상을 바탕으로

월간 및 연간 발전량을 산정하여 보면, 월간 발전량은 77.7 MWh, 연간발전량은 932.4MWh로 산정되었다. Table 6은 구미하수종말처리장에 위에서 언급된 소수력 발전설비를 적용할 경우 산정된 발전설비의 규모를 요약해 주고 있다.

Table 6. Theoretical Scale of Electric Power Generation in Gumi STP

Parameter	Unit	
Flowrate(Q)	m ³ /sec	3.70
Effective Head(H)	m	3.5
Efficiency(η)	%	68
Output power(P)	kW	86.3
Facility usage rate	%	90
Monthly generation rate	MWh	77.7
Yearly generation rate	MWh	932.4

4.6. 발전원가 및 경제성 평가

구미하수종말처리장내 소수력발전 설치 시 소요되는 사업비 내역은 다음 Table 7에서 보여주고 있는 바와 같다. 토목 및 건축공사 비용은 690,000,000원, 그리고 기계 및 기구 비용은 580,000,000원이 소요될 것으로 예상된다.

Table 7. Estimation for Gumi STP Construction

Classification	Cost
Total Cost	1,546,000,000
Civil Engineering	470,000,000
Construction	220,000,000
Machine교	580,000,000
Sundry expenses	276,000,000

연간투자 회수비는 할인율을 8%, 내구연한을 토목/건축은 50년, 기계/전기는 30년을 적용하여 107,921,000로 나타났다. 유지관리비는 총 공사비의 3.32%를 적용하여 49,472,000원이며, 연간투자 회수비와 유지관리비를 더한 연간경비는 157,393,000으로 나타났다. 연간편익은 58,825,000원 (932.4(MWh)*63.09)으로 나타났다. 발전원가는 연간 발전소 운영비 즉, 연간경비를 연간발전량으로 나누어 산정하는 것으로 본 연구에서는 150.1원/kWh으로 나타났다. 또한 본 연구에서 경제성 평가는 비용-편익비 (Benefit-Cost Ratio, B/C)를 이용하였는데, 비용-편익비는 가장 일반적인 평가방법으로 어느 시점으로 할인된 편익

과 비용의 율로서, B/C 값이 1.0보다 크면 경제성이 높은 것으로 평가되고, 1.0보다 작으면 경제성이 낮은 것으로 평가한다. 연간경비(B)를 연간편익(C)으로 나누면 2.67로 나타나 경제성이 높은 것으로 판단된다.

4.8. 기대효과

이상의 내용을 토대로 볼 때 구미하수종말처리장내 소수력발전 설치하는 가능할 것으로 판단되며 경제성 분석 결과 B/C값이 2.67로서 경제성이 다소 높은 것으로 평가되었다. 구미하수종말처리장의 경우 수량이 풍부하기 때문에 보조수로 설치를 통해 배수로를 변경한다면 설치가 가능할 것으로 판단된다. 소수력발전 설비를 도입하여 설치할 경우 하수처리장에서 청정에너지를 개발하여 환경오염을 방지할 수 있을 뿐 아니라 초중고 학생들을 위한 체험학습의 장으로 활용될 수 있다. 또한 에너지 절감과 대안에너지 생산효과 및 고용창출 효과를 얻을 수 있으며 다른 신재생에너지에 비해 유지 및 관련 비용이 적게 드는 장점을 지니고 있다.

5. 결 론

본 연구는 대체 에너지로써 최근 주목을 받고 있는 소수력을 이용한 에너지개발에 초점을 맞추었다. 소수력발전은 일반하천, 농업용저수지, 하수처리장 등의 수자원을 이용하여 저비용으로 개발이 가능하다는 장점이 있다. 본 연구는 구미하수종말처리장 방류구에서의 소수력발전 설치 가능성을 타진하고자 수행되었는데, 기존 하수종말처리장 내에 설치된 소수력 발전설비에 기초하여 접근하였으며 수차례 걸친 현장조사 및 하수종말처리장 운영 담당자와의 면담, 최근 3년간의 방류량 조사, 유허곡선 작성, 낙차, 수차형식 등을 종합적으로 조사하여 고려되었다. 구미하수종말 처리장 설치에 적합한 발전기는 유도발전기이며 수차형식은 튜브형 수차가 적합한 것으로 보인다. 위의 설비들을 하수처리장 방류구에 적용하여 설치할 경우 월간 77.7MWh, 연간 932.4MWh의 전력을 생산할 수 있는 것으로 보인다. 발전원가는 150.1원/KWh로 나타났으며 연간경비(B)를 연간편익(C)로 나눈 B/C값이 2.67로 나타나 경제성이 높은 것으로 분석되었다. 이상의 내용을 토대로 볼 때, 구미하수종말처리장에서의 소수력발전 설치하는 기술적으로 타당하며 신재생에너지 창출의 한 방법으로서 시도할 만한 가치가 높은 것으로 나타났다.

참고문헌

권영한, 김지영, 노태호, 전동준 (2006), 소수력 발전소 개발사업의 환경적 고찰, 한국환경정책평가연구원, pp.3-29.

김길호 (2008), 소수력 개발을 위한 타당성분석 방안, 인하대학교 석사학위논문, pp.5-24.

김동식, 홍원화 (2005), 하수처리장 소수력 발전소 건설 타당성 분석에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 21(5), pp.225-230.

김희곤 (2007), 소수력발전시스템의 설계파라미터 분석 및 설계에 관한 연구, 충남대학교 대학원 석사학위논문, pp.17-57.

남광현 (2002), 신천하수종말처리시설 소수력발전 적용 검토, 대구경북개발연구원, pp.37-55.

문일성 (2005), 서귀포시 동부하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전, 제주대학교 석사학위논문, pp.18-31.

박완순 (2004), 기존 구조물을 이용한 소수력개발 사례, 태양에너지, 3(4), pp.29-33.

박완순 (2003), 소수력 발전소의 성능예측 기법에 관한 연구, 공주대학교 박사학위논문, pp.31-76.

박완순, 이철형 (2007), 하수처리장 방류수를 이용한 소수력발전, 설비/공조냉동·위생, 10월호, pp.57-61.

박완순, 이철형, 정상만 (1998), 소수력발전소의 건설 타당성분석 기법, 태양에너지, 18(3), pp.153-158.

박봉일·박준식 (2006), 소수력발전시스템 시공사례, 전자잡지, 11월호, pp.74-80.

산업자원부 (2006), 환경친화적 소수력자원조사 및 활용기술 개발, 산업자원부, pp.4-19.

이건영 (2001), 농업용 저수지의 소수력 발전이용에 관한 연구, 한양대학교 대학원 석사학위논문, pp.4-67.

이경배 (2007), 소수력발전, 월간전기, 7월호, pp.91-97.

이경배, 이은웅 (2008), 소수력발전의 기술 및 시장동향, 2008년도 대한전기학회 하계학술대회 논문집, pp.1188-1189.

이영대 (2008), 하수처리수 재이용활성화를 위한 미활용에너지 개발, 설비저널, 37(1), p.38.

이철형, 박완순, 신동렬, 정현생 (1989), 소수력 발전소의 성능 해석에 관한 연구, 한국동력자원연구소, 11(4), pp.133-145.

이철형 (2004), 국내외 소수력발전 개발 동향, 태양에너지, 3(4), pp.3-10.

조은주 (2006), 신천하수종말처리장에 도입한 소수력 발전소의 경제성 분석에 관한 연구, 경북대학교 대학원석사학위논문, pp.27-63.

전북경제사회연구원 (2001), 하수처리장 미활용 에너지 이용 타당성 조사 연구, 한국에너지기술연구원, pp. 21-72.

조맹수 (1990), 소수력 발전소 건설에 관하여, 한국기술사회지, 23(1), pp.21-29.

정광록 (2005), 담양군 청정에너지의 요람 소수력 발전소, 농업기반공사, pp.70-75.