

碩士學位論文

西歸浦市 東部下水處理場 放流水를
利用한 小水力發電



濟州大學校 産業大學院

機械에너지工學科

機械工學專攻

文 一 成

2005

碩士學位論文

西歸浦市 東部下水處理場 放流水를
利用한 小水力發電

指導教授 金 貴 植



濟州大學校 産業大學院

機械에너지工學科

文 一 成

2005

西歸浦市 東部下水處理場 放流水를 利用한 小水力發電

指導教授 金 貴 植

이 論文을 工學碩士學位論文으로 提出함

2005年 月 日

 濟州大學校 産業大學院
세주대학교 중앙도서관
機械에너지工學科 機械工學專攻

文 一 成

文一成的 碩士學位論文을 認准함

2005年 月 日

審査委員長 印

委 員 印

委 員 印

A Paper for Applying Master's Degree
MICRO HYDROPOWER GENERATION BY DISCHARGE WATER OF
DONGBU SEWAGE TREATMENT PLANT IN SEOGWIPO CITY

IL - SEONG MOON

Supervised by Professor Gui-Shik kim

A thesis submitted in partial fulfillment of the
requirements for the degree of master engineering

Department of Mechanical & Energy Engineering
Graduate School of Industry
Cheju National University

July 20051

목 차

List of Tables	vii
List of Figures	viii
Summary.....	ix
I .서론.....	1
1.1 연구의 목적.....	1
1.2 소수력발전의 개요.....	2
II . 소수력발전 현황	4
2.1 국내 소수력발전 현황	4
2.2 해외 소수력발전 현황	6
III . 발전량 해석	8
3.1 제주도 하수처리장 현황	8
3.2 일반현황.....	9
3.3 처리구역.....	11
3.4 계획유입량	11
3.5 시설현황.....	12
1) 시설개요	12
2) 처리공정	13
3) 증계펌프장 현황.....	15
4) 월별전력 사용현황.....	15
3.6 발전기실 위치선정.....	16
3.7 발전량 검토.....	18
1) 발전량 산출식	18
2) 사용수량	18

3) 유효낙차	27
4) 발전규모	28
3.8 발전전력의 사용계획	30
IV. 발전설비 검토.....	31
4.1 수차의 형식검토.....	31
4.2 발전기 형식검토.....	33
4.3 용량, 대수의 검토.....	34
4.4 토목, 건축시설의 검토.....	36
4.5 기계설비의 검토.....	37
IV.결 론	36
V.참고문헌	39

List of Tables

Table 1. Operation and Promotion of HydroPower Generation Plan by Administrative Type	5
Table 2. Potential Capacity for Development	5
Table 3. Status of HydroPower Plants of Major Nations	7
Table 4. Specification of Jeju Sewage treatment Plant(December 31,2003)	8
Table 5. General Present Situation	10
Table 6. Yearly Flowrate	11
Table 7. Present Situation of Sewage treatment Plant	12
Table 8. Status of Transit Pump station	15
Table 9. Electricity Usage During Month(2003-Main Plant)	15
Table 10. Flowrate of 2002	20
Table 11. Flowrate of 2003	21
Table 12. Flowrate of 2004	22
Table 13. Flowrate of Time	23
Table 14. Flowrate Analysis of Year	26
Table 15. Analysis of Effective Head	28
Table 16. Scale of HydroPower Generation	29
Table 17. Cases of Hydraulic Turbine Applied by National HydroPower Generation	31
Table 18. Capacity of Installation of Hydraulic Turbine	35
Table 19. Capacity of Installation of Generator	35

List of Figures

Fig. 1 Schematic of Sewage Treatment Process	13
Fig. 2 Cross Section of hydraulics	16
Fig. 3 Location of Generation Room	17
Fig. 4 Variation of Flowrate by Time	24
Fig. 5 Valiation of Discharge Flow During a Year	25
Fig. 6 Example of Choosing Hydraulic Turbine	32
Fig. 7 Layout of Generation Room.....	35

Summary

This study aims to examine the possibility of Micro hydroelectric power plants by using discharged water from Dongbu Sewage Treatment Plant located in Seogwipo City, Jeju do. The results are as follows;

The best location for installing the hydropower plant is at the location of EL(+) 2.0 , the joint owned surface of the water on the west between discharge flow meter chamber and the surface of the sea water. In calculating the quantity of electric power generation, the amount used is $0.157\text{m}^3/\text{sec}$, the average 95day water Flow for the recent 3 years. The effective difference in elevation is 12.41m between discharge flow meter chamber and the location of hydraulic turbine installation. Therefore, the quantity of electric generation is expected to be 14.6kW . The monthly quantity of electric generation is 9.46MW and the yearly quantity of electric generation is calculated to be 113.53MW . The type of hydraulic turbine to be applied to the hydro power generation is the hydraulic turbine of low head miniflow. Therefore, it is recommended to choose an all-in-one inline-type hydraulic turbine generator. The recommended capacity is 50kW . The hydropower generation has The system of pollution-free energy production. Because the Jejudo government has promoted the free international city project, the image of Clean Jeju is expected to continuously rise. In addition, sewage disposal plants have been regarded as disgusting facilities. Considering this fact, the hydropower generation is expected to build up the image of friendly natural environment. In a word, this project should be considered to be The project of alternative energy production.

I. 서론

1.1 연구의 목적

제주도는 천혜의 자연환경과 수려한 경관, 다양한 생물종등 자연의 보고이나, 지역 특성상 육지부와 격리되어 있어 에너지 수급에 있어서 해상수송, 해저케이블 등을 통한 반입으로 에너지의 대외 의존율이 거의100%에 이르고 있어 에너지 공급구조상 취약성을 지니고 있다. 따라서 이를 효과적으로 극복하고 친환경적인 에너지 공급을 위한 풍력, 태양광, 수력등 지역 내 풍부한 대체 에너지 자원의 개발 및 활용 필요성이 대두됨에 따라 본 연구에서는 하수처리장에서 처리후 방류되는 방류수가 가지고 있는 미사용 에너지를 대체에너지 생산시설인 소수력 발전설비로 회수하여 전력으로 생산 공급함으로 처리장운동을 위한 에너지비용의 절감과 하수처리장내 자체 에너지 자급기반을 구축하고 환경친화적인 하수처리장 운영과 에너지 수급안정에 기여하고자 그 가능성을 연구 검토 하였다.



1.2 소수력 발전의 개요

소수력은 시설용량이 작아 발전설비를 설치할 때의 지형을 변화시키지 않으며 사용수량이 적어 하천수질이나 수생생물등 주변생태계에 미치는 영향이 적은 자연스러운 환경친화형 에너지이며 발전과정에서 오염물질을 배출하지 않는 청정에너지의 공급원이다.

소수력발전은 일반적인 대규모 수력 발전과 원리면에서는 차이가 없으나 대규모 수력발전이 환경에 여러 가지 부작용을 일으키고 있는 점을 생각한다면 국지적인 지역조건과 조화를 이루며 규모가 작고 기술적으로 간단한 발전방식이라 할 수 있다. 또한 풍력 태양광등 다른 재생 가능한 에너지원에 비해 높은 에너지 밀도를 가지고 있기 때문에 개발 가치가 큰 부존자원으로 평가되어 구미 선진국을 중심으로 기술 개발과 개발지원사업이 경쟁적으로 활발하게 진행되고 있다.

소수력발전의 장점으로는 대수력 발전에 비해 친환경적이고 연 유지비가 투자비의 3.63%로 아주 낮으며 비교적 설계 및 시공기간이 짧고 주위의 인력이나 자재를 이용하기가 쉽다는 것이다. 또한 민간 주도의 반영구적 공익사업으로서 지역 개발의 촉진과 이로 인한 경제적 파급 효과를 극대화 시킬 수 있다는 점 등이 있다. 그러나 초기 투자비용이 다소 많고, 자연낙차가 큰 소수력의 발전 입지는 매우 제한되어 있고 경제성 면에서 고낙차용에 뒤지지 않는 저낙차용 수차가 개발되어 있지 않은 것 등이 단점으로 제시되고 있다.

소수력은 엄밀하게 정의하기 어려우나 국내의 경우 일반적으로 설비용량을 기준으로 통상적인 수력(Conventional hydropower)에 비해 설비용량이 3,000kW이하의 수력 발전을 말하며, 일본의 경우에는 발전 설비용량이 10,000kW이하의 수력 발전을 소수력 발전으로 정의하고 있다. 그러나 통상 학술적인 분류를 보면 설비용량과 낙차발전방식에 따라 분류하는데 설비용량 기준으로 100kW미만의 소수력 발전은 Micro hydropower, 100~1,000kW규모의 소수력 발전은 Mini hydropower, 1,000~10,000kW규모의 소수력 발전은 Small hydropower 등으로 구분한다. 낙차발전방식 기준으로는 2~20m의 낙차규모를 Low head, 20~150m의 규모를 Medium head, 150m이상의 규모를 High head로 구분한다. 한편 발전방식에 따라 소수력 발전을 분류하면 수로식(Run-of-river-type), 댐식(Storage type) 그리고 터널식(Tunnel type)으로 나뉘는데 수로식은 일반적으로 하천경사가 급한 상·중류에 적

합한 형식이며 일반적인 발전 경로는 댐-취수구-침사지-수로-수입관로-발전소-방수로이다. 댐식은 주로 댐에 의해서 낙차를 얻는 형식으로 하천경사가 작은 중·하류의 유량이 풍부한 지점이 유리하다. 터널식(Tunnel type)은 댐식과 수로식을 혼합한 방식으로서 하천의 형태가 오메가(Ω)형인 지점에 적합하며 자연낙차를 크게 얻을 수 있고 댐-취수구-터널수로-수로-수압관로-발전소-방수로 등의 경로를 갖는다.

최근에는 환경시설인 정수장이나 하수처리시설에 소수력발전 시스템을 적용하는 사례가 계속 늘고 있으며, 이들 시설은 기존 구조물의 최소한의 설비변경만으로 소수력발전 시설을 설치할 수 있으며 안정적인 유량확보로 가동률이 하천(40~50%)의 두 배(약 90% 이상) 이상이고 발전량도 동시에 증가된다. 또한 소수력발전시설의 운영을 기존 정수장 및 하수처리시설의 운영체계에 포함시켜 단독으로 운전시보다 소수의 운영요원으로 일괄 유지관리가 가능하므로 유지관리비가 적게 드는 등의 장점이 있다 [1] .



II. 소수력발전 현황

2.1 국내 소수력 발전현황

우리나라에서는 1982년에 「소수력개발 활성화방안」이 공표되면서부터 소수력 자원의 개발이 본격적으로 추진되기 시작하였으며 제주도에서도 이미 1943년 서귀포시 천지연 폭포에 165kw급 소수력발전 시설을 하여 상업용으로 이용한 경험이 있다. 소수력 부존자원의 평가는 1970년대 초 1차 석유 파동 이후 1974년 과학기술처와 원자력 연구소에서 「소수력 발전 입지조사」를 수행하였다. 이 당시의 평가는 국내 개발가능자원량 평가를 목적으로 평가한 결과 전국에서 2,400개 소로 총 발전용량 582MW를 개발 가능한 것으로 추정되었다. 정부의 소수력개발 활성화 방안이 발표된 이후 Table 1과 같이 기업체, 한전, 공기업, 개인사업자 및 지자체 등에 의해 1999년 12말 현재 운영되고 있는 소수력 발전소는 31개소에 발전시설용량 42.86MW이며 연간 전력생산량은 108,491MWh로 생산전력 판매액은 99년 판매기준 50여 억원에 불과한 실정이다. 1989년부터 1992년까지 소수력 자원 개발을 위하여 전국을 대상으로 하여 소수력 자원조사를 한국에너지 기술연구원에서 수행, 이를 통하여 실제 개발위치 및 개발 우선순위를 결정하기 위한 타당성 조사연구가 수행되었으며, 그 후 1999년 소수력 경쟁력 향상을 위한 적용범위 확대를 통해서 소수력 보급 잠재량을 평가하였고 그 결과는 Table 2에 나타난 것과 같다. [1]

Table 1. Operation and Promotion of HydroPower Generation Plan
by Administrative Type [1]

Business Type	Operating		Promoting	
	Number of Branch	Equipment Capacity[kW]	Number of Branch	Equipment Capacity[kW]
Private	15	29,100	2	4,400
Korea Electric Power Corporation	3	4,450	2	1,800
Korea Water Resource Corporation	10	7,234	8	8,850
Korea Agricultural & Rural Infrastructure Corporation	1	2,000	2	2,500
Regional Public Body	2	76	3	2,450
Total	31	42,860	17	20,000



Table 2. Potential Capacity for Development [1]

Classification	Potential Capacity[kW]
River	1,412,500
Sewage Treatment Plant	5,300
Filtration Plant	2,500
Reservoir for Agriculture	4,800
Dam for Agriculture	5,000
Irrigation Channel for Multi-Purpose	6,744
Circular water of nursery, Lower Dam of Power Plant, Cooling Water of Thermal Power Station and others	10,956
Total	1,500,000

위와 같이 국내 소수력개발이 가능한 자원 부존량이 2,400개소 이상 1,500MW가 산재되고 있음에도 불구하고 외국과 같이 활성화되지 못하고 있는 것은 소수력 개발을 통한 대체에너지개발 사업에 대한 중앙과 지방정부의 인식부족, 소수력에서 생산된 전력의 판매단가가 한국전력공사에서 판매하는 전기단가보다 경쟁력이 낮은 점, 혐오시설이 아님에도 불구하고 지역주민의 집단 이기주의적 반대민원 등이 소수력개발의 최대걸림돌이 되고 있으며 앞으로 이러한 문제들은 지속적으로 개선해나가야 할 것이다. 특히 국내에서 소수력자원을 최대로 이용하기 위해서는 일반하천 뿐만 아니라 전국에 산재한 농업용보와 하수처리장 방류수 등의 적극적인 이용이 필요하다. 그러나 농업용 보나 하수처리시설의 경우 대부분 저낙차이며 일반하천을 이용하는 경우에도 하천환경을 보호하고 댐 상류지역의 수물에 따른 보상비를 최소화 하기 위해서 댐 높이를 약 5~6m 정도 규모로 건설해야 하는 문제가 있기 때문에 이를 대비한 저낙차용 수차의 개발이 시급한 형편이다. [1]



2.2 해외 소수력 발전현황

구미선진국과 중국 등지에서는 일찍부터 소수력 개발의 사회·경제적 중요성을 인식하고 수문학적 자료를 비롯한 기초 통계 자료의 확보와 기술 개발 및 보급에 힘을 기울여 소수력발전은 에너지원으로서뿐 아니라 주요 산업으로 자리를 잡아 가고 있다. 소수력 자원은 다른 대체에너지에 비해 에너지 밀도가 매우 크기 때문에 개발 할 가치가 큰 부존자원으로 평가되고 있다. 따라서 외국의 경우 소수력 개발을 위한 자원의 타당성 평가기법, 발전소의 최적 설계기법, 수차 발전 시스템의 표준화, 자동제어 시스템의 개발, 토목재료의 개발 및 최적 운용기법 개발 등으로 소수력발전소의 경제성 향상을 도모하였고 국가 차원에서는 시범 소수력발전소 운영으로 현재 많은 소수력발전소가 가동 중에 있다. 전 세계 주요국의 소수력발전소 운영현황은 Table 3과 같으며, 아시아권에서는 중국이 58,000개소, 일본이 600개소로서 가장 많이 운영되고 있으며 유럽의 경우 프랑스 1,479개소, 독일 5,880개소, 이태리 1,420개소, 노르웨이 227개소, 스페인 1,102개소, 스웨

덴 1,346개소 등으로 선·후진국을 막론하고 우리나라 24개소에 비해 월등하게 많은 소수력 발전소가 운영되고 있고 북한에서도 약 800개소가 운영되고 있다. 또한 선진국의 경우 대형댐, 원자력, 화력발전소 건설을 배제하고 다수의 소수력 발전을 지향하고 있다. 환경부국인 오스트리아의 경우 1,200여개의 소수력발전만으로 국가 에너지소요를 충당하고 있어 소수력발전 사업의 대표적인 국가라 할 수 있다.

하수처리시설을 대상으로 소수력 발전을 적용하려는 외국의 사례는 일본의 경우 도쿄도와 도쿄전력이 하수처리시설을 이용한 소수력 발전에 많은 노력을 하고 있다. 도쿄전력은 도쿄도와 계약을 체결하고 에도가와구 소재 카사이 처리시설을 시범사업으로 시작하고 도쿄도내 13개소의 하수처리시설에 타당성 조사 후 소수력 발전설비를 점차 확대할 계획이다. 카사이 처리시설은 1일 처리량 약 34만 톤, 유효낙차는 평균 5.6m, 발전용량은 약 300kW이다. [1]

Table 3. Status of HydroPower Plants of Major Nations [1]

Nation	Number of Power Plant	Capacity [MW]	Nation	Number of Power Plant	Capacity [MW]
Argentina	55	400	Italy	1,420	1,969
Australia	1,200	320	Japan	600	538
Brazil	232	483	Korea	31	43
Canada	321	1,056	Norway	227	806
China	58,000	13,250	Pakistan	76	20
Czech	661	201	Peru	75	50
Finland	156	313	Rumania	295	311
France	1,479	1,646	Spain	1,102	1,010
Germany	5,880	341	Sweedden	1,346	8,406
India	100	53	Turkey	53	83
Indonesia	66	58	USA	1,715	3,420

Ⅲ. 발전량 해석

3.1 제주도 하수처리장 현황

제주도내의 운영 또는 건설중인 하수처리장 현황은 Table 4와 같다 [2]

Table 4. Specification of Jeju Sewage Treatment Plant(December 31, 2003)

City · County	Name	Capacity (m ³ /Day)	Engineering Method	Location	Remark
Jeju City(1)	Jeju	130,000	Standard Activated Sludge Method	849, Dodu2-dong, Jeju City	
Seogwipo City(2)	West	15,000	Standard Activated Sludge Method	3217, Saekdal-dong, Seogwipo City	
	East	20,000	Standard Activated Sludge Method	1429-1, Bomok-dong, Seogwipo City	
Bukjeju County(2)	West	12,000	SBR(sequencing batch reactor)	Panpo-ri, Hangkyeong-myeon	Under Construction
	East	12,000	SBR(sequencing batch reactor)	1544-1, Woljeong-ri, Kujwoa-eup	Under Construction
Namjeju County(3)	West	8,000	SBR(sequencing batch reactor)	123, Hamo-ri, Daejeong-eup	Under Construction
	East	8,000	SBR(sequencing batch reactor)	73, Taehung-ri, Namwon-eup	
	Seongsan	4,000	SBR(sequencing batch reactor)	57-10, Ojo-ri, Seongsan-eup	
Total	8 Plants	209,000			

3.2 일반현황

서귀포시 동부하수처리장은 시의 동부지역에서 발생하는 생활하수를 차집하여 처리하고 있다. 하수처리장의 시설용량은 제1단계 사업의 일환으로 20,000m³/일 규모의 처리장이 1996년 12월에 준공되었고 향후 2006년에 10,000m³/일을 증설하여 30,000m³/일 규모의 처리장을 예정하고 있으며, 2011년에 추가로 5,000m³/일을 증설하여 2011년에는 총 35,000m³/일 규모의 하수처리능력을 갖추게 될 것이다. 동부 하수처리장의 일반 현황을 Table 5에 나타내었다.

하수 처리공법은 중력침강법에 의한 표준 활성오니법에 의한 처리시설로 구성되었으며 처리장 수처리 공정에서 발생하는 슬러지는 슬러지 처리계통에서 응집탈수에 의한 케이크 상태로 반출, 매립처리하고 있으며 슬러지처리 시스템은 1차 침전지의 생슬러지 및 2차침전지의 잉여슬러지는 중력식 농축 조에서 농축후 벨트프레스형 탈수기로 탈수 처리되는 시스템이다. 동부하수처리장으로 유입되는 유입수질은 Table 5에서 계획유입수 설계수질 및 공정별 처리수질을 나타낸다. 최종 처리율(제거율)을 살펴보면 BOD는 93.5%, COD는 83.2% 그리고 SS는 95.8%이다. [3]



Table 5. General Present Situation [3]

Sewage Treatment Plant	Seogwipo Eastern Sewage Treatment Plant		Location	1429, Bomok-dong, Seogwipo City		
Administrator	Youngsan River Environment Management Bureau		Operation	Seogwipo City Water Quality Environment Institute		
Equipment Capacity	1st Stage:20,000m ³ /Day		Area	· Building Site:47,478 m ² · Building:3,541m ² (2Bldg)		
Treatment Method	Standard Activated Sludge Method		Sludge Treatment	concentration →Dehydration		
Treatment Zone	Area	649ha	Sewage collect system (Length of Pipe)	Combined System(16.89km)		
	Population	66,000				
Date of Completion	December 30, 1996		Project Fund	18,317 Million Won		
Plan of Sewage Quantity	Maximum per Day 20,000m ³ /Day		Inflow Sewage	Maximum : 12,993m ³ /Day		
Classification		Inflow and Treatment Quality(mg/ ℓ)				
		BOD	COD	SS	T-N	T-P
Design	Inflow	180	170	170	28	5.6
	Treatment	20	40	20	60	8
Operation (2001year)	Inflow	100.9	42.4	93.8	25.258	2.135
	Treatment	5.9	6.3	3.4	13.602	1.395
	Removal(%)	94.2	85.1	96.4	46.1	34.7
Operation (2002year)	Inflow	114.4	50.5	87.6	27.404	2.450
	Treatment	7.5	8.5	3.9	15.743	1.476
	Removal(%)	93.4	83.2	95.5	42.6	39.8
Operation (2003year)	Inflow	105.1	44.5	90.0	24.617	2.369
	Treatment	7.6	8.3	4.2	12.736	1.476
	Removal(%)	92.8	81.32	95.3	48.3	37.7
Average Removal(%)		93.5	83.2	95.8	45.7	37.4

3.3 처리구역

동부하수처리장의 하수처리구역은 주거지역, 상업지역, 공업지역, 녹지지역, 기타 등으로 나누어져 있으며 자구리(송산,정방,중앙)분구, 서귀(서흥,천지)처리분구, 정방(중앙,동흥)처리분구, 보목(보목)처리분구, 하효(효돈)처리분구, 상호(영천)처리분구에서 차집관거를 통하여 유입하도록 하는 합류식 차집방식으로 시설되어 있다. [3]

3.4 계획 유입량

생활오수, 공장폐수, 관광하수, 공공하수, 지하수 등을 고려하여 처리 분구별 계획처리면적 및 계획처리인구에 따라 계획유입하수량을 산정하였다. Table 6은 연도별 계획유입하수량을 산정한 결과를 나타낸 것이다. 동부하수처리장은 계획 목표연도인 2016년을 최종목표연도로 설정하였다.

계획하수유입량의 변동에 따라 1단계(1996년) 처리용량은 20,000m³/일, 2단계(2006년 10,000m³/일 증설예정)는 30,000m³/일, 3단계(2011년 5,000m³/일 증설예정)는 35,000m³/일로서 2016년에는 총 35,000m³/일을 처리할 수 있도록 계획되어 있다. [4]

Table 6. Yearly Flowrate 4]

Year	1996	2006	2011	2016
Sewage Inflow (m ³ /Day)	20,000	30,000 (+10,000)	35,000 (+5,000)	35,000

3.5 시설현황

1) 시설개요

하수처리장의 단위공정별 주요시설물에 대한 규격은 Table 7에 나타내었다.

Table 7. Present situation of sewage treatment plant [3]

Classification	Treatment Equipment
Sewage Collect Piping	16.89km
Grit Chamber & Screen	Sedimentation 1.4m(W) × 14.2m(L) × 0.9m(H) × 2Chamber
Primary Settling Pond	7.0mW × 27.5m(L) × 3.5m(H) × 3Chamber (rectangle)
Aeration Tank	7.0m(W) × 47.0m(L) × 5.0(H) × 3Chamber × (rectangle)
Secondary Settling Pond	7.0mW × 38.5m(L) × 4.0m(H) × 3Chamber × (rectangle)
Sludge Thickener	7.5m(Φ) × 3.5m(H) × 1Chamber(round)
Dehydration Equipment	Belt press Type Dehydrator 2set (Filtration Width : 1.5m)
Drum Screen	Rotary Screen 4m ³ /min x 1.5kw x 1 set
Discharge Piping	Coated steel pipes for water works 800mm, L=1096m
Ultraviolet Sterilizer	Ultraviolet producer 1set

2) 처리공정

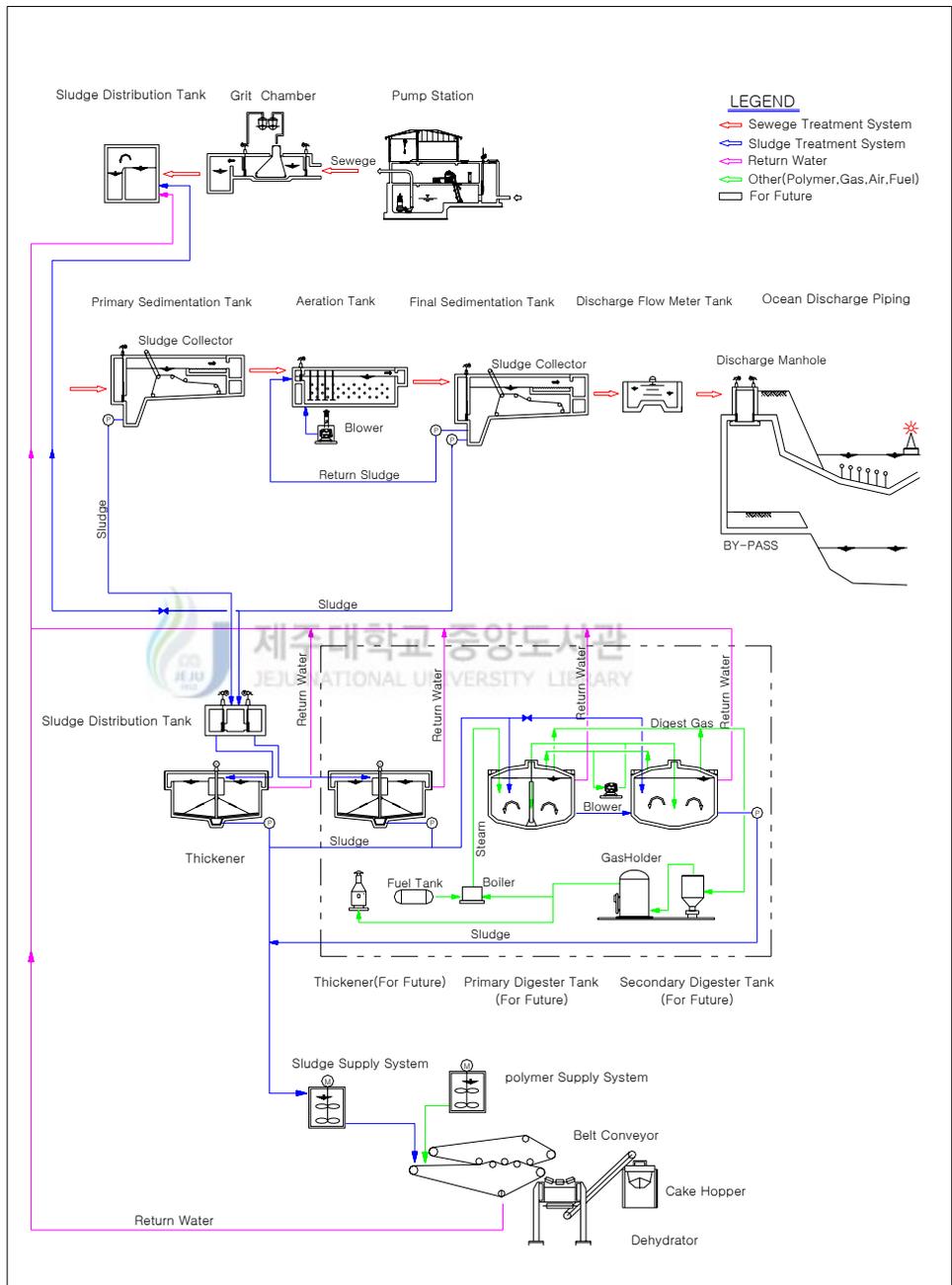


Fig 1. Schematic of Sewage Treatment Process [3]

(1)하수 처리공정 : 동부하수처리장의 하수처리공정을 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1에서 보면 차집관거를 통하여 자연유하로 중계펌프장으로 하수가 유입되고 모아진 하수는 중계펌프에 의해 압송되어 하수처리장으로 유입된다. 유입된 하수를 침사지내 조목 및 세목 스크린을 거쳐 자연유하로 유입분배조로 이송된다. 유입 분배조에서 하수처리장내 지별로 분배시키고 각 처리장 수처리 공정으로 분배된 하수는 물리적 및 생물학적 처리과정을 통해 적정 처리된 후 방류해역으로 방류된다. 이처럼 동부하수처리장의 수처리시설은 최초 유입에서 방류까지 다른 하수처리장처럼 유입펌프장을 두어 압송 이송하는 방식이 아닌 자연유하로 하수를 이송하게 하여 하수처리장내의 처리시설의 최소화 및 동력비용 절감에 유리하도록 설계되었다

(2)슬러지 처리공정 : 하수처리공정중 최초침전지에서 발생하는 생슬러지는 전량 농축조로 보내지며 최종침전지에서 발생하는 잉여슬러지는 일부는 최초침전지로 반송되어 기준치이하 부하의 하수가 유입시 부하량을 높이는데 이용되고 나머지는 농축조로 이송되어 생슬러지와 함께 중력에 의해 농축되어 탈수기실로 보내져 응집제와 혼합되어 응집상태로 탈수기에 의해 탈수후 케이크상태로 반출 매립 처분된다.

3) 중계펌프장 현황

Table 8은 동부하수처리장의 중계펌프장 현황을 나타낸 것이다.

Table 8. Status of Transit Pump Station [3]

Name of Pump Station	Location	Volume(m ³)	Number of Pumps	Treatment Area
Jaguri	Seogwidong 15-1	469	4	Songsan, Jeongbang, Jungang
Seogwi	Seogwidong 973-1	379	3	Seohong, Cheonji
Jeongbang	Seogwidong 1	800	4	Jungang, Donghong
Bomok I	Bomokdong 572-1	178	2	Bomok
Bomok II	Bomokdong 590-7	178	2	Bomok
Hahyo	Hahyodong 995	32	2	Hyodon
Sanghyo	Topyongdong 242	32	2	Youngcheon

4) 월별 전력 사용현황

Table 9는 2003년 기준으로 본 처리장의 월별 전력 사용을 나타내었다. 이를 근거한다면 본 처리장의 전력사용량은 하수처리량의 변동에 따른 전력 사용량의 변화가 크게 나타나지 않고 있다.

Table 9. Electricity Usage During Month(2003-Main Plant) [3]

Month Class	Jan	Feb	March	Apr	May	Jun
Amount Used (kW)	119,354	120,002	112,500	133,121	125,769	126,590
Month Class	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
Amount Used (kW)	134,481	113,717	114,696	105,941	113,544	110,346

3.6 발전기실 위치선정

동부하수처리장내 소수력발전을 적용하기에 가장 적합한 곳은 Fig. 2, Fig. 3에 나타난 바와 같이 방류유량계실과 해수면사이의 공유수면이라고 판단되며, 그 이유는 이곳에 소수력 발전시설을 설치함으로써 기존 처리공정과 상충되는 문제를 최소화 할 수 있고, 현 시설물 운영담당부서에서 소수의 인력보강으로 소수력 발전시설을 병행 관리할 수 있다. 또한, 필요시에는 소수력발전으로 생산된 전력을 처리시설내에 바로 공급할 수 있는 거리에 위치하고 있다는 장점이 있다.

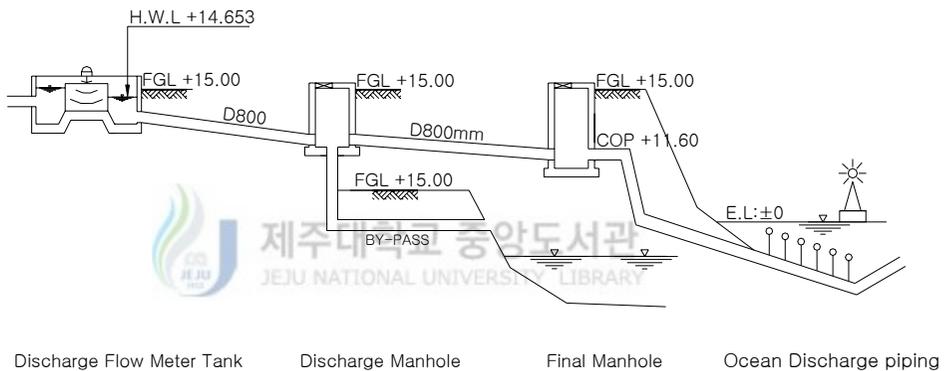


Fig 2. Cross Section of hydraulics [3]

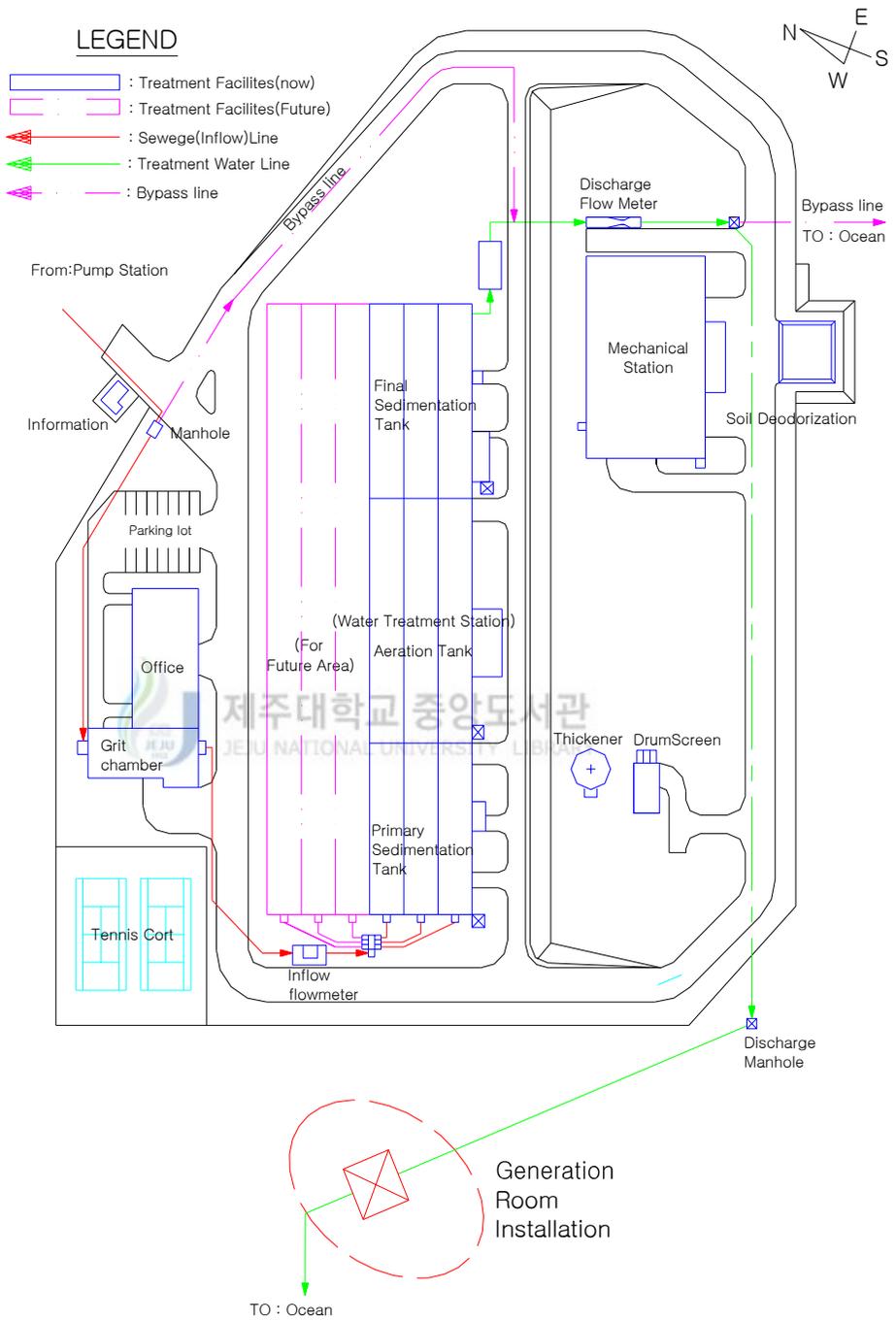


Fig 3. Location of Generation Room [3]

3.7 발전량 검토

1) 발전량 산출식

소수력발전은 그 형식에 따라 약간의 차이는 있으나 기본적인 원리는 높은 곳에 있는 물이 아래로 흘러 떨어지는 힘, 즉 물의 고저차(낙차)에 의한 위치에너지를 이용하여 수차에 회전력을 발생시키고 수차와 직결되어 있는 발전기에 의해서 전기에너지를 생성하는 발전방식이다. 수차를 회전시키는 물의 수량이 많을수록, 낙차가 클수록 발전 전력 생산량이 많아진다. 물이 위치에너지에서 전기에너지로 변환되는 소수력 발전능력의 산출 식은 통상 다음과 같다. [5]

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

P : 발전용량 (kW)

Q : 사용수량 (m³/sec)

H : 유효낙차 (m)

η_t : 수차 효율(%)

η_g : 발전기 효율(%)

2) 사용수량

일반적으로 하수처리시설에서의 소수력발전은 기상 및 강우특성에 따라 시간적, 공간적으로 유하량 변동을 크게 받는 일반 수력 발전과는 달리 전술한 요인에 의한 직접적인 영향은 거의 없으나 단지 온도가 상승하는 하절기에는 물 사용량의 증대에 따라 하수발생량이 대체로 증가하게 되며 반대로 동절기에는 대체로 감소하게 된다. 특히 분류식 하수관거가 설치되지 않은 합류식 하수처리지역에서는 우수유입에 의한 하수유입량이 다소 증가되기는 하나 태풍이나 폭우, 폭풍 시에는 처리용량을 초과하는 유량은 비상방류(By-pass)를 하므로 소수력 발전에는 별다른 영향이 없으며 해수면의 상승으로 인하여 유효낙차가 다소 감소되는 경우가 있으나 이는 발전소의 위치조정으로 극복할 수 있다.

소수력 발전에 이용되는 사용수량은 하수처리 시설내에서 시간적, 공간적으로

변화하는 하수량을 감안하여 설정된 목표연도에 최종 방류 가능한 하수량을 사용수량으로 적용한다. 이때 하수처리시설에서 소수력발전을 위한 사용수량은 kW당 건설비 및 발전원가의 허용범위 내에서 발전 전력량을 최대로 할 수 있는 규모 즉, 최대 사용수량으로 하는 것이 유리한데 이때에는 장래의 유량변동을 고려하여야 한다. 일반적으로 수로식 발전소의 최대 사용수량은 보통 하천 갈수량의 2~3배로 유험곡선에서 평수량 (약 50% 지속유량)을 적용하고 댐식 발전소에서는 풍수량 (약 26% 지속유량)을 적용하는데 하수처리시설의 경우는 연간유량변동이 적으므로 풍수량 이상을 계획 사용수량으로 적용하는 것이 적절할 것으로 사료된다. [5]

따라서 동부하수처리장에서 소수력발전의 계획사용수량을 결정하기 위하여 2002년에서 2004년까지 3년간의 일간 유입하수량을 Table 10, Table 11, Table 12에서 분석하여 나타내고 일간 시간대별 유입하수량을 Table 13, Fig. 5에 나타내었다. 일간 유입하수량에 있어서 2002년의 월별 최대유입량은 8월이 $0.226\text{m}^3/\text{sec}$ 로 가장 높았으며 또한 $0.075\text{m}^3/\text{sec}$ 로 가장 낮다. 월별 평균유입량은 $0.116 \sim 0.175\text{m}^3/\text{sec}$ 이며 월별차이는 그다지 크지 않다. 2003년의 월별 최대유입량은 7월이 $0.251\text{m}^3/\text{sec}$ 로 가장 높으며 12월이 $0.105\text{m}^3/\text{sec}$ 로 가장 낮다. 매월 평균유입량은 $0.113 \sim 0.214\text{m}^3/\text{sec}$ 로 월별차이가 다소 크다. 2004년의 월별 최대유입량은 5월이 $0.254\text{m}^3/\text{sec}$ 로 가장 높으며 12월이 $0.106\text{m}^3/\text{sec}$ 로 가장 낮다. 월별 평균유입량은 $0.117 \sim 0.173\text{m}^3/\text{sec}$ 이며 월별 차이가 크지 않다.

한편 일간 시간대별 유입하수량은 주간과 야간 시간대(11:00 ~ 00:00)에 지속적으로 시간대별 평균치($0.16\text{m}^3/\text{sec}$) 이상으로 유입되고 있으며 주로 01:00 ~ 10:00의 기간에는 시간대별 평균치보다 시간당 약 $0.01 \sim 0.10\text{m}^3/\text{sec}$ 정도 낮게 감소되어 유입되고 있다. 시간대별 평균치($0.16\text{m}^3/\text{sec}$)와 비교시 최대치는 $0.234\text{m}^3/\text{sec}$ 로서 46.2%가 증가되고 최소치는 $0.056\text{m}^3/\text{sec}$ 로서 65%가 감소되어 최대치와 최소치는 평균치보다 유량 증감 폭이 크게 나타나고 있다. 이와 같은 유량변화 패턴은 소수력발전의 수차 운전시 유입 유량조절에 충분히 반영하여야 할 것으로 판단되며 시간대별 유입하수량은 하수차집방식, 관거길이 및 특성, 각 중계 펌프장 운전수위 및 운전시간에 따라 유하시간과 처리장 유입하수량 변화특성이 달라지는 것으로 보인다.

Table 10. Flowrate of 2002 (Unit:m³/sec) [6]

class (02)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec
1	0.117	0.113	0.119	0.113	0.119	0.123	0.148	0.141	0.101	0.131	0.163	0.120
2	0.111	0.118	0.114	0.112	0.116	0.125	0.166	0.142	0.114	0.127	0.146	0.113
3	0.116	0.120	0.122	0.116	0.157	0.113	0.122	0.139	0.117	0.128	0.169	0.176
4	0.117	0.108	0.110	0.115	0.112	0.109	0.154	0.138	0.120	0.130	0.150	0.126
5	0.120	0.146	0.181	0.125	0.130	0.112	0.168	0.140	0.126	0.121	0.149	0.120
6	0.122	0.109	0.109	0.205	0.115	0.124	0.146	0.204	0.112	0.189	0.144	0.147
7	0.113	0.108	0.111	0.122	0.171	0.123	0.109	0.175	0.113	0.121	0.171	0.121
8	0.112	0.109	0.108	0.107	0.111	0.125	0.146	0.167	0.110	0.108	0.146	0.206
9	0.114	0.117	0.111	0.111	0.116	0.129	0.119	0.180	0.118	0.100	0.152	0.111
10	0.113	0.136	0.120	0.109	0.112	0.139	0.122	0.187	0.116	0.104	0.152	0.112
11	0.116	0.131	0.109	0.110	0.121	0.155	0.126	0.150	0.114	0.129	0.147	0.108
12	0.119	0.091	0.109	0.116	0.125	0.121	0.129	0.198	0.109	0.137	0.148	0.108
13	0.131	0.109	0.114	0.120	0.114	0.120	0.136	0.154	0.114	0.129	0.139	0.107
14	0.139	0.108	0.165	0.155	0.151	0.118	0.130	0.180	0.114	0.122	0.136	0.113
15	0.121	0.111	0.113	0.148	0.185	0.117	0.133	0.183	0.190	0.122	0.139	0.119
16	0.116	0.112	0.118	0.173	0.131	0.123	0.126	0.178	0.162	0.117	0.143	0.161
17	0.115	0.112	0.121	0.121	0.118	0.113	0.123	0.182	0.119	0.115	0.145	0.113
18	0.111	0.108	0.108	0.119	0.124	0.114	0.119	0.181	0.121	0.154	0.128	0.131
19	0.126	0.104	0.106	0.120	0.126	0.153	0.155	0.181	0.149	0.142	0.124	0.114
20	0.115	0.107	0.111	0.208	0.117	0.125	0.144	0.182	0.169	0.111	0.121	0.107
21	0.107	0.128	0.151	0.134	0.114	0.119	0.140	0.186	0.131	0.129	0.140	0.115
22	0.104	0.114	0.162	0.131	0.122	0.114	0.124	0.177	0.140	0.131	0.126	0.114
23	0.106	0.111	0.118	0.145	0.119	0.125	0.134	0.205	0.133	0.150	0.122	0.112
24	0.112	0.116	0.135	0.110	0.118	0.168	0.133	0.218	0.130	0.150	0.128	0.112
25	0.110	0.108	0.109	0.111	0.119	0.116	0.133	0.179	0.124	0.152	0.112	0.109
26	0.201	0.105	0.111	0.110	0.122	0.106	0.173	0.193	0.150	0.166	0.123	0.111
27	0.122	0.165	0.118	0.110	0.114	0.109	0.161	0.178	0.132	0.152	0.113	0.108
28	0.111	0.128	0.121	0.116	0.114	0.108	0.186	0.226	0.137	0.145	0.109	0.114
29	0.112		0.172	0.204	0.115	0.113	0.146	0.198	0.138	0.143	0.112	0.119
30	0.113		0.125	0.158	0.152	0.114	0.141	0.203	0.129	0.145	0.132	0.110
31	0.116		0.123		0.119		0.125	0.075		0.198		0.119
Max	0.201	0.165	0.181	0.208	0.185	0.168	0.186	0.226	0.190	0.198	0.171	0.206
Min	0.104	0.091	0.106	0.107	0.111	0.106	0.109	0.075	0.101	0.100	0.109	0.107
Ave.	0.119	0.116	0.123	0.132	0.126	0.122	0.139	0.175	0.128	0.135	0.138	0.122

Table 11. Flowrate of 2003 (unit:m³/sec) [6]

class (03)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Aug	Nov	Dec
1	0.120	0.108	0.191	0.143	0.124	0.146	0.201	0.213	0.191	0.173	0.144	0.109
2	0.114	0.120	0.123	0.115	0.119	0.134	0.191	0.221	0.204	0.169	0.148	0.109
3	0.117	0.119	0.180	0.111	0.125	0.132	0.202	0.220	0.186	0.170	0.136	0.107
4	0.120	0.115	0.114	0.112	0.125	0.135	0.204	0.213	0.188	0.173	0.132	0.110
5	0.133	0.109	0.151	0.123	0.161	0.141	0.208	0.212	0.184	0.172	0.133	0.111
6	0.129	0.116	0.249	0.121	0.208	0.144	0.219	0.223	0.189	0.162	0.125	0.121
7	0.121	0.112	0.120	0.168	0.174	0.148	0.192	0.226	0.184	0.159	0.121	0.116
8	0.117	0.188	0.121	0.138	0.122	0.143	0.200	0.215	0.181	0.161	0.139	0.109
9	0.118	0.119	0.122	0.111	0.114	0.136	0.197	0.215	0.196	0.166	0.127	0.109
10	0.116	0.113	0.108	0.110	0.122	0.142	0.233	0.221	0.190	0.162	0.164	0.108
11	0.120	0.162	0.112	0.239	0.120	0.138	0.228	0.249	0.197	0.164	0.122	0.131
12	0.123	0.113	0.109	0.128	0.116	0.164	0.216	0.206	0.168	0.165	0.117	0.106
13	0.117	0.113	0.114	0.126	0.158	0.146	0.220	0.203	0.173	0.201	0.117	0.116
14	0.114	0.115	0.126	0.113	0.179	0.153	0.208	0.192	0.149	0.158	0.113	0.116
15	0.111	0.136	0.137	0.117	0.169	0.136	0.230	0.178	0.149	0.156	0.123	0.108
16	0.114	0.128	0.201	0.114	0.126	0.133	0.183	0.233	0.160	0.154	0.122	0.111
17	0.117	0.118	0.115	0.116	0.129	0.134	0.251	0.225	0.163	0.153	0.111	0.105
18	0.119	0.118	0.118	0.125	0.125	0.209	0.227	0.202	0.177	0.153	0.154	0.110
19	0.123	0.117	0.114	0.195	0.123	0.217	0.217	0.140	0.192	0.153	0.160	0.121
20	0.112	0.115	0.113	0.175	0.123	0.164	0.199	0.145	0.194	0.149	0.149	0.122
21	0.116	0.111	0.114	0.116	0.116	0.159	0.227	0.169	0.185	0.144	0.120	0.119
22	0.142	0.139	0.121	0.115	0.119	0.156	0.230	0.167	0.178	0.147	0.114	0.112
23	0.116	0.129	0.125	0.132	0.123	0.213	0.233	0.172	0.178	0.144	0.119	0.113
24	0.117	0.136	0.117	0.180	0.172	0.172	0.215	0.177	0.179	0.146	0.132	0.112
25	0.120	0.121	0.112	0.197	0.138	0.158	0.218	0.183	0.181	0.149	0.129	0.112
26	0.221	0.148	0.113	0.136	0.129	0.158	0.216	0.162	0.181	0.151	0.111	0.112
27	0.130	0.118	0.120	0.127	0.121	0.212	0.213	0.195	0.184	0.139	0.129	0.118
28	0.113	0.115	0.114	0.114	0.114	0.191	0.205	0.222	0.186	0.156	0.114	0.116
29	0.125		0.118	0.143	0.135	0.178	0.221	0.197	0.173	0.137	0.114	0.108
30	0.133		0.122	0.120	0.184	0.195	0.208	0.200	0.174	0.140	0.119	0.112
31	0.158		0.142		0.158		0.213	0.194		0.136		0.113
Max	0.221	0.188	0.249	0.239	0.208	0.217	0.251	0.249	0.204	0.201	0.164	0.131
Min	0.111	0.108	0.108	0.110	0.114	0.132	0.183	0.140	0.149	0.136	0.111	0.105
Ave.	0.125	0.124	0.131	0.136	0.138	0.159	0.214	0.200	0.180	0.157	0.164	0.113

Table 12. Flowrate of 2004 (unit:m³/sec) [6]

class (04)	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Aug	Nov	Dec
1	0.116	0.124	0.118	0.173	0.224	0.132	0.132	0.149	0.154	0.156	0.144	0.113
2	0.116	0.113	0.108	0.123	0.254	0.128	0.130	0.144	0.162	0.150	0.121	0.116
3	0.114	0.113	0.107	0.121	0.221	0.135	0.141	0.158	0.164	0.145	0.114	0.118
4	0.116	0.110	0.107	0.124	0.188	0.135	0.166	0.194	0.165	0.144	0.120	0.185
5	0.115	0.114	0.119	0.123	0.132	0.137	0.140	0.143	0.168	0.152	0.116	0.122
6	0.113	0.114	0.112	0.114	0.127	0.135	0.131	0.140	0.161	0.148	0.144	0.115
7	0.113	0.121	0.119	0.111	0.124	0.157	0.218	0.145	0.170	0.146	0.124	0.109
8	0.114	0.123	0.111	0.119	0.197	0.127	0.136	0.141	0.158	0.151	0.114	0.114
9	0.118	0.114	0.111	0.112	0.181	0.123	0.131	0.139	0.183	0.160	0.143	0.115
10	0.116	0.116	0.110	0.122	0.128	0.124	0.139	0.137	0.169	0.158	0.170	0.119
11	0.120	0.114	0.114	0.122	0.126	0.121	0.131	0.134	0.228	0.151	0.115	0.120
12	0.112	0.117	0.109	0.120	0.165	0.125	0.127	0.136	0.199	0.150	0.115	0.123
13	0.113	0.115	0.119	0.113	0.169	0.119	0.139	0.153	0.170	0.154	0.147	0.120
14	0.112	0.116	0.122	0.117	0.143	0.120	0.146	0.150	0.164	0.153	0.134	0.119
15	0.112	0.119	0.113	0.119	0.243	0.121	0.137	0.133	0.179	0.152	0.124	0.119
16	0.121	0.112	0.117	0.117	0.225	0.114	0.141	0.136	0.221	0.154	0.108	0.118
17	0.122	0.115	0.175	0.121	0.147	0.220	0.141	0.202	0.189	0.152	0.108	0.117
18	0.116	0.114	0.116	0.189	0.146	0.151	0.140	0.222	0.217	0.148	0.112	0.120
19	0.115	0.115	0.114	0.133	0.162	0.180	0.141	0.189	0.172	0.145	0.110	0.122
20	0.126	0.114	0.113	0.108	0.152	0.132	0.141	0.131	0.172	0.132	0.114	0.113
21	0.130	0.130	0.135	0.115	0.140	0.126	0.142	0.149	0.155	0.145	0.119	0.113
22	0.110	0.148	0.117	0.114	0.151	0.119	0.143	0.238	0.157	0.148	0.109	0.106
23	0.126	0.109	0.113	0.113	0.153	0.130	0.142	0.194	0.155	0.146	0.108	0.109
24	0.120	0.111	0.112	0.116	0.140	0.227	0.144	0.209	0.155	0.144	0.109	0.119
25	0.118	0.111	0.107	0.119	0.148	0.170	0.145	0.151	0.167	0.181	0.111	0.124
26	0.113	0.113	0.109	0.214	0.141	0.135	0.139	0.146	0.170	0.177	0.112	0.121
27	0.115	0.110	0.115	0.146	0.144	0.129	0.145	0.149	0.175	0.129	0.114	0.110
28	0.111	0.168	0.122	0.115	0.142	0.124	0.145	0.156	0.174	0.133	0.116	0.118
29	0.119	0.144	0.139	0.112	0.185	0.131	0.146	0.163	0.160	0.124	0.106	0.114
30	0.116		0.185	0.109	0.209	0.130	0.141	0.158	0.157	0.129	0.108	0.122
31	0.117		0.110		0.175		0.151	0.159		0.131		0.177
Max	0.130	0.168	0.185	0.214	0.254	0.227	0.218	0.238	0.228	0.181	0.170	0.185
Min	0.110	0.109	0.107	0.108	0.124	0.114	0.127	0.131	0.154	0.124	0.106	0.106
Ave.	0.117	0.119	0.119	0.126	0.167	0.138	0.143	0.160	0.173	0.148	0.120	0.121

Table 13. Flowrate by Time(unit:m³/sec) [6]

classification	Ave.	Feb 1	May 1	Aug 1	Nov 1
Ave.	0.160	0.125	0.224	0.149	0.144
Max	0.234	0.194	0.415	0.245	0.334
Min	0.056	0.033	0.095	0.054	0.032
09:00	0.139	0.126	0.181	0.139	0.112
10:00	0.148	0.124	0.191	0.123	0.151
11:00	0.188	0.194	0.211	0.178	0.170
12:00	0.169	0.147	0.164	0.199	0.167
13:00	0.184	0.188	0.204	0.205	0.138
14:00	0.208	0.127	0.415	0.160	0.129
15:00	0.213	0.178	0.382	0.150	0.143
16:00	0.212	0.150	0.369	0.139	0.190
17:00	0.184	0.135	0.319	0.151	0.130
18:00	0.234	0.159	0.290	0.157	0.332
19:00	0.216	0.157	0.218	0.156	0.334
20:00	0.194	0.155	0.233	0.199	0.189
21:00	0.216	0.164	0.285	0.191	0.224
22:00	0.209	0.166	0.286	0.211	0.174
23:00	0.217	0.179	0.248	0.245	0.197
0:00	0.170	0.124	0.219	0.209	0.126
1:00	0.126	0.096	0.117	0.156	0.136
2:00	0.103	0.094	0.098	0.115	0.103
3:00	0.119	0.117	0.189	0.127	0.042
4:00	0.087	0.034	0.207	0.061	0.045
5:00	0.096	0.047	0.195	0.060	0.083
6:00	0.068	0.050	0.118	0.066	0.039
7:00	0.056	0.043	0.095	0.054	0.032
8:00	0.090	0.033	0.146	0.112	0.071

위 유량 데이터를 바탕으로 하수처리장의 유입하수량을 통계분석한 후 유황곡선을 작성하여 Fig. 5에 나타내었다. 이 유황곡선에서 도출된 최대유량, 풍수량, 평수량, 저수량 및 갈수량 등의 유황 값을 Table 14에 나타내었다. 앞서 언급한 바와 같이 하수처리시설의 계획사용수량은 풍수량을 적용하게 되는데 Table 14에서 알 수 있는 바와 같이 2002년에서 2004년까지 연도별 풍수량의 평균치는 약 13,552m³/일 인 것으로 나타났다. 따라서 소수력발전을 위한 사용수량은 13,552m³/일(0.157m³/sec)로 결정한다.

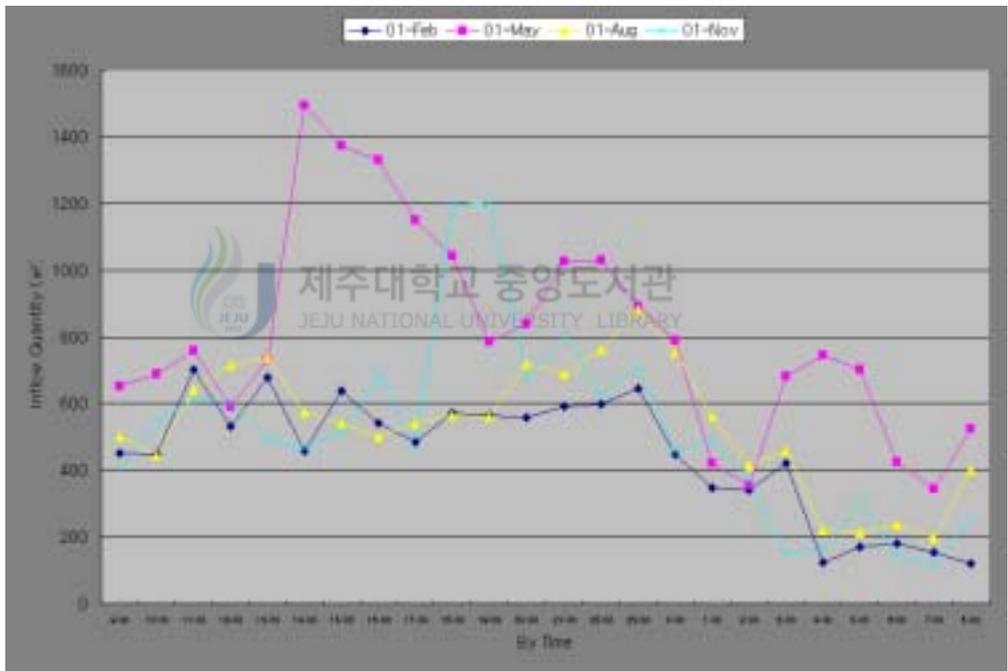


Fig 4. Variation of Flowrate by Time

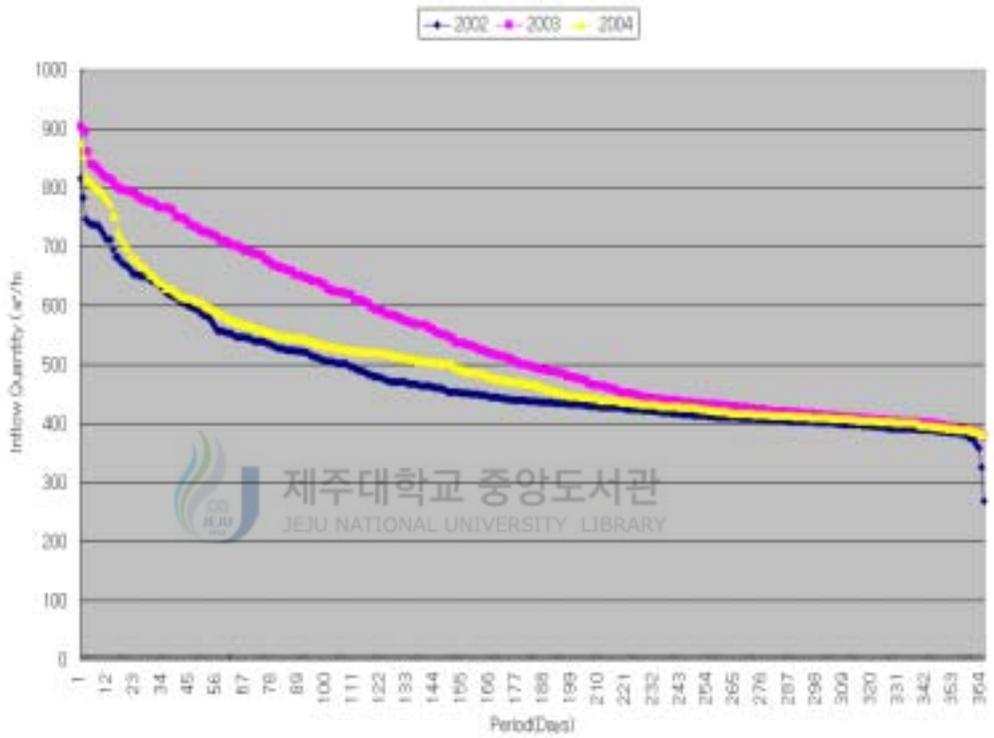


Fig 5. Valiation of Discharge Flow during a Year

Table 14. Flowrate Analysis of Year

(unit : m³/Day)

Year	Capacity	Maximum Flowrate (Q_1)	(Q_{95}) 95Day Water Flow	(Q_{185}) ordinary(185day) water flow	(Q_{275}) low(275day) water flow	(Q_{355}) drought(355day) water flow
2002년	20,000	19,560	12,312	10,512	9,768	9,192
2003년	20,000	21,672	15,408	11,832	10,176	9,408
2004년	20,000	21,912	12,936	11,112	9,984	9,360
Ave	20,000	21,048	13,552	11,152	9,976	9,320

(unit : m³/sec)

Year	Capacity	Maximum Flowrate (Q_1)	(Q_{95}) 95Day Water Flow	(Q_{185}) ordinary(185day) water flow	(Q_{275}) low(275day) water flow	(Q_{355}) drought(355day) water flow
2002년	0.231	0.226	0.143	0.122	0.113	0.106
2003년	0.231	0.250	0.178	0.137	0.118	0.109
2004년	0.231	0.254	0.150	0.129	0.116	0.108
Ave	0.231	0.243	0.157	0.129	0.116	0.108

3) 유효낙차

발전용낙차는 소수력 발전시스템의 출력을 산정 하는데 있어서 매우 중요한 인자로서 물이 수차발전기에 도달하기까지의 수직거리를 말하며 수차발전기에 유용한 에너지를 주는 낙차를 설계 유효낙차라 한다. 통상 하수처리시설에서 소수력발전 량은 하수처리시설 방류관실이나 방류 펌프(pump)실의 물리적 특성에서 낙차와 유량이 결정됨으로써 계산된다. 유효낙차는 총 낙차에서 손실수두를 제외한 설계유효수두로써 일반적으로 각 하수처리시설에서 시설기준에 따라 유입손실, 마찰손실, 만곡 또는 밸브손실 등을 고려하여 수리계산을 통해 계획된 손실수두를 조사하여 반영하고 있다. [7] 동부하수처리장의 경우 총낙차는 방류유량계실(EL:+14.65)과 발전기실(EL:+2.0)사이의 낙차로서 12.65m이며, 유효낙차는 총 낙차에서 손실수두를 제외한 낙차값을 말하며 아래의 손실수두의 산정에 의한 유효낙차의 계산결과를 Table 15에 나타냈다.



◦ 마찰 손실수두 [8]

방류유량계실 이후부터 발전기실까지 및 발전기실부터 해양방류관거 끝단까지의 손실수두의 각 계산식(Darcy Weisbach식)은 다음과 같다.

$$\bullet \text{ 마찰손실 수두 } \Delta h_L(m) = f \times (L/D) \times (V^2 / 2g), \quad V = Q / A \quad (2)$$

$$f = 0.03 + [(1/(1,000 \times D))] \text{ (신관, 강관)} \quad (3)$$

f = 마찰손실 계수

L = 관 길이로 1,246m(발전기실 전단부150m + 후단부1096m)

D = 관 직경으로서 0.8m(수도용도복장강관)

V = 관내평균유속(m/sec)

Q = 유량(m³/sec)

A = 관의단면적(m²)

g = 중력가속도(m/s²)이다

Table 15. Analysis of Effective Head

Classification	Maximum Flowrate by Time	Maximum Flowrate by Day	95Day Water Flow (Q_{95})	Remark
Flowrate [m ³ /s]	0.415	0.231	0.157	
Section of Pipe [m ²]	0.5	0.5	0.5	
Velocity [m/s]	0.83	0.462	0.314	
Actual Head [m]	12.65	12.65	12.65	
Head Loss [m]	1.70	0.53	0.24	
Effective Head [m]	10.95	12.12	12.41	

4) 발전규모

하수처리시설에서의 소수력발전 시설용량 즉, 발전규모는 앞서 언급한 바와 같이 사용수량, 낙차 그리고 수차와 발전기의 효율 등을 적용하고 여기에다 발전시설의 가동률을 적용하여야 한다. 발전시설의 가동률은 일반 하천 및 소계곡의 경우 유량이 불규칙하기 때문에 약 40~50% 정도이나 하수처리시설의 경우에는 유입유량이 다소의 일간변동은 있으나 일반하천이나 소계곡에 비해서 1일 유입량이 거의 일정하기 때문에 가동률을 통상 약 90%이상으로 적용한다. [7]

이상 언급된 발전규모 산정의 기본전제 아래에서 앞서 도출된 사용수량, 유효낙차, 수차와 발전기의 합성효율 및 설비이용율을 적용하여 정격출력과 월간 및 연간 발전량을 산정하여 Table 16에 나타낸다. Table 16에서 정격출력은 설계하수량의 시간 최대유량(H.W.L)일 때는 34.06kW, 일 최대유량(D.W.L)일 때는 20.99 kW이며 유황분석에서의 풍수량을 적용할 시는 14.6kW이다. 따라서 수차선정은 풍수량 기준의 정격출력으로 약 20~50kW정도면 충분할 것으로 판단된다. 이때 월간 발전량은 9.46MWh로 산정되며 연간발전량은 113.53MWh로 나타난다.

Table 16. Scale of Power Generation

Classification	Unit	Maximum Flowrate by Time	Maximum Flowrate by Day	(Q_{95}) 95Day Water Flow
Flowrate of Use	m ³ /sec	0.415	0.231	0.157
Effective head	m	10.95	12.12	12.41
Overall efficiency	%	76.5%	76.5%	76.5%
Output	kW	34.06	20.99	14.6
Used Equipment	%	90	90	90
Monthly Generation	MW	22.07	13.60	9.46
Yearly Generation	MW	264.91	163.2	113.53

이상을 종합하여 동부하수처리장내 소수력 발전시설을 설치하기에 적합한 곳은 방류 유량계실 이후 해수면 사이의 공유수면인 서측부지 E.L:(+)2.0인 지점이 가장 적합하다고 판단되며 사용수량은 시간적 변화나 계절적 변화가 다소 있으나 일일변화는 크지 않아 풍수량인 13,552m³/일(0.157m³/sec)이 적당할 것이다. 유효낙차는 방류부내 수차를 설치하게 될 지점에 따라 약간의 변동은 있겠지만 12.41m정도가 될 것이다. 따라서 발전시 예상되는 정격출력은 14.6kW범위로, 이 용될 수차의 정격출력은 추후에 하수량이 증가 할 것을 감안하여 약 20 ~ 50kW정도면 충분할 것으로 판단되며 이때 소수력발전시설의 월간발전량과 연간발전량은 9.46MWh, 113.53MWh의 범위가 될 것으로 판단된다.

3-8. 발전전력 사용계획

자가 발전된 전력의 사용방법은 크게 3가지 방법이 있으며 이는 기존전력 사용분의 일부를 절약하기 위하여 발전한 전기를 이용하는 소내부하 절약형, 발전한 전기를 전력회사에 판매하는 매전형, 산간오지 등에서 상용전원과는 별개로 발전한 전기를 사용하는 자립전원형이 있으나 동부하수처리장의 경우는 소규모의 발전량인면서 기존 전력시설이 갖추어져 있으므로 매전 형이나 자립형 전원보다는 소내부하 절약형이 적합하다고 판단된다. 생산된 전력은 하수처리장내 공동구내의 조명, 구내도로 및 현재 시설되어 있는 어린이 놀이터 등의 가로등의 야간조명, 방류수 수질감시를 위해 설치된 처리장입구 연못의 분수, 히팅코일을 이용한 구내도로의 동결방지시설, 비상정전시 현재 시설되어 있는 20kW급 UPS(무정정 전원공급설비)와 연동하여 UPS활용시간 연장등에 사용할 수 있다고 판단된다.



IV. 발전설비 검토

4.1 수차의 형식검토

국내 소수력발전소의 수차 적용사례를 Table 17에 나타낸다. 최근 소수력발전 개발이 활발해짐에 따라 많이 사용되고 있는 것이다.

Table 17. Cases of Hydraulic Turbine Applied by National HydroPower Generation [9]

Kinds of Turbine	Names of small HydroPower Generation
Francis	Sannae, Kwangcheon, daeah, Hweongseong, Youngcheon, Milyang, etc
Kaplan	Kyeongcheon, Pocheon, Woonmun, Seongju, Ahsan, Cheonan, Dongjin, Bangwoo-ri, etc
Bulb- type	Bonghwa, Danyang, Youngwol, etc
Tube-Type	Keumkang, Yimki, Deoksong, Andong, etc

상기의 다양한 수차 가운데 동부하수처리장에 적용하기 위한 수차의 선정은 Fig. 7에 나타낸 수차형식 선정도 [10] 를 이용하도록 한다. 수차형식 선정도는 사용유량과 적용하려는 유효낙차에 적합한 수차들을 그래프 내에서 쉽게 찾을 수 있도록 하였는데 동부하수처리장 소수력발전의 경우 사용유량이 $0.157\text{m}^3/\text{sec}$ 이고, 유효낙차가 12.41m 이므로 인라인형(Inline-Type)수차 또는 충동식의 크로스 플로우(Cross Flow) 수차에 가깝게 해당되나 동부하수처리장의 경우에는 저 낙차 소유량이기 때문에 발전기와 수차가 일체로 되어있어 구조가 간단하고 유지관리가 용이한 인라인형(Inline-Type) 수차가 유리할 것으로 판단된다.

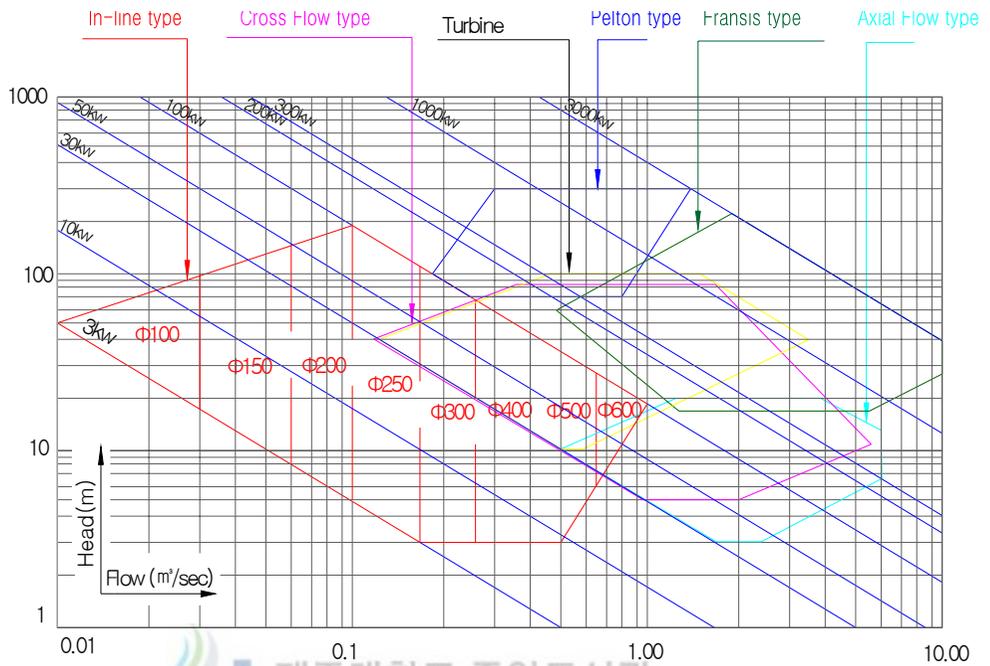


Fig 6. Example of Choosing Hydraulic Turbine [10]

4.2 발전기 형식검토

소수력발전에 주로 많이 적용되고 있는 발전기는 유도발전기와 동기발전기가 있는데 유도 발전기는 동기발전기에 비해 경제적이고 구조가 간단하여 유지보수가 용이한 것이 장점이 있으나 단독운전이 불가능하고 전력계통에 병입시 돌입전류가 계통의 전압강하를 초래하여 계통으로부터 여자전류를 공급받기 때문에 무효전류를 소비하게 되어 계통의 역률을 저하시키는 단점이 있다. [9] 동부하수처리장에서 적당한 발전기 형식은 구조적인 측면과 운전의 안전성 및 경제성 측면에서 유도발전기가 유리할 것으로 판단되며, 또한 유도발전기 중에서 회전자를 동기속도 이상으로 회전시켜 발전하는 농형이 회전자의 2차에 외부에서 교류전압을 인가하여 2차 유기전압과 상쇄되는 점이 동기속도로 발전하는 권선형에 비해 구조적으로 견고하므로 농형 유도발전기로 계획한다. 또한 발전전압은 국내에는 소수력발전에 사용되는 수차발전기에 대한 표준화 작업이 이루어지지 않았으므로 소수력개발이 활발하며 표준화작업이 이루어지고 있는 가까운 일본의 자료 및 제조사의 규격을 통하여 수차발전기의 적정 단자전압을 결정하도록 하는데, 보통 발전용량이 250kW미만의 경우 적정전압은 220V로 계획되고 있었다. 그러나 동부하수처리장의 경우 국내에서 일반적으로 산업시정에서 많이 사용하는 사용하는 380V로 계획하여 220V의 전원이 필요시는 전압을 낮춰 사용하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

4.3 용량. 대수의 검토

수차와 발전기의 용량은 시간최대하수량($0.415\text{m}^3/\text{sec}$)과 최대낙차(풍수량의 유효낙차 12.41m)를 이용하여 식 (4), (5), (6)로서 계산한 결과 수차와 발전기 는 50kW 급 Inline-Type 농형수차발전기 1대를 설치하는 것이 좋을 것으로 판단되며, 그 결과는 Table 18과 Table 19에 나타내었으며 그 산출근거는 다음과 같다. [9]

◦ 이론수력

$$P1 = G.H.Q = 50.47(\text{kW}) \quad (4)$$

$$G = \text{중력 } 9.8\text{m/s}$$

$$H = \text{최대유효낙차 } 12.41\text{m}$$

$$Q = \text{최대사용수량 } 0.415\text{m}^3/\text{sec}$$

◦ 수차수력

$$P2 = P1.\eta_t = 42.9(\text{kW}) \quad (5)$$

$$P1 = \text{이론수력}(\text{kW})$$

$$\eta_t = \text{수차효율 } 85(\%)$$

◦ 발전출력

$$P3 = P2.\eta_g = 38.61(\text{kW}) \quad (6)$$

$$P2 = \text{수차수력}(\text{kW})$$

$$\eta_g = \text{발전기 효율 } 90(\%)$$

Table 18. Capacity of Installation of Hydraulic Turbine

Type	Inline-Type
Output	50 kW
Revolution	1500 rpm
Specific speed	570
Diameter of Runner	0.3 m
Efficiency	Over 85%

Table 19. Capacity of Installation of Generator

Type	Induction Generator
Output	50 kW
Revolution	1500 rpm
Frequency	60Hz
Pole	6P
Voltage	AC 3 phases, 380V
Maximum Moment	70 %
Efficiency	over 90 %

4.4 토목. 건축시설의 검토

본 연구에서는 소수력 발전설비이므로 공사비를 최대한 절감하기 위하여 발전관로 시작부를 방류유량계실로 하고 별도의 관거매설공사 없이 기존의 방류관거를 따라 Fig. 8에 나타낸 바와 같이 적정지점에 발전기실을 설치하도록 하며, 또한 발전기실은 발전시설인 수차와 발전기가 지진, 해일, 태풍 등에 의하여 침수되거나 월파 등에 의한 침수 등의 외부의 불리한 환경으로부터 보호되어야 하고 토지 사용계획등에 의거 그 사용 계획에 부합되어야 한다. 따라서 해양방류관거 최종방류구 평균해수면(E.L.:±0)보다 약 2미터 높은 지상에(E.L.:+2.0)설치한다 이는 조수간만의 차에 의한 수위변동을 고려하고 또한 발전기(수차)가 들어설 구조물내의 배수를 위해서이기도 한다. 발전소는 다른 기존시설물의 활용 및 기능에 영향이 없도록 하고 철근 콘크리트 구조물로 계획하여 외관은 수려한 제주의 해안절경에 어울리도록 원형지붕에 자연석 돌 붙임으로의 마감을 고려한다.

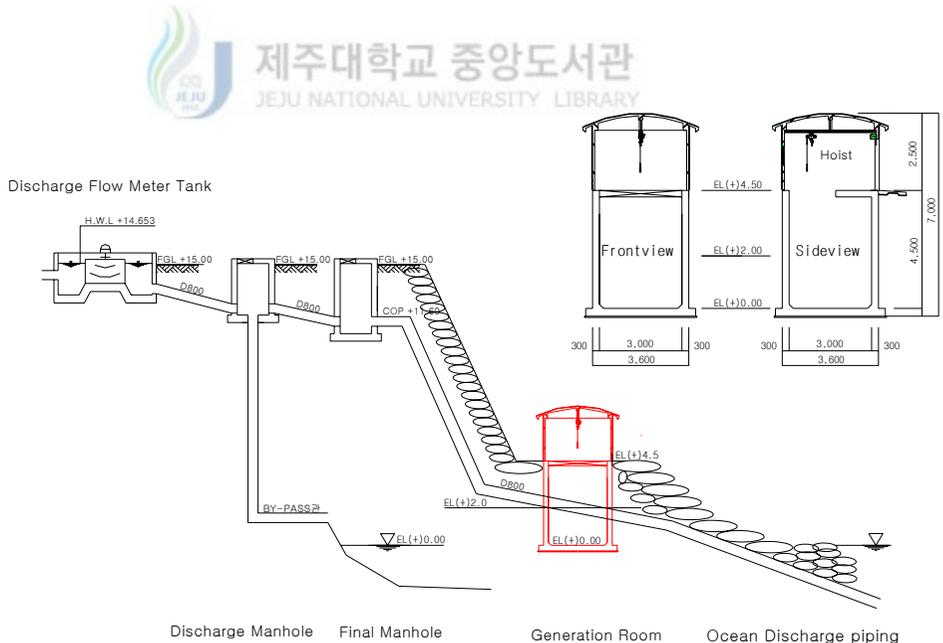


Fig 7. Layout of Generation Room

4.5 기계설비의 검토

기계시설의 계획에서는 수차의 유지보수를 위한 입, 출구밸브 시설과 신축관, 강관류 설치와 구조물내 배수를 위한 배수펌프설비 그리고 발전소와 수차의 해체, 설치 및 수리의 유지보수에 필요한 인양설비등으로 계획하여야 할 것이다. 그러나 동부하수처리장의 경우 밸브설비 계획에서는 입구밸브의 경우 기존 방류 맨홀의 수문을 이용하여 차단하고 출구밸브는 버터플라이 밸브 등을 고려한다. 또한 비상시 및 발전기 해체조립시 드레인을 고려하여 배수펌프를 설치하는데, 펌프의 형식은 수중모터펌프를 이용하고 조작용 자체수위계의 수위감지에 의한 자동운전이 되도록 한다.

수차 또는 발전기 등의 조립과 분해, 설치, 철거를 위하여 발전기실 상부에 유지관리용 모노레일 호이스트를 설치하고 설치되는 인양설비의 용량은 발전설비 제작자의 제시사양에 따라 대략 1~2톤의 규모로 계획하도록 하고. 점검 및 유지보수시 작업자의 안전과 인양설비 본래기능을 고려하여야 하고 소형 인양설비이므로 운전실은 별도로 계획하지 않는다. 인양높이는 발전실 바닥에서부터 크레인 Hook의 최대권상 위치까지의 높이 등을 고려하여 약7.0m로 계획한다.

V. 결 론

제주도 서귀포시 동부하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전에 대하여 검토한 결과는 다음과 같다.

소수력발전시설을 설치하기에 적합한 곳은 발전량과 운영관리 측면에서 방류유량계실 이후와 해수면 사이 EL(+).2.0 지점인 서측 공유수면이 적합하며, 발전량 산정에 있어서 사용수량을 최근 3년간의 풍수량의 평균인 $0.157\text{m}^3/\text{sec}$ 로 하고, 방류유량계실과 수차설치위치 사이의 유효낙차가 12.41m이므로 발전시 예상 정격출력은 14.6kW로 산정되며, 월간발전량과 연간발전량은 9.46MWh, 113.53MWh로 산정되었다. 또한 소수력발전에 적용될 수차의 형식은 저 낙차 소수량의 소수력발전이므로 수차와 발전기가 일체로 된 Inline-Type 수차발전기를 선정하며, 용량은 50kW급 1대를 설치하면 될 것으로 판단된다.

소수력 발전은 완벽한 무공해 에너지의 생산시스템으로 제주도가 국제자유도시추진과 함께 청정제주의 이미지를 부각시킬 수 있고 일반적으로 혐오시설로 인식된 하수처리장에 대한 친환경적인 이미지 제고에도 크게 기여하게 될 것이므로 대체에너지사업의 일환으로 심층 있게 고려해 보아야 할 것이다.

VI. 참고자료

- [1] 제주도 "제주하수처리장 대체에너지사업 타당성 조사" 2004, P77~80.
- [2] 환경부(<http://www.me.go.kr>) "2003 전국하수처리장 현황".
- [3] 서귀포시(<http://www.seogwipo.go.kr>) "동부하수처리장 운영자료".
- [4] 서귀포시 "2003 환경백서" P280.
- [5] 대구경북개발원 "신천하수종말처리시설 소수력발전적용검토" 2002, P37~38.
- [6] 서귀포시(<http://www.seogwipo.go.kr>) "동부하수처리장 운영자료" 2002~2004년.
- [7] 대구 경북개발원 "신천하수종말처리시설 소수력발전적용검토" 2002, P40.
- [8] 환경부 "하수종말처리시설 기계설비공사 설계지침" 2001, P29.
- [9] 제주도 "제주하수처리장 대체에너지사업 타당성 조사" 2004, P111~114.
- [10] 久保田펌프社(株)(<http://www.kubotapump.co.jp>).

