

남제주군 육상 양식장에서의 소수력 발전시스템의 적용성

김도진* · 김태한* · 좌종근**

Applicability of Small Hydro-Power System at Inland Aquaculture in Nam Jeju

Do-Jin Kim* · Tae-Han Kim* · Chong-keun Jwa**

ABSTRACT

The applicability of a small hydro-power system for water pollution treatment facilities is investigated at the fish farm in Nam Jeju. For this study, the present situations of the fish farm are examined, and the running problem of screen is found out. As a means of solving this, the small hydro-power system which runs with seawater of head tank is considered. In order to apply this system, the field examination is carried out by sampling methods. The flux and the gross head are measured from selected site at the fish farm, and available generating electric power is estimated by these data. From this result, it is turned out that there is a set up possibility of this system at the fish farm.

Key Words : small hydro-power system, fish farm, flux and head.

1. 서론

우리나라의 수산양식 중 어류양식은 주로 축제식, 육상수조식, 해상어류 가두리양식이 주종을 이루고 있다. 이들 가운데서 육상수조식은 과다한 시설투자, 유류, 전력 등의 에너지자원과 사료와 같은 경제적 요인에 의존할 수밖에 없으며, 양식시설로부터의 배출수는 해안환경의 오염마저 유발하여 다른 수산업에도 영향을 미치고 있다[1].

양식 배수의 특징은 양식장의 규모에 따라 다소 차이는 있지만 사료급여 후 1시간 후에 부유물 농도가 가장 최고치에 달하여 3시간 후에는 원상태로 회복이 된다. 또한 유수식의 경우 시설규모에 비해 배출수의 양이 많기 때문에 24시간 가동처리에는 많은 유지관리비가 예상되고 있다. 양식장 배출수의 오염문제는 주로 유실된 사료와 어류의 대사활동 등으로 인한 배설물 등에 의해 발생된다. 배출수중의 고형물질은 연안으로 유출되어 유기물질의 증가를 초래하고, 부영양화를 가속화시켜 연안의 이용성을 저하시키게 된다 [2][3].

이에 따라 육상양식장에 수질오염을 저감시킬 수 있는 시설에 대한 설치기준이 마련되었다. 수질환경보전법 시행규칙 제 50조 규정에 의하면 전복, 종묘 양식을 제외한 500[m²] 이상의 수조식 육상양식업을

* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 전기전자공학부

Faculty of Electrical & Electronic Eng., Cheju Nat'l Univ., Inst. of Adv. Tech.

Table 1. Present status of water pollution treatment facilities in Nam Jeju

number of fish farm	fish farm for needed facilities	classification				exception			unequipped fish farm
		sub total	20% settlement tank	5% settlement tank + screen	3 step mesh	sub total	insufficient facilities	fish farm for abalone	
153	140	140	8	25	107	13	1	12	-

Table 2. Efficiency of water pollution treatment facilities (%)

classification pollutant	settlement tank 5% + drum filter	settlement tank 5% + inclined screen	settlement tank 5% + 3 step mesh	3 step mesh
COD	6.3	5.8	10.9	5.3
SS	18.5	5.6	15	1.4
T-N	4.4	6.6	7.7	3.6
T-P	10.4	6.5	12.1	3.9

설치 운영하는 자는 수면적 20[%] 이상의 침전조, 5[%] 침전시설과 경사스크린이나 드럼 스크린, 또는 3단계 거름망을 설치하도록 되어 있다[3].

한편 제주도 남제주군 해양수산과의 벤처동아리 바다랑에서는 2002년 12월 기준 제주도 전체 육상양식장 282업체의 54.6%(154업체)가 설치된 남제주군 양식장 수질오염 저감시설의 중요성을 인식하고 이 시설에 대한 효율성 제고방안을 연구하였다. 이 연구 가운데는 소수력을 이용한 자가발전식 수질오염 저감 시스템 개발에 대한 내용도 포함되어 있다[4].

본 논문에서는 벤처동아리 바다랑에서 수행한 연구 결과를 토대로 하여 육상양어장 시설을 이용한 소수력시스템을 적용하여 수질오염 저감시설의 효율적 운용은 물론 에너지 절약 및 이용합리화를 도모함과 동시에 수질오염을 저감시키고 경영개선에도 기여할 수 있도록 하기 위한 소수력 발전시스템에 대한 조사연구를 수행하고자 한다.

II. 남제주군 육상양식장 현황

Table 1 은 남제주군 내 수질오염 저감시설 설치현황이다. 시설대상 140개 양식장중 스크린을 설치한 곳은 25개이다. 벤처동아리 바다랑에서 조사한 운영 실태에 의하면 침전시설은 침전지내 찌꺼기 누적으로

수질오염이 가속화되고, 스크린 시설은 잦은 고장과 전기요금의 부담으로 사용을 기피하고, 3단계 거름망은 구조적 문제점으로 방치하고 있는 실정이다.

Table 2 는 수면적 5,000[m²], 양수량 70,000[m³/일] 기준으로 한 수질오염 저감시설의 효율이다. 부유물질(suspended solids ; SS) 제거효율은 드럼 필터가 상대적으로 높은 반면 화학적산소요구량(chemical oxygen demand; COD)이나 T-P(총인) 제거효율은 침전조+3단계 거름망이 높게 나타났다.

III. 육상양식장 소수력 발전시스템

3.1. 수력발전 개요

해수 육상양식장의 수질오염 저감시설을 효율적으로 운영하기 위한 소수력 발전 시스템을 적용하기 위해 먼저 해수 수력 발전시스템의 기초원리와 시스템의 구성을 검토한다.

3.1.1. 해수 수력발전의 원리

1) 해수의 물리적 성질

△ 해수밀도의 일반성[5]

- 대양의 해수밀도는 1.02~1.03[g/cm³]이며 일반적으로 수심 증가에 따라 증가한다.

- 해수가 가열되거나 강수에 의해 희석되면 밀도는 감소한다.
- 해수는 냉각되거나 증발 또는 결빙하여 염분이 증가하면 밀도는 증가한다.
- 압력은 거의 염분에 영향을 주지 않는다.
- 해수밀도는 염분변화보다는 수온변화에 더욱 민감하다.
- o 해수의 ph는 8.3 전후이다.
- o 해양수산부가 주관하고 한국해양연구원이 연구하고 있는 울돌목 조류 발전시스템에서는 해수 밀도를 1,025[kg/m³]로 하고 있으므로 본 용역에서는 이 값을 사용한다.
- o 수력학상의 문제에서 해수는 비압축성 물질로 생각한다.

2) 발전의 원리

해수 수력발전은 제1차 에너지로서 수조등에서 해수가 갖는 위치에너지를 수차를 이용하여 기계에너지로 변환하고 다시 이것을 발전기로 전기에너지, 곧 전력으로 변환하는 발전 방식이다.

여기서 발생하는 발전출력은 유량과 낙차의 곱에 비례하므로 수조의 유량에 좌우되지만 이때의 출력을 증가시키기 위해서는 수차에 큰 낙차가 작용할 수 있는 발전지점을 선정하여야 한다.

지금 사용 유량 Q[m³/s]의 해수가 유효낙차 H[m]를 낙하하여 수차에 주는 이론 해수력 P_i[kW]는

$$P_i = 10.045 QH \tag{1}$$

가 된다.

이 이론 해수력은 Fig.1 에서 보는 바와 같이 수차의 입력으로 되어 수차, 발전기를 회전시키게 된다. 수차 출력 P_t[kW] 및 발전기출력 P_g[kW]는 각각 수차효율을 η_t, 발전기 효율을 η_g라고할 때

$$P_t = 10.045 QH \eta_t \tag{2}$$

$$P_g = 10.045 QH \eta_t \eta_g \tag{3}$$

로 표시된다.

η_t, η_g는 수차, 발전기의 각각의 형식, 용량, 부하의 크기 등에 따라 약간 다르고 이 양자의 곱 η_tη_g를 종합효율이라고 한다.

식(3)로 부터 알 수 있는 바와 같이 해수력을 유효하게 사용하려면, 어떻게 해서 큰 낙차(H)와 사용유량(Q)을 경제적으로 얻을 수 있을 것인가 하는 문제로 된다.

3.2. 소수력 발전시스템 적용성 조사

3.2.1 조사방법

1) 소수력 개발의 장점

다른 대체에너지원에 대한 소수력발전의 장점은 여러 가지 측면의 사회적, 환경적 이점으로 최근에는 선진국에서도 매우 큰 관심을 끌고 있다. 특히 경제적 이점중의 하나는 초기의 막대한 투자에 비하여 유지관리비용이 아주 낮다는 점이다. 소수력 발전은 일반적인 대규모 수력발전과 원리면에서는 차이가 없으나 개발지점의 특성 및 개발형식에 조화를 이루는 규모가 작고 기술적으로 단순한 수력발전이라고 할 수 있다. 소수력의 대수력에 대한 상대적인 장점을 들면 다음과 같다[6].

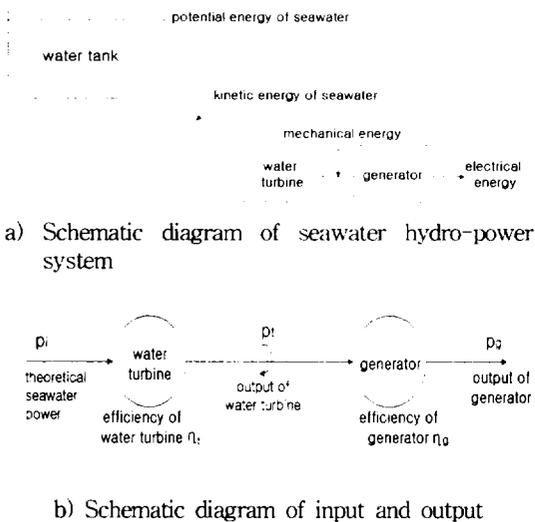


Fig. 1. Outline of seawater hydro-power system

- o 건설기간이 빠르고 비교적 짧은 계획, 설계 및 시공기간
- o 저렴한 설비를 포함한 낮은 투자비용
- o 민간 및 지자체 주도의 투자참여로 지역개발 효과
- o 사회적 이점 및 환경훼손 최소화 등

$$f = \frac{124.6 n^2}{D^{\frac{1}{3}}} \quad (6)$$

여기서, n은 조도계수(0.014), L은 관의 길이[m], D는 관의 내경[m], v는 관내 유속 [m/s], 그리고 g는 중력가속도이다.

3) 해수 소수력 발전시스템 적용성 조사방법

남제주군내에 설치하여 운영되고 있는 해수 육상양식장에 대하여 해수 소수력 발전시스템의 적용성 검토를 현장 실태조사를 통하여 수행하였다.

iii) 방수로내 손실낙차 h3

$$h_3 = \frac{v^2}{2g} + IL \quad (7)$$

여기서, v는 방수로내 유속[m/s], l은 방수로의 길이[m], 그리고 I는 방수로의 구배이다.

이상 3개의 손실낙차를 합한 것을 총손실 낙차 h라 한다.

- o 남제주군내 양식장 152개소 중 수질오염 저감시설의 설치 대상 수가 140개소이고, 표본조사로 실태조사를 하였다.
- o 실태조사는 조사지점에서 발전가능량을 계산할 수 있도록 유량과 총 낙차를 측정하였다.
- o 발전전력을 계산하기 위해서는 유효낙차를 알아야 함으로 손실낙차를 다음과 같이 산정한다[7].

$$h = h_1 + h_2 + h_3 \quad (8)$$

i) 수로 구배에 의한 손실낙차 h1

실측에 의한 총 낙차를 h0라 하면 유효낙차 H는

$$h_1 = IL \quad (4)$$

$$H = h_0 - h \quad (9)$$

여기서, I는 수로의 구배이고 L은 수로의 길이[m]이다.

가 된다.

ii) 수압관내 마찰에 의한 손실낙차 h2

$$h_2 = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} \quad (5)$$

3.2.2 조사대상

총 양식장 152개소 중 표본조사 대상 20개소를 선정하였다. 표본조사 대상은 양식업체 수에 관계없이 각 읍, 면 별로 5개소씩 선정하였고 Table 3 은 조사대상 양식장을 보이고 있다.

Table 3. Fish farms for sampling methods

2003. 12. 31 기준

fish farm classified by town and Myon	number of fish farm	number of sample fish farm	remark
Sung-san	63	5	fish farm A, B, C, D, E
Pyo-sun	36	5	fish farm F, G, H, I, J
Nam-won	31	5	fish farm K, L, M, N, O
Dae-jung	22	5	fish farm P, Q, R, S, T
Total	152	20	

각 조사 대상지역은 남제주군 해양수산과의 자문과 측정의 용이성 등을 고려하여 현장을 답사한 후 선정하여 현장실태 조사를 실시하였다.

3.2.3 조사결과

20개소의 표본조사대상 양식장에 대한 조사결과를 Table 4 ~ Table 7 에 보였다. 각 표에서 손실낙차

는 식(5)에 의한 수압관내 마찰에 의한 손실만 고려하고 구배에 의한 손실과 방수로내 손실에 의한 손실 낙차는 무시하였다. 측정과 계산에 의한 유효낙차와 유량에 의한 측정지점에서의 이론 해수력을 식(1)를 이용해서 계산하였다.

이들 표에서 보듯이 이론 해수력은 1.669[kW]에서 13.895[kW]까지 넓은 분포를 가지고 있다.

Table 4 Investigated results at fish farm in Sung-san

fish farm	area of water tank [m ²]	pipe diameter [mm]	gross head [m]	loss head [m]	effective head [m]	speed of current [m/s]	flux [m ³ /s]	theoretical seawater power [kw]
A	5,503.98	400	4.0	0.014	3.986	1.14	0.314	5.365
B	1,139.42	300	5.5	0.065	5.435	1.91	0.133	7.261
C	5,067.47	300	4.8	0.022	4.778	1.05	0.073	3.503
D	4,193.35	300	1.95	0.007	1.943	1.26	0.087	1.698
E	1,944.00	500/300	4.95/4.95	0.062/0.316	4.888/4.634	1.70/1.14	0.283/0.085	13.895/3.956

Table 5 Investigated results at fish farm in Pyo-sun

fish farm	area of water tank [m ²]	pipe diameter [mm]	gross head [m]	loss head [m]	effective head [m]	speed of current [m/s]	flux [m ³ /s]	theoretical seawater power [kw]
F	14,346.50	450	4.9	0.029	4.871	1.30	0.183	8.954
G	3,919.42	300	4.4	0.672	3.728	2.05	0.139	5.205
H	4,766.13	400	4.8	0.009	4.791	0.86	0.101	4.860
I	4,086.90	400	5.05	0.038	5.012	1.60	0.188	9.464
J	4,945.65	300	5.9	0.047	5.853	1.25	0.087	5.115

Table 6 Investigated results at fish farm in Nam-won

fish farm	area of water tank [m ²]	pipe diameter [mm]	gross head [m]	gross head [m]	fective head [m]	speed of current [m/s]	flux [m ³ /s]	theoretical seawater power [kw]
K	3,060.26	400	6.1	0.085	6.015	2.24	0.155	9.365
L	3,292.00	300	5.4	0.157	5.243	1.99	0.141	7.425
M	12,150.68	300	3.4	0.009	3.391	0.75	0.049	1.669
N	6,759.75	300	3.4	0.188	3.212	3.29	0.388	12.518
O	4,281.36	300	4.0	0.044	3.956	1.47	0.102	4.053

Table 7 Investigated results at fish farm in Dae-jung

fish farm	area of water tank [m ²]	pipe diameter [mm]	gross head [m]	gross head [m]	effective head [m]	speed of current [m/s]	flux [m ³ /s]	theoretical seawater power [kw]
P	5,195.60	300	4.9	0.029	4.871	1.00	0.069	3.376
Q	4,933.53	400	5.1	0.106	4.994	2.49	0.291	14.597
R	3,239.39	400	4.1	0.021	4.079	1.29	0.151	6.187
S	2,650.00	400	3.9	0.016	3.884	1.17	0.138	5.384
T	4,470.10	400/300	4.0	0.017/0.009	3.983/3.991	1.16/0.72	0.135/0.050	5.401/2.004

Table 8 은 측정지점에서의 발전전력의 최대, 최소, 그리고 평균치를 보이고 있다. 발전전력은 식(3)에 의하여 계산하였고 수차의 효율($\eta_t=0.75\sim0.85$)과 발전기 효율($\eta_g=0.82\sim0.90$)을 적용하였다. 최소전력은 종합효율(η_{tng})을 0.615로하고 최대전력은 0.765로 보아 계산하였다. 모든 계산에서 소숫점의 네자리 이하를 무시하였다.

Table 8. Available electric power at investigated site

fish farm	maximum power [kW]	minimum power [kW]	average power [kW]
A	4.104	3.229	3.666
B	5.554	4.465	5.009
C	2.679	2.154	2.416
D	1.298	1.044	1.171
E	10.629/3.026	8.545/2.433	9.588/2.729
F	6.849	5.506	6.177
G	3.981	3.201	3.591
H	3.717	2.989	3.353
I	7.239	5.820	6.529
J	3.912	3.145	3.528
K	7.164	5.759	6.461
L	5.680	4.566	5.123
M	1.276	1.026	1.151
N	9.576	7.698	8.632
O	3.100	2.492	2.796
P	2.582	2.076	2.329
Q	11.166	8.977	10.071
R	4.733	3.805	4.269
S	4.118	3.311	3.714
T	4.131/1.533	3.321/1.232	3.726/1.382

Table 8 에서 보듯이 22개소의 측정지점에서 최대 발전가능전력은 1.276[kW]에서 11.166[kW]의 범위에 있고 평균전력은 4.911[kW]이며 표준편차는 2.771이다. 최소발전가능전력은 1.026[kW]에서 8.977[kW]의 범위에 있으며 평균전력은 3.945[kW]이고 표준편차는 2.228이다. 또한 평균발전가능전력의 범위는

1.151[kW]에서 10.071[kW]에 이르고 평균전력은 4.427[kW]이고 표준편차는 2.499이다. 또한 22개소의 측정지점중 평균 발전가능전력이 3[kW]이상인 지점이 15개소이다.

따라서 측정지점 근처의 적당한 위치를 선정하여 4[kW]전후의 소용량의 해수 소수력 발전시스템설치가 가능할 것으로 판단된다.

IV. 결 론

남제주군의 육상양식장 수질오염 저감시설을 위한 소수력 발전시스템의 적용성을 조사하였다. 이를 수행하기 위하여 우선 남제주군의 육상양식장의 현황을 검토하여 스크린 시설의 문제점을 확인하였다. 문제점을 해결하기 위한 방법으로 해수소수력 발전시스템의 설치가능성을 고려하였다. 이 시스템의 적용조사를 위하여 남제주군내의 20개소의 양식장을 대상으로 하여 표본조사를 실시하였다. 조사대상 양식장에서 측정지점을 선정하여 유량과 낙차를 측정하고 예상 발전가능 전력을 계산하여 발전시스템의 설치가 가능한 것으로 판단되었다.

감사의 글

본 조사연구는 남제주군의 용역으로 수행된 결과의 일부이며, 이에 감사의 말씀을드립니다.

참고문헌

- 1) 이석모, 2003. 연안 양식장 주변해역의 해양환경 실태와 보전방안, 제주도수산해양개발협의회, pp. 45 - 55.
- 2) 이용두의 3인, 2002. 해수육상양식어업의 배출수 관리 및 적정처리 방안, 해양수산부
- 3) 이용두, 2003. 양식장 배출수의처리현황과 해양오염, 제주도 수산해양개발협의회 pp. 67 - 89.
- 4) 해양수산과 벤처동아리, 2003. 육상양식장 수질오

- 염 저감시설의 효율성 제고방안, 남제주군
- 5) <http://www.roplant.co.kr/seawater.htm>(해수)
 - 6) 이경배, 2002, 수도사업장의 잉여 에너지를 활용한 소수력개발, <http://www.etis.net>
 - 7) 千矢博道, 2000, 小型水力發電入門, 파워社