

하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전

○박 완 순, 이 철 형

1. 서 론

물은 인간의 생명을 유지하기 위한 필수 불가결한 물질이며, 인류문명의 발달에 고귀한 자원이다. 지구 전체적으로 보면 물은 다량으로 존재하나 이용하기 용이한 형태의 자원으로 보면 지역과 계절에 따라 국부적으로 존재하며, 이용가능한 상태로 만드는 데에는 비용이 뒤따르게 된다. 현재 까지 우리나라는 지역, 장소 및 용도에 따라서는 귀중한 자원으로 인식하지 않아도 비교적 용이하게 물을 이용하는 것이 가능하였으나 머지않아 물부족 국가로 진입하게 될 입장에 처해있는 현실이다.

문명의 발달과 인간의 생활이 윤택해짐에 따라 산업체와 개인별 사용하는 물의 양이 증가하고 따라서 하수의 양도 비례하여 증가하고 있다. 최근에 물절약과 하수의 재이용을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 방법으로는 중수도의 확대, 공장용수 및 농업용이용 등 처리된 하수를 재이용 함으로서 귀중한 수자원의 활용도를 증대시키고 있다.

본 고에서는 하수의 재이용 방법중 하수처리장의 방류수를 이용한 에너지생산 가능성을 고찰하였다. 이를 위하여 하수처리장의 소수력발전 성능특성 및 편익분석방법에 대하여 논의하고 천안과 아산하수처리장을 대상으로 소수력발전 가능성을 분석하였다.

분석결과 천안과 아산하수처리장의 소수력발전 설비용량 규모는 각각 45kW, 20kW 이며, 생산되는 전기에너지는 연간 약 512,460kWh로 나타났다.

하수처리장을 이용하여 소수력발전소를 건설할 경우 다음과 같은 개발의 장점이 있다.

- 첫째로, 일반 하천의 댐건설등에 소요되는 토목공사비가 거의 없어 초기투자비 저감으로 하천을 이용하여 발전하는 것에 비해 경제성이 있고,
- 둘째로, 안정적인 유량확보로 시스템의 고효율 발전이 가능하며,
- 셋째로, 가동율은 하천(약 40~50%)의 두배(약 90% 이상)로 발전량이 증대되고,
- 넷째로, 발전소 운영은 하수처리장 운영요원으로 가능하여 유지관리비가 적게 소요된다.

최근 환경오염 및 문화생활의 향상으로 인한 하수처리량의 증가로 인해 하수처리장의 중요성이 재인식되고 있다. 1998년 말을 기준으로 우리 나라에서 운영되고 있는 하수처리장의 수는 114개소이며, 2005년까지 157개소를 신설할 계획으로 있으므로 지방자치단체를 중심으로 하수처리장의 방류수를 이용한 소수력개발의 확산으로 전기에너지생산을 통한 지방재정의 기여, 에너지절약 등으로 귀중한 수자원의 활용도를 증대시킴으로서 물부족 상황을 사전에 대비해야 할 것이다.

2. 하수처리장의 소수력발전 성능특성 및 편익분석기법

하수처리장의 소수력발전 가능성을 검토하기 위해서는 하수처리장의 본래의 목적인 하수처리 공정에 지장을 초래하지 않고 계획된 하수처리량을 원활히 방류시키면서 소수력발전이 가능할 수 있도록 기술적인 특성분석이 필요하며, 이를 통하여 각 하수처리장에 적합한 발전규모, 발전소의 연평균가동을 및 연간전기생산량 등을 예측하여야 한다.

소수력발전소의 개발계획에 있어서 발전규모 및 연간전기생산량 등은 투자비의 규모, 손익분기점 등 편익분석에 가장 중요한 요소가 된다.

[그림 1]은 하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전 기본도를 나타낸다.

일반적으로 소수력발전시스템은 유량과 낙차로부터 에너지를 추출하는 것으로 소수력발전소에서 얻을 수 있는 순수한 소수력 에너지 P_i 는 다음과 같다.

$$P_i = \rho g Q H \quad (1)$$

그러나 실제 소수력발전소의 경우는 시스템의 효율을 고려하여 설비용량을 산정하게 된다. 하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전은 하수처리량을 기준으로 하여 설계유량을 구하고 염소 접촉조 분리대 수위와 방류수위의 차가 총낙차가되며, 손실낙차를 제외하여 유효낙차를 산정하게 된다.

또한 시스템의 가동율은 일반 소계곡의 소수력발전소는 약 45-50% 정도이나 하수처리장의 경우는 하수처리량이 거의 일정하여 가동율은 약 90%에 달한다. 따라서 하수처리장의 소수력발전 설비용량 C 와 연간전기생산량 E_a 는 다음과 같이 산정된다.

$$C = \rho g H_e Q_r \eta_s \quad (2)$$

$$E_a = 8760 C L_f \quad (3)$$

하수처리장의 소수력개발에 관한 타당성검토 흐름도는 [그림 2]와 같이 예시된다.

하수처리장의 소수력발전 개발에 소요되는 비용은 정확한 설계와 많은 자료가 요구되나 본 연구에서는 중요한 몇가지 요소로 구분하여 계산하였으며, 초기투자비 C_i 는 다음과 같이 산정된다.

$$C_i = \text{직접비} + \text{간접비} \quad (4)$$

소수력발전소의 건설기간을 1년으로 가정하였을 경우 N 년후의 총 투자비용 C_c 는 다음과 같이 표시된다.

$$C_c = C_i (1 + i_r) + C_i \sum_{N=1}^N \frac{O_m}{(1 + i_r)^N} \quad (5)$$

여기서 C_i , O_m , i_r , N 은 각각 초기투자비, 유지관리비율, 이자율 및 발전소 운영기간을 나타낸다.

또한 N년 후의 총 수익 C_g 는 다음과 같이 산정된다.

$$C_g = \sum_{N=1}^N \frac{E_a C_e}{(1 + i_r)^N} \quad (6)$$

여기서 E_a , C_e 는 각각 연간전기생산량과 전력판매가격을 나타내며, 단위는 kWh와 원/kWh를 사용한다.

따라서 소수력발전소의 수익/비용의 비 B/C는 다음과 같다.

$$B/C = C_g / C_c \quad (7)$$

3. 결과 및 검토

본 연구에서 분석대상으로 선정된 하수처리장은 천안과 아산하수처리장으로서 일처리량은 각각 70,000m³/day(증설분: 80,000m³/day), 36,000m³/day 이며, 대도시에 위치한 하수처리장에 비하면 적은 양이긴 하지만 무효로 방류되는 방류수를 이용하여 에너지를 생산함으로써 전기에너지를 많이 사용하는 하수처리장의 전기에너지 절감등 효과가 클 것으로 판단된다.

하수처리장의 방류수를 이용한 소수력발전은 일반 소수력발전과 마찬가지로 유량과 낙차가 중요한 요소이며, 특히 유량산정에는 세심한 분석이 요구된다.

소수력발전시스템의 설계유량의 산정을 위하여 하수처리장의 일별, 시간별 하수처리량의 변화를 고찰하였다. [그림 3]과 [그림 4]는 천안하수처리장의 1998년도와 1999년도의 일별하수처리장의 변화를 나타낸 것이다.

[그림 3]에 나타난 바와 같이 1998년도에는 여름철에 우수의 유입으로 설계 처리량을 상회하고 있으며, 인구의 증가로 하반기에는 설계 처리량을 훨씬 웃도는 것으로 나타났다. [그림 4]는 1999년도 일 처리량 실적으로 일 처리량이 꾸준히 증가함을 볼 수 있다.

[그림 5]와 [그림 6]은 1998년과 1999년의 매월 15일을 기준하여 시간대별 평균 처리량의 변화를 나타내었다.

1999년 현재 초기의 설계 일하수처리량이 70,000m³/day 을 훨씬 상회하나 2001년도에 80,000m³/day 증설 계획이 있기 때문에 소수력 발전을 위한 설계 유량은 70,000m³/day을 기준으로 하여 초당 0.810m³/sec로 결정하였으며, 하수 처리량이 증가되면 월류시켜 방류하는 것으로 계획하였으며, 증설분 80,000m³/day의 설계 유량은 0.926m³/sec로 결정하였다.

또한 총낙차는 일최대수위(D.W.L)보다 낮은 염소점축조의 분리대 상단을 최대 수위로하고 하천수위를 최소 수위로하여 총낙차를 측정하였다. 유효 낙차는 총낙차에서 손실 낙차를 제외하여 3.30m로 결정하였다. 따라서 현시점에서의 천안하수처리장 설비용량은 21kW, 80,000톤/일 증설분은 25kW가 된다.

[그림 7]과 [그림 8]은 아산하수처리장의 1998년도와 1999년도의 일별하수처리장의 변화를 [그림 9]와 [그림 10]은 1998년과 1999년의 매월 15일을 기준하여 시간대별 평균 처리량의 변화를 나타내었다.

1999년 현재 초기의 설계 일하수처리량이 36,000m³/day 을 훨씬 상회하나 2006년도에 54,000m³/day 증설 계획이 있기 때문에 소수력 발전을 위한 설계 유량은 36,000m³/day을 기준으로하여 초당

0.417m³/sec로 결정하였으며, 하수 처리량이 증가되면 월류시켜 방류하는 것으로 계획하였다. 유효 낙차는 천안하수처리장의 경우와 마찬가지로 총낙차에서 손실 낙차를 제외하여 6.0m로 결정하였으며, 설비용량은 20kW가 된다.

4. 결론

천안과 아산하수처리장에 대하여 소수력발전에 관한 검토결과, 설비규모 및 사업에 소요되는 비용은 <표>와 같이 요약된다.

<표> 하수종말처리장별 설비규모 및 추정공사비

구 분		유효낙차 (m)	설계유량 (m ³ /s)	설비용량 (kW)	전기생산량 (MWh/년)	총투자비 (백만원)	B/C 비
천 안	현재	3.3	0.810	21	165.6	130	1.38
	증설후	3.3	0.926	24	189.2	140	1.47
아 산		6.0	0.417	20	157.7	140	1.20

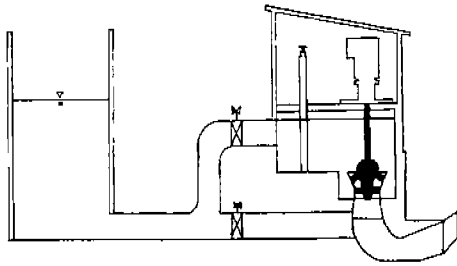
천안과 아산하수처리장에 소수력발전소가 건설될 경우, 미활용되는 하수처리장의 방류수를 이용해 연간 512,460kWh의 전력의 생산으로 전기에너지절약과 미활용 수력에너지를 이용한 효과가 크게 기대된다.

감사의 글

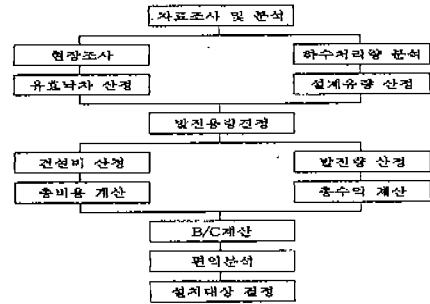
본 연구는 산업자원부 지역에너지사업의 일환으로 충청남도에서 발주하여 한국에너지기술연구소에서 수행한 “하수종말처리장의 소수력발전 타당성조사 연구(1999)”의 일부임을 밝히며 관계당국에 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

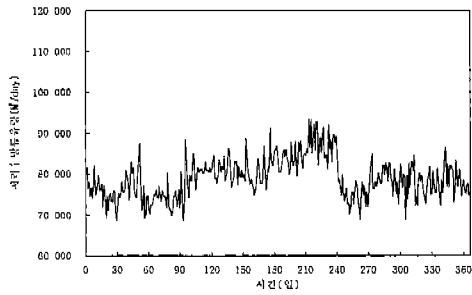
1. 천안시 하수처리장 기본설계 보고서, 1986, 건설부
2. 아산시 하수처리장 건설사업 기본설계 보고서, 1991, 건설부
3. Robert Noyes : "Small and Micro Hydroelectric Power Plants; Technology and Feasibility", Energy Technology Review No.60, Noyes Data Corporation, U.S.A, 1980.
4. 이철형외, "국내 소수력 자원의 정밀조사 및 최적 개발분석 연구(I), 한국동력자원연구소, 연구보고서, KE-89-19, 1989.
5. 이철형외, "소수력발전소 건설타당성조사 기본계획 연구" 한국에너지기술연구소, 수탁연구보고서, 1997. 충북 단양군.
6. 이철형외, "하수종말처리장의 소수력발전 타당성조사 연구" 한국에너지기술연구소, 수탁연구보고서, 1999. 충청남도.



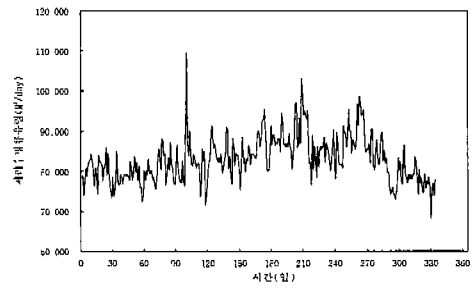
[그림 1] 하수처리장의 소수력발전 기본도



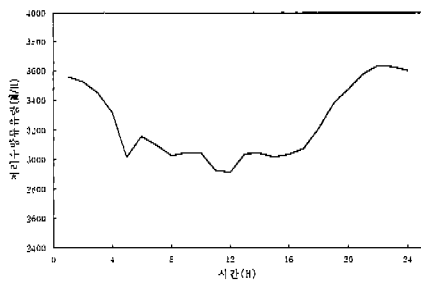
[그림 2] 하수처리장의 소수력발전 타당성 흐름도



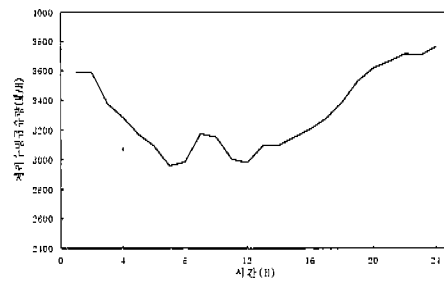
[그림 3] 일별하수처리량의 변화(천안,1998)



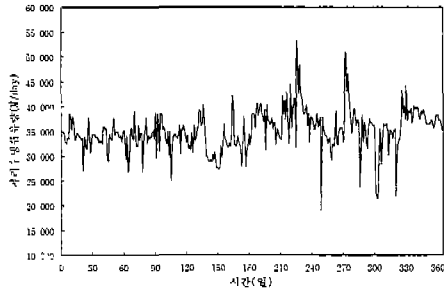
[그림 4] 일별하수처리량의 변화(천안, 1999)



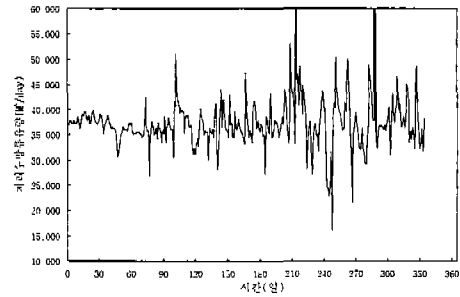
[그림 5] 시간별 하수처리량의 변화(천안, 1998)



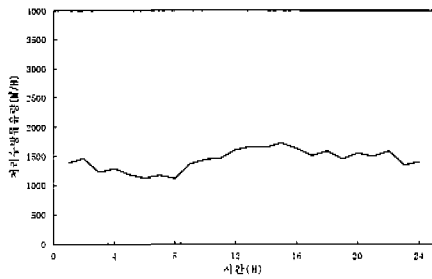
[그림 6] 시간별 하수처리량의 변화(천안, 1999)



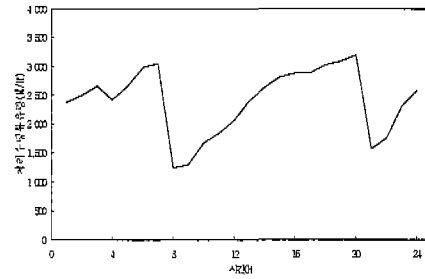
[그림 7] 일별하수처리량의 변화(아산, 1998)



[그림 8] 일별하수처리량의 변화(아산, 1999)



[그림 9] 시간별 하수처리량의 변화(아산, 1998)



[그림 10] 시간별 하수처리량의 변화(아산, 1999)