

## 부산시 환경기초시설 내 태양에너지(태양광/태양열) 이용 시설 설치 타당성 확인

김지원\* · 최현호\*\* · 김삼열\*\*\* · 박재홍\*\*\* · 김동현\*\*\* · 이대선\*\*\*\* · 박상태\*\*\*\* · 김규식\*\*\*\* · 유재철\*\*\*\*\*

\*동의대학교 환경공학과, \*\*동의대학교 회계학과, \*\*\*동의대학교 건축설비공학과,  
\*\*\*\*부산환경공단, \*\*\*\*\*신라대학교 에너지환경공학과

### Feasibility Identification on Establishment of Solar Energy (Photovoltaic and Solar Heating) at the Environmental Basic Facilities in Busan

Kim, Jiwon\*, Choi, Hyunho\*\*, Kim Samuel\*\*\*, Park Jeahong\*\*\*, Kim, Donghyun\*\*\*, Lee, Daeseon\*\*\*\*, Park, Sangtae\*\*\*\*, Kim, Gysik\*\*\*\* and Yu, Jaechul\*\*\*\*\*†

\*Dept. of Environmental Engineering, Dongeui University, Busan, Korea

\*\*Dept. of Accounting, Dongeui University, Busan, Korea

\*\*\*Dept. of Building Systems Engineering, Dongeui University, Busan, Korea

\*\*\*\*Busan Environmental Corporation, Busan, Korea

\*\*\*\*\*Dept. of Energy Environmental Engineering, Silla University, Busan, Korea

#### ABSTRACT

With 12 environmental basic facilities (EBF) in Busan, each business place's present situation of the operation of new and renewable energy as well as the feasibility to establish additional systems of utilizing solar energy (photovoltaic power generation system [PPGS] and solar heating system [SHS]) were investigated. Currently, with the environmental basic facilities, the new and renewable energies (such as, waste heat, biogas, PPGS, SHS, and small hydro power) can produce 195 GWh per year as electric power unit. Among the energy sources, except waste heat, biogas (154 GWh/yr) appears as the highest. Next, PPGS is the second most widely used system and produces 5,560 MWh/yr at 11 business places. Through a field survey, it appears that 19 business places of total 27 places at 12 EBFs have good locational conditions and they need an introduction of PPGS. Through it, it is investigated that it would be possible to produce 5,311 MWh/yr and to reduce 2,348 tCO<sub>2</sub>/yr. And, it is identified that SHS can be additionally introduced in only 4 EBFs. This can reduce energy cost as much as one ten million won/yr and green-house gas as much as 28 tCO<sub>2</sub>/yr. A cost-benefit analysis shows that the use of governmental support or private investment can be the most efficient way, when PPGS and SHS are introduced in EBFs.

Key words : Cost-benefit Analysis, Environmental Basic Facility, New and Renewable Energy, Photovoltaic Power Generation System, Solar Heating System

#### 1. 서 론

인구증가 및 산업발달로 인하여 하수발생량은 매년 증가하고 있으며, 2013년 기준 국내 556개 하수처리장(500 톤/일 이상)에서 약 2,540 만 톤/일의 하수를 처리하고 있다. 하수처리 시설은 하수의 수집 및 처리과정에서 다량의 에너지를 소비하는 시설로서, 하수처리시설에 사용되는 전력은 연간 국내

총전력 사용량의 0.5%를 차지하는 것으로 조사되었다 (ME, 2010a; Park, 2013). 또한 하수처리장, 소각장 등 환경기초시설에서 발생하는 온실가스의 직간접 배출량은 국내 총배출량의 3.5%를 차지하고 있어 (ME, 2010a; KECO, 2013), 전력사용량과 온실가스 발생량을 저감하기 위한 다양한 방법이 시도되고 있다.

특히, 하수처리시설과 같은 환경기초시설은 처리과정 및 입

† Corresponding author : E-mail: [yjcall@silla.ac.kr](mailto:yjcall@silla.ac.kr)

Received April 10, 2015 / Revised May 11, 2015(1st), May 27, 2015(2nd) / Accepted June 15, 2015

지특성에 따라 소화가스, 소수력 발전, 하수열, 풍력, 태양에너지 등 풍부한 에너지 잠재력을 보유하고 있으며, 평지나 야산을 개발하는 기존 신재생에너지 보급 사업에 비해 경제성과 환경성이 탁월한 것으로 보고되고 있다(Cho and Yu, 2012). 이에 환경부에서는 하수처리시설을 저탄소 및 녹색성장의 성장 동력으로 활용하고자, 신재생에너지 시설 확대 등 녹색기술 활성화를 통해 에너지를 절감하고, 청정에너지를 생산하는 하수처리시설 에너지 자립화 기본계획을 수립하고, 2030년까지 에너지자립율 50% 목표를 달성하기 위하여 다양한 신재생에너지 기술을 도입하고 있다(ME, 2010a). 또한 온실가스 감축을 위해 2020년까지 탄소중립율 70% 달성을 목표로 환경기초시설 탄소중립 프로그램 사업도 함께 추진되고 있다(ME, 2010a; KECO, 2013).

하수처리시설과 같은 환경기초시설은 유휴부지가 많고, 태양에너지의 적용성이 뛰어나기 때문에, 발전효율이 낮더라도 큰 효과를 얻을 수 있다. 태양에너지 중 태양광을 이용할 경우, 하수처리시설의 침전지, 생물반응조, 관리동 지붕 등에 태양광 발전 도입이 가능한데, 하수처리시설의 15%를 설치면적 기준으로 344개소에 도입할 경우, 연간 410 GWh 발전이 가능한 것으로 조사되었다(ME, 2010b). 태양광 시설을 운영 중인 대구 서부사업소의 경우, 일조시간이 약 3.3~3.5 시간으로 일조권이 좋을 것이라 예상했지만, 바람이 없고, 열이 많아 발전 효율은 떨어지는 것으로 확인되었다. 태양광 발전을 통해서 지금까지 총 누적 9,918 MWh 전력을 생산하였으며, 이를 한국전력에 판매하여 매년 10억 원 이상의 수익이 발생하는 것으로 나타났다. 충남 제천사업소의 경우, 일조시간이 길고 바람도 불어 태양광 발전효율이 좋아서 정부에서 우선적으로 지원을 해왔다. 봄과 가을의 발전량이 좋은 것으로 나타났으며, 오히려 여름은 열이 높아 효율이 떨어지는 것으로 나타났다(Kim *et al.*, 2014). 강원도에서는 2009년부터 춘천 하수처리장을 포함하여 도내 하수처리시설 10개소와 상수도 시설 11개소에 총 3,400 kW급의 태양광발전설비 설치를 추진하였다(Han, 2010).

하지만, 일반적으로 태양광 발전효율은 태양광 입사에너지 외에도 설비의 열을 식힐 수 있는 기상조건(바람)이나 주변 환경이 긍정적인 영향을 끼칠 수 있으므로 설치시기가 비슷할 경우, 동일한 사업소 내에서는 반응조 상부가 유리하다고 판단된다. 지형적 특성에 따른 부지 내 신재생에너지 시설의 설치 가능한 규모를 산정하고, 투자방법에 따른 경제성 분석을 통한 현실적인 사업추진 방안이 필요하다. 따라서 본 연구에서는 부산시 하수처리시설을 포함하는 전체 환경기초시설을 대상으로 신재생에너지 운영현황과 태양에너지(태양광 및 태

양열) 중심으로 설치 타당성을 분석하였고, 이를 통해서 신재생에너지 추가 도입 시 필요한 기초 정보 및 추진방안을 확보하고자 하였다.

## 2. 연구방법

### 2.1 분석대상

부산시에서 운영 중인 환경기초시설(하수처리장, 소각장, 분뇨처리장, 매립장)은 13개소이나, 관료사업소의 경우, 수영사업소와 동일한 부지에 위치하고 있어, 실제 분석 대상 시설은 12개소이다(Table 1).

### 2.2 태양에너지 잠재 발전량 및 온실가스 감축량 분석

부산시 환경기초시설 12개소를 대상으로 신재생에너지 운영 현황과 태양에너지(태양열 및 태양광) 설치 타당성을 조사하였다. 실제 발전량 계산은 운영일수에 근거하여 연간 발전량으로 환산하였으며, 이론 발전량은 3.53시간 및 시스템 효율 95%를 적용하였다. 본 연구에 적용된 태양광 모듈의 크기와 용량은 각각 1.62 m<sup>2</sup>(1,640[W]mm × 988[H]mm)와 250 W로 고정하였다. 환경기초시설별 태양광 설치면적(m<sup>2</sup>) 및 시설용량(kW)은 각각 수식 (1)과 수식 (2)를 이용하여 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{설치면적(m}^2\text{)} &= \\ \text{설치 모듈 수(개수)} \times \text{모듈크기(m}^2\text{/개수)} &\quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{시설용량(kW)} &= \\ \text{설치 모듈 수(개수)} \times \text{모듈용량(W/개수)} \times \text{kW/1,000 W(2)} &\end{aligned}$$

연간 예상 태양광 발전량은 시설용량과 일평균 발전시간(hr/day)을 이용하여 계산하였으며(수식 (3)), 일평균 발전시간(hr/day)은 기상청의 최근 10년간 연평균 일사량 자료(KJ/m<sup>2</sup>/yr)를 바탕으로 산정되었다(수식 (4)). 그리고 연간 예상 태양열 집열량은 수식 (5)를 이용하여 계산되었으며, 온실가스 감축량은 수식 (6)을 이용하여 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{예상 태양광 발전량(kWh/년)} &= \\ \text{시설용량(kW)} \times \text{일평균 발전시간(hr/day)} \times 365 \text{ day/년} &\quad (3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{일평균 발전시간(hr/day)} &= \\ \text{연평균 일사량(KJ/m}^2\text{/yr)} \times 1/3,600(\text{kWh/KJ}) \times 1/365(\text{yr/day}) & \\ \times 9.9(\text{m}^2\text{/kW}) &\quad (4) \end{aligned}$$

Table 1. Locations and characteristics of environmental basic facilities in Busan

No	Site	Facilities	New and renewable energy	
			Energy source	Production (MWh/yr)
1	Suyeong	Sewage treatment	Solar cell/heat, small hydro, biogas	29,106
2	Haeundae	Sewage treatment, waste resource	Solar cell, incineration waste heat	47,427
3	Jeonggwan	Sewage treatment, waste resource	Solar cell	72
4	Gijang	Sewage treatment	Solar cell/heat	183
5	Nambu	Sewage treatment	Solar cell/heat, biogas	746
6	Joongang	Sewage treatment	Solar cell	225
7	Gangbyeon	Sewage treatment	Solar cell, small hydro, biogas	9,987
8	Seobu	Sewage treatment	None	None
9	Noksan	Sewage treatment	Solar cell	1,269
10	Wisaeng	Sanitation	Solar cell	213
11	Saenggok	Landfill	Solar cell, LFG	13,931
12	Myeongji	Waste resource	Incineration waste heat	93,354

예상 태양열 집열량(kcal/년) =  
 시설용량(kW) × 일평균 사용시간(hr/day) × 365 day/년 ×  
 860 kcal/kWh × 0.8 (5)

온실가스 감축량(tCO<sub>2</sub>/년) =  
 예상발전량(MWh/년간) × 0.442(온실가스 배출계수, tCO<sub>2</sub>/MWh) (6)

2.3 경제성 분석

2.3.1 경제성 분석 방법

경제성 분석을 위해서 편익/비용 비율(Benefit Cost Ratio; B/C ratio), 순현재 가치(Net Present Value; NPV), 내부수익률(Internal Rate of Return; IRR)의 3가지 분석기법을 동시에 적용하여 계산하였다(Kim, 2004).

B/C ratio는 정책분석의 기법인 비용편익분석에서 가장 널리 이용되고 있는 비교/평가 기준 중의 하나로서, 편익의 현재 가치와 비용의 현재가치의 비율로 나타낸 값으로 아래 수식(7)과 같이 구할 수 있다. 일반적으로 편익/비용 값이 1이상이면 경제성이 있다고 판단한다.

$$B/C = \left( \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} \right) / \left( \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \right) \quad (7)$$

NPV는 사업에 수반된 모든 비용과 편익을 기준년도의 현재 가치로 할인하여 총 편익에서 총 비용을 제한 값이며, NPV ≥ 0 이상이면 경제성이 있다는 의미로 해석되며, 다음 수식(8)을 이용해서 구할 수 있다.

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} - \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (8)$$

IRR은 편익과 비용의 현재가치로 환산된 값이 같아지는 할인율(r)을 구하는 방법으로, 사업의 시행으로 인한 NPV를 '0'으로 만드는 할인율이다. IRR이 사회적 할인율 값보다 크면 경제성이 있다고 판단한다. IRR은 수식(9)을 만족하는 r 값이다.

$$\sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+r)^t} = \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t} \quad (9)$$

모든 식에서, B<sub>t</sub>는 t시점의 편익을, r은 할인율을, n은 분석기간을, C<sub>t</sub>는 t시점의 비용을 나타낸다(Kim, 2004).

2.3.2 경제성 평가를 위한 입력 자료

투자비 산정은 사업소 특성 및 입지조건에 따른 적정 신재생에너지 종류, 생산예상량, 시설규모, 비용, 기대효과, 부지 활용 계획을 파악하여 시설 설치비에 해당하는 사업비를 선정하

였다. 투자방식은 ① 사업비 전액을 민간이 투자하고 생산된 전력을 한전에 판매하는 민간투자(매진), ② 환경공단이 직접 투자하고 생산된 전력을 자체 사용하는 자체투자, ③ 투자비 전액을 국고로 충당함에 따라 자체 투자 없이 생산된 전력을 자체 사용하는 정부지원의 세 가지로 구분하였다.

민간투자방식의 수익은 발전전력 판매금액, 신재생에너지 공급인증에 따른 추가소득을 산정하였으며, 자체 사용은 전력비 절감금액을 적용하였으며, 온실가스 감축량은 화폐가치로 환산하여 적용하고 비교하였다. 경제성 적용값은 UNFCCC에서 CDM 사업 등록과정에서 국내의 검증기관에 의해 검증된 경제성 분석 틀을 이용하여 적용 변수값을 산정하였다. 태양광 설비의 이용률은 태양전지의 종류에 따라 7~20% 수준으로 다양하나, 본 연구에서는 이용률 15.5%를 적용하였다. 태양광 발전설비의 운영과정에서 소비하는 전력량과 생산된 전력의 계통 연계과정에서 발생하는 송전손실을 합한 값은 발전 용량의 1%로 가정하였다. 태양광 모듈의 수명은 일반적으로 20년 이상이며, 기존 분석 사례를 기준으로 20년을 적용하였다. 유지보수비용은 국내 설치사례를 검토하여 운영비로서(인건비, 보험료, 운전비, 고장/수리비 등의 모든 비용) 투자비의 1%로 가정하였다(MOTIE, 2004). 계통한계가격(System Marginal Price; SMP)은 발전사업자와 한국전력 간 전력거래가격을 의미하며, 2013년 육지평균값을 적용하여 150.7원/kWh으로 적용하였다. 신재생에너지 공급인증서(Renewable Energy Certificate; REC) 단가는 공급인증서의 발급 및 거래 단위로서 공급인증서 발급 대상 설비에서 공급된 MWh 기준의 신재생에너지 전력량에 대해 가중치를 곱하여 부여하는 단위(원/kWh)를 의미하며, 2013년 상반기(158.1원/kWh) 및 하반기(192.9원/kWh)와 2012년 하반기(164.7원/kWh)의 평균 입찰가격(171.9원/kWh)을 적용하였다. 가중치는 일반부지와 건물상부(지붕) 등 설치 유형과 설비용량에 따라 차등 및 복합적으로 적용된다(MOTIE, 2014). 할인율은 일반적으로 도로, 철도, 항만 등 공공투자사업의 경우 7%, 수자원개발, 환경시설 등의 경우 5%이나(Lee et al., 2001), 최근 저금리에 따른 할인율의 하락을 감안하여, 본 연구에서는 5%를 적용하였으며, 저금리가 계속 유지된다면 큰 변화는 없을 것으로 예상된다. 세율은 20%(당기순이익 2억 원 초과~200억 원 이하 기준)로 적용하였으며, 온실가스 감축비용은 온실가스 거래제에 의해 20,000 원/tCO<sub>2</sub>을 적용하였다. 입지조건에 따른 태양광 설치 구조물의 형태와 단가는 트러스 형태, H빔 형태, 스페이스 프레임 형태의 3가지 종류로 구분하여 적용하였으며, 구체적인 입력 변수값은 Table 2에 정리하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 사업소별 신재생에너지 운영현황

부산시 환경기초시설 사업소 별 신재생에너지 생산량을 전력단위로 환산한 결과, 소각폐열을 회수하는 명지사업소와 해운대사업소가 가장 크게 나타났다. 다음으로는 소화조 바이오가스 생산량이 많은 수영, 생곡, 강변사업소 순으로 나타났다. 소각폐열을 제외하면 신재생에너지 생산량이 가장 많은 수영, 생곡, 강변사업소가 부지면적 대비 신재생에너지 생산 에너지 비율이 높은 경향을 보였다. 특히 수영사업소는 하수처리장에서 신재생에너지 생산량이 가장 많았으며, 소수력 발전 등 다양한 신재생에너지 생산을 시도하고 있는 것으로 나타났다(Table 1). 서부사업소는 인근 김해공항으로 인해 군사기지 및 시설 보호법으로 태양광 설치를 못하고 있다.

신재생에너지 중 소각폐열회수와 바이오가스를 제외하면 태양광 발전이 많은 비중을 차지하고 있는 것으로 나타났다. 특히 부지면적이 넓은 강변사업소의 태양광 이용률이 가장 높은 것으로 나타났다. 각 사업소에서 운영되고 있는 실제 태양광 발전량을 설계용량의 95%인 이론발전량(3.53시간 기준)과 비교하여 효율을 분석하였다. 실제 발전량 계산은 운영일수에 근거하여 연간 발전량으로 환산하였으며, 이론 발전량은 설계용량의 3.53시간 가동 및 시스템 효율 95%를 적용하였다. 계산결과, 대부분의 사업소에서 건물 옥상보다는 생물반응조 상부가 발전량이 높게 나타났다(Table 3). 정관사업소의 경우, 주차장 주변 수목의 영향으로 발전량이 낮게 나온 것으로 추정된다.

일반적으로 태양광 발전효율은 태양광 입사에너지 외에도 설비의 열을 냉각시킬 수 있는 기상조건(바람)과 주변 환경(수변 근처)에 영향을 받을 수 있기 때문에, 태양광 발전 설비 설치 시 면밀한 검토가 필요한 것으로 사료된다.

#### 3.2 사업소별 태양에너지 잠재력 조사

##### 3.2.1 태양광 이용

현장 조사를 통해서 부산시 환경기초시설의 태양광 가능 부지면적(63,826 m<sup>2</sup>)을 기준으로 태양광 발전 용량을 산정하였다. 태양광 발전 설치면적은 41,725 m<sup>2</sup>, 설비용량은 6,439 kW로 분석되었으며, 200 kW 이상 시설이 12개, 100~200 kW 시설 5개, 100 kW 이하 9개로 나타났다. 사업소별 설치 가능 설비용량 산정 후 부지면적에 대한 비율을 분석하였다. 태양광 설치가능 부지면적은 강변(21,481 m<sup>2</sup>), 수영(14,753 m<sup>2</sup>), 기장(6,979 m<sup>2</sup>), 녹산(4,174 m<sup>2</sup>), 남부(4,155 m<sup>2</sup>), 정관(3,224 m<sup>2</sup>), 생곡(2,720 m<sup>2</sup>), 서부(2,400 m<sup>2</sup>), 명지(1,460 m<sup>2</sup>), 중앙(1,343 m<sup>2</sup>), 해운대(710 m<sup>2</sup>), 위생(427 m<sup>2</sup>) 순으로 나타났다. 기존 태양

Table 2. Input data for analyzing economic feasibility of solar power according to investment method

Parameters	Private investment	Self investment	Governmental support	Note
Cost (won)	According to site		0	- Truss 2,800 thousand-won/kW - Beam H 2,500 thousand-won/kW - Space frame 3,300 thousand-won/kW
Capacity (MWe)	According to site		Application	-
Operating rate (%)	15.5	15.5	15.5	- The present operating rate for solar cell
Facility efficiency (%)	95	95	95	-
Economic life (year)	20	20	20	- Economic life in solar cell
Operating cost (%)	1	1	1	- 1% of investment cost
SMP (won/kWh)	150.7	-	-	- Electricity price between power producer and Korea electric power
REC (Won/kWh)	171.9	-	-	-
Weight value*	1.2	-	-	Under 100 kW (general site)
	1.0	-	-	More than 100 kW (general site)
	1.5	-	-	Less than 3 MW (roof)
Electricity sales (won/kWh)	356.98	100.70	100.70	- Private investment: SMP+(REC×1.2) - Self-investment or government support : Electricity sales for industry purposes
Emission factor of CO <sub>2</sub> (ton/MWh)	0.442	0.442	0.442	- KPX, 2014
Market price of tCO <sub>2</sub> (won)	20,000	20,000	20,000	- Predictive value in market price
Income tax (%)	20	0	0	-
Discount rate (%)	5	5	5	-

\* If the capacity is under 100 kw (general site) or less than 3 MW (roof), fixed weight value is applied, while if the capacity is more than 100 kw (general site), a mixed weight value is applied(mixed weight value = [(100 kw × 1.2) + ((total capacity - 100 kw) × 1.0)]/total capacity).

광 설치용량을 합산하여 사업소 별 태양광 잠재력을 계산한 결과, 강변이 4,633 kW로 가장 높은 것으로 조사되었다(Fig. 2). 부산시 환경기초시설 내 설치 가능지점 중 입지조건(우수

[good]: 남향, 장애물 없음, 설치 용이, 사용처 근거리. 보통[not bad]: 설치 가능, 장애물 있음, 사용처 원거리)이 우수하다고 판단되는 지점은 전체 27개소 중 19개소로, 태양광 발전 도입

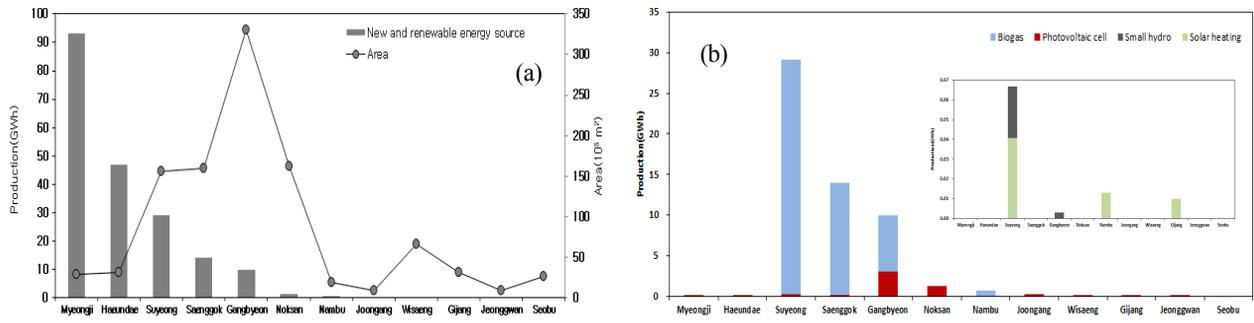


Fig. 1. Annual new and renewable energy production and site area (a) and annual energy production except waste heat of incineration (b) at environmental basic facilities in Busan.

Table 3. Analysis of generating efficiency of photovoltaic power generation system according to environmental basic facilities in Busan

Site	Position	Installation date	Capacity (kW)	Annual production (kWh/yr)	Theoretical production (kWh, 95%)	Real/theoretical (%)	Note (operating day)
	The roof of headquarters building(#1)	2008.12	30	38,000	38,697	98	365
Suyeong	The roof of headquarters building(#2)	2010. 2	50	58,000	64,496	90	365
	The air distribution system building and dehydration building	2013. 9	125	159,103	160,981	99	117
Gangbyeon	The bioreactor(#1)	2013. 2	1,807	2,742,964	2,330,867	118	334
Nambu	The roof of maintenance building	2012. 6	70	87,000	90,294	96	
Noksan	The flower garden in parking lot	2008.12	157	196,000	202,516	97	365
	The bioreactor	2013. 8	632	982,861	815,352	121	166
Jeonggwan	The roof of parking lot	2012. 8	65	72,000	83,844	86	365 (The impact of trees)
Gijang	The roof of sand filter and equipment buildings	2012. 8	135	173,000	174,138	99	365
Wisaeng	The bioreactor	2012. 6	95	127,000	122,541	104	365 (The impact of wind)
Saenggok	The roof of 2 <sup>nd</sup> disposal and flow adjustment plants	2013. 6	99	12,968	127,701	96	187

\* Annual production in 2013.

\*\* Theoretical production (kWh) = design capacity (kW) × 8,760 × 15.5% × 95%.

이 필요한 것으로 판단된다(Table 4).

### 3.2.2 태양열 이용

태양열을 이용하여 온수를 공급하는 사업은 태양광 발전에

비해 효율이 우수하기 때문에 온수 생산에 이용하는 것이 적정하다. 하지만, 계절별 에너지 생산량 및 사용량에 차이가 크고, 기상조건에 따라 에너지 생산이 불가능한 경우가 발생할 수 있기 때문에, 기존 온수설비와 연동될 수 있는 설비를 구

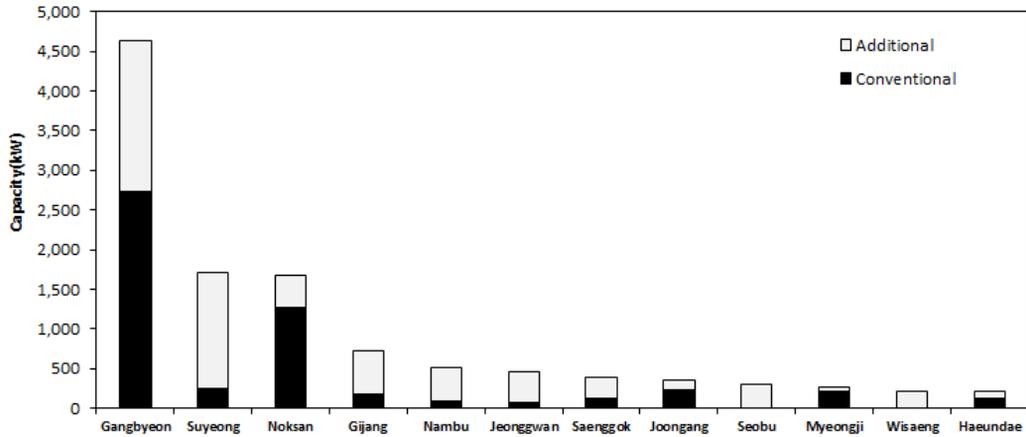


Fig. 2. Conventional and additional photovoltaic power capacity according to the environmental basic facilities in Busan.

Table 4. Additional annual photovoltaic power generating capacities and greenhouse gas emission reductions according to the environmental basic facilities in Busan

No	Site	Position	Capacity (kW)	Average daily operating time (hr/day)	Annual estimated production		Annual Greenhouse gas reduction (tCO <sub>2</sub> /year)	Site condition
					(MWh/year)	Ratio (%)		
1	Suyeong	The trail	100	3.53	129	1.58	57	Not bad
2		The aerobic and settling reactor	1,350	3.53	1,741	21.26	770	Not bad
3	Gangbyeon	The 2 <sup>nd</sup> preliminary clarifier(2)	250	3.53	322	3.93	143	Good
4		Six spots	220	3.53	284	3.47	125	Good
5		The 2 <sup>nd</sup> preliminary clarifier(1)	752	3.53	970	11.84	429	Good
6		The 2 <sup>nd</sup> final clarifier(2)	923	3.53	1,191	14.54	526	Good
7	Nambu	The parking lot in sports park	250	3.53	322	3.93	143	Good
8		The trail lot in sports park	180	3.53	232	2.83	103	Not bad
9	Noksan	The roof of preliminary clarifier	200	3.53	258	3.15	114	Good
10		The roof of final clarifier	210	3.53	271	3.31	120	Good
11	Joongang	The roof of equipment building	50	3.53	64	0.78	29	Good
12		The roof of maintenance building	87	3.53	112	1.37	50	Not bad
13	Haeundae	The relay station	34	3.53	44	0.54	19	Good
14		The parking lot	42	3.53	54	0.66	24	Good
15		The roof of equipment building	156	3.53	201	2.45	89	Good
16	Jeonggwan	The roof of maintenance building	30	3.53	39	0.48	17	Not bad
17		The sports park	200	3.53	258	3.15	114	Not bad
18		The idle site for Munoseong	460	3.53	593	7.24	262	Good
19	Gijang	The disposal plant for Munoseong	70	3.53	90	1.10	40	Good
20		The gateball court for Munoseong	18	3.53	23	0.28	10	Good

Table 4. Continued

No	Site	Position	Capacity (kW)	Average daily operating time (hr/day)	Annual estimated production		Annual Greenhouse gas reduction (tCO <sub>2</sub> /year)	Site condition
					(MWh/year)	Ratio (%)		
21	Seobu	The roof of SBR	240	3.53	310	3.78	137	No possible
22	Wisaeng	The roof of control room	45	3.53	58	0.71	26	Not bad
23	Saenggok	The roof of flow adjustment plants (#3 and #4)	76	3.53	98	1.20	43	Good
24		The roof of flow adjustment plants (#5 and #6)	196	3.53	253	3.09	112	Good
25		The parking lot of living facilities	100	3.53	129	1.58	57	Good
26	Myongji	The roof of living facilities	57	3.53	73	0.90	32	Good
27		The roof of maintenance building	55	3.53	71	0.87	31	Good
Sum			6,351 (4,119)*	-	8,190 (5,311)*	100	3,623 (2,348)*	-

\* ( ) indicates the values of the position where site condition is good.

성하는 것이 필요하다. 현재 부산시 환경기초시설 중에서, 태양열을 이용하여 온수 공급이 가능한 사업소는 위생, 녹산, 중앙, 정관의 4개 사업소로 조사되었으며, 연간 약 1,000만 원의 전력 절감 및 28 tCO<sub>2</sub>의 감축이 가능한 것으로 나타났다(Table 5). 하지만, 현재 소요되는 전기 및 유류사용량으로 집열량을 산정하였기 때문에 실제 온수사용량 및 계절별 부하를 조사하여 세심한 설계가 필요한 것으로 사료된다.

### 3.3 경제성 평가

부산시 환경기초시설의 태양광 에너지 경제성을 평가하였

으며, 민간투자(매전) 및 자체 투자(사용)의 경우는 B/C ratio, 정부지원(사용)의 경우는 NPV 기준으로 순위를 정하였다. 민간투자방식의 경우, 높은 가중치로 인하여 자체 사용방식(정부지원 및 자체투자)보다 경제성이 우수하였으며, 설치단가도 경제성 순위에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 자체 사용 시, 전력절감 만으로는 투자비를 상쇄할 수 없기 때문에, 정부의 지원이 필요한 것으로 확인되었다.

민간투자방식을 활용한 태양광 발전의 경우, B/C ratio 기준으로 경제성 순위를 비교하였다(Table 6). 정관사업소의 설비동 옥상의 5개소의 B/C ratio가 1.821로 가장 높은 값을 보

Table 5. The fuel savings and greenhouse gas emission reductions by using additional solar heating system according to the environmental basic facilities in Busan

Site	Position	Heat collection (kcal/yr)	Electricity reduction (kWh/yr)	Cost reduction (Thousand won/yr)	Greenhouse gas reduction (tCO <sub>2</sub> /yr)
Wisaeng	The roof of maintenance office	15,598,336	11,336	1,141	5
Noksan	The roof of administration building	9,442,112	6,862	691	3
Joongang	The roof of administration building	71,555,782	52,003	6,670	13
Jeonggwan	The roof of administration building	20,976,439	15,779	1,588	7
Total		117,572,669	85,980	10,090	28

Table 6. The economical analysis of photovoltaic power generation system by private investment

Site	Position	Capacity (kW)	Cost (Thousand-won/kW)	Cost (Million won)	Annual production (MWh)	Annual tCO <sub>2</sub> reduction (ton/year)	NPV (million won)	B/C ratio	IRR (%)	weight value	Site conditions
Jeonggwan	The roof of equipment building	156	2,500	390	201	89	360.9	1.821	12	1.50	
Joongang	The roof of equipment building	50	2,500	125	64	29	115.7	1.821	12	1.50	
Haeundae	The relay station	34	2,500	85	44	19	78.7	1.821	12	1.50	
Gangbyeon	The six spots	220	2,500	550	284	125	509.0	1.821	12	1.50	
Wisaeng	The roof of control room	45	2,500	112.5	58	26	104.1	1.821	12	1.50	
Myeongji	The roof of living facilities	57	2,500	142.5	71	33	125.8	1.783	11	1.50	
Myeongji	The maintenance building	55	2,500	137.5	69	31	119.5	1.771	11	1.50	
Gijang	The idle site for Munoseong	460	2,500	1,150	593	262	705.4	1.544	8	1.04	
Saenggok	The roof of flow adjustment plants (#3 and #4)	76	2,800	212.8	98	43	111.2	1.464	7	1.20	
Gijang	The disposal plant for Munoseong	70	2,800	196	90	40	102.5	1.464	7	1.20	
Gijang	The gateball court for Munoseong	18	2,800	50.4	23	10	26.3	1.464	7	1.20	Good
Saenggok	The roof of flow adjustment plants (#5 and #6)	196	2,800	548.8	253	112	254.1	1.411	6	1.10	
Noksan	The roof of preliminary clarifier	200	2,800	560	258	114	258.6	1.410	6	1.10	
Gangbyeon	The 2 <sup>nd</sup> preliminary clarifier	752	2,800	2,105.6	970	429	877.8	1.370	5	1.03	
Gangbyeon	The 2 <sup>nd</sup> final clarifier	923	2,800	2,584.4	1,191	526	1,069.7	1.367	5	1.02	
Myeongji	The parking lot of living facilities	100	3,300	330	129	57	90.1	1.242	4	1.20	
Haeundae	The parking lot	42	3,300	138.6	57	25	39.7	1.242	4	1.20	
Nambu	The parking lot in sports park	250	3,300	825	322	143	174.1	1.187	3	1.08	
Suyeong	The trail	100	6,500	650	129	57	-269.7	0.631	-7	1.20	
Jeonggwan	The sports park	200	6,500	1,300	258	114	-573.6	0.608	-7	1.10	
Suyeong	The 2nd aerobic and settling reactor	1,350	2,800	3,780	1,741	770	1,548.7	1.364	5	1.01	
Noksan	The final clarifier	210	2,800	588	271	120	269.8	1.407	6	1.10	not bad
Jeonggwan	The roof of maintenance building	30	2,500	75	39	17	69.4	1.821	12	1.50	

Table 6. Continued

Site	Position	Capacity (kW)	Cost (Thousand-won/kW)	Cost (Million won)	Annual production (MWh)	Annual tCO <sub>2</sub> reduction (ton/year)	NPV (million won)	B/C ratio	IRR (%)	weight value	Site conditions
Joongang	The roof of maintenance building	87	2,500	217.5	112	50	201.3	1.821	12	1.50	not bad
Nambu	The trail in sports park	180	2,800	504	232	103	236.1	1.416	6	1.11	
Seobu	The roof of SBR	240	2,800	672	310	137	303.4	1.401	6	1.08	No possible

였으며, 대부분의 지점도 1.1~1.8로 나타났다. 따라서 민간 투자자의 경우, 태양광 설치의 독립형 타입인 수영 산책로와 정관 체육공원을 제외하면 경제성이 있는 것으로 사료된다. 단기적으로는 규모가 가장 큰 강변사업소를 중심으로 소 내 6개소와 수익률은 낮지만, NPV가 가장 큰 강변 2단계 침전지 상부가 가장 경제성이 있는 지점으로 판단되며, 중기적으로는 경제성 지표가 높은 정관사업소, 그리고 장기적으로는 향후 기술발전을 고려한다면 녹산 최초침전지와 서부의 SBR 상부도 설치 가능할 것으로 사료된다.

자체사용 중 투자비를 부담하는 사업방식의 경우, B/C ratio 기준으로 경제성 순위를 비교하였다(Table 7). 모든 지점의 B/C ratio는 <1 로서 경제성이 없는 것으로 나타났다. 민간투자자와 마찬가지로 설치단가가 가장 큰 영향을 주는 것으로 나타났으며, 전력절감 만으로는 투자 금액을 상쇄할 수 없으므로 설비투자시 정부 지원제도를 활용해서 소비에너지를 절감하고, 이산화탄소 발생량을 감축하는 방안이 필요한 것으로 예상된다. 자체사용 중 정부지원제도에 의한 보조금을 활용하여 직접 투자비를 부담하지 않는 방식의 경우는 NPV 기준으로 경제성 분석이 가능하다. 설비용량에 따른 발전량의 차이는 있으나 입지조건이 좋은 경우, 각 사업소의 모든 지점에서 NPV ≥ 0 이상으로 경제성이 있는 것으로 분석되었다(Table 8). 따라서 정부지원에 의한 신재생에너지 설치의 운영비보다 전기 절감액이 더 높기 때문에, 경제성이 충분히 있는 것으로 분석되었다. 한편, 정부지원 방식의 경우, NPV 기준으로 경제성 분석이 수행되었기 때문에 IRR, B/C 값은 제시하지 않았다.

태양열을 이용하여 온수를 공급하는 방식은 태양광 발전에 비해 효율이 좋다. 사업비 규모도 적고, 기존 전기온수기의 전력요금 또는 유류비를 절감할 수 있고, 이산화탄소 발생량을 감소시킬 수 있으므로 자체 투자 또는 정부지원을 통해 태양열 방식을 적극 활용하는 것이 경제적인 것으로 나타났다. 기

존 태양열을 이용한 3개 사업소를 제외하고, 추가적으로 태양열로 온수공급이 가능한 사업소는 4개로 나타났으며, 계절 별 부하를 고려하는 최적 설계를 위해서 월별 온수사용량을 근거로 물탱크와 집열용량을 산정하고, 현재의 시스템과 연동될 수 있도록 맞춤형 시스템을 구성하는 것이 필요한 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 부산시 환경기초시설 12개 사업소를 대상으로 각 사업소의 신재생에너지 운영 현황과 추가적인 태양에너지 이용 설치 타당성을 확인하였다. 기존 신재생에너지 시설 외에도 12개 사업소 19개 지점에서 태양광 발전 사업이 가능한 것으로 나타났으며, 그 규모는 4,119 kW, 연간 전력생산량은 5,311 MWh, 온실가스 감축량은 2,348 tCO<sub>2</sub>인 것으로 추정되었다. 태양열 설비는 4개 사업소(정관, 녹산, 위생, 중앙)에 설치 가능하였으며, 연간 약 1,000만원의 전력비를 절감하고, 28톤의 온실가스를 감축할 수 있는 것으로 조사되었다.

세 가지 투자방식에 의한 경제성을 평가한 결과, 민간투자 및 매전방식의 경우, 높은 발전판매금액의 정부 가중치로 인하여 자체 사용방식(정부지원 및 자체투자)보다 경제성이 우수하였으며, 설치단가도 경제성 순위에 영향을 미치는 것으로 나타났다. 태양광 발전 시설을 직접 투자하여 자체 사용 시 전력절감 만으로는 투자비를 상쇄할 수 없기 때문에, 정부의 지원이 필요한 것으로 확인되었다. 민간투자 및 매전 방식의 경우, 정관사업소 설비용 외 5개소에서 B/C ratio가 1.821로 높게 나타났는데, 그 이유는 가중치가 높고, 설치단가가 저렴한 구조물 타입이기 때문이었다. 투자비를 직접 부담하고 자체적으로 신재생에너지를 사용할 경우는 입지조건에 의한 구조물 타입에 따른 설치단가가 가장 큰 영향을 끼치는 것으로 나타

Table 7. The economical analysis of photovoltaic power generation system by self investment

Site	Position	Capacity (kW)	Cost (Thousand-won/kW)	Cost (Million won)	Annual production (MWh)	Annual tCO <sub>2</sub> reduction (ton/year)	NPV (Million won)	B/C ratio	IRR (%)	Site condition
Haeundae	The relay station	34	2,500	85.0	44	19	-6.6	0.931	-1	
Wisaeng	The roof of control room	45	2,500	112.5	58	26	-8.8	0.931	-1	
Joogang	The roof of equipment building	50	2,500	125	64	29	-9.8	0.931	-1	
Jeonggwan	The roof of equipment building	156	2,500	390	201	89	-30.4	0.931	-1	
Gangbyeon	The six spots	220	2,500	550	284	125	-43.0	0.931	-1	
Gijang	The idle site for Munoseong	460	2,500	1,150	593	262	-89.9	0.931	-1	
Myongji	The roof of living facilities	57	2,500	142.5	71	33	-14.2	0.911	-1	
Myongji	The maintenance building	55	2,500	137.5	69	31	-14.7	0.905	-1	
Gijang	The gateball court for Munoseong	18	2,800	50.4	23	10	-9.6	0.831	-2	
Gijang	The disposal plant for Munoseong	70	2,800	196.0	90	40	-37.3	0.831	-2	
Saenggok	The roof of flow adjustment plants (#3 and #4)	76	2,800	212.8	98	43	-40.5	0.831	-2	Good
Saenggok	The roof of flow adjustment plants (#5 and #6)	196	2,800	548.8	253	112	-104.4	0.831	-2	
Noksan	The roof of preliminary clarifier	200	2,800	560.0	258	114	-106.5	0.831	-2	
Gangbyeon	The 2 <sup>nd</sup> preliminary clarifier	752	2,800	2,105.6	970	429	-400.6	0.831	-2	
Gangbyeon	The 2 <sup>nd</sup> final clarifier	923	2,800	2,584.4	1,191	526	-491.7	0.831	-2	
Haeundae	The parking lot	42	3,300	138.6	57	25	-48.2	0.705	-4	
Myongji	The parking lot of living facilities	100	3,300	330.0	129	57	-109.5	0.705	-4	
Nambu	The parking lot in sports park	250	3,300	825.0	322	143	-273.7	0.705	-4	
Suyeong	The trail	100	6,500	650.0	129	57	-469.4	0.358	-	
Jeonggwan	The sports park	200	6,500	1,300.0	258	114	-938.8	0.358	-	
Noksan	The final clarifier	210	2,800	588.0	271	120	-111.9	0.831	-2	
Suyeong	The 2 <sup>nd</sup> aerobic and settling reactor	1,350	2,800	3,780.0	1,741	770	-719.1	0.831	-2	
Jeonggwan	The roof of maintenance building	30	2,500	75.0	39	17	-5.9	0.931	-1	Not bad
Joogang	The roof of maintenance building	87	2,500	217.5	112	50	-17.0	0.931	-1	
Nambu	The trail lot in sports park	180	2,800	504.0	232	103	-95.9	0.831	-2	
Seobu	The roof of SBR	240	2,800	672.0	310	137	-127.8	0.831	-2	No possible

Table 8. The economical analysis of photovoltaic power generation system by government supporting investment

Site	Position	Capacity (kW)	Cost (Thousand-won/kW)	Cost (Million won)	Annual production (MWh)	Annual tCO <sub>2</sub> reduction (ton/year)	NPV (Million won)	Site condition	
Gangbyeon	The 2 <sup>nd</sup> final clarifier	923	2,800	2,584.4	1,191	526	2,414.8	Good	
Gangbyeon	The 2 <sup>nd</sup> preliminary clarifier	752	2,800	2,105.6	970	429	1,967.4		
Gijang	The idle site for Munoseong	460	2,500	1,150.0	593	262	1,203.5		
Nambu	The parking lot in sports park	250	3,300	825.0	322	143	654.1		
Gangbyeon	The six spots	220	3,300	726.0	284	125	575.6		
Noksan	The roof of preliminary clarifier	200	2,800	560.0	258	114	523.3		
Saenggok	The roof of flow adjustment plants (#5 and #6)	196	2,800	544.8	253	112	512.8		
Jeonggwan	The roof of equipment building	156	2,500	390.0	201	89	408.1		
Myongji	The parking lot of living facilities	100	3,300	330.0	129	57	261.6		
Saenggok	The roof of flow adjustment plants (#3 and #4)	76	2,800	212.8	98	43	198.8		
Gijang	The disposal plant for Munoseong	70	2,800	196.0	90	40	183.1		
Myongji	The roof of living facilities	57	2,500	142.5	71	33	138.1		
Myongji	The roof of maintenance building	55	2,500	137.5	69	31	132.3		
Joongang	The roof of equipment building	50	2,500	125.0	64	29	130.8		
Wisaeng	The roof of control room	45	2,500	112.5	58	26	117.7		
Haeundae	The parking lot	42	3,300	138.6	57	25	115.0		
Haeundae	The relay station	34	2,500	85.0	44	19	89.0		
Gijang	The gateball court for Munoseong	18	2,800	50.4	23	10	47.1		
Suyeong	The 2 <sup>nd</sup> aerobic and settling reactor	1,350	2,800	3,780.0	1,741	770	3,532.0		Not bad
Noksan	The final clarifier	210	2,800	588.0	271	120	549.4		
Jeonggwan	The sports park	200	6,500	1,300.0	258	114	523.3		
Nambu	The trail lot in sports park	180	2,800	504.0	232	103	470.9		
Suyeong	The trail	100	6,500	650.0	129	57	261.6		
Joongang	The roof of maintenance building	87	2,500	217.5	112	50	227.6		
Jeonggwan	The roof of maintenance building	30	2,500	75.0	39	17	78.5		
Seobu	The roof of SBR	240	2,800	672.0	310	137	627.9	No possible	

났다. 따라서 환경기초시설에 태양에너지 도입 시 정부지원을 활용하거나 민간투자 후 매진 방식으로 사업하는 것이 효율적인 것으로 나타났다. 본 사전타당성 연구는 저성장기조를

반영하여 보수적으로 계산되었으며, 전력거래가격 및 탄소거래가격의 변동이 급등하지 않을 것으로 전망되는바, 향후 부산시 환경기초시설 내 태양에너지 시설 도입 시 경제성 분석

결과와 입지조건을 고려하여 단계별로 추진하는 것이 바람직한 것으로 판단된다.

## 사 사

본 연구는 2014년도 부산환경공단 지원 받아 수행되었습니다.

## REFERENCES

- Cho ES, Song YI, Han DH, Lee CY. 2011. A study on the improvement of energy management for wastewater utilities. Korea Environment Institute.
- Cho HM, Yu SH. 2012. Energy self-sufficient in environmental facilities of Seoul metropolitan government. The Seoul Institute.
- Han YH. 2010. Scheme of energy independence for sewage treatment facilities in Gangwon province: Focused on energy reduction. Research Institute for Gangwon.
- Kim DG. 2004. Cost-benefic analysis. Pakyoungsa.
- Kim JW, Kim SU, Choi HH, Park SH, Park JH, Kim DH, Nam KM, Seo MG, Ye SH, Shin JY. 2014. Feasibility study on new and renewable energy in environmental basic facilities, Busan Environmental Corporation.
- Korea Environment Corporation(KECO). 2013. Investigation of private investment for the carbon-neutral program.
- Korea Power Exchange(KPX). 2014.
- Lee KB, Song BR, Kahng DJ, Park KA, Kim NJ. 2001. Rate of return of PPI projects. Korea Research Institute for Human Settlements(KRIHS).
- Ministry of Environment(ME). 2010a. Basic plan for energy independence for public sewage treatment facilities.
- Ministry of Environment(ME). 2010b. Study on development of the optimum carbon-neutral program in environmental basic facilities.
- Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE). 2004. Act on the promotion of the development, use and diffusion of new and renewable energy.
- Ministry of Trade, Industry and Energy(MOTIE). 2004. Study on economic analysis and improvement plan of statistics system according to the new and renewable energy source.
- Park JT. 2013. Renewable energy for of energy independence in public sewage treatment facilities. Journal of Environmental Hi-Technology 21:5-14.