

ORIGINAL ARTICLE

녹색기업의 사업활동 전 과정에 대한 환경성 평가

1. 공정 흐름 및 원단위 분석

신춘환* · 박도현¹⁾

동서대학교 에너지환경공학과, ¹⁾부산패션칼라산업협동조합 에너지환경연구소

Life Cycle Assessment for the Business Activities of Green Company

1. Analysis of Process Flow and Basic Unit

Choon-Hwan Shin, Do-Hyun Park¹⁾

*Department of Energy & Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea

¹⁾Busan Fashion Color Industry Cooperation, Energy Environment Center, Busan 604-030, Korea

Abstract

In this paper, an environmental assessment was carried out on the whole process of industrial business activities to establish a basic plan for climate change mitigation and energy independency. The whole process was divided into each discharge process in terms of water, air, solid waste, green house gases and refractory organic compounds. The flowcharts and basic unit of process were analysed for three years (2008-2010), being utilized as basic information for the life cycle assessment. It was found that the unit loading for the whole process significantly depends on changes in the operation rate change and highly concentrated wastewater inflow. About 35% of solid waste production was reduced by improving the incineration method with co-combustion in coal boiler, generating about 57% of electricity used for the whole process, and consequently reducing the energy costs. As the eco-efficiency index was found to be more than 1, compared to the previous years, it can be said that improvement in general has taken place.

Key words : Green Company, Flowcharts and basic unit of process, Eco-Efficiency, Life cycle assessment

1. 서론

저탄소 녹색성장기본법에 따른 녹색기업은 환경과 경제의 선순환을 위한 녹색성장을 추구하여 기업의 성장을 환경 친화적으로 전환시키는 목적과 더불어 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄), 아산화질소(N₂O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF₆)과 같은 온실가스의 감축을 목표로 하고 있다(NEC,

2008; PMO, 2010; CGG, 2009; EMC, 2011).

이와 같은 녹색기업은 자체적으로 환경성을 평가하여 사업장의 자율적인 환경관리체제를 구축해야 하는 의무를 지니고 있기 때문에 사업활동 전과정에 대한 환경성 평가를 의무적으로 수행해야 한다. 이를 위해서는 제조 및 생산 공정에 따른 배출물질의 원단위 분석이 일차적으로 제시되어야 하고 이를 바탕으로 환경개선에 대한 계획과 실천이 수행되어야 한다

Received 1 September, 2012; Revised 24 September, 2012;

Accepted 12 November, 2012

*Corresponding author : Choon-Hwan Shin, Department of Energy & Environmental Engineering, Dongseo University, Busan 617-716, Korea
Phone: +82-51-320-1787
E-mail: 6116shin@dongseo.ac.kr

© The Korean Environmental Sciences Society. All rights reserved.
© This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

(MOE, 2009; MOE, 2011).

또한 WBCSD(World Business Council for Sustainable Development)에 의해 제안되어 1992년 리우데자네이루에서 개최된 지구정상회의에서 공식적으로 채택된 바 있는 생태효율성은 제품, 기업, 산업, 지역 및 국가 수준의 지속가능성을 평가할 수 있는 유용한 모델로서 제품, 기업, 산업, 지역, 국가의 가치를 환경영향(또는 환경부하)으로 나눈 값으로 정의하고 있기 때문에 전과정에 대한 환경성 평가는 생태효율성 지표를 결정하는 결정적인 자료가 된다(WBCSD, 2004).

이러한 환경성 평가 및 생태효율성은 발전설비(Korhonen과 Luptcik, 2004), 석유화학공업(Charmondusit와 Keartpakpaek, 2008), 펄프 및 제지 공업(Helminen, 2000), 각종 하수처리장(Kim 등, 2008) 및 철광 공업(Kharel과 Charmondusit, 2008)의 지속 가능성을 평가하는 기준으로 적용되고 있으며 산업 전반에 걸친 이들 지표는 사업활동 전과정에 대한 공정도 분석과 원단위 분석 자료를 활용하여 계산되고 있다.

따라서 본 연구의 공정 및 원단위 분석을 위해 부산발전갈라산협동조합의 열병합발전소와 바이오처리장을 표본모델로 선택하였으며 공정별 flow chart를 작성하고 각 공정에 투입되는 원료물질과 각 공정에서 배출되는 대기, 수질, 폐기물, 유해화학물질, 온실가스 농도를 기본 자료로 활용하였다(BFCC, 2011). 여기서 온실가스는 다른 공정과는 달리 연소에 의한 직접배출(SCOPE 1)과 전기사용과 같은 간접배출(SCOPE 2)로 구분하여 IPCC 배출계수와 배출량 산정방식을 적용시켜(IPCC, 2006) 산정한 결과를 이용하였으며 RPF(Refuse Plastic Fuel)의 경우에는 배출계수가 제시되어 있지 않기 때문에 탄소함량을 기준으로 자체 배출계수를 설정하여 산정한 결과를 이

용하였다. 또한 환경부 탄소포인트제 운영에 관한 고시에 나타난 간접배출에 대한 배출계수를 적용한 결과와 비교하고자 하였다(MOE, 2009; MOE, 2011). 한편, 각 공정 별 원단위는 투입원료에 대한 배출물질의 상대적인 양을 나타내며 사업활동 전과정에 대한 오염 지표를 확인할 수 있는 기초자료로서의 활용이 가능할 것으로 예상되기 때문에 산정한 원단위를 배출 저감을 위한 기본계획의 수립 및 생태효율성 지수를 제시할 수 있는 근본적인 자료로 사용하고자 하였다. 따라서, 판매량(생산품가치) / 환경영향으로 정의하는 기업의 생태 효율성은 비교년도와 평가년도에 대한 생태효율성을 비교하는 생태효율성 지수(Factor)로 나타나기 때문에(Lowe, 2001; ISO, 2006; Sanna 등, 2005; Schaltegger과 Sturm, 1992) 비교년도인 2008년과 평가년도인 2010년의 생산성이 같다고 가정하여 생태 효율성 지수를 제시하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 표본공정 분석

인근 산업단지에 증기를 공급하는 열병합발전소는 고체연료를 친환경적으로 연소할 수 있는 밀폐형 순환유동층연소(FBC) 방식으로 운영되며, 산업단지 입주업체에서 배출되는 배출수를 정화 처리하는 바이오처리장은 60,000 m³/D 규모로 밀폐식 순산소(PSA) 공급방식으로 운영되고 있으며 이들 각각의 조건을 Table 1과 같이 정리하여 기초자료로 활용하였다.

여기서 열병합발전소의 주 보일러는 석회석, 모래, 연료의 재 등 불활성 고체 입자군으로 이루어진 층의 밑부분에서 공기를 불어 넣어 상하로 유동하게 되며 이러한 고체입자층인 유동층 내에서 석탄 등 가연성 물질을 연소시키는 유동층 연소 방식으로 증기와 전

Table 1. Process facility of the Busan Fashion Color Cooperative

Section	Facility	Capacity	Note
Cogeneration plant	CFBC boiler	308 TON/H	Fuel - Coal, LNG, RPF
	Power utility	19,000 kWh	KEPCO (Power exchange)
Wastewater treatment plant	Pure oxygen aeration basin	60,000 m ³ /D	Busan environment corporation

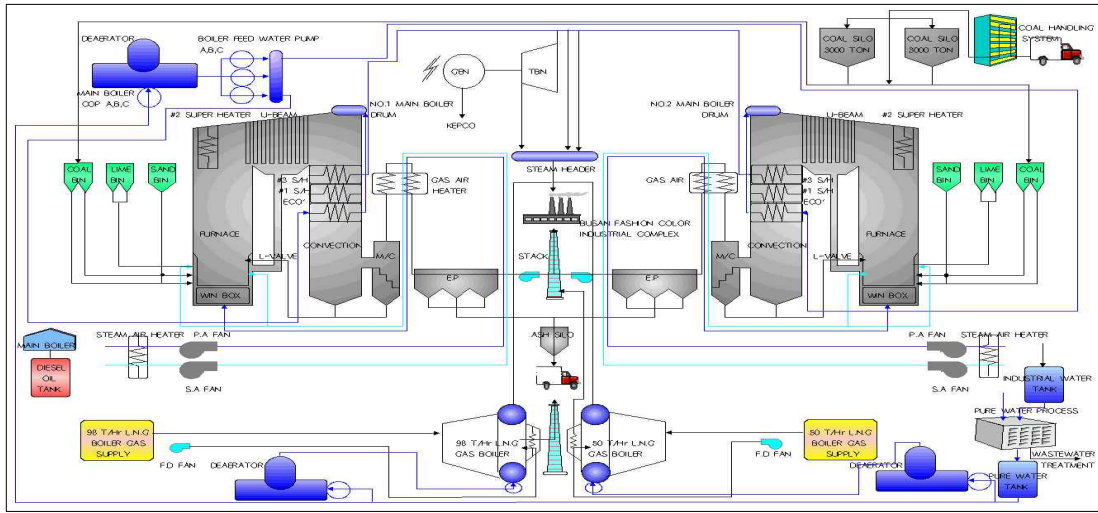


Fig. 1. Flow chart of cogeneration plant.

기를 생산하는 공정의 특이성을 공정 흐름도 분석에 도입하고자 하였다. 또한 보일러는 석탄과 RPF를 연료로 사용하는 주 보일러(80 TON/H×2)와 LNG를 연료로 사용하는 보조보일러(98 TON/H×1, 50 TON/H×1)로 구성되어 있으며 생산된 고압증기는 터빈발전기(19,000 kW)를 통과하여 전기 생산에 이용된 후 저압증기로 변환되어 인근업체의 염색 가공용 증기로 공급되기 때문에 각각의 공정을 분리하여 공정 흐름도 분석에 적용하였으며 그 공정도를 Fig. 1에 나타내었다.

바이오처리장은 부산패션칼라산업단지내 인근 사업장에서 배출되는 염색폐수를 화학반응공정, 가압부상공정, 밀폐식순산소 폭기공정, 침전공정을 거쳐서 강변하수종말처리장(부산환경공단)으로 방류하는 시스템을 공정 흐름도 및 원단위 분석의 기본으로 설정하였다. 또한 10,000 m³/D 규모의 유동상 생물막 담체 처리공정을 도입하여 고농도 폐수를 병합처리 할 수 있는 시스템을 추가한 공정도를 Fig. 2와 같이 작성하여 전과정 평가에 이용하였다.

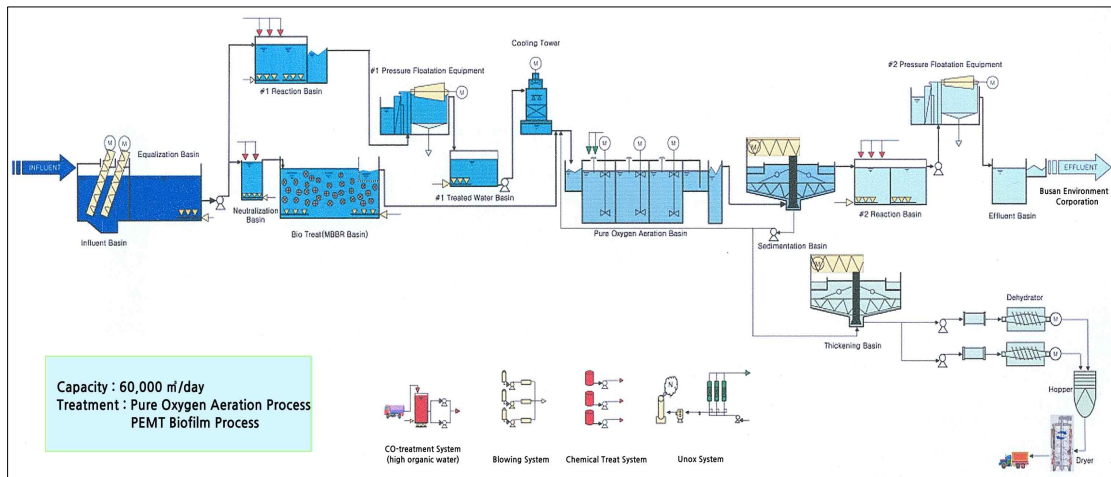


Fig. 2. Flow chart of wastewater treatment plant.

2.2. 공정흐름도 분석

열병합발전소 공정은 석탄 공급공정과 석탄을 연소시켜 증기를 생산하는 보일러공정, 대기오염물질 제거 공정, 모래 및 공기 등을 투입하는 기타공정, 공업용수를 증기 생산용 순수로 제조하는 수처리 공정으로 나누어 분석하였다. 석탄 공급공정은 금속물질 제거, 일정 크기의 석탄 파쇄, 저장 탱크, 이송설비로 세분화시켰으며 대기방지시설로는 여과집진시설을 선택하였다. 기타공정으로는 유동층보일러의 열전달 매체로 쓰이는 모래를 이송하는 설비와 연소공기를 공급하는 설비, 황 산화물을 제거하는 석회석 공급설비와 고히형연료(RPF)를 자체 제작할 수 있는 설비와 공급 설비로 구분하였다.

바이오처리장의 폐수처리공정은 집수조, 중화 및 응집 등의 화학처리조, 1차 가압부상조, 밀폐식 순산소 폭기조의 생물학적 처리조, 침전조, 2차 화학 반응조, 2차 가압부상조, 및 방류 시스템을 공정 분석에 적용시켰으며 고히형연료 제조, 매립, 소각 등의 공정을 거치는 슬러지 처리 공정도 분석에 참여시켰다.

2.3. 투입원료 분석

열병합발전소는 석탄과 RPF를 이용한 유동층보일러와 LNG를 이용한 보조보일러에 투입되는 원료를 분석에 사용하였으며 석탄의 황 함유량을 0.45% 이내로 제한하여 사용함으로써 연료 규제를 통하여 황산화물 발생을 억제시켜 석회석의 사용량은 없다는 결과(Park, 2010)도 적용시켰으며 열병합발전소에 투입되는 원료는 Table 2와 같이 정리하여 원료분석에 이용하였다.

Table 2. Input materials for cogeneration plant (2010)

Materials used	Usage(kg/day)	Use
Coal	220,860.00	Fuel for steam production
RPF	1,048.57	Fuel for steam production
Sand	4,080.00	Material for heat transfer
Lime stone	0	SOx removal
Kerosene	398.63	Boiler burner start
LNG	3,736.62	Fuel for steam production
Na ₃ PO ₄	3.21	PH control and antiscalles
Hydrazine	0.57	Deoxidizer for anticorrosion
Pure water	1,935,177.14	Raw material for steam production

또한 공업용수에서 부유물질 및 용존 불순물을 제거하기 위한 수처리 공정에 필요한 화학약품의 투입량을 분석에 사용하였으며 종류별 투입량을 Table 3에 나타내었다.

Table 3. Input materials for the water treatment system of cogeneration plant (2010)

Materials used	Usage(kg/day)	Use
Industrial water	3,122,305.71	Raw-material for pure water production
H ₂ SO ₄	98.23	Ion exchange resin
NaOH	226.17	Ion exchange resin
NH ₄ OH	0.96	PH control and anticorrosion
Microbial germicide	0.67	Microbial germicide
Anticorrosion	3.31	Anticorrosion
Scale inhibitor	0.54	R/O scale inhibitor
Germicide	0.25	R/O germicide

바이오처리장에서는 염색폐수의 특성상 알칼리 농도가 높은 폐수가 유입되어 가성소다의 사용량은 없으며 응집제는 황산 제2철과 anion계 고분자응집제의 양과 색도 제거를 위해 사용되는 탈색제 및 슬러지 탈수용 cation계 응집제의 사용량을 분석에 사용하였으며 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Input materials for wastewater treatment (2010)

Materials used	Usage(kg/day)	Use
H ₂ SO ₄	1,088.20	PH control
NaOH	0	PH control
Fe ₂ (SO ₄) ₃	6,870.49	Flocculation for wastewater treatment
Decoloring agent	10.71	Removal color for wastewater treatment
Anion polymer	54.54	Polymer coagulant for wastewater treatment
Cation polymer	44.76	Polymer coagulant for sludge dehydration
Antifoaming agent	8.00	Removal the foam
Anticorrosion	0.14	PSA anticorrosion
Scale inhibitor	0.27	PSA scale inhibitor
Industrial water	227,105.71	Machinery cooling water

3. 결과 및 고찰

3.1. 대기 오염물질 원단위 분석

대기 오염물질의 발생원은 열병합발전소에서 연소에 의한 발생이 대부분을 차지하며 원단위 분석을 위해 먼지, SOx, NOx의 발생량을 사용하였다. 2008년~2010년까지의 대기오염물질 배출량을 나타낸 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 대기 오염물질은 2010년 산업단지 입주업체 경기상승 등의 이유로 가동율이 상승하여 2009년 대비 배출량이 소폭 증가하고 있는 현상을 보이고 있으나 전체적으로는 감소추세에 있다. 원단위 분석을 나타낸 Fig. 4에서도 같은

경향을 확인할 수 있다.

3.2. 수질 오염물질 원단위 분석

Fig. 5와 Fig. 6에서 볼 수 있는 바와 같이 COD, SS, 색도, N-H, T-N, T-P 등은 운영조건에 따라 배출량 및 원단위에 근소한 차이가 있으나 전체적으로는 감소하고 있는 현상을 보여주고 있다. 다만 2009년에는 유입폐수 중 고농도 SS가 증가하여 배출량 및 원단위가 일시적으로 증가하고 있다는 점으로 미루어 본 사업장의 국책사업 연구 결과인 유동상 담체 공정과 같은 처리공정을 도입하여 충격부하에 대비할 필요가 있음을 암시하고 있다(Park과 Chung, 2010).

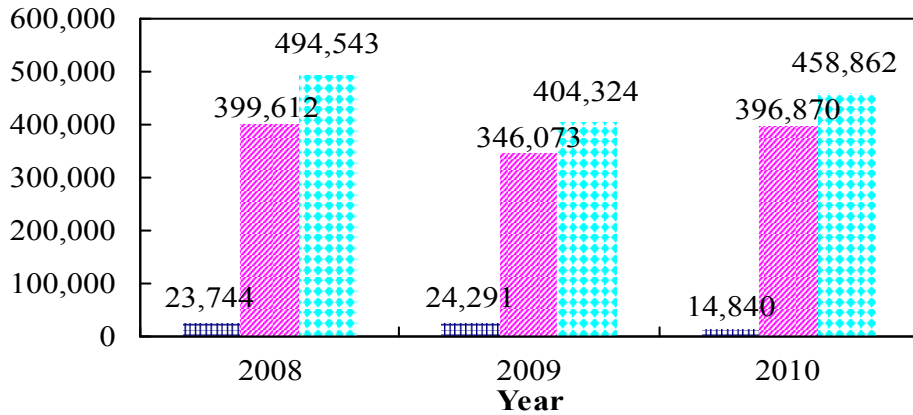


Fig. 3. Air pollutants emissions(Dust, SOx, NOx).

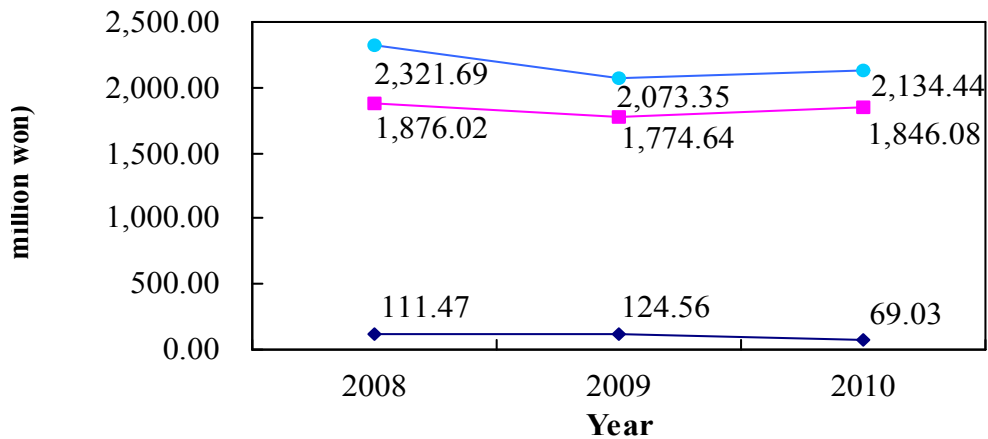


Fig. 4. Air pollutants basic unit(Dust, SOx, NOx).

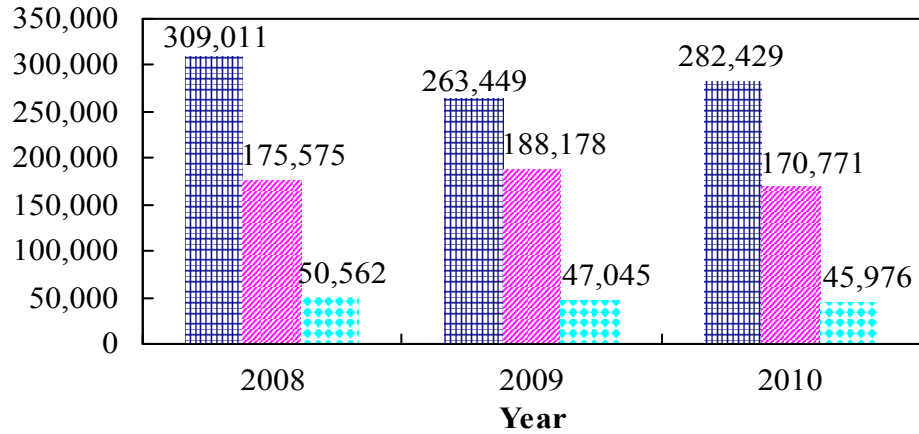


Fig. 5. Water pollutants emissions(■ COD, ■ SS, ■ Others).

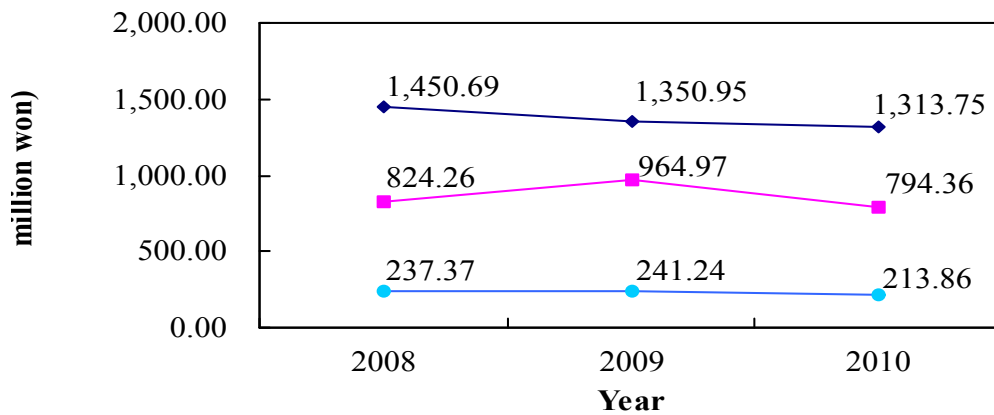


Fig. 6. Basic unit of water pollutant(—● COD, —■ SS, —○ Others).

3.3. 폐기물 원단위 분석

Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 3년간의 폐기물 전체 발생량의 감소와 함께 원단위 역시 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 슬러지 건조공정 도입 및 공정 개선 및 재활용에 의한 효과로 판정되며 사업장에서 발생하는 주요 폐기물인 석탄재, 오니, 폐합성수지, 폐흡착제, 폐유 등은 재활용 및 부피 감량에 의해 전체 발생량을 감소시킬 수 있음을 알 수 있다. 특히 석탄재는 전량 시멘트 원료로 재활용되고 있어 사업장 전체 폐기물 재활용률을 약 80.9%(2010년)까지 상승시키는 데 주된 역할을 하고 있음을 확인하였다(Park, 2010).

3.4. 유해 및 일반화학물질 원단위 분석

Fig. 8에서 볼 수 있는 바와 같이 유해물질 및 일반화학물질의 발생량 및 원단위는 감소하고 있는 추세를 보이고 있다. 이는 본 사업장에서 사용되는 약 14종의 화학물질은 열병합발전소에서의 사용량은 변화가 없으나 바이오처리장에서의 유동상 생물막 담체공정의 확대 적용 및 생물학적 처리의 활성화로 화학약품 사용량이 감소한 결과로 해석할 수 있다(Park과 Chung, 2010).

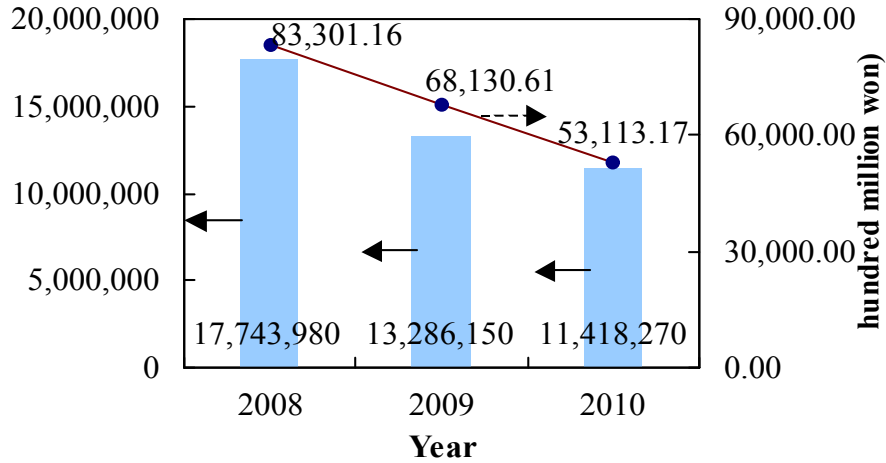


Fig. 7. Waste emissions and basic unit(Emissions, Basic unit).

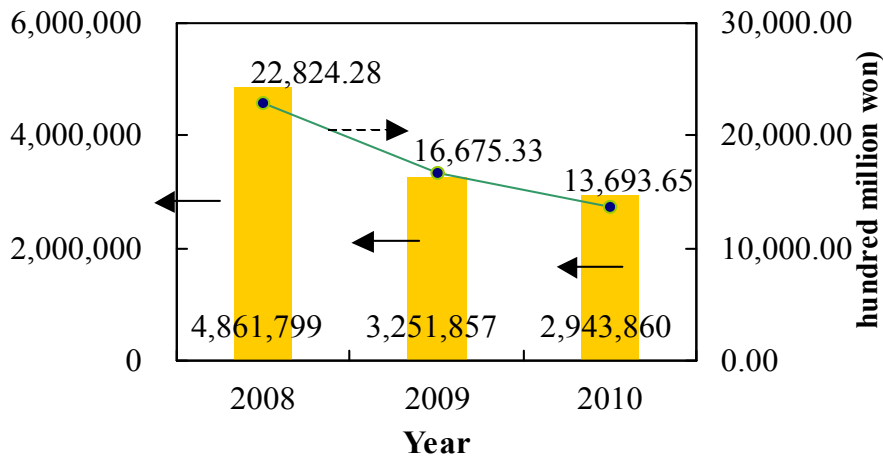


Fig. 8. Chemical substance emissions and basic unit(Emissions, Basic unit).

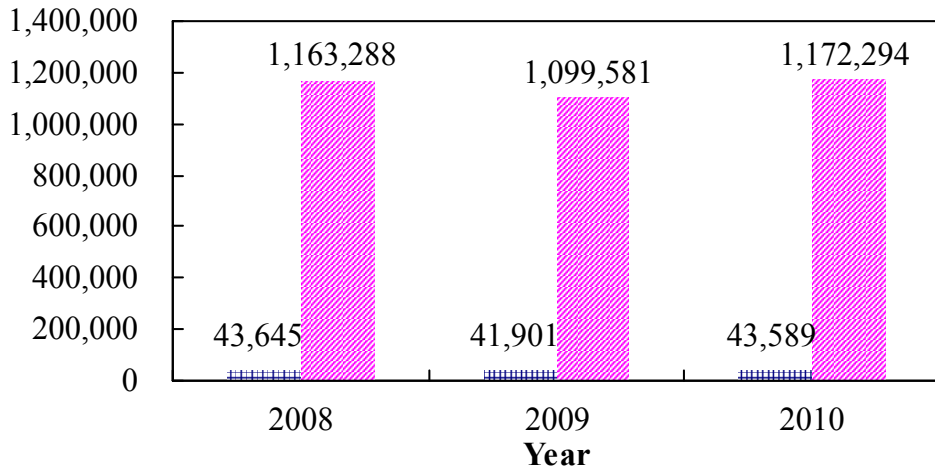
3.5. 에너지 및 용수의 원단위 분석

열병합발전소에서 생산되어 자체 소비되는 전력량을 에너지 총사용량으로 지정하고 에너지 및 용수 사용을 Fig. 9에 나타내었으며 원단위 분석은 Fig. 10에 나타내었다. 여기서 보면 2008년과 비교한 2009년의 에너지 소비량은 감소하였음에도 불구하고 에너지 원단위는 상승하고 있다. 이는 사용전력의 57%를 자체 생산하기 위해 투입된 에너지의 사용량이 많았기 때문으로 생각되며 외부 유입 전기의 사용량이 감소할 것으로 예상되기 때문에 에너지 원가는 감소할 것으

로 예상이 가능하다. 또한 용수 사용도 같은 경향을 보여주고 있으며 바이오처리장의 방류폐수를 이용하여 자체 사용이 가능한 용수로 재활용하는 공정을 도입한다면 외부 유입 용수량이 감소하면서 용수에 대한 원가절감의 효과도 달성하리라고 예상 할 수 있다.

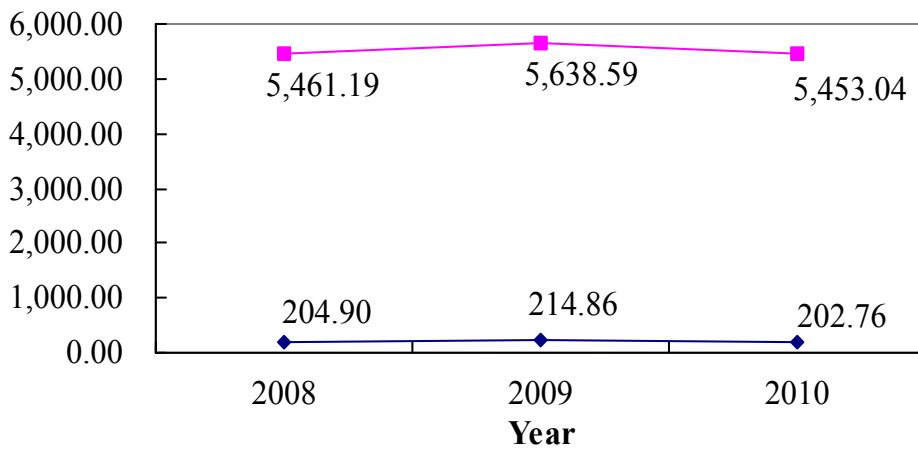
3.6. 온실가스 원단위 분석

사업장에서 배출되는 온실가스는 연소에 의한 직접 배출(SCOPE 1)과 전기사용과 같은 간접배출(SCOPE 2)로 구분하였으며 배출량은 배출계수를 이용하여 산출하였다. 온실가스 배출량의 계산은 IPCC 배출량 산



※ emissions unit: Energy(MWh) Water(m³)

Fig. 9. Energy & water emissions(■ Energy, ■ Water).



※ basic unit: Energy(MWh/one hundred million won) Water(m/one hundred million won)

Fig. 10. Basic unit of energy and water(◆ Energy, ■ Water).

정방식을 적용시켰으며 배출량 = $\sum (EF \times Activity)$ = 탄소배출계수 × 연료사용량 × 발열량 × CO₂ 환산계수에 의해 측정하였다. 연소공정의 배출계수는 IPCC 배출계수(석탄 25.8 kg · C/GJ, 보일러 등유 19.6 kg · C/GJ, LNG 15.3 kg · C/GJ)를 적용하여 산정하였고 (IPCC, 2006) RPF의 경우에는 배출계수가 제시되어 있지 않아 탄소함량을 기준으로 하여 자체 배출계수 (RPF 24.5 kg · C/GJ)를 산정하여 계산하였다. 또한

간접배출에 대한 배출계수(전력 424 g · CO₂/kWh, 용수 332 g · CO₂/m³)는 환경부 탄소포인트제 운영에 관한 고시를 적용하여 산출하였다(MOE, 2009; MOE, 2011). Fig. 11에서 볼 수 있는 바와 같이 온실가스 배출량은 사업장 주변지역 소각증기 이용, 스팀 배관의 주기적 점검 · 보수의 시행으로 전체적으로 소량 감소 추세를 보이고 있으며 2009년에는 경기하락에 따른 조업율 감소로 인해 일시적으로 감소 현상을 보이고

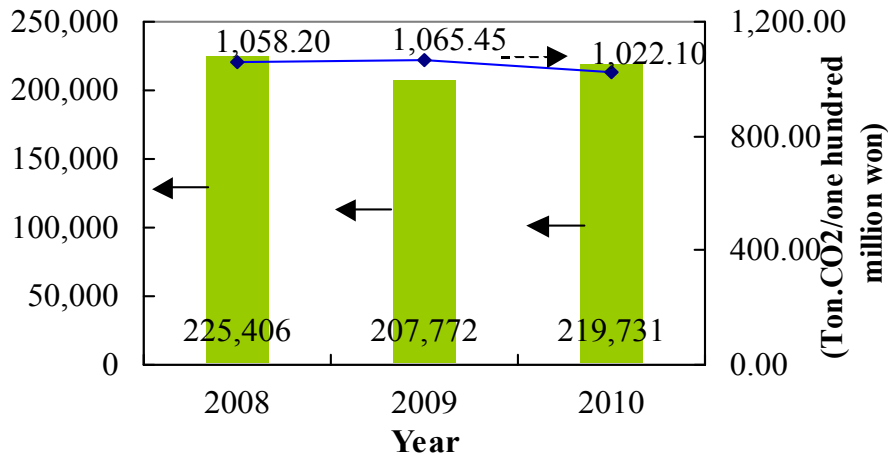


Fig. 11. Greenhouse gases emissions and basic unit(Emissions, Basic unit).

있으나 오히려 원단위는 상승한 결과를 보이고 있다. 이는 전 공정을 운전하는 데 발생하는 온실가스의 양이 감소하더라도 이보다도 생산성이 더욱 많은 감소 현상을 보였기 때문으로 생각된다.

3.7. 생태효율 분석

기업(생산물)에 대한 생태효율성(EE) = 판매량(생산물가치) / 환경영향 생태효율성 지수(Factor) = 생태효율(new) / 생태효율(old) 와 같이 정의되는 생태효율성 지수는 평가년도의 생태효율성을 비교년도의 생산량이 같다고 가정하여 1 이상이면 비교년도보다 평가년도의 오염물질 발생량이 적다는 것을 의미하고 1 이하면 그 반대를 의미한다. 본 연구에서는 비슷한 경제여건인 2008년을 비교년도로, 2010년을 평가년도로 설정하였다.(Lowe, 2001; ISO, 2006; Sanna 등, 2005; Schaltegger과 Sturm, 1992)

3.7.1. 열병합발전소 생태효율성 분석(대기분야)

열병합발전소의 생태효율성을 분석한 Table 5와 Table 6에서 보면 NO_x는 2008년도 대비 2010년도는 factor가 1 이상으로서 생태효율이 좋은 것으로 나타났으며, SO_x의 경우 비교적 생태효율성이 낮은 것으로 나타났으나, 전반적인 총량 기준으로는 factor가 1 이상으로서 생태효율이 좋은 것으로 평가되었다.

Table 5. Steam production and air pollutants emissions (2008~2010)

Items	2008	2009	2010
Steam production (TON/year)	603,253	525,147	582,147
Air pollutants emissions (kg/year)			
Dust	23,744	24,291	14,840
SO _x	399,612	346,073	396,870
NO _x	494,543	404,324	458,862
Total	917,899	774,688	870,572

Table 6. Air eco-efficiency (2008~2010)

Items	2008	2009	2010	Factor(2010/2008)
Dust	25.4065	21.6190	39.2282	1.5440
SO _x	1.5096	1.5174	1.4668	0.9717
NO _x	1.2198	1.2988	1.2687	1.0401
Total	0.6572	0.6779	0.6687	1.0175

* Eco-efficiency = Steam production / Air pollutants emissions

3.7.2. 바이오처리장의 생태효율성 분석(수질분야)

바이오처리장의 생태효율을 분석해보면 COD, N-H, T-N, T-P의 경우 2008년도 대비 2010년도는 factor가 1 이상으로서 생태효율이 좋은 것으로 나타났으며, SS의 경우 비교적 생태효율이 낮은 것으로 보여지나, 전반적인 총량 기준으로는 factor가 1 이상으로서 생태효율이 좋은 것으로 평가된다.

Table 7. Wastewater treatment and water pollutants emissions (2008~2010)

Items	2008	2009	2010
Wastewater treatment (m ³ /year)	7,022,988	6,272,594	6,568,107
COD	309,011	263,449	282,429
SS	175,575	188,178	170,771
Water pollutant emissions (kg/year)			
N-H	2,809	1,882	1,970
T-N	45,646	43,281	42,036
T-P	2,107	1,882	1,970
Total	535,148	498,672	499,176

Table 8. Eco-efficiency of water (2008~2010)

Items	2008	2009	2010	Factor (2010/2008)
COD	22.7273	23.8095	23.2558	1.0233
SS	39.9999	33.3333	38.4615	0.9615
N-H	2,500.1737	3,332.9405	3,334.0645	1.3335
T-N	153.8577	144.9272	156.2496	1.0155
T-P	3,333.1694	3,332.9405	3,334.0645	1.0003
Total	13.1234	12.5786	13.1579	1.0026

※ Eco-efficiency = Wastewater treatment / Water pollutants emissions

4. 결론

녹색기업의 사업활동 전 과정에 대한 환경성 평가를 위하여 공정 흐름도 및 원단위를 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 부산패션칼라산업협동조합의 환경성평가 결과 2008년부터 2010년까지 전반적으로 배출량 및 원단위가 감소하였으나 가동율 변화와 고농도 폐수의 유입에 의해서 원단위가 급격하게 상승하거나 하락하는 결과를 나타내고 있다.

2) 대기 오염물질은 2010년 산업단지 입주업체 경기상승 등의 이유로 가동율이 상승하여 2009년 대비 배출량이 소폭 증가하고 있는 현상을 보이고 있으나 전체적으로는 감소추세에 있다.

3) 수질오염물질 원단위 분석결과, 바이오처리장의 효율적 운영으로 배출량이 감소하고 있으며, 2009년

의 경우 입주업체의 유입폐수 중 SS량이 증가하여 배출량이 소폭 상승하였으나 유동상 담체공정의 확대로 충격부하에 안정적으로 대처하고 있으며, 운영 조건에 따라 일부 항목별 배출량의 근소한 차이가 있으나 전체적으로는 감소하거나 전년과 비슷한 수준을 유지하고 있다.

4) 폐기물 배출현황 및 원단위 분석결과 염색폐수 슬러지 고품연료 제조장치 및 석탄보일러 혼소 실증 기술개발 연구사업으로 슬러지 배출량이 2008년 대비 2010년도에는 약 35% 대폭 감소되었음을 확인하였고 석탄재의 전량 시멘트원료로 재활용으로 인해 사업장 전체의 재활용이 2008년, 2009년, 2010년에 각각 46.5%, 63.5%, 80.9% 로 증가하고 있음을 확인하였다.

5) 에너지 및 용수의 원단위 분석결과, 2009년 경기 하락으로 전력 및 용수 사용량은 소폭 감소하였으며, 사용전력의 57%를 자체발전을 통해 생산하여 사용하였기 때문에 외부 전력 유입 비용을 절감할 수 있었다. 그러나 방류 폐수에 대해서는 공정용수로 재활용하는 방안을 모색해야 할 것으로 판단하였다.

6) 온실가스 배출량은 IPCC의 배출계수(석탄 25.8 kg·C/GJ, 보일러 등유 19.6 kg·C/GJ, LNG 15.3 kg·C/GJ)와 자체 배출계수(RFP: 24.5 kg·C/GJ)를 적용시킨 결과 2008, 2009, 2010 년에 각각 225,206, 207,772, 219,731 TonCO₂ 로 계산되었으나 적용변수에 따라 약간의 차이는 있을 수 있을 것으로 판단된다.

7) 열병합발전소 및 바이오 처리장에 대한 생태효율성 분석에서는 1 이상의 factor로 계산되었기 때문에 총량 기준으로 생태효율성이 개선되고 있음을 확인하였다.

감사의 글

이 논문은 부산 패션칼라산업 협동조합의 녹색기업 신청서의 자료를 이용하여 동서대학교의 2012년 특별연구비에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

Busan Fashion Color Cooperative, 2011, Plan of environmental improvement for green company appointment.

- Charmondusit, K. and Keartpakpraek, K., 2008, Eco-efficiency evaluation of the petroleum and petrochemical group in the Map Ta Phut industrial estate, paper presented in The International Conference on Environmental Research and Technology, (ICERT08), 28-30, Penang, Malaysia.
- Committee of Green Growth, 2009, Five-year plane for national strategy of green growth.
- Energy management corporation, 2011, Handbook of energy & climate change.
- Helminen, R. R., 2000, Developing tangible measures for eco-efficiency: the case of the Finnish and Swedish pulp and paper industry, *Business Strategy and the Environment* 9(3), 196-210.
- IPCC, 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Kharel, G. P. and Charmondusit, K., 2008, Eco-efficiency evaluation of iron rod industry in Nepal, *J. of Cleaner Production*, 16(13), 1379-1387.
- Kim, I., Kwon, E. S., Kyung, K. H., Choi, Y. N., Kim M. Y., 2006, Environmental comparison for the LCA of iron, *K. J. LCA*, 7(1), 1-6.
- Kim, S. K., Yoon, Y. J., Choi, J. H., Kim I., Chung, T. H., 2008, Eco-efficiency and application of sewage treatment plant, *Kor. Soc. Water & Wastewater*, *Kor Soc. Water Environment*, Conference, 206-207.
- Korhonen and Luptacik., 2004, Eco-efficiency analysis of power plants: An extension of data envelopment analysis, *European Journal of Operational Research*, 154, 437-446.
- Lowe, E., 2001, *Eco-industrial Park Handbook for Asian Developing Countries*. Report to Asian Development Bank.
- Min. of Environment, 2009, Regulation of carbon point, notification of 2009-87.
- Min. of Environment, 2011, Management regulation of green company appointment, notification of 2011-117.
- Min. of Environment, 2011, Index for management of greenhouse gas & energy.
- National Energy Committee, 2008, The first master plane for energy.
- Park, D. H., 2010, Manufacturing apparatus(15ton/d) for solid fuel using sludge of dyeing wastewater, *Min. of Knowl. & Eco.*
- Park, D. H., Chung, J. S., 2010, Co-treatment with dyeing wastewater and food wastewater with a fluidized biological membrane, *K. J. Envir. Engi. Spring Conference*, 299-303.
- Prime Minister's Office, 2010, Fundamental law 9931 for law carbon & green growth.
- Sanna E., Matti M., Per M., 2005, Eco-efficiency in the Finnish EMAS reports - a buzz word, *Journal of Cleaner Production* 13, 799-813.
- Schaltegger, S., Sturm, A., 1992, *Ökologieorientierte Entscheidungen in Unternehmen: ökologisches Rechnungswesen statt Ökobilanzierung; Notwendigkeit, Kriterien, Konzepte*. Haupt, Bern.
- WBCSD. 2004, *A guide to reporting company performance*, Geneva.