Journal of Environmental Science International
23(11); 1881~1888; November 2014

pISSN: 1225-4517 eISSN: 2287-3503
http://dx.doi.org/10.5322/JESI.2014.23.11.1881

ORIGINAL ARTICLE

염색폐수 처리공정의 온실가스 배출량 산정 및 환경성 평가

신춘환*, 박도현[1)]

*동서대학교 에너지환경공학과, [1)]부산패션칼라산업협동조합 에너지・환경연구소

Estimation of Greenhouse Gas Emissions and Environmental Assessment of Dye Wastewater Treatment Process

Choon-Hwan Shin*, Do-Hyun Park[1)]

Dept. of Energy & Environment, Dongseo University, Busan 607-716, Korea
[1)]Busan Fashion Color Industry Cooperation, Energy Environment Center, Busan 604-030, Korea

Abstract

Greenhouse gas (GHG) emissions from dye wastewater treatment processes were estimated by analysing their mass and energy balances, which were then used as baseline information for environmental assessment. The total GHG emissions from dye wastewater treatment plants were divided into direct emissions from the treatment processes and indirect ones from electricity usage. The amounts of CO_2, CH_4 and N_2O emissions were calculated according to the Intergovernmental Panel on Clime Change (IPCC) guideline for the GHG target management system. For 3 years between 2011 and 2013, direct and indirect emissions were on average 8,742.7 and 7,892.0 Ton.CO_2eq/year, respectively, with the former exhibiting 52.6 %. Also, compared to 2012, in 2013, the eco-efficiency indicator by the GHG emissions was found to be more than 1, suggesting that environmental quality was effectively improved.

Key words : Process of dye wastewater treatment, Greenhouse gas, Mass and energy balance, Eco-efficiency

1. 서 론

지구온난화와 기후변화에 대처하기 위한 노력의 일환으로 기후변화협약 등 국제적인 공동대책을 수립하고 있다. 우리나라는 교토의정서 체제 하에서는 비자발적 감축국(Non-Annex Ⅰ)에 속해 있으나 국제사회의 온실가스 감축 요구에 대한 선제적 대응과 저탄소기술 개발 촉진 등 신 성장 동력 창출을 위해 2009년에 2020년 Business-As-Usual(BAU) 대비 30% 감축이라는 자발적 감축 목표를 설정하였다(Min. of Environ., 2014). 더욱이 저탄소 녹색성장 기본법(Min. of Environ., 2014)을 제정하여 온실가스・에너지 목표관리제(Min. of Environ., 2012)를 고시하였을 뿐 아니라 나아가서는 2015년부터 온실가스 배출권거래제를 시행하는 등의 대응책을 제시하고 있다. 특히 우리나라의 경제규모는 전 세계 15위로서, 2010년 1인당 온실가스 배출량은 11.52톤(tCO2-eq)으로 OECD국가 중 7위이며 배출량 증가 추세는 연평균 3.9%로 OECD 국가 중 1위로 국제사회로부터 보다 적극적인 온실가스 감축을 요구받고 있는 상황이다(Admin. of Kor. Mrtero., 2012).

Received 15 September, 2014; **Revised** 10 October, 2014;
Accepted 10 November, 2014
***Corresponding author** : Choon-Hwan Shin, Dept. of Energy & Environment, Dongseo University, Busan 607-716, Korea
Phone: +82-51-320-1787
E-mail: 6116shin@dongeo.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.

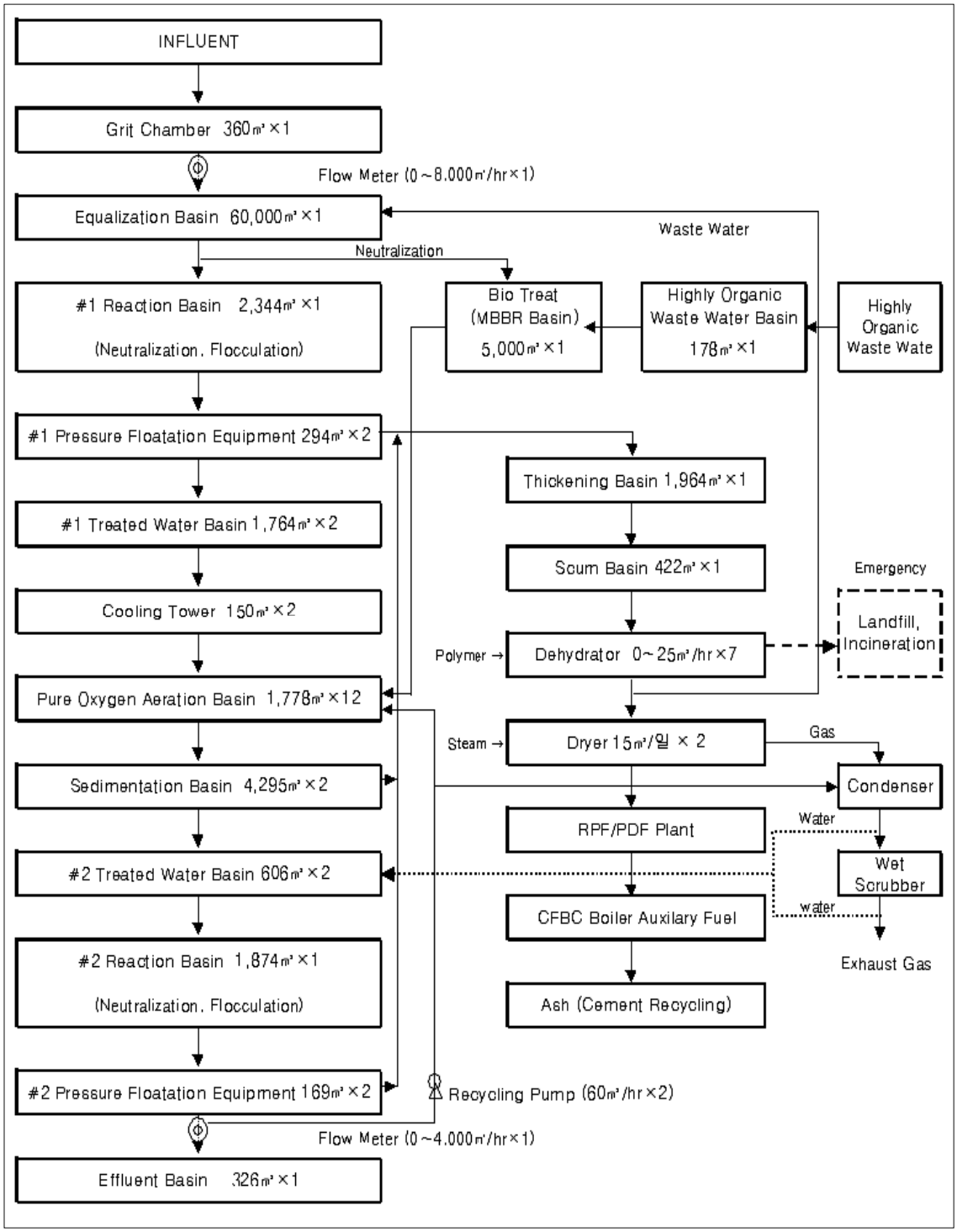

Fig. 1. Process of dye wastewater treatment.

여기서 자발적 온실가스 감축을 위해서는 환경과 경제의 선순환을 위한 녹색성장을 추구하며 기업의 성장을 환경 친화적으로 전환시킨다는 기업 차원의 목표를 달성함과 동시에 국가 시책에 부응하는 기업으로서의 온실가스 감축에 대한 노력이 절실한 시점이기도 하다. 이러한 관점에서 기업은 온실가스 감축을 위한 환경 개선과 더불어 생태 효율성 분석에 의한 환경성 평가의 결과를 제시할 의무가 대두되고 있기 때문에 각 공정에서 발생하는 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O), 수소불화탄소(HFCs), 과불화탄소(PFCs), 육불화황(SF_6)과 같은 온실가스에 대한 배출량을 산정하는 일차적인 과정이 필요하다(Min. of Environ., 2010, Prime Ministry's Office, 2010).

따라서 본 연구에서는 부산 패션칼라 산업의 염색폐수 처리장을 표본 공정으로 선택하고 2006년 IPCC 가이드라인과 2011년 우리나라에서 발표한 온실가스·에너지 목표관리 운영 등에 관한 지침을 적용하여 온실가스 배출량을 산정하고자 하였다. 또한 처리 공정의 배출원 구분에 따라 최근 3년(2011～2013) 동안을 폐수처리공정에서 발생하는 직접 배출과 전기사용량으로 계산되는 간접 배출로 구분하여 온실가스 배출량을 산정하였으며 이 기간 동안의 직접 배출 및 간접배출의 평균값으로부터 온실가스 배출원에 대한 비율을 제시하고자하였다. 이와 같이 산출한 온실가스의 발생량으로부터 생태 효율성(Lowe, 2001; Sanna 등, 2005; Schaltegger과 Sturm; 1992) 지수를 제시하면서 환경 개선 효과를 진단할 수 있는 기초 자료를 마련하고자 하였다.

2. 연구방법

2.1. 표본공정 분석

부산패션칼라 산업의 폐수 처리장으로 유입되는 원수는 50여개의 염색업체가 배출하는 60,000 ㎥/day의 염색가공 폐수로서 색도 및 유기물 농도가 높은 특징을 가지고 있으며 처리공정은 아래 Fig. 1과 같다. Fig. 1에서 볼 수 있는 바와 같이 생물처리 공정 및 고농도 유기물 처리 공정을 중심으로 밀폐식 순산소(PSA) 공급방식으로 운전되고 있다(Busan Fashion Color 2014).

여기서 화학반응공정, 가압부상공정, 밀폐식순산소 폭기공정, 침전공정을 거쳐 하수종말처리장으로 방류하는 시스템을 온실가스 배출량 산정의 기본 공정으로 설정하였다.

2.2. 물질수지 및 에너지수지 분석

유입된 폐수의 처리과정에 대한 세부 공정은 침사지, 집수조, 1차 반응조, 가압부상조, 폭기조, 침전조, 2차 반응조, 방류조로 구분하였으며 각 공정별로 2013년의 투입량 및 배출량을 계산하여 Fig. 2와 같이 폐수처리 전 공정에 대한 물질수지 및 에너지수지를 작성하여(Shin과 Park, 2013; 2013) 분석의 기본 자료로 활용 하였다.

Industrial water	85,015 ㎥/year	→	Wastewater treatment plant	→	Treated water (Own waste water) 85,015 ㎥/year
Wastewater (CHP)	462,013 ㎥/year				Treated water (CHP) 462,013 ㎥/year
Wastewater (Industrial complex)	6,202,721 ㎥/year				Treated water (Industrial complex) 6,202,721 ㎥/year
Chemicals (For wastewater treatment)	2,627 TON/year				Waste 35 TON/year
Electricity (KEPCO)	17,072 MWh/year (163.89 TJ/year)				Greenhouse gas 7,960 TON·CO_2/year
					Mechanical power consumption 152.418 TJ/year
					Mechanical power loss 11.472 TJ/year

Fig. 2. Energy and material balance in wastewater treatment plant (2013).

Table 1. Input materials for wastewater treatment (2013)

Materials used	Usage(kg/day)	Use
H_2SO_4	336.66	PH control
NaOH	0	PH control
$Fe_2(SO_4)_3$	6,996.97	Flocculation for wastewater treatment
Decoloring agent	0	Removal color for wastewater treatment
Anion polymer	59.19	Polymer coagulant for wastewater treatment
Cation polymer	91.21	Polymer coagulant for sludge dehydration
Antifoaming agent	8.57	Removal the foam
Anticorrosion	0.30	PSA anticorrosion
Scale inhibitor	0.58	PSA scale inhibitor
Industrial water	242,900.00	Machinery cooling water

Table 2. Analysis of wastewater treatment (2013)

Year	Analysis items	Influent concentration	Effluent concentration
2011	COD	298.1	46.5
	T-N	16.83	7.22
2012	COD	298.1	44.0
	T-N	31.67	7.51
2013	COD	294.0	43.9
	T-N	32.52	8.15

2.3. 투입원료 분석

염색폐수 처리공정에 사용되는 응집제 및 약품은 다음 Table 1에 나타내었다.

2.4. 수질 분석

호기성 폐수처리 공정에서 발생되는 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O) 등의 온실가스 산정에 필요한 COD와 T-N의 농도를 분석하여 Table 2에 나타내었다.

2.5. 온실가스 배출량 산정

온실가스 배출원은 폐수처리 공정에 의한 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O)의 직접배출과 전기 사용에 의한 이산화탄소(CO_2), 메탄(CH_4), 아산화질소(N_2O)의 간접배출로 구분하였으며 각각의 배출원에서 발생되는 온실가스 배출량을 계산하여 이산화탄소량으로 환산하여 산정하였다.

폐수처리 공정은 현재 온실가스・에너지 목표관리제(Min. of Enviton. 2014)에서는 호기성에 의한 폐수처리는 배출량 산정을 하지 않기 때문에 2006 IPCC 가이드라인(IPCC, 2006)의 산출방법을 이용하였으며, 메탄(CH4)의 배출계수는 IPCC 가이드라인에서 제시하는 기본값인 0.25 kg・CH_4/kg・COD, 아산화질소(N_2O)의 배출계수는 IPCC 가이드라인에서 제시하는 기본값인 0.005 kg・N_2O/kg・N을 사용하였다.

또한, 전기 사용에 의한 배출량 산정은 IPCC 가이드라인에서 구체적인 배출계수를 제시하지 않았기 때문에 온실가스・에너지 목표관리제에서 제시하는 이산화탄소(CO_2) 0.4653 Ton・CO_2/MWh, 메탄(CH_4) 0.0054 kg・CH_4/MWh, 아산화질소(N_2O) 0.0027 kg・N_2O/MWh의 국가 배출계수를 이용하였으며 그 산정방법은 Table 3에 나타내었다(Kwak 등, 2010; Park 등, 2011).

3. 결과 및 고찰

3.1. 온실가스 배출량 분석

현재 온실가스・에너지 목표관리제에서는 혐기성 폐수처리에 대하여 온실가스를 산정하고 호기성 폐수

Table 3. Calculation tool of GHG emission

Emission Sources	GHG	Method
Wastewater treatment	CH_4	CH_4 emissions = [(COD in - COD out) × Q in × EF × 10^{-6} - R] × Fj CH_4 emissions : CH_4 emissions from wastewater treatment (Ton・CO_2eq) COD in : COD concentration in the influent wastewater (㎎/ℓ) COD out : COD concentration in the effluent wastewater (㎎/ℓ) Q in : Influent wastewater flows (㎥/yr) EF : Emission factor (Ton・CH_4/Ton・COD) R : Methane recovery amount (Ton・CH_4) Fj : Greenhousegas(j) GWP (CH_4=21)
	N_2O	N_2O emissions = TN out × Q out × EF × 44/28 × 10^{-6} × Fj N_2O emissions : N_2O emissions from wastewater treatment (Ton・CO_2eq) TN out : TN concentration in the effluent wastewater (㎎/ℓ) Q out : Effluent wastewater flows (㎥/yr) EF : Emission factor (kg・N_2O/kg・N) 44/28 : kg・N_2O-N → kg・N_2O conversion factor Fj : Greenhousegas(j) GWP (N_2O=310)
Electricity	CO_2 CH_4 N_2O	CO_2eq emissions = ∑(Q × EF × Fj) CO_2eq emissions : GHG emissions of electricity use (Ton・CO_2eq) Q : Electricity usage (MWh) EF : Emission factor (Ton・GHG/MWh) Fj : Greenhousegas(j) GWP (CO_2=1, CH_4=21, N_2O=310)

※ GWP : Global Warming Potential

처리에 대하여 온실가스 산정을 하지 않으나 기업의 환경성 평가 측면에서 IPCC 가이드라인을 이용하여 부산 패션칼라산업의 호기성 폐수처리 공정에 대하여 분석한 결과에 의하면 폐수처리장에서 발생되는 온실가스는 폐수처리에 의한 직접배출과 전력 사용으로 인한 간접배출이 대부분을 차지하며 폐수처리에 의한 발생량은 2011년, 2012년, 2013년 각각 8,469, 8,762, 8,997 Ton・CO_2eq/year, 전기사용량에 의한 발생량은 7,727, 7,989, 7,960 Ton・CO_2eq/year로 계산되어 폐수 처리 공정에서 발생되는 온실가스가 전체 발생량의 약 53%를 차지하고 있음을 확인하였다. 또한 Fig. 3에서 볼 수 있는 바와 같이 기준 년도인 2011년에 비해 2012, 2013년도에서는 온실가스 발생량이 소폭 증가 추세를 보이고 있는 결과는 유입 폐수처리량 증가 및 음식물 폐수의 병합처리로 인한 유기물 농도의 증가에 기인하는 것으로 판단된다.

3.2. 온실가스 배출량 원단위 분석

Fig.4에서 볼 수 있는 바와 같이 2011년, 2012년, 2013년 각각에 대한 온실가스 배출량은 16,196, 16,751, 16,957 Ton・CO_2eq/year로 계산된 결과는 유입폐수 증가 및 음식물 폐수의 병합처리로 인한 유입 유기물 농도의 증가로 소폭 상승하는 현상을 보이고 있으나 공정 개선을 통해 폐수처리 물량에 대비한 전력 사용량의 감소 등의 원인으로 원단위(Shin 등, 2013)는 감소하는 현상을 나타내고 있다. 이는 전 공정의 운전 중에 발생하는 온실가스의 양이 소폭 증가하더라도 생산성이 더욱 많은 증가 현상을 보였기 때문으로 판단된다.

3.3. 온실가스 생태효율성 분석

폐수 처리장의 전 공정에 대한 생태효율성(EE)은 각 공정의 온실가스 발생량으로 폐수처리량을 나눈 값으로 정의하였으며 EE의 계산을 위해 2011년, 2012년, 2013년의 폐수처리량에 대한 온실가스 발생량을 Table

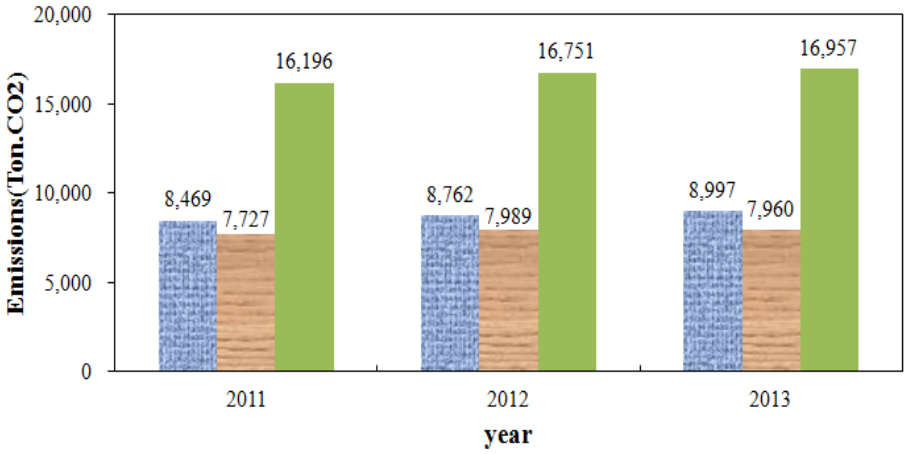

Fig. 3. Greenhouse gases emissions. (Wastewater treatment, Electricity, Total)

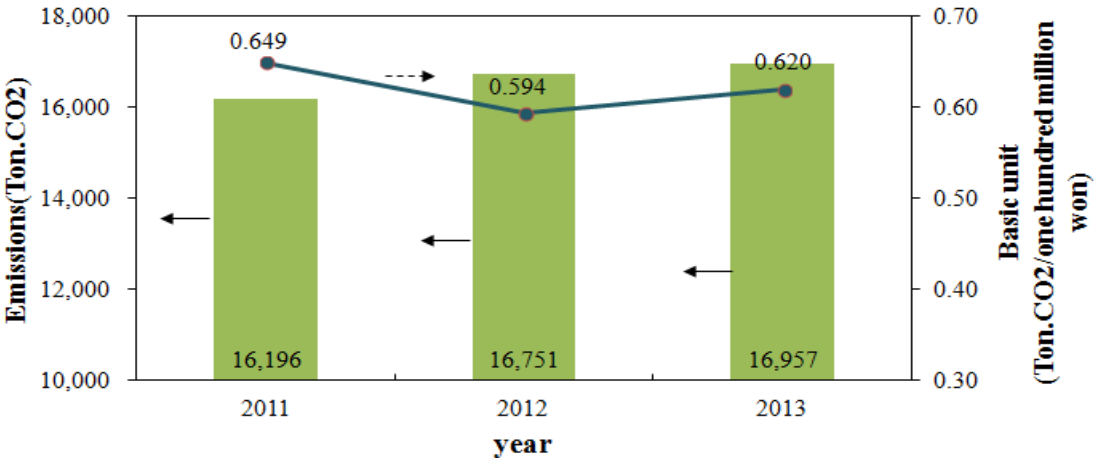

Fig. 4. Greenhouse gases emissions and basic unit.(Emissions, Basic unit)

4에 나타내었다. 여기서 보면 폐수처리량이 증가 할수록 직접배출 및 간접배출 각각의 온실가스 발생량도 증가하고 있는 사실을 확인 할 수 있다. 이러한 결과는 폐수 처리량에 따른 사용 약품의 소요량의 증가와 전기 사용량의 증가에 따른 당연한 결과로 해석이 가능하다. 또한 생태효율성 지수(Factor)는 평가년도의 생태효율성을 비교년도의 생태효율성으로 나눈 값으로 비교년도와 평가년도의 폐수 처리량이 같다고 가정하여 1 이상이면 비교년도보다 평가년도의 오염물질 발생양이 적다는 것을 의미하고 1 이하면 비교년도보다 평가년도의 오염물질 발생양이 많다고 정의할 수 있기 때문에(Shin 등, 2013) 본 연구에서는 Table 4와 같이 2011년~2013년 공정별 온실가스 배출량을 산출하여 2012년과 2013년을 평가년도로 설정하였으며 평가년도에 대한 각각의 전년도를 비교년도로 설정하였다.

Fig. 3과 Fig. 4의 결과 및 Table 4의 생태효율성을 계산한 값으로부터 폐수처리장의 온실가스 생태효율성 지수를 계산하여 Table 5에 나타내었다. 여기서 보면 직접배출 및 간접배출 각각에 대한 생태효율성은 2011년의 747.11, 818.84, 2012년의 739.47, 810.84, 2013년의 750.26, 847.98 로 나타나고 있어 직접배출원과 간접배출원의 생태효율성은 전기사용량에 따른 간접배출원

의 생태효율성이 폐수처리장 운전의 직접배출원의 생태효율성 보다 우수하다는 결과를 확인 할 수 있다. 이는 폐수 1 Ton 당 발생되는 온실가스량은 2011, 2012, 2013년 각각에 대하여 직접배출은 0.00134, 0.00135, 0.00133 Ton CO_2/Ton 간접배출은 0.00122, 0.00123, 0.00117 Ton CO_2/Ton 으로 나타나는 결과와 일치하고 있다. 또한 생태효율성 지수는 2011년도 대비 2012년도의 폐수처리공정에서 0.9898, 전력사용량에 대해서는 0.9904로 계산되어 전체적으로는 0.9901로 전년 대비 factor가 1 이하로 생태효율이 약간 낮으나, 2012년도 대비 2013년도는 폐수처리공정에서 1.0146, 전력사용량으로 부터는 1.0456으로 계산되어 전체적으로는 1.0291 로 factor가 1 이상인 것으로 확인되었다. 이러한 결과는 단위 공정별 폐수처리에 대한 온실가스 배출량이 다소 증가 하더라도 연구기간인 3년간의 전체적으로는 생태효율성 지수가 상승하는 것으로 평가 할 수 있다. 이는 2011~2013년 3년 동안의 공정개선의 결과(Park과 Chung, 2010)로 해석된다. 따라서 각 평가년도의 생태효율성 보다는 비교년도에 대한 평가년도의 생태효율성 지수를 온실가스 감축을 위한 공정개선의 지표로 활용하는 것이 바람직하다는 판단이 가능하며 본 연구의 표본 처리장과 같은 호기성 폐수처리 공정에서 발생되는 직접 배출 온실가스는 공정의 변경 이외에는 저감 방법이 없다고 판단하면(Oh 등, 2011; Jeon 등, 2003) 생태효율성이 상대적으로 우수한 전력 사용에 의한 간접배출 온실가스 발생량을 감소시키는 에너지 저감 대책으로 총괄 온실가스 배출량을 감소시키는 방안을 모색해야 한다는 결론을 얻을 수 있었다.

4. 결론

부산패션칼라산업의 폐수처리장에 대한 물질수지 및 에너지수지로 부터 온실가스 배출량을 계산하여 다음과 같은 결론을 얻었다

1. 폐수처리장에서 발생되는 온실가스는 폐수처리 공정에 의한 직접배출과 전력 사용으로 인한 간접배출이 대부분을 차지하며 폐수처리에 의한 발생량은 2011년, 2012년, 2013년 각각 8,469, 8,762, 8,997 Ton・CO_2eq/year, 전기사용량에 의한 발생량은 7,727, 7,989, 7,960 Ton・CO_2eq/year로 계산되어 폐수 처리 공정에서 발생되는 온실가스가 전체 발생량의 약 53%를 차지하고 있음을 확인하였다.

2. 2011년, 2012년, 2013년 각각에 대한 총괄 온실가스 배출량이 16,196, 16,751, 16,957 Ton・CO_2eq/year로 계산된 결과는 유입폐수 증가 및 음식물 폐수의 병합처리로 인한 유입 유기물 농도의 증가로 소폭 상승하는 현상을 보이고 있으나 공정 개선을 통해 폐수처리 물량에 대비한 전력 사용량의 감소 등의 원인으로 원단위는

Table 4. Direct and indirect GHG emissions

Items	Wastewater plant			Electricity			Total		
	2011	2012	2013	2011	2012	2013	2011	2012	2013
Amount of Wastewater	6,327,056	6,478,993	6,749,749	6,327,056	6,478,993	6,749,749			
GHG emissions	8,468.67	8,761.65	8,996.57	7,726.8	7,988.97	7,959.79	16,196	16,751	16,957

unit 1: Amount of Wastewater (Ton/year), unit 2: GHG emissions(Ton CO_2/year)

Table 5. Eco-efficiency and factor calculated from greenhouse gases (2011～2013)

Items	2011	2012	2013	Factor (2012/2011)	Factor (2013/2012)
Wastewater treatment	747.11	739.47	750.26	0.9898	1.0146
Electricity	818.84	810.99	847.98	0.9904	1.0456
Total	390.65	386.78	398.05	0.9901	1.0291

※ Eco-efficiency = Wastewater treatment / Greenhouse gases emissions

감소하는 현상을 나타내고 있다. 이는 전 공정의 운전 중에 발생하는 온실가스의 양이 소폭 증가하더라도 폐수처리 효율성이 더욱 많은 증가 현상을 보였기 때문으로 판단된다.

3. 폐수처리장에 대한 생태효율성은 2011년도 대비 2012년도는 factor가 1 이하로 생태효율이 약간 낮으나, 2012년도 대비 2013년도는 factor는 1 이상으로 생태효율성이 상승하고 있음을 확인하였다. 이는 온실가스 배출량에 대한 공정 개선을 통해 단위 공정별 생태효율성이 상승하는 것으로 평가된다.

4. 결과적으로 호기성 폐수처리 공정에서 발생되는 직접 배출 온실가스는 공정의 변경 이외에는 저감 방법이 없다고 판단하면 전력 사용에 의한 간접배출 온실가스 발생량을 감소시키는 에너지 저감 대책으로 총괄 온실가스 배출량을 감소시키는 방안을 모색해야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

이 논문은 부산패션칼라산업 협동조합의 녹색기업 재지정 보고서의 자료를 이용하여 작성되었으며 자료 제공에 협조해주신 임직원 여러분들께 감사드립니다.

참고문헌

Admin. of Kor. Metero., 2012, Report on abnormal climate.

Busan Fashion Color Cooperative, 2014, Green business report for green company reassignment.

IPCC, 2006, IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories.

Jeon, U. C., Seo, J. A., Rho, G. H., Sa, J. H., 2003, A Study on the evaluation of greenhouse gas emission from sewage and wastewater treatment plants, J. Kor. Atmospheric Environment. Proceeding of the 36th meeting of KOSAE, 425-426.

Kwak, I. H., Hwang, Y. W., Jo, H. J., Park, K. H., 2010, An application of CDM project for greenhouse gas reduction activities in the wastewater treatment systems, J. Kor. Water and Wastewater, 24 (3), 319-332.

Lee, J. Y., Kim, Y. K., Lee, C. K., Rhee, Y. H., 2012, A Study on the calculation of GHG emission for domestic railroad transport based on IPCC guideline, J. Kor. Railway, 15(4), 408-412.

Lowe, E., 2001, Eco-industrial park handbook for asian developing countries. Report to asian development bank.

Ministry of Environment, 2012, Guidelines for Korean GHG & energy target management system, Notification of 2012-211.

Ministry of Environment, 2014, Management regulations for green company appointment, Notification of 2014 -68.

Oh, T. S., Kim, M. J., Lim, J. J., Kim, Y. S., Yoo, C. K., 2011, Estimate and environmental assessment of greenhouse gas(GHG) emissions and sludge emissions in wastewater treatment processes for climate change, Kor. Chem. Eng. Research, 49 (2), 187-194.

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.

Park, K. H., Choi, D. Y., Cho, S. B., Yang, S. H., Hwang, O. H., 2011, Evaluation of greenhouse gas emissions from animal manure treatment systems with life cycle assessment, J. Lives. Hous. & Env., 17(Suppl.), 1-6.

Prime Ministry ′s Office, 2010, Fundamental law for low carbon & green growth, law of 9931.

Sanna, E., Matti, M.,, Per, M., 2005, Eco-efficiency in the finnish EMAS reports - a buzz word, J. Cleaner Production, 13, 799-813.

Schaltegger, S., Sturm, A., 1992, Ökologieorientierte Entsch -eidungen in Unternehmen: ökologisches Rechnungswesen statt Ökobilanzierung; Notwendigkeit, Kriterien, Konzepte. Haupt, Bern.

Shin, C. H., Park, D. H., 2013, Life cycle assessment for the business activity of green company 2. Mass balance and environmental improvement, J. Enviro. Sci., 22(4), 425-433.

Shin, C. H., Park, D. H.,, 2013, Life cycle assessment for the business activity of green company 1. Analysis of process flow and basic unit J. Enviro. Sci. 22(3), 269-279.

Shin, C. H., Park, D. H., Kim, J. W., 2013, Life cycle assessment and eco-efficiency analysis for the resource-circulation network of waste heat generated from industrial process, J. Enviro. Sci. 22(3), 281-289.