

ORIGINAL ARTICLE

녹색기업의 사업활동 전 과정에 대한 환경성 평가 2. 물질수지 및 환경개선

신춘환·박도현^{1)*}

동서대학교 에너지환경공학과, ¹⁾부산패션칼라산업협동조합 에너지·환경연구소

Life Cycle Assessment for the Business Activities of Green Company 2. Mass Balance and Environmental Improvement

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

A mass balance of process was calculated by using the analysis of basic unit and environmental assessment of all the processes of Busan fashion color industry cooperative that operates a combined heat and power plant and a bio treatment plant. The mass balance for the combined heat and power plant was done, based on boiler and water treatment processes while each unit reactor was used for the bio treatment plant. From the results above, a resource recycle network, a treatment flowchart for food waste water/wastewater treatment and a carbon reduction program were established.

Key Words : Mass Balance of process, Environmental assessment, Resource recycle network, Carbon reduction program

1. 서론

세계적인 기후변화에 대처하기 위하여 UN기후변화협약이 실시된 후 국제사회의 기후변화 대응노력에 동참하고 녹색기술 산업을 신성장동력으로 육성하기 위하여 저탄소 녹색성장기본법이 시행되었다(Prime Minister's Office, 2010). 이와 관련되어 환경 오염물질의 관리에서 온실가스에 대한 저감과 관리 대책이 부각되고 있으며 정부의 저탄소 녹색성장 기본법 공표 이후 녹색기업 인증 범위가 바뀌고 있다. 이는 온실가스 목표관리제 운영 등에 관한 지침에서 찾아 볼 수

있는 것처럼 이산화탄소(CO₂), 메탄(CH₄)을 비롯한 지구 온난화에 관계하는 6종의 온실가스 저감을 위한 실천 의지라고 할 수 있다(IPCC, 2006; Min. of Environ., 2009; 2011)

녹색기업은 환경관리 일반현황, 사업활동 전 과정에 대한 환경성 평가, 공정별 환경관리 현황 및 개선현황, 환경 개선계획을 비롯한 녹색 경영 의지를 분석하고 사업활동 전반에 걸친 배출저감 실적 및 기후변화 대응 방향을 평가함으로써 인증 받을 수 있다(Min. of Knowl. & Eco., 2003). 따라서 사업활동 전 과정에 대한 배출오염물질 원단위, 물질수지, 환경개선 현황

Received 3 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.

등을 분석함으로써 지속가능한 녹색기업 관리와 저탄소 녹색성장을 위한 database의 구축이 필수적이다(Committee of Green Growth 2009; Energy Management Corporation, 2011). 이를 위해 공정에 대한 전과정을 평가하여 오염물질 저감과 자원 재순환의 환경개선을 고려한 다양한 연구가 수행되어 왔다(Lee와 Kim, 2005; Charles 등, 2003; Dai, 2010; Helminen, 2000; Hoffmann과 Busch, 2008; Shim, 2010; Shin과 Kim, 2012).

본 연구에서는 부산패션칼라산업협동조합의 열병합발전소와 바이오처리장의 공정을 표본 모델로 선택하고 2008년부터 2010년까지 오염물질별로 제시된 배출량 및 원단위 분석 자료를 활용하여(Busan Fashion Color Cooperative, 2011) 물질수지를 작성함으로써 오염원 저감을 위한 기초 자료를 확보함과 동시에 이를 이용하여 자원재활용 network 구축, 음폐수 병합 처리 공정 및 사업장 내의 전 공정에 대한 에너지 흐름도를 완성하고자 하였다. 또한 지속 가능한 온실가스 저감 대책(WSCSD, 2004)의 추진을 위하여 환경개선 실적 및 계획을 제시함으로써 사업장의 녹색성장 프로그램 및 생태 산업단지 구성의 기본 프로그램을 제시하고자 하였다. 특히 환경개선 실적은 대표적인 신재생에너지사업과 환경기술개발사업을 현장에 실증 적용한 결과를 제시하였다. 세부적으로는 기

존에 보유하고 있는 에너지 utility에 고행연료(RPF: Refuse Plastic Fuel, RDF: Refuse Derived Fuel)를 석탄과 혼소하는 기술과 기존 환경 utility에 유동상 생물막 담체를 이용한 고농도 유기성폐수와 염색폐수의 병합처리 기술은 자원순환 network와 생태산업단지 조성을 위한 프로그램작성의 추가 자료로 활용이 가능하기 때문에 보일러 운전용 연료의 전환과 함께 폐기물 재활용에 의한 온실가스 저감 및 폐수처리 공정의 고도화를 추진하는 관리체계를 완성하고자 하였다.

2. 자료 및 방법

2.1. 열병합발전소 공정 분석

열병합발전소 공정은 증기를 생산하는 보일러 공정과 공업용수에서 증기의 원료가 되는 순수수를 생산하는 수처리 공정의 두 공정으로 나누어 분석하였다. 보일러 공정에서는 석탄, RPF, LNG를 이용하여 증기 및 전력을 생산하는 과정의 투입량을 기본으로 물질수지를 작성 하였으며 수처리 공정에서는 유입된 공업용수가 sand filter와 micro filter의 전처리 공정을 거쳐 R/O(Reverse Osmosis Block) 설비를 통과하여 MBD(Mixed Bed Demineralizer)와 MBP(Mixed Bed Polisher)의 이온교환수지로 처리되는 과정의 용수량

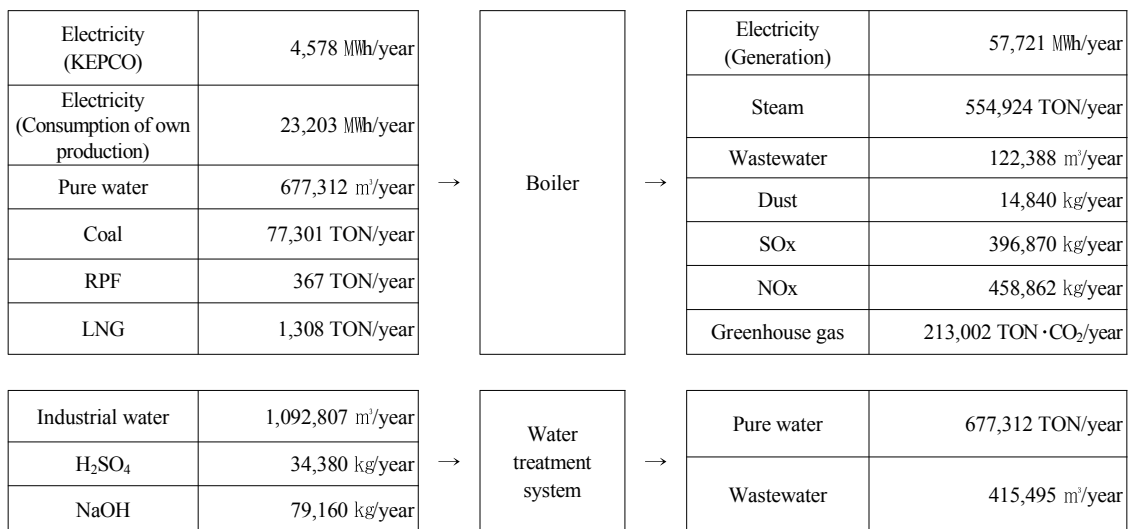


Fig. 1. Total amount of energy, water and materials in cogeneration plant(2010).

Electricity (KEPCO)	15,808 MWh/year	→ Wastewater treatment plant →	Treated water (Own waste water)	79,487 m ³ /year
Industrial water	79,487 m ³ /year		Treated water (CHP)	537,883 m ³ /year
Wastewater (CHP)	537,883 m ³ /year		Treated water (Industrial complex)	5,950,737 m ³ /year
Wastewater (Industrial complex)	5,950,737 m ³ /year		Waste	2,124 TON/year
			Greenhouse gas	6,729 TON·CO ₂ /year

Fig. 2. Total amount of energy, water and materials in wastewater treatment plant(2010).

및 사용 약품 등의 투입량을 물질수지 작성의 기본 자료로 사용하였다(Fig. 1).

2.2. 바이오처리장 공정 분석

산업단지 폐수 관로로부터 유입된 폐수의 처리과정에 대한 세부 공정은 침사지, 집수조, 1차 반응조, 가압부상조, 폭기조, 침전조, 2차 반응조, 방류조로 구분하였으며 각 공정별 사용 약품의 투입량을 계산하고 Fig. 2와 같이 정리된 자료를 이용하여 폐수처리 전 공정에 대한 물질수지를 작성 하였다.

2.3. 열병합발전소 환경개선을 위한 신재생에너지 사업

국내 폐기물 대체에너지 개발 및 실용화사업에 대한 지침은 석탄을 이용한 화력발전소에서 석탄과 혼소하는 목적으로 사용되는 폐기물 고형연료는 유동화

및 연소특성을 고려한 규격과 안정된 혼소기술이 요구하고 있다(Energy Management Corporation, 2011; Min. of Environ., 2009; 2011). 따라서 본 사업장에서는 석탄유동층보일러에서 폐플라스틱 고형연료의 혼소기술 개발에 관한 선행연구를 시작으로 pilot plant 설치 시운전 및 혼소실험 분석 등을 통해 실증화 가능성을 제시하였으며(Min. of Knowl. & Eco., 2010), 2 단계의 염색폐수 슬러지 고형연료 제조장치(15톤/일) 및 석탄보일러 혼소실증에 관한 기술을 개발하여 향후 유기성슬러지의 해양배출 금지에 대비한 육상처리방안을 마련하였다(Pat. No.10-1017900). 이와 같은 공정은 Fig. 3과 같은 폐기물 및 건조 슬러지를 이용한 RPF를 열병합발전소의 고형연료로 사용하는 공정도 작성을 가능하게 하기 때문에 에너지 흐름도 작

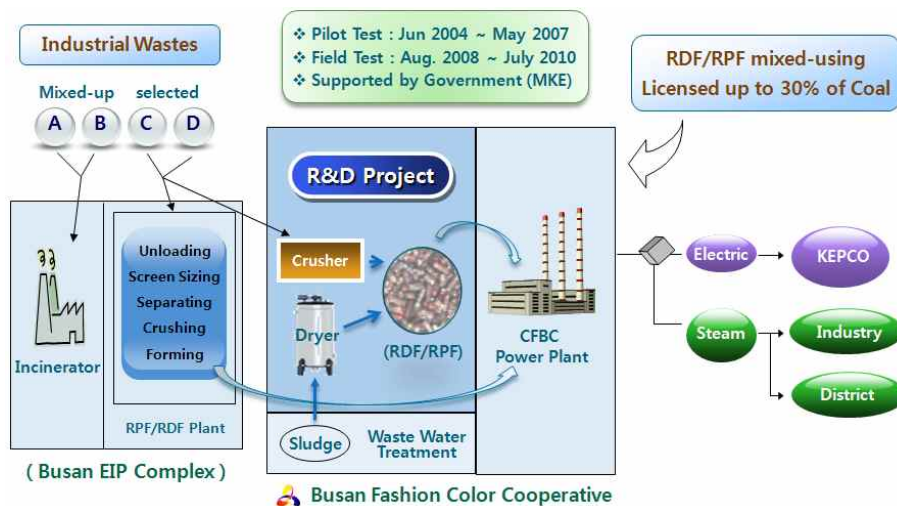


Fig. 3. New renewable energy process.

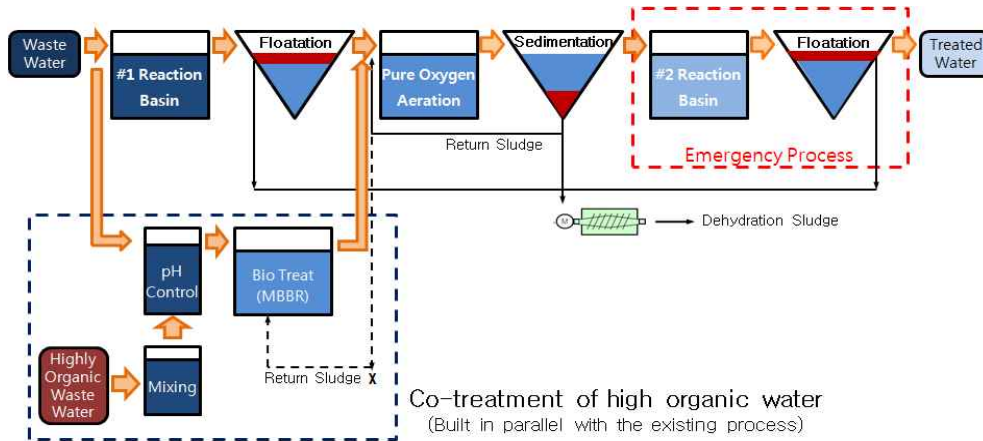


Fig. 4. Co-treatment process on high level organic wastewater.

성의 기본 자료로 사용하였다.

2.4. 바이오처리장 환경개선을 위한 환경기술개발 사업

친환경 폐수처리의 기술개발을 위한 환경부 지정 사업으로 유동상 생물막을 이용한 친환경 염색폐수 처리공법 개발(Min. of Environ., 2010)의 수행한 결과를 이용하여 1단계로서 2008~2009년까지 1개년에 걸친 바이오처리장의 미생물 폐수처리시스템의 최적화 연구를 통해 음식물폐수를 생물학적 처리의 영양원으로 활용하는 저비용 고효율의 공법을 확보하였고 2단계는 대규모 염색폐수 처리를 위한 PEMT 유동상담체 이용 생물막공정의 실증화 목적으로 바이오처리장에 공법을 적용한 결과, 대부분의 오염물질을 친환경 생물학적으로 처리할 수 있었으며 잔존 오염물질에 대해서는 적용되는 배출규제에 따라 저비용 친환경 녹색기술을 실증하였기 때문에(Pat. No. 10-1030787) Fig. 4와 같이 음·폐수병합 처리공정을 설계하여 고농도 유기성 폐수 처리에 대한 물질 수지 작성의 기본 자료로 활용하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 물질수지

물질수지는 열병합발전소 및 바이오처리장으로 구분하여 설정하였으며, 열병합발전소는 보일러 공정과 수처리 공정으로 세분하여 작성하였다.

열병합발전소와 바이오처리장의 각 공정의 배출량 및 투입물질 변화에 대한 자료 및 설계공정의 공정별 물질수지를 기초자료로 활용하여 Table 1과 같은 총괄 물질수지를 작성할 수 있었다.

여기서 보면, 오염물질 배출량 및 원단위는 지속적인 감소하고 있다는 원단위 분석 결과(Shin과 Park, 2013)와 같이 총괄 물질 수지에 의해서도 같은 결과를 확인할 수 있음을 알 수 있다. 이는 RPF를 이용한 신재생에너지 사업의 결과 대기 오염물질 배출량 감소 및 폐기물의 발생량이 감소하였으며, 유동상 담체를 이용한 환경기술개발 사업 결과에서 밝힌 바와 같이 수질 오염물질 배출량 감소 및 화학물질 사용량 감소의 영향으로 볼 수 있다. 배출량 및 원단위 변화를 나타낸 Fig. 5와 6에서 볼 수 있는 바와 같이 2009년에 대기 오염물질 발생량이 급감하는 경향을 보이는 것을 확인할 수 있으며 이는 산업단지 입주업체의 급격한 경기하락으로 인한 생산량 감소에 기인한 것으로 생각되며 수질 오염물질 원단위가 소폭 증가한 이유는 경기하락에 따른 고농도 폐수의 증가에 원인이 있는 것으로 판단이 가능하다. 이와 같은 현상을 예방하기 위해서는 대기오염 방지시설의 추가 설치가 필요할 것으로 판단되며 수처리공정에서는 자체 개발한 유동상 생물막 담체공정을 확대적용하여 충격부하 예방 및 음식물 폐수와 같은 고농도 폐수와 병합처리 공정 등의 개선이 필요한 것으로 판단된다.

Table 1. BFC cooperative mass balance (2010)

	Materials	Cogeneration plant		Wastewater treatment plant	Total	
		Boiler	Water treatment system			
I N P U T	Coal	220,860.00	-	-	220,860.00	
	RPF	1,048.57	-	-	1,048.57	
	Sand	4,080.00	-	-	4,080.00	
	Lime stone	0.00	-	-	0.00	
	Kerosene	398.63	-	-	398.63	
	LNG	3,736.62	-	-	3,736.62	
	Na ₃ PO ₄	3.21	-	-	3.21	
	Hydrazine	0.57	-	-	0.57	
	Industrial water	-	3,122,305.71	227,105.71	3,349,411.42	
	H ₂ SO ₄	-	98.23	1,088.20	1,186.43	
	NaOH	-	226.17	0.00	226.17	
	NH ₄ OH	-	0.96	-	0.96	
	Microbial germicide	-	0.67	0.14	0.81	
	Anticorrosion	-	3.31	0.27	3.58	
	Scale inhibitor	-	0.54	-	0.54	
	Germicide	-	0.25	-	0.25	
	Fe ₂ (SO ₄) ₃	-	-	6,870.49	6,870.49	
	Decoloring agent	-	-	10.71	10.71	
	Anion polymer	-	-	54.54	54.54	
	Cation polymer	-	-	44.76	44.76	
Antifoaming agent	-	-	8.00	8.00		
	Total	230,127.60	3,122,635.84	235,182.82	3,587,946.26	
O U T P U T	Wastewater	349,680.00	1,187,128.57	227,105.71	1,763,914.28	
	A i r	Dust	42.40	-	-	42.40
		SO _x	1,133.91	-	-	1,133.91
		NO _x	1,311.03	-	-	1,311.03
		GHG(Carbon)	164,180.26	-	-	164,180.26
		Others	39,243.60	-	-	39,243.60
	Ash	26,380.69	-	-	26,380.69	
	Sludge	-	-	6,068.57	6,068.57	
	Waste plastic	82.43	-	-	82.43	
	Waste adsorbent	-	85.49	-	85.49	
	Waste oil	3.23	-	3.23	6.46	
	Steam	1,585,497.14	-	-	1,585,497.14	
		Total	2,167,554.69	1,187,214.06	233,177.51	3,587,946.26

※ 350day/year, Unit: kg/day

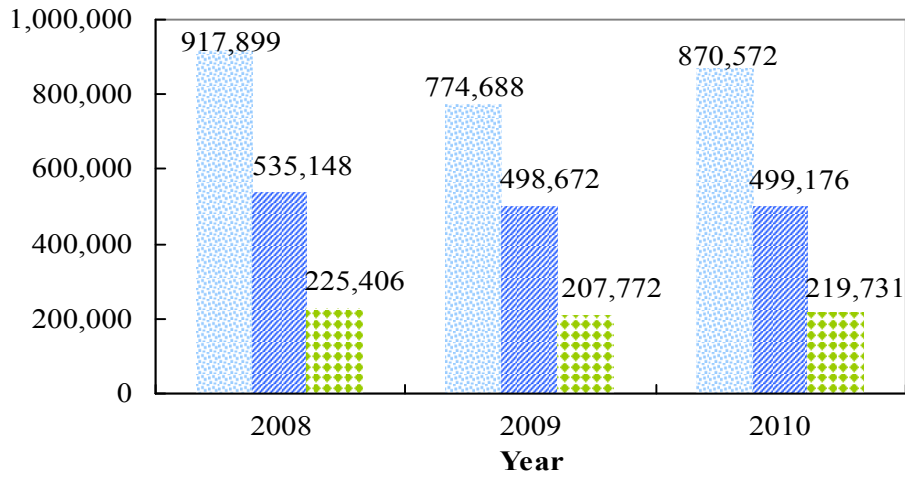


Fig. 5. Pollutants emissions(Air pollutants(Kg), Water pollutants(Kg), Greenhouse gas(TON · CO₂)).

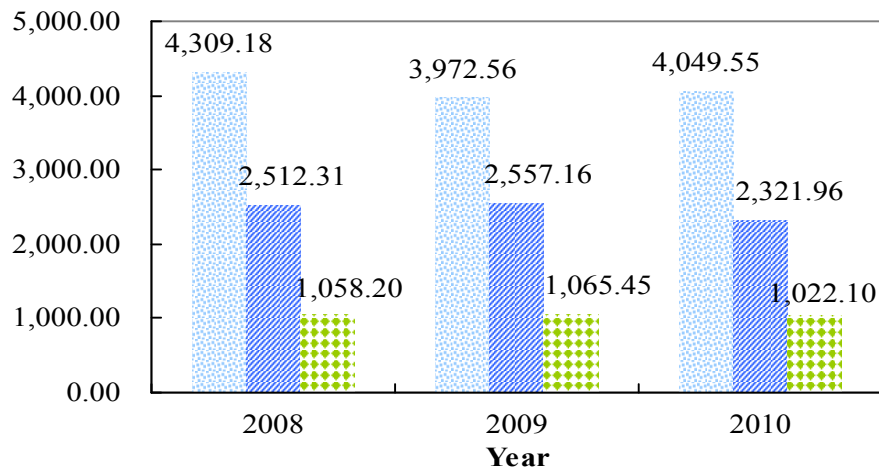


Fig. 6. Pollutants basic unit(Air pollutants(Kg/one hundred million won), Water pollutants(Kg/one hundred million won), Greenhouse gas(TON · CO₂/one hundred million won)).

3.2. 자원재활용 Network 구축

작성된 물질수지를 활용하여 열병합발전소와 바이오처리장의 자원흐름을 진단함과 동시에 현재 실시 중인 환경개선 사업과 실행 가능한 환경개선 사업을 연계하여 자원순환체계를 구축함으로써(Shin과 Kim, 2012) 생태산업단지 구축을 위한 자원순환 network를 Fig. 7과 같이 작성할 수 있었으며 공정 변화에 따른 network의 수정도 가능하도록 설계하였다.

Fig. 7에서 볼 수 있는 바와 같이 종래에는 폐기되었던 자원을 내부 순환 및 재 자원으로 활용함으로써 물질수지를 만족하는 폐기물 발생량의 감소 효과와 함께 생태산업단지 구성의 기본 프로그램을 완성할 수 있었다.

3.3. 녹색성장을 위한 Program 개발

에너지경영시스템(EnMs: Energy Management System)과 SWOT 분석 결과를 Fig. 8과 Table 2에 나타내었

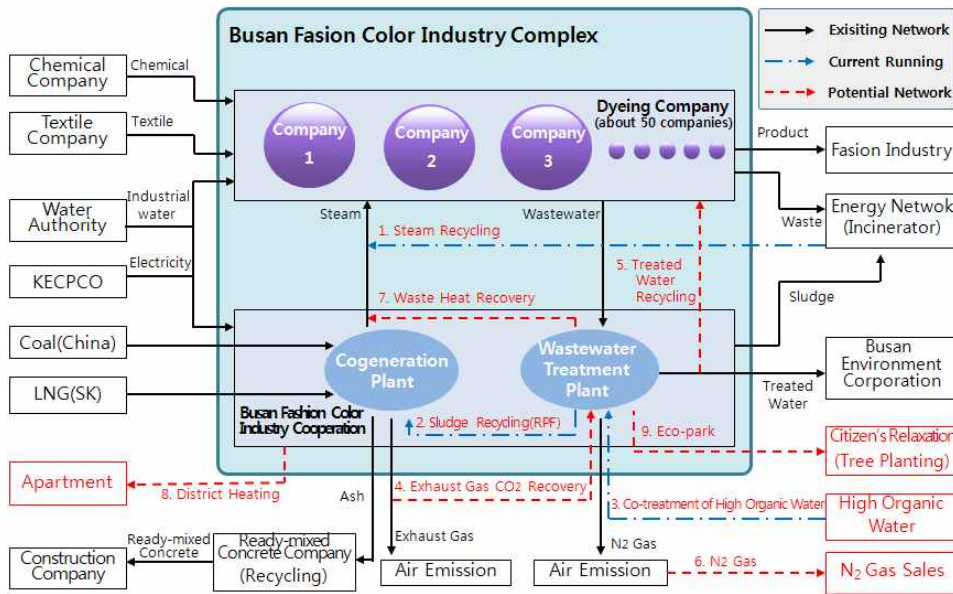


Fig. 7. Resources recycle network.

다. Fig. 8에서 보면 기업의 사업활동 전반에 걸쳐 에너지 효율증대의 필요성이 대두되고 있으며 온실가스 감축 의무도 확인할 수 있다. 또한 Table 2의 SWOT 분석에서 나타난 바와 같이 오염원 저감이나 온실가스 감축을 위한 기회가 될 수 있을 것으로 판단되기 때문에 오염원 저감을 위해서는 자본 투자의 필요성과 지속적인 관리가 필요한 것을 알 수 있다.

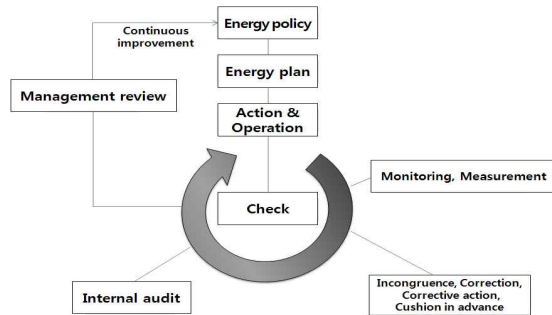


Fig. 8. EnMs diagram.

Table 2. Analysis of environmental improvement through green education

Items	Analysis	Measure
Strength	• Environmental and energy complex	• Eco industrial park plan
Weakness	• Continued attention and investment needs • An individual's competence and effort required	• Increase investment • Strengthen green education
Opportunity	• Pollutant emission, Energy, Greenhouse gas emission reduction	• Professional skills in the field of environment and energy • Specialized building systems
Threat	• Need revenue model • Need stable operating	• Make money through environmental technology development • Self empowerment

3.4. 환경개선 계획

3.4.1. 열병합발전소의 처리시설 확충계획

질소산화물 및 황산화물의 저감을 위해 석탄유동 증보일러의 질소배출을 245 ppm에서 50 ppm까지, 황산화물 배출을 148 ppm에서 80 ppm이하로 처리할 수 있는 방지 시설의 설치가 진행 중이며 석탄재는 전량 시멘트 원료로 재활용하고 있기 때문에 폐기물 발생 양의 감소를 주도하고 있다는 결과로부터 추가 시설은 필요하지 않을 것으로 간주하여 종합적인 시스템 구성을 NOx를 중심으로 Fig. 9 와 같이 나타내었으며 SOx의 경우도 유사한 시스템으로 구성이 가능함을 보여주고 있다.

3.4.2. 바이오처리장의 고농도 유기물의 처리 계획

바이오처리장 유입수를 유동상 담체공정을 도입하여 고농도 유입폐수에 대한 충격부하에 대비하고 Table 3과 같은 염색폐수와 음식물 폐수를 병합처리함으로써 폭기조의 유기 탄소원 확보에 의한 대체 탄소원이 필요하지 않는 질소 제거 공정의 도입이 필요할 것으로 판단하였다.

Table 3. High level organic wastewater of bio-treatment plant

Items	2011	2012	2013	2014
Wastewater(m ³)	7,095,600	7,450,380	7,822,899	7,901,128
Organic wastewater(m ³)	32,000	64,000	64,000	64,000

4. 결론

표본 기업의 전공정에 대한 총괄물질 수지 작성과 함께 종합적인 환경개선 계획을 제시함으로써 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 1) 오염물질 배출량 및 원단위는 지속적인 감소하고 있는 경향은 총괄 물질 수지에 의해서도 같은 결과를 확인 할 수 있었기 때문에 원단위 자료를 이용하여 제시한 생태지표가 1 이상인 본 사업장의 단위 공정 별로 작성된 물질수지도 정상적인 환경성평가의 자료로서의 활용이 가능함을 알 수 있었다.
- 2) 작성된 물질수지를 이용하여 열병합발전소와 바이오처리장의 자원 및 에너지흐름을 진단할 수 있었다. 또한 효과적인 운영체계와 환경개선 사업을 연계

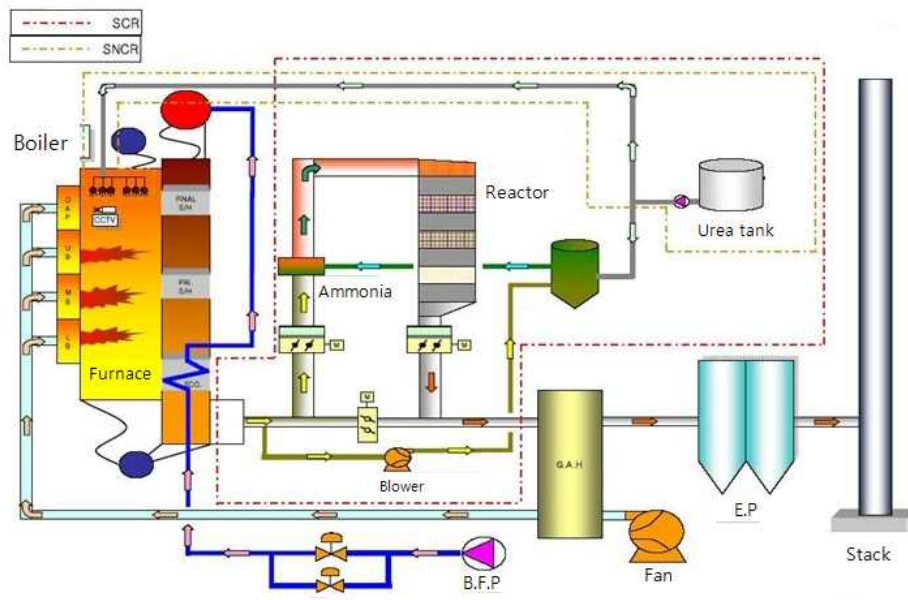


Fig. 9. De-NOx system(SCR or SNCR) rendering.

하여 자원순환체계를 구축함과 동시에 생태산업단지 구축을 위한 자원순환 network를 작성할 수 있었으며 공정 변화에 따른 network의 수정도 가능하도록 설계할 수 있었다.

3) 질소산화물 및 황산화물의 저감을 위해 석탄유 동층보일러의 질소배출을 245 ppm에서 50 ppm까지, 황산화물 배출을 148 ppm에서 80 ppm이하로 처리할 수 있는 방지 시설의 설치가 필요할 것으로 판단되며 석탄재는 전량 시멘트 원료로 재활용하고 있기 때문에 폐기물 발생 양의 감소를 주도하고 있다는 결과로부터 추가 시설은 필요하지 않을 것으로 간주하여 종합적인 시스템 구성을 NOx를 중심으로 설계할 수 있었으며 온실가스 저감에 대비한 공정을 설계할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 부산 패션칼라산업 협동조합의 전 공정에 대한 자료를 이용하여 동서대학교의 2012년 특별연구비에 의해 수행되었으며 자료제공 및 정리에 협조하여주신 부산 패션칼라산업 협동조합의 임직원 여러분께 감사드립니다.

참 고 문 헌

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

Charles, C., Reith, M., Guidry, J., 2003, Eco- efficiency analysis of an agricultural research complex, *J. Environ. Manage.*, 68, 219-229.

Committee of Green Growth, 2009, Five-year plane for national strategy of green growth.

Dai, T., 2010, Two quantitative indices for the planning and evaluation of eco-industrial parks, *Resources, Conserv. Recy.*, 54, 442-448.

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, *Bus. Strat. Environ.*, 9(3), 196-210.

Hoffmann, V. H., Busch, T., 2008, Corporate carbon performance indicators, *J. Ind. Ecol.*, 12(4), 505-520.

IPCC, 2006, Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.

Lee, D. H., Kim, H., 2005, LCA for the technology of municipal waste and adaptation of waste management, research report of UOS.

Min. of Environment, 2009, Regulation of carbon point, notification of 2009-87.

Min. of Environment, 2011, Index for management of greenhouse gas & energy.

Min. of Environment, 2011, Management regulation of green company appointment, notification of 2011-117.

Min. of Knowl. & Eco. Kitech, 2003, Outline for environmental management of smaller enterprise.

Park, D. H., 2010, Manufacturing apparatus(15ton/d) for solid fuel using sludge of dyeing wastewater, Min. of Knowl. & Eco.

Park, D. H., co-treatment of dyeing wastewater and food wastewater, patent 10-1030787.

Park, D. H., solid-type fuel and it's apparatus using sludge of dyeing wastewater, patent 10-1017900.

Prime Minister's Office, 2010, Fundamental law 9931 for law carbon & green growth.

Shim, H. S., 2010, An Eco-Efficiency Evaluation in terms of green house gas emission for the Korean fossil fuel-fired power generation industry, Master's Thesis, Ajou University, Korea.

Shin, C. H., Kim, J. W., 2012, Eco-efficiency of energy symbiosis for the energy network of surplus heat, *J. Environ. Sci.*, 21(5), 545-553.

Shin, C. H., Park, D. H., 2013, Life cycle assessment for the business activities of green company 1. Analysis of process flow and basic unit. *J. Environ. Sci.*, in print.

WBCSD, 2004, A guide to reporting company performance, Geneva.