

ORIGINAL ARTICLE

온실가스 감축 전략의 성과평가 - 지자체 환경기초시설 사례 -

장종옥¹⁾ · 이성욱 · 김종대*

인하대학교 지속가능경영학과, ¹⁾인천광역시 녹지기후과

Assessment of GHG Reduction Strategy - A Case of Environmental Facilities of Incheon City -

Jong-Ok Jang¹⁾, Sung Wook Lee, Jong Dae Kim*

Department of Sustainability Management, Inha University, Incheon 22212, Korea

¹⁾Climate Change Response Team, Incheon Metropolitan City, Incheon 21554, Korea

Abstract

The study focuses on 32 environmental facilities in Incheon Metropolitan City, South Korea, categorizes them by sector: sewage treatment, wastewater treatment, incineration, landfill, water purification, and water supply. Their GHG reduction results are analyzed through quantitative and qualitative measures for 2012 to 2015. The study surveys and examines GHG reductions of the environmental facilities for two categories - facility operation and management. The findings are as follows: First, the GHG reduction rate, an emission-to-allocation ratio, from 2012 to 2015 is 89.67%. Second, GHG reductions coming from qualitative measures of facility management are even greater than those from quantitative measures of facility operation. Third, GHG reductions through facility operation are mostly attributable to overhauls, less use of facilities, resources recycling, process improvement rather than the betterment of fuels, facilities and energy efficiency. Fourth, higher reduction can be achieved by effective facility management, qualitative measures.

Key words : GHG, Environmental facilities, Facility management, Incheon metropolitan city, GHG reduction

1. 서론

2014년 IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change; 기후변화에 관한 정부 간 협의체) 제5차 보고서에서는 산업혁명 이후 대기 중 온실가스 농도 급증으로 지구 평균기온은 1880~2012년간 0.85℃ 상승하

였으며, 온실가스 감축노력 없이 현재 추세로 배출될 경우 금세기말(2081~ 2100년)에는 지구평균기온 3.7℃와 해수면 63 cm 상승을 예측하였다. 이러한 기후 변화에 대응하기 위해 2016년 12월 파리에서 개최된 COP21은 신(新)기후변화 체제의 근간이 된 협정으로, 주요 요소별로 적용될 원칙과 방향 등을 담은 법적

Received 24 February, 2017; Revised 14 April, 2017;
Accepted 14 April, 2017

*Corresponding author: Jong Dae Kim, Department of Sustainability Management, Inha University, Incheon 22212, Korea
Phone : +82-32-860-7757
E-mail : jdk@inha.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.

구속력 있는 합의가 타결되었다. 파리협정의 목표는 지구 평균기온을 산업화 이전 대비 2℃보다 상당히 낮은 수준으로 유지하고, 1.5℃ 이하로 제한하기 위한 노력과 기후변화 적응력 강화 및 기후 회복력 증진, 온실가스 저 배출 및 기후 탄력적 개발을 위한 재원을 조성하는데 있다.

그 결과 2015년 말까지 당사국 196개국 중 184개국에서 INDC를 제출한 것으로 파악되고 있다. 우리나라 역시 당사국으로서 2015년 6월 30일, 2030년까지 BAU (Business as Usual; 배출전망치) 대비 37% 온실가스 감축목표(국내감축 25.7% + 해외 탄소시장 활용 11.3%)를 담은 INDC를 제출하였고, 이러한 목표를 이행하기 위해 ‘온실가스·에너지 목표관리제’, ‘온실가스 배출권거래제’ 등 적극적 온실가스 감축정책을 이행하였다.

2012년부터 온실가스 다량배출, 에너지 다소비업체에 온실가스 감축과 에너지 절약목표를 부과하는 온실가스·에너지 목표관리제가 시행되었다. 또한, 2014년 1월, 배출권거래제도 기본계획을 수립하고, 2015년 1월 1일부터 온실가스 배출량이 일정기준 이상인 업체 및 사업장에 대해 배출권의 할당 및 거래를 할 수 있도록 하는 국가단위의 온실가스 배출권거래제를 아시아 최초로 시행하였다.

하지만 지방자치단체는 위 제도의 대응에 다음과 같은 몇 가지 문제점들을 가지고 있다.

첫째, 공무원들의 지속적인 자리이동과 빠르게 변화하는 제도에 대한 인식부족으로 내부대응체계가 미흡해 제도적 risk에 노출되어 있다. 둘째, 정부의 폐기물정책에도 불구하고 지속적으로 폐기물 발생량은 증가하고 있으며, 폐기물 사업장 자체적인 배출이 아닌 지역 내 가정과 사업장 폐기물 발생량에 따라 영향을 받기 때문에 온실가스배출량을 관리에 어려움이 있다. 셋째, 폐기물부문의 감축기술의 경우 온실가스 배출량을 고려한 인자별 감축기술이 아닌 폐기물 자체적으로 줄이거나 폐자원을 활용하는 것으로 기술이 개발되었기 때문에 온실가스에 영향을 미치는 인자에 대한 분석이 진행되지 않았다. 넷째, 지방자치단체의 경우 감축기술 도입 시 경제성보다는 외부효과에 더 영향을 받기 때문에 사업에 대한 재무적 타당성 분석이 미약한 실정이다.

이에 본 연구에서는 인천시 사례를 중심으로 폐기물부문 온실가스·에너지 목표관리제가 최초 시행된 2012년부터 온실가스 배출권거래제로 전환된 2015년까지의 총 32개 환경기초시설을 부문별(하수처리, 폐수처리, 소각시설, 매립시설, 정수시설, 수도시설)로 구분하여 정량적, 정성적 감축수단을 통한 효과를 분석하였다.

2. 자료 및 분석 방법

2.1. 온실가스 감축 제도

2.1.1. 온실가스·에너지 목표관리제

우리나라는 2020년까지 국가 온실가스 배출전망치(BAU) 대비 30% 감축목표가 확정(2009. 11. 17)됨에 따라, 2010년 1월 13일 「저탄소 녹색성장 기본법」을 제정하고, 2010년 4월 14일 “온실가스·에너지 목표관리제(이하 “목표관리제”라 한다)를 도입하였다. 목표관리제는 「저탄소 녹색성장 기본법」 제42조 규정에 의거하여 국가 중기 온실가스 감축목표를 달성할 수 있도록 국가 온실가스 배출량의 약 60%를 차지하는 대규모 사업장을 관리업체로 지정하여 온실가스 배출량, 에너지 절약목표, 에너지 이용 효율 목표를 설정하고 관리하기 위한 제도이다.

제도 시행의 첫 단계는 목표관리대상 업체의 지정이다. 관리업체 지정은 최근 3년간 배출한 온실가스와 소비한 에너지의 연평균 총량이 「저탄소 녹색성장 기본법」의 관리업체 지정기준인 Table 1 이상을 충족할 경우 선정대상이 된다. 최근 2015년 12월 18일 관리업체 변경고시 기준 하에 선정된 우리나라 온실가스·에너지 목표관리대상은 총 1,107개 업체 및 사업장이다.

두 번째 단계는 목표설정이다. 관리업체의 목표관리 대상기간은 1년 단위로 협의 및 설정하는데, 해당 연도(T년도)에 처음으로 지정된 관리업체는 다음연도(T+1)에 목표를 설정한다. 감축목표는 기준연도 배출량을 기준으로 업체별 협의를 통하여 예상배출량을 설정하는데, 예상배출량에 업종별 감축률을 적용하여 배출허용량 및 감축목표를 설정한다.

세 번째 단계는 이행계획서 제출이다. 관리업체는 5년 단위의 연차별 목표와 이행계획, 사업장별 생산

Table 1. Criteria for designation

Measures	By the end of 2011		Since 2012		Since 2014	
	Company	Factory	Company	Factory	Company	Factory
Emission (tCO ₂ -eq)	125,000	25,000	87,500	20,000	50,000	15,000
Energy consumption (TJ)	500	100	350	90	200	80

설비 현황 및 가동률, 사업장별 온실가스 종류, 배출량 및 사용 에너지의 종류·사용량 현황 등을 포함한 목표설정에 따른 이행계획을 전자적 방식으로 매년 12월 31일까지 부문별 관장기관에 제출하여야 한다.

마지막으로 목표 이행실적 보고 및 명세서 제출이다. 관리업체는 목표를 이행한 다음, 그 이행 실적 및 명세서를 목표이행 다음연도 3월 31일까지 관장기관에게 보고하고 관장기관은 이행실적보고서를 확인 및 평가하여야 한다. 만일, 관리업체가 목표를 달성하지 못한 경우, 개선명령에 따라 관리업체에 대한 필요한 조치를 수행하여야 한다.

2.1.2. 온실가스 배출권거래제

우리나라 배출권거래제도는 “저탄소 녹색성장 기본법(2010. 1)” 제46조에 의거하여 “온실가스 배출권 할당 및 거래에 관한 법률(2012. 5)”이 제정되어 2015년 1월 1일부터 시행 중에 있다. 배출권거래제 기본방향은 계획기간 1기는 거래제 안착에 주력하고, 2기 이후부터 본격적인 온실가스의 효과적 감축에 중점을 두고 있다. 계획기간은 5년으로 운영하되, 시행초기 문제점의 조기 해결을 위해 1~2기만 3년으로 운영하도록 규정하고 있는데, 배출권거래제 기본계획은 10년 단위로므로 2015~2025년까지 포괄하고 있다.

배출권거래제는 운영의 5대 원칙을 법률에서 규정하고 있고, 기본계획에서 구체화하고 있다. 그 5대 원칙은 국제협약 준수, 경제적 영향 고려, 시장기능의 활성화, 공정한 거래, 마지막으로 국제기준 부합이다.

배출권거래 대상업체의 선정 기준은 다음과 같다. 최근 3년 간 온실가스 배출총량이 125,000tCO₂.eq 이상인 업체나 최근 3년 동안 125,000tCO₂.eq 이상인 사업장(과)이 대상이 되며, 그 외 관리업체 중 할당대상으로의 지정을 신청한 자발적 참여업체로 구성된다.

2.2. 폐기물부문 배출시설 유형별 온실가스 감축 가이드라인

2.2.1 폐기물부문 온실가스 감축 가이드라인 제시

우리나라는 “폐기물부문 배출시설 유형별 온실가스 감축 가이드라인(환경부, 2015.12.)”을 마련하였다.

폐기물 소각시설은 사용하는 에너지 사용량 절감을 통한 온실가스 및 에너지 저감기술과 소각공정에서 발생하는 온실가스 배출량을 감축할 수 있는 기술 두 가지로 분류할 수 있고, 하·폐수처리시설은 혐기성 소화조를 이용한 온실가스 및 에너지 저감 기술과 하수처리 공정에 필요한 설비의 개선을 통한 온실가스 및 에너지 저감기술로 분류할 수 있다.

수도 및 정수시설은 인버터 송풍기 설치와 펌프 성능 모니터링을 통한 온실가스 및 에너지 저감기술과 신재생에너지 중 하나인 소수력 발전을 통해 전력을 생산해 온실가스 및 에너지 저감을 이루는 기술을 제시하고 있다.

2.2.2. 폐기물부문 배출시설 유형별 온실가스 감축 기술

우리나라가 제시한 폐기물부문 배출시설 유형별 감축기술 가이드라인은 크게 감축기술 적용과 운영방법 개선 측면으로 나누어 구성되어 있다. 본 논문에서 제시한 감축기술 및 운영방법은 문헌조사를 통해 온실가스·에너지 감축효과가 있는 기술을 Table 2에 제시하였다.

또한, 감축기술 사례에서 사업장에서 해당 기술에 대한 투자여건, 관리 가능성 등을 고려하여 온실가스 감축 계획을 수립하는데 도움이 될 수 있도록, 해당 사업장의 일반정보 및 기술투자 비용, 온실가스 감축효과 등이 기술되어 있다.

Table 2. Abatement technologies by type

Facility types	Reduction techniques	
	Investments	Improvements
Incinerator	• Introduction of SRF	• Separation processing of recyclable materials • Temperature control for SCR duct burner
	• Utilization of incinerator waste heat as energy source for SCR catalyst	
	• Parellel use of SCR and SNCR	
	• Motor position control	
	• Installation of regenerative power type bidirectional inverter	
	• Application of fluidized incineration	
Sewage/ wastewater treatment	• Dry absorbent technology for CO ₂	• Integration of air supply system • Installation and operation of quarter pump • Installation of low loss flowmeter
	• Installation of digestion gas generation facilities	
	• Installation of non-powered agitator for digestion tank	
	• Installation of membrane air diffuser	
	• Installation of non-powered heat exchanger	
Water supply/ treatment	• Recovery of sewage waste energy	• Application of pump monitoring system
	• Replacement of air bearing type inverter blower	
	• Installation of small hydropower plant	

3. 결과 및 고찰

3.1. 인천광역시 환경기초시설의 온실가스 감축 사례분석

3.1.1. 기준배출량(할당량), 배출량, 감축량 분석

인천시는 폐기물부문 온실가스 목표관리제가 최초 시행된 2012년부터 온실가스 배출권거래제로 전환된 2015년까지 총 32개 환경기초시설을 관리해 오고 있다. 부문별로 나누어 보면, 하수처리 부문이 12개소, 폐수처리 부문이 1개소, 소각시설 부문이 2개소, 매립 시설 부문이 1개소, 정수시설 부문이 6개소, 수도시설 부문이 10개소를 차지하고 있다.

먼저, 32개 사업장에 대한 온실가스 목표관리제 시행기간(2012~2014년)에 할당된 기준배출량과 배출량, 감축량, 그리고 제1차 배출권거래제 시행기간(2015

~2017년) 중 본 연구의 대상기간인 2015년도 할당량과 배출량, 감축량 현황은 Table 3과 같다. 목표관리제에서는 기준배출량 대비 감축목표는 년차별로 차이는 있으나 5% 수준의 감축의무를 부여하였고, 배출권거래제에서는 할당량에 이미 감축 목표량을 포함시켜 최대 배출할 수 있는 가이드라인을 설정하였다.

인천시 환경기초시설에 대한 목표관리제는 해당기간인 2012~2014년까지 연도별 기준배출량을 과거 3년간(2012년의 경우 2008~2010년까지) 평균 배출량에다 신·증설시설, 가동률 등을 고려하여 환경부가 산정 할당하였다. 배출권거래제도 목표관리제와 동일한 방법으로 산정 할당되었다.

2012~2015년까지 4년간 인천시의 기준배출량(할당량), 배출량, 감축량을 살펴보면, 기준배출량(할당

Table 3. GHG emissions, allowances and reductions of Incheon city(Unit: tCO₂-eq)

Quantities	Target management scheme			Emission trading	
	2012	2013	2014	2015	
Quata (target)	467,693	428,227	432,997	400,894	
Emissions (performance)	407,972	384,332	380,475	378,269	
Total	59,721	43,895	52,522	22,735	
Reductions	By quantitative measures	24,274	34,136	34,626	8,296
	By qualitative measures	35,447	9,759	17,896	14,439

량)은 2012년보다 2013년 8.4% 감소되었고, 2014년 1.1% 증가되었다가 2015년 7.4% 감소되었다. 또한, 배출량은 2012년보다 2013년에 5.8%, 2014년에 1.0%, 2015년에 0.6%로 소폭 감소하고 있음을 보여주고 있다. 이에 따라, 감축량은 2012년 보다 2013년에 26.5% 감소, 2014년에 19.7% 상승하다가 2015년에 56.7%로 다시 큰 폭으로 감소하고 있음을 보여주고 있다.

목표관리제 기간(2012~2014년) 동안에는 기준배출량 대비 배출량이 여유 있게 배출되어 상당량의 감축실적을 보였으나, 배출권거래제 기간인 2015년에는 할당량 대비 배출량이 근접하게 배출되어 감축량이 적게 산출되었다. 이의 주요 원인은 배출권거래제 시행 목적인 온실가스 감축을 위한 할당량 감소가 감축량 감소로 이어진 것으로 분석되고 있다.

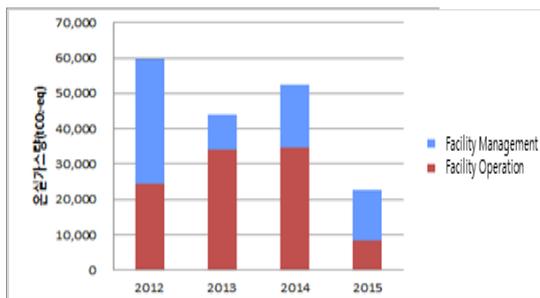


Fig. 1. Comparison of reduction by measures.

3.1.2. 온실가스 감축수단(매개변수)에 의한 감축분석

3.1.2.1. 정량적 감축수단(시설운영 측면)에 의한 감축

본 연구에서는 인천시 산하 환경기초시설 32개 사업장에 대한 온실가스·에너지 목표관리제(2012~2014년) 및 폐기물부문 온실가스 배출권거래제(2015년) 시행기간(4개년) 동안 정량적 매개변수(시설운영 측면)을 통해 감축한 온실가스 감축량을 비교 분석하였다.

정량적 감축수단은 숫자로 계량화가 가능한 감축수단을 일컫는데, 시설운영 측면에서 사용된 매개변수로는 연료개선, 시설이용감소, 시설개선, 신재생에너지, 에너지 고효율 향상, 자원재이용(재활용), 공정개선, 오버홀(정비점검) 등 총 8개 감축수단이 적용되었으며 Table 4와 같다.

또한, 본 연구에서 분석 적용된 감축기술들은 폐기물부문 배출시설 유형별 온실가스 감축 가이드라인(환경부, 2015.12.)을 준용하여 인천시의 실제 온실가스 관리 사례를 중심으로 작성하였다.

인천시 환경기초시설 32개 사업장에 대한 온실가스 감축(시설운영 측면) 현황은 Fig. 2와 같다.

인천지역은 이미 청정연료 사용지역으로 지정 관리되고 있어 연료개선으로 인한 온실가스 감축량은 2015년도 3 tCO₂-eq로 미미하였으며, 시설이용 감소로 인한 온실가스 감축량은 2013~2014년까지 급격히

Table 4. Quantitative measures (Facility operation)

Mediators	Vehicles
1. Fuel improvement	LNG, LPG(restaurant), electricity, kerosene, gasoline, biogas, saprophytic fuel(incinerator preheating)
2. Lower facility utilization	Less treatments, lower operation rate, facility closing
3. Facility improvement	LED lighting, high efficiency equipment, facility improvement
4. Renewable energy	Photovoltaic generation, small hydro generation, fuel cell
5. Higher energy efficiency	High efficiency fan, oval can heat exchanger, high efficiency transformer, high efficiency inverter, high efficiency motor, rooftop planting, high performance glass
6. Resource reuse/recycle	Waste water reuse, waste recycle, biogas reuse, waste heat reuse
7. Process improvement	Process change, facility restructuring, productivity improvement
8. Overhaul	Periodical inspection, repair

증가하다가 2015년 시설증설로 인해 마이너스(-) 감축을 나타내었다.

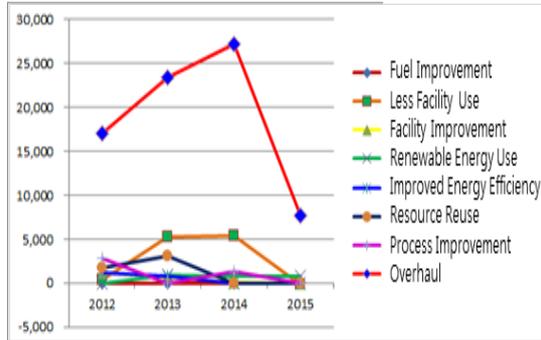


Fig. 2. Comparison of emission reduction (Facility operation).

시설개선은 목표관리제 초기년도(2012년)에 활발히 이루어졌으나 2013~2014년까지 감축량 감소 추세를 보이다가, 배출권거래제 시작년도(2015년)에는 개선으로 인한 감축량은 전혀 발생되지 않았다. 반면에, 신재생에너지 설치사업은 2013~2015년까지 꾸준하게 추진되고 있으며, 앞으로도 정부의 탄소중립프로그램사업에 힘입어 이 사업은 계속 진행될 것으로 전망되고 있다.

에너지 고효율 향상 및 자원 재이용으로 인한 감축

은 2012~2013년에 집중되었고 2014~2015년까지는 전혀 이루어지지 않았으며, 공정개선은 2012년도와 2013년도에만 추진된 것으로 나타났다.

여기서 주목할 만한 감축수단은 오버홀(overhaul)로서, 시설 및 기기의 점검, 수리, 조정 등 정비점검을 위해 전면 가동중지한 기간(단위 : 일)을 온실가스 감축량으로 환산한 것으로, 다른 감축수단과 구분되는 독립된 개념이다. 시설운영 측면에서 감축된 온실가스량 중 상당부분을 차지하고 있으며, 시설의 효율적 운영과 온실가스 감축에 상당한 의미가 있는 감축수단이라 할 수 있다.

3.1.2.2. 정성적 감축수단(시설관리 측면)에 의한 감축

시설운영 측면에서의 정량적 감축수단 이외에 감축량의 수치화가 어려워 정량화는 안 되지만 사실상 감축에 기여한 바가 지대한 정성적 감축수단(시설관리 측면)이 있다. 정성적 감축수단은 숫자로 계량화하기 힘든 감축수단을 일컫는데, 매개변수로는 시스템 관리, 전력수요관리, 측정기기관리, 인증·평가, 표창, 관리행태개선, 교육훈련, 기술자격증, 업무담당자 등 총 9개 감축수단이 적용되었다.

연구시행 전에는 정량적 감축수단이 사업장의 온실가스 감축에 큰 영향인자일 것이라고 생각했으나,

Table 5. Qualitative measures (Facility management)

Mediators	Vehicles
1. System	Standardization of GHG management procedure, authority and responsibility, systematic management of documents and records, system of education and training of personnel, internal evaluation
2. Electricity demand	Electric load management by time and seasons, efficiency improvement of electric equipment, energy savings
3. Measuring device	Test and correction standard and cycle by measuring devices, data management manual in failure of measuring devices, management of test and correction records, satisfaction of uncertainty standards
4. Certification/assessment	External certification such as ISO14000, awards for management evaluation
5. Commendation	Commendation by government and domestic and international verification agency
6. Behavioral improvement	Use of public transportation, controlled air-conditioning, suspension of air-conditioning during peak-time, elevator use restriction
7. Education/training	Frequency and time of education
8. Technical qualification	Environmental technique certification
9. Personnel	Position and number of GHG facility management personnel

Table 6. Emission reduction by qualitative measures (Facility management) (in tCO₂-eq)

Reduction	Target management scheme			Emission trading
	2012	2013	2014	2015
Reduction (total)	59,721	43,895	52,522	22,735
	35,447	9,759	17,896	14,439
Facility management	system management, electricity demand management, management behavior improvement, test of measuring device, certification/evaluation by authorized agency, environmental commendation, education and training, certification of environmental technical qualification, personnel			

사례연구에서는 정성적 감축방법이 사업장 온실가스 관리에 상당한 영향인자로 작용하고 있음이 확인되었다. 인천시 환경기초시설 32개 사업장에 대한 온실가스 정성적 감축수단(시설관리 측면)에 의한 감축현황은 Table 6 및 Fig. 3과 같다.

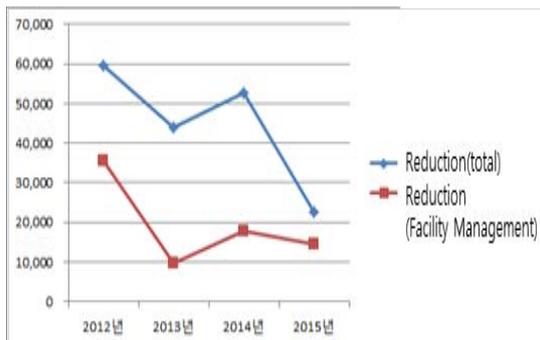


Fig. 3. Comparison of emission reduction (Facility management).

2012년도 정성적 감축량은 전체 감축량 대비 59.4%, 2013년도는 22.2%, 2014년도는 34.1%로 낮아지다가, 2015년도에는 63.5%로 높아졌는데, 이는 사업장들이 목표관리제 시행 초기년도에 정성적 감축수단을 집중하였고, 시간이 지날수록 감축수단이 한계점에 도달하였으나, 배출권거래제가 시행되면서 다

시 정성적 감축수단을 집중한 결과로 분석된다.

3.1.3. 인천시 환경기초시설 유형별 감축사례 분석

3.1.3.1. 소각부문 온실가스 감축사례

소각부문에서 온실가스 감축활동으로는 시설투자로 인한 자체 전력생산을 통해 스팀판매와 고효율 소각열 설비로 교체, 인버터 설치 등이 있고 연료개선, 저온축매사용, 덕트버너 개선 등의 공정개선 등이 있다.

송도사업소는 호기성 퇴비화 시설을 소각폐열을 이용한 건조화설비 시스템으로 공정을 변경함으로써 악취농도 개선과 노후화 설비 개보수로 음식물류 폐기물 자원화 효율을 증대하여 온실가스를 감축하였고, 인버터 사용, 태양광발전을 통한 전력생산 등으로 Table 7과 같이 전력소비량을 절감하고 온실가스도 감축하였다.

3.1.3.2. 하수처리부문 온실가스 감축사례

하수 처리시설의 감축활동이 가능한 적용시설로는 소화조, 폭기조, 보일러 및 발전기, 반송슬러지펌프, 침전지, 방류수, 탈취팬 등이 있다. 하수처리 공정중 소화조에서 발생하는 바이오가스를 활용하여 온실가스 감축한 사례가 있다.

가좌사업소의 경우 화장실 절전스위치 및 그린터치 설치, 고효율 조명기기 사용으로 전력 사용량을

Table 7. GHG reduction of Songo office

Measures	Reduction	Energy savings
Process improvement	1,555.995 tCO ₂ -eq	0.0 TJ
Use of inverter	764.3 tCO ₂ -eq	38.215 TJ
Renewable energy use	171.784 tCO ₂ -eq	1.622 TJ
Total	2,492.079 tCO ₂ -eq	39.837 TJ

Table 8. GHG reduction of Gazwa office

Measures	Reduction	Energy savings
Improved electricity demand management	167.9 tCO ₂ -eq	8.395 TJ
Use of high efficiency lighting equipments	17.147 tCO ₂ -eq	0.321 TJ
Process improvement	619.77 tCO ₂ -eq	12.761 TJ
Total	804.817 tCO ₂ -eq	21.477 TJ

감소하였고, 하수처리장 슬러지 공정계통 저장조(저류조, 배양조, 혼합조) 및 생물반응조의 송풍기를 통합 운영하는 공정개선을 통해 불필요한 전력 사용을 방지하였으며, 태양광발전을 통해 자체 사용전력의 일부를 충당하고 있는데 감축 효과는 Table 8과 같다.

3.1.3.3. 정수처리부문 온실가스 감축사례

정수처리 공정의 감축 활동으로는 시설투자를 통해 실시간 펌프 모니터링 시스템 도입과 무동력 혼합설비 설치, 복합 탈수시스템 적용이 있으며, 공정개선으로는 배수지 공급방식의 변경 등이 있다.

공촌정수사업소는 응집기 전동기에 인버터를 설치하여 불필요한 전력낭비를 방지하였고, 고효율 조명기기 사용, 태양광발전 등 사업으로 전력사용량 절감 및 생산 전력의 사업소 내에 사용으로 Table 9와 같이 온실가스를 감축하였다.

3.2. 인천시 환경기초시설의 온실가스 감축 대응방안

3.2.1. 배출시설 운영 측면에서의 대응방안

3.2.1.1. 폐기물부문 배출시설 온실가스 감축 협의체 구성

인천시가 배출권거래제 대상시설인 폐기물부문 환경기초시설 32개 사업장의 효율적인 운영과 관리를 위해서는 『폐기물부문 배출시설 온실가스 감축 협의체』의 구성 활용이 적극 요구되고 있으며, 이 협의체의 활용을 통해 인천시가 당면한 온실가스 배출권거

래제 감축목표 달성에 기여할 수 있을 것으로 기대된다. 협의체의 기능 및 역할은 다음과 같다.

첫째, 시설운영 및 관리주체인 32개 사업장과의 긴밀하고도 유기적인 협력 체제를 구축하는 것이다. 둘째, 지역여건과 환경적 변화에 능동적으로 대처하고, 특히 시설 운영과 관련한 법령, 규정, 운영 매뉴얼에 대한 정보교환의 장을 제공하는 것이다. 셋째, 업무 담당자에 대한 교육훈련, 워크숍 개최 등을 통해 우수사례 관리 노하우를 벤치마킹하는 것이다. 넷째, 시설의 신·증설, 폐쇄 등 변동시설에 대한 모니터링이 가능할 것이다. 다섯째, 신재생에너지, 시설개선, 공정개선 등 온실가스 감축사업을 독려할 수 있을 것이다.

3.2.1.2. 온실가스 감축 우수 사업장 인센티브 제도 마련

온실가스 배출권거래제가 성공적으로 정착되고 활성화되기 위해서는 온실가스 감축 우수사례를 발굴하고 파급시켜야 하며, 우수 사업장에 대해서는 노력한 만큼의 상응하는 인센티브가 주어져야 한다.

그러기 위해서는 온실가스 감축 우수 사업장을 선정하는데 공정하고 객관적인 평가기준을 마련하고, 매년 1회씩 우수기관을 선정하여 인센티브를 제공하며, 온실가스 감축목표를 초과하여 과다 배출한 사업장에 대해서는 원인을 파악하여 감축방안 마련이 가능하도록 내부방침을 통해 패널티를 부여하는 조치가 필요할 것으로 판단된다.

Table 9. GHG reduction of Gong-chon water treatment facility

Measures	Reduction	Energy savings
Installation of inverter	49.012 tCO ₂ -eq	0.946 TJ
Use of high efficiency lighting equipments	21.953 tCO ₂ -eq	0.424 TJ
Renewable energy	42.74 tCO ₂ -eq	0.454 TJ
Total	113.705 tCO ₂ -eq	1.824 TJ

3.2.1.3. 소각시설 부문에서의 온실가스 감축기술 발굴 시행

1) 소각폐열을 이용한 자체 발전시스템 설치 운영
 청라사업소는 소각시설에서 발생하는 소각폐열(스팀)을 청라지구 등 주거지역에 난방온수를 공급하고 있다. 아직 우리나라는 온실가스 배출권거래제 운영 초기단계로서 배출권 가격이 저렴한 관계로 대상사업장들이 온실가스 감축사업에 투자하기 보다는 부족시 구매하거나 초과 시 과징금을 내는 쪽을 택하는 경향이 높은 게 현실이다. 그래서 장기적으로 소각폐열을 판매하기 보다는 발전시설을 설치하여 생산된 전력을 자체 소비전력으로 사용하여 온실가스를 감축하는 방향으로 추진해야 할 것이다.

2) 반입폐기물의 철저한 성상별 분리수거 후 소각처리
 소각시설에서의 배출 오염물질 처리 및 온실가스 배출량을 감축하기 위해서는 반드시 재활용품, 특히 플라스틱 종류의 가연물질을 철저히 분리수거하여 소각로에 반입되지 않도록 하여야 한다. 왜냐하면, 플라스틱 같은 석유화학 제품의 발열량이 다른 일반물질보다 약 10배정도 높아 그만큼 온실가스 배출량도 늘어나는 것으로 계산되기 때문이다.

따라서, 소각시설을 운영하는 송도사업소와 청라사업소에서는 재활용 선별과정에서 플라스틱류가 소각시설에 반입되지 않도록 분리수거 작업을 철저히 하여야 하겠다.

3) 건물옥상 및 외벽 공간 신재생에너지(태양광발전) 설치 추진

소각시설은 공정 특성상 대부분의 사업장이 타 사업장에 비해 넓은 형태로 건물옥상이나 건물외벽, 주차장 등 유휴공간에 태양광발전 시스템을 설치하고 생산된 전력을 자체 사용한다면 에너지 소비량 절감은 물론 온실가스 감축에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

특히, 송도사업소나 청라사업소는 수영장, 수목원, 체육시설 등 주민 편의시설과 주차장 등에 태양광 발전시설을 설치한다면 지역주민에게 혐오시설 이미지 개선과 친환경 에너지사업에 대한 좋은 인식을 줄 수 있을 것이다.

4) 소각시설의 효율적, 안정적 운영을 위한 오버홀(overhaul) 시행

폐기물 소각시설의 안정적이고 효율적인 가동을 담보하기 위해서는 정기적으로 정비점검(오버홀) 기간이 필요하다. 오버홀(overhaul)은 기계나 시설을 완전히 분해하여 수리·점검·조정하는 기간을 말한다.

소각시설에 대한 오버홀(overhaul) 기간 운영으로 전기사용량 및 소각물량, 보조연료 사용량 절감뿐만 아니라 온실가스 감축량도 매우 크기 때문에 온실가스 감축목표 달성에 중요한 감축수단으로도 활용될 수 있을 것이다.

3.2.1.4. 하수처리시설 부문에서의 온실가스 감축기술 발굴 시행

1) 폐자원(바이오가스)을 활용한 발전 및 보조연료 활용

하수처리 공정 중 발생하는 폐자원(바이오가스)로 발전시설을 가동하여 생산된 전력을 자체 소비전력으로 사용하거나 차량연료나 하수처리공정(폭기조, 소화조 등)에 가온연료로 사용할 수도 있다. 공정개선을 통하여 바이오가스의 생산량을 증가시킴으로써 대체 에너지 사용으로 인한 전력량 감소와 온실가스 감축 효과가 가능할 것으로 판단된다.

2) 탄소중립프로그램을 활용한 신재생에너지 생산 확대

하수처리장 내 유휴공간(나대지, 주차장, 하수처리 공정 지상부 등)에 태양광발전이나 하수처리 후 배출되는 처리수의 낙차를 이용한 소수력 발전시스템 설치 등 신재생에너지를 생산하는 탄소중립프로그램을 적극 활용할 필요가 있다. 탄소중립프로그램은 환경부에서 환경기초시설에 대해서 태양광발전 설치비용을 지원(국비 50%, 지방비 50%) 해주는 제도이다.

3) 고효율 기기 및 부품 교체 등 시설개선을 통한 온실가스 감축

하수처리시설은 특성상 10년 이상 경과 시 시설 및 기기의 노후화(회손, 고장, 성능저하 등)로 에너지 소비효율이 저하되고 그것이 원인이 되어 온실가스를 과다 배출하는 요인으로 작용되고 있다.

공정별로 고효율 기기 및 부품(인버터, 고효율 모터, 송풍기, 환기시스템 등)을 교체하는 등 시설개선을 통해 에너지 소비 효율을 향상시키면 그만큼 온실가스를 감축할 수 있는 것이다.

3.2.1.5. 정수처리 부문에서의 온실가스 감축기술 발굴 시행

1) 유희공지, 정수처리 공정을 활용한 신재생에너지 설치 확대

정수처리장은 식수를 생산하는 시설로 안전과 위생을 가장 우선 시 하기 때문에 대부분 높고 넓은 부지에 위치하고 있다. 따라서 유희공지(녹지대, 저장조, 주차장 등)를 활용한 태양광발전 시스템의 설치가 많이 요구되고 있다.

또한, 정수처리시설은 처리공정 중에 낙차를 이용한 소수력발전의 설치 및 운영이 용이한 편이다. 남동정수사업소에는 태양광발전뿐만 아니라 소수력발전 시스템이 설치 운영되고 있다. 이 사업장은 태양광과 소수력으로 자체 생산한 전력을 전량 사업장내 소비 전력으로 사용함으로써 전력량 및 온실가스 감축에 크게 기여하고 있다.

2) 정기적인 오버홀(overhaul) 활용을 통한 온실가스 감축 추진

정수처리시설은 주기적으로 저수조 및 배관에 대한 청소 및 교체가 필요한 시설이다. 따라서 정수 및 송수시설에 대한 정기적인 정비(수리 등)를 위해 가동 중지 기간을 갖게 되는데 이를 통해 자연스럽게 온실가스 감축이 이루어지고 있다.

또한, 각 처리단계 별로 펌프가 매우 중요한 기기라고 할 수 있는데 고효율 펌프로 교체가 이루어지면 전기 사용량이 절감되면서 결국 온실가스 감축으로 이어질 것이다.

3.2.2. 배출시설 관리측면에서의 대응방안

3.2.2.1. 전력수요 및 시스템 관리, 관리행태 개선 지속 추진

전력 수요관리는 각 시설별 전기사용 형태를 합리적으로 통제, 조정하는 계획이나 활동을 의미한다. 수요관리 방법으로는 계절별, 시간대별로 전력부하를 억제하거나 차단하는 방식이 사용된다. 둘째, 사업장내 시스템을 관리하는 것이다. 온실가스 업무처리 절차를 배출시설 유형별로 표준화하고 그 책임 권한을 명확히 하여야 하겠다. 셋째, 온실가스 감축을 위한 사업장내 관리행태를 개선해야 하겠다. 내부 조직 구성원들은 자가용보다는 대중교통을 이용하고, 사무실

격등제 운영과 냉난방 온도준수, 소비전력 피크시간 냉난방 중지, 엘리베이터 이용제한 등의 생활화로 온실가스를 감축해야 하겠다.

3.2.2.2. 사업장 내 모니터링 및 측정기기의 검·교정 관리 철저

하수 및 소각, 정수처리시설은 각 공정마다 다양한 기능의 측정기기가 설치 운영 중이고 이 측정기기는 각 배출시설이 정확하게 안정되게 가동하고 있는지 체크해 주는 청진기와 같은 역할을 담당한다.

배출권거래제 대상사업장이 측정기기를 고장 방지했다면, 그 기간 동안 오류 데이터를 인정하지 않고 대신에 대체 데이터를 생성하는데, 가장 높은 값의 불확도를 적용하여 온실가스 배출량이 증가한 것으로 인정된다.

따라서 측정기기가 고장 났을 때는 대체데이터 생성방안을 수립해 가지고 있다가 검증 시 증빙자료로 제출하면 대체데이터로 인정받을 수 있다.

3.2.2.3. 온실가스 감축업무의 체계적인 관리 필요

사업장의 온실가스 감축 업무를 효율적 추진하기 위해 시스템 운영 및 시설 관리를 체계적으로 추진할 필요가 있다. 환경관련 기술을 가진 전문직을 우선적으로 배치하는 한편, 시설별로 매뉴얼화된 관리지침을 통해 관리요령을 숙지하도록 해야 한다.

또한, 잦은 인사이동을 자제하고 한 곳에서 3년 이상 근무하게 하여 업무의 숙련도와 연속성이 확보될 수 있도록 조치하여야 한다.

3.2.2.4. 사업장 및 직원의 시설관리 자긍심 고취노력 필요

하수 및 소각, 정수처리시설은 환경기초시설로서 근무환경이 취약하여 업무 담당자의 이직률과 전보율이 높은 편이다. 따라서 사업장 및 직원의 시설관리 자긍심 고취가 중요하다 하겠다. 실제로 인천시 산하 환경기초시설에서의 온실가스 감축실적을 분석 본 결과, 수치화로 나타나진 않지만 사업장 인종이나 표창, 직원들의 교육훈련등과 같은 정성적 매개변수들도 온실가스 감축기여 인자로서 매우 중요하다고 할 수 있다.

4. 결론 및 시사점

본 연구에서는 인천시 산하 환경기초시설의 온실

가스 감축사례를 통해서 앞으로 풀어나가야 할 온실가스 배출권거래제에 대한 효율적이고 실천 가능한 온실가스 감축방안을 제시한다. 현재 시설운영 측면에서 보면 온실가스 감축 사업이 어느 정도 진행된 상황에서 감축의 폭은 갈수록 축소될 수밖에 없는 실정으로, 향후 감축 가능한 매개변수로서 신재생에너지, 오버홀 등이 추진되어야 하며, 이와 더불어 시설관리 측면에서 전략수요관리와 관리행태개선을 통해 감축을 유도해 나가야 할 것으로 판단된다.

본 연구의 결과는 환경기초시설에서 실질적인 감축효과를 얻을 수 있는 개선방안과 향후 감축활동 추진방향을 현장에 도입함으로써 지속적으로 강화되는 온실가스 감축의무 이행을 위한 기반을 마련하는데 기여할 것으로 기대한다.

본 연구의 시사점은 다음과 같다. 첫째, 사업장의 온실가스 감축활동은 시설 및 공정개선, 신재생에너지 설치, 폐자원 재이용, 고효율 기기교체, 특히 오버홀과 같은 적극적인 시설운영 측면의 감축수단과 측정기기 관리, 시스템 및 전력수요 관리, 관리행태 개선 등 시설관리 측면의 감축수단이 병행 추진되어야 그 효과가 배가될 수 있다는 점이다.

둘째, 과거 목표관리제 운영시기에는 감축의무가 5% 수준이었으나, 배출권거래제 이후 감축의무 강화로 15% 수준의 감축노력이 요구되기 때문에, 사업장에서 웬만한 감축수단은 거의 다 동원되었을 것이라는 추측이 가능하다.

셋째, 현재 진행 중인 배출권거래제의 경우, 과거 3개년도 실적으로 할당됨에 따라 사업장에서 제어할 수 없는 불가피한 배출량 증가요인(유입수의 물량 및 농도 증가, 자연재해에 따른 유입물량 증가, 환경정책 변화 등) 발생 시 사업장에서 불이익을 감수해야만 하는 실정이다.

넷째, 배출권거래제는 사업장에서 과거 3개년도 감축실적이 높을수록 오히려, 다음연도 할당량은 적게 할당되어 감축목표 달성이 어렵게 되는 불합리한 면도 존재한다는 점이다. 가동률 10% 이하일 경우 가동의지가 없는 것으로 간주되어 할당량이 취소되기도 한다.

마지막으로, 측정기기 정도검사에 많은 예산 소모로 사업장에서 정도검사보다는 불확도로 인한 패널티(배출권 구매 또는 과징금 부과)가 비용이 적게 들어

오히려 패널티 감수하려는 경향을 선호할 수도 있다는 것이다.

따라서, 앞으로 연구자들은 위와 같은 시사점들을 감안하여, 환경기초시설에 적용 가능한 온실가스 감축수단을 추가 발굴하고 선진사례 등을 현장에 도입할 수 있길 바라며, 특히 배출권거래제의 할당방식을 폐기물부문 배출시설 유형별로 현실에 맞게 개선하는 방안에 대해서도 심도 있는 연구가 지속될 수 있기를 기대해 본다.

감사의 글

이 논문은 인하대학교의 지원에 의하여 연구되었음.

REFERENCES

- ICAP, 2015, Emissions trading worldwide : ICAP Status Report, Korea.
- Incheon Metropolitan City, 2015, Establishment of strategy for GHG emission trading (Waste) for Incheon Metropolitan City, Korea.
- IPCC, 2014, Climate change 2014 synthesis report summary for policymakers, Korea.
- Korea Environment Corporation, 2013, Consulting report on climate change response to establish the foundation for GHG reduction, Korea.
- Korea Environment Corporation, 2014, Manual for reporting performance results, Korea.
- Korea Environment Corporation, 2015, Guideline for GHG reduction for waste by sectors, Korea.
- Korea Environment Corporation, 2015, Interpretation for reporting monitoring plan, Korea.
- Ministry of Environment, Korea, 2012, Guideline for GHG · energy target management scheme, MOE Bulletin 2012-103, Korea.
- Ministry of Environment, Korea, 2014, Carbon allowance allocation plan, Korea.
- Ministry of Environment, Korea, 2014, Six detailed operation guidelines for emission trading scheme, Korea.
- Ministry of Foreign Affairs, Korea, 2015, Frequently asked questions about climate change, Seoul, Korea.
- World Bank, 2015, State and trends of carbon pricing, Washington, USA