

연료 전환 사업의 방법론과 온실가스 배출권거래제 상쇄제도 분석

김억용 · 신민창* · 박정훈*[†]

동국대학교 신재생에너지공학
 04620 서울특별시 중구 필동로 1길 30 동국대학교
 *동국대학교 화공생명공학과

04620 서울특별시 중구 필동로 1길 30 동국대학교
 (2021년 12월 8일 접수, 2022년 4월 19일 수정본 접수, 2022년 5월 17일 채택)

Methodology of the Fuel Conversion Project and Analysis of the Offset System of the Greenhouse Gas Emission Trading System

Eok yong Kim, Min chang Shin* and Jeong hoon Park*[†]

Department of Renewable Energy Engineering, Dongguk University
 30, Pildong-ro 1-gil, Jung-gu, Seoul, 04620, Korea

*Department of Biochemical & Chemical Engineering, Dongguk University
 30, Pildong-ro 1-gil, Jung-gu, Seoul, 04620, Korea

(Received 8 December 2021; Received in revised from 19 April 2022; Accepted 17 May 2022)

요 약

외부사업을 통해 발행받은 인증실적을 배출권 거래제 할당 대상 업체에게 판매하고 할당 대상업체는 구매한 외부사업 인증실적을 상쇄 배출권으로 바꾸어 할당량을 확보할 수 있다. 본 방법론은 기존 기름보일러를(유종별) 사용하던 화석연료를 상대적으로 탄소 함량이 적은 프로판가스를 사용하는 보일러로 교체하였을 때 유종별 이산화탄소 배출 감축분을 인정받아 온실가스 감축을 하지 못해 배출허용량을 넘긴 대기업의 부족된 할당량으로 보충하기 위한 초기 분석으로 탄소감축 배출량과 배출권 거래 금액을 산출하였다.

Abstract – The certification performance issued through an external business is sold to companies subject to the emission trading system allocation, and the company subject to the allocation can secure the quota by converting the purchased external business certification performance into offset credits. In this methodology, when fossil fuels that used existing oil boilers (by oil type) were replaced with boilers using propane gas with a relatively low carbon content, the amount of carbon dioxide emission reduction by oil type was recognized. As an initial analysis to make up for the insufficient quota of large corporations, the amount of carbon reduction emissions and emission rights trading was calculated.

Key words: Greenhouse gas, Fuel conversion project, Certificated emissions reduction, Oil

1. 서 론

기후변화에 대응하기 위하여 지역, 국가, 세계 차원에서 온실가스 배출량 감축이 논의되고 있다. 新 기후 체제에 대한 논의가 본격화 되면서 정부는 강력한 온실가스 감축 정책 추진 의지를 보이고 있으며 온실가스 감축에 대한 보다 구체적인 성과를 얻으려면 온실가스를 적게 배출하는 연료를 사용하여야 한다[1]. 본 연구는 액체연료

등유, 경유, 벙커(A.B.C)와 폐유헌유를 이용한 정제유, 부생유 1호(하이신) 2호(C9) 사용 하고 있는 중소기업의 산업용 대형기름보일러를 LPG 프로판가스(C3H8) 보일러로 전환 시 줄어드는 이산화탄소 감축량과 배출권 거래 금액을 산출하고자 하였다. 할당 대상업체인 대기업의 외부사업(중소기업의 설비 전환)에서 인증된 온실가스 감축량(Korean Offset Credits, KOC)의 전부 또는 일부를 상쇄 배출권(Korean Credit Unit, KCU)으로 전환하여 자사의 온실가스 감축 목표 달성에 충족하거나 남은 할당량은 탄소거래 시장에 팔수도 있다[2].

중소기업은 대기업으로부터 탄소배출권 금액을 할당받아 설비 교체 비용으로 충당할 수 있다. 국내 탄소배출권 가격은 2015년 톤당 8,000원대에서 거래를 시작해 2019년 말 톤당 4만원 선까지 가

[†] To whom correspondence should be addressed.

E-mail: pjhoon@dongguk.edu

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.

격이 올랐다[3]. 기업(할당 대상업체)들이 경영에 어려움을 호소하고 있다. 할당 배출량보다 초과할 경우 시장가격의 3배인 과징금을 내야 한다. 2020년 산업부문 에너지 사용 및 온실가스 배출량 통계에 의하면 2019년 1년간 산업 부문 전체 에너지 사용량을 조사한 결과 산업부문 전체 에너지 사용량은 130,793.7 천ton이며, 에너지원별 현황을 살펴보면 석유류가 전체 에너지 사용량의 62,521.4 천ton로 가장 크게 나타났다. 산업부문 설비별 에너지 사용현황은 보일러용이(석유류) 7,411.3 천ton으로 전력, 석탄 순서로 나타났다[4,5].

2. 연구 방법

2-1. 연구의 범위와 선정기준

본 연구의 시간적 범위는 2019년 10월부터 2020년 8월까지 그 범위를 한정하였고 공간적 범위는 2018년 기준 산업통상자원부 고시 제2021-22호 “외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침”에 따른 인증위원회에서 승인된 구분 03A-002-Ver01 연료 전환 사업의 방법론에 따른다. 또한 외부사업 승인대상으로 단일 감축 사업 소규모(100톤 초과 3,000톤 이하)로 인증 유효기간은 고정형 10년을 대상으로 진행하였다. 또한 배출원 범위 산정은 기존 중소기업 기름보일러에서 배출하는 배출원을 베이스라인 배출량으로 L.P.G(프로판) 가스보일러로 교체한 후 배출원을 사업 배출량으로 분류하였으며 온실가스 산정은 이산화탄소(CO₂)에 국한하였다. 중소기업 산업용 기름보일러로 사용량(3만 리터/월 이상)으로 구분하여 범위를 제한하였으며 평균 사용량 월 3만 리터를 기준으로 계산하였다. 온실가스 저감 정책 수단 및 전략은 자료 및 정보를 분석하고 기존 사용 연료를 청정에너지로 전환할 때 이산화탄소의 저감량과 탄소세 거래금액을 평가하여 중소기업에 연료 전환으로 확보한 온실가스 절감으로 발생 되는 배출거래 금액을 산출하였다. 온실가스 감축 수단 효과 분석은 산업용 기름보일러를 대상으로 하였고 기름보일러를 사용하는 중소기업을 직접 방문 또는 전화상으로 현재 사용하는 연료, 공급단가, 사용하는 보일러 제원, 월 연료 사용량, 등을 조사하였다. 선정기준은 “외부사업 타당성 평가 및 감축량 인증에 관한 지침”의 승인대상이어야 한다.

2-2. 온실 가스 배출기업 범위

전국 기름보일러 사용업체 222개 업체를 대상으로 어느 기업체에서 어떤 기름을 사용하는지 전수 조사를 진행하였다. 유류 사용량이 많은 기업체를 우선으로 배출량을 확인하고 온실가스 배출 특성을 파악하였다. 각 기업 들은 현재 에너지 전환을 위한 중소기업으로 현재 거래 중인 업체이며 기존에 교체한 회사 1곳을 선정하여 조사한 내용으로 담당자는 실무자로 모든 재원을 알 수 있는 분으로 선정하였다. 온실가스 배출량 산정의 정확성을 위해서 강원도 17개 기업체 중 14곳의 업체를 선정 보일러 담당자를 방문하였으며 A 기업(주) 사용 연료 부생연료유 2호(C9⁺) 36만 리터/년을 사용 보일러 대열 보일러 1.5톤 4대를 LPG로 버너로 교체하여 가스 사용, 경기도는 44개 업체 중 27개 업체를 선정 방문하였으며 사용연료유 1호 Hi-Sene 보일러 부스터 및 미우라 보일러 사용 중에 가스버너 교체 후 LPG 가스 사용, 충청북도는 기업체 108곳 중에서 62곳을 선정 방문하였으며 그중 3곳은 가스보일러로 교체 되었다. B 기업 보일러는 노통 3톤, 5톤으로 부생 2호 C9⁺ 사용량 3만 5천 리터/월, 세탁 공장 노통보일러 2톤 사용 연료 이온 정제유 사용량 3만3천 리터/월 사용업체를 가스버너 교체후 LPG 가스를 공급하고 냉동식품 공장 보일러 연관 4톤 벙커-C유 5만 리터/월 가스버너로 교체후 LPG 가스 공급하며, 충남은 88개 기업체 중에 28개 기업체를 선정 방문하였고 그중에 4곳이 기름에서 가스로 연료 전환을 하였다. A 제조업 노통 연관식 보일러 3톤 2대 사용 연료 부생연료유(2호)(C9⁺) 4만 리터/월 사용 중 LPG 가스로 교체하여 사용 중이며 약품 회사 사용 연료 부생 1호(Hi-sene) 사용 중 보일러 신규로 전원교체 부스터 보일러 관류 1.5톤 4대 1톤 1대 사용량 부생연료유(2호) 3만 리터/월 사용업체를 LPG가스로 교체하였으며, 아산 생산업체 신규 보일러 1.5톤 설치 사용량 부생연료유(1호) 3만 5천 리터/월 사용 중 LPG로 교체 후 사용 단열재 생산업체 보일러 노통 연관보일러 벙커-C 4만 리터/월 사용 중 가스버너로 교체 후 LPG 사용, A 개발 산업 노통3톤 보일러 이온 정제유 3만 리터/월 사용하였으나 LPG로 전환하였음. 전라북도는 기업체 2곳 중에서 1곳을 선정 방문하였으며 기업체 노통 3톤, 노통 10톤 보일러 사용 중 연료로 이온 정제유 4만 리터/월 사용하였으나 가스보일러 교체 후 LPG 가스를 사용하고 있다. 석유류는 1999년 92.9(백만toe)로 시작으로 석탄류,

Table 1. Priority selection of oil boiler replacement

Selection Criteria ^{a)}	Contents
1	Companies that want to replace old oil boilers with gas boilers
2	Companies operating boilers larger than the capacity required for production
3	Companies that use a lot and emit a lot of greenhouse gases

^{a)}The selection criteria should both be subject to external project approval in accordance with the “Guidelines for External Project Feasibility Assessment and Reduction Certification”.

Table 2. Korea petroleum association statistics domestic consumption trend by petroleum product (2020) (Unit: thousand bbl (barrel))

Type of oil	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019
kerosene	18,816	15,429	16,227	19,060	19,006	18,875	17,127
diesel	143,020	144,840	156,367	166,561	168,862	167,039	171,795
B - A	1,683	1,451	1,569	1,642	1,574	1,467	1,617
B - B	897	723	787	840	722	634	431
B - C	43,786	31,094	35,996	45,000	33,522	31,620	21,949
propane	37,481	35,704	41,899	60,574	60,911	63,735	77,585
Recycled oil	3,230	4,997	5,711	6,436	4,567	5,904	6,386
Hi-Sene, C9 ⁺	2,227	2,215	2,425	2,531	1,728	1,604	1,551

57.9%를 차지하였고 2019년에 116.1(백만toe)로 그 소비량이 24.97%(약 30%)로 증가하였으며 온실가스 배출량도 비례하여 3배 증가하였다. 경유는 산업용 보일러 연료와 자동차 연료(디젤)로 사용되는 비율이 비슷하게 사용되는 것으로 확인되었으며 주로 벙커-C, 재생유, 부생연료유 (1호), (2호), 정제유가 보일러에 사용되는 것으로 밝혀졌다. 부생연료유는 등유형(1호) (Hi-Sene)과 중유형(2호) (C9+)로 구분되며 정제유는 감압 정제유와 이온 정제유로 분류하였다.

2-3. 온실 가스 배출원

보일러 연소 시 발생하는 온실가스 배출은 직접배출로 분류되며 고정연소에 의한 배출량 (CO₂, CH₄, N₂O) 중에서 CO₂만 산정하였다. 온실가스 배출량 투명성(Transparency)을 확보하기 위하여 산업체에 보일러 제원을 요청하였고 정확성(Accuracy)을 위하여 3개월 기름 사용량 데이터를 확보하였으며 유류 정보(MSDS)를 활용하였다. 기름보일러에서 사용된 유류량을 가스보일러로 교체한 후 사용된 가스량으로 산정하면 감축된 배출량을 구할 수 있다.

2-4. 보일러 온실가스 배출량 산정방법

국가 온실가스 배출량 산정 방법은 국가 간의 호환성과 일관성을 유지하기 위해서 IPCC의 호환성과 일관성을 유지하기 위해서 IPCC에서 표준안을 제공하고 있다. 온실가스 배출량 산정방법론과 관련된 대표적 IPCC 지침서는 2006 IPCC guide lines for National Greenhouse Gas Inventories를 꼽을 수 있다[6].

2-4-1. 베이스라인 배출량(BE_y)

베이스라인 배출량 산정 방법은 “사업 후 에너지생산량 또는 화석량 기반(산정 방법 1)”과 “사업 후 화석연료 사용량 기반(산정 방법 2)”가 있으나 본 연구에서는 산정 방법 2(소규모 배출량에 적용하는 방식)를 감축 방법으로 적용시켰다[6-9].

① 산정 방법 : 사업 후 화석연료 사용량 기반

본 베이스라인 산정 방법은 식 (1)과 같이 소규모 감축 사업에만 해당 산정 방법이 적용 가능하며, 사업 후 생산 열량과 베이스라인 시나리오에서의 연료 배출계수를 곱하여 산정한다.

$$BE_y = FC_{PJ,y} \times NCV_{FF,PJ} \times EF_{FF,CO_2,BL} \quad (1)$$

2-4-2. 사업 배출량(PE_y)

Table 5. Greenhouse gas emission reduction (ER_y)

Sign	Signification	unit
ER _y	Greenhouse gas emission reduction of y year	tCO ₂ -eq/year
BE _y	Baseline emissions of y year	tCO ₂ -eq/year
PE _y	Business emissions of y year	tCO ₂ -eq/year
LE _y	Leak amount of y year	tCO ₂ -eq/year

화석연료의 연료소비량으로부터의 사업 배출량은 다음의 식 (2)에 따라 산정한다.

$$PE_y = FC_{PJ,y} \times NCV_{FF,PJ} \times EF_{FF,CO_2,PJ} \quad (2)$$

2-4-3. 누출량(LE_y)

누출량은 고려하지 않는다.

2-4-4. 온실가스 배출 감축량(ER_y)

본 방법론은 연료 전환 사업의 방법론으로, 온실가스 배출 감축량은 아래의 식 (3)을 이용하여 산정한다.

$$ER_y = BE_y - PE_y - LE_y \quad (3)$$

3. 모니터링 방법론

3-1. 모니터링 절차

모니터링 계획은 다음의 중요한 항목이 포함되어 도식화 및 계획이 수립되어야한다.

3-1-1. 열량 계수

(환경부) 온실가스 배출권 거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침 별표 12에 따른 기본 발열량 값을 사용한다[10].

3-1-2. 배출계수

배출계수란 당해 배출시설의 단위 연료 사용량 단위 제품 생산량 단위 원료 사용량 단위 혹은 폐기물 소각량 또는 처리량 등 단위 활동자료 당 발생하는 온실가스 배출량을 나타내는 계수를 말한다. (환경부) 온실가스 배출권 거래제의 배출량 보고 및 인증에 관한 지침 별표 12에 따른 기본 배출계수 값을 사용한다.

IPCC는 세계 평균치인 기본(default) 배출계수를 제시하고 있으

Table 3. Calculation method : Based on fossil fuel consumption after project

Sign	Signification	Unit
BE _y	Baseline Emissions of y year	tCO ₂ -eq/year
FC _{PJ,y}	Post-Business Fossil Fuel Consumption of y year	kg, L, Nm ³ /year
NCV _{FF,PJ}	The net calorific value of fossil fuels used after business	MJ/kg, L, Nm ³
EF _{FF,CO_2,BL}	CO ₂ Emission factors of baseline fossil fuel	tCO ₂ /TJ

*Appropriate measurement units and unit conversion factors are applied according to the size of the external project, but the final emission is calculated as tons of carbon dioxide equivalent (tCO₂-eq).

Table 4. Business Emissions (PE_y)

Sign	Signification	Unit
PE _y	Business Emissions of y year	tCO ₂ -eq/year
FC _{PJ,y}	Post-Business Fossil Fuel Consumption of y year	kg, L, Nm ³ /year
NCV _{FF,PJ}	The net calorific value of fossil fuels used after business	MJ/kg, L, Nm ³
EF _{FF,CO_2,PJ}	CO ₂ Emission factors of baseline fossil fuel	tCO ₂ /TJ

Table 6. Monitoring procedure

No.	Category	
1	Fuel j usage in process i for year y in the baseline scenario	
2	The net calorific value of baseline fossil fuel j	Coefficient
3	The CO ₂ emission factor for baseline fossil fuel j	Coefficient
4	Thermal energy production amount or consumption amount in the process i in the baseline scenario	
5	Post-business fossil fuel consumption of y year	
6	The net calorific value of fossil fuels used after business	Coefficient
7	The CO ₂ emission factor of fossil fuels used after the project	Coefficient
8	Thermal energy production amount or consumption amount according to business activities of y year	

Table 7. Country-specific calorific value and emission factor by fuel (Enforcement Rule of the Energy Act)

Coal fuel	Calorific value			CO ₂ (kgCO ₂ /TJ)
	Total Calorific value	Net Calorific value	Unit	
Bunker-A	39	36.4	MJ/L	75,700
Bunker-B	40.5	38	MJ/L	78,400
Bunker-C	41.7	39.2	MJ/L	80,300
Diesel	37.8	35.2	MJ/L	73,200
Kerosene	36.7	34.2	MJ/L	73,200
Hi-sene	37.1	36.6	MJ/L	73,500
C9 ⁺	39.9	37.7	MJ/L	79,600
Recycled oil	42.77	40.2	MJ/L	73,300
Propane	50.4	46.3	MJ/Kg	64,600

나, 국가의 특성을 반영한 고유의 배출계수를 개발하여 이용토록 권고하고 있다(선진국은 국가 고유 계수 활용)[6].

3-1-3. 기업체 사용 연료별 온실가스 배출량 및 탄소 배출권 거래 가격 산출 내역

부생연료유 1호(Hi-sene)를 연간 360,000L 사용 시 CO₂ 배출량을 아래와 같은 방식으로 계산하였다. 식 (4)는 y년도 베이스라인 배출량을 계산하는 식이다.

$$BE_y = FC_{PJ,y} \times NCV_{FF,PJ} \times EF_{FF,CO_2,BL} \quad (4)$$

이를 토대로 사업 후의 1년 평균 사용량은 360,000 L, 순발열량을 36.6, 배출계수를 73,500으로 두고 계산하였을 때 이산화탄소 배출량은 968 ton으로 집계되고, 사업 배출량은 아래 식 (5)로 계산하면, 851 ton으로 감축량은 117 ton으로 집계된다.

$$PE_y = FC_{PJ,y} \times NCV_{FF,PJ} \times EF_{FF,CO_2,BL} \quad (5)$$

감축량을 배출권 가격으로 환산해주면 연간 배출권 금액은 2,925,000원으로 계산되며, 10년 단위로 진행 시 온실 감축량 및 금액은 각각 1170 ton 감축되고 이는 29,250,000원으로 환산된다.

4. 연구 결과 및 고찰

중소 산업체 기름보일러 총 259 업체 중 222개 업체를 유종별로 분류 하였고 설치된 보일러 제원을 파악하였으며 기름에서 가스로 교체된 사업장 1곳을 유종별로 이산화탄소 배출량을 산출하였다. 그 결과 실제 이산화탄소 배출량을 대상으로 기름보일러를 L.P.G(C₃H₈) 가스보일러로 전환할 경우 온실가스 감축분과 배출권 거래 금액을 산정한 결과 이산화탄소를 가장 많이 배출하는 기름은 Bunker-C, 부생 2호유(C9⁺), 정제유(Recycled oil), 병커-A, 부생 1호유(Hi-sene), 경유(Diesel), 등유(Kerosene)로 경질류에서 중질류

Table 8. When using by-product fuel oil No. 1 (Hi-sean) 360,000 L/year

By-product fuel No.1 (Hi-sene) -> LPG			
1. Baseline(before conversion) GHG emissions (Hi-sene)			
Average annual usage (L)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
360,000	36.6	73,500	968
2. Estimated GHG emissions after conversion (LPG)			
Average annual usage (kg)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
284,578	46.3	64,600	851
3. Estimated annual greenhouse gas emission reduction and price			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of allowances per year (won)	
117	25,000	2,925,000	
4. Certification period (10 years) GHG reduction amount and amount			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of Emission Permits for 10 Years (won)	
1,170	25,000	29,250,000	

Table 9. When using by-product fuel oil No. 2 (C-9⁺) 360,000 L/year

By-product fuel No.2 (C-9 ⁺) -> LPG			
1. Baseline(before conversion) GHG emissions (Hi-sene)			
Average annual usage (L)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
360,000	37.7	79,600	1080
2. Estimated GHG emissions after conversion (LPG)			
Average annual usage (kg)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
293,283	46.3	64,600	877
3. Estimated annual greenhouse gas emission reduction and price			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of allowances per year (won)	
203	25,000	5,075,000	
4. Certification period (10 years) GHG reduction amount and amount			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of Emission Permits for 10 Years (won)	
2,030	25,000	50,750,000	

Table 10. When using bunker-A 360,000 L/year

Bunker-A -> LPG			
1. Baseline(before conversion) GHG emissions (Hi-sene)			
Average annual usage (L)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
360,000	36.4	75,700	992
2. Estimated GHG emissions after conversion (LPG)			
Average annual usage (kg)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
283,024	46.3	64,600	847
3. Estimated annual greenhouse gas emission reduction and price			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of allowances per year (won)	
145	25,000	3,625,000	
4. Certification period (10 years) GHG reduction amount and amount			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of Emission Permits for 10 Years (won)	
1,450	25,000	36,250,000	

Table 11. When using bunker-C 360,000 L/year

Bunker-C -> LPG			
1. Baseline(before conversion) GHG emissions (Hi-sene)			
Average annual usage (L)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
360,000	39.2	80,300	1133
2. Estimated GHG emissions after conversion (LPG)			
Average annual usage (kg)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
304,795	46.3	64,600	912
3. Estimated annual greenhouse gas emission reduction and price			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of allowances per year (won)	
221	25,000	5,525,000	
4. Certification period (10 years) GHG reduction amount and amount			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of Emission Permits for 10 Years (won)	
2,210	25,000	55,250,000	

Table 12. Waste derived fuels (when using recycled oil 360,000 L/year)

Recycled oil -> LPG			
1. Baseline(before conversion) GHG emissions (Hi-sene)			
Average annual usage (L)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
360,000	40.2	73,300	1,061
2. Estimated GHG emissions after conversion (LPG)			
Average annual usage (kg)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
312,570	46.3	64,600	935
3. Estimated annual greenhouse gas emission reduction and price			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of allowances per year (won)	
126	25,000	3,150,000	
4. Certification period (10 years) GHG reduction amount and amount			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of Emission Permits for 10 Years (won)	
1,260	25,000	31,500,000	

Table 13. When using boiler kerosene 360,000 L/year

Kerosene -> LPG			
1. Baseline(before conversion) GHG emissions (Hi-sene)			
Average annual usage (L)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
360,000	34.2	73,200	901
2. Estimated GHG emissions after conversion (LPG)			
Average annual usage (kg)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
265,918	46.3	64,600	795
3. Estimated annual greenhouse gas emission reduction and price			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of allowances per year (won)	
106	25,000	2,650,000	
4. Certification period (10 years) GHG reduction amount and amount			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of Emission Permits for 10 Years (won)	
1,060	25,000	26,500,000	

Table 14. When using diesel 360,000 L/year

Diesel -> LPG			
1. Baseline(before conversion) GHG emissions (Hi-sene)			
Average annual usage (L)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
360,000	35.2	73,200	928
2. Estimated GHG emissions after conversion (LPG)			
Average annual usage (kg)	net calorific value	emission factor	emissions amount (tCO ₂)
273,693	46.3	64,600	819
3. Estimated annual greenhouse gas emission reduction and price			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of allowances per year (won)	
109	25,000	2,725,000	
4. Certification period (10 years) GHG reduction amount and amount			
Reduction amount (tCO ₂)	Emission permit price (ton/won)	Amount of Emission Permits for 10 Years (won)	
1,090	25,000	27,250,000	

순으로 크게 나타났으며 배출권 거래 금액도 같은 비율로 나타났다. 보일러의 형식, 종류, 효율과 가동으로 인한 전력 사용에 따른 간접 배출량은 포함시키지 않았다. 연구 결과 이산화탄소 배출량 산정 결과는 Table 10에 나타내었다.

결과는 부생연료유(2호)(C9⁺)를 사용하는 기업체가 가장 많은 온실가스(CO₂)를 배출하였고 병커-C, 부생1호유(Hi-sene), 등유(Kerosene), 정제유(Recycled oil), 병커-A, 경유(Diesel), 병커-B, 순으로 배출량이 줄어들었다. 또한 222 기업체 이산화탄소 배출량을 분석한 결과, 부생 2호유(C9⁺)를 사용하는 업체(42개소)가 1년 사용량은 12,620,000L이며 기업체당 평균 30만 4백 7십 6리터를 사용하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 총배출량은 37,872 (tCO₂)톤/년으로 확인되었다. 부생연료유(2호)(C9⁺)를 사용하는 기업체가 병

커-C 보일러 사용업체와 비슷한 보일러 용량으로 크고 사용량도 많은 것으로 확인되었다. 이는 순 발열량 37.7 (Net Calorific value)로 병커-C 순 발열량 39.2 (Net Calorific value)와 비슷하며 가격 또한 보일러 등유 대비 5% 이하로 저렴하며 열량 대비 15% 저렴하여 중질유 병커유 이미지에서 벗어나려는 수요가의 생각과 저렴한 가격으로 점도가 높은 병커-C 대체용으로 사용되는 것으로 나타났다.

병커-C(Bunker-C)를 사용하는 업체(22개소)가 1년 사용량은 9,440,000L이며 기업체당 평균 42만 9천 9십리터를 사용하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 총배출량은 27,030 (tCO₂)톤/년으로 확인되었다. 병커-C 사용업체는 적었으나 기업체당 사용 유류량이 많았으며 배출량도 비례하여 크게 나타났다.

부생연료유(1호) (Hi-sene)를 사용하는 업체(51개소)가 1년 사용량은 4,840,000L이며 기업체 당 평균 9만 6천 8백 리터를 사용하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 총배출량은 13,020 (tCO₂) 톤/년으로 확인되었다. 부생연료유(1호) (Hi-sene)를 사용하는 기업체가 등유 보일러 사용업체와 같았으나 보일러 용량이 크고 사용량도 많은 것으로 확인되었다. 이는 부생연료유(1호)(Hi-sene) 순 발열량 36.6 (Net Calorific value)으로 등유 순 발열량 34.2 (Net Calorific value) 높으며 가격또한 5% 이하로 저렴하며 열량 대비 10% 저렴하게 나타나 수요가가 많은 것으로 나타났다.

등유(Kerosene)를 사용하는 업체(56개소)가 1년 사용량은 4,436,000 L이며 기업체당 평균 7만 9천 2백 1십 4리터를 사용하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 총배출량은 11,056 (tCO₂) 톤으로 확인되었다. 등유를 사용하는 기업체가 예상외로 많았으나 보일러 용

Table 15. The amount of greenhouse gas emissions during boiler combustion according to the type of oil (360,000 L/Year)

Field	GHG emissions (tCO _{2eq} /yr)	Percentage (%)
Bunker-A	992	14.04
Bunker-C	1,133	16.04
Diesel	928	13.14
Kerosene	901	12.75
Hi-sene	968	13.71
C9 ⁺	1,080	15.30
recycled oil	1,061	15.02
Total	7,063	100%

량이 소형이고 사용량도 적은 것으로 확인되었다. 또한 경질유로 분류되어 순 발열량도 가장 낮고 CO₂ 배출계수가 낮아서 온실가스 배출량이 적게 나타났다.

정제유(recycled oil)를 사용하는 업체(16개소)가 1년 사용량은 3,610,000L이며 기업체당 평균 22만 5천 6백 2십 5 리터를 사용하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 총배출량은 10,637 (tCO₂)톤으로 확인되었다. 정제유(이온정제유)를 사용하는 기업체는 보일러 용량도 크고 사용량도 많은 것으로 확인되었다. 순 발열량 40.2 (Net Calorific value)로 기름중 에서 높으며 가격 또한 보일러 등유 대비 8% 이하로 저렴하며 열량 대비 17% 가까이 저렴하여 사용하는 것으로 나타났다 순 발열량은 가장 크고 등유 대비 가장 저렴하게 공급되고 있으나 한정적인 생산으로 수요가 한계적으로 나타났다.

경유(Diesel)를 사용하는 업체(28개소)가 1년 사용량은 1,564,000L이며 기업체 당 평균 5만 5천 8백 5십 7 리터를 사용하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 총배출량은 4,030 (t CO₂) 톤으로 확인되었다. 경유는 유류가격이 너무 고가여서 기업체가 경제적 부담을 느껴서 수요가 적은 것으로 간혹 경유 면세유를 사용하는 영농 기업이 다수 있었다.

병커-A(Bunker-A) 사용하는 업체(6개소)가 1년 사용량은 1,435,000L이며 기업체 당 평균 23만 9천 1백 6십 7 리터를 사용하는 것으로 나타났다. 이산화탄소 총배출량은 3,954 (tCO₂) 톤/년으로 확인되었다. 병커-C에 비교해 사용업체는 적었으며 점도가 병커-C에

비해 작아 사용상 편리함으로 기업체에서 사용한 것으로 밝혀졌다. 병커-B(Bunker-B)를 사용하는 업체(1개소)가 1년 사용량은 120,000 L로서 이번 연구에는 포함하지 않았다.

2020년 한국에너지공단 기름보일러 설치현황 자료를 검토한 결과 보일러 검사대상기기 기준 총 7,522대로(0.8 톤 이상), 경유 보일러 3,793대, 중유(병커 A, B, C) 보일러 1,846대, 등유 보일러 798대, 부생연료 385대, 정제유(928대 중신탄, 유연탄, 석탄 제외) 700대가 설치되었다[11]. 기업체 사용 연료별 온실가스 배출량 및 탄소배출권 거래가격 총계를 계산해 보았다.

- ① 정제유 온실가스 감축량은 $700 \times 126 \text{ 톤} = 88,200 \text{ 톤/년}$ 배출권 금액(2,205,000,000 원)
- ② 부생유 온실가스 감축량은 $385 \times 203 \text{ 톤} = 78,155 \text{ 톤/년}$ 배출권 금액(1,953,875,000 원)
- ③ 경유 온실가스 감축량은 $3793 \times 109 \text{ 톤} = 413,437 \text{ 톤/년}$ 배출권 금액(10,335,925,000 원)
- ④ 중유 온실가스 감축량은 $1846 \times 221 \text{ 톤} = 407,966 \text{ 톤/년}$ 배출권 금액(10,199,150,000 원)
- ⑤ 등유 온실가스 감축량은 $798 \times 106 \text{ 톤} = 84,588 \text{ 톤/년}$ 배출권 금액(2,114,700,000 원)

1년 간 온실가스의 총 감축량은(1,072,346 톤/년) 정도이며 금액으로(26,808,650 천원/년)이다.

본 연구에서의 온실가스 감축을 하지 못해 배출 허용량을 넘긴 대기업(배출할당 대상업체)은 부족한 할당량을 배출권 구매 비용으로 충당할 것인가 중소기업의 이산화탄소 배출량이 많은 기름보일러를 온실가스 배출량이 적은 L.P.G (C₃H₈) 가스보일러 교체하는 시설 투자 비용으로 할 것인가를 선택하여야 한다. 국내가스업체와 전력 회사의 컨소시엄으로 확인되었다. 온실가스 배출권 거래제 상쇄제도의 추진목적은 탄소배출 다량 배출물질(병커C유) 보일러를 감축 대상업체에서 탄소배출권 구매가격을 지급하여 L.P.G 등의 청정 연료로 전환하여 온실가스 감축하고자 함이 추진의 본 목적이라고 볼 수 있다[6]. 탄소배출권은 온실가스 배출거래제의 목표 이행 및 탄소시장과 연계된 기업의 경제적으로 중요한 핵심 자산이며 중소기업은 온실가스 감축분에 해당하는 배출권 거래 금액을 새로운 시설 금액에 투자하고 온실가스 감축 사업자에게는 수익을 창출할 수 있는 금융자산이다[12].

5. 결 론

연구 결과 한국에너지공단에 등록된 기름보일러를 가스보일러로 전환할 경우 1년 온실가스 총 감축량은 1,072,346 톤/년이며 배출권거래 금액으로 26,808,650,000 원/년 산출되었다. 이는 배출권거래 상쇄제도로써 배출권 할당 대상 업체(대기업)의 탄소 배출량 감축 목표치에 큰 도움이 될 것이며 중소기업은 설비의 혁신으로 에너지 절감으로 인한 경제적 효과는 물론 환경적 측면에서 지구온난화에 방지에 큰 역할을 했다는 이미지를 얻게 될 것이다. 중소기업에서 사용하는 기름보일러는 사용 년 수도 10년에서 심지어 30년 가까이 설치된 것도 있다. 현재 생산되는 보일러는 신기술을 접목한 저탄소 콘덴싱 보일러는 기존 일반 가스보일러 대비 이산화탄소를 31.4% 저감 시킨다. 또한 신기술 가스버너 방식을 적용하여

Table 16. Amount and percentage of carbon dioxide generated from boilers by oil type

Field	GHG emissions (tCO _{2eq} /yr)	Percentage (%)
C9+	37,872	35.20
Bunker-C	27,030	25.12
Hi-sene	13,020	12.10
Kerosene	11,056	10.28
recycled oil	10,637	9.88
Diesel	4,030	3.75
Bunker-A	3,954	3.67
Total	107,599	100%

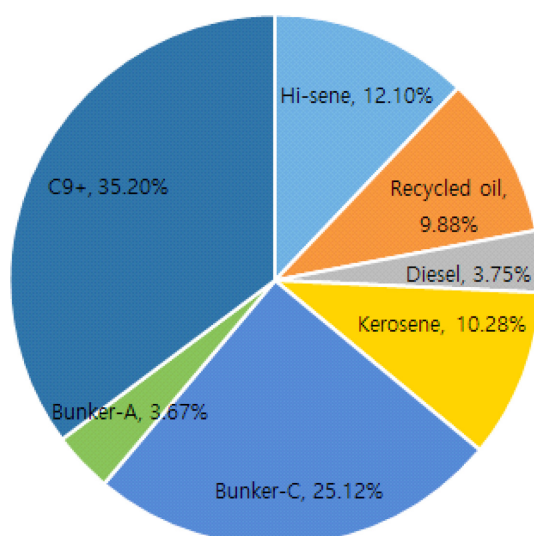


Fig. 1. The amount of carbon dioxide emitted by industrial boilers.

최소한 10%이상 의 연비 절감과 환경 저해물질 배출을 국제기준 한계치 이하로 배출한다. 이러한 사실에 고려한다면 더 높은 감축량의 결과가 나온다는 확신을 가질 수 있었다. 또한 한국에너지 공단에 등록되지 않은 0.8톤 이하의 소규모 사업장의 기름보일러는 이번 연구 목적인 배출권거래제 상쇄제도에는 포함 시키지 않았다. 국내 이산화탄소 감축 저감 목표에 커다란 공헌할 것으로 보고 있다.

Reference

1. Annalisa, S., "The Paris Agreement: a New Beginning?," *J. Energy Nat. Resour. Law*, **34**, 16-26(2016).
2. Lho, S. W., "A Study on Introduction of Greenhouse Gas Emission Trading Scheme in Korea," *J. Environ. Pol.*, **8**(4), 95-124(2009).
3. Son, D. H. and Jeon, Y. I., "Learning-by-doing Effect on Price Determination System in Korea's Emission Trading Scheme," *Environ. Resour. Econ. Rev.*, **27**(4), 667-694(2018).
4. Kim, K. J., Won, D. H. and Jung, S. K., "An Empirical Analysis on the Co-Movement between International Carbon Emission Trading Prices," *J. Environ. Pol. Adm.*, **27**(3), 1-20(2019).
5. Jin, T. Y., Choi, G. Y., Lee, E. M. and Lee, S. K., "A Decomposition Analysis of Domestic Carbon Dioxide Emissions Related to Industry Structure and Energy Mix in Korea," *J. Environ. Pol. Adm.*, **28**(2), 153-182(2020).
6. Eggleston, H. S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T. and Tanabe, K., "2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories," IPCC(2006).
7. Song, S. K. and Heo, E. Y., "A Study on the Applicability of CDM Project Methodology," *New Renew. Energy*, **3**(4), 104-113(2007).
8. Yim, H. S. and Yun, S. J., "An Evaluation of Clean Development Mechanism (CDM): From a Perspective of Sustainable Development," *ECO*, **13**(2), 141-174(2009).
9. Kim, H. J., Yeo, M. J., Kim, Y. P., Jang, G. W., Shin, W. G., Lee, M. H. and Choi, H. W., "Comparison of the CO₂ Emissions Estimations among Four Tier Methods for the Facilities from Different Industrial Sectors in Korea," *J. Clim. Chang. Res.*, **3**(3), 195-209(2012).
10. Lee, S. R., Cho, Y. S. and Lee, S. K., "Analysis of CO₂ Reduction effected by GHG-Energy Target Management System (TMS) and Korea Emissions Trading Scheme (ETS)," *J. Clim. Chang. Res.*, **8**(3), 221-230(2017).
11. Ji, C. Y., Choi, M. S., Gwon, O. I., Jung, H. R. and Shin, S. E., "Greenhouse Gas Emissions from Building Sector based on National Building Energy Database," *J. Archit. Inst. Korea Struct. Constr.*, **36**(4), 143-152(2020).
12. Yu, J. M., Yoo, J. H., Kim, J. T. and Lee, C. E., "The Effectiveness of GHG Abatement Policies in Korea - Examining Changes since the Launch of the ETS," *J. Environ. Pol. Adm.*, **25**(2), 231-247(2017).

Authors

Eok Yong Kim: Doctor's course, Department of Renewable Energy Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea; kimey0101@naver.com

Min Chang Shin: Doctor's course, Department of Biochemical & Chemical Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea; gogokill31@naver.com

Jung Hoon Park: Associate professor, Department of Biochemical & Chemical Engineering, Dongguk University, Seoul 04620, Korea; pjhoon@dongguk.edu