

# 에틸렌 생산에서의 CO<sub>2</sub> 국가배출계수 검증 및 정량평가 방법론

육수경\* · 전의찬\*\* · 유경선\*\*\*†

\*광운대학교 산학협력단, \*\*세종대학교 지구환경과학과, \*\*\*광운대학교 환경공학과

## Methodology of CO<sub>2</sub> Emission Factor Verification and Quantitative Assessment in Ethylene Product Processes

Youk, Soo Kyung\*, Jeon, Eui-Chan\*\* and Yoo, Kyung Seun\*\*\*†

\*Dept. of Industry-Academic Collaboration Foundation, Kwangwoon University

\*\*Dept. of Earth & Environment Sciences, Sejong University

\*\*\*Dept. of Environmental Engineering, Kwangwoon university

### ABSTRACT

The purpose of this study is to suggest the methodology of CO<sub>2</sub> Emission Factor Verification and Quantitative Assessment in Ethylene Product Processes. At first, this study compare the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 1996 Guideline and 2006 Guideline. And analyse methodology for estimating CO<sub>2</sub> emission and CO<sub>2</sub> emission factor in Ethylene product process. Also analyse cases of estimating CO<sub>2</sub> emission factor based on material balance.

Methodology of CO<sub>2</sub> Emission Factor Verification and Quantitative Assessment are following the categories proposed by GIR (Greenhouse Gas Inventory and Research Center). There are total 12 factors in 8 categories and give 5 or 10 points according to their importance. Also this study suggests necessary data of document to meet the conditions.

The result would help estimate accuracy Greenhouse Gas Inventory. Also contribute to establish policy on environmental assessment, air conservation, etc.

**Key words:** Emission Factor, Inventory report, IPCC Guideline, Ethylene, Verification, Quantitative Assessment

## 1. 서 론

2015년 12월 기후변화협약 당사국총회 본회의에서 195개 당사국은 파리기후변화협약을 채택하였다. 파리기후변화협약의 핵심은 2100년까지 지구의 평균 기온상승을 2°C 이내보다 상당히 낮은 수준으로 유지하도록 한다는 내용이다. 이 협약은 1997년 채택되었던 교토의정서가 만료되는 2020년 이후 교토의정서를 대체하는 것으로 교토의정서에서는 선진국만 온실가스 감축 의무가 있었지만 파리협약에서는 참여하는 195개 당사국 모두가 감축목표를 지켜야 한다. 이에 따라 대한민국 정부는 2016년 6월 30일 열린 국무회의에서 2030년 국가 온실가스 감축 목표를 “배출전망치(BAU: Business As Usual) 대비 37% 감축” 하는 것으로

최종 결정하였다. 2030 국가온실가스 감축 기본 로드맵에 따르면 부문별 목표 감축량이 가장 많은 부문은 에너지(전환) 부문으로 총 감축량의 29.5%를 차지하고 이어 산업 부문이 목표 감축량의 25.7%를 차지하여 총 목표 감축량의 50% 이상이 에너지 부문과 산업 부문에 할당 되어있다.

감축목표 달성여부를 판단하기 위해 온실가스배출량을 정확하게 산정해야하고 또한 이를 위해 신뢰도 높은 국가배출계수가 개발과 검증·평가가 필요하다.

현재 한국의 국가 온실가스 인벤토리 보고서는 IPCC 1996 가이드라인에 따라 국가온실가스 배출량을 산정하고 있으나 더 수준 높은 인벤토리 작성을 위해 개정된 IPCC 2006 가이드라인 적용이 필요하다.

IPCC 1996 가이드라인과 2006 가이드라인의 배출원 항목

†Corresponding author: [yooks@kw.ac.kr](mailto:yooks@kw.ac.kr)

Received December 22, 2017 / Revised January 08, 2018 / Accepted January 22, 2018

을 비교하여 기존 1996 가이드라인의 “기타” 항목에 속해있던 에틸렌, 카본블랙, EDC 등이 2006 가이드라인에서는 “석유화학제품 및 카본블랙 생산” 으로 분리된 것을 확인 할 수 있었다. 이는 석유화학 산업이 기초소재산업으로써 산업부문에서 중요도가 높아졌으며 주요한 온실가스 배출원으로 온실가스 배출에 높은 비중을 차지하게 되었기 때문인 것으로 사료된다. 또한 1996 가이드라인에서는 에틸렌 생산에 의한 CH<sub>4</sub> 배출량에 산정식과 배출계수만 제공하였기 때문에 현재까지 한국의 국가 온실가스 인벤토리에서는 CH<sub>4</sub> 배출량만을 보고해왔다. 하지만 IPCC 2006 가이드라인에서는 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식과 배출계수 산정방법론을 제공하였기 때문에 2006 가이드라인을 적용한 인벤토리 보고서에서는 에틸렌생산에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하여야 한다.

이에 본 연구에서는 석유화학 산업의 에틸렌 생산에 대한 IPCC 1996, 2006 가이드라인을 비교, 분석하여 배출계수에 대해 고찰하고 국가 배출계수 검증 및 평가를 위한 방법론을 제시하고자 한다.

## 2. 에틸렌 생산에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수

### 2.1 에틸렌 생산에서 온실가스 배출특성

석유화학산업은 천연가스 등의 화석연료나 나프타 등의 석유정제품 등을 원료로 하는데 국내의 경우 주로 나프타 분해설비 (Naphtha Cracking Center, NCC)에 투입하여 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔 등 기초유분을 생산하고 이 과정에서 온실가스가 배출된다.

나프타 분해공정은 다음과 같이 크게 네 가지 공정 (열분해 공정, 급냉 공정, 압축공정, 정제공정) 으로 나누어질 수 있다 (Figure 1).

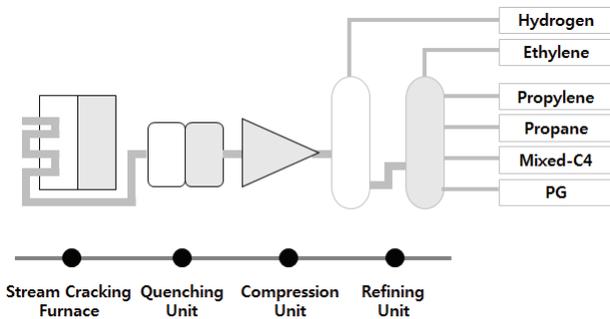


Fig. 1. Naphtha Cracking Center.

#### 2.1.1 열분해 공정

원료를 고온에 의한 열분해 반응을 통해 여러 종류의 탄화수소화합물을 생성시키며, Heater 출구에서 열을 회수하여, 초고압 증기를 생산한다. 열분해 주원료로 에탄과 나프타를 사용하고 부원료로 가스오일, LPG, C4, C5 등을 이용한다. 원료와 함께 스팀을 주입하고 고온으로 가열하여 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔, 벤젠, 톨루엔, 크실렌 등으로 열분해하여 에틸렌과 부가제품을 얻는다.

#### 2.1.2 급냉 공정

분해로 출구 물질에는 타르 및 중질 유분이 포함되어 압축기로 도입되기 전에 이들을 제거하기 위하여 급냉을 시킨다. 분해로 출구물질을 냉각하고 타르 및 중질 유분을 응축시키는 과정에서 얻어지는 폐열은 주로 재활용되어 스팀생산과 원료 및 BFW (Boiler Feed Water) 예열, 프로필렌 정류탑의 리보일러 등에 사용된다.

#### 2.1.3 압축 공정

분리 정제되지 않은 성분들의 분리는 고압 하에서만 경제적으로 가능하기 때문에 분해가스 압축기에서 압력을 올려 분리공정을 운전한다.

#### 2.1.4 정제 공정

압축된 분해가스를 증류 조작을 통해 수소, 메탄, 에틸렌, 프로필렌, C-4 Mixture 등을 분리한다.

### 2.2 에틸렌 생산에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수 산정 방법론

#### 2.2.1 IPCC 1996, 2006 가이드라인 비교

IPCC 1996 가이드라인은 에틸렌 생산 부문에서 CH<sub>4</sub> 배출량 산정식과 배출계수는 제공하였지만 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식과 배출계수를 제시하지 않았다.

IPCC 2006 가이드라인에서는 에틸렌 생산 부문에서의 CO<sub>2</sub> 배출량 산정식과 배출계수 산정방법을 Tier 1, Tier 2, Tier 3로 구분하여 각 단계별로 제시하였다.

Tier 1 방법론은 생산물 근거 배출계수법으로 공정과정 내 탄소흐름에 대한 공장 고유자료나 활동도 자료가 존재하지 않을 때 배출량을 측정하는데 적용된다. 단지 생산물의 양에 관한 활동도 자료만 있으면 된다. IPCC 2006 가이드라인에 제공된 원료 종류에 따른 기본배출계수 (default 값)를 참고하여 다음 식 (1)과 같이 배출계수와 생산량의 곱으로 CO<sub>2</sub> 배출량을 산정하도록 한다.

$$E_{CO_2} = PP_i \cdot EF_i \cdot GAF/100 \quad (1)$$

$E_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub> emissions from production of petrochemical i, tonne

$PP_i$  : annual production of petrochemical i, tonne

$EF_i$  : CO<sub>2</sub> emission factor for petrochemical i, tonne CO<sub>2</sub>/tonne product produced

$GAF$ : Geographic Adjustment Factor (ex: KOREA=90)

Tier 2 방법론은 물질수지법으로 원료와 공정고유의 탄소수지에 기초한 접근방식이다. 공정에 투입된 모든 원료는 생산물이 되거나 CO<sub>2</sub>로 배출된다는 가정에 기초하여 식 (2)와 같이 원료로서 생산 공정에 유입된 전체 탄소량과 석유화학제품으로 공정에서 나오는 탄소 양간의 차이를 계산한다. 투입된 원료와 생산물로 회수된 탄소 함량의 차이는 CO<sub>2</sub>로 계산된다. 계산을 위해 원료와 생산물의 탄소함유량 자료가 필요하며 문헌정보에서 구할 수 있다.

$$E_{CO_2} = \left\{ \sum_k (FA_{i,k} \cdot FC_k) - \left[ PP_i \cdot PC_i + \sum_j (SP_{i,j} \cdot SC_j) \right] \right\} \cdot 44/12 \quad (2)$$

$E_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub> emissions from production of petrochemical i, tonne

$FA_{i,k}$  : annual consumption of feedstock k for production of petrochemical i, tonne

$FC_k$  : carbon content of feedstock k, tonne C/tonne feedstock

$PP_i$  : annual production of primary petrochemical product i, tonne

$PC_i$  : carbon content of primary petrochemical product i, tonne C/tonne product

$SP_{i,j}$  : annual amount of secondary product j produced from production process for petrochemical I, tonne

$SC_j$  : carbon content of secondary product j, tonne C/tonne product

Tier 3 방법론은 공장 고유 배출의 직접 산출법으로 배출 산정을 위해 공장고유의 자료를 이용하는 것이다. 배출량 산정식은 식 (3)과 같으며 이 방법을 적용하기 위해 공장 고유의 자료 또는 측정값이 필요하다.

$$E_{CO_2} = E_{Combustion,i} + E_{Process Vent,i} + E_{Flare,i} \quad (3)$$

$E_{CO_2}$  : CO<sub>2</sub> emissions from production of petrochemical i, tonne

$E_{Combustion,i}$  : CO<sub>2</sub> emitted from fuel or process by-products combusted to provide heat or thermal energy to the production process for petrochemical i, tonne

$E_{Process Vent,i}$  : CO<sub>2</sub> emitted from fuel or process by-products combusted to provide heat or thermal energy to the production process for petrochemical i, tonne

$E_{Flare,i}$  : CO<sub>2</sub> emitted from flared waste gases during production of petrochemical i, tonne

### 2.2.2 IPCC 2006 가이드라인 배출계수

IPCC 2006 가이드라인은 나프타 증기분해의 CO<sub>2</sub> 배출에 대하여 Tier 1의 기본배출계수 (default 값)을 1.73으로 제공하고 있다. 이 배출계수는 네덜란드에서 NEAT 라는 모델을 적용하여 서유럽 증기분해 공정의 특성을 반영하여 산출 한 배출계수이다.

나프타 증기분해의 CO<sub>2</sub> 배출계수 산출에 사용된 NEAT 모델은 Spread sheet 모델이며 주로 생산과 무역통계자료를 활용하여 비에너지 목적으로 사용된 연료에 포함된 탄소를 추적하여 배출량을 산정하는 방법이다.

이 모델은 Bottom-up 탄소흐름 분석에 기초하여 기초화학 물질 (Ethylene, Butadiene 등) 22개와 중간 및 최종 화학 물질 (PET, PP, PS 등) 55개의 탄소밸런스 흐름을 파악하여 기초제품에서 중간 제품을 거쳐 최종제품에 이르는 석유화학산업 공정 (물질흐름)이 중복되지 않게 모형화 하고 있다.

산출 방법은 탄소밸런스 상의 탄소흐름에서 탄소몰입량 (Carbon Storage)을 차감하는 방식으로 산출한다. 탄소몰입량이란 제품에 체화되어 생산 공정중이나 제품 사용 중에 CO<sub>2</sub>로 전환하지 않고 몰입되는 탄소의 양이다.

NEAT 모델은 화석연료의 비에너지 사용과 관련된 모든 탄소흐름을 다룬 모델로 CO<sub>2</sub> 배출이 중복산정 되지 않도록 설계한 체계적인 모델이지만, 나프타 분해공정 뿐 아니라 석유화학산업 전체공정의 원료, 생산량, 수출입량의 자료까지 필요하다. 그렇기 때문에 에틸렌 생산 CO<sub>2</sub> 배출계수 산정에 필요한 자료의 수가 많다는 단점이 있다.

Table 1. CO<sub>2</sub> Emission Factor estimate (INPUT data: west EU, OUTPUT data: Korea)

Korea (West EU)	Composition	Carbon ratio	Carbon (Input)	Composition	Carbon ratio	Carbon (Output)	CO <sub>2</sub> Emission	Emission Factor(CO <sub>2</sub> t/Ethylene t)
INPUT	100		87	OUTPUT	100	85	8.310	0.260
Ethane	8.000	0.800	6	Ethylene	32.000	0.856	27	
LPG	11.000	0.817	9	Propylene	16.000	0.857	14	
Naphtha	69.000	0.890	61	Butadiene	10.000	0.889	9	
Gas Oil	12.000	0.869	10	BTX	19.000	0.914	17	
Others	0.000			Other fuels	23.000	0.765	18	

Table 2. CO<sub>2</sub> Emission Factor estimate (INPUT data: Japan, OUTPUT data: Korea)

Korea (West EU)	Composition	Carbon ratio	Carbon (Input)	Composition	Carbon ratio	Carbon (output)	CO <sub>2</sub> Emission	Emission Factor(CO <sub>2</sub> t/Ethylene t)
INPUT	100		88	OUTPUT	100	85	12.827	0.401
Ethane	0.000	0.800	0	Ethylene	32.000	0.856	27	
LPG	7.500	0.817	6	Propylene	16.000	0.857	14	
Naphtha	92.500	0.890	82	Butadiene	10.000	0.889	9	
Gas Oil	0.000	0.869	0	BTX	19.000	0.914	17	
Others	0.000			Other fuels	23.000	0.765	18	

### 2.3 배출계수산정 국내사례

선행연구<sup>1)</sup>에서 IPCC 2006 가이드라인의 Tier 2 방법론에 따라 에틸렌 생산에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수를 물질수지법으로 접근하여 산정 하였다. 증기분해 공정으로 투입되는 원료의 탄소량과 증기분해 공정에 의해 생산되는 에틸렌, 프로필렌, 부타디엔 등으로 유출되는 탄소량의 차이만큼의 탄소는 모두 CO<sub>2</sub>로 배출되었다고 가정하여 배출계수를 산정하였다. 이를 수행하기 위한 자료는 나프타 분해공정의 INPUT, OUTPUT 조성과 각 물질의 탄소함량 값이다.

한국의 경우 석유화학편람을 통해 원료조성을 명확히 알 수 있어야 하지만 그 결과를 구할 수 없었다. 그렇기 때문에 국내 생산 공정과 유사하게 주요원료로 나프타를 사용하는 유럽과 일본의 INPUT 조성을 기준으로 국내 에틸렌 생산 공정의 조성을 OUTPUT 조성으로 적용하여 에틸렌 생산 공정의 배출계수를 추정하였다.

INPUT을 조성하는 원료의 비율과 그 원료에 해당하는 탄소함량을 곱한 후 합산하여 투입된 탄소의 총량을 구하고,

OUTPUT을 조성하는 생산물의 조성과 해당하는 생산물의 탄소함량을 곱한 후 합산 하여 유출된 탄소의 총량을 구한다. 유입된 탄소의 총량에서 유출된 탄소의 총량을 빼면 CO<sub>2</sub>로 배출된 탄소의 총량을 구할 수 있다. 이렇게 구해진 CO<sub>2</sub> 배출량을 생산된 에틸렌의 생산량으로 나누면 INPUT 조성과 OUTPUT 조성을 고려한 한국배출계수를 산출 할 수 있다 (Table 1, 2).

국내 공정과 유사한 국가들의 INPUT 조성과 국내 공정에서 생산된 OUTPUT 조성을 모두 고려하여 도출된 에틸렌 배출계수들을 모두 IPCC 2006 가이드라인에서 제안하고 있는 나프타원료에 대한 배출계수 1.73보다 낮은 것을 확인 할 수 있다. 이와 같이 원료-생산물 매트릭스를 이용하여 국내 원료, 생산 특성을 적용한 배출계수를 개발하여 한국 배출량 산정에 적용 한다면, 에틸렌 생산에 의한 CO<sub>2</sub> 배출량의 과대산정을 방지할 수 있을 것으로 사료된다.

1) Ministry of Environment. 2015. Development of technology for advancing GHG inventory in IPPU for the application of 2006 IPCC Guidelines

### 3. 에틸렌 생산에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수 정량평가 및 검증 방법론

개발된 배출계수는 검증 신청하여 온실가스 정보센터로부터 검증 및 평가를 받게 된다. “국가 온실가스 배출·흡수계수 개발·검증 1차 계획 (2015~2019)”에 의거하여 배출계수 검증 기준은 분야별 핵심고려사항에 대해 개발방법론, 대표성, 측정·분석의 정확성, 자료관리, QA/QC 수행, 불확도 등의 항목을 평가하며 배출계수 평가 원칙은 정확성, 적합성, 객관성, 상응성, 투명성 등을 기준으로 평가된다.

이를 기준으로 온실가스 정보센터에서 제시한 검증요소를 분석하여 산업부문의 에틸렌 생산에 의한 CO<sub>2</sub> 배출계수 검증 및 정량평가 방법론을 제안하였다 (Table 3). 평가 항목은 8개이며 각 항목 내 요소는 총 12개이다. 각 요소의 중요도에 따라 5점 혹은 10점의 배점을 주었다.

각 항목들은 필수검증과 품질평가로 구분하였으며 필수검증은 국가배출계수로 활용가능 여부를 확인하기 위한 필수 항목이고 품질평가는 국가배출계수로 활용 가능할 것이라고 판단된 배출계수의 품질점수를 평가하기 위한 항목이다.

필수검증의 경우 모든 평가항목들을 만족하여 각 항목에 배점된 만점을 받아야 품질평가 단계로 넘어가서 평가를 계속 진행 할 수 있다. 그렇기 때문에 필수검증 단계에서는 감점에 대한 적절한 보완과 온실가스 정보센터와의 지속적인 협의가 필요하다. 만약 필수검증 부분에서 최종적으로 한 가

지라도 감점이 있을 경우 국가 배출계수로써 활용이 불가하다고 판단하고 품질평가를 더 이상 진행하지 않고 보류한다.

필수검증 항목을 살펴보면, 행정적 적합성 검증은 개발된 배출계수 검증신청서와 함께 필요한 서류들을 모두 제출하였는지 여부를 확인하며 10점 배점한다. 이때 필요한 서류로는 배출계수 검증평가 신청서와 함께 배출계수 개발을 위한 측정·분석 관련 자료, 배출계수 산정 수행 자료, 생산 공정 관련자료, 사업장배출계수활용의 경우 명세서 등이 있다.

배출계수 결정방법 검증은 투명성과 비교가능성 두 가지 요소로 이루어져 있다. 투명성 검증의 경우 IPCC 가이드라인에서 제시한 배출량 및 배출계수 산정방법론 (Tier 2의 물질수지법)을 설명하고, 에틸렌 배출계수 산정을 위해 수행한 방법론과 수행방법이 가이드라인에서 제시한 방법과 일치하는지, 설명된 수행내용을 통하여 제 3자에 대해서도 동일하게 산정 할 수 있는지의 여부를 확인한다. 비교가능성 검증은 개발한 배출계수가 IPCC 가이드라인에 제시된 배출계수, 선진국에서 개발된 배출계수 등과 비교 가능하며 차이를 설명할 수 있는지의 여부를 확인한다. 배출계수 검증항목의 두 가지 요소에 대해 각각 10점 배점한다.

분야별 배출특성 검증은 개발한 배출계수의 산정로직 완성성 설명여부를 확인하며 나프타 분해공정 생산시설 개요, 공정에 따른 배출특성과 배출가스 종류, 화학반응식 등의 자료가 필요하다.

시료채취 및 분석방법 검증은 시료채취 및 분석 방법이

Table 3. CO<sub>2</sub> Emission Factor Verification and Quantitative Assessment in Ethylene Product Processes

Type	Category	Factor	Maximum Score	
Compulsory Verification	Administrative document	Completeness	10	
		Transparency	10	
	Determination methodology of Emission Factors	Comparability	10	
		Emission characteristic	Completeness	10
		Sampling and Measurement	Transparency	10
	Minimum requirements		5	
	Data representative	Minimum number of measurement cycle	5	
		Data management	Minimum sampling number	10
	Quality Evaluation		Adequate data	10
		Accuracy of Measurement & Analysis	Accuracy of analyzer	5
Public certification test			5	
Uncertainty		Accuracy	10	
Total			100	

KS 규격 및 국제 공인규격을 준수하였는지 여부를 확인한다. 공인 규격을 사용하지 않고 자체 분석법 사용 시에는 불확도의 기준 제시여부를 확인하며 10점을 배점한다.

자료의 대표성 검증은 최소요구수준과 시간적 대표성(최소분석 주기)으로 구성되며, 전자의 경우 측정 장비와 분석자의 신뢰성 여부를 확인하고 사용된 데이터의 입력 단위와 전환계수가 정확한지의 여부를 확인한다. 또한 배출계수 개발 가이드라인에서 요구하는 최소분석주기 준수 여부를 확인하는 시간적 대표성 검증하고 각각 5점 배점한다.

다음으로 품질평가 항목을 살펴보면, 자료의 품질관리 평가는 표본수의 정밀도, 신뢰도가 적절한지 확인하는 표본수의 적절성과 자료의 측정 및 분석 값의 데이터에 이상치를 제거하였는지 여부를 확인하는 자료처리의 적절성을 포함하고 각각 5점 배점한다. 이때, 표본수 적절성 검증에서의 신뢰수준은 90% 이내, 정밀도는 10% 이내를 기준으로 한다.

측정·분석의 정확성 평가는 분석에 대한 오차범위를 제시하고 이 오차가 허용오차 이내인지 여부를 확인하는 분석기기의 정확성평가와 측정·분석이 국가공인기관의 분석법을 준수하였는지 여부를 확인하는 공인성 평가를 포함하며 각각 5점 배점한다. 공인성 평가를 위하여 공인인증 받은 기관의 인증서 제출이 필요하다.

마지막으로 불확도 수준 평가는 불확도를 통계적인 방법으로 산정 하였는지, 불확도의 상/하한 값을 모두 산정 하였는지 여부를 확인하고 10점 배점한다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 IPCC 가이드라인을 분석하고 배출계수 산정 방법과 배출계수 산정 사례를 분석하여 석유화학 산업의 에틸렌 생산에 대한 CO<sub>2</sub> 배출계수 검증 및 정량평가 방법론을 제시하였다.

국내 에틸렌 생산에 업체의 경우 6개 업체 중 5개 업체가 목표관리제 시행 업체이기 때문에 명세서를 활용한 배출계수 개발이 가능 할 것으로 사료된다. 또한 명세서는 이미 제 3자의 검증을 마친 자료이기 때문에 필수검증 항목을 완벽하게 수행하여 통과한다면 품질평가 항목에서는 높은 점수를 받을 수 있을 것으로 판단된다.

향후 본 연구의 배출계수 정량평가 방법을 활용함으로써 보다 신뢰성이 향상된 대기오염물질 배출량을 산정 및 예측하여, 환경영향평가, 대기오염물질 배출원 관리 및 대기보전 정책 수립 등에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

본 연구는 환경부 “기후변화대응 환경기술개발사업(201600-1300004)”으로 지원 받아 수행된 연구입니다.

## REFERENCES

- Copernicus Institute, Department of Science, Technology, and Society. Neelis M, Patel M, De Feber. 2003. Improvement of CO<sub>2</sub> Emissions Estimates from the Non-energy Use of Fossil Fuels in the Netherlands. Greenhouse Gas Inventory and Research Center. 2015. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea. Greenhouse Gas Inventory and Research Center. 2016. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea. Journal of Energy Engineering 11(1), 34-46
- IPCC. 1996. 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- IPCC. 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories.
- Korea Energy Agency. 2013. Development of Country-specific Emission Factors.
- Korea Energy Agency. 2016. Improvement of the test method for the sampling and analysis of greenhouse gas.
- Lee EJ, Lee HJ, Park KH, Choi BY, Ra CS. 2011. A Research on the Status of Greenhouse Gas Emission Factors from Livestock Sector to Create a National Greenhouse Gas Inventories. Journal of livestock housing and environment 17, 21-34
- Lee SH, Kim JY, Yi SM, Choi EH, Kim YS. 2014. Determination of Weighted Value to Estimate Each Emission Factor of Landfill. Journal of Climate Change Research 5(3), 199-208
- Ministry of Environment. 2015. Development of technology for advancing GHG inventory in IPPU for the application of 2006 IPCC Guidelines
- Neelis ML, Patel M, Gielen DJ, Blok K. 2005. Modelling CO<sub>2</sub> emissions from non-energy use with the non-energy use emission accounting tables (NEAT) model. Resources, Conservation and Recycling 45, 226-250
- Park HC. 2002. Non-energy Use and CO<sub>2</sub> Emissions: NEAT Results for Korea.