

바이오중유 발전소의 Non-CO₂ 배출계수 개발 및 비교

김수빈* · 조승현** · 강성민*** · 전의찬****†

*세종대학교 기후에너지융합학과 석사과정학생, **세종대학교 기후에너지융합학과 박사과정학생,

세종대학교 기후환경융합센터 선임연구원, *세종대학교 기후에너지융합학과 교수

Comparison of Non-CO₂ Emission Factors in a Power Plant using Bio-Fuel Oil

Kim, Subin* · Jo, Seunghyun** · Kang, Sungmin*** and Jeon, Eui-Chan****†

*Master Student, Department of Climate and Energy, Sejong University Graduate School, Seoul, Korea

**Ph.D. student, Cooperate Course for Climate Change, Sejong University, Seoul, Korea

***Senior Researcher, Department of Climate and Environment Research Center, Sejong University, Seoul, Korea

****Professor, Dept. of Climate and Environment, Sejong University, Seoul, Korea

ABSTRACT

This study studied a specific power plant that changed fuels from B-C oil to bio-fuel oil. Carbon dioxide emitted by bio-fuel oil combustion is not included in total greenhouse gas emissions due to the application of the carbon neutral concept and is to be reported separately. Therefore, total greenhouse gas emissions for bio-fuel oil are calculated based on non-CO₂ emissions. To reliably calculate emissions, it is necessary to develop a country-specific emission factor that reflects national characteristics.

Currently, there is no country-specific emission factor for bio-fuel oil. This study identified and analyzed non-CO₂ emission factors for bio-fuel oil. In total, non-CO₂ emission factors of this study are observed 0.671 kgCH₄/TJ and 0.171 kgN₂O/TJ.

Key words: Bio-Fuel Oil, Power plant, Emission Factor, Greenhouse Gas, Non-CO₂ Emission Factor

1. 서론

국제사회는 전 지구적인 기후변화에 대응하기 위하여 선진국 및 개도국 모두 자발적으로 감축의무를 부과하는 파리협정을 채택하였고, 산업화 이전 대비 지구 평균온도 상승을 1.5°C 이내로 제한하기 위해 2050년까지 온실가스 배출량과 흡수 및 제거량의 합이 0이 되는 탄소중립을 실현해야 한다고 제시하였다(IPCC, 2018). 정부는 2050 탄소중립 추진전략을 마련하고, 2030 국가온실가스감축목표(NDC, Nationally Determined Contribution) 상향안을 발표하여 온실가스 감축량을 2018년 온실가스 총배출량 대비 40%로 증가시켰다. 이를 실현하기 위해서는 온실가스 배출 부문 중 배출량이 가장 많은 에너지부문에서의

온실가스 감축이 시급하다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2021).

정부는 에너지부문 온실가스 감축을 위한 신재생에너지 보급을 확대하고 있다. 이를 위한 방안으로 2014년부터 2018년까지 ‘발전용 바이오중유 시범보급사업’ 추진을 통해 바이오중유의 석유 대체연료로서의 가능성을 확인하고, 체계적이고 효율적으로 관리하고자 하였다. ‘발전용 바이오중유 시범보급사업’ 이후 2019년 신재생에너지법 시행령을 개정하여 신재생에너지로 바이오중유를 명시하였다(Ministry of Trade, Industry and Energy, 2019). 바이오중유는 현재까지 발전용 석유대체연료로서 발전소 등에서 사용되고 있는 실정이다.

바이오연료의 연소로 배출되는 CO₂는 Carbon Neutral

†Corresponding author : ecjeon@sejong.ac.kr (209, Neungdong-ro, Gwangjin-gu, Seoul, 05006, Korea. Tel. +82-2-3408-4353)

ORCID 김수빈 0000-0001-6227-7601
조승현 0000-0001-9004-9948

강성민 0000-0001-8628-8241
전의찬 0000-0003-2783-4550

에 의해 온실가스 배출량 총계에 포함되지 않고 별도 보고하기 때문에(IPCC, 2006), 바이오연료의 온실가스 배출량은 Non-CO₂ 배출량만을 산정하여 인벤토리에 포함한다. 신뢰도 높은 바이오연료의 온실가스 배출량을 산정하기 위해서는 Non-CO₂ 온실가스의 배출을 정량화한 계수인 배출계수가 필요하다. IPCC에서는 연료별로 배출계수 기본값을 제시하고 있으나, 국가별 특성을 반영한 국가 고유 배출계수를 개발하여 사용할 것을 권장하고 있다. 그러나 IPCC의 바이오중유의 배출계수 기본값이 제시되어 있지 않기 때문에, 기타 액체 바이오연료의 배출계수를 사용해야 한다. 기타 액체 바이오연료는 바이오디젤과 바이오에탄올 등을 포함하고 있어 IPCC에서 제시하는 기타 액체 바이오연료 배출계수로 바이오중유 배출계수를 대체하기에 무리가 있다고 판단된다. 또한 온실가스종합센터에서도 국내 특성을 반영한 바이오중유의 배출계수가 제시되어 있지 않기 때문에, 바이오중유를 이용한 발전에 대한 신뢰도 높은 온실가스 배출량 산정을 위해 바이오중유의 국가고유 배출계수의 개발이 필요한 실정이다.

본 연구에서는 ‘발전용 바이오중유 시범보급사업’이 시행됨에 따라 B-C유에서 바이오중유로 연료를 전환한 발전소의 특정 호기를 대상으로 하였으며, 2015년 B-C유를 연료로 한 발전의 Non-CO₂ 배출계수와 2021년 바이오중유를 연료로 한 발전의 Non-CO₂ 배출계수를 각각 산정 및 비교하고 IPCC의 기본값과도 비교하여 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1. 대상시설 선정

연료 변경에 따른 Non-CO₂ 배출계수 차이를 확인하기 위해 B-C유에서 바이오중유로 연료를 변경한 발전소의 특정 호기를 대상으로 하였으며, B-C유를 전소하여 사용한 2015년과 바이오중유를 전소하여 사용한 2021년에 채취한 배기가스 시료로 연구를 진행하였다. 대상시설의 설비용량은 150 MW이며, 연소방식은 Tangential Firing이다. Non-CO₂ 배출계수는 연소시설과 기술에 영향을 많이 받기 때문에 발전소 내 특정 호기만을 대상으로 선정하였다.

Table 1. Capacity and fuel used of power plant

Power plant	Capacity	Combustion method	Fuel type	Remarks
(A)	150 MW	Tangential Firing	B-C Oil	Planned fuel
			Bio-fuel Oil	Converted fuel

2.2. 배기가스 시료채취 방법

B-C유를 연료로 사용한 2015년과 바이오중유를 연료로 사용한 2021년 모두 배기가스 시료 채취는 간헐적 포집 방법인 EPA Method 18 (US EPA, 2011)방법을 이용하였다. EPA Method 18 방법은 최근에 제정된 온실가스 공정시험기준인 굴뚝 배출가스 시료채취방법 중 테들러

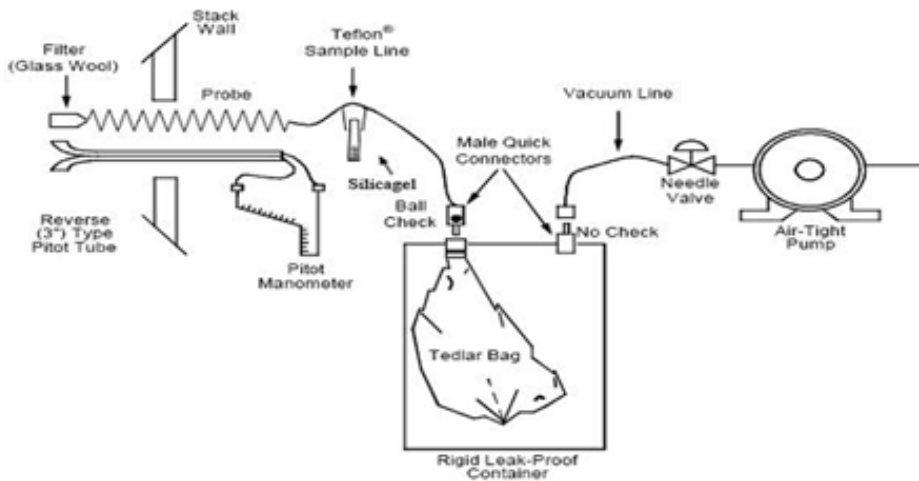


Fig. 1. Greenhouse gas collection using Lung Sampler

백 방법과 유사한 방법이다. 굴뚝시료채취용 관을 배기 굴뚝에 삽입하고 가스를 흡습병을 통과시켜 수분을 제거한 후, Lung Sampler를 이용하여 가스를 채취하는 방법이며, 각 시료 채취는 배출가스의 온도, 수분량, 대기온도, 유속, 압력 등 우리나라 대기공정시험법에 준하거나 이와 동등한 방법을 적용하여 진행하였다. 또한, 5 L의 Tedlar bag (SKC, US)을 사용하여 포집하였다. B-C유를 이용한 발전의 배기가스의 경우 2015년도 3일에 걸쳐 총 17회 포집하였고, 바이오중유를 이용한 발전의 배기가스의 경우 2021년도 3일에 걸쳐 총 28회 포집하였다.

2.3. 배기가스 농도 분석 방법

B-C유와 바이오중유 배기가스의 Non-CO₂ 농도 분석은 Gas Chromatography (CP-3800, Varian)를 이용하였으며, 분석 조건은 Table 2에 나타내었다. CH₄ 농도는 GC-FID를 이용하여 측정하였다. 컬럼은 Porapack Q 80/100을 사용하였고, 컬럼과 수소의 유량은 각각 30 mL/min, 공기는 300 mL/min로 설정하였다. 오븐, 시료주입부, FID는 각각 80℃, 100℃, 250℃로 설정하였으며 이동상 가스는 질소(N₂, 99.999%)를 이용하였다.

N₂O 농도는 GC-ECD를 이용하여 측정하였으며, 컬럼은 Porapack Q 80/100 Mesh를 사용하였다. 이동상 가스는 질소(N₂, 99.999%)를 사용하였으며, 유량은 20 mL/min으로 설정하였다. 오븐, 시료주입부, ECD는 각각 70℃, 120℃, 320℃로 설정하여 운전하였다.

2.4. Non-CO₂ 배출계수 산정 방법

고정연소부문에서 사용하는 배출계수는 열량을 기반으

로 하기 때문에 연료분석 데이터가 필요하다. Non-CO₂ 배출계수를 개발하기 위한 연료 분석 및 총발열량 데이터만을 해당 발전소로부터 제공받아 사용하였다.

연소된 연료의 이론 배기가스량과 이론 공기량, 공기비는 연료분석 데이터를 이용하여 계산하였으며, 연소된 연료의 순발열량은 총발열량 데이터를 이용하여 최종적으로 CH₄와 N₂O 배출계수를 산정하였다. Non-CO₂ 배출계수 산정 식(1)과 같으며, 산정 식(2)는 산정 식(1)에 필요한 공기비를 계산하는 식이다.

$$EF_{Non-CO_2} = \frac{C_{Non-CO_2} \times \{G_0 + (m-1) \times A_0\} \times MW}{V_m} \times \frac{1}{NCV} \quad (1)$$

- EF_{Non-CO_2} : Non-CO₂ 배출계수(kg/TJ)
- C_{Non-CO_2} : 배기가스 중의 CH₄ 또는 N₂O 농도(ppm)
- G_0 : 연소된 연료의 이론 배기가스량(건조)(Nm³/kg)
- A_0 : 연소된 연료의 이론 공기량(Nm³/kg)
- m : 공기비 실제 공기량/이론 공기량(-)
- MW : CH₄ 또는 N₂O 분자량(정수)(g/mol)
- V_m : 이상 기체 1몰의 표준 상태에서의 체적(정수) = 22.4 (10⁻³ m³/mol)(표준상태: 0℃, 1기압)
- NCV : 연소된 연료의 순발열량(MJ/고유 단위)

$$m = \frac{21}{21 - C_{O_2}} \quad (2)$$

C_{O_2} : 배출가스 중의 O₂ 농도(%)

Table 2. Analysis Conditions of FID and ECD

		CP-3800, Varian	
Systems		GC-FID	GC-ECD
Column		Porapack Q 80/100	Porapack Q 80/100 Mesh
Carrier Gas		N ₂ (99.999%)	N ₂ (99.999%)
	Column	30 mL/min	20 mL/min
Flow	H ₂	30 mL/min	-
	Air	300 mL/min	-
Temperature	Oven	80℃	70℃
	Injector	100℃	120℃
	Detector	250℃	320℃

3. 연구 결과 및 고찰

3.1. B-C유와 바이오중유 연료분석

3.1.1. 원소 분석 결과

B-C유와 바이오중유의 원소 분석은 해당 발전소의 배기가스 시료를 채취한 3일간 사용한 연료의 조성성분확인서를 제공받아 분석하였으며, ASTM D5291-16(Method D) 방법을 이용한 것을 확인하였다. 바이오중유의 경우, 발전용 바이오중유 품질규격에 맞춰 분석 및 관리되고 있는 것을 확인하였으며, 원소분석 결과는 Table 3에 제시하였다. B-C유의 원소 분석의 평균 탄소 함량은 87.40%으로 확인하였으며, 수소 함량은 11.85%, 질소 함량은 0.75%, 황 함량은 0.29%로 확인하였다. 바이오중유의 원소 분석의 탄소 함량은 78.40%, 수소 함량은 12.10%, 질소 함량은 0.14%, 황 함량은 0.02%로 확인하였다. 탄소와 수소는 유사한 함량으로 확인하였으며, 질소 함량의 경우 B-C유보다 바이오중유가 약 81% 낮게 나타났다. 질소 함량의 차이로 바이오중유 연소 시 NOx가 30% 가량 저감되는 것으로 확인하였다(Ha et al., 2015). 황 함량은 B-C유보다 바이오중유가 약 93% 낮게 나타났으며, 이는 B-C유를 연소시킬 때보다 바이오중유를 연소시킬 때 배출되는 황산화물이 저감되기 때문에 바이오중유의 중요한 특성이라고 볼 수 있다.

Table 3. Elementary analysis of B-C oil and Bio-fuel oil (Unit: %)

Fuel type	C	H	N	S
B-C oil	87.47	11.85	0.75	0.29
Bio-fuel oil	78.40	12.10	0.14	0.02

3.1.2. 발열량 분석 결과

B-C유와 바이오중유의 발열량 분석은 해당 발전소의 배기가스 시료를 채취한 3일간 사용한 연료의 조성성분확인서를 협조받았으며, KS M 2057:2006 방법을 이용하여 분석한 것을 확인하였다. 결과는 Table 4에 제시하였다. B-C유의 순발열량은 10,068 kcal/kg(42.15 MJ/kg)으로 나타났으며, 바이오중유의 순발열량은 8,984 kcal/kg

(37.61 MJ/kg)으로 나타났다. B-C유의 순발열량이 바이오중유의 순발열량보다 높은 것으로 확인하였다.

Table 4. Net calorific value of B-C oil and Bio-fuel oil

Fuel type	Net Calorific Value	
	kcal/kg	MJ/kg
B-C oil	10,068	42.15
Bio-fuel oil	8,984	37.61

3.2. B-C유와 바이오중유 배기가스의 농도 분석

3.2.1. CH₄ 농도 분석

바이오중유와 B-C유의 CH₄ 배출계수 개발 및 비교 분석을 위해 채취한 시료의 농도 분석 결과를 Table 5와 Table 6에 제시하였다. 17개의 시료를 대상으로 B-C유의 CH₄ 농도를 각각 3번씩 측정하여 분석한 결과, 범위는 0.337 ~ 0.684 ppm이며, 평균 CH₄ 농도는 0.481 ppm, 표준편차는 0.117로 나타났다. 28개의 시료를 대상으로 바이오중유의 CH₄ 농도를 3번씩 측정하여 분석하였으며, 측정농도 범위는 1.656 ~ 4.471 ppm, 평균 CH₄ 농도는 2.288 ppm, 표준편차는 0.654로 나타났다.

Table 5. CH₄ concentration of power plant with B-C oil (Unit: ppm)

CH ₄ concentration		B-C oil	Number of samples
1	mean	0.420	6
	SD	0.054	
2	mean	0.609	6
	SD	0.091	
3	mean	0.401	5
	SD	0.050	
min.		0.337	
max.		0.684	
mean		0.481	
SD		0.117	

Table 6. CH₄ concentration of power plant with Bio-fuel oil
(Unit: ppm)

CH ₄ concentration		Bio-fuel oil	Number of samples
1	mean	2.010	10
	SD	0.070	
2	mean	2.450	9
	SD	0.908	
3	mean	2.435	9
	SD	0.606	
min.		1.656	
max.		4.471	
mean		2.288	
SD		0.654	

3.2.2. N₂O 농도 분석

B-C유 배기가스의 17개 시료를 대상으로 각각 3번씩 농도 측정을 하였으며, Table 7과 Table 8으로 나타났다. N₂O 농도의 범위는 0.209 ~ 6.005 ppm이며, 평균 N₂O 농도는 1.223 ppm, 표준편차는 1.760으로 나타났다. 바이오중유 배기가스의 28개 시료를 대상으로 3번씩 농도측정한 결과값은 Table 5로 나타났다. N₂O 농도의 범위는 0.116 ~ 0.365 ppm이며, 평균 N₂O 농도는 0.216 ppm, 표준편차는 0.047으로 나타났다.

Table 7. N₂O concentration of power plant with B-C oil
(Unit: ppm)

N ₂ O concentration		B-C oil	Number of samples
1	mean	3.003	6
	SD	1.983	
2	mean	0.239	6
	SD	0.027	
3	mean	0.301	5
	SD	0.030	
min.		0.209	
max.		6.005	
mean		1.233	
SD		1.760	

Table 8. N₂O concentration of power plant with Bio-fuel oil
(Unit: ppm)

N ₂ O concentration		Bio-fuel oil	Number of samples
1	mean	0.199	10
	SD	0.040	
2	mean	0.243	9
	SD	0.048	
3	mean	0.208	9
	SD	0.041	
min.		0.116	
max.		0.365	
mean		0.216	
SD		0.047	

3.3. Non-CO₂ 배출계수 산정

3.3.1. CH₄ 배출계수 산정 결과 및 비교

CH₄ 배출계수는 Table 9에서 보는 바와 같이 B-C유를 연료로 사용할 때 0.118 kgCH₄/TJ로 산정되었으며, 표준편차는 0.031로 나타났다. 바이오중유를 연료로 사용할 때의 CH₄ 배출계수는 0.671 kgCH₄/TJ로 산정되었으며, 표준편차는 0.210으로 나타났다. 바이오중유를 사용할 때의 CH₄ 배출계수는 B-C유를 사용할 때의 CH₄ 배출계수보다 5배 이상 높게 산정되었다. IPCC에서 제시하고 있는 기타 액체 바이오연료의 CH₄ 배출계수 기본값은 3(1 ~ 10) kgCH₄/TJ로, 본 연구에서의 바이오중유 CH₄ 배출계수는 IPCC의 기타 액체 바이오연료의 CH₄ 배출계수 기본값보다 약 5배 작게 산정된 것을 확인하였다. 바이오중유는 B-C유에 비해 탄소 함량이 낮고, 산소 함량이 높다. 연료의 탄소 함량이 낮을수록 발열량이 낮게 측정되며, 산소는 조연성 물질로 탄소 및 수소와 결합하여 발열량을 감소시킨다(Ha et al., 2015). 배출계수 산정식에 따르면 발열량이 낮을수록 CH₄ 배출계수는 증가하기 때문에 B-C유의 CH₄ 배출계수보다 바이오중유의 CH₄ 배출계수가 높게 산정된 것으로 추정된다.

Table 9. Results of calculated CH₄ emission factor of B-C oil and Bio-fuel oil

(Unit: kgCH₄/TJ)

CH ₄ Emission Factor	B-C oil	Bio-fuel oil	IPCC Other Liquid Biofuels
min.	0.086	0.954	-
max.	0.172	0.472	-
mean	0.118	0.671	3(1 ~ 10)*
SD	0.031	0.210	-

* Differences in the average emission factor by industry in IPCC

3.3.2. N₂O 배출계수 산정 결과 및 비교

Table 10에 제시한 바와 같이, N₂O 배출계수는 B-C유를 연료로 사용할 때 0.799 kgN₂O/TJ로 산정되었고, 표준편차는 1.156으로 나타났다. 바이오중유로 연료를 변경하고 난 후의 N₂O 배출계수는 0.171 kgN₂O/TJ로 산정되었으며, 표준편차는 0.039로 나타났다. B-C유에서 바이오중유로 연료를 변경한 후 N₂O 배출계수가 약 5배 낮게 나타났다. 이는 바이오중유가 B-C유보다 연료 내 질소 함량이 적어(Ha et al., 2015), 바이오중유의 N₂O 배출계수가 B-C유의 N₂O 배출계수보다 작게 산정된 것으로 판단된다. 본 연구의 바이오중유 N₂O 배출계수는 IPCC의 기타 액체 바이오연료 N₂O 배출계수인 0.6(0.2 ~ 2) kgN₂O/TJ보다 약 3.5배 작게 산정된 것을 확인하였다. 질소산화물 감소를 위해 B-C유에서 바이오중유로 연료를 변경하고자 한 정부의 정책을 정량적으로 증명·확인하였다.

Table 10. Results of calculated N₂O emission factor of B-C oil and Bio-fuel oil

(Unit: kgN₂O/TJ)

N ₂ O Emission Factor	B-C oil	Bio-fuel oil	IPCC Other Liquid Biofuels
min.	0.141	0.094	-
max.	3.839	0.286	-
mean	0.799	0.171	0.6(0.2 ~ 2)*
SD	1.156	0.039	-

* Differences in the average emission factor by industry in IPCC

4. 결론

본 연구는 B-C유에서 바이오중유로 연료를 변경한 발전소를 대상으로 하였으며, ‘발전용 바이오중유 시범보급 사업’을 통해 바이오중유로 연료를 변경하기 전과 후의 Non-CO₂ 배출계수를 산정하여 비교 분석하였다.

B-C유의 CH₄ 배출계수는 0.118 kgCH₄/TJ, 바이오중유의 CH₄ 배출계수는 0.671 kgCH₄/TJ로 산정되었다. 바이오중유의 CH₄ 배출계수가 B-C유 CH₄ 배출계수보다 약 5배 높게 나타났고, IPCC의 기타 액체 바이오연료의 CH₄ 배출계수 기본값보다 약 5배 작게 산정되었다. 바이오중유는 B-C유에 비해 탄소 함량이 낮고, 산소 함량이 높아, 연료의 탄소 함량이 낮을수록 발열량이 낮게 측정되기 때문에, 바이오중유의 CH₄ 배출계수가 B-C유의 CH₄ 배출계수보다 작게 산정된 것으로 판단된다.

N₂O 배출계수는 B-C유 연료를 사용할 때는 0.799 kgN₂O/TJ, 바이오중유를 사용할 때는 0.171 kgN₂O/TJ로 산정되었다. B-C유에서 바이오중유로 연료를 변경한 후 N₂O 배출계수가 약 5배 낮게 산정되었으며, IPCC의 기타 액체 바이오연료 N₂O 배출계수 기본값보다 약 3.5배 작게 산정되었다. 바이오중유는 B-C유보다 질소 함량이 적으며, 질소산화물 발생이 적다. 바이오중유로의 연료전환이 N₂O 저감에 실제로 영향이 있다는 것을 정량적으로 확인하였다.

IPCC에서 제시하고 있는 기타 액체 바이오연료의 기본 배출계수보다 본 연구에서 산정한 국가 고유 바이오중유 배출계수가 CH₄ 배출계수는 약 5배, N₂O 배출계수는 약 3.5배 작게 산정되었다. 온실가스 배출량은 배출계수를 이용하여 산정하기 때문에, 바이오중유 발전의 온실가스 배출량이 과산정되었다고 판단할 수 있다. 국내 실정을 반영한 국가 고유 바이오중유 배출계수의 개발로 과산정된 온실가스 배출량을 감축할 수 있으며, 신뢰도 높은 온실가스 인벤토리를 구축할 수 있을 것으로 판단된다.

본 연구는 발전소의 특정 호기만을 대상으로 Non-CO₂ 배출계수를 개발하였기 때문에, 국가 인벤토리 신뢰도 향상을 위한 국가고유 배출계수 개발을 위해서는 더 많은 바이오중유를 연료로 사용하는 시설들을 대상으로 Non-CO₂ 배출계수 개발이 필요할 것으로 판단된다.

사사

환경부 「기후변화특성화대학원사업」의 지원으로 수행되었습니다.

References

- Greenhouse Gas Inventory and Research Center (GIR). 2021. National greenhouse gas inventory report of Korea. Seoul, Korea: Greenhouse Gas Inventory and Research Center. National report.
- Ha JH, Jang EJ, Kwon YC. 2015. A Study on the Performance Evaluation and Quality for Power Bio-Fuel Oil. *Journal of the Korean Applied Science and Technology* 32(3): 588-598.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2006. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Geneva, Swiss; Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2018. Global Warming of 1.5°C. Geneva, Swiss; Intergovernmental Panel on Climate Change.
- Jang EJ, Park JY, Min KI, Yim ES, Ha JH, Lee BH. 2014. A Study on the Quality Characteristic of Power Bio-Fuel Oil for Alternative Fuel oil. *Journal of the Korean Applied Science and Technology* 31(4): 562-571.
- Kim JS. 2009. Development of CO₂ & Non-CO₂ Emission Factors for B-C Oil Fired Power Plants. Sejong University.
- Korea Energy Economics Institute. 2021. Yearbook of Energy Statistics. Ulsan, Korea: Korea Energy Economics Institute.
- Ministry of Culture, Sports and Tourism, Republic of Korea. 2021. 2050 Carbon Neutral, Policy DB; [accessed 2022 Nov 10]. <https://www.korea.kr/special/policyCurationView.do?newsId=148881562#sitemap-layer>
- Oh SK. 2009. Development of GHG Emission Factor of Bio-Fuel Power Plant -In case of CH₄ and N₂O-. Sejong University.
- The Ministry of Trade, Industry and Energy. 2019. Notification on the pilot dissemination projects of bio-fuel oil; [accessed 2022. Nov 10]. <https://www.law.go.kr/LSW/admRulLsInfoP.do?admRulSeq=2100000174389>
- US EPA. 2011. Emission Factors for Greenhouse Gas Inventories. [accessed 2022 Oct 10]. <https://www.epa.gov/>