

2012 ~ 2013년 국내 석유계 에너지원의 열량 및 탄소배출계수 개발

Development of Calorific Values and Carbon Emission Factors for Petroleum Energy in Korea from 2012 to 2013

임완규^{1),2)} · 도진우¹⁾ · 강형규¹⁾ · 하종한¹⁾ · 이상섭^{2),*}

¹⁾한국석유관리원 석유기술연구소, ²⁾충북대학교 환경공학과

(2014년 3월 28일 접수, 2014년 5월 19일 수정, 2014년 6월 17일 채택)

Wan-Gyu Lim^{1),2)}, Jin-Woo Doe¹⁾, Hyung-Kyu Kang¹⁾,
Jong-Han Ha¹⁾ and Sang-Sup Lee^{2),*}

¹⁾*Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality &
Distribution Authority*

²⁾*Department of Environmental Engineering, Chungbuk National University*

(Received 28 March 2014, revised 19 May 2014, accepted 17 June 2014)

Abstract

Country-specific data for net calorific values and carbon emission factors requires for a higher tier estimate of greenhouse gas emissions in the energy sector. The objective of this study is to develop country-specific net calorific values and carbon emission factors for petroleum energy produced in Korea. Calorific values and carbon contents of the fuels were measured using the oxygen bomb calorimeter method and the CHN elemental analysis method, respectively. Sulfur and hydrogen contents, which were used to calculate the net calorific value, were also measured and then net calorific values and carbon emission factors were determined based on the measurement results. The net calorific values and carbon emission factors determined for the petroleum produced in Korea 2012 and 2013 were compared to those in the 2006 IPCC Guidelines. Most of the values were different compared with the default values of the 2006 IPCC Guidelines although those were placed within their upper and lower limits. Time series analysis results showed inconsistent seasonal variation for the net calorific values and carbon emission factors.

Key words : Petroleum, Calorific value, Carbon emission factor, Greenhouse gas

1. 서 론

기후변화에 관한 정부간 협의체 (IPCC)에서는 유엔 기후변화 협약 (UNFCCC)과 교토의정서의 이행을 지원하기 위해 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 지

*Corresponding author.

Tel : +82-(0)43-261-2468, E-mail : slee@chungbuk.ac.kr

침을 발간하였다. IPCC 지침 (IPCC Guidelines)은 온실가스 배출원 및 흡수원을 에너지, 산업공정 및 제품 사용, 농업, 산림 및 기타 토지 이용, 폐기물 등의 분야로 구분하여 각 분야별로 국가 온실가스 인벤토리를 작성하기 위한 방법론을 제공한다(Eggleston *et al.*, 2006).

에너지 분야는 우리나라 전체 온실가스 배출량의 85%, 이산화탄소(CO₂) 배출의 90% 이상의 기여도를 보이며(GIR, 2011), 온실가스 배출인벤토리에서 중요한 위치를 차지한다. 에너지 분야에서 배출되는 온실가스의 95% 이상은 CO₂ 배출량이 차지하는데, 이는 연소과정에서 대부분의 탄소가 CO₂로 즉시 배출되기 때문이다(Eggleston *et al.*, 2006).

CO₂ 배출계수는 연료의 탄소 함유량에 의존하며, CO₂ 배출량은 연료의 종류, 연소된 양, 연료의 배출계수를 기준으로 가장 정확하게 산출할 수 있다. 또한, CO₂ 배출계수를 산정하기 위해서는 발열량에 대한 정보도 필요하게 된다. 발열량은 연료가 완전 연소할 때 발생하는 열량으로 연소 가스 중의 수증기가 갖는 응축 잠열 및 현열을 포함하는 발열량을 총 발열량(gross calorific value)이라고 하고, 응축 잠열 및 현열을 제외한 발열량을 순발열량(net calorific value)이라고 한다. 에너지 통계 및 기타 에너지 자료에서 연료의 생산 및 소비량은 에너지 단위로 나타내므로, 연료의 배출계수도 kg/TJ과 같이 단위 에너지 당 질량 형태로 나타낸다. IPCC 지침은 순발열량을 기준으로 탄소배출계수를 제시하고 있으므로, 본 연구에서는 순발열량을 사용하였다.

우리나라는 2011년에 1996 IPCC 지침에서 제공하는 기본값을 사용하여 Tier 1 수준의 국가 온실가스 인벤토리를 작성하였다(GIR, 2011). Tier 1은 IPCC에서 제시하는 기본배출계수를 사용하여 배출량을 산정하는 것이며, Tier 2는 국가 고유 배출계수를 사용하여 배출량을 산정하는 것이므로, 국가 온실가스 인벤토리를 Tier 2 이상의 수준으로 향상시키기 위해서는 IPCC 기본값 대신 국가 고유의 배출계수가 이용되어야 한다. 국가 고유 배출계수는 에너지원 종류, 에너지 공정, 시간 추세에 따라 달라지기 때문에(Kim *et al.*, 2013), 각 에너지원별 특성값을 파악하는 것은 정확한 인벤토리 구축에 중요한 부분을 차지한다.

본 연구에서는 대표적인 화석연료인 석유계 에너지원에 대한 열량 기준 및 탄소 배출계수를 개발하고

자 하였다. 2012년과 2013년 국내에서 생산된 석유계 에너지원을 대상으로 하여 계절별로 시료를 수집하고, 발열량 및 탄소함량을 측정하였다. 석유계 에너지원별로 산출된 순발열량과 탄소배출계수는 2006 IPCC 지침에 나타난 값들(Kainou, 2005)과 비교하였다.

2. 실험방법

2.1 대상 에너지원의 선정 및 시료의 수집

본 연구에서는 국내에서 생산 및 소비가 이루어지는 석유계 액체 연료 17종을 대상 에너지원으로 선정하였다. 연구에 사용된 시료는 각 제품이 생산되는 정유공장 및 석유화학회사로부터 수집하였으며, 시료는 금속제 캔을 이용하여 채취하였다. 시료의 수집은 계절별로 겨울은 1월~2월, 봄은 4월~5월, 여름은 7월~8월, 가을은 10월~11월의 기간 동안 이루어졌다. 채취된 시료는 휘발성 시료의 경우 5°C 냉장고에, 비휘발성 시료의 경우 냉암소에 보관하였다. 본 연구에 사용된 에너지원의 종류, 시료채취 대상 사업장 수 및 시료 수를 표 1에 나타내었다.

2.2 발열량 측정

2.2.1 총발열량

석유계 에너지원의 발열량은 액체 탄화수소 연료의 열량을 측정하는 표준시험방법인 ASTM D240에 따라 측정하였다(ASTM, 2009). 발열량 측정에는 봄베 열량계(6400 Calorimeter, Parr, USA)를 사용하였으며, 0.3~0.5g의 시료가 측정에 사용되었다. 비휘발성 제품은 시료를 직접 시료 컵에 담아 측정하였으며, 휘발성 제품은 측정 중 시료의 손실을 막기 위해 시료를 젤라틴 캡슐에 넣은 후 이를 시료 컵에 담아 측정하였다. 시료 컵에 담겨진 시료는 3.0 MPa의 산소 분위기 하에서 열량계의 봄베 속에서 연소되었고, 연소 전후의 온도 차이로부터 연료의 발열량이 구해졌다. 측정된 시료의 황 함량이 0.1 wt% 이하인 경우는 측정된 값을 시료의 총발열량으로 결정하였고, 황 함량이 0.1 wt%를 초과하는 경우는 ASTM D240에 따라 황 함량에 의한 영향을 보정한 값을 총발열량으로 결정하였다.

Table 1. Description of the samples analyzed in this study.

Energy type	2012		2013	
	Num. of sampling targets	Num. of samples	Num. of sampling targets	Num. of samples
Regular motor gasoline	5	20	5	20
Premium motor gasoline	3	12	3	12
Naphtha	7	28	7	27
Industrial spirit (No.1)	7	28	7	27
Industrial spirit (No.2)	4	16	4	15
Kerosene	5	20	5	19
Jet kerosene	5	19	5	19
Automotive diesel fuel	5	20	5	20
Marine diesel fuel	5	20	5	20
Heavy fuel oil (0.3% S) ¹	5	16	5	16
Heavy fuel oil (0.5% S) ¹	3	9	2	8
Heavy fuel oil (1.0% S) ¹	3	7	3	7
Heavy fuel oil (4.0% S) ¹	4	15	5	18
Asphalt (AP-5)	4	14	4	16
lubricating base oil	3	12	3	11
By-product fuel oil (Kerosene type)	1	4	1	4
By-product fuel oil (Fuel oil type)	6	22	6	24

Note 1. The numbers in parentheses refers to the upper sulfur limits in heavy fuel oils. For example, Heavy fuel oil (0.3% S) contains less than 0.3% of sulfur in it.

2. 2. 2 순발열량

순발열량은 ASTM D240에 따라 시료의 총발열량 및 수소함량을 바탕으로 다음과 같이 계산하였다 (ASTM, 2009).

$$Q_n = Q_g - 0.2122 \times H$$

여기서, Q_n (MJ/kg)은 일정한 압력에서의 순발열량, Q_g (MJ/kg)는 일정한 부피에서 측정된 총발열량, H (wt%)는 시료의 수소 함량을 나타낸다.

2. 3 황 함량 측정

시료에 포함된 황 성분은 연소되어 이산화황이 된 후, 물과 반응하여 황산을 생성한다. 이때, 황산 생성 열이 발생하므로, 측정된 발열량 값에서 황산 생성열을 빼주어야 정확한 총발열량 값을 산출할 수 있다. 시료의 황 함량은 석유제품의 황 함량을 측정하는 표준 시험방법인 ISO 8754에 따라 측정하였다 (ISO, 2003). 황 함량 측정에는 X-선 형광분석기 (SLFA-2800, Horiba, Japan)를 사용하였으며, 5~10 mL의 시료가 측정에 사용되었다. 측정은 시료 당 100초간 진행되었고, 시료의 황 함량은 표준물질을 사용하여 미리 정해놓은 검량선으로부터 구해졌다.

2. 4 수소 및 탄소 함량 측정

시료의 수소 및 탄소 함량 측정은 석유제품 및 운활유의 수소, 탄소 및 질소 함량을 측정하는 표준 시험방법인 ASTM D5291에 따라 수행하였다 (ASTM, 2010). 수소 및 탄소 함량 측정에는 유기원소분석기 (Flash 2000, Thermo Fisher Scientific, Italy)를 사용하였으며, 1~2 mg의 시료가 측정에 사용되었다. 기기에 도입된 시료는 산소 분위기 하의 900°C 연소로에서 연소되어 탄소는 CO₂, 수소는 수증기 (H₂O)로 전환된 후 가스크로마토그래프 (GC)를 통해 탄소 및 수소 함량이 결정되었다. 시료의 수소 함량은 총발열량으로부터 순발열량을 산출하는데 사용하고, 시료의 탄소 함량은 탄소배출계수를 산출하는데 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1 순발열량 및 탄소배출계수 산출 결과

2012년과 2013년 국내 석유계 에너지원에 대해 산출된 순발열량, 탄소함량 및 탄소배출계수를 표 2에 나타내었다. 순발열량과 탄소함량은 각 에너지원별로 해당 연도에 수집된 각각의 시료에 대해 산출된 값들

Table 2. Net calorific values, carbon contents and carbon emission factors of the samples.

Energy type	2012			2013		
	Net calorific value (TJ/Gg)	Carbon (%)	Carbon emission factor (kg/GJ)	Net calorific value (TJ/Gg)	Carbon (%)	Carbon emission factor (kg/GJ)
Regular motor gasoline	42.72	83.59	19.56	43.03	83.30	19.36
Premium motor gasoline	42.61	84.04	19.72	42.61	83.73	19.65
Naphtha	44.12	84.17	19.08	44.21	84.35	19.08
Industrial spirit (No.1)	43.99	84.33	19.17	44.37	84.31	19.00
Industrial spirit (No.2)	43.57	85.26	19.57	43.85	85.30	19.45
Kerosene	43.12	85.97	19.94	43.04	85.81	19.94
Jet kerosene	43.08	85.88	19.94	42.83	85.76	20.02
Automotive diesel fuel	42.95	86.01	20.02	42.68	85.72	20.08
Marine diesel fuel	42.84	86.51	20.19	42.73	86.34	20.21
Heavy fuel oil (0.3% S)	41.90	87.55	20.89	41.85	86.86	20.76
Heavy fuel oil (0.5% S)	42.17	87.49	20.75	41.88	86.85	20.74
Heavy fuel oil (1.0% S)	41.19	87.89	21.34	40.85	87.44	21.41
Heavy fuel oil (4.0% S)	40.32	85.96	21.32	40.03	85.76	21.42
Asphalt (AP-5)	39.19	84.44	21.55	39.38	84.40	21.43
lubricating base oil	43.36	86.16	19.87	43.36	85.78	19.78
By-product fuel oil (Kerosene type)	42.99	86.16	20.04	42.85	85.94	20.06
By-product fuel oil (Fuel oil type)	41.13	89.24	21.70	41.15	89.39	21.73

의 평균값을 사용하였다. 예를 들어, 2012년 보통휘발유 (regular motor gasoline)의 순발열량 값은 2012년에 수집된 보통휘발유 20개 시료 각각에 대한 순발열량을 산출한 후, 이들을 평균하여 얻어진 결과이다.

석유계 에너지원은 각종 탄화수소 물질의 혼합물인 원유를 증류하여 얻어지기 때문에 화학구조상 탄소와 수소가 여러 모양으로 조합된 무수한 화합물의 혼합체가 된다. 이러한 특성 때문에 석유계 에너지원은 동일한 에너지원에 대해서도 단일물질인 에탄올, 톨루엔 등과는 다르게 일정한 순발열량과 탄소함량 값을 보이지는 않는다. 그러나 정해진 품질 기준에 맞도록 생산되기 때문에 표 2에 나타내어진 것처럼 2012년과 2013년의 순발열량과 탄소함량은 에너지원별로 비슷한 값을 보인다. 단위 무게 당 에너지로 나타내는 순발열량은 밀도가 작을수록 단위 무게 당 부피가 커지므로, 일반적으로 나프타(naphtha)와 같은 가벼운 에너지원이 중유 (heavy fuel oil)와 같은 무거운 에너지원보다 큰 값을 보였다. 탄소함량은 순발열량과는 반대로 나프타와 같은 가벼운 에너지원이 중유와 같은 무거운 에너지원보다 작은 값을 보였다.

석유화학제품을 생산하는 과정 중에 만들어지는 부생연료유 (by-product fuel oil)는 등유형과 중유형의

두 가지로 나뉘는데, 각각 등유 및 중유와 비슷한 순발열량 값을 보였다. 그러나 탄소함량에 있어서 등유형 부생연료유는 등유와 비슷한 값을 보이는데 반해 중유형 부생연료유는 중유보다 높은 탄소함량을 보여 중유보다 큰 탄소배출계수를 가진다는 것을 예측할 수 있었다.

탄소배출계수는 단위 에너지당 탄소함량으로 나타내며 연료의 탄소함량과 순발열량으로부터 다음과 같은 식을 이용하여 계산할 수 있다 (Jeon *et al.*, 2007).

$$\text{Carbon EF} = C/Q_n \times 10$$

여기서, Carbon EF는 탄소배출계수 (kg/GJ), C는 연료의 탄소함량 (wt%), Q_n 은 순발열량 (TJ/Gg)을 나타낸다. 2012년과 2013년의 순발열량과 탄소함량이 비슷한 값을 보이므로, 이들로부터 산출되는 탄소배출계수도 에너지원별로 비슷한 값을 보인다. 위 식에서 알 수 있듯이 탄소배출계수는 연료의 탄소함량에 비례하고 순발열량에 반비례하므로, 중유와 같이 탄소함량이 높고 순발열량이 낮은 무거운 에너지원이 나프타와 같이 순발열량이 높고 탄소함량이 낮은 가벼운 에너지원보다 큰 값을 보인다.

일반적으로 순발열량과 탄소함량이 함께 탄소배출

Table 3. Seasonal variation of gasoline and diesel quality parameters.

A. Gasoline

Property	Regular/Premium motor gasoline		
	Summer	Winter	Others
Vapor pressure (37.8°C, kPa)	44 ~ 65	44 ~ 96	44 ~ 82

B. Diesel

Property	Automotive diesel fuel		Marine diesel fuel	
	Winter	Others	Winter	Others
Pour point (°C), max	-23.0	0.0	-12.5	0.0
CFPP (°C), max	-18	-	-	-
Cetane number/Cetane index, min	48	52	-	-

계수에 영향을 미치지만, 나프타, 용제 (industrial spirit)와 같이 순발열량이 높은 에너지원은 순발열량이 탄소배출계수를 감소시키는 요인으로 작용하며, 중유형 부생연료유와 같이 탄소함량이 높은 에너지원은 탄소함량이 탄소배출계수를 증가시키는 요인으로 작용하는 등 특정 요소가 탄소배출계수의 특징을 결정하기도 한다.

3.2 산출 결과의 시계열 분석

우리나라는 계절 변화에 따른 기온의 변화가 크기 때문에 휘발유, 경유와 같은 에너지원은 표 3에서 보여지듯 계절 특성을 반영하는 항목들의 품질 기준이 달라진다 (KMOTIE, 2014). 계절에 따른 품질 기준의 변화는 조성의 차이를 발생시키며 조성의 차이는 순발열량과 탄소배출계수에 영향을 줄 수 있다.

시계열 분석은 2012년과 2013년 얻어진 결과를 계절별로 구분하고 각 계절에서의 결과를 비교하는 방법을 사용하였다. 각각의 연도에 대해 4개의 계절에 대한 결과가 얻어졌으므로, 총 8개의 지점이 시계열 분석 대상이 되었다. 그림 1에 시간 추세에 따른 석유계 에너지원의 순발열량 변화를 나타내었다. 그림 1에서 보여지듯 석유제품의 순발열량은 계절에 따라 높아지거나 낮아지는 등의 계절적인 변화를 보이지는 않는다. 그러나, 모든 에너지원에 대해서 일정하지 않은 순발열량 값을 가진다는 것을 확인할 수 있다.

순발열량의 변화는 용제, 나프타와 같은 휘발성 에너지원이 경유, 항공유 등의 비휘발성 에너지원에 비해 큰 경향을 보이지만, 비휘발성 에너지원 중에서도

중유, 아스팔트와 같이 증류 잔류물로 구성되는 무거운 잔사유 (residual fuel oil)는 비교적 큰 순발열량의 변화를 보였다. 다만, 탈황 공정을 통해 황 함량을 낮춘 0.3% C 중유는 다른 중질유에 비해 비교적 일정한 값을 보였다.

석유화학제품의 생산과정 중에 얻어지는 부생연료유도 비휘발성 에너지원과 비슷한 경향을 보이며 중유형 부생연료유가 등유형 부생연료유보다 큰 순발열량의 변화를 보였다. 엔진오일, 유압작동유 등 적용 대상에 따라 폭넓은 성상을 가지는 윤활기유도 증류의 다양성으로 인해 비교적 큰 순발열량의 변화를 보였다.

그림 2에는 시간 추세에 따른 석유계 에너지원의 탄소배출계수 변화를 나타내었는데, 순발열량과 마찬가지로 탄소배출계수도 계절과는 무관하게 변하는 것을 볼 수 있다.

경유, 항공유 등의 비휘발성 증류 연료 (distillate fuel oil)에 대한 탄소배출계수는 순발열량과 마찬가지로 다른 에너지원들에 비해 작은 변화를 보인다. 하지만, 순발열량에서 큰 변화를 보였던 나프타와 용제 2호의 탄소배출계수 변화가 상대적으로 크지 않고, 윤활기유 및 중유형 부생연료유의 탄소배출계수도 비교적 작은 변화를 보이는 등 순발열량의 변화와 탄소배출계수의 변화가 동일한 경향을 보이지는 않는다. 이처럼 연료의 탄소배출계수와 순발열량이 일정한 관계를 보이지 않는 것은 연료의 탄소함량도 순발열량처럼 생산 시점에 따라 변하고 연료의 탄소배출계수가 탄소함량과 순발열량 두 가지 요인에 의한 영향을 동시에 받기 때문으로 판단된다.

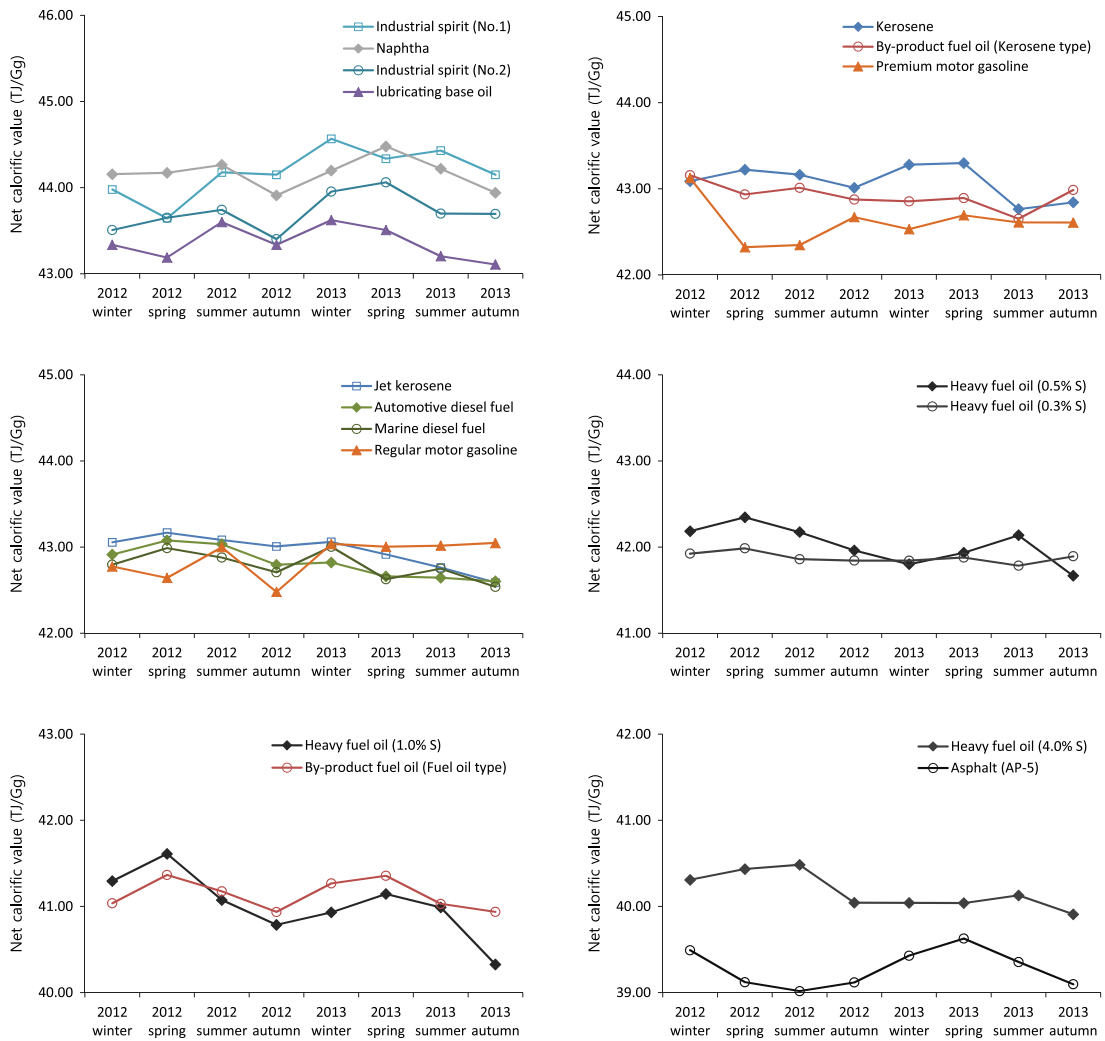


Fig. 1. Time series analysis of net calorific values for petroleum energy.

3.3 2006 IPCC 지침과의 결과비교

2006 IPCC 지침은 각 에너지원에 대한 순발열량과 탄소배출계수의 기본값 및 95% 신뢰구간에서의 상한과 하한을 제시하고 있다. 그림 3에 2012년과 2013년 시료에 대해 얻어진 석유계 에너지원별 순발열량 값을 2006 IPCC 지침의 값과 비교하여 나타내었다. 그림 3에서 보여지듯 2012년과 2013년의 순발열량은 대체로 비슷한 값을 보이며, 0.3% C 중유, 0.5% C 중유 및 윤활기유를 제외하고는 모두 2006 IPCC 지침의 상한과 하한 범위 내의 값을 보인다. C 중유는 2006

IPCC 지침의 잔사유와 비교하였는데, 수소화처리공정을 거쳐서 황 함량이 낮아진 0.3% C 중유와 0.5% C 중유는 1.0% C 중유와 4.0% C 중유에 비해 가벼워 지므로 다소 높은 순발열량을 보였다. 실제로 본 연구에 사용된 0.3% C 중유와 0.5% C 중유의 밀도는 0.91~0.95 g/cm³로, 0.93~0.99 g/cm³의 1.0% C 중유 및 0.96~0.99 g/cm³의 4.0% C 중유보다 낮은 경향을 보였다.

2006 IPCC 지침의 윤활유는 윤활기유뿐만 아니라 엔진 오일과 같은 최종 제품도 포함한다. 윤활유는

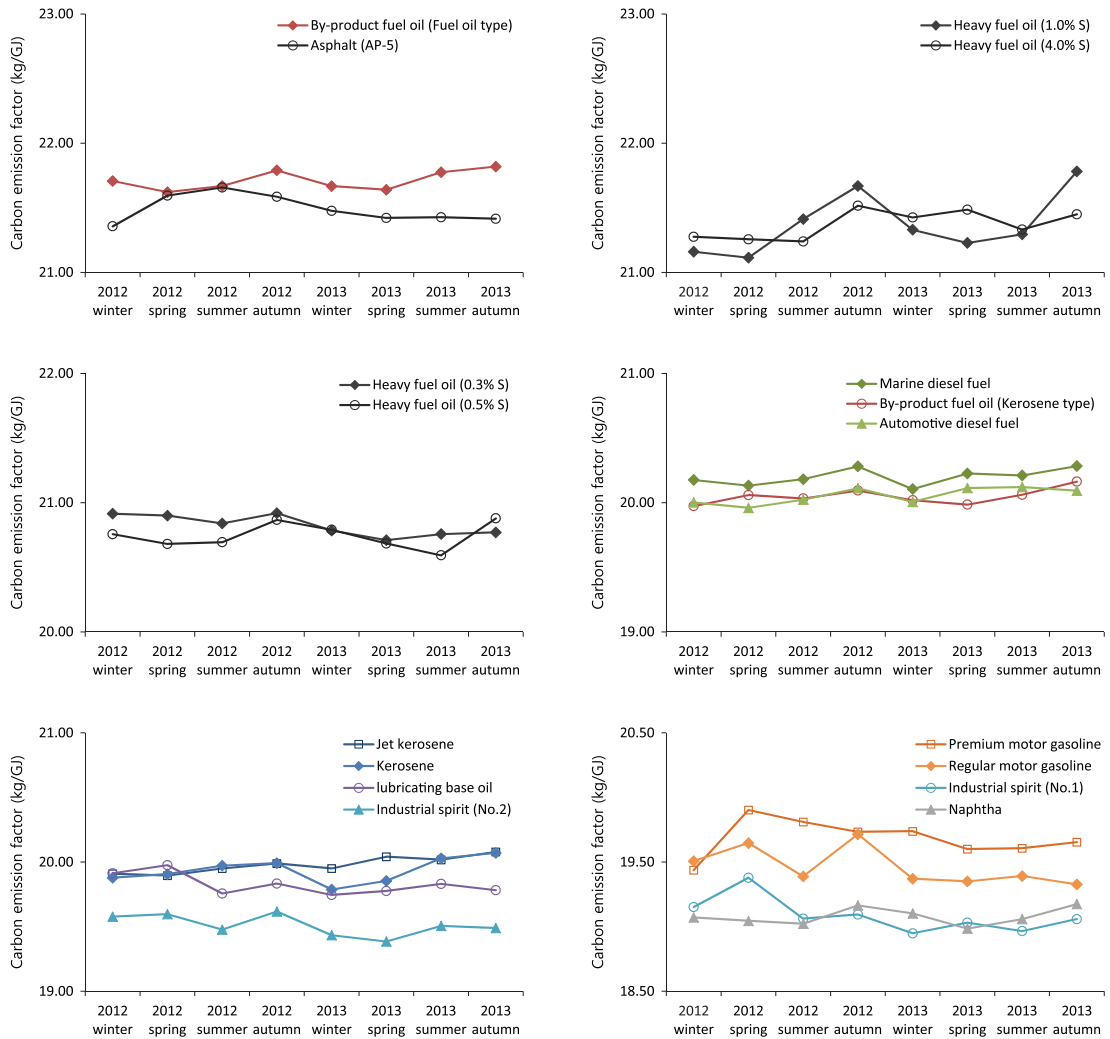


Fig. 2. Time series analysis of carbon emission factors for petroleum energy.

윤활기유에 다양한 첨가제를 넣어 만들어지며 일반적으로 첨가제는 윤활기유에 비해 무겁고 금속 성분을 포함하는 경우도 있어 윤활기유에 비해 낮은 발열량을 보이므로 2012년과 2013년 윤활기유의 순발열량 값이 2006 IPCC 지침의 상한을 다소 초과하는 결과를 보였다.

그림 4는 2012년과 2013년에 얻어진 석유계 에너지원별 탄소배출계수를 2006 IPCC 지침과 비교하여 나타내었다. 그림에서 보여지듯 용제 1호, 용제 2호, 중유형 부생연료유를 제외한 대부분의 에너지원이

2006 IPCC 지침의 상한과 하한 범위 내의 값을 보인다. 상한과 하한 범위를 벗어나는 용제 1호와 용제 2호는 2006 IPCC 지침의 백유(white spirit) 및 SBP(industrial spirit)와 비교하였는데 용제 1호와 용제 2호의 순발열량이 2006 IPCC 지침의 기본값보다 높아 하한의 범위를 벗어나는 탄소배출계수를 보였다.

부생연료유는 국내에서만 생산 및 소비가 이루어지고 있어 이에 상응하는 비교대상이 없기 때문에 부생연료유에 대한 순발열량 및 탄소배출계수는 2006 IPCC 지침의 기타 석유제품(other petroleum product)

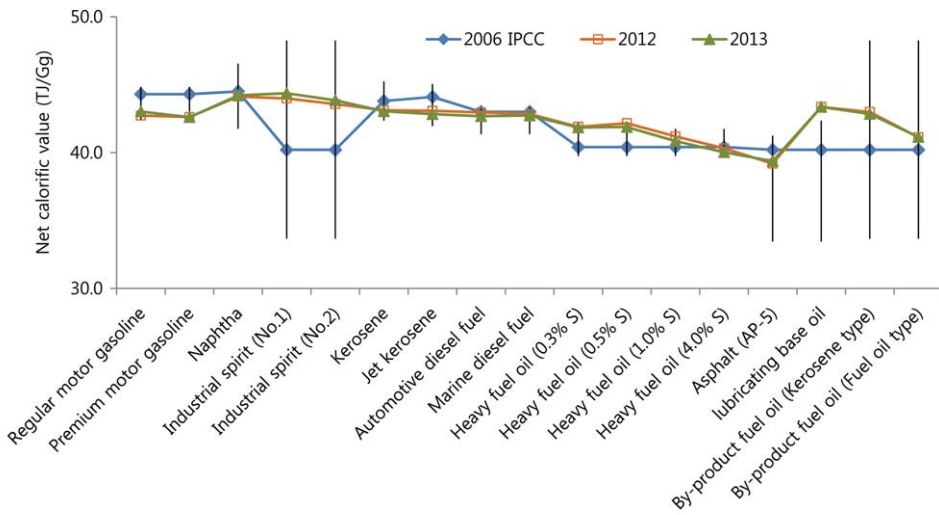


Fig. 3. Comparison of net calorific values with 2006 IPCC Guidelines. Vertical lines indicate the lower and upper limits of the 95% confidence intervals from 2006 IPCC Guidelines.

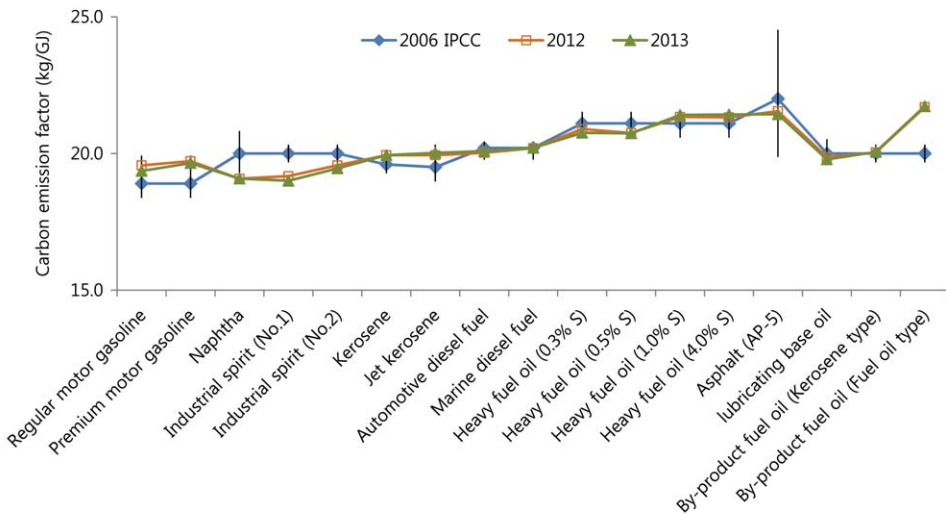


Fig. 4. Comparison of carbon emission factors with 2006 IPCC Guidelines. Vertical lines indicate the lower and upper limits of the 95% confidence intervals from 2006 IPCC Guidelines.

과 비교하였다. 등유형 부생연료유는 순발열량과 탄소배출계수 모두 기타 석유제품의 상한과 하한 범위 내의 값을 보인다. 그러나, 중유형 부생연료유의 순발열량은 상한과 하한 범위 내의 값을 보이지만 탄소배출계수는 상한을 크게 초과하는 결과를 보인다. 등유형 부생연료유 및 중유형 부생연료유를 각각 2006

IPCC 지침의 등유 및 중유와 비교를 해도 동일한 결과가 얻어지는데, 이는 중유형 부생연료유의 높은 탄소함량이 탄소배출계수를 크게 하는 주요 요인으로 작용하기 때문이다. 부생연료유는 순발열량과 탄소배출계수에 있어 기타 석유제품보다 등유 및 중유에 가까운 값을 보이므로 2006 IPCC 지침과의 비교 시 기

Table 4. Net calorific values and carbon contents of petroleum energy from different sources.

Energy	Net calorific value (TJ/Gg)				Carbon (%)			
	2012	2013	2006 IPCC	EU	2012	2013	2006 IPCC	EU
Motor gasoline	42.7	43.0	44.3	43.2	83.6	83.3	83.7	86.5
Diesel fuel	43.0	42.7	43.0	43.1	86.0	85.7	86.9	86.1
Naphtha	44.1	44.2	44.5	43.7	84.2	84.3	89.0	84.9
Heavy fuel oil	40.3	40.0	40.4	40.5	86.0	85.8	85.2	89.0

타 석유제품보다는 등유 및 중유와의 비교가 보다 적합하다는 것을 알 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이 2012년과 2013년 국내 석유계 에너지원의 순발열량과 탄소배출계수 대부분이 2006 IPCC 지침의 상한과 하한 범위 내의 값을 보이지만, 국내 휘발유의 순발열량은 IPCC 기본값과 3~4%, 탄소배출계수는 2~4% 정도의 차이를 보이고, 국내 항공유의 순발열량과 탄소배출계수는 IPCC 기본값과 2~3% 정도의 차이를 보이는 등 국내 17개 에너지원 중 11개 에너지원이 순발열량에서 IPCC 기본값과 2% 이상 차이가 나는 결과를 보였고, 8개 에너지원이 탄소배출계수에서 IPCC 기본값과 2% 이상 차이가 나는 결과를 보였다. 이는 이들 기본값이 각 국가로부터 수집된 자료를 토대로 산출된 값으로 국가별 또는 지역별 사용하는 석유계 에너지원의 순발열량 및 탄소함량 차이를 반영하지 못하기 때문이다. 표 4에 일부 에너지원에 대한 2012년과 2013년의 순발열량 및 탄소함량을 2006 IPCC 지침과 유럽의 값들과 비교하여 나타내었는데 (Edwards *et al.*, 2013), 표 4에서 보여지듯 휘발유, 나프타, 중유의 탄소함량은 유럽의 값과 2006 IPCC 지침의 기본값 사이에 3~5% 정도 차이를 보인다.

4. 결 론

본 연구에서는 2012년과 2013년 국내에서 생산된 석유계 에너지원의 발열량 및 탄소함량을 측정하여 순발열량과 탄소배출계수를 산출하고 계절별 분석을 통해 시간 추세에 따른 변화를 조사하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 석유계 에너지원의 순발열량과 탄소배출계수는 계절 단위의 시간 추세에 따라 달라지는 경향을 보

였지만, 2012년과 2013년의 값들은 서로 비슷한 결과를 보이며 연단위의 순발열량과 탄소배출계수는 대체적으로 일정한 값을 가지는 것으로 분석되었다.

2) 휘발성 에너지원과 잔사유가 비휘발성 증류 연료에 비해 순발열량과 탄소배출계수의 변화가 큰 경향을 보였으나, 순발열량의 변화가 컸던 에너지원 중 탄소배출계수의 변화가 작은 결과를 보이는 경우도 있어 순발열량의 변화와 탄소배출계수의 변화가 동일한 경향을 보이지는 않았다.

3) 가벼운 에너지원은 높은 순발열량과 낮은 탄소함량으로 인해 탄소배출계수가 작은 경향을 보였으며, 무거운 에너지원은 낮은 순발열량과 높은 탄소함량으로 인해 탄소배출계수가 큰 경향을 보였다.

4) 2012년과 2013년 국내에서 생산된 석유계 에너지원의 순발열량을 2006 IPCC 지침의 기본값과 비교한 결과, 17개 에너지원 중 0.3% C 중유, 0.5% C 중유, 윤활기유를 제외한 14개 에너지원이 IPCC 지침의 상한 및 하한 범위내의 값을 보였으며, 상한 및 하한 범위를 벗어난 3개 에너지원을 포함한 11개 에너지원이 IPCC 순발열량 기본값과 2% 이상 차이를 보였다.

5) 석유계 에너지원의 탄소배출계수도 17개 에너지원 중 용제 1호, 용제 2호, 중유형 부생연료유를 제외한 14개 에너지원이 IPCC 지침의 상한 및 하한 범위내의 값을 보였으며, 상한 및 하한 범위를 벗어난 3개 에너지원을 포함한 8개 에너지원이 IPCC 탄소배출계수 기본값과 2% 이상 차이를 보였다.

본 연구를 통해 산출된 국가 고유의 석유계 에너지원별 순발열량과 탄소배출계수는 에너지 분야에서 우리나라 실정에 맞는 국가 온실가스 인벤토리 구축에 활용되고 계절별, 연도별 시간 추세에 따른 배출계수 변화 추이 분석을 위한 자료로 활용할 수 있을 것이다.

References

- American Society for Testing and Materials (2009) Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter, ASTM D240.
- American Society for Testing and Materials (2010) Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Petroleum Products and Lubricants, ASTM D5291.
- Edwards, R., J.F. Larivé, D. Rickeard, and W. Weindorf (2013) Well-to-wheels analysis of future automotive fuels and powertrains in the european context, Appendix 1, European Commission.
- Eggleston, H.S., L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe (2006) 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 1-2, IGES, Japan.
- Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea (2011) National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea.
- International Organization for Standardization (2003) Petroleum products - Determination of sulfur content - Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry, ISO 8754.
- Jeon, E.C., S.J. Myeong, J.H. Jeong, S.H. Lee, J.W. Sa, G.H. Roh, K.H. Kim, and W.S. Bae (2007) Development of Emission Factors for Greenhouse Gas (CO₂) from Anthracite Fired Power Plants in Korea, J. Korean Soc. Atmos. Environ., 23(4), 440-448. (in Korean with English abstract)
- Kainou, K. (2005) Revision of default net calorific values, carbon content factors, carbon oxidization factors and carbon dioxide emission factors for various fuels in 2006 IPCC GHG Inventory Guidelines, RIETI, Japan.
- Kim, S.J., J.W. Lee, S.H. Lee, J.H. Sa, B.S. Choi, and E.C. Jeon (2013) Development of Classification Method for Anthracite and CO₂ Emission Factor to Improve the Quality of National GHG Inventory, Climate Change Research, 4(1), 27-39. (in Korean with English abstract)
- Korean Ministry of Trade, Industry and Energy (2014) Petroleum and Alternative Fuels Business Act.