

국내 석유계 에너지원의 열량 및 탄소배출계수 변화 특성 연구

도진우* · 임완규 · 강형규 · 황인하 · 하종한 · 나병기†

한국석유관리원 석유기술연구소, 충북대학교 화학공학과†
(2017년 11월 18일 접수: 2017년 12월 4일 수정: 2017년 12월 13일 채택)

Study on Characteristics of Change in Calorific Value and Carbon Emission Factor of Domestic Petroleum Energy Source

Jin-woo Doe · Wan-gyu Lim · Hyung-kyu Kang
In-ha Hwang · Jong-han Ha · Byung-ki Na†

*Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority
Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University
(Received November 18, 2017; Revised December 4, 2017; Accepted December 13, 2017)*

요약 : 국가 온실가스 인벤토리를 Tier 2 이상의 수준으로 향상시키기 위해서는 IPCC 기본값 대신 국가 고유의 배출계수가 개발 및 이용되어야 한다. 국가 고유 배출계수는 에너지원 종류, 에너지 공정, 시간 추세에 따라 달라지기 때문에, 각 에너지원별 특성값을 파악하는 것은 정확한 인벤토리 구축에 중요한 부분을 차지한다. 국내 석유계 에너지원의 물성은 시간의 경과에 따라 큰 변화는 없었으며, 국내에서 고시되고 있는 에너지원별 열량환산기준 상의 석유계 에너지원에 대한 열량 및 탄소배출계수를 2013년과 2016년에 실제 시료를 수집하여 발열량, 탄소함량 및 탄소배출계수를 산정한 결과값과의 비교분석에서는 대체적으로 일정한 값을 유지하고 있는 것으로 나타났다. 또한, 석유계 에너지원별로 산출된 순발열량과 탄소배출계수는 2006 IPCC Guideline에 나타난 값들과 비교하였으며, 대부분의 에너지원이 2006 IPCC G/L의 기본값 및 상한, 하한 범위내의 값을 나타내었다.

주제어 : 에너지원별 열량환산기준, 순발열량, 탄소배출계수, IPCC Guideline, 탄소함량

Abstract : Country-specific emission factors should be developed and used instead of IPCC defaults to improve national GHG inventories to Tier 2 and above. Since the country-specific emission factors depend on the type of energy source, energy process, and time trend, identifying the value of each energy source is an important part of building an accurate inventory. In this study, calorific value and carbon emission factor for petroleum energy sources on the basis of calorific value conversion standard for energy source, which are notified in Korea, are collected by 2013 and 2016, and calorific value, carbon content and carbon emission factor And a comparative analysis was conducted. In

†Corresponding author
(E-mail: nabk@chungbuk.ac.kr)

addition, net calorific values and carbon emission factors calculated for each petroleum based energy source are compared with those shown in 2006 IPCC Guideline.

Keywords : Calorific value conversion standard, Net calorific value, Carbon emission factor, IPCC Guideline, Carbon content

1. 서론

기후변화에 관한 정부간 협의체(IPCC)에서는 유엔기후변화 협약(UNFCCC)과 교토의정서의 이행을 지원하기 위해 국가 온실가스 인벤토리 작성을 위한 지침을 발간하였다. IPCC Guideline은 온실가스 배출원 및 흡수원을 에너지, 산업공정 및 제품 사용, 농업, 산림 및 기타 토지이용, 폐기물 등의 분야로 구분하여 각 분야별로 국가 온실가스 인벤토리를 작성하기 위한 방법론을 제공한다.[1]

에너지 분야는 우리나라 전체 온실가스 배출량의 85%, 이산화탄소(CO₂) 배출의 90% 이상의 기여도를 보이며[1-3], 온실가스 배출인벤토리에서 중요한 위치를 차지한다. 에너지 분야에서 배출되는 온실가스의 95% 이상은 CO₂ 배출량이 차지하는데, 이는 연소과정에서 대부분의 탄소가 CO₂로 즉시 배출되기 때문이다.[1][3]

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 총발열량(gross calorific value)과 응축 잠열 및 현열을 제외한 순발열량(net calorific value)으로 구분된다.[1]

국가 온실가스 배출량 산정방법은 국가 간의 호환성과 일관성을 유지하기 위해서 IPCC에서 표준안을 제고하고 있다.[4] 우리나라는 2011년에 1996 IPCC Guideline에서 제공하는 기본값을 사용하여 Tier 1 수준의 국가 온실가스 인벤토리를 작성하였다.[2] 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 위해

서는 IPCC 기본값 대신 국가 고유의 배출계수가 개발 및 이용되어야 한다. 국가 고유 배출계수는 에너지원 종류, 에너지 공정, 시간 추세에 따라 달라지기 때문에[4], 각 에너지원별 특성값을 파악하는 것은 정확한 인벤토리 구축에 중요한 부분을 차지한다.[1]

본 연구에서는 국내에서 고시되고 있는 에너지원별 열량환산기준 상의 석유계 에너지원에 대한 열량 및 탄소배출계수를 2013년과 2016년에 실제 시료를 수집하여 발열량, 탄소함량 및 탄소배출계수를 산정한 결과값과의 비교분석을 실시하였다. 또한, 석유계 에너지원별로 산출된 순발열량과 탄소배출계수는 2006 IPCC Guideline에 나타난 값들과 비교하였다.

2. 실험

2.1. 실험대상

국내에서는 2007년부터 2011년까지 석유계 에너지원 15종, 2012년부터 2016년까지 석유계 에너지원 17종에 대해서 에너지원별 열량환산기준을 고시하고 있으며, 각 기간별 적용하는 탄소배출계수도 함께 산정, 적용하고 있다. 이에 따라, 본 연구에서는 「에너지법 시행규칙」에서 대상으로 하는 에너지원을 대상으로 2013년과 2016년에 생산 및 소비가 이루어지는 석유계 액체 연료 17종을 실험 대상 에너지원으로 선정하였다. 연구에 사용된 시료는 각 제품이 생산되는 정유공장 및 석유화학회사로부터 수집하였으며, 시료는 금속제 캔을 이용하여 채취하였다. 시료의 수집은 연간 대표성 확보를 위해 계절별로 겨울은 1월 ~ 2월, 봄은 4월 ~ 5월, 여름은 7월 ~ 8월, 가을은 10월 ~ 11월의 기간 동안 채취하였다. 채취된 시료 중 휘발성 시료는 5 °C 이하의 냉장고에, 그 밖의 비휘발성 시료는 상온의 냉암소에 보관하였다. 본 연구에 사용된 에너지원의 종류, 시료채취 대상 사업장 및 시료 개수는 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Description of the samples analyzed in this study

Type	Number of sampling targets	Number of sample
Motor gasoline	Regular	5
	Premium	3
Naphtha	7	28
Industrial spirit	NO.1	7
	NO.2	4
Kerosene	5	20
Jet Kerosene	5	19
Diesel fuel	Automotive	5
	Marine	5
Heavy fuel oil	0.3 %	5
	0.5 %	3
	1.0 %	3
	4.0 %	4
Asphalt(AP-5)	4	14
Lubricating base oil	3	12
By-product fuel oil	Kerosene type	1
	Fuel oil type	6

Table 2. Test method and equipment criteria for analyzing the petroleum products

Property	Unit	Analysis Method	Test Instrument (Company)
Density	kg/m ³	KS M ISO 12185	DMA5000 (Anton Paar)
Sulfur content	wt%	KS M ISO 8754	SLFA-2800 (Horiba)
Water content	wt%	KS M ISO 12937	MKC-520 (KEM)
Calorific value	MJ/kg	KS M 2057	Parr 6000 (Anton Parr)
Element analysis	wt%	ASTM D 5291	FLASH 2000 (Thermo Finnigan)

2.2. 실험방법

국내 석유계 에너지원의 열량 및 탄소배출계수 산정을 위해 각 시료의 총발열량, 순발열량, 탄소 및 수소함량, 밀도를 분석하였다. 분석방법은 「석유제품의 품질기준과 검사방법 및 수수료에 관한 고시」에서 규정하는 품질기준 및 시험방법을 적용하였다. 또한 고시에서 규정하지 않는 항목 등은 KS 및 ASTM 시험방법을 적용하였다. 각 항목별 분석방법과 장비는 Table 2에 나타내었다.[5][6][7][8][9]

2.3. 발열량 및 CO₂ 배출계수의 산정

석유제품의 발열량 측정은 KS M 2057 시험방법을 적용하였으며, 총발열량 값을 측정 후 시료의 황함량과 수분함량을 보정하였다.[1][12] 시료에 포함된 황 성분은 연소 시 이산화황을 생성, 물과 반응하여 황산을 발생시키며, 측정된 발열량 값에서 황산 생성열을 빼주어야 정확한 총발열량 값을 산출 할 수 있다. 시료의 수소 및 탄소 함량 측정은 석유제품 및 운활유의 수소, 탄소 및 질소 함량을 측정하는 표준시험방법인 ASTM D 5291에 따라 측정하였으며, 시료의 수소함량은

총발열량으로부터 순발열량을 산출하는데 사용하고, 시료의 탄소함량은 탄소배출계수의 산정에 사용하였다.[1] 순발열량 값은 황함량과 수분함량을 보정한 총발열량 값을 (1)식을 이용하여 산정하였다.[1][5-6][12]

$$H_{nj} = h_{gj} - 6 \times 4.18605(9h + W) \quad (1)$$

여기서, H_{nj} (MJ/kg)는 순발열량, H_{gj} (MJ/kg)는 총발열량, h (wt%)는 시료의 수소함량, W (wt%)는 시료의 수분함량을 나타낸다.

또한, (1)식 순발열량으로부터 (2)식을 적용하여 중량 단위의 순발열량(MJ/kg)을 산정하였다.[10]

$$\text{순발열량}(MJ/kg) = \text{순발열량}(kcal/L) \times 4.1868(J/kcal) \times \frac{1}{\text{밀도}}(L/kg) \times \frac{1}{1000}(MJ/J) \quad (2)$$

CO₂ 배출계수의 산정은 탄소비율(%)과 순발열량(MJ/kg)을 이용하여 (3)식과 같이 산정하였

다.[10]

$$CO_2 \text{ 배출계수}(kg/TJ) = \text{탄소}(C)\text{비율}\left(\frac{kg-C}{kg-\text{연료}}\right) \times \frac{1}{\text{순발열량}}\left(\frac{kg-\text{연료}}{MJ}\right) \times 10^6\left(\frac{MJ}{TJ}\right) \times \frac{44}{12} \quad (3)$$

3. 결과 및 고찰

3.1. 국내 석유계 에너지원의 품질기준 및 물성 변화 추이 분석

2009년 석유계 에너지원의 황함량 기준이 크게 강화된 이후, 국내 석유계 에너지원의 품질기준은 거의 변화되지 않았다. 이는 현재 국내의 품질기준의 해외 주요국과 비교해서도 상대적으로 엄격한 기준으로 설정되어 있으며, 점점 강화되어지고 있는 환경기준에 따라 2012년과 2016년의 석유계 에너지원의 품질기준 중 자동차용 휘발유에서 방향족 함량이 강화되었고, 선박용 경유의 황함량이 더 낮아지는 변화가 있었다.(Table 3)

Table 3. Quality specification comparison of automotive gasoline between 2012 and 2016

Items		2012		2016	
		Regular	Premium	Regular	Premium
Octane Number (RON)		91 ~ 94		91 ~ 94	
Distillation (°C)	10 (vol%)	70		70	
	50 (vol%)	125		125	
	90 (vol%)	170		170	
	End Point	225		225	
	Residue (vol%)	2.0		2.0	
Water & Sediment (vol%)		0.01		0.01	
Copper strip corrosion (50°C, 3h)		1		1	
Vapor Pressure (37.8°C, kPa)		44 ~ 82 (summer 44 ~ 65(44 ~ 60), winter 44 ~ 96)		44 ~ 82 (summer 44 ~ 60, winter 44 ~ 96)	
Oxidation Stability (min)		480		480	
Washed existent gum (mg/100ml)		5		5	
Sulfur content (mass mg/kg)		10		10	
Color (recognizable color)		yellow	green	yellow	green
Lead Content (g/L)		0.013		0.013	
Phosphorus Content (g/L)		0.0013		0.0013	
Aromatics Content (vol%)		24(21)		22(19)	
Benzene Content (vol%)		0.7		0.7	
Olefin Content (vol%)		16(19)		16(19)	
Oxygen Content (wt%)		2.3		2.3	
Methanol Content (wt%)		0.1		0.1	

Table 3. Quality specification comparison of diesel between 2012 and 2016

Items	2012		2016	
	Automobile	Marine	Automobile	Marine
Pour point (°C)	0.0 (-17.5)	0.0 (-12.5)	0.0 (-17.5)	0.0 (-12.5)
Flash point (°C)	40		40	
Kinematic viscosity (40°C, mm ² /s)	1.9 ~ 5.5	1.5 ~ 6.0	1.9 ~ 5.5	1.5 ~ 6.0
Distillation (90 vol%, °C)	360		360	-
Carbon residue in 10 % residual oil (wt%)	0.15	0.20	0.15	0.20
Water & sediment (vol%)	0.02		0.02	
Sulfur content (mg/kg)	10	1.0(wt%)	10	0.05(wt%)
Ash (wt%)	0.02	0.01	0.02	0.01
Centane number	52	40	52	40
Copper strip corrosion (100°C, 3h)	1		1	
CFPP (°C)	-18	-	-18	-
Lubricity @ 60°C(HFRR WSD, um)	400	-	400	-
Density @ 15°C (kg/m ³)	815 ~ 835	-	815 ~ 835	-
Polycyclic aromatic content (wt%)	5	-	5	-
Aromatic compound content (wt%)	30	-	30	-
Fatty acid methyl ester content (wt%)	2 ~ 5	-	2 ~ 5	-
Color (recognizable color)	-		Red	

그 외의 다른 에너지원에 대해서는 변동이 큰 변화가 없었다.[15]

또한, 황 함량은 정확한 발열량값의 산출에 영향을 주고, 밀도의 변화는 열량 및 탄소배출계수의 산정 시 영향을 미치므로 2013년 및 2016년

의 석유계 에너지원에 대한 황 함량과 밀도의 변화를 비교하였으며(Fig. 1, Table 4), 일정 기간의 차이에도 황 함량과 밀도의 변화는 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 국내에서 생산되는 석유계 에너지원의 원료인 원유가 단일로 사용되는 것이



Fig. 1. Density comparison of petroleum energy between 2013 and 2016.

Table 4. Sulfur content comparison of petroleum energy between 2013 and 2016

Energy Type	Sulfur content(wt%)	
	2013	2016
Regular Motor gasoline	0.0004	0.0005
Premium Motor gasoline	0.0004	0.0004
Naphtha	0.0222	0.0367
Industrial spirit(NO.1)	0.0003	0.0002
Industrial spirit(NO.2)	0.0002	0.0002
Kerosene	0.0003	0.0008
Jet Kerosene	0.1285	0.1784
Automotive diesel fuel	0.0004	0.0005
Marine diesel fuel	0.0335	0.0296
Heavy fuel oil(0.3 %)	0.2583	0.2693
Heavy fuel oil(0.5 %)	0.3901	0.3945
Heavy fuel oil(1.0 %)	0.9039	0.5904
Heavy fuel oil(4.0 %)	3.0584	3.2574
Asphalt(AP-5)	5.2011	5.3804
Lubricating base oil	0.0006	0.0006
By-product fuel oil (Kerosene type)	0.0383	0.0290
By-product fuel oil (Fuel oil type)	0.0082	0.0099

아니라 안정적인 품질관리의 유지 및 수입원유의 다양화 등에 따른 공정제어에 기인한 것으로 보인다.

3.2. 2013년 및 2016년 석유계 에너지원의 순발열량, 탄소함량 및 탄소배출계수 변화 분석

2013년 국내 석유계 에너지원에 대해 순발열량, 탄소함량 및 탄소배출계수를 산출하고 2016년 동일한 종류의 시료에 대해 분석한 순발열량, 탄소함량 및 탄소배출계수를 비교분석 하였다. 순발열량과 탄소함량은 해당 연도에 각 에너지원별로 채취한 각각의 시료에 대해 측정한 값들의 평균값을 사용하였다.

석유계 에너지원은 매우 다양한 종류의 탄화수소 혼합물인 원유를 증류하여 생산하기 때문에 화학구조상 탄소와 수소가 여러 가지 형태로 구성된 화합물이다. 따라서, 석유계 에너지원의 단

일물질의 열량값과는 다르게 일정한 순발열량과 탄소함량 값을 나타내지 않는다.[1]

2013년과 2016년의 순발열량과 탄소함량은 일정 기간의 경과에도 에너지원별로 비슷한 값을 보이며, 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 보인다. 또한 탄소함량은 순발열량과는 반대로 가벼운 에너지원이 무거운 에너지원보다 작은 값을 보였다.[1]

석유화학제품을 생산하는 과정 중에 만들어지는 부생연료유(by-product fuel oil)는 등유형과 중유형의 두 가지로 나누어지고 각각 등유와 중유와 비슷한 순발열량 값을 나타내었다. 등유형 부생연료유의 탄소함량은 등유와 유사한 값을 보이는데 반해 중유형 부생연료유는 중유보다 높은 탄소함량을 보여 중유보다 큰 탄소배출계수를 가

Table 5. Comparison of net calorific value, carbon content, carbon emission factor in petroleum energy between 2013 and 2016

Energy Type	2013			2016		
	Net calorific value (TJ/Gg)	Carbon (wt%)	Carbon emission factor (kg/GJ)	Net calorific value (TJ/Gg)	Carbon (wt%)	Carbon emission factor (kg/GJ)
Regular Motor gasoline	43.03	83.30	19.36	42.74	83.64	19.57
Premium Motor gasoline	42.61	83.73	19.65	42.34	83.80	19.79
Naphtha	44.21	84.35	19.08	44.10	84.06	19.06
Industrial spirit(NO.1)	44.37	84.31	19.00	44.02	84.14	19.12
Industrial spirit(NO.2)	43.85	85.30	19.45	43.65	85.07	19.49
Kerosene	43.04	85.81	19.94	43.04	85.26	19.81
Jet Kerosene	42.83	85.76	20.02	42.69	84.38	19.77
Automotive diesel fuel	42.68	85.72	20.08	42.74	84.03	19.66
Marine diesel fuel	42.73	86.34	20.21	42.50	85.90	20.21
Heavy fuel oil(0.3 %)	41.85	86.86	20.76	41.62	87.66	21.06
Heavy fuel oil(0.5 %)	41.88	86.85	20.74	41.35	89.21	21.58
Heavy fuel oil(1.0 %)	40.85	87.44	21.41	40.94	88.67	21.66
Heavy fuel oil(4.0 %)	40.03	85.76	21.42	40.10	85.84	21.41
Asphalt(AP-5)	39.38	84.40	21.43	38.98	84.09	21.57
Lubricating base oil	43.36	85.78	19.78	43.14	85.90	19.92
By-product fuel oil (Kerosene type)	42.85	85.94	20.06	42.40	86.51	20.41
By-product fuel oil (Fuel oil type)	41.15	89.39	21.73	40.78	89.17	21.87

질 것으로 보인다.[1]

2013년과 2016년의 에너지원별 탄소배출계수는 큰 변화없이 유사한 값을 나타내었는데, 이는 배출계수 산정에 필요한 순발열량과 탄소함량이 비슷한 값을 나타내었기 때문이다. 탄소배출계수는 연료의 탄소함량에 비례하고 순발열량에 반비례하므로, 중유와 같이 탄소함량이 높고 순발열량이 낮은 무거운 에너지원이 나프타와 같이 탄소함량이 낮고 순발열량이 높은 가벼운 에너지원보다 큰 값을 나타낸다.[1]

3.3. 에너지원별 열량, 탄소배출계수 및 국내 고시값과의 변화 비교 분석

국내에서는 1980년 이후 일정 기간마다 에너지열량 환산기준을 고시해오고 있으며, 2006년

에너지법(구 에너지기본법)에 제시된 국내 에너지원별 열량환산기준표의 열량, 2011년 개정된 에너지법 시행규칙의 에너지원별 열량환산기준표에 제시된 열량과 2013년 및 2016년에 실제 분석한 석유계 에너지원의 열량에 대한 변화 비교 분석을 실시하였다.

국내 에너지원별 열량환산기준은 5년 주기로 개정하고 있으며, Table 6과 Fig. 2.는 2007년부터 2011년, 2012년부터 2016년까지 적용된 석유계 에너지원의 순발열량값과 2013년, 2016년 석유계 에너지원의 실제 측정값을 나타내었다.

2007년부터 2016년까지의 에너지원별 순발열량은 급격한 변화는 없었지만, 자동차용 휘발유, 석유화학제품의 원료로 사용되는 나프타와 아스팔트 등이 다소 큰 변화를 보였다. 또한 2013년

Table 6. Comparison of net calorific value in petroleum energy between the domestic legal specification and the real measurement in 2013, 2016

Energy Type	Net calorific value (TJ/Gg)					
	Value applied from 2007 to 2011	Value applied from 2012 to 2016	Difference (%)	Actual value In 2013	Actual value in 2016	Difference (%)
Regular Motor gasoline	43.74	42.75	-2.3	43.03	42.74	-0.7
Naphtha	45.63	43.87	-4.0	44.21	44.10	-0.2
Industrial spirit(NO.1)	44.57	44.86	+0.7	44.37	44.02	-0.8
Kerosene	43.01	43.01	0	43.04	43.04	0
Jet Kerosene	43.19	42.94	-0.6	42.83	42.69	-0.3
Automotive diesel fuel	42.94	42.81	-0.3	42.68	42.74	+0.1
Heavy fuel oil (Bunker C)	39.60	39.70	+0.3	40.03	40.10	+0.2
Asphalt(AP-5)	39.10	37.00	-5.7	39.38	38.98	-1.0
Lubricating base oil	42.49	43.43	+2.2	43.36	43.14	-0.5
By-product fuel oil (Kerosene type)	42.91	42.05	-2.0	42.85	42.40	-1.1
By-product fuel oil (Fuel oil type)	41.90	40.27	-4.0	41.15	40.78	-0.9

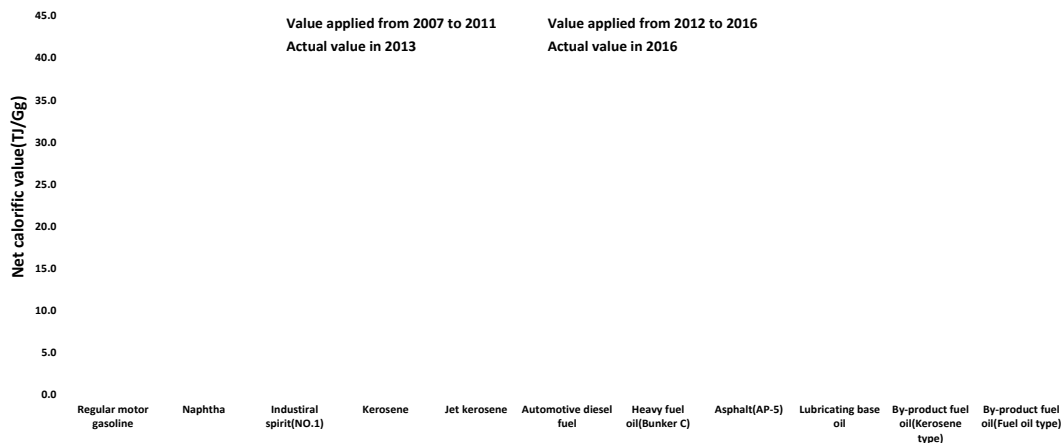


Fig. 2. Comparison of net calorific value in petroleum energy.

과 2016년의 실측 분석값은 약 1 % 이하의 편차를 보여 석유계 에너지원의 품질이 일정하게 유지되고 있는 것으로 판단된다. 2012년부터 2016년까지의 순발열량값과 2013년, 2016년의 실측된 순발열량값은 큰 편차를 보이지 않아 동기간동안 설정된 석유계 에너지원의 고시값은 적

절하다고 판단된다. 하지만, 2007년부터 2011년까지의 순발열량 고시값은 그 이후의 고시값 및 실측값과 다소 차이를 보이며, 이는 당시 석유계 에너지원의 조성이 차이가 날 수 있고, 고시값 산정을 위한 분석시료의 적절한 대표성 확보 여부에 따른 차이로 보인다.

Table 7과 Fig. 3은 2007년부터 2011년, 2012년부터 2016년까지 적용된 석유계 에너지원의 탄소배출계수와 2013년, 2016년 석유계 에너지원의 실제 측정된 탄소배출계수값을 나타내었다. 순발열량과 함께 탄소배출계수에서는 훨씬 작은 편차를 나타내었다.

3.4. 국내 에너지원별 순발열량, 탄소배출계수와 2006 IPCC Guideline과의 비교 분석

2006 IPCC G/L은 각 에너지원에 대한 순발열량과 탄소배출계수의 기본값 및 95 % 신뢰구간에서의 상한과 하한을 제시하고 있다. 2006년 에너지기본법에 제시된 국내 에너지원별 열량환산 기준표의 순발열량, 2011년 개정된 에너지법 시행규칙의 에너지원별 열량환산기준표에 제시된

Table 7. Comparison of carbon emission factor in petroleum energy between the domestic legal specification and the real measurement in 2013, 2016

Energy Type	Carbon emission factor (kg/GJ)					
	Value applied from 2007 to 2011	Value applied from 2012 to 2016	Difference (%)	Actual value in 2013	Actual value in 2016	Difference (%)
	Regular Motor gasoline	19.7	20.0	0.02	19.4	19.6
Naphtha	18.6	19.2	0.03	19.1	19.1	0.00
Industrial spirit(NO.1)	19.4	19.3	-0.01	19.0	19.1	0.01
Kerosene	19.5	19.6	0.01	19.9	19.8	-0.01
Jet Kerosene	19.6	19.8	0.01	20.0	19.8	-0.01
Automotive diesel fuel	20.0	20.2	0.01	20.1	19.7	-0.02
Heavy fuel oil (Bunker C)	20.8	20.6	-0.01	20.8	21.1	0.01
Asphalt(AP-5)	21.5	20.6	0.00	21.4	21.6	0.01
Lubricating base oil	19.7	19.9	0.01	19.8	19.9	0.01
By-product fuel oil (Kerosene type)	-	19.7	-	20.1	20.4	0.02
By-product fuel oil (Fuel oil type)	-	21.0	-	21.7	21.9	0.01



Fig. 3. Comparison of carbon emission factor in petroleum energy.

순발열량 및 탄소배출계수와 2016년 실제 분석한 석유계 에너지원의 순발열량 및 탄소배출계수에 대한 변화 비교 분석을 실시하였다. Fig. 4.에 2006년, 2011년 고시된 국내 에너지원별 열량환산기준표의 순발열량, 2013년 및 2016년 실측된 순발열량과 2006 IPCC 기본값, 하한 및 상한 값을 나타내었으며, 대부분의 에너지원이 비슷한 값을 나타내었으며, 윤활기유를 제외하고는 2006 IPCC G/L의 상한과 하한 범위내의 값을 보였다. 2006 IPCC G/L의 윤활유는 윤활기유와 함께 엔진 오일과 같은 최종 제품도 포함하며, 윤활유는 윤활기유에 여러 가지 종류의 첨가제를 넣어 만들어지며 일반적으로 첨가제는 윤활기유에 비해 무겁고 금속 성분을 포함하는 경우도 있어 윤활기유에 비해 낮은 발열량값을 나타내므로 2006 IPCC G/L의 상한을 다소 초과하는 것으로 나타났

다.[1]

Fig. 5.는 2007년부터 2016년까지의 5년 단위의 탄소배출계수, 2013년과 2016년의 실제 분석한 탄소배출계수와 2006 IPCC G/L의 탄소배출계수를 비교하였다. 용제와 중유형 부생연료유를 제외한 대부분의 에너지원이 2006 IPCC G/L과 유사한 값을 나타내었으며, 용제의 경우 2006 IPCC G/L의 백유(white spirit) 및 SBP(industrial spirit)와 비교하였는데 용제의 순발열량값이 2006 IPCC G/L의 기본값보다 높아 탄소배출계수도 높게 나타났다.[1] 부생연료유는 국내에서만 생산 및 소비가 이루어지고 있으며 2006 IPCC G/L과의 비교를 위해 기타 석유제품(other petroleum products)을 선택 비교하였다. 등유형 부생연료유의 탄소배출계수는 2006 IPCC G/L과 유사한 결과를 보였으나 중유형 부생연료유의 탄

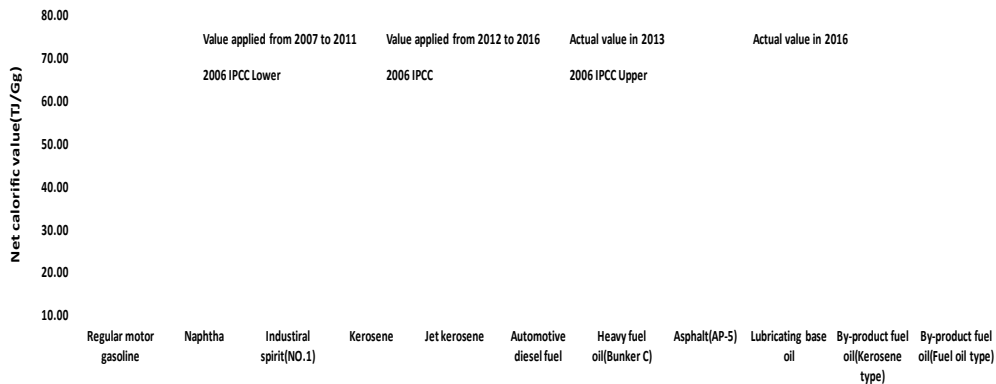


Fig. 4. Comparison of net calorific value in petroleum energy between real measurement value and 2006 IPCC G/L.

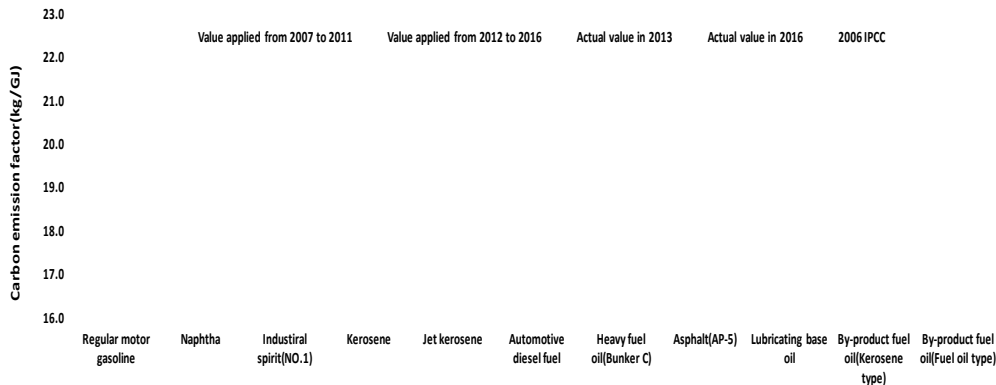


Fig. 5. Comparison of carbon emission factor in petroleum energy between real measurement value and 2006 IPCC G/L.

소배출계수는 높은 탄소함량으로 인해 큰 탄소배출계수를 가지는 것으로 보인다. 따라서, 부생연료유는 정확한 비교를 위해 기타 석유제품보다는 등유 및 중유와의 비교가 더 적합한 것으로 나타났다.

4. 결론

본 연구에서는 2007년부터 2016년까지 5년 단위로 고시된 국내 에너지별 에너지원별 열량환산기준과 2013년, 2016년 국내에서 생산된 석유계 에너지원의 발열량, 탄소함량, 탄소배출계수의 실측값, 2006 IPCC G/L의 기본값 등과의 변화 비교 분석을 실시하였다.

1. 국내 석유계 에너지원의 물성은 자동차용 보통휘발유의 방향족 함량과 선박용 경유의 황 함량 품질기준이 일부 강화된 부분을 제외하고 큰 변화가 없었다.
2. 2007년부터 2016년까지 5년 단위의 국내 에너지원별 열량환산 기준에서 고시된 순발열량 및 탄소배출계수는 대체적으로 큰 변화없이 일정한 값으로 설정되었으며, 2013과 2016년의 실측된 분석값과도 큰 차이를 보이지 않았다.
3. 2007년부터 2016년까지 국내 에너지원별 열량환산기준, 2013년과 2016년 실측된 순발열량 및 탄소배출계수의 분석값과 2006 IPCC G/L의 기본값과의 비교분석에서 대부분의 에너지원이 2006 IPCC G/L의 기본값 및 상한, 하한 범위내의 값을 나타내었으나 윤활기유와 중유형 부생연료유가 다소 벗어난 값을 나타내었다.

본 연구는 국내에 고시된 에너지원별 열량환산기준과 실제 에너지원의 분석값, 2006년 IPCC G/L과의 비교분석을 통해 향후 국가 고유의 에너지원별 순발열량과 탄소배출계수의 산정을 위한 자료로 활용가능하며, 장기적인 실측 데이터를 통해 연료 특성 변화를 모니터링하여 적절한 탄소배출계수의 산정 주기 검토와 개발이 필요할 것이다.

References

1. W. G. Lim, J. W. Doe, H. K. Kang, J. H. Ha and S. S. Lee, "Development of Calorific Values and Carbon Emission Factors for Petroleum Energy in Korea from 2012 to 2013", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol.30, No.4 pp. 301-310, (2014).
2. W. G. Lim, J. W. Doe, H. K. Kang, J. H. Ha and S. S. Lee, "CO₂ Emission Characteristics of Bunker C Fuel Oil by Sulfur Contents", *Journal of Korean Society for Atmospheric Environment*, Vol.31, No.4 pp. 368-377, (2015).
3. National Greenhouse Gas Inventory Report of Korea, *Greenhouse Gas Inventory & Research Center of Korea*, (2011).
4. S. D. Kim, S. H. Na, "Calculation Method of the Emission of Green Hous Gas", *The Magazine of the IEEK*, Vol.35, No.11 pp. 67-73, (2010).
5. T. H. Kim, S. I. Lee, Y. I. Kim, J. H. Rho, "Comparison Study of Generated Greenhouse Gas(GHG) Amount Estimation from Road Transportation", *J. of Korean Soc. Civ. Eng.*, Vol.58, No.9 pp. 67-73, (2010).
6. H. K. Kang, J. W. Doe, J. H. Ha and B. K. Na, "A Study on Property and CO₂ Emission Factor of Domestic Transportation Fuel", *Journal of Energy Engineering*, Vol.23, No.3 pp. 72-81, (2014).
7. H. S. Eggleston, L. Buendia, K. Miwa, T. Ngara, and K. Tanabe, *2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Vol.1-2, IGES, (2006).
8. S. J. Kim, J. W. Lee, S. H. Lee, J. H. Sa, B. S. Choi and E. C. Jeon, "Development of Classification Method for Anthracite and CO₂ Emission Factor to Improve the Quality of National GHG Inventory", *Climate Change Research*, Vol.4, No.1 pp. 27-39, (2013).

9. KS M ISO 12185, "Crude petroleum and petroleum products - Determination of density - oscillating U-tube method", Korean Standards Association, Korea, (2013).
10. KS M ISO 8754, Petroleum products - Determination of sulfur content - Energy dispersive X-ray fluorescence method, Korean Standards Association, Korea, (2016).
11. KS M ISO 12937, Crude petroleum and petroleum products - Determination of water - Coulometric Karl Fischer titration method, Korean Standards Association, Korea, (2013).
12. KS M 2057, Crude petroleum and petroleum products - Determination and estimation of heat of combustion, Korean Standards Association, Korea, (2016).
13. ASTM D 5291, Standard test methods for instrumental determination of carbon, hydrogen, and nitrogen in petroleum products and lubricants, American Society for Testing and Materials, US, (2016).
14. H. K. Kang, J. W. Doe, W. G. Lim, I. H. Hwang, J. H. Ha and B. K. Na, "The analysis of Change on Property and CO₂ Emission Factor of Domestic Transportation Fuel from 2012 to 2013", *Journal of Korean Oil Chemists' Society*, Vol.33, No.4 pp. 853-861, (2016).
15. Petroleum and Petroleum Substitute Fuel Business Act, Korea, (2015).