



Original Article

## C 중유의 황 함유량에 따른 열량 특성

임완규<sup>1,†</sup> · 도진우<sup>2</sup> · 임의순<sup>3</sup>

<sup>1</sup>한국석유관리원 석유기술연구소 책임연구원

<sup>2</sup>한국석유관리원 석유기술연구소 선임연구원

<sup>3</sup>한국석유관리원 석유기술연구소 팀장

# Characteristics of Calorific Values for Bunker C Fuel Oil by Sulfur Contents

Wangyu Lim<sup>1,†</sup>, Jinwoo Doe<sup>2</sup>, and Euisoon Yim<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Head researcher, Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Cheongju 28115, Korea

<sup>2</sup>Senior researcher, Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Cheongju 28115, Korea

<sup>3</sup>Team leader, Research Institute of Petroleum Technology, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority, Cheongju 28115, Korea

### 요 약

국제해사기구는 선박에서 배출되는 황산화물을 제한하기 위하여 2020년 1월 1일부터 연료에 대한 새로운 0.5% 황 함량 규제를 의무화하였다. 이 규제는 국제 항해에 종사하는 모든 선박에 대해 황 함량 0.5% 이하의 연료를 사용하거나 배출가스후처리장치를 사용하도록 규정하고 있다. 본 연구에서는 대형 선박에 주로 사용되는 연료인 C 중유의 황 함유량에 따른 열량 특성을 조사하였다. 이를 위해 연료의 황 함량, 발열량, 수소 함량, 밀도를 측정하였으며, 연료의 단위 질량 당 열량 및 단위 부피 당 열량을 산출하였다. 연구 결과, 황 함량이 감소할수록 단위 질량 당 열량은 증가하여 0.5% C 중유가 4.0% C 중유보다 1.53 MJ/kg 정도 큰 순발열량 값을 보였다. 밀도는 황 함량이 감소할수록 작아져서 0.5% C 중유가 4.0% C 중유보다 0.05 g/cm<sup>3</sup> 정도 작은 밀도 값을 나타내었다. 이러한 변화는 황 함량 1.0% 미만의 C 중유에서 현저히 나타났다. 단위 부피 당 열량은 황 함량이 증가할수록 증가하였지만, 황 함량 1.0~4.0%의 C 중유에서는 확연한 변화를 보이지는 않았다.

**Abstract** – The International Maritime Organization (IMO) will enforce a new 0.5% global sulphur cap on fuel from 1 January 2020 to regulate sulfur oxides (SO<sub>x</sub>) emissions from ships. This regulation specifies that all vessels in international waters have to use fuels with sulfur content up to a maximum of 0.5% or install exhaust gas cleaning systems. The objective of this study is to investigate the characteristics of calorific values for bunker C fuel oil, which is the main fuel for large vessels, by sulfur contents. For this, sulfur contents, calorific values, hydrogen contents, and densities of bunker C oils were measured so as to determine gravimetric and volumetric calorific values. The results showed that gravimetric calorific values increased by decreasing sulfur contents. 0.5% bunker C oil had approximately 1.53 MJ/kg higher net calorific value than 4.0% bunker C oil. Densities decreased by decreasing sulfur contents, so that 0.5% bunker C oil showed approximately 0.05 g/cm<sup>3</sup> smaller density than 4.0% bunker C oil. This variation was observed remarkably for bunker C oil with sulfur contents of less than 1.0%. The volumetric calorific values increased as the sulfur contents of the fuels increased but there was no evident variations for the fuels with sulfur contents between 1.0% and 4.0%.

**Keywords:** Bunker C fuel oil(C 중유), Calorific values(열량), Sulfur content(황 함량), Sulfur cap(황산화물 배출량 상한선 비율)

<sup>†</sup>Corresponding author: wklm@kpetro.or.kr

## 1. 서 론

황산화물(SO<sub>x</sub>)은 대표적인 대기오염물질로 주로 석탄이나 석유와 같은 화석연료의 연소 시에 대기 중으로 배출된다. 황산화물은 인체에 호흡기 질환을 유발하고 동물이나 농작물의 피해 및 각종 시설물의 부식, 손상으로 재산상의 손실을 가져올 뿐만 아니라 산성비의 주요 원인이 되어 생태계에 부정적인 영향을 미친다(Choi *et al.*[1985]).

대표적인 해상교통 수단인 선박은 일반적으로 규모가 크고 주로 중유나 경유를 연료로 하는 엔진이나 보일러를 사용하기 때문에 다른 교통수단에 비해 다량의 황산화물을 배출한다. 해상에서 선박에 의해 대기로 방출되는 황산화물의 양(27,000 ppm, 2.7% m/m)은 각종 육상운송수단(10 ppm) 보다 훨씬 많은 것으로 알려져 있기 때문에(Jom[2008]), 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)를 중심으로 선박의 황산화물 배출에 대한 규제를 강화하고 있다. 세계 각국 및 국제해사기구에서는 선박에서 배출되는 황산화물을 제한하기 위하여 배출통제지역(Emission Control Area, ECA)을 설정하는 등 지속적으로 황산화물의 배출규제를 강화하여 왔으며, 전 세계의 모든 해역에 대해서도 강화된 규제를 적용하고 있다. 배출통제지역으로 지정된 북해 및 발틱해역은 2010년 7월 1일 이후부터 1.0%(m/m) 이하의 황 함유량 제한이, 북아메리카 해역은 2012년 8월 1일 이후부터 1.0%(m/m) 이하의 황 함유량 제한이 설정되었으며, 2015년 1월 1일부터는 배출통제지역을 운항하는 선박은 0.1%(m/m) 이하의 황 함량을 가지는 연료 사용이 의무화되었다. 배출통제지역 이외의 해역에 대해서는 2012년 1월 1일 이후 황 함량 3.5%(m/m) 이하의 연료 사용이 의무화되었으며, 2020년 1월 1일 이후부터는 국제 항해에 종사하는 모든 선박은 배출규제해역 이외의 전 세계 모든 해역에서 황 함량 0.5 % (m/m) 이하의 연료유를 사용하거나 동등 이상의 효과를 가지는 배출가스후처리장치를 사용해야 한다(IMO MARPOL ANNEX VI[2008]; Lee and Song[2008]).

선박용 연료로는 일반적으로 소형 선박에는 경유를, 대형 선박에는 C 중유를 연료로 사용하며 필요에 따라 두 연료를 혼합하여 사용하기도 한다. 대형 선박에 주로 사용되는 연료인 C 중유는 원유를 분별증류하여 휘발유, 등유, 경유 등을 얻은 후 남은 잔사유를 주성분으로 하며 벙커C유(bunker C fuel oil)라고도 불린다. 국내에서는 중유 가운데 가장 많이 소비되고 있으며 대형 보일러, 대형 저속 디젤기관 등의 연료로 예열보온설비가 갖춰진 연소장치에 사용된다. 국내에서 사용되는 C 중유는 황산화물로 인한 대기오염 방지를 위해 황 함유량을 4.0% 이하로 제한하고 있으며, 지역에 따라 황 함량 0.3% 이하, 0.5% 이하 등 보다 강화된 황 함량 기준을 적용하기도 한다(KMOE[2017]).

본 연구에서는 국내에서 생산, 소비되는 C 중유의 황 함량에 따른 열량 특성을 분석하고자 하였다. C 중유는 국내에서 생산된 제품을 대상으로 하였으며 황 함량 기준에 따라 황 함량 0.3% 이하, 0.3~0.5%, 0.5~1.0%, 1.0~4.0%의 네 그룹으로 나누어 시료를 수집하였다. 수집된 시료는 황 함량, 발열량, 수소 함량, 밀도 등을 측

**Table 1.** Description of the bunker C (B-C) oil samples used in this study

Sulfur content (Fuel name)	No. of samples	
	Collected	Selected
< 0.3% (0.3% B-C)	62	25
0.3~0.5% (0.5% B-C)	33	25
0.5~1.0% (1.0% B-C)	22	22
1.0~4.0% (4.0% B-C)	65	25

정하여 총발열량 및 순발열량을 산출하고 C 중유의 황 함량 변화에 따른 총발열량 및 순발열량의 변화 특성을 분석하였다.

## 2. 재료 및 방법

### 2.1 시험재료의 선정 및 시료의 수집

국내에서 생산 및 소비되는 C 중유는 황 함량에 따라 네 그룹으로 구분되므로, 본 연구에서는 C 중유를 황 함량 0.3% 이하(0.3% C 중유), 0.3~0.5%(0.5% C 중유), 0.5~1.0%(1.0% C 중유), 1.0~4.0%(4.0% C 중유)로 나누고 제품이 생산되는 국내 정유공장의 제품을 대상 시료로 선정하였다. 연구에 사용된 시료는 금속제 캔을 이용하여 채취하였으며, 시료의 수집은 월 단위로 이루어졌다. 0.3% C 중유 및 4.0% C 중유에 비해 0.5% C 중유 및 1.0% C 중유의 생산은 필요시에만 불규칙적으로 이루어지므로 상대적으로 적은 수의 시료가 수집되었다. 시료 수에 의한 영향을 줄이기 위하여 가장 적은 수의 시료가 수집된 1.0% C 중유의 시료 수를 기준으로 다른 C 중유의 시료 수를 조정하였다. 황 함량 범위에 따라 수집된 C 중유의 시료 수 및 본 연구에 사용된 시료 수를 Table 1에 나타내었다.

### 2.2 황 함량 측정

시료에 포함된 황 성분은 연소되어 이산화황이 된 후, 물과 반응하여 황산을 생성한다. 이때, 황산 생성열이 발생하므로, 측정된 발열량 값에서 황산 생성열을 감해주어야 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 100 초간 진행되었고, 시료의 황 함량은 표준물질을 사용하여 미리 정해놓은 검량선으로부터 계산하여 구했다.

### 2.3 발열량 측정

시료의 발열량은 액체탄화수소 연료의 열량을 측정하는 표준 시험방법인 ASTM D240에 따라 측정하였다(ASTM[2014]). 발열량 측정에는 봄베 열량계(6400 Calorimeter, Parr, USA)를 사용하였으며, 0.3~0.5 g의 시료가 측정에 사용되었다. 시료 컵에 담겨진 시료는 3.0 MPa의 순 산소 분위기 하에서 열량계의 봄베 속에서 연소되었고, 연소 전후의 온도 차이로부터 연료의 발열량이 구해졌다. 측정된 시료는 모두 황 함량이 0.1 wt%를 초과하였으므로 ASTM D240에

따라 황산 생성에 의한 영향을 보정한 값을 총발열량으로 결정하였다.

순발열량은 ASTM D240에 따라 시료의 총발열량 및 수소 함량을 바탕으로 다음과 같이 계산하였다(ASTM[2014]).

$$Q_n = Q_g - 0.2122 \times H \quad (1)$$

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.

#### 2.4 수소 함량 측정

시료의 수소 함량 측정은 석유제품 및 운할유의 수소, 탄소 및 질소 함량을 측정하는 표준 시험방법인 ASTM D5291에 따라 수행하였다(ASTM[2010]). 수소 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 수소는 수증기(H<sub>2</sub>O)로 전환된 후 가스크로마토그래프(GC)를 통해 수소 함량이 결정되었다. 측정된 수소 함량은 총발열량으로부터 순발열량을 산출하는데 사용하였다.

#### 2.5 밀도 측정

밀도는 단위 부피 당 질량으로 표현되며, 질량 기준의 측정값을 부피 기준의 측정값으로 전환하는데 사용된다. 본 연구에서 밀도는 C 중유의 단위 질량 당 발열량(MJ/kg)을 단위 부피 당 발열량(MJ/L)으로 환산하는데 사용되었다. 시료의 밀도는 원유 및 석유제품의 밀도를 측정하는 표준 시험방법인 ISO 12185에 따라 측정하였다(ISO[1996]). 밀도 측정에는 진동 U-자관 밀도계(DMA 4500, Anton Paar, Austria)를 사용하였으며, 약 1.5 mL의 시료를 사용하여 15 °C에서 밀도를 측정하였다.

### 3. 결과 및 고찰

#### 3.1 황 함량 변화에 따른 단위 질량 당 열량의 변화

순수 물질의 발열량은 생성 엔탈피가 알려져 있는 경우 연소 엔탈피 계산을 통해 쉽게 계산할 수 있으며, 이중 원소를 포함하고 있는 화합물의 발열량은 질소는 N<sub>2</sub>로, 황은 SO<sub>2</sub>로 전환된다는 가정과 화합물의 생성 엔탈피 정보가 있으면 연소 엔탈피 계산을 통해 발열량을 계산할 수 있다(Lloyd and Davenport[1980]). 그러나 C 중유와 같은 석유계 연료는 무수한 화합물의 혼합체이므로 연소 엔탈피 계산을 통해서 발열량 값을 얻기가 힘들며 측정을 통해서 발열량 값을 얻어야 한다.

C 중유의 황 함량을 x축으로, 단위 질량 당 열량을 y축으로 하여 황 함량 변화에 대한 총발열량(MJ/kg)의 변화를 Fig. 1에 나타내었다. Fig. 1의 직선은 각 그룹별 황 함량 평균값에 대한 총발열량의 평균값을 도식화하여 나타낸 것인데 황 함량이 가장 적은 0.3% C 중유가 단위 질량 당 가장 높은 총발열량을 나타내고 황 함량이 가장 높은 4.0% C 중유가 가장 낮은 총발열량을 보인다. 황 함량이 1.0% 이하인 0.3% C 중유, 0.5% C 중유, 1.0% C 중유에서의 황 함량 감소에 대한 총발열량의 증가 정도가 1.0% C 중유와 4.0% C 중유에서의 총발열량 증가 정도에 비해 큰 것을 알 수 있다. 0.3% C 중유와 0.5% C 중유는 4.0% C 중유보다 각각 1.98 MJ/kg, 1.80 MJ/kg 정도 큰 총발열량 값을 가진다.

Fig. 2는 황 함량에 대한 C 중유의 단위 질량 당 순발열량 변화를 나타낸다. Fig. 1의 총발열량과 마찬가지로 황 함량이 낮아질수록 순발열량이 커지는 경향을 나타내며, 황 함량이 1.0% 이하인 C 중유에서의 황 함량 감소에 대한 순발열량의 증가 정도가 1.0% C 중유와 4.0% C 중유에서의 순발열량 증가 정도에 비해 큰 것을 알 수 있다. 0.3% C 중유와 0.5% C 중유는 4.0% C 중유보다 각각 1.64 MJ/kg, 1.53 MJ/kg 정도 큰 순발열량 값을 가진다.

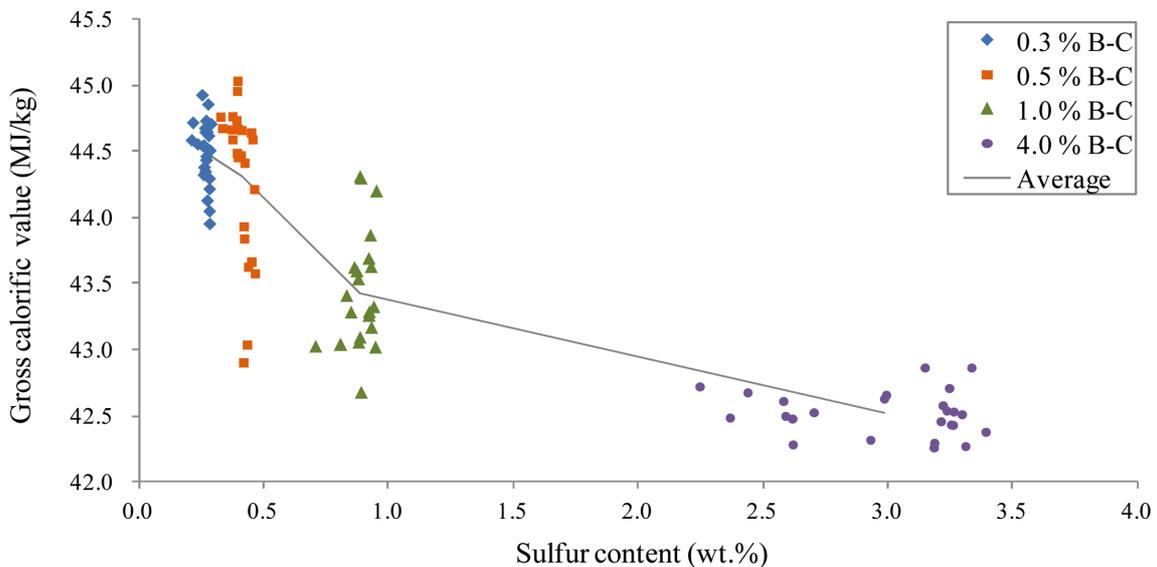


Fig. 1. Variation of gravimetric gross calorific value by sulfur content in bunker C fuel oil.

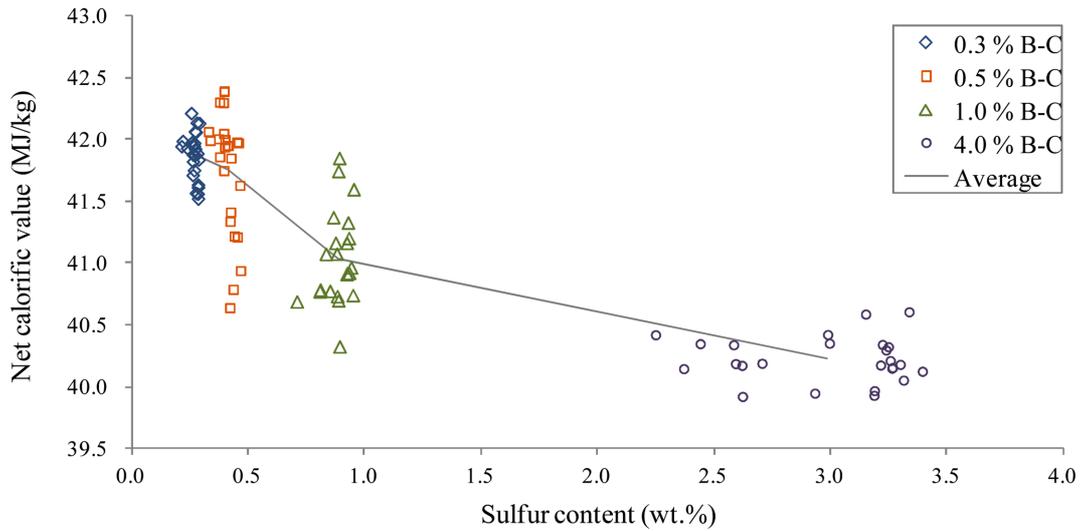


Fig. 2. Variation of gravimetric net calorific value by sulfur content in bunker C fuel oil.

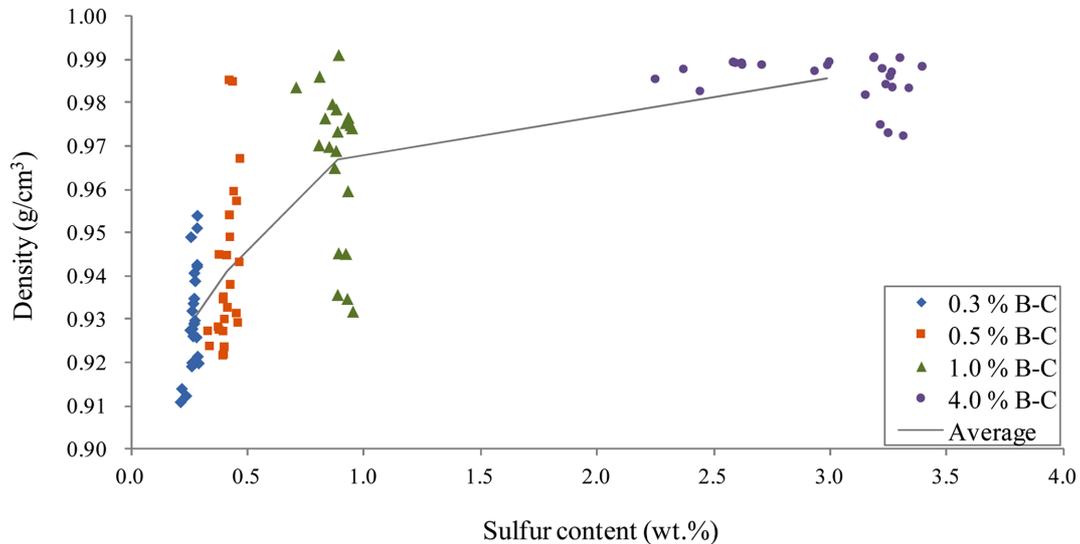


Fig. 3. Variation of density by sulfur content in bunker C fuel oil.

### 3.2 황 함량 변화에 따른 밀도의 변화

일반적으로 밀도가 작은 연료는 밀도가 큰 연료에 비해 단위 질량 당 더 높은 열량을 가지고 밀도가 큰 연료는 밀도가 작은 연료에 비해 단위 부피 당 더 높은 열량을 가진다(Petchers[2003]). 연료의 밀도는 연료의 구성에 따라 달라지므로 C 중유의 황 함량이 변하게 되면 C 중유의 밀도도 변할 것이라고 예측할 수 있다.

Fig. 3은 황 함량에 대한 C 중유의 밀도 변화를 나타낸 것이며 그림의 직선은 각 그룹별 황 함량 평균값에 대한 C 중유 밀도의 평균값을 도식화하여 나타낸 것이다. 그림에서 보여지듯 황 함량이 가장 적은 0.3% C 중유가 가장 낮은 밀도를 나타내고 황 함량이 가장 높은 4.0% C 중유가 가장 높은 밀도를 보인다. 이는 황의 원자량(32.065 g/mol)이 탄소(12.011 g/mol) 및 수소(1.008 g/mol)의 원자량에 비해 크기 때문에 탈황 공정에 의해 황이 제거될수록 단위 부피당 C 중유의 무게가 감소하기 때문으로 해석할 수 있다. 황

함량이 1.0% 이하인 0.3% C 중유, 0.5% C 중유, 1.0% C 중유에서의 황 함량 감소에 대한 밀도의 감소 정도가 1.0% C 중유와 4.0% C 중유에서의 밀도 감소 정도에 비해 크다. 0.3% C 중유와 0.5% C 중유는 4.0% C 중유보다 각각 0.06 g/cm<sup>3</sup>, 0.05 g/cm<sup>3</sup> 정도 작은 밀도 값을 가진다.

### 3.3 황 함량 변화에 따른 단위 부피 당 열량의 변화

연료의 단위 질량 당 열량이 높을수록 동일 열량을 얻기 위해 적 재해야하는 연료의 무게가 작아지므로 단위 질량 당 열량이 높은 연료의 사용이 보다 효율적일 것이다. 그러나 한정된 용량을 가지는 연료탱크를 고려하면 연료를 가득 채울 경우 단위 부피 당 열량이 높은 연료의 사용이 보다 긴 항행 거리에 유리할 수 있으므로 단위 부피 당 열량에 대한 검토도 필요하다. 일반적으로 연료는 부피 단위로 거래가 이루어진다는 점도 부피 기준의 열량값에 대한 필요

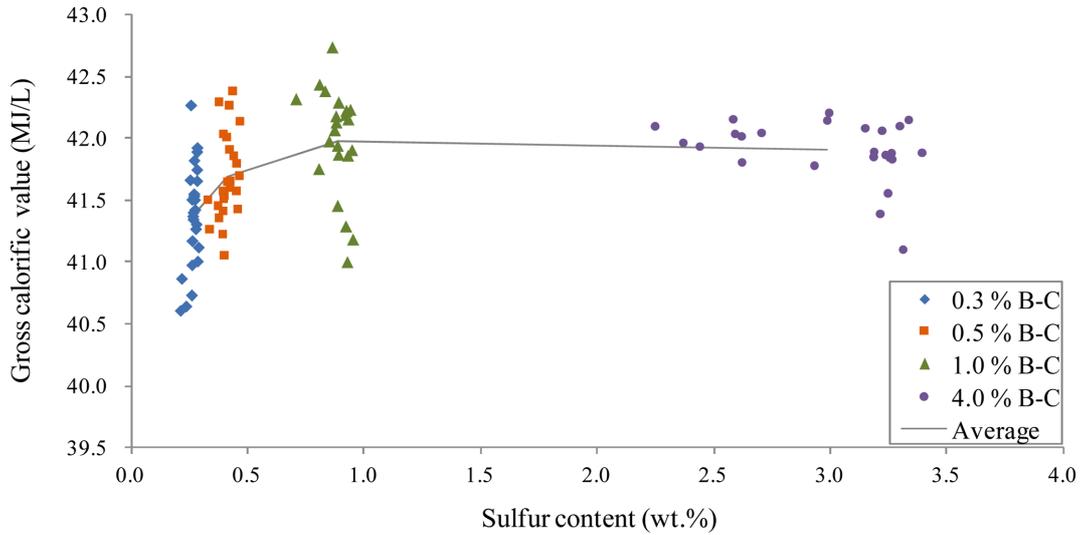


Fig. 4. Variation of volumetric gross calorific value by sulfur content in bunker C fuel oil.

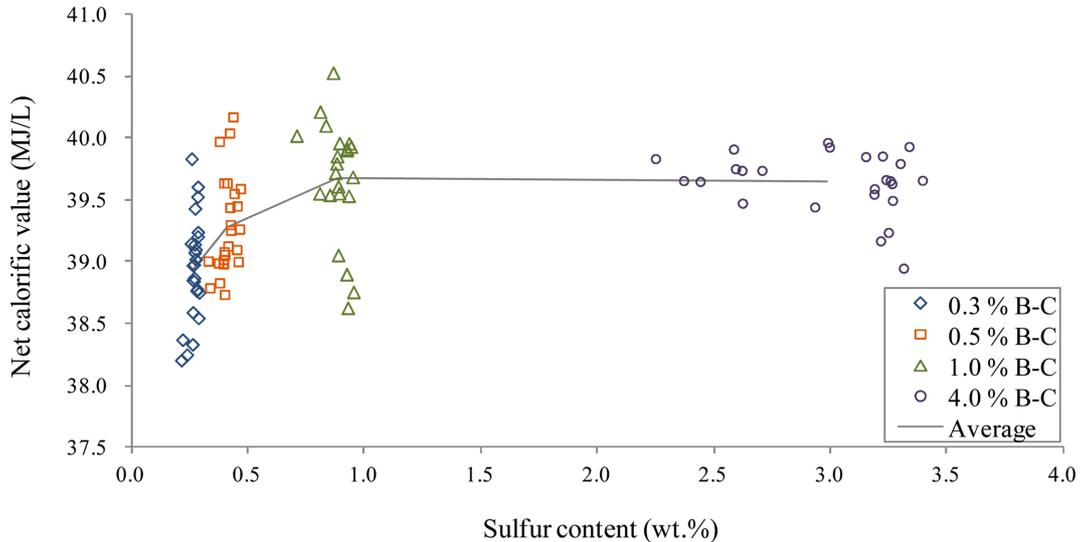


Fig. 5. Variation of volumetric net calorific value by sulfur content in bunker C fuel oil.

성을 뒷받침한다.

연료의 단위 부피 당 열량은 bombe 열량계를 이용하여 측정된 단위 질량 당 열량값에 연료의 밀도를 곱하여 얻을 수 있다. 이를 이용하여 산출한 C 중유의 단위 부피 당 열량을 황 함량 변화에 대해 도식화하여 Fig. 4에 나타내었다. Fig. 4의 직선은 각 그룹별 황 함량 평균값에 대한 총발열량의 평균값을 나타낸 것인데 황 함량 평균이 0.27%인 0.3% C 중유의 총발열량 평균은 41.37 MJ/L, 황 함량 평균이 0.41%인 0.5% C 중유의 총발열량 평균은 41.69 MJ/L, 황 함량 평균이 0.89%인 1.0% C 중유의 총발열량 평균은 41.98 MJ/L로 황 함량 1.0% 이하의 C 중유에서는 황 함량이 증가할수록 총발열량도 증가하는 경향을 보인다. 반면에 황 함량 평균이 2.99%인 4.0% C 중유의 총발열량 평균은 41.91 MJ/L로 1.0% C 중유의 총발열량 평균 41.98 MJ/L와 비교하여 다소 감소하지만 황 함량 변화 대비 총발열량의 변화가 크지 않은 것을 알 수 있다. 0.3% C

중유와 0.5% C 중유는 4.0% C 중유보다 각각 0.54 MJ/L, 0.22 MJ/L 정도 작은 총발열량 값을 가진다.

Fig. 5는 황 함량에 대한 C 중유의 단위 부피 당 순발열량 변화를 나타내는데 Fig. 4의 총발열량과 비슷한 경향을 나타내어 황 함량 1.0% 이하의 C 중유에서는 황 함량이 증가할수록 순발열량도 증가하는 경향을 보이는 반면에 4.0% C 중유의 순발열량은 1.0% C 중유의 순발열량과 비슷한 값을 나타내며 변화가 크지 않는 결과를 보인다. 0.3% C 중유와 0.5% C 중유는 4.0% C 중유보다 각각 0.71 MJ/L, 0.36 MJ/L 정도 작은 순발열량 값을 가진다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 C 중유를 0.3% C 중유(황 함량 0.3% 이하), 0.5% C 중유(황 함량 0.3~0.5%), 1.0% C 중유(황 함량 0.5~1.0%), 4.0%

C 중유(황 함량 1.0~4.0%)의 네 그룹으로 나누고 발열량 및 밀도의 측정을 통해 C 중유의 황 함유량에 따른 열량 특성을 분석하였다.

단위 질량 당 열량은 황 함량이 증가할수록 감소하여 황 함량이 가장 적은 0.3% C 중유가 총발열량과 순발열량 모두 가장 큰 값을 보였으며 4.0% C 중유가 가장 작은 값을 나타내었다. 황 함량의 증가에 따른 발열량의 감소 정도는 1.0% C 중유와 4.0% C 중유보다 황 함량 1.0% 이하의 C 중유에서 큰 경향을 보였다.

단위 부피 당 질량을 나타내는 밀도는 황 함량이 증가할수록 증가하여 0.3% C 중유가 가장 낮은 밀도를 나타내었고 황 함량이 가장 높은 4.0% C 중유가 가장 높은 밀도를 보였다. 이는 탄소나 수소에 비해 원자량이 큰 황이 탈황 공정에 의해 제거될수록 단위 부피당 C 중유의 무게가 감소하기 때문으로 해석할 수 있다.

연료의 단위 질량 당 열량과 밀도를 곱해서 얻어지는 단위 부피 당 열량은 황 함량이 증가할수록 증가하는 경향을 보이며 0.3% C 중유가 총발열량과 순발열량 모두 가장 작은 값을 보였지만, 4.0% C 중유는 1.0% C 중유와 비교하여 황 함량 증가에 따른 열량의 변화가 확연히 나타나지는 않았다.

선박의 황산화물 배출 규제 강화로 향후 황 함량 0.5% 이하의 연료유 사용이 확대될 것으로 예상되고 있다. 본 연구를 통해 도출된 황 함량 변화에 따른 C 중유의 열량 특성은 선박의 특성에 맞는 연료의 선택 및 적재, 황산화물 규제 대응 방법의 선정 등에 활용될 수 있을 것이다.

## References

- [1] ASTM (American Society for Testing and Materials), 2014, Standard Test Method for Heat of Combustion of Liquid Hydrocarbon Fuels by Bomb Calorimeter, ASTM D240.
- [2] ASTM (American Society for Testing and Materials), 2010, Standard Test Methods for Instrumental Determination of Carbon, Hydrogen, and Nitrogen in Petroleum Products and Lubri-

cants, ASTM D5291.

- [3] Choi, D.I., Kho, K.S., Chung, Y.H., You, K.H., Kim, H.S., Shin, M.J., Chae, Y.S., and Pyo, J.H., 1985, Evaluation of the Performance of Venturi-Scrubber as a SO<sub>x</sub> Absorber, National Environmental Protection Institute, Korea.
- [4] IMO MARPOL ANNEX VI, 2008, Prevention of Air Pollution from Ships.
- [5] ISO (International Organization for Standardization), 1996, Crude petroleum and petroleum products - Determination of density - Oscillating U-tube method, ISO 12185.
- [6] ISO (International Organization for Standardization), 2003, Petroleum products - Determination of sulfur content - Energy-dispersive X-ray fluorescence spectrometry, ISO 8754.
- [7] Jorn, P.W., 2008, One ship pollutes as much as 50 million cars, DK Group Report.
- [8] KMOE (Korean Ministry of Environment), 2017, Clean Air Conservation Act.
- [9] Lee, G.H. and Song, M.S., 2008, Some Issues on the International Regulations Associated with the Air Pollution Caused by the SO<sub>x</sub> Emission at Sea, J. Korean Soc. Mar. Environ. Energy, 11(4), 221-226.
- [10] Lloyd, W.G. and Davenport, D.A., 1980, Applying thermodynamics to fossil fuels: Heats of combustion from elemental compositions, J. Chem. Educ., 57(1), 56-60.
- [11] Petchers, N.K., 2003, Combined Heating, Cooling & Power Handbook: Technologies & Applications: An Integrated Approach to Energy Resource Optimization, first ed., Fairmont Press, Lilburn.

---

Received 17 October 2018

Revised 6 November 2018

Accepted 12 November 2018