

## 신조선에서 연료탄소로부터의 CO<sub>2</sub> 배출 특성

장미숙<sup>1,\*</sup> · 김은찬<sup>1</sup> · 문일성<sup>1</sup> · 이재우<sup>2</sup> · 권오신<sup>2</sup>

<sup>1</sup>한국해양연구원 해양시스템안전연구소  
<sup>2</sup>현대중공업(주)

## CO<sub>2</sub> Emission from Carbon of Marine Fuel Oil in New Ships

Mi-Suk Jang<sup>1,\*</sup>, Eun-Chan Kim<sup>1</sup>, Il-Sung Moon<sup>1</sup>, Jae-Woo Lee<sup>2</sup> and Oh-Sin Kwon<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Maritime & Ocean Engineering Research Institute(MOERI)/Korea Ocean Research & Development Institute(KORDI),  
171 Jang-dong, Yuseong-gu, Daejeon 305-343, Korea  
<sup>2</sup>Hyundai Heavy Industries Co., Ltd., Ulsan 682-792, Korea

### 요 약

본 연구는 선박에서 배출되는 배기가스의 농도 측정, 연소효율 평가와 국제해사기구에서 권장하는 인덱싱 방법의 검토를 통해 이산화탄소 규제관련 대응전략 수립을 위한 기초자료 확보에 목적을 둔다. 평가된 평균 연소효율은 새 엔진의 경우 98%, 신조선의 경우 96.5%로 조사되었다. 연소효율은 엔진 및 선박의 노후로 점점 감소할 것으로 예상되며, 연소효율이 높으면 배기가스 중에 이산화탄소의 농도가 증가하고 연소효율이 낮으면 불완전연소 생성물의 방출이 증가되기 때문에 문제가 된다. 유해 오염물질을 방출하지 않고 가장 효율적으로 이산화탄소를 제어하기 위해 연료 대체, 연료 저소모 엔진 개발 및 경제적 선속 유지를 위한 해운사간 협조가 필요할 것이다. 국제해사기구의 인덱싱 방법을 검토한 결과, 보다 실제에 가까운 이산화탄소 배출량을 산출하기 위해서는 사용 연료의 탄소 함량을 조사하고 국제해사기구의 권장 수치와 비교하여 지수화 작업을 진행하는 것이 바람직한 것으로 나타났다.

**Abstract** – This study dealt with the measurement of exhausted gas concentration, the estimation of a combustion efficiency, and the review of IMO indexing. We concentrated on establishing the basic data to take a counterplan coping with CO<sub>2</sub> regulations. The average combustion efficiency was 98% in shop test of new engines and 96.5% in sea trial test of new ships, respectively. It would become lower for the old engine or/and ship. High combustion efficiency results in high CO<sub>2</sub> emission and low combustion efficiency results in high emission of incomplete combustion products. The efficient method reducing CO<sub>2</sub> emission without an increase in noxious air pollutants would be the development of a substitute fuel and the fuel-efficient and economical engine, and the fair play among shipping agencies in a ship speed. In reviewing of IMO indexing, it is necessary to begin by analyzing the carbon content of a marine fuel for a precise estimates.

**Keywords:** CO<sub>2</sub>(이산화탄소), Combustion efficiency(연소효율), Indexing(인덱싱), Fuel-C(연료탄소)

### 1. 서 언

이산화탄소(CO<sub>2</sub>)는 연료 중 탄소성분이 공기 중 산소와 연소하여 생성되는 연소 생성물로 대기 중에서 긴 파장의 복사선(열)을 흡수하여 지구 온도를 상승시키는 온실기체 중 하나이다. 온실기체는 이산화탄소, 메탄(CH<sub>4</sub>), 아산화질소(N<sub>2</sub>O), 수소불화탄소(HFC), 과불화탄소(PFC), 육불화황(SF<sub>6</sub>)이다.

2005년 2월 교토의정서의 발효로 각 당사국은 이산화탄소 감축 의무를 갖게 되었으며 이로 인해 이산화탄소의 현재 현황 및 감

축방안 연구와 향후 증가 추세를 정밀하게 분석하는 것이 필요하게 되었다.

이산화탄소의 전지구적 영향으로 지금까지 육상의 산업과 자동차 분야에 국한되었던 관심은 해상의 선박 배기가스로 확대되었다. 이로 인해 국제해사기구(IMO)의 해양환경보호위원회(MEPC)에서는 각 당사국으로 하여금 교토의정서에 따라 이산화탄소에 대한 인덱싱(indexing) 평가 결과보고서를 제출하도록 하였고 53차 당사국회의부터 이에 대한 활발한 논의를 진행하고 있다.

미국의 경우 2004년 선박 기인 이산화탄소 배출량을 살펴보면 국제운항 병커연료에 의한 이산화탄소 배출량은 1998년 배출량에

\*Corresponding author: jmsrose@moeri.re.kr

비해 40%가 감소한 반면 자국내 선박 운항에 의한 이산화탄소 배출량은 100% 증가하여 국내 도로운송 11.8%, 국내 철도운송 15.8%에 비해 상대적으로 높은 증가율을 보인 것으로 나타났다. (USEPA[2006]) 실제로 우리나라에서 사용되는 병커유의 경우 대부분이 선박유(환경부[2005])이기 때문에 중유부분의 대기오염 기여는 선박이 주도하고 있다고 해도 과언이 아니다.

본 연구는 선박유의 특성을 고찰하고 선박유의 성상 및 배기가스의 농도를 실측하여 연료 중 탄소 성분이 이산화탄소로 연소되는 연소효율을 조사하였으며 국제해사기구에서 권장하는 인덱싱 방법에 대한 검토를 수행하였다.

## 2. 이산화탄소 배출량 산정 방법

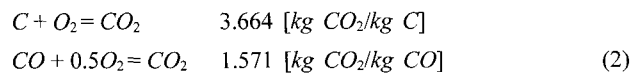
### 2.1 이론적인 이산화탄소 인덱싱

다음 식은 52차 회의에서 독일/노르웨이/영국이 공동 제출한 이산화탄소 배출지수를 위한 지침서 초안에 있는 배출지수 산출 기본식이다(IMO[2004]).

$$\begin{aligned} & \text{Index [g CO}_2\text{/t} \cdot \text{nm]} \\ & = C_{\text{carbon}} \times \frac{\sum_i FC_i}{\sum_i m_{\text{cargo},i} \times D_i} \end{aligned} \quad (1)$$

여기서,  $i$ 는 항차 (예, year),  $FC$ 는 항차  $i$ 에 대한 연료소모량(metric tonnes),  $m_{\text{cargo},i}$ 는 항차  $i$ 에 대한 화물선적량 (metric tonnes),  $D_i$ 는 항차  $i$ 의 운항거리(nautical mile),  $C_{\text{carbon}}$ 는 이산화탄소의 비배출량(t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel)을 나타낸다.

이산화탄소의 비배출량은 다음 식에서 산출된 탄소로부터의 이론적인 이산화탄소 발생비에 연료 중 탄소 질량비를 곱하여 추정할 수 있다.



예를 들어 탄소의 질량비가 0.85인 연료일 경우 이론적인 비배출량은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{\text{carbon}} &= 3.664 \times 0.85 \\ &= 3.114 \text{ [t CO}_2\text{/t Fuel]} \end{aligned} \quad (3)$$

한편 선박 연료유는 서로 다른 물성을 가지고 있어도 대부분이 탄화수소류(HCs)의 형태이며 연료 중 탄소의 질량비는 85(중유)~87.5(디젤유) % 사이의 값을 갖는다. MEPC52/4/2 문서에서는 이에 따라 Table 1과 같이 연료에 따라 탄소비를 정하고 이론적 배출지수를 추천하였다(IMO[2004]).

독일은 MEPC53/INF.5을 통해 선박 종류별로 특성을 고려하여 인덱싱하는 것을 제한한다(IMO[2005]). 즉, 일률적으로 화물량(cargo mass)을 기준으로 하는 인덱싱이 아니라, 카페리(Ro-Pax)

**Table 1.** Theoretical CO<sub>2</sub> emission

Type of Fuel	Carbon content %m/m	C <sub>carbon</sub> t-CO <sub>2</sub> /t-Fuel
Diesel/Gasoline	0.875	3.21
	0.865	3.17
Light Fuel Oil (LFO)	0.86	3.15
Heavy Fuel Oil (HFO)	0.85	3.11
Residual Fuel Oil (RFO)	0.84	3.08
Liquid Petrol Gas (LPG)	0.81	2.97
Natural Gas	0.80	2.93

는 승객 인원수 및 자동차대수, 컨테이너선(container ship)은 컨테이너 선적량(TEU, twenty-foot equivalent units), 일반 화물선(general cargo)은 화물량을 기준으로 하여 배출지수를 표기하도록 제안하고 있다.

- 카페리

$$CO_{2,RoPax1} [\text{g CO}_2\text{/(person} \cdot \text{nm)}] = m_{CO_2} / (\text{Pax} \times D) \quad (4)$$

$$CO_{2,RoPax2} [\text{g CO}_2\text{/(m} \cdot \text{nm)}] = m_{CO_2} / (\text{Vehicle}_m \times D) \quad (5)$$

여기서, Pax는 승객수, Vehicle<sub>m</sub>은 자동차운송에 필요한 레인 길이(m), D는 항차거리(nm)이다.

- 컨테이너선

$$CO_{2,Container} [\text{g CO}_2\text{/(TEU} \cdot \text{nm)}] = m_{CO_2} / (\text{TEU} \times D) \quad (6)$$

여기서, TEU는 20 ft 컨테이너 1대 분을 나타낸다.

- 일반화물선(건화물의 경우)

$$CO_{2,GenCargo} [\text{g CO}_2\text{/(t} \cdot \text{nm)}] = m_{CO_2} / (m_{\text{Cargo}} \times D) \quad (7)$$

여기서, m<sub>cargo</sub>는 화물선적량이다.

### 2.2 탄소/산소평형법에 의한 배출량 산정

이산화탄소 배출량 인덱싱의 다른 방법은 실측된 배기가스 농도와 운항자료들을 입력자료로 하여 탄소평형법 혹은 탄소/산소평형법으로 산정하는 것이다. 여기에서는 자세한 설명을 하지 않으며 질소산화물(NO<sub>x</sub>) 기술지침(IMO[1998])을 참고하길 바란다. 본 연구에서는 산소기준 탄소/산소평형법을 이용하여 비배출량을 계산하였으며 2.1절의 방법과 비교하였다.

## 3. 실험 및 고찰

### 3.1 선박유

선박용 연료는 경유와 중유가 대부분이며 선박용경유(MDO, marine diesel oil)와 선박용중유(MFO, marine fuel oil)로 명명한다. 선박용중유의 경우 선박 엔진 크기 및 종류, 제원 등에 따라 여러 가지

**Table 2.** Fuel oil specification of low speed 2 stroke diesel engine in MAN B&W

Designation	unit	Guideline
Density at 15°C	kg/m <sup>3</sup>	≤1010 <sup>7</sup>
Kinematic Viscosity at 100°C at 50°C	cSt [mm <sup>2</sup> /sec]	≤55 ≤700
Flash point	°C	≤60
Pour point	°C	≤30
Carbon residue	%m/m	≤22
Ash	%m/m	≤0.15
Total sediment after ageing	%m/m	≤0.1
Water	%V/V	≤1.0
Sulphur	%m/m	≤5.0
Vanadium	mg/kg	≤600
Aluminium + Silicon	mg/kg	<80

Equal to ISO 8217/CIMAC - H55

\*Provided automatic clarifiers are installed

등급의 연료를 사용하게 되는데 연료 등급별로 보면, MFO-30/40/60/80/100/120/150/180/240/280/320/380/420 등으로 구분되고 대형 선박일수록 점도가 높아진다. B중유 및 C중유는 점도나 유황 성분이 높고 예열을 통해 연료를 점화시키고 A중유는 예열할 필요가 없을 정도로 점도가 낮다.

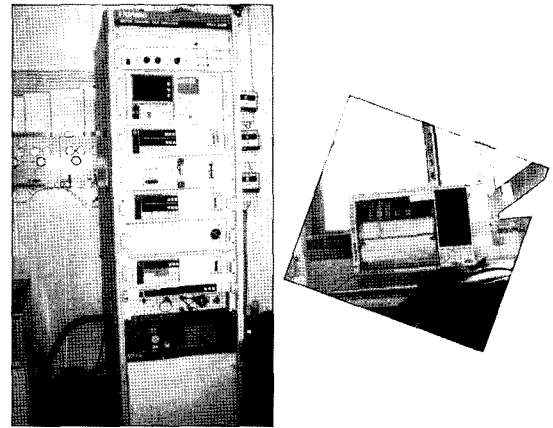
Table 2는 MAN B&W사의 저속 2행정 디젤엔진과 4행정 Holeby형 보조 디젤엔진에서 사용 가능한 연료유의 최대 사양이다(MAN B&W[2003]). 여기서 발화점(Flash point)은 화재 보호차원에서 제한되는 항목이다.

본 연구에서 이용된 대상 엔진은 저속 2행정 디젤엔진으로 엔진실험(shop test)에서는 선박용경유와 유사한 병커 A유(ISO 8217, DMC)를 해상시운전(sea trial test)에서는 선박용중유를 사용하였다.

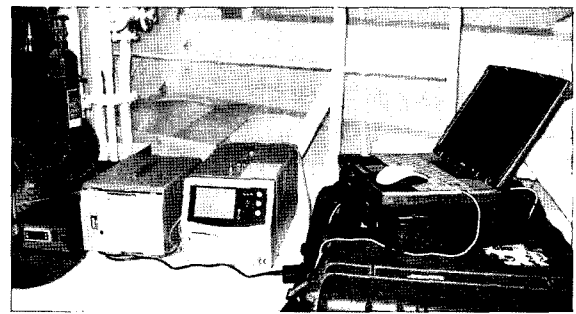
Table 3은 본 연구에서 사용한 연료의 평균 성분 분석표이며, MAN B&W사의 저속 2행정 디젤엔진의 연료유 사양 지침과 비교하여 모두 만족하였다.

### 3.2 배기가스 실측

배기가스를 실측하기 위해 엔진실험 중에는 MEXA 9100F, 해상시운전 중에는 질소산화물 기술지침(IMO[1998])에 맞도록 일부



(a) MEXA 9100F



(b) PG-250

**Fig. 1.** Test equipments

수정한 PG-250을 이용하였다. 실험장치는 Fig. 1과 같다.

대상선박은 대형 컨테이너선과 원유운반선 2척이며 선박에 장착 전 엔진실험 및 장착 후 선박 시운전에 대해 각각 배기가스 계측이 수행되었다. 배기가스 계측과 더불어 계산에 필요한 일부 변수들의 조사가 함께 이루어졌다.

배기가스 계측 결과는 Table 4와 같다. 일산화탄소(CO), 이산화탄소, 산소(O<sub>2</sub>), 질소산화물은 건기준(dry basis) 농도이며 탄화수소는 습기준(wet basis) 농도이다. 선박 해상시운전 동안은 엔진 출력 및 속도 실험상황에 따라, 엔진실험에서는 시험모드에 따라 배기가스 분석이 이루어졌다.

**Table 3.** Elementary analysis of marine oil used in this test

	Analytical method	unit	Crude oil tank		Container	
			Shop test	Sea trial	Shop test	Sea trial
Density at 15°C	ISO 3675	kg/m <sup>3</sup>	907.9	966.6	906.9	967.3
Kinematic Viscosity at 40°C at 50°C	ISO 3104	cSt	9.40	334.2	12.40	383.6
Carbon residue	ISO 10370	%m/m	1.60	11.1	1.90	10.4
Water	ISO 3733	%V/V	0.01	0.13	0.01	0.26
Sulphur	ISO 8754	%m/m	0.25	3.14	0.24	3.08
Ccarbon		%m/m	87.40	84.61	87.39	84.52
Hydrogen	Elementary Analysis	%m/m	11.84	11.24	11.86	11.31
Nitrogen		%m/m	0.08	0.27	0.09	0.28
Oxygen		%m/m	0.41	0.72	0.40	0.79

**Table 4.** Measurement of the exhausted gas concentration

(a) Shop Test

- Engine of Crude Oil Tank ship

Test No.		1	2	3	4
Engine Power	%	100	75	50	25
Engine Speed	rpm	97.0	88.2	77.0	61.1
Gaseous Emission Data					
CO(D)	ppm	112.5	97.5	147.5	155.0
CO <sub>2</sub> (D)	%	4.31	3.83	3.79	3.76
HC(W)	ppmC	72.5	69.5	75.5	87.5
O <sub>2</sub> (D)	%	15.26	15.95	15.95	15.97
NOx(D)	ppm	976	980	900	990

- Engine of Container ship

Test No.		1	2	3	4
Engine Power	%	100	75	50	25
Engine Speed	rpm	102.0	92.7	81.0	64.3
Gaseous Emission Data					
CO(D)	ppm	68.5	50.0	59.0	65.5
CO <sub>2</sub> (D)	%	5.01	4.60	4.82	5.95
HC(W)	ppmC	215.5	247.5	270.0	227.5
O <sub>2</sub> (D)	%	14.50	15.00	14.78	14.48
NOx(D)	ppm	1136	1410	1550	1678

(b) Sea trial test

- Crude oil tank ship

Test No.		1	2	3	4	5	6	7	8
Engine Power	%	50	85	100	Speed (78.3%,R1)	Speed (78.3%,R2)	Speed (90%,R1)	Speed (90%,R2)	Endurance 100%
Engine Speed	rpm	79.5	-	100.0	90.6	90.9	95.6	95.7	100.0
Gaseous Emission Data									
CO(D)	ppm	343.4	222.5	175.3	259.3	241.3	161.8	168.9	150.5
CO <sub>2</sub> (D)	%	3.76	4.04	4.41	3.78	3.57	3.42	3.23	3.45
HC(W)	ppmC	-	-	-	-	-	-	-	-
O <sub>2</sub> (D)	%	15.46	15.04	14.48	15.40	15.76	16.02	16.29	16.15
NOx(D)	ppm	625.9	679.7	787.0	865.0	862.0	661.0	660.0	607.0

- Container ship

Test No.		1	2	3	4	5
Engine Power	%	50	75	Speed(85%,R1)	Speed(85%,R2)	Endurance(89%)
Engine Speed	rpm	88.5	101.0	105.0	105.0	105.0
Gaseous Emission Data						
CO(D)	ppm	82.9	72.5	70.6	71.9	73.9
CO <sub>2</sub> (D)	%	4.79	4.64	4.95	4.93	4.80
HC(W)	ppmC	-	-	-	-	-
O <sub>2</sub> (D)	%	14.26	14.46	14.17	14.06	14.21
NOx(D)	ppm	1179.0	1101.3	1162.4	1108.3	1133.3

표를 살펴보면 이산화탄소 발생량은 원유운반선에 비해 컨테이너선의 엔진에서 약간 높았으며 엔진출력과 선속에 따라 원유운반선의 경우 3.23~4.41%, 컨테이너선의 경우 4.63~5.95%의 분포를 보이는 것으로 계측되었다.

한편 계측 결과에서 나타나듯이 선속이 증가하면 이산화탄소

발생농도가 대체적으로 증가하고 있어 이산화탄소 배출농도를 감소하기 위해 선속의 감소가 필요함을 입증하였다. 그러나 해운선사의 경쟁적 측면을 고려할 때 선속의 감소가 자사의 불이익을 초래할 수 있기 때문에 공정한 영업 선속에 대한 협의 등 해운선사가 서로 협조할 필요가 있었다.

### 4. 선박유의 연소효율

앞에서 설명했듯이 국제해사기구는 연료 중 탄소의 질량비와 탄소와 산소의 기본 완전연소 반응식에 기초한 이론적인 배출지수를 제안하고 있다. 즉 2.1절의 국제해사기구에서 제시하는 배출지수 방법은 완전연소 상태로 보고 2.2절의 실제 계측한 배기가스 자료 및 운항특성 등을 포함하여 계산되는 탄소/산소평형법은 불완전연소 상태로 볼 수 있다. 따라서 이론과 실제의 연소효율 비교가 가능할 것이다.

#### 4.1 선박연료 중 탄소의 이산화탄소 전환율

Table 3과 같이 엔진실험에 이용된 선박용경유급의 탄소 함량은 84.52~84.61%로 국제해사기구에서 제안한 85% 보다 다소 낮은 값을 보였으며, 선박 해상시운전 연료의 경우는 87.39~87.4%로 국제해사기구에서 배출지수의 산출에 이용되는 탄소함량 86.5%에 비해 다소 높았다.

성분 분석된 탄소 함량과 실측된 자료를 이용하여 탄소/산소평형법에 의해 역산출된 배출지수는 Table 5와 같다.

표를 살펴보면 국제해사기구의 권장값인 선박용경유 3.17 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel, 선박용중유 3.11 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel 보다 약간 낮은 3.13, 2.98 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel 이라는 값을 각각 보이고 있다. 여기서 선박용중유의 경우는 탄소함량이 높았음에도 배출지수가 권장값 보다 낮아졌는데 이러한 오차 발생의 원인을 바로 연소효율에서 기인한 것으로 볼 수 있다.

즉 연료 중 탄소가 이산화탄소로 100% 연소되지 않을 경우(예, 불완전연소) 탄소는 일산화탄소 및 미연 탄화수소류와 매연/검댕(soot) 등의 생성에 기여하게 되어 이산화탄소 배출량은 줄어들게 된다. 이로 인해 이산화탄소 지수는 낮아지게 될 것이다.

같은 맥락에서, 산출된 해상시운전의 배출지수 2.98 t-CO<sub>2</sub>/t-Fuel은 본 연구에서 배기가스 중 탄화수소 및 탄소검댕 등의 농도를 계측하지 않았기 때문에 실제보다 높게 추정되었을 것으로 사료된다.

다음으로 연소효율에 의한 이산화탄소 발생량(ton/hr)의 차이를 알아보기 위하여 (1) 실측된 연료의 탄소함량을 이용하여 배출지수를 재계산하고 여기에 연료소모량을 곱하여 이론적인 이산화탄

소 배출량을 산출한 결과와 (2) 탄소/산소평형법으로 계산한 결과를 비교하였다. 결과는 Table 6과 같다.

계산 결과를 평균값으로 비교해 보면 이론적인 이산화탄소 배출량은 탄소/산소평형법에 의해 계산한 값보다 높게 나타났으며, 엔진실험 자료에서는 +2.0%, 해상시운전 자료에서는 +3.5%이었다. 이러한 차이를 연소효율에 의한 영향으로 본다면, 연료 중 탄소의 이산화탄소로의 전환비율(즉, 연소효율)은 엔진실험시 98%, 해상시운전시 96.5%이고, 나머지는 불완전연소에 의한 일산화탄소 및 탄화수소류의 연소화합물의 발생에 기여한 것으로 추정할 수 있다. 즉 완전연소를 바탕으로 한 국제해사기구의 인덱싱 방법으로 이산화탄소 배출량을 계산했다면 여기에 연소효율 96.5~98%를 고려하여야만 실제로 배출되는 배기가스 중 이산화탄소 배출량을 산출할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4.2 연소효율과 지구온난화

배기가스 중 일산화탄소는 대기 중으로 방출되면 대기의 산소와 결합하여 이산화탄소로 변환될 수 있다. 또한 장기적인 관점에서 탄화수소류는 이러한 가능성을 내포하며 자체로서의 온실효과도 가진다.

따라서 연소효율이 얼마나 혹은 배기가스 중 이산화탄소가 얼마만큼 발생하느냐의 문제보다는 연료 중 탄소 함량이 기후온난화 측면에서는 더 중요한 인자가 될 수 있고, 연료 중 탄소는 대기 중 이산화탄소에 기여율이 거의 100%라고 해도 무리는 아닐 것이다.

그러나 매연/검댕 등의 경우 대기 중에서 이산화탄소에 기여할 확률이 상대적으로 낮은 것을 감안하면 100% 완전연소로 산정하는 것은 정확하지 않다.

그럼에도 지구온난화는 전지구적 문제이고 이에 대한 책임을 공동 분담한다는 차원에서 이러한 오차는 무시해도 좋을 것이다.

따라서 국제해사기구의 배출지수에 기초하여 연료 중 탄소의 완전연소 조건하에서 배출량을 과대평가하는 방법은, 이산화탄소 감축을 위한 노력을 가속화하고 선박의 경제운전에 대한 경각심을 유발하는 등 전지구적 환경 보전측면에서 바람직하다고 판단된다.

Table 5. Comparison between a theoretical value by IMO method and an estimate by Carbon/Oxygen balance method

Condition	Fuel type	IMO/MEPC		Carbon/Oxygen balance	
		C content (m/m)	Index (tCO <sub>2</sub> /tFuel)	Measured C content (m/m)	Estimated Index (tCO <sub>2</sub> /tFuel)
Sea trial test	HFO	0.85	3.11	0.846 ± 0.002	2.98 ± 0.03
Shop test	MDO	0.865	3.17	0.873 ± 0.002	3.13 ± 0.05

Table 6. CO<sub>2</sub> emission from fuel-C

Condition	Measured C content (%m/m)	Theoretical study		Carbon/Oxygen balance
		Index (tCO <sub>2</sub> /tFuel)	CO <sub>2</sub> Emission (ton/hr)	CO <sub>2</sub> Emission (ton/hr)
Shop test	0.873	3.20	9.051	8.899
Sea trial test	0.846	3.10	13.581	13.101

본 연구는 배기가스가 대기와 접촉하기 이전 상태의 일산화탄소와 이산화탄소 등의 배출량에 대해 2절에서 설명한 방법에 의해 산정한 결과를 서로 비교하여 신조선 및 새 엔진에 대해 연소효율의 변화를 살펴보는 것으로 연구에 의의를 둔다.

### 4.3 연소효율과 대기오염

4.1절에서 언급한 연소효율은 신조선 및 새로운 엔진에 해당된다. 만약 엔진 및 선박연령이 증가하면 연소효율은 더 낮아질지도 모른다.

이러한 연소효율은 연소성능 저하뿐만 아니라 배기가스 중 일산화탄소, 미연탄화수소, 매연/검댕 등 유해물질을 발생시켜 대기오염을 악화시키기도 한다.

특히 불완전연소 상태가 보통 정속보다는 가·감속 조건에서 운항되는 연안의 선박 입출항시에 발생한다는 점을 감안하면 연소효율의 증가는 연안의 매연 및 유해물질 증가에 크게 기여한다고 볼 수 있다. 하지만 연소효율이 증가하게 되면 이산화탄소의 발생이 증가하여 지구온난화에 기여함으로써 연소효율과 오염물질은 모호한 상관관계를 보인다.

결과적으로 연소효율 증가만으로는 선박으로부터의 대기오염물질 저감 문제를 해결할 수 없으며 연료 대체 및 연료 저소모 엔진 개발과 적당한 선속 유지가 필요하다.

향후 선박으로부터의 이산화탄소 저감을 위한 여러 가지 운항특성들에 대한 연구가 지속적으로 수행될 것이다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 신조선과 신엔진을 대상으로 선박유의 성상 및 배기가스의 농도를 실측하여 연료 중 탄소 성분이 이산화탄소로 연소되는 연소효율을 조사하였으며 국제해사기구에서 권장하는 인덱싱 방법과의 오차 원인을 연소효율로 규정하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

1. 선박용경유의 경우 3.17, 선박용중유의 경우 3.11 이라는 배출지수를 일괄적으로 이용하기보다 연료 중 탄소 질량비가 조사되고 이 값을 이용하여 정확한 배출지수를 산출하여 이산화탄소 배출량을 추정하는 것이 바람직하다. 즉, 이산화탄소 인덱싱 표에는 이산화탄소 지침서 초안(IMO[2004])의 형식과 같이 연료의 탄소함량이 반드시 기재되어야 할 것이다.

2. 신조선의 경우 연소효율은 엔진 테스트에서 98%, 해상시운전에서 96.5%로 나타났으며 엔진 및 선박 연령이 증가하면 연소

효율은 더 낮아질 것으로 사료된다.

3. 연소효율이 낮아지면 불완전연소생성물을 발생하고 연소효율을 증가하게 되면 이산화탄소의 발생이 증가하여 문제가 된다. 선박으로부터 이산화탄소 및 대기 오염물질을 저감하는 방법으로는 연료 대체 및 연료 저소모 엔진 개발과 적당한 선속 유지 등이 바람직하다.

향후 연소효율을 비롯하여 배기가스 관련 추가적인 연구가 다양한 선박에 대해 수행된다면, 선령 및 엔진령에 따른 이산화탄소의 배출 관리가 가능해질 것이다. 특히 국제해사기구에서 요구하는 현존 운항선박의 이산화탄소 배출량에 대한 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다. 연구의 결과는 향후 예상되는 국제 규약 및 정부가 제정하는 각종 규제지침에서 배출량 기준을 설정할 때 해운선사에 유리한 기준을 제시하게 될 것이다.

또한, 이산화탄소 및 질소산화물 이외에도 디젤입자상물질의 규제가 예상되므로 이에 대한 저감 방안 연구가 수행되어야 할 것이다.

## 후 기

본 연구결과는 한국해양연구원에서 수행 중인 해양수산부 연구개발사업인 “선박오염관련 국제협약 대응기술 개발 2 (PM01260)”의 연구 성과 중 일부를 밝혀둔다.

## 참고문헌

- [1] 환경부, 2005, 환경통계연감, 18호, 56.
- [2] IMO, 1998, Technical code on Control of Emissions of NOx from Marine Diesel Engines, MPG Books Ltd., 74-135.
- [3] IMO, 2004, Input to the further work on Greenhouse Gas Emissions from international shipping submitted by Germany, Norway, United Kingdom, MEPC 52/4/2, 8-10.
- [4] IMO, 2005, Investigation of different ship types with regard to emission indexing based on statistical and operational data submitted by Germany, MEPC 53/INF.5, 5-6.
- [5] MAN B&W, 2003, Guidelines for Fuels and Lubes, Technical Report, 3-5.
- [6] USEPA, 2006, Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2004, EPA 430-R-06-002, 2.27-3.8.

2006년 3월 6일 원고접수

2006년 7월 26일 수정본 채택