

선박에서의 CO_2 배출량 저감 방안 연구

前田和幸 · 김영운[†]

(일본수산대학교 · [†] 한국해양수산연수원)

The Study on Reduction Method of CO_2 Emission from Ships

Kazuyuki MAEDA · Young-Un KIM[†]

(National Fisheries University, Japan · [†]Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology)

Abstract

This Paper presented the reduction methods of CO_2 emission from ships during voyage. In order to decrease CO_2 emission during voyage the equation was established and conducted the study about the relationship between ship speed, the propulsive efficiency and its CO_2 production. The results obtained from the examinations are as follows :

1. CO_2 emission from sailing ships can be decreased by reducing specific fuel oil consumption of main diesel engine, coefficient of total resistance and ship speed and also by increasing propeller efficiency.
2. Diesel-electric propulsion system is more effective than diesel-mechanical system to decrease the level of CO_2 emission during long voyage.
3. Good condition of ship's hull surface, rudder and propeller's surface can decrease the quantity of fuel oil and CO_2 emission by reducing the resistance of ship that can rise the propeller efficiency
4. CO_2 emitted from ships can be decreased in a global scale by giving attention to the synthetic transport efficiency

Key Words : CO_2 emission, fuel consumption, coefficient of total resistance, propeller efficiency.

I. 서론

선박은 주기관을 작동시켜 항해를 지속하기 위한 추진력을 얻고 발전기를 돌려 선내의 각종 동력기계와 조명 등에 전기를 공급한다. 이와 같이 선박에서는 내연기관의 가동을 위해 많은 연료를 소비시킴으로서 지구환경에 유해한 다량의 CO_2 를 배출시키고 있다.

해상의 선박에서 배출되는 온실효과 가스는 그

대부분이 CO_2 이고 세계경제성장에 따라 세계의 해상 물류의 수요는 점차 증가하고 여기에 따라 CO_2 배출량도 더욱 증가할 것으로 예상된다.

한편 2010년 9월 IMO의 제61차 해양환경보호위원회(MEPC)에서 신조선의 연비 성능을 인덱스화하는 에너지효율설계지표(EEDI), 기존선의 효율적인 운항을 촉진하는 선박에너지효율관리계획서(SEEMP)의 강제화를 위한 MARPOL 부속서VI 개정안이 채택되어 2013년 1월 1일

[†] Corresponding author : 051-620-5825, youngun_kim@hotmail.com

발효되었다.

EEDI의 국제기준화에 따라 선주 등이 선박을 건조할 때에 참고로 하는 연비 지표가 확립됨으로서 국제 해운시장에 있어서의 에너지효율이 뛰어난 선박의 보급 촉진이 기대된다.

이에 따라 IMO의 연비 규제와 함께 선박에서 배출되는 CO₂의 저감을 위한 기술개발과 선박에너지효율관리계획에 따른 운항기술의 확립이 시급한 과제가 되어 있다.

세계 각국은 수출입의 대부분을 선박에 의한 해상운송에 의존하고 있기 때문에 솔선해서 선박의 항해 시에 있어서의 CO₂를 저감시킬 필요가 있다.

선박의 기능은 대량 화물의 원거리 수송에 있으므로 선박에서 배출되는 CO₂를 저감시키기 위해서는 수송량 · 거리당의 CO₂ 배출량의 값을 작게 할 필요가 있다.

본 연구에서는 항해시의 선박에서 배출되는 CO₂량을 적게 하기 위해서 먼저 선박공학의 이론에 기초한 저감의 지침을 나타내었다.

그리고 이것을 검증하기 위해, 일본 수산대학교의 실습선을 이용해서 선속, 프로펠러효율, 선체저항, 배수량, 추진기관이 CO₂ 배출량에 미치는 영향을 명확히 하였다.

다시 이들의 결과를 해석하여 해상운송에 있어서의 CO₂ 저감의 구체적인 방법을 제시하였다.

II. 저감을 위한 이론 고찰

1. 선박이 항해하는데 받는 저항

선박 기관에서 발생하는 동력은 추진기를 작동하여 선체가 받는 저항보다 크기 때문에 선체를 이동시킨다.

선박이 항해하기 위해 받는 저항은 마찰저항(R_F), 조파저항(R_W), 와류저항(R_E) 및 공기저항(R_A)의 합으로 나타난다. 이러한 저항의 합을

전저항(R_T)라 하고 R_T 는 다음 식으로 표시된다.

$$R_T = R_F + R_W + R_E + R_A \dots\dots\dots(1)$$

여기에서 와류저항과 공기저항은 전체적으로 차지하는 비율이 매우 작아 해수의 유체저항의 대부분은 마찰저항과 조파저항으로 나타나며 마찰저항은 선체가 오손되거나 수면하의 선체표면적이 클수록 저항이 증가하며 같은 선박이라도 속도의 거의 2승에 비례하여 저항이 증가한다고 알려져 있다.

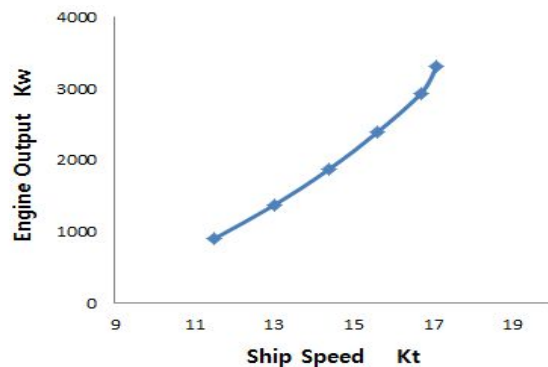
조파저항은 속도의 증가와 더불어 증가하며 증가비율은 일정치 않으나 속도의 2승과 거의 비례한다. 따라서 선박이 항해할 때의 전저항 R_T 와 속도 V 와의 관계식은 $R_T \propto V^2$ 로 나타낸다.

2. 선박이 속도 V 로 항해하기 위한 동력

선박이 저항 [R_T]을 받으면서 속도 V [m/s]로 항해하기 위해 필요한 동력 P [kW]는 $P = R_T \cdot V$ 로 표시한다.

여기에서 $R_T \propto V^2$ (전저항은 속도의 거의 2승에 비례함)이므로 위의 식은 $P \propto V^3$ 로 바꿀 수 있다. 즉, 선박의 항해에 필요한 동력은 속도의 3승에 비례한다.

[Fig. 1]에 실험실습선 고요마루의 실험 결과를 나타내었다.

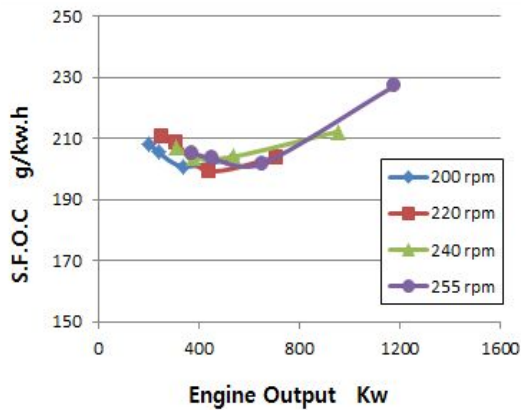


[Fig. 1] Relation between ship speed and engine output.

3. 엔진의 출력과 연료소비량의 관계

일정한 연료에서 얻어지는 출력은 엔진의 종류와 운전 상태에 따라 다르나 일반적으로 연료소모량은 엔진의 출력에 정비례한다.

연료소모량을 FOC로 나타내면 엔진의 출력 P와 연료소모량 FOC의 관계는 $P \propto FOC$ 식으로 표시된다. [Fig. 2]에는 덴요마루의 기관출력에 대한 연료소비율(Specific Fuel Oil Consumption : S.F.O.C) [g/kW·h]의 실험결과를 나타내었다.



[Fig. 2] Relation between engine output and S.F.O.C.

4. 선박의 속도와 연료소비량의 관계

엔진의 출력은 속도의 3승에 비례하고 출력은 연료의 소모량에 비례하므로 배의 속도와 연료소모량과의 관계는 $FOC \propto V^3$ 과 같이 나타낸다.

이 관계를 박용특성(프로펠러특성)이라 하고 연료소모량은 선속의 3승에 비례한다고 하는 모든 선박에 성립되는 중요한 식으로 감속 항해에 의한 연비 저감의 근거가 된다.

[Fig. 3]은 덴요마루의 선박의 속도에 대한 연료소비율과의 관계를 나타낸다.



[Fig. 3] Relation between ship speed and fuel consumption

5. 기관의 연료소비율과 선박의 연비 평가

자동차의 연비와 달리 선박의 기관은 출력·시간당의 연료소모량이며 이것을 연료소비율 g/kW·h로 나타낸다. 연료소비율은 열효율과도 관계가 있으며 기관 단독으로 연비를 평가하는 데는 최적의 방법이라 할 수 있다.

선박이 항해 중에 있어서의 소비된 연료를 평가하는 단위로서는 항해시간당의 소비연료 [kg/h], 항해거리당의 소비연료 [kg/mile], 수송량·거리당의 소비연료 [kg/ton·mile]가 있다. 항해시간당의 소비연료나 항해거리당의 소비연료는 어느 지역에 있어서의 소비량의 비교 등에는 유효하지만 선박에 있어서의 종합적인 연비의 저감을 검토하는 경우, 수송량·거리당의 소비연료를 사용하면 선박의 기능에 기초한 평가가 가능하다.

수송량·거리당의 연료소모량은 출력·시간당의 연료소모량을 사용하여 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\frac{\text{연료소모량}}{\text{수송량} \cdot \text{항해거리}}$$

$$= \frac{\text{연료소모량}}{\text{출력} \cdot \text{시간}} \times \frac{\text{출력}}{\text{수송량} \cdot \text{속도}}$$

6. 연료소모량과 CO₂ 배출량과의 관계

경유, 중유 등의 액체연료에는 약 86%의 탄소, 11~14%의 수소, 0~3%의 유황성분이 포함되어 있고 연료의 연소에 의해 기본적인 화학 반응식 C [12 kg/kmol] + O₂ [32 kg/kmol] = CO₂ [44 kg/kmol]로 나타난다.

연료가 완전 연소한 경우의 연료소모량을 FOC라 하면 연료소모량 FOC와 CO₂ 배출량과의 관계는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$CO_2 = 3.15 \times FOC \dots\dots\dots 2)$$

식 2)에서 1kg의 연료에서 약 3.15kg의 CO₂가 배출됨을 알 수 있다. 이와 같이 연료소모량을 감소시킴으로서 CO₂ 배출량을 저감시킬 수 있다.

III. 감소의 지침

1. 감소의 지침

수송량이 각기 다른 각 선박의 CO₂ 배출률 즉, 수송량 · 거리당의 CO₂ 배출량 [$\frac{TFC}{W \cdot V}$]은 다음과 같이 나타낼 수 있다. 연료의 총 소모량을 TFC [kg], 수송량(배수량) [ton]을 W, 항해 거리 [mile]를 D, 선속 [knot]을 V, 출력[kW]을 L, 항해시간 [hour]을 h라 하면 다음과 같다.

$$\frac{TFC}{W \cdot D} = \frac{TFC}{L \cdot h} \cdot \frac{L}{W \cdot V} \dots\dots\dots 3)$$

상기 3)식에 있어서 우변의 [$\frac{TFC}{L \cdot h}$]는 연료 소비율로 엔진의 성능에 관계하는 부분이고 [$\frac{L}{W \cdot V}$]는 선박의 추진성능에 관계하는 부분으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{L}{W \cdot V} = \frac{T \cdot Va}{198 \cdot n_P \cdot n_T} \cdot \frac{1}{W \cdot V} \dots\dots\dots 4)$$

T는 스러스트[ton], Va는 프로펠러의 상대속도[knot], 프로펠러효율 η_P, 전달효율 η_T,

$$\text{또, } Va = V \cdot (1 - w)$$

$$T = \frac{R_T}{n_H \cdot (1 - w)}$$

w는 반류계수, R_T는 전저항, n_H는 선체효율이고 R_T ∝ C_T · W^{2/3} · V² (C_T : 전저항계수)라 하면 식 3)은 다음과 같이 나타낼 수가 있다.

$$\frac{TFC}{W \cdot D} = \frac{TFC}{L \cdot h} \cdot \frac{C_T \cdot V^2}{W^{1/3} \cdot \eta_P \cdot \eta_T \cdot \eta_H} \dots\dots\dots 5)$$

이와 같이 선박에서 배출되는 CO₂를 평가하는 경우, 기관 단독으로 평가하는 출력 · 시간당의 배출량과 선박의 추진성능에 관계되는 요소로 나누어 생각함으로써 감소의 지침이 명확해 진다.

상기 5)식에서 선박에서 배출되는 CO₂를 감소하기 위해서는 연료소비율의 값을 작게 함과 동시에 전저항계수와 선속의 값을 작게, 배수량과 프로펠러효율, 전달효율, 선체효율의 값을 크게 할 필요가 있음을 알 수 있다.

2. 실험장치 및 방법

항해중인 선박에서의 속력 및 기관부하는 해상 상태, 조류의 방향과 세기, 풍향과 풍속에 영향을 많이 받게 된다. 즉, 황천 항해시는 선체저항이 증가하므로 통상 항해시에 비하여 동일한 기관회전수에서의 항해에 요하는 출력이 증가함과 동시에 선속이 저하한다. 그 결과 항해거리에 대한 연료소모량도 증가하고 CO₂도 그만큼 증가한다. 해황은 <Table 1>에서와 같이 해상의 상태, 파고에 따라 0~9로 구분되며 본 실험에서는 2~3의 해황이었다.

<Table 1> Wave Scale (Sea Condition)

Wave Scale	State of Sea	Height of Wave(m)
0	Calm	9
1	Rippled	0~0.1
2	Smooth	0.1~0.5
3	Slight	0.5~1.25
4	Moderate	1.25~2.5
5	Rough	2.5~4
6	Very Rough	4~6
7	High	6~9
8	Very High	9~14
9	Phenomenal	14~

선박에서 배출되는 CO₂는 통상, 출력·시간당의 배출량[g/kW·h]으로 평가되므로 이들의 배출특성을 명확히 하기 위해 항해중인 선박에 있어서의 축출력을 계측할 필요가 있다. 본 연구에서 주기관의 축출력을 계측하기 위하여 전광학식 축마력계(MHI마린엔지니어링, TOTOM, 비틀림 검출정도 0.25%)를 사용하였다.

실험에는 일본의 수산대학교에서 운영하고 있는 실습선인 고요마루(신 고요마루), 구 고요마루, 덴요마루, 곤베키를 사용하여 선박이 항해중일 때, CO₂ 저감의 지침을 검증하기 위한 실험을 행하였다. <Table 2>는 본 실험에 사용한 연료유의 성상을 나타내었다.

<Table 2> Properties of Fuel Oil

Ship	Koyomaru	Tenyomaru	Konbeki	
Kind of Fuel	Bunker A	Bunker A	M.D.O	
Density(g/cm ³)	0.8638	0.8599	0.8482	
Viscosity @50℃ cSt	2.80	2.45	2.17	
Const. (mass.%)	C	86.6	86.5	85.8
	H	12.6	12.6	13.4
	S	0.79	0.44	0.15

[Fig. 4] [Fig. 5] 및 [Fig. 6]에 실험에 사용한 실습선 고요마루, 덴요마루 및 곤베키의 전경을 나타내고 본 연구에 사용한 전 선박의 주요 목을 <Table 3>에 나타내었다.



[Fig. 4] Training ship "Koyomaru"



[Fig. 5] Training ship "Tenyomaru"

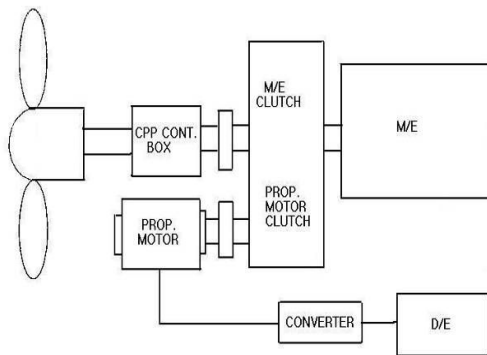


[Fig. 6] Training ship "Konbeki"

<Table 3> Specifications of vessels

Specifications	Unit	Koyomaru	Old-Koyomaru	Tenyomaru	Konbeki
D/T	ton	3,368	2,925	1,395	16.66
Max. speed	Kt	18.4	15.7	15.4	17.1
Length	m	87.59	81.4	62.6	15.55
Breadth	m	13.6	13.0	10.4	3.4
Depth	m	8.8	8.4	6.4	1.5
Date of Delivery		Jul. 2007	Jun. 1978	May 1985	Mar. 1993
Engine Type		6L35MC	6UEC45C	6ELS-32	6GHA-ST
Bore×Stroke	mm×m	350×1,050	450×750	320×640	118×140
Max. Power	kW	3,900	2,795	1,618	265
Engine Speed	min ⁻¹	210	230	280	2,200
Pme	MPa	1.84	1.02	2.25	1.5
S.F.O.C.	g/kW·h	184	220	197	230
Propulsion Type		Diesel-electric	Diesel-mechanical	Diesel-mechanical	Diesel-mechanical
Type of Screw		C.P.P	C.P.P	C.P.P	F.P.P

[Fig. 7]에 고요마루의 Diesel-electric 추진 장치의 계통도를 나타낸다.



[Fig. 7] Schematic diagram of auxiliary electric propulsion system

선박의 추진장치는 주로 선박에 Diesel-mechanical 방식이 사용되고 있지만 Diesel-electric 방식도 최근 들어 배출가스의 감소, 기계적 배치의 유연성, 보다 효율적인 선박의 구조 설계, 진동과 소음 감소, 신뢰성 및 유용성 증가,

유지보수의 편이성 등의 장점을 가지고 있어 증가하는 경향에 있다.

Diesel-electric 추진장치는 디젤엔진, 발전기, 컨버터, 모터, 프로펠러, 구동축 등으로 구성되어 있다. 즉, 추진을 위한 주기관과 전원 공급을 위한 발전기관이 통합된 형태로 구성된다.

발전기에 연결되어 있는 컨버터는 발전기에서 공급되는 전원을 제어하여 모터를 일정한 속도로 구동하는 기능을 갖고 있다. 보조추진출력 및 회전속도는 $450\text{kW} \times 1,200 \text{ min}^{-1}$ 이다.

실험은 먼저 고요마루에서 주기관과 보조전기 추진시스템을 각각 사용하여 배를 향해서킬 때, 각 회전수에 있어서의 날개각을 변경함으로써 부하를 변동시켜 선속이 연료소모량 [kg/h]에 미치는 영향을 살펴보았다.

또 선속과 프로펠러효율이 수송량·거리당의 CO_2 배출량에 미치는 영향을 각각 조사했다.

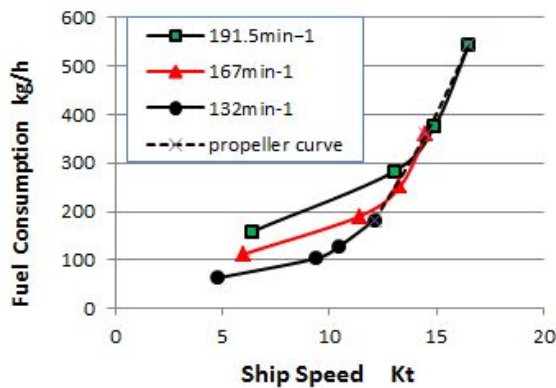
다음에 선속과 프로펠러효율의 변화가 CO_2 배출량에 미치는 영향을 명확히 하기 위해서 덴요마루를 사용하여 선속과 프로펠러효율이 CO_2 배

출량에 미치는 영향을 재차 조사했다. 또한 선체 저항의 변화가 CO₂ 배출량에 미치는 영향을 명확히 하기 위해 끈베키를 사용하여 선체의 청소 전·후의 선속과 CO₂ 배출량과의 관계를 조사했다. 끝으로 배수량과 연료소비율이 각각 다른 선박에 있어서의 선속과 CO₂ 배출량의 관계를 조사했다.

IV. 결과 및 고찰

1. 선속과 프로펠러의 효율이 CO₂ 배출량에 미치는 영향

[Fig. 8]은 고요마루 항해 시, 기관회전수를 132 min⁻¹, 167 min⁻¹, 191.5 min⁻¹로 각각 유지하고 이 때 날개각도 만을 변경하여 주기관을 조종할 때의 선속과 연료소모량과의 관계를 나타내었다. 낮은 기관 속도로 운전하는 경우, 시간당 연료소모량이 보다 작아지며 박용특성곡선에서 나타내는 바와 같이 연료소모량은 선속의



[Fig. 8] The relationships between fuel consumption and ship speed

거의 3승에 비례하여 증가하고 있음을 나타내고 있다.

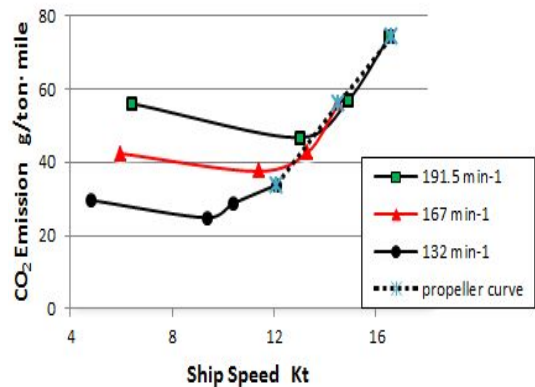
[Fig. 9]는 선속이 CO₂ 배출량에 미치는 영향과의 관계를 나타내고 이 때 프로펠러의 효율이 CO₂ 배출량에 큰 영향을 끼쳤음을 나타낸다. 기

관회전수는 연료의 소비량의 3승근에 비례하므로 기관회전수가 낮을수록 연료소모량은 적어진다.

그림에서 선박의 추진효율이 가장 좋은 영역인 9~13 노트에서 CO₂ 배출량은 가장 낮으며 동일 회전수를 유지한 채 선속을 더욱 낮추어 가면 CO₂ 배출량은 증가한다.

이것은 기관회전수를 일정하게 한 상태에서 선속을 낮추기 위해 날개 각도를 작게 하면 식 5)에 있어서 프로펠러효율이 저하함과 동시에 연료 소비율이 증가하기 때문이다.

한편, 박용특성에 있어서는 선속의 증가와 함께 CO₂ 배출량은 급격히 증대한다. 이것은 식 5)에 나타내는 바와 같이 CO₂ 배출량은 선속의 2승에 비례하여 증가하기 때문이다.



[Fig. 9] CO₂ emissions of Koyomaru

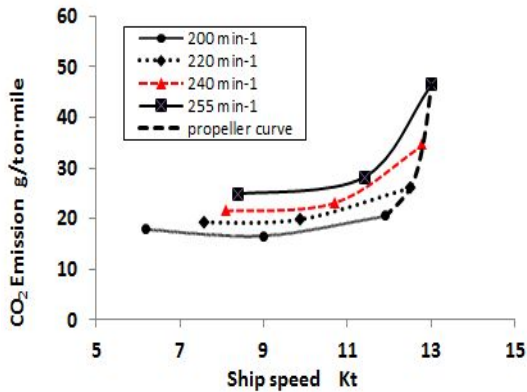
또 그림에서 나타내는 ×표는 주기관 대신에 보조전기추진시스템으로 전환해서 운항할 때의 선속과 CO₂ 배출량과의 관계를 나타낸 것이다. 보조전기추진시스템을 사용해서 약 8.6노트로 운항했을 때의 톤·마일당의 CO₂ 배출량은 20.7 g이다. 이것은 선박을 저속으로 운항하게 되면 주기관은 저부하로 인해 연소불량, 연료소비의 증대, 기관 고장 등의 원인이 되므로 이 때 보조 전기추진시스템으로 전환해서 사용하면 발전기의 상용 부하 약 80% 상태에서 장기간 안정적인 운전이 가능하고 주기관으로 운전되는 경우에 비

해서 같은 선속으로 CO_2 배출률은 보다 적다는 것을 알 수 있다.

[Fig. 10]에는 덴요마루의 선속과 프로펠러효율이 CO_2 배출률에 미치는 영향을 나타낸다.

정회전특성에 있어서는 어느 선속에 있어서도 기관회전수가 낮을수록 CO_2 배출률이 작아지고 동일 회전수에 있어서는 선속의 저하와 함께 CO_2 배출률의 감소비는 작아진다.

이것은 고요마루와 마찬가지로 기관회전수를 일정하게 한 상태에서 선속을 낮추기 위해 날개 각도를 작게 하면 식 5)에 있어서 프로펠러효율이 저하함과 동시에 연료소비율이 증가하기 때문이며 박용특성에 있어서는 마찬가지로 선속의 증가와 함께 연료소모량은 급격히 증대해서 CO_2 배출률은 높아지는데 이것은 수송량 · 거리당의 CO_2 배출량은 연료소비율과 선속의 2승에 비례해서 증가하였기 때문이다.

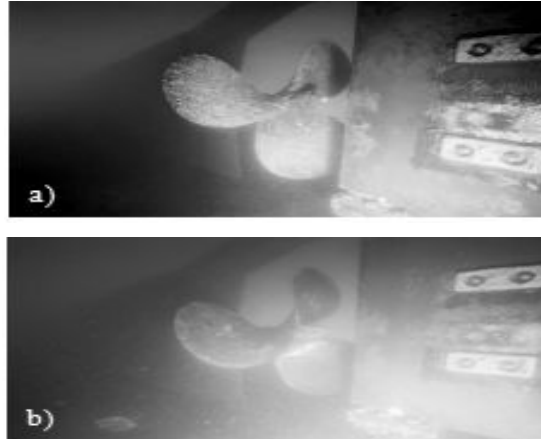


[Fig. 10] CO_2 emissions of Tenyomaru

2. 선체저항의 감소에 의한 CO_2 감소

곤베키를 사용한 실험에 있어서 프로펠러 부착물의 제거 전 · 후의 사진을 [Fig. 11]에 나타내었다.

선저부가 오손하면 마찰저항이 증가하여 연료 소비율의 증가와 선속의 저하가 두드러진다.

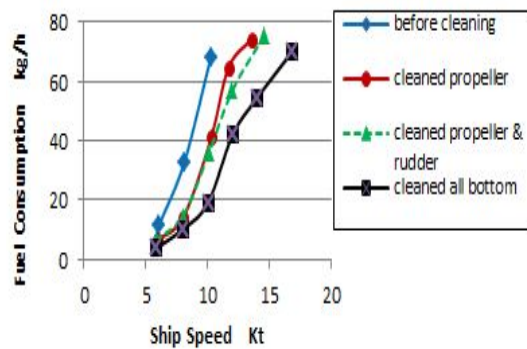


[Fig. 11] Bottom cleaning before and after pictures
a) before b) after

[Fig. 12]에 수선하의 선저 전체가 오손하고 있을 때, 프로펠러만 청소했을 때, 프로펠러와 타를 청소했을 때, 프로펠러와 타 및 수선하의 선저 전체를 청소했을 때에 있어서의 선체저항이 연료소모량에 미치는 영향을 나타낸다.

프로펠러와 타 및 선저가 오손하면 최대 속력이 저하할 뿐만 아니라 연료소모량도 대폭적으로 증가함을 알 수 있다.

이것에 비해 프로펠러, 타 및 선저 전체를 청소한 상태에서는 선속이 12노트 이하의 상태에서의 연료소모량은 선속의 거의 3승에 비례하는 경향을 보인다.



[Fig. 12] Fuel consumptions of Konbeki

그러나 그 이상의 선속이 되면 선속의 증가에 대한 연료소모량의 증가비는 감소되고 있다. 이것은 12노트 이상의 고속이 되면 반환주와 활주 상태가 되므로 선체 수선하의 침수표면적이 감소하여 선속의 증가에 대한 선저 저항의 증가비가 작아졌기 때문이라고 생각된다.

이것에 대해 수선하의 선체 전체가 오손하고 있는 상태에서 최대 선속이 약 10노트 이하 즉, 활주와 반환주 상태가 되는 속도에 달하지 않는 데도 연료소모량은 선저부가 오손하고 있지 않는 경우의 최대 속력인 약 17노트 때와 거의 같은 값이 되어 있다.

이것은 선저·타의 오손에 의한 마찰저항의 증가, 프로펠러의 오손에 의한 프로펠러효율의 저하에 의한 것이라고 생각된다.

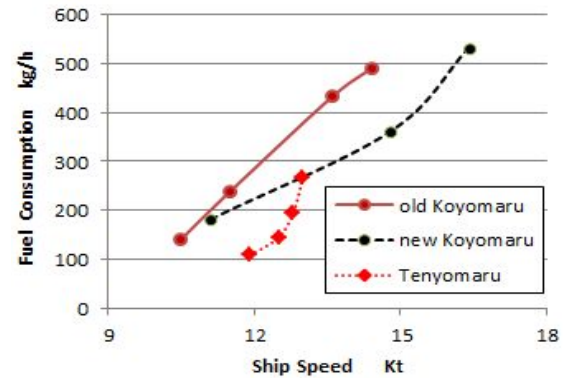
또 동일 선속 10노트에 있어서의 연료소모량의 변화를 보면 수선하의 선체 전체가 오손하고 있는 상태에 비해 프로펠러만을 청소하면 약 40%, 프로펠러와 타를 청소하면 약 45%, 수선하의 선체 전체를 청소하면 약 70% 연료소비량이 감소하고 있다. 따라서 식 5)에서와 같이 선박에 있어서의 CO₂ 배출률을 저감시키기 위해서는 수송량·거리당의 연료소모량을 감소시킬 필요가 있다.

이것은 동일 선박에서 동일 조건에서 보았을 때 수송량에 상당하는 배수량은 일정하므로 항해거리당의 소비연료로 평가함으로써 구체적인 감소 효과가 명확해진다.

그림에서와 같이 프로펠러, 타 및 선저가 오손하면 최대 속력이 저하할 뿐만 아니라 연료소모량의 증가와 더불어 CO₂ 배출량도 대폭적으로 증가함을 알 수 있다. 이에 비해 선저 전체를 청소한 상태에서는 선속이 12노트 이상이 되면 CO₂ 배출량의 증가비도 작아진다. 이것은 선저나 프로펠러를 청소하면 프로펠러효율이 개선됨과 동시에 반환주 상태가 됨에 따라 마찰저항이 감소하여 식 5)의 전저항계수 C_T 가 감소했기 때

문이라고 생각된다.

3. 배수량과 선속 및 CO₂ 배출량과의 관계



[Fig. 13] The relationships between fuel consumption and ship speed

[Fig. 13]은 배수량과 탑재 기관이 각기 다른 실습선 고요마루, 구 고요마루 및 텐요마루에 있어서의 선속과 연료소모량과의 관계를 나타낸다. 그림에 있어서 고요마루는 배수량 3,368톤에 3,900kW의 친환경적이며 최첨단의 2행정 사이클 엔진과 보조전기추진시스템을 탑재하고 있다.

그리고 1,395톤의 텐요마루는 1,618kW의 주기관에 실린더의 평균유효압력(Pme)과 연료분사압력이 비교적 높은 새로운 기술을 적용한 기관을 탑재하고 있으며 2,925톤의 구 고요마루는 2,795kW의 저속 2행정 사이클의 비교적 낮은 주기관을 탑재하고 있다.

그리고 그림에서 같은 선속으로 항해중일 때, 구 고요마루의 연료소모량은 선박의 톤수와 기관의 출력이 보다 큰 고요마루의 연료소모량보다도 많음을 알 수 있다. 기관의 열효율을 나타내는 정격출력에서의 연료소비율은 구 고요마루는 220 g/kW·h로 고요마루의 184 g/kW·h 보다 약 20% 높다.

그림에서 명확한 것처럼 경제적으로도 지구환경보호를 위해서도 연료소비율이 낮은 엔진을 사

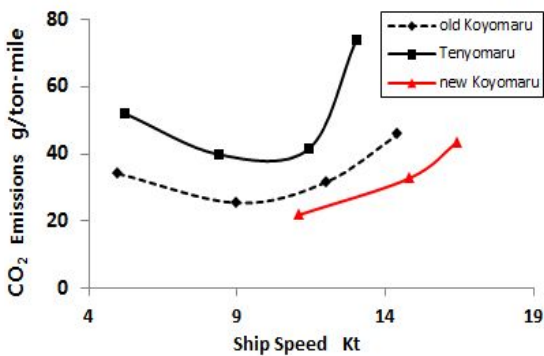
용해야 할 것이다.

[Fig. 14]에는 세 종류의 선박에 있어서의 선속과 CO_2 배출량의 관계를 나타낸다.

그림에 나타내는 선속에 있어서의 CO_2 배출량의 최소치는 덴요마루가 약 40g/톤·마일, 구 고요마루가 약 28g/톤·마일이다.

덴요마루와 구 고요마루를 비교했을 때, 덴요마루의 연료소비율은 197 g/kW·h, 구 고요마루는 220 g/kW·h로 구 고요마루의 연료소비율이 약 12% 많다. 그럼에도 불구하고 덴요마루의 CO_2 배출률이 많음을 알 수 있다. 이것으로 보아 CO_2 배출률은 연료소비율보다도 배수량의 영향이 큼을 알 수 있다.

또 신·구 고요마루를 비교했을 때 배수량과 연료소비율의 영향에 의해 신 고요마루가 어느 선속에 있어서도 CO_2 배출률이 낮다.



[Fig. 14] The relationships between CO_2 emissions, ship displacement and speed

전술한 한 바와 같이 수송량·거리당의 CO_2 배출량은 출력·시간당의 연료소모량과 선체저항 계수의 곱과 프로펠러효율의 역수로 표시되므로 친환경적인 CO_2 의 감소를 생각할 경우, 이 모든 것을 고려한 대책이 필요하다.

이러한 기관회전수를 내리면 CO_2 배출률은 감소하지만 프로펠러효율의 저하에 의한 종합평가로서는 오히려 악화하는 경우도 있다. 또 박용

대형 저속 2행정 사이클 디젤기관은 CO_2 배출량은 크지만 이것을 탑재하는 선박의 배수량은 크고 프로펠러효율도 높으므로 식 5) 및 [Fig. 14]에서 명백한 것처럼 수송량·거리당의 CO_2 배출량은 아주 작은 값이 되는 경우가 많다.

V. 결론

항해중의 선박에서 배출되는 CO_2 를 감소하기 위한 지침을 제언함과 동시에 이것을 실제의 선박 실험에 의해 검증하였다. 그 요점은 다음과 같다.

첫째, CO_2 배출률을 저감하기 위해서는 저 연료소비율의 엔진을 사용함과 동시에 전저항계수와 선속의 값은 작게, 배수량과 프로펠러효율, 전달효율, 선체효율의 값은 크게 할 필요가 있다.

둘째, 낮은 선속을 장시간 유지할 필요가 있는 경우, 주기권 운전보다는 전기추진시스템을 사용하는 것이 톤·마일당의 CO_2 배출량을 줄임과 동시에 CO_2 저감에 보다 유효함을 알 수 있다.

셋째, 선체 및 프로펠러, 타의 청소를 행함으로써 마찰저항이 감소함과 동시에 프로펠러효율이 개선되어 대폭적인 연료소모량과 CO_2 의 저감이 가능하다. 한편 본 실험 범위에 있어서는 프로펠러 청소만으로도 커다란 효과가 얻어졌다.

넷째, 항해중인 선박에 있어서의 종합적인 CO_2 배출량의 저감을 검토하는 경우, 수송량·거리당의 연료소모량을 사용하면 선박의 추진 성능을 포함한 보다 적절한 평가가 가능해진다.

References

- Kim, Young-Un(2009). Reduction Method of CO_2 Emission from Ships during Voyage, Hiroshima Symposium of the Japan Institute of Marine Engineering.
- Maeda, Kazuyuki(1998). Studies on Reduction of Emissions from Marine Diesel Engine during Voyage, CIMAC Congress in

선박의 CO₂ 배출량 저감 방안 연구

- Copen- hagen, 730~731.
- Maeda, Kazuyuki(1998). Reduction Methods of NOx Emission from Ships, The Marine Engineering Society in Japan, Vol. 26 No. 1.
- Park, Seong-Kwae(2008). Fisheries Counter-measures Against Rising Oil Prices, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 20(3), 447~448.
- Park Seong-Kwae · Kwon Hyeok-Jun · Park Jong-Wun · Cha Cheol-Pyo(2010). Bio Economic Relationships between Climate Change and Fisheries, Journal of Fisheries and Marine Sciences Education 22(3), 398. ~399
-
- 논문접수일 : 2013년 03월 18일
 - 심사완료일 : 1차 - 2013년 05월 31일
2차 - 2013년 06월 01일
 - 게재확정일 : 2013년 06월 05일