

## 대형 컨테이너선의 저속 운항 시 선수부 개조 전후 EEOI 변화에 대한 연구

박고용<sup>1</sup> · 조권희<sup>†</sup>

(Received October 12, 2016 ; Revised December 13, 2016 ; Accepted December 13, 2016)

### A study on the change of EEOI before and after modifying bulbous at the large container ship adopting low speed operation

Goryong Park<sup>1</sup> · Kwonhae Cho<sup>†</sup>

**요약:** 국제해사기구(IMO)는 온난화의 원인인 온실가스 감축을 위한 강제 규제를 도입하여 시행을 하고 있다. 하지만 여전히 지구의 온난화는 진행 중에 있고, IMO는 빠른 시일 내에 SEEMP와 EEOI에 기반한 자발적인 이산화탄소 감축 방법을 강제화 하려는 움직임이 있다. 연료 및 이산화탄소 절감을 위해 대형 컨테이너 선박은 낮은 속도에서 운항을 결정하였다. 하지만 높은 선속으로 설계되어진 선수 구조는 오히려 선속 저하 때는 저항으로 작용하여 연료 절감 효과를 저해하는 현상을 발견하였다. 대형 컨테이너 선박의 저속화를 위해 선수 구상부를 개조하여 더욱더 높은 연료 절감을 시행하였다. 고속 대형선의 저속 운항에 적합한 선수 개조가 얼마나 효율적으로 운항선 에너지효율지수를 변화시키는지를 개조 전후의 연료 소비량을 비교 검토하였다. 그 결과 예상했던 것보다 많은 이산화탄소 감축량을 확인하였다. 운항선 이산화탄소 감축 강제 규제가 시행된다면 고속선들의 연료 절감 방법의 하나로 효과적인 적용 방법으로 고려되어진다. 또한 연료절감형 운항 선박에 투자하여 에너지 효율적인 선박으로 운항하기 위한 것이다.

**주제어:** 온실가스 감축, 대형 컨테이너선, 선수 개조, 운항선 에너지효율지수

**Abstract:** The International Maritime Organization(IMO) has adopted and implemented compulsory regulation for reducing greenhouse gas emission that cause global warming. However, with global warming underway, the IMO plans to enforce voluntary carbon dioxide emissions reduction based on the Ship Energy Efficient Management Plan and the Energy Efficiency Operational Indicator(EEOI) in the near future. Large container ships sail at low speeds in order to save fuel and reduce carbon dioxide emissions. However, bulbous bows designed for high-speed ships decrease fuel efficiency by acting as resistance when reduced speeds are adopted by large container ships. In order to adopt low-speed operations and increase fuel savings, the bulbous bow of a large container ship was modified into the proper shape and size. Fuel consumption was compared for checking the result of EEOI before and after modifying the bulbous bow adopted on low speed operation of large high-speed ships. The results confirmed much larger carbon dioxide emissions reduction than expected. If EEOI would be implemented as compulsory regulation for reducing carbon dioxide emissions, bulbous bow modification can be considered as one of the fuel saving methods for the high-speed ships.

**Keywords:** Greenhouse gas reduction, Large container ship, Modifying bulbous bow, EEOI

## 1. 서론

국제해사기구(IMO)는 운항중인 선박의 이산화탄소 감축을 위한 새로운 강제 규칙 제정을 검토하고 있다[1]. 일정 규모 이상의 선박이 운항 시 연료 소비량 등 항해 자료를 보고하도록 하는 ‘연비 보고제도’를 도입하고 이를 토대로 배출가스를 줄이기 위한 새 규칙 제정에 나서려는 움직임이 있다[2]. IMO는 2013년부터 신조선에 이산화탄소 배출 감축을 위한 강제 규제를 새로 도입하였다. 하지만 운항 선박에 대한 이산화탄소 배출 규제는 선진국들과 개발도상국

들 사이에 기술적인 차이로 현재까지 진행을 하지 못하고 있었다. 선박에너지효율 개선에 관한 기술이전 및 협력증진을 위한 논의는 MEPC 62차부터 꾸준히 제기되어 왔다 [3]. 하지만 당사국들의 이해관계 때문에 지지부진하던 운항선 으로부터 배출되는 온실가스 감축을 위한 대책으로 IMO MEPC 68차 및 중간회의에서 선박들의 아래와 같은 데이터들을 수집하는 것에 합의 되었다.

- 연간 연료 소비량
- 연간 항해 거리

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1539-655X>): Department of Offshore Plant Management, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 49112, Korea, E-mail: khcho@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4252

<sup>1</sup> DNVGL, Mokpo, E-mail: go.ryong.park@dnvgl.com, Tel: 061-461-0080

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

- 연간 가동 시간
- 실제 화물량 데이터 대신 재화중량을 사용

MEPC 69차에서는 의무적으로 연비 보고제도 도입을 위한 협약 개정 등이 심의 되었고, 70차에서 채택하기 위한 준비가 진행되고 있다.

연비 보고제도에 대한 의무 선박은

- 대상 선박 : 5,000 GT 이상
- 보고 대상 데이터 : 선박정보, 제원, 연료 소비량, 항해 거리, 해상 체류 시간
- 보고 대상 기간 : 매년 1월 1일 ~ 12월 31일

등이다[4].

이러한 강제적인 데이터 수집 시기는 2019년 1월부터 시행될 것으로 예상된다.

이러한 움직임은 MEPC 62차(2011년 7월 개최)때부터 선박 에너지효율관리계획(SEEMP)[5]을 의무적으로 선박에 비치하도록 MARPOL 협약 부속서 VI에 채택되면서 시작되었다. 하지만 이행에 대한 것은 의무사항이 아니어서 강제성은 없었다. IMO에서는 SEEMP를 의무 집행 사항으로 채택하기 위해 선박으로부터의 온실가스 배출 감축 목표 설정을 위한 심의가 제안되었다. 각 선박의 비치 의무사항인 SEEMP를 이행 의무 사항으로 결정하면, 일정 기간 운항의 결과로 EEOI[6]가 검증 의무사항으로 채택될 가능성이 높다.

EEOI는 운항 중인 선박으로부터 화물 1톤을 1해리 운송할 때 배출되는 CO<sub>2</sub> 발생량을 측정하는 수식으로 EEDI와는 달리 강제화 되지 않은 자발적인 요건으로 식 (1)과 같다.

$$EEOI = \frac{\sum_j FC_j \times C_{Fj}}{m_{cargo} \times D} \quad (1)$$

FC<sub>ij</sub> : i 항차에서 소비된 연료 양 [tonne]

C<sub>F</sub> : 연료소모량으로부터 CO<sub>2</sub> 배출량 환산계수 [tonne-CO<sub>2</sub>/tonne-Fuel]

m<sub>cargo</sub> : 운송한 화물의 총톤수 [tonne]

D : 총 항해 거리 [nmile]

연료비가 높을 때 대형 컨테이너선들은 운항 속도를 낮추어 비용을 줄이려는 자발적인 노력을 했다. 하지만 현재는 모든 운항선도 일정 기간 동안 운항 결과를 바탕으로 이산화탄소 감축 목표를 설정하여 보고하는 방식이 곧 의무 규정으로 확정될 가능성이 매우 높다. 목표치를 설정하는 방법은 각 선사에서 결정할 사항이다. 적용하는 방법은 SEEMP에 등록되어 있든, 아니면 새로운 방법을 도입하던 그 것에 대하여 결정된 것은 없다. 하지만 이산화탄소 감축 방법을 적용하고 일정 기간 운항 후 검증 방법은 IMO가 제시한 식 (1)을 사용할 것으로 예상된다.

연료 소비량을 줄이려고 고속 대형 컨테이너선은 저속 운항하는 방법을 채택하였다. 하지만 고속 운항선에 적합하게 설계된 선수는 저속에서는 오히려 연료소비율을 저하시키는 역할을 한다. 본 논문에서는 선박 에너지효율관리계획서의 연료절감 방법 중 하나인 선수부를 적절한 운항 환경에 맞추어 개조)하였다[7]. 그리고 선수부 개조 전 후의 연료 절감 변화가 어떻게 되는지 운항선 에너지효율지수(EEOI)을 통하여 알아보려고 한다.

## 2. 운항선 에너지효율지수(EEOI) 개선을 위한 현존선 적용 연구

### 2.1 구상선수 개조 선박의 제원 및 제작비용

대형 고속 컨테이너의 구상선수(bulbous bow)는 고속 운항 시 조파저항을 감소시켜주지만, 저속으로 운항 시에는 오히려 마찰저항을 증가시켜 연료소비율이 증가한다. 설계 선속 27 노트 컨테이너선을 18 노트 이하로 장기간 저속 운항을 위해 주기관을 정격조정(engine de-rating)하였고, 선수부를 저속 운전에 적합한 구상선수로 변경하였다. 그리고 4대의 과급기 중 2대를 운항 속도에 적합 하도록 차단(cut-off)하고, 저속으로 일정 기간 운항한 후 연료 절감량을 측정 비교하였다.

Table 1은 실험에 사용된 8,600 TEU급 컨테이너 선박의 선체 및 주기관의 제원을 보여준다.

Table 1: Ship's particulars

Ship	8,600 TEU Container ship
LOA (before/after modified)	339 m
LPP (before/after modified)	324.82 m
Breadth (before/after modified)	45.6 m
Draft (before/after modified)	Design : 13.0 m / Scantling : 14.5 m
Deadweight (before/after modified)	Design : 77,800 M/T / Scantling : 95,900 M/T
Lightweight (before/after modified)	35,435 M/T / 35,364 M/T
Main Engine Type	HD Sulzer 14RT FLEX 96C
MCR(kW) x rpm / NCR x rpm / Service speed	81,254 x 102 / 73,130 x 98.5 / 27.0 knots
SFC at 75% MCR (g/kWh) (before/after modified)	171.58 g/kWh(MCR) / 162.73 g/kWh
Daily fuel consumption(MCR)	288.5 M/T
Auxiliary engine type	B&W 7L x 32/40H x 4 Sets
Auxiliary engine MCR(kW)	3,470 kW x 4 Sets

1) 현대상선, Maersk Lines, NYK, Wilhelmsen 등이 개조하였다

Table 2는 선수를 개조 할 경우, 개조 작업 비용 및 개조에 소요되는 시간 그리고 연료 예상 절감률 및 회수 기간들을 보여준다. 연료비는 2012년 하반기와 2013년 전반기의 변동 폭을 반영한 톤당 \$577 USD이었다. 예상 절감률은 3.7%/년으로 계산되었다. 연료 절감 양은 전년 대비 약 1,040톤이며 투자비용회수 기간은 0.8년으로 계산되었다. 개조 비용은 설계비, 제작 및 취부 비용과 도면 승인 비용을 포함한다.

Table 2: Modification status of bulbous bow

Modification	Bulbous bow	
Cost	\$485,900	plan of cost (\$463,000)
Day of modification	10 days	at the regular dry-dock
Speed change	27 knots to 18 knots	
Operation speed	16 ~ 22 knots	
Expected fuel saving(%)	3.7 %	
Expected fuel saving (ton)	1,040 ton/year	fuel price \$ 577 / ton
Expected cost saving	\$600,000 / year	
Return on investment	0.8 year	

그래서 20 노트 이상의 속력에서는 추가 과급기를 운전 상태로 전환하였다.

Figure 1은 개조 전후의 선박의 선수를 보여주고 있다. 개조전의 강재 182톤에서, 개조 후 172톤으로 감소되었고, 모습이 날렵해 지고 부피가 줄어들었다.

2.2 구상선수 개조 전후 연료소비량 비교

Table 3은 선수 개조 전 약 15개월(A) 및 개조 후 3개월(B) 그리고 추가로 과급기 차단 후 12개월(C) 동안 일일 연료 소비량을 측정한 평균값이다.

구상 선수만 개조 하였을 때 저속일수록 연료 절감률이 [(A-B)/(A)] 크고 절대 감축량은 14 노트에서 20 노트까지 비슷하였다. 하지만 선속이 증가될수록 절감률이 현저히 저하됨을 볼 수 있었다. 개조 전의 절감률을 18 노트 선속 기준으로 3.7%로 예상하였으나 실제 운항 후 측정된 절감률이 5.3%로 더 높게 나왔다. 이러한 현상을 극대화하고자



Figure 1: Before and after modification of bulbous

과급기 1대를 추가로 차단하였다. 위의 두 가지 모두를 도입하여 운전한 결과 14 노트로 저속 운전 시 연료 절감률이 [(A-C)/(A)] 무려 9.9%대까지 높아진 것을 확인할 수 있었다. 또한 절대 감축량도 6.8 톤으로 가장 많았다.

하지만 18 노트 이상의 속도에서는 연료 절감률이 감소하는 현상이 발생되었다.

선수 개조 전후 일정기간 동안 동일 속도에서 일일 연료 소비량을 측정한 결과를 바탕으로, 운항선 EEOI의 변화량을 측정하기 위한 간단한 식 (2)를 아래와 같이 변경하여 사용하였다.

$$(Modified) EEOI = \frac{(FC_{jME} \cdot AE \div 24) \times C_{Fj}}{Capacity \times V_{noon}} \quad (2)$$

시험에 사용된 선박의 항차별 항해 거리와 연료 사용량에 대한 자료가 없어서, 변경된 식에는 정오보고서(noon report)에 의해 제공된 연료 소비량을 사용하였다. 총 연료 소비량( $FC_{jME} \cdot AE \div 24$ )은 정오보고서를 참조로 하루 동안 주기관 및 보조기관에서 사용된 소비량을 사용하였고, CO<sub>2</sub> 환산계수( $C_{Fj}$ )는 3.114로 하였다. 적화용량(capacity)는 설계 시 컨테이너선에 사용되는 재화중량톤(deadweight)의 70%를 적용하였고,  $V_{noon}$ 는 측정 기간 동안 정오보고서의 평균 속도를 모든 데이터는 30개월 동안 수집된 Table 3의 하루 평균 연료 소비량 및 속도가 사용되었다.

Table 3: Fuel consumption before/after modification of bulbous (unit : tonne/day)

Speed (knot)	Fuel consumption (day)		Fuel reduce tonne (A)-(B)	Fuel reduce rate (A-B)/(A)	Fuel consump. T/C cut-off (C)	Fuel reduce tonne (B)-(C)	Fuel reduce rate (B-C)/(B)	Total fuel reduce tonne (A)-(C)	Total fuel reduce ratio (A-C)/(A)
	before (A)	after (B)							
14.0	68.8	63.5	5.3	7.7%	62.0	1.5	2.4%	6.8	9.9%
16.0	86.2	80.6	5.6	6.5%	79.8	0.8	1.0%	6.5	7.5%
18.0	108.0	102.3	5.7	5.3%	102.6	-0.3	-0.3%	5.4	5.0%
20.0	135.4	129.9	5.5	4.0%	129.9	-	-	5.5	4.0%
22.0	169.6	164.9	4.7	2.8%	164.9	-	-	4.7	2.8%

### 3. 선수부 개조 전후 각 속력별 운항선 연료소비효율 비교검토

#### 3.1 14 노트의 운항선 연료소비효율 비교검토

Table 4에서는 선수 개조 전후 동일 선속 14 노트에서 EEOI를 측정하였다. 개조 후 EEOI의 감소율은 약 7.7%였다. 또한 이산화탄소 감소량은 하루 대략적으로 약 16.5톤이 줄어든 것을 볼 수 있다.

Table 4: EEOI before/after modification of bulbous at 14 knots

	Fuel consumption		Cargo and distance	
	Fuel type (HFO)	Deadweight (ton)	Speed (knots)	
Before modified bulbous bow	68.8 ton/day	77,880 (ton)	14	
After modified bulbous bow	63.5 ton/day	77,880 (ton)	14	
Fuel reduction	5.3 ton/day (7.7 %)			
Before modified EEOI	$\frac{(68.8 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 14} \times 10^6 = 11.7 gCO_2/t.n.mile$			
After modified EEOI	$\frac{(63.5 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 14} \times 10^6 = 10.8 gCO_2/t.n.mile$			
CO <sub>2</sub> reduction	0.9 gCO <sub>2</sub> /t.n.mile (7.7 %)			

Table 5에서는 선수 개조 전후 동일 선속 14 노트에서 과급기 1대를 추가로 차단하고 측정된 EEOI의 감소율은 약 9.9%로 더욱더 많아졌다.

Table 5: EEOI before/after modification of bulbous with T/C cut-off at 14 knots

	Fuel consumption		Cargo and distance	
	Fuel type (HFO)	Deadweight (ton)	Speed (knots)	
Before modified bulbous bow	68.5 ton/day	77,880 (ton)	14	
After T/C cut-off	62.0 ton/day	77,880 (ton)	14	
Fuel reduction	6.8 ton/day (9.9 %)			
Before modified EEOI	$\frac{(68.8 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 14} \times 10^6 = 11.7 gCO_2/t.n.mile$			
After modified EEOI	$\frac{(62.0 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 14} \times 10^6 = 10.55 gCO_2/t.n.mile$			
CO <sub>2</sub> reduction	1.15 gCO <sub>2</sub> /t.n.mile (9.9 %)			

Table 4와 Table 5에서 보듯이 선수 개조 후 3대의 과급기 운전은 낮은 선속에서 오히려 연료 감소에 방해 요인으

로 작용하고 있음을 알 수 있다. 1대의 과급기를 추가 차단함으로써 이산화탄소 감소율이 증가 한 것을 알 수 있다.

이와 같이 저속에서 과급기 추가 차단으로 저속 운전 특성에 맞는 연료 절감 방법을 추가로 개발하였다.

#### 3.2 16 노트의 운항선 연료소비효율 비교검토

Table 6에서는 선수 개조 전후 동일 선속 16 노트에서 EEOI를 측정하였다. 개조 후 EEOI의 감소율은 약 6.5%였다. 또한 이산화탄소 감소량은 하루 대략적으로 약 17.4톤이 줄어든 것을 볼 수 있다.

Table 6: EEOI before/after modification of bulbous at 16 knots

	Fuel consumption		Cargo and distance	
	Fuel type (HFO)	Deadweight (ton)	Speed (knots)	
Before modified bulbous bow	86.2 ton/day	77,880 (ton)	16	
After modified bulbous bow	80.6 ton/day	77,880 (ton)	16	
Fuel reduction	5.6 ton/day(6.5 %)			
Before modified EEOI	$\frac{(86.2 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 16} \times 10^6 = 12.84 gCO_2/t.n.mile$			
After modified EEOI	$\frac{(80.6 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 16} \times 10^6 = 12.0 gCO_2/t.n.mile$			
CO <sub>2</sub> reduction	0.84 gCO <sub>2</sub> /t.n.mile (6.5 %)			

Table 7에서는 선수 개조 전후 동일 선속 16 노트에서 과급기 1대를 추가로 차단하고 측정된 EEOI의 감소율은 약 7.5%로 더욱더 늘어난 것을 확인하였다. 14 노트의 속도 보다는 선수 개조 전후의 연료 감소량은 많지만, 추가로 과급기 차단 후에는 절대 감소량이 오히려 적어짐을 알 수 있다.

Table 7: EEOI before/after modification of bulbous with T/C cut-off at 16 knots

	Fuel consumption		Cargo and distance	
	Fuel type (HFO)	Deadweight (ton)	Speed (knots)	
Before modified bulbous bow	86.2 ton/day	77,880 (ton)	16	
After T/C cut-off	79.8 ton/day	77,880 (ton)	16	
Fuel reduction	6.5 ton/day (7.5 %)			
Before modified EEOI	$\frac{(86.2 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 16} \times 10^6 = 12.84 gCO_2/t.n.mile$			
After modified EEOI	$\frac{(79.8 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 16} \times 10^6 = 11.88 gCO_2/t.n.mile$			
CO <sub>2</sub> reduction	0.96 gCO <sub>2</sub> /t.n.mile (7.5 %)			

Table 6과 Table 7에서는 보듯이 선수 개조 후 동일 선속 16 노트에서 2대의 과급기 차단 후 운전 결과를 보여 준다. 14 노트 속력으로 동일 조건에서 운전 할 때 보다 전체 연료 감소량은 조금 줄었으나, 여전히 과급기 차단 효과는 긍정적으로 작용 하고 있음을 보여주고 있다.

3.3 18 노트의 운항선 연료소비효율 비교검토

Table 8에서는 선수 개조 전후 동일 선속 18 노트에서 EEOI를 측정하였다. 개조 후 EEOI의 감소율은 5.2%였다. 또한 연료 감소량은 5.7 톤으로 절대 감소량으로는 최대치였다. 연료 감소를 위한 설계 목표치에 잘 부합되는 것을 보여준다. 또한 이산화탄소 역시 최대 감소량인 17.7톤이 줄어든 것을 볼 수 있다.

Table 8: EEOI before/after modification of bulbous at 18 knots

	Fuel consumption		Cargo and distance	
	Fuel type (HFO)	Deadweight (ton)	Speed (knots)	
Before modified bulbous bow	108.0 ton/day	77,880 (ton)	18	
After modified bulbous bow	102.3 ton/day	77,880 (ton)	18	
Fuel reduction	5.7 ton/day (5.2 %)			
Before modified EEOI	$\frac{(108.0 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 18} \times 10^6 = 14.29 \text{ gCO}_2/\text{t.n.mile}$			
After modified EEOI	$\frac{(102.3 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 18} \times 10^6 = 13.54 \text{ gCO}_2/\text{t.n.mile}$			
CO <sub>2</sub> reduction	0.75 gCO <sub>2</sub> /t.n.mile (5.2 %)			

Table 9에서는 선수 개조 전후 동일 선속 18 노트에서 과급기 1대를 추가로 차단하고 측정한 EEOI의 감소율은 5.0%로 총 연료 소비량이 오히려 적은 양 이지만 약간 늘어난 것을 확인할 수 있다.

Table 9: EEOI before/after modification of bulbous with T/C cut-off at 18 knots

	Fuel consumption		Cargo and distance	
	Fuel type (HFO)	Deadweight (ton)	Speed (knots)	
Before modified bulbous bow	108.0 ton/day	77,880 (ton)	18	
After T/C cut-off	102.6 ton/day	77,880 (ton)	18	
Fuel reduction	5.4 ton/day (5.0 %)			
Before modified EEOI	$\frac{(108.0 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 18} \times 10^6 = 14.29 \text{ gCO}_2/\text{t.n.mile}$			
After modified EEOI	$\frac{(102.6 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 18} \times 10^6 = 13.58 \text{ gCO}_2/\text{t.n.mile}$			
CO <sub>2</sub> reduction	0.71 gCO <sub>2</sub> /t.n.mile (5.0 %)			

Table 8과 Table 9에서 보듯 선수 개조 후 동일 선속 18 노트에서 2대의 과급기 차단 후 운전한 결과를 보여 준다. 18 노트 속력에서는 과급기를 차단하므로 인해 오히려 연료 절감량이 줄어드는 것을 볼 수 있다. 선속이 증가하므로 인하여 공기량이 증가하나 2대의 과급기로는 충족을 시키지 못함을 알 수 있었다.

3.4 20 노트의 운항선 연료소비효율 비교검토

Table 10에서는 선수 개조 전후 동일 선속 20 노트에서 EEOI를 측정하였다. 개조 후 EEOI의 감소율은 약 4.0%였다. 또한 연료 감소량은 5.5 톤으로 절대 감소량으로는 선속 18 노트 최대량 5.7 톤보다 줄어드는 것을 확인 하였다. 연료 감소를 위한 설계 목표치 속력보다 높은 영역에서 운전 시에는 연료 절감량이 줄어들었다. 또한 이산화탄소 역시 최대 감소량 보다 적지만 17.1 톤 이 줄어든 것을 확인 하였다.

Table 10: EEOI before/after modification of bulbous at 20 knots

	Fuel consumption		Cargo and distance	
	Fuel type (HFO)	Deadweight (ton)	Speed (knots)	
Before modified bulbous bow	135.4 ton/day	77,880 (ton)	20	
After modified bulbous bow	129.9 ton/day	77,880 (ton)	20	
Fuel reduction	5.5 ton/day (4.0 %)			
Before modified EEOI	$\frac{(135.4 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 20} \times 10^6 = 16.12 \text{ gCO}_2/\text{t.n.mile}$			
After modified EEOI	$\frac{(129.9 \div 24) \times 3.114}{0.7 \times 77,800 \times 20} \times 10^6 = 15.47 \text{ gCO}_2/\text{t.n.mile}$			
CO <sub>2</sub> reduction	0.65 gCO <sub>2</sub> /t.n.mile (4.0 %)			

Table 4부터 Table 10에서 보듯이 저속 특성 운전 범위인 18 노트에 적합한 선수 개조 및 과급기 4대 중 2대를 차단 하여 운전한 결과, 이 선박에 맞는 운전 특성을 찾을 수 있었다. 18 노트에서 2대의 과급기를 차단 후 운전한 결과 오히려 전체 연료 사용량이 조금 증가하는 것으로 확인되어, 20 노트에서는 추가로 차단되었던 과급기를 다시 사용한 결과 오히려 절대 사용량은 줄어든 것을 확인하였다. 이와 같이 선박의 특성에 적합한 개조나 정비를 하면 많은 이산화탄소 배출량을 감축할 수 있는 것으로 확인되었다.

4. 결 론

2015년 12월 파리에서 개최된 제21차 유엔기후변화협약 당사국 총회에 앞서, 국제해운회의소(ICS-International Chamber of Shipping)는 정부 협상가들에게 해운업계 종사자들이 탄소배출 감축을 위해 노력을 하고 있음을 강조했다[8]. 또한 2050년까지 이산화탄소 50% 감축을 천명 하였

다.글로벌 해운업계가 지속적으로 증가하고 있는 무역량에도 불구하고 2007년 당시 세계 전체 이산화탄소 배출량 중 해운업이 차지하는 비율은 2.8%였으나, 2014년에는 2.2%까지 감소되었다[9]. 하지만 가까운 미래에 운항선도 일정기간 동안 온실가스 감축 목표 설정이 강제 규제로 채택될 가능성이 매우 높다. 본 연구에서는 연료유 절감을 위해 고속 운항선이 장기간 저속 운항을 위해 선수부를 개조해 운항한 결과를 요약하고 최종 결론은 다음과 같다.

- (1) 고속 운항으로 설계된 대형 컨테이너선에서 연료 절감을 위해 장기간 저속 운항 시 선수부는 오히려 저항으로 작용하여 연료절감 효율을 저해하였다. 이러한 현상을 극복하고 더욱더 효율적인 운전을 위해 저속에 적합한 구상선수로 개조하였다.
- (2) 대형 엔진을 낮은 출력으로 운전 시 장착된 4대의 과급기 중 2대를 차단하여 더욱 높은 이산화탄소 감축량을 얻었다. 하지만 20 노트이상에서는 오히려 감축량이 줄어들어 차단된 과급기 중 1대는 재사용 하였다.
- (3) 저속운항을 위해 선수부가 개조된 선박에서 개조 전후 측정된 EEOI는 예상했던 이산화탄소 감소량 보다 많았다. 그 결과 비용 회수율도 예상했던 시간보다 빨랐다.
- (4) 고유가 시대에는 해운선사가 자발적으로 비용 절감을 목적으로 연료 절감방법을 개발하여 선박에 적용하였다. 또한 비용에 대한 회수율도 빨랐다. 하지만 최근 연료값이 하락하면서 비용 절감을 위한 자발적인 행위는 적어졌고, 비용 회수율도 늦어졌다. IMO에서 운항선 온실가스 감축 강제 규제를 채택하면, 연료값 및 비용 회수기간과 무관하게 이산화탄소 감축을 위한 적절한 방법을 각 운항선사 추가로 개발 적용해야만 한다는 결론을 얻었다.

## References

- [1] IMO MEPC/Circ.681, Interim Guidelines on the method of calculation of the Energy Efficiency Design Index for new ship (EEDI), 2009.
- [2] IMO, IMO update NO 7-2016 / April, IMO MARINE ENVIRONMENTAL PROTECTION COMMITTEE, 69th Session, p. 2, 18 to 22 April 2016.
- [3] IMO, MEPC 65/4/25, Comments on the draft MEPC resolution on Promotion of Technical Co-operation and Transfer of Technology relating to the improvement of Energy Efficiency of Ships , 24 May 2013.
- [4] IMO, MEPC 69th session, MEPC 69/21, Further Technical and operational measures for Enhancing Energy Efficiency of International shipping, p. 27, 13th May 2016.
- [5] IMO MEPC/Circ.683, Guidance for the development of a Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), 2009.
- [6] IMO MEPC/Circ.684, Guidelines for voluntary use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), 2009.
- [7] Ships are getting new bulbous bow to save fuels, <http://www.green4sea.com/ships-are-getting-new-bulbous-bow-to-save-fuels>, Accessed December 29, 2016.
- [8] Magazine of ASIASIS(Daily Shipbuilding & Offshore), ICS, CO2 50% reduction until 2050, 2015-09-25 ( in Korean)
- [9] IMO, Third IMO Greenhouse Gas Study 2014, Executive Summary and Final Report, International Maritime Organization, London, p. 280, 2014.