

# IT기반의 선박에너지절감시스템 성능평가 방법-(2) : 해상시험 수행 결과

† 유윤자

† 전 한국선급 연구원

## Energy Efficiency Evaluation of IT based Ship Energy Saving System-(2) : Ship Test Results

† Yun-Ja Yoo

† Former Researcher of Korean Register, Busan 46762, Korea

**요 약** : IMO에서는 선박온실가스 규제를 위해 2013년부터 현존선의 선박에너지효율관리계획인 SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan)의 시행을 강제화하고 있다. SEEMP에서 권고하는 에너지절감기술 가이드라인은 크게 하드웨어적인 장비의 탑재 및 개조 또는 소프트웨어적인 기술을 통한 연료유 절감효과로 구분된다. 신조선의 경우 하드웨어적인 기술구현이 용이하지만 현존선의 경우 운항상 제약으로 인해 소프트웨어적인 에너지 절감기술 구현이 적용되고 있다. IT기반의 선박에너지절감 시스템 성능평가를 위해 해상시험을 수행하였고, 시스템 적용 전후의 항차데이터를 이용하여 연료유 절감효과를 비교·분석 하였다. 또한, SEEMP에서 자발적인 사용을 권고하고 있는 선박 경제운항 지표 (EEOI, Ship Energy Efficiency Operation Indicator) 분석을 통한 성능평가 결과를 제시하였다.

**핵심용어** : 선박에너지절감계획, 선박경제운항지표, 선박에너지절감시스템, 에너지효율평가, 연료소모량

**Abstract** : SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan) has entered into force since 2013 for the reduction of GHG emission of operating ships. SEEMP guidelines include the hardware modification or installation of energy-saving device on ship. It also includes software based energy-saving technology such as optimum routing, speed optimization, etc. Hardware based technologies are not easy to apply to ongoing vessel due to the operational restriction. Therefore, IT based energy-saving technology was applied and its energy efficiency was evaluated using before and after energy-saving system applied voyage data. SEEMP advises a voluntary participation of EEOI (Ship Energy Efficiency Operation Indicator) use as an indicator of ship energy efficiency operation, and those results were also shown to evaluate the improvement efficiency of energy-saving system.

**Key words** : SEEMP (Ship Energy Efficiency Management Plan), EEOI (Ship Energy Efficiency Operation Indicator), ship energy-saving system, energy efficiency evaluation, FOC (Fuel Oil Consumption)

### 1. 서 론

현존선의 선박운항효율 향상을 위해 시행된 선박에너지효율관리계획 (SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan)은 선박 온실가스 규제를 위한 에너지절감기술을 사용하여 항차가 진행됨에 따라 절감효과를 개선하도록 강제화하고 있다(IMO, 2013; Doo, 2013; Im, 2010). 선박온실가스 규제를 위한 SEEMP 에너지절감 조치는 크게 하드웨어적인 장비의 탑재 및 개조, 또는 소프트웨어적인 에너지 절감기술 구현을 제시하고 있다.

신조선의 경우 하드웨어적인 장비의 탑재 및 개조가 용이하나, 현존선의 경우 운항을 정지하고 물리적인 선체의 개조를 통한 에너지 절감효과를 개선하기에는 제약이 따른다. IT 기술을 이용한 선박 에너지 절감기술은 선종에 크게 상관하지 않고 소프트웨어적인 기술의 적용을 통해 운항선박의 에너지 절감효과를 가져올 수 있는 장점을 가진다(Lee, 2011; Park, 2014). SEEMP 가이드라인에서 제시한 에너지 절감수단 중 선속최적화 관련 절감효과는 대표적인 에너지 절감조치로 평가된다(IMO, 2011; Kim, 2015).

IT기반의 선속최적화 기술을 적용한 에너지 절감효과 성능

† Corresponding author : 종신회원, yjyoo@kmou.ac.kr

평가를 위해 육상시험을 통한 성능평가를 수행하였으며(Yoo, 2015), 본 논문에서는 해상시험을 통한 연료유 개선효과를 분석하기 위해 연료절감시스템 적용 전후의 항차데이터를 비교·분석하여 정량적인 에너지 절감효과를 제시한다. 또한, 선박 경제운항 지표인 EEOI (Ship Energy Efficiency Operation Indicator) 분석을 통해 연료절감시스템의 에너지 사용개선 평가를 수행한다.

## 2. 해상시험 수행 절차

선박에너지절감시스템 연료유 절감효과 평가를 위한 해상시험은 연료절감시스템 적용 전후의 운항데이터를 일정기간 수집하여 각각의 에너지 사용량을 산출하고 시스템 적용후의 연료유 사용 개선효과를 평가한다. 선박 운항시 해상상태는 항차별로 가변적이기 때문에 되도록 장기간의 항차데이터를 기반으로 하여 항차별 변화하는 해상에 의한 연료소모량 편차를 최소화 하도록 한다.

연료절감시스템 적용후 항해속력은 구간별 최적 RPM 권고를 위한 최적화 문제로 다음과 같이 정의된다(Park, 2014).

$$\min \sum_{i=1}^N P_i(n) \delta t_i = \sum_{i=1}^N 2\pi \rho D^5 n^3 K_Q(n) \delta t_i \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^N \delta t_i \leq E_{TA}$$

여기서,

$P_i$  :  $i$ 번째 구간에서 소모되는 선박 동력

$\delta t_i$  :  $i$ 번째 구간에서 항해 소요시간

$\rho$  : 해수 밀도

$D$  : 프로펠러 직경

$n$  : 프로펠러 회전수 [rps]

$K_Q$  : 토크계수

$E_{TA}$  : 도착예정시간

을 나타낸다.

연료절감시스템 적용 전후의 항차데이터를 이용하여 항해속력, 항해시간, 연료유 사용량, 연료유 절감률을 비교·분석하고 항차별 배출되는 CO<sub>2</sub> 배출량으로 정의되는 EEOI 에너지 효율지표 (SEEMP의 선박 경제운항 지표로 IMO에서 자발적인 사용을 권고)를 산출하여 시스템 적용 전후의 에너지 효율을 평가하도록 한다(IMO, 2009).

Fig. 1은 연료절감시스템의 연료유 절감효과 성능평가를 위한 해상시험 수행절차를 나타낸다. 항해정보 수집 장비의 데이터를 이용하여 최적 RPM 산출 및 권고 RPM으로 운항한 항차데이터를 수집하여 연료절감효과를 평가한다.

## 3. 실선시험을 이용한 성능평가

### 3.1 실선시험 개요

선박에너지절감시스템의 에너지 절감효과 성능평가를 위해 해당시스템을 장착한 실선데이터의 항차결과를 수집하고 시스템 적용 전후의 항차결과를 비교·분석 하였다. 실선데이터를 이용한 에너지절감시스템 해상시험 성능검증을 위해 사용된 선박은 한국-호주를 항해하는 벌크 선종으로 에너지절감시스템 적용전 4항차분의 AB-Log Data (에너지절감시스템 적용전 2항차와 3항차 사이에 입거), 에너지절감시스템 적용후 18항차분의 Daily Voyage Data를 사용하여 2011년 1월 ~ 2013년 10월까지 수행된 항차데이터를 이용한 성능검증을 수행하였다. 에너지절감시스템 성능평가를 위해 사용된 항차정보 요약 및 대상선박을 각각 Fig. 2, 3에 나타냈다.

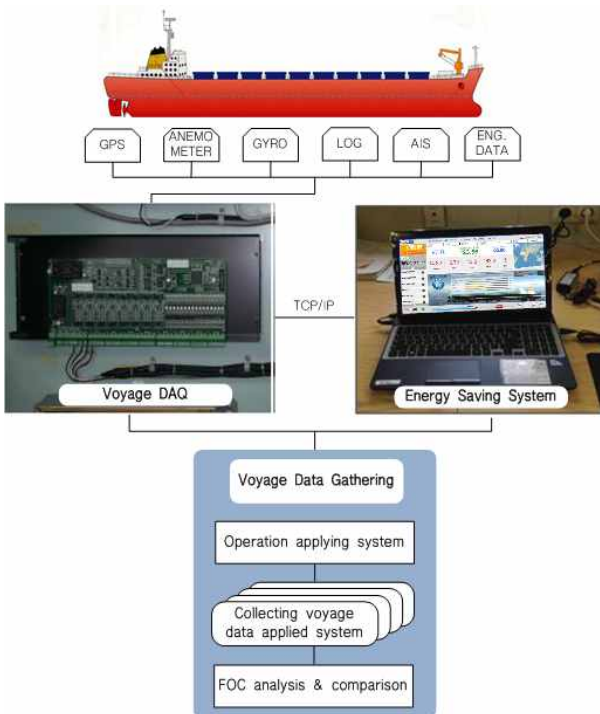


Fig. 1 Ship test process applying energy-saving system



Fig. 2 Voyage no. from Jan. of 2011 to Oct. of 2013 (voyage no.1-4: Before energy-saving system applied, voyage no.5-22: After energy-saving system applied, dry-dock between no.2 and no.3 voyage)



Fig. 3 Target ship for ship test of energy-saving system (Bulk carrier) efficiency evaluation

Table 1 General particulars of target ship and voyage data

Description		Value [unit]
Ship type		Bulk carrier
Net tonnage		49,154 [ton]
Gross tonnage		75,254 [ton]
Deadweight ton		140,115 [DWT]
Designed speed		14 [kts]
LOA		270 [m]
Breadth		43 [m]
Draft		17.5 [m]
MCR		17,056 [hp] × 84 [rpm]
NCR		14,450 [hp] × 79.6 [rpm]
Voyage condition (period)		Load condition
Before system applied (Jan. 2011 ~ July 2011)	No.1~2 voy.	Full load
	dry-dock	
After system applied (Aug. 2011 ~ Oct. 2013)	No.3~4 voy.	Full load
	No.5~22 voy.	Full load

실선시험에서 사용된 선박은 벌크선종으로 상용연속출력 (NCR: Nominal Continuous Rating), 최대연속출력 (MCR: Maximum Continuous Rating), 대상 선박의 기본 제원 및 항해데이터 요약은 Table 1에 나타냈다.

전체 약 2.9년 동안의 22항차분 항해데이터인 만재시의 AB-Log Data와 Daily Voyage Data를 분석하였으며 (만재시 설계흘수: 17.5[m]), 에너지절감시스템 적용후 Slow-steaming 단계별 절감효과 및 에너지절감시스템 적용 전후의 비교결과를 통한 성능평가를 수행하였다.

### 3.2 연료절감시스템 적용 실선시험 결과

연료절감시스템 적용후 Daily Voyage Data를 NCR (Nominal Continuous Rating, 통상 MCR의 75%) 기준으로 MCR 대비 출력을 5%씩 낮추고 SLOW-1 ~ SLOW-5 (SLOW-1: MCR-70%±2.5, SLOW-2: MCR-65%±2.5, SLOW-3: MCR-60%±2.5, SLOW-4: MCR-55%±2.5, SLOW-5: MCR-50%±2.5)의 5단계로 나누어 저속항해 단계를 구분하였으며, Slow-steaming 단계별 항해결과를 분석하였다.

항차별 만재시의 항해일수 약 200일에 대한 Daily Voyage Data를 기준으로 일별 MCR-% 결과를 Fig. 4에 나타냈다. Fig. 4의 결과로부터 항차가 진행됨에 따라 에너지절감시스템 적용후 MCR-% 출력을 약 77%에서 50%까지 낮추어 Slow-steaming 운항을 하고 있음을 알 수 있다. 한편, SLOW-5 단계에서는 다른 구간에 비해 Daily Voyage Data 샘플수 부족으로 전체적인 Slow-steaming 경향이 해당구간에서 두드러지게 나타나지 않고 있음을 알 수 있다.

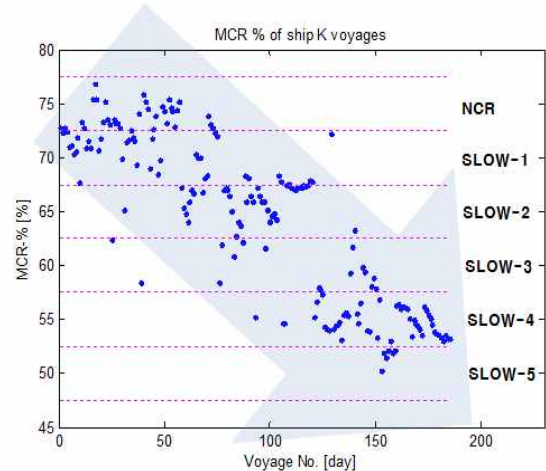


Fig. 4 Daily voyage data according to voyage day after energy-saving system applied

Table 2 Slow-steaming phase according to MCR-% output

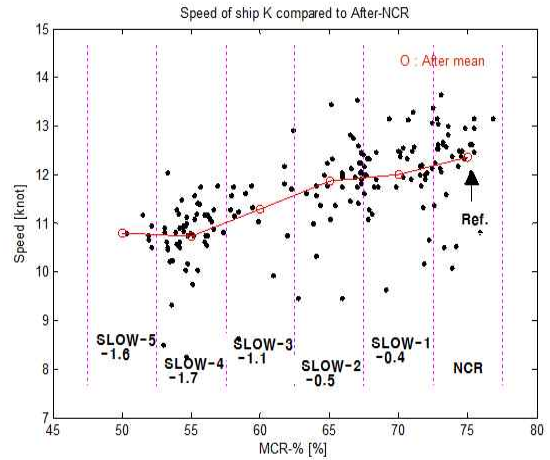
Slow-steaming phase	MCR-%	MCR-% range
NCR	MCR 75	MCR 75±2.5
SLOW-1	MCR 70	MCR 70±2.5
SLOW-2	MCR 65	MCR 65±2.5
SLOW-3	MCR 60	MCR 60±2.5
SLOW-4	MCR 55	MCR 55±2.5
SLOW-5	MCR 50	MCR 50±2.5

NCR을 기준으로 SLOW-1 ~ SLOW-5 단계에 따른 에너지 절감률을 분석하기 위해 MCR-%에 따른 평균선속, 항해시간, 연료소모량을 Fig. 5에 보였다. Fig. 5(a)의 결과로부터 NCR 대비 SLOW-1 단계에서는 평균선속이 -0.4 [kts] 감소하였고, SLOW-2 단계에서는 -0.5 [kts], SLOW-3 단계에서는 -1.1 [kts], SLOW-4 단계에서는 -1.7 [kts], SLOW-5 단계에서는 -1.6 [kts]로 각각 단계별 평균선속이 감소하였음을 알 수 있다. 한편, SLOW-5 단계에서는 SLOW-4 단계보다 MCR-%가 5% 낮아졌음에도 불구하고 평균선속이 오히려 +0.1 [kts] 증가하였다. 이는 단계별 평균선속을 구하는 과정에서 SLOW-5 단계의 Daily Voyage Data 샘플수가 타 구간과 비교하여 충분하지 않은 관계로 Slow-steaming 단계별 대표성을 나타내지 못하는 것으로 판단된다.

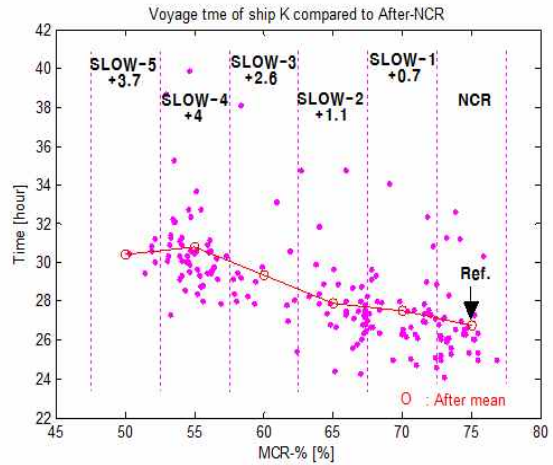
Fig. 5(b)의 결과로부터 일평균 항해거리 329[NM]에 대한 SLOW-1 ~ SLOW-5 단계별 항해시간은 SLOW-1 단계에서 NCR 대비 +0.7[hrs] 증가하였고, SLOW-2 단계에서는 +1.1[hrs], SLOW-3 단계에서는 +2.6[hrs], SLOW-4 단계에서는 +4[hrs], SLOW-5 단계에서는 +3.7[hrs] 각각 증가하였음을 알 수 있다. Fig. 5(a)의 단계별 평균선속 결과와 마찬가지로 SLOW-5의 항해시간이 SLOW-4의 항해시간보다 -0.3[hrs] 적게 걸린 이유는 SLOW-5 단계의 샘플수가 타 구간에 비해 충분하지 않기 때문으로 판단되며 SLOW-5 단계의 항차데이터 샘플수가 충분히 확보될 경우 타 구간과 마찬가지로 Slow-steaming에 따른 항해시간이 길어지게 될 것으로 예상된다.

Fig. 5(c)는 Slow-steaming 단계별 NCR 대비 연료절감률을 나타낸다. SLOW-1 단계에서는 NCR 대비 1.5%의 절감률을 나타내며, SLOW-2 단계에서는 4.5%, SLOW-3 단계에서는 3.6%, SLOW-4 단계에서는 8.6%, SLOW-5 단계에서는 13.1%의 절감률을 각각 나타내고 있다. SLOW-3 단계와 SLOW-5 단계에서 나타나는 절감률은 타 구간 대비 적은 항차데이터 샘플수로 인해 MCR-%에 따른 Slow-steaming 효과를 대표적으로 나타내지 못하는 것으로 판단되며, 이는 보다 많은 항차데이터 확보 후 결과가 다소 바뀔 수 있을 것으로 기대된다.

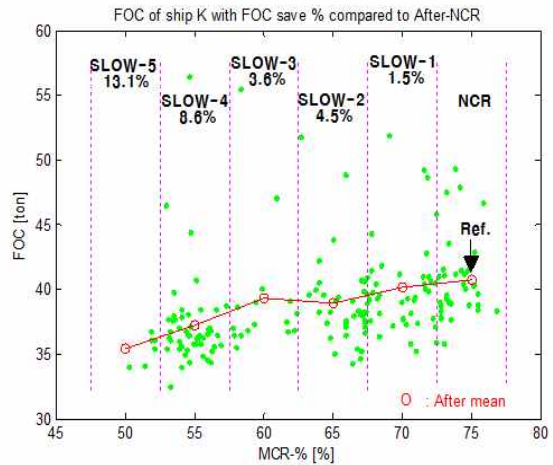
Table 3은 Fig. 5(a) ~ 5(c)의 Slow-steaming 단계별 결과를 종합한 표이다. NCR 대비 평균선속은 12.4[kts] ~ 10.7[kts]로 변화하였고, 항해시간은 NCR 대비 최대 +4[hrs] 늘어났다. Slow-steaming 구간별 평균 연료소모량은 40.8[ton] ~ 35.4[ton]으로 감소하였으며, SLOW-1 ~ SLOW-5 단계별 연료절감률은 NCR 대비 최대 13.1%로 나타났다. SLOW-3 구간에서는 SLOW-2 구간에 비해 더욱 Slow-steaming 하여 운항하였음에도 불구하고 연료절감율이 오히려 감소하였으며, 이는 SLOW-3 구간의 Daily Voyage Data 샘플수가 타 구간 대비 적은 관계로 Slow-steaming 운항에 따른 절감효과가 충분히 반영되지 않았을 것으로 판단된다. 가장 적은 샘플수를 가지는 SLOW-5 구간의 연료절감률



(a) Speed results of daily voyage data according to slow-steaming phase



(b) Voyage time results of daily voyage data according to slow-steaming phase



(c) FOC results of daily voyage data according to slow-steaming phase

Fig. 5 Daily voyage data results according to slow-steaming phase after energy-saving system applied



Table 3 Mean speed, voyage time, FOC and FOC save rate results according to slow-steaming phase

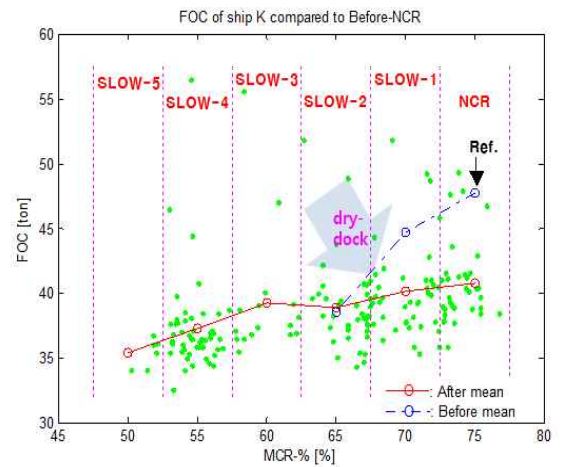
Slow-steaming phase	Mean speed [kts]	Voyage time [hrs]	Mean FOC [ton]	FOC save rate [%]
NCR (Ref.)	12.4	-	40.8	-
SLOW-1	12.0	+0.7	40.2	1.5
SLOW-2	11.9	+1.1	38.9	4.5
SLOW-3	11.3	+2.6	39.3	3.6
SLOW-4	10.7	+4.0	37.3	8.6
SLOW-5	10.8	+3.7	35.4	13.1

은 SLOW-4 구간 대비 감소한 것으로 나타났으나, SLOW-3 구간과 마찬가지로 샘플수 부족에 따른 충분한 대푯값을 반영하지 못하는 것으로 판단된다.

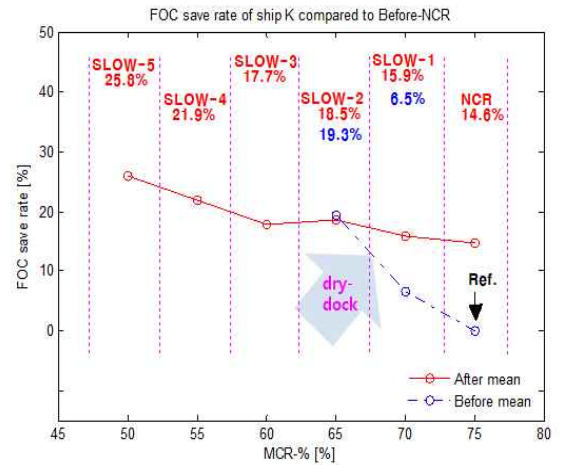
Daily Voyage Data를 이용한 선박에너지절감시스템 적용 후 MCR-% 출력 감소에 따른 Slow-steaming 단계별 에너지 절감 효과를 분석하기 위해 NCR 대비 SLOW-1 ~ SLOW-5 단계별 절감효과를 비교·분석 하였으며, 연료절감시스템 적용 전후의 에너지 절감효과를 분석하기 위해 AB-Log Data를 이용하여 시스템 적용전 NCR 대비 연료절감 효과를 평가하였다. 연료절감시스템 적용전 AB-Log Data는 총 4항차분의 데이터를 이용하였으며, 2항차와 3항차 사이에 입거하여 선체오손을 제거하였다. 따라서, 연료절감시스템 적용전 입거에 따른 선체저항감소 및 그에 따른 연료유 절감 효과를 분석하고, 선박에너지절감시스템 적용에 따른 연료유 절감 효과와 함께 비교·분석 하였다.

연료절감시스템 적용에 따른 연료절감 효과를 평가하기 위해 시스템 적용전 4 항차분의 AB-Log Data와 시스템 적용후 NCR, SLOW-1 ~ SLOW-5 단계별 평균 연료소모량 및 시스템 적용전 NCR 대비 연료절감률, SLOW-1 ~ SLOW-5 단계별 평균선속 결과를 비교·분석 하였다 (연료절감시스템 적용전 결과: 파란색 점선, 연료절감시스템 적용후 결과: 붉은색 실선, 연료절감시스템 적용전 SLOW-1, 2단계 사이 dry-dock).

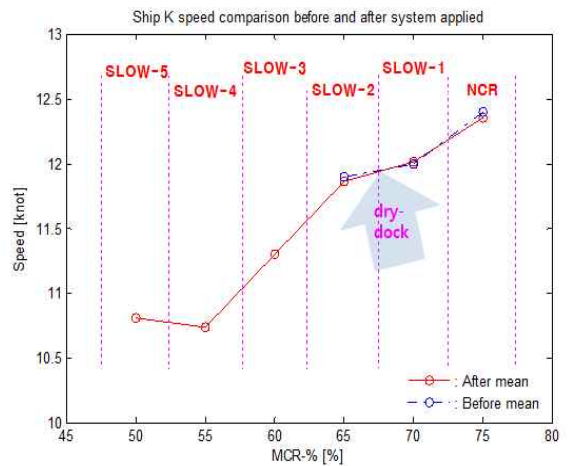
Fig. 6(a)는 연료절감시스템 적용전 NCR 대비 SLOW-1 ~ SLOW-5 단계별 연료소모량을 나타낸다. 시스템 적용전 NCR 구간에서의 평균 연료소모량은 47.4[ton], 시스템 적용후 NCR 구간에서의 평균 연료소모량은 40.8[ton]을 나타냈다. SLOW-1 구간에서의 시스템 적용전 평균 연료소모량은 44.6[ton], 시스템 적용후 평균 연료소모량은 40.2[ton]으로 나타났다. SLOW-2 구간에서의 시스템 적용전 평균 연료소모량은 38.5[ton]으로 나타났으며, 시스템 적용후는 38.9[ton]으로 나타났다. NCR 구간과 SLOW-1 구간에서 연료절감 시스템 적용후에 연료유 절감 효과를 나타내고 있음을 알 수 있다. SLOW-2 구간에서는 시스템 적용 전후의 연료유 차이가 0.4



(a) FOC comparison results before and after energy-saving system applied



(b) FOC save rate comparison results before and after energy-saving system applied



(c) Speed comparison results before and after energy-saving system applied

Fig. 6 AB-log data comparison before and after energy-saving system applied

Table 4 Mean speed, FOC and FOC save rate results according to slow-steaming phase before and after energy-saving system applied (after energy-saving applied results with boldface)

Slow-steaming phase	Mean speed [kts]	Mean FOC [ton]	FOC save rate [%]
NCR (Ref.)	12.3 <b>(12.4)</b>	47.4 <b>(40.8)</b>	- <b>(14.6)</b>
SLOW-1	12 <b>(12)</b>	44.6 <b>(40.2)</b>	6.5 <b>(15.9)</b>
SLOW-2	11.5 <b>(11.9)</b>	38.5 <b>(38.9)</b>	19.3 <b>(18.5)</b>

[ton]으로 타 구간 대비 저조하게 나타났다. 이는 입거시 선체오손 제거에 따른 선체저항 감소로 인해 시스템 적용후와 유사한 연료유 절감 효과가 나타난 것으로 판단된다.

Fig. 6(b)는 연료절감시스템 적용전 NCR 기준 시스템 적용 전후 단계별 연료절감률 결과를 나타낸다. NCR 구간에서 연료절감시스템 적용전 NCR 대비 시스템 적용후에 14.6%의 연료유 절감 효과를 나타냈다. SLOW-1 구간에서는 시스템 적용전 NCR 대비 시스템 적용 전후 각각 6.5%, 15.9%로 연료절감시스템 적용후에 9.4% 더 높은 절감효과를 나타냈다. SLOW-2 구간에서는 시스템 적용전 NCR 대비 시스템 적용 전후 각각 19.3%, 18.5%의 절감률을 보였으며, 근소한 차이지만 시스템 적용전 절감효과가 0.8% 더 높은 결과를 나타냈다. 이는 입거시 선체오손 제거에 따른 선체저항 감소로 인한 연료유 절감 효과가 선박에너지절감시스템 적용에 따른 연료유 절감 효과와 더불어 현저한 절감효과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Fig. 6(c)는 NCR, SLOW-1 및 SLOW-2 구간에서의 연료절감시스템 적용 전후의 평균선속 결과를 나타낸다. NCR 구간에서의 시스템 적용 전후 평균선속은 각각 12.3[kts], 12.4[kts]이며, 전체적인 차이는 0.1[kts]로 근소한 차이를 나타낸다. SLOW-1 구간에서의 시스템 적용 전후 평균선속은 두 구간에서 모두 12[kts]로 동일하게 나타났다. SLOW-2 구간에서도 시스템 적용 전후 평균선속은 각각 11.5[kts], 11.9[kts]로 큰 차이를 나타내지 않고 있음을 알 수 있다.

결과적으로 시스템 적용 전후 구간별 평균선속은 NCR, SLOW-1 구간에서 현저한 Slow-steaming을 하지 않았음에도 불구하고 시스템 적용후의 연료유 절감 효과는 두드러지게 나타나고 있음을 알 수 있다. 이는 시스템 적용후 전체적인 평균선속은 시스템 적용전과 큰 차이가 없지만 실제 항해에서는 시스템 적용시 해상상태에 따른 권고 RPM으로 구간별 항해하여 연료유 절감효과를 가져온 것으로 판단된다.

또한, 시스템 적용전 SLOW-2 구간 결과로부터 선체오손 제거에 따른 선체저항 감소가 연료절감시스템 적용과 유사하게 에너지 절감 효과를 나타내고 있음을 유추할 수 있다. 이는

SEEMP에서 제시한 선박 연료유 효율 개선방안의 여러 방법들 중 하나로 선체오손 제거가 실제적인 연료유 절감 효과를 가져 올 수 있음을 나타낸다.

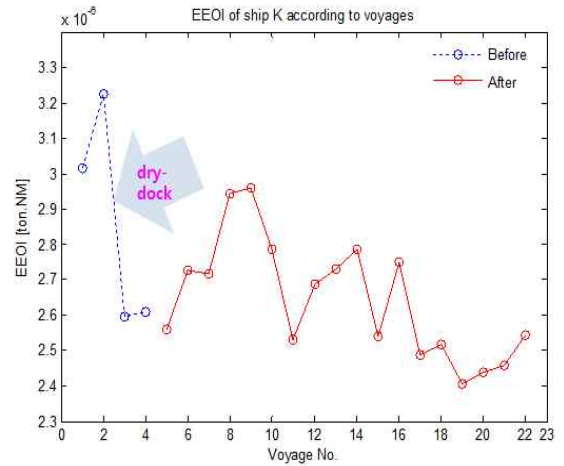


Fig. 7 EEOI comparison results before and after energy-saving system applied

Table 5 EEOI comparison results according to voyage no. before and after energy-saving system applied

Voyage no.		EEOI [ton·NM]
Before system applied	1	3.0165e-06
	2	3.2259e-06
	dry-dock	
	3	2.5949e-06
After system applied	4	2.6088e-06
	5	2.5614e-06
	6	2.7273e-06
	7	2.7178e-06
	8	2.9432e-06
	9	2.9612e-06
	10	2.7867e-06
	11	2.5303e-06
	12	2.6876e-06
	13	2.7290e-06
	14	2.7847e-06
	15	2.5415e-06
	16	2.7505e-06
	17	2.4883e-06
	18	2.5181e-06
	19	2.4053e-06
	20	2.4383e-06
	21	2.4586e-06
	22	2.5455e-06

통상 선체오손 제거에 따른 선체저항 감소는 약 15% 정도로 알려져 있으며, 이는 Beaufort 0 해상에서 14[kts]의 속력으로 만재 항해시 일평균 약 6[ton]의 연료유 절감을 가져오며 연료소모량으로 환산시 약 12%의 연료유 절감효과를 나타낸다(Hellio & Yebra, 2009; Kane, 2013). Fig. 6 및 Table 4의 SLOW-1, 2 결과로부터 연료절감시스템 적용전 SLOW-1 (선체오손 제거전) 절감률은 6.5%, 연료절감시스템 적용전 SLOW-2 (선체오손 제거후) 절감률은 19.3%로 나타났으며, 이는 선체오손 제거후 약 12.8%의 절감률을 나타낸다.

Fig. 7은 선박에너지절감시스템 적용 전후 항차별 EEOI 지표를 나타낸다. 시스템 적용전 4항차분 결과로부터 1,2 항차의 EEOI가 각각 3.0165e-06, 3.2259e-06으로 가장 높은 값을 나타냈다. 입거후 3,4 항차는 각각 2.5949e-06, 2.6088e-06으로 1,2 항차와 비교하여 크게 감소하였음을 알 수 있다. 연료절감시스템 적용후 18항차 결과는 여러 항차의 데이터가 SLOW 단계별로 포함되므로 이전 항차보다 FOC가 매년 절감된다고 보기는 어렵지만, 시스템 적용후 전반적으로 EEOI 지표가 항차가 진행됨에 따라 감소하는 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다. 연료절감시스템 적용 전후 및 입거 전후 각 항차별 EEOI 에너지 효율지표 결과를 Table 5에 나타냈다.

#### 4. 결론

현존선의 선박 온실가스 규제를 위해 2013년부터 시행된 선박에너지효율관리계획 (SEEMP, Ship Energy Efficiency Management Plan)은 항차가 진행됨에 따라 에너지 절감기술을 적용하여 연료유 개선을 분석 및 평가하도록 강제화 하고 있다. 운항선박에 적용이 용이한 IT기반의 에너지 절감기술 시스템의 효과평가를 위해 해상시험을 수행하였으며, 시스템 적용후 장기간의 항해데이터를 수집·분석하여 시스템 적용 전후의 에너지 절감효과를 비교·분석 하였다.

연료유 절감시스템 적용후 Daily Voyage Data 분석결과로부터 항차가 진행됨에 따라 상용연속출력 (NCR: Nominal Continuous Rating) 대비 Slow-steaming SLOW-1 ~ SLOW-5 단계별 1.5% ~ 13.1%의 연료유 절감효과를 보였다. 또한, 연료유 절감시스템 적용전 AB-Log Data 비교결과로부터 시스템 적용전 NCR 대비 14.6% ~ 18.5%의 절감효과를 보였다. 시스템 적용전 입거 전후의 비교결과로부터 입거시 선체오손 제거로 인한 연료유 절감효과가 시스템 적용후 절감효과와 더불어 현저하게 개선되었음을 알 수 있었다. 또한, 선박 경제운항 지표인 EEOI 결과에서도 입거시 선체오손 제거로 인한 EEOI 개선이 현저하게 나타났으며, 연료유 절감시스템 적용후 EEOI 지표도 감소경향이 나타났다. 향후 다양한 선종의 장기적인 항차데이터를 기반으로 추가적인 연료유 절감시스템 성능평가 수행이 필요하다.

#### References

- [1] Doo, H. and Lee, Y.(2013), "The Study on ensuring Effectiveness of IMO Instrument regarding GHG emission from Ships", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 37, No. 5, pp. 511-517.
- [2] Hellio, C. and Yebra, D.M.(2009), Advances in Marine Antifouling Coatings and Technologies, Woodhead Publishing, pp. 167-172.
- [3] Im, N. and Yi, S.(2010), "An Inventory Analysis on Greenhouse Gas Emission from Bulk Carrier and Oil Tanker", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 34, No. 3, pp. 189-194.
- [4] IMO(2009), Guidelines for Voluntary Use of the Ship Energy Efficiency Operational Indicator (EEOI), IMO MEPC.1/Circ.684.
- [5] IMO(2011), Air Pollution and Energy Efficiency - Estimated CO<sub>2</sub> Emissions Reduction from Introduction of Mandatory Technical and Operational Energy Efficiency Measures for Ships, IMO MEPC 63/INF.2
- [6] IMO(2013), Ship Energy Efficiency Management Plan (SEEMP), MARPOL Annex VI, Reg.22.
- [7] Kane, D.(2013), "Developing a More Fuel Efficient Tonnage through Blasting of Hulls and Timely in-water Husbandry", International Conference in Ship Efficiency, Sep. 23-24 of 2013, Hamburg, Germany.
- [8] Kim, Y., Kang, D., Nam, K. and Nam, H.(2015), "An Evaluation of Energy Saving Measures for Ocean Going Vessels", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 39, No. 2, pp. 107-113.
- [9] Lee, S. and Chang, M.(2011), "A Study on Economic Operation for Linear-Fleet by Fluctuation of Fuel Oil Price", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 35, No. 9, pp. 765-776.
- [10] Park, J. and Kim, N.(2014), "A Comparison and Analysis of Ship Optimal Routing Scenarios considering Ocean Environment", Journal of the Society of Naval Architects of Korea, Vol. 51, No. 2, pp. 99-106.
- [11] Yoo, Y.(2015), "Energy Efficiency Evaluation of IT based Ship Energy Saving System-(1)", Journal of Korean Navigation and Port Research, Vol. 39, No. 6, pp. 465-472.

Received 15 July 2016  
 Revised 25 August 2016  
 Accepted 28 August 2016