

해양계대학 실습선 ESS 효율 특성에 관한 연구

임명환 · 오승진[†]
국립목포해양대학교(교수)

A Study on the Efficiency Characteristics of ESS of Maritime University Training Ship

Myeong-Hwan IM · Seung-Jin OH[†]
Mokpo National Maritime University(professor)

Abstract

In recently, The use of Energy Saving Systems(ESS) on many ships has increased. For this reason, We will be exploring the efficiency aspects of ESS to T/S SEGERO. ESS have been increasing in use in various ships recently through the Maritime University training ship. Vessels navigating the oceans are directly affected by the ever-changing sea water temperatures. In addition, this study was conducted using safe operating methods with optimal condition through identifying the efficiency property which changes according to change in sea water temperature and fluctuation in load of the ESS when sailing through various areas of the ocean. Remarkable results can be achieved through the improvement of the cooling pipe-line system in a centralized cooling system versus that of a direct sea water cooling system. Furthermore, in the system that uses shore power, like the training ship in this study, the installation of a small pump for cooling sea water and fresh water of the central cooler will have a significant savings in electricity bills. In this study, We studied the effect of the ESS equipment according to the change of sea water temperature through actual a long voyages. As a result, the cost of electricity saved by the ESS system is approximately 24 million won a year.

Key words : ESS(Energy Saving System), T/S: Training Ship SEGERO, Shore power, Central cooler system,

I. 서론

해운 경기의 침체가 담보 상태에 있는 가운데 선박 운용비의 절감을 위해 다양한 기술개발에 많은 노력을 하고 있으며 특히, 선박에서는 다양한 기기의 에너지 절감을 위해 다각도의 연구가 꾸준하게 이어오고 있다. 에너지 절감을 위한 연구에서 인버터를 이용한 펌프 제어는 국내외적으로 많은 연구 Lee et al.(2007)가 있었고, 계속해서 선박 에너지 절감을 위해 기관실 팬 제어시스템

의 연구 Kang and Oh(2015)와 배터리 사용에 따른 선박 전력시스템의 에너지 절감에 관한 연구 등이 이어져 오고 있다(Oh et al., 2017). 이처럼 에너지 절약형 선박의 개발에 힘입어 최대한 에너지 절약을 위해 대부분 선박들은 조명장치를 LED로 교체하였지만 에너지 절감에 큰 비중을 차지하지는 못했다. 육상에서는 건축물에 소비되는 전력의 약 20~30%가 조명부분으로 나타나고 있어 Choi(2017)은 조명장치의 에너지 절감에 국한하지 않고 신재생에너지도 생산하는 시스템을

[†] Corresponding author : 061-240-7444, plus1850@mmu.ac.kr

제한하고 있다(Yang et al., 2013).

본 연구에서는 에너지 절약형 선박의 일환으로 2019년에 건조된 해양계 대학 실습선 SEGERO에 탑재된 에너지 절감 시스템(ESS, Energy Saving System)의 해수온도 변화에 따른 에너지 효율을 실측하여 전력 소모의 감소 값과 감소율을 연구하고자 하였다.

일반적으로 기관실에서 사용되는 해수 냉각을 필요로 하는 설비의 설계기준 해수온도는 32℃이다. 그러나 운항하는 선박은 항행 지역 및 계절에 따라 해수온도가 다양하게 변화한다. 이에 따른 에너지 절감을 위해 육상 대형 펌프장에서는 밸브의 조절과 펌프 회전수의 변화로 에너지 절감을 연구한 Kim and Kang(2011) 연구도 있으나, 그동안 선박에서는 해수펌프의 회전수가 항상 일정함으로 인해 에너지 및 펌프의 효율적인 면에서 에너지 낭비와 펌프 수명 및 부속품 마모 등 운항비용의 증가로 이어지고 있다.

최근 건조되는 선박에서는 장기적인 보수비용 절감 및 에너지 효율을 위해 선박용 중앙 냉각시스템(Central Cooling System)을 많이 채택하고 있다. 중앙 냉각시스템의 열교환기에서 청수를 냉각시키는 해수펌프를 통해 냉각수를 공급한다. 이러한 중앙 냉각시스템에서 해수펌프의 회전수의 제어에 관한 연구는 Hong et al.(2007)과 Lee et al. (2007)에 의해 선행되었으며 또한, Back et al. (2011)은 압축기의 회전수 제어를 통해 냉난방 시스템에서 소비동력을 절감시키는 연구를 발표하였다. 한편, 공조시스템에서는 열펌프의 속도를 제어하여 과열도 제어를 하는 연구 Choi et al.(2001)과 아파트 단지 내의 청수 사용을 계절별로 분류하여 원심펌프의 인버터를 적용한 에너지 절감 방법 Kim et al.(2015)처럼 많은 연구들이 진행되었다. 그러나 선박에서는 펌프의 회전수 제어 시스템의 활용이 늦게 적용되었다. 이처럼 단순 해수펌프의 회전수만을 제어하여 에너지 절감 효과를 얻는 것에는 반드시 펌프의 해수가 유입되기 전에 해양 생성물 부착장치의 성능이

항상 양호한 상태를 유지하고 있어야 함을 전제로 하여야 한다. 이에 대한 앞선 연구 Choi et al.(2014)는 해수 냉각수의 흐름이 약한 상태에서 해양생성물 부착방지장치(MGPS, Marine Growth Protecting System) 동작 상태가 항상 정상상태를 유지해야 해수유속이 낮아짐으로 인한 해양 생성물 부착을 방지할 수 있음을 강조하고 있다.

본 연구에서는 2018년 12월에 건조하여 운항 중인 실습선 SEGERO에 중앙 냉각시스템장치에서 냉각수를 공급하는 해수 냉각펌프(Main cooling sea water pump)에 적용된 에너지 절감시스템을 통해 실제 운항 중 해수온도 변화, 청수 출구온도 그리고 해수 입구 압력을 고려한 해수 냉각펌프의 주파수 및 회전수의 변화를 통해 실제 이루어지는 에너지 절감 효과를 연구하였다.

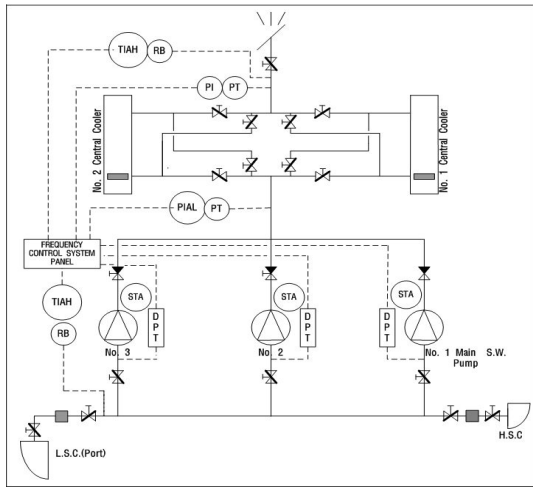
II. 연구 및 방법

중앙 냉각시스템에 사용되는 에너지 절감 시스템에서 선박이 운항 중 변화하는 해수 온도 변화에 따른 에너지 절감의 효과를 연구하였다. 이를 위해 기관구역에 설치되는 장비 및 설비들의 설계조건 기본사항은 기관실 온도: 45℃, 해수온도: 32℃, 대기압: 1,000mb, 상대습도: 70%의 조건으로 기초 설계하였고 실험 선박체원은 <Table 1>에 나타냈으며, 적용된 ESS의 구성은 [Fig. 1]과 같다.

<Table 1> Ship's particulars of Training Ship SEGERO

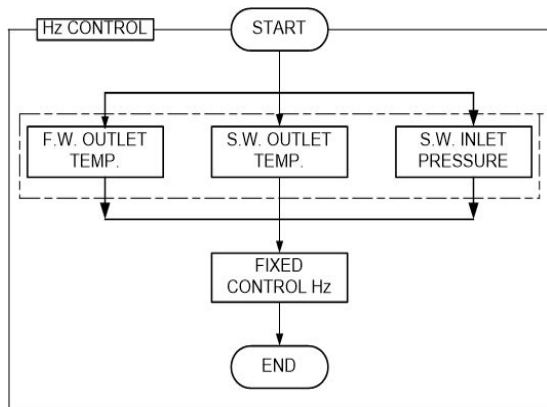
Gross Tonnage	9,196 ton
Length Overall	133 m
Breadth	19.4 m
Type of Main Engine	MAN-B & W 6S40ME-B9.5
Output of M/E	NMCR 6,810 kW x 146 rpm

[Fig. 1]은 L.S.C.(Low Sea Chest) 또는 H.S.C.(High Sea Chest)에서 유입하여 선택된 Main C.S.W. pump를 통해 냉각 해수를 청수 냉각기(Central cooler)에 공급하여 Central cooler로 유입되는 청수를 적정온도로 유지하는 시스템을 도시한 그림이다.



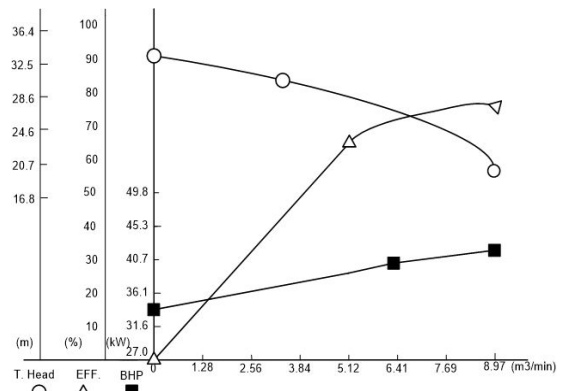
[Fig. 1] Central Cooling System with ESS of T/S: SEGREGEO.

Main C.S.W. Pump의 주파수 조정은 F.W. Outlet and S.W. Outlet Temp.와 S.W. Inlet Pressure에 따라 조정되며 펌프 우선 운전 순위(Pump priority setting)는 [Fig. 2]에 도시하고 있다.



[Fig. 2] Main S.W. Pump priority setting.

Main C.S.W. pump의 성능 곡선은 [Fig. 3]과 같이 나타내고 있으며 해수펌프의 설계기준 최대 BHP는 45kW이나 그림의 성능곡선에서는 41.5kW이고, 실제 운전중에는 39.5kW ~ 40kW를 나타내고 있으며, 펌프 토출량은 설계기준 6.667 m³/min 보다 높은 8.968m³/min까지 도달하고, 펌프효율은 약 75%를 나타내고 있다.



[Fig. 3] Performance curve of Main S.W. pump.

중양 냉각시스템에서 Pump and Motor의 용량은 Cooling water heat balance에 의해 결정된다. 실험 선박에 적용된 Heat balance의 계산된 결과는 <Table 2>에 나타냈으며, 이에 따른 Main C.S.W. pump의 사양은 <Table 3>과 같다.

<Table 2> Heat balance calculation for central cooling system

Condition	Q'Ty/ Ship	Capacity
Main C.S.W. Pump	3	400(m ³ /h)
Central C.F.W. Pump	3	400(m ³ /h)
Central F.W. Cooler	2	4,973,053 (Kcal/h)
Max' Sea Going	100%	7,789,666 (Kcal/h) Cooler,
	M/E: 1 G/E: 2	2set x 50%
Port	G/E: 1	3,524,566 (Kcal/h) Cooler,
		2set x 50%

<Table 3> Specifications of Pump and Motor for Main C.S.W. Pump

Model	MSC 250C
Capacity	400 m ³ /hr
Total Head	25 m
Rated Conditions	6,667 m ³ /min
Output of Motor	45 kW x 77.7 A
rpm	1,775

ESS에서 가장 중요한 기능은 F.W. Outlet and S.W. Outlet Temp.와 S.W. Inlet Pressure의 변화에 따른 기동 펌프의 선택과 주파수를 조절하여 펌프의 회전수를 조정하는데 있다. [Fig. 4]는 ESS를 계략적으로 볼 수 있는 실제 사진이며 주파수를 조정하는 인버터가 조정되는 조건을 <Table 4>에서 볼 수 있고 인버터의 구성은 교류 전원 입력은 국가별로 다른 50Hz, 60Hz를 사용하고 컨버터부에서 교류전원을 정류, 평활부에서는 정류된 직류전원을 평활, 인버터부에서 직류전원을 교류전원으로 변환한 후, 교류전원으로 출력하고 있으며 주파수 가변이 0Hz ~ 400Hz로 조정 가능하도록 되어 있다.



[Fig. 4] Control Panel and Mimic System of ESS.

본 연구에서 해수온도 변화의 조건은 실습선 SEGERO의 실제 운항조건인 2019년 4월 9일부터

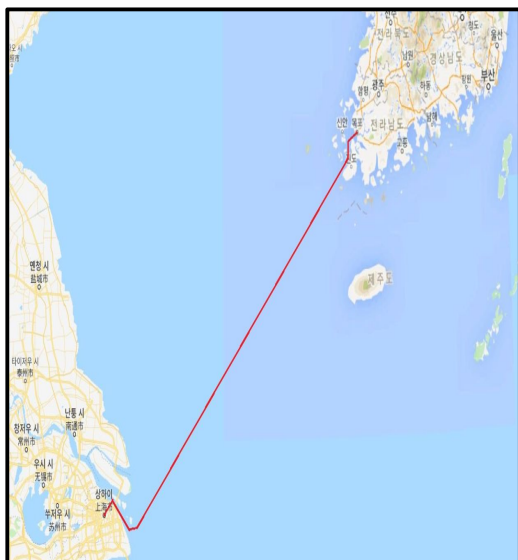
4월 19일까지 목포-마닐라, 마닐라-목포 항차와 2019년 5월 7일부터 5월 16일까지 목포-도쿄, 도쿄-마닐라 항차 그리고 2019년 6월 14일부터 6월 21일까지 목포-상하이, 상하이-목포 항차에 걸쳐 해수온도 변화에 따른 에너지 절감의 데이터를 획득하였으며, [Fig. 5]에서 실제 항로의 코스를 볼 수 있다. 2019년도 실습선 SEGERO의 3차에 걸친 국제항해 중에 획득한 해수의 온도는 ESS에서 직접 획득하였다. 또한, 실험조건을 동일한 조건으로 실행하기 위해 [Fig. 1]의 냉각기에 설치되어 있는 밸브들은 언제든지 조작 가능하도록 되어 있어서 Back-Flushing을 통한 청수 냉각기의 이물질 제거하고, 냉각기의 성능을 항상 향상시킬 뿐 아니라, 유지보수에 많은 편리한 점을 갖추고 있다.

<Table 4> Characteristic of Control methods of Inverter

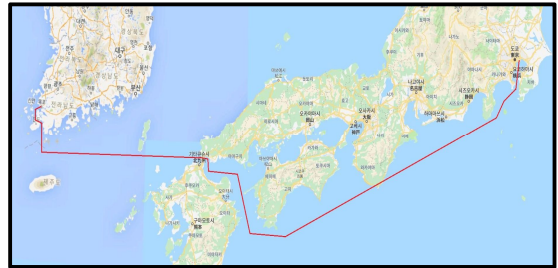
Item	V/F Control	Sensor-less Vector Control	Vector Control
Speed Control	low	excellent	very excellent
Encoder	nil	nil	exist
Starting Torque	low	high	very high
Torque Control	impossible	possible	possible
Distance limit	nil	nil	exist
H/W composition	simple	relatively simple	complex
S/W composition	simple	complex	complex
Motor correction factor	un-need	need	need
quick-response	low	good	excellent
Low speed torque	low	excellent	very excellent



(a) Mokpo - Manila(4/9 ~ 4/19)



(b) Mokpo - Shanghai(6/14 ~ 6/21)



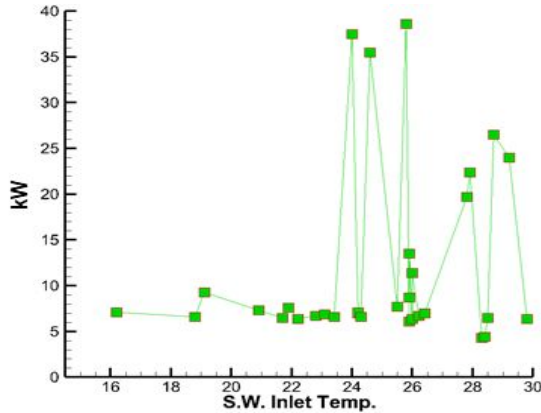
(c) Mokpo - Tokyo(5/7 ~ 5/16)

[Fig. 5] Sailing course for T/S SEGERO.

Ⅲ. 결 과

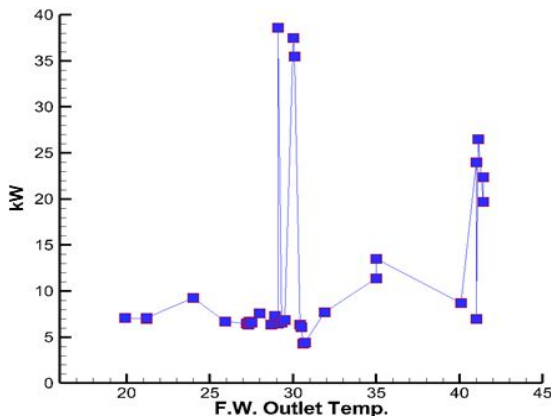
본 연구는 2018년 12월에 건조된 실습선 SEGERO는 2019년도 4월 ~ 6월까지 3차례 거쳐 마닐라, 도쿄, 상해항으로 국제항해를 실시하였으며 이때 장착된 ESS의 효율 특성을 연구하고자 Central cooling system으로 유입 및 유출되는 해수의 온도와 유출되는 청수의 온도를 ESS를 통해 데이터를 획득하였으며, Central cooler의 이물질을 최대한 제거하기 위해 정상 운전하면서 Back-Flushing을 실시하였고, 이는 냉각기의 냉각 효율을 증가시키는 결과를 보였다. 따라서 펌프 회전수 감소의 결과로 전력 소모량의 절감을 얻을 수 있었으며, 주파수 변화는 Back-Flushing 전·후 약 0.2 ~ 0.3 Hz 감소가 이루어지는 효과를 보였다.

[Fig. 6]은 해수온도의 변화에 따른 전력소모량을 나타냈으며 해수온도의 증가에 따른 전력소모량의 데이터를 정리하여 그래프로 나타낸 그림이다. 따라서 해수온도가 16.2℃에서 23.4℃까지는 전력 소모량은 큰 변화를 보이지 않았지만, 해수 온도 24℃ 영역에서 26℃ 영역까지 급격히 증가하는 경향을 보였다. 또한, 해수 온도 26℃에서 30℃까지 전력 소모량의 증가와 감소를 반복하는 결과를 나타내고 있다. 더불어 해수 온도의 증가에 따라 전력 소모량이 비례적으로 증가하지 않고 24℃에서 30℃ 구간에서 증가와 감소를 반복하는 이유는 데이터를 분석한 결과, 중앙 냉각장



[Fig. 6] Power consumption according to seawater temperature change.

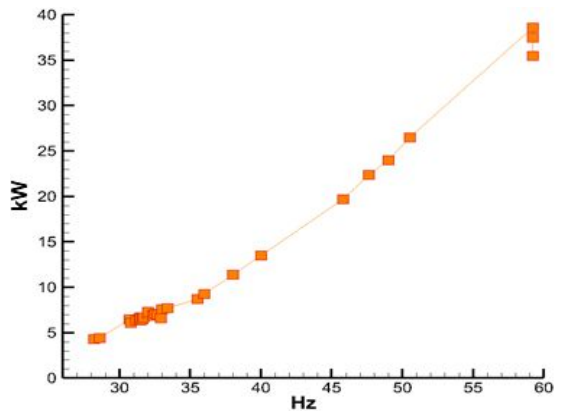
치에서 냉각된 출구온도의 변화와 비례하는 결과를 보였으며, 이러한 결과를 기준으로 청수 출구 온도 변화에 따른 전력 소모량을 정리하여 나타낸 그래프를 [Fig. 7]에서 볼 수 있다.



[Fig. 7] Power consumption according to freshwater temperature change at central cooler.

[Fig. 7]에서 청수 출구온도 29°C를 기준으로 전력 소모량이 급격히 증가했으며 30.1°C에서 급격히 감소하다 청수 출구온도가 증가함에 따라 비례적으로 증가하는 경향을 보였다. 그럼에서 30.1°C에서 급격히 감소하는 이유는 대기하고 있던 해수펌프가 운전되면서 해수펌프가 두 대 운전되었고, 이때의 해수펌프의 전력 소모량은 같

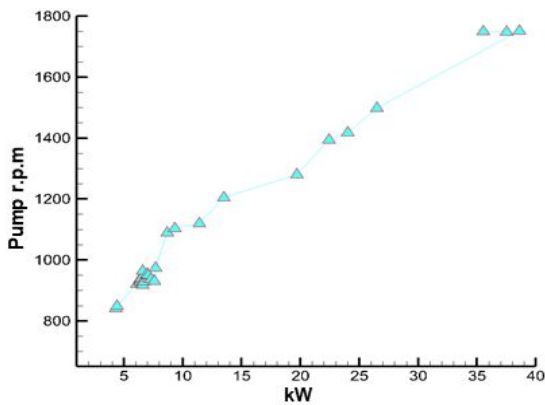
은 결과를 보였으며 냉각시스템의 운전조건은 <Table 5>에 나타나 있다. 그래프에서 29°C에서 42°C의 구간 중 출구온도의 증가에 따라 전력 소모가 증가하지 않고 감소하는 이유는 낮은 해수 온도의 영향으로 냉각온도가 낮기 때문이었으며, 획득한 데이터에서 전력 소모량이 비례적으로 증가하는 결과는 [Fig. 8]에서와 같이 주파수의 변화에 따른 전력 소모량이 변화하는 것을 볼 수 있다.



[Fig. 8] Power consumption according to frequency.

이러한 해수온도와 청수 출구온도의 변화에 따른 전력 소모량을 기준으로 ESS를 이용했을 때, 실제적으로 적용되는 에너지 효율의 증가를 알아보기 위해 펌프 회전수에 대한 전력량의 변화를 나타내는 그래프를 [Fig. 9]에서 볼 수 있다.

<Table. 3>에서 본 연구에 도입된 냉각 해수 펌프의 100% 정격 회전수는 1,775이지만 ESS를 통한 실제 회전수는 유입되는 해수의 온도와 중앙 냉각기(Central cooler)에서 나가는 청수의 온도의 조건에 따라 회전수가 감소함을 보였으며 펌프의 전 부하일 때 회전수는 평균 1,700 rpm이었고 39.5kW ~ 40kW의 전력 소모를 보였다. 하지만 ESS에 의해 제어된 펌프의 회전수는 평균 925 rpm에 이르고, 전력 소모량은 평균 32.5 kW의 결과를 보였다.



[Fig. 9] Pump rpm according to power change.

<Table 5> Operating Condition of Cooling System

N O	Condition	Load		Total Heat Dissipation (Kcal/H)	Central F.W. Cooler
		M/ E (%)	G/E (%)		
1	Maximum	100	DG x 2	7,789,666	2set 50%
2	Maneuvering	50	DG x 3	6,793,643	2set 50%
3	DPS Training	50	DG x 4	7,650,203	2set 50%
4	Port	0	DG x 1	3,524,566	2set 50%

ESS의 적용으로 발생하는 에너지 절감 효율을 알기 위해 우리 대학 실습선에서 사용하는 육상용 전기료를 살펴보면 2019년 기준단가 109.2원/kW/hr이었다. 실제 항해에서 획득한 데이터를 정리하였을 때 ESS를 통한 냉각 해수 펌프(Main C.S.W. pump)의 평균 전력 소모량은 약 7.0 kW 이고, ESS 비적용 상태일 때, 냉각 해수 펌프의 평균 전력소모량은 39.5 kW의 결과를 나타냈다.

해수의 온도 변화와 기관실 기기의 운전조건에 따라 많은 차이의 결과를 가져오지만, 정박 중에는 기관실 기기의 부하 변동은 많이 이루어지지 않는다. 또한, 육상 정박이 약 9개월 정도의 운항

형태를 갖는 실습선에서는 육상 전원 사용 비중이 높을 수 밖에 없다. 이러한 조건에서 ESS를 통한 에너지 절감은 사용량을 기준으로 연간 약 2,400 만원의 전기료 절감 효과를 볼 수 있다. 그러나 본 연구를 진행하며 아쉬운 점은 정박일 수가 많은 실습선 특성상 육상전력 사용 시, 펌프 운전 조건은 전기료 절감에 큰 비중을 차지함으로 ESS에 중앙 청수 냉각 펌프(Central Cooling F.W. Pump)가 냉각 해수 펌프(Main C.S.W. pump)와 동일한 용량의 펌프인데, 정박 중 사용되는 냉각수가 극히 일부분인 것을 감안해서 ESS를 같이 적용했으면 현 ESS 보다 획기적인 에너지 절감 효과를 기대할 수 있었을 것이다.

IV. 결론

실습선 SEGERO에 설치된 ESS의 효율 특성 연구를 위해 2019년도 국제항해에서 실제 항해를 통해 획득한 해수온도의 변화와 중앙 냉각기(Central cooler) 청수 출구온도의 변화 데이터를 획득하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 정상적인 연속운전에서 중앙 냉각기(Central cooler)의 Back-Flushing을 실시한 결과, 냉각 해수펌프의 주파수가 0.2 ~ 0.3 Hz 감소 효과를 보였다.

둘째, ESS의 효율을 높이기 위해서는 중앙 냉각기(Central cooler)의 용량을 충분히 확보하고 정상상태의 유지보수 관리가 필요함을 확인했다.

셋째, 본선이 운영되고 있는 여러 조건을 감안하여 ESS의 에너지 절감 효과의 정박 중, 사용하는 육상용 전기료가 연간 약 2,400 만원의 절감 효과를 나타내었다.

넷째, ESS에서 정박 중에 사용되는 일부 기기의 냉각을 위해 해수펌프와 청수펌프의 용량을 달리하여 설치 운용하거나, 청수펌프를 포함한 ESS를 업그레이드하면, 2배 이상의 에너지 절감

효과와 더불어 이산화탄소 방출 감소를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

References

- Baek SM, Moon CG, Yoon JI, Jeong SK and Kim E(2011). The characteristics of capacity control using a variable speed compressor in an industrial cooler. The Korea Society for Power System Engineering, 15(2)2, 37~41.
<http://dx.doi.org/10.9726/kspse.2011.15.2.037>
- Choi AS(2017). Sustainable Energy Generation and Lighting Energy Saving in Buildings, Review OF architecture and Building Science. Architecture Institute of Korea, 61(4), 43~47.
- Choi JM, Kim YC and Ha JH(2001). Experimental Study on Superheat Control of a Variable Speed Heat Pump. The Society of Air conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, 13(4), 233~242.
- Choi SB and Im MH(2014). A Study on Efficient Capacity Control of a Marine Pump with the Variation of Sea Water Temperature. The Journal of Korean Society of Marine Environment and Safety, 20(6), 788~793.
- Hong SH, Kim CS, Hong KE, Oh JS and Lee JU(2007). Application for RPM Control of Cooling Sea Water Pump in Central Cooling System for Ship. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 2007(2nd Conference), 29~32.
- Kang YM and Oh JS(2015). A Study on the Development of the Engine Room Fan Control System and ERFCS Algorithm for Ships Energy Saving, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 39(6), 642~648.
<http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2015.39.6.642>
- Kim KW, Suh SH and Rakibuzzaman(2015). Evaluation of Energy Savings for Inverter Driving Centrifugal Pump with Duty Cycles. The KSFM Journal of Fluid Machinery, 18(6), 81~85.
<http://dx.doi.org/10.5293/kfma.2015.18.6.081>
- Kim TO and Kang KE(2011). A Study on the Application of High Voltage Inverter System(6.6kV) at Large Pumping Station, Journal of Electrical Engineering and Technology, 2011 Summer Conference, 20~22.
- Lee JY, Yoo HH, Kim YH and Oh JS(2007). A Study on the Energy Saving Method by controlling Capacity of Sea Water Pump in Central Cooling System for Vessel, Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 31(5), 592~598.
<http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2007.31.5.592>
- Oh JS and Kang YM(2017). Energy Savings in Ship Power Systems by using Batteries. Journal of the Korean Society of Marine Engineering, 41(6), 576~582.
<http://dx.doi.org/10.5916/jkosme.2017.41.6.576>
- Yang GR, An SY and Choo JH(2013). A Feasibility Study of Low-Cost Hybrid Fuel-Cell System for Ship Auxiliary Power. The Korean Society for New and Renewable Energy 9(4):3~12.
<http://dx.doi.org/10.7849/ksnre.2013.9.4.003>

-
- Received : 10 September, 2020
 - Revised : 19 October, 2020
 - Accepted : 23 October, 2020