

9200톤급 실습선 발전기실 FAN 송풍유량 제어를 통한 선박에너지 절약에 관한 실험적 연구

최문석* · 이창민** · 최수정** · 허재정*** · 최재혁****

* 한국해양대학교 기관시스템공학과 석사과정, ** 한국해양대학교 기관시스템공학과 박사과정,

*** 한국해양대학교 기관시스템공학부 교수

Experimental Study on Energy Saving through FAN Airflow Control in the Generator Room of a 9200-ton Training Ship

Moon-seok Choi* · Chang-min Lee** · Su-jeong Choe** · Jae-jung Hur*** · Jae-Hyuk Choi****

* Master's candidate, Division of Maritime System Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

** Ph.D.candidate, Division of Maritime System Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

*** Professor, Division of Maritime System Engineering, Korea Maritime & Ocean University, Busan 49112, Korea

요 약 : 최근 대기오염으로 인한 환경오염을 줄이고자 국제 산업계의 노력의 일환으로 국제해사기구(IMO)의 규제 발효등으로 이어지고 있다. IMO는 EEXI, EEDI, CII 등 선박에서 나오는 대기오염을 줄이기 위해 각종 규제를 발효시키고 선박에서 소모되는 전력을 줄여 에너지를 절약하는 방안을 추진하고 있다. 선박에서 사용되는 전력의 대부분은 전동기가 차지한다. 선박에 설치된 전동기 중 큰 부하를 차지하는 기관실 송풍기는 수요와 관계없이 정속운전으로 운전하기 때문에 주파수제어를 통한 에너지절감을 기대할 수 있다. 본 연구에서는 발전기의 과급기에 연소공기를 공급하는 발전기 송풍기의 전동기 주파수를 제어하여 에너지 절감에 대한 실험성을 입증하였다. 송풍기 주파수 입력에 따른 과급기출구 온도의 출력 데이터를 기반으로 시스템을 모델링하고, 과급기 출구온도를 목표값으로 하여 주파수를 제어하는 PI 제어계를 형성하여 과급기 설계기준 출구온도를 유지하면서 송풍기의 주파수 제어를 통해 연간 15,552kW 전력소모량을 절감하였다. 송풍기 팬 주파수 제어를 통한 에너지절감액의 유효성은 하계(4월~9월) 및 동계(3월~10월) 기간동안 검증하였으며 이를 토대로 실습선의 연간 6,091천원의 유류비 절약과 이산화탄소 8.5Ton, SOx 2.4kg, NOx 7.8kg의 대기오염물질 저감을 달성하였다.

핵심용어 : 전동기, 인버터, 주파수제어, 에너지절감, 경제성분석

Abstract : As a part of the global industrial efforts to reduce environmental pollution owing to air pollution, regulations have been established by the International Maritime Organization (IMO). The IMO has implemented various regulations such as EEXI, EEDI, and CII to reduce air pollution emissions from ships. They are also promoting measures to decrease the power consumption in ships, aiming to conserve energy. Most of the power used in ships is consumed by electric motors. Among the motors installed on ships, the engine room blower that takes up a significant load, operates at a constant irrespective of demand. Therefore, energy savings can be expected through frequency control. In this study, we demonstrated the efficacy of energy savings by controlling the frequency of the electric motor of the generator blower that supplies combustion air to the generator's turbocharger. The system was modeled based on the output data of the turbocharger outlet temperature in response to the blower frequency input. A PI control system was established to control the frequency with the target being the turbocharger outlet temperature. By maintaining the turbocharger design standard outlet temperature and controlling the blower frequency, we achieved an annual energy saving of 15,552kW in power consumption. The effectiveness of energy savings through frequency control of blower fans was verified during the summer (April to September) and winter (March to October) periods. Based on this, we achieved annual fuel cost savings of 6,091 thousand won and reduction of 8.5 tons of carbon dioxide, 2.4 kg of SOx, and 7.8 kg of NOx air pollutants on the training ship.

Key Words : Electric motor, Inverter, Frequency control, Energy saving, Economic analysis

* First Author : jack8034@kmou.ac.kr, 051-410-4475

† Corresponding Author : choi_jh@kmou.ac.kr, 051-410-4257

1. 서론

국제해사기구(IMO)의 온실가스 규제 강화와 EU의 배출권 거래제(EU-ETS) 등 전 세계 조선·해운시장이 친환경 선박 체계로 패러다임이 전환 중이다(Hughes, 2020). 국제해사기구는 선박에서 배출되는 질소산화물(NOx)를 Tier III를 통해 규제하고 있으며(Eyring et al., 2010; UNCTAD, 2020; Toscano and Murena, 2019) 발틱해, 북해, 미국의 일부 해역에 2012년부터 배출가스 통제구역(ECA, Emission Control Area)를 설정하여 선박이 고유황연료유보다 황 함유량이 적은 청정연료를 사용하도록 규제하고 있다. 또한 이산화탄소에 대해 향후 배출량을 2005년 기준대비 2050년까지 50% 감축을 목표로 설정하고, 2013년 1월부터 건조되는 신조선에는 에너지효율설계지수(Energy Efficiency Design Index) 규정을 준수한 선박만을 건조 운영하도록 규제 강화하고 있다. 이러한 산업계 동향에 맞춰 선박 연료 소비량 감소를 위한 프로펠러 표면 최적화를 통한 에너지 효율 개선 방법(Seo et al., 2016), 발전기의 연료효율 최적화를 통한 에너지 효율 개선 방법(Kempf and Zhang, 2016), 선박의 운항속도에 따른 추진 에너지 절감 방법(Yan et al., 2018) 등 연구가 활발히 진행 중이다. 선박의 연료 소비량 감소를 위한 또 다른 연구로 선박 기관실의 전동기 에너지 관리 시스템에 대한 연구가 다음과 같이 활발히 진행되고 있다. Jung은 선박 직류 전동기의 속도를 간접 매트릭스 컨버터 토폴로지를 이용하여 제어하는 것을 제안하였고(Jung, 2018) Vuong는 400W 용량의 직류전동기를 대상으로 PWM 속도제어기에 관한 연구를 진행하였다(Vuong et al., 2015). 또한 Jeon에 의해 전기추진선박의 추진용으로 사용되는 브러시리스 직류전동기의 제어방법에 따른 성능 향상에 관한 연구가 진행중이다(Jeon et al., 2019).

선박 기관실 송풍기는 설계를 할 때 운전 허용치 값 이상으로 설계를 하게 된다. 기관구역에 설치되는 송풍기는 기관실 온도 45°C를 기준으로 설계를 하고 있다(HHI Co LTD., 2003). 하지만 실제 운항되는 선박은 기항지와 계절에 따라 해수온도가 변화하기 때문에 대부분의 선박들의 송풍기는 필요 이상의 유량을 공급하고 많은 부분이 사용되지 못하고 운전되는 실정이다. 국제 유가 가격이 상승하고 있는 현실(Do and Lee, 2020)에 관공선에서 에너지 절약은 필수이다. 특히 연속 운전되는 송풍기의 주파수 제어로 인한 회전수 제어운전은 에너지 절감 및 기기의 관리, 수명 측면에서 큰 이점을 얻을 수 있다. 하지만 항해를 많이하는 상선의 경우 기관실 송풍기 회전수 제어는 연료절감에 대한 기대치보다 초기설치 비용과 운용의 번거로움으로 인해 보편화되지는 않은 실정이다.

따라서 본 연구에서는 선박에서 항시 운전되는 발전기실 송풍기에 회전수를 제어할 수 있는 인버터를 설치하여 발전기 과급기에 공급되는 공기유량의 효율적인 제어를 통한 에너지 절감 효과를 제시하고, 과급기출구 온도의 출력 데이터를 기반으로 송풍기 주파수를 제어하는 PI 제어계를 모델링한다. 주파수 제어를 통한 에너지절감의 유효성 검증을 통해 연간 에너지절감액을 추정하여 경제성을 고찰한다.

2. 실험장치 및 방법

2.1 기관실 전력 시스템 개요

선박의 전력 계통의 규정과 지침은 한국선급(Korean register of shipping, KR)에서 규정하고 인증하며 전력 계통 구성은 각각의 규칙에서 적용되는 요구조건을 토대로 설계한다(KR, 2018). Fig. 1과 같이 실습선(한나라호)의 전원 계통을 간략히 나타내었다. 선박의 전력계통은 발전기를 포함한 전력 공급 장치와 기관실의 부하 시스템 그리고 제어를 위한 전력 관리 시스템으로 구성된다. 전력 시스템의 정격 전압은 3상 AC 440[V]이며 일반장비를 위해 AC 220[V], 비상발전체제나 항해 장비를 위해 DC 24[V]가 추가로 사용된다. 실습선의 경우, 평상시 4대의 발전기가 단독·병렬 운전을 통해 AC 450[V] 발전한다. 그리고 발전된 전력은 AC 440[V] GROUP Starter Panel을 통해 기관실 기기들에 공급된다.

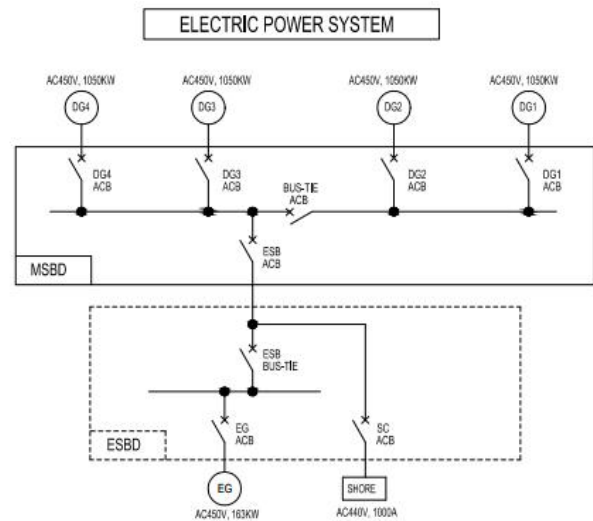


Fig. 1. Diagram of a power system.

2.2 실험 장치 구성 및 방법

Fig. 2는 실험에 사용된 송풍기 팬 인버터의 사진이다. Table 1, 2는 실험에 사용된 발전기, 팬, 모터 및 인버터의 상세 사양을 나타낸 표이다. 모터의 회전수는 60Hz에서 1750rpm이며 절연등급은 F등급이다. 인버터는 7.5kw용량으로 3상 440V를 사용하며 0~400Hz까지 주파수를 제어할 수 있다.



Fig. 2. Photo of experimental inverter.

Table 1. Specification of diesel engine

Item	Description
Maker & Model	HYUNDAI HIMSEN 6H21/32
Type of engine	4-stroke, vertical, direct injection, sigle acting and trunk piston type with turbocharger and intercooler
Cylinder Configuration	In-line
Rated Speed(rpm)	900
Power per Cylinder(KW)	200
Cylinder Bore(mm)	210
Piston Stroke(mm)	320
Mean Piston Speed(m/s)	9.6
Mean Effective Pressue(bar)	24.1
Compression Ratio	17:1
Cylinder Firing Order	1-4-2-6-3-5

Table 2. Specifications of fan,motor & inverter

Item	Particulars
Fan & Motor	Total Pressure : 54.8mmAq Capacity : 500m ³ /h. Motor : 440V, 3Phase, 4Pole, 60Hz, 7.5kW, 1750rpm, IP56, Insulation Class : F
Inverter	Type : LSLV 0075H100, 7.5kW, 0~400Hz, 3Phase, 380~480V

본 연구에서는 설계여유 값을 갖고 설계된 발전기실 송풍기의 공기유량 제어를 통해 소비전력 절감효과를 확인하는 실험에 초점을 두었다. 실험은 항해중이나 정박중 항시 운전되고 있는 한국해양대학교 실습선의 발전기 과급기와 발전기실 송풍기를 이용하였다. Fig. 3은 실험 장치와 발전기의 과급계통을 나타낸 그림이다. 소비전력 절감효과에 대한 실험은 발전기실 송풍기의 주파수를 발전기 과급기의 출구온도에 따라 42.5Hz~60Hz로 조절하면서 실험을 진행하였다. 실험은 하계(4월~9월) 및 동계(10월~3월)로 나누어 진행하였다.

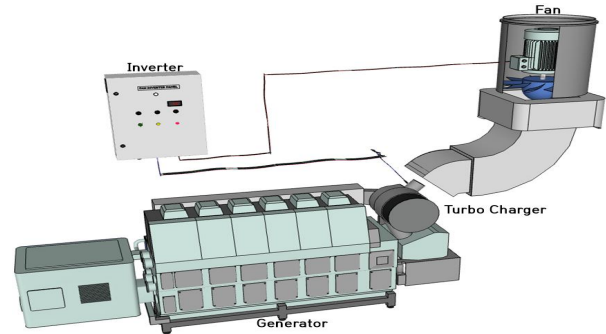


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus.

3. 결과 및 고찰

3.1 발전기 팬 인버터 시스템 모델링

발전기 팬 인버터 시스템을 모델링하기 위해서 시스템의 주파수 입력에 따른 과급기 출구온도 출력에 대한 데이터를 수집한다. Fig. 4는 발전기실 팬의 주파수(Hz) 스텝입력에 따른 과급기 출구온도의 출력을 나타내는 그래프다. 실험에서 발전기실 팬을 60Hz로 기동했을 때 과급기 출구온도는 약 384°C의 정상상태를 가진다. 50s 구간에서 발전기실 팬 인버터의 주파수를 60Hz에서 30Hz로 스텝다운 입력을 준다. 그 결과 과급기 출구온도는 서서히 상승하다가 3500s 구간에서 약 420°C 정도의 정상상태 값을 가지는 것을 알 수 있다. 팬 인버터 시스템은 주파수 변화에 따라 대기압이 서서히 변화되고 그 영향이 과급기 출구 온도에 영향을 주기 까지 상당한 시간이 걸리는 것을 토대로 지연시간이 긴 2차계 시스템인 것을 유추 할 수 있다.

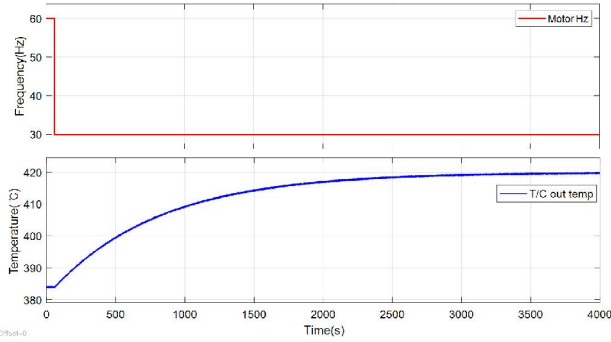


Fig. 4. System model of fan inverter.

Fig. 4의 데이터를 기반으로, MATLAB사의 System Identification을 통해 전달함수를 구한다. 시스템을 2차계로 가정하고 컴퓨팅연산한 전달함수는 식(1)과 같다. 식(1)의 전달함수의 추정 정확도는 97.9%이다.

$$G_f = \frac{-0.0004034s + 6.228e - 06}{s^2 + 0.0006387s + 1.25e - 10} \quad (1)$$

추정정확도는 식(2)의 오차율을 통해 구해진다.

$$error\ rates = \frac{1}{t} \sum_{n=0}^{t-1} \frac{|m(n) - p(n)|}{m(n)} \quad (2)$$

$m(n)$ 와 $p(n)$ 는 n 번째 시간에 측정된 데이터와 전달함수에 의해 구해진 스텝응답이다.

3.2 발전기 과급기 출구온도에 따른 페루프제어계

Fig. 4에서 과급기 출구온도는 주파수 30~60Hz 구간에서 384~420°C 범위에서 변화되는 것을 알 수 있었다. 이를 통해 과급기 제조사의 설계기준에 따라 출구온도인 420°C를 넘지 않는 범위내에서 팬 인버터 제어를 통해 소비전력 절감 할 수 있는 것을 알 수 있다. 따라서, 본 연구에서는 과급기 출구의 목표값을 제조사 권장 상한치에 마진을 고려한 400°C로 설정하고 그에 따른 에너지절감을 위한 제어를 수행한다.

Fig. 5는 과급기 출구 온도를 일정하게 유지하기 위해 출구 온도를 제어목표치 400°C에 일치시키려는 PI 제어회로이다.

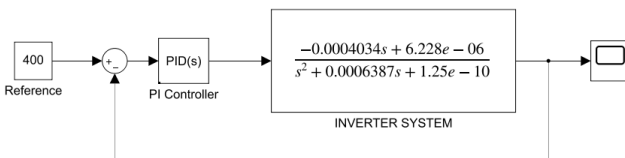


Fig. 5. Closed control system.

위의 제어시스템은 입력에 대한 정상상태 오차 값이 PI Controller를 통해 제어되어 Inverter System을 거쳐 출력된다. 목표값 추종을 위해 목표치와의 출력의 오차가 Controller에 입력이 되면 기관실 팬의 전원주파수가 제어되어 유량이 증감하여 출구온도를 유지한다. Table 3은 전달함수에 대한 PI 제어시스템의 파라미터 값이다. 각 파라미터 항목을 살펴보면이다. 해당 값은 2차계 시스템 전달함수에 기반하여 IMC (Internal Model Control)기반 PI 제어를 통해 얻어진 값이다.

Table 3. Parameter value of PI control system

\tilde{G}_f	λ_F	K_p	K_i
$\tilde{G}_f = \frac{k_p(\beta s + 1)}{(\tau_1 s + 1)(\tau_2 s + 1)}$	0.95	$\frac{\tau_1}{k_p \lambda_F} (\tau_1 > \tau_2)$	$\frac{1}{k_p \lambda_F}$
		$K_p = 4.0867e + 06$	$K_i = -2.6094e + 03$

(여기서, \tilde{G}_f = 시스템 전달함수, λ_F = IMC Filter 조정값, τ_1/τ_2 = 2차계 시스템의 시정수, K_p = 비례제어이득, K_i = 적분제어이득을 의미)

Fig. 6은 송풍기 팬 인버터 PI제어 시뮬레이션 결과값을 나타낸다. 시뮬레이션 결과값을 토대로 과급기 성능에 영향을 주지 않고 과급기 출구온도를 400°C를 유지하는 주파수가 42.5Hz로 확인되었다. 연구 진행과정 중 배기가스온도, 과급기 입구온도, 소기압력, 소기온도가 정상 운전범위를 유지하였다.

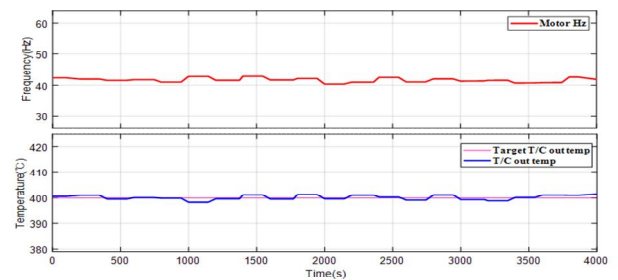


Fig. 6. Simulation results of fan inverter.

3.3 팬 회전수 변화에 따른 소비전력 계산

본 실험에서 송풍기 모터의 소비전력량을 계산할 때 사용되는 기본 공식은 다음과 같다(Chapman., 2012).

$$P[W] = T \times w \quad (3)$$

9200톤급 실습선 발전기실 FAN 송풍유량 제어를 통한 선박에너지 절약에 관한 실험적 연구

각 속도 w 는 동기 속도 n_s 를 라디안 단위의 회전 속도로 변환한 것이다.

$$w = \frac{2\pi \times n_s}{60} \quad (4)$$

동기 속도는 주파수 f 와 극 수 p 로 결정된다.

$$n_s = \frac{120 \times f}{p} \quad (5)$$

위의 세 공식을 결합하면 송풍기 모터의 기계적 출력 전력을 토크, 주파수, 그리고 극 수로 계산하는 공식을 얻을 수 있다.

$$P[W] = T[N \cdot m] \times \frac{2\pi \times \left(\frac{120 \times f}{p}\right)}{60} \quad (6)$$

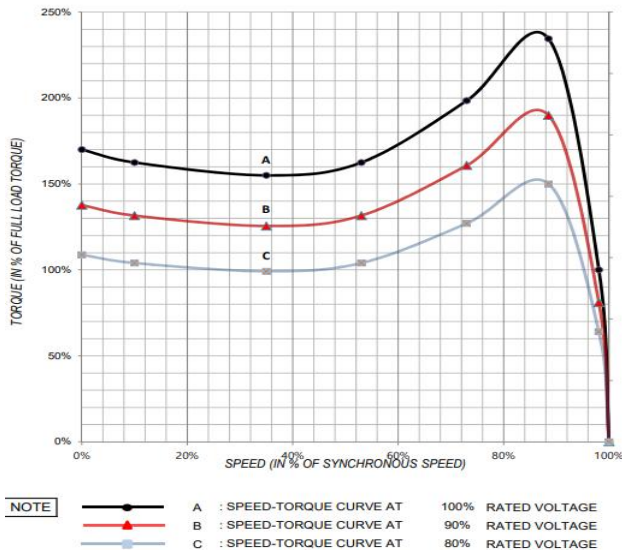


Fig. 7. Variation of torque, speed & changes in frequencies.

Fig. 7은 전기실 송풍기 모터의 회전수 변화에 따른 전압값별 토크의 변화를 나타낸 그래프이다(Hyosung Heavy Industries Data Sheet, 2022). A,B,C는 모터 정격전압의 100%/90%/80%의 값을 나타는 선이다. 각 전압값별 모터의 토크는 회전수가 감소함에 따라 일정부분 낮아지다 값을 유지하는 것을 알 수 있다. 소비전력은 회전수가 높은 영역에서 큰 값을 나타내다 회전수 50% 영역까지 감소하는 것을 볼 수 있다. 따라서 소비전력 절감을 위해 모터의 회전수를 50% 미만으로 운전하는 것은 큰 효과가 없음을 알 수 있었다.

Table 4는 송풍기 팬의 주파수를 60Hz에서 42.5Hz로 변화시킬 때 각각 토크의 값과 소비전력량을 나타낸 표이다.

Table 4. Variation frequency, torque & in power

Frequency (Hz)	Torque (N·m)	Electricity (kW)
60	40.6	7.5
42.5	29.4	3.9

3.4 주파수별 소비전력, 유류량, 대기오염물질 절감 측정

선박의 전체 전력에서 팬이 차지하는 부하는 일부분이지만, 팬의 부하를 감소할 시 절감효과가 크고 선박의 많은 팬에 적용할 수 있다는 확장 가능성이 있기에 경제성 분석을 비교 분석하였다. 경제성 분석을 하기 위해 발전기 소비전력에 따른 유류비를 산출하였다. 유류비를 산출하기 위해 현재 실습선의 발전기 연료로 MDO를 사용하고 있으며, 발전기는 MDO 기준으로 상용부하에서 210.0g/kWh의 연료 소비량을 가지고 있다. 한국석유공사에서 2023년 9월 기준으로 MDO의 세전가격을 l당 1865.0원으로 책정하였다.

Table 5는 송풍기 팬 주파수를 절감하여 운전한 연중 소비전력량 및 유류 소모량 절감을 나타내고 있다. 본 실험에서는 발전기실 송풍기 팬을 연중 60Hz로 기동했을 때와 하계(4월~9월)동안 60Hz로 기동하고, 동계(10월~3월)기간에는 42.5Hz로 나누어 기동하였다. 각각의 경우 연간 15,552kW 전력소모량 절감과 유류비 절감액이 6,091천원으로 산출되었다.

Table 5. Comparison of annual cost (kW & fuel consumption)

Frequency (Hz)	Electricity (kW)	Fuel (l)	Cost (Thousand Won)
Annual : 60	65,700	13,797	25,731
Summer season : 60			
Winter season : 42.5	50,148	10,531	19,640

· Summer season : Apr ~ Sep
· Winter season : Oct ~ Mar

Table 6은 송풍기 팬 주파수를 절감하여 운전한 다른 연중 CO₂, SO_x, NO_x 절감량을 나타내고 있다. 송풍기 팬을 동계(10월~3월)기간에는 42.5Hz로 기동하게 되면 아래의 식을 통해 연료유 사용량 절감에 따른 이산화탄소 8.5Ton, 황산화물

2.4Kg, 질소산화물 7.8Kg의 각각의 대기오염물질 저감을 할 수 있었다(Ministry of Environment, 2005).

$$tCO_2 = \frac{\text{연료발열량}(MJ) \times \text{탄소배출계수}(tC/TJ)}{10^6} \times \frac{44}{12} \quad (7)$$

$$SO_x = 17 \times \text{경유유황분}(\%) \times \text{경유사용량}(kl) \quad (8)$$

$$NO_x = 2.4 \times \text{경유사용량}(kl) \quad (9)$$

Table 6. Comparison of amount generated (CO₂, SO_x, NO_x)

Frequency (Hz)	CO ₂ (Ton)	SO _x (Kg)	NO _x (Kg)
Annual : 60	35.9	10.1	33.1
Summer season : 60	27.4	7.7	25.3
Winter season : 42.5			

4. 결론

대부분의 기관실용 송풍기는 설계여유 값을 가지고 제작된다. 그러므로 실제 운전시에는 송풍기 용량에 여유값이 많음을 알 수 있다. 특히 실습선은 연중 정박해 있으므로 해수온도 변화에 따라 과급기 공기유량을 조절할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 발전기실 송풍기팬의 효율적인 주파수 제어를 통해서 소비전력절감 효과를 확인하고, 유류비 절감액을 산출하였다. 그 결과를 다음과 같이 정리할 수 있다.

1. 발전기실 송풍기 팬의 주파수를 동계(10월~3월)기간 42.5Hz로 운전시 연중 60Hz 운전대비 15,552Kw 소비전력 절감효과와 6,091천원의 유류비 절감이 있었다. 대기오염물질 발생량의 경우 이산화탄소 8.5Ton, 황산화물 2.4Kg, 질소산화물 7.8Kg의 대기오염물질 저감을 할 수 있었다.

2. 송풍기 팬의 주파수를 낮출 수 있는 한계는 전압, 토크, 소비전력절감량, 과급기 출구온도 등을 고려할 때, 42.5Hz까지 감소시킴에 문제가 없음을 확인하였다.

3. 발전기 팬 인버터 시스템을 모델링하여 시스템의 주파수 입력에 따른 과급기 출구온도 출력에 대한 데이터를 바탕으로 과급기 출구온도인 400°C를 넘지 않는 범위내에서 팬 인버터 제어를 통해 소비전력 절감 할 수 있는 것을 알 수 있다.

4. 발전기실 송풍기 팬을 통해 소비전력 감소와 유류비를 절감의 결과를 얻게 되었고, 이를 바탕으로 선박의 여러 팬에도 추가적인 연구를 통해 에너지 절감을 확대할 필요가 있는 것으로 사료된다.

향후 과제로는 선박 에너지 절약을 위한 과급기 공기유량 공급감소가 발전기의 부하, 과급기 입구 온도, 소기압력, 유회유 온도등에 미치는 영향을 분석하고, 최적의 제어목표를 도출하는 연구가 진행되어야 할 것이며, 인버터 설치비용과 유지보수 비용을 고려하여 연간 유류비 절감과 경제성을 입증하는 논문 연구 과제가 진행되어야 한다.

후 기

본 논문은 2023년도 해양수산부 재원으로 해양수산과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과(20220630, 친환경선박보급 확산을 위한 한국형 친환경선박(그린쉽-K) 해상실증 개발) 중 일부임을 밝히며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

[1] Chapman, S. J.(2012), Electric Machinery Fundamentals-Induction motors, McGraw-Hill ISBN 9788960552456, pp. 284-425.

[2] Do, H. J. and S. Y. Lee(2020), A Study on Strategies to Respond to the Bunkering Industry in the Reinforcement of Environmental Regulations of the International Maritime Organization,. Korea Energy Economics Institute, Basic Research Report 2020-10.

[3] Eyring, V., I. S. A. Isaksen, T. Berntsen, W. J. Collins, J. J. Corbett, O. Endresen, R. G. Grainger, J. Moldanova, H. Schlager, and D. S. Stevenson(2010), Transport impacts on atmosphere and climate: shipping. Atmos Environ, Vol. 44, No. 37, pp. 4735-4771.

[4] HHI Co., LTD(2003), Hyundai Heavy Industries CO., LTD, Building Specification for Training Ship, Vol. 3, No. 1, pp. 53-59.

[5] Hughes, E.(2020), Implications of Application of the EU Emissions Trading System (ETS) to international shipping, and potential benefits of alternative Market-Based Measures (MBMs). ECSA.

[6] Hyosung Heavy Industries(2022), Induction Motor Date sheet.

[7] Jung, B. D.(2018), The Speed Control for Direct Current Motors Using Matrix Converter Topology, Journal of Korean

Society for Atmospheric Environment, Vol. 24, No. 2, pp. 238-245.

- [8] Jeon, H. M., J. J. Heo, and K. K. Yoon(2019), Control Method of Performance Improvement of BLDC Motor used for Propulsion of Electric Propulsion Ship, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 25, No. 6, pp. 802-808.
- [9] KR. Korea Register(2022), 2022 Classification and Steel Ship Rules Part 6: Electrical Installations and Control System
- [10] Kempf, N. and Y. Zhang(2016), Design and optimization of automotive thermoelectric generators for maximum fuel efficiency improvement, Energy Conversion and Management, 121, pp. 224-231.
- [11] Ministry of Environment(2005), Method of investigation analysis and calculation of air pollution generation.
- [12] Seo, K. C., M. Atlar, and B. K. Goo(2016), A Study on the Hydrodynamic Effect of Biofouling on Marine Propeller, Journal of Korean Society for Atmospheric Environment, Vol. 22, No. 1, pp. 123-128.
- [13] Toscano, D. and F. Murena(2019) Atmospheric ship emissions in ports: A review. Correlation with data of ship traffic, Atmospheric Environment: X Vol. 4:100050.
- [14] UNCTAD(2020), Review of Maritime Transport 2020.
- [15] Vuong, D. P., C. O. Bae, and B. W. Ahn(2015), A Study on PWM Speed controller for Long line Fishing Motor, Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, Vol. 21, No. 1, pp. 97-102.
- [16] Yan, X., K. Wang, Y. Yuan, X. Jiang, and R. R. Negenborn (2018), Energy-efficient shipping: An application of big data analysis for optimizing engine speed of inland ships considering multiple environmental factors, Ocean Engineering, Vol. 169, pp. 457-468.

Received : 2023. 10. 06.

Revised : 2023. 10. 26.

Accepted : 2023. 10. 27.