

신재생 에너지원 활용을 위한 어선 전력계통 분석 및 모델링

이상중¹, 이동길², 정지훈[†]

Analysis and Modeling of Fishing Boat's Power Network for using Renewable Energy Source

Sang-Jung Lee¹, Dong-Gil Lee², and Jee-Hoon Jung[†]

Abstract

A modeling method of electric power network inside a fishing boat less than 5 tons is proposed for its high-energy efficiency with renewable energy sources. The power network inside the fishing boat consists of a diesel engine, a starter motor, an alternator, battery packs, and electric loads, which are connected in parallel. To obtain proper power network model, the voltage - current characteristics of the electric components are considered to develop elaborate electrical models under several load conditions. Measured data of the battery and alternator current include noise. By using an average method, the AC components from the power network of the fishing boat can be reduced, which is verified by KCL rule. Using the proposed power network model, the power generation of the alternator and the reduction of diesel consumption in the boat's engine are predictable under various operating conditions. The validity of the proposed methodology is verified by comparing simulation results with experimental measurements using statistical inferences.

Key words: Power network modeling, Fishing boat, Energy efficiency, Power system simulation

1. 서 론

현재 우리나라 해역에서 어획 활동을 하는 소형 어선은 디젤 엔진을 주 동력원으로 사용하고 있다.^[1] 디젤 엔진은 다른 엔진에 비해 에너지 효율이 높지만 최대 효율성 등급, 즉 작업 시 연료의 가용 에너지 전환율은 45%가 채 되지 않는다.^[2] 그러므로 어선 전력계통에서 전력 변환 효율이 높음에도 전체적인 시스템 관점에서의 에너지 변환 효율은 매우 낮게 된다.

조업활동 시에 사용되는 전기적 부하가 증가할수록 알터네이터(발전기)에서 생산하는 전력은 증가하게 되는

데 이때, 디젤 엔진에 걸리는 부하와 소모하는 디젤 연료 또한 증가하게 된다. 이는 연료 효율의 저하로 이어지며 전체적인 시스템의 효율을 더욱 낮게 만든다. 전기적 측면에서 전체적인 시스템 효율을 높이는 방법은 전력 변환 효율을 높이는 방법과 보조 전원장치를 추가하여 알터네이터에서 부담하는 전력을 감소시키는 방법이 있다.^[3] 이 중 전력 변환 효율만을 높이는 방법은 전체적인 시스템 효율을 크게 증가시키기에는 어려움이 있다. 따라서 시스템 효율 문제를 효과적으로 해결하기 위해서는 기존의 전력계통에 보조 전원장치를 추가하는 것이 효과적이다. 보조 전원장치를 추가함으로써 디젤 엔진에 걸리는 부하가 감소하고 유류소모량이 줄어들어 전체적인 시스템의 효율을 크게 향상시킬 수 있다.^{[4][7]}

최근 신재생 에너지원인 태양광을 이용하여 전력을 공급하는 것이 보편화됨에 따라 소형 어선도 보조 동력원으로써 태양광 에너지를 도입하는 것이 어선의 에너지 효율화 관점에서 효과적이다. 태양광과 같은 신재생 에너지원을 이용하면 전체적인 어선 전력 시스템 효율의 증가를 통해 조업비용 감소와 환경오염 저감 등 다양한 기술적, 경제적, 환경적 이득을 얻을 수 있을 것으로 예상된다. 어선 전력 시스템의 효율을 정확하게 측정

Paper number: TKPE-2016-21-2-12

Print ISSN: 1229-2214 Online ISSN: 2288-6281

[†]Corresponding author: jhjung@unist.ac.kr, School of Electrical and Computer Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

Tel: +82-52-217-2140 Fax: +82-52-217-2109

¹School of Electrical and Computer Engineering, Ulsan National Institute of Science and Technology (UNIST)

²Fisheries System Engineering Division, National Fisheries Research Development Institute (NFRDI), Busan
Manuscript received Nov. 21, 2015; revised Jan. 6, 2016; accepted Mar. 9, 2016

하기 위해서는 다양한 조업 환경에서 전력의 발전량 및 소모량을 측정할 데이터가 필요한데, 실제로 모든 조건에서 데이터를 측정하는 것은 현실적인 한계가 있다. 따라서 효과적으로 측정 데이터를 얻기 위해서는 실험 대상의 어선의 전력계통을 주 조업 환경인 특정 범위 내에서 측정하고 이를 전기적으로 유사하게 모델링하여 전기적 모델을 통한 모의시험을 통하여 원하는 조건에서의 전력 데이터를 예측할 필요가 있다.

본 논문에서는 어선 전력계통을 구성하고 있는 알터네이터와 배터리의 전류 전압 특성을 측정하여 어선의 전력계통 시스템을 모델링 하였고 특정 운전 조건에서 얻은 전력 측정 결과와 모의시험 결과를 비교하여 모델링 결과가 실제와 유사함을 검증하였다. 또한, 외부 보조 전원을 사용하여 신재생 에너지원으로부터 전력이 인가되는 환경을 모의하여 알터네이터에서 생산하는 전력이 얼마나 감소하였는지 모의시험을 통해 예측하였다. 추후 실험데이터와 비교하여 정확도를 검증할 예정이다.

2. 어선의 전력 계통

2.1 어선의 전력 계통 구조

실험 대상 어선은 5톤 미만 급 소형 어선이며 그림 1은 어선의 전력 계통의 등가회로이다. 어선은 디젤 엔진, 스타터 모터, 알터네이터, 배터리, 부하로 구성되어 있으며 모두 병렬로 결선되어 있다. 구성요소의 사양은 표 1에 나타내었고 각 구성요소의 역할은 다음과 같다.

디젤 엔진은 어선의 운행을 위해 필요한 동력과 발전을 위해 필요한 알터네이터의 동력을 제공하는 주 동력원이다. 알터네이터는 엔진의 회전력을 이용하여 발전을 하여 운행 중 어선에서 사용되는 전기 장치와 시동 배터리에 전력을 공급하는 주 전원장치이다. 스타터 모터는 회전을 발생시키는 전동기부, 회전의 힘을 엔진에게 전해주는 동력 전달기구, 전동기로 흘러들어 가는 전류를 접속하는 스위치 부로 구성되어 있으며 스스로 자기기동을 하지 못하는 엔진의 시동을 위해 사용된다. 배터리는 시동 시 스타터 모터에 필요한 전력을 공급하며, 운전 중 생기는 출력 부족이나 전압 변동을 보상하여 안정된 전력을 공급해주는 역할을 한다. 또한, AC 성분이 리플로써 포함된 전압을 일정한 DC 전압으로 출력해주는 역할도 한다. 어선에서 사용하는 부하 즉, 전기 장치는 총 11가지이며 표 2에 각각의 부하별 소모하는 전력량을 나타내었다.

2.2 어선의 동작원리

어선의 기본동작 원리는 다음과 같다. 엔진은 스스로 시동할 수 있는 능력이 없으므로 시동상태가 되기 위해서 외부 동력을 필요로 한다. 외부 동력은 스타터 모터를 통해 발생시키게 되는데, 배터리에서 시동 전류를 공급받으면 스타터 모터는 동력을 발생시켜 동력 전달기구를 통해 엔진으로 전달된다. 엔진이 시동상태가 되면

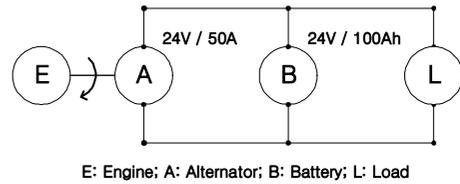


Fig. 1. Equivalent circuit of fishing boat.

TABLE I
SPECIFICATION OF COMPONENTS

Components	Parameters	Value
Diesel Alternator	Type	Synchronous Generator
	Capacity	24 V/ 50 A
	Rated Speed	10000 RPM
	Pulley Ratio	2.1
Battery	Type	Lead-Acid
	Nominal Voltage	12 V
	Capacity	200 Ah
	Battery Pack	2 Series
Load	Rated Power	47.6~706 W

TABLE II
LOAD CURRENT AND POWER CONSUMPTION OF LOAD

Load Section	Load Name	Load Current [A]	Load Power [W]
1	Radar	1.69	47.8
2	Prota1	1.11	31
3	Prota2	0.82	23.8
4	Ramp1	4.93	135.8
5	Ramp2	4.95	138.9
6	Ramp3	4.19	114.4
7	Navigation Light	4.10	115
8	Radio Set	1.34	35.4
9	Location Seeker	0.8	23
10	Hydraulic Pump	2.63	70.3
11	Steering Gear	0.66	17.3

마그네틱 스위치에 의해 스타터 모터는 엔진과 물리적으로 분리가 되며, 병렬로 연결된 알터네이터는 엔진과 함께 회전하여 배터리와 부하에 전력을 공급하게 된다.

알터네이터 내부에는 계자전류를 조정함으로써 일정한 DC 전압을 출력하는 Automatic Voltage Regulator (AVR)와 정류부가 포함되어 있다. 따라서 배터리와 부하에 일정한 DC 전력을 공급할 수 있다. 그림 2는 알터네이터의 출력전류와 속도의 특성 그래프를 나타내고 있으며, 점선으로 표시된 부분은 실험 조건에서 동작하는 알터네이터의 RPM를 나타내고 있다. 알터네이터는 정전압 전원이 아니므로 일정 RPM에서 출력할 수 있는 전력 이상으로 부하 전력을 사용하게 될 경우 부족한

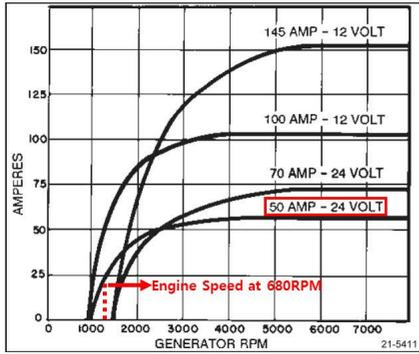


Fig. 2. Alternator current versus RPM(Model : 21SD)^[8].

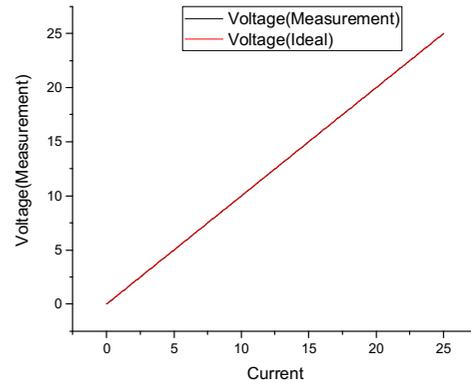


Fig. 3. I-V characteristics of the shunt resistor.

전력은 배터리에 공급하게 된다.

위의 상태가 유지될 경우 배터리에 저장된 에너지는 계속해서 소모되어 방전에까지 이르게 된다. 그러므로 그림 1과 같은 어선의 전력계통 구조에서는 부하와 배터리에 원활한 전력 공급을 하기 위해서 각 부하 상황에서 배터리 전압을 확인한 뒤 전압이 떨어지지 않게 엔진의 RPM을 조절할 필요가 있다.

3. 실측치 데이터 취득

3.1 데이터 측정 장비

PSIM 소프트웨어를 이용하여 모델링한 어선 전력 계통 모델이 실제와 유사한지 비교 검증을 하기 위해서는 실측치 데이터가 필요하다. 실측치 데이터를 수집하기 위해 사용된 장치는 GRAPHTEC사의 GL220(데이터로거)이며, 측정 데이터는 알터네이터, 배터리, 부하 전류 그리고 알터네이터 전압 총 4가지이다. 어선의 전력계통 구조상 모든 구성요소의 결선이 병렬이므로 전압은 출력단만 측정하였으며, 알터네이터와 배터리 그리고 부하 전류의 측정을 위해서 션트저항(Shunt Resistor, 25 A/25 mV)을 사용하였다.

3.2 션트저항 오차 측정

측정 오차가 크면 측정 데이터의 신뢰도가 떨어지므로 션트저항의 측정 오차 범위를 확인하기 위해 전류 변화에 따라 션트저항에 인가되는 전압을 측정하였다. 그 결과 측정 전류 값은 실제 전류 값에서부터 -3%의 오차가 발생하는 것을 확인 하였다.

저항은 온도에 따라 저항 값이 변할 수 있으므로 이를 확인하기 위해 션트저항의 정격 전류(25 A)를 4시간 동안 흘려보았다. 그 결과 션트저항의 온도는 25℃에서 30℃로 증가하였고 측정값의 오차는 -3%로 25℃일 때와 동일하였다. 그림 3은 25℃에서 션트저항의 전류 전압 특성 그래프이다.

3.3 전력량계

그림 4는 어선 전력계통 구성요소의 전압, 전류를 측

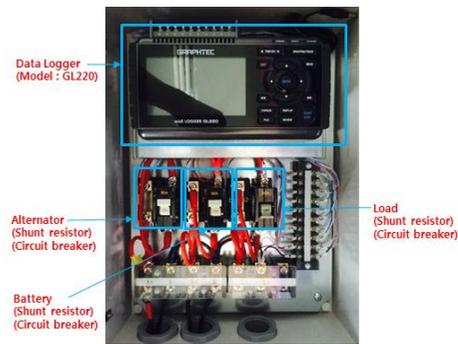


Fig. 4. Electricity meter.

정하기 위해 설계된 전력량계이며, 그림 5는 전력량계의 블록 다이어그램을 나타내고 있다. 채널 1은 배터리의 전압, 채널 2는 알터네이터 전류, 채널 3은 배터리 전류, 채널 4는 부하전류에 해당하며 각 채널은 션트저항으로 부터 측정된 전압, 전류 데이터를 실시간으로 데이터로거로 전송해 준다. 전류 차단기는 과전류가 흐를 시 회로 또는 장비들을 보호하기 위해 사용되었으며 정격 전류는 50 A이다. 션트저항의 저항값은 1 mΩ이기 때문에 실제 전류 값보다 1000배 작은 값이 전압으로 나타나게 된다. 데이터 로거 모니터에 출력되는 값을 실제 전류의 값과 동일하게 출력하기 위해서 데이터로거의 출력치 스케일을 1000배 증가시켜 사용하였다.

3.4 측정 결과 및 분석

표 3은 실험 환경을 나타내고 있으며, 그림 6은 표 2에 나타나 있는 부하들을 차례대로 동작시켰을 때의 수집된 결과를 나타내고 있다. 각 부하구간은 화살표로 표시 하였다. 그림 6에서 알터네이터, 배터리 전류는 일정 DC 레벨에서 AC 성분을 포함하는데 원인은 알터네이터의 동작 특성 때문이다. 알터네이터의 내부회로는 AC 전압을 DC 전압으로 바꿔주는 정류부와 일정한 전압을 출력해주는 AVR로 나누어지게 되는데 알터네이터의 AC 전류 외란은 정류부에서 발생하게 된다. 즉 알터네이터의 정류부는 다이오드로 구성되어 전파정류를 하기

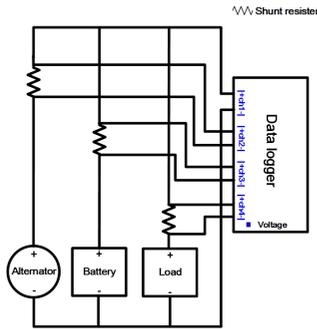


Fig. 5. Block diagram of electricity meter.

TABLE III
MEASUREMENT CONDITION

Parameter	Value
Sampling Time	500 [ms]
Engine RPM	670
Temperature	27°C

때문에 부하와 출력 배터리 전압 크기에 따라 완벽한 DC 전압이 아닌 AC 성분을 포함한 DC 전압을 출력하게 된다. 또한 일정한 RPM에서 부하 전류가 증가하게 되면 알터네이터의 출력 전압은 줄어들게 된다. 이를 보상하기 위해서는 더 큰 계자 전류를 필요로 하게 되는데 이는 배터리를 통해 공급되게 된다.

이로 인하여 알터네이터의 전압은 증가하게 되어 배터리는 충전과 방전을 반복하게 된다. 이때 배터리에서 소모된 전류는 알터네이터에 의해 다시 공급받게 되므로 부하전류를 제외한 알터네이터와 배터리 간에 주고 받은 전류의 평균값은 0에 수렴한다.

그림 7은 알터네이터 전류 파형을 보여주고 있으며 알터네이터 전류의 주기는 약 27.5 ms이다. 앞서 말했듯이 정류회로에서 출력된 출력 전압은 AC 성분의 외란을 갖는 DC 전압이기 때문에 알터네이터 출력 전류 또한 AC 성분을 포함하게 된다. 알터네이터 전류 주기는 계자 전류가 AVR에 의해 제어되어 알터네이터의 전압이 조정됨에 따라 발생하는 것이므로 엔진의 RPM 및 부하상황에 따라서도 변하게 된다.

그림 8은 데이터 로거로 부터 측정된 알터네이터 전류파형을 보여주고 있으며 샘플링 시간은 500 ms이다. 여기서 전류는 음의부호로 표시되는데 이는 전류를 공급한다는 의미를 나타낸다. 데이터 로거의 샘플링 주기와 알터네이터 전류의 주기가 다르므로 일정한 부하 상황에서도 데이터 로거는 불규칙한 알터네이터 전류를 측정하게 된다. 따라서 어선 전력계통을 효과적으로 모사하기 위해서는 각 구성요소에서 포함하고 있는 AC 성분을 최소화할 필요가 있다.

3.5 측정값 보정

알터네이터와 배터리 전류에 포함된 AC 성분을 최소

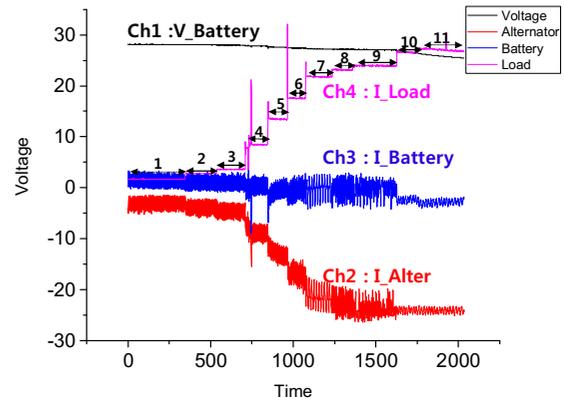


Fig. 6. Measurement data using data logger.

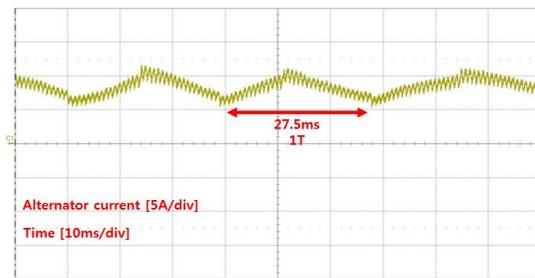


Fig. 7. Measured current waveform of alternator.

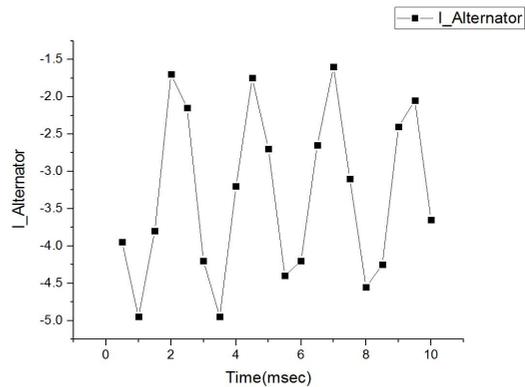


Fig. 8. Measured current of alternator from data logger.

화하기 위해서 각 부하 상황에서 알터네이터, 배터리 값을 평균화하는 방법을 사용하였다. 평균법에는 단순평균법(Simple or Straight Average Method), 이동평균법(Simple Moving Average)등 다양한 방법이 있다.

어선에서 사용되는 각 부하의 주기는 불규칙적이기 때문에 각 상황마다 전력계통 구성요소의 전기적 데이터가 달라진다. 따라서 평균화 방법 중 단순평균법을 이용하였다. 이를 사용하면 특정 구간에서 얻은 데이터를 합하여 샘플링 횟수만큼 나누게 되므로 DC 성분데이터는 평균값을 유지하게 되고, AC 성분의 데이터는 0 근처의 일정한 DC값으로 거의 수렴하여 오차는 발생하지만 효과적으로 AC 성분을 최소화 할 수 있게 된다. 표 4는 각 구간에서 알터네이터 전류(I_A), 배터리 전류

TABLE IV
AVERAGE CURRENT VALUE

Load Section	I _A [A]	I _B [A]	I _L [A]
1	-3.14	1.43	1.69
2	-3.91	1.09	2.81
3	-4.62	0.98	3.62
4	-8.73	0.19	8.54
5	-12.79	-0.01	13.49
6	-17.08	-0.05	17.68
7	-21.29	-0.32	21.78
8	-22.74	-0.46	23.12
9	-23.95	-0.71	23.91
10	-24.06	-2.36	26.54
11	-24.07	-2.98	27.20

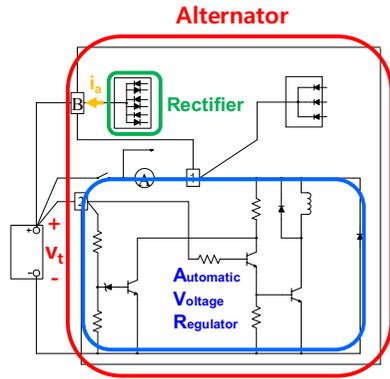


Fig. 9. Alternator circuitry.

(I_B) 그리고 부하 전류(I_L)의 평균값을 나타내고 있다. 여기서 평균값의 음의 부호는 전류가 공급되는 방향을 나타내며, 양의 부호는 전류가 소모되는 방향을 나타낸다. 배터리 평균 전류와 부하 평균 전류의 합이 알터네이터 평균 전류와 거의 일치하는 것을 통해 측정치의 평균값이 KCL 법칙(I_A+I_B=I_L)을 만족시키는 것을 확인하였다.

3.6 알터네이터 모델링

알터네이터 내부 구조는 그림 9와 같이 구성되어 있으며 앞서 말했듯이 알터네이터 교류 출력은 정류부와 AVR에 의해 일정범위의 DC전압을 출력되게 된다. 따라서 전체 시스템을 하나의 DC Generator로 간단하게 표현 될 수가 있다. 식 (2)-(8)은 DC motor에 대한 기본 수식이며, 이 식을 기반으로 DC Generator 모델링을 진행하였다. 여기서 P_k 와 P_o 는 각각 기계 동력과 출력 전력을 나타내며 L_{af} , R_a , e_a , v_t 는 각각 상호인덕턴스, 전기자 저항, 역기전력, 전기자 전압을 i_a , i_f , w , w_m 은 전기자 전류, 계자전류, 알터네이터 각속도 그리고 알터네이터 정격 각속도를 나타내고 있다. 또한 밑첨자 (rated)는 정격의 의미를 나타낸다. 알터네이터의 RPM

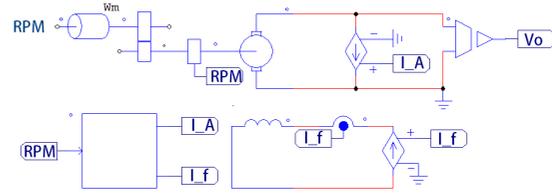


Fig. 10. Alternator model using DC generator.

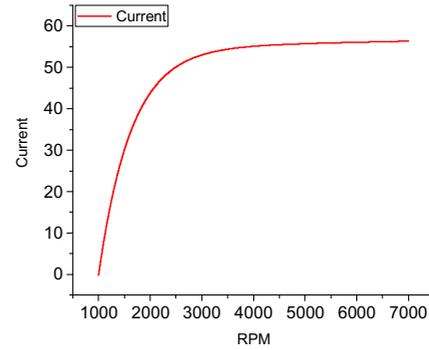


Fig. 11. Simulation result of alternator model.

은 알터네이터의 Pulley Diameter에서 Crankshaft Pulley Diameter를 나타내는 비율 즉, Pulley Ratio와 엔진의 회전속도의 곱으로 결정이 되며, 식 1에 의해 알터네이터의 속도가 엔진 속도의 약 2.1배(약 1400RPM)로 회전하게 된다. 그림 2에서부터 각 알터네이터 RPM에서 출력되는 전력을 알면 식 2에서부터 8까지를 이용하여 토크(T_{em}), 계자전류(i_f). 그리고 DC Generator에서 출력되는 전력 값(P_o)을 계산 할 수 있다.

$$RPM_{alternator} = 2.1RPM_{engine} \quad (1)$$

$$\omega = \frac{2\pi}{60} \cdot RPM_{alternator} \quad (2)$$

$$P_k = \omega T_{em} \quad (3)$$

$$L_{af} = \frac{v_t(rated) - i_a(rated)R_a}{i_f(rated)\omega_m} \quad (4)$$

$$e_a = L_{af}\dot{i}_a \quad (5)$$

$$v_t = e_a - i_a R_a \quad (6)$$

$$i_f = \frac{T_{em}}{L_{af}\dot{i}_a} \quad (7)$$

$$P_o = e_a i_a - i_a^2 R_a \quad (8)$$

그림 10은 PSIM으로 구현한 알터네이터 모델이며 그

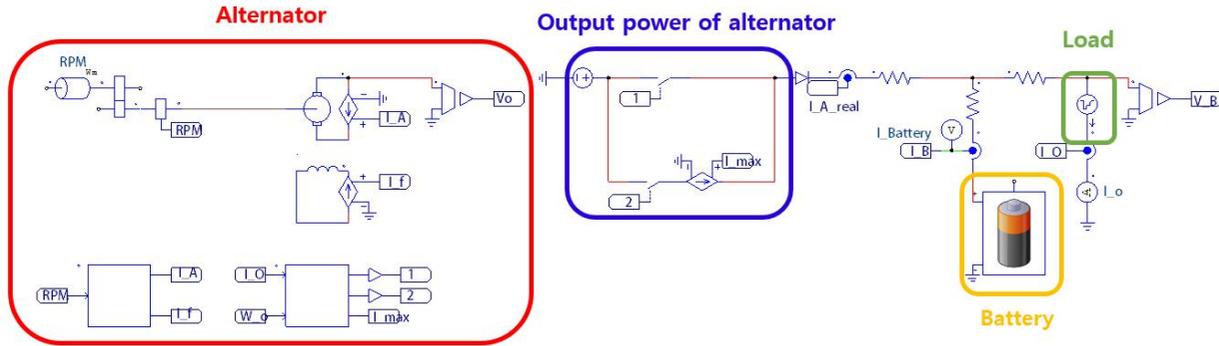


Fig. 14. Electrical model of fishing boat using PSIM software.

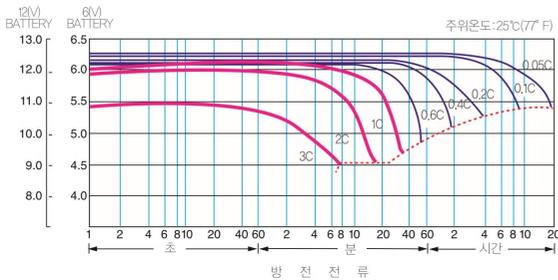


Fig. 12. Capacity voltage graph of lead-acid battery.

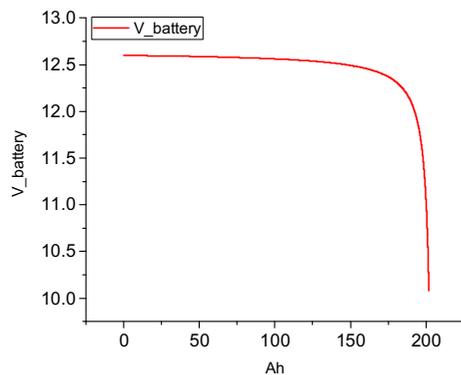


Fig. 13. Simulation result of battery model.

림 11은 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다. C Block을 이용하여 RPM과 출력전력에 따른 DC Generator의 토크와 계자전류를 제어하여 원하는 결과 값을 얻을 수 있다. 시뮬레이션 결과 실제 어선에 사용 중인 알터네이터의 2ISI모델과 유사한 성능을 가지는 것을 확인하였다.

3.7 납축전지 모델링

그림 12는 어선에 사용된 ESH-200제품의 용량 대 전압 특성을 보여주고 있다. 아래 그래프 정보를 바탕으로 PSIM에서 제공하는 배터리 모델을 이용하여 12 V/200 Ah의 용량을 갖는 단일 전지에 대해서 모델링을 진행하였다. 실제 어선에 사용되고 있는 납축전지의 특성과 유사하게 모사하기 위해서 전지의 매개변수 중 내부저항, 최대 용량과 같이 수명과 관련 있는 변수를 조절하여

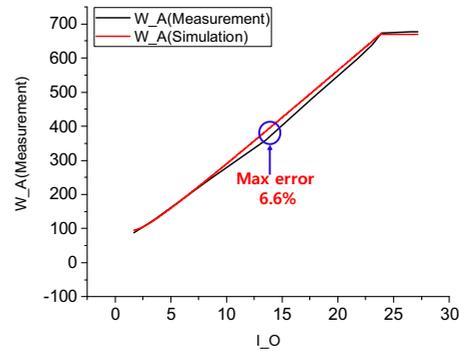


Fig. 15. Alternator power in simulation result.

시뮬레이션 결과가 실제 측정값과 유사한 결과가 나오도록 하였다. 그림 13은 0.05C 기준으로 방전 테스트에 의한 시뮬레이션 결과이며 데이터 시트에서 제공하는 특성과 유사한 것을 확인 하였다.

4. 모의시험

4.1 기존 어선 전력계통에 대한 모의시험

그림 14는 PSIM으로 구현한 어선 전력계통 회로도이다. 어선에 사용되는 전기적 부하는 선형 전류원으로 대체하여 일정 범위 내에 알터네이터, 배터리에서 소모, 공급하는 전력을 확인 하였다. 그림 15, 16, 17은 기존 어선 전력계통 시뮬레이션 결과와 측정치 평균값을 각각 비교한 그래프이다. 그림 15는 알터네이터 전력을 나타내며, 시뮬레이션 결과와 측정치를 비교한 결과 6.6%의 최대오차가 발생하였다. 이를 통해 실측치와 시뮬레이션 결과가 유사함을 확인하였다.

그림 16은 배터리 전류를 나타낸다. 시뮬레이션 결과와 측정치의 평균값을 비교하였을 때 11%의 최대오차가 발생하였으며, 오차 비율은 알터네이터 최대오차보다 크지만 실제적인 오차값의 차이는 알터네이터 최대 오차값보다 훨씬 작다. 또한 배터리에서 소모하는 전력이 알터네이터, 부하와 비교하였을 때 충분히 작기 때문에 11%의 오차는 감안할 수 있다. 그림 17은 부하 전력을 나타내는 그래프이며 시뮬레이션 결과와 측정치 평균값이 거의 유사한 것을 확인 하였다.

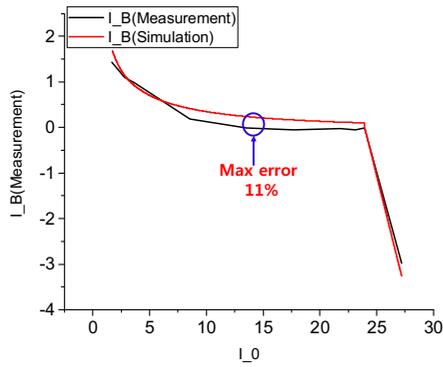


Fig. 16. Battery current in simulation result.

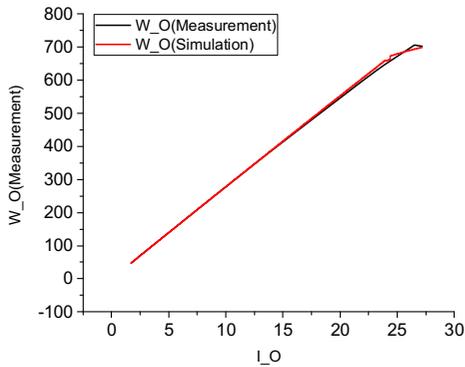


Fig. 17. Load power in simulation result.

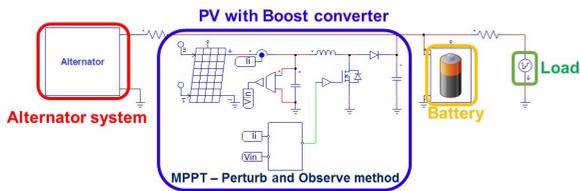


Fig. 18. Fishing boat's power network with PV system.

4.2 PV module을 포함한 전력계통 모의시험

어선 전력계통 모델링을 시뮬레이션 한 결과 실제 측정치와 유사한 것을 확인하였다. 따라서 여러 분산전원을 포함하게 될 경우 각 부하 상황에서 알터네이터가 생산하는 전력량이 얼마만큼 감소되는지 모의시험을 통하여 예측할 수 있다. 그림 18은 기존 어선 전력계통에 PV를 포함한 회로이다. 알터네이터 전체 시스템을 한 블록으로 표시한 것 외에는 기존 어선 전력계통과 동일하다. 모의시험에서는 100 W출력을 갖는 PV와 90%의 효율과 Maximum Power Point Tracking의 기능을 가진 부스트 컨버터를 사용한다고 가정하였다. 그림 19는 SCM-100W(HM)의 I-V 곡선이며 19.5 V에서 최대 출력이 나오는 것을 확인할 수 있다. 따라서 MPPT기능에 의해 19.5 V가 부스트 컨버터의 입력 전압이 되게 된다. 배터리를 원활하게 충전하기 위해서 부스트 컨버터의 출력 전압이 알터네이터의 출력 전압과 같은 28 V의 출력을 가져야 하며, 컨버터 효율을 고려하면 STC 조건에

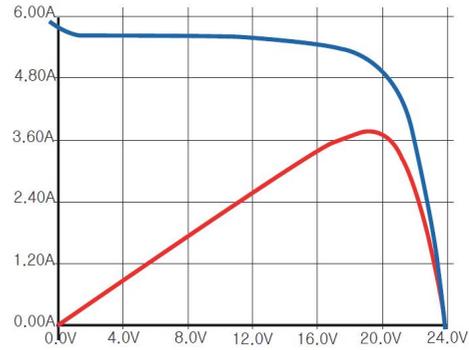


Fig. 19. I-V curve of SCM-100W(HM).

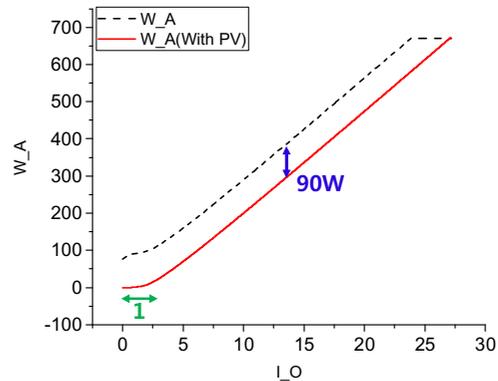


Fig. 20. Alternator power with PV module.

서 3.2 A의 전류를 공급 할 수 있게 된다.

그림 20은 기존 어선 전력계통과 PV가 포함된 어선 전력계통의 알터네이터 전력을 비교한 그래프이다. 부하 전류와 배터리 충전 전류 합이 3.2 A 이하일 경우 부하, 배터리에서 필요한 전류는 모두 PV에서 공급하게 된다. 따라서 구간 1에서 알터네이터를 동작시키지 않아도 부하와 배터리에 원활하게 전력이 공급된다. 구간 1(그림 20)이후 PV에서 생산하는 전력만큼 알터네이터에서 생산하는 전력이 감소하는 것을 확인 할 수 있다. 알터네이터에서 생산하는 전력이 감소한 만큼 엔진에서 부담하는 감소하기 때문에, 연료 소모량 또한 감소하게 된다. 추후 기존 어선에 PV를 추가하여 데이터를 측정하여 시뮬레이션 결과와 일치하는지 실험 및 검증할 예정이다.

5. 결 론

본 논문에서는 실제 어선을 구성하고 있는 알터네이터, 배터리 그리고 부하의 전기적 데이터를 측정하였으며 이를 바탕으로 어선 전력계통을 모델링하였다. 모델링 결과가 얼마나 실제 어선 전력계통과 전기적 특성이 유사한 지 측정값과 모의시험 결과값을 비교하여 검증하였고, 측정 시 데이터에 포함되어 있는 AC성분을 최소화하기 위해 사용된 측정치의 평균화 작업이 유효한

방법임을 KCL법칙을 이용하여 확인하였다. 이를 통하여 제안하는 어선의 전력계통 모델이 효과적으로 어선의 실사용 전력량과 구성 요소 및 동작 조건 별 전력 변화 내용을 예측할 수 있다.

어선의 전력계통 모델링을 이용해 어선에 PV를 도입할 시 알터네이터에서 생산하는 전력이 각 동작상황에서 얼마나 줄어들 수 있는지 모의시험을 통하여 예측하였으며, 추후 어선에 PV를 장착하여 시뮬레이션 결과와의 유사성을 실험 및 증명할 예정이다. 또한 PV뿐만 아니라 열전소자 등의 다양한 신재생 에너지를 도입하여 어선의 조업 조건에서 에너지를 얼마나 생산할 수 있는지, 기존 어선에 비해 전체 시스템의 에너지 효율이 얼마나 증가되는지 도출하고 효과적인 어선의 전력계통 구조를 제안할 예정이다.

본 연구는 해양수산부 정책과제(지속가능한 어업생산체계구축)의 연구지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] K. H. Lee, S. K. Kim, S. H. Kim, Y. S. Yang, and S. W. Park, "Development and efficiency of filter device for the emission reduction from the diesel engine in fishing boat," *The Korean Society of Fisheries Technology*, Vol. 50, Issue 1, pp. 50-57, Feb. 2014.
- [2] M. H. Lee, J. H. Kim, H. Y. Song, G. H. Kim, and J. H. Ha, "A study on the property and performance characteristics of different kind engine oil by endurance test of heavy-duty diesel engine," *The Korea Society for Energy Engineering*, Vol. 22, Issue 7, pp. 48-56, Oct. 2014.
- [3] "Off-grid diesel power plant efficiency optimization and integration of renewable energy sources," *IEEE Electrical Power Conference 2007(EPC 2007) IEEE Canada*, pp. 274-279, Oct. 2007.
- [4] Z. Chen, Y. Hu, "Control of power electronic converters for distributed generation units," *IEEE Transactions on Power Electronics*, Vol. 24, No. 2, pp. 1317-1322, Nov. 2005.
- [5] R. Lasseter and P. Piagi, "Providing premium power through distributed resources," *Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences*, pp. 1437-1445, Jan. 2000.
- [6] G. Strbao, "Impact of dispersed generation on distribution systems: a european perspective," *IEEE Power Engineering Society Winter Meeting*, Vol. 1, pp. 118-120, 2002.
- [7] G. Strbao, "A fuzzy controlled-hybrid photovoltaic diesel system scheme for an isolated load: a European

perspective," *Renewable Energies and Vehicular Technology*, Vol. 1, pp. 141-151, Mar. 2012.

- [8] Delco Remy datasheet of 21SI Alternators Series, New Indo Trading Company



이상중(李相中)

1990년 2월 12일생. 2015년 금오공과대 전자공학부 졸업. 2015년~현재 울산과학기술원(UNIST) 대학원 전기전자컴퓨터공학부 석사과정.



이동길(李東吉)

1982년 6월 30일생. 2008년 부산대 전기공학부 졸업. 2010년 동 대학원 전기공학부 졸업(석사). 2013년 동 대학원 전기공학부 졸업(공박). 현재 국립수산과학원 시스템공학과 선임연구원.



정지훈(鄭智勳)

1977년 3월 2일생. 2000년 포항공과대 전자전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전자컴퓨터공학부 졸업(석사). 2006년 동 대학원 전자컴퓨터공학부 졸업(공박). 2006년~2009년 삼성전자 프린팅사업부 책임연구원. 2009년~2010년 Texas A&M University at Qatar 박사후연구원. 2011년~2012년 한국전기연구원 선임연구원. 2013년~현재 울산과학기술원(UNIST) 전기전자컴퓨터공학부 조교수. 당 학회 편집위원.