

자이로 파력 발전기용 전력 변환기의 제어 알고리즘에 관한 연구

김성안¹ · 권혁주² · 홍경표³ · 이선권⁴ · 강규홍[†]

(Received August 14, 2018 ; Revised September 11, 2018 ; Accepted October 2, 2018)

A study on the control algorithm of power converter for gyro wave power generator

Sung-An Kim¹ · Hyuk-Joo Kwon² · Kyung-Pyo Hong³ · Sun-Kwon Lee⁴ · Gyu-Hong Kang[†]

요약: 운항중인 선박의 횡동요를 경감시키기 위한 자이로 안정기는 짐벌의 세차 운동을 응용하여 선체 횡동요 방향과 반대의 모멘트를 발생시킨다. 생성된 모멘트로 인한 각속도 및 토크는 영구자석형 동기 발전기를 회전시켜 AC 부하 시스템에 전력을 공급할 수 있다. 발전기에서 발생한 전력을 부하 시스템에 안정적으로 공급하기 위해서는 전력변환기 및 안정적인 제어 알고리즘이 필요하다. 자이로 파력 발전기용 전력변환기는 발전기의 AC출력을 DC로 변환하기 위한 3상 다이오드 정류기와 발전기 출력 제어를 위한 부스터 컨버터 및 계통연계 또는 AC 부하 연결을 위한 단상 인버터로 구성된다. 본 논문에서는 자이로 파력발전기용 전력변환기의 제어 알고리즘을 제안한다. 제안된 제어 알고리즘은 속도 변화에 따라 발전기에서 발생하는 기전력 변화를 기반으로 한 부스터 컨버터의 전류 PI 제어기의 지령값을 변화시켜 발전기의 과토크 발생을 방지하고 속도에 따른 발전기의 출력 제어를 한다. 제안된 제어 알고리즘은 시뮬레이션과 실험을 통해 타당성을 입증하였다.

주제어: 자이로 안정기, 전력변환기, 영구자석형 동기 발전기, 전류 PI 제어, 계통연계

Abstract: A gyro stabilizer reduces the rolling of a ship by using the precessional motion of a gimbal to generate a moment in a direction opposite to that of the rolling motion. The angular velocity and torque from the generated moment can rotate a permanent magnet synchronous generator to supply power to an AC load system. To stably supply the generated power, a power converter and stable control algorithm are essential. The power converter of a gyro wave generator consists of the following: a three phase diode rectifier, which acts as an AC/DC converter; a booster converter, which controls the output power of the generator; and a single phase inverter, which connects the power grid or AC load. This paper proposes a control algorithm for the power converter of the gyro wave generator. The proposed control algorithm controls the output power and over torque protection of the generator. To this end, it uses the reference value variation of the current PI controller in the boost converter based on the electromotive force of the generator according to speed variations. The effectiveness of the proposed control algorithm was verified by using the results of a simulation and experiment.

Keywords: Gyro stabilizer, Power converter, Permanent magnet synchronous generator, Current PI control, Power grid

1. 서론

최근 전 세계적으로 지구 온난화 방지를 위해 각 국가들은 연도별 온실가스 감축 목표를 설정하고 있다. 조선 해양 산업에서도 4차 산업혁명과 환경 규제에 대한 규정이 강화됨에 따라 이를 만족하기 위한 대안으로 기계추진선박을 전기추진선박으로 대체 및 선박의 에너지 효율 향상에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[1]-[3]. 에너지 효율 향상

을 위해 고성능의 추진기 및 전력변환장치를 대체하는 방법과 선박 내에서 발생하는 에너지를 전기에너지로 재사용하는 방법이 있다. 항해 중이거나 항구에 정박된 소형 선박들은 파도의 영향으로 횡동요 운동을 하게 된다. 횡동요에 의한 선박의 안정성 확보를 위해서 안정화 시스템이 요구되며 세차운동의 원리를 이용한 자이로 안정기 방식이 적용되고 있다[4][5]. 자이로 안정기는 짐벌의 세차운동을 응

† Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9036-3715>): Devison President, Ulsan Headquarters, Korea Marine Equipment Research Institute, 5, Techno saneop-ro 55 beon-gil, Nam-gu, Ulsan, 44776, Korea, E-mail: kang@komeri.re.kr, Tel: 052-280-9901

1 Senior Researcher, Electric Power Machinery Team, Korea Marine Equipment Research Institute, E-mail: sakim@komeri.re.kr, Tel: 052-280-9923

2 Senior Researcher, Electric Propulsion Team, Korea Marine Equipment Research Institute, E-mail: khj586@komeri.re.kr, Tel: 052-280-9934

3 Team Manager, Electric Power Machinery Team, Korea Marine Equipment Research Institute, E-mail: kphong@komeri.re.kr, Tel: 052-280-9922

4 Center Director, International Explosion Proof Center, Korea Marine Equipment Research Institute, E-mail: sunkwonlee@komeri.re.kr, Tel: 052-280-9911

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.

용하여 선체 횡동요 방향과 반대의 모멘트를 발생시켜 횡동요를 경감시키는 장치이다[6]. 생성된 모멘트로 인해 각속도와 토크가 발생하게 되고 이를 영구자석형 동기 발전기에 체결하면 발전기는 회전하게 되어 에너지를 발생시킬 수 있으므로 선박 내에서 발생하는 에너지를 전기에너지로 재사용이 가능하다. 전기 에너지를 이용하여 자이로 안정기의 제어 방식 중 수동형 방식인 플라이휠 구동용 전동기 시스템에 전력을 공급할 수 있다[7]. 발생된 전기 에너지를 선박 내 계통연계나 AC 부하에 공급하기 위해서는 전력변환기가 필요하며 전력변환기를 안정적으로 동작시키기 위한 제어 알고리즘이 요구된다. 그러므로 본 논문에서는 발전기의 과도 발생을 방지하고 속도 변화에 따른 발전기의 기전력 변동을 고려하여 출력 제어 및 안정적인 전력공급을 위한 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 제어 알고리즘에 대해 제안한다. 제안된 제어 알고리즘은 시뮬레이션과 실험을 통해 타당성을 입증한다.

2. 자이로 파력발전 시스템

2.1 자이로 파력발전 시스템의 구성

Figure 1은 자이로 파력발전 시스템의 구성도를 나타낸다. 자이로 파력발전 시스템은 플라이휠로 인한 회전관성과 결합하여 짐벌의 세차 운동이 발생하는 자이로 안정기, 세차 운동의 방향을 단방향으로 변환시켜주는 베벨기어, 속도를 증속시키기 위한 기어박스, 회전 에너지를 전기 에너지로 변환하기 위한 영구자석형 동기 발전기 및 계통연계와 AC 부하에 안정적인 전력공급을 위한 전력 변환기로 구성된다.

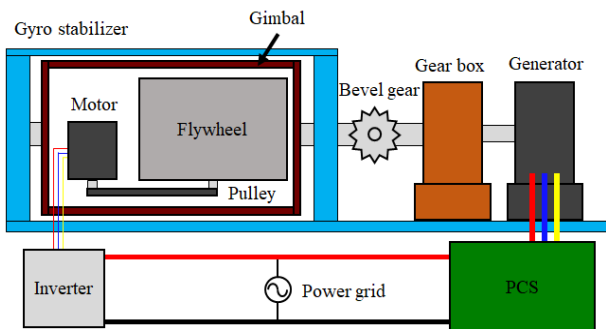


Figure 1: Configuration of gyro wave power generation system

2.2 자이로 파력발전 시스템의 사양

Table 1은 자이로 파력발전 시스템의 사양을 나타낸다. 적용 선박은 15톤급이며 평균 파도의 주기 4초와 자이로 세차 축 회전 반경 120°를 고려한 세차축의 회전속도와 토크, 각운동량, 및 증속비는 선행 연구[4][8]를 통해 선정되었다. 발전기의 사양은 선행연구[9]에서 진행된 유한요소해석을 기반으로 한 설계값과 실험결과를 통한 결과값을 참조하여 선정하였다.

Table 1: Specifications of gyro wave power generation system

Item	Value	
Angular velocity of precessional axis	1.05rad/s (10rpm)	
Rated torque of precessional axis	6032Nm	
Angular momentum	2500Nms	
Gear box	1:20 (Incremental)	
Motor for driving flywheel	Rated power	3.5kW
	Rated speed	4000rpm
Generator	Rated power	6.6kW
	Rated speed	200rpm
	Rated voltage	136V
	Rated torque	317Nm
	Rated current	16.5A

3. 자이로 파력 발전기용 전력변환기

3.1 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 구성

Figure 2는 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 구성도를 나타낸다. 전력변환기는 발전기의 AC 출력을 DC로 변환하기 위한 3상 다이오드 정류기, 발전기의 출력 제어를 위한 부스터 컨버터 및 계통연계 혹은 AC 부하에 전력공급을 위한 단상 인버터로 구성된다.

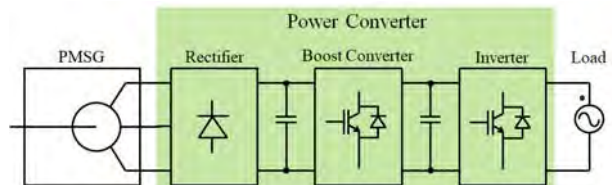


Figure 2: Configuration of power converter for gyro wave power generator

3.2 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 사양

Table 2는 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 사양을 나타낸다. 발전기는 회전속도에 증가함에 따라 기전력이 비례적으로 증가하게 되므로 전력변환기의 입력전압 범위는 부스터 컨버터의 불연속 전류 구간을 고려하여 발전기의 선간 전압을 기준으로 최대 340V로 선정하였다. 설계된 발전기의 정격전류는 16.5A이므로 전력변환기의 입력전류는 DC 23A, DC 링크 전압은 출력전압 220V를 안정적으로 공급하기 위해 지령 전압은 420V로 선정하고 출력전류는 6.6kW에 해당하는 30A로 선정하였다.

Table 2: Specifications of power converter

Item	Value
Input voltage/current	~340V/23A
DC link voltage	420V
Output voltage/current	220V/30A

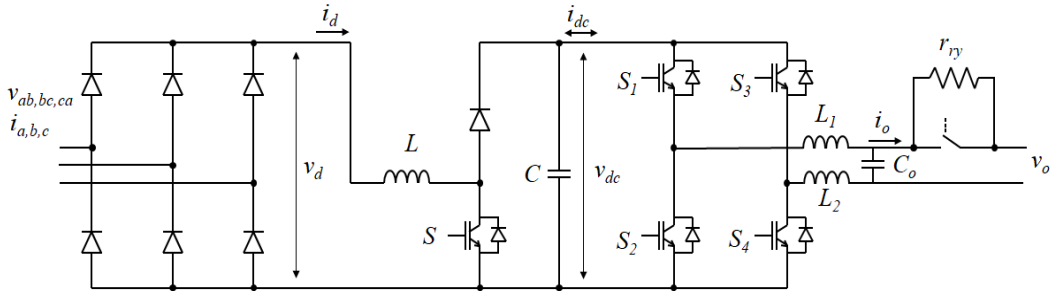


Figure 3: Circuit of power converter for gyro wave power generator

3.3 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 설계

Figure 3은 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 회로도를 나타낸다. v_{ab}, v_{bc}, v_{ca} 는 발전기의 선간 전압, i_a, i_b, i_c 는 발전기의 상전류, v_d 와 i_d 는 3상 다이오드 정류기의 DC출력단과 연결된 부스터 컨버터의 입력전압 및 입력전류, L 은 부스터 컨버터의 인덕터, v_{dc} 와 i_{dc} 는 부스터 컨버터의 출력전압 및 출력전류, S 는 부스터 컨버터의 IGBT, C 는 부스터 컨버터의 출력 커패시터, $S_1 \sim S_4$ 는 단상인버터의 IGBT, L_1, L_2 및 C_o 는 단상 인버터의 출력 인덕터와 출력 커패시터, v_o 와 i_o 는 단상인버터의 출력전압과 출력전류를 나타낸다. r_{ly} 는 초기 동작에서 DC 커패시터에 돌입전류를 방지하기 위한 충전 저항이다.

Table 3은 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 설계 사양을 나타낸다. 3상 다이오드 정류기는 발전기의 전압 및 전류를 고려하여 600V/50A로 선정하였다. 부스터 컨버터의 인덕터와 DC 커패시터의 용량 선정을 위한 부스터 컨버터의 출력전압과 평균 전류는 다음과 같이 표현할 수 있다 [10].

$$v_{dc} = \frac{v_d}{1-D} \quad (1)$$

여기서 D 는 듀티비이다. 인덕터의 평균 전류와 부스터 컨버터의 불연속 조건을 고려한 최소 인덕터의 값은 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$i_L = \frac{v_d}{(1-D)^2 R}, L_{\min} = \frac{D(1-D)^2 R}{2f} \quad (2)$$

여기서 R 은 부하, f 는 스위칭 주파수이다. 부스터 컨버터의 출력 커패시터의 값은 다음과 같이 선정할 수 있다.

$$C > \frac{D}{Rf(\Delta V_{dc}/V_{dc})} \quad (3)$$

스위칭 주파수와 제어 주파수는 IGBT 특성을 고려하여 10kHz로 선정하고 식 (1)과 식 (2)를 기반으로 인덕터의 값은 1.5mH, 커패시터의 값은 2200uF로 선정하였으며 스위칭을 위한 IGBT와 600V/60A로 단상인버터의 IGBT 모듈은 600V/60A로 선정하였다. 단상인버터의 출력단의 인덕터는 스위칭 주파수 10kHz를 고려하여 1.5mH로 선정하였다.

Table 3: Design specifications of power converter

Item	Value
3 phase diode rectifier	600V/50A
IGBT of boost converter	600V/60A
Inductor	1.5mH
DC capacitor	2200uF
IGBT module	600V/60A
IGBT switching frequency	10kHz
Control frequency	10kHz

4. 제어 알고리즘

4.1 부스터 컨버터의 제어

Figure 4 (a)는 부스터 컨버터의 지령 전류 제어 알고리즘 순서도를 나타낸다. 기존의 최대 출력점을 추종하는 MPPT 제어방식과 달리 발전기의 속도에 증가하면 발전기의 전압이 상승하여 출력량이 증가하므로 부스터 컨버터의 입력전압이 증가하면 전류 지령값 $i_{d,ref}$ 을 증가분 A만큼 증가시켜 DC 링크단에 전력을 공급한다[11]. 발전기의 속도가 감소하면 부스터 컨버터의 입력전압이 감소하게 되므로 전류 지령값을 감소분 A만큼 감소시켜 출력을 제어하게 된다.

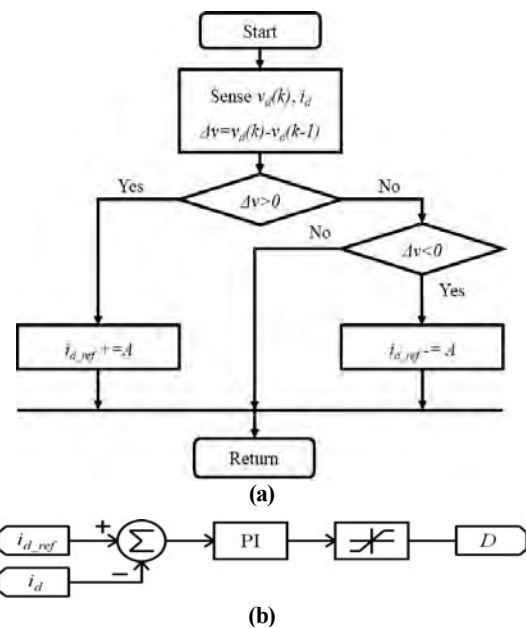


Figure 4: Reference current control of boost converter (a) Flow chart (b) Control block diagram

Figure 4 (b)는 부스터 컨버터의 제어 블록 다이어그램을 나타낸다. 발전기의 과토크와 과출력을 방지하기 위해서 발전기의 정격전류를 전류 PI 제어기의 제한치로 설정하여야 한다. 부스터 컨버터의 입력전류의 지령값과 입력전류를 이용하여 PI 제어를 수행하고 그 출력값은 캐리어 주파수와 비교하여 부스터 컨버터의 IGBT를 스위칭하게 된다.

4.2 단상인버터의 제어

Figure 5는 단상인버터의 제어 블록다이어그램을 나타내며 S. A. Kim et al. [12]를 참고하여 적용하였다. Figure 5 (a)는 출력전압의 위상을 검출하기 위한 곱형 PLL(Phase lock loop)을 나타낸다. 1차 저역필터와 PI제어기 및 적분기로 구성되며 적분기의 결과값이 측정된 전압의 위상이 된다. Figure 5 (b)는 전력변환기의 DC 링크 전압을 일정하게 유지하기 위한 전압 PI 제어기와 전류 PI 제어기를 나타낸다. 발전기에서 생성된 전력이 부스터 컨버터를 통해 DC 링크단에 도통되면 전압은 상승하게 된다. DC 링크 전압을 일정하게 유지하기 위해서는 계통연계를 통해 전류를 전달하여야 한다. 전압 PI 제어기 출력값은 계통 전류의 지령값이 되고 전류 PI 제어기를 출력값은 단상 인버터의 캐리어 주파수와 비교하여 단상인버터의 IGBT 모듈을 스위칭하게 된다.

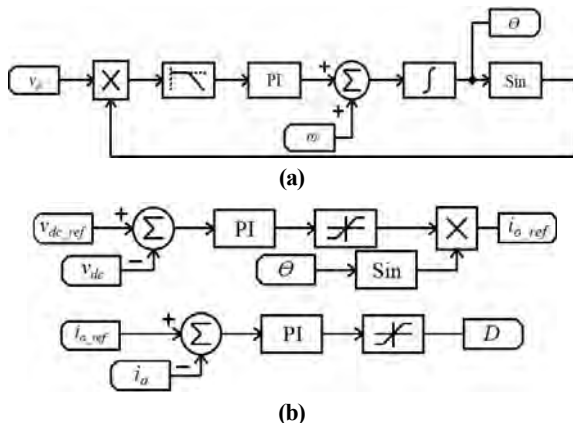


Figure 5: Control block diagram of single phase inverter (a) PLL (b) v_{dc} and i_o PI controller

5. 시뮬레이션 결과

Figure 6은 PSIM을 이용한 시뮬레이션 회로도를 나타낸다. 자이로 안정기의 모델링은 정격속도 1000rpm, 8kW 유도전동기와 기어박스 100:1을 이용하여 토크 제한 벡터 제어를 이용하여 10rpm, 6032Nm를 모사하였다. 1:20 증속기가 발전기에 체결되고 발전기의 출력단은 전력변환기와 결선된다. 부스터 컨버터의 제어블록은 동작범위제어, 지령전류 계산기 및 전류 PI 제어기로 구성되며 단상인버터의 제어블록은 PLL 블록, 전압 PI 제어기와 전류 PI제어기 및 스위칭 블록으로 구성하였다.

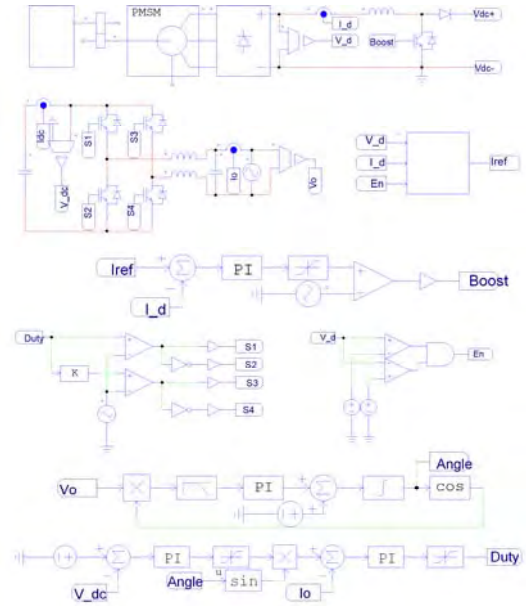


Figure 6: Simulation circuit of Gyro wave power generation system

Figure 7은 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 시뮬레이션 결과를 나타낸다. Figure 7 (a)는 과도 상태에서 발전기의 선간전압, 상전류, 속도, 토크와 부스터 컨버터의 입력 전압과 입력 전류, DC 링크 전압을 나타낸다. 발전기의 속도가 0rpm, 200rpm, 150rpm, 175rpm, 100rpm, 50rpm, 125rpm, 175rpm 순으로 동작함에 따라 선간전압은 기전력 상수에 따라 변동하게 되고 3상 다이오드 정류기에서 정류된 전압 또한 변동하게 된다. 이때 부스터 컨버터는 지령 전류 제어 알고리즘에서 계산된 지령 전류에 따라 동작하여 발전기의 전류를 제어하며 발생 토크와 출력을 조절한다. Figure 7 (b)는 과도 상태에서 단상 인버터의 출력 전압, 출력 전류 및 출력을 나타낸다. 부스터 컨버터에서 제어된 출력은 DC 링크단에 전달되며 단상 인버터는 DC 링크 전압을 420V를 유지하기 위해 계통 연계를 통해 전류 제어로 동작한다.

Figure 7 (c)는 정상 상태에서 발전기의 속도와 토크는 312.8Nm와 200rpm으로 입력은 6.5kW에서의 선간전압과 상전류를 나타낸다. 발전기의 선간전압의 최대 크기는 334.8V이며 상전류는 3상 다이오드 정류기의 영향으로 구형과 형태로 출력되며 최대값은 20.1A로 발전기의 출력은 약 6.24kW이다. Figure (d)는 정상 상태에서의 부스터 컨버터의 입력전압, 입력전류, DC링크 전압과 단상 인버터의 출력 전압과 출력 전류를 나타낸다. 입력전압은 DC 318V이며 입력전류는 DC 19.5A이다. DC링크전압은 DC 420V를 유지하고 있음을 확인할 수 있다. 출력은 6.23kW로 목표 출력을 만족한다. 여기서 제어기의 손실은 무시하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 제안된 제어 알고리즘의 안정적인 동작을 확인하였다.

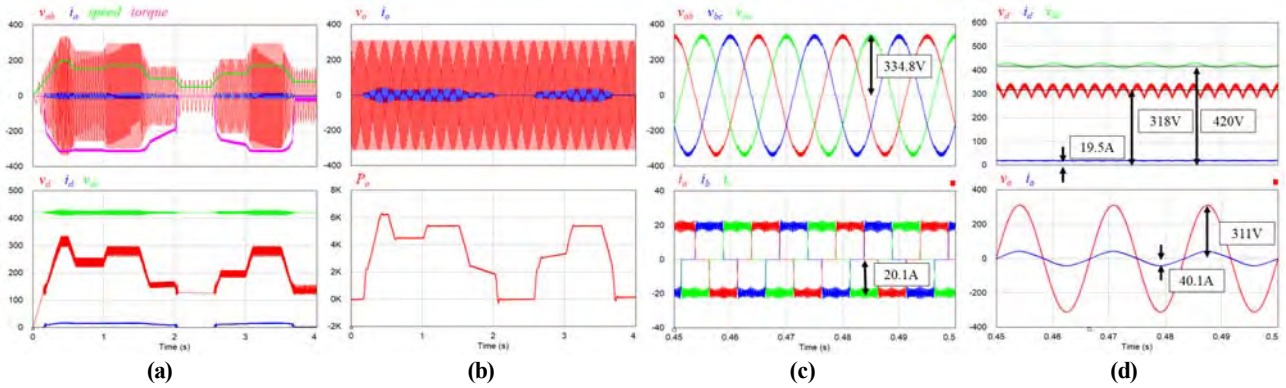


Figure 7: Simulation results (a) Line to line voltage and phase current of generator and input voltage, input current, DC link voltage of boost converter in transient state (b) Output voltage, output current, output power of sing phase inverter in transient state (c) Line to line voltage and phase current of generator in steady state (d) Input voltage, input current, DC link voltage of boost converter and output voltage, output current of sing phase inverter in steady state

6. 실험 결과

Figure 8은 시뮬레이션 결과를 기반으로 제작한 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 실험 모습을 나타낸다. 발전기는 AC 전원 공급 장치를 이용하여 발전기의 속도에 따른 전압 및 주파수 프로파일을 이용하여 모사하였다. 전력 변환기의 전압 및 전류의 파형은 오실로스코프를 이용하여 측정하고 입력 및 출력의 전력은 전력분석기를 이용하여 측정하였다.

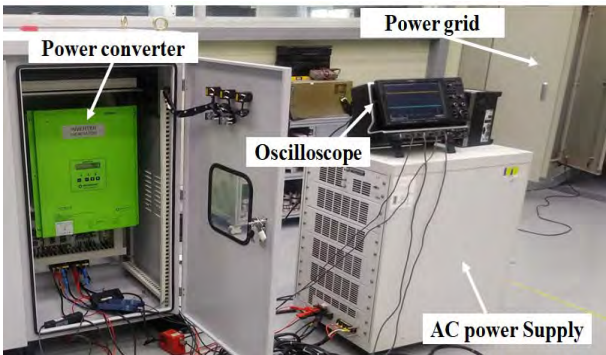


Figure 8: Experimental setup

Figure 9는 전력변환기의 특성 곡선을 나타낸다. 발전기의 속도가 낮은 영역에서의 전력변환기의 불안정한 동작을 방지하기 위해 부스터 컨버터의 입력 전압이 160V에서 350V내에서만 발전하도록 설정하였기 때문에 발전기의 선간전압 기준으로는 113V에서 250V내에서 동작하게 된다. AC 전원공급장치의 전압 및 주파수가 변동에 따라 부스터 컨버터의 입력 전압도 변동하게 된다. 전류 지령 제어 알고리즘의 출력값인 전류 지령에 따라 부스터 컨버터의 전류는 변동됨을 확인할 수 있다. 단상 인버터의 출력 전압은 발전기의 속도에 따른 기전력 변동에 따라 계통 전압과 동기화 되어 출력 전류를 계통 연계로 전달함을 확인할 수 있다.

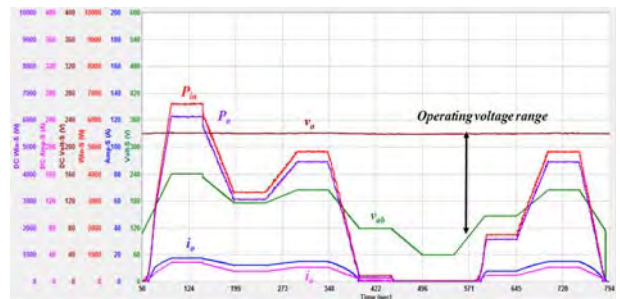
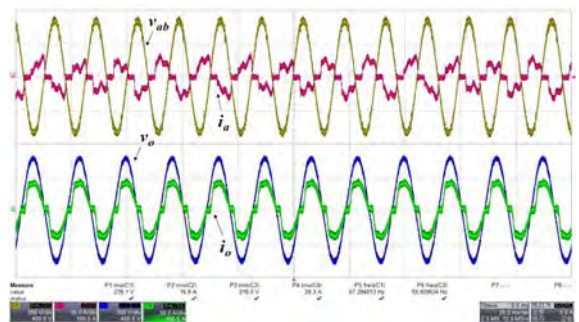
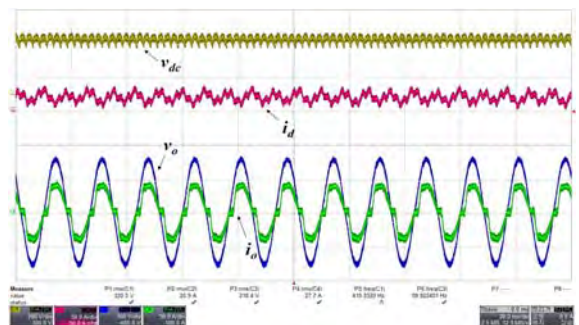


Figure 9: Experimental characteristic curves



(a)



(b)

Figure 10: Experimental results at 6kW (a) Line to line voltage and phase current of generator (b) DC link voltage and input current of boost converter and output voltage, output current of single phase inverter

Figure 10은 출력 6.15kW에서의 전력변환기의 실험 과정을 나타낸다. 발전기 정격 속도 200rpm에서 상전압은 137V이므로 선간전압은 238V로 측정되며 상전류는 3상 다이오드로 인해 구형파 전류로 16.9A로 도통된다. DC링크 전압은 DC링크 커패시터 용량이 작아 리플이 존재하지만 지령 전압 420V를 유지하며 부스터 컨버터의 입력 전류는 20.9A로 정전류 제어가 됨을 확인할 수 있다. 단상 인버터의 출력 전압인 계통 전압은 변전에 부하량이 많아 정격전압인 220V보다 2V 낮은 218V이며 출력 전류는 27.7A이며 역율은 0.98이다. 입력 전력은 6.63kW이며 출력 전력은 6.15kW로 효율은 92.7%이다. 결과적으로 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 안정적 출력을 위해 제안한 제어 알고리즘의 타당성을 시뮬레이션과 실험을 통해 확인하였다.

7. 결 론

본 논문에서는 자이로 안정기에서 생성된 모멘트로 인한 회전 에너지를 영구자석형 동기 발전기를 이용하여 전기 에너지로 변환하여 사용할 수 있는 자이로 파력 발전기용 전력변환기의 제어 알고리즘을 제안하였다. 선행 연구된 자이로 파력 발전 시스템의 구성과 결과를 기반으로 전력변환기의 구성 및 설계에 대해 설명하였다. 발전기의 과토크를 방지하고 발전기의 회전속도에 따른 출력 제어를 위한 부스터 컨버터를 이용한 전류 지령 제어 알고리즘과 계통연계 혹은 AC 부하에 안정적인 전력 공급을 위한 단상 인버터의 제어에 대하여 제안하였다. 제안된 알고리즘은 자이로 안정기의 모델링을 통한 시뮬레이션을 구성하여 발전기의 속도별 출력 특성을 확인하고 전력변환기를 제작하여 실험을 통해 타당성을 검증하였다.

후 기

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20153030071770)

References

[1] G. H. Kang and S. D. Kim, "Electricity propulsion ship technology trend and power consumption analysis according to ship," The Korean Institute of Electrical Engineers, vol. 66, no. 7, pp. 13-20, 2017 (in Korean).
 [2] H. A. Richard, "Gyrostabilizer for small boat," United states Patent, 2007. US20050076726, October 4, 2004.
 [3] J. S. Kim, H. M. Jeon, and D. G. Lee, "A study on characteristics of each operation mode for hybrid electric propulsion ship by operation circumstances," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 41, no. 3 pp. 245-250, 2017 (in Korean).
 [4] S. K. Lee, G. H. Kang, and J. Hur, "Load Estimation

and Design of Wheel Operating Motor for Ship Gyro Stabilizer," Proceedings of the KIEE Summer Conference, pp. 542-543, 2012 (in Korean).
 [5] H. Kanki, S. Aarii, T. Furusawa, and T. Otoyoy, "Development of advanced wave power generation system by applying gyroscopic moment," Proceedings of the 8th European Wave and Tidal Energy Conference, 2009.
 [6] K. Y. Gong, Ship Voyage Glossary, Busan, Korea: Korea Maritime University, 2012 (in Korean).
 [7] N. C. Townsend and R. A. Sheno, "Gyrostabilizer vehicular technology," Applied Mechanics Reviews, vol. 64, no. 1, pp. 1-14, 2011.
 [8] K. J. Lim, H. J. An, S. K. Lee, G. H. Kang, H. M. Kwon, and S. H. Seo. "A study on the temperature characteristics of gyro-stabilizer driving motor of small sized ship," Proceedings of the KIEE Fall Conference, pp. 176-178, 2016 (in Korean).
 [9] K. P. Hong, G. H. Kang, and S. K. Lee, "Design of a 6kW permanent magnet synchronous generator with low speed and high torque for gyro wave power generation," Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 41, no. 9, pp. 878-883, 2017 (in Korean).
 [10] D. W. Hart, Power Electronics, McGraw-Hill Education, 2011.
 [11] S. J. Kim, B. M. Kim, and S. H. Kim, "Design of CRIO-based real-time controller for small-sized wind turbine generating system and comparative study on performance of various MPPT algorithms," Journal of Korean Institute of Intelligent Systems, vol. 21, no. 1, pp. 55-61, 2011, (in Korean)
 [12] S. A. Kim, A Study on the Design and Control of Integrated Power Supply System with Static Transfer Switch for Special Vehicle, Ph.D. Dissertation, Department of Electrical Engineering of Dong-A University, Korea, 2018 (in Korean).