

A Study on the 500W Class Converter for Power Supply of Ultrasonic Anti-Fouling System for Small Ships Based on Independent Power

독립전원 기반 소형 선박의 초음파 방오 시스템 전원 공급용 500W급 컨버터에 관한 연구

Dong-Wook Kim · Bae-Sung Kim · Duck-Shick Shin

김동욱* · 김배성* · 신덕식†

Abstract

An ultrasonic anti-fouling system that works to remove bio-fouling, which is organic substances attached to structures under the water surface of a ship, while the ship is anchored is proposed. In order to review the configuration and applicability of the proposed system, it is designed by analyzing the operation patterns of coastal small ships and simulating power consumption according to the operation patterns. In this paper, a 500W class converter is proposed among the proposed system. To achieve high performance, a continuous conduction mode that can reduce the size of a circuit and improve efficiency of the system is applied, a two-phase interleaved boost converter applied to schottky diode and N-MOSFET power switch which are capable of high-speed switching is designed. In addition, P&O method that is easy to implement and has a simple structure among MPPT control algorithms is applied to track the optimal operating point in the non-linear characteristics of independent power module. To verify the usefulness of the proposed system, a 500W class power converter is designed. Through simulations and experiments, the performance of the MPPT algorithm according to the solar radiation condition of the independent power module and the two-phase interleaving algorithm are verified. In particular, the MPPT efficiency of over 99.6% is confirmed even under environmental conditions where the amount of solar radiation rapidly changed from 100% to 75% and the power conversion efficiency at 500W output is confirmed to be 96.26%, confirming the usefulness of the proposed circuit.

Key Words

Ultrasonic, Anti-Fouling, Two-Phase Interleaved Booster Converter, Independent Power, MPPT

1. 서론

최근, IMO 산하 해양오염방지대응 전문위원회(IMO Sub Committee on PPR: Pollution Prevention and Response)에서 선박을 포함한 해양 구조물에 부착되는 유기물인 선박부착생물(bio-fouling)을 제거하기 위한 가이드라인 실행을 진행함에 따라, 선박부착생물을 제거하기 위한 연구개발의 필요성이 강조 되고 있는 상황이다. 선박부착생물이란, 액체와 접촉하고 있는 인공 구조물의 표면에 박테리아와 같은 다양한 물질 및 수생 미생물이 쌓여 구조물이 부식되거나 움직이기 어렵게 되는 현상을 일컫는데, 특히 해수면 아래의 선박과 해양 구조물은 다양한 선박부착생물에 노출되어 있는 실정이다. 해수면 아래 선박 구조물에 선박부착생물이 발생되면 부착된 구조물의 하중을 증가시키고, 파도 및 조류와 결합하여 해저 구조물의 역학과 유체역학에도

영향을 미칠 수 있으며, 특히 운항 중 선박의 저항이 증가함에 따라 연료 소모량이 40%까지 증가되고, 온실가스의 배출량도 함께 증가될 수 있다고 보고되고 있다[1]. 또한, 전 세계적으로 해상물동량의 증가, 화석연료비의 급등으로 인해 에너지 고효율화 및 친환경화로 선박의 개발방향이 점점 가속화 되고 있으며, EEDI(Energy Efficiency Design Index)는 2025년 이후 현재 수준대비 CO₂ 배출량 30% 저감 및 에너지 효율기준 42.9%의 향상을 요구하고 있다[2]. 이에 따라 국내외 조선·해양 산업에서는 선박부착생물을 효율적으로 제거하기 위한 안티 바이오 파울링(anti-biofouling) 기술 개발이 대두되고 있으며, 선박이 정박 중 선박부착생물에 대하여 효율적으로 제거할 수 있고, 가격 및 운영적 측면에서 경제적인 초음파 방오 장비가 가장 효율적인 방안으로 조사되고 있다. 또한, 최근 항만에서는 에너지소비 고효율화 및 이산화탄소 등 대기오염 배출량을 감소

† Corresponding Author : Smart Electrics Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Korea.

E-mail: dsshin@keti.re.kr
<https://orcid.org/0009-0005-6536-3763>

* Smart Ship ICT-Convergence Research Center, Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Korea.

<https://orcid.org/0000-0002-6470-2947>, <https://orcid.org/0000-0001-6504-3712>

Received: Jun. 15, 2023 Revised: Sep. 14, 2023 Accepted: Sep. 22, 2023

Copyright © The Korean Institute of Electrical Engineers

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

시키고자 2025년까지 항만 및 하역부두에 정박하는 모든 선박들에 대하여 엔진 및 발전기 사용을 제한하는 ‘항만 대기질 개선 특별법’을 개정하였다[3]. 즉, 항만 및 하역부두에서 엔진 또는 발전기 사용이 제한됨에 따라 초음파 방오 장비의 운영을 위한 독립전원 기반 초음파 방오 시스템 개발이 필요한 실정이다. 이에 본 논문에서는 독립전원으로 초음파 방오 장비를 운영하기 위한 시스템을 제안 하였고, 특히, 제안 시스템 중 비선형적인 특성을 갖는 독립전원의 전력을 배터리 모듈에 저장하기 위한 최대 전력점 추종 알고리즘과 회로의 고성능을 달성하기 위한 2상 인터리빙 제어 알고리즘을 적용한 소형 선박용 500W급 전력 공급 컨버터에 대하여 제안하고, 시뮬레이션과 실험을 통해 제안 회로의 타당성을 입증했다.

2. 본 론

2.1 독립전원 기반 소형 선박용 방오 시스템 설계

본 논문에서 제안한 독립전원 기반 초음파 방오 시스템의 다이어그램은 <그림 1>에 나타내며, 제안 시스템의 구성은 독립전원, 전력 공급 컨버터, 배터리 모듈, 전력변환장치 및 초음파 방오 장비로 구성된다. 제안 시스템 중 본 논문에서 제안한 전력 공급 컨버터는 독립전원 모듈이 갖는 비선형적인 특성에서 최적의 동작점을 추종하여 최대 전력을 배터리 모듈에 저장하고, 배터리 모듈의 전력을 전력변환장치를 통해 초음파 방오 장비를 운영할 수 있는 AC 전력을 공급한다.

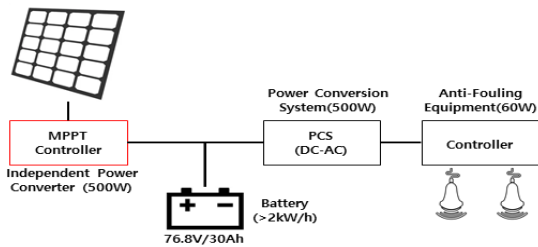


그림 1 소형 선박용 초음파 방오 시스템 다이어그램
Fig. 1 The diagram of ultrasonic anti-fouling system for small ships

제안한 시스템을 소형 선박에 적용하기 위해 한국수산회수산정책연구소에서 발표한 "소형어선의 경쟁력 강화 방안 연구 [4]" 자료를 분석하였으며, 해당 연구에 따르면 연안 소형 선박(어선) 연평균 항차수는 161.7회이며, 조업일수는 약 165.5일로 분석된다. 또한, 연안 중소형 선박(어선)의 일일 조업시간 8.4시간(1,387시간(연평균 조업시간)/165.5일(조업일수)), 평균 1.8시간 이동하는 것으로 분석된다. 제안 시스템의 구성 및 전력 설계를 위해, 분석 자료를 기반으로 1일 평균 약 11시간(조업 및 이동시간 포함) 및 2일 기준으로 하루(조업일수 165.5일)만 선박이 운항한다는 패턴을 적용하여 시뮬레이션을 수행했다.

시뮬레이션은 solar rate를 적용하여 독립전원의 발전량을 계산하였으며, 발전된 전력은 배터리 모듈에 항상 충전하고, 배

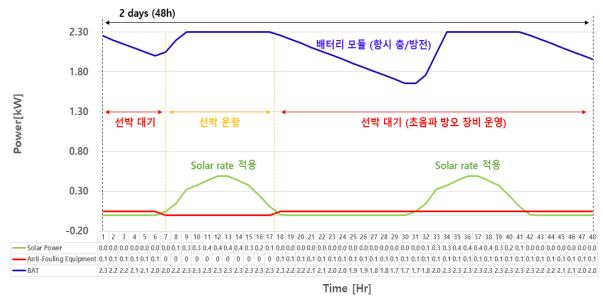


그림 2 소형 선박용 초음파 방오 시스템 설계를 위한 선박 운항 프로파일에 따른 전력량 시뮬레이션
Fig. 2 The power consumption simulation according to ship operation profile for the design of ultrasonic anti-fouling system for small ships

터리 모듈에 충전된 전력을 전력변환장치를 통해 선박이 정박하는 동안에 초음파 방오 장비가 운영되는 조건을 적용했다. 시뮬레이션 결과는 <그림 2>에 나타내며, 초음파 방오 장비 1개를 사용하는 소형 선박 기준 약 500W급 독립전원 및 2kWh급 이상의 배터리 모듈이 탑재된다면, 선박이 정박 중 전력을 발생하기 위해 엔진 또는 발전기를 구동하지 않아도 독립전원을 통해 방오 장비를 운영할 수 있을 것으로 예상된다.

2.2 전력 공급 컨버터 설계

독립전원 기반 초음파 방오 시스템 운영을 위한 500W급 전력 공급 컨버터 다이어그램은 <그림 3>에 나타낸다. 제안 회로는 기존의 PN 접합의 다이오드와 비교하여 순방향 전압 특성이 낮으며, 역 회복 손실(reverse recovery loss)을 감소할 수 있고, 고속 스위칭이 가능한 Schottky Diode[5] 및 스위칭 속도가 빠르며 고주파수대 영역에서 효율적으로 사용 가능한 N-MOSFET 전력 스위치기반 2상 인터리브드 부스트 컨버터로 설계했다. 그리고 스위치 소자는 보드 아랫면으로 실장 하여, 방열판을 통해 소자에서 발생하는 열을 방열하기 위한 방열 구조로 설계했다. 특히, 2상 인터리브드 부스트 컨버터는 기존의 부스트 컨버터에 추가적으로 스위치, 인덕터와 다이오드를 병렬 연결하여, 2개의 스위치를 180도의 위상차를 두고 동작시킴으로써 입출력 전류의 리플 저감을 통해 커패시터의 용량을 줄일 수 있으므로 회로의 경량화를 가능하게 하고[6], 또한 식 (1)에 따라 전력 손실을 절감할 수 있음으로써 더 높은 효율 달성이 가능하다.

$$P_{loss} = I^2 \times R \tag{1}$$

그리고 자체 전원 공급을 위한 컨버터 회로는 FET Driver용 14V, 통신 및 디지털 회로용 5V 및 3.3V LDO(Low Drop Output)를 포함한 전원회로로 설계했다. 또한, 독립전원 모듈이 갖는 비선형적인 특성에서 최대 출력을 추종하기 위하여 효과적인 MPPT 제어 알고리즘 중 구현이 쉽고 구조가 간단한 P&O(Perturb and Observation) 방식을 적용했다[7].

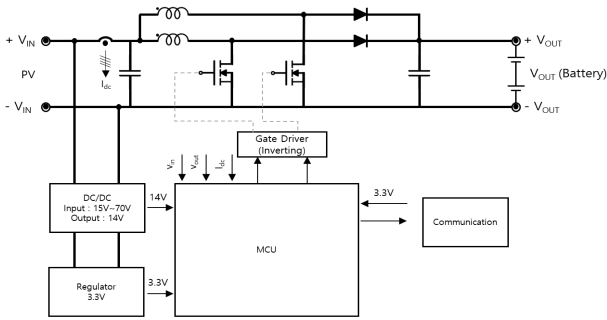


그림 3 독립전원 기반 초음파 방오 시스템의 전력 공급 컨버터 다이어그램
 Fig. 3 The power converter diagram for independent power based ultrasonic anti-fouling system

제한한 전력 공급 컨버터는 하나의 채널(인덕터, 스위치, 다이오드) 기준으로 동작 모드를 분석할 수 있다. 동작 모드는 스위칭 기간 동안 부하에 전달되는 에너지의 양에 따라 연속전도 모드(CCM, Continuous Conduction Mode) 또는 불연속전도모드(DCM, Discontinuous Conduction Mode)로 구분할 수 있으며, <그림 4>는 각 모드에서 인덕터에 흐르는 전류 파형을 나타낸다. 불연속전도모드의 경우 스위치 및 출력 다이오드의 피크 전류가 크에 따라 손실이 높은 스위치 및 다이오드를 사용해야 하며, 더 큰 피크 전류로 인하여 더 큰 EMI 문제를 야기함에 따라 회로의 소형화가 어렵다. 하지만 연속전도모드의 경우 인덕터 stress가 낮음에 따라 EMI 필터의 저감이 가능함으로써 회로의 소형화가 가능한 장점을 가진다. 또한, 스위치 stress가 낮음에 따라 스위치에서 발생하는 도통 손실 저감이 가능하고, 시스템의 효율을 향상시킬 수 있는 장점이 있기 때문에 제안한 회로는 연속도통모드 기반으로 설계했다[8].

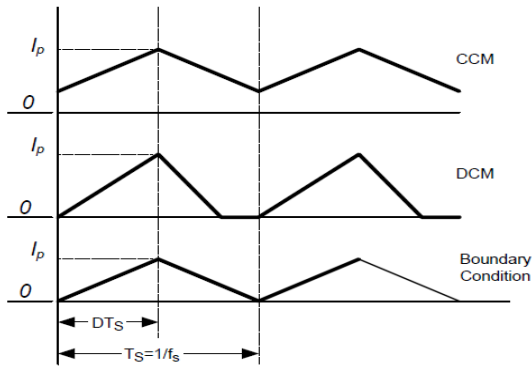


그림 4 인덕터 전류 파형
 Fig. 4 Inductor current(IL) waveform

제한한 회로의 시비율은 식 (2)~(3)과 같이 계산된다. 식에서 V_o 는 출력 전압, V_d 는 다이오드의 순방향 전압 강하, $V_{(on)}$ 은 스위치의 문턱 전압, $V_{i(max)}$ 및 $V_{i(min)}$ 은 각각 최대 입력 및 최소 입력 전압을 나타낸다.

$$D_{max} = \frac{V_o + V_d - V_{i(min)}}{V_o + V_d - V_{(on)}} \quad (2)$$

$$D_{min} = \frac{V_o + V_d - V_{i(max)}}{V_o + V_d - V_{(on)}} \quad (3)$$

식 (4)는 인덕터에 흐르는 평균 전류 관계식이며, 제안 회로는 인덕터 2개를 사용하므로 각 인덕터에 흐르는 평균 전류는 전체 전류에 절반이 된다.

$$I_{L(avg)} = \frac{0.5 \times I_o}{1 - D_{max}} \quad (4)$$

식 (5)는 2상 인터리브드 부스트 컨버터 구현을 위하여, 위상당 필요한 인덕턴스를 계산하는 관계식이다.

$$L_{(min)} = \frac{(V_{i(min)} - V_{(on)}) \times D_{max}}{f_s \times \Delta I_L} \quad (5)$$

제안 전력 공급 컨버터의 세부 사양은 식 (2)~(5)를 기반으로 설계되었으며, 세부사양은 <표 1>과 같다.

표 1 전력 공급 컨버터 사양

Table 1 The specifications for power converter

파라미터	값	단위
정격 용량	500	[W]
입력 전압	40~65	[V]
출력 전압	76.8	[V]
출력 전류	6.6	[A]
스위칭 주파수	48	[kHz]
인덕턴스(L1, L2)	150	[uH]

제안 회로는 독립전원 모듈이 갖는 비선형적인 특성에서 최대 출력을 추종하기 위해 효과적인 MPPT 제어 알고리즘을 적용해야 한다. 그 중 구현이 쉽고 빠른 응답을 가지며, 구조가 간단한 P&O 방식을 적용했다. P&O 방식은 독립전원 모듈의 출력 전압과 전류를 검출하여, 이전의 출력 전력과 현재의 출력 전력을 비교하여, 최대 전력 동작점을 찾는다. 또한, 일사량이 서서히 변하는 상황에서는 최대 전력점이 안정되어 태양전지 어레이의 손실을 최소화할 수 있게 한다. 식 (6)~(9)에 따라 현재 출력 전력 $P_{(n)}$ 과 이전의 출력 전력 $P_{(n-1)}$ 을 비교하여 제어하며, 독립전원 모듈의 전압과 전류를 피드백 받아 전력을 계산하고, 전력과 전압의 변화에 따라 시비율을 제어한다. <그림 5>는 본 논문에서 제시한 회로에 적용한 P&O 방식의 MPPT 알고리즘을 나타낸다[9].

$$P(n) - P(n-1) > 0, V(n) - V(n-1) > 0, D = D + \Delta D \quad (6)$$

$$P(n) - P(n-1) > 0, V(n) - V(n-1) < 0, D = D - \Delta D \quad (7)$$

$$P(n) - P(n-1) < 0, V(n) - V(n-1) > 0, D = D - \Delta D \quad (8)$$

$$P(n) - P(n-1) < 0, V(n) - V(n-1) < 0, D = D + \Delta D \quad (9)$$

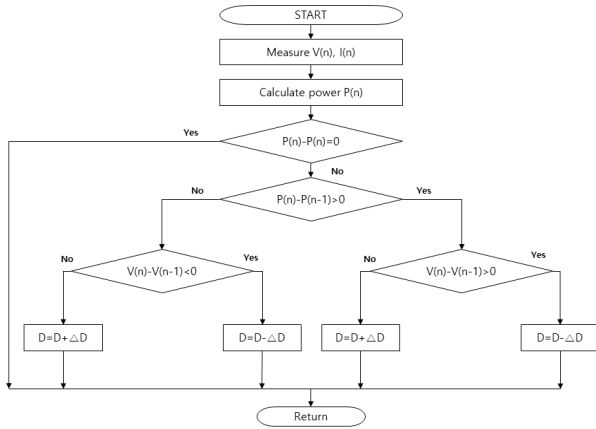


그림 5 최대전력 추종(MPPT)을 위한 P&O 알고리즘
Fig. 5 P&O algorithm for MPPT

독립전원 기반 소형 선박용 초음파 방오 시스템을 구성하는 초음파 방오 장비의 세부사양은 <표 2>와 같으며, 하나의 초음파 트랜스듀서 구동 드라이브에는 2개의 초음파 트랜스듀서가 연결되어 운영된다.

표 2 초음파 방오 장비 사양

Table 2 The specifications for ultrasonic anti-fouling equipment

파라미터		값	단위
초음파 트랜스듀서	정격 용량	30<	[W]
	공진 주파수	28	[kHz]
구동 드라이브	용량	60	[W]
	입력 전압	220	[Vac]
	입력 주파수	60	[Hz]
	출력 전류	<1.5	[A]

독립전원 기반 소형 선박용 초음파 방오 시스템을 구성하는 각 시스템별 설계사양은 앞에서 설명한 바 있으며, 시스템에 구성되는 배터리 모듈 세부사양은 <표 3>과 같다. 배터리는 LiFePO4를 선정하였으며, 총 12개의 셀을 직렬로 연결한 2개의 모듈을 직렬로 연결하여, 총 배터리 모듈 용량이 76.8V, 30Ah, 2.3kWh가 되도록 설계했다.

표 3 배터리 모듈 설계 사양

Table 3 The specifications for battery module

파라미터	값	단위
Cell Type	LiFePO4	-
Cell Nominal Voltage	3.2	[V]
Cell Over Voltage	3.65	[V]
Cell Under Voltage	2.6	[V]
Current Capacity	30	[Ah]
Number of Cells	12/series	-
Number of Modules	2/series	-

2.3 전력 공급 컨버터 시뮬레이션

제안한 500W급 전력 공급 컨버터의 시뮬레이션에 적용된 독립전원 모듈 상세 사양은 <표 4>에 나타난다.

표 4 독립전원 모듈 상세 사양

Table 4 The specifications for independent power module

파라미터	값	단위
정격 출력	260	[W]
개방 전압	38.1	[V]
단락 전류	8.98	[A]
최대출력 동작전압	30.9	[V]
최대출력 동작전류	8.42	[A]
사이즈	1670×1000×32	[mm]

시뮬레이션은 독립전원 모듈 전압(V_{pv}), 전류(I_{pv}), 전력(P_{pv})을 통해 현재 값과 이전 주기 값을 비교하여 나온 전압 지령치 (ΔV)에 따라 제어하고, 일정한 스텝 사이즈로 최대 전력점을 추종하는 P&O 알고리즘을 적용하였으며, 2개의 PV 모듈을 직렬 연결하여 수행했다. 시뮬레이션 결과 최대 일사량 조건(1000W/m²)에서 제안한 회로의 최대 출력인 약 500W의 출력을 검증했고, 이를 통해 MPPT 제어 알고리즘이 적절히 구동됨을 확인했다. 또한, 제안한 전력 공급 컨버터의 2상 인터리빙 동작을 위해 스위치 S1과 S2는 180도의 위상차를 가지도록 구현했고, 2상 인터리브드 부스트 컨버터의 두 인덕터 및 입력 단에 흐르는 전류 파형을 확인함으로써, 2상 인터리빙 제어 알고리즘이 적절히 구동됨을 확인했다. <그림 6>은 독립전원 모듈 직렬 시뮬레이션 다이어그램 및 시뮬레이션에 적용된 독립전원의 VI와 VP 커브 정보이며, <그림 7>은 제안한 전력 공급 컨버터의 성능 시뮬레이션 결과이다.

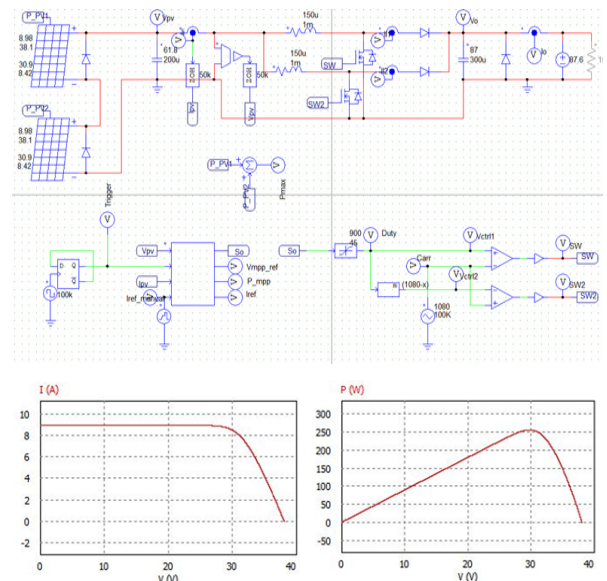


그림 6 시뮬레이션 다이어그램 및 독립전원 모듈의 VI와 VP 커브
Fig. 6 The simulation diagram and VI/VP curves of independent power module

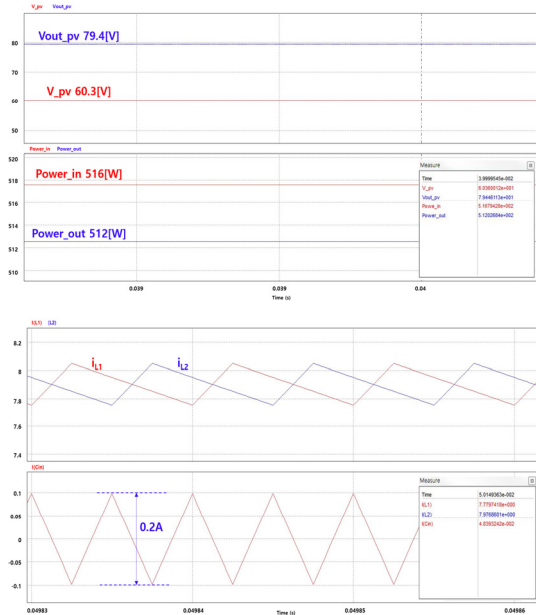


그림 7 전력 공급 컨버터 시뮬레이션 결과
Fig. 7 Power converter simulation results

2.4 전력 공급 컨버터 실험 및 결과

제한한 전력 공급 컨버터의 타당성을 검증하기 위하여, 독립 전원 기반 500W급 컨버터를 제작했다. 제작한 시작품의 사양은 시뮬레이션에서 제시한 사양과 동일하게 설계하였으며, <그림 8>과 <그림 9>는 제작한 500W급 컨버터 시작품 사진 및 성능 평가 구성 사진을 나타낸다.

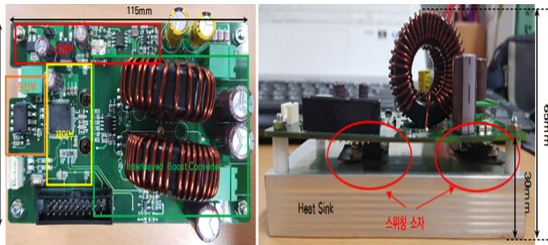


그림 8 전력 공급 컨버터 시작품 사진
Fig. 8 Prototype power converter

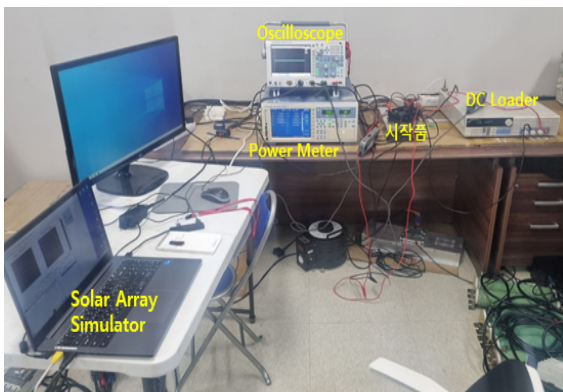


그림 9 전력 공급 컨버터 성능 평가 구성
Fig. 9 Power converter performance evaluation configuration

<그림 10>과 <표 5>는 부하 변화에 따른 시작품의 성능을 검증하기 위해 Solar Array Simulator에 독립전원 출력사양을 설정하고, 시작품의 부하를 100W 단위로 변화시켰을 때 전력 분석기로 측정한 전력 변환 효율, 입·출력 전류, 전압, 전력 등을 나타낸다.



그림 10 전력 공급 컨버터 부하 성능 실험 결과
Fig. 10 Power converter load performance test results

표 5 전력 공급 컨버터 부하 성능 실험 결과

Table 5 Power converter load performance test results

입력 전압 [V]	입력 전류 [A]	입력 전력 [W]	출력 전압 [V]	출력 전류 [A]	출력 전력 [W]	효율 [%]
62.45	1.906	104	75.45	1.362	101	96.737
62.33	3.537	212	75.59	2.729	205	96.931
62.2	5.292	323	75.87	4.125	312	96.627
62.09	8.532	421	75.04	5.428	407	96.482
62	10.389	523	75.36	6.698	504	96.260
62.14	10.389	632	75.09	8.094	607	95.849

<그림 11>은 제안한 독립전원 기반 초음파 방호 시스템에 전력 공급을 위한 컨버터의 독립전원 모듈 일사량 조건에 따른 MPPT 알고리즘 중 P&O 방식을 적용하였을 때, 성능 검증 결과이다. 다양한 일사량 조건을 적용하기 위해 PV Simulator와 TerraSAS 프로그램을 이용하였으며, 일사량 조건을 100% 및 75% 가정하여 IV 그래프에 적용하여, MPPT 제어 성능을 확인했다. 또한, 일사량을 스텝으로 급변시켜 적용하더라도 MPPT 추정 효율은 일사량 75% 조건에서 99.6% 이상을 얻음으로써, 급변하는 일사량 조건에서도 MPPT 제어가 안정적으로 동작하는 것을 확인했다[10].

3. 결론

본 논문에서는 독립전원으로 초음파 방오 장비를 운영하기 위한 시스템을 소형 선박 운항 패턴에 따른 전력량 시뮬레이션을 통해 제안했고, 제안 시스템 중 독립전원으로부터 전원 공급을 위한 500W급 전력 컨버터를 제안했다. 제안한 회로의 유용성을 검증하기 위해, PSIM을 활용하여 제안한 회로의 최대 출력인 약 500W의 출력 및 2상 인터리빙 제어 알고리즘 동작에 대한 시뮬레이션을 수행했다. 또한, 500W급 컨버터를 설계 및 제작하여, 실험을 통해 성능 검증을 수행했다. 그 결과, 일사량을 스텝으로 급변시켜 적용하더라도 MPPT 추정 효율은 일사량 75% 조건에서 99.6% 이상 및 부하 조건별 성능 테스트를 통해 정격출력 504W에서 96.26% 전력 변환 효율을 검증했다. 향후 과제로서는 초음파 방오 장비, 배터리 모듈, 전력변환 장치 등 전체 시스템을 구성하여 연동 실험을 통해 상호 동작 모드에 따른 특성을 확인하고, 소형선박의 초음파 방오 시스템이 독립전원을 통한 운영이 가능함을 검증하고자 한다.

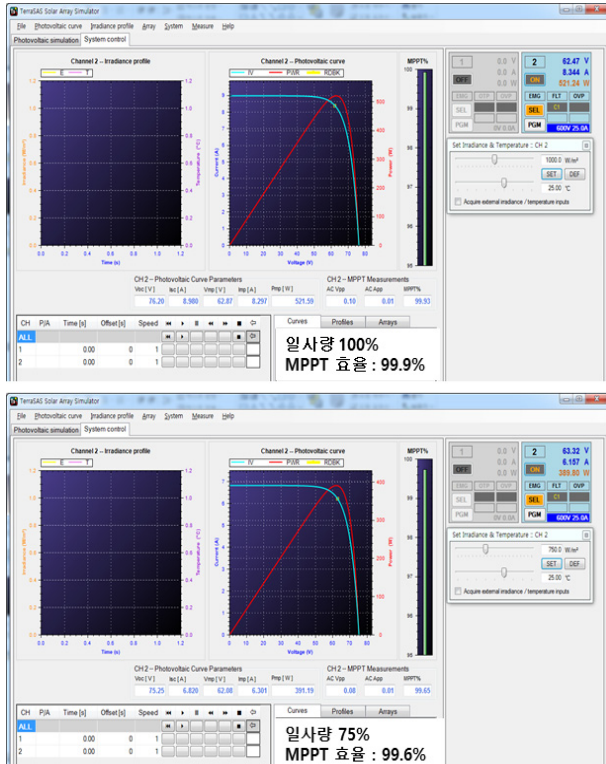


그림 11 전력 공급 컨버터 MPPT 성능 실험 결과
Fig. 11 Power converter MPPT performance test results

<그림 12>는 제안한 독립전원 기반 초음파 방오 시스템에 전력 공급을 위한 전력 공급 컨버터의 정격 출력 상태에서 측정된 성능 검증 파형이며, 독립전원 입력 전압 파형, 전력 공급 컨버터의 출력 전압 파형, 전력 공급 컨버터의 출력 전류 파형 및 전력 공급 컨버터의 구동을 위해 인버팅 게이트 드라이버를 통한 스위치의 게이트 소스 파형을 각각 나타낸다. 또한, 해당 실험을 통해 제안 회로의 500W급 정격 출력 상태에서 입출력 전압, 전류, 스위칭주파수 등 주요 설계 사양을 확인했고, <그림 10>, <표 5> 및 해당 실험을 통해 제안 회로의 로드 레귤레이션 제어가 안정적으로 동작하는 것을 확인했다.

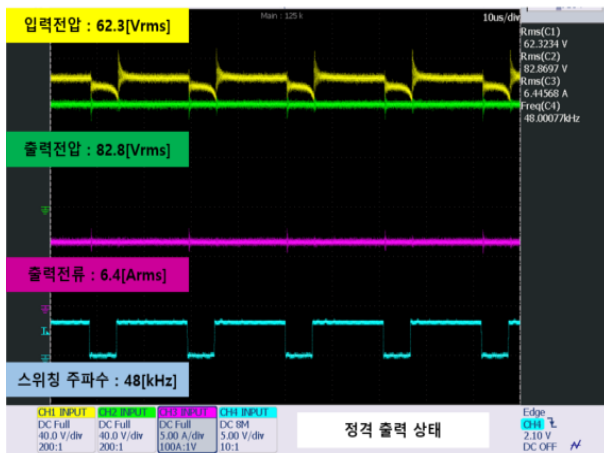


그림 12 정격 출력 상태에서 각 부분의 실험 측정 파형
Fig. 12 Experimental waveform of each part at rated output

Acknowledgements

This work was supported by the Korea Evaluation Institute of Industrial Technology (KEIT), granted financial resource from the Ministry of Trade, Industry and Energy of the Republic of Korea (No. 20018665)

References

- [1] Su Jin Park, Seok mun Choi, and Dae kyung Kim, "Study on the Policy for Preemptive Response to the Bio-fouling," KOREA MARITIME INSTITUTE on Research Report, Apr. 2020.
- [2] Jin-Woo Bae, Guan-Sik Park, Myung-Lok Ru, and Goun-Ha Park, "Antifouling Effect of an Ultrasonic System Operating at Different Frequencies," Journal of the Korean Society of Marine Environment and Safety, vol. 25, no. 5, pp. 609-616, May. 2019.
- [3] Sung young An, Keun hyung Yook, Dae kyung Kim, and Hye yeong Lee, "A Study on Improvement Measures for Air Pollutants Management System and Policy in Korean Ports," KOREA MARITIME INSTITUTE on Research Report, Jan. 2019.
- [4] Kwang Nam Lee, "A study on how to strengthen the competitiveness of small fishing boats," KOREA FISHERIES ASSOCIATION on Research Report, Dec. 2016.
- [5] P.-O. Jeannin, D. Frey, J.-C. Podvin, J.-P. Ferrieux, J. Barbaroux, J.-L. Schanen, and B. Rivet, "1 MHz power factor correction boost converter with SiC Schottky diode," Conference Record of the 2004 IEEE Industry Applications Conf., Nov. 2004.
- [6] Yong Chae Jung, "Input Ripple Current Formula Analysis

저자소개

of Multi-Stage Interleaved Boost Converter,” The Journal of The Korea Institute of Electronic Communication Sciences, vol. 6, no. 6, pp. 865-871, 2011.

- [7] Marcelo G. Villalva, and Ernesto Ruppert F, “Analysis and simulation of the P&O MPPT algorithm using a linearized PV array model,” IEEE Industrial Electronics Conf., Feb. 2010.
- [8] Sungsik Park, and Sewan Choi, “Soft-Switched CCM Boost Converters With High Voltage Gain for High-Power Applications,” IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 25, issue. 5, May. 2010.
- [9] Jae-Sub Ko, and Dong-Hwa Jung, “MPPT Control of PV System using Improved PO Method,” The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, pp. 1649-1654, Dec. 2014.
- [10] Dong-Wook Kim, Bae-Sung Kim, and Duck - Shick Shin, “Study on the Power Supply Circuit for Small Ships for the operation of anti-fouling equipment,” The Korean Institute of Electrical Engineers(KIEE) on Electrical Machinery & Energy Conversion Systems Society, pp. 243-244, May. 2023.



김동욱 (Dong-Wook Kim)

He received the B.S. degree in electrical engineering from Dongseo university, Busan, Korea, in 2012, and the M.S. degrees in electrical engineering from Hanyang University, Seoul, Korea, in 2015. Since 2016, he has been a senior research engineer at Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Busan, Korea. His current research interests include power converter, shipbuilding & Marine electrical equipment, and electric propulsion for ship.



김배성 (Bae-Sung Kim)

He received the B.S. degree in electrical engineering from Dongseo university, Busan, Korea, in 2010, and the M.S. degrees in electrical engineering from Hanyang University, Seoul, Korea, in 2012. Since 2013, he has been a senior research engineer at Research Institute of Medium & Small Shipbuilding, Busan, Korea. His current research interests include maritime autonomous surface ships, smart ship, and navigation communication equipment for ship.



신태식 (Duck-Shick Shin)

He received the B.S. degree in electrical engineering in Honam University, Gwangju, Korea, in 2004, and the M.S. degrees in electrical engineering in Chonnam National University, Gwangju, Korea, in 2006. Since 2006, he has been a senior research engineer and team leader at Smart Electrics Research Center, Korea Electronics Technology Institute, Gwangju, Korea. His current research interests include PMSM control, bidirectional converter, PV inverter system and EV charger.