

진동 수주형 브이의 Anti Fouling system

† 오진석 · 조관준*

† 한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수, *한국해양대학교 대학원

Anti-Fouling System for Oscillating Water Column in Buoy

† Jin-Seok Oh · Kwan-Jun Jo*

† Professor, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

* Division of Mechatronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 진동 수주형 파력 발전 브이는 해상에 설치되는 시스템으로 내부 지름 및 내부 유입 저항에 의하여 출력이 결정된다. 해상에 설치되는 진동 수주의 경우 내부에 패류의 증착에 의하여 내부 지름이 줄어들게 된다. 또한 패류의 증착에 의하여 유입되는 해수의 저항이 증가하게 되어 파력 발전 효율을 급감시킨다. 본 논문에서는 AFS를 이용하여 해양 구조물에 패류의 증착을 억제하는 실험을 수행하였다. Buck converter를 이용하여 전극봉에 흐르는 전류량을 제어하였다. 또한 기존 선박의 AFS와 달리 해양 구조물에 적합한 AFS 제어 알고리즘을 개발하였다. 실험 결과 AFS를 통하여 조류 증착을 방지할 수 있음을 확인하였다.

핵심용어 : 해양 시설물, 브이, 진동 수주형, 조류 증착 방지, 파력 발전 시스템, 전류 제어

Abstract : The output power of wave energy system in buoy is determined according to the inner diameter of oscillating water column and flow resistance. The increase of adhered shellfish inside the water column leads to decrease the inner diameter of wave energy converter. Influx loss of seawater reduces the efficiency of output power in the wave generation system. In this paper, the test result of AFS characteristic is described for preventing the deposition with shellfish and etc. The current of anode is controlled by buck converter, and the control algorithm developed for AFS in buoy. The experimental results is shown excellent preventing capability of AFS in buoy.

Key words : Ocean facility, Buoy, OWC(Oscillating Water column), AFS(Anti-Fouling system), Wave generation system, Current control

1. 서 론

해상의 교통안전 시설물인 브이는 야간이나 안개 등의 해상 시야의 확보가 어려운 상태에서 선박의 안전항해를 돕기 위해 운영된다. 따라서 악천후에서도 안정적인 전력 공급이 필요하다. 현재 대부분의 항로 표지물은 태양광을 이용한 독립 전력 시스템이 사용되고 있다. 하지만 태양광 발전 시스템은 계절적 요인 및 기후적 요인인 장마, 태풍 등의 영향으로 태양광 발전량이 매우 낮게 되어 전력 부족 현상을 초래한다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 태양광과 파력을 복합한 하이브리드 발전 체계에 대한 연구가 진행되고 있다. 그러나 파력발전을 위한 해양시설물에 해조류가 증착하여 파도 유입구의 직경을 감소시키면 효율이 감소하게 된다. 이러한 효율 감소로 파력 발전을 이용한 하이브리드 발전의 전체적인 효율이 떨어지게 된다.(해양수산부, 2008; 박, 2008; 김, 2005)

이러한 문제를 해결하기 위하여 AFS(Anti Fouling System)를 해양 시설물에 적용하는 연구가 진행되고 있다. AFS는 수중에 구리 이온을 용출시켜 해양시설물에 해조류의 증착을 방지

하는 방법이다. 일반 선박의 경우 해수 유입관의 조류 증착을 방지하기 위하여 구리를 용출시키는 방법을 사용하고 있다.(오,2009)

선박은 발전기를 이용한 안정적인 전원 확보가 가능하나, 해양구조물에서는 안정적인 전원을 확보하기가 어려운 실정이다. 태양광과 파력을 발전원으로 사용하므로 기상상태에 따라 발전 전력량이 적게 되면 축전지의 과 방전을 막기 위하여 부하에 공급되는 전원을 차단한다. 그러므로 선박과 브이에 사용되는 AFS의 제어 방법은 차이가 나게 된다. 본 논문은 브이에 적합한 AFS를 제안하고, 실제 해상 실험을 통하여 해조류의 증착을 방지하는 동작을 검증하였다.

2. 하이브리드 브이의 전력 시스템

2.1 하이브리드 브이

본 연구에서 하이브리드 브이는 태양광과 파력을 복합한 형태로써 파력 발전은 해상교통 시설물인 브이의 모양을 크게 변

† 교신저자 : 종신회원, ojs@hhu.ac.kr 051)410-4283

* 연회원, 119sky1004@naver.com 051)410-4866

화시키지 않으면서 브이의 움직임에 따른 공진을 이용 할 수 있도록 설계할 수 있는 진동 수주형(OWC : Oscillating water column)이다.(Perdigao, 2003; Kang, 1998)

하이브리드 전력시스템은 태양전지, 파력 발전 시스템, 복합 전력제어기, 축전지 등으로 구성되어 있다. 태양 전지판과 파력 발전기에서 발생된 전력을 축전지에 충전하고 충전된 전력을 등명기, AFS, 기타 부하에 사용한다.

태양광 발전과 파력 발전은 기상환경에서 서로 상호 보완적인 특징을 갖는다. 태양광 발전은 맑은 날에 발전량이 많고 파력 발전은 파도가 높은 날 발전량이 많다. 흐리거나 비오는 날의 경우 대부분 바람이 많이 불기 때문에 파도가 높은 특성을 갖는다.

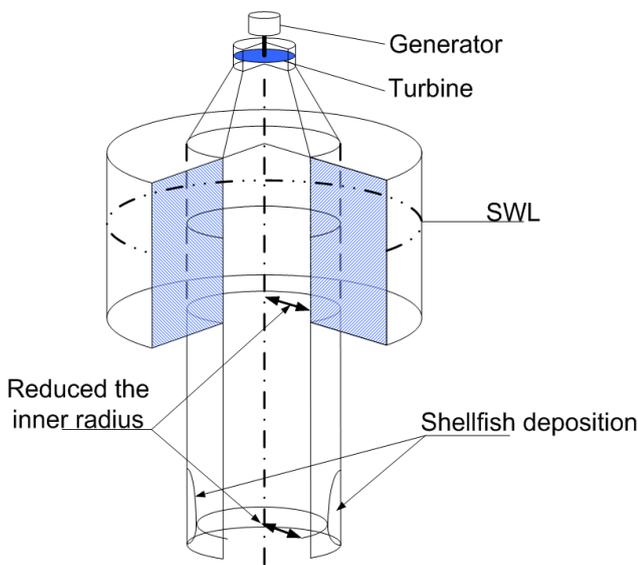


Fig. 1 Hybrid buoy(Shellfish deposition)

파력 발전은 브이 내부에 물이 유입되거나 유출되는 진동 수주의 움직임에 따라 발전하게 되는데, 이때 브이 내부의 관로 저항을 받게 된다. 더구나 파도의 유입구에 해조류가 증착하게 되면 브이 내부의 관로저항이 증가하게 되어 진동 수주의 움직임이 둔화된다. Fig. 1은 패류의 증착에 따른 하이브리드 브이의 변화를 나타낸 것이다. 진동 수주형 브이에 패류가 증착하게 되면, 초기 파력 발전량 보다 약 30% 이상의 효율이 감소한다.(Ryokuseisha, 2002; Lee, 2007; 짝, 2007)

2.2 하이브리드 브이 전력 제어

하이브리드 브이의 전력 계통도는 Fig. 2와 같다. Hybrid 전력 제어기는 태양광 전력 시스템과 파력 전력 시스템에서 생산되는 전력을 축전지에 충전하고 충전된 전력을 부하에 연결시켜 준다.

부하에 전력을 연결하는 것은 축전지의 충전 상태에 따라 부하에 전력을 연결한다. 브이에서 가장 중요한 부하는 Lamp이고, 다음으로 AFS시스템, Dummy시스템과 보조 시스템이 있다. Dummy 시스템은 발열 저항 같은 것으로 과잉 생산 전력을 소

모하면서 브이 내부의 습기를 제거하는 역할을 한다. 보조 시스템은 브이에 설치되는 추가적인 통신장비 및 환경요소(풍향, 풍속, 온도, 염분)등을 계측하기 위한 관측 장비이다.

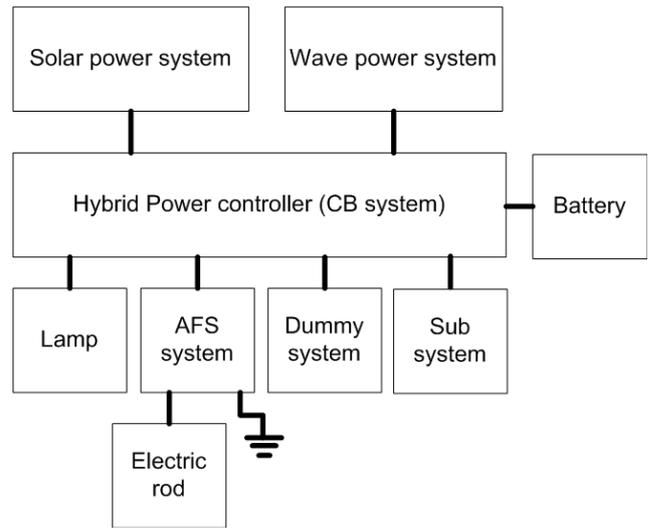


Fig. 2 Power diagram of hybrid buoy

브이의 전원은 등명기 전원이 가장 중요하므로 등명기에 가장 안정적으로 전원을 공급하고 그 외에 보조 부하에 전원을 공급하도록 되어 있다. 보조 부하 중에는 AFS가 가장 중요 부하이다. 그 외의 보조 부하로 관측시스템이 추가 될 경우 AFS는 부하 중요도가 낮아 질 수 있다. 즉 AFS 전원은 더미 회로 등에 비하여 중요도가 높지만 다른 보조 부하들에 비해서는 중요도가 낮은 것을 알 수 있다.

그러므로 AFS는 축전지 전원이 충분할 경우에만 전원을 공급하게 되는데, 이때 생산전력량과 축전지 전원이 충분한지 아닌지는 축전지 전압으로 판단한다. 축전지 전원이 충분한 경우는 대부분 파력 발전과 태양광 발전량이 높은 경우이므로 1일 중 4-5시간 정도가 될 수 있을 것이다.

Fig. 3은 축전지 전압에 따른 부하제어 알고리즘을 나타낸 것이다. 축전지 전압에 따라 부하 시스템인 AFS와 Dummy시스템에 전력을 공급하거나 차단하는 동작을 수행한다. 제어 알고리즘은 축전지의 전압에 따라 부하시스템인 AFS와 Dummy system에 전력을 공급하거나 차단하는 동작을 수행하게 되는

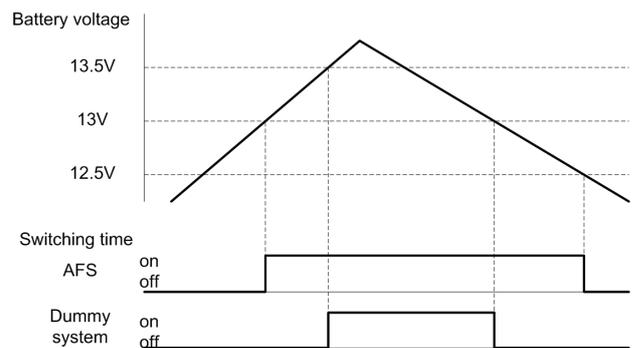


Fig. 3 Load control algorithm

데, 여기서는 AFS가 Dummy system보다 중요한 부하임으로 더 낮은 전압에서도 동작을 하는 것을 알 수 있다. 부하 연결시 축전지 전압의 변화에 따른 반복적인 스위칭을 막기 위하여 전력을 공급하는 축전지 전압과 차단하는 축전지의 전압을 다르게 하였다.

3. AFS 시스템

3.1 AFS 구성

AFS는 축전지 전원기반으로 전극봉에 전류를 제어하는 시스템이다. Fig. 4는 AFS 전력 제어부분을 나타낸 것이다. 전극봉과 부체접지 사이에 전류를 흘려보내 전극봉에서 구리가 용출되도록 구성하였다.

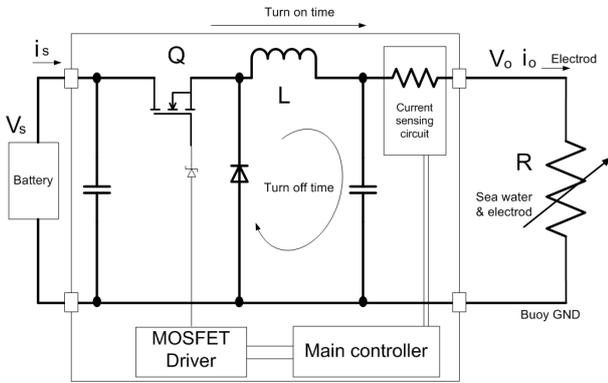


Fig. 4 Schematic diagram of AFS power controller

AFS에서의 입력전원은 직류전원으로 축전지를 이용한다. V_s 는 축전지에서 공급되는 전압으로 12.5V이상의 전압이다. 축전지이기 때문에 전원을 전압원으로 가정하여 모델링한다. 전극봉과 브이 사이의 저항은 전해액인 해수로 채워진 형태이므로 저항형태로 간략화 하였다. 이때 저항 R은 매우 낮은 저항이며 브이의 움직임에 따라 해수면과 브이의 닿는 면적이 변화하기 때문에 저항 값이 변화한다.

저항 값이 매우 낮기 때문에 축전지 전원을 바로 해수측에 연결하면 해수측에 매우 큰 전류가 흐르므로 직류 전압 변환기(DC-DC converter)를 이용하여 출력 전압을 제어하여 저항에 흐르는 전류량을 제어하였다. 본 시스템에서는 강압형 직류 변환기를 이용하여 출력 전압을 제어하였다. 강압형 직류 변환기는 PWM(Pulse Width Modulation)을 이용하여 스위칭 되는 주파수를 고정하고 스위칭 되는 펄스폭을 제어하여 출력되는 전압을 제어하였다.

Turn-on시에는 코일에 에너지를 축적하며 부하에 전류를 흐르게 하고 Turn-off시에는 코일의 에너지를 이용하여 부하에 전류를 흐르게 한다. 스위치 Q에 대하여 Turn-on 및 Turn-off 시간의 비율은 k (시비율, Duty ratio)이며, 또한 전체 스위칭 시간을 T , Turn-on시의 시간을 t_1 이라고 하면 입력 전압 V_s 와 출력 전압 V_o 의 관계는 다음과 같다.

$$V_o = \frac{t_1}{T} V_s = k V_s \quad (1)$$

이때 스위칭 주파수 f , 코일 인덕턴스 L , 출력 전류를 i_o 라 하면 출력 전류는 다음과 같다.(손, 2007)

$$i_o = \frac{V_s(1-k)k}{2fL} = \frac{kV_s}{R} \quad (2)$$

식 2에서 입력 전압(V_s)과 스위칭 주파수(f), 코일(L)의 값은 고정값이다. 저항 R이 변화하기 때문에 전류량을 유지하려면 스위치의 시비율(k)을 변화시켜야 한다. 제어시스템은 전류량을 Shut 형태의 저항을 통하여 측정하고 이를 제어기의 A/D converter를 통하여 수집한다. 현재 전류값과 설정된 전류값을 계산하고 PWM duty를 변경하여 제어를 수행한다.

3.2 해양 시설물용 AFS 제어 알고리즘

선박용 AFS는 발전기 전원을 이용하므로 전원이 항상 안정적으로 공급된다. 또한 유량이 일정하게 한 방향으로 흐르고 관내 유체가기 때문에 일정 전압을 걸어서 일정 전류를 유지하기 용이하다. 해상용 등부표에 사용되는 AFS의 경우 축전지 전력을 이용하고 축전지 전력은 태양광과 파력 에너지를 이용하기 때문에 항상 전력을 공급할 수 없다. 전력 시스템의 전력이 남는 경우에만 AFS에 전력을 공급한다. 그러므로 AFS의 전력공급은 가변적이다. 또한 전극봉의 반대편인 부체의 경우 항상 부체 표면의 유체에 닿는 면적이 변화하기 때문에 동일한 전압을 유지하더라도 전류량이 일정하지 않다. 또한 관내의 유체가 일정한 방향으로 흐르는 것이 아니기 때문에 선박용 AFS과 그 특성이 상이하다.

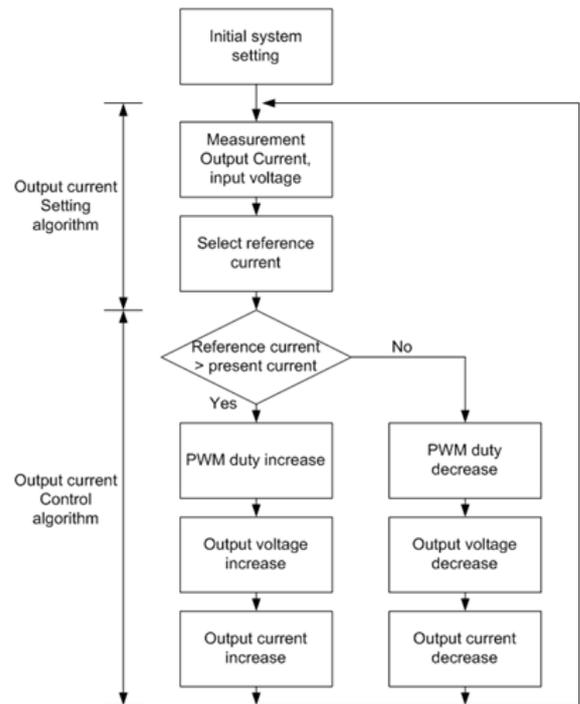


Fig. 6 Algorithm of AFS current control

제어 알고리즘은 축전지 전원에 따라 기준전압을 정하는 부분과 기준전류를 추종하는 부분으로 구성된다. 기준전류는 축전지 전압에 따라 결정된다. 하이브리드 전력제어기는 태양광 전력시스템과 파력전력시스템에서 생산된 전력을 축전지에 충전하고 축전지의 충전 상태에 따라 AFS의 출력 전류량을 제어한다. 해양 시설물용 AFS는 축전지 전압이 높으면 기준 전류량을 높이고 축전지 전압이 낮으면 기준 전류량을 낮게 한다. 기준전류량과 현재의 전류량을 계속 비교하면서 출력되는 전압을 제어한다. 출력 전압은 강압형 직류 변환기에서 제어한다. Fig 6은 AFS 전류 제어알고리즘을 나타낸 것이다.

4. 제어 시스템 실험

전류제어를 실험하기 위하여 본 논문에서는 수조 형태의 통에 전극봉을 설치하여 출력제어를 수행하였다. 실제 실험은 통에 해수를 채우고 구리이온을 용출하면서 전류제어 특성을 확인하였다. Fig. 7의 좌측은 AFS 제어회로를 나타낸 것이고, 우측은 AFS 전극봉의 구리 용출 실험사진을 나타낸 것이다.

구리용출 실험에서 흐르는 전류량에 따라 구리가 용출되는 양이 변화하는 것을 알 수 있었다. 구리 전극봉과 접지 사이에 특성은 권선저항과 유사한 특성을 갖는 것을 확인할 수 있다.

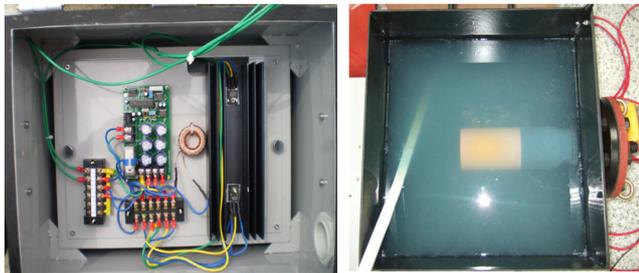


Fig. 7 Photograph of AFS and dissolution experiments

실험실에서 구리용출 실험을 시행한 후, 이를 등부표에 탑재하여 해상실험을 수행하였다. 등부표에 탑재 시와 동일한 조건을 유지하기 위하여 2개의 등부표를 같은 해역에 설치하였으며 동일하게 전극봉을 연결한 상황에서 한쪽에만 전류를 흐르게 하고 다른 한쪽은 AFS를 가동하지 않았다. Fig. 8의 좌측은 해상에 설치한 실험용 등부표이고 우측은 수조 내부의 전극봉 사진을 나타낸 것이다.

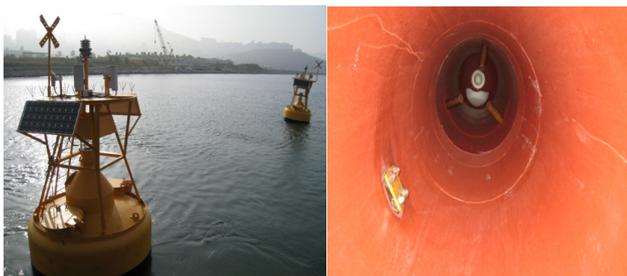


Fig. 8 Photograph of experiments buoy and electrode



Fig. 8 Photograph of Operation results of AFS (Left : inactive AFS , Right : active AFS)

Fig. 9는 1년 6개월 정도 해상에서 AFS 동작을 실험한 결과를 촬영한 것이다. AFS 동작에 따른 패류의 증착에 대한 확인한 차이를 확인할 수 있었으며, 구리 전극봉의 용출에 따른 크기 감소도 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문은 해상에서 운용되는 등부표용 파력발전시스템에서 파도의 유입구 부분에 패류가 증착하여 파력발전시스템의 효율이 급격하게 감소하게 되는 것을 막기 위한 AFS시스템을 제안하였다. 등부표의 AFS는 발전전력량에 따라 운영되기 때문에 이러한 운용환경을 적용한 제어알고리즘이 적용되었다.

선박용 AFS는 안정적인 전원에서 운영되지만 등부표의 AFS는 발전전력량에 따라 운영되기 때문에 운용환경에 차이가 있다. 본 논문에서는 해상용 등부표의 전력운용을 고려한 AFS 시스템을 개발하여 실제 해상에서 실험하였다. 실험을 통하여 AFS 시스템의 효과를 확인할 수 있었다.

추후 연구과제로는 파력 발전 시스템을 보호하고 안정화하기 위한 최적 전류량에 관한 연구가 필요할 것으로 생각된다.

후 기

This paper is based on 'a development of hybrid power generation system for ocean facility' supported by Ministry of Land, Transport and Maritime affairs of Korea.

참고문헌

- [1] 관준호, 배수영, 오진석, 정성영(2008), “브이용 파력 발전 시스템의 발전 특성” 한국마린엔지니어링 학회], 한국마린엔지니어링학회지 제 32권 제 8호,pp1123-1128

- [2] 김철승, 박성현, 정재용(2005), "목포항의 해상교통시스템 설정에 관한 연구", 해양환경안전학회, 해양환경안전학회 제 11권 제 2호
- [3] 손호인, 이재삼, 조훈희(2007), "전류불연속 모드로 동작하는 벽컨버터의 새로운 PWM제어 방식에 관한 연구", 전력전자학회, 전력전자학회논문지, 제12권, 제3호
- [4] 오진석, 정성영(2009), "해양시설물용 하이브리드 발전 시스템 설계", 항해항만학회, 항해항만학회지 제 33권 제 6호 pp381-385
- [5] 해양수산부(2008), 항로표지 기능 향상 개선 방안 및 업무 편람 개정 연구 용역에 관한 최종 보고서(텍스트북)
- [6] Kang S. Y, Kim D. J, Kim Y. J and Yoon G. S, (1998) "Analysis of Wave Load and Mooring System for Ocean Monitoring Facilities", Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, Vol.1, No.1
- [7] Lee J.D, Oh, J.S, Park. H.I and Komatsu. T(2007) "Design and analysis of wave energy converter for a buoy", Journal of Mechanical Science and Technology, Vol.21, No. 12
- [8] Perdigao, J and Sarmiento, A(2003), "Overall- efficiency optimisation in OWC devices", Applied Ocean Research, 25, 157~166
- [9] Ryokuseisha corporation(2002), "Measuring of output power of wave activated generator fitted on lighted buoy in the field", Technical report, pp 63-74(텍스트 북)

원고접수일 : 2010년 5월 12일
심사완료일 : 2010년 8월 17일
원고채택일 : 2010년 8월 19일