

## 해양교통시설물용 다채널 AFS에 관한 연구

김지윤<sup>1</sup> · 이지영<sup>2</sup> · 오진석<sup>†</sup>

(Received October 15, 2014 ; Revised December 8, 2014 ; Accepted December 16, 2014)

### A Study of Multi-channel AFS for Marine Traffic Facilities

Ji-Yoon Kim<sup>1</sup> · Ji-Young Lee<sup>2</sup> · Jin-Seok Oh<sup>†</sup>

**요약:** 최근 일정기간 해상에서 운용된 해양교통시설물은 수주와 파도 유입구에 해조류 증착이 발생되어, 파력발전 효율이 감소되는 문제점이 발생하였다. 따라서 해조류 증착을 억제하고자 단일채널 AFS(Anti-Fouling System)를 적용하였다. 그러나 단일채널 AFS에 이용된 구리 전극봉의 이온화 불균형 현상이 나타났다. 구리 전극봉의 이온화 불균형은 전극봉의 교환시기를 앞 당겨, 잦은 전극봉의 교체가 필요한 문제가 발생하였다. 본 논문에서는 다 채널 전류제어 방식을 이용한 해양교통시설물용 다채널 AFS의 알고리즘을 만들고, 하드웨어를 설계, 제작하였다. 그리고 기존의 단일채널 AFS와 다채널 AFS의 실 해역실험을 통해 제어방식에 따른 구리 전극봉 이온화 차이를 확인할 수 있는 비교 실험을 진행하였다. 실 해역실험결과 다채널 AFS에 이용된 구리 전극봉이 균일하게 이온화 되는 것을 확인할 수 있었다.

**주제어:** 다채널 Anti-Fouling System, 해양교통시설물, 다채널, 구리 전극봉, 이온화

**Abstract:** After some period of time, the marine traffic facilities find problems caused by shellfish adhered to inside and inlet of the water column. Therefore, single-channel AFS(Anti-Fouling System) has been applied in order to minimize the deposition of shellfish. However, imbalance phenomenon of ionization of copper electrodes that are used for single-channel AFS appeared. This problem resulted in frequent replacement of anode. In this paper, multi-channel current control system has been developed, as well as the related hardware has been designed and fabricated. Further, experimental study has been undertaken to compare the application of single and multi-channel AFS. Through the sea experiments, it was possible to confirm that the copper electrode used for multi-channel AFS is uniformly ionized.

**Keywords:** Multi-channel Anti-Fouling System, Marine Traffic Facilities, multi-channel, Anode, Ionized

## 1. 서론

해양교통시설물은 해상에서 운항중인 다양한 선박에 안전과 해협의 표시나 압초등 위험이 있는 장소를 알려주기 위하여 해상에 설치된 구조물이다. 해양교통시설물의 설치 목적상 육지와 상당히 먼 거리에서 운용되는 특성이 있다. 따라서 해양교통시설물은 태양광발전을 이용한 독립전원체제로 등명기와 통신장비등에 전력을 공급한다. 그러나 기상조건에 영향을 많이 받는 태양광발전의 특징과 GPS(Global Positioning System), AFS(Anti Fouling System), 해양환경감시장치, 추가적으로 늘어나는 통신장비등에 의해 소비전력량이 증가하고 있다. 따라서 많은 수요전력을 충족하기 위하여 태양광, 풍력, 파력발전을 이용한 복합발전 전력체계가 연구되고 있다[1][2].

파력발전 시스템은 해양교통시설물의 특성상 진동 수주

형 파력발전을 이용한다[3]. 진동 수주형 파력발전은 해양교통 시설물 내부 혹은 하부에 설치된 수주에 유입되는 해수 유량에 따라 발전량이 결정된다. 그러나 수주내부와 파도 유입구에 증착되는 해조류로 인하여 수주내부 직경이 감소된다. 따라서 해양교통시설물에 설치된 파력발전시스템의 발전효율이 감소한다[4].

해양교통시설물의 해조류 증착 억제를 위해 상선에서 사용되는 AFS를 적용하였다. AFS는 수주 내부에 구리 전극봉을 설치하여 구리를 이온화 함으로써 해조류 증착을 억제할 수 있다. 그러나 풍속, 유속등의 변화에 따른 수주내부 해수의 움직임 변화, 구리 전극봉이 이온화되며 구리 전극봉 주변에 증가하는 구리이온이 원인이 되어 저항성분이 증가한다. 따라서 해양교통 시설물에 설치된 구리 전극봉의 이온화 불균형이 발생하여, 구리 전극봉의 잦은 교체와

<sup>†</sup> Corresponding Author (ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3627-476X>): Division of Marine Engineering, Korea Maritime and Ocean University, 727, Taejong-ro, Yeongdo-gu, Busan 606-791, Korea, E-mail: ojs@kmou.ac.kr, Tel: 051-410-4283

1 Underwater Vehicle Research Center, Korea Maritime and Ocean University, E-mail: rlawldb2918@nate.com, Tel: 051-410-4866

2 Submarine project manager, KHNT, E-mail: hannar52@hanmail.net, Tel: 055-580-7477

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.

구리 전극봉 사용수명의 감소가 발생한다.

본 논문에서는 기존의 AFS가 지닌 구리 전극봉 이온화 불균형을 보완한 다 채널 전류제어방식을 이용한 AFS를 제작하였고, 실 해역에서 1년간 실험하였다. 실험결과 다 채널 전류제어방식을 이용한 AFS의 효율성을 확인할 수 있었다.

## 2. 해양시설물용 AFS

### 2.1 단일채널 AFS

#### 2.1.1 단일채널 AFS의 구성

Figure 1은 해양교통시설물에 이용되는 단일채널 AFS의 구성도를 나타낸 것이다. 구리 전극봉과 해양교통시설물의 선체접지 사이에 전류를 흘려서 구리 전극봉에서 구리가 용해되도록 구성되어 있다.

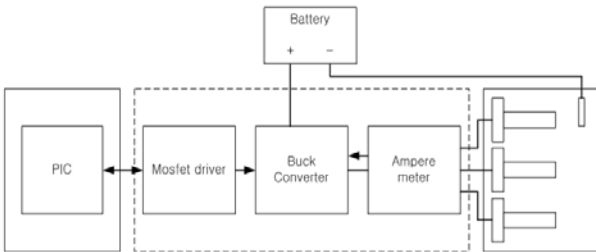


Figure 1: Schematic diagram for Single channel AFS

단일채널 AFS에 인가되는 전원은 해양교통시설물에 설치된 12V 전압을 출력하는 축전지이다. 해양교통시설물의 해수 유입구는 해수가 해양교통시설물에 닿는 면적의 변화하기 때문에 저항값이 변화한다. 또한 저항값이 매우 낮기 때문에 Buck converter를 이용하여 구리 전극봉에 흐르는 전류량을 제어한다. 해양교통시설물에 적용되는 구리 전극봉의 화학식은 식 (1), (2)와 같다.



2ppb는 표준 밀도, 해수가 닿는 단면적은  $A(m^2)$ , 수주 내부 해수의 유속  $V(m/h)$ , 시간  $t$ ,  $Y$ 는 구리 전극봉의 사용가능한 수명일 경우, 구리 전극봉의 이온화는 Equation (3)과 같다[5].

$$CA_{AW} = 2ppb \times A \times V \times t (m^3/h) \times Y \times 10^{-6} \quad (3)$$

$CU_{avg}$ 는 구리의 평균 농도,  $A_{min}$ 은 수주 내부의 최소면적,  $Q$ 는 유량이다. Equation (4)는 시간에 따른 구리이온의 농도이며, 변화는 패러데이 법칙을 이용하여 유도하였다.

$$Cu(t) = CU_{avg} [1 - e^{-(Q/A_{min})t}] \quad (4)$$

여기서 해양교통시설물에 적용된 각 구리전극이 용해되는 평균 구리이온량은 Equation (5)와 같다.  $\Delta I$ 는 해양교통시설물의 수주내부 구리이온량 변화에 따른 구리 전극봉에 인가되는 전류량,  $t_{ret}$ 는 구리이온의 평균 체류시간,  $M_w$ 는 구리의 분자량(65.5g/mole),  $n$ 은 구리의 원자가,  $F$ 는 패러데이 상수,  $A_r$ 은 수주내부 부피를 나타낸다.

$$CU_{avg} = \frac{\Delta I \times t_{ret} \times M_w}{n \times F \times A_r} \quad (5)$$

그러나 위의 식에서 알 수 있듯이 해양교통시설물의 수주내부 구리이온량 변화에 따라 각 전극봉에 인가되는 전류량은 지속적으로 변화한다. 그러므로 각 전극봉의 이온화 속도 차이가 발생함을 알 수 있다.

#### 2.1.2 단일채널 AFS의 제어 알고리즘

Figure 2는 단일채널 AFS의 전류 제어 알고리즘을 나타낸 것이다.

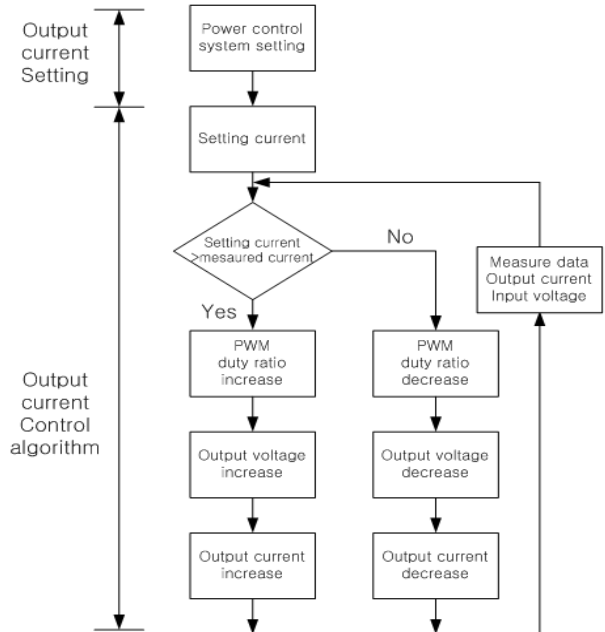


Figure 2: An Algorithm of single channel AFS

전류 제어 알고리즘은 출력전류 설정부와 출력전류 제어부로 구성된다. 출력전류 설정부는 등부표에 사용되는 모든 전극봉에 흐르는 전류를 일괄적으로 제어하는 역할을 한다. 출력전류 제어부는 설정된 출력전류에 맞추어 Buck-Converter를 PWM방식으로 제어하여 구리 전극봉에 흐르는 전류값을 고정하는 역할을 한다.

## 2.2 다채널 AFS

### 2.2.1 다채널 AFS의 구성

Figure 3은 다채널 AFS의 구성도를 나타내었다. 기존 단일채널 AFS의 문제점을 해결하기 위하여, 등부표에 사용되는 모든 구리 전극봉의 개별 전류제어가 가능하도록 하고자 하였다. ㉠은 다채널 AFS의 Main board이다. 등부표에 사용되는 구리 전극봉들에 흐르는 전류를 개별 제어하는 동작을 한다. ㉡는 I/O board이다. Main board의 제어 신호를 받아 구리 전극봉에 전류를 흘리는 동작과 구리 전극봉에 흐르는 전류 값을 Main board로 보내는 동작을 한다. ㉢는 등부표 외부에 설치된 구리 전극봉을 나타내었다. 그리고 등부표 수주지경 변화에 따른 추가적인 전극봉의 설치를 고려하여 구리 전극봉 하나를 더 제어할 수 있도록 구성하였다.

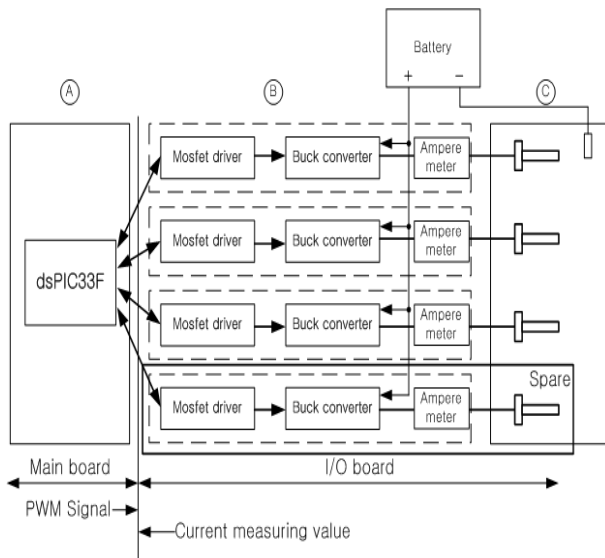


Figure 3: A Schematic diagram for Multi channel AFS

### 2.2.2 다채널 AFS의 제어 알고리즘

Figure 4는 다채널 AFS의 제어 알고리즘을 나타내었다. 기존의 단일채널 AFS의 제어 알고리즘을 개선하였다. 다채널 AFS 알고리즘은 출력전류 설정부와 출력전류 제어부로 구분된다.

출력전류 설정부는 사용자가 해양교통시설물에 사용되는 축전지 전압에 따라 다채널 AFS가 구리 전극봉으로 흘리는 전류 값을 설정하는 역할을 한다. 출력전류 제어부는 구리 전극봉으로 흐르는 전류를 지속적으로 확인하며 PWM의 값을 제어한다. 이러한 제어 알고리즘을 사용하여 해양교통시설물에 사용되는 모든 구리 전극봉에 흐르는 전류를 동시에 제어한다.

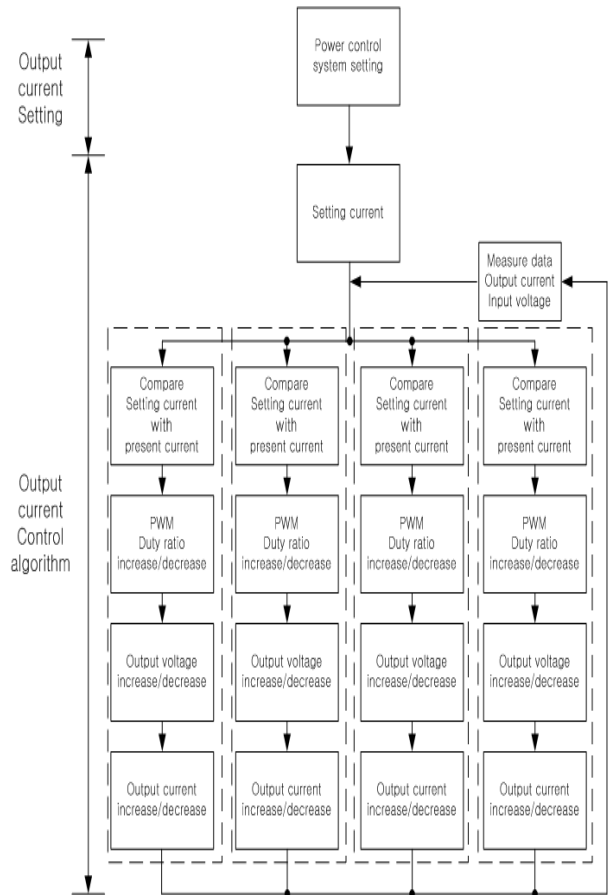


Figure 4: An Algorithm of Multi channel AFS

## 3. 전력제어실험

### 3.1 다채널 AFS 하드웨어 구성

#### 3.1.1 Main board

Figure 5은 Main board를 나타내었다. Main board는 Display part, SW input part, Communication part, Power control part로 구성되어 있다. 해양교통시설물에서 사용하는 축전지 전압에 따라 전극봉에 인가되는 전류를 제어하기 위한 PWM의 Duty-cycle을 조절한다. 좌측은 Main board의 도면을 나타내었고 우측은 Main board의 실 제작된 하드웨어 사진이다. Main board의 ㉠은 Display part이다. Display part는 7-Segment 혹은 LED등을 제어하여 Main board의 동작상태를 확인할 수 있다. ㉡는 SW input part이다. 다채널 AFS가 동작중일 때 사용자가 인위적으로 제어신호를 입력할 수 있다. ㉢는 Communication part이다. Rs-232c 통신방식과 CAN 통신방식 등을 사용하여 다채널 AFS의 상태를 사용자에게 알려준다. ㉣는 Power control part이다.

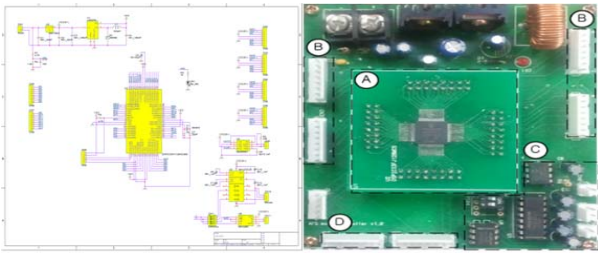


Figure 5: A Schematic and A Photograph of the AFS Main board

3.1.2 I/O board

Figure 6은 I/O board를 나타내었다. I/O board는 Buck-Converter부와 전류측정부로 구성되어 있다[6]. 좌측은 I/O board의 도면을 나타내었고 우측은 I/O board의 실제 제작된 하드웨어이다. ㉠는 Buck-Converter부이다. Buck-Converter부는 Main board의 제어신호를 받아 전극봉에 흐르는 전류값을 조절한다. ㉡는 전류측정부이다. Shunt 형태의 저항을 적용하여 구리 전극봉에 흐르는 전류 측정 동작을 수행한다.

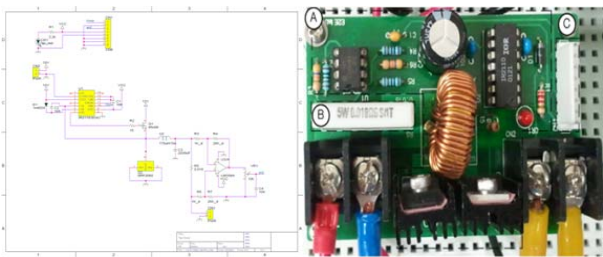


Figure 6: A Schematic and A Photograph of the AFS I/O board

3.2 제어 시스템 실험

다채널 AFS의 정확한 동작을 확인하기 위하여 실험실에서 실험을 진행하였다. 다음 Figure 7은 실험실 내부에서 다채널 AFS의 전류제어 실험사진이다. 파워서플라이어를 축전지라 가정하고, 파워서플라이어의 전압의 변화에 따라 출력되는 전류의 변화를 확인하였다. 실험실 내부 실험결과 파워서플라이어 전압의 변화에 따라 다채널 AFS에서 출력되는 전류의 값이 변화함을 확인할 수 있다.



Figure 7: Photograph of experiments multi-channel afs hardware

4. 해상실험

4.1 해상실험구성

Table 1은 해양교통 시설물에 이용된 해양시설물의 번호와 다채널 AFS의 해상실험 조건을 나타낸 것이다. 다채널 AFS의 해상실험 조건은 구리 전극봉에 가장 적은 전류를 흘림과 동시에 해양교통시설물 수주 내부와 과도유입구에 패조류 증식을 효율적으로 방지할 수 있는 전류 레벨을 알기위해 다음 Figure 8과 같이 축전지 전압레벨에 따른 구리 전극봉 인가전류를 설정해 보았다.

Table 1: A multi channel AFS test method for marinefacilities

Marinefacilities number	AFS experiment
A	A
B	B
C	C

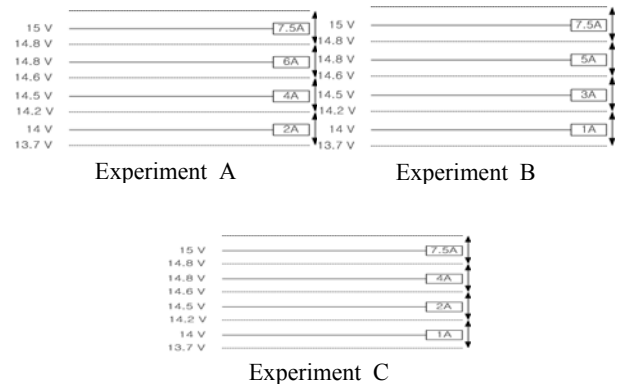


Figure 8: Different hysteresis zone for experiments

4.2 해상실험 결과

1년간의 해상실험을 통하여 다채널 AFS의 실험결과를 얻었다. Figure 9는 다채널 AFS와 단일채널 AFS의 실험 후 사진이다. Figure 9 (a)는 단일채널 AFS의 실험 후의 사진이고 Figure 9 (b)는 다채널 AFS의 실험 후 사진이다. 두 시스템 모두 효율적으로 패조류 증착을 억제하는 것을 알 수 있다.

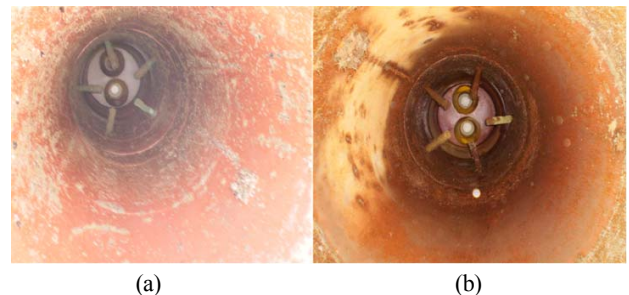


Figure 9: Photographs of operation result of AFS : (a) Single channel AFS, (b) Multi channel AFS

해양교통시설물의 유입구와 수주내부를 확인한 결과 패조류가 생성되지 않음을 확인했다. 따라서 다채널 AFS는 패조류 증식 방지 동작을 정상적으로 수행함을 알 수 있었다.

다음 Figure 10은 1년간 해양교통시설물에 사용된 구리 전극봉의 비교 사진이다. Figure 10 (a)는 단일채널 AFS에 이용된 구리 전극봉의 사진이고 Figure 10 (b)는 다채널 AFS에 이용된 구리 전극봉의 사진이다. 단일채널 AFS의 문제점인 구리 전극봉의 이온화 차이를 해결함을 확인할 수 있다. 그리고 Table 2는 다채널 AFS 해상실험에 이용된 전극봉의 무게이다. 전극봉들의 무게가 비슷함을 알 수 있다.

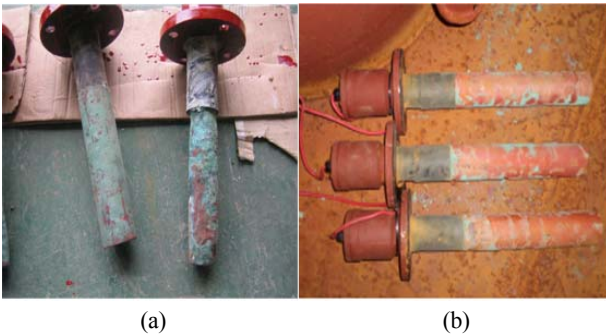


Figure 10: Photograph of Anode : (a) Single channel AFS's Anode, (b) multi channel AFS's Anode

Table 2: Change of anode's weight

	No.1 Anode	No.2 Anode	No.3 Anode
Before experiment	18kg	18kg	18kg
After experiment	15kg	14.9kg	15kg

이러한 결과를 바탕으로 다채널 AFS에 이용되었던 구리 전극봉들은 단일채널 AFS와는 달리 구리 전극봉이 녹는 성향이 비슷하여 해양교통시설물에 설치된 모든 전극봉에 거의 동일한 전류가 인가되었음을 확인하였다. Table 3과 Figure 11은 다채널 AFS의 인가전류 변경실험 결과이다. 실험 결과 실험방식 C번이 해양교통시설물에 설치된 구리 전극봉을 가장 오래 사용하며, 패조류 증식을 효과적으로 방지함을 확인하였다.

Table 3: Result of multichannel AFS current test for buoy (unit : Kg)

Marine facilities number	AFS experiment	No.1 Anode	No.2 Anode	No.3 Anode
A	A	14	14.1	14.1
B	B	15	14.9	15
C	C	15.5	15.4	15.6

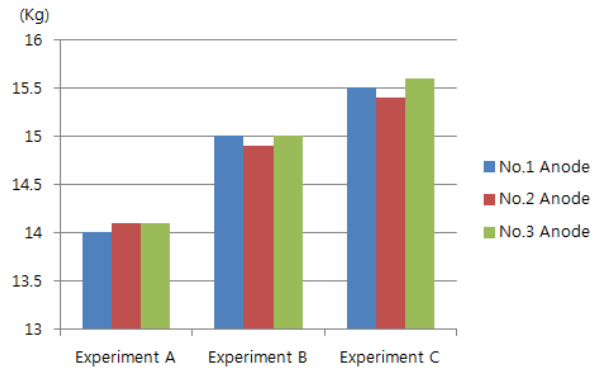


Figure 11: Result of multichannel AFS current test for buoy

## 5. 결론

본 논문에서는 다채널 AFS를 제안하고 해상실험을 진행하였다. 현재 해양교통시설물에서 이용되는 단일채널 AFS는 시간이 지남에 따라 구리 전극봉의 이온화 차이가 발생하여 잦은 구리 전극봉의 교체가 필요한 문제점을 지닌다. 그러므로 다채널 AFS의 알고리즘을 제안하고 실험실에서 전류제어를 실험한 직후 해상실험을 진행하였다. 해상 실험결과 다채널 AFS는 기존의 단일채널 AFS와 동일하게 패조류 증식을 방지함과 동시에 단일채널 AFS의 단점 이었던 구리 전극봉 이온화 불균형 문제를 해결하였다. 그리고 단일채널 AFS보다 해양교통시설물의 유지 관리면에서 유리함을 확인하였다.

## Acknowledgements

본 연구는 중소기업청 지원으로 수행한 산학연협력 기술개발사업의 연구결과입니다.

## References

- [1] Perdiago, J, Sarmento. A, "Overall-efficiency optimisation in OWC devices," Applied Ocean Research, vol. 25, no. 3, pp. 157-166, 2003.
- [2] J. Y. Jong, C. S. Kim, and S. H. Park, "A study on proposal of the improved marine traffic system in the Mokpo Harbor," Journal of the Korean Society of Marine Environment & Safety, vol. 11, no. 2, pp. 1-8, 2005 (in Korean).
- [3] Ministry of Oceans and Fisheries, Final Report on the Improvement Passage Improvements and Services Manual Revised Research Service in Korean, 2008.
- [4] Ryokuseisha Corporation, Measuring of Output Power of wave Activated Generator Fit-ted on Lighted Buoy in the Field, Technical Report, pp 63-74, 2002.
- [5] S. Y. Lee, H. Y. Kim, and J. B. Ju, "A study on the

characteristics of copper ion generator for the removal of algae,” Journal of the Korean Electrochemical Society, vol. 15, no. 1, pp. 41-47, 2012 (in Korean).

- [6] H. I. Son, H. H. Cho, and J. S. Lee, “A study on the leading edge modulation buck converter operating in discontinuous conduction mode,” Journal of Power Electronics, vol. 12, no. 3, pp. 241-247, 2007 (in Korean).