

해양교통시설물용 다채널 AFS 설계

오진석[†] · 곽준호¹

(원고접수일 : 2011년 5월 3일, 원고수정일 : 2011년 6월 21일, 심사완료일 : 2011년 7월 4일)

Design of Multi-channel Anti-Fouling System for Marine Traffic Facilities.

Jin-Seok Oh[†] · Jun-Ho Kuak¹

요약 : 최근 해양교통시설물의 전력원으로 태양광발전과 파력발전을 이용한 하이브리드 발전 형태에 대한 연구가 진행 중이다. 그러나 해상에서 장기간 해양교통시설물을 운용할 경우 해양교통시설물 수주의 유입구에 해조류 증착 문제가 발생하였다. 이러한 문제의 해결을 위해 AFS (Anti-Fouling System)의 연구가 진행되고 있다. 단일채널 방식의 AFS를 이용하였으나 구리 전극봉의 이온화가 각기 다르게 되어 구리 전극봉의 교환주기를 앞당기는 문제가 발생하였다. 본 논문에서는 다채널 전류제어 방식을 이용한 해양교통시설물용 AFS를 제안하고 시뮬레이션을 하였다. 시뮬레이션의 신뢰성을 높이기 위하여 실제 해양교통시설물의 전극봉 용해결과를 시뮬레이션 프로그램에 반영하였다. 시뮬레이션 결과 제안된 다채널 전류제어 방식의 AFS의 전극봉이 균일하게 이온화 되는것을 확인할 수 있었다.

주제어 : AFS, 다채널, 단일 채널, 이온화

Abstract: Recently, there are active research activities regarding to power systems of marine traffic facilities using a hybrid generation system which includes a photovoltaic generation system and a wave power generation system. However, when the marine traffic system is operated on a maritime environment for a substantial period of time, it was reported that the shellfish was adhered inside the water column. To tackle this problem, researches on the AFS (Anti-Fouling System) are on the progress. However, use of the single channel AFS resulted in frequent replacement of anode. Thus, the paper proposes a multi-channel method on AFS and experiments have been taken place correspondently. To improve the reliability of the experiment, the melting anode result was applied to our simulation program. The outcome of the simulation illustrates that the proposed multi-channel AFS's anode in the buoy have been ionized equally.

Key words: AFS, Multi channel, Single channel, Ionization

1. 서 론

해상에서 운항중인 선박에 압초나 수심이 얇은 곳 등의 위치나 항로를 표시하기 위해 해상에 설치한 구조물을 해양교통시설물이라 한다. 해양교통시설물의 경우, 태양광발전을 이용한 독립전원 체계로 등명기에 전력을 공급한다. 최근의 해양교통시설물에는 GPS, AFS, 해양환경감시 장치 등의 설치로 소비전력량이 증가하여[1], 많은 수요 전력을 감당하기 위한 복합발전체계가 연구되고 있다. 복

합발전 체계로 태양광, 파력, 풍력발전을 이용한 해양교통시설물용 복합발전체계에 관한 연구가 진행되고 있다.

해양교통시설물의 구조상 진동 수주형 파력발전을 사용한다. 진동 수주형 파력발전은 해양교통시설물의 수주에 유입되는 해수 유량에 따라 발전량이 결정된다. 그러나 해양교통시설물 내부 수주와 파도 유입구에 해조류가 증착하여 파도 유입구의 직경이 감소된다. 그 결과 진동 수주형 파력발전

[†] 교신저자(한국해양대학교 메카트로닉스공학부, E-mail:ojs@hhu.ac.kr, Tel:051-410-4283)

¹ 한국해양대학교 메카트로닉스공학부

시스템의 발전효율이 감소한다[2-3].

해양교통시설물에 해조류 증착을 방지하기 위해 선박에서 사용중인 AFS를 적용하였다. AFS는 구리를 해수에 용해시켜 해조류의 번식을 억제할 수 있다. 그러나 풍속, 유속등의 변화에 따른 해양교통시설물 수주 내부 해수의 움직임, 전극봉이 용해되며 전극봉 주변에서 발생하는 구리이온의 증가에 따라 저항성분이 증가한다. 그 결과 해양교통시설물에 설치된 전극봉마다 구리 용해량의 차이가 발생하여, 해양교통시설물에 설치된 전극봉의 교체시기가 단축된다.

본 논문에서는 기존의 단일 채널 전류제어 방식을 이용한 AFS의 단점인 전극봉 이온화의 차등을 보완한 다채널 AFS를 제안한다. 실제 전극봉의 용해변수등을 고려하여 모델링 후, 시뮬레이션을 통해 효과를 검증하였다. 이를 통해 해양교통시설물용 방오 장치 설계시 전극봉 설치 용량과 교체주기를 산정할 수 있는, 기초자료로 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

2. AFS의 수학적 모델링

2.1 AFS의 구조

2.1.1 관로에 사용되는 AFS

AFS는 해수계통에 해조류 부착 및 증식을 방지하여, 관로저항을 줄이기 위해 설치 한다. Figure 1 은 관로에 사용되는 AFS를 나타낸다.

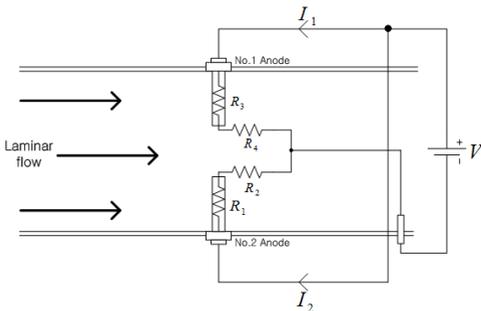


Figure 1: AFS for a pipe conduit

여기서 V 는 전체 전극봉의 전압, I_1, I_2 는 전극봉의 전류, R_1, R_3 는 전극봉의 내부저항 R_2, R_4 는 전극봉

이 이온화될 때 발생하는 구리이온으로 인한 저항이다. 관로 내부 유체의 흐름이 층류라 가정할 경우, 해양교통시설물에 설치된 전극봉에 흐르는 유체의 특성이 같다. 전극봉의 저항은 식 (1)과 같고, 전류는 식 (2)와 같다.

$$R_1 + R_2 \cong R_3 + R_4 \tag{1}$$

$$I_1 \cong I_2 \tag{2}$$

각 전극봉에 흐르는 전류가 동일하기 때문에 No.1 전극봉과 No.2 전극봉의 구리가 용해되는 속도는 같다.

2.1.2 해양교통시설물에 사용되는 AFS

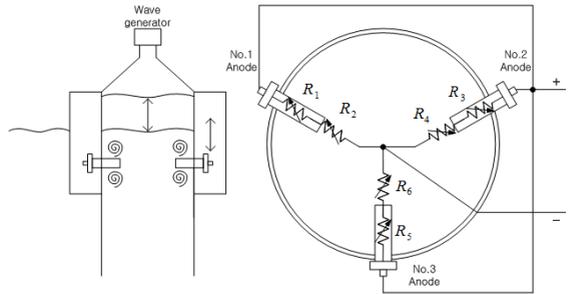


Figure 2: AFS for a buoy

Figure 2는 해양교통시설물용 AFS를 나타낸다. R_1, R_3, R_5 는 전극봉의 내부 저항, R_2, R_4, R_6 는 전극봉의 용해로 생긴 구리이온으로 인한 저항이다. 전극봉의 내부저항 R_1, R_3, R_5 는 구리 전극봉의 이온화에 따라 지속적으로 줄어든다. 해양교통시설물의 진동수주에 들어온 해수높이의 차이, 해양 환경에 의한 해양교통시설물의 움직임에 따라 구리 전극봉에 와류가 발생한다. 따라서 R_2, R_4, R_6 의 저항값은 가변한다. 이러한 특성 때문에 각 전극봉에 흐르는 전류의 값은 다르다.

하나의 전극봉만 저항이 낮아지는 상태가 몇주 이상 지속될 경우, 하나의 전극봉만 구리이온의 용해 속도가 가속화된다. 결과적으로 다른 전극봉은 용해가 되지 않아, 전체 전극봉의 교환시기를 앞당기게 된다.

2.2 해양교통시설물의 AFS 제어

2.2.1 단일 채널 전류제어 방식

현재 해상에서 실험중인 해양교통시설물의 AFS 는 독립전원 시스템 기반으로 제어부에서 해양교통시설물에 설치된 모든 전극봉에 일정한 전류가 흐를수 있도록 제어한다. 전극봉은 병렬로 설치되며, 전류가 흐르게 되면 전극봉과 해양교통시설물 간의 저항은 매우 낮은 경향이 있어, 해수에 큰 전류가 흐른다. 그러므로 출력 전압을 감압시켜 저항에 흐르는 전류를 제한하기 위해 Buck Converter를 사용하는 방식을 취한다[4]. **Figure 3**은 단일 채널 전류제어방식을 이용하는 AFS를 나타내었다.

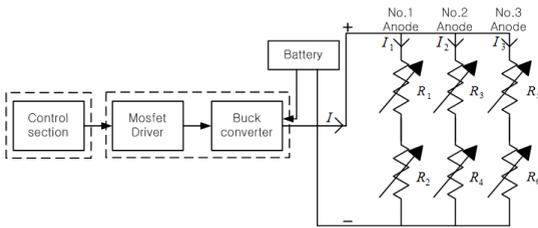


Figure 3: Single channel current control system for AFS

여기서 x, y, z 는 하루에 용해되는 전극봉의 구리량, A, B, C 는 누적된 구리의 용해량, j 는 각 전극봉에 흐르는 기본 전류량, $m[K_g/8hr \cdot 1A]$ 은 구리 용해 변수, T 는 전체 전극봉의 누적 용해량을 나타낸다. Δk 는 외부요인에 의해 변화하는 전류값 이고, k_1, k_2, k_3 는 외부요인에 의해 변화하는 No.1, No.2, No.3 전극봉의 전류 변수이다.

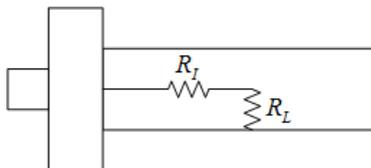


Figure 4: Resistance of Anode

Figure 4는 구리 전극봉 내부의 저항을 나타낸 것이다. R_I 는 전극봉 내부의 저항이다. R_L 는 구리 전극봉의 용해가 진행되며, 전극봉의 외경이 축소됨에 따라 지속적으로 감소되는 저항이다.

다음 식 (3)은 No.1 Anode, 식 (4)는 No.2 Anode, 식 (5)는 No.3 Anode의 이온화 진행 정도를 나타낸 것이다.

$$x = \left(\frac{A}{T} \times (j + k_1) \right) \times m \tag{3}$$

$$y = \left(\frac{B}{T} \times (j + k_2) \right) \times m \tag{4}$$

$$z = \left(\frac{C}{T} \times (j + k_3) \right) \times m \tag{5}$$

와류나 유체의 흐름에 의한 구리 전극봉에 흐르는 전류의 양을 예측할 수 없으므로 임의값인 Δk 를 구리 용해변수로 지정하였다. Δk 에 대한 k_1, k_2, k_3 값은 전극봉의 구리용해량에 비례하는 것을 가정하였다.

단일채널 전류제어의 전류출력이 일정하게 유지하는것을 가정하면 식 (6)이 성립된다.

$$k_1 + j + k_2 + j + k_3 + j = 3j \tag{6}$$

$$k_1 + k_2 + k_3 = 0$$

그리고 Δk 를 구하는 식은 식 (7)와 같다.

$$R = random(0 \leq R \leq 1) \tag{7}$$

$$\begin{cases} 0 \leq R \leq \frac{A}{T} : k_1 = \Delta k, k_2 = -\frac{1}{2} \Delta k, k_3 = -\frac{1}{2} \Delta k \\ \frac{A}{T} \leq R \leq \frac{A+B}{T} : k_1 = -\frac{1}{2} \Delta k, k_2 = \Delta k, k_3 = -\frac{1}{2} \Delta k \\ A+B \leq R \leq 1 : k_1 = -\frac{1}{2} \Delta k, k_2 = -\frac{1}{2} \Delta k, k_3 = \Delta k \end{cases}$$

2.2.2 다채널 전류제어 방식

다채널 전류제어방식은 단일 채널 전류제어 방식의 문제점을 해결하기 위하여 각 전극봉에 흐르는 전류를 제어부에서 제어를 하는 방법을 사용한다. 전극봉의 개별제어가 가능하면서 구리 용해량의 차이의 원인인, Δk 의 값이 변화하더라도 전극봉에 일정한 전류가 유지될 수 있다. **Figure 5**는 다채널 전류제어방식을 나타낸다.

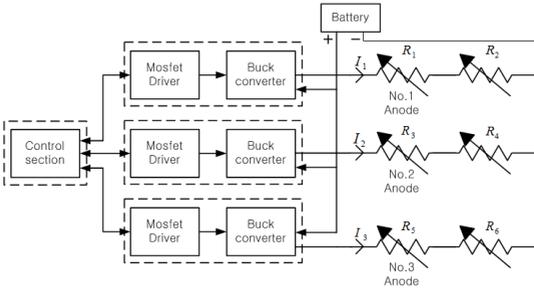


Figure 5: Multi-channel current control system for AFS

식 (2)의 각 전극봉에 흐르는 전류량을 직접 제어함으로써 구리용해변수에 영향을 받지 않는다. 다채널 전류제어는 각 전극봉에 흐르게 설정된 전류값과 실제 전극봉에 흐르고 있는 전류량을 비교하여, 전극봉에 흐르는 전류값을 제어하는 방식을 취한다. 전극봉에 설정 전류치보다 높은 전류가 흐르는 경우 전류를 감소시키고 전극봉에 낮은 전류가 흐르는 경우 전류를 증가하는 방법을 사용하였다.

각 전극봉에 흐르는 전류량인 j 가 변경된다. 다음 식 (8)은 No.1 Anode, 식 (9)는 No.2 Anode, 식 (10)는 No.3 Anode에 흐르는 전류량을 나타낸다.

$$x = \left(\frac{A}{T} \times j \right) \times m \tag{8}$$

$$y = \left(\frac{B}{T} \times j \right) \times m \tag{9}$$

$$z = \left(\frac{C}{T} \times j \right) \times m \tag{10}$$

3. 시뮬레이션

3.1 단일 채널 전류제어방식 시뮬레이션

해양교통시설물에 사용되고 있는 단일 채널 전류제어방식의 시뮬레이션을 진행하기 위하여 구리용해 변수인 m 을 구하기 위한 식은 (11)과 같다.

$$m = 18(Kg) \div 365(Day) \div 24(Hour) \tag{11}$$

구리 전극봉에 1A의 전류를 인가하였을 경우 1년에 평균적으로 용해되는 구리의 양은 연간 18kg이다.

Table 1은 실제 해상에서 6개월간 AFS 실험에 사용된, 해양교통시설물내부 구리 전극봉의 용해량이다. AFS는 하루 8시간 가동하였다.

Table 1: The result of AFS experiment

	No.1 Anode	No.2 Anode	No.3 Anode
No.1 Marine facility	14.4 (kg)	13.6 (kg)	15.9 (kg)
No.2 Marine facility	13.2 (kg)	14.2 (kg)	15.1 (kg)

초기 구리 전극봉의 무게는 18kg으로 약 6개월 실험을 진행하면 전극봉마다 약 1kg씩 구리용해의 차이를 보인다.

Figure 6은 단일 채널 전류제어방식의 시뮬레이션을 나타 내었다. 외부요인에 의해 변화하는 구리용해 변수인 Δk 의 값을 조금씩 변경시켜 실제 구리 전극봉의 이온화와 가장 근사한 값을 찾았다. 시뮬레이션에 사용된 프로그램은 NI사의 LabVIEW를 이용 하였다.

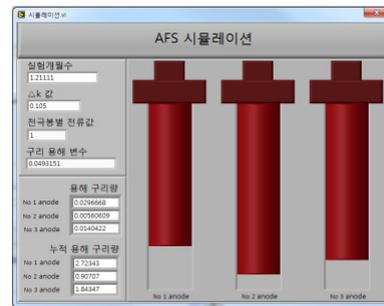


Figure 6: Simulation of single channel current control system

3.2 다채널 전류제어방식 시뮬레이션

다채널 전류제어방식은 단일 채널 전류제어방식과 달리 전극봉에 일정한 전류를 지속적으로 인가

시킨다. 그러므로 Δk 의 값을 0으로 하였다. Δk 이 외의 값은 단일 채널 전류제어방식의 시뮬레이션에서 사용되었던, 같은 값들로 시뮬레이션을 진행하였다.

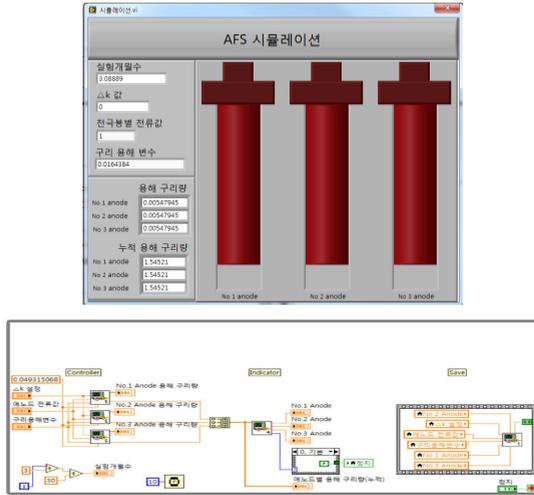


Figure 7: Simulation of multi channel current control system

4. 시뮬레이션 결과

4.1 단일채널 전류제어방식

Figure 8은 단일 채널 전류제어방식의 시뮬레이션 결과이다. Δk 의 값이 0.115일 때 실제 해양교통시설물에서의 구리 전극봉의 용해량과 비슷한 결과가 발생하였다.

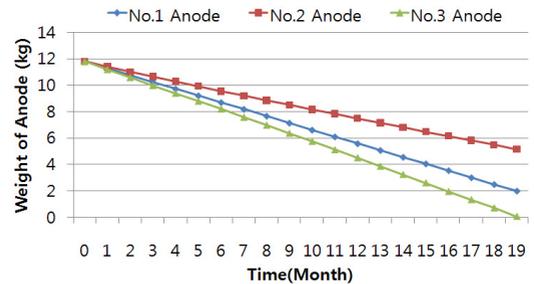


Figure 8: Result of single channel current control system simulation

단일 채널 전류제어 방식을 이용한 AFS를 가동할 경우 3번 전극봉이 가장 빠른 속도로 구리이온

의 용해가 진행되었다. 따라서 19개월이 경과한 시점부터 해양교통시설물에 해조류의 증착이 진행될 수 있음을 나타내었다.

4.2 다채널 전류제어방식

Figure 9는 다채널 전류제어 방식의 시뮬레이션 결과이다. 3개의 전극봉의 이온화가 모두 균일하였다. 단일 채널 전류제어 방식을 이용한 AFS보다 구리전극봉을 더 오래 사용할 수 있음을 알 수 있었다.

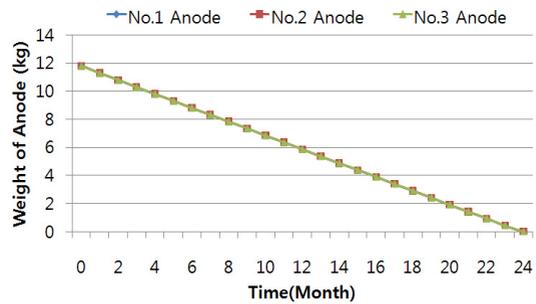


Figure 9: Result of multi channel current control system simulation

4. 결 론

본 논문에서는 다채널 전류제어 방식을 적용한 AFS를 제안하였다. 현재 해양교통시설물에서 사용 중인 단일 채널 전류제어 방식의 AFS는 해상 실험이 진행됨에 따라 해양교통시설물에 장착된 전극봉마다 이온화 진행속도가 다르다는 문제점을 가지고 있었다. 이에, 모든 전극봉의 전류를 제어하던 기존의 AFS 대신 다채널 전류제어 방식을 이용한 AFS를 제안하였다. 시뮬레이션 결과 전극봉의 이온화 진행속도가 동일하였고, 전극봉의 사용기간이 약 21% 증가하였다. 향후 본 논문에서 제안한 AFS를 실제해역에 운용 중인 해양교통시설물에 적용할 경우 효과를 볼 것으로 기대된다. 실 해역 실험을 통하여 실증 데이터를 확보하는 것이 향후 과제이다.

후 기

본 연구는 국토해양부의 “해양시설물용 Hybrid

전력생산시스템 기술개발”사업과 교육과학기술부의 “방파제 겸용 파력발전 시스템의 성능향상을 위한 연구”사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] Ryokuseisha corporation, Measuring of output power of wave activated generator fitted on lighted buoy in the field, Technical report, pp 63-74, 2002.
- [2] 해양수산부, 항로표지 기능 향상 개선 방안 및 업무편람 개정 연구 용역에 관한 최종 보고서, 2008.
- [3] Kang S. Y, Kim D. J, Kim Y. J and Yoon G. S, “Analysis of Wave Load and Mooring System for Ocean Monitoring Facilities”, Journal of the Korean Society for Marine Environmental Engineering, vol. 1, no. 1, 1998.
- [4] 손호인, 이재삼, 조훈희, “전류불연속 모드로 동작하는 벽컨버터의 새로운 PWM 제어 방식에 관한 연구”, 전력전자학회, 전력전자학회는 문지, 제 12권, 제3호, 2007.

저 자 소 개



오진석(吳珍錫)

1960년 3월생. 한국해양대 졸업.공학박사 영국ZODIAC 선박회사 엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대 전임강사, 조교수, 학과장. 1996년~현재 한국해양대 전임강사, 조교수, 부교수, 교수. 2001년~2002년 영국 CARDIFF대학 교환교수. 2002년~현재 산학연컨소시엄사업단장. 2002년~2004년 한국마린엔지니어링학회 편집위원. 2002년~현재 한국산학연논문집 편집위원. 2003년~2006 영국 K.O.Tech 연구원, 2005년~2006년 부·울 산학연 협의회 회장



곽준호(郭俊浩)

1980년 7월생. 2003년 한국해양대학교 졸업(공학사), 2005년 동대학원 졸업(공학석사), 2011년 동대학원 졸업(공학박사), 현재 E2E Lab. 연구원