

선박용 ICCP 제어 감시 시스템에 관한 연구

오진석† · 이지영*

(원고접수일 : 2004년 1월 13일, 심사완료일 : 2004년 4월 26일)

A Study on the ICCP Control and Monitoring System for Ship

Jin-Suek Oh† · Ji-Young Lee*

Abstract : This thesis is about the Impressed Current Cathodic Protection (ICCP) control and monitoring system, which brings protection against the corrosion of the ship's hull in the sea environments. The ICCP system is composed of a power supply, anode, reference electrode and controller. AC sources from the ship's generator are converted to DC sources in terms of power supply, and a protection current is sent to ship's hull through anode. The controller fully senses whether or not the detected potential is within a range of protection of ship's hull and then it is automatically controlled to increase or decrease the amount of protective current to be sent to the anode. The monitoring system with RS 232/485 communication is also studied in order to check the normal state of the system at a long period, because an operator does not always watch over this system and thus the system cannot operate well because of his or her negligent management. Since the vessel always navigates in the sea, an characteristics experiment of the ICCP system is conducted by introducing various corrosive environmental factors such as velocity, resistivity, dissolved oxygen, PH, temperature and contamination degree. These results must be referred to when the ICCP system is set up. In short, the ICCP is a multi-system for use on ships and on land structures because it includes a safety device. It is suggested that this system can accommodate a ship's automation and will be very useful.

Key words : Corrosion(부식), Protection Potential(방식 전위), ICCP(외부전원방식), Monitoring system(감시시스템), Velocity(유속), Contamination degree(오염도)

1. 서 론

부식방지를 위해서는 일반적으로 코팅을 연상하

게하고 나아가서 음극방식을 관련시키게 된다. 코팅이란 부식방지를 위한 가장 일반적인 방법으로 채택되고 있으며 실제로 해수에 항상 침적상태에

† 책임저자(한국해양대학교 선박전자기계공학과), E-mail : ojs@hhu.ac.kr, T : 051)410-4283

* 한국해양대학교 대학원 기관시스템공학과

있는 선체 외판에는 우수한 품질의 tar epoxy와 anti-corrosion paint를 수회 도장하고 있다. 그러나 아무리 우수한 도료라 할지라도 시간경과에 따른 국부손상은 불가피하다. 또한 선체에 설치되는 프로펠러 및 러더 등의 장비에 사용되는 금속 재질이 선체 외판과는 서로 다르므로 해수환경하에서 갈바닉셀의 형성으로 기인하여 선체 외판의 부식속도는 가속된다. 그러므로 이와 같이 코팅에 의한 부식방지방법의 부족함을 보완키위한 장치로 희생양극에 의한 음극방식을 고안하게 되었으며 선체 외판 주요 부위에 희생양극을 부착하게 되었다. 그러나 이 또한 일정기간이 경과하면 소모된 희생양극은 매 도크시 교체해 주어야 하며, 비용 발생원인 해소 요구가 점점증하게 되었다. 그에 따라 희생양극방식을 대체하기 위한 장비의 필요성이 대두되어 ICCP 시스템이 등장하게 되었다. 그러나 현재 국내에 설치되고 있는 ICCP 시스템은 대부분 외국기술에 전적으로 의존하며, 국내에서는 조립하여 탑재·사용하는 실정이므로 국산화가 절실히 요구되어진다. 현재 선박에 탑재되어 있는 ICCP 시스템은 선원들이 육안으로 확인하여 방식전류 수치를 기록하고, 정박, 답수 구역 항해시는 시스템의 전원을 차단하는 것이 고작이다. 하지만 선박이 점점 자동화 추세에 있으며, 선원의 감소로 인한 시스템의 자동화가 절실하다. 또한 값싼 노동력 때문에 동남아 선원들의 유입에 따른 선원의 질적 저하로 보다 사용하기 쉬운 시스템이 요구된다. 더불어 젊은이들은 컴퓨터 사용으로 스크린 제어에 익숙하므로 보다 편리하고 효율적인 운영면에서 시스템도 스크린 제어 쪽으로 개발되어야 한다. 따라서 ICCP 시스템은 디지털화 되어야 하고, 컴퓨터 모니터에서 항상 감시할 수 있어야 한다. 또한 육상에서도 방식시스템의 사용이 증가하고 있으므로 ICCP 시스템이 선박뿐만 아니라 육상에도 적용이 가능하도록 멀티시스템의 구축이 필요하다. 특히 축사의 폐수 저장탱크나 주유소의 주유탱크 등에 안전장치를 추가하여 사용가능하도록 해야 한다. 이러한 시스템은 유동적인 환경에 노출되기 때문에 여러 환경 인자들에 대한 특성 실험이 반드시 병행되어야 한다. 선박의 경우 항해로 인한 유속과 해수의 오염도 등에

크게 영향을 받으므로 이러한 환경요인에 따른 시스템의 특성 실험이 반드시 수행되어야 한다. 이러한 실험 결과를 토대로 각각의 환경에 맞는 시스템을 설치하여야 한다.

2. ICCP의 이론

Fig. 1은 Pourbaix의 철의 전위-pH도를 나타낸다. 점 N은 철의 자연부식상태를 나타낸다. pH가 중성인 일반 환경에서 철은 부식역에 있기 때문에 부식이 발생하게 된다. 이를 방지하기 위해서는 N점을 인위적으로 전위를 낮추어 C방향으로 하강시켜 안정역으로 이동하게 함으로써, 철은 전자를 인위적으로 공급받게 되어 철의 표면 전위를 음극화 시킴으로써 금속의 이온화를 차단시킬 수 있고, 결과적으로 부식을 방지할 수 있다. 이 원리를 이용하여 선체금속 전위가 항상 안정역을 유지할 수 있도록 전위를 제어해서 방식을 얻고자 하는 방식 시스템이 ICCP 시스템이다.

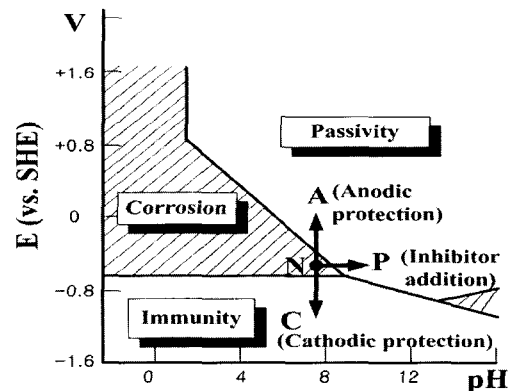


Fig. 1 Typical pH-potential for iron (Fe)

선체부식을 해석하고 필요한 방식전류를 얻기 위해 선체에 해당하는 금속과 해수에 해당하는 전해질과의 관계를 살펴보면 다음과 같다.

Fig. 2는 금속과 전해질간의 부식을 해석하기 위해 이를 국부전지로 볼 수 있고, 이를 등가회로로 나타낸 것이다. 국부전지의 회로 내에서는

$$E_c - E_a + I_a(R_{af} + R_{ag}) + I_c(R_{cf} + R_{cg}) = 0 \quad (1)$$

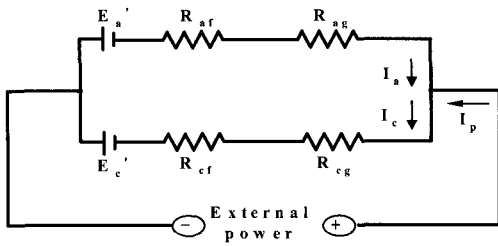


Fig. 2 Equivalent circuit of local cell

E_a', E_c' : polarization potential of local anode and cathode
 I_a, I_c : current of local anode and cathode
 I_p : protection current
 R_{af}, R_{cf} : surface resistance of local anode and cathode
 R_{ag}, R_{cg} : electrolyte resistance of local anode and cathode

자연부식의 경우

$$I_{cor} = I_c = I_a = (E_a' - E_c') / (R_{af} + R_{ag} + R_{cf} + R_{cg}) \quad (2)$$

음극방식을 적용해 방식전류를 공급할 때는

$$I_c = I_a + I_p \quad (3)$$

일반적으로 분극은 전류밀도의 함수이므로 양분극과 음분극을 각각 $\phi_a(I_a/A_a)$, $\phi_c(I_c/A_c)$ 로 표시하면

$$I_a(R_{af} + R_{ag} + R_{cf} + R_{cg}) \quad (4)$$

$= (E_a - E_c) + \phi_c(I_c/A_c) + \phi_a(I_a/A_a) - I_p(R_{cf} + R_{cg})$
 로 된다. 여기에서 A_a 는 양극면적, A_c 는 음극면적을 나타낸다. 완전방식이 이루어질 때는 $I_a = 0$, $I_c = I_p$ 가 성립하여야 하므로 식 (4)는

$$E_a = E_c - \phi_c(I_p/A_c) + I_p(R_{cf} + R_{cg}) \quad (5)$$

식 (5)는 완전방식의 조건을 전기관계로 나타낸 것으로, 국부양극의 전위가 방식전류에 의한 음극분극과 음극의 전압강하에 의해 국부양극의 개로전위와 같게 될 때 완전방식이 이루어진다. 따라서 E_a 가 방식전위, I_p 가 방식소요전류이다. 국부음극에서의 피막과 전해액 중의 전위강하가 무시될 만큼 적을 때는

$$E_a = E_c - \phi_c(I_p/A_c) \quad (6)$$

즉, 국부음극부의 전위가 국부양극부의 개로전위까지 분극 되면 완전 방식이 이루어진다. 방식전위를 측정하기 위해서는 기준전극을 사용하여 철의 상대적 전위차를 측정하여야한다. 주로 백금과 아연기준전극이 사용된다.

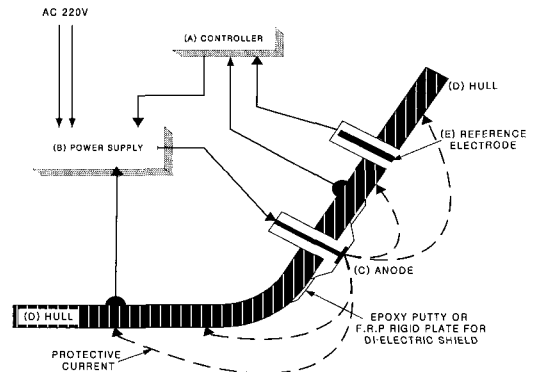


Fig. 3 Schematic of the ICCP system for ship

Fig. 3은 ICCP 시스템의 계통도이다. 선박의 배전반으로부터 공급되는 전원 AC 220V는 자동정류기를 거쳐 시스템에 필요한 전원 DC 24V로 정류되어 선체외판에 부착되어 있는 양극을 통해 방식전류로 흘러 보내진다. 제어기(A)는 기준전극 각각의 직류전압 신호치를 감지하여 전원공급장치(B)로 보낸다. 전원공급장치는 수신된 신호치를 기준으로 하여 최적의 + 직류전류를 양극(C)와 해수(전해액의 역할)를 통해 선체로 흘려주어 선체를 방식하게 된다. 이때 흐르는 전류의 양은 선체(D)와 바닷물간의 전위차에 영향을 주게 되는데 설치된 기준전극(E)은 이를 잘 포착하여 선체 부식방지를 위한 가장 이상적인 방식전위 수준을 유지할 수 있도록 제어기를 통해 전류량을 끊임없이 조정한다. 측정정 방식전위 수준을 위한 적정 방식전류량을 제어함으로써 선체의 부식방지를 도모하는 원리이다. 양극과 기준전극은 수선(water line) 아랫 부위의 선체를 관통시켜 설치하고 선체와 전기적 절연이 되어야 한다. 언급된 방식전위는 기준전극으로 사용되는 금속의 종류에 따라 감지 결과치가 다르나 거의 모든 선박에 통상 ZINC(Zn)가 사용되고 있으며, ZINC를 기준으로 선체인 철의

상대전위가 220mV가 감지될 때 최적의 방식상태로 판단한다.

3. 제어시스템 설계

제어시스템 설계는 크게 소프트웨어와 하드웨어 두 가지이다.

3.1 소프트웨어 설계

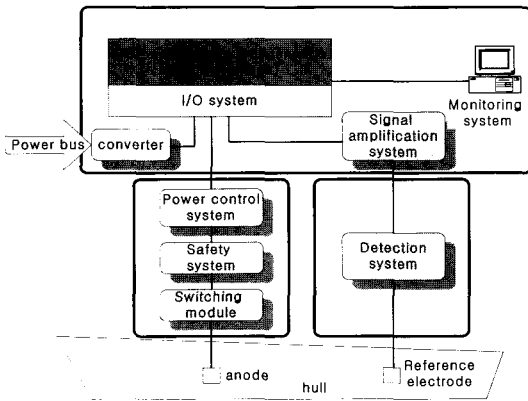


Fig. 4 ICCP control and monitoring system's schematic for ship

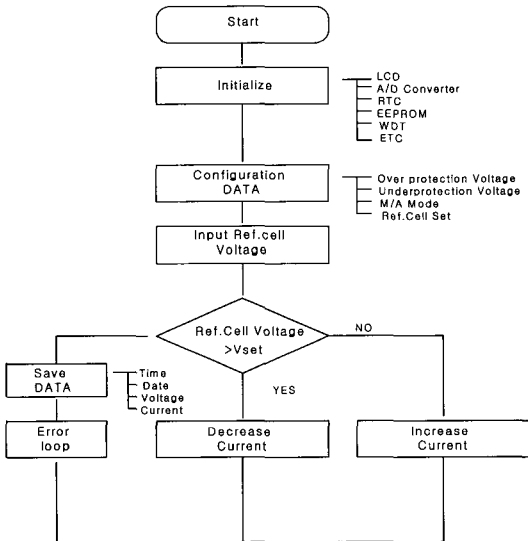


Fig. 5 Flow chart of the control algorithm

Fig. 4는 본 논문인 선박용 ICCP 제어관리시

스템의 개략도이다. ICCP의 주요 제어 알고리즘은 Fig. 5와 같다.

소프트웨어에 해당하는 프로그램은 크게 두 가지다. 제어를 직접 제어하는 제어프로그램은 CCS사의 pcm picc 컴파일러를 사용하여 PIC에 프로그램 하였고, 모니터링 프로그램은 Visual C++ 6.0을 사용하여 컴퓨터에서 감시할 수 있도록 하였다. 또한 통신은 RS-232/RS-485 통신과 프로토콜을 사용하였다.

3.2 하드웨어 설계

Fig. 6은 ICCP의 주 제어 회로를 나타낸다. 발전기로부터 3상의 교류 전원이 들어오면 NFB와 퓨즈를 거쳐 변압기에 의해 24V의 교류로 변압되고, 이것은 세미컨버터의 입력이 된다. 세미컨버터는 제어기에 의해 출력이 결정된다. 제어기는 애노드가 홀린 방식전류를 받은 선체와 기준전극에서부터 센서에 의해 검출된 전위의 크기에 따라 세미컨버터의 게이트 도통 각을 결정하게 된다. 변압된 24V중 게이트 도통각도부터 세미컨버터가 도통되어 출력을 내보내게 되고, 애노드로부터 전해질(해수)을 거쳐 선체와 기준전극으로의 폐회로를 형성하게 되어 전류가 흐르게 된다. 이 전류에 의해 선체는 방식된다.

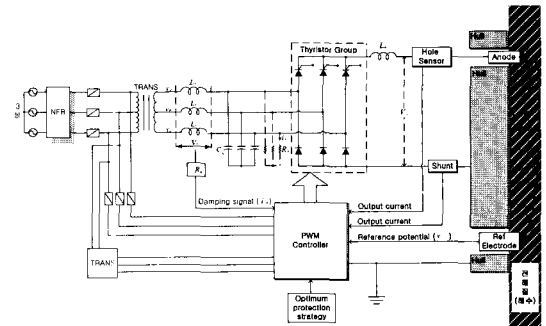


Fig. 6 Main circuit of converter

제어기는 ICCP를 구동시키고 선체와 기준전극간의 전위를 감시하며, 전압데이터를 전송하는 것으로, Fig. 7에 제어기의 구성을 나타내고 있다.

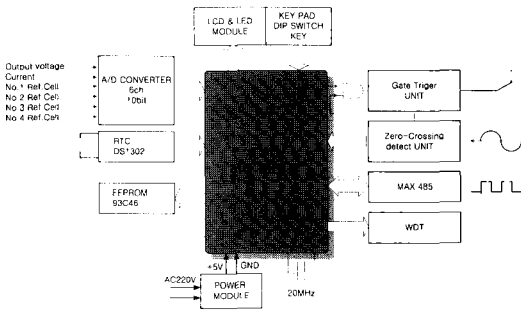


Fig. 7 Block diagram of controller

제어기는 CPU(central processing unit)와 전원 모듈, 오실레이터로 구성된다. 또한 주변소자로 데이터 기억모듈, PC와의 데이터 통신모듈, 카운터, timer, 제로크로싱 모듈, 게이트 트리거 모듈, 디스플레이 모듈, 각종 입력 모듈 등으로 구성된다. Fig. 8은 제어기의 주 구동회로를 나타낸다.

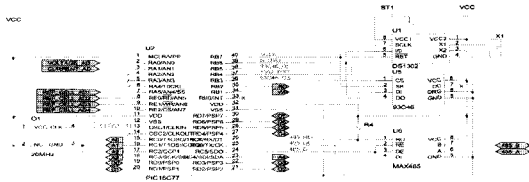


Fig. 8 System drive circuit

제로 크로싱 디텍터(zero-crossing detector)는 3상 정현파 전압원에서 SCR을 출력 기준점인 영점에서부터 원하는 각도에서 동작시키기 위해 3상 정현파의 영점을 찾는 기능을 한다. Fig. 9는 zero-crossing 회로를 나타낸다.

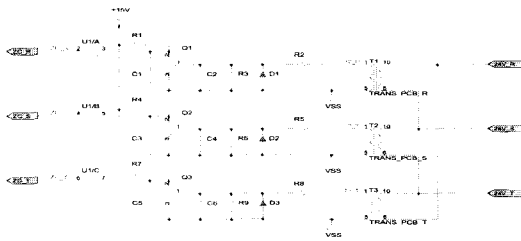


Fig. 9 zero-crossing detector circuit

Fig. 10은 zero-crossing detector에 대한

출력 파형이다. 회로도의 ZC_R, ZC_S, ZC_T는 각각 오실로스코프의 채널 1, 2, 3에 대응된다. zero-crossing 파형 역시 3상과 같이 120°의 각도차를 두고 나타난다.

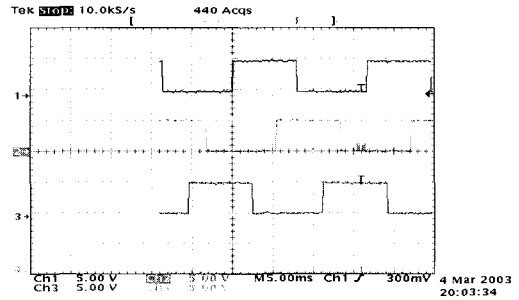


Fig. 10 Zero-crossing waveforms of three-phase

ICCP에서 방직전위를 유지하기 위해서는 세미컨버터의 출력을 조절해야 하는데, 이는 SCR의 게이트신호를 제어하여 3상인 RST의 위상을 제어하게 된다. 이때 게이트 신호는 CPU의 부담을 덜어주기 위해 타이머/카운터 IC인 8254를 사용하였다. 실험에서 설계한 카운터 회로도는 Fig. 11과 같다.

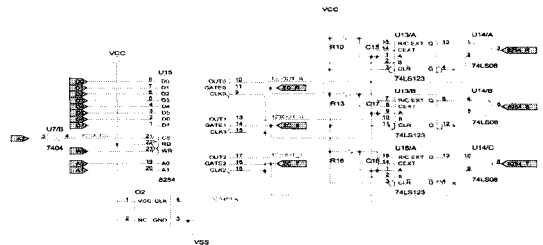


Fig. 11 8254 circuit

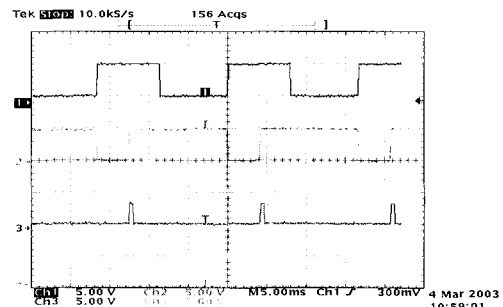


Fig. 12 8254 waveform

Fig. 11에 따른 실험 파형은 Fig. 12와 같다. Fig. 12에서 파형 1번은 Fig. 11에서 8254의 11번핀 (GATE0)를 나타내고, 파형 2번은 8254의 10번(OUT0)의 파형을 나타내고, 파형 3번은 74LS08의 3번(8254_R)의 파형을 나타낸다. 이 신호는 세미컨버터의 게이트신호가 된다.

4. 실험 및 결과

4.1 실험장치

Fig. 13은 ICCP 시스템의 실험장치 사진이다. 오른쪽에 있는 장치가 방식 대상물인 철로 된 탱크이고, 이 안에는 해수를 채웠다. 왼쪽의 장치가 탱크에 방식 전류를 흘려주고 제어하기 위한 제어기 부분이다.

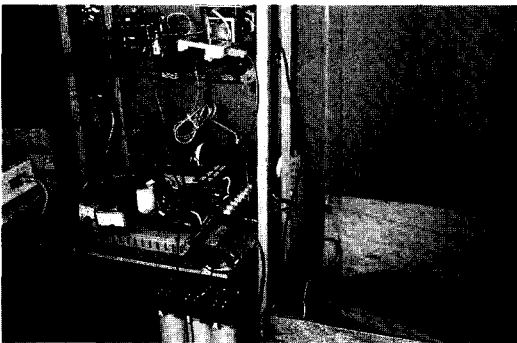


Fig. 13 ICCP system

4.2 특성 실험

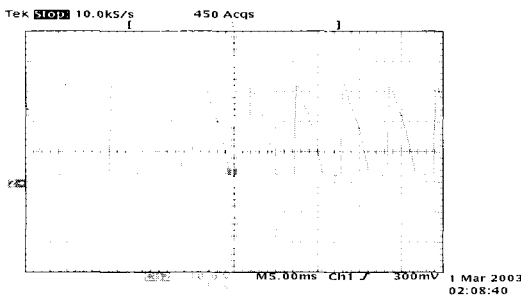


Fig. 14 Output voltage waveforms for 165 firing angles of three-phase semi-converter

Fig. 14는 세미컨버터의 각도제어에 따른 시스템의 출력 전압 파형을 나타낸다. 165°에서 트리거를 주었기 때문에 SCR은 15°만큼에 해당되는 교류만을 도통시키므로 나타나는 전압파형은 3상의 교류 중 15°에 해당하는 부분만 3상이 합쳐져 DC 출력으로 나타난다.

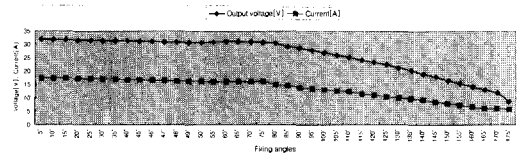


Fig. 15 Output voltage waveforms for different firing angles

Fig. 15는 제어 각도를 0°에서 180°까지 변화시켰을 때의 세미컨버터의 각 각도에서의 출력 전압과 전류 실험치이다. 위의 파형이 출력전압을 나타내고, 아래에 있는 파형이 전류이다. 파형을 보면 제어각도에 따라 전압과 전류가 변함을 알 수 있다.

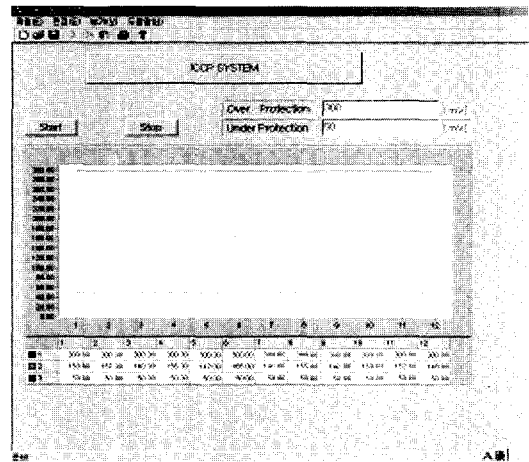


Fig. 16 Monitoring Display

Fig. 16은 전위의 모니터링 화면이다. 통신을 통해 들어온 전위가 그래프로 나타내지고 있다. 과방식과 미방식의 값을 입력해주면 그에 따라 상한치와 하한치가 그래프에 나타나고, 만일 전위가 이 값들을 벗어나면 알람이 울리게 된다.

그래프를 보면 ZINC에 대한 철의 상대전위가 140mV~180mV 사이에 있으므로 방식하고자 하는 대상물은 방식되고 있다는 것을 알 수 있다.

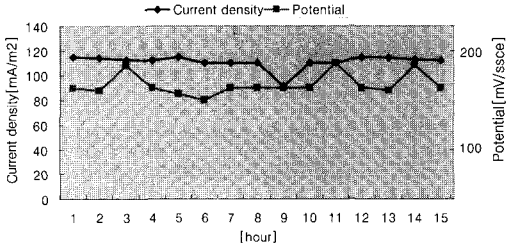


Fig. 17 Relationship between protection current density and potential

Fig. 17은 전류밀도와 전위의 관계를 나타낸다. ZINC에 대한 철의 상대전위가 100mV~200mV 사이에 있어 방식되고 있는 동안 해수에서의 전류밀도는 약 100mA/m² 이다.

4.2 특성 실험

선박은 대부분 유동적인 방식 대상이므로 반드시 환경요인을 고려하여야한다. Fig. 18은 유속의 변화에 따른 방식전류밀도의 변화를 나타낸다. 전해질은 실온에서 중성의 해수를 사용하였고, 유속은 회전 장치에 나무 bar를 연결하여 회전되면서 변화를 주었고, 유속계를 이용하여 전해질의 평균 유속을 구하였다. 그리고 발생 전류는 아연과 철을 Digital Multimeter로 연결하여 변화치를 측정하였다.

전해질 용액이 정지 중에 있을 경우에는 선체와 기준전극간의 전위차가 작기 때문에 방식전위를 유지하기 위한 전류가 적게 흘러도 방식이 된다. 그러나 전해질의 용액이 유동할수록 선체와 기준전극간의 전위차가 커지게 되어 방식전위를 유지하기 위한 전류 또한 많이 필요하게 됨을 알 수 있다. 이는 유체가 유동하지 않은 경우, 용존 산소의 확산한계전류밀도가 나타나는 음극분극 전위상태에서 부식전위가 형성되고 유체가 유동할수록 확산한계전류밀도가 증대되면서 부식전위는 귀(貴)한 값으로 이행되고 동시에

부식속도 역시 증대되어 더 많은 방식전류가 필요한 것으로 사료된다.

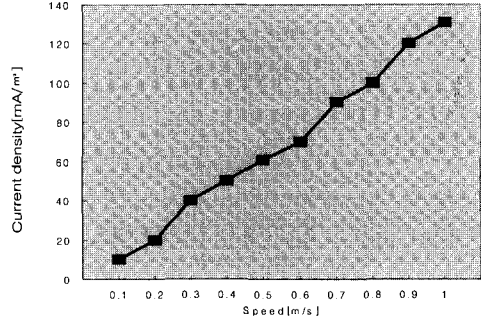


Fig. 18 Variation of protection current density with flow velocity

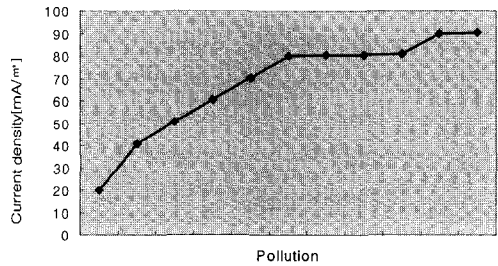


Fig. 19 Variation of protection current density with pollution

Fig. 19는 오염도에 따른 전류의 변화를 나타낸다. 오염이 심하지 않다고 생각되는 부산항 밖의 해수와 상대적으로 오염이 심하다고 생각되는 부산항 내의 해수를 전해질로 사용하였다. 이 해수에 생활하수의 대부분인 세제를 용해시킨 불순물을 첨가하여 실험하였다. 불순물의 양이 증가할(오염이 심할수록) 수록 방식전위를 유지하기 위해 필요한 전류밀도가 증가한다는 것을 알 수 있었다. 따라서 방식 설계 시공을 할 경우 해수의 특성을 정밀 분석할 필요가 있다고 판단된다.

4. 실험 및 결과

선박은 선체 전위가 항상 방식영역에 있도록

제어하고 감시하는 장치가 필수적이다. 본 논문에서는 선체의 전기적 방식 장치인 ICCP를 구현하고 실험을 통하여 유용성을 검증하였다. 이 시스템은 디지털 제어방식을 택함으로써 신속한 제어가 가능하고 시스템 업데이트 등이 편리하며 원거리에 있는 방식 대상물의 상태를 모니터링을 통해 항상 감시할 수 있도록 설계하였다. 또한 선박의 자동화 추세에 적용할 수 있도록 통신을 통해 SCMS와 연동이 가능하도록 하였다. 본 연구는 선박용 실용화를 위한 기초 실험을 수행한 것으로 육상의 항만시설, 교량 등에도 적용 가능하며 또한 안전 시스템이 추가되어 있어 육상의 저유탱크, 축사의 폐수 저장탱크 등에도 적용 가능할 것으로 사료된다. 또한 ICCP 시스템의 환경적 변화(유속, 오염도)에 따른 특성 실험을 통한 데이터를 얻음으로써 시스템 설계시 환경변화에 적절하고 유용하게 활용할 수 있다. 연구 결과를 완벽하게 실용화하기 위해서는 각국 선급의 규정을 만족하기 위한 절연, 접지, 전파 등의 추가 연구 및 실험이 필요하다.

참고문헌

- [1] 전대회, "실용방식공학", 태화, pp. 7~59.
- [2] KOREA CATHELCO LTD., "Final drawing & operation manual : Anti-fouling system(M.G.P.S)", pp. 1~32.
- [3] 한국윌슨윌튼(주), "ICCP system 설치관련 교육자료", 한국윌슨윌튼(주)

- [4] 고영태, 전경수, 박경완, 조용범, 이선엽, 조성호, "지하 매설 구조물의 부식과 방식 V. 음극방식개론", 한국부식학회지, Vol. 27, No. 2, April, 1998, pp. 246~255
- [5] B. R. Pelly, "Thyristor phase-controlled converters and cycloconverters", Jhon wiely & sons, pp. 44~106.
- [6] 정경수, 이명훈, 김기준, 문경만, "해수의 유속과 오염도 및 피방식체 표면상태가 분극저동 및 양극 발생전류 및 소모에 미치는 영향에 관한 연구(I)", 한국부식학회지, Vol. 28 No. 6, December, 1999, pp. 454~463

저 자 소 개

오진석 (吳珍錫)



1983~1986 영국 ZODIAC 선박회사 엔지니어. 국방과학연구소 연구원('89-'92) 양산대학 전임강사, 조교수, 학과장('92-'96). 한국해양대학교 전임강사, 조교수, 부교수('96-현재). 영국 Cardiff대학 교환교수('01-'02). 한국박용기관학회 편집위원('02~현재). 한국산학연 논문집 편집위원('02~현재). 영국 K. O. TECH R&D 센터장('04~현재).

이지영 (李智英)



1977년 5월생. 2002년 한국해양대학교 운항시스템공학부 기관과정 졸업. 2004년 한국해양대학교(원) 기관공학과 졸업. 2002년~현재 : 박용기관학회 정회원. 2003~현재 : 대한전기학회 회원