

선박용 ICCP 제어 감시 시스템에 관한 연구

이지영[†] · 오진석* · 곽준호** · 임명규** · 유병량**

A Study on the ICCP Control and Monitoring System for Ship

J. Y. Lee* · J. S. Oh** · J. H. Kwak*** · M. K. Lim*** · B. R. Yu***

Abstract : This Paper 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. Protection of the ship's hull can be made because iron's corrosion potential can be transferred to an immunity range when the ICCP system compels a protective current to be sent to the ship's hull. 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 protective current is sent to ship's hull through anode. The controller operates to increase the protective current at the anode if the value of the detected potential is lower than that of the setting potential, but it operates to decrease it if the former is higher than the latter. The controller fully senses whether or not the detected potential is within a range of protection 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 distance, because an operator does not always watch over this system and thus the system cannot operate well because of his or her negligent management. I suggest that this system can accommodate a vessel's automation and will be very useful.

Key words : Corrosion, Protection, Potential, ICCP, Monitoring system

1. 서 론

부식방지를 위해서는 일반적으로 코팅을 떠올리게 되고 나아가서 음극방식을 관련시키게 된다. 코팅이란 부식방지를 위한 가장 일반적인 방법으로 채택되고 있으며 실제 해수에 오랫동안 침수되어 있는 선체 외판에는 우수한 품질의 tar epoxy 와 anti-corrosion paint를 수회 도장하고 있다. 그

러나 아무리 우수한 도료라 할지라도 기간경과에 따른 국부손상은 불가피하며 또한 선체에 설치되는 프로펠러 및 러더 등의 장비에 사용되는 금속 재질이 선체 외판과는 서로 상이하여 바닷물에 노출되는 선체 외판의 부식속도는 가속되고 따라서 관련 장비의 설치가 요구된다. 따라서 이와같은 코팅에 의한 부식방지방법의 부족함을 보완키 위한 장치로 희생양극에 의한 음극방식을 고안하게

[†] 책임저자(한국해양대학교 대학원), E-mail : hannar52@hotmail.com

* 한국해양대학교 선박전자기계공학부

** 한국해양대학교 대학원

되었으며 선체 외관 주요 부위에 이런 희생양극을 부착하게 됐다. 그러나 이 또한 일정기간내 소모된 희생양극을 매 도크시 교체해 주어야 한다는 불편함과 비용 발생원인 해소 요구가 점점하게 되었으며 그에 따라 희생양극방식을 대체하기 위한 장비의 필요성이 대두되게 되었다. 이같이 지속적으로 사용 가능한 음극방식장치가 절실히 요구되어 ICCP 시스템이 등장하게 되었다.^{[4],[5],[7]}

현재 국내에 설치되고 있는 이 시스템은 대부분 외국기술에 전적으로 의존하고 있으며, 국내에서는 단지 조립에 그치고 있다. 따라서 국내 순수 기술 연구가 시급하다. 현재 선박에 탑재되어 있는 시스템은 선원들이 ICCP 시스템에 직접가서 눈으로 방식전류 수치를 읽어 기록하고, 정박, 담수 구역 항해시는 시스템의 전원을 차단하는 것이 고작이다. 하지만 선박이 점점 자동화 되면서 선원의 수가 감소되어 이 시스템 또한 자동화가 절실하며, 산 노동력을 위해 동남아 선원들의 유입에 따른 선원자질의 저하로 보다 사용하기 쉬운 시스템이 요구된다. 게다가 젊은이들은 컴퓨터 사용으로 스크린 제어에 익숙하므로 시스템도 스크린 제어 쪽으로 개발되어야 한다. 따라서 ICCP 시스템을 컴퓨터 모니터에서 항상 감시할 수 있는 시스템이 요구된다. 또한 안전장치를 추가하여 선박뿐 아니라 육상의 측사 폐수 저장탱크와 주유소의 저장탱크의 방식에도 적용 가능한 멀티 시스템을 연구하고자 한다.

2. ICCP

Fig. 1은 Pourbaix의 철의 전위-pH도를 나타낸다^[1]. 점 N은 철의 자연부식상태를 나타낸다. pH가 중성인 일반 환경에서 철은 부식역에 있기 때문에 자연부식이 된다. N점을 인위적으로 C방향으로 하강시켜 안정역으로 이끌어 내리면, 전자를 인위적으로 공급하여 금속의 표면 전위를 음극화 시킴으로써 금속의 이온화를 차단하여 부식을 방지할 수 있다. 이 방법을 음극방식이라 한다. 반대로 A방향으로 상승시켜 부동태역으로 끌어올리면, 금속의 전위를 높여 표면의 산화물 피막을 부

동태화시켜 부식을 방지할 수 있다. 이 방법을 양극방식이라 한다. 이와같이 금속의 전위를 전류의 작용으로 변화시켜 부식을 억제하는 것이 전기방식의 기본원리이다.

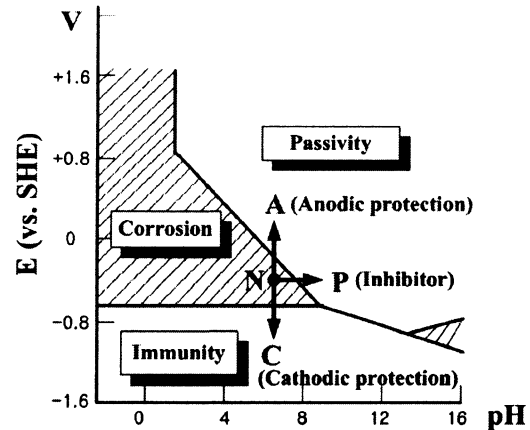


Fig. 1 Typical pH-potential for iron (Fe)

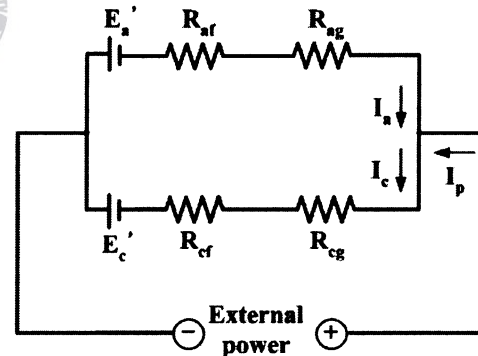


Fig. 2 Equivalent circuit of local cell

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

A_a, A_c : area of local anode and cathode

Fig. 2는 금속과 전해질간의 부식을 해석하기

3. 제어시스템 설계

3.1 소프트웨어 설계

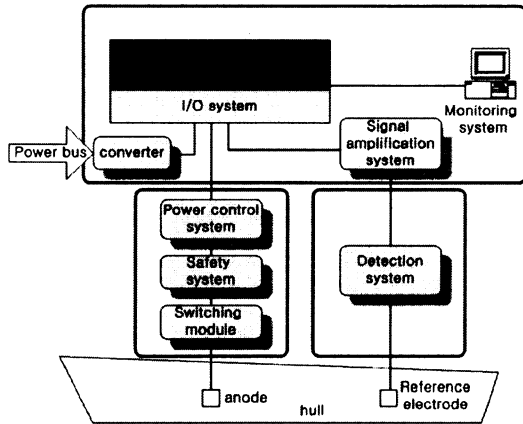


Fig. 4 ICCP control and monitoring system's schematic for ship

Fig. 4는 본 논문인 선박용 ICCP 제어관리시스템의 개략도이다. 선박의 발전기로부터 공급된 AC전원은 컨버터를 거쳐 정류되어 ICCP 제어관리시스템의 전원을 공급한다. ICCP 제어관리시스템은 ICCP 제어 알고리즘에 의해 프로그램된 소프트웨어에 의해 작동된다. 양극에 적절한 조작량의 DC를 전력제어 시스템과 안전시스템을 거쳐 스위칭 모듈에 의해 양극에 전달된다. 양극에서 흘러나온 전류는 해수전해질에 의해 선체와 기준전극에 도달해 하나의 폐루프를 형성하게 된다. 이 기준전극과 선체로부터 검출 시스템은 전위를 검출하고, 이 신호가 미약하므로 신호를 증폭한후 ICCP 제어관리시스템에 보내게 된다. 그러면 ICCP 제어관리시스템은 선체와 기준전극으로부터 온 두 전위차를 판단하여 적정량을 다시 양극으로 보내게 되는 것이다. ICCP 제어관리시스템은 통신을 통해 현재 ICCP의 상황을 기관제어실에서 감시할 수 있도록 모니터링시스템에 데이터를 보낸다.

소프트웨어에 해당하는 프로그램은 크게 두가지다. 제어기를 직접 제어하는 제어 프로그램과 모니터링을 할 수 있도록한 모니터링 프로그램이

다. 제어 프로그램은 ccs사의 pcm picc 컴파일러를 사용하여 PIC에 프로그램하였고, 모니터링 프로그램은 Visual C++ 6.0을 사용하여 컴퓨터에서 감시할수 있도록 하였다^{[11],[12],[13],[14]}.

또한 통신은 RS-232/RS-485 통신 알고리즘을 사용하여 프로그램하였다. ICCP의 현재 출력전류, 전압 및 선체의 방식전위를 16 × 4 LCD에 표시하여 주고 데이터들을 저장한다. 이 데이터는 통신을 통해 컴퓨터로 보내게 되고, 일정 샘플링 시간마다 컴퓨터의 모니터에 그래프로 그려주고, 데이터를 저장하게 된다.

제어기는 각각의 데이터에 대한 상한치와 하한치를 설정할 수 있고, 이것을 벗어나는 값들에 대해서는 사용자에게 알려줄 수 있도록 에러신호를 내보내준다. 시스템 설정치 입력은 숫자 키를 이용하여 설정한다.

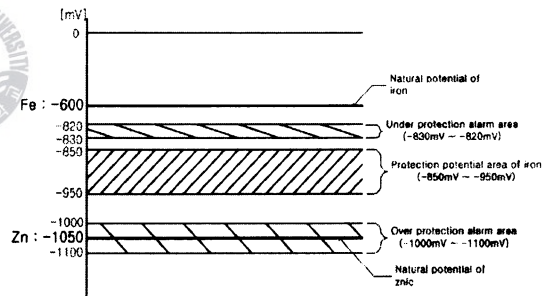


Fig. 5 Natural potential between iron and zinc and alarm area

Fig. 5는 선박의 ICCP에서 선체에 해당하는 철과 기준전극인 아연의 전위를 비교해서 나타낸 것이다. 철의 방식 전위는 약 $-0.85V \sim -0.95V$ 이고 아연은 약 $-1.05V$ 이다. 따라서 아연을 기준극으로 했을 때 철의 전위는 상대적으로 약 $+0.1V \sim +0.2V$ 일 때 항상 방식영역에 있다고 할 수 있고 이때는 철이 방식된다. 제어의 목적은 바로 이 방식 전위를 유지해서 부식이 되지 않게 하는 것이다.

부족 방식 전위는 전혀 방식이 되지 않으므로 제어가 안된다고 보면 된다. 물론 과방식도 좋지 않다. 에너지 낭비 뿐만 아니라 수소가스가 발생해 이로 인한 부식을 초래할 수 있다. 따라서 그

림에서 부족방식(under protection)과 과방식(over protection)의 전위도 표시하였다. 부족방식의 경우 아노드의 손상이나 기타 원인에 의해 방식이 되지 않을 경우는 아노드를 교체하거나 수리를 해야 한다. 이 경우 알람을 발생시켜 사용자에게 알릴 수 있도록 해야 한다.

상태를 설정치와 비교해서 조건을 만족하면 Alarm을 실행하게되고 Process는 끝이 난다. 반대로 Error 조건과 만족하지 않으면 Error loop 수행을 끝내고 컨트롤 알고리즘으로 돌아가 데이터를 저장하고 입력전위와 설정 전위를 비교하면서 무한 루프를 돌게 된다.

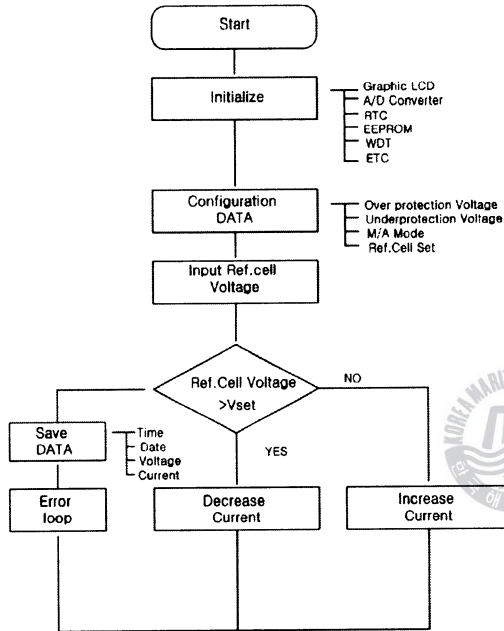


Fig. 6 Flow chart of the control algorithm

Fig. 6은 제어 알고리즘의 순서도를 나타낸다. 전원을 켜면 LCD, EEPROM, 8254, DS1302등 모든 소자들을 초기화 시킨다. 그다음 현재 시스템의 설정 상태를 파악한 후 입력되는 기준전극의 전위를 파악해서 제어하고자 하는 전위와 비교를 한다. 입력된 전위가 제어하고자 하는 전위보다 크다면 전류를 줄여주고, 반대로 작다면 전류를 늘려준다. 또한 이상이 있는지를 검사하기 위해서 Error loop를 체크하고 에러가 있을때는 첫 자를 대문자로 Error loop가 처리하도록 하고, 에러가 없을 경우에는 데이터를 저장한 후 다시 입력 되는 전위와 제어하고자 하는 전위를 비교하며 무한 루프를 돈다.

다음 Fig. 7은 Error loop를 나타낸다. Error loop에서는 부족방식과 과방식, 전압과 전류등의

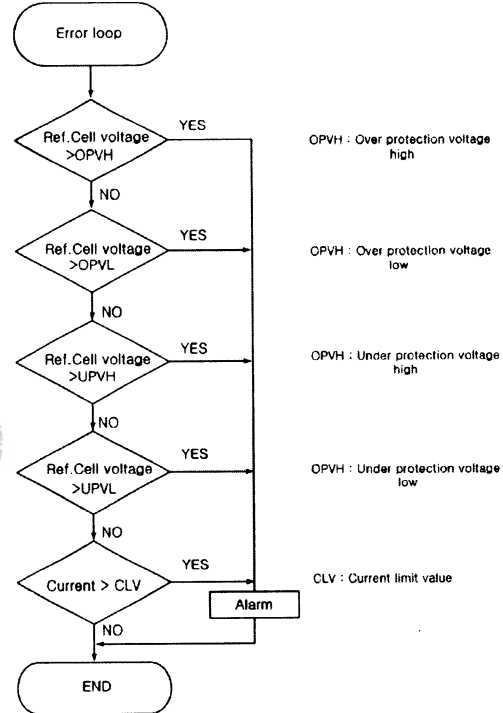


Fig. 7 Flow chart of the error process

3.2 하드웨어 설계

Fig. 8은 ICCP의 주 제어 회로를 나타낸다. 발전기로부터 3상의 교류 전원이 들어오면 NFB와 퓨즈를 거쳐 변압기에 의해 24V의 교류로 변압된다. 변압된 24V는 세미컨버터의 입력이 된다. 세미컨버터는 제어기에 의해 출력이 결정된다. 제어기는 아노드가 흘린 전류를 받은 선체와 기준전극에서부터 센서에 의해 검출된 전위의 크기에 따라 세미컨버터의 게이트 도통각을 결정하게 된다. 변압된 24V중 게이트 도통각도부터 세미컨버터가 도통되어 출력을 내보내게 되고, 아노드로부터 전해질(해수)을 거쳐 선체와 기준전극으로의 폐회로

를 형성하게 되어 전류가 흐르게 된다. 이 전류에 의해 선체는 방식된다. ICCP의 주 회로는 이렇게 이루어져 선체를 방식하게 된다.

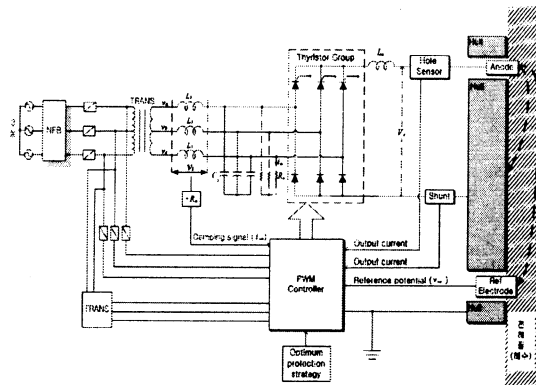


Fig. 8 Main circuit of converter

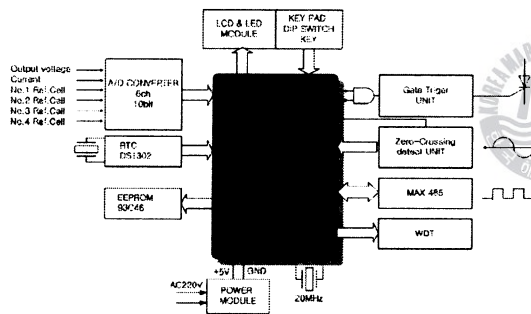


Fig. 9 Block diagram of controller

Fig. 9는 제어기의 구성을 나타낸다. 제어기는 ICCP를 구동시키고 선체와 기준전극간의 전위를 감시하며, 전압데이터를 전송한다. 이런 특화된 작업을 처리하기 위해서는 제어기에는 CPU(central processing unit)가 필요하다. CPU가 통신을 제어하고 보내온 데이터로 ICCP를 구동시킨다. 제어기의 CPU인 PIC16F877은 내부 ADC를 가지고 있어 선체의 전위와 전류, 전압의 데이터를 얻는데 사용된다. CPU에 전원을 공급하는 전원 모듈과 클럭을 입력하는 오실레이터가 있다. 주변소자로 데이터 기억모듈, PC와의 데이터 통신모듈, 카운터, 타이머, 제로크로싱 모듈, 게이트 트리거 모듈, 디스플레이 모듈, 각종 입력 모듈등으로 구성된다. 통신칩은 MAXIM사의 MAX485를 사용하고 LCD는 16×4문자를 쓸 수 있는 것을 사용하였다.

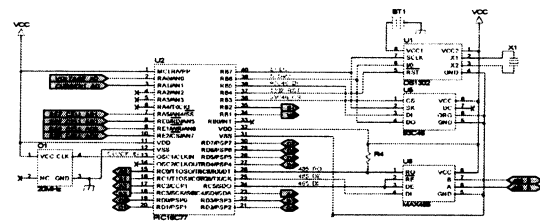


Fig. 10 System drive circuit

Fig. 10은 제어기의 주 구동회로도를 나타낸다. 제로 크로싱 디텍터(zero-crossing detector)는 3상 정현파 전압원에서 SCR을 출력 기준점인 영점에서부터 원하는 각도에서 동작시키기 위함이다 [8],[9],[10]. 제로 크로싱 디텍터가 없으면 펄스를 원하는 시점이 아닌 엉뚱한 곳에서 출력할 수 있다. 이를 방지하기 위해 3상 정현파 입력의 기준점인 영점을 찾는 과정으로 제로 크로싱 검출회로를 사용한다. Fig. 11은 zero-crossing 회로를 나타낸다.

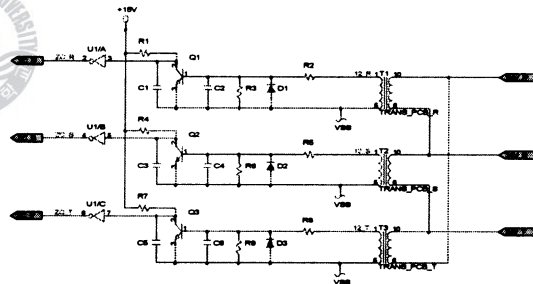


Fig. 11 Zero-crossing detector circuit

Fig. 12는 zero-crossing detector에 대한 출력 파형이다. 회로도의 ZC_R, ZC_S, ZC_T는 각각 오실로스코프의 채널 1, 2, 3에 대응된다. zero-crossing 파형 역시 삼상과 같이 120도의 각도를 두고 나타난다. 또한 +, -가 번갈아 나타나는 교류파형이 구형파와 같은 +전압으로 나타난다. ICCP에서 방식전위를 유지하기 위해서는 세미컨버터의 출력을 조절해야 하는데, 이는 SCR의 게이트신호를 제어하여 삼상인 RST의 위상을 제어하게 된다. 이때 게이트 신호를 언제 줄지는 CPU의 명령에 따라서 한다. 하지만 CPU가 다른 일도 하고 있으므로 CPU의 부담을 덜어주기 위해 타이머/카운터 IC인 8254를 사용하였다. 실험에서 설계한 카운터 회로도는 Fig. 13과 같다.

4. 실험 및 고찰

4.1 실험장치

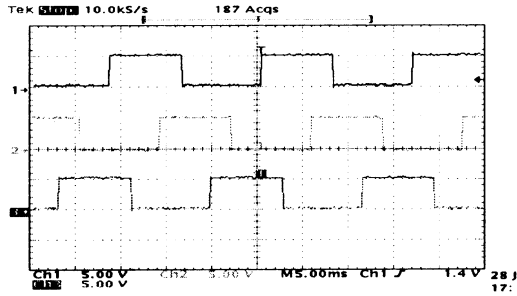


Fig. 12 Zero-crossing waveforms of three-phase

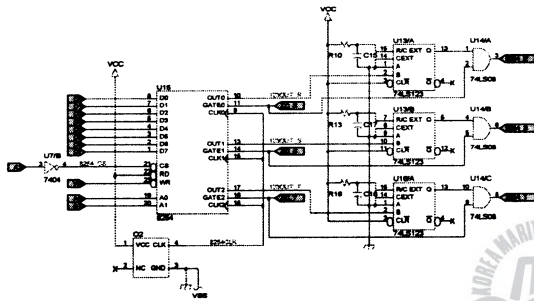


Fig. 13 8254 circuit

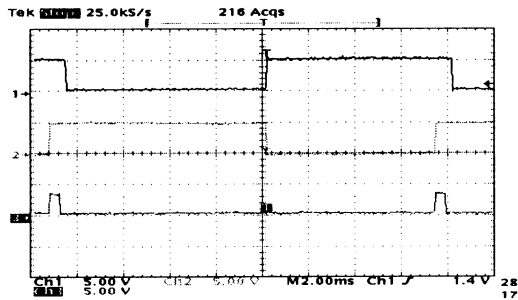


Fig. 14 8254 waveform

Fig. 13 회로도에 따른 실험 파형은 Fig. 14와 같다. Fig. 14에서 파형 1번은 Fig. 13에서 8254의 11번핀 (GATE0)를 나타내고, 파형 2번은 8254의 10번(OUT0)의 파형을 파형 3번은 74LS08의 3번 (8254_R)의 파형을 나타낸다. 파형 3의 펄스폭은 Fig. 13에서의 retriggerable monostable multivibrators인 74LS123에 연결된 저항과 컨덴서용량에 따라 결정된다.이 신호는 펄스트랜스포머를 지나쳐 세미컨버터의 게이트 신호로 작동하게 된다.

Fig. 15 ICCP system

Fig. 15는 ICCP의 전체 시스템이다. 오른쪽에 있는 장치가 방식 대상물인 철 물탱크이고, 왼쪽의 장치가 탱크에 방식 전류를 흘려주고 제어하기 위한 부분이다.

4.2 특성 실험

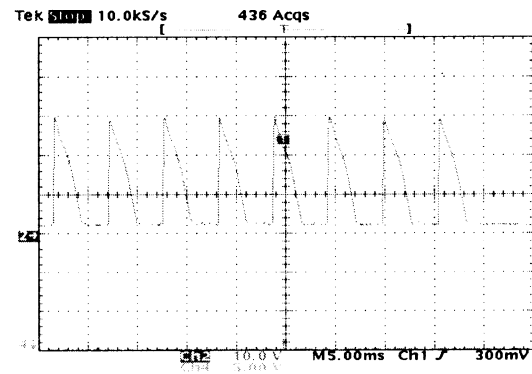


Fig. 16 Output voltage waveforms for 175 firing angles of three-phase semi-converter

Fig. 16은 세미컨버터의 각도제어에 따른 시스템의 출력 전압 파형을 나타낸다. 175°에서 트리거를 주었기 때문에 SCR은 5°만큼에 해당되는 교류만을 도통시키므로 나타나는 전압파형은 삼상의 교류중 5°에 해당하는 부분만 나타난다.

제어 각도를 0°에서 180° 까지 변환 했을 때의

세미컨버터의 각 각도에서의 출력 전압과 전류를 그래프로 나타내면 Fig. 17과 같다. 그림에서 위의 파형이 출력전압의 변화를 나타내고, 아래에 있는 파형이 전류의 변화를 나타낸다. 파형을 보면 각도에 따라 제대로 동작하고 있음을 알 수 있다.

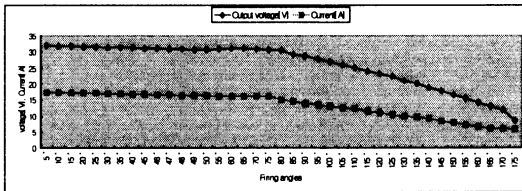


Fig. 17 Output voltage waveforms for different firing angles

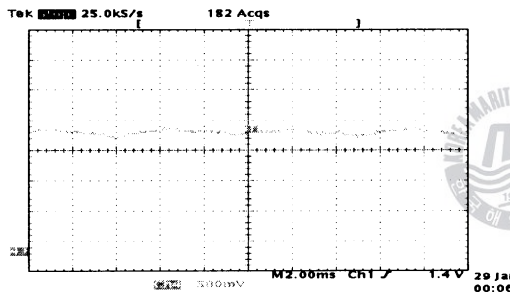


Fig. 18 Potential waveform between reference electrode and hull with smoothing circuit

Fig. 18은 선체와 기준전극으로부터의 전위를 검출하여 증폭부를 거친 후 평활회로를 거쳐 평활된 전위파형을 나타낸다. 이 신호가 A/D 변환되어 CPU의 입력이 된다. 파형의 전위는 range가 500mV 이므로 약 1700mV정도이다. 10배로 증폭하였으므로 실제 전위는 170mV정도이다. 전위가 170mV이면 철은 방식역에 해당되므로 철 물탱크는 방식되고 있다고 판단된다.

Fig. 19는 전위의 모니터링 화면이다. 통신을 통해 들어온 전위가 그래프로 나타내지고 있다. 과방식과 부족방식의 값을 입력해주면 그에 따라 상한치와 하한치가 그래프에 나타나고, 만일 전위가 이 값들을 벗어나면 알람이 울리게 된다. 그래프를 보면 전위가 140mV~180mV 사이에 있으므로 방식하고자 하는 대상물은 방식되고 있다는 것을

알 수 있다.

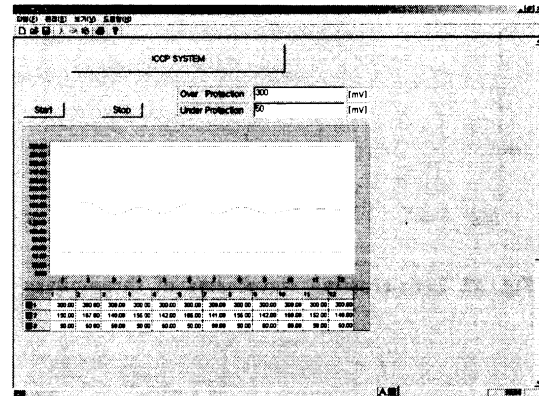


Fig. 19 Monitoring Display

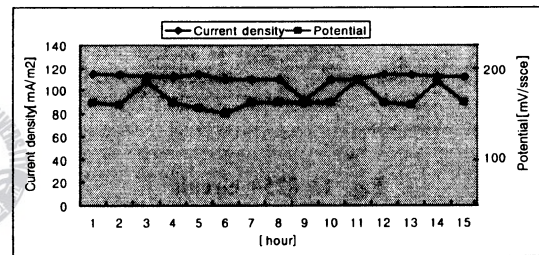


Fig. 20 Protection current density and potential

Fig. 20은 전류밀도와 전위의 관계를 나타낸다. 전위가 100mV~200mV사이에 있어 방식되고 있는 동안 해수에서의 전류밀도는 약 100mA/m² 이다.

5. 결 론

본 논문에서 구현한 선박용 ICCP 제어감시시스템은 선박의 선체 전위가 항상 방식 영역에 있도록 제어되고, 감시되는 시스템이다. 삼상 AC 전원을 방식에 필요한 만큼의 DC로 바꿔주는 세미컨버터는 실험의 결과를 통해서 정확한 위상제어가 되었다. 실험결과로 파형과 데이터를 얻어 제어가 잘 되고, 방식대상물이 항상 방식영역에 있음을 확인하였다. 본 실험 결과를 토대로 ICCP 시스템은 선박뿐 아니라 육상의 해수에 설치되어 있는 항만 시설, 교량등에도 적용 가능한 시스템이다. 또한 본 연구의 시스템은 안전시스템도 추가되어

있어 육상의 폭발위험이 있는 주유탱크 등에도 적용이 가능하다. 또한 본 시스템은 디지털 제어로 빠른 제어가 가능하고, 시스템 업데이트 등이 편하고, 원거리에 있는 방식대상물의 상태를 모니터링을 통해 항상 감시할 수 있다. 자동화 선박에 활용시에도 통신을 통해 SCMS와 연동이 가능하므로 선박의 자동화 추세에 적용 가능하다.

본 연구를 통하여 연구 및 개발하게 될 ICCP 제어관리 시스템은 단순한 연구 개발 수준을 넘어서 실용화를 위한 기초실험을 수행한 것이다. 연구결과를 완벽히 실용화하기 위해서는 국제 선급 및 한국선급의 규정을 만족하도록 필요한 절연, 접지, 전자파 등의 환경실험 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] 한국월슨윌튼(주), “ICCP system 설치관련 교육자료”, 한국월슨윌튼(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] HyunYoung Chang, SungHo Hong, YoungSik Kim, “Remote monitoring and controlling system for cathodic protection on concrete structure”, corrosion science and technology, Vol. 31, No. 1(2002), pp. 70~73
- [6] “Handbook of cathodic corrosion protection”, pp225~414
- [7] YoonSeok Choi, JungGu Kim, “A study on the flow-accelerated corrosion characteristics of galvanically coupled dissimilar metals”, corrosion science and technology, Vol. 31, No. 2(2002), pp. 149~155
- [8] P.C. SEN, “Thyristor DC Drives”, pp. 98-101
- [9] A. Mechi, S. Funabiki, 1993, “Step-up/down voltage PWM AC to DC convertor with one switching device”, IEEE PROCEEDINGS-B, Vol. 140, No. 1, pp. 35~43.
- [10] B. R. Pelly, “Thyristor phase-controlled converters and cycloconverters”, Jhon wiew & sons, pp 44~106.
- [11] 이상엽, “Visual C++ Programming Bible Ver 6.x”, 영진출판사, 1999
- [12] 컴파일 테크놀로지, “PIC16C7X 테크니컬 핸드북”
- [13] 신정환, “C가 미는 로봇 I, II, III”, Ohm사
- [14] 오정원, “PIC 마이크로컴퓨터 C언어 CCS-C 실전 가이드”, comfile technology, 2003

