

工學碩士 學位論文

선박용 ICCP 제어 감시 시스템에
관한 연구

A Study on the ICCP Control and Monitoring
System for Ship

指導教授 吳 珍 錫

2004년 2월

韓國海洋大學校 大學院

機關工學科

李 智 英

本 論 文 을 李 智 英 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로
認 准 함

主 審 工 學 博 士 李 相 泰 (印)

委 員 工 學 博 士 盧 彰 注 (印)

委 員 工 學 博 士 吳 珍 錫 (印)

2004 年 2 月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

機 關 工 學 科 李 智 英

목 차

목 차	i
List of Figures	iii
List of Tables	vi
Abstract	vii
기호설명	x
제 1 장 서론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적	3
1.3 논문구성	5
제 2 장 ICCP	6
2.1 개요	6
2.2 방식 및 방식	9
2.3 선박의 운용 특성	17
제 3 장 제어시스템 설계	20
3.1 개요	20
3.2 소프트웨어 설계	22
3.2.1 알고리즘	23
3.2.2 프로그램	30
3.3 하드웨어 설계	36
3.3.1 구성	37
3.3.2 세미컨버터형 정류기	39
3.3.3 구동회로	42
3.3.4 모니터링 회로와 통신 회로	52
3.3.5 전원 회로 와 입출력 회로	57

제 4 장 실험 및 결과	63
4.1 실험장치	63
4.2 특성 실험	69
4.3 운용 실험(선박의 운용 특성에 따른 실험)	78
제 5 장 결론	80
참고 문헌	82

List of Figures

Fig. 2.1 Typical pH-potential for iron (Fe)	7
Fig. 2.2 Potential distribution on local cell	11
Fig. 2.3 Evans's polarization diagram	11
Fig. 2.4 Effect of cathode current	12
Fig. 2.5 Equivalent circuit of local cell	13
Fig. 2.6 Immunity of various metal (25°C)	16
Fig. 2.7 Schematic of the ICCP system for ship	18
Fig. 3.1 Schematic diagram of ICCP control and monitoring system for ship	20
Fig. 3.2 Protection potential and alarm area between iron and zinc	23
Fig. 3.3 Flow chart of the control algorithm	24
Fig. 3.4 Flow chart of the error process	25
Fig. 3.5 Flow chart of the LCD monitoring	26
Fig. 3.6 RS-232C Communication	27
Fig. 3.7 MAX485E typical half-duplex RS-485 network	27
Fig. 3.8 Gate-firing	29
Fig. 3.9 System drive program	31
Fig. 3.10 Monitoring program	35
Fig. 3.11 Main circuit of converter	37
Fig. 3.12 Three-phase semi-converter-controlled ICCP system	40
(a) Power circuit.	
(b) Waveforms for 90 firing angles	
Fig. 3.13 Block diagram of controller	42
Fig. 3.14 PIC16F877 block diagram	43
Fig. 3.15 Block diagram of PIC C compiler	44
Fig. 3.16 System drive circuit	44
Fig. 3.17 DS1302 block diagram	45
Fig. 3.18 Zero-crossing detector circuit	45

Fig. 3.19 Zero-crossing waveforms of three-phase	-----	46
Fig. 3.20 8254 block diagram	-----	47
Fig. 3.21 Structure of 8254	-----	47
Fig. 3.22 Control word of 8254	-----	49
Fig. 3.23 Count 5 with mode 1	-----	49
Fig. 3.24 8254 circuit	-----	50
Fig. 3.25 8254 waveform	-----	51
Fig. 3.26 Gate signal of semi-converter	-----	51
Fig. 3.27 Block diagram of LCD	-----	53
Fig. 3.28 LCD flowchart	-----	53
Fig. 3.29 LCD timing characteristics	-----	54
Fig. 3.30 LCD circuit	-----	55
Fig. 3.31 485 communication circuit	-----	55
Fig. 3.32 Connection between host and ND-6520	-----	56
Fig. 3.33 Power circuit	-----	57
Fig. 3.34 Chip-selector circuit	-----	57
Fig. 3.35 Input circuit	-----	58
Fig. 3.36 Schematic of dip switch	-----	58
Fig. 3.37 Output circuit	-----	59
Fig. 3.38 Input amplification circuit of current, voltage and potential	--	60
Fig. 3.39 Potential waveform between reference electrode and hull	-	61
Fig. 3.40 Potential waveform between reference electrode and hull from op_amp	-	61
Fig. 4.1 ICCP system	-----	63
Fig. 4.2 Transformer	-----	64
Fig. 4.3 Rectifier	-----	64
Fig. 4.4 Design of tank	-----	65
Fig. 4.5 Tank	-----	65

Fig. 4.6 Controller	-----	66
Fig. 4.7 LCD of Set State Mode	-----	66
Fig. 4.8 LCD of Stand-by Mode	-----	66
Fig. 4.9 Voltage and current gauge	-----	67
Fig. 4.10 RS-232 to RS-485 Converter	-----	67
Fig. 4.11 Zero-crossing waveforms of three-phase	-----	69
(8254 pin no. 11, 14, 16)		
Fig. 4.12 8254 90° counter waveforms of three-phase	-----	70
(8254 pin no. 10, 13, 17)		
Fig. 4.13 90° waveforms of R-phase	-----	71
(8254 pin no. 11, 10, 74LS08 pin no. 3)		
Fig. 4.14 90° waveforms of S-phase	-----	71
(8254 pin no. 14, 13, 74LS08 pin no. 6)		
Fig. 4.15 90° waveforms of T-phase	-----	72
(8254 pin no. 16, 17, 74LS08 pin no. 8)		
Fig. 4.16 90° waveforms of three-phase	-----	72
(74LS08 pin no. 3, 6, 8)		
Fig. 4.17 Output voltage waveforms for 175 firing	-----	73
angles of three-phase semi-converter		
Fig. 4.18 Output voltage waveforms for 120 firing	-----	74
angles of three-phase semi-converter		
Fig. 4.19 Output voltage waveforms for 90 firing	-----	74
angles of three-phase semi-converter		
Fig. 4.20 Output voltage waveforms for 60 firing	-----	75
angles of three-phase semi-converter		
Fig. 4.21 Output voltage waveforms for different firing	---	75
angles		
Fig. 4.22 Potential waveform between reference electrode	--	76
and hull with smoothing circuit		
Fig. 4.23 Monitoring Display	-----	77
Fig. 4.24 Protection current density and potential	-----	77
Fig. 4.25 Variation of protection current with speed	----	78
Fig. 4.26 Variation of protection current with pollution	----	79

List of Tables

Table 2.1 Constituent of various reference electrode and iron's protection potential	-----	15
Table. 3.1 Microcontroller core features of PIC16F877	-----	43
Table. 3.2 Dip switch setting	-----	59
Table. 4.1 Measurement equipment	-----	68

A Study on the ICCP Control and Monitoring System for Ship

Lee Ji Young

**Department of Mechatronics Engineering
The Graduate School of Korea Maritime University
Pusan, Republic of Korea**

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. The ship's hull is composed of iron which can be highly corroded, and therefore the corrosion brings about great physical and financial damages to the ship. Because of this, the protection against the corrosion of iron is a necessity. Since there is no one perfect way to protect against corrosion and rapid degradation, an anti-corrosive protection method, such as coating, has to run simultaneously with an electrical anti-corrosive device. The ICCP system which I will be discussing is one such method, and has several advantages. First, the life of the anode is long because

the ICCP system uses an insoluble anode. Second, it can get enough protective current over a large area for protection.

Iron can be separated into three regions of corrosion, immunity and passivity. Without any external force, iron's corrosion potential under natural conditions is within a corrosion range, so such iron becomes corroded. On the other hand, protection of the vessel'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. Iron's corrosion potential is -600mV with standard hydrogen electrode (SHE), and its protective potential is between -800mV and -900mV .

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. A Zinc electrode is used for a reference electrode. Zinc's potential is -1000mV with SHE. Differential potential is detected by a sensor between the ship's hull and the reference electrode, and its value must be controlled to maintain between $+100\text{mV}$ and $+200\text{mV}$. Then ship's hull can always be protected. When the system is abnormal, it is designed to sound the alarm. 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.

Since the ship always moves in the sea, an experiment of characteristics of the ICCP system is conducted by introducing various corrosional environmental factors such as velocity and pollution. First, the amount of the requisite protective current is not consistent enough to protect against corrosion of the ship's hull because the velocity is different at anchor and on the voyage. That is, the faster the velocity, the more the requisite protective current is increased. Second, the amount of the requisite protective current is also inconsistent because pollution levels are different when sailing along the coast compared to sailing out at sea. That is, the heavier the pollution, the more the requisite protective current is increased. 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. Even over a long distance, the system's conditions can be watched through a monitoring system with communication. The system can be controlled to protect against corrosion of the ship's hull in different corrosional environments. I suggest that this system can accommodate a ship's automation and will be very useful.

기호설명

A_a, A_c	: area of local anode and cathode	$[m^2]$
E_a, E_c	: open circuit potential of local anode and cathode	$[V]$
E_a', E_c'	: polarization potential of local anode and cathode	$[V]$
E_0	: natural potential or corrosion potential	$[V]$
I_a, I_c	: current of local anode and cathode	$[A]$
I_{cor}	: corrosion current	$[A]$
I_p	: protection current	$[A]$
R_{af}, R_{cf}	: surface resistance of local anode and cathode	$[\Omega]$
R_{ag}, R_{cg}	: electrolyte resistance of local anode and cathode	$[\Omega]$
α	: electrolyte resistance of local anode and cathode	$[^\circ]$
η_a, η_c	: polarization of local anode and cathode	$[Wb]$
ϕ_a, ϕ_c	: flux	$[Wb]$
ω	: angular velocity	$[rad/sec]$

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

인간이 살아가면서 필요한 건물, 산업시설, 기기들은 대부분이 금속으로 이루어져있다. 그중에서도 값싸고 강도가 크며, 또한 잘 씹어 친환경적인 철을 가장 많이 사용하고 있으며, 앞으로도 계속 사용할 것이다. 금속은 자연 상태에서는 안정한 존재인 광석으로 되어 있지만, 인간이 사용하기 위해 많은 에너지를 가해서 정련한 불안정한 것으로 만들어 버린다. 그러므로 금속은 안정한 상태인 광석중의 산화물이나 황화물의 상태로 되돌아가려는 자연발생적 본능을 가지고 있으며, 이에 의해서 금속은 부식생성물인 녹을 형성하기도 하고 때로는 용해해서 소모되기도 한다. 이로 인해 인적 물적 피해가 발생하게 된다.

미국 조사에 따르면 부식에 의한 손실은 연간 3000억달러, GNP로는 4~5%를 소모하고있다. 우리나라는 아직 법적인 방식 기준이 없어 정확한 피해 데이터는 집계되지 않았다. 그러나 언론을 통해 부식에 의한 피해 사례들은 자주 접하게 된다. 육상의 주유 저장탱크의 경우 도료를 입혀 땅속에 묻은 후 얼마동안 기간이 지나면 땅을 다시 파서 탱크를 바꾸고 있는 것이 전부다. 사정이 이렇다보니 땅속에 묻힌 탱크의 상태를 파악하지 못해 부식되어 기름이 유출될 뿐만아니라 근처의 토양은 물론 지하수까지 오염시킨 사례들도 보고 되고 있다. 또한 지하 수도관 부식으로 연간 누수 손실도 크다. 선박, 해양구조물 등의 설비 및 시설물들은 수명이 최소한 20년이 넘는 것이다. 이러한 설비 및 시설물들은 사용기간이 경과하면서 다양한 화학적 혹은 전기화학적 작용에 의해 파괴되는 부식이 발생한다. 따라서, 위에 살펴본 바와 같이 이러한 부식의 진행을 효과적으로 억제하는 방식시스템을 갖추지 못하면 급속한 부식으로 인해 시설물의 수명이 단축되거나 사고가 발생하여 막대한 물적·인적 피해를 유발한다. 따라서 금속 부식을 방지하는 방식장치가 반드시 필요

하다.

부식에 따른 피해들로 인해 현재 선진국에서는 육상과 해상 모두 방식을 하도록 규제하고 있다. 우리나라도 곧 방식 관련 규제들이 만들어질 것이다. 따라서 육상이든 선박이든 모든 곳에 적용 가능한 멀티 방식 시스템이 필요하다. 육상의 시설물들은 대부분 고정되어 있으므로 환경적 요인 등에 크게 영향을 받지 않는다. 그러나 선박은 진동이나 소음등이 심하고 운전조건도 열악하다. 따라서 선박용 방식 시스템의 연구는 육상의 구조물에도 적용이 용이하므로 본 논문은 선박용 방식 시스템을 연구하고자 한다.

선박의 부식방지를 위해서는 일반적으로 코팅을 떠올리게 되고 나아가서 음극방식을 관련시키게 된다. 코팅이란 부식방지를 위한 가장 일반적인 방법으로 채택되고 있으며 실지 해수에 쉽게 침수되고 있는 선체 외판에는 우수한 품질의 tar epoxy와 anti-corrosion paint를 수회 도장하고 있다. 그러나 아무리 우수한 도료라 할지라도 기간경과에 따른 국부손상은 불가피하며 또한 선미에 설치되는 프로펠러 및 러더 등의 장비에 사용되는 금속재질이 선체 외판과는 서로 상이하어 바닷물에 노출되는 선체 외판의 부식속도는 가속되고 따라서 관련 장비의 설치가 요구된다. 그리하여 이같은 코팅에 의한 부식방지방법의 부족함을 보완키 위한 장치로 희생양극에 의한 음극방식을 고안하게 되었으며 선체 외판 주요 부위에 이런 희생양극을 부착하게 됐다. 그러나 이 또한 일정기간내 소모된 희생양극을 매 도크시 교체해 주어야 한다는 불편함과 비용 발생원인 해소 요구가 점점하게 되었으며 선박의 바쁜 스케줄로 제때 도크를 들어가지 못하는 경우가 늘어남에 따른 선체부식의 우려때문에 희생양극방식을 대체하기 위한 장비의 필요성이 대두되게 되었다. 이같이 지속적 사용 가능한 음극방식장치가 절실히 요구 받게된 결과 ICCP(Impressed Current Cathodic Protection) 시스템이 등장하게 되었다.

1.2 연구목적

현재 국내에 설치되고 있는 ICCP 시스템은 대부분 외국기술에 전적으로 의존하고 있으며, 국내에서는 단지 조립에 그치고 있다. 따라서 우리나라 환경에 맞는 시스템 연구도 필요하고, 국내 순수 기술 연구 또한 시급하다. 현재 선박에 탑재되어 있는 시스템은 선원들이 하루에 두 번씩 ICCP 시스템의 제어기에 장착되어 있는 LCD에 나타나는 방식전류 수치를 읽어 기록하고, 정박, 담수 구역 항해시는 시스템의 전원을 차단하는 것이 고작이다. 또한 시스템 이상으로 알람이 울리면 시스템에 직접 가서 상태를 파악해야만 한다. 하지만 선박이 점점 자동화 추세로 흘러가면서 선원의 감소로 인한 시스템의 자동화가 절실히 요구된다. 또한 값싼 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 시스템 연구가 요구된다.

ICCP 시스템은 과방식이나 부족 방식이 되지 않고 항상 원하는 전위를 유지하여 방식되도록 제어되어야 한다.

선박의 특성상 한곳에만 고정되어 있는 구조물이 아니기 때문에 환경요인에 영향을 많이 받는다. 유속이나 오염도 등에 따라 장치의 제어가 달라져야 하고 이에 맞게 자동으로 제어가 되어야 한다.^{5), 6)} 환경인자의 변화에 따른 시스템의 특성을 파악하여 육상 시설물과 선박등에 적용시 설치되는곳에 적합한 시스템을 설치해야 한다. 또한 이상이 있을 경우에는 직원들에게 알릴 수 있도록 하여야 하고, 멀티통신(RS-485)과 프로토콜을 이용한 통신기법의 제어 알고리즘을 구축하여 장치와 떨어진 곳에서도 감시가 가능해야 한다.⁷⁾ 또한 선박의 자동화 추세에 맞게 선박의 SCMS에 연동이 가능한 방식 시

스택이어야 한다.

따라서 본 연구에서는 이같은 시스템인 선박용 ICCP 시스템을 연구하고자 한다.

1.3 논문구성

본 논문은 5장으로 구성되었다.

제 2장에서는 부식·방식 원리와 방식 방법 등의 이론을 설명하고, ICCP 장치에 대해 설명하였다. 또한 실제로 선박에 탑재하여 운용되는 특성 등을 설명하였다.

제 3장에서는 ICCP 시스템을 설계하기 위한 알고리즘과 소프트웨어 프로그램에 대해 설명하였고, 하드웨어 측면에서는 세미컨버터형 정류기에 대해 설명하였고, 주 구동회로와 모니터링, 통신에 관련된 회로 등의 설계에 대해 설명하였다.

제 4장에서는 실제로 설계한 실험장치의 구조와 실험방법, 결과 특성에 대해 설명하였고, 선박의 운용 특성에 따른 실험을 통해 결과를 설명하였다.

제 5장은 본 연구에서 얻어진 결론 및 이 결론을 바탕으로 한 차후의 과제를 제시하였다.

제 2 장 ICCP

2.1 개요

선박에서는 선체를 보호하기 위해 도장을 한다. 만톤의 배를 도장하는 데는 대략 380톤가량의 도료가 필요하다. 하지만 도장만으로는 선체를 보호할 수 없다. 도장시 pinhole 같은 결함이 존재하므로 완벽한 피복이 불가능하고, 접안시에 물리적 힘에 의해 흠집이 나거나 해양 미생물들에 의한 도장이 파괴되거나, 더운 지방과 추운 지방을 번갈아 다니는 선박의 특성상 도장의 열화에 의해 갈라지거나 피막이 파괴되어 금속면이 공기와 해수에 노출된다. 위와같은 이유로 결함이 발생하면 부식은 이 결함부에 집중된다. 피복없이 전기화학적 방식법만을 이용한 방식을 하는 경우는 방식해야 할 면적이 커져 소요되는 방식전류량이 매우 크게되므로 경제적으로 부적절하다. 따라서 선체에는 피복과 전기화학적 방식법을 병행하고 있다. 선체에 외부로부터 방식전류가 유입되면 피복층은 큰 저항을 가지므로 전류는 피복의 결함부를 통해 금속으로 유입된다. 전류가 유입됨에 따라 전위가 낮아져 방식 효과가 나타난다. 이는 훨씬 경제적일뿐만 아니라 완전한 방식을 행할 수 있다. 위와 같이 방식에 필요한 설비나 구조물의 전위를 인위적인 방법으로 조절하므로써 부식을 억제하는 방법을 전기화학적방식 간단히 전기방식이라 한다. 이는 전기화학반응의 결과인 부식을 전기화학적 원리에 따라 억제하는 부식 방지 방법이다.^{25) ~ 32)}

Fig. 2.1는 Pourbaix의 철의 전위-pH도를 나타낸다. 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 음극화시킴으로서 금속의 이온화를 차단하여 부식을 방지할 수 있다. 이 방법을 음극방식이라 한다. 반대로 A방향으로 상승시켜 부동태역으로 끌어올리면, 금속의 전위를 높여 표면

의 산화물 피막을 부동태화시켜 부식을 방지할 수 있다. 이 방법을 양극방식이라 한다. 이와같이 금속의 전위를 전류의 작용으로 변화시켜 부식을 억제하는 것이 전기방식의 기본원리이다. 또한 화학약품 첨가에 의한 화학작용으로 P방향으로 이행시키면 부동태화(passivation)를 달성할 수 있다.

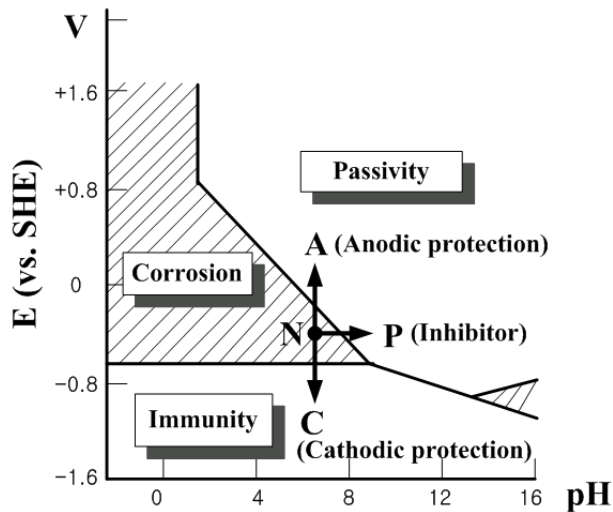


Fig. 2.1 Typical pH-potential for iron (Fe)

그러나 양극방식법은 전위가 상승하여 양극화가 되면 부동태가 나타나는 금속에만 적용할 수 있고, 만일 전위조절이 정밀하지 않아 부동태에 미치지 못하는 전위를 인가할 경우에는 오히려 부식이 가속되므로 주의가 요망된다. 따라서 실제 산업현장에서는 양극방식법을 극히 제한적으로 사용하고 전기방식법은 대부분 음극방식법을 의미한다. 음극방식의 특징은 수중이나 토중의 금속체의 부식을 근본적으로 방지할 수 있다는 것이다. 즉, 자연상태의 부식, 이종금속간의 부식, 각종 국부부식, 응력부식, 부식피로 등 대부분의 부식을 방지할 수 있으며, 침식(erosion)부식도 경감시킬 수 있다. 따라서 육상과 해상의 모든 시설물에 이용이 가능하다. 음극방식을 적용하면 철강 등 상용금속의 내구수명을 현저하게 연장시킬 수 있으며,

고급 내식재료에 떨어지지 않는 내구수명을 부여할 수 있으므로 시설비를 절감할 수가 있다. 또한 도장, 방식제 등을 병용하면 우수한 방식효과와 더불어 경비절감에 기여할 수 있다. 음극방식이 가장 적합한 환경은 전도성이 좋고 부식이 극심한 해수환경이며, 해수중·토양중에 이미 설치된 구조물에 대해서도 음극방식법이 유효한 방식대책이다. 그러나 음극방식은 방식대상물에 적합한 독특한 설계와 보수관리가 불가결하고, 특수한 전문지식을 필요로 하는 방식법이란 단점을 가지고 있다. 음극방식법에는 방식전류의 인가 방법에 따라 희생양극법과 외부전원법이 있다. 희생양극법은 방식하고자 하는 금속보다 이온화경향이 큰 금속을 전해질 내에서 전기적으로 연결하여 양극으로 작용하게 함으로써 방식대상물을 상대적으로 음극화시키는 방법으로 이온화경향이 큰 금속은 양극으로 이온화(부식)되어 소모되어 버리므로 희생양극법이라 한다. 설치시 외부전원이 필요없어 간편성의 장점이 있으나 방식전류의 제한으로 방식대상이 대형인 경우는 부적합하다. 또한 양극이 소모되므로 수시 교체를 해줘야 하는 단점이 있다. 반면 외부전원법은 직류전원장치(정류기)의 -극을 방식대상물에 접속하고, +극을 양극에 접속한 후 전압을 인가하여 방식전류를 얻는 방법이다. 불용성 양극사용으로 양극자체는 전지반응에 참여하지 않고 단순히 전류원(current source)으로 작용하므로 양극수명이 길고, 대형 구조물인 경우도 충분한 방식전류를 얻을 수 있는 장점으로 선박에서는 이 방법을 채택하고 있다. 그러나 어떤 구조물의 방식상태가 기준에 미달하는 경우에는 부식이 발생할 수 있다. 이를 부족방식 또는 미방식이라고도 한다. 이 경우에도 방식전류에 의한 분극량 만큼은 부식 속도가 감소할 것이다. 그러나 국부적으로 방식전류가 미치지 못하게 되는 부분이 존재하게 되면 방식효과는 거의 없는 것으로 추정하는 것이 합리적이다. 반면에 과방식은 부족방식보다 더 많은 문제점을 야기시킨다. 금속 자체에 손상을 미칠 수도 있고, 양극재료의 소모를 촉진시키고, 전력을 낭비하게 된다. 또한 피복의 박리를 촉진시키고, 수소에 의한 문제를 야기시키므로 결코 바람직하지 않은 방식상태다. 하지만 아직도 과방식의 악영향에도 불구하고 어느 정도 수준의 전위를 과방식의

로 판단할 것인지는 논란의 여지로 남아 있다.

2.2 부식 및 방식

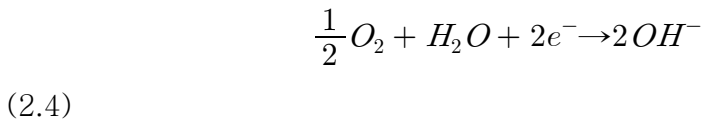
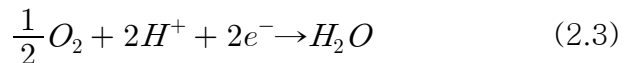
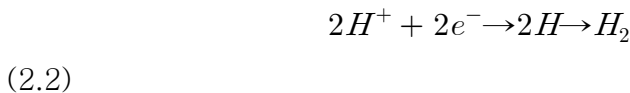
선체는 금속으로 이루어져 있으므로 시간이 흐르면 여러 요인에 의해 부식이 일어난다. 부식현상을 이해하고 이를 방지하기 위해서는 선박의 운항상태와 비슷한 환경인 해수속에 금속을 넣고 일어나는 부식반응을 살펴보고, 전기방식을 하기 위해서 필요 전류량은 얼마 인지를 알아야 한다. 먼저 부식 반응을 이해하고, 전기방식의 원리를 이해하고 필요한 전류량을 계산할 수 있어야 한다.

어떤 금속 M 을 전해질 용액중에 넣으면 $M \rightarrow M^{n+} + ne$ 의 양극 반응과 $M^{n+} + ne \rightarrow M$ 의 음극반응이 동시에 일어난다.^{1), 4)} 그러나 용액중에 넣은 시초에는 양극반응이 우세하므로 $M \rightarrow M^{n+}$ 의 용출속도가 $M^{n+} \rightarrow M$ 의 석출속도보다 빠르고 그 속도차가 점차 감소된다. 그러므로 이 두 반응은 그 금속과 용액의 계면에 전기2중층을 형성시킨다. 이와 같이 전기화학적반응이 진행해서 전기2중층의 전하분포가 적당하게 되면 그 전기2중층에 의해서 양극반응속도와 음극반응속도가 동일하게 되고 이 상태에서 $M \rightleftharpoons M^{n+} + ne$ 의 동적평형이 이루어진다. $M \rightleftharpoons M^{n+} + ne$ 의 단일 전기화학반응이 동적평형에 도달하면 겉으로는 아무 반응이 없는거 같지만 실제로는 양극 반응과 음극반응이 동일 속도로 진행된다. 반응이 동일속도로 진행될 때 이들의 평형전위의 절대값은 알 수 없으나 어떤 기준전극전위를 기준으로 한 그 금속의 상대적 전위를 측정할 수 있다. 이 상대적 전위를 그 금속의 평형전위 혹은 개로전위라 한다. 금속이 부식될 경우 양극반응과 음극반응은 금속표면에서 서로 동일한 속도로 진행되므로 부식반응은 양 반응이 조합된 반응이라 할 수 있다. 금속의 양극반응과 음극반응의 비가 동일한 속도로 이루어지면 일정한 상태를 유지하게 되나 이온화된 금속이 음이온과 결합하여 금속과 성질이 다른 산화물을 형성하게 되면 금속 표면에서 계속적으로 금속이 전자를 방출하여 금속이온으로 용출된다. 이와같이 금속이온의 용출은 금속의 소모를 뜻하는데 이때 용출된 금속이 만드는 산화물을 일반

적으로 녹이라 부르며, 이러한 반응을 부식반응이라 한다. 따라서 금속이 금속이온으로 용출하는 것을 차단하면 쉽게 부식을 차단할 수 있다. 전기방식은 금속의 이온화를 전기적으로 차단하는 것을 말하며 방법에는 양극방식과 음극방식이 있다. 이중 음극방식이 널리 실용화 하고 있기 때문에 일반적으로 음극방식을 전기방식이라 부르고 있다. 전기방식을 적용하기 위해서는 어느 정도의 전기를 공급해야 하는지 결정해야 한다. 이를 위해서 부식반응과 국부전지를 이해하고 수식적으로 설명되어야 한다. 일반적으로 물과 접하고 있는 금속표면에는 각종 원인에 의해 전극전위가 높은 음극부(cathode)와 전극전위가 낮은 양극부(anode)가 혼재하고 있으며, 상호간에 무수한 국부전지를 형성하여 부식이 진행된다. 철의 경우 양극에서는 철의 이온화반응이 식 (2.1)과 같이 진행되고, 그 전위는 부식반응의 평형전위를 나타내고 있다.



동시에 음극에서는 다음의 환원반응중의 하나 또는 둘 이상이 진행되어 그 전위는 이들 반응의 평형전위 또는 그 혼성전위를 나타낸다.



이들 음극반응의 식(2.2)~식(2.4)중 어느 것이 우선할 것인가는 주로 수용액의 pH와 용존산소량에 의해 결정된다. 국부전지에 있어서 금속부분에서는 양극부가 저전위이며 음극부가 고전위이기 때문에, 음극부로부터 양극부로 국부전류가 흐르고 전지내의 전위분포는 Fig. 2.2에서와 같이 된다. 이를 용액의 전위에 기초를 두고 국부전

지의 전위관계를 나타내면 Fig. 2.3과 같다.

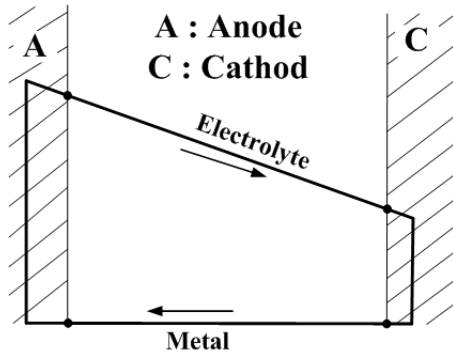


Fig. 2.2 Potential distribution on local cell

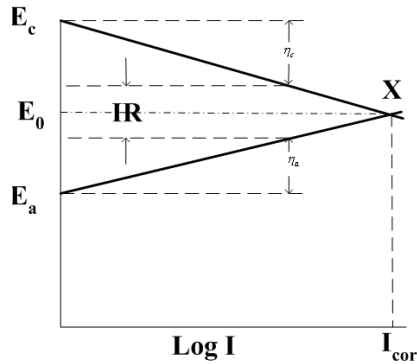


Fig. 2.3 Evans's polarization diagram

E_0 : natural potential or corrosion potential

E_a, E_c : open circuit potential of local anode and cathode

η_a, η_c : polarization of local anode and cathode

I_{cor} : corrosion current

양극과 음극의 각 평형전위(개로전위)를 E_a 와 E_c , 그 각 분극을 η_a 와 η_c , 도선과 용액의 전회로저항을 R, 전류를 I라 하면 이 전지의 폐로전위 V는 다음과 같이 된다.

$$V = (E_c - \eta_c) - (E_a + \eta_a) = IR \quad (2.5)$$

부식전지에서 R은 일반적으로 η_c 나 η_a 에 비해서 대단히 적으므로 R

을 무시하면 $E_c - \eta_c \approx E_a + \eta_a$ 로 된다.

여기서 회로를 통하여 흐르는 국부전류에 의해 음극전위(E_c)는 하강하고 양극전위(E_a)는 상승하여 양자간의 전위차가 영이 될 때의 전류가 흐르게 된다. 이 때의 전류가 부식전류(I_{cor})이며, 전위는 금속의 자연전위(또는 부식전위 ; E_0)가 된다. 용액의 저항이 클 때에는 액간의 전위강하(IR drop)에 의해 부식전류는 약간 감소한다. 그리고 금속에서의 전압강하도 있는데 이는 액간의 전압강하와 비교하여 무시할 수 있을 정도로 작다. 이와 같이 전위와 전류의 좌표상에 양극분극곡선과 음극분극곡선을 중첩해서 전지의 분극상태를 표시한 것을 Evans의 분극도(polarization diagram)라 한다. 그리고 부식전류(밀도)는 다음과 같이 표시된다.

$$I = [(E_c - \eta_c) - (E_a + \eta_a)]/R \quad (2.6)$$

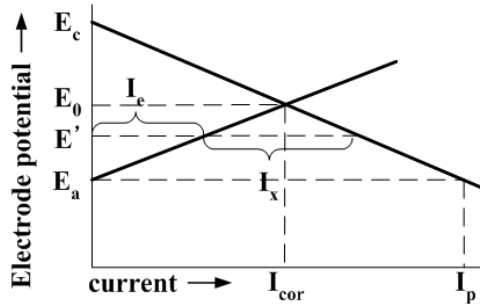


Fig. 2.4 Effect of cathode current

부식되고 있는 금속표면에 외부로부터 직류전류(방식전류)를 공급하면 전류는 전위가 높은 음극부로 유입되어 음극분극을 증대시키기 때문에, 그 결과 국부전지에서의 전극전위의 차는 감소하고, 더욱 음극분극이 진행되면 전위차는 소멸한다. 이것은 Fig. 2.4에서 외부로부터 방식전류(I_x)가 인가되면 국부전류(I_c)는 감소함과 동시에 음극전위는 E' 까지 저하하며, 또한 방식전류가 증가하여 음극전위가 양극부의 개로전위(E_a)까지 하강하게 되어 국부전류는 완전히 소멸

되는 것을 의미한다. 이때의 I_p 가 방식에 필요한 최소전류에 해당한다. 이와같이 금속표면의 전부분이 방식전류의 분극작용에 의해 최저의 양극전위까지 저하하게 되면 완전방식이 이루어진다.

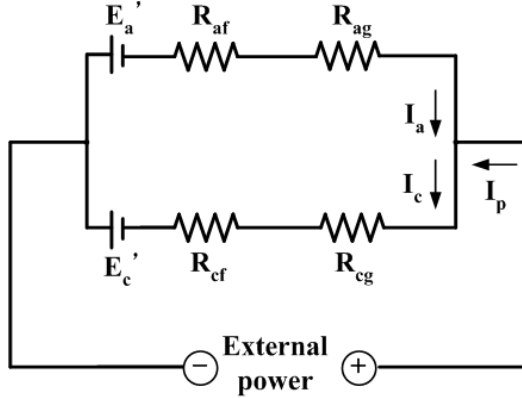


Fig. 2.5 Equivalent circuit of local cell

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

또한 국부전지를 Fig. 2.5에 나타낸 등가회로로 생각하면 금속표면의 피막저항과 용액저항을 고려한 전기방식의 조건은 다음과 같다. 여기서, I_a 는 양극전류, I_c 는 음극전류, R_{af}, R_{ag} 는 각각 양극금속의 피막저항과 용액저항, R_{cf}, R_{cg} 는 각각 음극금속의 피막저항과 용액저항이라고 하면, 국부전지의 회로내에서는

$$E'_c - E'_a + I_a(R_{af} + R_{ag}) + I_c(R_{cf} + R_{cg}) = 0 \quad (2.7)$$

자연부식의 경우

$$I_{cor} = I_c = I_a = (E'_a - E'_c) / (R_{cf} + R_{cg} + R_{af} + R_{ag}) \quad (2.8)$$

음극방식을 적용해 방식전류를 공급할 때는

$$I_c = I_a + I_p$$

(2.9)

식(2.7)과 식(2.9)로부터

$$I_a(R_{cf} + R_{cg} + R_{af} + R_{ag}) = (E_a' - E_c') - I_p(R_{cf} + R_{cg})$$

(2.10)

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

$$E_c' = E_c - \phi_c(I_c/A_c), E_a' = E_a + \phi_a(I_a/A_a)$$

(2.11)

로 된다. 여기에서 A_a 는 양극면적, A_c 는 음극면적을 나타낸다.

식(2.11)을 식(2.10)에 대입하면

$$\begin{aligned} & I_a(R_{cf} + R_{cg} + R_{af} + R_{ag}) \\ &= (E_a - E_c) + \phi_c(I_c/A_c) + \phi_a(I_a/A_a) - I_p(R_{cf} + R_{cg}) \end{aligned}$$

(2.12)

완전방식이 이루어질 때는 $I_a = 0, I_c = I_p$ 가 성립하여야 하므로 식(2.12)는

$$E_a = E_c - \phi_c(I_p/A_c) + I_p(R_{cf} + R_{cg}) \quad (2.13)$$

식 (2.13)은 완전방식의 조건을 전기적 관계로 나타낸 것으로, 국부 양극의 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

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

(2.14)

즉, 국부음극부의 전위가 국부양극부의 개로전위까지 분극되면 완전 방식이 이루어 진다.

방식전위를 측정하기 위해서는 기준전극을 사용하여 상대적 전위차를 측정하여야 한다. 방법은 기준전극을 측정하고자 하는 금속표면에 접근시켜 방식대상물과의 전위를 측정하면 된다.

표준수소전극(normal hydrogen electrode ; NHE 혹은 standard hydrogen electrode ; SHE)은 모든 온도에서 0으로 규정하고 있으므로, 기준전극으로서 가장 좋으나 기체수소를 취급하여야 하는 불편이 있으므로 실험실내에서 정밀측정하는 경우에만 사용된다. 그러므로 야외의 기술현장에는 취급이 간단한 칼로멜전극(calomel electrode), 염화은전극(silver chloride electrode), 황산동전극(copper sulfate electrode)등이 사용된다. 해수에서는 칼로멜전극, 염화은전극이 사용되며, 간편하다는 점에서 아연전극도 실용화되어 있다. 다음 표는 각종 기준전극의 구성과 철강의 방식전위를 나타낸다.

Table 2.1 Constituent of various reference electrode and iron's protection potential

종 별	구 성	철강의 방식전위(V)
포화칼로멜전극	Hg/Hg ₂ Cl ₂ 포화 KCl	-0.77
해수칼로멜전극	Hg/Hg ₂ Cl ₂ / 인공해수	-0.83
포화염화은전극	Ag/AgCl, 포화 KCl	-0.75
해수염화은전극	Ag/AgCl/인공해수	-0.78
황산동전극	Cu/포화 CuSO ₄	-0.85
아연전극	Zn/해수	+0.25

기준전극 중 염화은전극, 이중에서도 포화염화은전극(saturated silver chloride electrode ; SSCE)이 가장 일반적으로 사용되고 있고, 해수중에서는 해수염화은전극이 사용되는 경우가 많다. 염화은전극은 일반적으로 제법이 간단하고, 전극전위의 재현성이 좋으며, 온도이력이 작고, 전극물질이 고체이고 염화은의 밀착성이 좋으므로 난잡하게 다루어도 지장이 적다. 그러므로 이 전극은 근래에 와서

많이 사용하게 되었다. 따라서 본 연구에서도 포화염화은전극과 아연전극을 기준으로 방식알고리즘을 구축하였고, 하나의 애노드와 두 개의 기준전극을 사용하여 실험을 하였다.

Fig. 2.6은 각종 금속의 안정역을 나타낸다. 방식 대상이 철일 경우는 그림에서와 같은 구간에 철의 전위가 있다면 안정역에 있으므로 방식되고 있다고 판단하면 된다. 실험에서 기준전극을 아연전극으로 하고 철을 방식하고자 할 때 철의 상대 전위가 아연의 전위보다 항상 약 +100mV ~ +200mV을 유지하면 방식되고 있다고 판단해도 무방하다. 따라서 어떠한 환경에서든 항상 이 방식 전위를 유지할 수 있는 시스템을 사용하면 철을 방식할 수 있다.

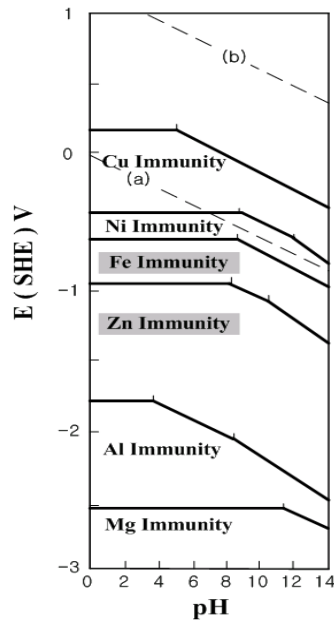


Fig. 2.6 Immunity of various metal (25°C)

2.3 선박의 운용 특성

ICCP는 희생양극의 이용 전압이 작아 방식범위가 제한적인 것을 보완하기 위하여 외부에서 AC전원을 공급 받아 직류전원을 생산하는 정류기와 내소모성 양극(합금계통 : H.S.C.I 등)을 방식에 적용하여 방식 범위를 넓혀 부식을 방지하는 방법이다. 모든 철판에 존재하는 자연전위(-600mV)를 방식전위(-850mV)로 바꾸어서 방식효과를 얻기 위한 방식으로, 전도체에 전원을 연결하여 철판을 방식할 만한 전류를 애노드(anode)를 통해 발생하여 선체를 음극으로 만들어 부식을 방지하는 방법이다. 외부전원식 양극에 사용되는 애노드는 부식에 잘 견디는 특성을 가진 것으로 음극방식 과정에서 파괴 및 부식되지 않아야 하므로 백금을 주로 사용한다.

선박의 발전기로부터 공급된 전류는 자동정류기를 거쳐 시스템에 필요한 전원(DC24V)으로 변환되어 DC 변환 장치의 (+)단자에 내소모성 금속인 양극을 연결하고, (-)단자에 방식대상 금속을 연결하여 강제적으로 양극에서 음극으로 방식전류를 전해질을 통해서 공급하게 된다. 이 때 흐르는 전류의 양은 선체와 바닷물 사이의 전위차에 영향을 주게 되는데 설치된 기준전극에 의하여 측정되며 이 데이터는 자동정류기를 제어하기 위해 피드백되어 부식방지를 위한 방식전위 수준으로 전류량을 조정, 유지시켜 준다. 즉 적정 방식전류를 흘리도록 전류량을 제어하므로써 선체 방식을 도모한다.

외부전원식 전기 방식법의 특징으로는 대용량 사용에 적합하고, 전류 및 전압 조절이 주위환경 변화에 따라 조절될 수 있다는 점이다. 또한 방식소요 전류의 대·소에 관계없이 설계될 수 있고, 규모가 큰 구조물도 하나의 방식 시설로 보호될 수 있다. 또한 내소모성의 양극을 사용함으로써 양극의 수명을 길게 할 수 있고, 자동화 방식이 가능하다는 것이다.

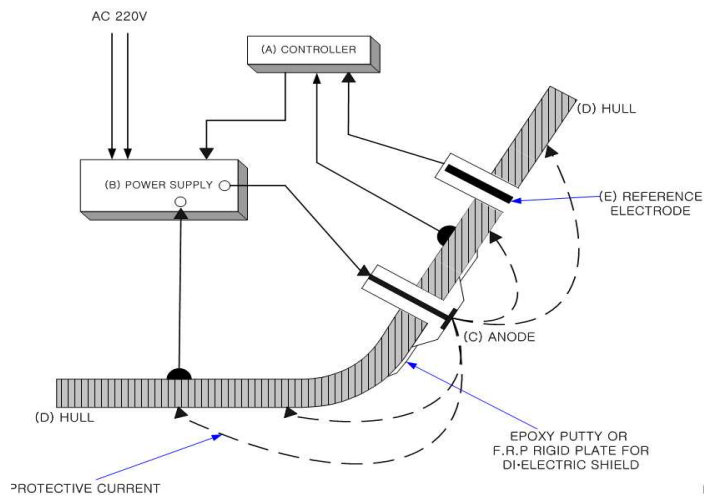


Fig. 2.7 Schematic of the ICCP system for ship

Fig. 2.7은 선박의 ICCP 시스템의 구성을 나타낸다. 기준전극(E)은 선박의 선체(D)에 설치되고, 해수에 노출되어 있다. 정상치는 약 200mV 정도이며 이 전위차 의미는 애노드에서 흘린 전류에 의해 형성된 선체와 해수간의 전위차이다. 정상치를 벗어날 경우 CPU에서 자동적으로 애노드 전류치를 조정함으로써 방식을 최적전위차로 유지시킨다. 전원공급기 당 감지전극의 최소 숫자는 하나이고 일반적으로 2개가 설치되어 있다. 애노드와 기준전극의 최소 거리는 7.5m 이상이어야 하고, 일반적으로 LBP 기준으로 170 m 이상의

선박은 선미와 선수에 각각 1개씩의 독립된 시스템을 설치한다. 애노드(C) 역시 선박외판에 부착되고, 선체로부터 전기적으로 절연되어 있다. 애노드의 기능은 DC 방식전류를 해수로 흘려보내는 역할을 한다. 제어기(A)는 기준전극과 선체와 연결되어 있어 이 둘의 전위를 측정하고, 그에 적절한 제어신호를 전원공급장치(B)에 보낸다. 이 전원공급장치(B)는 애노드(C)와 선체(D)에 연결되어 있어 DC 전원을 공급한다. 제어반에는 운전모드 선택이나 상태를 조작할 수 있는 장치와 정보를 나타낼수 있는 디스플레이 장치가 있다. 대부분 선박에서는 운전모드 선택시 일상적인 운전은 자동모드로 하며, 비상시를 제외하고는 가급적이면 수동모드를 사용하지 않는다. 그리고 알람 발생시 알람모드에서 확인 가능하며, 그 외의 모드는 메이커에서 조정하므로 선박에서 조정할 필요가 없다.

제어반은 자동 정류기에서 출력되는 방식용 전류, 양극전압 및 기준전극전위 값을 감지하고 표시한다.

선박에서 기관사들은 다음의 경우 전원을 차단 한다.

부두 접안시와 dry dock 입거전, 선박이 담수에서 항해시, 선체외판에 재도장하여 진수한 경우 1개월간, ICCP 장치가 설치되지 않은 타선박과의 계류시 및 과방식 상태일 때다.

제 3 장 제어시스템 설계

3.1 개요

앞의 2장에서는 현재 선박에서 쓰이는 ICCP 시스템을 설명하였다. 본 3장에서는 현재 사용되는 ICCP의 기능을 좀더 정확한 제어가 되고 안전하며, 유지 관리가 편하도록 설계하고자 한다. Fig. 3.1은 본 논문인 선박용 ICCP 제어관리시스템의 개략도이다.

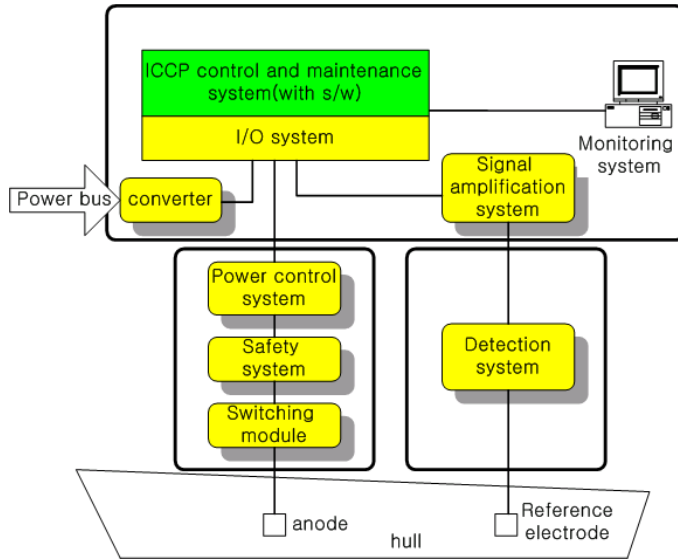


Fig. 3.1 Schematic diagram of ICCP control and monitoring system for ship

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 전류를 더 흘려줄건지 줄일건지를 판단한 후 적정량을 다시 양극으로 보내게 되는 것이다. ICCP 제어관리시스템은 통신을 통해 현재 ICCP의 상황을 기관제어실에서 감시할 수 있도록 모니터링시스템에 데이터를 보낸다.

3.2 소프트웨어 설계

소프트웨어에 해당하는 프로그램은 크게 두가지다. 제어기를 직접 제어하는 제어 프로그램과 모니터링을 할 수 있도록 한 모니터링 프로그램이다. 제어 프로그램은 CCS사의 pcm picc 컴파일러를 사용하여 PIC에 프로그램하였고, 모니터링 프로그램은 Visual C++ 6.0을 사용하여 컴퓨터에서 감시할 수 있도록 하였다.

또한 통신은 RS-232/RS-485 통신 알고리즘을 사용하여 프로그램 하였다. ICCP의 현재 출력전류, 전압 및 선체의 방식전위를 $16 \times$

4 LCD에 표시하여 주고 데이터들을 저장한다. 이 데이터들을 통신을 통해 컴퓨터로 보내게 되고, 이 데이터를 일정 샘플링 시간마다 컴퓨터의 모니터에 그래프로 그려주고, 데이터를 저장하게 된다. 제어기는 각각의 데이터들에 대한 상한치와 하한치를 설정할 수 있고, 이것을 벗어나는 값들에 대해서는 사용자에게 알려줄 수 있도록 예러신호를 내보내준다. 시스템 설정치 입력은 숫자키를 이용하여 설정한다.

3.2.1 알고리즘

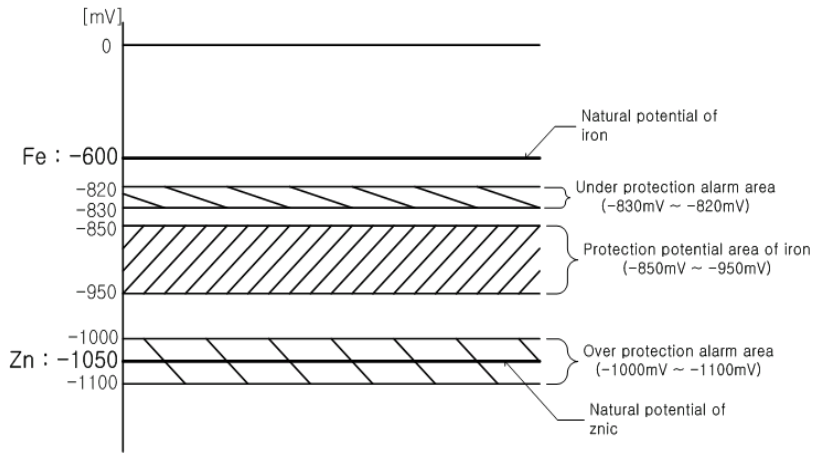


Fig. 3.2 Protection potential and alarm area between iron and zinc

Fig. 3.2는 선박의 ICCP에서 선체에 해당하는 철과 기준전극인 아연의 전위를 비교해서 나타낸 것이다. 철의 방식 전위는 약 $-0.85\text{V} \sim -0.95\text{V}$ 이고 아연은 약 -1.05V 이다. 따라서 아연을 기준극으로 했을 때 철의 전위는 상대적으로 약 $+0.1\text{V} \sim +0.2\text{V}$ 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 낭비뿐만 아니라 수소가스가 발생해 이로 인한 부식을 초래할 수 있다. 따라서 그림에서 부족방식(under protection)과 과방식(over protection)의 전위도 표시하였다. 부족방식의 경우 애노드의 손상이나 기타 원인에 의해 방식이 되지 않을 경우는 애노드를 교체하거나 수리를 해야 한다. 이 경우 알람을 발생시켜 사용자에게 알릴 수 있도록 해야 한다.

Fig. 3.3은 제어 알고리즘의 순서도를 나타낸다.

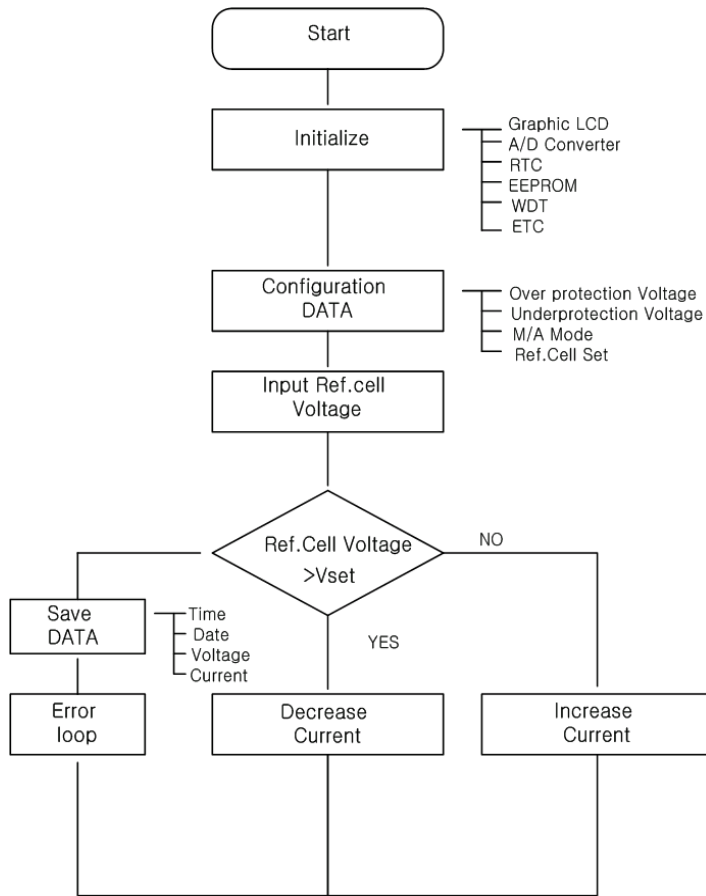


Fig. 3.3 Flow chart of the control algorithm

전원을 켜면 LCD, EEPROM, 8254, DS1302 등 모든 소자들을 초기화시킨다. 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 증가시켜준다. 또한 이상이 있는지를 검사하기 위해서 error loop를 체크하고 error가 있을 때는 error loop가 처리하도록 하고, error가 없을 경우에는 데이터를 저장한 후 다시 입력 되는 전위와 제어하고자 하는 전위를 비교하는 무한 loop를 만든다.

다음 Fig. 3.4는 Error loop를 나타낸다.

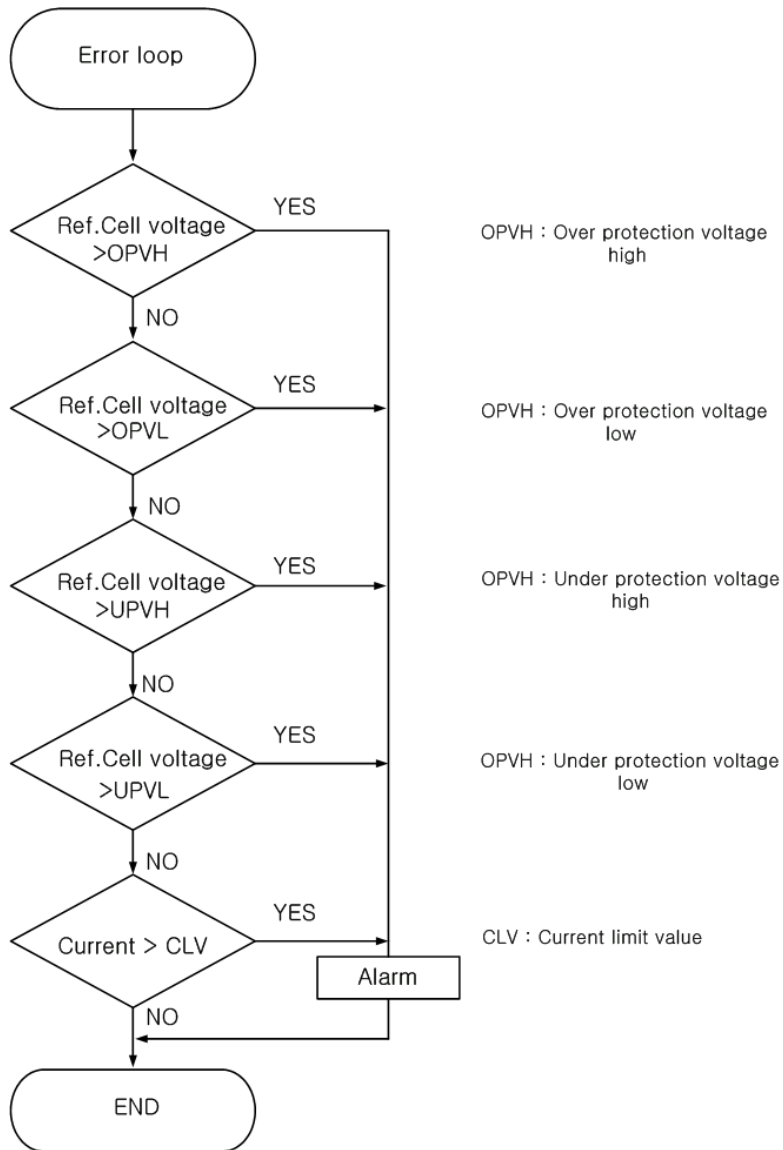


Fig. 3.4 Flow chart of the error process

error loop에서는 부족방식과 과방식, 전압과 전류 등의 상태를 설정치와 비교해서 조건을 만족하면 alarm을 실행하게 되고 process는 끝이 난다. 반대로 error 조건과 만족하지 않으면 error loop 수행을 끝내고 컨트롤 알고리즘으로 돌아가 데이터를 저장하고 입력 전위와 설정 전위를 비교하면서 무한 루프를 돌게 된다.

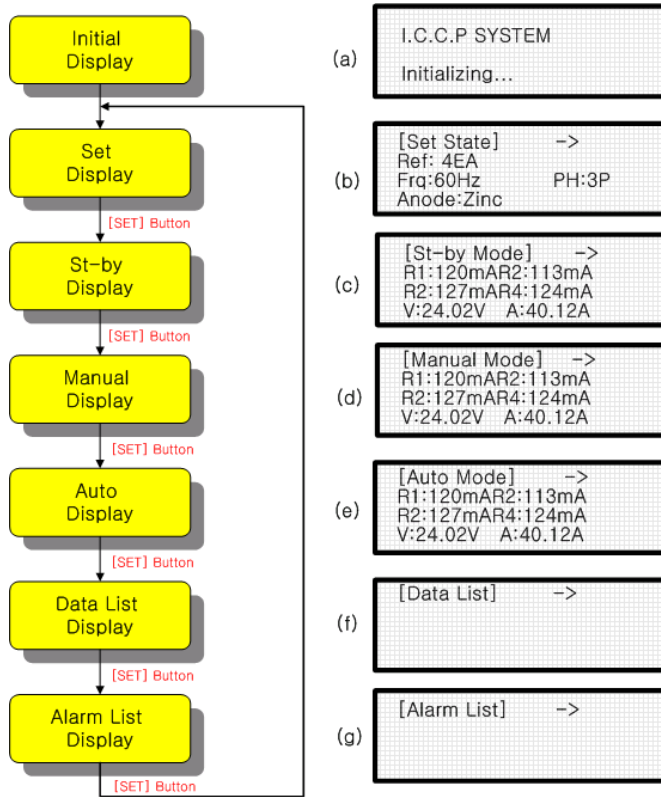


Fig. 3.5 Flow chart of the LCD monitoring

Fig. 3.5는 LCD 모니터링의 순서도이다. LCD 모니터링 모드간 이동은 버튼으로 선택할 수 있다. Fig. 3.5의 (a)~(g)는 실제 LCD 화면에 뿌려지는 내용을 그림으로 표시한 것이다. (a)화면은 “Initial Display”으로서 내부적 초기화를 한다. 3초후 자동적으로 ”Set Display”로 넘어간다.

(b)화면은 장치의 설정값을 나타내는 “Set Display”화면이다. 후면에 설치된 Dip-SW로 설정된 값을 나타낸다. Dip-SW는 전극수, 전원의 주파수, 3상인지 단상인지의 여부, 애노드는 어떤것인지를 설정할 수 있다.

(c)화면은 스탠바이모드로써 “St-by Display”을 나타내고 있다. 이 모드는 동작은 하지 않고 기준전위값을 확인하는 모드이다.

(d)화면은 수동모드로써 “Manual Display”을 나타내고 있다. 이 모

드는 출력전류를 버튼으로서 조정한다.

(e)화면은 자동모드로써 “Auto Display”을 나타내고 있다. 이 모드는 출력전류를 기준전위값에 위해서 자동으로 조절하여 준다.

(f)화면은 데이터검색모드로써 “Data List Display”을 나타내고 있다.

(g)화면은 알람리스트모드로써 “Alarm List Display”을 나타내고 있다.

본 논문에서의 통신 알고리즘은 1Byte의 데이터를 한 번에 한비트씩 보내는 RS-232C 직렬통신과 다수의 제어기에 동시에 데이터를 보내는 RS-485 멀티통신 기법을 사용한다. Fig. 3.6는 RS-232통신을 나타낸다.^{16)~24)}

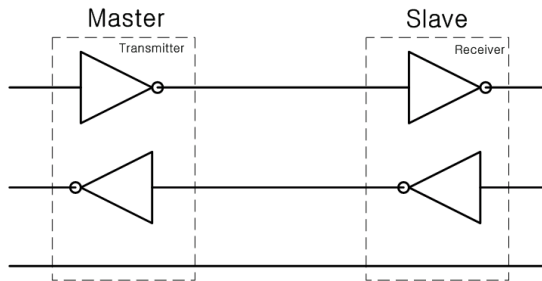


Fig. 3.6 RS-232C Communication

RS-232C 직렬통신은 Fig. 3.6과 같이 비평형회로에 의한 전송회로이다. 전송속도는 20K bit/s 이하이며, 장치간의 케이블 길이는 15m이하로 되어 있다.

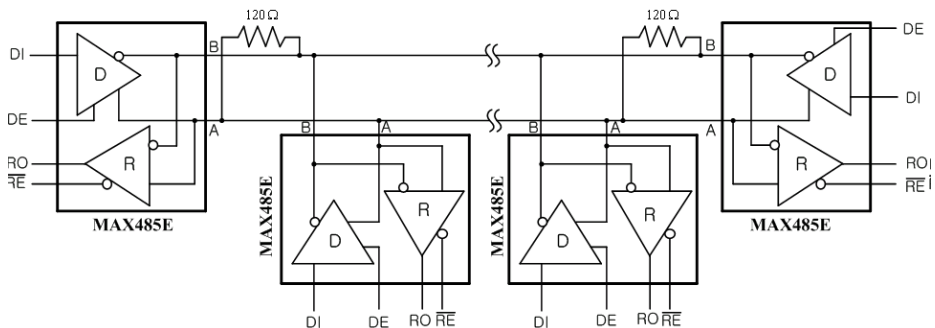


Fig. 3.7 MAX485E typical half-duplex RS-485 network

그러나 대잡음 성능이 나쁘고 다수의 제어기를 동시에 제어할 수

없고 통신선의 길이가 짧으므로 이러한 단점을 보완하기 위해 Fig. 3.7과 같이 RS-485 멀티통신기법을 사용하여 원거리통신, 다수의 제어기를 동시에 제어 및 대잡음성을 향상한다. 그러나 하나의 통신라인에 다수의 제어기가 접속되어 있어서 동시에 송신할 경우 충돌이 발생하여 데이터가 손상되는 경우가 발생하므로 이러한 충돌을 방지하기 위한 기법을 CSMA/CD 방식의 프로토콜(protocol)을 적용한다.

본 논문에서는 RS-485 멀티통신과 인터넷에서 사용하는 프로토콜인 CSMA/CD 방식을 적용하여 기존의 프로토콜인 centralized polling 방식에서 CSMA/CD 방식으로 변경하였다. CSMA/CD 통신기법은 하나의 제어기가 통신라인에 데이터를 전송할 때 통신라인을 사용하는 제어기가 없으면 아무문제도 발생하지 않지만, 두 개 이상의 제어기가 동시에 데이터를 전송하면 충돌(collision)이 발생한다. 이 충돌현상을 방지하기 위해 각 제어기는 데이터 전송에 앞서 현재 통신라인이 사용 중인지의 여부를 알아내는 CS(carrier sense)를 실시하고, 통신라인이 사용중이면 다른 제어기가 데이터를 전송하고 있으므로 잠시 대기하고, 사용중이 아니면 데이터 전송을 원하는 제어대상에 언제든 MA(multiple access)를 한다. 각 제어대상은 통신라인상의 데이터를 수신하여 전송한 데이터와 일치하면 데이터 전송이 정상적으로 이루어지고 있다고 인식하고 변화가 있다면 CD(collision detection)를 확인한다. 이때 데이터는 무효이므로 일정시간을 대기한 후에 재전송을 시도한다.

하드웨어에서 출력을 결정할 수 있는 세미컨버터를 제어하기 위해서는 교류파형을 제어할 수 있어야 한다. 교류는 180°마다 0점을 지나게 된다. 따라서 이 0점을 기준으로 사이리스터의 게이트신호를 언제 줄건지를 결정하면 된다. 이것을 구체적으로 그림으로 표현한 것이 Fig. 3.8이다.

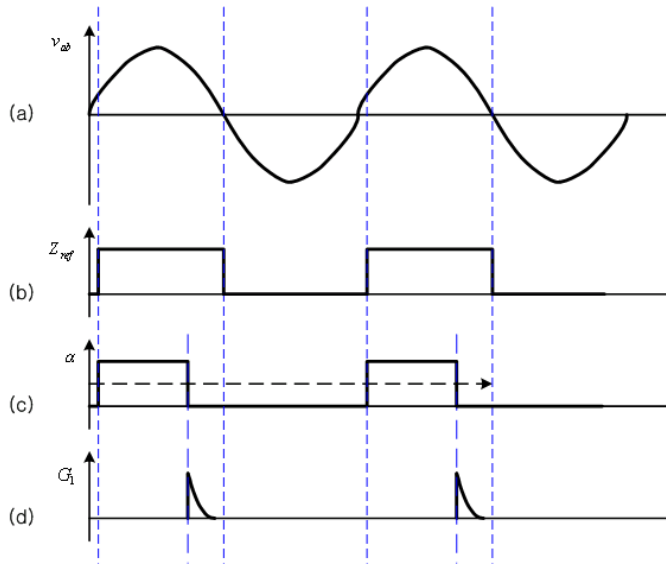


Fig. 3.8 Gate-firing

Fig. 3.8의 (a) 그래프는 상용전원의 교류파형을 나타내주고 있다. 그래프 (b)는 제로크로싱부분을 검출한 파형이다. 이상적인 회로가 아니므로 정확한 제로크로싱지점에서 약간의 지연시간이 발생한다. 그래프 (c)는 지연각을 나타내주는 것이다. 지연시간후 그래프 (d)와 같이 게이트신호가 발생한다. 이 게이트 신호가 사이리스터의 게이트 신호다. 이 시점부터 사이리스터가 도통되어 애노드에 전류가 흐르게 된다. 위의 알고리즘에 의해 필요한 회로를 구현하면 된다.

3.2.2 프로그램

본 연구의 프로그램은 크게 두가지이다. 마이크로 프로세서를 작동 시켜 시스템을 구동시키는 프로그램과 통신에 의해 컴퓨터 화면에 뿌려주는 프로그램이다. 전자는 CCS-C를 사용하고, 후자는 Microsoft visual c++ 을 사용하였다.^{15), 16), 19), 20)}

Fig. 3.9는 시스템 구동 프로그램을 나타낸다.

시스템 구동 프로그램	
#include <16F877.h>	//칩의 기능 선언
#device pic16f877 *:=16 adc=10	//A/D의 분해능을 10비트로 함
#use delay(clock=20000000)	//사용주파수 설정 4Mhz
#fuse HS, NOPROTECT, NOWDT	//크리스탈, 와치독타이머 사용안함
#include<93C46.c>	//EEPROM 사용
#use rs232(baud=9600, enable=PIN_C5, xmit=PIN_C6, rcv=PIN_C7)	//485통신 설정
//----- internal register setting -----	
.....	
//----- 변수 설정 -----	
//----- 함수 선언 -----	
void Main_screen();	
void Auto_screen();	
void Manu_screen();	
void Over_Protect_Set();	
void Under_Protect_Set();	
void Over_Curr_Set();	
void Alarm_screen();	
.....	
// 변수 초기화	
//----- I/O Function -----	
//----- 8254 function -----	
void PIT8253_init()	//8254 설정
void PIT8253_counter(unsigned long angle_value)	//실제 카운터값 입력
//----- 16*4 LCD function -----	
byte lcd_read_byte()	//LCD 설정
.....	

```

//----- a/d 함수 -----
long out_volt_cal(long buf)           //출력 전압 검출
long out_amp_cal(long buf)           //전류 검출
long ref_volt_cal(long buf)          //전위 검출
void value_display()                 //검출 데이터 디스플레이
.....
//----- Timer Interrupt -----
#int_rtcc                             //타임 인터럽트 설정
//----- main function -----
void main()
{
}

```

Fig. 3.9 System drive program

Fig. 3.10은 모니터링을 위한 프로그램이다. 소스는 다음의 3개 클래스로 구성된다.

통신수신:TestComReceiveThread

통신송신:TestComSendThread

chart표시:BoardDataDisplayThread

```

                                     1.TThread.h
// TThread.h
////////////////////////////////////
#ifndef _TTHREAD_DEF_
#define _TTHREAD_DEF_
#if      _MSC_VER > 1000
#pragma once
#endif  // _MSC_VER > 1000
////////////////////////////////////
// Thread Proto type definition //////////////////////////////////
UINT TestComSendThread(LPVOID IParam);    // 데이터 Send 클래스
UINT TestComReceiveThread(LPVOID IParam); // 데이터 Recieve 클래스
UINT BoardDataDisplayThread(LPVOID IParam); // 데이터 Display 클래스
#endif
////////////////////////////////////

```

2.TThread.cpp

```
////////////////////////////////////
// TThread.cpp
////////////////////////////////////
#include "stdafx.h"
#include "CTTestCom.h"
#include "CTTestComDoc.h"
#include "CTTestComView.h"
#include "MainFrm.h"

#include "TComm.h"
#include "TTimeWatch.h"
#include "TThread.h"

#ifdef _DEBUG
#undef THIS_FILE
static char THIS_FILE[]=__FILE__;
#define new DEBUG_NEW
#endif

////////////////////////////////////
UINT TestComSendThread(LPVOID IPParam)
{
    CCTTestComApp    *pApp = (CCTTestComApp *) (::AfxGetApp());
    CCTTestComView   *pView= (CCTTestComView *)IPParam;

    CComm             *m_pComm1 = pView->m_pComm1;
    CTimeWatch        m_pTime1;
    DWORD             dwCount=0;
    int                i=0;
    double             dblTime1=0.;
    CString            strSendData, strTime1=_T("");

    m_pComm1->ClearPort();
    Sleep(10);
    pView->m_pComm1->StartMonitoring();
}
```

```

while(pView->m_bSendFlag)
    {
        m_pTime1.Start();
        dwCount++;
        dwCount%=_MAXCOUNT_SENDDATA_;
        for(i=0; i<720; i++)
            {
                strSendData =
pView->GetDocument()->MakeNBSendData(pView->dwDisValue[0][i],
pView->dwDisValue[1][i], pView->dwDisValue[2][i], pView->dwDisValue[3][i]);

pView->m_pComm1->WriteCommNonBlocking(strSendData);
            }

                strSendData =
pView->GetDocument()->MakeNBSendCountData(dwCount);
                pView->m_pComm1->WriteCommNonBlocking(strSendData);
                dblTime1=m_pTime1.GetTimeInMilliSec());

                if(dblTime1 > 50.)
                    {
                        strSendData.Format("Count=%ld, DataCount=%d,
Time=%f",dwCount, i, dblTime1);
                        pView->SetMessage1Signal(strSendData);
                    }

                strTime1.Format("Count=%ld, Time=%f",dwCount, dblTime1);
                pView->SetMessage2Signal(strTime1);
            }
        pView->m_pComm1->StopMonitoring(FALSE);
        return 0;
}

UINT TestComReceiveThread(LPVOID IParam)
{
    CCTTestComApp *pApp = (CCTTestComApp *) (::AfxGetApp());
    CCTTestComView *pView= (CCTTestComView *)IParam;

    CTComm *m_pComm2 = pView->m_pComm2;
    CTimeWatch m_pTime1, m_pTime2;

```

```

DWORD                                dwCount=0;

int                                  i=0;
double                               dblTime1=0., dblTime2=0.;
CString                              strSendData=_T(""), strTime1=_T("");
CString                              strData=_T(""), strMsg=_T("");
BYTE                                  byTermChar = 0x0D, byChar=0;
DWORD                                dwBytesRead=0, dwPos=0;
m_pComm2->ClearPort();
Sleep(10);
pView->m_pComm2->StartMonitoring();
while(pView->m_bSendFlag)
{
    m_pTime1.Start();
    dwCount++;
    dwCount%=_MAXCOUNT_SENDDATA_;

    // 통신버퍼 내용 read
    m_pComm2->m_tReadQueue.LockBuf();
    while(m_pComm2->m_tReadQueue.GetByte(&byChar, TRUE))
    {
        strData += byChar;
        dwBytesRead++;
        if(byChar==byTermChar)
        {
            strTime1.Format("%c", byChar);
            pView->SetMessage3Signal(strTime1);
            break;
        }
    }
    m_pComm2->m_tReadQueue.UnlockBuf();
    dblTime1=m_pTime1.GetTimeInMilliSec();
    // 버퍼내용 copy
    m_pTime2.Start();
    m_pComm2->m_tReadQueue.LockBuf();
    dwPos = m_pComm2->m_tReadQueue.GetTail();
    m_pComm2->m_tReadQueue.GetByteArray(strMsg, dwPos-1,
FALSE);
    m_pComm2->m_tReadQueue.UnlockBuf();
    pView->SetReceiveSignal(strMsg);
    dblTime2=m_pTime2.GetTimeInMilliSec();
    strTime1.Format("Count=%ld, Time1=%f, Time2=%f", dwCount,
dblTime1, dblTime2);

```

```

        pView->SendMessage4Signal(strTime1);
    }
    return 0;
}
UINT BoardDataDisplayThread(LPVOID IParam)
{
    CCTestComApp *pApp = (CCTestComApp *)::AfxGetApp();
    CCTestComView *pView= (CCTestComView *)IParam;
    CTPCI1712L *pBoard= pView->m_pPCIBoard;
    CTimeWatch m_pTime1, m_pTime2, m_pTime3, m_pTime4;
    DWORD dwCount=0;
    int i=0;
    double dblTime1=0., dblTime2=0., dblTime3=0.,
dblTime4=0.;
    CString strSendData=_T(""), strTime1=_T(""),
strMsg=_T("");
    BOOL bDisplay = TRUE;
    USHORT gwTemp=0;
    while(pView->m_bDisplayThreadloop)
    {
        if(!(pBoard->gwCyclicCount%2) &&
pBoard->gwCyclicCount!=gwTemp)
        {
            m_pTime4.Start();
            pView->DisplayBoardData(); //
update한 데이터를 display..
            dblTime4=m_pTime4.GetTimeInMilliSec();
            strMsg.Format("DisplayBufTime B
=%6.4f",dblTime4);
            pView->m_tMessage4ST.SetWindowText(strMsg);
            gwTemp=pBoard->gwCyclicCount;
            pBoard->bThreadloop=FALSE;
        }
    }
    return 0;
}

```

Fig. 3.10 Monitoring program

3.3 하드웨어 설계

하드웨어는 전력소자인 SCR을 이용한 세미컨버터 부분과, 이를 제어하기 위한 전자회로소자들로 이루어져있다. 따라서 본 장에서는 SCR의 특징과 동작 방법을 설명하고, 전자회로 소자 각각의 특징과 사용방법, 실험 회로도 및 실험 과형들에 대해 설명하였다. 또한 제어 상태를 나타내기 위한 디스플레이 장치와 모니터링하기 위한 통신장치, 제어하기 위한 각종 데이터를 검출하는 각종 센서부분과 이를 증폭하기 위한 증폭부, 센서로부터 오는 아날로그 신호를 디지털 신호로 바꾸기 위한 A/D 컨버터에 대해 설명하였다.

3.3.1 구성

전압은 24V, 전류는 0 ~ 200A까지 작동하는 다이리스터를 이용한 AC-DC 정류기를 개발하여 애노드에 연결하여 선체에 전류를 흘려 보내도록 한다. 다이리스터의 도통각제어로 전압과 전류를 가변하고 도통각제어는 P82C542칩을 사용한다. 기준전극을 이용하여서 선체의 전위를 측정한다. 다이리스터를 도통시켜주는 게이트회로부와 전원라인의 제로크로싱 부분을 잡는 제로크로싱회로부를 설계해야 한다. real time clock(DS1302)소자를 부착하여 현재의 시간을 알 수 있도록 하고, 설정치를 저장하기 위해서 EEPROM(93C46)소자를 부착한다. 선박에 사용되는 장치들이므로 노이즈나 EMI에 대해 강한 회로를 설계하여야 한다.

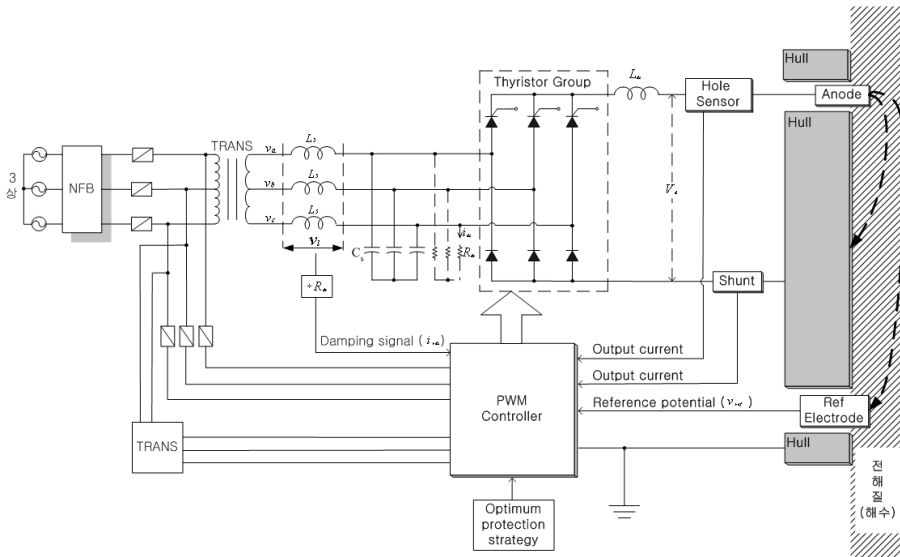


Fig. 3.11 Main circuit of converter

Fig. 3.11은 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 애노드가 흘린 전류를 받은 선체와 기준전극에서부터 센서에 의해 검출된 전위의 크

기에 따라 다이리스터의 게이트 도통각을 결정하게 된다. 변압된 24V중 게이트 도통각도부터 다이리스터가 도통되어 출력을 내보내게 되고, 애노드로부터 전해질(해수)을 거쳐 선체와 기준전극으로의 폐회로를 형성하게 되어 전류가 흐르게 된다. 이 전류에 의해 선체는 방식된다. ICCP의 주 회로는 이렇게 이루어져 선체를 방식하게 된다.

3.3.2 세미컨버터형 정류기

세미컨버터형 정류기는 다이리스터로 구성된다. 다이리스터의 특징은 다음과 같다.^{10)~14)}

- (1) 고전압, 대전류의 제어가 용이하다.
- (2) 제어이득이 높을 뿐 아니라 게이트신호가 소멸해도 ON 상태를 유지할 수가 있다.
- (3) 수명은 반영구적이고 신뢰성이 높으며 서어지전압, 전류에도 강하다.
- (4) 소형, 경량이며 기기나 장치에의 부착이 용이하다.
- (5) 기계식 접점에 비하여 ON, OFF 주파수 특성이 좋다.

이러한 특징을 가진 다이리스터는 가전제품, 사무자동화(OA)기기, 산업용 기기등의 전력제어 분야에서 널리 사용되고 있다. 다이리스터의 외형은 크게 분류하면 캔타입과 모듈타입의 두가지가 있는데, 최근에는 고내압, 고신뢰성, 대량 생산성에 뛰어난 글라스 패시베이션 기술의 발달에 의하여 모듈타입으로도 일반 사용환경에서는 실용상 충분한 신뢰성을 얻게 되었으며, 캔타입은 산업용 이외에는 거의 사용하지 않는 추세에 있다. 한편, 모듈타입은 값이 싸기 때문에 그 사용범위도 확대일로에 있으며, 절연형이나 퍼스텐 단자형이 첨가되어 품종도 풍부하게 갖추어져 있다.

Fig. 3.12는 3상 세미컨버터의 회로와 전압, 전류의 파형을 나타낸다. 여기서, 다이오드 D_3, D_1, D_2 는 각각 t_2 와 t_4, t_4 와 t_6, t_6 와 t_8 구간 동안 도통한다. 만약, 다이리스터 S_1, S_2, S_3 가 다이오드였다면, 각각 $t_1 - t_3, t_3 - t_5, t_5 - t_7$ 구간동안 도통할 것이다. 그러므로, S_1, S_2, S_3 의 게이트점호를 상전압 v_A, v_B, v_C 가 교차하는 점($\alpha = 0^\circ$)에서 시키면 3상 전파 다이오드 정류기와 같이 동작한다.

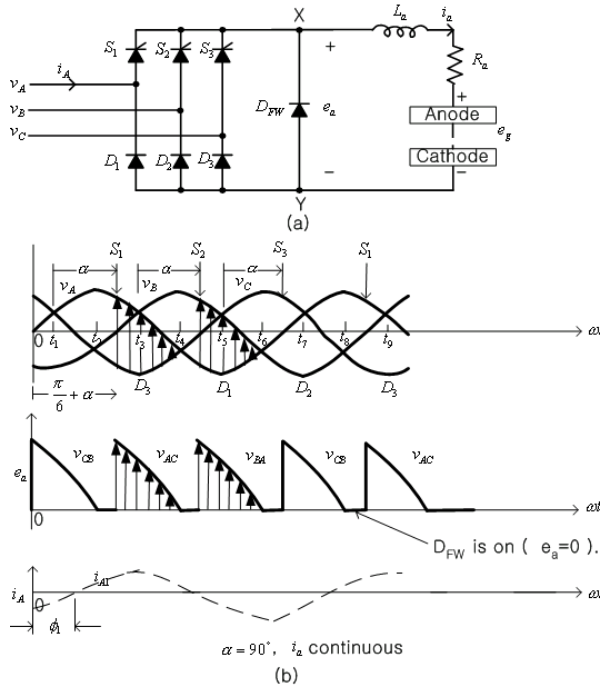


Fig. 3.12 Three-phase semi-converter
-controlled ICCP system

(a) Power circuit (b) Waveforms for 90 firing angles

3상 다이리스터는 단상의 경우에 비하여 더 자주 스위칭 되므로, 어떤 전류의 감쇠시간은 단상에 비하여 더 늦어지게 되어 애노드 전류의 연속을 초래하게 된다. $(\frac{\pi}{6} + \alpha) < \omega t < \omega t_4$ 구간 동안에는 Fig. 3.12의 (b)에서와 같이 S_1, D_3 가 도통하게 된다. 그러므로 애노드의 P에는 상전압 v_A 가 인가되고, 단자 N에는 상전압 v_C 가 인가되어 이 기간동안 애노드의 단자전압의 순시치 $e_a = v_A - v_C = v_{AC}$ 가 된다. ωt_4 에서 e_a 는 0이 되고($v_A = v_C$ 이므로), 이 시간 이후부터는 v_C 값이 v_A 값보다 크므로 e_a 는 부(-)가 된다. 따라서 프리휠링 다이오드 D_{FW} 가 ωt_4 에서 순바이어스로 되므로 애노드 전류는 다음 다이리스터 S_2 가 $(\frac{\pi}{6} + \alpha + \frac{2\pi}{3})$ 에서 도통될 때까지 흐른다.

프리휠링 다이오드가 없다면 프리휠링은 S_1, D_1 을 통하여 이루어질 것이다. 점호각이 클때의 애노드전류는 공급되는 전류와 속도에 따라서 연속, 혹은 불연속이 될 수 있다.

다음 구간에서 S_2 와 D_1 이 도통되면 $e_a = v_B - v_A$ 가 애노드에 인가되며 t_6 에서 $v_B = v_A$ 가 되며 그 이후부터는 다시 e_a 는 부(-)가 되어 D_{FW} 가 도통되고, 다시 S_3 이 도통될때까지 흐르게 된다.

공급전압의 상전압을 다음과 같이 놓으면,

$$\begin{aligned} v_A &= \sqrt{2} V \sin \omega t \\ v_B &= \sqrt{2} V \sin \left(\omega t - \frac{2\pi}{3} \right) \\ v_C &= \sqrt{2} V \sin \left(\omega t - \frac{4\pi}{3} \right) [V] \end{aligned} \quad (3.1)$$

$E_a(\alpha)$ 는 다음과 같이 얻어진다(애노드 전류가 연속일 때).

$$\begin{aligned} E_a(\alpha) &= \frac{3}{2\pi} \int_{\frac{\pi}{b} + \alpha}^{\frac{\pi}{b} + \alpha + \frac{2\pi}{3}} (v_A - v_C) d(\omega t) \\ &= 3\sqrt{6} \frac{V}{2\pi} (1 + \cos \alpha) [V] \end{aligned}$$

(3.2)

입력전류의 기본요소는 Fig. 3.12의 (b)에 점선으로 도시하였다. 역률각 ϕ_1 은 점호각 α 의 증가에 따라 증가할 것이며, 입력 역률은 점호각 증가에 따라 감소할 것이다. 여기서 ϕ 는 i_a 의 기본파 전류의 위상각을 의미한다.

3.3.3 구동회로

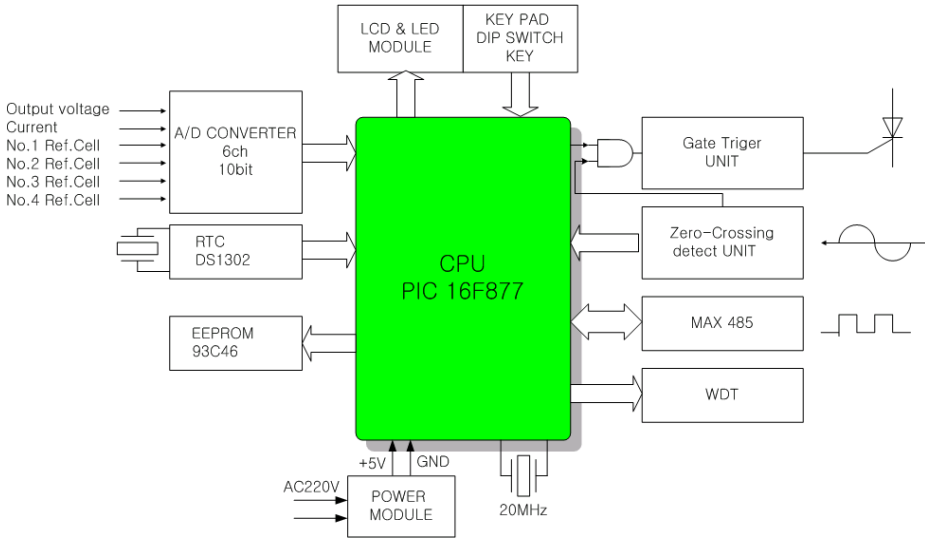


Fig. 3.13 Block diagram of controller

제어기는 ICCP를 구동시키고 선체와 기준전극간의 전위를 감시하며, 전압데이터를 전송하는 것으로, Fig. 3.13에 제어기의 구성을 나타내고 있다. 이런 특화된 작업을 처리하기 위해서 제어기는 통신을 제어하고 보내온 데이터로 ICCP를 구동시킨다. 제어기는 CPU(central processing unit)와 여기에 전원을 공급하는 전원 모듈과 클럭을 입력하는 오실레이터가 있다. 또한 주변소자로 데이터 기억모듈, PC와의 데이터 통신모듈, 카운터, timer, 제로크로싱 모듈, 게이트 트리거 모듈, 디스플레이 모듈, 각종 입력 모듈 등으로 구성된다.

데이터 처리 장치에 사용되는 CPU는 Microchip사의 PIC16F877이다. 이 칩은 파이프라인(pipe line)구조를 가진 RISC 구조(reduced instruction set computer architecture)로서 실행시간을 효율적으로 줄일 수 있고 동시에 다음 명령을 패치 할 수 있는 병렬처리가 가능하다. 또한 내부 ADC를 가지고 있어 선체의 전위와 전류, 전압의 데이터를 얻는데 사용된다.

PIC16F877의 구성과 특징은 Table 3.1과 같다.^{16), 19), 20)}

Table. 3.1 Microcontroller core features of PIC16F877

High-performance RISC CPU	
Programable-code Protection	
Program Memory	8K × 14 words
Data RAM	368Bytes
Max. Speed	20MHz
I/O	33 Ports (Port A, B, C, D, E)
10-bit Analog-to-Digital Module	8 input channels
Serial Communications	MSSP, USART
Parallel Communications	PSP
Capture/Compare/PWM Modules	2 EA
Timers	3 (Timer0, Timer1, Timer2)+ WDT
Interrupt capability	up to 14 sources

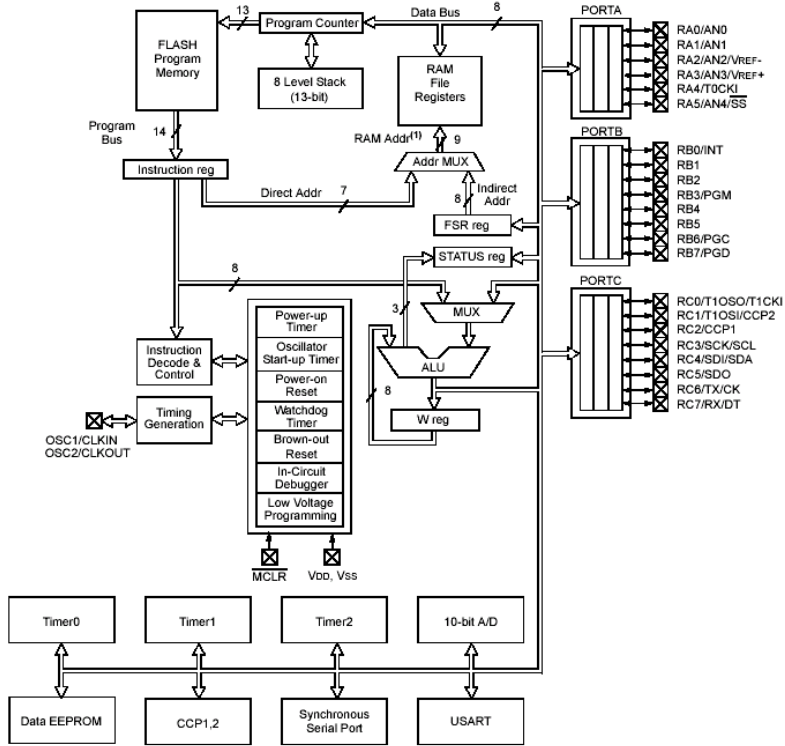


Fig. 3.14 PIC16F877 block diagram

Fig. 3.14는 PIC16F877의 내부 구조를 나타낸다.

통신칩은 MAXIM사의 MAX485를 사용하고 LCD는 16×4문자를 쓸 수 있는 것을 사용하였다. 데이터 처리 장치를 동작시키는 소프트웨어는 CCS사의 PCM PICC 컴파일러(compiler)를 사용한다. 이 컴파일러의 특징은 부동소수점연산가능, 수학함수 및 표준라이브러리 함수지원, 하드웨어 구동함수 지원, 다양한 에러함수 지원 및 PIC 어셈블러(PIC assembler)를 동시사용 가능 등의 특징을 가지고 있다. PCM PIC C 컴파일러의 구성은 Fig. 3.15와 같다.

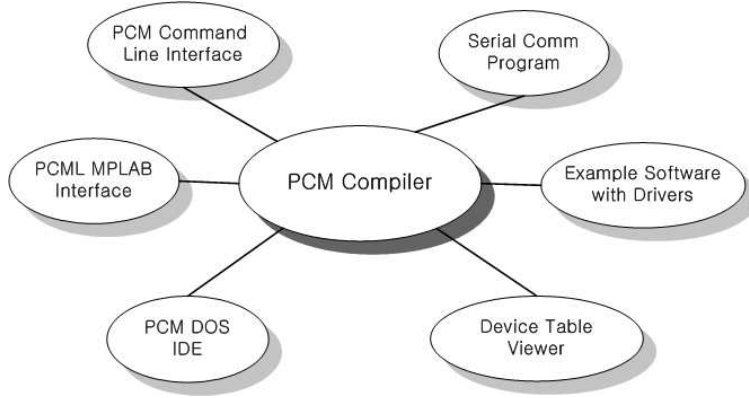


Fig. 3.15 Block diagram of PIC C compiler

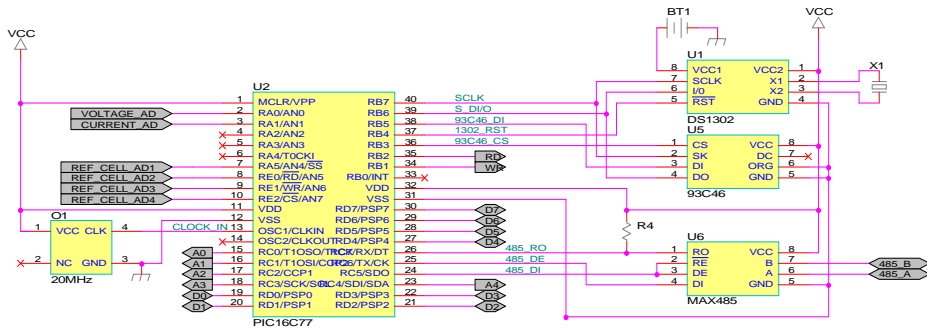


Fig. 3.16 System drive circuit

Fig. 3.16은 제어기의 주 구동회로도를 나타낸다. CPU인 PIC16F877이 있고, 데이터나 알람 내용을 저장하기 위한 EEPROM(93C46)이 있고, 이것에 데이터를 저장할 때 시간을 같이 저장하기 위해서 DS1302칩을 사용하였다. 이 칩은 전원이 안들어와도 자체 배터리에 의해 계속 작동하게 된다. 통신을 위한 MAX485 칩과 CPU에 클럭을 공급하기 위한 20MHz의 오실레이터도 사용하였다. 입출력 포트로는 각종 센서에 의해 검출된 데이터를 A/D 변환하기 위해 16F877의 A포트에 연결한 6개가 있고, 디지털 신호로 변환된 8bit의 데이터 포트가 D포트에 8개(D0~D7) 있고, 각종 칩을 선택하기 위한 address 포트가 C포트에 5개(A0~A4) 있다.

Fig. 3.17은 DS1302의 block diagram이다.

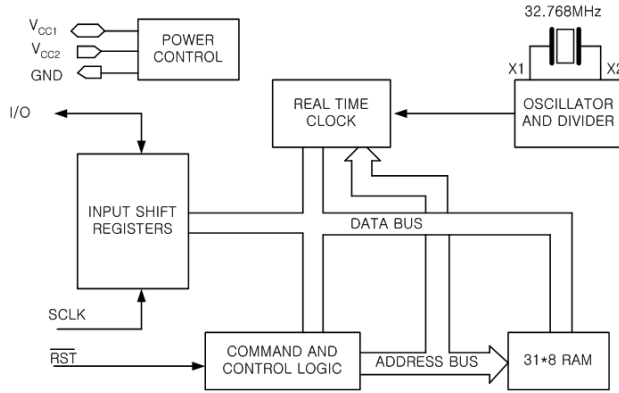


Fig. 3.17 DS1302 block diagram

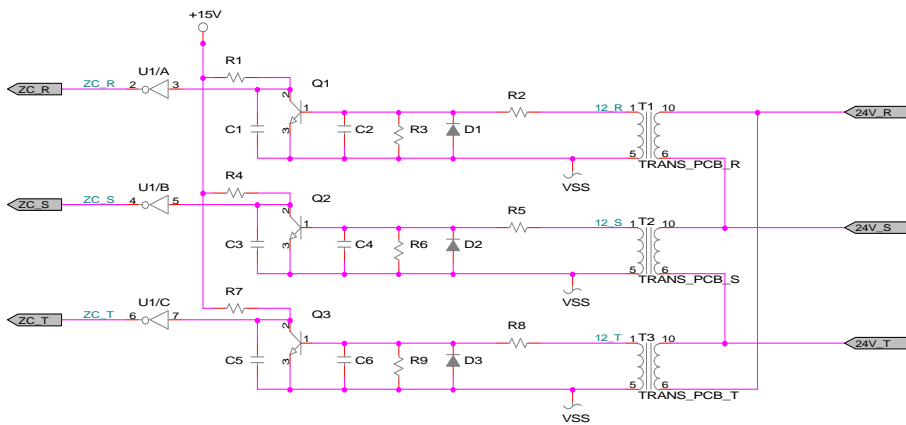


Fig. 3.18 Zero-crossing detector circuit

제로 크로싱 디텍터(zero-crossing detector)는 3상 정현파 전압원에서 SCR을 출력 기준점인 영점에서부터 원하는 각도에서 동작시키기 위함이다. 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. 3.18은 zero-crossing 회로를 나타낸다.

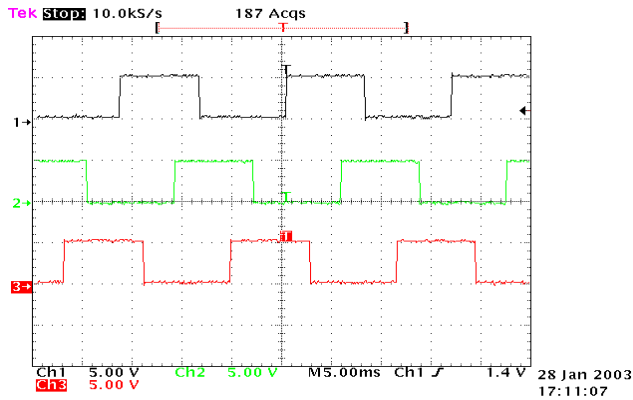


Fig. 3.19 Zero-crossing waveforms of three-phase

Fig. 3.19는 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. 또한 +, -가 번갈아 나타나는 교류파형이 구형파와 같은 + 전압으로 나타난다.

ICCP에서 방식전위를 유지하기 위해서는 세미컨버터의 출력을 조절해야 하는데, 이는 SCR의 게이트신호를 제어하여 3상인 RST의 위상을 제어하게 된다. 이때 게이트 신호를 언제 줄건지는 CPU의 명령에 따라서 한다. 하지만 CPU가 다른 일도 하고 있으므로 CPU의 부담을 덜어주기 위해 타이머/카운터 IC인 8254를 사용하였다.¹⁷⁾
²⁴⁾ 이를 통해 CPU는 수를 헤아려 주고 또 특정수가 되면 이를 알려주는 한 명의 비서를 둔 셈이다. 컴퓨터의 세계에서는 시스템 클럭의 펄스 수를 헤아림으로써 시간을 아는데 만약 CPU가 수시로 펄스수를 체크한다면 이는 상당히 비효율적인 일이 아닐 수 없다. 따라서 8254라고 하는 비서에게 펄스의 수가 몇 개 들어오면 자신에게 알려달라고 지시하고 CPU는 하던 일을 계속하면 되는 것이다. Fig. 3.18은 이를 도식적으로 나타냈다. CPU는 8254에게 몇 개의 클럭이 되면 가르쳐달라고 명령을 내리고 CPU는 다른 일을 하게 된다. 8254는 외부에서 들어오는 클럭을 세고 있다가 CPU가 지시한 만큼의 클럭을 세면 CPU에게 알려주게 된다.

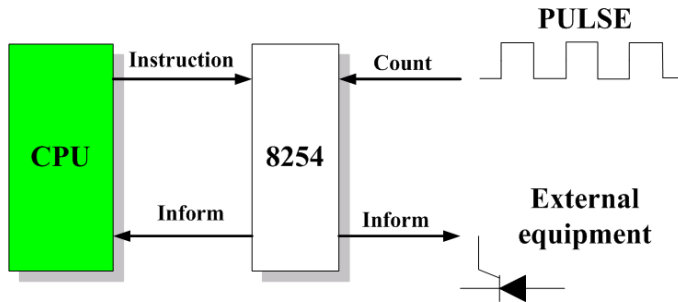


Fig. 3.20 8254 block diagram

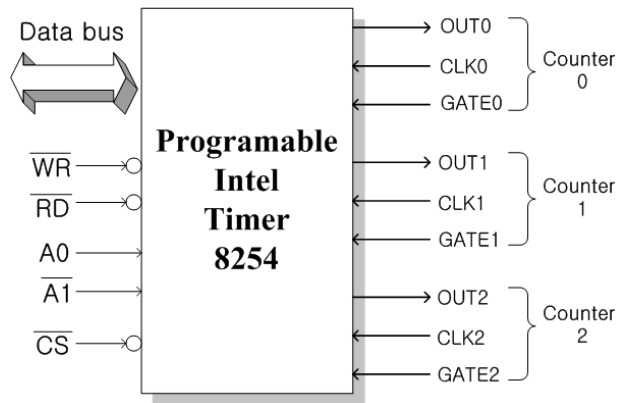


Fig. 3.21 Structure of 8254

8254는 programable intel timer라고 부르며 프로그램에 의해서 여러 가지 기능을 지정할 수가 있다. Fig. 3.21은 8254의 구조를 도식적으로 나타낸 것이다. 8254는 3개의 독립 채널을 가지고 있다. 각 채널에는 16bit 다운 카운터를 내장하고 있다. 본 연구에서는 timer0에는 3상 중 R상을, timer1에는 S상을, timer2에는 T상을 제어하도록 설계하였다. 각 카운터에 입력가능한 신호의 최고 주파수는 3가지 속도 버전에 따라 다른데, 본 연구에서는 8254-2를 선택하여 최고 주파수를 10MHz까지 가능하게 하였고, 실제 실험에서는 4MHz의 주파수를 사용하였다. 모드는 0~5까지 6가지가 있는데, 본 실험에서는 모드1을 사용하였다. 8254는 16비트 다운 카운터 구조를 가지는데, CPU와 인터페이스는 8bit로만 가능하므로, 카운터를 읽는 동안 카운터값이 변경되는 문제를 방지하기 위해 카운

터값을 래치(latch)하는 기능이 있다. 동작방법은 다음과 같다. CPU로부터 8254 자체를 선택하기 위한 IC칩 선택신호로 active low의 입력신호가 CS핀으로 들어오면 8254가 선택된다. 8254의 역할이 CPU와 외부장치 사이에서 데이터를 전달하는 것이므로, RD는 외부장치에서 입력된 데이터를 CPU에서 읽기 위해 필요한 신호선이다. 그러나 8254는 외부의 데이터를 입력받는 일이 없으므로 8254의 RD는 줄어 들고 있는 카운트 수를 읽어오는데 필요한 신호선이다. 물론 읽기에 앞서 세려야 할 카운트 수를 8254에다 쓰고(WR) 이 카운트 수가 하나씩 줄어서 0이 되면 OUT 단자를 통해 CPU나 주변장치에게 알려주는 것이다. 바로 이것이 8254의 역할이다. 어드레스 버스의 최하위 두 비트로서 8254내부의 3개의 타이머/카운터와 또 그들의 동작을 제어하는 컨트롤 워드 레지스터에 어드레스를 할당하므로써 이들을 선택한다. A0와 A1에 의해서 어떤 카운터를 사용할지 결정할 수 있다. A0A1이 '00'이면 카운터0이 선택되고, '01'이면 카운터1, '10'이면 카운터2가 선택된다. '11'이면 컨트롤 워드 레지스터가 선택된다.

컨트롤 워드 레지스터의 구조를 살펴보면 다음과 같다.

d7	d6	d5	d4	d3	d2	d1	d0	컨트롤 워드(1byte)
----	----	----	----	----	----	----	----	---------------

d0가 '1'이면 4자리 BCD 카운터를 나타내고, '0'이면 16bit카운터가 된다. d1, d2, d3 세 비트로 카운터 0~3의 동작모드를 지정한다. 본 연구에서 사용한 모드1은 d1, d2, d3를 '001'로 선택하면 된다.

다음의 d4, d5 두 비트로 카운트 값을 설정하든지 읽을 때 어떤 방법으로 할 것인지를 결정한다. d4, d5의 값이 '00'이면 카운터 래치 동작을, '01'이면 하위 1바이트만 R/W(read/write), '10'이면 상위 1바이트만 R/W, '11'이면 하위 상위 차례로 R/W로 선택할 수 있다. 본 연구에서는 '11'로 하여 하위 상위 차례로 R/W 할 수 있도록 하였다. d6, d7은 0~2 카운터중 하나를 선택할 수 있다. d6, d7의 값이 '00'이면 카운터0, '01'이면 카운터1, '10'이면 카운터2가 선택된다.

CLK핀은 clock puls가 입력되는 단자이다. 카운터 0~2에 써넣은 수만큼의 펄스가 CLK로 들어오면 OUT단자를 통해 펄스를 내보낸다. GATE핀은 카운터의 동작개시를 명령하는 트리거펄스 입력으로 사용된다. 다음 그림은 8254의 카운팅 방법을 도시한 그림이다. 본 실험에서는 8254의 모드중 모드 1을 사용하였다. 모드 1을 선택하는 방법은 Fig. 3.22과 같다.

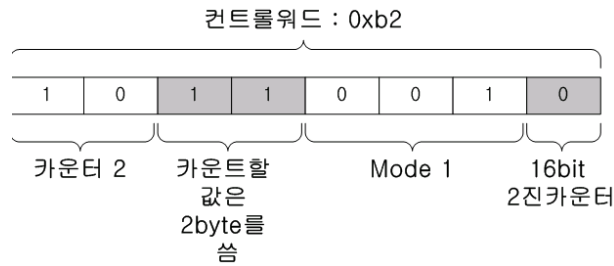


Fig. 3.22 Control word of 8254

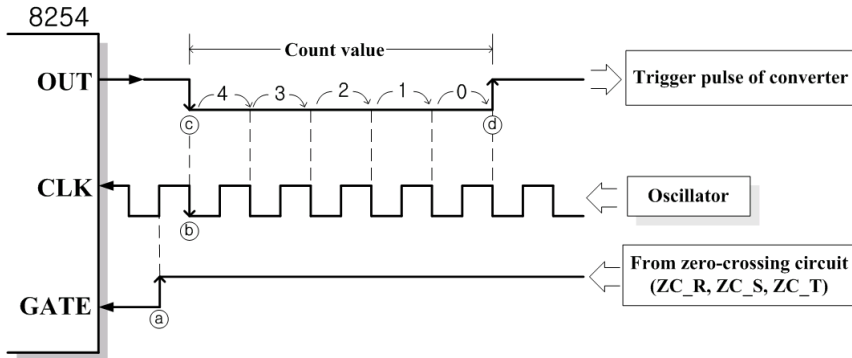


Fig. 3.23 Count 5 with mode 1

Fig. 3.23은 모드1일때 5개를 세는 방법을 그림으로 나타냈다. 모드 1에서는 GATE 단자를 트리거 입력으로 사용한다. 이것은 GATE 단자에 입력되는 신호의 변화(up)로 출력 (OUT)에 영향을 준다는 말이다. 따라서 GATE에 가하는 신호를 L(low)에서 H(high)로 up 시키면(Fig. 3.23 (a)) 이 상승 모서리(up edge)이후 CLK의 하강 edge(Fig. 3.23 (b))에서 OUT 단자는 L(c)로 떨어지고 카운트 값으로 지정한 수의 펄스가 들어오고 나면 다시 H(d)로 올라간

다. 결국 카운트 할 수만큼 동안의 부의 펄스로 발생할 수 있다는 것이다.

GATE 단자에 가해지는 신호가 low로 있을 때는 CLK에 펄스가 들어와도 카운팅하지 않고 기다리다가 GATE 신호가 high로 올라가는 (up) 순간부터 들어오는 펄스의 수를 세는 것이다. 이 펄스는 3상의 교류가 제로크로싱회로를 거쳐 오면서 만들어진 펄스다. Fig. 3.23에서 5개를 세므로 OUT의 ㉔부터 5개를 다 세고 0이 되는 순간 그림 ㉔처럼 펄스가 UP한다.

실험에서 설계한 카운터 회로도에는 Fig. 3.24와 같다.

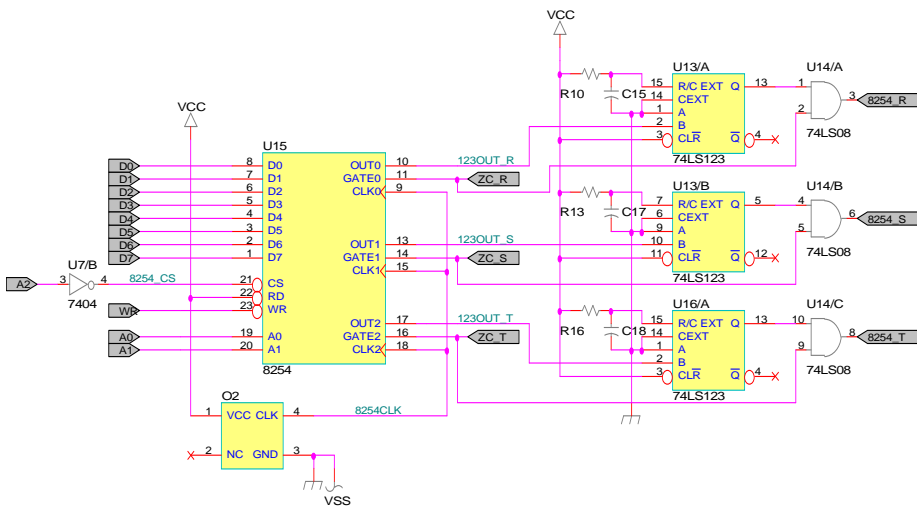


Fig. 3.24 8254 circuit

위의 회로도에 따른 실험 파형은 Fig. 3.25와 같다.

Fig. 3.25에서 파형 1번은 Fig. 3.24에서 8254의 11번핀 (GATE0)를 나타내고, 파형 2번은 8254의 10번(OUT0)의 파형을 나타내고, 파형 3번은 74LS08의 3번(8254_R)의 파형을 나타낸다. 파형 3의 펄스폭은 Fig. 3.24에서의 retriggerable monostable multivibrator인 74LS123에 연결된 저항과 컨덴서용량에 따라 결정된다.

이 신호는 펄스트랜스포머를 지나쳐 세미컨버터의 게이트 신호로 작동하게 된다.

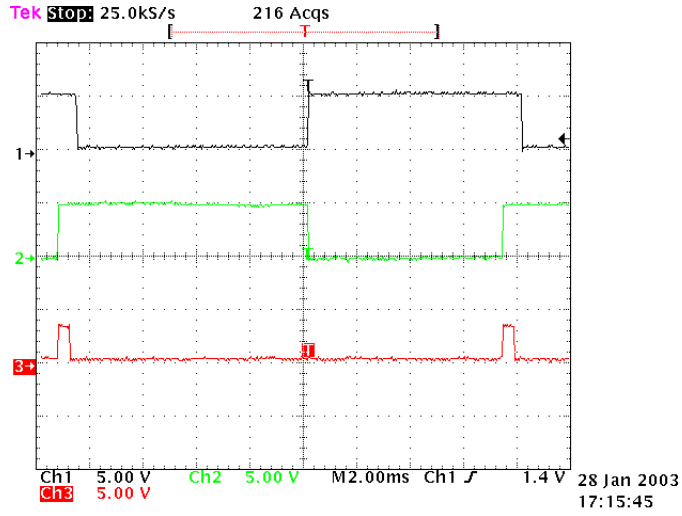


Fig. 3.25 8254 waveform

세미컨버터의 게이트 신호가 만들어지는 회로도는 Fig. 3.26과 같다.

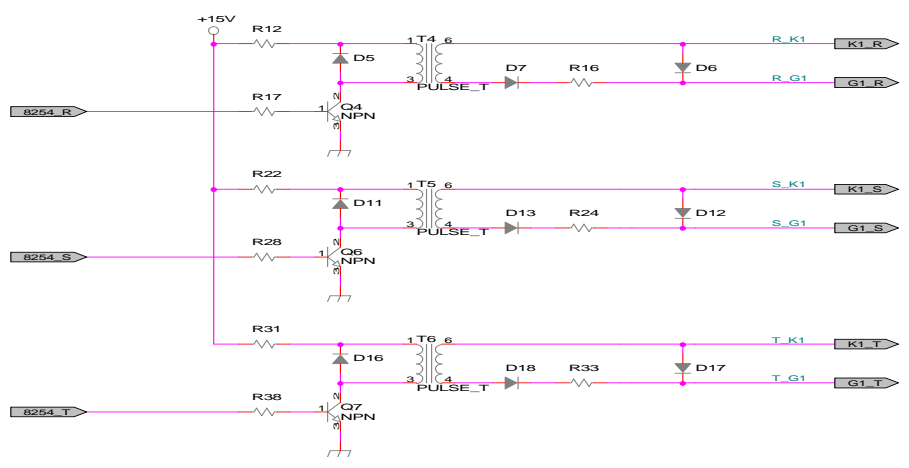


Fig. 3.26 Gate signal of semi-converter

3.3.4 모니터링 회로와 통신 회로

우리가 컴퓨터(PC)라는 하드웨어 장치를 사용하여 작업을 수행할

때, 눈으로 확인하면서 작업을 수행하기 위해서 모니터라는 장치를 이용한다. 이와 같이 단순한 하드웨어 장치에 모니터와 같은 기능을 갖는 디스플레이 장치로 LCD(liquid crystal display)라는 장치를 많이 이용한다.

본 연구에서도 ICCP의 운전상태 감시 및 관리를 위해서 현장에서 바로 상태를 볼 수 있도록 16×4 LCD를 사용하였다.^{16)~24)}

LED(light emitting diode)가 아라비아 숫자 및 16진수에 필요한 A-F 정도의 문자를 표현할 수 있는데 비하여 LCD 모듈은 모든 ASCII 문자들을 비교적 미려하게 표현할 수 있으므로 오늘날 전기/전자기기의 간단한 문자표시용 출력장치에 널리 사용된다. 그러나, LCD 모듈은 LED처럼 스스로 발광하는 능력을 가지고 있지 않아서 주위 조도가 낮은 곳에서는 사용하기 어렵고, 사람이 이를 보는 각도에 따라 가시효과가 달라지며, 일반적으로 5×8 도트로 문자를 표현하므로 영문소문자의 g, j, p, q, y와 같은 문자들은 다소 어색하게 표시된다. 이 중에서 LCD 모듈이 발광능력이 없는 단점은 표시부의 배경에 LED로 밝게 조명을 하는 기능을 부착한 백라이트(backlight)형으로 보완되고 있다. 이와 같은 LCD 모듈은 LCD 판넬과 LCD 컨트롤러 및 드라이버를 1개의 PCB에 일체형으로 내장하여 만든 소자로서, 도트 매트릭스(dot matrix)방식으로 ASCII 문자를 표시할 수 있는 문자표시형과 그래픽 방식으로 화면을 표시할 수 있는 그래픽형이 있는데, 특수한 경우가 아니면 문자표시형이 널리 사용된다. 문자표시형은 표시할 수 있는 문자의 행의 수와 열의 수에 따라 많은 모델이 있으나, ICCP 장치의 특성상 16×4를 선택하였다.

내부 모듈의 구조는 Fig. 3.27과 같다.

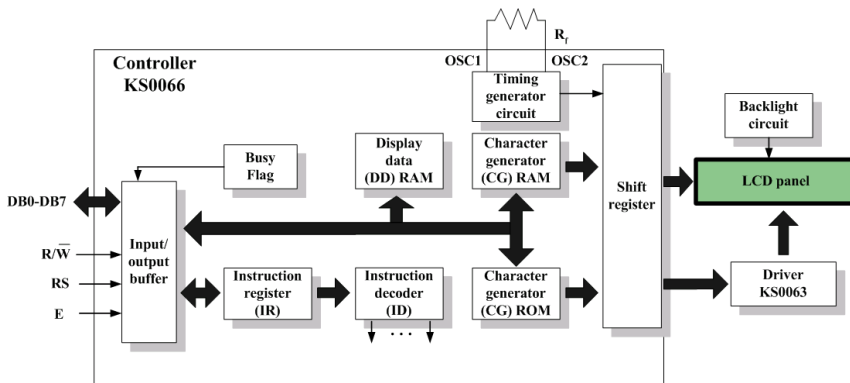


Fig. 3.27 Block diagram of LCD

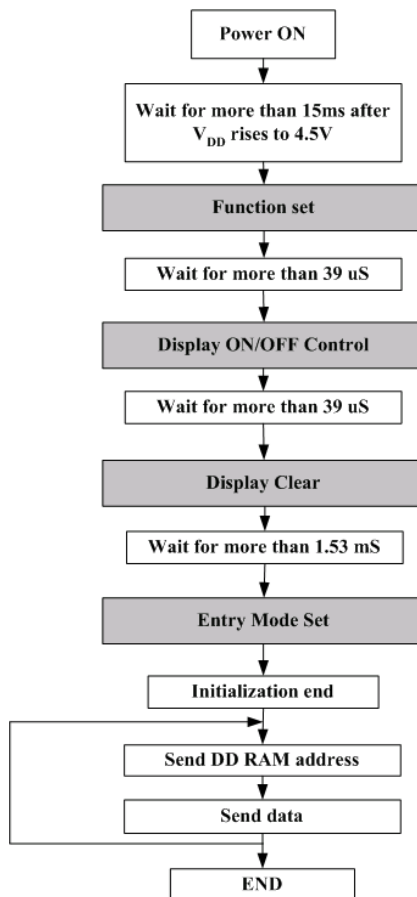


Fig. 3.28 LCD flowchart

그러나 LCD 모듈은 일반적인 I/O 인터페이스용의 반도체 소자들에 비하면 액세스 시간이 상당히 긴 편이므로 초기화를 확실히 해줄 필요가 있다. 또한 LCD로 방금 전송한 명령이 현재 수행중인지 알 수 없기 때문에 선불리 다음 명령을 전송할 수 없다. 따라서 항상 최대 수행 시간인 1.6ms에 맞추어 지연해야 한다. 그러나 대부분의 명령은 37 μ s 내에 수행되기 때문에 대단한 시간낭비가 아닐 수 없다. 따라서 연속적으로 LCD 모듈에 제어 명령(인스트럭션)이 입력될 때 LCD 모듈이 처리할 수 있는가를 나타내는 상태표시로 BF(busy flag)를 사용한다. BF를 판단하여 1이면 현재 busy 상태이므로 기다려야 하고, 0이면 처리 종료로 의미하므로 다음 명령을 실행한다. Fig. 3.28은 LCD의 초기화와 실행 과정을 플로우차트로 나타내었다. ‘function set’에서는 1, 2 line mode와 display on/off 기능을 선택하고, ‘display on/off control’에서는 display on/off, cursor on/off, blink on/off를 선택할 수 있다. ‘display clear’에서는 초기화를 위해 LCD 화면을 깨끗이 지워준다. ‘entry mode set’에서는 decrement/increment mode, entire shift on/off를 선택할 수 있다.

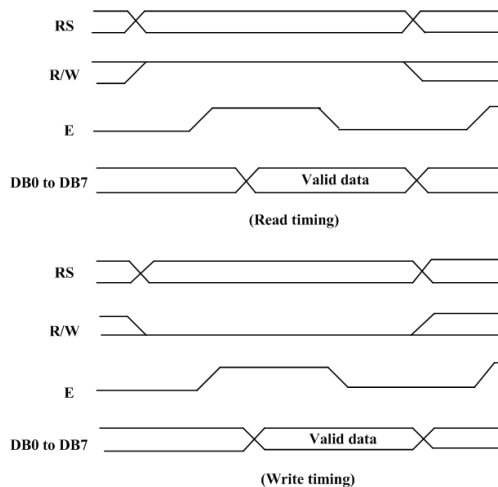


Fig. 3.29 LCD timing characteristics

Fig. 3.29는 LCD의 동작 타이밍을 나타낸다. 쓸모 있는 데이터 (valid data)가 되기 위해서는 동작 타이밍에 맞게 프로그램을 코딩

해줘야 한다. LCD에 쓰는 동작과 읽은 동작시 RS(register select) 신호를 먼저 주어서 IR을 선택하여 환경설정을 하던지, DR을 선택하여 문자를 출력할건지를 결정한다. 그다음 R/W(read/write)신호를 주어서 데이터를 읽을건지 쓸건지를 판단하게된다. 그다음 E(enable) high 신호를 주어서 명령/문자 데이터를 출력하고, LCD가 명령 처리하기 위한 시간만큼 지연한후 low로 바꾸어 주면 각 과정이 종료된다.

Fig. 3.30은 본 연구에서 사용한 LCD의 회로도를 나타낸다.

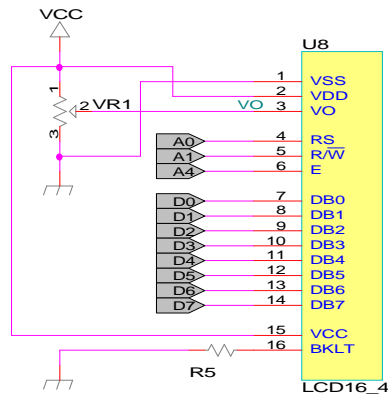


Fig. 3.30 LCD circuit

Fig. 3.31은 485 통신의 회로도이다. 이 통신포트와 RS-232 to RS-485 converter와 연결되어 컴퓨터와 통신할 수 있게 된다.

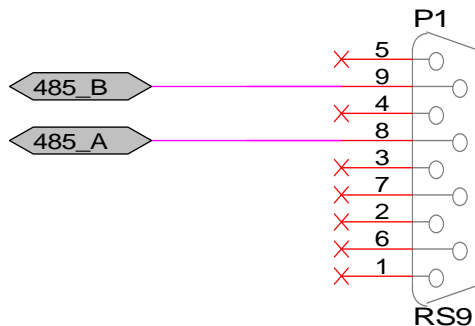


Fig. 3.31 485 communication circuit

Fig. 3.32는 RS-232 to RS-485 converter의 개념도와 선 연결방

법을 나타낸다. 장비간의 멀티통신을 위해 RS-485를 사용하고, 컴퓨터와의 통신을 위해서는 RS-232통신을 사용한다. 이 컨버터는 RS-485를 RS-232 통신으로 바꾸어주어 장치의 데이터가 컴퓨터로 보여질수 있도록 하는 역할을 한다. 또한 반대로 RS-232를 RS-485로도 바꾸어주어 컴퓨터와 장치가 통신할 수 있도록 해준다.

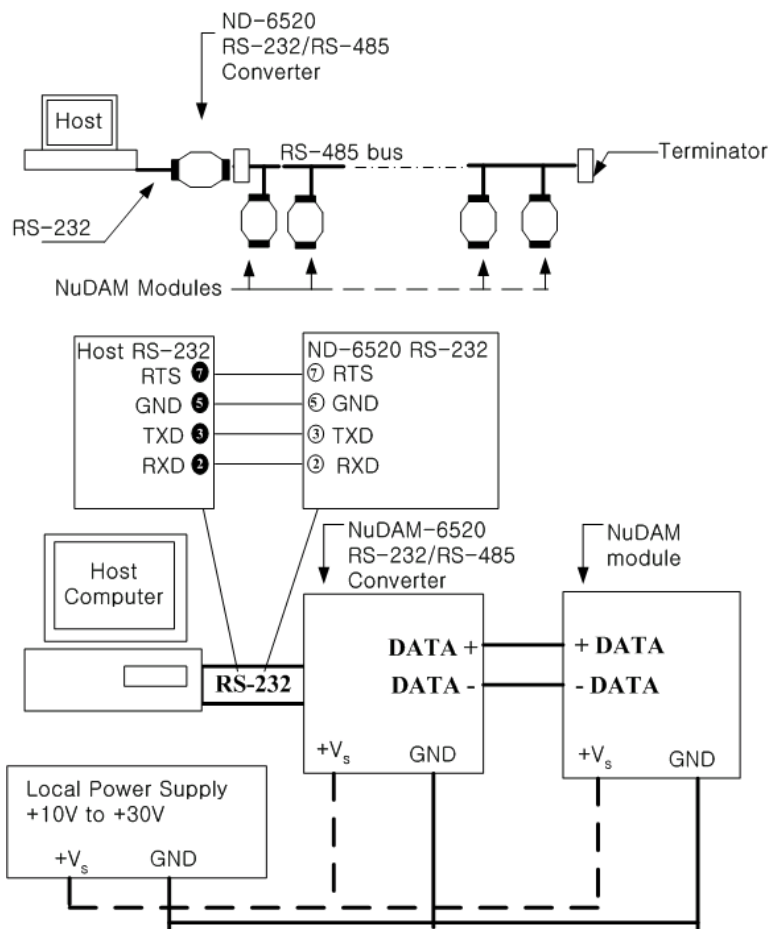


Fig. 3.32 Connection between host and ND-6520

3.3.5 전원 회로와 입출력 회로

안정된 전원공급을 위해서 자체적으로 전원장치를 설계 제작하였다. 전원리플(power ripple)의 감소를 위해서 전압레귤레이터(voltage regulator)와 전해콘덴서를 설치하였다.

Fig. 3.33은 ICCP 장치의 전원 공급 모듈의 회로도를 나타낸다.

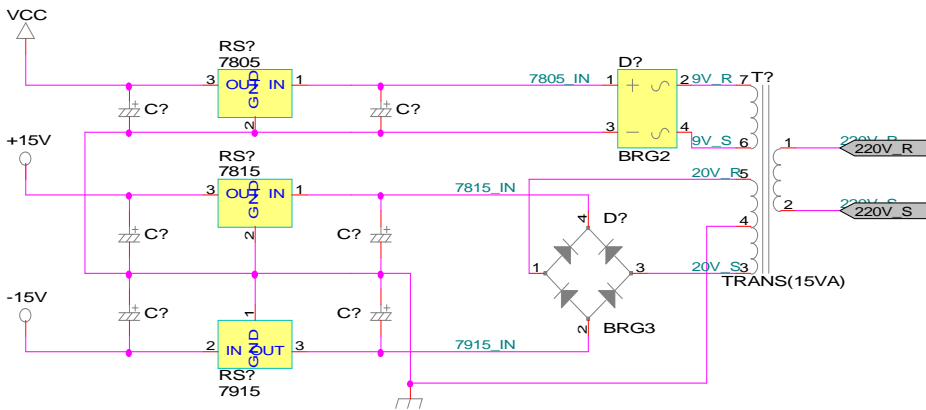


Fig. 3.33 Power circuit

입출력 포트는 chip-selector에 의해 입력데이터를 선택할건지 출력데이터를 선택할건지를 결정한다. chip-selector로는 74LS138을 사용하였고, 이 칩은 입력신호 A0 ~ A2에 의해 input 또는 output을 선택하게 된다. Fig. 3.34는 chip-selector의 회로도이다.

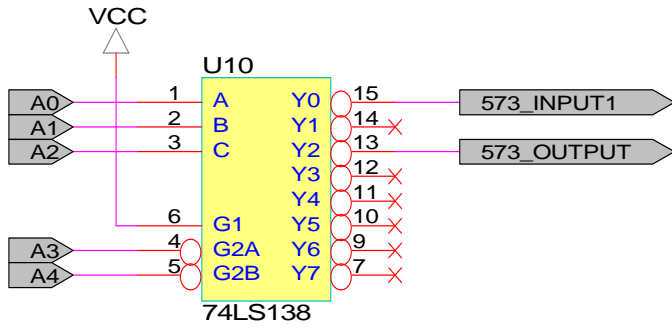


Fig. 3.34 Chip-selector circuit

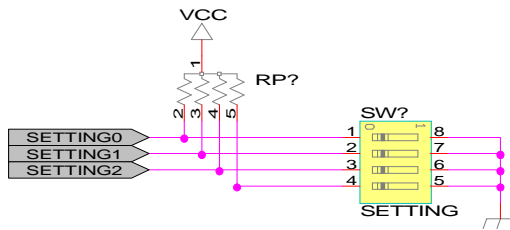
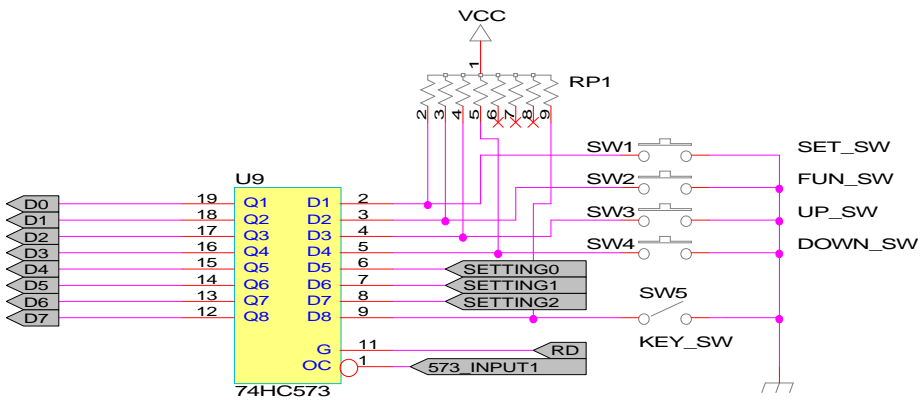


Fig. 3.35 Input circuit

Fig. 3.35는 입력 회로를 나타낸다. 입력에는 push button 4개, dip switch 4개 및 key switch 1개로 이루어져 있다. push button 중 set_sw 버튼은 모드간의 이동과 값입력시 사용된다. fun_sw 버튼은 장치의 동작/정지시에 사용된다. up_sw 버튼은 수치 입력시 수치를 증가시켜 준다. 검색시는 상단을 볼 때 사용된다. down_sw는 수치 입력시 수치를 감소시켜 준다. 검색시는 하단을 볼 때 사용된다. key_sw는 미숙련자의 오동작을 막기위해서 장치에 잠금을 설정한

다. 설정시는 입력이 이루어지지 않는다.

dip switch는 기준전극수, 사용전원의 주파수 및 사용전원의 상의 수를 설정한다. Fig. 3.36은 dip switch의 설정 방법을 도식하였다.

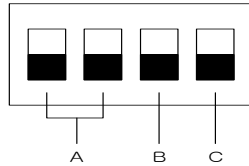


Fig. 3.36 Schematic of dip switch

Table. 3.2 Dip switch setting

A	00	01	10	11
기준전극수 설정	1개	2개	3개	4개
B	0		1	
사용전원의 주파수 설정	50Hz		60Hz	
C	0		1	
사용전원의 상을 설정	2상		3상	

※Dip-SW가 아래있을 때는 “0”을 의미함

Fig. 3.37은 출력회로를 나타낸다.

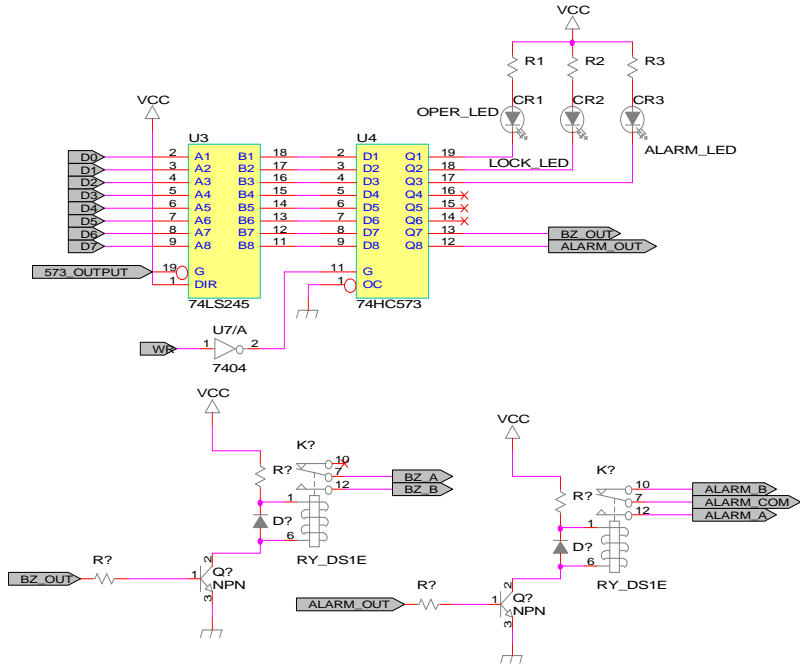


Fig. 3.37 Output circuit

출력부분에는 ICCP의 운전상태를 알려줄 수 있는 LED와 alarm과 buzzer를 울릴 수 있는 릴레이를 연결하였다. alarm의 경우는 hull under and over protection, current high and low output, voltage high and low output 이다.

Fig. 3.38은 선체와 기준전극에서 검출된 전위와 ICCP 출력단의 output voltage와 current를 검출해, 이들의 미약한 신호를 증폭기를 사용하여 증폭하여 PIC16F877의 A/D 포트의 A포트와 연결되도록 설계하였다. PIC16F877의 A/D는 10bit의 A/D이므로 입력되는 신호를 1024 등분하여 디지털 신호로 바꿔준다. 이 신호를 LCD에 뿌려주기도 하고 모니터에 보여주기도 하고, 이 신호를 CPU는 방식 전위와 비교하여 전류를 줄일건지 늘릴건지를 판단한 후 사이리스터의 게이트 각도를 조절하여 output voltage를 조절하게 된다. 증폭에는 TL084 op_amp를 사용하였다.

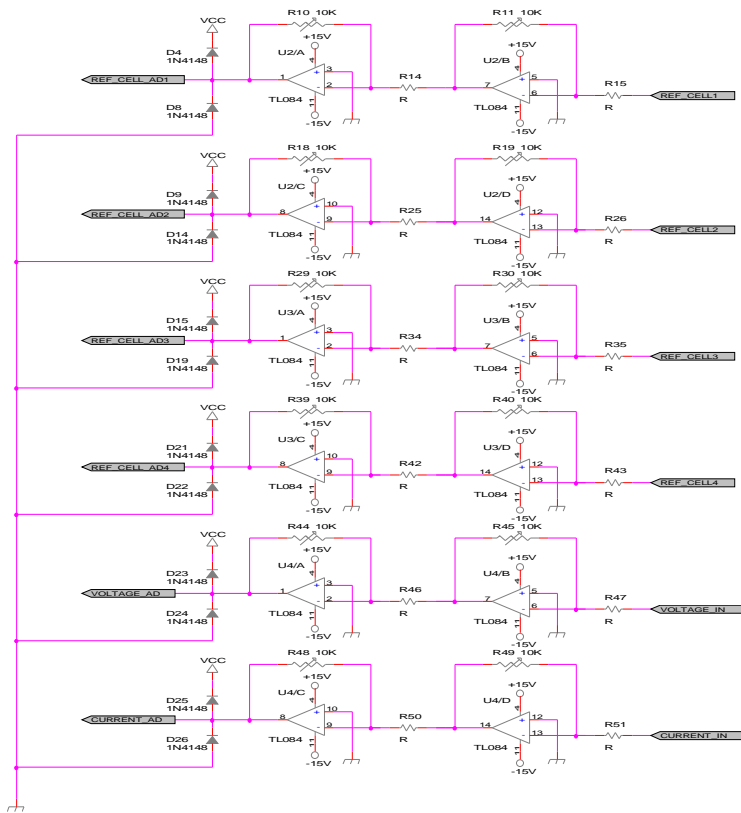


Fig. 3.38 Input amplification circuit of current, voltage and potential

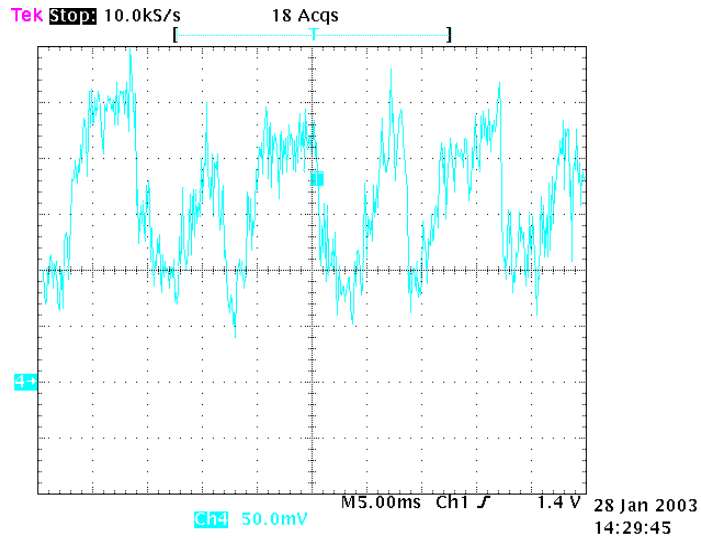


Fig. 3.39 Potential waveform between reference electrode and hull

Fig. 3.39는 기준전극을 기준으로 선체의 전위를 측정한 파형이다. 전압 range를 50mV로 낮춰야 할 정도로 미약한 신호이다.

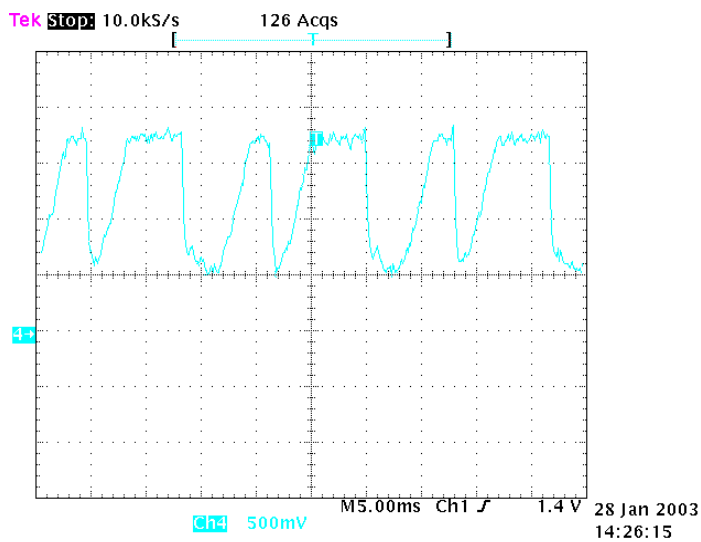


Fig. 3.40 Potential waveform between reference electrode and

hull from op_amp

Fig. 3.40은 이때의 op-amp의 출력 파형이다. 이때의 전압 range는 500mV이다. A/D 변환을 위해 평활회로를 더 첨부하여 실험을 하였다.

전류를 검출할때 홀센서를 사용하였다. 하지만 출력 전류가 일정하지 않기 때문에 홀센서에서 나오는 출력전류 또한 맥류의 파형이 나타났다. 그래서 L, C 회로를 이용해서 평활시켰다. 전류를 좀더 정확히 측정하기 위해 셉트도 같이 사용하였다.

제 4 장 실험 및 결과

4.1 실험장치

실험장치는 크게 3부분으로 나눌 수 있다. 3상의 교류전원을 정류시키는 정류기부, 실제 실험을 하기 위한 음극과 기준전극이 부착된 철물탱크 그리고 모든 장치를 제어하는 제어부가 있다.

Fig. 4.1은 ICCP의 전체 시스템이다. 오른쪽에 있는 장치가 방식 대상물인 철 물탱크이고, 왼쪽의 장치가 탱크에 방식 전류를 흘려주고 제어하기 위한 부분이다.

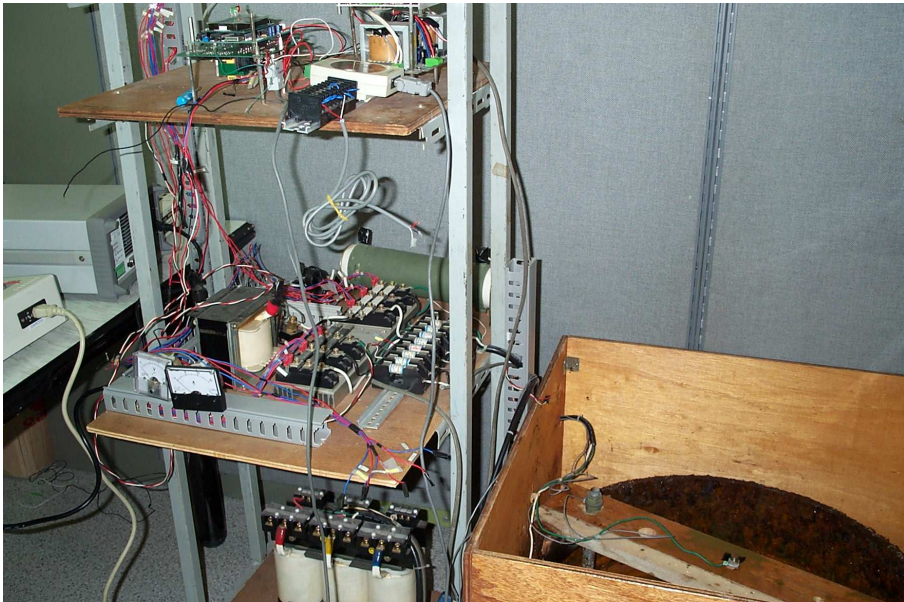


Fig. 4.1 ICCP system

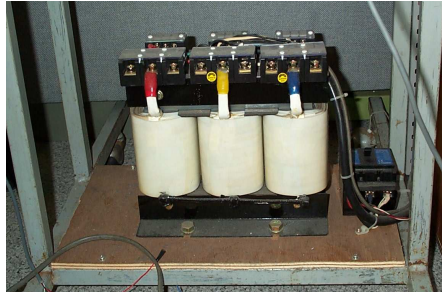


Fig. 4.2 Transformer

Fig. 4.2는 3상의 220V전압을 24V로 변압하기 위한 변압기이다.

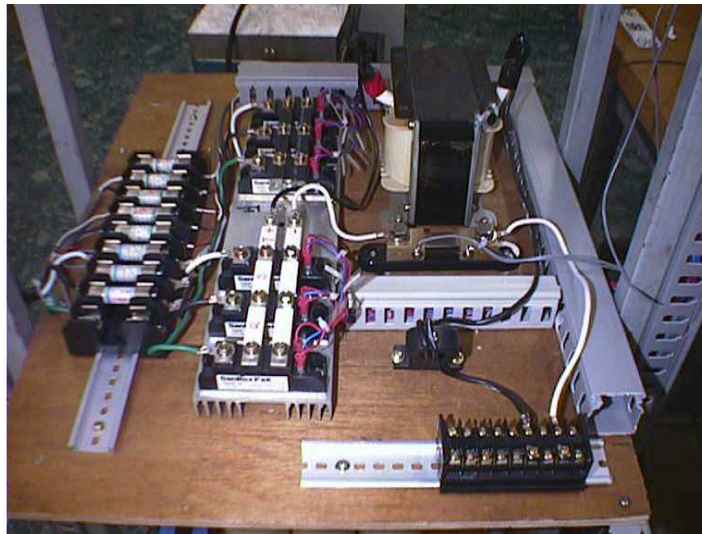


Fig. 4.3 Rectifier

Fig. 4.3은 정류기부를 나타낸다. 왼쪽에는 퓨즈, 중앙에는 세미컨버터 그리고 오른쪽에는 shunt코일 및 쇼크코일이다. 오른쪽 아래 위치한 터미널은 물탱크와 연결하기 위해서 설치하였다. 출력단에는 전류를 측정하는 홀센서를 설치하였다.

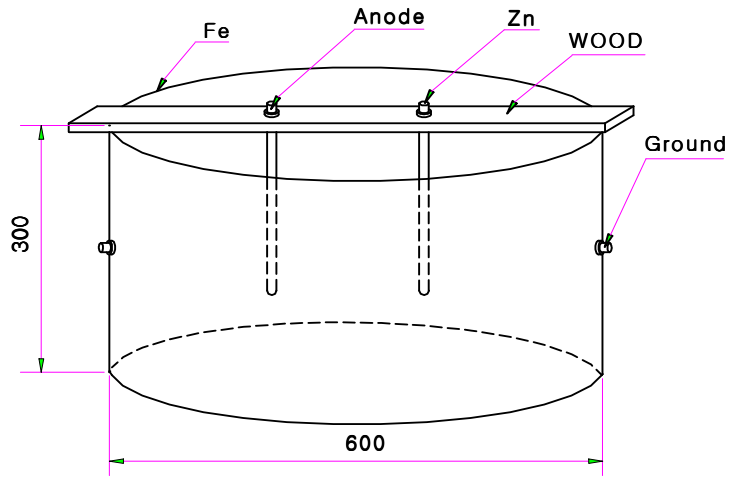


Fig. 4.4 Design of tank [mm]

Fig. 4.4는 물탱크의 설계도를 나타낸 것이다. 이 설계에 의해 Fig. 4.5의 실험장치를 만들었다.



Fig. 4.5 Tank

Fig. 4.5는 실험을 하기 위해서 바닷물을 담아둔 물탱크이다. 이 물 탱크에는 1개의 양극과 2개의 기준전극이 양쪽에 설치되어 있다. 기준전극은 Zinc와 Ag/AgCl를 설치하였다.

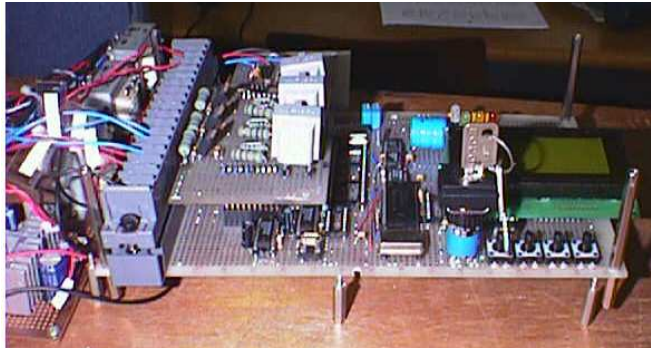


Fig. 4.6 Controller

Fig. 4.6은 실제적으로 ICCP를 제어하는 제어기이다. 왼쪽은 외부와 연결하는 터미널이고, 그 다음은 사이리스터를 구동하는 구동부, 그리고 오른쪽은 사용자가 조작하고 확인할 수 있는 인터페이스 장치이다. 인터페이스 장치는 사용자가 눈으로 확인할 수 있는 액정화면과 발광다이오드, 사용자가 입력할 수 있는 덤스위치, 버튼 그리고 키스위치로 구성되어 있다. 키스witch는 임의의 조작을 방지하기 위해서 설치하였다.

추가로 외부의 아날로그값인 기준전극값을 증폭시키는 증폭부와 제로크로싱부분을 검출하는 제로크로싱디텍트부가 있다.



Fig. 4.7 LCD of Set State Mode



Fig. 4.8 LCD of Stand-by Mode

Fig. 4.7은 LCD에 Set State Mode가 출력되고 있는 것을 나타낸다. 이 모드에서는 기준전극의 수와 주파수, 전원이 단상인지 3상인지, 기준전극은 어떤걸 썼는지를 사용자에게 알려준다.

Fig. 4.8은 LCD에 Stand-by Mode를 나타낸다. 이 모드에서는 현재 ICCP 장치로부터 측정되는 기준전위와 전압, 전류의 값을 사용자에게 보여준다.

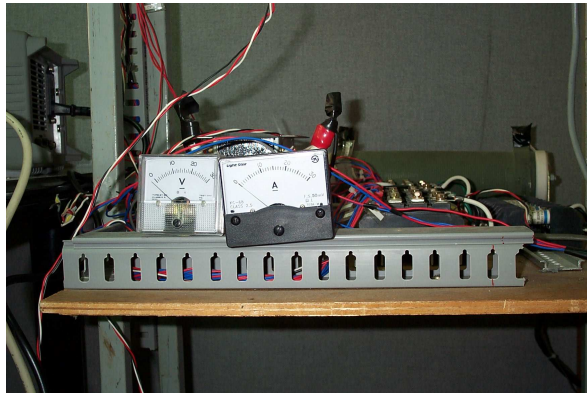


Fig. 4.9 Voltage and current gauge

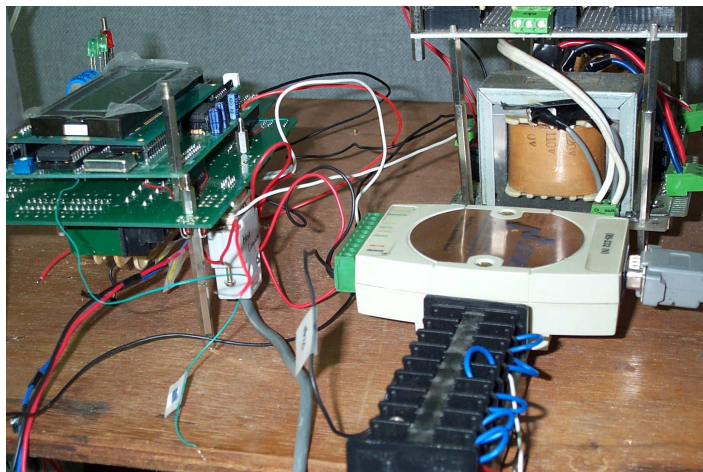


Fig. 4.10 RS-232 to RS-485 Converter

Fig. 4.10은 컴퓨터와 통신하기 위해 제어기의 MAX485와 RS-232 to RS-485 converter의 연결된 상태이다.

Table. 4.1 Measurement equipment

장치명	사양	용도	특징
Computer	CPU Intel Pentium4 2.54GHz	ICCP의 상태를 모니터링함.	
	RAM 512M		
Emulator	MR.PIC	제어기 내부에 설치된 CPU 프로그램 개발에 필요	PIC12/14/16
Oscilloscope	T e k t r o n i x TDS754C	4채널로 3상 파형을 한꺼번에 측정가능	500MHz, 2GS/s, 4채널, color digitizing oscilloscope
Multimeter	TX3 multimeter	전압측정	
Voltage meter	30V	전압 display	
Current meter	F.S 50mV	전류 display	
Shunt	30A/50MV	Current meter에 저항으로 작용하여 meter기 보호	
Hole sensor	100A/4V	전류 검출	

Table. 4.1은 본 연구에서 사용한 각종 계측 장비이다. 컴퓨터는 제어기를 거쳐 RS-232 to RS-485 converter를 통해 들어온 데이터를 보여준다. Emulator는 제어기 내부에 설치된 CPU 프로그램 개발에 사용된다. 오실로스코프는 본 연구의 각종 신호와 파형들을 얻는데 사용되었다. ICCP 시스템이 3상이기 때문에 4채널은 3상 파형을 한꺼번에 측정할 수 있다. Multimeter는 각종 전압의 값을 디지털로 바로 보여주기 때문에 실험에 유용하게 사용되었다. 또한 기기측에서 전압과 전류의 변화를 바로바로 볼수 있도록 전압 메타기와 전류 메타기를 사용하였다. 전류 메타기는 용량이 커서 전선에 바로 연결할 수가 없어서 셉트를 사용하여 전류량을 전압으로 바꾸어 전류메타기에 표시해준다. 정확성을 기하기 위해 홀센서를 사용하였고, 이를 CPU에 연결하였다.

실험은 기준전극한개를 가지고 실험하였다. 철탱크에서 Zinc를 기준전극으로 사용하여서 방식전위가 100mV에서 200mV사이의 값이 나와야 한다. 그래서 출력량의 계산은 방식전위를 기본값으로 하여

서 제어하였다.

4.2 특성 실험

본 연구에서 설계한 ICCP 시스템의 특성을 알아보는 실험이다. 바닷물을 실험실의 철 물탱크에 채우고 움직임이 없는 정적인 상태에서 제어기의 제어상태와 각 파형들을 측정하였다. 먼저 제어기의 각 상에서 제대로 제어가 되고 있는지 실험파형을 측정하였다.

Fig. 4.11에서 Fig. 4.16의 파형은 제어각을 90° 로 했을때의 각 상에서의 파형들을 측정한 것이다.

Fig. 4.11은 3상의 제로크로싱 파형이다. 이 파형은 8254 카운터의 11, 14, 16 pin으로부터 측정한 것이다. 채널1번이 R상이고, 채널 2번은 S상이고 채널 3번이 T상이다. 세 파형이 120° 위상차를 가지고 나타나고 있으므로 제로크로싱 회로는 제대로 동작한다.

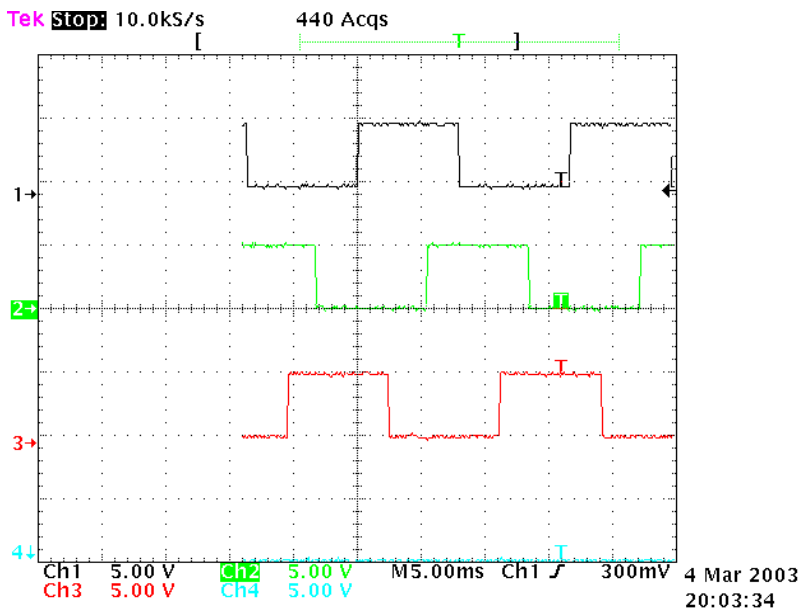


Fig. 4.11 Zero-crossing waveforms of three-phase (8254 pin no. 11, 14, 16)

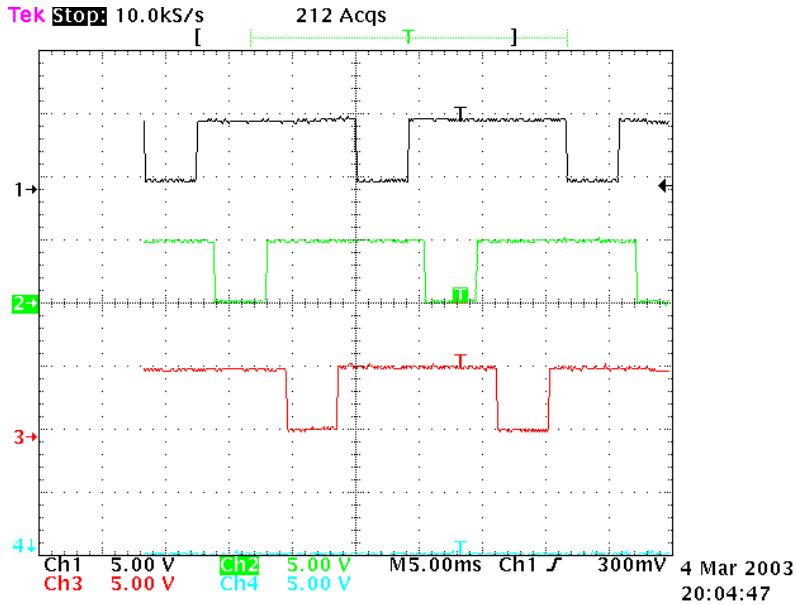


Fig. 4.12 8254 90° counter waveforms of three-phase (8254 pin no. 10, 13, 17)

Fig. 4.12는 3상의 제로크로싱 파형이 8254를 거쳐 90°를 카운팅하는 파형이다. 파형중 카운팅 되고 있는 부분은 low로 떨어진 부분이다. 카운터가 90°를 다 카운팅하면 다시 high로 올라간다. 이 사이의 시간을 계산해 보면 90°가 정확한 것을 알 수 있다. 또한 카운팅 되고 있는 3상의 파형을 살펴보면 위상각 120°를 유지하고 있기 때문에 카운터도 제대로 작동된다.

Fig. 4.13과 Fig. 4.14, Fig. 4.15는 각 상을 따로따로 측정한 파형이다. 채널 1번은 제로크로싱 파형을, 채널 2번은 카운터의 카운팅 파형을, 채널 3번은 세미컨버터의 게이트를 트리거 시키기 위한 펄스파형을 나타낸다. 채널 2번은 채널 1번의 제로크로싱 파형중 90°만큼만 low로 떨어지고, 채널 3번은 카운터가 카운팅을 끝낸 순간에 펄스를 발생시켜 이 신호는 펄스트랜스포머로 가서 세미컨버터의 게이트 신호로 작동된다. 3상 모두 제대로 작동된다.

Fig. 4.16은 3상의 펄스가 정확한 위상각을 가지고 나타나는지를 측정하였다. 그림에서 보는거처럼 3상 모두 제대로 작동되고 있다.

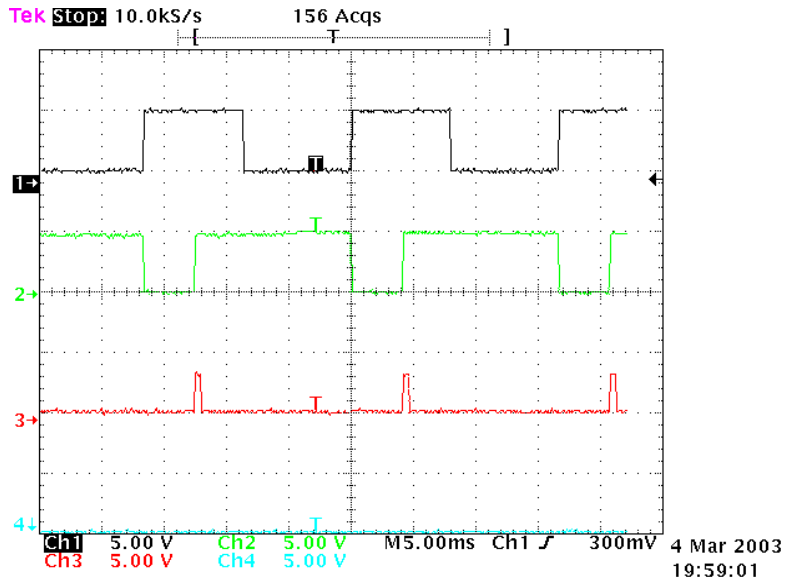


Fig. 4.13 90° waveforms of R-phase (8254 pin no. 11, 10, 74LS08 pin no. 3)

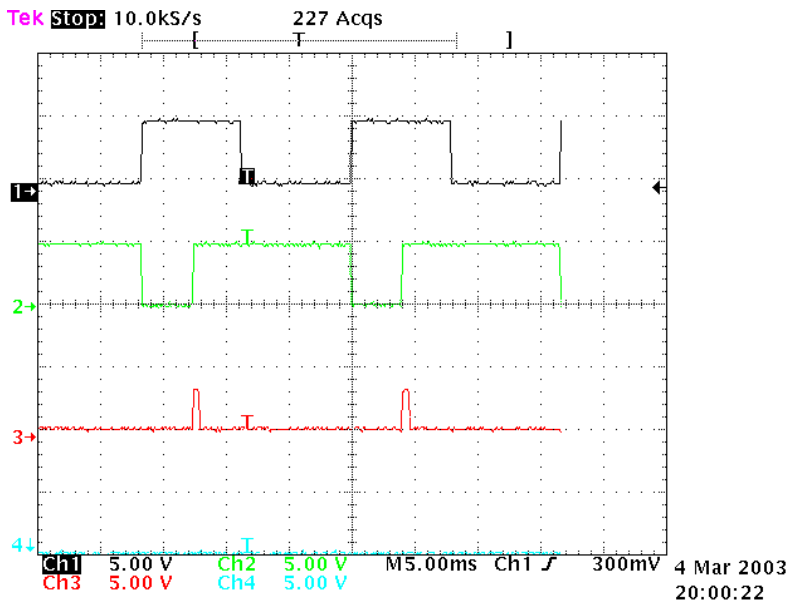


Fig. 4.14 90° waveforms of S-phase (8254 pin no. 14, 13, 74LS08 pin no. 6)

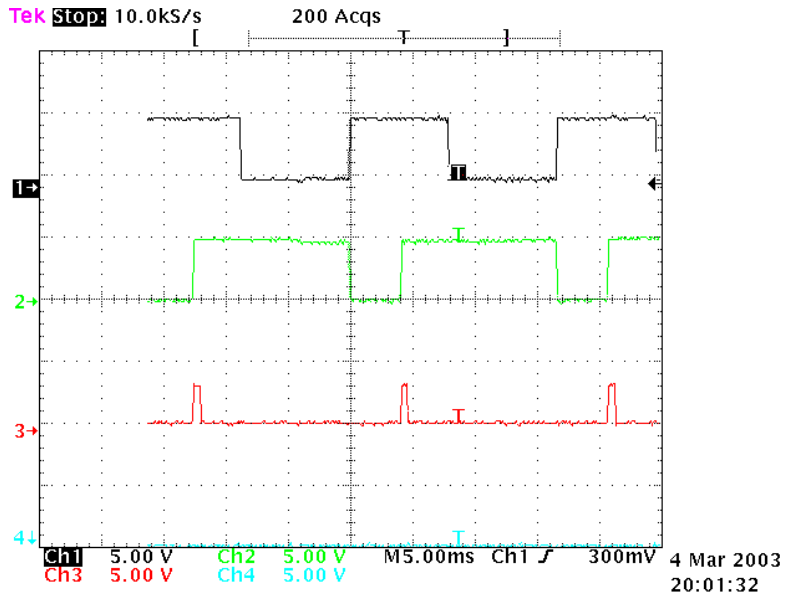


Fig. 4.15 90° waveforms of T-phase (8254 pin no. 16, 17, 74LS08 pin no. 8)

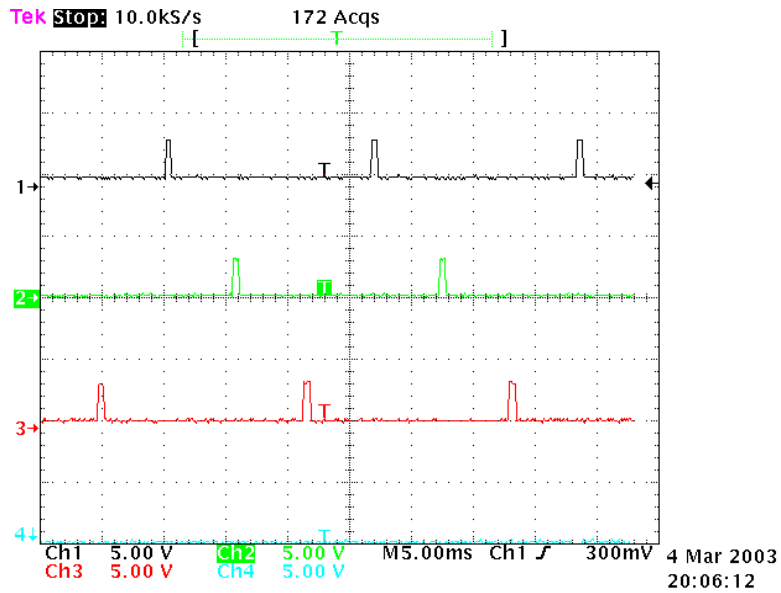


Fig. 4.16 90° waveforms of three-phase (74LS08 pin no. 3, 6, 8)

다음은 세미컨버터에서 위상제어가 제대로 되는지 파형을 측정하여 알아보았다. 즉 AC24V중 제어하고자 하는 각도에서 SCR이 도통이 되는지를 알아본다. 이를 위해서 세미컨버터의 출력단의 전압 파형을 측정하였다.

Fig. 4.17에서 Fig. 4.20은 8254 타이머/카운터의 각도 제어에 따른 output voltage 파형이다. 지면관계상 모든 각도의 파형은 실지 못하고 대표적인 각도의 파형만 나타냈다. Fig. 4.17은 175°에서 트리거를 주었기 때문에 SCR은 5°만큼에 해당되는 교류만을 도통시키므로 나타나는 전압파형은 3상의 교류중 5°에 해당하는 부분만 나타난다. Fig. 4.18은 120°에서 SCR을 도통시켰다. Fig. 4.19는 90° 제어를 나타내고, Fig. 4.20은 60° 제어파형을 나타낸다. 파형에서 알 수 있듯이 각도에 따라 출력 전압을 조절할 수가 있다. 이를 이용해 선체와 기준전극으로부터 검출된 전위를 파단하여 더 많은 전류를 흘려줄건지 줄일건지를 판단하여 적절한 각도로 제어하면 된다.

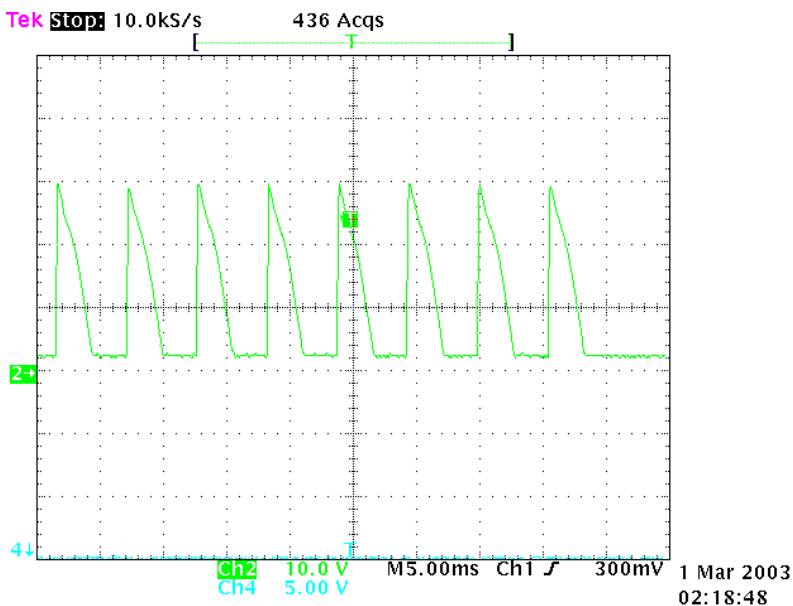


Fig. 4.17 Output voltage waveforms for 175 firing angles of three-phase semi-converter

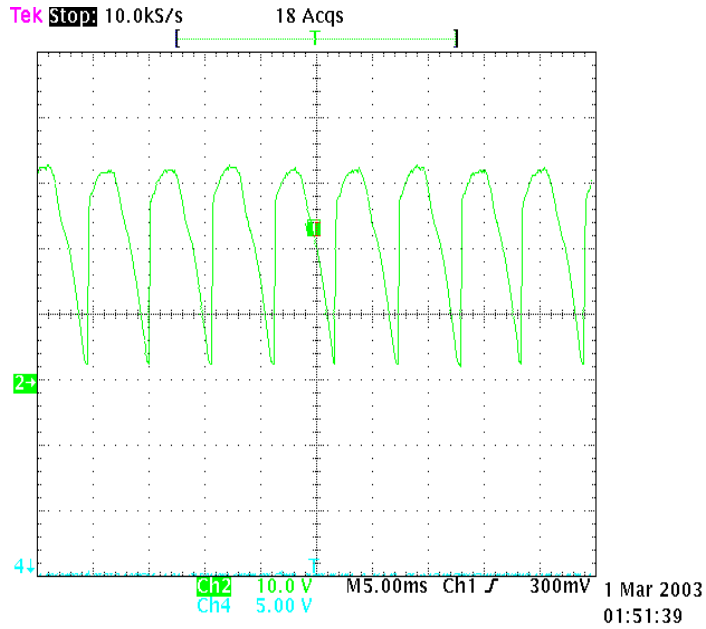


Fig. 4.18 Output voltage waveforms for 120 firing angles of three-phase semi-converter

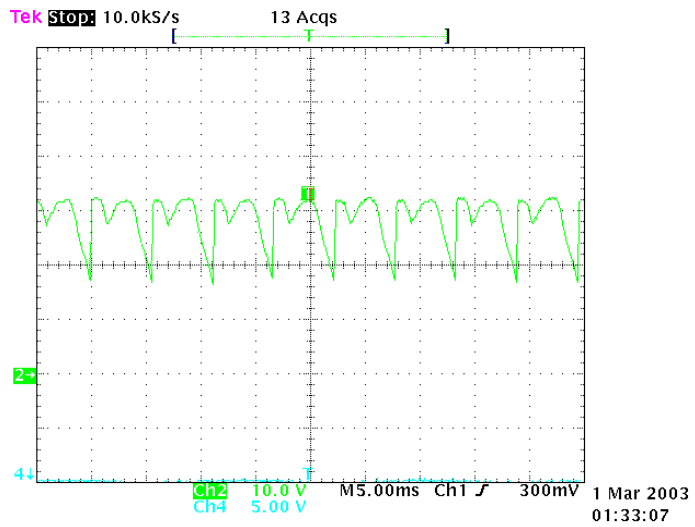


Fig. 4.19 Output voltage waveforms for 90 firing angles of

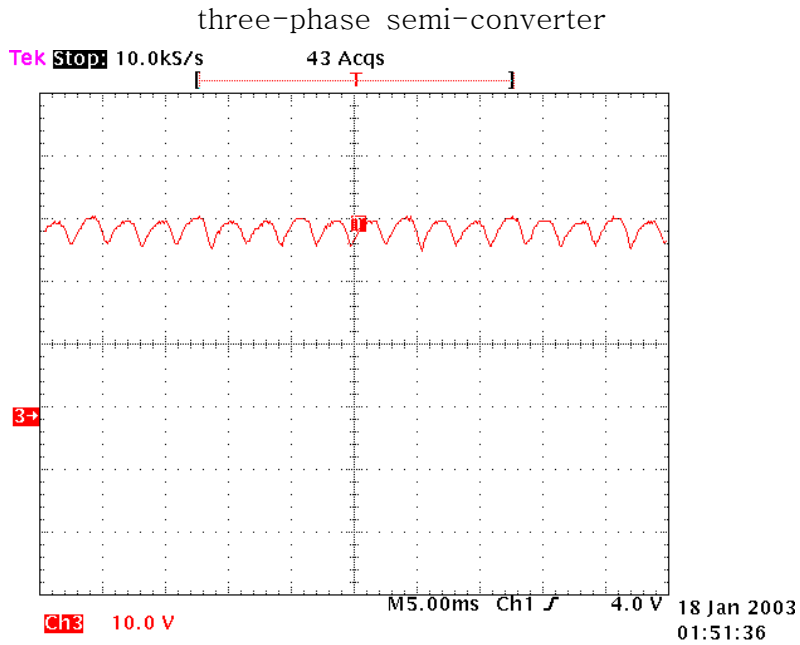


Fig. 4.20 Output voltage waveforms for 60 firing angles of three-phase semi-converter

제어 각도를 0° 에서 180° 까지 변환 했을때의 세미컨버터의 각 각도에서의 출력 전압과 전류를 그래프로 나타내면 Fig. 4.21과 같다. 위의 파형이 출력전압의 변화를 나타내고, 아래에 있는 파형이 전류의 변화를 나타낸다. 파형을 보면 각도에 따라 제대로 동작하고 있음을 알 수 있다.

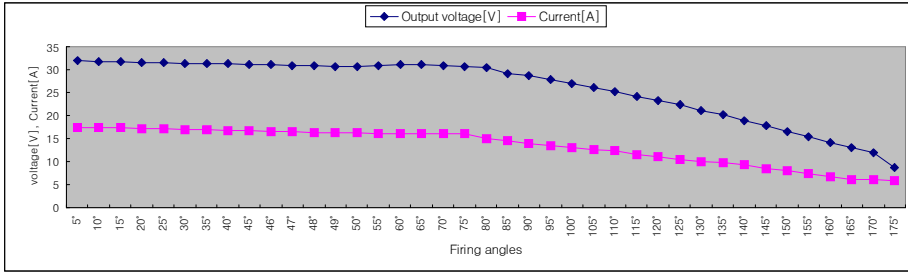


Fig. 4.21 Output voltage waveforms for different firing angles

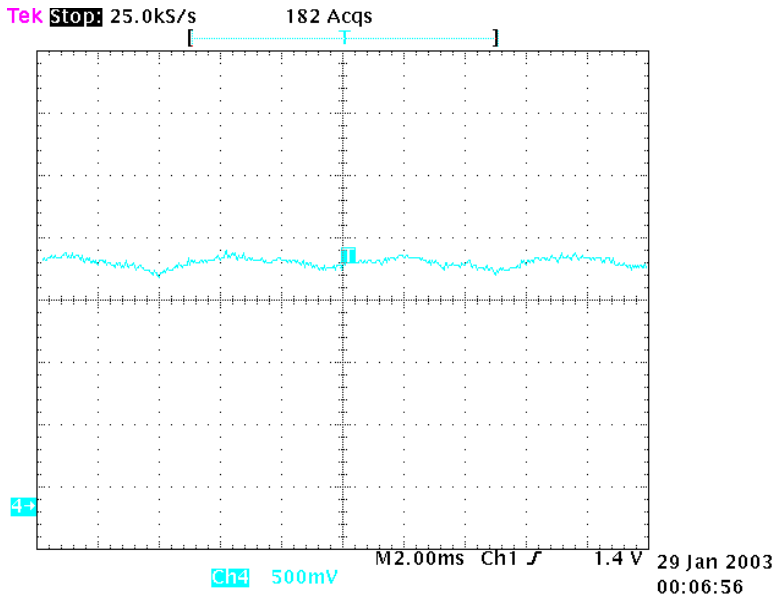


Fig. 4.22 Potential waveform between reference electrode and hull with smoothing circuit

Fig. 4.22는 선체와 기준전극으로 부터의 전위를 검출하여 증폭부를 거친후 평활회로를 거쳐 평활된 전위파형을 나타낸다. 이 신호가 A/D 변환되어 CPU의 입력이 된다. 파형의 전위는 range가 500mV 이므로 약 1700mV정도이다. 10배로 증폭하였으므로 실제 전위는 170mV정도다. 전위가 170mV이면 철은 방식역에 해당되므로 철

물탱크는 방식되고 있다고 판단된다.

Fig. 4.23은 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.

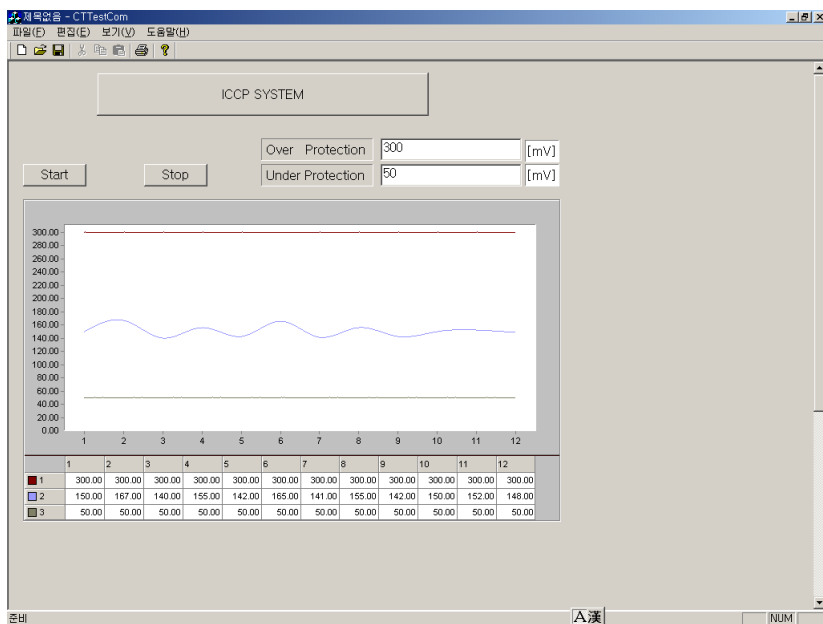


Fig. 4.23 Monitoring Display

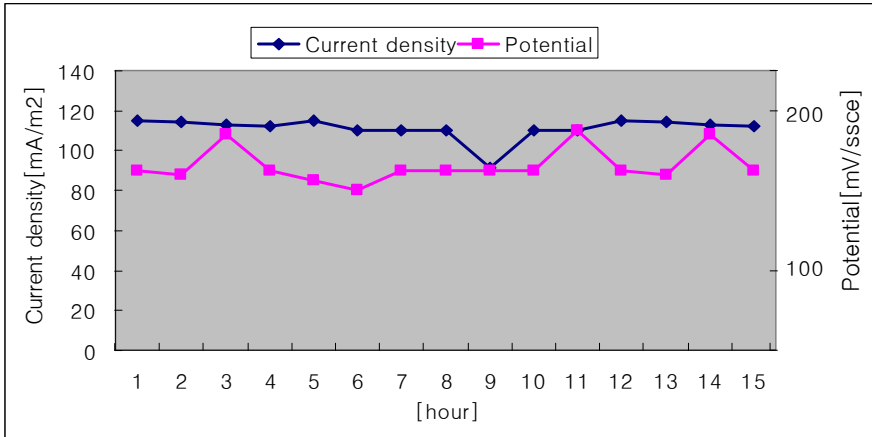


Fig. 4.24 Protection current density and potential

Fig. 4.24는 전류밀도와 전위의 관계를 나타낸다. 전위가 100mV ~ 200mV 사이에 있어 방식되고 있는 동안 해수에서의 전류밀도는 약 100mA/m² 이다.

4.3 운용실험(선박의 운용 특성에 따른 실험)

선박은 항상 움직이는 방식 대상이므로 환경요인을 고려하지 않으면 안된다. 정박했을 때는 속도가 거의 0에 가깝고, 항해중일 때는 이 이상이 된다. 따라서 방식 환경도 달라진다. 또한 선박은 해수중에서만 운전되는 것이 아니라 강을 따라 항해하는 경우등의 담수와 육지와 가까운 오염된 항내를 항해할 때, 육지와 먼 오염되지 않은 대양중을 항해할때등의 방식 환경이 달라진다.

Fig. 4.25는 유속의 변화에 따른 방식전류의 변화를 나타낸다.

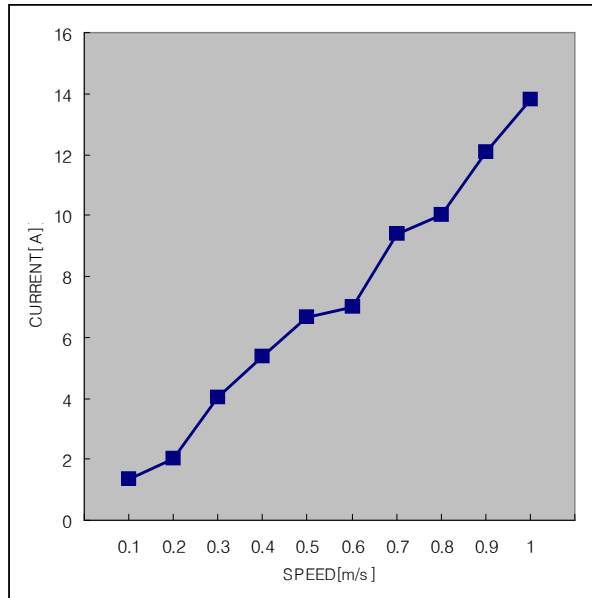


Fig. 4.25 Variation of protection current with speed

선박이 움직이는 것이나, 반대로 전해질이 움직이는 것이나 같은 현상이므로 전해질의 움직임을 대상으로 실험하였다. 유체에 흐름을 주기 위해 철탱크 안의 해수를 속도를 서서히 증가시키며 유동을 주고, 그때마다 방식전류를 측정하였다. 전해질 용액이 정지중에 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.

Fig. 4.26은 오염도에 따른 전류의 변화를 나타낸다. 오염이 심한 해수와 오염도가 적은 해수를 구해 실험을 하였다. 오염도의 변화는 연안에 흘러들어갈 수 있다고 판단되는 담수와 세제, 유류 등을 첨가시켜 양을 증가시키면서 실험하였다. 결과는 그림과 같이 첨가되는 불순물의 양이 증가할(오염이 심할수록) 수록 방식전위를 유지하기 위해 필요한 전류의 양이 증가한다는 것을 알 수 있다.

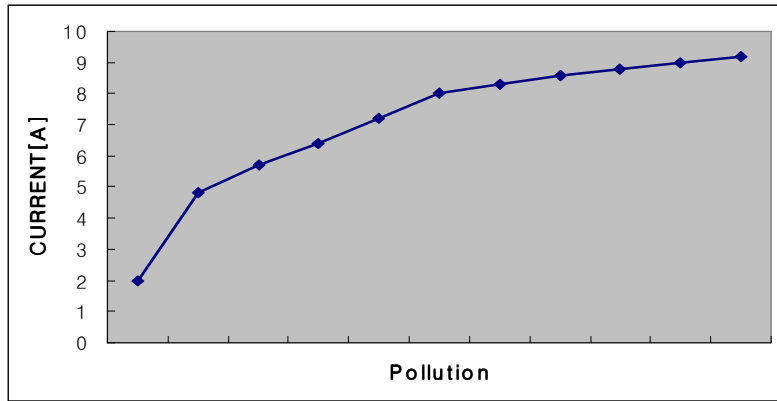


Fig. 4.26 Variation of protection current with pollution

제 5 장 결론

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 연동

이 가능하도록 하였다.

이와 같이 설계 제작된 선박용 ICCP 제어 감시 시스템을 이용한 수조 실험 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 이 시스템은 위상 제어가 정확하였으며, 방식 대상물이 항상 방식 영역에 존재하고 있음을 확인하였다.
2. 통신을 통해 원거리에서도 컴퓨터 모니터를 통한 ICCP 시스템의 상태를 항상 감시할 수 있었다.
3. 방식에 필요한 전류는 해수의 유동과 해수의 오염도에 따라 달라지고 있음을 알 수 있었다. 즉 유속의 변화와 오염도의 변화에 따라서 이 시스템은 전류의 양을 조절함으로써 방식 대상물이 항상 방식 영역에 존재하도록 제어가 가능했다.

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 가능하다. 또한 ICCP 시스템의 환경적 변화에 따른 특성 실험을 통한 데이터를 얻으므로써 시스템 설계시 환경변화에 적절하고 유용하게 활용할 수 있다.

연구 결과를 완벽하게 실용화하기 위해서는 각국 선급의 규정을 만족하기 위한 절연, 접지, 전자파 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] 정경수, 이명훈, 김기준, 문경만, “해수의 유속과 오염도 및 피

- 방식체 표면상태가 분극거동 및 양극 발생전류 및 소모율에 미치는 여향에 관한 연구(I), 한국부식학회지, Vol. 28 No. 6, December, 1999, pp. 454 ~ 463
- [6] Ki-Joon Kim, Seung-Chan Kim, Myung-Hoon Lee, Kyung-Man Moon, "On the determination of the required current density for designing the galvanic cathodic protection of steel structures in marine environment", corrosion science and technology, Vol. 31, No. 6(2002), pp. 485 ~ 490
- [7] 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
- [8] "Handbook of cathodic corrosion protection", pp225 ~ 414
- [9] 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
- [10] P.C. SEN, "Thyristor DC Drives", pp. 98-101
- [11] 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.
- [12] B. H. Kwon, B. D. Min, 1993, "A fully software-controlled PWM rectifier with current link", IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, Vol. 40, No. 3, pp. 355~363.
- [13] Y. Sato, T. Kataoka, "A current-type pwm rectifier with active damping function", IEEE Trans. on Ind. Appl. Vol. 32 No. 3, pp. 533~540.
- [14] B. R. Pelly, "Thyristor phase-controlled converters and

- cycloconverters”, Jhon wiew & sons, pp 44~106.
- [15] 이상엽, “Visual C++ Programming Bible Ver 6.x”, 영진출판사, 1999
- [16] 컴파일 테크놀로지, “PIC16C7X 테크니컬 핸드북”
- [17] 신정환, “C가 미는 로봇 I, II, III”, Ohm사
- [18] 차영배, “Micro controller 80196”, 다다미디어, 2002, pp. 311 ~ 347, 708 ~ 721
- [19] 이규영, “PIC study center project book”, comfile technology, 2002
- [20] 오정원, “PIC 마이컴용 C언어 CCS-C 실전가이드”, comfile technology, 2003
- [21] 윤덕용, “TMS320C32 마스터1”, Ohm사, pp. 300 ~ 362
- [22] 윤덕용, “TMS320C32 마스터2”, Ohm사, pp. 345 ~ 367
- [23] 진달복, “C에 의한 80C196KC/KC”, 양서각, pp. 238 ~ 270
- [24] 윤덕용, “어셈블리와 C언어로 익히는 80C196KC 마스터(I)”, Ohm사, pp. 267 ~ 398
- [25] R.J. Kessler, R.G. Powers, I.R. Lasa, “Battery powered impressed current cathodic protection”, NACExpo2002 Paper No. 00815
- [26] Y. Hosokawa, F. Kajiyama, “New cp criteria for elimination of the risks of AC corrosion and overprotection on cathodically protected pipelines”, NACExpo2002 Paper No. 02111
- [27] P. Felton, J. W Oldfield, M. Peet, “Performance of aluminium anodes in simulated service environments containing sour sea water and sour sediment”, NACExpo2002 Paper No. 02015
- [28] Y. Hosokawa, F. Kajiyama, “An innovative instrument for evaluating cp levels liaison with enhanced cp maintenance database” NACExpo2002 Paper No. 02112
- [29] K.K. Baek, H.I. Lee, S.B. Shin, “Corrosion protection of

marine structures by optimized combination of cathodic polarization and inorganic Zn coatings”, NACEexpo2002 Paper No. 02191

- [30] O. Sneath, “Cathodic protection remote monitoring”, NACEexpo2002 Paper No. 00738
- [31] C.I. Allebach, W.T. Young, P.E., “Cathodic protection in discontinuous electrolytes”, NACEexpo2002 Paper No. 00725
- [32] H. S. Song, Y. G. Kim, S. M. Lee, Y. T. Kho, 2002, “Competition of AC and DC current in AC corrosion under cathodic protection”, NACEexpo2002 Paper No. 02117

감사의 글

많이 부족한 저에게 관심과 사랑으로 항상 지켜주신 모든 분들께 진심으로 감사의 말씀 올립니다.

본 논문이 완성되기까지 정성을 다하여 지도해 주시고 시종일관 용기와 격려로 보살펴주신 오진석 교수님께 진심으로 감사를 드립니다.

면밀한 검토와 지도로 논문의 깊이를 더해 주신 노창주 교수님과 이상태 교수님께 머리숙여 감사를 드립니다.

또한 학문의 길에서 헌신적인 가르침을 주셨던 한국해양대학교 은사님들께 고마운 마음을 전합니다.

논문이 완성되기까지 곁에서 도와주신 선박전기전자실험실의 선배님들께 따뜻한 마음을 전합니다.

특히 오늘의 제가 있기까지 언제나 헌신적인 사랑과 든든한 버팀목이 되어주신 부모님과 가족들께 이 논문을 받칩니다.

2003년 12월

이 지 영 드림

