工學碩士 學位論文

선박 전기전자기기의 서지방호에 관한 연구

A Study on the Surge Protection of Shipboard Electrical and Electronic Devices

指導敎授 吉 嚞 碩

2010年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

朴 成 柱

本 論文을 朴成柱의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長 : 工學博士 金 潤 植 ㊞

委 員 : 工學博士 吉 暻 碩 ㊞

委 員 : 工學博士 李 成 根 ㊞

2010年 8月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

朴 成 柱

목 차

목 차 ····· i

그림 및 표 목차 ····· iii

Abstract ····· v

제 1 장 서 론 ····· 1

1.1 연구배경 ····· 1

1.2 연구목적 및 내용 ····· 2

제 2 장 이 론 ····· 3

2.1 서지의 발생과 전파 ····· 3

2.2 시험 규정 ····· 5

2.3 서지방호소자 ····· 11

2.4 선박전력계통 ····· 17

제 3 장 설계 및 제작 ····· 20

3.1 서지방호장치 ····· 20

3.2 서지발생장치 ····· 26

제 4 장 평가 및 분석 ····· 31

4.1 병렬형 서지방호장치 ····· 31

4.2 직렬형 서지방호장치 ····· 37

제 5 장 결 론 ····· 42

참 고 문 헌 ····· 44

그림 및 표 목차

<그림목차>

그림 2.1 선박에서 서지의 전파 ····· 3
그림 2.2 서지전압에 대한 전기전자부품의 손상 ····· 5
그림 2.3 서지전압 및 전류 파형 예 ····· 7
그림 2.4 부하 장비에 대한 서지전류 제한 ····· 10
그림 2.5 서지 차단 원리 ····· 11
그림 2.6 가스튜브의 V-I 곡선 ····· 12
그림 2.7 산화아연 바리스터의 V-I 곡선 ····· 14
그림 2.8 산화아연 바리스터의 등가 회로 ····· 14
그림 2.9 아발란치 다이오드의 V-I 곡선 ····· 16
그림 2.10 선박의 전력 계통도 ····· 18
그림 3.1 병렬형 서지방호장치의 구성 ····· 22
그림 3.2 시뮬레이션 결과 ····· 23
그림 3.3 병렬형 서지방호장치의 사진 ····· 23
그림 3.4 직렬형 서지방호장치의 구성 ····· 25
그림 3.5 직렬형 서지방호장치의 사진 ····· 25
그림 3.6 서지발생장치 등가 회로도 ····· 26
그림 3.7 8/20 [μs] 서지발생장치의 회로 ····· 28
그림 3.8 실험계의 구성 ····· 28
그림 3.9 서지발생장치의 출력파형 ····· 30
그림 4.1 실험계의 구성 ····· 31
그림 4.2 서지전류와 제한전압파형 예 ····· 33
그림 4.3 서지전류에 대한 제한전압 ····· 34
그림 4.4 220 [V], 60 [Hz] 전원에 중첩된 서지파형 및 제한전압의 예 ··· 36
그림 4.5 서지전류에 대한 제한전압 ····· 37
그림 4.6 서지전류에 대한 제한전압 ····· 39

그림 4.7 전원전압에 중첩된 서지의 차단 예 ····· 40
그림 4.8 서지전류에 대한 제한전압 ····· 41

<표 목 차>

표 3.1 RLC 회로의 제동 조건에 따른 전류 파형 ····· 27
표 3.2 8/20[㎲] 서지발생장치의 사양 ····· 29

KOREA MARITIME UNIVERSITY 1945 한국해양대학교

A Study on the Surge Protection of Shipboard Electrical and Electronic Device

by Sung-Ju, Park

Department of Electrical & Electronics Engineering
The Graduate School of Korea Maritime University
Busan, Republic of Korea

Abstract

The surge on the shipboard is generated by an insulation breakdown, a short circuit and a switch operation, and is propagated via power, signal and communication, control cables and hull. The surge may lead to serious damage to electrical and electronic devices on shipboard.

With this background, this thesis analyzed the power system of ships and carried out an experimental study on the surge protective method and device. Parallel type surge protective devices (SPD) with the 220 [V] and the 440 [V] rated voltage, and a series type SPD with the 220 [V] rated voltage for electrical sensitive devices are designed and fabricated.

A surge generator specified in IEC 61000-4-5 which can produce 8/20 [us] current up to 15 [kA] was fabricated to evaluate the proposed

SPDs. The performance of the SPDs were evaluated by an un-powered test which applies the 8/20[us] surge current up to 10 [kA] and by a powered test which superimpose a surge on the 220[V] and 60[Hz]. The maximum residual voltage of the parallel type SPD for the un-powered and the powered test were 1290[V] and 891[V], and of the series type SPD were 875[V] and 656[V], respectively.

The experimental results showed that the series type SPD is more effective to protect electrical sensitive devices such as signal and communication devices since the series type SPD suppresses surge lower residual voltage than the parallel one.

Also, insulation voltage of the shipboard electrical and electronic devices were compared to the residual voltage of the SPDs. The residual voltages of the SPDs were lower than the demanded insulation voltage level for the mains of the 220[V] and the 440[V]. Therefore, it was confirmed that the proposed SPDs have a sufficient performance to protect the shipboard electrical and electronic devices from surge voltages.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

세계 해양 에너지 관련 분야의 선박(극해 시추선, FPSO, 해양풍력발전기 설치선, LNG-RV 등), 해양 플랜트 및 군함의 다양한 수요에 따라 많은 양의 전력 요구와 선박 시스템의 급격한 변화로 컴퓨터 기반의 제어 시스템이 선박에 적용되기 시작하였다. 제어 분야에 있어 기계적 제어(Valve, Gear 등)에 기반을 두던 기존 시스템에서 전자 제어인 PLC (Programmable Logic Controller)를 시작으로 FPGA, ARM 등의 마이크로프로세서 및 컴퓨터 기반의 임베디드 분야로 기술 개발이 진행되고 있다.

이로 인해 12[V]~24[V] 제어기반에서 3.3[V]의 저전압 초고속 제어로 인해 보다 정밀하고 빠르게 제어가 이루어지는 반면, 노이즈(낙뢰, 유도뢰, 개폐 서지, 등)로 발생된 서지에 의해 선박 전자 장비에 치명적인 장애, 손상, 파괴, 기기 오동작, 장비 수명 단축 등을 유발하고 있다.

또한 복잡한 시스템을 요구하는 선박의 주 배전반 및 각종 제어반에서 발생하는 개폐 서지는 대용량일수록 큰 값의 과도전압을 발생시킨다.

초기 기동시 짧은 시간 내에 많은 대용량의 부하가 동작됨에 따라 발생되는 과도전류는 배터리 폭발, 정전 등을 유발하는 원인으로 지목받고 있다. 특히, 시추선 등의 특수 선박의 경우 GPS를 이용한 자동위치제어(Dynamic Positioning)와 시추를 동시에 진행하기 때문에 서지로 인한 오동작 발생시 치명적인 사고를 초래할 수 있다. LNG-RV (LNG Regasification Vessel)의 경우 전동기에 인버터의 적용으로 서지방호장치가 반드시 필요하다. 육상에서는 KS C IEC 60364-5에 의해 서지방호장치 설치가 의무화 되어있다. 육상은 국제 규정 IEC 61643에 의해 각 장비

에 알맞은 서지방호장치 규격이 표기되어 있으나 선박의 경우 항해 중에는 안전을 최우선적으로 고려하여야 함에도 불구하고 육상에서와 같이 의무화된 서지방호장치가 설치되지 않아 선박의 안전을 위협하고 있는 실정이다. 그러므로 선박의 전기 설비에서 발생하는 서지를 측정하고 분석하여 그에 적합한 보호 대책으로 서지방호장치를 설치하고 모니터링 되어야 할 것이다[1]~[5].

1.2 연구목적 및 내용

본 논문은 선박 전기전자기기의 서지방호에 관한 것으로, 선박에서 발생하는 서지를 모의하고 전원 보호용으로 병렬형 및 직렬형 서지방호장치를 설계 및 제작하였다.

선박용 배전반에서 발생 가능한 서지를 모의하기 위하여 국제 규격 IEC 61000-4-5에 의거한 8/20[μs] 10[kA]의 서지발생장치를 제작하였다. 또한 서지 발생에 따른 서지방호장치의 방호성능을 확인하기 위하여 고주파 변류기(Stangenes CT 3-0.01, 50[kA_{max}])와 고전압 프로브(Tektronix P6015A 75[MHz], 40[kV_{max}]를 이용하여 발생된 서지전류에 대한 제한전압을 평가하였다.

병렬형 서지방호장치는 440[V] 및 220[V]의 배전반에 적용하기 위하여 바리스터와 가스 튜브의 조합으로 구성되며, 직렬형 서지방호장치는 220[V]의 항해·통신·제어용 분전반에 적용된다. 서지방호장치는 0.5[kA]~10[kA]까지의 서지전류에 대한 제한전압의 비율로 평가되었으며, 정극성 및 부극성 서지를 교류 전압 220[V] 90°와 270°에 중첩하여 서지방호장치의 차단 특성을 평가하였다. 제작된 서지방호장치는 선박 전기전자기기의 서지방호대책과 최적의 절연 및 보호협조 체계를 구성하는데 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

제 2 장 이 론

2.1 서지의 발생과 전파[6],[7],[27]

서지(Surge)란 고전압 대전류의 임펄스를 지칭하는 일종의 전기적 노이즈이다. 서지의 발생원으로는 낙뢰에 의해 발생되어지는 직격뢰와 유도뢰가 있으며, 유도성 부하의 개폐 및 배전반 차단기 개폐, 인버터 기동, 용접기 및 엘리베이터 등에 의해 발생된다. 선박의 전기 설비에서 발생된 서지전압 및 전류는 그림 2.1과 같이 전원 및 신호통신선 등 다양한 경로를 통하여 전파된다.

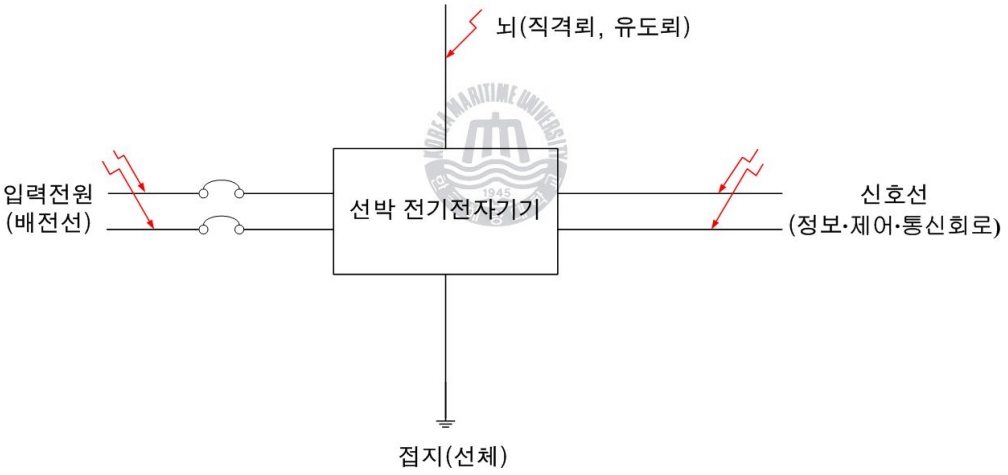


그림 2.1 선박에서의 서지 전파
Fig. 2.1 Propagation of surge on shipboard

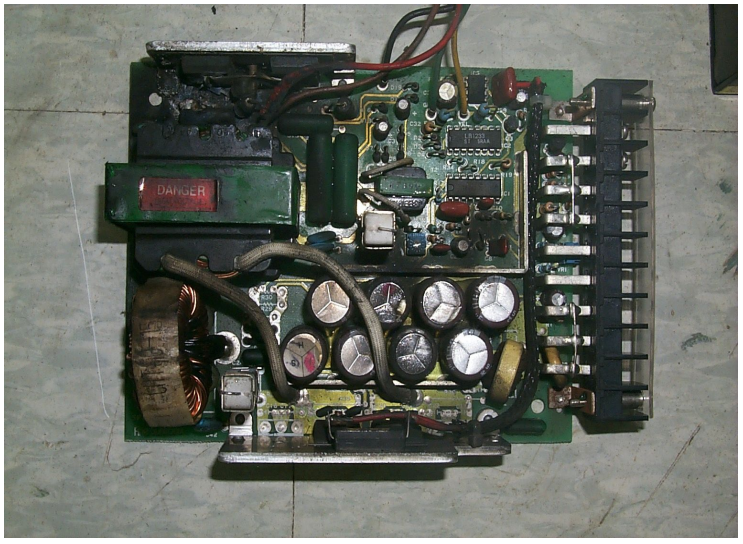
전기전자기기에서 전파경로를 통해 인입되는 서지는 선박의 피뢰침, 안테나 혹은 위성장비와 같은 외부 장비에 직격뢰 혹은 유도뢰에 의해 인입되는 서지와 신호선이나 배전선에 인입되는 서지 등이 있다.

선박의 전기 시스템에서 발생하는 서지는 다음과 같은 장소에서 자주 발생된다. 통신시스템의 근처, 다채널의 부하 및 낙뢰의 경우와 같이 직접

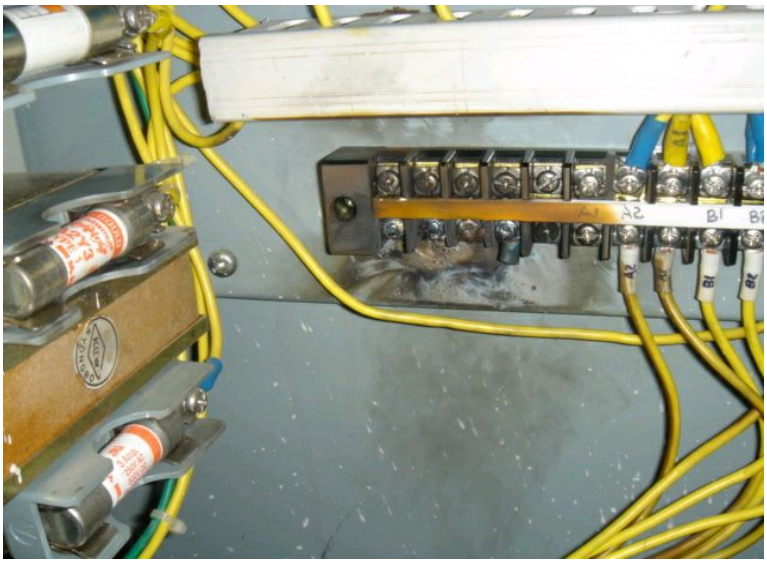
적으로 혹은 결합에 의해 통신장비, 케이블, 커넥터 및 인터페이스에 손상을 준다. 통신 회로나 제어 회로에서의 서지 전파는 전기 회로에서와 마찬가지로 결합될 수 있다. 또한 파괴된 소자는 서지 등에 대해 낮은 임피던스를 제공하여 장비 및 전력 계통에 손상을 준다[1].

선박의 전력계통에서 정격 전압은 일반적으로 220 [V]~6.6 [kV]까지 다양한 전압을 필요한 부하에 맞게 적용한다. 이러한 전압을 순간적으로 투입 혹은 차단하게 될 경우 개폐 서지가 발생되며 전력선을 통하여 기기에 전달되어 전자전기기기에 손상을 유발하게 된다. 선박의 경우 육상과는 달리 선체에 접지를 하여 쉽게 등전위를 구성한다. 따라서 육상전기시스템 구성과는 달리 접지를 통한 서지의 인입은 없는 것으로 간주할 수 있다.

배전선이나 신호선을 통해 인입되는 서지는 첨단 항해·통신·제어장비에 오동작 혹은 손상을 유발하게 된다. 그림 2.2에 신호선으로부터 유입된 서지에 의해 손상된 예를 나타내었다.



(a) 제어모듈



(b) 터미널 손상

그림 2.2 서지에 의한 손상된 전기전자부품의 사진
Fig. 2.2 Photographs of damaged electrical and electronic devices by surges

육상 설비에서는 상기 사례와 관련하여 2009년부터 KS C IEC 60364-53-534에 의해 SPD 설치가 의무화 되었다. 선박은 전 세계 곳곳을 항해함에도 불구하고 일부 예비품을 제외한 핵심 부품은 수리 및 교체가 어렵기 때문에 서지로 인한 손상을 입을 경우 선박 운항에 막대한 피해를 야기할 수 있다. 그럼에도 불구하고 선박에 적용되는 전자·제어 장비와 관련하여 적용된 강제 규정은 없으며 이에 대한 규제 및 보호 대책이 필요하다.

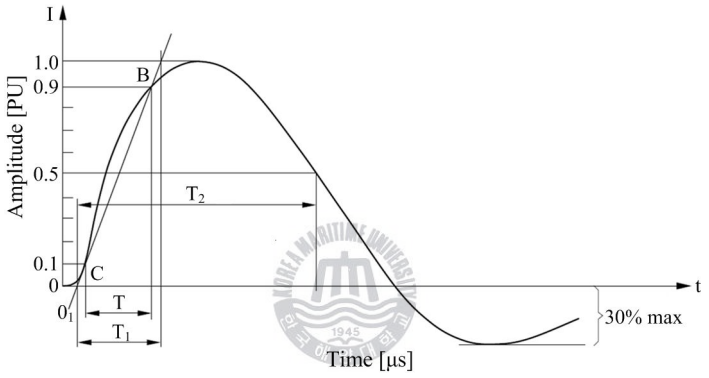
2.2 시험 규정[8]~[13]

IEC 61000-4-5와 같은 서지시험규정은 ANSI/IEEE, IEC, UL, NEMA, 미 국방 규정 등의 관련 기관에서 연구 및 축적된 현장 계측 결과를 토대로 공학적으로 실험 규정을 표준화한 것으로 서지방호장치 제작시 성능

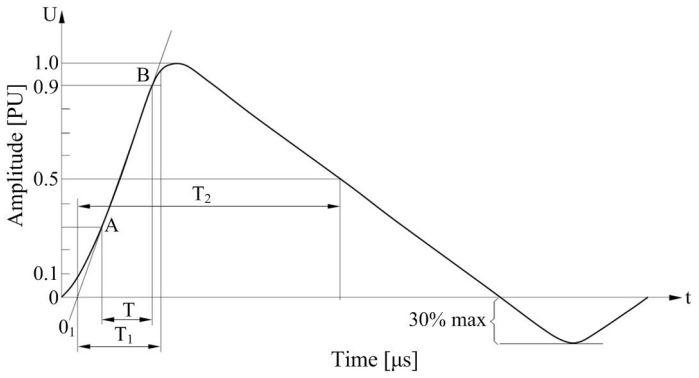
평가 방법으로 사용된다.

선박 건조시 적용되는 선급은 ABS, DNV, GL 및 KR 등이 있다. 각 선급별로 규정의 차이는 약간 있으며, 2010년에 규정된 ABS의 경우 발생된 서지로 인하여 절연 파괴 혹은 장비의 손상이 발생되어서는 안되며, 관련 규정으로 IEC 61000-4-5에 따라 시험할 것으로 명시되어 있다.

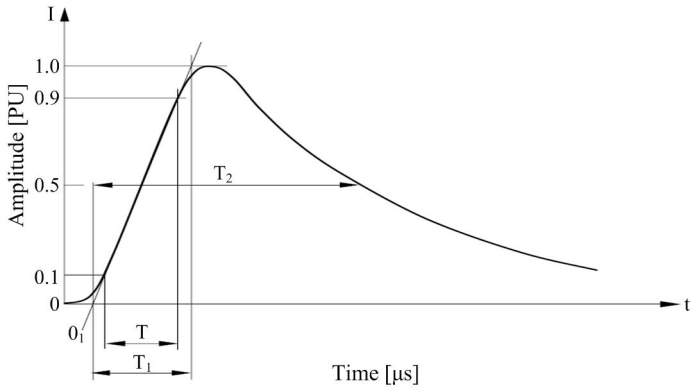
그림 2.3은 서지전압 및 전류 파형에 대하여 나타내었다.



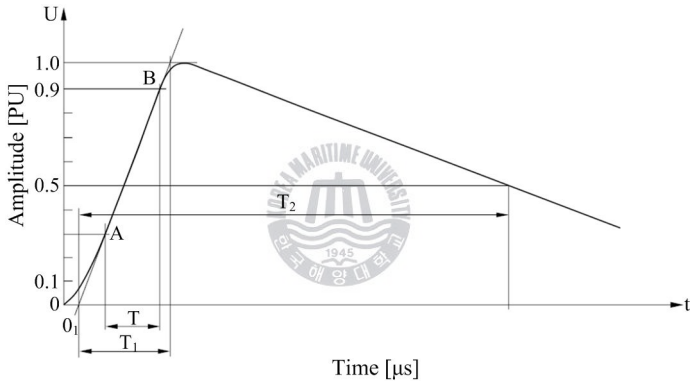
(a) 8/20 [μs] 전류



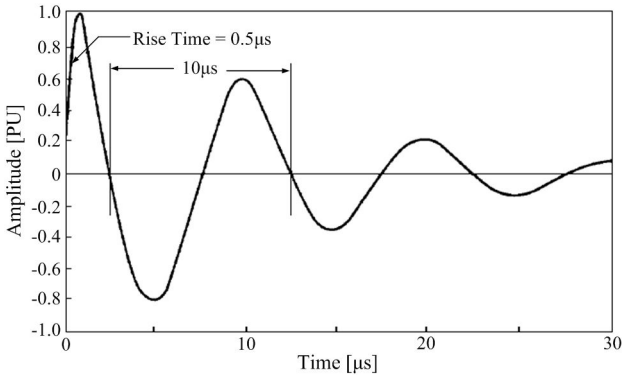
(b) 1.2/50 [μs] 전압



(c) 5/320 [μs] 전류



(d) 10/700 [μs] 전압



(e) 0.5 [μs]/100 [kHz] 진동성 전압

그림 2.3 서지전압 및 전류 파형 예
Fig. 2.3 Typical waveforms of surge voltage and current

위 파형은 국제 시험 규격 IEC 61000-4-5에 의거하여 진동형 및 비진동형의 서지파형으로 나눌 수 있으며, 비진동형의 경우 표준 파형인 1.2/50[μs], 8/20[μs]과 신호 및 통신선로에 많이 적용하는 5/320[μs], 10/700[μs] 등의 파형을 적용할 수 있으며, 진동형의 경우 0.5[μs]/100[kHz]의 파형을 적용할 수 있다.

감쇠 진동 서지파형(0.5[μs]/100[kHz])의 경우 옥내에서 발생하는 서지에 관한 것으로 규정하고 있다. 이를 바탕으로 서지방호장치를 8/20[μs] 표준 전류 파형에 대한 서지 차단 특성을 평가하였다. 이들 규격의 표준 파형을 수식화하면 다음과 같다.

a) 8/20[μs] 표준 전류 파형

$$I(t) = AI_P t^3 \exp(-\frac{t}{\tau}) \tag{2.1}$$

여기서, $\tau = 3.911$ [μs]

$A = 0.01243$ [μs^{-3}]

b) 1.2/50[μs] 표준 전압 파형

$$V(t) = A V_P \left\{1 - \exp(-\frac{t}{\tau_1})\right\} \cdot \exp(-\frac{t}{\tau_2}) \tag{2.2}$$

여기서, $\tau_1 = 0.4074$ [μs]

$\tau_2 = 68.22$ [μs]

$A = 1.037$

c) 0.5 [μs]/100[kHz] 표준 감쇠진동 파형

$$V(t) = A V_P \left\{1 - \exp(-\frac{t}{\tau_1})\right\} \cdot \exp(-\frac{t}{\tau_2}) \cos(wt) \tag{2.3}$$

여기서, $\tau_1 = 0.533$ [μs]

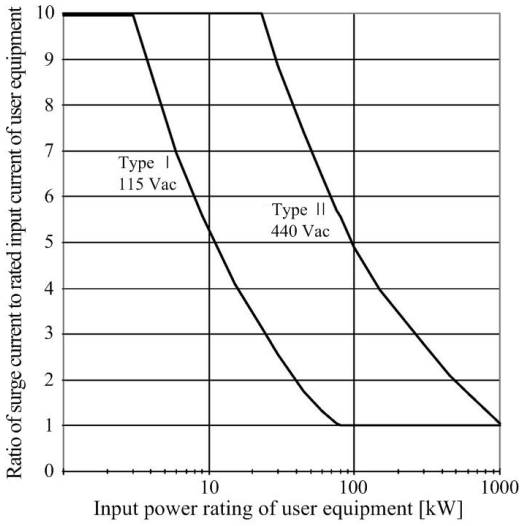
$\tau_2 = 9.788$ [μs]

$w = 2\pi 10^5$ [rad/s]

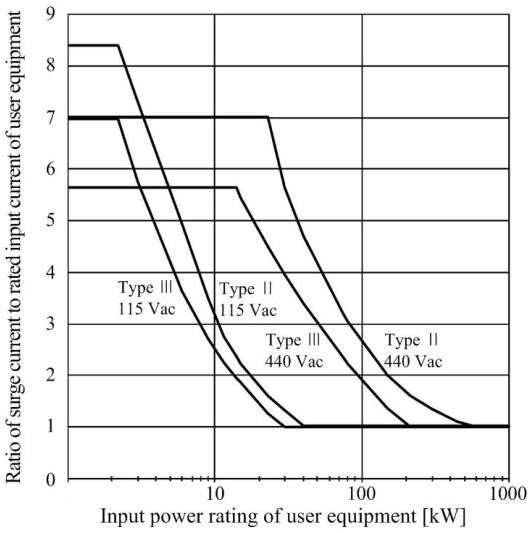
$A = 1.590$

군함 관련 규정은 미 국방 규격 MIL-STD-1399-300B에 의거하여 그림 2.4와 같이 각 부하별 용량에 따른 서지 제한 전류 값을 나타낸다. 또한 주파수에 따라 이 값은 변경 되며, 60[Hz]와 400[Hz]로 구분된다. 이는 군함 장비의 경우 무선 송신기, 사격통제 장비는 400[Hz]를 사용하고 있기 때문이다. 미 국방 규격 MIL-STD-1310F(NAVY)에 따르면 터미널 보호 장치는 낙뢰나 서지로부터 전자 장비를 보호하기 위하여 서지방호장치로 구성되어야 한다.

그림 2.4는 부하 장비에 대한 서지전류 제한에 대하여 나타내었다.



(a) 60 [Hz]



(b) 400 [Hz]

그림 2.4 부하 장비에 대한 서지전류 제한
Fig. 2.4 Surge current limits for load equipment

위 파형은 함정에서 부하 장비에 대한 서지전류 제한 값을 나타내며, Type Ⅰ,Ⅱ,Ⅲ는 전압, 주파수 등에 대해 요구되는 허용 오차에 따른 파형을 나타낸다.

교류 전원 60 [Hz] Type Ⅰ(교류 전원 115[Vac], 60 [Hz])에서 소비 전류에 대한 서지전류의 제한비가 약 2 [kW]에서 10배이며, 소비전력 80 [kW]이상에서 동일하게 된다. 또한 TypeⅡ(교류 전원 440 [Vac], 60 [Hz])는 약 20 [kW]에서 10배이며, 1,000 [kW]에서는 동일하다. 400 [Hz]에 대한 TypeⅡ,Ⅲ의 경우 Type Ⅰ에서와 마찬가지로 소비 전력 및 사용 전압이 높을수록 소비 전류에 대한 서지전류의 비가 낮아지게 된다[16].

2.3 서지방호소자[7],[27]

서지방호소자는 산화아연 바리스터(ZnO Varistor), 아발란치 다이오드(Avalanche Diode), 가스 튜브(Gas Tube), 제너 다이오드(Zener Diode) 등의 비선형 소자를 일반적으로 사용한다. 그림 2.5는 서지방호소자를 이용한 서지차단원리에 대하여 나타내었다. 선로에 인입된 서지는 직렬 임피던스와 서지방호소자로 구성된 서지방호장치에 의해 전압이 제한된다. 또한 서지방호소자는 정상상태에서는 높은 임피던스로 어떠한 동작도 하지 않으며, 서지 침입 시에는 전압의 크기와 전류의 양에 따라 낮은 임피던스로 변화하여 서지전압을 제한하게 된다.

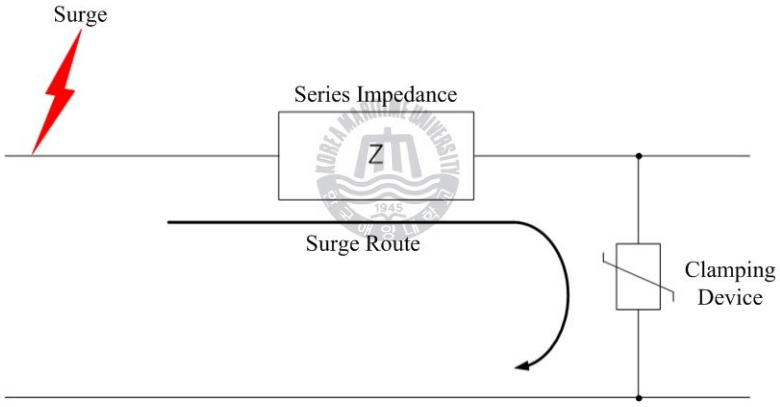


그림 2.5 서지 차단의 원리
Fig. 2.5 Principle of surge suppression

2.3.1 가스 튜브(Gas Tube)

통신용 및 서지방호회로에서 널리 사용되는 가스 튜브는 표류정전용량이 1[pF]~2[pF]으로 대단히 작으며 방전 내량은 수십[kA]로 상당히 큰 소자이다. 전극의 양단에 인가되는 전압에 의해 방전을 유도하는 형태로 가스 튜브 내부에는 아르곤, 네온 등의 불활성 가스를 이용하여 방전 전압을 결정한다. 가스 튜브는 기체 방전개시전압에 의해 방전되기 시작하

며 전류의 크기가 방전 전류 이하로 내려갈 때까지 방전을 계속하게 되고 속류(Follow Current)가 발생될 가능성이 크므로, 상시 전위가 없는 곳 또는 전류량이 낮은 통신용 회로에서 사용한다. 가스 튜브는 방전이 개시되기 위한 시간이 필요하며, 이에 따라 방전개시전압이 높고 반응 속도가 느리다.

그림 2.6은 방전개시전압 150[V_{DC}] 가스 튜브의 V-I특성을 나타낸 것으로 방전이 개시되면 1~2[μs]이내에 아크영역으로 전환되어 소자 양단에는 10[V]~30[V]의 낮은 전압만이 남게 된다. 따라서 N-G 사이에 가스 튜브를 적용하여 정상 상태에서는 개방상태가 되어 누설전류가 흐르지 않도록 하고 서지 침입시 동작하여 차단하도록 하였다.

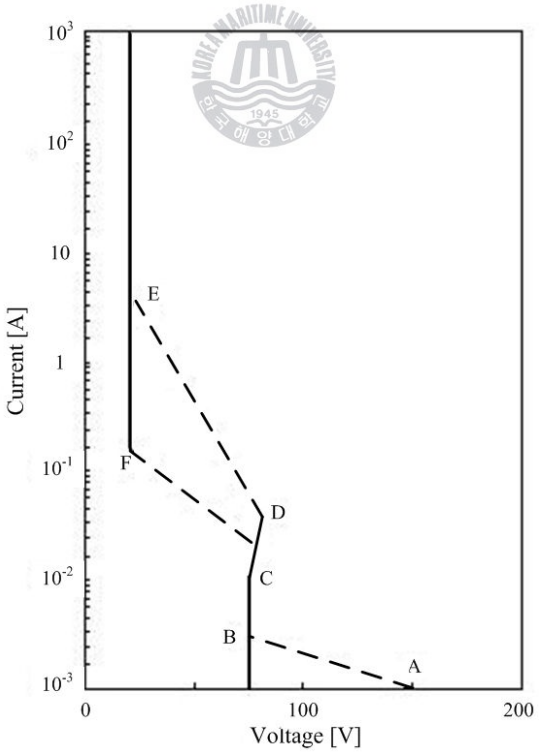


그림 2.6 가스튜브의 V-I 곡선
Fig. 2.6 V-I curve of a gas tube

2.3.2 산화아연 바리스터(ZnO Varistor)

바리스터는 비선형적 특성을 가진 소자로서 인가된 전압값에 의해 저항값이 변하는 특성이 있다. 일반적으로 사용하는 산화아연 바리스터는 전자 회로에서부터 배전반까지 다양한 전압 및 전류에 맞게 적용할 수 있다. 바리스터 소자는 양방향 소자로써 보통 5[mm]~40[mm]의 직경을 가지고 있다. 응답 속도는 50[ns]로 가스 튜브보다 빠른 응답 특성을 가지며 서지전류내량이 크다.

바리스터는 1[mA] 이상의 전류가 흐를 시의 단자 전압을 동작 개시 전압이라 하고 특성은 다음의 식에 의해 결정된다.

$$I = kV^{\alpha} \tag{2.4}$$

식 (2.4)에서 α는 비직선 계수를 나타내며 이는 V-I특성을 결정한다. 그림 2.7에 산화아연 바리스터의 V-I 특성곡선을 나타내었으며, 측정전류 I_1, I_2와 동작개시전압 V_1, V_2를 측정함으로써 비직선 계수 α를 다음의 식 (2.5)으로 구할 수 있다.

$$\alpha = \frac{\log(\frac{I_1}{I_2})}{\log(\frac{V_1}{V_2})} \tag{2.5}$$

바리스터의 V-I 특성을 그림 2.7에 나타내었다. 누설전류 영역에서는 수[μA]~수 십[μA]의 작은 전류가 흐르고 누설 저항과 같은 역할을 한다.

대전류 영역에서는 입자간 저항이 급감하여 전류가 증가함에도 불구하고 단자간 전압은 거의 증가하지 않게 된다[27].

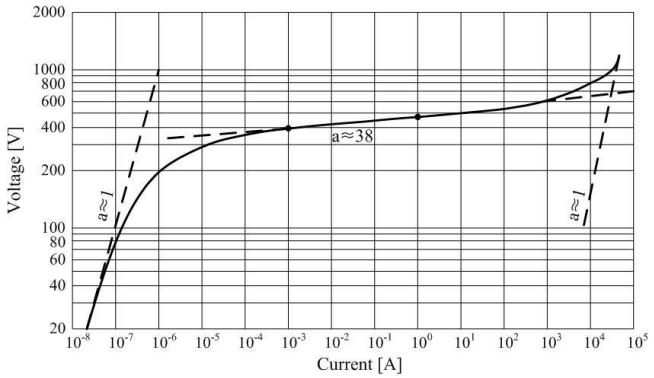


그림 2.7 산화아연 바리스터의 V-I 곡선
Fig. 2.7 V-I curve of a ZnO varistor

그림 2.8에 산화아연 바리스터의 등가회로를 나타내었다. 소자의 리드선에 의한 저항 R, 인덕턴스 L, 특성요소인 바리스터의 저전계영역에서 나타나는 정전용량 C와 누설저항 R_{leak}로 표시되며, 인가전압이 동작 전압 이상으로 선로에 인가될 시, 벌크 저항 R_{bulk}의 특성으로 동작한다.
따라서 440[V] 및 220[V], 60[Hz]를 사용하는 선박 전기전자기기에 침입하는 서지 방호시 적용하였다.

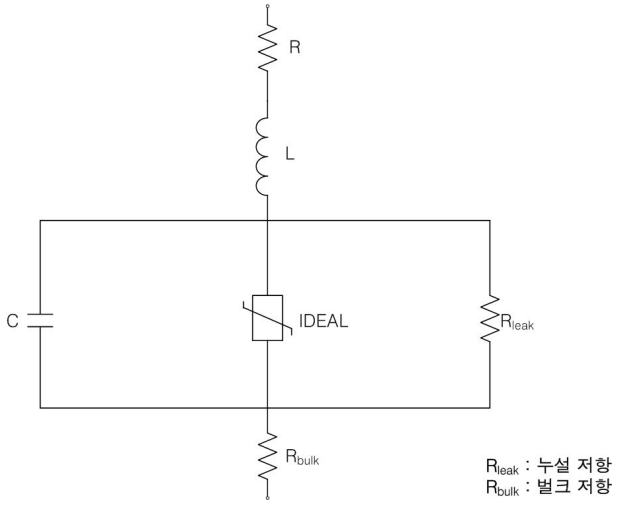


그림 2.8 산화아연형 바리스터의 등가 회로
Fig. 2.8 Equivalent circuit of ZnO varistors

2.3.3 아발란치 다이오드(Avalanche Diode)

아발란치 다이오드는 현재 50[A] 이하의 낮은 서지전류에 대해 dV/dI의 가장 작은 값을 나타내는 비선형 소자이다. 반면에, 이용 가능한 방호 소자 중 가장 확실한 클램핑 전압을 가지고 있으며, 1[ps] 이하의 가장 빠른 응답속도를 가지는 특성이 있다. 따라서 다중 보호 회로에서 마지막 단계의 보호 소자로 사용된다. 공통적으로 항복 전압 특성을 가지는 다이오드를 제너 다이오드로 부르고 있으며, 5[V] 미만의 항복 영역을 제너 메카니즘, 8[V] 이상의 항복 영역을 아발란치 메카니즘이라고 한다. 제너 영역에서는 온도가 상승 시 전압이 감소하며, 아발란치 영역에서는 온도가 상승시 전압이 상승하게 된다. 제너 다이오드의 제한전압은 3.3[V]와 3.9[V] 사이에서 가지므로 CMOS등의 저전압 고속 제어 분야에서는 회로 보호용으로 사용된다. 아발란치 다이오드의 V-I 특성은 그림 2.9와 같으며, 특성곡선은 순방향 및 역방향 특성으로 나타난다. 약 0.7[V] 이상의 순방향 바이어스일 경우에는 일반적인 정류 다이오드와 동일한 특성을 나타낸다. 역방향 바이어스일 경우 제한전압의 특성을 나타낸다. 따라서 정극성 및 부극성 서지의 인입을 고려할 경우, 단극성의 아발란치 다이오드를 역방향으로 직렬 접속하여 양극성 서지로부터 전기전자기기를 보호한다. 따라서 저압 영역에서 동작하고 에너지 내량이 작은 아발란치 다이오드는 선박 전기전자기기의 전원선에 침입하는 서지를 방호하는데 적합하지 않다.

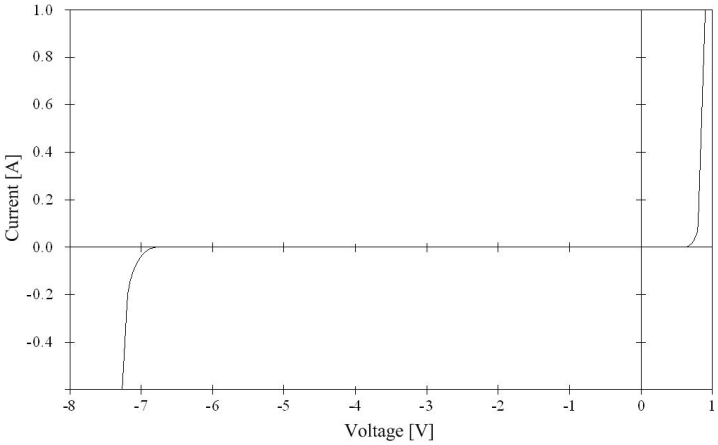


그림 2.9 아발란치 다이오드의 V-I 곡선
Fig. 2.9 V-I curve of an avalanche diode

KOREA MARITIME UNIVERSITY
1945
한국해양대학교

2.4 선박 전력 계통[14],[17]

서지방호소자를 적용하기 위하여 선박 전력 계통의 전압 및 특성에 대하여 검토하였다. 일반 상선의 경우 440[V] 및 220[V], 60[Hz]의 전압을 적용하며, 사용되는 대부분의 대용량 전기 장비들은 엔진룸과 조타 장치실에 배치된다. 따라서 좁은 공간에 배치되는 많은 전기전자기기들은 차단기 개폐 혹은 유도성 부하의 기동에 의해 발생되는 서지에 의해 영향 및 손상을 받기 쉽다. 그림 2.10은 선박 전력 계통도의 예를 나타내었다.

일반적으로 3~4대의 디젤 발전기에서 MSBD의 NO.1 GSP(Group Starter Pane)와 NO.2 GSP로 전력을 공급 받으며, NO.1 GSP에서 공급받은 전력은 NO.1 GSP 관련 부하에 전력을 공급하며, 부스 타이를 통해 NO.2 GSP와 전력을 공유하게 된다. NO.2 GSP 또한 NO.2, 3 디젤 발전기에서 공급받은 전력을 부스 타이를 통해서 NO.1 GSP 관련 부하와 공유하게 된다. 단, 각 구역에 있는 LGSP(Local Group Starter Panel)는 선급 규정에 의거하여, 필수 부하의 경우 NO.1, 2 GSP에서 이중으로 절환 시스템을 사용하여 전력을 공급받게 된다. 특히, 이 경우 절환시에 일시적으로 공급망 전력이 교환되는데 이 때 발생되는 서지로 인해 제어 시스템이 재시동 되거나 오동작이 발생되는 경우가 종종 발생한다. 비상시에 사용하게 되는 공급망으로 비상 디젤 발전기에서 공급되는 전력은 비상 배전반(Emergency Switchboard)을 통해서 필수 부하에 공급하며, 절환 시스템을 사용하여 주배전반과 함께 항해에 꼭 필요한 부하에 전력을 공급하게 된다. 선외 연결함은 선박이 항구에 계류시 육상으로부터 양질의 전력을 공급받게 되며, 이 전력은 항해용이 아닌 정박시 필요한 전력에 사용된다. 이 또한 비상 배전반과 주 배전반에 공급되게 되며, 현재의 추세는 환경 규제에 부응하여 선외 연결함을 통하여 디젤 발전기를 운전하지

않고도 화물을 싣거나 내릴 때까지 전력을 공급받는 선박이 발주될 가능성이 높아지고 있다. 이로 인해 선박에서 사용되는 전력의 수요는 더욱 더 높아지고 있으며, 더 복잡한 시스템의 구성 및 서지로 인한 보호대책의 요구가 필요하게 되었다. 선박의 전력계통은 육상 전력계통에서 요구하는 만큼의 큰 전력량은 아니지만, 엔진룸에 설치되는 대용량 부하와 케이블로 인해 단락전류의 값이 높고, 차단기 용량이 커짐에 따라 발생되는 큰 값의 서지에 대해 노출되어 있다. 따라서 병렬형 서지방호장치를 적용하여 인덕터 부하에서 발생된 서지를 차단하여야 한다. 또한 선박에 설치된 상당수의 많은 전자장비들은 통신선 혹은 전원선으로부터 유입된 서지로 인하여 오동작 및 손상을 입게 될 수 있다. 그러므로 항해 시 필수적인 항해·통신·제어장비의 전원선 인입구 전단에 직렬형 서지방호장치를 적용하여 인입되는 서지를 차단하여야 한다.

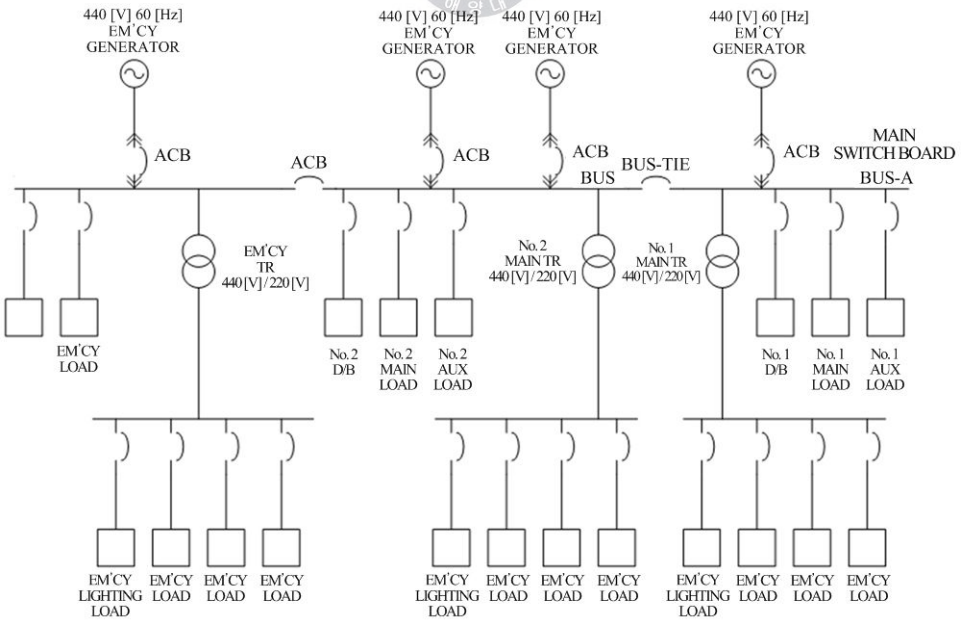


그림 2.10 선박의 전력 계통도
Fig. 2.10 Diagram of electric power system for a ship

선박에서 발생되는 고조파 왜곡 및 일시적인 스위칭 서지에 의한 전력 품질 문제는 다음과 같다.

A.원인

1. 추진 모터가 컨버터를 통해 시동 및 운전시 발생되는 노이즈
2. 차단기에 의해 발생되는 스위칭 서지
3. 전력 전자 장치에 의한 고조파 왜곡

B.결과

1. 스위칭 서지에 의한 민감한 장비의 오동작
2. 절연 스트레스 및 장비 고장 증가

ABS에서는 서지에 대한 내성 시험으로 다음 사항을 요구하고 있다.

1. 선박 전기전자기기는 국제규정 IEC 61000-4-5에 따라 서지로부터 보호되어야 한다.

(성능 기준 : a.시험된 장비는 시험 후에도 계속적으로 작동되어야 한다.
b.성능하락 혹은 기능 손실은 제조자에 의해 정의된 기술 사양서에 의해 정의된다.
c.테스트 후 실제 작동 상태의 변화와 저장 데이터가 변화되지 않아야 한다.

2. 동력 및 조명용 변압기의 보호에서 스위치 및 차단기는 서지전류에 견딜 수 있는 것이어야 한다.
3. 5[kW] 이상의 장비에 적용되는 정류기에서는 서지로부터 방호되어야 한다. 정류기는 회로개폐에 따른 서지전압, 발전제동에 따른 전압상승 등 과도적 과전압에 의하여 손상되지 아니하도록 보호되어야 한다.
4. 회전기계에 대하여 일반적으로 요구되는 시험항목에 추가로 급격한 스위칭서지에 대한 내부권선-턴 간의 내절연성을 확인하기 위하여 각 코일마다 IEC 60034-15에 따른 내전압시험을 하여야 한다.

제 3 장 설계 및 제작

선박에 적용되는 전기전자기기를 서지로부터 보호하기 위하여 전원회로에 적합한 서지방호장치를 설계·제작하였다. 또한 서지방호장치의 성능평가를 위하여 IEC 61000-4-5에 규정된 8/20[μs], 10[kA]의 서지발생장치를 제작하였다.

3.1 서지방호장치

회로에 가장 적합한 바리스터를 선정하기 위하여 제한전압은 정상상태 전원의 전압을 고려한 다음의 식 (3.5)으로 결정할 수 있다.

$$V_P(1+\beta) < V_N(1-\epsilon) \tag{3.5}$$

V_P : 시스템 정상전압의 최대값

β : 시스템 전압의 안전계수(0.1 ~ 1.0)

V_N : 바리스터의 공칭개시전압

ϵ : V_N의 허용오차

식 (3.5)에서 β는 안전계수로서 값이 낮을수록 제한전압이 낮으므로 보호동작이 잘 이루어지나 수명이 짧아지고 쉽게 열화되므로 회로에 맞는 적합한 값을 선정해야 한다. 바리스터는 서지의 침입으로 인하여 점점 열화되며, 파괴시 단락되기 때문에 각각의 퓨즈를 바리스터에 직렬로 설치하여 회로가 단락되는 것을 방지하였다. N-G 사이에는 정상동작시 바리스터에서 발생될 수 있는 누설 전류를 제한하기 위하여 가스 튜브를 적용하였다.

선박을 항해하는데 있어 반드시 필요한 장비의 경우 무정전 전원공급장치가 설치된다. 일반적으로 무정전 전원공급장치가 필요한 장비는 통합 자동화 시스템, 조명 장치, 사이드 추진기 및 항해 통신 장비 등이 있다. 무정전 전원공급장치는 만약 고장이 발생할 경우를 대비하여, 긴급 우회 보조 라인을 구성하고 있다. 긴급 우회 보조 라인의 경우 SCR을 이용하여 제어되며, 서지 침입 시 컴퓨터 혹은 제어기기 등으로 직접 전달된다. 이 때 발생되는 전환 시점에서의 서지로 인해 컴퓨터는 시스템 정지 혹은 손상이 발생될 수 있다. 만약 위의 상황에서 서지방호장치를 설치하게 될 경우, 무정전 전원공급장치 내부의 제어 장치를 보호해주고 우회 라인으로 전달되는 서지에 대한 보호도 할 수 있을 것으로 판단된다.

3.1.1 병렬형 서지방호장치

선박의 전력 계통은 발전기에서 주 배전반를 통하여 각종 대형 장비 혹은 분전반으로 전력이 공급되도록 구성된다. 상선의 경우 440[V] GSP에서 각각의 대형 펌프류 혹은 기동장치에 전력이 공급된다. 차단기 및 유도성 부하에서 발생되는 개폐 서지는 다른 장비에 영향을 줄 수 있으며, 이를 차단하기 위해 전원용 서지방호장치를 설치하여야 한다. 440[V] 전원을 사용하는 장비는 대부분 대용량 전기 설비이므로 서지 내량을 고려하여 병렬형 서지방호장치가 적합하다.

선박 및 특수선에서는 고전압(1,100[V], 6,600[V]) 및 저전압(690[V], 450[V], 230[V]) 등 다양한 전압의 전원을 요구한다. 고전압 배전반의 경우 서지 어레스터가 설치되어 있으나, 저전압 배전반의 경우 서지방호장치가 설치되지 않아 대책이 요구된다. 그림 3.1은 병렬형 서지방호장치의 구성에 관하여 나타내었다. 전원선과 접지선 및 중성선 사이에는 바리스터를 사용하여 서지침입에 대한 방호를 하였다. 또한, G-N 사이에 침입

하는 서지에 대한 방호 대책으로 가스 튜브를 설치하여 정상 동작시 누설 전류가 발생하지 않도록 하였다[22]. 정상상태에서 G-N 사이에는 전위차가 발생하지 않으므로 가스 튜브로 인한 누설 전류는 발생하지 않으며, 서지 침입시 가스 튜브의 특성으로 인해 아크 방전시 발생되는 낮은 전압만 형성된다. 또한 중성선과 접지사이의 상태가 원래대로 돌아오면, 두 선로 사이의 전위차가 없어 속류가 발생하지 않는다. 그림 3.2는 P-SPICE를 이용한 시뮬레이션 결과를 나타내며, 그림 3.3은 시제작 병렬형 서지방호장치의 사진이다[21],[23]~[25].

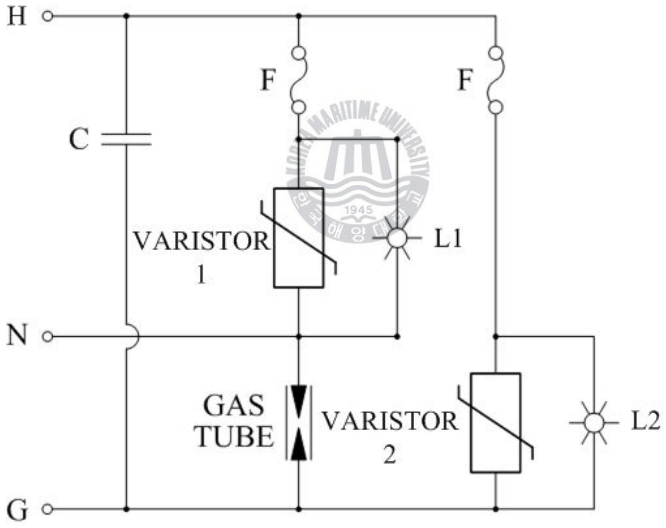


그림 3.1 병렬형 서지방호장치의 구성
Fig. 3.1 Configuration of the parallel surge protective device

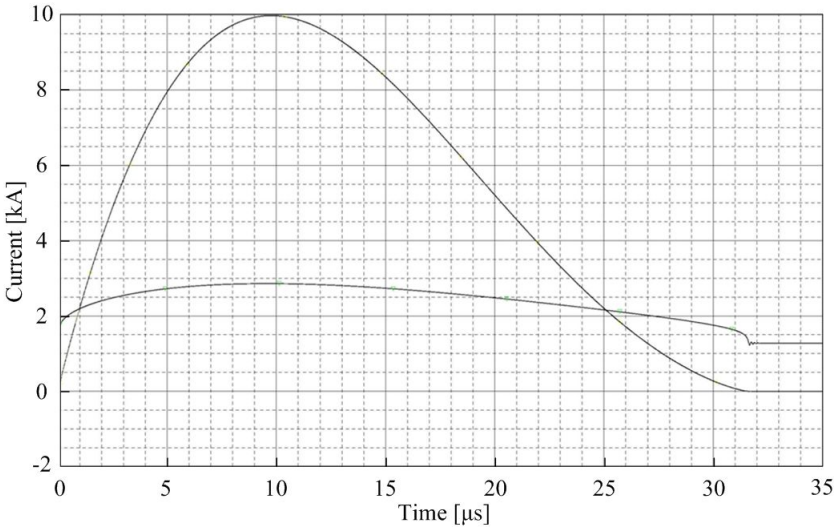


그림 3.2 시뮬레이션 결과
Fig. 3.2 Simulation result

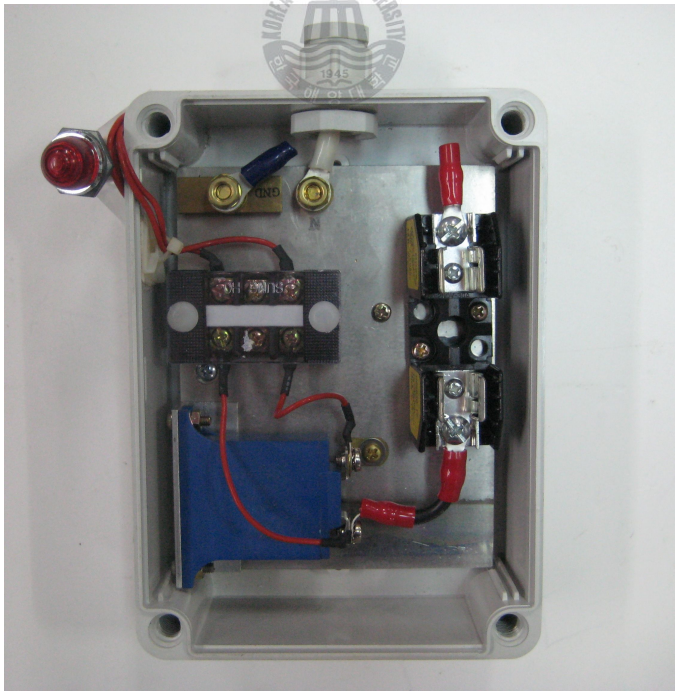


그림 3.3 병렬형 서지방호장치의 사진
Fig. 3.3 Photograph of a parallel surge protective device

3.1.2 직렬형

직렬형 서지방호장치는 LC필터와 서지방호소자의 조합으로 구성된다. 병렬형 서지방호장치는 일반적으로 대형 모터의 전단 혹은 차단기 부하측에 설치되며, 기동장치의 오작동 및 다른 기기장비의 손상을 막기 위해 설치된다. 직렬형 서지방호장치는 선박의 운항에 꼭 필요한 컴퓨터 기반의 제어 장비 및 항해·통신장비에 적용되며, 각 장비는 일반적으로 220[V]의 전압을 사용한다. 따라서 중요 장비를 서지로부터 보호하기 위하여 그림 3.4와 같이 서지방호장치를 바리스터 2단으로 구성하고 중간에 LC필터를 삽입하였다. 1단에서는 바리스터를 이용하여 급준한 서지전압을 차단하며, LC필터에서 서지전압의 고주파 성분을 감쇄시킨 후 최종적으로 2단에서 바리스터를 이용하여 잔류전압을 억제함으로써 피보호기기에 과전압 혹은 고주파 성분이 전달되지 않도록 구성하였다.

또한 항해·통신·제어 시스템은 민감한 장비이므로 누설 전류로 인한 피해가 발생하지 않도록 N-G 사이에 가스튜브를 적용하였다[22]. 접지와 중성선은 일반적으로 전위차가 발생되지 않으므로 가스 튜브는 동작하지 않고 내부는 항상 개방 상태를 유지하므로 누설전류가 발생하지 않는다.

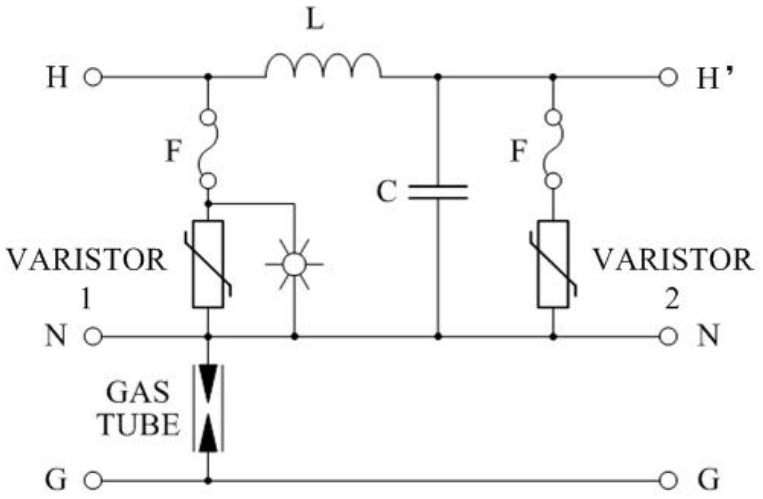


그림 3.4 직렬형 서지방호장치의 구성
Fig. 3.4 Configuration of the series surge protective device.

시제작된 직렬형 서지방호장치의 사진을 그림 3.5에 나타내었다.

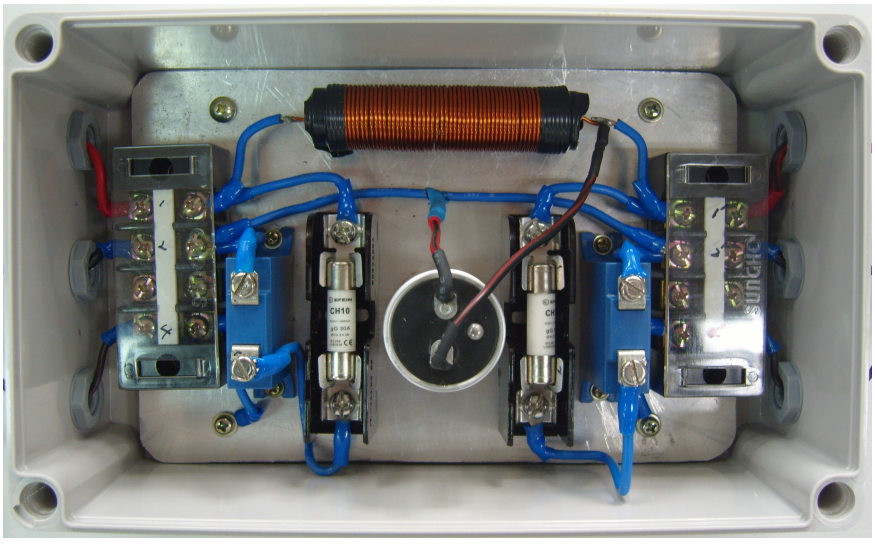


그림 3.5 직렬형 서지방호장치의 사진
Fig. 3.5 Photograph of a series surge protective device

3.2 서지발생장치[26]

직/병렬형 서지방호장치를 평가하기 위하여 국제 규정 IEC 61000-4-5에 의거하여 제작된 서지발생장치는 R, L, C 회로로 구성된다. 콘덴서 C가 충전 저항 R_c를 통하여 충전 전압 E가 될 때까지 충전된 후 방전극 G를 통하여 L+R_s+R_o회로에 C의 전하를 방전시키면, R_o에 충격 전압 e가 발생한다. 그림 3.6의 등가 회로에 대한 등가 방정식은 다음과 같다.

$$L\frac{di}{dt}+Ri+\frac{1}{C}\int_0^t idt=E \tag{3.1}$$

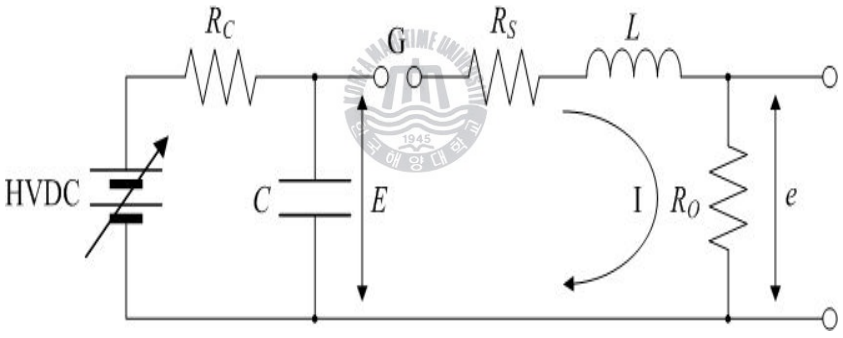


그림 3.6 서지발생장치 등가 회로
Fig. 3.6 Equivalent circuit of the surge generator

R=(R_s+R_o), t=0에서 트리거가 된다고 가정할 경우, 임계 저항 R이 다음과 같은 조건일 때 임계제동, 과제동, 부족제동이 발생한다.

1) $R=2\sqrt{\frac{L}{C}}$ (임계제동)

$$\cdot\ e=iR_o=E\frac{R_o}{R}\cdot 2\alpha t\cdot \varepsilon^{-\alpha t} \tag{3.2}$$

2) $R > 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ (과제동)

$$\bullet\ e = iR_o = E\frac{R_o}{R} \bullet \frac{\alpha}{\beta}\varepsilon^{-(\alpha-\beta)t} - \varepsilon^{-(\alpha+\beta)t} \tag{3.3}$$

3) $R < 2\sqrt{\frac{L}{C}}$ (부족제동)

$$\bullet\ e = iR_o = E\frac{R_o}{R} \bullet \varepsilon^{-\alpha t}\sin wt \tag{3.4}$$

여기서, $\alpha = \frac{R}{2L}, \beta = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}}, w = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}$

여기서 규정에 의거 표준으로 적용되는 서지 파형은 임계제동으로 식(3.2)를 만족한다. 또한 각 제동에 따른 전류 파형의 특성을 표 3.1에 나타내었으며, 임계 제동의 특성을 이용하여 8/20 [μs] 서지전류 파형을 발생시키는 장치를 설계하였다.

표 3.1 RLC 회로의 제동 조건에 따른 전류 파형
Table 3.1 Current waveform depending on damping condition of RLC circuits

제동 조건	과제동	임계제동	부족제동
	$\frac{1}{LC} < \frac{R^2}{4L^2}$	$\frac{1}{LC} = \frac{R^2}{4L^2}$	$\frac{1}{LC} > \frac{R^2}{4L^2}$
전 류	$\frac{V_O}{wL}U \bullet \sinh(wt)$	$\frac{V_O}{wL}U \bullet t$	$\frac{V_O}{wL}U \bullet \sinh(wt)$
파고치 시 간	$\frac{1}{w}(\ln\sqrt{l+\frac{w}{a}} - lm\sqrt{l-\frac{w}{a}})$	$\frac{1}{a}$	$\frac{1}{w} \bullet \tan^{-1}(\frac{w}{a})$
$U = \exp(-at), w = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}}, a = \frac{R}{2L}$			

본 연구에서 제작한 서지발생장치의 회로는 그림 3.7과 같으며, 8/20[μs], 최대 15[kA]의 서지전류 발생이 가능하다.

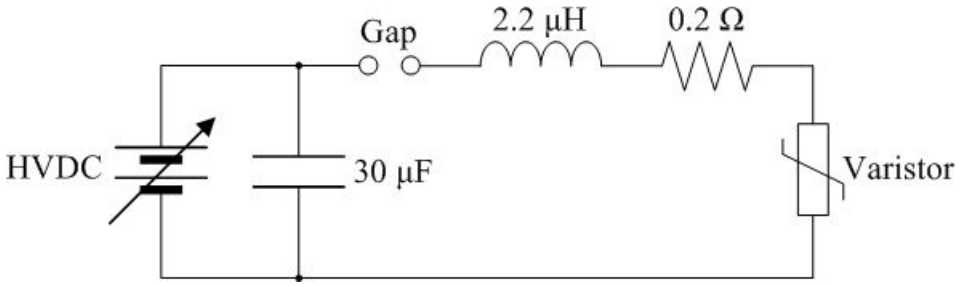


그림 3.7 8/20[μs] 서지발생장치의 회로
Fig. 3.7 Circuit of the 8/20[μs] surge generator

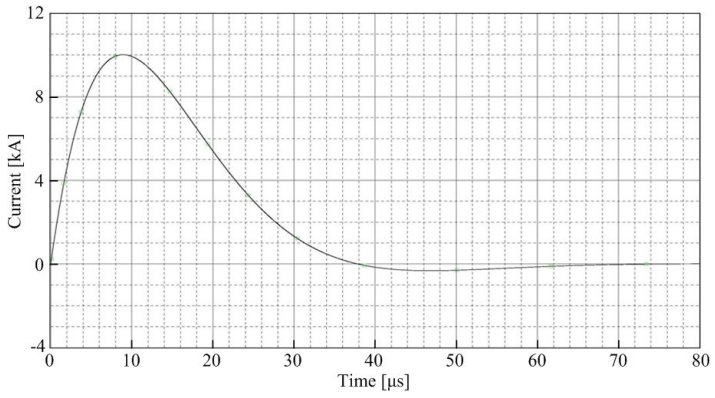
그림 3.8은 실험계의 구성에 대한 사진이며, 표 3.2는 시제작된 8/20[μs] 서지발생장치의 사양에 대하여 언급하였다.

그림 3.8 실험계의 구성
Fig. 3.8 Configuration of the experimental set-up

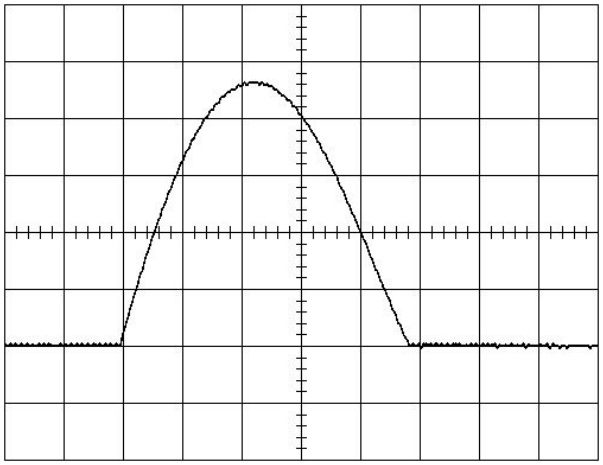
표 3.2 8/20 [μs] 서지발생장치의 사양
Table 3.2 Specification of the 8/20 [μs] surge generator

항 목	사 양	항 목	사 양
고전압인가장치 (HVDC)	60 [kV] 50 [mA]	축적형콘덴서(C)	10 [kV] 30 [μF]
방전용 갭(G)	황동재질 직경 100 [mm]	방전전류 측정용(CT)	40 [kA] 50 [kMHz]
파형조정용(L)	공심단층원통형 2.2 [μH]	고전압 프로브	40 [kVmax] 75 [MHz]

그림 3.9는 서지발생장치의 등가회로에 대한 P-SPICE 시뮬레이션 결과와 실제 발생파형의 예를 나타내었다[15]. IEC에서 규정하는 표준뇌충격전류파형은 8/20 [μs]이며, 파두장은 7 [μs]~9 [μs]이고 파미장은 18 [μs]~22 [μs]이므로 규정에 만족한다[1].



(a) 시뮬레이션 파형



[2 kA/div, 5 μs/div]
(b) 출력파형

그림 3.9 서지발생장치의 출력파형
Fig. 3.9 Output waveform of the surge generator

제 4 장 평가 및 분석

제작한 서지방호장치의 서지에 대한 차단특성을 평가하기 위하여 그림 4.1과 같이 실험계를 구성하고, IEC 61000-4-5에 명시된 8/20[μs] 서지전류 시험 항목에 의거하여 직/병렬형 서지방호장치의 차단 특성을 평가하였다.

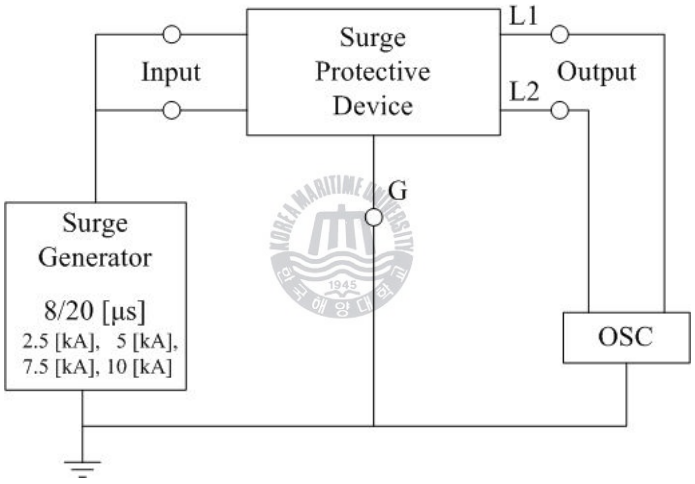
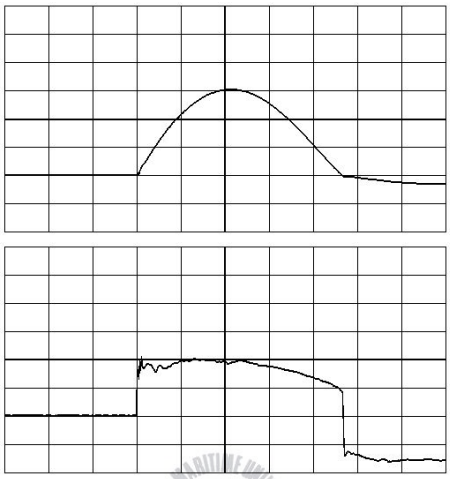


그림 4.1 실험계의 구성
Fig. 4.1 Configuration of the experimental set-up

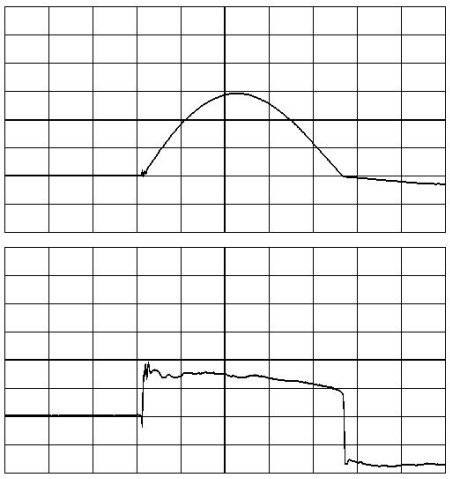
4.1 병렬형

서지에 대한 선박용 배전반에 적합한 병렬형 서지방호장치의 성능을 평가하기 위하여 IEC 61000-4-5에서 규정하는 시험 파형인 정(+), 부(-)극성의 8/20[μs] 2.5[kA]~10[kA]의 서지전류를 인가하였다. 서지방호장치에 인가된 방전전류를 측정하기 위하여 고주파 변류기(Stangenes CT 3-0.01, 50 [kA_{max}])를 사용하였다. 서지방호장치의 제한전압은 고전압 프

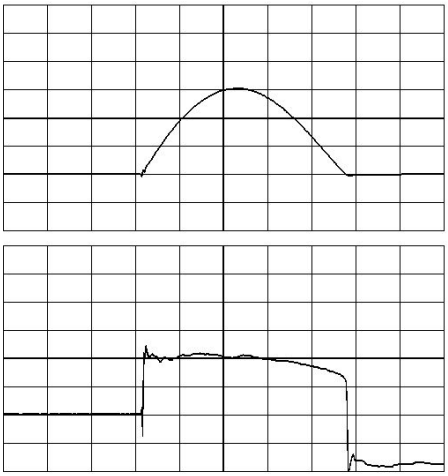
로브(Tektronix P6015A 75[MHz], 40[kV_{max}])와 오실로스코프(Tektronix TDS380, 400[MHz])를 사용하여 측정하였다. 그림 4.2는 8/20[μs] 10[kA]의 서지전류 인가시 서지방호장치의 차단 성능을 나타낸다.



상 : 서지전류 [3.33 kA/div, 5 μs/div]
하 : 제한전압 [500 V/div, 5 μs/div]
(a) 정극성(390V)



상 : 서지전류 [3.33 kA/div, 5 μs/div]
하 : 제한전압 [500 V/div, 5 μs/div]
(b) 정극성(470V)



상 : 서지전류 [3.33 kA/div, 5 μs/div]
하 : 제한전압 [500 V/div, 5 μs/div]

(c) 정극성(680V)

그림 4.2 서지전류와 제한전압 파형 예
Fig. 4.2 Typical waveforms of surge current and clamping voltage

그림 4.2는 교류 전원을 인가하지 않은 상태에서 동작 전압 390[V], 470[V] 및 680[V]에 해당하는 서지방호장치에 대하여, 8/20[μs] 10[kA]의 서지전류를 인가시 서지방호장치의 차단특성을 나타내었다. 동작 전압 390[V], 470[V] 및 680[V] 서지방호장치의 경우, 각각 954[V], 1,032[V] 및 1,290[V]에서 전압이 제한됨을 확인하였다.

그림 4.3은 서지전류를 2.5[kA]씩 증가시킴에 따른 서지방호장치의 제한전압을 나타내었다. 2.5[kA]~10[kA]의 범위에 대한 동작전압 390[V], 470[V] 및 680[V]의 서지방호장치는 인가된 서지전류로부터 안정적인 보호 동작을 보여주었다.

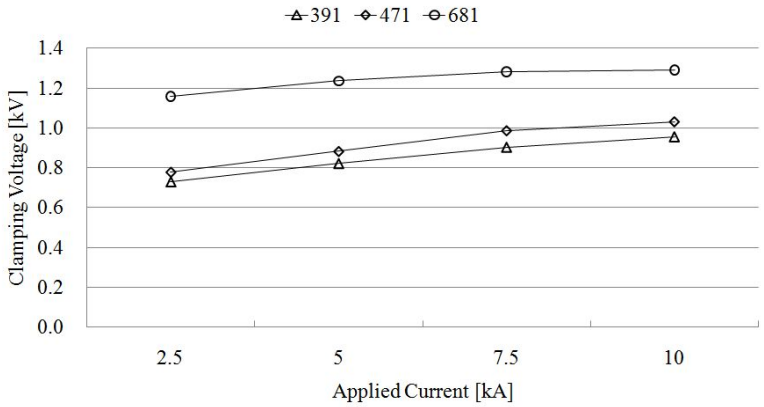
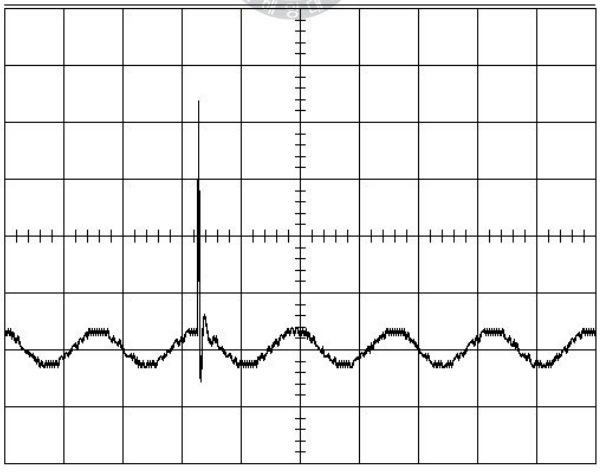
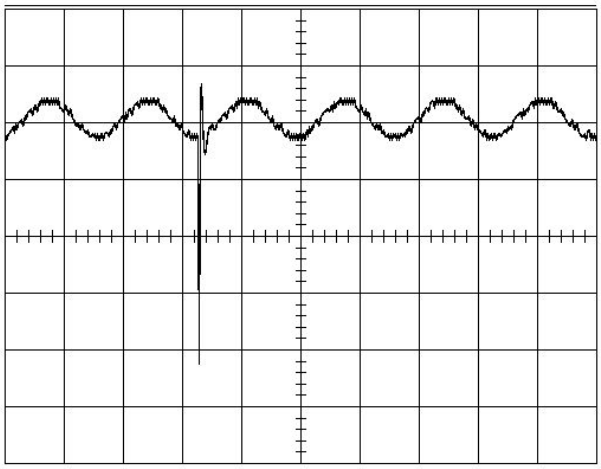


그림 4.3 서지전류에 대한 제한전압
Fig. 4.3 Clamping voltage as a function of surge current

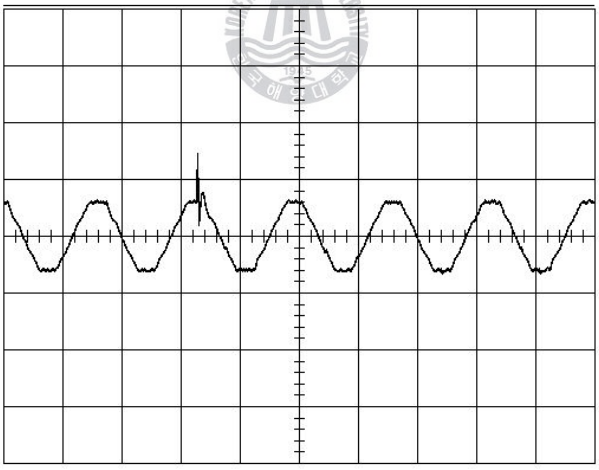
그림 4.4는 교류전원(220[V], 60[Hz])에 중첩된 서지파형 및 서지방호 장치의 제한전압 특성에 대한 예를 나타내었다.



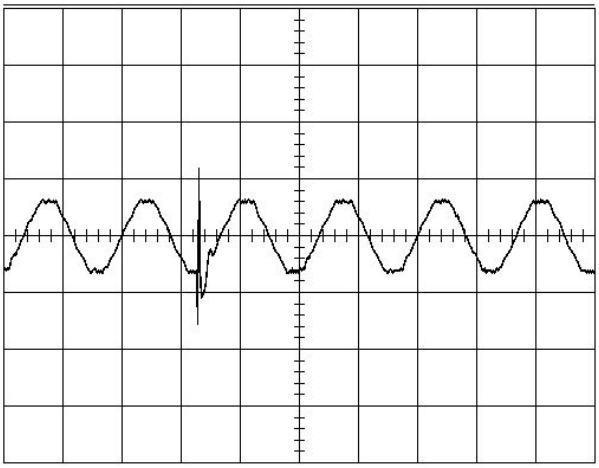
[1 kV/div, 10 ms/div]
(a) 서지전압 (전원선) - 정극성



[1 kV/div, 10 ms/div]
(b) 서지전압 (전원선) - 부극성



[0.5 kV/div, 10 ms/div]
(c) 제한 전압 (391) - 정극성



[0.5 kV/div, 10 ms/div]
(d) 제한 전압 (391) - 부극성

그림 4.4 220 [V], 60 [Hz] 전원전압에 중첩된 서지파형 및 제한전압의 예
Fig. 4.4 Typical waveforms of clamping voltage and surge superimposed on voltage mains

교류 전원에 2 [kA]의 서지를 중첩시 90°에서 4.38 [kV], 270°에서 -4.25 [kV]가 측정되었다. 동작 전압 390 [V]와 470 [V]의 서지방호장치에 교류 전원에 중첩된 2 [kA]의 서지를 인가하였다. 90°에서 서지와 교류 전압을 중첩시 각각 781 [V]와 891 [V]가 측정되었으며, 270°에서 각각 -780 [V]와 -891 [V]가 측정되었다.

그림 4.5는 서지전류를 0.5 [kA]단위로 증가시키면서 교류 전원(220 [V], 60 [Hz])의 90°와 270°에 중첩하여 인가하였을 때 서지방호장치의 제한전압 특성을 확인하였다.

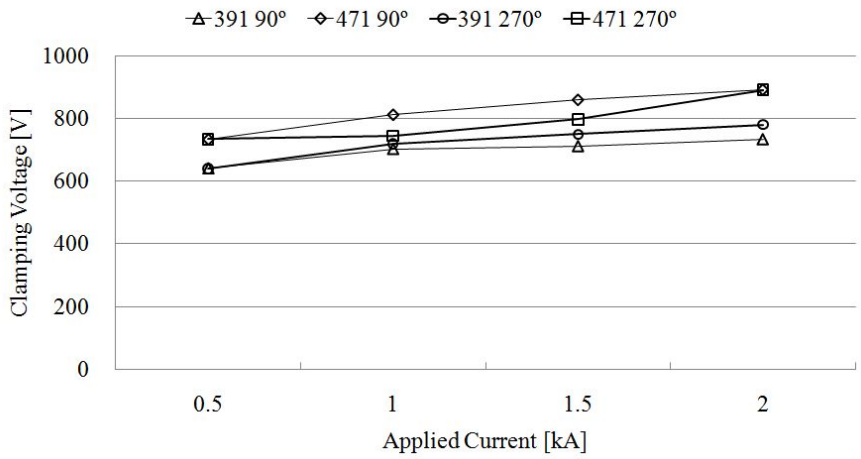


그림 4.5 서지전류에 대한 제한전압(220V)
Fig. 4.5 Clamping voltage as a function of surge current (220V)

390[V]와 470[V]의 동작 전압을 가지는 서지방호장치에 0.5[kA]~2[kA]의 서지전류를 인가시, 641[V]~734[V]와 734[V]~891[V]로 제한되었다. 따라서 선박 전기전자기기의 배전반에 서지방호장치를 설치할 경우 침입하는 서지에 대한 충분한 보호 성능을 갖출 것으로 판단된다.

4.2. 직렬형

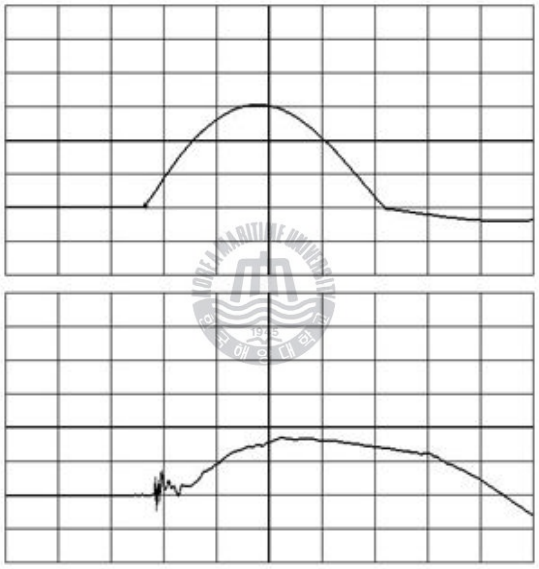
직렬형 서지방호장치는 선박의 거주구 및 함교에 설치되는 220[V] 항해·통신·제어 장비의 분전반 혹은 장비 전원 인입구에 적용함으로써 침입하는 서지를 차단하게 된다.

4.2.1 서지에 대한 차단 특성

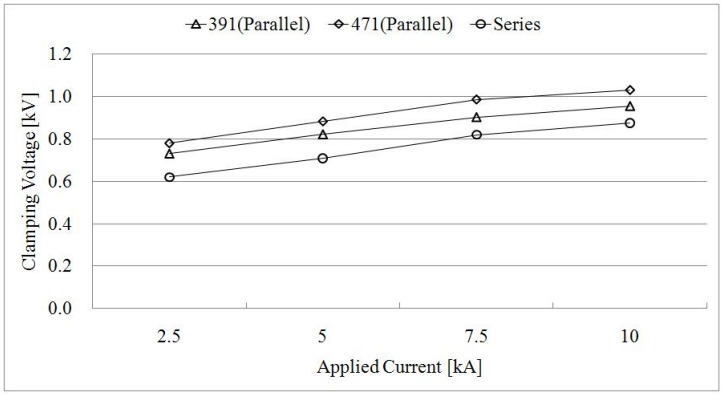
서지에 대한 항해·통신·제어용 직렬형 서지방호장치의 차단 특성을 평가하였으며, 병렬형 서지방호장치의 차단 특성 평가 방법과 동일하게 진행하였다. 시험에 요구되는 서지는 국제 규격 IEC 61000-4-5에서 규정하는 정(+), 부(-)극성 8/20[μs] 2.5[kA]~10[kA]의 서지에 대한 차단 특성

및 교류 전원(220[V], 60[Hz])에 8/20[μs] 최대 2[kA]의 중첩된 서지에 대한 직렬형 서지방호장치의 차단특성을 평가하였다.

그림 4.6은 직렬형 서지방호장치의 서지전류에 따른 제한전압의 파형예와 제한전압의 변화를 나타내었다. 교류 전원을 인가하지 않은 상태에서 8/20[μs] 2.5[kA]~10[kA]의 서지를 직렬형 서지방호장치에 인가시 제한전압은 875[V]이었다.



상 : 서지전류 [3.33 kA/div, 5 μs/div]
하 : 제한전압 [500 V/div, 5 μs/div]
(a) 서지전류 및 제한전류파형 예

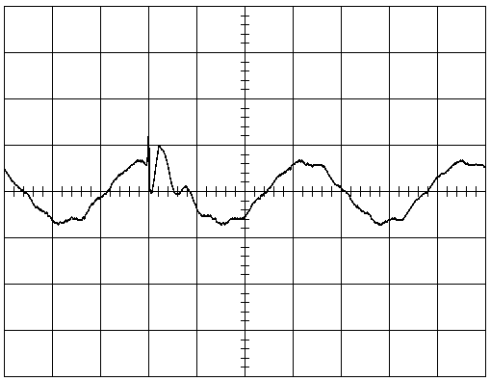


(b) 서지전류 제한전압

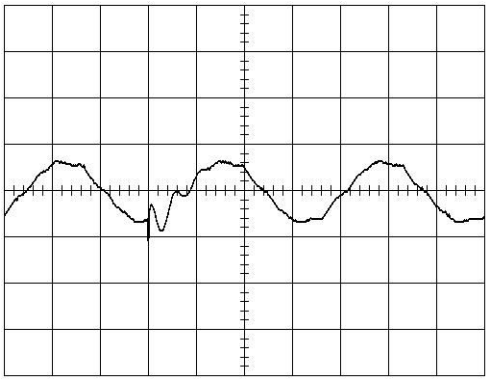
그림 4.6 서지전류에 대한 제한전압
Fig. 4.6 Clamping voltage as a function of surge current

직렬형 및 동작전압 390[V]와 470[V] 병렬형 서지방호장치의 제한전압은 각각 620[V]~875[V], 730[V]~954[V] 및 779[V]~1032[V]로 나타났다. 그러므로 직렬형 서지방호장치는 병렬형 서지방호장치보다 낮은 제한전압을 가짐으로서 서지에 대한 우수한 방호 특성을 나타내었다.

그림 4.7은 전원 전압에 중첩된 서지의 차단 특성에 대한 예를 나타내었다.



[200 V/div, 5 ms/div]
(a) 서지 인가 - 정극성



[200 V/div, 5 ms/div]
(b) 서지 인가 - 부극성

그림 4.7 서지전압의 차단 예
Fig. 4.7 Examples of a clamped surge voltages

상기 파형은 정(+), 부(-)극성에 대한 서지방호로서 8/20 [μs] 최대 2 [kA]의 서지를 교류 전원(220 [V] 60 [Hz])에 중첩시켜 인가시 서지방호장치에 의해 약 656 [V]에서 전압이 제한되었다. 그림 4.8은 교류전원에 서지를 중첩시, 직/병렬형 서지방호장치의 서지전류에 대한 제한전압을 나타내었다. 서지전류를 0.5 [kA]~2 [kA]로 증가시킴에 따라 직렬형 서지방호장치 및 동작전압 390 [V]와 470 [V]의 병렬형 서지방호장치의 제한전압은 각각 484 [V]~656 [V], 640 [V]~781 [V] 및 734 [V]~891 [V]로 나타났다. 상기 결과를 바탕으로 직렬형 서지방호장치는 병렬형 서지방호장치보다 낮은 제한전압을 가지며, 항해·통신·제어장비의 안전성 및 신뢰성을 높일 수 있을 것으로 판단된다.

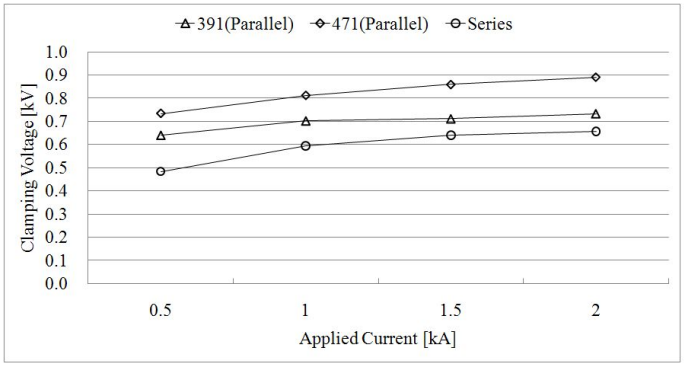


그림 4.8 서지전류에 대한 제한전압
Fig. 4.8 Clamping voltage as a function of surge current

한편, 선박에 설치되는 전기전자기기 및 전기 설비는 선급 및 IEC에서 규정하는 내전압 시험에 의거하여 인가된 시험전압에 대한 충분한 절연 내력을 가져야 한다. 식(4.1)은 내전압 시험 전압 결정을 위한 기준이다.

$$E_t = (E_o \times 2) + 1000[V] \quad (4.1)$$

E_o: 시험제품의 사용 전압
E_t : 시험 전압

선박에서는 교류 전원 440 [V], 60 [Hz] 및 220 [V], 60 [Hz]를 사용하며, 각각의 시험 전압은 1,880 [V]와 1,440 [V]이다. 본 논문에서 제작된 동작 전압 390 [V], 470 [V] 및 680 [V] 병렬형 서지방호장치는 요구되는 절연내력 1,880 [V]와 1,440 [V]보다 작으며, 8/20 [μs] 10 [kA]의 서지를 인가시 최대 1,290 [V]와 1,032 [V]이므로 서지에 대한 충분한 방호 능력이 있음을 나타낸다. 또한, 직렬형 서지방호장치의 경우 8/20 [μs] 10 [kA]에서 최대 875 [V]로 제한되므로 요구되는 절연 내력 1,440 [V]보다 낮다. 그러므로 직/병렬형 서지방호장치를 선박에 적용시 서지에 대한 충분한 방호 능력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

제 5 장 결 론

본 논문에서는 선박전기전자설비의 전원선에서 발생하는 서지에 대한 방호대책 및 필요성을 제시하고, 국제 규격에 만족하는 전원용 직/병렬형 서지방호장치를 설계·제작하였다. 제작한 서지방호장치를 국제 규격에 따라 동작 및 차단 특성에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 선박 전기설비에서 발생되는 서지의 특성을 분석하고 실험적 평가를 수행하기 위해 IEC 규격에 만족하는 서지 발생장치 및 전원용 직/병렬형 서지방호장치를 설계 및 제작하였다. 서지발생장치를 이용하여, 8/20[μs] 최대 10[kA]의 서지를 인가하여 선박용 배전반과 항해·통신·제어장비에 적용되는 병렬형 및 직렬형 서지방호장치의 차단 특성을 평가하였다.

2. 병렬형 서지방호장치는 대용량 전원설비에서 발생하는 서지를 차단하기 위하여 정격 440[V] 및 220[V] 60[Hz]용으로 제작하였다. 8/20[μs] 최대 10[kA] 및 교류 220[V] 60[Hz]에 중첩된 최대 2[kA]의 서지를 인가하여 평가한 결과, 제한전압은 각각 최대 1290[V]와 891[V]이었다.

3. 직렬형 서지방호장치는 항해·통신·제어장비에 전원선에서 인입되는 서지를 차단하기 위하여 정격 220[V] 60[Hz]용으로 제작하였으며, 병렬형과 동일한 방법으로 차단특성을 분석한 결과, 제한전압은 각각 최대 875[V]와 656[V]이었다.

4. 선박에서 요구하는 내전압 시험에 따른 선박전기전자기기의 절연 협조를 위한 서지차단장치의 성능을 비교하였다. 서지방호장치는 440[V] 및 220[V]에서 요구되는 절연 내력보다 낮은 제한전압으로 차단함으로써, 서지에 대한 충분한 방호 능력을 확보할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 다양한 선박, 군함, 특수선 및 해양 플랜트 전기전자기기의 서지방호 대책 기술에 관한 지속적 연구를 통해 최적의 절연 및 보호협조 체계를 구축하는데 활용될 것으로 기대한다.

참 고 문 헌

[1] Saurabh Kulkarni, Surya Santoso, "Estimating Transient Response of Simple AC and DC Shipboard Power Systems to Pulse Load Operations", Electric Ship Technologies Symposium, 2009 IEEE.

[2] 최수연, 최재성, 박대원, 길경석, 송재용, "서지전압에 의한 저압유도전동기의 절연평가", 2008년도 한국철도학회 춘계학술대회 논문집, pp. 321~320.5, 2008. 6. 12.

[3] N. Kuwabara, H. Koga and T. Motomitsu, "A New Lightning Surge Test Circuit for Telecommunications Equipment in Japan", IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility, Vol. 30, No. 3, pp. 393~400, 1988.

[4] P. R. Tompson, "Lightning Protection of SCADA and Telemetry Systems", Proc. of the 2nd Annual Technical Conference on Lightning Protection & Earthing, pp.1~6, 1994.9.

[5] R. A. Harris and M. Darveniza, "The transient Blocking Device : A State of the Art Development in Protection for Sensitive Electronic Systems", Proc. of International Conference on Electromagnetic Compatibility, pp. 168~175, 1995.4.

[6] Martin A. Uman, The Lighting Discharge, ACADEMIC PRESS, INC., 1987.

[7] R. B. Standler, Protection of Electronic Circuit from Overvoltage, Wiley, 1988.

[8] IEEE Guide on the Surge Enviroment in Low-Voltage(1000V and Less) AC Power Circuits, IEEE Standard C62.41.1-2002

[9] Surge Protective Devices Committee of the IEEE Power Engineering Society, An American National Standard, IEEE Guide on Surge TEsting for Equipment Connected to Low-Voltage AC Power Circuits : ANSI/IEEE C62.45-1987, IEEE, pp. 9~49, 1987.

[10] IEC 61000-4-5, Surge immunity test, pp. 60~77, 2002.

[11] IEC 61643-21, Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks-Performance requirements and testing methods, 2000

[12] IEC 61312-1, Protection against lightning electromagnetic impulse

- Part 1: General principles, International Electrotechnical Commission, 1995
[13] IEC 60664-1, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems Part 1 : Principles, requirement and tests, 2009
[14] A. Ouroua, L. Domaschk, and J.H. Beno, "Electric Ship power system integration analyses through modeling and simulation", in Proc. of 2005 IEEE Electric Ship Technologies Symposium, pp. 70-74.
[15] J. Langston, S. Suryanarayanan, M. Steurer, M. Andrus, S.Woodruff, and P.F. Ribeiro, "Experiences with the Simulation of a Notional All-electric Shop Integrated Power System on a Large-scale High-speed Electromagnetic Transient Simulator," in Proc. 2006 IEEE Power Engineering Society Gen. Mth., 2006, pp.18-22 June 2006.
[16] MIL-STD-1399 SECTION 300B, "Electric Power, Alternating Current", Department of Defense Interface Standard, 2008.
[17] Ronald W. Hotchkiss, Andrea T. Haa, "Electric Ship Surge Environment", IEEE Electric Ship Technologies Symposium, 2007
[18] B.R. Cole, K.Brown, P.S. Mccurdy, T.E. Phipps, R.Hotchkiss, "The Short Circuit Current Ratings of Surge Protective Devices(SPDs)", IEEE Power Engineering Society General Meeting, June 2006
[19] 길경석, "정보통신기기용 과도이상전압의 고속도 차단장치의 설계 및 제작", 대한전기학회 논문지, Vol. 48, No. 1, pp.51~56, 1999
[20] 길경석, 송재용, 박진길, "정보통신기기용 과도전압 차단장치의 개발에 관한 연구", 박용기관학회지, Vol. 23, No. 2, pp. 159~167, 1999.
[21] 길경석, 박영호, 송재용, "PSpice시뮬레이션을 위한 바리스터의 모델링", 97 대한전기학회 방전 및 고전압연구회 춘계학술발표회 논문집, pp. 202~205, 1997. 5.
[22] 길경석, 박영호, 송재용, "응답시간특성을 고려한 가스어레스터 모델", 97 대한전기학회 추계학술발표회 논문집, pp. 367~369, 1997. 11.
[23] James A. Svoboda, PSpice for Linear Circuits, WIELY, 2003
[24] Roy W. Goody, OrCAD PSpice for Windows Volume II, Prentice Hall, 2003

[25] 길경석, 송재용, 한주섭, “가스 튜-브와 산화아연 바리스터의 PSpice 모델, 한국박용기관학회지, Vol. 23, No. 2, pp. 150~158, 1999
[26] 길경석, “선박전기설비 시험용 조합형 써-지 발생장치의 제작과 특성”, 한국박용기관학회지, Vol. 21, No.4, pp. 387~392, 1997.
[27] Magdi E. Khalifa, “High-voltage Engineering-Theory and Practice”, MARCELL DEKKER,INC., pp. 501~503, 2000.

감사의 글

2년이라는 소중한 시간동안 학업을 통해 작은 결실을 맺을 수 있도록 도와주신 은혜에 대해 감사의 마음을 전하고자 합니다.

먼저, 학업을 할 수 있도록 기회를 주시고, 항상 큰 가르침과 배려로 정도정행(正道正行) 할 수 있도록 이끌어주신 길경석 교수님께 진심으로 고개 숙여 감사드립니다. 그리고 바쁘신 와중에도 논문 심사를 해주신 김윤식 교수님, 이성근 교수님, 학위 과정에서 많은 가르침을 주신 서동환 교수님, 전태인 교수님, 장낙원 교수님께 깊은 감사드립니다.

본 논문이 있기까지 따뜻한 관심과 격려를 보내주신 한주섭 박사님, 송재용 박사님, 주문노 박사님, 조영진 박사님, 이종혁 선배님, 김일권 선배님, 손원진 선배님, 김명진 선배님, 서황동 선배님, 문승보 선배님과 문병두 선배님께 감사의 마음을 전합니다. 부족한 저에게 논문의 결실을 맺을 수 있도록 도와주신 랩장 박대원 형님을 비롯하여, 격려를 아낌없이 보내주신 상규 형님과 항상 새벽까지 남아 논문이 완성될 수 있도록 도와준 친구 장운용 군, 선재 형님, 광석 형님과 후배 상욱 군, 민수 군, 향은 양, 권혁상 님과 손준용 님, 김성연 박사님에게도 무한한 고마움과 함께 앞날에 무궁한 발전이 있기를 기원합니다. 그리고 사회에서 큰 날개를 펼치기 위해 부단히 노력하고 있는 친구 최수연 양, 김황국 선배님, 박찬용 선배님, 김성욱 선배님, 최성국 선배님, 최재성 선배님, 친구 지홍근 군에게도 큰 뜻을 이룰 수 있기를 기원합니다.

직장 생활을 하면서도 학문을 계속할 수 있도록 도와주신 대우조선해양 정경배 팀장님, 박준환 리더님, 유홍성 리더님, 정종화 리더님, 항상 따뜻한 격려를 해주시는 장영석 부장님과 솔선수범을 보여주시는 하용수 차장님, 파워 시스템을 이끌어주시는 윤선용 부장님, 최명철 차장님, 서행명 차장님, 천명갑 차장님과 많은 선후배님들을 비롯하여 저를 아껴주신 모든 분들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

마지막으로 항상 따뜻한 사랑과 관심으로 용기를 주고 결실을 맺을 수 있도록 이끌어주신 부모님과 누나에게도 감사의 말씀을 전합니다.

2010년 8월 박 성 주 드림