



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

工學碩士 學位請求論文

선내 특별전원 분배구역에 대한  
전자과강도기준 연구

A Study on the EMF Strength Criterion in  
special power distribution zone on Ship



指導教授 趙 炯 來

2016年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

崔 基 道

# 목 차

<b>List of Tables</b> .....	iii
<b>List of Figures</b> .....	iv
<b>Abstract</b> .....	v
<b>1. 서 론</b> .....	1
1.1 배경 및 목적 .....	1
<b>2. 선내 EMF 관련 무선설비 규칙 및 국내외 전자파강도기준</b> .....	4
2.1 선박의 전장 시스템 .....	4
2.2 특별전원 분배구역에 탑재장비의 전자기장 .....	6
2.2.1 발전기 .....	6
2.2.2 배전반 .....	7
2.2.3 변압기 .....	8
2.3 전자파 흡수율(SAR) .....	9
2.4 전자파 강도에 대한 국내기준 .....	10
2.5 전자파 강도에 대한 국외기준 .....	12
2.4.1 ICNIRP 규격 .....	12
2.4.2 미국 전자파 인체보호 기준 .....	14
2.4.3 영국 전자파 인체보호 기준 .....	15
2.4.4 이탈리아 전자파 인체보호 .....	15
2.4.5 스위스 전자파 인체보호 기준 .....	17
<b>3. 선박 내 실험</b> .....	19
3.1 측정 환경 .....	19
3.2 측정 요건 .....	20
3.3 측정 방법 .....	22
3.4 선박의 특별전원 분배구역 전자파강도 측정.....	24
3.4.1 배전반에서의 측정 과정(한바다 호) .....	25

3.4.2 변압기 측정과정(한바다 호) .....	26
3.4.3 발전기 측정 과정(한바다 호) .....	27
3.4.4 배전반 측정 과정(차도선) .....	28
3.4.5 변압기의 측정 과정(차도선) .....	29
3.4.6 발전기 측정 과정(차도선) .....	30
3.5 측정 결과 .....	31
3.5.1 한바다 호 측정 결과 .....	31
3.5.2 차도선 측정 결과 .....	32
<b>4. 측정 결과 분석 .....</b>	<b>37</b>
4.1 실선 결과 분석 .....	37
4.1.1 국내 전자파강도기준과 한바다 호 시험 결과의 비교 .....	37
4.1.2 ICNIRP 전자파강도기준과 한바다 호 시험 결과의 비교.....	38
4.1.3 영국 전자파강도기준과 한바다 호 시험 결과의 비교.....	39
4.1.4 이탈리아 전자파강도기준과 한바다 호 시험 결과의 비교.....	40
4.1.5 국내 전자파강도기준과 차도선 시험 결과의 비교 .....	41
4.1.6 ICNIRP 전자파강도기준과 차도선 시험 결과의 비교.....	42
4.1.7 영국 전자파강도기준과 차도선 시험 결과의 비교 .....	43
4.1.8 이탈리아 전자파강도기준과 차도선 시험 결과의 비교 .....	44
4.1.9 차도선과 한바다 호에서 발생하는 측정값 비교.....	46
4.2 분석을 통한 선박의 최적 기준 제안 .....	47
<b>5. 결론 및 향후 연구방향 .....</b>	<b>48</b>
<b>참고 문헌 .....</b>	<b>51</b>

## List of Tables

표 1-1 발암등급 2B의 물질 .....	1
표 2-1 일반인에 대한 전자파강도기준 .....	11
표 2-2 직업인에 대한 전자파강도기준 .....	12
표 2-3 ICNIRP 전자파강도기준 .....	13
표 2-4 미국의 전자파강도기준 .....	14
표 2-5 영국의 전자파강도 인체보호기준.....	15
표 2-6 이탈리아의 전자파강도 인체보호기준.....	16
표 2-7 이탈리아의 전자파 민감지역 기준.....	16
표 2-8 스위스 전자파강도 인체보호기준.....	18
표 2-9 스위스 전자파 민감지역 기준.....	18
표 3-1 한바다 호 .....	22
표 3-2 선박에서의 EMF 시험 장비.....	24
표 4-1 측정값과 국내 전자파강도기준의 비교.....	37
표 4-2 측정값과 ICNIRP 전자파강도기준의 비교.....	38
표 4-3 측정값과 영국 전자파강도기준의 비교.....	39
표 4-4 측정값과 이탈리아 전자파강도기준의 비교 .....	40
표 4-5 측정값과 이탈리아 전자파강도기준의 비교.....	40
표 4-6 측정값과 국내 전자파강도기준의 비교.....	42
표 4-7 측정값과 ICNIRP 전자파강도기준의 비교 .....	43
표 4-8 측정값과 영국 전자파강도기준의 비교.....	44
표 4-9 측정값과 이탈리아 전자파강도기준의 비교 .....	45
표 4-10 측정값과 이탈리아 전자파강도기준의 비교 .....	45
표 4-11 차도선과 한바다호의 자기장 강도 비교 .....	46

## List of Figures

그림 2-1 선박의 일반전원 분배구역, 특별전원 분배구역.....	5
그림 2-2 특별전원 분배구역 전자장비.....	5
그림 2-3 폐쇄배전반의 구조.....	7
그림 2-4 ICNIRP 전자파강도기준 .....	13

# A Study on the EMF Strength Criterion in special power distribution zone on Ship

Gi-Do Choi

Department of Radio Communication Engineering  
Graduate School of Korea Maritime and Ocean University



## Abstract

Along to recent rapid advances on the ship with the larger proportion of electrical and electronic equipments, expansion of the usable frequency on the ship is a global trend.

Therefore, there are hazardous concern raised on the possible health effects of Electro-magnetic fields radiated from electronic device. However, although a study and a investment for Electro-magnetic fields is continued in the terrestrial area, they are not applied to a ship.

In this paper, ships is sampling and measure up to the special

power distribution zone. Subsequently appropriate tests and test procedures Korean criterion regulation propose.

Also EMF Strength measure special power distribution zone. And test procedure have the three cases. first the switchboard measured. second the generator was measured. and third the transformer was measured. The measurement process of the Korean criterion restriction level.

As a result, data in Hanbada and car ship shows the next value. the measured results were satisfied with the Korean criterion, ICNIRP criterion, United Kingdom criterion. However it was not satisfied with the Italian criterion to switchboard in Hanbada ship.

The reason is not satisfied Italian criterion, Korea criterion is short-term exposure in EMF. But the crew in special power distribution worked for six hours. Therefore Korea criterion is not applied to special power distribute zone in ship.

So criterion of EMF in special power distribution zone must be specified by comparative analysis of data obtained by the experiment more and be needed to construct infrastructure in government.

**KEY WORDS: EMF Strength, Propulsion System, Magnetic Field Strength, Ship**

# 제 1 장 서론

## 1.1 배경 및 목적

21세기 정보화 사회로의 진입을 위해서는 전자 · 통신 산업의 발전이 필수적이고, 이는 전자장비의 다양화 및 소형화 그리고 고급화로 이어지며 이를 위한 사용 주파수 대역의 확장이 전 세계적인 추세이다. 그 결과 기술적인 측면에서 전자소자 및 회로에서의 전자파 상호간의 간섭이 커다란 문제점으로 대두되고 있으며, 전자파 환경에서의 인체에 대한 전자파 유해도가 주요 이슈 상황이 되고 있다[1].

전자파에 과다 노출되면 인체에 유해할 수 있다는 연구 결과 이후 세계보건기구(WHO, World Health Organization)는 1996년부터 International EMF Project를 수행하고 있으며, IARC(International Agency for Research on Cancer)에서는 2002년도에 극 저주파 전자계를 발암물질 2B등급(Possibly Carcinogenic)으로 분류하였으며, 2011년 5월에는 Interphone Study의 연구결과에 따라서 이동 단말기(휴대폰)의 전자파도 발암물질 2B로 분류하였다. 전자파의 인체영향에 대한 연구는 지금도 지속되고 있는 상태이며, 전자파에 대한 발암물질 등급에 대한 논란도 지속되어지고 있다[2].

표. 1-1 발암등급 2B의 물질

Table. 1-1 Possibly Carcinogenic to humans

분류	설명	물질
2B	발암 가능성을 고려한 물질 (Possibly Carcinogenic to humans)	무선주파수 전자기장(휴대전화) 극 저주파 자기장(송전선로) 납(Lead) 사염화탄소 클로르단DDT



우리나라를 포함한 각국에서는 이러한 전자파 노출로부터 인체를 보호하기 위해서 전자파 노출에 대한 인체 보호 기준을 마련하여 규제를 하고 있다. 각종 전자파 노출 원(Wave Source)에 의한 인체 보호 기준과의 적합성평가 및 생활환경이나 작업장에서의 전자파 노출 환경의 정확한 평가를 위해서는 노출량에 대한 해석 및 측정 방법에 대한 표준이 필요하다. 따라서 IEC에서는 1999년 10월 전자파의 인체 노출량 평가 표준화 작업을 위해 전문기술위원회인 TC106을 설립하고, 2000년 10월에 캐나다 몬트리올에서 첫 번째 총회를 개최한 이후 국제 표준화작업을 활발히 진행하고 있고, IEEE, ITU-T 등에서도 관련 표준화 활동을 수행하고 있다[3].

국내에서는 2000년 12월 정보통신부 전자연구소 산하에 산학연관 전문가들로 구성된 EMF 인체 노출 표준 위원회를 발족시켜 이러한 국제적인 표준화작업에 발 빠르게 대처하고 있다[4].

이에 따라 최근 국제적으로 전자파장해(EMI: Electro Magnetic Interference)에 대한 최종 대책 수단으로 전자파 흡수, 차폐 기능소재 및 전자파적합성(EMC; Electro Magnetic Compatability) 그리고 전자파환경(EMF: Electro Magnetic Field ) 대책부품 개발의 필요성이 한층 더 중요해지고 있다.

따라서 미국, EU, 일본을 중심으로 한 선진국에서는 EMI/EMC/EMF 대책부품 및 소재를 개발하기 위한 정부차원의 집중적이고 지속적인 투자가 이루어지고 있다[5].

이와 같이 육상의 전자파 환경에 대한 연구는 지속적인 투자와 연구가 이루어지고 있지만 해상의 주거 및 근무환경인 선박의 전자파 환경에

관한 시험 및 분석은 연구되지 않은 실정이다. 선박은 고출력 안테나 및 증폭기가 내재되어 있는 최상층 전통갑판(Top Side), 무선 설비 및 항해 장비가 내재되어있는 선교 및 갑판구역(Bridge Deck), 선원들이 주거공간인 선원실(Crew Space)로 이루어져 있다[6].

선박의 고 효율화에 대한 수요가 증가함에 따라 선박추진 System에 전기추진 System이 도입되고 이에 고출력 모터, 발전기 및 배전반등의 기자재들이 사용되고 있다. 이에 따라 선박의 특별전원 분배구역에 탑재되는 배전반, 발전기, 변압기의 장비들은 고출력을 발생하고 있으며 위 구역에서 선원들이 전자파 환경에 노출되어있다. 이와 같은 환경에서 선박 근로자들에 대한 생활 보호 및 작업환경의 안정성이 절실히 요구되는 실정이다[7].

따라서 본 논문에서는 해상의 주거환경인 선박의 전자파 환경을 측정 분석 후 국내기준과 해외 기준에 측정 결과를 비교 분석하여 선박에 적용 가능한 최적 기준을 제안하는 것이 목적이다.

## 제 2 장 선내 EMF 관련 무선설비 규칙 및 국내외 전자파강도기준

### 2.1 선내 특별전원분배구역의 전장시스템

선박운항에는 많은 전기전자 장비들이 서로 유기적으로 작동하면서 선박운항이 이루어지고 있다. 이들 장비들에 대한 시험규격은 IEC 60533의 규격을 적용하고 있다. IEC 60533규격에서는 장비의 배치구역에 따라 그림 2-1과 같이 3가지 구역으로 구분하고 있으며 각 구역에 따라 시험규제치를 분리하여 다음과 같이 적용하고 있다[8].

갑판 및 선교 구역은 항해용 레이더에서부터 선박의 자동식별장치(AIS), 해상 기상 및 항해정보 등을 실시간으로 송수신하는 장비, 선박 장거리 추적장비 등과 같은 무선 장비들이 위치해 있는 구역이다.

일반전원 분배구역은 승객 및 선원들이 주거하는 구역으로 배전반, 변압기, 및 선박의 추진 계통이 있는 특별전원분배구역을 제외한 대부분의 구역이다.

특별전원 분배구역은 그림 2-2와 같이 배전반, 발전기 및 변압기가 탑재되어 있는 구역으로 선박의 추진 및 항해를 위해 전원을 공급하는 주요 전자장비가 탑재되어 있는 구역으로 선박의 실질적인 핵심 부분이라 할 수 있다. 선박의 특별전원 분배구역에서는 선원들이 24시간 교대로 작업하고 있으며 위 전자장비에서 방사되는 전기장 강도에 장시간 노출되어있다[9].

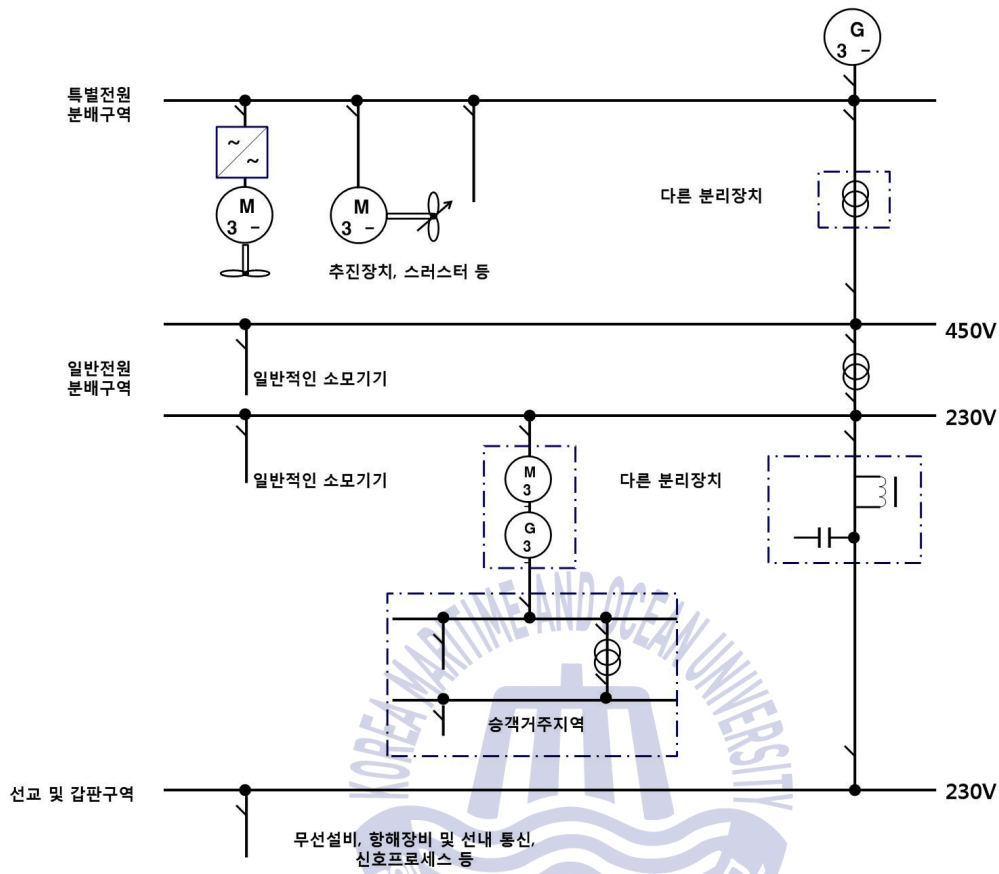


그림. 2-1 선박의 일반전원 분배구역, 특별전원 분배구역

Fig. 2-1 General power distribution zone, Special power distribution zone



그림. 2-2 특별전원 분배구역 전자장비

Fig. 2-2 Electronic equipment for Special power distribution zone

## 2.2 특별전원 분배구역에 탑재장비의 전자기장

선내 특별전원 분배구역에 탑재되는 장비는 선박의 추진 및 전원 공급을 위해 전력을 생산하는 발전기, 발전된 전압을 각 구역으로 분배하는 배전반 그리고 생산된 전력을 변압하는 변압기가 있으며 본 절에서는 특별전원 분배구역의 탑재장비와 전자기장과의 상관관계를 설명하고자한다.

### 2.2.1 발전기

발전기는 선박을 추진하는데 필수적인 각종 펌프를 구동하고, 선내 조명 및 전기전자 장비에 전기를 공급하는 장비로서 선박의 특별전원 분배구역의 매우 중요한 전자 장비이다.

선박의 발전기는 회전하는 코일에 대한 역학적 에너지를 발전기를 이용하여 전기적 에너지로 바꾸게 된다. 이때에 발생하는 전기에너지를 유도기전력(emf)이라 한다. 발전기에서 발생하는 유도기전력의 형태는 아래 식 (2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon = \frac{W}{q} = Bh\omega \sin \theta = BA\omega \sin \omega t \quad (2.1)$$

이때  $\epsilon$ 는 유도 기전력,  $\omega$ 는 전하가 회전하는 속력,  $B$ 는 발전기에서 발생하는 자기장,  $A$ 는 코일의 넓이를 의미한다. 발전기에서 발생한 기전력이 발전기의 코일을 지날 때 발생하는 자속은 식 (2.2)와 같다.

$$\Phi_B = \int B \cdot dA = BA \cos \omega t \quad (2.2)$$

발생되는 자속밀도 자속 밀도( $\Phi_B$ )는 시간미분 기전력과 관련된 식 (2.3)으로 표현할 수 있으며 이는 페러데이 법칙의 정지된 균일한 자기장 내에서 회전하는 기전력과의 관계를 나타낸다[10].

$$emf = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (2.3)$$

### 2.2.1 배전반

배전반은 주로 배전계통에 설치되어 선박의 항해를 위해 필요한 전력을 분배하는 역할을 하며 전력계통의 이상 여부를 감지하고 비정상적으로 발생된 전압 및 전류를 차단함으로써 전력 계통을 보호하는 기능을 수행한다. 선박의 배전반은 폐쇄배전반(Metal Clad Switchboard)구조를 따르고 기관실에서 작업하는 선원들의 공간에 탑재되어 있다. 일반적인 폐쇄 배전반의 외부는 그림 2-3과 같다.



그림. 2-3 폐쇄배전반의 구조

Fig. 2-3 Configuration of General metal clad Switchboard

배전반은 주로 배전계통에 설치되어 선박의 항해를 위해 필요한 전력을 분배하는 역할을 하며 전력계통의 이상 여부를 감지하고 비정상적으로 발생된 전압 및 전류를 차단함으로써 전력 계통을 보호하는 기능을 수행한다. 선박의 배전반은 폐쇄배전반 구조를 따르고 있으며 선원들이 작업 및 상주하는 기관실에 탑재되어 있다.

배전반의 통전부에서 발생할 수 있는 전자기력에 적용되는 맥스웰 방정식은 식 (2.4)와 같다.

$$\nabla \times B = J \quad (2.4)$$

위 식은 자기력선이 전류주위를 회전하는 현상을 나타낸다. 위 식을 통해 자기장 벡터  $B$ 와 전류의 밀도  $J$ 의 곱으로부터 발생하는 전자기력을 식 (2.5)으로 계산할 수 있다[11].

$$f = J \times B \quad (2.5)$$

### 2.2.3 변압기

변압기는 선박의 발전기에서 생산된 교류전원을 선박의 항해에 쓰이는 교류전원으로 바꿀 때 사용된다. 변압기에 전류를 흘리면 그 주변에 자기장이 흐르게 된다. 이는 솔레노이드를 이루고 있는 도선들에 의해 유도된 자기장으로 볼 수 있으며 이는 앙페르 법칙으로 안과 밖에서 유도되는 자기장의 세기는 식 (2.6)과 같다[12].

$$u_B = \frac{B^2}{2u_0} \quad (2.6)$$

## 2.3 전자파 흡수율(SAR)

전자파의 인체 노출에 대한 일반적으로 전자파 흡수율, 전기장 강도, 자기장 강도, 자기장 밀도 등 다양한 측정항목으로 구성되어 있으나 본 절에서는 전자파가 방사 될 때 인체에 흡수되는 전자파 흡수율을 설명하고자 한다.

대부분의 생체 조직의 투자율은 자유공간과 동일하므로 전자장비에서 발생하는 대역에서 예측되는 상호작용은 전기장에 관련된 메커니즘을 통해 발생한다. 전자파 흡수율은 생체조직에 흡수되는 비율(W/kg)으로서 식 (2.7)과 같이 주어진다.

$$SAR = \frac{\sigma}{2\rho} E_i^2 \quad (2.7)$$

$\sigma$ 는 조직 도전율(S/m),  $\rho$ 는 조직의 질량밀도,  $E$ 는 내부전자기장의 첨두치이다. 전자파흡수율은 실제 인체 내에서 측정할 수 없으므로 일반적으로 모의인체(인체를 모의하는 팬텀으로 내부에 인체 조직과 유사한 자기적 특성의 용액을 가짐)와, 모의인체 내에 흡수된 전자기장을 측정할 수 있는 미소 프로브, 프로브의 정확한 위치를 제어할 수 있는 로봇시스템 및 제어 SW 그리고 측정데이터를 처리하는 SW 등으로 구성된다[13].



## 2.4 전자파강도에 대한 국내기준

전자파로부터 인체 노출에 대한 최악의 경우를 상정하여 도출된 전자기장 세기 또는 전력밀도로 나라마다 조금씩 상이하며 우리나라의 인체보호 기준은 국제 비전리 복사방호위원회(ICNIRP)의 기준을 적용하며 미래 창조 과학부 고시(제 2013-118호 전자파인체보호기준)에서 적용하고 있다.

제 1조(목적) 이 고시는 「전파법」 제 47조의 2제1항의 규정에 의하여 전자파 인체보호 기준(이하“인체보호기준”이라한다)에 관하여 필요한 사항을 규정함을 목적으로 한다[14].

제 2조(정의) 이 기준에서 사용하는 용어의 정의는 다음과 같다. 전자기장이라 함은 전기장과 자기장의 총칭을 말한다. 전기장이라 함은 전하(電荷)에 의해 변화된 그 주위의 공간 상태를 말한다. 자기장이라 함은 자석상호간, 전류상호간, 또는 자석과 전류사이에 작용하는 공간 상태를 말한다. 전기장강도라 함은 전기장 내의 한 점에 있는 단위 양전하에 작용하는 힘을 말한다. 자속밀도”라 함은 운동하는 전하의 운동속도에 비례하는 힘을 유발하는 벡터량을 말한다. 자기장강도”라 함은 선형적이고 등방성을 갖는 매질내의 자속밀도를 주어진 주파수에 대해 매질의 투자율로 나눈 것이다. 전력밀도라 함은 전자파의 진행방향에 수직인 단위면적을 통과하는 전력을 말한다[14].

인체보호기준 적용 시 일반인 이라 함은 전자기장에 노출되고 있는 사실을 모르거나 조치를 취할 수 없는 자를 말하며 의료목적으로 노출 받는 자는 제외한다. 직업인이라 함은 직무상 작업수행 과정에서 자신이 전

자기장에 노출되고 있음을 알고 있고 이의 잠재적인 위험성을 알고 주의하도록 훈련받은 자를 말한다[14].

제 3조(전신노출에 대한 전자파강도기준)은 다음과 같다. 일반인에 대한 전신노출은 표 2-1에 규정된 전기장강도와 자기장강도 또는 자속밀도와 전력밀도 값을 초과하지 않아야한다. 직업인에 대한 전신 노출은 표 2-3에 규정된 전기장강도와 자기장강도 또는 자속밀도와 전력밀도 값을 초과하지 않아야 한다. 제1항 및 제2항의 규정에도 불구하고 60Hz 주파수 대역의 송전선로는 이를 적용하지 아니한다. 제 47조의2제1항의 규정에 의한 전자파 인체보호기준은 아래 표 2-1와 같다. 표 2-1은 일반인, 표 2-2는 직업인에 대한 전자파강도기준으로 전자기장 강도는 실효로 표현한 것이다[14].

표. 2-1 일반인에 대한 전자파강도기준

Table. 2-1 Human for Intensity Criterion of EMF

주파수 범위	자기장강도 (A/m)	자속밀도 ( $\mu T$ )
1Hz 이하	$3.2 \times 10^4$	$4 \times 10^4$
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	$1.63 \times 10^4 / f^2$	$4 \times 10^4 / f^2$
8Hz 이상 ~ 0.025kHz 미만	4,000/f	5,000/f
0.025kHz 이상 ~ 0.82kHz 미만	4/f	6.25
0.82kHz 이상 ~ 65kHz 미만	5	6.25
0.065MHz 이상 ~ 1MHz 미만	5	0.92/f
1MHz 이상 ~ 10MHz 미만	0.73/f	0.92/f
10MHz 이상 ~ 400MHz 미만	0.73/f	0.092
400MHz 이상 ~ 2,000MHz 미만	$0.0037 / f^{1/2}$	$0.0046 f^{1/2}$
2GHz 이상 ~ 300GHz 미만	0.16	0.20

표. 2-2 직업인에 대한 전자파강도기준  
Table. 2-2 Worker for Intensity Criterion of EMF

주파수 범위	자기장강도 (A/m)	자속밀도 ( $\mu T$ )
1Hz 이하	$1.63 \times 10^5$	$2 \times 10^5$
1Hz 이상 ~ 8Hz 미만	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$2 \times 10^5 / f^2$
8Hz 이상 ~ 0.025kHz 미만	$2 \times 10^4 / f$	$2.5 \times 10^4 / f$
0.025kHz 이상 ~ 0.82kHz 미만	20/f	25/f
0.82kHz 이상 ~ 65kHz 미만	24.4	30.7
0.065MHz 이상 ~ 1MHz 미만	1.6/f	2.0/f
1MHz 이상 ~ 10MHz 미만	1.6/f	2.0/f
10MHz 이상 ~ 400MHz 미만	0.16	0.2
400MHz 이상 ~ 2,000MHz 미만	$0.008f^{1/2}$	$0.01f^{1/2}$
2GHz 이상 ~ 300GHz 미만	0.36	0.45

## 2.4 전자파강도에 대한 국외기준

### 2.4.1 ICNIRP 규격

ICNIRP(국제 비이온화방사 보호 위원회)는 IRPA(국제 방사선 보호 연합)에서 1992년 설립한 독일의 국제 비정부 기구로서 우리 생활속에서 쉽게 접하는 휴대전화, 전자장비 등의 전자기파를 발생시키는 제품의 방사선 전자파 노출 한도를 결정하고, 고시하는 역할을 하고 있다. ICNIRP에서는 자기장 강도에 대한 기준을 아래 표 2-3과 같이 두고 있다[15].

표. 2-3 ICNIRP 전자파강도기준

Table. 2-3 ICNIRP for Intensity Criterion of EMF

주파수 범위	자기장강도 (A/m)	자속밀도 ( $\mu T$ )
1 Hz ~ 8 Hz	$1.63 \times 10^5 / f^2$	$0.2 / f^2$
8 Hz ~ 25 Hz	$2 \times 10^4 / f^2$	$0.025 / f$
25 Hz ~ 300 Hz	$8 \times 10^2$	0.001
300 Hz ~ 3 kHz	$2.4 \times 10^5 / f^2$	$0.3 / f$
3 kHz ~ 10 MHz	80	0.0001

ICNIRP의 단기 노출에 대한 자기장 강도 기준을 나타낸 그래프는 그림 2-4와 같고 저주파 전자계의 장기간 노출에 대한 인체 영향의 과학적인 근거를 마련하기 위해 노력중이다[15].

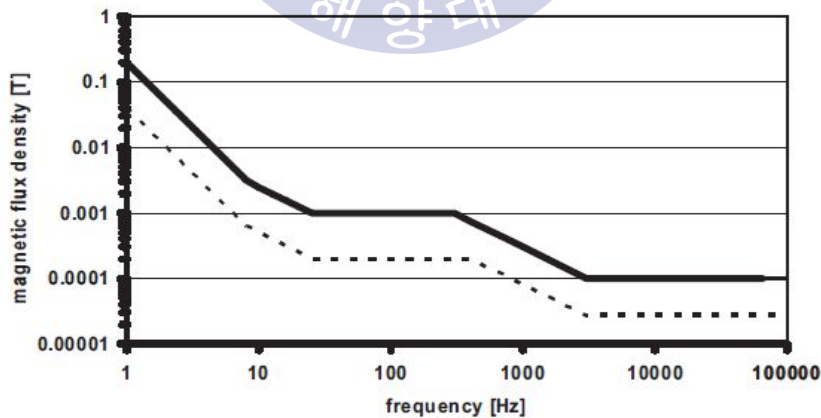


그림. 2-4 ICNIRP 전자파강도기준

Fig. 2-4 ICNIRP for Intensity Criterion of EMF

## 2.4.2 미국 전자파 인체보호 기준

미국의 경우, 전기통신 서비스를 관장하는 주무 관청은 미연방통신위원회(FCC; Federal Communications Commission)로서 방송, 무선통신, 위성통신 및 기타 통신 서비스를 관리하고 있다. FCC에서는 연방법(국가환경정책법령)에 따라 송신설비가 환경과 일반 국민의 건강에 영향을 주지 않도록 통제하는 역할을 하고 있으며 관련정보를 홈페이지에서 제공한다. Website에서는 소비자를 위한 각종 정보, 간행물, Web Link 등 일반인이 궁금해 할 수 있는 많은 정보들을 제공하고 있다[16].

OET RF 안전 Bulletins, Fact Sheet, 지침 및 보고서에서 전자파에 대한 정책 등에 대한 Fact Sheet와 셀룰라 및 PCS 무선 송신기의 무선주파수 전자기장에 대한 인체노출량의 기술 정보를 공개하고 있다[16].

표. 2-4 미국의 전자파강도기준

Table. 2-4 United States of America for Intensity Criterion of EMF

주파수 범위	전기장강도 ( $V/m$ )	자기장강도 ( $A/m$ )
$0.3Hz \sim 1.43Hz$	614	1.63
$1.34Hz \sim 30Hz$	824/f	2.19/f
$30Hz \sim 300Hz$	27.5	0.073
$300Hz \sim 1500Hz$	-	-
$1500Hz \sim 100MHz$	-	-

### 2.4.3 영국 전자파 인체보호 기준

영국은 정부기관인 건강보호국(HPA, Health Protection Agency)에서 정책수립과 연구업무를 수행하고 있다. 건강보호국은 2003년 일반인의 건강 보호를 위하여 특별히 설립된 기관으로 3개의 센터로 구성되어 있으며 “복사, 화학, 환경위험센터”에서 전자파 인체노출과 관련된 연구업무 수행한다. 주요 연구내용으로는 전자파 인체노출량 평가방법 연구, 전자파 인체노출량의 수치 해석적 평가를 위한 인체 모델 개발 등이 있다[17].

전자파 인체영향 관련 연구업무를 수행하던 국립복사선방호위원회(NRPB, National Radiological Protection Board)는 2005년 4월 건강보호국에 흡수 통합되었다[17].

표 2-5. 영국의 전자파강도 인체보호기준

Table. 2-5 United Kingdom for Intensity Criterion of EMF

주파수 범위	전기장강도 ( $V/m$ )	자기장강도 ( $A/m$ )
12Hz ~ 200Hz	50	0.13
200Hz ~ 400Hz	250/f	0.66·f
400Hz~800MHz	100	0.26
800MHz~1550MHz	125/f	0.33·f
1550MHz~300GHz	194	0.52

### 2.4.4 이탈리아 전자파 인체보호 기준

이탈리아는 기본적으로 ICNIRP 기준을 전자파 인체보호 기준으로 적

용하고 있지만 시간을 적용하여 전자파 취약·민감지역에 대해 별도의 기준을 설정하고 있다[18].

이탈리아는 하루 4시간 이상 체류가 예상되는 건물에 설치되는 무선국의 전자파 방출 세기의 기준을 ICNIRP 기준 대비 약 1/10 낮게 한계값을 설정하였다. 이탈리아에서는 강화된 이 기준을 Attention Value, Quality Goal라고 표현하여 기존 ICNIRP 기준(Exposure Limit)과 구분하였다. Attention Value는 하루 4시간 이상 체류가 예상되는 건물이며, Quality Goal은 인구밀집도가 높은 지역이 해당된다. 이탈리아의 사전주의 정책에 의한 강화된 기준은 주파수별 기준 값을 설정하였다[18].

표. 2-6 이탈리아의 전자파강도 인체보호기준  
Table. 2-6 Italy for Intensity Criterion of EMF

주파수 범위	전기장강도 ( $V/m$ )	자기장강도 ( $A/m$ )
Exposure limits	50	-
$0.1 < f = 3MHz$	20	0.2
$3 < f = 3000MHz$	20	0.05
$3 < f = 300MHz$	40	0.10

표 2-7. 이탈리아의 전자파 민감지역 기준  
Table 2-7. Italy for Intensity Criterion of EMF in Critical Area

주파수 범위	자속밀도 ( $\mu T$ )	비 고
전원주파수(50Hz, 60Hz) (Attention Value)	10	하루 4시간 이상 체류가 예상되는 건물
전원주파수(50Hz, 60Hz) (Quality Goal)	3	하루 4시간 이상 체류가 예상되는 건물

## 2.4.5 스위스 전자파 인체보호 기준

스위스는 기본적으로 ICNIRP의 기준 레벨을 적용하고 있지만 학교, 병원, 놀이터 등 전자파로부터 민감한 계층이 주로 활동하는 장소(이하 전자파취약·민감지역)에 대해 ICNIRP 기준보다 강화된 별도의 기준을 설정하였다[19].

스위스는 2000년 2월 관련법이 발효되면서 법 발효 이전에 설치된 무선설비 및 장치 등에 대해서는 장소에 구분 없이 ICNIRP 기준을 적용하지만 법 발효 이후에 무선설비 및 장치 등이 전자파 취약·민감지역에 신규 설치될 경우, 강화된 기준 레벨인 ILV(Installation Limit Value)의 적용을 받도록 하였다. 이 기준은 안테나를 사용하여 전자파를 방출하는 무선 송수신 장치(이동통신 기지국 등)뿐만 아니라 전기를 사용하는 철로, 송전선, 변압기 등 전기장치도 적용대상으로 정하고 있다. 단, 모바일 장치(휴대전화 등)와 같이 특정 장소에 고정 설치하여 사용하지 않으며, 국제적으로 교역되는 전자제품은 ILV 기준을 적용하지 않는다. 이는 수입되는 전자제품의 경우, 각 제품의 국제 표준을 적용하고 있고 수출에 적합하도록 제작하고 있으므로 ILV 기준을 별도로 적용하게 되면 국제 교역의 기술적 장벽으로 작용할 수 있어 적용하지 않는다[19].

스위스의 ILV는 어린이, 노약자 등 전자파에 민감할 것으로 예상되는 계층이 주로 거주, 왕래하는 지역에 고정형 무선장치가 설치될 경우 전자파로 인한 인체 유해성을 사전에 주의하고자 하는 조치로써 ICNIRP 기준보다 강화된 기준을 적용하고 있다. ILV는 ICNIRP 기준 대비 약 1/10 수준의 낮은 기준 레벨로써 약 10배 강화된 기준이다.8) 스위스는 ICNIRP



기준이 다양한 위험요소에 대해 검증되었지만 일부 전자파 취약·민감계층에 대한 전자파 유해성 여부가 과학적으로 명확히 규명되지 않았다고 판단하여 이들 계층에 대한 사전주의 정책의 일환으로 별도의 IVL를 설정하였다[19].

표. 2-8 스위스 전자파강도 인체보호기준

Table. 2-8 Switzerland for Intensity Criterion of EMF

주파수 범위	전기장강도 ( $V/m$ )	자기장강도 ( $A/m$ )
$1Hz \sim 8Hz$	10000	$32000 / f^2$
$8Hz \sim 25Hz$	10000	$4000 / f$
$0.025kHz \sim 0.8kHz$	$250 / f$	$4 / f$
$0.8kHz \sim 3kHz$	$250 / f$	5
$3kHz \sim 100kHz$	87	5
$100kHz \sim 150kHz$	87	5
$0.15MHz \sim 1MHz$	87	$0.73/f$
$1MHz \sim 10MHz$	$87/\sqrt{f}$	$0.73/f$
$10MHz \sim 400MHz$	28	0.073
$400MHz \sim 2000MHz$	$1.375 \cdot \sqrt{f}$	$0.0037 \cdot \sqrt{f}$
$2GHz \sim 10GHz$	61	0.16

표. 2-9 스위스 전자파 민감지역 기준

Table. 2-9 Switzerland for Intensity Criterion of EMF in Critical Area

주파수 범위	자속밀도 ( $\mu T$ )	비 고
전원주파수( $50Hz, 60Hz$ ) (ICNIRP Limit)	100	국제비전리방사선보호위원회 (ICNIRP) 기준 적용
전원주파수( $50Hz, 60Hz$ ) (Installation Limit Value)	1	신규 건물 (유치원, 학교, 병원, 침실)

## 제 3 장 선박 내 측정 실험

### 3.1 측정 환경

선박은 크게 여객선과 수송선의 종류로 구분할 수 있으며 이에 따라 선박의 전자파환경 측정을 위한 대표적인 대상 선박으로는 여객선의 구조로 만들어진 한국해양대학교의 실습선인 한바다 호파 차량 수송선인 조양운수 차도선을 측정대상으로 선정하였다. 표 3-1은 측정대상선박인 한바다호의 주요제원을 보여 주고 있다[20].

표. 3-1 한바다 호  
Table. 3-1 Hanbada ship

구 조	상선 / 여객선
총 톤 수	4280.35 tons
항해 속도	15.0 knots



그림. 3-1 한바다호의 실험 구역

Fig. 3-1 Test Point in Hanbada Ship

그림 3-1은 측정 대상 선박인 한바다호의 전체적인 형상과 실험 구역을 보여주고 있다. 그림 3-1에서 실험 구역을 엔진 조정실로 선택한 이유는 특별전원 분배구역이 동일구역에 위치하고 있어 발전기에서 전력이 생산 및 분배 되는 과정에서 방사되는 전자파를 측정하기 위함이다.

### 3.2 측정 요건

선박 내 전자파강도 측정을 위해서는 국내 전파법 제 47조의 2의 요건을 만족해야 한다.

제4조(측정 기기의 일반적 조건)에서 각 측정기기는 다음 조건을 만족해야 한다. 첫 번째 측정기기는 교정 유효기간 이내의 것을 사용하여야 한다. 두 번째 측정기기는 시험대상기기의 주파수, 예상되는 전자기장의 최대 강도, 무시할 수 없는 모든 고조파 성분 등을 고려하여 충분한 동작 범위와 주파수 대역을 가져야 한다. 세 번째 측정기기와 전원선 및 연결 케이블은 적절히 차폐되고 외부 전자기장의 영향을 받지 않아야 한다. 네 번째 측정기기는 전자기장 강도의 실효값을 측정할 수 있어야 한다. 다섯 번째 프로브 지지대는 낮은 손실 탄젠트( $\tan\delta \leq 0.05$ )와 낮은 상대 유전율( $\epsilon_r \leq 5$ )을 가져야 한다[21].

측정 프로브는 다음 조건을 만족해야 한다. 프로브 응답은 등방성이어야 한다. 프로브 크기는 측정 주파수 대역이 1 MHz 이하인 경우에는 0.2 m보다 작아야 하며, 1 MHz 이상 300 GHz 이하인 경우에는 파장의 4분의 1보다 작거나 0.1 m 보다 작아야 한다[21].

제5조(측정조건)에서 측정조건은 다음조건을 만족해야 한다. 전자기장

측정은 시험대상기기에 대하여 사용자가 접근할 수 있는 모든 영역을 고려해야 한다. 전자기장 강도 측정은 측정 영역에서 이루어져야 한다. 측정은 시험대상기기의 동작 상태가 안정화된 후에 실행해야 한다. 측정 시에는 전자기장을 발생시키는 휴대기기는 전원을 차단하여야 한다. 전기장 강도 측정 시에는 프로브와 측정자 사이의 거리는 2.5 m 이상이어야 한다. 단, 자기장 강도 측정 시에는 프로브와 측정자 사이의 거리를 제한하지 않는다. 측정 결과는 온도나 습도 등의 환경적인 조건, 측정을 위한 기기 구성, 전원선 및 연결 케이블에 의한 전자기장 유도 등과 같은 외부요인에 의해 영향을 받지 않아야 한다[21].

측정은 시험체, 측정안테나, RECEIVER, 프로브 등으로 구성하고 측정 하였다. 선박의 측정하고자 하는 장치로부터 거리를 50cm ~ 1m 거리를 유지하여 측정을 하였고 배전반(발전기), 배전 지역, 발전실에서 측정 하였다. 그림 3-2와 그림 3-3은 측정 장비의 모습을 나타내고 있다.



그림. 3-2 EMI Test Antenna  
Fig. 3-2 EMI Test Antenna



그림. 3-3 EMF Test Receiver  
Fig. 3-3 EMF Test Receiver

### 3.3 측정 방법

측정 시 제품 구성은 그림 3-4와 같다. 측정 장비 구성은 Receiver, 노트북, 케이블로 구성되어 있다. 케이블은 중심에서 묶여지거나 적당히 짧게 해야 하고 Receiver와 케이블은 접지면 으로부터 절연되어야 한다.



그림. 3-4 측정 장비 구성

Fig. 3-4 Measurement Equipment Configuration

제 6 조(측정절차) 측정 절차는 다음 순서에 따른다. 제 4 조의 측정 기기의 적합 여부를 확인한다. 측정 환경(온도, 습도, 산란체 등)을 확인하고 기록한다. 시험대상기기의 출력은 조정이 가능한 경우에는 이를 최대로 설정하거나 제조업체의 설정 지침에 따라 조정하고 기록한다. 시험대상기기의 부하는 최대 전력 전송이 이루어지도록 설정한다. 시험대상기기를 사용하는 사용자가 이것으로부터 복사되는 전자파에 통상적으로 노출될 수 있는 모든 영역을 측정 영역으로 설정한다. 제 6호에서 선정한 정밀 측정 지점에서 0.5 m, 1.0 m, 의 2개의 위치를 측정위치로 선정한다. 측정 기기를 그림 3-5와 같이 배치한다. 전자기장 강도를 다음 각 호에

따라 측정한다[21].

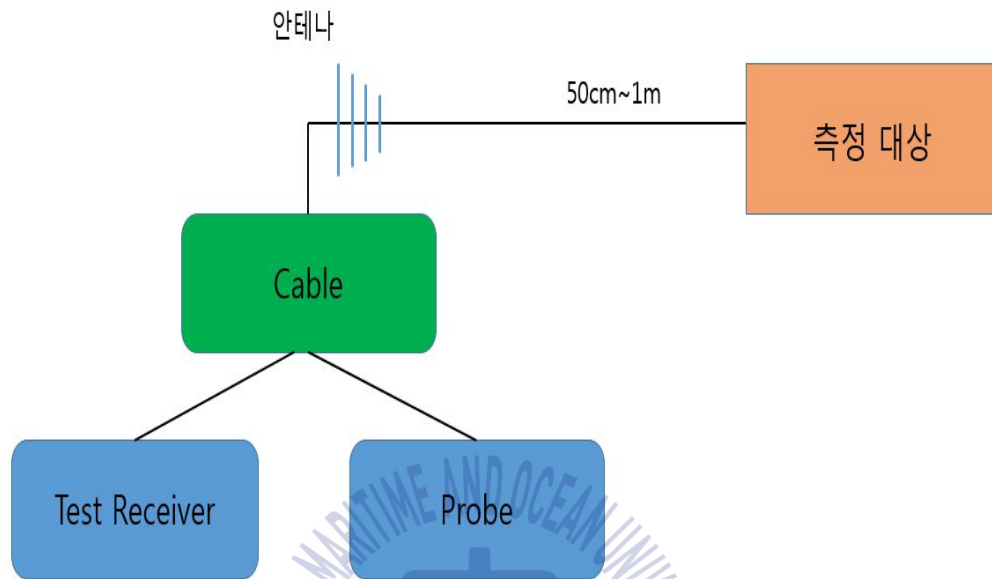


그림. 3-5 측정 방법  
Fig. 3-5 Measurement Method

선박의 특별전원 분배구역의 측정 방법은 그림 3-5와 같다. 특별전원 분배구역의 전자과강도 시험은 전원주파수인 대역 100 kHz 이하일 경우 이므로 측정방법은 다음 순서를 따른다. 프로브 중심을 측정 지점에서 0.5 m 높이에 위치시킨다. 수신기의 측정 대역폭을 신호 대역폭과 동일하게 조정한다. 수신기의 검파 모드는 실효값 모드로, 추적 모드(trace mode)는 최대값 유지(max hold) 모드로 조정한다. 자기장 강도를 최소 1분 이상 측정하여 그 최대값을 기록한다. 단, 시험대상기기가 배터리를 사용하는 경우 충전 상태에 따라 측정 시간은 달라질 수 있다[21].

### 3.4 선박의 특별전원 분배구역 전자파강도 측정

전체적인 측정 조건은 전파법 제 47조의 2의 시험 방법으로 시험을 실시한다. 측정 위치는 각종 전자장비들이 가장 많이 탑재되어 있는 특별전원 분배구역에서 실시한다. 측정하고자 하는 주파수 범위는 선박에서 가장 중요시 되어지는 전원 주파수(50Hz, 60Hz)이다. 측정에 사용한 시험규격과 시험장비 및 측정과정, 측정 장소 등은 다음과 같다. 시험 규격은 선박 항해 및 통신장비의 국내 규격인 전파법 제 47조의 2의 시험방법(2012.2)을 적용하였다. 시험 장비는 표 3-2에서 보는 것과 같이, 크게 측정장비와 측정안테나로 구성되어 있다. 측정 장소는 선박의 특별전원 분배구역에서 진행하였으며 각 구간별 시험설치는 그림 3-6과 유사하다 [22].

표. 3-2 선박에서의 EMF 시험 장비

Table. 3-2 EMF Test equipments in the ship

장비명	제작자	모델
EMF Test Receiver	Narda	SRM-3000
EMF Test Receiver	Narda	EFA-200
H-Field Antenna	Narda	H-Field(1-150M)

아래는 한국해양대학교 실습선 한바다 호를 우선으로 측정한 측정 과정 및 측정 결과를 보여주고, 다음으로 조양운수 차도선에서 측정한 측정 과정 및 측정 결과를 보여주고 있다.

### 3.4.1 배전반 측정 과정(한바다 호)



그림. 3-6 한바다 호 시험 설치(배전반)  
Fig. 3-6 Test setup in the ship(Switchboard)

시험 과정은 다음과 같다 이 과정은 국내 전과법 제 47조의 2의 시험 절차를 따른 것이다. 선박에서 실질적으로 발생하는 전자파의 강도를 시험하기 위해서 아래의 과정에 의해 선박 환경을 측정한다[23].

1. 측정하고자 하는 주파수를 Test Receiver 에 입력.
2. 측정 안테나를 배전반과 거리를 1m의 간격을 두어 설치.
3. 안테나와 Test Receiver를 동축 케이블로 연결.
4. Test Receiver를 컴퓨터와 연결하여 실험 값 도출.



### 3.4.2 변압기 측정과정(한바다 호)



그림. 3-7 한바다1호 시험 설치(TR Room)  
Fig. 3-7 Test setup in the ship (TR Room)

TR Room 에서의 시험과정은 국내 전파법 제 47조의 2의 내용에 따른 시험 절차를 사용 하였다[23].

1. 측정하고자 하는 주파수를 Test Receiver 에 입력.
2. 측정 안테나를 Transformer 거리를 1m의 간격을 두어 설치.
3. 안테나와 Test Receiver를 동축 케이블로 연결.
4. Test Receiver를 컴퓨터와 연결하여 실험 값 도출.

### 3.4.3 발전기 측정 과정(한바다 호)



그림. 3-8 한바다 호 시험 설치(발전기실)

Fig. 3-8 Test setup in the ship(Generator Room)



그림. 3-9 발전기 동작 모드

Fig. 3-9 Generator Operation Mode

발전기의 시험과정은 국내 전과법 제 47조의 2의 내용에 따라 시험하였다. 1번 발전기를 사용 하지 않았으므로 위 시험은 2, 3 번 발전기를 실험 대상으로 하였다[23].

1. 측정하고자 하는 주파수를 Test Receiver 에 입력.
2. 측정 안테나를 발전기의 거리를 1m의 간격을 두어 설치.
3. 안테나와 Receiver의 케이블로 연결.
4. 측정 데이터 파일을 컴퓨터에 전송한 후 데이터 값을 도출.

#### 3.4.4 배전반 측정 과정(차도선)

2차 실험은 조양운수의 차도선을 대상으로 전자파강도 시험을 하였다. 아래 그림 3-10은 배전반에서 H-Field 안테나를 이용하여 실험한 것이다.



그림. 3-10 차도선 시험 설치(배전반)  
Fig. 3-10 Test setup in the ship(Switchboard)

### 3.4.5 변압기 측정 과정(차도선)



그림. 3-11 차도선 시험 설치(TR Room)

Fig. 3-11 Test setup in the ship(TR Room)

그림 3-11는 H-Field 안테나를 이용한 차도선의 변압기 장비를 측정  
한 사진이며 한바다 호와는 달리 차도선의 변압기는 배전반과 같은 구역  
에 배치되어 있다.

### 3.4.6 발전기 측정 과정(차도선)



그림. 3-12 차도선 시험 설치(발전기)

Fig. 3-12 Test setup in the ship(Generator)

그림 3-12에서 보면 안테나를 사람이 잡고 있는데 이는 배 자체의 진동 때문에 잡음이 많이 나오게 되었다. 이 결과 안테나 자체를 사람이 들고 있으므로 진동을 보다 덜 받게 하기 위해 사람이 들게 하였다. 또한 그 측정결과 역시 기본으로 고정시켰을 당시와 사람이 들고 있을 당시의 측정결과와의 차이가 많이 나고, 사람이 들고 있을 당시가 더욱 정확한 결과 값을 도출 할 수 있음을 확인하였다.

## 3.5 측정 결과

### 3.5.1 한바다 호 측정 결과

한바다호의 배전반에서 H-Field 측정 결과는 그림 3-13과 같다.

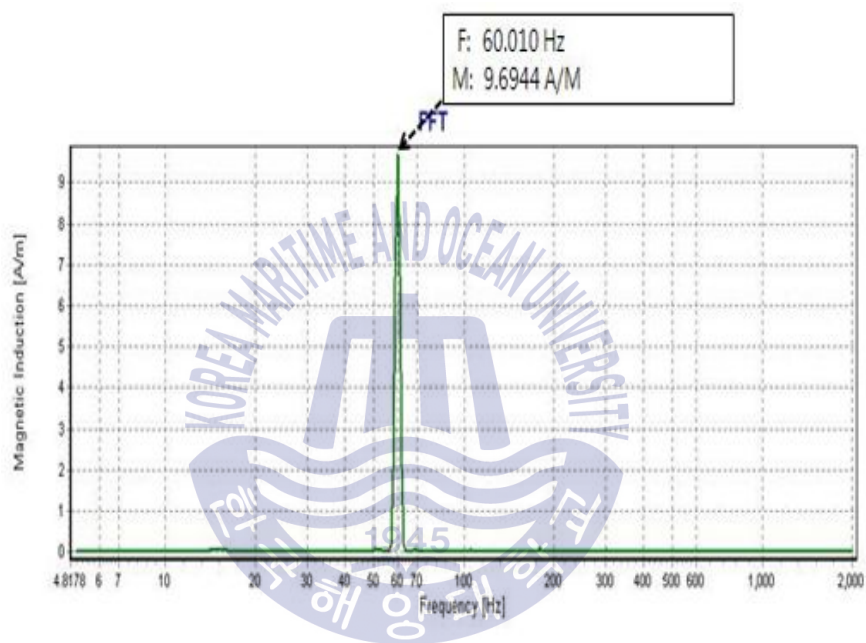


그림. 3-13 한바다 호 배전반 측정 결과

Fig. 3-13 Switchboard Measurement Result

그림 3-13은 한바다호의 추진 시스템에 탑재되는 장비인 배전반의 동작주파수 60Hz에서의 측정된 결과이다. 저주파 자계 장비를 사용하여 자계를 측정한 결과이다. 측정값은 자기장 강도 9.6944 (A/m)가 측정되었으며 측정은 MAX HOLD값이다.

한바다호의 변압기에서 H-Field 측정 결과는 그림 3-14와 같다.

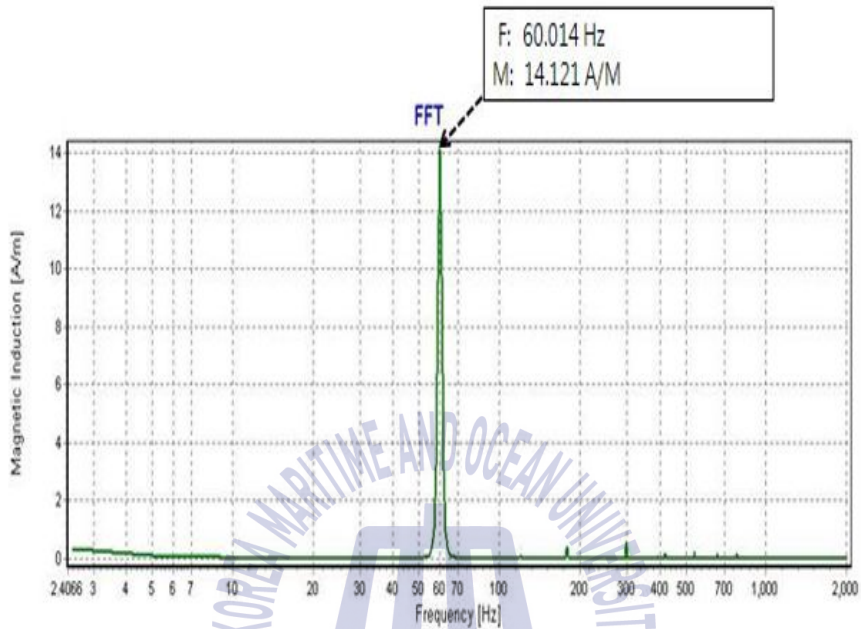


그림. 3-14 한바다 호 변압기 측정 결과

Fig. 3-14 Transformer Measurement Result

그림 3-14는 한바다호의 추진 시스템에 탑재되는 장비인 변압기의 동작주파수 60Hz에서의 측정된 결과이다. 저주파 자기 장비를 사용하여 자계를 측정한 결과이다. 측정값은 자기장 강도 14.121 (A/m)가 측정되었으며 측정은 MAX HOLD값이다.

한바다호의 발전기에서 H-Field 측정 결과는 그림 3-15와 같다.

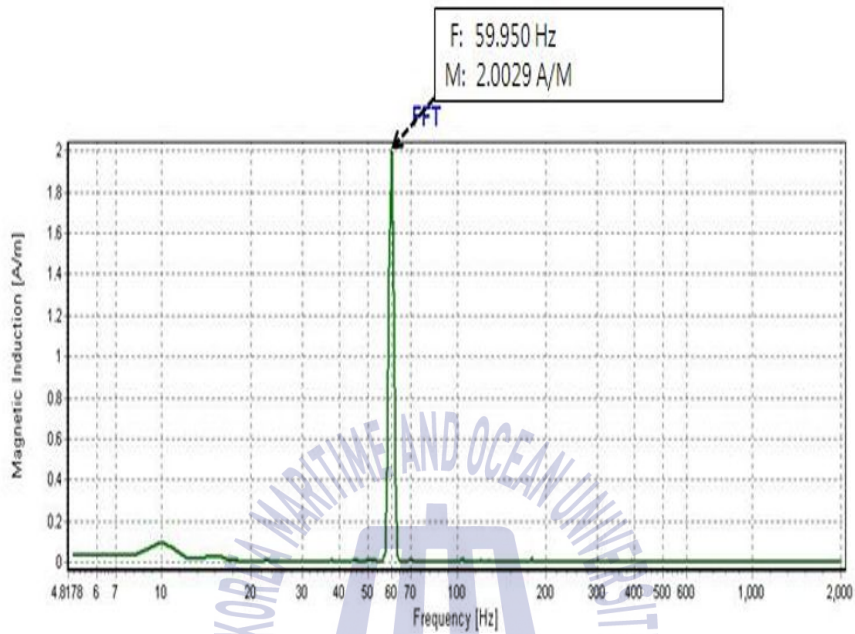


그림. 3-15 한바다 호 발전기 측정 결과

Fig. 3-15 Generator Measurement Result

그림 3-15는 한바다호의 추진 시스템에 탑재되는 장비인 발전기의 동작주파수 60Hz에서의 측정된 결과이다. 저주파 자계 장비를 사용하여 자계를 측정한 결과이다. 측정값은 자기장 강도 2.0029 (A/m)가 측정되었으며 측정은 MAX HOLD값이다. 발전기에서 발생하는 자기장강도가 발전기와 변압기보다 적은 이유는 그림 3-8과 같이 연결해주는 케이블 및 발전기 장비 자체에 차폐가 잘되어 있기 때문이다.

### 3.5.2 차도선 측정 결과



차도선은 목포에서 흥도로 운항하는 한바다 호에 비하여 톤수가 작은 선박이다. 차도선에서의 측정결과는 아래 그림들과 같다. 그림 3-16은 차도선의 배전반에서 H-Field 안테나를 이용하여 측정하였으며 측정 결과는 다음과 같다.

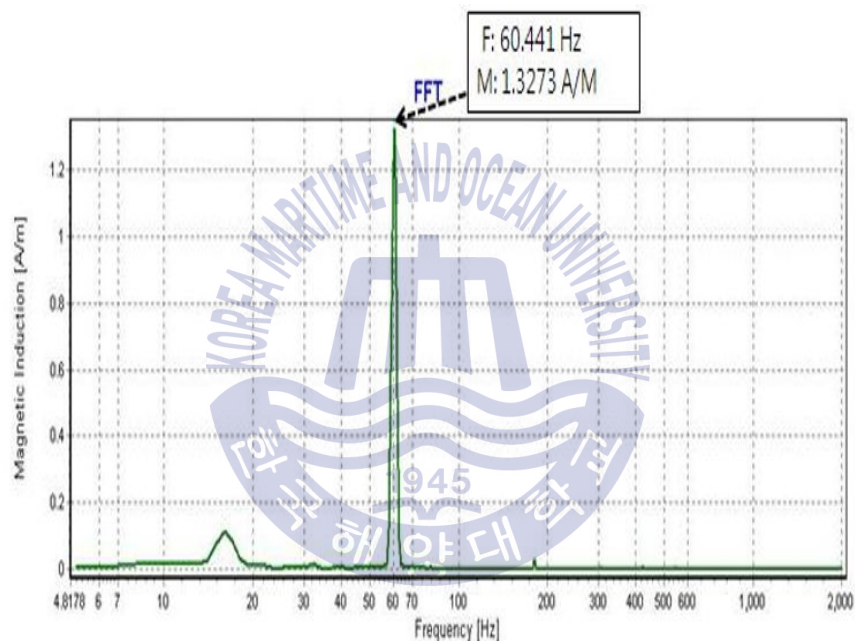


그림. 3-16 차도선 배전반 측정 결과

Fig. 3-16 Switchboard Measurement Result

그림 3-16은 차도선의 추진 시스템에 탑재되는 장비인 배전반의 동작주파수 60Hz에서의 측정된 결과이다. 저주파 자계 장비를 사용하여 자계를 측정한 결과이다. 측정값은 자기장 강도 1.3273 (A/m)가 측정되었으며 측정은 MAX HOLD값이다.

차도선의 Transformer에서 H-Field 측정 결과는 그림 3-17과 같다.

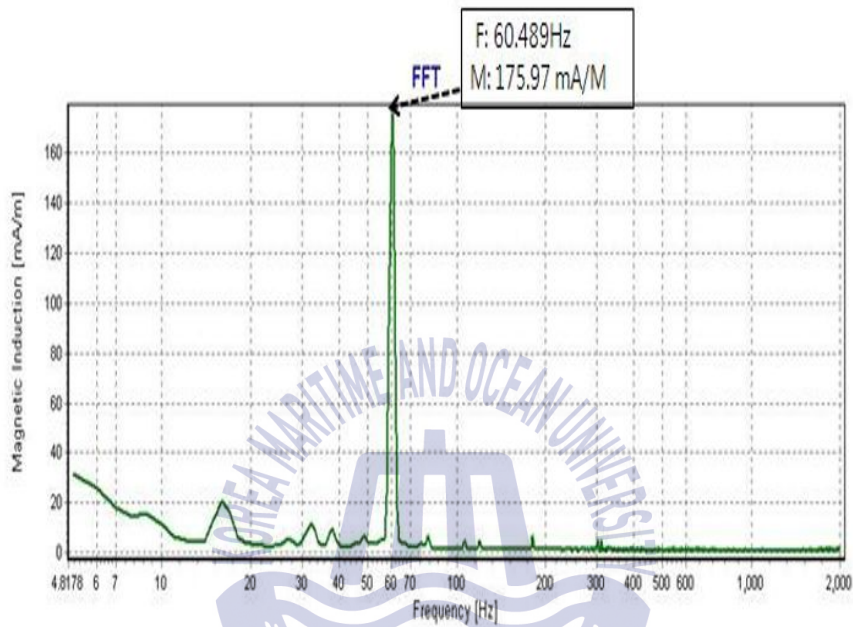


그림. 3-17 차도선 변압기 측정 결과

Fig. 3-17 Transformer Measurement Result

그림 3-17은 차도선의 추진 시스템에 탑재되는 장비인 변압기의 동작 주파수 60Hz에서의 측정된 결과이다. 저주파 자계 장비를 사용하여 자계를 측정한 결과이다. 측정값은 자기장 강도 175.97 (mA/m)가 측정되었으며 측정은 MAX HOLD값이다.

차도선의 발전기에서 H-Field 측정 결과는 그림 3-18과 같다.

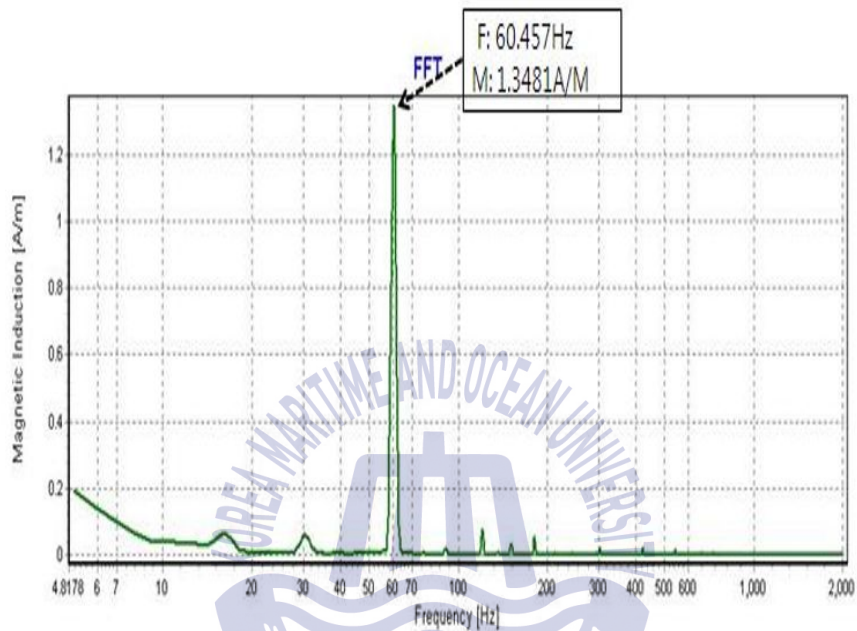


그림. 3-18 차도선 변압기 측정 결과

Fig. 3-18 Generator Measurement Result

다음 3-18은 차도선의 추진 시스템에 탑재되는 장비인 발전기의 동작 주파수 60Hz에서의 측정된 결과이다. 저주파 자계 장비를 사용하여 자계를 측정한 결과이다. 측정값은 자기장 강도 1.3481 (A/m)가 측정되었으며 측정은 MAX HOLD값이다.

## 제 4 장 측정 결과 분석

본 장에서는 선박의 특별전원 분배구역에서 측정한 결과를 국내 전자파강도 기준 그리고 국외 3개국의 전자파강도기준과 상호 비교분석하여 어떠한 경향으로 차이가 나타나는지 분석을 하고자 한다. 따라서 본 장에서는 측정 결과를 국내기준과 해외 기준을 비교 분석하여 선박에 적용 가능한 최적 기준을 제안하고자 한다.

### 4.1 실선 결과 분석

#### 4.1.1 국내 전자파강도기준과 한바다 호 시험 결과의 비교

한바다호의 배전반, 변압기, 발전기에서 측정장비 H-Field 안테나를 이용하여 측정한 결과와 국내 전자파강도기준을 상호 비교한 값은 표 4-1에서 나타내었다.

표. 4-1 측정값과 국내 전자파강도기준의 비교

Table. 4-1 Comparisons of Measured Value with Korean Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	기준치 (mG)	측정치 (mG)
한바다호	배전반	60.010	9.694	833	121.1
	변압기	59.950	14.121	833	443.0
	발전기	59.999	2.002	833	25.0

선박의 전자파강도기준 비교에 있어 직업인이 아닌 일반인의 기준을 적용하였다. 이는 선박에서 선원들이 실제 주거 하고 있으며 추가적으로 선원들이 전자파의 인체 노출에 대한 지식을 갖추지 못했기 때문이다. 측정치는 측정된 자기장 강도 (A/m)에 자유공간의 투자율 ( $4\pi \times 10^{-7}$ )을 곱한 것이다 [24].

표 4-1 결과를 분석 해보면 국내 전자파강도기준과 실제 선박에서의 측정치를 보았을 때 배전반에서는 121.1 (mG), 변압기에서는 443.0 (mG), 발전기 25.0(mG)이 측정되었으며 측정값은 국내 전자파강도기준에 모두 만족하는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.1.2 ICNIRP 전자파강도기준과 한바다 호 시험 결과의 비교

한바다호의 배전반, 변압기, 발전기에서 H-Field 안테나를 이용하여 측정된 결과와 ICNIRP의 전자파강도기준을 상호 비교한 값은 표 4-2에서 나타내었다.

표. 4-2 측정값과 ICNIRP 전자파강도기준의 비교

Table. 4-2 Comparisons of Measured Value with ICNIRP Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	기준치 (mG)	측정치 (mG)
한바다호	배전반	60.010	9.694	1000	121.1
	변압기	59.950	14.121	1000	443.0
	발전기	59.999	2.002	1000	25.0

표 4-2 결과를 분석 해보면 특별전원 분배구역에서 측정된 자기장 밀도는 ICNIRP 기준에 모두 만족하는 것을 확인할 수 있다.

#### 4.1.3 영국 전자파강도기준과 한바다 호 시험 결과의 비교

한바다호의 배전반, 변압기, 발전기에서 H-Field 안테나를 이용하여 측정한 결과와 영국의 전자파강도기준을 상호 비교한 값은 표 4-3에서 나타내었다.

표. 4-3 측정값과 영국 전자파강도기준의 비교

Table. 4-3 Comparisons of Measured Value with United Kingdom Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	기준치 (mG)	측정치 (mG)
한바다호	배전반	60.010	9.694	250	121.1
	변압기	59.950	14.121	250	443.0
	발전기	59.999	2.002	250	25.0

표 4-3 결과를 분석 해보면 영국 전자파강도기준과 실제 선박에서의 측정치를 보았을 때 배전반에서는 약 0.48배, 변압기에서는 1.78 배, 발전기 0.1배로 측정되었으며 측정값은 영국 전자파강도기준에 배전반, 발전기는 만족하였지만 변압기에선 자기장 밀도가 193.0 (mG) 초과했다. 변압기에서 측정값이 높게 나온 이유는 앙페르 법칙에 의해 교류전류 및 전압을 고전압으로 승압하는 과정에서 발생한 자기장으로 인해 변압기에서 다른 장비보다 높게 자기장 강도가 노출된 것이다.

#### 4.1.4 이탈리아 전자파강도기준과 한바다 호 시험 결과의 비교

한바다호의 배전반, 변압기, 발전기에서 H-Field 안테나를 이용하여 측정된 결과와 이탈리아의 전자파강도기준을 상호 비교한 값은 표 4-4와 표 4-5에서 나타내었다.

표. 4-4 측정값과 이탈리아 전자파강도기준의 비교

Table. 4-4 Comparisons of Measured Value with Italian Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	기준치 (mG)	측정치 (mG)
한바다호	배전반	60.010	9.694	1.000	121.1
	변압기	59.950	14.121	1.000	443.0
	발전기	59.999	2.002	1.000	25.0

표. 4-5 측정값과 이탈리아 전자파강도기준의 비교

Table. 4-5 Comparisons of Measured Value with Italian Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	주의 값 (mG)	품질목표 (mG)	측정치 (mG)
한바다호	배전반	60.010	9.694	100	30	121.1
	변압기	59.950	14.121	100	30	443.0
	발전기	59.999	2.002	100	30	25.0

표 4-4 결과를 분석 해보면 이탈리아 전자파강도기준과 실제 선박에서의 측정치를 보았을 때 일반인에 대한 노출한도를 ICNIRP 기준에 적용하기 때문에 측정값이 이탈리아의 전자파강도기준을 만족하였다.

그러나 이탈리아는 전자파의 단기노출 뿐만 아니라 표 4-5와 같이 전자파에 장시간 노출되어 있을 때의 경우를 고려하면 이탈리아 전자파강도기준의 주의 값에서 배전반, 변압기가 기준을 초과하였으며 발전기는 만족하고 있다. 배전반의 위치가 기관실에서 상주 및 작업하는 선원들의 업무공간에 위치하고 있다는 점에서 선박 건조 시 전자파에 대한 인체영향이 충분히 고려되지 않음을 알 수 있다.

추가적으로 이탈리아 전자파강도기준의 인구밀집도가 높은 지역의 품질 목표와 비교해보면 선박의 특별전원 분배구역의 배전반, 발전기가 품질목표를 초과하고 있다. 그러나 품질목표는 인구밀집도가 높은 지역을 대상으로 적용하기 때문에 실제 기관실에서 상주하는 선원들에 대한 적용이 어렵다 할 수 있다. 그러나 장시간 전자파 노출을 고려한 이탈리아의 전자파강도기준 주의 값은 6시간 이상 상주 및 작업하는 선박의 기관실 선원들에 대한 최적 전자파강도기준이라 할 수 있다.

#### 4.1.5 국내 전자파강도기준과 차도선 시험 결과의 비교

차도선의 배전반, 변압기, 발전기에서 H-Field 안테나를 이용하여 측정한 결과와 국내 전자파강도기준을 상호 비교한 값은 표 4-6에서 나타내었다.



표. 4-6 측정값과 국내 전자파강도기준의 비교

Table. 4-6 Comparisons of Measured Value with Korean Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	기준치 (mG)	측정치 (mG)
차도선	배전반	60.010	1.3273	833	16.7
	변압기	59.950	0.1759	833	2.2
	발전기	59.999	1.3481	833	16.9

표 4-6 결과를 분석해보면 국내 전자파강도기준과 실제 선박에서의 측정치를 보았을 때 배전반에서는 16.7 (mG), 변압기에서는 2.2 (mG), 발전기 16.9(mG)가 측정되었으며 측정값은 국내 전자파강도기준에 모두 만족하는 것을 확인할 수 있다. 그러나 차도선 역시 국내 전자파강도기준은 단기 노출을 적용하고 있어 6시간 이상 상주 및 작업하는 선박의 환경의 적용에는 한계가 있다.

#### 4.1.6 ICNIRP 전자파강도기준과 차도선 시험 결과의 비교

차도선의 배전반, 변압기, 발전기에서 H-Field 안테나를 이용하여 측정한 결과와 ICNIRP의 전자파강도기준을 상호 비교한 값은 표 4-7에서 나타내었다.

표. 4-7 측정값과 ICNIRP 전자파강도기준의 비교

Table. 4-7 Comparisons of Measured Value with ICNIRP Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	기준치 (mG)	측정치 (mG)
차도선	배전반	60.010	1.327	1000	16.7
	변압기	59.950	0.175	1000	2.2
	발전기	59.999	1.348	1000	16.9

선박의 전자파강도기준 비교에 있어 직업인이 아닌 일반인의 기준을 적용하였다. 차도선에서의 전자파강도기준과 측정값을 비교해 보았을 때 모든 측정값이 ICNIRP의 기준에 만족하였다. 이는 국내 전자파강도기준의 기반이 되는 ICNIRP의 전자파강도기준이 단기노출기준으로 적용하기 때문이다.

#### 4.1.7 영국 전자파강도기준과 차도선 시험 결과의 비교

차도선의 배전반, 변압기, 발전기에서 H-Field 안테나를 이용하여 측정한 결과와 영국의 전자파강도기준을 상호 비교한 값은 표 4-8에서 나타내었다.

표. 4-8 측정값과 영국 전자파강도기준의 비교

Table. 4-8 Comparisons of Measured Value with United Kingdom Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	기준치 (mG)	측정치 (mG)
차도선	배전반	60.010	1.327	250	16.7
	변압기	59.950	0.175	250	2.2
	발전기	59.999	1.348	250	16.9

표 4-8 결과를 분석해보면 영국 전자파강도기준과 실제 선박에서의 측정치를 보았을 때 차도선의 특별전원 분배구역에서 모든 전자장비가 영국 전자파강도기준을 초과하지 않았다. 이는 대규모 선박인 한바다 호에 비하여 작은 선박인 차도선의 발전기에서 각 생산되는 전력의 차이로 인하여 배전반, 변압기, 발전기에서 발생하는 전력량의 차이 때문이다.

#### 4.1.8 이탈리아 전자파강도기준과 차도선 시험 결과의 비교

차도선의 배전반, 변압기, 발전기에서 H-Field 안테나를 이용하여 측정한 결과와 이탈리아의 전자파강도기준을 상호 비교한 값은 표 4-9와 표 4-10에서 나타내었다.

표. 4-9 측정값과 이탈리아 전자파강도기준의 비교

Table. 4-9 Comparisons of Measured Value with Italian Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	기준치 (mG)	측정치 (mG)
차도선	배전반	60.010	1.327	1.000	16.7
	변압기	59.950	0.175	1.000	2.2
	발전기	59.999	1.348	1.000	16.9

표. 4-10 측정값과 이탈리아 전자파강도기준의 비교

Table. 4-10 Comparisons of Measured Value with Italian Criterion

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)	주의 값 (mG)	품질목표 (mG)	측정치 (mG)
차도선	배전반	60.010	1.327	100	30	16.7
	변압기	59.950	0.175	100	30	2.2
	발전기	59.999	1.348	100	30	16.9

표 4-9의 결과를 분석해보면 이탈리아 전자파강도 기준과 실제 선박에서의 측정치를 보았을 때 일반인에 대한 노출한도를 ICNIRP 기준에 적용하기 때문에 측정값이 이탈리아의 전자파강도기준을 만족하였다.

표 4-10의 결과를 보면 전자파의 단기노출 뿐만 아니라 전자파에 장시간 노출되어 있을 때의 경우 모두 특별전원 분배구역에 탑재되는 전자장비가 이탈리아 기준을 만족하고 있다.

#### 4.1.9 차도선과 한바다 호에서 발생하는 측정값 비교

선박의 톤수별 자기장강도를 확인하기 위해 한바다 호와 차도선의 측정값을 표 4-11과 같이 나타내었다.

표. 4-11 차도선과 한바다호의 자기장 강도 비교

Table. 4-11 Comparison of the Car ship and Hanbada Ship for the magnetic field strength

종류	장비	주파수 (Hz)	자기장강도 (A/m)
차도선	배전반	60.010	1.327
	변압기	59.950	0.175
	발전기	59.999	1.348
한바다 호	배전반	60.010	9.694
	변압기	59.590	14.121
	발전기	59.999	2.002

한바다 호와 차도선의 측정방법은 동일한 측정방법으로 측정하였으며 한바다 호와 차도선에서 측정한 전원주파수는 60Hz 대역에서 자기장 강도 (A/m)를 보여주고 있다.

한바다 호의 배전반에서 각 구역에 분배하는 전력량은 700 kW이며 차도선의 배전반에서 각 구역에 분배하는 전력량은 400 kW이다. 따라서 톤수 차이로 발전기에서 생산되는 전력차이와 배전반에서 각 구역에 분배되는 전력차이로 인해 전자과강도 측정값이 한바다 호가 차도선에서 측정한 값 (1.32 A/m)에 비해서 약 7.2배 높은 9.69 A/m로 측정 되었다. 또한 변압기

에서 나오는 자기장 차이 또한 위와 같이 생산되는 전력의 차이와 전력을 변압하는 과정에서 발생하는 자기장의 영향으로 판단된다.

## 4.2 분석을 통한 선박의 최적 기준 제안

앞서 선박의 특별전원 분배구역에 적용 가능한 전자파강도기준을 제안하기 위하여 한바다 호 및 차도선의 특별전원 분배구역에서 자기장 강도 측정 안테나를 이용하여 측정하였다. 배전반, 변압기, 발전기에 대한 측정 결과를 국내 전자파강도기준, ICNIRP 전자파강도기준, 영국, 이탈리아 전자파강도기준과 상호 비교하였다.

선박의 특별전원 분배구역에 적용 가능한 최적 전자파강도기준을 제안하기 위해서는 다음 사항을 만족할 필요가 있다.

요건: 선박의 환경적 특성 때문에 배전반 및 변압기가 탑재되어있는 기관실에서 6시간 이상 상주하는 선원들에 대한 전자파강도기준은 전자파 단기노출기준이 아닌 장기노출기준이 적용되어야 한다.

따라서 한바다 호, 차도선과 같이 실제 운용중인 선박의 환경적 특성 때문에 각 선박의 기관실에서 6시간 이상 상주 근무하고 있다. 따라서 단기 노출을 적용하고 있는 국내 전자파강도기준, ICNIRP 전자파강도기준, 영국 전자파강도기준으로 최적 기준을 적용하는 것은 한계가 있으며 따라서 이탈리아의 4시간 이상 체류 예상 지역과 같이 전자파에 대한 장기노출을 고려한 전자파강도기준이 고려되어야 한다.

## 제 5 장 결론 및 향후 연구방향

21세기 정보화 사회로의 진입을 위해서는 전자·통신 산업의 발전이 필수적이고, 이는 전자장비의 다양화 및 소형화 그리고 고급화로 이어지며 이를 위한 사용 주파수 대역의 확장이 전 세계적인 추세이다. 그 결과 기술적인 측면에서 전자소자 및 회로에서의 전자파 상호간의 간섭이 커다란 문제점으로 대두되고 있으며, 전자파 환경에서 인체에 대한 전자파 유해도가 주요 이슈 상황이 되고 있다.

이와 같이 육상의 전자파 환경에 대한 연구는 지속적인 투자와 연구가 이루어지고 있지만 해상의 주거 및 근무환경인 선박의 전자파 환경에 관한 시험 및 분석은 연구되지 않은 실정이다.

선박은 고출력 안테나 및 증폭기가 내재되어 있는 최상층 전통갑판 (Top Side), 무선 설비 및 항해 장비가 내재되어있는 선교 및 갑판구역 (Bridge Deck), 선원들이 주거공간인 선원실 (Crew Space)로 이루어져 있다. 또한 선박의 고효율화에 대한 수요가 증가함에 따라 선박추진 System에 전기추진 System이 도입되고 이에 고출력 모터, 발전기 및 배전반등의 기자재들이 사용되고 있다. 선박내의 위 장비들은 고출력 및 높은 전자파를 발생하고 있으며 위 전자파 노출로부터 선원들의 생활 보호 및 작업환경의 안정성이 절실히 요구되는 실정이다.

본 논문에서는 실선의 특별전원 분배구역에 탑재되어있는 발전기, 변압기, 배전반의 전원주파수에서 전자파 환경을 측정 분석 후 국내기준과 해외기준에 측정결과를 비교 분석 하였다.

한국해양대학교 실습선 한바다 호의 특별전원 분배구역에 탑재되어 있는 장비인 배전반, 변압기, 발전기에서 전자과장도를 측정하였으며 그 결과는 각각 9.694 A/m, 14.121 A/m, 2.002 A/m가 측정되었다. 이는 국내기준, ICNIRP기준, 영국기준, 이탈리아 표준기준에는 만족하였지만 이탈리아의 전자과 장기노출기준에는 측정결과가 만족하지 않았다.

또한 조양운수 차도선의 특별전원 분배구역에 탑재되어 있는 장비인 배전반, 변압기, 발전기에서 전자과장도를 측정하였으며 그 결과는 각각 1.327 A/m, 0.175 A/m, 1.348 A/m가 측정되었다. 이는 국내기준, ICNIRP기준, 영국기준, 이탈리아 표준기준, 이탈리아의 전자과 장기노출기준에 만족하였다.

본 논문의 최종 목적인 선박의 특별전원 분배구역에 대한 최적 전자과장도기준을 제안하기 위하여, 한바다 호 및 차도선에서 측정된 값들은 국내 전자과장도기준 및 국외 3개국의 전자과장도기준과 비교분석하여 타당한 기준 제안이 필요하였다. 따라서 선박에 특별전원 분배구역에 대한 최적 전자과장도기준을 제안하기 위해서는 다음과 같은 사항이 고려할 필요가 있는 것으로 판단하였다. 첫째 선박에서 작업 및 상주하는 선원들에 전자과장도기준 적용 시 일반인 기준을 적용하여야 한다. 이는 선박의 환경적 특성 때문에 실제 선박 내에서 선원들이 생활하고 있으며, 추가적으로 전자과의 인체 영향에 대한 교육이 이루어지지 않기 때문이다. 둘째 선박의 전자과장도기준을 적용할 때 시간적 요건이 설정되어야 한다. 선박에서는 선원들이 6시간 이상 특별전원 분배구역의 기관실에서 작업하고 있으며, 국내 전자과장도기준은 ICNIRP기준의 단기노출 기준을 기반으로 적용하기 때문에 선박의 특별전원 분배구역의 전자과 환경의 적용에는 한



계가 있다 할 수 있다. 따라서 시간을 고려한 이탈리아의 기준과 같이 선내 특별전원 분배구역에 대한 전자과강도기준 적용 시 장기노출을 고려한 기준이 제정되어야 할 것이다.

따라서 향후 추가적인 연구를 통해 선박을 Tons별, 발전기에서 생산되는 전력량, 선박의 종류별로 구분하여 많은 선박을 분석 후 선박에 적용 가능한 최적 기준이 제정되어야 할 것이다.

본 논문은 해상의 주거환경인 선박이라는 특정 환경에서의 전자과강도기준에 대하여 연구한 점에서 가치가 있으며, 향후 전자과 취약 구역 연구에 유용한 자료로 사용할 수 있으리라 사료된다.



## 참 고 문 헌

- [1] 국립전파연구원, 2014. *선내 실내외 전자파 환경 조사 및 분석*, 부산: 한국해양대학교, 한국조선해양기자재연구원.
- [2] 방송통신위원회, 2010. *전자파 노출 환경 평가기준 연구*, 전파환경연구원.
- [3] IEEE Std C95.1, 2005. *IEEE Standard for Safety Levels with Respect to Human Exposure to Radio Frequency Electromagnetic Fields*.
- [4] 방송통신위원회, 2012. *전자파 등급 분류 및 표시제도 연구*, 미래전파공학연구소.
- [5] 전파연구소, 2009. *전자파 인체노출량 평가 국제 표준화 대응 연구*, 대전: 충남대학교, ETRI.
- [6] 김종우, 2012. *선박용 전기전자 기기에 대한 최적 EMI 측정방법 연구*. 석사학위 논문. 경산: 영남대학교 출판부.
- [7] KN 60945 8-17, 2007. *해상 항해용 무선설비 전자파 내용 및 방법*. 한국방송통신전파진흥원
- [8] Ks C CISPR 16-2-3, 2012. *전파 방해 및 내성 측정 장비와 측정 방법에 대한 규정*.
- [9] 박종성, 2014. *선내 특별전원 분배구역의 전자파 규제치 설정에 관한 연구*. 석사학위 논문. 부산: 한국해양대학교 출판부.

- [10] 구인수, 황인구, 2002. 발전기 디지털 계측제어계통에 대한 전자파 장애 및 대책. *한국전기저널*, 02(5), pp.37-41.
- [11] 윤진철, 홍윤석, 김진태, 김준연, 2012. 전자계-구조 연계해석에 의한 폐쇄배전반의 구조안전성 평가. *대한기계학회 춘추학술대회*, pp.275-280.
- [12] 이은방, 이윤석, 박영수, 김종석, 2010. *전파전자향해학*. 상학당.
- [13] IEC 62209-2, 2010. *Human exposure to radio frequency fields from hand-held and body mounted wireless communication devices - Human models, instrumentation, and procedures*. 1st Ed.
- [14] 미래창조과학부 고시, 제2013-118호. 전자파인체보호기준. 전파방송관리과.
- [15] ICNIRP Std pgdl, 2010. *For Limiting Exposure to time Varying Electric and Magnetic fields (1 HZ - 100 kHz)*.
- [16] America Std pgdl, 2003. *Standard to Electric and Magnetic fields Strength. FCC*.
- [17] United Kingdom Std. 2004. *Advice on limiting exposure to electromagnetic fields(0~300 GHz)*, NRPB.
- [18] Italy Std. 2002. *Radiation protection standard: maximum exposure levels to radiofrequency fields - 1Hz to 300 GHz*.
- [19] Switzerland Std. 2004. *Limits of human exposure to radio frequency electromagnetic fields in the frequency range from 0 Hz to 300 GHz, ILV*.
- [20] 조형래, 정삼영, 김희수, 2004. 선박탑재용 전기전자기기 EMC 규격 연구, *한국전자과학회지*, 15(1), pp-603-610.

- [21] 미래창조과학부 고시, 제2012-153호. 전자파강도측정방법. 전파방송관리과.
- [22] 최기도, 김종우, 조형래, 2015. 선내 추진시스템에 대한 전자파 강도 기준 연구, 한국마린엔지니어링 학회, 39(9), pp-929-934.
- [23] 박종성, 최기도, 김종우, 조형래, 2014. 선내 특별전원 분배구역의 EMI에 관한 연구, 38(6), pp-730-736.
- [24] 이상설, 김영식, 이문수, 1998. 마이크로파공학, 범한서적주식회사

