



저작자표시-동일조건변경허락 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이차적 저작물을 작성할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



동일조건변경허락. 귀하가 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공했을 경우에는, 이 저작물과 동일한 이용허락조건하에서만 배포할 수 있습니다.

- 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

전기추진 선박의
전력 계통 모델링과 분석

Power System Modeling and Analysis of
Electric Propulsion ship



2015年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

金 吉 石

本 論文을 金吉石의 工學碩士 學位論文으로 認准함

委員長：工學博士 吉 璟 碩



委 員：工學博士 金 潤 植



委 員：工學博士 李 成 根



2015年 2月

韓國海洋大學校 大學院

電氣電子工學科

金 吉 石

목 차

목 차	i
그림 및 표 목차	iii
Abstract	vi
제 1 장 서 론	1
1.1 연구배경	1
1.2 연구목적 및 내용	3
제 2 장 전기추진 선박의 모델링	4
2.1 부하분석	4
2.2 발전기의 용량과 수량	5
2.3 부하 배치	6
제 3 장 전기추진 선박의 특성 해석	8
3.1 전력조류 해석	11
3.2 단락회로 해석	18
3.3 전동기 기동 해석	23
3.4 과도 안정도 해석	28
3.5 고조파 분석	31

제 4 장 결 론	42
-----------------	----

참 고 문 헌	44
---------------	----



그림 및 표 목차

【그림 목차】

그림 1.1	전기추진 선박의 추진 개요도	1
그림 2.1	전력 부하 배치도	6
그림 3.1	발전기의 전기자 반작용	8
그림 3.2	여름 정박시 전력조류	12
그림 3.3	여름 운항시 전력조류	13
그림 3.4	여름 작업시 전력조류	14
그림 3.5	겨울 정박시 전력조류	15
그림 3.6	겨울 운항시 전력조류	16
그림 3.7	겨울 작업시 전력조류	17
그림 3.8	단락전류의 구성	20
그림 3.9	주 모선 3상 단락시 전류	22
그림 3.10	Y - Δ 기동기 접속도	24
그림 3.11	발라스트 펌프 기동시 모터의 단자 전압	26
그림 3.12	공기압축기 펌프 기동시 모터 단자 전압	27
그림 3.13	발전기 1대 탈락시 모선의 전압	29
그림 3.14	발전기 1대 탈락시 모선의 주파수	29
그림 3.15	추진부하 1대 탈락시 모선의 전압	30
그림 3.16	추진부하 1대 탈락시 모선의 주파수	31
그림 3.17	모터드라이브 구성도	36
그림 3.18	모터드라이브 PWM 정류기	36
그림 3.19	모터 드라이브 PWM인버터	37

그림 3.20 모터드라이브를 운전하지 않을 경우 모션 파형	38
그림 3.21 모터드라이브를 운전할 경우의 모션 파형	39
그림 3.22 필터가 적용된 모션의 전압 파형	41

【표 목차】

표 1.1 기계추진 선박과 전기추진 선박의 특징 비교	2
표 2.1 운전조건에 따른 부하 요구량	4
표 2.2 선박의 상태에 따른 발전기 운전 수량과 운전률	5
표 2.3 주요 구성품의 전기적 사양	7
표 3.1 부하에 따른 발전기의 분류	9
표 3.2 IEC 안정도 판단 기준	12
표 3.3 여름 정박시 전력조류 해석 검토	13
표 3.4 여름 운항시 전력조류 해석 검토	14
표 3.5 여름 작업시 전력조류 해석 검토	15
표 3.6 겨울 정박시 전력조류 해석 검토	16
표 3.7 겨울 운항시 전력조류 해석 검토	17
표 3.8 겨울 작업시 전력조류 해석 검토	18
표 3.9 단락회로 해석의 개요	21
표 3.10 주요 모션 단락전류	22
표 3.11 기동 접점 상태	24
표 3.12 각 전동기별 동적 파라미터 산정	25
표 3.13 발라스트 펌프 기동 해석 결과	26
표 3.14 컴프레서 기동 해석에 대한 결과 검토	27
표 3.15 고조파와 전자파 노이즈의 특징	32

표 3.16 고조파가 전력설비에 미치는 영향	33
표 3.17 고조파 규제 기준	34
표 3.18 고조파 저감 대책	35



Power system Modeling and Analysis of Electric propulsion ship

by Kil-Seok Kim

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



Abstract

This paper deals with modeling and characteristic analysis of multipurpose special electric propulsion ship. Firstly, Power system modeling has been accomplished in accordance with the required power load and arranged generator, main switch board, electric motor, devices, electrical power network, and then load flow, short-circuit, motor starting, transient stability analysis for the Electric propulsion ship is verified by using ETAP (Electircal Transient Analysis Program). Electric propulsion ship design regulations(IEC Std. 60092-101) were analyzed as a reference for comparison with the result of numerical simulation. Also, Harmonic analysis is accomplished for the motor drive with propulsion converter and inverter.

제 1 장 서 론

1.1 연구배경

육상의 자동차업계에서 불고 있는 ‘하이브리드(Hybrid)’ 열풍이 선박업계에도 불어오고 있다. 자동차에서 전기와 휘발유를 동시에 사용하는 것과 마찬가지로 선박에서도 디젤 엔진을 이용한 발전과 발생된 전기를 이용하여 추진력을 얻는 방식을 적극 도입하고 있다.^[1]

전기추진 시스템은 주기관 및 발전기로부터 동력을 얻어 전동기로 추진력을 발생하는 구조로 이루어져 있다. 즉 전기추진 선박은 기존의 (주기관) - 감속기어 - 축계 - 프로펠러로 이어지는 동력 전달 방식이 아닌, 주기관(동력원) - 교류기 - 제어기 - 전동기 - 프로펠러로 추진방식이 변경된 것을 뜻한다^[2].

그림 1.1은 전기추진 방식의 추진 개요도를 나타내었다.

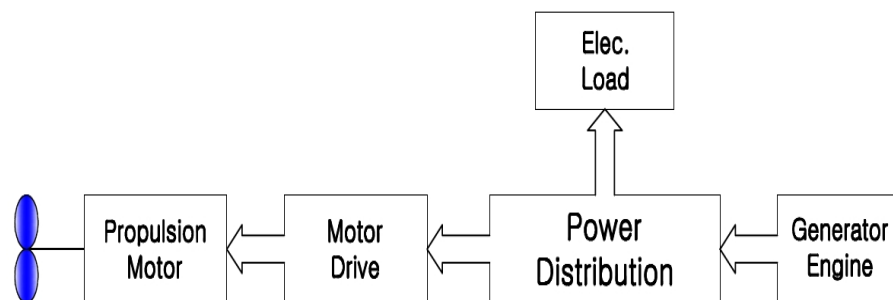


그림 1.1 전기추진 선박의 추진 개요도

Fig 1.1 Overview of Electric Propulsion Ship

이러한 전기추진 시스템이 현재 채택되는 이유는 앞으로 건조되는 대형 선박은 모두 국제해사기구(International Maritime Organization, IMO)의 MARPOL 73 / 78에 따라 선박의 에너지 효율을 고려한 설계 (Energy Efficiency Design Index, EEDI)가 필수적으로 적용되기 때문이다. 이는 대기오염의 원인이 되는 질소산화물과 황산화물에 대한 환경규제의 일환으로 효율이 낮은 추진 시스템을 탑재한 선박을 퇴출시키고, EEDI가 낮은 선박을 중심으로 재편하고자 하는 목적을 갖기 때문이다. 이러한 상황에서 전기추진 시스템은 환경규제와 추진시스템의 효율 모두 확보할 수 있는 기술로 주목받고 있다.^[3]

표 1.1은 전기추진 시스템과 기계 추진 시스템의 특징을 비교하였다.

표 1.1 기계추진 선박과 전기추진 선박의 특징 비교

Table 1.1 Comparison of mechanical and electric propulsion ship

구분	기계추진선박	전기추진선박
추진체계	동력원과 프로펠러가 기계적인 축으로 직접연결	동력의 100%를 전기로 공급 추진모터의 동력이 케이블로 연결
선박설계 용이성	메인엔진에 의한 기관실 배치가 제한적	메인엔진을 배제함으로 기관실 용적 감소 (화물적재량 증가)
선박구조	선박 내부배치 및 선형 설계의 유연성 제한	선박 내부배치 및 선형 설계의 유연성 대폭 증가
기계적 특징	고소음, 고진동	저소음, 저진동
에너지효율	동력원이 직접 연결 (M/E 효율=추진 효율)	동력원이 직접 연결되지 않아 손실 이 발생되나 발전기 병렬운전을 통 한 에너지 효율 향상
친환경성	선박유를 사용하여 황산화물 및 오염물질 배출량이 많음	저온 연료유(LNG 등) 사용 오염배출량이 적음

전기추진 시스템에 적용이 되는 핵심 기술로는 대용량 고효율 전동기 (MW급 이상) 및 전력변환장치 개발, 기계장치(축, 베어링, 선회구조) 및 형상최적화 기술 등이 있다. 완성 선박 건조회사가 대부분인 국내에서는 엔진 출력, 발전기 출력, 선박운항, 추진기 회전수 및 회전속도 연계특성 등을 고려한 시스템 통합기술 배양이 필수적이다. 전기추진 시스템의 구조는 발전기, 인버터 전동기 등의 전기적 부품들이 상호 연계성을 가지고 설계되기 때문에 각 시스템별 조합특성 분석을 통해 시스템의 안정도를 입증할 필요가 있다. 따라서 고부가가치 전기추진선박용 부품간 연계특성 등을 고려한 시스템 통합 기술 배양 및 상호 매칭 성능을 고려한 부품별 사양 규격의 체계화 연구가 필요하다^[4].

1.2 연구목적 및 내용

종래의 기계식 추진 방식과 비교하여 많은 장점을 가지고 있는 전기식 추진 방식은 고부가가치 기술로 평가되고 있다. 조선소를 비롯하여 선박 업계가 앞으로도 조선 강국을 유지하기 위해서는 이 핵심 기술이 필요하다.

하지만 현재까지 산업계에서는 저속에서 고출력화 하기 위한 다극 동기 전동기, 영구자석 여자 동기 전동기 등 전기추진 선박의 필수 구성품 개발 경험과 전력 계통의 설계 기술이 많이 부족한 실정이다.

따라서 본 논문에서는 전기추진 선박의 전력계통을 최적화하고, 모델링을 통하여 다목적 전기추진선박의 전력계통 안정도를 연구하였다. 아울러 추진 시스템의 필수 구성품인 컨버터와 인버터의 고조파 감소 방안을 위한 기초 연구를 수행하였다. 전력계통의 계산과 해석에는 과도현상 해석 프로그램인 ETAP을 이용하였다.

제 2 장 전기 추진 선박의 모델링

2.1 부하분석

전력 부하 분석이란 발전기에서 공급하는 선박내 주전원에 대한 부하 분석으로 전력계통 전반의 소요체계를 결정하는 중요한 기준이다. 전기추진 선박의 부하는 크게 서비스 부하, 모터 부하, 추진 부하, 작업 부하로 나뉜다. 주로 서비스 부하는 선박의 외적조건인 날씨와 계절에 따라 냉·난방 부하로 구성이 된다. 모터 부하는 선박 추진과 관련이 된 펌프들로 구성이 되고, 추진 부하는 선박이 이동하기 위한 부하이다. 여기서 모터 부하는 선박의 내적 조건인 선박 상태에 따라 변동된다. 하지만 추진 부하는 전체 부하의 60~70%를 차지하는 부하로 선박의 운용상태에 따라 변동이 생기게 되므로 위의 조건에 따라 부하를 분배할 필요가 있다. 본 논문에서는 1,700 [kW]급 2대의 추진모터를 사용하며, 선박의 외·내적 조건과 목적에 따라 부하율을 적용하여 표 2.1과 같이 구성하였다.

표 2.1 운전조건에 따른 부하 요구량

Table 2.1 Load demand in accordance by driving condition

Unit : [kW]

구분 \ 상태	여름			겨울		
	정박	운항	작업	정박	운항	작업
Propulsion Load	0	3,400	0	0	3,400	0
Service Load	171.8	464.0	595.5	179.0	471.2	602.7
Motor Load	460.1	699.5	708.1	390.0	655.4	552.9
Working Load	14	15.3	105.0	14.0	15.3	105.0
Total	645.9	4,578.8	1,408.6	583	4,541.9	1,260.6

2.2 발전기의 용량과 수량

기본설계 단계에서 발전기의 수량, 용량, 크기, 배치 등의 결정은 여러 가지 주변 여건에 많은 영향을 미치게 된다. 그 중 발전 용량의 선정은 선박의 전력계통 구성에 있어서 매우 중요한 사항이다. 추진부하의 유무에 따라 급격한 부하 변동이 발생하게 되며, 임의의 사고로 발전 계통의 고장이나 손상시에도 연속적으로 전력을 공급하도록 해야 한다.

최대 전력이 소모될 때인 여름 운항시에는 4,579 [kW]가 필요하며, 설계시 10%의 여유율을 고려해야 한다. 본 논문에서는 1,400 [kW]급 4대의 발전기를 선정하여 총 5,600 [kW]의 발전용량으로 최적화 설계를 하였으며, 이는 소요전력과 안정성의 측면에서 만족한다.

표 2.2에서 선박의 운항 조건에 따른 요구 부하량은 추진 부하의 유무에 따라 급격한 차이를 보이므로 가장 큰 추진부하를 사용함으로써 발전기를 효율적으로 나누어 전력을 공급해야 한다.

따라서 발전기의 운전은 표 2.2과 같이 운전을 한다.

표 2.2 선박의 상태에 따른 발전기 운전 수량과 운전률
Table 2.2 Generator driving quantity and driving rate

구분 \ 상태		여름			겨울		
		정박	운항	작업	정박	운항	작업
발전기 운전 수량	1	O			O		
	2			O			O
	3						
	4		O			O	
발전기 운전률		50.7%	82.7%	55.3%	45.8%	82.1%	49.5%

2.3 부하 배치

전기추진 시스템에 있어서 부하의 배치는 전력 공급의 연속성과 안정성을 위하여 고려되어야 한다. 부하는 선박의 운용과 전력 공급이 차단되어도 선원의 안전에 관련된 중요 부하와 안전과 관련이 없는 일반 부하로 분류가 된다. 배전 계통에 이상 현상이 발생하게 되더라도 전력 공급을 원활히 하기 위하여 부하의 배치를 고려할 필요가 있다. 본 논문에서는 발전기가 직접적으로 연결된 주배전반(MSBD) 2대와 발전기가 직접적으로 연결되어 있지 않은 중앙급전반(PLC) 2대를 통하여 중요부하는 자동/수동 모선 절환 장치(Auto / Manual Bus Transfer)를 사용한 모선 방식을 사용하였다. 이상의 조건을 고려하여 그림 2.1과 같이 발전기와 부하 추진모터를 구성하였으며, 표 2.3은 본 연구 논문에서 구성된 주요 전력 장치들의 전기적 사양이다.

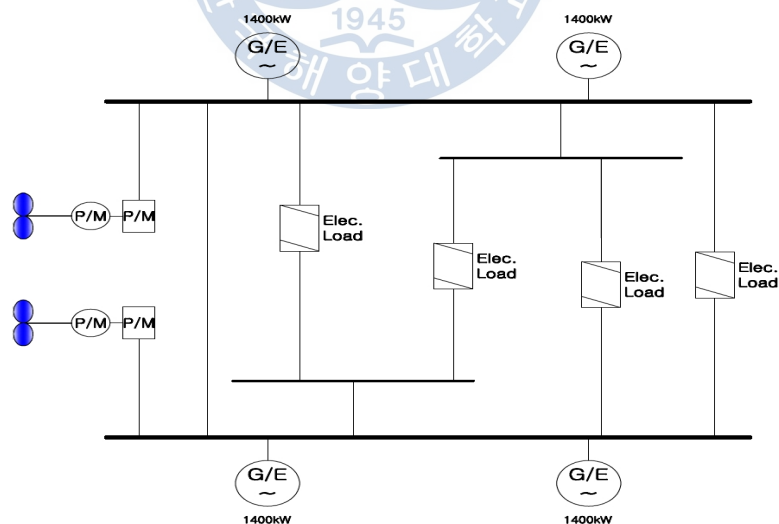


그림 2.1 전력 부하 배치도

Fig 2.1 Power Load arrangement

표 2.3 주요 구성품의 전기적 사양

Table 2.3 Electrical specifications for the major components

Generator		Power	1,400 [kW]	Power Factor	0.8
		Rated Voltage	440 [V]	Frequency	60 [Hz]
		Efficient	96 [%]	Inertia Moment	72 [kgm ²]
		Current	2,493 [A]	RPM	1,800 [rpm]
Propulsion Motor		Type	Induction	RPM	100 [rpm]
		Input Power	1,700 [kW]	Voltage	0.69 [kV]
Motor Drive	Rectifier	Output Power	1,750 [kW]	Output Voltage	0.631 [kV]
		Efficient	96 [%]	DC Link	1,000 [V]
	Inverter	Frequency	0~33 [Hz]	Output Current	897 [A]
Ballast Pump		Power	270 [kW]	Speed	600 [rpm]
		Voltage	440 [V]	Efficient	96 [%]
Compressor pump		Power	170 [kW]	Speed	600 [rpm]
		Voltage	440 [V]	Voltage	95 [%]

제 3 장 전기추진 선박의 특성 해석

발전기의 회전자계는 전기자 권선에 평형 3상 교류 전류가 흐르면 동기 속도로 회전하는 회전자계가 발생한다. 이 회전자계는 항상 자극과 일정한 위치를 유지하면서 회전하며, 그 대부분을 계자의 기자력에 직접적인 영향을 주어 전기자의 유기 기전력에 영향을 미치며, 일부는 전기자 권선인 자기 자신에게만 쇄교하는 자속을 만든다. 그림 3.1과 같이 주자속과 α 자속이 주자속 ϕ 를 감소시키는 작용(감자작용 또는 직축자화작용)을 하며, β 자속이 주자속과 교차 작용을 하여 주자속을 왜곡시키는 작용(편자작용 또는 교차자화작용)을 한다. 전기자 반작용은 발생 전압과 계자 위치 및 전기자 전류의 위상 관계에 따라 크게 3가지로 구분이 되며 표 3.1에 나타내었다.

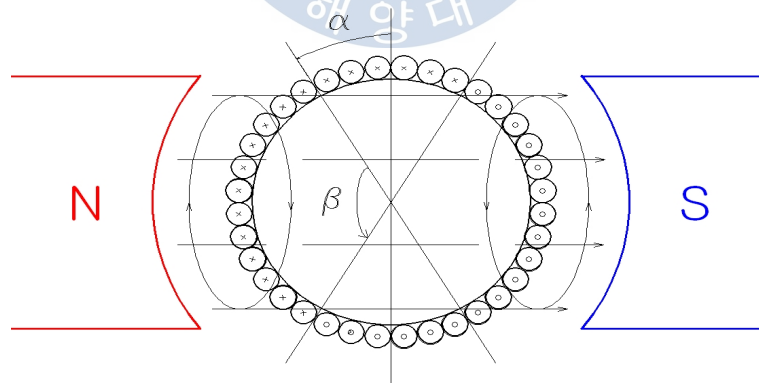


그림 3.1 발전기의 전기자 반작용

Fig 3.1 Generator armature reaction

표 3.1 부하에 따른 발전기의 분류

Table 3.1 Generator condition according to load

역률	부하	전류와 전압의 위상	작용
1	저항	전압과 전류동상	교차 자화 작용 (횡축 반작용)
지상 역률	유도성 부하	전류가 90° 뒤짐	감자 작용 (직축 반작용)
진상 역률	용량성 부하	전류가 90° 앞섬	증자 작용 (자화 작용)

본 논문에서는 발전기 4대로 분할 운전 또는 병렬 운전을 통해 선박의 부하에 전력을 공급하였다. 발전기 병렬 운전을 위해서는 발전기의 출력에 있어서 다음과 같은 조건을 만족시켜야 한다.

첫째, 발전기 출력 전압의 크기가 같아야 한다. 발전기 출력 전압의 크기가 같지 않다면 식 (3.1)과 같이 표현되는 무효순환 전류가 흐른다.

$$I_c = \frac{E_l - E_s}{2Z_s} = \frac{E_r}{2Z_s} [A] \quad (3.1)$$

이 때의 위상은 식 (3.2)와 같다.

$$\theta = \tan^{-1} = \frac{2x_s}{2\gamma_a} = \tan^{-1} \frac{x_s}{\gamma_a} \quad (3.2)$$

둘째, 기전력의 위상이 같아야 한다. 이는 발전기 병렬운전에서 가장 중요한 항목이며, 위상이 일치하지 않으면 한쪽 발전기에서 다른 쪽 발전기가 부하로 작용하게 되면서 급격한 부하가 걸리는 현상이 발생하면서 과전류에 의해 차단기가 동작하게 된다.

기전력의 위상이 같지 않다면 유효 순환전류가 흐르게 되며 식 (3.3)과 같다.

$$I_s = \frac{E_s}{2Z_s(x_s)} = \frac{(E \sin \frac{\theta}{2})}{Z_s(x_s)} [A] \quad (3.3)$$

셋째, 기전력의 주파수가 같아야 한다. 2대의 발전기가 같은 크기의 전압으로 병렬운전 중 어떤 이유로 양 발전기의 기전력 주파수가 다르면 위상이 일치하지 않는 시간이 발생하게 되고, 위상차로 인한 차 전압에 의해 두 발전기 사이에 동기화 전류가 주기적으로 흐르게 된다. 즉 기전력의 크기가 달라지는 순간이 반복해서 생기게 되므로 유효순환전류가 양 발전기간을 상호로 주기적으로 흐르게 되어 난조의 원인이 되며, 심하면 탈조까지 이르게 된다.

넷째, 기전력의 파형이 같아야 한다. 양 발전기의 실효치가 같고 또 위상이 같아도 파형이 다를 경우에는 각 순간의 순시치가 달라지므로 양 발전기간에 무효 횡류가 흐른다. 이 전류는 전기자 동손실을 증가시키고 과열의 원인이 된다.

마지막으로 기전력의 상회전 방향이 같아야 한다. 기전력의 상회전이 같지 않다면 과대돌입 전류가 흐른다. 발전기가 같은 상회전 병렬로 회전을 하게 된다면 이때의 발전기는 서로 동기화력을 지니게 되는데 이때의 동기화력은

$$P = \frac{E^2 \cos \theta_s}{2Z_s x_s} [W] \quad (3.4)$$

가 된다. 반대로 상회전이 달라서 서로 떨어지려는 수수화력은 다음 식과 같다.

$$P = \frac{E^2 \sin \theta_s}{2Z_s x_s} [W] \quad (3.5)$$

3.1 전력조류 해석

전력 시스템의 목적은 전력 계통에 연결되어 있는 각 부하에 유·무효 전력을 공급하는 것으로 전력의 공급은 규정된 전압의 크기와 주파수 범위 내에서 연속적으로 이루기 위함이다. 전력계통 내에서 모든 모선들에 연결된 발전기와 부하, 그리고 모선들을 서로 연결하고 있는 선로들로 이루어진다. 전력 조류 해석의 주요 결과는 각 모선의 전압과 주파수이다. 각각의 데이터들을 파악하면 선로들에 흐르는 전류를 쉽게 결정할 수 있으며, 그 선로를 통해 흐르는 유·무효 전력 또한 쉽게 확인할 수 있다. 본 장에서는 설계한 전력 계통의 모델링이 전압 제한 조건 기준에 적합한지를 검토하였다. 표 3.2에 나타난 선박 전기 설비 기준인 IEC 60092-101에 제시되어 있는 기준을 적용하였다.

표 3.2 IEC 안정도 판단 기준

Table 3.2 IEC stability standard

Division	Standard		Remark
Voltage drop	$\pm 5\%$ less		IEC 60092 - 101
Permanent	Voltage +6% -10%	Frequency $\pm 5\%$	
Transient	Voltage $\pm 20\%$	Frequency $\pm 5\%$	

그림 3.2 ~ 그림 3.7은 선박의 각 운용모드와 상태에 따른 전력 조류의 흐름을 나타낸 것이다. 표 3.3 ~ 표 3.8은 IEC 60092-101에 의거하여 발전량과 부하량의 비교, 발전기 용량, 모선 전압 변동 안정도를 검토한 해석 결과이다.

(1) 여름 정박시

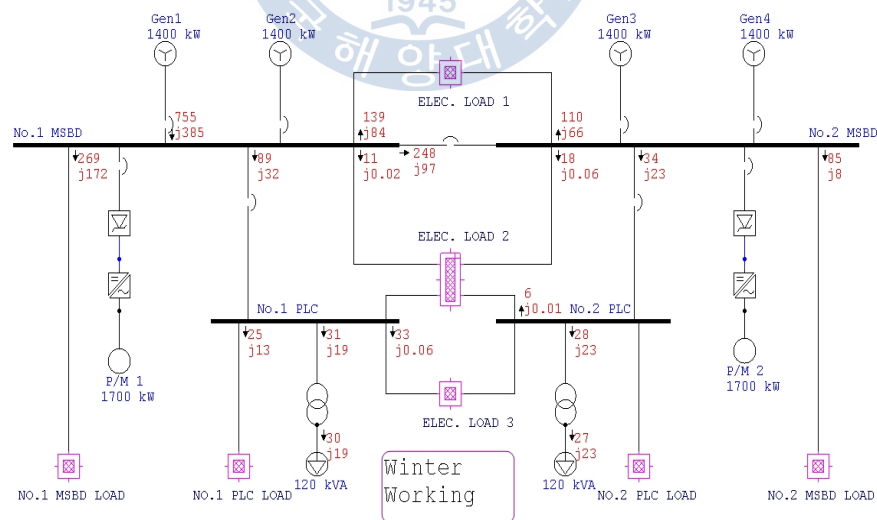


그림 3.2 여름 정박시 전력조류

Fig 3.2 Load flow during the anchoring at summer

표 3.3 여름 정박시 전력조류 해석 검토

Table 3.3 Load flow analysis during the anchoring at summer

구 분		전력조류 해석 결과
발전	운전 대수	1 대
	발전기 역률	89.08 [%]
	출력 전류	1112 [A]
	운전률	53.9 [%]
부하	추진 부하	0 [kW]
	모터부하와 서비스부하	755 [kW]
모선 전압 변동	전압변동률	1 [%]

(2) 여름 운항시

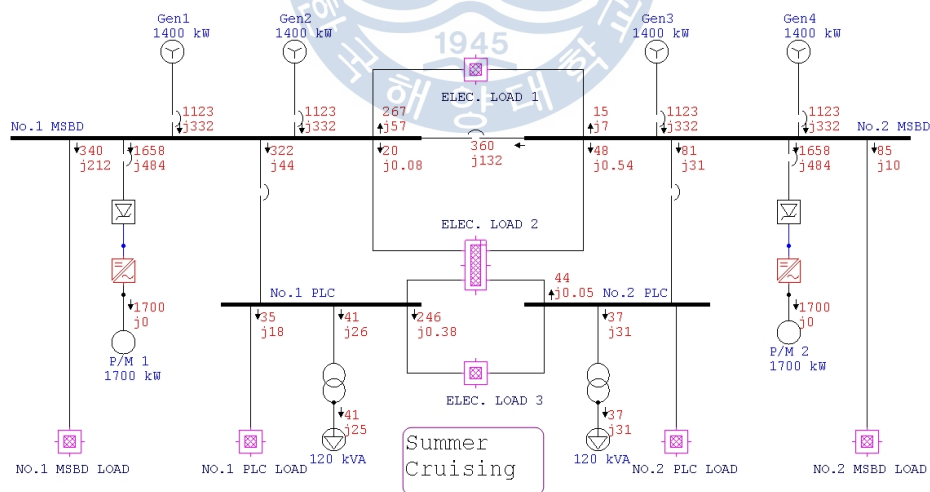


그림 3.3 여름 운항시 전력조류

Fig 3.3 Load flow during the cruising at summer

표 3.4 여름 운항시 전력조류 해석 검토

Table 3.4 Load flow analysis during the cruising at summer

구 분		전력조류 해석 결과
발전	운전 대수	4 대
	발전기 역률	95.89 [%]
	출력 전류	1537 [A]
	운전률	80.2 [%]
부하	추진 부하	3400 [kW]
	모터부하와 서비스부하	1092 [kW]
모선 전압 변동	전압 변동율	1.2 [%]

(3) 여름 작업시

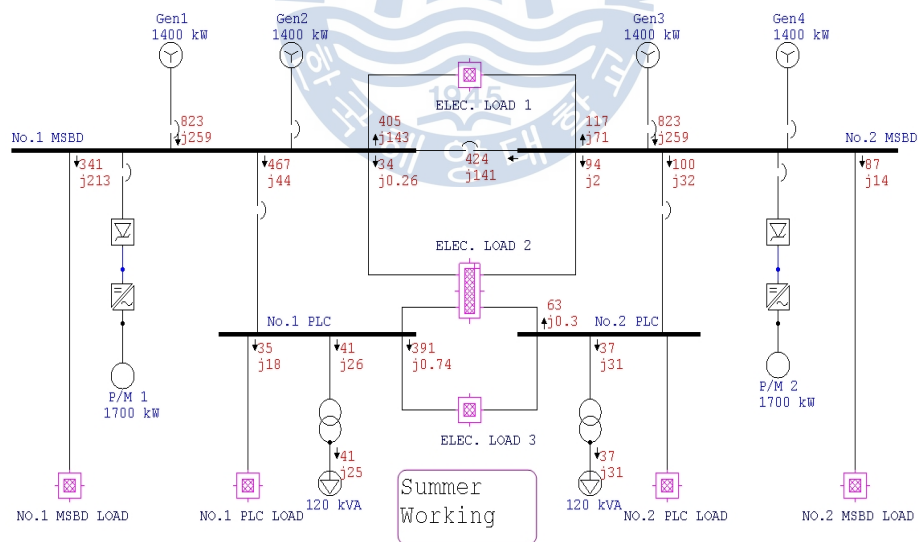


그림 3.4 여름 작업시 전력조류

Fig 3.4 Load flow during the working at summer

표 3.5 여름 작업시 전력조류 해석 검토

Table 3.5 Load flow analysis during the working at summer

구 분		전력조류 해석 결과
발전	운전 대수	2 대
	발전기 역률	95.37 [%]
	출력 전류	1132 [A]
	운전률	58.8 [%]
부하	추진 부하	0 [kW]
	모터부하와 서비스부하	1646 [kW]
모선 전압 변동	전압변동률	1.14 [%]

(4) 겨울 정박시

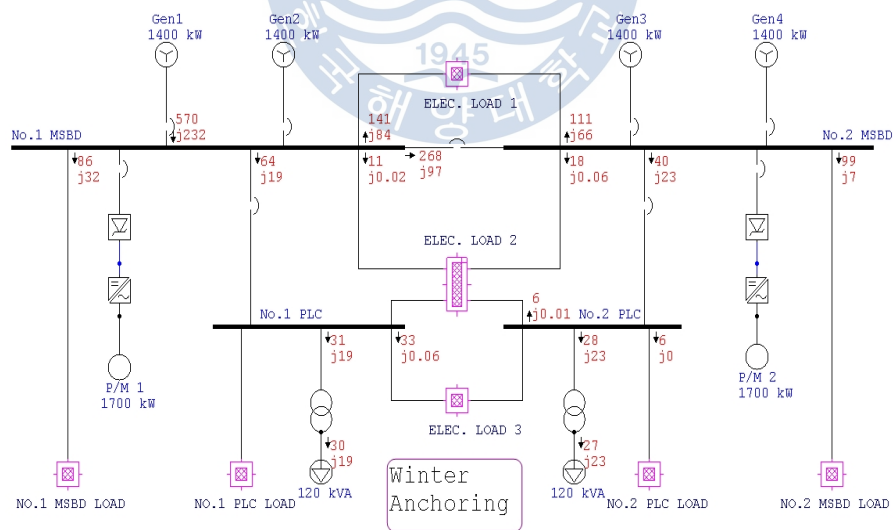


그림 3.5 겨울 정박시 전력조류

Fig 3.5 Load flow during the anchoring at winter

Table 3.6 Load flow analysis during the anchoring at winter

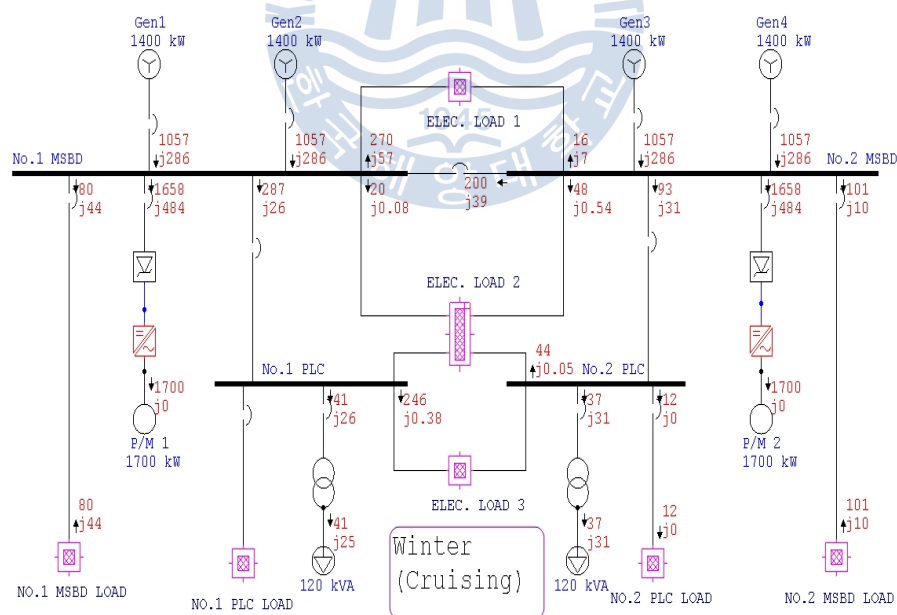


Fig 3.6 Load flow during the cruising at winter

표 3.7 겨울 운항시 전력조류 해석 검토

Table 3.7 Load flow analysis during the cruising at winter

구 분		전력조류 해석 결과
발전	운전 대수	4 대
	발전기 역률	96.54 [%]
	출력 전류	1437 [A]
	운전률	75.5 [%]
부하	추진 부하	3400 [kW]
	모터부하와 서비스부하	1028 [kW]
모선 전압 변동	전압변동률	1.32 [%]

(6) 겨울 작업시

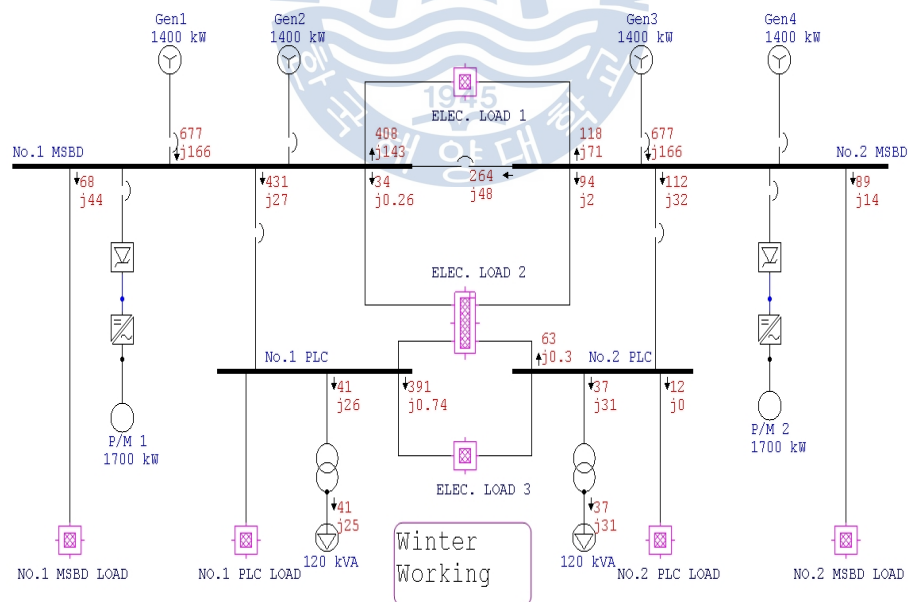


그림 3.7 겨울 작업시 전력조류

Fig 3.7 Load flow during the working at winter

표 3.8 겨울 작업시 전력조류 해석 검토

Table 3.8 Load flow analysis during the working at winter

구 분		전력조류 해석 결과
발전	운전 대수	2 대
	발전기 역률	97.11 [%]
	출력 전류	914.8 [A]
	운전률	48.4 [%]
부하	추진 부하	0 [kW]
	모터부하와 서비스부하	1354 [kW]
모선 전압 변동	전압변동률	1 [%]

이상의 결과를 바탕으로 선박의 운용조건에 따른 전력조류를 해석한 결과 발전기의 운전률은 약 50~80%내외의 운전률을 보였다. 발전기의 역률은 대체적으로 여름철보다 겨울철이 우수함을 보였다. 이는 여름철에는 주로 냉방을 위한 모터 L성분의 부하가, 겨울철에는 난방을 위한 R성분의 부하가 운용됨을 알 수 있다. 모선의 전압변동률 또한 규정에 만족함을 보였다.

3.2 단락회로 해석

단락전류의 산출법은 Ω 법, %Z법, P.U법 등이 있다.

(1) Ω 법

Ω 법은 단락 전원으로부터 고장점까지의 각 임피던스 값을 전부 Ω 으로 환산하여 단락 전류를 산출한다. 단락전류는

$$I_s = \frac{E}{Z} = \frac{E}{\sqrt{R^2 + Z^2}} [A] \quad (3.6)$$

가 되며, 단락 용량은 식 (3.7)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s = 3EI_s = \sqrt{3} VI [VA] \quad (3.7)$$

(2) %Z법

각 임피던스를 기준량, 기준전압에 대한 임피던스로 환산하고 전기 계산에 필요한 양을 %로 표시한 후 Ω의 법칙을 적용하며, 식 (3.8)과 같다.

$$\%Z = \frac{I_n \times Z}{E} \times 100[\%] = \frac{P_n [kVA] \times Z}{10 V^2 [kV]} [\%] \quad (3.8)$$

여기서 단락 전류는

$$I_s = \frac{E}{Z} = \frac{100}{\%Z} \times I_n [A] \quad (3.9)$$

이며, 단락 용량은 식 (3.10)과 같이 나타난다.

$$P_s = \frac{100}{\%Z} \times P_n \quad (3.10)$$

(3) 단위법

적당히 선정된 기준용량을 1.0으로 계통 내의 제량을 이 값과 관련하여 10진법의 비교로써 표시한 것으로, %Z 법과는 단위법을 100배 한 값을

적용한 것만 다르다.

이상의 단락전류 계산법은 어느 것을 사용해도 결과는 동일하게 되므로 %Z법을 주로 사용한다.^[5]

단락전류는 그림 3.8과 같이 직류분과 교류분으로 구성이 되며 교류분 실효치로 표시하는 단락 전류를 대칭 단락전류 실효치라고 한다. MCCB, ACB, 퓨즈의 경우, 이 전류에 따라 선정한다. 직류분은 회로정수(X/R 비)에 따라 크기가 정해지고 시간이 흐름에 따라 감쇄한다.

직류분을 포함한 실효치로 표시되는 단락전류를 비대칭 단락전류 실효치라 하며, 이 전류는 단락 투입 위상에 따라 변한다. 비대칭 단락전류 실효치가 최대로 되는 투입 위상에 따른 비대칭 단락전류 실효치를 최대 비대칭 단락 전류 실효치라 하고, 전선 또는 CT 등의 열적 강도를 검사하는 경우에 이 전류값을 적용한다. 단락 투입 위상에 따라 비대칭 단락전류의 순시치가 변하는데 그 순시치가 최대로 되는 투입 위상에 따른 값을 최대 비대칭 단락전류 순시치라고 한다. 이 전류는 직렬기기의 기계적 강도를 시험하는 경우에 사용된다.

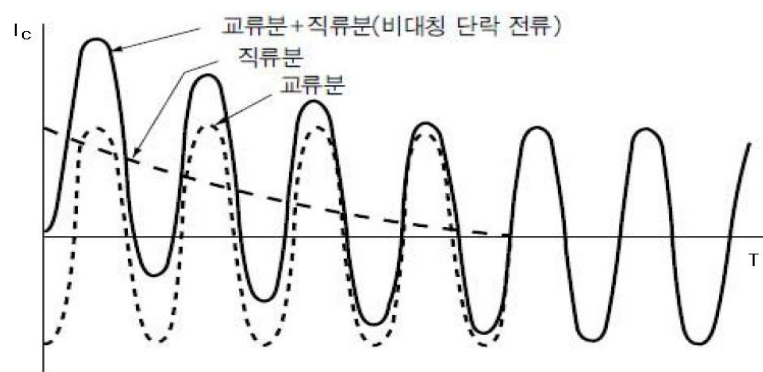


그림 3.8 단락전류의 구성

Fig 3.8 Component of the short-circuit current

전력계통 고장이 발생하면 발전기에서 고장전류를 공급하게 됨은 물론 회전기에서도 고장전류를 공급하게 된다. 전동기가 연결되어 있는 계통에 고장이 발생하면 고장 후 수 Cycle까지는 전동기와 이것에 직결된 부하의 회전에너지(관성)에 의해 전동기는 발전기로 작용하고 자신의 과도 리액턴스에 반비례하는 고장전류를 사고 지점으로 공급한다.

이를 전동기 기여 전류(Motor Contribution Current)라 하며, 유도전동기는 잔류자속만이 영향을 미치므로 수 Cycle 후에는 소멸되고 말지만, 동기전동기는 타여자 방식이므로 감쇄가 비교적 느리다. 전력용 콘덴서도 큰 과도 고장전류를 공급하게 되나 공급 지속시간이 매우 짧고 계통의 주파수보다 높기 때문에 일반적으로 고장전류 공급원에 포함하지는 않는다.

회로 단락시 발생하는 매우 큰 전류로부터 선박의 전원계통 및 관련 장비들을 보호하는데 필요로 하는 차단기 용량을 결정하기 위해 3상 단락 고장 전류를 계산하였다. 표 3.9는 분석대상과 검토사항을 나타낸 것이다.

표 3.9 단락회로 해석의 개요
Table 3.9 Summary of the short circuit analysis

구 분	내 용
목 표	단락 사고에 대비한 시스템 보호
분석대상	본 논문에서 설계한 최대부하인 여름 운항시 주 모선의 3상 단락
해석내용	IEC 60909에 따른 계산 발전기와 연결되어 있는 주 모선의 3상 단락
검토사항	각 모선에 흐르는 단락 전류 및 전압 각 차단기에 흐르는 단락전류

(4) 주 모선의 3상 단락시

최대부하 상태인 여름 운항시 주 모선의 3상 단락과 중앙급전 모선에 흐르는 단락전류를 그림 3.9와 표 3.10에 나타내었다.

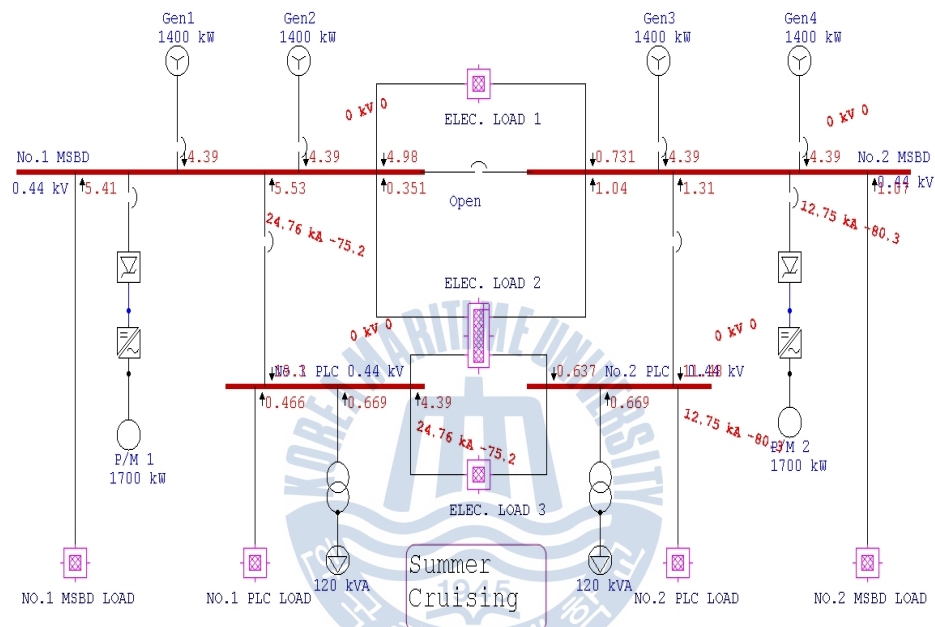


그림 3.9 주 모선 3상 단락시 전류

Fig 3.9 Current of the main bus short-circuit

표 3.10 주요 모선 단락전류

Table 3.10 Main bus short circuit current

구 분	단락전류
No.1 MSBD	24.76 [kA]
No.2 MSBD	12.75 [kA]
No.1 PLC	24.76 [kA]
No.2 PLC	12.75 [kA]

차단기의 용량은 최악의 조건인 주배전반, 중앙 급전반에 3상 단락 고장이 발생할 경우를 적용하여 차단기의 용량을 선정하여야 한다. 또한 본 논문에서는 케이블이 적용되지 않았으므로, 단락전류는 더욱 줄어든 것이다.

3.3 전동기 기동해석

전동기 기동 방식은 인버터를 이용한 Soft 기동방식과 직입 기동, Y - Δ 기동이 있으며, 기동기는 기동뿐만 아니라 정상상태에서 정지시킬 때 또는 회전방향과 속도 조정에도 사용된다.

(1) 직입기동

직입 기동은 별도의 기동기가 필요 없는 가장 경제적인 방법이지만 역률이 낮은 유도기가 정지상태에서 6배에 이르는 큰 전류를 필요로 한다. 따라서 모터 기동시 개폐 스위치는 큰 전류를 감당하게 된다. 이 기동 특성은 3상 모터뿐만 아니라, 단상 유도전동기에도 적용이 된다. 3상 농형 전동기의 경우 회전 방향을 반대로 할 경우 정격 전류의 10~12배의 전류가 요구된다.

(2) Y - Δ 기동

이 기동 방식은 대형 전동기에서 기동시 충격을 제한하는 가장 흔히 사용하는 방식으로, 중성선 전압으로 초기 속도 상승기간 중 모터를 여자시키고 정상 속도에서 상 전압으로 변환해서 각 권선에 선간 전압이 인가되도록 하는 방식이다. 그림 3.10은 Y - Δ 기동기의 접속도와 표3-3은 모델별 접점의 상태를 나타내었다.

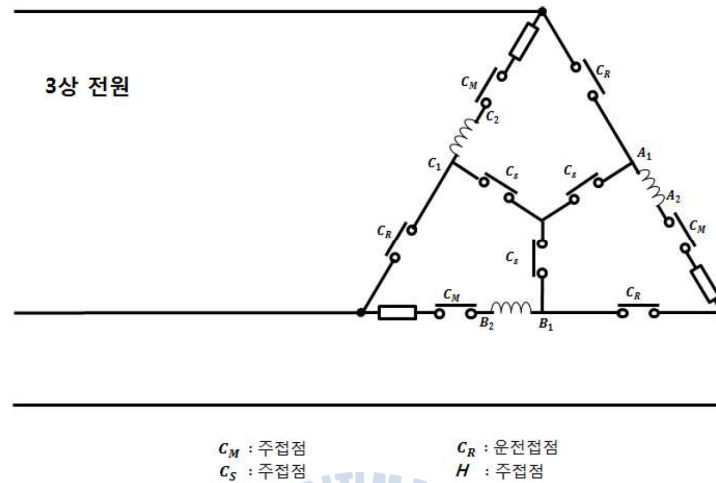


그림 3.10 Y - Δ 기동기의 접속도
 Fig 3.10 Y - Δ connected to the stater

표 3.11 기동 접점 상태
 Table 3.11 Starting contact state

Mode	접점 상태		
	C_M	C_R	C_S
Y	Close	Open	Close
Δ	Close	Close	Open

계통에 연결된 유도기의 기동으로 발전기에 큰 부하가 연결되면 발전기의 단자 전압이 순간적으로 저하되어 선박 전력 계통에 순간적인 과도 전압이 발생할 수 있다. 유도 전동기의 기동시 기동 전류에 의한 순시 전압 강하 계산식 식 (3.11)과 같다.

$$\Delta V = \frac{(X_d'' + X_d')/2}{(X_d'' + X_d')/2 + XL} \times 100(\%) \quad (3.11)$$

여기서, ΔV : 순시전압강하 (%)

X_d'' : 발전기의 초기 과도리액턴스

X_d' : 발전기의 과도리액턴스

XL : 인가하는 부하의 리액턴스

(발전기 정격용량 / 전동기 기동용량)

계산 순시 전압 강하는 초기 과도 리액턴스에 의해 발생하는 전압강하, 무부하 상태의 기동에 의한 순시전압 강하를 나타낸다. 선박용 펌프, 컴프레셔 등은 일반적으로 가격이 저렴하고 내구성이 우수한 유도전동기를 사용한다. 모터의 기동해석시 요구되는 파라미터는 다음과 표 3.12와 같다.

본 논문에서는 270 [kW]급 Y - Δ 기동의 발라스트 펌프와 170 [kW]급 직입식 컴프레셔 전동기 기동해석을 검토한다.

표 3.12 각 전동기별 동적 파라미터

Table 3.12 Each motor dynamic parameter

Name	%LRC	%PF	%LRT	%MaxT	Inertia	
					[H]	[lb·ft ²]
B / P	557.3	20.63	35.56	218.2	0.21	292.3
C / P	576.1	19.47	38.12	244	0.12	269.8

$$\ast lb \cdot ft^2 = kgm^2 \times 2.2 \times 3.28^2$$

$$H = \frac{5.48 \times 10^{-9} \times WR^2 \times r/min^2}{MVA}$$

(3) 발라스트 펌프 기동해석

그림 3.11은 Y - Δ 기동식 발라스트 펌프가 주로 사용이 되는 정박시 모선 전압 변동을 나타내었다. 표 3.13은 그 결과에 대한 검토사항을 나타내었다.

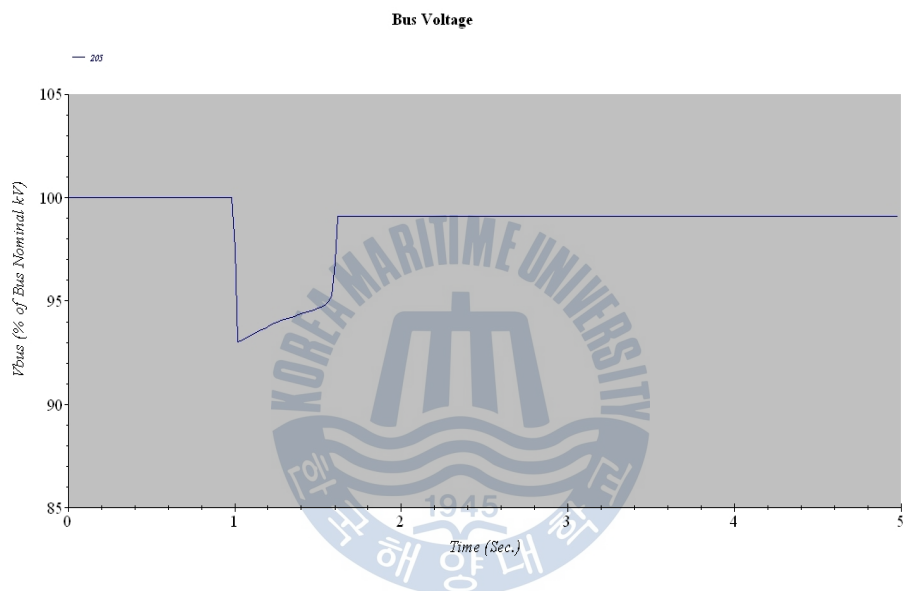


그림 3.11 발라스트 펌프 기동시 모터의 단자 전압

Fig 3.11 Motor terminal voltage of the ballast pump start

표 3.13 발라스트 펌프 기동 해석 결과

Table 3.13 Result of the analysis start ballast pump

구분	상태
모선 전압 변동율	- 7.8 %
과도 상태 시간	0.6 sec
정상상태의 모선전압	98.6%

(4) 컴프레서 펌프 기동해석

그림 3.12은 직입 기동식 컴프레서 펌프가 주로 사용이 되는 여름 작업 시 모선 전압 변동을 나타내었다. 표 3.14는 그 결과에 대한 검토사항을 나타내었다.

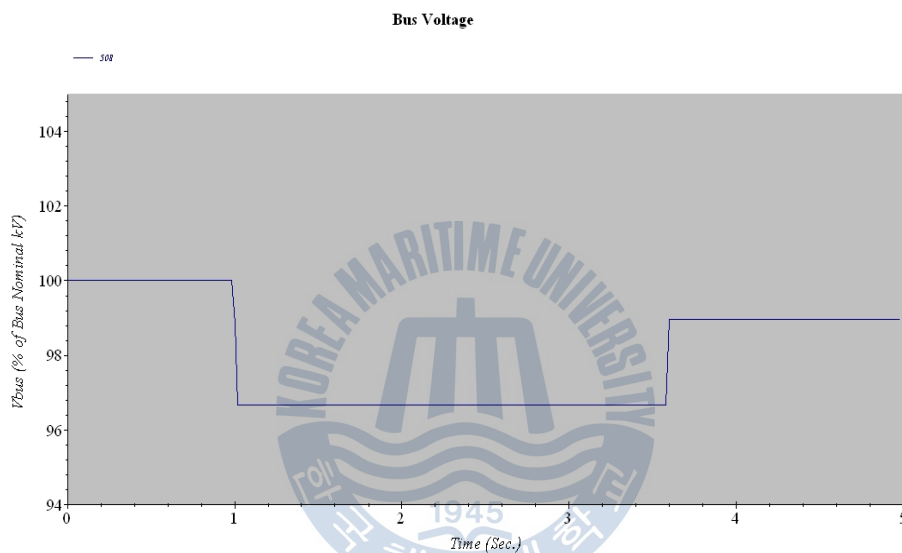


그림 3.12 공기압축기용 펌프 기동시 모터 단자 전압

Fig 3.12 Motor terminal voltage of the compressor pump start

표 3.14 컴프레서 기동 해석에 대한 결과 검토

Table 3.14 Result of the analysis start compressor pump

구분	상태
모선 전압 변동율	- 5.2%
과도 상태 시간	2.6 sec
정상상태의 모선전압	99.2%

3.4 과도 안정도 해석

갑작스런 부하의 탈락과 투입, 전원의 변동은 전력 시스템을 전반적으로 불안정하게 한다. 이와 같이 사고가 발생하게 되면 발전기의 탈조로 인하여 전압과 주파수의 변동이 발생하게 되어 설비가 불안정할 경우 전력 시스템 전체가 붕괴되는 현상이 발생할 수 있다^[6]. 따라서 사고 발생시 과도현상이 전력계통 내에 미치는 영향과 현상을 고찰하였다.

(1) 발전기의 탈락

최대 부하인 여름 운항시 발전기 1대가 탈락이 되는 상황을 고려하여 모선 전압과 주파수 응답을 관찰하였다. 자동 절환 모션방식으로 전원이 불안정할 경우 전원 공급이 안정적인 모션으로 자동 절환 혹은 차단되어 전력계통의 부하에 전력공급을 원활히 하였다. 또한 과도현상시 안정도 판단은 IEC 60092-101의 기준으로 검토하였다.

그 결과 모선의 전압 응답은 그림 3.13과 같이 1.7%의 전압 하강 후, 서서히 제어가 되며, 3초 이후 정상상태로 복귀하였다. 모선의 주파수 응답 또한 1% 하강 후 발전기의 제어가 되어 정상상태로 복귀하였으며, 그림 3.14에 나타내었다.

이는 발전기의 탈락에도 전력계통의 관성이 크기 때문에 즉시 제어가 되어 정상상태로 복귀가 가능하다.

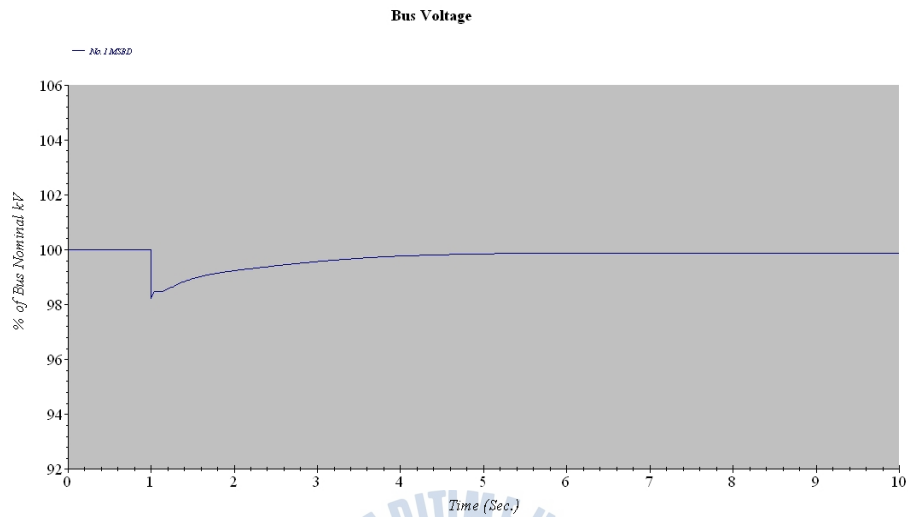


그림 3.13 발전기 1대 탈락시 모선의 전압
Fig 3.13 Bus voltage when eliminated 1 generator

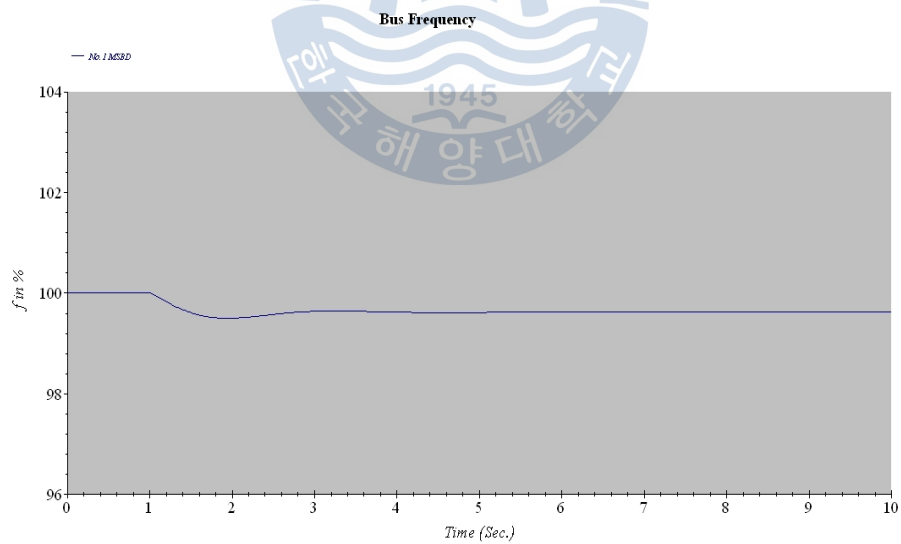


그림 3.14 발전기 1대 탈락시 모선의 주파수
Fig 3.14 Bus frequency when eliminated 1 generator

(2) 추진부하의 탈락

최대 부하인 여름 운항시 전체 부하의 74.1%를 차지하는 추진부하 중 하나가 탈락이 되었을 때의 상황을 설정하였다. 그 때의 전압변동은 그림 3.15와 같다. 추진부하 탈락 후 2% 상승하였다가 0.5초 후 제어가 되며, 다시 정상상태로 복귀하였다. 모선의 주파수 응답 또한 그림 3.16과 같이 1% 내외로 변동하였을 때 규정에 만족하였다.

급격한 부하의 탈락시에도 전력계통의 관성이 크기 때문에 모선의 전압과 주파수 응답이 안정함을 알 수 있다.

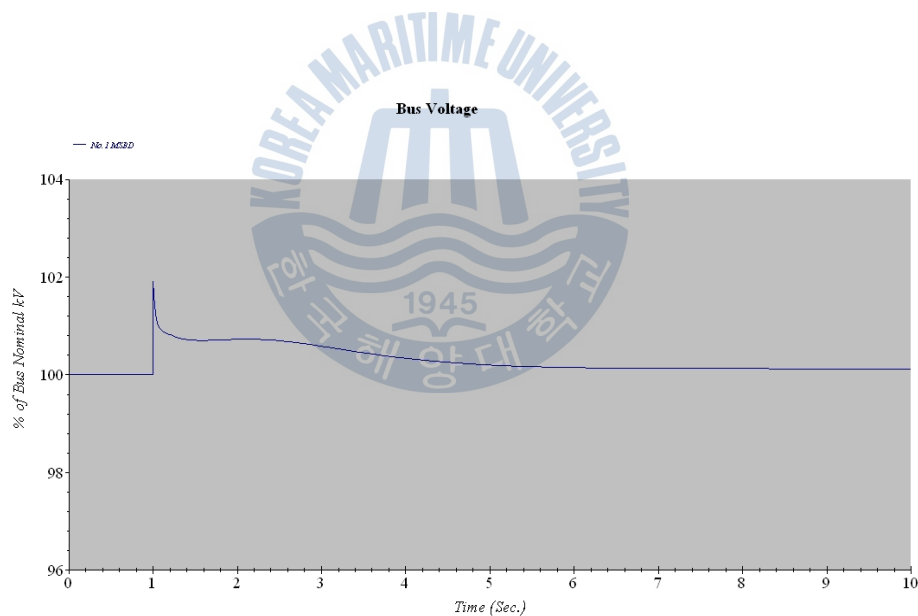


그림 3.15 추진부하 1대 탈락시 모선의 전압

Fig 3.15 Bus voltage when eliminated 1 propulsion motor

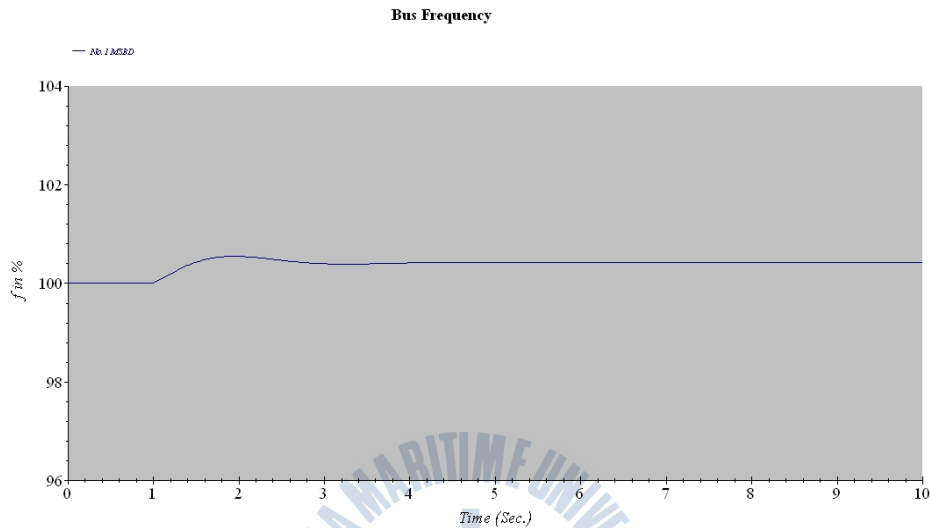


그림 3.16 추진부하 1대 탈락시 모선의 주파수
Fig 3.16 Bus frequency when eliminated 1 propulsion motor

3.5 고조파 분석

IGBT 전력전자 제어 기술의 발전에 따라 다이오드, 싸이리스터, IGBT 등을 이용한 전력기기가 급격하게 증가하는 추세에 있으며, 이와 함께 정현파 전압 공급 시 비정현파 전류가 발생하는 비선형 부하가 급증하고 있다. 전력전자소자를 사용하는 대부분의 전력변환장치가 고조파 발생의 주요 원인이 된다.

본 논문에서 적용 예정인 인버터, 컨버터 등으로부터 고조파 전류가 발생하여 전력계통측으로 유입된다.

단상 비선형 부하의 경우 3, 5, 7, 11차 등 홀수 차수 위주로 고조파가

발생하며, 삼상 비선형 부하의 경우 5, 7, 11, 13차 고조파 위주로 고조파가 발생한다. 고조파와 전자파 노이즈의 특징은 표 3.15와 같다. 고조파는 기본파 주파수의 제 50차까지의 성분을 의미하며, 부하전류에 비례하여 정량적으로 나타난다. 본 논문에서 설계한 전기추진선박에서는 추진전동기 구동시스템의 모터드라이브에서 흐르는 전류가 가장 크므로 고조파 발생량도 가장 크다.

표 3.15 고조파와 전자파 노이즈의 특징

Table 3.15 Features of harmonics and electromagnetic noise

구분	고조파	전자파 노이즈
주파수	제 2차에서 제 50차까지 - 50Hz인 경우 100~2.5kHz - 60Hz인 경우 120~3.0kHz	고주파 10kHz~MHz 범위
형태	정량적	무작위로 발생
발생량	부하전류에 비례	전류변화율이 클수록 증가 고속 스위칭일수록 증가

고조파가 전력 설비에 미치는 영향을 정리하면 표 3.16과 같다. 이중 가장 장애가 많은 기기는 전력용 콘덴서와 리액터, 변압기, 발전기 및 전동기 등이다.

표 3.16 고조파가 전력설비에 미치는 영향

Table 3.16 Effects of harmonics in power plant

기기명	고조파가 미치는 영향
변압기	- 철손, 동손 증가 - 발열/소음 - 용량 감소
전력케이블	- 과열 - 용량 감소 - 절연파괴 - 코로나 발생
전력용 콘덴서 직렬 리액터	- 특정 차수 고조파에서 공진의 발생 - 과열에 의한 절연물 소손 - 수명감소
발전기/ 전동기	- 철손, 동손의 증가 - 과열 - 효율저하 - 정상 진동 토크와 소음 발생 - 축계의 비틀림 진동
전자장비	- 신호수신 불량 및 오동작 - 전압 Notching 현상
정지형 전력변환 장치	- 콘덴서 사용시 과열 - 비정수 고조파 발생 - 제어회로의 부품 고장 및 오동작
지시 계기	- 측정값 오차 - 오동작
개폐기/계전기	- 열과 손실 발생 - 국부적인 절연 손상 - 퓨즈의 용량 감소 - 설정 Level 초과 - 위상 변화에 의한 오,부동작
통신	- 통신상태 저하 - 유도장해 발생

고조파의 영향으로부터 전력계통을 보호하기 위하여 전력 계통의 고조파 전압을 적정수준 이하로 규제하고 있으며, 고조파 전압 규제치의 판단 기준으로 THD(Total Harmonic Distortion : 전체 고조파 왜형율)를 사용한다. THD는 기본파 파형 대비 고조파 전압의 총합 함유의 정도를 나타내며 식 (3.12)에 의해 계산되어진다.

$$V_{THD} = \frac{\sqrt{\sum_{n=2}^{\infty} V_n^2}}{V_1} = \frac{\sqrt{V_2^2 + V_3^2 + V_4^2 + \dots + V_n^2}}{V_1} \quad (3.12)$$

선박 분야에서는 주로 적용하고 있는 고조파 규제 기준을 정리하면 표 3.17과 같다. THD는 일반적으로 5%를 적용하고 있으며, 개별 고조파 왜형율은 3%를 적용하고 있다. 전력계통과 기기측의 장애 방지를 위한 고조파 저감 대책을 요약하면 표 3.18과 같다. 추진 전동기 구동시스템에는 입력측과 출력측에 적절한 필터를 설치하여 고조파 발생을 최소화해야만 한다.

표 3.17 고조파 규제 기준

Table 3.17 Harmonic regulation standard

Standards	Harmonics %		Comment
	Max THD	Max single	
Def Stan 61-5	5 %	3 %	Max THD up to 50th
STANAG 1008	5 %	3 %	
Llotds Naval Rules	8 %	1.5> 25th	Max THD up to 50th
IEC 60092-101	5 %	3 %	
IEEE Std 45	5 %	3 %	

표 3.18 고조파 저감 대책

Table 3.18 Harmonic reduce prevention

항 목	고조파 저감 대책
고조파 장해 예방	6%, 13% 직렬리액터 삽입 전원 설비 용량 증가 커패시터, 직렬리액터 용량 변경
전력계통	전력변환기기의 다상화 과도한 위상제어의 억제 교류 고압 필터의 설치
기기측 장해 방지	수동, 능동 필터 설치 기기 자체의 고조파 내량 강화

1. 모터 드라이브의 고조파 분석

(1) 모터드라이브 고조파 시뮬레이션 개요

전력계통으로 고조파가 전파되는 양상을 알아보기 위하여 고조파 발생량이 가장 많은 추진 전동기 구동시스템에서 발생하는 고조파가 배전계통으로 전파되는 양상을 분석하였다. PWM정류기는 IGBT 또는 MOSFET과 같은 전력용 스위치 소자를 사용하며, 펄스 폭을 변조하여 출력 전압을 제어한다. 통상 전압형 PWM 정류기가 전류형 PWM 정류기보다 많이 사용이 된다. 전압형 PWM 정류기는 캐패시터에 의해 리플 전압이 작아지게 되어, 출력 전압이 발생하게 되기 때문이다. PWM 인버터는 직류 전원을 교류 전원으로 변환하기 위해 IGBT 또는 IGCT와 같은 전력용 스위칭 소자를 사용한다. 그림 3.17은 본 논문에 적용된 모터드라이브 구성도이다.

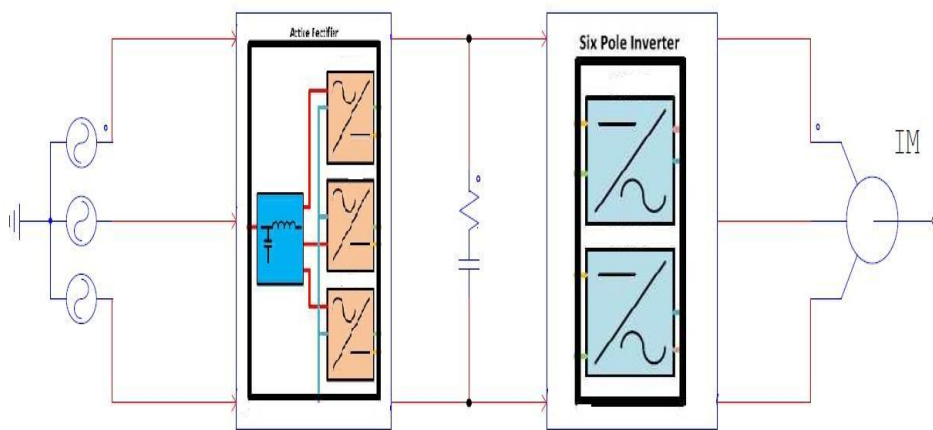


그림 3.17 모터드라이브 구성도
Fig 3.17 Motor drive configuration

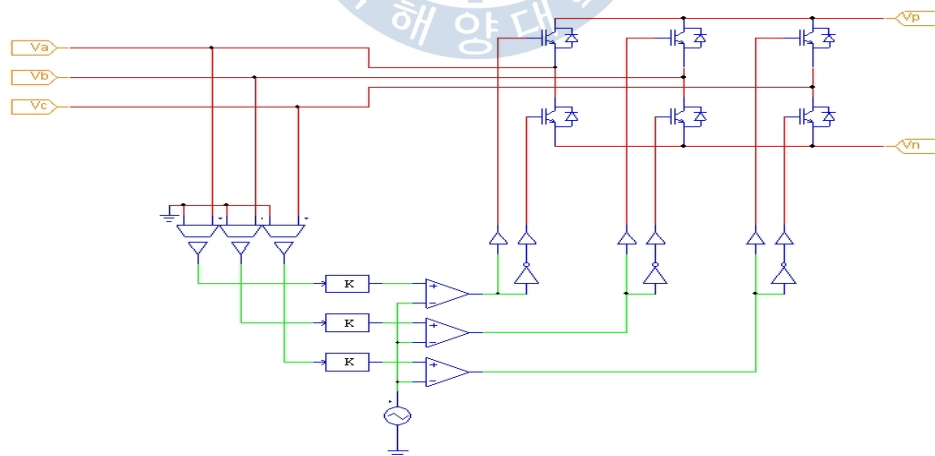


그림 3.18 모터드라이브 PWM 정류기
Fig 3.18 Motor drive PWM rectifier

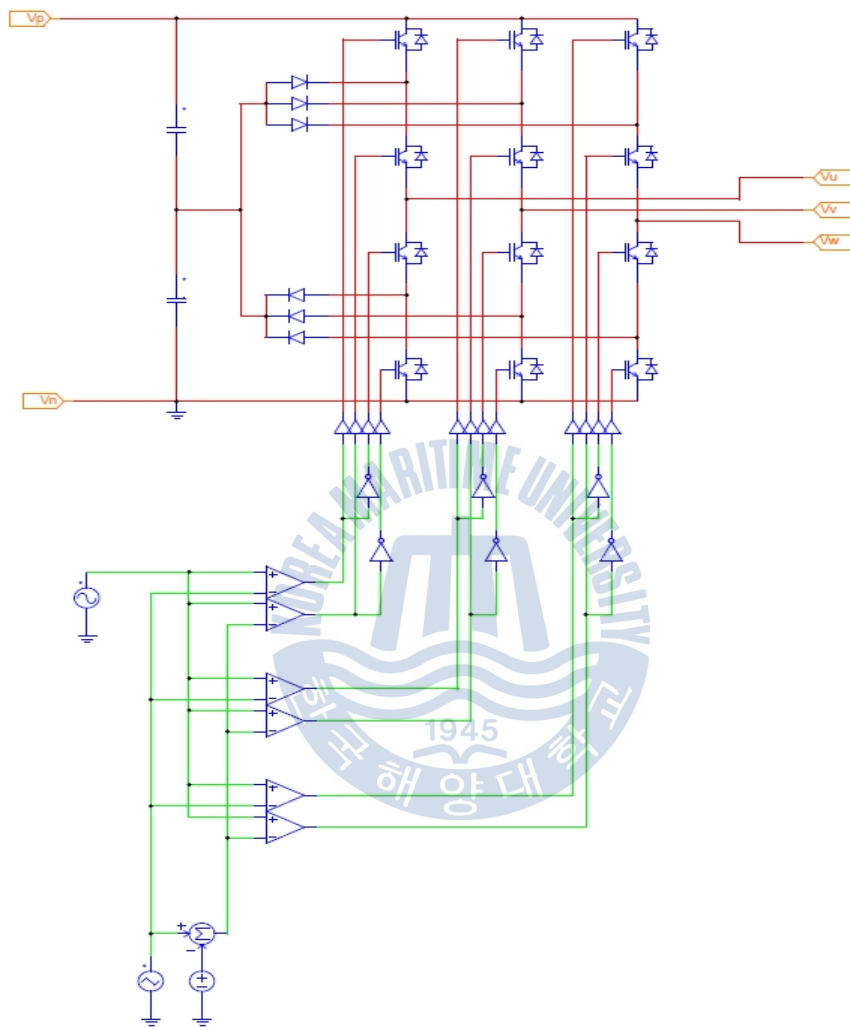


그림 3.19 모터 드라이브 PWM인버터
Fig 3.19 Motor drive PWM inverter

(2) 추진 모터를 사용하지 않을 경우

여름 운항 모드에서 추진 모터를 구동하기 위한 모터 드라이브를 운전하지 않을 경우 No.1 MSBD에서는 그림 3.20과 같은 파형이 측정된다.

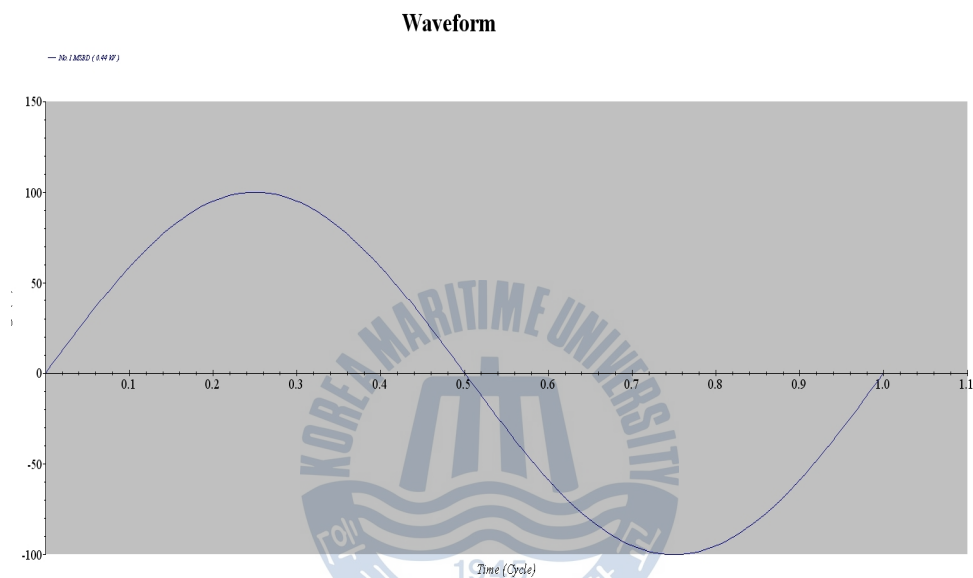


그림 3.20 모터드라이브를 운전하지 않을 경우 모션 파형
Fig 3.20 Wave when unused a motor drive

부하의 변압기, 컴퓨터 등 고조파를 발생 시킬 수 있는 부하 용량이 상대적으로 발전용량에 비해 적기 때문이다.

(2) 추진 모터를 사용 할 경우

추진 모터를 구동하기 위해 앞서 구성한 모터드라이브를 운전할 경우 그림 3.21과 같이 THD 6.55% 함유된 고조파가 함유되어 왜곡된 파형이 모션에 측정이 되었다.

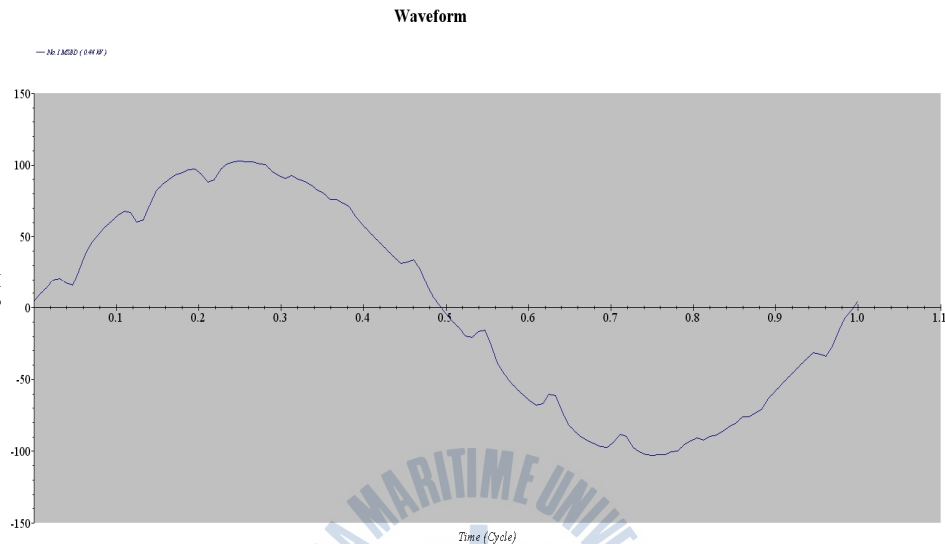


그림 3.21 모터드라이브를 운전할 경우의 모션 파형

Fig 3.21 Wave when used a motor drive

추진 모터의 기동시 PWM 정류기와 인버터에서 고조파 성분이 함유되어 배전 계통에 영향을 미치고 있다. 또한 6.55%로 IEC 60092-101의 총 고조파 왜율 규제 5%를 초과하고 있다.

(4) 필터 용량 산출 방법

특정 주파수가 전력계통에 유입하는 것을 방지하려는 경우 관련 주파수에 대해 낮은 임피던스 값을 갖는 인덕터와 캐패시터로 구성된 필터를 이용하여 줄일 수 있다.

고조파 전류는 다음과 같은 식으로 산출된다.

$$I_n = I_1 \times \frac{\%I_n}{100} \times A$$

여기서 I_n : n 차 고조파 전류

I_1 : 기본파 입력 전류

$\%I_n$: n 차 고조파 전류 함유율

A : 최대 가동률

정류기와 인버터가 가진 고조파 용량을 환산 용량의 총합으로 계산된다. 여기서 환산 용량으로 환산하기 위한 환산 계수(K_i)는 고조파 발생기기로 부터 발생한 고조파 전류가 그대로 전원측에 유출될 때 전압왜형률의 비를 말한다. 전원 임피던스를 순수 리액턴스로 가정하게 되는데 이는 발전기의 리액턴스가 저항보다 값이 크기 때문에 저항값을 무시할 수 있기 때문이다.

$$P_0 = \sum K_i P_i$$

여기서 P_0 : 등가용량(인버터환산)

P_i : 입력정격용량(kVA)

K_i : 환산계수

K_i 는 환산계수로 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$K_i = \frac{\sqrt{\sum (n \times \%I_n)^2}}{\sqrt{\sum (n \times \%I_1)^2}}$$

이상과 같은 식을 근거로 필터 용량을 산출한다.

(5) 고조파 필터를 적용한 경우

여름 운항시 전 고조파 왜율 시뮬레이션 결과 그림 3.22와 같이 총 고조파 왜율 2.55%로 나타났으며, 기준치 이내인 5% 이내를 만족하였다.

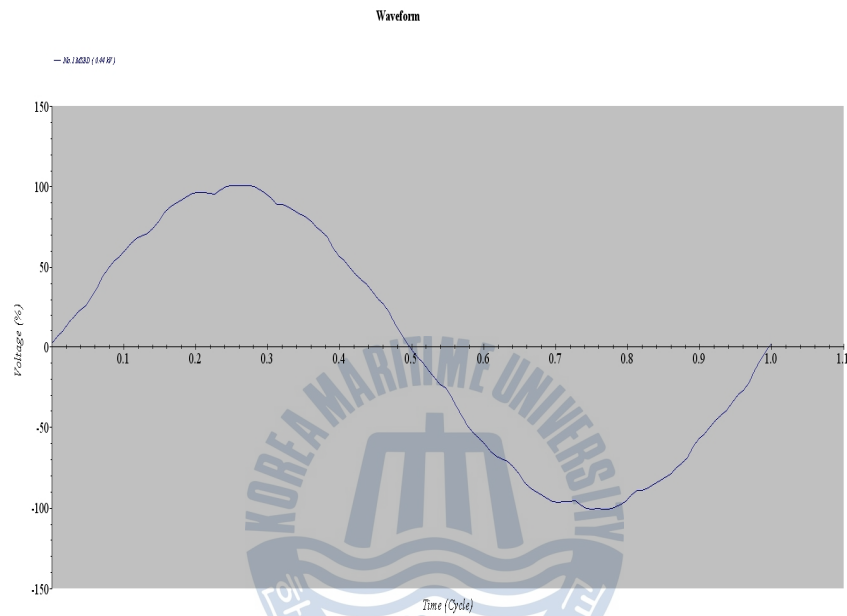


그림 3.22 필터가 적용된 모선의 전압 파형

Fig 3.22 Wave when Filter applied

제 4 장 결 론

본 논문에서는 전기추진 시스템을 적용한 선박의 전력 부하 구성과 배치, 발전기의 선정 등과 더불어 전력 시스템의 전력 특성을 검토하였다. 검토 사항은 전력 조류해석, 단락 회로 해석, 모터 기동시 해석, 과도현상 해석, 추진모터 사용시 고조파 해석 등이며, 모든 해석은 전력 과도 현상 해석 프로그램인 ETAP을 이용하였다. 각 해석에 대하여 선박 전기 설비 전압과 고조파 제한 조건인 IEC Std 60092-101을 적용하여 결과를 비교 검토하였다. 이러한 해석을 바탕으로 하여 본 논문을 요약하면 다음과 같다.

1. 전기식 추진 체계의 부하구성과 배치, 발전기의 용량과 수량을 선정 후 모델링을 하였다. 각 운항 상태별로 전력 조류해석 결과 발전기는 최대 80.2%의 부하율로 운전되며 전압 변동률은 규정에 만족하였다.
2. 주모선 단락 사고 발생을 가정하여 주모선과 중앙공급모선의 3상 단락을 가정하여 단락 전류를 계산하였다.
3. 부하의 구성 중 부하가 가장 큰 모터 사용이 되는 운항 모드에서 모터 기동시 모선의 전압 강하를 통해 전력계통 안정도를 계산하였다.
4. 추진부하의 탈락으로 인한 부하의 변동과 발전기의 탈락으로 인한 전원 변동이 발생시, 과도현상에 대하여 해석함으로써, 내구성이 있는 전력계통임을 검증하였다.

5. 추진 전동기 사용시 고조파 해석을 통하여 필터를 선정 고조파 규제 5%미만에 만족하고 있음을 검증하였다.

이상의 결과로부터 전력계통 모델링과 분석으로 전력계통 설계가 타당함을 판단 할 수 있다. 따라서 모델링한 다목적 전기추진 선박의 전력 특성해석과 성능 개선을 통하여 고부가가치 선박인 군함 및 해양 연구선 등의 전기추진 시스템을 적용할 수 있어, 선박 전력계통의 해석 및 설계에 도움이 될 것으로 생각된다.



참 고 문 헌

- [1] 남택근 ‘전기추진 선박의 최근동향’ 누리미디어 2005
- [2] 김효민 한국해양대학교 대학원 “다목적 특수선의 전기추진 시스템 제어방식 선정에 대한 연구” 2011.08 pp1
- [3] 한국해양공학회지 “쌍동형 배수량 2.5톤 급 어선의 전기추진 시스템 운항 성능 추정 프로세스 연구” 2013.10
- [4] 이상곤 동아대학교 대학원 “전기추진 선박용 구동시스템의 운전별 전력 및 동력 특성 분석” 2010.02 pp2
- [5] 한국전기 연구원 “단락전류 계산 및 차단기 용량 선정” 2013.07 pp159
- [6] 정상용 “전기의 세계 선박용 전기추진 시스템 모델링 및 분석” pp44
- [7] 김소연 “Suppression of the Thrust Loss for the Maximum Thrust Operation in the Electric Propulsion Ship” 서울대학교 석사학위 논문 2007년 2월
- [8] Oroua A., Domaschk L., Beno J.H., “Electric Ship Power System Intergration Analyses Through Modeling and Simulation”, Electric Ship Technologies Symposium 2005 IEEE, pp.70-74, 25-27 July 2005
- [9] Wang, Z. and Liu Y., “Modeling and Simulation of a Cyclo-Converter Drive System for Harmonic Studies”, IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol.47, No.3 pp 533-541, 2000.
- [10] 전원 “선박용 전기추진 시스템 모델링 및 운전특성 분석 2008년 학사 논문
- [11] 박병주, “전력계통의 고조파 억제 기술” 월간전기 9월호, pp. 42~53, 2009

- [12] 김주완, 이충열, 서근경 “전기추진선을 위한 고조파 제어 사례 연구” 대한조선학회 특별논문집, 2008년 9월, pp.38~45
- [13] Baliga, B. K. Modern Power Electronics and AC Drives, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 2001, Chap. 1.
- [14] Baliga B. K Power Semiconductor Devices, Boston : PWS Publishing Co., 1995
- [15] R.E.Hebner, "Electric Ship Power System-Research at the University of Texas at Austin" , IEEE Electric Ship Technologies Symposium, pp.34-38, 25-27 July 2005
- [16] Timothy J. McCoy, "Trend in Ship Electric Propulsion", IEEE, Vol.1 pp.43~346, 2002
- [17] N. Bianchi and S. Bolognani, " Design Technical for reducing the Cogging Torque in Surface-Mounted PM", IEEE Trans. Ind. Applicat., Vol 38, pp.1259-1265, Sept./Oct. 2002
- [18] 최시영, “불평형 부하에서의 능동 필터에 관한 연구”, 전기학회 논문지, Vol. 50B, No. 3, pp. 130~140, 2001.
- [19] IEEE Std 60092-101, "Electrical installation in Ship" part 101 : Definitions and General Requirements
- [20] S. Woodruff "Real Time Digital Harmonic Modeling And Simulation : An Advanced Tool for Understanding Power System Harmonic Mechanisms", IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol 1, pp. 773-776, 6-10 June 2004
- [21] Enjeti, P, N., Ziogas P. D., and Lindsay, J. F., Programmed PWM Techniques to Eliminate Harmonics : a critical evaluation, IEEE Transactions on Industrial Vol . 26, no. 2, pp. 302 1990