

전기 추진선 체계통합기술 소개

강호근⁺·강재성⁺⁺·류승남⁺⁺⁺·강희진⁺⁺⁺⁺·이진태⁺⁺⁺⁺

Introduction of System Integration Technologies about Electric Propulsion ship

Ho-keun Kang⁺, Jae-sung Kang⁺⁺, Seung-nam Ryu⁺⁺⁺, Hui-jin Kang⁺⁺⁺⁺, Jin-tae Lee⁺⁺⁺⁺

Abstract : 정보통신 기술의 발달과 환경오염 문제의 심각성에 대한 인식 때문에 근래에 선박에 새로운 개념이 도입되고 있다. 전전기 스마트선은 전기 추진체계를 포함한 선박 내 모든 전력계통 구성품의 관련 요소들을 선박의 목적과 특성에 맞게 운영 되어지는 신개념의 선박이다. 이 연구에서는 전전기선 체계통합 시스템에 대하여 설명할 것인데, 이는 선박의 추진 및 전력, 기관제어계통 등 전체 시스템에 대한 획득 및 수명주기 비용 절감을 위한 통합 관리 체계를 목적으로 한다. 전기추진체계를 이해하기 위해서는 선박 내에 모든 전력 구성품의 통합 적인 이해가 필요 하며, 이를 위해서 전력제어, 전력배전, 통합 최적화를 위한 개념에 대해서 정확히 이해하여야 한다. 이 연구에서는 체계통합기술의 전반적인 이해를 돕는 데에 있다.

Key words : 전전기(All Electric), 스마트선(Smart ship), 전기 체계통합기술(Technologies of Integrated Power system), 환경오염(Environmental Pollution), 전기 추진선 체계통합기술(System Integration Technologies of Electric Propulsion ship), 전력제어(Power management), 전력배전(Power Distribution), 통합 최적화(동시최적설계, Simultaneous Optimization)

전기 추진선 체계통합기술 소개
Introduction of System Integration Technologies about Electric Propulsion ship

(사)한국선급
해사연구팀
강호근, 강재성, 류승남,
강희진, 이진태

전기 추진선 체계통합기술

- 개요
- 전력제어계통
 - 자동전력관리시스템 (PMS)
 - 전기안전제어 시스템
 - 부하차단/분배
 - Automatic Blackout Recovery
- 전력배전계통
 - 전압선정방식
 - 배전방식
 - 필수 공급 전력부하 급전 및 분전 안정성
- 통합최적화
 - 동시 최적설계(Simultaneous Optimization)
 - 위험도기반설계(Risk Based Design) 및 분석/평가(Risk Assessment)
 - 안전진단(Safety Diagnosis)

전기 추진선 체계통합: 개요

- 정의
 - 전기추진체계를 포함한 선박 내 모든 전력계통 구성품의 관련 요소들을 선박의 목적과 특성에 부합되게 운용되도록 체계를 최적화 통합 구성하는 것을 의미함
- 목적
 - 선박의 추진 및 전력, 기관제어계통 등 전체 시스템에 대한 획득 및 수명주기 비용 절감을 위한 통합 관리 체계 확립
- 핵심 고려사항(설계단계에서부터 통합 연동 설계 개념을 고려한 기술 협조가 중요)
 - 기관 및 선박 내 구획 배치 측면
 - 선박의 구조 및 구성 개념 고려요건
 - 선박 필수 공급 전력의 품질 및 생존성 요건
 - 추진 발전기 및 추진 전동기용 보조기기 및 관련 기계장치 구성 및 배치 관련 설계 요건
 - 선박/항정의 운용 목적에 따른 특수 기술 요건

□ 전기추진 관련 단위 장비/구성품 제작사는 선박 전체 전기추진체계와 관련된 체계 통합 설계/연동 측면 검토 능력이 부족

□ 향후, 예측하지 못한 결과에 대한 고려 필요(시스템 조립 후 검토 필요)

전기 추진선 체계통합: 구성시스템

- Typical system of all electrical ship
 - Generator sets complete with prime movers and engine controls
 - HV/LV Switchboards, distribution systems and group starter boards
 - Propulsion and thruster motors complete with power electronic variable speed drives
 - Power conversion equipment
 - Shaft braking
 - Power factor correction and harmonic filters (as necessary)
 - Power management
 - Machinery control and surveillance
 - Dynamic positioning and joystick control
 - Machinery control room and bridge consoles
 - Setting to work and commissioning
 - Operator training

+ 강호근(한국선급 해사연구팀 연구원),E-mail:hkkang@krs.co.kr, Tel: 042)869-9215

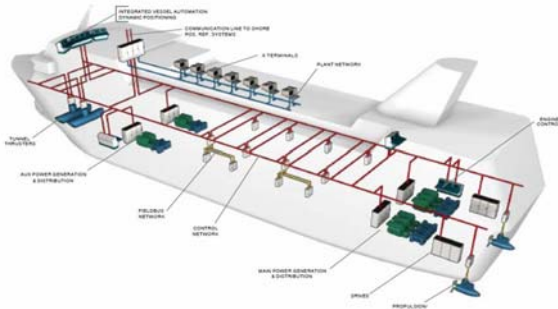
++ 한국선급 해사연구팀 연구원

+++ 한국선급 함정 기술팀 연구원

++++ 한국선급 해양연구원 연구원

+++++ 한국선급 해양연구원 연구원

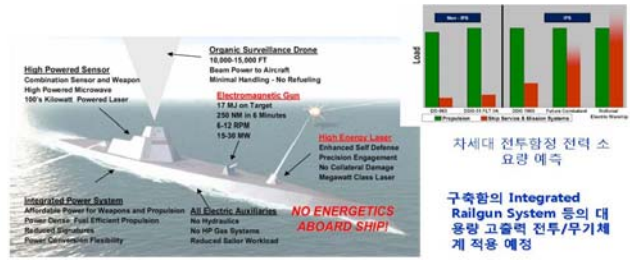
전기 추진선 체계통합 (예- Cruise)



<Cruise vessel>

5

전기 추진선 체계통합 (예- Warship)

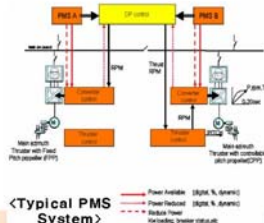


근거 : 미국 함정기술학회(ASNE : American Society Naval Engineers) ANP2008/ESTS2009 심포지움 발표 자료 등

6

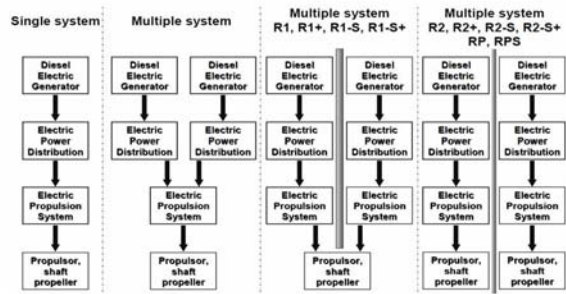
전력제어계통: 자동전력관리시스템

- The main task of an electrical Power Management System is to control the generation plant and to ensure availability of the electrical power as well as to avoid blackouts.
- The PMS has different control possibilities: Automatic, remote and local control.
- Main functions
 - Diesel generator (DG) start, stop control and DG safety system (Load depend)
 - Auto-synchronizing of generators and breaker control
 - Load sharing, if droop control
 - Load increase and frequency control
 - Blackout monitoring
 - Power reservation of heavy consumers
 - Preference trip (load shedding)
 - Ship operation mode selection and start sequence program



7

전력제어계통: 자동전력관리시스템 (PMS)



<Various levels of power system redundancy for one or two engine rooms>

8

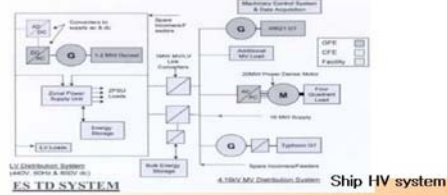
전력제어계통: 고전압 계통 안전제어

- 고전압 구성요소 및 특징 (component parts of an HV)
 - HV system (>1000V)
 - 대용량 부하 소모적인 thrusters, propulsion motors, air-conditioning (A/C) compressors, off-loading system 및 HV transformers는 HV switchboard로부터 직접적으로 공급됨
 - 전기추진 크루즈선 경우, 각 발전기는 10MW 이상 정격되어질 수 있으며, 6.6kV, 60Hz 3상 AC전압을 생산함. 주요한 소모처는 AC Propulsion Electric Motor (PEM)임
 - 6.6kV의 9MW 시스템의 경우, 초기 설치에 약 20% 소요비용이 더 듭
 - HV를 가동하는데 필요한 선박 전기시스템의 주요한 요소:
 - main generators, HV switchboard, FV cables, HV transformers, HV motors 등

9

전력제어계통: 고전압 계통 안전제어

- Types of high voltages
 - High D.C. voltages
 - High A.C. voltages of power frequency
 - High A.C. voltages of high frequency
 - High transient or impulse voltages of very short duration: lightning overvoltages
 - Transient voltages of longer duration: switching surges

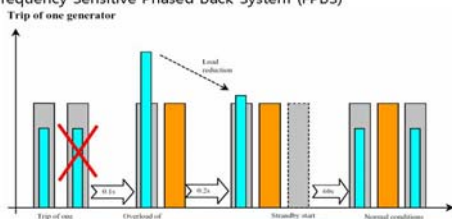


Ship HV system

10

전력제어계통: 부하차단/분배

- The following types of fast load reduction (FLR) have been applied on board the marine vessel:
 - Available power-based load shedding
 - Frequency-based load shedding
 - Event-based FLR (EB-FLR)
 - Frequency Sensitive Phased Back System (FPBS)

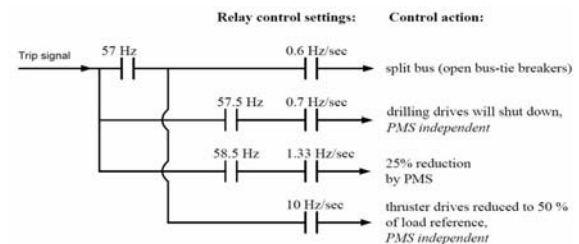


<Power management in case of trip of one generator>

11

전력제어계통: 부하차단/분배 (예)

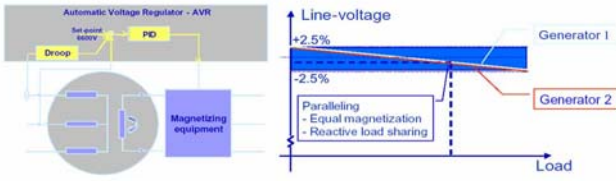
- Frequency based load shedding



<Tripping logic for frequency based load shedding control relay>

12

전력제어계통: 부하차단/분배 (예)



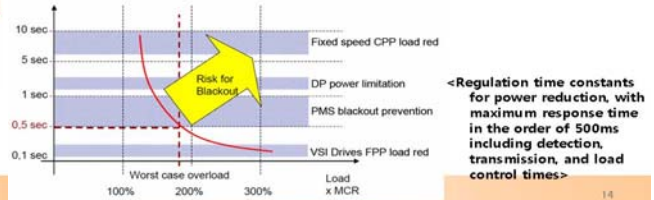
<Paralleling of generators with droop control requires equal tuning of voltage regulators (AVR) in order to obtain reactive load sharing>

13

전력제어계통: Automatic Blackout Recovery

□ The most common type of faults are:

- Fuel system failures: clogged fuel lines, fuel p/p failure, water in the fuel;
- Mechanical failure: loss of oil or water pressure, over speed, high cooling medium temp;
- Control system failures: false indication of low LO pressure, false oil mist detectors, crankcase overpressure, or loss of an I/O signal;
- Operator/human error

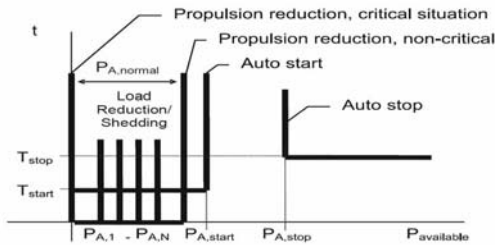


<Regulation time constants for power reduction, with maximum response time in the order of 500ms including detection, transmission, and load control times>

14

전력제어계통: Automatic Blackout Recovery (예)

▪ 전력부하의 투입/차단을 위한 일반적인 자동 시퀀스 제어



<Coordination of auto start/stop and blackout prevention functions>

15

전력배전계통: 전압선정

□ 전력부하의 종류

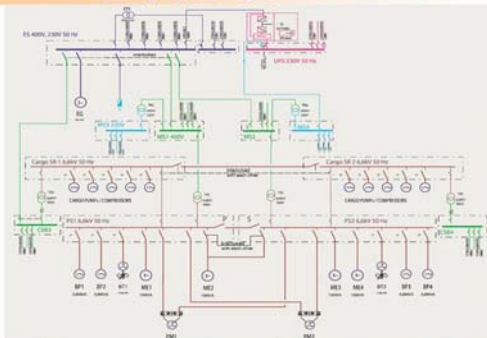
- 중요 부하: 비상 시 계통의 안전성이 확보되도록 구성
 - 추진 및 선박 작동/운용에 관련된 부하
 - Loading/unloading 처리 계통 관련 부하
 - 선원 안전 및 생존성 확보와 관련된 부하
 - 비상 시 필수 운용 장비 부하 등
- 비중요 부하(비상 차단이 가능)
 - 선박 성능 및 안전성, 생존성 확보/유지와 직접 관련이 없는 부하

□ 전력배전(Power Distribution)

- Offshore platform, FPSO - 11kV를 주로 채용
- 수요 전력이 3.3kV 또는 6.6kV로 전압을 채용함으로써 6MW이상의 전력배전과 switching이 용이함.
- 특수선 등에서 전력수요가 증가, supply current rating이 440V에서는 과도 상승
- 안정상태 및 fault current level 크기를 감소시키기 위해, high power rating에서 전압 시스템의 증가가 필수적임

16

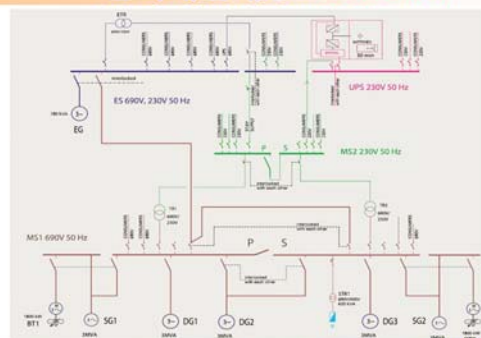
전력배전계통: 전압선정(예)



<Medium-voltage 6.6kV network for a main power station: electric propulsion of an LNG tanker>

17

전력배전계통: 전압선정 (예)



<Low-voltage 690V network auxiliary power station: diesel-mechanical propulsion>

18

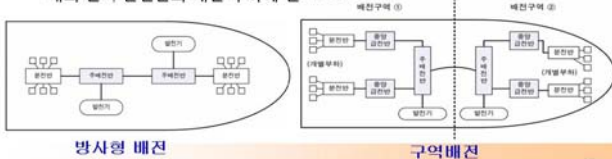
전력배전계통: 배전방식

□ 방사형 배전 방식(Radial Distribution)

- 주배전반에서 전력분전반 및 개별부하에 직접 전원공급을 하는 배전방식
- 소형 선박 및 함정에 적합하며 계통이 단순하고 중요부하가 적은 경우에 많이 사용

□ 구역배전(Zonal Distribution)

- 구역 배전방식은 대형화되는 함정 발전 추세에 따라 중-대형함의 방사형 배전방식의 단점을 보완토록 함정의 주수밀 격벽을 경계로 배전구역(Zone)을 분할함
- 각 배전구역에 하나 이상의 중앙급전반(Load Center)을 설치하여 그 배전구역 내의 전력 분전반과 개별 부하에 전력을 공급



방사형 배전

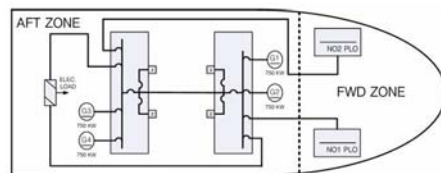
구역배전

19

전력배전계통: 배전방식

□ 혼합배전(Combined Radial and Zonal Distribution)

- 방사선 배전방식과 구역 배전방식을 혼합하여 적용한 방식으로 주배전반을 중앙급전반처럼 사용하는 변형된 구역 배전방식
- 주배전반에 근접된 부하는 방사선 배전방식과 같이 주배전반에서 전력 분전반 및 개별 부하에 직접 전원 공급하고 원거리의 부하는 구역 배전방식과 같이 중앙급전반을 통해 전원을 공급



전력배전계통: 배전방식

□ 전전기 추진선 개발시 고려사항

- 전전기 추진선은 모든 주요 장비의 정보를 네트워크를 통해 수집, 관리, 활용하는 개념을 포함하므로 네트워크 증설에 대한 요구가 급격히 증가함
- 수밀구역내 네트워크 구성 소요를 전력선 통신으로 대체할 경우, 상대적으로 안정적인 저속 전력선 통신 네트워크 구성을 위한 신호코드, 메시지 셋 개발 필요
- 전력선 통신이 단위 배전 구역을 벗어나기 어렵고, 주변 장비에 영향을 많이 받는 점을 고려하여 전전기 추진선 배전계통 연구 필요

구분	방식별 배전방식	구역 배전방식	혼합 배전방식
특성	<ul style="list-style-type: none"> 주변구역에서 전력분전반 및 개별부하에 직접 전원 공급 분전반 및 접속상자 수량이 상대적으로 적음 중대형 환경에 채택할 경우 고품이 복잡해지고, 안전성이/유량이 커져 소형 환경에 주로 적용 중소형 환경인 경우 보다 경제적이 	<ul style="list-style-type: none"> 수밀지역을 경계로 구역(Zone)을 분할하고, 각 구역에 2개 이상의 중앙급전반(Load Center)을 설치하여 구역 내 전력분전반 및 개별부하에 전원 공급 중대형 환경에 적합 Bus의 3차/우선 분배 	<ul style="list-style-type: none"> 일부 제한된 구역에 1개 이상의 중앙급전반을 설치하여 전력의 분전반 및 개별 부하에 전원공급 제한된 구역에 대해 상중성 향상 가능 제한적인 상중성 향상을 위해 중앙급전반의 설치 공간 확보 및 전선길이, 용량 증가

전력배전계통: 필수 선박공급 전력부하 급전/분전 안전성

□ 계통 안전성 및 신뢰성 고려

- 분리된 2개의 주 모선으로부터 독립된 전원 공급(예비를 확보)
- 1대의 전력 변화 장비가 전체 부하 용량의 100%를 감당할 수 있으며, 나머지 1대는 동일 용량의 back-up용으로 standby.
- 전력변환장치는 모두 병렬운전 가능하여 타 모선 고장 시 전원 공급 가능
- CPD 와 PPB의 일반적인 개념

	CPD (Conventional Power Distribution)	PPB (Primary Power Bus)
장점	*하나의 Cable 고장이 하나의 Consumer에 한 영향을 미침	*선박의 전원이 한꺼번에 중단되는 경우가 발생하지 않음 *Power Cable 용량이 상당히 절감됨
단점	*중앙의 Main Switchboard에 고장이 발생하면 선박 전체의 정전 공급 중단 *Power Cable 용량이 많이 소요됨	*하나의 Cable 고장이 여러 개의 Consumer에 영향을 미칠 수 있음

22

통합최적화: 동시최적설계(Simultaneous Optimization)

□ 전통적인 설계방식

- 구조계와 제어계를 각각 최적으로 설계하고, 이를 통합하여 시스템을 구동하는 방식

□ 동시통합최적설계

- 구조계와 제어계를 병렬로 통합하여 상호 인자의 최적값을 상호교류하여 최종 결과가 최적이 되도록 만드는 개념



23

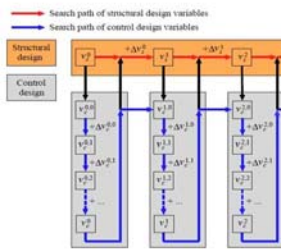
통합최적화: 동시최적설계(Simultaneous Optimization)

□ 구조 및 운동계

- 운항 조건에 따라 엔진, 발전기, 축전지의 동력원 중에서 최적 동력원 선정 방법 결정
- 운항 조건에 따라 축에 발생하는 응력의 최소화

□ 제어계

- 필요한 동력원 사용 방법 선정
- 소요 전력 생산 방법 결정
- 축전지에 충전된 전력량 체크 및 발전기 가동 조건 설정
- 소비 에너지 최소화 방법 결정



<구조계와 제어계를 통합하여 최적설계 변수를 구하는 과정>

구조 및 제어계의 동시 통합 최적화 목적함수 설정

24

통합최적화: 위험도기반설계(Risk Based Design)

□ 위험도기반 설계

· 개요

- Rule-based (regulatory) design
 - Condition -> Design Specification
- Performance-based design
 - Scenario -> Simulation -> Design
- Risk Based Design
 - Risk evaluation
 - > Design Change if the risk is unacceptable

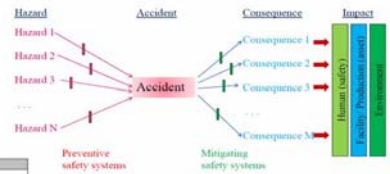


위험도 분석 절차

통합최적화: 위험도기반설계(Risk Based Design)

□ 위험도기반 설계와 전전기 추진선

- 전전기 추진선 설계 및 건조, 운용시 위험요소의 식별
- 사고 위험에 대한 선박, 인명, 환경 영향을 사전에 평가하고, 허용 가능한 수준으로 위험을 감소



(출처: KAIST 장대준)

Frequency (F)	Severity (S)				
	1	2	3	4	5
5	5	10	15	20	25
4	4	8	12	16	20
3	3	6	9	12	15
2	2	4	6	8	10
1	1	2	3	4	5

통합최적화: 안전진단(Safety Diagnosis)

□ 안전진단

· 개요

- 전전기추진선의 탑재장비는 발전기의 전기를 통해 구동되며, 높은 수준으로 자동화, 디지털화, 네트워크화 됨
- 전전기추진선 탑재장비는 상태기반정비(CBM, Condition Based Maintenance)가 가능한 네트워크 내에 위치

- 스마트그리드 기술과 연계하여 전전기추진선 탑재장비의 상태 및 안전성을 선박과 육상 기지에서 동시에 실시간으로 감지하고 대응 가능
- 정비인력의 최소화과 선박 운항을 위한 승조원의 최소화 가능