

전전기함정 전기추진체계의 신뢰성 분석 방법

김수철², 김재국¹
 인하대학교¹, 한화오션²,

Reliability Analysis of Electric Propulsion System of All Electric Ship

Soocheol Kim, Jea-kuk Kim
 Hanwha Ocean, Inha University

ABSTRACT

본 논문에서는 최근 도입이 활발하게 이루어지고 있는 전전기함정의 전기추진체계에 대한 신뢰성 분석 방법을 제안한다. 시스템의 신뢰성이 높은 상태로 유지되기 위해서는 초기설계단계에서부터 위험성을 분석하고 보완하여, 최상위 시스템이 높은 신뢰도를 가지도록 설계하여야 한다. 이를 위해 신뢰성관리 프로세스를 제안하였으며, 신뢰성 블록도를 통해 신뢰성 분석을 실시하고 검토하였다.

1. 서론

군함은 작전 운용을 위해 신뢰성이 매우 중요한 애플리케이션이다. 최근에는 함정의 초기 설계단계인 개념설계에서부터 신뢰성을 향상하기 위한 연구가 진행되고 있으며, 건조단계까지 연속적으로 신뢰성을 분석하고 추적하는 것에 대한 중요성도 함께 증가하고 있다. 국내에서 전기추진을 기반으로 하는 대형 전전기함정의 경우를 보면, 개념설계와 기본설계가 진행되는 과정에서 전기추진체계의 신뢰성을 확보하기 위한 사전 연구가 진행되기는 하였으나 수상함정에 대한 심도 있는 연구는 미흡한 상황이다^{[1][2][3]}.

전전기함정의 전기추진체계는 함정에 필요한 모든 전기적 에너지를 생성 및 공급하며, 전기에너지를 통해 추진동력을 생성하여 추진기에 전달하는 시스템이다. 따라서, 함정에서는 전기추진체계의 고장이나 손상 시에도 성능 감소를 초래하지 않고, 연속적으로 전력을 공급하고 추진동력을 유지하여 군 전력 유지될 수 있도록 신뢰성이 높은 시스템이 요구된다. 또한, 최근에는 고장이나 손상 시, 운용중에도 즉시 수리가 가능할 수 있도록 요구사항이 점차 강화되고 있다. 그러므로 개발단계와 초기설계단계에서부터 함 건조까지 이어지는 전체 과정에서 전기추진체계의 리스크를 분석하고, 요구되는 신뢰성의 목표 수준을 달성하기 위한 연구가 반드시 선행되어야 한다.

시스템의 신뢰성 평가를 위해서는 신뢰성 블록도(RBD: Reliability Block Diagram), 고장모드분석(FMEA: Failure Mode and Effect Analysis), 결함나무분석(FTA: Fault Tree Analysis), ETA(Event Tree Analysis)등의 분석 방법을 이용하여 검토할 수 있다. 본 연구에서는 전전기함정의 전기추진체계에 대한 정량적인 신뢰성 분석을 진행하기 위하여 간단한 신뢰성 관리 프로세스를 제안하였으며, 가장 일반적인 방식인 RBD 검토를 활용하여 시스템의 신뢰도를 분석하였다.

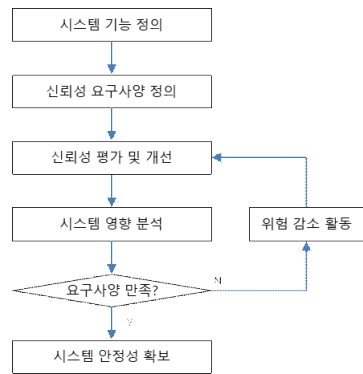


그림 1. 전전기함정 전기추진체계 신뢰성관리 프로세스

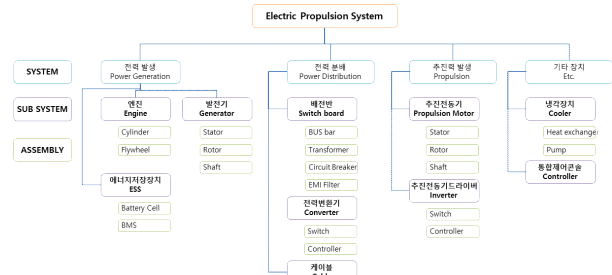


그림 2. 전전기함정 전기추진체계 구성

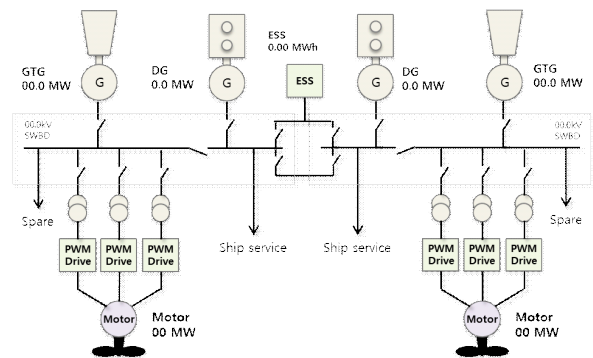


그림 3. 전전기함정 전기추진체계 단선도

2. 전기추진체계 신뢰성 분석 및 설계 방법

2.1 전기추진체계의 신뢰성관리 프로세스

신뢰성 분석을 위해 그림1과 같은 신뢰성관리 프로세스를 따를 수 있다. 신뢰성관리 프로세스는 일반적으로 IEC에서 규정하는 표준을 참고하고 각 기업에서 보유하고 있는 노하우를 적절히 통합하여 정립한다.

신뢰성을 분석하기 위해, 먼저 전기추진체계의 구성요소를 구분하고 그 기능을 정의하여야 한다. 전기추진체계는 크게 네 가지로 구분된다. 첫 번째는 전기에너지를 생성하기 위한 전력 발생장치이다. 수상함정의 경우 디젤엔진이나 가스터빈과 같은 동력부에 발전기를 연결-구동하여 전기를 생성하며, 잠수함이거나 무인함정의 경우 배터리, 연료전지 등의 전원을 주 전원으로 사용한다. 두 번째는 전기에너지를 분배하기 위한 전력분배 장치이다. 전력분배장치는 배전반, 변압기, 케이블, 차단기 등으로 구성되며, 전기적 안전성을 보증한다. 세 번째로는 추진기에 추력을 전달하여 선박이나 함정이 움직일 수 있는 동력을 생성하는 추진전동기 및 드라이브가 있다. 그 외에 기타 구성장치로 냉각장치, 통합제어콘솔, 일반부하 등이 있을 수 있다.

전기추진체계의 신뢰성 요구사항은 각 함정의 운용 시나리오에 따라 결정된다. 각 함정의 목적별로 요구사항이 다르므로 프로젝트별로 세부 사항을 결정하여야 한다.

이후 식별된 기능과 함정의 요구사항에 부합하도록 신뢰성 분석을 시행한다. 시스템의 잠재적인 고장 유형과 원인을 분석하고 고장에 따른 시스템 영향성을 분석한 후 이러한 영향을 감소하는 방향으로 설계를 진행한다. 이때, 각 시스템은 직렬적이고, 서브시스템은 병렬적이다. 즉, 전력발생-전력분배-추진력 발생-제어시스템이 하나라도 고장날 경우, 최상위 시스템은 요구성능을 만족할 수 없게 된다. 그러므로 각 서브시스템과 어셈블리는 병렬로 설계하여 신뢰성을 확보하여야 한다. 이러한 신뢰성 평가 및 개선 활동을 통해 최종적으로 함정이라는 최상위 시스템의 신뢰성을 안정적으로 설계할 수 있게 된다.

2.2 전기추진체계의 구성 및 단선도

앞에서 설명한 바와 같이, 전기추진체계의 기능적 구성요소를 분기하여 구분하면 그림2와 같이 나타낼 수 있다. 상위 시스템이 정상적으로 동작하려면 각 세부시스템이 정상적으로 동작하여야 한다. 또한, 그림3과 같이 단선도를 통해 각 시스템에 대한 연결성을 나타낼 수 있다. 함정의 임무 프로파일을 모드로 구분하고 단선도에 표현하면 각 모드에 대한 가용성을 판단할 수 있다.

2.3 전기추진체계의 신뢰성블록도

신뢰성 블록도는 시스템 성능을 파악하기 위하여 구성품 간 기능적 관계를 파악하여 그림으로 나타낸 것이다. 대표적인 기능적 관계는 직렬계, 병렬계, 대기 리던던트 시스템, m/n리던던트 시스템이 있다. 각 서브시스템과 어셈블리 수준에서 신뢰성 블록도를 작성하여 시스템별 평균가동시간(MTBF), 평균수리시간(MTTR), 유효고장률(Effective FR)등을 나타낼 수 있다. 평균가동시간과 평균수리시간은 각 장비업체에서 제공하고 있는 값을 사용하거나, 실측된 값으로 작성할 수 있다. 만약 데이터가 부족하다면 상업용 제품의 실측값을 사용하거나, MIL-HDBK-217F의 예상값을 참고할 수 있다.

그림4와 같이 수상함에 대한 신뢰성블록도를 작성하였으며 이에 대한 고장률을 표1로 나타내었다. 전체가용율은 1에서 유효고장률을 모두 더한 값을 뺀 값으로, 약 0.999643으로 확인되었다.

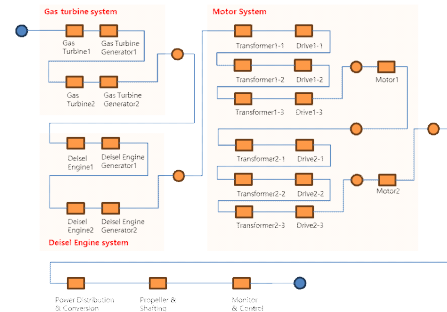


그림 4. 전전기함정 전기추진체계 신뢰성블록도

표 1 시스템 고장률 계산

Table 1 System Failure Rate Calculation

Components	MTBF	Effective FR
Gas Turbine System	15,000	6.667e-5
Deisel Engine System	7,000	1.428e-4
Motor	40,000	2.5e-5
Power Distribution & Conversion	280,000,000	3.571e-9
Propeller & Shafting	45,000	2.222e-5
Monitor & Control	10,000	1e-4

3. 결론

본 연구에서는 전전기함정의 전기추진시스템에 대한 신뢰성을 분석하기 위해 신뢰성관리 프로세스를 도출하고 시스템의 기능을 정의하였다. 서브시스템 레벨의 기능을 중심으로 평균 가동시간과 고장률을 분석하고 가용율을 도출하였다. 각 함정의 기능과 특수성에 따라 추진성능은 달라질 수 있으며 이에 따라 전체적인 시스템 설계가 변경될 수 있다. 하지만 전기추진을 위한 상위시스템 레벨인 전원발생, 전력분배, 추력발생, 부가장치는 동일하다. 그러므로 시스템의 신뢰성을 향상시키기 위해서는 서브시스템에 대한 장비를 어셈블리레벨에서 구분하고 고장영향성을 분석하여 이를 보완하는 것이 신뢰성을 향상할 수 있는 가장 좋은 방법이라 할 수 있다.

향후에는 어셈블리 레벨에서 고장모드를 세부적으로 구분하고 가용율의 정확도를 향상할 계획이다. 또한, 시스템의 성능 감소를 물리모델에 반영한 뒤 성능감소에 따른 시스템레벨 성능감소 및 추력상실 등을 시뮬레이션을 통해 가시화하고, 신뢰성을 보완하기 위한 리던던트 설계 및 배치설계를 검토할 예정이다.

이 논문은 한화오션의 연구비 지원에 의하여 연구되었음

참 고 문 헌

- [1] 김진산, 최진성, 빈재구, 강필순, “수중함 전기 계통의 고 신뢰도 설계를 위한 고장나무분석과 적용, 전기학회논문지, 66(1), 33-39, 2017
- [2] 이지영, 한영진, 윤원영, 빈재구 “시뮬레이션을 이용한 통합 전력시스템의 위험도 분석, 대한산업공학회지, 42(2),151-164, 2016.
- [3] 최의민, 박진혁, 김명룡, 이준석 “운행프로파일 기반 도시철도차량용 반도체 변압기의 전력 반도체 소자 수명 평가”, 전력전자학회논문지, 25(6),496-502, 2020.