

실시간 시뮬레이터를 이용한 선박 전력 시스템의 축소 모델 실험

고상기, 김소연, 최세화, 설승기
서울대학교

Small-scaled Experiment of Ship Power System with Real-time Simulator

Sanggi Ko, So-Yeon Kim, Sehwa Choe, Seung-Ki Sul
Seoul National University

ABSTRACT

선박 전력 시스템 설계에 관한 연구의 경우 실제 선박에서의 실험의 어려움 때문에 디지털 시뮬레이션에 의존해 연구를 진행해 왔다. 본 논문에서는 선박 전력 시스템의 보다 정밀한 실험 및 제어 알고리즘 검증에 위해 축소 모델과 실시간 시뮬레이터를 동시에 이용하는 새로운 실험 방법을 제안하였다. 실제 크기의 선박 전력 시스템은 직접 제작하기 어렵기 때문에 축소 모델을 이용하였고 복잡한 선박 전력 시스템의 일부를 실시간 시뮬레이터로 모의함으로써 실제 실험 세트의 구성을 간소화 할 수 있었다. 축소 모델 실험을 통해 선박 전력 시스템의 과도 상태 및 정상 상태 해석을 수행하였으며 이러한 시스템에서 얻은 결과는 추후 실선 제작을 위한 설계 자료로 활용될 수 있다.

1. 서론

최근 대형 선박에 전기 추진 시스템을 적용하는 경우가 점점 증가하고 있다. 전기 추진 부하를 일반 부하와 함께 운영하는 선박 전력 시스템에서 전체 부하의 80% 이상을 차지하는 추진 부하를 어떻게 운영하느냐는 선박의 연비에 중대한 영향을 끼친다. 선박의 연비 향상을 위해 선박 전력 시스템의 운영 방법에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 선박 전력 시스템을 연구하기 위해 실제 크기의 선박 전력 시스템을 제작하는 것은 매우 어려울 뿐만 아니라 제작한다고 하여도 사고 상황에 대한 실험을 진행하는 것은 매우 위험하다. 따라서 지금까지 선박 전력 시스템에 대한 연구는 시뮬레이션에 의존하여 진행되어 왔다.

본 논문에서는 선박 전력 시스템의 실험을 위해 실시간 시뮬레이터와 축소 모델을 동시에 이용하여 선박 전력 시스템을 실험하는 방법을 제안한다. 구현할 선박 전력 시스템에 대해 간단히 소개한 후 제안한 실험 방법에 대해서 설명한다. 제안된 방법을 이용하여 선박의 가속과 감속 상황에 대한 실험을 수행하여 그 유효성을 검증하였다.

2. 선박 통합 전력 시스템

본 2대의 2.5MVA 발전기와 2대의 1MVA 발전기, 총 4대의 발전기가 있고 서로 다른 역할을 가지는 두 개의 일반 부하가 존재하는 선박을 그 대상으로 하였다. 이 때 일반 부하는 간단히 RL부하로 모델링 할 수 있다. 그리고 실제 선박에서는 좌현과 우현에

하나씩, 총 2개의 추진부하가 존재하지만 본 논문에서는 능동형 정류기(Active Front End, AFE)의 성능을 검증하기 위해 기존의 2배 용량인 5MVA급 추진부하 하나만 존재한다고 가정하였다. 아래는 이러한 선박 전력 시스템의 블록도를 나타낸 것이다.

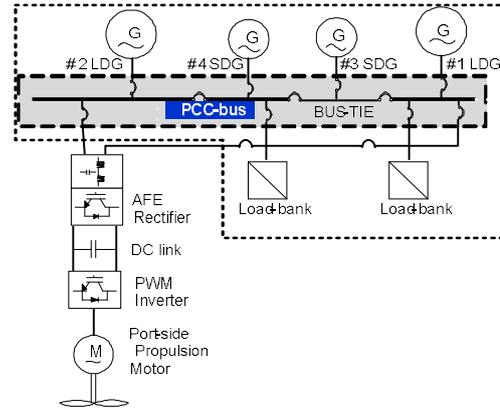


그림 1 선박 통합 전력 시스템의 블록도

Fig. 1 Block diagram of a ship integrated power system

2. 본론

2.1 제안하는 실험 방법

본 논문에서 제안하는 실험 방법은 다음과 같다. AFE의 성능을 검증하기 위하여 AFE를 포함한 추진 부하는 실제 하드웨어로 구성하고 나머지 선박 전력 시스템은 실시간 시뮬레이션을 이용하여 소프트웨어로 모의하는 방법이다. 즉, 그림 1에서 점선 내부는 실시간 시뮬레이터로 모의한다. 모의된 결과로 나온 전원 접속단(Point of Common Coupling, PCC)의 전압은 PWM인버터를 이용하여 실제 전압으로 합성하고 합성된 전압을 받아 AFE와 추진 부하를 구동하게 된다. 또 AFE의 전류 정보는 실시간 시뮬레이터로 입력 되어 실시간 궤환에 의해 시스템의 제어가 구현된다. AFE와 추진 부하를 제외한 나머지 선박 전력 시스템을 실시간 시뮬레이터로 모의함으로써 실험 세트의 구성을 간소화 할 수 있고 또한 선박의 사고 상황을 안전하게 모의할 수 있다.

2.2 실시간 시뮬레이터

실시간 시뮬레이터는 Texas Instrument사의 멀티코어

DSP인 TMS320C6678를 이용한 개발 보드를 사용하여 제작하였다. 실시간 시뮬레이터는 추진 부하를 제외한 나머지 선박 전력 시스템, 4대의 발전기와 일반부하를 모의한다. 시뮬레이션으로 모의한 전원 접속단의 전압은 SCI 통신을 이용하여 PWM 인버터의 제어기로 전송한다. 그리고 마찬가지로 SCI 통신을 이용하여 PWM 인버터로부터 측정된 전류 값을 전달 받는다. 그리고 Ethernet을 이용하여 PC와 통신을 하게하였다. 시뮬레이터 내부의 변수를 PC로 전송하고 PC는 전달 받은 변수를 National Instrument사의 아날로그 출력 보드를 이용해 출력함으로써 시뮬레이터 내부의 변수를 오실로스코프를 이용하여 관측할 수 있도록 하였다.

2.3 추진 부하의 축소 모델

실제 크기의 선박 추진 부하를 대학 실험실에서 만들어 실험을 할 수 없기 때문에 축소 모델을 사용하여 실험을 하였다. 5MVA 용량의 추진 부하는 용량을 1000:1로 축소하여 5kW급 전동기로 모의하였다. 선박의 계통전압인 삼상 690V전원은 삼상 200V 전원으로 축소하기 위해 690/200(=3.45):1의 비율로 축소하였다. 이와 같이 전력과 전압의 축소비가 결정되면 전류의 비는 $1000 \times 200 / 690 (=289.86:1)$ 로 자동적으로 결정된다. 따라서 실시간 시뮬레이터로부터 받은 전원 접속단의 전압 크기에 전압 축소 비율인 200/690 (=0.29)을 곱한 값을 전압 지령으로 하여 인버터는 전압을 합성하게 되고 인버터가 측정한 전류 값에 전류 축소 비의 역수인 $1000 \times 200 / 690 (=289.86)$ 을 곱한 값을 실시간 시뮬레이터로 전송해 주면 된다.

축소된 추진 부하를 이용할 경우 전기적 변수는 위와 같이 간단한 스케일링 통해 구현할 수 있다. 반면 회전관성과 같은 기계적인 변수들은 스케일링만으로 구현이 힘들다. 실제 선박의 경우 추진 모터가 정격 속도까지 가속하는데 오랜 시간이 걸리지만 축소된 추진 모터의 경우 상대적으로 빨리 가속된다. 이러한 기계적 시정수를 맞추주기 위해서 본 실험에서는 부하 전동기를 이용해 선박의 실제 동특성을 모의하였다. 부하 전동기를 이용하여 추진 부하에 부하 토크를 인가할 뿐만 아니라 회전 관성을 맞추기 위한 토크도 함께 인가하였다. 추진 부하의 부하 토크는 실제 선박의 로빈슨(Robinson) 커브를 적용하여 배가 가속하면서 필요한 추진 부하량을 계산하여 인가하였다.

4. 실험 결과

위에서 설명한 실험 방법을 이용하여 구성된 실험 세트는 아래와 같다.

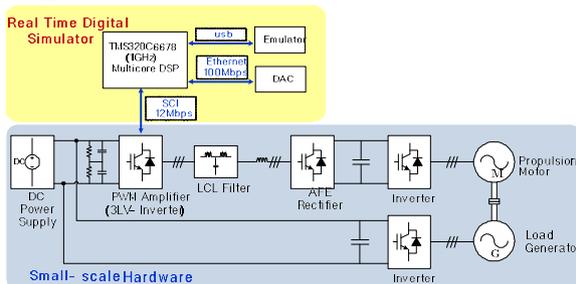


그림 2 실험 세트 구성 블록도
Fig. 2 Blockdiagram of Experimental Set-up

구성한 실험 세트를 이용하여 추진용 전동기의 가속 상황을 실험해 보았다. 로빈슨 커브를 이용하여 실제 선박의 동특성을 반영할 경우 동특성이 너무 느려 실험 과정을 보여주기 어려우므로 아래의 파형은 실제 선박의 동특성을 고려하지 않고 부하를 순간적으로 인가하였을 때의 전원 접속단의 전압 크기와 주파수를 살펴 본 것이다.

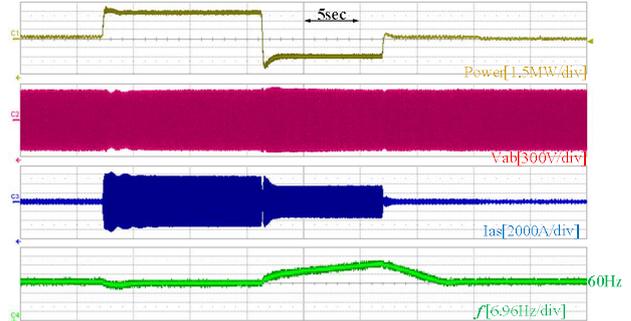


그림 3 추진용 전동기의 가속 실험 결과
Fig. 3 Acceleration & deceleration of Propulsion Load

위 파형에서 볼 수 있듯이 선박의 추진 부하가 갑자기 증가한 경우 전원 접속단의 전압이 순간적으로 작아지고 주파수 역시 잠시 감소하는 것을 볼 수 있다. 그리고 추진 부하가 감소할 때는 전원 접속단의 전압이 순간적으로 커지고 주파수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 이를 통해 실시간 시뮬레이터가 발전기를 잘 모의하고 있는 것을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 실시간 시뮬레이터를 이용한 새로운 축소 모델 실험 방법을 제안하였다. 실시간 시뮬레이터를 이용하여 전력 시스템을 모의하되 모의한 전압을 실제 전압으로 합성하여 실제 하드웨어로 구성된 추진 부하의 축소 모델을 운전해 보았다. 실시간 시뮬레이터를 이용함으로써 실험 세트의 구성을 간소화 할 수 있었고 시뮬레이터를 이용하여 선박의 가속과 감속 상황의 실험을 통해 그 유효성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] Fabian M. Uriarte and Robert Hebner, "Development of a multicore power system simulator for ship systems", Electric Ship Technologies Symposium, 2011
- [2] 고상기, 김소연, 설승기, "멀티코어 DSP를 이용한 선박 전력 시스템의 실시간 시뮬레이터 구현", 전력 전자학회, 2013