

# 선박용 전동기 진단장치 개발에 관한 연구

강대규<sup>\*</sup> · 김종윤<sup>\*</sup> · 이성근<sup>\*</sup> · 김윤식<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>한국해양대학교 전기전자공학부

Development of diagnosis system of motor for a ship.

Dae-Gyu Kang<sup>\*</sup> · Jong-Yun Kim<sup>\*</sup> · Sung-Geun Lee<sup>\*</sup> · Yoon-Sik Kim<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Division of Electrical and Electronics Engineering, Korea Maritime University

E-mail : diegyu@hanmail.net

## 요 약

본 논문에서는 선박에서 사용하는 전동기의 절연저항 및 전류를 상시 검출하여 진단을 행하는 진단 시스템을 제안한다. 선박용 전동기는 상시 해풍·기름 등의 오염물질에 노출되어있기 때문에 절연저항의 감소, 과전류 등의 문제점이 야기될 수 있다. 이러한 문제는 선박의 안전항해에 막대한 영향을 주어 크나큰 인명과 재산상의 손실을 초래하게된다. 제안된 진단장치는 전동기의 절연저항 및 전류를 연속적으로 감시할 뿐만 아니라 제어실에서도 데이터를 획득할 수 있도록 설계한다. 제안된 방법의 타당성을 3상 유도전동기를 대상으로 확인한다.

## ABSTRACT

This paper proposes integrated diagnosis system of motor for a ship. It carried out the safety diagnosis for insulation-resistor and current. The motor exposed to sea breeze and oil all the time is able to have problems as a over-current, reduction of the insulation-resistor and so on. These problems impact on the safety navigation, and occur a heavy casualties and loss of property. The proposed system is designed to verify continuous values of the insulation-resistor and current, and transfer them to a remote control room. The validity of the proposed system is verified through experiments on the 3-phase induction motor.

## 1. 서론

선박 내에 설치되어 있는 전동기는 보통 20개 이상이 장착되며, 적게는 공기조화 설비에서부터 크게는 선박내의 크레인이나 Cargo 펌프를 동작시키는 동력원으로써 사용되는, 배의 주 기관에 버금가는 동력원이다.

일반 육상에서와는 달리 이러한 선박의 전동기는 해풍의 상시접촉에 의한 부식 누전 등으로 소손이 발생할 가능성이 높아진다. 그리고 전동기의 소손은 전동기뿐만 아니라 이와 링크된 다른 시스템의 마비를 초래하기 때문에, 소손이 일어난 경우 엄청난 비용과 함께 항해 불능사태를 초래할 수 있다. 전동기 절연의 경우를 보면, 일정한 절연 저항을 확보하지 못했을 경우에는 집지 불량시 작업자의 감전사고를 유발할 수 있고, 전동기내 상 불평형이 발생하여 전동기의 운전 상태를 저하시키거나 누설전류가 다른 기기에 흘러

인접한 기기의 파손 등과 같은 상황이 발생할 수 있다.

이와 같은 전동기의 소손 방지를 위하여 기존의 경우 절연저항 측정을 위하여 메거 test를 실시하거나 DC 저전압을 인가하여 상시적으로 전동기의 절연저항을 검출하는 제품을 사용중이다. 그리고 전류의 경우는 과전류 검출을 위한 과전류 계전기나, 열동 계전기를 사용하고 있다.[1][2]

메거 test를 실시하는 경우는 정확한 측정값을 얻을 수 있으나, 지속적인 측정에는 애로가 많아 전동기의 소손 발생 시점에서 소손을 즉시 발견할 수 없어 신속한 대응이 어렵다는 단점이 있다. 기존의 절연저항을 검출하는 제품의 경우는 소손 시 빠른 대처를 할 수 있으나, 저전압을 인가하기 때문에 절연이 파괴된 부분을 정확하게 검출하지 못하는 경우가 있고, 전류검출 기능이 부가되어 있지 않다.

본 논문에서는 현재 선박에서 사용하고 있는 전동기에 장착하여 실시간으로 전동기의 절연저

항과 전류를 검출하고, 이 값을 전면에 표시하여 현장작업자가 감시할 수 있도록 하였다. 또한, 기존의 계기들과의 연계를 위한 4-20[mA] 전류 신호를 출력하여 원격지에서도 사용할 수 있도록 하였다. 본 연구에서 제안한 시스템의 유용성을 3상 유도전동기를 대상으로 한 실험을 통해 검증하였다.

## II. 측정시스템의 구성과 측정원리

시스템의 구성은 크게 절연저항 및 전류 측정회로, 전동기의 운전상태 검출회로, 신호전송 출력회로로 나누어지고, 측정원리는 절연저항의 측정과 전류의 측정을 분리하여 분석한다.

### 1. 시스템 구성

#### ① 절연저항 및 전류 측정회로

그림 1은 기존의 절연저항 측정회로이다.

그림에서  $R_m$ 은 전동기의 절연저항이고,  $R_i$ 는 회로상의 측정저항이다. 비교기의 기준 전압을 DC 6[V]로 일정하게 유지시키고,  $R_i$ 의 전압을 측정하여 현재의 절연저항이 설정치보다 큰지 작은지를 판별하는 방식이다. 이 방식은 측정용 전원은 DC12[V]인 상태에서 측정저항  $R_i$ 는 1-5[MΩ]으로 매우 크게 설계되어 있기 때문에 실제로 전동기의 절연저항 측정단에 걸리는 전압이 매우 낮아 측정의 정밀성을 갖지 못하는 경우가 있다.

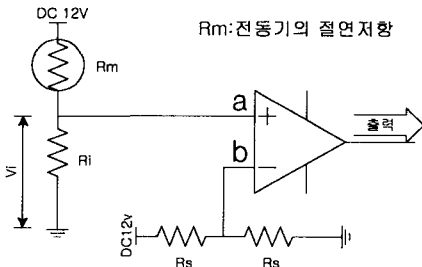


그림 62. 기존 절연저항 측정회로

그림 2는 본 연구에서 제안한 절연저항 측정회로이다. 이 회로는 절연저항 측정회로와 선형화 회로 및 전동기 기능제어회로로 구성된다.

절연저항 측정회로에 공급되는 전원전압은 DC305[V]이고, 측정저항은 10[KΩ]의 매우 작은 값으로 설계하였기 때문에 전동기의 권선과 외함 사이의 절연저항이 변동하는 경우에도 측정전압을 일정히 유지할 수 있는 장점이 있다.

절연저항이 감소함에 따라 측정값이 지수적으로 증가하는 비선형 특성을 가지게 되어 지수회로와 로그회로를 조합한 선형화 회로를 구성하였다.

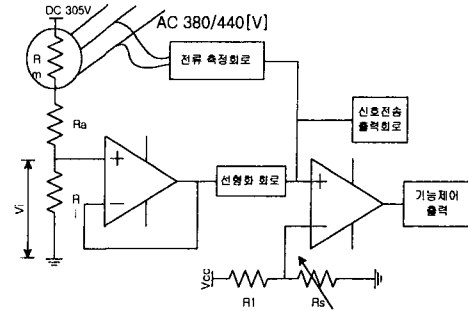


그림 63. 제안된 절연저항 및 전류 측정회로

이 선형화 회로를 거친 신호는 신호전송 회로에 공급되고, 전동기의 운전 및 표시장치를 구동하는 전동기의 기능제어 회로에 보내진다.[3][4][5] 전류 측정회로는 전동기에 들어가는 3상의 전류 중 2상의 전류를 검출하여 RMS 값으로 변환하여 그 중 큰 값을 신호전송 회로 및 전동기 기능제어 회로로 보내진다.

#### ② 운전상태 검출회로

그림 3은 전동기의 운전상태를 검출하는 회로이다. 입력은 전동기의 전원 중 2상으로 하고  $R_p$ 는 전류제한용 저항이다. 회로의 동작은  $R_p$ 에 의해 전류를 충분히 감소시킨 후 브릿지 회로를 통과하여 포토-커플러를 동작시킨다. 포토-커플러를 통해 출력된 신호는 절연저항 측정회로를 단선시켜 검출을 중단함과 동시에, 전류 검출회로를 구동시키기 위해 릴레이를 동작시킨다.  $R_p$ 는 1 [MΩ]을 사용하였다.

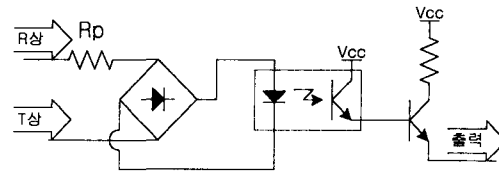


그림 64. 전동기 운전 검출회로

#### ③ 신호전송 출력회로

그림 4는 신호전송 출력회로의 블록도이다.

이 회로는 입력전압 0-10[V]에 대해서 4-20mA를 출력하는 회로이다.

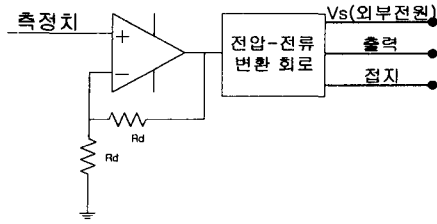


그림 65. 신호전송 출력회로 블록도

이 회로의 동작은 최대 5[V]인 입력 전압을 2 배로 증폭한 후, 전압-전류 변환회로의 입력으로 사용한다. 전압-전류 변환회로의 전원  $V_s$  는 복수의 계기 및 원격지 전송용으로 활용하기 위하여 직류 24[V]를 외부에서 공급하는 방식을 택하였다.

회로의 신뢰성을 확보하기 위해 전용 칩을 사용하였으며, 출력 측에 연결할 수 있는 최대 부하의 크기는 인가전압의 크기로 구할 수 있고 계산식은 식 (1)과 같다.

$$R_{load} = \frac{V_s - 2[V]}{20[mA]} \quad (1)$$

여기서,  $R_{load}$ 는 부하에 연결될 저항이다.

$V_s$ 를 DC 24V로 인가했을 때, 회로가 감당할 수 있는 최대 부하의 크기는 1.1[k $\Omega$ ]으로, 원격제어 시스템뿐만 아니라, 다른 표시 장치를 연결하여 동작시키기에 충분하다.

## 2. 시스템의 측정원리

시스템의 측정원리는 전동기의 절연저항과 전류의 동작을 그 기능별로 구분하여 설명한다.

### ① 절연저항 측정원리

그림 5는 절연저항을 측정하는 흐름도이다.

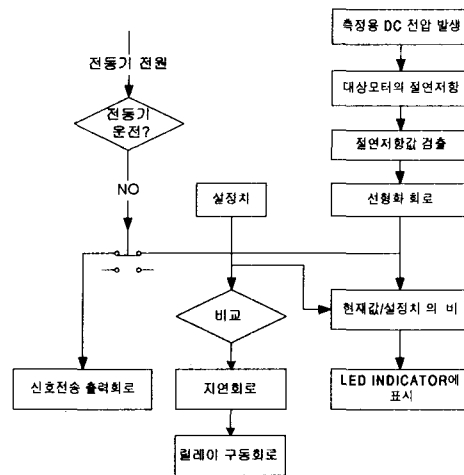


그림 66. 절연저항 측정 순서도

절연저항에 인가된 전압은 전동기 절연저항의 크기에 따라 회로상의 저항과 전압분배가 된다. 이때 전동기의 동작은 정지상태이다.

측정 대상 전동기의 절연 저항 값에 따른 측정 전압의 값은 선형화 회로를 거쳐야 한다. 선형화 회로를 거친 측정값은 그림 5에서 나타난 것과 같이 신호전송 출력회로와 측정값을 LED 표시회로와 릴레이 구동회로로 구성된 기능제어 회로로 보내진다. LED 표시회로의 동작은 작업자의 가독성을 높이기 위하여 설정치와 최고치 사이를 10 등분으로 나눈 후 현재의 측정값이 차지하는 부분만큼을 수치로 표시하지 않고, 전체 스케일을 [%] 단위로 표시한다.

### ② 전류 측정원리

전류를 측정하는 순서도는 그림 6에 표시한다. 전류는 전동기 정지시에만 측정되는 절연저항과는 달리 정지와 동작시 모두 측정한다.

전류의 측정은 전동기의 입력으로 쓰이는 3상의 전류 중 2상을 CT로부터 입력을 받아 버퍼를 거친 후 AC-RMS 변환회로에서 DC 값으로 변환된다. 변환된 전류는 전동기의 상간에 전류값이 서로 다른 경우가 있을 때를 대비하여 이 중에서 큰 값을 취하여 LED 표시회로와 릴레이 동작 회로로 보내진다. 전동기가 운전 중일 때는 신호전송 출력회로에서 검출된 전류 값이 출력된다.

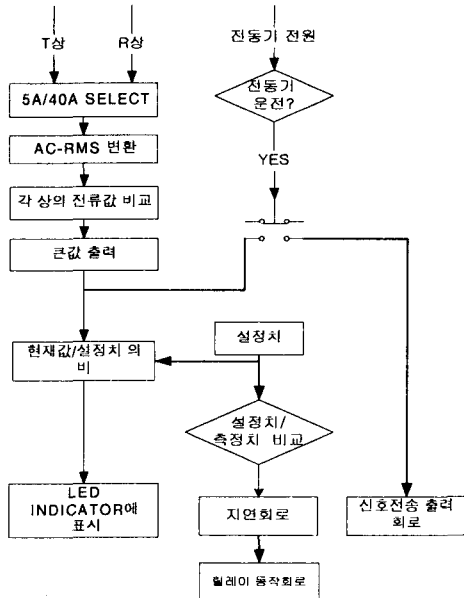


그림 67. 전류 측정 순서도

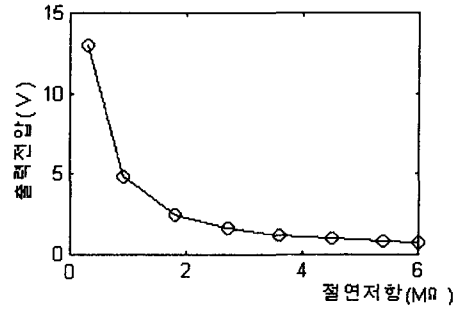


그림 68. 절연저항 측정값

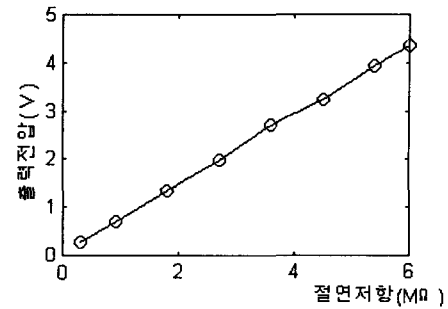


그림 69. 절연저항의 선형화

### III. 실험 및 고찰

제한한 회로를 실제 전동기에 적용하여 현장에서 사용 가능성 여부를 검증하였다. 회로 동작의 실험은 전동기가 운전 중일 때와 정지할 때로 구분하였고, 정지할 때에는 절연저항을, 운전 중일 때에는 전류를 검출하였다. 절연저항의 측정은 외부에서 저항을 가변시켜 측정하였다. 전류의 측정에 사용된 CT는 태프트랜스의 TZ71모델(정밀도 0.2)을 사용하였고, 전동기의 용량이 증가함에 따라 경제적 부담을 최소화하기 위하여 전류측정 범위를 5[A]와 40[A]로 구분하여 제작하였으며, 각각의 경우에 대해 측정값의 선형성과 현장적용 가능성을 확인하였다.

#### 1. 절연저항 측정

그림 7과 8은 절연저항 측정파형이다. 그림 7은 선형화 회로를 거치지 않은 측정된 값이고, 그림 8은 선형화 회로를 거친 출력이다. 절연저항의 측정은 정밀저항(오차 1%)을 이용하여 값을 변동하면서 측정하였다.

그림 9는 절연저항이 6M일 때 출력전압을 DC 5[V]가 출력되도록 조정한 후, 측정된 결과 값과 출력단에 저항 200[Ω]을 연결한 4-20mA 전류신호 출력에서의 전압을 선형화시킨 것이다. 또한, 선형회로의 출력 값의 선형성을 확인하기 위하여 이 값을 보간법을 이용하여 Matlab으로 수행하였다.[6][7] 그 결과 선형화에 따른 오차는 2% 이내로 양호한 것으로 판명되었다.

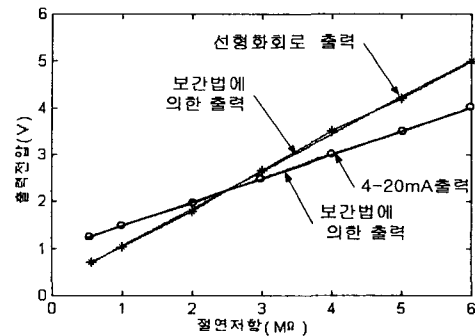


그림 70. 절연저항 측정값의 선형화

#### 2. 전류 측정

전류 측정에 사용되는 CT는 용량이 40[A] 범위를 넘으면 상용 CT와 측정용 CT(5[A]용량)를 연계하여 사용하므로 두 가지 경우를 고려하여 그 특성을 분석하였다.

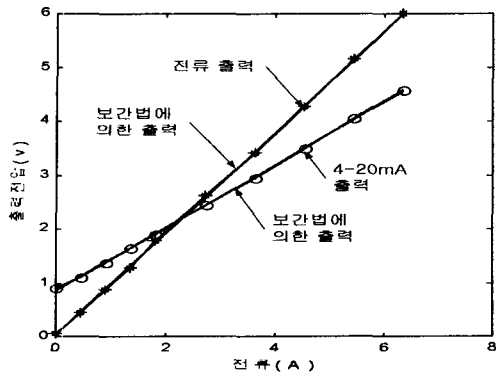


그림 71. 전류 측정값의 선형화(5[A] 범위)

그림 10은 5[A]에 대한 전류 측정값의 선형화 정도를 보여주고 있다. 선형화에 따른 오차는 3[%] 이내로 양호한 것으로 판명되었다.

그림 11은 전류범위 40[A]에서의 측정값을 선형화한 것이다. 선형화에 따른 오차 범위는 5[%] 이내이다.

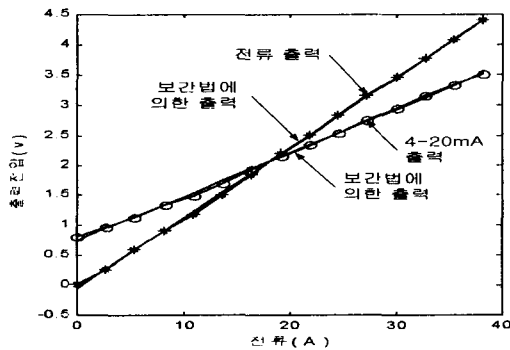


그림 72. 전류 측정값의 선형화(40[A] 범위)

## VI . 결론

본 연구에서는 3상 유도전동기의 운전상태를 가늠할 수 있는 절연저항 및 전류 검출 시스템을 설계하여 안전진단을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 절연저항 측정시 회로에 삽입하는 저항값을 적게하여 절연저항 측정전압이 일정하게 유지되도록 설계하였다.

둘째, 절연저항의 변동에 따른 출력누설전류의 비선형성을 개선하기 위하여 선형화 회로를 부가한 결과 오차 2[%]이내의 출력값을 얻을 수 있었다.

셋째, 상용 CT와 측정용 CT를 연계 사용함으로써 전동기의 용량이 증가함에 따라 경제적 부

담이 가중되는 것을 최소화시킬 수 있었다.

앞으로 전류신호의 출력을 기존의 3선 전송방식에서 2선 전송방식으로 구현하는 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 논문은 2000년도 부산·울산중소기업청 기술혁신사업의 일환으로 연구되었음

## [참고문헌]

- [1] 한응교, 計測工學, 청문각, 1993
- [2] 尹炳道, 電氣機器, 문운당, 1999
- [3] 上野大平, 電子回路設計, 機電研究社, 1982
- [4] 김봉열 외2명, 전자회로, 흥中堂, 1997
- [5] 노창주, 船用電子, 동성출판사, 1989
- [6] Gordon E. Carlson, Signal and Linear System Analysis, John Wiley & Sons. Inc., 1998
- [7] MATLAB reference Guide, The Mathworks