
전동기 안전진단시스템 개발에 관한 연구

강대규*, 이성근*

Development of Intelligent safety diagnosis system of motor

Dae-Gyu Kang, Sung-Geun Lee

본 논문은 2000년도 부산·울산중소기업청 기술혁신사업의 일환으로 연구되었음

요 약

본 논문에서는 선박에서 사용되고 있는 전동기의 절연저항 및 전류를 검출하여 안전진단을 행하는 안전진단 시스템을 제안한다. 선박용 전동기는 상시 해풍·기름 등의 오염물질에 노출되어있기 때문에 절연저항의 감소, 과전류등의 문제점이 야기될 수 있다. 이러한 문제는 선박의 안전항해에 막대한 영향을 주어 크나큰 인명과 재산상의 손실을 초래하게된다. 제안된 시스템은 전동기의 절연저항 및 전류를 검침하여 이를 현장에서는 물론 제어실에서 확인 관리하므로서 사고가 발생하기 전에 전동기의 이상여부를 확인 할 수 있도록 한다. 제안된 방법의 타당성을 3상 유도전동기를 대상으로 확인한다.

ABSTRACT

This paper proposes integrated safety diagnosis system of motor used in 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 able to sense error of the motor before a accident occur, by verifying and controlling value of the insulation-resistor and current in working area or control room. The validity of the proposed system is verified through experiment results on the 3-phase induction motor.

* 한국해양대학교 전기전자공학부

접수일자: 2000.11.7

I. 서론

선박 내에 설치되어 있는 전동기는 보통 20개 이상이 장착되며, 작게는 공기조화설비에서부터 크게는 선박내의 크레인이나 Cargo 펌프를 동작시키는 동력원으로써 사용되는, 배의 주기관에 버금가는 동력원이다. 일반 육상에서와는 달리 이러한 선박의 전동기는 사용 환경상 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 불능 사태를 초래할 수 있다. 전동기 절연의 경우를 보면, 일정한 절연 저항을 확보하지 못했을 경우에는 접지 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. 전동기 전류의 경우도 과전류시 전동기의 소손이 우려되며, 이에 따른 선박 운행상의 애로를 발생시킨다.

이와같은 전동기의 소손 방지를 위하여 기존의 경우 절연저항 측정을 위하여 메거 test를 실시하거나 DC저전압을 인가하여 상시적으로 전동기의 절연저항을 검출하는 제품을 사용중이다. 그리고 전류의 경우는 과전류 검출을 위한 과전류 계전기나, 열동계전기를 사용하고 있다.[1][2]

메거 test를 실시하는 경우는 정확한 측정값을 제공하나, 지속적인 측정이 불가능하여 전동기의 소손 발생 시점에서 소손을 즉시 발견할 수 없어 신속한 대응이 어렵다는 단점이 있다. 기존의 상시 절연저항을 검출하는 제품의 경우는 상시적으로 전동기의 절연저항을 측정하여 소손시 빠른 대처를 할 수 있으나, 저전압이 인가됨에 따라 단자간의 접촉이나 선로 저항 등 회로 구성상에서의 손실 전압이 차지하는 비중이 커지는 관계로 정확한 측정이 어렵다는 단점이 있다. 그리고 전류검출의 경우는 현재 전동기의 제어 패널에 절연저항을 검출하는 제품과 따로 장착되어 제어 패널 제작시 가격이 상승하게 된다.

그리고 모니터링의 경우 감시대상 전동기의 설치 위치가 분산되어있음에 따라 항상 전문기술자들이 장비 근거리에서 상주해야함으로써 인력의 소모가 발생

한다. 최근 비약적으로 발전하는 통신기술을 이용해 모뎀 및 네트워크를 통한 모니터링시스템을 개발함으로써 인력 손실 및 시간적, 경제적 손실을 줄일 수 있을 것이다. 이를 위해 장비의 운전 상태에 따른 외부 데이터 및 신호들을 원격지에서 확인할 수 있어야 할 것이다.

본 논문에서는 현재 선박에서 장착 운용중인 전동기에 상시적으로 장착하여 실시간으로 전동기의 절연저항과 전류를 검출하고, 이 측정된 값을 전면에 표시하여 현장작업자가 감시할 수 있도록 하였다. 또한, 기존의 제기들과의 연계를 위한 4~20mA 전류 신호를 출력하도록 하였다. 그리고 원격지에서의 전동기 상태를 감시하기 위한 모니터링시스템을 제안한다. 이 논문에서 제안된 회로는 3상유도전동기를 대상으로 한 실험을 통해 그 타당성을 검증하였다.

II. 측정시스템의 구성과 기능

시스템의 전체 동작은 운전중일때는 전동기의 전류를 검출하고, 정지시에는 전동기의 절연저항을 검출하도록 한다. 시스템의 구성은 크게 절연저항 측정회로, 전류측정회로, 전동기동작 검출회로, 4~20mA 전류 신호 출력회로, RS232통신회로로 나누어진다.

1. 각 부분의 회로 구성

절연저항 측정회로는 측정에 필요한 전압을 발생시키는 전압 발생회로와 절연저항의 측정회로, 측정한 값을 선형화 시키는 선형화 회로로 구성되어진다. 기존에 사용중인 제품의 문제점을 개선하기 위하여 입력 전압의 경우 DC305V의 높은 전압을 사용하였다.

Fig. 1은 기존의 절연저항 측정회로이고 Fig. 2는 제안한 절연저항 측정회로이다.

기존의 회로는 비교기의 기준 전압을 일정하게 유지시키고, 회로 내부에 있는 R_i 와 전동기 절연저항 R_m 사이의 전압 분배 법칙을 이용하여 전압을 측정하여 현재의 절연저항이 설정치보다 큰지 작은지를 판별하는 방식이다.

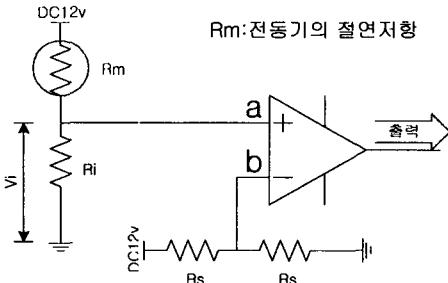


그림 1. 기존 절연저항 측정회로
Fig. 1 Previous measurement circuit of the insulation-resistor

제안하는 회로는 측정단자에 인가되는 전압을 DC 305V로 높여서 기존 회로에서 발생할 가능성이 있는 접촉저항이나 권선저항등에 의한 전압강하분이 차지하는 부분을 최소화시켜 측정값의 정확도를 높였다. 기존에는 전동기의 절연저항 측정시 그에 상응하는 저항 R_i 를 내부에 직렬로 연결하여 실제 전동기에 걸리는 전압은 대략 6V내외가 된다. 그러나 제안된 회로는 회로에 흐르는 전류를 저항을 통하여 검출하는 방식으로 전압의 대부분이 전동기의 절연저항에 인가됨으로 인하여 좀 더 높은 정확도를 제공하게 된다. 회로의 동작은 대상 전동기에 높은 전압을 인가하고 전압분배에 의해 전압을 검출한다. 그러나 검출값이 선형적이지 못하기 때문에 선행화 회로를 거친후 비교기에서 설정값과 비교하여 릴레이를 구동시킨다. [3] [4] [5]

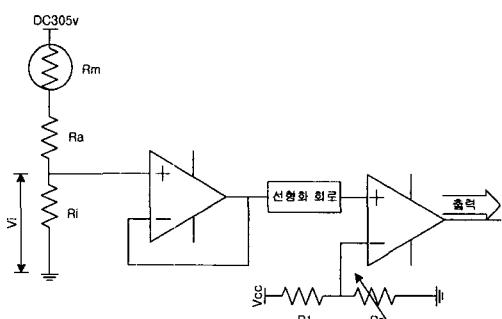


그림 2. 제안한 절연저항 측정회로
Fig. 2 Proposed measurement circuit of the insulation-resistance

전류 측정회로는 전동기에 들어가는 3상의 전류중

2상의 전류를 검출하여 RMS 값으로 변환하여 그 중 큰값을 출력하게 된다.

전동기 동작 검출회로는 저항과 포토-커플러로 이루어 진다. Fig. 3은 전동기 동작 검출회로이다.

회로의 동작은 R_i 에 의해서 전류를 충분히 감소시킨 후 브릿지 회로를 통하여 포토-커플러를 동작시킨다. 포토-커플러를 통해 출력된 신호는 절연저항 측정회로를 단선시켜 검출을 중단함과 동시에, 전류 검출회로를 구동시키기 위해 릴레이를 동작시킨다. R_i 는 $1\text{M}\Omega$ 을 사용하였다.

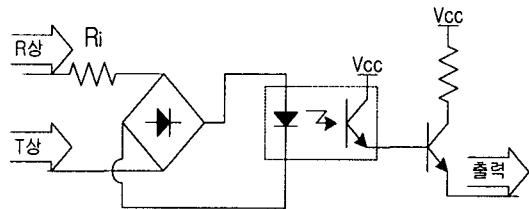


그림 3. 전동기 동작 검출회로
Fig. 3 The circuit of motor movement detection

4~20mA 전류신호 출력회로는 입력전압 0~10V에 대해서 4~20mA를 출력하는 회로이다. Fig. 4는 전류신호 출력회로의 블록도이다.

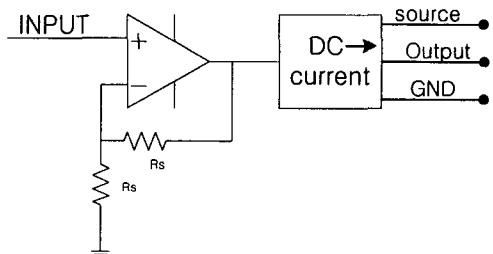


그림 4. 전류신호 출력회로 블록도
Fig. 4 Block diagram of output circuit for current signal

이 회로의 동작은 최대 5V인 입력 전압을 2배 증폭한 후, 전압-전류 변환회로의 입력으로 사용한다. 전압-전류 변환회로는 회로의 신뢰성을 확보하기 위해 전용칩을 사용하여 구성하였다. 출력측에 연결할 수 있는 최대 부하의 크기는 인가전압의 크기로 구할 수 있고 계산식은 식 (1)과 같다.

$$R_{load} = \frac{V_{source} - 2V}{20mA} \quad \dots \dots \dots (1)$$

상용에서 인가하는 Vsource 전압은 일반적으로 DC 24V이다. DC 24V를 인가했을 때, 회로가 감당할 수 있는 최대 부하의 크기는 $1.1k\Omega$ 으로, 원격제어 시스템뿐만 아니라, 다른 표시 장치를 연결하여 동작시키기에 충분하다. 이 아날로그 출력신호의 전자파 장애 문제는 회로의 동작이 전적으로 외부의 전원에 의존하기 때문에 외부에 연결되는 기존의 회로가 전자파에 대한 충분한 검정을 거친 것이라면 이에 대한 장애는 없다.

회로의 동작은 Fig. 5에서와 같이 입력으로 전류와 절연저항의 측정값과 설정값, 그리고 전동기 동작신호를 받아들인다. 이 입력신호들은 순차적으로 AD-Converter 회로를 거쳐 프로세서에서 연산을 수행하게 된다. 프로세서에서는 AD-converter 입력신호를 평균화하여 잡음성분을 제거한 후 RS232통신회로로 보낸다. 한 신호당 AD-Converter 변환 시간은 1ms로 하고, 평균은 샘플 10개를 취하여 계산한다. 통신은 PC와 연계하여 PC에서 신호 요청시에만 Data를 전송한다.[6]

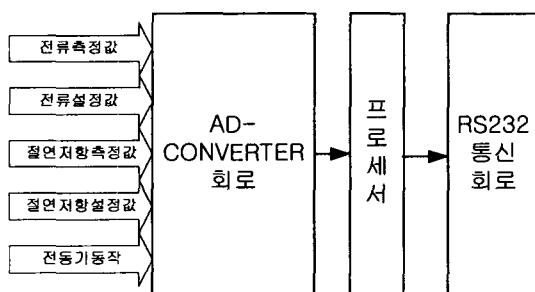


그림 5. 통신회로 블럭도

2. 시스템의 동작

시스템의 동작은 크게 전류를 검출하는 부분과 모터의 절연저항을 측정하는 부분으로 나누어진다.

Fig. 6은 절연저항을 측정하는 순서도이다.

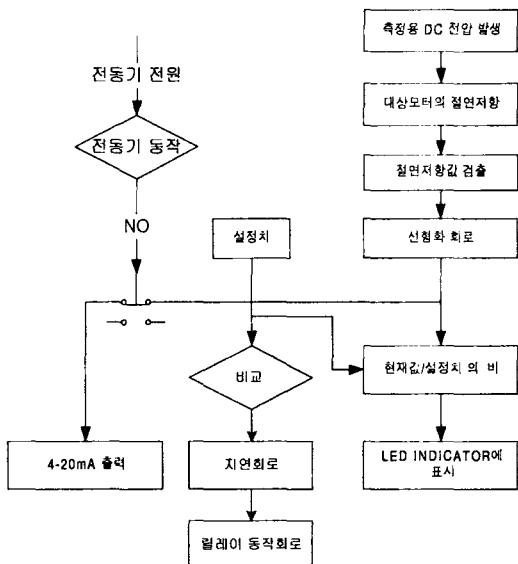


그림 6. 절연저항 측정 순서도
Fig. 6 Flowchart of the Insulation-resistor

절연저항의 측정을 설명하면 다음과 같다. 먼저 선박에서 상용으로 사용되는 AC 220V 전원이 절연저항측정용 DC전원 발생회로에 인가되면 DC 305V가 전동기의 절연저항에 인가된다. 인가된 전압은 전동기 절연저항의 크기에 따라 회로내부의 저항과 전압분배가 된다. 이때 전동기의 동작은 정지상태이다.

측정 대상 전동기의 절연 저항값에 따른 측정전압의 값은 선형화 회로를 거쳐야 한다. 선형화 회로를 거친 측정값은 Fig. 7에서 나타난 것과 같이 4~20mA 전류 신호 출력 회로와 측정값 LED 표시회로, 그리고 릴레이 동작회로, RS232 통신회로로 보내진다. LED 표시회로의 동작은 설정치와 최고치 사이를 10등분으로 나눈 후 현재 측정값이 차지하는 부분 막률을 표시한다.

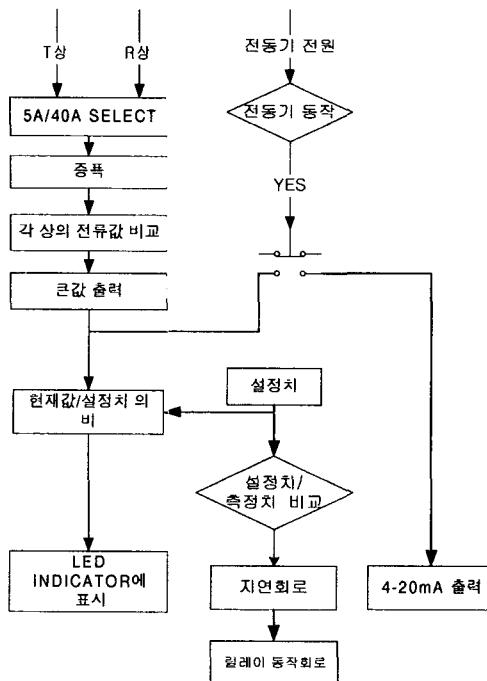


그림 7. 전류 측정 순서도
Fig. 7 Flowchart of the current measurement

전류를 측정하는 순서도는 Fig. 7에 나타나 있다. 전류는 전동기 정지시에만 측정되는 절연저항과는 달리 정지와 동작시 모두 측정을 실시한다. 절연저항의 측정은 전동기의 입력으로 쓰이는 3상 중 2상의 전류를 CT로부터 입력을 받아 베피를 거친 후 AC-RMS 변환회로에서 DC 값으로 변환된다. 변환된 전류는 모터의 비정상적인 동작시 전류값이 서로 다른 경우가 있음으로 이중 큰 값을 취하여 LED 표시회로와 릴레이 동작 회로, RS232통신회로로 보내진다. 4-20mA 전류 신호의 경우 그림에서 보듯이 전동기 동작시에는 전류 신호를 출력하도록 하였다.

III. Monitoring

제안한 모니터링 프로그램은 PC의 시리얼 통신을 이용하였다. Fig. 8은 모니터링 프로그램의 순서도를 나타내고 있다. 프로그램의 동작은 먼저 시리얼통신 component를 열고 값을 초기화시킨 후, 시리얼통

신을 위한 이벤트가 발생하면, 통신을 측정시스템에 요청하게 된다. 요청을 받은 시스템에서는 필요한 값을 RS232 시리얼통신을 이용하여 보내게 된다. 그러면, 모니터링 프로그램에서는 이를 받아 큐에 저장을 하고 받은 값이 측정 data인지 검사한 후, 화면에 표시하게 된다. 프로그램의 종료시에는 component를 닫고, 종료를 한다.[6][7]

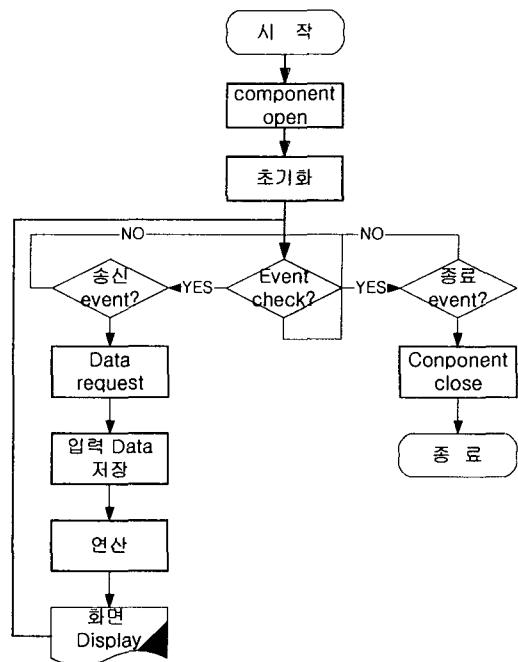


그림 8. 통신 프로그램 순서도
Fig. 8 Flowchart of communication program

IV. 실험 및 고찰

제안한 회로를 실제 전동기에 적용하여 현장에서의 사용 가능성여부를 검정하였다. 동작 실험은 모터의 동작시와 정지시로 나누어 행하였고, 정지시에는 절연율, 동작시에는 전류를 검출하였다. 절연저항의 측정은 측정대상물의 저항이 변동되지 않는 관계로 외부에서 저항을 가변시켜 측정하였다. 전류의 측정에 사용된 CT는 태화트랜스의 TZ71모델(정밀도 0.2)을 사용하였다. 전류측정범위는 5A와 40A로 나누어서 측정하였고 각각의 경우에 대해 측정값의 선형성과 현장

적용 가능성을 확인하였다.

통신은 RS232 통신을 이용하였고, 통신을 위한 회로는 AD converter는 ADC0809를, CPU는 Intel 80C31을 사용하였다. 그리고 모니터링 프로그램은 Visual C 6.0을 이용하여 작성하였다.

1. 절연저항 측정

절연저항의 측정은 정밀저항(오차 1%)을 이용하여 값을 변동하면서 측정하였다. Fig. 9는 절연저항 측정 그래프이다. 위 그림은 저항 분배에 따른 저항 측정값이고, 아래 그림은 위에서 받은 값을 선형화 회로의 입력으로 한 출력전압값이다.

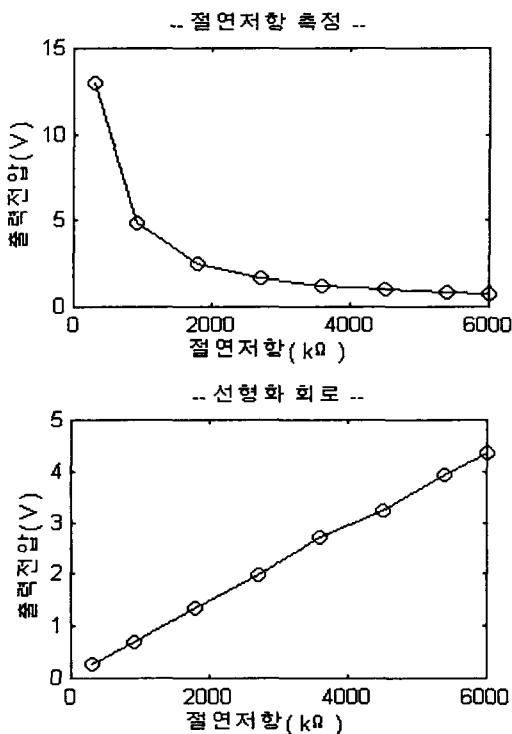


그림 9. 절연저항 측정과 선형화
Fig. 9 Measurement of the insulation-resistor and linearity

Fig. 10은 절연저항이 6M일 때 출력전압을 DC 5V 가 출력되도록 조정한 후, 측정한 결과값과 출력단에 저항 200Ω를 연결한 4-20mA 전류신호 출력에서의

전압을 선형화시킨 것이다. 출력되는 저항 저항의 전압 값의 선형화는 보간법을 이용하여 Matlab으로 수행하였다. 그 결과 선형화에 따른 오차는 2%이내로 양호한 것으로 판명되었다.

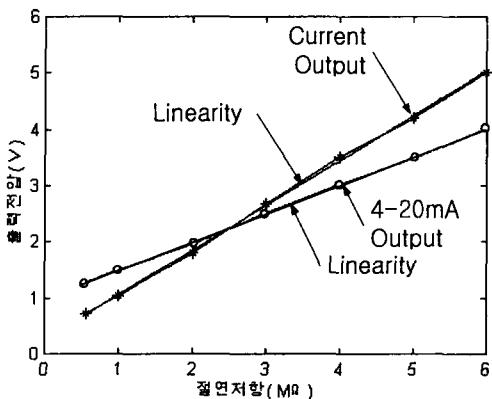


그림 10. 절연저항 측정값의 선형화
Fig. 10 Linearity of measurement value for the insulation-resistor

2. 전류 측정

제안한 시스템의 전류검출은 그 검출 범위를 확대시키기 위해서 40A와 5A의 두 범위에 대해 측정을 실시하였다. 이것은 전류범위 40A까지는 현 시스템 단독으로 전류를 측정하고 40A를 넘는 범위에서는 전류 센서를 2단으로 연결하여 사용하기 위한 것이다.

Fig. 11은 5A에 대한 전류 측정값의 선형화 정도를 보여주고 있다. 전류 측정값의 선형화는 보간법을 이용하여 Matlab으로 수행하였다.[8][9] 선형화에 따른 오차는 3% 이내로 양호한 것으로 판명되었다.

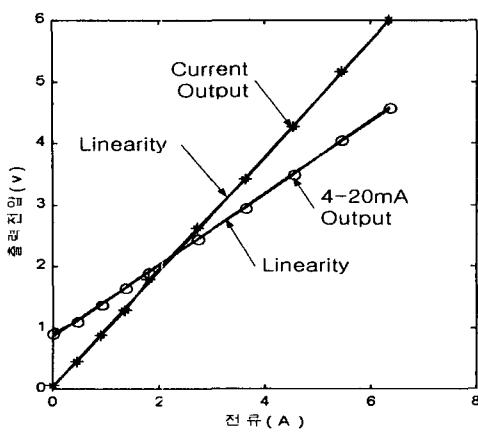


그림 11. 전류 측정값의 선형화(5A 범위)
Fig. 11 Linearity of measurement value for current
(Range: 5A)

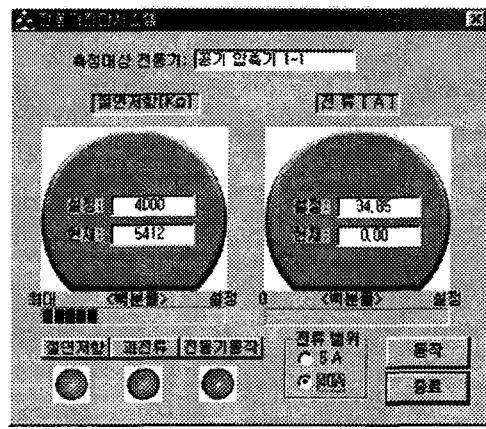


그림 13. 절연저항측정화면
Fig. 13 Screen of Insulation-resistor measurement

Fig. 12는 전류범위 40A에서의 측정값을 선형화한 것이다. 선형화에 따른 오차 범위는 5%이내이다.

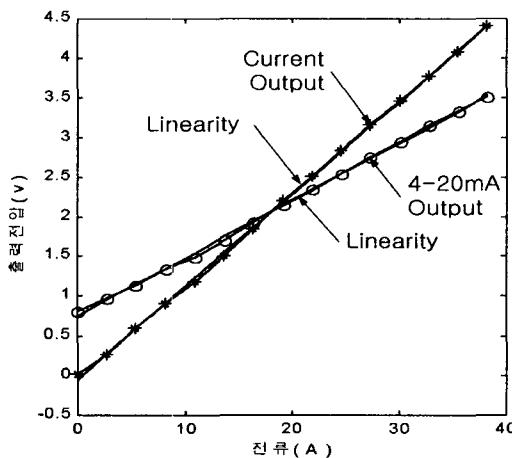


그림 12. 전류 측정값의 선형화(40A 범위)
Fig. 12 Linearity of measurement value for current
(Range: 40A)

3. Monitoring

Fig. 13은 Monitoring program의 절연저항 측정 시의 화면이다.

V. 결론

선박에서 사용하는 전동기의 안전진단시스템으로 절연저항과 전류를 검출하는 시스템을 제작하고, 이를 현장에 적용하여 그 타당성을 검정하였다.

본 논문에서 제안한 절연저항 측정방식은 기존의 선박에 장착하여 사용중인 측정방식에 비하여 설치중에 발생하기 쉬운 접촉저항이나 권선의 저항 등 각종 전압 손실에 대해 그 영향력을 극소화시켜 측정값의 신뢰도를 향상시켰고, 여기에 전류 진단회로를 부가하여 기존에 비해 원가 상승 요인을 제거하였다.

향후 연구과제는 인터넷이나 네트워크를 이용하여 측정대상물을 감시하고 제어하는 연구가 필요하다.

참고문헌

- [1] 한용교, 計測 I學, 청문각, 1993.
- [2] 尹炳道, 電氣機器, 문운당, 1999.
- System Analysis, John Wiley & Sons. Inc., 1998.
- [3] 上野大平, 電子回路設計, 機電研究社, 1982.
- [4] 김봉열 외2명, 전자회로, 喜中堂, 1997.
- [5] 노창주, 船用電子, 동성출판사, 1989. Inc., 1992.
- [6] 박인규 외 4인, “인터넷을 이용한 SCADA 시스템 구축에 관한 연구”, 98년 대한전기학회 하계학술 대회 논문집, p.2373~2376.
- [7] 곽준기 외 1명, Visual C++6, 삼각형프레스,

2000.

- [8] Gordon E. Carlson, Signal and Linear
- [9] MATLAB reference Guide, The Mathworks



강대규(Dae-Gyu kang)
2000년 한국해양대학교 전기공학
과 졸업
현재 동대학원 전기공학과 재학중
(석사)
※ 주요관심분야: 인버터 설계 및 전
동기제어, 마이크로프로세서 응용



이성근(Sung-Geun Lee)
1983년 한국해양대학교 기관학과
졸업
1990년 동대학원 기관학과 졸업
(석사)
1998년 동대학원 졸업(박사)
현재 한국해양대학교 전기전자공학부 조교수
※ 주관심분야: 인버터설계 및 전동기 제어 · 마이크로
프로세서 응용 및 전기기기제어