

크레인의 고압 전선로 접근 경보장치

최상진, 김현식, 이종호, 김일환, 박찬원
강원대학교 전기전자정보통신 공학부

A Power Line Proximity Detector for Mobile Crane

Sam-Jin Choi, Kim Hyun-sik, Jong-ho Lee, Il-Hwan Kim, Chan-won Park,
Dept. of Electrical & Computer Engineering, Kangwon National Univ.

Abstract - In this paper we have developed a Power Line Proximity Detecting device for Mobile Crane by using a Derivation Electric-Potential Detection method.

A mobile crane worker can be easily exposed to a dangerous electrical shock and the electrocution while they are working at near the high-voltage electrical lines.

The derivation electric-potential of the power lines have been simulated in our experiment. Also, microprocessor-based detecting device and transmitter/receiver modules are introduced to show a solution for the dangerous mobile crane working environment. As a result, It has been shown a good functional field test.

1. 서 론

최근 에너지 사용의 증가에 따라 송전선, 배전선 등의 고압선이 도심부 혹은 건설현장에 인접하고 있어 이들 고압선이 주위에서의 건설용 크레인 작업을 피할 수가 없다. 특히 크레인의 선단부가 단순히 활선에 접근하는 것뿐만 아니라 활선 보다 높은 상태에서 선회나 상하 기복 동작을 할 경우 크레인 축이나 크레인 와이어가 활선에 접촉하여 작업자의 감전이나 크레인의 파손, 그리고 활선의 단선에 의한 정전사고 등의 위험성이 있다. 이들 사고는 활선에 절연 보호 기구를 장치하거나 작업 감시인을 배치시킴으로써 방지할 수 있으나 그다지 효과적인 해결방안은 되지 못한다. 따라서 활선에 크레인 축이나 크레인 와이어가 근접하면 위험범위내일 경우 경보를 발생시켜 작업자 및 재산상의 피해를 방지하는 경보장치, 즉 고압선로 접근 검출 방법에 대한 연구의 필요성이 대두된다.

국내 제품일 경우는 오래 전부터 감전모에 착용하는 전파수신 방식을 기본 원리로 하는 소형의 고압선 경보기가 판매되고 있으나, 작업 환경에 따른 오차가 심하고 본격적인 크레인용으로 사용하기에는 미비한 점이 많다. 아직 외국의 제품에 뚜렷이 실용적으로 활용되고 있는 장치는 조사된바 없으나 가까운 일본에서 관련 연구가 일부 수행되고 있는 정도이다.

현재까지의 크레인의 활선 접근을 알려주는 경보장치는 원리적으로 유도전위방식과 적외선을 이용하는 방식, 화상 처리를 이용하는 방식들이 보고되고 있으나 이들 모두 작업상황을 고려한 정보범위의 설정에 문제점들을 내포하고 있으며 제작비용이 경제적이지 못한 단점들이 지적되고 있다. 따라서 본 연구에서는 크레인의 고압 전선로 접근 검출 방법에 대한 연구와 이를 위한 보다 실용성을 고려하고 상품성을 갖는 시제품 개발을 수행하였다.

2. 본 론

2.1 센싱부와 인터페이스 하드웨어의 기본구성

본 연구에서 개발된 장치는 그림2와 같은 기본적인 하드웨어의 구성을 갖는다. 고압 접근에 따라 센싱된 신호는 impedance 변환 및 Analog amp 후 저역 통과 필터를 거친 후 one chip CPU에 의해 A/D 변환되고 변환된 디지털데이터는 일정 레벨 이상일 경우 송신부는 고압 접근 신호를 무선으로 전송하게된다. 이때 필요에 따라 송신부는 현재 battery양과 측정 유도 전압 등의 데이터를 전송하게 된다.

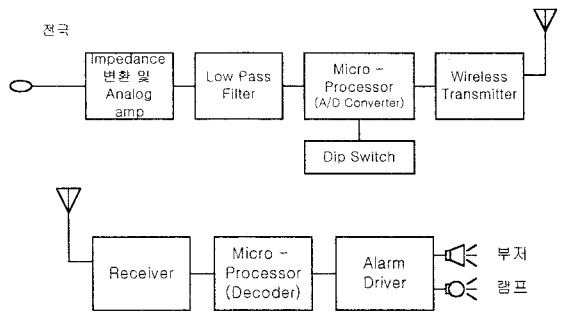


그림 1. 개발된 하드웨어 블록도

2.2 RF module

RF 모듈의 주파수 대역은 433.92MHz이다. 모듈의 spec은 동작전압이 3-10V, 모뮬레이션 방식은 00K(ASK) 데이터타이밍은 100uS 이다.RF 대역 측정 결과는 그림과 같다.

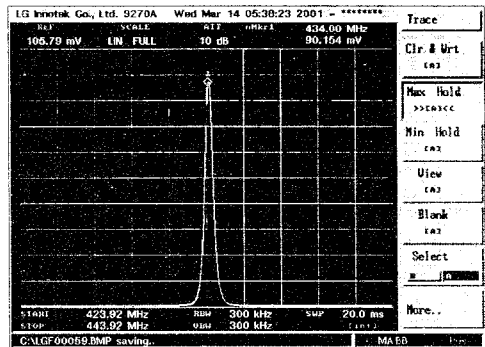


그림 2. RF spectrum

본 모듈의 전송시 에러 확률은 다음 식과 같다.

$$P_e = \frac{1}{2} \int_0^{V_i} P1(r) dr + \frac{1}{2} \int_{V_i}^{\infty} F0(r) dr$$

$$P_e = \frac{1}{2} \left(1 + \sqrt{\frac{1}{\pi \cdot SNR}} \right) \cdot e^{\left(\frac{-SNR}{4} \right)}$$

단, $P1$ 은 Rayleigh Distribution 밀도함수, $F0$ 는 Rician 밀도함수를 가리킨다.

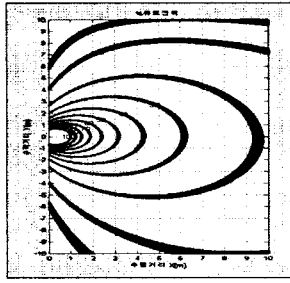


그림 4. 시뮬레이션 유도전위분포

2.3 유도전위에 의한 crane head의 위치 simulation

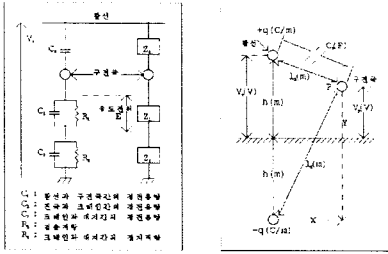


그림 3. 유도전위 (등가법 과 영상법).

본 경보장치는 센서부와 경보부로 크게 분류된다. 센서 부에는 복수의 구전극이 crane boom 선단에 부착되어 있는데, 이들 구전극에는 활선으로부터의 거리에 따른 전위가 유도된다. 3상 배전선이므로 구전극에 유도되는 순시전위 v_a, v_b, v_c (V)는 영상법을 이용하여 구하는데, 각 활선과 구전극의 위치에 영향을 받는 정전용량 α, β, γ (F/m)가

$$\alpha = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log \frac{2h}{r} \frac{\sqrt{(X+2d)^2 + (Y-2h)^2}}{\sqrt{(X+2d)^2 + Y^2}}}$$

$$\beta = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log \frac{2h}{r} \frac{\sqrt{(X+d)^2 + (Y-2h)^2}}{\sqrt{(X+d)^2 + Y^2}}} \quad \text{---(1)}$$

$$\gamma = \frac{2\pi\epsilon_0}{\log \frac{2h}{r} \frac{\sqrt{X^2 + (Y-2h)^2}}{\sqrt{X^2 + Y^2}}}$$

일 때,

$$v_a = \sqrt{2} \omega K \alpha b |V_o| \cos(\omega t)$$

$$v_b = \sqrt{2} \omega K \beta b |V_o| \cos(\omega t + \frac{2\pi}{3}) \quad \text{---(2)}$$

$$v_c = \sqrt{2} \omega K \gamma b |V_o| \cos(\omega t + \frac{4\pi}{3})$$

로 표시된다. 단, b : 전위검출 저항 (Ω), K : 구전극의 크기에 따른 계수, h : 전선 높이 (m), d : 전선 간격 (m), r : 전선 반경 (m), X : 수평 거리 (m) 이고 Y : 수직 거리 (m)를 나타낸다.

이들 전위로부터 구전극에 유도되는 전위의 실효치 $|V_{xy}|$ (V)는,

$$|V_{xy}| = \omega K b |V_o| \times \sqrt{(\alpha - \beta)^2 + (\beta - \gamma)^2 + (\gamma - \alpha)^2} \quad \text{---(3)}$$

이들 식으로 구해진 구전극의 유도전위는 그림4에 나타난 것과 같이 활선을 중심으로 한 평면상의 전위분포가 구해진다.

2.4 센서부 구성과 측정

센서는 무접점을 기본으로 하고 사용가능 주파수는 50 Hz~60 Hz 범위, 현재 소비 전류는 20mA이다. 신호의 full redundancy를 위해 구 전극을 사용하였다.

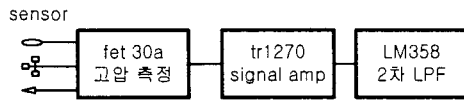


그림 5. 센서부 블록도

그림5는 Sensor part의 블록도를 보여준다. 블록도는 크게 3부분으로 되어 있다. 고압 레벨 검출부는 FET K30A, impedance 변환 및 신호 증폭에 tr 1270과 신호의 노이즈 제거를 2차 저역통과필터로 구성되어 있다.

본 연구에 사용한 센서는 전위센서이다. 부하에 따라 전류의 크기와 위치에 따라 분포가 다름으로써 앞의 그림4와 같은 모양의 유도전위가 발생한다. 가상실험에서는 전류의 크기가 적어서 최대 반응거리가 2m 안팎이었다. 하지만, 실제 옥외전주를 대상으로 한 실험에서는 4~5m의 우수한 반응거리가 측정되었다. 센서가 반응 시 입력 단에 150mV 값이 측정되었다. 그림6은 가상 실험에서 측정된 파형이다.

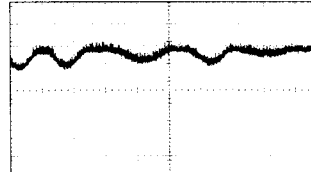


그림 6. 실제 작동 시 측정된 파형

그림7은 센서가 반응시 저역통과필터 전의 노이즈를 포함한 파형이고 그림8은 저역통과필터 후의 파형으로 노이즈가 제거된 것을 볼 수 있다.

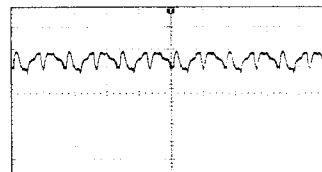


그림 7. 저역통과필터 통과 전

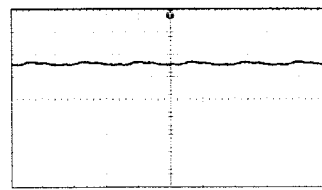


그림 8. 저역통과필터 통과 후

2.5 시스템 인터페이스의 구현

본 연구의 목적이 실장품의 소형화에도 있는 바 A/D converter 가 내장되어있는 PIC 16C7X 계열을 사용하였다. 센서의 반응 민감도는 송신부의 switch 조절 (10 단계)에 의해 가능하고 배터리에 의한 구동이므로 배터리 체크가 가능하도록 하였다.

무선통신에는 RFM사의 433.92MHz의 대역과 OOK 방식으로 송신부는 HX1000과 수신부는 RX1005를 사용하였다. 통신 프로토콜은 총 29비트에 의한 데이터 전송으로 표 1과 같다.

표 1. 통신 protocol

_startbit	장비번호	전송데이터	CRC check	_stopbit
1 bit	2byte	1byte	3 bit	1bit

그림9는 송신부 프로그램의 순서도이다. 송신부는 sleep 모드 중 A/D 변환 값이 변할 경우 다시 A/D 변환을 하고 데이터를 전송하게 된다.

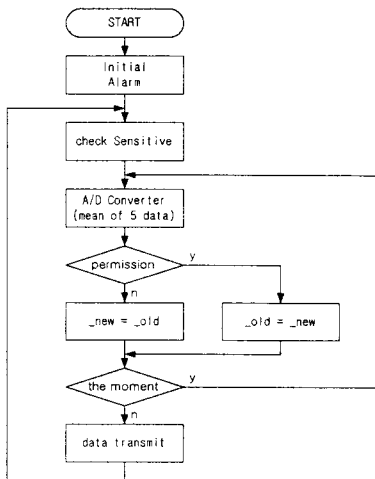


그림 9. 송신부 프로그램 순서도

그림10은 수신부 프로그램의 순서도이다. 수신부는 주기적으로 데이터를 체크해서 자신의 데이터 유무를 확인 후 LED와 부저로 고압 접근을 알리게 된다.

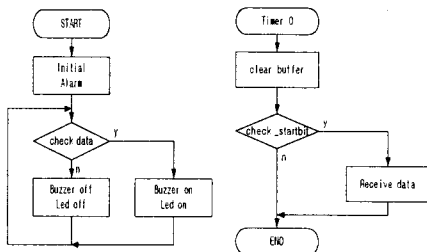


그림 10. 수신부 프로그램 순서도

본 연구에서는 고압 접근의 위험을 알리는 시스템으로 지능형 방호 판단 알고리즘과 여러 경우의 방호실패를 방지 할 수 있는 full redundancy를 확보하는데 주안점을 두고 하드웨어와 소프트웨어를 구현했다.

4. 시제품의 테스트결과

그림 11은 실제 제작한 시제품을 가지고 실내에서 테스트한 결과이다. 실제와 근접한 테스트를 위해 22,900V를 출력하는 가상고압 발생기를 만들어 테스트를 수행했다.

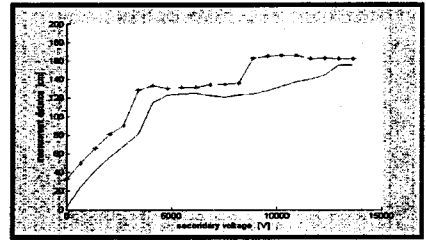


그림 11. 가상 고압 장치에 의한 센서의 반응거리

실제 filed test는 옥외 22.9kV의 전선로에 본 시작품을 가까이 접근시킴으로써 반응 거리를 테스트하였다. 테스트한 결과 가장 민감한 단계인 8단계에서 5m 정도에서 반응거리를 보였다. 6단계인 경우 4 ~ 5m 반응 거리의 결과를 보여 주었으며 이는 충분히 실용화 할 수 있는 결과이다.

5. 결 론

종래의 고압 전선로 접근 경고 장치는, 크레인 붐에 부착한 전위 검출기의 검출 전위가 설정 전위를 넘었을 경우에 크레인 붐이 고압 전선로에 이상 근접하였다고 판단하여 경보를 알리는 장치이다. 그러나, 고압 전선로 주위의 전위분포는 주위의 상황, 특히 복수의 전선로의 전기적 간섭에 의해 동심원 상으로 되지 않을 경우도 발생하므로 전선로 주위의 한 곳의 전위만으로 크레인 붐이 전선로에 이상 접근하였다고 판단하는 것이 어렵고, 또한, 크레인 붐과 전선로 사이의 거리는 검출 전극이 전선로에 접근하는 방향에 따라 달라질 가능성도 있다. 한편, 종래의 경고 장치의 경우 센서부와 경고장치가 유선으로 연결되어 있어 크레인 붐이 신축하는 경우에 사용이 불편한 점이 있다. 또한, 센서를 크레인 붐에만 설치한 경우에 후 블럭과 붐의 선단과의 거리가 많이 떨어진 경우에는 크레인 작업 시에 와이어가 전선로에 접촉할 위험이 존재한다. 이와 같이 종래의 기술에는 많은 문제점이 미해결 되어 실용화되지 못하고 있는 실정이다. 본 연구에서는 저주파 필터를 이용하여 전위 검출 신호에 포함된 노이즈를 제거하므로 검출 정도를 높이고, 마이크로프로세서에 내장된 아날로그 디지털 변환기를 이용하여 설정된 전압과 디지털 신호로 처리함으로써 신뢰성을 높이고, 초소형 무선 송신부를 이용하여 센서부를 무선으로 함으로써 크레인 붐의 선단이나, 후 블럭에 손쉽게 부착이 가능하도록 하여 복수의 위치에서 고전압 전선로에의 접근 검출이 가능하도록 하여 실용화한 고압 전선로 접근 경고장치를 개발하였다.

(참 고 문 헌)

- [1] 早川 隆, 建設用クレーンの 活性接近シミュレーションモデル, 日本電氣 設備學會, vol.14, No.2, pp110- 121, 1994
- [2] 移動式クレーンの送配電線への接近の一檢出法, 日本電氣設備學會 研究發表會, vol.11, F-4, pp159-160, 1993
- [3] 活性接近警報裝置の開發, 日本電氣設備學會 研究發表會, vol.11, F-5, pp.161-164, 1993
- [4] 高橋 清, センサ エレクトロニクス p.241, 昭晃堂, 1984
- [5] Wills J. Tompkins & G. Wbster, 'Interfacing Sensors to the IBM PC' Prentice-Hall Inc., pp250-268, 1988
- [6] Joseph J. Carr, 'Sensors and Circuits', Prentice- Hall Inc., pp1-37, 1993