

아크전류 제어 알고리즘 설계

반기종, 한홍균, 남문현, 김낙교
건국대학교 전기공학과

Design control algorithm for arc current

Gi Jong, Ban* , Hong Kyun, Han, Moon Hyon, Nam, Lark Kyo, Kim
Department of Electrical Engineering, Konkuk university
E-mail : sky@skylogo.org

Abstract

In this paper, arc current control algorithm is designed for the interruption of arc fault current which is occurred in the low voltage and low current network. Arc in electrical network have the characteristics of low current, high impedance and high frequency. Conventional controller does not have the arc current interrupt function. Hence, In this paper, arc current control algorithm is designed for the interruption of arc fault current.

I. 서론

전기가 발명된 이래 사회적으로 많은 변화를 가져왔다. 산업화와 더불어 생활의 일부가 된 전기란 많은 이점을 주는 반면에 하나의 재해로 다가오기도 한다. 본 논문에서는 일반적인 실생활에 적용되고 있는 저압 전기회로에서 발생할 수 있는 재해의 원인이 되는 아크 전류를 검출함으로써 전기로 인한 화재 및 인체에 대한 위험 인자를 감소시키기 위한 아크 전류 제어 알고리즘을 설계하였다. 아크전류는 아크 방전에 의해 발생하며 발생 형태에 따라 직렬, 병렬, Ground, Crosstalk의 4가지로 나눌 수 있다. 이들은 각기 임피던스 특성이 다르게 나타나며 아크 발생시의 아크전류 전압도 다르게 나타난다. 아크전류를 검출하기 위해서는 4가지의 전기 회로계에서 발생하는 아크의 특성을 분석할 필요가 있다. 따라서, 본 연구에서는 검출한 아크 전류 신호를 이용하여

전류를 제어할 수 있는 제어 알고리즘의 설계 및 검증을 통하여 하드웨어와 소프트웨어로 알고리즘을 구현하였다.

II. 아크전류 특성

아크 전류는 저전압 저전류의 전기회로에서 두 개의 전극이 점접촉 되면서 발생하며 아크방전-고주파 간헐 방전-글로우 방전-개리의 과정으로 나타난다. 이 과정중에서 아크방전에 의해 발생하는 이상전류에 의해 화재가 발생할 수 있다.

아크전류는 아크가 발생하는 장소에 따라 직렬아크, 병렬아크, 접지 아크, Crosstalk 아크로 나눌 수 있다. 직렬 아크란 전기회로상에서 하나의 도선에서 발생하는 아크를 말하며 도선이 절단되거나 외부적인 충격에 의해 접촉 상태가 불량한 경우에 발생한다. 병렬아크란 Line과 Neutral 사이에서 발생하는 것으로 이때는 단락 상태가 되므로 큰 전류가 일시에 흐르는 현상을 볼 수 있다. 접지 아크란 line이나 Neutral 과 접지선 사이에서 발생하는 아크로서 아크전류의 검출 값이 작고 검출하기가 용이하지 않다. 전기 화재중에서 가장 많은 부분을 차지하는 것은 병렬아크로 위험도가 높다. Crosstalk는 두 개의 전기회로에서 다른 회로에서 발생한 아크에 의해 영향을 받을 수 있는 것을 보여준다. 그림 2.1 (a),

(b), (c), (d)은 4가지 아크의 형태를 보여준다.

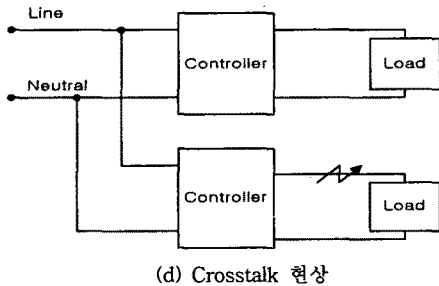
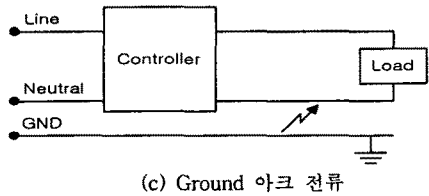
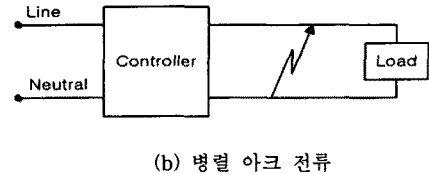
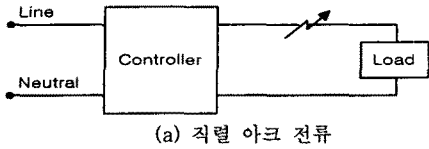


그림 1. 아크전류의 발생위치에 따른 형태

그림 2는 전기 회로에 R 부하를 연결하고 직렬 아크를 발생시켰을 때 나타나는 아크 전류 전압 파형이다. 이 경우 아크 전류는 정상 파형과 동일한 주파수를 가지며 zero crossing 부분에서 아크가 발생하는 것을 볼 수 있다. 또한 아크전류는 특징으로는 파형에 shoulder가 나타나는 점이다.

그림에서는 주파수가 60Hz이며 아크 전류 검출은 1/60[sec]의 샘플링 시간으로 설정 되어 있다.

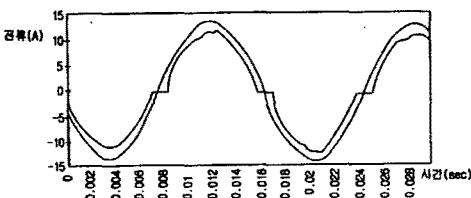


그림 2. R 부하에 의한 전류 특성

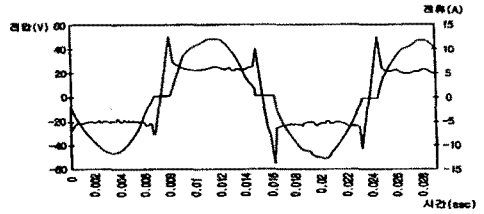


그림 3. R 부하에 의한 전압 특성

그림 4는 75A의 부하를 연결하고 인위적으로 아크를 발생시켰을 때 나타나는 전압 전류 파형을 보여준다. 아크가 발생할 때 전압 파형에서는 shoulder가 발생하는 것을 볼 수 있다.

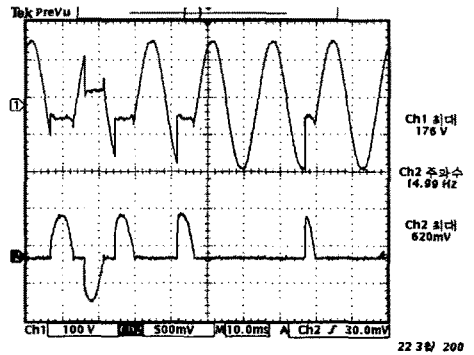


그림 4. 75A 부하에 의한 전압 전류 특성

또한 일반화된 전기 기구들에서 발생하는 아크도 무시할 수 없다. 전동기를 사용하는 기구나 바이메탈을 이용하는 전기 제품들에서는 원하지 않는 아크들이 발생하며 이렇게 발생하는 아크와 실제 전기 도선에서 발생하는 아크와의 상관 관계를 고려하여야 한다. 전기 제품들에서 발생하는 아크 전류를 검출하여 실제 전기 재해를 가져올 수 있는 아크와 구별하기 위하여 마이크로프로세서를 이용하였다.

III. 아크 전류의 수학적 모델링

아크란 일반적으로 전기회로에서 두 개의 전극 즉, anode와 cathode 사이에서 발생하며 하나의 전극에서 다른 전극으로의 전기 방전현상에 의해 발생하는 것으로, 전기회로계와 관련하여 발생하는 전기 특성의 하나이다.

아크가 발생할 때 두 개의 전극 사이에서는 급격한 전류 상승과 주울열이 발생하여 높은 열을 동반한다. 이때 발생하는 아크전류를 검출하기 위해서는 $\frac{di}{dt}$ 를 구함으

로써 알 수 있다. 아크전류는 시간에 따른 전류의 변화율로서 표현할 수 있으며 이때 발생하는 주율열은 i^2t 로 나타낸다. 또한 아크전류에 의해 발생하는 방전에너지를 수식으로 표현하면, 방전에너지 E_a 는 방전전류 I_a 와 아크전압 V_a 의 적의 시간적분으로 구한다.

여기서, 아크전류가 반주기 사이에 일어나는 일회회 아크에 대해 t_1 을 아크 개시시간, t_2 를 아크 종료시간으로 하면 아크전류에 의한 방전 에너지 E_a 는 식 (1)과 같이 표현된다.

$$E_a = \int_{t_1}^{t_2} V_a \cdot I_a dt \quad (1)$$

또한, 전원전압이 V_a 에 도달한 즉시 아크를 형성하면 방전중에 소비되는 평균전력 P_{arc} 는 다음과 같이 식 (2)로 나타낸다.

$$P_{arc} = \frac{E_a}{\pi} = \frac{2V_p V_a}{\pi R} \sqrt{1 - \left(\frac{V_a}{V_p}\right)^2} - \frac{V_a}{2V_p} (\pi - 2\sin^{-1} \frac{V_a}{V_p}) \quad (2)$$

이러한 방전 에너지는 전기화재의 직접적인 원인이 될 수 있다. 본 논문에서는 특히 저압 전기회로인 정격전압 120V-250V, 정격 주파수 50-60Hz, 정격전류 20A를 기준으로 하여 5A에서 500A의 범위에서 동작하도록 설계하였다. 실험에서 사용한 부하전류는 5A 간격으로 설정하고 50A 이상에서는 부하전류를 50A 간격으로 설정하여 아크 제너레이터를 이용하여 아크 신호를 발생하고 이를 검출하여 순수한 아크전류만을 판단할 수 있도록 알고리즘을 설계하였다.

IV. 제어 알고리즘 설계

전기 회로계에는 여러 가지 아크성 신호가 혼재한다. 일반적으로 아날로그회로를 이용하여 아크전류 신호를 검출 할 때는 일회성 아크, 아크성 신호 및 전기 화재의 원인이 될 수 있는 아크성동등을 구분하기가 쉽지 않다.

따라서 아크전류를 검출하기 위해서는 아크전류와 혼동되는 많은 신호들을 분석할 필요가 있다. 본 연구에서는 그림 5와 같이 전기 회로를 구성하여 실험을 하였다. 입력에 사용한 전원전압은 120V 60Hz로 실험을 하였으며 220V 60Hz도 동일하게 회로를 구성하고 실험을 실시하였다. 그림 6은 아크 발생장치의 상세도를 나타낸 것이며 UL 규정에 의하여 제작하였다. 실험은 UL에서 규정한 실험 방법을 이용하였다.

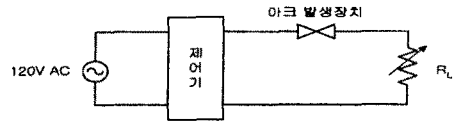


그림 5 아크전류 제어를 위한 실험장치 구성

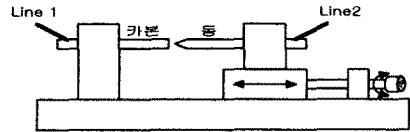


그림 6. 실제 제작한 아크 Generator 구성도

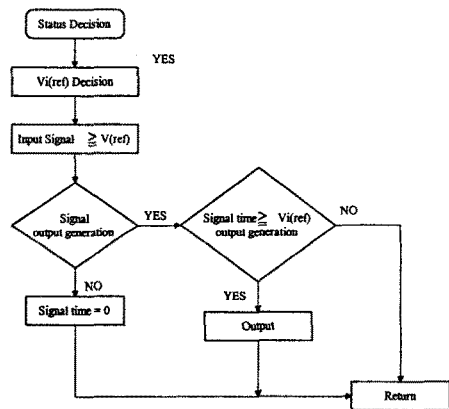


그림7. 아크 전류 검출을 위한 제어 알고리즘

그림 7은 아크 전류 제어알고리즘의 블록다이아그램을 나타낸 것이다. 제어 알고리즘은 각종 신호를 검출하여 아크 신호와 일반 신호를 판별하여 제어 신호를 출력할 수 있도록 설계하였으며, 일반적인 전기 기구에서 발생할 수 있는 아크 신호와도 구별을 할 수 있게 설계하였다.

그림 8은 제어 알고리즘을 적용하기 전의 아크 신호를

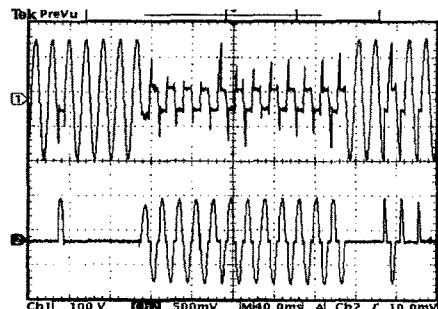


그림 8. 제어 알고리즘 적용 전의 아크 전압 전류파형

검출한 것으로 아크 전류를 제어할 수 없음을 보여준다. 그림 9는 아크 전류 제어 알고리즘을 적용하여 아크를 발생시켰을 때의 아크 전류 전압 파형을 나타낸다. 그림에서 아크 전류는 7개의 반파로 나타났으며 7개의 반파 후에 아크전류가 소멸됨을 보여준다.

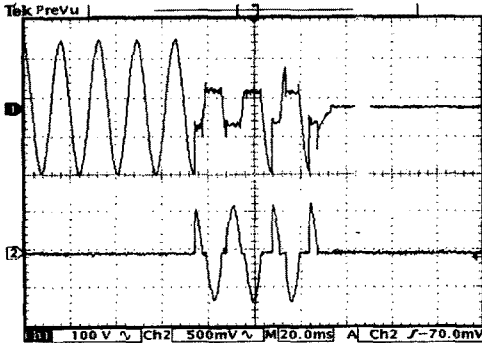


그림 9. 제어 알고리즘 적용 후의 아크 전류 전압 파형

V. 결론

본 논문에서는 전기계에서 발생하는 아크전류 신호를 검출할 수 있도록 아크 신호 검출용 센서를 설계하고 여러 가지 특수한 아크 발생 상황에서도 아크 신호를 검출하여 아크전류를 처리 할 수 있도록 제어 알고리즘을 설계하고 하드웨어를 제작하여 성능 시험을 하였다.

설계한 arc 전류 알고리즘은 기존에 처리하지 못하였던 저전류 저전압에서의 아크 전류를 제어할 수 있는 제어 알고리즘으로, arc 전류가 발생할 수 있는 여러 가지 환경에서의 arc 전류 제어 실험을 통하여, 전기 도선에서 발생하는 아크전류를 제어할 수 있다.

실험을 통하여 현재까지 이루어지지 않았던 저 전류에서의 arc 전류 제어를 함으로써 산업용의 대전류 및 기타 산업에서의 전기로 인한 재해를 줄일 수 있는 방법으로 발전될 수 있는 계기가 되었다.

본 실험을 통하여, 제어 알고리즘을 적용하기 전에는 arc 전류가 연속적으로 발생해도 arc 전류에 대한 검출 및 제어가 불가능하나, 제어 알고리즘 적용 후에는 실험을 통하여 8개의 반파 이전에 아크 전류가 소멸되는 것을 볼 수 있었다.

본 논문에서 제시한 제어 알고리즘을 이용하여 실험한 결과 5A - 30A 사이의 부하 전류와 75A 이상의 전류를 인가하였을 때 용량에 따라서 arc 전류 소멸 시간은 20ms - 0.5s 로 나타났다. 따라서, 제어 알고리즘을 적용하기 전과 알고리즘 적용후에 아크 전류의 소멸 시간

을 분석함으로써 제안한 제어 알고리즘의 성능을 확인 하였다.

참고문헌

1. W. Wang, S. Liu and J. E. Jones : "Flux cored arc welding : Arc signals processing and metal transfer characterization," Welding Journal, Vol. 74. No. 11, (1995), pp. 369-377
2. T. Ohisuka, M. Matsuoka, S. Uchiyama, I. Sumitani : "The Mechanism of Lighting Damage on Low Voltage Distribution Equipment due to Arc Dynamic Current," Trans. IEE of Japan, Vol. 118-B, No.3, pp. 315-323, march, 1998
3. H.Nomura, Y.Sugitani : "Automatic Real-time Bead Height Control with Arc Sensor(Report2)," Quarterly Journal of the Japan Welding Society, Vol.4, No. 3, (1988), pp. 24-30.
4. 한국전기연구소, "개폐장치 설계기술 개발을 위한 대전류 아크 특성에 관한 연구," 1991. 7. 12
5. 김상현, 김해조, 마대영, 신태민, "방전가공기용 액체 절연재료의 아크 방전 특성 연구," The Journal of the Korean Institute of Electrical and Electronic Material Engineers. Vol. 8, No. 5, pp. 564, 1995
6. 이세현, "아크 용접에 있어서의 아크의 특성과 응용," 대한 용접학회, 제 10권, 1호, 1992. 3.
7. 강상택, "GMAW 공정에서 아크 안정성의 실시간 측정," 한국과학기술원, 생산공학과 석사논문, 1989
8. R. H. Kaufmann and J. C. Page, "Arcing fault protection for low voltage power distribution system-nature of the problem," AIEE Trans., June 1960, pp. 160-167