

유한요소법을 이용한 교류아크용접기의 해석

남재호⁰, 국태용, 장영학^{*}
성균관대학교 전자공학과, 목포대학교 전기공학과*

Analysis of AC Arc-Welders Using FEM

Jae Ho Nam, Tae-Yong Kuc, Young Hak Jang*
Dept. of Electronic Eng., Sung Kyun Kwan University
Dept. of Electrical Eng., MokPo University*

Abstract

In this paper, we analyze control methods and structures of AC arc-welders, which is a prerequisite to develop a low-cost and high accurate welder. By using the finite element methods, three types of AC arc-welders, movable-core, movable-coil, and saturated-reactor type, are modeled and characterized in the coupled domain of electro-magnetic system.

1. 서론

본 논문에서는 산업현장의 주요 전기기기인 교류아크용접기의 구조 및 제어방식에 따른 용접기의 특성을 비교분석한다. 아크용접기의 설계 및 제어기술의 연구는 저가의 고정밀 용접기의 개발뿐만 아니라 용접자동화를 통한 용접의 고품질화와 생산성 향상을 위해서도 중요하다. 범용의 교류아크용접기는 구조 및 제어방식을 기준으로 여러가지로 분류할 수 있는데 이를 교류아크용접기 중 가동철심형, 가동코일형, 가포화리액터형 등에 대하여, 유한요소법을 적용함으로써 정확한 자장분포의 해석에 근거하여 용접기의 제어특성을 알아본다.

2. 지배방정식과 유한요소법

교류아크용접기의 해석을 위한 자기백터포텐셜을 미지수로 하는 2차원 선형 정자장시스템의 지배방정식은 다음과 같다.

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(\nu \frac{\partial A_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu \frac{\partial A_y}{\partial y} \right) + J_s = 0. \quad (1)$$

여기서, A : 자기백터포텐셜

ν : 자기저항율

J_s : 전류밀도.

교류아크용접기의 용접자동화와 최적제어를 용이하게 하기 위해서는 전자적으로 제어되는 구조를 필요로 하는데 이러한 경우 뿐만 아니라 기계적으로 제어되는 경우에도 정확한 특성을 얻기 위해 전기회로와 자제회로의 중첩을 고려하여 모델링하고 해석하여야 한다. 그림 1의 전기회로 중첩모델에서 회로방정식은 다음과 같다.

$$V_s = R_{ext} I_s + L_{ext} \frac{dI_s}{dt} + V_t. \quad (2)$$

여기서, R_{ext} , L_{ext} 는 외부저항 및 인더티스이다.

또한, 자제 지배방정식과의 관계는 다음과 같다.

$$J_s = \sigma \frac{V_t}{l}. \quad (3)$$

여기서, σ 는 전도율이다.

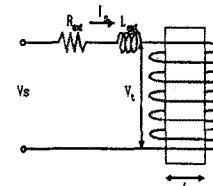


그림 1. 전기회로시스템과 자제시스템의 중첩 및 해석

따라서, 교류아크용접기의 해석은 유한요소영역과 전기회로 영역을 시간 및 공간영역에서 분할한 모델에 대하여식 (1),(2),(3)를 풀어서 그 해를 구함으로써 가능하다. 실제 기존의 교류 아크용접기의 해석데이터는 유한요소법에 기초한 전자제어 프로그램의 하나인 FLUX2D를 전기회로 및 자제회로가 중첩된 모델에 대하여 적용하였다.

3. 유한요소법에 의한 교류아크용접기의 해석

대부분의 교류 아크용접기의 전류제어 방식은 2차축 전류를 제어함에 있어서 변압기에 유도되는 유도전류를 조절하기 위해 자속의 양에 변화를 주는 수단으로 철심 또는 코일의 구조나 코일의 비를 기계적으로 제어하거나 전자적으로 자속을 직접 바꾸어주는 형에 속한다. 이러한 제어방식에 대해 가동철심형, 가동코일형, 가포화리액터형 교류 아크용접기를 전기 및 자제회로 시스템의 관점에서 해석해 보고자 한다.

3.1 가동철심형

가동철심형 교류아크용접기는 템 전환 기능외에 기계적으로 구동되는 가동철심을 추가로 이용하여 누설자속의 크기를 조절함으로써 2차전류의 크기를 제어하는 구조이다. 이러한 가동철심의 도입으로 템전환형에 비하여 미세한 전류를 연속적으로 조절할 수 있는 장점을 가진다. 즉, 누설자속이 커지면 2차전류가 감소하는데 이는 자속이 철심의 단면적에 비례하고 갭(Gap)의 크기에 반비례하는 특성을 이용한 것이다. 가동철심형의 구조는 그림 1에 나타나 있다.

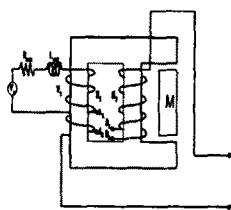
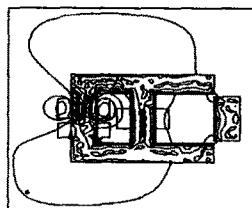
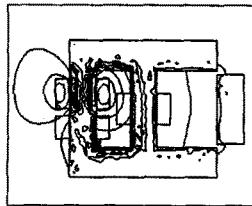


그림 2. 가동찰심형의 원리

그림 3은 템의 조절에 의해 코일의 권선수를 조절함으로써 유도자속의 양이 변화하는 양상을 보여준다. 자속의 분포도와 자계의 모양은 철심의 물리적 성질, 특히 투자율에 따라 달라지는데 상대적인 투자율이 작을수록 공기중에서처럼 자속의 흐름이 원활하고 국지적인 소용돌이가 적다.



④ 템 A₁ - B₁



⑤ 템 A₂ - B₁

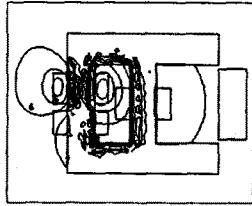
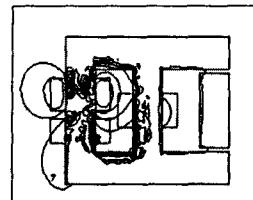
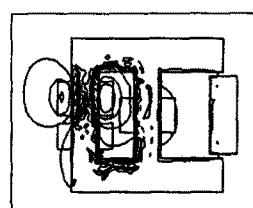


그림 3. 템 조절에 의한 자속변화

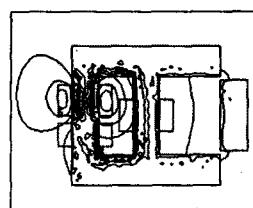
그림 4에서 가동찰심의 위치변화에 따른 미세 전류자속의 제어양상을 보여주고 있는데, 템 및 가동찰심에 의한 전류제어가 불포화 영역에서 근사적으로 선형적이지만 기계적 제어 방식이므로 연속적인 제어가 쉽지않고, 자기포화 영역에서 제어특성이 나빠진다.



⑥ push



⑦ half



⑧ pull

그림 4. 가동찰심 위치에 따른 자속 변화 (템 A₂ - B₁)

3.2 가동코일형

가동코일형의 원리는 2차코일을 고정시키고 1차코일을 이동시켜 누설리액턴스의 값을 변화시킴으로서 전류를 조정한다. 즉, 그림 5에서 1차코일과 2차코일의 간격인 d 가 작아지면, 리액턴스가 작아지고 전류가 커지며, d 가 커지면 전류가 작아진다.

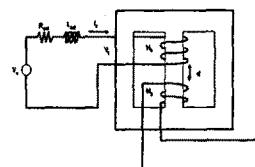
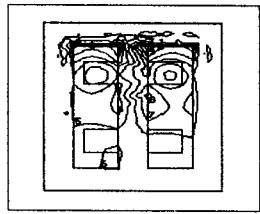
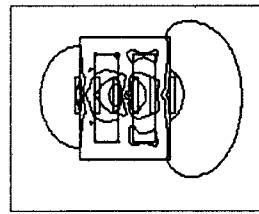


그림 5. 가동코일형의 원리

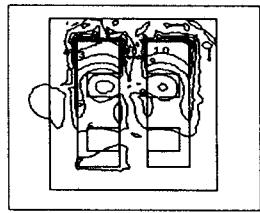
가동코일형도 가동찰심형과 마찬가지로 기계적 제어장치를 수동으로 조절함으로써 코일간의 거리를 바꾸고 유도자속과 유도전류의 크기를 제어하고 있다. 그림 6에서 이러한 제어방식에 의한 분석 결과를 보여준다.



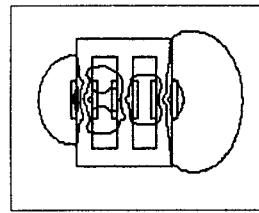
ⓐ $d = 6 \text{ cm}$



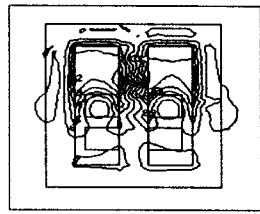
ⓐ $R_c = 1$



ⓑ $d = 4 \text{ cm}$

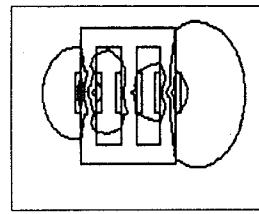


ⓑ $R_c = 5$



ⓒ $d = 1.5 \text{ cm}$

그림 6. 코일간 거리 d 에 따른 자속변화



ⓓ $R_c = 100$

그림 9. 가변저항값에 따른 여자자속의 변화

3.3 가포화 리액터형

가포화리액터형 2차전류제어의 원리는 가변저항 R_c 를 조정하여 여자전류를 바꾸고 이에따라 가포화리액터의 리액턴스가 변화된다. 즉, 용접전류는 직류여자전류를 작게 하면 리액턴스가 커져서 작아진다. 다른 제어방식의 용접기와 달리 가포화 리액터형 용접기는 정류기와 가포화 리액터를 이용하여 2차전류를 전자적으로 제어하고 있다. 그림 9는 가변저항값에 따른 여자자속의 변화를 보여준다.

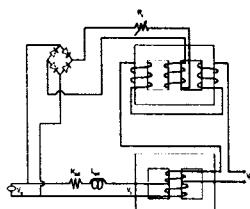


그림 7. 가포화 리액터형의 원리

가포화 리액터형은 기계적 제어방식에 비하여 전류의 조정을 연속적인 저항값 변화에 의하여 할 수 있고, 자기 불포화 영역에서 선형적 제어가 용이함을 알 수 있다. 그러나, 가포화 리액터를 사용하므로 용접기의 부피가 커지고 전류의 제어범위를 키우는데 한계가 있다.

4. 결론

본 논문에서 유한요소법을 이용하여 교류아크용접기의 전자계 중첩모델을 해석함으로써 기존의 아크용접기 구조를 해석하고 그 제어특성을 확인하였다. 여기에 사용된 모델은 소형교류아크용접기(AW180)이며, 본 연구는 기존의 아크용접기에 비해 더욱 소형화, 경량화되고 2차 출력전류의 정밀 최적제어가 가능한 새로운 구조의 소형아크용접기를 설계하기 위한 선형연구로 이루어진 것이다.

본 논문은 1995년도 기초전력공학연구소 연구과제에 의해 수행되었음

참고문헌

- [1] 김형식, 최명준, 박일한, “유한요소법을 이용한 전기기기의 누설인덕턴스 계산”, 추계전기학회, pp 18-20, 1995
- [2] “유한요소법에 의한 전기기기의 전자장 해석 및 설계”, 서울 대학교 기초전력 공학 공동연구소, 1989.
- [3] 강인찬, “현대용접공학”, 도서출판 구민사, 1995