

## 교류 아크용접기를 사용하는 작업자의 이중 차폐복 자계저감 특성검토

민석원, 박준형, 이승호  
 순천향대 전기통신시스템공학과

### Magnetic Fields Reduction Characteristics of Multi-layer Shielding Wear for a Worker Using AC Arc Welder

Suk Won Min, Jun Hyeong Park, Seung Ho Lee  
 Department of Electrical and Communication System Engineering, Soonchunhyang University

**Abstract** - Power cable of an AC arc welder can surround a body of worker at the moment of welding. Applying the boundary element method, we calculated current densities induced in organs inside a worker in case he wore a multi-layer shielding cloth. We know these were lowest when high permeability materials such as silicon and permalloy were applied to the interior of a suit and high conductivity materials such as copper were to the exterior.

#### 1. 서 론

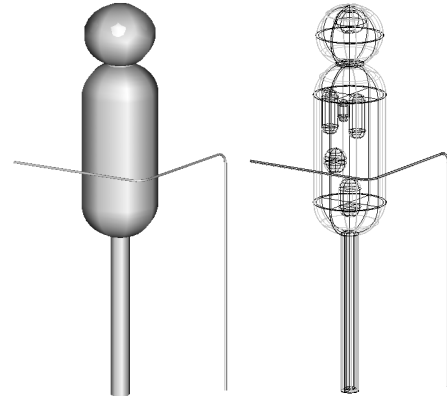
전기기술자의 암 발생과 극저주파 전자계 노출간의 가능한 연관성을 평가하기 위하여 많은 역학조사가 행해졌지만[1]-[3], 연구결과가 일관성이 없기 때문에 전계와 자계 노출로 인한 건강영향에 불안이 있다. 이와 관련하여 국제 비전리 방사선 방호위원회에서는 노출을 제한하기 위한 국제 가이드라인을 1998년에 제정하였으며[4], 극저주파 전자계에 노출된 직업인의 인체내부 유도전류밀도를 10[mA/m<sup>2</sup>] 이하가 되도록 요구하였다. 또한 이들 가이드라인에 맞추어 유럽연합은 물리매체(전자계)노출로부터 생기는 작업자 최소건강 안정 요구사항에 관한 지시문서(Directive 2004/40/EC of European Parliament and the Council of 29 April 2004)를 2004년에 발표하였으며 2012년 이전까지 유럽연합 국가의 직업인 위험평가를 요청했다. 한편 우리나라에서는 아직 직업인의 전자계노출과 관련한 기준은 없으나 가까운 미래에 제정될 것으로 생각되어 본 논문 저자들은 실제 아크 용접기를 가지고 작업하는 경우, 1[cm]에서 5[cm] 떨어진 지점의 작업자의 인체내부 최대전류 밀도가 심장에서 발생하였으며 약 11[mA/m<sup>2</sup>] 정도를 보이고 있음을 이전의 연구결과로 발표한 실적이 있다[5]. 아울러 아크용접 작업자가 구리, 퍼멀로이 또는 규소 재료의 차폐복을 착용하면, 인체내부 유도전류밀도를 국제 비전리 방사선 방호위원회의 안전 기준치인 10[mA/m<sup>2</sup>]을 보다 낮출 수 있음을 알았으며 차폐복의 재료로는 도전율이 높은 재료보다는 투자율이 높은 재료가 차폐복 재료에 적합함을 제시하였다[6]. 본 연구에서는 차폐복을 이중으로 만들었을 경우 구리, 규소, 퍼멀로이 중 어떤 재료의 조합으로 이중 차폐를 하는게 가장 효과적인지 알아보았다. 차폐복의 물질은 <표 1>과 같이 도전율이 높은 구리와 투자율이 높은 퍼멀로이, 도전율과 투자율이 이들의 중간인 규소물질로 하였다.

<표 1> 차폐복 재료 특성

재료	비투자율	도전율[S/m]
구리	1	5.8×10 <sup>7</sup>
규소	8000	2.127×10 <sup>6</sup>
퍼멀로이	38000	1.666×10 <sup>6</sup>

#### 2. 이중 차폐복 물질 변화에 따른 인체 장기 유도전류밀도 특성

<그림 1>은 아크용접 작업자가 이중차폐복을 입고 작업하는 경우를 가정한 모델이다. 용접기의 사용전류는 교류 60[Hz] 1000[A]가 흐르고 차폐복의 내부와 외부 두께는 1.5[mm]로, 내부 차폐복과 인체와의 간격은 1[cm] 떨어진 것으로 가정하였고 작업자가 아크용접기의 전원선으로부터 1[cm] 떨어져서 작업하는 경우를 3차원 경계 요소법 프로그램인 캐나다의 IES(Integrated Engineering Software)사의 Faraday 3D 프로그램을 이용하여 인체 내부 장기에 유도되는 전류밀도를 계산하였다.

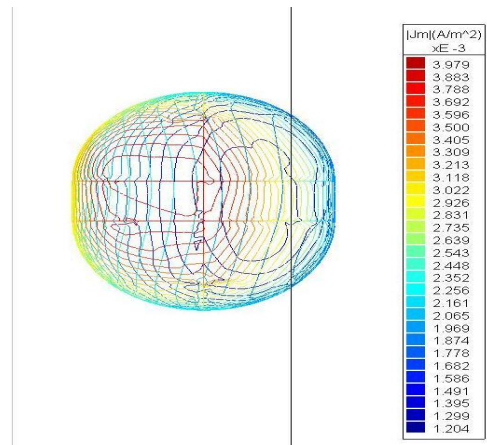


<그림 1> 차폐복을 착용후 아크용접기를 가지고 작업하는 조건의 모델

#### 2.1 내부 차폐복을 구리로 한 경우

##### 2.1.1 외부 차폐복이 규소인 경우

<표 1>에서 검토한 재료 중 도전율이 가장 높은 재료인 구리를 내부 차폐복으로 사용하고 외부 차폐복으로 규소를 사용하였을 때 심장에서 유도되는 전류밀도가 <그림 2>처럼 간 부분에서 3.97[mA/m<sup>2</sup>]로 가장 높게 나왔으며, 심장에서 유도되는 전류밀도가 3.37[mA/m<sup>2</sup>]이었다. 폐에서는 2.65[mA/m<sup>2</sup>], 창에서는 2.46[mA/m<sup>2</sup>]으로 간과 심장에서 나타난 유도전류밀도 크기보다 약간 낮음을 알 수 있다. 뇌에서는 0.02[mA/m<sup>2</sup>]로 아주 낮은 유도전류밀도 크기를 확인하였다.



<그림 2> 내부 차폐복이 구리, 외부 차폐복이 규소인 차폐복을 입은 경우 작업자 간 표면 유도전류밀도 분포

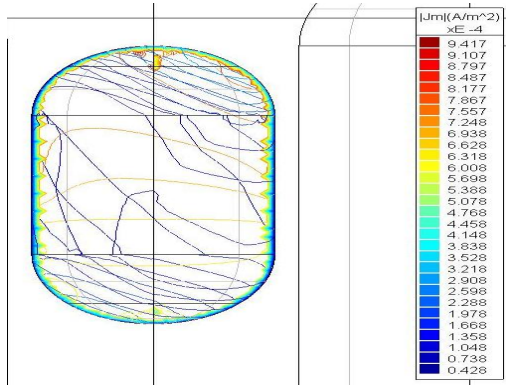
##### 2.1.2 외부 차폐복이 퍼멀로이인 경우

외부 차폐복으로 퍼멀로이를 사용하였을 때 심장에서 유도되는 전류 밀도가 3.74[mA/m<sup>2</sup>]로 가장 높은 수치를 보여주었다. 간에서 유도되는 전류밀도는 3.56[mA/m<sup>2</sup>]로 심장과 비슷한 크기의 유도전류밀도가 나타났다. 폐에서는 2.91[mA/m<sup>2</sup>], 창에서는 1.42[mA/m<sup>2</sup>]로 간과 심장에서 나타난 유도전류밀도 크기보다 약간 낮음을 알 수 있다. 뇌에서는 0.01[mA/m<sup>2</sup>]로 아주 낮은 유도전류밀도 크기를 확인하였다.

## 2.2 내부 차폐복을 규소로 한 경우

### 2.2.1 외부 차폐복이 구리인 경우

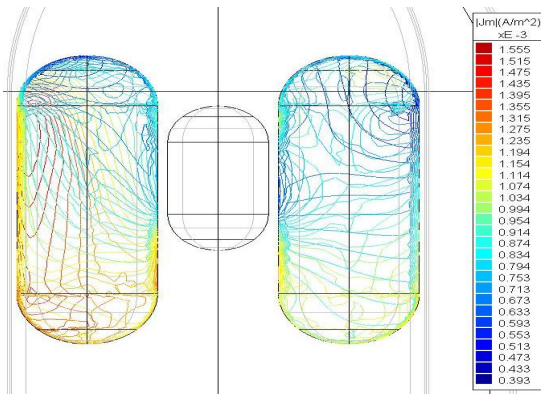
내부 차폐복이 규소, 외부 차폐복은 구리를 사용하였을 때 <그림 3>과 같이 심장에서 유도되는 전류밀도가 0.94[mA/m<sup>2</sup>]로 가장 높은 수치를 보여주었다. 창자에서는 유도전류밀도가 0.49[mA/m<sup>2</sup>]로 심장의 절반 크기로 나타났고 그 외의 장기에서는 0.3[mA/m<sup>2</sup>] 이하의 유도전류밀도가 나타났다. 뇌에서는 0.04[mA/m<sup>2</sup>]로 가장 낮은 유도전류밀도가 나타났다.



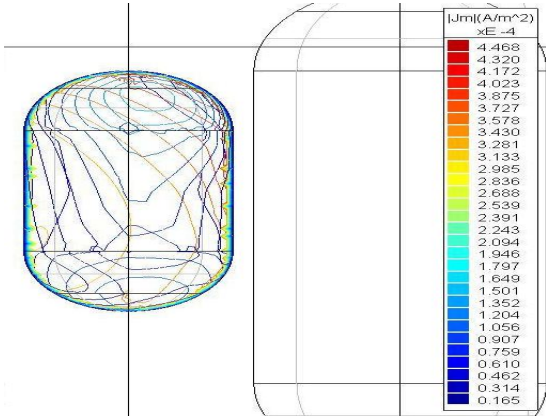
<그림 3> 내부 차폐복이 규소, 외부 차폐복이 구리인 차폐복을 입은 경우 작업자 심장 표면 유도전류밀도 분포

### 2.2.2 외부 차폐복이 퍼멀로이인 경우

외부 차폐복을 퍼멀로이로 사용하였을 때 <그림 4>와 같이 간에서 유도되는 전류밀도가 1.73[mA/m<sup>2</sup>]로 가장 높은 수치를 보여주었다. 폐에서는 1.55[mA/m<sup>2</sup>]로 간에서 나타난 유도전류밀도와 유사하게 나타났다. 창자에서는 1.33[mA/m<sup>2</sup>], 심장에서는 0.71[mA/m<sup>2</sup>]의 유도전류밀도가 나타났으며 뇌에서 0.01[mA/m<sup>2</sup>]로 가장 낮은 유도전류밀도 크기를 확인하였다.



<그림 4> 내부 차폐복이 규소, 외부 차폐복이 퍼멀로이인 차폐복을 입은 경우 작업자 폐 표면 유도전류밀도 분포



<그림 5> 내부 차폐복이 퍼멀로이, 외부 차폐복이 구리인 차폐복을 입은 경우 작업자 심장 표면 유도전류밀도 분포

## 2.3 내부 차폐복을 퍼멀로이로 한 경우

### 2.3.1 외부 차폐복이 구리인 경우

내부 차폐복이 퍼멀로이, 외부차폐복은 구리를 사용하였을 때 창자에서 유도되는 전류밀도가 0.45[mA/m<sup>2</sup>]로 아주 낮은 수치를 보여주었다. 심장에서는 <그림 5>와 같이 0.44[mA/m<sup>2</sup>]로 창자의 유도전류밀도 크기와 비슷하게 나타났다. 폐에서는 0.36[mA/m<sup>2</sup>], 간에서는 0.09[mA/m<sup>2</sup>], 뇌에서는 0.03[mA/m<sup>2</sup>]로 낮은 유도전류밀도 크기를 확인하였다.

### 2.3.2 외부 차폐복이 규소인 경우

외부 차폐복을 규소로 사용하였을 때 심장에서 유도되는 전류밀도가 1.51[mA/m<sup>2</sup>]로 나타났고 폐에서의 유도전류밀도가 0.82[mA/m<sup>2</sup>]로 심장의 유도전류밀도 크기의 절반정도 낮게 나타났다. 창자에서는 0.6[mA/m<sup>2</sup>], 간에서는 0.45[mA/m<sup>2</sup>]로 유도전류밀도 크기가 나타났으며 뇌에서는 0.03[mA/m<sup>2</sup>]로 아주 낮은 유도전류밀도 크기를 확인하였다.

<표 2>는 내부, 외부 차폐복 재료에 따른 작업자 각 장기의 유도전류밀도 최대치를 요약정리한 것이다.

<표 2> 각 계산별 인체내부 장기표면 유도전류밀도 최대치

단위 : [mA/m<sup>2</sup>]

	구리		규소		퍼멀로이	
	규소	퍼멀로이	구리	퍼멀로이	구리	규소
뇌	0.02	0.01	0.04	0.01	0.03	0.03
심장	3.37	3.74	0.94	0.71	0.44	1.51
폐	2.65	2.91	0.26	1.55	0.36	0.82
간	3.97	3.56	0.14	1.73	0.09	0.45
창자	2.46	1.42	0.49	1.33	0.45	0.60

## 3. 결 론

본 논문에서는 교류 60Hz 1[kA]가 흐르는 아크용접기를 가지고 작업하는 경우 1[cm] 떨어진 지점에서 작업자의 인체내부 유도전류밀도를 저감시키기 위한 이중 차폐복 물질 특성을 경제요소법을 이용하여 검토하였다. 규소나 퍼멀로이 같은 투자율이 높은 물질을 차폐복 내부에 적용하고 구리와 같은 도전율이 높은 물질을 외부에 적용할 때 인체 내부에 유도되는 전류밀도 크기가 최소가 되었다. 반대로 구리와 같은 도전율이 높은 물질을 안쪽에 놓고 규소나 퍼멀로이 같은 투자율이 높은 물질을 밖에 놓은 경우는 인체 내부에 유도되는 전류밀도 크기가 다른 이중 차폐복의 경우보다 상대적으로 크게 나타남을 알 수 있었다.

## [참 고 문 헌]

- [1] P. A. Demers, D. B. Thomas, A. Sternhagen, W. D. Thompson, M. G. Curnen, W. Satariano, D. F. Austine, P. Issacson, R. S. Greenberg, C. Key, L. K. Kolonel, D. W. West, "Occupational exposure to electromagnetic fields and breast cancer in men," *Am. J. Epidemiol.*, vol. 132, pp. 775-776, 1991.
- [2] G. Theriault, M. Goldberg, A. B. Miller, B. Armstrong, P. Guenel, J. Deadman, E. Imbernon, T. To, A. Chevalier, D. Cyr, C. Wall, "Cancer risks associated with occupational exposure to magnetic fields among electric utility workers in Ontario and Quebec, Canada, and France-1970-1989," *Am. J. Epidemiol.*, vol. 139, pp. 550-572, 1994.
- [3] D. A. Savitz, D. P. Loomis, "Magnetic field exposure in relation to leukaemia and brain cancer mortality among electric utility workers," *Am. J. Epidemiol.*, vol. 141, pp. 123-134, 1995.
- [4] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300GHz)," *Health Phys.*, vol. 74, pp. 494-522, April 1998.
- [5] 박준형, 민석원, "교류 아크용접기를 사용하는 작업자의 인체 유도전류밀도 해석," *대한전기학회 논문지*, vol. 57, No. 3, pp. 433-438, 2008.
- [6] 박준형, 민석원. "교류 아크용접기를 사용하는 작업자의 차폐복 자체저감 특성검토," *대한전기학회:학술대회논문집*, 대한전기학회 2008년도 제39회 하계학술대회, pp. 1343-1344, 2008