

3차원 유한요소법을 이용한 분전반 모선의 극저주파 자기장 해석과 차폐판에 의한 차폐 효과 분석

정기우*, 최낙선*, 김동훈*
경북대학교*

Analysis of Extremely-Low-Frequency Magnetic Fields around Bus Bars and shielding effect of a Shield Plate using 3D Finite Element Method

Jeung giwoo*, Choi Nak-Sun*, Dong-Hun Kim*
Kyungpook National University*

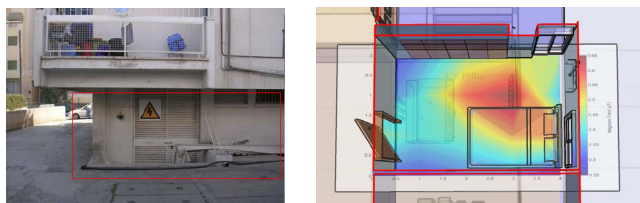
Abstract - 본 논문에서는 1층 주거지역에 미치는 지하 분전반 모선의로부터 발생하는 극저주파 자기장을 억제하기 위한 연구의 일환으로 지하 분전반을 연구모델로 선정 후 3차원 전자장 유한요소 해석을 이용하여 누설 자속을 분석하였다. 1층 침실에 미치는 자기장을 억제하기 위해 알루미늄 재질의 차폐판을 도입하여 차폐효과를 확인하였다.

1. 서 론

1979년 소아백혈병 발생 위험성과 극저주파(extremely-low-frequency) 자기장에 대한 상관관계를 추론하는 Wertheimer와 Leeper의 역학적 논문 발표 이후에 극저주파 자기장에 관한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 그러나 아직까지 인체에 미치는 영향에 대한 과학적인 근거가 명확하지 않아 극저주파 자기장에 대한 논란이 계속 되고 있다. 이에 2005년 세계보건기구(World Health Organization; 이하 WHO)는 극저주파 자기장에 대한 보호대책의 일환으로 전자파가 무해하다는 증거가 있을 때까지 사전 예방적 접근방법을 중간정책으로 채택하여 각 국가별로 극저주파 전자기장 저감 대책을 위한 조치를 하도록 권고하고 있으며 전 세계적으로 자기장에 관한 규정 강화로 차폐에 대한 중요성이 점차 커지는 추세이다[1-2].

국내에서도 각 전력시설의 전자기장 노출량 조사 및 인체에 미치는 전자기장 영향 분석을 위한 연구가 수행되고 있을 뿐만 아니라 사회적으로도 전자기장 노출에 대한 관심이 점차 증대되고 있다. 하지만 발전소나 고압변전소 시설과는 달리 공장 및 일반 주거지역에 이미 설치된 각종 전력 장치 및 시설에 대한 극저주파 전자기장 보호대책은 미흡하다. 특히 대전류에 의해 극저주파 자기장을 발생시키는 분전반의 모선(bus bar)은 일반 가정 및 공장에서 사용하는 각종 전기기기 및 전력소자에 전원을 분배하는 장치로서 WHO 권고안을 만족시켜야 한다. 그렇지만 기기 특성상 충분한 이격거리를 고려하여 설치하는 것은 현실적으로 불가능하다. 따라서 다양한 분전반 환경에서 사용이 가능하고 충분히 자기장을 감쇄시킬 수 있는 자기차폐에 대한 연구가 요구된다.

본 논문은 이런 연구의 일환으로써 우선 그림 1(a)와 같이 지하 분전반이 설치된 주거 지역을 연구모델로 선정하였고 그림 1(b)와 같이 모선으로 인해 만들어지는 1층 침실 바닥면의 자속밀도 분포를 3차원 유한요소법을 사용하여 분석하였다. 그리고 이를 바탕으로 효과적인 차폐를 위해 상, 측판으로 구성된 알루미늄 재질의 차폐판을 삽입하여 차폐효과를 분석하였다. 본 연구결과는 극저주파 자기장 차폐를 위한 기본 연구로서 향후 연구될 차폐판 최적화에 사용될 것이며 또한 이와 관련된 연구개발 분야에서 유용하게 활용될 수 있을 것으로 사료된다.



(a) 분전반 설치 환경 (b) 1층 바닥 자속밀도 분포
〈그림 1〉 분전반 환경

2. 본 론

저주파 영역에서 공간상에 존재하는 자기장은 주로 전류에 의해 발생되며 이때 차폐판은 전류원과 측정점 사이에 삽입되어 자기장의 흐름을 바꾸거나 감쇄시키는 원리를 이용하여 공간 자

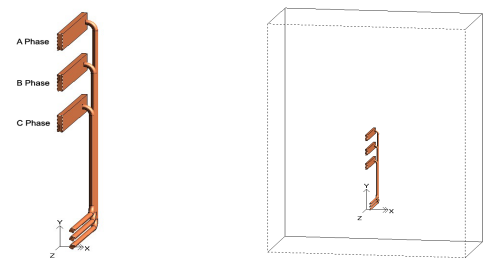
기장을 차폐시키는 역할을 하게 된다. 차폐판의 재질은 전류 흐름의 형태, 주파수 그리고 차폐 목적에 따라 결정된다. 일반적으로 닫힌 공간에서는 철과 같은 높은 투자율을 가지는 물질을 사용하여 공간 자기장이 차폐판에 평행하게 흐르도록 자속의 흐름을 바꾸어 주는 것이 효과적이다. 반면, 열린 공간에서는 알루미늄과 같은 높은 전도도를 가지는 물질을 사용하여 차폐판에 생성되는 와전류에 의한 2차 자기장을 이용하여 기존 공간 자기장 성분을 감쇄시키는 방식이 효과적이다[2]. 차폐판 삽입에 따른 차폐 효과(shielding effectiveness)는 공간상의 한 점에서 차폐 조건에 따라 변화는 자속밀도의 비를 통하여 식 (1)과 같이 정량적으로 표현할 수 있다[5-7].

$$SE = 20 \log_{10} \left[\frac{B_0(x, y, z)}{B_{shielded}(x, y, z)} \right] \quad (1)$$

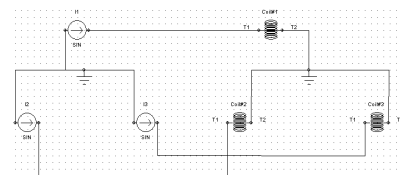
여기서, B_0 는 차폐판이 없을 경우의 자속밀도의 크기이며 $B_{shielded}$ 는 차폐판이 있는 경우의 자속밀도의 크기이다.

2.1 3상 모선 및 차폐판 설계 모델의 정의

모선으로부터 생성되는 자속밀도 분포를 정확히 계산하기 위해 차폐판, 모선, 인입선으로 구성된 3차원 유한요소 모델을 구축하였다. 3차원 모델 구성으로 인하여 해석 시간이 2차원 해석에 비해 증가하지만 차폐판의 폭, 위상, 누설 자속에 대한 영향을 모두 고려할 수 있어 해석 결과에 신뢰성을 높일 수 있다. 또한 모선에 평행하도록 인입선 형상을 가정하여 인입선이 자기 계산 영역에 미치는 영향을 최대한 고려하게 되었을 뿐만 아니라 전체적으로 축대칭 해석 모델이 된다. 그림 2(a)에 나타난 3상 모선을 사용하여 1/2 3차원 유한요소 모델을 그림 2(b)와 같이 구축하였다. 모선에 흐르는 전류의 설정은 그림 3에 표시한 외부 회로를 이용하여 전류원을 구성하였으며 3상 최대 100 A가 A, B, C상으로 구성된 모선에 흐르게 된다. 또한 자속밀도 계산 위치는 연구 목적에 부합하도록 모선 중심으로부터 높이 4 m 위치에 있는 영역으로 설정하였다.



(a) 3상 모선 구성 (b) 유한요소 해석모델
〈그림 2〉 3상 모선

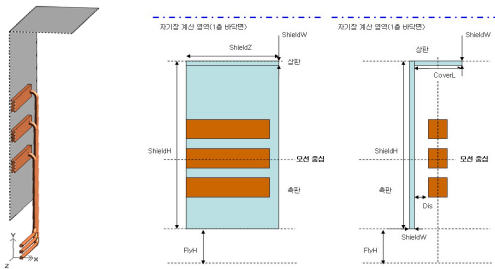


〈그림 3〉 외부 회로

3상 유한요소 모델에 추가 삽입되는 차폐판은 그림 4와 같이 모션을 충분히 덮을 수 있는 크기로 설정하였으며 자세한 사양은 아래 표 1에 기술하였다. 삽입된 차폐판의 재질은 높은 전도율($\sigma = 3.77 \times 10^7 \text{ S/m}$)을 가지고 있어 넓은 범위의 차폐에 적당한 알루미늄으로 선택하였으며 $\mu_r=1$ 로 가정하였다.[3] 모션 및 인입선의 재질은 구리로 구성되어 있으며 전체적으로 사용된 재질 특성을 고려하여 선형으로 가정하였다.

<표 1> 차폐판 치수 정보

차폐판 변수		치수
측판	FlyH	500 mm
	ShieldH	1300 mm
	ShieldW	5 mm
	ShieldZ	1000 mm
상판	CoverL	500 mm
	두께, 폭	측판 동일
Dis		35 mm
무게		25.48 kg



(a) 차폐판 형상 (b) 정면도/측면도
<그림 4> 차폐판 형상 정보

3차원 해석의 정밀도를 높이기 위해서 모션과 자속밀도 측정면의 요소망을 세분화하였을 뿐만 아니라 유한요소 해석 시 2차 보간함수를 이용하였다. 해석시간은 요소분할 시간을 포함하여 Xeon 3.4 GHz Dual CPU, 2 Giga Byte RAM 사양의 고속연산기(work station)에서 10분 정도 소요되었으며 해석에 관련된 제한조건을 표 2로 나타내었다.

<표 2> 유한요소해석 조건

유한요소/요소개수	사면체 요소/844,832개
보간함수 차수	2차
재질특성	선형

2.2 3상 모션 해석

3차원 유한요소 해석을 통해 1층 바닥면 자속밀도 분포를 그림 5(a)에 나타내었다. 최대 자속밀도의 크기는 0.0841 uT로 모션 중심부 위쪽에 위치한 부분에서 최대 자속밀도를 나타내었다. 이러한 결과는 Z축 방향의 모션 폭(ShieldZ)을 고려하지 못했던 기존 2차원 결과에 비해서 높은 정확도 및 신뢰성을 가진다[4].

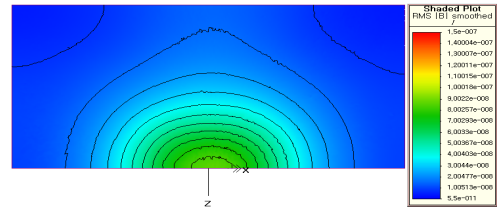
2.3 3상 모션과 차폐판 해석

차폐판이 삽입된 3상 모션의 해석 결과 최대 자속밀도는 0.0257 uT로 기존 3상 모션 해석 결과와 최대 자속밀도를 비교했을 경우 차폐판에 의한 차폐효과는 10.31 dB이다. 차폐판에 의한 자속밀도 분포는 그림 5(b)에 나타내었으며 그림 5를 통해 차폐 유무에 따른 자속밀도 분포 변화를 쉽게 확인할 수 있다. 측판상의 와전류는 외곽에 비해 모션 높이 부근에서 많이 흐르고 있으며 인입선에 의한 와전류는 측판 길이의 한계로 인해 측판 상에 충분히 흐르지 못함을 그림 6을 통해 확인할 수 있다. 도출된 결과를 미루어 볼 때 차폐효과 개선을 위해서는 와전류를 고려한 차폐판 최적 설계가 요구되며 이와 더불어 차폐판 설계 시에 제작과 재료 사용에 따른 경제적인 요인도 함께 고려할 필요가 있다.

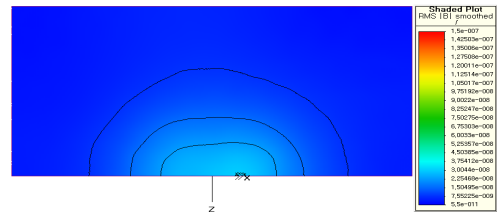
3. 결 론

본 연구는 극저주파 자기장을 억제하기 위한 기본 연구로서 지하 분전반을 연구 모델로 선정된 후 분전반 모션에서 1층 주거

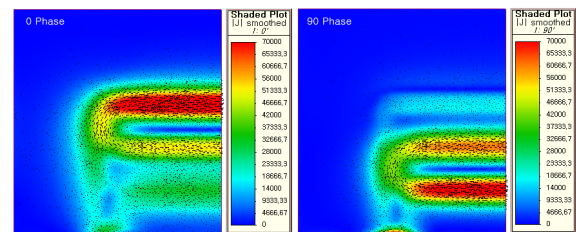
지역에 미치는 누설 자속을 정밀 3차원 유한요소 전자장 해석을 이용하여 분석하였으며 알루미늄 재질의 차폐판을 삽입하여 차폐효과를 확인하였다. 본 연구 결과를 활용하여 관련 분야에서 전자파 규제 강화에 대비할 수 있어 경쟁력 확보에 도움이 될 것이며 향후 차폐판의 차폐효과 향상을 위해서 차폐판 최적화에 대한 연구를 추가적으로 진행할 것이다.



(a) 3상 모션에 의한 자속밀도 분포 - 실효치



(b) 차폐판에 의한 자속밀도 분포 - 실효치
<그림 5> 자속밀도 분포 - 실효치



<그림 6> 측판상의 와전류

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 기초전력연구원(R-2005-7-068)주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] 전인수, 김한나, “고압송전선로 전자파에 대한 노출범위 설정 방안.” 한국환경정책평가연구원, 한국환경정책평가연구원 연구보고서 KEI (연구보고서2006/RE-20), pp.1-208, Dec. 2006
- [2] 김운신 외, “고압 송전선로 주변에 위치한 초등학교 학생들의 극저주파 자기장 노출량 예측 모델에 관한 연구.” 한국환경보건학회, 한국환경보건학회지 韓國環境保健學會誌 第32卷 第5號, pp.506-514, Oct, 2006
- [3] Lennart Hasselgren, Jorma Luomi, “Geometrical Aspects of Magnetic Shielding at Extremely Low Frequencies”, IEEE Trans. on Volume 37, pp.409-420, Aug. 1995
- [4] Salinas, E, “Shielding of power frequency magnetic fields from a three phase system of bus bars”, IEEE International, Magnetics Conference, pp.DF10-DF10, 1999.
- [5] Munir H. Nayfeh, Morton K. Brussel, Electricity and magnetism, University of Illinois at Urbana-Champaign, April. 1985
- [6] Bhag Guru, Huseyin Hiziroglu, “Electromagnetic Field Theory Fundamentals, 2nd Edition”, Cambridge university, 2004.
- [7] Schulz, R.B., Plantz, V.C., Brush, D.R, “Shielding Theory and Practice”, IEEE Trans. on Volume 30, pp.187-201, Aug. 1988