

변압기와 GIS 주변에서 전장과 자장 분포의 특성

(Characteristics of Electric and Magnetic Field Profiles
from Transformer and GIS Perimeters)

이복희* · 이승철** · 안창환** · 김형준*** · 장석훈*** · 박동화† · 곽희로††

(Bok-Hee Lee · Seung-Chil Lee · Chang-Hwan Ahn · Hyoung-Jun Gil · Sug-Hun Chang ·
Tong-Wha Park · Hee-Ro Kwak)

요 약

이 논문은 옥내 변전소의 변압기와 가스절연개폐장치(GIS) 주변에서 상용주파수의 전장과 자장의 분포에 관한 것으로 전장과 자장의 측정은 지표상 1[m]의 높이에서 1차원과 3차원 측정기로 수행되었다. 변압기 주변에서 전장과 자장의 분포는 2차원적 평면도로써 나타내었으며, 전장의 세기는 2.3~9[V/m]으로 비교적 작은 값이었고, 자장의 세기는 0.3~20.3[μ T]이었다. 또한 GIS의 주변에서 전장의 세기는 2.2~2.5[V/m]이고, 자장의 세기는 주로 GIS의 중간부위에서 국부적으로 크게 나타났으며 1.2~39.5[μ T]의 값이었다. 변압기와 GIS의 금속 외함은 전장을 감소시키는 역할을 하고, 자장은 변압기와 GIS의 외함으로부터 거리에 따라 급속하게 감소하는 특징을 보이고 있다.

Abstract

This paper deals with the power frequency electric and magnetic profiles from transformer and gas-insulated switchgear(GIS) perimeters in the indoor power substation. Measurements of electric and magnetic field magnitudes were carried out by using single axis and three axes field meters at a height of 1[m]. The resultant electric and magnetic field profiles measured in the vicinity of the transformer were displayed as a 2-dimensional plot. The electric fields intensity are relatively low value of about 2.3~9[V/m], and the magnetic fields intensity range from 0.3 to 20.3[μ T]. Also, in the GIS perimeter the electric fields intensity are in the range of 2.2~2.5[V/m], and the high magnetic fields are largely localized to the intermediate section of the GIS and their amplitudes are 1.2~39.5[μ T]. Metal enclosures of transformer and GIS play a role in reducing the electric field, and the magnetic fields are characterized by a rapid decrease with distance from the transformer and GIS enclosures.

*정회원 : 인하대 공대 전기공학과 부교수
**정회원 : 인하대 대학원 전기공학과 박사과정
***정회원 : 인하대 대학원 전기공학과 석사과정

†정회원 : 인천대 공대 전기공학과 교수
††정회원 : 숭실대 공대 전기공학과 교수
접수일자 : 1998. 2. 24.

1. 서 론

현재 정보화 시대가 진행되고 산업사회가 발달함에 따라 전력 기술은 눈부신 발전을 거듭해 왔고 일반 가정을 비롯하여 산업현장, 수송기관, 편의시설, 행정관청 등에서의 전기에너지 사용이 증가하였으며, 전기에너지는 산업활동과 사회질서 확립과 유지를 위해서는 없어서는 안될 핵심요소자원으로 대두하였다. 또한, 이러한 환경의 변화로 우리가 사용하는 거의 모든 전기·전자기와 송변전 설비 및 송전선 등 전력설비에서 발생하는 전자기장은 현대인의 생활과 밀접한 관계를 가지게 되었다. 전기설비의 사용에 기인하는 불요전자파로 말미암아 정보·전자기기의 오동작과 소손을 초래할 수 있으며, 인체의 영향 유무에 있어서 일반인과 관련 직업종사자들에게 있어 많은 관심과 논란의 대상이 되어 왔다. 따라서, 상용주파 전자기장에서 문제를 심각히 고려해야 하는데, 특히 극저주파 영역의 자장은 인체를 통과하므로 에너지 전달에 의한 위해의 가능성을 내포하고 있다[1~5]. 대기오염, 수질오염 및 소음공해 등의 환경오염은 우리가 눈, 코, 귀를 통하여 확인을 할 수 있지만 제4의 공해인 전자파는 보이지도 들리지도 않는데 그 심각성이 있다. 전자기장은 전기에너지를 사용하는 한 그 수송과정에서 반드시 발생하기 때문에 피할 수 없는 대상이다. 따라서, 전기의 사용에 수반하여 발생하는 전자기장을 효과적으로 감소시켜 안전하게 이용하는 것이 현실로 다가온 과제이다. 그러므로, 전기설비로부터 발생하는 상용 주파 전자기장에 대한 평가와 그에 대한 적절한 저감 대책을 수립하기 위해서는 전장과 자장의 정확한 측정과 분석이 필요하다. 특히 옥내 변전소내에서의 전자기장의 세기와 분포를 측정하고 분석하는 것은 정확한 동작특성을 얻기 위한 제어 및 계측기기의 배치나 감시원의 안전성 확보를 위해서도 대단히 중요하다. 따라서, 본 연구에서는 저주파 영역에서의 응답특성과 감도가 우수한 평판형 전장측정계와 멀티턴 루프형 자장측정계를 이용하여, 옥내 변전소의 전력기기 주변에서의 전장과 자장의 세기를 측정하고, 이들의 분포특성을 검토하였다. 변전소에서의 전자기장의 발생원은 매우 복잡하며, 각종 설비의 형상 또는 배치에 따라 전자기장의 분포는 크게 영향을 받으며 변화하게 된다. 변전소내의 전자기장

발생원은 모선, 인하선, 개폐장치, 분기모선, 변압기 등이 있으나 모선과 변압기가 주요한 요인이 되므로 본 논문에서는 이들에 관한 결과에 대하여 기술하였다.

2. 측정장치 및 실험방법

2.1 측정장치

전력용 변압기 및 GIS 설비 주변에서 발생하는 전장과 자장의 분포 특성 파악에 사용한 3차원적 측정계의 동작원리와 구성에 대해서는 이미 상세히 보고하였다[6~7]. 평판형 센서를 이용한 전장측정계의 주파수대역은 7[Hz] ~ 900[kHz]이고, 응답감도는 0.097[mV/V/m]이다. 또한, 자장측정계의 주파수대역은 저역측 차단주파수가 8[Hz]정도이고, 고역측 차단주파수는 53[kHz]정도이다. 전자기장 센서에 의해 검출된 신호는 디지털 축적형 오실로스코프에 출력되고, 디스켓에 저장하는 데이터 취득방법을 적용하였다. 오실로스코프에 출력된 각 좌표축상의 값과 합성값을 산출하여 2차원적으로 나타내는 방법을 적용하였다. 상용의 1차원 전장과 자장 측정장치(HI-3604)를 보조적으로 사용하였으며, 이 측정기의 측정가능감도는 전장의 경우 1[V/m]~199[kV/m]이고, 자장의 경우 0.01[μ T]~2000[μ T]이다. 주파수대역은 25[Hz]~1050[Hz]이다. 이 측정장치는 직접 디지털값으로 출력되므로 판독하기가 매우 편리하다. 그리고, 전자기장의 검출용 센서와 측정자 사이의 이격거리를 충분히 유지하기 위하여 센서를 거치하고 광케이블을 이용하여 3[m]이상의 거리에서 측정값을 취득할 수 있다.

2.2 실험방법

2.2.1 변압기 주변에서의 실험방법

변압기 주변은 주 변압기 고장전류 제한장치, 절연유탱크, 변압기 충전부, 1차측과 2차측 인입선용 케이블 등 고전압 전력설비가 한정된 공간에 집중적으로 설치되어 있어 발생하는 전장과 자장의 세기가 높으므로 여타지역의 전자기장환경을 평가하는데 중요한 요소가 될 수 있다[8~11]. 그림 1에 측정대상으로 한 변전소의 계통도를 나타내었으며, 154/23[kV], 60[MVA] (1차측:Δ, 2차측:Y)의 3상 변압기는 #2 TR(A) 지점에 위치하고 있다. 1차측 인입선은 변압

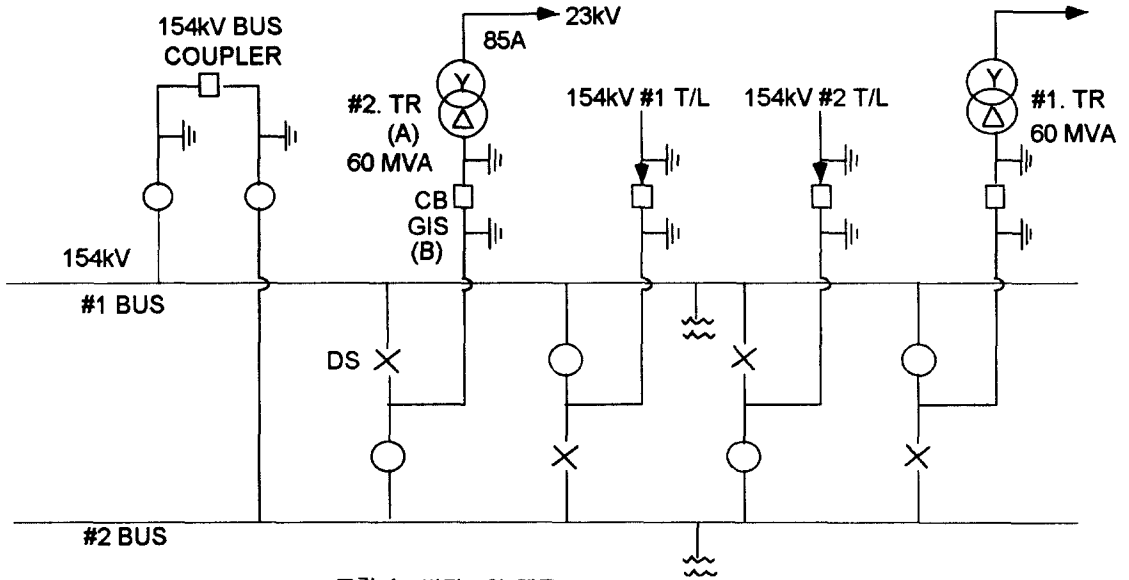


그림 1. 변전소의 계통도
Fig. 1. Skeleton diagram of a power substation

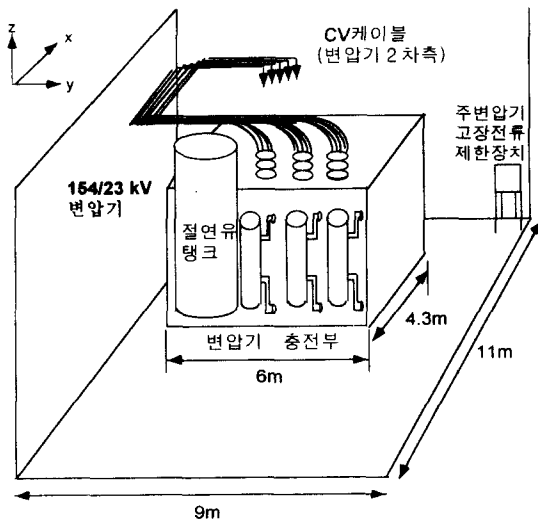


그림 2. 변압기와 보조기기의 배치
Fig. 2. Arrangement of transformer and auxiliary equipments

기 뒤쪽에 배치되어 있으며 2차측 인출선은 케이블에 의해 상부로 배치되어 있고, 이의 개략도를 그림 2에 나타내었다. 변압기를 중심으로 각 측정위치를 2[m]간격을 두고 측정하였으며, 지표면으로부터 1[m] 높이에서 측정 하였다. 이것은 전기설비 기술기준의

규정과 IEEE규정에도 전자기장의 측정은 지표상 1[m]에서 수행되어야 하며, 전자기장센서와 측정자 사이의 거리도 2.5[m]이상이어야 한다고 규정하고 있기 때문에 본 연구에서는 이를 적용하였다[9]. 또한, 전장의 세기와 분포에 영향을 미치는 주된 요인은 전력설비나 송전선로 주변에 물체가 근접하면 정전 유도로 인한 공간전장 분포의 왜곡이 생길 수 있다. 자장의 측정시 고려해야 할 사항 즉, 자장의 세기와 분포에 영향을 미치는 요인은 발생원과 측정계 사이의 거리, 기기의 정격과 배치, 형상 및 규모, 전류량과 부하불평형의 정도 등이며, 특히 전력설비나 송전선로에서는 부하 변동에 따라 전류가 일정하지 않으므로 측정시의 전류를 명기할 필요가 있다[10].

전장과 자장 측정시 변압기에 흐르는 전류는 85[A]이었다. 이와 같이 전자기장의 측정값의 정확도에 영향을 미치는 요인은 대단히 복잡하며, 또한 이들 요인이 복합적으로 작용하므로 측정지점마다 정량적으로 평가하기에는 매우 어려움기 때문에 주요기기의 주변과 영향만을 고려하는 것이 일반적이다.

2.2.2 GIS 설비 주변에서의 실험방법

변전설비용 전력설비가 한정된 공간에 집중되어

변압기와 GIS 주변에서 전장과 자장 분포의 특성

있는 가스절연 개폐장치(GIS : Gas Insulated Switchgear)는 모선(3상 일괄형), 전력계통에서 발생하는 고장개소를 계통으로부터 분리하는 차단기, 충전 전로의 개폐를 수행하는 단로기, 무전압 상태의 도체를 접지시켜 안전을 확보하는 접지장치, 계기용 변압기, 변류기, 케이블 접속부 등으로 이루어져 있으며, 이들 설비 모두가 SF6가스로 절연된 외함에 내장되어 있다[13].

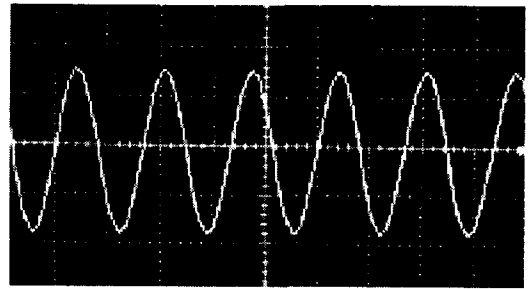
측정대상의 GIS설비는 그림 1의 변전소의 계통도에서 B지점에 위치하고 있고, 변압기와 GIS 사이는 건물벽으로 이격되어 있다. 측정대상 변압기가 위치한 지점에서 GIS로 전류가 흐르는 모선을 따라 7개의 측정점을 설정하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

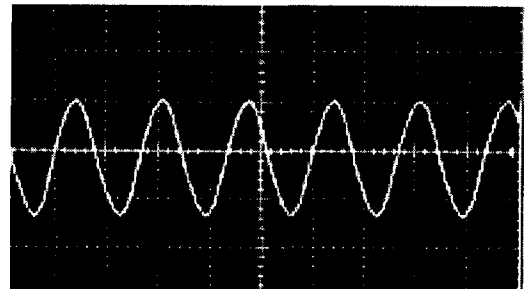
3.1 변압기 주변에서 전장과 자장의 특성

변전설비의 정상운전중에 측정된 주 변압기 주변에서 전장과 자장의 파형은 그림 3과 같이 주로 60[Hz] 정현파 성분이 검출되었으며, 고조파 성분은 거의 나타나지 않았다. 그림 4에 관계자외의 일반인은 출입이 통제되어 있는 154/23[kV] 변전설비 주변에서 전장을 측정한 결과로서 x, y, z축 세 방향에 대한 분포특성을 2차원적으로 나타내었다. 바탕색이 짙은 구역으로 갈 수록 전장이 높은 영역을 나타내며, 변압기와 전류제한장치가 위치한 곳의 전장은 고려하지 않은 부분으로 흰색의 영역으로 표시하였다.

본 논문에서 제시된 결과는 단지 변압기 자체에서만 발생하는 전자기장의 세기와 분포가 아니라 인입·인출모선이나 주변의 보조설비에 의한 영향도 포함되어 있다. 따라서, 1차 모선이나 2차 인출선의 배치나 형상에 따라 전자기장 분포는 변화될 수도 있다. x축 방향의 전장은 거리좌표 (5.0, 3.5)와 (2.5, 10.5)에서 다른 축방향 성분에 비해 강한 전장이 나타났다. 이는 변압기실 벽면의 일부가 금속체로 되어 있고, 변압기 뒤쪽으로 설치된 154[kV], 23[kV] 회선의 인입출구 부근의 영향으로 기인한 것이다. 송전선로나 지상에 설치된 변전설비 주변에서 측정된 전장분포와는 달리 x, y, z축에 따라 큰 차이를 나타내지 않으며, 그 값 또한 아주 낮게 나타났다. 그림 5는 x, y, z축 세 방향에 대해 벡터합으로 나타낸 것이다.



(a) 전장 : 2.01[V/m/div]



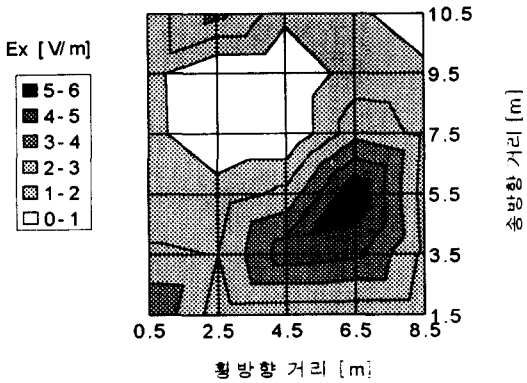
(b) 자장 : 11.75[μT/div]

그림 3. 변압기 주변에서 측정된 전장과 자장의 파형

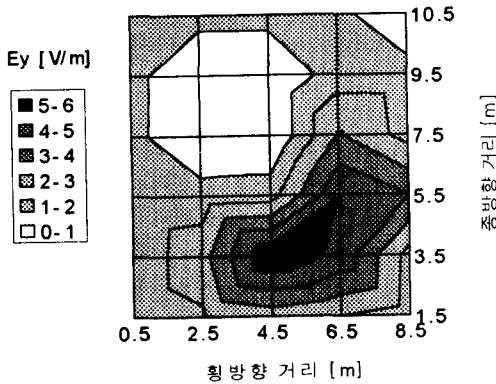
Fig. 3. Measured waveforms of electric and magnetic fields within a power transformer perimeter

이와 같이 낮은 값의 전장의 세기가 나타난 것은 변압기 1차측과 2차측의 인입·인출선으로 케이블을 사용하고 충전부가 거의 금속체에 의해 정전차폐되었기 때문이다. 또한, 변압기 권선은 금속체 외함에 의해 차폐되어 있고, 변압기의 2차측 부싱과 인입케이블이 상부에 위치하므로 변압기 아주 가까이에서 보다 3~4[m] 떨어진 위치에서 보다 높은 값의 전장 분포를 나타내었다.

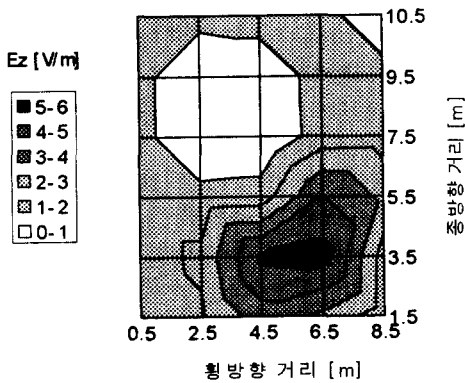
결과적으로, 변압기 주변에서 측정된 전장은 변압기 충전부 부근과 충전부에서 차폐되지 않은 위치에서 강한 전장이 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고, 변압기 본체가 금속외함으로 차폐되어 있으며, 인출부분도 모두 CV케이블로 접속되어 있으므로 전장의 세기는 비교적 낮게 나타났다.



(a) x축 성분



(b) y축 성분



(c) z축 성분

그림 4. 변압기 주변에서의 전장 분포
Fig. 4. Electric field distributions within a power transformer perimeter

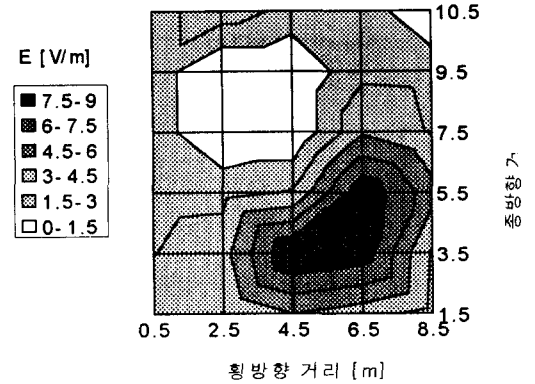


그림 5. 변압기 주변에서의 전장 분포의 합성값
Fig. 5. Total electric field distribution within a power transformer perimeter

그림 6은 변압기 주변에서 자장을 측정된 결과로서 전장의 경우와 마찬가지로 방법으로 동시에 측정하였으며 x, y, z 각 방향에 따라 다른 분포를 나타내었다. 이것은 근접한 GIS설비와 변압기 등 측정지점 주변설비의 총체적 영향으로 평가하는 것이 바람직하다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 전장의 세기는 변압기 충전부 주변에서 강하게 발생하였으나 자장의 경우에는 154[kV]에서 23[kV]로 변압되어 CV케이블을 통해 전력이 공급되는 지점에서 매우 강한 자장이 발생함을 알 수 있다.

이는 변압기와 다른 전력설비는 외함, 금속, 접지 등 여러 가지 방법으로 정전차폐가 잘 되어 있으나, 자기차폐가 잘 이루어지지 않았음을 보여준다. 그림 7은 합성 자장분포를 벡터합으로 나타낸 것이다. 전송하는 23[kV] 케이블에 흐르는 전류에 의해 (2.5, 10.5) 위치를 중심으로 벽 가까이의 자장이 다른 측정점에서의 값보다 훨씬 높게 나타났다.

그림 4~7에서 알 수 있는 바와 같이 전장에서는 변압기 충전부 주변에서 가장 강한 전장이 발생하였으나 자장의 경우에는 154[kV]에서 23[kV]로 변압되어 CV케이블을 통해 전력이 공급되는 지점에서 매우 강한 자장이 발생함을 알 수 있다.

따라서, 케이블을 포함하여 전력기기의 외함이나 금속체 피복은 자기장에 대하여 차폐효과가 그다지 크지 않기 때문에 전류가 흐르는 선로나 기기의 배치를 적절히 하여 감소시키는 방법이 효과적이라고 판단된다.

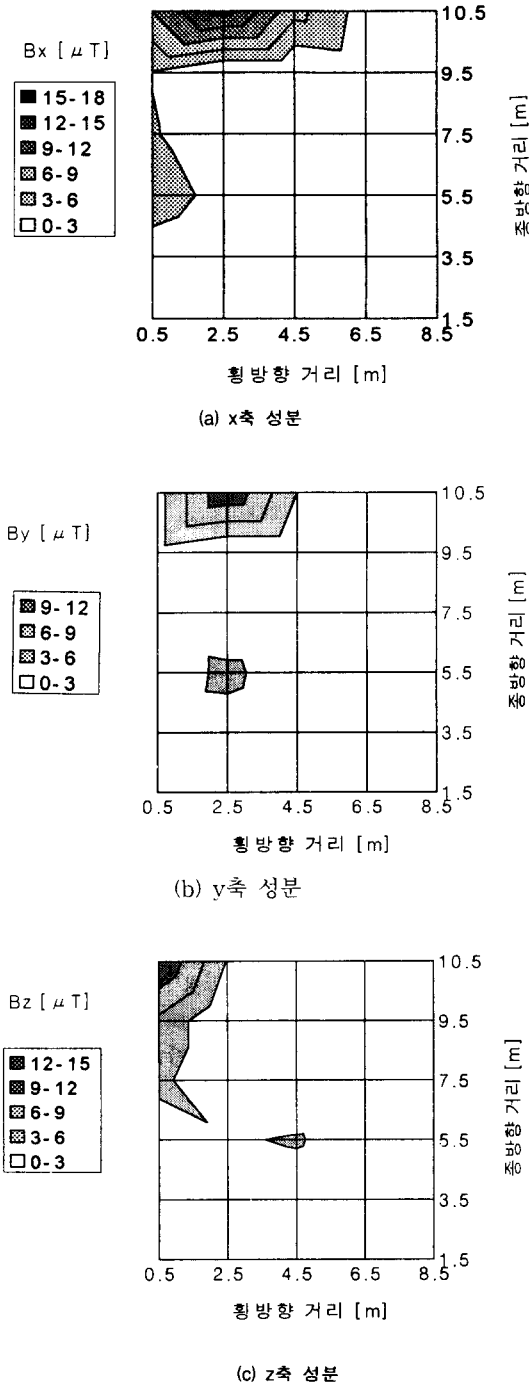


그림 6. 변압기 주변에서의 자장 분포
Fig. 6. Magnetic field distributions within a power transformer perimeter

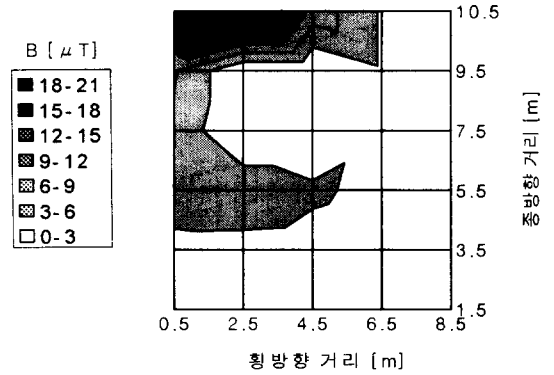


그림 7. 변압기 주변에서의 자장 분포의 합성값
Fig. 7. Total magnetic field distribution within a power transformer perimeter

3.2 GIS 주변에서 전장과 자장의 특성

본 연구의 측정대상으로 한 GIS설비는 그림 1의 변전소의 계통도에서 B지점에 위치하고 있으며, 개략도를 그림 8에 나타내었다. 이 그림에서는 측정 위치를 번호로 표시하였으며, 각각의 위치에 흐르는 전류의 방향과 크기를 표시하였다.

GIS설비 주변은 매우 협소하여 측정에 제한이 있었으며, 대표적으로 7개소에서 측정된 결과를 표 1에 나타내었다. 측정결과 전장의 세기는 약 2.2~2.5[V/m] 정도로 일반 지상변전소에 비해 매우 낮게 측정되었다. 이것은 GIS 설비의 외함의 접지 및 정전차폐상태가 매우 양호한 것으로 생각된다. 반면에 자장은 흐르는 전류에 따라 민감하게 변화하므로 다양한 변화폭을 보이고 있다.

특히, 5번 위치의 두 모선사이의 측정치는 상당히 큰 값이 나타났으며, 이것은 두 모선 사이에 흐르는 전류의 합성치의 값이 측정된 것으로 볼 수 있다. 즉, GIS 설비에 있어 단로기 부분이나 굴곡부의 도체를 커다란 전극으로 차폐하는 등 전장의 집중이 생기지 않도록 배려하여 전장은 거의 외함에 의해 차폐되는 것으로 볼 수 있으나 자장에 대한 차폐효과는 그리 크게 나타나지 않음을 알 수 있다.

GIS 설비에 있어서 접지된 금속용기가 우수한 정전차폐 성능을 가지고 있으나 모선 주변의 자장에 대해서는 효과가 거의 없는 것을 볼 때 제어, 계측기나 다른 보조적 기기의 배치시에 이를 고려하여

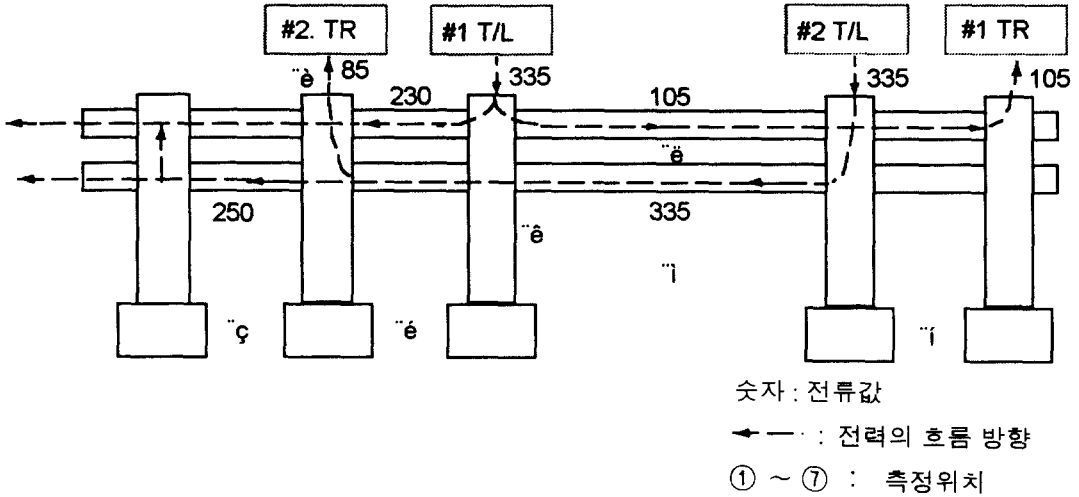


그림 8. GIS설비의 배치
 Fig. 8. Configuration of GIS equipment

표 1. GIS 주변에서 전장과 자장의 측정결과
 Table 1. Measured results of electric and magnetic fields within a GIS perimeter

| 측정위치 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|--------------|------|------|------|------|------|------|------|
| 전장[V/m] | 2.49 | 2.29 | 2.27 | 2.26 | 1.37 | 2.32 | 2.34 |
| 자장[μ T] | 2.49 | 10.8 | 1.79 | 6.45 | 39.3 | 1.22 | 2.89 |

선정하는 것이 합리적이라고 생각된다.

4. 결 론

옥내 변전소의 변압기와 GIS설비 주변에서의 전장과 자장을 측정된 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 154/23[kV] 변전설비를 운용하는 변압기 주변에 대한 측정결과 전장의 세기는 최대 9.13[V/m]이었으며, 자장의 세기는 전류 100[A]당 최대 23.85[μ T]이었다. 전장의 세기는 변압기 충전부 주위에서 비교적 높은 값이 측정되었으며, 자장의 세기는 변압기 2차측 인출케이블이 통과하는 곳에서 높은 값이 측정되었다. 그리고, GIS설비 주변에 대한 측정결과 전장의 세기는 약 2.3~2.4[V/m]정도로 일반 옥외 변전소에 비해 매우 낮게 측정되었고, 자장의 세기는 두 모선 사이에서 최대 39.3[μ T]이었다. 이것은 GIS 외함에 의해 전장의 발생이 억제되었지만, 자장에 대해서는 차폐효과가 미약하게 작용하는 것을 보

여준다. 변압기의 인출부인 CV케이블주변에서 매우 강한 자장이 측정되었으며, GIS설비의 경우, 자장의 세기가 다양하게 측정된 것은 여러가지 전류치가 합성된 경우이므로 전력설비의 총체적 영향으로 평가하는 것이 바람직하다.

따라서, 본 연구의 분석결과는 국내외의 제한·권고치를 충분히 만족시키고 있으며, 옥내 변전소의 설계시 전력설비나 제어·감시장치나 계측기기의 배치에 고려해야 할 사항과 전자기장의 발생원을 제시함으로써 활용성이 크게 기대된다.

본 연구는 한국전력공사의 지원에 의하여 기초 전력공학공동연구소 주관(과제관리번호 : 94-중-06)으로 수행되었음.

참 고 문 헌

(1) E. Zemman, S. Fred, et al., "Investigation of Exposure to Low Frequency Electric and magnetic Fields", 9th ISH, 8338-1~4, 1995.
 (2) R. P. Corcoran, "Extremely Low Frequency Exposure Limits Relative to Military Electrical/Electronic System Environments", IEEE Int. EMC Symp. pp.6 2~67, 1992.

- (3) William F. Horton, Saul Goldberg, "Power Frequency Magnetic Fields and Public Health", CRC Press, pp.5~23, 1995.
- (4) W. Kohler, "Measurement and Calculation of Low Frequency Electric and Magnetic Fields", 9th ISH, 8338-1~4, 1995.
- (5) AC fields working group of the IEEE, "An Evaluation of Instrumentation Used to Measure AC Power System Magnetic Fields", IEEE Trans. PD, Vol. 6, No. 1, 1991.
- (6) 이복희, 이정기, "345/154(kV) 송변전설비 주변에서의 자장 크기의 측정과 분석", 전기학회 논문지, Vol.46, No.3, pp.414~420, 1997.
- (7) 이복희 외, "154(kV) 가공송전선 아래에서 전장분포의 측정과 분석", 조명·전기설비학회지, Vol.11, No.1, pp.92~98, 1997.
- (8) R. Maruti, K. M. Srinivasa, M. Kanyakumari, et al., "Electric and Magnetic Fields Around AC Transmission Lines and Substations", 9th ISH, 8350-1~4, 1995.
- (9) A Report of the IEEE Magnetic Fields Task Force, "An Evaluation of Instrumentation Used to Measure AC Power System Magnetic Fields", IEEE Trans. on Power Delivery Vol. 6, No. 1, January 1991.
- (10) "Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines.", ANSI/IEEE Std. 644-1987, 1992, pp.17~96.
- (11) T. Vihn, et al., "Magnetic Fields near Overhead Distribution Lines - Measurements and Estimating Technique", IEEE Trans. PD, Vol. 6, No. 2, 1991.
- (12) A. A. Al-Arainy, N. H. Malik, L. N. Abdul-Aal, "Electromagnetic Interference from Transmission Lines Located in Central Region of Saudi Arabia", IEEE Trans. PD, Vol. 4, No. 1, 1989.
- (13) 이복희, "고전압 대전류 공학", 청문각, pp.236~245, 1997.

◇ 著者紹介 ◇



이복희 (李福熙)

1954년 6월 29일생. 1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988년~1989년 일본 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1990년~현재 인하대 공대 전기공학과 부교수.



이승철 (李承七)

1943년 4월 1일생. 1971년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1997년 서울산업대 산업대학원 안전공학과 졸업(석사). 1971년~현재 한진건설주식회사 근무. 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.



안창환 (安昌煥)

1959년 11월 4일생. 1983년 원광대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 인하대 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 인하대 대학원 전기공학과 박사과정.



길형준 (吉亨准)

1969년 8월 27일생. 1997년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



장석훈 (張錫勳)

1974년 2월 20일생. 1996년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전기공학과 석사과정.



박동화 (朴東化)

1946년 4월 28일생. 1974년 숭실대 공대 전기공학과 졸업. 1988년 숭실대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1980년~현재 시립인천대학교 전기공학과 교수.



곽희로 (郭熙魯)

1942년 3월 1일생. 1967년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1978년 호주 New South Wales대 대학원 졸업(석사). 1986년 중앙대 대학원 전기공학과 졸업(공학). 1986년 미국 MIT 방문교수. 현재 숭실대 공대 전기공학과 교수, 공과대학 학장.