

345/154kV 초고압 송변전설비 주변에서의 자장의 측정과 분석

이정기*, 안창환, 이복희, 길경석*, 박동화**
인하대, 한국해양대*, 시립인천대**

Measurement and Analysis of Magnetic Field near 345/154kV UHV Overhead Transmission Lines and Substations

J.G. Lee*, C.H. Ahn, B.H. Lee, G.S. Kil*, D.H. Park**
Inha Univ., Korea Maritime Univ.*, Incheon Univ.**

Abstract

With the three dimensional magnetic field measuring system dealt with in this paper, accurate measurements and analyses of ELF magnetic fields in the vicinity of UHV overhead transmission lines and substations have been conducted. For the field measurements multiturn loop-type sensors have been developed with special consideration of taking lower frequency and spatial components without any distortion. So the measuring system has the frequency bandwidth of 8[Hz] to about 53[kHz] and the response sensitivity of 9.88[mV/ μ T] in average. A brief description of design rules of the measuring system and measurement procedures is given.

The actual survey near 154 and 345[kV] overhead transmission lines and power substations was carried out and analyzed. It may be inferred from these results that the maximum magnetic field intensities under typical UHV overhead transmission lines do not exceed 20[μ T] so that the field measurements satisfy sufficiently all limits or guidelines that various authorized international institutes recommend.

1. 서 론

최근 정보화 시대가 진행되고 산업이 발전함에 따라서 정보·통신기기 등 전자기기의 이용증대와 함께 일반 가전기기의 생활적용폭이 더욱 넓어지는 추세이며, 양질의 전력에 대한 안정적 공급의 필요성이 한층 높아져 가고 있다. 이와 같이 생활수준의 향상으로 전기에너지의 사용이 급증함에 따라 전력전송의 신뢰성과 효율성을 높이기 위해 송전전압을 초고압화로 운용하게 되었고, 더불어 에너지의 공간전송과정에서 발생하는 전자기환경(EMC)에 대한 연구의 필요성이 중요시되고 있다. 특히, 고주파 영역뿐만 아니라 최근에는 극저주파영역(Extremely Low Frequency (ELF): 3Hz~3kHz)에서의 문제도 심각히 대두되는데, 극저주파 영역의 자장은 인체를 통과하며, 에너지전달에 의한 위해의 가능성을 내포하고 있다.^{[1]-[3]}

따라서 본 연구에서는 가정용 전자기기로부터 초고압 송변전설비까지 광범위하게 적용할 수 있는 측정계로써, 저주파 특성과 응답감도가 우수한 멀티턴 루우프형 자장센서를 이용하여 x, y, z축에 대해 3차원적으로 자장측정계를 설계·제작하였다. 교정실험을 통하여 주파수대역과 응답감도 등 측정계의 고유응답특성을 산출하였으며, 345/154[kV] 초고압 송변전설비 주변에

서의 자장특성을 측정·분석함으로써 본 연구에서 구성한 측정계의 성능을 평가하고, 전자기환경의 영향평가에 응용하였으며, 앞으로의 활용방안에 대하여 검토하였다.

2. 측정계의 구성

본 연구에서 구성한 자장측정계는 멀티턴 루우프형 자장센서와 증폭기, 능동성 적분기로 구성하였으며, 이의 개략도를 그림 1에 나타내었다. 루우프형 자장센서는 3차원 결합이 가능하도록 x, y, z 축 각각 직경 28.5, 27, 29[cm]의 알루미늄 테이프로 차폐한 PVC 튜브에 에나멜동선(ϕ 0.09)을 16회 삽입하여 서로 동심축으로 수직교차시켰고, 또한 전장에 의하여 차폐선에 유기된 기전력이 서로 상쇄되도록 차폐선의 중앙부분을 절단하였다.

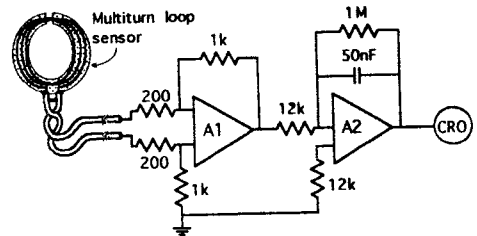


그림 1. 자장측정계의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of the magnetic field measuring system

루우프형 자장센서에 감지된 신호는 자속의 변화에 대한 시도함수로 나타나며, ELF 자장의 검출신호는 미약하기 때문에 센서에 의하여 감지된 신호를 1차 증폭시킨후 다시 적분과 동시에 증폭시키는 능동성 적분회로를 적용하여 지역특성을 개선시켰다. 신호원의 기준전위가 대지전위와 다른 경우, 대지전위차나 외부노이즈 등에 의해 동상잡음전압이 커지므로 이를 상쇄시키기 위해 차동증폭방식을 채택했으며, 증폭 및 적분용으로 사용한 연산증폭기는 지역특성이 우수하고 소비전력이 150[mW]로 비교적 적은 LF356을 사용하였다.

제작된 멀티턴 루우프형 자장센서를 이용한 자장측정계의 고유응답특성 즉, 센서를 포함한 측정계의 응답감도와 주파수대역 등의 기본성능을 파악하기 위해서 교정실험을 수행하였다.^[4] 그 결과 본 측정계의 단위자속밀도에 대한 응답전압 즉, 응답

감도는 x, y, z 축의 센서 각각 9.54, 9.21, 10.89[mV/ μ T]이며, 주파수대역은 최대응답의 $1/\sqrt{2}$ 배의 값(-3dB)을 갖는 지역속 차단주파수가 8[Hz]정도이고, 고역속 차단주파수는 x, y, z 각 센서자체의 인덕턴스 증감 등에 따라 약간의 차이를 보이지만 53[kHz]정도이다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 전력소 구내에서의 자장특성

초고압 전력설비가 한정된 공간에 집중되어 있어서 발생하는 자장의 세기가 높을 것으로 예상되는 전력소의 자장특성을 분석하르써, 여타지역의 전자장환경을 평가하는데 기준이 될 수 있다.

그림 2에 나타낸 것과 같이 345[kV]를 1차측으로 하는 단상 변압기(345/154kV, 166.7MVA) 3대를 Y결선하여 운용하는 전력소를 대상으로 자장을 측정하였다. 변압기를 중심으로 345[kV]측과 154[kV]측의 모선에 대해 지표면으로부터 대략 18[m]와 16[m]의 높이에 수평배열되어 있는 상선중에서 b상선 아래의 대지 1점을 원점으로 정하여 수평거리이동에 따라 변화하는 자장의 세기와 측정높이에 따른 세기변화를 측정하였다. 이때, 수평거리이동(lateral profile)에 대한 자장의 세기는 사람의 신장을 고려하여 지표면으로부터 1.73[m] 높이에서 측정하였다.

자장을 정확히 측정·분석하기위해 고려해야 할 사항 즉, 자장의 세기와 분포에 영향을 미치는 요인은 발생원과 측정점사이의 거리, 발생원의 형상 및 규모, 전류의 크기, 금속체를 비롯한 주변물체의 접근정도 등이며, 특히 전력설비나 송전선로에서는 부하변동에 따라 전류가 일정치 않으므로 측정시의 전류를 평가할 필요가 있다.^[7] 그러므로, 각 상선에 흐르는 전류를 표 1에 나타내었다.

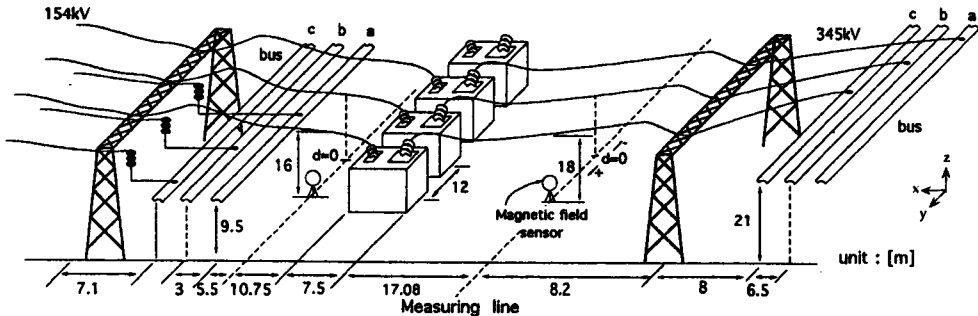


그림 2. 전력설비의 배치와 측정위치의 개략도
Fig. 2. Sketch of measuring points and configuration of power equipments

표 1. 전력소내의 각 상선에 흐르는 전류
Table 1. Each phase current in a power substation

345[kV] 모선측	154[kV] 모선측
385[A]	862[A]

그림 3에서 자장의 특성은 전류가 발생시키는 자장과 x, y, z 각 센서의 채교단면적에 따라서 각 방향의 출력이 현저히 차이가 남을 알 수 있다. 그러나, 각 상선과 수직방향인 y 축 센서의 출력변화, 각 축에서의 최대치가 일치하지 않는 점을 고려하면, 근접한 모선과 변압기 등 측정지점 주변설비의 총체적 영향으로 평가하는 것이 바람직하다.

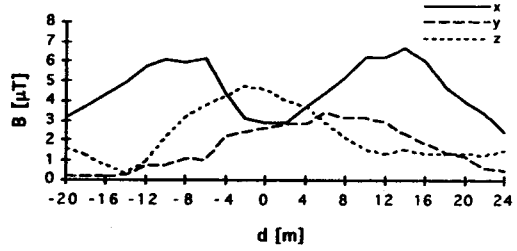


그림 3. 전력소구내 345[kV] 모선측의 자장분포의 예
Fig. 3. Examples of magnetic field distribution of 345[kV] busbar side in a power substation

그림 4의 154[kV] 모선측의 자장특성 역시 그림 3과 거의 동일한 분포를 보이지만, 더 큰 전류가 흐르기 때문에 발생하는 자장의 세기도 커지며, 원점을 중심으로 대칭구조의 보다 안정한 분포를 보인다.

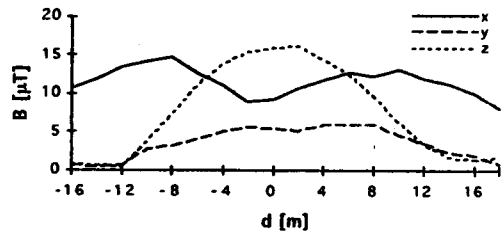


그림 4. 전력소구내 154[kV] 모선측의 자장분포의 예
Fig. 4. Examples of magnetic field distribution of 154[kV] busbar side in a power substation

3.2 가공송전선로 아래에서의 자장특성

전기에너지의 전송경로로서 넓은 범위로의 경유로 인해 실생활에 밀접한 관계를 가지므로, 최근 송전선로에 대한 전자장환경의 평가에 관심이 고조되고 있다.^[8] 본 연구에서는 농경지를 지나는 그림 5와 같은 구조의 345[kV] 송전선로(4도체 2회선 역상수직배열)와 154[kV] 송전선로(단도체 2회선 역상수직배열)를 대상으로 하여 가공송전선로 아래에서의 자장을 측정하였으며, 송전선로에 흐르는 전류를 표 2에 나타내었다.

그림 6, 7에 345[kV], 154[kV] 가공송전선로 아래에서의 자장분포를 나타내었는데, 2회선 방식의 송전선로에서 발생하는 자장특성을 보다 심도있게 분석하기 위해서는 각 회선에 대한 측정을 하는 것도 필요하겠으나, 정상적인 계통운용상 현실적으

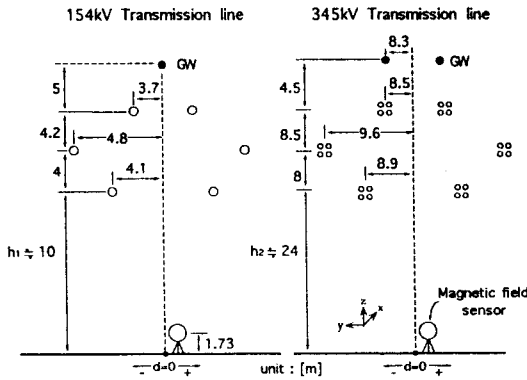


그림 5. 가공송전선로의 배치와 측정위치
Fig. 5. Configuration of overhead transmission lines and measuring points

표 2. 가공송전선로의 각 상선에 흐르는 전류
Table 2. Each phase current of an overhead transmission lines

345[kV] 송전선로		154[kV] 송전선로	
#1	#2	#1	#2
467[A]	432[A]	427[A]	464[A]

로 어려움이 따르므로 2회선 송전선로의 총체적 특성만을 분석하였다. 그림 6의 345[kV] 가공송전선로의 경우 송전선로와 철탑을 주변물체와 충분한 이격거리를 두고 시설하였기 때문에, 측정위치에서는 발생원자체의 영향만으로 인한 대칭구조의 자장분포를 보이고 있으며, 자장의 세기도 전력설비가 밀집한 지역에서 보다 상당히 낮게 나타났다.

그림 7에 나타낸 154[kV] 가공송전선로의 자장분포를 보면,

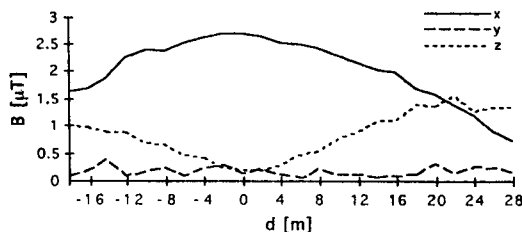


그림 6. 345(kV) 가공송전선로 아래에서의 자장분포의 예
Fig. 6. Examples of magnetic field distribution under 345(kV) overhead transmission lines

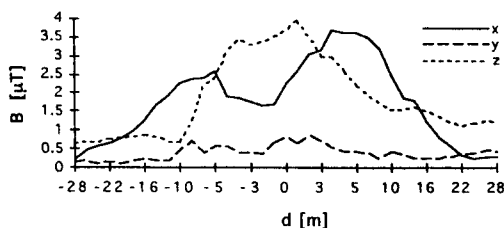


그림 7. 154(kV) 가공송전선로 아래에서의 자장분포의 예
Fig. 7. Examples of magnetic field distribution under 154(kV) overhead transmission lines

부하변동에 따라 서로 다른 전류가 각 회선에 흐르고 또한 회선간의 이격거리가 345[kV] 송전선로에 비해 상대적으로 가깝기 때문에, 그로 인한 영향이 공간자장분포를 왜곡시키므로 측정된 자장특성이 비대칭적인 분포를 보이게 된 것이며, x축 성분 분포로부터 원점을 중심으로 오른쪽 회선(#2)에 더 큰 전류가 흐름을 알 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 멀티턴 루우프센서를 이용한 3차원 자장측정계를 구성하고, 초고압 송변전설비 주변에서의 자장특성을 측정·분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 제작된 자장측정계의 주파수대역은 x, y, z축 각각 8[Hz]에서 53[kHz]정도이며, 응답감도는 각각 9.54, 9.21, 10.89 [mV/μT]로서 상용주파수 이하의 미소한 자장의 변화도 측정할 수 있었다.
- (2) 345/154[kV] 변전설비를 운영하는 전력소 구내의 전력기기에 대한 측정결과 자장의 세기는 전류 100[A]당 최대 1.87 [μT]이었으며, 345[kV] 송전선로와 154[kV] 송전선로 아래에서의 세기는 각각 전류 100[A]당 최대 0.60, 0.89[μT]로서, 본 연구의 분석결과는 국내의 외의 제한·권고치를 만족시키고 있다.
- (3) 응답의 선형성이 우수한 멀티턴 루우프형 센서를 이용하여 3차원 자장측정계를 각각 실현하므로써, ELF 공간자장의 변화를 왜곡 없이 측정하고 종합적으로 분석하는 것이 가능하므로, 향후 전자기환경의 기초연구에 적용될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] E. Zemman, S. Frei, et al., "Investigations of Exposition to Low Frequency Magnetic Fields", 9th ISH, 8347-1~4, 1995
- [2] R. P. Corcoran, "Extremely Low Frequency Exposure Limits Relative to Military Electrical/Electronic System Environments", IEEE Int. EMC Symposium, pp. 62~67, 1992
- [3] William F. Horton, Saul Goldberg, "Power Frequency Magnetic Fields and Public Health", CRC Press, pp. 5~23, 1995
- [4] 이복희, 이경기, 김경석, 안창환, 박동화, "멀티턴 루우프형 센서를 이용한 3차원 ELF 자장측정계", 한국센서학회, 센서학회지, Vol. 5, No. 2, pp. 29~36, 1996
- [5] Donald G. Kasten, Stephen A. Sebo, et al., "Substation Magnetic Field Measurements", 9th ISH, 8387-1~4, 1995
- [6] 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
- [7] "IEEE Standard Procedures for Measurement of Power Frequency Electric and Magnetic Fields from AC Power Lines.", ANSI/IEEE Std. 644-1987, pp.17-21, 1992
- [8] T. Vinh, T. L. Jones, C. H. Shi, "Magnetic Fields near Overhead Distribution Lines - Measurements and Estimating Technique", IEEE Trans. on Power Delivery Vol. 6, No. 2, April 1991