

154kV 변전소의 전자계와 유도전압계산

최창혁, 한풍
한국전력기술주식회사 전력기술개발연구소

The calculation of induced voltages and electromagnetic fields in 154kV sub

Chang-hyek Choi, Poong Han
Power Engineering Research Institute, Korea Power Engineering Co.

Abstract - This paper is to analyze electromagnetic fields on a 154kV substation system and induced voltages on the substation fence when the network is operating in a normal condition or a fault condition in which one phase is shorted with the overhead ground wire. Also, changing the scalar potential and electromagnetic fields that are changed in accordance with changing resistivity and permeability of ground are studied. A finding of the study is that the scalar potential and electromagnetic fields are raised near the tower: The values of electric field on the corner of fence and at the edge of the ground grid are higher than other locations.

1. 서론

전력계통에서의 해석은 1980년대 이전에는 회로망에 근거한 해석을 주로 이용하였으나 1980년대 후반부터는 계산결과의 정확성 및 모델링의 유연성을 가질 수 있는 장점을 지닌 전자계에 의한 해석법을 이용한 연구를 실시하게 되었다. 그러나 전자계에 의한 해석방법은 모델링의 능력이나 용통성, 정확성은 우수하나 해석의 복잡성으로 인하여 컴퓨터를 이용한 수치해석 방법으로만 해석이 가능하기 때문에 그 당시의 컴퓨터 성능상의 문제로 이용되고 있지 않다가 최근 컴퓨터의 성능의 급격한 향상으로 말미암아 이를 전력계통해석에 적용할 수 있게 되었다.[1]

본 논문에서는 전자계 해석 방법중 장이론 해석 방법을 이용한 해석 프로그램인 HIFREQ를 이용하여 우리나라의 154kV 변전소의 정상상태 및 계통의 1선사고를 가정한 인입 송전선로에 의한 변전소 구내의 전자계 검토와 변전소 울타리에 유도되는 유도전압 및 전류를 검토하였다. 물론, 외국에서도 이러한 전자계에 대한 적용연구는 실시되어 오고 있으나 우리나라와 비교하여 볼 때 외국의 경우는 변전소부지가 넓고 대지의 고유저항이 100Ω-m이하로 낮은 반면 우리나라의 경우는 부지가 좁고 대지고유저항이 1000Ω-m정도의 높은 값을 가지는 산악지형에 변전소가 대부분 위치하고 있어 접지계통의 구성에 대한 차이를 초래함으로써 외국의 전자계해석 결과와는 다른 추이를 보일것으로 판단하여 연구를 수행하게 되었다. 아울러, 정상상태하에서 대지의 고유저항과 비투자율의 변화에 따른 대지전위상승과 전자계의 추이도 검토하였다.

2. 본론

2.1 계통의 조건

2.1.1 검토계통의 모델링

검토를 위한 모델링 계통도는 그림-1과 같다. 송전선

로의 길이는 500m까지만을 고려하였으며 철탑의 구성은 변전소 계통에서의 볼 때 변전소와 가장 인접한 철탑에 의하여 많은 영향을 받으나 다른 철탑에 의한 영향은 미미하므로 생략하거나 간략화하였다. 이러한 조치는 서론에서 설명한 전자계 해석방법이 가지는 단점인 과도한 계산수행시간을 감소시킬 수 있는 요인이 되기 때문이다. 송전선로의 배열은 수평배열과 수직배열을 들 수 있으나 우리나라의 154kV 계통에 흔히 쓰이는 배열방법은 수직배열로써 이를 적용하였다. 물론 선로 배열방법의 차이는 선로아래에서는 서로 다른 양상을 보일것이나 선로의 말단부분인 변전소에서의 영향은 선로아래에서의 영향보다 다소 적을것으로 판단된다. 수직배열의 송전선로는 높이 12.3m인 변전소 인입부에서 수평배열로 전환되며 가공선로는 변전소의 가공선로 인입부를 통하여 본관 지하접지망에 연결되어진다.

변전소 주위의 울타리는 변전소 외부 접지망으로부터 4.2m, 1번 철탑으로부터는 16m 이격된 지점에 위치하고 있으며 울타리의 그물망은 고려하지 않고 기둥과 프레임으로만 이루어진 형태로 모델링하였으며 기둥은 대지표면으로부터 2m의 높이를 가지는 것으로 하였다.

변전소 접지망의 모델링은 154kV 대부분의 변전소 접지계통이 그림-1에서 보는 바와 같이 본관 지하접지망과 외부접지망으로 구성되어 있어 이를 적용하였으며 접지망 도체는 등간격으로 배열된 것으로 하였다. 본관지하접지망은 대지표면으로부터 4.65m의 깊이, 외부 접지망은 대지로부터 1m 깊이에 포설된 것으로 가정하였으며 전체 접지망의 크기는 90x50m의 넓이를 가진다.

건물의 모델링은 세부적인 도체까지 반영하는것에 어려움이 있어 건물 외곽골격에 대하여 반지름 5cm인 등가원형 도체로 적용하였다.

대지고유저항은 1000Ω-m의 단일지층으로, 비유전율과 비투자율은 1.0으로 가정하였다.

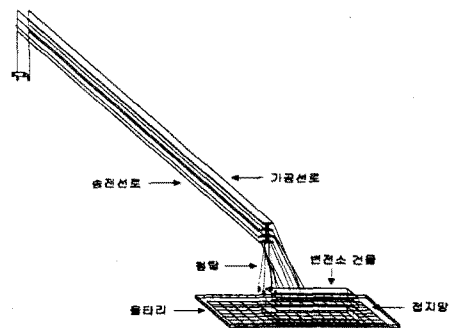


그림-1 검토계통의 3차원 구성도

2.1.2 전류 및 전압의 적용

검토를 위한 계통의 조건은 3상 평형으로 계통에 전력을 공급하고 있는 정상계통과 a상의 사고발생을 가정으

로 한 고장상태를 가정하였으며 고장상태의 경우 고장상인 a상의 고장전류량은 6380.5A, 전압은 0V로 가정하였으며 나머지 b, c상의 전류는 정상상태 전류량의 10%를, 전압은 건전시의 전압을 적용하였다. 세부적인 각 상별 전류 및 전압은 표-1과 같다.

표-1 상별 전류 및 전압

회선	상	정상상태		고장상태	
		전류[A]	전압[kV]	전류[A]	전압[kV]
1	a상	$337.4e^{j0}$	$88.9e^{j0}$	$6380.5e^{j0}$	0
	b상	$337.4e^{-j120}$	$88.9e^{-j120}$	$33.74e^{-j120}$	$88.9e^{-j120}$
	c상	$337.4e^{j120}$	$88.9e^{j120}$	$33.74e^{j120}$	$88.9e^{j120}$
2	a상	$337.4e^{j0}$	$88.9e^{j0}$	$337.4e^{j0}$	$88.9e^{j0}$
	b상	$337.4e^{-j120}$	$88.9e^{-j120}$	$337.4e^{-j120}$	$88.9e^{-j120}$
	c상	$337.4e^{j120}$	$88.9e^{j120}$	$337.4e^{j120}$	$88.9e^{j120}$

망쪽이 먼쪽보다 2%정도 높았다. 그리고, 가장 높은 대지전위 부위는 외부 접지망과 본관 지하접지망이 연결된 좌측상단 모서리로써 1.97V로 나타났다.

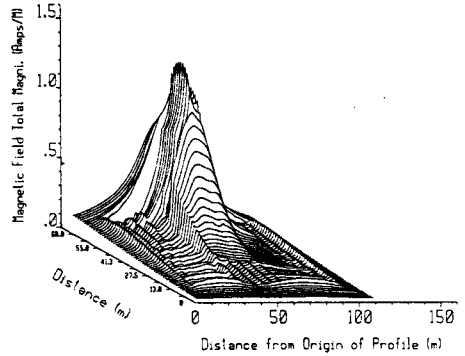


그림-4 정상상태시 자계의 3차원곡선

2.2 계산결과

2.2.1 대지전위 및 전자계

전자계의 해석은 먼저 도체에 흐르는 전류와 누설전류를 계산한 다음 구하여진 전류를 이용하여 각 지점에서의 전자계를 계산하는 두가지 단계로 수행한다. 계산을 위한 조건은 2.1.2항에서 언급한바와 같이 정상상태와 고장상태로 적용하였으며 정상상태는 3상 평형상태를 가정하였다. 평형이된 정상상태에서는 접지계통으로 흘러들어가는 불평형분이 발생하지 않으므로 순수한 송전선로에 의한 유도분이 전력원으로써의 역할을 담당하게 된다. 그림-2~4는 계통이 정상상태일때의 대지전위, 전계, 자계의 결과를 보여주고 있다.

본관 지하접지망의 대지전위는 1.916~1.889V로 외부 접지망보다 다소 낮은 추이를 보이고 있다.

전계의 계산결과는 그림-3과 같다. 접지망의 외곽도체와 울타리의 모서리에서 대체적으로 높게 나타났으며, 도체의 연결부위가 연결되지 않은 부분보다 높게 나타났다. 외부 접지망의 외곽도체에서 모서리 부분과 가운데 부분은 모서리 부분이 0.143V/m, 가운데 부분이 0.115V/m로써 20%의 차이를 보였다. 외부 접지망에서의 전계는 0.026V/m, 본관 지하접지망에서는 0.017~0.021V/m로 외부접지망이 본관 지하접지망보다 높게 나타났다.

자계의 계산결과는 그림-4에서 보여주고 있으며 울타리와 변전소 건물사이의 송전선로 하단 중심부에서 1.33A/m로 가장 높게 나타나고 있다. 도체가 포설된 부분이 포설되지 않은 부분보다 높은 값을 보였으며 본관 지하접지망에서의 자계는 0.2~0.81A/m이다.

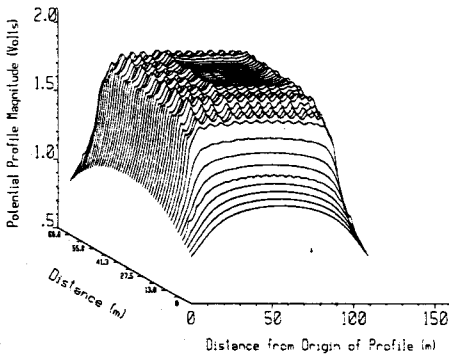


그림-2 정상상태시 대지전위의 3차원 곡선

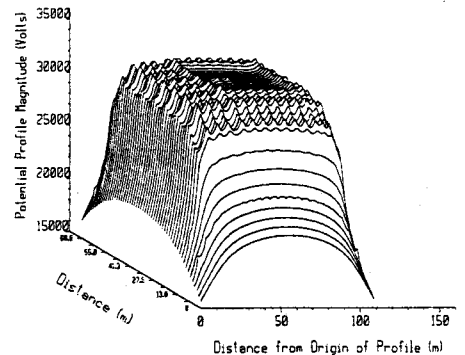


그림-5 고장상태시 대지전위의 3차원곡선

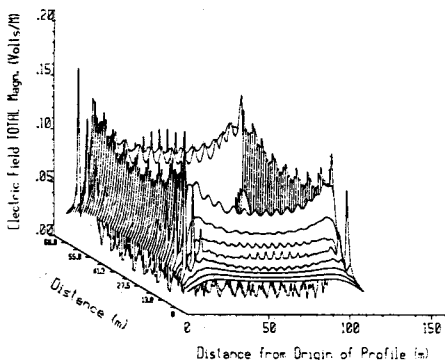


그림-3 정상상태시 전계의 3차원곡선

정상상태시의 대지전위는 그림-2에서 보는 바와 같이 송전선로와 철탑의 영향으로 인하여 철탑과 인접한 접지

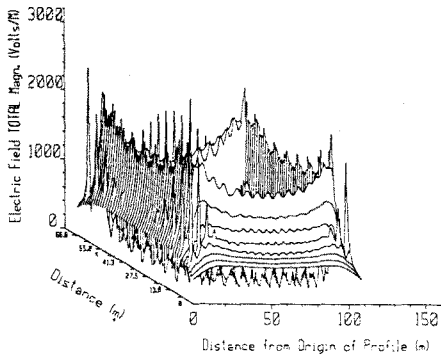


그림-6 고장상태시 전계의 3차원곡선

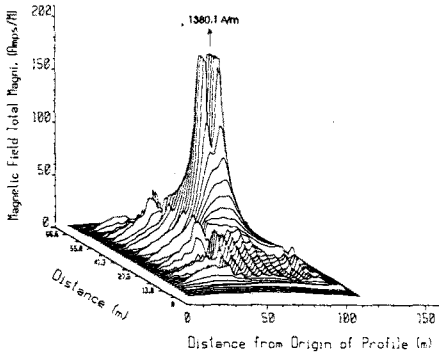


그림-7 고장상태시 자계의 3차원곡선

그림-5~7은 고장상태일때의 대지전위, 전계, 자계의 결과를 보여주고 있다. 대지전위와 전계의 계산결과는 정상상태와 유사한 분포를 보여주었으나 자계는 접지망으로 전류가 유입되는 부분인 가공지선과 본관 지하접지망에서 가장 높게 나타났다.

대지전위의 최고치는 외부 접지망의 본관 지하접지망 측 모서리에서 33,750V이며, 울타리에서의 대지전위는 24,975V로 최대 대지전위값과 8,775V의 차이를 보였다. 본관 지하접지망에서는 최대치보다는 다소 낮은 32,715~33,075V이다.

전계의 최고치는 좌측상단 울타리 모서리에서 2,892.2 V/m이며, 외부접지망에서의 분포는 334~1,189V/m, 본관 지하접지망에서는 290~379V/m의 분포를 보였다. 정상상태와 유사하게 접지망의 외곽도체와 울타리의 모서리에서 높게 나타났다.

자계는 가공지선과 본관 지하접지망이 연결된 부위에서 1380.1A/m로 가장 높게 나타났다. 자계크기의 분포추이는 그림-7에서 보는바와 같이 가공지선을 중심으로 원형으로 분포하고 있으며 외곽으로 갈수록 감소하고 있다. 또한, 도체가 포설된 부분이 포설되지 않은 부위보다 높게 나타났다.

2.2.2 울타리에서의 유도전류 및 전압

그림-8, 10은 계통이 정상상태일 때 송전선로 아래에 위치한 울타리에 유도되는 전류와 전압을, 그림-9, 11은 고장상태일때의 전류와 전압의 결과를 보여주고 있다.

계산결과에서 정상상태는 순수한 유도분에 의한 전류와 전압을 의미하지만 고장상태의 경우는 상전류 및 상전압에 의한 전류 및 전압과 건전상에 의한 유도분이 혼합되어 있는 관계로 진정한 유도의 의미는 아니다. 그러나, 여기에서는 고장상태의 전류와 전압도 동일하게 취급을 하였다.

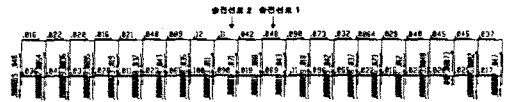


그림-8 정상상태시 울타리의 유도전류

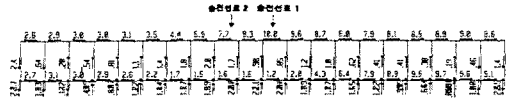


그림-9 고장상태시 울타리의 유도전류

정상 및 고장상태시 울타리에 유도되는 전류는 그림-8, 9에서 보이는 바와 같이 서로 다른 양상을 보이고 있다. 정상상태의 경우 송전선로 1, 2의 바깥쪽 하단의 울타리 지점에서 0.09, 0.12A로 높고 점차로 낮아지는 추이를 보이고 있으나, 고장상태의 경우는 송전선로 1의 a상과 가공지선과의 단락으로 인하여 울타리의 유도전류는 송전선로 2보다 1에 절대적으로 영향을 받아 송전선로 1의 하단에서 가장 높으며 전류의 크기는 10A이다.

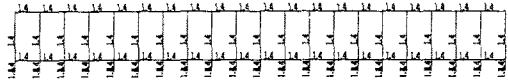


그림-10 정상상태시 울타리의 유도전압

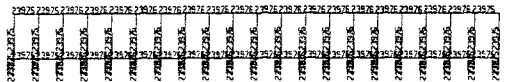


그림-11 고장상태시 울타리의 유도전압

그림-10, 11은 울타리에서의 유도전압분포를 보여주고 있으며 그림에서 보는바와 같이 정상상태일때는 1.4V, 고장상태일때는 약 23,976V로 울타리의 전부분에서 거의 동일한 값을 보이고 있다.

2.2.3 정상상태하에서 대지 고유저항의 영향

검토조건에서 변전소가 위치한 대지의 일반적 특성을 고려하여 대지고유저항값을 1,000Ω·m로 적용을 하였다. 그러나, 실제의 대지고유저항은 같은 부지일지라도 토양의 성질, 계절, 기후등에 따라 변하는 성질, 즉, 고유저항의 다양성을 가지고 있으므로 이 절에서는 대지고유저항의 변화에 따른 대지전위상승과 전자계의 변화특성을 검토하고자 하였다. 그림-12에서는 대지고유저항을 10~10,000Ω·m로 변화시키면서 모델링계통에서의 계산결과(최대값)를 그래프로 나타내었다. 검토결과, 50Ω·m 이하의 낮은 대지고유저항에서 대지전위상승곡선은 급격히 증가하는 추세를 보이다가 높은 대지고유저항으로 갈수록 점차로 완만하게 증가를 하였으며, 자계는 50Ω·m 이하에서 급격히 감소하다가 50Ω·m 이상에서 1.33A/m로 포화가 되어 일정하게 유지가 되는 것으로 나타났다. 전계의 경우는 대지전위상승곡선과 유사한 추이를 보였으나 다소 완만한 추이를 보였다. 따라서, 우리나라에서와 같이 대부분의 변전소 부지가 1000Ω·m 이상의 대지고유저항인 경우는 전계나 자계측면에서는 그 이상의 대지고유저항에서도 별 영향을 받지 않으나 대지전위상승 측면에서는 대지고유저항의 증가에 따라 상승함으로 변전소 부지의 선정에 있어서 가능한한 낮은 대지고유저항의 부지를 선정하여야 할 것이다.

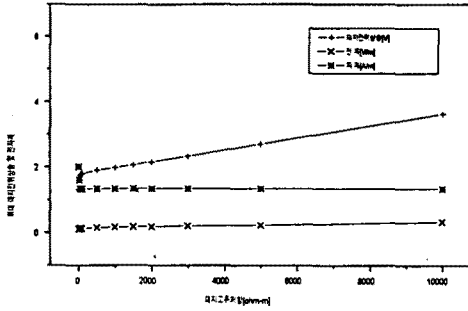


그림-12 대지 고유저항 변화에 따른 대지전위상승, 전자계

2.2.4 정상상태하에서 대지 비투자율의 영향

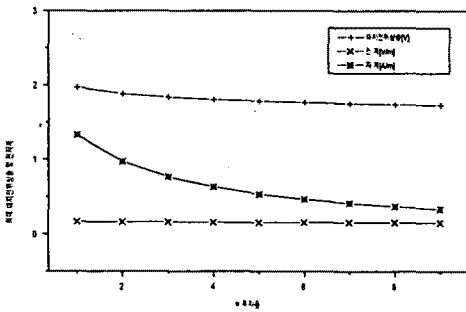


그림-13 대지 비투자율의 변화에 따른 대지전위상승, 전자계

그림-13는 대지의 비투자율이 1~9로 변화하였을 때 모델링계통의 대지전위상승, 전계, 자계의 결과를 분석하였다.

대지전위상승과 전자계는 비투자율의 증가에 대하여 감소하였다. 민감도는 자계, 대지전위상승, 전계의 순으로 나타났으며 대지전위상승은 비투자율 9의 약 1.73V에서 포화가 되는 추이를 보였다. 전계는 비투자율 1과 9의 차이가 0.12V/m로서 7.3%정도의 차이만을 나타내고 있어 비투자율에 별 영향을 받지 않았다.

3. 결 론

본 연구를 통하여 장이론 해석의 유연성으로 인하여 기존의 회로모델해석방법에서는 접근하기 곤란하였던 계통의 전자계검토와 울타리의 유도현상을 검토하였다.

본 연구를 통하여 얻은 결론은 다음과 같다.

- 정상상태와 고장상태시 대지전위상승과 전계의 추이는 유사하며 자계는 전류유입지점에서 가장 높게 나타난다.

- 변전소와 인접한 부근에 철탑이 설치되어 있을 경우 이의 영향을 받아 대지전위상승이나 전자계측면에서 상승효과를 보이게 된다.

- 전계는 외부접지망의 외곽과 울타리의 모서리에서 높은 전계분포를 보인다.

- 울타리에서의 유도전류는 정상상태의 경우 송전선로 하단 바깥부분에서, 고장상태의 경우는 고장선로하단에서 가장 높게 나타난다. 전압은 울타리에 대하여 일정하게 나타난다.

본 연구를 통하여 그동안 대지전위상승과 위험전압측

면에 치중되어오던 변전소의 접지계통검토를 종합적인 관점에서 검토할 수 있는 동기가 될 수 있을 것이라 판단되어진다. 그러나, 상 불평형상태시 접지계통으로 유입되는 불평형 전류분배에의 영향분석과 고장발생시 과도상태의 고주파 성분을 고려한 검토가 계속적으로 연구되어야 하며, 검토된 전자계나 유도전류와 전압이 인체나 기기에 미치는 영향도 이루어져야 할 것으로 판단된다.

(참 고 문 헌)

- (1) 이형수, "가스절연 변전소의 과도전위 상승 및 전자계 해석", 박사학위논문, 1997. 12
- (2) A. Selby & F. Dawalibi, "Determination of distribution in energized conductors for the computation of electromagnetic fields", IEEE 1993 PES Winter Meeting.
- (3) L. Grcev & F. Dawalibi, "An electromagnetic model for transients in grounding systems", IEEE Transactions on Power Delivery, Vol.5, No.4, pp1773~1781, November 1990
- (4) F. Dawalibi & A. Selby, "Electromagnetic fields of energized conductors", IEEE paper 92 SM 456-4 I PES summer meeting, Seattle, WA, July 1992.
- (5) F. Dawalibi, "Electromagnetic fields by overhead buried short conductors - Part II: Ground networks", Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No.4 5~11, October 1986
- (6) F. Dawalibi, "Electromagnetic fields by overhead buried short conductors - Part I: Single conductor", Transactions on Power Delivery, Vol. PWRD-1, No.4 2~117, October 1986
- (7) F. Dawalibi, "Computation of electromagnetic fields produced by electric power lines and residential wiring", IEEE paper 92 SM 57-2 PWRD, PES summer meeting, Seattle, WA, July 1992
- (8) W. Ruan, S. Fortin, F. Dawalibi, and J. "Computation of electromagnetic fields inside buildings located close to high-voltage power lines".
- (9) R. G. Olsen, & K. C. Jaffa, "Electromagnetic fields from power lines and magnetic field safety analysis", Transactions on Power Apparatus and System, PAS-103, No.12, pp3595~3607, December 1984