

## Test and Analysis of Fall-Of-Potential at Towers of Energized Transmission Lines

崔鍾基<sup>†</sup> · 姜鍊旭<sup>\*</sup> · 李東一<sup>\*\*</sup> · 沈應輔<sup>\*\*\*</sup> · 金慶哲<sup>§</sup>  
 (Jong-kee Choi, Yeon-wook Kang, Eung-bo Shim, Dong-il Lee, Kyung-chul Kim)

**Abstract** - Tower footing resistance and fault current division factor are important design factors for evaluation of the lightning performance of the transmission line and/or design of the grounding electrode system. The periodic measurement of those factors are also important to verify that the grounding performance of the towers has been maintained good. However, the direct measurement of those factors in operating or energized condition is very difficult because of many practical reasons, such as the difficulty of disconnecting overhead groundwires from the tower under test. With supports by GECOL (General Electricity Company of Libya), we had a special chance to conduct Fall-Of-Potential (FOP) test on the energized 220 kV transmission towers before and after disconnecting the overhead groundwires from the towers under test. In this paper, the FOP test results on the towers and the fault current division factors estimated from the comparison of the FOP tests with and without overhead groundwires were presented. The computer models for the FOP test simulations were also constructed to find that the simulated results agreed very well with the measured ones.

**Key Words** : Footing Resistance, Fall-Of-Potential Test, Fault Current Division Factor

### 1. 서 론

송전선에서 지락사고가 발생한 경우 지락고장전류는 가공지선과 대지를 통해 전원단으로 귀환하며 송전철탑 탑각을 통해 대지로 귀환하는 접지전류는 철탑과 인근 토양의 전위상승을 초래한다. 고장전류 분류계수(fault current division factor)는 지락점에서 지락고장전류에 대한 접지전류의 비(比)로 정의되며, 이러한 분류계수는 변전소와 같은 다중접지된 전력설비의 접지설계시 위험전압이나 접지극/토양 전위상승 예측을 위한 중요한 파라메타이다. 과거에 여러 연구자들이 모의고장시험(staged fault test)을 통해 분류계수를 실측한 사례가 있었으나[1~3], 이같은 시험을 위해서는 선로휴전, 안전 등 측정작업 및 사전 준비에 많은 시간과 노력을 필요로 한다. 본 논문에서는 가압되어 있는 220 kV 송전철탑을 대상으로 수행한 전위강하시험(Fall-Of-Potential test) 결과로부터 송전철탑의 분류계수를 역산한 사례를 제시하였다. 각 철탑에 대하여 두 번의 전위강하시험을 수행하였는데, 먼저 가공지선이 철탑에 연결된 상태에서 측정한 직후에 그 철탑으로부터 가공지선을 분리하고 동일 측정선상에서 다시 측

정함으로써 가공지선 분리 전후의 전위강하곡선 비교가 가능하였다. 동일 철탑에 대한 두 개의 측정치 비교를 통해 역산한 분류계수와 대지저항을 탐사결과 및 탐각 도면을 토대로 전위강하시험 시뮬레이션을 위한 컴퓨터 모델을 구성하였다. 컴퓨터 모델에서 재현한 전위강하곡선은 실측치와 거의 일치하였으며, 이로써 측정대상 철탑들의 분류계수 산정결과와 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 대지전위분포 해석방법의 신뢰성을 확인할 수 있었다.

### 2. 전위강하시험과 철탑 분류계수의 산정

그림 1은 접지저항 측정에 널리 이용되는 전위강하 시험회로의 예와 전형적인 겐보기저항(apparent resistance), 측정곡선을 보여주고 있다[4]. 여기서 겐보기저항은 측정대상접지극(P<sub>1</sub>)과 전위극(P<sub>2</sub>)사이의 전위차를 주입전류로 나눈 수치를 의미한다(그림 1 참조). 그림 1(a)에서 P<sub>2</sub>전극을 이동하면서 측정대상전극(P<sub>1</sub>)과의 전위차를 측정하여 이를 주입전류로 나눈 겐보기저항을 위치별로 기록하면 그림 1(b)와 같은 저항곡선을 얻게된다. 이상적으로는 접지극 전위측정을 위한 기준전극이 무한원점, 즉 영전위점에 위치하여야 하지만 전위강하시험에서는 그림 1(a)의 두 접지극 사이에 생기는 인위적인 영전위구간, 즉 그림 1(b)의 평평한 구간 또는 철탑으로부터의 거리가 총 측정선 길이의 61.8%인 지점에 기준전극(P<sub>2</sub>)을 위치시켜 접지저항을 측정하게 된다[5].

준공 이후 송전선로의 가공지선은 다른 송전철탑들의 탑각을 통해 다중접지되므로 그림 2에서 보인 것처럼 단일 철탑에 대한 전위강하시험시 주입전류의 일부는 가공지선을 통해 외부로 빠져나가게 된다. 그림 2의 철탑 분류계수(S<sub>i</sub>)를 전위

† 교신저자, 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원  
 E-mail : jkchoi@kepri.re.kr

\* 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소 선임연구원

\*\* 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소 책임연구원

\*\*\* 正會員 : 한전 전력연구원 전력계통연구소 수석연구원

§ 正會員 : 홍익대학교 전기공학과 교수

接受日字 : 2006年 3月 9日

最終完了 : 2006年 4月 16日

강하시험의 주입전류(I)에 대한 탐각저항( $R_g$ )으로 흐르는 전류의 비로서 정의하면, 철탁과 철탁 인근의 대지전위의 상승 정도가 분류계수에 비례하므로 철탁의 가공지선 분리 전후의 전위강하시험 결과를 비교한다면 이 철탁의 분류계수를 역산할 수 있게 된다. 본 절은 리비아 전력청(GECOL, General Electricity Company of Libya)의 협조를 받아 송전 중인 220 kV 송전계통 철탁을 대상으로 가공지선 연결 전후의 전위강하시험 결과와 각 철탁에서 분류계수 역산결과를 제시한다.

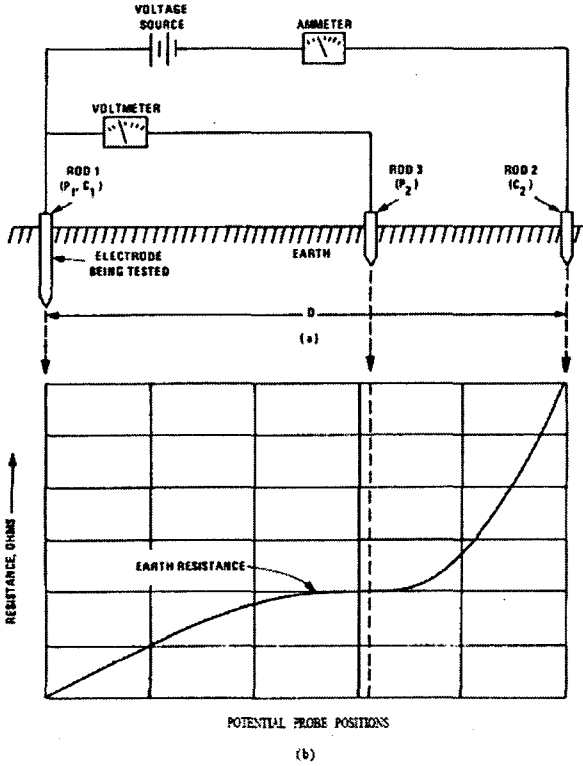


그림 1. 접지저항 측정을 위한 전위강하시험  
Fig. 1. Fall-of-Potential Method for measuring the Resistance of Earth Electrodes

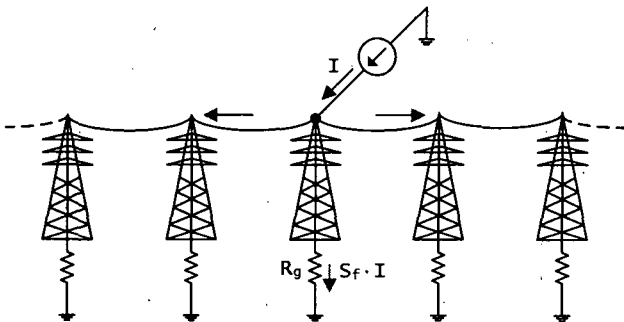


그림 2. 송전선로 탐각에서 분류계수( $S_f$ )  
Fig. 2. Current division factor ( $S_f$ ) at tower footings

그림 3은 철탁으로부터 가공지선을 분리하는 작업 사진이며, 그림 4는 총 4기의 철탁을 대상으로 가공지선 분리 전후의 전위강하법 시험결과를 보인 것이다. 그림 4로부터 가공지선 분리 후 탐각 단독의 접지저항값은 No.1 철탁은 11~12  $\Omega$ , No.2 철탁은 4~5  $\Omega$ , 그리고 No.3 및 No.4 철탁은 약 7  $\Omega$  정도로 추정되었다.

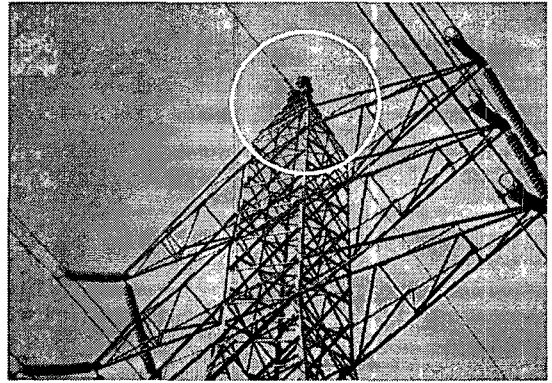
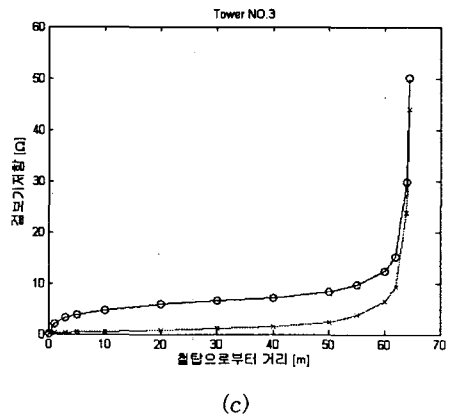
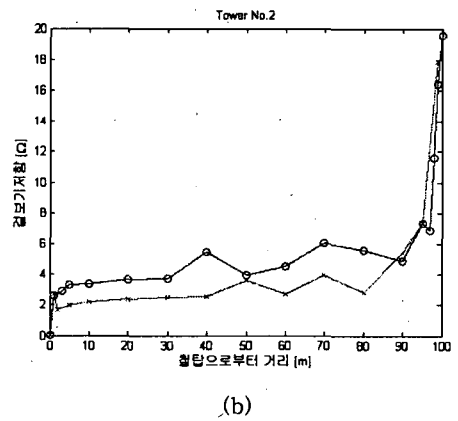
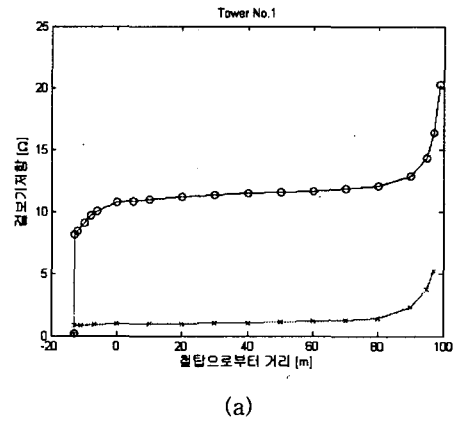


그림 3. 철탁으로부터 가공지선의 분리  
Fig. 3. Disconnecting groundwire from the tower



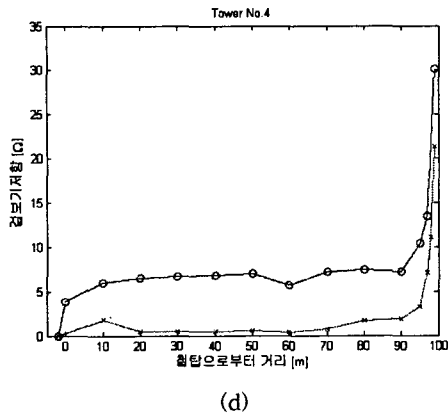


그림 4. 가공지선 분리 전후의 전위강하곡선 측정치 (o:가공지선 분리 후, x:분리 전)  
 Fig. 4. Measured FOP curves with/without overhead groundwires

가공지선 연결시 탑각전위 및 인근 토양전위는 가공지선 분리 한 후의 전위에 비하여 감소하게 되는데, 임시전극(그림 1에서 C<sub>2</sub>전극)에 의한 전위간섭효과를 무시하면 가공지선 연결시 전위의 저감율은 분류계수(S<sub>f</sub>)와 같은 값이 된다 (그림 2, 4 참조). 그림 5는 네 번째 철타(Tower No.4)에서 가공지선 연결시의 결보기저항 측정값(R<sub>tower+gw</sub>)와 분리 후의 탑각 단독일때의 측정값(R<sub>tower</sub>)의 비율을 계산한 결과를 보인 것이며, 그림에서 10m의 값을 bad data로 간주하고 임시전극의 전위간섭 영향을 무시할 수 있는 탑각 인근의 계산값인 0.07을 분류계수(S<sub>f</sub>)로 산정할 수 있다. 같은 방법으로 그림 4의 측정곡선으로부터 No.1~3 철타의 분류계수(S<sub>f</sub>)는 각각 0.1, 0.6, 0.1로 산정되었다.

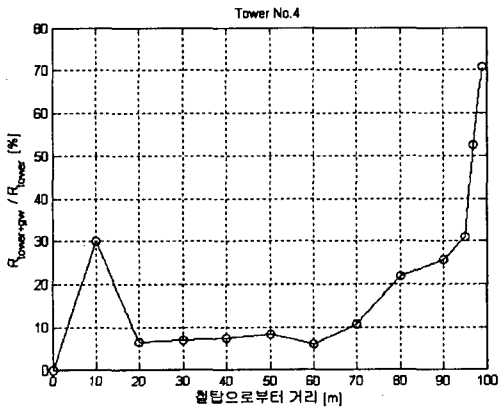


그림 5. 가공지선 연결 전후의 전위강하시험 측정곡선의 비 (Tower No.4)  
 Fig. 5. Ratio of the measured apparent resistances curve at Tower No. 4

3. 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 측정치 검증

본 절에서는 앞절에 기술한 전위강하시험을 컴퓨터 시뮬레이션으로 재현하기 위한 모델에 대하여 기술한다. 이러한 컴퓨터 시뮬레이션의 신뢰성 검증이 중요한 이유는 앞 절에서 기술한 모의고장시험은 말할 것도 없고 준공 이후 운전 중인

송전철타에서 가공지선을 분리하고 전위강하시험을 수행하는 작업 또한 매우 특수한 여건에서나 가능한 것이기 때문이다. 즉 지락고장과 같이 실제 시행이 어려운 시험을 신뢰성있는 컴퓨터 시뮬레이션으로 대체함으로써 송전철타의 접지저항이나 분류계수의 추정에 유용하게 활용할 수 있다. 본 절에서는 먼저 대지저항을 조사에 근거한 토양모델링에 대하여 간략히 기술하고, 다음으로는 이렇게 구한 토양모델과 GECOL에서 제공한 탑각도면에 근거한 전위강하시험 시뮬레이션 모델에 대하여 기술한다.

3.1 대지저항을 측정과 토양모델 식별

탑각 인근의 전위해석모델에서 가장 중요한 요소 중 하나는 토양의 전기적 특성이며, 실제 토양에 전기적으로 등가인 토양모델 식별의 신뢰성을 높이기 위해서는 주의깊은 대지저항을 측정 및 해석작업이 필수적이다. 이런 이유로 본 논문의 실측사례의 전위강하시험 후에 측정선 위에서 Wenner 4전극법에 의해 대지저항을 조사를 수행하였으며, 저항을 측정 곡선에 등가인 수평다층 토양모델의 식별에 이용되었다.

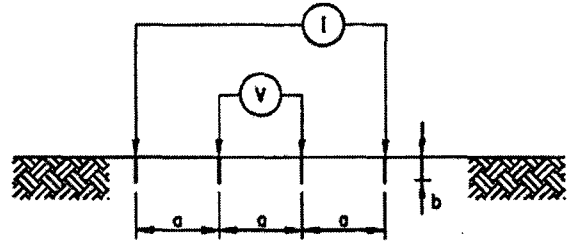


그림 6. Wenner 4전극법  
 Fig. 6. Wenner's 4-pin Method

결보기저항(=2πaV/I, 그림 6 참조) 실측곡선에 등가인 수평다층 토양모델의 식별작업은 실측곡선과 계산곡선의 RMS오차를 최소화하는 벡터 x를 찾는 최적화 문제(식 1 참조)의 해를 구하는 작업이며, 최종적으로 수렴한 해(x)는 수평다층구조 등가토양의 파라메타인 i번째 층의 저항률(ρ<sub>i</sub>)과 두께(h<sub>i</sub>)가 된다. 본 논문에서는 상용 프로그램인 RESAP [8]을 이용하여 각 지역의 등가토양모델을 식별하였다.

$$minimize \sqrt{\frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \left( \frac{\rho_m(a_i) - \rho_c(a_i, \mathbf{x})}{\rho_m(a_i)} \right)^2} \quad (1)$$

(단, k:층 측정횟수, a<sub>i</sub>:i번째 전극간격 [m], ρ<sub>m</sub>(a<sub>i</sub>):i번째 결보기저항을 측정치 [Ωm], ρ<sub>c</sub>(a<sub>i</sub>, x):i번째 결보기저항을 계산치 [Ωm], x=(ρ<sub>1</sub>, ρ<sub>2</sub> ..., ρ<sub>n</sub>, h<sub>1</sub>, h<sub>2</sub> ..., h<sub>n-1</sub>)<sup>T</sup>, n:등가토양모델의 층(layer) 수)

그림 7은 RESAP을 이용하여 식별한 각 지역의 등가토양 모델로부터 계산한 결보기저항을 곡선과 측정곡선을 비교한 결과이며, 측정치와 계산치가 잘 일치하고 있음을 확인할 수 있다. 식별된 등가모델들의 파라메타는 표 1에 요약하였으며, 흔히 사용되는 균일매질이 아닌 수평다층(4~5층)의 토양 구조를 상정함으로써 실제 토양특성에 보다 근접한 모델링이 이루어졌다.

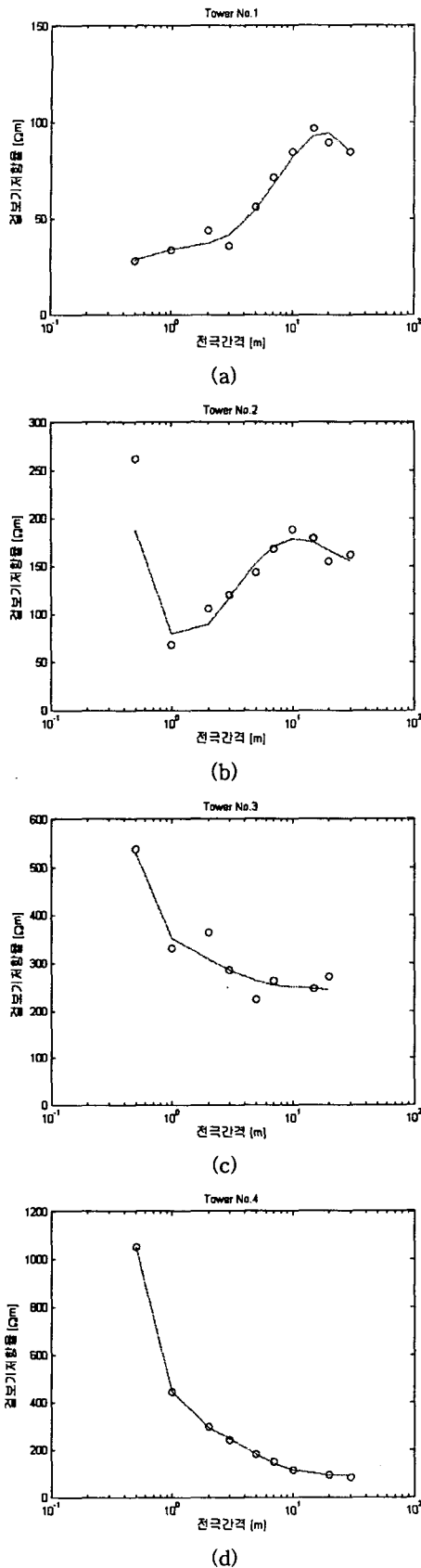


그림 7. 겉보기저항을 측정/계산치의 비교  
 Fig. 7. Comparison of measured/computed apparent resistivity curves

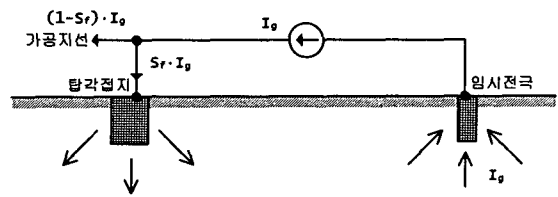
표 1. 측정지역별 등가토양모델

Table 1. Equivalent soil models of test sites

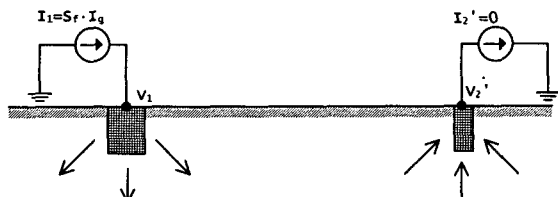
Layer No.	Tower No.1		Tower No.2		Tower No.3		Tower No.4	
	$\rho_i$ [ $\Omega$ m]	$h_i$ [m]	$\rho_i$ [ $\Omega$ m]	$h_i$ [m]	$\rho_i$ [ $\Omega$ m]	$h_i$ [m]	$\rho_i$ [ $\Omega$ m]	$h_i$ [m]
1st	22.8	0.37	1153.2	0.22	1352.9	0.20	2172.7	0.30
2nd	51.8	0.67	38.5	0.84	318.8	0.80	318.9	1.59
3rd	22.1	1.62	337.7	3.08	422.3	0.20	214.5	2.05
4th	284.8	6.45	146.2	$\infty$	383.5	0.21	90.0	$\infty$
5th	42.8	$\infty$	-	-	244.1	$\infty$	-	-

3.2 전위강하시험 시뮬레이션 모델

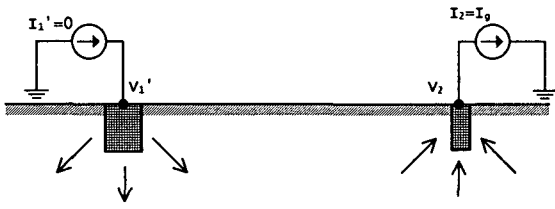
충전된 접지극 및 인근 토양의 전위계산을 위한 알고리즘은 접지극을 여러 개의 도체 세그먼트들로 분할하고 이들 간의 전압전류 방정식의 해를 구함으로써 이루어지는 것이 일반적이다 [6,7]. 이 알고리즘을 확장하면 분류계수가 1.0 이 아닌 경우의 전위강하시험 시뮬레이션도 가능해진다. 그림 8은 시뮬레이션을 위한 컴퓨터 모델을 보인 것이다. 그림 8(a)는 가공지선이 연결된 상태에서 송전철탐에 대한 전위강하시험의 전류주입회로를 간략하게 보인 것이다. 가공지선은 다른 철탐들의 탐각접지를 통해 다중접지되어 있으므로, 시험대상 철탐에 주입한 전류( $I_g$ ) 중 일부만이 탐각접지를 통해 대지로 누설된다. 여기서 분류계수( $S_f$ )는 총 주입전류( $I_g$ ) 중 탐각을 통해 누설되는 전류의 비(比)이다. 그림 8(a)의 모델에서 중첩의 원리를 적용하면 접지전극을 통해 대지로 누설되는 전류들을 두 개의 별도 전류원으로 고려할 수 있다. 즉, 그림 8(b)는 시험 중인 탐각을 통해 누설되는 전류를 하나의 전류원( $I_1=S_f \cdot I_g$ )으로 표현하고 임시전극으로 출입하는 전류는 제거( $I_2'=0$ )한 모델을 보인 것이며, 반대로 탐각 누설전류를 제거( $I_1'=0$ )하고 임시전극의 누설전류( $I_2=I_g$ )만을 고려한 경우의 모델이 그림 8(c)이다. 편의상 전류가 주입되는 전극을 충전전극이라 하고, 전류주입이 없는 전극을 비충전전극이라고 지칭하기로 한다.



(a) 송전 중인 철탐에서 전위강하시험의 전류주입회로  
 (a) Current injecting circuit during Fall-Of-Potential Test



(b) 전극간 지표면전위 해석을 위한 등가모델-1  
 (b) Equivalent model-1 for earth surface potential analysis between two electrodes



(c) 전극간 지표면전위 해석을 위한 등가모델-2

(c) Equivalent model-2 for earth surface potential analysis between two electrodes

그림 8. 전위강하시험 재현을 위한 컴퓨터 모델

Fig. 8. Computer model for FOP test simulation

충전전극과 비충전전극을 각각 m개와 n개의 도체 세그먼트들로 분할하고, 각 도체 세그먼트 그룹의 전압 및 누설전류 벡터를 각각  $V_1, I_1, V_2', I_2'$  로 표시한다. 여기서 대시(')표시는 충전되지 않은 전극을 의미하며, 이 전극의 세그먼트들의 누설전류 대수합은 0이다. 각 세그먼트 그룹들의 전압전류 방정식은 식 (2)와 같이 두 그룹의 방정식으로 기술되는데, 상단 방정식을  $I_1$  에 대하여 정리하여 하단 방정식에 대입하면 식 (3)을 얻을 수 있다. 전극 자체의 도체임피던스에 의한 전압강하를 무시하면 충전전극 도체 세그먼트들의 전위는 모두  $v_1$ 이고 비충전전극 도체 세그먼트들의 전위는 모두  $v_2'$ 이므로(식 4) 식 (3)을  $I_2'$ 에 대하여 정리하고(식 5) 비충전전극의 누설전류 제약조건(식 6)을 적용하면 식 (7)과 같이  $v_1$ 과  $v_2'$ 의 비례상수  $\alpha$ 를 구할 수 있다.

$$\begin{pmatrix} V_1 \\ V_2' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{21} & Z_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_1 \\ I_2' \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} V_1 &= Z_{11}Z_{21}^{-1}(V_2' - Z_{22}I_2') + Z_{12}I_2' \\ &= Z_{11}Z_{21}^{-1}V_2' + (Z_{12} - Z_{11}Z_{21}^{-1}Z_{22})I_2' \end{aligned} \quad (3)$$

$$V_1 = v_1 \times 1, V_2' = v_2' \times 1 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} I_2' &= (Z_{12} - Z_{11}Z_{21}^{-1}Z_{22})^{-1}V_1 - (Z_{12} - Z_{11}Z_{21}^{-1}Z_{22})^{-1}(Z_{11}Z_{21}^{-1})V_2' \\ &= XV_1 - YV_2' = (X \cdot 1)v_1 - (Y \cdot 1)v_2' \end{aligned} \quad (5)$$

(단,  $X = (Z_{12} - Z_{11}Z_{21}^{-1}Z_{22})^{-1}$ ,  $Y = (Z_{12} - Z_{11}Z_{21}^{-1}Z_{22})^{-1}(Z_{11}Z_{21}^{-1})$ )

$$\sum(I_2') = \sum_{k=1}^n i_{2k}' = 0 = v_1 \sum_{k=1}^m x_k - v_2' \sum_{k=1}^n y_k \quad (6)$$

$$\therefore v_1 = \alpha v_2' \quad (\text{단, } \alpha = (\sum_{k=1}^n y_k) / (\sum_{k=1}^m x_k)) \quad (7)$$

이번에는 식 2의 하단 방정식을  $I_2'$ 에 대해 정리하여 이를 상단 방정식에 대입하고(식 8), 이를  $I_1$ 에 대하여 정리 한다(식 9). 충전전극 세그먼트들의 전류합, 즉 총 주입전류(= $S_f I_g$ )는 이미 알고있는 값이므로 식 11에 의해 비충전전극의 전압( $v_2'$ )을 구할 수 있으며, 이를 식 7에 대입하면 충전전극의 전압( $v_1$ )도 계산된다. 따라서 식 2의 좌변항( $V_1, V_2'$ )이 모두 구해지므로 전극 세그먼트들의 누설전류 벡터( $I_1, I_2'$ )는 유일한 해로써 계산된다.

$$V_1 = Z_{11}I_1 + Z_{12}Z_{22}^{-1}(V_2' - Z_{21}I_1) \quad (8)$$

$$= (Z_{11} - Z_{12}Z_{22}^{-1}Z_{21})I_1 + Z_{12}Z_{22}^{-1}V_2'$$

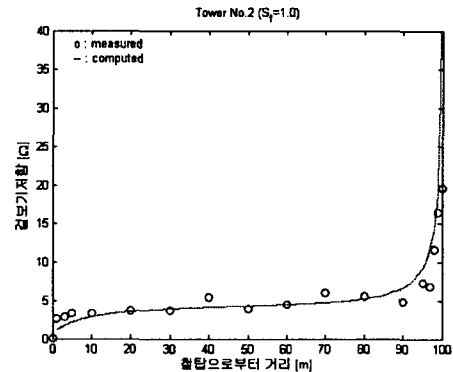
$$\begin{aligned} I_1 &= (Z_{11} - Z_{12}Z_{22}^{-1}Z_{21})^{-1}V_1 - (Z_{11} - Z_{12}Z_{22}^{-1}Z_{21})^{-1}Z_{12}Z_{22}^{-1}V_2' \\ &= AV_1 + BV_2' = (A \cdot 1)v_1 + (B \cdot 1)v_2' \end{aligned} \quad (9)$$

(단,  $A = (Z_{11} - Z_{12}Z_{22}^{-1}Z_{21})^{-1}$ ,  $B = -(Z_{11} - Z_{12}Z_{22}^{-1}Z_{21})^{-1}(Z_{12}Z_{22}^{-1})$ )

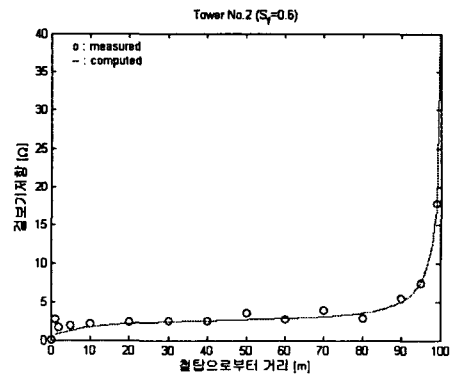
$$\sum(I_1) = \sum_{k=1}^m i_{1k} = S_f I_g = v_1 \sum_{k=1}^m a_k + v_2' \sum_{k=1}^n b_k \quad (10)$$

$$\therefore v_2' = \frac{S_f I_g}{\alpha \sum_{k=1}^m a_k + \sum_{k=1}^n b_k} \quad (11)$$

그림 8(c)의 모델에서도 유사한 절차를 통해 해가 구해지고, 최종적인 접지극 전압, 전류벡터는 이 두 해를 합한 값이 된다. 임의의 한 점에서 전위는 각 도체 세그먼트들의 누설전류에 의한 전위상승값의 합이므로 측정대상 접지극의 전위( $v_1 + v_1'$ )를 구할 수 있으며, 모든 도체 세그먼트들의 누설전류를 구하였으므로 임의의 점에서 전위도 계산할 수 있다. 접지극과 지표면의 전위차를 주입전류( $I_g$ )로 나눈 값이 그 지점의 걸보기저항이 되므로, 분류계수가 1이 아닌 경우의 송전철탄 전위강하시험을 시뮬레이션할 수 있다. 본 논문에서는 상용 프로그램인 MALT[6,9,10]를 이용하여 컴퓨터 모델링 및 시뮬레이션을 수행하였다.



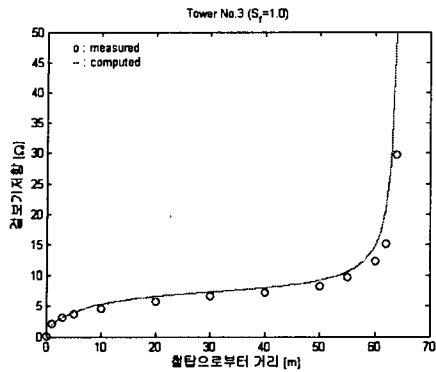
(a) 가공지선 분리



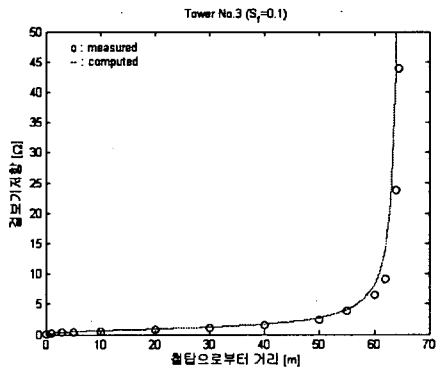
(b) 가공지선 연결

그림 9. 전위강하법 측정/계산곡선 비교 (Tower No. 2)

Fig. 9. Comparison of measured/computed FOP curves (Tower No. 2)

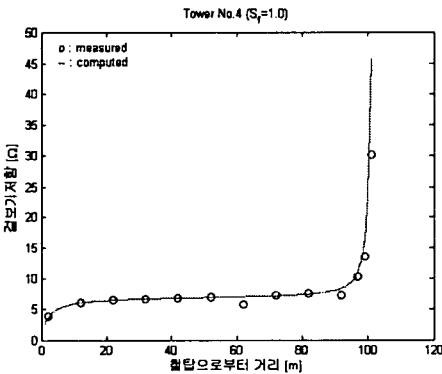


(a) 가공지선 분리

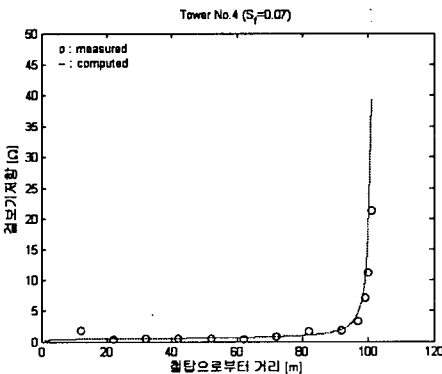


(b) 가공지선 연결

그림 10. 전위강하법 측정/계산곡선 비교 (Tower No.3)  
Fig. 10. Comparison of measured/computed FOP curves



(a) 가공지선 분리



(b) 가공지선 연결

그림 11. 전위강하법 측정/계산곡선 비교 (Tower No.4)  
Fig. 11. Comparison of measured/computed FOP curves (Tower No.4)

그림 9~11은 Tower No. 2~4에서 가공지선을 분리한 전후의 전위강하시험 측정값과 계산값을 각각 비교한 결과이며, 가공지선 분리 후 철타 단독일 때와 가공지선 연결한 상태에서 모두 계산치가 측정치와 잘 일치함을 확인할 수 있다. 그러나 Tower No. 1은 주변에 넓은 공터가 있었던 다른 철타와는 달리 민가 지역 도로변에 위치한 관계로 부득이하게 도로 옆 발을 따라 대지저항을 측정하였으나, 표 1의 토양모델을 사용한 전위강하곡선이 실측치와 3배 이상의 큰 차이가 있었다. 이러한 모델링 오류는 발 주변의 저항률이 철타 인근 토양과 저항률과 차이가 큰 때문인 것으로 추정되며, 컴퓨터 모델에서 토양모델링이 중요한 요인임을 보여주는 사례이다. 측정 일정상 대지저항률의 재측정이 곤란하였으므로 본 논문의 전위강하법 시뮬레이션 사례에서 제외하였다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 송전 중인 220kV 선로의 송전철타에서 가공지선 연결 전후의 전위강하시험을 수행하고, 가공지선 연결/분리시 측정값을 비교함으로써 각각의 철타에서 분류계수를 역산하였다. 전위강하시험을 시뮬레이션하기 위한 컴퓨터 모델들을 구성하여 가공지선 분리 후 철타 단독일 때의 전위강하시험을 재현한 결과, 측정 및 계산곡선이 서로 잘 일치함을 확인함으로써 컴퓨터 모델의 신뢰성을 확인하였다. 동일 모델을 이용하여 이번에는 각 철타에서 역산한 분류계수 적용시의 전위강하시험 시뮬레이션 결과와 가공지선 연결시의 측정곡선을 비교한 결과, 역시 서로 잘 일치함을 확인하였다. 이로써 주의깊은 대지저항을 측정/해석 및 접지극 모델링에 기반한 컴퓨터 시뮬레이션 방법이 신뢰성이 있음을 실증하였으며, 이러한 모델링 기법은 향후 송전선 지락시 철타인근 시설물의 전위강해석이나 직접 측정이 곤란한 준공 이후 개별 송전철타의 접지저항 측정 등에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J.Fortin, H.G.Sarmiento, D.Mukhedkar, "Field Measurement of Ground Fault Current Distribution and Substation Ground Impedance", IEEE Trans. on PD, Vol. PWRD-1, No.3, July 1986
- [2] J.Fortin, H.Sarmiento, D.Mukhedkar, "Field measurement of ground fault current distribution and substation ground impedance at LG-2, Quebec," in IEEE Trans. On PD, vol. PWRD-1, no.3, July 1986
- [3] P.R.Pillai, E.P.Dick, "A Review on Testing and Evaluating Substation Grounding Systems", IEEE Trans. on PD, Vol.7, No.1, Jan. 1992
- [4] Grounding, Bonding and Shielding for Electronic Equipments and Facilities, MIL-HDBK-419A, 1987
- [5] Guide for Measurement of Impedance and Safety Characteristics of Large, Extended or Interconnected Grounding Systems, ANSI/IEEE Std 81.9-1991, pp. 38
- [6] F.P.Dawalibi, D.Mukhedkar, "Optimum design of substation grounding in two-layer earth structure; Part I.Analytical study, Part II.Comparison between theoretical

and experimental results, and Part III. Study of grounding grids performance and new electrodes configuration," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-94, no. 2, pp. 252.261, 262.266, 267.272, Mar./Apr. 1975.

- [7] Heppe, R. J., "Computation of potential at surface above an energized grid or other electrode, allowing for nonuniform current distribution," IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, vol. PAS-98, no. 6, pp. 1978.1989, Nov./Dec. 1979.
- [8] RESAP Users' Manual, SES, 2000
- [9] MALT Users' Manual, SES, 2000
- [10] F. P. Dawalibi, F. Donoso, "Integrated Analysis Software for Grounding, EMF, and EMI", IEEE Computer Applications in Power, Vol.6, No.2, April 1993, pp. 19-24.

저 자 소 개



**최종기 (崔鍾基)**

1969년 2월 1일생. 1992년 동국대 전기공학과 졸업. 1995년 홍익대 전기제어공학과 졸업(석사). 1995년~현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 송전기술그룹 선임연구원  
E-mail : jkchoi@kepco.co.kr



**심응보(金在俊)**

1959년 12월 23일 생. 1982년 한양대 전기공학과 졸업. 1982년 한국전력공사 입사. 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 계통기술기획팀 수석연구원(팀장)  
Tel. 042-865-5801  
E-mail : ebshim@kepco.co.kr



**강연욱(柳熙榮)**

1966년 10월 5일생. 1988년 충남대학교 전기공학과 졸업. 1990년 충남대학교 전기공학과 졸업(석사). 1993년 한국전력공사 입사. 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 변전기술그룹 선임연구원  
Tel : 042-865-5863  
E-mail : ywkang@kepri.re.kr



**김경철(金慶哲)**

1954년 1월 20일생. 1977년 홍익대학교 전기공학과 졸업. 1984년 New Mexico State University 전기공학과 졸업(석사). 1988년 University of Texas at Arlington 전기공학과 졸업(박사)  
현재 홍익대학교 전기공학과 교수  
Tel : 041-860-2568  
E-mail : yangjier@hongik.ac.kr



**이동일 (李東一)**

1958년 3월 15일 생. 1979년 단국대 전기공학과 졸업. 1983년 인하대 전기공학과 졸업(석사). 1996년 한양대 전기공학과 졸업(박사). 현재 한전 전력연구원 전력계통연구소 송전기술그룹장  
E-mail : leedi@kepco.co.kr