

절점 네트워크 해석을 이용한 교류유도간섭 연구

°이현구*, 김대경*, 배정호*, 하태현*, 곽방명**, 임채중**
한국전기연구소*, 한국전력공사**

A Study on the AC Interference Analysis using the Nodal Network Analysis

H.G. Lee*, D.K. Kim*, J.H. Bae*, T.H. Ha*, B.M. Kwak**, C.J. Lim**
KERI*, KEPCO**

Abstract - Because of the continuous growth of energy consumption, and also the tendency to site power lines and pipelines along the same route, the close proximity of power lines and metallic pipelines has become more and more frequent. Therefore, there has been and still is a growing concern about possible hazards resulting from the influence of power lines on metallic pipelines.

This paper calculates the induced voltage of the pipeline which has the same right-of-way with 154kV and 22.9kV power cables in a tunnel. And propose the best phase order to minimize the induced voltage.

1. 서 론

산업의 급속한 발전과 더불어 가스관, 송유관, 그리고 상하수도관과 같은 지하매설 배관과 송배전계통이 지하 급수적으로 증가하고 있으며, 한정된 공간에서 각각의 시설물이 부분별하게 증설됨으로 인해 전력선과 기타 지중에 매설된 배관 사이에 교류간섭이 발생하게 되었다. 교류간섭에 의해 배관에 유도된 전압은 교류부식에 의한 사고유발은 물론 작업자의 안전까지 위협하고 있지만, 국내에서는 이에 대한 대책마련이 미비한 실정이다. 외국의 경우 1970년대 말부터 이와 관련된 연구가 활발히 수행되고 있으며, 현재 각각의 시설물에 대하여 상호 간섭을 고려한 설계와 시공이 이루어지고 있다.

본 논문에서는 터널 내부에서 병행하는 송배전선로에 의해 배관에 유도되는 전압을 해석하였으며, 유도전압을 최소로 하는 전력선의 최적 상배치를 도출하였다. 이를 통해 지하에 매설되는 배관과 송배전계통 상호간의 간섭에 의해 유도되는 전압을 고려한 설계와 시공이 이루어질 수 있는 토대를 마련하였다.

2. 해석 프로그램의 개요

전력케이블을 통해 흐르는 전류에 의해 지하에 매설된 배관에 유도되는 전압을 해석하는 방법에는 유한요소법(Finite Element Method)과 경계요소법(Boundary Element Method) 등과 같은 수치해석법을 이용하는 방법과 절점망 해석법(Nodal Network Analysis)이 있다. 수치해석법의 경우 전력케이블과 배관 사이의 병행거리가 길어질 경우 컴퓨터 성능, 시간에 많은 제약이 따르며 정확한 해석이 어렵다. 이에 반해 π 형 집중 등가회로 임피던스 행렬을 이용하는 절점망 해석법은 적은 시간으로 보다 정확한 결과를 얻을 수 있기 때문에 송·배전 선로에 의해 배관에 유도되는 전압을 계산하는데 많이 활용되고 있다. [1] 따라서, 본 논문에서는 절점망 해석법을 이용하여 전력계통에 의한 교류간섭을 해석하는 프로그램인 TAOLINK[®]라는 상용 프로그램을 이용하여 유도전압을 해석하였다.

교류간섭 해석용 프로그램은 1979년 EPRI/AGA에서 수행한 "Mutual Design Considerations for Overhead AC Transmission Lines and Gas Transmission Pipelines"란 연구결과를 토대로 출시되고 있다. EPRI 연구의 기본방정식에서 얻어진 알고리즘을 사용한 해석프로그램이 꾸준히 출시되고 있으며, TAOLINK[®]는 토양비저항의 변화 및 고장전류가 흐를 경우 변전소 접지에 의한 토양전위 변화 등이 고려된 장점을 가진 최신 버전이다. [2]

유도전압 해석에 사용된 프로그램 TAOLINK[®]의 개요는 표 1과 같다.

표 1 유도전압 해석에 사용된 프로그램의 개요

| | |
|------|---|
| 프로그램 | TAOLINK [®] |
| 사용언어 | C++ |
| 제조사 | Ground-it.com Consulting Ltd. |
| 특징 | -전력선에 의한 지중 배관의 유도전압 해석 • 유도성 결합(Inductive Coupling) • 도전성 결합(Conductive Coupling) -토양비저항을 고려한 유도전압 해석 -다양한 상(相)배치에 따른 유도전압 해석 -전력선 고장 시 유도전압 해석 |

3. 해석 상정조건

3.1 해석에 사용된 파라미터

배관을 약 100[m] 간격으로 나누어 각각의 절점에 대하여 π 형 집중 등가회로 임피던스 행렬을 계산하여 유도전압을 해석한다.

배관의 등가회로 계산에 사용된 파라미터를 표 2에 요약하였다. 여기서, 토양비저항 값은 국내에서 일반적으로 사용되고 있는 100($\Omega \cdot m$)를 입력하였으며, 배관 금속의 상대투자율과 비저항은 각각 300과 0.17($\mu\Omega \cdot m$)로 하였다. 그리고 코팅저항은 배관의 사용기간에 따라 1부터 1,000까지의 값을 가지며, 본 해석에서는 100($k\Omega \cdot ft^2$)로 하였다. 기타 GMR(Geometric Mean Radius)과 Rac 등의 전력케이블 도체 파라미터들은 EPRI에서 발간한 "Transmission Line Reference Book"의 데이터를 사용하였다. [3]

3.2 해석모델

그림 1은 터널 구간 해석에 대한 개념도이다. 터널 내부에서 병행하는 154kV 지중T/L 2회선(6개 도체, 6개 Sheath), 22.9kV 지중D/L 4회선(12개 도체, 12개 Sheath)과 지하배관 등 총 37개 도체에 대하여 각각의 절점에서 임피던스를 계산하였다. 154[kV] 지중T/L의 케이블 임피던스는 200[MW] 용량에 역률 0.9 일 경우에, 22.9[kV] 지중 D/L의 케이블 임피던스는

10[MW] 용량에 역률 0.9일 경우에 계산한 값을 사용하였다. 고장전류는 50[kA]로 상정하여 해석하였다. 여기서 T/L은 송전선로, D/L은 배전선로를 의미한다.

표 2 배관의 등가회로 계산에 사용된 파라미터

| 파라미터 | 기호 | 입력값 |
|------------|-----------|------------------------------|
| 도양비저항 | ρ | 100 [$\Omega \cdot m$] |
| 배관 금속의 투자율 | μ | 300 |
| 배관의 비저항 | | 0.17 [$\mu\Omega \cdot m$] |
| 코팅 저항 | Rcoat | 100 [$k\Omega \cdot ft^2$] |
| 코팅 투자율 | coat_perm | 2.4 |

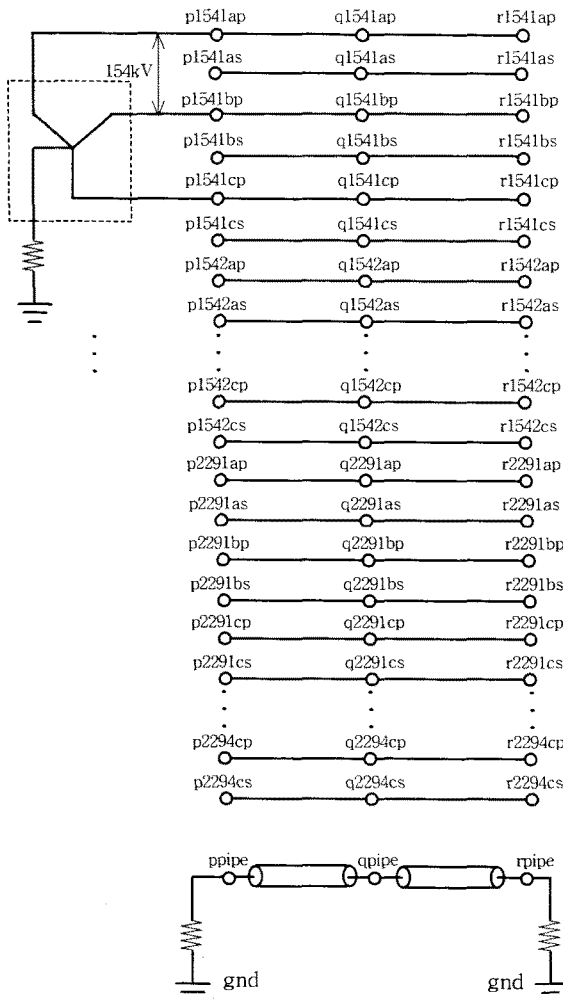


그림 1 터널 구간 해석에 대한 개념도

4. 송전선로의 최적상배치 결정

터널 병행구간에서 송·배전선로에 의해 배관에 유도되는 전압이 가장 작은 상배치를 해석하였다. 터널 양단에서 송·배전선로와 지하배관을 모두 접지한 상태에서 표 3과 같이 154kV 송전선로 2회선의 상배열을 달리

하여 가스배관에 유도되는 전압을 계산하였다. 그 결과 가스배관에 유도되는 전압이 최대일 경우 3.797[V]이었으며, 최소일 경우 0.851 [V]로 계산되었다.

터널 병행구간의 배관에 유도되는 전압이 최소일 경우의 154kV 송전선로 2회선의 상배치는 그림 2와 같다.

표 3 터널 병행 송전선로 2회선의 최적 상배치

| No | 상 배 치 | ppipe | qpipe | rpipe |
|----|---------|----------|----------|----------|
| 1 | A | 3.222108 | 0.520650 | 2.183318 |
| | B C C B | | | |
| 2 | A | 3.148795 | 0.551917 | 2.132369 |
| | B C B C | | | |
| 3 | A | 2.465524 | 0.544218 | 1.839138 |
| | B C C A | | | |
| 4 | A | 1.508637 | 0.590343 | 1.261499 |
| | B C A C | | | |
| 5 | A | 0.821372 | 0.642266 | 0.883105 |
| | B C A B | | | |
| 6 | A | 1.837840 | 0.626426 | 1.270676 |
| | B C B A | | | |
| 7 | A | 3.160172 | 0.551500 | 2.144235 |
| | C B C B | | | |
| 8 | A | 3.404806 | 0.584761 | 2.605882 |
| | C B B C | | | |
| 9 | A | 1.890757 | 0.570015 | 0.871349 |
| | C B C A | | | |
| 10 | A | 0.887869 | 0.615903 | 0.388421 |
| | C B A C | | | |
| 11 | A | 1.644086 | 0.671237 | 1.852433 |
| | C B A B | | | |
| 12 | A | 2.542231 | 0.657749 | 2.344428 |
| | C B B A | | | |
| 13 | B | 1.456266 | 0.592170 | 1.210095 |
| | C A C B | | | |
| 14 | B | 0.850919 | 0.618298 | 0.403189 |
| | C A B C | | | |
| 15 | B | 2.288752 | 0.625303 | 2.952392 |
| | C A C A | | | |
| 16 | B | 2.244120 | 0.671365 | 3.334069 |
| | C A A C | | | |
| 17 | B | 1.637799 | 0.716371 | 3.070649 |
| | C A A B | | | |
| 18 | B | 0.924825 | 0.695548 | 2.234121 |
| | C A B A | | | |
| 19 | B | 2.419297 | 0.546088 | 1.786015 |
| | A C C B | | | |
| 20 | B | 1.843756 | 0.572423 | 0.811165 |
| | A C B C | | | |
| 21 | B | 2.750126 | 0.579361 | 2.967160 |
| | A C C A | | | |
| 22 | B | 2.299519 | 0.625403 | 2.964907 |
| | A C A C | | | |
| 23 | B | 0.908592 | 0.670264 | 2.156271 |
| | A C A B | | | |
| 24 | B | 0.120956 | 0.649570 | 1.180926 |
| | A C B A | | | |

(참 고 문 헌)

- [1] "Principles and Practices of Electrical Coordination Between Pipelines and Electric Supply Lines", CAN/CSA-C22.3 No. 6-M91
- [2] "TAFLINK[®], CONIND[™] Reference Manual", Ground-it.com Consulting Ltd., 2000
- [3] EPRI, "Transmission Line Reference Book", Second Edition, Revised, 1987
- [4] "Cathodic Protection considerations for Pipelines with AC Mitigation Facilities" PRC International Corrosion Supervisory Committee, Jan. 1999.

| No | 상 배 치 | ppipe | qpipe | rpipe |
|----|-------|-------|-------|----------------------------|
| 25 | C | | A | 1.893031 0.626221 1.323651 |
| | A | B | C | |
| 26 | C | | A | 2.591719 0.658091 2.392200 |
| | A | B | B | |
| 27 | C | | B | 0.180966 0.647143 1.115002 |
| | A | B | C | |
| 28 | C | | B | 0.871788 0.693131 2.173595 |
| | A | B | A | |
| 29 | C | | C | 2.413953 0.747080 3.416742 |
| | A | B | A | |
| 30 | C | | C | 2.756917 0.732204 3.380382 |
| | A | B | B | |
| 31 | C | | A | 0.879769 0.642350 0.899730 |
| | B | A | C | |
| 32 | C | | A | 1.700371 0.671906 1.896684 |
| | B | A | B | |
| 33 | C | | B | 0.859777 0.668190 2.095908 |
| | B | A | C | |
| 34 | C | | B | 1.588521 0.714342 3.017317 |
| | B | A | A | |
| 35 | C | | C | 2.486578 0.764912 3.796803 |
| | B | A | A | |
| 36 | C | | C | 2.425573 0.747548 3.428675 |
| | B | A | B | |

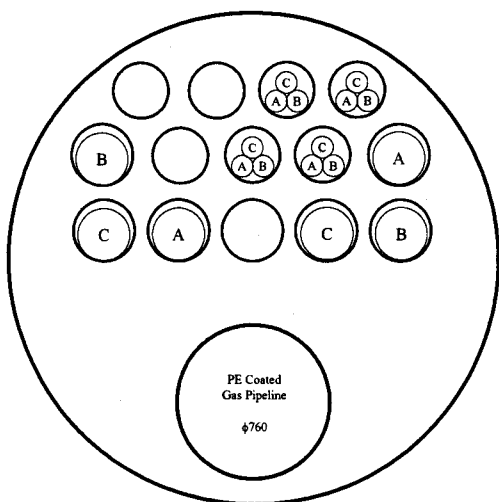


그림 2 유도전압이 최소일 경우의 상배치

5. 결 론

터널 내부에서 병행하는 154kV 지중T/L 2회선과 22.9kV 지중D/L 4회선에 의해 배관에 유도되는 전압을 해석한 결과 유도전압이 최대일 경우 3.797[V]이었으며, 최소일 경우 0.851[V]로 계산되었다. 이를 통해 유도전압을 최소로 하는 최적 상배치를 도출하였다. 이 결과를 토대로 지하에 매설되는 배관과 송배전계통 상호간의 간섭에 의해 유도되는 전압을 고려한 설계와 시공이 가능해질 것으로 사료된다.