

지중 송전케이블 불평형 요소에 따른 시스 순환전류

김정년, 하체웅, 이수길
LG전선(주) 전력연구소

Sheath Circulating Current according to Unbalanced Parameter on Underground Cables

Jung-Nyun Kim, Che-Wung Ha, Su-Kil Lee
LG Cable Ltd. Electrical Power Research & Technology Center

1. 서론

가공 송전선은 경과지 확보의 어려움, 환경적인 문제 소음 등 각종 민원야기로 인해 건설하는데 상당한 어려움을 가지고 있다. 이에 비해 지중 송전선의 건설비가 많이 든다는 단점이 있지만 상기의 문제점을 해결할 수 있고 도시 미관상의 이유로 근래에는 송전선의 지중화율이 증가하고 있다. 한편, 국내 지중계통의 특징은 토목 공사비의 절감을 위해 한 경과지 내에 4회선이나 5회선 등 다중 포설하는 것이 일반화되어 있는 현실이다[1-4]. 더욱이 10회선 이상의 선로가 존재하는 경과지 또한 존재하며, 송전선과 병행하여 배전 선로가 포설되는 경우가 많아 각 도체간에 상호 임피던스로 인해 케이블 시스에는 과다한 전류가 흐르는 경우가 많다. 이러한 여러 가지 불평형을 야기시키는 요소들이 증가함에 따라 순환전류에 상당한 영향을 미치고 있으며, 최근 지중 케이블의 금속시스에 순환전류가 과다하게 흐르는 문제가 대두되었다.

일반적으로 전력케이블 시스는 외상으로부터 절연체를 보호하기 위해 존재하고 이 시스의 접지는 지락전류나 충전전류의 귀환경로를 제공하며, 도체를 전기적으로 차폐하여 인축의 접촉에 의해 발생될 수 있는 사고를 미연에 방지하는 역할을 한다. 그러나, 케이블의 전자유도작용에 의하여 도체에 흐르는 전류의 크기에 비례하여 시스에 유기전압이 발생한다. 이 때 접지 등에 의해 시스가 폐회로를 형성하게 되면 순환전류가 흐르게 된다. 이 시스 순환전류는 케이블 도체에 흐르는 전류, 케이블간 간격, 케이블 길이 등에 따라 상당히 다른 양상을 보인다[2,4]. 본 논문에서는 전력 케이블의 금속 시스에 흐르는 전류 즉, 시스 순환전류가 각종 불평형 요소인 회선중가, 케이블 배치의 영향, 소구간 거리의 변화 및 접지 저항 등에 따라서 어떠한 영향을 받는지를 검토하고 이를 저감할 수 있는 방안에 대해 검토한다. 본 연구를 통하여 각종 불평형에 대한 정량화를 통해서 시스전류를 예측할 수 있을 뿐만 아니라 연구결과를 토대로 설계 검토시 유기전압 및 순환전류를 고려한 시스템 설계가 가능하리라 예상된다.

2. 각종 불평형 요소에 의한 순환전류

2.1 접지저항에 따른 순환전류

아래의 그림은 접지저항을 1부터 25Ω까지 변화시키면서 순환전류를 시뮬레이션한 것이다. 그때의 소구간의 길이는 300m:400m:500m으로 케이블 배치는 정삼각 배열, 직각배열, 수평배열에 따른 순환전류의 값이다.

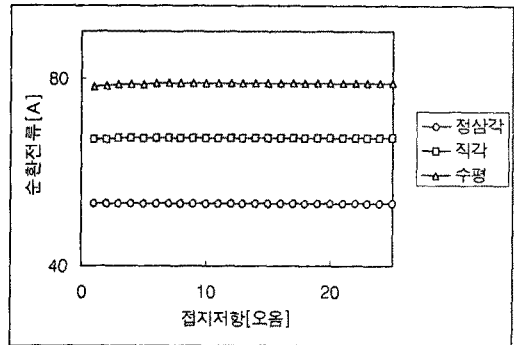


그림 1. 접지저항에 따른 순환전류

그림에서 보는 바와 같이 접지 저항과 순환전류는 거의 무관하게 나타난다. 이는 크로스 본딩 접지방식의 경우 양 끝 접속점에서 3상을 일괄 시킨 후 접지를 시키기 때문에 일괄된 점에서 전류의 합은 거의 0이 된다. 시스 회로의 페루프는 3상 일괄 및 접지에 의해서 형성된다. 다시 말하면 3상 일괄만으로도 순환전류가 흐를 수 있는 조건은 형성된다. 또한 순환전류 성분 중 정상 및 역상성분이 대부분을 차지하며 이 성분은 시스 도체 사이를 순환하게 되며 접지저항과는 무관한 회로를 형성한다. 다만 영상성분 만이 금속 시스를 거쳐 대지귀로 도체를 통해 폐회로가 형성되지만 그 크기가 작아서 순환전류에 미치는 영향은 아주 작다.

따라서 접지 저항에 의해서 순환전류를 저감시키기 위해서는 접지방식을 크로스 본딩의 직접 접지구간에서 3상 일괄접지가 아닌 각 상의 시스를 독립 접지시킴으로써 순환전류를 억제시킬 수 있지만 좁은 맨홀내에서 접지를 분리시키는 것은 현실적으로 불가능하다. 또 하나의 저감 방안으로써는 시스와 시스간 회로에 임피던스를 삽입함으로써 순환전류 성분 중 대부분을 차지하는 정상 및 역상성분을 억제시킬 수 있다. 그러나 이 방법은 과도 상태의 영향을 충분히 검토한 후 수행되어야 한다.

2.2 포설형태에 따른 순환전류

그림 3은 포설 형태에 따라 시스 유기전압을 비교한

것이다. 시뮬레이션 조건은 거리의 불평형이 존재하지 않을 때 정삼각 배열, 직각배열, 수평배열 등 배열 자체만의 불평형이 시스템 유기전압에 미치는 영향을 비교하였다. 이 때 각 소구간의 길이는 모두 300m로 고정하고 각 위치별 유기전압을 나타내면 아래 그림과 같다. 유기전압의 크기는 정삼각 배열, 직각배열, 수평배열 순이고 크로스 본딩 끝구간에서의 유기전압의 벡터 합 또한 같은 순서로 유기 됴을 알 수 있다.

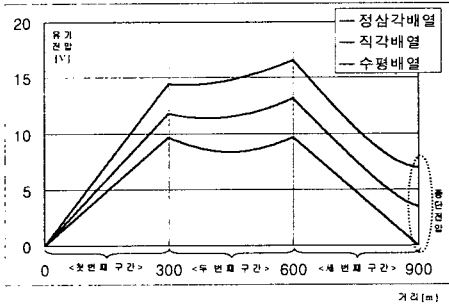


그림 2. 크로스 본딩구간에서의 시스템 유기전압분포

위의 결과는 직각 배열 및 수평배열은 케이블 상간 불평형이 정삼각 배열보다 크다는 것을 의미하고, 그림 3에서 크로스 본딩 구간의 중단 전압은 순환전류의 크기를 좌우하는 요소로 작용하고, 이 순환전류의 크기를 줄이기 위해서는 중단의 잔류전압을 최소화할 수 있도록 시스템을 설계하여야 한다.

2.3 거리불평형에 따른 순환전류

케이블 시스템 설계시 우선 토목공사가 행해진 후 포설될 케이블의 조장을 결정한다. 이 토목 공사에서는 여러 가지 이유로 인해서 모든 간격을 동일하게 유지할 수 없다. 그렇기 때문에 실제 계통에서는 항상 케이블 조장을 동일하게 유지할 수 없다. 이는 전기적인 측면에서 불평형의 원인이 된다.

이 절에서는 전력구, 관로, 직매 포설에서 소구간 길이의 불평형이 존재할 경우 순환전류의 값을 등고선 형태로 나타낸 것이다. 시뮬레이션 조건은 아래와 같은 조건에서 수행하였다.

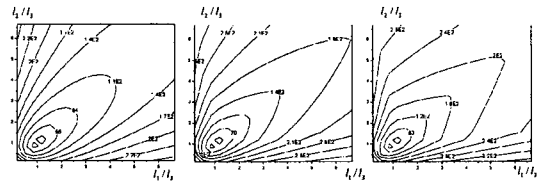
첫 번째 구간 : 300m[고정]

두 번째 구간 : 0~1000m로 가변

세 번째 구간 : 0~1000m로 가변

아래의 그림에서 가로축은 두 번째 소구간의 거리를 첫 번째 소구간의 길이에 대해 정규화 시킨 값이며, 세로축은 세 번째 소구간의 길이를 첫 번째 소구간의 길이에 대해 정규화시킨 값이다.

이 등고선도를 통하여 각 소구간의 길이 불평형이 존재할 경우 순환전류의 값을 예측할 수 있으며 일반적으로 같은 길이 불평형에 대해 순환전류의 값 또한 정삼각 배열, 직각배열, 수평배열 순으로 나타난다.



(a) 정삼각 배열 (b) 직각배열 (c) 수평배열

그림 3. 소구간 길이에 따른 순환전류

크로스 본딩 소구간의 불평형은 순환전류 및 유기전압에 가장 크게 영향을 미치는 요소로 경과지 선정시 가능한 한 일정한 간격으로 유지하는 것이 중요하다. 그러기 위해서 지중 송전 시스템 설계시 토목 설계 및 계통설계가 동시에 이루어 질 때 이러한 길이에 의한 불평형을 최소화시킬 수 있을 것이다.

2.4 포설방식 혼합에 따른 순환전류

지중 케이블 포설시 부득이한 이유로 인해서 크로스 본딩 대구간 내에서 포설형태가 변경되는 경우가 있다. 이는 전력구 포설에서 관로 포설로 변경 또는 관로 포설에서 수평포설 형태가 혼합되어 있는 경우가 많다. 이러한 이유로 케이블 도체의 상대적인 위치가 변경되어 불평형을 야기 시키는 경우를 모의하기 위해 아래와 같은 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다.

Case 1 : 전력구[x]+전력구[300m]+ 전력구[300m]

Case 2 : 관로[x]+전력구[300m]+ 전력구[300m]

Case 3 : 직매[x]+전력구[300m]+ 전력구[300m]

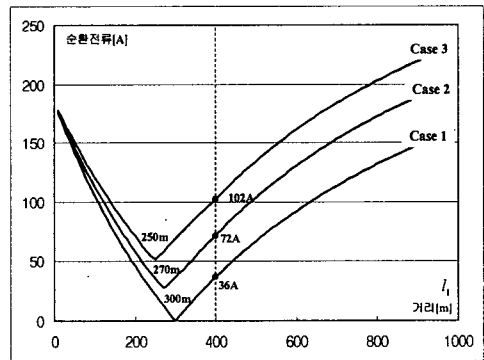


그림 4. 포설형태의 혼합이 따른 순환전류

그림 5를 살펴볼 때 크로스 본딩 대구간내에서 배열의 형태가 변할 경우 다음과 같은 특징이 있다.

순환전류가 최소가 되는 지점은 첫 번째 경우에는 300m, 두 번째 경우에는 270m, 세 번째 경우에는 250m 지점으로 나타난다. 이는 혼합배열에 의해서 발생한 불평형을 어느 정도까지는 소구간의 길이를 조정함으로써 줄일 수 있다는 것을 보여준다. 즉 첫 번째 경우에 순환전류를 최소로 하기 위해서는 거리의 비를 300m : 300로 하였을 경우 순환전류를 최소인 0로 유지할 수 있으며, 두 번째 경우에는 거리비를 270m:300m:300m로 하였을 경우 최소값 30A이고, 세 번째 경우에는 거리비

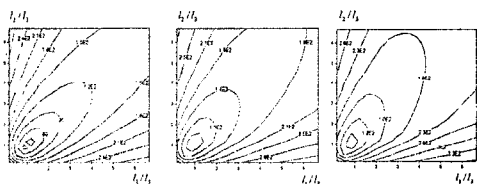
를 250m:300m: 300m로 하였을 경우 52A로 최소가 되었다.

또한 거리 불평형이 400:300:300인 경우 있어서 시스 순환전류는 36A:72A:102A로 대구간 내에서 배열의 혼합은 순환전류에 상당히 큰 영향을 미친다는 것을 알 수가 있다.

상기의 결과를 보완하기 위해서 각 포설 형태가 혼합되어 있을 경우 두 구간 간의 길이의 변화에 따른 순환전류를 살펴 보았다. 아래와 같은 조건에서 시뮬레이션을 수행하였다.

- ① 케이스 1 : 전력구[x]+전력구[y]+ 전력구[300m]
- ② 케이스 2 : 판로[x]+전력구[y]+ 전력구[300m]
- ③ 케이스 2 : 직매[x]+전력구[y]+ 전력구[300m]

가로축은 첫 번째 구간 길이를 300m로 나누는 값이고, 세로축은 두 번째 구간 길이를 300m로 나누는 값이다. 그리고 아래의 그림들은 등고선은 대구간에서 배열의 혼합이 있고, 거리불평형이 존재할 경우 순환전류의 값을 나타낸 것이다.



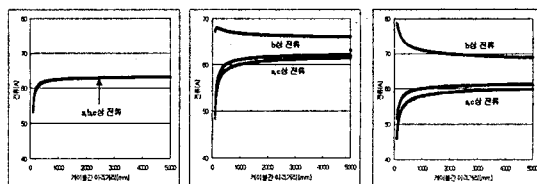
a) 정삼각 배열 (b) 직각배열 (c) 수평배열
그림 5. 혼합포설 방식에 따른 순환전류

정삼각 배열의 경우 y=x축에 대하여 대칭이인 순환전류 분포를 가진다.

2.5 케이블 이격거리의 변화

그림 6은 정삼각 배열, 직각 배열, 수평배열의 경우 각 배치형태에서 케이블간 이격 거리에 따른 각 상의 순환전류의 값을 나타낸 것이다. 첫 번째 그림은 정삼각 배열로써 각상은 다른 상에 대해서 전부 같은 기하학적인 위치에 있으므로 순환전류의 값도 3상 모두 같은 값을 나타내며 케이블 간격이 커짐에 따라 어느 값이 포화되는 특성을 보여주고 있다.

직각 배열 및 수평배열은 두상(A,C)은 같은 특성을 보이고 나머지 한 상이 다른 특성을 보임을 알 수 있었다. 이는 두 배치방법 모두 두상은 다른 상들에 대해 같은 기하학적 위치를 차지하고 있으므로 서로 같은 특성을 보이고 B상은 A C상의 중간 부분에 위치해 있으므로 A,C상과는 다른 특성을 보임을 알 수 있었다. 이 두 배치법 모두 B상은 처음에는 감소하는 특성을 보이고 어느 한 값이 포화되며 A, C상은 처음에는 증가하다가 포화되는 특성을 보여준다.



(a) 정삼각 배열 (b) 직각배열 (c) 수평배열
그림 7. 케이블 이격거리에 따른 순환전류

3. 결 론

본 연구에서는 지중 송전 케이블에서 발생할 수 있는 각종 불평형 요소에 대한 시뮬레이션을 통해서 시스 순환전류의 양상을 분석하였다.

- (1) 순환전류는 접지저항에 무관함을 알 수 있었다.
- (2) 순환전류의 크기는 일반적으로 정삼각 배열(전력구), 직각배열(판로), 수평배열(직매)순이다.
- (3) 크로스 본딩 구간내에서 포설방식을 방식이 혼합으로 사용되는 경우 순환전류는 상당히 증가한다. 그러므로 크로스 본딩 구간내에서 가능한 혼합 포설 방식을 적용하는 것을 지양한다면 순환전류를 상당 수준 줄일 수 있다.

한편, 본 논문에서는 평형을 제공하는 요소 중 일부를 다루었기 때문에, 향후 다른 불평형 요소에 대한 연구 및 송·배전 선로가 같이 포설 되어 있는 경우 배전 선의 영향에 대한 연구도 필요할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] 한국전력공사, "지중송전 실무", 1996
- [2] KEPRI, "A Study on the Establishment of Grounding Technology for Under Power Transmission System", 1998. 1
- [3] H. Nakanishi, et al., "A Study of Zero-sequence Current Induced in a Cable System", IEEE Trans. Power Delivery, Vol. 6, No. 4, Oct. 1991
- [4] KEPRI, "지중선 임피던스 및 허용전류 계산기법 연구", 1991
- [5] Canadian-American EMTP Users Group, "ATP-EMTP Rule Book", 1997
- [6] Turan Gonen, "Electric Power Transmission System Engineering Analysis and Design", 1988
- [7] 전력연구원, "전력계통 과도해석 프로그램의 이론 및 활용에 관한 연구", 1991