

케이블 포설장력을 고려한 경제적 맨홀 경간 연구

이후영, 선상진
한국전력공사 중앙교육원

A study of Economical manhole span considering cable pulling tension

Hu-Young Lee, Sang-Jin Sun
Korean Electric Power Corporation Central Education Institute

Abstract - 맨홀 설치간격과 설치장소 선정은 케이블 포설장력과 관계가 깊다. 케이블 포설장력은 맨홀의 설치위치와 경간에 의해 이미 정해지기 때문이다. 맨홀경간이 길어지면 설치개소가 적어져 공사비가 절감되기 때문에 경제적인 이점이 있지만 반대로 케이블에는 포설장력이 반비례하게 증가하게 된다. 케이블의 수명을 오래동안 유지하기 위해서는 케이블에 적당한 장력이 걸리게 해야 하고 경제적인 측면에서도 경간을 증가시켜야 되는 상황이 처하게 된다. 설계자는 이에 경제적이고도 안정적인 지중배전선로를 구성하기 위해서는 반드시 케이블 포설장력을 계산하여 설계에 반영하여야 한다. 본고에서는 유형별로 케이블 포설장력을 계산하는 방법을 기술하였고 포설장력 산출결과에 따라 경제적인 맨홀설치 방안을 제시하였다.

1. 서 론

지중배전공사에 있어 맨홀설치공사는 아주 중요한 부분을 차지하고 있다. 맨홀은 자체의 큰 부피와 무게 때문에 운반하기도 어려울 뿐 아니라 땅속에 매설하기도 쉽지 않다. 맨홀설치공사는 맨홀의 큰 부피 때문에 교통혼잡을 일으키기도 하고, 지하의 장애물로 큰 어려움을 겪기도 한다. 지중배전선로에 있어 맨홀의 설치 필요개소인 도로의 분기개소는 이미 타 시설물의 중요 맨홀 설치장소이기도 하다. 이런 땅속의 사정으로 맨홀설치장소의 선정은 점점 더 어려워지고 있다. 또한 경제적인 측면으로도 많은 공사비가 소요되는 맨홀은 될 수 있으면 적게 설치하는게 최상일 것이다. 만약 설치안해도 되는 맨홀을 많은 수고와 예산을 들여 설치한다면 이보다 더 낭비적인 공사가 어디 있겠는가? 이에 본고에서는 케이블 포설장력을 고려한 경제적인 맨홀 설치경간을 연구해 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 맨홀 설치간격과 설치장소

맨홀 설치간격은 케이블 포설작업과 관계가 깊다. 맨홀설치 간격과 장소는 케이블 포설장력이 케이블 허용장력과 허용축압을 초과하지 않도록 고려되어야 한다.

2.1.1 맨홀 설치간격

케이블의 허용장력을 초과하여 무리하게 케이블을 포설하게 되면 케이블은 절연체의 손상이나 도체의 손상으로 케이블이 가지고 있는 수명을 다하지 못하고 고장이 발생하게 된다. 케이블의 손상을 방지하기 위해서는 케이블의 인입장력이 케이블 최대포설장력보다 작아야 한다. 케이블 포설시 케이블에 걸리는 인입장력은 이미 맨홀을 설치하면서 정해지게 된다. 맨홀의 설치간격에 따라 케이블의 전체중량이 정해지게 되고 관로의 재질에 따라 마찰력이 발생하게 되는데 여기서 발생하는 마찰력은 케이블의 인입장력이 된다. 이러한 이유로 맨홀의 설치간격을 정할 때는 가장먼저 케이블의 허용장력을 고려하여야 한다.

2.1.2 맨홀의 설치장소

맨홀의 설치장소를 정할 때 또 한가지 고려하여야 할 요인은 케이블의 허용축압이다. 일반적으로 도로의 분기 또는 관로의 허용곡률반경 이상의 굴곡개소에는 맨홀을 설치하여야 한다. 그 이유는 케이블의 허용축압과 관계가 있다. 케이블이 굴곡부 관로를 통과할때는 케이블과 굴곡부 사이에는 압력이 발생한다. 이것을 축압이라고 하는데 이것은 곡률반경과, 포설장력, 케이블 무게등과 관계가 있는데 허용축압을 초과하여 케이블을 무리하게 포설하게 되면 케이블의 외피와 절연체의 변형이 발생하고 관로에도 접촉마찰력에 의한 손상이 발생하게 된다. 그렇기 때문에 도로의 분기개소와 관로의 허용곡률반경 이상의 굴곡개소에는 일반적으로 맨홀을 설치하여 케이블과 관로의 손상을 방지한다. 하지만 도로의 모든 분기개소에 맨홀을 설치하여야 하는 것은 아니다. 케이블 허용축압

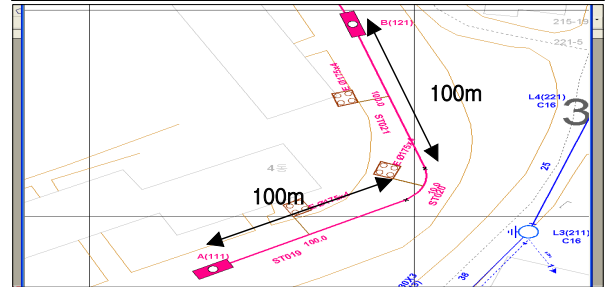
을 계산하여 만족할 경우 맨홀설치를 생략할 수도 있는 것이다.

2.2 케이블 포설장력계산

경제적인 맨홀설치경간과 장소를 선정하기 위해서는 케이블 포설장력 계산이 필요하다. 여기에서는 여러 유형의 경우를 예를 들어 검토 해 보았다.

2.2.1 굴곡부에서의 맨홀설치 검토

- 케이블 : 22.9kV CNCV 325mm×3조 (단위중량 : 5.27kg/m)
- 파형관 ϕ 175mm(마찰계수0.3) ○ 케이블 외경 : 54mm
- 굴곡부 : 수평굴곡각도 90° ○ 굴곡부 호의길이 10m



<그림 1> 굴곡부에서 포설장력계산

<그림1>에서 A맨홀에서 B맨홀로 케이블을 포설할 경우 포설장력을 계산하면 다음과 같다.

◎ 맨홀A에서 굴곡부까지 장력계산

수평직선부 포설장력계산식을 적용하면

$$T_1 = 3K\mu wL = 3 \times 1.27 \times 0.3 \times 5.27 \times 100 = 600.3 \text{ kg}$$

(K:중량보정계수, μ : 마찰계수, w:단위중량, L:경간)

600.3kg의 직선구간장력이 산출된다.

◎ 굴곡부통과 포설장력계산

위에서 계산된 직선부의 포설장력이 굴곡부를 통과할때는 장력이 증가하게 되는데 Buller 공식을 사용하여 계산하면 다음과 같다.

$$T_2 = WR \sinh(\mu\theta + \sinh^{-1} \frac{T_1}{WR}) \text{ [Buller공식]}$$

곡률반경 R은 호의길이가와 굴곡각도를 이용하여 구하면

$$2\pi R \times \frac{90}{360} = 10 \text{ m}, R = \frac{20}{\pi} = 6.4 \text{ m 이고.}$$

1공3조 포설로 $\mu \rightarrow K \cdot \mu$, $W \rightarrow 3w$ 적용하여 굴곡부의 통과 장력을 구하면 1094.8kg이다. 굴곡부를 통과하면서 장력이 82% 증가한 것을 알 수 있다.

◎ 굴곡부에서 맨홀B까지 포설장력계산

$$T_3 = T_2 + 3K\mu wL = 1094.8 + 600.3 = 1695.1 \text{ kg}$$

◎ 축압계산

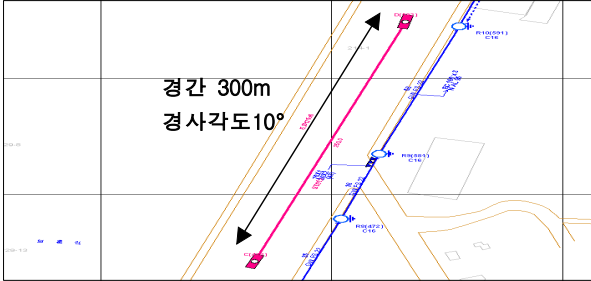
$$P = \frac{(3K-2) \times T_1}{3R} = \frac{(3 \times 1.27 - 2) \times 600.3}{3 \times 6.4} = 56.2 \text{ kg/m}$$

위의 포설장력계산결과를 가지고 종합적으로 맨홀설치위치를 검토해보면 최종포설장력이 1695.1kg로 CNCV 325mm 3조의 최대포설장력인 4550kg보다 작고 굴곡부의 축압이 PVC외피의 허용축압인 250kg/m보다 작기 때문에 케이블 포설이 가능하다. 일반적으로 <그림1>과 같은 굴곡부

이거나 도로의 분기가 되는 곳에는 맨홀을 설치하게 되지만 케이블 포설장력계산 결과에서 보는바와 같이 <그림1>의 경우 굴곡부에 맨홀을 설치하지 않아도 된다.

2.2.2 경사도로에서의 맨홀설치 검토

- 케이블 : 22.9kV CNCV 325mm²×3조 (단위중량 : 5.27kg/m)
- 파형관 ϕ 175mm(마찰계수0.3) ○ 케이블 외경 : 54mm
- 경사각도 : 직선경사 10° ○ 맨홀 경간 300m



<그림 2> 경사도로에서 포설장력계산

<그림2>에서처럼 경사가 진 도로에서는 오르막과 내리막이 있어 케이블 포설장력은 어느 방향에서 인입을 하느냐에 따라 인입장력값이 달라진다.

○ 오르막에서의 장력계산

직선경사부의 오르막 포설장력계산식을 적용하면

$$T_1 = WL(\mu \cos \theta + \sin \theta) \quad [1\text{공}3\text{조 포설 } \mu \rightarrow K \cdot \mu, W \rightarrow 3w\text{적용}]$$

(K:중량보정계수, μ : 마찰계수, w:단위중량, L:경간, θ : 경사각도)

$$T_1 = 3 \times 5.27 \times 300 \times (1.27 \times 0.3 \times 0.985 + 0.174) = 2602.9\text{kg}$$

○ 내리막에서의 장력계산

직선경사부의 내리막 포설장력계산식을 적용하면

$$T_1 = WL(\mu \cos \theta - \sin \theta) \quad [1\text{공}3\text{조 포설 } \mu \rightarrow K \cdot \mu, W \rightarrow 3w\text{적용}]$$

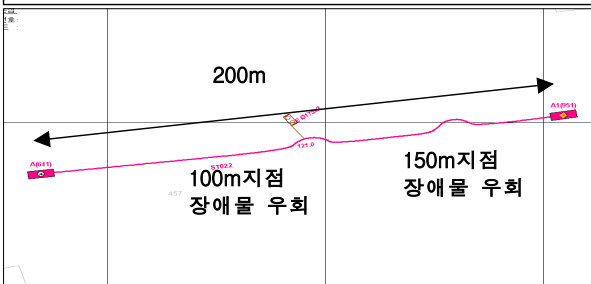
(K:중량보정계수, μ : 마찰계수, w:단위중량, L:경간, θ : 경사각도)

$$T_1 = 3 \times 5.27 \times 300 \times (1.27 \times 0.3 \times 0.985 - 0.174) = 956.5\text{kg}$$

경사도로에서의 케이블 인입장력은 인입방향에 의해 크게 달라진다. 결과에서 보듯이 경사도로에서의 인입방향은 높은곳에서 낮은곳으로 포설하여야 유리하다. 경사도로에서는 케이블을 높은곳에서 낮은곳으로 포설하는 것을 전제로 맨홀의 설치경간을 늘릴 수 있다. 포설장력의 계산결과와 경사각도가 크면 클수록 차이가 많이 나게 된다.

2.2.3 장애물 우회시 케이블 포설장력계산

- 케이블 : 22.9kV CNCV 325mm²×3조 (단위중량 : 5.27kg/m)
- 파형관 ϕ 175mm(마찰계수0.3) ○ 케이블 외경 : 54mm
- 장애물위치 : 100m, 150m지점 ○ 맨홀 경간 200m
- 장애물 우회 폭 : 2m ○ 장애물 통과 곡률반경 : 5m



<그림 3> 장애물우회시 포설장력계산

<그림3>에서 A맨홀에서 B맨홀로 케이블을 포설할 경우 포설장력을 계산하면 다음과 같다.

○ 맨홀A에서 첫 번째 장애물까지 장력계산

수평직선부 포설장력계산식을 적용하면

$$T_1 = 3K\mu wL = 3 \times 1.27 \times 0.3 \times 5.27 \times 100 = 600.3\text{ kg}$$

(K:중량보정계수, μ : 마찰계수, w:단위중량, L:경간)

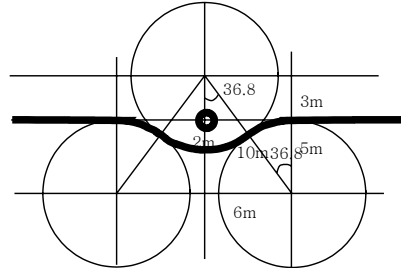
600.3kg의 직선구간장력이 산출된다.

○ 장애물통과 포설장력계산 (100m지점)

위에서 계산된 직선부의 포설장력이 첫 번째 장애물을 통과할때는 장력이 증가하게 되는데 Buller 공식을 사용하여 계산하면 다음과 같다.

$$T_2 = WR \sinh(\mu\theta + \sinh^{-1} \frac{T_1}{WR}) \quad [\text{Buller공식}]$$

<그림4> 장애물 우회시 굴곡부 해석도에서 보듯이 장애물 통과시 장력은 3구간으로 나누어진 굴곡부 통과장력으로 해석할 수 있다. 곡률반경 R은 5m이고 장애물 우회높이를 2m로 계산하면 굴곡각도는 36.8°, 73.6°, 36.8°로 각각 적용할 수 있다.



<그림 4> 장애물 우회시 굴곡부 해석도

장애물 통과후 인입장력은 1597.1kg으로 266% 증가하게된다. 즉 압은149.8kg/m로 상당한 압력이 걸리게된다.

○ 장애물통과 포설장력계산 (150m지점)

수평직선부 50m에 대한 장력은 300.1kg으로 두 번째 장애물 인입장력은 1,897.2kg이 된다. 여기에 위에서와 같이 장애물 통과장력을 계산하면 5,031.3kg으로 최대포설장력인 4,550kg을 초과하여 포설이 불가능 하다. 즉압 역시 472kg/m로 허용즉압인 250kg/m를 초과하게 되어 포설이 불가능하게 된다. 장애물이 없는 경우에는 포설장력이 1200kg정도이던 것이 장애물을 두 곳에서 우회하게 되면서 포설이 불가능하게 된 것이다. 이처럼 맨홀설치경간을 결정하기 위해서는 장애물에 대한 사전정보도 필요하다. 장애물이 많은 지역일 경우에는 맨홀 설치경간을 짧게 하여 케이블 포설시 무리가 가지 않도록 하여야 한다. 케이블이 포설가능하게 하려면 맨홀설치경간 조정외에 장애물 통과시 곡률반경을 크게 하여야 하고 우회길어도 조정을 하여야 한다. 일반적으로 맨홀설치시 직선구간에는 표준경간으로 250m간격으로 설치하게되는데 장애물의 여부에 따라 맨홀설치경간을 경제적으로 길게 할것인지 아니면 장애물로 인해 설치경간을 줄여야 할지는 현장여건에 따라 조정하여야 한다.

3. 결 론

맨홀을 설치할 때는 케이블 포설장력을 고려하여 설치하여야 한다. 케이블 포설장력계산에 의한 맨홀위치 선정은 경제적인 설계를 위해서 필요할 뿐 아니라 케이블 포설시 케이블에 무리한 장력이 걸리지 않게 하기 위해서 필요하다. 일반적으로 도로의 분기점이나 굴곡이 많이 진 곳에는 맨홀을 설치하지만 본고에서 보듯이 케이블 포설장력을 계산하여 본 결과 맨홀설치를 생략하여도 되는 곳이 많이 있다. 도로의 분기개소에는 특히 많은 지하매설물이 설치되어 있어 맨홀설치에 많은 어려움이 있는데 차후 분기가 예상되지 않으면 케이블 포설장력계산에 의해 위치를 조정할 수도 있는 것이다. 또한 경사진 도로에서는 맨홀설치경간을 늘려 경제적인 선택을 할 수 있다. 직선구간에서 맨홀설치경간을 설계하기 위해서는 일괄적으로 표준경간을 적용하기보다는 경제적인 설계를 위해 사전에 장애물에 대한 조사와 케이블 포설장력계산으로 맨홀설치경간을 조정하여야 한다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, 지중배전설계기준, 부록
- [2] 중앙교육원 이후영, 배전기술검토능력향상, 케이블포설장력계산 2008.03