

경사지에서의 345kV XLPE 1C×2000㎟ 케이블 코아 활락 현상 연구

백주홍* 남석현, 이수길, 허희덕, 김동욱, 박완기
LG전선(주) 전력연구소

The study on slipping down phenomenon of 345kV XLPE cable in inclinatio

J.H. Baek*, S.H. Nam, S.K. Lee, H.D. Heo, D.W. Kim, W.K. Park
Electric Power Research & Technology Center, LG Cable Ltd.

Abstract

In this paper, the coefficient of friction between and sheath in 345kV XLPE cable was measured the simulated inclined condition of You-Youngdeungpo transmission line.

The phenomena of slipping down the simu inclination was investigated theoretically usin measured data and was analyzed from experim result.

The measured and analyzed result were consid be as a reference data for real installation of XLPE Youngseo-Youngdeungpo transmission line.

로 되어있다. 양단에는 각각 좌,우 동형으로서 케이블의 통전과 하중 측정을 위한 부대 장치를 설치 할 수 있는 구조로 설계하였다.

프레임에는 크리트를 설치할 수 있도록 하였고, 직선 포설과 스네이크 포설이 가능하도록 설계를 하였다. 또한 케이블의 스네이크 포설 방향에 따라 구조물이 움직일 수 있도록 인취부를 양단에 설치하였다. 또한, 케이블을 인취하는데 필요한 구동력은 전기 모터와 감속기를 사용하여 인취 속도를 0.1-0.5mm/sec사이에서 조정 가능하도록 하였다.

1. 서 론

초고압 지중송전선로의 대용량화 추세에 따라서 케이블 및 부속재의 자재 및 시공기술이 포함된 전력시스템의 종합적인 설계 기술 및 이에 따른 신뢰성 증대가 요구되고 있다. 또한, 초고압 전력케이블은 부하 변동에 따른 열신축으로 인하여 금구류의 비틀림, 케이블 활락, 외피의 손상 등이 발생할 수 있으며, 이는 선로 고장 원인으로 작용할 수 있다. 따라서, 각각의 사용 환경에 적합한 포설 설계 기술이 필요하다.

하지만, 현재까지 국내 초고압 전력케이블의 포설 설계는 주요 설계 항목별 기계적 특성을 해외로부터 입수한 데이터에 의존하고 있으며, 이의 적합성에 대한 검증이 이루어지지 않은 실정이다.

본 연구에서는 345kV XLPE 케이블에 대한 경사지에서의 활락 검토에 중요한 기계계수인 코아-알루미늄시스(이하 코아-시스)간의 마찰계수를 구하고, 영서-영등포 지중T/L 건설공사 구간의 최대경사각을 모의하여 케이블 코아 활락 현상을 검토하였다.

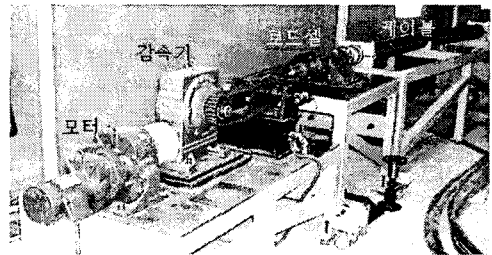
2. 본 론

2.1 코아-시스간 마찰계수

금속 시스가 있는 XLPE 케이블의 경우, 도체 및 절연체로 구성된 코아와 알루미늄시스 사이의 겹으로 인한 상대 운동이 발생하게 된다. 코아-시스간 마찰계수는 특히 경사지 포설 설계, 수직구 포설 설계 등에서 케이블 코아 활락의 계산에 매우 중요한 정수이다. 대부분 금속과 금속의 마찰계수는 약 0.1~0.3정도의 값을 가지며, 표면 상태나 가해지는 압력 등에 따라 다양하게 변화하는 값을 갖는다. 케이블은 서로 다른 물질로 구성되어 있고, 제조 메이커에 따라 코아-시스간의 겹 차이가 있을 수 있기 때문에 실측에 의한 확인이 필요하다.

따라서, 본 논문에서는 345kV XLPE 1C×2000㎟ 케이블 코아-시스간 마찰계수를 측정하기 위하여 그림 1과 같이 장치를 구성하였다.

코아-시스간 마찰계수 측정장치의 전체 구조물은 케이블을 설치할 수 있도록 길이 3m, 폭 0.8m의 프레임 4개



[그림 1] 코아-시스간 마찰계수 측정장치

시로는 345kV XLPE 2000㎟ 케이블 길이6m를 동선 직입포 테이프(케이블 코아 외층 테이프)의 감긴 방향에 따라 각각 준비하였다. 준비된 시료를 직선으로 시험장치에 설치하고, 크리트를 사용하여 케이블을 고정하였다. 또한 인발 하중의 측정을 위해서 케이블 코아와 로드셀을 인취부에 연결하였다.

테이프의 순방향과 역방향으로 인발력을 측정하여 마찰계수를 구하였으며, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 케이블 코아-시스 마찰계수가 테이프의 감긴 방향에 따라 다음을 알 수 있었다.

[표 1] 코아-시스간 마찰계수(상온)

포설 형태	테이프 방향	인발력(kgf)	마찰계수
직선	순 방향	600	3.8
직선	역 방향	700	4.5

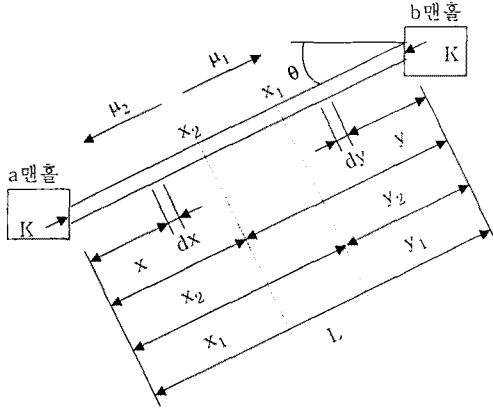
2.2 활락 현상

경사지에 포설된 케이블의 열신축 현상이 수평지의 경우와 다르게 되는 점은 경사면에 있는 물체의 운동과 같이 마찰저항력이 케이블의 이동 방향에 따라 다르다는 것이며, 이것에 기인하여 케이블이 늘어날 때와 줄어 들 때의 부동점이 변화하여 활락에 이르는 것으로 생각할 수 있다.

즉, 그림 2에 나타난 바와 같이 경사각 θ인 판로 내에 포설된 케이블이 부하 변동에 의하여 온도가 상승할 때 케이블은 x₁ 점을 경계로 하여 아래쪽은 a맨홀로, 위쪽

은 b맨홀로 각각 늘어났다. 이와 반대로 케이블의 온도가 떨어졌을 때에는 x_2 점을 경계로 수축하게 된다.

이상에서 설명한 바와 같이 부동점 x_1 과 x_2 사이의 케이블은 항상 경사 하방향으로만 이동하게 되는 현상이 발생하는 이 현상을 활락 현상이라 한다.



[그림 2] 경사지 포설 케이블의 부동점

- 단, μ_1 경사 상방향 등가마찰계수($\mu \cos \theta + \sin \theta$)
 μ_2 경사 하방향 등가마찰계수($\mu \cos \theta - \sin \theta$)
 μ 수평지에서의 코아-시스칸 마찰계수
 K 옹셋 반항력[kg]
 L 구간 길이[m]
 θ 경사각도[deg]

2.3 345kV XLPE 2000mm² 케이블 코아 활락량의 이론적 계산

케이블 코아의 활락 현상도 동일한 방법으로 해석하는 것이 가능하며, 다만 판로를 케이블 알루미늄시스, 케이블을 케이블 코아라고 가정하는 것이다.

활락은 발생열용력이 마찰저항력과 옹셋반항력 합보다 클 때 발생하며, 식 1과 같이 나타내어진다.

또한, 이 때의 1 히트사이클당 활락량 m_1 는 식 2로 계산할 수 있다.

$$EAaT > (\mu_2 WL + 2K) \dots \dots \dots \text{식 1}$$

$$m_1 = (\mu_1 - \mu_2) * (EAaT - \mu_2 WL - 2K) / (\mu_1 + \mu_2) EA * L \dots \text{식 2}$$

- 단, E 케이블 종탄성계수[kg/mm²]
 A 케이블 도체단면적[mm²]
 a 케이블 선팽창계수[1/°C]
 T 년간온도변화폭[°C]
 W 케이블 단위중량[kg/m]

345kV XLPE 2000mm² 케이블의 제정수 $E=3480$, $A=2000$, $a=0.00002$, $T=70$, $W=26.1$, $L=10.3$, μ 를 실측치 3.8을 대입하여 계산한 예상 활락량은 1 Heat Cycle당 0.79mm이며, 5Cycle 후 활락량은 3.95mm로 계산되었다.

2.4 경사지 실증시험

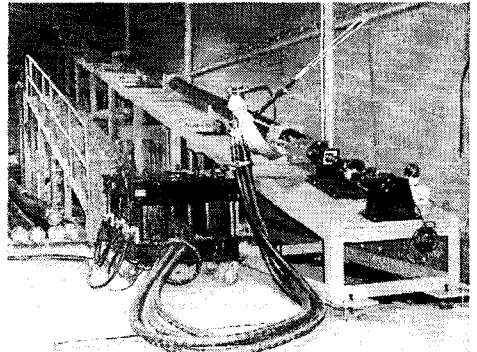
이론 활락량과 실측 활락량을 비교하기 위하여 경사지 활락 시험장치를 구성하였다.

경사지 실증시험 장치는 영서-영동포 지중T/L 건설공사 구간의 최대 경사각인 13도를 모의하여 시험장치를 제작하였다. 시료의 길이는 10.3m이며, 테이프 순방향이

경사 하방향이 되도록 하고, 직선 포설을 하였다. 그리고 시험시료와 통전용 리드 케이블간의 연결은 기계적인 영향이 미치지 않도록 부드러운 편조선을 사용하여 결선하였다.

케이블의 시험 조건은 도체온도를 상온에서 90°C까지 반복하여 총 5 사이클 동안의 활락량을 실측하였다.

경사지 실증시험 사진을 그림 3에 나타내었고, 경사지 실증시험 결과를 그림 4, 5에 나타내었다.

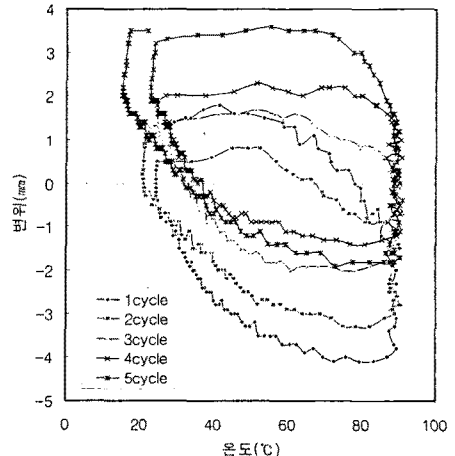


[그림 3] 경사지 실증시험장치 전경

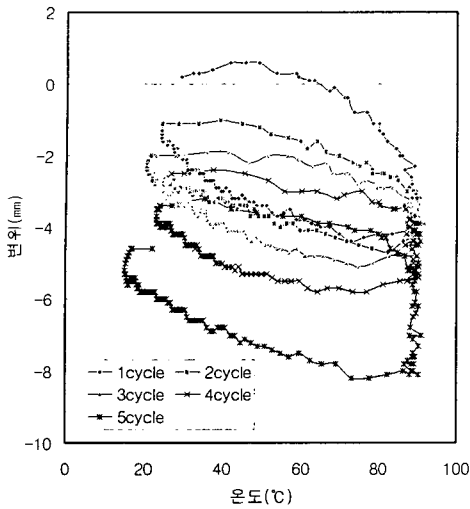
실증시험 결과 경사 하방향으로는 1 히트사이클당 활락량 평균치가 0.96mm로 나타났으며, 5 히트사이클 시험 후 활락 발생량은 총 4.8mm이었다. 또한 경사 상방향의 활락량 실측치는 1 히트사이클당 활락 평균치가 0.84mm로 나타났으며, 5히트사이클 시험 후 활락량은 총 4.2mm이었다.

시험 결과에 의한 활락량을 근거로 하여 코아-시스칸 마찰계수를 식 2로 역으로 계산해 보면 통전시의 마찰계수는 3.2로 나타났다. 이는 수평지에서 통전하지 않은 상태로 측정한 마찰계수 3.8의 약 84% 정도이었다.

또한, 5히트사이클 통전 후 시료를 일간온도변화 폭에서의 마찰계수를 구하기 위하여 별도의 통전을 하지 않은 상태로 약 20일 동안 경사지에 포설된 케이블의 열신축 현상을 관찰하였다. 20일 동안의 평균 일간온도변화 폭은 13°C 이었으며, 총 8.5mm의 활락이 발생되었다. 이 때의 마찰계수는 1.2~1.3으로 계산되며, 이는 부통전시 수평지 직선 포설에서의 마찰계수 3.8 및 경사지 통전시의 마찰계수 3.2보다 매우 작은 값이었다.



[그림 4] 경사 상부에서의 온도-변위 곡선



[그림 5] 경사 하부에서의 온도-변위 곡선

이상과 같이 문헌[1]에서 입증된 현상인 통전 전과 통전 후의 코아-시스간 마찰계수 차이가 발생하며, 통전 후의 마찰계수가 작게 나타났다.

3. 결 론

국내 최초로 포설될 345kV XLPE 1C*2000mm² 케이블의 코아 활락 특성을 평가하기 위하여, 영서-영동포 지중T/L 건설공사 구간의 최대 경사각인 13도를 모의하여 활락량 이론치와 실측치를 비교 검토한 결과, 1 Heat Cycle에서 활락량은 각각 0.17mm와 0.05mm로 나타났으며 이론치와의 차이가 20% 미만으로 크지 않음을 알 수 있었다.

영서-영동포 지중T/L 건설공사 구간에서의 345kV XLPE 1C*2000mm² 케이블의 코아 활락 대책은 특별히 필요치 않은 것으로 생각되며, 그 이유는 경사 하부 스테이크 구간에서 반향력이 충분히 작용 할 것으로 판단 되기 때문이다.

코아 시스간 마찰계수는 무통전시 수평지 직선 포설 상태에서의 마찰계수는 3.8 이었고, 경사지 직선 포설 상태에서의 마찰계수는 3.2이었다. 그러나, 경사지에서 통전 후의 시료(대기 온도 평균 변화 폭 : 13°C)는 마찰계수가 1.2~1.3으로 측정되었기 때문에 설계 시에는 안전을 고려한 1.2의 적용이 타당하다고 판단된다. 또한 케이블 코아의 동선 직입포 테이블 방향에 따라 마찰계수가 다르다는 것을 확인하였다.

본 연구를 통하여 얻어진 결과는 영서-영동포 지중T/L 실선로 포설에 유용한 Data로 활용될 예정이다.

(참 고 문 헌)

- [1] "CV케이블 線路의布設設計と施工", 日本電氣協同研究 47 卷 第3号, pp. 4-40, 1991.
- [2] 今井昭三外, "傾斜地布設における275kV CV ケーブルの機械的舉動", 日本電氣學全國大會, pp.1536-1537, 1981.
- [3] 裸永建二外, "500kV CV케이블의開發 熱機械特性および布設方法の檢証" 日本電氣學全國大會, 1981.
- [4] 今井昭三外, "垂直部布設における275kV CV ケーブルの熱舉動の檢討", 日本電氣學全國大會, pp.1534-1535, 1981.
- [5] "豊中-石橋線滑落防止檢討書", 日立電線株式會社, pp.1-6, 1975.