

다도체 송전선로용 스페이서댐퍼 설계

이 형 권
한국전기연구소

Spacer Damper Design for Bundled Conductor Transmission Lines

Lee, H.K.
KERI

Abstract - Spacer Dampers must be carefully designed and tested. Because it can protect conductors from conductor oscillations due to winds and electrical forces. If the spacer damper has any problems in itself, it may cause extensive damage to the transmission lines. This paper suggests a design method and considerations of spacer damper for bundled conductor transmission lines.

1. 서 론

초창기의 단도체 방식 송전선로 구성과는 달리 송전선압이 초고압화가 되어감에 따라 송전선로의 도체구성도 코로나 소음 및 송전용량 측면에서 다도체 방식이 적용되었다. 다도체 방식은 한 상당 소도체수가 2개 이상으로 구성된 선로로서 각 소도체간의 간격을 일정하게 유지시키고, 각종 기계적 및 전기적인 진동으로부터 소도체간의 충돌현상을 방지하며 전선을 보호하기위해 경간내에 스페이서댐퍼가 설치된다.

스페이서댐퍼는 송전선로에서 발생하는 각종 전기적 및 기계적인 진동으로부터 전선을 보호할 수 있어야 함을 물론이고, 스페이서댐퍼 자체도 기계적인 하중이나 피로에 견딜 수 있어야 한다. 특히 실선로에서 스페이서댐퍼에 사고가 발생할 경우에는 전선이 단선되는 대형사고로 이어질 수 있어 다도체 송전선로에 설치되는 스페이서댐퍼의 성능은 매우 중요하고, 이에 요구되는 특성도 복잡하다. 따라서 본 논문에서는 다도체 송전선로용 스페이서댐퍼의 설계기법을 제시해 보고자 한다.

2. 스페이서댐퍼의 구성 및 설계 개요

스페이서댐퍼는 댐핑부(damping part), 크램프(clamp) 및 몸체 등 3부분으로 나눌 수 있다. 댐핑부는 전선의 진동진폭을 억제시켜주는 역할을 하는 부분으로서 대부분 합성고무에 의해 진동을 흡수하고 있다. 크램프는 전선을 잡고 있는 부분으로서 전선의 진동에 따라 동일하게 움직이는 부분이며 전선에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 몸체는 스페이서댐퍼의 각부분을 하나의 몸체로 연결시켜주는 역할을 한다. 이러한 각 부분중에서 댐핑부는 스페이서댐퍼의 성능을 좌우하는 가장 중요한 부분이라고 할 수 있다.

스페이서댐퍼 설계에 대한 구체적인 방법에 대해 문헌상에서 제시된 바는 없으며, 일부 국한된 부분에 대해서는 문헌이 대부분이다. 따라서 다도체 송전선로용 스페이서댐퍼의 구체적인 설계를 위해서는 설계방법을 종합적인 흐름으로 제시할 필요가 있는데, 본 논문

에서는 그림1과 같이 다도체용 스페이서댐퍼의 설계흐름을 정하여 제시하였다[1].

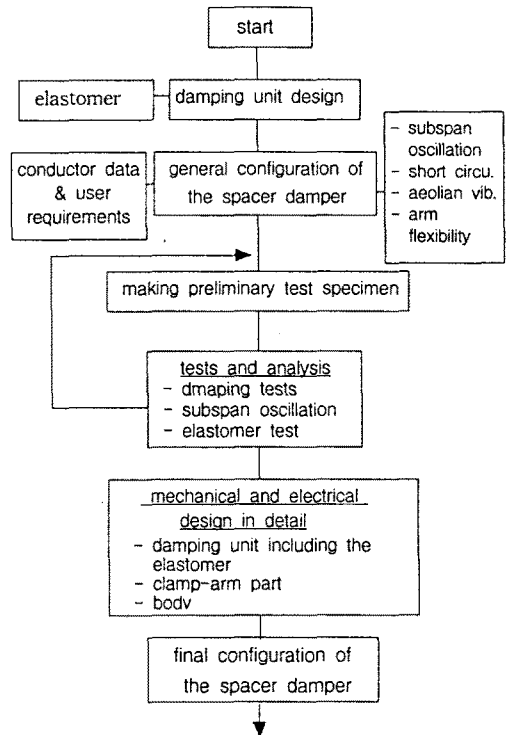


그림1. 스페이서댐퍼 설계 개요

3. 스페이서댐퍼 중점 설계사항

3.1 기계적 강도

스페이서댐퍼의 강도설계는 다도체 송전선로에서 발생하는 전기적 및 기계적 진동이나 충격하중으로부터 견딜 수 있도록 설계하면 된다. 스페이서댐퍼의 강도가 부족할 경우에는 진동피로나 충격하중에 의해 스페이서댐퍼 자체가 파손될 우려가 있고 강도가 지나치게 클 경우에는 과도한 설계와 더불어 스페이서댐퍼 자체의 중량이 커져서 시공성이 떨어지고 제작비가 높아지며 효과적인 댐핑효과를 얻지 못할 수도 있다. 따라서 스페이서댐퍼의 정확한 기계적인 강도로 산정하는 것은 주요 설계사항중의 하나이다.

다도체 송전선로에서 스페이서댐퍼에 가해질 수 있는 하중으로는 미풍진동, 서브스판진동, 단락전자력 진동

등이 있다[2]. 미풍진동과 갠럼핑진동의 경우 스페이서 댄퍼에 미치는 하중이 크지 않기 때문에 일반적으로 설계에서는 고려하지 않는다. 그러나 크럼프가 미풍진동 방향에 대해 유연성을 갖도록 설계를 하여야 한다. 선로 유지보수시에는 크럼프에 작업자의 하중인 약 100(kgf) 정도의 하중이 가해질 수 있는데, 이러한 하중은 단락전자력 강도에 비할 때 매우 작은 값이기 때문에 단락전자력에 대한 강도설계를 하면 작업시 하중은 특별히 고려할 필요가 없다. 따라서 스페이서댄퍼의 강도설계에서는 단락전자력과 서브스판진동에 의해 결정된다고 볼 수 있다.

다도체 송전선로에서 서브스판진동은 풍상측 도체(windward conductor)에 의해 풍하측 도체(leeward conductor) 주위에 생기는 공기역학적인 차폐효과에 의해 풍하측 도체에 양력이 발생하여 진동하는 현상으로서 풍속이 8(m/s) 이상일 때 발생되고 있다.

다도체 송전선로에 대한 서브스판진동 현상을 해석하기 위해 전선을 유연한 실과 같이 모의하고 이도가 매우 작고 선로방향의 장력변화를 무시할 수 있다고 할 때 다도체의 운동방정식을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\rho \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = T(t) \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} + P_y \quad (1)$$

$$\rho \frac{\partial^2 z}{\partial t^2} = T(t) \cdot \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} + P_z \quad (2)$$

여기서

ρ : 전선 단위길이당 질량 (kg/m)

$T(t)$: 전선의 장력변화 (N)

P_y, P_z : 수직 및 수평방향으로 단위길이당 전선에 가해지는 하중(N/m)

y : 좌표축상에서 선로의 수직방향성분 (m)

z : 좌표축상에서 선로의 수평방향성분 (m)

상기의 운동방정식을 이용하여 다도체 송전선로의 서브스판진동 현상을 파악할 수 있으며, 6도체방식 송전선로를 대상으로 서브스판진동 현상을 해석한 결과 서브스판진동 발생시 스페이서댄퍼에 최대 120[daN]의 하중이 전선의 수평방향으로 가해질 수 있는 것으로 나타났다[3]. 이러한 수치는 스페이서댄퍼 크럼프의 피로특성과 댄핑부에 가해지는 하중 등을 파악하는데 중요하다.

다도체 송전선로에서 지락 또는 단락사고에 의한 고장 전류로 인해 발생하는 단락전자력 강도는 여러 학자들이 의해 제시된 산정방법이 있으며, 최근까지는 C. Manuzio가 제시한 방법이 많이 사용되어져 왔다. C. Manuzio는 선로경간에 스페이서댄퍼 한 개가 설치된 것으로 가정하여 계산하였기 때문에 실선로에서 발생하는 단락전자력보다 높게 나타나는 것이 단점이었다. 따라서 본 논문에서는 보다 실선로 조건에 가까운 상태로 계산하기위해 식(1)과 (2)로부터 다음과 같이 전선의 진동현상에 단락전자력에 의한 영향을 고려하였다.

$$\rho \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial t^2} = T \cdot \frac{\partial^2 \bar{R}}{\partial s^2} + \bar{P} \quad (3)$$

여기서

ρ : 전선 단위길이당 질량 (kg/m)

\bar{R} : 좌표축상에서 전선의 위치벡터

T : 전선의 장력 (N)

\bar{P} : 전선에 가해지는 외부력 (N/m)

t : 시간 (s)

s : 전선의 길이좌표

상기 식(3)에 단락전자력을 고려하기위해 전선에 가해

지는 외부력 \bar{P} (N/m)를 다음과 같이 고려하였다.

$$\bar{P} = \bar{Q} + \bar{G} + \bar{F} + \bar{W} \quad (4)$$

여기서

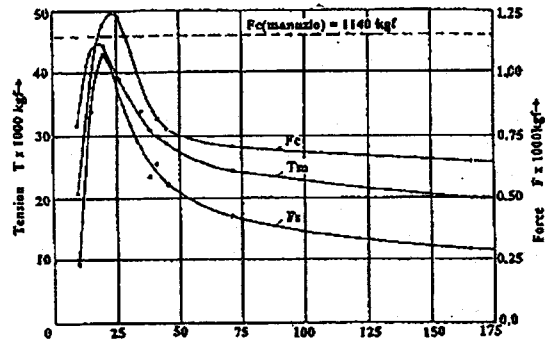
\bar{Q} : 전선의 단위길이당 중량 (N/m)

\bar{G} : 전선의 단위길이당 피빙중량 (N/m)

\bar{F} : 전선 단위길이당 가해지는 단락전자력 (N/m)

\bar{W} : 전선의 단위길이당 풍압(N/m)

상기식을 이용하여 6도체 송전선로 구성에서 발생하는 단락전자력을 해석해 보면 그림1과 같다.



FC : 흡인력, FS : 반발력, Tm : 6도체장력

그림1. 서브스판 구성별 단락전자력

그림1의 결과는 정6각형 구조의 송전선로에서 고장전류가 60[kA]인 경우 발생하는 단락전자력으로서 시간에 따른 단락전자력의 변화를 나타낸 것이다. 상기 식(3)을 이용하여 6도체 송전선로에 대해 단락전자력을 계산해 본 결과 구심하중은 1100[daN], 반발하중은 530[daN]이 발생하는 것으로 해석되었다.

이상과 같이 스페이서댄퍼의 설계에 있어 하중에 크게 영향을 미치는 것은 단락전자력과 서브스판진동 현상임을 알 수 있다.

3.2 댄핑특성

댄핑특성은 스페이서댄퍼의 중요한 성능을 나타내는 것으로서 진동에너지를 흡수하는 특성이자, 스페이서댄퍼의 댄핑부는 다음과 같은 특성을 고려하는 것이 중요하다.

- ① 진동 흡수능력이 우수한 구조일 것
- ② 암이 진동방향에 대해 유연할 것
- ③ 합성고무에 국부적인 응력이 가해지지 않을 것
- ④ 단락전자력과 진동에 의한 피로특성이 견딜 것
- ⑤ 합성고무의 내환경성이 우수할 것

이상과 같은 특성은 스페이서댄퍼의 댄핑부가 갖어야 할 중요한 성능이다. 스페이서댄퍼에 요구되는 댄핑부의 유동폭은 전선의 방향으로는 ± 25 (mm), 수평방향으로는 ± 35 (mm) 정도이다[4][5].

스페이서댄퍼의 댄핑특성을 확인할 수 있는 방법으로는 실선로에 스페이서댄퍼를 설치한후 진동진폭을 측정하여 확인할 수도 있으나, 이러한 시험방법은 매우 복잡하고 대규모 시험설비가 필요하기 때문에 일반적으로 대수감쇠시험을 통해 검증하고 있다. 시험방법으로는 다도체중 2개의 도체를 이용하여 전선직경의 6배 범위까지 내측으로 당긴 후 순간적으로 풀어 전선이 자유진동을

하게 되면 이때 전선의 진동진폭을 측정한다. 측정된 값을 이용하여 다음과 같은 대수감쇠값으로부터 그 성능을 파악한다. 일반적으로 대수감쇠값은 1이상이면 양호한 뎀핑특성을 갖는 것으로 알려지고 있다.

$$\delta = \frac{1}{n} \cdot \ln(A_0/A_n) \quad (5)$$

여기서

A_0 : 초기진폭

A_n : n회 진동후 진폭(0.1~0.15 A_0 범위값 선정)

3.3 서브스판진동 특성

스페이서댐퍼가 설계되어 제작된 후에는 실선로에서의 진동특성이 중요하다. 실선로에서의 진동은 미풍진동, 갤럽핑진동, 서브스판진동 등이 있으나 이중 서브스판진동에 대한 특성이 무엇보다 중요하다.

스페이서댐퍼의 성능을 확보하기 위해서는 설계도 중요하지만 실선로에서의 설치간격이 중요하다. 설치간격이 잘못 되었을 경우에는 전선의 피로현상이 쉽게 나타날 수 있고 스페이서댐퍼에도 피로현상이 나타날 수 있다. 이러한 현상을 방지하기 위해서는 서브스판진동 시험을 통해 검증하는 것이 필요하다. 서브스판진동 시험을 위해서는 먼저 식(1), (2)를 이용한 스페이서댐퍼의 설치간격이 계산되어야 하며 계산된 설치간격에 따라 시험선로에 스페이서댐퍼를 설치하여 풍속에 따른 진동진폭을 측정하게 된다. 측정된 진동진폭과 전선의 피로한계치와를 비교 분석함으로써 스페이서댐퍼 설치의 적정성 여부를 평가할 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 다도체 송전선로용 스페이서댐퍼의 설계방안과 주요 설계사항에 대해 검토해 보았다. 일반적으로 다도체용 스페이서댐퍼의 설계내용에 대해서는 부분적으로 논한 문헌은 있으나 전체적인 설계흐름에 대해 논한 문헌은 없기 때문에 본 논문에서는 스페이서댐퍼의 전체적인 흐름과 주요 설계사항에 대해 서술하여 보았다.

스페이서댐퍼의 설계에서 단락전자력은 스페이서댐퍼 자체의 강도를 정하는데 중요한 요소가 되며, 서브스판진동은 스페이서댐퍼의 피로특성과 설계후 성능을 검증하는데 중요한 고려사항임을 알 수 있었다. 본 논문에서 제시한 설계방안 및 설계방법은 다도체 송전선로용 스페이서댐퍼를 설계하는데 있어 기본자료로 활용될 수 있을 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

- [1] 이형권, 신명철, 김정부 "765kV 6도체방식 송전선로용 스페이서댐퍼의 설계", 전기학회 논문지 46권 6호, 1997. 6.
- [2] D. Hearnshaw, "Spacer Damper Performance - A Function of In Span Positioning", IEEE Transactions paper T74061-8, 1974
- [3] 이형권, 신명철, "765kV 6도체방식 송전선로의 서브스판진동 현상 이론적 분석", 대한전기학회 논문지, 제46권 제4호, 1977
- [4] 한국전력공사, "765kV 6도체 스페이서댐퍼 구매규격", 1995. 4
- [5] "Bundle Conductors Spacer for Transmission Line", Fugawa-Denko Gibo, vol. 52, 1972. 10