

초고압케이블 관로 포설 측압 측정용 기기 개발에 관한 연구

이지훈*, 홍동석*, 강승훈*, 강기혁*
대한전선*

A Study on the Development of Sidewall-pressure Measuring Device for Conduit Type Laying of Underground Cable

Ji-Hun Lee*, Dong-Suk Hong*, Seung-Hun Kang*, Gi-Hyeog Kang*
Taihan electric wire Co., Ltd.*

Abstract - 초고압케이블을 관로식으로 포설할 경우 케이블 포설장력이 증가함에 따라 측압은 커지게 된다. 측압은 지중관로 내 케이블 포설 시 도르래 및 굴곡부에서 발생하는 관로 내면과 케이블 사이의 압력을 의미하며, 단심배열의 경우 곡률반경과 장력에 의존한다. 케이블의 측압을 정확하게 알고 안전성에 기초하여 장경간 포설을 한다면, 케이블 포설 시 긴 케이블 조장에 따라 접속합과 굴착개소의 감소로 이어지기 때문에 원가절감 뿐 아니라 공기 단축 차원에서 큰 역할을 할 수 있다. 그러나 현재 케이블 측압은 포설 장력을 이용하여 계산되기 때문에 실제 측압과 오차가 발생할 수 있으며, 정확한 장력을 케이블에 인가하는 것 또한 어려운 일이다. 따라서 본 논문에서는 케이블 포설시 발생하는 측압을 작용시키며, 장력을 케이블에 정확히 인가할 수 있는 측정기기 개발에 관한 내용을 정리하였다.

1. 서 론

전력수요 증가에 능동적으로 대응하기 위해 가공송전선로 뿐만 아니라 지중송전선로의 중설이 지속적으로 이루어지고 있다. 특히 가공송전선로는 미관상의 문제나 설비가 외부로 노출되어 있는 점에 따라 안전 등의 문제를 발생시킬 요인이 있기 때문에 점점 지중화되는 추세다. 지중케이블을 포설하는 방법에는 직매식, 관로식, 전력구 방식이 있는데 관로식은 중설 및 철거가 편리하고 포설 과정에서 발생하는 케이블 외상이 비교적 적을 뿐만 아니라 보수 점검이 편리한 장점을 가지고 있다.

관로 내 케이블 포설은 포설 전 여러 가지 사항을 고려해야 하는데, 특히 최대포설장력 및 허용측압이 고려된다. 이 중 포설장력은 케이블의 무게와 관로 경간, 그리고 관로와 케이블 사이의 마찰계수에 의해 변화하게 되고, 포설장력의 증가로 인해 포설시 측압이 커지게 되면, 케이블 도체와 절연체의 변형 및 방식층의 손상으로 이어져 케이블 고장의 원인이 되므로 포설 전 정확한 검토가 요구된다. 특히 측압은 케이블 포설시 장력과 곡률반경에 따라서 케이블에 직접적인 영향을 미치므로, 현재의 허용측압에 대한 정확한 검토와 안전율을 고려한 재평가가 필요하다. 하지만 국내에서는 현재 허용측압에 대한 구체적인 검토가 이루어지지 않았기 때문에 케이블 포설시 유효한 허용측압 기준 제정됨이 요구되고 있다.

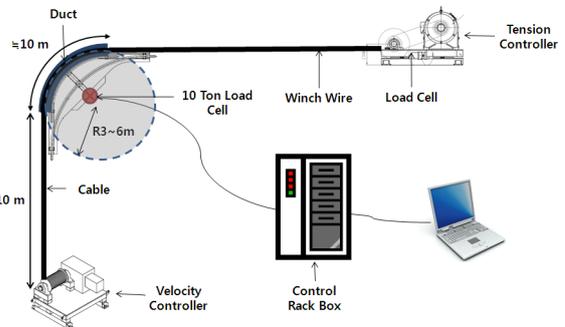
지금까지 해외에서 측압 시험을 한 사례를 보면 전 조장의 케이블을 이용한 실증시험이 아닌 일정한 길이의 케이블 시편을 이용한 실증시험을 하였고, 이동형 장력 수레나 전동원치를 이용하여 일정한 백텐션(Back Tension) 및 속도를 유지시켰다. 또한 실험 결과로 나온 측압은 실제 케이블 측면에 받은 힘을 이용한 것이 아니고 곡률반경에 따른 장력 데이터를 이용하여 도출하였으며, 이 수치는 실제 측압과 오차가 있다.

따라서 본 논문에서는 초고압케이블의 포설에 대한 신뢰도를 확보하기 위해 관로식 방법으로 포설된 케이블에 작용하는 측압을 곡률반경 변화에 따라서 실제 측정할 수 있도록 장비 개발 내용을 정리하였다.

2. 본 론

측압 측정을 위한 시험기기의 구성은 크게 4가지로 구분되는데, 곡률과 장력에 의해 발생한 측압을 측정하게 되는 측압 측정장치, 백텐션을 작용시키면서 케이블에 입력한 시험 속도를 유지시켜주는 속도 제어 장치, 케이블에 걸리는 장력을 측정하고 입력된 장력을 유지할 수 있도록 조절하는 장력 제어장치, 마지막으로 모든 장치들을 제어하며 시험 조건을 입력하고 모니터링 할 수 있는 측압 측정 제어반으로 구성된다. <그림 1>은 측압 시험 구성도를 나타내는데, 모든 시험 장치들은 측압 측정을 위해 최적화된 전자식 제어 구동 방식이 적용되었으며, 각 기기들은 컨트롤러와 프로그램에 의해 유기적으로 정보를 수집하고 작동한다. 이는 기존 해외 논문들에서 보여준 시험 방식과 거의 유사하나, 유압장치와 윈치만을 사용한 과거 시험 장비들에 비해 현대적이고, 재현성을

갖추고 있으며, 높은 시험 정밀도를 갖는다. 따라서 본 측압 측정시험 장비는 케이블 장력과 곡률반경에 의해 계산되는 측압뿐만 아니라 장력에 의해 실제 케이블 측면에 작용하는 하중을 로드셀을 통해 직접 측정이 가능하다는 장점이 있다. 또한 원하는 장력과 속도를 프로그램상의 조작을 통해 간단하게 인가 후 시험할 수 있기 때문에 해당 측압에 따른 케이블의 건전성을 평가·분석하는데 매우 유용하다.

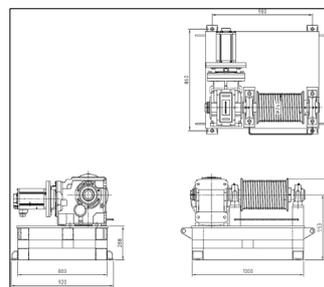


<그림 1> 측압 측정장치 구성도

2.1 속도 제어장치

속도 제어장치는 케이블의 이동 속도를 일정하게 유지할 수 있도록 윈치 와이어를 풀어주며, 속도 제어를 위하여 장력 제어장치와 유기적으로 통신하고, 기기에 장착되어 있는 컨트롤러의 명령을 받아 감속기의 회전수를 제어해 속도를 제어 한다. 또한 케이블 시편 뒤쪽에서 백텐션을 작용시켜 입력한 장력값이 유지될 수 있도록 잡아주는 역할을 동시에 한다.

국내 초고압 케이블 포설시 최대 인장속도를 10[m/min] 이하로 권장하고 있기 때문에 최대 인장속도를 유지할 수 있는 감속기와 서보모터(7[kW], 약 10 [HP])를 사용하였으며, 입력된 속도값과 장력을 유지하기 위해 충분한 제어가 될 수 있도록 설계되었다. <그림 2>는 속도 제어 장치의 구성도를 나타내며, 이를 토대로 <그림 3>과 같이 실제 속도 제어장치를 제작하였다.



<그림 2> 속도 제어장치 구성도



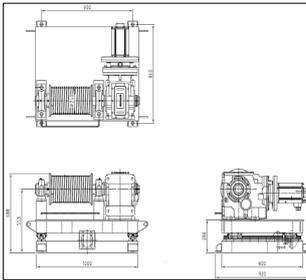
<그림 3> 속도 제어장치

2.2 장력 제어장치

장력 제어장치는 케이블이 이동 중에 일정한 장력을 유지한 상태로 움직일 수 있도록 윈치 와이어를 감아주는 역할을 한다. 입력한 장력을 유지하기 위하여 속도 제어 장치와 유기적으로 통신하고, 기기에 장착되어 있는 컨트롤러의 명령을 받아 감속기가 장력 제어 작동을 한다. 장력 측정을 위해 본 제어 장치에는 로드셀이 장착되어 케이블이 이동하는

동안의 장력을 효과적으로 측정할 수 있다.

장력 제어장치의 최대 원치 장력은 5.5 [Ton]이고, 장비 안전을 고려한 허용 작동 장력은 5 [Ton]이다. <그림 12>는 장력 제어장치의 구성도를 나타내며, 이를 토대로 <그림 13>과 같이 실제 장력 제어장치를 제작하였다.



<그림 4> 장력 제어장치 구성도



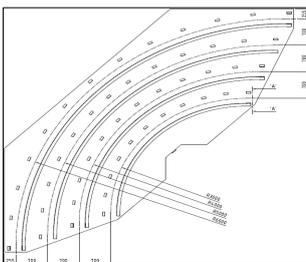
<그림 5> 장력 제어장치

2.3 측압 측정장치

측압 측정장치는 곡률반경이 3, 4, 5, 6[m]인 관로가 장착될 수 있도록 <그림 6>와 같이 제작된 상부프레임과 케이블에 작용하는 장력의 힘을 받아 이 힘을 전달하면서 로드셀이 측면에 걸리는 하중을 측정할 수 있도록 설치된 하부 레일로 구성된다. 또한 상부 프레임에서는 관로의 이탈 방지와 케이블과 관로의 마찰에 따른 이동을 막기 위해 관로 고정 장치가 장착되었다. <그림 7>은 제작된 측압 측정 장치를 나타내었으며, 중앙 부분은 하부레일에 설치되어 장력에 의해 작용하는 힘을 측정할 수 있는 로드 셀이 장착된 위치이다.

측압 측정장치는 <그림 8>처럼 양단의 장력으로 발생한 힘을 구조물을 통해 측정할 수 있도록 설계되었다. 케이블 양단에 장력이 동일하게 작용하면, 장력으로 인한 힘은 원 중심 방향으로 작용한다. 이때 원 중심 방향의 힘은 X축 방향의 힘과 Y축 방향의 힘으로 나눌 수 있다. 이 힘들이 구조물을 통해 수렴하게 되면, 결과적으로 X축 성분의 힘은 "0"이 되며, Y축 방향의 힘들만이 남아서 측압 측정 구조물로 전달된다. 이 힘을 구조물의 끝단에서 로드셀이 지지하며 측면방향으로 작용하는 힘들을 모아 측면 하중값으로 측정할 수 있게 된다. 이때 측정된 로드셀의 힘은 장력으로 계산되는 힘이 아닌 실제 케이블이 장력에 의해 측면으로 받게 되는 힘을 나타낸다.

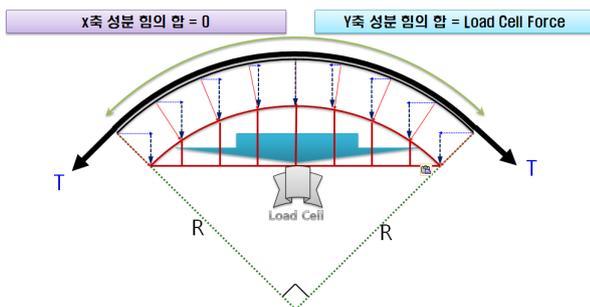
양쪽으로 작용하는 각각의 장력 T에 의해 Y축 방향으로 작용하는 힘은 이론적으로 $\sqrt{2}T$ 가 된다. 하지만 케이블 자체가 이상적인 재료가 아니기 때문에 곡률에 따라 발생한 케이블 소성변형의 영향과 관로와 케이블 마찰 등의 영향으로 케이블이 받는 측면 하중은 커지게 된다.



<그림 6> 측압 측정장치 상부 프레임



<그림 7> 측압 측정 장치



<그림 8> 측압 측정장치 구조물의 원리

2.4 측압 측정제어판

측압 측정제어판은 위에서 언급한 모든 기기들의 작동을 제어하고, 로드셀에 걸린 하중을 입력받으며, 원하는 장력과 속도로 동작하도록 명령하는 역할을 한다. 제어 장치(Control Rack Box)로 제작된 측압 측정제어판은 케이블의 측압 측정을 위해 적합하게 제작된 프로그램과 이를 구동하기 위한 컴퓨터 및 DAQ System(데이터 취득장치)으로 구성된다.

2.4.1 제어 장치(Control Rack Box)

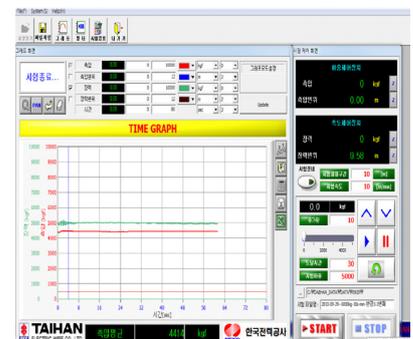
<그림 9>는 측압 측정 장치 작동을 위한 제어부이다. 본 장치는 장력 제어 장치와 측압 측정 장치에 있는 로드셀을 통해 입력받은 각각의 장력과 측면 하중값을 디지털 값으로 변환하여 실시간으로 직접 확인할 수 있는 패널(Pannel)로 구성되어 있다.

2.4.2 측압 측정용 프로그램

<그림 10>은 측압 측정용 프로그램의 메인 화면을 보여주고 있다. 본 프로그램에서는 시험하고자 하는 장력값과 속도값을 입력하고, 케이블 시편의 길이 등의 항목을 바꾸어 여러 시험을 진행할 수 있다. 또한 시험이 진행되는 동안 시간에 따른 장력 변화와 측면 하중(측압) 변화를 실시간으로 그래프를 통해 표현할 수 있다. 시험 종료 후에는 측면으로 걸린 하중 평균이 바로 표현된다. 이 외에도 시험결과에 대한 분석이 가능하도록 Load Peak, Load-Time Chart, Load Average 데이터가 기록된다.



<그림 9> 제어반



<그림 10> 측압 측정제어반 GUI 및 작동 사진

3. 결 론

본 연구는 초고압케이블 관로식 방법으로 포설된 케이블에서 발생하는 측압을 포설장력을 이용하여 계산한 값과 실측한 값 사이에 오차가 존재하는지를 비교할 수 있도록 실측하는 기기를 개발하였다. 측정기기는 케이블의 속도를 제어할 수 있는 속도 제어 장치, 포설장력을 제어 및 측정할 수 있는 장력 제어장치, 모든 장비를 제어하고 모니터링 할 수 있는 제어반과 곡률과 장력에 의해 발생한 측압을 측정할 수 있는 측정 장비로 이루어졌다. 이런 기기들을 통한 실험은 케이블 전 구간을 이용하지 않더라도 실제 포설환경과 유사하게 구현할 수 있고, 그 결과로써 얻어지는 측압 계산값과 측정값의 비교 데이터는 허용측압 기준이 제정됨에 따라 일조할 수 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] Pirelli Cable Corporation, "Determination of Maximum Safe Pulling Lengths for Solid Dielectric Insulated Cables", IEEE, Vol. PAS-103, No. 11, November 1984.
- [2] Fellow Power Technologies, "Evaluation of Pulling Rope Wear and Coefficient of Friction for Pipe-Type Cables", IEEE, Vol 12, No 2, April 1984.
- [3] IEEE Std 576-2000, "IEEE Recommended Practice for Installation, Termination, and Testing of Insulated Power Cable as Used in Industrial and Commercial Applications", IEEE, September 2000.
- [4] 한국전력공사 중앙교육원, "관로곡률반경과 케이블 포설장력에 관한 연구", 2008.