

## 특집

송전선 갤러핑 현상

송전선 갤러핑 메커니즘 규명을 위한  
풍동실험

김재민\*, 김윤석

(티이솔루션)

## 1. 머리말

송전철탑의 내풍설계에 있어서 송전선의 영향이 매우 크기 때문에 바람에 의한 송전선의 거동을 파악하는 것이 매우 중요하다. 일반적으로 송전선의 진동에는 바람의 난류에 의한 진동과 송전선의 후류에서 발생하는 와류(vortex)에 의한 진동을 들 수 있다(난류 및 후류에 의한 진동의 발전풍속은 0.5 m/s ~ 5 m/s). 또한 송전선에 착빙 또는 착설이 발생하는 경우, 공력불안정진동(갤러핑, 비틀림 플러터, 연성 플러터)이 발생할 우려가 있다. 공력불안정진동을 야기시키는 풍속은 대략 7 m/s ~ 25 m/s이고, 내풍설계에 있어서 공력불안정진동의 검토는 매우 중요한 요소 중 하나이다. 실제로 세계 여러 나라에서도 착빙·착설로 인해 공력불안정 진동이 발생하여 송전선의 파손 또는 철탑의 붕괴 또는 부분 손상을 발생시킬 수 있다고 보고된 바 있다. 그리고 실측, 풍동실험 및 수치해석을 통해 현재까지도 많은 연구가 진행되고 있다. 그러나 송전선의 갤러핑 문제에 대해 많은 연구가 수행되고 있음에도 불구하고, 실제 송전선의 피해 저감을 위한 체계적이고 신뢰할 수 있는 방법은 아직 미흡한 실정이다. 또한 송전선에 발생하는 갤러핑의 억제와 저감은 아직까지 건설지점에서 현지실측에 의존하고 있는 경우가 많다. 갤러핑에 의한 송전선의 피

해를 최소화하기 위한 효과적인 방법을 개발하기 위해 이 글에서는 송전선 갤러핑 연구에 대해 간략히 소개하고자 한다.

## 2. 연구방법 및 목표

이 연구에서는 송전선의 착빙·착설로 발생하는 진동 메커니즘을 분석하고, 송전선에 작용하는 풍하중의 합리적인 평가기술을 개발하는데 목적이 있다. 그림 1은 이 연구의 흐름을 나타낸 것이다.

- ① 문헌조사 : 송전선 피해 사례 분석 및 기존 연구 조사
- ② 풍압실험 : 다양한 파라미터(송전선의 동적 특성, 풍속, 결빙형상 등)를 고려한 송전선에 작용하는 풍압 측정(진동 시와 비진동 시) 및 진동시의 작용하는 풍력의 특성 분석 및 그 발생 구조의 해명

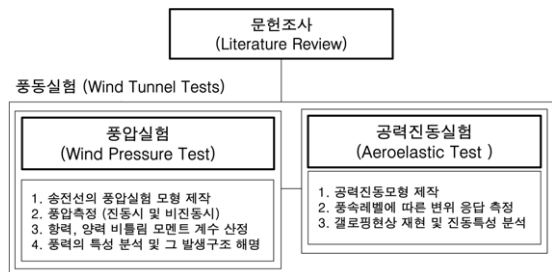


그림 1 연구흐름도

\* E-mail : kjm1970@tesolution.com

- ③ 공력진동실험 : 다양한 파라미터를 고려한 송전선의 부분 모형을 대상으로, 변위 응답의 측정 특히 갤러핑 현상을 재현하고 진동특성을 분석

### 3. 연구내용

공력불안정성 진동의 하나인 갤러핑(galloping)은 일반적으로 송전선에 눈이나 얼음이 부착된 상태로 강풍이 불어, 송전선이 상하로 격렬하게 진동하는 현상이다. 즉, 착설·착빙과 바람으로 인하여 송전선에 큰 진폭이 발생하는 저주파수 자려진동 현상이라고 생각할 수 있다. 그림 2와 그림 3은 갤러핑의 발생 메커니즘을 도식화 한 그림이다.

이 갤러핑 현상은 가공송전선, 특히 초고압, 대용량의 간선에 있어서 큰 문제가 되고 있고, 여러 선진국에서도 일찍부터 그 피해원인 규명 및 방지대책을 위한 연구가 활발히 진행되고 있으며,

우리나라도 많은 연구가 필요한 실정이다.

갤러핑 현상을 정확하게 밝히기 위해 필요한 요소는 다음과 같다.

- ① 송전선에 작용하는 풍속
- ② 착빙·착설의 형상과 공기력계수
- ③ 송전선의 응답

위의 정보를 얻기 위해서는 풍속의 공간구조와 결빙된 송전선의 공력특성을 파악해야 하지만, 현지측정만으로는 어려운 실정이다. 따라서 현지계측과 풍동실험을 통해 풍속, 풍압 및 풍응답을 얻어 해석하는 것이 바람직하다.

따라서 이 연구에서는 송전선의 착빙·착설로 발생하는 진동 메커니즘을 분석하고, 송전선에 작용하는 풍하중의 합리적인 평가 및 해석 기술을 개발하고자 한다.

#### 3.1 풍압실험

##### (1) 실험배경

풍압실험은 2차원 진동실험전용 풍동에서 단

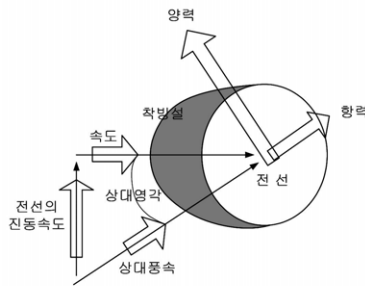


그림 2 갤러핑의 발생 메커니즘

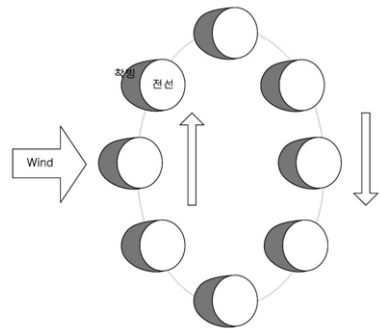
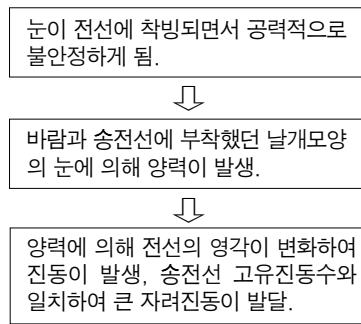


그림 3 8도체의 예

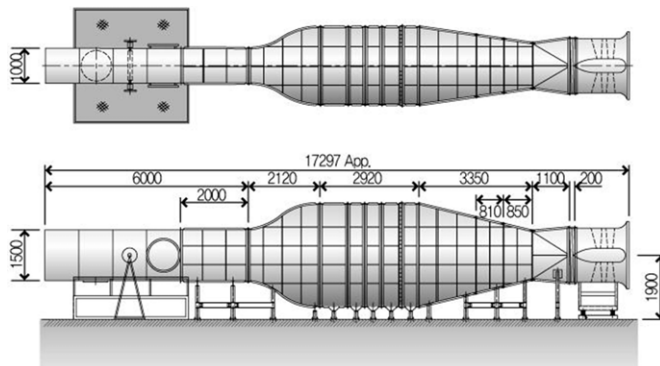


그림 4 소형풍동의 제원

도체 및 다도체의 송전선의 결빙의 형상, 진동 시와 비진동 시에 따른 풍압 분포와 양력, 항력 그리고 비틀림 하중의 평가를 목적으로 한다.

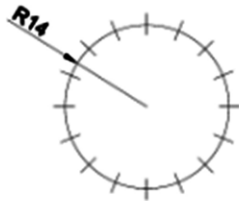
(2) 실험풍동

2차원 풍압실험은 2차원 진동실험전용 풍동으로 측정부의 크기는 폭(W) × 높이(H) × 길이(L)

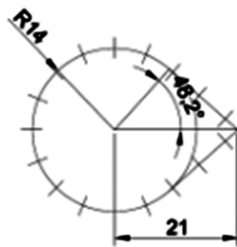
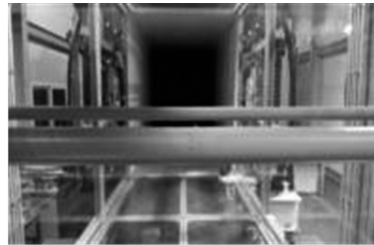
= 1 m × 1.5 m × 6 m이며 풍속의 범위는 0.3 m/s ~ 21 m/s이다.

(3) 실험모형 및 실험방법

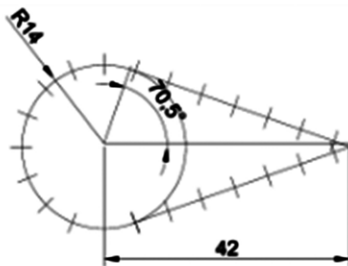
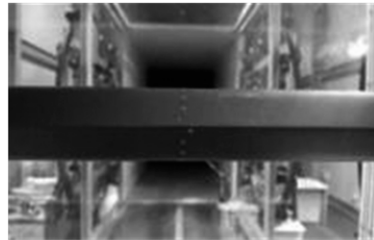
이 연구에서는 그림 5의 연구 대상 단면을 갖는 단도체, 2도체 및 4도체 송전선을 대상으로 풍동 실험을 통해 공기력계수를 측정하였다. 특히, 다



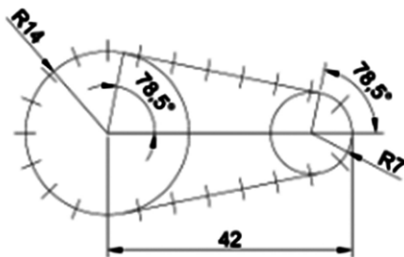
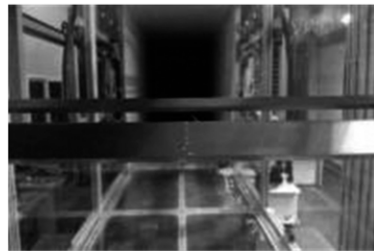
(a) 원형 (기호 C)



(b) 짧은 삼각형 (기호 TS)



(c) 긴 삼각형 (기호 TL)



(d) 타원형 (기호 E)

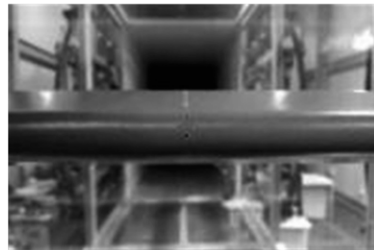


그림 5 실험단면 및 풍압공의 위치

도체의 경우 풍상(風上)측의 도체와 풍하(風下)측의 도체에 작용하는 공기력이 다르기 때문에 각 도체(이하, 소도체로 명칭)가 받는 공기력을 각각 동시에 계측하였다. 또한 소도체가 받는 공기력을 합성하여, 복도체 중심에 작용하는 공기력도 산출하였다. 송전선의 지름, 소도체간 간격 등을 실제 크기로 모사한 착빙단면 부분 모형을 제작하여, 풍동실험을 통해 단도체, 2도체 및 4도체 송전선의 착빙이 없는 원형 단면과 착빙단면(3type: 삼각형 1, 삼각형 2, 타원형)에 대한 공기력 계측을 실시하였다. 특히, 2도체, 4도체 송전선에 대하여 소도체에 작용하는 공기력을 측정하기 위하여 소도체에 표면에 다수의 풍압공(풍압 측정용 구멍)을 설치하고 풍압 측정 실험을 실시하였다.

### 3.2 공력진동실험

#### (1) 실험배경

앞서 수행한 공기력계수실험결과로부터 Den Hartog 갤러핑 발생조건을 이용한 영각 범위를 결정하고, 2자유도 및 3자유도에 대해 송전선의 진동특성을 모형화한 탄성모형을 이용해 풍동내의 모형에 대해 바람에 의한 송전선의 거동을 재현하여, 변위 응답의 측정을 수행하고 진동특

성을 분석하는데 목적이 있다.

#### (2) 실험풍동

2자유도 실험은 3.1절의 풍압실험과 같은 풍동을 사용하였고 3자유도 실험은 중형풍동을 이용하였다. 중형풍동은 측정부의 크기는 폭(W) × 높이(H) × 길이(L) = 1.5 m × 2 m × 7.5 m이며 풍속의 범위는 0.5 m/s ~ 25 m/s이다.

#### (3) 실험방법

송전선의 경간 길이가 수백 m 정도의 경우, 그 진동수는 1 Hz 이하이며, 전 진폭이 수 m의 연직 진동이 발생 할뿐만 아니라, 수평·비틀림 방향의 진폭도 매우 크게 진동하는 특징이 있다. 지금까지는 주로 실제 송전선이나 시험선으로 갤러핑 관측을 수행하였지만, 경간내의 풍속, 착빙 형상 등을 정확히 고려하여 실험하기에는 매우 어려운 실정이다. 관측기간 중의 기상조건도 한정되어있기 때문에, 이것들의 인자가 발생조건, 응답특성에 대한 영향을 계통적으로 분명히 하는 것은 한계가 있다. 따라서 이 연구에서는 풍동실험을 통해 송전선 부분 모형을 이용, 현지 실측 데이터를 토대로 위의 조건들을 설정하고, 실경간의 갤러핑 현상을 재현하여 발생 조건 및 응답

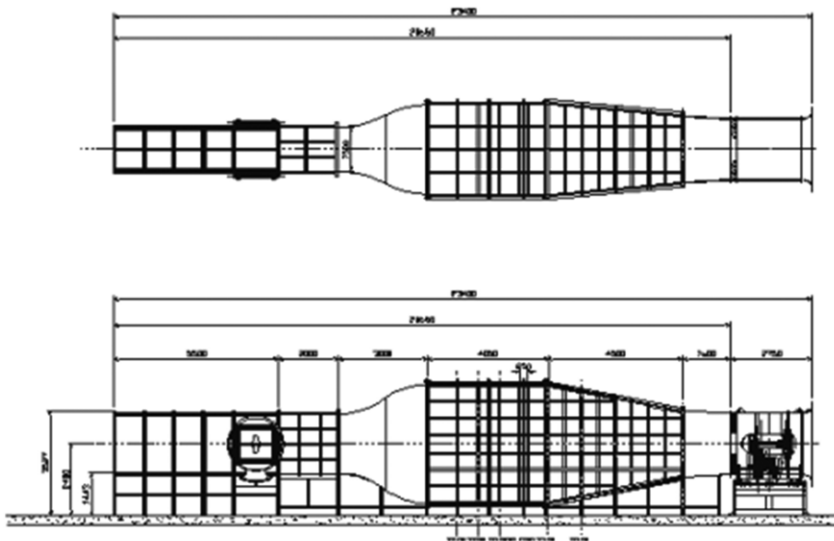
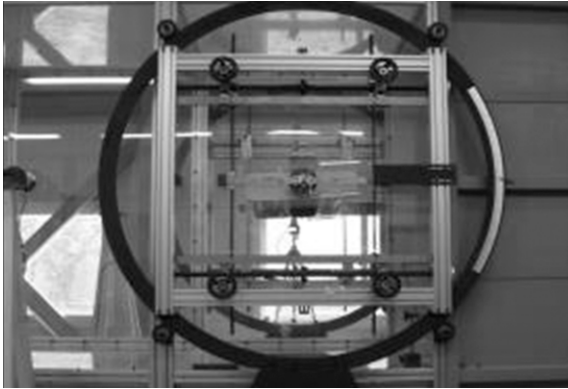


그림 6 중형풍동의 제원

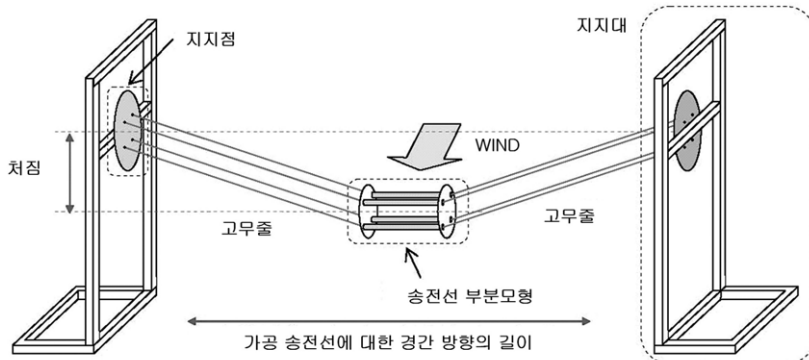


(a) 스프링 지지시스템



(b) 삼각형(TS) 실험모습

그림 7 2자유도 실험



(a) 송전선 부분모형의 탄성지지 및 실험방법



(b) 3자유도 실험모습

그림 8 3자유도 실험

특성에 대한 각 인자의 영향을 상세히 해명 하고자한다.

실험모형은 단도체 또는 다도체의 송전선 부분

모형을 탄성 지지하는 방법 및 진동수의 조정 방법으로 그림 7 및 8과 같이 공력탄성실험을 수행하였다.

변위측정은 송전선 모형의 진동을 동영상으로 촬영하여 분석하는 방법으로 변위의 계측을 수행한다.

#### 4. 맺음말

송전선 갤러핑 현상의 메커니즘을 규명하기 위한 연구를 수행하였다. 우선 착빙 과정에 대한 이론적인 검토와 기상 및 환경 조건에 따라 달라지는 착빙 단면 형상을 기존 연구사례 및 실제 관측 사례를 이용하여 조사한 결과 타원형 또는 삼각형 착빙형상을 대상으로 연구를 수행하는 것이 바람직하다고 판단하였다. 그림 5와 같은 착빙단면의 형상을 실험대상단면으로 제안하고 착빙의 크기는 ISO 12494 착빙모델, 국내 송전선의 실제 착빙 상황 및 갤러핑 발생가능성을 참고하여 제시하였다.

단도체, 2도체, 4도체의 기본 제원을 바탕으로, 착설단면의 공기력을 풍동실험을 이용하여 측정하였다. 등류 및 난류조건, 영각 범위는  $0^{\circ}$

$\sim 180^{\circ}$  ( $5^{\circ}$  간격)을 대상으로, 송전선축의 직각 방향 바람에 대한 정상 공기력계수(항력계수, 양력계수, 모멘트계수)를 측정하였다. 복도체의 공기력계수는 복도체 전체에 대한 공기력계수와 소도체 각각에 대한 공기력계수를 모두 측정하였다.

국내외 연구기관에서 각각 별개의 실험조건에서 측정한 공기력계수의 유사성으로부터 실험 결과의 신뢰성이 상호 검증되었다고 볼 수 있다.

정상 공기력계수 실험결과로부터 Deg Hartog Criteria를 이용하여 갤러핑 현상이 발생 가능한 영각 범위를 분석하였고 이 영각 범위에 대해 진동실험을 실시하여 단도체 및 복도체에서 갤러핑 위험성이 있는 영각이 존재하는 것을 확인하였다.

추후 보다 정밀한 갤러핑 메커니즘을 규명하기 위하여 감쇠조정 및 스프링 배치 및 강성의 조정에 따른 추가 실험의 실시와 결과분석이 실시되어야 한다고 본다. [KSNVE](#)