

## GPS좌표 및 Motorized 측량기를 활용한 이도측정 방법 개선에 관한 연구

오장만\*, 김인곤\*, 이봉희\*, 고영철\*\*, 이세훈\*\*  
KEPCO Academy, Sokkia Korea

### A study on the improvement of transmission line Dip measurement using the motorized total station and GPS coordinate

Jang-Man Oh\*, In-Gon Kim\*, Bong-Hee Lee\*, Young-Chul Ko\*\*, Se-Hun Lee\*  
KEPCO Academy\*, Sokkia Korea\*\*

**Abstract** - 송전선로 건설시 적용해 왔던 이도측정 방식에 대하여 정확성이나 효율성면에서 기존의 방식보다 우수한 측량방법을 개발하여 현장에 적용할 필요가 있으며, 그 대안으로 광파기를 활용한 이도측정 방법이다. 신공법 적용에 따른 여러 가지 문제점이 발생하고 있어 현장에서 개선방안을 도출하였으며 모터가 부착된 측량기내에 프로그램을 내장하여 누구나 쉽게 현장에서 이도를 측정 할 수 있게 되었다.

#### 1. 서 론

가공송전선로에서 이도의 중요성은 매우 중요한 부분으로 송전선로 건설업무의 시공품질을 좌지우지 하는 CTQ (Critical To Quality)이다. 실제 현장에서 전선설장에 약간의 변화를 주더라도 전선의 이도 및 장력이 크게 변화하는 것을 확인할 수 있으며, 이미 가선된 기설 송전선로에서도 전선의 온도변화에 의해 이도가 크게 달라지고 있다.

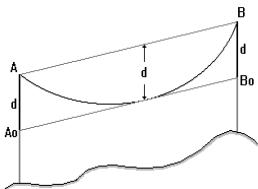
그동안 현장에서의 이도는 직접법과 간접법을 이용하여 측정하였으며 건설공사시에는 한국전력공사 송전기술계산시스템에서 온도별로 이도를 계산한 결과값을 활용하여 현장에서 적용할 수 있는 이도측정방법을 적용하여 왔다. 또한 건설후 송전선로를 인수받아 설비를 운영하는 부서에 서는 현장여건의 변화에 따라 기설 송전선로의 이도가 적정한지를 파악하기 위한 정확한 이도를 측정에 많은 어려움이 있었으나, 최근 들어 광파측량기를 이용한 이도측정방법이 등장하여 그동안의 이도측정결과에 대하여 반신반의했던 정확성 문제가 해결되고 있다. 또한 현장여건에 따라 장거리로 인한 광파 측량기의 측정거리 한계, 수목등으로 인한 양측 철탑을 모두 시준 할 수 없을 때의 이도측정 방법, 봄에서 여름으로 이어지는 시기에 아지랑이로 인한 반사를 저하로 인한 광파기를 이용한 현장이도 측정의 문제점을 극복하는 방안을 제시하고자 한다.

#### 2. 본 론

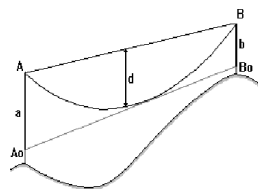
##### 2.1 기존 가공송전선로 이도측정 방법

전선의 이도측정방법에는 전선에 접선을 투시하여 측정하는 직접법과 전선의 물리적 성질을 이용한 측정치로부터 계산하는 간접법이 있다. 직접법에는 등장법, 이장법,수평이도법,각도법등이 주로 사용되던 간접법에는 장력계법, 단진동주기 측정법, 기계적 충격파법 등이 있으나 현장에서 건설공사시 주로 적용하는 방법은 직접법을 많이 사용하고 있다.

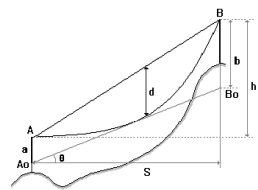
##### 2.1.1 이도 직접측정 방법



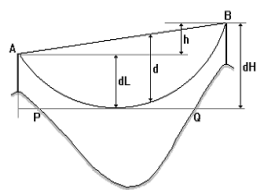
<그림 1> 등장법



<그림 2> 이장법



<그림 3> 수평이도법

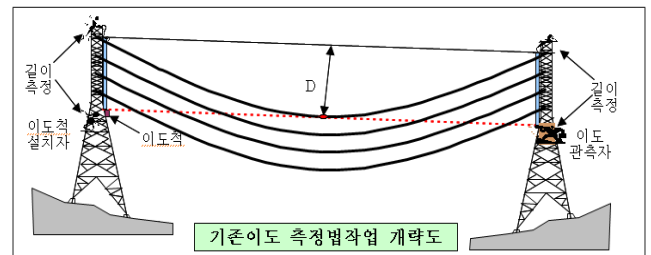


<그림 4> 각도법

##### 2.2 기존 이도측정 방법의 문제점

가공송전선로 건설공사현장에서 기존 이도 가선방법에 관하여 살펴보면 한국전력공사에서 개발한 송전기술계산 시스템(Tower+)을 이용하여 연속경간 임의온도 이도를 계산한다. 이때의 기술계산방법은 계산 대상의 송전선로를 선택하고 적용전선을 선택한 후 아래와 같이 계산에 필요한 조건을 입력하면 된다.

○ 계산조건 : 전선설계장력, 적용풍압지역, 다설지역여부,선로전압,소도체수, Creep 보정여부, 최초 전선온도, 계산 온도간격, 최종전선온도 계산을 실행한 후에 송전선로 온도별 이도자료출력하여 현장에서 적용하며 기존의 가공송전선로 이도측정방법, 즉 접선을 이용하여 측정된 이도값은 오차가 너무 커서 장경간 개소나 지형적 영향으로 인한 국부적으로 돌풍이 집중되는 개소(저수지 횡단)는 건설공사후의 상간단락, 회선간 단락 고장등의 원인으로 작용하고 있다.



<그림 5> 기존이도측정방법

##### 2.2.1 가공 송전선로 신설개소 가선이도 측정결과(기존방법)

○ 선로조건: 전압 154kV,경간299m, 외기온도: 24℃,선종A410mm<sup>2</sup> x2B  
○ 송전기술계산 시스템(Tower+)연속경간 임의온도 가선 이도표

<표 1> Tower+프로그램을 이용한 온도별 가선이도(기존)

온도별	-10℃	-8℃	-6℃	-4℃	-2℃	0℃
15~16호	5.08m	5.16m	5.23m	5.31m	5.39m	5.47m
온도별	2℃	4℃	6℃	8℃	10℃	12℃
15~16호	5.55m	5.63m	5.71m	5.79m	5.86m	5.94m
온도별	14℃	16℃	18℃	20℃	22℃	24℃
15~16호	<b>6.02m</b>	6.10m	6.18m	6.25m	6.33m	6.41m

○ 신설선로 이도측정은 이장법을 적용하여 가선한 결과에 대하여 추가적으로 측정된 값을 아래 표 2에서 나타내었다.

○ 광파측량기를 이용한 이도측정 결과 (10도 보정, 14℃ 적용)

<표 2> 건설공사현장 가선이도 측정

철탑구간	GW	C1	C2	C3	비고
기준 이도	4.82m	6.02m (Tower+ 계산결과)			GW는 전력선 이도의 80%
측정 결과	5.89m	6.97m	7.45m	6.88m	전력선은 5.84~6.2m이내
차이	1.07m	0.95m	1.43m	0.86m	GW는 4.7~4.96m

### 2.2.2 기설 송전선로 이도측정

기설선로는 건설당시의 가선이도를 정확하게 알 수 없어 기준으로 적용할 수 있는 이도값을 정확하게 정의할 수가 없기 때문에 현재상태의 이도값을 측정하고 가공지선과 전력선간의 이도값을 비교하고 전력선의 상간 이도측정값을 상호 비교하였다.

- 시공품질점검표 상의 이도기준[2008년 KEPCO 제정]
  - 가공지선 이도 : 전력선 이도의 80%이내(최저온도, 무풍, 무빙설)
  - 전력선 이도 : 설계이도의 ±3% 이내, 회선간 이도 : 50cm 이내
- 선로조건: 전압 154kV, 경간 299m, 외기온도: 16°C, 선중 A410mm<sup>2</sup> x 1S



〈그림 6〉 기설송전선로 임의경간의 이도측정

○ 이도 측정결과 (설비운영중인 부하가 걸린 송전선로) : 경간 304m

### 〈표 2〉 기설 송전선로의 이도 측정

철탍구간	GW	C1	C2	C3	비고
측정결과	6.15m	11.02m	7.87m	7.526m	GW는 전력선이도의 80%

신설 및 기설선로에 대하여 광파측량기를 이용한 이도를 측정한 결과 만족할 만한 결과를 얻을 수 없었다. 신설개소의 이도는 KEPCO Tower+ 프로그램을 계산한 값과 차이를 보이고 있었으며, 신설선로의 가선을 완료한 구간에 대하여 이도를 측정한 결과값도 가선중임 구간과 유사하였다. 즉 실제값이 Tower+ 계산값보다 이도가 크다는 공통점을 발견할 수 있었으며 현장에서 적용하고 있는 등장법과 이장법은 오차가 클 수 밖에 없다는 결론을 내릴 수 있었다. 전선의 바텍스 지점에 이도 표시척을 철탍에 부착하여 맞은편 철탍에서 이도를 측정하는 기존의 방식은 철탍의 승탑으로 인한 관측이 부자연스럽고 철탍의 관측높이에 따라 전선의 바텍스 지점이 달라질 수 있어 오차가 더 증가할 수밖에 없다. 또한 다도체의 소도체간 이도측정이 불가능하여 향후 스페이서나 스페이서 맵퍼의 전선클립 부분에서 소선단선의 원인으로 작용한다.

### 2.3 Motorized 광파측량기를 이용한 이도측정 방법

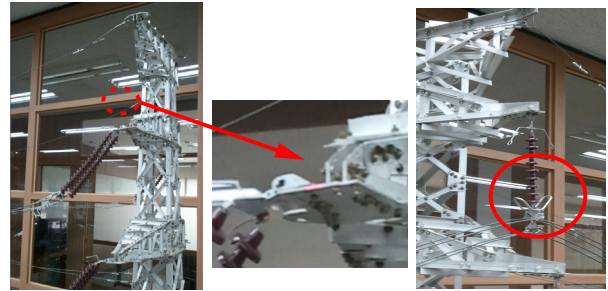
#### 2.3.1 Motorized 광파측량기내 이도측정 프로그램 개발 내장

최근들어 측량장비의 발달로 무타겟 측정거리와 정밀도가 향상된 측량기가 속속 등장하고 있으며, 쏘기야에서 개발된 SRX X시리즈의 장비는 쉬운 조작방법 뿐만 아니라 로보틱 모터가 내장되어 있어 자동위치 추적 기능이 이도측정에 유효하게 활용 할 수 있다. 본 기능은 도로공사건설현장에서 활용하고 있는 자동위치추적기능을 응용하여 이도측정에 적용하게 된 것이다. 송전직 종사자들은 측량기 사용이 숙달되지 않았으며, 현장에서 사용빈도가 낮아보니 짧은 기간에 측량기 사용법을 숙지하더라도 장기간 측량기를 사용하지 않게 되면 이내 기능을 잊어버려 이도측정에 있어 많은 불편을 느끼고 있다. 따라서 전문 측량기사가 아닌 송전직 종사자들이 언제든 쉽게 사용할 수 있도록 측량기 사용법을 단순화하여 현장에서 쉽게 사용할 수 있도록 하는 것이 정확한 이도측정을 위한 첫 번째 목적이다. 전선의 사이도는 경간내의 1/2지점에 존재한다는 것은 이미 오래전 이론으로 정립되어 있다. 측정하고자 하는 임의경간의 양측 측정점을 선택하면 측량기가 자동으로 경간의 1/2지점으로 이동하고 측정자가 전선의 위치까지 측량기를 내려주면 이도가 자동으로 계산될뿐만 아니라 프로그램에 전선 선중(ACSR240,330,410,480mm<sup>2</sup>)을 선택하거나 전선의 단위중량을 입력하게 되면 현재 걸리는 장력까지도 계산할 수 있는 기능을 추가하였다.

#### 2.3.2 광파측량기를 이용한 이도 측정시의 유의사항

송전선로의 내장철탍과 현수철탍인 경우 철탍의 시준하고자 하는 지점에 따라서 이도값은 차이가 날 수 있어 명확하게 시준점을 명시하지

않으면 안된다. 따라서 내장철탍은 암의 중앙부분에 현수철탍은 전선이 지지하는 현수클립 부분으로 기준점을 정할 필요가 있다. 개인적 측정지점에 따른 오차를 최소화 할 필요성이 있는 것이다.

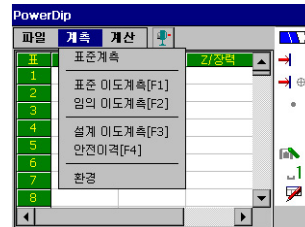


〈그림 9〉 내장철탍

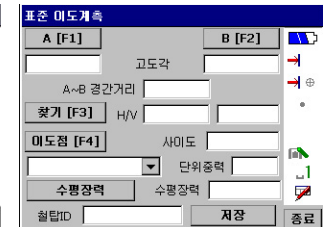
〈그림10〉 현수철탍

### 2.3.3 KEPCO Power DIP+ 프로그램 사용법

- 좌측 상단 전원버튼 On→좌측 프로그램 버튼/On→Power DIP+ 선택/계측선택/Pull Down 메뉴중 이도계측[F2]선택 [그림11]
- 이도측정 : 철탍 A시준(현장에서 통상 좌측의 철탍을 A로 칭함) → F1버튼/ 철탍B시준 F2버튼/ F3누르면 경간의 1/2지점 자동탐지 → F4버튼으로 사이도 측정 및 전선선중 선택시 장력계산[그림12]

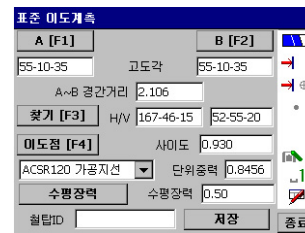


〈그림 11〉 이도계측



〈그림 12〉 이도측정 철탍시준

○ 이도측정결과 값 저장 : 철탍구간 입력 및 저장 [그림13]



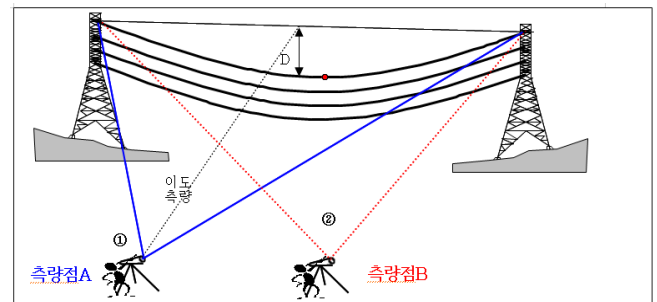
〈그림13〉 양측경간 이도측정결과



〈그림 14〉 SRX 측량기

### 2.3.4 광파측량기를 이용한 이도측정 방법의 문제점

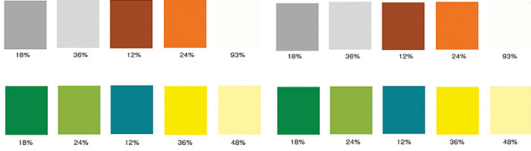
○ 선로진행방향의 90°지점에서의 양측 측량이 불가능한 경우 도로나 산악지역, 강횡단 등 송전선로의 현장여건은 매우 열악하며 특히 장경간등의 장소에서는 무타겟으로 측정할 수 있는 측정거리가 제한되어 있어 정확한 이도측정이 불가능하다. 심한 경우는 양측 경간중 어느 한쪽이 수목이나 건물에 가려서 시준을 할수 없는 경우도 발생하고 있어 이에 대한 해결방안을 도출할 필요가 있다. 우선 양측 지점을 측량이 가능하나 90도 방향이 아닌 한쪽으로 치우친 경우의 측량결과 오차없이 시공품질점검표상의 범위 내에 있으므로 약간의 보정을 통해 측량값을 이도로 활용해도 문제가 없다.



〈그림 15〉 측량점 A,B에서의 이도측정 결과

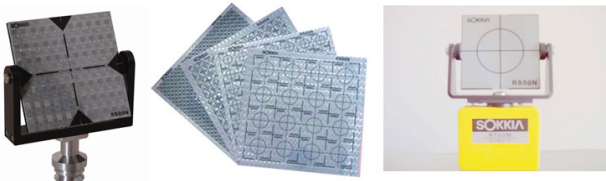
측량점 A에서②의 이도값은1.6m, 측량점B에서①의 이도값은 1.564m로 6cm 차이가 난다. 경간이 더 긴 개소에서 그림 15와 같이 측량할 경우 측정값의 변화는 더 증가될 개연성은 존재한다.

○ 반사율 저하로 인한 광파측량기로 이도측정 불가 지구상에 존재하는 모든 사물은 빛을 반사하고 있으며 색깔에 따라 반사율은 차이가 발생한다. 흰색은 빛의 93%를 반사하여 희게 보이며, 검정색은 빛의 3%를 반사하여 어둡게 보이는 원리이다. 거울의 빛이 반사율이 흰색과 유사하지만 산란되지 않고 반사되며, 대부분의 광파 측량기는 흰색(93%)과 검정색(3%)의 중간인 회색, 즉 18%의 반사율을 가진 반사체를 기준으로 측정가능 거리가 구해진다.



<그림 16> 색에 따른 빛의 반사율

겨울에서 봄으로 이어지는 시기의 일사(日射)가 강한 날은 아지랑이가 많이 피어나는 시기로 이는 지면 등이 고온으로 되면 접촉하고 있는 공기가 따뜻해지면서 상승 운동으로 일어나고 있다. 아지랑이로 인해 광파측량기로 측량할 경우 가까운 거리에서도 반사율 저하로 인해 측정이 불가능한 경우가 발생하고 있다. 첩탐암을 시준하는 경우와 현수예자를 시준하는 경우에 첩탐암보다는 현수예자가 측정이 성공하는 확률이 올라간다. 따라서 기설선로의 이도를 측정할경우나 건설공사의 이도를 측정할 경우 반사율을 높이는 방법을 강구하지 않으면 안 된다. 그 대안으로는 반사시트를 사용하면 무타겟일 때 보다는 측정 확률이 현저히 증가되는 것을 알 수 있다. 특수한 개소에 특별히 정확한 이도를 측정할 필요가 있는 경우는 프리즘을 사용하면 극단적인 반사광량을 얻을 수 있어 측정확률을 높일 수 있다.



<그림 17> 고정식 로타리(좌측), 스티커형,마그네틱(중) 부착 로타리 반사시트(우측)



<그림 18> 360도 전방위 프리즘(좌측), 고정식 프리즘(우측)

○ 현장여건에 따라 양측 경간을 모두 시준하지 못할 경우 가공송전선로의 경과지는 험준한 산악지역을 통과하기도 하고 장경간의 강을 횡단하는 경우도 있으며 도심지역에서는 아파트 부근을 경과하기도 한다. 현장여건에 따라 양측 경간중 어느 한곳만 측량을 할 수 있는 경우가 있어 이럴 경우의 이도측정은 직접법과 간접법을 병행하여 이도를 산출해 내는 방법을 찾아야 한다. 그 첫 번째가 이미 알고 있는 어떤 점에서의 임의점에 대한 이도계산으로 문제를 해결 할 수 있다. 그림19에서와 같이 O점과 P점은 첩탐의 전선 지지점이라고 했을 때 P점과O점을 직선으로 연결하면 두 첩탐간의 사거리가 된다. 전선이 그리 는 포물선의 식은  $y = ax^2 + bx + c$  로 나타낼 수 있으며 원점을 지나 게 되므로 C값은 0이된다. N지점은 경간의 1/2되는 지점으로  $(\frac{S}{2}, \frac{h}{2}-d)$ 로 나타낼수 있으며, P점(s,h)로 정의할 수 있다.

$$y = ax^2 + bx + c \text{ 식①}, \left(\frac{h}{2}-d\right) = a\left(\frac{s}{4}\right)^2 + b\left(\frac{s}{2}\right) \text{ 식②}$$

P점에 대하여  $h = a s^2 + b s$  식③

②식과 ③식을 연립해서 풀게 되면 곡선

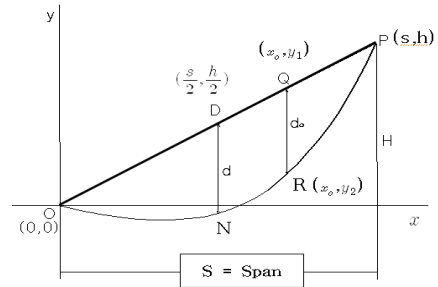
$$y = \frac{4d}{s^2}x^2 + \frac{h-4d}{s}x \text{ 식④} \text{ 으로 나타낼 수 있다.}$$

여기서 임의의 점  $d_0 = \text{점 QR} = y_1 - y_2$

$$= \frac{h}{s}x_0 - \left(\frac{4d}{s^2}x_0^2 + \frac{h-4d}{s}x_0\right) \text{ 식⑤}$$

임의의 점  $d_0 = -\frac{4d}{s^2}x_0^2 + \frac{4d}{s}x_0$  식⑥로 결론 지을수 있다. 따라서

그동안 광파측량기로 이도를 측정하는 방법이 불가능할 경우에 임의의 점 이도를 계산하기 위해 유도한 식을 역으로 활용하여 임의의 점 이도를 측정하여 우리는 사이도 값을 산출 해 낼수 있는 방법을 찾게 된 것이다. 즉 현장에서 우측에 있는 P점과  $d_0$ 지점만을 측량할 수밖에 없는 여건이라면 d점의 사이도를 간접방식으로 산출이 가능한 것이다.



<그림 19> 어떤 경간의 임의점에서의 이도

두 번째 방식은 GPS와 광파측량기를 조합하여 GPS좌표를 취득하여 이도를 계산하는 방식이다. 그림19에서와 같이 P점,O점(원점) 좌표 해당하는 점의 GPS좌표를 취득한 후N점에 해당하는 상대좌표를 계산한다. O점과 P점의 GPS좌표를 알면 경간의 1/2지점에 해당하는 x,y좌표를 산출하여 N점이 위치한 지점에서 GPS좌표를 취득하는 방식이다. 정확도가 매우 떨어질 수 있는 요인을 내포하고 있다.

### 3. 결 론

가공송전선로의 첩탐은 건설시 시공하게 되는 이도가 특별한 변동이 없는 경우 설비가 철거되기까지 해당 경간의 장력과 이도에 대하여 관심을 갖지 않게 된다. 송전선로가 초창기 건설될 당시는 우리나라 뿐만 아니라 선진국에서조차 정확한 이도를 측정할 수 있는 기술이 없어서 앞에서 언급했던 것과 같이 다양한 방법이 시도 되었으며, 정확도를 높이기 위해 오차 보정 등의 작업을 통해 이도를 적용해 왔다. 실제 광파측량기로 운영 중인 송전선로의 임의개소에서 이도를 측정한 결과 건설 당시의 이도가 정확하지 않은 많은 사례를 발견할 수 있었으며, 건설후 설비를 인수 받아 운영하는 부처에서 국지돌출으로 발생하는 상간단락이나 회선간 단락고장은 그 1차적인 원인이 이도불량으로 결론 지을 수 있다.

겨울철에 집중적으로 발생하고 송전선로의 고장 대부분은 단순 갠립 팽으로 판단하고 상간 스페이서나 기타 예방대책을 세우기 보다는 현재의 이도가 적정한지를 먼저 확인하고 이도조정을 통해서 불필요한 예산을 막을 필요가 있다고 생각이 된다.

광파기내에 프로그램을 내장하여 현장에서 특별한 측량기 취급기술이 없더라도 전선의 이도와 첩탐의 높이, 경간등을 쉽게 측량할 수 있도록 사용방법을 간단하게 만들었고 현장에서 측량기를 활용하여 다양하게 기술적 검토를 할수 있는 토대를 마련했다는데서 큰 의의를 찾을수 있습니다. 그동안 장경간이나 수목등의 장애물로 인한 측량 불가개소에 대해서도 이도를 계산할 수 있는 측량방법을 찾아내어 적용할 수 있게 되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 송전기술설계 I, 2010, 한국전력공사 KEPCO Academy
- [2] 송전기술계산시스템 사용자 지침서, 한국전력공사 2003
- [3] 송전선로의 가선설계, 일본 송전선건설기술 연구회 북해도지부1985
- [4] 전선이도 직접측량방법, 특허등록번호 10-0694444,2007, 최규택