

한전 765 kV 송전선로 애자장치 강도계열 및 지지방식에 관한 검토

한 열, 박 광희, 윤 상훈*, 서 철수

한국전력공사 송변전건설처 송전전압각상추진반

A study on the mechanical strength system and supporting method of insulator strings
for KEPCO 765kV transmission lines.

Yup. Han, K.H. Park, S.H. Yoon*, C.S. Seo
UHV Project office, T/S Construction Dept., KEPCO

Abstract

After determining the type and string condition of conductor of 765kV transmission lines, we studied the mechanical strength system of insulator strings to support conductors and insulate conductors from towers. In this paper, for the insulator strings which will be used in 765kV transmission lines, we're going to optimally determine the mechanical strength system and supporting method in the consideration of the reliability, economics and the survey data of T/L routes, and also suggest the calculation method to stipulate for the application limits of suspension and strain insulator strings according to the loadspan and height difference of tower.

1. 서 론

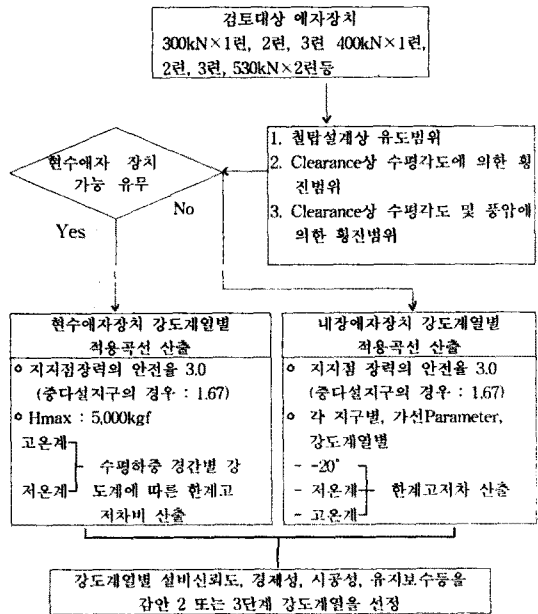
일반적으로 송전선로 애자장치의 강도계열은 전선의 선종과 최대사용장력, 가선 Parameter등의 가선설계에 따라 경제성과 시공 및 유지보수의 편의성을 감안하여 현수, 내장장치별 강도계열을 선정하게 된다.

또한 지지방식을 현수장치로 하기 위해서는 첩탑설계상의 기계적 강도 및 절연설계에 의한 첩탑의 Clearance Diagram 과 횡진범위별 절연이격거리를 만족할 수 있도록 설계하여야 한다.

따라서 본 논문에서는 765kV 송전선로에 사용예정인 애자장치에 대해 경과지의 실측량 Data를 감안하고 설비의 신뢰도, 경제성, 시공성을 감안한 합리적인 애자장치별 강도계열의 결정과 하중경간 및 고저차에 의한 현수, 내장장치의 적용한계를 규정할 수 있는 방안을 검토함.

2. 검토 방법

우선 강도계열별 검토대상 애자장치를 선정하여 첩탑 설계상의 기계적 강도범위(첩탑유도범위)와 clearance상 횡진범위인 전기적 절연거리를 검토하여 현수 가능 여부를 판단한 후 전선 가선 설계상의 하중과 안전율을 감안하여 현수 및 내장장치의 강도계열별 적용곡선을 산출한 후, 각각의 결과와 실측량Data를 적용하여 설비의 신뢰도, 경제성, 시공성, 유지보수등을 감안하고, 2~3단계의 강도계열을 선정하였으며 그 개략적인 흐름도는 아래와 같다.



가. 애자장치별 강도계열 설계

(1) 현수애자장치의 강도검토

① 현수애자장치의 강도 계산식

현수애자선에 걸리는 최대하중(G)는 $G = \sqrt{V^2 + H^2}$

$$\text{수직하중 (V)} = WS_m + T \left(\frac{h_1}{s_1} + \frac{h_2}{s_2} \right) + \frac{1}{n}$$

$$\text{수평하중 (H)} = W_m \cdot S_m \cdot \cos^2 \theta + 2T \sin \frac{\theta}{2} + \frac{1}{n}$$

따라서, 애자선 대응강도는

$$GN \frac{h}{n} \geq \sqrt{\left(WS_m + T \left(\frac{h_1}{s_1} + \frac{h_2}{s_2} \right) + \frac{1}{n} \right)^2 + \left(W_m \cdot S_m \cdot \cos^2 \frac{\theta}{2} + 2T \sin \frac{\theta}{2} + \frac{1}{n} \right)^2}$$

이를 허용 고저차에 관한 식으로 바꾸면,

$$r \frac{h}{s} \leq \frac{1}{n} \sqrt{\left(GN \frac{h}{n} \right)^2 - \left(W_m \cdot S_m \cdot \cos^2 \left(\frac{\theta}{2} \right) + 2T \cdot \sin \left(\frac{\theta}{2} \right) + \frac{1}{n} \right)^2 - (W_c + W_s) \cdot s_m - \frac{1}{n}}$$

② 현수애자선 강도적용곡선 선정조건

구분	II 지역			III 지역			다설지역			중다설지역		
선종	ACSR480b cardinal			과동			과동			과동		
G:애자강도	300 kN	400 kN	400 kN	과동			과동			과동		
N:애자편수	2	2	3	과동			과동			과동		
d'	0.333			과동			과동			과동 (40mm 적설시 0.6)		
n:도제수	6			과동			과동			과동		
Ww:	3.31578			2.52486			3.31578			3.31578		
(고온계용압)	1.85648			1.86648			2.4647			2.4647(3.8547)		
(저온계용압)												
lw:애자용압												
(고온계)	755	840	1260	488	542	813	639	710	1065	639	710	1065
(저온계)	291	323	485	246	273	410	194	216	324	194	216	324
(Wc+Wd):동가전선중량												
(고온계)	(1.829+0.1)829kg/m			1.829kg/m			1.829kg/m			1.829kg/m		
(저온계)	1.829+0.61785			2.44685kg/m			1.829+1.901			1.829+1.901+3.78		
	2.44685kg/m						3.73kg/m			(1.829+5.31+7.139)		
E:애자전선중량	2000	2000	3000	과동			과동			과동		
T:최대사용장력	5000			5000			5000			4600(7850)		

주1) 중다설지역의 강도검토는 다설지역의 조건(안전율 3.0)과 중다설지역의 조건(40mm 적설시의 안전율 1.67)을 비교하여 약조건으로 검토함.

주2) () 내는 40mm 중다설지역 검토조건 적용임.

(2) 내장애자리의 강도검토

① 내장 애자리 강도 계산식

내장애자리에 걸리는 지지점장력은 전선의 지지점장력과 동일하다.

$$T_B = T + wdH$$

단, 고지지점의 이도 $dH = d(1 + \frac{h}{4d})^2$ 으로 된다.

윗식은 풍압이 없는 경우의 일반식이나, 풍압을 고려하여 최악상태를 감안하면

$$T_B = T + wq \cdot dH' \text{로 지지점장력이 표시된다.}$$

dH'는 최악상태의 사이도 d'에 의해 계산된 최악상태의 고지지점의 이도이다. 이를 정리하면,

$$\begin{aligned} \circ \text{ 고지지점 측} \quad T &= T_b - wq \cdot dH' & \circ \text{ 저지지점 측} \quad T &= T_b - wq \cdot dL' \\ d' &= \frac{wq}{8T} \cdot S'^2 & dL' &= d' \left(1 - \frac{h'}{4d'} \right)^2 \end{aligned}$$

$$dH' = d' \left(1 + \frac{h'}{4d'} \right)^2$$

T_b: 허용지지점장력

$$S' = \sqrt{S^2 + h^2} \cdot \sin^2 j$$

$$h' = h \cdot \cos j$$

d': 경사면내의 사이도

h': 경사면내 고저차

h: 실제의 고저차

S: 경간장

(3) 내장애자리 강도적용곡선 산정조건

구분	II 지역		III 지역		다설지역		중다설지역	
애자장치도	(400kN×3번) 1200kN		과동		과동		과동	
Tb	6,800kg		과동		과동		과동	
(SF)	(3)		(3)		(3)		(40mm 적설시: 12.244 sf: 1/0.6)	
q	고온계	저온계	고온계	저온계	저온계	저온계	고온계	저온계
j(°)	2.07	1.68	1.70	1.68	2.07	2.44	2.07	4.44
	61.1	37.3	54.1	37.3	61.1	33.4	61.1	28.4

※ T: 각 지역별 조건별(고, 저온계), 가선 Parameter에 의한 장력을 적용.

(4) 현수, 내장애자장치 검토시 전선 하중조건 전선 가선조건 검토시 적용한 하중을 적용

지역별	기준속도압(kg/m ²)		Tmax(kg/조)		피빙설	
	고온계	저온계			두께(mm)	비중
II 지역	100	38	5,000		6.0	0.9
III 지역	76	38	5,000		6.0	0.9
다설지역	100	30	5,000		30	0.6
중다설지역	100	30	4,600		40	0.6

(5) 잠파지리 V면

중과도 첩탐으로 일반 Arm으로는 Clearance가 부족한 개소(보조암 설치개소)의 잠파선 지지는 V면으로 하고, 애자에 걸리는 하중은 경미하나, 애자리의 신뢰도를 고려하여 210kN×2면으로 함.

나. 현수에자리의 적용 검토

(1) 수평각에 의한 상시횡진

수평각이 미소한 경우(약 3° 이내)에 현수첩탐을 사용하기 위하여는 이 수평각에 의한 상시횡진에 대해서 표준절연거리(耐雷Surge)를 유지할수 있도록 첩탐의 Clearance가 확보되어야 한다.

① 적용수식

$$\begin{aligned} \text{허용횡진각}(\beta_s) &= \frac{\text{수평하중}}{\text{수직하중}} = \frac{2T_0 \cdot \sin \frac{\theta}{2}}{WS_m + T_0 \left(\frac{h_1}{S_1} + \frac{h_2}{S_2} \right) + \frac{I}{2n}} \\ \frac{h_1}{S_1} \cdot \frac{h_2}{S_2} = \sum \frac{h}{s} &= \frac{2T_0 \sin \frac{\theta}{2} - Wc \cdot S_m \cdot \tan \beta_s - \frac{I}{2n} \cdot \tan \beta_s}{T_0 \cdot \tan \beta_s} \end{aligned}$$

② 수평각에 의한 현수애자 횡진 적용곡선 산정조건

구분	II 지역			III 지역		다설지역		중다설지역	
선종	ACSR480b cardinal			과동		과동		과동	
G:애자강도	300kN	400kN	400kN	과동		과동		과동	
계열별	×2	2	3	과동		과동		과동	
n:도제수	6			과동		과동		과동	
Wc:전선중량	1.829kg/m			과동		과동		과동	
Ta:전선장력(註)	2,460			3,010		2,040		1,860	
E:애자전선중량	2,000	2,000	3,000	과동		과동		과동	
βs:허용횡진각	15°			과동		과동		과동	

(註) 10℃ 무풍무설시 S=500m 장력

③ 표준절연거리유지 상시횡진 적용 허용각도례

구분	한전광명 설계기준	345, 154kV 표준화첩탐	동경전력1000kV	765kV 적용
허용각도	20°	20°	10°	15°

(2) 풍압에 의한 현수애자리 횡진

① 최소절연간격 : 개폐Surge에 견디는 절연간격으로 20° 횡진시 풍속 13.8m/sec時的 풍압 및 10℃, 500m경간의 지역별 전선장력으로 적용곡선 작성.

② 이상시절연간격 : 상용주파과전압에 견디는 절연간격으로 지지물과 전선의 강도는 최악의 조건을 상정하여 충분히 반영토록 하여야 하나, 전기적 Clearance까지 최대풍속을 고려할 경우 내장첩탐이 많아지거나 현수첩탐을 높여야 하므로 비경제적이며, 실제 상정최대풍속時 이상전압이 동시에 발생할 확률이 매우 적은것을 감안하면 횡진시의 풍압은 합리적으로 저감하여 적용하는 것이 바람직함.

전선의 돌풍에 대한 응답특성을 고려, 현수애자리는 평균 회시선이 짧은 돌풍에는 응답하지 않기 때문에 한전 가공송전용 첩탐설계기준의 10분간 평균풍속을 적용하여 III 지역 60kg/m²(31.7m/sec), II 지역 및 다설지역은 80kg/m²(풍속 36.6m/sec)로 하고, 이러한 풍속을 적용할 시의 전선장력으로 현수애자리 적용곡선 작성.

③ 적용수식

$$\tan \beta_s = \frac{\text{수평하중}}{\text{수직하중}} = \frac{W' \cdot S_m \cdot \cos^2 \frac{\theta}{2} + 2T' \cdot \sin \frac{\theta}{2} + \frac{I_w}{2n}}{W S_m + T' \left(\frac{h_1}{S_1} + \frac{h_2}{S_2} \right) + \frac{J}{2n}}$$

$$r \frac{h}{s} = \frac{W' \cdot S_m \cos^2 \frac{\theta}{2} + 2T' \sin \frac{\theta}{2} + \frac{I_w}{2n}}{T' \tan \beta_s} - \frac{W S_m \tan \beta_s - \frac{J}{2n} \cdot \tan \beta_s}{T' \tan \beta_s}$$

④ 풍압에 의한 현수애자 횡진적용곡선 산정조건

구분	II지역	III지역	다설지역	중다설지역
선종	ACSR480a cardinal	과 풍	과 풍	과 풍
애자장치장도별 (KN)	300 400 400 ×2 ×2 ×3	과 풍	과 풍	과 풍
Wc:전선중량	1.829	과 풍	과 풍	과 풍
W'w:전선 풍속:13.8m/sec	0.347kg/m	과 풍	과 풍	과 풍
풍압하중 풍속:10분간최대	2.434kg/m	1.825kg/m	2.434kg/m	2.434kg/m
T':전선장력	평균 (36.6m/sec) 2500	3050	2070	1890
I:애자현 중량(Ton)	2 2 3	과 풍	과 풍	과 풍
Iw:애자현 풍속:13.8m/sec	51.8 50.5 79.3	과 풍	과 풍	과 풍
풍압하중 풍속:10분간최대	755 840 1200	488 542 813	639 710 1065	639 710 1065
β:하중 횡진각	풍속:13.8m/sec 20°	과 풍	과 풍	과 풍
횡진각	풍속:10분간최대 평균 60°	과 풍	과 풍	과 풍

T' : 각 지역별 10℃ 500m 기준장력

⑤ 최소절연간격유지 횡진적용 풍압조건례

구분	한전설계기준	345,154kV 표준화철탑	동경전력 1000kV	765kV 적용
허용각도	40°	40°	20°	20°
풍압조건	20m/sec (24kg/m²)	지역별풍압의1/4 II 지역:109/4=27.25 III 지역:83/4=22.25	15m/sec (14kg/m²)	13.8m/sec (11.4kg/m²)

⑥ 이상시절연간격유지 횡진적용 풍압조건례

구분	한전설계기준	345,154kV 표준화철탑	동경전력 1000kV	765kV 적용(한)
허용각도	70°	규제항목 없음	60°	60°
풍압조건	54kg/m²(30m/sec) II 지역이상 및 장경간은 별도검토	-	90kg/m² (40m/sec)	III 지역:60kg/m² (31.7m/sec) II, 다설, 중다설: 80kg/m² (36.6m/sec)

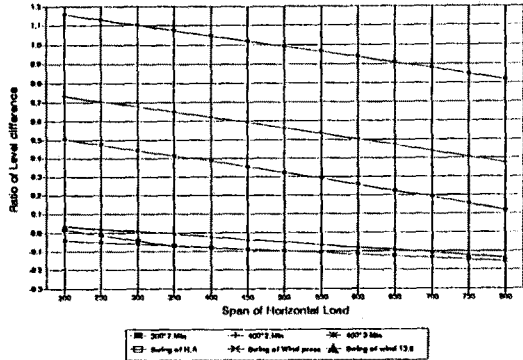
3. 결론

- 가. 765kV 송전선로 적용 애자장치의 강도계열
 현수애자장치 : 300kN × 2련, 400kN × 2련
 Jumper지지v련 : 210kN × 2련
 내장애자장치 : 400kN × 3련
- 나. 현수애자장치 적용범위
 다음의 3개 횡진 조건으로 풍압지구별, 수평각도별 결정도표를 작성하여 허용횡진범위 이내의 개소에는 현수적용, 이상의 개소에는 내장애자장치 적용
- ※ 현수조건
- 1) 수평각에 의한 상시횡진
 - 허용 횡진 각 : 15° (표준절연간격 유지)
 - 전선 장력 : 10℃ 무풍무설시 지역별 500m 기준장력
 - 2) 최소절연간격을 유지하기 위한 풍압횡진
 - 허용 횡진 각 : 20°
 - 풍압 적용 : 11.4kg/m² (풍속 : 13.8m/sec)
 - 전선 장력 : 11.4kg/m² 풍압시 지역별 10℃ 500m 기준장력
 - 3) 강풍시 횡진
 - 허용 횡진 각 : 60° (이상시 절연간격 유지)

- 풍압 적용 : 지역별 10분간 최대평균 풍속 시의 풍압
(III지역 : 60kg/m², II, 다설, 중다설지역 : 80kg/m²)
- 전선 장력 : 지역별 상기 풍압적용시 10℃ 500m 기준장력

현수애자현의 강도개별별 적용곡선 예

(풍압구분 III지역의 수평각도 3° 인 경우)



[참고문헌]

- [1] 韓電 送變電分野 設計基準
- [2] 架空送電線の地度(日本 竹下英世著)
- [3] 1000kV 新潟郡馬幹線 設計要項書(日本 東京電力)
- [4] 765kV 送電線路 絶縁設計指針 및 解説書
(韓電 送變電建設處 格上推進班)
- [5] 架空送電線路の絶縁設計要綱
(日本 電氣學會 技術報告 II部220號)
- [6] 500kV 送電設計の手引き(日本 東京電力)