

가공배전선의 임계경간에 관한 연구

왕윤찬*, 조시형*, 박중신**
*한전 중앙교육원, **동해대학교

A Study on the Critical Spans in the Overhead Distribution Lines

Yoon-Chan Wong*, Si-Hyung Cho*, Jung-Shin Park**
KEPCO Central Education Institute*, Dong-Hae University**

Abstract - 본 연구의 목적은 가공배전선로의 이도 및 장력 검토업무를 단순화하고 업무효율을 향상하는데 있다. 따라서 EDS(Every Day Stress)하중조건과 고·저온계 하중조건간의 임계경간을 계산할 수 없는 기존 임계경간식의 한계점을 해결하기 위하여 다 조건간의 임계경간식을 개발하였으며, 이를 가장 많이 사용하는 알루미늄복강심 알루미늄 절연전선(ACSR/AW-OC)에 적용하는 방법을 보여주고 최종적으로 지역별 임계경간 및 적용하중조건 표를 완성하여 설계시 활용할 수 있도록 하였다.

1. 서 론

가공선로의 전선이도 및 장력은 전선, 지지물 및 지선의 안전율과 지지물의 길이, 선간간격 등에 직접적인 관련이 있다. 따라서 태풍 및 다설시 가공배전선로의 피해 방지 및 전기고장 예방을 위하여 기계적 설계부분에서 전선이도 및 장력이 가장 먼저 고려되어야 할 사항이다.

전선의 이도 및 장력은 고온계, 저온계, EDS하중조건과 최고온도시의 지상고 등을 일반적으로 검토하여 결정한다. 검토 시에는 각 전선 종류 및 규격별로 고온계 및 저온계 하중을 모두 고려하지는 않고 임계경간식을 이용하여 임계경간보다 긴 경간에서는 고온계 하중조건을, 짧은 경간에서는 저온계 하중조건을 검토하고 있다. 하지만 고, 저온계 하중조건과 EDS 하중조건과의 임계경간식이 없어 별도로 매년 검토하고 있다. 따라서 본 논문에서는 고, 저온계 하중조건과 EDS 하중조건과의 임계경간식을 개발하고, 가장 많이 사용하는 전선에 대하여 지역별 임계경간 및 적용하중조건 표를 유도하는 과정을 일례로 보여주어 타 전선에 활용할 수 있도록 하여 전선이도 및 장력 검토업무를 단순화하고 업무효율향상을 도모하고자 한다.

2. 기존 이론

2.1 전선이도 기본조건

가공배전선의 이도는 설치지역의 고온계 및 저온계 최악조건에서 전선의 최대사용장력이 전선의 안전율 초과하지 않도록 시설하여야 한다.

따라서 이도 검토시 전선의 최대사용장력은 각 전선의 인장하중에 전선의 안전율을 나눈 값을 적용하고 있으며, 전선의 안전율은 전기설비기술기준 제82조, 제123조에 의거 경동선 또는 내열 동합금선은 2.2이상, 그 밖의 전선은 2.5이상을 적용하고 있다.

2.2 전선이도 설계시 하중조건

전선의 설계시에는 해당 경간의 고온계하중과 저온계하중을 검토하여 그 중 큰 것을 적용하며, 이 값을 적용한 것이 EDS하중보다 큰 경우에는 EDS하중을 적용하여야 한다.

2.2.1 고온계 하중조건

고온계 하중조건은 하계(4월~11월)에서 전선에 작용

하는 최대하중으로 태풍을 고려한 강풍시 조건을 말한다. 고온계 하중은 그 지방의 평균온도에서 전선의 중량과 그 전선의 수직 투영면적 1m²당의 수평풍압과의 합성하중을 뜻한다. 수평풍압은 과거에는 전기설비기술기준에 의거 모든 지역에 76kg/m²를 적용하였으나, 최근 태풍의 풍속 증가로 인한 설비피해를 최소화하기 위하여 해안지역은 100kg/m², 강화지역은 125kg/m²으로 기준을 강화하여 적용하고 있다.

2.2.2 저온계 하중조건

저온계 하중조건은 동계(12월~3월)에 전선에 작용하는 최대하중으로 그 지방의 최저온도에서 빙설과 풍압을 고려한 하중조건을 말하며, 다음의 3가지 조건으로 구분하여 합성하중을 적용한다.

빙설이 많은 지방 이외의 지방에서는 전선의 중량과 그 전선의 수직 투영면적 1m²당 38kg의 수평풍압과의 합성하중을 적용한다.

빙설이 많은 지방에서는 전선의 주위에 두께 6mm, 비중 0.9의 빙설이 부착한 때의 전선 및 빙설의 중량과 그 피빙전선의 수직 투영면적 1m²당 38kg의 수평풍압과의 합성하중을 적용한다.

그리고 빙설이 많은 지방 중 해안지방, 기타 저온계절에 최대풍압이 생기는 지방에서는 전선의 중량과 그 전선의 수직 투영면적 1m²당 76kg의 수평풍압과의 합성하중 또는 전선의 주위에 두께 6mm, 비중 0.9의 빙설이 부착한 때의 전선 및 빙설의 중량과 그 피빙전선의 수직 투영면적 1m²당 38kg의 수평풍압과의 합성하중 중 어느 것이나 큰 것을 적용하여야 한다.

2.2.3 EDS 하중조건

EDS 하중조건은 전선의 수명에 관련되는 하중조건으로 상시 진동으로 인한 전선피로현상을 억제하기 위하여 적용한다. 배전규정에서는 평균온도 10℃ 무풍시의 전선의 장력을 경동선의 경우는 인장하중의 25%정도이하, 알루미늄전선의 경우에는 인장하중의 15%정도이하가 바람직하다고 하고 있다.

2.3 합성하중 계산식

2.3.1 빙설이 없는 경우

빙설이 없는 경우의 합성하중 W_s kg/m 계산식은 다음과 같다.

$$W_s = \sqrt{w^2 + w_{ps}^2} \tag{2.1}$$

$$w_{ps} = w_p \times \frac{d}{1000} \tag{2.2}$$

여기서 w : 전선 1m당 중량 [kg/m]
 w_{ps} : 빙설이 없는 전선 1m당 수평풍압하중 [kg/m]
 w_p : 전선 1m²당 수평풍압 [kg/m²]
 d : 전선의 외경 mm

2.3.2 빙설이 있는 경우

빙설이 있고 전선 1m²당 수평풍압이 38kg/m²인 경우의 합성하중 W_w kg/m 계산식은 아래와 같다.

$$W_w = \sqrt{(w + w_i)^2 + w_{pw}^2} \quad (2.3)$$

$$w_i = \left\{ \frac{\pi(d + 2 \times 6)^2}{4} - \frac{\pi d^2}{4} \right\} \times \frac{0.9}{1000} \\ = 0.017d + 0.102 \quad (2.4)$$

$$w_{pw} = 38 \times \frac{d + 2 \times 6}{1000} = 0.038d + 0.456 \quad (2.5)$$

여기서 w_i : 전선 1m당 빙설의 중량 [kg/m]
 w_{pw} : 빙설이 있는 전선 1m당 수평풍압하중 [kg/m]

2.4 고·저온계 임계경간 계산식

2.4.1 임계경간 계산식

단경간의 경우에는 수평면적이 작아 수평풍압에 의한 영향보다는 온도변화에 따른 전선실장의 변화가 전선장력에 미치는 영향이 크고, 장경간의 경우에는 온도변화에 의한 전선실장의 변화보다 수평풍압이 전선장력에 미치는 영향이 크다.

따라서 어떤 경간을 경계선으로 하여 이보다 적은 경간에서는 저온계, 큰 경간에서는 고온계 하중 쪽이 최악 조건이 되는 경간이 존재하게 되며, 이 경간을 임계경간(Sc)이라고 하며, 계산식은 아래와 같다.

$$S_c = \frac{f_1}{\sigma} \cdot \sqrt{\frac{24\alpha(T_m - T_c)}{q_1^2 - q_1'^2}} \quad (2.6)$$

여기서 f_1 : 단위면적당 장력 [kg/mm]
 σ : 단위길이 단위면적당 중량 [kg/m · mm]
 α : 선팽창계수 [1/°C]
 T_m, T_c : 고온계, 저온계 온도 [°C]
 q_1, q_1' : 고온계, 저온계 부하계수
 (= 합성하중/전선중량)

상기의 식에서 임계경간은 고온계 부하계수가 저온계 부하계수보다 클 경우에만 존재하고 저온계 부하계수가 고온계 부하계수보다 크거나 같을 경우에는 존재하지 않는다.

2.4.2 기존식의 한계점

기존의 임계경간 계산식을 이용하여 전선 종류별 규격별로 임계경간을 계산하여 표로 만들면 전선이라도 검토시 임의의 경간에 대하여 고온계, 저온계 하중조건 중 어느 것을 적용할 것인지를 쉽게 판단할 수 있어 계산시간을 단축하고 업무의 효율성을 기할 수 있다.

하지만 (2.6)식은 다른 온도에서 전선의 장력이 동일한 경간을 구하는 식이므로 평균온도를 동일하게 적용하는 고온계 하중조건과 EDS하중조건 간의 임계경간을 구할 수 없다. 따라서 전선이라도 검토시 매 경간에 대하여 고·저온계 하중 중 최악조건과 EDS하중을 비교하여야 하는 불편이 있다.

3. 다조건간 임계경간 계산식 개발 및 적용

3.1 다조건간 임계경간 계산식 개발

상기의 불편을 해소하고자 어떠한 조건 간에도 임계경간을 구할 수 있는 계산식을 다음과 같이 개발하였다.

우선 각기 다른 2가지 하중조건의 이도를 각각 D_1, D_2 의 계산식은 아래와 같다.

$$D_1 = \frac{W_1 S^2}{8T_1} \quad \text{과} \quad D_2 = \frac{W_2 S^2}{8T_2} \quad (3.1)$$

여기서 W_1, W_2 : 조건 1, 2의 합성하중
 T_1, T_2 : 조건 1, 2의 전선장력
 S : 조건 1, 2간의 임계경간
 이 때 전선의 실장 L_1 과 L_2 는 아래 식과 같다.

$$L_1 = S + \frac{8D_1^2}{3S} \quad \text{과} \quad L_2 = S + \frac{8D_2^2}{3S} \quad (3.2)$$

선팽창계수 α , 탄성계수 E kg/mm², 단면적이 A mm²인

전선의 실장 L_1 은 온도가 t_1 에서 t_2 로, 전선장력이 T_1 에서 T_2 로 변할 때 L_2 로 변하며, 이는 다음 식과 같이 표현될 수 있다.

$$L_2 = L_1 + \alpha(t_2 - t_1)L_1 + \frac{T_2 - T_1}{EA}L_1 \quad (3.3)$$

위 식에서 온도와 장력의 변화에 따른 전선실장의 변화를 계산하는 부분의 L_1 을 임계경간 S 로 치환하여도 예러는 크히 미미하므로 이를 치환하면 다음과 같이 된다.

$$L_2 = L_1 + \alpha(t_2 - t_1)S + \frac{T_2 - T_1}{EA}S \quad (3.4)$$

위 식의 L_1 과 L_2 를 (3.2)식으로 대체하면 다음과 식과 같이 변한다.

$$\frac{8D_2^2}{3S} = \frac{8D_1^2}{3S} + \alpha(t_2 - t_1)S + \frac{T_2 - T_1}{EA}S \quad (3.5)$$

위 식에서 D_1 과 D_2 를 (3.1)식으로 대체하고, 양변을 S 로 나누다음 식을 S 에 대하여 정리하면 다음과 같이 된다.

$$0 = \frac{1}{24} \left(\frac{W_2^2}{T_2^2} - \frac{W_1^2}{T_1^2} \right) S^2 - \left(\alpha(t_2 - t_1) + \frac{T_2 - T_1}{EA} \right) S \quad (3.6)$$

$$\text{여기서 } P = \frac{1}{24} \left(\frac{W_2^2}{T_2^2} - \frac{W_1^2}{T_1^2} \right) \quad (3.7)$$

$$Q = \alpha(t_2 - t_1) + \frac{T_2 - T_1}{EA} \quad (3.8)$$

라고 놓으면 어떠한 합성하중, 온도, 전선장력에 대하여도 임계경간 S 를 구할 수 있는 아래의 식으로 간단히 표현될 수 있다.

$$S = \sqrt{\frac{P}{Q}} \quad (3.9)$$

3.2 개발식의 ACSR/AW-OC전선 적용 예

본 절에서는 (3.10)식을 이용하여 가장 많이 사용되는 특고압 ACSR /AW-OC전선에 대하여 각 지역별 임계경간 및 적용하중조건 표를 유도는 과정을 일례로 보여주고자 한다.

3.2.1 하중조건

앞에서 서술한 전선이라도 설계시 하중조건에서 수평풍압, 적용온도, 빙설조건을 표로 정리하면 [표3.1]와 같다.

[표3.1] 하중조건

하중조건 구분	고온계 하중조건			저온계 하중조건			EDS
	SA	SB	SC	WA	WB	WC	
수평풍압 w_b [kg/m ²]	125	100	76	76	38	38	-
온도 t [°C]	10	10	10	-20	-20	-20	10
빙설두께 [mm]	-	-	-	-	6	-	-
빙설비중	-	-	-	-	0.9	-	-

3.2.2 ACSR/AW-OC 전선 제원

특고압 ACSR/AW-OC 전선의 규격별 제원사항은 [표3.2]과 같다.

[표3.2] 특고압 ACSR/AW-OC 전선 제원

전선규격	mm	32	58	95	160	240
도체	AL	32	58	95	160	240
	ST	5.3	9.6	9.6	8.0	12.6
계산 단면적	계	37.3	67.6	104.6	168.0	252.6
	도체외경	mm	7.2	9.7	12.0	15.4
절연두께	mm	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0
완성품 외경 d	mm	13.2	15.7	19.0	23.4	27.0
개산중량	kg/km	210	330	530	730	1040
탄성계수	kg/mm ²	8392	8391	7652	7003	7031
선팽창계수 $\alpha \times 10^{-7}$	1/°C	189	189	201	213	213
도체인장하중	kg	1090	1900	2360	3080	4500
최대상정장력	kg	436	760	944	1232	1800
EDS 장력	kg	163.5	285.0	354.0	462.0	675.0

3.2.3 하중조건별 합성하중

Excel에 상기 서술한 식과 조건 및 제원사항을 입력하여 하중조건별 합성하중을 계산한 결과는 [표3.3]과 같다.

[표3.3] 하중조건별 합성하중

전선규격	mm	32	58	95	160	240	
단위중량 w	kg/m	0.21	0.33	0.53	0.73	1.04	
방설중량 w _i	kg/m	0.33	0.37	0.43	0.50	0.56	
수평 종압 하중	SA, WA	kg/m	1.003	1.193	1.444	1.778	2.052
	SB	kg/m	1.320	1.570	1.900	2.340	2.700
	SC	kg/m	1.650	1.963	2.375	2.925	3.375
	WB	kg/m	0.958	1.053	1.178	1.345	1.482
	WC	kg/m	0.502	0.597	0.722	0.889	1.026
합성 하중	SA, WA	kg/m	1.025	1.238	1.538	1.922	2.301
	SB	kg/m	1.337	1.604	1.973	2.451	2.893
	SC	kg/m	1.663	1.991	2.433	3.015	3.532
	WB	kg/m	1.098	1.264	1.516	1.823	2.182
	WC	kg/m	0.544	0.682	0.896	1.150	1.461

3.2.4 하중조건간 임계경간

고·저온계 하중조건들간의 임계경간과 고·저온계 하중조건들과 EDS하중조건간의 임계경간을 새로 개발한 식을 이용하여 계산한 결과는 [표3.4]와 같다. 임계경간 계산시 주의할 사항은 EDS 하중조건들의 합성하중은 [표3.3]의 전선 단위중량을 적용하여야 하며, 장력은 고·저온계 하중조건들의 경우는 [표3.2]의 최대상정장력을, EDS 하중조건들의 경우는 EDS장력을 적용하여야 한다.

[표3.4] 하중조건간 임계경간

전선규격	mm	32	58	95	160	240	
SA	WA	m	38.8	56.9	60.2	65.7	83.2
	WB	m	40.7	57.6	59.7	63.5	80.3
	WC	m	32.4	47.4	50.2	54.7	69.3
SB	WA	m	59.2	86.9	91.9	100.3	127.1
	WB	m	66.7	89.8	89.9	93.1	117.3
	WC	m	41.6	61.1	64.6	70.5	89.3
SC	WA	m	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!	#DIV/0!
	WB	m	#NUM!	#NUM!	438.1	250.6	305.2
	WC	m	58.5	85.8	90.8	99.1	125.4
EDS 하중	WA	m	43.3	70.3	88.3	#NUM!	13.3
	WB	m	39.4	67.4	97.6	#NUM!	12.1
	WC	m	#NUM!	#NUM!	#NUM!	#NUM!	8.8
	SA	m	40.2	60.3	63.4	67.1	101.5
	SB	m	51.9	80.3	91.2	103.7	269.5
	SC	m	73.4	123.7	207.0	#NUM!	#NUM!

3.2.5 고·저온계 하중조건별 지역구분

각 지역별로 적용할 고온계와 저온계 하중조건이 다르므로 지역구분을 [표3.5]와 같이 정리하였다.

[표3.5] 고·저온계 하중조건별 지역구분

고온계 하중조건	저온계 하중조건	지역구분
SC	WA, WB	I
	WB	II
	WC	III
SB	WA, WB	IV
	WB	V
	WC	VI
SA	WA, WB	VII
	WB	VIII
	WC	IX

3.2.6 지역별 임계경간 및 적용하중조건

[표3.5]의 I, IV, VII지역 저온계 하중조건은 [표3.3]의 WA와 WB의 합성하중 중 큰 조건을 적용하여야 하므로 58mm이하의 규격에서는 WB의 하중조건을, 95mm이상의 규격에서는 WA의 하중조건을 적용한다. 또한 [표3.4]에서#DIV/0! 또는 #NUM!이 표시된 경우에는 임계경간이 존재하지 않는다.

고온계와 저온계간에 임계경간이 없는 경우와 임계경간이하에는 저온계 하중조건을, 임계경간이상은 고온계

하중조건을 적용한 후에, EDS와 고·저온계간을 비교하여 임계경간이 없는 경우와 임계경간이하에는 EDS 하중조건을, 임계경간이상에는 고·저온계 하중조건을 적용하여 ACSR/AW-OC 전선의 각 지역별 임계경간 및 적용하중조건들의 표를 [표3.6]과 같이 만들었다.

[표3.6] 지역별 임계경간 및 적용하중조건

규격mm	I 지역	II 지역	III 지역
32	EDS≤39.4≤WB	EDS≤39.4≤WB	EDS≤73.4≤SC
58	EDS≤67.5≤WB	EDS≤67.5≤WB	EDS≤123.7≤SC
95	EDS≤88.3≤WA	EDS≤97.6≤WB	EDS≤206.9≤SC
160	EDS	EDS	EDS
240	WA≤13.3≤EDS	WB≤12.1≤EDS	WC≤8.8≤EDS
규격mm	IV 지역	V 지역	VI 지역
32	EDS≤39.4≤WB ≤66.7≤SB	EDS≤39.4≤WB ≤66.7≤SB	EDS≤51.9≤SB
58	EDS≤67.5≤WB ≤89.8≤SB	EDS≤67.5≤WB ≤89.8≤SB	EDS≤80.3≤SB
95	EDS≤88.3≤WA ≤91.9≤SB	EDS≤91.2≤SB	EDS≤91.2≤SB
160	EDS≤103.7≤SB	EDS≤103.7≤SB	EDS≤103.7≤SB
240	WA≤13.3≤EDS ≤269.5≤SB	WB≤12.1≤EDS ≤269.5≤SB	WC≤8.8≤EDS ≤269.5≤SB
규격mm	VII 지역	VIII 지역	IX 지역
32	EDS≤39.4≤WB ≤40.7≤SA	EDS≤39.4≤WB ≤40.7≤SA	EDS≤40.3≤SA
58	EDS≤60.3≤SA	EDS≤60.3≤SA	EDS≤60.3≤SA
95	EDS≤63.4≤SA	EDS≤63.4≤SA	EDS≤63.4≤SA
160	EDS≤67.1≤SA	EDS≤67.1≤SA	EDS≤67.1≤SA
240	WA≤13.3≤EDS ≤101.5≤SA	WB≤12.1≤EDS ≤101.5≤SA	WC≤8.8≤EDS ≤101.5≤SA

4. 결 론

본 연구에서는 전선에도 검토시 고려하여야 할 하중조건에 대하여 상세히 설명하면서 기존의 임계경간식의 한계점을 지적하였다. 그리고 고온계, 저온계, EDS 하중조건간의 임계경간을 계산할 수 있는 다조건간 임계경간식을 처음 개발하였으며, 이를 가공배전선로에 가장 많이 사용하는 ACSR/AW-OC전선 전 규격에 적용하여 하중조건별 합성하중표 및 하중조건간 임계경간표를 작성하였다. 또한 고·저온계 각 지역별로 임계경간 및 적용하중조건표를 최초로 고안하였으며, 본 표를 활용하면 전선에도 검토대상 경간에 적용하여야 할 하중조건을 쉽게 판단할 수 있어서 복잡한 전선 이도 및 장력계산 과정을 지금보다 대폭 단순화 할 수 있다. 본 연구결과를 통하여 다른 종류의 전선에 대하여도 지역별 임계경간 및 적용하중조건표를 작성할 수 있으며, 전선에도 검토업무를 효율을 대폭 향상하게 되었고, 향후 가공배전선로의 완철길이별 최대 이도 및 경간에 관한 연구와 가공배전선로의 안전성 향상을 위한 기준이도 재설정에 관한 연구의 발판을 마련함으로써 배전설계의 최적화, 경제적인 배전선로 계획 및 운영효율 향상을 도모할 수 있게 되었다.

[참 고 문 헌]

- [1] 대한전기협회, "전기설비기술기준", 2003 전기관계 법령집, p.259~260, 289, 2003
- [2] 대한전기협회, "배전규정", p.128-134,358-462, 1998
- [3] 일본중부전기협회, 배전공학현장실무, p.238-247,1985
- [4] 한국전력공사 경영정보처 기술표준팀, "가공송전선 이도 설계기준(잠정)", 설계기준(송전분야), p.1~9, 2003
- [5] 한국전력공사 경영정보처 기술표준팀, "4902[부록2] 전선의 이도계산", 설계기준(배전분야), p.1~10, 2003
- [6] 한국전력공사 배전처, "태풍대비 배전설비 운영기준(잠정)", p.1, 2003
- [7] 한국전력공사 중앙교육원 배전교육팀, 2003 배전실무 I, p.97, 2003
- [8] Yoon-Chan Wong, "A Study on the Standard Sags of KEPCO and the Strength of Guy Wires", ICEE 2004, p.1~6, 2004