

가공배전선로 완철 길이별 최대 이도 및 경간에 관한 연구

왕윤찬*, 조시형*, 박중신**
 *한전 중앙교육원, **동해대학교

A Study on the Maximum Sags and Spans of Cross-arms
 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 환경변화의 영향으로 최대풍속이 증가된 상황에서 가공배전선로의 선간단락고장을 최소화할 수 있도록 배전선로의 완철길이별 최대경간을 설정하는 방법을 개발하는데 있다. 따라서 가공배전선로 수평선간거리 계산식 및 선간거리별 최대이도 계산식을 개발하였고, 이를 적용하여 알루미늄피복 강심 알루미늄 절연전선(ACSR/AW-OC)의 완철길이별 최대이도를 산정하였으며, ACSR/AW-OC 160mm²을 기준이도로 시설시 완철길이별 최대경간과 최악조건 및 EDS(Every Day Stress) 하중조건을 고려한 전선이도로 시설시의 최대경간을 도출하였다.

1. 서 론

최근 환경변화의 영향으로 인하여 태풍의 풍속이 증가하여 최대풍속이 60m/s를 기록하기도 하였다. 한국전력공사에서는 태풍시 설비피해를 최소화하기 위하여 2003년에 태풍대비 배전설비 시설기준을 제정하면서 가공배전선 풍압하중을 일반지역 76kg/m², 해안지역 100kg/m², 강화지역 125kg/m²으로 강화하였다. 그러나 아직까지 완철의 길이 선정기준은 증가된 풍압을 고려하여 선간단락고장이 발생하지 않도록 재설정하지 못한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 가공배전선로의 수평선간거리 계산식과 완철길이별 선간거리 계산식을 새로이 개발하고, 이를 이용하여 ACSR/AW-OC전선의 완철길이별 최대이도를 산정하고, ACSR/AW-OC 160mm²을 가선시 완철길이별 최대경간과 전선이도 적용기준을 도출하여 향후 모든 전선에 확대 적용할 수 있는 기틀을 마련함은 물론 가공배전선로의 과학적 설계, 기술제산업무의 단순화를 통한 업무효율 향상 및 선간단락 고장정전 예방을 통한 전기공급신뢰도 향상을 도모하고자 한다.

2. 기존의 완철길이 선정기준

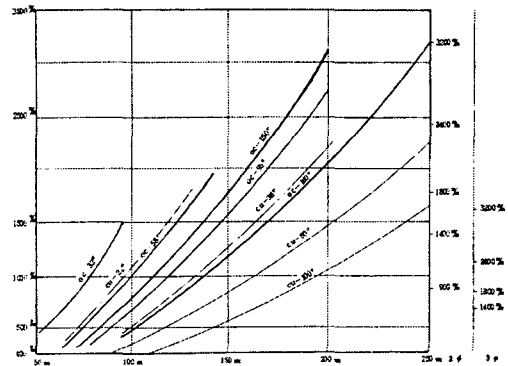
2.1 완철의 종류

가공배전선로에 사용하는 완철은 경완철과 ㄱ형완철 두 종류가 있으며, 경완철의 길이는 900, 1400, 1800, 2400mm가 있고, ㄱ형완철의 길이는 900, 1400, 1800, 2400, 2600, 3200, 3400, 5400mm가 있다. 현재는 경완철의 사용을 표준으로 하므로 경완철과 동일 길이의 ㄱ형 완철은 사용을 하지 않고 있다.

2.2 완철의 길이 선정

표준경간의 완철길이는 특고압선 1조 가선시에는 900mm, 2조에는 1800mm, 3조에는 2400mm를 사용하며, 장경간의 개소의 완철은 [그림2.1]과 같이 일반지역의 수평풍압 76kg/m²을 고려한 한전 전력연구원에서 연구한 결과에 따라 선정하고 하고 있다.

또한 태풍대비지역에서 경간이 100m를 초과하는 경우 선간거리는 1000mm이상, 150m를 초과하는 경우 선간거리는 1500mm이상을 유지하도록 하고 있다.



[그림2.1] 장경간개소의 완철규격

2.3 기존기준의 적용상 문제점

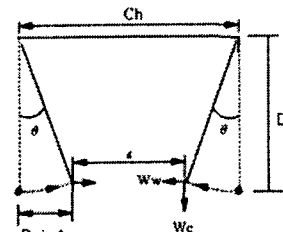
특고압 가공배전선로의 선간거리는 설치지역의 최대풍압에 대하여 선간단락이 발생하지 않도록 유지하여야 한다. 그러나 현재의 기준은 과거의 기상상황에 맞추어 최대풍압 76kg/m²을 고려하여 설정된 것이므로 현재와 같이 태풍시 기상변화로 인하여 최대풍압이 해안지역은 100kg/m², 강화지역은 125kg/m²으로 증가된 상황에서 과거의 기준에 의하여 계속 시설하는 것은 적절하지 못하다. 따라서 증가된 최대풍압을 고려한 새로운 완철 길이 선정기준의 정립이 필요하다.

3. 완철길이별 최대 이도 및 경간

3.1 가공배전선로 수평선간거리 계산식

한전 배전분야 설계기준에는 특고압배전선로의 수평선간거리를 검토할 수 있는 계산식이 없으므로 한전 송전분야와 일본 배전선로에서 적용하는 계산식을 응용하여 향후 적용할 수 있는 계산식을 아래와 같이 만들었다.

바람에 의한 가공배전선 상호간의 횡진은 [그림3.1]과 같이 되므로 수평선간거리 계산식은 (3.1)식과 같이 표현될 수 있다.



[그림3.1] 바람에 의한 전선 상호간의 횡진도

$$Ch = 2D\sin\theta + \epsilon + a/1000 \quad (3.1)$$

여기서 D : 최대풍압시의 전선이도(m)
 ϵ : 상용주와 내전압거리 (m) = $0.0035U_m$
 $= 0.0035 \times 25.8 = 0.09(m)$ (3.2)

U_m : 최고허용전압(kV)
 θ : 바람에 의한 횡진각(°)
 $= \tan^{-1} W_w / W_c$ (3.3)

W_w : 전선의 풍압(kg/m)
 $= 0.08 \times W_p \times a / 1000$ (3.4)

0.08 : 실험에 의해 결정된 계수

W_p : 최대수평풍압(kg/m²)

a : 전선의 외경(mm)

W_c : 전선의 단위중량(kg/m)

3.2 완철 길이별 선간거리(Ch)

한전의 3상 4선식 22.9kV 가공배전선로에 사용할 수 있는 완철은 2400, 3400, 5400mm 3가지뿐이다. 경완철 2400mm로 시설시에는 장주형태에 따라 최소 선간거리가 2가지가 될 수 있는데, 보통 핀장주로 시설하는 경우와 창출, 편출 핀장주, 내장주 및 인류장주로 시설하는 경우에는 560mm, 보통 내장주 및 인류장주로 시설하는 경우에는 1140mm가 된다. 그리고 ㄱ형 완철 3400mm 이상의 경우에는 장경간에 주로 시설하므로 내장주로만 시설하여야 하며 완철 양쪽 끝에서 100mm 안쪽에 바깥쪽 전압선의 현수예자를 시설하므로 바깥쪽과 중간의 전압선간 선간거리가 3400mm 완철은 1600mm, 5400mm 완철은 2600mm가 된다. 따라서 이들 완철로 시설시 선간거리는 [표3.1]과 같이 4가지 경우만 있다.

[표3.1] 완철 길이별 선간거리

완철길이(mm)	장주형태	선간거리 Ch (mm)
2400	핀장주	560
	창출 및 편출 내장주 보통 내장 및 인류주	1140
3400	내장주	1600
5400	내장주	5400

3.3 선간거리별 최대이도 계산식

상기에서 언급한 바와 같이 배전선로용 완철의 길이에 따라 선간거리가 4가지만 있으므로 매년 수평선간거리를 계산하여 완철의 길이를 선정할 필요 없이 완철길이별 4가지 선간거리에 대한 최대이도를 미리 계산하여 표로 만든다면 최대풍압시의 전선이도만 계산 후에 쉽게 완철의 길이를 선정할 수 있으므로 (3.1)식을 전선이도 D에 대하여 정리하여 선간거리 Ch별 최대이도 D의 계산식을 만들면 다음과 같이 된다.

$$D = \frac{Ch + \epsilon + a}{2\sin\theta} \quad (3.5)$$

3.4 완철 길이별 최대이도

특고압 가공배전선로에 주로 사용되는 ACSR/AW-OC전선의 전 규격에 대하여 각각의 최대풍압지역에서 완철길이별 최대이도를 다음과 같이 계산하였다.

3.4.1 가공배전선로의 하중조건

환경변화로 인한 태풍의 풍속 증가로 인하여 2003년에 한전 배전분야에서는 태풍대비 배전설비 시설기준 제정을 통해 최대풍압이 강화되었다. 따라서 전선의 이도 및 완철 길이별 최대이도 계산시에 적용되어야 할 하중조건은 [표3.2]와 같이 정리할 수 있다.

장경간 개소의 전선의 이도는 최악조건시에 안전율을 유지하면서 미풍시 전선의 진동에 의한 전선피로현상을 방지하여야 하므로 각 지역별 고·저온계 하중과 EDS 하중조건을 모두 고려하여 계산 및 결정하여야 한다.

그러나 완철 길이별 최대이도 계산식의 횡진각은 각 지역별 최대치를 적용하여야 하므로 고온계 하중조건

수평풍압만을 고려하고 저온계 하중조건 수평풍압은 고려할 필요가 없다.

[표3.2] 가공배전선로의 하중조건

하중조건 구분	고온계 하중조건			저온계 하중조건			EDS
	SA	SB	SC	WA	WB	WC	
수평풍압 w_p (kg/m²)	125	100	76	76	38	38	-
온도 t [°C]	10	10	10	-20	-20	-20	10
빙설두께 [mm]	-	-	-	-	6	-	-
빙설비중	-	-	-	-	0.9	-	-

3.4.2 전선의 외경(a)

ACSR/AW-OC 전선의 규격별 외경은 아래 표와 같다.

[표3.3] 특고압 ACSR/AW-OC 전선 제원

전선규격	mm²	32	58	95	160	240
도체외경	mm	7.2	9.7	12.0	15.4	18.9
절연두께	mm	3.0	3.0	3.5	4.0	4.0
완성품 외경 a	mm	13.2	15.7	19.0	23.4	27.0
개산중량	kg/km	210	330	530	730	1040

3.4.3 바람에 의한 전선 횡진각(θ)

[표3.3]의 개산중량으로부터 단위중량을 환산하고, [표3.2] 고온계 하중조건 수평풍압을 (3.4)식에 적용하여 전선의 풍압을 계산 후 이 결과들을 (3.4)식에 적용하면 전선의 횡진각을 [표3.4]와 같이 구할 수 있다.

[표3.4] 전선의 횡진각

전선규격	mm²	32	58	95	160	240
단위중량 w_c	kg/m	0.21	0.33	0.53	0.73	1.04
전선의 풍압	SA	0.080	0.095	0.116	0.142	0.164
	SB	0.106	0.126	0.152	0.187	0.216
	SC	0.132	0.157	0.190	0.234	0.270
전선의 횡진각 θ	SA	32.2	25.4	19.7	17.8	14.6
	SB	26.8	20.9	16.0	14.4	11.7
	SC	20.9	16.1	12.3	11.0	9.0

3.4.4 ACSR/AW-OC의 완철 길이별 최대이도

(3.5)식에 [표3.1], [표3.3], [표3.4]의 결과를 적용하면 ACSR/AW-OC전선 각 규격에 대하여 완철길이별 최대이도를 [표3.5]와 같이 구할 수 있다.

[표3.5] ACSR/AW-OC전선의 완철 길이별 최대이도

공칭단면적	mm²	32	58	95	160	240
2400mm 핀장주 (Ch:560mm)	SA	0.429	0.528	0.668	0.731	0.881
	SB	0.507	0.636	0.817	0.899	1.089
	SC	0.641	0.821	1.054	1.169	1.421
2400mm 보통 내장주 (Ch:1140mm)	SA	0.974	1.203	1.527	1.681	2.035
	SB	1.150	1.449	1.869	2.068	2.515
	SC	1.456	1.869	2.410	2.687	3.283
3400mm 보통 내장주 (Ch:1600mm)	SA	1.406	1.739	2.209	2.435	2.950
	SB	1.661	2.094	2.704	2.995	3.646
	SC	2.102	2.700	3.486	3.892	4.759
5400mm 보통 내장주 (Ch:2600mm)	SA	2.346	2.903	3.690	4.073	4.940
	SB	2.770	3.496	4.517	5.010	6.104
	SC	3.506	4.508	5.825	6.511	7.969

3.5 ACSR/AW-OC 160mm²의 완철 길이별 최대경간

ACSR/AW-OC 160mm²전선의 완철길이별 최대경간을 다음과 같은 방법으로 결정하였다.

3.5.1 조건변화에 따른 장력 및 이도변화 계산식

ICEE 2004 논문집에 수록된 저자의 "A Study on the Standard Sags of KEPCO and the Strength of Guy Wires"에서 개발된 온도, 하중, 장력의 변화에 따른 가공배전선의 장력 및 이도변화 계산식을 정리하면 다음과 같다.

$$D_2 = \frac{W_2 S^2}{8T_2} \quad (3.6)$$

$$0 = T_2^3 + PT_2^2 - Q \quad (3.7)$$

$$P = EA \left\{ \frac{8D_1^2}{3S^2} + \alpha(t_2 - t_1) \right\} - T_1 \quad (3.8)$$

$$Q = \frac{EAW_2^2 S^4}{24} \quad (3.9)$$

여기서 D_1, D_2 : 조건 1, 2의 전선이도(m)
 T_1, T_2 : 조건 1, 2의 전선장력(kg)
 W_1, W_2 : 조건 1, 2의 합성하중(kg/m)
 t_1, t_2 : 조건 1, 2의 온도(°C)
 E : 전선의 탄성계수(kg/mm²)

$$= \frac{kE_a + E_s}{k+1} \quad (3.10)$$

E_a : 알루미늄선의 탄성계수 6300(kg/mm²)

E_s : 강선의 탄성계수 21000(kg/mm²)

k : A_a/A_s

A_a : 알루미늄선의 계산 단면적(mm²)

A_s : 강선의 계산 단면적(mm²)

A : 전선의 계산 단면적 = $A_a + A_s$ (mm²)

α : 전선의 선팽창계수(1/°C)

$$= \frac{k\alpha_a E_a + \alpha_s E_s}{kE_a + E_s} \quad (3.11)$$

α_a : 알루미늄선의 선팽창계수 23.0×10^{-6} (1/°C)

α_s : 강선의 선팽창계수 11.5×10^{-6} (1/°C)

상기 (3.7)식은 T_2 에 대한 3차방정식을 풀어야 구할 수 있는데 이를 수작업 또는 계산기를 이용하여 해를 구하는 것은 거의 불가능하므로 본 연구에서는 Excel의 Visual Basic으로 주어진 조건에 대하여 T_2 를 0.1에서 부터 0.1씩 증가하면서 $T_2^3 + PT_2^2 - Q$ 의 절대값이 최소가 되는 T_2 를 구하도록 프로그램을 작성하여 활용하였다.

3.5.2 기준이도 적용시의 완철길이별 최대경간

가공배전선로의 전선 이도는 지지물 및 지선의 강도에 직접적인 영향을 미치므로 지상고 및 수평선간거리가 허용하는 한 전선의 장력이 작게 되도록 전선의 이도를 크게 할 필요가 있다. 따라서 한전에서 적용하고 있는 [표 3.6]의 경간 40m, 기온 15°C, 무풍시 조건의 기준이도 0.6m시의 장력 243.3kg을 경간 1m부터 1m씩 증가하면서 300m까지의 모든 경간에 동일하게 적용하고 (3.6)~(3.11)식을 이용하여 고온계 각 하중조건의 이도로 변환하였다. 그리고 각 하중조건으로 변환된 이도를 [표 3.5]의 완철 길이별 최대이도와 비교하여 [표 3.7]과 같이 기준이도를 적용하였을 때의 완철길이별 최대경간을 우선 결정하였다.

[표 3.6] 전선종류별 기준이도

전선종류	기준이도(m)	가선조건
ACSR, HDCC	0.4	경간 40m, 기온 15°C, 무풍
OW	0.5	
ACSR/AW-OC	0.6	

[표 3.7] ACSR/AW-OC 160mm의 완철길이별 최대경간

완철길이	전선이도 적용기준	최대경간		
		SA	SB	SC
2400mm 핀장주 (Ch:560mm)	기준이도	39m	45m	53m
2400mm 보통 내장주 (Ch:1140mm)	기준이도	62m	71m	83m
3400mm 보통 내장주 (Ch:1600mm)	기준이도	76m	86m	100m
5400mm 보통 내장주 (Ch:2600mm)	기준이도	101m	113m	130m
	EDS 또는 고온계조건	115m	141m	174m
		(SA)	(SB)	(EDS)

3.5.3 EDS 또는 고온계하중 적용시의 최대경간

본 학회지의 다른 논문 중에 저자의 "가공배전선의 임계경간에 관한 연구" 논문이 수록되어 있는데, 그 논문에 [표 3.8]의 ACSR/AW-OC 160mm의 임계경간 및 적용하중조건이 연구 결과로 기재되어 있다.

[표 3.8] ACSR/AW-OC 160mm의 임계경간 및 적용하중조건

SA	SB	SC
EDS ≤ 67.1 ≤ SA	EDS ≤ 103.7 ≤ SB	EDS

본 표에 의하면 ACSR/AW-OC 160mm 전선은 장경간 개소의 전선 이도 계산시에 고·저온계 하중조건 중 고온계 하중조건이 최약조건이 되므로 하중조건이 SA인 지역에서 67.1m 초과 경간에는 SA의 하중조건만을 고려하고, SB인 지역에서 103.7m 초과 경간에는 SB의 하중조건만을 고려하며, SC인 지역에서 모든 경간에는 EDS(Every Day Stress) 하중조건만을 고려하고 다른 조건은 고려할 필요가 없다.

그러므로 각 지역별로 기준이도를 적용하였을 때 5400mm 완철의 최대경간 초과하는 장경간에 대해서 SA 지역은 SA 하중조건의 이도를, SB 지역은 SB 하중조건의 이도를, SC 지역은 EDS 하중조건의 이도를 SC 지역의 하중조건으로 환산한 이도를 [표 3.5]의 최대이도와 비교하여 최대경간을 [표 3.7]과 같이 결정하였다.

[표 3.7]의 완철길이별 최대경간을 초과하여 시설하는 경우에는 선간거리를 확보할 수 없다.

4. 결 론

본 연구에서는 기존의 완철길이 선정기준의 문제점을 분석하고 가공배전선로의 선간단락고장을 예방할 수 있는 수평선간거리와 선간거리별 최대이도 계산식을 개발하였으며 이를 적용하여 알루미늄피복 강심 알루미늄 절연전선(ACSR/AW-OC)의 완철길이별 최대이도를 산정하였다. 그리고 ACSR/AW-OC 160mm를 기준이도로 시설시 완철길이별 최대경간과 최약조건 및 EDS(Every Day Stress) 하중조건을 고려한 전선이도로 시설시의 최대경간을 도출하였으며 그 방법을 상세히 기술하여 향후 모든 전선에 확대 적용할 수 있는 기술을 마련하였다. 본 연구 결과를 통해서 지금까지 설계시 검토 불가능 하였던 부분을 검토 가능하게 되었으며, 복잡한 기술계산을 단순화된 표를 이용함으로써 배전설계의 효율을 대폭 향상하였을 물론 설비의 안전성을 확보하고 선간단락 고장정전을 예방함으로써 전기공급 신뢰도를 향상할 수 있게 되었다.

[참 고 문 헌]

- 대한전기협회, "전기설비기술기준", 2003 전기관계 법령집, p.259~260, 289, 2003
- 대한전기협회, "배전규정", p.128-134, 358-462, 1998
- 일본중부전기협회, 배전공학현장실무, p.238-247, 1985
- 한국전력공사 경영정보처 기술표준팀, "가공송전선 이도 설계기준(참정)", 설계기준(송전분야), p.1~9, 2003
- 한국전력공사 경영정보처 기술표준팀, "4902부록2 전선의 이도계산", 설계기준(배전분야), p.1~10, 2003
- 한국전력공사 배전처, "태풍대비 배전설비 운영기준(참정)", p.1, 2003
- 한국전력공사 중앙교육원 배전교육팀, 2003 배전실무 I, p.97, 2003
- Yoon Chan Wong, "A Study on the Standard Sags of KEPCO and the Strength of Guy Wires", ICEE 2004, 2004
- 왕윤찬, "가공배전선의 임계경간에 관한 연구", 2004 대한전기학회 하계학술대회 논문집(제출), 2004