

765 kV 가공송전선로 현행 기술기준 적정성 연구

박인표*, 김한수*, 김기현*, 이종희*
대한전기협회*

A study on appropriateness of the Electrotechnical Regulation for 765 KV Overhead Line

In-Pyo Park*, Han-Soo Kim*, Gi-hyun Kim*, Joong-hee Lee*
Korea Electric Association*

Abstract - 765 kV 가공송전선로의 안정성 관련하여 전기설비기술기준 제36조제1항 및 동 기준의 판단기준 제126조제4항제7호에 대하여 전선, 애자런, 강재, 송전철탄 및 기초에 대한 현행 기준 적정성을 검토하였다. 검토의 목적은 현재 765 kV 가공송전선로의 내력 크기를 파악하는 것이고 그 과정에서 전기설비기술기준의 개선 사항을 도출하는 것이다. 검토 방법은 현행 전기설비기술기준을 기준으로 했을 때, 한전의 765 kV 송전선로의 여유도(크기)를 파악하고, 또한 해외 기준과 비교를 통하여 우리나라 전기설비기술기준의 적정성을 평가하고자 하였다. 검토 자료는 국내 765 kV Ca-32p형 샘플설계도, 한전 관련 시방서, 국내 전기설비기술기준, 일본 전기설비기술기준 및 일본전기학회의 [송전용 구조물 설계 표준, JEC-127-1979]이다. 향후 다른 철탄형들의 추가 검토와 미국 및 유럽의 기준들과 대비 분석을 진행할 예정이다.

1. 서 론

전기설비기술기준 제36조제1항 및 동 기준의 판단기준 제126조제4항제7호에 규정된 기준은 기술기준 제7조(단산), 제33조(강도)와 동 기준의 판단기준 제62조(풍압하중), 제63조(기초 안전율), 제109조(전선 안전율), 제112조(애자런 안전율), 제115조(철탄의 안전율)이며, 규정된 기준들과 관련된 판단기준들은 상정하중 관련 제116조와 제117조, 착설과 관련된 제118조, 전선로 보강과 관련된 제119조이다. 위 기준들의 내용은 일본 전기설비기술기준 및 일본전기학회의 [가공송전용 철탄 설계표준, JEC-127-1965]에 바탕을 두고 있으며, 주요 내용으로는 전국에 76 kgf/m²의 단일 풍압값 적용, 구조물의 높이는 지상고 40 m 기준, 기준 풍속은 지상고 15 m에서 재현기간 50년의 평균풍속의 최대값으로 34.6 m/s를 기준으로 하고 있다.

일본 전기설비기술기준과 다른 부분으로는, 일본의 경우, 풍속을 40 m/s, 기준풍압을 100 kgf/m²을 택하고 있다. 또한, 일본의 JEC-127은 1979년 개정을 통해, Wind Map에 따라서 지역별 6개 풍압지역, 착빙설 또한 8개 지역(건형 4개 지역, 습형 4개 지역)으로 구분, 적용 중이며, 상시 상정하중으로 [평상시]와 [작업시], 이상시 상정하중으로 [강풍시]와 [착설시]를 상정하고 있다.

한전의 [가공송전용 철탄설계기준] DS-1111은 1987년 개정판부터 고온계 4지역(I, II, III, 울릉도), 저온계 3개 지역(다설지역과 기타지역, 765kV 경우, 중다설 추가)으로 구분하여, 일본과 마찬가지로 풍압의 대상물별로 높이에 따른 계층을 고려하고 있다. 또한 재현기간에서 표준은 100년, 765 kV 송전선로 및 중요선로의 경우는 재현기간 200년을 상정하고 있다.

본 연구에서는 765 kV 가공송전선로 관련 전선, 애자런, 철탄 등 구성 설비에 대하여 현행 전기설비기술기준(이하 [기술기준]이라 함) 대비 여력의 크기를 파악하고, 개선 검토가 필요한 사항을 도출하였다.

2. 본 론

2.1 765 kV 가공송전선로의 기계적 안정성

검토를 위한 765 kV 철탄설계는 Ca-32p형 철탄을 한전설계기준에서 정한 중요도 계수 K1=1.0(재현기간 50년), 1.15(100년), 1.30(200년)의 3가지로 하였다. 기계적 안정성 검토로서 입력인 상정하중은 [기술기준] 대비, 검토하였으며, 출력인 철탄의 부재력과 기초하중은 [기술기준](K1=1.0, 재현기간 50년) 출력과 765 kV 경우(K1=1.3, 재현기간 200년)의 설계 출력 간에 비교를 하였다.

765 kV 가공송전용 철탄의 풍하중과 관련, 기준풍속과 표준 풍압값인 기준 속도압, 철탄 풍압값, 철탄 Arm 풍압값, 가설선 풍압값, 애자런 풍압값에 대하여 [기술기준] 대비, 검토를 하였다.

이를 종합적으로 정리하면, [표 1]과 같다. 이 값은 우리나라 내륙지방인 한전설계기준 DS-1111에서 고온계 III-지역과 저온계 기타지역에 해당한다.

〈표 1〉 설계 계수 (Design Parameters)에 대한 비교 검토결과(요약)

검토 항목	1. 우리나라									
	1.1 [판단기준 제62조] 2014					1.2 한전설계기준 DS-1111-2010 (III지역)				
1. 기준풍속 Vb [m/s]	10분평균 34.6 [m/s] (높이: 15m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)	31.7 [m/s] (높이: 10m)
2. 기준 속도압 [kgf/m ²]	69 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]	76 [kgf/m ²]
3. 철탄 풍압값 (단일 높이: 120m) [kgf/m ²]	구분	고온계	저온계	작성시	비교	고온계	저온계	작성시	비교	고온계
	평균	330	165	99	824	262	130	<표 9>	1.58	1.31
4. Arm 풍압값 (평균 높이: 98.6m) [kgf/m ²]	구분	고온계	저온계	작성시	비교	고온계	저온계	작성시	비교	고온계
	평균	300	150	90	457	230	190	높이 고려	1.52	1.52
5. 가설선 풍압값 (평균 높이: 98.6m) [kgf/m ²]	구분	고온계	저온계	작성시	비교	고온계	저온계	작성시	비교	고온계
	가설선	104	52	31	120m 적용	104	52	38	단도제	1
6. 애자런 풍압값 (높이: 98.6 m) [kgf/m ²]	구분	고온계	저온계	작성시	비교	고온계	저온계	작성시	비교	고온계
	평균	134	67	40	91.5m 적용	248	124	99	높이 무시	1.85

2.1.1 기준 풍속 (Reference wind speed)

- [기술기준] : 34.6 [m/s]
- 지상고 15m 위치에서 측정된 10분 평균풍속, 재현기간 50년 값
- [765 kV] : 43.7 [m/s], III 지역, 순간최대풍속으로 1.2배 크게 적용
 - [순간최대풍속] = [기준 풍속] x [돌풍율] 적용
 - [기준풍속]은 31.7[m/s]로서 지상고 10m에서 측정된 10분간 평균 풍속의 재현기간 50년 적용 값이며, 이 값은 [기술기준]의 15m 지상고 34.6[m/s]를 지상고 10m로 변환 시 대등한 값이다. (34.6[m/s] x (10m/15m)^{2/4} = 31.3 [m/s])

2.1.2 표준 풍압 (기준 속도압)

- [기술기준] : 76 [kgf/m²]
- [765 kV] : 76 [kgf/m²]
 - 이 값은 LF 1/1.5를 곱한 값이다. 즉 강풍은 항복강도에 대응하는 이상시(Abnormal) 조건이나 허용응력도에 대응하는 상시 상정하중으로 변환 차, LF를 도입하였다. 따라서 한전 765 kV에서 고려한 본래 기준속도압은 1.5배 큰 것이다.
 - 일본 JEC-127-1979의 V지역과 비교하면, 기준 풍속은 한전 31.7[m/s], 일본 31.8[m/s]로 거의 같다. 순간최대풍속은 일본이 45.6[m/s]로 한전 43.7[m/s]보다 1.04배 크고, 기준속도압은 일본이 125[m/s]인 반면에 한전은 원래 114[m/s] x 1/1.5=76[m/s]한 값으로 원래 값 기준, 일본이 1.1배 크게 적용하고 있다.

2.1.3 철탄 적용 풍압값

- [기술기준] : 철탄 풍압값에만 탑정높이에 따른 높이 계층을 고려
 - 해설서 [해설 표62-2]에서 최고 80[m]까지 10m 간격으로 적용 풍압값을 명기하고 있다. 이 값은 일본의 값 (풍속 40[m/s])을 그대로 옮긴 것이며, 현행 기술기준에 근거하여 765 kV 탑정높이를 150m까지 개선이 필요하다.
 - 현행 기술기준에 근거하여 탑정높이 120m로 환산 시, 강관 210 [kgf/m²], 헝강 330 [kgf/m²]이 감중 풍압이 된다.

- 2) [765 kV] : 765 kV Ca-23p형, 탑정 120m, 기준
 - 강관 286 [kgf/m²], 형강 524 [kgf/m²]를 적용한다. 따라서 갑종, 을종, 착설시 기준, 각각 1.3배, 1.30배, 1.04배 크다. III지역은 내륙지역이 대부분이므로 다설지역을 제외하면 1.3배 이상 크다.

2.1.4 철탑 Arm 적용 풍압값

- 1) [기술기준] : 갑종 형강의 330 [kgf/m²]
 2) [765 kV] : 철탑 압 Part는 458 [kgf/m²], 1.48배 이상 크게 적용

2.1.5 765kV III지역 가섭선 풍압값

- 1) [기술기준] : 가공지선(단도체) 76[kgf/m²], 전력선(다도체) 66[kgf/m²]
 2) [765 kV] : 가공지선 104[kgf/m²], 전력선 96[kgf/m²]
 - [기술기준] 대비 각각 1.3배, 1.38배 이상 크게 적용하고 있다. 그러나 이 값 역시, 가섭선이 취부되는 높이까지의 상공체중은 고려하지 않고 있다. 반면에 일본 JEC-127-1979에서, 미국과 IEC에서도 상공체중을 고려하고 있다.

2.1.6 애자련 풍압값

- 1) [기술기준] : 106 [kgf/m²](=1,039 Pa), 갑종 풍압하중
 2) [765 kV] : 248 [kgf/m²], 2.34배 크게 적용
 - 평균높이 98.6[m]까지 높이 체중 고려하였다.

2.1.7 기타 검토 사항

- 1) [기술기준] 상에 항공장애표시구 풍압 관련 규정 부재
 2) [중다설 지역]에서 가섭선과 애자련의 안전을 미달
 - 가섭선과 애자련에 대한 사항은 표준 구매시방서에서 최대사용장력과 함께 제시되고 있다. [중다설 지역]에서 가섭선 안전율은 가공지선 2.08, 전력선 1.94로 [기술기준]의 요건 2.5에 미달된다.
 - [중다설 지역]을 제외한 지역의 가섭선 안전율은 3.02 이상으로 [기술기준] 대비 1.22배 크다. [중다설 지역]의 안전율 미달은 765 kV 건설 당시, 계획된 것으로 목표 안전율 1.67(항복강도 대응값)로 하였다.(주1)

2.2 상정하중과 상정하중 조건의 검토 결과

<표 2> 765 kV Ca-32p형 철탑 상시 상정하중 값

구분	산출내역	산출값 [kgf/suppPoint]			전기설비 판단기준 제116,117조 요건
		K1=1.3	K1=1.15	K1=1.0	
5.1 수직 하중 [kgf/지점]	공식	$n \times (Wc+Wl) [kg/m] \times S [m] \times S [m] + (Wb+Wm+Wl)$			1.0요건: 1) 가섭선+2) 적빙설+3) 애자련+4) 한자련 수직하중
	가공지선	$1.006 [kg/m] \times 850 [m] + 89 [kg/m] + W [kg] \times 10 [m] + 300 [kg]$	1,236	1,236	4) 한자련 수직하중
	저온계	$1 \times (1.006 + 0.425) \times 850 + 89 + 10 \times 300$	1,597	1,597	
	전력선	$n \times (Wc+Wl) [kg/m] \times S [m] + Wl + (Wm+Wl)$			2. 적용: 1) 가섭선+2) 적빙설+3) 애자련
5.2 수평 풍하중 [kgf/지점]	공식	$6 \times 1.836 \times 0.618 \times 850 [m] + 668 [kg/m] \times 400 [kg]$	16,462	16,462	+3) 항공표시구+4) 적빙설 및 공구 무게를 가산함. 수직하중: 별도 고려, 2) 가섭선
	가공지선	$n \times (Hc+Hl) [kg/m] \times S [m] + 2 \times T \times \sin(\theta/2)$	3,868	3,850	1. 요건: 1) 절빙 풍압+2) 가섭선 풍압(적빙 포함)+3) 애자련 풍압(적빙 포함)+4) 한자련 풍압
	저온계	$53 [kg/m] \times 0.019 + 0.012 \times 5350 \times 367 + 2 \times 3900 \times 0.302$	3,293	3,142	2. 적용: 1) 절빙 풍압, 별도 고려, 2) 가섭선 풍압(적빙 포함)+3) 한자련 풍압(적빙 포함)+4) 한자련 풍압
	전력선	$n \times T \times 10 \%$ (단도형 요건)	27,827	26,375	1. 요건: 1) 절빙 풍압+2) 가섭선의 풍압(적빙 포함)+3) 한자련 풍압(적빙 포함)+4) 한자련 풍압
5.3 수평 풍하중 [kgf/지점]	공식	$1 \times 3900 \times \cos(\theta/2) \times 10\%$	390	390	1. 요건: 1) 절빙 풍압, 별도 고려, 2) 가섭선 풍압(적빙 포함)+3) 한자련 풍압(적빙 포함)+4) 한자련 풍압
	가공지선	$1 \times 3900 \times \cos(\theta/2) \times 10\%$	390	390	2. 적용: 1) 절빙 풍압, 별도 고려, 2) 가섭선 풍압(적빙 포함)+3) 한자련 풍압(적빙 포함)+4) 한자련 풍압
	저온계	$1 \times 3900 \times \cos(\theta/2) \times 10\%$	390	390	
	전력선	$6 \times 5000 \times \cos(\theta/2) \times 10\%$	3,000	3,000	
5.4 열역학적 하중 [kgf/지점]	공식	$Q = P \times I \times 15$	L	R	1. 판단기준 제116조 3항 수직방향 하중 가산하고, 인입형이나 내장형은 비틀림 형에 의한 하중도 가산
	고온계	$3900 \times 16(15) / (2 \times 3.8)$	821	770	2. 적용: 1) 수직방향 하중, 별도 하중조건에서 고려, 2) 비틀림 힘(열역, Torsion): 좌측과 같이 고려함.
	C1	$3000 \times 14(13) / (2 \times 4.52)$	4,646	4,314	
	C2	$3000 \times 14.5(13.5) / (2 \times 5.31)$	3,947	3,675	
C3	$3000 \times 15(14) / (2 \times 6.50)$	3,462	3,251		

2.3 설계 출력에 내력 검토 결과

구분	A) 재현기간 50년 (K1=1.0)	B) 765 kV (K1=1.3)		비고
		100%	106%	
1. 철탑중량	100%	106%	6% 증가	
2. 철탑풍압하중	100%	136%	36% 증가	
부재력	Arm P	100%	102%	2% 증가
	Arm T	100%	100%	불변
	M-Post	100%	112%	12% 증가
	M-Brac	100%	112%	12% 증가
	L-Post	100%	112%	12% 증가
	L-Brac	100%	124%	24% 증가
기초	Uplift	100%	116%	6% 증가

(주1) 박광희 외, 한전 765kV 송전선로 전선가선설계에 관한 검토, '95 대한전기학회 하계논문집

2.4 전기설비기술기준에서 개정 검토가 필요한 사항

2.4.1 오류나 오기를 수정할 내용

판단기준	내용	사유
제64조	[표64-1], 허용인장응력과 전단응력	부등호 및 공식 오기
	제2항제1호의 나. 허용좌굴응력 (1)공식	우측항, 일부식 누락
	[표64-2] 허용좌굴응력	4개소 오기, 1항 누락
제62조	[해설 표62-2] 탑체풍압값	일본 원문과 동일

2.4.2 개선 검토가 필요한 사항

판단기준	내용	사유
제64조	*철탑용 단조플랜지(단강플) → 항목 추가.	765kV 강관철탑용으로 항목 추가.
제62조 제118조	*풍압의 종별(갑,을,병) 및 적용값 1종 → Wind Map 도입, 지역별 *풍압 대상물의 지상고 높이 체중 무시→[고려]	1. 국내 현황 반영 2. 해외 실태 반영 3. 철탑대형화로 높이 체중이 필요함.
제116조 제117조	*상시, 이상시 상경하중 1) 내용 보완 (단기) 가) 경사풍 (60°) 항목 추가. 나) 상시불평균 장력(%) 수정. 다) 복제, 응력조합식 수정. 1종 → 2종 (정변, 측면부재) 2) 개정 검토 필요사항(장기) 가) 상시와 이상시 판단기준 O 현재: 가섭선의 단선 여부. O 권의 안: 기간 중시 1) 상시: 평상시, 시공과 보수시 2) 이상시: 강풍시, 착설시, 3) 특별하중 (단선 시 외 법률 또는 기술시방의 요건)	1) 내용보완 - 765kV 등 국내 현황 반영. - 일본, 미국, 유럽 등 해외 현황 반영. 2) 개정 검토 - 일본 및 미국, IEC 및 유럽의 현황 도입 검토 필요.
제63조	안전율: 상시, 이상시 → 압축, 인장, 수평 지지력에서 각각, 상시, 이상시로 구분. [해설편] 역 T형 무근 콘크리트(얇은 기초) → 절근 콘크리트, 역T형 깊은 기초, 심형기초, Pile, Rock 등 확장	철탑 대형화에 따른 국내 현황 반영.
제109조 제112조	*전선과 애자련의 기계적 안전율 O 현재: 상시 및 이상시 2.5 O 권의안: 상시 2.5, 이상시: 1.67	1. 일본 JEC-127개정 2. 미국, IEC 현황 3. 사전 경제성 분석 필요함.

3. 결 론

765 kV 송전선로 및 철탑의 기계적인 강도는 전기설비기술기준에서 정한 풍속의 재현기간 50년을 기준 시, 풍하중에 대해서는 1.3배 이상이고 그 영향과 관련 철탑 부재력에서는 개략 1.12배, 기초하중에 대해서는 1.16배 정도 크게 강도 여력을 갖는다. 이 여유는 765 kV 풍속 재현기간을 200년(중요도 계수 K1=1.3)으로 설정한 것에 기인한다. 현재의 전기설비기술기준은 JEC-127-1965년 판을 기반으로 하고 있어서 그간의 345 kV, 765 kV, 4회선 철탑 등 구조물의 대형화와 기상관측 기술의 발달과 기상 자료의 누적, 해석기술의 발달 등으로 우리나라 및 외국의 실태와도 차이가 있어서 비교 검토 및 효과 분석을 통해, 개정 검토를 해야 할 필요가 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] 한국전력공사, 2회선 강관철탑 구매규격 (GS-5445-0009), 2014.6.25
- [2] 한국전력공사, 가공송전용 철탑설계기준 (DS-1111), 2010.8.27
- [3] 한전-현대엔지니어링(주), 송전철탑 설계풍속에 관한 연구, 1986.1.
- [4] 한전, 전력연구원, 송전용 지지물 풍하중설계기준에 관한 연구, 2010.5
- [5] 한전, 전력연구원, 765kV 선하지 활용 안정성 기술분석 보고서, 2012.9.
- [6] 이재숙, 경제적인 송전용 철탑설계(1),(2), 대한전기학.1968.Vol.16.
- [7] 일본전기학회, 송전용 철탑설계표준 (JEC-127), 1965.8.
- [8] 일본전기학회, 송전용 지지물 설계표준 (JEC-127), 1979.11.28
- [9] 한전, 765kV 송전기술 논문집, 2001.3.15.
- [9] 대한전기학회, 전기설비기술기준 해설서, 2013
- [10] 지식경제부, 전기설비기술기준 및 판단기준, 2013