

송전선로의 설비특성을 고려한 단시간정격 검토

손홍관*, 이형권*, 박인표*, 한형주*, 김병걸*, 안상현*, 이동일**, 장대인**, 최인혁**, 최진성***, 김성규****
 한국전기연구원*, 한전 전력연구원**, 한국전력공사***, 부경대****

Short-Time Emergency Rating Considering Facility-Conditions of Transmission Lines in KEPCO

Sohn, H.K.* Lee, H.K.* Park, I.P.* Han, H.J.* Kim, B.G.* Ahn, S.H.* Lee, D.I.** Jang, T.I.** Choi, I.H.** Choi, J.S.*** Kim, S.K.****
 KERI.* KEPRI.** KEPCO.*** BuGyoung Univ.****

Abstract - This paper presented survey and analysis on short-term Emergency rating by considering facility-conditions of transmission lines in KEPCO, such as the age of ACSR conductors, a place of sleeve connecting, and road clearance, etc.

조사되었다. 이에 본 연구에서는 도체의 설계수명 40년 동안 회선당 연간 최대 고장횟수를 5회로 고려하여 과부하 허용시간을 추정하였으며, 이를 <표 2>에 나타낸다.

1. 서 론

<표 2> 도체 수명실험결과에 의한 과부하 허용시간

송전선로의 송전능력은 연속허용온도에 대한 연속허용용량과 사고시에 일시적으로 과부하 운전을 하기 위한 단시간 허용용량으로 구분되는데, 단시간 허용용량은 전선의 수명에 영향을 미치므로 이에 대한 명확한 기준과 관리가 필요하다.

		90℃	100℃	120℃	130℃	150℃
도체수명	(년)	45.2	12.8	1.2	0.4	0.23
	(시간)	395,952	112,128	10,512	3,710	2,000
여유수명	(년)	5.2	1.472	0.138	0.046	0.026
	(시간)	45,552	12,894	1,208	427	230
년간허용시간(수명40년)		-	322	30	10	5.75
최대 과부하 허용시간 (연간고장횟수5회/회선)		-	64	6	2	1.15

본 연구에서는 현재 연속허용온도 90℃, 단시간허용온도 100℃로 운영 중인 과부하정격이 향후 연속허용온도 90℃, 장시간허용온도 100℃, 단시간허용온도 120℃로 증대하여 운영됨에 따라 신설선로 및 기설선로에 대하여 도체의 수명, 접속개소의 안정성, 지상고 및 이격거리와 같은 송전선로 설비특성을 고려한 단시간 운영정격을 검토하고, 이를 송전선로의 운영그룹핑 및 운영기준으로 활용하고자 한다.

2.2 송전선로 지상고 및 이격거리

2.2.1 지상고 기준에 따른 송전선로의 분류

송전선로의 지상고를 결정하는 도체온도가 1992.6월 시점으로 40℃에서 75℃로 변경되었고, 지상고 기준은 1997.10.24 개정되었기 때문에 이 두 가지 조건을 결합하면 송전선로의 지상고 분류를 <표 3>과 같이 할 수 있다.

2. 송전선로의 설비특성 검토

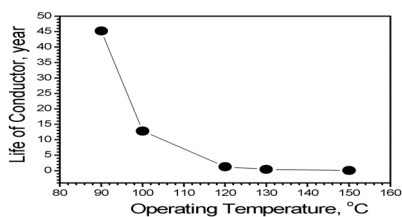
2.1 도체의 수명

2.1.1 도체의 수명곡선

도체의 수명평가는 소선의 인장강도가 10%저하하는 시점을 한계수명으로 평가하고 있으며, ACSR 410mm를 구성하고 있는 알루미늄 소선 4.5mm의 가속열화실험 결과 수명곡선은 <그림 1>과 같다. 또한 도체는 어떤 조건에서도 설계수명(40년)을 유지해야 하므로 연속허용온도인 90℃에서 설계수명 40년을 초과한 5.2년이 여유수명이라고 볼 수 있고, 과부하 온도인 90℃ 이상의 온도에서도 비례적으로 계산하여 여유수명을 <표 1>과 같이 유추할 수 있다. 즉 120℃로 1.062년 운전하는 것과 90℃로 40년 운전하는 것은 도체에 동일한 영향을 준다는 의미로서, 120℃로 0.138년을 운전하고, 나머지는 90℃로 계속 운전해도 설계수명 40년 동안 도체의 인장강도 저하를 10% 이내로 유지할 수 있음을 나타낸다.

<표 3> 지상고 기준에 따른 송전선로의 분류

선로구분	신설선로	기설선로		
Group	-	Group I	Group II	Group III
건설시점	개정이후	1992.6이전	1992.7~ 1997.10	1997.10~ 개정일
지상고결정 도체온도	75℃	40℃	75℃	75℃
지상고 여유	변경후 기준	변경전 기준	변경전 기준	변경후 기준



<그림 1> ACSR 410mm의 4.5mm 소선의 수명곡선

2.2.2 지상고 여유 검토

한전의 지상고 설계기준(1020)에 시설물별 기준치와 가산치를 고려한 지상고 설계치를 규정하고 있고, 이 기준에 따라 송전선로의 높이를 설계하도록 되어 있다. 그러나 이 기준은 한전의 기준으로서 국가기준인 “전기설비기술기준의 판단기준(산업자원부 공고 2006-213호)”를 만족시켜야 한다. 본 연구에서는 지상고 설계기준(1020)의 설계치와 전기설비 설계기준의 판단기준 중 관련 항목으로 산정한 규정치를 항목별로 비교하여, 송전선로 그룹별 여유이격거리를 <표 4>와 같이 산정하였다.

<표 1> 도체온도별 여유수명의 유추

AI 소선온도	90℃	100℃	120℃	130℃	150℃
도체수명(년)					
총 수명 (a)	45.2	12.8	1.2	0.4 (3,710 hr)	0.23 (2,000 hr)
설계수명 (b)	40.0	11.328	1.062	0.354 (3,283 hr)	0.204 (1,770 hr)
여유수명 (a-b)	5.2	1.472	0.138	0.046 (427 hr)	0.026 (230 hr)

<표 4> 송전선로 그룹별 여유이격거리(단위 : m)

	전압	154kV	345kV	765kV
구분	Group I	① 0.50	② 1.02	-
	Group II		③ 1.72	
Group III 신설선로		① 0.80	④ 1.02 ⑤ 2.52	⑧ 4.48
		② 1.02	⑥ 3.02 ⑦ 6.72	
		③ 2.80		

2.2.3 여유이격거리에 대한 허용온도 산정

여유이격거리별 허용온도를 산정하기 위해서 <표 5>와 같은 대표조건을 적용하였다. <표 5>의 대표조건으로 해석한 결과 여유이격거리에 대한 전압별 허용온도는 <표 6>과 같다.

<표 5> 여유이격거리별 허용온도를 산정하기 위한 대표조건

구분	검토 지역	검토경간	검토도체
대표 조건	3지역	345kV이하:700m 765kV : 900m	154kV : 410mm ² (ACSR, TACSR) 345kV : 480mm ² Rail (ACSR, TACSR) 765kV : 480mm ² Cardinal (ACSR, TACSR)

2.1.2 수명측면의 과부하 허용시간

한국전력 가공송전선로의 1997년~2001년까지 5년간 순간고장을 제외하고 발생한 모든 고장에 대한 전압별 고장건수 및 고장시간은 연평균 약 58건, 6,231분이 발생한 것으로 조사되었다. 또한 회선 당 연간 최대 고장횟수는 154kV 상부#2T/L의 4회('98.3.3/'98.4.12/'98.8.8/'98.8.12)로

<표 6> 여유이격거리별 도체 허용온도

	Group I	Group II	Group III 신설선로
온도	40℃	75℃	75℃
154 kV	①0.50m(37.60m)(51℃)	①0.50m(39.17m)(87℃)	①0.80m(39.47m) (93℃) ②1.02m(39.69m) (99℃) ③2.80m(41.47m) (141℃)
345 kV	②1.02m(43.72m)(63℃) ③1.72m(44.42m)(79℃)	②1.02m(45.25m)(99℃) ③1.72m(45.95m)(116℃)	④1.02m(45.25m) (99℃) ⑤2.52m(46.75m) (135℃) ⑥3.02m(47.25m) (147℃) ⑦6.72m(50.95m) (242℃)
765 kV	-	-	⑧4.48m(64.19m) (175℃)

2.3 송전선로 접속개소의 안정성

국내 기설선로의 대부분에 슬리브, 압축인류클램프, 점퍼소켓 등의 접속개소가 설치되어 있다. 이러한 접속개소의 안정성 검토는 송전선로 운영에 있어 매우 중요한 요소이다. 본 연구에서는 가장 문제가 되는 슬리브 접속개소에 대하여 표준, 강심과단 및 편중(40mm)슬리브를 모의하여 슬리브 모델별 기계적 및 열적특성실험을 실시하였다. 그 결과 가속열화에 의한 열적특성 실험결과는 <표 7>에 나타낸다.

<표 7> 슬리브 모델별 가속열화에 의한 열적특성 실험결과

구분	부하	표준슬리브		강심과단 슬리브		편중슬리브(40mm)	
		열화전	50년 열화	열화전	50년 열화	열화전	50년 열화
슬리브	100% (850A)	62.6 (50mm내부)	66.7	61.0	63.0	87.5	103.6 (20mm내부)
	110% (950A)	71.9 (50mm내부)	74.5	71.0	71.5	93.1	120.4 (20mm내부)
	130% (1100A)	90.0 (50mm내부)	91.1	89.0	91.0	143.7	157.4 (20mm내부)
도체	100% (850A)	78.7	99.0	83.0	-	95.3 (500mm강심)	101.2 (50mm외층)
	110% (950A)	93.5	109.1	98.0	107.1	106.3	123.0 (50mm외층)
	130% (1100A)	123.4	133.5	126.0	132.0	147.5 (50mm내층)	166.0 (50mm외층)

[주] ()안의 내용은 최대온도 발생지점이며, 표시가 없는 경우 슬리브는 10mm내부, 도체는 2000mm강심, 압축클램프는 50mm내부 지점의 온도임

이상 실험결과를 통해 슬리브가 존재하는 선로에 대해서는 최악조건인 강심과단 또는 편중(40mm)슬리브가 존재한다고 가정하였고, 슬리브가 존재하는 선로는 75℃ 이상 전류를 허용할 수 없는 것으로 잠정적으로 결정하고, 향후 추가적인 실험을 통하여 정확한 온도를 추정할 계획이다.

3. 송전선로 운영그룹별 단시간정격

신규로 건설되는 신설송전선로는 현재 직선슬리브를 사용하지 않으므로 접속개소의 안정성 측면에서 잠정적으로 결정된 75℃ 제약조건은 해당되지 않고, 도체의 수명과 지상고 여유이격거리에 의해 허용온도가 결정되고, 기설선로의 경우에는 슬리브의 제약조건을 포함한 허용온도를 검토할 필요가 있다.

따라서 선로구분별 허용가능한 연속, 장시간 및 단시간 최고허용온도를 <표 8>과 같이 정할 수 있다.

<표 8> 선로구분별 허용가능온도

	Group I (연속/장시간/단시간)	Group II (연속/장시간/단시간)	Group III 및 신설선로 (연속/장시간/단시간)
154 kV	① (51℃/51℃/51℃)	① (87℃/ 87℃/ 87℃)	① (90℃/ 93℃/ 93℃) ② (90℃/ 99℃/ 99℃) ③ (90℃/100℃/141℃)
345 kV	② (63℃/63℃/63℃) ③ (79℃/79℃/79℃)	② (90℃/ 99℃/ 99℃) ③ (90℃/100℃/116℃)	④ (90℃/ 99℃/ 99℃) ⑤ (90℃/100℃/135℃) ⑥ (90℃/100℃/147℃) ⑦ (90℃/100℃/242℃)
765 kV	-	-	⑧ (90℃/100℃/175℃)

그러나 송전선로의 장시간허용온도를 100℃, 단시간허용온도를 120℃로 규정하였으므로 실제 송전선로 그룹별 분류기준 및 최고허용온도는 <표 9>와 같이 요약할 수 있다.

이 결과는 현재까지 송전용량 설계시 활용하는 연속허용온도 90℃, 단시간허용온도 100℃를 송전선로 운영에서도 일률적으로 적용할 수 없음을 나타내는 것이며, 향후 부하의 증가에 대비하기 위해서는 송전선로별로 직선슬리브의 제거를 위한 전력선 교체와 지상고를 확보하기 위한 취약부분의 절탑교체작업 등이 필요할 것으로 판단된다.

<표 9> 송전선로의 분류기준 및 정격(안)

분류	분류기준	정격 (연속/장시간/단시간)
Group I	A • 1992.6월 이전에 건설된 154kV 송전선로	(51℃/51℃/51℃)
	B • 1992.6월 이전에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로	(63℃/63℃/63℃)
	C • 1992.6월 이전에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 없으나 슬리브가 설치되어 있는 송전선로	(75℃/75℃/75℃)
	D • 1992.6월 이전에 건설된 상기 이외의 345kV 송전선로	(79℃/79℃/79℃)
Group II	A • 1992.6~1997.10 사이에 건설된 슬리브가 설치되어 있는 송전선로	(75℃/75℃/75℃)
	B • 1992.6~1997.10 사이에 건설된 상기 이외의 154kV 송전선로	(87℃/87℃/87℃)
	C • 1992.6~1997.10 사이에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로	(90℃/99℃/99℃)
	D • 1992.6~1997.10 사이에 건설된 상기 이외의 345kV 송전선로	(90℃/100℃/116℃)
Group III	A • 1997.10월 이후에 건설된 송전선로로서 슬리브가 설치되어 있는 송전선로	(75℃/75℃/75℃)
	B • 1997.10월 이후에 건설된 154kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로	(90℃/93℃/93℃)
	C • 1997.10월 이후에 건설된 154kV 송전선로로서 345kV 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로 • 1997.10월 이후에 건설된 345kV 송전선로로서 154kV이하 가공선로와 교차구간이 존재하는 송전선로	(90℃/99℃/99℃)
	D • 1997.10월 이후에 건설된 상기 이외의 송전선로(신설선로)	(90℃/100℃/120℃)

4. 결론

- ① 송전선로의 단시간정격을 결정하기 위해서는 도체의 수명, 접속개소의 안정성, 지상고 및 이격거리와 같은 송전선로 설치특성을 고려할 필요가 있으며, 단시간 운영정격을 검토하기 위해 도체의 수명 및 슬리브의 안정성에 대한 실험을 실시하였다.
- ② 송전선로 지상고에 대한 기준의 변경지점에 따라 송전선로를 3개의 그룹으로 구분할 수 있으며, 각 그룹별 최고허용온도를 산정하였다.
- ③ 접속개소의 안정성에 대해서는 직선슬리브가 존재하는 선로에 대해 75℃를 한계온도로 잠정 결정하였으나 가속열화특성에 대한 추가적인 실험을 통해 정확한 한계허용온도를 규명할 예정이다.

[참고 문헌]

- [1] 산업자원부, “가공송전선 허용용량산정시스템 개발(최종)”, 2005.
- [2] 한국전력, “송전설계기준 1210(가공송전용 전선선정기준)”, 2004.
- [3] 한국전력 전력연구원, “송전설계기준 제·개정 및 보완 연구”, 2001.
- [4] 김성덕, “가공송전선의 송전용량 평가 및 증대방안”, 제3회 가공송전선 기술세미나 논문집, 2003.
- [5] 산업자원부, “국내 송전선로 설비특성을 고려한 단시간 과도정격 운영기준 정립(2차년도 보고서)”, 2007
- [6] National Grid USA, “TRANSMISSION PLANNING GUIDE”
- New England Power Company
- Nigara Mohawk Power Corporation
- [7] Draft standard for calculating the current-temperature relationship for bare overhead conductors, IEEE Standard p738, 1999
- [8] The thermal behavior of overhead conductor, CIGRE Wg22-12 Electra, No. 144, 1992