

접지선 굵기에 대한 규격 비교

김대경 정성환* 최중현 윤형희 최인혁 강지원
 한국전기연구소* 한국전력공사 한전전력연구원

A Comparison Among the Standards on the Size of Grounding Wire

Kim D. K. Jeong S. H.* Choi J. H. Yoon H. H. Choi I. H. Kang G. W.
 KERI* KEPCO KEPRI

Abstract-The KEPCO needs the review of the practice on the size of grounding wire, because the KEPCO has been experienced the melting failure of grounding wire many times. This paper proposes the appropriate standard and calculation conditions on the size of grounding wire for the cable system of transmission voltage class.

1. 서 론

현재 한국전력공사에서 접지선 설계에 사용하고 있는 설계기준은 "설계기준-2602 (접지설계기준)"이며, 이 설계기준은 ANSI/IEEE std 80 "IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding"을 기준으로 작성되었다. ANSI/IEEE std 80은 제목에서 보는 바와 같이 계통접지를 대상으로 한 규격이기 때문에 주대상을 변전소로 하고 있으며, 케이블 및 그 관련 설비에 대한 접지설계 즉, 기기접지에 대해서는 충분한 언급이 부족한 실정이다.

특히, 최근에 케이블계통에서 접지선의 용단사고가 자주 발생함에 따라 접지선 굵기에 관한 재검토가 필요하나 접지선 굵기를 결정하는 공식 및 계산조건 등에 대하여 설계자마다 다른 견해를 가지고 있으므로 이를 통일시킬 필요가 있다.

이 글에서는 각 국에서 사용하고 있는 접지설계규격을 접지선의 굵기에 대한 관점에서 비교한 후 우리나라 실정에 맞는 규격을 제시하고, 아울러 접지선 굵기 계산에 필요한 적절한 계산조건을 제시하고자 한다.

2. 각 국의 규격 비교

접지계의 각 구성요소 즉, 접지망을 구성하는 도체, 접지리드, 접지동봉 등은 아래와 같은 조건을 만족하여야 한다.

- (1) 각 구성요소는 예상되는 최대지락전류의 크기가 고장지속시간동안 지속되어도 용단이나 열화되지 않아야 한다.
- (2) 기계적으로 충분한 강도를 가져야 한다.
- (3) 접지도체내에서 국부적으로 위험한 전위차가 발생하지 않도록 충분한 도전율을 가져야 한다.

위와 같은 고려사항중에서 기계적 강도면에서 본 나동선 접지도체의 최소굵기는 38mm²이상이면 충분하며, 도전율은 고장전류

에 의한 용단 및 기계적 강도면을 고려하여 결정된 굵기이면 충분한 것으로 생각하고 있다. 따라서, 접지선의 굵기는 최대지락전류 및 고장지속시간을 고려하여 용단되지 않는 굵기로 선정하는 것이 일반적이다.

최대지락전류 및 고장지속시간을 고려하여 접지선의 굵기를 결정하는 규격으로는 북미에서 주로 쓰고 있는 규격(ANSI/IEEE std 80), 일본에서 쓰고 있는 공식(도해접지설계입문, OHM) 및 유럽에서 쓰고 있는 규격(IEC Pub. 364-5-54)이 있다.

2-1 ANSI/IEEE std 80

ANSI/IEEE std 80 에서 접지선의 굵기를 계산하는 공식은 식 (2-1)과 같다.

$$A = I \sqrt{\frac{t \alpha_r \rho_r \times 10^4}{TCAP \ln \left\{ 1 + \left(\frac{T_m - T_a}{K_o + T_o} \right) \right\}}} \quad (2-1)$$

여기서, I : 접지선에 흐르는 전류 [kA]
 T_m : 최대허용온도 [°C]
 T_a : 주변온도 [°C]
 T_r : 물리적인 정수의 기준온도 [°C]
 α_r : T_r에서의 도체열저항율
 α_o : T_o에서의 도체열저항율 (=1/K_o)
 ρ_r : T_r에서의 도체저항율 [μΩ/cm]
 TCAP : 열용량계수 [J/cm²°C]

접지선 재료로 주로 쓰이는 금속의 물리적인 정수는 표<2-1>과 같다.

표<2-1> 접지선 재료의 물리적인 정수

접지선재료	도전율 [%]	α _r (at 20°C)	K _o (at 0°C)	용융온도 [°C]	ρ _r [μΩ/cm]	TCAP [J/cm ² °C]
연동선	100.0	0.00393	234	1,083	1.7241	3.422
경동선	97.0	0.00381	242	1,084	1.7774	3.422
알루미늄선	61.0	0.00403	228	657	2.8262	2.556

2-1-1 계산조건

ANSI/IEEE규격에서 접지선 굵기를 계산할 때 물리적인 정수가 외에 필요한 최대허용온도 및 주변온도에 대해 특별히 제한된

조건은 없다.

2-1-2 계산결과

ANSI/IEEE규격을 사용하여 고장전류크기별, 고장지속시간별 접지선의 굵기를 계산한 결과는 표<2-2>와 같다.

표<2-2> ANSI/IEEE 규격에 의한 접지선굵기 계산 결과

(단위 : mm)

고장지속시간	10 kA	20 kA	30 kA	40 kA	50 kA
0.1초	18.1	36.1	54.2	72.3	90.4
0.5초	40.4	80.8	121.2	161.7	202.1
1.0초	47.2	114.3	171.5	228.6	285.8
2.0초	80.8	161.7	242.5	323.2	404.1

2-2 IEC Pub. 364-5-54

IEC규격은 IEC Pub. 364-5-54에서 접지선 굵기를 계산하는 방법을 제시하였다. 계산 공식은 식(2-2)와 같으며 각 재질별 물리적 정수는 표<2-3>과 같다.

$$A = \frac{\sqrt{I_c}}{k} \quad (2-2)$$

여기서, I : 접지선에 흐르는 전류 [A]

t_c : 통전시간 [초]

$$k = \sqrt{\frac{Q_c(B+20)}{\phi_{20}} \ln\left(1 + \frac{\theta_f - \theta_i}{B + \theta_i}\right)}$$

Q_c : 접지선재질의 제적비열 [J/℃mm]

B : 0℃에서 도체열저항율의 역수

φ₂₀ : 20℃에서의 도체전기저항율 [Ωmm]

θ_i : 도체의 초기온도 [℃]

θ_f : 도체의 최종온도 [℃]

표<2-3> IEC규격에 사용된 재질별 물리적 정수

재질	B [℃]	Q _c [J/℃mm]	φ ₂₀ [Ωmm]	
동	234.5	3.45x10 ⁻³	17.241x10 ⁻⁶	226
알루미늄	228	2.5 x10 ⁻³	28.264x10 ⁻⁶	148

2-2-1 계산조건

IEC규격에서 접지선굵기를 계산하는 공식을 사용함에 있어서 물리적인 상수 외에 필요한 최대허용온도, 주변온도 및 k값 등에 주어지는 조건은 표<2-4>와 같다.

표<2-4> IEC규격의 계산조건

	접지선 피복의 재질		
	PVC	XLPE,EPR	Butylrubber
최종온도	160 ℃	250 ℃	220 ℃
초기온도	30℃로 가정		
접지선 도체 재질	k		
동	143	176	166
알루미늄	95	116	110

2-2-2 계산결과

IEC규격을 사용하여 고장전류크기별, 고장지속시간별 접지선의 굵기(동선)를 계산한 결과는 표<2-5>와 같다.

표<2-5> IEC 규격에 의한 접지선굵기 계산 결과

(단위 : mm)

고장지속시간	10 kA	20 kA	30 kA	40 kA	50 kA
0.1초	18.0	35.9	53.9	71.9	89.8
0.5초	40.2	80.4	120.5	160.7	200.9
1.0초	56.8	113.6	170.5	227.3	284.1
2.0초	80.4	160.7	241.1	321.4	401.8

2-3 일본에서 사용되는 규격

일본에서 사용하고 있는 규격은 OEM사에서 출간한 "도해접지 설계입문"에서 접지선의 굵기를 계산하는 방법을 제시하고 있으며 계산공식은 식(2-3)과 같다.

$$A = \sqrt{\frac{I_c \times (8 \times 10^{-3})}{T_m - T_a}} \quad (2-3)$$

여기서, I : 접지선에 흐르는 전류 [A]

T_m : 최대허용온도 [℃]

T_a : 주변온도 [℃]

t_c : 통전시간 [초]

2-3-1 계산조건

"도해접지입문"에서는 접지선 굵기의 계산조건으로 다음과 같은 조건을 제시하고 있다.

- (1) 고장전류는 전원측 과전류차단기정격전류의 20배로 한다.
- (2) 과전류차단기는 정격전류의 20배가 흐를 때 0.1초이내에 차단된다.
- (3) 고장전류가 흐르는 경우의 주변온도는 30℃로 한다.
- (4) 고장전류가 흐르는 경우의 최대허용온도는 150℃로 한다.

2-3-2 계산결과

고장전류크기별, 고장지속시간별 접지선의 굵기(동선)를 계산한 결과는 표<2-6>과 같다. 단 지속시간이 0.1초인 경우 위 계산조건에서 제시한 것에 따라 계산한 결과이지만, 나머지는 앞의 다른 규격과 계산결과를 비교하기 쉽게 주변온도를 30℃, 최대허용온도를 250℃로 하였다.

표<2-6> IEC 규격에 의한 접지선굵기 계산 결과

(단위 : mm)

고장지속시간	10 kA	20 kA	30 kA	40 kA	50 kA
0.1초	25.8	51.6	77.5	103.3	129.1
0.5초	42.6	85.3	127.9	170.6	213.2
1.0초	60.3	120.6	180.9	241.2	301.5
2.0초	85.3	170.6	255.8	341.1	426.4

2-4 규격비교

앞에서 언급한 새가지 규격중에서 ANSI/IEEE규격 및 IEC규격은 근본적으로 동일한 규격이라 말할 수 있으며, 일본에서 사용하고 있는 공식도 근본적으로 ANSI/IEEE규격 및 IEC규격과 차이가 없으나 계산조건에서 다른 규격과 다소 차이가 있다.

2-4-1 최고허용온도

지력사고시의 최고허용온도를 예로 들어 보면 ANSI/IEEE 및 IEC규격은 접지선의 피복재료로 PVC, XLPE 및 PET 등 다양하게 사용하고 있으며 사용제질에 따라 각기 다른 계산조건을 대입하여

접지선의 굵기를 계산하나, 일본에서는 접지선을 주로 IV전선을 사용함에 따라 지락시의 최고허용온도를 150℃로 대입하여 접지선의 굵기를 계산한다.

2-4-2 고장시속시간

ANSI/IEEE 규격 및 IEC 규격은 고장시속시간에 특별한 제한을 두지 않고 있으며 계통의 조건에 따라서 혹은 설계자의 주관에 따라 적절하게 선택하여 적용할 수 있도록 하였다. 이와는 다르게 일본에서는 고장시속시간을 0.1초로 사용하도록 제시하였다. 그러나, 일본에서도 반드시 0.1초를 해야 하는 것은 아니며 계통조건에 따라 고장시속시간을 적절히 변경하여 계산할 수 있도록 하였다.

3. 규격 선정

ANSI/IEEE, IEC 및 일본규격 모두 계산공식에는 근본적으로 차이가 없으나 계산조건이 상이함에 따라 계산 결과에 다소 차이가 있다. 우리나라에서는 접지선의 굵기를 계산하는 식으로 ANSI/IEEE에서 제시하는 공식을 사용하고 있다. 그러나, ANSI/IEEE규격과 IEC규격이 근본적으로 동일하고 최근에는 IEC 규격을 근간으로 국제적으로 통용하고자 하는 ISO규격으로 통일되고 있는 추세이므로 IEC규격을 따르는 것이 좋다고 판단된다.

한편, 접지선으로 주로 IV전선을 사용하고 있는 우리실정에서 일본규격을 사용하는 것이 타당하지 않느냐 하는 의문이 있을 수 있으나 앞으로 제시하고자 하는 계산조건을 고려해 볼 때 비경제적으로 굵어질 우려가 있기 때문에 사용하지 않는 것이 좋다고 판단된다.

3-1 계산조건

접지선의 굵기를 계산하는 공식으로 IEC규격을 사용할 때 적합한 계산조건은 다음과 같다.

- (1) 최대허용온도, 주변온도 및 k값 등에 주어지는 조건은 표 <2-4>를 따른다.
- (2) 최대지락고장전류는 154kV계통의 경우 50kA로 한다.
- (3) 고장시속시간은 0.5초로 한다.
- (4) 케이블계통에서 보봉접속함 부분에 있는 접지선에서 접지점으로의 고장전류 분할율은 최대 5%로 가정한다.

3-2 계산결과

IEC규격 및 3-1항에서 제시한 계산조건을 사용하여 접지선의 굵기를 계산한 결과는 아래와 같다.

- 1) 최대지락고장전류가 흐를 수 있는 곳
(케이블 헤드접지점, 크로스본드 선)
 - XLPE 피복 접지선(동선)의 경우 : > 200 mm²
 - PVC 피복 접지선(동선)의 경우 : > 247 mm²
- 2) 기타 접지점(케이블의 보봉접속함의 접지점등)
 - XLPE 피복 접지선(동선)의 경우 : > 10 mm²
 - PVC 피복 접지선(동선)의 경우 : > 12 mm²

4. 결 론

접지선 굵기에 관한 규격을 비교 검토한 결과는 다음과 같다.

- (1) 접지선 굵기를 계산하기 위한 규격으로는 IEC Pub 364-5-54를 사용하는 것이 좋다.
- (2) 154kV 지중송전계통에서 최대지락전류가 흐를 수 있는 지

점 측, 케이블헤드 부분의 접지선 및 크로스본드 부분의 접지선 굵기는 XLPE 피복 접지선의 경우 최소 200mm²이상, PVC 피복 접지선의 경우 최소 247mm² 이상이 좋다.

- (3) 154kV 지중송전계통에서 보봉접속재 부분의 접지선 굵기는 XLPE 피복 접지선의 경우 10mm²이상, PVC 피복 접지선의 경우 12mm²이상이면 충분하나 접지선의 기계적 강도를 고려하여 최소 38mm²이상으로 하는 것이 좋다.
- (4) 작업의 난이도 등을 고려해 볼 때 접지선의 굵기는 작을 수록 좋으나 가능한 한 최고허용온도가 높은 XLPE 피복 전선을 사용하는 것이 좋다.

참고문헌

1. ANSI/IEEE std 80, "IEEE guide for Safety in AC substation Grounding", 1986
2. IEC Pub. 364-5-54, "Earthing arrangement and protective conductors(also equipotential bonding conductors)", 1992
3. 高橋 健彦, "圖解 접지설계입문", OHM사, 1990
4. 설계기준-2602, "접지설계기준", 한국전력공사, 1984