

### 345kV/154kV 직접접지계 송전설비의 내오손 설계기준(안) 해설

\*심용보, \*우정욱, \*곽주식, \*\*민병욱, \*\*이옥배, \*\*신태우, \*\*박윤석,  
\*한전 전력연구원, \*\*한국전력공사

#### Introduction on the Contamination Design Standard(Revision Proposal) of 345kV/154kV Transmission System in KEPSCO

\*E.B.Shim, \*J.W.Woo, \*J.S.Kwak, \*\*B.W.Min, \*\*O.B.Lee, \*\*T.W.Shin, \*\*Y.S.Park  
\*KEPRI, \*\*KEPCO

**Abstract** - This paper shows the design standard of KEPSCO on the contamination design for 345 kV and 154 kV transmission tower.

Up to now, because the design standard of KEPSCO on the insulation design contains 154 kV transmission system only, we had investigated the 345 kV system for the revision of design standard. With respect to the contamination design, we have used the same design philosophy which were adopted to the 765 kV transmission tower.

In order to determine the number of insulator discs, we had investigated the withstand voltage of discs according to the level of ESDD(Equivalent Salt Deposit Density) and kinds of disc types. The TOV(Power Frequency Temporary Overvoltage) were estimated by EMTP(Electromagnetic Transient Program) for both 154 kV and 345 kV transmission system. The overvoltage level was appeared 1.35 p.u. between phase to ground for both 154 kV and 345 kV transmission system, but finally this factor was not applied to the design standard considering current design standard and economic point of view.

With regard to classification of contamination area of 345 kV transmission system, we added the clean area which was not specified in the current design practise.

### 1. 서 론

한국전력에서는 345kV와 154kV 송전설비의 상용주파 전압에 대한 내오손 설계를 전면적으로 재검토하여 "직접접지방식 송변전설비 절연협조 설계기준(안)(설계기준 1032)"에 반영하였다. 기존의 설계기준에서는 154kV 급의 송변전 설비에 대한 내용만을 규정하였으나, 765kV 내오손 설계에 적용한 동일한 개념으로 345kV와 154kV 송전선로의 내오손설계를 재정립하였다. 계통 과도현상 해석프로그램(EMTP)를 이용하여 상용주파 단시간 과전압을 해석하고 과전압의 배수를 상정하였으며, 단위 kV당 연면적거리를 고려하여 설계하는 방법에서 애자의 개당내압 방법으로 변경하여 설계함으로써, 154kV, 345kV 및 765kV 송전선로의 상용주파에 대한 절연을 동일한 개념으로 설계하도록 하였다. 단, 외국의 적용 사례를 고려하여 345kV 이하의 송전선로의 상용주파 단시간과전압은 반영하지 않는 것으로 하였다. 기존의 345kV 계통에서는 청정지역에 대한 설계기준을 정하지 않았으나, 본 검토를 통하여 청정지역에 대한 기준을 정함으로써 경제성을 기하도록 하였다.

### 2. 본 론

#### 2.1 내오손 설계기준(안)

"직접접지방식 송변전설비 절연협조 설계기준(안)(설계기준 1032)" 내용중에서 내오손 설계부분의 개정안을 기술하면 다음과 같다.

#### 2.1.1 과전압

과전압의 종류는 내부이상전압과 외부이상전압으로 구분하였으며, 내부이상전압에서 상시의 계통조작 또는 선로 고장시 발생하는 단시간과전압을 상용주파단시간과전압이라 정의하였고, 차단기의 개폐 또는 송전선 지락사고시 발생하는 썬지(surge)성 과전압을 개폐과전압이라 정의하였다. 외부이상전압은 뇌격에 의하여 송전선로 또는 변전소에 침입하는 뇌과전압 (직격뇌, 역섬락)이라 정의하였다.

#### 2.1.2 절연설계 목표 과전압 배수

〈표 1〉 절연설계 목표 과전압 배수

전압별	구 분		과전압 배수 [p.u.]
154kV	상용주파 단시간 과전압	상-대지간	1.35
		중성점-대지간	0.68
	개폐 과전압	상-대지간	3.3
		상 간	4.6
345kV	상용주파 단시간 과전압	상-대지간	1.35
		중성점-대지간	0.68
	개폐 과전압	상-대지간	2.5
		상 간	4.0

#### 2.2 소요애자수량

오손지역별로 소요되는 애자수량은 〈표 2〉와 같다.

〈표 2〉 소요애자수량

전압별	오손구분		청정 지역	오손등급			
	상등등가 염분 부착밀도 (mg/cm <sup>2</sup> )	영분		A	B	C	D
154 kV	현수형	보통	10	11	12	-	-
		내무	-	-	10	11	12
	내장형	보통	10	11	12	14	16
345 kV (210kN)	현수형	보통	17	19	22	-	-
	내무	-	-	17	20	22	-
345 kV (300kN)	내장형	보통	16	17	19	22	25
		내무	-	-	17	20	22

〔주〕1. 상등등가 염분 부착밀도(ESDD)는 표준현수 애자 하면 외부 부착기준임.

2. 애자특성이 [자기애자와 다른 경우와 지역별 적용애자의 종류(보통, 내무)가 변경될 경우, 애자수량은 별도 설계함.

## 2.2 내오손 설계기준(안) 해설

### 2.2.1 직접접지방식 송변전설비의 과전압 배수

154kV 직접접지방식 송변전설비의 상-대지간 과전압 배수에 대하여 기존의 설계기준 1031(154kV 직접접지계의 절연협조기준)에 2.8(p.u.)로 명시되어 있다[1]. 그러나, 이에 대한 계산 근거가 불확실하며, 장기간의 설비 신·증설에 따라 전력계통이 많이 변경되어, 이에 따른 과전압도 많이 변화했을 것으로 생각되어 최근의 연구보고서와 전자계 과도현상 해석프로그램에 의한 모의 계산 결과를 이용하여 상-대지간 및 상간 과전압 배수를 정하였다[3].

345kV 직접접지방식 송변전설비의 상-대지간 과전압 배수에 대하여 미국 용역회사(Common Wealth Engineering)에서 최초로 설계할 당시에 용역보고서에 설계적용값 2.5(p.u.)로 명시되어 있다[2]. 그러나, 장기간의 설비 신·증설에 따라 전력계통이 많이 변경되어, 이에 따른 과전압도 많이 변화했을 것으로 생각되어 최근의 연구보고서와 EMTP에 의한 모의계산 결과를 이용하여 상-대지간 및 상간 과전압 배수를 정하였다. 보고서에서 적용한 계통은 2000년도 계통데이터를 기준으로 여러가지 변경조건을 고려하여 상정한 것이다.

〈표 3〉 송변전설비의 개폐과전압 배수

	과전압구분	현재	변경	비고
154 kV	상-대지간	2.8	3.3	계산값 적용
	상 간	-	4.6	내용추가
345 kV	상-대지간	2.5	2.5	변동없음
	상 간	-	4.0	내용추가

### 2.2.2 소요애자수량의 산출

직접접지방식 송변전설비에 적용되는 애자의 수량은 자기애자를 기준으로 검토하였다. 유리애자를 적용하는 경우에는 별도의 시험결과를 이용하여 자기애자와 동등 이상의 절연강도를 갖도록 설계하여야 한다. 또한, 고분자 애자를 적용하는 경우에는 해당 오손 구별별로 자기애자의 애자면 전체수량에 대한 절연내력과 동등이상의 절연내력을 갖도록 설계하여야 한다.

송전철탄의 오손설계내전압 목표치를 정함에 있어 상용주파단시간과전압의 배수를 고려하지 않았다. 이 과전압 배수를 적용할 경우 애자의 수량이 현재의 기준보다 많이 증가되며, 그 동안의 사용실적을 고려하면 애자수의 증결이 비경제적으로 되기 때문이다. 일본 전력회사의 경우에도 높은 신뢰성이 요구되는 기간계통의 송전선로에만 과전압 배수를 고려하여 설계하고 있으며, 낮은 전압계급에서는 상용주파단시간과전압의 배수를 고려하지 않았다. 설계에 적용한 송전철탄의 오손설계내전압 목표치는 아래 식과 같다.

$$154\text{kV 내전압 목표치} : 170 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 99 \text{ [kV]}$$

$$345\text{kV 내전압 목표치} : 362 \times \frac{1}{\sqrt{3}} = 209 \text{ [kV]}$$

### 2.2.3 345kV 오손구분의 세분화 적용

765kV 송전철탄은 청정지역을 2단계로 구분하여 적용하고 있으며, 154kV 송전철탄에도 청정지역과 오손지역의 애자수량을 다르게 적용하고 있으나, 345kV 송전철탄에서만 오손구분 A지역 이하를 동일하게 설계하고 있으므로, 345kV 송전철탄도 이를 구분하여 적용하였다.

### 2.2.4 애자수량의 산출

765kV 송변전 설비의 오손설계는 정인무중법(定印霧中法)에 의한 애자 개당의 설계내전압곡선을 이용하여 상용주파단시간과전압에 건디도록 설계하였으며, 기존의 345kV 송변전 설비와 154kV 송변전 설비의 오손설계는 연면누설거리방식에 의하여 설계하였다.

정인무중법은 애자의 시험방법이 실제의 송전철탄에서 일어나는 현상과 가장 유사한 방법이며, 전압 계급별로 일관된 기준을 적용하기 위하여 본 기준에서는 정인무중법에 의한 애자의 개당 내압곡선을 이용한 오손설계를 적용하였다.

### ○ 계통 최고운전전압의 상승에 따른 애자수량의 산출 예

기존의 설계기준을 적용하던 당시의 운전전압은 154kV이었으나, 현재는 161kV 계통이라고 할 수 있으며, 기기의 최고 운전전압은 170kV를 적용하고 있다. 따라서, 애자의 수량도 170kV의 최고운전전압을 적용함이 타당하다. 154kV 송전선로에서 120kN 보통애자를 사용하는 청정 및 오손구분 A지역의 예를 들면, 소요 연면누설거리는  $19.1[\text{mm/kV}] \times 170[\text{kV}] = 3,247[\text{mm}]$ 가 되고, 120kN 보통애자의 연면누설거리는 280mm

$$\text{이므로 애자 수량은 소요애자수량} = \frac{19.1 \times 170}{280} \approx$$

12개가 된다. 적용 전압을 154kV로 하면 애자수량은 11개가 된다.

345kV의 경우도 기존의 연면누설거리방식에 의한 설계에서 전압은 345kV 계통 초기에 사용하던 계통최고 운전전압인 345kV로 계산하였으나, 계통의 최고운전전압을 적용하는 것이 타당하므로, 현재의 최고운전전압 362kV로 적용하면 아래와 같다. 345kV 4도체 송전선로에서 210kN 보통애자를 사용하는 청정 및 오손구분 A지역의 예를 들면, 소요 연면누설거리는  $17.8[\text{mm/kV}] \times 362[\text{kV}] = 6,444[\text{mm}]$ 가 되고, 210kN 보통애자의 연면누설거리는 330mm(NGK 애자는 370 mm)이므로 애자 수량은 소요애자수량 =

$$\frac{17.8 \times 362}{330} \approx 20 \text{ 개가 된다. NGK 애자를 기준으로}$$

로 하면 소요애자수량은 18개가 되며, 적용 전압을 345kV로 하면 애자수량은 각각 19개 및 17개가 된다.

### ○ 154kV 내장형 애자면의 우세효과에 대한 검토

기존의 설계기준에는 내장형 애자면의 설계시 비에 의한 자연세정효과(우세효과)를 고려하고 있으나, 765kV 및 345kV 설계와 동일하게 이를 고려하지 않고 현수형과 동일하게 적용하였다. 일본의 전력회사 등에서도 동일하게 적용하고 있다.

### ○ 개당 내압방식에 의한 애자수량의 산출 예

동일한 조건에서 개당 내압방식으로 설계하면 애자수량은 다음과 같다. 154kV의 경우, A지역에 대한 표준애자의 개당 내압은 9.7kV이므로 내전압 목표치 99kV를 애자의 개당 내압으로 나누면 애자수량은 11개가 소요된다. 345kV의 경우, A지역에 대한 NGK 애자의 개당 내압은 11.2kV이므로 내전압 목표치 209kV를 애자의 개당 내압으로 나누면 애자수량은 19개가 소요된다.

### ○ 오손지구별 애자수량의 산출 예

계통의 최고 운전전압 상승(170kV, 362kV)을 고려하여 오손지구별로 연면누설거리방식과 개당내압방식으로 설계하였을 경우를 비교 검토하였다. 연면누설거리방식과 애자의 개당 내압방식에 의한 소요 애자수량의 비교를 정리한 것이 〈표 4〉, 〈표 5〉이다. 345kV의 경우, 청정 및 A지역을 기준으로 하면 기준에는 현수형에 210kN 애자 18개, 내장형에는 300kN 애자 16개를 사용하였으나, 변경 기준으로 보면 현수형 210kN 애자는 청정

〈표 4〉 산출방식에 따른 애자 수량의 비교(154kV)

애자 규격 [주1]	오손 구분	청정 지역	오손등급			
			A	B	C	D
	ESDD [mg/cm <sup>2</sup> ]	0.03 이하	~0.063	~0.125	~0.25	~0.5
120kN 보통 (현수)	기존의 설계기준	9	11	13	14	16
	연면누설거리방식	-	12	14	16	17
	개당내압 방식	10 [주1]	11	12	14	16
120kN 내무 (현수)	기존의 설계기준	-	7	8	9	10
	연면누설거리방식	-	8	9	10	11
	개당내압 방식	-	-	10	11	12
120kN 보통 (내장)	기존의 설계기준	10	10	12	13	14
	연면누설거리방식	-	11	13	14	16
	개당내압 방식	10 [주1]	11	12	14	16

- [주] 1. 오손에 대하여는 계산값 9개로 설계가 가능하나 아킹혼 간격과 혼능률을 유지하기 위하여 10개를 사용함.  
 2. "연면누설거리방식"이라 함은 기존의 설계기준에 의거 애자수량을 산출하되, 계통의 최고운전전압을 170kV로 계산한 경우임.

〈표 5〉 산출방식에 따른 애자 수량의 비교(345kV)

애자 규격 [주1]	오손구분	청정지역	오손등급			
			A	B	C	D
	ESDD [mg/cm <sup>2</sup> ]	0.03이하	~0.063	~0.125	~0.25	~0.5
210kN 보통	연면누설거리방식	-	18	22	23	27
	개당내압 방식	17	19	22	26	29
210kN 내무	연면누설거리방식	-	-	-	16	18
	개당내압 방식	-	-	17	20	22
300kN 보통	연면누설거리방식	-	16 [주1]	16	19	22
	개당내압 방식	16 [주2, 3]	17	19	22	25

- [주] 1. NGK애자(연면누설거리 460mm)를 기준으로 하면 13개, 연면누설거리 370mm의 애자를 기준으로 하면 16개가 된다. 또한, 아킹혼 간격을 유지하기 위하여 16개의 애자가 필요하므로 B지구까지는 동일한 설계가 된다.  
 2. 오손에 대하여는 계산값 14개로 설계가 가능하나 아킹혼 간격과 혼능률을 유지하기 위하여 16개를 사용한다. 개폐과전압에 전지기 위한 공기절연간격은, 애자 14개를 사용시 애자련의 총길이 2,730mm에 혼 능률 75%를 고려하면 2,047mm가 되어 아킹혼의 최소간격 2,340mm를 만족시키지 못한다. 애자 15개 사용시 애자련의 총길이 2,925mm에 혼 능률 75%를 고려하면 2,200mm가 되어 아킹혼의 최소간격 2,340mm를 만족시키지 못한다.  
 3. 혼능률이 커지면 애자련의 보호에 문제가 생기고, 혼간격을 줄이면 송전철탑의 내뢰성이 떨어지게 되며, 개폐과전압에 대한 공기절연간격을 확보할 수 없게 된다.

지역에서 17개, 오손 A등급에서는 19개로 1개가 증가된다. 내장형 300kN 애자는 청정지역에서 16개로 현재와 같고, 오손 A등급에서는 17개로 1개가 증가된다.

### 3. 결 론

345kV 및 154kV 송전설비의 상용주파전압에 대한 내오손 설계를 전면적으로 재검토하여 "직접접지방식 송변전설비 절연협조 설계기준(안)(설계기준 1032)"에 반영하였다. 기존의 설계기준에서는 154kV급의 송변전설비에 대한 내용만을 규정하였으나, 765kV 내오손 설계에 적용한 동일한 개념으로 345kV와 154kV 송전선로의 내오손설계를 재정립하였다. 계통 과도현상 해석 프로그램(EMTP)를 이용하여 상용주파 단시간 과전압을 해석하고 과전압의 배수를 상정하였으며, 단위 kV당 연면누설거리를 고려하여 설계하는 방법에서 애자의 개당내압을 기준으로 변경하여 설계함으로써, 154kV, 345kV 및 765kV급 송전선로의 상용주파에 대한 절연을 동일한 개념으로 설계하도록 하였다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 설계기준 1031 (154kV 직접접지계의 절연협조기준)
- [2] Commonwealth Associate Inc., "PLANNING AND DESIGN STUDIES FOR 345kV TRANSMISSION SYSTEM OF KOREA ELECTRIC COMPANY", Engineering Report R-1271, 1969, pp V-2
- [3] 전력연구원, "345kV 및 154kV Gapless형 피뢰기 정격 규격 및 기준정립 연구", 2000년 3월,
- [4] 전력연구원, "765kV 송전선로 공기절연거리 실증연구", 최종보고서, 1996, pp 152~152
- [5] 일본전력중앙연구소, "187kV~1,100kV 교류송전선의 전기적 설계 핸드북"
- [6] 전력연구원, "765kV 계통 절연협조 연구", 최종보고서, 1995, pp 104~105
- [7] 일본전력중앙연구소, "가공지선 3조화 및 하부 차폐선의 설치에 의한 역설락의 억제", 1990년