

송전용 피뢰장치 공극 및 정격 설계 기술

한세원, 조한구, * 유근양
한국전기연구원, (주)평일

The Design Technology on Gap and Ratios of Surge Arrester for Transmission Line

Han Se-Won, Cho Han-Goo, * Yu Kun-Yang
Advanced Electrical Materials Group KERI, * Pyungil Co. Ltd

Abstract - 송전용 피뢰장치의 공극 및 정격을 설계하는 기술을 검토하였다. 공극형 피뢰기를 설계하기 위해서는 먼저 공극의 길이를 결정하는 것이 우선되어야 한다. 공극의 길이는 주변 아킹흔 및 피뢰기 소자의 제한전압 방전특성과의 절연협조를 통해 결정되며 속류차단성능 또한 적절한 공극설계로부터 확보된다. 송전용 피뢰장치의 정격전압은 TOV특성과 과전수명특성 등을 지배하는 접지계수와 여유도 등이 달라진다. 절연협조와 속류차단성능은 공극의 길이를 최적으로 설계하여야 가능하므로 세심한 주의가 요구된다. 계통전압 154kV급 송전용 피뢰장치의 공극길이를 650mm로 설계하는 경우 피뢰기 소자의 제한전압은 228kV로 설계가 가능하다.

표 1. 공극형과 무공극형 피뢰기 비교

항목	무공극형	공극형
기본구조	·현수에차장자와 피뢰기와 공극 병렬 연결	·현수에차장자와 피뢰기만 병렬 연결
차승전	·피뢰기소자부에서 단락고장 발생시 공극에서 절연이 유지되어 강제 차승전 가능	·피뢰기소자부에서 단락고장 발생시 강제 차승전 불가능
동적특성	·내서지에 대한 공극에서 영향을 유도함으로써 인해 발생하는 속류 차단하기 위해 %사이클 시간이 필요	·내서지에 대한 공극 성격이 필요없어 보호 특성은 안정
열화	·피뢰기소자부에 상시교류전압이 인가되지 않기 때문에 열화가 거의 없다.	·피뢰기소자부에 상시교류전압이 인가되므로 과전 열화 대책이 필요
내오손	·오손내전시간은 단시간(속류차단시간)으로 설계되므로 피뢰기 소형화 가능	·피뢰기소자부에 상시교류전압이 인가되므로 충분한 오손 설계가 요구
구조	·상시교류과전 상태가 아니므로 지지재 예지의 소재의 적용이 용이 ·피뢰기소자 수를 줄일 수 있어 소형화 가능	·상시교류과전 상태이므로 열화가 적은 지지재 예지의 사용이 바람직 ·내형화에 따른 중량 증가
설치	·변압에 의한 정격선 발전에 대한 공극길이의 변화를 억제하는 대책 필요	·비교적 간단한 방식으로 설치 가능

1. 서 론

송전용 피뢰장치는 낙뢰에 대한 적극적인 억제 방안이다. 지금 까지 고비용 문제로 적용에 어려움이 있었으나 최근 보다 안전하고 신뢰성을 요구하는 전력 환경 수요의 증가로 일본, 미국 등의 선진국에서는 적극적인 개발과 적용이 확대 추세에 있다. 일본의 경우 송전 계통 전 분야에 실제 적용 운용하고 있고 전력 회사들은 이를 더 확대할 계획을 가지고 있다. 국내의 경우 최근 송전선로에 시사용하여 그 성능과 효과를 시험 중이다. 송전용 피뢰 장치의 구조면에서 공극형과 무공극형이 있다. 무공극형의 경우 ZnO 소자의 완전한 동작과 설계 조건이 갖추어 지면 전혀 속류가 없는 안전한 서지 보호가 가능하지만 상시 과전 상황에 의한 열화 대책이 만만치 않다. 따라서 일본과 구미의 경우 대부분 공극형 피뢰기를 사용하여 열화에 대한 안정성을 확보하는 경향이 있다. 본 연구에서는 송전용 피뢰장치의 공극 및 정격을 설계하는 기술을 검토하였다.

2. 본 론

2.1 공극형과 무공극형 피뢰기 비교

표 1은 송전용 피뢰기로 사용되는 공극형과 무공극형 피뢰장치의 장단점을 비교한 것이다. 무공극형의 경우 단락 고장 시 공극에서 절연을 유지하므로 복구 후 재송전이 가능하다. 또한 상시과전상태가 아니므로 피뢰기 소자의 열화는 거의 발생하지 않고 절연부 설계 여유가 있어 신소재 고분자 등을 적용하여 소형화가 가능한 장점이 있다.

2.2 핵심설계요소

송전용 피뢰장치를 설계하기 위한 핵심 요소는 표 2에 나타낸 바와 같이 우선 1)절연협조기능, 2)속류차단능력, 3)내전압성능의 3가지 요소가 검증되어야 안전한 설계를 얻을 수 있다. 특히 절연협조와 속류차단성능은 공극의 길이를 최적으로 설계하여야 가능하므로 세심한 주의가 요구된다.

표 2. 송전용 피뢰장치 핵심설계 요소

개념	항목	내용
핵심설계	· 절연협조	· 아킹흔-직렬공극-피뢰기소자 절연협조 · 직렬공극 : 아킹흔 길이 50-70% · 피뢰기 제한전압 : 아킹흔에 성격이 발생하지 않는 범위 · 성격특성과 피뢰정보 부록 · 아킹흔의 노멀링스 규정과 50%성격전압과 최대방전전류에 의한 피뢰기 제한전압과 10%차이를 두고 설계
	· 과전차단	· 공극 거리, ~V특성(상시류영역), 외부누설전류(오손특성) · %~1사이클내 차단 : 내부 속류와 외부 속류 조합 · 공극은 위 조건을 만족하는 개폐 서지 내전압 특성을 만족하는 것으로 설계
적용설계	· 내서지안정성	· 개폐 서지 내전압 : 유효전압 2.8-3.3pu · 상류 추파 내전압 : 정격 전압
	· 방폭성능	· 열화에 위치하므로 방폭 대비 중요
	· 기계적강도	· 풍압, 진동, 강하 구조 하중에 대한 기계적 강도 설계
	· 내후성	· 내후성 절연 하우징 소재 적용
	· 정확성	· 도체, 절연, 접지 적절한 절연협조 · 개폐 서지 전압에 대한 내열연 설계
· 직렬성	· 고공 설치 및 산악 등 난조전 작업에 대한 권역, 감형률 추구	

2.3 절연협조설계

송전용 피뢰장치는 아킹흔과 더불어 사용하므로 표 3과 같이 아킹흔과의 방전특성을 시험하여 절연을 확보한 이후에 피뢰기 소자의 제한 전압과 아킹흔과의 방전특성을 시험하여 절연협조가 이루어지는지를 확인하여 설계치를 얻을 수 있다. 일반적으로 공극의 길이는 아킹흔 길이의 50-70%정도가 되지만 속류차단능력과 개폐서지 내전압을 고려하여 최적의 길이를 선택한다.

표 3. 절연협조 설계

절연협조	설계방향	계명도
<ul style="list-style-type: none"> • 뇌서지 발생시 Z₁, Z₂, L 어느 쪽에도 설비가 발생하지 않는 Z₂ 설계 • Z₁, Z₂ 간의 절연협조 우선 • 공극길이와 권극협상 설계 기본 • V-t 뇌서지 특성 시험 확인 • 일반적으로 공극길이는 아킹론 길이의 50~70%로 정해짐 • 절연협조상 공극이 없으면 유리하지만 속류차단능력과 개폐서지 내전압을 고려하여 최적길 선택 		
<ul style="list-style-type: none"> • 뇌서지가 들어오면 피뢰기 소자 제한전압 특성에 따라 피뢰기 단기간 전류상승이므로 아킹론에서 생략이 먼저 발생하지 않도록 절연협조 필요 • 최대방전전류 제한전압과 아킹론 V₅₀를 시험 • 10%이상 차이가 나도록 설계 		

2.4 뇌서지 V-t 특성

송전용 피뢰장치는 섬락전압(V)-섬락시간(t) 특성시험이 중요하다. 그림1과 같이 주로 2μs-10μs 섬락시간에 대한 공극과 절연물의 섬락전압을 시험하여 피뢰기 정격에 적당한 섬락 여유를 설계한다. 일반적으로 절연물과 공극의 섬락전압 여유도는 대략 25% 정도를 유지하는 것이 일반적이다.

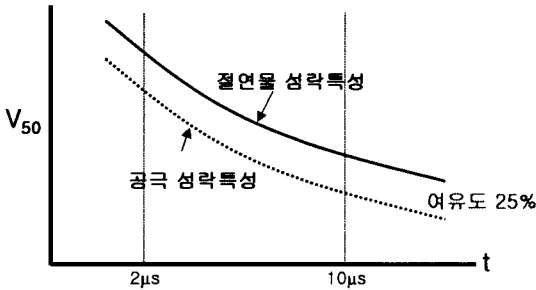


그림 1. 뇌서지 V-t 특성

2.5 정격전압설계

송전용 피뢰장치의 정격전압은 무공극형과 공극형에서 차이가 있다. 무공극형의 경우 일반적으로 사용되는 정격 설계 과정으로 정격을 계산하지만 공극이 있는 경우 피뢰기의 TOV특성과 과전수명특성 등을 지배하는 접지계수와 여유도 등이 달라진다. 피뢰기의 정격전압을 다음과 같이 계산된다.

$$E_s = \alpha \beta U_m / \sqrt{3} = k U_m$$

여기서, α는 접지계수, β는 여유도, U_m은 최대허용전압(선간전압=공칭전압×(1.2/1.1)) k는 U_m계통에 대한 정격지수, E_s는 피뢰기 정격전압

표 4는 이러한 요소를 고려하여 계통전압 154kV급 송전용 피뢰장치의 정격을 설계한 값은 비교한 것이다.

표 4. 송전용 피뢰장치 정격설계

피뢰장치구조	설계요인	정격전압
무공극형	<ul style="list-style-type: none"> • 비유효점지 : α(√3), β(1.15) • 유효점지 : α(1.25), β(1.15) 	193kV
공극형	<ul style="list-style-type: none"> • 피뢰기과전수명, TOV특성고려 선정 • 최고계통전압(공칭전압 ×(1.15/1.1)) • 가능한 정격전압을 낮추어 소형화 • √3×154kV×(1.15/1.1)×(1/√3) 	161kV

2.6 공극 정격전압설계

송전용 피뢰기의 공극 정격전압은 다음과 같은 방법으로 계산이 가능하다.

$$E_s = \alpha \beta U_m (\sqrt{2} / \sqrt{3})$$

여기서, α는 기상보정계수, β는 개폐서지배수, U_m은 최대허용전압 (선간전압=공칭전압×(1.2/1.1)), k는 U_m계통에 대한 정격지수, E_s는 피뢰기 개폐서지 방전시험전압

공극의 정격전압은 보정계수 1.1과 개폐서지배수 3.3을 적용하면 497kV가 얻어진다. 이러한 설계치는 외산제품의 경우에도 154kV급 송전선로용 피뢰장치에 일반적으로 적용되는 값이다. 표 5는 송전용 피뢰장치의 공극정격을 계산한 결과를 요약한 것이다.

표 5. 송전용 피뢰장치 공극정격전압

피뢰장치구조	설계요인	공극정격전압
공극형	<ul style="list-style-type: none"> • 피뢰기 최소공극 설계 시험 • 최고계통전압(공칭전압×(1.2/1.1)) • 보정계수1.1, 개폐서지배수3.3 • 154kV×(1.2/1.1)×(√2/√3)×1.1×3.3 	497kV

2.7 뇌서지 섬락전압 특성

표 6은 송전용 피뢰기 정격별 뇌서지 섬락전압 특성을 비교한 것이다. 일반적으로 공극이 있는 경우 송전용 피뢰기의 뇌서지 섬락전압은 공극 섬락전압의 50% 정도 값을 갖는다. 피뢰장치의 구조는 다양하므로 이러한 섬락전압 특성은 정격에 따라 섬락전압 시험을 통해 섬락특성 안정성을 확인하여야 한다. 뇌서지 섬락전압 특성 시험으로부터 공극형 피뢰장치의 제한전압값을 설계할 수 있다. 공극의 섬락값과 피뢰기 소자의 제한전압의 합이 피뢰기 전체 섬락전압 특성으로 나타나므로 표 6에서 알 수 있듯이 계통전압 154kV급 송전용 피뢰장치의 공극길이를 650mm로 설계하는 경우 피뢰기 소자의 제한전압은 228kV로 설계가 가능하다.

표 6. 뇌서지 섬락전압과 제한전압 특성

정격전압 [kV]	공극거리 [mm]	V ₅₀ /공극(피뢰기)		V ₅₀ /공극		동적개시전압 V _{mi} [kV]
		정	부	정	부	
77	430	426	427	290	307	124
154(161)	650	497	-	251	-	228
275	1200	1067	1225	730	767	362
500	1800	1753	1868	1125	1182	560

2.7 외산제품 주요사양

표 7은 주요 외산 송전용 피뢰기 장치의 주요사양을 비교 요약한 것이다. 국내 서지 환경에 적합하고 최근 고분자 절연물의 적용이 활성화되는 단계에서 기능과 소형 경량화를 구현하기 위해서는 주요 사양들의 면밀한 검토가 필요하다.

표 7. 외산 송전용 피뢰장치의 사양비교

[참고 문헌]

번호	항목	154	161	161
1	• 계통전압 [kV]	154	161	161
2	• 정격전압 [kV]	161-168	161	161
3	• 정격방전전류 [kA] 2/20us	15-20	10-15	10
4	• 최대방전전류 [kA] 2/20us	40-60	40-47	10
5	• 제한전압 [kV] at 최대방전전류 [kA] 2/20us	490-550	490-505	-
6	• 동작계시전압 [kV]	228-238	2280이상	2280이상
7	• 방압전류 [kA] 0.2sec	31.5-40	25-35	-
8	• 내오손성능(mg/cm ² , 0.02sec)	0.12 at 161[kV]	0.12	0.35
9	• 기계적강도 [kg]	150-300	300	400[Nm]
10	• 길이 [mm]	1420	1190	-
11	• 갯직경(내) [mm]	165(145)	-	-
12	• 무게 [kg]	29	26-36	8
13	• 공극거리 [mm]	800	500	-
14	• 제작사	Melden	NGK 외	Otowa

2.8 주요 시험 항목

표 8은 송전용 피뢰기 장치의 주요 시험 항목을 요약한 것이다. 무공형 피뢰기와 다른 절연협조 특성시험, 속류차단시험, 동작책무시험 등이 요구된다. 특히 절연협조를 확인하기 위해서 V-t 특성시험이 필요하며 속류차단 시험 항목의 경우 정격전압에서 1/2사이클 이내에 차단이 가능한지를 확인하는 시험이 요구된다.

표 8. 송전용 피뢰기 장치의 주요 시험 항목

번호	항목	사양	예제치
1	직렬공극 내전압	• 상용주파전압	• 정격전압(161kV) 2초
		• 정상	• 2pu(u+3σ)
		• 고장	• 1.8pu (u+2σ)
2	절연협조특성	• V-t 시험 • 전압-전류 특성 곡선	• 등전위시정합(0.2kV)
3	속류차단시험	• 규정보수도(0.06-0.12), • 정격전압(161kV)에서 %사이클 내에 차단	• 오손차단시험 • 정격전압(161kV) • 소형과 차단되는 최대 문진 간합 설계치
4	뇌서지동작책무	• 정격전압, 정격방전전류(15kA) 정부 각 5회 후 • 제한전압 변화율	• 정격전압, 정격방전전류(15kA) 정부 각 5회 후 • 제한전압 변화율
5	방압시험	• 방압전류 50kA, 0.2sec • 400A, 2sec • 폭발 비산 상태	• 방압전류 50kA, 0.2sec • 400A, 2sec • 폭발 비산 상태
6	기계적강도	• 150-300 kg	• 300 kg
7	하우징	• 내후성	• 실란트

3. 결 론

본 연구에서는 송전용 피뢰장치의 공극 및 정격을 설계하는 기술을 검토하였다. 무공극형의 경우 단락 고장 시 공극에서 절연을 유지하므로 복구 후 재송전이 가능하다. 또한 상시과전상태가 아니므로 피뢰기 소자의 열화는 거의 발생하지 않고 절연부 설계 여유가 있어 신소재 고분자 등을 적용하여 소형화가 가능한 장점이 있다. 송전용 피뢰장치를 설계하기 위해서는 1)절연협조기능, 2)속류차단능력, 3)내전압성능의 3가지 요소가 검증되어야 안전한 설계를 얻을 수 있다. 특히 절연협조와 속류차단성능은 공극의 길이를 최적으로 설계하여야 가능하므로 세심한 주의가 요구된다. 공극의 길이는 아킹흔 길이의 50-70%정도가 되지만 속류차단능력과 개폐서지 내전압을 고려하여 최적의 길이를 선택한다. 송전용 피뢰장치는 섬락전압(V)-섬락시간(t) 특성시험이 중요하다. 절연물과 공극의 섬락전압 여유도는 대략 25%정도를 유지하는 것이 일반적이다. 뇌서지 섬락전압 특성 시험으로부터 공극형 피뢰장치의 제한전압값을 설계할 수 있다. 공극의 섬락값과 피뢰기 소자의 제한전압의 합이 피뢰기 전체 섬락전압 특성으로 나타나므로 계통전압 154kV급 송전용 피뢰장치의 공극길이를 650mm로 설계하는 경우 피뢰기 소자의 제한전압은 228kV로 설계가 가능하다.

- [1] 산화아연피뢰기의 최근 동향, 일본전기학회 논문지B, 114(5), p437
- [2] 피뢰기개발의 역사, 일본 明電時報, 5(226), 1992, p2
- [3] 3-500kV 계통적용 피뢰기 해외수출 피뢰기, 일본 明電時報, 5(226), 1992, p5
- [4] 송전용 피뢰장치, 일본 明電時報, 5(226), 1992, p10
- [5] 피뢰기의 적용과 동향, 日立評論, 73(6), 1991-6, p23
- [6] 산화아연소자의 신적용 기술동향, 일본전기학회기술보고, 579호, 전력,에너지부문,1996-2
- [7] 송전용 피뢰장치의 개발상황과 적용효과, 일본전기학회기술보고, 367호, 1991년 4월
- [8] 송전선로용 피뢰기의 개발동향과 적용시의 효과 모의 계산, 전기전자재료학회지, 11(7),1998년 7월, p610
- [9] Transmission line arrester energy, cost, and risk of failure analysis for partially shielded transmission lines, IEEE Transactions on power delivery 15(3), 2000 July, p919
- [10] Design of zinc oxide transmission line arresters for application on 138kV towers, IEEE Transactions on power apparatus and systems, PAS-104(10), 1985 October, p2675
- [11] Transmission line arresters in japan, INSULATOR NEWS & MARKET REPORT, 1997 May/June, p6