

## 국내 피뢰기 기술 및 연구 동향

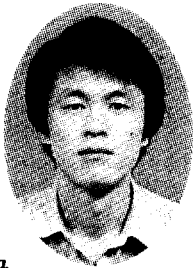


### 1. 서 론



한세원

한국전기연구소 절연·피뢰기  
기술연구팀 선임연구원. 관심분  
야 : ZnO소자, 신소재 절연물



조한구

한국전기연구소 절연·피뢰기  
기술연구팀장. 관심분야 : 신소  
재 절연물(composite insulator,  
arrester) 및 진단평가기술



김은동

한국전기연구소 전기재료연구  
부장. 관심분야 : 전력용 반도  
체 설계기술, ZnO소자

최근 전자기기 및 고도의 정보  
화가 진행되면서 고품질의 전력  
공급이 요구되고 있다. 이러한 배  
경과 더불어 전력계통과 전기기  
기의 신뢰성 향상을 위해서는 뇌  
로 대표되는 이상 과전압으로부터  
기기와 설비를 보호하는 기술  
을 확립하는 것은 중요한 과제이다.

전력계통이나 전력기기 보호  
용으로 피뢰기가 적용된 것은 이  
미 오래 전의 일이며 뇌서지  
(lighting surge)를 억제하는 기술  
의 발달로 '80년대 들어서면서  
다양화와 고기능화 양상을 띠게  
되었다. 특히 ZnO소자의 개발로  
신뢰성이 크게 향상되어 이를 바  
탕으로 적용개소와 피뢰기 시스  
템의 고기능화가 가속되었다고  
할 수 있다. 또한 최근에는 절연  
외피(housing)소재가 기존 자기  
질(porcelain)에서 고분자 재질  
(polymeric materials)로 대체되  
면서 보다 가볍고 내오손성능이  
우수한 고분자 피뢰기류의 개발  
이 활발히 진행되고 있다.

본 내용에서는 피뢰기의 기술  
적 상황을 소개하고 현재 국내  
업체 및 연구기관에서 개발되는  
피뢰기 제품의 종류와 적용 기술,  
그리고 앞으로 연구 개발되어야  
하는 주요 기술적 분야를 외국의  
예와 비교하여 간단히 정리하고  
자 한다.

### 2. 피뢰기의 분류 및 적용

피뢰기는 사용장소, 성능, 공극  
(gap)의 유무 그리고 외피소재의  
재질에 따라 제품을 분류할 수 있

다. 사용 장소에 따른 분류로는  
크게 계통전압 등급에 따라 송전,  
발·변전 그리고 배전용 서지 보  
호용 피뢰기가 개발되어있다. 수  
요적인 측면에서 배전용과 변전용  
에 적용되는 피뢰기가 많아 이 분  
야에 개발이 활성화 되어있다. 국  
내의 경우 배전급 피뢰기는 어느  
정도 개발이 이루어져 배전계통에  
사용되고 있으나, 이의 핵심기술  
인 ZnO소자의 제조기술에는 아직  
국산화가 되어 있지 않다. 또한  
최근 국내외에서 연구개발되고 있  
는 고분자 피뢰기에 있어서 중요  
한 방압 및 기밀설계기술 등 기술  
적 난이도가 요구되는 변전급 이  
상의 피뢰기는 아직 거의 국산화  
가 이루어지지 않고 부분적인 요  
소 기술만이 연구되고 있는 실정  
이다.

그림 1은 피뢰기가 적용되는  
사례를 간단히 나타낸 것이다. 회  
전기기 보호용 피뢰기는 방전전류  
가 낮은 특성을 가지고 있고 전류  
변성기, 직렬 리액터, 단권 변압기  
를 보호를 목적으로 사용되는 피  
뢰기는 직렬 보호용 피뢰기로 분  
류되어 있다. 특히 회로 전압은  
낮으나 개폐 서지가 가혹한 전철  
에서는 전철용 피뢰기를 따로 분  
류하여 개발하고 있다. 표 1은 각  
종 케이블 시스템에 적용되는 피  
뢰기의 종류를 종류를 나타내었  
다. 이 다양하다.

피뢰기의 성능을 결정하는 주요  
한 요소인 ZnO소자는 종래 탄화  
규소(SiC)소자에서 비선형 특성이  
개선된 산화아연(ZnO)소자로 거의  
대체되는 추세이다. 탄화규소 소자를  
이용한 피뢰기의 경우 직렬로 공

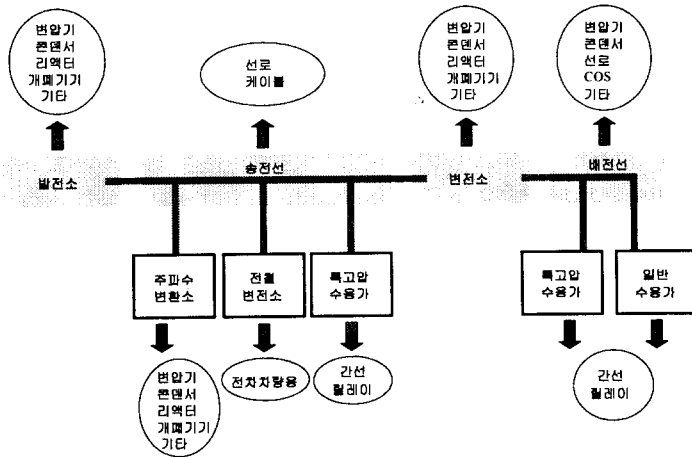


그림 1. 피뢰기의 주요 적용 사례

미국, 유럽등 선진국에서 일반적으로 추구하는 내용을 포괄적으로 설명한 것으로 국내 피뢰기 기술 개발의 현실은 아직 낙후하다고 볼 수 있다. 최근 배전용 피뢰기의 개발이 어느 정도 활성화되고 있고 변전용 피뢰기와 전철용 피뢰기 제품의 국산화를 위한 기술 개발에 산. 학. 연이 관심을 가지고 추진하는 것은 다행스런 현상이다. 표 2에 국내·외 피뢰기 기술의 일반적 기술 사항을 간단히 비교하여 나타내었다.

### 3. 피뢰기 핵심 기술 및 국내 기술

피뢰기 개발과 관련하여 핵심기

표 1. 피뢰기 종류 및 보호장치

적용	주요보호장치	주요 특성
발·변전용	변압기 내장형	고온 유증 과전특성
	콘덴서 보호용	에너지내량
	SVC 보호용	에너지내량, 열적안정성
	리액터 보호용	과전수명
	개폐기 내장형	내충격성, 내진성
송전용	직렬 공극형	내아크성
	직렬 무공극형	내아크성
배전용	변압기 내장형	고온 유증 과전특성
	개폐기 내장형	내진성, 과전수명
	내뇌 혼	내아크성
	내뇌 COS	방폭성, 기밀성
	지지애자 내장형	내아크성, 내오손특성
저압용	회전기 보호용	분류특성
	각종 전자부품 보호용	에너지내량
기타	케이블 시스 보호용	방압특성
	OF케이블 보호용	에너지내량, 과전특성
	전철용	다중채무특성, 내진성
	GTO 차단기용	에너지내량

표 2. 국내·외 피뢰기 기술 현황

구분	국내	국외
피뢰기 제작기술	- 공극형 배전용 피뢰기(75kV, 9kV, 18kV) : 1982년 단화규소(SiC) 소자를 이용한 25kA 공극형 피뢰기 제작 - 무공극형 배전용(18kV) : 1993년 산화아연(ZnO) 소자를 이용한 무공극형 피뢰기 제작 - 발변전용 피뢰기 및 저압 피뢰기 : 전량 수입에 의존 - 폴리머 피뢰기 : 배전용으로 개발 진행중이며, 변전용(21kV, 10A)은 애란을 수입하여 일부 조립 생산	- 배전용, 발변전용, 송전용 피뢰기 : 애란용 피뢰기에 대해서는 설계 및 제작 기술은 완료 - 폴리머 피뢰기 : 24kV급 이하의 전력용 피뢰기를 개발하여 국내 및 해외에 사용하고 있으며, 설계 및 제작기술은 활용화 단계(미국, 일본) - 저압피뢰기 : 방전 내량별 적용개소별로 규격 및 형상을 다양화하여 활용화 단계
소자기술	- 1982년 SiC소자 개발 - 1993년 ZnO소자 개발확수, 삼홍중전기(주) - 1994년 ZnO소자 개발확수, 코어애자공업(주)	- 1965년 ZnO 바리스터 개발 - 1968년 ZnO소자 개발 - 1975년 ZnO소자(2 $\phi$ , 56 $\phi$ 5kV-6kV) 개발 - 1978년 고에너지 서지 흡수기 및 ZnO 피뢰기 소자 개발 - 현재 피뢰기의 고에너지, 서지 특성 향상, 입자의 대형화, 성형 및 소성 기술 측면에서 연구 활용 단계
애란기술	- 자기애란 : 국내도 생산하고 있으나, 상당 부분 미국, 일본 등지에서 수입 - 폴리머 애란 : 원료부분 전량 수입, 성형기술 일부 국산화	- 자기애란 개발(대형화) - 고분자 애란 (1990년 미국, 1993년 일본)이 개발, 상용화
유전보수	- 조립, 생산 이후의 신뢰성 검증의 부재	- 고신뢰성을 위한 장기적 가속열화 시험 시행 및 열화특성 연구 - 피뢰기 열화 측정기를 개발하여 활용화
기타	- 조립, 생산 이후의 신뢰성 검증의 부재	- 고신뢰성을 위한 장기적 가속 열화시험시행 및 열화특성 연구 진행

극(gap)을 두어 방전을 유도하여 이상전압을 차단하는 공극형 피뢰기로 개발되었으나, 비선형 특성이 개선된 산화아연 소자의 피뢰기는 직렬 공극을 없애고 산화아연 소자로만 구성된 간단한 구조의 피뢰기 설계를 가능하게 하였다.

기존 자기질 애란으로 만들어진 피뢰기는 무겁고 사고시 폭발로

인한 파편 비산으로 안전상의 문제를 내포하고 있었지만, 최근 이를 개선한 고분자 소재의 하우징(housing)이 개발되어 보다 가볍고 폭발 비산에 대한 안전성과 내오손능력이 우수한 고성능 고분자 하우징 피뢰기 개발이 주류를 이루고 있다.

지금까지의 기술적 사항은 일본,

설계기술과 재료개발기술로 분류할 수 있다. 설계기술은 서지 환경에 대한 이해와 이를 억제하기 위한 피뢰기의 올바른 전기적, 열적, 기계적 특성을 산정해 내는 설계를 말한다. 피뢰기의 적용 환경이 다양한 만큼 서지의 특성과 선로 임피던스 특성을 적절히 해석하기 위해서는 계통해석과 연계

한 EMPT 해석이 필요하다.

설계 기술과 더불어 ZnO소자와 외피 하우징 소재의 제조기술 및 평가기술, 그리고 최근 신소재 제품으로 개발되는 고분자 하우징 피뢰기의 경우 내부 FRP(fiber reinforced plastics) 제조기술 등을 핵심기술로 분류할 수 있다. 피뢰기 설계시 세부기술을 요약하면 표 3과 같다.

피뢰기에 서지가 침입하는 경우 집중 전위의 완화를 위해서 전위 분포의 균일화와 절연설계의 최적화가 요구된다. 기존 탄화규소 피뢰기의 경우 아크 갭의 최적화 설계 등을 통해 아크 에너지를 흡수하는 방법이 사용되었으나 최근 산화아연소자를 적용한 피뢰기의 경우 공극이 필요없어 소자의 방전에너지 내량을 적당히 설계하는 기술로 대체되고 있다.

방전이 발생하면 자속의 집중 현상과 누설자속의 발생으로 국부적인 열화가 발생하게 된다. 따라서 이를 억제하기 위해서는 ZnO 소자 및 전극의 균일화 설계가 수반되어야 한다. 이상이 주로 전기적 설계시 주의해야 할 요소로 검토되는 것이다.

피뢰기는 이상 서지 침투로 인한 폭발 등에 견딜 수 있도록 내부가 기계적 내구성을 갖도록 설계된다. 특히 내부 사고 및 소자 열화에 의한 압력 상승을 해소하기 위한 적절한 방압 설계는 대단히 중요하다. 피뢰기 사고의 상당부분을 차지하는 것으로 흡습에 의한 사고를 들 수 있다. 따라서 습기 등 외부 환경 변화에 견디는 기밀 설계가 이루어져야 한다.

순간적인 이상 서지는 높은 온도를 수반하게 되고 이에 견딜 수 있는 소자, 전극 그리고 외피 소재가 선택되어야 한다. 경년 변화에 따른 열화를 주로 바리스터 소자의 기능을 소자의 기능을 저하시키는 요인으로 작용하므로 이를 검증하는 다양한 시험을 통해 신뢰성을 확보하는 것이 필요하다.

표 3. 피뢰기 설계의 세분화

전기적 설계 요소	전위분포, 전류밀도, 자속분포, 소호설계, 소자의 비선형 특성
기계적 설계 요소	압력분포, 기밀특성
열적 설계 요소	냉각방식, 가속열화 신뢰성
ZnO소자 설계 요소	ZnO소자의 화학적 분석 및 소성

표 4. 주요기술의 국산화 현황

구분	국산화 현황
피뢰기 전반	· 공극 및 무공극형 배전용 2.5kV 피뢰기의 설계제작은 국산화 · 폴리머형 변전용 21kV 10kA 피뢰기의 설계 제작은 국산화 · 관련 특성소자, 애자 및 절연체 부속기기들은 외국수입 의존
배전용 피뢰기	· 특성소자(SiC 및 ZnO)는 미 국산화, 외국수입 의존 · 자기애자는 국산화하였으나 국산애판의 특성 불균일로 외국 수입에 의존
폴리머 피뢰기	· 특성소자(ZnO), 폴리머 수축용기, 절연체들은 수입에 의존 · 제조설계 등 부품소재 국산화 등은 초보적인 연구단계

표 5. 피뢰기의 국산화 추진현황

구분	국산화 추진실적		비고
	최고 국산화년도	주요기술	
공극형 피뢰기 (7.5kV/2.5kA)	1984	SiC소자, 조립	업체
공극형 피뢰기 (9kV/2.5kA)	1984	"	업체
공극형 피뢰기 (18kV/2.5kA)	1983	"	업체, 연구소
무공극형 피뢰기 (18kV/2.5kA)	1990	ZnO소자, 조립	업체, 연구소, 학계
폴리머형 피뢰기 (18kV/5kA)	1997	ZnO소자, 고분자 하우징, 조립기술	업체, 연구소, 학계

표 6. 요소 기술별 기술 수준 비교

대분류	중분류	기술내용	기술수준 비교			기술격차 구체적 내용
			한국	최고기술보유국	경쟁상대국	
피뢰기	애관형 피뢰기	설계기술	40	100(미국)	95(일본)	특성소자 및 자기애판 수입
		소재기술	30	100(미국)	95(일본)	
		가공기술	70	100(미국)	95(일본)	
		조립기술	100	100(미국)	95(일본)	
	폴리머형 피뢰기	설계기술	50	100(미국)	95(일본)	특성소자, 폴리머 하우징 및 절연소재는 수입
		소재기술	20	100(미국)	70(일본)	
		가공기술	50	100(미국)	70(일본)	
		조립기술	50	100(미국)	95(일본)	

피뢰기 기술 중 소자의 설계 및 소성 제조하는 기술은 일본 등 선진 몇 개국의 독점으로 유지되어 왔다. 요구되는 정격의 방전 내량과 제한 전압 특성을 갖는 화학적 조성 그리고 소성 제조 기술은 최근 많은 개발이 이루어져 기술적 know how는 어느 정도 공개된 상태이고, 국내의 경우도 삼흥중전기(주) 및 고려애자공업(주) 등의 기업에서 관심을 가지고 개발에 참여하고 있다. 소자의 균일성과 생산적 수율을 확보하기 위해서는 신중한 관리와 생산 자동화 등이 중요하다.

최근 부상하는 고분자 하우징 피뢰기의 외피는 주로 실리콘 고무와 EPDM등이 사용되는데 이 원료를 처방하고 사출 성형하는 기술과 전기적 절연성을 확보하는 설계 기술이 요구된다. 기존 자기질 절연물과는 달리 고분자 하우징의 경우 옥외 현장에서의 신뢰성이 검증되지 못한 점등이 있어 이를 확인하기 위한 다양한 가속 열화 시험이 주요 사항으로 연구 검토되고 있다.

국내의 피뢰기 핵심 기술 수준은 거의 외국 기술에 의존하고 있는 실정이다. 표 4, 표 5, 표 6에서 기술적 요소를 기준으로 국산화 정도를 비교하였다.

#### 4. 국내 피뢰기 기술 전망

현재 설계기술의 경우 배전급은 단순 제작 설계 및 조립기술의 적용은 선진국 수준이나 발·변전용의 설계 및 해석기술 및 신기술 응용 개발능력은 상당히 미흡하다. 가공기술은 선진국과 동일한 수준이나 성형 절연물의 경우는 설비와 소재의 문제 및 국내 시장성 문제로 상당 부분 수입되었으나 최근 몇몇 업체의 투자와 노력으

로 이 분야에서 기술력이 크게 향상되었다. 피뢰기의 전기적 특성을 좌우하는 ZnO소자는 전량 수입에 의존하였으나 최근 삼흥중전기(주), 고려애자공업(주)에서 2.5kA ZnO소자를 개발하였고, 현재 5kA ZnO소자를 개발중에 있다. 자기질 애관의 경우 국산화가 이루어 졌으나 특성의 불균일로 인해 많은 량의 애관이 아직 수입에 의존하고 있다.

폴리머 피뢰기용 애관 소재인 실리콘 고무 및 EPDM, 열수축용기의 원료는 전량 수입에 의존하고 있다. 현재 원료의 근본적 개발의 한계는 시간이 필요한 부분이지만 2차적인 성형, 가공 기술 또한 중요하다. 이 부분에서는 최근 평일산업(주)에서 상당한 설비를 확충하여 고분자 하우징을 성형 가공할 수 있는 기술력을 확보하고 있고 배전급 고분자 절연물 개발에 중요한 역할을 하고 있다.

피뢰기 시험은 현재 KERI에서 주관하여 배전급 피뢰기의 시험 기술은 이미 확보한 상태이며 관련 기술력은 거의 국제적 수준이나 송전급의 피뢰기를 체계적으로 시험 평가하기 위해서는 고가의 추가적인 설비보완이 필요한 실정이다.

앞에서 언급한 바와 같이 선진국은 이미 배전급에서 송전급에 이르는 피뢰기 분야에서 핵심 요소 기술이 완료 단계에 이르러 있으며 최근에는 주로 제품 적용의 다양화를 위한 연구와 신소재 적용으로 고부가 상품화를 추구하고 있다. 국내는 아직 배전용 피뢰기 개발에 참여하는 수준으로 피뢰기가 적용되지 않은 많은 분야에 수요가 남아있기 때문에 수입되는 제품과 경쟁력을 갖춘 국산 피뢰기 개발이 시급하다. 따라서 이에 관련한 기술 개발에 연구와 투자

가 요구된다.

현재 국내에서 추진 중인 피뢰기 관련 신제품 개발 내용은 주로 배전용 고분자 피뢰기가 주류를 이루고 있다. 기술적인 면에서 ZnO소자 제조의 국산화가 이루어지고 있고 조립, 가공기술은 어느 정도 확보된 상태지만 아직도 정격설계, 기밀설계 및 적용기술 그리고 내구성 확보 등에 대한 연구가 필요하다고 판단된다.

발·변전용과 송전급 그리고 기타 특고압 기기용 피뢰장치의 개발이 당면한 과제이다. 이를 위해서 앞에서 언급한 핵심 요소 기술의 확보가 단계적으로 이루어져야 한다. 핵심 부품인 ZnO 바리스터의 경우 10kA급 소자가 개발되어야 하고 고분자 하우징의 사출, 성형 기술도 배전급과는 다른 차원에서 검토되어야 한다.

사용 전압이 높아지면서 서지에 의한 사고시 발생하는 폭발에 대비한 방압 설계 기술은 안전적인 차원에서 필수적인 요소이다. 방압을 위한 피뢰기 구조의 디자인과 내부 FRP의 제조 기술이 소자와 전극 부분과의 조화를 가지고 구성되어야 한다. 따라서 이러한 기술적 주제를 가지고 보다 지속적인 연구 검토가 필요하리라 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- 1) 일본전기학회, "산화아연형피뢰기의 기술개발", 전기학회기술보고, 2부(130), 1982
- 2) 일본전기학회, "산화아연형소자의 신적용기술동향", 전기학회기술보고, 2부(579), 1996
- 3) 한국전력공사, "21세기중전기 발전전략", 1993

< 조한구 박사 >