

## 22.9kV 배전철탑용 아킹혼 개발

주진영<sup>1</sup>, 김광의<sup>2</sup>, 손홍관<sup>3</sup>, 신용덕<sup>4</sup>, 소병문<sup>5</sup>  
 한보니스코 기술연구소<sup>1</sup>, 한국전력공사<sup>2</sup>, 한국전기연구소<sup>3</sup>, 원광대학교 전기전자및정보공학부<sup>4</sup>, 익산대학<sup>5</sup>

### A Development of 22.9kV Arcing Horn for Distribution Line Towers

Jin Young Ju<sup>1</sup>, Kwang Eui Kim<sup>2</sup>, Hong Kwan Sohn<sup>3</sup>, Yong Deok Shin<sup>4</sup>, Byung Moon So<sup>5</sup>  
 Hanbo NISCO, KEPCO<sup>2</sup>, KERI<sup>3</sup>, Wonkwang Uni.<sup>4</sup>, Iksan College<sup>5</sup>

**Abstract** - Owing to the strike of lightning a breakage of insulator would happen. This breakage may give rise to many problems such as increment of reclosing failure, a drop for reliance and a hardship of maintenance and repair.

To solve those problem, this study develop a protected equipment for insulator which is suitable to 22.9kV distribution line towers and is purposed to investigation for a proper adaption, protection efficiency of insulator and effect of adaption.

#### 1. 서 론

현재 한전에서 운영하고 있는 배전철탑은 약 1,300여 기 설치되어 있으나 배전철탑의 특성이 해월(海越)이나 도강(渡江)을 위한 철탑으로서 주변 환경보다 높은 위치에 설치된 경우가 대부분이다. 따라서 낙뢰의 위협에 항상 노출되어 이로 인한 직접적인 피해가 발생할 수 있다. 특히 태풍이 지나간 후 애자의 섬락에 의한 애자교 체실적이 증가하고 있으며, 이에 대한 대책이 필요한 실정이다.

또한 낙뢰로 인한 애자 파손사고가 빈번히 발생되고 있으나 주로 철탑이 높기 때문에 애자파손 유무의 확인 점검이 어렵고, 유지보수에도 장시간이 소요됨은 물론 애자사고로 인한 공급신뢰도의 저하와 재폐로 실패율의 증가하는 등의 문제점이 있다.

이와 같이 낙뢰로부터 애자를 보호하기 위해서는 배전철탑의 애자면에 아킹혼을 설치하는 것이 가장 바람직하지만 아직까지 아킹혼은 송전선로에만 적용중이고, 배전선로에는 아킹혼을 적용한 예가 없고, 이에 따른 규격과 기준이 정비되지 않은 상태이다.

따라서 본 연구에서는 상기와 같은 문제점을 해결하기 위해 외국의 관련자료 및 국내 송전선로의 적용 실적을 조사, 분석하여 국내 22.9kV 배전철탑에 적합한 애자 보호 장치를 개발하고, 적용 타당성, 애자보호성능 및 적용효과 등에 대해 검토하였다. 또한 22.9kV 배전철탑용 아킹혼의 표준규격(안)을 제시하였다.

#### 2. 아킹혼의 기능 및 설계

##### 2.1 아킹혼의 기능 및 특성

아킹혼은 송전선로의 애자장치에 설치되어 애자련을 보호하고, 애자장치의 코로나 특성을 양호하게 해주는 급구로서 송전선로의 절연특성을 좌우하고, 다른 애자장치 급구와는 달리 전기적인 특성이 매우 중요하다.

아킹장치를 사용하는 목적은 적용 초기에는 애자련의 전압분담을 고르게 하는 것과 애자연면섬락시 아크를 애자연면에서 이탈시키기 위해 사용하였으나 최근에는 애자의 강도가 커짐에 따라 전압분담 역할은 의미가 없어지고, 아크유도특성이 중요시되고 있다.

아킹장치는 그 기능에 따라 내외혼, 내아크혼, 쉴드링 등으로 구분되며, 어느 한 기능에 중점을 두고 설계해도 기능상 서로 관련이 있으므로 설치하는 자체로 어느 정

도 다른 기능을 수행할 수 있다.

일반적으로 아킹혼을 설계할 경우 154kV와 같이 전압이 낮은 송전선로에는 내뢰기능에 초점을 맞추고, 765kV와 같은 초고압 송전선로의 경우에는 모든 기능을 가능한 만족하도록 설계한다.

아킹장치의 일반적인 특성은 다음과 같다.

- ① 애자련 섬락시 아킹장치간에서 섬락이 발생되어야 한다.
- ② 애자련간에서 섬락이 발생한 경우에는 빠른 시간내에 아크를 아킹장치로 유도할 수 있어야 한다.
- ③ 애자장치의 코로나특성을 개선시킬 수 있어야 한다.
- ④ 아킹장치간 섬락시 아크열에 의해 아킹장치가 용융되거나 변형이 발생되지 않아야 한다.
- ⑤ 작업시 하중에 의해 변형되지 않아야 한다.
- ⑥ 시공 및 유지보수면에서 편리한 구조이어야 한다.

##### 2.1.1 내뢰 보호기능

아킹혼을 설치하는 가장 중요한 목적 중의 하나로서 송전선로의 뇌격시 섬락에 의한 애자련이 파손될 수 있다. 즉, 애자장치에 아킹혼이 없는 경우에는 애자련의 연면을 따라 섬락이 발생을 하게 되고, 고장전류에 의해 섬락경로에서 아크가 발생을 하게 되면 애자가 손상을 받게 된다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위해 애자련에 아킹혼을 설치하면 섬락시 아킹혼간에서 먼저 섬락이 발생하게 되고 아크도 아킹혼간에서 발생을 하게 됨에 따라 애자가 아크에 의해 손상되는 사고를 방지할 수 있다.

##### 2.1.2 내아크 보호기능

애자표면이 크게 오손되어 있거나 급준한 파형을 갖는 뇌격이 송전선로에 가해진 경우에는 애자장치에 아킹혼이 있어도 애자연면을 통해 섬락이 발생하게 된다. 이때 애자연면에서 발생한 아크를 가급적 빠른 시간 내에 애자로부터 멀리 벗어나 아킹혼으로 유도하기 위해 아킹혼을 설치하는 경우가 있다. 이때 아크로부터 애자를 보호한다고 해서 내아크 보호기능이라고 한다.

##### 2.1.3 코로나 쉴드 기능

345kV급 이상의 초고압 송전선로용 애자장치에서는 국부적인 전계로 인해 코로나현상이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위해 아킹혼을 설치하는 경우가 있다. 아킹혼에 의해 집중전계를 완화시켜 코로나 발생을 억제시키게 된다.

##### 2.1.4 애자련 분담전압의 완화

애자련의 분담전압을 보면 일반적으로 전압이 인가되어 있는 전선측 부분이 가장 큰 전압을 분담하고 있으며, 중간은 낮고 철탑측으로 갈수록 다시 높아지는 형태를 갖는다. 따라서 전압분담비를 크게 갖는 애자측의 열화현상이 빨리 나타나게 되어 애자련 전체로서 이 용율이 저하하게 된다. 이러한 현상을 완화시키기 위해 아킹혼을 설치하여 애자련의 분담전압을 다소 고르게 분

포시킬 수가 있다.

상기와 같은 기능 중 어디에 중점을 두고 아킹혼을 설계하는가에 따라 내뢰혼, 내아크혼, 쉴드링 등으로 분류한다. 그러나 아킹혼의 특성상 어느 한 기능에 중점을 두고 설계를 하여도 서로 관련이 있어서 부분적으로 다른 기능도 수행할 수가 있다.

## 2.2 배전철탑용 아킹혼 설계시 고려 사항

### 2.2.1 내뢰보호용 아킹혼 특성

내뢰 보호용 아킹혼은 뇌격에 의해 애자련간에서 섬락이 발생될 때 애자련면보다는 아킹혼의 극간에서 먼저 섬락이 발생되도록 유도함으로써 애자를 보호하는 기능에 초점을 맞춘 장치로서, 주요 특성을 좌우하는 검토항목은 다음과 같으며, 아킹혼의 좌표는 그림 1과 같다.

- (i) 혼간격(Z)과 애자련길이(Zo)와의 비, 즉 혼의 효율 (Z/Zo)
- (ii) 애자의 캡(Cap) 또는 핀(Pin)과 혼극과의 거리 (Y좌표)
- (iii) 애자련의 중심선에서 혼극까지의 거리 (X좌표)
- (iv) 혼의 형상

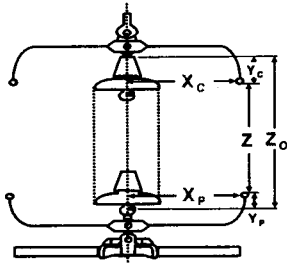


그림 1 아킹혼의 좌표

### 2.2.2 아킹혼의 최소 혼간격

본 연구에서 설계하고자 하는 아킹혼의 최소 혼간격은 일반적인 아킹혼의 최소 혼간격 산정방법과 달리 뇌격에 의한 애자보호특성만을 고려하여 설계할 필요가 있다. 즉 다음과 같은 사항으로 인해 최소 혼간격은 달리 선정될 필요가 있다.

#### • 배전철탑용 애자장치의 절연강도

배전철탑용 애자장치는 뇌격으로 인한 사고를 줄이기 위해 배전선로에서 요구되는 절연강도 이상의 애자수(표준현수애자 4개)가 설치되어 있기 때문에 배전계통의 절연설계 측면에서 최소 혼간격이 결정될 필요가 없다.

#### • 배전철탑용 아킹혼의 설치목적

배전철탑용 애자장치에 아킹혼을 설치하고자 하는 것은 뇌격에 의한 애자보호만을 목적으로 하고 있기 때문에 뇌격시의 상황을 고려하여 최소 혼간격을 고려할 필요가 있다.

이상과 같은 배경에 따라 아킹혼의 최소 혼간격은 뇌격으로부터 애자를 가장 효과적으로 보호할 수 있는 아킹혼의 효율을 적용하여 최소 혼간격을 정하고자 한다.

아킹혼의 효율은 일반적으로 75%~79% 범위가 효과적인 것으로 보고 되고 있는데, 이러한 수치는 이론적인 것이라기보다는 아킹혼의 운영실적으로부터 얻어진 것이다.

따라서 아킹혼의 효율 75%~79%를 적용하여 최소 혼간격 범위를 계산해 보면 다음과 같다.

표준현수애자 :

$$146\text{mm} \times 4 \times 75\% \sim 79\% = 438 \sim 461\text{mm}$$

상기 계산결과에서 애자련의 길이가 짧고, 배전철탑에

가해지는 잦은 뇌격 등을 고려하여 아킹혼 효율 79%를 적용한 혼간격 460mm를 배전철탑용 아킹혼의 최소 혼간격으로 정하여 설계하고자 한다.

- 배전철탑용 아킹혼의 최소 혼간격 : Z=460mm

### 2.2.3 아킹혼의 좌표설계

일반적으로 아킹혼 설계에 있어서는 실험식을 이용하여 아킹혼의 좌표를 구하는 것이 타당성이 있는 것으로 알려지고 있다.

그러나 본 연구에서 설계하고자 하는 아킹혼은 송전용이 아닌 배전용이고 설치 애자수도 일반 송전용에 비해 적기 때문에 실험식을 참고하되 설계경험에 의해 좌표를 구하는 것이 더 효과적이다.

먼저 좌표 실험식에 의한 때 각 좌표 값은 다음과 같다.

$$Xc = 15n + 250\text{mm} = 15 \times 4 + 250\text{mm} = 310\text{mm}$$

$$Xp = 20n + 250\text{mm} = 20 \times 4 + 250\text{mm} = 330\text{mm}$$

위의 계산결과로부터 배전철탑이 주로 해안지방의 장경간에 많이 설치되는 점과 애자련이 짧은 점 등을 고려하였고, 특히 애자련이 짧기 때문에 아킹혼이 애자로부 터 너무 많이 떨어져 있으면 아크유도특성이 좋지 못하여 그 기능의 저하를 초래할 수도 있으므로 다음과 같이 좌표를 수정하였다.

$$Xc = 280\text{mm}, \quad Xp = 300\text{mm}$$

Y 좌표의 경우에는 애자련이 짧은 경우이기 때문에 실험식에서 (Zo-Z)가 비교적 적은 경우에 해당된다고 볼 수 있다. 이 경우에는 다음과 같은 실험식을 적용될 수 있다.

$$Yc = Zo - Z \quad Yp = 0$$

위 식을 고려하여 다음과 같이 Y좌표를 정하고자 한다.

$$Yp = 39\text{mm}, \quad Yc = 85\text{mm}$$

실험식과 달리 Yp를 39mm로 정한 것은 섬락이 애자로 유도되지 못하도록 하고, 가급적 뇌격에 의한 섬락이 아킹혼 간에서만 발생하도록 하기 위해 선로측 아킹혼이 애자련 위쪽으로 오도록 설계하기 위한 것이다. 그리고 Yc는 최소 혼간격에서 Yp를 뺀 나머지가 된다.

### 2.2.4 아킹혼의 기본형상 설계

아킹혼은 설치목적에 따라 형상에 다소 차이가 있다. 즉, 코로나 쉴드링의 경우에는 애자장치를 비교적 완만한 형태로 감싸는 형상을 갖게 되고, 내아크 보호용인 경우에는 아크를 보다 빠르게 아킹혼 쪽으로 유도하기 위한 형상을 갖게 되는 등 각각 그 목적에 따라 형상이 달리 취하게 된다. 그러나 뇌뢰보호용 아킹혼의 경우에는 비교적 그 형상이 복잡하지 않는 것은 일반적이다. 왜냐하면 주로 뇌뢰보호용 아킹혼이 요구되는 경우는 송전 전압이 낮은 경우이기 때문이다.

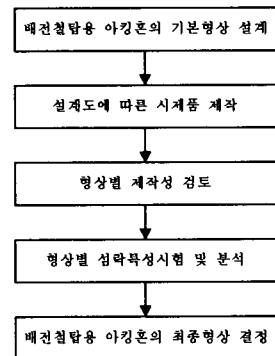


그림 2 배전철탑용 아킹혼의 형상설계 흐름도

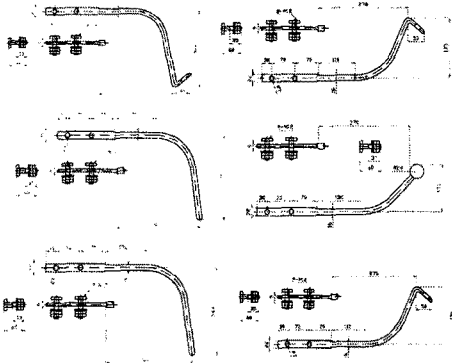


그림 3 현수형 아킹혼 여러 시제품 형상

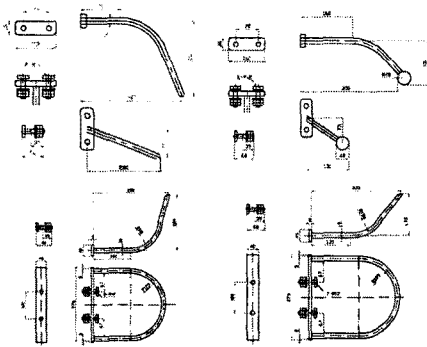


그림 4 내장형 아킹혼 여러 시제품 형상

### 3. 시험 결과 및 특성

#### 3.1 아킹혼의 섬락 특성 시험 결과

섬락시험결과 50% 섬락전압은 표 1와 같이 나타났으며, 아킹혼 설치시 애자연면의 섬락현상은 발견되지 않았고, 혼간에서 섬락이 발생하였다. 또한 형상별 50% 섬락전압은 유효한 차이가 나타나지 않았다.

표 1 50% 섬락특성 시험결과

구분	아킹혼의 형상	50% 섬락전압(kV)	
		정극성	부극성
애자련		406.8	403.2
현수용	봉형-구형	324.8	357.4
	봉형-S형	295.8	333.2
	S형-S형	307.2	378.7
내장용	봉형-구형	303.5	307.4
	링형-링형	325.6	360.7

#### 3.2 아킹혼의 최종 형상 및 내아크 시험 결과

시제품의 형상별 섬락특성시험결과 형상별로 유효한 차이가 나타나지 않았다. 따라서 제품의 제작성 및 시공성 등을 고려하여 배전철탑용 아킹혼을 결정하고자 한다. 우선 제작성의 측면에서 살펴보면 구(球)형은 단조에 의해 구형상을 만들거나 주조에 의한 용접의 제작과정을 거치므로 제품단가의 상승요인이 되므로 최종형상에서 제외시켰다. 따라서 배전철탑용 현수형 아킹혼의 형상으로는 캡측과 핀측의 구분 없이 캡측은 봉형, 핀측은 S형으로 결정하였다. 또한 배전철탑용 내장형 아킹혼으로는 제작공정이 단순하고, 시공성이 우수한 링형으로 결정하였고, 표 2와 같다.

표 2 아킹혼의 최종 형상 및 효율

종류	혼형상	혼간격	혼효율	설계 및 설치기준
2련 현수용	캡측 봉형	460mm	78.8%	* 전선 : ACSR 97mm <sup>2</sup> , * 애자장치 : 12H 2련요크
	핀측 S형			
2련 내장용	캡측 링형	460mm	78.8%	
	핀측 링형			

내아크 시험 및 코로나 시험결과는 표 3과 4에 나타나 있다.

표 3 시제품의 내아크시험 결과분석

섬락경로	혼의 상태	애자의 상태	아크이행
아킹혼간	캡측 아킹혼 끝이 용융되고, 핀측은 아크흔적 확인됨	아크제트에 의해 애자가 약간 그을린 상태	아크가 아킹혼의 끝에 머물면서 용융현상 발생
애자련 외측연면	캡측의 아킹혼 끝이 약간 용융되고, 핀측은 아크흔적만 확인됨	아크열에 의해 애자표면의 유막이 벗겨졌으나 파손현상은 없음	애자연면에서 발생한 아크가 아킹혼으로 이동한 흔적을 확인
애자련 내측연면	캡측 아킹혼 끝이 약간 용융, 핀측은 아크흔적 확인	애자의 유막이 더 심하게 벗겨지고, 애자파손은 없음	애자연면에서 아킹혼으로 이동한 흔적을 확인

표 4 배전철탑용 아킹혼의 코로나시험 결과

구분	RIV값 (dB)	가시코로나 소멸전압 (kV)	상용주파 섬락전압 (kV)
현수형	3.0	55kV	173kV
내장형	3.0	105kV	204kV

### 4. 결론

본 연구의 주요 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 배전철탑의 경우 주로 해안지방에 위치하고 있으므로 낙뢰 등의 직접적인 피해를 받게 되므로 이에 대한 대책으로서 아킹혼을 설치하는 것이 필요하다.
- (2) 배전철탑용 아킹혼의 경우 낙뢰로부터 애자를 보호하기 위한 것이므로 내뢰용 아킹혼으로 설계할 필요가 있으며, 아킹혼의 형상, 좌표 및 혼간격은 표 5와 같다.

표 5 배전철탑용 아킹혼의 형상, 좌표 및 혼간격

구분	혼의 형상	혼의 좌표	혼간격(mm)
현수형	캡측 봉형	$X_P=300, Y_P=39$	460
	핀측 S형	$X_C=280, Y_C=85$	
내장형	캡측 링형	$X_P=300, Y_P=39$	460
	핀측 링형	$X_C=280, Y_C=85$	

이와 같이 개발된 제품을 배전철탑에 설치할 경우 낙뢰로부터 애자를 보호함으로써 공급신뢰도 향상 및 전력 품질의 향상에 기여할 것으로 기대된다.

#### [참고문헌]

- [1] 154kV 송전선로의 애자련 보호대책에 관한 연구, 한국전력공사, 1989.12
- [2] 송전선로의 애자련 보호대책에 관한 연구, 한국전력공사, 1998. 12
- [3] 電力中央研究所報告, "대전류 교류아크에 의한 전극 용손의 실험적 검토", 1983. 4
- [4] 송전용 애자장치, 전기협동연구 제34권 제2호, 1978
- [5] NGK Insulators Ltd, "Arcing Devices for T/L", No. 7 1967