

자기제 예자의 절연파괴 감소대책 연구

송 일근,^{*} 박 구범, 김 영래, 김 경희, [○] ^{○○}
 과 희로, 한 상욱
^{*}
 한국전력공사 기술연구원, [○] ^{○○}
 송실대학교, 충남대학교

A Study on the breakdown reduction of porcelain insulators

I. K. SONG,^{*} K. P. PARK, Y. L. KIM, K. W. KIM, [○] ^{○○}
 KEPCO I/C, SOONGSIL UNIV., CHONGNAM UNIV.

ABSTRACT

This paper provides the results and analyses of investigations into porcelain suspension insulators failures on the KEPCO system.

The high failure rate of suspension insulators on distribution lines has been attributed to the volume expansion of the cement, the insulation puncture breakdown of the porcelain and the power arc failure. The utility must use only the good insulators and at least reduce the insulator failure rate.

So, this paper recommends that the utility make test criteria (cement expansion test, steep front-of-wave flashover voltage test and power arc test. etc) on the suspension insulators.

1. 서 론

배전용 자기제 현수예자의 사고는 절연파괴 사고가 대부분이며, 이러한 절연파괴는 이상전압의 침입으로 발생하는 것과 내재적 결함에 의한 내부 절연파괴로 이어지는 사고들을 들 수 있다.

한편, 내부결함에 의한 절연파괴 사고는 그 양상이 다양한 뿐만 아니라 복합적인 요인에 의해서 전진되기 때문에 그 원인을 공정상 100% 짐작하기에는 상당한 어려움이 존재하고 있다.

현수예자 사고의 대부분을 차지하는 것은 CAP 구멍발생과 CAP과 자기부 분리사고의 경년열화 사고들이 대부분이다.

이러한 절연파괴의 사고들을 줄이기 위해서는 제조공정에서부터 End user의 짐수시험에 이르기까지, 또한 실제공의 운용면에서 유발할 수 있는 절연파괴 사고에 이르기까지, 그 요인들은 무수히 많은 실정이다.

본 고에서는 절연파괴 요인중 하나인 자기부와 금구류부분의 집화제로 사용되는 시멘트 경년열화와 자기부분의 두께가 기존 절연거리에 비해 크게 얇아져 높은 전압 인가시 자기가 관통파괴로 이어지는 결함을 짐작할 수 있는 규준저 임펄스 시험규격 제정과 배전계통의 대응량화와 더불어 고장전류가 증가하기 때문에 뇌나 오손등의 원인으로 심략을 일으키면 예자에 점지고장 전류(Arc)가 통진할 가능성이 크므로 내이크 특성을 짐작할 수 있는 시험규격 제정의 필요성이 대두되는 시점이다. 따라서 전력회사가 양품의 현수예자만을 구입할 수 있도록 관련 ESB시험규격 제·개정 의 필요성에 대하여 중점적으로 논하고자 한다.

2. 자기제 현수예자의 절연파괴 사고현황

최근 5년간의 예자사고 경향을 분석해보면 결과 배전선로 전체 사고중 점유비율이 '89년의 17.7%에서 '93년은 23.9%로 매년 증가하는 추세이며, 현수예자의 절연파괴는 예자두부의 관통사고가 주요 원인으로 나타나 있다.

'93년도 개소별 사고원인을 분석해보면 CAP 구멍발생과 CAP과 자기분리가 67.1%이고, 몸체부위가 16.1%, 날개부위가 11.2%, 기타 2.8%로 기록되었으며 대부분의 사고유형은 그림 1과 같다.

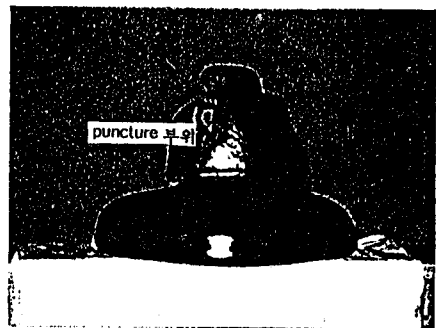


그림 1. 현수예자의 관통사고 유형

3. 포틀랜드 시멘트의 오토클레브 팽창도 시험

예저시험시에 사용되는 포틀랜드 시멘트는 부피팽창과 수축시에 예자사고의 잠재적 결함으로 존재하며, 자기표면의 갈라짐에 영향을 주는 것으로 보고되고 있다.

자기 시멘트의 입방체 시험으로부터 시멘트가 팽창보다는 오히려 수축에 영향이 큰 것으로 되어 있으며, 자기 예자는 시멘트 팽창에 의한 응축시 스트레스를 받기 때문에 실제시 자기부, 시멘트(비스비너트 케인트 포함) 및 금구류 부분의 열팽창계수 차이로 인한 사고요인이 항상 존재해 있다. 때문에 포틀랜드 시멘트의 오토클레브 팽창도 제한은 사고유발을 감소시키는 중요한 요소이다. 따라서 국내의 시료량 비교 측정해 본 결과 현 ESB의 규격 개정이 시급한 실정이며, 개정(안)은 다음 표 1과 같다.

표 1. 포틀랜드 시멘트의 오토클레브 팽창도 개정(안)

현 ESB규격	개 선 (안)	실측정치	비 고
○ KSL 5201 : 0.8%이하	○ KSL 5201 : 0.12%미만	○ K사, N사 : 0.31 ~ 0.37	측정장소 : 요업기술원
○ KSL 5107 : 팽창도시험	○ KSL 5107 : 팽창도시험 또는 ASTM 151-89 팽창도시험	○ S사 : 0.1% 이하	

4. 급준파 전압시험

배전선로에 사용하는 현수예자는 자기부분의 두께가 기중질인 기리에 비하여 크게 얇아서 대단히 높은 전압이 걸리면 자기가 관통파괴할 염려가 있다. 따라서 IEC, ANSI 시험규격에 자기부의 품질화인의 한 방법으로 상용주파 유중파파 전압시험을 적용하여 왔으나, 최근에는 IEC에서 실제 현수예자에 걸리는 과전압은 주로 뇌서이지 전압이므로 뇌과전압으로 평가하는 주장이 제기되어 왔다. 이 시험방법은 대기중에서 현수예자에 뇌임펄스 과전압이 인가되었을때 자기부의 절연파괴 유무를 확인하는 방법이며, 현수예자의 내부관통 특성시험 결과를 중점적으로 시술하였다.

가. 현수예자의 절연파괴 V - t 특성

급준파 서이지의 크기는 선로의 운전전압, 뇌력진류, 가공지선의 뇌격개소, 집지저항 값, 서이지 임피던스 등에 의해서 다르다. 가공지선이 있는 송전 선로에선 200 ~ 2,500kV/μs, 도체 직격일 때는 500 ~ 5,000kV/μs의 진입준도를 나타내며, 현수예자의 뇌임펄스 섬락전압은 준도가 높을 수록 상승하여 그림 2와 같은 V - t 곡선을 나타낸다. 또한 현수예자의 자기두부분을 관통하는 내부절연 파괴특성도 동일한 V - t 곡선을 나타낸다.

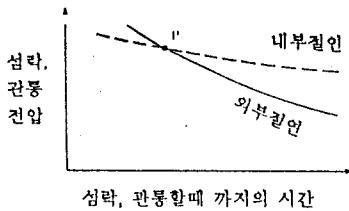


그림 2. 현수예자의 절연파괴 V - t 특성

나. 실험방법 및 결과

현수예자의 급준파 전압시험 규격은 각 전력회사마다 약간의 차이가 있으나, 본 고에서는 캐나다 표준규격 CNA/CSA - C411.M89를 일부 수정해서 현 ESB 규격 제정(안)을 중심으로 시험하였다. 이 때 전압의 준도는 2,500kV/μs, 극성은 정, 부, 충격회수 각 10회 (캐나다 규격은 각 5회), 시료수 10개 (캐나다 규격은 12개)이며, 1차 시험이 불합격시 추가 시료수는 20개 (캐나다 규격 18개)로 되어 있고, 판정시험 기준은 전수합격으로 되어 있다.

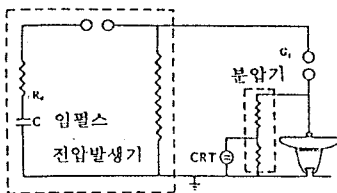


그림 3. 급준파 전압시험 회로

급준파 전압시험의 국, 내외시료를 실측하여 본 결과 국산 K사와 일본 N사 제품은 1차 통과하였으며, 국산 N사 제품은 1차 시험에서 실패해 시험용 시료물 2배수(20개)로 해서 시험하였으나 전수 합격하였다.

표 2. 급준파전압시험 결과 비교

구 분	전압준도 (kV/μs)	극 성	시료수	비 고
K 사	2,500	정, 부	10	전 수 합 격
N 사	"	"	10	1차시험시 1번째 실패 (2차시험시 전수합격)
일본 N사	"	"	10	전 수 합 격

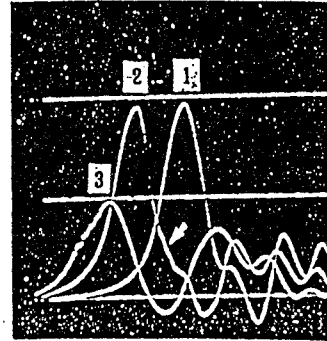


그림 4. 전압파형의 예형

불합격된 시료를 매기 측정해본 결과 실측 파형대로 내부관통이 이루어져 있었으며, 이러한 내부관통은 그림 4와 같이 급준파 인가회수가 3회 이전에 초기에 초기의 관통이 많이 발생되는 것으로 되고 있다. 전압파형의 이상은 부분 파괴부의 잔류전하의 영향에 의한 것으로 추정되며, 부분파괴가 발생하면 전계집중이 커져서 다음 전압 인가시 관통사고로 진전되는 것이다.

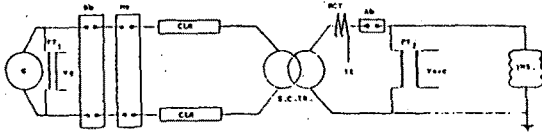
5. 내아크 시험

우리나라의 배전계통은 대용량화되어 있으며, 이에 따른 고장 전류도 증가하고 있는 실정이기 때문에, 뇌나 오손등의 원인으로 섬락을 일으키면 애자에 집지고장 전류(Arc)가 통전할 가능성이 크게 대두되고 있는 현실이다. 이러한 현실에 비추어 불행 우리나라도 일부 외국처럼 내아크 시험규격을 제정하여 관련규격을 제정하는 것이 시급한 실정인바 아래와 같이 창원 한국전 기원연구소에 설치되어 있는 단락시험 설비를 이용해서 배전용 191 m/m 현수예자를 국내 처음으로 실험하였다.

가. 실험방법

내아크 시험조건은 아크전류가 12kA, 아크 지속시간이 0.1 sec 또는 아크전류 6kA, 아크지속시간 0.2 sec, 인장하중은 파괴 하중의 20 ~ 40%로 규정되어 있으나, 본 시험은 아크전류 6kA, 아크지속시간 0.2 sec, 인장하중은 없는 것으로 하고, 그림 5, 그림 6과 같이 실시하였다.

내아크 시험후 상용주파 진조섬락 전압시험 결과 아크에 의해 다소 파괴된 애자는 대체로 섬락전압이 상용주파 내전압치보다 낮음을 보여주고 허용 상용주파 진조섬락 전압치 보다는 약간 크게 나타났다.



- G : Short Circuit Generator
- Bb : Back-up Breaker
- Ms : Making Switch
- CLR : Current Limiting Reactor
- S.C. TR : Short Circuit Transformer
- Ab : Auxiliary Breaker
- BCT : Bushing Current Transformer for Test Current It
- PT1 : Potential Transformer for Generator Voltage Vg
- PT2 : Potential Transformer for Arc Voltage Varc
- INS : Insulator under Test

그림 5. 내아크시험 회로도

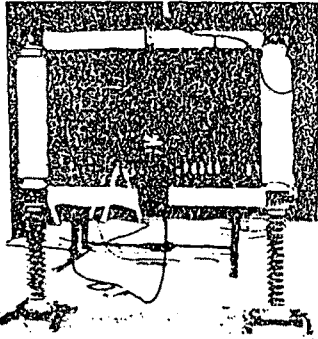


그림 6. 내아크 시험 장치도

나. 실험 결과치 비교

시험용 시료는 국내 K사, N사, 일본 N사 제품을 시험규격 (3개)대로 각 1회와 현 배전계통과 같이 2개를 각 1회 실시하였다.

표 3. 내아크 시험결과 비교

구 분	아크전류 (A)	아크지속 시간(초)	인장하중	비 고
K 사	6,000	0.2	무	불합격 (1개에자 완전 파손)
N 사	"	"	"	불합격 (2개에자 완전 파손)
일본 N사	"	"	"	합 격 (유약 일부만 탄화됨)

이러한 에자 파손의 유형은 실개통 에자 파손사고와 거의 유사한 모양을 하고 있어서, 향후 절연전선의 용단 특성사고와 현수애자의 열진도에 의한 파괴특성을 지속적으로 연구해서 에자 소지가 내아크 특성에 미치는 영향용 연구, 검토하여야 할 것이다.

6. 결 론

이상과 같이 자기제 현수애자의 절연파괴 사고는 여러가지 복합적인 요인들이 산재해 있으나, 현 사고분석중 CAP 구멍발생과 자기분리, 몸채 및 날개, 균열 및 기타로 대별되어지며, 다음과 같은 결과를 도출해 낼 수 있었다.

첫째, 포틀랜드 시멘트의 오트클레브 팽창도 규격은 현재 0.8% 이하를 CSA 규격과 같이 0.12% 미만으로 개정하여서 크랙사고를 예방하여야 한다.

둘째, 애자의 내부결합을 검사할 수 있고, 또 관통사고 예방을 할 수 있는 시험기술이 필요한 실정이기 때문에, 이러한 사고에 방에 적합한 급준너 임펄스 시험규격 제정이 필요하다.

셋째, 배전계통의 대응량시 오손 등으로 인한 애자의 집지오장 전류(Arc)가 발생하면 봉진할 가능성이 매우 크며, 이로 인한 아크 열진도 때문에 에자 날개와 몸체가 파손되는 절연파괴 현상이 일어났다.

위와 같은 결과를 바탕으로 소지, 설계, 품질관리, 조립(시멘트), 제조기술 등의 전반적인 연구가 요망되고, 특히 에자 설계시 굴곡부의 PID사고로 인한 전계분석과 내아크 연구가 더욱더 심도있게 진행되어야 하며, 관련 시험규격의 제·개정이 필요하다고 사료된다.

참고문헌

1. 박구범의, "배전용-에자류-품질화보육을 위한 경년시험방법에 관한 연구" 중간보고서, 한국기술연구원, 1994. 9
2. E.A. Cherney, Cement growth failure of porcelain suspension insulators, IEEE Vol. PAS-102, 1983. 8
3. 河村 隆雄外, 에자, 일본전기학회, 1983. 5
4. 배전기자재의 내 Arc 설계기술, 일본전력중앙연구소, NO PDLTT 90-03
5. 西川守南外, 현수애자의 급준파 너임펄스 전압특성, 일본에자주식회사, 1993. 3
6. 빈송봉의, 23KV급 배전용 애자의 내아크 특성에 관한 연구, 한국전기통신연구소, 1983. 12
7. CAN/CSA - C411.1-M89, AC suspension Insulators
8. AS 2947.1 - 1989, Insulator-porcelain and glass for overhead power lines-voltage greater than 1,000V A.C Part1; Test Methods Austrian Standard
9. Puncture testing of ceramic and glass insulators, Electran, 1991. 6