

사이클로알리파틱 에폭시 배전용 현수애자의 개발동향



송일근
전력연구원 전력계통연구실
배전자동화그룹 선임연구원

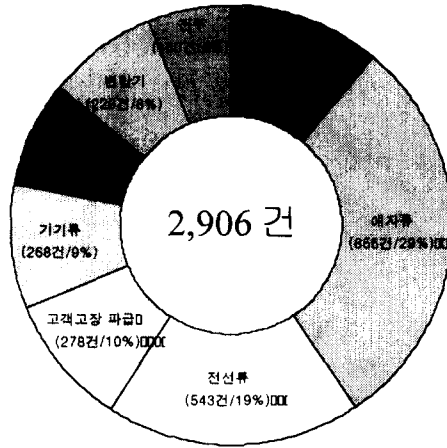


그림 1. 배전기자재의 설비별 고장발생 유형

1. 서론

우리나라도 점차 국민생활의 향상에 따른 전기이용 고도화와 고도 정보화 사회로의 진입에 따라 전기의 질 향상은 아무리 강조해도 부족하다. 그 중에서도 예고없는 불의의 정전은 그것이 순간이라 할지라도 산업활동이나 일상생활에 심각한 영향을 미친다.

최근 몇 년 동안의 배전선로 총 사고 중 현수애자로 인한 사고 점유율이 약 20%를 차지하고 있으며, 경제성장과 더불어 3D 현상으로 인한 자기제애자의 제조 및 교체공사비 비율이 점점 더 높아지고 있는 실정이다.

현재까지 약 20여년 이상 옥외용 애자의 절연재료소재로는 Silicone, EPDM, Epoxy 및 Glass가 사용중에 있다. Silicone

과 EPDM 소재는 미국을 중심으로 한 북미지역에서 오래 전부터 사용중이며, Epoxy와 Glass용 애자는 유럽을 중심으로한 유럽대륙과 일부 동아시아 지역에서 주로 사용되고 있다.

우리 나라에서는 한전 R/D 지원을 받아 Silicone, EPDM 및 Epoxy 소재의 애자를 개발 중이거나 개발이 완료되었으며, 본고에서는 옥외용 절연재료로 오랫동안 각광을 받아 온 사이클로알리파틱 에폭시소재를 케스팅하여 제조한 배전용 현수애자의 개발동향과 현수애자의 사고 현황 및 전기적인 특성시험을 중심으로 설명하고자 한다.

2. 배전용 현수애자의 사고 현황

우리나라의 애자사고는 내부 연

파괴가 주종을 이루고 있으며, 최근 몇 년 동안 발생한 애자사고를 분석해 보면 CAP부에 구멍이 발생하는 유형과 CAP과 자기분리 사고가 주를 이루는 내부절연파괴사고로 판명되었다. 또한 현수애자의 표면에 미세한 크랙이 발생되어 경년에 따른 사고가 일반적으로 발생하고 있으며, 중요한 배전기자재의 고장 및 사고에도 애자류의 품질저하에 따른 사고가 많은 영향을 주고 있다.

1996년도의 중요 배전기자재별 고장발생 유형은 그림 1과 같이 구분되는데, 이중 애자류(현수애자, LP애자 및 편애자)의 고장발생 점유율이 29%로 가장 많이 나타났으며, 고장원인은 자연열화와 제작불량이 약 82%를 보이고 있다. 특히 애자류의 고장

이 대부분 현수애자에서 발생되고 있어 현수애자의 사고감소가 애자류의 배전품질향상에 핵심내용으로 받아 들려지고 있는 실정이다.

한편 전기품질의 3대 요소는 호당정전시간, 규정전압유지율과 적정주파수 유지가 있으나, 배전분야에서는 주로 호당정전시간과 규정전압유지율을 관리하고 있으며, 발전분야에서는 적정주파수 유지를 위해 노력하고 있다.

그러나 호당정전시간은 고장정전과 작업정전으로 구별되고, 이중 배전기자체의 품질저하로 인한 것이 고장정전이며, 고장정전시간은 1997년도 실적이 12분이고, 1998년도의 목표치가 상향 설정하고 있어 보다 많은 투자가 요구되고 있는 분야이다. 이는 배전 설비별 품질향상이 필수적으로 수반되어야만 가능하기 때문이다. 특히 배전 설비중 애자류의 경년특성 저하로 인한 사고가 상당수 차지하고 있는 실정이며, 애자류중 배전용 현수애자의 고장 점유율 감소가 여러 가지의 의미를 가지고 있다.

3. 형상설계 해석조건

에폭시수지를 이용한 배전용 현수애자 설계는 BAR형으로 우리나라의 기후조건, 가설조건, 기계적 및 전기적인 특성조건을 고려해서 FEM에 의해 형상설계를 하였다. 에폭시캐스팅 수지 애자는 일체형으로 다른 폴리머 애자들 보다 이중 물질간의 계면접착 종류가 적고, 절연재료의 유전률이 적은 편이다.

여러가지의 설계 중 인서트와 에폭시수지와와의 조합이 매우 중요하며, 이 중 최적설계의 형상은 유한요소법을 이용하여 설계치를 추출하였다.

4. 전기적인 특성시험 및 분석 결과

상기한 조건에서 설계·제작한 애자는 사용중에 기계적 하중, 사계절에 따른 온도변화, 과전상태에서의 전기적인 스트레스 등

표 1. 시험 결과

| 시료구분 | 시험전압(KV) | 시험전류(KA) | 통전시간(Cycle) |
|------|----------|----------|-------------|
| #1 | 13.6 | 12.1 | 6.5 |
| #2 | 17.1 | 15.3 | 6.5 |
| #3 | 17.1 | 15.3 | 10.5 |

을 받는다. 따라서 이러한 여러 가지의 주의환경과 애자 자체가 가지고 있는 내구력의 절연특성에 대하여 성능을 검증할 필요성이 요구된다.

애자시험을 시험방법으로 분류하면 구조시험, 외관시험, 전기적 시험, 기계적 시험, 냉열시험, 재료시험 및 비파괴시험으로 대별되지만, 본 연구에서는 실 선로에서 가장 영향이 중요시되는 전기적 특성시험과 기계적 하중시험에 대하여 시험을 실시하였다.

4.1 내아크 시험

내아크 시험은 실 선로에서 염진해, 설해 등으로 인한 애자표면에 섬락이 발생하면 속류아크가 발생하고, 이로 인하여 애자가 손상을 입을 수 있다. 특히 22.9kV 중성점 다중접지 계통의 고장전류는 10 kA를 초과할 수 있으므로 애자표면의 손상을 입을 가능성이 매우 크다. 특히 고분자절연재료의 애자표면은 세라믹계통의 자기제애자 표면보다 우세효과는 양호하지만, 장기간의 옥외 사용시 표면의 트랙킹현상으로 말미암아 표면 섬락에 의한 아크전류가 흐르기 쉽다. 따라서 자기제애자의 내아크 시

험 기준치의 약 2배에 달하는 150ka·cycle 까지 시험조건을 주어서 시험을 실시하였으나, 표면상 외관에는 아무런 이상이 발견되지 않았다. 이때 시험조건은 1개의 시료를 인장강도를 주지 않은 상태에서 자기제 애자의 최

대시험 기준치 72ka·cycle부터 90ka·cycle, 150ka·cycle 조건으로 각각 시험하였으나 특별한 이상징후는 발견되지 않았다. 내아크 시험의 시험조건 및 결과는 표 1과 같다.

이상의 내아크 시험결과 자기제애자나 다른 폴리머소재 애자보다 내아크성은 우수한 시험결과를 도출하였으며, 파괴할 때까지의 시험은 실시하지 못하였다.

4.2 장기강도 성능검증시험

IEC 575를 기준으로 한 경년변화 시험은 그 나라의 기후조건을 고려하여 인장하중, 온도변화주기, 시험계속시간과 판정기준을 정해서 규격을 제정토록 추진하고 있다. 따라서 본 항목의 시험조건은 개정된 ES 규격으로 단기 기계적 강도를 검증하고, 장기 사용상태 하에서의 경년변화를 시험하였다.

경년변화 시험장치는 기존의 자기제 애자용으로 개발된 시험장치를 가지고 실시하였으나, 이 장치는 디스크형에 적합한 시험설비로 갖추어져 있으며, 설비여건상 개발된 BAR형 현수애자도 본 설비를 이용하였다. 때문에 직렬로 10개의 시료를 시험할 수

없어서, 기존 시험방법과 다르게 병렬로 시료를 수직상대로 연결하였으나, 내부의 시험설비의 협소한 공간으로 인해 비스듬한 형태로 시료를 연결하였다.

기계적 하중치는 과전과과치의 60 %의 조건으로 하여 시험하였으며, 온도조건은 최저온도 기준치 -35 °C, 초고온도 기준치 +60 °C로 강화시켜서 시험하였다. 시험계속 시간은 96시간, 온도주기는 냉·열 각 4시간으로 품질관리지수 Qs를 3.0 조건으로 실시하였다.

상기 설비를 이용해서 두 급속체 사이에 상용주파 건조섬락 전압치의 75 % 전압을 인가한 상태에서 축심방향으로 인장하중을 가하여 규정치 이상의 파손여부와 품질관리지수 값을 확인하였고, 인가전압을 130 kV × 0.75 %인 97.5 kV를 인가하여 이상이 없었다.

5. 애자개발 동향과 향후전망

애자는 1835년부터 사용되어 왔으나, 전력회사에서의 애자사용은 1882년 독일의 Miesbach에서 Munich까지의 송전선로에서 맨처음이었다. 오늘날 북미지역에서 송전용, 배전용에 대한 애자는 주로 현수애자, LP애자 그리고 편애자 등이 있다. 그리고 절연재료별로 대별하면 세라믹, 폴리머애자, 에폭시애자로 구별되며, 일본의 NGK사는 세계 최대의 애자 제조회사이다.

미래의 세라믹(애자, 붓싱, 스위치류 등) 사용은 전 세계시장의 약 50 %가 향후 감소할 것으로 예측되며, 미국의 송전용 현수애자의 약 46 %와 배전용 현수애자의 약 28 %는 자기제애자와 유리로 생산되고 있다. 결과적으로 우리나라도 자기제애자의 양

호한 절연특성에도 불구하고, 앞으로 배전용애자에서는 싸이클로알리파틱 에폭시 애자나 폴리머 애자로 대체할 가능성이 한층 더 커지고 있다. 또한, 국민생활 수준 향상에 따라 3D 업종의 근무를 기피하기 때문에 국내에서도 자기제애자의 대체 속도가 빨라질 것으로 예상되고, 특히 싸이클로알리파틱 에폭시애자류의 사용은 표 2와 같이 옥외용 절연재료 분야에 사용 증가가 예상된다.

한편, 국내에서는 한전 중소기업지원자금을 모건코라아(주)가 받아서 싸이클로알리파틱 에폭시 소재를 사용한 배전급 BAR형 현수애자를 개발 완료하였고, 현재 한전 실계통에 처음으로 시사용 중에 있으며, 국외에서는 필란드국가를 위시하여 유럽지역과 미국일부, 남미지역 및 동아시아 지역에서 대부분 사용 중에 있다. 에폭시 재료의 특성상 송전용보다는 배전급에서 주로 사용하는 것이 더욱 효과적으로 사료된다.

향후에는 경제성을 비교검토하여 기차재별로 옥외용 절연재료를 사용하는 것이 효과적이라 생각되며, 에폭시재료를 이용한 배전용 품목은 다음 표 2와 같다.

표 2. 옥외용 에폭시재료의 사용 현황

| 구 분 | LP애자 | 현수애자 | 테드형현수애자 | 붓싱류 |
|--------------|------|------|---------|-----|
| 싸이클로알리파틱 에폭시 | AA | A | A | A |

(주) 14.4 ~ 34.5kV ; A limited use, AA average use, AAA strong use

표 2에서와 같이 에폭시애자는 현수애자보다는 배전용 LP 애자에 사용하는 것이 더욱 경제성이 크다고 사료되며, 개발제품의 시사용 기간을 면밀히 검토한후 확대 사용하는 것이 요구된다.

싸이클로알리파틱 에폭시 소재는 전량 스위스의 시바가이에서 수입하여 사용 중이며, 기존의 비스페놀 수지계통의 옥내용 절연재료와는 전혀 다른 특성을 가지고 있다. 따라서 현재 국내 대리점을 통해서 원료를 구입하여야 하는 번거로움이 있으나, 향후 확대 예상시는 산학연 연구를 통해서 연구 검토되어야 할 분야이다.

6. 결 론

이상의 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 개발된 애자의 특성시험 중에서 내아크 시험항목은 가혹한 조건에서도 성능이 양호하며, 에폭시캐스팅 수지의 싸이클로알리파틱 소재의 내아크 성능이 우수함을 입증하였다.

2) 애자의 구성은 에폭시 수지와 인서트의 조합으로 이루어져 있으며, 이종 물질간의 열팽창계수 차이로 인한 사고요인이 공존해 있으나, 다른 애자류보다 이종물질이 적은 편이다.

3) 에폭시캐스팅 수지의 싸이클로알리파틱 소재류 애자는 현수애자보다는 배전급 LP애자류 사용이 효과가 클 것으로 사료되

며, 향후 현수애자의 시사용 확대후에는 LP애자로서의 보급이 필요하다.

4) 기존의 현수애자 사고가 대부분 장단기 사용시의 경년변화 특성이 취약하기 때문에 발생되

고 있어, 이에 대한 면밀한 검토와 에폭시애자의 경년특성도 이런 관점에서 검토되어야 하며, 향후에는 각 소재별 절연특성을 연구하여 지역별, 또는 소재별 사용이 장기적으로 연구되어야 하겠다.

참 고 문 헌

1. 송일근 등, "에폭시캐스팅 애자의 형상해석", 대한전기학회 하계학술대회, 1995. 11
2. 송일근 등, "배전용 애자류 품질확보를 위한 경년시험방법에 관한연구", 최종보고서 전력연구원, 1996. 2
3. 송일근, 김석기, "에폭시 캐스팅 수지 배전용 현수애자 개발" 최종보고서, 전력연구원, 1996. 7
4. H. C. Karner, "Outdoor characteristics of polymer materials", polymer seminar, 1990. 6
5. H. C. Karner, "Electrical and dielectric behaviour of cast epoxy resins", Braunschweig Univ.
6. R. H. Brealey, "Development of bulk-graded, filled polymer insulators," EPRI, 1981. 11
7. Kenzo Kadotani, "Design of composite insulators", 1993. 7
8. H. C. Karner, "Insulator news and market report", 1995 7
9. I. K. Song, H. R. Kwak, "Characteristic analysis of electric field for suspension insulator using an optimization technique with FEM", ISEM, UK, 1995. 9
10. 송일근, "배전용애자의 특성 분석과 향후 전망", 전기공업, 제8권 4호, 1994.9

< 강 동 필 위 원 >