

전압감지기능 내장형 에폭시 지지예자 개발

(Development of epoxy molded post insulator including voltage detector function)

김언석* 손화영 윤기택 박영기 김평중 김재철

(Oun-Seok Kim Hwa-Young Shon Kee-Taek Yoon Young-Ki Park Pyung-Jung Kim Jae-Chul Kim)

Abstract

본 논문은 에폭시 지지예자에 센서를 내장하여 활선상태를 감지할 수 있는 제품개발에 관한 것이다. 개발된 제품은 KS C 3835에 따라 7.2[kV], 12[kV] 및 24[kV] 전압용이다. 지지예자에 내장된 센서 재질은 부분방전이 발생하지 않도록 애자 재질과 동일하게 하였다. 또한 활선상태를 확인할 수 있는 현장용 및 원격용 전압표시장치를 개발하였다. 개발된 애자본체에 대해서는 부분방전, 충격내전압, 상용주파내전압, 굽힘 강도 등 성능평가를 실시하였으며 만족할 만한 결과를 얻었다. 전압표시장치에 대하여도 상용주파내전압, 충격 내전압, 진동성 서지, 온도 특성 등을 확인한 결과 만족할 만한 결과를 얻었다.

1. 서 론

배전반이란 전력회사로부터 전력을 공급받아 수용가 내 필요한 곳에 적절하게 분배해주는 설비의 집합체로 차단기, 변압기, 계전기, 변성기, 애자 등 다양한 전기 제품으로 구성되어 있다. 분전반이란 배전반으로부터 전기를 공급받아 수용가내 각각의 위치 혹은 부하들에 전기를 공급해 주는 소형 배전반이라고 할 수 있으며 주로 애자와 배선용 차단기로 구성되어 있다. 이들 전기 제품 중 전압을 측정하거나 감시하는 부품인 전압 변성기는 고가이고 부피가 큰 관계로 메인 배전반에만 설치되어 있는 경우가 많고 분전반에는 거의 설치되어 있지 않다. 전기를 대량으로 소모하는 대형 수용가는 이러한 분전반이 상당히 많이 설치되어 있는데 전압감시 기구가 없는 관계로 어떠한 원인으로 정전되는 경우에도 담당자가 알기 어려운 경우가 많다.

본 논문에서는 이러한 단점을 보완하고자 전압 감지 기능 내장형 에폭시 몰드 지지예자를 개발하였다. 에폭시 몰드 지지예자는 배전반등에서 전선이나 차단기 등 전기기기를 본체로부터 절연시키면서 지지하는 역할을 하며, 재료는 주로 에폭시이고 성형방식은 주물에서 형상을 만드는데서 에폭시 몰드 지지예자라고 한다. 이 에폭시 지지예자는 모든 분전반에 설치되어 있으므로 추가적인 비용이나 공간을 차지하지 않아 매우 경제적이라고 할 수 있다. 개발 제품의 원리는 1차 측 전압을 매우 낮은 전압으로 낮추어 램프 등을 점등시켜 관리자가 멀리서도 정전 여부를 알 수 있도록 하며 또한 여기에 증폭회로를 취부하면 활선 유무를 원거리의 관리자에게

알려 줄 수 있어 관리 및 유지보수가 용이하다. 지지예자는 기본적으로 사용하게 되므로 본래의 기능을 하면서 여기에 전압 감지 기능을 추가하여 관리자에게 많은 편리함을 제공할 수 있어 수요가 많이 증가하고 있는 추세이다.

본 논문에서는 7.2[kV], 12[kV] 및 24[kV]급 전압감지 기능 내장형 에폭시 몰드 지지예자 및 전압감시 및 표시 기구를 개발하고 성능평가를 실시하였다. 성능평가 일반 에폭시 지지예자 규격과 동일한 성능을 보여 현장 사용상 문제가 없음을 입증하였다.

2. 본 론

2.1. 제품 사양

전압 감지기능 내장형 에폭시 지지예자는 일반 에폭시 지지예자에 전압감지 기능만 추가시킨 일종의 응용 제품이다. 그러므로 아직까지 제품에 대한 규격은 없다. 그러나 응용 제품이라도 사용 용도는 똑같아서 기존 제품 규격을 검토하였다. 개발제품과 관련된 규격으로 국내에서 많이 사용하는 규격은 2종이 있다. 하나는 한국 산업표준 규격(KS)이고 또 다른 하나는 일본 산업표준 규격(JIS)이다. JIS 규격은 KS 규격과 동일하여 KSC 3835-1998(옥내용 폴리머 복합재료 지지예자) 규격만 검토하였다. 또한 국외에서 개발된 4종의 제품에 대하여 기술검토를 하였다. 규격 검토 및 국외제품에 대한 검토결과를 토대로 표 1과 같은 제품사양을 결정하였다.

표 1. 지지애자 제품사양
Table 1. Specifications of post insulator

특성	단위	형식		
		DVD-6N	DVD-12N	DVD-20N
공칭전압	kV	6.6	11	22
정격전압	kV	7.2	12	24
상용주파 내전압	kV	22	28	50
충격 내전압	kV	60	75	125
정전용량	pF	160	160	100
부분방전 개시전압	kV	> 7.2	> 12	> 24
구부림 내 하중	kgf (N)	400(3920)	400(3920)	400(3920)
표면 누설거리	mm	130	220	310
높이	mm	95	130	210
직경	mm	72	90	90
중량	kg	0.7	1.3	1.85

세부적인 검토사항은 다음과 같다.

○ 형상 및 치수

개발 제품의 전체적인 형상 및 치수는 일반적으로 KS C 3835-1998 규격을 적용하였으며 외국 제품 또한 모두 비슷한 형상과 치수를 가지고 있다. 일반 에폭시 지지 애자와 호환성을 위하여 동일하게 만들었으며 다만 치수에서는 센서를 내장하는 관계로 약간 틀리게 제작되었다.

○ 공칭전압(Nominal voltage)

공칭전압이란 제통의 시스템 전압을 일반적으로 분류해 놓은 것으로 그렇게 유용하게 사용되는 것은 아니다. 다만 KS C 3835-1998(옥내용 폴리머 복합재료 지지 애자) 규격과 호환성을 유지하기 위하여 동일하게 표현하였다. 그래서 공칭전압은 6.6[kV], 11[kV], 22[kV]로 규정하였다.

○ 정격전압(Rated voltage)

KS 규격의 에폭시 지지애자 및 외국 제품을 분석해 보 결과, 전압을 표시하는 방법은 크게 공칭전압, 정격전압, 최고회로 전압(Highest system voltage) 3가지가 있다. 일반 에폭시 지지애자와 호환성을 유지하기 위하여 전압표시 방법으로 공칭전압 및 정격전압을 대표적으로 채택하였다. 일반 에폭시 지지 애자와 호환성을 유지하고 한국의 국가표준 규격인 KS C 3835-1998 에 적합하도록 하기 위함이다. 그래서 정격전압은 7.2[kV], 12[kV] 및 24[kV]로 하였다. 이는 독일 제품의 최고회로 전압과 동일한 표현이다.

○ 상용주파 내전압(Power frequency withstand voltage)

상용주파 내전압은 호환성을 위하여 KS C 3835-1998 규격의 절연계급 A형을 그대로 적용하였다. 실질적으로 이 규격은 전압감지 기능이 없는 형식에 대한 절연 내압이므로 개발제품에는 높은 수준이지만 호환사용을 위하여 절연 설계를 최적으로 하여 이를 구현하였다. 그래서 상용주파 내전압은 22[kV], 28[kV] 및 50[kV]으로 하였다. 이것은 독일 및 일본 제품의 상용주파 내전압 수치와 동일하다.

○ 충격내전압(Lighting impulse withstand voltage)

충격 내전압은 호환성을 위하여 KS C 3835-1998 규격의 절연계급 A형 및 B형을 그대로 적용하였다. 실질적으로 이 규격은 전압감지 기능이 없는 형식에 대한 충격 내전압이므로 개발제품에는 높은 수준이지만 호환사용을 위하여 절연 설계를 최적으로 하여 이를 구현하였다. 그래서 충격 내전압은 60[kV], 75[kV] 및 125[kV]로 하였다. 이것은 일본 제품의 충격 내전압 수치와 동일하다.

○ 구부림 내 하중(Bending)

구부림 내하중은 개발 제품 내에 센서를 삽입하는 관계로 KS C 3835-1998 규격과 일치하게 제작하기는 어려웠다. 그래서 일본 제품 사양을 준용하여 3종 모두 400[kgf](3920N)으로 하였다. 이것은 또한 스페인 제품과도 동일한 수준이다.

○ 부분방전 개시 전압(Voltage of partial discharge)

부분방전은 KS C 3835-1998 규격에서는 정상 대지 전압의 1.1배에서 100[pC] 이하로 하도록 되어 있다. 그러나 부분방전은 미소한 결함에도 그 크기가 상당히 변화하므로 크기로 제한하지 않고 방전이 시작하는 전압으로 관리하고자 한다. 기존 일반적인 에폭시 지지 애자도 정격전압에서 부분방전이 발생하지 않도록 관리하고 있다. 그래서 부분방전 개시전압은 각각 7.2[kV] 이상, 12[kV] 이상 및 24[kV] 이상이 되도록 하였다. 이것은 일본 제품과 동일하다.

○ 표면누설 거리(Creepage)

표면 누설거리는 KS C 3835-1998 규격에서는 언급되어 있지 않다. 또한 외국 제품에도 언급되어 있지 않다. 그러나 현장에서 유용하게 사용될 수도 있기 때문에 표기하였다. 이 수치는 절연계급과 관련이 많으며 형상 설계와도 밀접한 관계가 있다. 표면 누설거리는 각각 130[mm], 220[mm] 및 310[mm]이다.

2.2. 지지애자 본체 개발

2.2.1. 센서개발

에폭시 지지 애자에 전압 감지 기능을 추가하는 방식은 기존 제품 분석에서 고찰한 바와 같이 종류가 여러 가지가 있다. 센서 자체를 삽입한 것도 있고 인서트 자체를 센서로 사용한 경우도 있으며 콘덴서를 삽입한 경우도 있다. 또한 저항을 직렬로 연결하여 사용한 경우도 있다. 그 중에서 인서트 자체를 센서로 이용하는 것은 매우 작은 정전용량(수 10[pF])을 이용하는 것으로 램프를 구동하기에는 매우 힘들고 중간에 증폭장치를 삽입하여야 한다. 또한 저항 및 콘덴서를 직렬로 연결하여 사용하는 경우도 그 길이가 수 10[cm]에 달하여 제조상 어려움이 많다. 그래서 본 연구에서는 콘덴서를 이용한 센서 방식을 채택하였다. 이것은 제조상 편리하고 충분한 용량을 얻을 수 있어 제어전원이 없는 상태에서도 램프를 충분히 구동할 수 있기 때문이다. 다만, 센서를 삽입하는 관계로 부분방전이나 상용주파 내전압, 뇌 임펄스 내전압 시험에 견디게 하는 것이 중요한 문제이다. 센서 한쪽은 1차 애자 상부의 금속부위에 연결하고 나머지 1단자는 애자 하단부에 단자를 만들어 놓았다. 외부에서 저항을 이용하여 애자 하단부 저압 단자와 접지 사이에 저항을 연결하여 저전압을 만들도록 하였다. 이 때 저항은 선로전압 대부분이 센서에 걸리고 저항양단에는 약 AC 100[V]가 유지 되도록 선정한다. 이 저항은 활선 표시기구 내부에 설치하도록 하였다.

본 논문에 적합한 콘덴서 센서도 개발하였다. 센서의 절연거리는 충분하게 하여 각종 절연시험에서 문제가 없도록 하였다. 또한 애자의 재질은 에폭시로 하여 센서 삽입 시 이종 절연물에 따른 열팽창에 의한 여러 가지 문제를 해결하였다. 이렇게 하여 여러 가지 제작상의 문제를 해결 할 수 있었다. 표 2는 센서에 대한 정전용량 및 치수를 종합적으로 표현한 것이다.

표 2. 센서 제품 사양
Table 2. Specifications of sensor

Type	Capacitance (pf)	치 수(mm)			Weight(g)
		D±1	L±2	1±1.5	
DVD-6N	160	17	60	40	80
DVD-12N					
DVD-20N	100	17	81	61	110

2.2.2. 금형설계 및 제품개발

본 제품은 전압 감지기능을 내장하고 있는 관계로 지지 애자의 기본 기능인 절연과 지지의 기능을 만족시키

지 못할 수도 있다는 우려로 인해 금형 설계 시에 상당한 고려를 하였다. 우선 가장 먼저 고려해야 했던 사항이 내장되어 있는 센서의 고정문제였다. 금형을 설치하고 에폭시 주형 과정에서 센서가 바르게 고정 되지 못하면 뒤틀림이 발생하거나 인서트의 위치가 바로 서지 못해 원래의 의도대로 제품이 나오지 않을 가능성이 크기 때문이다. 또 다른 문제는 금형 설계 시 공기가 잘 빠지도록 하계끔 해야 한다는 것이다. 이런 문제는 상당히 해결하기 어려운 문제로 제품의 외관과 전기적 특성에 상당히 영향을 미칠 수 있는 관계로 신중히 설계하였다. 또한 에폭시를 주형하는 주 입구의 위치를 선정하는 것도 관건이었다. 작업자의 편리함을 위해 설계자는 작업자의 입장과 시제품의 올바른 생산, 전기적, 기계적 특성을 모두 고려해서 설계를 하였다. 에폭시 애자는 생산이 된 후에 제품의 경화과정에서 수축이 되기 때문에, 금형 설계 시 이런 사항에 주의하여 원래의 치수와 의도했던 제품을 생산하기 위한 충분한 고려 후 설계를 하였다. 개발된 제품형상은 그림 1과 같다.

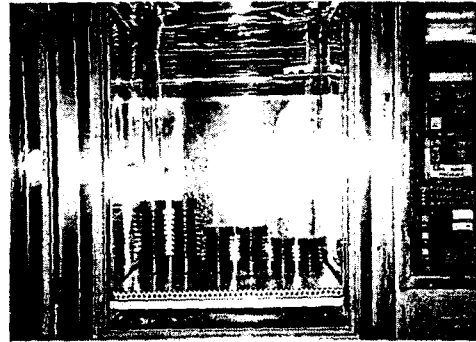


그림 1. 개발된 지지애자 사진 (내부)
Fig. 1. Photograph of post insulator (inside)

2.3. 전압표시기구 개발

전압표시 기구는 기본적으로 분전반에 설치되어 전압의 활선 유무를 관리자에게 알려주는 역할을 한다. 활선 유무를 알려주는 방식은 여러 가지가 있을 수 있으나 가장 간단한 방법은 제어전원 없이 에폭시 애자로부터 에너지를 받아 표시해주는 방식이다. 장점으로는 별도의 제어 전원이 없어도 동작하므로 설치가 간단하고 유지보수가 용이하다. 단점으로는 제어전원이 없으므로 정밀한 동작이 어렵다. 즉 일반적인 계전기처럼 전자회로를 구성하면 정밀하게 동작할 수 있는데 그렇지 못하므로 활선 상태의 표시가 불명확 할 수 있다는 점이다. 전압표시 기구를 설계함에 있어서 고려한 점들은 다음과 같다.

(1) 동작 원리가 간단하여야 한다. 전압감지 기능 내장형 예폭시 애자란 일반 지지 애자에 전압 감지 기능을 내장한 것으로 단지 활선 표시를 위한 것이다. 그러므로 간단하면서도 부품의 고장시 교체가 용이하여야 하며 전력공급에 지장을 주지 않도록 설계하여야 한다.

(2) 램프의 소비전력이 적고 수명이 길어야 한다. 개발 장치가 사용자의 편리함을 위한 것인데 중요 부품중의 하나인 램프가 자주 고장 나서는 안 된다. 그러므로 견고하고 수명이 길며 소비전력도 적은 램프를 선정할 필요가 있다. 이를 위하여 여러 가지 제품을 비교 분석하여 네온램프를 선정하였다.

(3) 보호회로를 추가하여야 한다. 어떠한 원인에 의해 지지 애자의 2차 측 단자에 과전압이 인가되는 경우 이를 보호 할 수 있는 과전압 보호 소자를 취부하여야 한다. 또한 지지 애자의 1차 측에 과전압이 유기되는 경우에도 회로를 보호 할 수 있도록 하여야 한다. 이를 위하여 일명 TNR이라고 부르는 과전압 보호 소자를 부착하였다.

(4) 램프의 교환이 용이하여야 한다. 전압표시 기구 중 가장 취약한 부품은 램프 종류이다. 저항이나 서지 보호 소자는 고장 날 가능성이 적기 때문이다. 그래서 램프 홀더는 전구식 네온램프를 사용할 수 있는 타입으로 선정하였다.

(5) 램프의 점등 유무를 쉽게 판단 할 수 있도록 한다. 제어전원 없이 구동하는 타입에 대해서는 램프의 밝기가 낮아 낮에는 잘 보이지 않을 수 있다. 그래서 램프 홀더의 반사경은 빛이 최대한으로 방사되는 타입을 선정하였다. 그래서 어느 방향에서나 잘 보이고 최대한 밝게 보이도록 선정하였다.

(6) 램프의 고장시에도 쉽게 활선 유무를 체크할 수 있도록 한다. 램프의 고장시 실제 정전인지 아니면 램프의 고장인지를 확인 할 수 있어야 한다. 그래서 램프와 병렬로 연결된 전압 측정 단자를 만들어 놓아야 한다. 이렇게 하면 휴대용 멀티 메타만 있으면 양단의 전압을 측정하여 일정전압 이상이 나오면 램프 고장임을 알 수 있다.

(7) 원격에서도 활선 상태를 알 수 있는 기구를 개발하여야 한다. 최근에는 모든 것이 자동화 추세이며 한 곳에서 모든 상황을 감시하는 경우가 많다. 그러므로 현장에서만 활선 상태를 감시하면 안 된다.

(8) 램프 구동전압은 외부에서 제어할 수 있도록 하여야 한다. 지지 애자 내부에 취부하는 센서용 콘덴서 용량은 거의 일정하지만 제작할 때 마다 약간의 오차는 있을 수 있다. 이 수치가 변경되면 램프 구동전압이 정격전압보다 낮아지거나 높아 질 수 있다. 전압이 낮으면 램프의 밝기가 어두워지고 너무 높으면 램프의 수명이 짧아지게 된다. 그러므로 가능하면 램프의 구동 전

압은 정격전압에 가까운 것이 좋다. 그러므로 외부에서 간단히 이 전압을 조정 할 수 있게 설계되어야 한다. 본 논문에서는 이것을 저항을 이용하여 변경할 수 있도록 설계하였다.

(9) 유연성 있게 개발되어야 한다. 예폭시 지지 애자의 종류가 3종인데 한 개의 표시 기구로 모두 사용가능하도록 설계하여야 한다는 점이다.

2.3.1. 현장용 전압표시기구

현장용 표시기구는 별도의 제어 전원 없이 예폭시 지지 애자의 센서로부터 얻은 에너지를 이용하여 램프를 점등하는 장치이다. 개발된 제품은 그림 2와 같다. 전기적 사양 및 부품별 세부 사양은 다음과 같다.

○ 표시 램프

활선 표시용 램프는 수명과 소비전력을 감안하여 네온램프를 선정하였다. 동작전압은 약 50[V]에서 150[V]이다. 취부형태는 교체가 용이한 소켓 형이다.

○ 램프 구동용 저항

램프 구동용 저항이란 네온램프를 점등하는 전압을 분압하기 위하여 전압 감지 센서와 직렬로 연결하는 저항이다. 램프 구동용 저항은 이론적으로 계산하였다. 센서용 콘덴서에 저항을 직렬 연결한다고 가정하고 정전용량을 알고 있고 예폭시 지지 애자 양단의 전압을 알고 있으므로 어느 저항 값에서 램프의 정격 전압인 100[V]가 출력되는지를 알 수 있다. 그러나 네온램프 자체가 비선형 저항을 가지고 있어 결국은 저항과 병렬로 연결되고 합성 저항 값이 작아져 출력전압은 실제보다 낮아지게 된다. 예폭시 지지 애자별로 사용한 저항치 및 출력전압 측정치는 표 3과 같다.

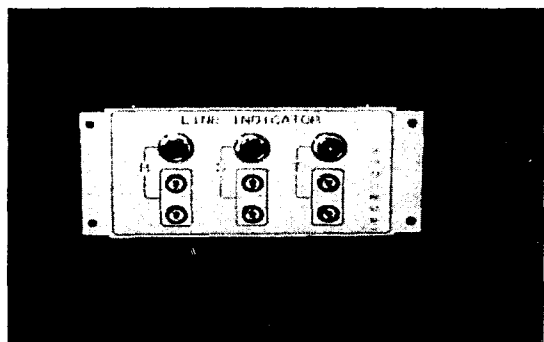


그림 2. 현장용 전압표시기구
Fig. 2. Voltage display device for local site

표 3. Resistance value and output voltage
Table 3. 저항 값과 출력전압

애자 종류	사용전압 (kV)	설치저항 (kΩ)	측정전압(V)	비 고
DVD-6N	7.2	231	98	비접지
DVD-12N	12	136	96	비접지
DVD-24N	13.2	204	105	접지
	24	112	104	비접지

2.3.2. 원격용 전압표시기구

원격용 전압표시기구는 별도의 제어 전원을 사용하여 활선 신호를 원격지로 보내는 역할을 한다. 이것은 현장용 표시기구의 단점을 보완한 것으로 전력설비 유지보수의 자동화가 증가함에 따라 개발하게 되었다. 이 기구의 대부분은 현장용 표시기구와 동일하며 다른 부분은 제어전원 회로와 출력접점이다. 개발된 제품은 그림 3과 같다.

기본 개념설정은 다음과 같다. (1) 저전압 계전기(Under voltage relay) 개념을 도입한다. 출력접점은 활선 상태에서는 동작하지 않고 정전이 되면 동작하도록 한다. 출력접점은 각 상별로 출력되도록 3개를 설치하였다. (2) 동작 특성은 최대한 간단히 하였다. 정격출력 전압 100[V] 기준으로 하여 약 30% 정도 이하이면 동작하도록 하였다. 동작전압은 저항 등을 통하여 간단히 변경이 가능하도록 하여 민감하게 혹은 둔감하게 동작하게 할 수 있다. (3) 출력접점 리셋은 자동으로 하도록 한다. 정전이 되어 동작상태에서 다시 활선상태가 되면 리셋을 시키지 않아도 자동으로 원래 상태로 되돌아가도록 한다.

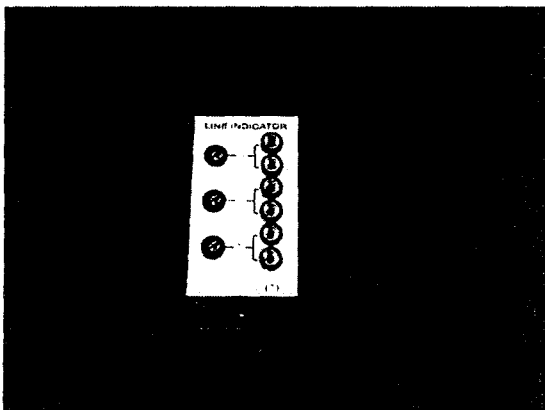


그림 3. 원격용 전압표시기구
Fig. 3. Voltage display device for remote site

2.4. 성능평가 및 고찰

본 논문에서 개발된 전압감지 기능 내장형 예폭시 지지 애자 3종과 전압표시기구에 대하여 성능평가를 실시하였다. 지지애자 본체 및 전압표시기구에 대한 평가항목 및 평가결과는 각각 표 4와 및 표 5와 같다.

표 4. 지지애자 성능평가
Table 4. Performance test of post insulator

평가항목	성능	결과
구조	자체설정 기준	양호
겉모양	KS C 3835	양호
부분방전	상전압의 1.1배 100[pC] 이하	10[pC]
온도 사이클	-20[°C], 90[°C] 반복변화 확인	10[pC]
구부림 내하중	400[kgf] 인가 후 변화 확인	10[pC]
상용주파내전압	제품별 시험전압 1분인가	양호
충격내전압	제품별 시험전압 1분인가	양호
표시기구 연계	전압 인가시 전압표시기구 동작	양호

표 4에서 부분방전 시험은 금구류 부위나 예폭시 내부에 공기층이 있는지를 확인하는 것으로 정격 대지전압의 1.1배 전압에서 실시하였다. 온도사이클 시험은 주로 예폭시와 금구류의 접합이 정상인가를 확인하기 위하여 저온 및 고온 시험을 반복하는 것으로 이 시험 후 부분방전 시험으로 정상유무를 확인한다. 구부림 내하중 시험은 주로 예폭시 지지애자에 큰 하중이 걸릴 때 견디는 가를 확인하는 시험이며 부분방전 시험으로 확인하였다. 그림 1은 온도특성 실험장면이고, 그림 4는 부분방전 실험장면이다.

표 5. 표시장치 성능평가
Table 5. Performance test of display device

평가항목	성능	결과
동작개시전압	50[V] 이상	60[V]
절연저항	DC 500[V]에서 10[MΩ]이상	100[MΩ]
상용주파내전압	교류 1500[V] 1분	양호
충격내전압	1.2×50[μs] 3[kV] ±3회	양호
진동성 서지	1[Mhz] 2.7[kV]	양호
기계적 진동	16.7[Hz], 복진 폭 0.4[mm], 10분	양호
기계적 충격	전후, 좌우 30[G] 각 2회	양호
제어전원 이상	전원개폐, 전원변동, 전원순단	양호
온도특성	-10[°C] ~ +50[°C]에서 동작	양호

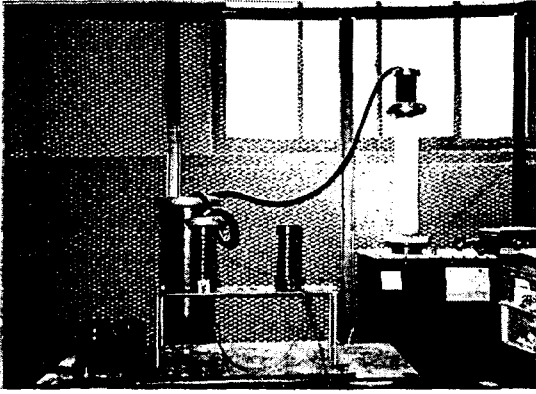


그림 4. 부분방전 실험장면
Fig. 4. Photograph of partial discharge test

본 논문은 동우전기공업(주)의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] KS C 3801, "애자시험 방법", 1999
- [2] KS C 3805, "옥내용 폴리머 복합 재료지지 애자", 1998
- [3] IEC 61462, First Edition, "Composite insulators - Hollow insulators for use in outdoor and indoor electrical equipment - Definitions, test methods, acceptance criteria and design recommendations", 1998
- [4] Artech Catalog, "Instrument transformers", CAIE-94 REV 0-010295
- [5] Neon Glow Indicators Catalog, 한국
- [6] GEORG JORDAN GMBH Catalog, 독일

3. 결 론

본 논문에서는 기존 에폭시 지지 애자에 전압 감지 센서를 삽입하여 별도의 전압 변성기를 설치하지 않고도 전압의 활선 유무를 감지 할 수 있는 전압감지 기능 내장형 에폭시 지지 애자를 개발하였다. 주요 결과를 정리하면 다음과 같다.

(1) 정격전압 7.2[kV], 12[kV] 및 24[kV] 3종의 전압감지 기능 내장형 에폭시 지지 애자를 개발하였다. 전압감지 방식은 정전용량을 이용하였으며 센서를 제작하여 삽입하였다. 일반적인 치수 및 일반적 특성은 KS C 3835-1998 규격을 따랐다.

(2) 활선 여부를 표시하는 활선 표시기구를 개발하였다. 활선 표시기구는 2종을 개발하였으며 하나는 별도의 제어전원 없이 애자로부터 에너지를 받아 램프를 점등하는 현장용이고, 다른 하나는 외부 제어전원을 이용하여 원격으로 상태를 전달해주는 원격용이다. 표시기구는 3종의 에폭시 지지 애자에 모두 공용으로 사용할 수 있다.

(3) 개발된 에폭시 지지 애자 3종에 대하여 성능평가를 실시하였다. 주요 시험항목은 구조, 결모양, 부분방전, 온도 사이클, 구부림 내하중, 상용주파 내전압, 충격 내전압 및 표시기구와의 연계시험이며 시험규격은 KSC 3835-1998 및 자체 제작사양을 따랐다. 평가결과는 모두 양호하였다.

(4) 개발된 현장용 및 원격용 활선 표시기구에 대하여 성능평가를 실시하였다. 주요 시험항목은 동작치 특성, 절연저항, 상용주파 내전압, 충격내전압, 내구성, 진동성 서지, 진동, 기계적 충격, 제어전원 이상 및 온도특성 시험이며 시험규격은 자체 제작사양을 따랐다. 평가결과는 모두 양호하였다.