

저압 전원설비 서지보호기의 등급별 성능시험

조성철 (기초전력연구원 선임연구원)

1 서 론

수십 년 동안 미국을 중심으로 생산되고 적용된 과전압 서지 억제기(TVSS)는 ANSI/IEEE C62 시리즈의 가이드 또는 표준서에 의거하여 8/20[μ s] 파형을 사용하여 시험해 왔다. 1995년까지 8/20[μ s] 파형은 IEC를 사용하는 나라를 포함한 대부분의 국가에서 역시 인정되었다. 그러나 1990년도 중반 이후 IEC 61643 그룹은 인입구에 설치되는 서지보호장치에 대한 10/350[μ s] 시험파형을 언급하게 되면서 기존의 조합파 시험에 사용되었던 1.2/50[μ s], 8/20[μ s] 파형 이외에 보다 에너지량이 큰 새로운 등급의 시험이 알려지게 되었다. 이후 2000년도에 들어서면서 IEC 61643에서는 저압 전원용 SPD 시험에 대하여 세 가지 등급별 시험체계를 갖추게 되었으며, 각각 I등급, II등급, III등급 시험으로 분류되어 시행되었다. 이러한 등급시험은 IEC 61643-1 원문에서 Class I, II, III로 표현하였으며, 국내 KS C IEC 61643-1로 제정되면서 I, II, III등급으로 번역되어 사용되었다.

KS 규격은 이와 같이 국제화 추세에 부합하여 IEC 61643 규격을 도입하게 되었으며, 축소나 추가 없이 그대로 국내에 도입하여 KS C IEC 61643 규

격으로 발표되었다. 2003년에 발표된 '저압 배전계통의 서지보호장치-제1부 : 성능시험 및 방법'에 대한 KS C IEC 61643-1 규격은 IEC 61643-1 규격의 2002년 판을 모태로 하였으며, 국내 SPD 시장에 큰 변화를 주었다. 특히 기존에 SPD의 시험에 사용되었던 부분적인 항목시험이 등급별로 체계화되어 국제 규격과 동일한 시험방법과 절차를 수행하게 됨으로써 국내 시험을 통해 CE인증 등 국제적인 인증을 획득할 수 있는 장을 열게 되었다. 또한 시험항목에 있어서도 등급별 분류가 명확해 짐에 따라 시험파형과 시험전압/시험전류 크기에 있어서 혼란을 줄이게 되었으며, SPD를 사용하는 측면에서도 성능시험에 대한 신뢰성과 타당성을 확보하게 되었다.

국내 SPD 시장의 관점에서 KS 규격에 IEC 61643을 도입한 것은 매우 획기적인 변화이며 국내 기술수준을 국제 수준으로 한 단계 도약시키는 계기가 된 것은 분명한 사실이다. 하지만 국내 기술규격의 눈부신 변화의 뒤편에는 이러한 변화를 따라가지 못하는 시험규격의 이해와 저변확대, 규격에 적합한 시험설비의 미비 등 기술적 인프라의 취약성이 존재하고 있다. 특히 공인 시험기관이나 공인시험 분야는 그동안 IEC 61643-1에 대한 SPD의 시험항목 중 일부만을 수행할 수 있는 수준이었으며 급격히 증가하

는 시험수요에 대한 대처가 신속하지 못하고 시험을 의뢰하는 기관이나 기업에서도 규격에 대한 이해와 시험항목에 대한 분석이 부족한 실정이다.

기초전력연구원에서는 지식경제부 전력산업인프라 구축지원 사업으로 지난 2002년부터 4년간 “뇌써지 해석 시뮬레이터 시험설비 구축” 사업을 수행하였으며, 그 결과로 배전용 피뢰기 및 저압 배전계통의 SPD에 대하여 국제 수준의 시험설비를 구축하게 되었다. 이를 기반으로 하여 2008년부터 지식경제부 기술표준원 산하 한국인정기구(KOLAS)로부터 IEC 61643-1, -21, IEEE C62.42.1 규격에 대한 국제공인시험기관으로 인정을 받게 되었다. 이에 따라 보다 체계적인 공인시험이 가능하게 되었으며 국내 SPD 시장에서 부족한 부분이었던 전체 등급 시험이 가능하게 되었다. 따라서 저압 배전계통의 서지보호장치에 대한 시험항목과 시험방법에 대하여 세부적인 소개를 통해 관련분야의 이해를 돕고자 한다.

2. 본 론

2.1 SPD의 등급 분류

서지보호장치는 각 제조사에 따라 조금씩 차이는 있지만 일반적으로 다음과 같이 KS C IEC 61643-1 규격에 따라 등급을 분류하고 그에 따라서 적절한 시험규격을 적용하여 성능평가를 수행하게 된다. 이는 제조사가 각각의 파라미터에 따라 SPD를 분류하고 적절한 표준정격을 선정하여 IEC 61643-1의 6절 요구사항에 따른 내용을 제시하여야 한다. 이에 따라서 SPD의 시험을 수행하게 된다.

- 포트 수 : 하나 또는 두 개
- 설계 형태(기술) : 전압 스위칭, 전압제한 또는 혼용
- I, II, III등급 시험

표 2-1. SPD 등급 시험

시험	요구정보
I 등급	I_{imp}
II 등급	I_{max}
III 등급	U_{oc}

- 위치 : 실내 또는 실외
- 재사용 : 가능, 불가능
- 부착 방식 : 고정식 또는 이동식
- 차단기 : 위치(외부, 내부, 외부와 내부 모두, 없음) 및 기능(열, 누설전류, 과전류)
- 백업 과전류 보호 : 명시되었거나 또는 없음
- SPD 수납보호등급(IP코드)
- 온도 범위

표 2-2. 일반 요구사항

일반 요구사항	확인	표시
제조사명, 상표, 제품번호	○	○
위치분류	○	
포트 수	○	
장착 방식	○	
최대연속동작전압 U_c	○	○
제조사 명시 시험등급 분류 및 방전파라미터		
- I 등급시험, I_{imp}	○	○
- II 등급시험, I_{max}		
- III 등급시험, U_{oc}		
I, II 등급 공칭방전전류 I_n	○	
전압보호레벨 U_p	○	○
정격부하전류 I_L	○	
IP 코드	○	○
단락저항	○	
과전류 보호기의 최대정격	○	○
설치안내서	○	
전류형태(직류, 교류)	○	○
온도범위	○	
일시적과전압(TOV) 특성	○	

2.2 SPD 시험을 위한 요구사항

SPD의 시험을 위해서는 제조자가 제시하여야 하는 요구사항이 있다. 요구사항은 일반요구사항과 전기적 요구사항, 기계적 요구사항, 환경 조건, 안전조건 등으로 구분된다. 이들 요구사항 중 일반요구사항과 전기적 요구사항에 대해서만 간략하게 기술하면 다음과 같다.

표 2-2에는 제조자가 제시하여야 하는 일반요구사항에 대하여 나타내었다. 각각의 항목들은 확인하는 사항 및 반드시 제품의 본체에 의무적으로 표시하여야 하는 사항으로 구분하였다. 표시사항은 지워지지 않도록 하여야 하며, 읽는데 지장이 없도록 하여야 한다. 표 2-3에는 전기적 요구사항에 대하여 나타내었으며, 전기적 요구사항의 세부 시험내용과의 관련은 이후 기술하는 각 등급별 시험방법을 참고하면 된다.

법을 참고하면 된다.

2.3 절연저항 시험

절연저항 측정은 습도처리 후 시행되도록 되어 있다. 습도는 상대습도 91~95[%] 사이의 밀실에서 20~30[°C] 범위의 특정온도로 고정시킨다. 습도처리는 48시간 동안 지속된다. SPD는 습도처리 후 30~60분 정도의 시간이 흐른 후 500[V] 직류를 사용하여 60초 동안 측정한다. 측정은 표 2-4와 같이 수행된다. 표 2-4에서 SPD 본체란 접촉가능한 절연소재의 표면에 있는 모든 접촉 가능한 금속 부품과 금속 박편, SPD가 장착된 표면을 의미한다. 또한 SPD를 지지대에 고정하기 위한 볼트와 다른 도구 등도 포함한다. 각각의 경우에 측정된 절연저항은 표의 값보다 커야 한다.

표 2-3. 전기적 요구사항

전기적 요구사항	내 용	비 고
전기적 접속	접속단자는 제조자 명시 최소 및 최대 단면적의 케이블을 연결할 수 있도록 설계	
전압보호레벨 U_p	SPD의 제한전압 측정값은 전압보호레벨을 초과하지 않아야 함.	IEC 61643-1, 7.5절
I등급 임펄스 전류시험	제조자가 해당 요구사항에 부합하다는 것을 명시할 때 SPD의 I등급 시험을 수행함.	IEC 61643-1, 7.6.5절
II등급 공칭방전전류 시험	제조자가 해당 요구사항에 부합하다는 것을 명시할 때 SPD의 II등급 시험을 수행함.	IEC 61643-1, 7.6.5절
III등급 조합파 시험	제조자가 해당 요구사항에 부합하다는 것을 명시할 때 SPD의 III등급 시험을 수행함.	IEC 61643-1, 7.6.7절
동작책무시험	최대연속동작전압 U_c 가 인가된 상태에서 허용 불가한 특성변화가 없이 특정 방전전류에 대한 내력을 지녀야 함.	IEC 61643-1, 7.6절
SPD 단로기	SPD는 내외부에 단로기를 접속할 수 있으며, 이에 대한 동작표시를 함.	
절연 거리	SPD는 충분한 절연거리(연면방전 포함)를 확보하여야 함.	
트래킹 내성	활선도체에 관련된 절연소재는 트래킹 내성이 있는 소재로 구성	
절연 저항	함체는 절연파괴나 직접접촉 보호에 충분한 절연내력 또는 절연저항을 가질 것	IEC 61643-1, 7.9.8절
상태표시기 동작	형식검사(type test)과정 동안 SPD의 상태는 상태표시기에 의해 명확히 표시되어야 함. 상태표시기는 기계적, 광학적, 청각적, 전자기적 요소들의 결합체로 2개의 파트로 구성함.	

표 2-4. SPD 절연저항 측정

측정대상	측정 전압	측정 시간	절연 저항
활선도체와 접촉가능한 SPD 본체	500[V _{dc}]	60[sec]	5[MΩ]
SPD 주회로의 활선도체와 보조회로의 활선도체	500[V _{dc}]	60[sec]	2[MΩ]

2.4 I 등급 시험

2.4.1 I 등급 시험을 위한 10/350(μs) 파형

이 파형은 기존의 IEC 61024 등에서 사용되던 파형으로 주로 외부피뢰에 적용되어지던 에너지 내량이 매우 높은 파형이다. IEC 61643-1의 임펄스 전류 (I_{imp}) 요구사항을 만족하기 위해 시험기관들은 현재 10/350(μs) 시험파형을 사용해야 하지만 IEC 61643-1의 2002년 버전까지만 해도 새로운 파형의 적용이 SPD의 시험에 과도하다는 반대에 부딪혀 어느 정도 절충된 표현을 사용하였다. 즉, I 등급 시험과 II 등급 시험을 위한 8/20(μs) 전류파형을 기반으로 모든 시험항목을 결정하였으며, I 등급 시험에서조차 10/350(μs) 시험파형으로 한정하지 않았다. 하지만 IEC 61643-1의 2005년도 버전에서는 I 등급 시험에 10/350(μs) 시험파형을 언급하였으며, 이후 발표된 IEC 62305에서는 외부 뇌보호 시험에 10/350(μs) 시험파형을 최대 200[kA]까지 적용하는 것으로 규정하고 있다. I 등급 시험에서는 10/350(μs) 시험파형 외에 전하량 Q를 측정하는 내용도 함께 포함하고 있으므로 이에 따른 SPD 시험분야의 변화가 예상된다.

2.4.2 I 등급 임펄스 전류 시험

KS C IEC 61643-1(2003년)은 IEC 61643-1의 2002년도 버전으로 발표되어 있으므로 현재 규격상 I 등급 시험은 공칭방전전류 I_n , 1.2/50(μs) 전압

임펄스, 그리고 최대 임펄스 전류 I_{imp} 에 의해 수행되는 것으로 구성되어 있다(1). I_{imp} 는 피크전류 I_{peak} 와 전하량 Q 그리고 특정 에너지 W/R에 의해 결정된다. 임펄스 전류는 50(μs)의 시간 내에 I_{peak} 에 도달하여야 하며, 전하량 Q는 10(ms)의 시간동안에 전달되어야 한다. 또한 특정 에너지 W/R도 10(ms) 이내의 시간 동안에 소모되어야 한다. 즉, I 등급 시험은 전류의 크기와 방전된 전하량의 값으로 표현되어지며, 에너지의 개념으로 분석할 수 있다. 이러한 값들은 IEC 61643-1의 2005년 버전에 새롭게 내용이 변경 또는 추가되어 있으므로 2002년 버전과는 다소 차이가 있다. IEC 61643-1의 2005년 버전에서 I 등급 파라미터를 표 2-5에 나타내었다(2).

표 2-5에서는 2002년 버전에서는 없었던 특정 에너지 W/R이 언급되어 있으며 IEC 61312-1에서 제안되었던 10/350(μs) 파형을 함께 제시하고 있다. 이는 I_{peak} 와 전하량 Q만으로 정의된 기존의 I 등급 시험에 특정에너지 파라미터를 추가하여 보다 구체화하였고, 10/350 파형을 언급함으로써 기존의 모호성을 해소하였다고 볼 수 있다. 아래는 전하량 Q와 특정에너지 W/R의 수식을 나타내었다.

표 2-5. I 등급 시험 파라미터(IEC 61643-1, 2005)

I_{peak} (50[μs] 이내) [kA]	Q (10[ms] 이내) [As]	W/R (10[ms] 이내) [kJ/Ω]
20	10	100
10	5	25
5	2.5	6.25
2	1	1
1	0.5	0.25

주) 위 파라미터를 충족시키는 가능한 임펄스 시험 중의 하나는 IEC61312-1에 제안된 10/350 파형이다.

$$Q = I_{peak} \times a, \text{ where } a = 5 \times 10^{-4} \text{ s} \quad (1)$$

$$W/R = I_{peak}^2 \times b, \text{ where } a = 2.5 \times 10^{-4} \text{ s} \quad (2)$$

식 (1) 및 (2)에 의해서 계산된 Q값 및 W/R 값은 I 등급 시험을 위한 파라미터로 사용되며, I_{peak} 와 함께 10/350(μs) 파형의 중요한 요소로 적용된다[2]. 또한 I 등급시험에 있어서의 I_{peak} 값은 II등급 및 III 등급 시험과는 달리 20(kA)의 전류용량으로 규정되어 있다. 물론 II등급 시험의 경우 최대방전전류 I_{max} 는 최근 출시되는 SPD에 따라서는 40(kA) 이상인 경우도 있다.

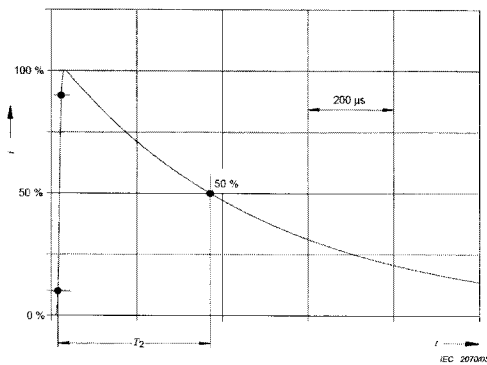


그림 2-1. 10/350(μs) 파형

2.4.3 10/350(μs) 파형의 발생 원리

10/350(μs) 파형은 기존의 8/20(μs) 파형을 발생시키는 ICG(impulse current generator)와는 달리 두 개의 트리거와 스위치를 이용하여 파두부와 파미부 파형을 각각 만들어 결합시키는 방법으로 발생된다. 이 때 파미부 350(μs)의 부분을 형성하는 스위치를 크로바 스위치(crowbar switch)라 하고, 크로바 코일(crowbar coil)은 코일의 인덕턴스에 충전된 에너지로 파미부를 길게 늘려주는데 사용된다. 전체적인 회로도는 임펄스 발생기의 C, 크로바 코일의 L, 그리고 시료의 R로 구성되며, 이들 회로요소에 의해서 파형이 결정되어지게 된다. 그림 2-2는 10/350(μs) 파형의 회로도도를 나타내고 있다.

그림 2-2에서 start switch가 닫힘으로 인하여 20(μF)의 콘덴서에 충전된 전하가 방전하면서 상승 시간이 10(μs)인 전류 파형을 발생시킨다. 발생된 전류파형이 피크에 도달한 후 감쇄를 시작하게 되면 인덕터 L에는 상승부와 반대방향의 유기전력이 발생되고 이때 크로바 스위치가 동작하여 이후에는 인덕터 L에 충전된 전류에너지로 계속하여 350(μs)의 파미를 가지는 전류파형이 시료에 인가되게 된다. 이러한 2단 트리거와 스위치를 사용한 파형발생기의 장점은 극단적으로 긴 파미부를 비교적 손쉽게 구현하기에 적합하다.

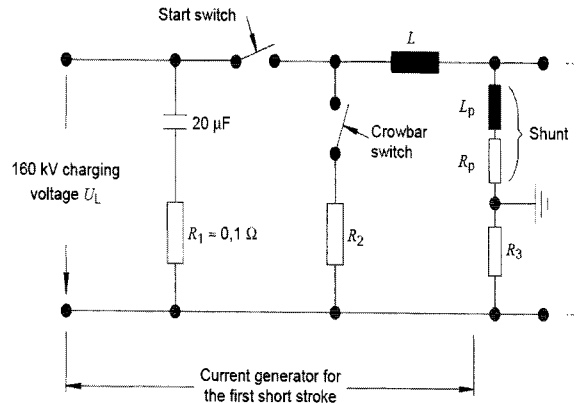


그림 2-2. 10/350(μs) 파형 회로도

2.4.4 10/350(μs) 파형 발생장치

현재 기초전력연구원에 구축되어 있는 10/350(μs) 파형 발생장치를 그림 2-3에 나타내었다. 그림 2-3의 왼쪽은 IVG를 나타내며, 오른쪽은 ICG와 크로바 스위치 및 코일을 나타내었다.

IVG와 ICG를 동시에 사용하면서 크로바 스위치를 동작시키는 시간을 정확히 조정하여 10/350(μs) 파형을 만드는 형태로 구성되어 있다. 시료의 임피던스에 따라 파미부의 시간이 달라지기 때문에 크로바 코일의 인덕턴스를 변화시켜 350(μs)의 시간을 맞춘다. 기존의 ICG 동작 프로그램과는 별개로 Q와

W/R를 계산하는 전용 프로그램을 통해 Q와 W/R을 계산하게 되므로 시험 후 즉시 표 2-5에 나타낸 IEC 61643-1의 권장 파라미터와 비교·분석할 수 있게 되어 있다.

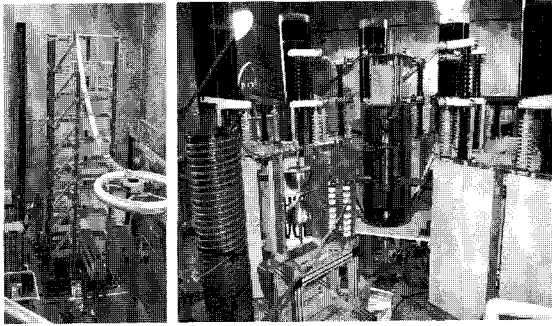


그림 2-3. 10/350[μs] 파형 발생장치

업체 및 수출입 기업체들의 I 등급 시험요구를 충족시킬 수 있을 것으로 기대된다. 현재 기초전력연구원에서는 50[kA]의 10/350[μs] 전류파형을 발생시킬 수 있다.

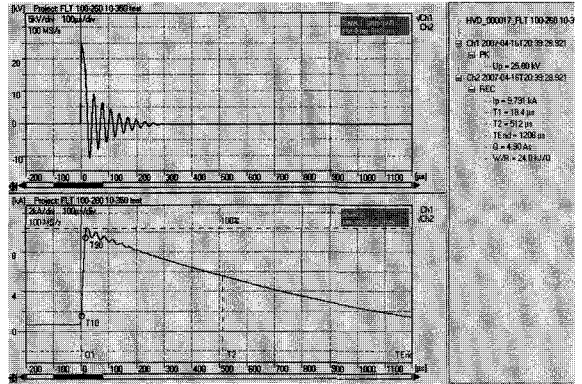


그림 2-4. 10/350[μs] 파형을 이용한 I 등급 시험 파형

2.4.5 실험파형

10/350[μs]의 파형 발생장치를 이용하여 I 등급 시험을 실시한 파형을 그림 2-4에 나타내었다. 그림 2-4의 상부파형은 전압파형이며 하부파형이 전류파형이다. 전류파형을 보면 그림 2-1의 10/350[μs] 규격파형을 만족하는 것을 알 수 있으며, 최대점에서 비선형적인 부분과 진동이 실린 파형 부분이 보이는 것을 알 수 있다.

비선형적인 부분은 앞서서도 설명했듯이 10/350[μs] 파형을 생성하는 발생장치의 특성으로 나타나는 부분이며, 진동파가 실린 부분은 전체 회로정수에 의해 나타난다.

10[kA]의 I_{peak}를 가지는 임펄스 전류가 인가되었을 때의 측정파형으로 측정된 Q값은 4.9 As이며, W/R값은 24.0[kJ/Ω]이다. 결과값은 표 2-1의 값과 거의 일치하며, 측정된 파형의 시간 파라미터 값도 시험파형이 잘 일치하고 있음을 보여주고 있다. 이는 IEC 61643-1의 2002년 버전에서의 I 등급 시험에 대한 불확실성을 해소해주는 것이며, 앞으로 I 등급 시험이 국내에서 가능해짐에 따라 SPD 생산 기

2.5 II등급 시험

2.5.1 II등급 공칭방전전류 우선값

II등급시험은 공칭방전전류 I_n, 1.2/50[μs] 전압 임펄스, 그리고 최대 방전전류 I_{max}에 의해 수행된다. I_{max}는 SPD를 통해 흐르는 전류의 피크값으로 8/20[μs]의 파형과 진폭을 가지며, I_n보다 크다. II 등급 시험을 위한 공칭방전전류(I_n) 우선값은 0.05, 0.1, 0.25, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 2.5, 3.0, 5.0, 10, 15, 20[kA]이다.

2.5.2 II등급 제한전압 결정시험 절차

I 등급 또는 II등급시험에서 제한전압 결정시험은 전압보호레벨 U_p를 결정하기 위한 시험의 일환으로 수행된다. 시험은 SPD 내부에 스위칭 소자가 없는 경우에 8/20[μs]의 파형을 이용하여 진행되며, 스위칭 소자가 있는 경우에는 1.2/50[μs] 전압 파형을 이용하여 불꽃방전 전압을 측정하여 제한전압을 결정하게 된다. 제한전압을 결정하는 시험절

차는 다음과 같다.

- a) 8/20 전류임펄스는 I_n 의 약 0.1 0.2 0.5 1.0 배인 피크값을 사용한다.(IEC 61643-1, 2002년 버전에서는 2.0배까지 규정, 2005년 버전에서 2.0배 삭제), 만일 SPD가 전압제한 소자만 포함하는 경우 I_n 만으로 진행(IEC 61643-1, 2005년 버전에 추가된 조항)
- b) 정극성과 부극성으로 시험
- c) 최종적으로 I_p 보다 높은 I_{max} 또는 I_{peak} 를 가지는 최소 하나의 I_{max} 또는 I_{peak} 임펄스를 이전의 시험에서 가장 높은 잔류전압을 나타냈던 극성에서 SPD에 인가한다.
- d) 각각의 임펄스 사이의 간격은 시료가 주위온도로 냉각되기에 충분해야 한다.
- e) 각각의 임펄스에서 전압/전류 파형을 기록한다. 피크값(절대값)은 방전전류-잔류전압 곡선에 표시하며, 방전전류-잔류전압 곡선에서 I_{max} 또는 I_{peak} 까지 편차가 발생하지 않도록 충분한 지점을 포함하여야 한다.
- f) 측정 제한전압을 정의하기 위해 사용되는 잔류전압은 다음의 전류 범위에 해당하는 이 곡선에서 가장 높은 전압으로 정의된다.

I 등급 : I_{peak} 또는 I_n 까지의 값 중 큰 것

II 등급 : I_n 까지

2.5.3 II등급 동작책무 시험 절차

II등급 공칭방전전류 또는 최대방전전류를 이용한 동작책무 시험(operating duty test)은 SPD가 제조사의 해당 요구사항에 부합하다는 것을 명시할 때 IEC 61643-1의 규정에 따라 시험하며, 제한전압 결정시험, 사전적응시험 등을 거치 후 동작책무시험을 진행한다. 동작책무시험은 새로운 3개의 시료에 대하여 수행하면, 제한전압 결정시험에서는 과도한 스트레스를 방지하기 위해 I_n 또는 U_{oc} 에서만 실시한다.

SPD는 최소 5 A의 공칭방전전류 용량을 갖는 전압 소스로 U_c 에서 에너지가 가해진다. 이 시험은 SPD를 통해 I_{max} 까지의 전류 임펄스를 인가하여 수행하는 시험으로 전류를 정해진 배수의 크기로 증가시키면서 수행한다. 전력주파수 전압은 열적 안정성을 입증하기 위해 각 임펄스가 적용된 이후 30분 동안 적용되는데, SPD의 저항분 전류 I_c 또는 전력손실이 U_c 전압을 적용한 후 15분 동안 일정하게 감소하게 되면 열적으로 안정된 것으로 간주된다. 정극성의 전류임펄스는 다음과 같이 상용주파 전압이 가해진 SPD에 대해 전력주파수 전압의 해당 정극성 피크에서 인가한다.

- a) 0.1 I_{max} 크기의 전류 임펄스 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각
- b) 0.25 I_{max} 크기의 전류 임펄스 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각
- c) 0.5 I_{max} 크기의 전류 임펄스 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각
- d) 0.75 I_{max} 크기의 전류 임펄스 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각
- e) 1.0 I_{max} 크기의 전류 임펄스 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각

합격기준으로 SPD는 각 임펄스에 적용된 이후 열적 안정성이 확보되면 시험을 통과한 것으로 간주된다. 이러한 열적 안정성의 확보 이외에 모든 후속전류는 스스로 소진되는 조건에서 전압, 전류의 측정기록과 육안검사 모두에서는 시료의 파열 또는 섬락 등과 같은 징후가 나타나지 않으며, 시험 도중 기계적 손상이 발생하지 않아야 한다.

이후 I_n 또는 U_{oc} 에 해당하는 임펄스를 정격용량 5[A]인 전원을 통해 U_c 의 전압으로 가압된 시험시료에 1회 인가한 후 30분 이내에 열적 안정성이 확보되어야 한다.

시험 시료는 정격주파수에서 최대연속동작전압 (U_c)으로 전압 소스에 연결하며, 시험 변압기는 다른

규정 값이 제조자에 의해 제공되지 않는 한, 최소 200[mA]의 단락전류 용량을 갖는 것을 사용하여야 하며, 시험시료를 통하여 흐르는 누설전류 값은 1[mA] 값을 초과하지 않아야 한다. 이상의 합격기준은 IEC 61643-1: 2002 버전 및 KS C IEC 61643-1: 2003년 버전의 내용이다. 하지만 IEC 61643-1: 2005년 버전에서는 열적 안정성을 평가하는 방법으로서 다음 두가지 사항 중에 하나를 만족하는 경우로 평가하도록 새롭게 규정되었다.

- 시험시료를 통해 흐르는 전류의 저항성분(정현파의 최대값)이 1[mA]를 넘지 않거나
- U_c 를 인가한 상태에서의 피상전력 측정값이 시험 이전에 측정한 값에 비하여 20[%]이상 증가하지 않아야 한다.

이상의 시험절차 완료 후 SPD가 주위온도로 냉각된 이후에 제한전압 결정시험을 다시 수행하고, 시험 운전효율시험 전/후의 제한전압이 U_p 보다 낮거나 같으면 합격된 것으로 규정되어 있다.

2.6 III등급 시험

2.6.1 III등급 조합과 시험의 U_{oc} 우선값

개회로(open circuit) 양단에 1.2/50[μ s] 전압(U_{oc}) 임펄스와 단락(short circuit) 상태에서 8/20[μ s] 전류 임펄스를 가지는 파형으로 수행되는 시험이다. 단락 피크전류에 대한 개회로 피크전압의 비는 2[Ω]이다. III등급 시험을 위한 개회로 전압 U_{oc} 의 우선값은 0.1, 0.2, 0.5, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 20[kV]이다.

2.6.2 III등급 동작책임시험

전원용 SPD의 등급시험에 있어서(I, II, III등급 모두 포함) 가장 절차가 복잡하고 많은 항목의 시험들이 집합되어 있는 것이 KS C IEC 61643-1에서

동작책임시험(operating duty test)으로 번역되어 있는 시험이다. 동작책임시험은 그림 2-5에 나타난 절차도에 따라 시험을 진행하게 된다. 전원용 SPD에 대한 종합적인 시험절차를 포함하고 있으므로 국제 인증 시험(CE인증시험 등)에 적용되기도 하며, 전원용 SPD의 포괄적인 성능시험에 유효하게 사용되고 있다.

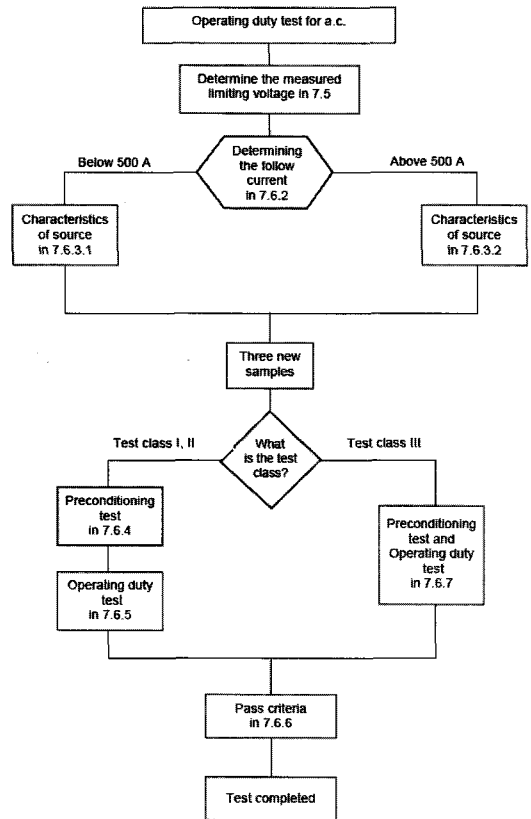


그림 2-5. IEC 61643-10에 의거한 동작책임시험 절차

동작책임시험은 크게 3가지 주요 부분으로 구성되는데, 제한전압을 결정하기 위한 시험과 사전적응시험, 동작책임시험이다. 이들 시험을 위주로 동작책임시험 절차를 정리하면 다음과 같다.

가. 일반 사항

이 시험은 IEC 61643-1의 7.6.3항에 명시된 바

에 따라 AC 전원을 통한 최대 연속 동작 전압 U_c 에서 에너지가 가해지는 동안 어떠한 조건에서 SPD에 특정 임펄스의 규정된 횟수가 적용되는지를 시험한다. 시험은 이전의 어떤 시험에서도 사용되지 않았던 새로운 3개의 시료에서 수행된다. 우선 측정 제한전압은 IEC 61643-1의 7.5항에 명시된 시험을 사용하여 정의된다. 시료의 과도한 스트레스를 배제하기 위해 III등급 시험은 U_{oc} 에서 즉, 20(kV)의 1.2/50(μ s)의 조합파 서지전압 정극성인 경우 AC 전압파형의 위상 $90(^{\circ}) \pm 10(^{\circ})$ 지점에, 부극성인 경우 AC 전압파형의 위상 $270(^{\circ}) \pm 10(^{\circ})$ 지점에 인가하였을 때 SPD 두 단자 사이의 피크전압을 측정하여 제한전압으로 결정한다.

나. 후속전류의 크기를 결정하기 위한 사전시험

이 사전시험은 후속전류(follow current)의 피크값이 500[A] 이상 또는 이하인 경우 이를 정의하기 위한 시험이다. SPD의 내부 설계와 후속전류의 피크값이 알려져 있는 경우, 이 사전 시험은 수행할 필요가 없다.

- a) 시험은 독립된 시험 시료로 수행된다.
- b) 예상 단락전류(pro prospective short circuit current) I_p 는 $\phi = 0.95 \text{ }_{-0.05}^0$ [%]의 역률과 $I_p \geq 1.5$ [kA]를 만족하여야 한다.
- c) 시험시료는 정현파 전력주파수 AC 전원에 연결하여야 한다. 단자에서 측정된 전력주파수 전압은 최대 연속동작전압 $U_c \text{ }_{-5}^0$ [%]와 최대한 동등하게 한다. 교류 전압소스의 주파수는 SPD의 정격주파수에 상응하도록 한다.
- d) 후속전류는 8/20(μ s)의 임펄스전류 또는 조합파로 개시된다.
- e) 피크값은 U_{oc} 에 상응한다.
- f) 전류 임펄스는 전력주파수 전압의 피크값 이전 $60(^{\circ})$ 에서 인가한다. 극성은 개시된 전력주파

수전압의 반파의 극성과 일치한다.

- g) 이러한 동기 지점에서 후속전류가 없는 경우, 임펄스전류 8/20(μ s)는 후속전류가 생성되었는지 여부를 정의하기 위해 각각 $10(^{\circ})$ 위상각 이후 인가한다.

다. 사전적응을 위한 전력주파수 소스특성

- a) 500[A]이하의 다음전류를 갖는 SPD 시험 시료는 전력주파수전압 소스에 연결한다. 전원소스의 임피던스는 후속전류가 흐르는 동안 SPD단자에서 측정된 전력주파수 전압의 피크값이 U_c 값으로부터 10[%] 이상 떨어지지 않도록 한다.
- b) 500[A]이상의 후속전류를 갖는 SPD 시험 시료는 표 8-2 또는 500[A]보다 큰 값에 따라 제조자가 명시한 후속전류 중단율(follow current interrupt rating) I_{fi} 에 해당하는 예상 단락전류를 가지는 전력주파수 전압 U_c 에 접속한다.

라. 사전적응 시험

이 시험에서는 각 5개의 임펄스로 구성된 3개 그룹에서의 정극성인 15개 임펄스전류 8/20을 적용한다. 단, III등급 시험은 I_n 대신에 U_{oc} 를 적용한다. 시험 시료는 상기한 '다'항에 따라 전원소스에 연결한다. 각 임펄스는 전력주파수에 동기화한다. $0(^{\circ})$ 에 동기화시킨 임펄스의 인가는 $30(^{\circ}) \pm 5(^{\circ})$ 간격으로 증가시킨다. 시험은 그림 2-6에 따라 진행한다.

임펄스간 간격은 50~60(s)이며 그룹간의 간격은 25~30(min)이다. 시험시료는 사전적응시험 그룹 간에 전원을 인가할 필요가 없다. 전류는 각각의 임펄스 인가시에 기록하여야 하며, 기록된 전류파형으로부터 시료의 파열이나 섬락 등의 징후가 나타나지 않아야 한다.

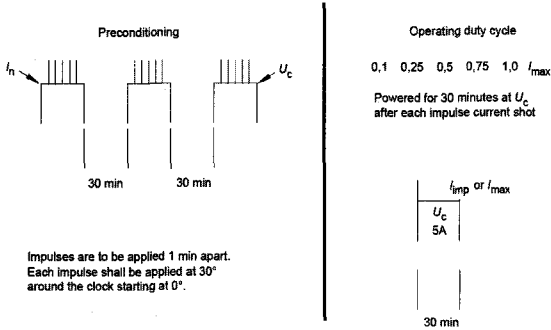


그림 2-6. 사전적응시험과 동작책무 주기

마. III등급 동작책무시험

III등급 SPD의 동작책무시험은 상기한 '다'항에 따라 전력주파수전압 소스가 사용된다. 조합과 발생장치는 그림 2-7과 같이 결합 콘덴서를 통사용 SPD에 연결한다. 표 2-6에 제시된 파형 파라미터의 허용오차는 SPD가 접속된 지점에서 표의 범위 내로 일치하도록 설정하여야 한다. U_{oc} 값은 제조자에 의해 명시되는 값이다.

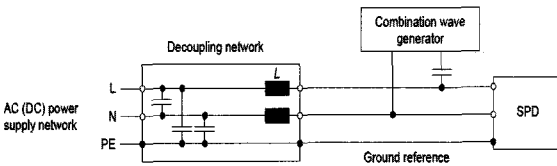


그림 2-7. 단상 시험회로에서 감결합 콘덴서의 적용

표 2-6. 시험파형의 허용오차

분류 항목	개회로 전압 U_{oc} 허용오차	단락전류 I_{sc} 허용오차
피크값	$U_{oc}(\text{peak}) \pm 3\%$	$U_{oc}/2(\Omega) \pm 10\%$
파두 상승시간	$1.2(\mu\text{s}) \pm 30\%$	$8(\mu\text{s}) \pm 10\%$
반치 도달시간	$50(\mu\text{s}) \pm 20\%$	$20(\mu\text{s}) \pm 10\%$

* 본 표는 감결합 네트워크(decoupling network, back-filter)효과에 대한 영향을 포함한다.

SPD는 상기한 '라'항목의 시험 순서에 따라 사전적응을 시킨다. III등급 시험을 위해 공칭방전전류는 U_{oc} 값으로 대체한다. 전류임펄스는 전력주파수전압의 해당 반주기(half cycle)와 동일한 극성에서의 피크값에서 인가한다. 이후 III등급 동작책무시험은 서지발생기에서 설정하는 다음과 같은 U_{oc} 의 조합과를 사용하여 수행한다.

- 0.1 U_{oc} 에서 정/부극성 임펄스 각 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각
- 0.25 U_{oc} 에서 정/부극성 임펄스 각 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각
- 0.50 U_{oc} 에서 정/부극성 임펄스 각 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각
- 0.75 U_{oc} 에서 정/부극성 임펄스 각 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각
- 1.0 U_{oc} 에서 정/부극성 임펄스 각 1회, 열적 안정성 점검, 주위온도로 냉각

바. 합격기준

SPD는 동작책무시험의 임펄스가 인가된 이후에 후속전류가 스스로 소멸되고 열적 안정성이 확보되면 시험을 통과한 것으로 간주한다. 전압, 전류기록과 육안 검사 모두에서는 시료의 파열 또는 섬락 등과 같은 징후가 나타나지 않아야 하며, 시험 도중 기계적 손상이 발생하지 않아야 한다.

5(A) 이상의 전류용량을 가지는 전원소스를 통해 U_c 로 가압된 SPD에 1회 이상의 U_{oc} 에 해당하는 임펄스를 인가하여야 한다. 이후 U_c 가 가압된 상태에서 30분 이내에 열적 안정성을 확보하여야 한다.

일단 열적 안정성이 확보되면,

- 시험 시료를 통해 흐르는 전류를 측정하고, 측정된 저항성분 누설전류값이 1(mA) 값을 초과하지 않거나,
- 대기상태 전력소모가 U_c 전압을 인가한 상태에서 측정된 피상전력값을 20(%) 이상 넘지 않

아야 한다.

이러한 모든 시험 순서에 따라 시료가 주위온도로 냉각된 이후, 시험 순서를 시작할 때에 수행된 '가'항목의 제한전압 측정시험을 반복한다. SPD는 동작책 무시험 이전과 이후에 측정된 제한전압 값이 U_p 보다 낮거나 또는 동등한 경우 시험을 통과한 것으로 한다.

3. 결 론

IEC 61643-1의 2005년 버전이 나오면서 기존의 불확실했던 I 등급시험이 보다 구체화 되었다. 특정 에너지 W/R의 파라미터를 언급하며 동시에 10/350 [μ s] 파형을 I 등급 시험파형으로 규정하면서 SPD 시험분야에 큰 파장을 일으키게 되었다.

기초전력연구원에서는 10/350 [μ s] 파형 발생장치를 이용하여 10/350 [μ s] 파형을 국내 시험기관 최초로 I 등급 시험에 적용하게 되었으며, 더불어 II등급, III등급 시험에서도 KOLAS 인정 공인시험 서비스를 제공하게 되었다. 이에 따라 각 등급별 시험방법과 절차에 대하여 IEC 61643-1의 2002년 버전과 2005년 버전을 중심으로 간단하게 소개하였다.

이러한 전문화된 SPD 시험설비를 통하여 저압 배전시스템의 안정된 전원공급과 SPD 관련분야의 시험 품질 향상에 기여하고자 하며, 급속하게 유입되는 유럽의 SPD 제조업체뿐만 아니라 국내 SPD 제조업체의 제품들에 대한 성능시험을 보다 효과적으로 수행하여 정확한 품질검증을 통해 관련 분야의 기술향상에 노력하고자 한다.

참 고 문 헌

- (1) IEC 61643-1, Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Performance requirements and testing methods, 2002.
- (2) IEC 61643-1, Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Performance requirements and testing methods, 2005.
- (3) IEC 62305-1, Protection against lightning-General principles, 2006.

◇ 저 자 소 개 ◇



조성철 (趙成哲)

1977년 12월 16일생. 2003년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2005년 2월 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 기초전력연구원 선임연구원.

Tel : (02)885-9443

E-mail : canfeel@snu.ac.kr