

중속 접속된 전압제한형 SPD의 직격뢰 서지전류에 대한 에너지협조

(Energy Coordination between Cascaded Voltage Limiting Type SPDs in Surge Currents due to Direct Lightning Flashes)

이복희* · 엄상현

(Bok-Hee Lee · Sang-Hyun Um)

Abstract

Cascaded applications of surge protective devices (SPDs) are required in order to reduce the stress on the electrical and electronics equipment being protected, and the energy coordination between the cascaded SPDs is very important. This paper deals with the experimental results obtained from the installation conditions of full-scale SPDs. The energy coordination between the upstream Class I SPD and the downstream Class II SPD was measured using a 10/350 μ s impulse current due to direct lightning flashes. The distances between the cascaded SPDs were 3, 10, and 50m, and the maximum test current was 12.5kA. As a result, the energy sharing between cascaded SPDs was dependent on the voltage protection level of each SPD and the distance between two SPDs. An overview of how to select SPD ratings in applications of cascaded SPDs system was discussed based on the energy coordination between the two SPDs. The proposed test results for the energy coordination between two-stage cascaded SPDs can be used in effective applications of SPDs.

Key Words : Surge Protective Device, Energy Coordination, Voltage-Limiting SPD, Cascaded Application, Voltage Protection Level, Coordinated SPD System, Surge Current, Lightning Flash

1. 서 론

최근 뇌방전에 기인하는 전기전자설비의 피해가 급격히 증가하고 있으며, 뇌서지는 정보화 사회의 아킬

* 주(교신)저자 : 인하대학교 IT공대 전기공학과 교수

* Main(Corresponding) author : Department of Electrical Engineering, Inha University, Professor

Tel : 032-860-7398, Fax : 032-863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr

접수일자 : 2014년 2월 17일

1차심사 : 2014년 2월 19일

심사완료 : 2014년 3월 11일

레스건으로 대두되고 있다. 뇌서지에 대한 전기전자설비의 보호에 서지방호장치(surge protective device ; SPD)를 설치하는 방법을 주로 적용한다[1-4]. 현재 KS C IEC 60364, IEC 62305와 IEC 61643표준에는 SPD의 설치에 대한 원론적인 사항이 규정되어 있으며[1, 5-6], 구체적인 기술적 사항이 충분히 제시되어 있지 않아 SPD를 효과적으로 설치하지 못하고 있는 실정이다. 전원계통을 통하여 입사하는 서지로부터 임펄스내전압이 낮은 전자기기의 효과적인 보호를 위해서는 SPD를 2단 혹은 3단으로 설치해야 한다[2].

SPD의 정격은 설치위치와 SPD를 통해 흐르게 될 방전전류의 크기에 따라 다르게 적용한다. IEC 61643-12표준에 8/20 μ s 임펄스전류에 대한 에너지협조를 고려하여 효과적으로 SPD를 2단 종속으로 설치하는 기술적 사항은 규정되어 있지만 10/350 μ s 임펄스전류에 대해서는 아직 미흡한 상태이다[6].

SPD를 종속으로 설치하는 경우 SPD의 정격은 전압보호레벨, 서지내량과 설치조건 등을 고려하여 선정해야 한다. 통상 상위 SPD의 에너지내량은 하위 SPD 에너지내량보다 큰 것을 사용한다. 입사된 서지에 대한 각 SPD의 에너지분담이 적절해야 하며, 각 SPD의 에너지분담은 주로 각 SPD의 제한전압과 SPD간의 거리에 의존하며, 이에 대한 연구가 꾸준히 이루어져 왔다[7-10]. 에너지협조를 고려한 SPD의 종속 설치에 관한 문제를 해결하고, 효과적인 SPD의 설치기법의 보급을 위한 적극적인 연구개발이 필요하다.

본 논문에서는 저압 전원계통에 종속으로 접속된 SPD의 에너지분담을 파악하여 효과적인 SPD의 설치기법을 제안할 목적으로 수행한 SPD의 설치조건에 따른 에너지분담을 측정된 실험적 연구의 결과를 기술하였다. 즉, 저압 전원계통에 종속으로 설치하는 상위 1등급 SPD와 하위 2등급 SPD 사이의 거리에 따라 직격뢰에 의해 발생하는 10/350 μ s 서지전류[11]가 입사하였을 때, 각 SPD의 단자전압, 통전전류와 에너지분담을 측정하였다. 이의 실험결과를 바탕으로 실제 SPD의 설치조건의 결정과 보호효과에 대하여 검토하였다.

2. 실험

2.1 실험계의 구성 및 방법

IEC 62305-4표준에 따르면 직격뢰에 의한 서지전류의 침입이 예상되는 회로에는 상위에 I등급 SPD 그리고 하위에 II등급 SPD의 설치가 요구된다[3]. 저압 전원계통에 종속으로 설치된 SPD의 직격뢰에 의한 서지전류에 대한 에너지협조를 분석하기 위한 실험을 수행하였다. 2단 종속으로 접속된 SPD의 에너지협조를 평가하기 위해 그림 1과 같은 실험회로

를 구성하였다.

SPD 상호간을 연결하는 배선의 인덕턴스가 서지의 전파에 대한 감결합요소로 작용하는 영향을 평가하기 위하여 SPD사이의 거리는 3, 10, 50m로 하였다.

상위 SPD와 하위 SPD사이의 옥내배선에 사용한 전선의 최소단면적에 상응하는 공칭단면적 2.5mm²인 IV 비닐절연전선으로 배선하였다. 서지원으로는 최대 충전전압 18kV에서 50kA, 10/350 μ s 임펄스전류를 발생시킬 수 있는 서지발생장치를 사용하였다. SPD의 단자전압은 주파수대역이 DC-50MHz이고, 측정범위 0-4.4kV인 능동형 차동전압프로브로 측정했고, 전류측정에는 DC-16MHz의 주파수대역이고, 측정범위 0-60kA인 로고우스키형 전류프로브를 사용했다.

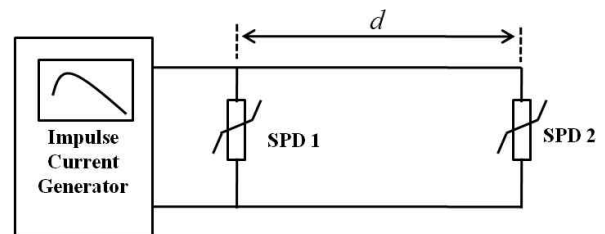


그림 1. 실험회로의 구성
Fig. 1. Configuration of the experimental circuit

임펄스전류를 SPD 1의 상위에 입사시켰을 때 각 SPD에 흐르는 전류와 SPD의 단자전압을 측정하였다. 임펄스전압과 전류 파형은 주파수대역 DC - 1GHz이고, 샘플링율이 5GS/s의 오실로스코프로 관측하였으며, 오실로스코프의 연산기능을 이용하여 각 SPD가 분담하는 전력을 산출하고, 전력을 시간에 대하여 적분하여 에너지를 계산하였다.

2.2 실험조건 및 시료

측정전류는 KS C IEC 60364-5-53표준[5]의 규정에 따라 모드당 1-12.5kA, 10/350 μ s 임펄스전류를 입사시켰다. 상위 SPD와 하위 SPD간의 거리는 3, 10, 50m로 하였다. 상위와 하위 SPD의 전압보호레벨에 따라 3가지 조합으로 실험회로로 분류하였으며, 실험회로

의 유형은 표 1과 같다.

표 1. 실험회로의 유형
Table 1. Types of the experimental circuits

구 분	실험회로의 유형	
	상위 SPD(SPD1)	하위 SPD(SPD2)
Case 1	SPDa	SPDc
Case 2	SPDb	SPDb
Case 3	SPDc	SPDa

실험회로는 IEC 61643-12표준에 규정된 SPD의 접속유형에 따른 협조특성을 분석할 수 있으며, 모든 조합에서 상위 SPD(SPD 1)는 I등급 SPD이고, 하위 SPD(SPD 2)는 II등급 또는 III등급 SPD에 상응한다. 시료로 사용한 SPD의 전기적 명세는 표 2와 같다.

표 2. 시료의 전기적 명세
Table 2. Electrical specifications of specimens

구 분	최대 연속사용전압(V)	동작개시전압(V)
SPDa	275	430
SPDb	320	510
SPDc	385	620

3. 결과 및 고찰

3.1 상위 SPD의 전압보호레벨이 낮은 경우(Case 1)

IEC 61643-12표준에서는 SPD를 2단 중속 접속하는 경우 상위 SPD의 전압보호레벨은 하위 SPD의 전압보호레벨보다 낮거나 같게 선정하도록 규정하고 있다 [6]. 이에 상응하는 상위 SPD의 전압보호레벨이 하위 SPD의 전압보호레벨보다 낮은 Case 1인 경우는 실제 설치조건에서 접속유형 CT2와 접속유형 1(CT1)의 중속 접속의 상도체-중성선(L-N) 모드에 상응한다. 그림 1의 실험회로에서 상위 SPD(SPD 1)로 동작개시전압이 430V인 SPDa 그리고 하위 SPD(SPD 2)로 동작개시전압이 620V인 SPDc를 적용한 경우이며, SPD 1의 상위에서 10/350 μ s 임펄스전류가 입사된 때 각

SPD의 단자전압, 통전전류와 전력 파형의 대표적인 예를 그림 2에 나타내었다. 2단 중속 접속된 SPD회로의 10/350 μ s 임펄스전류에 대한 응답특성은 8/20 μ s 임펄스전류에 대한 것과 약간 다르게 나타났다[9].

그림 2의 최상부 파형은 각 SPD에 흐르는 전류와 단자전압의 곱을 오실로스코프의 연산기능으로 산출한 전력 파형이며, 이 파형의 시간에 대한 적분인 에너지는 수치로 표출된다. 중앙에 표시된 전류 파형에서 입사전류의 거의 대부분은 전압보호레벨이 낮은 상위 SPD로 흐른 것이 나타났다. 하부의 파형은 SPD의 단자전압으로 상위 SPD와 하위 SPD의 단자전압은 같았다. 이 조건에서 하위 SPD는 동작하지 않아 전류가 거의 검출되지 않았으며, 따라서 하위 SPD의 단자전압은 상위 SPD의 단자전압과 같게 된 것이다.

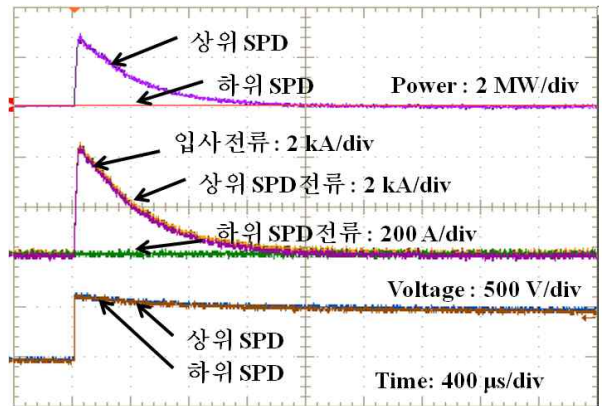
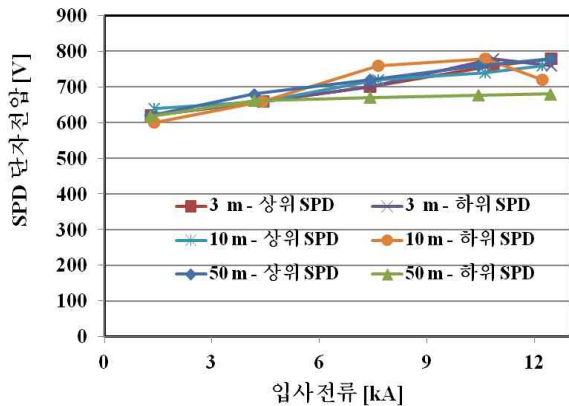


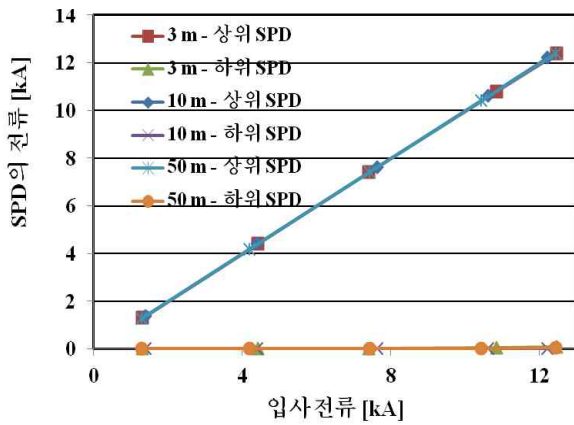
그림 2. 10/350 μ s 임펄스전압에 대한 각 SPD의 단자전압, 전류와 전력 파형의 예(Case 1)
Fig. 2. Typical waveforms of the residual voltage, current and power of each SPD in 10/350 μ s impulse current(Case 1)

입사전류의 크기에 따라 측정된 각 SPD의 단자전압, 통전전류와 분담에너지를 SPD 사이의 거리를 파라미터로 작도하여 그림 3에 나타내었다. 입사전류의 크기를 증가시킬 때 각 SPD의 단자전압은 약 600V에서 800V까지 거의 선형적으로 증가했다.

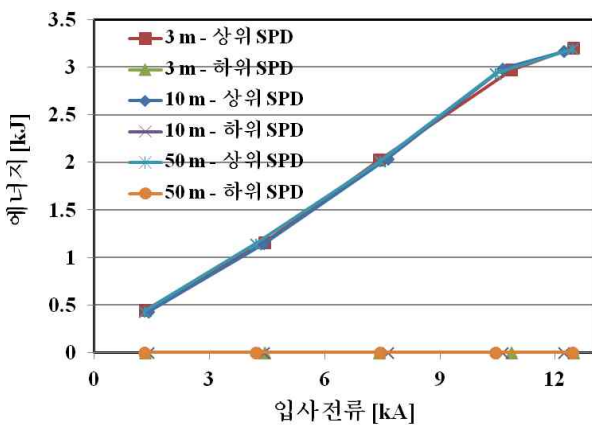
이는 동작개시전압이 낮은 상위 SPD가 먼저 동작하여 상위 SPD의 전압이 하위의 SPD에 나타났기 때문이다. 입사전류의 대부분은 상위 SPD로 흐른 것이며, 입사전류의 크기와 SPD간 거리에 관계없이 거의



(a) 단자전압



(b) SPD의 전류



(c) 분담에너지

그림 3. 입사전류의 크기에 따른 각 SPD 단자전압, 전류 및 분담에너지

Fig. 3. Residual voltage, current and energy sharing of each SPD as a function of the amplitude of injected currents

대부분의 에너지는 상위 SPD가 분담하는 것으로 나타났다. 입사전류의 크기에 따른 각 SPD의 단자전압, 전류와 분담에너지는 SPD간의 거리에는 영향이 거의 받지 않은 것으로 나타났다. 이는 입사전류의 대부분이 상위 SPD로 분류되며, 하위 SPD가 동작을 하지 않았거나 통전전류가 매우 작은 것으로 판단된다. 이와 같은 현상은 상위 SPD의 전압보호레벨이 하위 SPD의 전압보호레벨보다 너무 낮기 때문에 기인된 것으로 종속으로 접속된 하위 SPD의 역할이 거의 없으므로 적절하지 못한 SPD의 선정으로 볼 수 있다. SPD간의 거리에 따라 상위 SPD와 하위 SPD의 전압보호레벨의 차이가 적절하도록 선정할 필요가 있다.

3.2 상위와 하위 SPD의 전압보호레벨이 같은 경우(Case 2)

SPD를 2단 종속 접속으로 설치하는 경우 효과적인 에너지협조를 얻기 위해서는 SPD간의 거리에 따라 상위 SPD와 하위 SPD의 전압보호레벨의 차이가 적절하도록 선정할 필요가 있다. 상위 SPD의 전압보호레벨은 하위 SPD의 전압보호레벨보다 낮거나 같게 선정하도록 규정되어 있다. 하지만 3.1절에서와 같이 SPD의 접속유형에 따라 상위와 하위 SPD의 전압보호레벨의 차이가 너무 커도 효과적이지 못하므로 적절성을 평가하기 위해서는 상위와 하위 SPD의 전압보호레벨이 같은 경우의 특성을 검토한 후 적절한 설치조건을 결정하기 위해 접근하는 방법이 효과적이다. 상위와 하위 SPD의 전압보호레벨이 같은 실험조건 Case 2인 경우에 대하여 검토하였다. 10/350 μ s 임펄스 전류가 입사된 때 각 SPD의 단자전압, 통전전류와 전력 과형의 대표적인 예를 그림 4에 나타내었다.

실험회로에서 SPD1의 상위에 10/350 μ s 임펄스전류가 입사된 때 상위와 하위 SPD 모두가 동작하였음을 알 수 있다. 입사전류의 대부분은 상위 SPD로 흘렀고 비교적 적지만 하위 SPD로도 분류되어 에너지분담이 이루어지므로 보호대상기기의 단자에 침입하는 전압인 하위 SPD의 단자전압이 낮아져 보호효과가 개선됨을 보이고 있다. Case 2의 실험회로에서 입사전류의

크기에 따라 측정된 각 SPD의 단자전압, 통전전류와 분담에너지를 그림 5에 나타내었다. SPD의 단자전압은 MOV의 전류-전압특성에 의존하며 각 SPD에 흐르는 전류의 크기에 따라 단자전압이 달라진다. 통전전류가 큰 상위 SPD의 단자전압은 통전전류가 작은 하위 SPD의 단자전압보다 높게 나타났다.

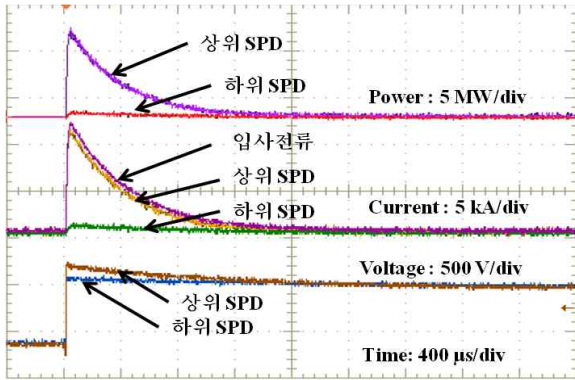
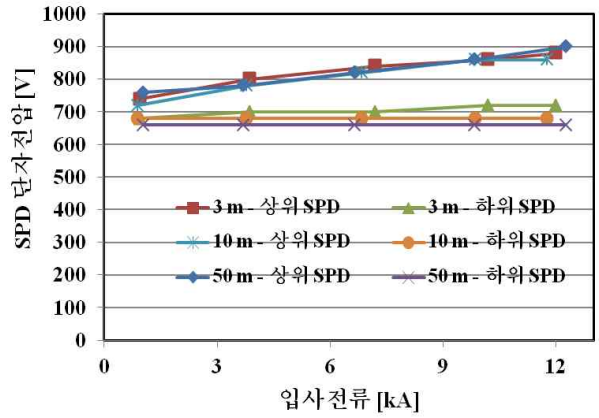


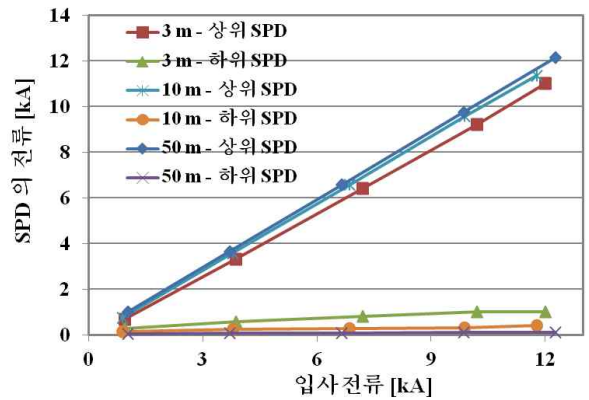
그림 4. 10/350µs 임펄스전압에 대한 각 SPD의 단자전압, 전류와 전력 파형의 예(Case 2)
 Fig. 4. Typical waveforms of the residual voltage, current and power of each SPD in 10/350µs impulse current(Case 2)

상위 SPD와 하위 SPD의 단자전압의 차이는 주로 통전전류에 따른 MOV의 제한전압과 하위 SPD에 흐른 전류에 의한 배선의 전압강하에 의해 발생한다. 입사전류의 대부분이 흐르는 상위 SPD의 단자전압은 입사전류의 증가와 더불어 약 700V에서 약 900V까지 서서히 증가하는 반면, 하위 SPD의 단자전압은 통전전류가 작으므로 입사전류가 증가함에 따라 SPD의 단자전압의 증가는 미소했으며, SPD간의 거리가 증가할수록 SPD의 단자전압은 더 낮게 나타났다. 입사전류가 증가함에 따라 상위 SPD와 하위 SPD에 흐르는 전류의 비는 SPD간의 거리가 비교적 짧은 3m에서는 약 9 : 1의 비율이었으나 SPD간 거리가 10m 이상에서 입사전류의 대부분은 상위 SPD로 흘렀다.

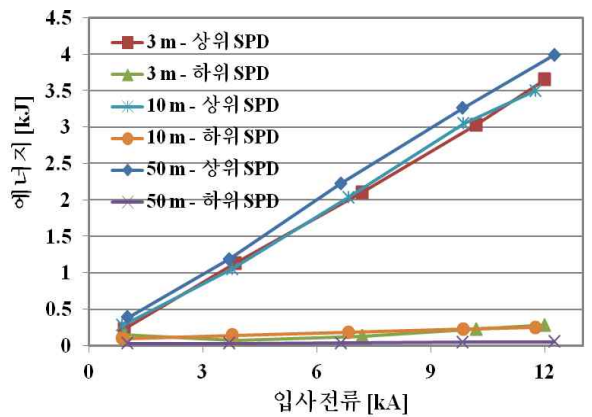
또한 상위 SPD가 입사에너지의 대부분을 분담하고, 하위 SPD가 분담한 에너지는 약 300J 이하이었다. 통상 SPD의 2단 중속 설치에서 상위 SPD가 I등급 SPD 일 때 하위 SPD로는 에너지내량이 대략 700J 이하인



(a) 단자전압



(b) SPD의 전류



(c) 분담에너지

그림 5. 입사전류의 크기에 따른 각 SPD 단자전압, 전류 및 분담에너지(Case 2)
 Fig. 5. Residual voltage, current and energy sharing of each SPD as a function of the amplitude of injected currents(Case 2)

II등급 또는 III등급 SPD를 적용하며, 직격뢰 서지전류는 I등급 SPD가 처리하고 하위 SPD는 잔유전압이나 유도서지를 흡수하여 전기전자설비를 보호하는 역할을 분담한다[2]. 상위 SPD로 I등급 SPD를 적용하는 2단 종속 설치에서는 입사전류의 크기와 SPD간의 거리에 관계없이 같은 전압보호레벨을 갖는 SPD를 종속으로 접속할 경우 효과적인 보호협조가 이루어지는 것으로 판단된다.

3.3 상위 SPD의 전압보호레벨이 높은 경우(Case 3)

IEC 61643-12표준에 따르면 TT전원계통의 고장보호(감전방지)에 누전차단기를 적용하는 경우 CT2 SPD는 누전차단기의 상위에 그리고 CT1 SPD는 누전차단기의 하위에 설치하도록 규정하고 있다[2, 6]. 따라서 누전차단기가 설치된 저압 TT전원계통에 SPD를 2단 종속으로 접속하는 경우 상위 SPD로 CT2 SPD, 그리고 하위 SPD로 CT1 SPD를 적용해야 한다. 이와 같은 구성에서 뇌서지가 가장 많이 침입하는 충전선-대지(L-G)모드에 대하여 CT2 SPD의 전압보호레벨은 CT1 SPD의 전압보호레벨보다 높게 된다[9]. 이에 대한 220V 전원계통에서 실제의 설치조건과 가장 근사적인 SPD의 조합이 Case 3의 실험조건이다. Case 3의 실험회로에 10/350 μ s 임펄스전류가 입사될 때 각 SPD의 단자전압, 통전전류와 전력 파형의 대표적인 예를 그림 6에 나타내었다.

12.5kA, 10/350 μ s 임펄스전류가 입사될 때 상위 SPD의 단자전압은 1,040V, 하위 SPD의 단자전압은 640V로 상위 SPD의 단자전압이 높았으며, 전류는 상위 SPD로 10.3kA, 하위 SPD로 2.2kA가 흐른 것으로 나타났다. 10/350 μ s 임펄스전류에 대한 SPD의 동작특성은 상위와 하위 SPD의 전압보호레벨이 같은 경우와 유사한 양상을 보였으나 하위 SPD의 전압보호레벨이 낮기 때문에 전류와 에너지의 분담이 증가한 것만이 다르게 나타났다.

Case 3의 실험회로에서 입사전류의 크기를 변수로 하여 측정할 각 SPD의 단자전압, 통전전류와 분담에

너지를 SPD 사이의 거리를 파라미터로 작도한 결과를 그림 7에 나타내었다. 10/350 μ s 임펄스전류가 입사될 때 하위 SPD의 단자전압이 낮게 나타났으며, 부하기기에 대한 보호효과는 양호한 것으로 생각된다.

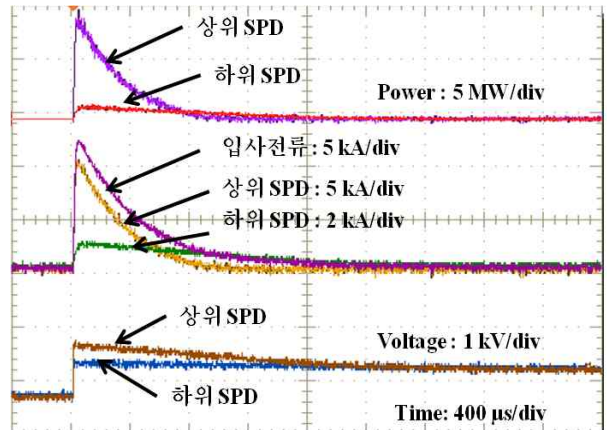
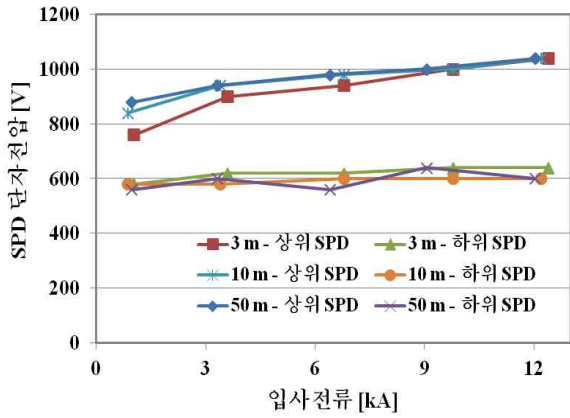


그림 6. 12.5 kA, 10/350 μ s 임펄스전압에 대한 각 SPD의 단자전압, 전류와 전력 파형의 예(Case 3)

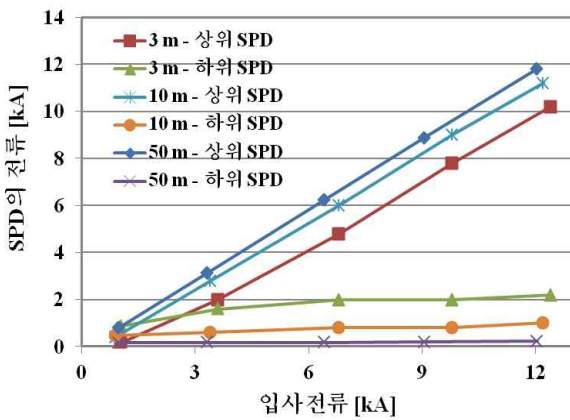
Fig. 6. Typical waveforms of the residual voltage, current and power of each SPD in 12.5 kA, 10/350 μ s impulse current(Case 3)

입사전류의 증가에 따라 상위 SPD의 단자전압은 서서히 상승하였으나 하위 SPD의 단자전압은 큰 변동이 없었다. Case 1과 2의 실험조건과는 다르게 입사된 10/350 μ s 임펄스전류에 대한 상위와 하위 SPD에 흐른 전류와 에너지의 분담이 SPD간의 거리에 의존적인 것으로 나타났다. 이는 하위 SPD로 흐르는 전류의 비율이 증가하여 SPD사이 배선의 인덕턴스에 의한 전압강하의 영향에 기인한 것이다[6]. 또한 입사전류의 크기가 비교적 작은 약 2kA 이하에서는 하위 SPD로 흐르는 전류와 분담에너지도 큰 것으로 나타났다. 입사전류가 증가함에 따라 하위 SPD로 흐르는 전류에 의한 배선의 전압강하 때문에 하위 SPD로 흐르는 전류가 제한되어 상위 SPD로 분류되는 비중이 증가하게 된다.

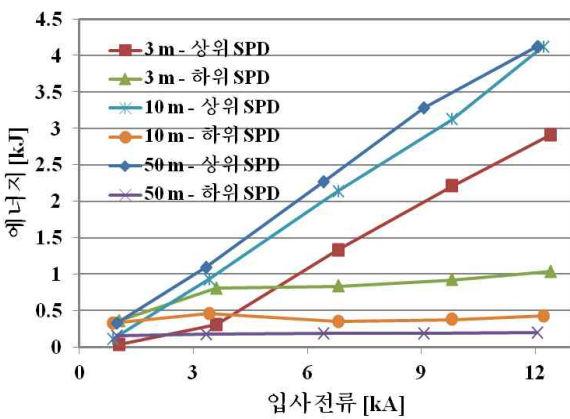
입사전류의 크기가 작은 범위에서 하위 SPD로 분류되는 전류와 에너지가 많은 것은 에너지분담 측면에서는 비합리적이거나 하위 SPD의 에너지내량 이내에서는 허용될 수도 있다. SPD간의 거리 50m일 때는 하



(a) 단자전압



(b) SPD의 전류



(c) 분담에너지

그림 7. 입사전류의 크기에 따른 각 SPD 단자전압, 전류 및 분담에너지(Case 3)

Fig. 7. Residual voltage, current and energy sharing of each SPD as a function of the amplitude of injected currents(Case 3)

위 SPD의 에너지내량을 초과할 수도 있다. 즉 SPD간의 거리가 길어지면 하위 SPD의 분담에너지가 증가하여 SPD가 소손될 수도 있다. 따라서 우리나라와 같이 감전보호를 위해 누전차단기를 적용하는 TT전원계통에서 CT2 SPD와 CT1 SPD를 다단 중속으로 설치하는 경우 SPD의 설치거리에 따른 에너지협조를 고려하여 SPD의 정격을 선정하여 적용해야 한다.

4. 결 론

직격뢰 서지의 침입이 예상되는 전원계통의 상위에 I등급 전압제한형 SPD와 하위에 II등급 전압제한형 SPD를 중속으로 설치하는 경우 직격뢰 서지전류에 대한 SPD의 에너지협조에 관한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 상위 SPD의 전압보호레벨이 하위 SPD의 전압보호레벨보다 낮은 경우 SPD간의 거리와 입사전류의 크기에 관계없이 입사한 직격뢰 서지전류의 에너지는 대부분 상위 SPD에 분담되는 것으로 나타났다.
- (2) 상위와 하위 SPD의 전압보호레벨이 같은 경우 입사에너지의 대부분을 상위 SPD가 분담하지만, 하위 SPD 또한 일부의 에너지를 분담하므로 SPD간의 거리와 입사전류의 크기 등을 고려하여 하위 SPD의 에너지내량을 선정해야 한다.
- (3) 상위 SPD의 전압보호레벨이 하위 SPD의 전압보호레벨보다 높은 조건에서 에너지협조에 대한 SPD간의 거리의 의존성이 현저하며, SPD간의 거리가 길어지면 하위 SPD의 에너지분담의 비율이 높아져 에너지협조가 이루어지지 않을 수도 있으므로 SPD정격의 선정에 면밀한 검토가 필요하다.

본 연구결과는 서지전류로부터 전기전자설비의 보호를 위해 설치가 의무화되고 있는 저압 전원계통의 SPD의 시설에서 적절한 규격의 SPD 선정과 효과적이고 경제적인 설계/시공에 활용될 것으로 기대된다. 본 연구에서는 직격뢰에 의한 대표적인 서지전류인 10/350 μ s 전류파형에 대한 협조된 SPD시스템의 에너지협조를 중점적으로 다루었으나 직격뢰에 의한

서지전류의 상승시간에 따른 에너지협조의 문제가 아직 해결되지 못하고 있으며, 향후 이에 대한 연구를 지속적으로 수행할 예정이다.

References

- [1] B. H. Lee, D. M. Lee, D. C. Cheong, S. B. Lee, and S. C. Lee, "Protection Effects According to the Conditions of Installations of SPDs for Information-Oriented Equipments", J. KIIE, Vol.21, No.1, pp.35~41, 2007.
- [2] Korea Electric Association ; Korea Electro-Technical Commission Guidance - Technical Guide for Selection and Application of Surge Protective Devices in Low-Voltage Power Systems, pp.10~27, 2011.
- [3] IEC 62305-4; Protection against lightning - Part 4 : Electrical and electronic systems within structures, pp.76-86, 2010.
- [4] Korea Electric Association ; Consumer's Electrical Installation Guide, pp.569~571, 2010.
- [5] KS C IEC 60364-5-53; Electrical Installations of Building - Part 5-53: Selection and erection of electrical equipment - Isolation, switching and control, pp.4-10, 2005.
- [6] IEC 61643-12; Low-voltage surge protective devices - Part 12 : Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and application principles, pp.41-57, 90-97, 2007.
- [7] J. He, Z. Yuan, S. Wang, J. Hu, S. Chen, and R Zeng, "Effective Protection Distances of Low-Voltage SPD with Different Voltage Protection Levels", IEEE Trans. Power Delivery., Vol. 25, No. 1, pp.187-195, 2010.
- [8] B. H. Lee, Y. H. Kim and C. H. Ahn, "Experimental Examinations on Protective Effects of SPDs Associated with the Protective Distance and Type of Load", J. KIIE, Vol.26, No.10, pp.81-88, 2012.
- [9] B. H. Lee, H. K. Shin, "Energy Coordination of Cascaded Voltage Limiting Type Surge Protective Devices", J. KIIE, Vol.27, No.2, pp.29~35, 2013.
- [10] I. A. Metwally and F. H. Heidler, "Enhancement of the SPD Residual Voltage at Apparatus Terminals in Low-Voltage Power Systems", IEEE Trans. Power Delivery., Vol. 22, No. 4, pp.2207-2213, 2007.
- [11] KS C IEC 62305-1; Protection against lightning - Part 1: General priciple, pp.60-66, 2010.

◆ 저자소개 ◆



이복희(李福熙)

1980년 인하대 공대 전기공학과 졸업. 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1988~1989년 동경대학 생산기술연구소 객원연구원. 1995년 호주 Queensland대학 방문교수. 1999년 Cincinnati대학 방문교수. 2010~2011년 본 학회 회장. 현재 인하대 IT공대 전기공학과 교수. 본 학회 명예회장.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : bhlee@inha.ac.kr



엄상현(嚴相賢)

1984년 1월 16일생. 2012년 2월 인하대 공대 전기공학과 졸업. 2014년 2월 인하대 대학원 전기공학과 졸업.

Tel : (032)860-7398

Fax : (032)863-5822

E-mail : s4na2s@gmail.com