

저압 전기설비의 과전압 억제 필요성 판단

(Judgement of the need for Over-Voltage Control of the Low-Voltage Electrical Installations)

이주철* · 김재철**

(Ju-Cheol Lee · Jae-Chul Kim)

Abstract

There are provision for risk analysis in IEC standards. It is to determine the need for installation of a surge protection device (SPD) in order to protect the low-voltage electrical installations from overvoltages caused by atmospheric phenomena and the like. However, scattered many related standards, the lack of details are not easy to apply it in the field. We investigated the relevant domestic and international standards for applies to the international standards in domestic. And we proposed the flow chart for determining the need for protection of the low-voltage electrical installations from overvoltage due to atmospheric phenomena and it set the applying target facility.

Key Words : Low-Voltage Electrical Installations, Overvoltage Protection, Lightning Protection System, Surge, Risk Assessment

1. 서 론

인체 및 재산의 안전, 또는 전기 공급의 연속성에 대해 과전압 스트레스로 인해 발생할 수 있는 사고의 발생 확률을 허용 수준까지 감소시키기 위해 인입점에 나타날 수 있는 과전압, 연간 뇌우 일수 및 서지보호 장치(SPD ; Surge Protective Devices)의 위치 및 특성을 고려하여야 한다. 구체적인 방법으로는 인입선

의 형태(가공, 지중), 연간뇌우일수(25일 이하/초과), 높은 신뢰성의 필요여부, 위험성이 높은 지 여부, 표 1의 과전압범주 I의 임펄스내전압 기기의 유무 등 외적영향조건에 따른 과전압 억제와 위험성 평가에 기초한 중요도가 높은 설비는 과전압에 대해 보호하고 중요도가 낮은 설비에 대해서는 선로의 종류와 길이 및 연간뇌격빈도에 따라 선택적으로 결정하는 것이다. 이에 따라 과전압보호가 필요한 경우는 SPD를 설치하여 과전압을 억제하고 필요하지 않은 경우에는 기기의 임펄스 내전압이 표 1에 적합하면 충분한 것으로 하고 있다[1-2].

이러한 저압 전기설비의 과전압에 대한 위험성평가를 국제표준에 따라서 수행하고자 할 때 관련 표준이 많고 산재되어 있으며, 상세사항이 부족하여 현장에서

* Main author : Office Chief, Dept. of KEPIC, Korea Electric Association
** Corresponding author : Prof., Dept. of Electrical Eng. Soongsil Univ. | President of KIIEE
Tel : 02-820-0647, Fax : 02-817-0780
E-mail : jckim@ssu.ac.kr
Received : 2014. 11. 10
Accepted : 2014. 12. 4

이를 적용하기가 쉽지 않다. 본 연구에서는 IEC 60364-4-443의 기상현상 또는 개폐에 따른 과전압에 대한 보호 규정을 적용할 때, 배전계통을 따라서 유도되거나 근접 뇌로 인해 저압(교류 1, 000V 이하) 계통에 발생할 수 있는 과전압에 대해 국내·외 관련 규정 및 표준을 고찰하여, 그 보호의 필요성을 판단하기 위한 절차를 마련하고자 한다.

표 1. 기기에 요구되는 정격 임펄스 내전압
Table 1. Required rated impulse withstand voltage of equipment

설비공칭전압 (V)	기기에 요구되는 임펄스 내전압 (kV)			
	인입점의 기기(과전압 범주 IV)	배전 및 분기 회로의 기기 (과전압 범주 III)	기계 기구 (과전압 범주 II)	특별히 보호된 기기(과전압 범주 I)
3상 계통				
230/400	6	4	2.5	1.5
400/690	8	6	4	2.5
1,000	12	8	6	4

2. 저압 전기설비에서의 과전압

2.1 저압계통에서의 서지과전압

저압 전기설비에서 서지과전압은 자연현상으로 뇌 과전압을 유도시킬 수 있는 낙뢰, 전력계통에서의 개폐조작 및 전력계통의 고장과 제거 또는 전력계통과 통신계통 등 다른 계통과의 결합의 3가지 요인에 의해 발생한다. IEC표준에서의 서지과전압은 동작전압 피크 값의 2배(2pu)를 초과하지 않고 μs 에서 ms사이의 지속시간을 가지는 것으로, 이 범위 이외의 것은 통상적인 SPD로 억제할 수 없어 다른 보호기술이 필요하다[3].

최근 낙뢰밀도가 약 6.78회/km²인 국내의 한 지역에서 22.9kV 수전설비 수용가의 1년 동안 과도과전압을 측정할 결과 낙뢰로 인한 서지가 6회로 최대 779V, 서지의 지속시간은 0.22ms에서 1.18ms로 측정되었다. 그 중 3회의 서지가 기기를 소손시키는 원인으로 나타났다[4].

2.2 저압계통에서의 과전압억제 시설

저압 전기설비에서 배전계통을 따라서 유도되거나 근접 뇌로 인해 저압계통에 발생할 수 있는 과전압의 억제는 표 2에 따라 시설한다[1].

표 2. 저압계통에서의 과전압억제시설
Table 2. Arrangements for overvoltage control

과전압 억제 구분	설비형태	뇌과전압 억제	비고
본질적	지중선로 인입 또는 AQ1	불필요	과전압 범주 I 기기보호고려
외적영향 조건에 기초한 보호	가공선로 인입 또는 AQ2	필요	과전압 범주 II 수준 이하
위험성평가에 기초한 보호	-	중요도 수준으로 결정	-

AQ1 : 연간 뇌우일 수 25일 이하
AQ2 : 연간 뇌우일 수 25일 초과

3. 과전압 위험성평가

3.1 적용 대상설비의 검토

배전계통을 따라서 유도되거나 근접 뇌에 기인하는 과전압이 인입선으로 유도되어 구조물에 발생하는 손실은 L1(인명의 손실), L2(공공설비의 손실) 및 L4(경제적인 손실)이다. L1이 발생하는 원인은 L_T (감전에 의한 상해로 인한 손실), L_F (물리적 손상에 의한 구조물의 손실-화재, 폭발이 원인), L_O (내부시스템의 고장에 의한 구조물의 손실-과전압이 원인)의 3가지이며, 이 중 L_T 를 제외하고, 폭발위험성이 있는 구조물과 병원 또는 고장이 인명을 즉시 위험하게 할 수 있는 기타 구조물에서 L1의 발생위험이 있다[5].

L1에 관한 L_T , L_F 및 L_O 의 구조물의 종류별 대표적인 손실 값을 표 3에 나타냈으며, 보호 대상 설비의 중요성을 판단할 수 있다.

L2(공공설비의 손실)의 발생원인은 L_F , L_O 이며, 공공설비의 종류별 손실 값은 표 4와 같다.

또한 L4(경제적인 손실)의 발생원인은 L_F , L_O 이며, 건축물의 종류별 손실 값은 표 5와 같다.

표 3. 인명손실 L1 : L_T , L_F 및 L_O 의 일반적인 평균 값
Table 3. Loss of human life L1: Typical mean values of L_T , L_F and L_O

손상의 유형	일반적인 손실 값		구조물 유형
D2 물리적인 손상	L_F	10^{-1}	폭발 리스크
		10^{-1}	병원, 호텔, 학교, 공공건물
		5×10^{-2}	공공 문예예술, 교회, 박물관
		2×10^{-2}	산업 및 상업
		10^{-2}	기타
D3 내부시스템의 고장	L_O	10^{-1}	폭발 리스크
		10^{-2}	병원의 집중치료실 및 운영 블록
		10^{-3}	병원의 기타 부분

표 4. 공공설비손실 L2 : L_F 및 L_O 의 일반적인 평균 값
Table 4. Loss of service to the public L2: Typical mean values of L_F and L_O

손상의 유형	일반적인 손실 값		서비스 유형
D2 물리적인 손상	L_F	10^{-1}	가스, 수도, 전력 공급
		10^{-2}	TV, 통신선
D3 내부시스템의 고장	L_O	10^{-2}	가스, 수도, 전력 공급
		10^{-3}	TV, 통신선

표 5. 경제적손실 L4 : L_T , L_F 및 L_O 의 일반적인 평균 값
Table 5. Loss of economic value L4: Typical mean values of L_T , L_F and L_O

손상의 유형	일반적인 손실 값		구조물 유형
D2 물리적인 손상	L_F	1	폭발 리스크
		0.5	병원, 산업, 박물관, 농업
		0.2	호텔, 학교, 사무실, 교회, 공공 문예예술, 상업
		10^{-1}	기타
D3 내부시스템의 고장	L_O	10^{-1}	폭발 리스크
		10^{-2}	병원, 산업, 사무실, 호텔, 상업
		10^{-3}	박물관, 농업, 학교, 교회, 공공 문화예술
		10^{-4}	기타

상기의 검토결과 배전계통을 따라서 유도되거나 근접 뇌에 기인하는 과전압이 인입선으로 유도되어 손실위험이 높은 구조물의 경우 L1은 폭발위험성이 높은 정유공장 등과 화재시에 인명손실의 위험이 높은 병원, 호텔 등이며, 내부시스템 고장이 인명을 위태롭게 하는 병원 등의 구조물이 해당된다. L2의 경우에는 폭발, 화재 및 내부시스템 고장으로 공급지장으로 인한 손실이 큰 가스, 수도 및 전력의 공급시설이 해당된다. L4의 경우에는 L1 및 L2에 열거한 구조물이 해당된다. 따라서 이들 구조물에 설치된 저압설비가 과전압에 대한 보호의 적용대상이라고 할 수 있다.

3.2 과전압 억제필요성 판단방법 검토

3.2.1 외적영향 조건에 기초한 과전압억제 필요성 판단방법

배전계통을 따라서 유도되거나 근접 뇌에 기인하는 과전압이 인입선으로 유도되는 과전압의 억제 필요 여부를 판단하는 방법으로 외적영향조건에 따른 판단방법과 위험성 분석방법이 있다. 외적영향조건에 따른 판단방법은 연간뇌우일수가 25일을 초과하는 지역에 가공선로에 의해 공급받는 경우에는 과전압에 대한 보호를 실시하여야 하며, 이때 보호 장치의 보호레벨은 표 1의 과전압 범주 II이하로 한다. 위험성평가에 기초한 판단방법은 검토대상 시설과 설비를 중요도로 구분하여, 위험성평가를 통해 SPD의 설치여부를 결정하는 방법이다[1,3].

3.2.2 위험성평가에 기초한 과전압보호 필요성 판단방법

배전계통을 따라서 유도되거나 근접 뇌에 기인하는 과전압이 인입선으로 유도되는 과전압의 억제 필요 여부를 판단하는 방법으로 위험성평가에 기초한 판단방법은 검토대상 시설과 설비를 표 6과 같이 중요도 a~e로 구분하여, 중요도 a, b 및 c에 대해서는 과전압에 대한 보호가 제공되어야 하며, 중요도 d, e에 대해서는 3.1에 의한 위험성평가를 통해 과전압에 대한 보호의 필요성을 판단하는 방법이다[1,3].

저압 전기설비의 과전압 억제 필요성 판단

표 6. 보호의 중요도

Table 6. Consequential levels of protection

중요도	중요성	예
a	사람 생명	안전시설, 병원의료설비
b	공공시설	공공서비스의 손실(IT센터, 박물관 등)
c	공익 또는 산업 활동	경제적 손실 (호텔, 은행, 산업시설, 공공시장, 농장 등)
d	단체	대형 주거용 건물, 교회, 사무실, 학교 등
e	개인	주거용 건물, 소규모 사무실 등

3.2.3 간략화된 위험성분석에 따른 과전압 억제 필요성 판단

간접뢰에 관하여 중요도 d, e로 분류되는 시설이나 설비에 과전압 억제 필요여부는 인입선의 특성(가공·지중)과 연간뇌우일수(뇌격빈도)를 고려하여 계산되는 결과에 따라 판단한다. 규약길이 d 의 계산은 식 (1)과 같으며, 임계 길이 dc 와 비교하여 식 (2)와 같은 조건에서 과전압 억제가 필요하다[1,6].

$$d = d_1 + \frac{d_2}{K_g} + \frac{d_3}{K_t} \quad (1)$$

$$d > dc \quad (2)$$

여기서

d_1 : 저압 가공선로 길이(1km이내로 제한)

d_2 : 저압 지중 비차폐선로 길이(1km이내로 제한)

d_3 : 고압가공선로 길이(1km이내로 제한)

K_g : d_1 과 d_2 사이의 뇌격영향에 따른 감소율(토양 저항률 $250\Omega \cdot m$ 로 계산, $K_g = 4$)

K_t : 일반적인 변압기의 저감율($K_t = 4$)

고압 지중공급선로의 길이와 차폐된 저압 지중공급선로의 길이는 고려하지 않으며, 거리를 모를 경우에는 최악의 경우를 가정하여 선로 길이는 1km로 계산한다.

또한 대지낙뢰밀도(N_g)를 고려하여 정한 임계 길이 dc 는 중요도 d가 $1/N_g$, 중요도 e는 $2/N_g$ 와 같다. 대지낙뢰밀도는 국제표준에서 $N_g=0.1 T_d [N/km^2 \cdot \text{년}]$ 를 채

택하고 있다. T_d 는 연간뇌우일수이다.

국제표준의 간략화된 위험성 분석에 사용된 대지낙뢰밀도 및 토양저항률은 국내의 연구결과와 차이가 있으므로 이를 국내에 적용하기 위해서는 간략화된 근거조사와 국내적용에 적절성에 대한 조사와 연구가 필요하다.

또한 현재 IEC 60364-4-443에 대한 재정비 작업이 진행 중이며, 다음과 같은 간략화 방법으로 개정을 진행하고 있다. 즉 표 7에 의해 계산된 리스크레벨(CRL)이 $CRL \geq 1,000$ 이면 기상현상으로 인한 과도과전압에 대한 보호가 불필요하며, $CRL < 1,000$ 이면 보호가 필요하다[7].

표 7. CRL의 계산

Table 7. Calculation of CRL

환경	CRL
시골·교외 환경	$(85 \times F) / (L_p \times N_g)$
도시환경	$(850 \times F) / (L_p \times N_g)$

표 8. 위험성 분석을 위한 파라미터

Table 8. Parameter for Risk analysis

그룹	파라미터	고려사항
A	환경	A1 : 낙뢰발생과 심각도 N_g
		A2 : 개폐서지발생과 심각도
		A3 : 주변 건물의 LPS와의 결합과 노출
		A4 : 설비나 빌딩의 위치
B	기기, 설비	B1 : 기기 임펄스내력의 범주와 수준
		B2 : 접지계통
		B3 : 전원계통의 형태
C	경제성과 운전중단	C1 : 서비스의 감소 또는 중단
		C2 : 작업의 손실
		C3 : 기기나 설비의 수리 또는 교체
		C4 : 긴급서비스
D	안전	절연파괴로 인한 사람의 위험
E	보호비용	설비설계, 재료와 기기, SPD의 설치

3.2.4 SPD사용 필요성 판단 파라미터

저압 배전계통에서 SPD의 사용 여부 결정에 관해서는 사용자가 가중치를 부여하는 광범위한 파라미터

에 의해 좌우된다. 그 고려대상인 파라미터는 표 7과 같으며, 이러한 가중치를 고려한 분석결과, 그룹 E에서 결정되는 서지에 대한 보호를 위한 비용이 A에서 D까지의 그룹에서 결정되는 보호되지 않아 발생하는 시설의 손실비용보다 작다면 SPD를 설치한다[2]. SPD를 사용하기로 결정되면 관련 표준에 따른다. 낙뢰로 인한 일반적인 위험성 평가방법은 3.1과 IEC 62305-2에 기술되어 있다.

3.3 저압 전기설비의 과전압 억제필요성 판단 알고리즘

현재 저압 전기설비에 관해 IEC 표준이 국가표준과 전기설비기술기준의 판단기준 “1. 전기설비”에 도입되어 운영되고 있다. 그 중 대기현상 등으로 인한 과전압으로부터 저압 전기설비를 보호하기 위해 서지보호장치(SPD)의 설치 필요성을 판단하기 위한 위험성 평가방법을 제시하고 있으나, 검토한 결과와 같이 관련 표준이 많고 산재되어 있어 국제표준을 적용하여 과전압에 대한 보호의 필요성을 판단하기가 쉽지 않다. 따라서 이러한 문제점을 개선하기 위하여 그림 1과 같이 저압 전기설비의 과전압에 대한 보호의 필요성을 판단하는 순서를 제안한다.

우선 저압 전기설비가 위치한 곳의 연간뇌우일수와 대지낙뢰밀도, 그리고 1km 이내의 배전선로와 인입선이 가공선로인지를 확인하고, 가공선로가 포함되었다면, 간단한 설비는 KS C IEC 60364-4-443에 따라서, 정확한 위험성평가가 필요하다면 KS C IEC 62305-2에 따라서 위험성 평가를 실시한다. 이때 AQ2이고 3.1절에 해당하는 적용 대상설비이면 과전압에 대한 보호를 의무적으로 실시하고, 적용 대상설비가 아니면 보호대상설비의 중요도에 따라 과전압에 대한 보호설비 시설여부를 판단할 것을 권장한다. 제안하는 순서에 따라서 대기현상 등으로 인한 과전압으로부터 저압 전기설비를 보호하기 위해 과전압에 대한 보호의 필요성을 판단하게 되면 국제수준의 보호효과를 효율적이고 경제적으로 얻을 수 있을 것으로 생각된다.

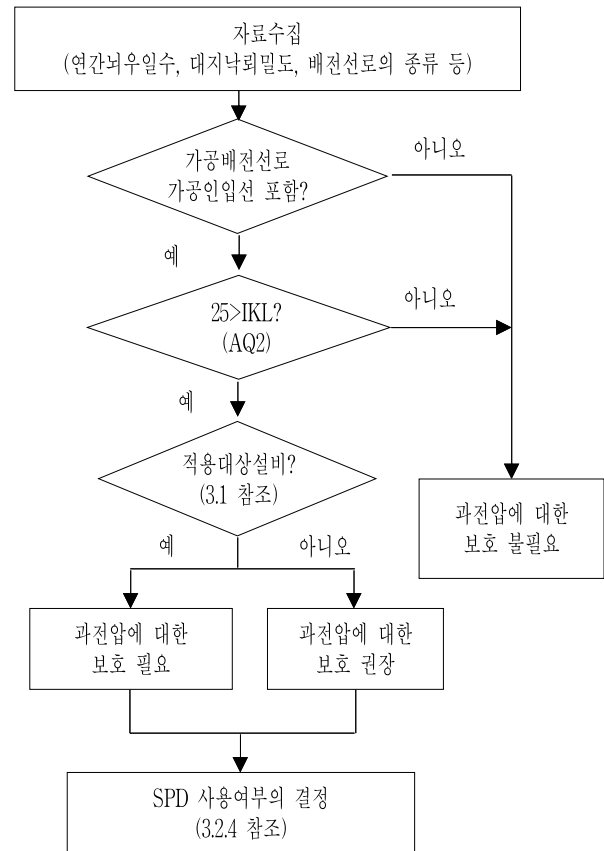


그림 1. 저압 전기설비의 과전압억제 필요성 판단 순서
Fig. 1. Judgement of the need for overvoltage control flow chart in low-voltage electrical installation

4. 결 론

본 연구는 과전압 억제를 위하여 SPD의 설치필요성을 판단하는 위험성 분석 방법에 대해 국제표준을 조사·검토하였으며, 대기현상 등으로 인한 과전압으로부터 저압 전기설비를 보호하기 위해 과전압에 대한 보호의 필요성을 판단하는 순서와, 의무적으로 적용해야할 대상설비를 위험성평가의 중요도를 근거로 하여 제시하였다.

국제표준에서 간략화된 위험성 분석에 사용된 대기 낙뢰밀도 및 토양저항률은 국내의 연구결과와 차이가 있으므로 이를 현장에 적용하기 위해서는 보다 효율적인 보호를 위해 보호대상 구조물 설치지역의 낙뢰 특성에 관한 정확한 정보와 분석을 통해 국내 여건을

반영하는 연구와 국내 실정에 따른 위험성평가 가중치의 설정이 필요함을 확인하였다.

본 연구는 국토해양부 건설기술연구사업의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] IEC 60364-4-44, Low-Voltage Electrical Installations - Part 4-44: Protection for safety - Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances, 2007.
- [2] Ju-Cheol Lee, Young-Chul Lee, Jun-Taek Kim, Risk analysis for determine the need of SPD installation, Fall Conference of The KIIEE, p.146~p.147, 2012.
- [3] IEC 61643-12, Low-voltage surge protective devices - Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems - Selection and application principles, 2008.
- [4] Hae-Sup Shim, Bok-Hee Lee, Features of transient overvoltage observed at 22.9kV consumer's substation, Journal of KIIEE, Vol.28, No.9, 2014.
- [5] IEC 62305-2, Protection Against Lightning -Part 2: Risk management, 2010.
- [6] IET, BS 7671 Requirements for Electrical Installations, 2008.
- [7] IEC, 64/1957 CDV, Amendment 1 to IEC 60364-4-44: Low-voltage electrical installations-part 4-44: Protection for safety- Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances, 2014.

◇ 저자소개 ◇



이주철(李柱喆)

1960년 6월 4일생. 1994년 서울과학기술대 졸업. 2010년 서울시립대 전자전기공학과 졸업(석사). 2015년 숭실대 전기공학과 박사과정 수료. 1988~2001년 한국전기안전공사 근무. 2001년~현재 대한전기협회 KEPIC처 실장.



김재철(金載哲)

1955년 7월 22일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1983년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1987년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 본 학회 회장. 1988년~현재 숭실대 전기공학부 교수.