

# 순간전압저하 원인과 대책 ①

글/ 강 창 원 (주)피에스디테크 대표이사/기술사  
 한 중 영 (주)피에스디테크 PQ사업본부장/기술사  
 한 성 배 (주)피에스디테크 이사  
 최 진 용 (주) 새한 동력팀장

## 목 차

1. Voltage Sag 란?
2. Voltage Sag 발생 원인
3. Voltage Sag 발생 현황
4. Voltage Sag가 부하에 미치는 영향
5. 대 책

**얼**마 전 언론에 보도된 바에 의하면 반도체 공장들의 순간전압저하로 인한 피해가 몇 백억원이 될 정도로 극심하다고 한다. 그러나 이것은 빙산의 일각에 불과하며 순간전압저하에 의한 불량제품의 양산과 그에 따른 국가 경쟁력 저하, 생산기기의 정지와 재기동에 따른 인적·경제적 손실 등을 고려하면 그 피해액은 엄청나게 불어날 것이다. 그러나 이에 대한 대책 마련이 쉽지 않고, 대책을 마련하여도 그 실행에 경제적인 부담이 너무 커서 많은 어려움을 겪고 있다고 한다.

또한, 현장의 전기 기술자들도 순간정전에 의한 가동 중지의 원인을 파악하고 그에 대한 대안을 작성하여 경영진에게 보고하여야 하는 고충도 매우 크다고 한다. 따라서 여기서는 순간전압저하의 원인과 부하 기기에의 영향 및 그 대책을 현장 중심으로 분석하고 그에 따른 대책을 제시하여 현장에서 직접 적용할 수 있도록 하고자 한다.

## 1. Voltage Sag 란?

IEC에서는 Voltage Dip이라고도 하는 순간 전압저하에 대해서 일본 전기 협동연구회와 IEEE에서는 각각 다음과 같이 정의하고 있다.

◆ 일본 전기협동 연구회 『순시전압저하대책 - 순시전압저하대책 전문위원회』

전력계통을 구성하는 송전선에 낙뢰 등에 의해 고장이 발생한 경우 고장점을 보호계전기가 동작하여 차단기로 그것을 전력계통에서 제거하기까지의 사이, 고장점을 중심으로 전압이 저하하는 현상을 말한다.

◆ IEEE Std. 1159-1995

0.5Cycle에서 1분 동안 전력계통에서 전압이 rms값으로 0.1~0.9pu 이내로 감소하는 것

따라서 종합적으로 순간전압저하를 말한다면, 「전력계통을 구성하는 송전선 등의 전력계통에 낙뢰 등에 의한 고장이 발생하여 그 고장을 전력 계통에서 제거하기까지의 시간이 0.5Cycle에서 1분 동안 지속되고 실효치 전압이 0.1 ~ 0.9PU 이내로 감소하는 현상」이라고 할 수 있다. 그림 1은 Sag의 지속시간과 크기를 나타낸 것이며, 지속시간에 따라 Sag를 분류하면 대략 표 1과 같이 된다.

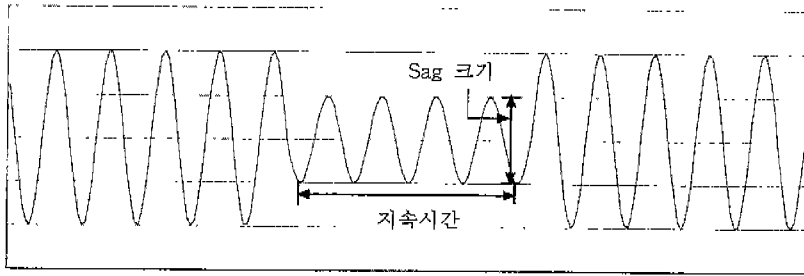


그림 1 Sag의 크기와 지속시간

표 1 Sag의 지속시간에 따른 분류

구 분	지속시간	전압저하 크기
Instantaneous	0.5 ~ 30 cycle	0.1 ~ 0.9 pu
Momentary	0.5 cycle ~ 3 sec	0.1 - 0.9 pu
Temporary	3 sec ~ 1 min	0.1 - 0.9 pu

등의 자연 환경에 기인하는 것과 지락 등의 전력계통 사고에 의한 것, 대용량 전동기의 기동에 의한 것으로 구분할 수 있으나 그림 2에서 보는 바와 같이 순간전압저하를 유발하는 고장 발생은 대부분 자연재해에 의한 것이라고 볼 수 있다. 실제로 경북에 있는 ○○공장에서 조사된 바에 의하면 순간전압저하의 주요 원인은 낙뢰와 산불 등의 자연재해로 인한 송전선로 사고가 대부분이었으며, 원인 분석 결과는 표 2와 같다.

## 2. Voltage Sag 발생원인

순간전압저하가 발생하는 주요 원인은 낙뢰

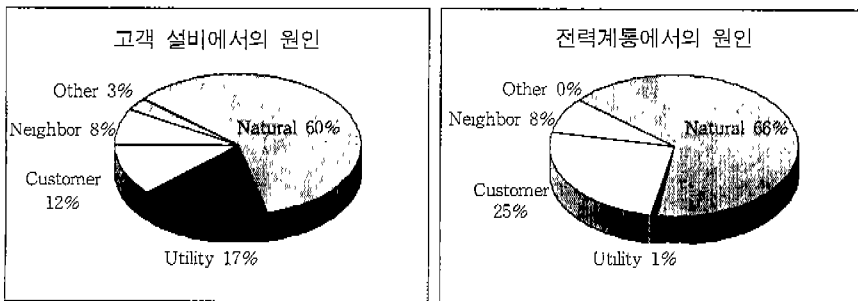


그림 2 원인별 고장비율

표 2 최근 4년간의 순간전압저하 원인

구 분	'96		'97		'98		'99		소 계	
	건	%	건	%	건	%	건	%	건	%
산 불	2	33	6	35	1	8	2	22	11	24.4
낙뢰	1	17	5	29	3	23	2	22	11	24.4
중장비접촉사고	0	-	2	12	2	15	0	-	4	8.9
전력회사 기기 사고	2	33	1	6	3	23	2	22	8	17.9
기 타	1	17	3	18	4	31	3	34	11	24.4
소 계	6	100	17	100	13	100	9	100	45	100

◆ 낙뢰

전력계통을 구성하는 송전선에 낙뢰 등에 의해 고장이 발생한 경우 설비의 손상을 최소화하기 위해 또는 전압, 전력의 동요를 최소화하여 억제하여 전력계통의 안정도를 유지하기 위해 고속도로 고장설비를 검출하고 계통에서 분리할 필요가 있다.

고장점은 송전선 등의 각 설비에 설치한 보호계전기로 검출하고 보호대상설비에 고장이 발생했다고 판단할 경우는 차단기를 개방하여

고장설비를 분리한다. 이와같이 고장을 제거하는 사이에 순간전압저하가 발생한다.

◆ 전력계통 사고(기기소손, 지락, 산불 등)

전력계통에 1선지락 사고, 2선지락 및 단락, 3상 단락사고가 발생하면 사고점이 분리되어 고장이 제거되는 사이 순간전압저하(Voltage Sag) 및 순간정전(Interruption)이 발생한다.

그림 4에서와 같이 송전선로에 사고가 발생

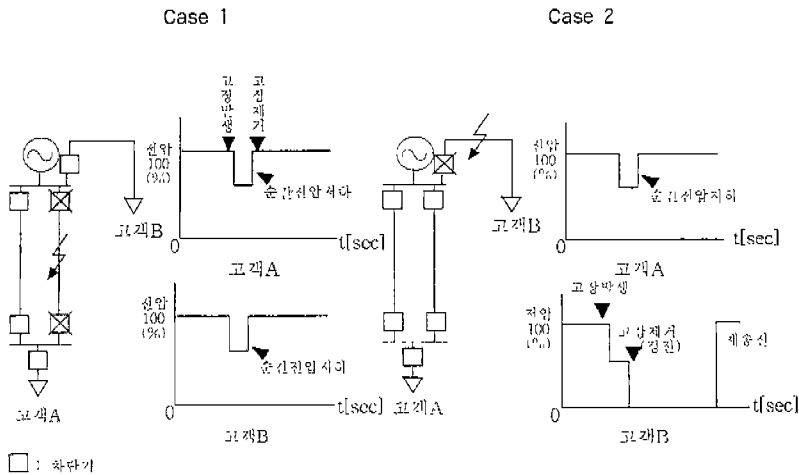


그림 3 낙뢰고장과 순간전압저하(예)

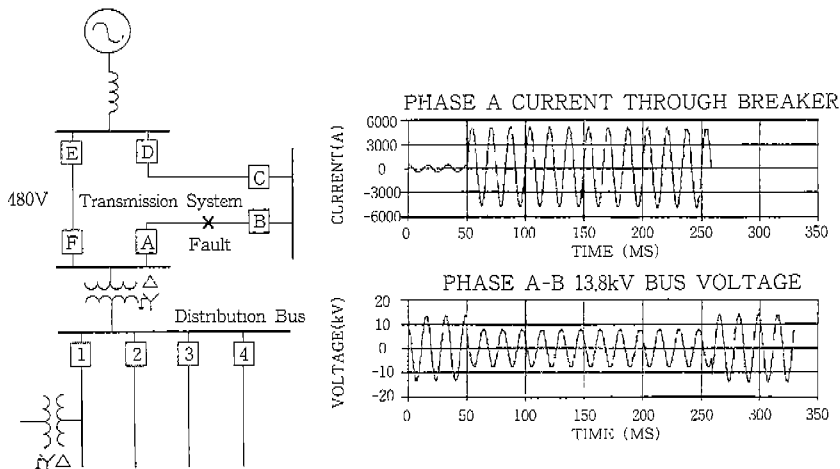


그림 4 계통사고와 순간전압저하(예)

하면 A·B 차단기가 동작하여 사고점이 분리 되는 사이 Voltage Sag가 발생된다.

계통의 사고 유형별 전압저하는 중성점 접지 방식에 따라 상이하며, 1선지락시의 전압저하 정도는 비접지 및 고저항접지 계통에서는 적고, 직접 접지계통에서는 크게 되며, 2상지락 및 3상지락시의 전압저하 정도는 계통접지 방식에 관계없이 크게된다.

이러한 계통사고에 의한 전압저하의 차이를 전압벡터로 표시하면 다음과 같이 된다.

◆ Motor Starting

전력설비의 대형화에 따라 전동기 용량도 대형화되어 기동시 발생하는 기동전류로 인하여 Voltage Sag가 발생한다.

3. Voltage Sag 발생현황

◆ 고장점과 Voltage Sag와의 관계

그림 6와 같은 전력계통에서 A와 B 고객의

계통	사고유형	상시전압	고장중 전압			
			1상지락	2상지락	2상단락	3상단락
직접 접지 계통	전압 벡터					
	선간전압 크기 (고장상) (건전상)	$V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}$ 1.0	$V_{ab}, V_{ca}$ $1 / \sqrt{3}$ $V_{bc}$ 0	$V_{bc}$ 0 $V_{ab}, V_{ca}$ $\sqrt{3} / 2$	$V_{bc}$ 0 $V_{ab}, V_{ca}$ $1 / \sqrt{3}$	$V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}$ 0
고저항 접지 또는 비접지	전압 벡터					
	선간전압 크기 (고장상) (건전상)	$V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}$ 1.0	$V_{ab}, V_{ca}$ $1 / 0$ $V_{bc}$ 0	$V_{bc}$ 0 $V_{ab}, V_{ca}$ $\sqrt{3} / 2$	$V_{bc}$ 0 $V_{ab}, V_{ca}$ $\sqrt{3} / 2$	$V_{ab}, V_{bc}, V_{ca}$ 0

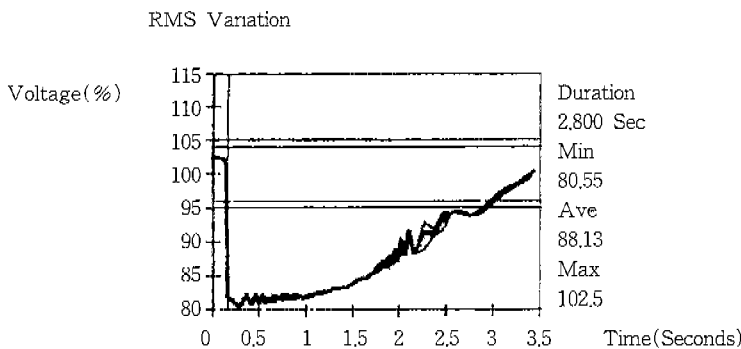


그림 5 전동기 기동시의 전압저하

고장점 위치 ㉠, ㉡, ㉢에 따른 전압저하 차이는 그림의 (2-1), (2-2), (2-3)과 같이 된다.

이와 같이 높은 계통에서 수전받는 고객은 전압저하가 비교적 적고 낮은 계통의 고객의 전압저하는 크게 되는 것이 일반적이다.

500kV 계통의 ㉠점에서 고장이 발생한 경우는 고객 A, B에 전압저하가 발생한다. 그러나 전압이 낮은 ㉢점에서 고장이 발생하면 고객 B에는 전압저하가 발생하지만 고객 A에는 큰 영향을 주지 않는다. 이러한 관계를 나타낸 것

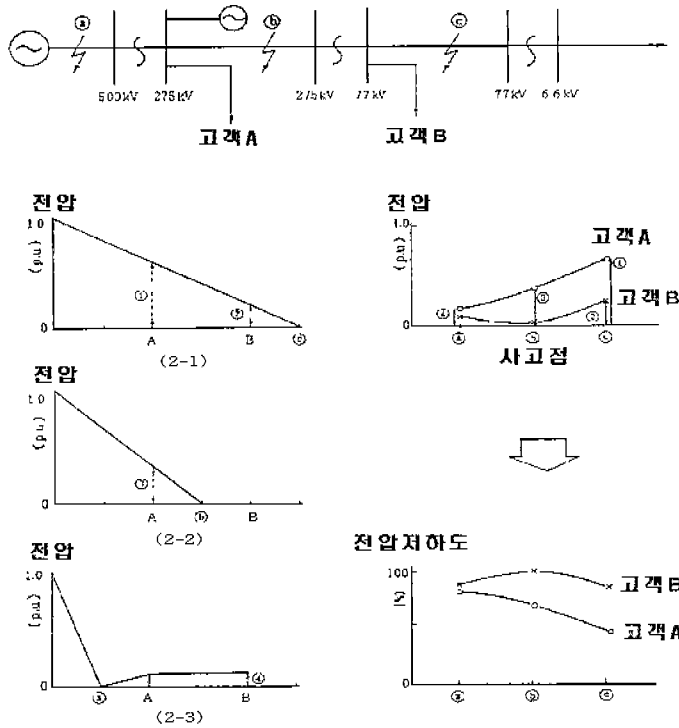


그림 6 고장점 위치에 따른 전압저하도

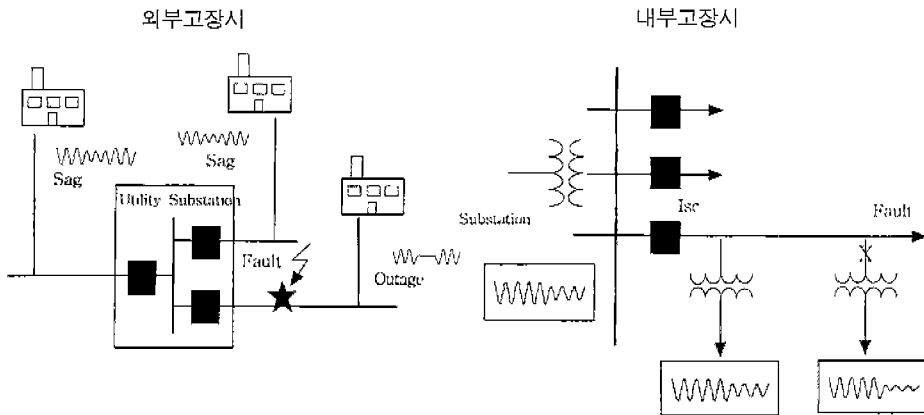


그림 7 고장점에 따른 Sag 발생 영향

표 3 연도별 순간전압저하 피해액

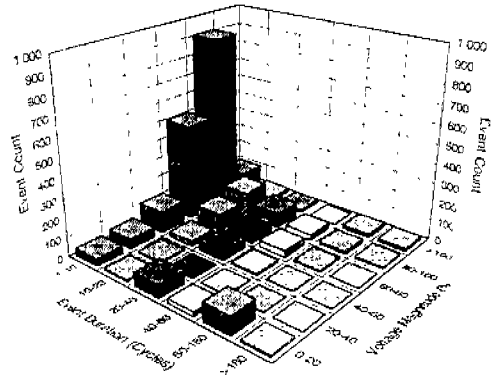
(금액 : 백만원)

구 분	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000
순간저하횟수	4	8	6	17	13	9	8
피해액	593.0	418.2	518.2	138.2	15.3	0	0

※ 1998년 Sag 대책 시행 후 피해액이 급격히 감소하였음

이 그림 6 이다.

그림 7은 고장지점이 외부인 경우와 내부에서 고장이 발생한 경우의 전압저하가 발생하는 범위를 나타낸 것으로 외부에서 고장이 발생한 경우는 고장이 발생한 계통은 순시정전(Outage)이 되고 타 계통에는 순간전압저하(Sag)가 발생한다. 내부 고장시에는 고장계통은 순간정전 또는 정전으로 되지만 타 계통은 순간전압저하가 발생하고 전원측 즉 전력회사의 배전선로에도 Sag를 유발하게 되어 타 고객의 설비에 영향을 주게 된다.



◆ Voltage Sag의 발생현황

Sag의 크기와 지속시간에 대해서 현재까지 우리 나라에서는 조사된 것이 없으나 앞에서 언급한 경북 소재의 ○○고객의 경우는 산불에 의한 것일 때 최대 50%, 지속시간은 750mS인 경우도 있었던 것으로 파악되었으며, 연도별 피해금액은 표 3과 같다.

외국의 경우 Sag로 인한 피해액은 정확히 알 수 없으나, 미국의 경우는 몇 백억불 이상이 되는 것으로 알려져 있으며, 일본의 경우도 이와 유사할 것으로 추정된다.

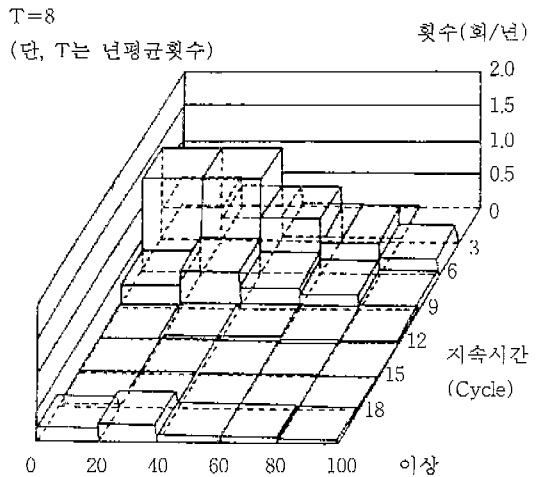
Voltage Sag의 발생 영향을 크기와 지속시간 측면에서 외국의 현황을 살펴보면 다음과 같다.

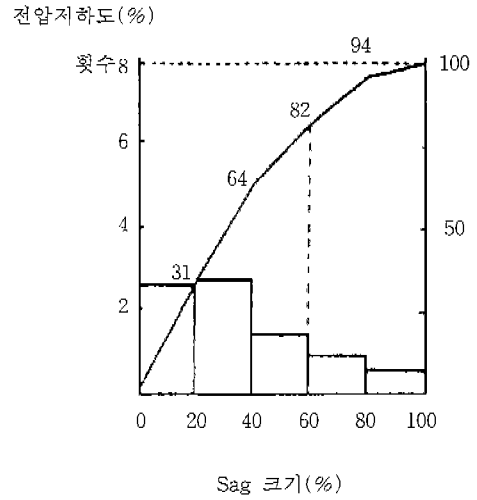
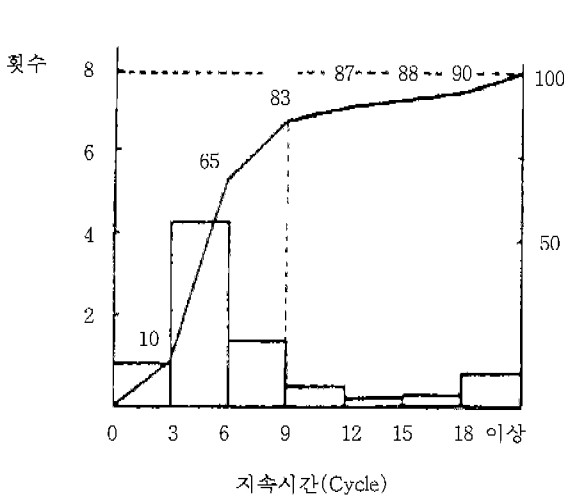
▶ 미국

Sag의 크기가 80~100%가 900여회로 가장 많고 60~80%가 500여회로 주로 60% 이상임을 알 수 있고 지속시간은 주로 10Cycle 미만임을 알 수 있다.

▶ 일본

Sag 지속시간은 9Cycle 이내가 83%로 대부분이고, 전압 저하는 40% 이하가 64%, 60% 이하가 82%를 점유하고 있다.





#### 4. Voltage Sag가 부하에 미치는 영향

전압저하의 영향을 받지 않는 부하는 거의 없지만, 그 중에서도 전압저하에 민감하거나 오동작하면 안되는 설비를 나열하면 FA, OA 기기, 전자개폐기 SCR 등을 사용하는 전력전자 응용기기, 고압수은등, 보호계전기 등을 들 수 있으며, 또한 최근 널리 사용되고 있는 디지털 방식의 기기도 그 영향에서 벗어날 수 없다.

부하 기기별로 허용전압강하에 대한 규격은 정해진 것도 있으나, 그것으로 Sag에 대한 대책을 수립할 수 없기 때문에 주로 외국의 자료를 참고하여 Sag 대책을 수립하게 된다.

#### ◆ 기준

##### ▶ 미국 CBEMA Curve

※ CBEMA: Computer and Business Equipment Manufacture's Association

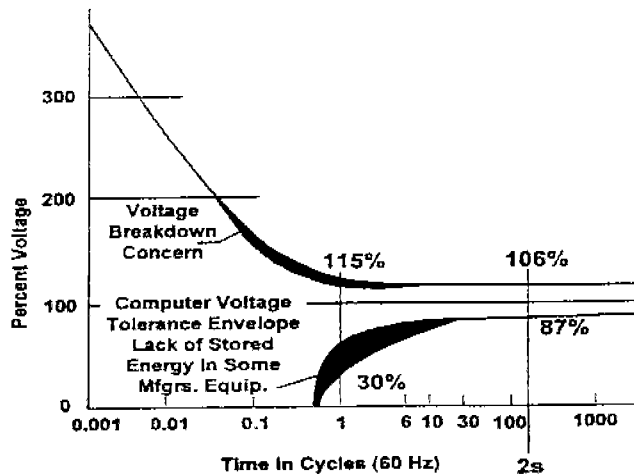


그림 8 전압크기와 지속시간에 의한 기기 영향

그림 8은 정격전압의 115%인 전압이 1초 정도 지속되면 과전압으로 인한 사고의 우려가 매우 크게 되고, 정격전압의 30~50%인 전압이 1초 정도 지속되면 컴퓨터 등이 정지될 수 있다는 것을 보여주고 있다.

▶ 일본 실측 예

그림 9는 전자개폐기는 전압이 50% 이상 저하된 상태가 0.01초 이상 지속되면 개방되고, 컴퓨터는 정격전압의 60% 이하인 상태가 약 0.6초 정도 지속되면 작동이

정지될 수 있다는 것을 나타내고 있다.

따라서 Sag 대책은 보상전압의 크기를 50% 이상으로 하고 지속시간은 0.2초 이상이 되도록 수립하면 대부분의 기기는 정지되지 않고 정상적인 가동상태를 유지할 수 있을 것으로 판단된다.

◆ 전압변동의 영향

각 중요 부하설비와 기기에 대한 전압변동의 영향을 요약하면 아래 표와 같다.

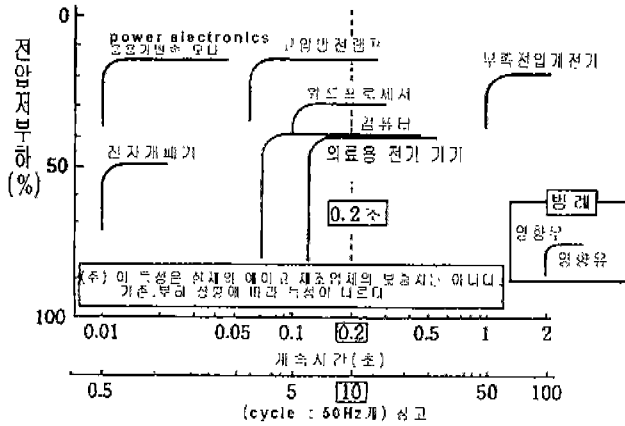


그림 9 부하기기의 전압저하 영향(예)

설비구분	적용개소의 예	영향
FA 기기 OA 기기	컴퓨터 공장 등 프로세서 제어·로보트 오프컴, 팩시밀리	10~20% 이상의 전압저하가 0.003~0.02s 계속되면 메모리의 손실, 프로그램 오동작, 오제어, 송수신의 정지를 초래하기 쉽다. → 일반적으로 많은 컴퓨터는 폭주·오제어를 방지하기 위해 시스템을 일단 정지한 후 다시 시작하고 있다. 공장의 프로세서 제어용 컴퓨터가 정지하면 조업이 부분 정지한다.
전자개폐기	공장 전동기의 대부분	50%정도 이상의 전압저하가 0.005~0.02s 계속하면 전자개폐기가 동작하여 전동기가 정지한다. → 전동기의 정지로 생산이 정지된다.
SCR 등을 사용하고 있는 가변속전동기	일반산업용 전동기, 엘리베이터, 정수장·하수처리장의 펌프용 전동기	20% 이상의 전압저하가 0.005~0.02s 계속하면 전동기가 정지한다. → 전동기 정지로 공장의 조업·엘리베이터·수도 공급 등이 정지한다.
고압 수은등	조명	20~30% 이상의 전압저하가 0.05~1s 이상 계속하면 소등한다.
부족전압계전기	수전설비	부족전압계전기(UVR)의 동작 정정시간이 짧은 경우 생산 Line이 정지한다.



표 4 IC 정격전압과 허용변동 범위

IC의 종류	정격전압과 허용변동범위
MOS 다이내믹 메모리(DRAM)	+5V $\pm$ 10%
MOS 스테이틱 메모리(DRAM)	+5V $\pm$ 10%
바이폴라(SRAM)	+5V $\pm$ 10%
마이크로프로세서(MPU)	+5V $\pm$ 10%
TTL 논리 IC	+5V $\pm$ 5%
ECL10K 논리 IC	-5.2V $\pm$ 5%
ECL100K 논리 IC	-5.2V $\pm$ 5%
CMOS 논리 IC	+2/4/6V $\pm$ 10%

◆ 직류안정화장치(전자기기)

전자기기 등에 사용되고 있는 대표적인 IC의 정격전압과 허용변동 범위는 표 4와 같다.

순간전압저하 등으로 교류전압이 변동하고, 그 결과 직류안정화 전원 출력이 위 표의 허용변동 범위를 초과하여 변화하게 되면 IC의 동작이 보증되지 않으므로 장치가 오동작하게 된다. 그림 10과 그림 11에 표시한 전원 전압의 규정 값을 초과하게 되면, IC소자가 파괴되어 동작이 불가능하게 되거나 규정의 타이밍을 지킬 수 없게 되어 오동작 한다.

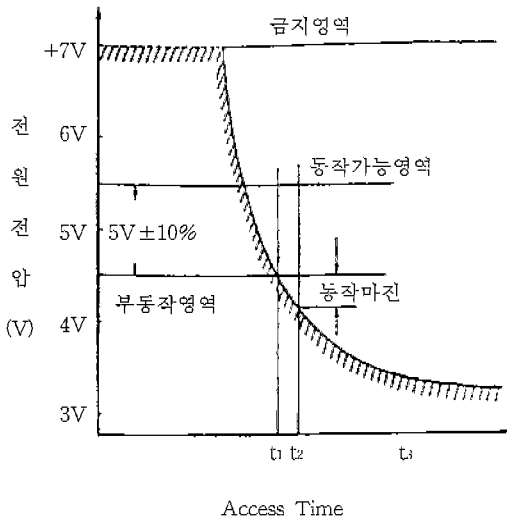
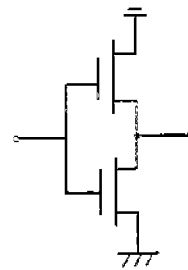


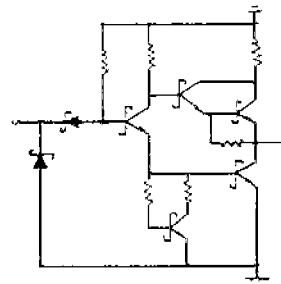
그림 10 메모리의 동작영역

(CMOS, DRAM, SRAM의 예)

- 주1 : 전원전압 상승에 의한 영향  
절대최대정격 +7V를 넘는 전압이 인가되면 메모리칩들이 파괴될 가능성이 매우 높다.
- 주 2 : 전원전압저하에 의한 영향  
전압이 저하되면 동작불능(오동작)이 되고, 엑서스타임(메모리의 내용을 읽고 지시신호를 보낸 데이터가 출력되기까지의 시간)이 지연되기 때문에 시스템의 오동작을 유발한다.



CMOS 인버터 회로



TTL 인버터 회로

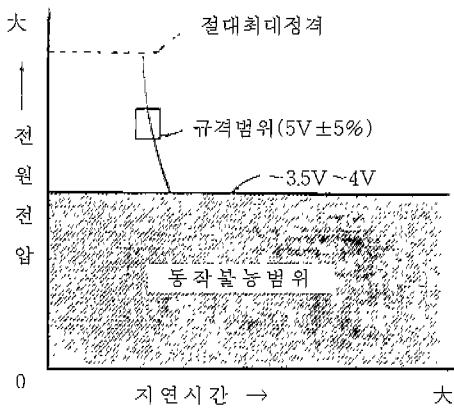
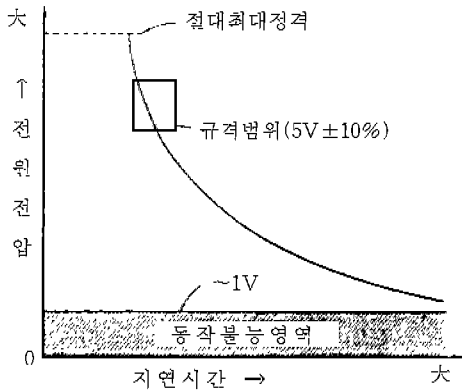


그림 11 논리회로의 동작 영역

주 1 : 전원전압 상승에 의한 영향

절대최대정격 (+7V)이 설정되면 이것을 초과하는 전압을 인가하는 경우 파괴될 가능성이 있다.

주 2 : 전원전압저하에 의한 영향

전원전압저하와 함께 지연시간이 증가한다. 그 결과 규격범위를 지연시간이 초과하게 되면 시스템이 오동작 한다.

### ◆ 전자개폐기

전자개폐기는 일반적으로 여자에 의하여 폐로하여 자기 유지하고, 조작회로의 전압이 저하하면 여자전압도 따라서 저하하고, 일정치 이하로 내려가면 개로 하게 된다.

이 전압을 개방전압, 여자를 해제하여 개로 될 때까지의 시간을 개방시간이라 하며, 대략 표 5와 같이 나타낼 수 있다.

전자개폐기(접촉기)의 조작전원에서 어떤 원인에 의하여 표의 개방전압, 개방시간 특성을 상회하는 순시전압저하가 발생하면, 조작회로의 자기 유지가 해제되어 접점은 개방된다.

그 후 주회로 전원이 정상으로 복구하여도 접점을 폐로 되지 않는다.

이 때 통전을 하기 위해서는 투입보턴(ON)을 재투입하여 접점을 제폐로 하여야 한다.

저압 및 고압전자 개폐기의 전압저하 영향은 그림 12 및 그림 13과 같다.

표 5 전자접촉기의 개방전압과 개방시간

전자접촉기의 종류	전 압 ([%] 정격전압)	시 간 (ms)
보조전자접촉기		
교류조작	60 ~ 30	5 ~ 40
직류조작	40 ~ 10	10 ~ 25
저압전자접촉기		
교류조작	65 ~ 35	5 ~ 50
직류조작	40 ~ 10	15 ~ 150
고압전자접촉기		
교류조작	65 ~ 45	15 ~ 50
직류조작	45 ~ 20	90 ~ 200

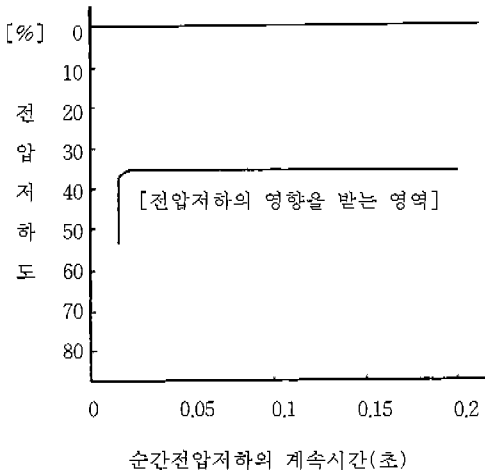


그림 12 저압전자접속기의 전압저하영향

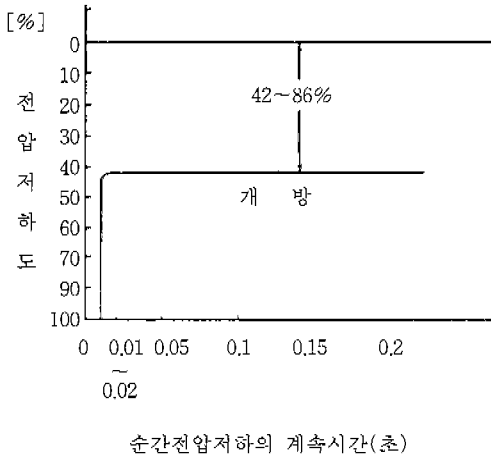


그림 13 고압진공전자접속기의 전압저하영향

◆ 부족전압계전기(UVR)

부족전압계전기는 전동기부하가 있는 일반 수용가에도 광범위하게 사용되고 있다. 전동기의 발생 토크는 단자전압의 2승에 비례한다.

그러므로 일정한 기계적 부하가 접속된 전

동기의 단자전압이 저하하면 전동기는 과부하가 되어 전압강하가 커지고 구속상태로 되어 고정자 권선을 손상시킨다.

또 전원 회복시에는 한번에 다수의 전동기가 가동되고, 이 시동전류는 계통에 큰 동요를 야기하게 되므로 부족전압이 나타나기 전에 필히 전동기를 전원에서 차단하여 보호하여야 한다.

전원전압의 이상현상을 검출하는 부족전압계전기는 그 정정 시간을 짧게 하여 순간전압저하에도 회로를 차단하도록 되어 있으며, 예로서 전동기회로에 사용된 경우 전동기의 과부하에는 영향을 받지 않고 순간전압저하에서만 동작하여 설비가 정지되도록 하는 경우도 있다.

부족전압계전기의 동작시간특성 예를 그림 14에 표시하였다.

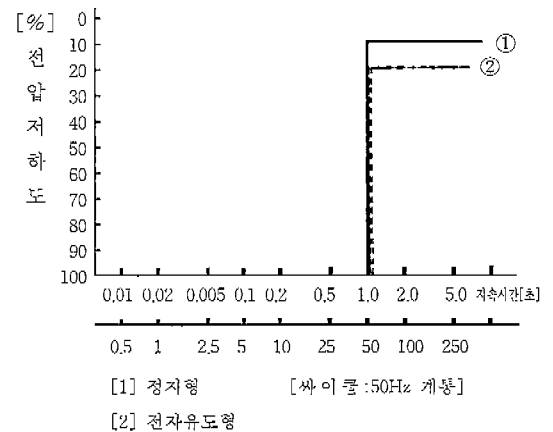


그림 14 순간저하-부족전압 계전기의 실측 예

◆ 사이리스터(정지)레오널드 장치

전압저하에 관해서는 JEC 188(A)에 허용치-10%로 정해져 있으며 순간전압저하의 영향은 다음과 같다.

(1) 구동운전시(콘버터 운전시)

전압저하가 크게 되면 사이리스터 장치

의 주회로 출력전압이 저하한다. 그 결과 인가직류 전압과 비례관계에 있는 모터의 회전수가 떨어진다.

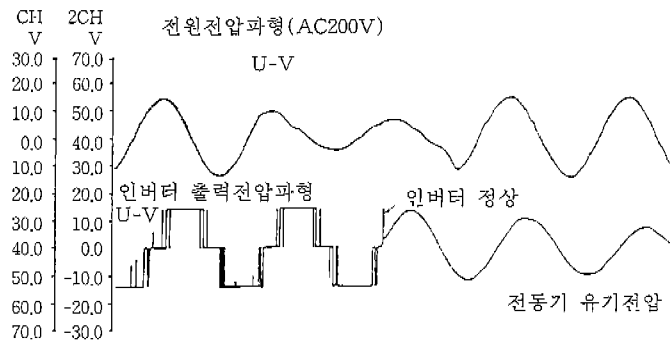
동시에 마이크로 프로세스를 구동하여 각종 전자부품을 사용한 제어회로에 이상이 생기고 모터는 정상운전이 되지 않는다.

또, 전압저하가 더 커지면 사이리스터

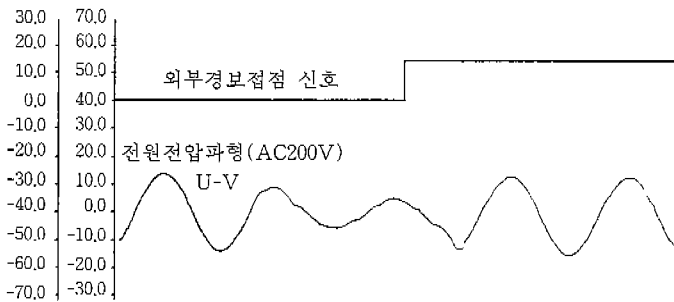
장치의 출력전압은 없어진다. 또한 실용시스템에서는 주회로용 전자접촉기 및 시퀀스회로로 구성되어 있는데 이들 기기·회로의 순간전압저하 영향에도 주의하여야 한다.

(2) 전원회생제어운전시(인버터 운전시)

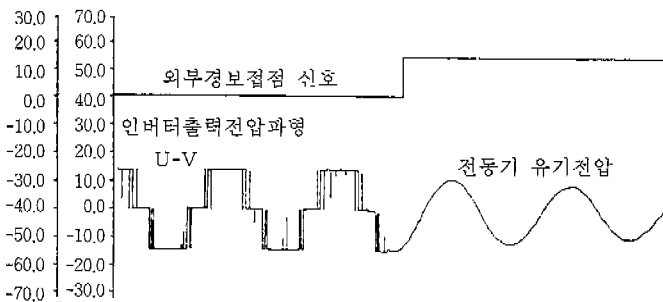
콘버터(변환장치)가 인버터로 운전되는



[1] 전원전압파형-인버터 출력전압파형



[2] 외부경보접점 신호-전원전압파형



[3] 외부경보접점 신호-인버터 출력전압파형

그림 15 순간전압저하 발생시의 각부파형

경우에는 전원전압저하로 인하여 점호위상의 제어지연각  $\alpha$ 가 증대하고 전류(轉流) 증첩각이 증가하여 전류실패를 유발하게 되고 모터 운전이 정지될 위험이 있다. 제어회로도 정상동작을 하지 않고 이상 점호 신호를 발생시켜 주 회로도 전류 실패가 될 수 있다.

◆ 인버터 장치

전압저하에 관해서 JEC 202에 허용전압강하는 -10%로 정해져 있으며 범용 전압형 인버터(트랜지스터 방식)의 경우 전원전압강하가 크게 되면 콘버터의 출력 직류전압이 낮아지고, 따라서 운전속도와의 관계에서 인버터의 출력전압이 저하됨과 동시에 제어회로도 정상적인 동작을 못하게 될 가능성이 매우 크게 된다.

그 밖에 범용인버터(용량 100kVA 이하로서 PWM제어방식인 인버터)에는 일반적으로 약 10~15ms 이상의 순간정전이 발생하면 전원전압 저하를 검출하여 인버터의 운전을 정지하도록 하고 있다. 순간전압저하(50% 25ms) 발생시의 실제 장치의 각부 파형은 그림 15와 같다.

◆ 정지 세르비우스

전압저하에 관해서는 JEC-188에 허용전압강하는 -10%로 정해져 있으며, 사이리스터레오너드의 전원 회생시와 동시에 동작상태로 되는 정지 세르비우스 타여식 인버터는 전원전압의 저하에 의하여 전류실패할 우려가 있다.

또 자동속도제어회로도 정상상태로 되지 않아 인버터의 전류실패의 원인이 되는 경우도 있다.

타여식 인버터가 전류실패로 되면 모터는 운전을 정지한다. 또한 실용시스템은 주회로용 전자 접촉기 및 시퀀스회로와 구성요소들로 이루어져 있으므로 이들 기기의 저하의 영향에도 주의할 필요가 있다.

◆ 사이리스터 모터

전압저하에 관한 규격은 JEM-1370에 허용전압 강하 -10%로 정해져 있으며, 전압저하가 크게 되면 사이리스터 장치의 주회로 출력전압이 저하하고 전동기의 회전수가 떨어지게 되며, 전압저하로 제어회로에 이상이 발생하면 모터는 정상운전을 할 수 없게 된다. 또 전압저하가 더 크게 되면 사이리스터 장치의 출력전압은 없어진다.

◆ 고압방전램프(HID)

점등되어 있는 램프는 순시전압저하(정격전압의 10% 이상)로 정전되면 소등되고, 곧 전원이 복구되어도 발광관이 냉각되어 재점등되기까지는 수분~10수분이 요하며, 또 안전점등까지는 수분이 필요하게 된다. 수은램프는 안전점등 중에 전압저하로 인하여 소등되면 고압상태의 수은이 발광관의 냉각으로 기압이 내려가 재시동 가능한 상태가 되기까지 약 5분정도 걸린다.

램프종류별 전압저하 정도와 영향특성 관계를 나타내면 그림 16과 같다.

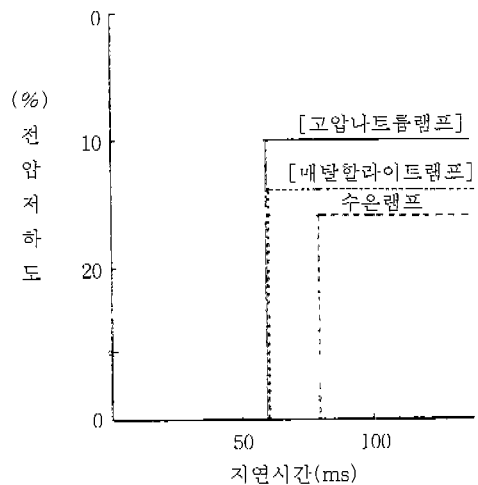


그림 16 고압방전램프의 순시전압 저하 영향 특성 예

☉ 다음호에 계속 됩니다