

瞬間電壓降下와 그 對策

(1)

尹 甲 求

에이스技術團 代表·技術士

1. 序 論

電力系統에 전기사고가 발생하면 고장전류가 흘러 순간적인 電壓降下가 발생하게 된다.

한편 電壓變動에 민감한 전자응용기기나 제어 시스템으로 구성되어 있는 섬유, 철강 및 전자 산업체 등에서는 순간적인 電壓降下가 발생하게 되면 生産 라인이 정지되어 제가동시까지는 장시간이 소요되거나 제품의 不良率이 증가되어 원가상승의 요인이 되고 있다.

더우기 하이테크(High Technologies) 중심으로 급속히 발전되고 있는 현대사회의 여건은 電氣品質에 대한 요구수준이 높아지고 순간전압강하나 瞬間停電 등에도 특별한 대책을 필요로 하고 있다.

(1) 국민문화생활의 향상에 따른 전기품질의 요구수준 상승

(2) 정보산업의 발전에 따른 민감한 전자기기의 보급확대

(3) 전력산업의 발전에 따른 정밀제어요구 증대

가. 電壓外亂과 瞬間電壓降下の 정의

瞬間電壓降下는 표 1-1 과 같이 순간적으로 전압이 저하되는 것을 말하는데, 용어의 정의나 한계설정은 아직 표준화되어 있지 않지만 보통 수초 이내의 電壓降下로 보고 있다. 일본에서는 瞬間電壓低下라는 말로 쓰고 있으며, 미국에서는 Instantaneous Voltage Drop 또는 Transient Voltage Fluctuations, Voltage Dips, Voltage Sags 등으로 표현해 왔다. 최근에는 電壓外亂(Voltage Disturbance) 범위 속에 Voltage Sags라는 용어로 순간전압강하를 정의하고 있는데, 그 내용은 다음과 같다.

(1) 瞬間電壓降下(Voltage Sage)

순간적으로 電壓이 저하되는 것이다. 이것은 근접한 수용가의 부하변동이나 전력계통의 고장, 전력공급 지역내의 큰 부하변동, 전력공급 설비 불량 등으로 발생하며 0.07~2 S(미국: 0.067~1 S)동안 지속되는 것이다.

(2) 停電(Outages or Interruptions)

電壓이 순간 또는 장시간 존재하지 않는 것이

〈표 1-1〉 電壓外亂과 持續시간

電壓外亂	持續時間	波 形	備 考
瞬間電壓降下	0.07s~2s		美 : 0.067 ~ 1s
瞬 停	2s~1min		日 : 0.07~ 2s
短時間停電	5分 以內		日 : 2~60s (자동)
停 電	5分 以上		
電壓스파이크	0.5~200μs		
電壓 서 지	200μs~ 16.7ms		
電氣의노이즈	制限없음		

다. 이것은 전력계통의 短絡이나 전력공급 설비의 불량, 근접한 수용가 설비의 불량 등으로 발생하며 그 지속시간은 자동조작의 경우는 2~60 S 이고, 수동조작의 경우는 일정치 않다.

停電時間의 한계설정도 표준화된 것이 없으나 표 1~2에 일본의 판례를 소개한다.

(3) 電壓 스파이크(Voltage Spikes or Transients)

마이크로 秒 정도로 대단히 짧은 시간 지속되는 임펄스(Impuls)로서 정상상태 전압의 1,000 배를 초과할 수 있으며, 持續時間은 0.5~200us 정도이다.

(4) 電壓 서지(Voltage Surges)

장시간 계속되는 돌발적인 전압 상승이다. 이

〈표 1-2〉 정전의 구분

정전의 종류	지 속 시 간	비 고
순간 정전	0.07(s)~2 (s)	한전전기사고동계는 5분이상의 정전을 정전으로 취급함.
단시간 정전	2 (s)~1 (m)	
비교적단시간 정전	1 (m)~10 (m)	
비교적장시간 정전	10 (m)~30 (m)	
장시간 정전	30 (m) 이상	
국부 정전	배전선로구간단위 정전	
광범위 정전	2회선 이상의 배전선로 정전	대규모정전 : 광범위 장시간 정전

것은 전압 스파이크와 같이 落雷(유도뢰), 송배전 계통의 개폐, 대용량 부하의 절단 등으로 발생하며, 스파이크의 범위를 초과해서 16.7ms까지 지속되는 것이다.

(5) 電氣的 노이즈(Electrical Noise)

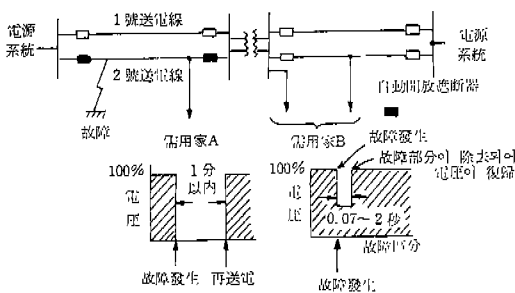
전압동요(Voltage Fluctuation)의 가장 일반적인 형태로서 基準電壓에 대한 高調波간섭(Harmonic Interference) 또는 불요 주파수(Spurious Frequencies)이다.

이것은 불연속 또는 비선형 제어장치와 포화 변압기, 용접기, 회전기 등에 의해서 발생하며, 1ms 이하(1kHz 이상)의 시간폭으로 急峻하고, 주로 일반 개폐기류, 반도체 스위치(사이리스터, 트랜지스터, 다이오드, IC 등)등의 개폐(on/off)시 발생하며, 그의 周波數는 수 MHz 이상되는 것도 있고 불규칙적으로 랜덤하게 발생하는 경우가 많다.

나. 瞬間電壓降下の 發生原因

電力系統에는 낙뢰 등의 신재지변과 전력설비의 자연열화 등에 의하여 電氣事故를 완전히 방지하기는 어렵다. 특히 우리나라의 송배전계통은 중성점 직접 접지방식을 채용하고 있어서 사고 빈도가 잦은 1線地絡事故 등에도 심한 전압강하를 초래한다.

그림 1-1과 같은 계통에서 2호선에 고장이



〈그림 1 - 1〉 고장점과 정전 또는 순간전압 강하의 상황

발생하면 고장구간 내에 접속된 수용가 A는 한번 이상의 瞬間停電 내지는 장시간의 정전을 당하게 되고 전기적으로 근접된 계통에 접속된 수용가 B는 한번 이상의 순간전압강하 등의 電壓外亂을 당하게 된다.

다. 瞬間電壓降下の 持續時間

瞬間電壓降下の 지속시간은 표 1 - 3 과 같이 계통전압에 따라서 보호계전기의 동작시간과 차단기의 개방시간이 다르므로 다소 차이가 있다. 전압계급이 높을수록 지속시간이 짧은 것은 고속도 보호계전기에 의한 고속도차단과 재폐로가 이루어지기 때문이다. 즉 瞬間電壓降下の 발생 원인이 154kV 이상의 송전계통 사고에 의한 경우는 과급범위가 넓은 반면에 지속시간은 짧고 66kV 이하의 送配電系統의 사고에 의한 경우는 과급범위는 좁지만 지속시간은 길다.

참고로 표 1 - 4 는 美國 벨 (Bell) 시스템의 電

〈표 1 - 3〉 계통전압별 순간전압강하 지속시간

사고 발생 계통	순간전압강하 지속시간 (고장제거시간) (s)
345 kV	0.07~0.4
154 kV	0.07~0.33
66 kV	0.10~2.0
22.9kV	0.10~2.0
6.6kV	0.17~2.0

〈표 1 - 4〉 美國 벨 시스템의 電壓外亂

區 分	占 有 率	時 間
瞬間電壓降下	10 %	0.03 Secs
	25 %	0.09 Secs
	50 %	0.12 Secs
	75 %	0.24 Secs
	90 %	0.53 Secs
停 電	10 %	0.6 Secs
	25 %	1.1 Secs
	50 %	38.0 Secs
	75 %	40 Mins
	90 %	4.2 Hrs

壓外亂 資料이다.

2. 電氣事業의 종합품질과 瞬間電壓降下 실태

가. 電氣事業의 종합품질 요소

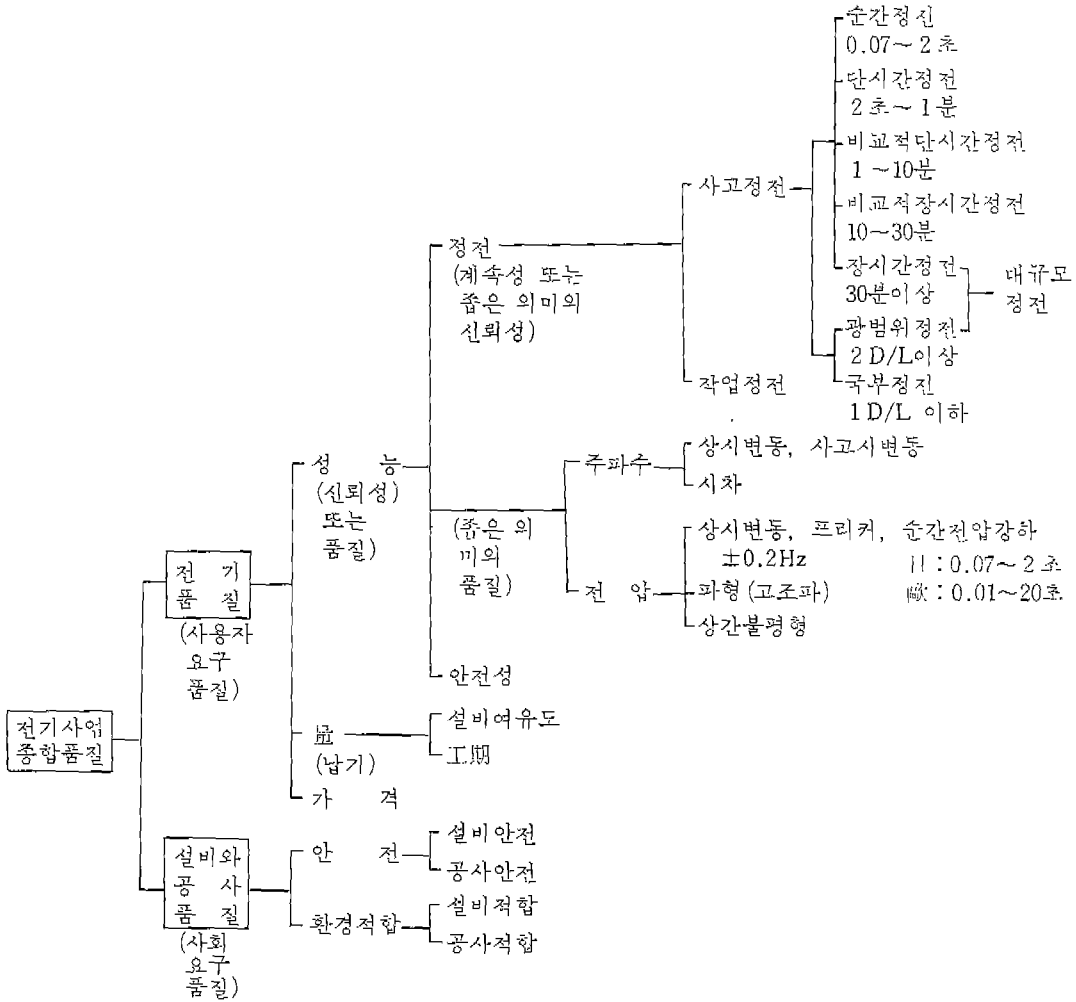
電氣事業은 양질의 전기를 경제적으로 안정되게 공급하는 것을 기본적인 사명으로 하고 있다. 여기서 電氣事業의 종합품질 요소는 그림 2 - 1 과 같이 광범위한데, 일반적으로 良質의 전기라는 것은 주파수와 電壓이 규정치에 일정하게 유지되고 정전이 없는 공급신뢰도가 높은 것을 의미한다.

나. 停電實態

(1) 수용가당 정전시간

瞬間電壓降下와 관계가 깊은 停電에 대하여도 그 현황을 파악함으로써 합리적인 瞬間電壓降下 대책을 수립할 수 있다.

우리나라의 '81~'86년의 평균 수용가 호당 停電時間을 外國과 비교해 보면 英國대비 5.6배, 日本대비 4.4배, 대만대비 2.2배로 나타나 사고 감소 노력에 더욱 힘써야 함을 알 수 있고 특히 작업정전시간이 월등하여 (일본대비 4.3배) 무정

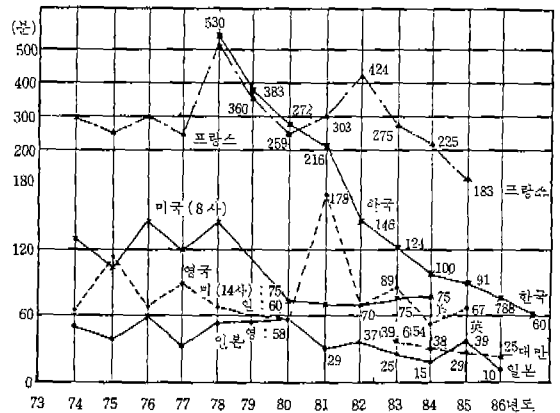


〈그림 2 - 1〉 전기사업의 종합품질요소

전 작업공법 개발이 시급한 당면 문제임을 알 수 있다.

(2) 수용가당 사고 정전시간

수용가당 연간 사고정전시간을 살펴 보면 그림 2 - 2 와 같이 9년간 89%(연간 10%)나 감소되었고, 外國과 비교하여 프랑스의 1/2('85) 정도이고, 미국, 영국과는 비슷한 수준이며, '86 일본의 7.8배이고, 대만의 3.5배로 나타나고 있지만 서로 統計基準이 불명확하여 정확한 비교는 곤란하다.



〈그림 2 - 2〉 수용가당 연간 사고정전시간 추이

〈표 2 - 1〉 수용가당 정전시간 비교

연도	한국			일본			대만			영국			미국 (4사)		분란서	
	작업	사고	소계	작업	사고	소계	작업	사고	소계	작업	사고	소계	사	고	사	고
1981	675	216	891	170	29	199				21	178	199	70			303
1982	587	146	733	144	37	181				20	70	90	70			424
1983	525	124	649	137	25	162	324	39	363	23	89	112	75			275
1984	467	100	567	113	15	128	240	38	278	23	54	77	75			225
1985	432	91	523	89	39	128	216	29	245	24	67	91				183
1986	376	78	454	59	10	69	257	25	282							
'81~'86평균	510	126	636	119	26	145	259	33	292	22	92	114	73			282

[주] 재해분 제외, 1981년 London 대정전 제외

해마다 停電時間이 크게 감소되고 있는 것은 그동안 설비운용기술과 정전 감소대책의 노력덕분으로 평가할 수 있다. 더구나 급속한 電力需要 증가에 대비하여 전원설비 건설에 치중하느라고 전력수송분야(송배전 설비)의 투자가 비교적 미흡했던 우리의 실정으로는 이 정도의 수준 유지도 많은 노력의 결과라 보겠다.

(3) 수용가당 5분이상 停電回數

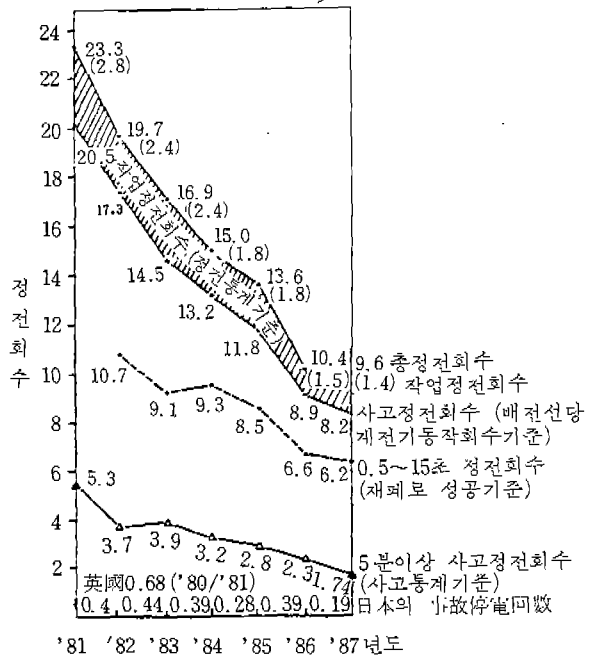
그림 2 - 3은 수용가당 年間 停電回數 추이를 나타낸 것이다. 해마다 크게 감소되고 있지만 英國이나 日本에 비교해 상당히 잦은 것으로 나타나고 있다.

(4) 수용가당 瞬間停電回數

配電線 繼電器 동작회수를 기준으로 선정한 수용가당 (선로당) 사고정전회수와 재폐로 성공률을 기준으로 추정한 0.5~15초 사이의 瞬間停電回數의 연도별 추이를 보면 표 2 - 2와 그림 2 - 4와 같다. 配電線 繼電器 동작을 기준으로 산정한 停電回數에는 주파수 저하시 저주파수 제전기(UFR) 동작으로 정전되는 회수와 선로중간의 Recloser 등의 동작정전은 포함되지 않았

6년간

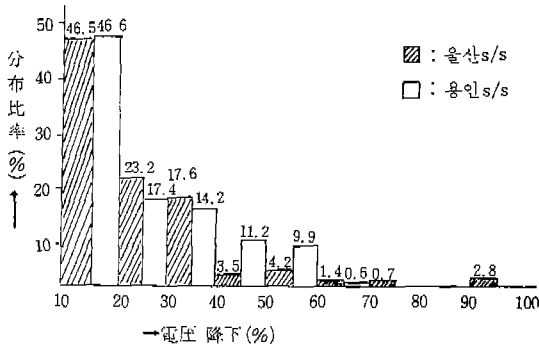
- 총정전 : 1/2.4, 59% (연간 10%) 감소
- 사고정전 : 1/2.5, 60% (연간 10%) 감소
- 순간정전 (5년) : 1/1.7, 42% (연간 8%) 감소
- 5분이상 사고정전 : 1/3, 67% (연간 11%) 감소
- 작업정전 : 1/2, 50% (연간 8%) 감소



〈그림 2 - 3〉 수용가당 年間 停電回數

〈표 2-2〉 배전선 계전기 동작기준 사고건수와 정전회수

연도	사고건수 (건)	배전선부 수(선로)	선로당 사고 빈도(건/선로)	재페로성공률 (%)	선로당재페 로성공빈도 (건/선로)	수용가당사 고정전회수 (회)	수용가당작 업정전회수 (회)	선로당정전 회수(회)
'81	29,204	1,392	20.5			5.26	2.83	23.33
'82	25,960	1,499	17.3	62.0	10.7	3.70	2.41	19.71
'83	24,502	1,690	14.5	63.0	9.1	3.90	2.40	16.90
'84	24,101	1,822	13.2	70.5	9.3	3.19	1.82	15.02
'85	22,726	1,922	11.8	71.5	8.5	2.81	1.75	13.55
'86	18,801	2,111	8.9	74.4	6.6	2.30	1.54	10.44
'87	19,122	2,338	8.2	75.5	6.2	1.74	1.40	9.60
비고			수용가당사고 정전회수 ㉑	순간정전비율 ㉒	0.5~15초간 수용가당순 간정전회수 a×b	수용가당 5 분이상사고 정전회수 ㉓	㉔	수용가당정 전회수 a+d



〈그림 2-4〉 瞬間電壓降下幅別 分布

다. 배전선 계전기 동작회수를 기준으로 선택한 事故停電回數는 5분 이상의 事故停電回數보다 4배 정도 많은 것으로 나타나고 0.5~15초 사이의 순간정전은 5분 이상의 停電回數의 3배 정도로 추정되고 있다.

다. 瞬間電壓降下實態

순간전압강하 回數는 '85년부터 약 1년간 울산 s/s와 용인 s/s에서 측정한 것을 기준으로

〈표 2-3〉 10% 이상 순간전압강하발생실태 측정결과

()내는 50% 이상의 전압강하

측 정 장 소	울산S/S	용인S/S	총 합
측 정 기 간	'85. 11. 18~ '86. 7. 22 (8.2개월:247일)	'86. 7. 28~ '86. 10. 8 (2.4개월:73일)	'85. 11. 20~ '86. 10. 8 (10.6개월:320일)
발 생 회 수(회)	142 (13)	161 (17)	303 (30)
월평균발생회수 (회/월)	17.3 (1.6)	66 (7)	28.6 (2.8)
연평균발생회수 (회/년)	209.8 (19.2)	805 (85)	345.6 (34.2)
평균최저전압 (V)	81.0	81.1	81.1
평균지속시간 (S)	0.16	0.19	0.18

연평균 發生回數를 추정한 것과 배전선 계전기동작을 기준으로 추산해 보았다.

(1) 瞬間電壓降下 測定

표 2-3은 울산변전소와 용인변전소의 22.9 kV 母線에 만능 외란 분석기(Universal Disturbance Analyzer)를 설치하여 10% 이상의 電壓降下를 측정 한 사례이다. 그중 수용가에 영향을 심하게 주게되는 50% 이상의 電壓降下가 발생한 순간전압 강하회수는 연간 약 34.2회로 추정된다.

참고로 표 2-4는 美國 벨 시스템의 24개소에서 測定한 電壓外亂의 占有率을 나타낸 것이다.

(가) 瞬間電壓降下幅

〈표 2-4〉 美國 벨 시스템의 電壓外亂 측정결과

電壓外亂의 種類	占有率(%)
瞬間電壓降下	85
임 펄 스	7.5
停 電	4.7
서 지	0.8

電力系統의 事故로 어느 정도의 電壓降下가 발생하는가는 1線地絡事故인지, 2線短絡事故인지, 3線短絡事故인지에 따라서, 또 故障點의 위치가 電源으로부터 電氣的으로 얼마나 떨어져 있는지, 故障點의 抵抗이 얼마였는지 등에 따라 다르다.

표 2-5와 그림 2-4는 蔚山 s/s와 龍仁s/s에서 측정 한 예를 나타낸 것이고, 표 2-6은 日本에서 特別高壓과 高壓으로 구분하여 측정 한 平均을 나타낸 것이다.

(나) 瞬間電壓降下 持續時間

瞬間電壓降下の 持續時間 分布는 事故發生 系統別로 故障 제거 時間과 관계되는 것으로서 蔚山과 龍仁 s/s에서 측정 한 예는 표 2-7과 그림 2-5에 나타낸 바와 같고, 日本에서의 예는

〈표 2-6〉 瞬間電壓低下量(日本例)

電壓低下量 顧客	20~	40~	60~	80%	計
	40%	60%	80%	以上	
特別高壓	25%	25%	25%	25%	100% (3回/年정도)
高 壓	25%	25%	25%	25%	100% (4回/年정도)

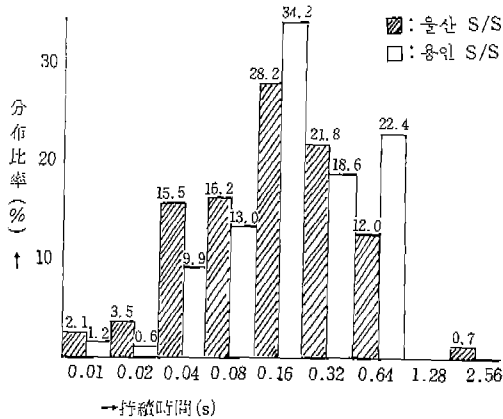
〈표 2-5〉 瞬間電壓降下幅別 分布回數

() 내는 百分率

測定場所 電壓降下幅(%)	蔚山s/s	龍仁 s/s	綜 合	
			10%이상	10%간격
10~19.9	66(46.5)	75(46.6)	141(46.5)	
20~29.9	33(23.2)	28(17.4)	61(20.1)	
30~39.9	25(17.6)	23(14.3)	48(15.8)	109(67.3)
40~49.9	5(3.5)	18(11.2)	23(7.6)	
50~59.9	6(4.2)	16(9.9)	22(7.3)	45(27.8)
60~69.9	2(1.4)	1(0.6)	3(1.0)	
70~79.9	1(0.7)		1(0.3)	4(2.5)
80~89.9				
90~99.9	4(2.8)	-	4(1.3)	4(2.5)
計	142(100)	161(100)	303(100)	162(100)

〈표 2-7〉 瞬間電壓降下 持續時間別 分布回數
() 내는 百分率

持續時間	0.01	0.011~	0.041~	0.161~	0.641~	計
測定場所	이하	0.040	0.160	0.640	이상	
蔚山 s/s	3 (2.1)	27 (19.0)	63 (44.4)	48 (33.9)	1 (0.7)	142 (100)
龍仁 s/s	3 (1.9)	37 (23.0)	85 (52.8)	36 (22.4)	-	161 (100)
綜合	6 (2.0)	64 (21.1)	148 (48.8)	84 (27.7)	1 (0.3)	303 (100)



〈그림 2-5〉 瞬間電壓降下 持續時間別 分布

표 2-8 과 같다.

표 2-9 와 표 2-10 은 美國 콘에디슨社 120/208V 低壓配電系統에서의 電壓變動의 크기와 持續時間 및 發生頻도를 나타낸 것이다.

(2) 保護繼電器 動作으로 본 瞬間電壓降下

保護繼電器動作을 分析해 보면 瞬間停電과 瞬間電壓降下 回數를 추산해 볼 수 있다. 瞬間停電의 경우는 표 2-2 에 이미 소개하였다.

發送電系統의 事故건수는 配電系統의 事故건수 보다 대단히 적으므로 配電系統의 保護繼電器 動作回數만을 기준으로 需用家당 (또는 線路당) 瞬間電壓降下 回數 N_{vs} 를 구해 보면 다음과 같다.

〈표 2-8〉 瞬間電壓低下時間 (日本例)

低下時間	0.1s	0.1~	0.2~	0.3s	計
顧客	未滿	0.2s	0.3s	以上	
特別高壓	50%	50%	극히 없음	극히 없음	100% (3回/年 정도)
高壓	40%	40%	20%	"	100% (4回/年 정도)

〈표 2-9〉 瞬間電壓降下 (美國例)

基準電壓	電壓降下	持續時間	平均發生頻度
120/208V	90V 까지 (25%)	6Cycle (100ms)	1~2回/年
	90V 까지 (25%)	30Cycle (500ms)	1~2回/年
	55V 까지 (54%)	12Cycle (200ms)	1~2回/年
	0V 까지 (100%)	12Cycle (200ms)	극히드물
265/460V	199V 까지 (25%)	6Cycle (100ms)	1~2回/月
	199V 까지 (25%)	30Cycle (500ms)	1~2回/年
	121V 까지 (54%)	12Cycle (200ms)	1~2回/年
	0V 까지 (100%)	12Cycle (200ms)	극히드물

需用家當 瞬間電壓降下 回數 = 線路當 事故 Trip 回數 × (變壓器당 線路數 - 1)

$$= \frac{\text{事故件數} (1 + \text{再閉路失敗率})}{\text{線路數}} \times$$

$$\left(\frac{\text{線路數}}{\text{變壓器 Bank數}} - 1 \right)$$

1987년의 경우

配電線事故件數: 19,122 (回/年)

配電線路數: 2,338 (回線)

再閉路失敗率: 24.5 (%)

配電用變壓器 Bank數: 471 (Banks)

따라서 1987년의 需用家當 瞬間電壓降下 回數 N_{vs} 는

$$N_{vs} = \frac{19,122 (1 + 0.245)}{2,338} \times \left(\frac{2,338}{471} - 1 \right)$$

$$= 10.18 (4.96 - 1)$$

$$= 40 (\text{回/年})$$

〈다음號 계속〉