

하절기 전기설비사고 방지대책

글/한 상 만(한국전기안전공사 조사연구실장)

근래 우리나라는 발전용량의 부족으로 전력사정이 악화되어 작년 여름철에는 냉방기의 가동을 제한하여 전력 에너지를 효율적으로 사용하자는 캠페인을 전개하였다.

이런 때에는 전기설비의 사고를 감소시켜 재해를 예방하고 원활한 생산활동을 할 수 있는 것도 전력 사용의 합리화를 도모하는 길이라 생각한다.

또한 하절기에는 폭우나 낙뢰 등으로 인한 자연발생적인 사고가 많이 발생되고 있어 사전에 충분한 예방대책이 강구되어야 하겠다.

본장에서는 전기안전공사가 대행하고 있는 수용가에서 '91년도에 발생한 설비사고를 중심으로 사고의 사례와 그에 따른 예방대책을 기술하고자 한다.

1. 현 황

<표 1>에서 보는 바와 같이 하절기에 사고가 집중적으로 발생되고 있음을 알 수 있다.

이와 같이 하절기에 사고가 집중적으로 발생하는 것은 대부분의 수전설비가 변대나 옥상 등에 설치되어 있어, 폭풍우 등 자연피해와 노후기기의 수분침투에 의한 절연파괴로 인한 것이 대부분이며, 다음 <표 2>는 전기안전공사에서 '91년 5개 지사를 샘플링하여 정밀 조사한 결과이다.

이 표에서 보는 것과 같이 고압수전설비의 총사고

<표 1> 월별 설비사고 발생현황

1991년

월	건 수	점 유 율	비 고
1	36	7.71	
2	21	4.50	
3	38	8.14	
4	36	7.71	
5	45	9.64	
6	54	11.56	
7	77	16.45	
8	59	12.63	
9	30	6.24	
10	19	4.07	
11	19	4.07	
12	33	7.06	
계	467	100	

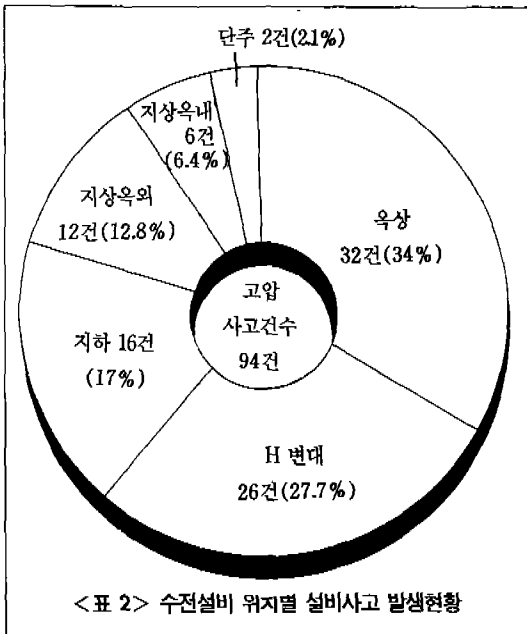
건수 94건중 옥외에 설치함으로써 발생된 직접적인 사고만도 20건이나 발생하였다.

수전설 위치에 따라 자연환경의 영향을 받아 설비 사고로 연결된 주요 사고유형을 보면

○ H변대에서 발생한 설비사고는 12건으로

- H변대 주변에 근접한 수목이 충전부에 접촉하여 발생한 지락사고

- 놀이시 축구공이 충전부에 접촉하여 모선 지락

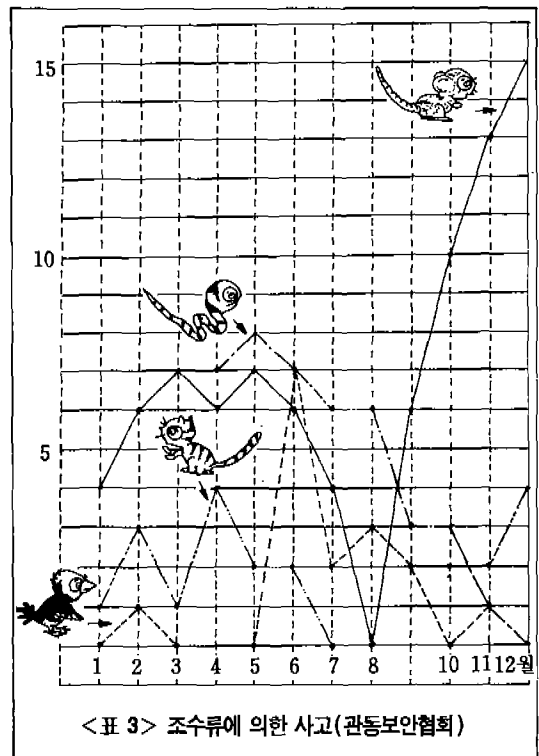


사고 유발

- 굴착작업시 작업 부주의로 인입중성선 절단사고 등이 있으며
- 지상옥외 수전설비에 발생한 설비사고는 3건으로 대개 수전설비 충전부에 수목이 접촉하여 발생한 지락사고이고
- 옥상 수전설비에서 발생한 사고는 5건으로
 - 저압콘덴서 단자함에 빗물이 침투하여 단락사고를 유발
 - 인입 가공선로에 녹음테이프 줄이 걸려 지락사고 유발
 - 우천시 섬락으로 전력퓨즈 용단 사고 등이었다.
- 이와 같은 옥외 수전설비의 자연환경에 의한 사고를 예방하려면 다음과 같은 조치를 취하여야 할 것이다.
 - 수전설비 주변에 있는 수목이 평상시에는 이격거리를 유지하더라도 강풍을 동반한 폭우시 나뭇가지가 날려 이격거리 이내로 근접할 가능성이 없는가를 살펴 우기철 이전에 절단할 것

- 새로 식수한 수목은 뿌리가 약해 태풍시 쓰러져 전기설비에 사고를 유발치 않도록 보강하고
- COS. LA. TR 부싱 등은 우천시 섬락사고를 유발치 않도록 주기적으로 분진을 제거하며
- 변압기 2차 모선 등을 타고 빗물이 침투하지 않도록 조치 강구
- 모선이 태풍시 이탈되지 않도록 사전점검 철저
- 수전설비 근처에서 공놀이 등 불필요한 행동을 자제토록 관리
- 수전설 주변에서 중장비를 이용한 작업시에는 반드시 감시자를 배치하여 설비사고 및 감전사고 등이 발생치 않도록 관리감독에 철저를 하여야 한다.

○ 또한 하절기에는 각종 조수류에 의한 지락사고가 증가하고 있다. 우리나라에는 조수류에 의한 전력설비의 사고통계가 없으나 관동보안협회의 통계를 보면 조수류에 의한 사고가 총 수용설비



80,000여호에서 3년간에 약 165건이나 발생되고 있다.

특히 하절기에는 재에 의한 사고가 많이 발생되고 있으므로 옥외설치된 수전설비에서는 이에 대한 대책을 세워야 한다.

2. 전기설비 사고원인 분석

다음은 전기안전공사가 모델 사업소로 선정, 정밀 조사를 실시한 전기설비사고를 원인별, 중요기기별로 분석한 내용을 소개한다.

가. 고압설비 사고원인 분석

○ 기기별 사고현황

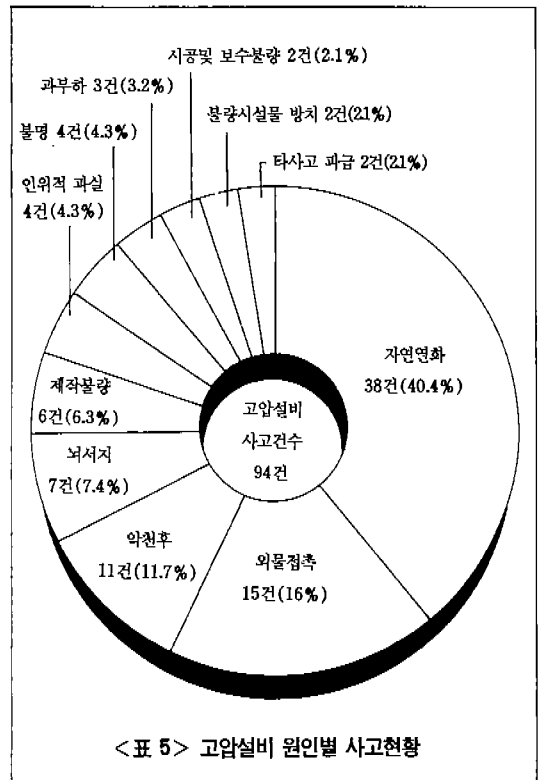
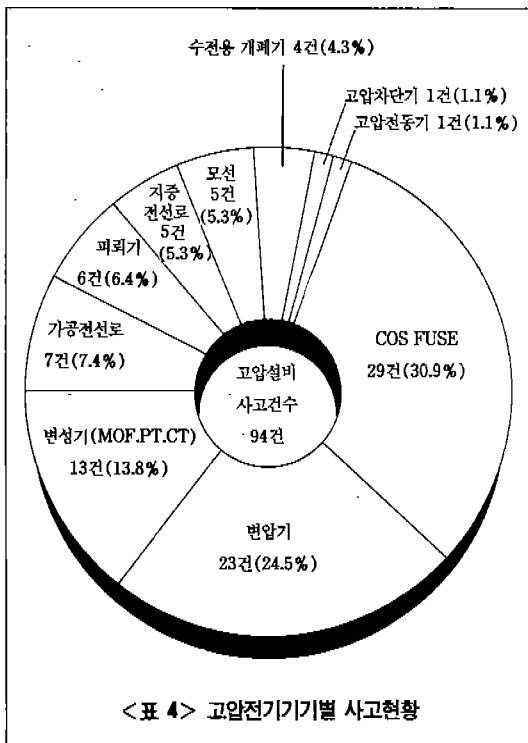
고압설비 사고건수는 총 94건으로 그중 COS FUSE 29건(30.9%), 변압기 23건(24.5%), 변성기 13건(13.8%), 가공전선로 7건(7.4%), 피뢰기 6건(6.4%),

(6.4%), 전선로 5건(5.3%), 모선 5건(5.3%), 수전용개폐기 4건(4.3%), 고압차단기, 고압전동기가 각각 1건(1.1%)순으로 나타났다.

○ 설비사고 원인별 분포

설비사고 원인별로는 자연열화 38건(40.4%), 외물접촉 15건(16%), 약천후 11건(11.7%), 뇌서지 7건(7.4%), 제작불량 6건(6.3%), 인위적 과실 4건(4.3%), 불명 4건(4.3%), 과부하 3건(3.2%), 시공보수불량, 불량시설물 방치, 타사고 파급이 각각 2건으로 나타났다.

○ <표 5>에서 보는 바와 같이 자연열화에 의한 사고가 40%를 점유하는 것은 장기사용에 의한 노후화로 인한 것으로써 우리나라는 적정한 시기에 교체할 수 있는 기준이 없으나 일본의 구주보안협회에서는 제작사가 고압 전기기기의 내용 연한을 산정한 시기를 기준으로 노후 전기설비를 수용가에 교체토



<표 6> 고압 전기기기별 내용 연한 경과 교체기준

기종	교류부하계기		차단기	단로기	변압기	계기용 변성기	파괴기	축전지 콘덴서	보호 계전기
	육외	육내							
내용 연한시기	10년	15년	20년	20년	20년	15년	15년	15년	15년

※ 일본전기 공업회 자료

록 권유하여 자연열화에 의한 사고 예방에 주력하고 있다.

○ 기기별 사고 원인

－ COS 퓨즈

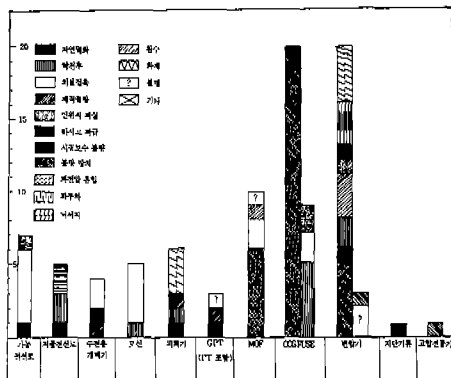
총 사고 29건중 자연열화에 의한 사고 20건, 약천후 5건, 외물접촉 2건, 인위적 과실 2건으로 기후와 보호장치 자체 열화에 의한 사고가 대부분이다.

－ 변압기

총 사고건수 23건중 유입변압기 사고는 20건으로 원인별로는 자연열화 6건, 약천후 2건, 제작불량 2건, 인위적 과실 1건, 타사고 파급 1건, 과부하 3건, 뇌서지 3건, 불량방치 1건으로 나타났다.

－ 변성기

MOF 총 사고 10건중 자연열화 6건, 외물접촉 2건, 제작불량 1건, 불명 1건이며 GPT 사고 건수는 2건으로 제작불량 1건, 불명 1건, PT

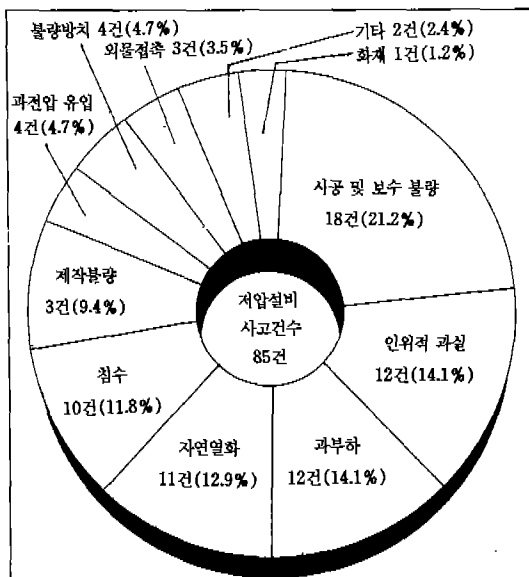


<표 7> 고압 설비기기별 사고원인

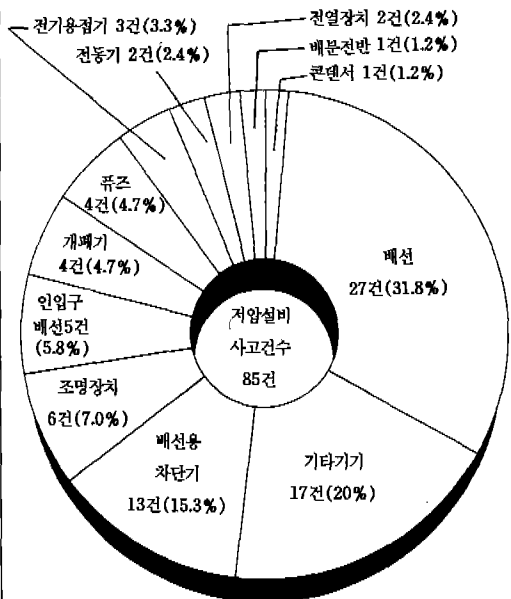
사고는 자연열화 1건으로 나타났다.

나. 저압설비 사고원인 분석

○ 기기별 사고 현황



<표 8> 저압설비 사고원인별 현황



<표 9> 저압설비사고 기기별 현황

저압설비 사고 총 85건중 기기별 사고건수는 배선 27건(31.8%), 배선용 차단기 13건(15.3%), 조명장치 6건(7.0%), 인입구 배선 5건(5.8%), 개폐기 퓨즈 각 4건(4.7%), 전기용접기 3건(3.3%), 전동기, 전열장치 각 2건(2.4%) 등으로 나타났다.

○ 원인별 사고 분포

원인별 사고건수 분포는 시공 및 보수불량 18건(21.2%), 인위적 과실 12건(14.1%), 과부하 12건(14.1%), 침수 10건(11.8%) 등으로 대부분 사용상 부주의에 의해 발생되고 있는 바 사용자에게 대한 사전 교육철저와 철저한 유지관리에 의해 대부분 예방이 가능하다.

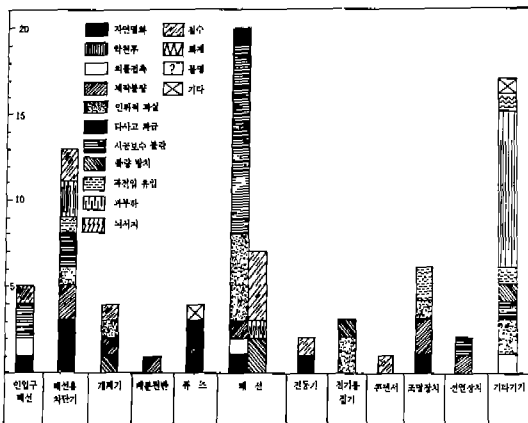
설비별 사고원인 분포 유형을 보면 예방대책 수립이 가능할 것이다.

다. 변압기 과부하 내량

하절기에는 냉방부하가 급증하고 또한 주위 온도가 높아 과부하에 의한 소손사고가 많을 것으로 예상되어 변압기 종류별 과부하 내량에 관한 기술 자료를 소개하고자 한다.

○ MOLD TR (CAST RESIN 형)

변압기가 정상적인 온도에서 항상 동작하면 과부하는 일어나지 않으며 수명의 관점에서 볼 때



<표 10> 저압설비 기기별 사고원인

단락시 발생하는 높은 온도는 장시간 지속되는 Under Load에 의해 보상받는다. 변압기의 부하능력은 사용된 절연재료에 의해 결정되며 부하시의 온도상승이 절연물의 허용온도를 초과하지 않는다는 가정에 근거를 둔다.

이러한 운영조건에서 정격 R. M. S Power와 단시간 과부하에서도 제한온도가 초과되지 않는 것이 중요하다. 여기서는 열적 특성을 샘플 계산에 의해 설명한다.

(샘플 계산 예)

- 3Φ 1500KVA 22.9kV-380/220V

절연계급 F종, 권선온도상승 (TEST값) 90°C max

전류밀도(s) : 2.03A/mm²

“70%의 부하에서 운전중 150% 과부하가 걸렸을 경우” 계산 예

- 70%의 부하운전시 권선온도 상승

$$\theta(70) = \theta N \cdot \left(\frac{P70}{PN}\right)^{1.6} = 90 \times \left(\frac{1050}{1500}\right)^{1.6} = 51^\circ\text{C}$$

- ┌ θN : 정격부하시 온도상승(°C)
- └ PN : 정격출력(KVA)

- 150% 부하 운전시 권선온도 상승

$$\theta(150) = 51 \cdot \left(\frac{2250}{1050}\right)^{1.6} = 173^\circ\text{C}$$

- 열적 시정수(Tw)

$$Tw = \theta_{end} \cdot \frac{Cax}{S^2 \cdot 60} (\text{분}) = 173 \cdot \frac{195}{(2.03 \times 1.5)^2 \cdot 60} = 61 \text{분}$$

- ┌ Cax(도체정수)
- └ Cu : 195A²S/°Cmm⁴
- └ Al : 87.5A²S/°Cmm⁴

- F종 절연시 권선의 온도상승은 100°C를 초과할 수 없으므로 (주위 온도 40°C 기준)

$$\theta_m = \theta_{end}(1 - e^{-t/Tw})$$

θm : 최종 온도상승(100°C)

θend : 과부하시 온도상승(173°C)

T_w : 시정수(분)

t : 과부하 시간(분)

$$* t = -T_w \cdot \ln\left(1 - \frac{\theta_m}{\theta_{end}}\right)$$

$$= -61 \cdot \ln\left(1 - \frac{100}{173}\right) = 53 \text{ 분}$$

위와 같이 계산시 각 과부하 내량표는 아래와 같다.

<표 11> 각 부하량 내량표

부하율 (%)	과부하 시간 (분)	
	주위온도 40℃시	주위온도 25℃시
115	145	220
120	115	195
130	80	115
150	50	65
200	20	25

※ 과부하전의 평균 부하율 (70%)

○ 유입변압기

일본 전기학회 기술보고 제18호 “유입변압기 운전지침”에 따르면 다음과 같은 경우 과부하 운전을 할 수 있다고 되어 있다.

- 주위온도가 저하되었을 경우
- 온도상승 시험기록이 규정온도상승에 이르지 아니하였을 경우
- 단시간 과부하인 경우
- 부하율이 저하되었을 경우
- 냉각 방식이 바뀔 경우
- 여러가지 조건이 겹쳤을 경우

이 지침에서는 위의 여러가지 경우에 대하여 표준수명(95℃ 연속운전인 경우에 예상되는 수명)을 유지시키는 조건하에서 그 허용과부하를 다음과 같이 정하고 있다.

① 주위온도 저하인 경우 : 냉각공기의 1일 동안의 최고온도가 30℃에서 1℃ 내려갈 때마다(수냉식에서는 냉각수의 최고온도가 25℃에서 1℃ 내려갈 때마다) 변압기는 <표 12-1>의 값만큼 과부하시

<표 12-1> 주위온도저하로 인한 과부하

냉각 방식	정격출력에 대한 과부하의 비율 (%)
자냉식, 수냉식 송풍식, 송유식	08

<표 12-2> 온도상승기록으로 인한 과부하

냉각 방식	정격출력에 대한 과부하의 비율 (%)
자냉식, 수냉식 송풍식, 송유식	10

킬 수 있다(최저 0℃까지).

② 온도상승기록에 의한 과부하 : 규정된 온도상승 한도보다 시험값이 50℃ 이상 낮은 경우에는 그 차가 1℃마다 <표 12-2>의 값만큼 과부하할 수 있다.

③ 단시간의 과부하 : 24시간 이내에 발생하는 1회의 단시간 과부하에 대하여는 <표 12-3> 수치만큼 과부하로 할 수 있다.

④ 부하율 저하에 의한 과부하 : 24시간 이내의

<표 12-3> 단시간의 과부하

냉각 방식		정격출력의 배수 (%)					
		자냉식 및 수냉식			송유식 및 송풍식		
과부하전의 부하 (%)※		90	70	50	90	70	50
과부하 시간	1/2	147	150*	150*	139	145	150
	1	133	139	145	126	130	132
	2	120	125	129	116	118	121
	4	110	114	115	108	110	112

※ 단시간 과부하를 걸기 이전의 부하 크기를 표시한다. 이것은 과부하전의 2시간 평균이나 또는 24시간(과부하시간을 제외)의 평균을 구하고 이중에서 큰 쪽을 택할 것

* 최고 허용부하는 150%로 제한되어 있다.

주의 : 단시간 과부하의 %가 클 경우에는 회로전류용량에 대하여 특히 엄중한 주의를 기울려야 한다.

<표 12-4> 부하율 저하로 인한 과부하

냉각방식	정격출력에 대한 증가의 비율(%)	최고(%)*
자냉식, 수냉식	0.5	20
송풍식, 송유식	0.4	16

※ 이것은 부하율 50%에 상당하는 것으로 부하율이 50% 이하로 내려가더라도 이 이상 과부하할 수 없다.

주의 : 여기서 말하는 부하율이란 $\frac{\text{평균부하}}{\text{최고부하}} \times 100(\%)$ 이며

$\frac{\text{평균부하}}{\text{변압기용량}} \times 100(\%)$ 가 아니다.

<표 12-5> 연속과부하인 경우의 최고허용부하

냉각방식	최고허용부하(%)
자냉식, 수냉식, 송유식, 풍냉식	125
수냉식, 송유수냉식	120

시간주기가 있는 부하의 부하율이 90%보다 저하되었을 경우에 90%와의 차 1%마다 <표 12-4>의 값만큼 과부하할 수 있다. 다만, 부하곡선이 주어지고 또 4시간 이내의 단시간 과부하일 경우는 <표 12-3>을 적용한다.

⑤ 냉각방식을 바꾸었을 경우의 과부하 : 변압기의

<표 12-6> 단시간의 과부하 (1일 1회)

냉각방식	정격출력의 배수(%)						
	자 냉 식			풍 냉 식			
과부하전의 부하(%)※	90	70	50	90	70	50	
과부하 시간	1/2	140	150*	150*	128	134	138
	1	122	127	129	118	120	121
	2	114	115	116	113	113.5	113.5
	4	110	110	110	110	110	110

※ 과부하전 2시간의 평균 또는 24시간의 평균(과부하시간을 제외) 가운데 큰쪽을 취한다.

* 최고허용 과부하를 150%로 제한하였다.

구조와 종류에 따라서 다르므로 제조업체에 문의하여 결정한다.

⑥ 여러가지 조건이 중복되었을 경우의 과부하 ①, ②, ③항 또는 ①, ②, ④항이 중복되었을 경우에는 각기의 %의 합만큼 과부하로 할 수 있다. 다만, 연속과부하할 경우에는 <표 12-5>의 값 이상의 과부하할 수 없다.

3. 예방점검 착안사항

부하조건에 적합한 수변전 설비 및 배선 등은 전 기안전관리사가 설계 및 시공시 충분히 고려되어 시 설되었을 것이므로 여기서는 주로 운용 및 예방점검 관점에서 점검착안 사항을 설비분류별로 요약하여 소개하겠다.

가. 특고 인입 전선로

- 수목과 이격거리는 충분한가?
- 자가전선로에 조류 접촉에 의한 지락사고가 없도록 방호판 설치는 되어 있는가?
- 새로 이식한 수목 등이 강풍에 넘어져 전선로에 닿을 염려는 없는가?

나. 지중케이블

- 케이블 헤드의 단말 처리는 잘되어 있는가?
- 케이블 헤드의 단말 처리부분이 귀열되어 있지 않은가?
- 접속 금구류의 단자 볼트 부식은 없는가?
- 절연내력 시험은 주기적으로 실시하고 있으며 불량사항은 없는가?
- 지중선 매설지점 부근에서 굴착작업을 하고 있는 것은 없는가?

다. 특고 수전설비

- 수전설비 주위의 지반이 무너질 염려는 없는가?
- LS 및 Int SW의 개극시간은 일치되고 있는가?
- 개폐기의 접촉은 양호한가?

- 연결볼트의 부식은 없는가?
- 옥외 수전설비 근처에 차량 등 중장비에 의한 사고위험은 없는가?
- 애자 및 부싱 등의 균열은 없는가?
- COS퓨즈 연결 철선의 부식 및 연결부위는 확실한가?
- 수전설비 주위에서 공놀이 등을 하고 있지는 않은가?
- 수전실 근처에 녹음테이프 등이 흩어져 있지는 않은가?

라. 특고기기

- 변압기 및 변성기
 - 변압기 외함 상부가 침몰되어 빗물이 고일 우려가 없는가?
 - 1, 2차 접촉 불량으로 인해 과열 변색된 곳은 없는가?
 - 2차 인출 모선의 심선에 빗물이 타고 들어갈 우려가 없도록 시설되었는가?
 - 특고기기 부싱 인출부분의 Packing 등이 노후로 균열되어 있지는 않은가?
 - 절연저항이 급격히 저하하고 있는 기기는 없는가?
 - 절연유의 절연내력 및 산가 불량기기는 없는가?
 - 피뢰기의 디스크넥터가 분리되어 있지는 않은가?
- 큐비클
 - 외함 및 창문의 파손으로 우천시 빗물이 들어갈 염려는 없는가?
 - 조작배선이 난잡하여 문짝 개폐시 단락사고가 발생할 염려는 없는가?
 - 계전기 결선 및 동작상태는 양호한가?
 - 고양이, 쥐 등 동물이 침입할 우려는 없는가?

마. 저압설비

- 인입선

- 수목에 의한 지락사고 위험은 없는가?
- 인입선으로 빗물이 타고 들어와 배전반으로 침투할 우려가 없도록 시설되었는가?
- 고가차 등 중장비 운행시 걸릴 우려는 없는가?

○ 배분전반

- 용접기 등을 개폐기 등에 걸어서 사용하고 있지는 않은가?
- 개폐기 접촉부가 과열되고 있지는 않은가?
- 한전 정전시 개폐기는 개방하고 있는가?
- 개폐기 과열로 절연판의 탄화는 없는가?
- 전선용량 및 배선용량에 맞게 부하분담을 시키고 있는가?
- 배분전반 보수작업시 전원을 차단하지 않고 작업하여 공구 등으로 단락사고를 유발할 위험은 있는가?

○ 옥내배선

- 접속부위의 테이핑 처리는 견고한가?
- 전선관에 부싱은 삽입되어 있는가?
- 일반 사용자에게 의해 무단 증설되고 있지는 않은가?
- 전선 접속부위는 확실하며 과열, 변색, 귀열되고 있지 않은가?
- 불용전선이 방치되고 있지는 않은가?

○ 부하설비

- 이동용 기계기구에 사용되는 전선이 통로에 늘어져 외상을 받을 우려는 없는가?
- 간선용량의 기술적 고려없이 무단 증설하여 사용하고 있지는 않은가?
- 전열기의 히타 배선 등은 열선에 닿아 녹을 우려가 없이 시설되어 있는가?
- 콘덴서 연결 배선은 용량부족하여 과열되고 있지는 않은가?
- 개량기 외함의 유리가 파손되어 빗물이 침입할 우려는 없는가?
- 전기상식이 없는 사람이 임의로 전기시설을 개조 및 수리하지 않도록 교육하고 있는가?