

電氣의 質 향상에 대한 조사연구

1

元 峻 喜

전 한국전기연구소 서울사무소장

1. 서론

産業의 고도화와 사회기능의 발달에 따라 電氣는 高信賴度の 品質이 요청되고 있다. 電氣의 品質을 결정하는 요소는 停電, 電壓, 周波數, Flicker, 電磁波 등으로서 그동안 많은 향상을 가져왔으나 情報産業의 비약적인 발전으로 高信賴性 電力供給에 대한 사회적 요청이 더욱 높아지고 있다. 電力系統은 복잡해지고 여기에 대규모 電源設備과 負荷地域間的 遠隔化에 따른 長距離 送電系統의 증가, 용지확보난으로 인한 電力設備의 적기확충의 어려움 등이 가중되고 있다. 이에 따라 發送配電一貫體制를 기본으로 하여 良質의 電氣를 경제적으로 需用家에 공급하는 것이 중요과제로 대두되고 있다. 이러한 때에 우리나라와 外國의 電氣의 質 현황을 조사하여 그 향상대책을 연구하고 制度的 改善方案을 마련하여 電氣의 質 向上에 기여하고자 한다.

2. 電氣의 質 低下要因과 需用家에 미치는 영향

電氣의 品質을 결정하는 要素別로 그 品質低下의 發生源과 需用家에 미치는 영향에 대하여 기술하고자 한다.

가. 停電

일반적으로 停電이라고 하면 계획적인 作業停電이나 送配電사고, 受電容量부족, 誤操作 등에 의하여 2초 이상 지속되는 것을 말하며 落雷, 地絡 등에 의한 送配電系統切替時에 발생하는 0.07~2초의 순간적인 停電은 순간정전이라고 한다.

停電의 발생요인을 살펴보면 다음과 같다.

○事故停電

- 사람의 과실 및 異物접촉
- 機資材의 노후 및 열화
- 機資材의 品質 미흡
- 自然災害
- 시공 및 정비 미흡
- 기타

○作業停電

- 需要增加에 따른 신규공사
- 도로확장, 도시개발에 따른 支障電柱 移設
- 供給能力확충 및 脆弱設備보강

不時停電은 국민생활 및 생산업체에 波及影響이 지대하여 생산업체의 電氣機器의 작동중지로 鐵物工場에서는 장시간 停電時 熔解爐속 鐵物이 응고되고, 纖維工場에서는 織造中の 실이 끊어지는 등

제품생산이 중단되고 제품을 폐기하는 상황이 발생하며 또한 停電으로 인한 交通信號燈의 작동중지, 上水道공급중단 등 사회기능에 지장을 초래하게 되므로 이에 대한 개선노력은 절대적이다.

나. 電壓

우리나라의 規定電壓 維持範圍는 電燈에서 110V일 때 $110 \pm 6V$, 220V일 때 $220 \pm 13V$ 이며 動力에서 200V일 때 $200 \pm 12V$, 380V일 때 $380 \pm 38V$ 이다. 우리나라의 送配電系統은 中性點 直接接地方式을 채용하고 있어 1線地絡事故 등에 심한 전압강하가 발생한다. 특히 수용가에서 大容量 電氣機器를 사용하거나 遠距離 線路에서 수용가가 線路末端部分에 집중되었을 때는 더욱 그러하다.

電氣製品의 성능과 수명에 영향을 미치는 電壓 變動範圍를 최소화하기 위한 規定電壓의 維持는 電氣品質의 척도라고 할 수 있다.

電壓이 規定值를 유지하지 못하면 전동기 등 회전기기의 動力低下, 조명기구의 照度低下 및 壽命短縮, 화학 또는 제철생산제품의 品質不均一을 초래하며 특히 情報産業의 발전에 따른 민감한 半導體 精密機器의 性能이 저하된다.

그 예를 들어보면 다음과 같다.

○컴퓨터 등의 自動化機器

컴퓨터를 이용한 自動化機器나 FA, OA, HA 기기 및 자동금전등록기, 디지털 시계 등은 10~20% 이상의 전압변동이 3~20ms 계속되면 記憶의 消失이 일어나고 Program의 誤動作이나 受信機 등의 정지를 초래하기 쉽다.

○電磁開閉器

工場의 전동기는 대부분 전원스위치로서 電磁開閉器를 사용하고 있는데 이 電磁開閉器는 50% 정도 이상의 전압강하가 5~20ms 계속되면 開放되어 전동기가 정지되므로 생산이 중단된다.

○半導體사용 可變速 電動機

최근 半導體를 이용한 可變速制御裝置가 전동기의 可變速運轉用으로 널리 사용되고 있다. 受電側

〈표 1〉 高壓 放電燈의 特性

燈 型	燈이 꺼지지 않을 瞬間 許容 電壓降下值(%)	재점등시간(분)
수 은	15~20	3~6
메탈할라이드燈	30~40	10~15
高壓나트륨燈	15~20	1

자료: 한전 기술연구원 KRC-85S-T04

에 정전이나 심한 전압강하가 발생하면 半導體가 파괴될 수 있기 때문에 이를 방지하기 위한 방법으로 20% 이상의 전압강하가 5~30ms 계속되면 인버터制御裝置를 전동기에서 分離시키는 장치가 많다.

○TV

映像의 밝기와 消費電力은 10% 정도의 전압변동에 대하여 10~30% 정도 변화하고 映像의 크기는 電壓 10% 변화에 대하여 5% 정도 변화한다. 컬러TV의 경우 電壓 10% 정도의 변화에 대하여는 흑백TV와 비슷한 특성을 나타내지만 電壓이 더 떨어지면 色調가 나빠진다.

○高壓 放電燈

일반적인 高壓放電燈의 허용전압범위는 120/208 \pm 10%이다. 몇가지 대표적인 것을 보면 표 1과 같이 어느 이상의 전압강하가 발생하면 電源이 復歸되어도 再點燈까지는 수분~수십분을 필요로 한다.

다. 周波數

우리나라의 適正 周波數 維持範圍는 60 \pm 0.2Hz이다. 負荷의 변동에 따른 영향이 가장 현저하게 나타나는 것 중의 하나가 주파수이다. 우리나라는 비교적 단순한 電力系統의 운전으로 周波數의 유지는 수월한 편이나 生産設備의 지역적, 시간적, 편중으로 상시管理가 필요한 실정이다. 周波數의 變動要因은 발전기 불시고장으로 인한 수급불균형, 송변전계통사고, 수용가의 전기사용急增 등을 들 수 있다. 이때 60Hz를 사용하는 機器들은 당연히 周波數 변동의 영향을 받게 된다. 周波數가 急減하

는 경우 繼電器 動作으로 정전을 초래할 때도 있고 전동기의 回轉數 변동으로 纖維, 製紙製品의 品質이 저하되고, 交流 電氣機器 및 컴퓨터 應用機器의 制御시스템 性能이 저하된다.

라. Flicker 및 瞬間電壓降下

電力供給系統이 잘못 設計된 경우 電壓變動에 의한 照明燈의 깜박거림(Flicker)으로 인하여 문제가 발생하게 된다. 우리나라에서 電氣爐를 신설하거나 증설하는 수용가에 대한 Flicker 許容基準値는 표 2와 같다.

그런데 Flicker는 인간의 주관적인 認識度의 차이 때문에 어떤 사람에게는 심각하게 느껴지는 문제가 다른 사람에게는 아무렇지도 않은 일로 여겨질 수 있기 때문에 그 기준을 정하기가 쉽지 않으며, 한 예로 白熱電球에서 電壓變動에 의한 깜박거림이 심리적 부담을 주는 電壓變動率의 크기를 電壓變動周期에 대하여 나타내면 표 3과 같다.

Flicker의 發生要因을 들여보면 電氣爐 裝入材料가 熔解時에 爐電流의 급격한 변동으로 수십초에 1회씩 Flicker가 발생하며 同一工場에서 다수의 熔接機가 가동될 때 Flicker 發生頻度가 높아

〈표 2〉 우리나라의 Flicker許容基準値

구 분	허용기준치	비 고
예측계산치	2.5% 이하	최대전압강하율로 표시
실 측 치	0.45%V 이하	ΔV_{10} 으로 표시하며 1시간 평균치

자료: 영업업무처리지침, 한전, 1990.

〈표 3〉 심리적 부담을 주기 시작하는 電壓變動率의 크기

주 기	심리적 부담을 주기 시작하는 電壓變動率의 크기
1회/시간	6%
4회/시간	4.2%
1회/분	1.8%
1회/초	0.75%

자료: 경부고속전철용 전력공급의 비용절감방안 연구, 한국전기연구소, 1992.

〈표 4〉 高調波의 許容基準値

계통 항목	기중선로가 있는 變電所에서 공급받는 需用		가공선로만 있는 變電所에서 공급받는 需用	
	전압왜형률(%)	등기방해전류(A)	전압왜형률(%)	등기방해전류(A)
66kV 이하	3	-	3	-
154kV 이상	1.5	3.8	1.5	-

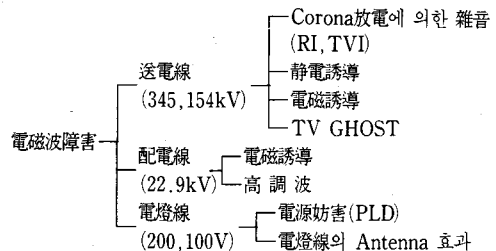
자료: 영업업무처리지침, 한전, 1990.

진다. 또한 펌프, 냉장고, 세탁기 등 小型 電動機의 始動電流에 의한 전압강하시에도 발생된다.

마. 高調波, 電磁波

電力系統에는 다양한 負荷들이 연결되어 있어서 電源에서는 순수한 正弦波를 공급한다 하더라도 負荷特性이 非線型性이면 그 부하에 흐르는 전류는 非正弦波가 된다. 이때 나타나는 高調波 전류가 전원측으로 다시 流入되어 系統의 다른 부하나 전기설비에 나쁜 영향을 주게 된다. 근래 交流電源系統에서는 半導體 電力變換裝置가 水銀整流器를 대신하여 高調波 發生源으로 등장하여 高調波 발생의 문제를 일으키고 있다. 우리나라에서는 66kV 이상 및 變電所에서 專用으로 공급되고 高調波를 발생하는 電力變換裝置(Thyristor 등에 의하여 AC를 DC로 변환하는 기기 및 위상 주파수를 변환하는 기기)를 新·增設하는 수용가의 高調波 許容基準値는 표 4와 같다.

그리고 電力供給에 따른 電磁波 障害(Electromagnetic Interference: EMI)현상을 電力系統上으로 분류하면 다음과 같다.



Corona 放電은 電位傾度가 큰 날카로운 電極에서 絶緣 파괴가 일어났을 때 발생하며 그때 발생하는 雜音은 간헐적인 Pulse 전류의 발생으로 인한 雜音과 放電에 수반되는 高調波 振動에 의한 雜音으로 구분된다.

Corona 放電은 주로 超高壓 送電線에서 일어나며 送電線路上의 많은 장소에서 초당 수만번 되풀이되어 일어나기 때문에 여기에서 발생하는 高調波 雜音으로 Corona雜音이 일어난다.

靜電誘導는 高電壓 물체가 다른 물체에 발생시키는 電氣的誘導를 의미한다. 高電壓 送電線에 의한 電界値는 교류에서 수kV/m에 이른다.

靜電誘導는 被誘導物體가 접지되어 전류가 흘러 電流値가 문제되는 경우와 被誘導物體가 絶緣되어 誘導電壓이 문제가 되는 두 가지 경우로 나눌 수 있다. 高電壓 送電線 아래 지표면 근처의 電界의 세기는 送電電壓, 送電線路의 기하학적 모양에 따라 좌우된다. 그동안 인체의 안전성 문제에 관하여 많은 연구가 있었으나 통일된 견해는 없고 국가별로 規制値를 설정하고 있다.

電磁誘導는 送配電線 주변의 通信線 誘導문제가 있는데 電力會社와 通信會社가 誘導協定에 의하여 처리하고 있다. 誘導豫測計算에서는 電力線과 通信線이 접근하고 있을 때 金屬導體의 차폐작용을 고려하는 계산이 필요하다.

電源妨害(PLD)는 電壓變動, 周波數變動, Impulse雜音, 고주파잡음, 高調波雜音 등을 들 수 있다.

電燈線의 Antenna효과를 보면 電燈線은 수평으

로 설치되어 있기 때문에 水平偏波電波에 대하여 Antenna효과를 가지고 있으며 電燈線 자신은 수평이지만 引込線은 垂直部分이 있으므로 垂直偏波에 대하여 Antenna효과를 가지고 있다.

3. 우리나라와 外國의 電氣의 質 現況

가. 電氣設備 現況

우리나라와 外國의 대표적인 電氣設備 現況은 다음과 같다.

(1) 우리나라

우리나라의 發送變配電 設備現況은 표 5~7 과 같다.

(2) 일본의 東京電力(株)('92년말 현재)

○發電設備 出力	
原子力(3개소)	12,396MW
火 力(28개소)	27,772MW
水 力(156개소)	6,736MW
合 計(187개소)	46,904MW
○送變電設備(275kV, 154kV)	
送電線路 回線延長	33,394km
" 地中化率	21.0%
變電所 數	1,340개소
變電設備 容量	203,040MVA
○配電設備(22kV, 6.6kV)	
高壓 延長	401,390km

<표 5> 우리나라의 發電設備

('92년말 현재)

區 分	原子力	火 力				水 力			合 計
		石 炭	油 類	LNG	계	一 般	揚 水	계	
發電設備 (MW)	7,616	3,700	7,756	2,550	14,006	1,498	1,000	2,498	24,120
占有率 (%)	31.6	15.3	32.2	10.6	58.1	6.2	4.1	10.3	100

※ 韓電과 他社(民間)設備의 合計임.
자료: 전기연감, 대한전기협회, 1994.

〈표 6〉 우리나라의 送變電設備
(’93년말 현재)

구 분	送電線路回線巨長 (C-km)	變電所 (個 所)	變電設備 容量 (MVA)
345kV	5,560	21	28,339
154kV	12,084	242	36,834
66kV	3,551	69	2,019
22kV	-	13	478
計	21,195	345	67,670

자료 : 한전 통계표

〈표 7〉 우리나라의 配電設備
(’93년말 현재)

구 분	線路巨長(km)			變 壓 器	
	架 空	地 中	계	대수(대)	용량(MVA)
6.6kV	4,015	440	4,455	13,822	433
22.9kV	255,654	7,410	263,064	757,588	25,056
22kV	3	349	352	-	-
계	259,672	8,199	267,871	771,410	25,489

* 線路巨長은 (特)高壓과 低壓配電線을 합한 수치임.

자료 : 한전 통계표

變壓器 臺數 1,961,234대
地中化率 6.9%

(3) 일본의 九州電力(株)(’92. 3월말 현재)

○發電設備 容量

原子力	2,898MW
火力	8,564MW
水力	2,321MW
內燃	280MW
合計	14,063MW

○送變電設備

送電線路巨長	8,037km
變電設備 容量	47,055MVA

○配電設備(22kV, 6.6kV)

配電線路巨長	114,063km
--------	-----------

(4) 美國의 Duke Power Co.

Duke Power Co.는 North Carolina주와 South Carolina주에 걸쳐 電力을 공급하고 있는

회사로서 落雷가 많고 山岳地域이 많은 지역적 특성으로 이에 따른 設備의 유지보수에 많은 投資를 하고 있다.

’92년 현재의 設備現況을 보면 다음과 같다.

○發電設備 容量 24,870MVA

原子力	54%
火力	44%
水力	2%

○配電設備(23.9kV, 12.47kV, 4.16kV)

配電線路 巨長	88.696km
---------	----------

(5) 美國의 San Diego Gas & Electric Co.

San Diego Gas & Electric Co.는 California 南部地域의 電氣, Gas供給會社로서 양호한 경영실적을 유지하고 있다.

’90년 현재의 設備現況을 보면 다음과 같다.

○發電設備 容量

原子力	20.4%
LNG	20.1%
油類	4.0%
他社	55.5%

○配電設備(12kV△, 4kV△)

線路巨長	21,438km
變壓器臺數	147,174대

나. 電氣의 質 現況

우리나라는 電力需要의 지속적인 증가로 電氣設備도 확장되었으며 수용가와 밀접한 관계가 있는 配電分野에도 量的, 質的, 增加를 계속하여 왔다. 우리나라의 연도별 공급신뢰도 추이를 살펴보면 표 8 과 같으며 ’93년 현재의 戶當 停電時間은 172분으로서 그 중에서 사고정전이 34분, 작업정전이 138분을 차지하고 있어 停電時間의 대부분이 작업정전임을 알 수 있다. 과거 11년간의 停電時間 減少率(’82/’93)은 76.5%를 나타내고 있다.

또한 우리나라의 設備別 事故頻度 추이를 살펴보면 표 9와 같다.

〈표 8〉 우리나라의 연도별 供給 信賴度 추이

연도별 구분		'82	'85	'88	'91	'92	'93
停電	事故	146	91	44	39	36	34
時間	作業	587	432	287	229	198	138
(分/戶)	계	733	523	331	268	234	172
停電	事故	3.70	2.81	1.45	1.36	0.68	1.4
回數	作業	2.41	1.75	1.16	0.93	0.71	0.56
(回/戶)	계	6.11	4.56	2.61	2.29	1.39	1.96
線路巨長(km)		137,648	168,043	205,896	243,701	255,341	267,871

자료: 전기연감, 대한전기협회, 1994.

〈표 9〉 우리나라의 設備別 事故頻度 추이

연도별 구분		'81	'83	'85	'87	'89	'91	'92
發電	건	150	131	134	93	59	72	38
送電	건	86	84	89	101	96	90	95
變電	건	70	78	64	73	62	49	62
配電	건	4,575	3,664	2,819	1,893	1,545	1,527	1,390
	건/100km	2.41	1.73	1.23	0.73	0.51	0.44	0.38

자료: 전기기사보수교육교재, 1993.

다음에 일본의 경우를 살펴보기로 한다.

일본의 '92년 3월말('91년도) 현재 供給信賴度 실적을 電力會社別로 보면 표 10 과 같으며 停電에

서 작업정전이 차지하는 비중이 대단히 적다는 것을 알 수 있다.

각 電力會社마다 계속적인 信賴度의 향상을 추진하고 있다. 그리고 일본의 전국적인 供給信賴度 실적(電源側, 高壓配電線, 低壓配電線의 공급신뢰도 합계)을 연도별로 추이하면 그림 1~4 와 같다.

上記의 일본의 全國的 供給信賴度 집계에서 東京電力(株)의 연도별 일반사고정전 실적만을 연도별로 추이하면 그림 5,6 과 같다.

또한 九州電力(株)의 연도별 정전실적을 보면 표 11,12 와 같다.

다음에는 미국의 경우를 살펴보기로 한다.

미국의 많은 電力會社들은 다음과 같이 電氣品質(信賴度) 評價項目을 제정하여 電力供給信賴度를 평가하고 있다.

○SAIDI : System Average Interruption Duration Index.

· 全 需用家를 대상으로 한 設備의 평균정전 시간

$$\cdot SAIDI = \frac{\text{수용가 정전시간 누계}}{\text{총 수용가 수}}$$

$$= \frac{\sum(\text{정전시간} \times \text{정전수용가 수})}{\text{총 수용가 수}}$$

〈표 10〉 일본의 電力會社別 供給信賴度 實績

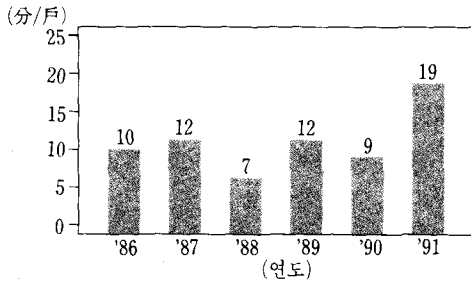
('92년 3월말 현재)

구분		전력회사	北海道	東北	東京	中部	北陸	關西	中國	四國	九州	전국
停電回數(回/戶)	事故停電	一般	9	7	12	4	18	4	10	5	117	19+α
		災害	α	154	α	α	144	9	780	35	652	138
		計	9	161	12	4	162	13	790	40	769	158
	作業停電		23	15	2	28	23	3	5	12	·	8
	合計		32	176	14	32	185	16	795	52	769	166
停電時間(分/戶)	事故停電	一般	0.20	0.16	0.29	0.13	0.52	0.07	0.21	0.13	0.48	0.23
		災害	α	0.19	α	0.01	0.34	0.04	1.36	0.14	0.68	0.20
		計	0.20	0.35	0.29	0.14	0.86	0.11	1.57	0.27	1.16	0.43
	作業停電		0.14	0.12	0.03	0.22	0.15	0.03	0.06	0.11	·	0.07
	合計		0.34	0.47	0.32	0.36	1.01	0.14	1.63	0.38	1.16	0.50

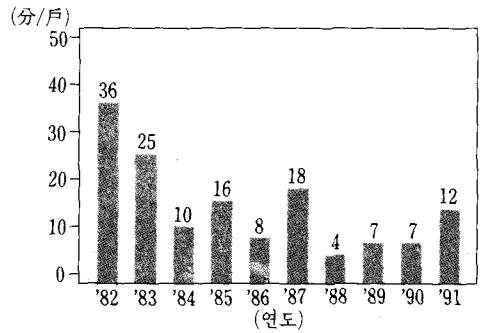
* 停電時間 α는 0.5분 미만

* 停電回數 α는 0.005회 미만

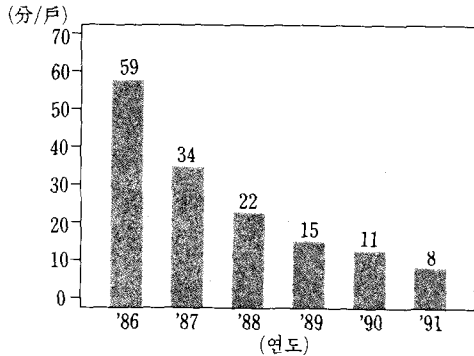
자료: 공무국의여행귀국보고서, 한전 H-I-3, 1992.



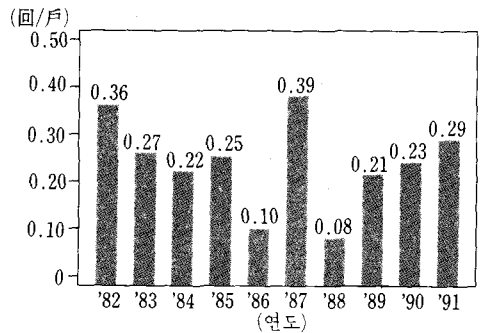
<그림 1> 一般事故停電時間의 추이



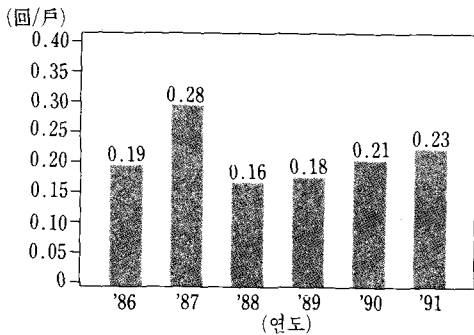
<그림 5> 東京電力의 一般事故停電時間 추이



<그림 2> 作業停電時間의 추이



<그림 6> 東京電力의 一般事故停電回數 추이



<그림 3> 一般事故停電回數의 추이

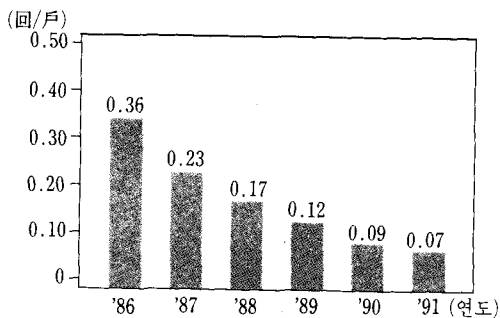
<표 11> 九州電力의 호당 停電時間 추이

구분	연도별				
	'78	'83	'88	'91	
사 고	일 반	66(59)	38(30)	13(6)	117(94)
	재 해	158(143)	9(9)	1(1)	652(586)
작 업	256(208)	210(189)	1(1)	Zero(0)	
계	480(410)	257(228)	15(8)	769(680)	

* ()는 配電分野를 별도 표시함.

* '91년도에는 태풍 19호 등 재해에 의한 停電피해가 컸음.

자료 : 공무국의여행국보고서, 한전 H-I-3, 1992.



<그림 4> 作業停電回數의 추이

<표 12> 九州電力의 호당 停電回數 추이

구분	연도별				
	'78	'83	'88	'91	
사 고	일 반	1.16(0.94)	0.61(0.46)	0.31(0.14)	0.48(0.35)
	재 해	0.28(0.22)	0.07(0.07)	0.01(0.01)	0.68(0.58)
작 업	1.33(1.13)	1.12(1.03)	0.01(0.01)	Zero(0)	
계	2.77(2.29)	1.80(1.56)	0.33(0.16)	1.16(0.93)	

* ()는 配電分野를 별도 표시함.

○CAIDI : Customer Average Interruption Duration Index.

· 停電經驗 수용가를 대상으로 한 평균정전시간

$$\cdot CAIDI = \frac{\text{수용가 정전시간 누계}}{\text{총 정전경험 수용가 수}}$$

○SAIFI : System Average Interruption Frequency Index.

· 全 需用家を 대상으로 한 設備의 평균정전 회수

$$\cdot SAIFI = \frac{\text{수용가 정전회수 누계}}{\text{총 수용가 수}} \\ = \frac{\sum(\text{정전회수} \times \text{정전수용가 수})}{\text{총 수용가 수}}$$

○CAIFI : Customer Average Interruption Frequency Index.

· 停電經驗需用家を 대상으로 한 평균정전회수

$$\cdot CAIFI = \frac{\text{수용가 정전회수 누계}}{\text{총 정전경험 수용가 수}}$$

그러면 미국의 North Carolina주와 South Carolina주에 걸쳐 電力을 공급하고 있는 Duke Power Co.의 연도별 供給信賴度 추이를 보면 표 13과 같다.

또한 California 남부지역에 電氣, Gas를 공급

<표 13> Duke Power Co.의 연도별 供給信賴度 추이

연도별 구분	'87	'88	'89	'90	'91	'92
SAIDI(分)	137.85	122.73	769.32	79.91	86.99	86.86
CAIDI(分)	118.57	100.68	472.75	85.44	89.99	89.79
SAIFI(回)	1.16	1.22	1.63	0.94	0.78	0.97

* 1989. 9월에 폭풍 발생

자료 : 공무국의여행귀국보고서. 한전 H-I-3, 1992.

<표 14> San Diego Gas & Electric Co.의 연도별 供給信賴度 추이

연도별 구분	'87	'88	'89	'90	'91	'92
SAIDI(分)	83	69	103	145	61	72
CAIDI(分)	84	75	87	109	81	78
SAIFI(回)	0.99	0.92	1.18	1.33	0.75	0.92

하는 San Diego Gas & Electric Co.의 연도별 供給信賴度 추이는 표 14와 같다.

이러한 모든 停電統計에서 본 바와 같이 우리나라는 停電時間의 신뢰도 면에서 선진국보다 크게 뒤떨어져 있다. 특히 作業停電시간이 전체정전시간의 80%를 차지하고 있는 것이 정전시간이 많은

원전건설 기술자립 역할분담 및 추진현황

(자료 : 이달의 원자력발전)

(단위 : %)

기술자립분야	역할분담	'95기술자립 목표	93년까지 실적
사업관리	한국전력공사	98	97.7
설계	플랜트종합설계	95	92.5
	원자로계통설계	95	92.2
	원전연료설계	100	93.9
	계	95	92.5
제작	원자로설비제작	87	84.7
	터빈·발전기제작	98	98.0
	계	91	88.7
원전연료제조	한국원전연료(주)	100	92.8
시공	국내시공업체	100	99.4
총합		95	93.0

(주)기술자립률 산출근거 : 사업관리 및 설계분야는 투입인력, 제작 및 시공분야는 금액을 기준으로 하되, 영광 3, 4호기 사업진척도, 기술도입실적 및 자체 기술개발 실적 등을 종합하여 산정

주원인으로 되어 있다. 일본의 경우는 作業停電 Zero化 運動을 전개하여 거의 Zero에 가까운 電力會社가 많다. 우리나라는 도로확장, 도시개발에 따른 잦은 休電作業 등이 원인으로 되어 있다. 따라서 活線作業의 확대, 無停電工法의 개발 및 적용으로 作業停電時間을 감소시켜야 할 것이다.

다음에는 停電事故를 원인별로 분석한 몇가지 대표적인 사례를 들어보기로 한다.

○우리나라의 事故統計(1992년)

일반인過失 및 異物접촉	34%
機資材의 노후 및 열화	17%
機資材의 品質미흡	16%
自然災害(뇌격, 폭우, 빙설해 등)	15%
需用家 設備事故 과급	9%
시공 및 정비미흡	4%
기 타(화재, 오동작 등)	5%
계	100%

○일본 九州電氣(株)의 事故統計(1988년)

自然現象	46.5%
他事故波及	15.7%
異物접촉	11.0%
補修불량	10.1%
過失	7.4%
原因불명	4.8%
絶緣불량	3.4%
기 타	1.1%
계	100%

○美國의 Pacific Gas & Electric Co.(California주의 전기, Gas 공급 회사)의 事故統計(1992년)

原因 불명	21.6%
設備 고장	21.6%
樹木 접촉	13.3%
鳥類 접촉	9.2%
惡天侯	5.8%
기 타	28.5%
계	100%

그러면 우리나라의 電氣品質 향상에 대한 장애

요인은 어떤 것들이 있는지 살펴보기로 한다.

첫째는 차량의 전주충돌, 공사장의 異物낙하, 공사용 차량의 線路접촉, 재해 등에 의한 線路事故 유발.

둘째는 國產機資材의 품질불량을 들 수 있는데 '92년도의 配電線路 事故 1,390건중 219건이 機資材 불량으로 인한 사고로서 16%를 점유하고 있으며 需用家設備로부터의 事故波及 118건중 약 15%가 MOF 등의 機資材 불량사고이다. 이는 국내 제조업체가 외국업체보다 역사가 짧고 제조기술에 관한 Know-How의 축적이 빈약한데 원인이 있다고 하겠다.

셋째는 전국에 산재된 수많은 電力流通設備가 자연에 노출 운전되어 風雨, 氷雪害, 염진害, 落雷 등 자연재해에 의한 線路事故유발을 들 수 있다.

넷째가 精密機器 및 ARC爐 등 高調波 發生機器의 증가

다섯째로 配電線路의 기본구조상의 문제를 들 수 있는데 우리나라는 외국과 비교하여 볼 때 표 15와 같이 配電電壓과 配電方式에 差異가 있어 일본은 전압이 낮고 非接地系統인데 우리나라와 대만, 미국 등은 中性點 直接接地方式이 대부분이고 우리나라는 22.9kV를 채택하고 있다. 또한 配電線路當 상시 供給容量이 크고 平均 線路巨長이 길다. 통상 線路의 사고발생확률과 정전시간 및 사고검출 소요시간은 線路巨長에 비례한다고 말할 수 있다. 따라서 우리나라는 외국에 비하여 廣域, 長時間停電 發生可能性이 높다고 할 수 있겠다.

<표 15> 우리나라와 외국의 配電線路 기본구조

구 분	국가별		
	우리나라 ('92)	일 본 ('87)	대 만 ('87)
電 壓(kV)	22.9	6.6	11.4
配電線路當 常時供給容量(kW)	7,000	2,000	3,500
配電線路當 平均巨長(C-km)	34	12	21
事故停電時間(分/戶/年)	36	12	25
停 電 範 圍	大	小	中
停 電 時 間	長	短	中

자료: 전기기사보수교육교재, 1993.

다음에 電壓變動에 관하여 살펴보면 각국의 電壓變動 許容基準은 다음과 같다.

○우리나라

電燈 : 110±6V, 220±13V

動力 : 220±12V, 380±38V

○일본

101±6V

202±10V

○ANSI(표 16 참조)

○기타 各國(표 17 참조)

우리나라의 연도별 規定電壓 維持率 추이를 보면 표 18 과 같다.

<표 16> ANSI의 전압변동 허용 기준

공칭 계통전압	(정 상)
480V	91.67~105%
4,160	89.9~105.05
13,800	90~105
34,500	90~105

<표 17> 미국·구라파의 전압변동 허용범위

구분 국가 및 사업자	측정 위치	電壓變動 許容範圍
미 국	Detroit 수용가	120V : 112~125V +4.2%
	New York 수용가	120V : 118~126V +5%
	Philadelphia 수용가 인입구	일몰~23시 ±5%(전압변동폭 8%) 기타 시간 ±5%(전압변동폭 10%) 전력 ±10%
구 라 파	England WHM	전등 240V ±6%
	France "	Paris 220V ±5% 전국 ±10%
	Germany 불명	도시 ±3% 촌 ±10% 기타 ±5%

자료 : 전기학회지, VOL.38 No.9. 1989.

<표 18> 우리나라의 規定電壓 維持率 추이

구분	연도						
	'83	'85	'87	'89	'91	'92	'93
유지율(%)	93.1	95.7	96.6	98.1	98.6	98.8	99.0

자료 : 전기연감, 대한전기협회, 1994.

일본의 경우는 '89년에 99.9%, 대만은 98.2%를 유지하였다.

그리고 각국의 周波數變動 許容基準은 다음과 같다.

○우리나라

60±0.2Hz

○IEC

· 엄격한 경우의 허용기준

$$F \begin{cases} +1\% \\ -2\% \end{cases} \begin{matrix} 50.5\sim 49\text{Hz} \\ 60.6\sim 58.8\text{Hz} \end{matrix}$$

· 보통의 경우 허용기준

$$F \begin{cases} +4\% \\ -6\% \end{cases} \begin{matrix} 52\sim 47\text{Hz} \\ 62.4\sim 56.4\text{Hz} \end{matrix}$$

우리나라의 연도별 周波數 維持率 추이는 표 19 와 같다.

일본은 '89년에 99.9%, 대만은 '92년에 97.96%의 周波數 維持率을 기록하였다.

上記에서 본 바와 같이 우리나라의 電壓과 周波數 維持率은 상당한 수준에 도달해 있음을 알 수 있다.

우리나라에서 電氣爐를 신설 또는 증설하는 需 用 家에 대한 電壓 Flicker 許容基準値는 豫測計算 時에는 最大電壓降下率로 표시하며 2.5% 이하로 하고 實測時는 Δ_{10} 으로 표시하며 0.45%V(1시간 평균치) 이하로 하고 있다.

豫測計算時에 電壓 Flicker의 許容基準値는 다음 공식에 의하여 산출되는 百分率로 표시한 最大 電壓 降下率로 예측한다.

$$\Delta V_{\max} = \frac{Q_{\max}}{P_s} \times 100$$

$$Q_{\max} = \frac{P_f}{X_s + X_t + X_f}$$

여기에서

<표 19> 우리나라의 周波數 維持率 推移

구분	연도					
	'87	'89	'90	'91	'92	'93
유지율(%)	94.84	97.84	97.90	98.11	98.12	98.14

자료 : 전기연감, 대한전기협회, 1994.

ΔV_{max} : 規制地點의 최대전압강하율

Q_{max} : 電氣爐의 電極이 단락되었을 때의 최대 무효전력(MVAR)

P_s : 規制地點의 전원의 단락용량(MVA)

P_f : 爐用 변압기의 정격용량(MVA)

X_s : 規制地點에서 전원측으로 본 % Impedance

X_t : 변압기의 % Impedance

X_r : 爐 회로의 % Impedance

電氣爐가 1기 이상일 때의 最大電壓 降下率은 각 基의 最大電壓 降下率의 供給의 합의 供給근으로 한다.

$$\Delta_{max} = \sqrt{\Delta v_{1max}^2 + \Delta v_{2max}^2 + \dots + \Delta v_{nmax}^2}$$

여기에서

Δ_{max} : 電氣爐가 n기일 때의 綜合 最大電壓 降下率

韓國電力公社에서 需用家에 供給할 때의 供給조건은 다음과 같다.

○電壓 Flicker 輕減對策(이하 “對策”이라 한다)이 필요한 경우: 豫測值가 2.5%를 초과할 때는 電氣爐 需用家는 供給전에 대책을 강구하여야 한다.

○對策을 고려하는 경우: 豫測值가 2.0%를 초과하고 2.5% 이하일 때는 조건부로 送電한다. 즉, 條件附 送電이란 電氣爐 需用家에게 일단 送電하고 送電後 電氣爐 가동시에 規制地點에서 電壓 Flicker를 실측하여 Flicker 輕減對策 여부를 결정하는 것으로 한다.

○對策이 不要한 경우: 豫測值가 2.0% 이하일 때는 대책은 필요없는 것으로 한다.

다음에 電壓 Flicker의 實測時를 보기로 한다.

ΔV_{10} 은 交流電壓이 100V로부터 99V까지의 사이를 1초 동안 10회(10Hz: 사람의 눈에 가장 민

<표 20> Flicker許容值(10Hz 주파수에 대해)

구분 \ 그룹	1그룹(ΔV_{10})	2그룹(ΔV_{10})
최 대 치	0.45%	0.58%

자료: 경부고속전철용 전력공급의 비용절감방안 연구. 한국전기연구소, 1992.

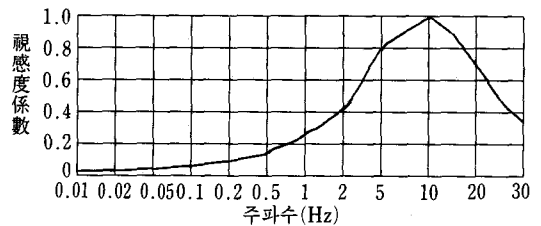
감한 주파수)正弦波 모양으로 변화하는 경우를 $\Delta V_{10}=1\%$ 로 한다.

일본의 경우 Flicker 許容值가 전기학회 기술보고 아크로 기술위원회(1978년 12월)에 의하여 제시된 바 있는데 이에 의하면 Flicker 허용치는 電力會社에 따라 1그룹과 2그룹으로 나누고 있는데 그 예를 보면 표 20과 같다.

이것을 多數人에 대한 認識率로 나타내면 1그룹은 전체의 50%가 認識하는 값이며, 2그룹은 70%가 認識하는 값이다.

10Hz 이외의 周波數 f에 대해서는 ($af \cdot \Delta V_f$)로 Flicker는 눈에 대한 感度를 정의하며 af는 다수의 사람에 대한 試驗에 의하여 얻어진 값이다. 그림 7 및 표 21은 Flicker 視感度係數를 나타낸다.

여러 周波數의 Flicker 電壓이 共存하는 경우에는 다음 공식을 이용하여 合成 Flicker電壓值를 산출하면 된다.



<그림 7> Flicker視感度係數 곡선(정형파의 전압변동)

<표 21> Flicker視感度계수표

주파수(Hz)	시감도 계수
0.01	0.026
0.05	0.055
0.1	0.075
0.5	0.169
1	0.26
3	0.563
5	0.78
10	1.0
15	0.845
20	0.655
30	0.357

〈표 22〉 Flicker 制限値의 비교표

周波數 또는 週期	미국의 規制値(%) (하한치와 상한치)	일본의 規制値(%)	
		1 그룹	2 그룹
10Hz	0.5	0.45	0.58
1Hz	1.2~2.2	1.73	2.2
0.5Hz	1.3~2.6	2.7	3.4
0.33Hz(20회/분)	1.5~3.0	3.5	4.5
0.167Hz(10회/분)	1.8~3.5	-	-
0.0167Hz(1회/분)	2.6~5.0	-	-
30회/시간	3.0~5.6	-	-
15회/시간	3.4~6.0	-	-

자료: 경부고속전철용 전력공급의 비용절감방안 연구, 한국전기연구소, 1992.

$$\Delta V_{10} = \left\{ \sum_{f=2}^{\infty} (af \cdot \Delta V_f)^2 \right\}^{\frac{1}{2}} [\%]$$

또한 외국의 Flicker 制限値를 비교하여 보면 표 22와 같다.

표 22에서 10~0.5Hz 부근의 規制値는 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 분당 20회 초과의 Flicker에 대하여 일본의 規制値는 10%를 상회하고 있어 電力系統의 電壓調整上限値를 넘으므로 의미가 없다. 이러한 차이점은 미국의 경우 電壓降下의 양상을 正弦波의이 아닌 순간적 電壓降下로 취급한 반면 일본의 경우는 電壓變動의 양상을 정현파적으로 취급하였기 때문이다.

실제로 10% 정도의 電壓變動이 1분에 걸쳐 정현파적으로 서서히 변화하는 경우 Flicker를 사람이 인지하기 곤란하다. 고속전철 부하변동에 의한 Flicker는 정현파적으로 일어나는 것이 아닌 순간적인 電壓降下로 볼 수 있으므로 분당 10회 또는 그 이하 回數의 정현파적인 電壓變動에 의한 일본의 Flicker 規制値는 의미가 없다고 할 수 있다.

1Hz 부근에서는 순간적인 電壓降下 또는 正弦波의인 電壓變動이 눈에 미치는 認識의 측면에서 큰 차이가 없으므로 그 값이 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

이상에서 기술한 바와 같이 Flicker의 周波數가 0.167Hz 이하(10회/분 이상의 횟수)에 대해서는 일본의 視感度係數는 큰 의미가 없으므로 고려대

〈표 23〉 일본 N電力會社の 高調波함유율 기준

送電系統	各次 高調波 電壓 함유율	비 고
66kV 이하	1.0%	파형왜형률: 약 2.0% 이하
154kV 이상	0.5%	파형왜형률: 약 1.0% 이하

〈표 24〉 IEC의 高調波 許容레벨

高調波 次數	高調波 電壓(%)
2	0.3
3	0.85
4	0.2
5	0.65
7	0.6
9	0.4
11	0.4
13	0.3
15	0.25

상에서 제외하여야 한다(엄격한 의미에서 正弦波의으로 변화하는 電壓變動에 의한 照明 등의 光度變化는 감박거림으로 규정될 수 없는 성질의 것이다).

다음에 우리나라와 외국의 高周波 관리基準値에 대하여 살펴보기로 한다.

우리나라의 경우는 2의 표 4와 같으며 외국의 예는 다음의 표 23, 24와 같다.

표 24는 IEC의 제77 기술위원회에서 低壓配電系統에 적용하고 있는 高調波의 許容레벨을 나타낸 것이다. 따라서 低壓配電系統에서는 高調波에 의한 波形 歪形率은 5% 이내로 抑制하여야 한다. 이러한 조건은 6.6kV 配電系統까지는 5%, 特高壓, 系統에서는 3%로 억제하는 것이 바람직한 것으로 알려지고 있다.

이상의 許容基準은 전력회사, 제조업체, 수용가 측의 사정에 따라 그 범위를 조정할 필요가 있다. 엄격한 기준은 제조업체와 수용가에 경제적 부담을 주게 되고 완화된 기준은 電氣品質의 저하를 가져오기 때문에 IEC TC77은 그때 그때 상황에 따라 새로운 기준을 작성하고 있다.

☞ 다음 호에 계속