

電力供給設備의 信賴度

기술해설

22~6~1

The Reliability of Electric Power Supply Facilities

이 봉 용*

(Bong Yong Lee)

2. 設備의 事故類型

1. 序 言

現代의 우리生活은 모든 價値生産活動을 包含하여 直接 및 間接으로 電力에 크게 依存하고 있으며, 依存의 程度는 生活水準의 向上과 함께 加速化되고 있다.

따라서 電力供給에 있어서도 量은 勿論 質의 維持確保가 필수적인 課題로서 등장하게 되었다. 電力의 質에는 “電壓”, “周波數” 및 “供給의 繼續性(無停電)”이 包含되나 供給信賴度에서 다루는 項目은 “供給의 繼續性”이 되겠으며, 電壓이나 周波數는 이미 一定한 水準에 到達하여 있어야 한다.

電力設備는 運轉中 恒常 內部 또는 外部로부터 作用을 받고 있으며, 設備自體도 經濟성이 도모되고 있기 때문에, 供給支障을 전혀 일으키지 않는, 즉 故障이 없는 完全한 設備를 期待할 수는 없다. 設備의 故障은 이런 뜻에서 不可避한 것이라고도 할 수 있다. 그러나 類繁한 設備의 故障停止도 또한 문제이며, 信賴度把握의 必要性이 台頭하게 되는 것이다.

우리네 現實은 過去 絕對供給力(量)의 確保에만 汲及하던 情性과 現在라고해서 設備擴張이 반드시 順調롭다고는 할 수 없는 形勢때문에 信賴度보다는 供給如何가 關心事일 수 밖에 없으나, 보다 밝은 未來를 指向하고 있는 現時點에서 未來를 겨냥하는 目標이 所望스러운 것이며, 信賴度는 이제부터 다루어져야 할 重要한 課題가 아닐 수 없다.

信賴度의 把握은 設備計劃의 合理化를 促進함은 물론, 電力供給에 있어 對需用家 서비스水準의 定量的 確立을 可能케 할 것이며, 總體的으로 指向해야 할 指針이 주어지게 되기 때문에 電力供給活動의 一貫性있는 推進을 可能케 할 것이다.

設備의 事故發生 狀況을 經過年數에 대해서 보면 그림 1과 같은 傾向을 가지고 있다.

運轉初期에는 一般的으로 높은 事故率을 나타내는데, 그 것은 設計 또는 製作上的 缺陷, 設置의 잘못, 또는 取扱上的 未熟등이 原因인 경우가 대부분으로서, 適切한 補修 및 改善에 의해서 이들 事故는 漸減되어 安定化된다. 모든 設備는 一定한 試運轉期間을 必要로 하

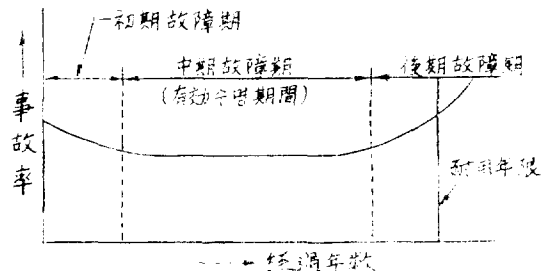


그림 1. 設備의 事故類型

는데 이 期間中에 이들 初期故障은 대부분 除去됨이 一般的이다.

初期故障期를 지나서 設備는 中期故障期로 들어서게 되는데, 이 때에는 設備의 故障이 安定化되고 故障은 전혀 偶發的으로 發生하여 指數의 法則에 잘맞는다고 한다¹⁾. 이 期間은 設備의 機能이 또한 充分히 發揮되는 期間이기 때문에 有効壽命期間이라고도 한다.

設備의 經過年數가 耐用年限 근처에 이르게되면 老朽로 인한 自然劣化에 의해서 事故率은 다시 급격히 增加하게 되는데 이 時期가 後期故障期이다.

設備의 故障은 以上과 같은 過程을 거침이 一般的인데, 初期 및 後期故障은 어느정도 豫測이 可能하며, 後期故障에 대해서는 豫防補修 및 適時的 交替로서 事故率의 減少가 期待된다.

넓은 地域에 分布되어 있는 多數의 電力供給設備에서 對象이 되는 事故는 中期故障期에 發生되는 偶發事故가 主가 된다.

* 정회원 : 한전기획관리부 계통계획과주무

3. 電力供給信賴度の表現

供給의 繼續性, 즉 停電의 程度를 表現한 것이 供給 信賴度이다. 停電이라는面을 생각할 때, 頻度, 크기 및 持續時間이 問題되며, 이 것이 信賴度の 3要素이다. 그러나 이 3要素를 一括해서 表現할 수 있는 方法은 아직 까지 發見되어있지 않으며, 現在 흔히 使用되는 表現法으로서는

- 電力不足確率,
- 電力量不足確率, 및
- 頻度—持續時間

등이 있으나, 從來 設備의 事故 또는 停電이 年間 몇件이라는 형태로 調査되어왔고, 또 이 表現이 상당히 直說的인 만큼 다음과 같은 量的 表現을 생각할 수 있다.

- 供給支障發生 頻度期待值〔件數/年〕
- 供給支障發生 電力期待值〔MW/年〕
- 供給支障發生 時間期待值〔時間/年〕

需用家에 대한 1需用家當 平均信賴度 역시 이런 方法으로도 表示할 수 있겠으나, 보다 一般的으로는 몇 %라는 表現을 더 使用하고 있는 듯하다.

4. 電力設備의 停止率

4-1. 發電設備

發電設備은 現在 水力, 火力 및 內燃力으로 區分되는데, 表 1에 1969—1971 3個年에 걸친 結果를 要約하였다.

水力은 事故率이 極히 낮아 거의 無視할 수 있는 程度이며, 內燃力인 경우 다소 높아지고 있으나 역시 낮은 水準에 머물고 있다. 그러나 火力에서는 100MW

表 1. 發電所의 停止資料

區 分	水 力	火 力		內燃力	
		100MW 까지	105~250 MW		
事故停止率[%]	0.144	3.44	6.01	1.54	
事故周期[日]	1,618.3	72.40	32.61	941.95	
事故持續期間[日]	2.33	2.49	1.96	14.55	
補修周期	7日未滿[日]	180.5	140.4	54.25	361.1
	7日以上[日]	631.7	353.2	500.33	353.6
補修期間	7日未滿[日]	1.81	2.15	2.01	2.29
	7日以上[日]	28.88	27.0	18.89	10.96
補修停止率[%]	5.58	9.18	7.48	3.73	
綜合停止率[%]	5.72	12.62	13.49	5.27	

以下가 3.4%, 그 以上에서는 6%로서대략 2배정도로 單位機가 커짐에 따라 높아지고 있다. 이렇게 火力이 他發電에 比해서 事故率이 높은 理由는 補助機器를 多數必要로 하기때문이며, 더구나 蒸汽發生裝置(Boiler)를 중심으로 하는 設備가 苛酷한 狀態에서 運轉되기 때문이다. 大單位機의 채용은 設備의 經濟性이라는 面에서 바람직한 것이기는 하나, 大容量機의 停止가 電力系統에 미치는 惡影響外에도 停止分만큼의 豫備力이 必要하게 되는 것이다.

우리나라의 大容量機 運轉實績이 現在로서는 日淺하기때문에 表-1의 資料는 아직 충분하다고 볼 수 없고, 尙 많은 實績과 經驗을 必要로한다. 더구나 嶺南地域에 偏在되어있는 Benson-Boiler 火力機의 높은 事故停止率은 간혹 系統의 安定運轉마저 威脅할 정도였던 점에 비추어 事故率의 安定化에는 아직도 더 時間을 必要로한다.

事故에 의한 停止外에 다시 補修停止도 考慮해야 하는데, 補修停止의 경우에는 一般的으로 供給에 支障을 주지 않도록 配慮되므로 信賴度評價時에 補修停止率의 考慮如否는 그 때 그 때의 狀況에 따라서 決定할 問題이다.

4-2. 送變電設備

우리나라의 現 送變電設備은 154kV와 66kV이며, 22kV非接地系도 統計上으로는 送電設備로 다루어지고 있다.

送變電設備에 있어서는 供給에 별 支障이 없는 것으로 볼 수 있는 瞬間停止와 事故持續停止, 그리고 補修를 위한 計劃停止로 區分할 수 있다. 특히 送電線등이 雷擊에 의해서 瞬間停止되는 경우는 여름에 많이 發生되나 심한 경우가 아니면 供給에 決定的인 支障을 주는 경우는 드물다고 할 수 있다. 表-2에 1970년 및 1971년의 實績을 바탕으로해서 線路別 事故類型別로 分類 回歸分析²⁾한 結果를 表示하였다.

3分程度의 停止는 모두 瞬間停止로 간주하였고 그 以上은 持續事故인 것으로 보았다.

送電線의 停止는 發電設備에는 比할 수 없을정도로 짧으나, 3時間以上에 이르고 있는 점에서 볼 때, 負荷의 重要性에 따라서는 2回線 또는 豫備回線의 構成이 甚중히 評價되어야 할 것이다. 154kV 送電線은 거의 2回線 運轉을 하고 있는데, 表 2에는 나타나 있지 않으나 2回線 同時停止의 比率은 頻度基準으로 瞬間停止인 경우에 7.9%, 同一線路에서는 53.0%, 持續停止인 경우에 11.6% 그리고 同一線路에서 38.1%였다.

결국, 同一線路에서는 全事故의 절반정도가 2回線 同時停止임을 알 수 있다.

送電線路의 事故停止 頻度와 持續時間사이에는 正規

表 2. 送電線의 停止

	頻度 [件/ 100 KM 年]	持續 時間 [Hr]	確 率	對象		資料 數
				線路 數	對象 線路 瓦長 [KM]	
순고 간정 사지	154kV	3.43	—	—	53	4,643
	66kV	4.20	—	—	60	3,832
지고 속정 사지	154kV	1.76	3.31	6.65×10.4^{-4}	60	5,208
	66kV	4.34	6.12	30.3×10.4^{-4}	60	3,832
계수 정보 지	154kV	7.20	7.38	60.6×10.4^{-4}	28	2,392
	66kV	4.77	8.59	46.8×10.4^{-4}	26	1,687
중정 합지	154kV	12.39	4.77	67.25×10.4^{-4}	—	—
	66kV	13.31	7.40	77.1×10.4^{-4}	—	—

分布가 이루어진다고 하나²⁾ 筆者의 檢討에서는 資料數의 不足때문에 結果를 立證하지 못하였다. 따라서 더 充分한 資料가 要請된다.

한편, 變電設備에 대해서도 역시 1970년 및 1971년 을 對象으로 調査檢討하였는데 結果를 表-3에 要約하였다.

表 3을 보면, 變電設備中에서도 核心設備라고 할 수 있는 變壓器의 事故停止率이 意外로 높은 느낌이 있는데, 最近의 實例는 상당히 높은 事故停止率을 豫想케 하였었다. 變壓器가 소손되어 그 交替에 상당한 時日을 必要로 하는 경우도 事故停止件數로 集計하였으며, 그地域에 供給支障이 最少限으로라도 解消되는 時點까지를 事故持續時間으로 보았다.

表 3. 變電設備의 停止

	頻度 件數/台/年	持續時間[Hr]		確 率		資 料 數		延露出時間[年]			
		사고	계획	사 고	계 획	사 고	계 획	사 고	계 획	사 고	계 획
별입기	154kV	0.41	0.821	2.76	6.13	1.3×10^{-4}	5.76×10^{-4}	35	38	85.2	46.2
	60kV	0.084	0.187	5.11	5.74	0.49×10^{-4}	1.23×10^{-4}	31	36	369.5	193.0
차단기	154kV	0.071	0.02	2.90	4.00	7.79×10^{-6}	9.24×10^{-6}	29	4	383	198
	66kV	0.037	0.017	5.13	7.30	17.7×10^{-6}	14.3×10^{-6}	26	6	697	352
단도기	154kV	0.028	0.008	3.08	4.91	9.94×10^{-6}	4.82×10^{-6}	19	3	674	350
	60kV	0.017	—	2.73	—	5.24×10^{-6}	—	29	—	1,723	—
도선	154kV	0.021	0.135	0.92	5.99	1.33×10^{-6}	92.0×10^{-6}	6	20	285	148
	66kV	0.024	0.033	2.49	5.51	6.72×10^{-6}	20.6×10^{-6}	20	14	845	429

母線은 하나의 引出回線에 대한 것으로 換算하여 생각하였으므로 引出回線이 많은 경우에는 그 數만큼 높은 값을 使用해야 할 것이다. 豫備母線 또는 切替母線도 主母線과 同等한 設備로 간주하였으며, 避雷器, 電壓變成器 등의 設備는 母線設備로 보았다.

變電設備의 경우에도 事故頻도와 持續時間사이에 正規分布가 이루어지는 모양이나 역시 結果를 立證할 수 는 없었다.

4-3. 配電設備

一般 大多數 需用家와 가장 密接한 關係에 있는 配電設備에 대해서는 現在까지 이렇다할 設備停止 資料가 整備되어 있지 않다. 配電線路에는 더구나 電壓階級이 多樣하여 100V, 200V, 3.3kV, 6.6kV, 5.7kV, 11.4kV 및 22.9kV에 이르는 各種設備에 대한 分類가 必要하다. 그리고 配電線路에서도 送電線에서와같이 瞬時事故가 상당수 있을 것으로 推測되나, 報告整理되는 資料는 持續事故분만이라는 데에도 不充分한 理由가 있다. 1972年의 總括적인 配電線路에 대한 內容을 表-4에 要約하였다.

表 4. 配電設備의 停止

	頻度[件/ 100KM]	平均供給支 障電力量 [KWH/件]	持續時間 [Hr/件]	停止確率
持續事故停止	16.91	957	3.03	5.80×10^{-3}
計劃補修停止	7.68	4,690	4.45	3.90×10^{-3}
綜合停止	24.59	2,146	3.48	9.70×10^{-3}

配電線路의 事故停止는 表 2의 66kV送電線보다 約 2배정도임을 알 수 있으며, 計劃補修까지 포함하면 대체로 같은 停止率을 가지고 있다.

配電線路에서는 設備自體의 停止도 물론 關心의 對象이되나, 需用家에 대한 平均供給信賴도가 서비스水準이라는 면에서 역시 言及되지 않을 수 없다. 미국이나 유럽地域에서는 99.98%로서 1需用家當 平均年 1.75Hr의 供給支障을 期待하고 있다. 日本이 99.89%로서 역시 높은 水準인데 우리의 實情은 어떠한가? 資料의 未備로 인하여 正確한 實態는 알 수 없으나, 어떤 支店의 1972년 11월 및 12월의 資料로부터 戶當 平均 6.7件 및 延停電時間 13.0Hr라는 推定值를 얻었다. 여

기에 다시 計劃補修停止를 包含하면 1需用家當 平均年 30時間 정도의 供給支障이 豫想되며 99.66%의 서비스水準이 維持되고 있는 것으로 보인다. 우리의 實情으로서는 信賴度에 대해서 별로 關心도 없는 상태에서 이 정도의 水準이나마 期待된다는 것은 極多幸한 일이라고 보아야 할 것이다. 그런데 歐美에서의 目標은 頻度 0.2~3回, 延停電時間 10~20分程度로서 우리와는 너무나 差가 큰 水準이다. 우리의 경우에도 99.89% 延停電時間 10時間) 정도의 水準은 所望된다고 보겠으며 이러한 目標值를 向한 노력이 경주되어야 할 것이다.

5. 供給信賴度の 水準

供給信賴도가 높을 것이 所望되기는 하나, 무조건 높다는 것이 妥當한 것은 아니다. 높은 水準의 信賴度를 維持하기 위해서는 많은 設備投資가 뒤따라야 하기 때문에 이것은 電力料金에 影響을 미치게 되고 이것은 需用家가 바라는 바라고는 볼 수 없기 때문이다.

需用家에 따라서는 더 많은 料金を 支拂하더라도 더 높은 信賴度를 願할런지도 알 수 없으며, 反對로 더 낮은 信賴度라도 料金を 낮추어 주기를 바라는 需用家도 있을런지 모른다.

이와같이 維持되어야 할 供給信賴度는 어떤 水準이 存在하는 것인 바, 理論的으로는 그림 2에서 보는 바

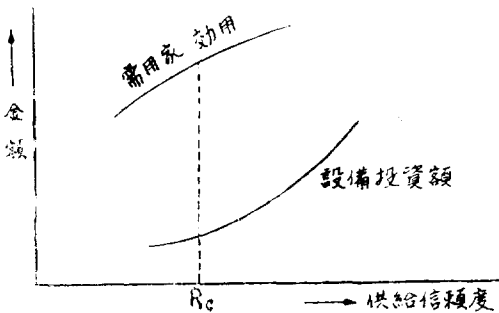


그림 2. 供給信賴度の 水準

와같이 設備投資의 増分과 需用家効用의 増분이 同等的한 점 R_c 가 維持되어야 할 信賴度の 向上限界點으로 간주된다. 이러한 생각은 供給者와 需用家를 綜合적으로 보는 견지, 즉 國家의인 次元에서 R_c 가 決定된다는 것이다. R_c 를 上廻하는 點에서는 需用家効用의 増분이 設備投資의 増분에 未達되기 때문에 綜合利益이 減少하는 반면, R_c 以下에서는 綜合적으로 아직도 利益의 여지가 남아있기 때문에 設備投資를 더 해야 할 必要가 있게 된다. 그러나 實際問題로서 需用家効用의 評價는 매우 어려운 課題로서 理論的으로는 매우 근사하나 實用化에 문제가 있다. 그래서 實際的으로는 設備의 資本

費 및 運轉費外에 供給支障費用을 合한 合計額 最少가 되는 設備가 最適하다고 볼 수 있으며 本質的으로는 需用家効用을 評價適用한 경우와 같게 된다.

供給支障費用의 評價 또한 어려운 課題이나, 프랑스의 경우 425원/kWH,³⁾ 스웨덴에서는 1時間 供給支障인 경우 280원//kW,⁴⁾라는 값이 通用되고 있다.

우리의 경우 供給信賴度를 99.66%에서 99.89%까지 0.23%의 信賴度를 改善시키기 위해서는 百萬kW負荷에 대해서 約 56億원을 投資해도 좋다는 結論이 스웨덴의 資料를 引用할때 可能해진다.

發電設備의 豫備力이 가끔 論難되는수가 있는데, 豫備力의 算定은 信賴度の 水準에 따라 決定되는 바, 供給支障費用의 評價는 適正豫備力의 決定에 크게 도움을 줄 것이며, 막연히 外國의 例만과 따라서 15%, 20% 또는 25%라고 決定하는 것은 國家의인 觀點에서 결코 바람직하다고는 할 수 없을것이다. 더구나 우리의 形便이 어렵다는 점에서 볼 때 높은 豫備力水準을 目標로 設定해야 할 것인가는 疑問이 아닐 수 없다.

이와같이 供給支障費用의 評價는 앞으로 解決해야 할 課題인 바, 이 分野에 대한 研究도 資源이 풍부한 미국에서 보다는 資源이 빈약한 유류地域에서 더 활발하다는 점에서 우리에게 시사하는바가 있다고 할 것이다.

6. 要 約

우리나라 電力供給設備의 停止率 및 信賴度水準에 대해서 考案하였으며, 다음과 같이 要約된다.

1. 아직 充分한 資料分析이 되어있지 않으며, 今後의 보다 充實한 資料整備가 期待된다.
2. 發電設備는 火力單位機當의 3~6% 事故停止率을 豫想하고 있으며, 水力의 경우에는 無視할 수 있을 정도이다.
3. 154kV 送電線에 있어서는 100km當 2件的 事故停止와 3.4件的 瞬間停止를 期待하며 事故持續時間은 約 3時間이다.
4. 154kV 變電設備에 대해서는 變壓器가 3臺에 1臺, 차단기는 14臺에 1臺, 단로기는 36臺에 1臺, 그리고 母線은 約 30回線에 1回線이 每年 事故에 의한 停止를 經驗하고 있다.
5. 配電設備는 100km에 대해서 年 17件的 事故停止와 事故持續時間 3時間이며, 需用家 平均信賴度는 大략 99.66% (30時間 供給支障)으로 推測된다.
6. 供給信賴度는 스스로 適正한 水準이 存在하는 것이며, 無條件 높은 것이 妥當한 것은 아니다.
7. 供給支障費用의 評價가 今後에 解決되어야 한다.

參 考 文 獻

1. Igor Bazovsky: "Reliability Theory and Practice" Prentice Hall-Maruzen.
2. A.D. Patton: "Determination and Analysis of Data for Reliability Studies" IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, Vol. PAS-87, pp.84~100, Jan 1968
3. 日本海外電力調査會 "米國おとび" "歐州における電力系統の廣域運營擴大に對する考え方" 海外電力調査報告 No.60
4. Report from Committee on Supply Interruption Costs in Sweden: "A Study of Costs incurred by Consumers, for Use in the Design of Electricity Generation and Transmission Systems"

公 知 事 項

1973년 7월 20일 韓國科學技術團體總會聯合會의 重化學工業關係 學會長會議에서는 新技術情報을 널리 보급하여 輸出增大에 이바지하라는 大統領 特別指示에 의하여 韓國科學技術情報센터의 月刊紙(技術情報)에 海外技術情報을 掲載키 위한 新技術情報에 대한 原稿를 重化學工業關係學會에서 作成 提供하도록 韓國科學技術情報센터와 協議된 바 있습니다. 이에 本學會 會員 여러분은 이러한 취지에 적극 호응하시어 國內外의 새로운 技術 및 重化學工業所得増大事業技術等 經濟成長을 위한 技術原稿를 作成하시어 每月 20일까지 韓國科學技術情報센터(電話 96-5051~5)로 提出하시기 바랍니다.

大 韓 電 氣 學 會 長 白

會 員 에 게 알 린

會員여러분의 健勝하심을 仰祝합니다.

今般 本學會에서는 事務를 能率的으로 進行하고자 會員카드를 作成하여 備置코저 하오니 提出하지 않으신 會員은 學會誌 22卷 3號 (1973. 5月)의 89page 및 6號(73.11月)의 90page에 있는 會員카드 用紙에 記入하시어 오는 1974年 1月末日內로 本學會에 送付해주시기 바랍니다. 會員한 사람도 누락되지 않도록 적극 協助있으시기 바랍니다.

大 韓 電 氣 學 會 長 白