

歐美諸國의 電力系統에 關하여

日本 電力中央研究所 調査團의 調査報告

1. 系統保安

1960年 頃부터 廣範圍하고 또한 長時間의 系統全停이라는 事態가 各國에서 눈에 뜨이게 發生하고 있다. 이것은 系統의 擴大와 網化가 顯著하게 進行되어 하나의 突發的인 事故가 자칫 잘못하면 連鎖的으로 系統을 不安定하게 만들어 廣域停電이 일어나기 쉽기 때문일 것이다. 昨年 11月 9~10日에 일어난 美國 東北部의 連繫系統의 廣域全停은 매우 劇的인 것이었기 때문에 이러한 事態에 如何히 對處할 것인가 하는 問題가 새삼스럽게 世界的인 問題로 登場하게 되었다.

(1) 負荷의 緊急遮斷

이 問題를 于先 系統의 運用面에서 보면 負荷의 不測의 急増 또는 系統內의 大事故 등으로 因하여 系統의 發電과 負荷와의 均衡이 깨어지는 危險段階에까지 到達한다. 即 系統周波數가 어떤 危險值까지 내려가면 不得已 負荷 一部の 緊急遮斷(emergency load shedding)을 斷行하여 系統周波數의 回復를 企圖한다. 이렇게 해도 事態가 더욱 惡化될 때에는 系統分離를 斷行한다는 것이 現下 各國에서 共通的으로 取하고 있는 對策이다.

日本에서도 數年前부터 이 方策을 取하고 있는 會社가 있으며 美國도 例外는 아니다. 西獨은 1960年에 亦是 relay關係로 西南獨의 廣域全停을 經驗한 바 있으며 DVG(Deutsche Verbundgesellschaft, Heidelberg)에서 關係 各社가 協議하여 系統周波數가 어떻게 下降하였을 때 어떻게 負荷遮斷을 行할 것인가 하는 基準을 作成하였다. 또한 비슷한 經驗을 가진 프랑스의 EDF와 英國의 CEGB도 이러한 基準을 作成하고 있다. 美國에서도 많은 電氣事業者들이 現在 이러한 基準을 作成하기 爲한 協議와 檢討에 參加하고 있으며 이미 明確한 基準을 가지고 있는 事業者들도 있다. 그 中에는 緊急時에 各

家庭의 溫水負荷 등을 radio control로 一齊히 遮斷하는 것을 計劃하고 있는 事業者도 있다.

(2) 連繫分離

負荷의 緊急遮斷을 斷行하여도 事態가 더욱 惡化하여 어떤 段階까지 到達하게 되면 다른 系統과의 連繫를 切斷한다는가 自己系統도 適當한 點에서 分割하여 救濟가 可能한 地域은 이를 救濟하는 것이 最後的인 手段이다.

美國이나 西獨과 같이 電氣事業이 많은 會社에 依하여 經營되고 또한 이들 系統이 常時 密接하게 連繫되어 있는 나라에서는 이 緊急連繫分離計劃에는 事前에 關係會社間의 協議가 必要한 것은 말할 必要도 없다. 現在 美國에서는 이 協議를 推進하고 있는 會社가 적지 않으며 日本에서도 이것을 하고 있다.

다만 이러한 連繫分離計劃을 100% 合理的으로 實行하려면 相互 連繫되어 있는 各 系統의 發電力의 緊急增加能力, 特히 그 增加의 time response의 構成과 其他 所謂 系統의 緊急特性의 格差를 如何히 協議에서 다룰 것이냐 하는 問題에 直面한다. 이 問題가 基本的으로는 이러한 協議의 基礎가 될 것이라는 點에 있어서는 美國의 某 有力會社도 筆者와 같은 意見を 가지고 있었다.

美國 東北部의 系統 不安定化에 있어서는 뉴욕市에 電力을 供給하고 있는 Consolidated Edison Co.가 東北部의 CANUSE系統과의 連繫分離의 機會를 놓치고 만 것이 뉴욕市를 長時間에 걸쳐 所謂 blackout에 陷入시킨 最惡事態를 招來한 原因이었다는 것이 一般의 見解이며 이것이 緊急時의 連繫分離計劃 其他에 對하여 美國의 關心을 大端히 높이고 있는 것이다.

元來 美國에서는 自己系統과 連繫되어 있는 系統이 不利한 狀態에 直面하였을 때에는 이것을 默過할 수 없다, 期必코 이것을 救濟하여야 한다, 이것

이 또한全體를 救濟하는 所以이기도 하다는 생각을 가지고 있다. 그러나 昨年の 쓰라린 經驗에서 어떤 危險段階에 到達하면 連繫分離도 不得已하고 또한 事전에 이것을 協議하여 들 必要가 있다는 것이 明白한 움직임으로서 나타나고 있다.

上述한 東北部系統의 全停事故의 直後에는 一時 系統의 相互連繫가 너무 過度하지 않았던가 하는 反省이 美國內에서도 일어났으나, 時日이 經過됨에 따라 亦是 相互連繫는 促進시켜야만 되며 다만 留意할 것은 事故의 連鎖波及를 防止하고 全系統의 全滅을 避할 수 있는 充分한 豫防措置의 講究가 必要하다는 當然한 事實에 美國 一般人의 생각이 歸結되고 있다.

實際로 美國에서는 北部部系統事故 直後인 12月 2日에 El Paso系, 12月 6日에 Gulf States Utilities Co. 系에서 比較的 長時間의 全停事故가 發生되었지만 이에 關한 美國聯邦動力委員會 (FPC)의 報告書를 仔細하게 檢討하여 보면 緊急時에도 連繫가 支障없이 機能을 發揮하도록 하려면 事전에 그만큼 充分한 考慮를 하여야만 된다는 것을 痛感하게 된다.

簡單히 말하자면 連繫技術이 平常時의 融通面 뿐만 아니라 緊急時의 融通面에서도 다시 檢討하여야 할 時期에 各國이 處하고 있다고 하겠다.

(3) 事故에 關한 情報

美國東北部의 系統事故時에도 例컨대 뉴욕의 Consolidated Edison Co.는 都大體 무엇이 어디서 일어나고 있는가를 把握하는데 相當한 時間을 消費하였다. 겨우 事故內容을 알았을 때에는 벌써 때가 늦은 感이 있었다. 非單 이 事故에 있어서 뿐만 아니라 다른 여러 나라에서도 이와 비슷한 經驗을 하고 있다. 計算機도 發展하여 高速化하고 있기 때문에 이러한 非常時에 數個 地點으로부터의 여러가지 情報에 依하여 瞬間적으로 무엇이 일어났으며 또한 일어나고 있는가를 中央統制室에서 把握한다는 것은 決코 不可能한 일이 아니라고 생각되며 이것은 하나의 國際協力の 問題라고도 생각하는 바이다.

(4) Security Criterion

다음에 系統保安問題를 系統의 計劃面에서 檢討하여 보자. 于先 系統의 security criterion 問題가 最近에 새삼스러이 各國의 關心을 모으고 있다. 이 security criterion은 換言하면 系統의 保安計劃에 設定되어야 할 原子力의 用語로 表現하면 最大想定事故(maximum credible accident-MCA)이다.

이것은 系統의 構成이나 特性에도 左右되기 때문에 各國의 系統에 對하여 共通의 同等한 것을 생각한다는 것은 無理이지만 英國, 프랑스 또는 美國을 보면 MCA로서 基本面에서는 二重偶發(double contingency)의 事故까지를 包含시킨다는 趨勢를 보이고 있다. 그리고 이 MCA에 對하여 系統保安이 確保되는가의 考察에는 事故의 連鎖波及(cascading)을 重要視하고 있다.

(5) 母線保護

現在의 系統構成에서는 系統의 「배꼽」이라고 할 수 있는 一次變電所의 母線保護問題가 系統保安上의 焦點이 된다는 것이 各國 共通의 생각이다. 여기에서 重要한 것은 一次變電所의 tie 遮斷器의 正動作과 그것을 指令하는 relay 系統의 信賴性이 于先 第一이다. 그래서 이 遮斷器 또는 relay裝置의 二重設備까지도 考慮하는가에 對하여 各國의 關係者에게 問議하여 보았으나 明確한 答辯을 얻을 수 없었다. 信賴성과 經濟性과의 相克問題가 되기 때문에 簡單히 答辯할 수 없는 것도 無理가 아닐 것이다.

美國의 어떤 會社에서는 tie 遮斷器를 普通과 같이 1臺만 設置한 發電所도 있고 2臺를 直列로 設置한 發電所도 있다는 答이었다. relay裝置에 對하여서도 같다. 最近에는 美國에서도 多柱形의 空氣遮斷器 또는 SF₆ 遮斷器가 使用되고 그 變流器도 別途로 設置하는 경우가 많으므로 遮斷器의 兩側에 變流器를 設置하는 方式도 경우에 따라 考慮되고 있다.

(6) 系統解析

上述한 美國 東北部系統의 全停事故 以後에 美國에서는 그 系統內의 14件的 假想 事故發生에 對하여 果然 系統이 安全을 維持할 수 있는가에 對한 廣汎한 解析을 電子計算機로 進行하고 있다. 同 解析은 4~5秒間에 對하여 行하여 지고 있다. 今年末頃に 그 結果가 綜合될 것 같은데 現在로서는 그 中에서 7件은 blackout가 된다는 結果가 나타난다고 한다. 이번에 blackout를 當한 各 會社에서는 現在 relay變更 또는 連繫線增強 等に 依하여 이것을 防備할 수 있는가를 研究하고 있다.

이러한 大系統의 廣域安全性에 對한 解析은 從來의 單一 送電系統의 경우에는 充分하였지만 0~2秒라는 短時間의 動搖解析으로써는 不充分하다. 적어도 0~10秒 程度의 時間에 걸친 解析이 必要하게 된다. 그렇게 되면 解析에 考慮할 factor도 훨씬 많

아지고 現象의 推移도 單枝的이 아니라 多枝的으로 考慮하여야 하기 때문에 解析도 大端히 複雜해지므로 計算機의 soft ware도 여기에 알맞는 것을 準備하여야 된다. 特히 double contingency를 考慮한다면 더욱 그렇게 된다. 바로 여기에 將次의 系統解析이 cover하여야 할 面이 나타나고 있는 것이다.

(7) EEI의 見解

美國 東北部系統의 全停事故 以後 今年 3월에 美國의 電氣協會(EEI)는 Report on Coordination of Electric Power Supply 라는 報告書를 發表하였다. 이 報告書에 依하면 이러한 廣域全停事故에 對하여 今後에 取할 措置로서는 이미 從來부터 實行하여오던 方案을 今後에도 더욱 徹底하게 實行한다는 것이 되겠으며 이것을 重點的으로 要約하면 아래와 같다고 말하고 있다.

- ① 關係 各 會社間의 協力과 連絡의 必要性 및 全系統의 信賴性確保의 研究를 爲한 實施組織의 確立 및 相互責任의 認識.
- ② 特히 大都市地域에 對한 높은 信賴性 確保의 優先.
- ③ 系統의 變遷에 對한 不斷한 留意와 그 保安의 criteria 및 practice에 對한 留意.
- ④ 發電力의 局處集中에의 留意.
- ⑤ 送電施設의 非常時에 對備한 充分한 margin의 必要性.
- ⑥ 保護施設方式의 不斷한 調査.
- ⑦ 特히 非常事態에 對備한 通信의 確保.
- ⑧ time response를 充分히 考慮한 運轉豫備力과 그 適切한 分布.
- ⑨ 非常電源의 設備.
- ⑩ 事故의 廣域波及防止를 爲하여 可能한 때에 負荷制限과 電源制限方策 樹立.
- ⑪ 特히 非常事態에 對備하는 operator의 訓練.

2. 系統電壓

系統의 電壓段階를 어떻게 하여서라도 整理하여야겠는데 實際로는 뜻대로 되지 않는다는 것이 各國 關係者들의 心情이다. 이것은 그럴 수 밖에 없는 일인 것이다. 그러나 固定資本率 95%에 가까운 極端的인 設備産業인 電氣事業으로서의 그 系統設備의 不斷한 合理化는 不可缺한 要件인 것이며 이 問題를 困難하다고 放置할 수는 없다는 것이 또한 關係者들의 心情일 것이다.

프랑스의 例를 들면 EDF에서는 現在의 電壓은 380V—20, 30Kv—45, 60, 90Kv—150, 230Kv—380Kv 이지만 이것을 380V—20Kv—60Kv—230Kv—735Kv 로 整理하려고 하고 있다. 現在 使用되고 있는 最高인 380Kv를 없앤다는 點에 興味가 끌리지만 이 整理目標을 보면 電壓段階는 3.0乃至 3.5倍씩 뛰고 있다. 從前에는 이 階段은 理論的인 根據는 없을망정 $\sqrt{2}$ 배나 $\sqrt{3}$ 倍 程度의 飛躍이 좋은 것으로 생각되었으나 最近에는 이것이 3.0倍 또는 그 以上이 되어가고 있는 것이다. 이것도 技術의 進歩와 이에 隨伴한 經濟의 變化에 緣由하는 것이라 하겠다.

瑞典의 SPB 關係者들은 現用 220/380V—11, 22, 33Kv—45, 77Kv—45Kv—132, 150Kv—220Kv—400Kv 를 220/380V—11Kv—45Kv—132/150Kv—400Kv 로 整理할 意向을 表示하고 있다. 이렇게 되면 220Kv 가 없어지지만 大體로 3.0배의 飛躍이 된다.

3. 500~750Kv送電

(1) 美國의 500Kv 送電

昨年부터 VEPCO 및 TVA의 500Kv送電이 開始되었다. 筆者들이 VEPCO를 訪問하였을 때는 그 全體 loop의 運轉開始後 2日 밖에 되지 않아서 500Kv 送電의 實經驗을 論하기에는 時期尙早의 感이 있었으나 現在까지의 結果는 成功的이라고 할 수 있을 것 같다. 耐雷成績도 良好하고 機器도 設計대로 움직이고 있다. 線路의 支持物과 spacer 등에 1, 2件의 故障를 經驗하였으나 그 原因은 工法에 있는 것이었고 本質的인 것은 아니었다. 特定地區에서 interference問題가 있었지만 解決되었다. 活線作業도 可能하다는 展望이 서고 있다. 大體로 以上이 FPC 其他에서 이야기하는 처음 經驗의 評價이다.

活線作業의 可能性問題는 系統의 信賴性에도 關係되는 것이지만 電力會社와 大學 등에서 研究한 結果로는 이것이 可能하다는 展望이 서고 있다. 現在로서는 活線作業可能을 前提로 計劃을 進行하고 있는 會社도 있고 活線作業을 考慮하지 않고 計劃을 세우고 있는 會社도 있다.

(2) 線路絶緣

500Kv 以上의 送電에서는 氣中絶緣間隔의 主對象이 開閉surge로 移行한다는 것은 새삼스럽게 記述할 必要가 없다. 그러나 近來 數年間 美國 뿐만 아니라 蘇聯, 日本 其他國의 實物大 規模의 試驗研究에 依하여 이러한 種類의 絶緣設計의 基礎는 이미

確立되었다고 하겠다. 最後에 解決된 問題는 高標高地點의 開閉surge 閃絡值 따라서 耐壓值의 標高補正係數의 問題였지만 Public Service Co. of Colorado, Arizona Public Service Co. 및 GE의 標高 約 1萬呎地點에서의 協同研究에 依하여 그 補正係數도 거의 明確해졌다. impulse에 對하여는 閃絡值는 大氣相對密度 即 RAD의 1乘에 比例하여 下降한다고 보면 되나 開閉 surge에 對하여서는 (RAD) α 에 比例하여 下降한다고 볼 때의 値는 10連(5ft)까지는 1.0이지만 500Kv 送電級の 25連(12.5ft)에서는 0.6으로 되어 있다. 日本에서도 늦게나마 最近 電力中央研究所와 中部電力會社와의 協同研究의 結果가 나온 바 있는데 여기서도 α 値는 위의 値와 近似하게 나타나고 있다.

(3) 變壓器의 絶緣水準

機器BIL의 代表者格인 主變壓器의 內部 BIL을 500Kv 系統用으로는 如何히 適用케 하는가 하는 問題는 美國에서도 아직 研究가 進行中에 있다. 그러나 美國 製作會社側은 1,675, 1,550Kv는 너무 保守的이라는 意見이고 GE會社에서는 1,425Kv를 勸奨하고 있으며 WH會社에서도 1,300Kv 程度로도 足하다는 意見을 가지고 있는 모양이다. 現在 建設中 또는 計劃中인 各社의 系統에는 1,425Kv가 가장 많다.

VEPCO의 系統이 運轉開始되자 그 主變壓器 中에서 3臺가 絶緣破壞되었다. 이 變壓器의 BIL은 1,300Kv로 되어 있었기 때문에 BIL 低減의 程度가 지나쳐서 發生한 事故가 아닌가 하는 疑問을 가졌으나 이번엔 그 製作者와 VEPCO에서 聽取한 바에 依하면 遮蔽板의 導電塗料의 龜裂에서 發生한 事故인 것 같고 BIL 1,300Kv에는 直接的 關係는 없다. 그리고 500Kv級の 變壓器에 對하여서까지는 impulse耐壓標準値와 交流耐壓標準値를 1對 1로 連結하는데 對하여 美國에서도 疑問을 가지고 있다. 이것은 變壓器의 絶緣設計方式에도 影響을 받는 問題이겠지만 이機會에 再檢討하여야 될 것으로 생각된다.

變壓器의 試驗에 있어서는 內部 corona試驗과 開閉surge 耐壓試驗이 重要視되고 있다.

(4) 750Kv級 送電

750Kv—1,000Kv 送電은 現 400—500Kv 送電의 다음 段階의 送電으로서 이미 主要國에서는 研究를 進行하고 있다. 이 段階의 送電에 이르면 果然 이제까지와 같이 交流로서 足한 것인가? 直流로 轉換

하여야 될 것인가?에 對한 論議도 始作되고 있다. 現在로서는 特別한 경우를 除外하고는 적어도 一般送電에 있어서는 直流로 轉換하여야 된다는 結論은 나오고 있지 않은 것 같다.

最近의 캐나다의 735Kv 送電의 營業開始는 論外로 하더라도 美國 AEP社가 在來의 345Kv에 接쳐서 765Kv의 grid를 만들 것을 決定하고 來年부터 着手하여 앞으로 5個年間に 約 1,700Km의 線路를 建設할 計劃으로 있고 프랑스의 EDF는 超長期計劃으로서 全國의 總需用이 120,000Mw로 되는 時點에는 730Kv線群을 系統의 基幹으로 하고 現 380Kv線은 廢止해 버리는 計劃을 내세우고 있다. 發電 unit 또는 1個 發電所의 容量이 300—500萬Kw 또는 그 以上의 水準에 到達하면 系統의 設備合理化나 運用合理化의 觀點에서 보더라도 750—1,000Kv線을 系統의 根幹으로 하지 않을 수 없을 것이다. 따라서 이 次段電壓의 送電問題는 日本으로부터도 研究對象으로서 本格的으로 다루어야 될 것으로 생각하는 바이다.

4. 直流送電

海底送電이나 周波數變換의 利用에서 一步 進展하여 普通의 陸上送電에의 利用에 關한 交流와 直流의 技術的 및 經濟的인 比較는 아직 進行中인 問題이다. 이 問題에 關하여 現在 注目할만한 두가지 事例가 있다.

첫째는 美國의 California Tie로서 5,000Kv 交流 1回線 2 route 外에 各各 線間 800Kv, 1,440Mw, 130~140Km의 直流 1回線 2 route의 建設이 決定되어 이미 그 發注가 行해지고 있다. 이를 契機로 美國에서도 直流送電에 對한 關心이 急激히 높아지고 있으며 現地인 California나 Oregon은 勿論이러니와 EEI까지도 交直並列運轉技術의 開發을 于先 第1目標로 하는 研究所를 開設하고 있는 狀態이다.

다음에는 일찍이 關係者들 間의 話題로 되어 있던 것이지만 英國 Thames 江口の Kingsnorth 火力發電所에서 London市中の Beddington 變電所까지 線間 532Kv, 640Mw, 約 60Km와 거기서부터 다음 Willesden 變電所까지 對地 266Kv, 320Mw, 20Km를 全地中cable의 直流送電을 할 것이 正式으로 決定되었다. 이것은 모두 今後의 直流方式의 活用을 爲한 試金石이 되는 것으로서 그 實蹟이 期待된다. London으로의 送電은 交流에 比해서 直流가 經費

面에서 10—20% 비싸지만 將來에 對備해서 直流을 採擇한 것 같다.

直流方式의 活用に 있어 經濟面에서 如前히 커다란 brake가 되고 있는 것은 交直變換設備의 코스트問題이다. 이번에 細密하게 調查한 바에 依하면 尙어도 1970年—California Tie 第2號 運轉開始年—까지는 이 變換設備의 코스트는 25% 또는 그 이상이 싸질 것으로 推測된다. 따라서 直流送電의 經濟

性的 計算은 이 點에서 再檢討할 必要가 있다.

技術問題中 系統問題로서는 變換裝置에서 그 交流側으로 流出하는 高調波의 算定과 그 影響 또는 抑制의 問題가 있다. 이것에 關하여는 于先 現在의 交流電系統의 高調波特性을 實數的으로 明確하게 할 必要가 있다. 이미 各國에서 2, 3 行해지고 있기는 하나 아직도 前途遠遠한 狀態이다.

(電氣協會雜誌·1966年 10月號)

紹介

歐美諸國의 電力販賣政策에 關하여

日本 四國電力株式會社 營業部員의 視察報告

1. 美 國

歐美의 여러 나라를 比較할 때 販賣活動이 가장 活潑한 나라는 美國과 英國이다.

美國은 自由主義의 思想이 가장 強한 나라인만큼 公益事業인 電力會社에서도 매우 積極的인 態度로 臨하고 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 美國의 電力會社의 大多數가 民有民營의 株式會社로서 創業되고 數十年의 傳統에 培養되어 私企業精神이 充滿해 있다는 事實에 큰 原因이 있는 것으로 생각된다. 그리고 電氣가 일찍부터 熱利用의 分野에서 瓦斯나 石油 등 다른 燃料과 激烈한 競争을 展開하고 있는 事實도 販賣活動에 非常한 努力이 加해지는 一因이라고 하겠다.

美國의 電力會社는 大體로 販賣의 增加야말로 바로 會社의 發展에 直結된다는 強力한 信念을 가지고 販賣에 臨하고 있다. 會社의 經營을 맡고 있는 最高責任者는 恒常 全從業員에 對하여 이 信念을 提唱하고 販賣意識의 昂揚에 努力하고 있다. 한편 販賣擔當者는 세일즈맨쉽에 透澈하고 販賣에 對한 意慾이 매우 旺盛하다. 따라서 社內에 있어서도 店所間에서 販賣競争心을 喚起시킬만한 行事를 한다든가 뉴우스를 公知시키는 會社도 있고 販賣員 以外의 從業員도 販賣活動에 支援을 보낼 것을 期待하고 있는 會社도 있다.

美國에서는 一般的으로 電力會社는 電氣器具의 販

賣는 하고 있지 않으므로 販賣活動의 方法은 住宅用 需用家에 對하여서는 宣傳廣告活動과 販賣業者, 建築業者 등 關係業者에 對한 作用이 主體이고 商業用, 工業用 需用家 등 比較의 少數의 需用層에 對하여서는 販賣員의 需用家에 對한 直接의 作用이 主體가 되어 있다.

1. 家庭電化對策

美國의 家庭電化의 水準은 매우 높다. 1世帶當 平均 年間 電力消費量은 1964년에 4,701Kwh로서 各國과 比較하여 顯著하게 높다. (第1表 參照)

家庭에서는 여러가지 用途로 電氣가 使用되고 있는데 電力會社가 販賣重點項目으로 팔고 있는 것은 溫水器, 調理器, 暖房 등 熱利用의 電氣器具이다. 이들 電氣器具는 電氣容量이 크므로 單相3線式 200V 專用回路로 使用되고 있다. 또한 屋內配線은 100A 以上の 引入容量을 가질 것을 電力會社가 勸奨하고 있다. 에어·콘디셔너는 最近의 人氣機種인데 이것은 오히려 自然的인 趨勢로 增加一路에 있으며 다른 에너지와의 競争이 없기 때문에 熱器具와 比較하면 注力の 度가 얇은 것 같다.

熱器具 中에서도 最近에 特히 注力の 對象이 되고 있는 것은 暖房이다. 그 理由로는 家庭의 電化가 相當히 高水準에 達하고 있는 關係로 每年의 需要增加率이 減少하는 傾向에 있는데 이것을 大幅으로 引上시킬 救世主로서 아직 未開拓인 暖房分野가 注目되기 始作하였다는 點과 에어·콘디셔너의 人