報 告
15—5—1

# 第二次 電源開發 五個年計劃에 따른 電力系統 問題

## Ⅱ. 電力潮流問題에 關한 檢討

韓國電力株式會社 技術部
早稻田大學 大學院 電力工學研究室

### 1. 緒 言

1966年 12月 現在 韓國電力系統은 第1次電源開發 5個年計劃으로 38萬3千$KW$의 새로운 發電所를 建設하여 總施設容量 79萬9千$KW$를 確保 함으로써 國家産業發展에 굳건한 뒷받침을 이룩하고 있다.

激增하는 電力需要增大에 對備하여 1967年을 始初年度로써 始作되는 第2次電源開發 5個年計劃에서는 水力 407$MW$, 火力 1,662$MW$ 計 2,069$MW$의 施設容量確保를 目標로 하고 있다. 이와같은 施設容量의 增大와 더부러 1,490$CKT$-$km$의 送電線, 1,110$MVA$의 變電所, 2,940 $km$의 配電線을 建設함으로써 지금까지 不振했던 送, 變, 配電系統의 整備擴充을 計劃하고 있다.

韓國電力技術部에서는 이와같은 膨大한 電源開發에 따른 電力系統諸問題를 가까운 將來 具體的으로 檢討할 計劃을 가지고 있으나, 이에 앞서 日本 早稻田大學電力工學研究室의 協力을 얻어 第2次 5個年 計劃期間中인 1969年度 및 그 最終年度인 1971年度에 있어서의 需給計劃에 따른 基本潮流問題 및 系統增强問題의 基礎的인 檢討를 *Digital* 計算機를 利用하여 實施하였기에 그 內容의 一部를 여기에 報告하는 바이다.

### 2. 系統構成 및 運轉條件

그림 1은 1971年 12月까지에 이루워질 韓國電力系

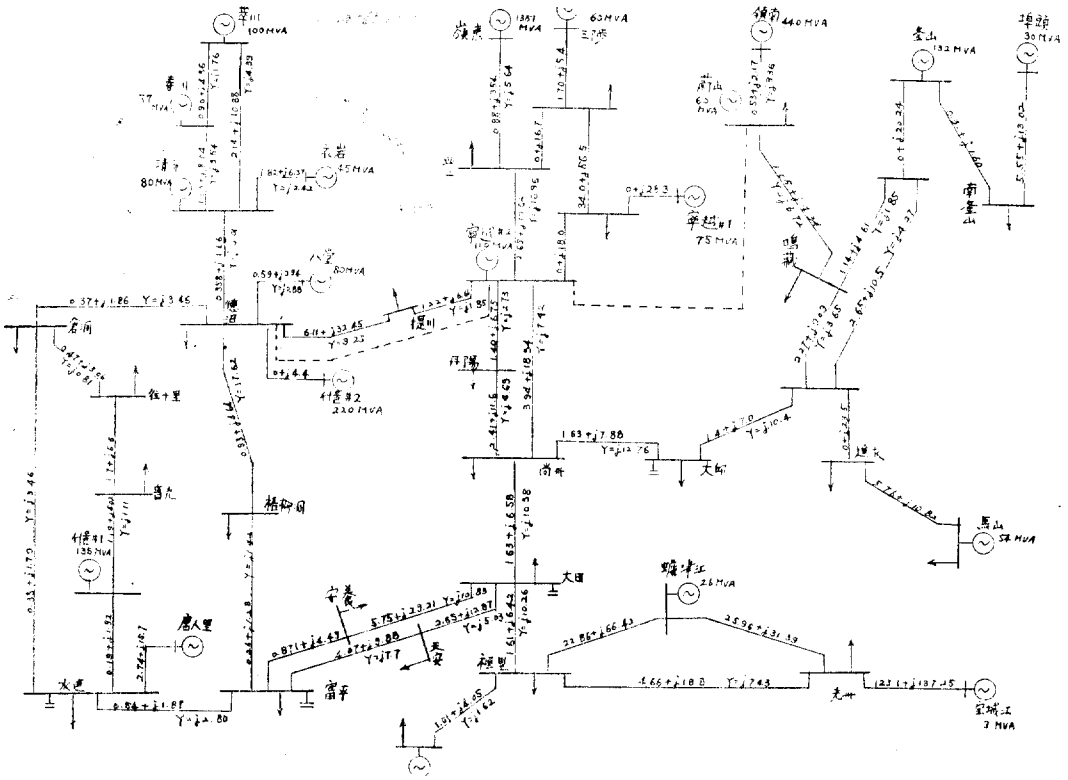

그림 1. 韓國電力系統圖(Impedance(%)値 100MVA, 154 KV Base)

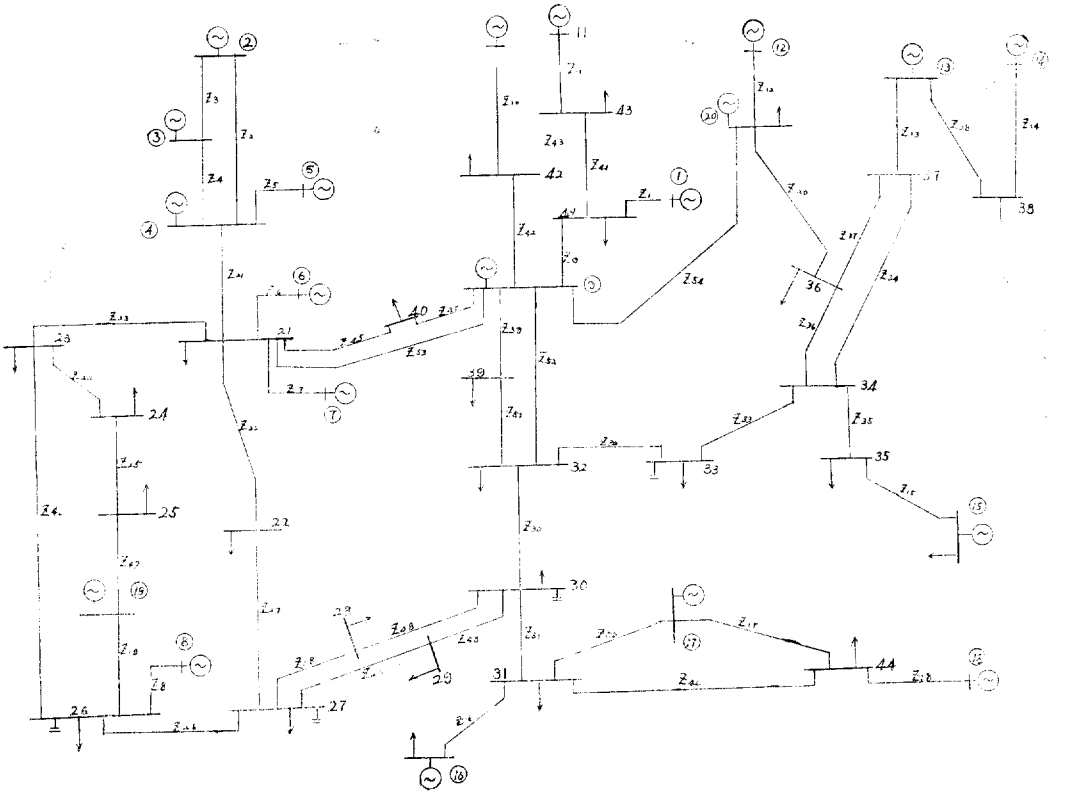

그림 2 系統接續圖(1971年度 44 Nodes, Branches)

統構成을 보인 것이다.(그림中의 數値는 各線路의 *Impedance* 値(%値 100 *MVA*, 154 *KV*이다.)

이 그림으로부터 알 수 있는바와 같이 將來의 韓國電力系統은 서울地區의 系統增强 및 嶺越德沼間의 送電線建設等으로 Loop系統이 될 것이다. 現在의 系統이 比較的 簡單한 放射狀系統 임에 比較하여 이와같은 Loop 系統으로 整備 增强됨으로써 將來의 系統構成은 한층 더 系統運營用의 安全性 向上에 貢獻하게 될것이 期待되고 있다.

同時에 이와같은 Loop系統構成과 新規 發電所 建設에 따른 系統規模의 增大에 의하여 系統解析問題內容도 한층 더 複雜하게 되고 있다.

**그림 2**는 이번에 潮流計算等으로 計算機에 싣기 爲하여 整理한 系統接續圖이다.

여기에서 보는바와 같이 整理된 系統規模는 最大 20機, 44 Node, 54 Branch에 達하고 있다.

**表 1** 및 **表2**는 各年度別 發電所의 可能出力 및 負荷想定値를 보인 것이다. 同表에 依하면 1969年度 및 71年度에 想定되는 最大負荷는 各各 1,145 *MW* 및 1,560 *MW*이며, 이에對한 發電可能出力은 各各 1,575 *MW*, 2,095 *MW*로서 相當量의 豫備力을 가지게 될것이 豫想되고 있기 때문에 앞으로 計劃期間中에서는 經濟負荷配分(*ELD*) 問題를 爲始한 系統運用의 合理化가 큰 課題가 될 것이다,

**表 1 發電所別 年度別 可能出力**

| | 1966 | 1967 | 1969 | 1971 |
|---|---|---|---|---|
| 漢江水力 | 174 | 284 | 284 | 364 |
| 華川 | 75 | 100 | 100 | 100 |
| 春川 | 57 | 57 | 57 | 57 |
| 衣岩 | — | 45 | 45 | 45 |
| 淸平 | 40 | 80 | 80 | 80 |
| 八堂 | — | — | — | 80 |
| 槐山 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 臨津江水力 | 20 | 29 | 29 | 29 |
| 七寶 | 24 | 24 | 24 | 24 |
| 雲岩 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| 寶城江 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 京仁火力 | 61 | 61 | 196 | 416 |
| 서울火力 #1 | — | — | 135 | 135 |
| 〃 #2 | — | — | — | 220 |
| 唐人里 #1 | 19 | 19 | 19 | 19 |
| 〃 #2 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 往十里 | 15 | 15 | 15 | 15 |
| 嶺東火力 | 245 | 245 | 380 | 380 |
| 嶺越 #1 | 75 | 75 | 75 | 75 |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| 寧越 #2 | 110 | 110 | 110 | 110 |
| 三陟 #1 | 27 | 27 | 27 | 27 |
| 〃 #2 | 33 | 33 | 33 | 33 |
| 嶺東 | — | — | 135 | 135 |
| 嶺南火力 | 216 | 276 | 596 | 816 |
| 釜山#2 | 132 | 132 | 132 | 132 |
| 馬山 | 54 | 54 | 54 | 54 |
| 埠頭 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | — | 60 | 60 | 60 |
| 嶺南#1 | — | — | 220 | 220 |
| 〃 #2 | — | — | — | 220 |
| 軍山#3 | — | — | 100 | 100 |
| 湖南火力 | 15 | 75 | 90 | 90 |
| 群山 | — | 60 | 75 | 75 |
| 光州 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 木浦 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| 合計 | 740 | 970 | 1,575 | 2,095 |

**表 2 想定負荷表**

| | 1961 (*MW*)(*MVAR*) | 1971 (*MW*)(*MVAR*) |
|---|---|---|
| 德沼 | 25+j16 | 25+j16 |
| 倉洞 | 35+j22 | 63+j39 |
| 往十里 | 53+j33 | 66+j41 |
| 普光 | 57+j35 | 70+j45 |
| 栢柳洞 | 75+j45 | 97+j60 |
| 水色 | 82+j50.5 | 98+j60.5 |
| 富平 | 53+j33 | 88+j54 |
| 安養 | 27+j17 | 39+j24 |
| 天安 | 23+j14 | 28+j17 |
| 大田 | 40+j25 | 50+j31 |
| 裡里 | 13+j 8 | 15+j10 |
| 群山 | 32+j20 | 40+j25 |
| 尙州 | 9.5+j5.5 | 19+8.5 |
| 丹陽 | 20+j12 | 24+j15 |
| 提川 | 32+j20 | 42+j26 |
| 寧越 | 33.5+j21 | 45+j28 |
| 北三 1 | 20+j13 | 30+j19 |
| 北三 2 | 50+j31 | 68+j42 |
| 大邱 | 61.5+j38.5 | 74+j46 |
| 進永 | 3.5+j2.0 | 4.0+j2.0 |
| 馬山 | 55.5+j35 | 114+j72 |
| 鳴藏 | 72+j44 | 94+j54 |
| 蔚山 | 119+j74 | 184+j114 |
| 南釜山 | 96.5+j60 | 116+j72 |
| 光州 | 57+j35 | 70+j43 |
| | $\Sigma PL$=1,145MW | $\Sigma PL$=1,560MW |

## 3. 基本 潮流計算 및 檢討

### 3.1 計算方法

그림 2에서 본바와 같이 計算對象系統은 44 Node, 54 Branch의 比較的 大規模였기 때문에 大型 計算機의 利用이 하나의 前提가 되었다. 計算方法은 Nodal 法[3]에 의거하였으며 今般 새로히 開發한 Fortran Ⅱ의 Basic Power Flow Program을 利用하였다.

利用한 計算機는 *IBM* 7090로서 所要計算 時間은 初期 潮流狀態收束後에 平均 1케스 1~2分 정도였다.(但 收束範圍 0.0001(*pu*) 加速定數 1.20)

### 3.2 計算條件

現在 計劃中인 潮流計算케스는 1969年度 및 1971年度에 各各 10餘케스에 達하고 있어 本格的인 檢討에 對하여서는 前述한 바와 같이 早速한 期間內에 海外派遣로 實行할 計劃으로 있다.

따라서 여기에서는 想定되는 基本케스에 限定하여 아래와 같은 몇가지 만을 檢討하고 있다.

計算케스 1969—1—1(渴水期 重負荷)

想定負荷値는 表 2 參照

1969—2—1 負荷는 上記와 同一

1. 蔚山 Gas-turbin off
2. 釜山 # 3 in

1969—3—1 負荷는 上記와 同一

1. 發電機出力은 豊水期設定値
2. 嶺南 # 1 off
3. 釜山 # 3 in

1971—1—1(渴水期 重負荷)

1. 負荷想定値는 表 2 參照
2. 蔚山 Gas-turbin off
3. 嶺西 # 2→蔚山 *S/S*에 設置

1971—1—1′ (負荷 上記와 同一)

1. 모든 條件은 1971—1—1과 同一

但 寧越—德沼間 #2 綜路 增設

寧越—蔚山間 #2 〃

이 以外에 上記 基本 케스를 中心해서 몇곳 發電機運轉電壓의 設定値變更, 漢江系水力電發所 出力의 渴水期~豊水期 變更等을 包含시켜 檢討하기로 하였다.

### 3.3 計算結果 및 檢討

1966年의 基本潮流結果를 主要幹線에 추려보면 먼저 發電計劃出力은 渴水期이지만 最大負荷 1,145 *MW*에 對하여 若干의 餘裕가 있었으며 (寧越 #1에 約 65 *MW*의 餘裕)負荷 各點에 있어서의 電壓分布도 各發電機 運轉電壓을 變壓器高壓側에 上限値를 둔다는 條件에서 살펴보았으나 問題될 點은 없었다.

한편 無效電力需給에 있어서는 몇곳 發電所, 就中 淸

平(水力), 群山(火力)의 無效電力出力이 定格値를 相當히 超過하고 있었으나, 近接 發電所와의 關連에서 運轉電壓設定値變更으로 어느정도 調節될 것으로 보였다.

其外 從來의 計算例에 比하면 서울 負荷 中心地에 建設될 서울火力의 效果가 相當하여 南北線(大田—富平 # 1, # 2)에 潮流가 거의 실리지 않고 있다는 것은 注目할 하나의 結果가 될 것이다.

이어 케스 1969—2—1 및 1969—3—1을 計算하였으나, 特히 後者는 漢江 水力系가 豊水期 出力으로써 嶺東, 嶺南地域으로부터의 潮流가 減少된 代身 淸平—德沼間 漢江送電線에 280 *MW* 가까운 潮流가 실리고 있었다.

1971 年度에 있어서의 基本潮流를 보면 規定負荷 1,560 *MW*에 對하여, 서울火力 # 2(220 *MW*) 嶺南火力 #2 220 *MW*)의 建設로 基本的인 電力需給이 滿足되고 있으며 電壓分布에도 別問題가 없었다. 다만 上記 嶺南火力의 # 2 稼動으로 蔚山工業地帶에서 消費하고 남는 餘剩電力이 蔚山—鳴溪間, 進永—大邱間 潮流로서 各各 220 *MW*의 크기에 達하고 있다.

이에 對한 對策으로써 (i) 寧越—德沼間 154 *KV* # 2 送電線增設 및 (ii) 蔚山—寧越間 154 *KV* 送電線 新設을 假定한 計算結果를 考察하여 보면 이 結果, 먼저 新設된 蔚山—寧越間 送電線에 約 70 *MW*의 潮流가 홀러 直接 嶺南地域의 餘剩電力이 供給되기 때문에 그만큼 上記 兩區間潮流가 各各 150~160 *MW*로 輕減되어 送電線新設效果가 如實히 나타나고 있다.

同時에 寧越—德沼間 #2 送電線 增設에 따라, 새로히 이 送電線에 40 *MW*의 潮流가 실림으로서 尙州—大田間 潮流에도 約 30 *MW*의 輕減이 이루워 지고 있다.

한편 이 年度에 있어서 德沼—倉洞間 送電線에 約 220 *MW*의 潮流가 흐르게 되고 있는데 豫想될 몇가지 케스 곧 豊水期 서울火力 #1 off 時에는 더욱더 많은 潮流가 이 送電線에 실리게 될 것으로 보인다.

**그림 3**은 亦是 1971年度 最大負荷時에 있어서 漢江水力系出力(華川, 春川, 및 淸平發電所出力)을 渴水期 最少狀態로부터 豊水期 狀態로 漸增시켰을 때의 系統內 電力需給關係를 Swing 發電機인 寧越 #1 出力으로 살핀 것이다. 但 여기에서는 釜山 #3(125 *MW*) off時를 假定하고 있으나, 同 그림에서 볼 수 있는 바와 같이 渴水期에 있어서는 若 30 *MW*의 供給이 不足되고 平水期에 이르러 비로소 需給의 均衡이 잡히게 되고 있다.(釜山 火力 # 3 稼動時에는 渴水期에도 寧越의 所要 出力이 數 *MW*에 不過하였으므로 約 70 *MW* 가까운 供給餘裕를 가지게 되고 있었다.

이 以外에 1971 年度에 있어서의 無效電力需給關係에 있어서는 서울 負荷地域에 相當量의 不足이 豫想되고 있으며 具體的인 1例로서 서울 火力 # 1의 無效電力이 定格容量을 相當히 超過하고 있다. 다만 여기에서도 몇곳의 發電機運轉電壓의 設定値變更으로 改善이 期待되겠으나 系統全體로 본 運用의 合理性에 對하여 더 仔細하게 檢討할 必要가 있을 것이다. 이 問題에 對한 檢討의 一例로서 다음에 系統內調相設備의 適正配置問題를 적어 보겠다.

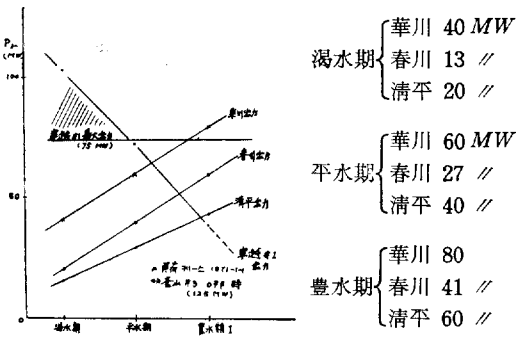


**그림 3 漢江水力系出力變化에 따른 電力需給關係**

## 4. 調相設備의 適正配置問題에 關한 檢討

系統電壓制御 및 送電損輕減兩者를 目的하여 所要될 系統內 調相設備의 最適設備容量을 決定한다는 것은 設備의 增設 또는 新設에 따른 費用增加와 投入에 依하여 얻어질 損失輕減利得의 均衡을 考慮하여 經濟的인 立場에서 愼重히 比較檢討되어야 할 것이다.

特히 앞으로 여러가지 負荷狀態가 想定되고, 또 系統內 複數個所에 調相設備를 設置할 때에는 負荷狀態의 出現確率 및 設置地點의 配分比를 考慮한 期待値算定으로 計算內容이 極히 複雜하게 될 것이다.

本節에서는 먼저 發電機運轉電壓設定値의 變更과 特定變電所의 調相設備投入容量變化(增加)에 따른 系統內 無效電力潮流의 움직임을 簡單히 살핀다음 몇군데 調相設備 設置點을 假定하여 이에 對한 適正投入容量 決定問題를 檢討하고 있다.

### 4. 1 運轉電壓變更과 調相設備容量의 基本關係

周知되는바와 같이 系統內無效電力源(電壓調整設備)으로서는 並列콘덴사(SC), 並列리악틀(Sh.R) 同期調相機(R○), 發電機, 負荷時電壓調整器(LRC) 其外 여러가지가 있으나, 여기에서는 系統의 現況에 비추워 앞으로 想定될 負荷狀態(1971年度)에 對한 無效電力潮流 調整

*註 1 : 서울火力 #1, 定格運轉力1/1=85% 로 함(≒ 77.5 MVAR)

**註 2 : 現有調相設備容量
水色(變) 46MVAR, 富平(變) 46 MVAR
大田(〃) 12MVAR, 大邱(〃) 25 MVAR

**表 3 調相設備의 適正配分 및 所要容量**

| 設置點 | | | 負荷狀態 2(1969年度) ΣQsc增設總量 100MVA | 增設總量 200MVA | 增設總量 250MVA | 負荷狀態 2(1971年度) ΣQsc增設總量 100MVA | 增設總量 200MVA | 增設總量 250MVA |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 格 | 柳 | 洞 $Q_{22}$ | 20 | 40 | | | 30 | 40 |
| 倉 | | 洞 $Q_{23}$ | | 30 | | | | 20 |
| 普 | | 光 $Q_{25}$ | 30 | 40 | | 30 | 40 | 40 |
| 水 | | 色 $Q_{26}$ | | | | | | |
| 富 | | 平 $Q_{27}$ | | | | | 10 | 10 |
| 大 | | 田 $Q_{30}$ | | | | | | |
| 裡 | | 里 $Q_{31}$ | 20 | 30 | | 20 | 30 | 40 |
| 尙 | | 州 $Q_{32}$ | | | | | | |
| 大 | | 邱 $Q_{33}$ | 10 | 30 | | | 30 | 30 |
| 進 | | 永 $Q_{35}$ | 10 | 10 | | 20 | 20 | 20 |
| 鳴 | | 蔵 $Q_{36}$ | 10 | 20 | | 30 | 40 | 50 |
| 備考 | | | *調相設備의既設量 **ΣQsc*Max $Q_{26}$ 46MVA, $Q_{27}$ 45MVA =200 $Q_{30}$ 12MVA, $Q_{33}$ 25MVA MVAR | | | *ΣQsc 250MVA에도 未收 **束所要計算時間 3~4分(IBM7090) | | |

을 發電機運轉電壓設定値變更과 調相設備(主로 SC) 兩者의 關連에서 살펴 보기로 한다.

前節에서의 檢討에 의하면, 1971年度의 基本潮流狀態에서는 特히 서울地區에서의 無效電力供給이 不足되고, 그 結果 負荷中心地에 있는 서울火力 #1(125 MW)의 無效電力出力이 定格容量보다 50~60 MVAR 程度 超過하고 있다.

**그림 4**는 서울火力 #1의 運轉電壓設定値를 各各 1.02, 1.01, 1.00(P.U)로 變更시켰을때의 同發電機無效電力出力과 近接된 水色變電所에서의 無效電力源(SC)增設量과의 關係를 보인 것이다.

여기에서 알 수 있는바와 같이 定格容量을 超過한 無效電出力을 輕減시키기 爲하여서는 直接 發電機의 運轉電壓을 調整하는 것이 더 效果가 클 것이다.

곧 計算結果에 依하면 1.0 % 의 運轉電壓變化는 20~30 MVAR 정도의 無效電力出力變化에 相當되고 있으며 水色變電所에 있어서의 無列電力源 所要增設量의 約 40 AVAR 정도에 해당되고 있다.

이와같이 運轉電壓의 設定値變更으로 어느 정도 無效電力潮流의 改善을 期할 수 있으나, 한편 系統全體로 본 經濟的인 潮流狀態의 實現 곧 系統主要點의 電壓分布改善과 送電損輕減이라는 觀點에서, 위에서 본 兩者의 關係를 더 具體的으로 檢討할 必要가 있을 것이다.

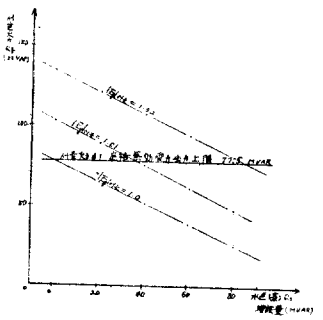

**그림 4. 水色(變) Qs增設量과 서울 火力 Qg와의 關係**

### 4.2 調相設備의 適正配置 및 適正設備量의 決定

지금 1969年度 및 1971年度에 있어서의 最大負荷가 各各 1,560 MW 및 1,560 MW로 豫想되고 있으나, 이들의 基本的인 負荷狀態에 對하여 主要變電所에 있어서의 無效電力源(主로 SC를 對象으로하고, 그 設置點은 그림 2의 母線番號 22, 23, 25, 26, 27, 30, 31, 32, 33, 35 및 36의 11 個所로 함)의 所要投入量을 앞서 報告한 最適運轉狀態 簡略決定法에 의거하여 檢討하였다.

또 本計算에서는 無效電力源의 單位投入量을 10MVAR로 增設總量을 250 MVAR로假定하였다.*

**表 3**은 以上의 計果結果로 부터 얻어진 主要變電所에 있어서의 所要量의 配分을 보인 것이다. 規定되는 몇가지 負荷狀態에 對하여 이러한 設備所要量을 거듭 計算檢討함으로써 앞으로 系統이 가져야 할 調相設備의 適正設備容量을 適正配置問題와 아울러 充分히 決定할 수 있을 것이다.

以上의 計算은 調相設備의 設置地點을 미리 任意로 想定한 Model 計算이지만 結果가 示唆하는바는 無效電力潮流, 特히 서울負荷地域을 中心으로 한 幹線에서 그 效果가 크다는 것을 알수 있을 것이다.

* 註 1 : 1969年度 負荷狀態에 對하여서는 送電損輕減分(ΔL=0.001 MW)에 의한 收束判定으로 最大投入量은 200 MVAR에 끄치고 있다.

** 註 2 : 所要計算時間 3~4分정도(IBM 7090)

## 5. 結 論

以上으로 簡單히 1969年度 및 1971年度에 있어서의 想定負荷에 對한 基本的인 潮流問題와 이에 따른 調相設備增設計劃問題를 檢討하였다.

앞서 말한바와 같이 第2次 電源開發 5個年計劃의 達成으로 이루워질 將來의 電力系統에 對하여서는 비단 이러한 潮流問題뿐만아니라, 特히 앞으로의 系統運用을 合理化시킨다는 觀點에서 早速히 着手하여야 할 問題가 山積되고 있다.

本文에서 檢討한 몇가지 問題도 韓國電力株式會社에서 計劃하고있는 系統解析研究의 一環으로 實施된 것이며 여기서 얻어진 結果를 基礎로 不遠 本格的인 系統計劃問題의 檢討가 實施될 것이다.

끝으로 이번 潮流問題解析에 있어 여러가지로 後援하여주신 早稻田大學 埴野一郎 敎授 및 UNICCN 關係當局에 깊이 感謝를 드리는 바이다.

## 參 考 文 獻

1. 長期電源開發十個年計劃(1967~1979年)韓國電力株式會社
2. 1966年度에 있어서의 韓國電力系統의 潮流問題 大韓學會誌 Vol. 14. No. 6 1966. 2
3. Digital Computer Solution of Power flow Problems AIEE. Vol. 75 1956. pp 398~404
4. 系統電壓無效電力制御에 關한 硏究. 大韓電氣學會誌 Vol. 14. No. 3. 1965. 8
5. 電壓無效電力制御에 있어서의 最適運轉狀態의 簡略決定法 大韓電氣學會誌 Vol. 15. No. 3. 1966. 8

(1967年 1月 14日 接受)

(電氣學十人傳 繼續)

彈性流動體의 永續的인 循環은 어떻게 보면 아주 逆說的이고 또 說明不可能한 것으로 나타날지 모르나, 그럼에도 불구하고 實在하는 것이고, 感觸할 수 있는 것이다" 또 "나는 確實視되고 있는 Galvani의 動物電氣의 理論에 대해서 싸움을 걸지 않을 수 없다. 소위 그 動物電氣란 異種의 金屬이 接觸했을때 發生하는 外部에 根源을 둔 電氣인 것이다." Volta는 解剖學者라기 보다는 物理學者였기 때문에, 그 思考의 强勢點도 解剖學에 관한 것보다는 金屬에 관한 것에다 두었다. 한 사람의 天才에 依한 이 革命的인 貢獻은 곧 그 眞價가 認定되어서, 파리로 초청되어 나폴레온 앞에서 그의 發明品을展示하였다.

이제 實驗하는 사람들은 連續電流源을 손쉽게 쓸수 있으므로, 라이덴瓶이나 靜電發電機에서 얻을 수 있는 스파아크 대신 數時間連續해서 흐르는 電流를 利用하게 되었다.

英國에서는 Nicholson과 Carlisle이 電池로 물을 그原素로 分解하고 酸素와 水素의 容量比를 決定했었다.

Humphrey Davy卿은 큰 電池(voltaic pile)를 써서 칼륨과 나트륨을 發見했고, 500 張의 볼타電池에서 電流를 얻어 炭素電極을 日光色으로 불붙게 했고, 이것이 電氣照明의 始初가 되었다. 또 定電流를 利用해서 Arago와 Davy는 電磁石을 만들었다.

1881年 파리에서 열린 國際電氣會議에서 起電力의 單位로 "Volt"가 정해졌는데, 그후 Volta의 偉大한 貢獻을 충분히 理解한 많은 電氣學者, 技術者들은 이것을 극히 당연한 일로 보게 되었다. Arago는 그의 친구인 Volta를 칭찬해서 다음과 같이 말했다. "電池는 望遠鏡이나 蒸汽機關車까지 포함해서 생각하드라도, 사람의 知力에 依해서 만들어진 가장 神奇한 器具이다".