

大電源脫落事故時的 系統動搖特性 解析

논문
24~2~2

Study on the Characteristic of System Fluctuation under Large Generator Unit Outage

宋 吉 永* · 李 宗 勳** · 金 榮 昌***

(Kil Yeong Song) · (Chong Hun Rieh) · (Yeong Chang Kim)

Abstracts

This paper describes the results of a study for the stability of power system when the Kori Nuclear #1 P/P is operated with existing system.

First, a transient disturbance, which effects the stability of entire power system, was analysed and to cope with the problem a load shedding method was studied to recover the fluctuation of the power system.

Second, transient stability problem was studied when three phase fault occurs in 345 Extra High Voltage power System, and from this result, it was found to be highly effective that high speed protecting device should be provided and operated to recover the fault.

1. 緒 言

우리나라 電力系統은 그동안 수차에 걸친 電源開發 5個年計劃의 성공적인 遂行으로 눈부신 發展을 거듭하고 왔다.

우선 電力設備만 하더라도 이미 1974年末에 그 容量이 400萬KW를 넘게되었고 現在 이들을 보다 圓滑하게 運用하기 위하여 345KV 超高壓送電線의 建設이 예의 推進中에 있다. 앞으로 古里原子力(595MW)도 1976年에 完工되면 곧 이의 系統併入이 이루어질 것인바 한편 이에 따라 이때까지의 系統構成과 관련하여 主要送電幹線에서의 電力潮流問題라던가 系統事故時의 過渡安定度問題, 그밖에 大電源脫落事故時의 系統動搖特性 등에 대한 問題등이 새로운 系統問題로서 各광을 받게 될 것으로 예상되고 있다.

本 報告는 古里原子力의 系統併入을 계기로 해서 이와 관련된 系統의 安定度問題를 중점적으로 다룬 결과를 整理한 것이다.

곧 먼저 古里原子力과 같은 大電源이 正常 運轉狀態에서 갑자기 系統으로부터 脫落되었을 때 이것이 系統全般에 미치게 될 動搖特性을 分析하고 이에 대비한

對策의 하나로써 負荷制限을 실시하였을 경우의 動搖特性 回復狀況을 살펴 보았다.

다음에는 345KV 主要送電系統에서의 線路事故發生時 古里原子力을 中心으로 한 系統의 過渡安定度問題를 點檢하고 이때의 系統保護方式에 있어서의 問題點有無를 比較檢討한 結果를 整理하였다.

2. 計算方法

多機系統의 過渡安定度解析 方法으로서의 종래부터 主要 段段法(Step by step Method)이 사용되어 왔고 여기서도 이 방법을 채용하였으나 이번에 새로이 개발한 過渡安定度算定 프로그램에서는 그림 1에 보인바와 같이 먼저 事故發生前의 初期狀態를 Gauss-Seidel法을 사용한 電力潮流計算을 실시해서 求한 다음 곧이어 發電機의 過渡 리액탄스(x_d') 背後點에 있어서의 驅動點 및 傳達 어드미탄스(Ymatrix)를 逐次法으로 求하도록 하였다.

安定度計算의 主要部分인 同期機의 運動方程式은

$$\frac{d^2\delta}{dt^2} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \dots\dots\dots (1)$$

단 H = 單位慣性定數(MW·sec/MVA)

δ = 位相角(rad)

P_m = 機械的 入力(Pu)

P_e = 電氣的 出力(Pu)

로 되는데 이것을

*正會員 · 漢陽工大 教授(工博) · 當學會 理事

**正會員 · 韓電 原子力部 機電課長

***正會員 · 韓電 企劃管理部 電源開發課

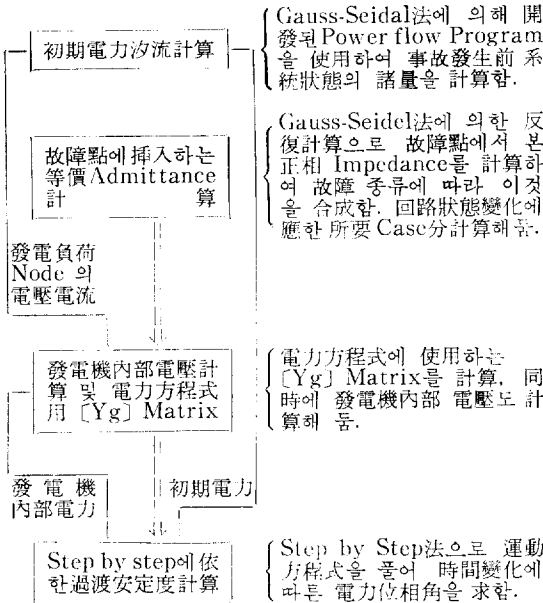


그림 1. 過渡安定度計算概要圖
 Fig. 1. Flow chart of Transient Stability Program.

$$\left. \begin{aligned} \frac{d^2\delta}{dt^2} &= \frac{d\omega}{dt} = \frac{\pi f}{H} (P_m - P_e) \\ \frac{d\delta}{dt} &= \frac{d\theta_s}{dt} - \omega_0 = \omega - 2\pi f \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

단 θ_s = 電氣角(rad)

ω_0 = 定格同期速度

골 基準角周波數(rad/s)

의 두개의 一次微分 方程式으로 바꾸어서 각각 δ 와 ω 를 求하도록 하고 있다.

本 프로그램에서는 이것을 求하는 실제방법으로서 널리 알려진 Modified Euler法을 여기에 적용해서 풀기로 하였고 동시에 發電機內部電壓 및 位相角, 電力修正計算을 逐次的으로 一貫해서 計算할 수 있도록 하였다. 또한 이번 프로그램에서 취급할 수 있는 故障의 종류로서는 일반적인 線路故障外에 Ymatrix 修正을 통하여 發電機脫落, 負荷의 急增 및 遮斷, 線路의 遮斷 및 再閉路 등의 케이스까지 다양하게 다룰 수 있게 하였으므로 初期運轉條件과 故障發生에 따른 系統狀態의 變更狀況만 지정해 주면 나머지는 自動적으로 最終結果까지 얻을 수 있게 되고 있다.

참고로 本 프로그램으로 취급할 수 있는 系統規模는 發電機數로 最大 25機系統까지(Node數는 最大 60개까지 可能)였으며 所要計算 時間은 故障의 종류에 따른 Ymatrix 計算에 따라 약간씩 차이가 있었으나 0.05秒의 시간간격으로 系統擾亂後 1秒까지의 처음 스윙計算을 하는데 韓電電子計算所의 IBM 360/40으로 평균

25分 정도였었다.

3. 系統構成 및 機器定數

먼저 1976年末에 있어서의 우리나라 電力系統의 概要를 그림 2에 보인다.

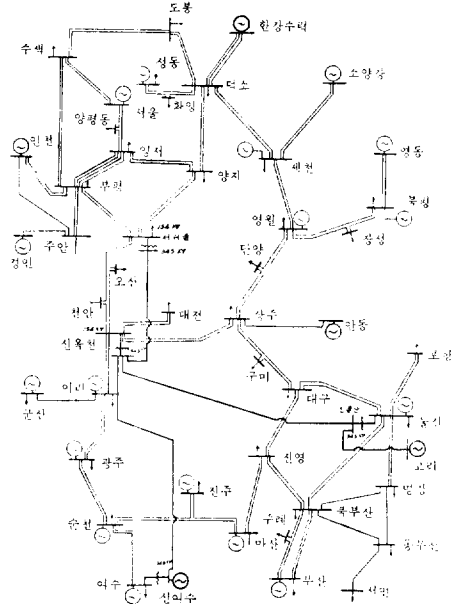


그림 2. 1976年末 系統圖
 Fig. 2. '76 Power System map.

이 그림에서 보는 바와 같이 1976年末 古里原子力의 系統併入과 때를 맞추어 嶺南, 湖南 및 京仁地域을 연결하는 345KV 超高壓送電線路를 完成시켜서 最大 3,600 MW로 예상되는 이때의 系統需給에 임하도록 하고 있다. 실제의 過渡安定度計算에서는 위의 系統을 簡略化해서 漢江系水力, 서울火力, 仁川火力, 京仁火力, 群山火力, 湖南火力, 麗水火力, 昭陽江水力, 嶺東火力, 安東水力, 嶺南火力, 東海火力, 古里原子力 및 釜山火力의 計 14機系統으로 정리해서 사용하였으며 各 發電機의 機器定數로서는 表 1에 보인 바와 같은 各種定數를 사용하였다.

4. 古里原子力 脫落事故時의 系統動搖特性

4.1 脫落事故時의 變動特性

먼저 古里原子力을 中心으로 한 嶺南地區 系統圖를 그림 3에 보인다.

1976年末 各種 需給條件下에 있어서의 基本的인 運轉狀態는 電力潮流計算結果 別問題點이 없이 비교적 安定된 系統狀態를 기대할 수 있었다. 여기서 가령 이때의 Peak 負荷狀態(3,520MW 水準)에서 古里原子力이 full稼動으로 565MW의 出力을 내고 있다가 갑자기 脫落되었을 경우 系統內主要發電機에서의 動搖特性을 그림 4 (a), (b)에 보인다.

表 1. 發電機定數

Table. 1. Machine Constants

	容 (MVA)	變壓器입피단스 Xtr (%)	過渡리액탄스 Xd (%)	H(MW. Sec/MVA)	備 考
漢江系水力	320	3.0	9.75	3.2	等價發電機로 換算
울서火力 #4	167	5.9	11.70	3.29	
#5	300	3.16	10.20	3.66*	*仁川火力과 同一로 간주
仁川火力 #1	300	4.25	8.78	3.66	
#2	300	4.25	8.78	3.66	
京仁火力 #1)	380	4.26	4.66	3.40*	*假 定
#2)					
群山火力	88	14.06	23.12	3.85	
湖南火力 #1	353	4.12	8.70	2.99	
(154KV) #2	353	4.12	8.70	2.99	
麗水火力 #1	235	6.96	8.93	4.62	
(345KV) #2	353	6.96	5.48	2.86	
昭陽江水力	220	4.55	12.75	3.2*	*假 定
安東水力	90	4.0	25.0	3.2	
嶺東火力	160	7.23	13.3	2.99	
嶺南火力 #1	260	4.50	12.70	3.33	
#2	260	4.50	11.34	4.05	
東海火力 #1	275	3.96	12.73	2.27	
#2	275	3.96	12.73	2.27	
釜山火力 #3	132	9.83	12.74	2.65	
#4	132	9.83	20.90	2.65	
古里原子力	700	2.50	3.71	1.65	

註: H定數만은 自己容量基準으로 表示하였고 나머지는 모두 100MVA 基準으로 表示한 것이다.

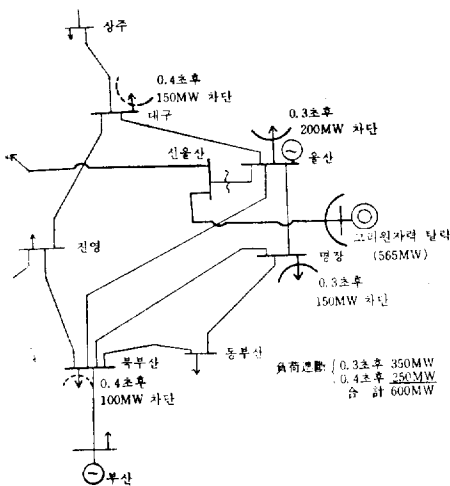
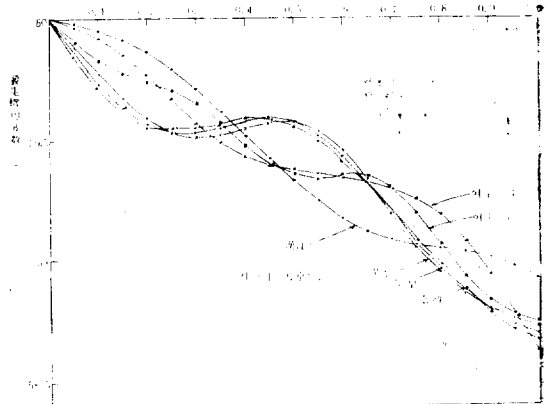


그림 3. 嶺南地區 系統圖

Fig. 3. Power System map of Yeongnam Area

먼저 그림 (a)는 이때의 各發電機內部誘起電壓의 周波數變動을 보인 것이다(곧 이것은 各發電機의 內部位相角變動으로 微分해서 求한 것이기 때문에 發電機의 回轉數變化에 對應하는 것이다). 이때 古里原子力이 내고 있던 出力 565MW는 系統容量에 비해 16%가 넘는



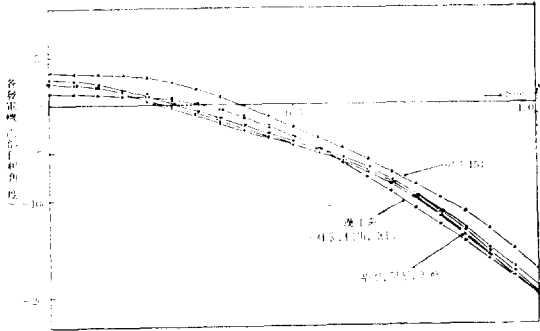
*76초 Peak Load (3,520MW)
古里(565MW) 脫落時 各發電機 周波數變動

그림 4. (a) 周波數 變動曲線

Fig. 4. (a) Frequency fluctuation curve

大容量이었기 때문에 이의 脫落으로 系統全體의 出力一負荷間의 均衡이 크게 무너진 결과 周波數가 급격하게 低下하기 시작해서 불과 1秒 후에는 1.2~1.5사이클씩 이나 떨어지고 있다.

한편 그 動搖特性의 추세도 脫落點에 가까운 嶺南地區內의 發電機 그룹과 長距離送電線으로 연결되어서 電



'76末 Peak Load (3,520MW)
古里(565MW) 脫落時 θ_r 變動

그림 4. (b) 發電機位相角變動曲線
Fig. 4. (b) Phase Angle fluctuation curve

氣的으로 비교적 멀리 떨어져 있는 京仁地區의 發電機 그룹(곧 漢江系水力, 서울, 仁川, 京仁火力등)間的 움직임에는 약간의 차이가 있어 前者의 變動이 더 심하게 나타나고 있음을 알 수 있다.

그림 (b)는 역시 이때의 各發電機內部位相角의 變動特性을 본 것인데 古里原子力의 脫落으로 565MW라는 大幅의 出力減少가 빚어진결과 各發電機 공히 正常運轉狀態로부터 內部位相角이 크게 떨어져 시작해서 1秒 후에는 30度 水準으로부터 -200度 水準까지 低下하고 있다. 다만 이때의 位相角變動에 있어서는 앞서 본 周波數變動때 처럼 各地域內的 發電機 그룹間에는 뚜렷한 차이가 없이 한결같이 低下하고 있을 뿐이다. 따라서 이때 各發電機間的 相差角變動은 크게 벌어지는 것 없이 大略 20度~30度 範圍內에 유지되어 비교적 安定된 움직임을 보이고 있다.

따라서 이제까지는 주로 安定度判定基準으로서 系統動搖時 各發電機間的 相差角中에서 크게 벌어지는 것이 있는가 어떤가로 그 脫調與否를 點檢해 왔었는데 여기서는 비록 各發電機의 位相角이 크게 떨어져 있을 망정(그 결과 周波數가 大幅 低下되고 있음) 各發電機가 한결같이 함께 變動하면서 發電機間 相差角을 계속 一定範圍內에 維持시키고 있으니 安定度에는 別問題가 없다고 규정할 수 있을지 모르겠다. 그러나 실질적으로로는 出力-負荷間的 不均衡 곧 系統 에너지上的 不均衡으로 周波數의 異常低下가 계속되고 있으므로 여하간의 對策을 재빨리 세워서 이들의 系統動搖를 억제하도록 하지 않으면 안될 것이다.

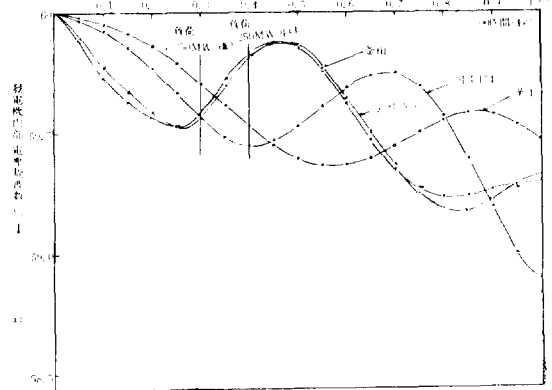
그밖에 이러한 電源脫落時의 動搖特性分析에 있어서는 檢討對象으로서 位相角이나 相差角의 變動外에 系統周波數의 움직임에 대해서도 더 많은 注意를 기울일 필요가 있을 것으로 생각된다.

다음에 이러한 系統動搖의 억제對策인데 앞서 본 바

와 같이 古里原子力과 같이 單機容量이 큰 大電源의 脫落事故時에는 脫落 1秒후에 이미 周波數가 1.5사이를 찍어나 떨어지고 位相角도 200度 이상이나 급격하게 低下하고 있으므로 이러한 짧은 時間內에 期待할 수 있는 制御動作要素로는 負荷特性(周波數低下 또는 이에 따른 電壓降下에 의한 需要減少)이나 周波數低下 過程에서 過渡의으로 放出하게 되는 發電機慣性 에너지外에는 전혀 없기 때문에 不得已 非常의인 手段으로서 電源脫落事故檢出(주로 系統周波數의 低下率로 檢出)後 強制的으로 負荷制限을 실시해서 出力-負荷間的 에너지 均衡을 잡아주는 筈에 없을 것이다.

4.2 負荷制限에 의한 動搖特性的 回復狀況

그림 3에서 보인 바와 같이 古里原子力의 脫落直後인 0.3秒 후에 隣接한 嶺南地區의 蔚山負荷에서 200MW, 鳴藏負荷에서 150MW를 緊急遮斷하고 곧이어 0.4초후에 大邱負荷에서 150MW, 北釜山負荷에서 100MW로 合計 600MW의 負荷를 制限하였을 때의 系統動搖特性的 回復狀況에 관한 計算結果의 1例를 그림 5에 보인다.



'76末 Peak Load (3520MW)
古里(565MW) 脫落後
0.3초 울산 200MW, 명 장 150MW
0.4초 대구 150MW, 북부산 100MW
600MW 遮斷
發電機內部電壓周波數變動

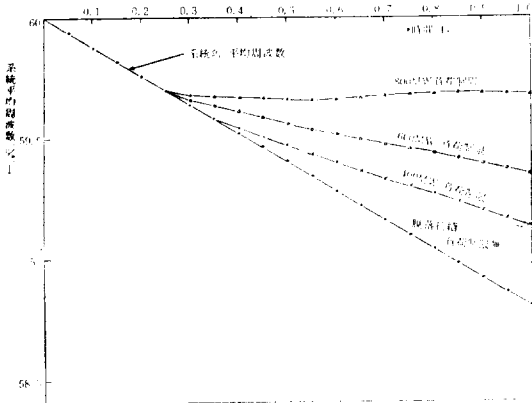
그림 5. (a) 周波數 變動曲線
Fig. 5. (a) Frequency fluctuation curve

이것은 이때의 發電機內部電壓周波數의 變動을 보인 것인데 古里脫落直後 脫落容量과 맞먹는 600MW의 負荷를 遮斷해준 결과 이로써 일단 무너졌던 系統에너지上的 均衡이 다시 잡히게 되어 系統動搖는 크게 回復되고 있음을 보여주고 있다.

가령 이 그림에 의한다면 앞서 電源脫落時 1秒 以內에 58.5사이클까지 크게 떨어져 있던 周波數가 59.3사이클 水準에서 머물게 되고 있어 負荷遮斷에 따른 制御

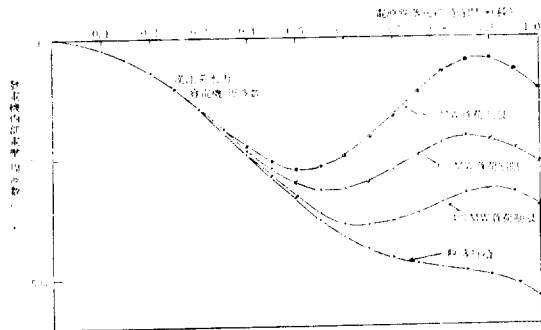
효과가 크다는 것을 알 수 있다.

다음에는 이들 負荷制限量의 크기에 따른 回復狀況을 그림 6 (a), (b)에 보인다.



'76末 Peak Load (3520MW)
古里原子力(565MW) 脫落時 對比
嶺南地區 負荷制限時 平均周波數變動
系統平均周波數 f_{mean}
 $f_{mean} = \frac{\sum \Delta f_i M_i}{\sum M_i}$

그림 6. (a) 系統平均周波數 變動曲線
Fig. 6. (a) Mean System Frequency fluctuation curve.



'76末 Peak Load (3520MW)
古里原子力(565MW) 脫落時 對比
嶺南地區 負荷制限時 周波數變動
(漢江水力 周波數)
—●— 古里脫落(持續)
—△— 脫落后 0.4秒에서 400MW 負荷制限
—×— 脫落后 0.3秒, 0.4秒에서 600MW 負荷制限
—○— 脫落后 0.3秒, 0.35秒에서 800MW 負荷制限

그림 6. (b) 漢江水力 周波數變動曲線
Fig. 6. (b) Frequency fluctuation curve of Han River Hydro-plants.

이중 (a)는 아래와 같은 發電機內部電壓周波數의 平均値로서

$$\Delta f_{mean} = \frac{\sum \Delta f_i \cdot M_i}{\sum M_i} \dots \dots \dots (3)$$

단, $\Delta f_i = i$ 發電機內部電壓周波數의 變化分(c/s)

$M_i = i$ 發電機의 單位慣性定數(MW·sec/MVA)

系統周波數에 해당하는 것인데 여기에서 곧 알 수 있듯이 負荷制限에 의한 制御效果로 우리가 원하는 一定水準 以上으로 系統周波數의 低下를 막을 수 있을 것이다.

역시 그림 (b)는 이때의 代表的인 發電機動搖特性例로서 漢江水力의 周波數變動을 負荷制限量의 크기를 파라메타로 해서 그려본 것이다.

以上的 結果들은 過渡安定度 프로그램을 사용해서 電源脫落後 1秒까지의 動搖만 살펴본 것이기 때문에 이후의 動搖特性이라던가 安定度判定與否는 이것으로 짐작할 수 밖에 없을 것 같다. 一般적으로 이러한 系統動搖에 대하여서는 負荷特性 또는 發電機慣性 에너지 등을 中心으로 한 系統自體의 制御力의 發動과 系統動搖에 뒤이은 調速機 Free運轉 發電機의 瞬動豫備力應動으로 이들 動搖를 緩和 내지 吸收하려는 움직임이 보이는 것이 보통이다.

따라서 이들에 대한 보다 상세한 檢討에 대하여서는 별도로 大電源脫落時의 周波數低下 特性面에서 考察할 필요가 있을 것으로 생각된다.

5. 345KV 超高壓線路事故時의 安定度檢討

다음에는 古里原子力이 系統에 併入되어 運轉하고 있을 때 갑자기 345KV 主要幹線區間에서 系統事故가 發生하였을 때의 安定度問題를 檢討하여 보기로 한다.

故障의 종류로서는 1線地絡, 2線地絡, 3線地絡등 여러가지 것을 생각할 수 있겠으나 여기서는 이중에서도 가장 苛酷할 것으로 생각되는 3相短絡故障을 대상으로 해서 이에 대한 系統保護對策을 강구하여 보기로 한다. 그림 7에 345KV 主要幹線의 概要 및 이때의 運轉條件을 보인다.

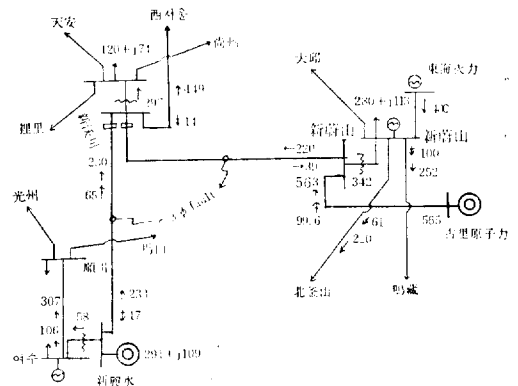
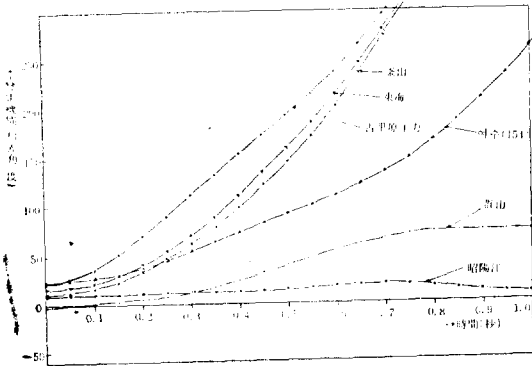


그림 7. 嶺南地區 345KV 系統圖
Fig. 7. 345KV System map of Yeongnam & Honam Area

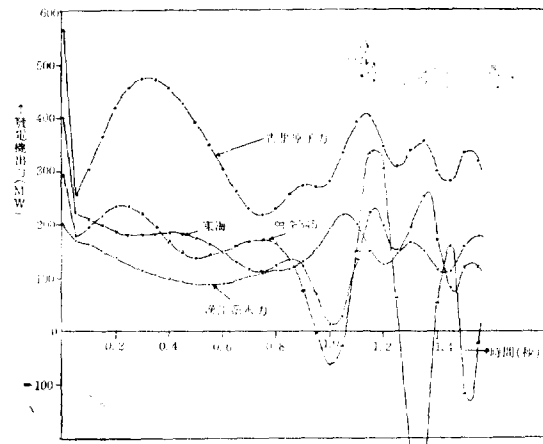
먼저 그림 8 (a), (b)에 新蔚山—新沃川區間 中間地點에서 3相短絡故障이 發生했을 때의 主要發電機의 動搖特性을 示했다.

이중 그림 (a)는 各發電機出力(P_{ei})의 變動을 本것인데 系統事故로 各發電機 公히 그 出力이 正常值의 30~50% 가까지 急減되고 약 1초 후에는 完전한 脫調狀態로 들어서고 있음을 알 수 있다.



'76末 Peak Load (3520MW)
新蔚山—新沃川間 3相短絡故障持續時
各發電機出力 變動

그림 8. (a) 發電機出力 變動曲線
Fig. 8. (a) Output fluctuation curve



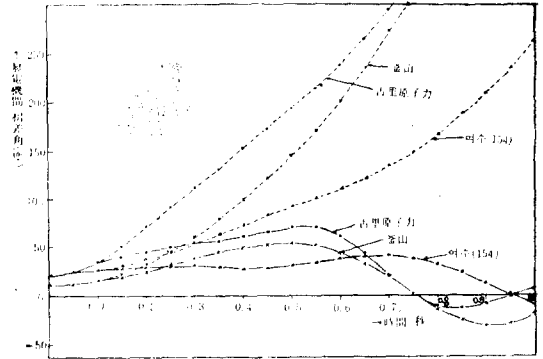
'76末 Peak (3520MW)
新蔚山—新沃川間 3相短絡故障持續時
各發電機間相差角 變動(漢江系水力 基準)

그림 8. (b) 發電機間 相差角變動曲線
Fig. 8. (b) Angle difference fluctuation curve

그림 (b)는 이때의 各發電機內部位相角의 變動을 漢江系水力을 基準로 해서 求해본 相差角變動曲線이다. 이 그림에서도 곧 알 수 있듯이 故障發生地點과 電氣的으로 제일 가까운 古里原子力, 東海火力, 釜山火力, 麗水火力的 順으로 位相角이 벌어지기 시작해서 0.6초 후에는 대부분이 100도~200도 이상으로 벌어져서 不

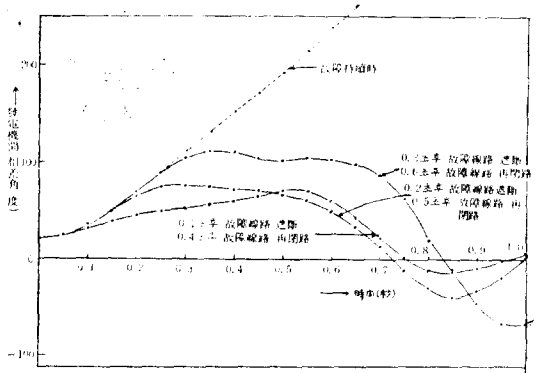
安定狀態에 빠지고 있다는 것을 볼 수 있다.

一般的으로 이러한 系統事故에 대비한 系統保護對策으로서는 遮斷器에 의한 故障區間의 高速遮斷(除去) 및 再開路의 실시가 생각되는데 이때의 保護動作效果를 그림 9 (a), (b)에 보인다.



'76年末 Peak (3520MW)
新蔚山—新沃川間 3相短絡故障發生
點線 ...
實線 ...
各發電機間相差角變動(漢江系水力 基準)

그림 9. (a) 各發電機間 相差角變動曲線
Fig. 9. (a) Angle difference fluctuation curve



'76末 Peak Load (3520MW)
新蔚山—新沃川間 3相短絡事故時
古里原子力—漢江系水力間 相差角變動

그림 9. (b) 古里原子力—漢江系水力間 相差角變動曲線
Fig. 9. (b) Angle difference fluctuation curve (Kori-Han River)

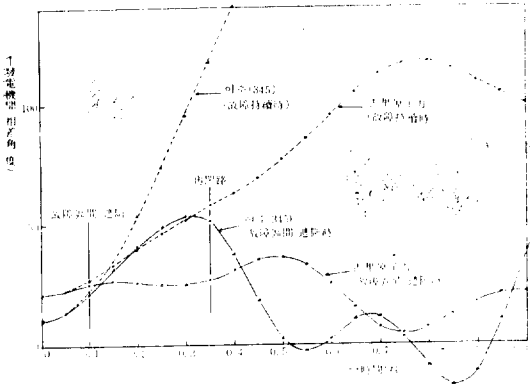
그림 (a)는 事故發生即時 0.1초(6사이클)후에 故障區間을 遮斷*하고 다시 18사이클 후인 0.4秒에 再開路하였을 때(이때 순간 故障이 回復되었다고 假定함)의 主要發電機間相差角變動(漢江系水力 基準)의 回復狀況을

*現在 345KV 超高壓送電線路는 1976年末까지 各區間 公히 1回線으로 計劃되고 있으며 線路故障時의 保護方式도 單相遮斷, 單相再開路方式이 채택되고 있다.

보인 것인데 특히 故障區간의 신속한 遮斷으로 系統動搖가 완전히 回復되고 있음을 알 수 있다.

그림 (b)는 같은 系統事故에 있어서 故障區간의 遮斷時間을 0.1秒~0.3秒로 변화시켰을 때의 古里原子力의 相差角變動을 본 것인데 어느 경우이건 不安定狀態(脫調)로부터 완전히 回復되어 安定狀態에로 돌아가고 있으나 0.3秒 遮斷의 경우에는 最大變化幅이 100도를 넘고 있기 때문에 故障除去遮斷時間은 0.3秒가 거의 限界가 아닌가 짐작된다.

이번에는 같은 345KV 送電線路이지만 新麗水—新沃川區間에서 같은 3相短絡故障이 發生하였을 때의 計算結果의 1例를 그림 10에 보인다.



'76末 Peak Load (3520MW)
新麗水—新沃川區間 3相短絡故障發生
故障持續對比 故障區間遮斷(0.1秒)時의 主要發
電機間 相差角變動(漢江系水力 基準)

그림 10. 主要發電機間 相差角變動曲線
Fig. 10. Angle-difference fluctuation curve

이 그림에서 點線으로 표시한 것은 故障持續時 漢江系水力을 基準으로 해서 이것과 麗水火力 및 古里原子力間의 相差角變動을 보인 것이며 實線은 故障發生即時 0.1秒후에 故障區間을 차단하고 0.35秒후에 다시 이것을 再開路하였을 때의 같은 發電機의 相差角變動을 보인 것이다. 이 計算結果에서도 곧 알 수 있듯이 3相短絡과 같은 苛酷한 系統事故가 發生하더라도 이것이 瞬間故障일 경우에는 計劃된 保護對策만 충분히 제 機能을 발휘해서 故障發生即時 故障區간의 高速遮斷을 이루어준다면 安定度維持에는 別問題가 없을 것으로 期待된다.

6. 結 論

이상으로 가까운 將來 古里原子力이 준공되어 系統에 併入되었을 때 系統運轉面에서 예상될 여러가지 問題中 주로 系統事故發生時의 系統動搖特性 및 過渡安定度問題를 電子計算機를 사용해서 解析해본 결과

1. 345KV 超高壓電線路事故時의 過渡安定도는 事故發生即時 故障區間을 0.1秒~0.3秒 이내에 高速遮斷해서 故障를 除去해 줄수만 있다면 순간(一時) 故障의 경우에는 충분히 系統의 安定度を 유지해 나갈 수 있을 것으로 밝혀졌다.

2. 앞으로 예상될 여러가지 水準의 系統負荷狀態에서 갑자기 古里原子力이 系統으로부터 脫落됨으로서 惹起될 系統動搖特性은 상당히 클 것으로 예상되며 그 중에서도 특히 系統周波數의 異常低下가 系統의 安定運轉에 위협을 줄 것으로 밝혀졌다. 그러나 이와 대비해서 이러한 電源脫落에 關하여 隣接地域에서의 負荷만 一部 緊急遮斷해서 出力—負荷間의 에너지 均衡을 잡아줄 수 있다면 이때의 系統動搖를 막고 충분히 系統의 安定運轉을 계속해 나갈 수 있다는 것을 밝히고 이들의 보다 자세한 解析을 위해서는 大電源脫落時의 周波數低下特性面과 自動負荷制限方式을 관련시켜서 검토해나갈 필요가 있다는 것을 提示하였다.

끝으로 本 研究를 遂行하는데 있어 많은 도움을 주신 韓電 電子力部 金哲鎮部長, 系統運轉部 徐亨烈次長 및 系統計劃課 黃濯課長 그리고 本 研究의 電子計算機 處理를 적극적으로 支援해주신 韓電 電子計算所 擔當者 諸氏에 심심한 感謝를 드리는 바이다.

參 考 文 獻

1. 韓電技術部: "第2次 5個年計劃期間에 있어서의 電力系統問題檢討", No. 1. (1968) No. 2 (1969)
2. 宋吉永: "154KV 主幹線系統의 過渡安定度 解析", 大韓電氣學會誌, Vol 18 No. 3, 1969. 5
3. 奧田, 後藤: "系統事故時에 있어서의 周波數 變動特性", 日本電氣學會誌, Vol 187-10 No. 949
4. Stagg & El-Abiad "Computer Methods in Power System Analysis" Book 1968
5. 宋吉永: "電源脫落에 따른 系統周波數 問題解析", 大韓電氣學會誌, Vol. 18 No. 3 1969. 5
6. 吉野: "電力系統 信頼度改善에 關한 理論的 및 實踐的 研究", 1966