

電源脫落에 따른 系統周波數低下問題檢討 (第1報)

論	文
18~3~1	

Study on the Characteristic of System Frequency Decay in Case of Large Generator Unit Outage

宋 吉 永*
(Kil Yeong Song)

[ABSTRACT]

According to the construction of Seoul Thermal #5 (250MW) unit, there will be prospected several new problems on the power system operation.

This paper describes the characteristic of system frequency decay during severe emergencies which result in sudden outage of such large generator unit.

It also studies the factors involved in applying under frequency relays to maintain an allowable frequency level and to prevent total area collapse by automatic load shedding program.

1. 緒 言

今般 서울火力 #5(250MW)의 完成에 이어 正常的인 營業稼動이 4月 1日로 豫定되고 있는바 이때까지의 系統構成과 關連하여 몇가지 問題點 等

- (i) 主幹線系統의 電力潮流問題
- (ii) 事故時의 系統 安定度問題
- (iii) 電源脫落時의 系統周波數 低下問題

等이 새로운 系統問題로서 臺頭될 것이다.

이中 (i)項에 對하여서는 文獻^{(1) (2)}에 詳述하였으며 (ii)項의 安定度問題는 本誌技術解說에 紹介한 過渡安定度計算 Program에 依거하여 檢討한바 있다^{(3) (4)}.

但 여기에서는 Program 關係上 AVR나 調速機의 效果를 無視한 過渡的인 現象分析에만 局限되었으나 앞으로 時間을 들여 上述한 諸制御裝置의 效果까지 包含한 Long Duration 過渡安定度計算 Program을 開發하여 數秒間에 걸친 電力動搖에 對한 安定度を 檢討, 報告할 計劃이다. 여기서는 第 (iii)項의 電源脫落, 곧 서울火力 #5와 같은 大容量의 電源이 事故等으로 갑자기 系統으로부터 脫落하였을 때의 系統周波數의 低下問題를 檢討하고 또 이에 對備한 緊急手段으로서 一時的으로 負荷를 強制遮斷하여 系統周波數를 火力發電所運轉의 許容限度以內에 回復시키기 爲한 自動負荷制限 問題를 簡單히 檢討하고자 한다.

2. 計算法의 概要^{(5) (6) (7)}

電源脫落에 따른 周波數低下計算 Program 作成에 있어서는 特히 調速機系의 表現 및 負荷의 周波數特性에 對한 檢討가 必要할것이다. 따라서 여기서는 이들 內容을 包含한 電源 Trip時의 系統周波數變動狀況을 다음과 같이 考察하기로 한다. 먼저 여기에서 使用하는 記號를 說明한다.

f_s : 基準周波數(c/s)

f : 系統周波數(c/s)

Δf : $f_s - f$, 周波數偏差(c/s)

P_G : 電源脫落直後의 發電力(MW)

P_L : 負荷(MW)

ΔP_L : 周波數 低下에 依한 減少負荷(MW)

β : $P_L - P_G$, 電源脫落直後의 負荷와 發電力의 不均 衡分(MW)

μ : 調速機效果에 依한 發電力增加率(pu)

m : 瞬動運轉豫備率(pu)

T : 調速機系의 時定數(sec)

H : 電源의 單位慣性定數(MW·sec/MVA)

K_G : 發電電力周波數特性定數(pu 電力/pu cycle)

K_L : 負荷周波數特性定數(pu 電力/pu cycle)

S : d/dt

먼저 調速機系의 傳達函數는

$$\mu = \frac{K_G}{1 + TS} \cdot \frac{\Delta f}{f_s} \dots \dots \dots (1)$$

*正會員: 韓國電力 技術部 系統計劃課長

(K_G 가 調速機系의 利得에 相當함)

다음에 負荷의 周波數特性에 對하여서는 一般으로 負荷가 系統周波數의 n 乘에 比例한다고 보고 있음으로⁽⁶⁾

$$\frac{P_L - \Delta P_L}{P_L} = \left(\frac{f_s - \Delta f}{f_s} \right)^n \dots\dots\dots (2)$$

여기서 $\Delta f/f_s \ll 1$ 로 보면

$$\frac{\Delta P_L}{P_L} = n \frac{\Delta f}{f_s} \dots\dots\dots (3)$$

한편 指數는 負荷周波數 特性定數 K_L 에 一致하기 때문에

$$\Delta P_L/P_L = K_L \frac{\Delta f}{f_s} \dots\dots\dots (4)$$

一般으로 基準周波數 f_s 에 있어서의 同期機의 回轉運轉 Energy H' 는

$$H' = H \times \text{定格MVA (MW} \cdot \text{sec)} \dots\dots\dots (5)$$

따라서 系統周波數 f 에 있어서의 回轉運轉 Energy는 $H' \left(\frac{f}{f_s} \right)^2$ 으로 되기 때문에 電源이 脫落된 系統內의 同期機에 對하여서는 아래와 같은 運轉方程式이 成立될 것이다.

$$\frac{d}{dt} \left[H' \left(\frac{f}{f_s} \right)^2 \right] = P_G (1 + \mu) - (P_L - \Delta P_L) \dots\dots\dots (6)$$

여기에 $f = f_s - \Delta f$
 $\beta = P_L - P_G$

를 代入하면

$$2H' \frac{f}{f_s} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta f}{f_s} \right) = \beta - \mu P_G - \Delta P_L \dots\dots\dots (7)$$

다시 여기서 앞서 얻은 (4)式을 代入하면

$$\frac{2H'}{P_G} \frac{f}{f_s} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta f}{f_s} \right) = \frac{\beta}{P_G} - \mu - \left(1 + \frac{\beta}{P_G} \right) K_L \frac{\Delta f}{f_s} \dots\dots\dots (8)$$

一般으로 Δf 가 작어 $f/f_s \approx 1$ 로 假定한다면

$$\frac{2H'}{(1 + \beta/P_G) K_L P_G} \frac{d}{dt} \left(\frac{\Delta f}{f_s} \right) = \frac{\beta}{(1 + \beta/P_G) K_L P_G} - \frac{\mu}{(1 + \beta/P_G) K_L} \frac{\Delta f}{f_s} \dots\dots\dots (9)$$

故로 여기서

$$B = \frac{\beta}{(1 + \beta/P_G) K_L P_G} \dots\dots\dots (10)$$

$$T' = \frac{2H'}{(1 + \beta/P_G) K_L P_G} \dots\dots\dots (11)$$

라고 두면

$$\frac{d}{dt} (\Delta f) = \frac{f_s \left\{ B - \frac{\mu}{(1 + \beta/P_G) K_L} \right\} - \Delta f}{T'} \dots\dots\dots (12)$$

結局 電源脫落時의 系統周波數低下特性은 (12)式을 풀므로써 얻을수 있을것이다. 그림 1은 參考로 이것을 아나로구 計算機로 풀때의 Block 圖를 보인 것이다.

그러나 本文에서는 (12)式의 周波數變動特性을 Digital 計算機로 풀었기 때문에 (12)式을 다음과 같이 變形하

여 使用하였다.

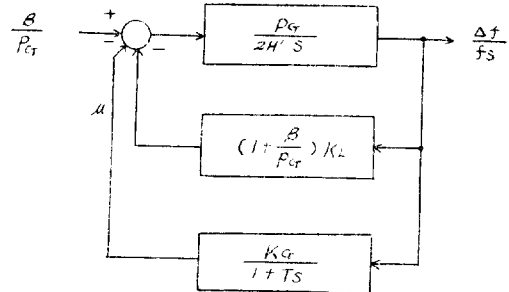


그림 1. 周波數低下計算 Block 圖

Fig. 1 Block Diagram of Frequency Decay Calculation

먼저 (12)式을 電子計算機에 실기 爲하여 Modified Euler 法을 適用하여 Step 計算式으로 바꾸면

$$\Delta f(n+1) = \Delta f(n) + \frac{f_s \left\{ B - \frac{\mu(n + \frac{1}{2})}{(1 + \beta/P_G) K_L} \right\} - \Delta f(n)}{T' + \Delta t/2} \Delta t \dots\dots\dots (13)$$

다음에 μ 值의 Step 計算式도 (1)式으로 부터

$$S\mu = \frac{K_G (\Delta f/f_s) - \mu}{T} \dots\dots\dots (14)$$

로 됨으로 역시 여기에서도 Modified Euler 法을 適用하면

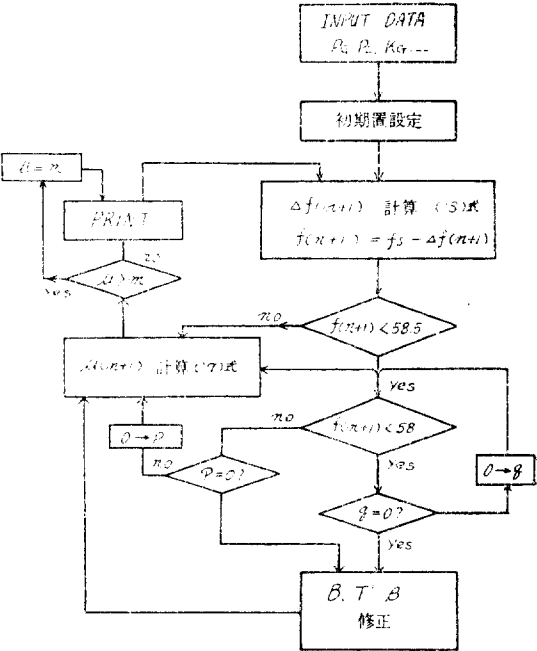


그림 2. 電源脫落에 따른 周波數低下計算 Flow Chart

Fig. 2 Flow Chart of System Frequency Decay Calculation

$$\mu\left(n+\frac{1}{2}\right)=\mu\left(n-\frac{1}{2}\right) + \frac{K_G(\Delta f(n)/fs)-\mu\left(n-\frac{1}{2}\right)}{T+\Delta t/2} \Delta t \dots \dots \dots (15)$$

(註) μ 는 瞬動運轉豫備率 m 에 達할때 까지는 (1)式에 따라 增加하지만 m 에 達하면 $\mu=m$ 로 制限된다.

以上の (13)式 및 (15)式이 Digital 計算法의 基本式이다 한편 初期周波數低下速度는

$t=0$ 에서 $\mu=0$, $\Delta f=0$ 임으로 (12)式에서

$$(s(\Delta f))_{t=0} = \frac{fs\beta}{2H'} \dots \dots \dots (16)$$

以上에 본과와 같이 負荷遮斷이나 系統分離(電源脫落 包含) 등에 依하여 發電力과 負荷의 不均衡狀態가 생겼을 때에는 그때마다 定數를 變更하여 計算하면 될 것이다. 그림 2 는 이들 計算法의 概要를 flow-chart로 보인 것이다.

3. 自動負荷遮斷과 周波數繼電器⁽⁶⁾

電力系統에 故障이 發生하였을 때에 全系統崩壞를 招來하는 Case로서는 다음과 같은것을 들수 있을 것이다.

- (1) 故障除去가 늦어져서 系統의 安定度가 무너졌을 경우
- (2) 發電所(때로는 送電線도 包含)가 Trip 했기 때문에 系統의 需給 Balance가 크게 무너졌을 경우
- (3) 그 어떤 理由로 系統의 一部가 極端한 過負荷狀態로 되었을 경우

上記한 것 中에서 (1)의 Case는 所謂'過渡安定度問題'로서 高速度 Relay, 高速度閉閉路, 後備保護 Relay의 適正化, 高速度系統分離方式의 採用과 같은 對策이 取해지고 있으며 (2)의 Case에서는 系統周波數가 大幅的으로 低下했을 경우에 一部의 負荷를 系統으로부터 急速히 遮斷할 必要가 있을 것이다. 곧 系統周波數의 迅速한 回復를 圖謀하기 爲하여 自動負荷制限(Load Shedding)方式의 採用을 必要로 하게 되는것이다. 이것은 主로 火力發電機의 許容周波數低下值가 2.5~3.0 c/s로 極히 작기 때문이다(그 主要因은 Plant Auxiliary 設備의 運轉制限 및 Plant와 發電機의 共振問題 때문이라고 볼수 있다.

(3)의 Case는 主로 局部的인 電壓降下 또는 送變電設備의 過負荷를 檢出하여 系統操作으로 解決할수 있는 것이며 萬一 不得已한 경우에는 手動 또는 自動으로 負荷制限을 하지 않을수 없을 것이다.

우리가 當面하게 될 서울火力 #5의 運轉問題는 곧 (2)의 case로서 萬一 이것이 事故로 갑자기 停止 될 때에는 그 容量이 系統容量과 比較하여 相當히 크기 때문

에 系統周波數의 低下速度가 極히 클것으로 豫想된다.

곧 이때의 周波數低下特性은 아래式에서 求할수 있을 것이다.

$$\Delta = \frac{\beta/P_G}{K_L(1+\beta/P_G)} (1 - e^{-t/T'}) \dots \dots \dots (17)$$

但 $T' = \frac{2H'}{(1+\beta/P_G)K_L P_G}$

(註) 위式은 (12)式에서 μ 를 0으로 두고 略算한 것으로 實用上 別 故障이 없을 것이다.

그림 3은 서울火力 #5가 正常運轉하게 될 1969年 4~6月 Peak 負荷時(系統容量 1,080MW)를 基準狀態로 보고 위 (17)式에 의거하여 電源脫落容量(β/P_G)을 여러가지로 假定하였을 때의 系統周波數의 低下特性을 그린것이다. 이 그림에서 알수 있듯이 이때 우리系統의 實情으로서 β/P_G 가 0.20을 넘을 경우에는 2秒以內에 2c/s의 周波數低下를 보게 될것이다.

이와같은 現象에 對하여 豫想될 最惡의 事態를 避하기 爲하여서는 負荷制限을 할수밖에 없을 것이며 따라서 優秀한 遮斷特性을 가춘 Under Frequency Relay(以不 UFR로 略稱함)의 迅速한 購入設置가 要求될것이다.

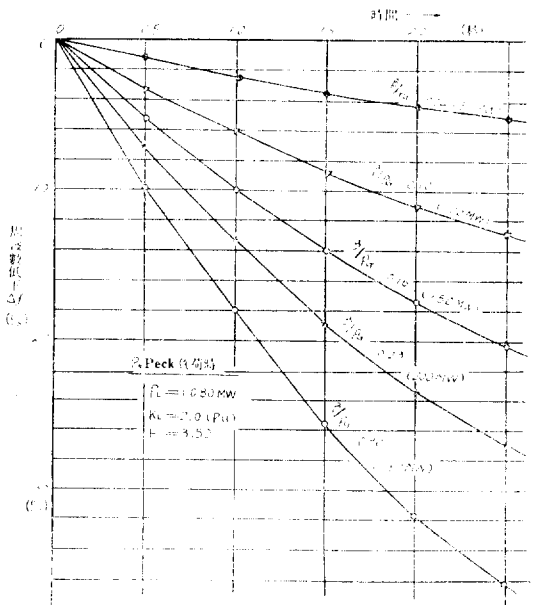


그림 3. 周波數 低下特性 Case A (69' 4~6 Peak 負荷時 $P_L=1,080MW$)

Fig 3. Characteristic Curves of Frequency Decay Case A (69' 4~6Peak load: $P_L=1080MW$)

參考로 아래 表1은 現在 우리 系統에서 設置되고 있는 UFR의 現況을 보인것이다.

(註) 그러나 이들은 現在 大部分이 Load Shedding의

優先順位上에서 볼때 最上位에 屬하는 重要基幹 産業工場에만 設置되어 있기 때문에 系統安定度의 向上을 期하고 또 Load Shedding 을 分散하기 爲하여 UFR을 새로히 FY-38 計劃으로 20臺入 荷執行中이며 FY-69 計劃으로 亦是 100臺를 追加購入코져 推進中에 있다.

Table 1 UFR Installation

表 1 UFR 設置現況

Tap 整定値	設置臺數	Sheding 負荷의 크기	
		晝 間	夜間(peak)
58.5 c/s	7	48,500KW	54,500KW
58.0 c/s	15	107,500KW	128,500KW
計	22	156,000KW	183,000KW

4. 計算結果 및 檢討

自動負荷制限方式으로서 Under Frequency Relay (UFR) 方式을 採用했을 경우의 우리나라의 系統周波數 低下特性計算結果를 아래에 說明한다. 먼저 計算에 앞서 現在 우리가 使用하고 있는 UFR의 正確한 特性, 특히 그 中에서도 周波數의 變化速度(df/dt)에 따른 遮斷 特性을 把握하여야 하지만 이것은 아직 使用實績을 통한 特性試驗設備에 있으므로 여기서는 그림 4와같은 近似特性曲線을 使用하기로 하였다.

큰 UFR의 動作特性은 周波數低下速度(df/dt)와 密 性한 關係가 있는과 여기서는 이 df/dt가 1보다 작을때 에는 UFR가 整定値에 到達한 後의 動作時間, 補助繼 電器動作時間 및 遮斷器動作時間까지 包含한 負荷遮斷 時間(τ)을 1秒로 보고 萬一 df/dt가 1보다 클때에는 이 τ를 0.5秒라고 近似的으로 假定한 것이다.

計算은 電源脫落直前의 系統容量을 基準値로 : 固定시 키고 (이때 初期負荷 P_{Lo}=初期發電力 P_{Go}) 脫落電源의 크기를 50MW~250MW의 範圍에서 몇가지로 變化

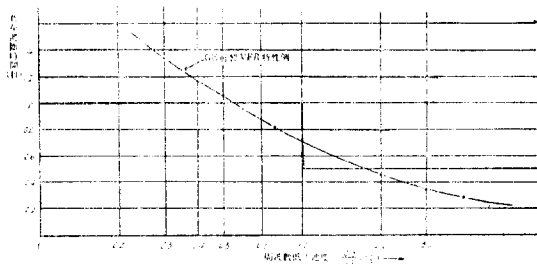


그림 4. UFR 特性(近似)

Fig.4 Under Frequency Relay Trip-Time Characteristic

시켜 보았다. 但 여기서는 系統容量을 Peak 負荷時의 1,080MW 및 晝間負荷時의 880MW의 두가지로 大別하 였고 UFR에 依한 負荷遮斷容量亦是

- (1) 58.5c/s 整定에서 50MW, 58c/s 整定에서 100MW
 - (2) 58.5c/s // 100MW, 58c/s // 100MW
- 의 두가지만을 假定하였다.

其他 計算에서 使用한 定數値를 列記하면 아래의 같다

$$K_G=3.7(\text{pu}) \quad H=3.5$$

$$K_L=2.0(\text{pu}) \quad H'=1.2 \cdot P_G \cdot H$$

$$m=0.08(\text{pu}) \quad T=10(\text{sec})$$

$$\Delta t=0.5(\text{sec})$$

그림 5~그림 7에 代表的인 計算結果를 보인다.

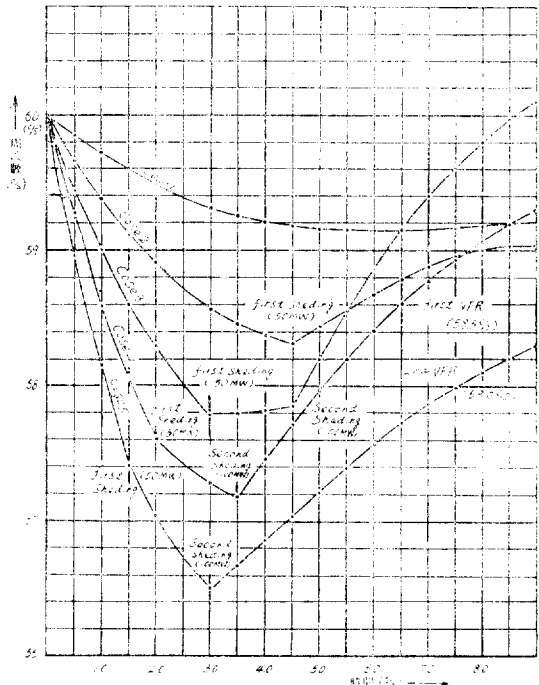


그림 5 周波數 低下計算結果

Fig. 5 Frequency Decay Curve Due to System Overload

먼저 그림 5는 Peak 負荷時 系統容量 1,080MW 水準에서 50~250MW의 電源脫落($\beta/P_G=0.05\sim0.3$ 에 相當한)을 假定하였을 때의 系統周波數低下狀態를 본것이다

計算結果에 依하면 50MW 程度의 電源脫落에서는 別 問題없고 100MW 以上の 電源脫落에서 비로소 負荷遮斷이 必要하게 되고 있다. 其中 150~200MW까지는 100~150MW 程度의 負荷遮斷으로 系統周波數가 火力 發電所의 低周波數 運轉限界인 57c/s까지 低下되기前에 回復되고 있으나 250MW의 電源脫落에서는 150 MW의 負荷遮斷만으로는 約 2.5秒間을 57c/s 以下에서 運轉하 게 될것이다. 但 이경우에는 計算上의 假定에서 第2段 UFR의 動作時間을 2 秒程度로 길게 잡았기 때문에 그

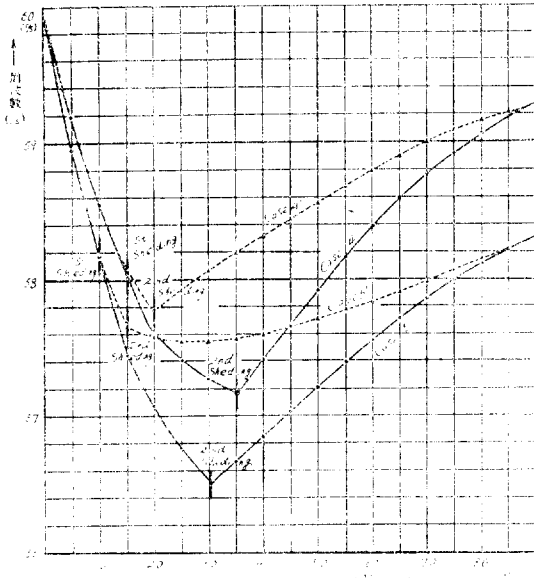


그림 6 周波數低下計算結果

Fig. 6. Frequency Decay Curve Due to System Overload

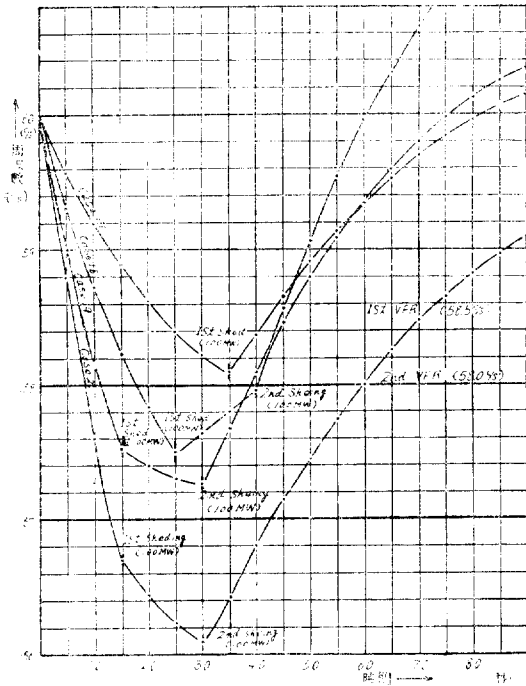


그림 7. 周波數低下計算結果

Fig. 7 Frequency Decay Curve Due to System Overload

回復이 늦어진 것이라고 말할수 있을것 같다. 그림 6은 같은 Case에서 UFR의 動作을 瞬時動作 Type로 바꾸어 整定値以下에 떨어지면 各各 0.5秒 以內에 負荷를 遮斷하는 Case를 본것이다. 곧 그림 6의 點線으로 그려진과 같이 負荷遮斷容量이 同一하더라도 UFR의 動作이 달라진것 만큼 周波數의 低下速度가 緩和되어 系統周波數 維持面이 크게 改善될것으로 期待되고 있다.

具體的인 數值例를 든다면 앞서 250MW의 電源脫落에서 57.0c/s 以下로 低下되었던 Case 5가 UFR의 迅速한 遮斷結果 57.5 c/s 以上을 充分히 維持할수 있음을 알수 있다(Case 5')

다음 計算한 區間은 約 10秒 程度의 範圍로 限定하였는데 이틀 그림에서 곧 알수 있듯이 電源脫落容量이 第2段까지의 負荷遮斷容量보다 50MW 程度만 超過할 때에는 調速機의 運轉效果로 最終的인 周波數偏差가 1.0 cycle 以內, 곧 系統周波數가 59c/s 水準까지 回復되고 있다. 한편 이때의 電源脫落容量이 負荷遮斷容量보다 100MW 以上을 超過할 때에는 調速機의 運轉效果만으로는 不足하여 58c/s 水準에 머무르게 될것이다.

다음 그림 7은 같은 計算條件에서 電源脫落前의 系統容量을 880MW로 본 Case이다. 따라서 이때의 $\beta/P_G=0.06\sim 0.4$ 로 커지고 있다. 計算結果는 上述한 Peak 負荷時와 거의 비슷하나 이때의 系統容量이 적은만큼 電源脫落의 影響이 크게 나타나서 火力發電所의 低周波數 運轉限界인 57c/s 以下로 떨어지는 Case가 생기게 된다 (Case 14, 15 및 Case 20)

이中 Case 15 및 Case 20, 곧 晝間負荷時 250MW의 電源脫落이 생기면 실사 UFR로 150~200MW의 負荷를 遮斷하더라도 系統周波數를 59c/s 以上으로 回復시키기가 어렵게 되고있어 負荷遮斷容量에 問題가 남지되고 있다.

아래의 表 2는 今般 計算한 各 Case의 計算結果를 整理한 것이다.

5. 問題點 및 展望⁽⁸⁾

電源脫落으로 系統周波數가 規定周波數 以下로 運轉될때 系統에 미치는 影響은 많겠으나 그중에서도 특히 火力發電所의 Auxiliary 設備의 運轉制限이 큰 問題가 될 것이다. 따라서 電源脫落時의 低周波數限界는 火力發電所를 基準으로 하여야 할것이며 實際 우리나라 系統에서도 이제까지 火力發電所의 低周波數運轉의 許容限度를 57c/s로 設定하여 運轉하고 있는것이다. 그러므로 여기서는 低周波數運轉限界를 57c/s로 붙때 于先 計算結果에서 系統周波數가 이 運轉限界以下에서 2秒以上을 계속하는 경우는 Peak 負荷時(1080MW), 晝間負

表 2 計算結果一覽表

Case No.	初期負荷 P_{LO} (MW)	脫落電源 ΔP_G (MW)	電源脫落率 D (%)	負荷制限量 P_1, P_2	周波數低下速度		UFR에 依한 負荷遮斷容量(MW)	周波數의 最低值 f (c/s)
					58.5 c/s에 達하는 時間 t_1	58.0 c/s에 達하는 時間 t_2		
1	1,080	50	4.6	$P_1=50\text{MW}$ $P_2=100\text{MW}$	—	—	—	59.1
2	"	100	9.2	"	3.2	—	50	58.3
3	"	150	13.8	"	1.6	2.4	150	57.8
4	"	200	18.4	"	1.2	1.6	150	57.2
5	"	250	23.0	"	0.8	1.1	150	56.5
6	"	50	4.6	$P_1=100\text{MW}$ $P_2=100\text{MW}$	—	—	—	59.1
7	"	100	9.2	"	3.2	—	100	58.3
8	"	150	13.8	"	1.6	2.5	100	57.8
9	"	200	18.4	"	1.1	1.6	200	57.6
10	"	250	23.0	"	0.8	1.1	200	57.0
11	880	50	5.7	$P_1=50\text{MW}$ $P_2=100\text{MW}$	—	—	—	59.0
12	"	100	11.4	"	2.2	—	50	58.1
13	"	150	17.1	"	1.2	1.8	150	57.4
14	"	200	22.8	"	0.75	1.15	150	56.7
15	"	250	28.5	"	0.6	0.8	150	55.8
16	"	50	5.7	$P_1=100\text{MW}$ $P_2=100\text{MW}$	—	—	—	59.0
17	"	100	11.4	"	2.2	3.5	100	58.1
18	"	150	17.1	"	1.2	1.8	100	57.5
19	"	200	22.8	"	0.75	1.15	200	57.3
20	"	250	28.5	"	0.6	0.8	200	56.1

荷時(880MW) 共히 電源脫落 250MW의 Case가 될것이다.

이中 58.5c/s 整定 UFR에서 100MW, 58c/s 整定 UFR에서 100MW로 計 200MW의 負荷遮斷이 이루어진다고 假定할 때에는 晝間負荷時만이 問題가 될것이다

따라서 以上の 周波數低下特性으로 볼 때 Peak時에는 큰 問題가 없겠으나 晝間 Peak時, 더 나가서 深夜 Off-Peak時에는 서울火力 *5의 出力을 이때의 系統容量(곧 負荷의 크기)에 맞추어 適當히 減發시켜 運轉함으

로서 最惡의 狀態를 避할수 있도록 하여야 할것이다.

그러나 이들의 計算에 使用한 諸定數에 對하여서는 實測值가 없어 大部分을 假定하였기 때문에 이것만으로 簡陋히 結論을 내릴수는 없을것 같다.

더욱이 UFR에 依한 負荷遮斷이 計算上의 假定처럼 주어진 整定值에서 計算대로 어김없이 課해진 責任量을 遮斷할수 있느냐 하는것도 問題로 남을것이다.

이러한 意味에서 어디까지나 以上の 結果에 對하여서는 適當한 裕度(Margin)를 가지고 解釋하여야 할것이다.

따라서 負荷制限方式을 萬能이라고 安易하게 생각하여서는 안될것이며 이러한 方式은 이번 서울火力 #5稼動的 경우처럼 現系統狀態에서 어떻게 할수없는 事態에 對備하기 爲한 緊急對策으로 보아야 할것이다.

이러한 意味에서 現在 使用中인 UFR의 點檢이 必要할 것이며 또 今般 緊急對策으로 購入이 豫定되고 있는 新規 UFR에 있어서는 動作特性이 보다 나은것을 選擇하여야 할것이다.

6. 結 論

以上에서 서울 火力 #5(250MW)의 系統併入에 따른 問題中 이것이 不意의 事故等으로 갑자기 停止될경우의 系統周波數低下特性을 살펴 보았다.

檢討結果에 依하면 이와같은 大容量의 發電機가 系統으로부터 脫落될 때의 影響은 特別 晝間負荷時나 深夜負荷時에 크게 나타나고 있으며 이에 對한 對備策으로서는 系統負荷의 크기를 考慮한 서울火力 #5의 運轉및 UFR의 點檢과 增設을 들수 있을 것이다.

이中 後者의 UFR에 依한 對備策에 對하여서는 前述한 바와같이 FY-68 및 FY-69 事業으로 UFR의 緊急 購入 設置計劃이 銳意 推進中에 있으며 또 이와 併行

해서 現在 系統特性定數 把握을 爲한 一連의 現場測定 및 試驗이 進行되고 있기 때문에 앞으로는 보다 整備된 實測 Data에 의거하여 以上의 問題를 檢討 할수 있을것이다.

勿論 이와같은 大電源脫落時의 系統問題는 上述한 系統周波數 維持面에 局限시켜 다룰것이 아니라 오히려 系統의 安定度維持面에서 보다 慎重하게 다루어져야 될 性格의 問題인바 이點 亦是 AVR와 調速機의 運轉效果까지 包含한 Long Duration 過渡安定度計算 Program을 開發하여 綜合的으로 檢討 報告할 計劃이다.

附 錄

瞬動運轉豫備率 m 에 對하여

本文에서 說明한 바와같이 調速機系의 效果에 依한發電力增加率 μ 의 값은 調速機動作의 上限值에 制約될것이며 그 最大值가 곧 瞬動運轉豫備率 m 인 것이다. m 值의 算定에 利用할수 있는 完全한 實測 Data는 아직 없으며 外國에서도 뚜렷하게 이 數值를 밝힌 例가 別로 없다. 여기서는 68年 11月 9日 및 12月 16日 釜山火力 #3 Trip 時의 測定值에 의거하여 이 m 值를 推定하여 보기로 한다.

아래의 附表은 이때의 實測值이다.

附 表

Case	Trip 時間	Trip發電機	遮斷電力 ΔP	系統容量 P	火力比	周波數變化 ΔF	備 考
3-16	11/9 09:10	釜山 #3	105MW	812MW	86%	1.0 c/s	全發電機를 Governor 運轉 full 運轉中
2-09	12/16 19:15	"	"	1,024MW	72%	1.8 c/s	

Case 3-16

$$P_G=707MW$$

$$P_L=812MW$$

$$\beta=105MW$$

$$\Delta f/f_s=0.0167$$

$$P_L/P_G=1.15$$

$$K_L=2.0$$

Case 2-09

$$P_G=919MW$$

$$P_L=1024MW$$

$$\beta=105MW$$

$$\Delta f/f_s=0.03$$

$$P_L/P_G=1.11$$

$$K_L=2.0$$

發電機와 負荷의 不均衡, 調速機動作에 依한 發電力의 增加, 周波數 低下에 의한 負荷의 減少等이 Balance 된 安定狀態에 있어서의 關係式

$$P_G(1+m)=P_L\left(1-\frac{\Delta f}{f_s}\right) \text{ 로 부터}$$

$$m=\frac{P_L}{P_G}\left(1-K_L\frac{\Delta f}{f_s}\right)-1 \text{ 이 되니까}$$

이로부터 Case 3-16 $m=0.11$

Case 2-09 $m=0.04$

이 中 前者의 Case는 負荷가 增加하기 始作하는 아침 9時 10分의 Trip 例로서 特別 調速機試驗때문에 全調速機運轉中이라는 有利한 條件이 었으므로 m 가 比較의 크게 나타났것이며 反對로 後者의 Case는 夜間Peak 時의 運轉狀態로서 거의 豫備力이 없는 狀態에서의 Trip 例이기 때문에 m 가 比較의 작게 나타났것으로 說明할수 있을 것이다.

그러나 앞으로는 서울 火力 #5의 脫落到 對備하여 常時 Spinning Reserve를 高水準으로 維持하고 또한 調速機를 가진 發電機는 可能한限 全機 調速機 Free 運轉케 한다는 點 等を 감안하여 本計算例에서는 m 를 0.08로 採用한 것이다. (1969년 4월 7일 받음)

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 2.
2. 韓電 技術部: 第2次 5個年計劃 期間에 있어서의 電

6. H.E. Lokay V.Burtnyk : IEEE Vol.87 No.3 March 1968
7. 日本電氣學會：自動周波數制御 1950
8. 韓電發電部：系統周波數 特性調査 및 서울火力 #5運轉檢討 1969. 2
- 力系統問題 檢討No. 2 1969. 2
3. 關西電力. 技報：大形電子計算機에 依한 過度安定度計算 Program 1965.10
4. 韓電 技術部：154KV 主幹線系統의 過渡 安定度解析 1969. 1
5. 吉野：電力系統 信賴度 改善에 關한 理論的 및 實踐的 研究 1966