

最適負荷制限方式의 適用에 관한 研究

논문
24~2~4

Study on the Application of Optionum Load Shedding

宋 吉 永* · 李 曠 宰**
(Kil Yeong Song) · (Keong Jae Lee)

Abstracts

This paper describes the results of a study for the system characteristics, especially for the abnormal frequency drop of power system, when a large generating unit such as Kori Nuclear 1 (595MW) pulls out from the system. The automatic load shedding method now adopted in our system was re-studied to ameliorate the above problem.

From the results of the study, a new under-frequency relay with an element for detecting the slope of frequency change and with time delay element to raise the lowered frequency to a desired value, was found to be effective, and should be purchased and utilized.

By this study, an optimal and concrete load shedding method was recommended for reliable operation of power system.

1. 緒 言

最近 外國에서 일어났던 電力系統의 大停電事故의 分析例에 의하면 電源脫落이나 線路遮斷 등으로 事故가 擴大된 過程에서 系統周波數가 低下하고 이것이 原因이 되어 다시 發電機의 脫落이 생겨 連鎖的으로 事故가 발전하여 드디어는 全系統事故에로 이르렀던 경우가 있었다고 한다.⁽¹⁾

一般的으로 이러한 全系統崩壞를 招來하는 케이스를 추려본다면

- (1) 事故의 重疊(多重化)
- (2) 保護施設의 機能不良
- (3) 事故時 潮流의 大幅的인 送電容量超過
- (4) 大電源事故에 의한 系統周波數의 異常低下

등을 들 수 있을 것이다.

本 報告는 이중 마지막 케이스인 大電源脫落에 따른 自動負荷制限方式의 適用檢討에 그 중점을 두고 電源脫落時의 系統周波數變動特性把握과 負荷制限에 따른 周波數制御效果를 解析하므로써 현재 우리나라에서 채택, 適用하고 있는 自動負荷制限方式을 보다 완벽한 制御方式으로 補強할 수 있는 方案을 얻을 수 있었기 때문에 이것을 간단히 紹介하고자 한다.

2. 自動負荷制限方式의 概要

自動負荷制限方式은 理想的으로는 電源脫落即時 脫落된 電源의 크기라든가 位置를 檢出하고 또 이것이 系統에 미치는 影響을 逐次 판단하여 이에 알맞는 負荷遮斷量을 결정하고 이것을 高速遮斷하도록 한다는 것이 가장 바람직하겠지만 현실적으로는 事故發生即時 그 크기를 파악한다는 것은 기술적으로 거의 不可能한 것이다. 그 理由는 系統에서 電源脫落의 影響을 直接測定할 수 없고 다만 間接적으로 이 순간의 系統周波數低下率등으로 판단할 수 밖에 없는데 이것마저 이때의 系統運轉狀態, 예를 들면 重負荷時와 輕負荷時에는 같은 電源脫落量이더라도 周波數低下率이 크게 달라지기 때문이다.

이 결과 우리나라에서는 事前에 다음과 같은 몇가지 基準을 세워두고 이에 따라 低周波數繼電器(Under Frequency Relay : 이하 UFR라고 略稱함)를 系統主要點에 適正配置시키고 이의 動作(곧 負荷遮斷) 周波數整定值를 몇 단계로 設定시켜 놓으므로써 電源脫落到 뒤따르는 系統周波數의 低下에 대응해서 指定된 負荷를 차례 차례로 遮斷해 나가도록 하고 있다.

自動負荷制限의 適用基準

(1) 예상될 가장 가혹한 電源脫落事故에 대하여서도 系統周波數가 火力發電機의 低周波數運轉限界 以下로

*正會員 · 漢陽工大 教授(工博) · 當學會 理事
**韓電 系統運用部 中央給電指令所長

내려가지 않게 한다.

(2) 負荷遮斷量은 어느 경우이건 必要最小限으로 늘린다.

(3) 負荷遮斷의 信賴度는 最大限으로 높여야 한다.

(4) 負荷遮斷으로 送電線 또는 機器가 過負荷狀態로 되지 않도록 한다.

이중에서도 특히 留意하여야 할 것은 (1)의 火力發電機의 低周波數運轉에 관한 問題일 것이다. 低周波數運轉에서는 Turbine의 低翼段이 가장 민감한 영향을 받아 가령 系統周波數가 57.6사이클 이하, 경우에 따라서는 58.8사이클 이하에서 오래동안 계속되면 共振에 의한 疲勞破壞를 일으킬 위험이 있기 때문이다.

다음 表 1에 현재 우리나라에서 設置運用하고 있는 UFR의 特性 및 이에 의한 負荷遮斷量의 配分現況을 보인다.

表 1. 우리나라의 低周波數 繼電器 設備現況

Table. 1. UFR Installation

(a) 現有設備의 特性

	Type	대수	특성
현재 운전중인 UFR 대수	CFF-23A	50	순시(timer 0.1~1.0秒)
	CRF-2D	17	순시(동작시간 약 0.1秒)
	CF	12	반한시형
	국산	1	반한시형
도입계획	SFF-21A	50	순시(timer 0.07~1.33秒)

(b) 負荷遮斷量(74. 7. 25 현재)

周波數	58.5Hz	58.0Hz	57.5Hz	57.0Hz	합계
차단負荷量(KW)	108,200	126,500	179,000	143,300	557,000

*당시발전량 2,149,000KW

3. 負荷遮斷動作에 의한 周波數制御效果

電源脫落時의 周波數 低下 特性 및 負荷遮斷에 따른 周波數制御效果에 관한 計算方法에 대해서는 앞서 報告한 바 있으므로 (文獻 1) 여기서는 간단히 그 基本計算式 및 Flow chart에 의한 計算 알고리즘만 보이고 다음에 이번 檢討에서 여기에 追加하게 된 몇가지 알고리즘의 補充內容을 설명하기로 한다.

周波數低下特性的 計算式

$$\frac{d}{dt}(\Delta f) = \frac{f_s \left\{ B - \frac{\mu}{(1 + \beta/P_0)K_L} \right\} - \Delta f}{T'} \dots (1)$$

$$\mu = \frac{K_0}{1 + TS} \frac{\Delta f}{f_s} \dots (2)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{단, } B &= \frac{\beta}{(1 + \beta/P_0)P_0K_L} \\ T' &= \frac{2H'}{(1 + \beta/P_0)P_0K_L} \end{aligned} \right\} \dots (3)$$

여기서 Δf = 周波數低下(사이클/秒)

f_s = 基準周波數(사이클/秒)

P_L = 電源脫落前의 負荷(MW)

P_0 = 電源脫落後의 發電力(MW)

$$\beta = P_L - P_0$$

K_L = 負荷周波數特性定數(PU 負荷/PU 사이클)

K_0 = 發電電力周波數特性定數(PU 發電力/PU 사이클)

μ = 調速機의 効果에 의한 發電力增加率(%)

T = 調速機의 時定數(秒)

H = 單位慣性定數(MW·sec/MVA)

$2H'$ = 電源의 定格 MVA $\times 2H$

$$S = \frac{d}{dt}$$

위의 關係式을 실제로 電子計算機를 사용해서 計算할 경우에는 Modified Euler法을 適用해서 아래와 같이 풀어 나간다.

$$\Delta f_{(n+1)} = \Delta f_{(n)} + \frac{f_s \left\{ B - \frac{\mu_{(n+1)}}{(1 + \beta/P_0)K_L} \right\} - \Delta f_{(n)}}{T' + \Delta t/2} \times \Delta t \dots (4)$$

$$\mu_{(n+1)} = \mu_{(n)} + \frac{K_0(\Delta f_{n+1}/f_s) - \mu_{(n)}}{T + \Delta t/2} \times \Delta t \dots (5)$$

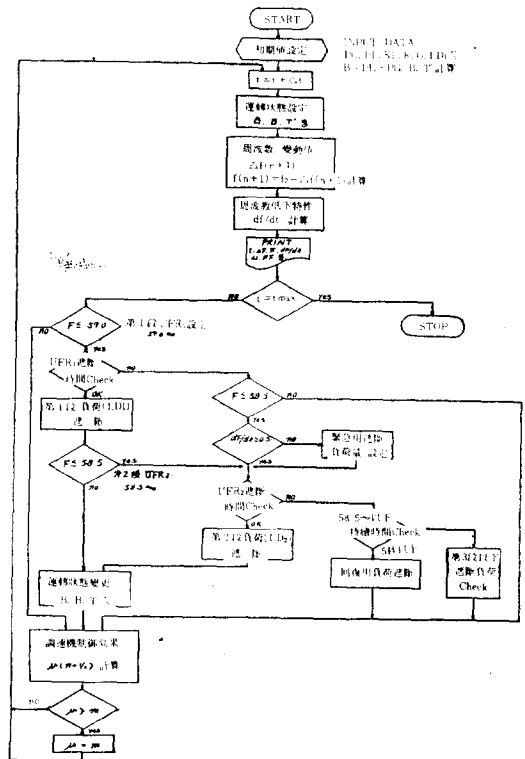


그림 1. 周波數低下特性計算의 Flow Chart
Fig. 1. Flow chart of System Frequency Decay Calculation

이상의 (4)식 및 (5)식이 시스템周波數低下特性에 관한 digital計算法의 基本式이다. 만약 UFR의 整定에 따른 負荷遮斷實施라던가 系統分離등으로 系統狀態에 변화가 생겼을 경우에는 그때마다 새로운 定數를 사용해서 위 式을 풀어나가면 될 것이다.

다음 그림 1은 이 計算法의 概要를 flow chart로 보인 것이다.

이번 計算 알고리즘에서 附加된 機能은

(1) 電源脫落量의 크기에 대비해서 負荷遮斷量을 조절할 수 있는 df/dt 要素檢出機能의 追加

(2) 最終周波數值를 一定水準 이상으로 끌어올리기 위한 回復用 負荷遮斷機能의 追加

(3) 負荷遮斷段數 및 周波數整定值의 조정기능 追加 등인데 이로서 電源脫落事故에 대비한 自動負荷制限을 보다 効率的으로 應動할 수 있게 하였다.

다음 그림 2는 이러한 大電源脫落으로 급격하게 低下되는 系統周波數가 脫落後 實施된 負荷遮斷으로 그 低下特性이 어떻게 改善(制御)되고 있는가를 보인 것이다.

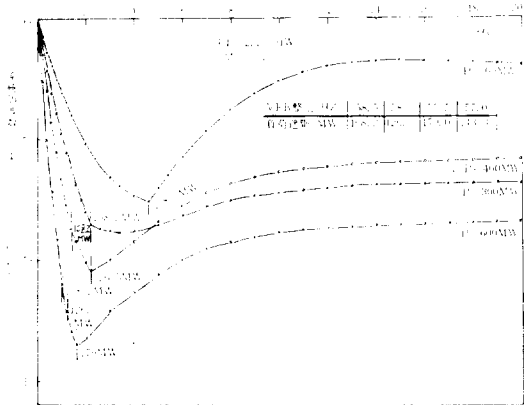


그림 2. 自動負荷制限 방식에 의한 周波數 特性計算 結果

Fig. 2. Frequency recovery curve by Applying Load Shedding

이 計算에서 사용된 系統條件은 각각

(1) 負荷水準으로서는 2200MW의 運轉狀態를 대상으로 하였고

(2) 低周波繼電器(UFR)의 整定條件 및 負荷遮斷量은 現在 運用中인 條件 그대로 하였음. 곧

UFR整定值(Hz)	58.5	58.0	57.5	57.0
負荷遮斷量(MW)	108.2	126.5	179.0	143.3

의 4段階로 취급하였음.

(3) 기타 計算에서 사용한 系統定數值는

$$K_L=2.4(Pu)$$

$$K_G=2.4(Pu)$$

$$H=3.5(MW \cdot sec/MVA)$$

를 가정해서 사용하였으며 그밖에 瞬動運轉 豫備率도 $m=2\%$ 로 하였다.

이상의 計算條件에서 電源脫落量을 각각 200MW~800MW로 변화시켜 보았을 때의 系統周波數의 變動狀況은 위의 그림에서 곧 알 수 있듯이 電源脫落直後의 初期段階에서는 주로 UFR動作에 의한 負荷遮斷實施로 그 低下特性이 改善되고 뒤이어 調速機 Free 運轉發電機의 應動出力(곧 이것이 瞬動豫備力입)에 의한 制御效果로 20秒 후에는 거의 定常狀態值로까지 回復되고 있다. 다만 이때 現在의 負荷制限方式만 가지고서는 負荷遮斷量의 配分이 적절하지 못하여 가령 電源脫落量이 600MW일 때는 이것을 58.5사이클 以上으로 回復시키지 못하고 있음을 알 수 있다.

앞서 말한 바와 같이 負荷遮斷量의 決定은 最終的인 制御의 質과 需用家の 서비스面이라는 두가지 側面에서 신중히 다루어져야 하는데 특히 本研究에서는 이들 UFR相互間의 協調問題에 重點을 두고 이의 最適配分方案을 導出하는데 注力하기로 하였다.

4. 最適負荷制限方式의 決定

4.1 負荷遮斷量의 法定에 관한 檢討

電源脫落時 系統負荷 및 發電機出力間의 不均衡으로 야기되는 過負荷率(Over Loading)에 따른 所要負荷遮斷量은 아래 式으로 부터 求할 수 있다(文獻 4).

$$L_D = \frac{\frac{OL}{1+OL} - K_L(1 - \frac{f}{f_s})}{1 - K_L(1 - \frac{f}{f_s})}$$

단, $OL = \text{過負荷率} \left(\frac{P_L - P_G}{P_G} \times 100(\%) \right)$

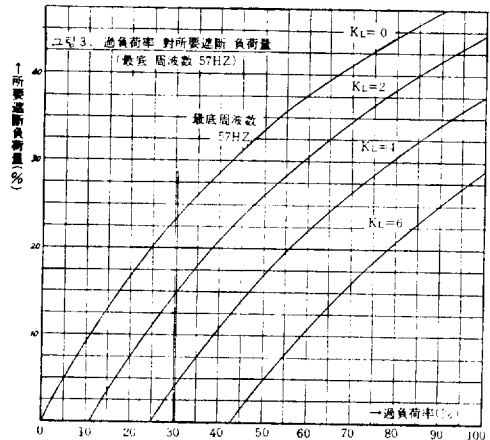


그림 3. 過負荷率對 所要負荷遮斷量

Fig. 3. Load Shedding Requirements VS Over Load Factor

L_D = 所要負荷遮斷量

(全系統負荷의 百分率로 表示됨)

그림 3은 計算結果의 1例로서 最低周波數를 57.0사이클로 유지한다고 가정하였을 때의 過負荷率對 所要遮斷量과의 관계를 보인 것이다. 이 결과에 의하면 가령 過負荷率 30%에 달하는 大電源脫落時 最終段階에서의 系統周波數를 57.0사이클 以上으로 유지하는데 所要되는 負荷遮斷量은 $K_L=0$ 일 경우 23%가 소요되고 $K_L=2.0$ (Pu)일 경우에는 이것이 줄어서 15%로, 그리고 $K_L=4.0$ (Pu)으로 되면 $L_D=40\%$ 로 되고 있다.

이와 같이 같은 크기의 電源脫落事故이더라도 K_L 의 값에 따라 所要負荷遮斷量이 크게 달라지고 있지만 이 負荷特性定數 K_L 의 값은 系統構成이라던가 運轉條件에 따라 系統固有의 크기를 가지는 것이다. 그 동안 몇 차례에 걸친 實測結果(文獻 12) 우리나라에서는 이 값이 대략 4.0% (MW/Hz) = 2.4 (PU) 정도로 一定하다는 것이 밝혀지고 있다.

그림 4는 大電源脫落時 最低周波數의 運轉目標値를 각각 57.0, 58.0, 59.0 및 60사이클로 유지하고자 하였을 때의 所要負荷遮斷量의 크기를 보인 것이다.

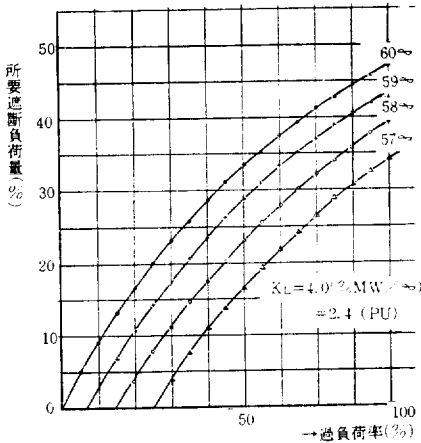


그림 4. 最低周波數의 크기에 따른 所要遮斷 負荷量
Fig. 4. Load Shedding Requirements to have Frequency Settle at 57Hz~60Hz

한편 古里原子力이 系統에 併入될 1976年末의 우리나라 系統의 負荷水準은 2400~3500MW로 예상되고 있기 때문에 만일 이때 古里原子力이 全出力(565MW) 運轉하다가 갑자기 脫落된다면 이로 인한 過負荷率은 20.0~30.0% 水準에 이르게 될 것이다.

따라서 앞으로 이러한 古里原子力의 脫落에 대비해서 確保되어야 할 全負荷遮斷 所要量은 가령 周波數維持目標値를 59.0사이클로 잡는다면 17.5%로 충분할 것이다. 그러나 本 計算例에서는 만일의 경우까지 고려해서 最大過負荷率을 40%까지로 가정하고 이러한 경

우에도 系統周波數를 一定時間(가령 10秒) 이내로 59.0사이클 以上으로 回復시킨다는 前提下에서 檢討하기로 하였다.

동 그림에서 본다면 過負荷率 40%에 해당하는 電源脫落時 所要負荷遮斷量은 系統容量의 25%에 해당하고 있음을 알 수 있다.

그런데 이상의 計算에서는 瞬動豫備力에 의한 效果를 무시하고 있다. 곧 일반적으로 電源脫落時 周波數가 低下되면 調速機가 이 變化를 재빨리 檢出해서 發電機의 出力을 增加시키게 되는 것이다.

특히 調速機 Free運轉發電機의 臺數가 많으면 그만큼 出力增加幅도 커져서 때로는 系統容量의 5~10%에 이르는 수가 있다고 한다. 우리나라 系統에서는 아직 이에 대한 확실한 測定例가 없고 最近의 系統現況에서는 이것이 거의 무시될 정도로 작다고 하고 있으나 앞으로 系統容量에 어느 정도 여유가 생기게 되면 당연히 이 瞬動豫備力도 여기에 포함시켜야 할 것이다. 다만 이러한 瞬動豫備力의 應動은 調速機系의 時定數가 水火力 공히 10秒 정도이기 때문에 數秒 이내에 負荷遮斷이 不可避한 大電源脫落時에는 이것이 所要遮斷量의 크기에 영향을 거의 미치지 못하고 이후의 周波數回復段階에 가서야 비로소 그 效果를 發揮하게 되는 것이 보통이다. 따라서 本 檢討에서는 이것을 所要負荷遮斷量의 算定에 포함시키는 대신에 最終의인 周波數維持目標値를 끌어올리는 餘力으로 취급하였다. 그 결과 가령 앞서 그림 4에서 본바와 같이 59.0사이클 維持를 목표로 해서 이에 필요한 一定量의 負荷만 遮斷하였다고 하더라도 최종적으로는 瞬動豫備力이 여기에 加算되어 最終周波數가 언제나 59.0사이클 以上 水準으로 上廻하게 된다고 볼 수 있을 것이다.

4.2 負荷遮斷量의 最適分配에 關한 檢討

이상에서 一次의으로 電源脫落量의 크기에 따른 所要負荷遮斷量을 決定할 수 있었다. 다음에는 이것을 各地點에 配置된 低周波數繼電器의 負荷遮斷量과 어떻게 結付시킬 것인가, 곧 UFR 動作周波數와 遮斷量과의 協調을 어떻게 取할 것인가에 대해서 檢討하기로 한다.

먼저 그림 5는 負荷分配의 1例로서 電源脫落時 系統周波數의 最低維持目標値를 59.0사이클로 잡았을 때의 各段 UFR의 遮斷責任量의 관계를 보인 것이다.

一般的으로 UFR에 의한 負荷遮斷은 아래와 같이 各 UFR의 周波數整定値에 따라 不連續의 動作을 하기 마련이다.

따라서 만일 UFR의 整定値를 2~3群으로 나누어서 한꺼번에 10% 가까운 負荷를 遮斷하게 된다면 輕微한 電源脫落時에도 必要 以上の 負荷를 차단하게 될 뿐만 아니라 때에 따라서는 오히려 이것이 系統動搖를 助長

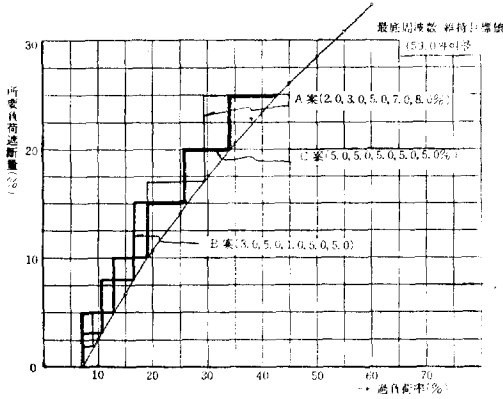


그림 5. 所要遮斷負荷량의 配分例
Fig. 5. Five-Step Load Shedding Program

곧, $\Delta P_{LD} = 0$

- = ΔP_{LD1} : 1段階의 UFR 整定條件滿足時
- = $\Delta P_{LD1} + \Delta P_{LD2}$: 2段階의 UFR 整定條件 滿足時
- = $\sum_{i=1}^n \Delta P_{LDi}$: n段階의 UFR 整定條件 滿足時

시키는 결과가 될 우려가 있다.

이와 反對로 UFR의 整定値를 너무 細分化한다는 것도 실제의 動作面에서도 문제가 있고 또 負荷遮斷의 優先順位를 결정하거나 系統運轉條件에 따른 融通性을 期

하는 면에서도 支障이 많을 것이다.

本 檢計에서는 表 2와 같은 各種負荷 配分方式을 가정해서 1976年末 예상될 系統運轉狀態를 對象으로 比較檢計하여 本 結果와 一次的으로 表 3과 같은 負荷配分 方式으로 各段의 UFR를 協調시켜 나간다는 것이 가장 效果의이라는 結果를 얻었다.

여기서 瞬時負荷遮斷이란 現在 우리나라에서 採用되고 있는 UFR처럼 系統周波數가 미리 設定된 動作周波數(곧 整定値) 以下로 떨어지면 그 순간에 UFR가 即時動作해서 負荷를 遮斷하도록 하는 것을 말한다.

한편 $\frac{df}{dt}$ 要素遮斷이란 별도로 미리 設定된 周波數(이 경우에는 58.5사이클이었음)에 도달했을때 이때의 周波數低下速度($\frac{df}{dt}$)를 檢査하여 만일 이것이 一定値 보다 커서 周波數低下가 급격하다고 판단되면 58.5사이클에서 瞬時遮斷되는 5% 相當의 負荷外에 이 $\frac{df}{dt}$ 要素檢出로 별도로 7% 相當의 負荷를 追加해서 함께 遮斷하도록 하는 것이다. 이 결과 완만한 周波數低下(곧 電源脫落量이 비교적 작을 경우)일 때는 5%만 遮斷되고 급격한 周波數低下일 경우에는 兩者를 합쳐 12%에 相當하는 負荷를 차단할 수 있겠음해서 電源脫落量의 크기에 따라 負荷制限量을 調整할 수 있게 한 것이다.

참고로 그림 6은 76年末 Peak 負荷狀態(3500MW水準)에서 古里原子力(595MW)이 脫落되었을 때의 自動

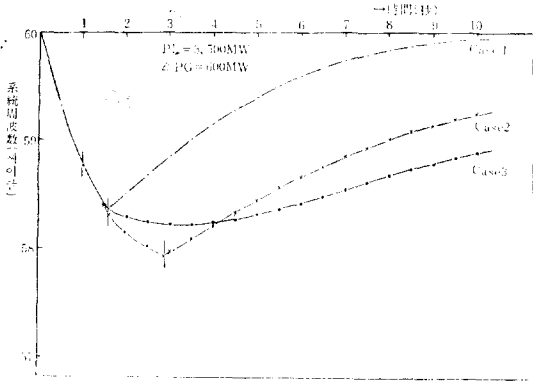
表 2. 各種 負荷制限方式
Table. 2. Load Shedding Programs

케 이 스	周波數整定値	59.0Hz	58.5Hz	58.0Hz	57.5Hz	57.0Hz
1	負荷配分比	2%	3%	5%	7%	8%
2	"	3%	5%	7%	5%	5%
3	"	5%	5%	5%	5%	5%
4	"	—	5%	10%	10%	—
5	"	—	10%	10%	5%	—
6	"	2%	3%	5%	8%	—
7	"	3%	$(\frac{df}{dt} \text{要素:} +7\%)$ 5%	5%	5%	—

表 3. UFR 整定値의 一例
Table. 3. Example of UFR Setting

UFR整定値(Hz)		59.0	58.5	58.0	57.5	57.0
負荷遮斷量 L_{Di}	瞬時遮斷(%)*	3	5	5	5	—
	$\frac{df}{dt}$ 要素遮斷(%)**	—	7	—	—	—
合	計 (25%)	3	12	5	5	—

負荷遮斷에 따른 周波數變動의 回復狀況을 보인것인데



各種 負荷制限方式의 比較

		UFR 整定 (Hz)				
		59.0	58.5	58.0	57.5	57.0
負荷遮斷 (%)	Case 1	3%	5% ($\frac{df}{dt} + 7%$)	5%	5%	—
	Case 2	2%	3%	5%	7%	8%
	Case 3	3%	5%	7%	5%	5%

그림 6. 自動負荷制限動作과 周波數 低下計算結果
Fig. 6. Frequency recovery curve by Applying Load Shedding

여기서는 특히 $\frac{df}{dt}$ 要素에 의한 緊急負荷遮斷의 效果가 크다는 것을 알 수 있다.

以上 各種 制御方式의 比較檢討에서나 Model 計算結果로부터 특히 $\frac{df}{dt}$ 要素檢出動作에 의한 緊急負荷遮斷機能의 追加가 古里原子力과 같은 大電源脫落時 커다란 制御效果를 나타내고 있음을 확인할 수 있었다.

그밖에 이러한 自動負荷制限의 適用에 있어서 重要な 것은 負荷遮斷에 의한 周波數回復後의 最終値가 어느 정도로 되는가 하는 것이다. 곧 電源脫落時의 周波數低下를 一定水準 以上으로 抑制한다는 것도 重要하지만 이와 못지 않게 周波數를 재빨리 回復시켜서 一定値 以上으로 維持하도록 한다는 것도 실제의 系統運用面에서 크게 要請되는 問題인 것이다. 앞서 火力發電機의 低周波數運轉에서도 言及한 바 있지만 負荷遮斷量의 不足(UFR動作失敗도 포함), 瞬動豫備力の 不足

表 4. 最適負荷制限方式(UFR 整定前)

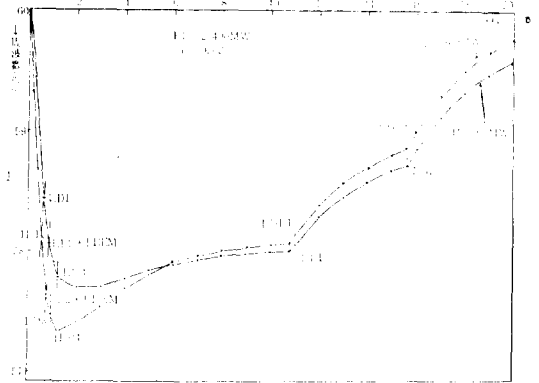
Table 4. Optimum Load Shedding Program

負荷遮斷	UFR 整定	UFR 整定(瞬時遮斷)					Time Relay 要素檢出	
	$\frac{df}{dt} > S$ (設定) 瞬時遮斷	58.5Hz	59.0Hz	58.5Hz	58.0Hz	57.5Hz	57.0Hz	58.5 Hz 以下 10 秒 持續
負荷遮斷量 (%)	7.0	3.0	5.0	5.0	5.0	—	3.0	3.0

그밖에 電源脫落의 중첩등으로 周波數回復이 완전해서 가령 58.5사이클 이하에서 數10秒 이상 머물게 된다면 系統의 安全運轉에 큰 위협을 주게 될 것이다.

이번 檢討에서는 이러한 경우에까지 대비해서 별도로 Time Relay 要素를 附加한 UFR의 補強方案을 검토하였다. 곧 電源脫落時 一定時間內에 周波數가 주어 진 基準値 以上으로 回復이 안되면 그 持續時間을 식별해서 追加로 負荷遮斷을 더 실시하도록 하는 것이다.

그림 7에 이러한 制御例를 하나 보인다. 이것은 2400 MW 水準의 負荷狀態에서 각각 700MW 및 800MW의 脫落事故가 發生했을 때의 計算結果이다.



負荷遮斷	UFR 整定			
	59.0(Hz)	58.5(Hz)	58.0(Hz)	57.5(Hz)
瞬時遮斷(LD1)	3%	5%	5%	5%
$\frac{df}{dt}$ 要素遮斷 (LDEM)	—	7%	—	—
Time Relay 要素遮斷 (LDL1)	3% (15秒)	3% (10秒)	—	—

그림 7. 周波數 變動曲線

Fig. 7. Frequency recovery Curve by Applying Load Shedding

이 그림에서 곧 알 수 있듯이 負荷制限後에도 負荷遮斷量의 不足으로 系統周波數가 완전히 回復이 안되어서 58.0사이클 附近에서 계속 머물게 되는 것을 각각 58.5사이클(10秒) 및 59.0사이클(15秒) 整定の 回復用 負荷遮斷으로 電源脫落後 20秒 후에는 이것을 59.0 사이클 以上으로 回復시키고 있음을 볼 수 있다.

表 4는 以上の 檢討結果를 종합해서 밝혀낸 最適自

表 5. 自動負荷制限計算結果(瞬動豫備力: 4%인 경우)
Table. 5. Results of Load Shedding ($m=4\%$)

負荷水準 (MW)	電源脫落容量 (MW)	$\frac{df}{dt}$ 要素 에 의한 負荷遮斷 (MW)	UFR整定에 의한 負荷遮斷					Time Relay要素		全負荷遮斷量 (MW)	Fmin 最低值 (Hz)	Flast 最終值 (Hz)
			59.0Hz	58.5Hz	58.0Hz	57.5Hz	57.0Hz	58.5Hz 以下10秒	59.0Hz 以下15秒			
			設定 3% (MW)	5% (MW)	5% (MW)	5% (MW)	5% (MW)					
2.400	200	—	72						72	58.943	59.653	
	300	—	72	120					192	58.498	59.670	
	400	—	72	120					192	58.346	59.391	
	500	168	72	120					360	58.299	59.550	
	600	168	72	120	120				480	57.967	59.576	
	700	168	72	120	120			72	552	57.795	59.605	
	800	168	72	120	120	120			600	57.382	59.030	
	3.000	200	—							0	59.039	59.589
300		—	90						90	58.829	59.545	
400		—	90	150					240	58.445	59.619	
500		—	90	150					240	58.346	59.391	
600		210	90	150					450	58.177	59.608	
700		210	90	150					450	58.027	59.361	
800		210	90	150	150				600	57.863	59.449	
900		210	90	150	150			90	690	57.739	59.346	
3.600		300	—	108						108	58.943	59.652
	400	—	108						108	58.691	59.468	
	500	—	108	180					288	58.432	59.583	
	600	—	108	180					288	58.346	59.391	
	700	252	108	180					540	58.239	59.650	
	800	252	108	180					540	58.153	59.443	
	900	252	108	180	180				720	59.967	59.576	
	1,000	252	108	180	180				720	57.779	59.368	

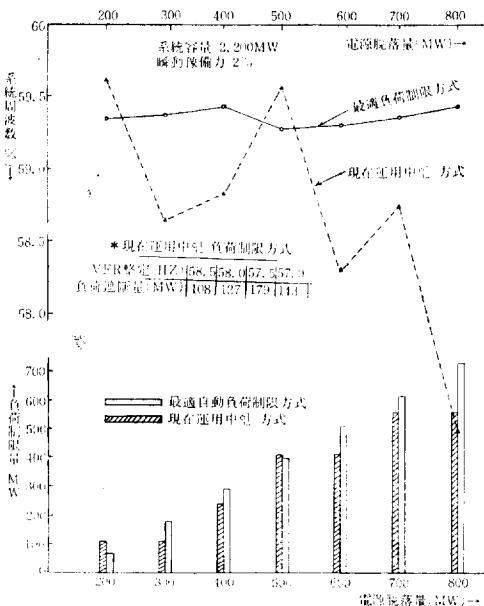


그림 8. 現用 및 最適自動負荷制限方式의 比較例

Fig. 8. Comparison of present method and the Optimun Load Shedding method

動負荷制限方式의 推定안을 整理한 것이다.

또한 그림 8은 이 推定안에 따른 最適負荷制限方式과 現在 運用中인 負荷制限方式과를 比較檢討한 結果의 一例를 그려본 것으로 어느 경우이건 충분히 滿足할 수 있는 制御結果를 얻을 수 있다는 것을 確信할 수 있을 것이다.

마지막으로 表 5에 1976年末 豫상되는 各種 負荷狀態에서 200MW~1000MW에 이르는 여러가지 크기의 電源脫落 케이스에 대한 本最適負荷制限方式의 適用結果를 一覽表로 정리해서 실어 두었다.

5. 結 論

以上으로 古里原子力(595MW)과 같은 大電源脫落事故時의 系統周波數變動特性 및 이에 대한 對策으로서 現在 우리나라에서 適用하고 있는 自動負荷制限方式을

電子計算機를 사용해서 중점적으로 分析檢討한 결과

(1) 이제까지 主로 經驗에만 依存하거나 또는 系統의 安全運轉面에만 置重해서 過大하게 策定되기가 쉬웠던 負荷遮斷量을 보다 合理的으로 周波數의 低下特性和 需用家에 대한 서비스面의 兩者를 충분히 고려해서 必要最小限으로 줄여서 決定할 수 있는 實質的인 方法을 提示할 수 있었다

(2) 다시 여기에서 決定된 負荷遮斷量을 各地點에 配置된 低周波數繼電器間에서 適正配分시킬 수 있는 協調方案을 樹立하였다. 곧 現在 運用中인 負荷制限方式에서는 미리 設定된 適用基準에 따라 一律적으로 負荷制限을 실시하도록 하고 있다. 그러나 여기서는 첫째 電源脫落量의 크기에 即應할 수 있는 df/dt 要素檢出機能을 追加하고 둘째로 負荷制限實施에 따른 周波數最終值를 一定時間後에는 規定值 以上으로 끌어올리기 위한 Time Relay 要素檢出動作機能을 追加시킴으로서 앞으로 그 어떤 電源脫落事故에 대해서도 系統周波數를 一定範圍內에 維持할 수 있는 最適負荷制限方式의 구체적인 UFR 整定推薦案을 提示할 수 있었다.

다만 本檢討에서는 調速機 Free 運轉發電機의 應動出力을 中心으로 하는 瞬動豫備力의 制御機能까지는 여기에 包含시키지 못하였는데 이에 대해서는 다시 다음 機會에 檢討 報告할 생각이다.

끝으로 本研究를 遂行하는데 있어 많은 敎示를 준 韓電 系統運用部 徐亨烈次長 및 計算機處理에 盡力하여 준 金榮昌氏에게 깊은 謝意를 表하는 바이다.

參 考 文 獻

1. 宋吉永：“電源脫落到 따른 系統周波數 問題 解析” 大韓電氣學會誌, Vol 18 No. 3 1969. 5
2. 宋吉永：“古里原子力의 系統併入에 따른 問題點檢討” 韓電研究用役報告書, 1975. 2

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. H. E. Lokay, V. Burtnyk “Application of Under Frequency Relays for Automatic Load Shedding” IEEE Vol 87 No. 3 pp. 776~783 March 1968
5. L. P. Hajuda, J. Peschon, W. F. Tinney D. S. Piercy “Optimum Load-Shedding Policy for Power Systems” IEEE Vol PAS-87 pp. 784~795 Mar. 1968
6. R. C. Durbeck “Simulation of Five Load Shedding Schedules” IEEE Vol PAS-89 pp. 959~966 May 1970
7. IEEE Committee Report. “Survey of Under Frequency Relay Tripping of Load under Emergency conditions” IEEE Vol PAS-87 pp. 1362~1365 MAY 1968
8. D. K. Subramanian “Optimum Load Shedding Through Programming Techniques” IEEE Vol PAS-90 pp. 89~95 Feb 1971
9. R. M. Maliszewski, R. D. Dunlop, G. L. Wilson “Frequency Actuated Load Shedding and Restoration”, PART-I philosophy, PART-II Implementation, IEEE. Summer Power Meeting July 1970
10. 山崎久一：“瞬動豫備力”, 日本電氣學會誌, Vol. 89-8, 1969
11. 日本中央電力協議會：“瞬動豫備力에 관한 檢討結果 報告書”, 1967. 9
12. 韓電發電部：“電力系統의 自動周波數制御”, 給電研究：10701, 1971. 7