

송길영  
홍상만\*

고려대학교  
한전기술연구원  
계통연구실

1. 서론

전력계통은 항상 신뢰도 지표의 하나로서 운전 예비력이 있지만, 현행 운전예비력의 범주에는 비교적 단시간에 출력 변동이 용이한 수력 및 양수발전기의 예비력뿐 아니라 출력변동에 장시간을 요하는 화력발전기의 예비력에 이르기까지 다양한 발전기로 구성되어 있다.

그러나 현재 운전중인 발전설비의 대부분은 비교적 응답속도가 작은 화력발전기로 구성되어 있어(그림1)의 변요부하시부분과 같이 부하급변시에는 발전기의 출력이 부하의 변화에 원활하게 추종할 수 없는 경우가 생기게 되므로 급변응답 자동화의 필요성이 제기되고 있다.

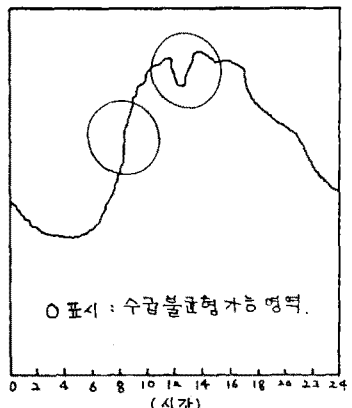
화력발전소의 운전구간에서는 부하추종능력이 거의 없는 수력발전과 원자력발전의 비중이 높아지는 추세이므로 화력발전에는 현재보다 더욱

향상된 부하추종 능력을 요구하게 된다.

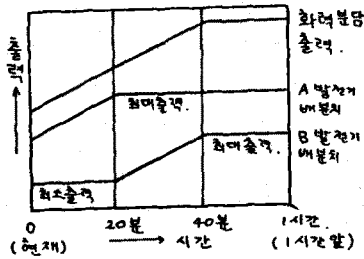
본 연구는(그림1)의 일부하 구간에서 부하변동이 급격한 시간대에 1시간 이상의 부하예측을 실시하여 예측된 수요를 충족하면서 발전기의 부하추종 능력과 손동 예비력을 고려한 선형급전제어방식을 개발하여 실계통에 적용한 결과를 중심으로 그 효용성을 검토하였다.

2. 선형급전 제어방식의 도입 필요성

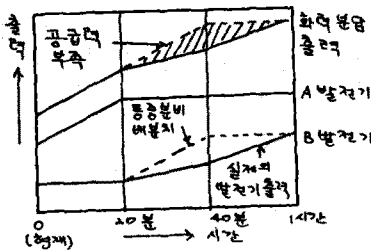
현재의 화력발전기의 부하배분은 등중분영로 비법을 따르고 있다. 이와같은 등분영의 수요를 각 발전기의 부하배분하는 것으로 그 이후의 부하동향을 거의 고려하지 않는 등중분영로 비법을 적용하고 있다. 따라서 이때에는(그림2)의 (a)와 같은 부하배분이 이루어지나 부하변동이 급격할 경우(그림2)의 (b)와 같이 비급부분만큼의 수급불균형(급급력 부족)이 발생되게 되고 동시에 손동예비력의 확보에도 문제가 생기게 된다. 이를 보완하기 위한 방법으로 수력발전기를 가동시켜 이 문제를 해결할 수 있으나 급수기인 경우나 장차 석탄화력 및 원자력발전의 비중이 높아지면 수력만으로 이를 보충하는 데는 곤란한 문제가 발생한다. 따라서 1시간 이상의 부하예측치를 이용하여 화력발전기의 부하추종 능력과 손동 예비력을 고려한 선형급전제어방식을 도입하게 되면(그림2)의 (c)와 같이 수급평형을 유지할 수 있는 발전기의 운전출력 배분이 가능해진다.



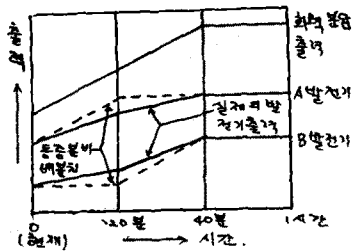
<그림 1> 일 부하곡선 예



(a) 용량의 정제 부하배분.



(b) 용량의 부수 발생 현인.



(c) 부하부수를 고려한 부하배분.

<그림 2> 화력기의 정제 부하배분 예.

### 3. 문제의 정식화

#### 3.1 용량의 경제부하배분

경제부하배분 계산은 식(1)의 목적함수 및 식(2)

(3)의 제약조건을 만족하면서 최소화하는 최적

이론의 구조를 두고 있다.

$$\text{목적함수 : } \text{Min } C = \sum_{i=1}^m C_i(P_i) \quad (1)$$

$$\text{제약조건 : } \sum_{i=1}^m P_i = P_d + P_d \quad (2)$$

$$P_i \leq P_i \leq \bar{P}_i \quad (3)$$

이상의 문제에서 최적하는 식(4)와 같다.

$$\frac{\partial C_i(P_i)}{\partial P_i} \cdot PF_i = \lambda \quad (4)$$

이때 송전손실을 무시할 경우 식(4)와 식(2)는 다음과 같이 근사화 된다.

$$\frac{\partial C_i(P_i)}{\partial P_i} = \lambda \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m P_i = P_d \quad (6)$$

#### 3.2 부하부수 영향을 고려한 경제부하배분

화력발전기는 운전상하한 제한의 예도 본당출력 전당속도 (rate-of-response)의 제한치  $\Delta P_i$  이 있어 부하부수 영향을 받게 된다. 따라서 이를 고려한 경제부하배분 계산에서는 N 시간 앞까지  $\Delta t$  시간폭으로 부하예측을 실시하여 부하 변동이 급격한 K 시간대의 부하배분을 실시하게 된다. 이때의 계산식은 식(7) - (11)과 같다.

$$\text{목적함수 : } \text{Min } C = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^N C_i(P_i(K)) \quad (7)$$

$$\text{제약조건 : } \sum_{i=1}^m P_i(K) = P_d(K) \quad (8)$$

$$P_i^L(K) \leq P_i(K) \leq P_i^H(K) \quad (9)$$

여기서

$$P_i^H(K) = \text{Min} (\bar{P}_i(K), P_i(0) + K \cdot \Delta P_i \cdot \Delta t, P_i(N) + (N-K) \cdot \Delta P_i \cdot \Delta t) \quad (10)$$

$$P_i^L(K) = \text{Max} (\underline{P}_i(K), P_i(0) - K \cdot \Delta P_i \cdot \Delta t, P_i(N) - (N-K) \cdot \Delta P_i \cdot \Delta t) \quad (11)$$

#### 3.3 손동예비력을 고려한 경제부하배분

전력계통운용에는 사고발생을 고려하여 항상 적당한 운전예비력을 보유하고 있어야하므로 경제부하배분 계산시 이를 감안하여 계산하여야 한다. 이때의 계산식은 식(12) - (17)과 같다.

$$\text{목적함수 : } \text{Min } C = \sum_{i=1}^m C_i(P_i) \quad (12)$$

$$\text{제약조건 : } \sum_{i=1}^m P_i = P_d \quad (13)$$

$$P_i + SR_i \leq \bar{P}_i \quad (14)$$

$$P_i \geq \underline{P}_i \quad (15)$$

$$0 \leq SR_i \leq \bar{SR}_i \quad (16)$$

$$\sum_{i=1}^m SR_i \geq TSR \quad (17)$$

$$TSR = F1 \cdot P_d + F2 \cdot \text{Max}(\bar{P}_i) \quad (18)$$

#### 3.4 실행급전제어방식에 의한 경제부하배분

상술한 부하부수 영향 및 손동예비력을 동시에 고려할 경우 N 시간 앞까지  $\Delta t$  시간폭으로 부하예측을 실시하였다면 현재의 시점에서 K 시간까지의 구발전기 출력들을 제어하기 위한 K 시점의 구발전기 목표출력을 결정하게 된다. 이때의 계산식은 식(19) - (27)과 같다.

$$\text{목적함수 : } \text{Min } C = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^N C_i(P_i(K)) \quad (19)$$

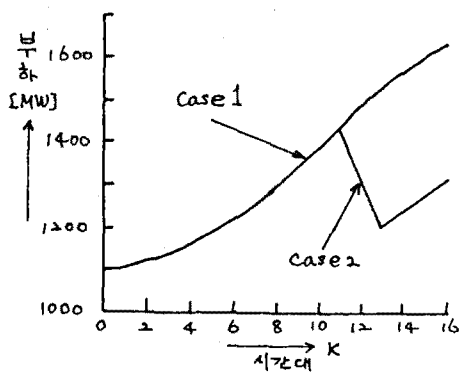
제약조건 :  $\sum_{\lambda=1}^m P_{\lambda}(K) = P_d(K)$  (20)  
 $P_{\lambda}(K) + SR_{\lambda}(K) \leq P_{\lambda}^H(K)$  (21)  
 $P_{\lambda}(K) \geq P_{\lambda}^L(K)$  (22)  
 $0 \leq SR_{\lambda}(K) \leq \bar{SR}_{\lambda}(K)$  (23)  
 $\sum_{\lambda=1}^m SR_{\lambda}(K) \geq TSR(K)$  (24)

여기서

$P_{\lambda}^H(K) = \text{Min}(\bar{P}_{\lambda}(K), P_{\lambda}(0) + K \cdot \Delta P_r \cdot \Delta t, P_{\lambda}(N) + (N-K) \cdot \Delta P_r \cdot \Delta t)$  (25)  
 $P_{\lambda}^L(K) = \text{Max}(P_{\lambda}(K), P_{\lambda}(0) - K \cdot \Delta P_r \cdot \Delta t, P_{\lambda}(N) - (N-K) \cdot \Delta P_r \cdot \Delta t)$  (26)  
 $TSR(K) = F1 \cdot P_d(K) + F2 \cdot \text{Max}(\bar{P}_{\lambda})$  (27)

4. 실험 적용 및 계산조건

- (1) 각 시간대별 경제부하배분 계산 알고리즘은 참고문헌 3.을 참고하였다.
- (2) 대상발전기는 15대를 적용 하였으며 각 발전기 연료비 데이터와 분담변동 속도 제한치  $\Delta P_r$  등은 참고문헌 7의 TableI 을 적용 하였다.
- (3) 시간간격  $\Delta t$  는 5분으로 하고 적용 시간대는 16단계로 구분하여 부하예측시간은 90분으로 하였다.
- (4) 적용 Case 는 (그림3)의 부하곡선으로 두 가지의 Case 로 나누어 실시하였다.
- (5) 계통최소 손동 예비력 TSR 계산에서 F1=0, F2 = 1 을 적용 하였다.



< 그림 3 > 시간별 적용 부하곡선.

5. 결과 검토

부하추종능력을 고려하여 축하근사 D.P 법을 적용한 참고문헌 7과 동일한 계산조건하에서 계산한 결과 참고문헌이 UNIVAC 1108 컴퓨터를 사용, 총 CPU 시간이 77.89초를 소요한 반면 본 방법은 퍼스날 컴퓨터 (APPLE 거종)로 약 44초를 소요하였다. 따라서 본방법을 대형 컴퓨터로 계산할 경우 계산시간을 대폭줄일 수 있으므로 앞으로 ON-LINE 급전제어용으로도 활용이 기대된다.

- 참고문헌 -

1. 송길영 : 전력계통의 해석과 운용, 동일출판사, 1984.
2. F.P. deMello and J.M. Undrill ; "Automatic Generation Control" IEEE Tutorial Course on Energy Control Center Design. pp17-27. 1977.
3. A.R. Fahmideh-Voidani and F.D. Galiana: "Economic Dispatch with Generation Constraints", IEEE Trans. on Automatic Control Vol AC-25, No.2, pp213-217, April 1980.
4. J.G. Waight, Farrohh Albueyh and Anjan Dose ; "Scheduling of Generation and Reserve Margin using Dynamic and Linear Programming" IEEE PES Winter Meeting 1981.
5. T.E. Bechert and Nanming Chen; "Area Automatic Generation Control by Multi-pass Dynamic Programming", IEEE, Trans. on P.A.S. Vol. PAS-96, NO.5, pp1460 - 1469 Sep/Oct1977.
6. W.O. Stadlin; "Economic Allocation of Regulating Margin" IEEE. Trans, on P.A.S Vol. PAS-90, NO.4, pp 1776-1781, July/Aug 1971.
7. D.W. Ross and S.K.Kim ; "Dynamic Economic Dispatch of Generation" IEEE Trans. on P.A.S, Vol. PAS-99, NO 6. pp 2060-2068, Nov/Dec 1980.
8. W.G. Wood; "Spinning Reserve Constrained Static and Dynamic Economic Dispatch", IEEE. Trans. on P.A.S Vol. PAS-101, No 2. Feb 1982.
9. 石幾 団 (八郎) : "장시간 수요 예측치를 이용한 온라인 수급 평형방식의 개발" 일본전력중앙연구보고 1980.