

중분비 특성이 선형 Piece-Wise 표시인 경우 화력 발전기관의
경제 부하 배분

Economic Load Dispatching of Thermal Generating Unit
in case of Piece-wise Linear Incremental Cost Curve

이 경 제

한전 기술연구원

계통연구 실장

홍 상 은 *

연구 담당

1. 서론

화력 발전기관의 경제 부하 배분은 화력 발전
기 Unit 의 연료비 특성이 2차 함수로 나타나므로
이와같은 특성을 이용한 등중분비 법 (Equal
incremental cost criterion) 이 채택되어
운용되고 있다.

실제의 연료비 특성은 거의 직선 특성을 나타내
지만 근래 중분비 특성이 저 부하시에 약한
아직은 2차 곡선으로 나타난다는 사실 에 따
라 연료비 특성을 종래의 2차함수 보다 3차함수로
표현하는 것이 적당한 것으로 알려져 있다.

그러나 연료비 특성이 2차함수보다 3차함수쪽 이
더 정확하다고 하더라도 Real Time 경제 부하 배
분에서 등중분비 법 적용시 2차식 중분비 곡선의
사용에 따른 계산의 복잡화로 적용상의 어려움이
따른다.

본 연구에서는 이같은 2차식 중분비 곡선 적용
상의 어려움을 해결하기 위하여 2차 중분비 곡선
을 몇개의 1차 함수로 표현하는 Piece-wise 선형
중분비 곡선의 작성법을 소개하고, 종래의 방법
과 개선된 방법을 실험용 모델에 적용하여 그 효
용성을 비교 검토 하였다.

2. 등중분비 법

경제 부하 배분 계산은 식(1)의 목적함수를 식
(2), (3)의 제약조건을 만족하면서 최소화하는 최
적 원리에 기초를 두고 있다.

$$\text{목적함수 : minimize } C = \sum_{j=1}^m C_j(P_j) \quad (1)$$

$$\text{제약조건 : } \sum_{j=1}^m P_j = P_L + P_D \quad (2)$$

$$P_j \leq P_j \leq \bar{P}_j \quad (3)$$

이상의 문제에서 최적해는 식(4)와 같다.

$$\frac{dC_i}{dP_i} = 1 - \frac{\partial P_i}{\partial P_i} = \frac{dC_m}{dP_m} \quad (4)$$

여기서 $i=1,2, \dots, m-1$ (m : slack 발전기)
이며, 송전손실을 무시할 경우 식(4)와 식(2)는
다음과 같이 근사화 된다.

$$\frac{dC_i}{dP_i} \approx IC_i = \lambda \quad (i=1,2, \dots, m) \quad (5)$$

$$\sum_{j=1}^m P_j = P_D \quad (6)$$

$$C_i = a_{0i} + a_{1i} P_i + a_{2i} P_i^2 + a_{3i} P_i^3 \quad (7)$$

$$\text{또는 } C_i = a_{0i} + a_{1i} P_i + a_{2i} P_i^2$$

$$IC_i = \frac{dC_i}{dP_i} = a_{1i} + 2a_{2i} P_i + 3a_{3i} P_i^2 \quad (8)$$

$$\text{또는 } IC_i = a_{1i} + 2a_{2i} P_i$$

3. 2차식 중분비 곡선의 Piece-wise 선형화

중분비 곡선의 Piece-wise 선형화는 식(8)을 그
림 1과 같이 2차식으로 표시한 중분비 곡선상의
외의 점점 (Break Point) 을 사용하여 2차식 표
현과 1차식 표현간의 오차를 최소로 하는 점점의
수와 위치를 선정하는 문제이다.

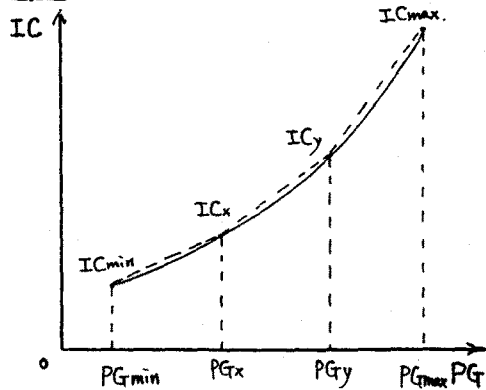


그림 1에서 점점간 1차식 표현과 2차식 표현간의 오차를 ΔA 라 하면 총 오차 함수는 식(9)와 같다.

$$E = \Delta A_1^2 + \Delta A_2^2 + \Delta A_3^2 \quad (9)$$

먼저 PGmin 과 PGx 사이의 오차 ΔA_1 에 대하여 삼표본면 식(10)과 같다.

$$\Delta A_1 = A_1 - A_1' = \frac{a_3}{2} (PGx - PGmin)^2 \quad (10)$$

여기서

$$A_1 = \left(\frac{ICmin + ICx}{2} \right) (PGx - PGmin)$$

$$A_1' = a_1 (PGx - PGmin) + a_2 (PGx^2 - PGmin^2) + a_3 (PGx^3 - PGmin^3)$$

식(10)의 결과에서 ΔA_2 와 ΔA_3 를 유주함수 있으며 따라서 식(9)는 식(11)과 같이 된다.

$$E = \Delta A_1^2 + \Delta A_2^2 + \Delta A_3^2 = \frac{a_3^2}{4} [(PGx - PGmin)^2 + (PGy - PGx)^2 + (PGmax - PGy)^2] \quad (11)$$

식(11)에서 오차함수를 최소로 하는 점점을 구하기 위해서는 식(12)와 같은 조건을 만족해야 한다.

$$\frac{\partial E}{\partial PGx} = 0, \quad \frac{\partial E}{\partial PGy} = 0 \quad (12)$$

식(12)를 풀면 식(13)과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta PG &= PGx - PGmin = PGy - PGx \\ &= PGmax - PGy \\ &= \frac{1}{3} (PGmax - PGmin) \end{aligned} \quad (13)$$

식(13)의 결과에서 점점간의 간격은

$$\Delta PG = \frac{1}{M} (PGmax - PGmin) \quad (14)$$

여기서 M은 점점에 의한 선분(Segment) 수 결국 $\Delta Ax = \frac{a_3}{2} \Delta PG^2$ 이므로, 총 오차(Total area difference)는 식(15)와 같다.

$$\Delta AT = \frac{a_3}{2} (PGmax - PGmin)^2 \left(\frac{1}{M} \right)^2 \quad (15)$$

한편 점점수의 결정은 2차식 중분비 곡선에 의한 면적(A_T)과 총 오차 면적(ΔA_T)과의 비 R_T를 정의하면 식(16)과 같다.

$$R_T = \frac{\Delta A_T}{A_T} = \frac{a_3}{2} \frac{\Delta P^3 \left(\frac{1}{M} \right)^2}{A_T} \quad (16)$$

식(16)을 정리하면 식(17)과 같이 되어 점점에 의한 선분수 M이

$$M = \left(\frac{1}{R_T} \right)^{\frac{1}{2}} \left(\frac{a_3}{2} \frac{\Delta P^3}{A_T} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (17)$$

결정된다. 이때 M은 정수(Integer)이어야 하며 식(17)의 R_T는 여러 경우를 비교 검토한 결과 0.25%가 적정함이 확인되었다.

4. 실행용 적용 및 비교조건

1) 최적 경제 배분 계산의 기준은 D.P법을 적용하고 D.P법적용시 계산 정도를 정하는 구좌점의 크기는 각 Unit의 누적출력폭을 40MW, 각 Unit의 출력 변화폭을 2 MW로 비교적 작게하여 계산의 정도를 높였다.

2) 비교 대상 방식은 중분비법으로

① 1차식 표현 방식 ② 2차식 표현 방식

③ Piece-wise 표현 방식으로 구분하였다.

3) 각 방식별 비교를 용이하게 하기 위하여 부하 배분에 있어 우선 순위법으로 계산하였고 송전 손실은 생략하였다.

4) 먼저 계통 부하를 최소치에서 최대치로 50MW 간격으로 각각의 부하 level에 대하여 연료비와 계산시간을 비교하고

5) 실행용 상태를 감안한 상정 업무 하구선을 적용하여 각 발전 Unit의 부하 분담별 연료비를 누적한 결과를 총 연료비와 계산시간으로 비교하였다.

5. 결론

계산결과 Piece-wise 방식이 D.P에 비해 계산 정도면에서 다소 불리하나, 2차식 표현방식과 거의 유사하며 1차식 표현 방식보다는 유리한 것으로 나타났다. 계산시간면에서도 1차식 표현방식에 비해 큰 차이가 없으면서 기차방식에 비해 월등함이 입증되었다. 따라서 본 방식을 Real Time 경제 부하 배분 및 Unit Commitment 계산시 상당히 유효한 것으로 생각되며, 앞으로 수화력 및 조 계산시 연료비 산정에 적용할 예정이다.

참고 문헌

1. 송길영: 전력계통 공학, 동명사, 1977.
2. 송길영: 계통 해석 이론의 기초와 응용, 동일출판사 1981.
3. L.K. Kirchmayer; Economic Operation of Power Systems, New York, Wiley, 1958
4. A.R. Fahmideh-Vojdani and F.D. Galiana; "Economic Dispatch Control", Vol AC-25, No2, PP213-217, April 1980.
5. H.H. Happ; "Optimal Power Dispatch-A Comprehensive Survey" IEEE Trans, on P.A.S, Vol PAS-96, PP841-854 May/June 1977
6. R.R. Shoults, S.K Chang, S. Helmick and W.H. Grady; "A Practical Approach to Unit Commitment, Economic Pool Operation with Import/Export

Constraints" IEEE. Trans, on P.A.S. Vol PAS-99, No2, PP625-635, March/April 1980.

7. R.R.Shoults and M.M. Mead, "Optimal Estimation of Piece-wise Linear Incremental Cost Curves for EDC ", IEEE PES Winter Meeting, 1984

8. 大内 稔, 加地 郁夫 : "등중분율 범칙의 기초적 성질과 열고 력중에 관한 고찰", 일본전기학회 논문(B), PP9-16, 1980. 6.

9. 辻 明宏 : "중분비 특성이 2차극선포서인 경우 파워 발전기관의 경제 부하 배분", 일본 전력중앙 연구소 보고 : 178009. 1978. 8.