

부하의 동특성과 예비력 확보 조건을 고려한
화력발전기의 경제부하 배분에 관한 연구

송길영
고려대학교

홍상은
한전기술연구원

박경수
*한전기술연구원

A Study on the Algorithm for the Economic Dispatch of Thermal Power
Plants with Constraints Dynamic Characteristics of Load and Reserve Margin

Song, Kil Yeung
KOREA Univ.

Hong, Sang Eun
KEPCO Research Center

Park, Kyeng Soo
KEPCO Research Center

1. 서론

전력계통에 일일운영의 목적은 수급불균형없이 적절한 예비력을 확보하며 경제적으로 운영하는 것이다.

현재 우리나라의 전력계통은 전원구상비에서 원자력의 비중이 점점 높아가는 추세로서 중전예기지부하를 담당하던 화력발전기는 중간부하를 들론 순간적으로 변동하는 부하까지 담당하는 국면에 접어들었다. (10), (11)

화력발전기의 부하배분에 등증분연료비법(1)이 이용되고 있다. 하지만 발전기의 출력변화속도가 1-5%/분으로 늦기 때문에 조간의 부하상승시기와 정오의 부하변동시기는 수급의 차질이 발생되는 경우가 있다.

따라서 화력발전기의 출력변화속도를 고려하여 약 1-2시간 앞까지의 여력점 수요 예측치를 이용한 부하배분법(이하 "선행급전")으로 많은 방법들이 제안되고 있다. (2), (3), (4), (5)

이에 본 연구는 부하배분할 목표량에 대하여 1시간 이상의 부하를 예측하여 예측된 수요가 심하게 변동되는 경우에도 수급 평형을 이루면서 예비력을 확보할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이를 3기 및 15기 모델계통에 적용하여 그 유용성을 입증하였다.

2. 부하특성과 일일부하관리

그림 1의 a 와 같이 순간적으로 변동하는 부하는 같은 그림의 b, c, d 의 성분으로 구상되며, 이를 발전기 출력조절과 연관시키면 그림 2와 같다.

또한, 화력발전기가 분담할 일일부하는 총수요에서 원자력, 수력과 양수발전소가 담당하는 부하를 제외한 부분으로 그림 3과 같다.

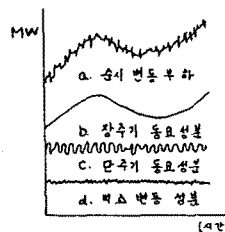


그림 1. 계통 수급 변동부하와 구성분

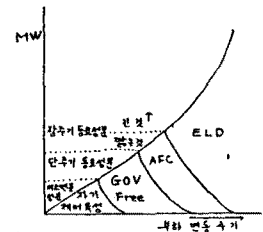


그림 2. 부하 변동주기에 따른 제어원장

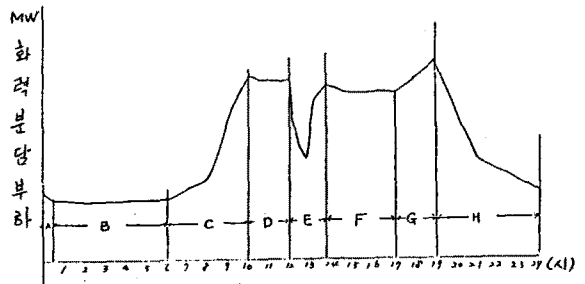


그림 3. 화력 발전기의 원일부하곡선

위그림중 일일부하관리에 있어서 발전기의 출력속도상승의 한계성으로 수급불균형의 문제가 발생하는 구간은 C, E 구간이다. (4)

또한 경제부하배분시 첨두부하구간에서 계통사고를 대비한 운전예비력 확보에 곤란이 야기된다.

3. 문제의 정식화

3.1. 최적화 구간의 선행급전

화력발전기를 짧은 시간간격(5분)마다 부하를 예측하여 부하배분할 경우 한계출력 이외에도 최대출력속도 상승률에 제한받는다.

따라서 이들을 제약조건으로 하고 최적화 구간을 설정하여 그 구간 내에서 경제부하배분하는 경우 다음과 같이 정식화할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{minimize } f &= \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^{NG} F(P_{it}) & (1) \\ \text{Subject to } & \sum_{i=1}^{NG} P_{it} = P_{dt} & (2) \\ & P_i \leq P_{it} \leq \bar{P}_i & (3) \\ & -D_i \leq P_{it} - P_i(t-1) \leq D_i & (4) \end{aligned}$$

Sreq : 화력발전기에 확보될 예비력 (오류 예비력) (MW)

해석에 대한 흐름도는 그림 4와 같다.

이의 해석 방법으로 다음과 같은 것들이 개발되어 사용되고 있다.

처음에 제안된 방법은 최적화 구간의 종단을 고정하고 시간의 흐름에 역방향으로 부하 배분을 전개하는 후진형 기법이었다.

후진형기법은 부하배분 도중 수급불균형이 발생되면 해소할 수 없으므로 전진형기법을 삽입하여 운전가능 영역을 수정하여 부하배분하는 방법이 제시되었다.(4)

위의 방법 역시 정오의 부하변동의 경우에는 수급 불균형이 발생되는 문제를 가지고 있으므로 이것을 해결하는 방안이 문헌 (5) 에 제시되었다.

그런데 이것은 수급균형에 있어서 우수한 기법이지만 첨두부하 시 화력발전기의 운전예비력에 대한 고려가 없었다.

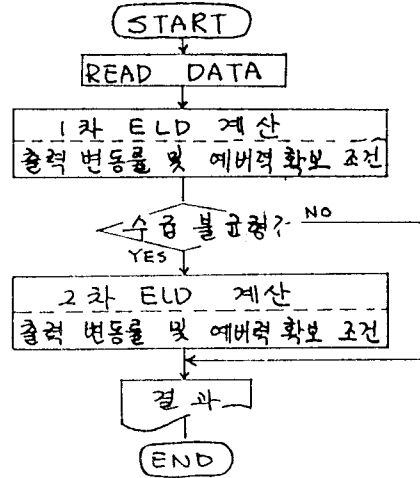


그림 4 흐름도.

3.2. 예비력을 고려한 최적화 구간의 선행급전

본 연구에서는 예비력 조건을 고려한 최적화 구간의 선행급전 문제를 위의 기법을 적용하여 해석한 알고리즘을 개발하였다.

계통사고를 대비하여 일정한 운전예비력을 확보하고 운용한다는 것을 고려하면 다음과 같이 정식화할 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{minimize } f &= \sum_{t=1}^N \sum_{i=1}^{NG} F(P_{it}) & (5) \\ \text{subject to } & \sum_{i=1}^{NG} P_{it} = P_{dt} & (6) \\ & P_{it} + S(p_{it}) \leq \bar{P}_i & (7) \\ & P_{it} \geq P_i & (8) \\ & -D_i \leq P_{it} - P_{it-1} \leq D_i & (9) \\ & 0 \leq S(P_{it}) \leq D_i & (10) \\ & \sum_{i=1}^{NG} S(P_{it}) \geq S_{req} & (11) \end{aligned}$$

- 단 f ; 연료비
 N ; 한계시간 간격수 NG ; 발전기 대수
 t ; 한계시간 간격 번호 i ; 발전기 번호
 P_{it} ; t 시간대의 발전기 i의 출력 (MW)
 P_{dt} ; t 시간대의 부하 (MW)
 P_i ; 발전기 i의 최저한계 출력 (MW)
 \bar{P}_i ; 발전기 i의 최대한계 출력 (MW)
 D_i ; 한계시간 (Δt)의 최대출력속도 상승률 (MW/분)
 $S(p_{it})$; t시점의 발전기 i의 상량조건 여유 (MW)

1차 ELD 계산의 운전가능 영역은 다음과 같다

$$\begin{aligned} TH_{it} &= \min \{ P_{it-1} + D_i, \bar{P}_i \} & (12) \\ TL_{it} &= \max \{ P_{it-1} - D_i, P_i \} & (\text{그림 5참조}) \end{aligned}$$

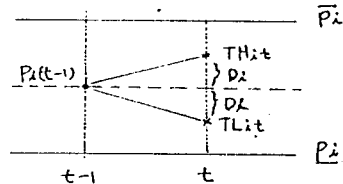


그림 5 상하한치 결정법.

1차 ELD 계산 중 수급불균형이 t=k 에서 발생되면 t=1 ~ (k-1) 의 구간의 부하배분은 그림 6과 같이 운전가능 영역을 선정하여 후진형 기법으로 행한다.

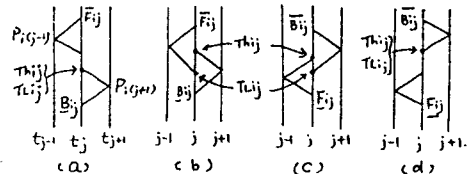


그림 6 상하한치 결정법 (BACKWARD)

1차 ELD 계산 후 수급불균형 유무를 파악하여 수급 불균형이 t=k 에서 발생하면 t=(kH) ~ N 의 운전가능 영역을 그림 7 과 같이 정정하고 다시 부하 배분한다. (전진형 기법)

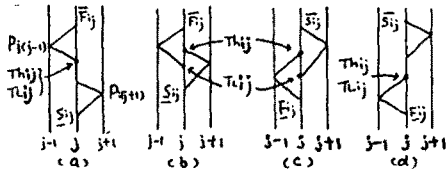


그림 7 상하한치 결정법 (FORWARD)

또한 각시점의 부하배분에서 예비력확보 조건의 해결방법은 다음과 같다. 우선 상향조절여유에 의하여 분류하면 (그림 8 참조)

- 1) $P_{it} \leq \bar{P}_i - D_i = BP_i$ (이하 "I군")
 $S(P_{it}) = D_i$ ($\forall i \in I$)
 $UP_t = \sum_{i \in I} (\bar{P}_i - S(P_{it}) - P_{it})$
- 2) $P_{it} > \bar{P}_i - D_i = BP_i$ (이하 "II군")
 $S(P_{it}) = \bar{P}_i - P_{it}$ ($\forall i \in II$)
 $DOWN_t = \sum_{i \in II} (D_i - (\bar{P}_i - P_{it}))$

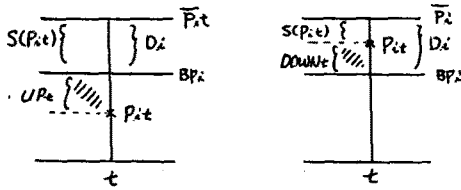


그림 8 발전기 출력에 따른 상향조절여유 (S(P_{it}))

이것을 그림 9 의 흐름도에 의하여 계산한다.

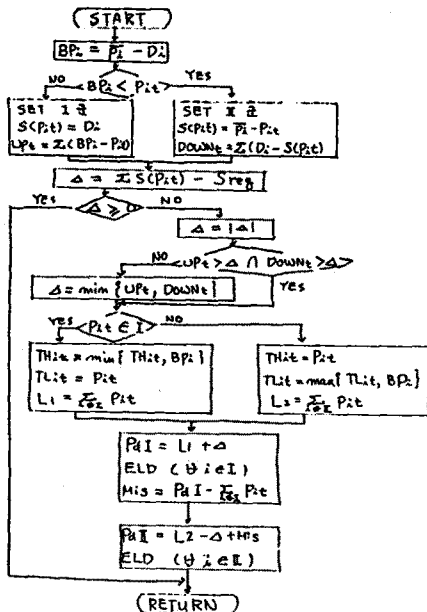


그림 9. 흐름도

4. 적용 예

4.1. 발전기 모델

문헌 (5) 의 3기 모델과 문헌 (9) 의 15기 모델을 사용하였다.

4.2. 계산 결과

3기 계통의 적용결과 그림 10 과 그림 11 과 같은 결과를 얻었다.

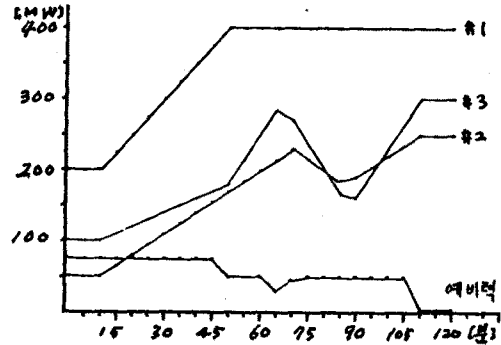


그림 10 결과 (예비력 무시)

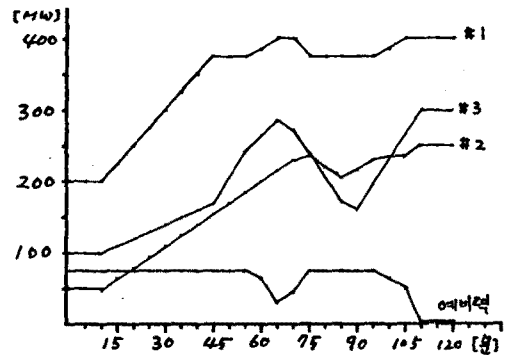


그림 11 결과 (예비력 확보 75MW)

5. 결론

1) 화력발전기의 출력속도 변동률 및 예비력을 고려한 최적화 구간의 경제부하배분 문제를 연구 대상으로 삼아 최적화 문제로 정식화하였으며 부하가 급변하는 경우에도 수급불균형 없이 예비력을 가능한 확보하면서 경제부하배분할 수 있는 알고리즘을 개발하였다.

2) 이를 3기 계통에서 계산결과 그 유용성을 입증하고 15기 계통으로 확장하여 적용한 결과 만족할 만한 계산결과를 얻을 수 있었다.

3) 이를 심계통에 적용할 경우

- 가) 부하 급변시 수급균형 유지 가능
- 나) 예비력 확보 및 공급대책 마련 가능
- 다) 공급 신뢰도 높은 계통운용 가능
- 라) 급전 자동화에 따른 ON-LINE 부하배분

등이 가능하므로 매우 유용할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌
=====

1. 송길영 "전력계통의 해석 및 운용"
동일출판사 1984. 9
2. 송길영, 홍상은 "화력발전기의 부하추종
능력과 순동예비력을 고려한 경제부하 배분"
대한전기학회 하계 학술 회의지
1985. 4. 6
3. W. G. Wood. "Spinning Reserve Constrained
Static and Dynamic Economic Dispatch"
IEEE Trans on P. A. S. Vol PAS 101 NO 2
Feb 1982. P 381-388
4. 磯田八郎 "장시간 수요 예측치를 이용한 On
- Line수급 평형제어 방식의 개발"
일본 전력중앙연구보고 1980.
5. 北内義弘, 餘利野直人, 田村康男
"Feasibility 가 높은 On - Line 화력기
경제부하 배분법"
일본 전기학회 논문지 B. 1987. 3. P 131-
6. 田村康男 "변화를 제약 고려한 ELD 문제
의 On - Line 시간 최적화법의 제안"
일본전력기술연구회 자료 PE- 86-95
86. 8. 5. P 40 - 49
7. 송길영 "운전 예비력 전산프로그램 개발"
고려대학교 생산기술연구소 1979.1
8. Walter O. Stadlin "Economic Allocation of
Regulating Margin "
IEEE Trans. on P. A. S. Vol PAS. 90 NO4
July / Aug 1971 P 1776 - 1781
9. Dale W. Ross and Sungkook Kim. "Dynamic
Economic Dispatch of Generation "
IEEE Trans. on P. A. S. Vol PAS - 99
NO 6. NOV / DEC 1980 P 2060 - 2080
10. 이경재; 전력계통 적용의 변전과정과
기타 한전 창립 25주년 심포지엄
발표집. 1986. 7
11. 허성광 : "발전소별 주파수 응답특성의 근
제점과 개선방안" 한전 전력기술
WorkShop 1986. 10