

송길영
고려대학교

박경수
한국전력공사

최재석
포항공업전문대학

박현신
고려대학교

A study on the Algorithm for the Economic Dispatch of Thermal Units Considering Dynamic Characteristics of Load

Kil-Yeong Song
KOREA Univ.

Kyeng-Soo Park
KEPCO

Jae-Suck Choi
Pohang T.College

Hyun-Sin Park
KOREA Univ.

ABSTRACT

One of the recurring problems facing energy control center dispatchers each day is how to operate the system during the periods of high load pick up and fluctuation.

This method reduces the problem to a forward-revised by backward-sequence of dispatch problems, with the generator limits being carefully adjusted between each time interval in the total intervals to be optimized.

It is applied to system of 31 units.

It is observed that the method presented here achieves that generation follows the load changes without any mismatch.

1. 서론

전력계통의 일일운용의 목표는 수급균형을 유지하면서 경제적으로 운용하는 것이다. 현재 우리나라 전력계통의 전원구성은 원자력 발전의 점유율이 높아져 과거 기저부하용으로 건설된 화력발전기도 부하추종운전이 불가피하게 되었다. 한편, 화력발전기의 부하배분은 등중분 연료비법이 사용되고 있으나 각 발전기의 출력변화속도가 1~5%/분으로 늦으므로 아침의 부하상승시기와 정오의 부하급변동시기에는 수급의 차질이 발생하여 실제로 계통주파수 유지에 어려움을 보이고 있다.

이에 따라 계통상황에 알맞는 운용기술과 효율적인 발전설비의 제어를 필요로 한다. 이를 위해 화력발전기의 출력변화속도를 고려하여 약 1~2시간 앞까지의 수요예측치를 이용하여 미리 발전될 부하를 예측 배분하는 부하배분법(이하 '선행급전')으로서 여러가지 방법이 제시되었다.

지금까지 제시된 방법으로는 시간의 흐름에 역방향으로 부하 배분하는 후진형방법(4)과 전진형 방법을 삽입한 후진형 방법(6), 동적계획법을 사용한 방법(5), 전진형 방법을 사용하여 부하배분하다가 수급불균형이 발생하면 후진형 방법을 사용하는 방법(7)

등이 있다.

본 연구에서는 이들 선행급전 방법들 가운데 "후진형보완에 의한 전진형 방법(Forward-revised by Backward-Sequence)"을 기본으로 하여 이것을 수정·보완하여 더욱 실용성을 높인 선행급전 알고리즘을 개발하고 이를 화력발전기 31기의 실제 통에 적용하여 그 유용성을 입증하였다.

2. 부하특성과 급전계획

2.1 부하변동특성

그림 1의 a와 같이 전력계통의 순시적으로 변동하는 부하를 변동주기성분으로 분류하면 그림 1의 b, c, d와 같은 세 가지 성분으로 나누어진다. 그리고 이를 발전기출력조정과 연관시키면 그림 2와 같다. 또한 일일부하에서 화력발전이 담당하는 부하를 원자력·수력·양수발전이 공급하는 부분을 제외한 것이라 한다면, 화력 발전의 일일부하곡선은 그림 3과 같다.

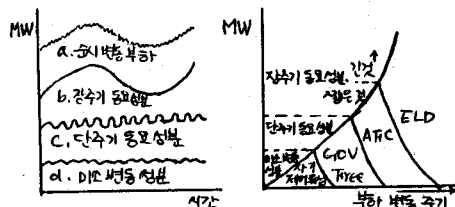


그림 1. 계통순시 변동특성과 구성성분

그림 2. 부하변동주기에 따른 제어성분

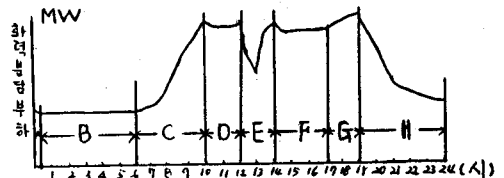


그림 3. 화력발전기의 일일부하곡선

화력발전기의 일일부하관리에 있어서 수급불균형의 문제가 발생하는 구간은 그림 3의 C, E구간이며 그 원인은 발전기의 출력속도 상승의 한계성 때문이다.

2.2 변동부하에 대한 급전 계획

그림 3의 C, E 구간에서의 수급불균형 발생 방지를 위해서 현

제 시점으로부터 5분간격으로 2시간 정도의 부하를 예측하여 이 예측된 부하를 만족시킬 수 있는 선행급전 계산을 수행함으로써 부하의 급변동시에도 수급불균형 없이 경제부하배분이 가능하다.

3. 선행급전

3.1 문제의 정식화

5분 간격으로 부하를 예측하여 최적화 구간을 설정하고 그 구간내에서 경제부하배분을 하는 경우 다음과 같이 정식할 수 있다.

$$\text{minimize } f = \sum_{i=1}^N \sum_{t=1}^{NG} F(P_{it}) \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^{NG} P_{it} = P_{at} \quad (2)$$

$$P_i \leq P_{it} \leq P_i \quad (3)$$

$$P_{i,t-1} - D_i \leq P_{it} \leq P_{i,t+1} + D_i \quad (4)$$

단, f : 연료비

- NG : 발전기 갯수 i : 발전기 번호
- t : 한계시간 간격번호 N : 한계시간 간격수
- P_{it} : t시점에서의 발전기 i의 출력 (MW)
- P_{at} : t시점에서의 부하 (MW)
- P_i : 발전기 i의 최저한계 출력 (MW)
- P_i : 발전기 i의 최대한계 출력 (MW)
- D_i : 한계시간의 최대속도 변화율 (MW/분)

3.2 선행급전 알고리즘

본 연구의 선행급전 흐름도는 그림 4 와 같다.

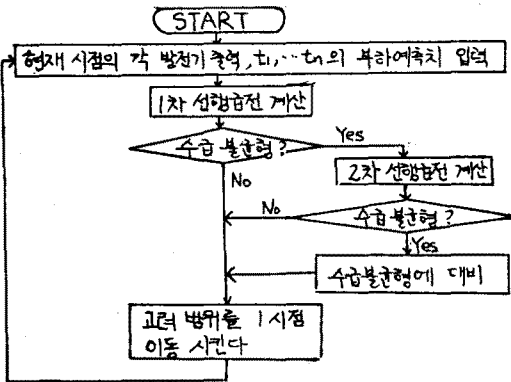


그림 4 흐름도

1차 선행급전계산의 운전가능영역은 다음과 같다.

$$PIMAX_{it} = \min \{ P_{i,t-1} + D_i, P_i \} \quad (5)$$

$$PIMIN_{it} = \max \{ P_{i,t-1} - D_i, P_i \} \quad (\text{그림 5 참조})$$

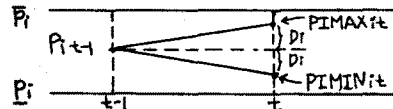


그림 5. 상하한치 결정법

1차 선행 급전계산중 t=k에서 수급불균형이 발생되면 t =

1 ~ (k-1)의 구간의 부하배분은 그림 6과 같이 운전가능영역을 선정하여 후진형방법으로 행한다.

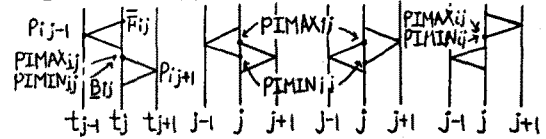


그림 6. 상하한치 결정법 (후진형)

1차선행급전 계산 후에 수급불균형 유무를 파악하여 그림 7과 같이 t=k에서 수급불균형이 발생했다면 2차선행급전 계산으로 들어가서 t=(k+1)~N의 운전가능영역을 수정하고 다시 부하배분한다 (전진형방법).

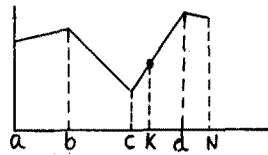


그림 7. 부하곡선의 예

그림 7과 같이 t=k에서 수급불균형이 존재하는 경우 이 수급불균형은 같은 부하기울기를 가지는 k-d 점 사이에서 운전가능영역을 결정하여 부하배분하는 것이 k시점 이후의 발전기 출력에 큰 영향을 주지 않게 되어 수급불균형 없는 경제부하배분이 가능하다. 따라서 t=k에서의 수급불균형 해결을 위해 t=k-1시점의 발전기 출력 $P_{i,k}$ 과 t=k+1, ..., t=d 시점의 발전기 출력 $P_{i,t}$ 값을 사용하여 운전가능영역을 정하고 부하배분을 실시한다.

4. 적용예

4.1 적용계통과 부하모델

적용계통은 화력발전기 31기 규모의 실제계를 사용하였고 부하모델은 참고문헌 (7)과 같은 형태로 각각 10%의 기율기 차를 가지도록 하였다.

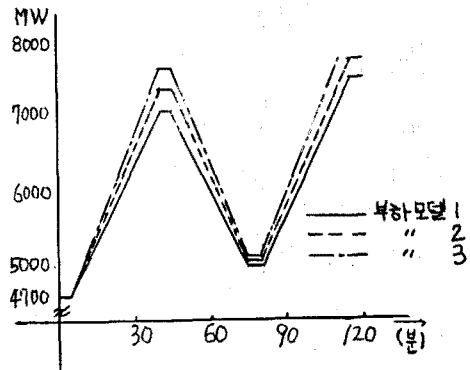


그림 8. 부하모델

부하의 동특성을 고려한 화력발전기의 경제부하배분 알고리즘에 관한 연구

4.2 적용결과

표 1. 부하모델 3에 대한 결과 비교

N	총수요	본연구의 방법	기존의 방법	수급불균형 (MW)
꺾	꺾	꺾	꺾	꺾
0	4700.0	4700.0	4700.0	0
13	5927.0	5927.0	5927.0	0
14	5518.0	5518.0	5556.7	+ 38.7
15	5109.0	5109.0	5207.0	+ 98.0
16	5109.0	5109.0	5109.0	0
17	5518.0	5518.0	5518.0	0
18	5927.0	5927.0	5927.0	0
19	6336.0	6336.0	6336.0	0
20	6745.0	6745.0	6745.0	0
21	7154.0	7154.0	7154.0	0
22	7563.0	7563.0	7563.0	0
23	7972.0	7972.0	7958.5	-13.5
24	7972.0	7972.0	7972.0	0

표 2. 적용결과

비교대상 부하모델	기존의 방법		본 연구의 방법	
	수급불균형	발전비용 (천원)	수급불균형	발전비용 (천원)
부하모델 1	없 음	3720247	없 음	3720247
부하모델 2	1회 발생	3803288	없 음	3803259
부하모델 3	3회 발생	3895895	없 음	3891379

단, 수급불균형이 발생한 경우의 발전비용은 수급불균형량은 가스터빈이 담당한다고 가정하고 계산한다. 이때 가스터빈은 화력발전기에 비해 MW당 2.5배의 비용이 든다.

5. 결 론

1. 화력발전기의 출력 속도 변동성을 고려하여 부하가 급변하는 경우에도 수급불균형없이 경제부하배분을 할 수 있는 선형급전방법을 개발하였다.
2. 이를 실제통의 발전기 31기 데이터와 여러 부하모델을 사용하여 적용한 결과 기존의 방법에 비해 만족할만한 계산결과를 얻을 수 있었다.
3. 이를 실제통에 적용할 경우
 - 가) 부하급변시 수급균형유지 가능
 - 나) 공급신뢰도가 높은 계통운용 가능
 - 다) 급전자동화에 따른 On-Line 부하 배분동이 가능하므로 매우 유용하게 사용될 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

1. 송길영 "운전예비력 전산프로그램 개발" 고려대학교 생산기술연구소 1979.1.
2. 송길영, 홍상은 "화력발전기 부하추종능력과 순동 예비력을 고려한 경제부하 배분" 대한 전기학회 하계학술회 회지 1985.4.6.
3. 홍상은 "발전설비의 부하추종" 대한 전기학회지 1987.11.
4. W.G.Wood "Spinning Reserve Constrained Static and Dynamic Economic Dis-

patch" IEEE Trans on P.A.S. Vol PAS 101 No2 P381-388, 1982.

5. Dale W.Ross and Sungkook Kim "Dynamic Economic Dispatch of Generation" IEEE Trans on P.A.S. Vol PAS-99 No6. P2060-2080, 1980.
6. Hachiro Isoda "장시간 수요예측치를 이용한 On-Line 수급 평형제어 방식의 개발" 일본 전력 중앙연구소보고 1980.
7. Yoshihiro Kitauchi, Naoto Yorino, Yasuo Tamura "Feasibility가 높은 On-Line 화력발전기의 경제부하 배분법" 일본전기학회 논문지 B. P131-138, 1987.3.
8. Yasuo Tamura "변화를 제약 고려한 ELD 문제의 On-Line 시간 최적화법의 제안" 일본 전력기술 연구회 자료 PE-86-95, P40-49, 1986.8.5.