

발전연료 계약을 고려한 주간 발전계획 전산화 시스템 개발에 관한 연구

오 태규 김 성수*
한국전기연구소

권 영준 최 봉수 유 인우
한국전력공사 계통운영서

A Study on the Fuel Constrained Optimal Weekly Power Generation Schedule Package

Tae-Kyoo Oh Sung-Soo Kim
KERI

Young-Jun Kwon Bong-Soo Choi In-Woo Yu
KEPCO

Abstract - An overview of weekly power generation schedule package is presented. The overall unit commitment logic and the pumped storage operation scheme in the program is illustrated. The results of the application to a practical system is reported.

본 논문은 이러한 발전연료 계약을 처리할 수 있는 주간 발전계획 프로그램을 도입하여 우리나라 계통에 시험 적용한 결과를 소개한 것이다. 이 프로그램에서는 최적한 발전기의 기동정지 계획을 도출하기 위하여 동적계획법(DP)을 사용하고 있으며, 연료계약 조건은 가상의 연료단가 (shadow price)를 사용하여 해결하고 있다.

1. 서론

발전계획은 발전설비의 특성을 고려하면서 예측되는 계통부하를 경제적으로 신뢰성 있게 공급할 수 있는 발전설비의 운전패턴을 결정하는 것이다.

특히 주간 발전계획은 1주일 단위의 발전기 기동정지 계획을 근간으로하며 수화력협조와 양수기 운용계획 등을 포함하게 된다.

발전계획의 경제적 효과는 대단히 크다. 우리나라의 경우 연료비용이 발전비용의 주요부분이기 때문에 연료비용을 0.5 퍼센트 감소시킬 수 있다면 연간 수십 억원의 발전비용 절감효과를 가져올 수 있다.

최근 우리나라 전력계통의 상황은 급격한 부하성장 과 빈약한 국내의 에너지 자원에 대처하기 위하여 화력발전소의 발전연료가 다원화되고 있으며, 원자력의 구성비가 증가함에따라 부하중이 어려운 기저부하용 발전설비의 점유율이 높아지고 있다.

따라서 첨두부하 및 중간부하를 담당하기 위하여 수력, 양수를 비롯하여 유류, LNG와 석탄화력까지 이용되고 있다. 그러나, LNG와 석탄화력은 연료의 공급조건과 저장능력을 고려하여 발전력을 조정해야 하는 등 연료의 사용에 많은 제약이 있어, 이들 발전연료의 제약조건을 고려한 발전설비의 운용계획이 필요하다.

2. 주간 발전계획의 정식화

계통 운용자의 보조역할로 설계된 이 발전계획 프로그램에서는 계통부하와 예비력 그리고 연료와 발전설비에 대한 제약조건을 만족하면서 전체 발전비용을 최소화하는 운전방안을 작성한다. 이 프로그램이 기초한 기동정지문제 (Unit Commitment Problem)를 요약하면 다음과 같이 된다.

최소화 : 1주일 동안의 전체 운전비용
(연료비용 + 기동비용 + 유지보수비용)

제약조건 :

- I. 계통운용
 - 계통부하
 - 예비력 (운전예비력, Spinning Reserve)
- II. 발전설비
 - 발전기특성
(출력 상한과 하한, 최소 운전시간, ...)
 - 발전기 상태
(보수 중, 출력감발, Must-Run, ...)
 - 저수용량 (양수발전소)

III. 발전연료 및 사용수량 제약

- 책임 사용량 및 사용량 제한 (화력기)
- 사용수량 제약 (수력기)

프로그램에서는 화력, 수력, 양수 등 모든 발전원을 분석하고, 가능한 여러 발전계획을 평가하기 위하여 체계적인 탐색(Dynamic Programming Search)을 실시한다. 이 평가를 바탕으로 주어진 제약조건을 만족하면서 계통 전체 발전비용을 최소화하는 운용방안을 선택한다.

3. 기동정지 알고리즘

그림 1.에 나타난 것처럼 전체적인 기동정지 알고리즘은 세단계로 이루어져 있다.

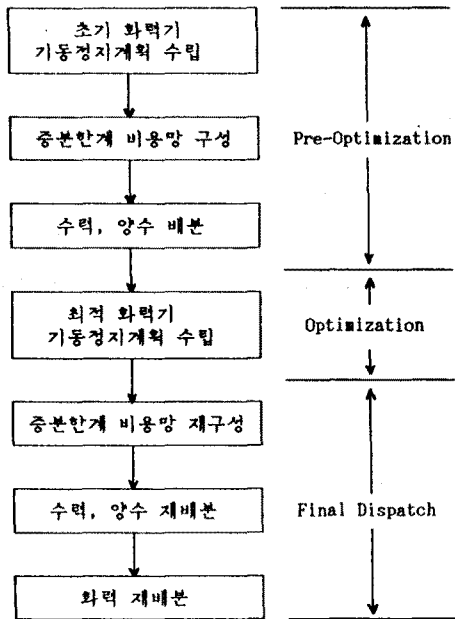


그림 1. 전체적인 기동정지 알고리즘

1) Pre-Optimization - Pre-Optimization 단계에서는 다음과 같이 진행되며 발전설비에 대한 제약조건과 계통부하 및 예비력을 만족하는 초기2 발전계획을 작성한다.

- 계통부하와 예비력 그리고 최소운전시간 및 정지 시간을 만족하도록 각 발전기를 우선순위

(priority list)에 따라 투입시킴으로써 초기 화력기 기동정지 계획을 수립한다.

- 초기 화력기 기동정지 계획으로 부터 각 시간의 여러 부하값에 대한 계통 증분비용을 저장하는 2차원 배열인 계통 증분한계비용량을 구성한다. (그림 2. 참조) 이 계통 증분한계 비용량은 수력과 양수배분시 사용된다.
- 수력발전기를 배분한 다음, 양수 발전기를 출력 배분 한다.
- 순화력 부하곡선을 얻기 위하여 계통부하에서 수력 및 양수 발전분을 뺀다.

2) Optimization - 순화력 부하곡선을 읽어들이고, 최적화 모듈에서는 동적계획법을 사용하여 순화력 부하를 만족시키는 최적 화력기 기동정지 계획을 수립한다. 이때 상대적으로 효율이 좋은 - 우선순위가 높은 - 발전기라도 출력 하한이나 최소 운전 시간 등의 제약조건으로 인하여 기동하는 것이 비경제적이라면 기동대상에서 제외된다.

3) Final Dispatch - 최적 화력기 기동정지 계획을 바탕으로 증분한계 비용량을 개선시킨 다음, 이 비용량을 사용하여 수력과 양수를 재배분하고 화력기의 출력을 다시 계산한다.

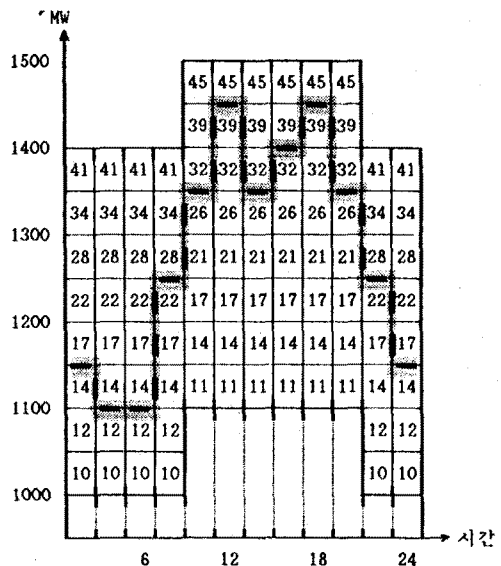


그림 2 계통 증분한계 비용량

4. 수력, 양수 배분 알고리즘

수력기의 발전배분은 그림 2.의 계통 증분한계 비용이 가장 비싼 시간대부터 사용수량 제약내에서 계통부하를 평준화 시킬 수 있도록 출력배분한다.

양수발전소의 출력배분은 계통 증분비용에 따라 양수 발전소를 운전하여 비용절감이 이루어질 수 있도록 배분한다. 예를 들어 양수 용량이 200 MW 이고 효율이 75 % 인 양수발전소를 배분 하는데 수력기의 출력배분이 끝난후의 계통 증분한계비용량이 그림 2.와 같다면 양수배분은 다음과 같은 순서로 이루어 진다. 먼저 증분비용이 가장 싼 시간 (4)과 가장 비싼 시간 (12)을 선택한다. 이때 200 MW의 양수비용과 150 MW(= 200 MW × 75%)의 발전으로 인한 비용절감 효과를 계산한다.

$$200 \text{ MW 양수비용} = (14+17+22+28) \times 50 \text{ MW}$$

$$150 \text{ MW 비용절감} = (39+32+26) \times 50 \text{ MW}$$

양수비용이 발전으로 인한 비용절감보다 작은지를 계산한다.

$$(14+17+22+28) < (39+32+26) ?$$

$$81 < 97 \quad !$$

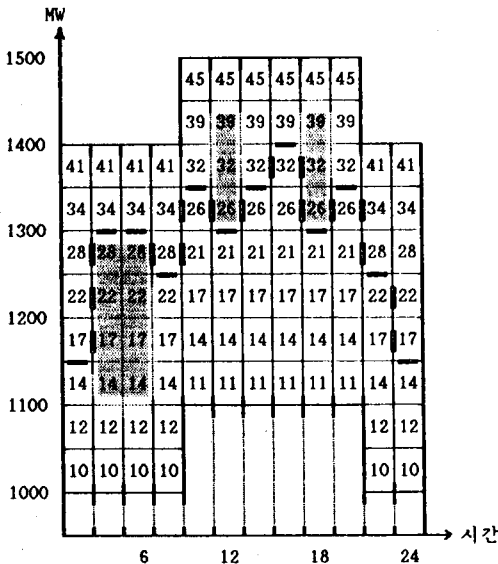


그림 3. 양수배분 후 계통 증분한계 비용량

비용절감 효과가 있으므로 양수시간 (4)과 발전시간 (12)의 부하와 증분 비용을 수정한다. 위 과정을 비용절감 효과가 없을 때까지 반복한다. 양수배분이 끝난 후의 계통 증분한계비용량은 그림 3.과 같다.

5. 계약연료 배분방식

연료계약조건을 처리하기 위하여 이 프로그램에서는 shadow price를 사용하고 있다. shadow price 방법은 계약이 있는 연료의 단가를 실제 연료값이 아닌 다른 값을 사용하여 마치 그 연료의 값이 바뀐 것처럼 생각하는 것이다. 만일 실제의 연료값을 사용하여 문제를 풀었을때 주어진 사용량을 사용하지 못했을 경우 shadow price를 실제 연료비보다 싸게하면 그 연료의 사용량이 증가하여 주어진 제약조건을 만족할 수 있다. shadow price는 발전기의 기동정지와 출력배분에는 영향을 미치지만 실제 연료값을 사용하는 발전연료 비용에서는 무시된다.

6. 적용 결과

실계통의 겨울철 부하에 대하여 이 프로그램을 적용하였다. 이때 1주일 동안의 최대부하는 14,100 MW 이고 최저부하는 9,100 MW 이다.

그림 4.는 프로그램으로부터 얻은 발전계획에 따라 출력배분을 했을때 각 시간마다 발전원별 출력을 나타낸 것이다.

표 1.은 실제 연료단가와 프로그램에서 사용한 shadow price를 나타낸 것이고 표 2.는 연료계약조건과 프로그램 수행 결과 얻어진 사용량을 비교한 것이다.

표 1. 프로그램에서 사용한 shadow price

연료명	실제 연료단가	shadow price
ICN	13.603	12.700
PTG	13.603	12.600
GSN	8.796	9.500
SCN	10.192	13.300
YDG	9.153	8.400
YWL	9.689	6.300
BSN	9.665	9.100

(단위 : 천원 / GCal)

표 2. shadow price를 사용한 결과

연료명	계획량	사용량	차
ICN	17500.	18908.	-1408.
PTG	12250.	13789.	-1539.
GSN	1500.	1624.	-124.
SCN	17000.	18552.	-1552.
YDG	14000.	13918.	82.
YWL	5000.	4724.	276.
BSN	4000.	4466.	-466.

(단위 : 톤)

참고문헌

- [1] K.D. Le, J.T. Day, B.L. Cooper, E.W. Gibbons, "A Global Optimization for Scheduling Thermal Generation, Hydro Generation and Economic Purchases", IEEE Trans., Vol. PAS-102, pp. 1986-1993, July 1983.
- [2] J.S. Griffith, S.R. Erwin, J.T. Wood, K.D. Le, J.T. Day, C.K. Yin, "Using a Cost - Reconstruction Tool to Analyze Historical System Operation", Westinghouse Electric Co. 1989.
- [3] C.K. Pang, G.B. Sheble, F. Albuyeh, "Evaluation of Dynamic Programming Based Methods and Multiple Area Representation for Thermal Unit Commitment", IEEE Trans., Vol. PAS-100, pp. 1212-1218, Mar. 1981.
- [4] Arthur I. Cohen, Vahid R. Sherkat, "Optimization-Based Methods for Operations Scheduling", IEEE Proc., Vol. 75, pp. 1574-1591, Dec. 1987.

7. 결론

발전연료 제약조건을 고려한 주간 발전계획 프로그램을 도입하여 우리나라 계통에 적용하여 보았다. 적용결과로부터 shadow price 방법이 연료제약 조건을 처리하는 유용한 방법임을 알 수 있었다. 하지만 프로그램의 수력 및 양수 배분 방식이 실계통에 적합하지 않은 부분이 있어 현재 이 부분을 보완하고 있는 중이다.

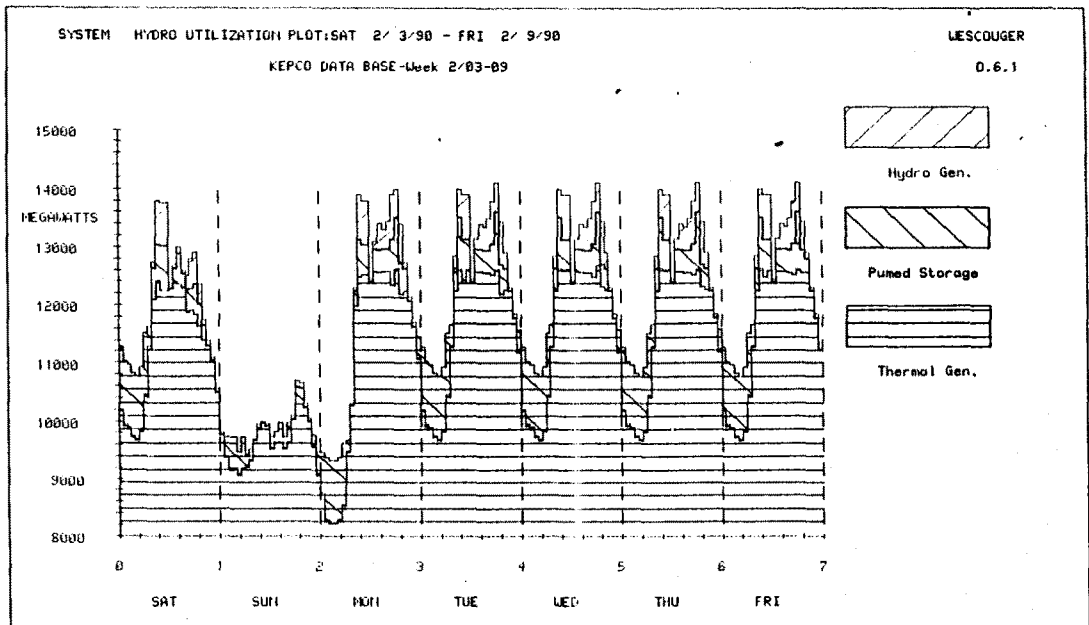


그림 4. 각 발전원별 출력배분