

송길영  
고려대학교

최재석  
포항전문대학

The Development of the Simplified Simulation  
Technique for the Best Generation Mix

Song Kil-Young  
Korea Univ.

Choi Jae-Seok  
PoHang Junior Coll.

Abstract

The simplified simulation technique for the best generation mix is developed and the studied results are described.

The best generation mix over study time from the economic point of view can easily constructed by this technique.

- (1) 전원은 Unit 별이 아니고 종별로 나누어 각각 1기로 취급한다.
- (2) '고정비=건설비+유지비'로 하고 '가변비=연료비'만으로 하고 '고정비+가변비=총비용'으로 한다.
- (3) 각 시간대단면별로 사전에 후보안을 몇개씩 설정한 다음 이 중에서 최적안을 탐색하는 문제로 한정한다.

1. 서론

근래 WASP나 MNI처럼 대단위 프로그램을 사용해서 상세하게 전원개발을 분석하기에 앞서 실무자가 간단하게 전원개발의 패턴이나 파라메트릭분석등을 목적으로한 앨고리즘들이 최적전원구성(Best Generation Mix) 이라는 제목아래 선형계획법, 비선형계획법, 정적인 동적계획법등의 기법을 빌어서 개발되고 있다. 그러나 이들은 어느것이나 연구대상기간을 특정시간단면에 한정시킨 단면계산으로써 장기간에 걸친 전원구성의 추세를 파악하기에는 어려울뿐만 아니라 전원의 보수계획이나 양수식 수력과같은 특수한 전원의 운용상황을 제대로 반영치 못하고 있으며 특히 양수식수력의 개발패턴을 검토하고자 할때는 거의 불가능한 실정이다.

본 연구는 WASP나 MNI처럼 대단위 프로그램을 이용하여 상세하게 전원개발의 해를 구하기에 앞서 실무자가 간단하게 기본적인 파라메트릭분석이나 전원개발패턴을 분석할 수 있는 다면용 간략시물레이선기법을 개발하였다. 개발한 앨고리즘에서는 양수나 LNG등을 간략하게나마 고려할 수 있도록 했으며 이를 모델계통에 적용해서 그 유용성을 검증하였다.

3. 문제의 정식화

본 문제는 미리 설정한 구성안들중 말기시간대까지 누적한 비용이 최소인 각시간대의 최적구성안을 탐색하는 최적화문제라고 이는 동적계획법으로 해석하는 것이 유리하다.

K시간대까지 누적한 최소비용함수를 F\*라 정의하면 식(3.1)과 같이된다.

$$F^*(G_{pi}^k, k) = \min_{\{G_{pi}^j, \Delta G_i^j\}} \sum_{j=1}^k f(G_{pi}^j, \Delta G_i^j, j) \quad \text{--- (3.1)}$$

$$\text{단, } f(\cdot) = \bar{C}_F^j + \bar{C}_V^j + \bar{C}_P^j$$

$\bar{C}_F^j$  : 현가와 고정비 =  $f_F(\Delta G_i^j)$

$\bar{C}_V^j$  : 현가와 가변비 =  $f_V(G_i, \Delta G_i)$

$\bar{C}_P^j$  : 공급지장에따른 패널티비용

$G_{pi}$  : i 전원의 구성비 [p.u]

$G_i$  : i 전원의 건설량(+) 또는 유펜저량(-) [Kw]

한편 이때의 상태방정식 및 상태변수  $G_{pi}^j$  와 제어변수  $\Delta G_i^j$  에 대한 제약조건은 식(3.2) 및 식(3.3)과 같다.

$$G_{pi}^{j+1} = \frac{Gr^j}{Gr^{j+1}} G_{pi}^j + \frac{1}{Gr^{j+1}} \Delta G_i^j \quad \text{--- (3.2)}$$

$$\left. \begin{aligned} \sum_{i \in I} G_{pi}^j &= 1 \\ 0.0 &\leq G_{pi}^j \leq 1.0 \\ \sum_{i \in I} \Delta G_i^j &= Gr^{j+1} - Gr^j \end{aligned} \right\} \quad \text{--- (3.3)}$$

2. 문제의 설정

단,  $Gr^j$ ; j 시간대의 총소용전원용량. [Kw]  
 식(3.1)에 Bellman 의 '최적성의 원리'를 적용하면  
 식(3.4)와 같은 동적계획법에 의한 점화식으로 표현가능  
 하다.

$$F^*(G_{Pi}^k, k) = \min \left\{ F^*(G_{Pi}^{k-1}, k-1) + f(G_{Pi}^k, \Delta G_{Pi}^k, k) \right\} \quad \text{----- (3.4)}$$

$K = 1, 2 \dots N$

4. 문제의 해석

4.1 비유산정문제의 해석

편리상 초기년도를 기준년도로하고 그년도로 현재가치  
 환산한 누적비용을 경제성비교를 위한 목적함수로 삼기로  
 하면 다음과 같이 계산할 수 있다.

(1) 고정비산정 ( $\bar{Q}_C^k$ : 건설비,  $\bar{Q}_M^k$ : 유지비)

$$\bar{Q}_C^k = \sum G_i^k C_i \alpha_i \left( \frac{1+e_{gi}}{1+r} \right)^{(k-\frac{1}{2})\Delta T} \left\{ \frac{(1+r)^{\delta_i-1}}{\gamma(1+r)^{\delta_i}} \right\} \quad \text{--- (4.1)}$$

$$\bar{Q}_M^k = \sum G_i^{k-1} C_i \beta_i \left( \frac{1+e_{gi}}{1+r} \right)^{(k-1)\Delta T} + G_i^k C_i \beta_i \left( \frac{1+e_{gi}}{1+r} \right)^{k\Delta T} \quad \text{--- (4.2)}$$

단, r : 할인율 [p.u]

$C_i$  : 건설단가 [원/kw]

$\alpha_i, \beta_i$  : 균등화 년경비율 및 유지경비율 [p.u]

$\delta_i$  : 비율년수 [년]

(2) 가변비 산정

$$\bar{Q}_V^k = \sum_{i \in I} Q_i^{k-1} b_i \left( \frac{1+e_{fi}}{1+r} \right)^{(k-1)\Delta T} + Q_i^k \cdot b_i \left( \frac{1+e_{fi}}{1+r} \right)^{k\Delta T} \quad \text{--- (4.3)}$$

단,  $Q_i^k = \sum_{m=n \in S} w^{k,m,n} q_i^{k,m,n}$  ----- (4.4)

$q_i^{k,m,n}$  : i전원의 일간발전량 [kwh]

$b_i$  : 연료단가 [원/kwh]

$w^{j,m,n}$  : n대표일의 발생빈도수 [days]

4.2 간략수급은용시물레이션

- (1) 각전원의 부하분담은 우선순위법에 의한다.
- (2) 최소출력한도를 갖는 전원으로서 석탄, LNG, 석유화력으로 한정하고 원자력은 그 구성비율이 높아지면 부하추종운전이 가능하다고 가정한다.
- (3) 양수식 수력의 운전은 잉여 또는 침투부하대용만으로 한정한다.
- (4) LNG 및 수력은 그 설비이용율을 지정해 주므로써

발전량을 갖는 것으로 한다.

이상의 전제조건아래 일간발전량  $q_i^{k,m,n}$  를 다음과 같이 구할 수 있다.

Step.1: 초기치 설정

$$\bar{P}_i^{k,m} = G_i^k (1 - MT_i^{k,m} - FOR_i)$$

$$\bar{P}_i^{k,m} = \bar{P}_i^{k,m} \times \theta_i$$

$$E_{LNG} = P_3^{k,m} \times 24 \times P_{r3}$$

$$E_{HYD} = P_5^{k,m} \times 24 \times P_{r5}$$

$$P_D^{k,m,n,t} = P_{Dmax}^k \times L_p^{m,n,f}$$

단,  $MT_i^{k,m}$  : 보수율 [p.u]

$FOR$  : 평균사고율 [p.u]

$\theta_i$  : 출력하한치율 [p.u]

$P_r$  : 일간설비이용율 [p.u]

$P_{max}^k$  : k 시간대의 최대부하치 [Kw]

$L_p$  : 부하패턴의 값 [p.u]

Step.2: 석탄, LNG 및 석유화력의 최저출력 발전량 계산.

$$P_{D2}^{k,m,n} = P_{D1} - \left( \frac{4}{\gamma} = 2 \right) P_j^{k,m,n,t} \quad \text{--- (4.6)}$$

$$q_j^{k,m,n} = \sum_{t=1}^T P_j \Delta D^t \quad \text{--- (4.7)}$$

$j = 2, 3, 4$

Step.3: 양수식수력의 운전모의

(1) 양수식수력의 최대운전시의 한계치 계산

< 양수발전부분 >

$$P_{g6}^{k,m,n,t} \leq P_6^{k1m} \quad \text{--- (4.8)}$$

$$\sum_{t=1}^T P_{g6}^{k,m,n,t} \Delta D^t = \bar{E}_{PG}^k$$

< 양수부분 >

$$P_{p6}^{k,m,n,t} \leq \bar{P}_6^{k,m}$$

$$\sum_{t=1}^T P_{p6}^{k,m,n,t} \Delta D^t = \frac{\bar{E}_{PG}^k}{\eta} \quad \text{--- (4.9)}$$

단,  $P_{g6}, P_{p6}$  : 각각 양수발전 및 양수운전치 [Kw]

$\bar{E}_{PG}^k$  : k시간대에서 양수식수력의 최대발전가능량  
 ( $= \bar{P}_6^{k,m} \times 24 \times P_{r6}$ )

(2) 침투부하대용 양수발전량  $E_{ppG}^{k,m,n}$  계산

$$E_{ppG}^{k,m,n} = \sum \text{pos} \left\{ P_{D2}^{k,m,n,t} \sum_{i=1}^5 \bar{P}_i^{k,m} \right\} D^t \quad \text{--- (4.10)}$$

(3) 잉여양수량  $E_{BPG}^{k,m,n}$  계산

$$EBPG^{k,m,n} = \sum_{t=1}^T \text{pos} \left\{ \min PD_2^{k,m,n,t}, \sum_{i=2}^4 P_i^{k,m} + P_1^{k,m} - P_2^{k,m,n,t} \right\} \Delta D^t \quad (4.11)$$

(4) 실제 운전해야 할 양수발전량  $E_{PPG}^{*k,m,n}$  및 양수량  $E_{PPG}^{*k,m,n}$  를 식(4.12) 처럼 계산하고 이를 식(4.13) 및 식(4.14)에 따라 첨두부하사감 및 기저부하상승을 행한다.

$$\begin{aligned} E_{PPG}^{*k,m,n} &= \max \{ E_{PPG}^{k,m,n}, EBPG^{k,m,n} \times \eta \} \\ E_{PPG}^{*k,m,n} &= E_{PPG}^{k,m,n} / \eta \end{aligned} \quad (4.12)$$

<양수발전부분>

$$\left. \begin{aligned} P_{g6}^{k,m,n,t} &\leq \bar{P}_6^{k,m} \\ \sum_{t=1}^T P_{g6}^{k,m,n,t} \Delta D^t &= E_{PPG}^{*k,m,n} \end{aligned} \right\} \quad (4.13)$$

<양수부분>

$$\left. \begin{aligned} P_{p6}^{k,m,n,t} &\leq \bar{P}_6^{k,m} \\ \sum_{t=1}^T P_{p6}^{k,m,n,t} \Delta D^t &= E_{PPG}^{*k,m,n} \end{aligned} \right\} \quad (4.14)$$

$P_{g6}$  및  $P_{p6}$  를 이용하여 부하지속곡선을 식(4.15)에 따라 양수운전의 발전량  $q_6$  를 식(4.16) 처럼 구한다.

$$PD_3^{k,m,n} = PD_2^{k,m,n} - P_{g6}^{k,m,n} + 1E_{p6}^{k,m,n} \quad (4.15)$$

$$q_6^{k,m,n} = \sum_{t=1}^T P_{g6}^{k,m,n,t} \Delta D^t \quad (4.16)$$

Step.4: 일반식수력의 운전모의

$$\left. \begin{aligned} P_5^{k,m,n,t} &\leq \bar{P}_5^{k,m} \\ \sum_{t=1}^T P_5^{k,m,n,t} \Delta D^t &= E_{HYD}^{k,m,n} \end{aligned} \right\} \quad (4.17)$$

$$E_{p5}^{k,m,n} = 1PD_3^{k,m,n} - E_{p5}^{k,m,n} \quad (4.18)$$

$$q_5^{k,m,n} = \sum_{t=1}^T P_5^{k,m,n,t} \Delta D^t = E_{HYD}^{k,m,n} \quad (4.19)$$

Step.5: 잔여 LNG 화력의 운전모의

$$\left. \begin{aligned} P_3^{k,m,n,t} &\leq \bar{P}_3^{k,m} \\ \sum_{t=1}^T P_3^{k,m,n,t} \Delta D^t &= E_{LNG}^{k,m,n} \end{aligned} \right\} \quad (4.20)$$

$$\left. \begin{aligned} \text{단, } E_{LNG}^{k,m,n} &= E_{LNG}^{k,m,n} - q_3^{k,m,n} \\ \bar{P}_3^{k,m} &= \bar{P}_3^{k,m} - P_3^{k,m} \end{aligned} \right\} \quad (4.21)$$

$$E_{p5}^{k,m,n} = E_{p4}^{k,m,n} - P_3^{k,m,n} \quad (4.22)$$

$$q_3^{k,m,n} = \sum_{t=1}^T P_3^{k,m,n,t} \Delta D^t + q_3^{k,m,n} \quad (4.23)$$

Step.6: 원자력의 부하분담

$$\left. \begin{aligned} P_1^{k,m,n,t} &= PD_5^{k,m,n,t}, P_1 \geq PD_5 \text{ 인 경우} \\ &= \bar{P}_2^{k,m,n,t}, P_1 \leq PD_5 \\ &= PD_4^{k,m,n,t}, \bar{P}_1 \geq PD_3^{k,m,n,t} \geq \bar{P}_2 \end{aligned} \right\} \quad (4.24)$$

$$PD_6 = PD_5 - P_1 \quad (4.25)$$

$$q_1^{k,m,n} = \sum P_1^{k,m,n,t} \Delta D^t \quad (4.26)$$

Step.7: 석탄화력 운전모의

$$\left. \begin{aligned} P_2^{k,m,n,t} &\leq \bar{P}_2^{k,m} \\ \sum_{t=1}^T P_2^{k,m,n,t} \Delta D^t &\leq \infty \end{aligned} \right\} \quad (4.27)$$

$$\text{단, } \bar{P}_2^{k,m} = \bar{P}_2^{k,m} - P_2^{k,m} \quad (4.28)$$

$$PD_7^{k,m,n} = PD_6^{k,m,n} - 1P_2^{k,m} \quad (4.29)$$

$$q_2 = \sum_{t=1}^T P_2^{k,m,n,t} \Delta D^t + q_2^{k,m} \quad (4.30)$$

Step.8: 모든 나머지 부하는 석유화력이 담당하는 것으로 한다.

$$q_4 = \sum_{t=1}^T PD_7^{k,m,n,t} \Delta D^t + q_4 \quad (4.31)$$

### 4.3 최적해탐색

후보안들을 해당시간대 단면의 격자점에 대응시킨후 점화식(3.4)를 사용해서 각후보안에 대해서 차례로 풀고(이때 식(3.2)와 식(3.3)의 제약조건을 벗어나면  $f(.) = \infty$ 로 한다.) 말기시간대의 종단면에서 최소비용을 갖는 최적안을 찾아 그 경로를 후퇴형으로 재추적하므로써 최적안을 모두 찾을수 있다.

한편 원자력외에도 석탄, 석유 및 양수식수력의 구성비도 결정하기위해 상호 관련성있는 전연키리 묶어서 그때마다 최적해를 구하는 축차근사동적계획법을 사용한다.

### 5. 적용예

이번에 개발한 간략계산법을 표.1 및 표.2 와같은 조건 아래 1986년을 초기년도 및 기준년도로 하고 5년 간격으로 2001년까지 최적전원구성비를 결정하러하는 3시간대, 4 4단면 모델계통에 적용하여 보았다. 각종 변수들과 경제성 자료는 표.3 및 표.4를 사용하였다.

#### (1) 최적전원구성비 결정

수렴시에서의 최적전원구성비를 각년도별로 나타내면 그림.1과 같다.

#### (2) 원자력 설비이용효과 구성비

2001년도에서 원자력의 구성비증가에 따른 그의 설비이용 및 종합발전단가의 변화는 그림.2와 같다.

#### (3) 파라메트릭분석

그림.3-그림.9와 같다.

### 6. 결 론

본 연구의 결론을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 연구대상기간중 중간년도의 전원구성상태에 따른 설비용율의 영향도 고려하여 최적전원구성비를 쉽게 결정할 수 있는 일간수급운용간략시뮬레이션 기법을 개발 하였다.
- (2) 본 간략계산법에서는 발전기 보수계획과 양수식수력의 운용상황 및 발전량계약조건을 갖는 LNG 화력전원등을 다양하게 취급할 수 있어서 전원구성상의 각종 설비의 역할을 쉽게 평가할 수 있었다.
- (3) 이를 이용해서 여러가지 파라메트릭분석 해서 다각적으로 검토하여 보았다.
- (4) 한편, 본 연구에서 개발한 알고리즘이 완전한 것이라고는 할 수 없으나 실용면에서 전원개발 담당자들이 기초자료를 분석하는데는 유용하게 사용될수 있으리라 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) 한국전력공사 연구보고서: '전력계통의 장기전망과 운용전략에 관한 연구' KRC-85S 1986..11
- (2) 齊藤雄志外: '전력수급동향과 전력구성' 일본 전력경제연구지 1985. No.18
- (3) EPRI Report: 'Technical Assessment Guide' PS-1201-SR 1979. D2-1-3-31

Table 1. Maximum load in each period (Standard year: 1986)

Stage	Year	PDmax [10 <sup>3</sup> kw]	Gr [10 <sup>3</sup> kw]
1	1986	10500	18,000
2	1991	14000	21,000
3	1996	20000	25,600
4	2001	27000	33,000

Table 2. Generation mix at Initial period (1986-year)

Gen	Cap (10 <sup>3</sup> kw)	(%)
Nucr	4860	27.0
Coal	3600	20.0
LNG	2520	14.0
Oil	4860	27.0
Hydr	1260	7.0
Pump	900	5.0
Sum	18000	100.0

Table 3. Generation characteristic data

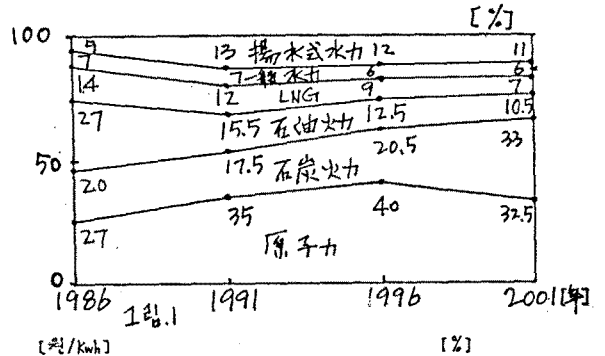
Pump eff.	0.7
Pr 6 (Pump)	0.20
Pr 5 (Hydro)	0.25
Pr 3 (LNG)	0.55
Nuclear F. O. R	0.05
Thermal F. O. R	0.02
Hydro F. O. R	0.00
02	0.35
03 & 04	0.20

단, Pr: 設備利用率

Table 4. Economical data (Standard year: 1986)

Gen name	건설비 [원/1kw]	연료비 [원/kwh]	연료비 성장상승율 [%/년]	인건비율 [%]	기성설비 유지장비율 [%]
Nucr	135	15.0	1.0	19	-
Coal	100	37.5	1.0	17	-
LNG	85	67.5	1.0	17	-
Oil	65	80.0	1.0	17	8
Pump	50	-	-	13	-

(단, 연인율=10%)



[원/Kwh] [%]

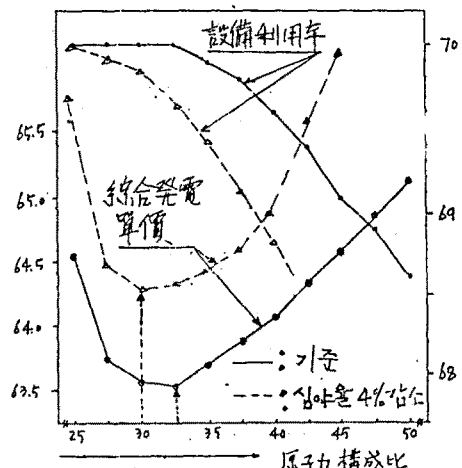


그림 2

[원/Kwh]

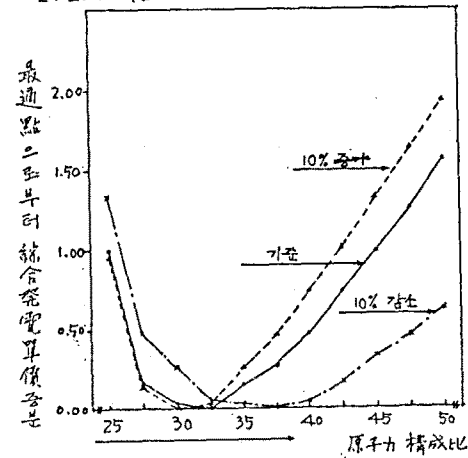


그림 3