

## 최적화 기법에 의한 발전시물레이션 방법론의 개발 및 전원확충계획 문제에의 적용

### The Development of Production Simulation Methodology by Optimization Technique and It's Application to Utility Expansion Planning

송길영\* 오광해\* 김용하\*\* 차준민<sup>‡</sup>

\* 고려대학교 전기공학과      \*\* 인천대학교 전기공학과

<sup>‡</sup> 대전대학교 전기공학과

K.Y. SONG \* K.H. OH \* Y.H. KIM\*\* J.M. Cha<sup>‡</sup>

\* Department of Electrical Engineering Korea Univ.

\*\* Department of Electrical Engineering Incheon Univ.

<sup>‡</sup> Department of Electrical Engineering Daejin Univ.

#### ABSTRACT

This study proposes a new algorithm which performs a production simulation under various constraints and maintains computational efficiency. In order to consider the environmental and operational constraints, the proposed algorithm is based on optimization techniques formulated in LP form. In the algorithm, "system characteristic constraints" reflect the system characteristics such as LDC shape, unit loading order and forced outage rate. By using the concept of Energy Invariance Property and two operational rules i.e. Compliance Rule for Emission Constraint, Compliance Rule for Limited Energy of Individual Unit, the number of system characteristic constraints is appreciably reduced. As a solution method of the optimization problem, the author uses Karmarkar's method which performs effectively in solving large scale LP problem.

The efficiency of production simulation is meaningful when it is effectively used in power system planning. With the proposed production simulation algorithm, an optimal expansion planning model which can cope with operational constraints, environmental restriction and various uncertainties is developed. This expansion planning model is applied to the long range planning schemes by WASP, and determines an optimal expansion scheme which considers the effect of supply interruption, load forecasting errors, multistates of unit operation, plural limited energy plants etc.

#### 1. 서론

본 연구에서는 계산상의 효율성을 유지하면서도 계통운용계획을 세밀하게 반영할 수 있는 최적발전시물레이션 방법론을 개발하고 이를 전원확충계획문제에 적용하였다.

발전시물레이션에서 각종 운전 제약 및 환경 제약은 고려대상 기간 동안의 발전기 발전량대치에 관한 제한으로 변환이 가능하므로<sup>(1)</sup> 이들 제약을 최소의 발전비용으로 만족시킬 수 있는 발전기 투입순서와 부하지속곡선상에서의 투입위치를 결정함으로써 최적의 발전시물레이션 결과를 얻도록 하였다. 즉, "총배출량규제 순용규칙"과 "개별에너지제약 순용규칙"을 도출하여 효율적으로 발전기 투입순서를 결정하도록 하였으며 "에너지불변성"<sup>(2)</sup>을 이용하여 발전기 투입순서를 "계통특성 제약식"으로 고려하도록 함으로써 발전시물레이션 문제를 최적화문제로 정식화하였다. 최적화문제의 해법으로는 대규모 계통에서 수렴특성이 우수한 방법으로 알려진 Karmarkar 법<sup>(3)(4)</sup>을 이용하여 알고리즘의 효율성을 기하도록 하였다.

발전시물레이션의 효율성은 각종 계통계획의 분야에서 효과적으로 이용될 때 비로소 그 의미가 있는 것이므로, 제안한 발전시물레이션 알고리즘을 실제 계통의 계획문제에 적용하여 전력사업 주

변환경의 변화와 여러 가지 불확실성 요소에 대처하기 위한 전원확충계획안 평가모형을 수립하였다. 본 연구의 전원확충계획안 평가모형을 1993년말 WASP로 수립된 장기전력수급계획안<sup>(5)</sup>의 발전설비에 적용하여 공급지장의 영향, 환경규제효과, 수요예측의 오차, 발전기 대개상태 및 개별에너지제약 등을 고려한 2000년대의 최적 전원확충수준을 산정하였다.

#### 2. 최적 발전시물레이션의 개발

##### 2.1 정식화

발전기의 발전량대치는 각 발전기가 부하지속곡선에 어떤 순서로 어느 위치에 투입되느냐에 따라 달라진다. 따라서 최적발전시물레이션은 각종제약을 만족하면서 부하지속곡선상에서 가장 경제적으로 부하를 담당할 수 있는 투입순서 및 투입위치를 결정하는 것이다. 최적 발전시물레이션 문제는 모든 투입순서 및 투입위치를 고려하여 다음과 같은 최적화 형태로 정식화할 수 있다.

$$\text{minimize } \sum_{i=1}^{ng} \lambda_i \cdot E_i \quad (1)$$

$$\text{subject to } \sum_{i=1}^{ng} A_{ij} \cdot E_i \leq B_j, \quad j=1, \dots, J \quad (2a)$$

$$\sum_{i=1}^{ng} C_{ik} \cdot E_i = B_k, \quad k=1, \dots, K \quad (2b)$$

$$\sum_{i=1}^{ng} E_i \leq W(\Omega), \quad \text{for all } \Omega \subset \{1, 2, \dots, ng\} \quad (3a)$$

$$\sum_{i=1}^{ng} E_i = \text{TED} - \text{EUE} \quad (3b)$$

단, ng : 계통 발전기 대수

$E_i$  : 발전기  $i$ 의 발전량대치 [Mwh]

$\lambda_i$  : 발전기  $i$ 의 증분연료비 [\$/Mwh]

$A_{ij}, C_{ik}$  : 발전시물레이션 제약의 계수

$B_j, B_k$  : 발전시물레이션 제약의 우변값

$J, K$  : 부동호제약 및 동호제약의 개수

$W(\Omega)$  : 발전기 그룹  $\Omega$ 에 의한 발전량 에너지 [Mwh]

TED : 부하 에너지 [Mwh]

EUE : 공급지장에너지 [Mwh]

식(1)은 목적함수로서 연료비의 최소화를 나타낸 것이다. 식(2a)는 수력발전기 운전제약과 SO<sub>2</sub>배출량규제를 표현한 부동호 제약식이며, 식(2b)는 양수발전기 및 연료제약을 갖는 화력발전기 운전특성을 표현한 동호제약식이다. 식(3a) 및 (3b)는 부하지속곡선상에 병입되는 발전기의 모든 투입순서와 투입위치를 발전량대치로 나타낸 제약식이며 우변의  $W(\Omega)$  값은 해석적 방법<sup>(5)</sup>으로 계산한 발전량대치이다. 이 제약식은 부하지속곡선과 발전기 투입순서 및 사고율에 의해 정해지는 제약이므로 본 연구에서는 "계통특성 제약식"이라고 정의하였다.

##### 2.2 계통특성 제약식의 구성

계통특성 제약식의 개수를 줄이기 위해서는 발전기 투입순서의 조합 개수를 줄여야 하므로, 본 연구에서는 "총배출량규제 순용

규칙"과 "개별에너지제약 순용규칙"을 도출하고 이에 따라 발전기 투입순서의 조합을 미리 결정하고, 결정된 투입순서의 조합에 대해서만 계통특성 제약식을 구성하였는데 이들의 구체적인 반영과정은 다음과 같다.

### 2.2.1 총배출량규제 순용규칙

부하지속곡선은 단조감소 형태이므로, 부하지속곡선의 기저부하 부분에 투입될수록 발전기의 발전량 기대치가 커진다. 따라서 화력 발전기들은 가능한 한 연료단가에 의한 우선순위를 유지하면서 등가부하지속곡선상에 차례대로 배치되어야 경제적인 투입순서가 된다. 화력발전기가 중분연료비의 크기순(1,2,3)으로 투입되면 이 투입순서에 대한 계통특성 제약식은 식(4)와 같이 구성된다.

$$\begin{aligned} E_1 &\leq W(1) \\ E_1 + E_2 &\leq W(1, 2) \\ E_1 + E_2 + E_3 &= W(1, 2, 3) \end{aligned} \quad (4)$$

그러나, 계통배출량을 규제를 만족시키기 위해서는 오염물질배출률이 큰 발전기가 오염물질배출률이 작은 발전기들과 투입위치를 교환해야 한다. 이때 오염물질 배출량을 감소하기 위해 발전기 #1가 이웃한 발전기 #j와 투입위치를 교환하는 경우, 1톤의 배출량을 감소시키기 위한 비용의 증가분을 나타내는 중분배출비용은 식(5)로 유도된다.

$$\left[ \frac{\Delta \text{COST}}{\Delta \text{Emission}} \right] (i, j) = \frac{-\lambda_i + \lambda_j}{a_i - a_j} \quad [\$/\text{Ton}] \quad (5)$$

계통배출량을 저감시키기 위한 투입위치 교환은 중분배출비용이 작은것부터 행하는 것이 경제적이다. 3대의 발전기 중에서 발전기 #2와 #3의 투입위치를 교환하면 발전기 투입순서(#1, #3, #2)를 고려해야 하며, 이 투입순서를 반영시키기 위해서는 식(4)와 같은 형태인 3개의 계통특성 제약식이 추가 되어야 한다. 그러나 식(6)을 제외한 나머지 제약식은 에너지불변성에 의해 식(4)에 모두 포함되어 있으므로 식(6)만을 추가하면 된다.

$$E_1 + E_3 \leq W(1, 3) \quad (6)$$

이와 같이 발전기 투입위치를 교환하는 과정은 오염물질 배출량이 최소가 될 때까지 즉, 발전기 투입순서가 배출물의 크기순서와 같을 때 까지 반복한다.

### 2.2.2 개별에너지제약 순용규칙

수력발전기, 양수발전기 및 연료계약 화력발전기등 개별 에너지 제약 발전기들(Limited Energy Plant : LEP)은 주어진 에너지( $E_i$ )만큼 부하를 담당해야 경제적이다. 아울러 부하지속곡선은 단조 감소하는 특성을 가지고 있기 때문에, 개별에너지제약 발전기들은 식(7)로 계산되는 설비이용률  $CF_i$ 이 큰 것부터 부하지속곡선에 우선적으로 투입되어야 한다.

$$CF_i = \frac{E_i}{T \cdot (1 - \text{for}_i) \cdot \text{CAP}_i} \quad (7)$$

여기서,  $\text{for}_i$  : 발전기 i의 사고율 [PU]  
 $\text{CAP}_i$  : 발전기 i의 용량 [Mwh]

따라서 개별에너지제약 발전기의 설비이용률의 순서가 {LEP1, LEP2}라 하면, 개별에너지제약 발전기의 투입순서를 고려하기 위해서는 식(4)와 (6)의 각각에 다음 식(8)을 추가해야 한다.

$$\begin{aligned} E_1 + \dots + E_{LEP_1} &\leq W(1, \dots, LEP_1) \\ E_1 + \dots + E_{LEP_1} + E_{LEP_2} &\leq W(1, \dots, LEP_1, LEP_2) \end{aligned} \quad (8)$$

이와 같이 규칙을 따르는 발전기 투입순서만을 식(4), (6), (8)로 반영시켰으므로 본 연구의 계통특성 제약식으로는, 식의 개수가  $2^{(m+N_{LEP})} - 1$ 인 식(3)대신에  $(nt + N_1) \times (1 + N_{LEP})$ 개를 이용함으로써 계산부담을 줄이도록 하였다.

### 2.3 Karmarkar 알고리즘에 의한 해법

2.2절에서 정식화된 최적발전시물레이션 문제는 계통 발전기 대수가 커지면 결정변수와 제약식이 크게 증가한다. 따라서 본 연구에서는 결정변수와 제약식의 개수가 큰 문제에서 수렴특성이 좋은 Karmarkar 법<sup>(3)(4)</sup>을 이용함으로써 계산의 효율성을 기하였다. 대규모 최적화문제를 효과적으로 풀기 위해서 제안된 Kar-

mark 알고리즘은 기하학적 개념인 ① 벡터의  $AX=0$ 을 만족하는 집합X로의 사영(Projection) ② Karmarkar 중심변환(Karmarkar's Centering Transformation)에 근간을 두고 있으며 다음의 조건1~조건4를 만족하는 LP문제에만 적용할 수 있다.

조건 1. 모든 제약식은 등호제약이며 RHS(제약의 우변값)는 0이다.

조건 2. 모든 변수의 합은 1이다.

조건 3. 변수의 개수가 n 일때  $\left[ \frac{1}{n} \quad \frac{1}{n} \quad \dots \quad \frac{1}{n} \right]^T$ 가 실행가능해이다.

조건 4. 최적해에서 목적함수의 값은 0이다.

그러므로 발전시물레이션 문제를 Karmarkar 알고리즘으로 풀기 위해서 Karmarkar 표준형<sup>(4)</sup>으로 등가 변형시켰으며, 이를 벡터로 나타내면 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} \text{Minimize } z &= A \cdot X \\ \text{Subject to } \sum X &= 0 \\ x_1 + x_2 + \dots + x_{N+3} &= 1 \\ X &\geq 0 \end{aligned} \quad (9)$$

여기서, A :  $1 \times (N+3)$  차원의 행렬

$\sum$  :  $(N_C + 2) \times (N+3)$  차원의 행렬

본 연구에서는 식(9)로 변형된 발전시물레이션문제를 Karmarkar 알고리즘에 적용하여 각 발전기의 발전량기대치 및 발전비용을 계산하도록 하였다.

### 3. 전원확충계획에의 적용

앞서 2절에서는 각종 발전기의 개별순특성과 환경규제를 고려한 발전시물레이션을 최적화문제로 정식화하고 이를 Karmarkar 알고리즘에 의해 효율적으로 계산할 수 있는 발전시물레이션 방법론을 제안하였다. 발전시물레이션의 효율성은 각종 계통계획의 수립에서 효과적으로 이용될 때 비로소 그 의의가 있다고 할 수 있다. 따라서 본 절에서는 장기전원개발계획수립의 결과로서 산정된 최최안에 대하여 공급지장비용, 환경규제, 발전기 개별 에너지 제약, 수요예측의 오차 및 발전기 다개상태 등을 고려한 최적 전원확충계획 수립모형을 구성하였다.

본 연구의 최적 전원확충수준 산정모형에 의한 계산절차를 단계별로 요약하면 다음과 같다.

**단계 1** 장기전원개발계획의 최최안으로 산정된 매년도의 부하 및 발전계통자료와 할인율 및 물가상승률  $\alpha$  등의 자료를 입력한다.

**단계 2** 각종 경제적 변수를 계산한다.

• 평준화계수:  $LF = \frac{1 - \left[ \frac{(1+\alpha)}{(1+\beta)} \right]^n}{(1+\alpha)} \cdot CRF$

• 자본회수 계수:  $CRF = \frac{\alpha(1+\beta)^n}{(1+\beta)^n - 1} \times 100$

• 운전유지비용:  $OMR = \frac{OMC \times 12[\text{월}]}{IC} \times 100$

• 고정비용:  $FCR = CRF + OMR + TAX$

단 OMC : 운전유지비 단위 [원/MW·월]

IC : 건설비 단위 [원/MW]

TAX : 법인세율

**단계 3** 한계공급지장비 접근방법<sup>(5)(7)</sup>을 이용하여 공급지장비용의 전기요금에 대한 배수 M을 추정한다.

$$M = \frac{(a' + b'L_d + c'L_c) P_{max} T_d LOLP_d i}{EFEE}$$

단  $a', b', c'$  : 공급지장비함수의 계수

$L_d$  : 공급지장전력의 침두부하에 대한 단위분율

$P_{max}$  : 침두부하

LOLP<sub>d</sub> : 공급지장확률

i : 지속시간

EFEE : 전기요금

**단계 4** 확충대상 발전기를 선정하고 장기전원개발계획의 최적

안  $K^0$ 에 대하여 확충 대상발전기의 투입대수  $U_i$ 를 가감하여 연도별 설비조합을 구성한다. 이때 예비유제약과 LOLP제약을 만족하는 설비조합을 후보설비조합으로 결정한다.

$$RES(K^0, +U_i) \leq RES^*$$

$$LOLP(K^0, +U_i) \leq LOLP^*$$

단계 5 LOLP 평활화 방법에 의한 보수계획을 수립하여 각 분기별 보수율  $m_i$ 을 계산하고 보수용량을 공제한 발전기 가능출력  $\bar{C}_i$ 을 구한다.

$$m_i = \frac{T_{mi}}{T}$$

$$\bar{C}_i = (1 - m_i) \cdot C$$

단  $T_{mi}$ : 발전기  $i$ 의 보수 주수  
 $T$ : 해당분기의 주수

단계 6 각 년도의 설비조합별 운전비용 및 신뢰도를 산정한다. 분기별로 발전시물레이션을 최적화 형태로 정식화하고 Karmarkar 알고리즘에 의한 분기별 계산결과를 취합하여 설비조합별 연간 연료비용 및 신뢰도를 산정한다.

단계 7 매년도의 각 설비조합에 대하여 고정비, 변동비, 공급지장비, 환경비용을 계산한다.

- 고정비:  $FIXCOST(t, U_i) = CPT \times UMW \times U_i \times FCR$
- 변동비:  $VARCOST(t, U_i) = F(t, U_i) \times LF$
- 공급지장비:  $EUECOST(t, U_i) = EUE(t, U_i) \times EFEE \times M \times LF$
- 환경비용:  $ENVCOST(t, U_i) = \Delta F(t, U_i) \times LF$

단  $CPT$ : 발전기 건설단가  
 $UMW$ : 단위기 용량  
 $F(t, U_i)$ : 연료비용  
 $\Delta F(t, U_i)$ : 환경 규제로 인한 연료비용의 증가분  
 $EUE(t, U_i)$ : 공급지장 에너지

단계 8 단계 7에서 계산된 매년도의 각 설비조합에 대하여 고정비, 변동비, 공급지장비, 환경비용을 취합하여 목적함수를 구성하고 이를 최소화 하기 위한 연도별 최적 설비확충 대수를 동적계획법으로 결정한다.

$$\mathcal{J} = \min_{u_i} \left[ \sum_{t=1}^T FIXCOST(t, u_i) + VARCOST(t, u_i) + EUECOST(t, u_i) + ENVCOST(t, u_i) \right]$$

#### 4. 사례 연구

본 연구에서는 환경제약, 수요예측 오차, 발전기 다개상태 모형, 수력의 다기귀급, 공급지장의 효과 등을 종합적으로 고려하여 2000년도의 한국전력에 대한 최적 설비확충계획을 수립하였다. 이때 환경규제는 WASP 기준안의 2000년도 계통배출량의 90%인 720,000 [톤]을 계획기간동안의 각년도별 상한치로 적용하였다. 수요예측의 오차는 오차의 분포를 정규분포로써 고려하였으며 93년 장기전력수급계획안의 부하의 상하한을  $\pm 3\sigma$ 에 포함시켰다. 이와 아울러 수력발전기를 다기귀급하고 발전기의 확률모형을 다개상태로 고려함으로써 정밀한 계통상황을 반영하도록 하였다.

#### 4.1 입력 자료

본 연구에서는 전원확충계획을 수립하기 위해 '93 한국전력 장기전력수급 계획안과 동일한 부하 및 발전기를 적용하였다. 또한 각종 비용의 계산을 위해서 경제적 변수 및 공급지장비용의 배수를 입력자료로써 사용하였으며 이를 표.1에 보인다.

표.1 경제적 변수 및 공급지장비용<sup>(5)</sup>

할인율	8.5 [%]
설비 수명	20 [년]
자급회수 계수	10.36 [%]
평준화 계수	1.3
운전유지비용	3.2132 [%]
법인세율	0.536 [%]
고정비용	14.1092 [₩]
전기 요금	58.9 [원/Kwh]
공급지장비의 배수	52.9 배

#### 4.2 적용 결과

##### 4.2.1 후보 설비조합 결정

전원확충계획을 수립하기 위해서는 계획의 목적에 부합하는 확충 대상 발전기를 결정하는 작업이 선행되어야 한다. 본 연구의 확충대상 발전기 선정은 연료공급 안정성, 경제성, 환경 및 입지 문제, 전원개발의 탄력성 등에 근거하여 환경 및 입지문제의 제약이 적고 전원개발의 탄력성이 큰 LNG 복합화력을 확충 대상 발전기로 결정하였다. 이때 확충대상 발전기의 단위기 용량은 '93 한국전력 장기전력수급 계획안의 LNG 복합화력(CC4H)의 용량 400(Mw)를 기준으로 하였다.

또한 전원확충계획의 대안을 마련하기 위하여 '93 한국전력 장기전력수급 계획 최최안의 연도별 설비를 기준으로 하여 LNG 복합화력 발전기를 추가투입하거나 해열시켜 연도별 설비조합을 구성하였다. 이때 전원확충계획에서 고려해야 할 연도별 확충 대상발전기 대수  $U_i$ 의 범위를 정하기 위해서 설비예비를 상한 23% LOLP 상한 1.0 [일/년]을 각각 적용하였다. 그림 1.은 연도별 확충 대상발전기 대수  $U_i$ 의 범위를 계산한 결과이다.

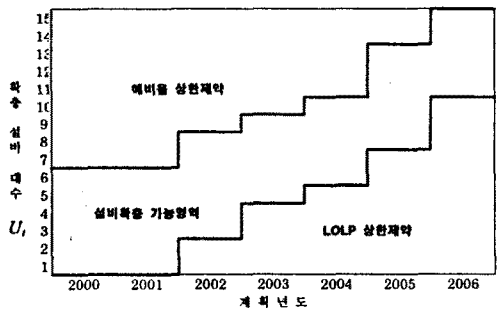
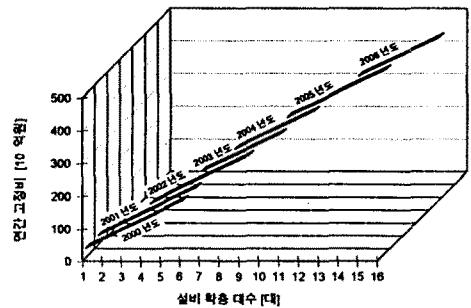


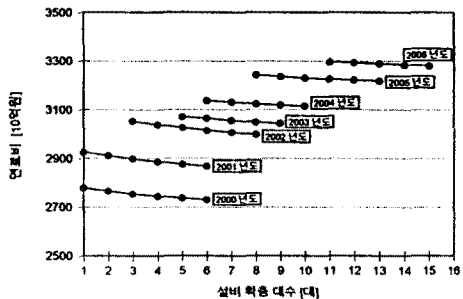
그림 1. 연도별 발전기 확충대수  $U_i$ 의 범위

##### 4.2.2 동적계획법에 의한 최적확충계획 수립

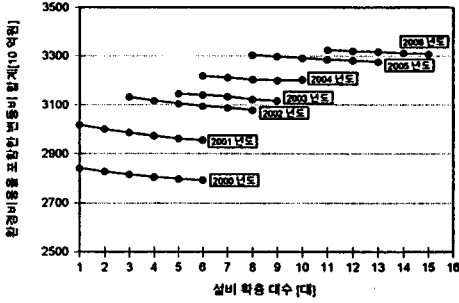
각 연도의 후보설비조합별 공급지장에너지와 연료비 및 환경비용을 최적화기법에 의한 발전시물레이션으로 계산하였다. 이들 계산결과를 그림 2.에 보인다.



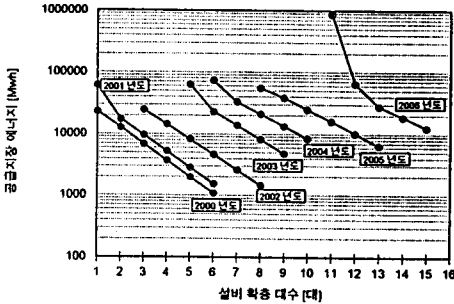
(a) 고정비



(b) 연료비



(c) 환경비용



(d) 공급시장에너지

그림 2. 각 연도의 설비조합별 고정비, 연료비, 환경비용 및 공급시장에너지 계산결과

그림 2.의 결과로부터 고려대상기간 전체에서 각연도의 설비조합에 대한 총 비용의 합을 최소로 하는 최적 설비확충대수를 결정한다. 이를 위해 계획년도를 단(stage)으로 하고 연도별 설비확충대수를 상태(state)로한 동적계획법을 이용하여 최적설비확충계획을 수립하도록 하였으며 그 결과를 WASP로 산정된 계획안과 비교하여 그림 3.에 보인다.

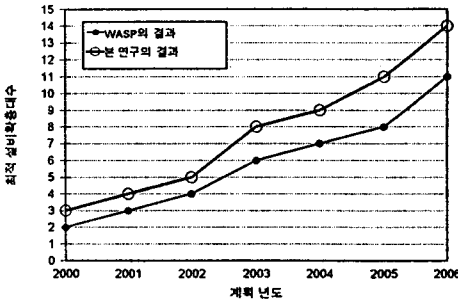


그림 3. 최적 설비확충대수

그림 3.에서 본 연구의 결과는 WASP의 결과에 비해 매년도에서 1~3대의 설비가 더 투입되었고 계획기간 전체로서는 3대의 설비가 추가적으로 요구되고 있음을 알 수 있다. 이러한 결과의 차이가 발생한 이유는 본 연구의 방법에서는 환경계약, 수요예측 오차, 발전기 다개상태 모형, 수력의 다기취급을 종합적으로 고려한 반면, WASP에서는 이들을 고려할 수가 없었기 때문이다. 이때 환경계약, 수요예측 오차를 고려하면 설비투입대수를 증가시키는 결과를 보이고 발전기 다개상태 모형, 수력의 다기취급을 고려하면 설비투입대수를 줄이는 결과를 보이지만 환경계약과 수요예측 오차의 영향이 결과에 더욱 크게 영향을 미치므로 결과적으로 설비가 더 투입된 결과가 산정된 것이다.

참고로 이때의 최적 설비예비율은 19.5~21.4 [%]의 범위로 산정되었으며 최적 LOLP는 0.1~0.3 [일/년]으로 평가되었다.

## 5. 결론

1. 제안한 최적발전시뮬레이션 알고리즘을 사용함으로써 기존의 해석적인 방법으로는 다루기 어려웠던 각종 에너지제약을 갖는 개개 발전기의 운전특성을 세밀하게 반영할 수 있었으며, 아울러 환경규제에 대한 제약도 고려할 수 있었다.

2. 본 연구의 전원확충계획 수리모형을 1993년말 WASP로 수립된 장기전력수급계획안에 적용하여 공급시장비용, 환경규제, 발전기 개별 에너지 제약, 수요예측의 오차 및 발전기 다개상태 등을 고려한 2000년대의 최적 전원확충계획을 산정하였다.

3. '93 한국전력 장기전력수급 계획안의 경우에는 수요예측의 오차, 환경규제 등에 대처하기 위해서는 설비예비율로써 2.4[%]의 설비(1200 [Mw])를 2006년까지 확보하면 최적인 설비규모에 도달할 수가 있었다.

4. 본 연구의 전원확충계획 결과는 환경비용과 공급시장비용 및 전력공급비용을 대상으로 경제적인 측면에서 산정된 것이므로 정치·사회적 상황, 국제 무역관계, 에너지자원의 확보가능성, 설비입지의 가능성 등을 고려한 종합적인 평가가 필요함을 밝혀둔다. 이와함께 최근 전력계통에의 도입평가가 이루어지고 있는 분산형 전원까지도 포함한 전원개발계획 모형의 수립이 차후에 진행되어야 할 연구과제라 사료된다.

## 참고문헌

- [1] Jeremy A. Bloom, Lawrence Gallant ; " Modeling Dispatch Constraints In Production Cost Simulations Based On The Equivalent Load Method ", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 2, pp. 598-611, May 1994.
- [2] 송길영, 김용하, 오광해, "충발전력 일정성을 이용한 발전시뮬레이션 알고리즘의 개발에 관한 연구", 대한전기학회논문지, pp.68-76, 1993년, 6월.
- [3] Wayne L. Winston ; "Operations Research -Applications and Algorithms", 3rd Edition, Chapter 10.
- [4] Mokhtar S. Bazaraa etc., Linear Programming and Network Flows, Second Edition, pp.380-404
- [5] 한국전력공사 전원계획처, '공급능력 및 LOLP를 고려한 발전설비 적정수준에 관한 연구', 1995.
- [6] Xifan Wang ; " Equivalent Energy Function Approach to Power System Probabilistic Modelling ", IEEE, Vol.PAS-3, No.3, pp.823-829, Aug., 1988.
- [7] 한전 기술연구원, MNI 모형을 활용한 장기전원개발계획 분석에 관한 연구, KRC-87E-S07, 1988, pp.154-155
- [8] 한국전력공사 전원계획처, 발전연료계획기법 및 모형개발, 1982, pp 44-67
- [9] A. j. Wood, B. F. Wollenberg, Power Generation Operation and Control, 1983, pp. 155-185
- [10] Wenxiang Huang, Benjamin F. Hobbs ; " Optimal SO<sub>2</sub> Compliance Planning Using Probabilistic Production Costing and Generalized Benders Decomposition ", IEEE Trans. on Power Systems, Vol. 9, No. 1, pp. 174-180, February 1994.
- [11] IEEE Committee Report ; " IEEE Reliability Test System-Extensions to and Evaluation of the Generating System ", IEEE, Vol. PWRs-1, No.4, pp.1-7, Nov., 1986.
- [12] Technical Report Series No.241 ; " Expansion Planning for Electrical Generation Systems - Guide Book - ", International Automatic Agency, Vienna, 1984.
- [13] C.N. Lu, M.R. Unum ; " Network Constrained Security Control Using an Interior Point Algorithm ", IEEE Trans. on Power Systems Vol. 8, NO 3, pp. 1068-1076, Aug. 1993.
- [14] R. Billington, Reliability Assessment of Large Electric Power Systems
- [15] Kil Yeong Song, Yong Ha Kim, Jun Min Cha, Kwang Hae Oh, Sang Kyu Choi, "A Study on The Assessment of Power Generation Expansion Planning by Sensitivity Analysis", ICEE '95 Symposium P-24, pp.236-239, July 1995.
- [16] Kil Yeong Song, Yong Ha Kim, Jun Min Cha, Kwang Hae Oh, Woo Jang Jo, "Evaluation of Optimum Reliability Level Considering Supply Capability", Proceeding of the 6-th Annual Conference Power and Energy Society, IEE Japan, pp.59-64, August, 1995.