

電源開發計劃의 理論的 接近方法

Theory of Generation Expansion Planning

金榮昌

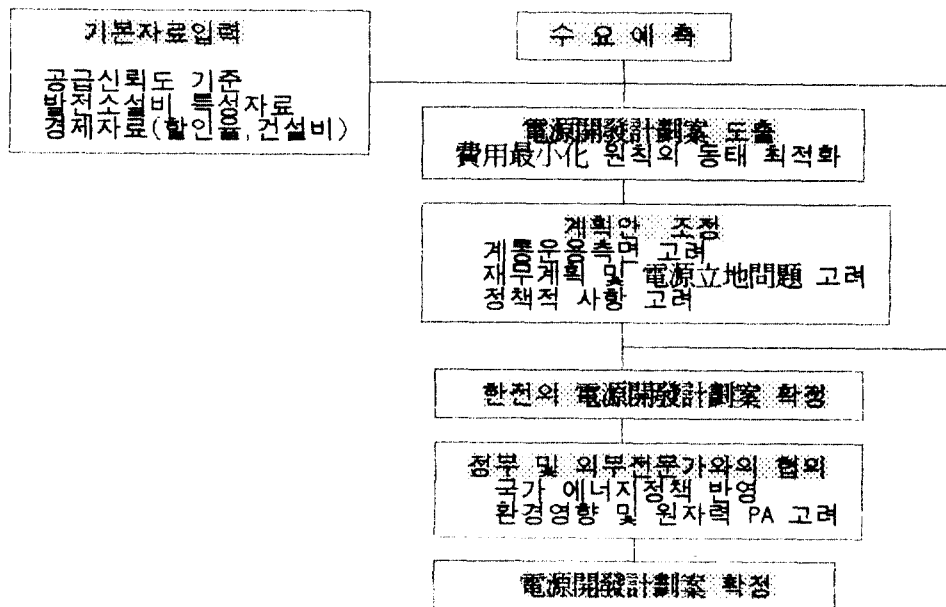
韓國電力公社 電力經濟研究室

I. 序論

電源開發計劃은 국가 에너지 정책의 한 분야로서 전력회사로서는 경영의 가장 중요한 정책이다. 電源開發計劃 수립에 있어서는 막대한 투자비, 發電所 건설공기의 장기성, 수십년에 달하는 수명기간, 需要성장 및 미래 경제상황의 불확실성 그리고 기술적, 경제적, 환경적 제약 등을 고려해야 하며, 국가경제운용정책 및 에너지 정책과 더불어 전력회사의 요금정책, 부하관리, 재무계획, 電源立地, 송전계통계획 등과도 연계되어 결정되어야 한다. 기존의 電源開發計劃은 주어진 需要豫測案에 대하여 기준신뢰도 범위내에서 최소비용이 되는 電源設備投資를 결정하는 것이었으나 앞으로는 부하관리정책을 포함한 수급계획(supply-demand planning)의 수립기법, 未來需要와 연료가격 등 경제요인의 불확실성 및 환경규제 등의 요인을 감안한 戰略計劃技法(strategic planning) 그리고 財務計劃 등 관련계획 업무를 포함하는 統合計劃模型(corporate planning model)의 구축에 대한 방안을 강구해야 할 것이다.

II. 電源開發計劃의 概要

電源開發計劃이란 미래에 예상되는 需要에 대비하여 적정 공급신뢰도 범위내에서 전력을 공급하기 위한 가장 경제적인 電源別 투입시기 및 투입용량을 결정하는 것이다. 電源開發計劃의 어려움은 未來需要 및 경제상황의 불확실성과 發電所 건설공기의 장기성에 있다. 電源開發計劃은 需要豫測의 변화에 따라 매년 조정되나, 한번 건설이 착공되면 건설계획은 변경할 수 없게 된다. 따라서 이 사이에 예측하지 못한 需要의 변동이나 발전연료가격 등 경제여건이 변하면 電源構成(plant mix)의 硬直化를 초래할 수 있기 때문이다.



< 그림 1 > 電源開發計劃 수립 과정

현재 우리나라의 電源開發計劃 수립과정은 그림 1과 같이 부하관리효과를 감안한 장기 需要豫測案으로부터 費用最小化에 의한 電源開發計劃案을 도출하고, 계통운영측면 고려, 재무적 평가, 電源立地問題 고려 등을 통하여 이를 수정·보완한 案前안을 구성한 다음, 정부의 에너지정책, 환경영향 등을 반영하여 정부가 확정하는 절차를 밟고 있다.

III. 費用最小化

가. 最適電源構成(Optimal Plant Mix)

電源開發計劃案을 수립하기 위해서는 우선 費用最小化가 되는 最適 電源構成案을 도출해야 한다. 계통의 규모, 최대需要, 需要의 형태, 설비구성의 특성에 따라 연도별 最適설비구성은 달라지게 되며, 한 연도의 설비구성은 그 뒤의 설비구성에 영향을 미치게 되므로 한 연도만의 最適설비구성은 10 - 30년의 계획기간 전체에 있어서도 最適이라고는 할 수 없다. 즉, 電源開發計劃은 계획기간 전체를 대상으로 費用最小化를 위한 매년의 설비구성을 결정해야 하는 동태적 문제인 것이다. 最適化 문제로서의 電源開發計劃문제는 미래에 발생할 需要를 일정 信賴度 기준 이내로 충족시키면서, 계획기간 동안의 매년도 투자비 및 운전비의 현재의 합을 최소로 하는 연도별, 發電源別 투입용량을 결정하는 문제이다. 이 문제의 목적함수는 계획기간 동안의 투자비 및 운전비의 현재의 합이고, 제약조건으로는 연도별 건설가능한 설비의 범위 및 신뢰도 기준이며, 결정해야 할 것은 電源別 투입용량 및 시기이다.

나. 동태적 문제로서의 最適電源構成

費用最小化를 위한 電源開發計劃案은 주어진 연도의 설비구성을 最適化하는 정태적인 문제가 아니라 계획기간 전체를 고려한 때의 각 연도별 설비구성을 결정하는 동태적인 문제이므로, 다음 식과 같은 最適化 문제로 정식화될 수 있다.

$$\begin{aligned}
 \text{목적함수} &: \sum_n^T \left(\sum_i^M J_n^i U_n^i + G_n(X_n^1 \dots X_n^N) \right) + S(U_1 \dots U_k) \\
 \text{제약조건} &: P_n^L \leq \sum X_n^i \leq P_n^U \\
 & \quad LOLP_n(X_n) \leq C_n \\
 & \quad X_n = X_{n-1} + U_n \\
 & \quad U_n \geq 0
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서,

- i : 발전소 형식번호
- M, N : 총 후보발전형식 수, 총 발전형식 수
- n : 연도
- T : 계획기간
- X_n^i : n 연도 i 형식 발전소
- J_n^i : n 연도 i 형식 발전소 건설비의 현재 (원/Kw)
- U_n^i : n 연도 i 형식 발전소 건설비의 현재 (원/Kw)
- G_n : n 연도 X_n 설비로서의 발전비용의 현재
- S : 잔존가치
- P_n^L, P_n^U : n 연도 설비용량의 하한 및 상한
- C_n : n 연도 LOLP 기준

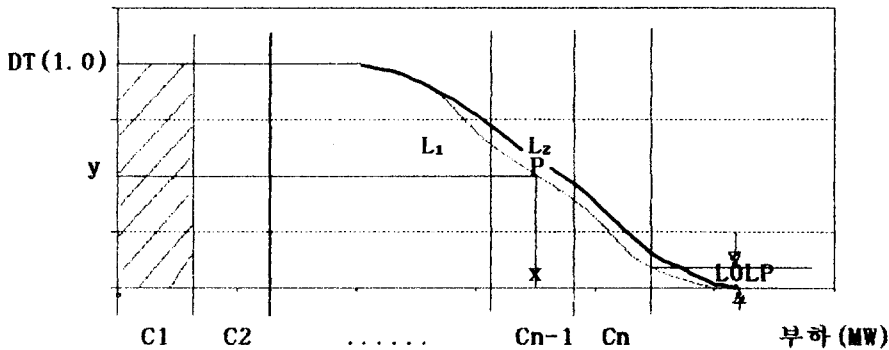
電源開發計劃問題의 주요 변수로는 예측된 需要, 건설단가, 연료비, 할인율, 물가상승을 등 경제적 변수와 발전설비의 용량, 故障停止率, 보수일수, 운전유지비, 發電所 열소비율 등 기술적 변수 및 신뢰도 기준 (LOLP)이 있으며, 계산결과는 후보발전설비의 투입시기 및 용량의 결정이 된다. 이 최적화 문제의 해를 도출하는 數理計劃技法으로는 線型計劃法, 動的計劃法, 最適制御理論, Generalized Benders' Decomposition 법 (GB 분할기법) 등이 이용되는데, 선형계획법은 電源開發計劃에는 부적합하여 최근에는 거의 사용되지 않고, 동적 계획법, 最適制御理論, GB분할기법은 각각 電源開發計劃의 대표적 전산모형인 WASP, MNI, EGEAS에서 각각 적용되고 있다.

같은 설비로서도 운용하기에 따라 다른 운전비용을 낼 수 있으므로 목적함수의 매년도 운전비용은 주어진 설비 X_n 을 가장 적절히 운용한 때의 운전비용이어야 한다. 따라서 매년도 운전비용의 평가를 위해서는 부하의 변동형태 및 發電所의 故障停止를 감안한 운전시뮬레이션이 필요하게 된다.

다. 운전 시뮬레이션

電源開發計劃과 발전계획, 연료수급계획 등 전력회사의 장단기 계획에는 설비운용에 따른 운전비의 평가가 필수적이다. 미래 어느기간에 대한 운전비의 평가는 그 기간에 예상되는 需要에 대해 그 기간에 운전될 발전설비로서 가장 경제적으로 운용한 경우의 운전비여야 하므로 미래상황에 대한 발전설비의 모의(시뮬레이션)가 필요하다. 장기계획에서는 운전비 계산에 負荷持續曲線을 이용한다.

그림 2 와 같이 전도된 負荷持續曲線에서 점(P)의 의미는 부하가 x 보다 클 시간이 y 라는 것이고, 시간축을 p.u. 로 표시하면 부하가 x 보다 클 확률이 y 라는 뜻이 된다.



< 그림 2 > 등가부하지속곡선

發電機 1의 필요 발전량 (D_1)은 그림 2의 빗금친 부분으로 식(2)와 같다.

$$D_1 = DT \int_0^{C_1} L_1(x) dx \quad (2)$$

그러나 發電機 1은 故障停止率 (q_1)을 가지고 있으므로 發電機 1의 발전량 기대치 (E_1)는 식(3)과 같이 표현된다.

$$E_1 = (1 - q_1) D_1 \quad (3)$$

이제 發電機 2가 담당할 等價負荷는 發電機 1의 故障停止를 고려하면 식(4)로 주어진다.

$$L_2(x) = (1 - q_1) L_1(x) + q_1 L_1(x - C_1) \quad (4)$$

이것은 負荷持續曲線과 發電機 1의 故障停止確率密度函數를 相乘積分(Convolution)한 것으로, 그 의미는 發電機 2가 담당할 부하는 $1 - q_1$ 의 확률로서 원래의 부하를 담당하고, q_1 의 확률로서 發電機 1 영역의 부하를 담당함을 의미한다. 따라서 發電機 2의 발전량 기대치는 식(5)와 같다.

$$E_2 = (1 - q_2) DT \int_{C_1}^{C_1 + C_2} L_2(x) dx \quad (5)$$

일반적으로 투입순위가 $i+1$ 인 發電機의 等價負荷持續曲線과 발전량 기대치는 식(6)으로 주어진다.

$$L_{i+1}(x) = (1 - q_i) L_i(x) + q_i L_i(x - C_i) \quad (6)$$

$$E_{i+1} = (1 - q_{i+1}) DT \int_{C_1 + \dots + C_i}^{C_1 + \dots + C_{i+1}} L_{i+1}(x) dx$$

또한 이 과정에서 LOLP도 계산되는데 이는 모든 發電機의 故障停止를 고려한 等價負荷持續曲線에서 x 축의 전체설비용량에 대응하는 y 축의 값 즉, 故障停止를 고려한 때 전체발전설비로서 부하를 담당하지 못할 확률인 것이다. 운전비계산에 있어서 發電機의 확률적 故障停止를 고려하기 위한 相乘積分에 소요되는 시간이 크기 때문에 이를 줄이기 위한 기법으로 Cumulant법 등이 고안되어 적용되고 있다.

IV. 統合計劃模型(Corporate Planning Model)

電源開發計劃의 환경은 지난 날보다 훨씬 더 복잡해져 있는데 이는 需要, 연료비 등의 불확실성과 더불어 電源立地확보의 어려움, 환경규제 등이 그 원인이다. 따라서 電源開發計劃의 의사결정은 어떠한 방법을 이용하더라도 이러한 것을 반영해야 한다. 즉, 電源開發計劃은 최소비용원칙의 설비투자계획안만으로는 그 역할이 부족하게 되어, 다양한 電源開發戰略에 따른 의사결정지표를 이용하여 Trade-off를 행함으로써 電源開發政策을 결정해야 한다. 이러한 모든 계획요소를 감안한 종합적인 계획수립 모형이 통합계획모형이다. 그러나, 이러한 수리계획모형은 아직 개발되어 있지 않은 상황이다. 이 모형의 개발을 위하여 여러가지 연구가 진행되고 있는데 그 대표적인 것이 戰略計劃技法(Strategic Planning)이다. 戰略計劃이란 유일한 電源開發計劃案을 제공하고자 하는 것이 아니라 각종 戰略의 설정과 함께 불확실한 외생요인을 분석하여 電源開發計劃의 의사결정을 하는 과정(Process)을 의미한다. 이를 위해서는 제반문제를 체계적으로 이용할 수 있도록 需要豫測, 재무계획, 운전비 계산, 설비투자계획도출 등을 포함한 시스템이 구성되어야 한다. 이 시스템의 구성은 각 부분의 핵심개념은 포함하되 戰略計劃의 개념에 맞게 상당히 단순화시킨 모형을 주로 사용한다. 아울러 戰略개념 단계의 결과와 운영계획 개념상의 결과는 서로 연계 비교분석되나, 戰略計劃의 주 목적은 수식화된 결론 도출보다는 장단기 電源개발戰略선택과 그에 따른 성취도의 비교평가가 주 목적이라 할 수 있다.

戰略的 電源開發計劃에 이용될 수 있는 기법으로서 SMARTE (Simulation, Modelling and Regression, and Trade-off Evaluation)이 있는데, 이는 電源開發計劃의 여러 단계 중 특히 電源設備확장 및 운전과 관련된 비용, 공해요소, 투자재원조달 및 공급신뢰도 등의 문제를 의사결정자가 체계적으로 동시에 고려할 수 있는 방법을 제공한다는데 그 意義가 있다. 이 이외에도 다목적계획법(MCDM : Multi Criteria Decision Making)이나 IRP(Integrated Resources Planning)등이 연구되고 있다.

V. 結論

전력사업은 막대한 자본이 소요되고 국가경제에 미치는 영향이 매우 크기 때문에 電源設備의 투자를 결정짓는 電源開發計劃은 전력사업의 중요한 과제이다. 電源開發計劃의 환경은 점차 환경규제, 電源立地 확보의 어려움, 원자력 PA 문제, 未來需要 및 경제환경의 불확실성 등으로 인하여 더욱 복잡하고 어려운 문제가 되고 있다. 따라서 투자의 효율성 제고 측면에서 과거에는 고려하지 않았던 제반 문제에 적절히 대처할 수 있는 電源開發計劃의 수립이 필요하게 되고, 앞으로의 電源開發計劃의 과제로서는 需要측면의 정책을 설비투자정책과 동시에 고려하는 방안에 대한 연구가 필요하고 더 나아가서는 환경문제, 입지문제, 未來需要 및 경제상황의 불확실성을 고려하여 경영진의 電源開發政策 방향설정에도움이 될 수 있는 戰略計劃技法(Strategic Planning)의 연구가 이루어져야 할 것이다. 또한 원자력발전의 국민적 합의를 형성하는 문제에 관하여 원자력 안전성의 PR에서 나아가 사회적 선호도의 도출기법 등을 적용해야 할 것이다. 그리고 기존의 需要豫測 기법과 건설비, 할인율과 같은 경제적 기술적 변수의 결정, 최소비용원칙의 電源開發計劃 수립기법, 운전비 및 공급신뢰도의 평가 기법 등도 계속 연구, 보완해 나가야 할 것이다.