

IRP를 위한 불확실성 지표산정과 다속성 의사결정

김창수*, 권영한*, 김광인**

*한국전기연구소 **한국전력공사

Uncertainty Indices Determination and MCDM for IRP

Chang-Soo Kim*, Young-Han Kwon*, Kwang-In Kim**

*Korea Electrotechnology Research Inst. **Korea Electric Power Corp.

Abstract

Main theme of this paper is to evaluate the degree of risk due to the uncertainty of the future, especially for the long-term integrated resource planning (IRP) in electric utility. The measures of uncertainty for dealing with planning risk in the IRP context include robustness and flexibility of each candidate resource plan. The uncertainty indices are treated as decision criteria, or attributes, same as economic efficiency or reliability criteria in the multi-attribute decision-making (MCDM) procedure of IRP.

1. 서론

최근의 전력수급계획은 통합자원계획(IRP)개념의 도입으로 전통적인 총비용 최소화 방식에 비해 의사결정이 매우 복잡하게 되었으며, 동시에 최적성을 평가하는 기준이 한층 다양하게 되었다. 특히, 최근에는 수요성장, 연료가격, 환경, 안전성과 주민이해 등 계획여건에 대한 불확실성이 높아지고 있으며, 따라서 자원계획에 있어서 미래의 불확실성에 대한 고려는 의사결정의 핵심사항의 하나로 대두되고 있다.

본 논문에서는 이러한 통합자원계획에 있어서 많은 계획대안에 대한 다속성의사결정(MCDM)시 적용할 수 있는 불확실성에 대한 대처능력 또는 계획의 위험도를 판단할 수 있는 지표로서 계획의 유연성(Flexibility)과 견고성(Robustness) 지표를 산정하는 방법 및 적용방안에 대하여 제시한다. 여기서 제시하는 방법은 복잡한 계산절차보다는 실무적 적용이 용이한 지표개발에 초점을 맞추었다.

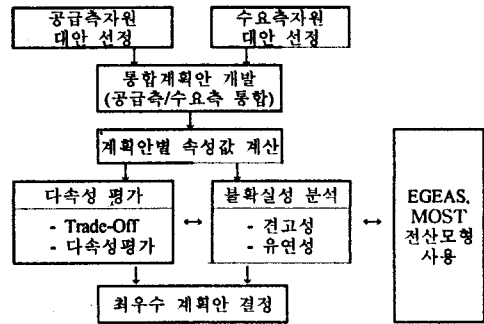
2. 통합자원계획과 다속성의사결정

통합자원계획은 가능한 모든 전력자원을 고려하여, 다양한 의사결정조건을 만족시키는 최상의 계획안을 도출하는 선진화된 전력수급계획으로서 각국의 특성에 맞고 계획과정에 공공의 참여가 활발해야 한다.

IRP의 특징중 중요한 것을 간추리면 다음과 같다.

- 모든 가용자원의 통합계획
전통적 발전, 새로운 공급측자원 (IPP, 신발전, 재풍설비 등)과 수요측자원 (DSM 등)
- 다양한 의사결정기준의 통합계획
환경, 신뢰성, 환경친화성, 재무건전성, 불확실성 영향 등
- 개방된 계획과정
정부, 수용가, 전문가집단, 사회단체 등에 계획의 개발

이러한 계획수리 절차에서 가장 중요한 과정은 여러 후보계획안 중에서 최상의 계획을 선택하는 의사결정 과정으로서 이들 간단히 도식화하면 <그림 1>과 같다.



<그림 1> IRP에서의 MCDM과정

그림에서 보는바와 같이, IRP에서는 공급측 및 수요측 자원으로 구성된 통합계획안에 대해, 의사결정기준으로 선택된 속성값을 계산하고, 이들을 기준으로 각 후보계획안들을 평가하여야 한다. 이 때 사용되는 기법으로 Trade-off 비교나 MCDM 절차가 사용되며, 이를 용이하게 해주는 전산모형으로는 EGEAS와 MOST 2.0 모형¹⁾이 국내에서는 사용되고 있다. 다음은 불확실성 분석에 필요한 속성지표 도출에 대해 주로 고찰한다.

3. 불확실성 속성지표 산정

불확실성 지표는 의사결정에 영향을 줄 수 있는 외부 요소들을 파악하여 이들이 각각의 후보계획안의 선택과 관련된 위험성과 불확실성에 대한 대처능력을 수치화할 수 있어야 한다. 이들 지표에는 견고성과 유연성이 대표적이나 현재까지 이러한 지표개발에 있어서 실무적으로 IRP에 활용할 수 있는 것은 문헌에서 발견하기 힘들다. 이는 이론상 해석과 계산이 매우 힘들기 때문이다. 여기서는 실무적용상의 용이성에 초점을 맞추어 MOST 2.0에서 사용하고 있는 지표에 대해 다룬다. 이 모형에서는 최종의사결정에 불확실성의 영향이 직접적으로 감안되도록 다음의 두가지 지표들을 추정하여, 필요시 점수화하여 최종 의사결정과정에 반영한다.

- 계획안의 불확실성에 대한 견고성 (Robustness)
- 계획안의 불확실성에 대처할 수 있는 유연성 (Flexibility)

가. 견고성 지수

1) MOST (Multi-Objective Strategy Test) 2.0은 한국형 IRP를 위하여 한국전기연구소가 공동개발한 전산모형으로 '93년부터 국가장기전력수급계획에 공식적으로 적용되고 있다(3).

견고성은 어떤 계획안이 우수한 계획안으로 선택되었을 경우, 여러 불확실한 미래상황에 대하여 어느 정도로 영향을 받지 않고 우수성을 유지할 수 있는지의 척도이다. MOST 모형에서의 견고성 계산은 3가지 형태의 견고성 지수를 계산하며, 사용자에게 따라서, 견고성 지수를 선택하여 적용할 수 있다.

① 견고성 지수 1 [$r_1(P_n)$]: 모든 미래시나리오에 있어서 결정집합(우수계획안 집합)에 포함될 확률의 합

주어진 각 미래에 대하여 Trade-Off를 분석하여 계획안이 각 미래의 Trade-Off 집합에서 제외되지 않은 확률을 견고성지수로 선택한다. 따라서, 견고성지수가 높을수록 미래의 불확실성 변화에 대해서도 계속 우수한 계획안이 될 가능성이 크다. 이 지표는 견고성의 일반적인 개념에 상당히 부합된다.

$$r_1(P_n) = \sum_{k \in K} (p_{F_k} \times I_{(P_n \in S_{F_k})})$$

p_{F_k} : F_k 미래시나리오의 확률

S_{F_k} : Trade-Off분석결과 F_k 미래시나리오하에서 후보계획안 중에서 우수한 계획안으로 판단된 후보계획안들의 집합

$I_{(P_n \in S_{F_k})}$: 1 if $P_n \in S_{F_k}$
0 elsewhere

k : 미래시나리오에 대한 첨차 ($k=1, 2, \dots, K$).

K : 미래시나리오의 전체수

② 견고성 지수 2 [$r_2(P_n)$]: 모든 미래 시나리오에 대한 견고성 평가대상 주요 속성값의 평균값

이 지수는, 어떤 계획안에 있어서 견고성평가대상 속성(예를 들어 경제성 속성과 같이 가장 중요하다고 판단되는 몇몇 속성)의 속성값의 전체 미래시나리오에 대한 기대치로서, 이 값이 다른 계획안보다 우수하다면, 그 계획안을 불확실성에 대한 견고성이 우수한 계획안으로 볼 수 있다. 즉, 미래가 변화하더라도 그 속성에 있어서는 다른 계획안보다 우수함을 유지할 확률이 크다는 의미이다. 여기에서 속성의 선택은 계획입안자가 가장 중요하게 생각하는 (또는 점수를 가장 많이 주는) 속성을 선택할 수 있다.

$$r_2(P_n) = \sum_{k \in K} (p_{F_k} \times A_k^*(P_n))$$

$A_k^*(P_n)$: k 미래에서 견고성 평가대상 속성 A^* 의 속성값

③ 견고성 지수 3 [$r_3(P_n)$]: 모든 미래 시나리오에 대한 견고성 평가대상 주요 속성값 변화의 편차

지수 2와 유사하나 기대치가 아닌 표준편차를 지수로 함.

④ 견고성 지수 4 [$r_4(P_n)$]: 모든 미래 시나리오에 대한 최종점수값의 평균값

이 지수는, 어떤 계획안을 불확실성 관련 속성을 제외한 속성들로 다속성 체점평가(각 속성별 상대적인 가중치에 따라 점수를 할 하는 방법)를 했을 경우 얻은 점수를 미래시나리오별 확률로 가중평균한 값으로 한다. 만약, 이 평균 값이 다른 계획안의 경우보다 높다면, 그 계획안을 불확실성에 대한 견고성이 우수한 계획안으로 볼 수 있다.

$$r_4(P_n) = \sum_{k \in K} (p_{F_k} \times \sum_{j \in J} w_j v_j (A_k^j(P_n)))$$

$A_k^j(P_n)$: k 미래에서 해당 계획안의 속성 j 의 속성값

w^j : 속성 j 의 가중치

$v^j(\cdot)$: 속성 j 에 대한 점수화 함수

나. 유연성 지수

유연성은 미래 환경변화에 대하여 계획변경의 용이한 정도를

측정하는 것이다. 불확실성 분석에서 유연성 분석은 매우 어려운 과제이다. 이는 견고성은 분석 대상 계획안 자체는 정태적인 문제이지만, 유연성은 각각 일어날 미래에 대해서 계획을 변경시켜 보아야 하는 동태적인 문제이기 때문이다. IRP에서의 의사결정에는 절차자체가 전략적, 정성적 판단요소가 많은 특성을 가지므로, 유연성을 현재의 계획실행으로 인하여, 자기계획시 계획변경의 가능성이 제한을 많이 받을수록 유연성이 나쁜 계획안으로 볼 수 있도록 실무적으로 접근하여도 충분하다.

현재 MOST 2.0에서는 유연성 있는 계획의 비교적 단순한 개념인 "다른 조건이 같다면, 단위 용량이 작고, 건설공기가 짧고, 투자비가 작은 설비를 가능한 늦게 착공하는 것이 상황이 변화하였을 경우 계획변경이 용이하다"라는 상식적인 인식에서 출발한다.

① 유연성 지수 1 [$f_1(P_n)$]: 평가대상기간중에 신규자원 획득이 착수되는 총설비용량

계획안의 년도별 자원투입계획에서 유연성 평가대상기간동안 착수해야 할 자원의 총용량을 지수화한다. 여기서 유연성 평가대상 기간은 최소한 자원계획의 연동화 주기 이상이 되는 것이 바람직하다. 자원투입의 착수년도는 같은 년도에 자원이 on-line 되더라도, 자원종류에 따라 건설기간(공급측의 경우)이 다르므로 착공시점이 달라진다. 따라서, 동일년도에 같은 용량이 투입되더라도 건설기간이 짧은 자원의 투입이 장기의 건설기간을 요하는 자원을 투입하는 것보다 유연성의 측면에서 유리하다.

$$f_1(P_n) = \sum_{i=y_0}^y \sum_{t \in T^i} u_n^i(t+T^i)$$

$u_n^i(t)$: n 계획안에서 i 형식 후보자원이 t 년도에 추가되는 용량

T_i : i 형식 후보자원의 총 건설기간(년)

I : 후보자원의 총집합

Y_0 : 유연성 고려대상의 시작년도

Y_r : 유연성 고려대상의 끝년도

② 유연성 지수 2 [$f_2(P_n)$]: 유연성지수 1에 있어서 건설착수 자원의 건설비 총합

이 지수는 앞의 유연성지수 1의 투입용량의 형태를 투입용량에 대한 비용의 형태로 바꾼 개념이다. 이 평가는 이미 투입됨으로 인하여 총 지불해야 하는 자원획득에 대한 비용이다. 이는 이미 착공이 되면 어떠한 의미에서도 건설연기 또는 중지할 수 없고 착공된 발전설비는 건설계획에 따라 완공시점까지 진행이 된다는 가정하에 지불하여야 되는 비용이다.

$$f_2(P_n) = \sum_{i=y_0}^y \sum_{t \in T^i} (u_n^i(t+T^i) \times C^i)$$

C_i : i 형식 후보자원의 단위용량당 건설비용(백만원/kW)

③ 유연성 지수 3 [$f_3(P_n)$]: 신규자원 획득에 소요되는 총비용중에서 평가대상기간 중에 집행되어야 할 비용

유연성 지수 3는 앞의 자원획득에 투입되는 총비용 중에서 실제 평가대상 기간동안에만 투입되는 비용만을 고려한 것이다. 이 지수는 평가대상기간동안 신규자원 투입을 위해 확정적으로 지불하여야 할 비용으로 계산한다. 지불해야 할 비용의 년도별 차이는 년도별 보정계수를 사용하여 보정한다 (예를 들어, 앞년도에 확정지불되는 금액과 같은 액수만큼 다음연도에 지불되더라도 앞년도에 지불되는 금액이 유연성 면에서 나쁘다).

$$f_3(P_n) = \sum_{i=y_0}^y \sum_{t \in T^i} (u_n^i(t+T^i) \times C^i \times S^i(t-Y_0, T^i))$$

$S^i(t-Y_0, T^i)$: 자원대안의 건설기간중 연도별 건설비중에서 유연성평가 대상기간동안 투입되는 비용의 합

④ 유연성 지수 4: 평가대상기간에 신규자원 획득에 투입되는 비용(년도별 투입기수 고려)

유연성 지수 4는 유연성 지수 2와 유사하나 기간중 투입되는

