

Mix/Path 분리예 의한 장기전력수급계획 대안생성

권영한, 김창수, 진병문
한국전기연구소

Development of Alternative Long-term Electric Resource Plans by Mix/Path 2-Stage Procedure

Young-Han Kwun, Chang-Soo Kim, Byung-Mun Jin
Korea Electrotechnology Research Institute

Abstract

It is practically very important in multi-criteria long-term IRP process to develop the set of candidate resource plans that meet following two conditions. First, the number of resource plans should not be too large for computer job. Second, the unknown best plan should exist among the set of candidate plans.

In this paper, several novel procedures are developed. The main idea of the procedures is the two-stage approach. The first stage is to find the set of feasible resource capacity mixes in given target year(s). And, the second stage is to find the set of alternative paths of resource options for each resource mix determined in the first stage.

1. 개요

통합자원계획(IRP)과정의 첫 단계는 비교 분석하고자 하는 계획대안, 즉 연도별 투입자원벡타의 조합을 여러방법에 의해 개발하는 과정이다. 계획대안의 수는 계획기간이 길 경우, 공급측 및 수요측 자원구성 조합은 수천 또는 수만가지 이상의 경우가 발생되며, 이들을 모두 분석하는 경우에는 현실적으로 어려운 경우가 많다. 그렇다고 해서 가능한 대안을 무리하게 축소시키는 것 또한 우수한 대안이 고려대상에서 아예 제외되는 경우가 있으므로 유의하여야 할 사항이다. 즉, 과거와 같이 최적화해야 할 목적함수가 하나인 경우는 최적화로 최적해를 직접 구하거나 계획안 수를 줄이는 것이 용이하지만, 목적함수가 여러개인 다속성 의사결정이 필요한 IRP에서는 우열을 가리기 어려운 수많은 계획안을 다룰 수 밖에 없다.

따라서, 생성되는 계획대안을 분석가능한 개수 이내로 유지하면서 우수한 대안이 제외되지 않는 계획대안 생성방법의 개발이 중요하다. 여기에서는 이러한 방법에 대하여 기술한다.

2. 계획대안의 구성

가. 계획대안 표현식

IRP에 사용되는 일반적인 자원계획대안 집합은 N개의 계획대안이 있다고 가정할 경우 다음과 같이 표현된다.

$$P = \{P_1, P_2, \dots, P_n, \dots, P_N\}$$

계획대안 P_n 은 1년차에서 T년차의 계획기간동안 후보자원이 각 년도별로 투입되는 용량벡타의 집합으로 다음과 같다.

$$P_n = \{u_n(1), u_n(2), \dots, u_n(t), \dots, u_n(T)\}$$

$u_n(t)$: 계획안 P_n 이 t 연도에 추가로 투입하는 후보자원의 총용량 벡타

$$u_n(t) = \{u_n^1(t), u_n^2(t), \dots, u_n^i(t), \dots, u_n^I(t)\}$$

여기서 $u_n^i(t)$ 는 계획안 P_n 이 i 후보자원을 t 연도에 추가로 투입하는 용량.

후보자원 : 원자력 1000MW, 유연탄 500MW, DSM 200MW 등 I 개의 신규자원.

따라서 t 연도까지 투입되는 후보자원의 총용량 벡타는 다음식으로 정의된다.

$$U_n(t) = \sum_{k=1}^t u_n(k) = U_n(t-1) + u_n(t). \quad (1)$$

$$U_n(t) = \{U_n^1(t), U_n^2(t), \dots, U_n^i(t), \dots, U_n^I(t)\}$$

또한 후보자원의 신규투입에 따른 년도별 설비자원의 총용량은 다음의 식으로 타나낼 수 있다.

$$x_n(t) = x_n(t-1) + u_n(t) - r(t) \quad \text{for } t=1,2,3,\dots,T \quad (2)$$

$r(t)$: t 연도에 폐지되는 자원별 용량벡타

연도별 자원 Mix는 다음의 식으로 표현된다.

$$m_n(t) = x_n(t) / \sum_{i=1}^I x_n^i(t) \quad (3)$$

$$m_n(t) : n \text{ 계획안의 } t \text{ 연도 자원 Mix 비율 벡타}$$

$$m_n(t) = \{m_n^1(t), m_n^2(t), \dots, m_n^i(t), \dots, m_n^I(t)\}$$

나. 계획대안 생성시 제약조건

계획대안의 생성시 t 연도에 일반적으로 적용되는 제약조건은 다음과 같다.

$$(a) \text{ 예비율 제한 : } R_{\min}(t) < R_n(t) < R_{\max}(t)$$

$$R_n(t) = \left(\sum_{i=1}^I x_n^i(t) / L(t) \right) - 1 \quad (4)$$

$L(t)$: t 연도의 최대부하 예측치

$$(b) \text{ LOLP제한 : } LOLP(x_n(t)) < LOLP_{\max}(t)$$

여기에서 $LOLP(x_n(t))$ 는 $x_n(t)$ 설비자원으로 구성된 경우에 산출되는 LOLP를 나타내며, LOLP의 계산은 전원계획에

널리 사용되고 있는 WASP, EGEAS 등을 사용한다.

(c) 연도별 자원투입량 제한 : $u_{\min}(t) \leq u_n(t) \leq u_{\max}(t)$

(d) 자원투입의 누적치제한 : $U_{\min}(t) \leq U_n(t) \leq U_{\max}(t)$

(e) 연도별 자원Mix의 제한 : $m_{\min}(t) \leq m_n(t) \leq m_{\max}(t)$

3. 간단한 계획대안 생성방법

가. 모든 가능한 조합을 모두 고려하는 방법

이 방법은 위의 제약조건들을 만족하는 모든 자원계획대안 조합을 생성하는 것이다. 이 방법은 분석가능한 대안 수에 제한이 없다면 가장 단순하면서도 우수계획안을 놓칠 가능성이 없는 방법이다.

그러나 이방법은 현실적으로 계획대안 수가 많은 경우의 장기계획에는 거의 불가능하다. 단, 선진국 경우와 같이 계획대안이 한 두 개이거나, 대상연도가 수년에 불과한 단기계획에는 아주 유용하며, 실제로 많이 사용된다.

나. 최적화 모형을 사용하는 방법

이 방법은 과거의 전원계획방법과 마찬가지로 EGEAS나 WASP과 같은 전원계획모형을 사용하여 비용을 최소화하는 하나 또는 일점수의 준최적안을 포함하는 최적계획대안 Group을 형성하는 것이다. 비용최소화의 일반적인 형태는,

$$\min f_1(u(1), \dots, u(T)) \quad \text{제약조건 : (a),(b),(c),(d)}$$

여기에서 $f_1(u(1), \dots, u(T))$ 는 $u(1), \dots, u(T)$ 의 자원확장을 수행할 경우에 분석기간동안에 소요되는 총비용(고정비용+운전비용)의 현가를 나타낸다. 따라서, 현재 전원계획용으로 사용중인 WASP, EGEAS 등을 운용하여 도출된 총비용을 나타내며, 과거에 전원계획에 널리 사용된 총비용 최소화계획이다. 따라서 비용이 최소화되는 $u(1), \dots, u(T)$ 를 도출하고 이와 관련한 후보대안들을 도출하여 이를 통합자원계획의 계획대안으로 선택하는 방안이다.

이 방법은 최적화 모형의 특성상 목적함수를 비용의 최소화 에 두는 경우에는 매우 유용하다.

그러나, 목적함수가 여럿인 경우는 사용이 제한되며, 후보계획안들을 구성해가는 중간단계에서, 제약조건을 변화시켜가면서 여러 대안들을 생성시키는데 사용될수 있다.

4. 자원 Mix/연도별 Path 분리의 2단계 생성방법

이 방법은 본 논문에서 제시하는 방법으로 일부 문제점을 보완한다면 앞으로 유용하게 적용할수 있을 것으로 판단된다.

여기서는 먼저, 계획안의 개발과정을 자원Mix 기준년도(경우에 따라서 최종년도 또는 몇몇의 Mix 목표년도들)에 대한 자원Mix 결정문제를, 기준년도에서의 정해진 자원조합을 만족하는 연도별 자원투입 Path를 결정하는 문제를 분리하여 2 단계로 계획대안을 구성하는 방법이다.

이 방법에는 다음의 세가지 방법이 가능하다. 어느 경우나, 기존 계획이 있다면, 새로운 계획시 변동이 가능한 부분과 불가능한 부분, 가능하다면 변동의 범위 등을 현실적으로 고려하는 것이 매우 중요하다.

가. 바람직한 자원Mix범위를 구하고, 그 범위내에서 다양한 Path를 생성(방법 A)

우선, EGEAS, MOST 등을 이용하여 바람직한 Mix 범위를

구한 다음, 이 범위안에서 다양한 Path 구성을 다시 EGEAS를 이용하거나 사용자가 직접 추가하는 방법이다. 여기에 대한 개략적인 절차는 다음과 같다.

- ① Mix 기준년도에 대한 자원구성 가능해들 모두 생성. 이때, 신뢰도, 가능한 Mix 범위, 설비별 투입가능한 최대/최소기수 등을 고려하여 불필요한 대안생성을 피한다.

$$U(T) = (U_1(T), U_2(T), \dots, U_M(T))$$

$U_n(T)$: 제약조건 (a),(b),(d)를 만족하는 총자원 투입량 벡터

- ② 구해진 Mix 대안을 1차 분석하기 위하여, EGEAS 등을 실행하여, 비교기준이 될 속성값들을 계산한다. (참고문헌 [2]의 사례연구를 참조)
- ③ 위의 속성값을 기준으로 하여, MOST2.0 모형을 실행한다. 이 평가결과에 의하여 각 자원별 Mix의 범위를 좁힌다.

$$U_{SET}(T) = (U_2(T), U_5(T), \dots, U_n(T))$$

$U_{SET}(T)$: $U(T)$ 집합중에서 우수한 것으로 판단되어 선택된 대안의 집합(10~20개이내의 대안) 이에 대한 기준년도 자원 Mix의 범위는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Mix의 최소값 : } m_{\min, SET} = \min f_m(U_{SET}(T))$$

$$\text{Mix의 최대값 : } m_{\max, SET} = \max f_m(U_{SET}(T))$$

여기서 $f_m(U(T))$ 는 $U(T)$ 자원이 추가될 경우 각 자원별 Mix를 계산하는 함수이며, 식 (3)의 Mix 계산식과 같다.

- ④ 다음부터는 연도별 Path에 대한 대안 생성과정이다. 먼저 앞에서 구한 자원별 Mix 범위를 만족하는 각 자원 Mix 안(예를 들어 원자력 약 몇 %, 석탄 약 몇 % 등으로 총 100%가 되게 매우 좁게 만든 Tunnel)안을 구성하고, 각각에 대해 다음의 ⑤, ⑥ 과정을 수행한다. 이 과정은 다음 B, C 방법과 같이 약간 달리 적용할 수 있다.
- ⑤ 위의 자원 Mix와 별도의 연도별 Path 제약조건을 가지고, EGEAS(DP) 등에 의해 최적화 문제를 푼다. 필요할 경우 제약조건을 달리하여 계획안의 수를 추가할 수도 있다.

$$\min f_1(u(1), \dots, u(T)) \quad \text{제약조건 : (a),(b),(c),(d),(e)}$$

$$\text{제약조건(e)는: } m_{\min, SET} \leq m_n(t) \leq m_{\max, SET}$$

- ⑥ 위에서 나온 해중에서 최최적안과 몇몇의 준최적안을 구한 후, 다음의 자원 Mix에 대해 반복한다.
- ⑦ 지금까지 구한 계획대안과 계획실무자, 경영자 등이 별도로 관심을 가지고 있는 계획안이 있다면, 이들을 합하여 전체 계획안 DB를 구축한다.

나. 바람직한 Mix범위에 해당하는 자원별 기수를 구하고, 그 범위내에서 다양한 Path를 생성 (방법 B)

앞의 방법 A와 대부분 같으며, 과정 ④, ⑤에서 연도별 최적화를 할 때, Mix의 범위로 하지 않고, 앞의 바람직한 Mix 대안을 평가할 때 사용된 기준년도에서의 각 자원대안별 투입기수를 하나씩 선택하여 다음의 Path 결정과정으로 진행시키는 방법이다. 실제 활용시는 방법A 보다 효과적일 수 있다.

다. 가능한 Mix를 설정하고, 각 Mix대안에 대한 최적 Path를 구한 다음 다시 그 최적 Path와 유사한 계획안을 추가(방법 C)

이 방법은 다음에 기술하는 바와 같이 앞의 방법과 상당히 다르다.

- ① 기준년도 자원 Mix의 가능해를 모두 생성한다. 이 때, 신뢰도, 가능한 Mix 범위 등을 고려하여 불필요한 대안생성을 피한다. 이 때의 Mix 대안은 각 자원의 투입기수로 표현된다.

$$U(T) = (U_1(T), U_2(T), \dots, U_N(T))$$

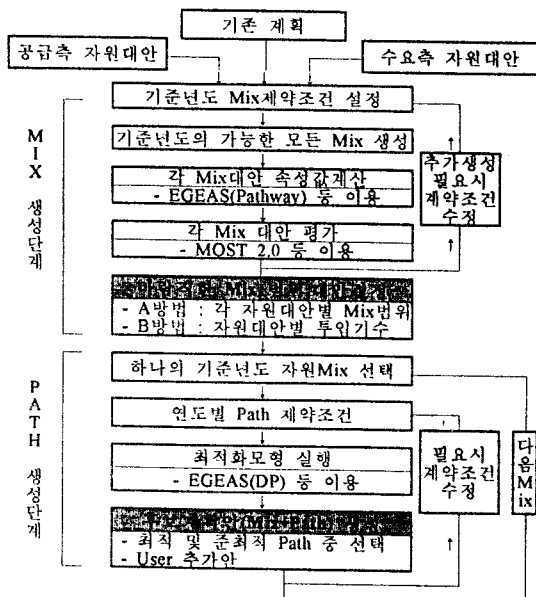
$U_n(T)$: 제약조건 (a), (b), (d)를 만족하는 총자원 투입량 백다

- ② 위에서 구성한 Mix 대안에 대한 1차 심사없이 모든 Mix 대안을 하나씩 선택하여 다음 과정을 수행한다. 먼저, 각 Mix 대안에 대해 최적 Path를 구하기 위해 연도별 Path 결정 제약조건을 설정한다.
- ③ 다음은 위의 자원 Mix와 별도의 연도별 Path제약조건을 가지고, EGEAS (DP)등의 모형에 의해 최적화 문제를 푼다. 필요할 경우 제약조건을 달리하여 계획안의 수를 추가할 수도 있다.

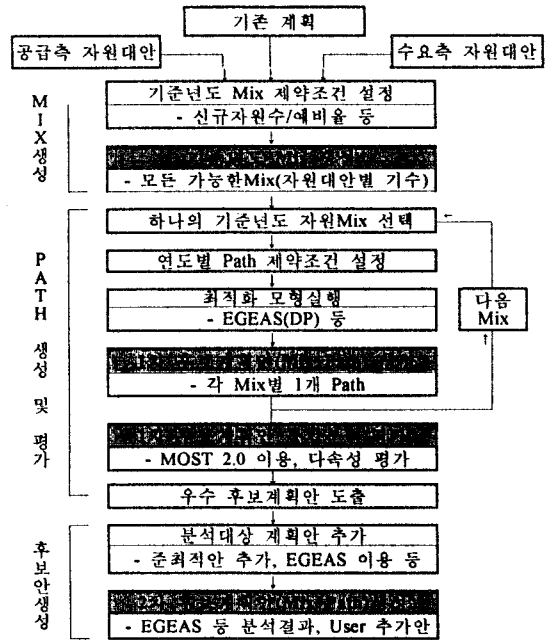
$$\min f_1(u(1), \dots, u(T))$$

$$\text{제약조건 : } U_n(T) = \sum_{k=1}^T u_n(k), \text{ 과 (a),(b),(c),(d)}$$

- ④ 위에서 최적안을 구한 후, 다음의 자원 Mix 대안에 대해 반복한다.
- ⑤ 지금까지 구한 모든 계획안(자원 Mix 대안에 대한 하나씩의 Path를 가진)을 가지고 MOST과 같은 대안평가 모델을 사용한다.
다음 과정으로 가서 2차 분석을 실행한다.
- ⑥ 위에서 평가한 결과 비교적 바람직한 계획안들을 적정수만큼 고른다.
- ⑦ 위에서 고른 바람직한 계획안과 유사한 계획안을 합한다. 이 때, 앞에서 EGEAS 실행시 도출된 준최적안을 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 계획실부자나 경영자 등이 별도로 추가한 계획안을 합하여 전체 계획안 DB를 구축한다.



<그림 1> 계획안 생성방법 (Mix/Path 분리- A,B 방법)



<그림 2> 계획안 생성방법 (Mix/Path 분리- C 방법)

5. 사례연구

여기에서는 위에서 제시한 절차를 사용하여 현실문제와 유사한 자원계획대안을 생성시켜 본다. 여기서 사용한 자료는 '95년 장기전력수급계획서의 자료를 참고로 하였으나, 시산목적의 방법의 적용가능성 파악에 있으므로 결과는 실제상황과 다를수 있다.

가. Mix 생성 제약조건 설정

<표 1>은 후보자원별 추가가능기수 범위를 설정한 예이다. 이는 실무적인 적용시에는 이러한 제약조건 설정이 매우 중요하고 필수적이다. 다음은 제약조건의 예이다.

<표 1> 2010년까지의 자원대안별 추가가능 범위(예)

자원대안	용량 (MW)	계획 확정분	중분기수	비고
PWR	1000	4	2	
PWR	1300	-	1	
유연탄	500	2	-	
유연탄	800	2	1	
LNG	450	-	2	
석유	500	-	-	
양수	500	4	-	
DSM(조명)	10	-	전체	
DSM(DLC)	10	-	전체	

또한 <표 2>에서와 같이 각 자원별 또는 자원유형별 비중에 대하여 사용자나 판단하는 적정범위가 있다면 이를 적용하여야 한다. 이와 같은 제약조건은 현실적으로 검토가 필요없는 안을 제외시키는 데 유용하다. 즉, 제약조건이 없다면 가능 조합수는 각 자원별 투입가능대수의 곱의 형태만큼 엄청나게 도출된다.

<표 2> 자원 Mix 제약조건의 예

■ 2010년 설비예비율	: 17 - 20 %
■ 총 원자력 자원비중	: 25 - 40 %
■ 총 석탄 자원비중	: 25 - 40 %
■ 총 LNG 자원비중	: 25 - 40 %
■ 원자력+유연탄 자원비중	: 50 - 70 % (基底 + 重부하용)
■ 수력+석유+LNG 자원비중	: 30 - 50 % (輕부하+Peak부하용)

나. 추가 설비기수로 이루어진 가능한 자원 Mix 도출

<표 3>은 앞의 조건을 만족하는 가능한 자원 Mix대안들의 일부이다(총 220개).

<표 3> 기준년도의 가능한 자원구성 (2010년)

계회 안	자원후보별 투입대수								예비 율	자원비중(%)				
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧		원자력	석탄	LNG	기타	수력
1	8	6	6	4	16	2	4	0	20.02	36.3	26.1	26.4	3.9	7.4
2	8	6	6	4	14	2	4	10	19.12	36.5	26.3	25.4	4.3	7.4
*	8	6	6	4	14	2	4	0	18.67	36.5	26.4	25.5	4.1	7.3
3	8	6	6	3	16	2	4	10	19.27	36.5	25.2	26.6	4.3	7.4
4	8	6	6	3	16	2	4	0	18.82	36.6	25.3	26.7	4.0	7.4
5	10	5	6	3	14	2	4	10	18.97	37.5	25.3	25.5	4.3	7.4
*	8	6	6	3	14	2	4	0	17.46	37.1	25.6	25.8	4.0	7.5
*	10	5	6	3	14	2	4	10	18.97	37.5	25.3	25.5	4.3	7.4
6	10	5	6	3	14	2	4	0	18.52	37.6	25.4	25.6	4.0	7.3
7	8	5	6	6	14	2	4	0	19.12	34.9	28.3	25.4	4.0	7.4
8	8	5	6	5	16	2	4	10	19.72	34.7	27.1	26.5	4.3	7.4
9	8	5	6	5	16	2	4	0	19.27	34.8	27.2	26.6	3.9	7.4
10	8	5	6	5	14	2	4	10	18.36	35.1	27.4	25.6	4.4	7.3
211	8	0	6	9	20	2	4	10	17.46	27.1	31.8	29.3	4.4	7.5
212	8	3	6	8	16	2	4	0	18.97	31.6	30.3	26.6	4.0	7.4
213	8	4	6	7	14	2	4	10	18.82	33.3	29.4	25.5	4.3	7.4
214	8	4	6	7	14	2	4	0	18.36	33.5	29.5	25.6	4.0	7.5
215	8	4	6	7	14	2	4	0	18.36	33.5	29.5	25.6	4.0	7.5
216	8	4	6	7	14	2	4	10	18.82	33.3	29.4	25.5	4.3	7.4
217	8	4	6	9	14	0	4	0	19.27	33.2	31.3	25.4	2.7	7.4
218	8	4	6	9	14	0	4	0	19.27	33.2	31.3	25.4	2.7	7.4
219	13	0	6	7	14	2	4	0	18.06	33.3	29.6	25.7	4.0	7.5
220	13	0	6	7	14	2	4	0	18.06	33.3	29.6	25.7	4.0	7.5

다. EGEAS에 의한 자원투입 Path (1차 후보계획안) 생성

기준년도의 자원Mix가 결정되면, 각각의 Mix에 대해 연도별 최적 Path를 포함한 하나씩의 계획안을 찾는다. 여기서는 EGEAS모형을 사용하여 비용최소화에 따른 Path를 찾는다.

라. MOST를 이용한 바람직한 1차 후보계획안 선정

앞에서 정해진 Mix별 1차 후보계획안을 분석하여 다른 계획안에 비해 열등한 계획안을 탈락시킨다. 이 과정에서는 MOST 모형과 같은 다속성 평가과정이 적용되며, 총비용을 비롯하여 신뢰도, 환경, 제부 등 여러 가지 속성이 종합적으로 비교된다. 사례 연구에서는 다음과 같이 69개의 1차 후보계획안이 비교적 우수한 것으로 나타났다. (상세과정 생략)

- 총 후보 계획안 : 220 개
- 기본요건 심사탈락 : 73 개
- Trade-off 심사탈락 : 78 개
- 우수계획안 : 69 개

마. 각 자원 Mix에 해당하는 추가적인 Path 도출

앞에서 도출한 69개의 후보계획안은 각 Mix별로 대표적인 Path에 해당하며, 비용최소화 개념으로 선정된 것이다. 따라서 이러한 69개의 후보를 가지고, 각 Mix에 대하여 다양한 연도별 Path를 추가한다. 이 때 EGEAS모형 실행시의 준최적안들을 포함할 수도 있고, 환경이나 제부관련 제약조건을 달리하여 새로운 Path를 만들 수도 있다. 또한, 계획입안자나 의사결정자의 판단에 의한 후보Path 추가도 매우 유용하다. 본 사례 연구에서는 69개의 Mix에 대해 각각 10개씩 690개의 2차 후보계획안을 생성시켰다. <표 4>는 선택된 1차 후보계획안과 확장한 2차 후보계획안의 예이다. 이렇게 생성된 690개의 후

보계획안은 다시 다속성평가 과정에 의해 최종적으로 하나의 최우수 계획안이 선택된다. 이 과정은 생략한다.

<표 4> 2차 후보계획안의 예 (일부)

년	①									년	②								
	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨
01	1	0	0	1	0	0	1	1	2	01	1	0	0	1	0	0	1	1	2
02	2	0	0	2	2	1	1	3	5	02	2	0	0	2	2	1	1	3	5
03	3	0	1	2	5	2	1	5	8	03	3	0	1	2	5	2	1	5	8
04	4	0	3	2	7	2	2	7	12	04	4	0	3	2	7	2	2	7	12
05	4	0	4	4	9	2	2	9	15	05	4	0	4	4	9	2	2	9	15
06	4	0	6	5	12	2	3	10	18	06	4	0	6	5	12	2	3	10	18
07	5	0	6	6	14	2	3	10	20	07	5	0	6	6	14	2	3	10	20
08	5	1	6	6	17	2	3	10	20	08	5	1	6	6	17	2	3	10	20
09	6	1	6	7	19	2	4	10	20	09	6	1	6	7	19	2	4	10	20
10	8	2	6	7	20	2	4	10	20	10	8	2	6	7	20	2	4	10	20

주) 음영부분은 기준Path와 비교하여 변경된 부분임

5. 결론

본 연구에서는 통합자원계획 과정의 초기단계이고 가장 중요한 과정 중에 하나인 후보 계획안 생성에 대하여 여러 가지 방안을 제시하였다. 여기서 제시된 것은 분석대상 계획안의 수를 제한 하더라도, 우수한 계획안이 분석대상에 최대한 포함되도록 하는 방법이다. 이 방법으로 완전한 후보계획안 집합이 구성된다고는 볼 수 없다. 그러나, 실무적인 문제에서는 충분히 적용이 가능하다고 판단된다. 보다 바람직한 적용을 위해서는 이론적인 부분 보다는 계획입안자의 현실적인 판단이 더 중요하다.

앞으로 장기전원개발계획이나 IRP 과정에 적용할 경우 보다 실무적이고 효과적인 계획수립이 가능할 것으로 본다.

참고문헌

- [1] 한국전기연구소, 한국전력공사, "선형계획법 및 GB분할기법을 이용한 전원개발계획모델의 개발 및 실용화 연구", 1991.6
- [2] 한국전기연구소, 한국전력공사, "Strategic Planning 기법에 의한 전원개발 계획", 1992. 12
- [3] 한국전기연구소, 한국전력공사, "MOST 모형확장에 의한 IRP 응용방안연구" 1995. 12
- [4] 권영한,김창수, "한국형 통합자원계획을 위한 다속성 의사결정", 전기학회 하계논문집, 1995. 7
- [5] YoungHan Kwun, "The Multi Objective Strategic Test Model for Electric Power Supply Planning Under Uncertainties-MOST Model", Energex 93, Oct. 1993
- [6] Hill, L.J. "Comparison of Method to Integrated DSM and Supply Resource in Electric-Utility Planning", ORNL,USA, Dec. 1991
- [7] Jasko M.R. "Comparison Criteria for use in Long-Run Resource Planning", IEEE TPS Vol. 3, No3, Aug. 1988