EGEAS 모형을 활용한 전략적 전원개발 계획

°권 영 한, 김 창 수
한국전기연구소

Strategic Electricity Resource Planning using EGEAS Model

Y. H. Kwun and C. S. Kim
K E R I

ABSTRACT

The long-term electricity resource planning of electric utility has undergone significant change during the past decade. The current resource planning can be considered as multi-objective decision making procedure under the various uncertainties such as demand growth, construction cost, fuel price, environmental regulation, plant site, financial adequacy, new technology advent and so on.

This paper presents a standardized electricity resource planning scheme using the strategic planning concept. EGEAS computer model was fully applied to indentify feasible alternative plans and simulate various attribute values corresponding each alternative plan and future.

As a case study, a hypothetical long-term capacity expansion planning problem is analyzed.

1. 서론

전력회사의 전력수급계획은 과거의 여러공급 대안들 중의 총 서비스비용 최소화 문제에서 대안 자원의 다원화(기존 공급대안외에 열병합 발전, 민전 등과 같은 NUG 대안, DSM 대안), 수요성장, 건설비, 연료비, 환경 및 입지, 재무환경, 신기술의 도입 등 많은 불확실 요소를 다루어야 하는 불확실성하에서의 다속성 의사결정 문제로 변모하고 있다.

이러한 문제의 해결에는 여러가지 대안과 속성을 최적화 및 시뮬레이션할 수 있는 전산모형과 다목적하의 최상의 대안을 도출하는 전략적 의사결정 도구가 필요하다.

본 연구에서는 최근 국내에 도입한 EGEAS 모형을 활용하여 각종 계획대안을 도출하고, 각 대안에 대한 다양한 속성을 계산하는 과정과 이들 대안들 중에서 가장 바람직한 최종 계획안을 전략적으로 선택하는 의사결정 모형을 제시하였다. 아울러, 이들 모형의 활용성을 검증하기 위해 가상적인 우리나라의 장기전원개발 계획 문제를 분석한 결과를 보였다.

2. EGEAS 모형의 기능 및 특성

현재 한전에서 전원개발계획용으로 활용하고 있는 모형으로는 WASP, MNI등이 있다. 그러나 앞으로의 전원개발 계획은 종래와는 달리 보다 많은 복잡한 환경과 제약조건 하에서 수행되어야 할 것이며, 동시에 최종 의사결정에 도달하기 위하여 많은 정보를 분석하여, 경영진 또는 정책입안자에게 제출하여야 한다. 이러한 면에서 EGEAS 모형은 다양한 기능을 가지고 있으며 이를 요약하면 (표 1)과 같다.

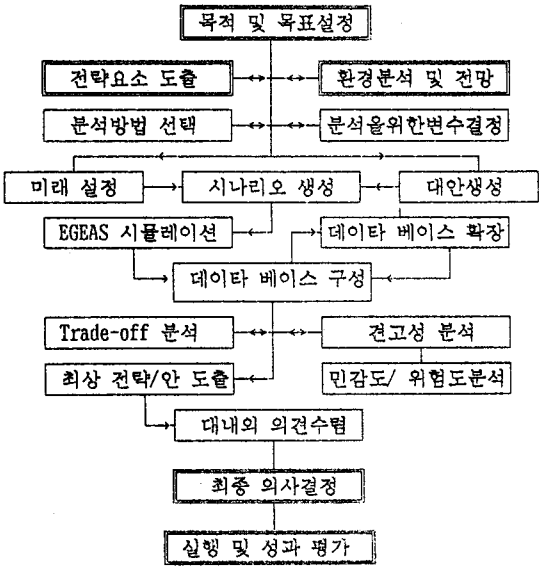
(표 1) 전력수급계획 모형의 비교(한전사용 모형중심)

기 능	EGEAS	WASP	MNI
신뢰도 평가	LOLP/PRM/LOEE	LOLP	공급지장비
건설비 처리	단가/년차별	준공시점 단가	준공시점 단가
END EFFECT	가능	가능	불가
부하처리,LDC	연속/부분선형 LDC	5 차 다항식의 연속 LDC	단계적 LDC
최적화 기법	LP/GB분할/DP	DP	최대원리
발전소 취급	개별	개별(수력제외	유사그룹
해의 형태	정수/소수의 발전기 대수	정수의 발전기 대수	소수
처리가능 자원	수력(각각), 화력, 원자력, 양수 및 저장, NDT, DSM 구입전력	수력(1개) 화력, 원자력, 양수(1개)	수력(1개) 화력, 원자력, 양수(1개)
한계발전비용 계산	가능(부하수준에 대한)	불가	가능
보수계획원칙	LOLP 평활화	예비력 평활화	운전비및 공급지장비 최소화
운전비 계산	확률적 ELDC, Cumulant표현	확률적 ELDC, Fourier Series	정규분포함수(Gaussian Fn)
준최적해도출	가능	불가	불가
환경문제분석	가능	불가	불가
재무 분석	가능	불가	불가
입지 분석	가능	불가	불가
2계통 연계	가능	불가	불가
소기간 분석 최소단위	시간대	월	주
민감도 분석	가능	불가	불가

3. 전략적 의사결정

본 고에서는 최근 일반 사업경영계획에서 이용이 활발한 전략계획 개념을 활용하여 전력수급 계획에 적용하는 과정을 제시하며, 이를 요약하면 (그림 1)과 같다. 이 과정에서 후보대안 생성, 데이타 베이스에 필요한 각종 자료 계산에 EGEAS 모델이 활용되며, 기타 의사결정 과정에는 별도의 모

델이 사용된다.



(그림 1) EGEAS를 활용한 전략적 전력수급계획 과정

3.1 다속성 Trade-Off 분석

다속성 Trade-Off 분석과정은 여러 계획안중에서 열위인 계획안을 제외한 나머지 안들의 결정집합(Decision Set)을 선택하는 과정이다. 여기서 불확실성 배제한 조건부 결정집합들을 결정한 후 이들 집합들로 부터 불확실성을 고려할 경우의 Global 결정집합을 도출한다.

가. 조건부 결정집합

가정된 하나의 미래에 대하여 다음의 조건부 우위의 개념을 적용하여 속성값들을 비교하므로서 열위에 있는 계획안들을 제거한다.(여기서는 속성 최소화 문제로 간주함)

- Strict 조건부 우위 : 계획안 P_1과 P_2에 대한 i 속성값을 각각 $A(i,P_1)$, $A(i,P_2)$ 라 할 때,

  $$A(i,P_1) > A(i,P_2) \quad \text{for all } i$$

  이면, P_2는 P_1에 Strict 우위이고 P_1을 집합에서 제외
- Significant 조건부 우위 : 속성 i 에 대해 심각도 지수(Significance parameter)dls "Much worse"값 $\Delta(i)$ 및 "not significantly better" 값 $\delta(i)$ 를 정의하여,

  $$A(i,P_1) > A(i,P_2) + \Delta(i) \quad \text{for at least } i$$

  이고, 나머지 속성 j 들에 대해서,

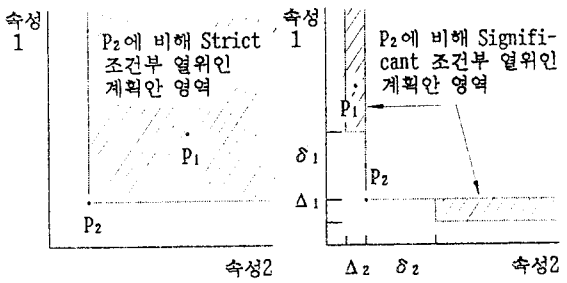
  $$A(i,P_1) > A(i,P_2) - \delta(i) \text{ for } j\ (j \neq i)$$

  이면, P_2 는 P_1 에 Significantly 우위에 있으며, P_1 을 결정집합에서 제외.

나. Global 결정집합

Global 우위의 개념은 조건부 우위의 개념과 유사하나, 모든 불확실한 미래에 대해 확장된 점이 다르다.

이러한 Global 결정집합의 결정과정은 먼저, 각 미래에 대해 조건부 우위의 개념 (Strictly 및 Significantly 조건부 우위) 을 적용하여 조건부 결정집합들을 결정하며, 이때 Global 결정집합은 각 미래별로 얻어진 조건부 결정집합들의 합집합으로서 얻을 수 있다.



(그림 2) 조건부 결정집합 영역

3.2 견고성 분석

가. 견고(Robust) 계획안 도출

견고 계획안이란 불확실성의 존재나 영향에 지나치게 민감하지 않은 계획을 말한다. 어떤 계획안이 다른 안에 비해 보다 많은 미래에 대해 조건부 결정집합에 속한다면, 견고성이 비교적 높다고 할 수 있다. 견고성 분석은 Trade-off 분석과정에서 얻어진 Global 결정집합 및 결정집합 내의 각 계획안별 그 계획안이 포함된 미래의 발생확률 합으로 비교할 수 있다. Global 결정 집합 중에서 각 계획안이 포함된 미래 확률의 합이 계획자(또는 위원회)가 설정한 일정 수준 이상이면, 견고한 계획안으로 선택한다.

- Robust 계획안 : 조건부 결정집합내에서 어떤 계획안의 확률이 P(계획자 설정)와 같거나 크다면, 그 계획안은 확률 P에 대한 견고 계획안이다.

나. 견고(Robust) 옵션도출

계획안 전체의 견고성과 함께 각 계획에 포함된 옵션(예: '98년의 유연탄 화력 500 MW 등)에 대해서도 견고성을 평가할 수 있다. 여기에는 우위옵션, 열위옵션 및 견고옵션 등이 있다. 본 연구에서는 최상의 견고옵션을 도출하는데 각 옵션별 견고성 지수를 다음의 방법으로 판단한다.

- 결정집합 및 데이타베이스 포함비율(%) 비교

3.3 그 외의 과정

위 의사결정 과정에 포함된 여러 분석 절차중 위에서 언급되지 않은 과정은 다음의 사례연구에서 기술한다.

4. 사례연구

여기서는 앞에서 제시한 EGEAS모형 및 전략계획 개념을 활용하여 우리나라의 전력수급문제 분석에 접근해 보기 위한 하나의 가상적인 사례 연구로서 '91년 수립된 국내의 2006년까지의 장기전원개발 계획안을 대상으로 분석한다.

즉, 많은 수의 후보안들을 생성시키고, 이들 각안에 대하여 본 연구에서 제시한 의사결정체계, 분석 절차 등을 활용하여 최선의 안을 도출하는 과정과 분석내용을 보이며, 후보계획안의 생성과, 외부에서 생성한 대안 들에 대한 각종 속성계산은 EGEAS 모형을 활용하며, 대안의 평가는 전략적 의사결정 모형인 MOST모형(전기연구소 개발)을 활용한다.

여기서 보이고자 하는 것은 사례연구가 목적이므로 후보옵션, 계획대안, 불확실 요소, 미래의 수를 크지 않게 하여 핵심이 되는 분석과정 만을 보인다.

4.1 분석대안의 설정

본 사례에서는 다음의 50 개의 후보계획안을 검토하였으나 실무 적용시는 보다 많은 대안 검토가 필요하다.

(표 2) 계획대안 생성

번호	대안 유형	대안수	대안 생성 방법	시뮬레이션 및 속성계산방법
1	한전의 기검토안 (장기계획시)	18	WASP 실행 및 실무분석	EGEAS Pathway
2	EGEAS 모형 실행 최적안(추가안)	15	EGEAS 실행	대안 생성시
3	최적화시 생성된 준 최적안	15	EGEAS 실행 준최적안중 일부	EGEAS Pathway
4	경험적 판단에 의한 추가안	2	전략계획위원회에서 추가 가상	EGEAS Pathway
계		50		

4.2 변수설정

가. 분석대상 변수의 설정

사례연구로 2006년 까지의 장기 전원개발 계획안을 도출하는 것이 목표이며, 다음의 세가지 변수 (결정변수, 외생변수, 속성변수) 들을 설정한다.

(1) 결정변수
- 원자력, 유연탄, LNG 복합 등 년도별 신규건설 기수
- 실무적용시는 NUG, DSM 등 추가하여야 할 것임.

(2) 속성변수 (사례)
- 비용 (①총비용현가, ②고정비용현가, ③변동비용현가)
- 신뢰도(④LOEE, ⑤LOLP)
- 환경영향(⑥SO_2 방출량, ⑦NOx 방출량)
- 재무능력 지표(⑧이자지불 능력비율)
- 연료소비(⑨화석연료 소모량)
- 원전 Risk 지표 (⑩원자력 누적설비용량) 등.

(3) 불확실성 (외생변수)
- 수요 성장률 (BASE, HIGH, LOW)
- 연료가 및 건설비 상승률 (BASE, HIGH)
- 금융비용 또는 할인률 (BASE, HIGH)

나. 미래 설정 과 시나리오 수

위의 불확실성 요소들을 조합하면 미래집합이 되며, 총 12가지(3 x 2 x 2)가 된다. 실제 문제에서는 보다 많은 미래가 검토될 수 있으나, 분석해야할 시나리오수를 감안하여 너무 많지 않도록 해야한다.

시나리오 수 = 50 대안 × 12 미래 = 600 시나리오

4.3 속성 계산

속성계산은 600개의 시나리오 각각에 대해 위에서 결정된 10가지의 속성변수들의 값들을 구하기 위하여 시뮬레이션 과정이 수행된다. 시뮬레이션은 EGEAS모형의 Pathway 옵션을 이용하여 각 속성값들을 계산하였으며 그 중 일부를 보면 (표 3)과 같다.

(표 3) 각 대안별 속성값(기준안)

계획안	최대 LOLP (%)	공급지장 에너지	원전 Risk	총비용 현가	화석연료 사용량	SOx 방출량	이자지불 능력
1	0.0823	1673.30	7790	99786.8	1761372	8178766	2.8016
2	0.0823	1646.60	7790	99787.8	1760582	8172932	2.8016
3	0.1921	2349.40	7590	99356.3	1769896	8032487	2.8179
4	0.1921	2337.30	7390	99359.2	1780418	8059591	2.8318
5	0.2717	3761.40	7490	98166.6	1776039	7920809	2.8199
6	0.2717	3759.80	7690	98168.5	1764685	7885039	2.8199
7	0.0821	1487.50	7190	99815.9	1829110	8526137	2.8016
8	0.0810	1443.30	6690	99819.6	1858635	8642715	2.8016
9	0.1891	2248.00	7290	99404.7	1810643	8304733	2.8179
0	0.1922	2275.00	6190	99403.3	1872294	8499518	2.8354
11	0.2732	4042.70	4990	98214.6	1941727	8594955	2.9112
12	0.2732	3946.80	6490	98221.2	1855817	8316244	2.8199
13	0.0795	1587.20	4590	99958.0	2017551	9407799	2.8497
14	0.0795	1614.70	4890	99967.6	2002633	9371606	2.8186
15	0.1920	2353.50	5490	99482.5	1952838	9035466	2.8354
16	0.1920	2084.10	5590	99479.2	1943089	8983115	2.8354
36	0.2112	1798.20	5800	99911.0	1927707	8981610	2.8736
37	0.2496	2178.80	7390	99939.5	1813347	8540972	2.8399
38	0.1982	1002.50	6690	100915.8	1889650	9026424	2.8378
39	0.2262	1937.50	6690	100409.6	1889505	8945352	2.8378
40	0.2235	1968.50	5900	100151.8	1939309	9104516	2.8736
41	0.2490	6872.50	5500	105946.3	2000320	9117125	2.8729
42	0.2183	1928.70	6590	100306.3	1890834	8966661	2.8378
43	0.2576	2065.30	5060	99731.6	1984557	9216799	2.9146
44	0.2286	1950.40	5720	99877.0	1936211	9051741	2.8738
45	0.2255	2072.30	6690	99904.5	1873250	8750066	2.8378
46	0.2191	1922.80	6690	99467.9	1864882	8662444	2.8486
47	0.2682	1959.50	5500	99449.1	1941933	8851699	2.8729
48	0.2462	1919.90	6790	99810.4	1863770	8736847	2.8378
49	0.2671	1926.90	6790	99372.9	1851544	8587804	2.8486
50	0.2627	2148.40	5560	98589.4	1927240	8763959	2.8738

4.4 결정집합의 도출

12개의 미래별로 도출된 조건부 결정집합 및 Global 결정집합은 (표 4)과 같다. 이 결과에서, 조건부 결정집합에 속한 계획안이 총 37 개이며, 이들은 적어도 하나 이상의 미래에서 우위도 분석시 제거되지 않았음을 의미한다. 이러 계획안의 선택에는 심각도 지수의 선정이 중요하며, 이 지수는 전략계획 위원회의 전문가에 의해 적절히 선택되어야 한다.

(표 4) 선택된 결정집합

번호	계획안	비율 1 (%)	비율 2 (%)	계획안이 포함되지 않은 미래들
1	4	100.00	100.00	
2	6	100.00	100.00	
3	11	100.00	100.00	
4	17	100.00	100.00	
5	31	100.00	100.00	
6	32	100.00	100.00	
7	37	100.00	100.00	
8	30	91.67	88.00	3
9	43	83.33	80.00	9 11
10	2	66.67	75.00	8 10 11 12
11	22	66.67	75.00	9 10 11 12
12	25	66.67	75.00	9 10 11 12
13	28	66.67	75.00	9 10 11 12
14	7	66.67	75.00	9 10 11 12
15	8	66.67	75.00	9 10 11 12
16	35	66.67	75.00	9 10 11 12
17	47	66.67	75.00	9 10 11 12
18	18	66.67	50.00	1 2 3 4
19	13	50.00	57.50	5 6 9 10 11 12
20	33	50.00	57.50	5 6 7 8 9 10
21	34	50.00	57.50	5 6 9 10 11 12
22	44	50.00	55.00	5 6 7 8 9 11
23	9	41.67	37.00	1 2 4 9 10 11 12
24	21	33.33	50.00	5 6 7 8 9 10 11 12
25	50	33.33	50.00	5 6 7 8 9 10 11 12
26	16	33.33	25.00	1 2 3 4 9 10 11 12
27	36	33.33	25.00	1 2 3 4 9 10 11 12
28	38	33.33	25.00	1 2 3 4 9 10 11 12
29	10	33.33	25.00	1 2 3 4 9 10 11 12
30	45	33.33	25.00	1 2 3 4 9 10 11 12
31	46	33.33	25.00	1 2 3 4 9 10 11 12
32	14	33.33	22.50	1 2 5 6 9 10 11 12
33	27	25.00	38.00	3 5 6 7 8 9 10 11 12
34	40	25.00	19.50	1 2 4 5 6 9 10 11 12
35	23	16.67	15.00	1 2 5 6 7 8 9 10 11 12
36	19	16.67	7.50	1 2 3 4 5 6 9 10 11 12
37	1	8.33	28.00	2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12

주) 비율 1: 계획안이 포함된 미래의 비율
비율 2: 계획안이 포함된 미래의 확률 합

4.5 견고(Robust) 계획안 및 옵션 도출

가. 견고 계획안 도출

위에서 나타난 Global 결정집합으로 부터 견고 계획안이

도출된다. 보통의 경우와 같이, 위의 Global 결정 집합 중에서 각 계획안이 포함된 미래 확률의 합이 90% 이상이면 견고 계획안이라고 할때, Global 결정집합으로부터 총 7개의 계획안 (4,6,11,17,31,32,37)을 견고 계획안으로 선정할 수 있을 것이다.

나. 견고 옵션 도출

견고 옵션은 각 옵션별 견고성 지수를 계산하므로서 얻을 수 있다. 견고 옵션은 결정집합 % 값이 그 옵션내 다른 결정집합 % 값보다 상당히 크거나, 또는 결정집합 % 값이 DB % 보다 상당히 큰 옵션으로 볼 수 있다. 특히 계획 초기년도의 견고 옵션들은 계획의 유연성 확보면에서 의미가 크나 그 이후는 비교적 의미가 적다.

4.5 최상의 계획안 선택

최종적인 계획안 선택은 위의 견고계획안 (여기서는 7개) 중에서 선택해야 한다. 즉, 위에서의 견고안들은 서로 속성에 의한 우위성에 있어서나, 미래에 있어서의 견고성에 있어서도 제거될 수 없는 후보 대안에 해당한다. 이와 같이 지금 단계까지의 후보 대안이 많을 경우에는 민감도 분석, 위험도 분석에 의하여 이들 대안을 보다 세밀하게 비교하고, 아울러 최고 경영자나 전략계획 Group에서 정성적인 평가를 가미하여 최종안을 결정해야 할 것이다. 이 경우의 정성적인 평가는 특정 속성에 대한 비중을 더 크게 고려하는 등 최종 의사결정자의 판단이 가장 중요하게 작용될 것이다.

본 사례연구에서는 이상의 분석외에 민감도 분석, 위험도 분석이 추가적으로 이루어졌으며, 그 결과 최종적으로 6번 계획안과 31번 계획안이 남게 되었다.

- 6번 : 최종 의사결정자가 환경 및 에너지소비 감소에 보다 큰 비중을 둘 때 선택
- 31번 : 모든 속성을 고려하여 전반적인 위험도 감소를 원할 때 선택

5. 결론

앞으로 복잡한 주변 환경에서의 전력수급 계획은 과거와 같이 이론적인 분석틀에서의 최적해를 선택하는 기술적인 문제에서, 여러 비슷비슷한 대안들 중에서 비교적 바람직한 대안을 고르는 전략적 차원의 의사결정 문제로 변모할 것이다.

동시에 앞으로의 수급 계획 문제는 여러 비전통적인 공급 대안(NUG, 신발전기술 등), 수요측 대안, 그리고 요금문제까지 한데 어우러진 계획의 통합화가 이루어 질 것이다.

이를 위해 통합 전력수급 계획(IRP), 수급자원 다원화 등이 외국에는 많이 연구되고 있으며, 우리나라에도 그 필요성이 점차 커지고 있다.

본 연구에서 제시한 EGEAS모형은 앞으로 각종 계획시의 기본적인 도구로서 기능이나 활용도 면에서 우수하며, 전략적 의사결정 체계 및 MOST 모형도 앞으로의 계획환경에 적합한 것으로 보인다. 또한 앞으로 모델의 통합화, 기업차원의 의사결정, IRP의 본격 활용을 대비하여 기법이나 모델기능의 향상, 활용성의 고도화를 위한 연구가 요구된다.

참고문헌

H.M. Merrill, F.C. Schweppe, D.C. White,"Energy Strategy Planning for Electric Utilities Part I, II. SMART Methodology", IEEE Transactions on PAS, Vol PAS-101, No.2, pp 340-355, Feb. 1982

Harry G. Stoll, "Least-Cost Electric Utility Planning" Tohn Wiley & Sons, Inc. USA, 1989

J.A. Bloom, L. Charney,"Long Range Generation Planning with Limited Energy and Storage Plant Part I: Production Costing", IEEE IEEE Transactions on PAS, Vol PAS-102, No.9, pp2861-2870, 1983

J.A. Bloom, M.C. Caramanis, L. Charney,"Long-Range Generation Planning using Generalized Benders' Decomposition : Implementation and Experience", Operations Research, Vol.32, No.2, pp 290-312, 1984

J.P. Stremel, R.T. Jenkins, R.A. Bobb, W.D. Bayless, "Production Costing using the Cumulant Method of Representing the Equivalent Load Curve", IEEE Transactions on PAS, Vol PAS-99, pp1947-1955, Sep. 1980

전기연구소,한국전력공사, "선형계획법 및 GB분할기법을 이용한 전원개발계획모델의 개발 및 실용화 연구", 1991. 6.

전기연구소,한국전력공사, "Strategic Planning 기법의 전원개발계획에의 응용연구", 1992. 12.