

1-3 不確實性下에서의 電源開發計劃方法

韓國科學技術院 安 柄 勳
南 輔 祐

1. 서 론

한 시점에서 미래의 일을 예상할 때에는 정도의 차이는 있겠지만 거의 모든 경우에 불확실성이 개입한다고 말할 수 있다. 방대한 자금의 소요와 경제, 기술, 환경등에 커다란 영향을 미치는 전원개발계획은 미래의 불확실성에 얼마나 잘 대처하였는가에 따라 평가되어질 수 있다고 할 수 있다.

현재 논란의 대상이 되고 있는 과잉설비문제는 과거 전원개발계획수립시 수요의 불확실성을 적절히 고려하지 못한 결과로 나타난 현상이라고도 할 수 있다. 또한 현재 논란의 대상이 되고 있는 발전양식선정(기저부하용으로 유연탄발전소나 원자력발전소나)에는 미래의 건설비, 연료비, 환경문제, 기술문제 등의 불확실성이 개입하고 있는 것이다.

우리나라와 같이 경제와 사회 전반에 걸친 구조적 변화가 급격히 계속되는 현실에서는 미래의 상황을 예측하기란 거의 불가능하다고 할 수 있다. 이러한 예는 표 1에서 볼 수 있다. 수요 예측에 대한 과대한 신뢰와 그에 따른 전원개발 계획수립 및 실행에 따라 1980년대 말까지 약 60%에 달하는 예비율을 갖게되어 시설의 과잉으로 인한 고정비 과다 발생이 지적되었다. 이와같이 전원개발계획시 불확실성을 적절히 고려하지 못하면 막대한 손실을 가져오게 된다.

불확실성에 대처하기 위해서는 보다 정확한 예측이 필요하지만 동시에 예측된 자료를 잘 활

〈表1〉 수요예측 추이

예 측 년 도	'78	'79	'80	'81	'82	'83
91년최대수요(MW)	25,512	24,876	20,035	19,773	16,796	16,480
지 수	1	0.98	0.79	0.78	0.66	0.65

용하여 탄력적인 계획을 수립해야 할 것이다.

本稿에서는 불확실성을 고려하는 방법중 대표적인 시나리오 방법, 상황계획 방법, 기대부하곡선 방법을 소개하고자 한다.

2. 불확실성 고려방법

불확실성하에서의 전원개발계획에 관한 최근의 연구로는 Cazalet[1978], Stremel[1980], Louveaux[1979], Dapkus[1984], Borison[1984], Murphy[1982]등 다수가 있다. 本稿에서는 기존의 연구를 간단히 예를들어 소개하고 그 장단점을 논의하고자 한다.

가. 시나리오 방법

미래의 불확실성에 대처하기 위하여 분석기법을 활용하는 기초적인 방법으로 시나리오 접근 방법이 있다. 이 방법은 수요등의 기초자료를 上案, 基準案, 下案 등의 몇개의 시나리오로 준비하고 확정적 전원개발계획모형(예, WASP)을 활용하여 각 시나리오에 대한 결과를 계산한다. 그리고 각 시나리오의 결과와 모형에서 고려하지 못한 다른요소를 고려하여 최종계획을 확정한다. 그러나 최종계획을 확정하는 단계에

서는 미래의 불확실성을 구체적으로 고려하기가 어렵기 때문에 탄력적인 전원개발계획을 수립하는 데는 한계가 있다.

과거에는 몇개의 시나리오로 추정된 기초자료에서 출현 가능성이 가장 높은 것(예, 기준안)만을 택하여 분석하고 계획을 수립하는 경우가 대부분이었다. 미래의 실제상황이 기준안의 예측치와 큰 차이를 보일 때에는 커다란 문제를 일으키게 된다. 이러한 예는 과거 한국의 낙관적인 수요예측에 의한 전원개발계획과 수요의 저성장으로 인한 과잉설비 현상등에서 볼 수 있다.

다음은 간단한 예를 통하여 미래의 불확실한 상황에 대한 시나리오 방법의 적용이 어떻게 나타나는가를 검토하여 시나리오 방법의 어려움을 밝히고자 한다.

기저부하용 발전양식에는 경제적으로 원자력 발전소와 유연탄발전소가 적합한 것으로 알려져 있다. 원자력발전소와 유연탄발전소의 기초자료가 표 2와 같다고 하자. 1985년 현재의 기저수요는 10,000MW이며 1990년에는 12,000 MW가 될 것이 확실하다고 하자. 그러나 10년후인 1995년 수요는 불확실하여 16,000MW, 14,000 MW, 12,000MW가 될 가능성이 각각 25%, 50%, 25%가 되고 1995년 이후의 수요는 1995년 수요와 같다고 하자. 이러한 기저수요에 대한 자료를 요약하면 표 3 이나 그림 1 과 같이 표현된다.

(表2) 발전양식 기초자료

발전양식	원 자 력	유 연 탄
총 현 가 비 용	4.5조원	5.0조원
기 존 용 량	5,000MW	5,000MW
건설대상용량	1,000MW	2,000MW
건설 기간	10년	5년

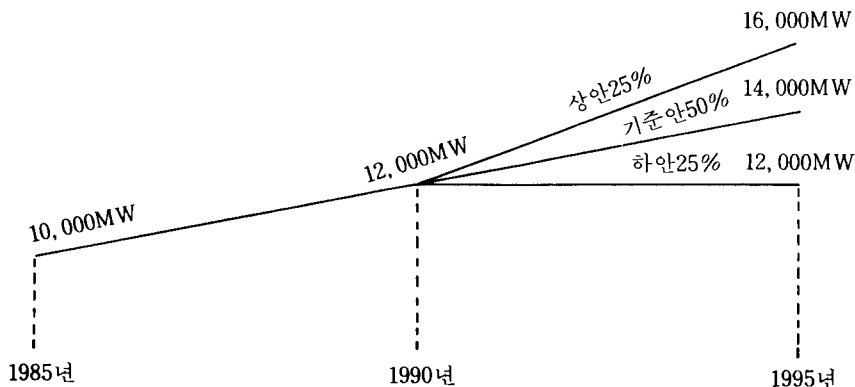
상안수요가 발생하는 것이 확실하다면 1990년 수요가 12,000MW이고 현재 가지고 있는 설비용량은 10,000MW이므로 1990년 까지 2,000 MW의 용량을 건설하여야 한다. 원자력과 유연탄 발전소의 건설기간을 고려하면 1985년에 유연탄 발전소 하나의 건설을 시작해야 한다. 1985년에

(表3) 기저수요자료

(단위 : MW)

년도	1985	1990	1995	출현가능 확 률
상 안	10,000	12,000	16,000	25%
기 준 안	10,000	12,000	14,000	50%
하 안	10,000	12,000	12,000	25%

유연탄발전소 건설을 시작하면 1990년에는 기존 용량이 12,000MW가 되고 1995년까지는 4,000 MW의 용량을 추가하여야 한다. 1995년 까지 4,000MW의 용량을 추가하는 방법으로는 표 4 와 같이 세가지 방법이 있고 가장 경제적인 방법은 1985년에 원자력발전소 두개의 건설을 시작하는 것이다. 기준안의 수요가 발생할 때에는



(그림 1) 기저수요의 불확실성 표현

상안의 수요에 대한 분석방법을 적용하여 1985년에 유연탄발전소와 원자력발전소를 각각 한개씩 건설에 착수하는 것이 최적이며, 하안의 수요가 발생하는 것이 확실하다면 1985년에 유연탄발전소 한개만 착수하는 것이 최적이다.

〈表4〉 10년후의 4,000MW용량 추가방법

방법	1985년	1990년	총비용
방법 1	원자력발전소 2개 건설시작	×	9조원
방법 2	원자력발전소 1개 건설시작	유연탄발전소 1개 건설시작	9.5조원
방법 3	×	유연탄발전소 2개 건설시작	10조원

이러한 분석결과를 요약하면 각 시나리오에 대한 최적계획은 표5와 같다. 그러나 각 시나리오에 대한 최적계획이 서로 다르게 나타났기 때문에 하나의 최종계획을 확정하기는 매우 어렵다.

〈表5〉 시나리오별 최적계획

시나리오	1985년	1990년	1995년	총비용
상 안	유연탄 1개와 원자력 2개 건설시작	×	×	14조원
기 준 안	유연탄 1개와 원자력 1개 건설시작	×	×	9.5조원
하 안	유연탄 1개 건설시작	×	×	5조원

단지 기준안의 수요가 나타날 가능성이 가장 크기 때문에 기준안의 결과를 최종계획으로 확정하고 실행하면 하안의 수요가 발생 때에는 1995년에 원자력발전소 한개가 남는 과잉설비가 되며 상안의 수요가 발생할 때에는 1995년에 2,000MW의 용량이 부족하게 되던가 아니면 1990년 유연탄발전소 한 개의 건설에 착수해야 하고 이때는 상안의 최적계획보다 추가로 0.5조원이 더 소요된다. 어떠한 시나리오의 결과를 선택하여 최종계획으로 확정해도 이러한 과잉설비 현상이나 전력부족 상태가 나타날 가능성이 있으며 이러한 분석을 요약하면 표-6으로 나타낼 수 있다. 1990년에 가서 다시 수요를 예측하여 그에 따라 1995년에 예상되는 부족용량을 유연탄발

전소의 추가건설로 수요를 만족시킬 수 있지만 이때는 추가비용이 소요되고 특히 수요가 예측된 것보다 낮게 나타날 때에는 이미 건설시작한 발전소를 취소할 수도 없기 때문에 비용의 낭비가 심각하게 된다. 이러한 분석을 요약하면 표 7과 같다.

미래의 불확실성에 대처하기 위하여 시나리오 방법이 자주 활용되지만 앞에서 살펴본 바와 같이 어려움이 있다. 근본적으로 건설기간이 짧으면 그만큼 가까운 미래까지 불확실한 상황이 변하는 것을 기다릴 수 있고 상황의 변화에 따라 적응할 수 있는 능력이 커지게 된다. 시나리

〈表6〉 최종계획과 1995년의 예상결과

실현 계획	상 안 기 준 안 하 안			
	상 안	최적	2,000MW 과잉설비	4,000MW 과잉설비
기 준 안	2,000MW 부족용량	최적	2,000MW 과잉설비	
하 안	4,000MW 부족용량	2,000MW 부족용량	최적	

오 방법에서는 건설기간의 차이를 구체적으로 고려하지 못하는 단점을 지니고 있으며 상황에 따른 예비계획을 수립하지 않고 하나의 확정된 계획으로 불확실성에 대처하고자 하는데서 어려움이 있다 하겠다.

〈表7〉 계획수정의 비용손실

계획	실현			
	상 안	최 적	4.5조원	9조원
기 준 안	0.5조원	최 적	4.5조원	
하 안	1조원	0.5조원	최 적	

나. 상황계획 방법

상황계획 방법은 각 시나리오가 실현될 가능성을 고려하여 기대값을 계산하고 어느 계획이 최적인지 분석하는 방법이다. 이 방법은 계산이 복잡하여 계획을 수립하기 어려운 면이 있고 각 시나리오의 실현확률을 추정하기가 어렵지만 실

행계획과 예비계획을 작성하여 미래의 불확실성에 대처한다는 면에서 탄력적인 전원개발계획을 수립할 수 있다 하겠다. 또한 많은 의사결정문제에서와 같이 기대값을 기준으로 계획을 수립하기 때문에 불확실한 상황에서의 결정기준이 시나리오 접근방법처럼 모호하지 않아서 최종계획을 결정하는 단계에서 용이하다.

다음은 시나리오 방법에서 분석한 예제를 상황계획 방법으로 분석하여 상황계획의 의미를 검토하고자 한다.

표-2의 자료에 의하면 유연탄발전소 건설기간이 5년이고 원자력발전소 건설기간이 10년이므로 1990년에 준공되는 유연탄발전소와 1995년에 준공되는 원자력발전소의 계획을 1985년에 결정하여야 한다. 따라서 발전소의 건설기간과 1990년의 수요를 고려하면 1985년에 유연탄발전소 하나를 건설하기 시작해야 한다.

1995년의 수요를 고려하면 1985년에 원자력발전소 건설을 시작해야 하는지가 문제가 된다. 1985년에 원자력발전소 두 개를 착공하면 1995년까지 어떠한 수요가 발생해도 공급이 가능하며 이때는 유연탄발전소 한 개와 원자력발전소 두개의 14조원의 총비용이 발생한다. 1985년에 원자력발전소 하나를 착공하면 1990년에 가서 1995년의 수요가 상안으로 나타날 것으로 예측되면 유연탄발전소 하나를 추가 건설에 착수하여 14.5조원의 총비용이 발생하고 기준안이나 하안의 수요가 예측될 때에는 추가 건설은 필요하지 않아서 9.5조원의 총비용이 발생하게 된다. 상안의 수요가 나타날 확률이 25% 이므로 1985년에 원자력과 유연탄발전소를 하나씩 건설에 착수하고 1990년까지 기다려보는 방법에 대한 총기대비용은 $0.25 \times 14.5 + 0.75 \times 9.5 = 10.75$ 조원이 된다.

1985년에 원자력발전소를 착공하지 않는 경우에는 1990년에 가서 수요가 상안으로 예측되면 유연탄발전소 두개를 착공하고, 기준안으로 예측되면 유연탄발전소 하나를 착공하고, 하안이 예측되면 추가건설이 필요하지 않게 된다. 이때의 총기대비용은 $0.25 \times 15 + 0.5 \times 10 + 0.25 \times 5 = 10$ 조원이 된다.

앞의 세가지 방법은 모두 수요를 만족시킬 수 있고 세번째 방법인 1985년에 유연탄 발전소를 하나 착공하고 1990년에 다시 수요를 예측하여 상황에 따라 건설하는 것이 최소의 기대비용이 된다.

이상의 분석을 요약하면 표8과 같다. 표8에서 계획Ⅲ이 최적의 전원개발계획이며 1985년 착공발전소는 실행계획이고 1990년의 착공발전소는 1995년 수요예측에 따라 달라지므로 예비계획이 된다.

1995년의 수요를 1985년 현재 완전히 알 수 있었다면 상안의 수요일 때에는 14조원, 기준안의 수요일 때에는 9.5조원, 하안의 수요일 때에는 5조원의 비용이 소요되는 것에 비교하면

〈表8〉 상황계획에 의한 분석요약

계 획	1985년 착공발전소	1990년의 수요예측	충현 확률	1990년 착공발전소	총비용	총기대 비 용
계획Ⅰ	유연탄1개 원자력2개	상 안	25%	×	14 조	14조원
		기 준 안	50%	×	14 조	
		하 안				
계획Ⅱ	유연탄1개 원자력1개	상 안	25%	유연탄1개	14.5조	10.75조원
		기 준 안	50%	×	9.5조	
		하 안	25%	×	9.5조	
계획Ⅲ	유연탄1개	상 안	25%	유연탄2개	15 조	10조원
		기 준 안	50%	유연탄1개	10 조	
		하 안	25%	×	5 조	

1995년의 수요가 불확실하기 때문에 상안일 때에는 15조원, 기준안일 때에는 10조원, 하안일 때에는 5조원의 비용이 소요되어 수요의 불확실성 때문에 평균 0.5조원의 비용이 더 필요하게 된다. 따라서 이러한 문제에서 수요의 완전 정보는 0.5조원의 가치가 있고 수요의 불확실성을 반으로 줄이는데 0.25조원까지 투입하여도 된다.

표8에서 계획Ⅲ이 최적의 계획인데 원자력발전소 건설이 이루어지지 않는 것은 원자력은 건설기간이 길기 때문에 수요의 불확실성에 대처하는 능력이 적고 한번 건설을 시작하면 취소할 수도 없기 때문에 불확실한 상황에서는 투자의 위험성이 있는데 원인이 있다. 즉, 건설기간의

차이가 비용의 차이보다 더 중요한 것으로 해석할 수 있다.

상황계획 방법은 시나리오 방법과는 달리 하나의 계획으로 확정하지 않고 미래의 불확실한 상황에 대하여 어떻게 대처할 것인가를 준비하기 때문에 과잉설비나 전력부족상태가 나타나지 않으며 불확실성에 대처하는 탄력적인 전원개발계획을 수립할 수 있게 한다. 그러나 실제의 자료를 사용하여 분석할 때에는 최적계획을 수립하는 데 많은 계산이 요구된다.

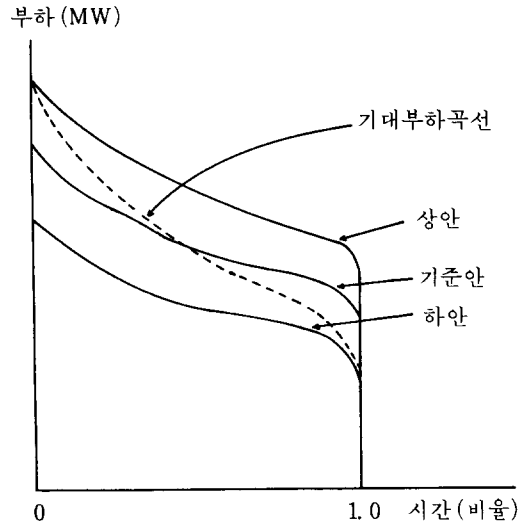
다. 기대부하곡선 방법

이 방법은 여러개의 수요 시나리오를 확률적으로 가중평균하여 기대부하지속곡선을 만들고 기대부하곡선을 불확실한 수요의 대표치로 사용하여 전원개발계획을 수립하는 방법이다. 기대부하곡선방법은 수요의 불확실성을 고려하여 기대총비용을 최소화할 때 그 최적해는 기대부하지속곡선을 사용한 확정적모형(예, WASP 모형)의 최적해와 같은 결과를 갖는다는 이론에 근거하고 있다. 그러므로 매년 연동화하는 상황에서는 복잡하고 적용하기 어려운 상황계획 방법과 동일한 실행계획(현재에 착공해야 하는 계획)을 작성한다. 따라서 연동화의 조건과 수요의 불확실성만을 고려할 때는 기대부하곡선 방법이 유용하게 된다. 매년 연동화할 때 내년에는 보다 정확한 정보를 가지고 계획을 작성하기 때문에 예비계획은 다시 수정된다. 이러한 상황에서는 실행계획이 보다 큰 관심이며 합리적인 실행계획 수립에 초점을 두어야 할 것이다. 기대부하곡선 방법은 불확실한 상황에서 기대총비용을 최소화하는 실행계획 수립방법이라고 할 수 있다.

그림 2는 기대부하곡선을 나타낸 것이다. 부하지속곡선이 상안, 기준안, 하안으로 준비되었을 때 각각의 실현가능확률을 사용하여 수평적으로 가중 평균한 것이다.

기대부하곡선은 첨두부하는 상안에, 기저부하는 하안에 맞추어짐으로써 건설기간이 긴 기저용 설비는 과투자 위험을 고려하여 신중히 결정하고 건설기간이 짧은 첨두용 설비는 미래에 불확실성이 감소함에 따라 확정할 수 있게한다.

기대부하곡선 방법은 확률적 시물레이션과 동적모형에서도 타당한 것으로 밝혀져 있으나 本稿에서는 분기점 분석의 예제를 통하여 기대부하곡선 방법을 소개하고자 한다.



〈그림 2〉 기대부하곡선의 예

표 9는 후보 발전소 자료를 나타낸 것이다. 원자력발전소 건설기간이 8년이므로 1993년의 원자력발전소 준공에 대한 결정은 1985년 현재 이루어져야 하기 때문에 1993년을 분석대상의 해로 택했다. 1993년의 수요는 표10과 같다. 각

〈表9〉 후보발전소 자료

항 목	원자력	유연탄	석 유
균등화고정비(\$ / kw)	254	151	89
변동비(\$ / kw · 년)	65	172	379
건설기간(년)	8	5	3

시나리오의 부하지속곡선을 사용하여 기대부하곡선을 만들면 표11이 된다. 표10과 표11에서 보는 바와 같이 첨두부하는 상안의 수요와 같고 최저부하는 하안의 수요와 같게되어 결국은 부하율이 각 시나리오보다 낮아지는 현상이 나타난다. 이러한 현상은 수요의 불확실성이 기대부하곡선에 포함되었기 때문이다. 이러한 경과는 실제 계획에서 중요한 의미를 갖고 있다. 비록

부하율을 높이기 위한 부하관리방안이 강구된다 할지라도 미래수요의 불확실성이 큰 상황에서는 발전양식 선정에는 큰 효과가 없다는 것이다.

〈表10〉 1993년 전력수요 시나리오

항 목	상 안	중 안	하 안
첨두부하(MW)	20,941	18,167	15,785
최저부하(MW)	10,523	8,769	7,562
출현확률(%)	25	50	25
5 차계수			
a_0	1.0	1.0	1.0
a_1	-1.9936	-1.9905	-1.9842
a_2	7.5214	7.4696	7.2899
a_3	-16.2495	-16.0353	-15.2045
a_4	16.8686	16.5974	15.3990
a_5	-6.6444	-6.5586	-6.0210

〈表11〉 기대부하곡선

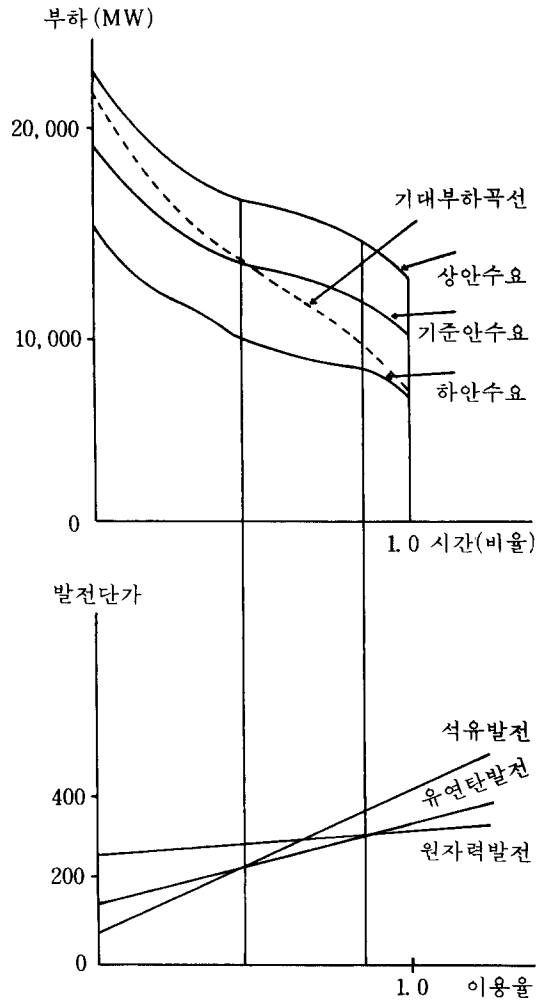
첨두부하(MW)	최저부하(MW)	5 차 계 수					
		a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
20,941	7,562	1.0	-2.2768	6.8226	-11.9489	10.7837	-4.0188

앞의 자료를 가지고 분기점분석(Screening Curve Analysis)을 하면 그림 3과 같이 나타나고 그 결과는 표12에 요약되어 있다. 표12에 나타난 것과 같이 기대부하곡선을 사용한 원자력 설비용량은 하안의 수요와 비슷하게 된다. 그러나 이것은 기준안보다 1,400MW가량 적게 된다. 즉, 수요의 불확실성을 고려하면 불확실한 수요에 안전하게 하기 위하여 하나의 커다란 원자력발전소만큼 줄여야 하는 것이다. 유연탄과 석유발전소는 기준안보다 높게 된다.

〈表12〉 1993년 최적 발전설비구성 (단위: MW)

시 나 리 오	원 자 력	유 연 탄	석 유	합 계
상 안	11,474	3,957	5,510	20,941
기 준 안	9,965	3,730	4,772	18,167
하 안	8,334	3,325	4,126	15,785
기대부하곡선	8,559	5,225	7,157	20,941

그러나 건설공기를 고려하면 현시점에서 3년에서 5년후에 유연탄과 석유발전소 건설을 시



〈그림 3〉 분기점분석

작해도 되기 때문에 보다 확실한 상황에서 결정할 수가 있으므로 과잉설비 현상은 나타나지 않는다.

근본적으로 기대부하곡선 방법은 건설공기의 차이를 이용하여 미래의 불확실성에 대처하는 것으로 볼 수 있다.

本稿에서는 개념을 명확히 하기 위하여 분기점분석을 하였지만, WASP모형과 같이 장기분석에서는 기대부하곡선을 사용하여 계획을 수립하고 이러한 방법을 연동화하면 수요의 불확실성을 고려한 탄력적인 전원개발을 실행하는데 도움이 될 것으로 예상된다.

3. 결 론

本稿에서는 불확실성을 고려한 전원개발계획 방법에 대하여 간단히 소개하였다. 수요의 불확실성에 대하여 예를 들어 소개하였지만 연료비 등의 불확실성도 분석할 수가 있다. 우리는 자주 확정적 전원개발계획모형(WASP, EGEAS 등)의 결과를 최적으로 받아들인다. 그러나 그 모형의 최적계획은 계산에 사용되는 모든 자료가 반드시 미래에 그대로 나타난다는 가정하에서 만들어진 것이다. 이러한 가정을 간과하고 그 결과를 받아들인다면 커다란 오류에 빠질 것이라고 IEEE위원회는 경고하면서 불확실성을 고려한 전원개발계획 모형의 운영과 개발이 필요하다고 지적하고 있다.

한국의 전원개발계획의 환경(수요, 연료비, 건설비, 기술, 환경 규제등)은 불확실하며 이러

한 불확실성에 얼마나 탄력적으로 대처하느냐가 2000년대를 향한 전원개발계획의 가장 큰 과제라 하겠다.

참 고 문 헌

1. 경제기획원, 장기전력수요 및 발전소건설 계획에 대한 검토, 1984.
2. 경제기획원, 한국의 전원개발계획평가, 1984.
3. 동력자원부, 장기전원개발계획(안), 1986.
4. 안 병훈, 남 보우, Electric Utility Capacity Expansion Planning Under Uncertainty - Draft -, KAIST, 1986.
5. IEEE Committee, The Significance of Assumptions Implied in Long-Range Electric Utility Planning Studies, IEEE Trans, PAS-99, 1980.