

IRP에서의 속성별 가중치설정을 위한 전문가 의견 SURVEY

진병문 · 김창수 · 권영한 · 김광인*

한국전기연구소, 한국전력공사*

Survey of Relative Weights among Attributes for Electric Utility IRP

Jin, Byung-Moon · Kim, Chang-Soo · Kwun, Young-Han, Kim, Kwang-In
Korea Electrotechnology Research Inst., Korea Electric Power Corp.

1. 서론

장기전력수급계획상 주요 의사결정 기준으로 경제성뿐만 아니라 환경문제, 입지, 재무, 불확실성 등 여러 가지 기준을 적용할 경우, 경제성이나 환경문제 등과 같이 성격이 매우 다른 기준들을 하나의 잣대로 잴 수 있도록 상대적 비교기준을 정량화(화폐가치 등으로)하는 것이 매우 중요하면서도 어려운 문제로 등장하고 있다. 사실 지금까지 화폐가치로 정량화 되지 않는 기준(속성)들은 주관적 임의성이 크고 과학적 논증이 어렵다는 이유로 흔히 고려대상에서 제외시켜 왔으나, 이것은 분석의 편의를 위하여 문제를 단순화시킨 것에 불과할 뿐 실질적으로 핵심요소는 빼놓고 계획을 입안하는 오류를 범해 왔다고 볼 수 있다.

이러한 문제를 해결하기 위해 선진국을 중심으로 환경비용을 화폐가치화 하거나, 다른 기준들의 상대적 가중치를 추정하는 등의 접근이 이루어지고 있지만, 이 방법 역시 아직까지 충분하지는 않으며, 또한 화폐가치화가 불가능한 요소가 여전히 존재하고 있어 주관적인 가중치 부여는 불가피한 실정이다.

본 조사는 이와 같이 의사결정과정에서 주관적 요소가 개입될 수밖에 없다면 분석자의 개인적 의사가 아니라 여러 전문가의 의사를 종합하여 이를 반영하는 것이 오류를 최소화할 수 있을 것이라는 취지에서 설문조사를 실시하였다.

본 의견조사는 국가 장기전력수급계획 위원, 대학의 동 분야 전문 교수, 한전의 실무전문가 등을 포함하여 국내에서 전력정책이나 수급계획과 관련된 전문지식을 가진 전문가들 중에서 100여명을 대상으로 한정하여 시행되었다.

질문사항	질문내용
적정 전원mix	원자력 석탄 LNG 등 적정 배합범위
적정 공급신뢰도	예비율 LOLP 공급지장비용 등 적정범위
환경비용정량화	SO _x , NO _x , TSP, CO ₂
불확실성과 재무건전성	불확실성 재무건전성에 대한 상대적 가중치

한편, 이러한 조사를 통하여 구해진 여러 가지 속성중 환경피해비용의 추정치를 포함한 회피비용을 산정하여 환경피해비용의 중요성을 확인하였다.

2. 설문조사 결과

2-1. 적정 전원 Mix

장기 전력수급계획에서 가장 중요한 사항중의 하나는 전원배합 문제인데 이는 전력수급계획의 최적화 과정의 제약조건으로 작용할 뿐, 직접적으로 최적계획을 만들어 내지는 않는다. 여기서는 원자력, 석탄, LNG를 중심으로 2010년에 전원설비 용량배합이 어느 정도가 적정한지에 대해 의견을 조사하였다.

구 분	적정전원 Mix (%)						적정공급신뢰도(% 일/년)			
	원자력		석탄화력		LNG		설비예비율		LOLP	
	최소 평균	최대 평균	최소 평균	최대 평균	최소 평균	최대 평균	최대 평균	적정 평균	최대 평균	적정 평균
전체	23.0	37.2	22.2	33.9	17.8	28.1	12.9	18.6	1.4	0.5
전문가A	26.0	37.5	21.1	32.2	17.8	27.6	12.4	17.8	1.3	0.5
전문가B	21.5	37.1	22.7	34.7	17.8	28.2	13.2	19.0	1.4	0.5
학계	21.4	37.4	19.4	35.2	17.1	29.0	12.6	18.5	1.6	0.5
연구계	24.0	40.9	26.8	36.3	16.0	25.7	11.4	18.0	1.2	0.3
민간	24.5	33.8	21.3	25.8	24.0	32.0	15.0	19.0	0.9	0.5
한전	23.4	35.0	23.0	34.7	17.5	27.8	14.1	18.5	1.4	0.5
정부	23.2	37.8	20.0	29.3	19.4	28.8	12.5	19.4	1.3	0.4
'95장기계획(2010)	33.1		27.3		27.7		19.1		0.5	
'98장기계획	2010	31.4		27.2		23.6		17.3		0.5
	2015	34.2		26.1		24.5		16.2		

먼저, 원자력발전의 적정비중을 살펴보면, 전체의 평균치가 23%~37.2%(중앙값 30%)로 나타났으며, 전문가그룹을 나누어 살펴 본 결과, 원자력에 특히 전문지식이 많은 그룹인 전문가그룹 A에서 원자력의 최소비중을 비교적 높게 상정하였으나 최대값에서는 거의 유사하게 나타났으며, 기관별로는 최소규모에서는 학계, 정부, 한전, 연구계, 민간순으로 높게 나타났다. 최대허용치에서는 연구계가 가장 높게 나타났으며 민간이 33.8%로 가장 낮게 나타났다. 외국의 경우, 벨기에와 프랑스를 제외하고는 10~20% 대의 비교적 낮은 수준을 보여주고 있으며, 이는 구미제국의 경우 수년 전부터 원자력의 경제성이 화력에 비해 낮아지고, 안전성 및 폐기물 문제에 관련된 주민들의 반발이 크기 때문이다.

한편, 석탄의 경우 전체적으로 평균규모는 22.2%~33.9%(중앙값 약 28%)로 나타났으며 전문가 그룹별로도 유사하게 나타났다. 그리고 민간과 정부의 경우, 석탄화력의 비중에서 최대허용 가능치가 30% 이하로 나타나 석탄화력 증가에 비교적 부정적인 견해를 나타냈으며, 이에 비해 타기관은 30% 이상의 높은 수준을 제시하였다.

이상의 결과에서 알 수 있듯이 기저부하를 담당할 전원으로서 사실상 원자력과 유연탄 화력밖에 없는 점을 볼 때, 전원별로 경제성, 안전성, 환경 측면에서 차이가 크나, 어느 한쪽이 명백하게 우위에 있지 않은 점이 감안되어, 전문가들의 대다수가 원자력과 석탄화력의 양쪽에 적정 포트폴리오를 설정한 것으로 추정된다. 동시에 최근에 강조되고 있는 환경문제에 대한 관심의 증가로 정부 등의

의견이 비교적 낮고, 한전이나 연구기관 등 실무에 가까운 기관에서는 현실적인 불가피성에 따라 약간 높은 비중이 나타난 것으로 보인다.

LNG의 경우, 평균규모는 17.8%~28.1%(중앙값 약 23%)로서 전문가 그룹간에 큰 차이를 나타내지 않았다. 민간의 경우 표본수가 작아 분석이 어렵기는 하나, 타 기관에 비해 높은 수치가 나왔으며, 이는 민전도입 등으로 인하여 LNG 비중이 크게 증가할 것으로 보기 때문이다.

2-2. 적정 공급신뢰도 범위

신규 자원소요량 결정은 예측된 전력수요에 대하여 어느 정도의 공급신뢰도를 가질 수 있는 공급력을 확보하느냐의 문제로서 중요한 기준은 설비예비율이나 공급지장확률로 표시되는 신뢰도 기준지표이다. 즉, 신뢰도 기준을 어떻게 설정하느냐에 따라 수급의 불안정을 초래하거나 설비투자비에 엄청난 차이를 발생시킬 수 있다.

LOLP는 이론적인 면에서 합리적이고 시스템규모나 전원구성의 차이를 고려할 수 있다는 장점이 있으며, 설비예비율은 이해가 용이하고 계산방법에 따라 큰 차이가 발생하지 않다는 장점이 있다. 선진국의 경우 두 가지 모두 기준지표로 사용하고 있다.

먼저, 적정 설비예비율을 살펴보면, 전체적인 적정평균수준은 약 18.6%이며, 전문성이 비교적 높은 그룹 A에서는 약 18%, 그룹 A보다는 상대적으로 전문성이 낮은 그룹 B에서는 약 19%로 나타났다. 이 범위는 집단간에도 유사한 결과를 보였다. 선진국의 경우는 대체로 20%를 상회하고 있으나, 우리나라의 경우는 설비증설의 어려운 점이 감안되어, 선진국에 가까운 신뢰도 수준을 지향하면서도 가급적 설비규모를 적게 유지하고자 하는 의견으로 해석된다.

한편, 적정 LOLP수준은 평균 약 0.5일/년으로 조사되었으며, 이 값은 '95, '98년 장기계획 수립시 적용된 적정 수준값과 같다. 반면, 연구기관 소속의 전문가들은 제시한 값은 보다 높은 약 0.3일로 조사되었다. 한편, 선진국의 경우는 대체로 0.1일/년에 가까운 값을 적정 수준으로 보고 있는데, 아직 우리나라의 상황에서 그 정도의 높은 신뢰도 유지하는 어렵다는 것이 전문가들의 견해로 나타났다.

반면, 앞의 최소신뢰도 수준과 마찬가지로 최소한 만족해야 할 LOLP수준은 약 1.4일/년으로 나타났다.

2-3. 공급지장 비용

공급지장이란 고객이 전력을 원할 때, 만족할 만한 전력을 공급하지 못한 상황"을 말하며, 공급지장비용은 공급지장으로 발생하는 경제사회적 활동, 일상생활상 각종 영향의 정도를 화폐 가치화한 것으로 흔히 공급지장전력 1kWh당 단가(원/kWh)로 표현한다.

먼저, 공급지장비용은 평균 \$3.6/kWh로 나타났으며, 기관별로는 한전이 \$4.7/kWh로 비교적 높게, 학계가 \$2.6/kWh로 낮게 보고 있다.

우리나라에서는 '95년 고려대학교에서 연구한 것이 있으며, 거시적 접근법과 해석적 방법에 따라 차이가 있으나 대체로 2.8~4.4\$/kWh 범위인 것으로 보고된바 있다. 한편, 이 값을 외국의 경우와 비교하여 보면, 일본의 약 \$3.4/kWh과 영국의

\$3.6/kWh에 근접하는 값이나 최근에 발표된 자료가 부족하여 비교가 힘들다.

위의 단가를 평균전기요금의 배수로 나타냈을 경우에는 평균 약 40배로 나타났으며, 민간과 학계 및 한전의 경우 약 33~35정도로 추정하고 있으나 연구계에서는 약 50배로 높게 추정하고 있다. 이와 관련하여 앞의 고려대 연구결과를 보면 대체로 평균 전력요금단가의 32~54배의 범위를 나타내고 있다. 외국의 경우도 30~50배 범위가 많은 것으로 나타나고 있다.

구 분		공급지장비용('97년 화폐기준)		
		\$/kWh평균	전기요금배수평균	비 고
전체		3.6	40.1	
전문가A		3.1	35.0	
전문가B		3.7	41.6	
학계		2.6	34.7	
연구계		3.3	50.7	
민간		2.3	33.3	
한전		4.7	35.5	
정부		3.8	46.0	
한국	고려대'95	2.8-3.6	32-47배	거시적(1차회귀분석)
		4.4	55배	거시적(탄성치이용)
		4.3	54배	해석적(한계비용해석)
일본	'85	3.4	31배	거시적 방법

2-4. 환경비용의 정량화

최근의 전력수급계획에서는 환경오염문제를 중요하게 다루고 있으며, 특히 여러 후보계획안들을 서로 비교할 때 환경오염의 정도는 중요한 의사결정기준이 되고 있다. 전력수급계획에서 환경영향을 고려하는 방법중에 환경외부비용을 화폐가치로 내부화하여 다른 비용과 함께 비교하는 방법이 미국과 유럽의 선진국들에 의해 시도되고 있다.

그러나, 환경비용의 추정은 환경피해가 공간적, 시간적으로 한정하기도 힘들고 또한 직·간접적인 경로를 통하여 생산부문에도 연계되며, 특히 각 개인의 효용에 따라 다르게 나타나므로 화폐가치로 측정하는데 어려운 점이 많다.

이러한 어려움으로 인해 현재 환경외부성의 측정방법에 대해서는 완전한 합의에 이르지 못하고 있지만 차선택으로 피해비용과 통제비용을 측정하는 방법이 가장 많이 사용되고 있다. 우리나라의 경우 구체적인 통계자료가 미비하여 통제비용을 구하기가 어려우며, 또한 피해비용의 측정도 피해에 대한 기준 및 범위의 부정확성과 불확실성으로 인하여 많은 시간과 조사비용이 들어 어려움을 겪고 있다.

따라서, 본 조사에서는 외국에서 추정된 사례를 참고로 전문가들에게 제시하였으며, 또한 국내외의 환경규제, 국민의 환경의식 등을 고려하여 대기오염과 산성비, 호흡기질환 등의 주요원인인 황산화물, 질소산화물, 분진, 탄산가스 등의 공해물질 1톤 방출에 따르는 환경비용(\$/톤)을 얼마 정도로 추정하는 것이 적정인지에 대해 조사한 결과 그 응답내용은 아래와 같다.

구분	SO _x	NO _x	TSP	CO ₂	
전체	3021.9	3451.7	3677.1	16.0	
전문가A	2656.3	3333.3	5170.8	25.8	
전문가B	3074.1	3471.1	3519.8	15.0	
학계	2005.9	2200.0	4725.0	18.3	
연구계	3884.6	4384.6	3653.8	15.0	
민간	2666.7	3000.0	2333.3	13.3	
한전	2400.0	3023.2	2298.0	10.5	
정부	5333.3	5666.7	5666.7	29.4	
미국	Calif.주	9593	16689	52648	8.6
	Calif.이외 남서부	1699	861	1472	8.6
	뉴욕주	932	4565	-	81
	South Coast	7425	14483	47620	
	Ventura County	1500	1647	4108	
	Bay Area	3482	7345	24398	

SO_x의 경우, 외국의 환경비용 추정사례에서도 보듯이 조사기관, 연도, 대상지역, 추정방법에 따라 추정치의 차이가 상당히 크며 심지어 10여배 이상이 되는 경우도 있다. 이는 환경피해에 대한 영향평가 자체가 상당히 주관적일 수밖에 없기 때문이다. 본 조사에서 나타난 결과도 그 편차가 상당히 넓다. 앞의 표에서 보는 바와 같이 기관별 평균치의 값에 있어서도, 황산화물의 경우 \$2000/ton에서 \$5400/ton으로 편차가 크며, 정부가 보는 시각이 비교적 높게 나타났다. 반면, 학계나 한전에서 보는 시각은 비교적 낮은 \$2000~\$2400/kWh로 나타났다. 한편 전문성에 의한 그룹별 의견(A, B)은 \$2600/ton에서 \$3010/ton으로 큰 차이가 없다. 총 평균값은 황산화물 배출 톤당 오염비용으로서 약 \$3000/ton이다.

한편, NO_x의 경우는 전체 평균값이 약 3500\$/톤으로 나타났으며 기관별로는 역시 정부가 약 5700\$/톤으로 가장 높게 설정하고 있으며 학계의 경우 2200\$/톤으로 가장 낮게 추정하고 있다. 전문성에 의한 그룹별로는 거의 차이가 없다. 미국 경우와 비교해 볼 때 인구밀도가 낮은 Oregon주의 경우와 유사한 값이다.

TSP의 경우, 전체평균이 약 3700\$/톤으로 나타났으며 기관별로는 한전이 2298\$/톤으로 가장 낮게 추정하고 있는데 비해 정부는 5666\$/톤으로 약 2배 이상으로 추정하고 있어 많은 차이를 보여주었다.

CO₂의 경우, 전체 평균 16\$/톤으로 나타났으며 전문성에 따라 큰 격차를 나타내었다. 기관별로는 역시 정부가 29.4\$/톤으로 한전의 10.5\$/톤의 약 3배를 나타내어 많은 격차를 보여주었으며, 학계와 연구계는 약 15~18\$/톤으로 추정하고 있다.

이상과 같이 환경비용은 객관적 실증적 국내 분석결과가 없는 가운데, 외국의 추정자료를 참고하여 주관적으로 추정한 것으로 보이며, 개인간 또는 기관간에 환경문제를 어떻게 보느냐에 따라 많은 차이를 보여주었다. 결과적으로 대체로 외국의 평균 추정치와는 큰 차이가 나타나지 않았으나, 외국의 지리적 기상학적 여건, 주민의 생활수준, 환경에 대한 인식의 차이가 있으므로 특별히 어떤 data가 더 가치가 크거나 작거나 할 수는 없을 것이다.

2-5. 불확실성 특성 및 재무건전성의 가중치

여러 가지의 계획안을 비교하는 기준중에서 정량화가 어렵지만, 계획수립에 있어 현실적으로 매우 중요한 기준으로 불확실성과 재무건전성을 들 수 있다. 이러한 변수들은 장기전력수급계획 과정에서 적절한 정량화까지는 가능하나 문제는 이들 지표를 화폐단위로 환산하여 다른 기준(경제성이나 환경 등)과 비교하는 것이 거의 불가능하다는 점이다.

이러한 지표들을 의사결정에 반영하는 방법 중에 한가지로 상대적인 가중치를 사용하여 비교하는 것을 생각해 볼 수 있다. 따라서, 본 설문조사에서는 불확실성과 재무적 건전성에 대한 계획안의 특성을 평가하고자 할 때, 총비용(과거 전력수급계획은 총비용 최소화가 목적이었음)에 대비한 상대적 가중치를 어느 정도로 반영하는 것이 적정한지를 조사했으며, 그 결과는 다음과 같다.

구 분	불확실성의 가중치 평균(%)	재무건전성 가중치평균(%)
전 체	6.5	5.7
학 계	8.5	6.3
연구계	7.4	5.7
민 간	7.5	7.5
한 전	5.4	5.9
정 부	3.9	3.5

먼저, 불확실성의 경우, 경제성에 해당하는 총비용의 가중치가 100일 경우, 불확실성의 상대적 비중은 6.5로 나타났다. 그러나, 불확실성을 대표하는 지표를 구하기 힘들고, 대안간 차이도 계산방법에 따라 차이가 있으므로 실제로 이러한 수치를 의사결정에 적용하는 것은 쉽지 않다. 그러나, 경제성면에서 약간 우수할지라도 불확실성 면에서 특별히 나쁜 대안이라면 선택에서 제외되어야 할 것이다.

한편, 재무건전성의 경우도 앞의 불확실성과 유사한 문제이다. 아무리 경제성이 우수하다고 하더라도 자금소요가 집중된다든지 이자상환 스케줄이 적절치 못하여 재무관리에 문제가 발생한다면 이는 우수한 대안으로 볼 수 없을 것이다. 한편, 재무건전성에 대한 조사결과 비용이 100이라면 재무건전성은 총 평균 5.7 정도로 나타났다.

2-6. 환경피해비용을 포함한 회피비용의 산산

여기서는 본 의견조사를 통해 산정된 환경피해비용을 포함한 회피비용을 산정하였다. 회피설비비용의 산정은 발전설비의 경우 대체설비기준(CUB)방식, 송배전설비는 평균중분비용(AIC) 방식에 의해 산정하였으며, 회피에너지 비용은 대체설비의 평균발전비용을 기준으로 산정하였다. 또한, 환경비용 산정은 원별 회피설비를 결정한 후, 이 설비로부터 배출되는 오염물질 배출량을 산정하고, 마지막으로 환경피해비용 추정치를 이용하여 회피환경비용을 산정하였다.

한편, 회피비용 산정을 위해 사용된 기본입력자료는 '98년 장기전력수급계획(안) 및 '97년도 운전실적치를 주로 사용하였으며, 본 시산에 사용된 구체적인 산

정알고리즘 및 각 데이터 산정기준 등은 생략하기로 한다.

아래의 표는 전원별 회피비용 산정결과를 나타낸 표이다.

구 분	단 위	용 량비 용	에 너지비 용	송 배전비 용	환 경비 용	계
유 연 탄	원/kWh	21.85 (25.3)	17.55 (20.4)	9.1 (10.6)	37.73 (43.7)	86.23 (100.0)
중 유	원/kWh	21.32 (20.0)	32.20 (30.1)	11.1 (10.4)	42.24 (39.5)	106.86 (100.0)
LNG	원/kWh	25.51 (23.7)	53.71 (49.8)	19.4 (18.0)	9.13 (8.5)	107.75 (100.0)

상기표에서 보듯이 유연탄의 경우 전체 회피비용중 환경피해비용이 차지하는 비중이 43.7%, 중유는 39.5%로서 상당히 높은 비중을 차지하고 있다. 그러나, LNG화력은 환경피해비용이 차지하는 비중이 8.5%로서 유연탄 및 중유 보다 상대적으로 상당히 낮다. 반면, 에너지비용이 약 50%를 점유함을 볼 수 있다.

3. 결론

본 조사에서는 통합자원계획 실행시 후보계획안 및 개별 자원대안간의 상대평가시 주요한 요소인 환경문제, 재무, 불확실성 등과 같은 외부비용의 정량화 및 적정 전원Mix, 공급신뢰도 등을 대한 전력정책 전문가의 의견을 조사분석하였다.

지금까지 이러한 속성에 대한 정량화나 화폐가치화는 주관적 임의성이 크고 과학적 논증이 어렵다는 이유로 고려대상에서 제외하였으나, 최근의 복잡한 계획 환경에서는 이러한 비정량적 요소를 정량화하여 계획에 적용하는 것이 보다 합리적인 것으로 인식되고 있다. 본 조사를 통해 확보된 데이터는 전원계획 수립시 직접 활용할 수도 있으며, 혹은 간접적인 참고용 데이터로 활용할 수 있을 것이다. 또한 이러한 설문조사는 지금까지 외국의 자료에 의존하여온 여러 가지 기준 자료가 우리나라의 전력산업 환경을 가장 잘 파악하고 있는 국내 전문가 집단을 통해 얻어진 것이라는 큰 의미가 있으며, 앞으로도 조사방법의 개선과 주기적인 조사가 필요할 것으로 판단된다.

참고문헌

- 산업자원부, “제4차 장기전력 수급계획”, 1998. 8
- 한국전기연구소, “IRP 자원유형별 평가기법과 DB에 관한 연구, 1998. 5
- 한국원자력연구소, “전력공급원별 비교-평가를 위한 기초자료 구축”, 1995. 10
- EIA, “Electricity Generation and Environmental Externalities:Case Studies”, 1995. 12
- Sioshansi, Fereidoon P., “Demand-Side Management and Environmental Externalities : Ramifications on Utility Resource Planning”, Utilities Policy, October 1992.
- Tellus Institute, “Costing Energy Resource Options : an Avoided Cost Handbook for Electric Utilities”, Sep. 1995