다속성 전원개발계획에 관한 연구

한석만*, 정구형*, 강동주**, 박중성***, 김발호*
홍익대학교*, 한국전기연구원**, 효성중공업***

A Study on the Multi-Attribute Power Expansion Planning

Seok-Man Han*, Koo-Hyung Chung*, Dong-Joo Kang**, Jung-Sung Park***, Balho H. Kim*
Hongik University*, KERI**, HYOSUNG***

Abstract - In the past, the power expansion planning (PEP) used least cost optimization. But PEP is required considering variable attributes. Because the environment of power industry changes very fast. This paper presents PEP using a multi-attribute decision method (MADM). MADM base on preference and utility.

1. 서 론

전원개발계획이란 미래의 전력수요 성장에 대처하기 위한 전력회사의 발전소 건설을 계획하는 것으로서, 막대한 투자비가 소요되고 건설기간도 장기간이며 또한 이러한 발전설비가 일단 건설되면 보통 20년 이상이라는 장기간에 걸쳐 운전된다. 한편 전력을 공급하는 발전설비는 건설비, 건설기간, 운전비, 운전특성, 운전기간, 설비용량 등 다양한 특성을 가지고 있기 때문에 이들을 적절히 선정하여 언제 건설할 것인가에 대한 결정은 매우 어렵고 복잡한 문제이다.

기존의 전원개발계획은 주어진 공급지장확률(LOLP)과 예비력 범위에서 수요를 만족시키는 대안들 중 10년 또는 15년 동안 발전소를 건설하는데 필요한 투자비와 모든 발전설비를 운영하는데 필요한 운전비 등 총비용이 최소로 소요되는 대안을 선택하는 Least Cost Optimization을 채택하였다. 그러나 비용최소화에 의한 전원개발계획안은 목적함수 및 제약조건에 민감하고 이해집단 사이의 최적해에 대한 논란이 많이 발생한다.

또한, 전력산업은 구조개편과 같은 정책적 변화뿐만 아니라 기후변화에 따른 온실가스 감축과 같은 환경적 변화, 시민사회의 다양한 요구 등 내외적으로 많은 변화를 겪고 있으며, 이에 따라 전원개발계획도 경제성 이외의 다양한 요소를 고려하도록 요구받고 있다.

앞에서 언급한 다양한 요소(속성)를 고려하여 의사결정을 내리기 위해서는 여러 가지 요소들 중 전원개발계획에 많은 영향을 미치는 요소를 선정하여야 한다. 또한 선정한 요소들을 얼마만큼 반영시킬지도 결정해야 한다. 이상의 것들을 설명하는 용어가 바로 선호(preference)와 효용(utility)이다.

본 논문에서는 다속성 의사결정에 관해 간략히 살펴보고, 전원개발계획에 다속성 의사결정 모형을 적용해 보도록 하겠다. 우리나라에서 주로 사용하는 전원개발계획 모형은 WASP 전산모형이며, 이 모형은 동적계획법을 이용하여 최적해를 도출한다. 본 논문에서는 동적계획법의 틀 안에서 다속성 요소를 반영하여, 비용최소화 최적해와 다속성 최적해를 비교해 보도록 하겠다.

2. 다속성 의사결정 기법과 전원개발계획

2.1 다속성 의사결정 기법

다속성 의사결정 기법은 상충되는 복수의 기준(속성)이 존재하는 상황에서 최적 대안을 선택하는 의사결정을 말한다. 다속성 의사결정의 기본 용어를 설명하면 다음과 같다.

2.1.1 선호(preference)

대안들 중에서 또는 대안의 결과치들 중에서 의사결정자가 좋아하는 정도를 비교하는 관계를 선호관계라 하며, 대안들 사이의 선호관계를 나타내기 위한 기호로는 $<$, $>$, $\sim$이 사용된다.

2.1.2 효용(utility)

효용이란 선호하는 정도를 수치로 표현한 것이다. 의사결정 이론에서의 효용은 경제학에서의 효용과 다르다. 의사결정 이론에서의 효용은 불확실성으로 인한 위험을 갖는 대안에 대한 선호정도를 나타내기 위한 것이다. 효용은 클수록 좋으며 효용을 이용해서 대안들 간의 선호관계를 나타낼 수 있다.

2.1.3 확실등가(certainty equivalent)

확실등가란 의사결정자가 어떠한 불확실한 사건과 무차별하다고 느끼는 확실한 값(certain value)이다. 확실등가는 의사결정자의 위험(불확실성)에 대한 주관적인 성향을 포함하는 것으로 주관적으로 결정된다.

2.1.4 가치 함수 방법(value function method)

의사결정자들이 대안에 대한 선호도 순서의 결정을 위해 각각의 대안에 대한 가치를 평가함으로써 그 순서를 정하는 방법이다. 대안a에 대한 가치함수 $V(a)$가 존재할 때, $V(a) > V(b)$라고 한다면 선호도에 있어서 대안a가 대안b보다 선호도가 좋다고 할 수 있다. 그러나 대안들의 가치함수의 서열이 결정하기 힘든 경우에는 이 방법을 사용하는 것은 아무 의미가 없다.

어떤 대안에 대해 직접적으로 가치를 평가할 수 있을 수도 있지만 그렇지 않은 경우도 발생하게 된다. 그런 경우에는 각각의 선호도를 나타낼 수 있는 효용함수 $v_i(a)$를 이용하기도 한다. 따라서 어떤 기준 i에 대한 대안a의 가치를 직접적으로 평가할 수 없는 경우에 가치함수는 효용함수를 이용하여 다음과 같은 방법으로 표현할 수 있다.

$$v_i(a) = v_i(u_i(a)) \qquad (식1)$$

위에서 언급한 가치함수는 부분가치함수이며, 이를 통해 전체적인 가치를 평가하기 위해 다음과 같이 표현한다.

$$V(a) = \sum_{i=1}^{m} w_i \cdot v_i(u_i(a)) \qquad (식2)$$

2.2 다속성 전원개발계획

다속성 전원개발계획도 기존의 전원개발계획과 마찬가지로 최적화 문제로 정식화 될 수 있다. 제약조건은 모두 동일하지만 목적함수는 비용최소화에서 선호도(preference) 극대화로 바뀌어야 한다. 이를 표현하면 다음과 같다.

$$Max \quad \sum_{i=1}^{N} w_i \cdot f_i(u_i(X)) \qquad (식3)$$

$$s.t. \quad g(X)=0 \qquad (식4)$$

$$h(X) \leq 0 \qquad (식5)$$

여기서,

i : 속성(attribute)
N : 고려하는 속성의 개수
w_i : 속성의 가중치
$f_i(X)$: 대안X의 선호도(가치) 함수
$u_i(X)$: 대안X의 효용(utility) 함수

식3의 목적함수는 속성에 따른 가중치와 선호도 함수로 이루어져 있으며, 본 논문에서는 선호도 함수를 다음과 같이 정의하였다.

$$f_i(X)=\frac{u_i(X)-u_i^{\min}}{u_i^{\max}-u_i^{\min}} \qquad (식6)$$

즉, $f_i(X)$가 취할 수 있는 값의 범위를 표준화하여, 해당 대안의 속성이 상대적으로 어느 정도의 선호도를 갖는가를 판단하는 함수이다. 가령, 어떤 대안의 선호도가 1이라면 최대의 효용을 갖는다는 의미이고 0이라면 최소의 효용을 갖는다는 의미이다. 특히, 주의할 점은 비용과 같이 (-)으로 갈수록 효용이 증가하는 속성은 절대적인 수치와 상대적으로 결정되는 효용을 혼동하지 말아야한다. 이를 동적계획법으로 확장하면 각 단계(stage)마다 대안은 상태(state)의 수만큼 주어지며, 각 상태에는 속성에 따른 선호도가 주어지게 된다.

식4와 식5는 각각 등식, 부등식 제약조건을 위미한다. 등식제약조건은 매 기간마다 수요를 충족시켜야 한다는 제약식이 대표적이며, 부등식제약조건은 최소한 신뢰도 기준을 만족시켜야 한다는 제약이 대표적이다. 이외에도 발전기 출력제약, 연료제약, 투입용량제약, 온실가스 배출량제약 등 다양한 제약조건을 고려할 수 있다.

3. 사례연구

전원개발계획은 발전설비의 건설시기와 건설물량을 결정하는 문제로 이를 자세하게 표현하는 것은 지면상 불필요하기 때문에 계산의 편의를 위해 다음과 같이 가정하였다.

- 속성은 운전비용, 온실가스 배출량, 주민 수용도 3가지 만을 대상으로 한다.
- 검토대상 기간은 4주기로 단계(stage) 또한 4단계이다.
- 각 단계에서 선택할 수 있는 대안은 4가지로 상태(state) 또한 4가지이다.
- 모든 대안 마다 다음과 같은 속성값이 주어져 있다.
- 각 속성의 가중치는 모두 1로 동일하다.

(표1) 모든 대안의 운전비용(억원)

	stage1	stage2	stage3	stage4
state1	5000	4000	2500	5500
state2	8200	3300	1500	7300
state3	3800	5800	7700	3200
stage4	1900	2800	7100	6900

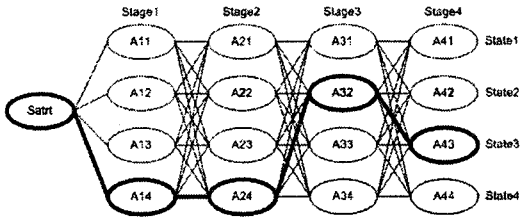
(표2) 모든 대안의 온실가스 배출량(톤)

	stage1	stage2	stage3	stage4
state1	3000	1220	4200	1200
state2	1500	3900	2900	1670
state3	2500	3700	2200	2930
stage4	2000	4000	3600	1750

(표3) 모든 대안의 주민 수용도(%)

	stage1	stage2	stage3	stage4
state1	90	88	50	90
state2	75	60	80	55
state3	77	72	74	64
stage4	50	63	90	80

기존의 전원개발계획과 같이 최소비용 최적대안을 선택했다면 다음과 같은 대안들을 선택했을 것이다.



(그림1) 비용최소화일 경우의 최적해

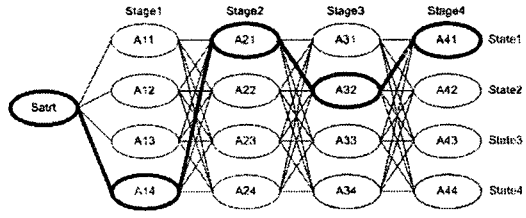
각 속성의 선호도를 계산한 값과 다속성 전원개발계획의 최적해를 살펴보면 다음과 같다.

(표4) 각 속성의 선호도 일람

		stage1	stage2	stage3	stage4
운전비용	state1	0.51	0.60	0.84	0.44
	state2	0.00	0.83	1.00	0.00
	state3	0.70	0.00	0.00	1.00
	stage4	1.00	1.00	0.10	0.10
온실가스 배출량	state1	0.00	1.00	0.00	1.00
	state2	1.00	0.04	0.65	0.73
	state3	0.33	0.11	1.00	0.00
	stage4	0.67	0.00	0.30	0.68
주민수용도	state1	1.00	1.00	0.00	1.00
	state2	0.63	0.00	0.75	0.00
	state3	0.68	0.43	0.60	0.26
	stage4	0.00	0.11	1.00	0.71

(표5) 총 선호도

	stage1	stage2	stage3	stage4
state1	1.51	2.60	0.84	2.44
state2	1.63	0.87	2.40	0.73
state3	1.71	0.54	1.60	1.26
stage4	1.67	1.11	1.40	1.49



(그림2) 다속성 전원개발계획의 최적해

4. 결론 및 향후연구

본 논문에서는 다속성 의사결정 기법을 간략히 알아보고 이를 전원개발계획에 적용시키는 방법에 대해 설명하였다. 또한 간단한 사례연구를 통해 비용최소화 최적대안과 다속성 최적대안을 도출해 보았다. 다변하는 전력산업에 대응하여 적합한 속성(요소)들을 개발한다면 다방면으로 활용할 수 있을 것이다.

다속성 의사결정 기법의 단점은 속성간의 연관성을 규명하여 목작함수에 반영하는 방법과 적절한 가중치를 산정하는 것이 어렵다는 것이다. 향후에는 이러한 단점을 개선하고 전원개발계획에 적합한 효용함수를 개발하는 연구가 계속되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원에 의하여 한국전력공사 전력연구원(과제번호:R-200702-210) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

[1] 김영창, "발전설비투자이론", IECC에너지시리즈-3, 2006
[2] 한국전력공사 전력경제처, "투자사업을 위한 경제성 평가", 1994
[3] Steven Stoft, "Power System Economics (Designing Markets for Electricity", 2002
[4] 김영창, "환경문제를 고려한 다목적 전원개발계획에 관한 연구", 한국과학기술원 박사학위논문, 1993
[5] 김성희 등, "의사결정 분석 및 응용", 영지문화사, 1999
[6] 이창효, "다기준 의사결정론", 세종출판사, 1999
[7] 한국건설기술연구원, "수자원분야 다기준의사결정분석 지침서", 2004