

경쟁시장 체제하에서의 전력수급계획 수립 체계에 관한 연구

한석만*, 김강원**, 김태영*, 이정인*, 김발호*
 홍익대학교*, 에너지관리공단**

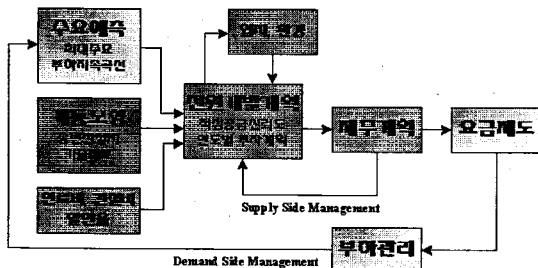
A study on the generation expansion planning system under the power markets

Seok-Man Han*, Kang-Won Kim**, Tae-Young Kim*, Jeong-In Lee*, Balho H. Kim*
 Hongik University*, KEMCO**

Abstract - The power expansion planning is large and capital intensive capacity planning. In the past, the expansion planning was established with the proper supply reliability in order to minimize social cost. However, the planning not used cost minimizing objective function in the power markets with many market participants. This paper proposed the power expansion planning process in the power markets. This system is composed of Regulator and GENCO's model. Regulator model used multi-criteria decision making rule. GENCO model is very complex problem. Thus, this system transacted the part by several scenario assuming GENCO model.

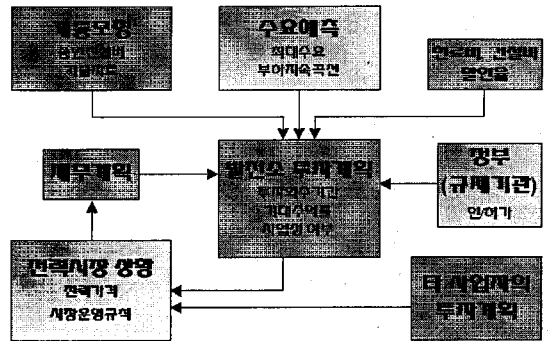
1. 서 론

우리가 사용하는 전력은 발전, 송전, 배전설비를 거쳐 소비자에게 제공되고 있다. 전력은 공급과 소비가 동시에 일어나고 저장이 불가능하다는 특징을 가지고 있다. 또한 전력을 공급하고 전달하는 설비들은 대단히 고가이고 장기간의 건설기간이 필요하기 때문에 장기적인 계획이 필요하다. 전력수급계획은 이러한 전력설비의 특징을 반영하여 미래 전력수요에 대응하기 위한 설비계획이다. 과거 수직통합적 전력회사는 발전, 송전, 배전설비를 모두 소유, 운영, 계획하였기 때문에, 적정 공급신뢰도를 유지하고 사회적 비용을 최소화하는 방향으로 전력수급계획을 수립하였다. 또한 이렇게 수립된 수급계획은 요금제도로 반영되어 전력회사의 수익성을 보장할 수 있었다.



<그림 1> 수직통합 전력회사의 전력수급계획 수립 체계

그러나, 다수의 발전사업자가 존재하는 전력시장 체제 하에서는 발전소의 건설과 운영에 대한 책임은 모두 발전사업자가 담당하고, 발전소의 건설 또한 사업자의 투자문제로 귀결된다. 발전사업자는 전력시장에서 전력가격과 시장운영규칙 등을 반영하고, 타 사업자의 건설 전략 등을 고려하여 이익이 극대화되는 투자계획을 수립하게 된다.



<그림 2> 발전사업자의 발전소 투자계획 수립 체계

그러나, 이러한 시장주도형 모델에서는 이익극대화를 위한 자유로운 의사결정으로 시장이 활성화된다는 장점을 가지고 있지만, 전력산업의 경기변동에 따라 신뢰도 확보여부가 불투명하게 된다는 단점을 가지고 있다. 또한, 급변하는 전력산업의 대내외적인 환경변화와 전력산업의 특징을 고려해 볼 때, 발전사업자의 투자 위험도는 상당히 커지고, 신뢰도 확보도 불투명해 질 것으로 예상된다.

본 논문에서는 수직통합 전력회사가 존재하던 정부주도형 모델과 경쟁시장이 존재하는 시장주도형 모델이 적절히 결합된 수급계획 수립체계를 제안하며, 이 때 신뢰도 확보의 책임을 가진 전력수급계획수립 주체(정부 또는 거래소)의 수급계획 수립 모형을 중심으로 논의하고자 한다.

2. 전력시장 하에서의 전력수급계획

2.1 전력수급계획 수립 모형

$$MAX \sum_n^T (f_n^0(\omega_0, X_n), f_n^1(\omega_1, X_n^{new})) \quad (식1)$$

$$s.t. \quad LOLP_n(X_n) \leq C_n \quad (식2)$$

$$CO_2Emission_n \leq C_n^{CO_2} \quad (식3)$$

$$X_n = X_{n-1} + U_n \quad (식4)$$

$$U_n \geq 0 \quad (식5)$$

여기서,

- n : 연도
- T : 계획기간
- X_n : n년도의 발전설비
- X_{n^{new}} : n년도의 신규발전설비

- $f_n(\cdot)$: n년도의 선호도 계산함수
- f^0, ω_0 : 비용에 대한 선호도와 가중치
- f^1, ω_1 : 투자 의사에 대한 선호도와 가중치
- LOLP_n : n년도의 공급신뢰도
- C_n : n년도의 공급신뢰도 기준
- CO₂Emission_n : n년도의 이산화탄소 배출량
- $C_n^{\omega_2}$: n년도의 이산화탄소 배출계약
- U_n : n년도의 발전설비 투입용량

(식1)은 계획기간의 총 선호도를 최대화하는 목적함수이다. (식2)는 공급신뢰도 기준을, (식3)은 온실가스 배출계약을 의미한다. (식4)는 설비의 증설과정을 나타내는 식이며, (식5)는 신규발전설비의 용량이 항상 0보다 크다는 것을 의미한다.

목적함수에는 정책기능을 반영한 비용최소화 목적함수와 시장기능을 반영한 투자 의사 최대화 목적함수가 포함되어 있다. 또한, 각 목적함수에 대한 가중치가 있어 해당 속성을 얼마나 반영할지를 결정할 수 있다. 가령 $\omega = (1, 0)$ 이면 비용최대화 목적함수만 사용하는 WASP와 동일하다. 본 논문에서는 거리척도를 다음과 같이 정의하였다.

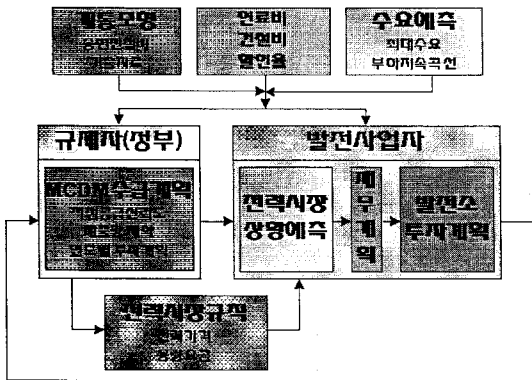
$$D = \left(\sum_{i=1}^I \omega_i^2 \cdot d_i^2 \right)^{1/2} \quad (식6)$$

여기서,

- i : 속성의 요소
- ω_i : 속성의 가중치
- $d_i = \frac{x_i - worst_i}{best_i - worst_i}$

즉, 대안 x 중에 속성 i 가 가장 좋은 속성값을 가지고 있다면, $d_i = 1$ 이 되고, 가장 나쁜 속성값을 가지고 있다면, $d_i = 0$ 이 된다.

2.2 전력수급계획 수립 체계

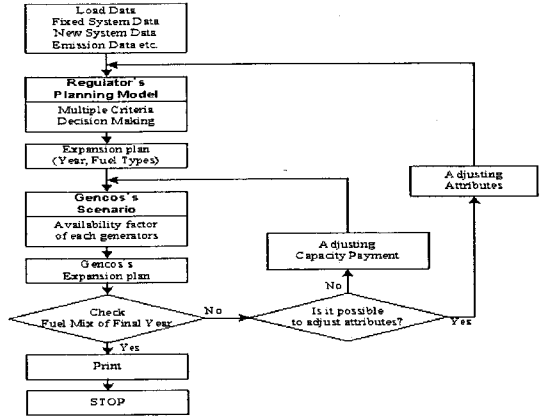


<그림 3> 제안하는 전력수급계획 수립 체계

본 논문에서 제안하는 체계는 정부주도형 모델과 시장주도형 모델을 결합한 형태이다. 규제자는 다속성 모델을 이용하여 발전사업자에게 기준계획을 제공하고, 발전사업자는 이를 토대로 전력가격을 예측한 후, 자신의 투자계획에 반영하는 형태로 구성되어 있다. 규제자는 비용최소화 목적함수 뿐만 아니라 전력시장에서의 발전사업자의 투자 의사를 반영하도록 다기준 의사결정 모델을 사용한다. 규제자의 계획안과 사업자의 계획안이 수립되

지 않을 경우에는 전력가격과 용량요금 등과 같은 시장 운영규칙을 수정하여 두 계획안을 수립시킬 수 있을 것이다.

2.2 전력수급계획 수립 체계 모의 전산 모형



<그림 4> 수립 체계 모의 전산 모형

본 논문에서는 발전사업자의 모형을 다음과 같은 단순한 형태로 가정하였다.

(투자가능최소이용율)

$$= (\text{설비이용율}) - (\text{용량요금정산가격 증가율})$$

발전사업자는 설비이용율별로 각각의 투자대안을 가지고 있으며, 사업자의 투자대안 이용율이 MCDM을 통해 나온 투자가능최소이용율 보다 큰 대안만을 투자 확정한다. 예를 들어 발전사업자가 다음과 같은 투자대안을 가지고 있다고 가정하자.

이용율 60%	-----	3대
이용율 30%	-----	2대
이용율 10%	-----	1대

MCDM을 통해 나온 투자가능최소이용율이 40%라면, 이 보다 큰 60% 3대 만이 건설될 것이고, 동일한 상황에서 용량요금이 17% 증가 했다면, 투자가능최소이용율이 23%이기 때문에 5대(3+2)가 건설될 것이다.

수립체계 모형에서 가장 중요한 부분은 규제자의 MCDM에서 활용할 속성값 ω 를 결정하는 부분이다. 이 부분은 규제자 모형의 결과와 발전사업자 모형의 결과와의 차이를 최소화시키는 다음과 같은 형태로 정식화할 수 있다.

$$\min_{\omega} |X^R - X^G| \quad (식7)$$

$$s.t. \text{ Regulator Model} \quad (식8)$$

$$\text{GENCO Model} \quad (식9)$$

$$\omega \leq \omega_0 \leq 1 \quad (식10)$$

$$0 \leq \omega_i \leq 1, i \neq 0 \quad (식11)$$

$$\sum_i \omega_i = 1 \quad (식12)$$

여기서,

X^R : 규제자의 계획안

X^G : 발전사업자의 계획안

ω_i : 속성 i 에 대한 가중치

ω_0 : 비용에 대한 가중치

ω : 비용 가중치의 최소값

(식7)은 두 개의 계획안을 수렴시키려는 목적함수이고, (식10)은 비용 속성의 범위, (식11)은 기타 속성의 범위이다. (식12)는 가중치들의 합이 1이라는 것을 나타낸다. (식8)을 통해 X^R 가 계산되고, (식9)를 통해 X^G 가 계산된다.

3. 사례연구

계산의 편의상 다음과 같이 가정하였다.

- 검토대상기간은 15년이다.
- 신규발전설비의 종류는 2종류(발전사업자)이다.
- (식7'12) 최적화 모형의 목적함수 값이 0이 아닐 경우 용량요금정산가격 증가율은 3%씩 증가한다.
- 발전사업자의 투자 대안은 다음과 같다.

발전사업자	투자최소이용률(%)	대수
A	73	1
	68	1
	63	1
B	81	8
	76	2
	71	1

시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

(1) 비용최소화만 사용하였을 경우

$$(\omega_0 = 1.0, \omega_1 = 0.0, \omega_2 = 0.0)$$

년도	발전사업자 A	발전사업자 B
2008		8
2009		
2010		1
2011		
2012		
2013	1	
2014		
2015		
2016		
2017		
2018	1	
2019		
2020		
2021		
2022	1	
누적	3	9
최종년도 이용률	69.5 %	79.2 %

(2) 시뮬레이션 결과

$$(\omega_0 = 0.4, \omega_1 = 0.36, \omega_2 = 0.24)$$

최종용량가격증가율 = 6 %

년도	발전사업자 A	발전사업자 B
2008		8
2009		
2010		2
2011		
2012		
2013	1	
2014		
2015		
2016		
2017		
2018	1	
2019		
2020		
2021		
2022		
누적	2	10
최종년도 이용률	72 %	83 %

4. 결 론

본 논문에서는 경쟁시장 체제하에서의 전력수급계획에 대해서 논의하였다. 정부주도형, 시장주도형 모델, 중도형 모델 모두 이용할 수 있는 전력수급계획용 모형 및 수렴체계 전산모형을 개발하였으며, 사례연구를 통해 검증하였다.

향후 전산모형의 신뢰성을 높이는 작업이 필요하며, 수렴속도 개선 및 대규모 실계통에 적용 가능하도록 보완해야 할 것이다. 또한, 다양한 여건을 반영할 수 있는 속성 개발에 관한 연구도 필요하다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 한국전력공사 경영연구소(과제번호 : R-200702-210, 과제명 : 전력시장모의시스템 구축) 주관으로 수행된 과제임.

[참 고 문 헌]

- [1] 김영창, "발전설비투자이론", IECC에너지시리즈-3, 2006
- [2] 한국전력공사, "WASP-II 전산모형 운용 안내서", 1993
- [3] IAEA, "WASP-IV User's Manual", 2001
- [4] Milan Zeleny, "Multiple Criteria Decision Making", McGraw-Hill Book Company, 1982
- [5] L. G. Mitten, "Preference Order Dynamic Programming," Management Science, Vol. 21, No. 1, p. 43-46, 1974
- [6] 김영창, 환경문제를 고려한 다목적 전원개발계획에 관한 연구, 한국과학기술원, 1993
- [7] Least Cost Electric Utility Planning, H. G. Stoll, John Wiley & Sons, 1989
- [8] Electric Energy Generation Economics, Reliability, and Rates, J. Vardi & B. Avi-Itzhak, The MIT Press, 1981