

적정 전원 구성에 관한 연구 - 비전 2030

정상현*, 박정제*, 사박*, 오량*, 최재석*, 김진우*, 이유수*
 경상대학교*, 에너지경제연구원*

A Study on Best Generation Mix - Vision 2030

Sangheon Jeong*, Jeongje Park*, Shi Bo*, Wu Liang*, Jaeseok Choi*,
 Gyeongsang National University*

Jinu Kim*, Yusu Lee*
 Korea Energy Economics

Abstract - This paper proposes a fuzzy linear programming based solution approach for the long-term generation mix with multi-stages (years) considering air pollution constraints on CO₂ emissions, under uncertain circumstances as like as ambiguities of budget and reliability criterion level. This paper approaches to generation mix problem for 2030 year in Korea eventually. The proposed approach may give more flexible solution rather than too robust plan. The effectiveness of the proposed approach is demonstrated by applying it to solve the multi-years best generation mix problem on the Korea power system which contains nuclear, coal, LNG, oil and pumped-storage hydro plants.

1. 서 론

근래 전원개발은 자유경쟁시장에 따른 독립발전사업자의 자유로운 시장진입, 건설자금의 방대함, 발전소의 입지확보에 대한 곤란, 연료 확보의 불안정, 장기부하예측의 불확실성, 환경규제의 강화 등으로 인해 매우 어려워지고 있는 실정이다. 그러므로 오늘날 전력계통의 개발 계획을 담당하는 사람들은 “적절한 안정성 확보 및 신뢰성을 유지하면서 수요에 알맞은 적절한 규모의 전원을 구성하는데 있어서 전에 없이 재정상의 제약과 불확실성을 어떻게 극복할 수 있을 것인가?” 하는 심각한 문제에 직면하고 있다. 이러한 여건변화에 대처해서 전원을 개발해 나가기 위해서는 적정전원구성, 최소한의 불안요소(Risk) 및 비용저감, 부하관리 등을 적절히 감안해서 합리적으로 계통을 확장해나가야만 한다는 어려운 과제를 풀어나가지 않으면 안 된다. 본 연구에서는 우리나라의 2030년도의 적정전원구성을 살펴보기 위하여 퍼지선형계획법을 이용하여 유연한 적정전원구성을 구하도록 하였다. 특히, 근래 발전설비운영의 환경오염에 대한 제약이 전 세계적으로 강하게 대두되고 있다. 그러므로 본 연구에서는 전원계획 시에 예산확보의 애매성 및 신뢰도기준의 유연성을 고려한 것에 대기오염에 대한 가스배출량의 제약을 고려한 우리나라 2030년까지의 적정전원구성을 전망하기 위한 수학적 모델을 제시하며 이를 이용하여 그 구성비를 살펴보았다.[1-3]

2. 적정전원구성문제의 정식화

2.1 계통모형

본 연구에는 적정전원구성문제를 해석함에 있어서 아래와 같이 가정하였다.

- (1) 연간부하는 부하예측으로부터 미리 주어지는 것으로 하였다.
- (2) 본 연구는 전원개발계획을 수립하기 전에 이루어지는 각 전원의 구성비 결정에 관한 것이므로 전원은 중별로 다루는 것으로 하였다.
- (3) 원자력은 부하추종불능인 것으로 가정하였다.

- (4) 수력발전원은 수력자원에 한계가 있으므로 통상 별도로 그 전원개발이 이루어지므로 대상년도 별로 따로 미리 주어지는 것으로 하였다.

본 연구에서 제안하는 계통의 수학적 모델은 그림 1과 같다.

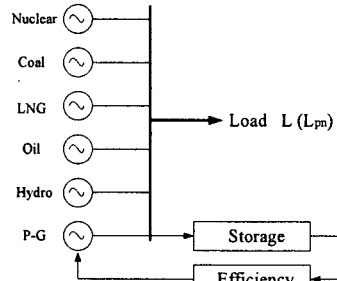


그림 1. 본 연구를 위한 계통모형

2.2 목적함수

2.2.1 경제성평가함수(The economic criterion)

최적전원구성문제는 일차적으로 건설비로 대표되는 고정비와 연료비로 대표되는 가변비의 합을 최소화이다. 본 연구는 장기계획이므로 할인율들을 고려하여 총비용의 가치를 어느 특정기준의 시점(년도)으로 현재가치화(PV)하여 비교해야한다. 이를 고려하여 정식화하면 식 (1)과 같다.

$$\text{Minimize } Z = \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{NG} Kc_{in} d_i a_i \Delta x_{in} + \sum_{n=1}^N \sum_{i=1}^{NG} Kf_{in} f_i a_i y_{in} \quad (1)$$

$$= F(\Delta x_{in}, y_{in})$$

단, i : 전원종별을 표시하는 번호 (=1~5. 원자력:1, 석탄화력:2, LNG:3, 석유화력:4, 양수발전:5)

N : 총 연구대상대표년도의 수[년]

NG : 전원종류

$$Kc_{in} = ((1+ec_i)/(1+r))^{Tn}$$

$$Kf_{in} = ((1+ef_i)/(1+r))^{Tn}$$

ec_i : i 번째 전원의 건설자재의 피상물가상승률[pu]

ef_i : i 번째 전원의 연료비의 피상물가상승률[pu]

r : 할인율[pu]

$T_{n:n}$ 대표년도까지의 년도수(= $\sum_{k=1}^n \Delta T_{k,k-1}$)

$\Delta T_{k,k-1}$: k 연구대상년도와 $k-1$ 연구대상년도사이의 간격 [년]

d_i : i 번째 전원의 건설비단가 [원/kW]

f_i : i 번째 전원의 연료비단가 [원/MWh]

a_i : i 번째 전원의 년경비율 [pu]

Δx_{in} : n 년도에서 i 번째 전원의 건설용량 [MW]

y_{in} : n 년도에서 i 번째 전원의 발전량 [MWh]

2.3 제약조건

1) 부하수급제약조건

$$\sum_{i=1}^{NG} (x_{in-1} - \Delta x_{in}) + HYD_n \geq L_{pn} (1+R_n) \quad n=1 \sim N \quad (2)$$

단, R_n : n 년도의 공급예비율 기준 [p.u]
 HYD_n : n 년도의 수력발전기 용량[MW]

2) 수급에너지제약조건

$$\sum_{i=1}^{NG} y_{in} \geq (L_{pn} + L_{Bn}) \times 4380 + V_n - HYD_n \times 8760 \times CF_H \quad (3)$$

단, $n=1 \sim N$
 L_{pn} : n 년도의 최대부하[MW]
 L_{Bn} : n 년도의 최저부하[MW]
 V_n : 양수발전원의 양수에 의한 증가된 부하량[MWh]
 CF_H : 수력발전원의 년평균 설비이용률[pu]

3) 전원별 년설비이용률 제약조건

$$y_{in} \leq (x_{in-1} + \Delta x_{in}) \times 8760 \times CF_i \quad i=1 \sim NG, \quad n=1 \sim N \quad (4)$$

단, CF_i : i 전원의 년평균 최대 설비이용률

4) 초기년도 설비용량제약조건

$$x_{i0} = EX_i \quad i=1 \sim NG \quad (5)$$

단, EX_i : i 전원의 초기년도 용량

5) 전원용량 년도별 상태방정식 제약조건

$$x_{in} = x_{in-1} + \Delta x_{in} \quad i=1 \sim NG, \quad n=1 \sim N \quad (6)$$

6) LNG화력발전원의 에너지제약조건

$$y_{3n} \geq LEP_{\min} / \rho_3 \quad n=1 \sim N \quad (7)$$

단, LEP_{\min} : n 년도에서의 LNG 최소사용 할당량
 ρ_3 : LNG 전원의 연료소비율[Ton/MWh]

7) 양수발전원의 발전 및 양수관계식 제약조건

$$y_{5n} = \eta_g \times V_n \quad (8)$$

단, η_g : 양수발전원의 효율

8) 원자력발전의 부하추종능력 제약조건

$$x_{1n} - x_{5n} \leq L_{Bn} \quad n=1 \sim N \quad (9)$$

9) 년도별 신설용량 상한 제약조건

$$\Delta x_{in} \leq \Delta X_{MAXin} \quad i=1 \sim NG, \quad n=1 \sim N \quad (10)$$

10) CO₂ 가스 배출 제약조건

$$\sum_{i=1}^{NG} \xi_i y_i \leq CO2_{MAXn} \quad (11)$$

단, ξ_i : i 전원의 가스발생율[Ton/MWh]
 $CO2_{MAXn}$: n 년도에서의 CO₂ 최대허용치[Ton/yr]

11) SO_x 가스 배출 제약조건

$$\sum_{i=1}^{NG} SOX_{in} \xi_i y_i \leq SOX_{MAXn} \quad (12)$$

단, SOX_{in} : n 년도에서의 i 전원의 SO_x 배출밀도 [ppm/Ton]
 SOX_{MAXn} : n 년도에서의 SO_x 최대허용치 [Ton/yr]

12) NO_x 가스 배출 제약조건

$$\sum_{i=1}^{NG} NOX_{in} \xi_i y_i \leq NOX_{MAXn} \quad (13)$$

단, NOX_{in} : n 년도에서의 i 전원의 NO_x 배출밀도 [ppm/Ton]
 NOX_{MAXn} : n 년도에서의 NO_x 최대허용치 [Ton/yr]

2.4. 퍼지선형계획법으로서의 정식화

미래의 투자비는 실제 확실히 보장될 수 없는 경우가 많다. 즉, 기존의 수학적 모델에 의한 최적해를 구하였다 하더라도 사실상이 값은 실제적이지 못하다. 통상적으로 향후 전원개발을 위하여 15조원을 투자한다고 하더라도 이는 정확히 보장될 수 없으며 사실상 약 15조원을 투자하겠다는 표현이 맞을 것이다. 그러므로 애매성이론중 하나인 퍼지이론을 적용하는 것이 보다 현실적이다. 이러한 애매성은 정책결정론자에 게 오히려 유연성을 부여한다. 퍼지이론에서는 이러한 애매성을 고려한 목적함수를 통상적으로 퍼지목적함수 (fuzzy goal function)라고 부른다. 정책결정론자의 예산확보에 대한 지망수준을 Z_0 라고 하면 퍼지목적함수는 식 (15)처럼 정식화된다.

$$Z \leq Z_0 \quad (14)$$

또한, 20-30년간의 장기계획문제에서는 설정하는 신뢰도기준 R_n 도 완전히 엄격하게 지키기보다 어느 정도 유연성(여유)을 갖도록 설정하는 것이 합리적이다. 이러한 퍼지성을 갖는 제약조건을 퍼지제약(fuzzy constraint)이라 하며 이를 정식화하면 식(15)와 같다.

$$R_n \geq R_{0n} \quad (15)$$

그러므로 본 연구에서 제안하는 예산확보의 애매성(ΔZ_0) 및 신뢰도기준의 여유력(ΔR_0)을 고려한 적정전원구성문제는 아래와 같이 선형계획법으로 등가적으로 정식화된다. 단, $i=1 \sim NG$, $n=1 \sim N$ 이다. 여기서, 도입한 매개변수 λ 는 정책결정자의 의사만족도를 의미한다.

목적함수: Maximize λ

제약조건: Subject to $F(\Delta x_{in}, y_{in}) + \Delta Z_0 \lambda = Z_0 + \Delta Z_0$

$$\left(\sum_{i=1}^{NG} (x_{in-1} + \Delta x_{in}) + HYD_n \right) / L_{pn} - \Delta R_0 \lambda = R_0 - \Delta R_0$$

$$\sum_{i=1}^{NG} y_{in} = (L_{pn} + L_{Bn}) \times 4380 + V_n - HYD_n \times 8760 \times CF_H$$

$$y_{in} = (x_{in-1} + \Delta x_{in}) \times 8760 \times CF_i$$

$$x_{i0} = EX_i$$

$$x_{in} = x_{in-1} + \Delta x_{in}$$

$$y_{3n} = LEP_{\min} / \rho_3$$

$$y_{5n} = \eta_g \times V_n$$

$$x_{1n} - x_{5n} \leq L_{Bn}$$

$$\Delta x_{in} \leq \Delta X_{MAXin}$$

$$\sum_{i=1}^{NG} CO2_{in} \xi_{ii} y_i \leq CO2_{MAXn}$$

$$\sum_{i=1}^{NG} SOX_{in} \xi_{ii} y_i \leq SOX_{MAXn}$$

$$\sum_{i=1}^{NG} NOX_{in} \xi_{ii} y_i \leq NOX_{MAXn}$$

3. 사례 연구

3.1 입력자료

본 연구에서 제안하는 방법을 이용하여 우리나라 실 계통을 대상으로 2006년도를 초기년도로 하여 5년 간격으로 (마지막 대표년도는 4년간격) 총 24년간에 걸친 2030년도까지의 적정전원구성수립의 사례연구를 실시하여보았다. 한편, 여기서는 전원을 원자력, 석탄화력, LNG화력, 석유화력, 일반석수력, 양수석수력등 6가지를 대상으로 하였다. 단, 수력발전계획은 수자원확보의 한계상으로 통상적으로 분리하여 실시하고 있는 바 수력발전개발계획에 의하여 미리 주어지는 것으로 가정 하였다. 각 대상년도별 최대 및 최소 부하, 그리고 미리 예정된 수력전원용량 및 LNG 화력의 의무연료소비량(LEP)이 Table 1에 소개되어있다. 한편, 각 전원별 특성자료 및 경제성자료를 Table 2와3에 나타내었다[4]. 본 연구에서는 할인율은 7.5%로 설정하였으며 제3차 수급계획의 자료를 토대로 하였다.[4]

표 1. 기준년도의 최대, 최소 부하량과 수력발전량

Years	Peak load L _p [MW]	load L _B [MW]	Hydro [MW]	LEP (10 ³ Ton)
2006	58,990	35,394	1,800	--
2011	65,940	39,564	2,000	4,500
2016	70,050	42,030	2,200	5,500
2021	74,000	44,400	2,400	6,500
2026	77,000	46,200	2,600	7,500
2030	80,000	48,000	2,600	7,500

표 2. 발전기의 초기년도 용량 및 경제성 입력자료

Gen. Type	Initial capacity [MW]	d_i [10^5 won/kW]	ec_i [%]	f_i [won/kWh]	ef_i [%]	Annual cost rate [%]
Nucl.	17,716	144.4	3.5	4	1	19
Coal	18,465	79.7	3.4	17	1	17
LNG	17,437	61.4	3.3	67	1	17
Oil	4,686	153.2	3.3	87	4	17
P-G	3,300	63.4	3.5	0.0	0	13

표 3. 가스 배출 최대 한계치 (단, CO₂: 10^6 Ton/year, SO_x 및 NO_x: 10^8 ppm/year)

Gases	2011	2016	2021	2026	2030
CO ₂	40	40	40	40	40
SO _x	40	40	40	40	40
NO _x	40	40	40	40	40

3.2. Non Fuzzy 모델에 의한 사례연구 결과

먼저, 예산의 애매성등과 같은 퍼지 특성을 고려하지 않은 경우에 대하여 사례연구를 실시하여 보았다. CO₂가스배출 제약조건을 고려하지 않은 경우(Case 0)와 CO₂가스배출 제약조건을 고려한 경우(Case 1)의 적정전원구성비의 결과를 비교하면 표 4와 같으며 년도별 적정전원구성용량은 그림 2와 같다. 본 표들과 그림에서 보는바와 같이 CO₂가스배출 제약조건을 고려하면 예상되는 바처럼 CO₂ 가스를 주로 배출하는 전원인 석탄화력의 구성비가 낮아지고 대신 원자력의 구성비가 증가함을 알 수 있다. 한편, 두 경우의 고정비(건설비) 및 가변비(연료비)를 비교하면 표 5와 같았다. 여기서 CO₂ 가스배출제약조건을 고려하면 이의 제약조건을 만족하기 위하여 석탄화력의 건설대신 상대적으로 다소 건설비가 비싼 원자력의 건설비가 늘어나고 연료비도 상승하여 전체적으로 예산이 증가함을 알 수 있다. 이 비용 증가분은 대기 오염가스배출제약을 고려한 것에 기인하므로 이를 “대기 가스배출비용”이라고 할 수 있다.

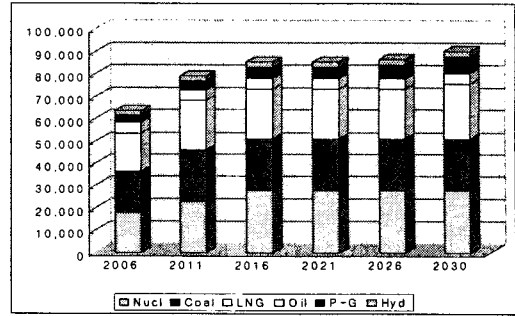
표 4. CO₂가스배출제약조건에 따른 적정전원구성 [%]

Gen. type	CO ₂ 가스배출제약조건을 고려하지 않은 경우(Case 0)					
	2006	2011	2016	2021	2026	2030
Nucl.	27.94	28.71	32.48	35.51	35.05	33.74
Coal	29.12	29.65	27.50	25.73	25.40	24.44
LNG	27.50	27.75	25.74	24.08	23.77	25.58
Oil	7.39	5.92	5.49	5.14	5.07	4.88
P-G	5.20	5.43	6.21	6.91	7.90	8.65
Hyd	2.84	2.53	2.58	2.63	2.81	2.71

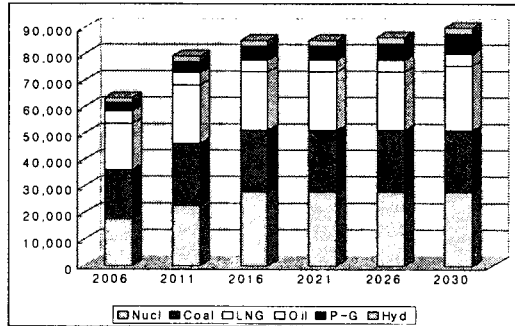
Gen. type	CO ₂ 가스배출제약조건을 고려한 경우(Case 1)					
	2006	2011	2016	2021	2026	2030
Nucl.	27.94	28.71	32.47	35.62	35.16	33.91
Coal	29.12	29.65	27.53	25.71	25.38	24.48
LNG	27.50	27.75	25.73	24.03	23.71	25.37
Oil	7.39	5.92	5.49	5.13	5.06	4.88
P-G	5.20	5.43	6.21	6.89	7.88	8.65
Hyd	2.84	2.53	2.58	2.63	2.81	2.71

표 5. 두 경우의 적정전원구성의 총 비용평가 [백만원]

	건설비(고정비)	연료비(가변비)	총 비용
Case 0	4,475.10	11,238.99	15,714.09
Case 1	4,498.82	12,018.50	16,517.32
비교	23.72(증가)	779.51(증가)	803.23(증가)



(a) 총 용량 (Case 0)



(b) 총 용량 (Case 1)

그림 2. Case 0과 Case 1의 적정전원구성용량[MW]

3.3. 퍼지이론을 이용한 사례연구

다음으로 전술한 CO₂ 가스배출제약조건을 고려한 비퍼지 경우(Case 1)와 동일한 입력자료를 사용하고 나아가 예산확보의 애매성에 대하여만 퍼지이론을 이용하여 사례연구를 실시하여보았다. 표 6은 이의 결과를 보인 것이다. 이때 총비용의 지망수준값(Z₀)은 16.5×10³ [Billion won] 이고 ΔZ₀는 Z₀의 10[%]로 하였다.

표 6. 예산확보의 애매성을 고려한 퍼지적정전원구성[%]

Gen. type	환경오염제약조건(APC) 및 예산확보의 애매성을 고려한 경우 (Case F1)					
	2011	2016	2021	2026	2030	
Nucl	28.713	2.47	35.623	5.163	3.91	
Coal	29.652	7.53	25.712	5.382	4.48	
LNG	27.752	5.73	24.032	3.712	5.37	
Oil	5.92	5.49	5.13	5.06	4.88	
P-G	5.43	6.21	6.89	7.88	8.65	
Hyd	2.53	2.58	2.63	2.81	2.71	

표 7은 비퍼지(Crisp)와 퍼지(Fuzzy) 비용특성을 비교한 것이다. 비퍼지(Crisp)와 퍼지(Fuzzy)특성 모두에 대하여 CO₂ 가스배출제약조건을 고려하면 비용이 높아짐을 알 수 있다. 이는 상대적으로 CO₂ 가스를 보다 많이 발생시키는 석탄화력보다 원자력의 비중을 높이고 선택하기 때문이다. 표 8은 지망수준변화에 따른 만족도의 변동을 나타낸 것이다. 예산확보가 엄격할수록 만족도는 저하함을 알 수 있다. 그림 3은 예산확보의 지망수준과 만족도의 관계를 보인 것이다. 만족도 0.1을 증가시키기 위하여 예산이 1,500억원 정도 소용됨을 알 수 있다. 표 7및 표 8에서 APC는 CO₂, SO_x 와 NO_x 제약조건을 의미한다.

한편, 그림 4는 원자력 건설비 단가에 따른 감도해석을 실시하여본 본 결과이다. 원자력 건설비 단가가 10%씩 증가함에 따라 총 비용이 약 2,860억원이 증가함을 알 수 있었다.

표 7. 세 경우의 최적전원구성 총비용평가 [단위:10억원]

	건설비 (고정비)	연료비 (가변비)	총 비용	만족도
APC를 고려하지않은 비 퍼지 (Case0)	4,475.10	11,238.99	15,714.09	-
APC를 고려한 비 퍼지 (Case 1)	4,498.82	12,018.50	16,517.32	-
APC를 고려한 퍼지 (Case F1)	4,498.82	12,018.50	16,517.32	0.93

표 8. 지망수준(비용)변화에 따른 만족도 변화

	Cases	지망수준 Z ₀ [조원]	만족도 λ
APC 계약용 고려한 퍼지	F0	16.5	0.99
	F1	16.4	0.93
	F2	16.3	0.87
	F3	16.2	0.80

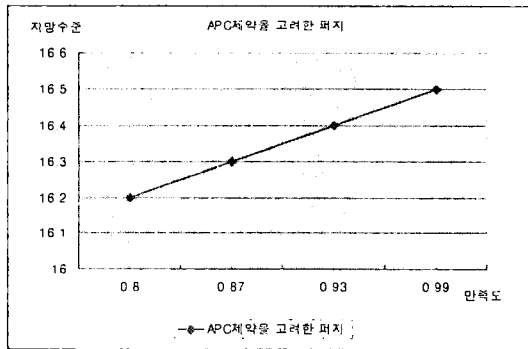


그림 3. 지망수준(비용)과 만족도의 관계

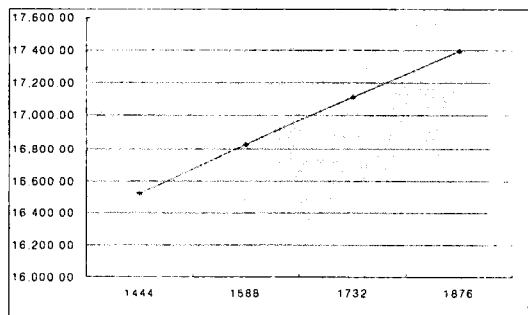


그림 4. 원자력 건설비 증가에 따른 총비용의 변화

4. 결 론

본 연구는 근래 발전설비운영의 환경오염에 대한 제약이 전 세계적으로 강하게 대두되면서 최근 료토의정서가 채결되는 등 이에 대한 제약이 사회적, 경제적으로 매우 심각하게 고려되어야하는 시점에 도달함에 따라 전원계획도 이에 반맞추어 경제성, 신뢰성 및 가스배출량의 제약조건도 고려한 기존의 수학적 모델을 확장하여 예산확보의 애매성 그리고 신뢰도기준의 유연성을 고려할 수 있는 수학적 모형을 제시하였다. 이를 이용하여 우리나라 제3차 수급계획의 자료들 기반으로 하여 2006년도를 기준년도로 정하고 2011년, 2016년, 2021년 2026년 그리고 2030년도까지의 적정전원구

성을 살펴보았다. 제안하는 방법을 이용하여 우리나라 2030년도의 적정전원구성문제를 살펴본 본 결과 만족도=0.93수준에서 원자력은 33.91%, 석탄화력의 구성비는 다소 감소하여 24.51%, 그리고 LNG화력은 석탄보다 다소 높은 25.41%로 함이 적절하다고 얻어졌으며 원자력과 계통운영상 매우 밀접한 관계가 있는 양수발전원은 8.71%로 함이 적절하다고 얻어졌다. 그리고 대기가스배출제약조건을 고려함에 따라 총비용이 증가하였으며 이는 대기가스배출제약조건을 고려함에서 비롯된 것이므로 그 비용을 “대기가스배출제약비용원가”라고 할 수 있으며 우리나라에서는 그 값이 대략 0.82[원/MWh]로 얻어졌다. 이는 비록 하나의 예시에 불과하지만 차후에 CO₂ 가스 배출권의 거래시장에서의 거래가격의 기초자료로 활용될 것으로 기대된다.

본 연구에서는 “비용(경제성)은 최소화” 및 “공급예비율(신뢰도)은 최대화”와 같은 통상 전력계통계획에서 발생하는 상호 배타적인 성격을 지닌 목적함수들을 기존의 “파레토포해”를 찾는 것을 벗어나 퍼지이론을 사용하여 보다 손쉽게 처리하도록 하였다. 이는 앞으로 전원개발의 최고의사결정자 및 정책결정위원회가 전원개발계획업무를 담당하는 숙련된 실무경험자의 풍부한 실무지식을 정보기반으로 구축하여 지망수준과 엄격성을 퍼지집합에서의 멤버쉽함수(Membership function)의 입력자료로 사용함으로써 다년간 실무경험에서 쌓인 지식을 적극적으로 활용할 수 있는 기회를 제공하여줄 것으로 기대된다.

한편, 이번 논문에서는 퍼지집합이론에 의해 예산확보의 불확실성, 장기계획에서 사용하는 신뢰도기준의 유연성만을 고려하는 수학적 모형만을 제시하였으나 다음 논문에서는 대기가스와 에너지 자원의 불확실성 등을 고려한 모형을 제시할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 산업자원부의 지원 하에 에너지경제연구원 및 서울대학교 전력신뢰도및품질연구센터의 협력 아래 이루어졌으며 관련된 분들께 깊이 감사함을 드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Hisham Khatib, *Economic Evaluation of Projects in the Electricity Supply Industry*, IEE Power & Energy Series 44., MPG Books Limited, Bodmin, Cornwall, 2003.
- [2] 산업자원부 기후변화대책팀, *기후변화협약 대응 에너지산업부문 주요대책*, 산업자원부 기후변화대책팀 보고서, 2005년 9월.
- [3] 서세옥, *재생 가능에너지보급배경과 보급지원책 -EU, 일본, 한국의 비교분석-* 일본국립오비히로축산대학, 박사학위논문, 2005년.
- [4] 산업자원부 공고 제 2006-349호, *제3차 전력수급기본계획 (2006-2020)* 2006년 12월 12일.
- [5] Hongsik Kim, Seungpil Moon, Jaeseok Choi, Soonyoung Lee, Daeho Do, and Madan M. Gupta, “Generator Maintenance Scheduling Considering Air Pollution Based on the Fuzzy Theory”, *IEEE International Fuzzy Systems Conference Proceedings*, Vol. III, pp. 1759-1764, August, 1999.
- [6] W.J.M. Kikert, *Fuzzy theories on decision-making*, Martinus Nihoff, 1978.
- [7] H.J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and Its Applications*, Kluwer-Nijhohh Boston, pp.220-234, 1986.
- [8] Jaeseok Choi, TrungTinh Tran, Jungji Kwon, A(Rahim) A. El-Keib and Junzo Watada, “Emissions Constrained Multi-Criteria-Best Generation Mix Using Fuzzy Dynamic Programming” *IJICIC(International Journal of Innovative Computing, Information and Control)*, Vol.3 No.1, pp.41-52, Feb., 2007.