

CBP 시장 체제하에서의 전력수급계획 수립 체계에 관한 연구

논문
58-5-8

A Study on the Generation Expansion Planning System Under the Cost Based Pool

한석만* · 김발호†
(Seok-Man Han · Balho H. Kim)

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 cannot use 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.

Key Words : Power expansion planning, Multi-criteria decision making, Power markets, Regulator's power planning model, GENCO's investment model, Optimization model

1. 서론

우리가 사용하는 전력은 발전, 송전, 배전설비를 거쳐 소비자에게 제공되고 있다. 전력은 공급과 소비가 동시에 일어나고 저장할 수 없다는 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[1].

사회적 비용을 최소화하는 방향으로 전력수급계획을 수립하였다. 또한 이렇게 수립된 수급계획은 요금제도로 반영되어 전력회사의 수익성을 보장할 수 있었다[1,2].

그러나, 다수의 발전사업자가 존재하는 전력시장 체제하에서는 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[3,4,5].

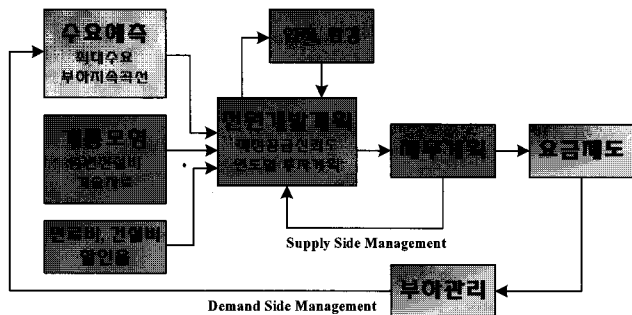


그림 1 수직통합 전력회사의 전력수급계획 수립 체계
Fig. 1 Power expansion planning system of vertically integrated power company

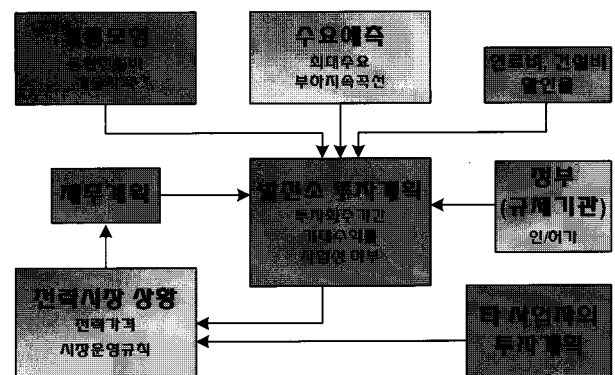


그림 2 발전사업자의 발전소 투자계획 수립 체계
Fig. 2 Generation investment planning system of GENCO

과거 수직통합적 전력회사는 발전, 송전, 배전설비를 모두 소유, 운영, 계획하였기 때문에, 적정 공급신뢰도를 유지하고

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 고려

† 교신저자, 정회원 : 홍익대 전기정보제어공학과 부교수·공학박
E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr
* 정 회원 : 홍익대학 전기정보제어공학과 박사과정
접수일자 : 2009년 2월 24일
최종완료 : 2009년 4월 16일

해 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. CBP 시장 체제 하에서의 전력수급계획 수립 체계

2.1 현재의 전력수급계획 수립 체계

현재의 전력수급계획 수립 절차 및 성격을 살펴보면, 법적 절차로서 전기사업법 제25조에 의하여 산업자원부 장관은 전력수급의 안정을 위하여 전력수급기본계획을 수립 공고한다. 이것은 매 2년 단위로 수립되고 이를 위하여 실무분과위원회의 구성되어 검토되고, 전력정책심의위원회 심의(전기사업법 시행령 제27~33조)를 거치고 공청회를 개최한 후 확정되어 이에 따라 사업자 별 발전기 건설이 시행된다[6].

전력수급계획의 성격은 시간에 따라 변화하였으며 2001년 4월의 구조개편 이전까지는 한국전력이 계획을 입안하고 제출한 계획안을 정부가 검토 확정하며, 독점사업자인 한국전력이 발전기를 건설하였다. 이때에는 한전이 독점 공기업 형태의 유일한 전력회사였으므로 한국전력의 장기투자계획 성격이 강했다. 전력수급계획수립 방식은 아래 그림의 기준계획 수립의 경우와 동일하다. 2001년 4월의 구조개편 이후부터는 사업자의 계획을 존중하는 방식으로 전환하였으며 향후 도매경쟁 도입을 전제로 하여 전력수급안정 및 경쟁의 활성화를 위한 수급전망 정보 제공, 경쟁구도 하에서의 수요와 공급의 균형을 지향하였다. 신재생에너지 등 정부의 신재생에너지원에 의한 정책은 별도로 반영되었다. 과거와는 달리 사업자의 건설의향을 접수하여, 건설이 확정적인 사업을 최종 전력수급계획에 포함하여 발표하였다. 즉 사업자 계획을 토대로 하여 연도 별 발전기 건설규모, 전원구성비, 공급신뢰도 등의 전력수급계획을 작성하였다. 또한 별도의 "기준계획"을 작성하여 참고자료로서 제시하였다. 현재의 전력수급계획 방법은 다음과 같다. 즉 최소비용의 계획을 전산모형을 사용하여 도출하고 기준을 제시하고 사업자의 의향조사를 바탕으로 하여 발전설비확장계획을 작성한다[6].

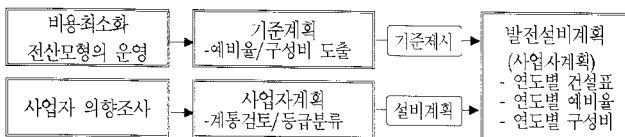


그림 3 현재의 발전설비계획 수립 체계

Fig. 3 Generation expansion planning system in current

현재의 발전설비계획 수립 체계는 크게 규제자의 비용최소화 계획안을 기준으로 사업자의 의향을 받아들이는 방식으로 진행되고 있다. 그러나 규제자는 비용최소화 계획안만을 기준으로 제시하기 때문에 사업자들이 원하는 계획과

는 차이가 발생할 수 있다. 본 논문에서는 이러한 괴리를 줄일 수 있는 체계를 제안하였다.

2.2 제안하는 전력수급계획 수립 체계

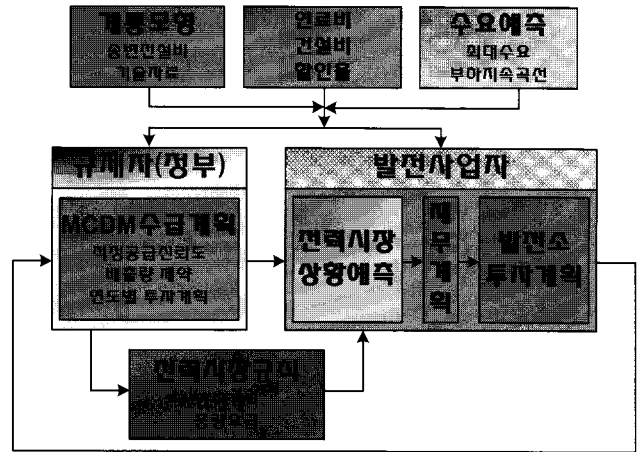


그림 4 제안하는 전력수급계획 수립 체계

Fig. 4 Proposed generation expansion planning system

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 투자의사를 반영하도록 다기준 의사결정 모형을 사용한다. 규제자의 계획안과 사업자의 계획안이 수렴되지 않을 경우에는 전력가격의 산정방법과 용량요금 정산가격의 증감 등과 같은 시장운영 규칙을 수정하여 두 계획안을 수렴시킬 수 있을 것이다.

3. 수립체계 모의 전산 모형

본 논문에서는 제안한 전력수급계획 수급 체계를 모의할 수 있는 전산모형을 개발하였다(그림 5). 규제자와 사업자의 계획안을 비교하여 차이가 있을 경우 규제자의 계획을 변경시키고 변경된 계획안에 따라 사업자의 계획안도 수정되는 알고리즘을 채택하였다. 이러한 일련의 과정으로도 수렴되지(같아지지) 않으면 시장규칙 중 하나인 용량요금을 변경하여 모든 계획안이 변경되도록 하였다.

3.1 규제자의 전력수급계획 모형

3.1.1 다기준 의사결정 이론

다기준 의사결정은 상충되는 복수의 기준이 존재하는 상황에서 최적대안을 선택하는 의사결정이다. 예를 들면, 비용과 생산시간, 성장과 분배와 같은 요소들이 그 예이다. 만약 다기준 모두를 동시에 만족시키는 해가 이상적인 해라면, 우리는 그 해를 도출할 수 없다. 요소들이 서로 상충하기 때문이다. 따라서, 이상적인 해에 가까워지도록 하기 위해서는 기준들 사이의 타협이 필요하다. 또한, 각 기준들로 측정된 서로 다른 단위가 존재하는 복합적 척도 문제가 발생한다.

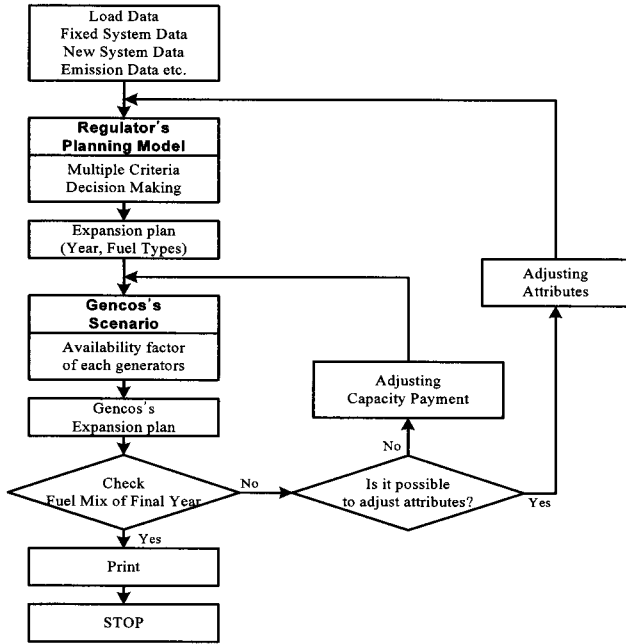


그림 5 수급 체계 모의 전산모형
Fig. 5 Simulator of power expansion planning system

이러한 문제를 해결하기 위해 Zeleny[7]는 대안과 이상향 사이의 근접정도(거리척도)를 측정하여 가장 근접한 대안을 선택하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 거리척도를 상대편차로 정의하여 복합적 척도 문제를 해결하였다.

또한, Mitten[8]은 동적계획법의 목적함수가 실가치함수(real valued return function)가 아니더라도 세가지 조건을 만족시킨다면 동적계획법의 틀 안에서 문제를 해결할 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법은 선호도관계를 이용하기 때문에, 다양한 목적함수를 가진 다단계 의사결정 문제에 적용이 가능하다.

3.1.2 규제자 모형의 수학적 정식화

본 논문에서는 다기준 의사결정 기법을 적용하여 모형을 설계하였다. 제안하는 모형에서는 비용최소화 목적함수를 정부주도형 수급계획의 속성으로, 투자의사반영 최대화 목적함수를 시장주도형 수급계획의 속성으로 정의하였다. 또한, 선호도 우선 동적계획법을 적용하기 위한 선호도는 각 속성으로 이루어진 거리척도를 사용하여 복합적 척도 문제를 해결하였다[9].

$$MAX \sum_{t=1}^T P_t(F_t^{Gov}(x_t), F_t^{Mar}(y_t)) \quad (1)$$

$$s.t. LOLP_t(x_t) \leq C_t, \quad \forall t \quad (2)$$

$$CO_2Emission_t(x_t) \leq C_t^{CO_2}, \quad \forall t \quad (3)$$

$$x_t = x_{t-1} + u_t, \quad \forall t \quad (4)$$

$$u_t \geq 0, \quad \forall t \quad (5)$$

$$y_t \subset x_t, \quad u_t \subset x_t$$

여기서,

t : 연도

T : 계획기간

x_t : t년도의 발전설비

y_t : t년도까지 건설되는 신규설비

$P_t(\cdot)$: t년도의 선호도 계산함수

$F_t^{Gov}(\cdot)$: 정부주도형 속성(비용)

$F_t^{Mar}(\cdot)$: 시장주도형 속성(투자의사, 신규설비의 발전량)

$LOLP_t$: t년도의 공급신뢰도

C_t : t년도의 공급신뢰도 기준

$CO_2Emission_t$: t년도의 이산화탄소 배출량

$C_t^{CO_2}$: t년도의 이산화탄소 배출제약

u_t : t년도의 발전설비 투입, 폐지용량

식 (1)는 계획기간의 총 선호도를 최대화하는 목적함수이다. 이 목적함수에는 정책기능을 반영한 비용최소화 목적함수와 시장기능을 반영한 투자의사 최대화 목적함수가 포함되어 있다. 식 (2)는 공급신뢰도 기준을, 식 (3)은 온실가스 배출제약을 의미한다. 식 (4)는 설비의 증설과정을 나타내는 식이며, 식 (5)는 신규발전설비의 용량이 항상 0보다 크다는 것을 의미한다.

비용최소화 목적함수는 식 (6)와 같이 건설비용을 계산하는 부분과 운전비용을 계산하는 부분으로 이루어져 있다.

$$F_t^{Gov} = J_t(u_t) + G_t(x_t) \quad (6)$$

J_t : t년도의 건설비 함수

G_t : t년도의 운전비 함수

투자의사 최대화는 발전사업자들의 경우 이익을 극대화하기 위해 신규 설비의 발전량을 최대화시킬 것이라는 가정에 식 (7)과 같이 정식화 하였다.

$$F_t^{Mar} = H_t^j(y_t^j) \quad (7)$$

H_t^j : t년도의 j형식 발전기의 발전량,

$j \in \{LNG, Oil, Coal, Nuclear\}$

따라서 선호도는 정부주도형 속성인 비용과 시장주도형 속성인 발전량의 함수로 정의할 수 있으며, 각 년도의 속성은 식 (8)과 같은 거리척도로 측정할 수 있다.

$$P_t = \left[\sum_i w_i \cdot \{d_i(F_t^i)\}^2 \right]^{1/2} \quad (8)$$

w_i : 속성i의 가중치, $i \in \{Gov, Mar\}$

또한 상대적인 편차 d_i 는 식 (9)와 같이 현재의 함수 값이 가장 좋은 값과 가장 나쁜 값 사이에서 어떤 위치에 있는지를 결정한다. 즉, 대안 f중에서 속성i가 가장 좋은 속성값

을 가지고 있다면, $d_i = 1$ 이 되고, 가장 나쁜 속성값을 가지고 있다면, $d_i = 0$ 이 된다.

$$d_i = \frac{f_i - worst_i}{best_i - worst_i} \quad (9)$$

또한, 각 목적함수에 대한 가중치를 통해 해당 속성을 얼마나 반영할지를 결정할 수 있다.

3.2 발전사업자의 발전설비투자 모형

본 논문에서는 발전사업자의 모형을 다음과 같은 단순한 형태로 가정하였다.

(투자가능최소이용율)
 = (설비이용율) - (용량요금정산가격 증가율) (10)

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.

3.3 속성 조정 모형

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.

$$\min_{\omega} |X^R - X^G| \quad (11)$$

$$s.t. \quad Regulator Model \quad (12)$$

$$GENCO Model \quad (13)$$

$$\omega \leq \omega_0 \leq 1 \quad (14)$$

$$0 \leq \omega_i \leq 1, i \neq 0 \quad (15)$$

$$\sum_i \omega_i = 1 \quad (16)$$

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

식 (11)은 두 개의 계획안을 수립시키려는 목적함수이고, 식 (14)은 비용 속성의 범위, 식 (15)은 기타 속성의 범위이다. 식 (16)는 가중치들의 합이 1이라는 것을 나타낸다. 식 (12)를 통해 X^R 가 계산되고, 식 (13)를 통해 X^G 가 계산된다.

4. 사례연구

계산의 편의상 다음과 같이 가정하였다.

- 검토대상기간은 15년이다.
- 신규발전설비의 종류는 2종류(발전사업자)이다.
- 식 (11~16) 최적화 모형의 목적함수 값이 0이 아닐 경우 용량요금정산가격 증가율은 3%씩 증가한다.
- 발전사업자의 투자 대안은 다음과 같다.

발전사업자	투자최소이용율(%)	대수
A	73	1
	68	1
	63	1
B	81	8
	78	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 이용율	69.5 %	79.2 %

MCDM 결과, 즉 규제자는 발전사업자 A가 3대, B가 9대를 건설하기를 원하지만, 발전사업자는 자신들의 투자계획에 따라 A는 1대, B는 8대를 건설하기를 원한다. 규제자의 계획안과 발전사업자의 계획안이 다르게 나타나는 결과를 알 수 있다. 두 계획안을 수립시키기 위해서는 규제자 모형의 속성별 가중치를 조정하는 방법과 시장규칙(용량요금)을 조정하는 방법이 있다.

(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 이용율	72 %	83 %

MCDM 결과, 즉 규제자는 발전사업자 A가 2대, B가 10대를 건설하기를 원하고, 발전사업자는 자신들의 투자계획에 따라 A는 2대, B는 10대를 건설하기를 원한다. 속성의 가중치와 시장규칙을 조정한 결과 규제자의 계획안과 발전사업자의 계획안이 일치됨을 알 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 여러 체제하에서의 전력수급계획에 대해서 논의하였다. 특히 CBP 체제의 수급계획에 대해서 논하였으며 규제자와 발전사업자의 입장을 반영할 수 있는 수급계획 체제에 대해 제안하였다. 본 논문에서 제안한 수급계획 체제는 정부주도형, 시장주도형 모델, 중도형 모델 모두 이용할 수 있는 확장성이 있으며, 다기준 의사결정 모형을 이용하여 비용최소화 뿐만 아니라 여타 다른 속성들도 개발하여 적용할 수 있는 장점이 있다. 또한 이러한 체제를 모의할 수 있는 전산모형을 개발하여, 사례연구를 통해 검증하였다.

향후 전산모형의 신뢰성을 높이는 작업이 필요하며, 수렴 속도 개선 및 대규모 실제통에 적용 가능하도록 보완해야 할 것이다. 또한, 다양한 여건을 반영할 수 있는 속성 개발에 관한 연구도 필요하다. 더 나아가 본 논문에서 간략하게 적용한 발전사업자의 투자모형을 현실에 맞도록 더욱 개선해야 할 것이다.

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] H. G. Stoll, “Least Cost Electric Utility Planning,” John Wiley & Sons, 1989
 [3] Yong-Hua Song & Xi-Fan Wang, “Operation of Market-oriented Power Systems,” Springer, 2003
 [4] Daniel Kirschen & Goran Strbac, “Fundamentals of Power System Economics,” John Wiley & Sons, 2004
 [5] Steven Stoft, “Power System Economics: Designing Markets for Electricity,” Wiley, 2002
 [6] 전력거래소, “제4차 전력수급계획기본계획”, 2008
 [7] Milan Zeleny, “Multiple Criteria Decision Making,” McGraw-Hill Book Company, 1982
 [8] L. G. Mitten, “Preference Order Dynamic Programming,” Management Science, Vol. 21, No. 1, pp.43-46, 1974
 [9] 한석만, 김발호, “다기준 의사결정 모형을 이용한 전력수급계획 모형에 관한 연구”, 전기학회논문지, 58권, 3호, 2009
 [10] 한국전력공사, “WASP-II 전산모형 운용 안내서”, 1993
 [11] IAEA, “WASP-IV User’s Manual,” 2001
 [12] 김영창, “환경문제를 고려한 다목적 전원개발계획에 관한 연구”, 한국과학기술원, 1993
 [13] J. Vardi & B. Avi-Itzhak, “Electric Energy Generation Economics, Reliability, and Rates,” The MIT Press, 1981

저 자 소 개



한 석 만 (韓錫萬)

1976년 12월 5일생. 2002년 홍익대 전기공학부 졸업. 2004년 동 대학원 전기정보제어공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 박사과정

Tel : 02-338-1621, Fax: 02-320-1119
 E-mail : hseokman@gmail.com



김 발 호 (金發鎬)

1962년 7월 12일생. 1984년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1984~1990년 한국전력공사 기술연구본부 전력경제연구실 근무. 1992년 Univ. of Texas at Austin 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 졸업(공학박사). 1999년~현재 홍익대학교 전기정보제어공학과 부교수

Tel : 02-320-1462, Fax : 02-320-1119
 E-mail : bhkim@wow.hongik.ac.kr