

전력시장 및 계통 데이터의 불확실성을 반영한 송전망확장의 경제성 평가

이재희*, 김진아*, 주성관*, 김태훈**, 유현수**, 조광욱**
고려대학교*, 전력거래소**

Economic Assessment of Transmission Expansion in Uncertain Market

Jae-Hee Lee*, Jin-A Kim*, Sung-Kwan Joo*, Tae-Hoon Kim**, Heon-Su Ryu**, Kang-Wook Cho**
Korea University*, Korea Power Exchange**

Abstract - 경쟁적 전력시장에서는 이익주체의 다양화로 송전망확장은 개별 시장참여자의 경제적 편익에 큰 영향을 미칠 수 있다. 송전설비 투자계획은 미래 전력 시장 및 계통의 예측을 바탕으로 하기 때문에 예측의 불확실성에서 발생하는 설비투자자의 과잉·과소투자의 최소화 방안이 필요하다. 따라서 본 논문은 송전망확장사업의 경제적 가치를 평가하는 방법에 대해 연구했고 미래 시장 및 계통의 불확실성을 반영하기 위해 전력수요와 연료가격의 과거 예측오차의 표준편차를 이용한 예측값의 확률밀도함수의 모델링 방법을 이용한 송전망확장의 경제성 평가 방법을 제시한다. Monte Carlo Sampling을 이용, 송전망확장으로 인한 시장참여자의 경제적 편익 변화의 기대값과 편익 변화의 범위를 산출함으로써 설비투자의 리스크와 잠재효과에 대해 분석한다.

될 수 있는데 경제적 편익의 비선형 관계로 인해 Monte-Carlo Sampling을 이용하여 경제적 편익의 확률적 분포를 구할 수 있다. 즉, Monte-carlo sampling을 이용하면 확률분포함수로 모델링된 변수를 다수의 확정적 모델로 대체하여 비선형관계의 해석이 가능하게 된다.

2.2.1 예측 데이터의 불확실성

전력수요의 경우 예측오차(Forecast error)가 정규분포를 따르는 경향을 이용하여 확률밀도함수(Probability Density Function)로 모델링한다. 즉, 식(1)의 예측 오차율을 계산 후 정규분포로 가정된 오차율의 표준편차를 구하여 미래 전력 수요의 불확실성으로 적용한다. 전력수요의 예측오차율은 아래와 같이 구한다[2].

$$FE_D = \frac{D_{Actual} - D_{Forecast}}{D_{Actual}} \quad (1)$$

- D_{Actual} : 실제 전력수요
- $D_{Forecast}$: 예측 전력수요

연료가격의 예측오차가 로그정규분포를 따른다고 가정하면 연료가격의 예측오차율은 아래와 같이 구한다.

$$FE_F = Ln\left(\frac{F_{Forecast}}{F_{Actual}}\right) \quad (2)$$

- F_{Actual} : 실제 연료가격
- $F_{Forecast}$: 예측 연료가격

2.2.2 예측 데이터 모델링

전력수요의 불확실성 모델링은 예측 항과 예측오차로 인한 랜덤 항을 포함한다. 즉, 확정적으로 예측된 전력수요에 과거 전력수요 예측오차를 더함으로써 예측의 부정확성을 모델링한다.

$$D_t = D_{t,forecast} + \sigma_D \epsilon \quad (3)$$

- σ_D : FE_D 의 표준편차
- ϵ : $N(0, \sigma^2)$ 의 분포

연료가격 부정확성을 모델링은 아래와 같다.

$$Ln(F_t) = Ln(F_{t,forecast}) + \sigma_F \epsilon \quad (4)$$

$$F_t = F_{t,forecast} \times \exp(\sigma_F \epsilon) \quad (5)$$

- σ_F : FE_F 의 표준편차
- ϵ : $N(0, \sigma^2)$ 의 분포

2.3 시장참여자의 편익 변화 사례연구

지역별한계가격(Zonal Pricing Market)으로 전력시장 가격이 결정되는 시장에서의 소비자 편익은 아래와 같다.

$$CB = VOLL - D \times ZLMP \quad (6)$$

- VOLL : 공급 저장비용
- D : 전력수요
- ZLMP : 지역 내 한계가격

발전사업자잉여는 아래와 같이 계산할 수 있다.

$$PB = P \times ZLMP - Cost \quad (7)$$

- P : 발전량
- Cost : 발전비용

2.3.1 확정적 송전망확장의 경제성 평가

아래 그림은 두지역의 예제 계통에서 두지역간 송전선로의 용통계약이 200MW에서 300MW로 증가한 경우를 보여주고 있다. 예제계통은 A

1. 서 론

송전설비의 계획적 투입은 국내 전력 수요 및 전원의 지역적 불균형적 분포로 인해 발생하는 수급 불균형의 해결에 중요한 역할을 한다. 이런 송전설비의 투입은 계통 신뢰도 향상뿐만 아니라 혼잡비용의 감소 등의 경제적 효과를 기대할 수 있다. 특히, 발전 및 송배전 사업자 분리 이후 전력시장에 다수의 이익주체가 등장하면서 신설 송전설비의 투입은 개별 시장참여자의 경제적 편익에도 영향을 미치게 되었다. 이런 영향은 각 참여자에 균등한 변화를 발생시키지 않기 때문에 송전망 확장 계획 단계에서 시장참여자에 대한 경제적 편익 변화가 고려되어야 한다[1-3].

송전설비 신설로 인한 시장 참여자의 경제적 편익 변화에는 수많은 불확실성을 가진 변수가 작용하는데 그 중 전력수요와 연료가격의 불확실성은 전력가격에 가장 큰 영향을 미치고 있다. 송전망확장 경제성 평가에는 이런 불확실성을 가진 변수로 인한 설비투자의 잠재적 효과, 위험도해석 등 불확실성 해석이 수반되어야 한다.

이에 본 논문에서는 송전설비의 경제적 가치를 측정하기 위한 평가방법과 전력수요, 연료가격의 불확실성을 반영할 수 있는 Monte Carlo Sampling을 이용한 확률적 경제성 평가방법에 대해 기술하고자 한다.

2. 본 론

2.1 송전망 확장의 경제성 평가

송전망 확장 계획의 경제성 평가는 예측된 미래 전력시장 데이터를 기반으로 진행된다. 미래 전력 시장 예측은 전력수요량, 연료가격, 발전원의 신설 및 폐지, 송전선 확장 계획, 발전·송전 설비의 고장 등의 세부적 예측 데이터를 종합하여 도출되어 진다. 송전망 확장의 경제성 평가는 다수의 계획안 중에서 신뢰도 평가를 통과한 확정적 데이터로 구성되어 있는 몇몇의 계획안을 전력 계통 모델, 국내시장 가격 모델, 연료비 데이터, 부하 데이터 등에 불확실성을 적용하여 시장 및 계통을 모델링한다. 송전망 확장 사업의 경제적 가치는 송전설비의 증설 전후의 기대편익(Expected Benefit) 및 편익범위(Benefit Range)를 통해 평가할 수 있다. 기대편익(Expected Benefit) 및 편익범위(Benefit Range)로 산정된 값을 통해 투자자의 위험도 및 예상 편익 등 투자 결정에 도움이 되는 추가 정보를 제공할 수 있다.

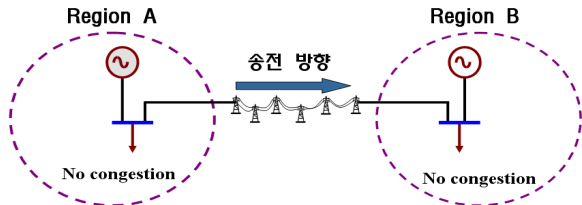
2.2 확률 변수의 모델링

불확실성을 가진 변수는 랜덤한 변수와 랜덤하지 않은 변수로 구분되는데 이에 따라 모델링 방법이 달라진다. 랜덤 변수로는 전력수요, 연료가격, 수자원 상황, 송전선 및 발전기 사고 등이 있고 랜덤하지 않은 변수는 발전기 진출입, 송전설비 진출입, 송전설비 건설비용 등이 해당한다[4]. 이 중 랜덤 변수인 전력수요, 연료가격은 확률밀도함수로 모델링

지역에 상대적으로 값싼 전력이 생산되고 B지역에 상대적으로 높은 부하가 분포하기 때문에 송전은 A지역에서 B지역의 방향으로 진행된다.

송전망 증설로 인한 시장참여자의 경제적 편익 변화의 관찰을 위해 아래와 같은 가정을 둔다.

- 신설송전설비 : 선로 용통제약을 200MW에서 300MW로 증설
- 가격체계 : 지역별한계가격체계
- Monte-carlo sample : 100
- 확률 변수는 서로 독립적이다.



〈그림 1〉 예제계통

〈표 1〉 예제계통 예측 데이터

	Region A	Region B
$D_{t,forecast}$	100 MW	200MW
$F_{t,forecast}$	10 \$/MW	10\$/MW
한계비용	$1 \cdot F_{A,t,forecast}$	$2 \cdot F_{B,t,forecast}$

A지역의 발전사업자가 300MW의 전력을 발전하고 B지역 발전사업자의 발전량은 0MW이다. 이로 인하여 A지역의 ZLMP는 10 \$/MWh, B지역의 ZLMP는 20 \$/MWh로 결정된다. 송전망 증설이 이루어진 후에는 A지역의 발전사업자가 300MW의 전력을 발전하고 B지역 발전사업자의 발전량은 0MW로 확장 전과 동일하다. 그러나 A지역의 ZLMP는 10 \$/MWh, B지역의 ZLMP는 10 \$/MWh로 결정되어 B지역의 전력가격이 낮아진다, 증설로 B지역의 소비자잉여를 \$2000 증가시키고 나머지 시장참여자에게는 아무런 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

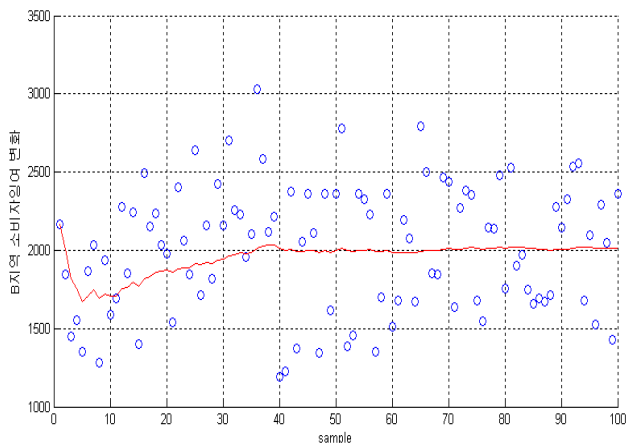
2.3.2 확률적 송전망확장의 경제성 평가

표.2는 A, B 지역의 전력수요 및 연료가격의 예측오차율의 표준편차를 보여주고 있다.

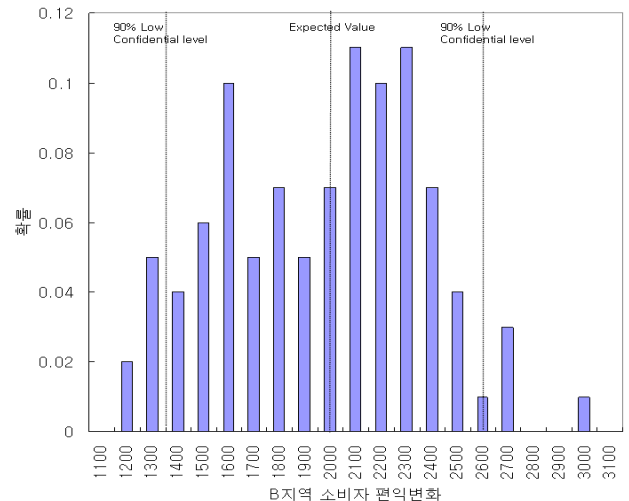
〈표 2〉 예측오차 데이터

	Region A	Region B
σ_D	1	2
σ_F	1	1

송전망 확장은 인해 B지역소비자의 경제적 편익 이외 나머지 시장참여자의 경제적 편익에는 영향을 주지 않았다. 그림 2는 각 랜덤 샘플에 의한 B지역 소비자 잉여변화와 이를 샘플 수 증가에 따른 누적 평균을 보여준다. 모든 샘플의 평균값, 즉 기대값은 \$2000로 확정적 방법과 다르지 않지만 신뢰구간 90%에서 하한 \$1350, 상한 \$2600의 잠재적 효과를 보이고 있다.



〈그림 2〉 B지역 소비자 잉여 변화



〈그림 3〉 B지역 소비자 잉여 변화 확률밀도분포

확정론적 접근의 경제적 편익 변화 분석에 따른 송전설비 투자는 과대 혹은 과소투자의 위험성을 내포한다. 반면 확률적 방법은 계통 및 시장 데이터 예측의 불확실성을 반영할 수 있어 투자 위험 등에 대한 능동적인 대처 및 적절한 투자 계획 수립을 가능하게 한다. 특히 예제계통의 하한 \$1350 경우에는 설비투자금의 상한을 결정할 수 있는 자료가 된다.

3. 결 론

본 논문에서는 송전망확장의 경제성 평가를 위한 확률론적 방법에 대해 기술하였다. 전력수요와 연료가격의 불확실성을 경제성 평가에 반영하기 위해 예측오차율의 표준편차를 이용한 예측값의 확률밀도함수로 모델링하는 방법에 대해 기술하였다. 현재 한전계통에 적용을 연구 중에 있으며 계통계획 단계에서 개별시장참여자의 편익변화에 대한 리스크 분석, 잠재적 효과를 고려할 때 활용될 것으로 보인다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 지원에 의하여 수행된 과제임 (I-2007-2-031).

[참 고 문 헌]

- [1] C. Dechamps and E. Jamouille, "Interactive Computer Program for Planning the Expansion of Meshed Transmission Networks," *Elect. Power & Energy Syst.*, vol. 2, no. 2, pp. 103 - 108, April 1980.
- [2] Hugo A. Gil, Edson Luiz da Silva, and Francisco D. Galiana, "Modeling Competition in Transmission Expansion," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 17, no. 4, November 2002.
- [3] Risheng Fang and David J. Hill, "A New Strategy for Transmission Expansion in Competitive Electricity Markets," *IEEE Trans. Power Syst.*, vol. 18, no. 1, February 2003.
- [4] M. O. Buygi, G. Balzer, H. M. Shanechi and M. Shahidehpour, "Market-Based Transmission Expansion Planning," *IEEE Transaction on Power System*, Vol 19, pp.2060-2067, 2004
- [5] CAISO, "Transmission Economic Assessment Methodology", 2004