

시장환경에서의 계통계획 기법 연구

이상호, 이정호, 오태규  
한국전기연구원

A Study on the Power System Planning in the Competitive Market

Sang-Ho Lee, Jeong-Ho Lee, Tae-gyu Oh  
KERI (Korea Electrotechnology Research Institute)

**Abstract** - 전력계통이 시장환경이 바뀌어감에 따라 기존의 독점체제하에서의 계통계획과는 달리 시장의 영향, 불확실성의 증가 등을 고려한 새로운 개념의 계통계획 기법이 필요하게 되었다. 본 논문에서는 계통혼잡비용을 바탕으로 송전망 확충의 경제성을 평가하는 기법을 제안하고 이를 바탕으로 송전망 확충의 경제성을 평가하는 방식을 제안한다.

1. 서 론

발전과 송전이 분리된 새로운 전력산업 환경 하에서는 발전 및 수요의 불확실성으로 인해 송전설비계획에서 요구되는 장기간의 시뮬레이션은 복잡해지고 미래에 대한 예측이 어려워지고 있지만 송전회사는 적절한 송전설비계획을 통해 송전망의 성능을 요구수준 이상으로 유지해야 하며 이를 위해 다양한 계통확충 및 보강 방안을 수립해야 하는데 경쟁적 전력시장체제에서는 이에 대한 선택의 문제를 객관적이고 투명하게 결정할 수 있는 계통계획 프로그램의 개발이 필요하다.

송전망 제약에 의한 혼잡비용의 계산은 계통의 제약조건과 수급조건, 그리고 계산방식 등에 따라 계산결과가 달라질 수 있으며 송전망 계획단계에서의 혼잡비용 계산의 방법론을 객관적으로 정립하고 이를 이용하여 송전설비계획의 경제성 평가 기법을 개발하여 적용할 필요가 있다. 결과적으로 송전혼잡을 고려한 효율적인 송전설비계획은 소비자 전기요금의 감소 및 자원의 효율적 배분으로 이어져 국가경제와 사회후생의 증대에 기여할 것으로 기대된다.

송전혼잡을 고려한 계통계획은 전력시장이 활성화 되어 있는 미국, 영국, 호주 등에서 많은 연구를 진행해 왔다. NETA 전력시장 체제하의 영국에서의 송전설비는 NGC에 의해 건설되며 NGC는 송전혼잡비용이 인센티브와 직접 관계되므로 송전혼잡을 줄이도록 송전망을 건설하려는 강력한 인센티브가 존재한다. 그러나 송전혼잡을 줄이기 위한 송전망에 대한 투자는 송전요금에 대한 규제로 인해 계약을 받으므로 계통계획과 계통운영 간에 적절한 조화가 이루어지도록 하고 있다. 호주의 경우도 2002년부터 7개의 송전사업자에게 5개의 항목에 대해 인센티브 제도를 도입하여 운영하고 있으며 송전혼잡이 감소하도록 송전망을 건설할 유인이 존재한다. 미국의 경우 송전망 건설의 부족으로 인해 송전혼잡이 심해지고 있으며 2000년 뉴욕의 경우 하계기간의 혼잡비용이 7억 달러 (한화 8400억원)에 달한다고 보고되었다. 미국 GE사는 multiarea production simulation model을 포함하는 경쟁적 전력시장에서의 계통계획 프로그램을 15년만에 걸쳐 개발하였고 ABB사는 혼잡분석, 혼잡해소, 신뢰성 평가, 송전설비계획 및 경제성평가 기능 등을 수행할 수 송전분석 프로그램 (GridView)을 개발하여 송전분야의 시장시뮬레이션 및 경제성 평가에 적용하고 있다.

우리나라의 경우 계통계획과 계통운영의 주체가 구별

되어 있어 전력시장의 효율성제고를 위해 계통운영시의 송전혼잡을 고려한 계통계획의 수립은 중요한 문제이다. 계통계획과 계통운영의 차이를 감소시키고 효율적인 계통운영을 도모하기 위해서는 송전혼잡으로 인해 발생한 비용에 대한 정량화 및 예측이 필요하며 이를 고려한 계통계획기법의 확립이 요구된다.

본 연구에서는 경쟁체제하의 국내의 송전설비계획을 검토하여 국내 실정에 맞는 경제성 평가기법을 재정립하며 그에 따른 송전설비계획 경제성 평가 프로그램의 구현을 목표로 하고 있다.

2. 본 론

2.1 혼잡 비용의 정의

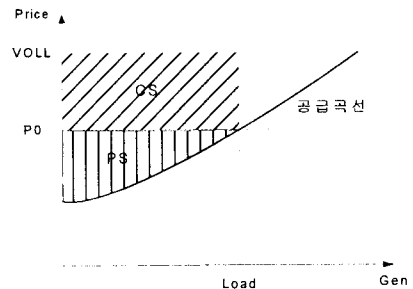


그림 1. 소비자, 생산자 잉여의 정의

계통에 손실이 없다고 가정하면 생산된 전력이 모두 소비되게 되어 발전량과 부하량은 같게 된다. (그림 1) 그림 1과 같이 공급곡선이 주어졌을 때 P0라는 가격에서 시장가격이 결정되었다고 하면 그림에서와 같이 소비자 잉여(CS)와 생산자 잉여(PS)가 결정된다. VOLL (Value of Lost Load)은 소비자가 정전없는 연속적인 전력공급을 받는 데에 지불할 의사가 있는 값인데 실제 지불한 가격은 P0이므로 소비자 잉여는 이 값의 차이에 사용한 전력량을 곱하면 된다. 즉, 소비자 잉여 CS(Consumer Surplus)는 다음과 같다.

$$CS = \int (VOLL - Price) \cdot Load = VOLL \cdot Load - CTL$$

생산자 잉여 PS(Producer Surplus)는 생산자가 받는 금액 PR(Producer Revenue)에서 생산비 PC(Production Cost)를 제한 것으로 나타낼 수 있다.

$$PS = PR - PC$$

사회적 잉여 SS(Social Surplus)는 소비자 잉여와 생산자 잉여의 합으로 표현될 수 있다.

$$SS = CS + PS$$

혼잡비용은 혼잡이 없는 경우의 사회적 잉여와 혼잡이 있는 경우의 사회적 잉여의 차로써 정의될 수 있다.

현재 국내 CBP 시장과 같이 모든 지역의 한계비용을

하나로 결정하는 전력시장에서 그림 2와 같이 두 영역 사이에 송전제약 T를 가지는 선로가 존재할 때의 혼잡 비용을 계산하여 보자. 먼저 송전제약이 없다고 가정하고 영역 2의 발전비용이 영역 1의 발전비용보다 낮다면 영역 2에서 영역 1로 전력을 전송하게 되고 영역 1, 2에서의 사회적 잉여는 그림 3, 그림 4와 같다.

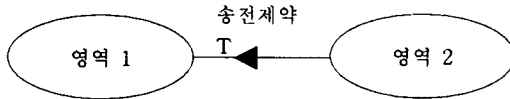


그림 2. 송전제약이 있는 모델 계통

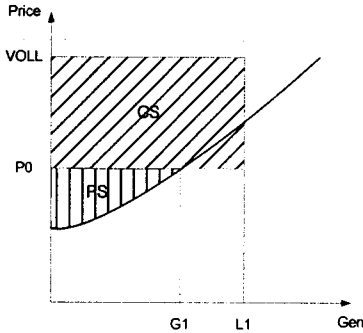


그림 3. 영역 1에서의 사회적 잉여

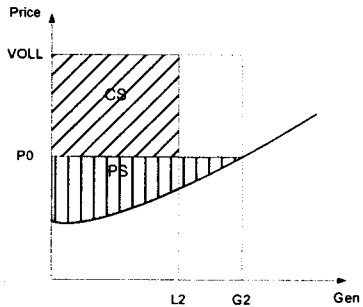


그림 4. 영역 2에서의 사회적 잉여

영역 1에서는 발전비용이 비싸기 때문에 영역 1의 부하량(L1)보다 작은 양의 발전을 하며 나머지는 영역 2에서 전송받게 된다.

이러한 상황에서 송전제약이 있어서 필요한 만큼의 전력을 모두 전송할 수 없게 되면 영역 2에 생산된 싼 전력을 모두 영역 1로 전송할 수 없게 되어 영역 1에서 더 비싼 발전기가 가동되므로 전체 한계비용은 P0에서 P1로 높아지게 된다. 영역 1에서는 송전제약이 없는 경우의 발전량 G1보다 많은 G1'을 생산하게 되고 영역 2에서는 송전제약이 없는 경우의 발전량 G2보다 작은 G2'을 생산하게 된다.

그림 3과 그림 5의 차이가 혼잡으로 인해 발생된 사회적 잉여의 차이므로 이를 영역 1에서의 혼잡비용으로 정의할 수 있으며 그림 6과 같다.

일반적으로 비용곡선의 기울기는 완만하기 때문에 그림 6의 영역의 면적을 근사적으로 다음과 같이 구해볼 수 있다.

$$\begin{aligned} \text{영역 1의 혼잡비용} &: \\ &(P_1 - P_0)(L_1 - G_1') + \frac{1}{2}(G_1' - G_1)(P_1 - P_0) \\ &= (P_1 - P_0)\left\{L_1 - \frac{1}{2}(G_1' + G_1)\right\} \end{aligned}$$

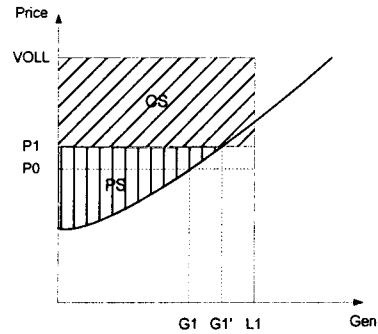


그림 5. 송전제약이 있는 경우 영역 1의 사회적 잉여

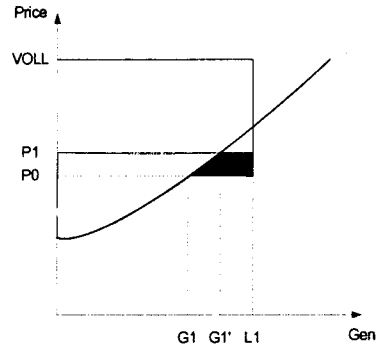


그림 6. 영역 1의 혼잡비용

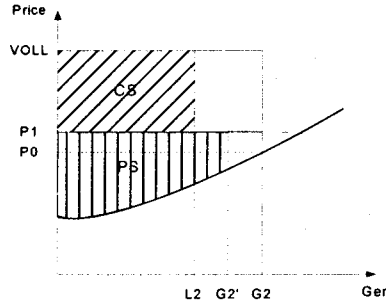


그림 7. 송전제약이 있는 경우 영역 2의 사회적 잉여

영역 2에서도 마찬가지로 혼잡이 발생한 경우에는 발전량이 G2에서 G2'으로 변화하게 되고 이로 인해 사회적 잉여가 변화하게 된다. 그 차이는 그림 4와 그림 7의 영역의 넓이의 차로 나타나고 비용곡선을 선형으로 근사하여 그 기울기를 k라고 하면 영역 2에서의 혼잡비용은 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} \text{영역 2의 혼잡비용} &: \\ &\frac{1}{2}k(G_2 - G_2')^2 - (P_1 - P_0)(G_2' - L_2) \end{aligned}$$

영역 1과 영역 2의 혼잡비용을 합하면 전체 계통의 혼잡비용이 얻어진다.

$$\begin{aligned} \text{전체 혼잡비용} &= \\ &(P_1 - P_0)\left\{L_1 + L_2 - \frac{1}{2}(G_1' + G_1) - G_2'\right\} \\ &+ \frac{1}{2}k(G_2 - G_2')^2 \end{aligned}$$

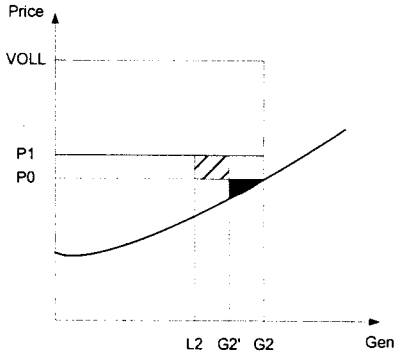


그림 8. 영역 2의 혼잡비용

비용함수가 주어질 경우에는 위와 같은 방식으로 혼잡비용을 정의할 수 있지만 간단하게는 총비용의 변화량으로써 혼잡비용의 개선량을 구해볼 수도 있다. 즉, 송전망 확충 전의 총비용에서 송전망 확충 후의 총비용을 제하면 송전망 확충으로 인한 혼잡비용의 개선량을 구해볼 수 있다. 총 사회적 이득 SB(Social Benefit)는 다음과 같이 송전망 확충 전의 총생산비용  $PC_{W/O}$ 에서 송전망 확충 후의 총생산비용  $PC_W$ 를 뺀 값으로 정의될 수 있다.

$$SB = PC_{W/O} - PC_W$$

## 2.2 사례 연구

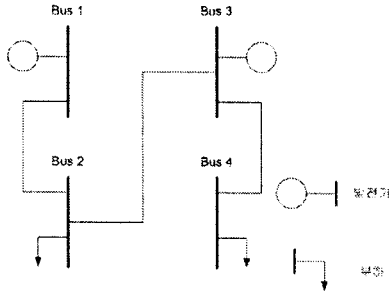


그림 9. 4모선 계통

$$C_1 = 0.00482P_1^2 + 7.97P_1 + 78.025, 25 \leq P_1 \leq 200$$

$$C_2 = 0.00194P_2^2 + 7.85P_2 + 310, 50 \leq P_2 \leq 300$$

그림 9의 계통에서 모선 2와 3 사이의 선로에 90MW의 송전계약이 있을 때 송전망 확충으로 5MW의 용량을 늘릴 수 있다고 하면 그 개선 효과는 다음과 같다.

조건	사회적 잉여의 차	총비용
혼잡이 없는 경우	-	3316.5
혼잡이 발생하는 경우	0.849	3318.8
송전망 확충 후	0.469	3317.7

그림 10의 계통에서 모선 3~6의 선로에 45MW의 송전계약이 있을 때 이를 개선하기 위하여 모선 2~6에 선로를 추가하는 것과 모선 1~6에 선로를 추가하는 대안을 비교하여 보자.

$$C_1 = 0.00533P_1^2 + 11.669P_1 + 213.1$$

$$C_2 = 0.00889P_2^2 + 10.333P_2 + 200.0$$

$$C_3 = 0.00741P_3^2 + 10.833P_3 + 240.0$$

$$50.0MW \leq P_1 \leq 200MW$$

$$37.5MW \leq P_2 \leq 150MW$$

$$45.0MW \leq P_3 \leq 180MW$$

조건	총비용
혼잡이 없는 경우	3046.413
혼잡이 발생하는 경우	3048.288
송전망 확충 대안 1	3046.413
송전망 확충 대안 2	3046.413

이 경우는 송전망 확충 대안 1, 2 모두 총비용면에서 같은 효과를 보이므로 투자비가 더 저렴한 대안으로 선택하면 되는 결과를 보인다.

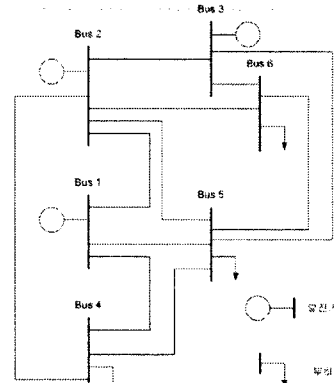


그림 10. 6모선 계통

## 3. 결 론

본 논문에서는 혼잡으로 인해 발생되는 생산자 잉여와 소비자 잉여의 차이로 혼잡비용을 정의하는 방식과 총 사회적 비용의 차로써 정의하는 방식을 제안하였다. 또한 제안된 혼잡비용의 정의를 이용하여 모델계통에서 혼잡비용을 계산하여 송전망 확충의 경제성을 평가하였다. 추가 연구를 통해 경제성 평가에 영향을 미치는 다양한 변수들의 영향 분석으로 더 엄밀한 경제성 평가 방법을 제안할 예정이다.

## [참 고 문 헌]

- "전력계통계획 수립기준에 관한 연구", 한국전력공사, 2001. 8.
- "송전선 혼잡처리 비용 및 송전선 이용료 설정에 관한 연구", 한국전력공사, 2000. 2.
- "계통계획 절차서", 한국전력공사, 2004. 5.
- "전력계통 운영 장기 발전방향", 한국전력거래소, 2004. 8.
- "Transmission Economic Assessment Methodology", California ISO, June 2004.
- "Contingency constrained economic dispatch algorithm for transmission planning", P.E.Berry, R.M. Dunnnett, Central Electricity Research Laboratories, UK, 1989
- "Power system expansion planning under uncertainty", G. G.Gorenstein, M.V.F.Pereira, CEPEL, Brazil, 1993
- "Congestion-driven transmission expansion in competitive power markets", G.B.Shrestha and P.A.J.Fonseka, Nanyang Technological Univ., Singapore, 2004
- "Transmission planning issues in a competitive economic environment", R.Baldick and E.Kahn, Lawrence Berkeley Lab., Berkeley CA, Nov. 1993
- "Value-based transmission planning and the effects of network models", S.N.Siddiqi and M.L.Baughman, Dept. of Electrical and Computer Engineering, The Univ. of Texas at Austin, Nov. 1995