

전력시장의 형태에 따른 송전선 투자의 영향에 관한 연구

이재길, 김태균, 신정훈, 남수철

한전 전력연구원

The study on economic assesment of transmission investment depend on the electric power market structure

Lee Jaegul, Kim Teakyun, Shin Junghoon, Nam Suchul  
KEPRI KEPCO

**Abstract** - 본 논문에서는 전력시장 및 계통의 운영에 따라서 발생될 수 있는 시장참여자들의 편익을 정의하고 최적조류계산(OPF)을 이용하여 편익을 산정할 수 있는 방법을 제시하였으며, 이를 이용하여 송전선 투자에 따른 효과를 분석하고, 도매전력시장의 구조에 따른 투자 효과를 비교분석하였다.

1. 서 론

최근들어 국내외적으로 송전설비 투자에 대한 경제적 가치를 평가하고자 하는 노력이 다양하게 이루어지고 있으며, 일부 국가들에서는 객관적인 평가를 위하여 경제적 가치산정의 방법 및 절차에 대한 기준을 제시하는 경우도 있다. 일례로 CA-ISO에서는 TEAM(Transmission Economic Assesment Method, 2002)을 발표하였다. 여기에는 시장참여자들에 대한 편익의 정의, 산정방식 및 사용 틀에 대한 기본적인 요구사항 등의 내용이 포함되어 있다.[1] 본 논문에서는 우리나라의 전력산업 환경에서 도매전력시장 형태의 변화에 따라서 송전선 투자가 시장참여주체(발전사 및 한전 그리고 고객)들의 편익 변화에 미치는 영향에 대한 분석을 수행하였는데 현재 우리나라 전력시장의 구조인 단일가격(SMP)체제를 유지하는 경우와 지역별가격(LMP)체제를 도입하는 경우에 대하여 비교 하였다. 시장참여주체들의 편익은 본 논문에서 제시한 방법에 의해서 산정하였으며, 시장구조의 차이에 따른 편익산정방식의 차이는 다음 장에서 상세하게 소개 하였다.

2. 본 론

(1) 시장참여자에 대한 편익의 개념

전력계통 및 시장의 운영은 시장참여의 주체인 도매판매자(발전사), 송전 및 소매판매자(한전) 및 소비자(고객)에게 편익을 발생시킨다. 우선 발전사의 경우 설비운영 및 원자재(연료 등)구매를 통하여 전력을 생산하고 이를 도매시장에 판매함으로써 이익을 발생시키게 된다. 여기에서 정량적인 발전사의 편익은 발전원가와 판매단가의 차이로 정의하였다. 여기에서 BG는 발전사의 편익, CG는 발전사의 비용 그리고 RG는 발전사의 수입이다.

$$B_G = C_G - R_G \tag{식1}$$

송전설비 및 소매부분을 담당하고 있는 한전의 경우 전력구매(도매), 송전, 배전 및 판매의 과정을 통해서 이익

을 발생시킨다. 여기에서 정량적인 한전의 편익은 전력구매비용과 전력판매 수입의 차이로 정의하였다. 여기에서 BT는 한전의 편익, CB는 한전의 전력구매비용 그리고 Rs는 전력판매수입이다.

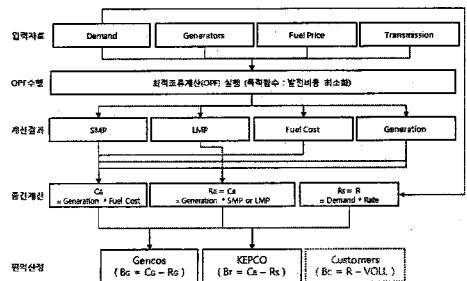
$$B_T = C_B - R_S \tag{식2}$$

마지막으로 고객에 대한 편익은 아래의 식과 같이 전기요금(R)과 정전비용(VOLL, Value Of Lost Load)의 차이로 정의하였다.

$$B_C = R - VOLL \tag{식3}$$

(2) 편익산정

앞에서 정의한 시장참여자들의 편익을 산정하기 위해서 최적조류계산(OPF)을 위한 방법을 사용하였는데, 본 논문에서는 PSS/E의 OPF모듈을 이용하여 산정하였는데 그 개념은 아래의 그림1과 같다.



[그림 1] OPF를 이용한 편익산정의 개념

일반적으로 전력계통 및 시장운영에 따른 편익을 산정하기 위해서는 시간대별 모의를 통해서 산정하고 있으나, 본 논문에서는 개념적인 편익의 산정을 위하여 시간대별 모의는 수행하지 않았다. 그러나 추후에는 현재 개발 중인 최적조류계산의 알고리즘을 이용하여 시간대별 편익산정 프로그램을 적용할 계획이다.

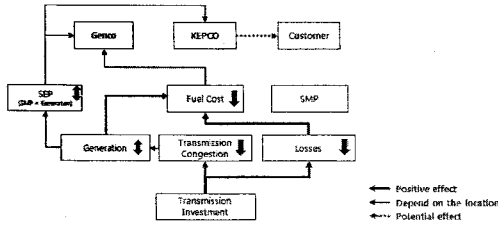
(3) 송전선 투자에 따른 편익의 변화

본 논문에서는 앞에서 제시된 두 가지 전력시장의 구조에서 송전선 투자에 따른 편익의 변화를 산정하고 사례 연구를 통해서 그 결과를 비교 분석하였다.

① 단일가격 체제 (현재 전력시장 체제)

송전선 투자가 시장참여주체에게 미치는 영향을 산정하기 위하여 본 논문에서는 다음과 같은 개념을 제시하였다. 우선 단일가격 체제에서의 송전선 투자에 대한 영향은 아래의 그림2와 같이 산정할 수 있다. 우선 발전회사

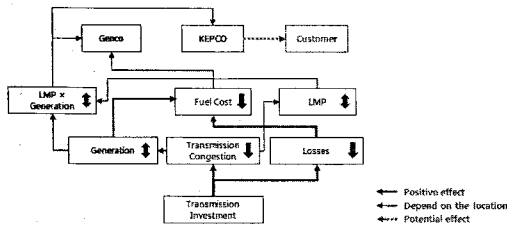
의 관점에서는 송전선의 투자가 송전혼잡을 저감시킬 수 있으며 이는 발전기별 발전량을 변화시키게 되는데 그 결과 전력생산을 위한 총 발전연료 비용이 감소되며, 발전기 별로 에너지 판매 정산금이 변화되게 된다. 또한 송전선 투자를 통해서 얻을 수 있는 이익이 손실의 감소인데 이는 다시 총 발전연료 비용의 감소로 이어질 수 있다. 한편의 관점에서 송전선의 투자는 앞에서 기술한 발전사의 에너지 판매 정산금의 변화에 따른 반사적인 이익밖에 기대할 수 있는 것이 없다. 마지막으로 고객의 관점에서는 송전선의 투자로 인한 정량적인 이익은 없다 왜냐하면 현재 전기요금제도가 원가를 반영한 체계가 아니기 때문에 한전이 도매전력시장으로부터 전력을 구매하는데 발생하는 비용의 변화에 대한 영향이 없기 때문이다. 다만 한전의 수익변화에 따라서 전기요금의 변화의 가능성이 높아지기 때문에 잠재적인 편익의 변화만을 기대할 수 있다.



[그림 2] 단일가격 체제에서의 송전선 투자의 영향

⑧ 지역별가격(LMP) 체계

현재 우리나라의 전력시장에 지역별 가격체제가 도입된 것을 가정하고 이에 따른 시장참여자 편익의 변화는 아래의 그림3와 같이 산정할 수 있다. 우선 다른 부분은 단일가격 체계에서와 동일하지만 혼잡의 해소에 따른 LMP의 변화로 인하여 발전사 및 한전의 정산금액에 변화가 발생하는데 이는 송전혼잡에 대한 정확한 신호를 제공한다는 차원에서 바람직한 결과라고 볼 수 있다. 이 부분에 대한 추가적인 설명은 사례연구에서 분석결과를 이용하여 설명 하였다.



[그림 3] 지역별가격 체제에서의 송전선 투자의 영향

3. 사례연구

본 논문에서 제시한 편익의 개념과 산정과정을 이용하여 송전선 투자 시 시장구조에 따른 편익산정 결과의 차이를 비교 및 분석하였다.

(1) 분석대상 계통

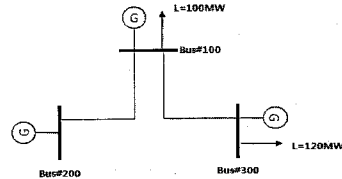
분석대상 계통은 3모선 2기 계통으로 계통의 구성은 다음과 같다. 우선 모선별 부하 및 발전기정보의 경우 표1과 같으며, 송전선로에 대한 정보는 표2와 같다.

[표 2] 부하 및 발전기정보

모선번호	부하 [MW]	발전기					
		최대출력 [MW]	최소출력 [MW]	비용곡선			연료비 Factor
				a	b	c	
100	100	300	50	0.01	1.0	100	10
200	0	300	50	0.008	0.8	80	10
300	120	200	50	0.012	1.2	120	10

[표 3] 송전선로 정보

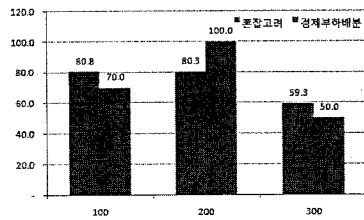
모선번호	From	To	송전용량 [MVA]	R [pu]	X [pu]	C [pu]
100	100	200	80	0.0026	0.046	3.5
100	100	300	100	0.0026	0.046	3.5



[그림 4] 계통구성도 (송전선 투자 이전)

(2) 분석시나리오

그림4의 계통에 대한 최적조류계산 수행 결과 Bus#100과 Bus#200을 연결하는 송전선로에 혼잡이 발생하는 것으로 나타났으며, 이로 인하여 경제부하배분(ELD)의 결과와 발전기별 출력이 차이가 발생되었고 총 발전비용(연료비)이 증가되었다. ELD 즉, 계통혼잡 및 손실을 고려하지 않은 경우 총 연료비용은 3,690천원으로 산정된 반면 OPF의 경우 6,753천원으로 산정되어 약 1.8배의 연료비 증가가 발생된 것으로 분석되었다.

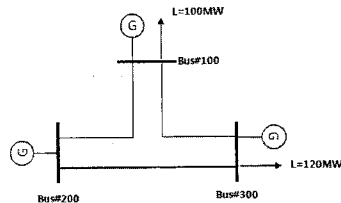


[그림 5] OPF와 ELD 결과(발전출력[MW])차이

[표 4] 선로조류 산정결과

모선번호	From	To	송전용량 [MVA]	선로조류
100	100	200	±80	80
100	100	300	±100	60.8

이러한 송전혼잡이 발생하는 원인은 지역간 수급의 불균형 심화에 따른 것이고, 송전선로용량의 부족에 의한 것이기 때문에 이를 해소하기 위하여 다음과 같은 송전선 투자를 계획하고 이에 대한 효과를 분석하고자 한다.



[그림 6] 계통구성도 (송전선 투자 이후)

[표 5] 신규 송전선 정보

모선번호	송전용량 [MVA]	R [pu]	X [pu]	C [pu]
From To				
200 300	100	0.0026	0.046	3.5

효과분석을 위해서 전술된 바와 같이 현재 전력시장의 구조인 단일가격제도와 지역별가격제도의 도입을 가정한 두 가지 경우를 비교분석하였다.

(3) 분석결과

① 단일가격제도

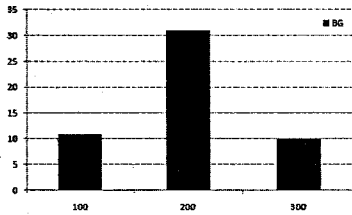
발전기별 연료비용(CG) 및 전력판매수입(RG) 산정결과는 다음과 같으며, 분석결과를 바탕으로 분석해보면, 송전선 투자에 의해서 총 연료비는 -31천원 감소되었으며, 총 전력판매수입은 21천원 증가된 것을 알 수 있다. 그러나 발전기별로 분석한 결과 모든 발전기의 편익이 증가하여 총 발전기의 편익(BG)은 52천원으로 산정되었다.

[표 6] 시나리오별 발전사의 연료비용 산정결과 [단위:천원]

구분	100	200	300	합계
투자 전	1,460	1,159	1,134	3,753
투자 후	1,203	1,607	912	3,722
차이	-257	448	-222	-31

[표 7] 시나리오별 발전사의 전력판매수입 산정결과 [단위:천원]

구분	100	200	300	합계
투자 전	1,938	1,928	1,424	5,290
투자 후	1,693	2,407	1,212	5,312
차이	-246	479	-212	21



[그림 7] 발전기별 Bc산정 결과

한전의 경우 소비자 요금에 고정된 것으로 가정하여 전력판매수입(Rs)가 변하지 않는다고 가정하면, 편익의 변화는 전력구매비용(Cb)의 변화로 정의할 수 있으며, 모의결과 Cb는 투자 전 5,290천원에서 투자 후 5,312천원으로 21천원 증가된 것을 알 수 있다.

② 지역별가격제도

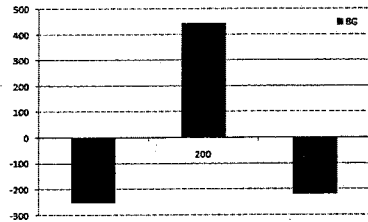
발전기별 연료비용(CG)의 경우 가격제도의 형태와 상관 없이 동일하기 때문에 표5에서 산정한 결과와 동일하며, 전력판매수입(RG) 산정결과는 다음과 같다. 분석결과를 바탕으로 분석해보면, 송전선 투자에 의해서 총 연료비는 -31천원 감소되었으며, 총 전력판매수입도 14천원 감소된 것을 알 수 있다. 발전기별 편익의 변화를 분석한 결과 모선별로 발전기의 편익이 증가 또는 감소한 것으로 나타났다. Bus#100 및 #300의 경우 혼잡의 발생주체였기 때문에 LMP가 감소되어 발전판매수입이 감소되었고 이로 인해 편익이 감소하였다. 반면 Bus#200의 경우 LMP가 증가되어 445천원의 편익증가가 나타났다.

[표 8] 시나리오별 LMP 산정결과 [단위:천원]

구분	100	200	300
투자 전	26.15	20.85	26.24
투자 후	24.11	24.05	24.12
차이	-2.04	3.20	-2.12

[표 9] 시나리오별 발전사의 전력판매수입 산정결과 [단위:천원]

구분	100	200	300	합계
투자 전	2,112	1,675	1,557	5,344
투자 후	1,700	2,412	1,218	5,330
차이	-412	737	-339	-14



[그림 8] 발전기별 Bc산정 결과

한전의 경우 소비자 요금이 고정된 것으로 가정하여 전력판매수입(Rs)가 변하지 않기 때문에 편익의 변화는 전력구매비용(Cb)의 변화로 정의할 수 있으며, 모의결과 Cb는 투자 전 5,344천원에서 투자 후 5,330천원으로 14천원 감소된 것을 알 수 있다.

위의 분석결과에 따르면 국내 전력시장(단일가격) 환경에서는 송전선로 투자에 따라서 발생하는 편익의 변화가 크지 않은 것으로 나타났다. 이는 시장에서 혼잡에 대한 신호가 주어지지 않기 때문인 것으로 사료되며, 오히려 한전의 경우에는 송전선 투자를 통한 혼잡해소가 비용의 증가요인으로 작용할 수 있다는 것이 분석되었다.

그러나 지역가격제도를 전제로 분석한 경우 혼잡의 감소로 인한 지역별 편익의 변화가 크게 나타나는 것으로 분석되었으며, 한전의 경우 송전혼잡에 대한 Rent가 발생되어 다소의 편익증가가 나타나는 것으로 분석되었다. 물론 계통의 상황에 따라서 이러한 변화는 차이가 있을 수 있으나 본 연구에서는 일반적인 경우 혼잡의 해소로 인한 효과를 분석했다는 데 의미를 부여하고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 최적조류계산(OPF)을 이용하여 송전선 투자에 따른 효과를 분석하였으며, 도매전력시장의 구조에 따른 투자효과를 비교분석하였다. 사례연구에서 검토한 바와 같이 국내 전력시장에서는 송전선로 투자로 인한 효과가 제대로 반영이 될 수 없으며, 오히려 투자의 주체인 한전의 비용증가가 발생할 수도 있다는 것을 보여주고 있다. 본 논문에서는 개념적으로 송전선로 투자에 대한 시장참여자들의 편익변화를 모의했으나, 추후 연구에서는 시간대별 분석 및 재무적인 분석기법의 도입 [2]을 통하여 더욱 현실적으로 효과를 모의할 계획이다.

[참고문헌]

- [1] CA-ISO, TEAM(Transmission Economic Assessment Method), 2002
- [2] Silky Ntombifuthi Maboqe, Power Transmission Investment, The Electricity Journal, p58, 2008