

시나리오 분석을 통한 VSC-HVDC 경제성 예측 모델의 적용

선휘일*, 여서현*, 송성근**, 박성준*
전남대학교*, 전자부품연구원**

A Economic Prediction Model on VSC-HVDC Using Scenario Analysis

Hwi il Sun*, Seo Hyun Yeo*, Sung Geun Song**, Sung Jun Park*
Chonnam National University*, KETI**

ABSTRACT

수도권 부하의 집중과 원거리 발전단지 위치는 우리나라 전력전송의 문제점이며, 전압형 HVDC 적용이 전력전송 문제의 대안이 되고 있다. 초기투자비가 높은 전압형 HVDC 사업의 경제적 타당성 확보의 방법은 기존 시장접근법의 부가가치 편익반영 외에 다른 각도의 다양한 편익산정법의 제안이 필요하다. 본 논문에서는 전압형 HVDC 사업 타당성 확보를 위한 피해비용저감방식의 다양한 편익을 도출하고 경제적 타당성을 제시하였다.

1. 서론

우리나라의 전기는 최초 1800년대부터 시작한 이래 지금까지 눈부신 성장을 하였으며, 지금은 없어서는 안 될 에너지로 대규모 전력공급을 필요로 하는 곳이 많게 되었다.

우리나라의 전력 수요의 40%이상은 밀집주거 단지가 많은 수도권에 위치해 있으나, 대부분의 발전 단지는 수요지와는 지역적위치가 멀리 분리되어 있으며 특히 수도권내의 부하 밀집으로 정전 등의 불편을 야기하고 있다.³ 이러한 상황으로 추가적인 송전망 확충은 필수적이나 지역주민의 저항 및 신규발전입지의 제약 등으로 어려움을 겪고 있다. 문제를 해결하고자 전압형 HVDC의 연구개발이 활발히 진행되고 있으며, 북미, 유럽, 및 아시아의 중국등이 대표적이다.¹

본 논문에서는 전압형 HVDC 기술 적용에 대한 다양한 각도의 편익항목들을 제시하며, 경제성 평가모형을 토대로 타당성을 제안하고 그 유용성을 입증하고자 한다.

2. 본론

2.1 전압형 HVDC 경제성 분석방법

연구개발사업의 경제성 분석방법에는 크게 비용편익분석(Benefit Cost Rate:BCR)과 비용효과분석(Cost Effectiveness Analyses:CEA)으로 구분한다. 비용편익분석은 투자결정모형을 공공부문에 적용할 때 특정 프로그램이 가져올 영향과 효과를 평가하기 위한 분석틀이다.¹ 비용은 초기에 한꺼번에 발생하는 데 반해 편익은 여러 해에 걸쳐 나타는 특성을 고려하여 편익의 흐름들을 현재가치로 합산하여 비용과 비교 가능하도록 해주는 평가방식이다. 즉 발생하는 편익이 소모되는 비용을 넘어야 경제적으로 합리적인 결과가 나온다. 그러나 이 경제적 편익의 측정이 거의 불가능해 평가가 어려운 경우 비용효과분석을 사용한다. CEA는 주어진 효과를 달성하는데 가장 적은 비용이 들어가는 대안을 선택하는 방법으로서 비용 하에 최대한의 효과를 달성하는 것이다.¹

본 논문에서는 두 가지 방법 중 CBA의 분석법을 적용하여 최대한의 경제적 효과를 측정하고자 한다. 일반적으로 CBA의 분석 시 투자안의 향후 미래 시장점유와 성장을 측정하는 시장

접근법의 부가가치편익만을 반영하는 경우가 일반적이다. 하지만, HVDC의 Growth Share Martix의 향후 시장성장, 점유율을 보면 신규자금의 적극적 투자가 필요한 STAR산업으로 분류할 수 있다. 이에 부가가치편익 외에 다양한 편익의 반영이 필요하며, HVDC 적용 특성을 반영한 구체적 산정이 중요하다.

먼저, 경제적 타당성 평가의 모든 편익 분석은 직전년도인 2013년도 말 기준, 할인율 5.5%, 환율 1,045.00원/\$(2013.12.31. 일 매매기준율), 편익 발생시점 선정은 기술수명주기를 감안하며, 2019이후, 2020년 이후 각기 10년으로 기본 가정하였다.

2.2 전압형 HVDC 편익항목의 설정

2.2.1. 편익항목 설정

전압형 HVDC기술 확보로 사용되는 편익지표는 수도권 전력망 운용의 기술적 한계를 완화함으로써 기대되는 기대회피비용, 기존 발전단지 인출선로 확보로 안정성 강화를 통한 기대회피비용 및 신규발전단지 인출선로 건설지연회피를 통한 소비자 지불비용절감효과, 단기 송전망 확충에 국내 기술의 적용을 통한 설비비 수입대체효과와 소비자 수혜 편익, 원천기술확보를 통한 부가가치 창출편익으로 다양하게 산정할 수 있다.

표 1. 편익 항목과 평가 기법
Table 1. Benefit Factor & Method

항목	평가기법
수도권환산망 안정성 확보	순환발전 회피비용
기존 발전단지 인출선로 확보	순환발전 회피비용
신규 발전단지 인출선로 확보	발전비용차이(한계 지저)
부가가치창출	시장수요접근법

2.2.2 회피비용

신규발전소의 인출선로를 확보하지 못하면, 기저발전 대신 한계발전기인 LNG 복합발전을 대체로 사용하게 되며, LNG 복합 발전의 공급비용과 기저발전기 공급비용의 차는 소비자가 지불해야 한다. 에너지원별 정산단가와 계통한계가격을 결정할 한계발전기의 비중을 보면, 과거 3년(2011~2013)간 평균적으로 정산단가(원/kW)는 원자력 39.22원, 석탄 68.23원, LNG 157.07원으로 원자력간의 정산단가 차이는 117.8원이며, LNG 와 석탄발전가의 정산단가 차이는 88.84원이다. 원자력공급 비중 상승과 LNG 공급비용 하락을 감안하여 기저발전기와 한계발전기의 정산단가 차이는 70~110원/kWh, LNG복합발전 결정회수는 75%로 가정하였다. 또한 인출선로 미확보 회피비용의 설비용량은 (1)1000MW, (2)1400MW, 설비이용률은 75~95%로 설정하였으며, 건설지연기간은 1개월로 가정하였다.

용량(1),(2)의 인출선로 미확보로 인한 6개월 지연 회피비용은 2,203억원, 3,084억원으로 계산된다.

표 2. 모의상황의 피해비용

Table 2. Damage Cost of considering simulation

용량	설비이용률	정산단가차이	피해비용(억원)
1000MW	95%	100원/kWh	513
1400MW	85%	80원/kWh	514.1

2.2.3 계통안정화 편익

우리나라의 수도권 환산망 전력 계통은 수도권 내 발전 설비의 부족으로 대규모 복상전력에 의존하며 복상선로의 고장 시 전압 불안정에 의한 광역정전이 발생한다. 이는 국내 전력 수요의 40%이상이다.⁴ 이에 수도권 환산망 계통 안정화 편익과 기존발전단지 인출선로 확보에 따른 안정화 편익 추산은 전력 한도위의 가치 즉 정전수준으로 산정하였다.

계통안정화 편익은 두 가지 가정모델로 진행하였다.

1. 전력 한 단위 공급시장에 따른 GDP의 감소분
2. 수도권 전력 1%정전에 따른 피해비용 산정분

가정 1의 감소분 산정은 GDP 연간 산정을 8.8%(1992~2013), 동기간 전력소비량 연간 7.1%(115.24TWh와 474.85TWh의 차), 전력 한단위 가치 34.6%(1992년 2,234원/kWh에서 2013년 3,007.89원/kWh로 증가)를 이용하여, 2013년 기준 1kWh 공급 시장비용은 약 3,007.8원이다. 대정전시 전력 공급력 부족으로 발생하는 순환정전의 피해액은,

$$C_{\text{피해비용}} = 200\text{만kW} \times 5\text{hour} \times 3007.89\text{원/kWh} \quad (1)$$

식(1)에 따라 300.79억원이며, 원전 1GW의 순환정전 피해비용은 150.39억원으로 계산된다.

가정 2의 정전 피해분 산정은 2013년 총 전력판매량 474.85TWh대비 약 190TWh(1GW급 원전 25기 85%이용률, 1년 생산량)를 적용하여, 수도권 전역 1%의 정전피해비용이 5.7조원임을 알 수 있다.

2.2.4 부가가치 창출 편익

원천기술 확보를 통한 부가가치 창출 편익의 대상은 관련 시장의 규모 즉, 국내 송전망 확충계획에 따라 변동되며, 관련 국내시장 누적규모는 2020~2029년까지 약 17.8GW, 약 11조 1900억원 수준이다.² 이를 HVDC연구개발 사업의 산출물에 적용할 경우 시장점유율별 시장규모의 추세를 분석할 수 있다. 부가가치창출 편익의 산정 시 목표시장점유, 편익계상기간, 시장규모⁴에 따른 각각의 시나리오를 가정하였다. 부가가치 창출 지표로는 부가가치율 31.2%(2010년 산업연관표 산업별 부가가치율), R&D기여도 28.1% (연구개발투자의 경제성장 기여도), 사업화성공률 40.8%, 사업기여율 59%를 적용하였다.⁵ 수요예측법에 따라 부가가치의 연차별 창출기간은 (B1),(B2)로 분석하였다. 편익 추정을 위한 분석 모형은 다음 수식(2)과 같다.

$$V = \sum_{n=1}^n M_{hvd} \cdot S \cdot C_r \cdot S_r \cdot A_r \cdot PVF \cdot E_r \quad (2)$$

(V: 부가가치 편익, M_{hvd} : hvdc 시장규모, S: 시장점유율, C_r : R&D기여율, S_r : R&D사업화성공률, A_r : 부가가치율, PVF: 현재가치율, E_r : 환율, n: 편익기간)

각 시나리오의 시장점유율에 따른 시장규모는 11,190~111,895억원의 규모를 가지고 있으며, 시장 수요예측법 적용 시 시장점유율에 따라 236~2,359억원의 부가가치가 창출되었다. 현재가치 적용 후 편익의 규모는 131~1,314억이 산출되었다. 선택 시나리오 A1 B1 C5, A1 B2 C5의 편익현가 1,141억원, 1,089억원으로 시장점유의 단계별적 성장에 대한 시나리오 A2,A3는 배제하였다.(C1 C4)_{t0}:2019,t:2023 (C5 C8)_{t0}:2023,t:2024)

$$CAGR(t_0, t) = \left(\frac{V(t)}{V(t_0)} \right)^{\frac{1}{(t-t_0)}} - 1 \quad (3)$$

표 3. 부가가치 산출의 시나리오 모형

Table 3. Scenario Models for Added value Analysis

구분	정의	시나리오 구성		
시장점유 목표	단일목표(A1) 50%	A1 B1 C1 A1 B1 C2 A1 B1 C3	A2 B1 C1 A2 B1 C2 A2 B1 C3	A3 B1 C1 A3 B1 C2 A3 B1 C3
	단계목표(A2) 10~20%	A1 B1 C4 A1 B1 C5 A1 B1 C6	A2 B1 C4 A2 B1 C5 A2 B1 C6	A3 B1 C4 A3 B1 C5 A3 B1 C6
	단계목표(A3) 5~15%	A1 B1 C7 A1 B1 C8	A2 B1 C7 A2 B1 C8	A3 B1 C7 A3 B1 C8
편익계상 기간	2019 2028 (B1)	A1 B2 C1 A1 B2 C2 A1 B2 C3	A2 B2 C1 A2 B2 C2 A2 B2 C3	A3 B2 C1 A3 B2 C2 A3 B2 C3
	2020 2029 (B2)	A1 B2 C4 A1 B2 C5 A1 B2 C6	A2 B2 C4 A2 B2 C5 A2 B2 C6	A3 B2 C4 A3 B2 C5 A3 B2 C6
시장규모	(C1 C8) (C5) AGR 0%	A1 B2 C7 A1 B2 C8	A2 B2 C7 A2 B2 C8	A3 B2 C7 A3 B2 C8

2.3 전체 편익의 산정

피해저감 비용방식의 다양한 편익 접근법에 따라 표 4의 (1),(2),(3)편익을 산출하였으며, 이러한 편익들은 실제 시장수요접근법에 따라 (4)의 부가가치편익만을 적용했을 때보다 HVDC적용 타당성을 높일 수 있다. 회피비용 반영 전 총 편익 1,089억원보다 회피비용 반영 후 총 편익은 6.2조가 더 증가했음을 알 수 있다.

표 4. 총 편익

Table 4. Total Benefits

번호	항목	편익	
1	순환정전 회피비용 (수도권환산망 안정성)	5.7조원	
2	순환정전 회피비용 (기존발전단지 인출선로 확보 발전비용차이)	150.39억원	
3	신규발전단지 인출선로 확보	1000MW	1400MW
		2,203억원	3,084억원
4	부가가치창출	1,089억원	

3. 결론

본 논문에서는 전압형 HVDC 적용 타당성 근거를 단지 투자안 설정을 통해 비용편익율을 산정하여 타당성을 제시하는 시장접근법의 한계를 벗어나 다양한 편익산정 모형을 제시하였다. 전압형 HVDC 미적용 시 발생하는 비용의 모형들은 인출선로 미확보, 수도권 환산망 정전 피해비용의 두 가지 가정 모형을 통해 회피회피비용을 편익으로 제시하였다. 또한 적용기술개발을 통해 발생하는 부가가치편익을 48가지의 시나리오 분석을 통해 다양하게 제시하고, 적정 시나리오를 산출하였다. 결과적으로 부가가치 편익과 회피비용편익 모두를 제시함으로써 전압형 HVDC 적용의 경제적 타당성의 명확한 근거를 제시 할 수 있었다. 향후, 경제성타당성 분석의 다른 방법인 비용효과분석을 통해 전압형 HVDC 적용 타당성의 다양성을 제시하고자 한다.

참고 문헌

- [1] Wang Feng, Le Anh Tuan, Lina Bertling Tjernberg, Anders Mannikoff, Anders Bergman, "Cost Benefit Analysis of a Multi Terminal VSC HVDC System Using a Proposed Mixed AC/DC Optimal Power Flow", IEEE, 2013
- [2] "제 7차 전력수급기본계획", 산업통상자원부, 2017
- [3] 김동우 외4, "전압형 Back to Back HVDC를 이용한 수도권 전력 계통의 혼잡 비용 절감 방안 연구", 대한전기학회, 2010
- [4] "HVDC Transmission Market" Visiongain, 2014 2024
- [5] "연구개발부문 사업의 예비타당성조사 표준지침", KISTEP, 2016