

몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 송전설비회피비용 산정연구

정영범*, 고경호, 김준형, 이재걸, 윤용범
한국전력공사 전력연구원

A study on estimation of transmission avoided cost using Present Worth(PW) method with monte-carlo simulation

Jung Youngbeom, Ko KyungHo, Kim, JunHyung, Lee JaeGul, Yoon YongBeum
Korea Electric Power Research Institute(KEPRI)

Abstract - 전력시스템에 수요관리나 효율향상프로그램 또는 분산형 전원을 도입하는 경우 전력회사의 측면에서는 수입의 감소와 함께 각종 비용에 대한 절감효과가 동시에 발생을 하며, 이러한 비용절감효과를 회피비용으로 정의하고 있는데 이러한 회피비용 중 최대수요의 감소로 인하여 송배전설비의 투자지점이나 투자비용이 변화하게 되어 발생하는 회피비용을 송배전설비회피비용이라고 정의한다. 지금까지 한계비용이나 현재가치법을 이용한 방법론들이 개발되었으나, 최대수요 예측치나 수요 감소효과의 예측값에 대한 불확실성을 고려한 방법은 없었다. 이에 본 논문에서는 미래예측값에 대한 불확실성을 고려할 수 있는 One-Year Deferral방법론을 제안하고 이에 대한 사례분석을 시행하였다.

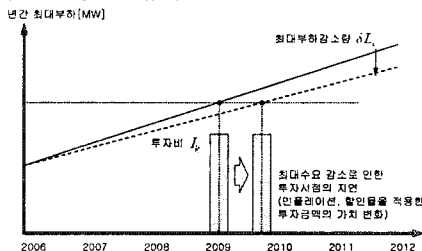
1. 서 론

수요관리(DSM)나 효율향상 그리고 열병합발전의 도입으로 인하여 전력회사(Utility)에 미치는 영향을 산정하기 위하여 회피비용을 산정하는 방법에 대한 연구가 많이 진행되어 왔다. 그 중 송배전망을 운영하는 회사의 측면에서 회피비용은 연간 최대수요의 감소에 따른 송배전 설비투자의 지연에 의하여 산정될 수 있으며 이러한 영향을 분석하기 위하여 Present Worth(PW)방법론이 연구되었다.^[1] 본 논문에서는 실제적인 계통계획 기간을 고려하여 최대수요 감소와 이에 따른 건설투자 지연의 효과를 분석할 수 있도록 제안된 One-Year Deferral방법론^[2]을 우리나라 시스템에 적용하여 우리나라의 송/배전계통에 대한 회피비용을 산정하였으며, 미래의 예측에 대한 불확실성을 반영하여 회피비용을 산정할 수 있도록 연간최대수요 및 최대수요 감소량을 단일 수치가 아닌 몬테카를로 시뮬레이션을 이용한 확률적인 수치를 사용하였다. 또한 이렇게 산정된 회피비용을 타 방법에 의한 비용과 비교 하였다.

2. 본 론

2.1 One-Year Deferral 방법론

PW방법론의 기본적인 개념은 최대수요의 감소로 인하여 발생하는 설비투자의 지연과 그에 따른 가치변화를 산정하는 것이다. 다음의 그림은 그 개념을 설명하고 있다.



<Fig 1> One-Year Deferral방법의 개념

송·배전 설비에 대한 건설 및 증설계획수립 시에는 연도별, 지역별 최대수요(수요관리 전/후)를 이용하여 검토용 계통을 구축하고 이를 기반으로 상정하고 및 각종 제약 고려하게 된다. 이러한 계통계획은 연도별 최대부하를 기준으로 작성되기 때문에 최대부하의 감소는 계통건설 및 증설계획의 연기를 가능하게 한다. 이와 같이 건설 및 증설이 연기되는 경우 투자비의 투입시점이 변화하게 되어 현재가치가 변화하게 되며, 이는 다음의 식과 같다.

$$\Delta PV = \sum_{k=1}^N \left(1 - \frac{(1+j)^{\Delta t_k}}{(1+d)^{\Delta t_k}} \right) \frac{\bar{I}_k}{(1+d)^k} \quad (1)$$

여기에서, ΔPV 투자지점의 변화에 따른 가치변화

\bar{I}_k 수요증가와 관련된 송·배전설비 투자비용
(물가상승률 고려) $(=I_k(1+j)^k)$

I_k 수요증가와 관련된 송·배전설비 투자비용(명목상)
 j 물가상승률
 d 물가상승률을 고려한 할인율 $(=(1+i)(1+j)-1)$
 i 실질할인률
 Δt_k 투자지연기간
 k 기준년도로부터의 년 수

식(1)을 다시 표현하면 다음과 같다.

$$\Delta PV = \sum_{k=1}^N \left(1 - \frac{1}{(1+i)^{\Delta t_k}} \right) \frac{I_k}{(1+i)^k} \quad (2)$$

위의 식(2)에서 계통계획은 1년 단위로 이루어지기 때문에 Δt_k 가 1이 되고 수요의 감소에 따라서 투자비의 감소 폭이 변화하기 때문에 다음과 같이 식을 나타낼 수 있다.

$$\Delta PV = \left(1 - \frac{1}{1+i} \right) \sum_{k=1}^N \frac{\delta L_k}{\Delta L_k} \frac{I_k}{(1+i)^k} \quad (3)$$

여기에서 δL_k 는 k년도의 최대수요 감소량

ΔL_k 는 k년도의 최대수요증가량

그리고 최대수요의 감소에 따른 회피비용의 현재가치는

$\sum_{k=1}^N \frac{C_{avoid} \delta L_k}{(1+i)^k}$ 과 같이 표현할 수 있기 때문에 단위 최대수요의 감소에 따른 회피비용은 아래의 식으로 나타낼 수 있다.

$$C_{avoid} = \frac{\left(1 - \frac{1}{1+i} \right) \left(\sum_{k=1}^N \frac{\delta L_k}{\Delta L_k} \frac{I_k}{(1+i)^k} \right)}{\sum_{k=1}^N \frac{\delta L_k}{(1+i)^k}} \quad (4)$$

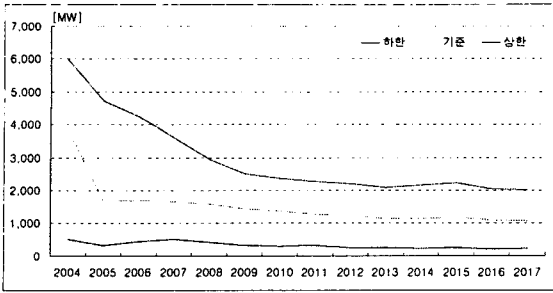
2.2 최대수요예측 및 수요저감의 불확실성 고려

그러나 위의 식에서 연간 최대수요 및 최대수요 감소량은 예측된 값이기 때문에 불확실성을 내포하고 있지만 이전 연구에서는 이러한 불확실성을 고려한 연구가 이루어지지 못했다. 이에 본 논문에서는 제2차 수급계획상에 제시된 연간 최대수요의 상·하한과 기준값을 이용하여 수요예측에 대한 분포를 산정하여 고려하였으며, 최대수요 감소량도 동일한 방법으로 고려하였고 회피비용을 산정하는 과정에서 이렇게 산정된 분포를 이용하여 몬테카를로 시뮬레이션을 수행하였으며 이는 상용프로그램인 Crystal Ball 2000을 사용하였다. 다음의 그림은 최대수요의 상·하한 및 기준값을 보여준다.



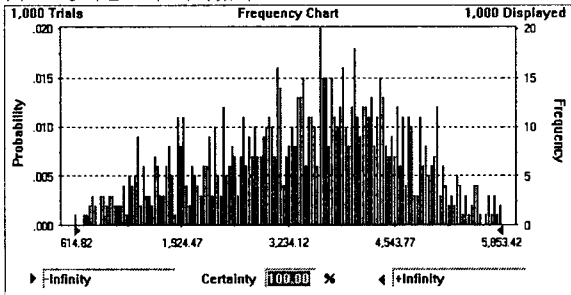
<Fig 2> 연도별 최대수요 예측치(기준, 상한, 하한)

또한 아래의 그림은 각 경우에 대한 매년도 최대수요증가량을 보여주는 그래프이다.



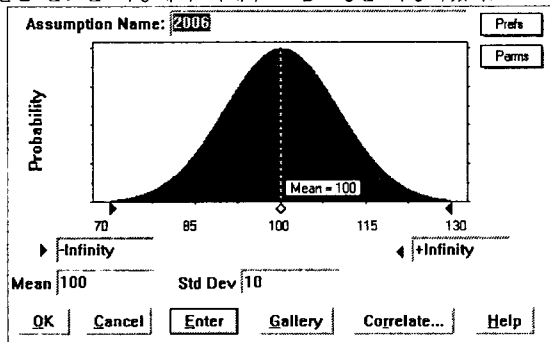
〈Fig 3〉 년도별 최대수요 증가량(기준, 상한, 하한)

이러한 상한 및 하한 값을 이용하여 분포를 작성하고 몬테카를로 시뮬레이션을 수행한 결과 2004-2005년의 경우 아래의 그림과 같은 최대수요 증가분포가 나타났다.



〈Fig 4〉 2004년-2005년도 최대수요증가 분포

또한 최대수요 감소의 경우에도 불확실성을 고려하기 위하여 아래와 같은 분포를 이용해서 최대수요 감소량을 사용하였다.



〈Fig 5〉 2006년도 최대수요 감소에 대한 확률적 분포

2.3 제안한 방법론

본 논문에서는 참고문헌[2]에서 제안한 송배전건설 회피비용 산정 방법론에 미래 예측값의 불확실성을 고려할 수 있도록 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하였으며, 이는 식(4)에서 최대 수요증가량과 최대수요 감소량에 대한 분포를 고려하여 아래의 식(5)와 같이 표현할 수 있다.

$$C_{avoid} = \frac{\left(1 - \frac{1}{1+i}\right) \left(\sum_{k=1}^N \frac{\delta L_{k,dist}}{\Delta L_{k,dist}} \frac{I_k}{(1+i)^k} \right)}{\sum_{k=1}^N \frac{\delta L_{k,dist}}{(1+i)^k}} \quad (5)$$

여기에서 $\delta L_{k,dist}$ 는 k년도의 최대수요 감소량의 분포

$\Delta L_{k,dist}$ 는 k년도의 최대수요증가량의 분포

그리고 제안한 방법에 제2차 수급계획상에 제시되어 있는 최대수요 예측치의 상하, 하한, 기준값을 적용하고 한전의 장기 송배전 건설 계획에서 계획하고 있는 건설 및 보강계획을 기반으로 우리나라의 송전계통에 대한 회피비용을 산정할 수 있는 방법을 제안하였다.

2.4 사례연구

본 사례연구에 사용된 연간 최대수요 예측량은 2차 전력수급기본계획에서 예측한 값을 사용하였으며, 송/변전설비 투자비용은 송/변전설비계획에서 수립한 투자계획을 활용하였다. 그리고 연간 최대수요 감소량은 매년 100[MW]로 가정하고 분포작성 시 표준편차를 10으로 하였다.

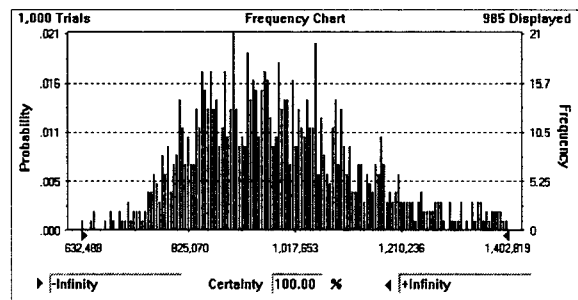
〈Table 1〉 최대수요 및 수요증가량

Year	최대수요예측			최대수요증가량		
	하한	기준	상한	하한	기준	상한
2004	47,889	51,264	53,362	504	3,879	5,977
2005	48,213	52,936	58,079	324	1,672	4,717
2006	48,653	54,618	62,333	440	1,682	4,254
2007	49,166	56,260	65,954	513	1,642	3,621
2008	49,581	57,847	68,896	415	1,587	2,942
2009	49,903	59,278	71,390	322	1,431	2,494
2010	50,215	60,643	73,745	312	1,365	2,355
2011	50,539	61,928	76,027	324	1,285	2,282
2012	50,786	63,148	78,223	247	1,220	2,196
2013	51,044	64,279	80,318	258	1,131	2,095
2014	51,286	65,426	82,472	242	1,147	2,154

〈Table 2〉 송전투자자금액

Year	투자자금액
2004	11,203
2005	16,841
2006	16,119
2007	15,468
2008	11,589
2009	9,047
2010	7,244
2011	7,905
2012	6,689
2013	25,799
2014	6,450

송전설비 회피비용(Levelized Avoid Cost)의 산정 결과 2004년도 가치로 아래 그림과 같은 분포의 결과가 계산되었으며 평균 992,195 [원/kW], 최소 632,488 [원/kW] 그리고 최대 1,623,007 [원/kW]의 결과가 산정되었다.



〈Fig 6〉 송전설비회피비용의 산정결과

또한 불확실성을 고려하지 않은 경우 송전설비회피비용은 923,161 [원/kW]으로 산정되었다.

3. 결 론

최근 수요관리(DSM) 및 분산형전원의 도입이 활발해 지면서 전력회사의 측면에서는 이에 대한 영향(편의, 손실)평가가 매우 중요한 문제로 부각되고 있다. 특히 한전의 경우 송배전투자에 대한 정확하고 현실적인 회피비용의 산정이 필요하며, 현재 한계비용(Marginal Cost)법이나 현재 가치법(Present Worth)을 이용한 방법들이 제안되고 있다. 그러나 사전에 연구되었던 한계비용방법은 현실적으로 송전계통의 특성을 반영하지 못하는 단점이 있어, 최근에는 현재 가치법을 이용한 방법들이 제안되었으나, 이러한 방법들도 미래 예측에 대한 불확실성을 반영하지는 못했다. 이에 본 논문에서는 불확실성을 내포하고 있는 변수들에 대하여 몬테카를로 시뮬레이션을 적용하여 회피비용을 산정하였다. 이는 전력회사의 정책수립 시 의사결정자들에게 불확실성에 대한 정보를 제공할 수 있다는 장점도 지니고 있다.

[참 고 문 헌]

- [1] R. Orans, "Area-specific marginal costing for electric utilities: A case study of transmission and distribution costs", Ph.D. dissertation, Stanford Univ., Stanford, CA, 1989
- [2] Xin Li, "One-Year Deferral Method for Estimating Avoided Transmission and Distribution Costs", IEEE Trans. power syst. vol.20, no.3, pp. 1408-1413, Aug 2005