

우리나라 전력계통의 분산형 전원에 대한 정량적 편익산정

김용하*, 김의경**, 오석현***, 김동근****, **이평호***, 우성민*
 인천대학교*, 에너지관리공단**, 한국전력공사***, Purdue University****

Assessment of Benefits on Distributed Generation in KOREA

Yong-Ha Kim*, 김의경**, Seok-Hyun Oh***, Dong-gun Kim****, Pyong-ho Lee*, Sung-Min Woo*
 University of Incheon*, KEMCO**, KEPCO***, Purdue University****

Abstract - In this paper, the method on calculating benefits of combined heat and power is introduced for standard evaluation in electrical power system. This paper calculates benefits about new national viewpoint and viewpoint of independent power producers and assesses benefits of combined heat and power in Korea and In Seoul national capital area. Benefit costs are composed of avoid cost of centralized generation, line upgrading adjustment, loss adjustment and electrical power trade cost per year in earlier study, in addition trade cost of CO₂, construction cost of combined heat and power for accurate calculation. Benefit of combined heat and power is calculated by simulation results of real electrical power system.

그림 1의 단계 7의 내용과 같이, 본 논문에서는 회피비용 구성을 Centralized Generation(CG) 발전설비 건설 회피비용, 송전망 건설 회피비용, 송전선로에 대한 손실 저감비용, 열병합발전 건설비용, CO₂ 저감비용으로 구성하였고, 다음 식 (1)과 같다.

$$PR = GAC - DAC + LA + LUA + CO_2 \quad (1)$$

GAC : CG 발전소 건설 회피비용
DAC : 열병합발전 건설비용
LA : 송전선로에 대한 손실저감비용
LUA : 송전망 건설 회피비용
CO₂ : CO₂ 저감비용

1. 서 론

최근 전력계통의 측면에서는 분산형전원의 보급이 국가의 중요한 사업으로 추진 진행되고 있다. 이러한 배경으로 분산형전원에 의해 생산된 전력은 전력계통으로 투입되어 송배전계통 및 부하의 특성에 따라 부하에 공급된다. 어떤 방식으로 생산된 전력이던 간에 결국은 전력계통이라는 하나의 망(Network)을 통하여 상호간에 영향을 미치며 수용가에 전력을 공급하여야 하나, 현실적으로 중앙집중형 전원과 분산형전원은 서로 다른 법체제와 운용주체에 의해 독립적으로 운용되고 있는 것이 현실이다. 이에 따라 국가적 측면에서의 상호간의 역할을 정량적으로 평가함으로써 상호간의 갈등을 해소하고 상호 보완적 기능과 역할을 재정립할 필요가 있다. 이에 본 논문에서는 국가적 입장에서 분산형전원의 대표전원인 열병합발전의 편익산정 알고리즘을 제안하여 계통에 미치는 영향을 객관적으로 판단하여 그 역할을 명확히 정립함으로써 열병합발전의 도입방안을 마련하고, 에너지원별 수요관리에 기여하고자 한다.

2.2 회피비용 산정방법

2.2.1 CG 발전설비 건설 회피비용

CG 발전설비 건설 회피비용은 계통에 열병합발전이 투입되어짐에 따라 건설하지 않아도 되는 CG의 건설비용을 말하며 본 논문에서는 기존에 존재하는 열병합발전을 제거하고 제거된 열병합발전의 총 설비용량만큼 CG를 투입할 때 사용된 건설비용으로 산출하였다. CG 발전설비 건설 회피비용은 투입된 설비용량과 건설단가의 곱으로 계산되어지며 산출 식은 식 (2)와 같다.

$$GAC = \sum_m [GUC_{(m)}^d \times P_{(m)}^d] \quad (2)$$

단, *m* : 투입된 CG의 개수
d : 투입된 발전기의 종류
P_(m)^d : 열병합발전의 감소된 설비용량만큼 건설된 *d*종 *m*발전기의 CG설비 용량 [kW]
GUC_(m)^d : 열병합발전 제거 후 새로 건설된 *d*종 *m*발전기의 CG설비 건설비용 [원/kW]

2. 열병합발전의 편익 산정 알고리즘

2.1 편익 산정을 위한 회피비용 구성

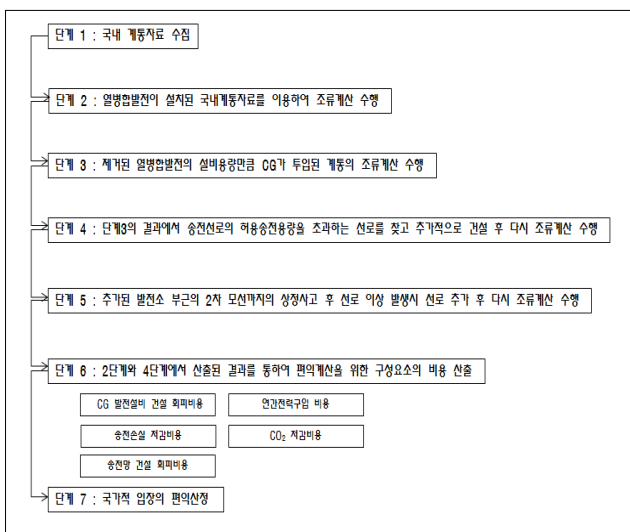
본 논문에서는 편익 산정을 위한 과정은 총 7단계를 통하여 이루어지며 산정과정은 그림 1과 같다.

2.2.2 송전망 건설 회피비용

본 논문에서는 송전망 건설회피비용을 송배전설비인 송전선로를 건설할 때 사용되는 비용으로 보고 열병합발전을 제거하고 CG를 투입할 때 추가적으로 건설되는 송전선로의 건설비용의 총합으로 계산 하였다. 이때 송전망 건설 회피비용을 산정하기 위해서 아래와 같은 4 가지 다른 경우로 고려하였으며, PSS/E를 사용하여 시뮬레이션 하였다.

경우 1 : 제 4차 전력 수급기본계획에 의해 투입된 CG가 기존 건설된 모선이 아닌 새로운 모선에 투입되어 기존 계통과 연계를 위해 추가적으로 송전선로를 투입해야 하는 경우 송전선로 신설
 경우 2 : 조류계산을 수행했을 때 모든 선로에 대하여 송전선로의 허용 송전용량을 만족하는 경우로 송전선로 허용 송전용량을 모두 만족하므로 조류계산을 종료하고, 이때 건설된 송전선로가 없기 때문에 송전회피비용은 0이 됨
 경우 3 : 허용 송전용량을 초과하는 선로가 발생했을 경우로 다음과 같은 과정을 거쳐 송전망 건설 회피비용을 산정함

- ① 허용 송전용량을 초과하는 선로가 발생하였으므로 허용송전용량을 초과한 선로에 대하여 허용송전용량을 초과하지 않도록 추가적으로 송전선로를 건설
- ② 이때 증설되는 송전선로는 송전선로용량이 큰 순서로 증설을 하고,



〈그림 1〉 열병합발전의 편익 산정을 위한 플로우 차트

다시 조류계산을 수행하여 경우 2와 같이 모든 송전선로에 송전선로 허용용량을 만족하도록 해야 함
 경우 4 : 경우 1의 경우와 같이 새로 신설된 CG주변의 1차 혹은 2차 모선까지 연결된 선로에 대하여 상정사고를 발생 시키고, 상정사고 발생 후 이상 선로에 대하여 추가적으로 선로를 건설

경우 1 ~ 경우 4와 같은 과정을 거쳐 송전망 건설이 필요하여 송전망을 증설한 경우 송전망 건설 회피비용은 송전망을 건설하는데 사용된 비용의 총합과 같으며 산정 식은 식 (3)과 같다.

$$LUA = \sum_i UC_{(m)}^d \quad (3)$$

단, i : 증설된 송전선로의 수
 d : 증설된 송전선로의 종류 (154 ~ 765 [kV])
 $UC_{(i)}^d$: 증설된 d 종 i 선로의 송전건설비용 [원]

2.2.3 송전선로에 대한 손실 저감비용

본 연구에서는 최대부하 시 CG대신 열병합발전을 투입함으로써 감소된 계통 손실량과 최대부하에 대한 계통내 열병합의 이용률, 계통 손실률, 전원의 계통한계가격의 곱으로 표현되며 1년간의 손실저감비용을 계산하기 위하여 8760시간을 곱하였다. 송전손실 저감비용 산출 식은 식 (4)와 같다.

$$LA = AC \times (Loss_{ref} - Loss_{dis}) \times 8760 \times CP \times LF \quad (4)$$

단, $Loss_{ref}$: 열병합발전이 제거되고 CG가 투입된 계통의 손실량 [kWh]
 $Loss_{dis}$: 열병합발전 투입된 계통의 손실량 [kWh]
 AC : 열병합발전 제거되고 CG가 투입된 계통의 계통한계가격 (SMP) [원/kWh]
 CP : 부하율(평균부하/최대부하)
 LF : 열병합발전을 제거한 계통 손실률(계통평균손실률/계통최대손실률)

2.2.4 열병합발전 건설비용

국가적 입장에서 편익을 산출하기 위해서는 CG 발전설비 건설 회피비용뿐만 아니라 열병합발전이 투입되어 열병합발전을 건설하는데 사용되는 비용 역시 포함되어야 한다. 열병합발전 건설비용 산출방법은 투입된 열병합발전설비용량과 건설단가의 곱으로써, 산정 식은 식 (5)와 같다.

$$DAC = \sum_m [DUC_{(m)}^d \times P_{(m)}^d] \quad (5)$$

단, m : 투입된 열병합발전의 수
 d : 투입된 열병합발전의 종류
 $P_{(m)}^d$: 투입된 열병합발전의 d 종 m 발전기의 설비용량 [kW]
 $DUC_{(m)}^d$: 열병합발전 설비의 d 종 m 발전기의 건설비용 [천원/kW]

2.2.5 CO2 저감비용

본 연구에서 환경에 관여하는 회피비용을 산정하기 위해서는 발전설비의 연료소비량에 따른 이산화탄소배출량을 산정하고, 배출량에 대한 이산화탄소 배출비용을 적용하여 환경비로 반영하기 위한 입력 자료로써 이산화탄소 단위배출계수와 이산화탄소 배출비용을 반영하여 CO2 저감비용을 산정 하였다. CO2 저감비용 산출 수식은 식 (6)과 같다.

$$CO_2 = CO_2C \times 8760 \times \frac{1}{100} \times [(GE_{ref} \times CP_{ref}) - (GE_{dis} \times CP_{dis})] \quad (6)$$

단, CP_{ref} : 최대부하에 대한 CG가 투입된 계통의 설비이용률 [%]
 CP_{dis} : 최대부하에 대한 열병합발전이 투입된 계통의 설비이용률 [%]
 GE_{ref} : 열병합발전이 제거된 계통의 발전출력에 의한 탄소배출량 [Ton/h]
 GE_{dis} : 열병합발전이 투입된 계통의 발전출력에 의한 탄소배출량 [Ton/h]
 CO_2C : 탄소배출비용 [원/Ton]

3. 사례연구

본 논문에서는 열병합발전을 제거한 후 열병합발전의 설비용량과 같은 CG를 투입하기 위하여 제 4차 전력 수급기본계획의 연도별 발전소 건설계획 순서에 따라 투입하였으며, 본 논문 2장의 회피비용 산출 방법을 이용하여 산정한 결과는 다음과 같다.

〈표 1〉 열병합발전 전체의 회피비용 산정 결과

회피비용 구분	용량 당 회피비용 [원/kW]
발전설비 건설회피비용	1,484,405
열병합발전설비용	-1,106,636
송전망 건설회피비용	80,581
송전손실저감비용	15,576
CO2 저감비용	-38,958

〈표 2〉 전국 열병합발전의 편익산정 결과

	국가적 입장
투입된 열병합 설비용량 [MW]	5,593
편익 [원/kW]	434,968
[만원/kW]	43.49

4. 결 론

본 논문에서 제안한 알고리즘은 열병합발전이 계통에 투입되었을 때 미치는 영향을 평가하기 위해 사용하였으며, 제안된 알고리즘의 타당성과 유용성을 증명하였다.

- (1) 본 연구는 열병합발전이 계통에 투입되었을 때 미치는 영향을 평가하기 위한 알고리즘으로 열병합발전의 편익 산정 알고리즘을 제안하였으며, 본 논문에서 산정한 결과를 통해 계통에 미치는 영향을 정량적으로 평가하고자 하였다.
- (2) 편익 산정을 위해 국가적 입장에서 회피비용을 산정하였고, 열병합발전의 편익 계산을 위한 회피비용 구성을 CG 발전설비 건설 회피비용, 송전망 건설 회피비용, 송전손실 저감비용, CO2 저감비용을 (+) 요인으로 하였으며, 열병합발전 건설비용을 국가적 입장의 편익 산출을 위한 (-)요인으로 하였다.
- (4) 본 연구에서 산정한 편익산정 결과에 따라, 열병합발전이 계통에 투입되었을 때 편익의 양을 정량적으로 산정하여, 열병합발전의 보급 활성화에 기여할 수 있으며, 열병합발전으로 하절기 전력 피크부하를 감소시켜 에너지 수요관리에 크게 기여할 수 있을 것으로 사료된다.

본 연구에서는 열병합발전을 대상으로 편익을 산정하여 열병합발전이 계통에 미치는 영향을 평가하였지만, 향후 전기적 측면뿐만 아니라 열 및 가스측면을 고려한 편익산정이 필요하며 열병합발전만이 아닌 분산형전원에 대한 편익 산정이 추후 연구되어야 할 것으로 사료된다.

[참 고 문 헌]

[1] 지식경제부, “제4차 전력수급기본계획”, 2008.
 [2] EC, Community research, “European SmartGrids Technology Platform”, 2009.
 [3] Yan He, Nick Jenkins, “ICT Infrastructure For Smart Distribution Networks”, 2010 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2010.
 [4] Yi-Hseih Huang, “Benefit Evaluation of Cogeneration Based on Avoided Cost of Power Generation and Transmission”, IEEE, 2004.
 [5] John Coviello, “The case for decentralized generation of electricity”, Committee for the Scientific Investigation of Claims of the Paranormal, Vol. 29, Issue 3, pp. 61-63, May. 2005.
 [6] “長期 送變電 設備計劃(2004年~2017年)”, 系統計劃室 送變電本部, 2005.3