

국가 및 전력회사의 관점에서 열병합발전의 편익산정에 관한 연구

논 문
60-5-1

A Study on Calculation of Combined Heat and Power on Standpoint of Nation and Independent Power Producers

김 용 하* · 이 평 호** · 김 영 길** · 조 현 미** · 우 성 민†
(Yong-Ha Kim · Pyong-Ho Lee · Young-Gil Kim · Hyun-Mi Jo · Sung-Min Woo)

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.

Key Words : Avoid Cost(AC), Combined Heat and Power(CHP), Cogeneration, Benefits, Independent Power Producer(IPPs)

1. 서 론

최근 국제적으로 온실가스 감축의무에 대한 동참 요구가 가중되어 지구환경보전에 대한 국가적 차원의 대책이 요구되고 있다. 이러한 국제적 추세에 발맞출 뿐만 아니라 선도적 위치에서 우리나라도 저탄소녹색성장을 성장 동력으로 삼아 신재생에너지와 그린에너지 로드맵에 의거하여 기존의 중앙 집중형 발전시스템에서 분산형 발전시스템으로의 전환을 시도하고 있는 실정이다.

특히, 전력계통의 측면에서는 중앙집중형 발전시스템과 분산형 발전시스템을 함께 조화롭게 구성하여 전력 및 열의 생산과 소비의 효율을 극대화하기 위해서 열병합발전의 보급이 국가의 중요한 사업으로 추진되고 있다. 이러한 배경으로 열병합발전의 가치 평가에 대한 논의가 활발히 이루어지고 있으나, 이에 관한 국내연구는 미흡한 실정이다. 열병합발전 편익에 관한 국내 연구로는 “국가적 편익 산정에 의한 소형열병합발전 시스템이 전력계통에 미치는 영향의 정량적 평가”[1]로 전력손실 저감비용, 발전소 건설비용, 송전망 건설비용을 요소로 하여 국가적 입장에서 편익을 산정하

였으며, 해외 연구로는 “Benefit Evaluation of Cogeneration Based on Avoided Costs of Power Generation and Transmission”[2]로 발전소 건설비용, 전력손실 저감비용, 송전망 건설비용, 전력구입비용 등의 회피비용을 산정하여 전력회사입장에서의 편익을 산정하였다.

본 논문에서는 한국전력공사에서 사용하는 국내 실계통의 2010년 첨두부하 데이터[3]를 기반으로, 계통에 설치되어 있는 열병합발전을 제거하고 투입된 CG로 인해 발생하는 계통의 이상유·무를 판단하기 위하여 한국전력공사에서 규정하는 방법에 따라 상정사고를 고려하여 시뮬레이션을 수행하였다. 또한 시뮬레이션 결과와 해외에 발표된 논문[2]을 근거로 국내 실정에 부합되는 새로운 관점으로 국가적 입장에서의 편익과 전력회사 입장에서의 편익 모두를 산정하였고, 투입된 CG의 종류 차이로 인해 변화되는 발전설비 건설 회피비용과, CO₂ 저감비용을 산정하여 투입된 CG의 종류별 편익을 산정하였다. 또한 열병합발전을 국가 전체 열병합발전과 수도권지역 열병합발전으로 구분하여 편익을 산정함으로써 열병합발전이 부하근처에 설치되었을 경우 그 효과가 어느 정도 되는지 정량적인 값을 제시하였다.

* 정 회 원 : 인천대 공대 전기공학과 교수
** 준 회 원 : 인천대 공대 전기공학과 석사과정
† 교신저자, 정회원 : 인천대 공대 전기공학과 박사과정
E-mail : ywoosm@incheon.ac.kr
접수일자 : 2010년 12월 22일
최종완료 : 2011년 4월 18일

2. 열병합발전의 편익산정 알고리즘

본 연구에서의 편익 산정을 위한 과정은 총 8단계를 통하여 이루어지며 산정과정은 그림 1과 같다.

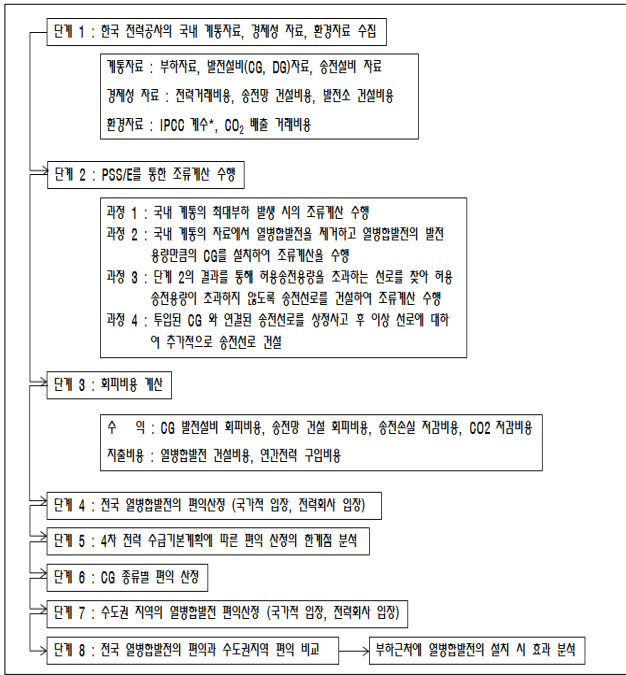


그림 1 열병합발전의 편익 산정 흐름도
 Fig. 1 Flowchart of Benefit Assessment CHP

2.1 편익 산정을 위한 회피비용 구성

해외에서 수행되어진 연구[2]에서는 열병합발전의 편익산정을 위한 수익에 해당되는 구성요소를 송전선로에 대한 손실 저감비용, 송전망 건설 회피비용, CG 발전설비 건설 회피비용으로 하였고, 연간전력구입비용을 전력회사 입장의 지출로 고려하였다. 국내 연구[1]에서는 손실 저감비용, 송전망 건설회피비용, CG 발전설비 건설 회피비용, 에너지 저감비용으로 고려하여 국가적입장의 편익을 산정하였다. 하지만 국내에서 연구된 국가적 입장의 편익산정은 지출이 고려되지 않고 두 연구 모두 최근 화두가 되고 있는 기후변화 협약 및 온실가스 감축의무들을 고려하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 두 입장을 모두 고려한 새로운 개념의 편익 산정 알고리즘으로 CO₂ 저감비용을 추가하여 국가적 입장과 전력회사 입장의 수익에 해당하는 구성요소로 고려하였으며, 열병합발전을 건설하는데 사용되는 비용을 국가적 입장의 지출 구성요소로 하였다.

2.1.1 국가적 입장의 편익산정

국가적 입장에서 열병합발전을 설치했을 경우 발생하는 수익을 CG 발전설비 건설 회피비용, 송전망 건설 회피비용, 송전선로에 대한 손실 저감비용[2], CO₂ 저감비용으로 구성하였고, 열병합발전 건설비용을 지출로 하였다. 국가적 입장의 편익 산출 식은 식 (1)과 같다.

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

단위 : [원/kW]

GAC : CG 발전설비 건설 회피비용
LA : 송전선로에 대한 손실저감비용
LUA : 송전망 건설 회피비용
CO₂ : CO₂ 저감비용
DBC : 열병합발전 건설비용

2.1.1 전력회사 입장의 편익산정

전력회사 입장에서 열병합발전을 설치했을 경우 발생하는 수익은 국가적 입장의 수익과 같고, 계통운영을 위한 전력거래비용인 연간전력 구입비용[2]을 지출로 하였다. 전력회사 입장의 편익 산출 식은 식 (2)와 같다.

$$PR = (GAC + LA + LUA + CO_2) - YBP \quad (2)$$

단위 : [원/kW]

GAC : CG 발전설비 건설 회피비용
LA : 송전선로에 대한 손실저감비용
LUA : 송전망 건설 회피비용
CO₂ : CO₂ 저감비용
YBP : 연간전력구입비용

2.2 회피비용 산정방법

2.2.1 CG 발전설비 건설 회피비용

기존 해외 연구[2]에서는 CG 설비용량, 이용률, 건설비용, 8760시간을 곱하여 CG 발전설비 건설 회피비용을 산정하였지만, 본 논문에서는 CG 발전설비 건설 회피비용을 초기 투자비의 개념으로 고려하였다. 즉, 계통에 존재하는 열병합발전을 제거하고 제 4차 전력 수급기본계획의 발전설비 계획 [4]에 따라 투입했을 때 사용되어지는 CG의 건설비용을 CG 발전설비 건설 회피비용으로 정의하여 투입된 CG의 설비용량[3]과 CG 종류에 따른 건설단가[5]의 곱으로 산출하였다. CG 발전설비 건설회피비용 산출 식은 식 (3)과 같다.

$$GAC = \sum_m [GUC_{(m)}^d \times P_{(m)}^d] \quad (3)$$

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

2.2.2 열병합발전 건설비용

기존 국내 연구[1]에서는 국가적입장의 편익 산정 시 지출되는 비용이 적용이 되지 않았다. 하지만 열병합발전을

건설하는데 사용되는 비용은 국가적 입장에서 지출되는 비용이므로 본 연구에서는 열병합발전 설비 건설비용을 국가적 입장의 지출비용으로 포함하였다. 열병합발전 건설비용 산출은 투입된 열병합발전설비용량[6]과 건설단가[7]의 곱하여 산정하였으며, 산정 식은 식 (4)와 같다.

$$DBC = \sum_m [DUC_{(m)}^d \times P_{(m)}^d] \quad (4)$$

- 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]

2.2.3 송전망 건설 회피비용

열병합발전대신 CG를 투입하게 되면 국내 계통에서는 북상조류로 인해 기존 송전선로의 허용송전용량을 넘는 선로가 발생하게 되며 이러한 경우에는 추가적인 송전선로의 보강 및 건설이 필요하게 된다. 해외 연구[2]에서는 송전선로를 보강 할 때 사용되는 비용을 송전망 건설 회피비용으로 정의하였지만, 송전선로는 선종이 다양하여 어느 송전선로로 보강하느냐에 따라 송전망 건설 회피비용은 달라진다. 이러한 이유로 본 논문에서는 PSS/E를 이용한 시뮬레이션 결과에서 허용송전용량을 초과하는 송전선로가 발생한 경우 동일한 특성의 송전선로를 증설하는 것으로 하였다. 또한 본 논문의 경우 한국전력공사의 송전망 건설 규칙에 따라 경우 4와 같이 상정사고를 고려하여 이상선로의 발생 시에도 추가적인 송전선로를 건설하도록 하였다.

- 경우 1 : 제 4차 전력 수급기본계획에 의해 투입된 CG가 기존에 건설된 모선이 아닌 새로운 모선에 투입되어 기존 계통과 연계를 위해 추가적으로 송전선로를 투입해야 하는 경우 송전선로 신설
- 경우 2 : CG가 투입된 계통의 조류계산을 수행했을 때 모든 선로에 대하여 송전선로의 허용 송전용량을 만족하는 경우로, 송전선로 허용 송전용량을 모두 만족하므로 조류계산을 종료하고, 이때 건설된 송전선로가 없기 때문에 송전회피비용은 0으로 함
- 경우 3 : 허용송전용량을 초과하는 선로가 발생했을 경우 다음과 같은 과정을 거쳐 송전망 건설 회피비용을 산정
 - ① 허용송전용량을 초과한 선로에 대하여 추가적으로 송전선로를 건설
 - ② 이때 증설되는 송전선로는 허용송전용량을 초과한 선로와 동일한 선로를 건설하고, 다시 조류계산을 수행하여 경우 2와 같이 모든 송전선로에 송전선로 허용 송전용량을 만족하도록 함
- 경우 4 : 새로 투입된 CG주변의 1차 혹은 2차 모선까지 연결된 선로에 대하여 한국전력공사에서 사용하

는 방법에 따라 상정사고를 발생 시키고, 상정사고로 인해 이상 선로가 발생한 경우 추가적으로 선로를 건설

경우 1 ~ 경우 4와 같은 과정을 거친 송전망 건설 회피비용은 설치된 개별 송전망 건설비용[8]의 총합과 같으며 산정 식은 식 (5)와 같다.

$$LUA = \sum_i UC_{(i)}^d \quad (5)$$

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

2.2.4 송전선로에 대한 손실 저감비용[2]

부하와 가까운 열병합발전을 제거하고 CG를 투입하게 되면 국내계통의 특징인 북상조류의 증가로 인해 열병합발전을 투입한 계통보다 더 큰 계통손실이 발생하게 된다. 따라서 계통에 존재하는 발전기에서는 송전손실에 해당하는 만큼의 전력을 더 발전을 해야 한다. 발전기의 추가적인 운전은 발전비용, 혹은 에너지 사용 비용을 발생시킨다. 본 논문에서는 두 계통의 선로에 발생하는 1년간의 손실량 차이만큼을 일부 발전기에서 1년간 발전하는 발전량으로 보고 운전하는 발전기의 운전비용을 송전선로에 대한 손실 저감비용으로 정의 하였다. 송전손실 저감비용 산출 식은 식 (6)과 같다.

$$LA = SMP \times (Loss_{ref} - Loss_{dis}) \times 8760 \times \frac{CP}{100} \times \frac{LF}{100} \quad (6)$$

- 단, $Loss_{ref}$: 열병합발전이 제거되고 CG가 투입된 계통의 손실량(열병합발전을 제거한 후 CG를 투입한 계통의 발전용량 - 열병합발전을 제거한 후 CG를 투입한 계통의 부하용량) [kWh]
- $Loss_{dis}$: 열병합발전이 투입된 계통의 손실량(열병합발전이 투입된 계통의 발전용량 - 열병합발전이 투입된 계통의 부하용량) [kWh]
- SMP : 계통한계가격 [원/kWh]
- CP : 설비 이용률 [%]
- LF : 손실률(연간 평균 계통 손실률*/peak 시 계통 손실률*) [%]
- *peak시 계통 손실률 = $\frac{peak부하시 발전기출력 - peak부하총합}{peak부하시 발전기출력} \times 100$ [9]
- *연간평균 계통 손실률 = $\frac{1년 평균부하 \times 최대손실률}{peak부하총합}$ [9]

2.2.5 연간전력구입비용[2]

열병합발전을 투입하게 되면 전력회사에서는 열병합발전 설비의 발전용량 만큼을 발전할 수 있는 CG 설비를 건설하지 않아 비용을 절약 할 수 있지만, 계통을 운영하기 위해서는 부족한 전력을 열병합발전을 운영하는 업체와 전력거래

를 통해 전력을 사와야 하는 비용이 발생하게 된다. 이때 사용되는 비용을 연간전력구입비용으로 정의하였고, 연간 전력구입비용을 전력회사 입장에서의 지출구성요소로 포함 하였다. 연간 전력구입비용 산정 식은 식 (7)과 같다.

$$YBP = BP \times \sum_m P_{(m)}^d \times \frac{CF}{100} \times 8760 \quad (7)$$

- 단, m : 투입된 열병합발전의 수
- d : 투입된 열병합발전의 종류
- BP : 열병합발전의 전력구입비용(한전판매단가 적용)[10] [원/kWh]
- $P_{(m)}^d$: d 종 m 열병합발전의 설비용량 [MW]
- CF : 최대부하에 대한 열병합발전의 설비이용률[%]

2.2.6 CO₂ 저감비용

최근 기후변화협약과 온실가스 감축에 대한 관심이 커지고, 곧 시행될 발전분야 배출권거래제도 시험 사업과, 탄소세 도입들이 추진되고 있는 사회적 상황을 고려하여 본 연구에서는 CO₂ 저감비용을 국가적입장과 전력회사입장의 수익으로 반영 하였으며, CG가 투입된 계통에서 발생하는 CO₂량과 열병합발전이 투입된 계통에서 발생한 CO₂량의 차이에 이산화탄소 배출비용[4]을 곱함으로써 CO₂ 저감비용을 산정하였다. CO₂ 저감비용 산출 수식은 식 (8)과 같다.

$$CO_2 = CO_2C \times 8760 \times \frac{1}{100} \times [(GE_{ref} \times CP_{ref}) - (GE_{dis} \times CP_{dis})] \quad (8)$$

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

* GE = 발전기별 이산화탄소단위배출계수_(m) * $\times peak$ 부하시 발전기 발전용량_(m) $\times 860 \times 10^{-6}$

* 발전기별 이산화탄소단위배출계수 = 탄소배출계수[11] $\times 44/12$

3. 사례연구

3.1 편익산정을 위한 자료구축

본 논문에서 사용한 자료는 국내 계통자료, 경제성 자료, 환경자료로 구성되어있으며, 그 세부 내용은 다음 표 1과 같다.

표 1 편익산정을 위한 자료

Table 1 Material for Calculating Benefit

자료 구분	자료 구성
국내 계통자료	부하자료, 발전설비(CG, DG)자료, 송전설비 자료
경제성 자료	전력거래비용, 송전망 건설비용, 발전소 건설비용
환경자료	IPCC 계수, CO ₂ 배출권 거래 비용

3.1.1 국내 계통 자료

본 논문에서는 편익 산정을 위해 사용된 국내 계통 자료 [3]는 발전설비 자료, 부하자료, 송전설비 자료 등으로 구성 하였으며 그 내용을 요약하면 표 2와 같다. 표 3은 열병합발전의 계통 데이터[4,6]이고, 표 4는 투입될 CG의 데이터 [3,4] 이다.

표 2 조류 계산 수행을 위한 계통 데이터 요약

Table 2 Summary of Power System Data for Power Flow Simulation

구분	수량	
모선수[개]	765 [kV]	6
	345 [kV]	119
	154 [kV]	1,505
	전체	1,630
발전기	설비용량	67,347
	발전용량	63,566
	발전기수	286
부하	부하용량	67,703
	부하수	1,124
선로 [개]	765 [kV]	7
	345 [kV]	154
	154 [kV]	1,933
변압기[기]	2 winding	280
	3 winding	262

단, 2010년 Peak 기준으로 계통에 포함된 열병합발전 설비 및 열병합발전 대신 투입된 CG의 설비는 제외한 데이터임

표 3 열병합발전의 계통 데이터 요약

Table 3 Summary of CHP Data in Power System

구분	열병합발전 전체	수도권지역 열병합발전	
설비용량[MW]	5,593	3,340	
발전용량[MW]	5,317	3,177	
발전기수 [기]	집단에너지 사업자 발전기	35	17
	산업단지 열병합 발전기	23	3
	소형 열병합 발전기	364	77

표 4 계통에 투입될 CG 데이터 요약

Table 4 Summary of CG Data in Power System

구분		열병합발전 전체를 제거한 후 투입된 CG	수도권지역 열병합발전을 제거한 후 투입된 CG
설비용량[MW]		5,500	3320
발전용량[MW]		5,317	3177
발전기수 [기]	원자력	3	2
	복합화력	10	10
	수력증설	1	1
	양수발전	2	1

3.1.2 경제성 자료 및 환경자료

본 논문에서는 편익 산정을 위한 경제성 자료로 CG 발전설비 건설단가[5], 열병합발전설비 건설단가[7], 송전선로 건설 단가[8], 연료원별 정산단가[10], SMP[10], 이산화탄소 단위배출계수를 사용하였다. CG 설비 건설 단가는 표 5와 같다.

표 5 CG 설비의 건설 단가

Table 5 Unit Cost of CG Facilities

구분 [MW]		건설단가(천원/kW)		증감률 (%)
		4차계획	3차계획	
원자력	1,000	2,122	1,853	14.5
	1,400	1,790	1,731	3.4
	1,500	1,729	-	-
석탄 (유연탄)	500	1,145	1,161	-1.4
	800	1,058	1,064	-0.6
	1,000	957	962	-0.5
LNG 복합	150	1,401	-	-
	500	815	680	19.9
	700	792	665	19.1
양수	300	915	753	21.5
유류	40(내연)	2,076	1,667	24.5
	100(기력)	1,881	1,676	12.2

열병합발전설비 건설 단가[7]는 ‘2010년 발전소 건설사업 추진현황의 자료’에서 발전회사별 건설비 실적자료를 이용하여 산출하였으며, LNG를 이용한 열병합발전의 경우 10 [MW] 이하를 소형 열병합발전, 10 [MW] 이상을 중대형열병합발전으로 구분하여 설비용량 기준 가중평균 건설비 단가를 산정하였다. 다음 표 6은 열병합발전설비 건설 단가이다.

표 6 열병합발전설비의 건설 단가

Table 6 Construction Cost of CHP

분산형전원의 종류	사용연료		건설비단가 [천원/kW]
	열병합발전의 종류	LNG	
중대형[10MW이상]			1,001.58
유연탄		2,376.04	
BC		1,353.38	

송전선로 건설비[8]는 배전 부분을 제외한 송전선로의 건설비만을 반영 하였으며, ‘2010년도 가공송전선로 표준공사비’를 적용하였다. 송전선로 건설비는 표 7과 같다.

표 7 가공 송전선로 표준공사비 [천원/km]

Table 7 Standard Cost of Transmission Line

회선수	선종	자재비	노무비	제비	총공사비
2	A	171,737	292,610	264,524	728,871
	B	186,997	300,924	304,826	792,747
	A*2B	252,896	347,274	353,169	953,339
	B*2B	279,718	371,252	372,962	1,023,932
	C*2B	412,219	752,978	419,835	1,585,032
	C*4B	687,631	732,042	635,488	2,055,161
4	A	342,986	421,956	305,656	1,070,598
	B	406,874	611,144	380,419	1,398,437
	A*2B	537,650	753,326	464,825	1,755,801
	B*2B	602,431	954,918	488,799	2,046,148
	C*2B	755,956	1,355,374	679,126	2,790,456
	C*4B	1,430,163	1,837,593	906,818	4,174,574

단, A : A330mm², B : A410mm², C : A480mm²

연료원별 정산단가[10]는 2010년도 7월을 기준으로 적용하였으며, SMP[10]역시 2010년 7월 기준으로 산정된 결과를 적용하였다. 또한 본 논문에서 사용한 환경자료는 발전설비의 발전용량에 따른 IPCC 탄소배출계수[9]에 분자량 44/12를 곱해서 산출한 이산화탄소 단위배출계수와 탄소배출비용[4]을 적용하였다.

3.2 열병합발전 전체의 회피비용 및 편익 산정 결과

열병합발전 전체의 회피비용 산정 결과는 표 8과 같으며, CO₂ 저감비용의 경우 제 4차 전력 수급기본계획에 의해 투입되는 발전기의 순서에 따라 영월복합, 신고리1, 청평 수력 증설, 예천양수1, 안동복합, 신고리2, 예천양수2, 신월성 순으로 투입되었다. 이들 발전기 구성의 대부분은 수력과 원자력으로 이산화탄소 배출계수가 0 [kg-CO₂/Gcal] 인 반면, 주로 LNG를 사용하는 열병합발전의 이산화탄소 배출계수는

234.87 [kg-CO₂/Gcal]로 계통 운영 시 열병합발전이 투입된 계통에서 이산화탄소가 더 많이 발생하게 된다. 이러한 이유로 본 논문에서 산정한 CO₂ 저감비용은 (-)값으로 산출되었다. 회피비용 산정결과를 통해 열병합발전의 편익을 전력회사 입장과 국가적 입장으로 구분하여 산정한 결과 표 8과 같이 산출되었다. 본 결과는 전력회사 입장의 편익은 413,939 [원/kW], 국가적 입장의 편익은 434,968 [원/kW]으로 산정되어 계통에 열병합발전을 설치할 경우 CG 발전 설비보다 많은 이익이 발생하였고, 열병합발전의 설치 시 전력회사의 입장보다 국가적으로 더 많은 편익이 발생하였다.

표 8 열병합발전 전체의 편익 산정결과

Table 8 Result of Benefit of CHP in Nation

회피비용 구분 [원/kW]		회피비용 산정결과 [천원]	전력회사 편익	국가적 편익
수익	발전설비 건설회피비용	8,302,275,000	1,484,405	1,484,405
	송전망 건설회피비용	450,692,260	80,581	80,581
	송전손실 저감비용	87,117,660	15,576	15,576
	CO ₂ 저감비용	-217,893,717	-38,958	-38,958
지출	열병합발전 건설비용	6,189,415,920	-	1,106,636
	연간전력 구입비용	6,307,032,377	1,127,665	-
합계		-	413,939	434,968

3.3 제 4차 전력 수급 기본계획에 의한 열병합발전의 편익산정 한계점 및 CG 종류별 편익 산정결과 비교

본 논문에서는 열병합발전을 제거하고, 열병합발전의 발전용량 만큼 공급할 수 있는 CG 설비를 제 4차 전력 수급 기본계획의 발전기 투입 순서에 따라 투입하였다. 하지만 표 8에서 보는 바와 같이 편익에서 가장 큰 비중을 차지하는 것은 CG 발전설비 건설회피비용이며, 투입되는 CG를 변화 시키게 되면 CG 발전설비 건설 회피비용의 변화와 계통의 CO₂ 배출량도 달라져 편익이 달라진다. 이러한 이유로 본 장에서는 CG의 종류별 편익을 산정하여 그 차이를 비교하였다. 본 논문에서는 제 4차 전력 수급 기본계획의 발전기 순서에 따라 같은 종류의 발전원만을 투입하여야 하나, 일부 발전원의 경우 제거된 열병합발전의 발전용량 만큼을 투입할 설비용량이 제시되지 않았다. 따라서 동일한 조건을 부여하기 위하여 영월복합, 신고리1, 청평 수력증설, 예천양수1, 안동복합, 신고리2, 예천양수2, 신월성의 동일한 위치와 동일한 발전용량을 투입하는 것으로 하였으며, 각발전기의 설비용량은 각 발전기의 이용률을 적용하여 산정하였다. 이러한 이유로 추가적인 송전선로는 존재하지 않았으며, 계통에 변화되는 손실량도 존재하지 않았다. 표 9는 투입된 CG 종류에 따른 발전설비 건설 회피비용과 CO₂ 배출량 및 저감비용을 산정한 결과이다.

표 9 투입된 CG 종류에 따른 발전설비 건설비용과 CO₂ 배출량 및 CO₂저감비용

Table 9 Construction Cost, CO₂ Emission and Trad Cost of Sorted CG

구분	설비용량 [MW]	건설비용 [백만원]	CO ₂ 배출량 [Ton/h]	CO ₂ 저감비용 [백만원]	
원자력	5318	11,284,202	0	-290,862	
화력	석탄	5340	5,649,310	1811	190,503
	유류	5598	10,529,086	1376	61,881
양수(수력)	10819	9,899,723	0	-518,011	
4차	5530	8,302,275	336	-217,894	

표 9의 결과를 이용하여 투입된 CG 종류에 따른 편익결과를 산정하면 표 10과 같다. 투입된 CG의 종류별 열병합발전의 편익은 CG 건설비용이 큰 순서와 같이 원자력>수력>유류>4차 전력 수급기본계획에 의한 CG 투입>석탄 순서이며, 전력회사 입장의 최대 편익은 934,046 [원/kW], 최소 편익은 12,621 [원/kW] 으로 산정되었다. 또한, 국가적 입장의 최대 편익은 955,075 [원/kW], 최소 편익은 33,650 [원/kW]와 같은 결과가 도출 되었다.

표 10 투입된 CG 종류에 따른 편익 비교

Table 10 Comparison of Benefit on Sorted CG

구분	편익 [원/kW]	
전력회사 입장	4차	413,939
	원자력	934,046
	석탄	12,621
	유류	862,103
	양수(수력)	645,895
국가적 입장	4차	434,968
	원자력	955,075
	석탄	33,650
	유류	883,133
	양수(수력)	666,924

3.4 수도권지역 열병합발전의 편익 산정 및 부하위치에 따른 열병합발전의 가치 평가

표 10에서와 같이 열병합발전을 설치할 경우가 CG를 설치하는 경우보다 그 편익 큰 것으로 산정되었다. 하지만 부하와 열병합발전 사이의 거리에 따라 열병합발전의 편익은 달라져야 한다. 그러므로 본 장에서는 부하가 집중되어 있는 수도권지역 열병합발전만을 분류하여 편익을 산정하고, 수도권지역 열병합발전의 편익과, 열병합발전 전체의 편익을 비교하였다. 이때 수도권 지역을 서울, 경기, 인천 지역으로 보았고, 이 지역에 있는 열병합발전을 제거한 후 열병합발전의 발전용량을 공급할 수 있는 CG를 투입하여 시뮬레이션을 수행하였다. 수행 결과를 이용하여 산출한 수도권 지역

열병합발전의 회피비용과 편익 산정 결과는 표 11과 같다.

표 11 수도권 지역 열병합발전의 편익 산정결과
Table 11 Result of Benefit of CHP in Seoul National Capital Area

회피비용 구분 [원/kW]		전력회사 입장의 편익	국가적 입장의 편익
수 익	발전설비 건설회피비용	1,452,391	1,452,391
	송전망 건설회피비용	92,805	92,805
	송전손실저감비용	21,184	21,184
	CO ₂ 저감비용	-1,684	-1,684
지 출	열병합발전 건설비용	-	1,079,329
	연간전력구입비용	1,073,205	-
합계		491,491	485,367

표 12 열병합발전 전체와 수도권 열병합발전 회피비용 차이
Table 12 Difference between National CHP and Seoul National Capital Area CHP

회피비용 구분		A - B [원/kW]
수 익	발전설비 건설회피비용	-32,014
	송전망 건설회피비용	12,224
	송전손실저감비용	5,608
	CO ₂ 저감비용	37,274
지 출	열병합발전 건설비용	-27,307
	연간전력구입비용	-54,460

단, A : 수도권지역 열병합발전 회피비 B : 열병합발전 전체의 회피비용

표 8의 열병합발전 전체의 편익과, 표 11의 수도권 지역 열병합발전의 편익을 비교하면, 전력회사 입장의 편익은 77,552 [원/kW], 국가적 입장의 편익은 50,399 [원/kW] 차이로 수도권지역 열병합발전의 편익이 더 큰 것으로 도출되었다. 이러한 결과는 표 12에서 보는 바와 같이 수도권지역 열병합발전의 회피비용의 구성 요소 중 수익에 해당하는 송전망 건설 회피비용과, 송전손실 저감비용이 열병합발전 전체의 회피비용보다 크게 산출되어 나타나게 되었으며, 이는 열병합발전이 부하 근처에 설치될수록 송전선로의 손실저감과, 송전선로의 추가적인 건설이 적어 수익이 증가된 것으로 사료 된다. 따라서 열병합발전의 건설은 국가적입장과 전력회사입장에서 모두에게 이익이 발생하며 특히 부하와 가까이 건설할수록 편익은 증가함을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서 제안한 알고리즘을 기반으로 열병합발전이 계통에 투입되었을 때 미치는 영향을 평가하기 위해 편익을 산정하였으며, 그 내용을 정리하면 다음과 같다.

(1) 본 논문에서는 국내실정이 반영된 새로운 관점의 국가적 입장과 전력회사 입장으로 구분하여 열병합발전 전체의 편익과 수도권지역 열병합발전의 편익을 산출하였고, 편익의 구성요소를 CG 발전설비 건설 회피비용, 송전망 건설

회피비용, 송전손실 저감비용, CO₂ 저감비용, 열병합발전 건설비용, 연간전력구입비용으로 구성하였다.

(2) 또한, 한국전력공사에서 사용하는 국내 실계통의 2010년 침두부하 시 데이터를 사용하여 시뮬레이션을 수행하였으며, 한국전력공사의 수행방법과 동일하게 상정사고를 적용하여 회피비용을 산정하였고, 회피비용 산정결과를 이용하여 편익을 도출하였다.

(3) 본 논문에서 산출한 열병합발전 전체의 편익은 전력회사 입장에서 413,939 [원/kW], 국가적 입장에서 434,968 [원/kW]이며, 열병합발전이 계통에 투입되었을 경우 전력회사나 국가 모두에게 이익이 되므로 국내 전력계통에 열병합발전의 추가 보급을 위하여 열병합발전의 적극적인 지원이 필요할 것으로 사료된다.

(4) 제 4차 전력 수급기본계획의 CG 투입 순서를 변화하거나, 발전원의 종별을 변화시키면 열병합발전의 편익에 차이가 발생하게 되므로 투입되는 CG의 종류별 편익을 산정할 필요성이 있다. 따라서 본 논문에서는 투입된 CG의 종류에 따라 달라지는 편익의 감도를 분석하였으며 전원종별로 편익을 크게 발생시키는 전원은 원자력>수력>유류>4차 전력 수급기본계획에 의한 CG 투입>석탄 순으로 나타났으며, 국가적 입장의 편익은 최대 955,075 [원/kW]에서 최소 33,650 [원/kW], 전력회사 입장의 편익은 최대 934,046 [원/kW]에서 12,621 [원/kW]으로 산정 되었다.

(5) 열병합발전이 부하와 가까이 설치 될수록 편익이 증가되는 것은 분명한 사실이나 정량적인 차이를 분석하기는 어려웠다. 따라서 본 논문에서는 열병합발전 중 수도권지역에 설치되어 있는 열병합발전만을 분류하여 편익을 산정하였으며, 그 결과는 국가적 입장에서 485,367 [원/kW], 전력회사의 입장에서 491,491 [원/kW]로 산정되었다. 또한 수도권지역 열병합발전과 수도권지역 열병합발전의 편익을 비교하면 전력회사 입장에서 77,552 [원/kW], 국가적 입장에서 50,399 [원/kW] 만큼의 차이로 수도권지역 열병합발전이 더 크게 산출되어 열병합발전이 부하와 가까이 설치 될수록 송전선로의 증설로 인한 비용 감소와 송전선로의 손실의 감소로 편익이 크다는 결론을 도출 하였다.

(6) 편익 산정 시 운전비용, 유지보수비용 및 연료비용이 포함되어 편익을 산출하면 더 정확한 열병합발전의 편익을 산정할 수 있지만, 본 논문에서는 객관성을 중시하여 기존에 발표된 논문의 요소를 주로 반영하여 편익을 산정하였다. 따라서 추후 국내 실정이 반영된 운전비용, 유지보수비용 및 연료비용 등 기타 회피비용을 포함한 편익 산정 알고리즘의 개발이 필요할 것으로 사료된다.

(7) 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 편익산정이 추후 연구되어야 할 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

[1] 나인규, "국가적 편익 산정에 의한 소형열병합발전시스템이 전력계통에 미치는 영향", 인천대학교, 2006.
 [2] Yi-Hseih Huang, "Benefit Evaluation of Cogeneration

Based on Avoided Cost of Power Generation and Transmission”, IEEE, 2004.

- [3] 한국전력공사, “장기송변전 설비계획”, 2009.
- [4] 지식경제부, “제4차 전력수급기본계획”, 2008.
- [5] 한국전력공사, “1차 발전실무소위 회의 자료”, 2008.
- [6] 에너지관리공사, “집단에너지 사업”. 2008
- [7] 한국전력거래소, “2010년 발전소 건설사업 추진현황”, 2010.
- [8] 한국전력공사, “2010년도 가공송전선로 표준공사비”, 2010.
- [9] 에너지관리공단, “WADE Economic Model에 의한 CHP 경제성 분석 연구”, 2007
- [10] 전력거래소, “ 2010년 7월 전력시장 운영실적 보고서”, 2010
- [11] Yan He, Nick Jenkins, “ICT Infrastructure For Smart Distribution Networks”, 2010 IEEE International Symposium on Power Line Communications and Its Applications (ISPLC), 2010.
- [12] Business Information Research, “저탄소 녹색성장을 위한 스마트그리드 시장 전망과 사업전략“, 2009.
- [13] Magnus Olofsson, “Power Quality and EMC in Smart Grid”, 10th International Conference on Electrical Power Quality and Utilization, 2009.



김 영 길 (金 永 吉)

1983년 12월 3일생, 2009년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2009년 ~ 현재 동대 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : (032) 835-4604
E-mail : kyk9894@naver.com



이 평 호 (李 平 浩)

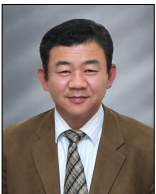
1983년 2월 28일생, 2009년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2009년 ~ 현재 동대 대학원 전기공학과 석사과정.
Tel : (032) 835-4604
E-mail : neverwithyou@hanmail.net



조 현 미 (趙 炫 美)

1987년 2월 23일생, 2010년 인천대학교 전기공학과 졸업. 2010년 현재 동대학원 전기공학과 석사과정
Tel : (032) 835-4604
E-mail : enenenf@hanmail.net

저 자 소 개



김 용 하 (金 龍 河)

1959년 5월 16일생, 1982년 고려대학교 전기공학과 졸업. 1987년 고려대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1992년 ~ 현재 인천대학교 전기공학과 교수.
Tel : (032) 835-8434
E-mail : yhkim@incheon.ac.kr



우 성 민 (禹 成 玟)

1980년 11월 1일생, 2006년 인천대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2006년 ~ 현재 동대학원 전기공학과 박사수료.
Tel : (032) 835-4604
E-mail : ywoosm@incheon.ac.kr