

공공건축물에 적용되는 신·재생에너지원의 새로운 보정계수 제안

김윤호* · 박윤하* · 원안나* · 황정하***

*경북대학교 건설환경에너지공학부

**경북대학교 건축학부

Proposal of New Correction Factors for New and Renewable Energy Sources in Public Building

Kim Yun-Ho* · Park Yun-Ha* · Won An-Na* · Hwang, Jung-Ha***

*School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University

**School of Architecture & Architectural Engineering, Kyungpook National University

†Corresponding author: Peter@knu.ac.kr

Abstract

The government introduced a mandatory installation system of new & renewable energy for public building to meet the target of greenhouse gas reduction and also suggest a correction factor for new renewable energy to expand the installation of various new & renewable energy systems. The introduction of correction factors, however, was followed by the reduction of installation size of new & renewable energy sources. Assuming that it was caused by a correction factor for each new renewable energy source calculated by the initial costs, this study proposed a new correction factor approach based on payback periods to reflect the technology element in the calculation process of correction factors additionally. The application results of new correction factors show that it was possible to do complex calculations including the economic and technological aspects to select a new & renewable energy system and that the installation size was also enlarged.

Keywords: 현보정계수(Current correction factor), 신보정계수(New correction factor) 투자회수기간(Payback period), 가중계수(Weighted factor), 최적화(Optimization)

1. 서론

최근 세계 각국은 온실가스 감축 목표치를 설정하고 이를 달성하기 위한 다양한 정책을 시행하고 있다. 이에 우리나라 정부도 2005년부터 공공기관을 대상으로 ‘공공기관 신·재생에너지 설치의 무화 제도’를 실시하여, 건물 예상에너지사용량의 일정비율 이상을 신·재생에너지로 대체하고 있다.

의무설치비율은 2016년 기준 18%에서 매년 3%씩 증가하여 2020년 이후에는 의무설치비율 30%를 목표로 하고 있다.

 OPEN ACCESS



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.36, No.6, pp.13-24, December 2016
<https://doi.org/10.7836/kSES.2016.36.6.013>

pISSN : 1598-6411
eISSN : 2508-3562

Received: 01 August 2016

Revised: 17 October 2016

Accepted: 01 November 2016

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

그러나 신·재생에너지원의 의무설치비율 산정기준이 2011년 표준건축공사비 기준에서 예상에너지사용량 기준으로 개정되면서, 신·재생에너지원의 다양한 적용이 이루어지지 않고 에너지생산량이 많은 특정 신·재생에너지원에 투자가 편중되는 현상이 나타났다.

이에 신·재생에너지원의 적용을 다양화하기 위하여 신·재생에너지원별 보정계수를 적용하고 있지만 보정계수를 적용한 후는 신·재생에너지원의 설치 규모가 축소되는 경향과 초기투자비용이 낮은 특정 신·재생에너지원에 투자가 편중되는 현상을 나타내고 있다.

따라서 본 연구는 현재의 신·재생에너지원별 보정계수의 문제점을 파악함과 동시에 해결방법을 모색하여, 새로운 보정계수를 제안하였다.

2. 신·재생에너지원별 보정계수

2.1 신·재생에너지원별 현보정계수의 산정

2011년 공공기관의 신·재생에너지 설치의무화 제도에 따른 신·재생에너지 설치규모산정기준은 총건축공사비 5%에서 예상에너지사용량 10%로 개정되었다. 그러나 이때 연간 에너지생산량 대비 설치비용이 저렴한 신·재생에너지원을 설치함으로써 공사비를 최소화하고자 하는 현상이 나타나는 등의 문제점이 지적되었다. 이에 설치비용이 저렴한 특정 신·재생에너지원의 투자 편중현상을 해결하기 위하여 신·재생에너지원별 연간 에너지생산량을 보정하였다. 즉, 신·재생에너지원별 보정계수는 제도 개정 전의 의무화 설치규모 산정기준인 총건축공사비의 5%에 해당하는 비용과 개정 후의 기준인 예상에너지사용량의 10%에 해당하는 신·재생에너지 투입예산이 동일하도록 설정하여 현재의 보정계수를 산출하였으며, Table 1과 같이 적용하고 있다. 신·재생에너지 투입예산 산출 식¹⁾은 (1)~(2)과 같다.

Table 1 Unit energy production, unit costs, and current correction factors of new renewable energy sources

New & renewable energy		Energy production		Unit price (1,000won)	Correction factor
Photo-voltaic	Fixed	1,358	kWh / kW·yr	4,972/kw	4.14
	Tracking	1,765		5,604/kw	3.59
	BIPV	923		9,553/kw	11.70
Solar thermal	Flat plate	596	kWh / m ² ·yr	1,012/m ²	1.92
	Single vacuum- tube	745		1,160/m ²	1.76
	Dual vacuum- tube	745		1,030/m ²	1.56
Heat pump	VerticalClosed	2,045	kWh / kW·yr	1,690/kw	0.70
	Open-Loop	2,045		1,260/kw	0.64
Dayli-ghting	Prism	94.7	kWh / set·yr	8,496/m ²	11.70
	Optical duct	139.7		4,536/m ²	11.70
Fuel cell	PEMFC	9,392	kWh / kW·yr	51,100/kw	6.35

$$\text{신·재생에너지 설치규모(kW or m}^2\text{)} = \text{신·재생에너지생산량(kWh/yr)} \div (\text{신재생에너지의 연간에너지 생산량 (kWh/kWyr or kWh/m}^2\text{yr)} \times \text{월별 보정계수}) \quad (1)$$

$$\text{신·재생에너지 투입예산(원)} = \text{신·재생에너지 설치규모(kW or m}^2\text{)} \times \text{기준단가(원/kW or 원/m}^2\text{)} \quad (2)$$

2.2 신·재생에너지원별 현보정계수의 한계

신·재생에너지 설치의무화 대상 건축물의 최소연면적 1,000 m²을 기준으로, Table 1의 9가지 신·재생에너지원에 대한 초기투자비와 에너지생산량을 산출하였으며, Fig. 1과 같다. 에너지생산량은 식(1)을 이용하여 설치규모를 산정한 후 설치규모에 단위에너지생산량을 곱하여 산출하였으며, 초기투자비는 식(2)를 이용하였다.

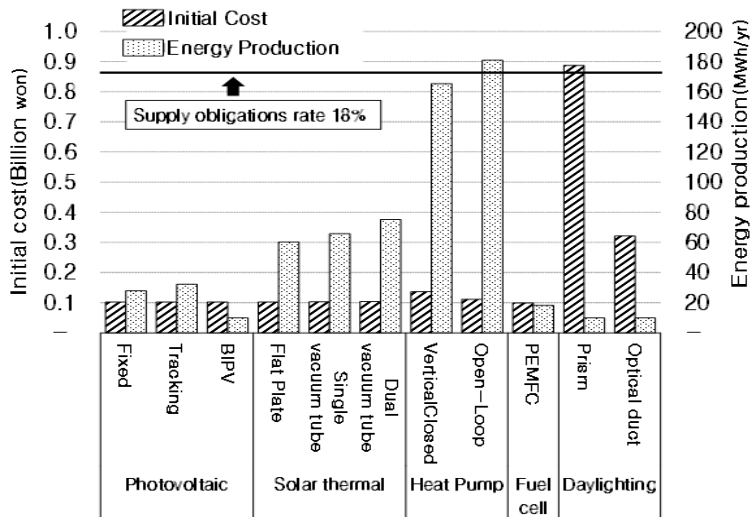


Fig. 1 Initial costs and energy production of new renewable energy sources (per 1,000 m²)

Fig. 1에서 살펴보면 월별보정계수 적용 시 에너지생산량이 신·재생에너지 공급의무량에 미치지 못하는 것을 알 수 있다. 이는 신·재생에너지 설치규모 산정 시 식(1)과 같이 산정하게 되는데, 이때 설치규모와 월별보정계수는 반비례 관계이므로 월별보정계수가 적용됨에 따라 설치규모가 감소되어 에너지생산량이 낮게 나타난 것으로 판단된다.

또한, 신·재생에너지원별 현보정계수는 초기투자비용을 기준으로 산정되었기에 현보정계수를 적용한 신·재생에너지시스템 선정 시 초기투자비용 대비 에너지생산량이 높은 시스템을 선정하는 현상이 지속될 것으로 예상된다.

3. 신·재생에너지원별 현보정계수의 개정방안과 신보정계수의 산정

3.1 현보정계수의 개정방안

적합한 보정계수를 산정하기 위해서는 신·재생에너지시스템의 기술성, 경제성 등 정량적인 요소 외에도 사용자와 전

문가의 선호도 등 정성적 요소가 필요하다고 여겨진다.

정량적 요소 중 기술성에 해당하는 신·재생에너지원의 효율은 초기투자비용대비 에너지생산량과 투자회수기간으로 평가할 수 있으며, 투자회수기간은 경제성의 초기투자비용과 유지보수관리비용 및 기술성의 에너지생산량으로 복합 산출되어 신·재생에너지원의 효율을 검증하는 방법으로 많이 사용되고 있다.

따라서 현보정계수의 개정방안으로 신·재생에너지시스템의 기술성과 경제성의 정량적 요소와 신재생에너지 및 건축설비분야 전문가를 대상으로 실시한 중요도 설문조사 결과의 정성적 요소를 복합 적용하여 새로운 최적의 보정계수를 산정하고자 한다.

3.2 신·재생에너지원별 투자회수기간 분석

신·재생에너지원별 투자회수기간을 산출하기 위하여 ‘공공기관 신·재생에너지 설치의무화제도²⁾’에 따라 1,000 m²의 가상 건물에 에너지공급원으로 단일 신·재생에너지시스템을 적용하여 투자회수기간을 산출하였다. 각 신·재생에너지의 유지보수관리비용은 설비의 고장은 없고 노후화를 방지하기 위한 비용으로 가정하여 초기투자비(P_i)의 3%³⁾를 적용하였으며, 최근 20년간 평균 물가상승률(i)인 3%⁴⁾를 적용하였다. 단, 집광채광은 직접적으로 에너지를 생산하지 않는 점을 고려하여 투자회수기간 도출에서 제외하였으며, 신·재생에너지원별 투자회수기간은 식(3)과 (4)의 산출식을 이용하였다.

$$P_i + P_f - P_e \leq 0 \tag{3}$$

P_i : 신·재생에너지시스템 투자비용(won)

P_f : 유지보수관리비용(won)

P_e : 신·재생에너지생산량의 미래가치(won)

$$P_e = \sum (P_V \times (1 + i)^n) \tag{4}$$

P_e : 신·재생에너지생산량의 미래가치(won)

i : 물가상승률(%)

P_V : 신·재생에너지생산량의 현재가치(won)

n : 년(年)수

신·재생에너지원별 투자회수기간(Fig. 2)은 개방형방식 지열시스템이 7년으로 가장 짧았으며 태양열의 이중진공관형이 13년, 추적식 태양광시스템이 24년, 고분자전해질 연료전지(PEMFC)가 35년이며 건물일체형 태양광시스템(BIPV)이 50년으로 투자회수기간이 가장 길게 산출되었다.

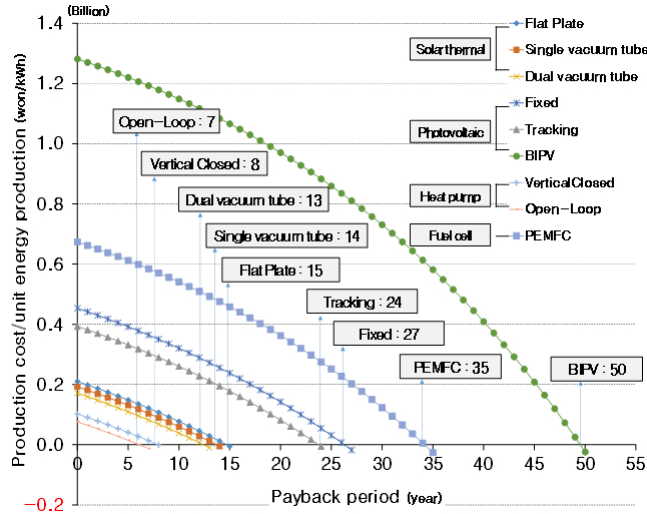


Fig. 2 New and renewable energy sources payback period

3.3 신·재생에너지원별 신보정계수 산정

신·재생에너지원별 현보정계수가 초기투자비에 편중된 면을 개선하기 위해, 신·재생에너지원별 투자회수기간을 일치시켜 새로운 보정계수를 산출하였다. 일치화의 기준으로 경제성, 기술성 2가지 상위 평가항목과 5가지 하위 평가항목에 대한 선호도와 중요도 설문을 실시하였다. 이는 “한국건축친환경설비학회 회원 117명을 대상으로 이메일을 통하여 실시하였으며, 유효응답인 61명(실무자: 14.5%, 연구원: 35%, 정책분야: 2.5%)의 설문답변을 Likert Scales로 분석하여 도출한 가중계수”⁵⁾는 Table 2와 같다.

Table 2 Weighted factor according to the survey results of importance

Precedence evaluation items(a)		Sub-evaluation items(b)		Weighted factor (a×b)
Evaluation items	Important proportion	Evaluation items	Survey results (Full marks:7)	
Economic analysis	0.421	Initial cost	6.36	2.67
		Maintenance cost	5.45	2.29
		Energy cost	5.45	2.29
Technical analysis	0.265	Energy efficiency	6.27	1.66
		Supply stability	6.22	1.64

신·재생에너지원별 가중계수를 도출하기 위해 Table 2의 가중계수를 경제성과 기술성의 하위 항목 가운데 대표 항목인 초기투자비와 에너지효율 2가지를 선정하여 환산에 적용하였다. 초기투자비와 에너지효율에 대한 신·재생에너지원의 순위별 배점은 Table 3과 같으며 식(5)을 이용하여 산출된 신·재생에너지원별 가중계수는 Table 4와 같다.

○ 신·재생에너지원별 가중계수 =
 {(각 시스템의 초기투자비 순위 × 순위별 배점) × 초기투자비 가중계수(2.67)} +
 {(각 시스템의 에너지효율 순위 × 순위별 배점) × 에너지효율 가중계수(1.66)} (5)

Table 3 Ranking and scoring

	Ranking	Scoring by ranking
Excellence	1	3
Very good	2	2.5
	3	
Fair	4	2
	5	
	6	
Bad	7	1.5
	8	
Insufficient	9	1

$$M = (f_1x_1 + f_2x_2 + \dots + f_nx_n) / A \quad (6)$$

- M : 가중평균(고정된 투자회수기간)
- f : 가중계수(각 신·재생에너지원별 가중계수)
- x : 인수(각 신·재생에너지원별 투자회수기간)
- A : 각 신·재생에너지원별 가중계수의 합

$$\frac{P_i}{\Sigma(P_V \times (1+i)^M)} = \alpha \quad (7)$$

- P_i : 초기투자비용
- P_V : 신·재생에너지생산량 비용(현재가치)
- i : 물가상승률
- M : 가중평균(고정된 투자회수기간)
- α : 신보정계수

신·재생에너지원별 투자회수기간의 일치는 식(6)을 이용하여 설문에 의해 도출된 가중계수(f)와 신·재생에너지원별 투자회수기간(x)을 대입하여 산출하였으며 투자회수기간의 가중평균(M)은 17.9년으로 산출되었다.

신보정계수는 식(7)을 적용하였고 투자회수기간은 식(3)을 이용하였으며 이에 따른 신·재생에너지원별 신보정계수는 Table 4과 같다.

Table 4 Comparison of new correction factor and current correction factor

New & renewable energy		Weighted factor	Payback period	New correction factor (A)	Current correction factor (B)
Photovoltaic	Fixed	6.46	27	2.19	4.14
	Tracking	8.62	24	1.9	3.59
	BIPV	4.31	50	6.19	11.7
Solar thermal	Flat plate	8.62	15	1.02	1.92
	Single vacuum tube	8.62	14	0.93	1.76
	Dual vacuum tube	10.77	13	0.83	1.56
Heat pump	Verticalclosed	10.77	8	0.5	0.7
	Open-loop	12.93	7	0.37	0.64
Fuel cell	PEMFC	6.46	35	3.25	6.35

4. 신·재생에너지원별 신보정계수의 검증

4.1 대상건물 선정 및 에너지사용량

신보정계수가 건물의 신·재생에너지시스템 설치에 미치는 영향을 분석하기 위하여 대상건물을 선정하여, 시뮬레이션을 실시하였다. 대상건물은 ‘공공기관의 신·재생에너지 설치의무화 제도’에 준하여 공공업무시설로 선정하였으며 건축면적 약 5,000 m²인 중규모 업무시설 건물로, 건물의 모델링은 Fig. 3과 같고 기본모델의 구성과 운영조건은 Table 5와 같다.

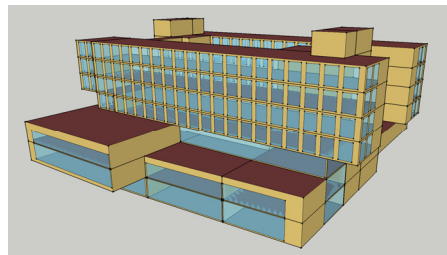


Fig. 3 Building modelling

Table 5 Basic model and operating conditions

Area	Gross area	19,955.53 m ²
	Parking area	2,259.27 m ²
Structure	Number of stories	Basement floor: 1 Ground floor: 8
	Wall	0.22 W/m ² K
Internal heat	Glass	1.70 W/m ² K
	Human	0.15 persons/m ²
Operational conditions	Preset temperature	Heating 18 / Cooling 26
	Schedule	08:00 ~ 17:00

신·재생에너지 설치규모를 결정하는 에너지 사용현황 분석은 EnergyPlus ver.8.3.0을 이용하여 산출하였다. 대상건물의 총예상에너지사용량은 8,560,854 kWh이며, 이 가운데 난방에너지의 비율은 16%, 냉방 20%, 급탕 4%, 조명과 환기를 포함한 전력은 60%로 Fig. 4와 같이 나타나, 업무시설의 에너지사용특성상 전기에너지 사용량이 냉난방에너지 비율보다 약 24% 높으며, 급탕에너지의 사용비율은 매우 낮은 것으로 나타났다.

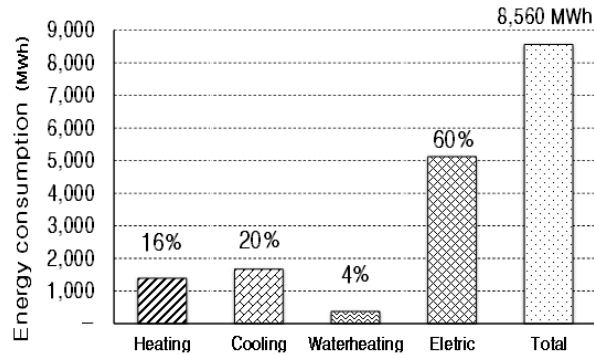


Fig. 4 Estimated total energy consumption of target buildings

4.2 신·재생에너지시스템 최적화 프로그램

신·재생에너지원 11종 가운데 태양광과 태양열 및 지열, 집광채광, 연료전지를 적용대상으로 신·재생에너지의 최적 비율 도출을 비교하기 위하여 최적비율 도출 프로그램인 KREES 2.0⁶⁾을 이용하였다.

평가항목은 경제성, 기술성, 환경성으로 구분되며 각 세부적인 평가요소는 Fig. 5와 같다.

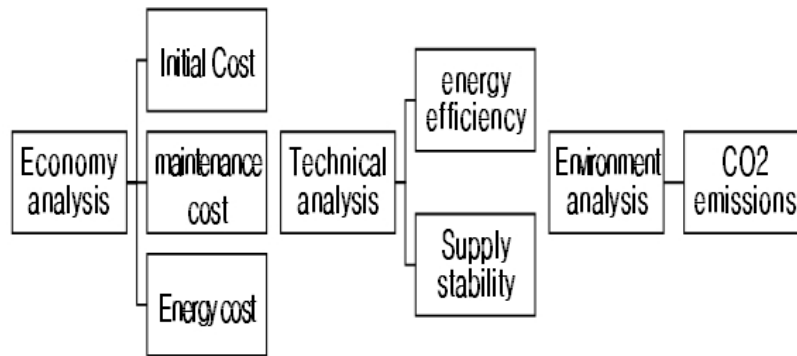


Fig. 5 Evaluation items of KREES 2.0

(1) 경제성

초기투자비와 유지보수비는 신·재생에너지 원별 기준단가로 산출하였으며, 유지보수비는 초기투자비의 3%로 설정하였고, 에너지비용의 현재가치는 식(8)를 이용하여 산출하였다.

$$P_V = \Sigma \frac{N_V}{(1+i)^n} \quad (8)$$

P_V : 에너지비용의 현재가치(won)

i : 물가상승률(%)

N_V : 순가치(won)

n : 년(年)수

(2) 기술성

에너지 효율성은 신·재생에너지시스템 적용에 사용된 순수한 투자비용대비 생산량의 비로 산출하였고, 에너지 공급 안전성은 에너지의 공급에 있어서 에너지가 중단없이 공급되는 정도를 의미하며 에너지공급 신뢰도 평가수식(9)⁷⁾을 이용하여 산출하였다.

$$IC = \frac{\left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=1}^n (D_t - S_t)^2} \right)}{\left(\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=0}^n (D_t)^2} + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{t=0}^n (S_t)^2} \right)} \quad (9)$$

IC : 에너지공급 신뢰도

D_t : t시간의 에너지수요

S_t : t시간의 에너지공급

(3) 환경성

이산화탄소의 배출량산정은 예상에너지사용량을 기준으로 신·재생에너지시스템이 대체하는 에너지만큼 이산화탄소의 배출이 저감되는 것으로, 식(10)을 이용하여 CO_2 배출량을 산출하였다.

$$T_{CO_2} = F_{toe} \times K_{FC} \times (44/12) \quad (10)$$

T_{CO_2} : 연간 이산화탄소 발생량 (ton)

F_{toe} : 해당연료 TOE (ton)

K_{FC} : 해당연료 탄소배출계수

4.3 신·현보정계수에 의한 신·재생에너지원의 최적화비율

신보정계수와 현보정계수를 KRESS 2.0에 적용하여 신·재생에너지 최적화비율에 대한 시뮬레이션을 실시하였다.

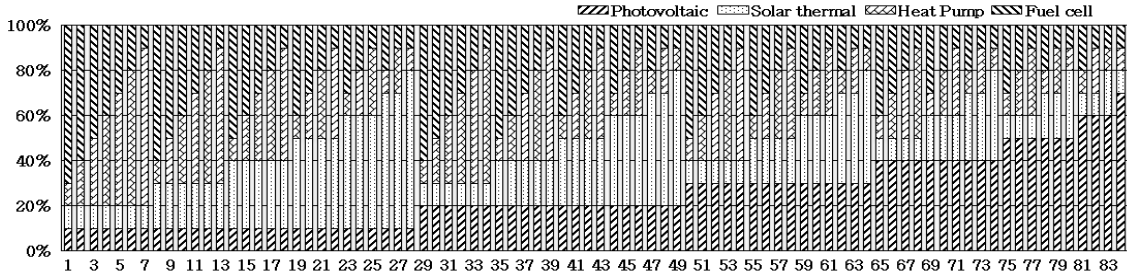


Fig. 6 Combination of new and renewable energy system (Case)

Fig. 6과 같이 신·재생에너지시스템 84가지 조합⁸⁾ 가운데 상위 5%의 최적비율을 Fig. 7에 나타냈다.

신보정계수 적용 시 경제성측면은 연료전지 비율이 대폭 줄어든 것에 비해 지열 비율이 높게 나타났고, 기술성 측면에서 현보정계수와 신보정계수는 에너지효율이 우수한 지열 비율이 높을수록 설치효율이 높은 것으로 나타났다.

보정계수 산정 시 환경성 요소는 반영되지 않았지만 KRESS 2.0의 이산화탄소 배출량산정 특성상 신·재생에너지생산량이 영향을 미쳐 최적화 비율이 소폭 변화한 것으로 사료된다.

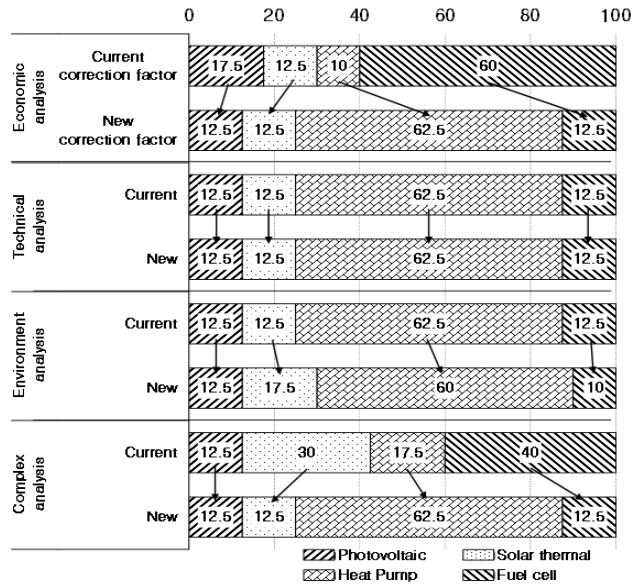


Fig. 7 Optimization ratio of top 5% (%)

대상건축물은 2016년도 기준 예상에너지사용량의 공급의무비율 18%에 해당하는 신·재생에너지생산량은 2,048,075 kWh/yr이며, 신보정계수와 현보정계수를 각각 적용한 신·재생에너지시스템 최적화 결과 상위 5%에 대한 에너지생산량을 Fig. 8에 비교하였다.

현보정계수는 초기투자비에 편중되었기에 경제성 평가항목에서 공급의무비율 18%를 충족하지 못하는 것을 알 수 있었다.

이에 반해, 신보정계수는 기술적 요소인 에너지생산량이 반영되어 경제성, 기술성, 환경성에서 모두 최적화 결과 상위 5%에 해당하는 복합시스템의 신·재생에너지 생산량이 공급의무비율 18%에 해당하는 에너지생산량을 충족하였다.

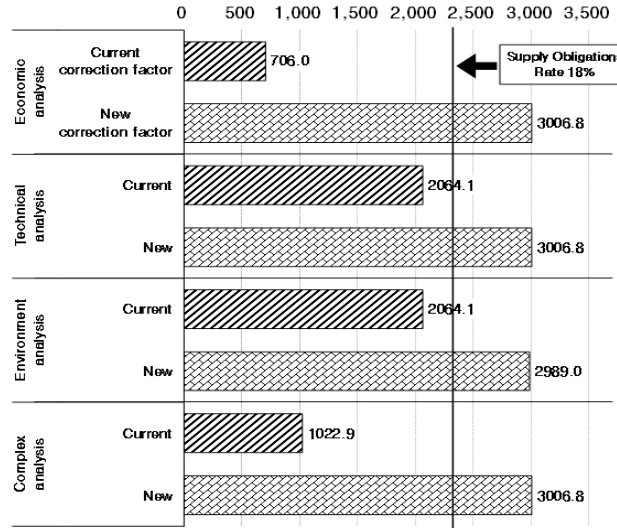


Fig. 8 Energy production of the optimization ratio top 5% (MWh/yr)

5. 결론

신·재생에너지원별 현보정계수는 초기투자비용을 기준으로 산정되어 초기투자비용 대비 에너지생산량이 높은 시스템에 투자가 편중되는 현상이 나타났다. 이에 현보정계수의 산정기준에 기술성 요소를 추가 반영하여 투자회수기간을 기준으로 신보정계수를 산출하여 제시하였다.

- (1) 현보정계수를 적용한 경우, 초기투자비용 대비 에너지생산량이 높은 연료전지시스템에 투자가 편중되는 현상이 나타났다. 하지만 보정계수가 적용되지 않은 연료전지의 초기투자비용 대비 에너지생산량은 다른 신·재생에너지원에 비해 낮은 것으로 나타났다.
- (2) 신·재생에너지원별 현보정계수가 초기투자비에 편중된 문제점을 해결하고자 전문가의 설문에 의해 도출된 신·재생에너지원별 가중계수와 투자회수기간을 기준으로 하여 신보정계수를 제시하였다.
- (3) 5,000m² 중규모의 공공업무시설에 적용하여 신·재생에너지시스템 최적화비율 상위 5%를 도출한 결과, 현보정계수는 공급의무비율 18%에 해당하는 신·재생에너지생산량을 충족하지 못하는 반면 신보정계수는 공급의무비율을 초과 충족하는 것으로 나타났다.
- (4) 신보정계수는 현보정계수 적용 시 초기투자비용대비 에너지생산량이 높은 신·재생에너지원이 공급의무비율 18%를 충족하지 못하는 문제점을 보완할 수 있었으며, 기술성에 대한 에너지 효율이 추가되어 공공건축물에 적용되는 에너지시스템 선정이 효율적으로 이루어질 것으로 판단된다.

추후 신·재생에너지원의 설치 다양화를 목표로 경제성과 기술성에 영향을 미치는 주요 변수를 추가 반영하여 최적화된 시스템 도출의 신뢰도를 높여야 할 것으로 여겨진다.

후기

이 논문은 2015학년도 경북대학교 복원학술연구비에 의하여 연구되었음.

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(NRF-2016-R1A2B2011255).

REFERENCES

1. New Energy and Renewable Energy Development · Use · Spread Promotion Law Article 27 Clause 3, Ministry of Trade, Industry and Energy, 2011.
2. New Energy and Renewable Energy Development · Use · Spread Promotion Law Article 12, Ministry of Trade, Industry and Energy, 2010.
3. A Preliminary Study on Introducing Solar Power Generation Support, Seoul Development Institute, 2013.
4. Consumer Price Survey 1996~2015, The Statistics Korea, 2016.
5. Hong, J. H., A Study on Select of New Renewable Energy Equipments According to the Usage Characteristics of Building Energy, Kyung-pook National University Master's thesis, 2014.
6. KRESS. Version 2.0, Building Energy Equipment Laboratory Kyungpook National University, 2015.
7. Jung, M. H., Development of an Optimized Solution Selecting Algorithm for Hybrid Application of Renewable Energy Systems in Urban Scale, Chung-Ang University Doctoral Dissertation, 2012.
8. Kim, Y. H., Park, Y. H., Hong, J. H., Won, A. N., and Hwang, J. H., Effects of New and Renewable Energy Source Correction Factor on Optimization of System, Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems Academic Conference, pp. 97-98, 2015.