

## 공공의료시설에 적합한 신재생에너지시스템의 복합적용비율에 관한 연구

### A Study on the Application Ratio by the New and Renewable Energy Systems Fit for Public Medical Facilities

홍준호\* · 이용호\*\* · 조영흠\*\*\* · 황정하\*\*\*\*†

Hong, Jun-Ho\*, Lee, Yong-Ho\*\*, Cho, Young-Hum\*\*\* and Hwang, Jung-Ha\*\*\*\*†

(Submit date : 2013. 12. 31., Judgment date : 2014. 1. 10., Publication decide date : 2014. 4. 8.)

**Abstract :** This study set out to identify the importance of each factor influencing facility selection with a survey among public medical facilities under the category of public buildings and apply the importance of economy, technology and environment with the weighting factor method, thus proposing optimal application plans. The research content of each section can be summarized as follows: 1) Estimated energy consumption according to the energy simulation was 65,129MWh/yr, which was 18.7% higher than that according to the calculation equation. Of the energy consumption, more than 80% was used by heating and cooling facilities and construction facilities, and 20% was used by electronics such as medical equipments and in and outdoor lighting. 2) The results of a survey on the factors influencing the importance when selecting a new and renewable energy system reveal that the upper items had a priority in economy, environment, and technology in the descending order and that the lower items had a priority in initial investments, maintenance and repair costs=energy costs, supply reliability, energy efficiency and CO<sub>2</sub> emissions in the descending order.3) The application alternatives were analyzed in economy, technology, and environment. As a result, a geothermal system turned out to be the most excellent one across all the upper and lower comparison items. Of the other systems, a solar thermal system was superior in initial investments, maintenance and repair costs, and energy efficiency, whereas a photovoltaic system was superior in energy costs, supply reliability, and CO<sub>2</sub> emissions. 4) As for the mixed application ratio among economy, technology, and environment, when the percentage of a geothermal system was approximately 80% or higher in a new and renewable energy system, it was the best and most optimal application plan.

**Key Words :** 공공의료시설(The Public medical facility), 신재생에너지시스템(Renewable energy system), 경제성(The Economy Analysis), 기술성(The technical Analysis), 환경성(The Environment Analysis)

\*\*\*\*† 황정하(교신저자) : 경북대학교 건축토목공학부  
E-mail : Peter@knu.ac.kr, Tel : 053-950-8544  
\*홍준호 : 경북대학교 건설환경에너지공학부  
\*\*이용호 : 경북대학교 건설환경에너지공학부  
\*\*\*조영흠 : 영남대학교 건축학부

\*\*\*\*† Hwang, Jung-Ha (corresponding author) : School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University.  
E-mail : Peter@knu.ac.kr, Tel : 053-950-8544  
\*Hong, Jun-Ho : School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University.  
\*\*Lee, Yong-Ho : School of Architectural, Civil, Environmental and Energy Engineering, Kyungpook National University.  
\*\*\*Cho, Young-Hum : Department. of Architecture, Yeungnam University.

## 1. 서 론

### 1.1 연구배경 및 목적

최근 기후변화에 대응하기 위한 노력이 전 세계적으로 진행되고 있는 가운데, 기후변화와 관련된 국제적 대책을 마련하기 위해 세계기상기구(WMO : World Meteorological Organization)와 유엔환경계획(UNEP : United Nations Environment Programme)이 공동으로 설립한 유엔산하국제협약체(IPCC : Intergovernmental Panel on Climate Change)의 발표에 의하면, 불균형적인 지구생태환경을 초래하는 주원인은 인간의 생산활동으로 인한 이산화탄소 증가가 주요인으로 국제적 상호협약을 통한 온실가스 배출량의 감축대책 마련이 시급한 실정이라 강조하고 있다.

이에 따라 온실가스 배출량이 세계 6위인 우리정부는 건물의 운영과 유지 및 관리에 소비되는 건물에너지로 인한 온실가스 배출량을 줄이고자 1,000m<sup>2</sup>이상의 공공건축물을 신축, 증축, 또는 개축하는 경우, 건물의 예상에너지사용량(2013년 기준)의 11% 이상을 신재생에너지시스템을 통하여 에너지를 생산하도록 하는 공공의무화 제도<sup>1)</sup>를 시행하고 있다. 그러나 현행법에 의한 신재생에너지시스템 설치계획의 경우, 건물의 연면적당 예상에너지사용량과 신재생에너지원별 에너지생산시스템 계획용량을 산정식으로 결정함으로써, 건물용도별 경제성과 기술성 및 환경성을 고려한 신재생에너지시스템의 복합적용 비율을 선정하기 어렵다.

따라서, 본 연구는 공공건물 가운데 공공의료시설을 대상으로 에너지시뮬레이션과 산정

식에 의한 예상에너지사용량을 비교분석한 후, 선행연구<sup>2)</sup>에서 제안된 가중계수법(WCM : Weighted Coefficient Method)을 적용 경제성과 기술성 및 환경성을 평가하여 건물용도에 적합한 신재생에너지시스템의 최적 적용방안을 제시하고자 한다.

### 1.2 최적화기법 연구동향

신재생에너지시스템 최적화에 대한 국내·외 연구동향을 살펴보면, 국외 연구의 경우, 복잡하고 다양한 변수들이 요구되는 신재생에너지시스템의 최적화를 수학적 모델을 통하여 분석하고 있다. 이러한 수학적 모델로는 반복적인 탐색을 통한 도출기법으로 메타휴리스틱(Metaheuristic)활용법이 있으며, 근래는 다양한 메타휴리스틱 기법 가운데 유전자 알고리즘(Genetic Algorithm)을 통한 최적화가 주로 이용되고 있는 경향이다.

한편, 국내 연구의 경우는 개별 신재생에너지시스템의 성능향상 및 최적화 적용 가능성 평가와 복합시스템의 구성과 설치조건 및 제어전략을 통한 최적 신재생에너지시스템 도출과 같은 연구가 수행되고 있다.

따라서 향후, 신재생에너지시스템 건물적용을 위한 최적화 연구를 수행하기 위해서는 신재생에너지시스템을 복합적용시 경제성과 기술성 및 환경성 등이 반영된 최적화 연구노력이 필요할 것으로 여겨진다.

### 1.3 연구방법 및 범위

본 연구는 공공의료시설 가운데 종합병원건물을 대상으로 신재생에너지시스템 적용시 기술성, 경제성, 환경성에 따른 중요도를 고려하

1) 신·재생에너지 보급확대를 위한 정부시책 '신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법'

2) 황정하 외 3인, 공공용 업무시설의 신재생에너지시스템 최적화 연구, 한국태양에너지학회 논문집, Vol.33 No.5, pp95-104, (2013)

여 가중계수법(WCM)에 따른 신재생에너지 시스템 최적 적용방안을 제시하기 위한 연구로서 연구방법은 다음과 같다.

- (1) 국내 공공의료시설 가운데 종합병원 건물을 대상으로 법령이 요구하는 기준에 따른 신재생에너지시스템의 설치방안을 제시하고자, Energy Plus Ver 8.0 프로그램을 이용하여 예상에너지사용량을 분석하였다.
- (2) 대상건물에 대한 신재생에너지시스템의 최적 적용방안 선정시 고려되어야 할 경제성과 기술성 및 환경성 항목에 대한 설문지를 작성하여, 관련 전문가들의 응답을 통한 항목별 중요도에 따른 가중치를 도출하였다.
- (3) 신재생에너지시스템에 대한 에너지시뮬레이션을 통하여 얻어진 적용방안별 예상에너지사용량에 설문을 통하여 도출된 항목별 중요도 가중치를 적용하여 경제성과 기술성 및 환경성이 고려된 신재생에너지시스템의 최적 복합적용 비율을 제시하였다.

## 2. 대상건물에 신재생에너지시스템 적용

### 2.1 대상건물선정

본 연구에서 다루어진 대상건물은 아래 Fig. 1 및 Table. 1과 같이 연면적 합계가 81,928㎡인 3개동으로 구성된 건물로써, A동은 지하2층~지상5층 규모의 암연구소센터동으로 구성되었고, B동은 지하3층~지상9층 규모의 일반병원동이며, C동은 지하2층~지상7층 규모의 노인병원동으로 구성되어 있다.

또한, 설비시스템은 각 동별 특성에 맞추어 건물에너지관리시스템(BEMS : Building Energy Management System)을 통하여 자동으로 제어되는 공기조화기(AHU), 팬코일유닛(FCU), 전기히트펌프(EHP)로 이루어진 냉·난방설비와

조명기기 및 의료, 사무기기가 각 실별로 설치되어 있다.



Fig 1. The complete view of the subject building

Table. 1 The size and current state of the subject building

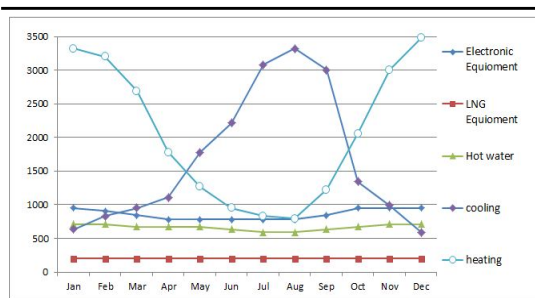
Lists	Condition	
Location	Buk-gu, Daegu	
purpose	Public health care and Neighborhood Facilities	
Area (m <sup>2</sup> )	Land Area	49,474.16
	Construction area	9,737.80
	Total floor area	81,928.82
Building Size	A-dong	7,598.69m <sup>2</sup> (2BF, 1~5F)
	B-dong	53,754.50m <sup>2</sup> (3BF, 1~9F)
	C-dong	17,901.44m <sup>2</sup> (2BF, 1~7F)
direction	Southwest	

### 2.2 예상에너지 사용량

본 절에서는 에너지시뮬레이션과 공공의무화 제도공급의무 비율 산정식에 따른 예상에너지사용량을 비교분석하였다. 에너지시뮬레이션은 미국 에너지부(Department of Energy)에서 제공하는 Energy Plus Ver 8.0 프로그램을 이용하여 Table. 2와 같은 입력조건에서 대상건물의 예상에너지사용량을 산출하였다.

Table. 2 The simulation input conditions of the subject building

Input conditions of simulation model		
Thermal perfusion (W/m <sup>2</sup> · K)	Exterior wall	0.75
	Roof	0.36
	Lowest slab	0.45
	Windows (transmittance G)	1.5 (0.6)
Electrical equipment usage (W/m <sup>2</sup> )	Sickroom unit	20
	Care unit	60
	Research & Administration	30
	Amenities	10
Gas usage (W/m <sup>2</sup> )	Kitchen	300
Person occupancy (m <sup>2</sup> /person)	Sickroom unit	18
	Care unit	18
	Research & Administration	13
	Amenities	60
Electrical lighting equipment usage	10W/m <sup>2</sup>	



Cooling	Heating	hot-water	LNG Equipment	Electronic Equipment
19,855MWh (30.5%)	24,601MWh (37.8%)	7,989MWh (12.2%)	2,373MWh (3.7%)	10,308MWh (15.8%)
Total				65,129MWh/yr

Fig 2. Estimated energy consumption of the subject building

에너지시뮬레이션을 통한 대상건물의 예상 에너지사용량은 **Fig. 2**와 같이 65,129MWh/yr

로 나타났으며, 이 가운데 냉방 에너지사용량은 19,855MWh/yr이고, 난방 에너지사용량은 24,601MWh/yr이며, 급탕에너지 사용량은 7,989MWh/yr로 연간 예상에너지사용량의 80%이상을 냉·난방과 건축설비에서 사용되고 있으며, 의료장비 등의 전자기기와 실내·외 조명등의 에너지소모는 20%인 12,681MWh/yr인 것으로 나타났다.

한편, 공공의무화제도 공급의무 비율 산정식인 ‘신재생에너지 공급의무 비율의 산정기준 및 방법’을 이용한 대상건물의 예상에너지사용량은 **Table. 3**과 같이 54,831MWh/yr로 에너지시뮬레이션을 통한 예상에너지사용량보다 18.7% 낮게 나타나 산정식을 통한 예상에너지사용량의 경우, 건물 용도별 에너지 소비특성과 주변기후에 따른 에너지생산량 및 사용자의 요구조건이 반영되지 못하여 에너지시뮬레이션에 의한 예상에너지사용량과 차이가 나는 것으로 여겨진다.

Table. 3 Estimated energy consumption according to the calculation equation

① Building Floor Area (m <sup>2</sup> )	Medical Facilities		Daegu
	② Unit Energy Consumption (m <sup>2</sup> )	③ Correction factor	④ Local factors
81,928	643.52 kWh/yr	1.0	1.04
Estimated energy use (①×②×③×④) = 54,831 MWh/yr			

### 2.3 신재생에너지시스템의 적용방안

본 절에서는 법령이 요구하는 기준에 따른 신재생에너지시스템의 설치방안을 제시하고자 **Table. 3**과 같이 산정식에 의하여 대상건물의 예상에너지사용량 54,831MWh/yr을 기준으로 2013년 지식경제부 고시 의무설치비율이 11%일때, 신재생에너지 6,031.43MWh/yr를 생산할 수 있도록 태양광과 태양열 및 지열시스

템에 단위에너지생산량 및 보정계수<sup>3)</sup>를 적용하여 Fig. 3과 같이 66개의[C<sub>01~66</sub>] 적용방안을 분류하였다.

이때, 가로축(X)은 태양광시스템의 설치용량이며, 세로(Y)축은 태양열시스템의 집열판 면적이고, 대각(Z)축은 지열시스템의 히트펌프 용량으로 각 시스템 조합에 따른 에너지생산량은 공급의무비율 11%에 해당된다.

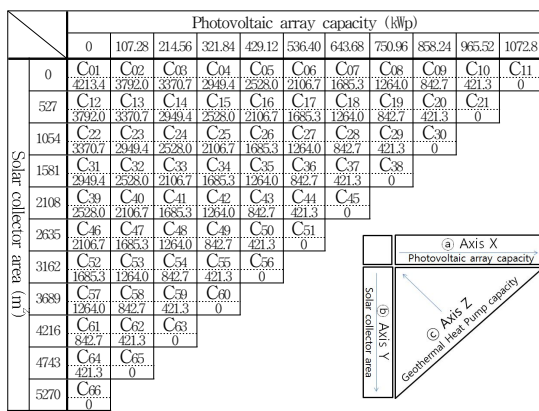


Fig 3. Categories of application plans of a new and renewable energy system

### 3. 복합시스템의 정량적 평가

#### 3.1 정량적 평가요소

신재생에너지시스템 선정시 중요도 영향요인은 객관적 수치화가 가능한 정량적요인과 수치화가 어려운 정성적요인으로 나눌 수 있는데 본 연구에서는 에너지평가와 관련된 기존연구와 문헌자료 및 설문조사 자료를 바탕으로 경제성과 기술성 및 환경성으로 구성된 3개의 상위항목([1]~[3])과 6개의 하위항목

(①~⑥)을 수치화한 정량적요인을 Table. 4와 같이 구성하여 적용하였다.

하위항목 가운데 경제성은 신재생에너지시스템의 설치 및 적용에 사용되는 초기투자비용[E<sub>IC</sub>]과 일정기간동안의 정비 및 관리에 사용되는 금액인 유지관리보수비용[E<sub>MRC</sub>], 또한 신재생에너지시스템을 통하여 절감할 수 있는 에너지비용[E<sub>EC</sub>]으로 구성하였으며, 기술성은 사용자의 요구에 대응하여 에너지가 안정적으로 공급되기 위한 공급신뢰도[E<sub>ESR</sub>]와 초기투자비에 대한 에너지생산량의 비율인 에너지효율[T<sub>EE</sub>]로 구성하였고, 환경성은 온실가스 저감을 위한 CO<sub>2</sub> 배출량[E<sub>EPY</sub>]으로 구성하였다.

Table. 4 The factors influencing the selection of a new and renewable energy system

Top entries		Descendants	
[1]	Economical	①	Initial costs:[E <sub>IC</sub> ]
		②	Maintaining repair costs:[E <sub>MRC</sub> ]
		③	Energy costs:[E <sub>EC</sub> ]
[2]	Technical	④	Energy supply reliability:[E <sub>ESR</sub> ]
		⑤	Energy efficiency:[T <sub>EE</sub> ]
[3]	Environmental	⑥	CO <sub>2</sub> Emissions per year:[E <sub>EPY</sub> ]

#### 3.2 정량적 평가요소에 대한 가중치

정량적 평가요소에 대한 선호조사는 2013년 10월10일부터~21일까지(12일간) 한국건축친환경설비학회 영남학회회원 117명을 대상으로 이메일을 통하여 실시한 설문조사의 유효 응답 61개(52%)를 취합하여 3개의 상위항목과 6개의 하위항목에 대한 중요도를 Likert Scales<sup>4)</sup>로 분석하였다.

3) 지식경제부 고시 제 2013-11, 신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정(태양광=생산량(kW)1,358×보정계수4.14=5,622.12, 태양열=생산량(m²)596×보정계수1.92=1,144.32, 지열=생산량(kW)2,045×보정계수0.7=1,431.5)

4) Likert Scales(7점 척도): 1932년 Resis Likert에 의해 개발된 리커트 척도, 응답자들이 진술문에 대해 7점으로 이루어진 선택지 중에서 하나의 답을 선택, 점수의 총합을 합산평가(summated rating approach).

Table. 5 Areas of expertise on the questionnaire survey target

Areas of expertise	Descendants
Building Construction	17(14.5%)
professor & grad student	41(35%)
public official & research worker	3(2.5%)

회수된 설문지의 상위항목인 경제성과 환경성 및 기술성의 중요도 우선순위는 Fig. 4와 같이 경제성 > 환경성 > 기술성 순서로 나타났고, 하위항목의 중요도는 경제성에 포함된 초기투자비가 가장 높은 중요도를 가지는 것으로 조사되었다. 설문응답을 통하여 얻어진 중요도를 기반으로 상위항목의 중요도와 하위항목의 중요도를 이용하여 가중치를 Table. 6와 같이 도출하였다.

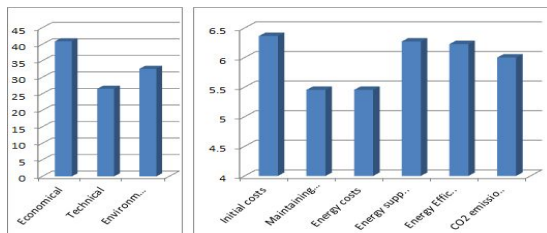


Fig 4. Survey results on the importance of the upper and lower items

Table. 6 The weight of each factor influencing the selection of a new and renewable energy system

ⓐ Top entries (Importance)	Descendants	ⓑ Likeret Scales Average	ⓐ×ⓑ Weight (%)
Environmental (0.421)	Initial costs	6.36	2.67 (21.54)
	Maintaining repair costs	5.45	2.29 (18.41)
	Energy costs	5.45	2.29 (18.41)
Technical (0.265)	Energy supply reliability	6.27	1.66 (13.34)
	Energy Efficiency	6.22	1.64 (13.18)
Economical (0.314)	CO2 emissions	6	1.88 (15.11)

## 4. 가중치 적용에 따른 평가

### 4.1 평가방법

각 대안별 평가는 가중계수법(WCM)<sup>5)</sup>에 의한 최적화 도출 방법으로 Table. 7과 같이 신재생에너지시스템 적용방안[C<sub>01-66</sub>]을 7등급으로 분류한 후, 등급에 따른 배점(±3)에 설문을 통하여 도출된 가중치를 곱하여 Fig. 5~10과 같이 경제성과 기술성 및 환경성에 대한 적용방안별 우선순위를 분석한 후, 시스템의 복합적용 비율을 평가하여 Fig. 11과 같이 대상건물에 적합한 신재생에너지시스템의 최적 설치 방안을 제시하였다.

Table. 7 Categorization and scoring of the grades

Class	Excellence	Very good	good	fair	poor	bad	Insufficient
Number of entries	3	7	11	24	11	7	3
Scores	+3.0	+1.5	+0.5	0	-0.5	-1.5	-3.0

### 4.2 적용방안별 경제성 평가

신재생에너지시스템 적용방안[C<sub>01-66</sub>]별 경제성은 초기투자비용[E<sub>IC</sub>], 유지관리보수비용[E<sub>MRC</sub>], 에너지비용[E<sub>EC</sub>]에 대하여 분석되었다. 초기투자비용은 신재생에너지시스템 우선순위 설문에서 가장 중요한 분야로 Table. 8과 같이 지식경제부고시 2011년 원별기준단가에 따라 초기투자비용을 산정하여 Fig 5.와 같이 분석하였다.

5) 비교대상의 질적(단위) 차이로 인하여 상호비교가 불가능할 경우 대상을 등급별로 분류하여 배점을 부여하고 우선순위에 따른 가중치를 곱한 값으로 비교하여 상대적 우위여부를 판단하는 방법. (Lee, Y. H., 2013, A Study on the Optimization of a Renewable Energy System in Fire Station Buildings, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 1, pp. 79-88.)

Table. 8 Unit costs of installation by the new and renewable energy sources

Renewable energy type	Building type	Apply Type	Standard unit price
Photovoltaic Energy	General Building	Fixed	7,180,000 / kw
Solar thermal Energy	-	Planar type	1,012,000 / m <sup>2</sup>
Geothermal Energy	General Building	Vertical Closed	1,260,000 / kw

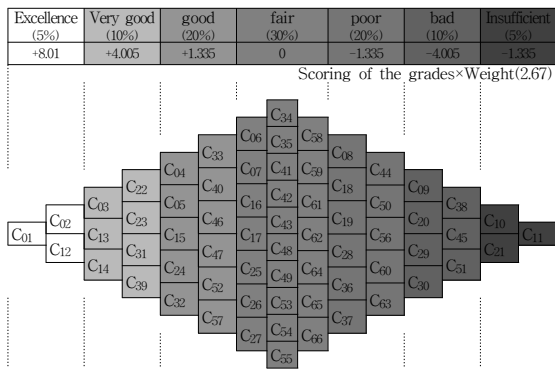


Fig 5. The grades of initial investments according to economy

초기투자비용[E<sub>IC</sub>]은 약 50억(C01)~63억(C11)의 분포를 보이며, 가장 우수한(Excellence)등급은 C01(지열100%)과 C02(지열90%+태양광10%) 및 C12(지열90%+태양열10%)로 단가가 저렴한 지열시스템의 비중이 클수록 등급이 높게 나타난 반면, 우수성이 가장 낮은(Insufficient)등급은 C11(태양광100%)과 C10(지열10%+태양광90%) 및 C21(태양열10%+태양광90%)로 단가가 높은 태양광시스템의 비중이 클수록 등급이 낮아지는 경향을 나타냈다.

유지관리보수비용[E<sub>MRC</sub>]은 시스템별 보수주기와 부품가격 등의 차이로 인하여 모든 대안에 대한 정확한 추정이 어려움에 따라 『서울형 햇빛발전지원제도 도입방안 연구(Kim, W. S.,2012)』에서 제안한 초기투자비용 3%

의 금액을 기준으로 연간 유지관리보수비용을 산정하였고, 통계청의 통계자료를 활용하여 10년 동안(2003~2012년)의 평균물가 상승률 3.13%을 반영하여 시스템의 운용기간 20년 동안의 유지관리보수비용을 현재가치6)로 환산하여 Fig. 6과 같이 분석한 결과 우수성이 가장 낮은(Insufficient)등급인 C21(태양열10%+태양광90%)과 C11(태양광100%)의 순위 변화만이 발생하였고, 전체적인 등급은 초기 투자비용과 동일한 유형을 나타냈다.

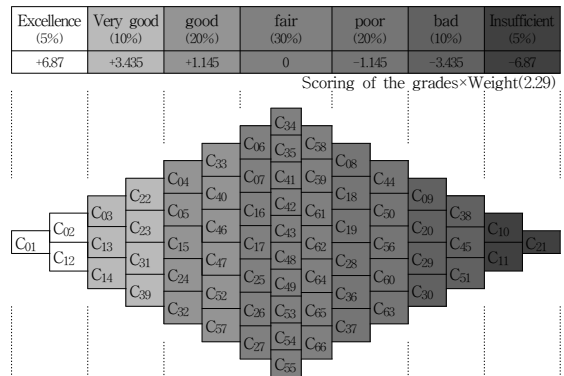


Fig 6. The grades of maintenance and repair costs according to economy

에너지비용[E<sub>EC</sub>]은 에너지시물레이션을 통하여 얻어진 건물의 연간 예상에너지사용량을 Table. 9의 연료비용으로 환산하여 Fig. 7과 같이 분석한 결과 가장 우수한(Excellence)등급은 C01(지열100%)과 C02(지열90%+태양광10%) 및 C12(지열90%+태양열10%)로 등급간의 변동은 없었으나, 우수(Very good)등급 이하는 시스템 등급간 순위 변화가 발생되었고, 우수

6) 유지보수비용 현재가치 (PMR)

$$P_{MR} = M \times \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right], \quad i = \frac{(1+i_n)}{(1+f)} - 1$$

i : 실질할인율(물가), M : 연간유지보수비용  
in : 명목할인율, f : 물가상승률, n : 년수

성이 가장 낮은(Insufficient)등급은 C<sub>56</sub>(태양열60%+태양광40%)과 C<sub>65</sub>(태양열90%+태양광10%) 및 C<sub>66</sub>(태양열100%)로 태양열시스템의 비중이 클수록 등급이 낮아지는 경향을 나타냈다.

이와 같이 적용방안[C<sub>01-66</sub>]별 초기투자비용과 유지관리보수비용 및 에너지비용에 대한 경제성은 냉·난방에 60%이상의 에너지를 소비하는 대상건물의 에너지소비특성으로 인하여 냉·난방 에너지소비량을 감소시키는 지열시스템이 가장 우수하며, 전기 에너지가 생산되는 태양광시스템이 태양열시스템 보다 에너지비용 감소에 영향을 주는 요인으로 판단된다.

Table. 9 Unit costs of energy

energy type	unit	unit price (₩)	Standard unit price
LNG	m <sup>3</sup> 10.23 kwh	891.45	87.1 ₩/kwh
Kerosene	ℓ 12.09 kwh	1340	110.8 ₩/kwh
Electricity	kWh 1 kwh	112.5	112.5 ₩/kwh

Excellence (5%)	Very good (10%)	good (20%)	fair (30%)	poor (20%)	bad (10%)	Insufficient (5%)
+6.87	+3.435	+1.145	0	-1.145	-3.435	-6.87

Scoring of the grades×Weight(2.29)

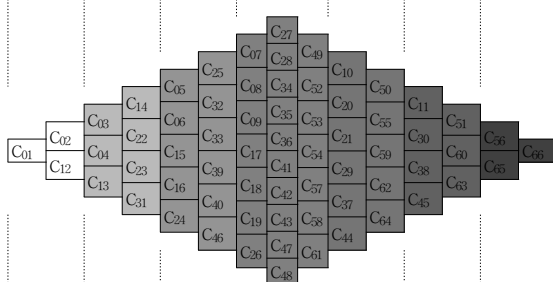


Fig 7. The grades of energy costs according to economy

### 4.3 적용방안별 기술성 평가

적용방안[C<sub>01-66</sub>]별 신재생에너지의 기술성에 따른 공급신뢰도[E<sub>ESR</sub>]는 에너지 공급과 소비의 불균형을 상대적 수치로 비교할 수 있는

『Williamson T. J, (1995)의 불균형지수(IC)<sup>7)</sup>』를 활용하여 Fig. 8과 같이 분석하였다.

적용방안[C<sub>01-66</sub>]별 가장 우수한(Excellence) 등급은 C<sub>01</sub>(지열100%)과 C<sub>02</sub>(지열90%+태양광10%) 및 C<sub>12</sub>(지열90%+태양열10%)로 경제성분석과 동일하게 지열시스템의 비중이 클수록 공급신뢰도에 따른 등급도 높게 나타난 반면, 우수성이 가장 낮은(Insufficient)등급은 C<sub>63</sub>(태양열80%+태양광20%)과 C<sub>65</sub>(태양열90%+태양광10%) 및 C<sub>66</sub>(태양열100%)로 태양열시스템의 비중이 클수록 공급신뢰도 등급이 낮아지는 경향을 나타냈다.

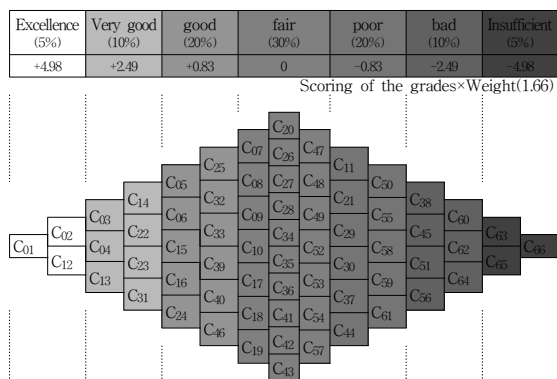


Fig 8. The grades of supply reliability according to technology

신재생에너지의 기술성에 따른 에너지효율 [T<sub>EE</sub>]은 시뮬레이션을 통하여 예측한 신재생에너지시스템의 연간 에너지생산량을 초기투자금액 기준으로 Fig. 9와 같이 분석한 결과 가장 우수한(Excellence)등급은 C<sub>01</sub>(지열100%)과 C<sub>02</sub>(지열90%+태양광10%) 및 C<sub>12</sub>(지열90%+태양열10%)로 공급신뢰도와 동일하게 지열의

7) 불균형지수(IC : Inequality Coefficient)

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

D<sub>t</sub> : t시간에서의 에너지수요, S<sub>t</sub> : t시간에서의 에너지공급



비중이 클수록 등급이 높아지며, 우수성이 가장 낮은(Insufficient)등급은 C<sub>11</sub>(태양광100%)과 C<sub>21</sub>(태양열10%+태양광90%) 및 C<sub>30</sub>(태양열20%+태양광80%)로 태양광시스템의 비중이 클수록 등급이 낮아지는 경향을 나타냈다.

따라서, 적용방안[C<sub>01</sub>-66]별 공급신뢰도와 에너지효율에 대한 기술성은 냉·난방 에너지 요구량에 따라 에너지를 생산하는 지열시스템의 신뢰성과 효율성은 높은 반면, 에너지 저장 설비를 통하여 에너지를 공급하는 태양열시스템과 태양광시스템의 신뢰성과 효율성은 낮은 것으로 판단된다.

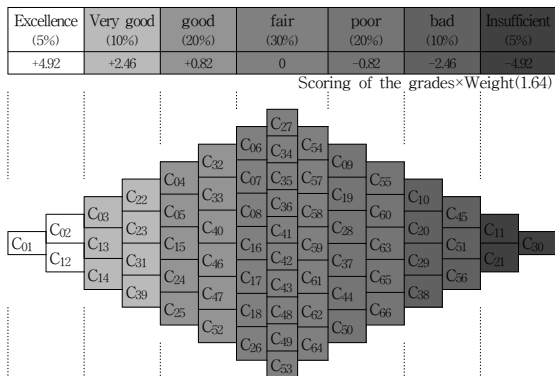


Fig 9. The grades of energy efficiency according to technology

#### 4.4 적용방안별 환경성 평가

적용방안별 CO<sub>2</sub> 배출량은 시뮬레이션을 통하여 연료별 예상에너지사용량을 산출하여 Table. 10의 국제협의회(IPCC)의 에너지원별 탄소배출 계수에 따른 환산기준<sup>8)</sup>에 의하여 CO<sub>2</sub> 배출량[E<sub>EPY</sub>]을 산출하여 Fig. 10과 같이 분석하였다.

적용방안[C<sub>01</sub>-66]별 가장 우수환(Excellence) 등급은 C<sub>01</sub>(지열100%)과 C<sub>02</sub>(지열90%+태양

8) TCO<sub>2</sub> = 해당연료 TOE × 탄소배출계수 × 44/12

광10%) 및 C<sub>12</sub>(지열90%+태양열10%)로 경제성 및 기술성 분석과 동일하게 지열시스템의 비중이 클수록 CO<sub>2</sub> 배출량에 따른 등급도 높게 나타난 반면, 우수성이 가장 낮은(Insufficient) 등급은 C<sub>63</sub>(태양열80%+태양광20%)과 C<sub>65</sub>(태양열90%+태양광10%) 및 C<sub>66</sub>(태양열100%)로 태양열시스템의 비중이 클수록 등급이 낮아지는 경향을 나타냈으며, 적용방안별 환경성은 지열시스템의 비중이 증가할수록 CO<sub>2</sub> 배출량이 감소하여 환경성이 향상되는 반면, 태양열시스템과 태양광시스템의 비중이 증가될수록 환경성이 감소되었다.

Table. 10 Carbon emissions by the energy sources

energy type	unit	heating value	Carbon emission factor
		kcal	ton C/toe
Kerosene	ℓ	8,200	0.812
LNG	Nm <sup>3</sup>	9,420	0.637
Electricity	kwh	2,300	0.4705

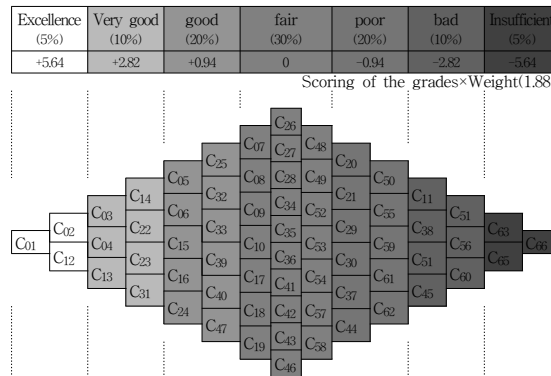


Fig 10. The grades of CO<sub>2</sub> emissions according to environment

#### 4.5 신재생에너지시스템의 복합적용 비율

각 대안별 경제성과 기술성 및 환경성 분석을 통하여 부여된 등급별 배점을 합산하여 복합적용 비율을 Fig. 11과 같이 나타냈다.

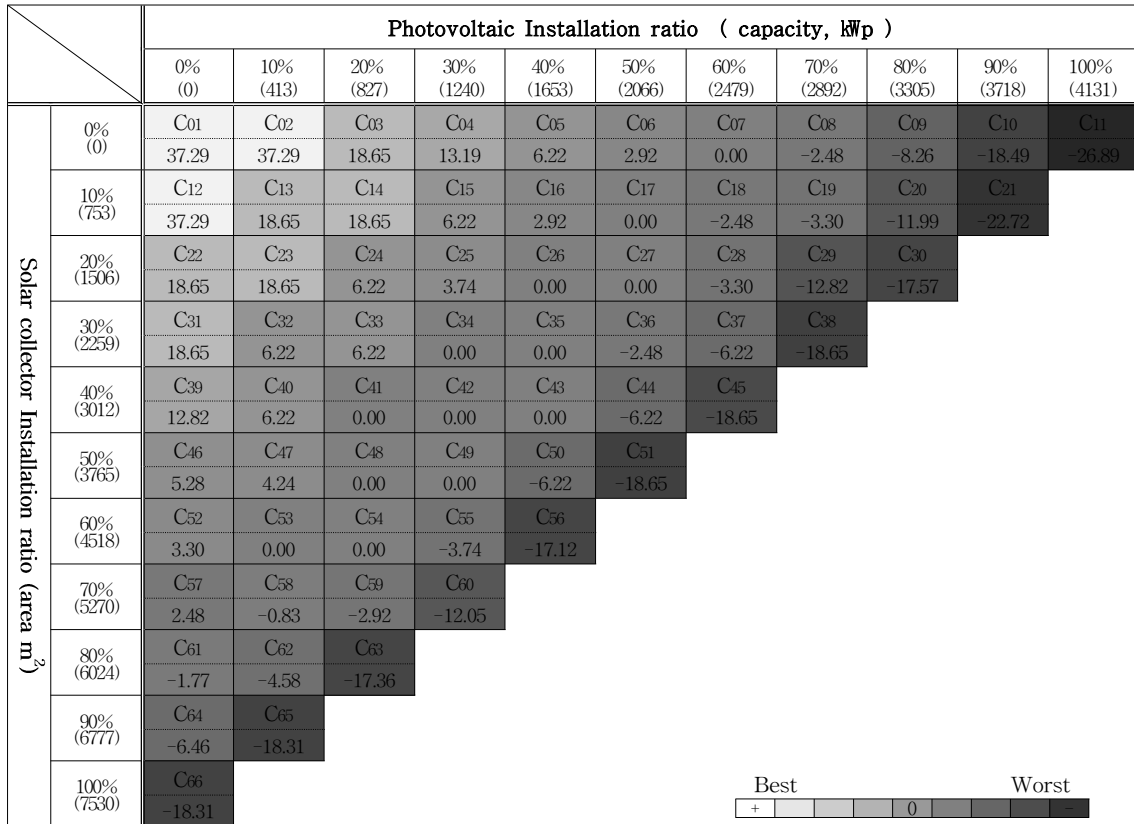


Fig 11. Evaluation of mixed application ratio according to economy, technology, and environment

대상건물 적용방안[C01~66] 가운데 단일 신재생에너지시스템은 C01(지열 100%)시스템이 가장 우수한 시스템으로 평가되었으며, 2가지 신재생에너지시스템이 복합적용된 경우는 C02(지열90%+태양광10%)와 C12(지열90%+태양광10%)로 단일시스템과 동일하게 지열시스템의 적용비율이 증가할수록 우수한 시스템인 것으로 나타났고, 3가지 신재생에너지시스템이 복합적용된 경우도 C13(지열80%+태양광10%+태양광10%)로 나타나 대상건물의 신재생에너지시스템 최적 적용방안은 지열시스템의 설치 비율이 80%이상 일때, 최적화인 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구는 공공건물 가운데 공공의료시설을 대상으로 설문을 통하여 신재생에너지시스템의 정량적 평가요소에 대한 중요도의 가중치를 도출하고, 가중계수법을 이용하여 적용방안별 경제성과 기술성 및 환경성을 평가하여, 최적화 복합적용 비율을 제시한 연구로서 내용을 요약하면 다음과 같다.

- (1) 에너지시물레이션에 의한 예상에너지사용량은 산정식보다 18.7% 높게 나타났는데 이는 건물 용도별 에너지 소비특성과 주변기후에 따른 에너지생산량 및 사용자의 요구조건이 반영되어 차이가 나타난 것으로

로 판단된다.

- (2) 신재생에너지시스템의 정량적 평가요소 설문에 대한 중요도는 상위항목의 경우, 경제성이 가장 중요시 된 반면, 기술성의 중요도가 가장 낮게 나타났고, 하위항목의 경우는 초기투자비용이 가장 중요한 반면, CO<sub>2</sub>발생량의 중요도가 가장 낮게 나타났다.
- (3) 신재생에너지시스템 적용대안별 경제성과 기술성 및 환경성 분석에서 지열시스템이 모든 상·하위항목에서 가장 우수한 시스템으로 평가 되었고, 지열시스템을 제외한 시스템 가운데 초기투자비용과 유지관리 보수비용 및 에너지효율은 태양열시스템이 우수한 반면, 에너지비용과 공급신뢰도 및 CO<sub>2</sub> 배출량은 태양광시스템이 우수한 것으로 평가 되었다.
- (4) 경제성과 기술성 및 환경성이 반영된 신재생에너지시스템의 복합적용 비율은 지식경제부 신재생에너지 설비지원에 관한 기준에 의하여 각 시스템의 에너지생산량에 보정계수가 적용되어 지열시스템은 설치용량이 증가된 반면, 태양광과 태양열시스템의 경우는 시스템 설치용량이 감소되어 복합적용 비율 가운데 지열시스템의 적용률이 전체 신재생에너지시스템의 80%이상 일때, 최적 적용 방안인 것으로 판단된다.

이상 본 연구를 통하여 법적 기준 산정식에 의한 예상에너지사용량과 시스템별 보정계수가 시스템 복합적용 비율 선정에 커다란 영향을 미치는 것을 알 수 있었다. 따라서, 향후 산정식에서 제시한 에너지사용량과 에너지원별 보정계수에 대한 충분한 연구가 이루어져야 신재생에너지시스템에 대한 경제성, 기술성, 환경성 평가에 대한 신뢰도가 높아질 것으로 여겨진다.

## 후 기

“이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2011-0012071)”

## Reference

1. An, K. H., 2011, A Study on Energy Conservation Plan of Eco-friendly School by EnergyPlus, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning&Design, Vol. 27, NO. 12, pp19-26.
2. Byun, S. Y., Chung, M. H., Park, J. C., & Lee, E. K. 2010., A Study on the influencing factors for the application of Hybrid renewable energy systems. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning&Design, Vol. 26, NO. 6, pp333-340.
3. Jeong, M. H. 2012. Development of optimized solution selecting algorithm for hybride application of renewable energy systems in urban scale, Ph.D. thesis, Chung-anm University, Korea.
4. Kim, H. K., An, K. H., & Choi, Y. S. 2011. LCC analysis for optomized application of renewable energy of eco friendly school. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning&Design, Vol. 27, NO. 11, pp83-90.
5. Kim, J. Y., Park, H. S., Kim, S. S., & Lee, E. K. 2010., A Study on the influencing factors for the application of Hybrid renewable energy systems. Journal of the Architectural Institute of Korea Planning&Design, Vol. 26, NO. 6, pp333-340.
6. Kim, J. Y., 2010, A Study of Optimal Design Techniques for the Application of Renewable Energy Combination Systems in School Facilities, Ph.D. thesis, Inha University, Incheon, Korea.
7. Kim, U. S. 2012. preliminary study on introducing solar power generation supporting system with

- mandatory RPS policies. Seoul: Seoul Development Institute.
8. Lee, H. W., 2011, A CO<sub>2</sub> Emission Reduction Method through Correlation Analysis of Design Parameters in Buildings, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 31, NO. 1, pp100-106.
  9. Lee, S. R., 2010, Life Cycle Cost Analysis of Energy Saving Performance for Apartment, Proceeding of The SAREK 2010, Winter Annual Conference, pp254-259.
  10. Lee, Y. H., 2013, A Study on the Optimization of a Renewable Energy System in Fire Station Buildings, Journal of the Korean Solar Energy Society, Vol. 33, No. 1, pp. 79-88.