

# 공동주택 제로에너지빌딩 인증을 위한 적정가산비 산정에 관한 연구

사용기<sup>1</sup> · 한찬훈\*

<sup>1</sup>충북대학교 건축공학과

## A Study on the Estimation of Additional Cost for the Certification of Zero Energy Apartment Buildings

Sa, Yong-gi<sup>1</sup>, Haan, Chan Hoon\*

<sup>1</sup>Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University

**Abstract :** Environmental and energy issues such as abnormal climate and depletion of fossil fuel due to global warming have emerged as a critical task to threaten human survival. As a result, interest in the Zero Energy Building is increasing as it is an innovative building that can significantly contribute to building energy reduction and greenhouse gas reduction. In the market, however, the added cost of construction is a major stumbling block to the revitalization of the Zero Energy certification. In this study, general private apartment complexes were selected for research, detailed elements for Zero Energy certification were presented based on the construction criteria for eco-friendly houses from the initial design stage, and the cost efficiency analysis of the components for certification were presented. It has been analyzed that only Grade 3 certification can be implemented in apartments due to technical level and physical limitations. Also, after reviewing the cost trend during the lifecycle cost, all expenses can be recovered within 13 years after completion only in the case of grade 5 of the Zero Energy Building. The additional costs proposed in the present study are reflected appropriately in the review of projects for apartments scheduled for order in the future to contribute to the revitalization of the Zero Energy Building certification.

**Keywords :** Zero Energy Building Certification, Additional Cost, Cost Efficiency Analysis

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

우리나라는 건물 부문의 온실가스 감축목표 달성을 위해 신축 건축물 에너지성능의 기준강화를 지속적으로 추진하는 로드맵(단열, 에너지소비 총량제, 제로에너지 건축물 인증제도)을 수립하고 있으며, 제로에너지 건축물과 관련해서는 2025년부터는 모든 민간 신축건축물에 대하여 제로에너지 건축물 의무화를 추진하고 있다. 그러나 시장에서는 건설비용의 증가, 전문인력 부족, 절감기술의 신뢰도 문제 등의 이유로 제로에너지 주택에 대한 부정적인 의견이 존재하고 있으며, 특히 추가되는 건설비용은 제로에너지 인증 활성

화에 큰 걸림돌이 되고 있는 상황이다. 따라서 2025년 민간 부분 공공주택까지 제로에너지빌딩 인증 의무화에 대비하기 위해서는 인증에 필수적인 에너지 절감요소와 요구되는 적정 비용에 대한 검토가 선행되어야 하며, 이를 적용하기 위한 추가적인 제도적 뒷받침이 필요하다고 할 수 있다. 우선적으로 공공에서 발주되는 공동주택부터 에너지성능 향상기술 및 신재생에너지 도입에 따른 적정 추가공사비가 사업비에 반영되어야 할 것이며, 소비자들을 통해 초기 투자금액 대비 에너지 절감비용의 이익이 크다는 결론이 도출된다면 실현가능한 시점이 좀 더 앞당겨질 수 있을 것이다. 따라서 본 연구에서는 공동주택에서 제로에너지빌딩 인증을 위해 발생하는 최적의 기술요소 산정과 추가공사비, 에너지 절감비용의 생애주기 비교분석을 통해 적정 가산비를 분석하고 제안하고자 한다.

### 1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 현재 설계를 진행하고 있는 '세종시 4-2생 활권 민관합동 분양아파트 건설사업'을 연구 대상으로 선정하고 설계초기 계획단계부터 제로에너지 인증을 위한 세부요

\* Corresponding author: Haan, Chan-Hoon Department of Architectural Engineering, Chungbuk National University, Cheongju 28644, Korea  
E-mail: chhaan@chungbuk.ac.kr  
Received February 18, 2019; revised June 19, 2019  
accepted June 28, 2019

소들을 검토하여 비용효율 분석을 실시하였다. 에너지 절감 기술의 선정을 위해서 에너지효율등급 인증에서부터 친환경 의무인증 사항과 제로에너지빌딩 인증까지 이론적 고찰을 통해 적용 아이템을 선정하였으며, 선정된 아이템을 기준으로 인증시 사용되는 ECO2 프로그램을 이용하여 에너지 절약기법(패시브/액티브) 각 요소별 건축물의 1차 에너지 소요량 변동을 확인하였다. 이에 따른 추가공사비 비용효율 분석을 통해 우선순위 기술을 도출하여 기술요소별 CASE조합을 통해 제로에너지빌딩 인증을 위한 최적의 가산비용을 검토하였다. 또한 생애주기동안 비용가치 분석을 통해 에너지비용의 절감효과를 확인하고 가산비에 대한 적정성 분석을 실시하였다.

## 2. 제로에너지빌딩의 비용모델

### 2.1 비용효율 분석을 위한 기준모델 설정

#### 2.1.1 제로에너지빌딩 인증개요

국내의 제로에너지건축물 인증에서는 준 제로에너지건축물의 개념을 에너지 자립율(단위면적당 1차 에너지 생산량/ 단위면적당 1차 에너지 소비량)에 따라 5단계로 평가하여 구분하고 법적인 의미의 제로에너지 건축물로 사용하고 있으며, 등급 기준을 살펴보면 1~5등급 까지 그 기준에 따라 명기하고 있다. 제로에너지건축물 인증제의 인증기준은 <Table 1>과 같으며, 평가 기준을 살펴보면 최소 에너지효율등급 1++등급과 동시에 에너지모니터링시스템(BEMS)이 기본적으로 적용되어야 한다. 또한 공동주택의 경우 냉방에 대한 검토가 이루어지지 않기 때문에 난방, 조명, 급탕, 환기 에너지 성능을 높이기 위한 기술요소에 대한 면밀한 검토가 필요하며, 에너지 자립율을 만족하기 위한 최적 설계방안이 제시되어야 한다. 우선 필수 요소인 건축물 에너지효율등급 1++등급을 만족하기 위한 아이템의 선별과 비용검토부터 선행되어야 한다.

Table 1. Criteria for certification of zero energy building

Certification grade	Certification standard
zero-energy 1 <sup>st</sup> -grade	energy self-reliance ratio (100%)
zero-energy 2 <sup>nd</sup> -grade	energy self-reliance ratio (80% ~ 100%)
zero-energy 3 <sup>rd</sup> -grade	energy self-reliance ratio (60% ~ 80%)
zero-energy 4 <sup>th</sup> -grade	energy self-reliance ratio (40% ~ 60%)
zero-energy 5 <sup>th</sup> -grade	energy self-reliance ratio (20% ~ 40%)

#### 2.1.2 기준모델의 설정

기준모델 단지<Table 2>는 세종시 4-2생활권 내에 위치하고 있으며 단열기준은 중부2 기준을 따른다. 모든 동을 남

향(남향, 남동향, 남서향)으로 계획하여 일조성능이 극대화될 수 있도록 기본설계를 진행하였으며, 현재 일조 만족률은 평균 88.23%를 보이고 있다. 분양성을 극대화하기 위해 전 평형 4BAY를 적용하였으며, 창면적비는 모듈 최적화를 통해 전체 20% 수준이 되도록 적용하였다. 제로에너지 실증단지과 같은 일반적인 아파트 설계와 차별화된 설계안이 아니기에 제로에너지 인증을 득하기 위한 현실적인 접근을 해볼 수 있다는 장점이 있다.

Table 2. Overview of Reference Model

Master plan	Outline
	Location: Sejong-si 4-2block Lot area: 32,026m <sup>2</sup> Gross area: 84,670m <sup>2</sup> -Underground: 28,634m <sup>2</sup> -Ground: 56,035m <sup>2</sup> Basement 2story, ground 29story Number of household: 9 buildings 612 units (60m <sup>2</sup> 이상) Parking: 782 cars  Basic Design Performance Flat-type : 6 buildings Tower-type : 2 buildings percentage of sunshine: 88.23% window areas rate 20%

#### 2.1.3 에너지절약 요소기술 도출

에너지절감 요소기술의 도출은 '에너지절약형 친환경주택 건설기준'의 구성기술 요소를 기준으로 적용하였으며, 에너지 절약요소는 현재 공동주택에서 보편적으로 사용되는 요소기술들로 아래의 <Table 3>과 같이 분류하였다.

Table 3. Components of construction technology

Descriptive elements	Detailed contents
Low-energy building composition technology	high-insulation · high-function Skin Construction System, Air-tight design, Sunshine securement
High-efficiency Facility engineering technology	High-efficient heat source facility, Optimum control device, High-efficient ventilation equipment
Renewable energy utilization technique	Solar heat, Sunlight, Geothermal heat, Wind power, Bio-Mass
External environment composition technology	Natural soil preservation, Ecological area rate, Circulation of rainwater
Energy savings information technology	Building energy information technology, LED light, automatic control equipment

구성 기술요소에 대한 세부내용과 기준모델에 적용 가능한 항목을 <Table 4>와 같이 검토하였다.

단열재는 mm당 단가가 가장 경제적인 비드법단열재를 우선 적용하였지만, 고 단열로 갈수록 단열재 두께가 증가되

Table 4. Reference value of base model

Item	Detailed contents			Legal standard	variable	Base Model	
						Reference value	Application
Passive	Window	air-tight	direct air	1 <sup>st</sup> grade	○	1 <sup>st</sup> grade	1 <sup>st</sup> grade
			indirect air	2 <sup>nd</sup> grade	○	2 <sup>nd</sup> grade	2 <sup>nd</sup> grade
		insulation	direct air	1.0	○	1.0	22T low-e Thermopane
			indirect air	1.5	○	1.5	22T low-e Thermopane
	Insulation	Exterior wall	direct air	0.17	○	0.17	EPS Class 2, No.1 175T
			indirect air	0.24	○	0.24	EPS Class 2, No.1 120T
		roof	direct air	0.15	○	0.15	EPS Class 2, No.1 205T
			indirect air	0.21	○	0.21	EPS Class 2, No.1 180T
		floor	direct air	0.17	○	0.17	EPS 120T+PF 4 0T
			indirect air	0.24	○	0.24	EPS Class 2, No.1 120T
	Steel door	air-tight	direct air	1 <sup>st</sup> grade	×	1 <sup>st</sup> grade	1 <sup>st</sup> grade
			indirect air	2 <sup>nd</sup> grade	×	2 <sup>nd</sup> grade	2 <sup>nd</sup> grade
		insulation	direct air	1.4	×	1.4	1.4
			indirect air	1.8	×	1.8	1.4
Window Area Ratio		4-bay	38%	×	optimization	20%	
Active	HVAC		heat exchanger	total heat exchanger	×	total heat exchanger	total heat exchanger
	Heat source	heat production		fixed	×	fixed	district heating
		heat exchanger		optimization	×	optimization	1,860kw
	Hot-water	pump power		optimization	×	optimization	1,096W
		length of pipe line		optimization	×	optimization	12,500m
	Lighting		density	10	○	10	10
Renewable (Sun's ray)		lighting load	20%	○	20%	81kw	

기 때문에 내부 시공면적 증가에 따른 골조공사비용이 상승되므로, 필요시 요구 성능에 따라서 비드법단열재 → 압출법단열재 → 경질우레탄폼단열재 → PE폼단열재 순으로 적용검토가 필요하다. 직접외기에 면하는 필로티 세대의 바닥 하부의 경우 난연단열재인 PF보드로 적용하였다. 창호의 성능은 발코니 외부창호기준 열관류율 1.0W/m<sup>2</sup>K 미만 기밀성 1등급 창호로 적용하였으며, 강제문은 직접외기에 접한 창호가 없어 직접외기 1.4W/m<sup>2</sup>K기준으로 상향 적용 후 변수검토에서는 제외하였다. 또한, 기계실과 전기실은 부하의 중심에 위치하도록 설계에 반영하였고, 급탕배관길이는 각 실별 배관길이를 실질적으로 산출하였으며 장비용량은 부하량 계산을 통해 최적이 되도록 적용하였기에 변수로 산정하지 않았다. 세대 내에는 LED조명을 적용하지 않고 일반적인 FPL 형광등을 적용하여 조명밀도 의무기준인 10W/m<sup>2</sup>을 기준값으로 설정하였다, 신재생에너지는 가장 효율이 높은 태양광 패널 설치를 통해 조명부하의 20%를 신재생에너지 용량으로 산정하여 법적기준을 충족하도록 하였다.

2.1.4 기준모델의 연간 1차 에너지 소요량 도출

에너지절약형 친환경주택 건설기준 의무사항에 따른 기준값적용시 기준모델의 1차 에너지 소요량 값은 122,7kWh/m<sup>2</sup>으로 건축물 에너지효율등급은 1등급이 산출되었다. 이 수치는 일반적인 민간부문의 공동주택 설계시 법적인 의무 이행사항만을 적용하였을 경우에 도출되는 수치라고 볼 수 있다. 해마다 단열기준 상향이 많이 이루어져 현재 법적인

기준만 충족하여도 1등급 이상의 주거시설을 확보할 수 있다고 판단할 수 있다.

2.2 변수항목에 따른 대안검토

2.2.1 비용효율지수의 산출

본 연구에서는 주요인자 도출을 위한 비용효율 분석에 대해서는 기존에 에너지절약 설계를 위한 다수의 논문 중에서 적용한 '에너지절감효과' 및 '비용'을 통합한 '경제성 지수' 개념을 적용하였다(Son et al., 2013, 2014).

비용효율지수는 아래의 식(1)과 같이 정의하였으며, 도출된 1차 에너지 소요량 1kWh/m<sup>2</sup>를 낮추는데 필요한 비용(단위: 억)을 확인할 수 있다.

$$\text{비용효율지수} = \frac{\text{투입비용(억원)}}{\text{1차 에너지 소요량 절감수치}} \quad (1)$$

2.2.2 변수항목별 비용효율지수 산정

변수별 항목별 전체 시공물량을 확인하여 공사비를 산출하였으며 요소별 ECO2 시뮬레이션을 통해 1차 에너지 소요량 값을 도출하였다. 비용효율지수를 검토한 결과 LED등의 적용이 비용대비 가장 효율이 높았으며, 그 다음으로 태양광 PV 설치를 통한 신재생에너지 항목이었다. 외단열은 투입비용대비 에너지 절감율이 높지 않아서 요소기술 CASE 검토에서는 제외하였다. 단, 태양광 PV판넬의 설치를 위해서는 넓은 설치공간이 필요하기 때문에 옥상설치면적의 한

Table 5. Review of cost efficiency index analysis

Items		Cost efficiency index				
		Base Model	1 ALT.	2 ALT.	3 ALT.	4 ALT.
Insulation	scoring criteria (insulation standard)	Jungbu 2	Jungbu 1	additional upgrade	additional upgrade	outside insulation
	U-Value (direct air)	0.17	0.15	0.13	0.11	0.11
	1 <sup>st</sup> energy consumption	122.7kWh/m <sup>2</sup>	121.0kWh/m <sup>2</sup>	119.8kWh/m <sup>2</sup>	118.5kWh/m <sup>2</sup>	115.4kWh/m <sup>2</sup>
	Cost	17.07 eak	19.51 eak	21.92 eak	25.43 eak	59.94 eak
	cost efficiency index	by-alternative	1.44	2.01	2.70	11.13
	accumulate	-	1.44	1.67	1.99	5.87
Window	Items	Base Model	1 ALT.	2 ALT.	3 ALT.	4 ALT.
	scoring criteria (U-value)	below 1.0	below 0.9	below 0.8	below 0.7	
	1 <sup>st</sup> energy consumption	122.7kWh/m <sup>2</sup>	121.0kWh/m <sup>2</sup>	119.8kWh/m <sup>2</sup>	118.5kWh/m <sup>2</sup>	
	Glass	22T low-e thermopane	24T ow-e thermopane	24T ow-e thermopane (argon)	24T ow-e thermopane (argon)	
	Window	PVC	PVC	Elevation split window	System window	
	Cost	33.93 eak	36.58 eak	46.32 eak	59.83 eak	
	cost efficiency index	by-alternative	-	1.89	7.50	9.65
	accumulate	-	1.89	4.59	6.35	
Lighting Density	Items	Base Model	1 ALT.	2 ALT.	3 ALT.	4 ALT.
	scoring criteria (Lighting density)	below 10	below 8	below 5		
	1 <sup>st</sup> energy consumption	122.7kWh/m <sup>2</sup>	114.5kWh/m <sup>2</sup>	102.4kWh/m <sup>2</sup>		
	LED application	DIA	50%	100%		
	Cost	7.17 eak	8.56 eak	10.81 eak		
cost efficiency index	by-alternative	-	0.15	0.17		
	accumulate	-	0.15	0.16		
Sunlight Capacity	Items	Base Model	1 ALT.	2 ALT.	3 ALT.	4 ALT.
	scoring criteria (Lighting capacity)	20%	50%	100%	maximum roof area	Maximum elevation area
	installation capacity	PV 81kWp	PV 202kWp	PV 403kWp	PV 580kWp	PV 580kWp BIPV 880kWp
	installation area	405m <sup>2</sup>	1,010m <sup>2</sup>	2,015m <sup>2</sup>	2,900m <sup>2</sup>	6,160m <sup>2</sup>
	1 <sup>st</sup> energy consumption	122.7kWh/m <sup>2</sup>	115.8kWh/m <sup>2</sup>	104.5kWh/m <sup>2</sup>	94.5kWh/m <sup>2</sup>	64kWh/m <sup>2</sup>
	Cost	2.6 eak	6.5 eak	12.9 eak	18.6 eak	51.85 eak
	cost efficiency index	by-alternative	-	0.57	0.57	0.57
	accumulate	-	0.57	0.57	0.57	1.23

\* eak : one hundred million won

제로 인해 인증등급 상향을 위해서는 추가적인 BIPV의 설치가 요구되었다. 태양광 PV 설치면적은 태양광 발전 최대 설치 용량을 산출하기 위해 적용한 '연속일조 5시간' 만족 구간으로 에코텍시물레이션을 통해 적정면적을 산출하고 용량을 계산하였다(Lee et al., 2011).

세대 내 LED의 적용과 태양광 PV판넬의 적용은 1차 에너지 소요량의 절감과 에너지 자립률 상승에 절대적으로 영향을 주기 때문에 제로에너지빌딩 인증을 위한 가장 중요한 변수라고 할 수 있으며 우선적인 적용이 필요한 항목임을 확인할 수 있었다. 단열재와 창호 등 패시브적인 요소는 기존에 연구되었던 경제성을 고려한 기존공동주택의 에너지 성능향상 방안에 관한 연구(Han et al., 2016)에서 보여주었던 '공사비'와 '에너지 절감비용'의 검토결과 비용투입대비 절감성능은 향상은 이루어졌으나 성능비용은 효율이 높지 않았던 것과 유사한 결론이 도출되었으며, 아래 <Table 6>과 같이 우선순위에서도 낮게 분석되었다.

Table 6. Prioritization by cost efficiency index

Contents		application standard	variable	cost-efficiency index	additional cost	priority		
Passive	A	Insulation	1 <sup>st</sup> deal	insul. standard (0.15)	A-1	1.44	2.45 eak	6
			2 <sup>nd</sup> deal	insul. standard (0.13)	A-2	2.01	2.41 eak	9
			3 <sup>rd</sup> deal	insul. standard (0.11)	A-3	2.70	3.51 eak	10
	B	Window & Glass	1 <sup>st</sup> deal	K-value (0.9)	B-1	1.89	2.64 eak	8
			2 <sup>nd</sup> deal	K-value (0.8)	B-2	7.50	9.75 eak	11
			3 <sup>rd</sup> deal	K-value (0.7)	B-3	9.65	13.51 eak	12
Active	C	Lighting Density (LD)	1 <sup>st</sup> deal	LD (below 8)	C-1	0.15	1.39 eak	1
			2 <sup>nd</sup> deal	LD (below 5)	C-2	0.17	2.25 eak	2
Renewable	D	Sunlight Capacity	1 <sup>st</sup> deal	50% of LD	D-1	0.57	3.90 eak	3
			2 <sup>nd</sup> deal	100% of LD	D-2	0.57	6.40 eak	4
			3 <sup>rd</sup> deal	PV 580kWp (maximum rooftop area)	D-3	0.57	5.70 eak	5
			4 <sup>th</sup> deal	PV 580kWp + BIPV 880kWp	D-4	1.70	51.85 eak	7

\* K-value : coefficient of over-all heat transmission  
eak : one hundred million won

### 2.2.3 제로에너지빌딩 인증을 위한 CASE검토

대안별 비용효율이 높은 것부터 낮은 순으로 순위를 정리하여 ECO2 시뮬레이션 실시에 따른 인증등급을 만족하는 CASE조합을 검토해본 결과 <Table 7>과 같은 자립율 결과 값을 도출할 수 있었다.

모든 비용효율 검토 아이템을 적용하였을 경우에도 자립율은 시뮬레이션 결과 65.65%로 검토되었다. 이는 에너지 절약형 공동주택의 기본 설계시 요구되는 제로에너지빌딩 인증 등급 3등급 수준이다. 태양광 PV용량은 최대설치면적으로 검토하였기에 현재의 물리적 한계치라고 볼 수 있으며, 자립율의 추가적인 향상을 위해서는 태양광 PV기술의 혁신을 통한 효율향상이 요구된다.

Table 7. Result of energy self-sufficiency rate by union

Items	Combination Review	Energy Demand Quantity	Energy Efficiency Rating	Self-reliance ratio
	Basic Model	122.7kWh/m <sup>2</sup>	1 Grade	3.59%
CASE1	C-1,2	102.4kWh/m <sup>2</sup>	1+ Grade	2.21%
CASE2	C-1,2 / D-1 (sunlight 101kW)	99.0kWh/m <sup>2</sup>	1+ Grade	5.44%
CASE3	C-1,2 / D-1,2 (sunlight 202kW)	93.3kWh/m <sup>2</sup>	1+ Grade	10.83%
CASE4	C-1,2 / D-1,2 sunlight 260kW	90.0kWh/m <sup>2</sup>	1++ Grade	14.00%
CASE5	C-1,2 / D-1,2 sunlight 372kW	83.7kWh/m <sup>2</sup>	1++ Grade	20.01%
CASE6	C-1,2 / D-1,2,3 sunlight 580kW	72.0kWh/m <sup>2</sup>	1++ Grade	31.25%
CASE7	C-1,2 / D-1,2,3 / A-1 sunlight 580kW	70.3kWh/m <sup>2</sup>	1++ Grade	31.77%
CASE8	C-1,2 / D-1,2,3 / A-1 / +BIPV 265kW	62.8kWh/m <sup>2</sup>	1++ Grade	40.01%
CASE9	C-1,2 / D-1,2,3 / A-1 / +BIPV 270kW	59.58kWh/m <sup>2</sup>	1+++ Grade	41.42%
CASE10	C-1,2 / D-1,2,3 / A-1 / +BIPV 820kW	40.4kWh/m <sup>2</sup>	1+++ Grade	60.20%
CASE11	C-1,2 / D-1,2,3 / A-1 / D-4 (BIPV 880kW)	38.4kWh/m <sup>2</sup>	1+++ Grade	62.25%
CASE12	C-1,2 / D-1,2,3,4 / A-1,2,3 / B-1,2,3	33.7kWh/m <sup>2</sup>	1+++ Grade	65.65%

### 3. 제로에너지 인증 가산비용의 산정

에너지 자립율 검토를 통해 적용아이템의 시공비용을 합산하면 제로에너지빌딩 인증 등급별 추가공사비를 <Table 8>과 같이 산출할 수 있다.

제로에너지 5등급 획득을 위해서 세대 내 LED조명 100% 적용 시 3.64억, 태양광 PV 372kW 설치비용 9.3억을 포함하여 약 13억의 추가 공사비가 산출되었으며, 4등급 획득을

Table 8. Additional cost for zero energy building certification

contents	Case	1 <sup>st</sup> energy consumption	self-reliance ratio	construction cost
zero-energy 5 <sup>th</sup> grade	CASE5	83.7kWh/m <sup>2</sup>	20.01%	12.94 eak
zero-energy 4 <sup>th</sup> grade	CASE8	62.8kWh/m <sup>2</sup>	40.01%	37.7 eak
zero-energy 3 <sup>rd</sup> grade	CASE10	40.4kWh/m <sup>2</sup>	60.20%	70.4 eak

\* eak : one hundred million won

Table 9. Additional cost for zero energy building certification

Grade	Additional Cost (hundred million won)			Cost/py (ten thousand won)
	direct construction cost (76%)	indirect construction cost (24%)	Total	
zero-energy 5 <sup>th</sup> grade	12.94	4.09	17.03	@10.1
zero-energy 4 <sup>th</sup> grade	37.7	11.91	49.61	@29.4
zero-energy 3 <sup>rd</sup> grade	70.4	22.23	92.63	@54.9

위해서는 옥상에 태양광 PV 최대 설치비용 6.7억과 BIPV 265kW 16억원과 단열성능 향상비용 2.45억원이 증가되어 약 38억의 추가공사비가 산출되었다. 제로에너지 3등급 획득할 경우 BIPV 설치비용이 32.7억이 추가되며 약 70억의 직접공사비가 추가로 발생하였다. 이는 각각 지상층 연면적 기준 평당 7.7만원, 22.4만원, 41.8만원이 증가된 비용으로 제로에너지 인증을 검토하기 위해서는 초기 사업성 검토단계부터 공사비 대비 각각의 추가 직접공사비가 반영되어야 한다. 사업성 검토를 위한 일반적인 간접공사비 비율 24%를 반영하여 산정된 총공사비 증가비용은 <Table 9>와 같다.

지상층 연면적기준(16,951평) 도급공사비는 제로에너지빌딩 5등급 구현시 평당 10만원, 4등급 구현시 29만원, 3등급 구현시 55만원이 증가된다.

### 4. 제로에너지 인증비용의 검증

#### 4.1 제로에너지빌딩 인증등급별 에너지절감비용 산출

기준모델의 에너지절감비용을 검토하기 위해 난방, 급탕, 조명, 환기에너지, 신재생에너지에 대한 연간 에너지소요량을 기준으로 에너지원별 비용산출 <Table 11~13>을 진행하였으며, 난방과 급탕은 지역난방비용으로 검토하고, 조명과 환기에너지는 전력비용을 산출하기 위해 한국지역난방공사와 한국전력공사의 기준요금 <Table 10>으로 산정하였다.

Table 10. Scale of price for energy sources

Item	usage fee	unit cost	Item	usage fee	unit cost
District heating charge	basic rate	52.4won/m <sup>2</sup>	Electric charges	~ 200kWh	78.3won/kWh
	spring & fall	63.38won/Mcal		200kWh~	147.3won/kWh
	summer	57.04won/Mcal		400kWh~	215.6won/kWh
	winter	66.58won/Mcal			

Table 11. Calculation of District heating charges of basic model

Item	Energy requirement (kWh/m <sup>2</sup> )			Annual total amount (Mcal)	unit cost (won)	Total sum (won)	
	heating	hot-water	sim				
Hot-water & Heating	basic rate				52.4	2,920,200	
	spring & fall	10.87	21.35	32.22	1,544,435	63.38	97,886,264
	summer	0	10.68	10.68	511,620	57.04	29,182,810
	winter	35.03	10.68	45.71	2,190,272	66.58	145,828,324
Total	45.9	42.71	88.61	4,246,327		275,817,598	

Table 12. Calculation of electric charges of basic model

Item	Energy requirement	Annual total amount (kWh)	unit cost (won)	Total sum (won)
Lighting energy	16.9kWh	941,820	78.3	15,660
			147.3	29,460
Ventilation energy	3.8kWh	211,770	215.6	248,627,829
Total	20.7kWh	1,153,590		248,672,949

Table 13. Cost of renewable energy for basic model

Item	Energy requirement	annual production (kWh)	unit cost (won)	Total sum (won)
renewable energy PV 81kW	-1.7	-94,739	215.6	-20,425,793

기준모델의 에너지 비용 산출조건을 반영하여 제로에너지 5등급에서 3등급까지 에너지비용(부가세포함)을 산출하여 아래<Table 14>와 같은 결과를 도출하였다.

Table 14. Energy consumption and energy saving costs

Items	Energy Consumption				
	Basic model	5 <sup>th</sup> Grade	4 <sup>th</sup> Grade	3 <sup>rd</sup> Grade	
Heating energy	45.9kWh/m <sup>2</sup>	49.1kWh/m <sup>2</sup>	48.9kWh/m <sup>2</sup>	44.4kWh/m <sup>2</sup>	
Hot-water energy	42.7kWh/m <sup>2</sup>	42.6kWh/m <sup>2</sup>	42.5kWh/m <sup>2</sup>	42.4kWh/m <sup>2</sup>	
Lighting energy	16.9kWh/m <sup>2</sup>	4.1kWh/m <sup>2</sup>	-0.9kWh/m <sup>2</sup>	-5.5kWh/m <sup>2</sup>	
Ventilation energy	3.8kWh/m <sup>2</sup>	1.8kWh/m <sup>2</sup>	-0.4kWh/m <sup>2</sup>	-2.5kWh/m <sup>2</sup>	
Total	105.5kWh/m <sup>2</sup>	97.6kWh/m <sup>2</sup>	90.1kWh/m <sup>2</sup>	78.8kWh/m <sup>2</sup>	
Renewable energy	-1.7kWh/m <sup>2</sup>	-7.6kWh/m <sup>2</sup>	-15.2kWh/m <sup>2</sup>	-61.2kWh/m <sup>2</sup>	
Annual Energy Cost	district heating	3.03 eak	3.14 eak	3.13 eak	2.98 eak
	Electricity	2.74 eak	0.78 eak	-0.17 eak	-1.05 eak
	total	5.77 eak	3.92 eak	2.96 eak	1.93 eak
Annual Saving Cost	Total		1.85 eak	2.81 eak	3.84 eak
	cost/unit		301,614 Won	458,090 Won	628,165 Won

※ eak : one hundred million won

<Table 14>의 결과를 살펴보면 기준모델 대비 제로에너지 5등급에서 3등급까지 연간 에너지소요량에 따른 에너지 비용 절감액을 산출한 결과 5등급 제안 시 전체 에너지 절감액은 1,85억원이었으며, 세대당 301,614원의 절감 효과가 있는 것으로 분석되었다. 4등급 제안 시에는 전체 에너지 절감액은 2,81억원이며, 세대당 458,090원의 절감효과가 있었으며, 제로에너지 3등급 제안 시에는 총 3.84억원의 절감액이 분석되었고, 세대당 에너지 절감금액은 연간 628,165원의 절감효과가 산출되었다. 에너지비용 추이를 비교해 보면 <Fig. 1>과 같다.

에너지 절감비용만을 계산할 경우 제로에너지 5등급에서 3등급까지 30년 이내 기준모델 대비 비용회수가 가능한 것을 확인할 수 있다.

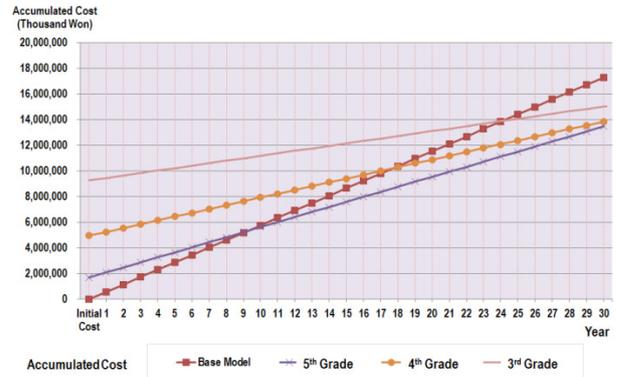


Fig. 1. Trends in Energy Cost Increase by Ratings

## 4.2 제로에너지빌딩 인증등급별 유지보수비용 검토

제로에너지빌딩 인증등급별 가산비용의 산출결과를 토대로 현재 재건축 가능년수인 30년까지 초기투자비 대비 에너지비용 절감액, 장기수선비용에 따른 생애주기비용을 검토하여 제로에너지인증에 따른 LCC비용에 대해서 최종적인 비용가치 검토를 통해 30년간 비용추이를 분석하였다. 유지보수비의 산출기준은 <Table 15>와 같다.

Table 15. Long-term repair plan application criteria by items

	construction assortment	repair method	period (year)	maintenance rate
A	Insulation (wall, ceiling)	piece repair	5 y	10%
	Insulation (wall, ceiling)	replacement	40 y	100%
C	fluorescent light	replacement	10 y	100%
	LED light	replacement	25 y	100%
D	solar module	replacement	30 y	100%
	solar module (manage.)	piece repair	1 y	2%
	solar module inverter	replacement	10 y	100%
	태(solar module inverter (regular inspection))	piece repair	1 y	10%
	solar cell connection board	piece replacement	1 y	20%

단, 유지보수기간중 30년째 도래된 교체 및 수선에 대해서는 폐기물보고 30년째 도래되는 금액에 대해서는 유지보수비 산정에서 제외하였다. 등급별 유지보수비 산출결과는 <Table 16>과 같다.

Table 16. Result of calculation of repair and replacement cost

Grade	Replacement item	Subsection	long term repair plan		Maintenance cost for 30years (million won)
			period (year)	maintenance rate	
Basic model	fluorescent light	replacement	10 y	100%	399
	sunlight (81kWp)	sunlight module	30 y	100%	
		sunlight module(manage.)	1 y	2%	
		sunlight inverter	10 y	100%	
		sunlight inverter (routine inspection)	1 y	10%	
sunlight connector board	1 y	20%			
subtotal					2,285
5 <sup>th</sup> Grade	LED light	replacement	25 y	100%	1,354
	sunlight	sunlight module	30 y	100%	
		sunlight module (manage.)	1 y	2%	
		sunlight inverter	10 y	100%	
		sunlight inverter (routine inspection)	1 y	10%	
sunlight connector board	1 y	20%			
subtotal					2,777
4 <sup>th</sup> Grade	LED light	replacement	25 y	100%	3,608
	insulation	repair piece	5 y	10%	
	sunlight	sunlight module	30 y	100%	
		sunlight module (manage.)	1 y	2%	
		sunlight inverter	10 y	100%	
sunlight inverter (routine inspection)	1 y	10%			
sunlight connector board	1 year	20%			
subtotal					5,192
3 <sup>rd</sup> Grade	LED light	replacement	25 y	100%	7,459
	insulation	repair piece	5 y	10%	
	sunlight	sunlight module	30 y	100%	
		sunlight module (manage.)	1 y	2%	
		sunlight inverter	10 y	100%	
sunlight inverter (routine inspection)	1 y	10%			
sunlight connector board	1 y	20%			
subtotal					9,043

4등급과 3등급에서는 유지보수비가 크게 증가됨을 확인할 수 있다. 에너지비용과 30년간 수선 교체비용을 포함한 추이를 비교해 보면 <Fig. 2>와 같다.

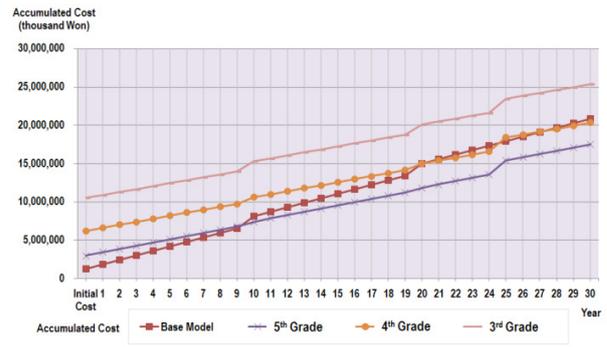


Fig. 2. Trends in repair-cost Increase by ratings

인증등급별 초기공사비 에너지비용과 유지보수비용의 추이를 보면, 제로에너지 5등급과 4등급의 경우 30년간 수선, 교체비용을 포함하더라도 초기비용의 회수가 가능하였으나, 제로에너지 3등급에서는 30년 내 초기금액의 회수가 불가능한 것으로 확인되었다.

### 4.3 제로에너지빌딩 인증등급별 비용가치 비교

한국은행 경제통계시스템에서 20년간 생산자 물가지수(전력)의 변동추이를 확인한 결과 연평균 2.3%를 물가상승에 따른 변동율이 확인되었으나, 현재가치 비용의 보편적인 결과를 도출하기 위해 에너지비용과 장기수선비의 증가비용을 KDI에서 발표한 사회적 할인율 4.5%를 적용하여 산출하였다. 본 연구에서는 LCC 비용에 따른 비용가치의 분석을 위해서 기존에 제로에너지주택 비용편익 분석을 위한 논문중에서(Lim, 2018)에서 적용한 '비용편익분석 방법'을 참고하여 아래의 산식(2)로 정의하였다.

Item	LCC analysis
content	Net-present value (NPV)
Method	NPV= present value of total cost
	Equation : $\sum_{t=1}^n \frac{(EC_t + MC_t)}{(1+r)^t} + CC \quad (2)$
	1) CC = initial cost                      2) EC = energy cost
	3) MC = long-term repair cost        4) r = social rate of discount

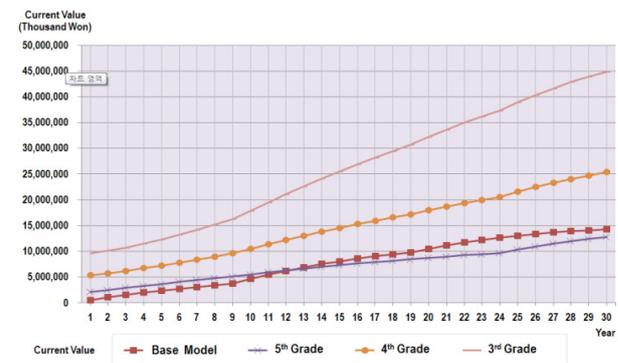


Fig. 3. LCC increase trend by certification grade

Table 17. Comparison of LCC by certification 500 grade

(unit: thousand won)

Year	reference model				5 <sup>th</sup> -Grade				4 <sup>th</sup> -Grade				3 <sup>rd</sup> -Grade			
	annual cost	facility management cost	accumulate sum	present value	annual cost	facility management cost	accumulate sum	present value	annual cost	facility management cost	accumulate sum	present value	annual cost	facility management cost	accumulate sum	present value
initial cost					1,703		1,703	1,703	4,961		4,961	4,961	9,263		9,263	9,263
year 1	577	10	577	552	426	33	426	2,110	387	91	387	5,332	380	187	380	9,627
year 2	587	10	1,163	1,065	459	33	884	2,513	478	91	865	5,753	567	187	947	10,130
year 3	596	10	1,760	1,542	492	33	1,376	2,909	569	91	1,434	6,217	755	187	1,702	10,755
year 4	606	10	2,365	1,984	525	33	1,902	3,298	659	91	2,093	6,716	942	187	2,644	11,480
year 5	615	10	2,981	2,392	558	33	2,460	3,677	782	123	2,875	7,268	1,162	220	3,806	12,317
year 6	625	10	3,606	2,769	592	33	3,052	4,046	873	91	3,748	7,839	1,349	187	5,155	13,222
year 7	635	10	4,240	3,116	625	33	3,677	4,405	964	91	4,712	8,423	1,537	187	6,692	14,181
year 8	644	10	4,884	3,435	658	33	4,335	4,751	1,054	91	5,766	9,016	1,724	187	8,416	15,181
year 9	654	10	5,538	3,727	691	33	5,026	5,085	1,145	91	6,911	9,611	1,912	187	10,328	16,213
year 10	1,662	1,008	7,200	4,636	903	212	5,930	5,521	1,712	567	8,622	10,513	3,049	1,138	13,377	17,877
year 11	1,672	10	8,872	5,467	937	33	6,866	5,934	1,802	91	10,425	11,385	3,237	187	16,614	19,501
year 12	1,681	10	10,553	6,223	970	33	7,836	6,324	1,893	91	12,318	12,224	3,424	187	20,038	21,079
year 13	1,691	10	12,243	6,909	1,003	33	8,839	6,691	1,984	91	14,301	13,031	3,612	187	23,650	22,608
year 14	1,700	10	13,944	7,529	1,036	33	9,876	7,036	2,074	91	16,376	13,803	3,799	187	27,449	24,085
year 15	1,710	10	15,654	8,089	1,070	33	10,945	7,359	2,197	123	18,573	14,558	4,019	220	31,467	25,523
year 16	1,720	10	17,373	8,591	1,103	33	12,048	7,660	2,288	91	20,861	15,276	4,206	187	35,673	26,902
year 17	1,729	10	19,102	9,039	1,136	33	13,184	7,941	2,379	91	23,239	15,957	4,394	187	40,067	28,222
year 18	1,739	10	20,841	9,437	1,169	33	14,353	8,202	2,469	91	25,708	16,602	4,581	187	44,648	29,480
year 19	1,748	10	22,589	9,788	1,202	33	15,556	8,443	2,560	91	28,268	17,210	4,768	187	49,416	30,675
year 20	2,757	1,008	25,346	10,510	1,415	212	16,970	8,740	3,127	567	31,395	17,979	5,906	1,138	55,322	32,202
year 21	2,766	10	28,112	11,155	1,448	33	18,418	9,011	3,217	91	34,612	18,695	6,094	187	61,416	33,632
year 22	2,776	10	30,888	11,728	1,481	33	19,899	9,259	3,308	91	37,920	19,359	6,281	187	67,697	34,968
year 23	2,785	10	33,673	12,235	1,514	33	21,413	9,483	3,399	91	41,319	19,974	6,468	187	74,165	36,211
year 24	2,795	10	36,468	12,680	1,547	33	22,961	9,686	3,489	91	44,808	20,541	6,656	187	80,821	37,365
year 25	2,805	10	39,272	13,067	3,003	1,456	25,964	10,342	5,035	1,545	49,843	21,545	8,298	1,642	89,119	38,916
year 26	2,814	10	42,087	13,400	3,036	33	29,000	10,937	5,125	91	54,968	22,463	8,485	187	97,604	40,340
year 27	2,824	10	44,910	13,684	3,070	33	32,070	11,474	5,216	91	60,184	23,299	8,673	187	106,277	41,645
year 28	2,833	10	47,744	13,921	3,103	33	35,173	11,958	5,307	91	65,491	24,056	8,860	187	115,138	42,834
year 29	2,843	10	50,587	14,114	3,136	33	38,309	12,392	5,397	91	70,888	24,740	9,048	187	124,185	43,913
year 30	2,853	10	53,439	14,268	3,169	33	41,478	12,778	5,488	91	76,376	25,354	9,235	187	133,420	44,886

분석결과 <Fig. 3>과 <Table 4>에서 보이는 바와 같이 제로에너지 3등급과 4등급의 경우 30년간 수선, 교체비용을 포함하여 물가상승과, 현재가치를 비교하여 평가하였을 경우 초기투자비용의 회수가 불가능한 것으로 검토되었지만, 제로에너지 5등급에서는 13년 이후부터는 초기투자비의 가치가 기준모델보다 낮아져 초기투자비의 회수가 가능한 것으로 확인되었다.

<Table 18>은 추가적으로 비용가치의 검증에 위해 제로에너지 공동주택을 위한 주요 설계변수별 비용효율 분석 (Song et al., 2012)에서 제시되었던 10년간 소비자 물가지수 평균값(3.19%)과 한국은행의 대출금리 평균값(6.30%)에 따른 할인율을 반영하여 2.5~6.5% 할인율값의 변동에 따른 추가 민감도 검토를 실시한 것이다. 검토결과 할인율 6.5%까지는 기준모델과 제로에너지빌딩 인증 5등급과 비교 시 현금흐름의 역전현상은 발생되지 않았다.

### 5. 결론

본 연구에서는 일반적인 공동주택에서 제로에너지빌딩 인증을 위해 적용할 수 있는 요소기술을 선정하기 위하여 에너지절약 설계기준과 친환경주택건설기준의 법규를 검토하였으며,

에너지효율등급과 에너지 자립을 확보를 위한 비용효율을 분석하여 요소기술을 선정하고 제로에너지빌딩 인증등급별 적정 가산비를 산출하였다.

공동주택의 제로에너지빌딩 인증을 위해 우선적으로 검토되어야 하는 에너지성능 향상 기술을 살펴보면 세대 내 LED 100% 설치와 태양광 PV의 설치가 비용투자대비 가장 중요한 설계요소였다. 다만 공동주택에서 지붕층과 외벽에 PV패널을 설치하기 위한 면적은 한계가 있기 때문에 제로에너지 2등급 이상의 적용은 현실적으로 불가능한 것으로

Table 18. Comparison of present value costs with changes in discount rate

(unit: thousand won)

Year	2.5%				3.5%				4.5%				5.5%				6.5%			
	Base Model	5 <sup>th</sup> Grade	4 <sup>th</sup> Grade	3 <sup>rd</sup> Grade	Base Model	5 <sup>th</sup> Grade	4 <sup>th</sup> Grade	3 <sup>rd</sup> Grade	Base Model	5 <sup>th</sup> Grade	4 <sup>th</sup> Grade	3 <sup>rd</sup> Grade	Base Model	5 <sup>th</sup> Grade	4 <sup>th</sup> Grade	3 <sup>rd</sup> Grade	Base Model	5 <sup>th</sup> Grade	4 <sup>th</sup> Grade	3 <sup>rd</sup> Grade
initial cost		1,703	4,961	9,263		1,703	4,961	9,263		1,703	4,961	9,263		1,703	4,961	9,263		1,703	4,961	9,263
year 1	563	2,118	5,339	9,634	557	2,114	5,335	9,630	552	2,110	5,332	9,627	547	2,106	5,328	9,623	542	2,103	5,325	9,620
year 2	1,107	2,545	5,785	10,165	1,086	2,529	5,769	10,147	1,065	2,513	5,753	10,130	1,045	2,498	5,738	10,114	1,026	2,483	5,724	10,098
year 3	1,634	2,981	6,292	10,844	1,587	2,944	6,254	10,798	1,542	2,909	6,217	10,755	1,499	2,875	6,182	10,713	1,457	2,842	6,148	10,672
year 4	2,143	3,426	6,857	11,659	2,061	3,360	6,785	11,567	1,984	3,298	6,716	11,480	1,909	3,238	6,651	11,398	1,839	3,181	6,588	11,319
year 5	2,635	3,877	7,502	12,627	2,510	3,774	7,382	12,468	2,392	3,677	7,268	12,317	2,281	3,585	7,161	12,175	2,176	3,499	7,060	12,041
year 6	3,109	4,335	8,193	13,709	2,933	4,186	8,010	13,457	2,769	4,046	7,839	13,222	2,615	3,916	7,679	13,002	2,471	3,794	7,530	12,796
year 7	3,567	4,796	8,925	14,893	3,333	4,593	8,664	14,523	3,116	4,405	8,423	14,181	2,915	4,230	8,200	13,863	2,729	4,069	7,993	13,569
year 8	4,009	5,261	9,693	16,171	3,709	4,995	9,340	15,654	3,435	4,751	9,016	15,181	3,183	4,528	8,718	14,747	2,951	4,322	8,445	14,348
year 9	4,435	5,728	10,495	17,533	4,064	5,391	10,032	16,841	3,727	5,085	9,611	16,213	3,421	4,807	9,229	15,642	3,142	4,555	8,882	15,123
year 10	5,625	6,335	11,697	19,713	5,104	5,907	11,074	18,746	4,636	5,521	10,513	17,877	4,215	5,174	10,009	17,094	3,836	4,862	9,554	16,389
year 11	6,761	6,936	12,906	21,925	6,077	6,406	12,101	20,643	5,467	5,934	11,385	19,501	4,923	5,513	10,746	18,482	4,438	5,138	10,176	17,574
year 12	7,847	7,530	14,120	24,162	6,984	6,889	13,113	22,524	6,223	6,324	12,224	21,079	5,551	5,825	11,440	19,803	4,956	5,383	10,746	18,675
year 13	8,882	8,115	15,335	26,419	7,829	7,355	14,105	24,385	6,909	6,691	13,031	22,608	6,104	6,110	12,091	21,054	5,400	5,601	11,268	19,693
year 14	9,868	8,692	16,550	28,689	8,614	7,804	15,078	26,220	7,529	7,036	13,803	24,085	6,589	6,370	12,700	22,234	5,774	5,792	11,742	20,630
year 15	10,808	9,260	17,785	30,990	9,344	8,236	16,047	28,046	8,089	7,359	14,558	25,523	7,012	6,606	13,280	23,358	6,087	5,959	12,183	21,498
year 16	11,703	9,819	19,013	33,294	10,019	8,651	16,991	29,836	8,591	7,660	15,276	26,902	7,376	6,818	13,818	24,409	6,343	6,102	12,577	22,287
year 17	12,554	10,367	20,234	35,595	10,644	9,049	17,910	31,588	9,039	7,941	15,957	28,222	7,688	7,009	14,314	25,388	6,549	6,223	12,928	22,998
year 18	13,363	10,906	21,444	37,890	11,220	9,430	18,801	33,300	9,437	8,202	16,602	29,480	7,950	7,178	14,768	26,295	6,709	6,323	13,236	23,635
year 19	14,130	11,433	22,644	40,174	11,750	9,794	19,665	34,967	9,788	8,443	17,210	30,675	8,168	7,328	15,182	27,131	6,828	6,405	13,505	24,199
year 20	15,468	12,059	24,120	43,025	12,738	10,232	20,739	37,066	10,510	8,740	17,979	32,202	8,687	7,519	15,721	28,224	7,193	6,519	13,871	24,963
year 21	16,738	12,669	25,569	45,829	13,650	10,646	21,768	39,085	11,155	9,011	18,695	33,632	9,133	7,686	16,205	29,215	7,491	6,611	14,184	25,629
year 22	17,942	13,262	26,987	48,586	14,491	11,039	22,751	41,023	11,728	9,259	19,359	34,968	9,511	7,830	16,638	30,109	7,728	6,682	14,449	26,202
year 23	19,082	13,838	28,376	51,292	15,264	11,409	23,690	42,881	12,235	9,483	19,974	36,211	9,828	7,953	17,021	30,910	7,911	6,734	14,668	26,687
year 24	20,162	14,397	29,734	53,947	15,971	11,759	24,585	44,659	12,680	9,686	20,541	37,365	10,089	8,055	17,357	31,623	8,045	6,768	14,846	27,092
year 25	21,183	15,708	31,846	57,333	16,618	12,690	26,052	46,973	13,067	10,342	21,545	38,916	10,299	8,512	18,031	32,633	8,135	7,081	15,285	27,723
year 26	22,147	16,964	33,887	60,626	17,207	13,559	27,434	49,167	13,400	10,937	22,463	40,340	10,461	8,911	18,624	33,524	8,186	7,343	15,652	28,247
year 27	23,057	18,168	35,860	63,826	17,740	14,371	28,734	51,244	13,684	11,474	23,299	41,645	10,581	9,259	19,141	34,302	8,202	7,560	15,952	28,672
year 28	23,914	19,320	37,764	66,933	18,222	15,127	29,956	53,206	13,921	11,958	24,056	42,834	10,662	9,558	19,587	34,976	8,187	7,734	16,191	29,007
year 29	24,720	20,423	39,601	69,948	18,654	15,829	31,101	55,056	14,114	12,392	24,740	43,913	10,708	9,812	19,967	35,550	8,145	7,871	16,375	29,258
year 30	25,477	21,477	41,373	72,870	19,039	16,481	32,172	56,798	14,268	12,778	25,354	44,886	10,722	10,025	20,285	36,033	8,079	7,974	16,508	29,434

확인되었다. 또한 단열기준은 해가 거듭할수록 지속적인 법규강화가 이루어지면서 친환경주택건설기준만을 따르더라도 난방부하는 패시브하우스에 근접하도록 하고 있어 무조건적인 단열성능의 향상은 비용효율이 떨어지는 것으로 확인되었다.

건축물 에너지효율등급 1++ 등급은 법규수준의 단열기준을 유지하면서 세대 내 LED 적용시 태양광 PV는 260kW 수준을 적용하면 확보되었으며, 추가적으로 PV와 BIPV의 설치를 한계물량까지 적용해나 가면 건축물 에너지효율등급 1+++와 제로에너지빌딩 인증 3등급까지는 적용하는데 문제가 없었다.

등급별 추가공사비에 대한 분석을 바탕으로 아래 <Table 19>에서는 등급별 적정 가산비를 제안하고자 한다.

Table 19. Suggestion of additional cost by certification grade

Grade	Initial cost (0.1 billion won)	Cost/py (won)	additional ratio
zero-energy 5 <sup>th</sup> grade	17.03	@101,000	3%
zero-energy 4 <sup>th</sup> grade	49.61	@294,000	8%
zero-energy 3 <sup>rd</sup> grade	92.63	@549,000	15%

제로에너지 인증 비용의 검증 절차를 통해 제로에너지 3등급까지는 에너지비의 절감금액과 초기투자비용만의 단순 비교시에는 최대 향후 25년 이내 회수가 가능한 비용으로 확인되었으며, 특히 제로에너지 5등급의 경우에는 법규수준의 설계적용 후에 LED등과 신재생에너지의 일부 적용만을 통해서도 충분히 확보될 수 있음을 확인하였다. 하지만 투자비용에 대한 30년간 에너지비용과, 장기수선비용 등 모든

발생비용에 할인율을 적용하여 현재가치를 검토하였을 경우에는 제로에너지 5등급을 제외하고는 30년 이내 초기투자비의 회수는 불가능한 것으로 분석되었다. 추후 기술개발을 통해 초기공사비를 최소화하고 효율을 높혀 에너지비용의 절감효과가 나타날 수 있도록 추가 연구가 지속적으로 필요하다고 할 수 있다.

Han, S.H., Cho, G.H., and Kim, J.Y. (2016). "Study on Improving the Energy Performance of Existing Apartment Buildings Considering the Cost." *Journal of the 2016 AIK Autumn Annual Conference*, AIK, 36(2), pp. 680-681.

## References

Lee, S.Y., Lee, J.S., Lee, A.Y., Kang, S.H., and Kim, Y.K. (2011). "A Study on the Design Development of Energy Efficient Multi-Family Housing." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, AIK, 27(11), pp. 183-190.

Lim, I.h. (2018). "A Study on Zero Energy Apartment Cost Benefit Analysis." Doctoral dissertation, Myongji Univ., Seoul.

Song, S.Y., Lee, S.J., Hur, K.S., and Jin, H.H. (2012). "Cost Efficiency Analysis of Design Elements for a Zero Energy Apartment Building." *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, AIK, 28(8), pp. 207-216.

Son, W.D., Lee, J.I., Park, S.K., Chun, J.G., Yoon, D.W., and Song, D.S. (2013). "A Study on Energy Performance Optimization Method with the Consideration of the Economic Efficiency for Apartment Houses." *Journal of KSES 2013 Autumn Annual Conference*, KSES, 33(2), pp. 123-126.

Son, W.D., Lee, J.I., Yoon, D.W., Lee, K.H., and Song, D.S. (2014). "Energy Saving Design Method with the Consideration of the Initial Cost for Apartment Houses." *Journal of The Korean Solar Energy Society*, KSES, 34(2), pp. 24-31.

---

**요약 :** 최근 전 세계적으로 지구온난화에 따른 이상기온과 화석연료 고갈 등 환경과 에너지문제는 인류의 생존을 위협하는 중대 과제로 대두되고 있다. 이에 따라 건축물 에너지 절감 및 온실가스 감축에 획기적으로 기여할 수 있는 혁신적인 건축물로서 제로에너지빌딩에 대한 관심이 높아지고 있다. 그러나 시장에서는 추가되는 건설비용은 제로에너지 인증 활성화에 큰 걸림돌이 되고 있다. 본 연구에서는 일반적인 민간 분양아파트를 연구의 대상으로 선정하고 초기 설계단계부터 제로에너지 인증을 위한 세부 요소들을 친환경주택 건설기준에 근거하여 제시하였으며, 인증 세부요소들의 비용효율분석을 통해 적정 가산비용을 제시하였다. 아직까지 기술수준과 물리적인 한계로 인하여 공동주택에서는 3등급까지만 인증이 구현 가능한 것으로 분석되었다. 또한 생애주기동안 비용추이를 검토해본 결과 아직까지 제로에너지빌딩 5등급의 경우에서만 준공 후 13년 이내 모든 비용의 회수가 가능한 것으로 검토되었다. 앞으로 발주예정인 공동주택 사업 검토 시 본 연구에서 제시된 추가사업비가 적절히 반영되어 제로에너지빌딩 인증 활성화에 기여하고자 한다.

**키워드 :** 제로에너지빌딩 인증, 비용효율, 가산비, 비용효율분석

---