



## 컬러 태양전지 적용 유형에 따른 건축물 심미성 요소의 상관성 분석 - 색상 인자를 중심으로 -

*Analysis of Standardized Factor Coefficient for Building Aesthetics by Types of Colored BIPV  
- Focused on the Color Factor -*

김재향\* · 한승훈\*\*

Jae-Hyang Kim\* · Seung-Hoon Han\*\*

\* Graduate Student, School of Architecture, Chonnam National University, South Korea (gcna5128@naver.com)

\*\* Corresponding Author, Professor, School of Architecture, Chonnam National University, South Korea (hshoon@jnu.ac.kr)

### ABSTRACT

**Purpose:** This research was conducted to analyze the aesthetics of solar cells considering the building facade aesthetics according to the recent research and development. In particular, the research focused on the analysis of the building facade aesthetics according to colored solar cells for BIPV (Building-Integrated Photovoltaic) as the solar cells of various colors were developed to be set as CBIPV (Colored BIPV). This research aims to derive the element of the facade to which CBIPV is applied. The effect of colored solar cells on aesthetics was analyzed by dividing into elevation and roof types. The purpose of this study is to discuss the design approach in the planning stage. **Method:** The SD (Semantic Difference) questionnaire analyzed the elevation aesthetics of colored solar cells. Also, multiple regression analysis is used for analyzing the effect of factors on the aesthetics of the facade. Aesthetic elements of the building facade were derived through principal component analysis, a factor analysis technique. **Result:** Five categories of elevation aesthetics of CBIPV were prepared, and seven significant factors were derived. The analysis discussed issues to consider during the planning phase. Through multiple regression analysis, the influence of each factor on the aesthetics was derived, and the characteristics of each color of the solar cell were analyzed.

### KEYWORD

컬러 태양전지  
SD법  
다중회귀분석  
건축심미성

Colored BIPV  
Semantic Differential Method  
Multiple Regression Analysis  
Building Aesthetics

### ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 29, 2020  
Final revision received Feb. 11, 2020  
Accepted Feb. 14, 2020

© 2020 KIEAE Journal

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

환경적으로 건전하고 지속가능한 개발이 이루어질 수 있도록 하는 지속가능 건축의 개념이 발전함에 따라 패시브 주택, 신재생에너지 도입 등에 대한 연구가 꾸준히 이루어졌다. 특히 태양전지(Photovoltaic, 이하 PV)는 설치가 간편하고 에너지 효율이 우수한 신재생에너지 설비로서 가장 대중적으로 이용되고 있으며, 이에 건물 에너지 절감을 위한 건물일체형 태양전지(Building-Integrated Photovoltaic, 이하 BIPV)를 이용한 발전시스템에 관한 연구개발이 활발하게 진행되고 있다. 송영진(2020)의 연구에 의하면, BIPV를 채택할 경우 전기세 절감 효율이 주택에서 70% 이상, 상업용 건물에서 15~50%까지 가능한 것으로 나타났다[1].

아울러 최근에는 기존 실리콘 계열 태양전지에 색상이나 패턴을 도입하거나, 박막형 태양전지(Thin-Film Solar Cells), 유기 태양전지(Organic Photovoltaic, 이하 OPV), 염료감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cells, 이하 DSSC), 페로브스카이트 태양전지(Perovskite Solar Cells) 등 투명도와 색상 조절이 가능한 태양전지를 통해 건축적으로 다양하게 사용하기 위한 시도가 있다. 또한, 컬러 유리를 실리콘 계열의 태양전지에 복층으로 구성하여 색상을

구현하는 방식의 대중성을 갖춘 건축물용 컬러 태양전지(Colored BIPV, 이하 CBIPV)가 개발 중이다. 이 연구는 CBIPV를 분석 대상으로 한정하며, CBIPV가 건축물 입면에 구성 되었을 시 요구되는 심미적 특징에 대하여 다중회귀분석을 기반으로 색상을 비롯한 대표 인자의 도출과 그 상관성 분석을 목적으로 한다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

건축 입면 및 경관평가 선행연구에 따라 감성형용사를 이용한 SD법 (Semantic Differential Method) 설문을 진행하고, 주성분 분석을 비롯한 통계적 기법을 채택하였다. 설문 내용을 기반으로 CBIPV가 적용된 입면의 요소를 도출하고, 각 요소가 심미성에 미치는 영향에 대한 분석을 위해 다중회귀분석이 이용되었다.

연구 범위는 CBIPV가 적용된 건축 입면을 대상으로 한다. 대표 유형인 입면형과 지붕형으로 구분하여 분석이 진행되었다. 태양전지 색상에 따른 심미성 영향을 분석하기 위해서 건물을 통제변인으로 설정하였으며, 다양한 색상의 컬러 태양전지를 독립변인으로 설정하였다. 실제 건물에 다양한 색상의 컬러 태양전지를 직접 적용시키기에 한계점이 있어 시각적으로 가장 비슷한 환경을 조성하기 위해 CG(Computer Graphic)를 활용하였다. 색상은 선행 개발되어 가장 다양한 제품군을 보유 중인 중국 L사의 Color Solar Cell 색상을 기반으로 하였다.





## 2. 컬러 태양전지 심미성 분석의 틀

### 2.1. 선행연구 고찰

#### 1) 컬러 태양전지 시장 및 기술

BIPV는 PV 모듈이 건축물의 외형을 구성하는 건축재의 역할을 겸하며, 에너지 생산과 건축물의 심미성을 동시에 만족시킬 수 있는 디자인 요소로서 기능한다. 최근 심미성에 대한 관심이 증가하면서 OPV, DSSC 등의 개발이 이루어지고 있지만, 광전변환 효율이 11% 이하로 낮아 상용화에 어려움을 겪고 있다. 한편, 다양한 색상을 구현하면서도 광전변환 효율을 높이는 방안으로 기존 실리콘 태양전지를 기반으로 하는 기술도 개발되고 있다. 중국 I사의 경우 색상에 따라 15~16%의 광전변환 효율을 기록하는 제품을 출시하였으며, 스위스 I사는 16%대의 광전변환 효율을 보이는 크로매틱스(Kromatix) 모듈을 출시하여 시장을 점유하고 있다.

Table 1. Application Cases of CBIPV

Company (Country)	Case	Characteristic
L (China)	 Green Global Map <sup>1)</sup>	• Elevation is designed by using green PV and blue PV.
	 Youngjin University <sup>2)</sup>	• Image of forest is created by utilizing marble-type green PV.
I (Switzerland)	 Copenhagen International School <sup>3)</sup>	• Blue-based PV is designed to be fit brightness.
	 Bornholm Hospital <sup>4)</sup>	• Elevation pattern is realized by adjusting the installation angle of green PV.

#### 2) 심미성 분석 선행연구

건축 입면 심미성에 관한 연구는 크게 구성요소에 관한 연구와 입면의 심미성 평가에 관한 연구, 경관 이미지 평가에 관한 연구로 구분되는 것으로 나타났다. 정경애(2003)의 연구에서는 건물 파사드의 디자인 유형에 관하여 정리를 시도하였다[2]. 오연순(2008)의 연구에서는 정경애(2003)의 연구를 바탕으로 부산광역시 광복로의 파사드 특징을 분석하였으며[3], 조한솔(2018)의 연구에서는 태양전지 적용 건축물의 심미성 평가요소를 도출하였다[4]. 최영신(2011), 천지윤(2014), 유태형(2008), 기성간(2014), 박세나(2008)의 연구에서는 색채와 관련하여 입면 외관 평가에 대한 연구가 이루어졌다. 최영신(2011)의 연구에서는 대전광역시 도심을 중심으로

도시가로변 건축물의 색상 추출 및 설문조사를 통한 분석이 이루어졌다[5]. 천지윤(2014)의 연구에서는 유리외관 건축물을 대상으로 감성 및 색채 특성에 관한 연구를 진행하였으며[6], 유태형(2008)의 연구에서는 초등학교 외벽의 색채에 대한 분석을 진행하였다[7]. 기성간(2014)의 연구는 광주광역시 수완지구를 대상으로 색채환경에 대한 조사와 분석이 이루어졌으며[8], 박세나(2008)의 연구에서는 색채 이론과 설문조사를 통한 분석이 이루어졌다[9].













경관 이미지 평가에 관한 연구로서 송대호 외 1인(1998)의 연구에서는 SBE (Scenic Beauty Estimation) 방법과 다중회귀분석을 통해 경관평가 방법이 고안되었다[10]. 김지혜(2009)의 연구에서는 SD 설문과 구조방정식 모형을 통해 분석을 진행하였다[11]. 이 연구에서는 선행연구가 진행된 태양전지 입면 적용 유형을 바탕으로 입면형과 지붕형으로 재분류하여 평가대상을 설정하였다. 또한 선행 연구를 통해 건축물 입면에 대한 색채 관련 감성형용사를 추출하고 종합하는 과정을 거쳐 설문 구성을 진행하였다. 분석기법으로 경관에서 주로 활용되는 통계분석 기법을 채택하여 주성분 분석과 다중회귀분석을 통해 연구를 진행하였다.

### 2.2. 설문 작성

#### 1) 평가대상 작성

선행 연구에 따르면 PV 설치 유형은 수직면, 상부면, 기타 설치형으로 구분된다. 기타 설치형의 경우 루버, 난간 등의 설치물이 입면에 부착된 형태로 수직면 유형에 포함될 수 있다. 따라서 이 연구에서는 수직면과 기타 설치형을 입면형으로 통합하고, 상부면 유형을 지붕형으로 분류하여 평가대상이 작성되었다.

Table 2. Evaluation Targets

Type	Case						
Envelope Type <sup>5)</sup>							
	C1	Basic	C2	Lavender	C3	Tile Red	
							
	C4	Army Green	C5	Golden Brown	C6	Angle Blue	
	Roof Type <sup>6)</sup>						
		C1	Basic	C2	Lavender	C3	Tile Red
							
C4		Army Green	C5	Golden Brown	C6	Angle Blue	

각각에 대하여 무채색 벽면에 PV가 적용된 대표 입면 사례를 선정하였으며, CG를 이용하여 중국 L사의 Color Solar Cell 5종(라벤더, 타일레드, 아미그린, 골든 브라운, 엔젤블루)을 Table 2.와 같이 적용하였다.

## 2) 설문 내용 작성

본 연구에서는 감성형용사를 이용한 SD법 설문을 진행하는 방법이 이용되었다. 평가에 사용된 감성형용사의 추출은 건물의 입면과 색의 관계성에 대한 선행연구를 통해 이루어졌다. 최연신(2011), 천지윤(2014), 유태형(2008), 기성간(2014), 박세나(2008)의 연구를 통해 44쌍의 감성형용사를 추출하였으며, 중복 내용 병합 및 CBIPV의 성격에 맞는 감성형용사 17쌍을 도출하였다. 이어 이를 유사한 성격끼리 범주화하는 과정을 진행하였다.

선행연구에서는 경관에 대한 평가로 Daniel & Boster(1976)가 고안한 방법인 SBE 평가가 주로 이용되었다[12]. 하지만 이 연구에서는 입면에 대한 심미성 평가를 목적으로 하기 때문에 SBE 평가를 활용한 복합적 판단보다는 종합된 질문에 의한 분석 대상의 평가가 요구되었다. 따라서 입면에 대한 종합적인 심미성을 판단할 수 있는 아름다움을 묻는 질문과 전체적인 어울림에 관한 질문 등 두 문항으로 구성하였다. 최종적으로 구성된 질문은 다음 Table 3.과 같다.

Table 3. Evaluation Target

Category	Evaluation Item	
Order	Changeable	Unchangeable
	Continuous	Discontinuous
	Regular	Irregular
	Harmonious	Incongruous
Simplicity	Fancy	Conservative
	Simple	Complicated
Cleanliness	Clean	Dirty
	Clear	Subtle
Color Temperature	Bright	Dark
	Warm	Cold
Modernity	Refined	Corny
	Modern	Classic
	Unique	Normal
Others	Light	Heavy
	Friendly	Awkward
	Brisk	Tranquil
	Comfortable	Uneasy
Comprehensive Question	Beautiful Face	Unbeautiful Face
	Suited Face	Unsuited Face

## 3) 설문 진행 및 유효성 검증

태양전지 색상 변화에 따른 건축물 심미성의 심층 분석을 위해 관계자 집단을 대상으로 하는 FGI (Focus Group Interview) 설문이 진행되었다. 피설문자는 건축 분야 전문가 4명 및 실무자 4명, 건축학 분야 대학원생 7명 및 전공 학생 5명으로서 설문지는 총 20부가 수집되었다. 전문가는 대학교수를 비롯한 관련 분야 박사급 학위 및 건축사 등 고급 자격 소지자, 실무자는 건축사사무소에서 5년 이상 근무한 경력직원을 대상으로 하였으며, 건축학 분야 대학원 재학생

외 전공 학생의 경우 건축학 인증을 받은 전문 교육기관에서 3년 이상 수학한 경우를 대상으로 하였다.

설문의 유효성 검증을 위하여 Cronbach's Alpha 계수( $\alpha$  계수)가 산출되었다.  $\alpha$  계수는 동일한 항목들에 대해 실제 일관성이 있는지를 체크하기 위한 대표적인 방법으로 (Eq. 1)에 의해 산출된다. 일반적으로 0.7 이상일 경우 적절하다고 판단되며, 0.8~0.9의 값이면 신뢰도가 높은 것으로 판단된다[13].

$$\alpha = \frac{K}{K-1} \left( 1 - \frac{\sum_{i=1}^k \sigma_{Y_i}^2}{\sigma_X^2} \right) \quad \text{(Eq. 1)}$$

K = Respondents                                  Y = Total Score by Question  
X = Question Score by Respondent           $\sigma^2$  = Dispersion

이 연구에서는 IBM SPSS (Statistical Package for the Social Sciences) 프로그램을 이용하여 통계분석을 진행하였으며, 12개의 입면 장면에 대한 17개의 감성형용사에 대해 240개의 표본이 집계되었다. 17개의 항목에 대하여  $\alpha$  계수는 0.853으로 산출되어 신뢰도가 높은 설문이 진행되었다고 판단되었다. 또한 각각의 항목에서도 모두  $\alpha$  계수가 0.8 이상으로 모든 항목에서 신뢰도 높은 결과를 얻었다. 각각의 분석내용은 Table 4.와 같다.

Table 4. Survey of Cronbach's Alpha

Code	Evaluation Item	Cronbach's alpha
Q1	Changeable - Unchangeable	0.852
Q2	Continuous - Discontinuous	0.850
Q3	Regular - Irregular	0.848
Q4	Harmonious - Incongruous	0.845
Q5	Fancy - Conservative	0.850
Q6	Simple - Complicated	0.856
Q7	Clean - Dirty	0.841
Q8	Clear - Subtle	0.846
Q9	Bright - Dark	0.836
Q10	Warm - Cold	0.853
Q11	Refined - Corny	0.842
Q12	Modern - Classic	0.842
Q13	Unique - Normal	0.851
Q14	Light - Heavy	0.838
Q15	Friendly - Awkward	0.837
Q16	Brisk - Tranquil	0.839
Q17	Comfortable - Uneasy	0.838

## 3. 컬러 태양전지 적용 건축물의 심미성 분석

### 3.1. 단순분석

입면형의 경우 가장 '아름답다'고 평가된 PV 색상 입면유형은 C4(Army Green)로 나타났으며, 가장 '아름답지 않다'고 평가된 PV 색상 입면 유형은 C2(Lavender)로 나타났다. 또한 가장 '어울리다'고 평가된 PV 색상 입면유형은 C4로 나타났으며, 가장 '어울리지 않다'고 평가된 PV 색상 입면유형은 C3(Tile Red)로 나타났다. 종합

질문 2가지에 대한 평균으로 입면 심미성 순위를 정하였으며, C4 > C1 (Basic PV) > C6 (Angel Blue) > C5 (Golden Brown) > C2 > C3 순으로 집계되었다.

지붕형의 경우 가장 '아름답다'고 평가된 PV 색상 입면유형은 C4로 나타났으며, 가장 '아름답지 않다'고 평가된 PV 색상 입면 유형은 C2로 나타났다. 또한 가장 '어울리다'고 평가된 PV 색상 입면유형은 C1으로 나타났으며, 가장 '어울리지 않다'고 평가된 PV 색상 입면유형은 C5로 나타났다. 종합 질문 2가지에 대한 평균으로 입면 심미성 순위를 정하였으며, C1 > C4 > C3 > C6 > C2 > C5 순서로 집계되었다.

입면형과 지붕형에서 공통적으로 C4와 C1이 높은 점수를 획득하였으며, C5와 C2 색상이 낮은 점수를 획득한 것으로 나타났다. 특이 점으로는 C3 색상의 경우 입면에서보다 지붕에 적용되었을 때, 높은 점수를 획득하는 것으로 나타났다. 각 세부항목에 관한 점수는 Fig. 1.과 Fig. 2.와 같다.

### 3.2. 주성분 분석

주성분 분석은 통계학에서 사용하는 방식으로 고차원의 데이터를 저차원의 데이터로 환원시키는 방법이다. 선형 변환을 통해 성분 분석을 진행하며, 일반적으로 가장 많이 이용하는 방식의 주성분 분석인 배리맥스 (Varimax) 회전방식을 통해 분석이 진행되었다. 주성분 분석 결과 5개의 성분으로 분류되었으며, 앞서 작성된 범주를 기반으로 CBIPV 적용 입면의 심미성 요소 범주가 재작성 되었다. 'Q3(규칙적인)', 'Q2(연속감 있는)', 'Q4(조화로운)'은 질서감 (Order)의 범주로 분류되었으며, 'Q1(변화감 있는)', 'Q5(화려한)', 'Q13(독특한)', 'Q14(가벼운)'은 단순성(Simplicity)의 범주로 분류되었다. 또한, 'Q10(따뜻한)', 'Q15(친근감 있는)', 'Q17(편안한)',

'Q9(밝은)'은 친숙성(Familiarity)의 범주로 분류되었으며, 'Q7(청결한)', 'Q6(단순한)', 'Q16(경쾌한)'은 청결성(Cleanliness)으로 분류되었다. 'Q12(현대적인)', 'Q11(세련된)', 'Q8(선명한)'은 현대성 (Modernity)으로 분류되었다. 주성분 분석 내용 및 재작성된 CBIPV 적용 입면의 심미성 요소 범주를 정리하면 Table 5.와 같다.

Table 5. Summary of Principal Component Analysis

Category	Code	1	2	3	4	5
Order	Q3	0.899	-0.019	0.032	0.068	0.147
	Q2	0.893	0.011	0.013	0.041	0.100
	Q4	0.796	-0.010	0.167	0.208	0.099
Simplicity	Q1	0.132	0.836	0.061	-0.014	-0.143
	Q5	-0.053	0.774	0.024	0.013	0.214
	Q13	-0.093	0.691	0.114	-0.084	0.312
	Q14	-0.032	0.556	0.379	0.454	0.120
Familiarity	Q10	-0.069	0.215	0.807	-0.148	-0.007
	Q15	0.355	0.042	0.710	0.298	0.163
	Q17	0.425	-0.105	0.666	0.378	0.161
Cleanliness	Q9	-0.099	0.442	0.563	0.383	0.231
	Q7	0.277	0.012	0.104	0.752	0.281
	Q6	0.347	-0.214	0.118	0.627	-0.239
Modernity	Q16	-0.019	0.523	0.177	0.526	0.281
	Q12	0.209	0.188	0.053	0.144	0.841
	Q11	0.271	0.119	0.253	0.039	0.739
	Q8	-0.088	0.199	-0.031	0.533	0.551

### 3.3. 다중회귀분석

다수의 독립변인에 대해 종속변수와와의 상관관계를 분석하기 위하여 다중회귀분석을 진행하였다. 선행된 표본 240부(N)에 대하여

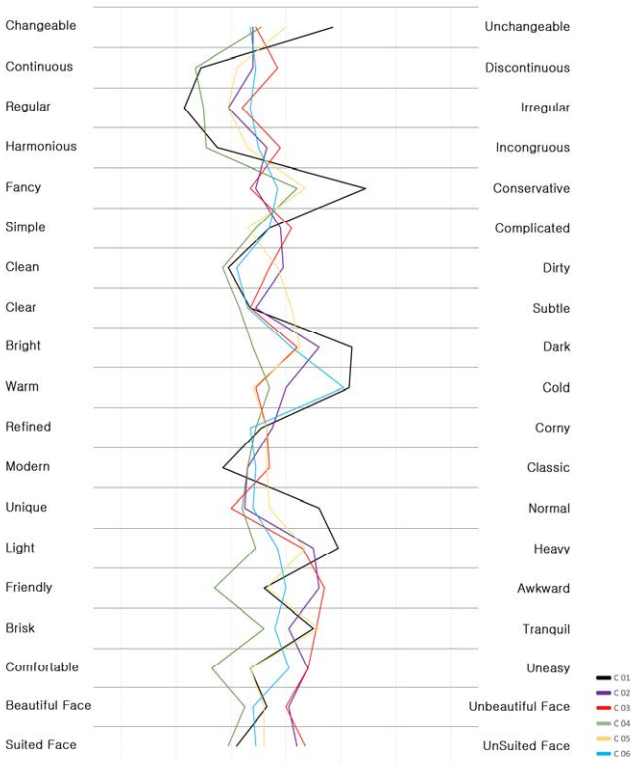


Fig. 1. Elevation Type Detail Score

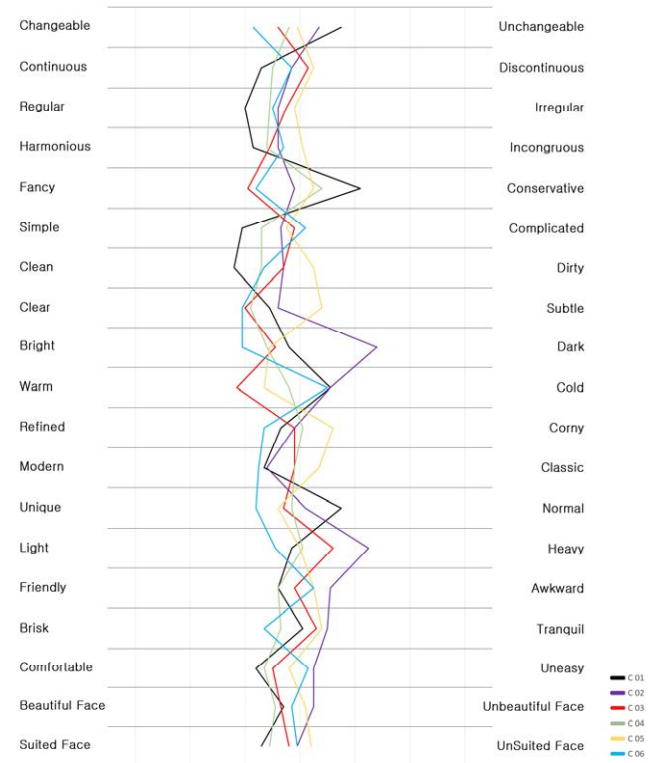


Fig. 2. Roof Type Detail Score

선형 회귀모델 분석이 수행되었다. 다중회귀분석의 요약은 Table 6.과 같다. R 스코어 값이 일반적으로 0.65 이상일 때 회귀식이 자료를 잘 설명하고 있다고 판단되나, 본 설문에서는 조금 미치지 못하는 0.639로서 17개의 독립변수가 입면의 심미성에 대해 63.9%를 설명하는 것으로 해석할 수 있어 적정범위에 근접하다고 판단된다. 유의확률(P)은 0.05 이상일 때 회귀분석이 의미가 없다고 사료되나 본 분석에서는 0.00으로 산출되었다. Durbin-Watson은 잔차(Residual)의 독립성을 나타내는 수치로 2에 가까울수록 자기 상관성이 없다고 판단되어지며, 본 분석에서는 2.010으로 산출되었으므로 적합한 모델로 사료된다.

Table 6. Summary of Multiple Regression Analysis

R	R <sup>2</sup>	Significance	Durbin-Watson
.800	0.639	0.00	2.010

다중회귀분석 결과에서 표준화계수의 베타 값과 유의확률 검증을 통해 실제로 심미성에 영향을 주는 요소에 대한 분석이 진행되었다. 표준화계수 (Standardized Factor Coefficient) 값은 독립변수 수치 1에 대해 종속변수가 어느 정도 영향을 미치는지를 나타내는 값이다. 표준화계수가 양수일 경우 독립변수 값의 증가에 따라 종합점수가 증가하는 비례 추이를 보이며, 음수일 경우 독립변수 값의 증가에 따라 종합점수가 감소하는 반비례 추이를 나타낸다. Table 7.의 결과에 따르면, Q17이 0.257로 입면 심미성에 가장 큰 영향을 주는 요소로 분석됐으며, Q8이 0.021로 가장 영향력이 작은 요소로 분석되었다. 유의확률(P)은 0.05를 기준으로 요인의 유의성을 판단하는 것이 일반적이나, 건축 입면의 심미성은 개개의 특성에 따라 영향을 크게 받는 요인이기 때문에 유의확률 0.1 이하를 기준으로 하여 분석이 진행되었다.

유의확률이 0.1 이하인 항목은 Q1, Q2, Q7, Q10, Q11, Q15, Q17로 총 7개 항목이 추출되었다. 7개 항목에 대해 표준화계수 값은 모두 양수 값을 가짐으로써 양의 상관관계를 가지는 것으로 분석되었다. 유의확률이 0.1 이하인 7개 항목 중 가장 영향력을 크게 미치는 요인은 Q17로 점수 1점당 심미성 점수 0.257점에 해당하는 영향을 미치는 것으로 분석되었으며, Q15 항목이 점수 1점당 심미성 점수 0.241의 영향을 미치는 것으로 나타나 두 번째로 큰 영향을 주는 요인이다. Q10은 점수 1점당 심미성 점수 0.088점이 반영되면서 7가지 항목 중에서 가장 낮은 수치로 분석되었다. 다중회귀분석 결과를 정리하면 Table 7.과 같다.

Table 7. Result in Multiple Regression Analysis

Code	Standardized Factor Coefficient	t	Significance (p)
Q1	0.123	2.324	0.021
Q2	0.119	1.684	0.094
Q3	0.030	0.387	0.699
Q4	0.067	1.046	0.297
Q5	-0.028	-0.471	0.638
Q6	-0.057	-1.142	0.255
Q7	0.144	2.415	0.017

Code	Standardized Factor Coefficient	t	Significance (p)
Q8	0.021	0.388	0.699
Q9	0.051	0.748	0.455
Q10	0.088	1.656	0.099
Q11	0.111	1.935	0.054
Q12	0.100	1.513	0.132
Q13	-0.084	-1.506	0.133
Q14	0.038	0.606	0.545
Q15	0.241	3.370	0.001
Q16	-0.102	-1.627	0.105
Q17	0.257	3.351	0.001

### 3.4. 컬러 태양전지의 특성 분석

#### 1) 입면형 특성 분석

다중회귀분석 결과 감성형용사 요소 7개에 대하여 표준화계수 값은 모두 양수를 가지기 때문에 양의 상관관계를 가지며, 집계된 수치가 낮을수록 입면의 심미성이 증가된다. 유의성을 가지는 요소 7가지에 대하여 입면형 CBIPV의 평균점수를 정리하면 Table 8.과 같다.

Table 8. Average Score - Elevation Type

Question	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Comfortable (Q17)	-0.65	0.4	0.4	-1.35	-0.65	0.05
Friendly (Q15)	-0.4	0.6	0.7	-1.3	-0.35	0
Clean (Q7)	-1.05	-0.05	-0.3	-1.15	-0.15	-0.9
Changeable (Q1)	0.85	-0.6	-0.55	-0.45	0	-0.65
Continuous (Q2)	-1.55	-0.6	-0.15	-1.65	-0.9	-0.55
Refined (Q11)	-0.45	-0.25	-0.35	-0.55	-0.35	-0.65
Warm (Q10)	1.15	0	-0.55	-0.3	-0.6	1.05
Comprehensive Question	-0.63 (2)	0.13 (5)	0.18 (6)	-0.9 (1)	-0.4 (4)	-0.58 (3)

C1 색상은 입면에서 연속감과 청결성이 뛰어난 것으로 분석되었으며, 주변에서 쉽게 찾아볼 수 있기 때문에 편안함과 친근감을 갖는 것으로 분석되었다. C2 색상은 입면에서 변화감 및 연속감이 뛰어나지만, 불안함과 어색한 성질을 갖는 것으로 분석되었으며, C3 색상은 변화감과 따뜻한 성질은 우수하나, C2 색상과 마찬가지로 불안함과 어색한 성질을 갖는 것으로 분석되었다. C4 색상은 입면에서 편안함과 친근감, 연속감이 뛰어났으며, 전반적으로 모든 요소에 대하여 우수한 것으로 분석되었다. C5 색상은 C1 색상과 유사한 성격을 가지는 것으로 분석되었으나, 청결함과 변화감이 상대적으로 부족한 것으로 파악된다. C6 색상은 입면에서 청결함, 변화감, 세련미가 우수한 것으로 분석되었으나, 차가운 성질을 가지고, 편안함과 친근감이 부족한 것으로 사료된다. 집계된 점수에 따라 색상별 건축 계획 시 고려사항을 Table 9.로 정리하였다.



Table 9. Planing Considerations per Elevation Type

Code	Color Type	Planning Considerations
C1	Basic	• Consideration should be given to changes in elevation.
C2	Lavender	• Awkwardness and anxiety should be reduced by using colors that are as close to the facade as possible.
C3	Tile Red	• Awkwardness and anxiety should be reduced by using colors that are as close to the facade as possible.
C4	Army Green	• Consider the combination with warm colors when building the facade.
C5	Golden Brown	• Consideration should be given to methods that can give a clean feeling through coating etc. when manufacturing PV.
C6	Angle Blue	• It can be applied to natural environment similar to PV color to increase comfort and friendliness.

## 2) 지붕형 특성 분석

CBIPV를 지붕에 적용하였을 때 입면 적용 시에 비해 심미성 측면에서 어떤 차이를 보이는 지에 대한 분석을 진행하였다. 유의성을 가지는 요소 7가지에 대하여 지붕형 CBIPV의 평균점수를 정리하면 Table 10.과 같다.

Table 10. Average Score - Roof Type

Question	C1	C2	C3	C4	C5	C6
Comfortable (Q17)	-0.8	0.25	-0.5	-0.65	-0.2	0.15
Friendly (Q15)	-0.4	0.55	-0.1	-0.4	0.25	0.25
Clean (Q7)	-1.2	-0.3	-0.3	-0.7	0.25	-0.65
Changeable (Q1)	0.75	0.35	-0.4	-0.2	-0.05	-0.85
Continuous (Q2)	-0.7	-0.15	0.15	-0.5	0.25	-0.15
Refined (Q11)	-0.35	-0.1	-0.1	0.05	0.6	-0.65
Warm (Q10)	0.55	0.55	-1.15	-0.2	-0.65	0.5
Comprehensive Question	<b>-0.5</b> (1)	<b>0.1</b> (5)	<b>-0.28</b> (3)	<b>-0.5</b> (1)	<b>0.15</b> (6)	<b>-0.1</b> (4)

C1 색상은 지붕형에서도 입면형과 비슷한 특징을 지니는 것으로 분석되어 편안함과 연속감이 뛰어난 것으로 나타났다. C2 색상의 경우 전반적으로 7가지 요소에 대하여 성능을 발휘하지 못하는 것으로 나타났다. C3 색상은 입면적용 시에 비해 큰 폭의 심미성 점수 상승이 있었으며, 편안함과 친근감에서 유의미한 차이를 보였다. C4 색상은 입면형에 비해 점수 하락이 있었으나, 전반적으로 고르게 성능을 발휘하는 것으로 나타났다. C5 색상은 입면형보다 큰 폭의 점수 하락이 있었으며, 지붕형에서 전반적으로 낮은 성능을 기록하는 것으로 나타났다. C6 색상은 입면과 비슷하게 지붕에서도 변화감, 세련미, 청결성이 우수한 것으로 나타났으나, 편안함과 친근감이 부족한 것으로 분석되었다.

CBIPV의 사용은 건축입면의 심미성을 향상시킬 수 있는 요소로 이용될 수 있지만, 동시에 잘못 설치된 경우 심미성의 저해 요소로도 작용될 수 있음이 확인되었다. 특히, 다중회귀분석을 통해 도출된

결과는 건축입면의 심미성에 영향을 크게 주는 요소로 편안함과 친근함을 나타내고 있다. 따라서 색상을 선택함에 있어서 가장 먼저 고려해야 할 사항으로서 편안함과 친근함을 줄 수 있는 디자인 방식이 요구된다. 이와 같은 분석은 C3 색상에 대한 입면형과 지붕형 평가 결과의 비교를 통해 가능하다. 일반적으로 무채색 벽면에 붉은 색 계열의 장식 또는 패널을 설치하는 디자인은 주변에서 흔히 찾아보기 어려운 반면, 같은 배색의 지붕을 설치한 디자인은 쉽게 찾아 볼 수 있기 때문에 상대적으로 편안함과 친근함 정도가 가증될 수 있다. 특히, 피렌체, 리스본, 프라하 등 중세 유럽도시의 방문이나 시청각 자료를 통해 시각적으로 쉽게 접하고 경험할 수 있는 지붕의 특성상 편안함과 친근함이 상대적으로 크게 작용할 수 있기 때문에 지붕형 평가에서 그 점수 상승폭이 두드러진 것으로 판단된다. 따라서 CBIPV의 이용은 색상에 따라 디자인 요소의 초점을 다르게 할 필요가 있으며, 이 연구에서는 집계된 평가점수를 바탕으로 색상별 건축계획 시 고려해야 할 사항을 Table 11.로 정리하였다.

Table 11. Planing Considerations per Roof Type

Code	Color Type	Planning Considerations
C1	Basic	• Attention should be given to how to make changes in the elevation configuration
C2	Lavender	• Particular attention is paid to PV use as it is not performing as a whole.
C3	Tile Red	• When using the Tile Red color on the roof, it works much better in terms of comfort compared to the elevation.
C4	Army Green	• Overall easy to use.
C5	Golden Brown	• Particular attention is paid to PV use as it is not performing as a whole.
C6	Angle Blue	• It can be applied to natural environment similar to PV color to increase comfort and friendliness.

## 4. 결론

본 연구는 최근 연구 개발의 흐름에 따라 건축입면에 적용된 태양전지의 심미성을 분석하기 위해 진행되었다. 특히 다양한 색상의 태양전지가 개발됨에 따라 CBIPV를 적용한 건축물 입면의 구성시 요구되는 심미적 특징에 대하여 다중회귀분석을 바탕으로 대표 인자의 도출과 그 상관성 분석을 시도하였다.

선행연구를 바탕으로 CBIPV의 적용 유형을 입면형과 지붕형으로 설정하였으며, 선행 개발된 중국 L사의 Color Solar Cell을 적용시켜 이미지화하였다. 선행연구 분석을 통하여 17가지의 CBIPV와 연관된 감성형용사를 추출하였으며, SD법 설문조사 및 분석을 통해 질서감, 단순성, 친숙성, 청결성, 현대성의 5가지 심미요소를 도출하였다. 또한 다중회귀분석을 통하여 각 요소별 영향을 미치는 정도에 대한 분석을 진행하였으며, 유의확률을 통해 7가지 요소 도출과 태양전지 색상별 장단점 비교가 진행되었다. 이를 바탕으로 건축계획과 태양전지 제품 디자인 단계에서 고려되어야 할 요구사항에 대해 제시하였으며, 이를 요약하면 다음과 같다.

입면형에서는 기본적으로 변화감을 줄 수 있는 방법에 대한 고려가 필요한 것으로 나타났으며, C5 색상의 경우 청결한 느낌을 줄 수 있는 디자인이 요구된다. C6 색상은 다른 성능에 비해 편안함과 친숙함 성능이 낮게 측정되기 때문에 하늘, 바다, 강과 숲 등 비슷한 색상의 자연요소를 기반으로 부족한 성능을 보완하는 것이 요구되며, C2, C3 색상의 경우 입면형에서는 적절치 않는 것으로 분석되었다.

지붕형에서도 변화감을 줄 수 있는 방법에 대한 고려가 필요하며, C6 색상은 입면형과 비슷하게 편안함과 친숙함 성능이 낮게 측정되기 때문에 역시 비슷한 색상의 자연요소에서 차용하여 부족한 성능을 보완하는 것이 요구된다. C3 색상은 입면형에서 적절하지 않는 것으로 나타났으나, 지붕형에서는 적절한 것으로 나타났으며, C2 색상과 C5 색상은 지붕형에서 적절하지 않는 것으로 나타났다.

연구를 통해 도출된 5가지 CBIPV의 심미성요소는 건축계획 및 후속 연구에서 고려되어야 할 범주로서 의미를 가진다. 또한 다중회귀분석을 통해 추출된 유의성을 가지는 7가지 요소에 대해 유의할 필요가 있다. 본 연구에서는 CBIPV 적용 유형 2가지에 대하여 계획 시 고려사항을 논의하고 있으며, 이는 후속연구를 통해 건축계획 가이드라인 및 CBIPV 기술 개발 지침 등으로 발전될 필요가 있다.

이 연구는 감성형용사를 이용한 통계기법을 통해 태양전지의 색상별 특성을 정량적으로 제시하고, 적용 유형에 따른 색상 분석을 통해 건축계획 및 관련 기술 개발 시 고려사항에 대한 실질적 접근을 시도한 점에 의의가 있다 할 것이다. 단, 이 연구에서 표적 집단에 대한 20여부의 설문만으로 구체적인 대안 제시까지 이어지지 못한 점은 한계로 남는다. 또한, 입면형과 지붕형이라는 2가지 한정적 유형에 대해 분석이 실시되었으므로 후속연구를 통해 표본의 추가 확보와 다양한 유형의 분석을 바탕으로 한 실무적 대안 제시가 요구된다.

### Acknowledgement

This research was supported by the R&D Program for Core Technology of Renewable Energy (Transparent Photovoltaic Cells Based on Nanophotonic Structures for Near-Infrared Control) through the Korea Institute of Energy Technology Evaluation and Planning (KETEP) funded by Ministry of Trade, Industry and Energy in Korea (20193020010440).

### Reference

[1] 송영진, 실증사례를 통한 건물일체형 태양광발전 시스템의 비용 절감 효과분석, 한국: 한국교통대학교 대학원 석사학위 논문, 2020. // (A Study on the Economic Analysis of BIPV System through Empirical cases, Korea: Korea National University of Transportation Master's Thesis, 2020.)

[2] 정경애, 상업건축물의 입면과 간판과의 관계 분석에 관한 연구, 한국: 연세대학교 대학원 석사학위 논문, 2003. // (A study on the analysis of relationships between facades and signs in commercial buildings, Korea: Yonsei University Master's Thesis, 2003.)

[3] 오연순, 가로변 건축물의 파사드 구성유형에 관한 연구, 한국: 부경대학교 대학원 석사학위 논문, 2009. // (A Study on the Composition Patterns of Facade For Buildings, Korea: Pukyong National University Master's Thesis, 2009.)

[4] 조한솔, 태양전지 적용 건축물의 심미성 평가방안에 대한 연구, 한국:

전남대학교 대학원 석사학위 논문, 2018. // (A Study on the Evaluation Method for Building Aesthetics Applied with Solar Cells, Korea: Chonnam National University Master's Thesis, 2018.)

[5] 최연진, 도심가로변 건축물의 색채환경평가를 통한 개선방안 연구 : 대전광역시 신도심과 구도심을 중심으로, 한국: 홍익대학교 대학원 박사학위 논문, 2011. // (An Improvement measure based on the evaluation of the architectural color environment of downtown streets : focusing on the new and old urban centers of Daejeon city, Korea: Hongik University Graduate School PhD Thesis, 2011.)

[6] 천지윤, 유리외관건축의 감성 및 색채 특성에 관한 연구, 한국: 이화여자대학교 대학원 석사학위 논문, 2014. // (A Study on the Emotion and Color Characteristics of Glass Exterior Architecture, Korea: Ewha Womans University Master's Thesis, 2014.)

[7] 유태형, 초등학교 외벽 색채 계획에 관한 연구 : 주거 중심 도시에 소재한 초등학교 건축을 중심으로, 한국: 홍익대학교 대학원 석사학위 논문, 2008. // (A Study on the Color Scheme for Elementary School Exterior Walls : Mainly on elementary school architecture in residential city, Korea: Hongik University Graduate School PhD Thesis, 2008.)

[8] 기성간, 도시가로변 상업건축물의 파사드 특성에 관한 연구 : 광주광역시 수완택지개발지구 상업용지를 중심으로, 한국: 조선대학교 대학원 석사학위 논문, 2014. // (A Study on The Characteristics of Facade of Commercial Building on Street : In Case of The Suwan Commercial Site at Housing Development District in Gwangju, Korea: Chosun University Master's Thesis, 2014.)

[9] 박세나, 도시환경개선을 위한 가로환경 색채계획 방법에 관한 연구, 한국: 상명대학교 대학원 석사학위 논문, 2008. // (A study on Street environmental color planing method for improving urban landscape environment : based on the case study of the color planing for Guro Digital Complex Chang-Jo Street, Korea: Sangmyung University Master's Thesis, 2008.)

[10] 송대호, 박춘근, 가로변건축물의 시지각적 선호특성에 따른 도시경관 평가 방법에 관한 연구, 대한건축학회, 14(9), 1998, pp.103-115. // (A Study on the Evaluation Method of Urbanscape by the Preferences and Responses to Visual-Perceptual Attributes of Buildings on the Street, Architectural Institute of Korea, 14(9), 1998, pp.103-115.)

[11] 김지혜, 이명훈, 전병해, 가로경관의 이미지 평가구조 분석에 관한 연구 : 서울시 삼청동길을 대상으로, 대한국토도시계획학회, 44(1), 2009, pp.273-287. // (A Study on Analysis of Evaluation Structure on Streetscape Image - Focused on Samcheongdong-gil in Seoul, Korea Planning Association, 44(1), 2009, pp.273-287.)

[12] Daniel & Boster, Measuring landscape esthetics: the scenic beauty estimation method. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Range and Experiment Station, 167, 1976, pp. 63-66.

[13] 권은지, 스마트 워치의 사용성과 패션성에 따른 유저 인터페이스 연구, 한국: 홍익대학교 대학원 석사학위 논문, 2015. // (User interface research according to usability and fashionity of smart watch, Korea: Hongik University Master's Thesis, 2015.)

1) LOF SOLAR CORP, <http://www.lofsolar.com/>.

2) Industry News, <https://www.industrynews.co.kr/news/articleView.html?idxno=6002>.

3) SCCER FEEB & D, <https://www.sccer-feebd.ch/pv-facade-at-copenhagen-international-school/>.

4) TV2/Bornholm, <https://tv2bornholm.dk/?newsID=216845>.

5) GALE SNOWDEN, <http://gale-snowden.blogspot.com/2012/05/passivoffice-at-devongate-gale-snowden.html>.

6) GB-Sol, <http://www.gb-sol.co.uk/latest/default.htm>.