

현대건축공간에 나타난 자연광 활용특성 연구

아이 엠 페이(leoh Ming Pei) 작품을 중심으로

A Study on the characteristics of natural light utilization in spaces of Contemporary architecture

focusing on the works of leoh Ming Pei

주 저 자 : 손기위 (Sun Ji wei)

국민대학교 일반대학원 공간디자인학과 석사과정

공 동 저 자 : 김슬기 (Kim Seul Ki)

연암대학교 원예전공 외래교수

교 신 저 자 : 윤재은 (Yoon Jae Eun)

국민대학교 테크노디자인대학원 공간·문화디자인학과 교수
dreamask@hanmail.net

<https://doi.org/10.46248/kidrs.2023.4.629>

접수일 2023. 11. 25. / 심사완료일 2023. 12. 18. / 게재확정일 2023. 12. 20. / 게재일 2023. 12. 30.

Abstract

With the pressing energy issues in modern society and the growing interest in renewable energy, natural light as an eco-friendly and renewable energy source has been widely recognized in architecture and spatial design. It is increasingly recognized that natural light in modern architectural spaces is not only a means of illumination, but also an important factor in shaping the space and expressing the architect's design ideas. This paper aims to discuss in depth the importance and characteristics of natural light in contemporary architectural space design, and to interpret the characteristics of natural light in the works of architect I.M. Pei. These findings provide ideas for future architectural design to efficiently utilize natural light to realize modern architectural spatial design. However, this study has the limitation that it mainly studies the natural light characteristics of Ieoh Ming Pei's architecture, and it is necessary to continue the research on natural light characteristics in architecture based on this in the future.

Keyword

Ieoh Ming Pei(아이 엠 페이), Natural Light Characteristics(자연광 특성),
Contemporary architecture(현대건축)

요약

현대 사회의 시급한 에너지 문제와 재생 에너지에 관심이 높아지면서 친환경 및 재생 에너지원인 자연광은 건축 및 공간디자인에서 널리 주목받고 있다. 현대건축공간에서의 자연광은 조명의 수단일 뿐만 아니라 공간을 형성하고 건축가의 설계 사상을 표현하는 중요한 요소라는 것을 점차 인식하고 있다. 본 논문은 현대건축 공간디자인에서 자연광의 중요성과 특성을 심도 있게 논의하고, 건축가 아이 엠 페이의 작품에서 자연광의 특성을 해석하고자 한다. 이러한 발견은 현대건축 공간디자인을 구현하기 위해 자연광을 효율적으로 활용할 수 있도록 향후 건축 설계에 대한 아이디어를 제공한다. 그러나 본 연구에서는 아이 엠 페이 건축의 자연광 특성을 주로 연구한다는 한계가 있으며, 앞으로 이를 바탕으로 건축의 자연광 특성 연구를 계속하게 진행될 필요가 있다.

목차

1. 서론

- 1-1. 연구의 배경과 목적
- 1-2. 연구의 범위 및 방법

2. 이론적 배경

- 2-1. 아이 엠 페이(I.M.Pei)
- 2-2. 자연광과 건축공간

3. 현대건축에서 자연광의 적용사례

- 3-1. 공간의 경계적 요소

3-2. 공간의 구조적 요소

3.3. 공간의 재료적 요소

3-4. 소결

4. 아이 엠 페이의 자연광 활용특성 사례분석

4-1. 분석의 대상 및 기준

4-2. 사례분석

5. 결론

참고문헌

1. 서론

1-1. 연구의 배경과 목적

오늘날 사회의 에너지 문제는 여전히 심각하며, 화석 연료에 대한 사람들의 과도한 의존은 온실가스 배출량 증가로 이어져 친환경 에너지 사용은 인류 연구의 다음 초점이 되고 있다. 친환경 에너지원인 자연광은 태양에서 나오는 재생 가능한 에너지원을 이다. 현대건축, 공간 및 도시 계획과 같은 디자인 분야에서도 재생 가능한 에너지원으로 설계하기 시작하여 기존 에너지원의 소비와 환경에 대한 부담을 줄이기 시작했다. 공간디자인 분야에 자연광 디자인을 통합하면 인공조명에 대한 의존도를 줄일 수 있으며, 이는 친환경 에너지에 대한 인간의 수요와 일치한다. 동시에 자연광은 중요한 디자인 요소를 이다. 자연광이 있으면 빛과 그림자의 변화는 공간 분위기를 조성하고 공간의 깊이를 증가시키고 감정을 반영하며 공간의 역동성과 유동성을 향상할 수 있다.

20세기 후반부터 에너지 효율과 지속 가능한 디자인에 중점을 두면서 건축가들은 점차 건축 설계에 자연광을 사용하는 데 집중하기 시작했다. 이러한 배경에서 아이 엠 페이가 건축 설계를 시작할 때 가장 먼저 고려한 것은 자연광이었다. 아이 엠 페이는 건물 내부에 많은 양의 자연광을 도입했으며 자연광과 공간의 조합을 통해 건축공간에 흥미로운 변화를 일으켰다.

따라서 본 연구는 아이 엠 페이(I.M.Pei)의 건축 작품을 통해 자연광 활용특성을 연구하고 건축공간에서의 자연광 유입에 따른 사용자와 공간의 상호작용성을 검토하며, 건축공간에서 자연광을 공간적 치론의 기반을 구축하는 데 목적이 있다.

1-2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 문헌 내용과 연구의 전형적인 사례에 기초하여 다음 몇 가지 방법을 채택하였다. 첫째 국내외 건축 및 그 자연광의 활용사례에 관한 원리를 체계적으로 연구하고, 이를 귀납하고 정리하여 선행연구를 통하여 이론적 근거를 제공한다. 둘째 건축가가 제시한 자연광에 대한 이론과 표현 특성을 출발점으로 삼고 그들의 사례를 분석함으로써 관점을 도출한다. 이러한 관점을 운용하고 있는 당대 저명한 설계자에 대한 사례를 분석해 논문의 연구 내용이 갖는 시대적 의의를 검증한다. 셋째 자연광 활용특성 정리와 실천사례의 분석을 통해 아이 엠 페이의 작품의 타당성을 갖는 특성을 귀납한다.

본 연구에서의 범위는 아이 엠 페이의 작품의 공간 설계에 존재하는 자연광의 활용특성을 연구하고, 공간 설계에 자연광에 관한 이론을 융합하여 공간 설계에서 자연광의 활용특성을 더 읽어낸다. 구체적인 연구 내용은 다음과 같다. 선행연구를 통해 자연광 키워드를 찾고, 키워드를 다른 건축 작품을 통해 자신의 사상적 관점을 도출하는 이론적 근거로 아이 엠 페이의 건축에 포함된 공간의 자연광 활용특성을 연구한다.

2. 이론적 배경

2-1. 아이 엠 페이(I.M.Pei)

아이 엠 페이(1917년 4월 26일-2019년 5월 16일)는 모더니즘 건축의 마지막 거장이자 동양적 건축가가 이다. 동양적 건축의 거장으로서 동서양 건축문화의 융합에 큰 공헌을 한 아이 엠 페이는 건축계의 특별한 존재이기도 하다. 동서양 문화의 융합에서 아이 엠 페이는 많은 획기적인 건축물을 설계했다. 건축을 합리화 하면서 동양의 시적 정취를 더한다. 아이 엠 페이의 작품은 대부분 공공건축을 위주로 한다. 재료 측면에서 강철, 콘크리트, 유리 및 석재를 최대한 활용하고 건축이 자연을 통합하는 공간 개념을 추구한다.¹⁾

아이 엠 페이의 건축 작품은 현대건축으로 분류되며, 자연광을 활용한 작품이 다수이다. 1940년부터 1970년까지 페이는 주로 미국에서 건축가로 활동했다. 미스 반데로에, 르 코르뷔지에와 같은 건축가들의 영향을 받았다. 1970년부터 1990년까지 아이 엠 페이의 건축은 점차 국제적이고 독창적인 건축으로 변모했으며, 자연광을 활용하여 디자인하기 시작했다. 또한, 아이 엠 페이의 건축 디자인은 1990년부터 2019년까지 건축과 지역 문화의 조화를 강조했다.²⁾

아이 엠 페이의 작품은 글로벌 어워즈에 다수 수상하였으며, 다음 [표 1]과 같이 정리하였다.

1) 노의, 아이 엠 페이와 안도 다다오의 미술관 비교 분석을 기초로 한 미술관 실내공간계획에 관한 연구, 상명대학교 석사학위논문, 2012, p.7.

2) Li Chun, Research on the aesthetics of modernist architecture of I.M. Pei[D], Shandong Normal University, 2019. pp.132-150.

[표 1] 아이 엠 페이의 작품 목록 3)

연도	작품명(위치)	주요 수상
1952	WEBB & KNAPP 회사 시장실(미국)	미국 건축가 협회 명예상
1963	LUCE 기념 교회(중국)	타이베이 건축 기념상
1968	에버슨 박물관(미국)	미국 건축가 협회 명예상
1978	워싱턴 국립 미술관 동관(미국)	미국 건축가 협회 금상
1989	루브르 유리 피라미드(프랑스)	프랑스 예술 및 문학상
2006	수주 박물관(중국)	아시아 태평양 최고 문화 건축
2008	이슬람 예술 박물관(카타르)	LEAF상

중국계 미국인 건축가인 아이 엠 페이는 중국 전통 문화의 영향을 많이 받았지만, 현대 서양 건축에 대한 교육도 받았다. 다양한 성장 환경은 절충과 융합을 뜻하는 ‘중용(中庸)’ 세계관으로 이어졌다. 동서양의 문화, 고대와 현대 문화, 국제와 지역 문화의 융합을 구현했으며, 자신만의 독특한 디자인을 창조했다. 또한, 건축과 자연환경의 결합을 중시하였다.⁴⁾ ‘자연 통합 사상’은 자연광, 바람, 경관 등 환경적 요인을 고려하여 시시각각 변화하는 자연환경을 기반으로 흥미로운 건축을 디자인했다. 또한, 아이 엠 페이의 건축 철학은 사용자 중심의 디자인으로 ‘모든 것은 사람에게 복종한다.’의 사상을 강조했다. 사용자의 요구, 편안함 및 경험을 중시하였으며 합리적 기능에 따라 공간을 분할 하고 사용자의 시각과 감각, 경험을 강조하여 공간을 구성하였다.

2-2. 자연광과 건축공간

본 연구는 기존 선행연구를 통해 공간에 유입되는 자연광의 공간적 표현 특성을 종합하여 건축에 대한 자연광의 의미를 도출하고자 한다. 따라서 자연광의 특성 도출을 위한 선행연구 리스트는 다음 [표 2]와 같이 정리하였다.

3) Philip Jodidio [I.M.PEI :Complete Works],Rizzoli International Publications, 2008.

4)Han Xiaojiao, Research on the application of I.M. Pei's design concepts in modern architectural landscape design[D], Zhejiang agriculture and forestry university. 2012, p.15.

[표 2] 자연광에 관한 선행연구 리스트

연구자 (연도)	제목	특성
김형경, 유진형 (2015)	전시공간의 자연광 활용에 의한 빛 표현특성	확장성, 한정성, 투명성, 비물질성, 방향성
정태용 (2011)	알바 알토 도서관 건축의 자연광 사용 특성에 관한 연구	보편성, 유연성, 역동성, 간접성, 시각성, 관통성
오현정, 윤재은 (2011)	안도 다다오 건축에 나타난 물과 빛의 표현특성에 관한 연구	부유성, 신비성, 시원성, 기호성, 치유성, 굴절성, 영원성, 물질성, 투명성, 반사성
김남현 (2010)	빛에 의한 건축 공간의 표현 특성 연구	투명성, 인지성, 방향성, 상징성
김주연 (1997)	실내공간에 있어 자연광에 의한 시시각적 현상(現象)에 관한 연구	구획성, 분할성, 구분성, 투명성, 확장성, 부유성, 연속성, 전이성

자연광은 신생, 창조, 구원과 동일시된다. 자연광을 반영한 건축 설계는 건축 사상을 담고 있으며, 종교 건축 및 공공 건축 설계에서 자연광의 적용은 공간에 빛과 그림자를 구현한다.⁵⁾ 자연광에 둘러싸인 건축물은 자연환경에 조화롭게 녹아들면서 주변 환경의 일부가 된다. 또한, 건축물의 내외부 공간의 연결성이 증대되며, 시간에 따라 역동성과 유동성을 제공하고 사용자로 하여금 시시각적 경험을 준다. 자연광은 빛과 그림자, 반사, 투영 등을 통해 다양한 공간적 분위기를 연출한다. 자연광을 활용하여 공간을 분할 할 수 있으며, 이는 벽면을 이용해 공간을 나누는 방식보다 자연적이고 인간적인 수단으로 공간의 깊이감을 높일 수 있다.

특히, 자연광의 가장 일반적인 역할은 실내조명이다. 자연광은 자연에서는 무형이지만 건축에서는 유형이 될 수 있다. 창문은 자연광을 사용하는 설계 방법 중 하나로 자연광이 실내로 들어오는 경로를 제공할 뿐만 아니라 디자인을 통해 사람들의 관심을 끌 수 있다.⁶⁾

5) 김정오, 교회 공간의 빛과 강대상의 상징성에 관한 연구, 한국공간디자인학회논문집, 2015, 제10권 2호, p.25.

6) 정해림, 이지윤, 김주연, 어린이집 자연광 유입 공간디자인에 관한 연구, 한국공간디자인학회논문집, 2018, 제13권 1호 통권 49호, p.208.

자연광은 건물에 영향을 미칠 뿐만 아니라 건물의 다양한 요소도 자연광에 영향을 미친다. 결론적으로 자연광에 대한 건축적 요소는 크게 세 가지로 분류할 수 있다.

첫 번째는 건물 내 공간의 경계적 요소이다. 경계는 어떠한 것이 끝나는 지점이기도 하지만, 다른 하나의 시작점이기도 한다. 이러한 경계가 하나의 영역을 형성할 때 그것은 경계공간이 된다.⁷⁾ 건축 설계에서 공간 경계와 자연광의 상호 관계를 고려하는 것은 매우 중요하며, 다른 공간 경계는 디자인 경계의 공간에서 자연광에 영향을 미쳐 공간에 대한 사람들의 인식에 영향을 미친다. 빛은 시간에 따라 변화면서 다양한 느낌의 공간을 창출시킨다. 공간에 들어온 빛은 이용자의 시각적인 느낌과 더불어 벽과 벽, 벽과 천장의 경계에서 공간 인식의 시각적 한계가 확장되고, 그 경계는 매우 모호해진다.⁸⁾

두 번째는 건물 내 공간의 구조적 요소이다. 건축공간의 조직과 체계, 그리고 이를 개념적으로 표현한 공간구조를 통해 건축물의 의미를 들여다보는 것은 건축이 공간을 통해 재현하는 의미를 분석하기 위한 가장 기본적인 전제인 셈이다.⁹⁾ 건물의 구조적 요소의 설계와 선택은 건물 내부의 조명 조건, 공간 배치 및 사용자 경험에 직접적인 영향을 미친다. 벽, 기둥, 바닥, 천장, 개구부 등은 공간형성의 기본 구조로서 모든 구조가 빛과 상호작용하여 구조적 형태를 드러내기도 감추기도 하면서 공간의 다양한 인상을 형성한다. 구조는 위치와 크기에 따라 공간의 열림과 닫힘의 구성이 달라지고 이로 인해 공간에 빛의 명암의 차이가 형성되어 공간의 위계와 공간의 연속성을 부여한다.¹⁰⁾ 채광 창과 개구부의 모양, 크기, 위치는 자연광의 유입과 분배에 직접적인 영향을 미칩니다. 적절한 설계는 환기 요건을 충족하면서 조명 효과를 극대화할 수 있다. 벽, 바닥, 기둥의 배열은 공간을 통한 자연광의 전달에 영

- 7) 지찬용, 윤갑근, 공간속 경계로서 틈의 유형에 관한 연구, 한국실내디자인학회 학술대회논문집 Vol.11 No.2, 2009, p.182.
- 8) 김중성, 엑스터 도서관에 나타나는 빛의 유입과 공간의 경계에 따른 건축공간의 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집 Vol.39 No.8, 2023, p.139.
- 9) 현창용, 이재영, 공공청사시설 공간구조의 유형별 특성에 관한 연구, 한국공간디자인학회논문집 Vol.15 No.7, 2020, p.322.
- 10) 김형경, 유진형, 전시공간의 자연광 활용에 의한 빛 표현특성, 한국공간디자인학회논문집 제10권 5호 통권35호, 2015, p.142.

향을 미치며, 특별한 빛과 그림자 효과를 내도록 특별히 설계할 수 있다.

마지막으로 건물 내 공간의 재료적 요소이다. 재료는 각각 물성에 따라 고유의 텍스처와 색을 가지고 있다. 빛이 재료의 표면에 닿았을 때 빛의 기본적인 성질인 직진, 투과, 반사, 굴절, 산란, 소멸에 의해 다양한 양상으로 재료를 보여준다. 공간에서 같은 광량, 같은 방향의 빛이라도 재료에 따라 반사율이 다르므로 표면의 질감이나 색감이 다르게 나타난다.¹¹⁾ 이러한 재료의 특성을 고려하면 자연광을 사용하여 다양한 공간 분위기를 구현하고 다양한 자연광 효과를 표현할 수 있다.

[표 3] 자연광에 대한 건축적 요소

분류	내용	건축 요소
경계적 요소	공간에 관입하는 빛에 적용하는 인식적 경계의 요소	너비, 길이, 높이
구조적 요소	구조의 형태에 나타나는 빛의 시각적 요소	벽, 기둥, 바닥, 천장, 개구부
재료적 요소	건축의 물성과 빛이 결합하여 나타나는 시각(오성)적 요소	텍스처, 투명도, 반사도, 색상, 산란도

3. 현대건축에서 자연광의 적용사례

3-1. 공간의 경계적 요소

공간의 길이, 너비, 높이에 따라 건물에 자연광의 효과는 달라진다. 이러한 방식은 자연광을 건축 디자인과 분위기에 긍정적인 영향을 주어서 건축을 더욱 흥미롭게 만든다. 공간의 크기가 다른 [그림 1] 핀란드 헬싱키 현대미술관과 [그림 2] 판스위스 하우스에서 자연광이 미치는 영향은 완전히 다르다.

스티븐 홀은 공간을 완성하는 것은 형태나 공간 자체가 아닌 자연광에 의하여 완성된다고 생각한다. 자연광에 시간과 유입 방식, 유입 위치를 조절하면 내부 공간과 외부 공간의 건축적 이미지를 변화시킬 수 있다.¹²⁾ 전시 공간 '핀란드 헬싱키 현대미술관에서 나타

11) Ibid., p.142

12) 안희성, 전유창, 김성욱, 스티븐 홀에 Scoring과 빛을 이용한 건축 디자인 분석, 대한건축학회

난 공간을 분석하자면 건물 내부에는 편향된 벽과 경사진 바닥을 사용하여 위에서 들어오는 자연광의 방향을 한정하여 건물 내 자연광의 확산을 제한한다. 그리고 자연광이 내부의 다양한 공간을 연결하도록 유도하여 자연광과 공간 사이의 연속성을 만들어낸다.



[그림 1] 핀란드 헬싱키 현대미술관, Museum of contemporary art Kiasma, 스티븐 홀, 1998.

미스 반 데어 로에의 공간디자인 원칙은 'less is more'는 공간에 최소한의 사물을 드물지만 적재적소에 배치함으로써 그 공간이 더 깊은 의미를 드러내도록 한다.¹³⁾ 주택 공간 '판스위스 하우스'에서 나타난 공간을 분석하자면 건물 외관이 유리로 되어 있어 자연광이 아무런 장애물 없이 건물에 관통할 수 있다. 동시에 외부공간과 내부 공간에서 다량의 자연광을 유입해서 경계가 허물어지며 기존의 공간적 경계가 확장된다.



[그림 2] 판스위스 하우스, Farnsworth House, 미스 반 데어 로에, 1951.

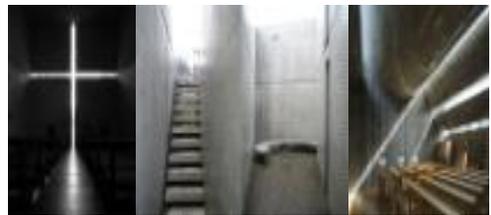
3-2. 공간의 구조적 요소

건물 구조는 자연광이 들어오는 방식과 분포에 따라 내부 공간의 자연광에 영향을 준다. 벽, 기둥, 바닥, 천장, 개구부 등 건축적 요소를 사용하여 자연광의 진입

학술발표대회 논문집 Vol.39 No.2, 2019, p.758.

13) 김란수, 공간적 측면에서 본 미스 반 데어 로에의 경우 "less is more"의 의미에 관한 연구, 건축역사연구 제16권 2호 통권51호, 2007, p.45.

을 조정하고 필요한 조명 효과를 생성한다. 이러한 구조적 요소로 공간 전체에 영향을 미치는 사례로 [그림 3] 안도 다다오의 '빛의 교회'는 자연광과 구멍을 사용한 좋은 사례이다. 기독교의 상징인 십자가 형태와 자연광이 교회의 본질을 강조하는 데 효과적으로 사용되었다.¹⁴⁾ 어두운 '빛의 교회'의 강한 자연광이 벽에 있는 십자가 형태의 구멍을 통해 내부를 비추면서 신비적 분위기를 만들어낸다. 태양의 떠오름과 함께 완성되는 십자가의 개봉을 통해 마치 사람들이 하나님이 오 시기를 기다리는 것처럼 보이며, 그 과정은 사람들의 마음을 치유하는 과정을 계속한다.



[그림 3] 빛의 교회, Church of Light, 안도 다다오, 1989.

르 코르뷔지에의 [그림 4] '롱상성당'도 가장 대표적인 사례이며 빛에 의한 빛으로 이루어지는 공간 구성에 목적을 두었다.¹⁵⁾ 종교 공간 '롱상성당'에서 나타난 공간을 분석하자면 건물의 남쪽 입면에 있는 창문 구조는 매우 독특하며 다양한 모양의 창문은 실내로 들어오는 자연광을 한 방향으로 집중시킨다. 자연광은 어두운 실내 공간에서 창문 구성 방향으로 빛줄기를 생성하며, 자연광이 실내에 부유하는 것처럼 보인다. 그리고 '롱상성당'의 높고 좁은 기도 공간은 벽의 방향을 따라 위쪽에서 자연광이 공간에 들어와 자연광이 무중력 상태인 것처럼 공간에 떨어진다.



[그림 4] 롱상성당, ronchamp chapel, 르 코르뷔지에, 1955.

14) 김정오, Op. cit., p.24.

15) 서성배, 롱상성당에 나타난 빛의 경향에 관한 연구, 한국실내디자인학회 학술대회논문집 Vol.2017 No.10, 2017, p.109-110.

3-3. 공간의 재료적 요소

공간의 재료적 요소는 빛의 전파, 반사 및 흡수에 따라 공간에 영향을 미친다. 자연광에 대한 공간의 재료적 요소의 사례로 루이스 바라간 하우스[그림 5]와 장누벨의 프랑스 파리 아랍 문화원[그림 6]이 있다.

루이스 바라간의 건축공간에서 원색적인 색채는 빛을 받는 부분과 받지 않는 부분에 톤 대비를 더욱 뚜렷하게 하여 빛의 존재를 드러낸다.¹⁶⁾ 공간에서의 색상 표현을 중시한 루이스 바라간은 루이스 바라간 하우스에 나타나듯 자연광과 전략적인 색상을 통해 공간을 분할했다. 그리고 자연광을 받아 다양한 색상의 벽을 활용하여 사람들의 시선을 돌리고 동선을 유도할 수 있다.



[그림 5] 루이스 바라간 하우스, Luis Barragan House, 루이스 바라간, 1948.

장 누벨은 한 건축물에 다양한 빛의 형식들을 사용하며 유리 등의 현대적인 재료의 투명성을 이용해서 빛을 다루고 또한 빛을 통해 외벽에 독특한 디자인을 함으로써 환상적인 분위기의 건축물을 만들어낸다.¹⁷⁾ 장 누벨의 파리 아랍 문화원은 알함브라 궁전의 장식을 모티브로 2만7천여 개의 조리개가 자동으로 개폐하며 건물 외부 전체가 유리 재료로 이루어져 있어 자연광이 투명한 유리를 통해 실내 공간으로 자연스럽게 유입된다. 그리고 자연광의 영향을 받아 넓은 면적의 유리는 파리의 환경을 거울처럼 건물에 비추며, 유리 재료를 사용하여 자연광의 투명성과 반사성을 표현한다.

16) 김지은, 이정옥, 루이스 바라간 주택공간에 나타난 빛과 건축공간요소의 상관적표현 특성, 한국실내디자인학회논문집 제23권 3호 통권104호, 2014, p.52.

17) 이다은, 권미정, 장 누벨 건축과 현대패션에 나타난 '빛' 표현의 유사성 및 내적가치, 한국디자인문화학회지 Vol.22 No.3, 2016, p.321.



[그림 6] 프랑스 파리 아랍 문화원,

Institute of the Arab World, 장 누벨, 1987.

3-4. 소결

현대건축공간의 경계적 요소, 구조적 요소, 재료적 요소에서 일어나는 자연광 활용 사례를 바탕으로 한정성, 연속성, 확장성, 관통성(경계적), 신비성, 치유성, 방향성, 부유성(구조적), 부활성, 전이성, 투명성, 반사성(재료적) 12가지 자연광 활용특성 키워드를 도출하였으며 도출된 활용특성 키워드 및 키워드의 건축적 표현이 정리한 것은 [표 4]와 같다.

[표 4] 자연광 활용특성키워드

특성	건축가	작품명(연도)	활용특성 키워드	표현 내용
경계적 요소	스티븐 홀	핀란드 헬싱키 현대미술관 (1998)	한정성	경계 형태의 한정: 경계가 고정된 공간에서 자연광을 포함
			연속성	공간 배치의 연결: 자연광을 통해 서로 다른 공간을 연결하여 공간 배치의 일관성을 유지함
	미스 반 데어 로에	판스위스 하우스 (1951)	확장성	경계의 확장: 자연광을 통해 공간의 경계를 확대하여 개방감을 더할 수 있음
구조적 요소	안도 다다오	빛의 교회 (1989)	관통성	공간의 관통: 실내 공간에 자연광이 통과하여 공간 경계를 제거함
			신비성	신비성의 상징: 자연광과 건축 구조를 통해 신비감을 상징하는 빛과 그림자 효과를 구현함
	르 코르뷔지	롱상성당 (1955)	치유성	정신적 치유: 자연광과 특수 건축 구조를 사용하여 건축을 통한 인간 마음의 치유를 실현함
			방향성	빛줄기의 방향: 건축 구조의 안내를 통해 자연광의 흐름과 방향성을 강조됨

재 료 적 요 소	에		부유성	무중력의 상태: 자연광이 건물 내부 공간에서 흐르는 시각적 효과를 구현함
			분할성	공간의 나누기: 다양한 소재 요소를 자연광 표현으로 공간을 분할함
	루이스 바라간	루이스 바라간 하우스 (1948)	전이성	시선의 이동: 다양한 재료에 자연광이 미치는 표현을 통해 시선이 건물 내부로 자연스럽게 이동함
			투명성	시각적 차이: 다양한 재료의 투명도를 변경하여 시각적 차이를 만듦
	장 누벨	프랑스 파리 아랍 문화원 (1987)	반사성	환경의 통합: 자연광의 반사 특성을 활용하여 주변 환경을 건물에 통합함

A. 경계적 요소

(1)한정성

한정성은 명확한 경계 형태를 만들어 주어진 공간 내에서 자연광의 표현을 강조한다. 여기에는 특정 영역 내에서 독특한 빛과 그림자 효과를 연출하기 위해 자연광의 강도와 양과 같은 요소를 제한하는 것이 포함된다. 이러한 자연광 활용특성은 공간에 대한 사람들의 인식에 영향을 미치며 다양한 자연광 분위기를 연출하는 데 사용된다.

(2)연속성

연속성은 전체 공간의 일관성을 유지하기 위해 건물 내부의 자연광을 사용하여 서로 다른 공간의 상호 연결을 강조한다. 이는 건물 내부 공간에서 자연광을 조절하여 서로 다른 공간을 자연스럽게 연결하고 공간의 부드러운 전환 구역을 만들어내는 것으로 구현된다.

(3)확장성

확장성은 넓은 공간에 자연광을 확산시켜 원래 공간보다 더 넓은 시각적 효과를 구현하는 것을 강조한다. 이 디자인 방식은 실내 공간을 더 넓게 느끼게 하고 자연광이 풍부한 환경을 구현한다.

(4)관통성

투과성은 자연광이 실내 공간을 관통하는 개념을 강조하여 전체 공간의 경계를 제거한다. 자연광이 전체 공간을 관통하고 서로 다른 공간을 연결함으로써 공간은 더욱 개방적인 느낌을 준다.

B. 구조적 요소

(1)신비성

신비성은 빛과 그림자의 효과를 얻기 위해 자연광과 건축 구조를 통해 신비를 상징하는 개념을 표현한다. 건물 내부는 빛과 그림자의 조합을 통해 공간에 신비로운 분위기를 만들어낸다. 이는 건물에 깊이감을 부여하고 공간에 상징적인 요소를 추가한다.

(2)치유성

치유성은 자연광과 특수 구조를 사용하여 건축에서 인간의 마음을 치유하는 개념을 강조한다. 건물에 들어오는 자연광을 통해 심리적 편안함을 얻을 수 있다.

(3)방향성

방향성은 건물 구조의 안내를 통해 자연광의 흐름과 방향을 강조하는 개념을 강조한다. 건물 내 특정 영역과 특정 방향으로 더 많은 자연광을 유도함으로써 공간에 방향성을 부여한다.

(4)부유성

부유성은 자연광을 통해 건물 내부의 시각적 흐름과 부유 효과를 강조하는 개념이다. 건물이 바닥에 고정되어 있던 전통적인 느낌과 달리 자연광을 통해 건물 내부 공간에 가벼움을 부여한다.

C. 재료적 요소

(1)분할성

분할성은 소재 요소를 자연광 표현으로 공간을 분할하는 개념을 강조한다. 재료의 선택과 배치를 통해 자연광의 흐름을 조절하고 공간을 여러 구역으로 세분화하여 다양한 환경을 구현한다.

(2)전이성

전이성은 자연광의 영향을 받는 다양한 재료의 효과를 통해 시선이 건물 안에서 자연스럽게 이동하는 개념을 강조한다. 건물 내부로 시선을 자연스럽게 유도할 수 있는 재료를 선택하고 배치하여 사용자에게 다양한 시각적 경험을 제공한다.

(3)투명성

투명성은 다양한 재료의 투명도를 변화시켜 시각적 차이를 만드는 개념을 강조한다. 투명성을 적용하면 자연광에 따라 건물 내부가 변화하여 사용자에게 독특하고 다양한 시각적 경험을 제공할 수 있다.

(4)반사성

반사성은 자연광의 반사 특성을 이용해 주변 환경을

건축에 통합하는 개념을 강조한다. 재료의 표면 반사율을 선택하여 자연광의 반사 특성을 최대한 활용함으로써 건물은 주변 환경의 특성을 반영하고 자연환경의 조화를 이룰 수 있다.

4. 아이 엠 페이의 자연광 활용특성 사례분석

4-1. 분석의 대상 및 기준

앞에서 도출한 현대건축에서 나타나는 한정성, 연속성, 확장성, 관통성, 신비성, 치유성, 방향성, 부유성, 분할성, 전이성, 투명성, 반사성 12가지 자연광 활용특성 키워드와 아이 엠 페이의 건축 작품을 바탕으로 사례를 분석한다. 사례선정 범위는 아이 엠 페이의 디자인 사상이 명확히 정립된 1970년 이후 주요 수상 작품의 순서로 총 4개 프로젝트를 대상으로 선정하였다. 내용은 다음 [표 5]와 같다.

[표 5] 분석 사례 목록

순서	프로젝트	주요 수상
1	워싱턴 국립 미술관 동관	미국 건축가 협회 금상
2	루브르 박물관 유리 피라미드	프랑스 예술 및 문학상
3	수주 박물관	아시아 태평양 최고 문화 건축
4	이슬람 예술 박물관	LEAF상

본 장에서는 페이 리드 설계한 건물이 앞서 도출한 자연광 활용특성에 부합하는지 심층적으로 분석하고자 한다. 자연광 특성 키워드를 (없음: ○, 있음: ●) 나누어 체크 하였다.

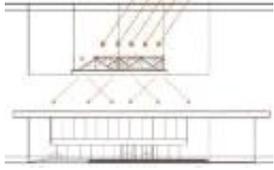
4-2. 사례분석

4-2-1. 미국 워싱턴 국립 미술관 동관

미국 워싱턴 국립 미술관 동관은 1978년 건설된다. 동관의 건설은 아이 엠 페이의 모든 미술관 설계 중 중요한 위치를 차지한다.¹⁸⁾ 페이는 순수한 기하학을 사용하여 삼각형 홀을 중심으로 전시 공간이 비대칭으로 배치된 큐비즘 스타일의 국립미술관 동관을 디자인 했다. 현대적인 기하학적 구조지만 건물은 주변 환경과

18) 노의, Op. cit., p.23.

잘 어울린다. 국립 미술관 동관 자연광 활용특성 분석은 다음과 같이 정리하였다.

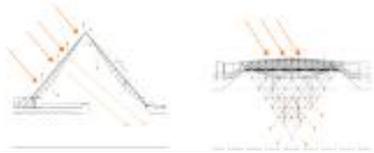
워싱턴 국립 미술관 동관					
위치	워싱턴, 미국	설립 연도	1978	면적	7,450 m ²
공간 구성	전시관과 작업공간으로 나뉘며 지상 7층, 지하 1층으로 구성하다.				
건축 이미지	 <p>외부 이미지</p>				
	 <p>내부 이미지</p>				
	 <p>자연광 유입 구성도</p>				
건축 요소	<p>건물 전체가 대리석 재질로 지어졌다. 내부의 25미터 높이의 홀 상단에는 25개의 미쓰비시 콘으로 구성된 유리 채광창이 있다. 채광창과 철골 구조물 사이에 숨겨진 알루미늄 튜브의 산란, 굴절 및 확산을 통해 자연광이 홀 중앙에 도달했다. 건물 내부공간의 여러 계단과 테라스가 서로 교차하고 연결되어 채광창을 통해 들어오는 자연광을 최대한 활용하다.</p>				
자연광 특성 분석					
경계적					
특성 키워드	한정성	연속성	확장성	관통성	
	○	●	●	●	
특성 분석	<p>-개방형 중앙 홀은 자연광의 확장 효과를 만족함</p> <p>-건물 상단에서 들어오는 자연광이 거의 모든 공간을 관통하여 로비에서 시작해 전체 공간을 연결함</p>				
구조적					
특성 키워드	신비성	치유성	방향성	부유성	
	○	○	●	●	
특성 분석	<p>-채광창 구조를 통해 위에서 아래로 자연광이 실내 공간으로 들어옴</p> <p>-채광창 구조를 통해 홀에 들어오는 자연광이 벽</p>				

	을 따라 흐름			
	재료적			
특성 키워드	분할성 ○	전이성 ●	투명성 ●	반사성 ○
특성 분석	-채광창의 투명한 유리를 통해 자연광이 실내 공간으로 유입됨 -유리와 강철 재료를 많이 사용하여 로비는 시각적으로 매우 밝은 공간을 됨			

4-2-2. 루브르 박물관 유리 피라미드

루브르 미술관 개축 공정은 프랑스의 미테랑 대통령이 직접 아이 엠 페이에게 권한을 부여하여 완성되었다. 루브르 박물관 광장 중앙에 있는 유리 피라미드는 루브르 박물관의 새로운 출입구로, 루브르 박물관의 기존 피라미드와는 다른 형태로 지어졌지만 투명한 유리가 피라미드 자체의 형태를 약화하고 자연광을 이용해 루브르 광장 주변을 피라미드에 반사해 기존 루브르와 시각적 균형을 이루며 통일감을 주는 동시에 대비 효과를 만든다. 루브르 박물관 유리 피라미드 자연광 활용특성 분석은 다음과 같이 정리하였다.

루브르 박물관 유리 피라미드					
위치	파리, 프랑스	설립 연도	1989	면적	1,554 m ²
공간 구성	나폴레옹 광장에서 증축한 공간을 지하로 배치한다.				
건축 이미지	 <p>외부 이미지</p>				
	 <p>내부 이미지</p>				
	 <p>조감도</p>				

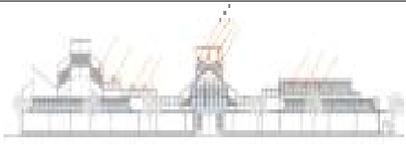
	 <p>자연광 유입 구성도</p>			
건축 요소	유리 피라미드는 유리 소재와 철골 구조의 상호 지지력으로 균형을 이루고 있으며, 위에서 들어오는 자연광이 피라미드의 유리를 통해 굴절 효과를 일으켜 지하 공간에 자연광이 균일하게 들어와 지하 공간에 최대한 많은 자연광을 공급한다. 사람들은 지하 입구 홀에서는 다양한 각도로 루브르 박물관을 관람할 수 있어 이전과는 다른 느낌을 준다.			
	자연광 특성 분석			
	경계적			
특성 키워드	한정성 ●	연속성 ●	확장성 ○	관통성 ●
특성 분석	-자연광이 유리 피라미드를 관통해 지하 공간으로 들어옴 -지하 공간에는 명확한 경계가 있음 -여러 개의 유리 피라미드가 자연광을 유입하여 지하 공간을 연결함			
	구조적			
특성 키워드	신비성 ●	치유성 ○	방향성 ○	부유성 ●
특성 분석	-피라미드의 구조적 형태가 이집트의 신비로운 느낌을 줌 -기하학적 유리 구조의 영향으로 자연광이 피라미드 내부 공간으로 흐름			
	재료적			
특성 키워드	분할성 ○	전이성 ●	투명성 ●	반사성 ●
특성 분석	-투명한 유리 재료로 만들어진 피라미드의 자연광이 루브르 박물관과 파리의 풍경에 반응하며 사람들의 시선을 집중시킴			

4-2-3. 수주 박물관

수주 박물관은 현대건축과 고대 건축을 통합하는 종합 박물관이다. 수주 박물관은 소주의 중요한 역사문화 거리에 있는데 부근에 줄경원(拙政園), 충왕부(忠王府), 사자림(獅子林) 등 역사 정원이 있다.¹⁹⁾ 아이 엠 페이는 기하학적 지붕 디자인이 수주 전통적인 민간 건물의 지붕을 대체한다. 박물관에 자연광을 도입하여 인공 조명을 대체한다. 자연광이 건물 내에 채우면서 현대적인 디자인 기법을 통해 수주 고전적인 건축 양식을 보

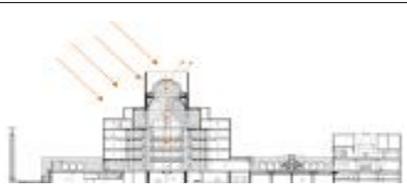
19) Hu Yiran. Comparison of public space design works of I.M. Pei[D]. Jiangxi Agricultural University, 2018, p.15.

여준다. 수주 박물관 자연광 활용특성 분석은 다음과 같이 정리하였다.

수주 박물관					
위치	수주, 중국	설립 연도	2006	면적	9,000 m ²
공간 구성	공공공간과 전시 공간으로 나뉘며 지하실 및 개방형 정원을 포함한다.				
건축 이미지					
	외부 이미지				
					
내부 이미지					
					
자연광 유입 구성도					
건축 요소	수주 박물관은 화강암과 유리 재료를 대량으로 사용하여 건축되었다. 지붕과 외관의 기하학적 채광창을 통해 자연광이 건물 내부로 들어오고 채광창 표면에 철골 구조물을 설계하여 건물 내부로 들어오는 자연광을 조절하고 시간이 지나면 빛과 그림자가 벽과 바닥에 풍부한 빛과 그림자 효과를 만든다.				
자연광 특성 분석					
경계적					
특성 키워드	한정성 ○	연속성 ●	확장성 ●	관통성 ○	
특성 분석	-건물의 내부 공간에는 칸막이가 거의 없으며, 서로 연결된 개방형 공간을 통해 자연광이 확산 되어 사람들의 동선을 자연스럽게 유도함				
구조적					
특성 키워드	신비성 ○	치유성 ○	방향성 ●	부유성 ●	
특성 분석	-건물은 기하학적인 창문으로 둘러싸여 있고 그 위로 빛과 그림자 효과가 나타나는 내부 공간에 자연광이 흐름				
재료적					
특성 키워드	분할성 ●	전이성 ○	투명성 ○	반사성 ●	
특성 분석	-건물은 주로 화강암으로 지어졌으며 흰색 벽이 햇빛에 밝게 반사됨 -채광창 주변에는 검은색 돌 조각이 흰색 벽에 기하학적인 형태로 이어짐				

4-2-4. 이슬람 예술 박물관

이슬람 예술 박물관은 현지화 건축 요소, 국제 건축 요소, 그리고 아이 엠 페이 개인 특색의 건축언어를 융합한 순수 이슬람 문화의 정신을 가진 건축물이다.²⁰⁾ 박물관은 자연광과 기하학적 요소를 활용하여 현지 이슬람 문화의 의미를 표현한다. 건물 내부 디자인에서 페이는 이 지역의 강한 햇빛에 대응하여 과도한 창문 사용을 피하고 한쪽에 바다를 향한 유리창을 통해 빛의 필요성을 충족시켰다. 이슬람 예술 박물관 자연광 활용특성 분석은 다음과 같이 정리하였다.

이슬람 예술 박물관					
위치	도하, 카타르	설립 연도	2008	면적	45,000 m ²
공간 구성	사무공간과 전시 공간으로 나뉘며 지상 5층으로 구성하다.				
건축 이미지					
	외부 이미지				
					
내부 이미지					
					
자연광 유입 구성도					
건축 요소	이슬람 미술관의 전체적인 형태는 여러 개의 큰 흰색 경사각형 석회암 블록으로 구성되어 있으며, 이슬람 건축의 단순함을 유지하면서 기하학적인 패시워크로 이루어져 있다. 박물관은 45M의 창문으로 자연광이 들어와 페르시아만의 바다와 함께 내부에 차분한 분위기를 만들어준다. 박물관 홀의 중앙 지붕에는 기하학적으로 구성된 돔과 원형 채광창을 구현한다.				
자연광 특성 분석					

20) Du Jiale, Sun Xiaoliang. An investigation on the architectural design approach of I.M. Pei's museums--taking Suzhou Museum and Doha Museum of Islamic Art as examples[J]. Packaging and Design, 2023, p.157.

경계적				
특성 키워드	한정성	연속성	확장성	관통성
특성 분석	○	○	●	●
	-건물 로비의 대형 통유리창은 중앙 로비 공간으로 자연광을 끌어들이고, 자연광의 확장으로 실내 환경과 창밖 바다의 경계가 사라짐			
	-로비 상단의 작은 채광창을 통해 자연광이 수직으로 공간을 관통함			
구조적				
특성 키워드	신비성	치유성	방향성	부유성
특성 분석	●	●	●	○
	-건물 로비 상단의 채광창을 통해 수직으로 들어오는 자연광은 이슬람의 독특한 종교 문화를 상징하며, 건물을 방문하는 사람들의 마음을 치유하는 성스럽고 신비로운 분위기를 연출함			
재료적				
특성 키워드	분할성	전이성	투명성	반사성
특성 분석	○	●	○	●
	-건물의 전체적인 형태는 여러 개의 큰 흰색 정사각형 석회암 블록으로 구성된 사람들의 시선을 집중시킴			
	-대형 통유리창을 통해 카타르의 아름다운 해변 풍경을 자연광으로 반사함			

5. 결론

본 연구는 공간디자인에서 자연광의 특성과 그 중요한 의미를 분석하고 공간 설계적 사고에 의해 건축에서 자연광을 검토하며 자연광의 활용특성을 중점적으로 아이 엠 페이의 공간에서의 자연광을 연구하여 분석한 결과 몇 가지로 정리할 수 있다.

아이 엠 페이의 디자인 철학을 이해하기 위해 페이의 건축 작품에 대한 총체적인 조사가 진행되었다. 선행연구를 수행하며 논문을 통해 자연광의 특성을 조사했으며 자연광의 건축 요소를 조사했다. 경계적 요소, 구조적 요소와 재료적 요소 3가지 요소를 얻었다. 경계적 요소는 공간에 관입하는 빛에 적용하는 인식적 경계의 요소이다. 즉, 너비, 길이, 높이. 구조적 요소는 구조의 형태에 나타나는 빛의 지각적 요소이다. 즉, 벽, 기둥, 바닥, 천장, 개구부. 재료적 요소는 건축의 물성과 빛이 결합하여 나타나는 지각(오성)적 요소이다. 즉, 텍스처, 투명도, 반사도, 산란도, 색상이 있다.

3장에서는 이 3가지 자연광의 건축 요소를 중심으로 현대건축에서 사례를 찾아봤다. 현대건축에서 나타나는 한정성, 연속성, 확장성, 관통성, 신비성, 치유성, 방향성, 부유성, 분할성, 전이성, 투명성, 반사성 12가지 자연광 활용특성 키워드를 얻었다.

4장에서는 아이 엠 페이의 건축 자연광 활용특성

분석은 앞서 2장에서 경계적 요소, 구조적 요소, 재료적 요소에서 나타난 한정성, 연속성, 확장성, 관통성, 신비성, 치유성, 방향성, 부유성, 분할성, 전이성, 투명성, 반사성 12가지 자연광 활용특성 키워드로 분석하였다. 내용은 다음 [표 6]과 같다.

[표 6] 종합분석

프로젝트	자연광 활용특성 분석											
	경계적				구조적				재료적			
	한정성	연속성	확장성	관통성	신비성	치유성	방향성	부유성	분할성	전이성	투명성	반사성
국립미술관 동관	○	●	●	●	○	○	●	●	○	●	●	○
	-자연광은 다수의 공간을 관통하여 경계의 연속성, 확장성 부여 -구조로 인하여 부유성, 방향성 제공 -투명 유리로 인해 자연광의 유입으로 외부와 내구가 전이됨											
루브르 박물관 유리 피라미드	●	●	○	●	●	○	○	●	○	●	●	●
	-지하 공간으로 자연광 관통하여 경계 구분 -지하 공간과 연결하여 신비성 제공 -투명 유리로 환경 반사 및 공간의 부유성 제공											
수주 박물관	○	●	●	○	○	○	●	●	○	○	○	●
	-자연광으로 경계를 확장, 개방하여 공간 연속성 -화강암의 빛 흡수와 흰 벽으로 인한 빛의 반사											
이슬람 예술 박물관	○	○	●	●	●	●	○	○	○	●	○	●
	-자연광으로 주변 환경 반사하여 로비공간의 비경계 -수직으로 관통하는 자연광으로 인해 시선 집중 -독특한 종교 문화를 상징 -신비성으로 인한 치유적 공간											

그 결과 페이는 자연광을 요소로 최대한 활용하여 다양한 지역, 용도 및 건축 스타일에 자연광 표현을 구현할 수 있음을 보여준다. 한 가지 형태의 자연광이 아니라 프로젝트의 변화에 따라 자연광을 사용하는 방식을 달리하여 자연광의 다양한 특성을 보여준다.

이처럼 현대 건축공간에서 자연광은 물리적인 측면의 빛뿐만 아니라 정신적인 의미도 있어 시간과 공간의 변화에 따라 더욱 깊어진 의미의 가치를 보여준다. 이번 연구를 바탕으로 현대건축 공간에서 자연광의 중요성이 더욱 넓게 인식되고 활용되기를 바라며, 앞으로 더욱 심도 있는 연구가 진행되기를 기대한다.

참고문헌

1. PhilipJodidio, Janet Adams Strong, [I.M.PEI], Rizzoli, 2021
2. 김란수, 공간적 측면에서 본 미스 반 데어 로에의 경구 "less is more"의 의미에 관한 연구, 건축역사학회, 2007, 제16권 2호 통권51호
3. 김종성, 엑스터 도서관에 나타나는 빛의 유입과 공간의 경계에 따른 건축공간의 특성에 관한 연구, 대한건축학회, 2023, Vol.39 No.8
4. 김정오, 교회 공간의 빛과 강대상의 상징성에 관한 연구, 한국공간디자인학회, 2015, 제10권 2호
5. 김지은, 이정욱, 루이스 바라칸 주택공간에 나타난 빛과 건축공간요소의 상관적표현 특성, 한국실내디자인학회, 2014, 제23권 3호 통권104호
6. 김형경, 유진형, 전시공간의 자연광 활용에 의한 빛 표현특성, 한국공간디자인학회, 2015, 제10권 5호 통권35호
7. 서성배, 통상성당에 나타난 빛의 경향에 관한 연구, 한국실내디자인학회, 2017, 학술대회논문집 Vol.2017 No.10
8. 안희성, 전유창, 김성욱, 스티븐 홀에 Scoring과 빛을 이용한 건축 디자인 분석, 대한건축학회, 2019, 학술대회논문집 Vol.39 No.2
9. 이다은, 권미정, 장 누벨 건축과 현대패션에 나타난 '빛' 표현의 유사성 및 내적가치, 한국디자인문화학회, 2016, Vol.22 No.3
10. 정혜림, 이지윤, 김주연, 어린이집 자연광 유입 공간디자인에 관한 연구, 한국공간디자인학회, 2018, 제13권 1호 통권 49호
11. 지찬용, 윤갑근, 공간속 경계로서 틈의 유형에 관한 연구, 한국실내디자인학회, 2009 학술대회논문집 Vol.11 No.2
12. 현창용, 이재영, 공공청사시설 공간구조의 유형별 특성에 관한 연구, 한국공간디자인학회, Vol.15 No.7, 2020
13. 노의, 아이 엠 페이와 안도 다다오의 미술관 비교 분석을 기초로한 미술관 실내공간계획에 관한 연구, 상명대학교 석사학위논문, 2012
14. Hu Yiran. Comparison of public space design works of I.M. Pei[D]. Jiangxi Agricultural University, 석사학위논문, 2018
15. Han Xiaojiao, Research on the application of I.M. Pei's design concepts in modern architectural landscape design[D], Zhejiang agriculture and forestry university,석사학위논문, 2012
16. Li Chun, Research on the aesthetics of modernist architecture of I.M. Pei[D], Shandong Normal University, 박사학위논문, 2019
17. 송호섭, 100작품 - 루브르 박물관의 유리 피라미드, 建築士, 2012
18. Du Jiale,Sun Xiaoliang. An investigation on the architectural design approach of I.M. Pei's museums-taking Suzhou Museum and Doha Museum of Islamic Art as examples[J]. Packaging and Design, 2023