KIEAE Journal, Vol. 23, No. 2, Apr. 2023, pp.5-12.

KIEAE Journal

Korea Institute of Ecological Architecture and Environment

120

고온다습기후 지역 건축물의 외피 계획에서 드러나는 친환경성 분석
- 대만 지역의 EEWH 인증 녹색도서관을 중심으로 -

How Building Skin Works as Ecological Elements in Hot and Humid Climate Area
- Focused on Green Libraries Certificated EEWH in Taiwan -

이은주* · 반자연**
Eunjoo Lee* · Jayuen Ban**

** Research Professor, Dept. of Architecture & Architectural Engineering, Yonsei Univ., South Korea (julijoo@gmail.com)*
*** Corresponding author, Assistant Professor, Dept. of Interior design, Tainan Univ. of Technology, Taiwan (nature303@gmail.com)*

ABSTRACT

Purpose: This study aims to analyze the eco-friendly elements of the building skin in a hot and humid region and to propose feasible eco-friendly planning elements (in Korea). **Method**: Categorizing external environmental factors that can affect interior space. Identifying the elements of eco-friendly architectural planning from building life cycle perspective. Visiting for field observation about 5 public libraries certificated by Taiwanese Green Building Certification System (EEWH). Characterization planning features by external environmental factors of hot and humid region's green buildings. **Result**: Above all, it is extremely important to actively utilize and develope passive air conditioning design skill that can replace mechanical facility-oriented air conditioning systems in modern architecture. Because controlling daytime solar radiation and outside air access at the building skins are directly related to indoor temperature and eventually determines air conditioning system operation. Additionally, when the building can be the part of site and eco-system, it can create a greater synergistic effect by harmonizing with passive air conditioning systems. The vitality of soil and plants ultimately enhances air conditioning by improving air quality and circulation. Lastly, it was empirically confirmed that finding contribution at every stage of building life cycle can be a practicable means of defining the environmental impact of buildings.

ⓒ 2023. KIEAE all rights reserved.

KEYWORD
고온다습기후
건축물 외피
친환경 계획
대만 친환경건축물 인증제도

Hot and Humid Climate
Building Skin
Eco Environmental planing
EEWH

ACCEPTANCE INFO
Received Jan. 17, 2023
Final revision received Mar. 25, 2023
Accepted Mar. 30, 2023

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

산업화 이후로 지구온난화는 명백하게 진행되고 있으며, 우리나라는 지난 106년(1912~2017) 동안 여름은 19일 길어지고 겨울은 18일 짧아졌다. 최근 30년의 기온은 20세기 초(1912~1941)보다 1.4℃ 상승, 강수량은 124㎜ 증가하는 온난화 현상을 나타낸다[1]. 환경문제는 대기, 생태계, 해양, 유해 폐기물 및 화학 물질, 산림과 토지 분야 등 광범위하게 산재해 있으나[2] 그 중 건축 부문은 전 세계 최종 에너지 사용량의 36%와 이산화탄소 배출량의 39%로 부문별 가장 높은 에너지 비율을 차지('17년 기준)하고 있어[3], 건축물에서의 에너지 사용량과 이산화탄소 발생량을 줄일 수 있는 계획요소의 개발과 적용은 절실하다. 이러한 배경으로 다양한 기후조건의 건축 환경요소와 친환경 계획기법을 연구하는 것은 의미가 있으며, 특히, 공공도서관은 미래 세대를 위한 지식과 커뮤니티의 중심이기 때문에 친환경 기능을 포함하는 것은 교육적 차원에서도 중요하다고 할 수 있다. 이에 본 연구는 고온다습한 기후지역인 대만의 친환경 인증(EEWH)을 획득한 공공도서관의 외피에서 친환경 계획요소를 분석하여 우리나라의 변화하는 기후환경에 부합하고, 건축물 신축 및 리노베이션에 적용이 가능한 친환경 계획요소를 제안하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 고온다습기후 지역 건축물의 외피에서 친환경 기능을 하는 계획요소를 파악하기 위해 먼저 건축공간에 영향을 미치는 환경요소, 일반건축 외피 및 고온다습기후의 건축 외피에서의 친환경 계획요소, 고온다습기후 지역의 친환경 인증 기준(EEWH)에 대해 문헌을 통해 고찰하였다. 이러한 고찰을 통해 건축물의 내부 공간에 영향을 줄 수 있는 외부 환경요소를 분류하고, 재료·계획·건설 단계와 사용 및 유지관리 단계까지 포함하는 수명주기 관점을 적용한 친환경 건축계획 요소로 세분화하고 이를 통해 고온다습기후 지역 건축물 외피의 친환경성 분석을 위한 틀을 작성하였다. 다음으로 고온다습기후 지역인 대만지역을 중심으로 대만의 대표 친환경 인증 기준인 EEWH 인증을 받은 다섯 개 공공도서관에 대해 문헌 및 방문을 통한 사례조사를 실시하였다. 마지막으로 건축물 외피 친환경성 분석틀 분석틀을 기반으로 대상 도서관의 외피에 적용된 계획요소를 분석하였다.

pISSN 2288-968X, eISSN 2288-9698
https://doi.org/10.12813/kieae.2023.23.2.005

2. 고온다습기후와 친환경 외피

2.1. 건축 외피의 친환경적 기능

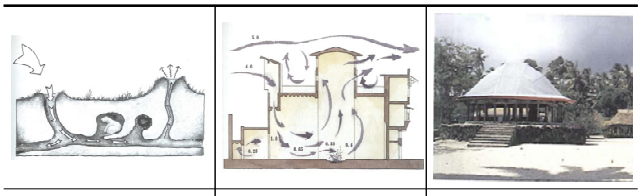
1) 친환경 기능을 위한 건축물의 외피계획

건축은 외피, 구조, 건물 시스템 등으로 구성되며, 건축 외피는 사전적으로 내부 공간을 감싸는 건물의 외측 부분을 일컫는 용어로[4], 건물과 외부환경을 경계 짓는 부분이다. 외피 설계는 건물 에너지 사용 및 방출에 상당한 영향을 미친다[5]. 건축 외피의 환경친화적 기능을 분류하고자 먼저 건축공간에 영향을 미치는 환경요소를 파악하였다. 박찬필(2018)[6], 이마무라 사토미(2015)[7], 대한건축학회(2009)[8], 김유숙(2005)[9]은 공통적으로 열, 빛, 공기, 소리 네 가지로 환경요소를 분류하였다. 열은 공간의 온도에, 빛은 공간의 밝기에, 공기는 실내의 공기 질에, 소리는 실내 주파수에 영향을 미치는 요소를 의미한다.

이를 조절하는 건축계획 요소에 대해 이승복(2007)[10]은 일사와 관련하여 창 면적, 차양, 반사판, 현휘 방지, 기온과 관련하여 단열재, 단열유리, 축열재, 공기와 관련하여 분산형 자연환기, 창을 통한 자연환기, 소음과 관련하여 방음재, 흡음재, 바람과 관련하여 풍속 저감을 제시하였다. 반자연(2019)[11]은 빛을 조절하는 계획요소로 자연채광, 광선반, 아트리움, 쉐이드, 바람 요소로 자연통풍, 회랑, 에너지 요소로 단열, 축열, 태양패널, 이중외피, 재료 관련 요소로 자연재료와 무독성재료, 생태적 요소로 녹화벽과 녹화지붕을 제안하였다. 정은희(2019)[12]는 열의 단열에 외벽, 아트리움, 수목, 지붕녹화, 열에너지원으로 솔라시스템, 빛의 채광 기능으로 천창, 아트리움, 테라스, 옥상, 발코니, 선룸, 광루, 차양 기능으로 차양장치, 처마, 브리즈 솔레이, 외벽 수목, 바람의 환기 기능으로 아트리움, 풍루, 필로티, 환기용 굴뚝, 풍력 기능으로 지붕풍차를 제안하였다. 이가영(2016)[13]은 패시브 디자인 관점에서 공공도서관 계획의 평면요소로 실내 및 지붕녹화, 입면요소로 루버 및 차양, 광선반, 수직녹화, 단면요소로 아트리움과 광정 및 덕트를 제안하였다.

2) 고온다습기후 지역의 친환경건축과 건축 외피

고온다습기후는 환기의 필요성과 잠재력이 가장 높고 친환경 건축에 가장 유리한 기후조건으로, 이 지역의 대부분 건물의 에너지 소비 특성은 일사 조절과 관련된 된 세 가지 주요 요인인 적절한 개구율, 차양 설계 및 방위각 구성으로 결정된다. 또한 건물의 중앙 공조 및 조명의 전력 소비는 전체 전력 소비의 약 80 ~ 90% 를 차지하는데, 공조 및 조명의 전력 소비는 건물 외피의 영향을 받고 건물 외피의 수명주기는 공조 및 조명 장비의 수명주기보다 훨씬 길기 때문에 외피 설계는 우선시 되고 있다. 또한 고온다습기후의 건축물은 통풍이 잘 되는 건축양식과 문화적 특성이 잘 나타나 있다. 이 지역에서 자연환기와 채광은 모든 건물의 기초이며 이를 위해 평면의 깊이는 14미터 미만을 유지하며, 다공성 외피와 수평 윈드가이드를 설치한다. 과거 "다공성 외피"에 사용하던 풀, 대나무, 목재 등의 식물성 유기 자재가 지닌 환기 기능을 현대 건축자재를 이용한 창문, 난간, 그릴, 중공 벽돌, 격자 벽돌, 천공 강판 및 기타 내구성 건축자재를 이용하여 만들고 있다. 또한 이러한 다공성 건축요소는 일반적으로 발코니, 테라스, 난간, 계단, 복도, 실외 칸막이와 같은 중간 공간에 적용한다. "수평 윈드가이드"는 지붕, 발코니, 차양과 같은 강력한 수평 그림자 요소로, 공기 유입 및 그늘 냉각 효과가 있어 냉방 에너지 절약에 도움이 된다. 더불어 건축의 외부 음영, 즉, 차양, 그늘의 리듬 변화, 적당한 개방감을 잘 활용하면 지역 고유의 건축 형태를 재구성하고 생태적 스타일과 외관을 만들 수 있다. 이 외에도 환기를 위한 "프레이도그(草原犬鼠)" 환기, Sind의 환기탑, 방습을 위해 바닥을 들어올린 죽마(干欄), 기단 위에 지은 데크하우스(平台屋), 해먹, 굴뚝 효과 등을 들 수 있다(Fig. 1.)[14].



Prairie dog ventilation 草原犬鼠	Sind ventilation tower 的通風塔	Deck house 平台屋

Fig. 1. Natural ventilation method in hot and humid area

2.2. 대만의 친환경건축물 인증제도

환경 인식이 커지면서 건축 분야에서도 환경친화적인 건축을 장려하기 위해 많은 국가에서 친환경건축물 인증제도를 운영하고 있다. 1999년 도입한 대만의 녹건축표장(이하 EEWH)은 미국의 LEED(Leadership in Energy and Environmental Design)에 이어 세계에서 2번째로 도입한 제도이자, 지금까지도 유일하게 고온다습기후에서의 건축물을 대상으로 하는 친환경건축물 인증제도이다. 특히, 2001년 이후 대만 정부가 "녹색건물 촉진계획"에 따라 건축비 5천만 NTD 이상인 공공건물 신축 시 EEWH 인증을 의무화함으로써, 대만의 녹색건축 정책은 비약적으로 발전하고 있다[15]. 본 연구의 대상인 도서관들은 대만의 친환경건축물 인증제도인 녹건축표장(錄建築標章, EEWH: Environment, Energy, Water, Health) 인증을 받은 건축물이다. 전 세계의 기온이 상승하면서 상대적으로 관심을 덜 기울여왔던 하절기 건축환경에 대한 고려가 중요해지고 있는 만큼 EEWH가 취하고 있는 친환경 관점은 우리 사회에서도 참고할 만하다.

EEWH는 크게 “생태(生態, ecology)”, “에너지 절감(節能, energy saving)”, “폐기물 저감(減廢, waster reduction)”, “건강(健康, health)”의 4개 범주(category)로 건축물의 친환경성을 평가하며 이를 다시 표 1과 같이 9개 지표(indicator)로 세분한다[16]: 생태다양성(生物多樣性, biodiversity), 녹화량(綠化量, greenery), 토양수 보존(基地保水, soil water retention), 기본 에너지 절약(日常節能, daily energy saving), 이산화탄소 배출 저감(二氧化碳減量, CO_2 emission), 건설폐기물 감량(廢棄物減量, waste reduction), 실내환경(室內環境, indoor environment), 수자원 절약(水資源, water resource), 하수 및 쓰레기 처리 개선(污水垃圾改善, sewage, garbage)

국내에서는 2002년 이래 개정을 거듭하여 2013년 현재의 친환경건축물 인증제도로 발전한 국내의 녹색건축인증제도(G-SEED: Green Standard for Energy and Environmental

Design)가 “토지이용 및 교통”, “에너지 및 환경오염”, “재료 및 자원”, “물순환 관리”, “유지 관리”, “생태 환경”, “실내 환경”의 7개 범주로 건축물을 평가하는 것과 비교할 때, EEWA에서는 우선 “생태” 범주를 여러 범주 중 가장 상위로 설정한 점이 눈에 띈다. 세부 평가항목(evaluation item)의 구성과 내용 또한 크게 다르다. 생태다양성 지표 중 3개 외 모든 평가항목과 녹화량 지표의 전체 항목을 포함하여 총 18개가 모두 식생과 관련된 내용이며, 수종 구성 비율, 녹지 조림 방식 등을 구체적으로 제시한다. 토양수 보존 지표의 세부 항목이 지표면에서는 투수 및 배수를, 지중에서는 물을 머금는 저수 기능을 평가하는 것도 주목할 만하다. 가장 평가항목이 많은 “에너지 절감” 범주의 세부 내용은 경계면에너지, 냉방에너지, 조명에너지로 구분하고 있는데, 건물의 외부 측 경계구역(perimeter zone)에서 이루어지는 일사를 적절하게 차단하고 통기를 촉진하는 자연형 계획 기법(passive design)을 적용하는 것으로 에너지 절감을 평가하는 내용을 다수 포함하고 있다. 이러한 특징은 EEWH가 연중 기온이 높고 강수량이 많은 대만의 기후 특성을 반영하고 있는 것을 명징하게 드러내는 것이며, G-SEED가 포괄적인 건축물의 에너지 성능에 가장 큰 배점을 하는 것과 대비를 이룬다. 그리고, 신재생에너지 또는 저탄소 에너지원 기술 이용과 관련 내용, 건축물의 입지, 유지관리, 폐기 등 건축의 전 수명주기(life cycle)를 고려하는 평가항목은 전혀 포함하지 않는 것 또한 특징적이다.

Table 1. Evaluation system of the EEWH

Category	Indicator	Examples of the evaluation items
Ecology	Biodiversity (11)	min. percentage of the area of multi-layer afforestation
	Greenery (11)	min. percentage of the area of green space, as many planting holes and pots as possible even on artificial pavement
	Soil water retention (8)	increasing the soil surface, water permeability design of driveways, sidewalks and plazas
Energy Saving	Daily energy saving (25)	depth of the space plane not deeper than 7m, avoiding glass-only modeling design
Waste reduction	CO_2 emission reduction (22)	adopting prefabricated integral sanitary system, increasing seismic resistance of the structure by 20~50%
	Waste reduction (17)	minimize the basement excavation, required dust fences of higher than 1.8m around the construction site
Health	Indoor environment (10)	adopting airtight glass window above grade 2 for soundproofing, healthy and authorized interior building material
	Water resource (8)	avoiding creating lawn or flower beds that consume a lot of water in the garden
	Sewage and garbage disposal (11)	dedicated laundry space required to be equipped with interceptors and drain pipes that take over to sewage treatment facilities or sewers

( ): number of detailed evaluation items

2.3. 고온다습기후 건축물 외피의 친환경성 분석체계

본 연구는 고온다습기후 조건에서 건축물의 외피가 수행하는 환경친화적 역할을 고찰하는데 두 가지 관점을 적용했다.

한 가지는 선행연구에서 가장 많이 찾아볼 수 있는, 건축물 외부의 환경요소인 빛, 열, 공기, 물, 소리, 생태계가 건축물의 외피와 조응하는 것으로 이해하는 관점이다. 그런데, 본 연구는 건축물의 외피요소를 건축 자재, 부재, 공간, 에너지로 더 세분화했다. 유리, 바닥재 등이 “건축자재(material)”라면 이 자재를 사용하여 만든 차양, 이중바닥 등 구체적인 구성물이 “건축부재(component)”에 해당하며, 아트리움, 회랑 등 3차원으로 형성된 곳이 “건축공간(space)”이다. 또한, 기존 연구들의 관점에서 한 걸음 더 나아가 건축물의 환경기능 수행에 필수적인 “에너지(energy)”를 외피요소에 포함했다. 이는 외피의 역할을 건물을 지탱하고 개별 공간을 구획하고 기계적 기능을 담당하는 설비 외의 모든 부분으로 확장하여 이해한 것이다.

또 한 가지는 수명주기 관점이다. 환경 인식이 커지면서 건축 및 건설 분야를 포함한 모든 분야에서 산업재가 환경에 미치는 영향을 보다 넓은 범위에서 평가하는데, 이는 곧 원자재부터 제품의 생산(A), 사용 및 유지관리(B), 철거 및 폐기(C), 재활용(D)에 이르는 산업재의 전체 수명주기에 걸쳐 환경 영향을 평가하는 것이다. 따라서, 본 연구에서는 이러한 시대적 방향을 수용하여 건축물 외피의 친환경성 분석에 재료·계획·건설 단계(A)와 사용 및 유지관리(B) 단계를 도입함으로써 한층 입체적인 분석체계를 수립했다(Fig. 2.).

앞서 검토한 선행연구, 참고문헌, 대만 EEWH의 내용에서 제시하는 고온다습기후 지역 건축물의 친환경성을 평가할 수 있는 세부 항목을 종합하여 위에서 설명한 관점으로 구성한 이 연구의 분석체계는 다음의 표 3과 같다. 전체 외부 환경요소 중 건축물의 외피요소와 직접 관련된 내용이 거의 드문 “소리”를 제외하고 나머지 환경요소 “빛”, “열”, “공기”, “물”, “소리”, “생태계”를 세로축으로 두고, 이를 건축물의 내부 환경요소인 조도 및 현휘, 실내온도, 공기 질, 습도

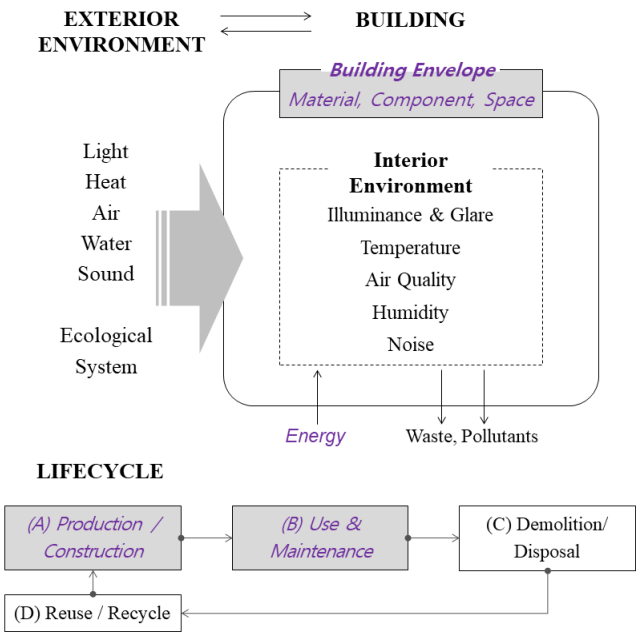


Fig. 2. Perspectives of the analysis framework

ⓒ2023. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

Table 2. Analysis framework of this research

Environmental element	Building envelope/skin			
	Material	Component	Space	Energy
Light	(A) avoiding glass-only cladding, (B) durable & replaceable material	(A) shade awning, (A) projected eave, (A) light-shelf, (A) louver, (A) skylight (B) light-colored interior finish	(A) balcony, (A) piloti, (A) indoor garden, (A) depth limitation of the floor, (A) atrium	(A) adequate illuminance design, (A) solar cell (B) adequate lighting fixture, (B) highly-efficient lighting fixture, (B) auto-control lighting, (B) natural lighting
Heat	(A) avoiding glass-only cladding, (A) low-E glass, (A) low-thermal material, (A) porous material, (A) insulator	(A) double skin, (A) avoiding fixed window, (A) adequate wall thickness, (A) rooftop/terrace afforestation, (A) vertical afforestation	(A) corridor, (A) courtyard, (A) indoor garden, (A) atrium	(A) heat pump, (A) adequate cooling load design (B) energy-saving equipment, (B) highly-efficient energy equipment, (B) natural ventilation
Air	(A) porous material (B) open duct design	(A) wind-proof awning, (A) louver, (A) cross ventilation	(A) cross ventilation, (A) depth limitation of the floor, (A) area of windows, (A) corridor, (A) courtyard, (A) indoor garden, (A) atrium, (A) air tower	(A) windmill(wind power generation), (A) adequate outdoor air supply system (B) natural draft
Water	(A) permeable pavement material (A) porous material	(A) permeable trench, (A) permeable underground layer, (A) retaining natural ditch (B) rainwater tank, (B) (rain)water recycling system, (B) water-saving sanitation	(A) underground water storage layer, (A) piloti, (A) double floor	
Ecology	(A) reused topsoil (B) organic fertilizer	(A) native plants first, (A) mixed planting, (A) multi-layered afforestation, (A) retention & utilization of natural vegetation	(A) area of green space, (A) maximum open space, (A) biotope, (A) courtyard, (A) indoor garden, (A) atrium	

A: stage of raw material, planning, production/construction; B: stage of use and maintenance

로 전환하는 데 영향을 미치는 구체적인 건축물의 외피요소 항목들과 대응시켰다. 이 과정에서 외피요소들을 “건축자재”, “건축부재”, “건축공간”, “에너지”로 구분했으며, 동시에 이들이 영향을 미치는 시점을 수명주기 중 재료·계획·건설 단계(A)와 사용 및 유지관리(B) 단계로 다시 분류해서 더 다층적으로 분석했다.

3. 고온다습기후 지역의 건축물

3.1. 조사개요

앞 장에서 고찰한 고온다습기후 지역 건축물의 친환경성 분석틀을 바탕으로 대만 녹색도서관 외피의 친환경 계획특성을 파악하였다. 조사 대상은 대만 전역의 EEWH 인증 도서관 중에서 2006년에 개관한 대만의 첫 번째 녹색도서관인 타이베이 베이터우 분관을 비롯하여 2022년 말에 개장한 녹색도서관인 타오위엔 공공도서관을 포함한 다섯 개 공공도서관을 선정하였다. 타이베이 베이터우 분관과 타이동대학 도서관 및 신타이베이시 공공도서관은 다이아몬드 등급, 가오슝 도서관은 실버등급이며, 가장 최근에 개장한 타오위엔 공공도서관은 현재 인증 평가 중이나, 설계단계에서부터 친환경 개념을 강조하였고 실제 다양한 친환경 개념이 반영되었기에 연구의 가치가 있다고 판단하여 사례에 포함하였다. 선정한 사례들의 세부적인 개요는 Table 3.과 같다.

Table 3. Introduction of Cases

Name	Built year Grade	Location	Structure	Size
Beitou	2006.11.17. Diamond	Beitou, Taipei	SRC Wood frame	Floor: B1-F2 TFA: 2,145㎡
Kaohsuing	2014.11.13. Silver	Qianzhen, Kaohsiung	Steel frame RC	Floor: B1-F8 TFA: 27,486㎡
Taitung University	2014.12.8 Diamond	Taitungda, Taitung	SRC	Floor: F1-F5 TFA:13,000㎡
New Taipei	2015.5.10. Diamond	Banqiaot, Xinbeicity	RC	Floor: B3-F10 TFA: 30,792㎡
Taoyuan	2022.12.17.	Taoyuan, Taoyuan	RC Steel frame	Floor: B2-F8 TFA: 46,219㎡

TFA: Total Floor Area

조사는 사전조사와 현장 방문조사 두 단계로 시행하였다. 사전조사는 해당 도서관과 대만 지방자치 정부, 대만건축센터(財團法人台灣建築中心)에서 제공하는 보도자료를 포함한 문헌자료, 설계자료, 선행연구를 고찰하여 사례들의 기본적 건축정보와 친환경 계획내용을 파악하였다. 현장조사는 2022년 2월부터 12월에 걸쳐 전체 사례를 직접 방문하여 도서관 관리자 인터뷰와 세부 공간 탐색 및 사진촬영을 실시하였다. 조사된 자료를 분석틀에 근거하여 전문 연구자 2인이 토론을 통해 사례별로 절대 평가하였다.

3.2. 대만의 녹색도서관

1) 타이베이 공공도서관 베이터우 분관

본 도서관은 대만 최초의 녹색도서관이다[17]. 베이터우 공원 내에 위치하여 방문객들이 쉽게 접근할 수 있으며, 기존 수림과 자연환경을 유지한 상태로 건물을 배치했다. 외부공간은 나무, 돌, 흙으로 마감했으며, 바닥을 투수성이 큰 재료로 마감해 빗물을 집수하고 활용한다. 건물 외피는 재활용이 가능한 목재와 강철을 사용하여 폐기물을 줄이고 부정적인 환경영향을 최소화했다. 처마와 나무격자는 실내로 들어오는 열을 제한하여 실내 온도를 낮추고, 목재 마감재는 공기 중의 습기를 흡수하여 제습 기능을 한다. 또한, 개구율이 적절한 창문을 외부 발코니와 연결하여 자연환기와 자연광을 유입하여 냉방에너지, 제습에너지, 조명에너지 사용을 줄였다. 지붕은 광범위한 생태지붕(extensive type eco roof)으로 태양전지는 최대 16㎾의 전기를 생산하고, 표면의 식물과 잔디를 이용하여 빗물을 모으고 재활용한다. 건물 외피에 적용된 세부적인 친환경 건축요소는 다음과 같다.

Environ.		Building envelope/skin	M	C	S	E
Light (8)	A	avoiding glass-only cladding	○			
		awning		○		
		louver		○		
		balcony			○	
		depth limitation of the floor			○	
		adequate illuminance design				○
		solar energy generation				○
	B	natural lighting				○
Heat (7)	A	avoiding glass-only cladding	○			
		low-thermal material	○			
		insulator	○			
		avoiding fixed window		○		
		vertical afforestation		○		
		corridor			○	
	B	natural ventilation				○
Air (2)	A	cross ventilation		○		
	B	natural draft				○
Water (4)	A	permeable pavement material	○			
	B	rainwater tank		○		
		(rain)water recycling system		○		
		water-saving sanitation		○		
Ecology (1)	A	native plants first		○		
	B					

Application

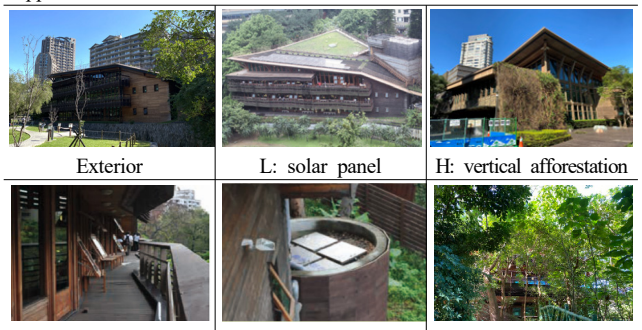


Fig. 3. Analysis of the case 1

2) 가오슝 공공도서관

본 도서관은 가오슝 중심지에 위치한 열린 공간으로, 높이 7.5m의 무주공간인 1층은 시민들이 여가·독서·운동할 수 있는 그늘광장을 제공하고 지반에서 올라오는 습기를 차단한다. 도서관 중앙 5층에 설치된 대규모 천창은 많은 양의 빛을 도입하여 건물의 중심에도 자연채광이 가능하고, 야외 정원의 대류를 개선하여 내부공기 순환을 도와 공조와 조명에너지를 절약한다. 서쪽과 남쪽의 약 5m 깊이 정글 테라스에는 계피꽃과 토종 계피나무를 심어 낮 동안 직사광선을 피하고, 외부 소음과 열을 차단한다. 천장에 매달린 6, 7, 8층의 공중 숲과 옥상층의 공중정원에는 고유종 대나무를 심어 나무와 천장을 연결하여 건물에 최대한 많은 녹색공간을 제공한다[18].

Environ.		Building envelope/skin	M	C	S	E
Light (12)	A	shade				
		projected eave				
		skylight		○		
		balcony		○		
		piloti		○	○	
		atrium			○	
		adequate illuminance design			○	○
	B	light-colored interior finish				
		natural lighting		○		○
		adequate lighting fixture				○
		highly-efficient lighting fixture				○
		auto-control lighting				○
Heat (4)	A	low-E glass	○			
		insulator	○			
		terrace afforestation		○		
		atrium			○	
	B	high efficient energy equipment				○
Air (3)	A	piloti			○	
		atrium			○	
		air tower			○	
	B	natural draft				○
Water (4)	A	permeable pavement material	○			
		permeable trench		○		
	B	rainwater tank		○		
		rainwater recycling system		○		
Ecology (4)	A	mixed planting				
		retention of natural vegetation		○		
		area of green space		○	○	
		maximum open space			○	
	B					

Application

Fig. 4. Analysis of the case 2

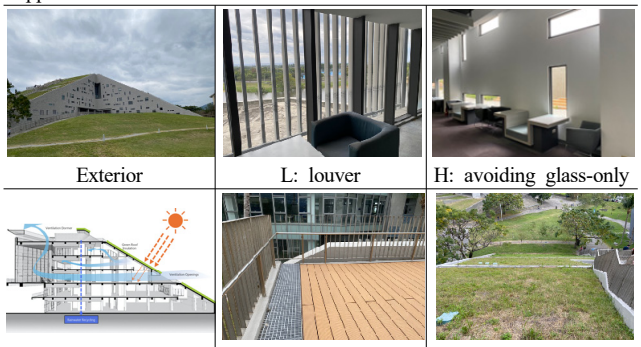
ⓒ2023. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

3) 타이동대학 도서관

본 도서관은 타이동 대학 캠퍼스 내에 생태 연못에 인접한 녹색축 종점에 위치해 있다. 두 권의 책이 교차된 형상을 한 도서관 외관은 토종 풀들로 뒤덮여 있어 마치 캠퍼스에 작은 산이 있는 것 같은 시각적 효과를 주고, 자연과의 밀접한 유대감을 강조함과 동시에 외부 열기와 습기를 차단하여 내부 공조 에너지를 줄이는 역할을 한다. 연못을 향해 남쪽으로 열린 전면 창은 많은 양의 빛을 끌어들여 내부공간에 자연채광이 가능하도록 하고 반면에 북서와 북동쪽을 향한 면의 창은 크기와 위치를 자유롭게 배치하여 조형성과 단열성을 확보하였다. 도서관 전면 개구부와 후면 상층부 개구부를 연결한 외기순환에 의한 굴뚝효과 통풍과 외부로 연결된 회랑을 통해 적극적인 자연환기를 유도하고 있다. 수직녹화와 구운흙으로 만든 높은 투수성의 바닥재 및 넓은 면적의 트렌치는 많은 양의 우수를 집수하도록 하고, 이러한 우수는 식물 재배에 다시 활용하고 있다. 건물 외피에 적용된 세부적인 친환경 건축요소는 다음과 같다.

Environ.		Building envelope/skin	M	C	S	E
Light (7)	A	avoiding glass-only cladding	○			
		louver		○		
		balcony			○	
		depth limitation of the floor			○	
	B	light-colored interior finish				
		adequate lighting fixture		○		
		auto-control lighting				○
						○
Heat (5)	A	avoiding glass-only cladding				
		insulator	○			
		rooftop afforestation	○			
		vertical afforestation		○		
		corridor		○		
					○	
	B	natural ventilation				○
Air (3)	A	corridor				
		air tower			○	
					○	
	B	natural draft				○
Water (4)	A	permeable pavement material				
		permeable trench	○			
		retaining natural ditch		○		
				○		
	B	rainwater recycling system		○		
Ecology (4)	A	mixed planting				
		multi-layered afforestation		○		
		retention of natural vegetation		○		
		biotop		○		
					○	
	B					

Application



Exterior | L: louver | H: avoiding glass-only

A: air tower[19] | W: permeable trench | E: mixed planting

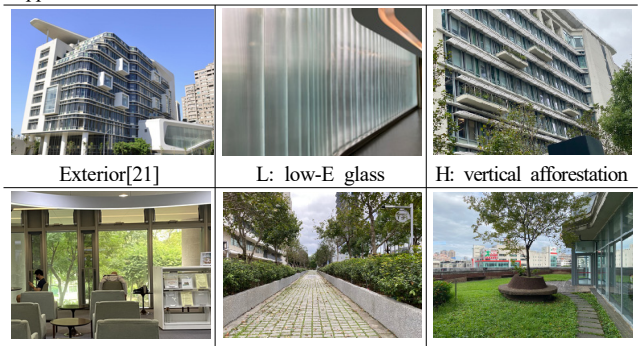
Fig. 5. Analysis of the case 3

4) 신타이베이시티 공공도서관

본 도서관은 책을 쌓아놓은 듯한 외관으로, 당초 대지가 골프장이었으므로 드문 공원 녹지와 연결되어 있으며, 도서관 건물은 기존의 자연환경을 보호하고 지속가능한 건물을 위해 '녹색, 자연, 독서'를 발전 이념으로 지향한다[20]. 외피 재료는 탄소 저감, 내구성이 큰 재료를 사용하여 유지관리비용을 절약하였다. 진입광장에는 기존 녹지와 어울리는 지역 수종을 심어서 경관 녹지를 공원까지 확장하고, 지붕 및 건물 입면 또한 녹화하여 식물의 다양성을 확보하였다. 바닥면을 옥토로 마감하고, 빗물회수 시스템을 설치하여 수자원을 절약하였다. 유리커튼에 경량유리를 사용하였으며, 공기 흡입창과 중앙의 굴뚝효과를 이용하여 자연환기를 실현하였다. 중간 옥상층 또한 식재를 이용하여 지붕단열 효과로 에너지 절약과 환경 지속이라는 목표를 달성하였다. 건물 외피에 적용된 세부적인 친환경 건축요소는 다음과 같다.

Environ.		Building envelope/skin	M	C	S	E
Light (10)	A	shade				
		louver				
		atrium		○		
		depth limitation of the floor		○		
		adequate illuminance design			○	
		solar cell			○	
						○
						○
	B	light-colored interior finish				
		natural lighting		○		
		adequate lighting fixture				○
		highly-efficient lighting fixture				○
						○
Heat (3)	A	insulator	○			
		low-E glass	○			
		rooftop afforestation		○		
	B					
Air (3)	A	atrium				
		air tower			○	
		cross ventilation		○	○	
	B	natural draft				○
Water (3)	A	permeable pavement material				
		permeable trench	○	○		
	B	water-saving sanitation		○		
Ecology (5)	A	mixed planting				
		vertical afforestation		○		
		retention of natural vegetation		○		
		area of green space		○		
		maximum open space			○	
					○	
	B					

Application



Exterior[21] | L: low-E glass | H: vertical afforestation

A: natural draft | W: permeable pavement | E: area green space

Fig. 6. Analysis of the case 4

5) 타오위엔 공공도서관

본 도서관은 지식이 사람을 성장시키는 나무라는 개념을 도입하여 건물 자체가 도시의 나무 역할을 할 수 있도록 녹색 개념을 적용했다. 건물을 둘러싼 공원에 다양한 지역 고유 수종을 심고, 투수성이 큰 바닥재를 사용하여 생태와 우수 집수 기능을 확보하였다. 유리와 철로 만든 원뿔 모양 아트리움이 지하 2층부터 최상층까지 관통하여 지하까지 자연광이 도달하여 조명에너지를 절약하고 도서관 전체의 공기 순환을 원활하게 한다. 엇갈려 수직 배치한 나선형 바닥면에서 바닥 송풍으로 찬 공기를 유통시켜 열부하를 억제하고 실내 통기를 촉진하여 내부열기를 식혀 냉방에너지 사용을 줄인다. 건물 외부 전체를 둘러싸는 여러 식물과 화단 나선형 테라스로 녹지면적을 확대하여 건물의 생태적 기능을 강화하였으며, 테라스 하부가 처마 역할을 해 그늘을 형성함으로써 한여름의 고열에서 내부공간을 보호한다. 또한, 나무무늬 저복사 유리는 내부로 전달되는 도시의 열기를 줄여준다.

Environ.		Building envelope/skin	M	C	S	E
Light (10)	A	projected eave				
		shade		○		
		skylight		○		
		balcony		○		
		adequate illuminance design			○	○
		solar energy generation				○
	B	light-colored interior finish				
		natural lighting		○		○
		adequate lighting fixture				○
		highly-efficient lighting fixture				○
Heat (3)	A	low-E glass	○			
		insulator	○			
		terrace afforestation		○		
	B					
Air (3)	A	depth limitation of the floor			○	
		cross ventilation		○		
	B	natural draft				○
Water (3)	A	permeable pavement material	○			
		permeable trench		○		
	B	rainwater tank		○		
Ecology (4)	A	mixed planting				
		retention of natural vegetation		○		
		area of green space		○	○	
		maximum open space			○	
	B					

Application

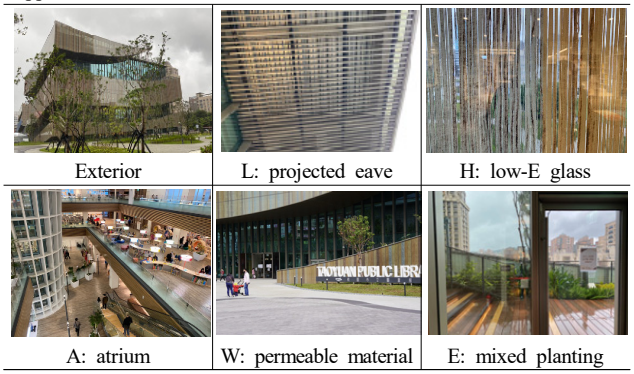


Fig. 7. Analysis of the case 5

6) 소결

사례별 건축물 외피에 적용된 환경 친화적 계획요소는 최소 20종(신타이베이 공공도서관) 부터 최대 27종(가오슝 도서관)으로 적용 정도의 차이는 크지 않다. 그러나 이와는 별개로, 가장 먼저 지어진 베이터우 도서관은 자연환기와 통풍을 이용한 실내 온도와 습도 조절, 가오슝 도서관은 필로티, 아트리움, 실내정원, 바람길 등 공간 요소의 활용, 타이동대학 도서관은 대지 내 물길을 연계한 미소생태계(biotop) 및 바닥과 지붕으로 이어지는 벽면녹화, 신타이베이시티 공공도서관은 저방사 유리와 옥상녹화 등 외벽을 이용한 온도조절, 타오위엔 공공도서관은 나선형 테라스 및 대형 아트리움 등 공간요소를 활용한 특징을 보인다.

환경요소 측면에서는, 5개 사례 모두 평균 39%의 빈도로 "빛"을 통제하는 외피요소를 가장 적극적으로 활용했다. 즉, 외측 발코니와 실내 쉐이드로 주간의 일사를 거르면서도 가급적 자연채광을 하고, 태양광 발전으로 전기를 수급하여 장소와 용도에 알맞게 조명기기를 밝히는 것이 가장 공통적이다. 그밖에 "열" 조절 외피요소로 최상층 또는 테라스 녹화, "물"에는 투수 포장재, 투수 배수로, 빗물 재활용, "생태"에는 기존 식생 보존 및 활용, 다종 수목 식재를 공통 적용하고 있다. 다만, 고온다습기후에서 에너지를 많이 소모하는 습도조절에 전통적으로도 유효했던 다공성 자재나 이중바닥 등의 외피요소는 현대건물에 적용하지 않았다.

외피요소의 하위분류 별로 살펴보면, 건축부재를 48종으로 훨씬 많이 활용하고 있으며, 이에 못지않게 건축공간 29종, 에너지 26종으로 건축자재 19종보다 더 다양하게 활용하고 있다. 이는 건축물의 외피 자체가 단순 자재보다는 부재 단위 이상에서 역할을 하는 건축 구성요소라는 근본 특성에 기인한다.

건축물의 수명주기 관점에서는, 전체 외피요소의 75%가 A 단계, 즉 재료·계획·건설 단계에서 환경친화적인 역할을 하며, 사용 및 유지관리의 B 단계는 대부분 조명기기와 빗물 저수 및 재활용 설비 관련 사항이었고, EEWH에서 강조했던 냉방에너지와 직접 관련된 내용을 찾아볼 수 없는 점 또한 주목할 만하다.

Table 4. Most frequently used envelope elements among 5 cases

Environ.		Building envelope/skin	1	2	3	4	5
Light	A	shade		○	○	○	○
		balcony	○	○	○		○
		solar energy generation	○	○		○	○
	B	light-colored interior finish		○	○	○	○
		natural lighting	○	○		○	○
		adequate lighting fixture		○	○	○	○
Heat	A	insulator	○	○	○	○	○
		rooftop/terrace afforestation	○	○	○	○	○
	B						
Air	A	cross ventilation or air tower	○	○	○	○	○
	B	natural draft	○	○	○	○	○
Water	A	permeable pavement material		○	○	○	○
		permeable trench		○	○	○	○
	B	rainwater collection or recycling	○	○	○	○	○
Ecology	A	mixed planting		○	○	○	○
		retention of natural vegetation		○	○	○	○
	B						

Note. collection of envelope elements applied 4 times and above

ⓒ2023. Korea Institute of Ecological Architecture and Environment all rights reserved.

4. 결론

본 연구는 고온다습기후 지역인 대만의 친환경건축물 인증(EEWH)을 획득한 도서관을 대상으로 건축물의 외피가 수행하는 친환경성을 분석하여 다음과 같은 결론에 이르렀다.

첫째, 건축물이 자연스레 호흡하게 하는 것을 중요하게 다루고 있다. 본 연구에서 다룬 사례들을 통해 고온다습기후 조건에서 공기 조절 계획이 건축물의 에너지 효율을 결정한다는 사실을 확인할 수 있었다. 동절기에는 외기 출입을 막는 것이 실내온도 유지의 시작이므로, 현대 건축물은 외피를 기밀하게 하는 것을 매우 당연시 여겨왔다. 건축물이 커지고 환기의 필요성을 인식한 이후로는 기밀한 외피를 그대로 둔 채 기계식 공조설비로 통기 및 온도를 제어하는 방식을 택해왔는데, 이는 건축물이 더 많은 에너지를 소모하는 결과를 낳았고 실내 공기의 질은 향상되지 못했다. 그러나 고온다습한 조건에서는 기존 방식과 달리 외부의 공기가 원활하게 드나들고 실내에서 순조롭게 흐르도록 함으로써, 온도와 습도를 조절하는 방법을 적극적으로 활용하고 있었다. 이는 사례들에서 EEWH에서 강조했던 냉방에너지 절감과 직접 관련하여 기계설비 내용을 찾아볼 수 없었던 것과 상통한다. 건물의 외부 경계면, 즉 외피에서 주간의 일사량과 외기 출입을 조절하고 건물 전체의 통기를 촉진하는 것이 실내 온습도와 직결되며 결국 냉방설비 가동 여부를 결정하기 때문이다.

둘째, 건축물을 대지와 생태계가 연장된 요소로 보는 관점을 확인할 수 있다. 본 연구의 조사 대상들은 건물 내외부와 식생 중심의 생태 요소를 유기적으로 연계하며 빗물을 모으고 재활용하는 것을 기본으로 하고 있는데, 이 역시 EEWH에서 식생 및 녹화, 토양수 처리 범주를 상위에 두고 있는 것과 일치한다. 이는 강수량이 많은 기후 특성을 반영하는 것 이상으로 자원을 활용하게 하는 단계까지 이르도록 하는 것이다. 또한 토양과 식물이 습기를 머금고 제어하는 생명활동이 결국 공기의 질 및 순환을 향상시키므로 건축물의 외피요소와 조응하면서 공기 조절 기능을 한층 강화한다. 이로써 외피요소의 자연형 설계(passive design)가 도리어 건축물에 적극적인(active) 친환경성을 부여하는 것이라 볼 수 있다.

셋째, 환경성 평가 관점을 전체 수명주기로 확장하여 모든 단계마다 기여 방법을 모색하는 것이 궁극적으로 건축물 전반의 환경영향을 줄이는 데 기여한다는 것을 실증적으로 확인했다. 본 연구에서 분석한 바에 따르면 대부분의 외피요소는 재료/계획/시공의 A 단계에서 환경친화적인 역할을 하고 있었다. 일견 사용 및 유지관리의 B 단계에서는 직접적 기여가 적은 것으로 보일 수 있으나, 좀 더 살펴보면 A 단계에서 적용된 요소들이 결과적으로 B 단계에서의 건축물 운영에너지 절감과 밀접한 관련이 있다는 것을 알 수 있다. 따라서, 이와 같은 내용을 건축의 신축 및 리노베이션의 A 단계에 다시 적용하면 자원의 순환을 추구하는 수명주기 관점 본래의 취지대로 외피요소에서 뿐만 아니라 건축물 전체, 나아가 건설 부문 전체에서 환경영향을 감축하는데 주요한 도구로 활용할 수 있다.

Acknowledgement

본 연구는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2019R1C1C1010524).

References

[1] 김진욱 외 3인, 한반도 100년의 기후변화, 국립기상과학원, 요약1, 2018.08.16. // (J.W. Kim et al., 100 Years of tclimate change in he Korea, National Institute of Metrological Sciences, 2018.08.16.)
[2] Ministry of Foreign Affairs, Multilateral environment diplomacy, https://www.mofa.go.kr/www/wpge/m_20151/contents.do, 2022.12.13.
[3] IEA, 2018 Global Status Report, IEA, 2018.12.07.
[4] James Stevens Curl, A dictionary of architecture, Oxford University Press, p.230.
[5] S.V. Gurupatham, C. Jayasinghe, P. Perera, Ranking of walling materials using eco-efficiency for tropical climatic conditions, Energy & Buildings 253, 2021.11.15.
[6] 박찬필, 후미시켄, 그림으로 보는 건축환경공학, 기문당, 2018. // (C.P. Park, F. Ken, Visible architectural environmental engineering, Kimoondang, 2018.)
[7] 사토미 이마무라, 미사토 타나카, 그림으로 쉽게 설명한 건축환경, 문운당, 2015. // (I. Satomi, T. Misato, The architectural environment explained by drawing, Munundang, 2015.)
[8] 대한건축학회, 친환경건축의 이해, 기문당, 2009. // (Architectural Institute of Korea, Introduction of green architecture, Kimoondang, 2009.)
[9] 김유숙 외 11인 편역, 알기 쉬운 건축환경, 기문당, 2005. // (Y.S. Kim et al., An easy to understand architectural environment, Kimoondang, 2005.)
[10] 이승복, 에너지 절약을 위한 건축물 외피설계, 건축환경설비학회 1(1), 2007.10, pp.27-32. // (S.B. Lee, Building surface design for energy saving, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 1(1), 2007.10, pp.27-32.)
[11] 반자연, 이은주, 공공도서관 건축 외피의 환경친환적 잠재력 고찰, KIEAE Journal, 제19권 제6호, 2019.12, pp.65-72. // (J.Y. Ban, E.J. Lee, Exploring environment-friendly potential within the skin of green libraries, KIEAE Journal, 19(6), 2019.12, pp.65-72.)
[12] 정은희, 윤재은, 친환경 건축의 외피 표현 요소에 관한 연구, 기초조형학연구, 제20권 제5호, 2019.10, pp.524-534. // (E.H. Jung, J.E. Yoon, A study on the exterior expression elements of green building envelope, Korea Society of Basic Design and Art, 20(5), 2019.10, pp.524-534.)
[13] G.Y. Lee, J.G. Oh, Passive design elements in the architectural planning of the public libraries, KIEAE Journal, 15(6), 2015.12, pp.27-36.
[14] 林憲德， 熱濕氣侯的 綠色建築, 詹氏書局, 2003.08, pp.177-214. // (X.D. Lin, Green Architecture in hot-humid climates, Archbook, 2003.08, pp.177-214.)
[15] 王榮近，綠建築評估手冊-基本型， 內政部建築研究所, 2019. 09, pp.1-204. // (R.J. Wang, Green Building evaluation manual-basic version, institute of architecture, Ministry of the Interior, 2019. 09, pp.1-204.)
[16] Taiwan Building Center, https://eewh.tw/, 2022.12.21.
[17] S.H. Tseng, Green library design and evaluation: The Taipei Public Library, Taiwan, New Library World, Vol.109, No.7/8, 2008, pp.321-336.
[18] 唐連成， 翻轉閱讀新時代，新總館˙新服務˙新理念北市立圖書館新，中華民國一〇五年圖書館年鑑， 2016, pp.15-22. // (L.C. Tang, A New Era of Reading, New general library˙new ideas˙new city library, Library Yearbook of the Republic of China 105, 2016, pp.15-22.)
[19] New Peicity Policy, Library of life, living room of the city, https://wedid.ntpc.gov.tw/happiness/detail/MbxkZDkjdJEw, 2023.1.9.
[20] 潘政儀, 新時代的圖書館.翻轉城市文化意象, 中華民國一〇四年圖書館年鑑, 2015, pp.27-36. // (Z.Y. Pan, Libraries in the new era. turning urban cultural imagery, Library Yearbook of the Republic of China 104, 2015, pp.27-36.)
[21] Architizer, National Taitung University Library and Information Center, https://architizer.com/blog/projects/national-taitung-university-library-and-information-center/, 2023.01.09.