

A Study on the Trend Analysis of the Application of Information Technology to the Building Envelope to improve the Performance of the Building Light Environment

건물 빛환경 성능개선을 위한 건물외피의 IT 적용 동향 분석 연구

Sowon Han¹, Aram Cho², Heangwoo Lee³

한소원¹, 조아람², 이행우³

¹ Student, Major of Space Design, Sangmyung University, Korea, hkghkdfyd123@naver.com

² Student, Major of Space Design, Sangmyung University, Korea, Cho_a0605@naver.com

³ Assistant Professor, Major of Space Design, Sangmyung University, Korea, 2hw@smu.ac.kr

Corresponding author: Heangwoo Lee

Abstract: The energy needed to create pleasant environments in buildings continues to increase in use. Concerns about this issue have grown and the issue is now closely intertwined with the threat posed by global climate change. In particular, building envelopes have low thermal insulation performance. They are significant parts that determine the energy performance of buildings, so the demand for related research and technology development continues to increase. With Industry 4.0, IT technologies are evolving through convergence between many fields. In this respect, there is a need to review the IT technologies applicable to building envelopes. Therefore, this study analyzed the trends of previous works on building envelope technologies integrating IT technologies to save building energy and improve user comfort. This was to suggest directions for further research related to applying IT technologies to building envelopes. Among journal articles published since 2010, those with the keywords IT, comfort, energy saving, and building envelope were selected and analyzed. The main findings are as follows. 1) There is a lack of research on developing building envelopes integrating IT technologies compared to other academic fields in Korea. 2) Most IT technologies applied to building envelopes were also relatively passive, mainly limited to opening and closing envelope modules by collecting information on the external environment. These technologies have limits in providing optimal environments for occupants. 3) Most papers on building envelopes integrating IT technologies in Korea do not consider economic feasibility and maintenance, which may be a factor that hinders continuous technology development. These findings indicate the need to upgrade and enhance building envelopes by developing and reviewing IT technologies applicable to them.

Keywords: Building Envelope, Information Technology, Energy Reduction, Comfort Level

요약: 최근 에너지 사용량은 지속적으로 증가하고 있으며, 이러한 에너지 사용량은 세계적으로 심각한 기후 문제와 맞물려 있어 심각한 문제로 부각되고 있다. 특히 열손실이 높은 건물외피에 관한 연구와 관련 기술개발의 수요는 지속적으로 증가하는 추세이다. 4차

Received: February 17, 2023; 1st Review Result: April 02, 2023; 2nd Review Result: April 30, 2023
Accepted: May 31, 2023

산업혁명에 의한 IT는 분야 간 융복합을 통하여 성장하고 있다. 이러한 측면에서 건물외피에 적용가능한 IT에 대한 검토는 반드시 필요하다. 이에 본 연구는 건물 빛환경 성능개선을 위한 IT가 접목된 건물외피 기술에 대한 동향의 분석을 목적으로, 선행연구들의 경향 분석을 통하여 건물외피의 IT 적용관련 연구의 방향성 제시를 하고자 한다. 이를 위하여 본 연구는 2010년부터 출판된 학술지논문을 대상으로 IT, 쾌적도, 에너지 저감 그리고 건물외피를 키워드 대상으로 하는 논문을 선별하여 그 동향을 분석하였다. 이에 대한 결론은 다음과 같다. 1) IT 적용 건물외피 기술개발 연구는 국내에 한하여 상대적으로 미흡한 실정이다. 2) 선행연구를 기반으로 실내공간에 의하여 제어되는 IT는 적극적으로 반영되는 반면, 외부환경정보에 의하여 제어되는 IT는 소극적으로 반영되어 제시되고 있다. 이를 통하여 건물에너지 저감 및 실내공간의 쾌적도 개선에 대해서는 제한적인 연구결과가 나타난다. 3) 국내에서 이루어진 IT 적용 건물외피 기술개발 논문들은 경제성 및 유지관리에 대한 부분은 미고려되고 있어 지속적인 기술개발을 저하시키는 요인으로 사료된다. 이러한 측면에서 건물외피에 IT가 적극적으로 적용하여 기술개발 및 이에 대한 검토를 진행함으로써 건물외피 분야의 고도화 및 첨단화를 달성해야 할 것이다.

핵심어: 건물외피, 정보기술, 에너지저감, 쾌적도

1. 서론

1.1 연구배경 및 목적

에너지 사용량 증가는 화석연료의 고갈이라는 이슈와 맞물려 사회를 위협하는 심각한 문제가 되고 있으며, 더불어 환경문제의 원인으로 작용되고 있다[1]. 이러한 에너지 사용량 증가의 주요 원인은 건물부문으로, 재실자의 쾌적한 환경을 조성하기 위하여 건물부문의 에너지 사용량은 산업부문 및 교통부문에 대비하여 높은 수치를 보이고 있다[2]. 실제로도 미국의 국제에너지기구인 International Energy Agency(IEA)가 2022년에 발표한 자료에 의하면 건물부문의 에너지 소비량은 전체에너지 소비량의 30%로 높게 나타나고 있다[3]. 이러한 건물부문의 에너지 사용량 증가에 대한 부분은 건물외피와 관련 연구와 직결되며, 이는 건물의 열손실의 69%가 건물외피에서 발생하기 때문이다[4]. 이에 건물외피의 성능을 개선하고자 하는 많은 연구가 수행하고 있으며, 국내에도 많은 기술개발이 진행 중에 있다[5]. 그러나 국내의 외피와 관련된 기술들은 외피 소재의 단열성능 개선에만 주력하여 진행해왔으며, 그 결과 지능화 및 고도화가 현대적으로 낮은 측면으로 성능개선과 실효성의 한계에 직면하고 있다[6].

최근 4차혁명이 화두로 등장하면서, 정부는 대표적인 정보기술(IT)인 IoT(Internet of Things) 및 ICT(Information and Communications Technologies)를 주요키워드로 전분야로 적용을 시도하고 있다[7]. 4차 산업혁명은 IT를 기반으로 이전에 서로 단절되어있던 분야 간 융복합을 통하여 경계를 넘어 공진화하면서 다양한 사회 및 경제 차원의 혁신적인 변화를 야기시키고 있다[8]. 특히 IT는 의료, 자동차, 제품 등의 분야에 적용되어 기술의 고도화를 이루고 있다[9]. 반면 건물부문에서도 IT는 설비 및 환경에 많이 적용되어 많은 기술개발 및 연구가 이루어지고 있으나, 건물외피는 타학문 분야에 대비하여 상대적으로 IT의 적용의 난이도가 높게 나타나고 있지 않다[10]. 이는 건물외피의 설치 장소 및 환경에 기인한 결과로 사료된다. 그러나 건물외피 분야는 건물의 에너지 성능을

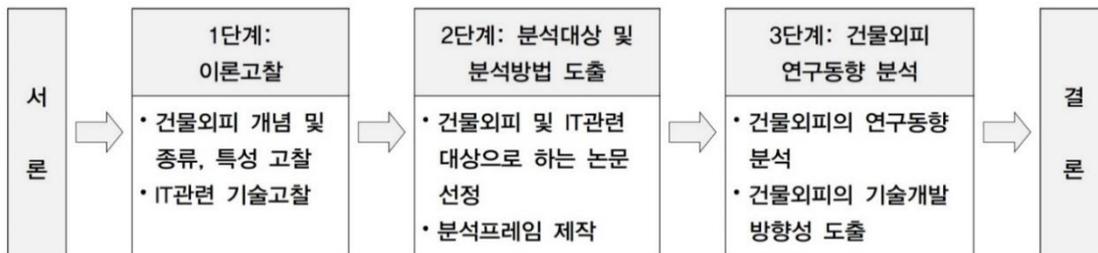
결정짓는 주요한 부분으로 IT 적용에 대한 검토가 반드시 요구된다[11].

이에 본 연구는 이에 본 연구는 건물 빛환경 성능개선을 위한 IT가 접목된 건물외피 기술과 그 동향을 분석함으로써 향후 건물외피의 기술개발에서의 방향성 제안을 목적으로 한다.

1.2 연구절차 및 범위

본 연구는 건물에너지 저감 및 사용자 쾌적도 개선을 위한 건물외피 적용 IT 및 그 동향을 분석함으로써 향후 건물외피 기술 개발의 방향성을 제안하며, 이를 위한 연구의 절차는 [그림 1]에서 나타나듯이 다음과 같다. 첫 번째, 이론고찰 단계로 건물외피의 개념, 종류 및 특성을 고찰하였으며, 이후 IT와 관련한 다양한 기술을 정리하였다. 두 번째, 본 연구는 국내에 한정하여 선행연구를 기반으로 외피에 적용되고 있는 IT의 수준과 한계를 분석하였다. 이후 도출된 건물외피 적용 IT 수준을 분석 프레임틀을 통하여 분석하였다. 세 번째, 앞서서 도출한 내용을 근거로 향후 건물 에너지 저감 및 사용자 쾌적도 개선을 위한 건물외피의 연구 및 기술개발의 방향성을 도출하였다.

본 연구의 분석대상은 4차 산업혁명의 고도화를 기반으로 하여 2010년 이후에 출판된 학술지 논문 중 건물외피와 IT 적용 외피제어를 주제로 하는 논문으로 대상을 한정하였다. 이후 관련 키워드를 검색하는 방식으로 진행하였으며, 이를 대상으로 연구 목적, IT적용 기술, 사용자 쾌적도, 에너지 저감, 경제성 평가 등의 내용을 기준으로 분석을 진행하여 그 결과를 비교 및 정리하였다.



[그림 1] 연구의 흐름도

[Fig. 1] Flow Chart of Research

2. 건물외피 및 IT기술고찰

2.1 건물외피의 개념 및 종류

건물외피는 일반적으로 거주자에게 내부와 외부를 구분짓는 경계의 개념으로 출입, 안전, 조망 및 통풍 등의 다양한 기능을 제공하는 건물의 주요 구성요소 중 하나이다[12]. 그러나 건물외피는 이러한 단순한 기능으로만 정의를 내릴 수 없으며, 최근에는 친환경, 제로에너지, 탄소중립 등의 지속가능성의 개념이 건물부문에 강조됨에 따라 건물외피의 개념과 기능은 크게 변화되고 있다[13]. 이러한 건물외피와 관련한 기술은 [표 1]에서 나타나듯이 크게 단열, 채광, 차양으로 구분된다[14]. 건물외피의 단열은 건물의 성능을 결정짓는 주요한 부분으로, 실외와 실내공간의 열이 이동하는 것을 최소화 또는 막는

것을 의미한다. 건물의 단열성능을 높이기 위해서는 상대적으로 단열성능이 낮은 창의 면적을 최소화하는 것이 적절하나, 조망 및 채광 등에 문제가 발생할 수 있다[15]. 채광은 건물외피에 창과 같은 개구부를 두어 외부의 자연광을 실내로 유입시키는 것으로, 적절한 채광은 효율적인 조명에너지 저감뿐만 아니라 거주자의 쾌적도를 높일 수 있다[16]. 이에 건물외피의 채광성능을 높이기 위해서는 채광창의 면적을 증가시키는 것이 바람직하나, 앞서서 언급하였듯이 건물외피 본연의 기능인 단열성능을 크게 저하시킬수 있기에 면밀한 검토가 요구된다. 이에 따라서 채광성능을 개선하기 위해서는 단순 채광창의 면적을 증가시키는 것이 아니라 채광창에 광선반, 광파이프 등의 자연채광시스템을 설치하고 있는 추세이다. 반면, 차양기술은 채광과 반대의 개념으로 외부로부터 유입되는 일사를 차단 및 조절함으로써 쾌적한 냉난방환경을 조성할 수 있다. 이러한 차양기술은 루버, 블라인드 및 어닝이 대표적인 사례이다[17]. 추가적으로 최근 건물외피는 단열, 채광 및 차양의 기본적인 역할뿐만 아니라 신재생에너지 개념의 도입 및 보급으로 인하여 에너지를 생성하는 기능도 중요한 부분이 되고 있다. 특히 BIPV(Building-Integrated Photovoltaic)는 건물외피의 일부분에 태양광패널을 설치하는 개념이 아니라 건물외피에 태양광패널을 일체화시킨 것으로, 현재의 건물외피는 과거 실내외를 구분 짓는 경계를 넘어 그 기능은 다각화 및 고도화되고 있는 추세이다.

[표 1] 건물외피의 기능 및 개념

[Table 1] Functions and Concepts of the Building Envelope

기능	개념 및 특성	기술
단열	<ul style="list-style-type: none"> 실외와 실내공간의 열이 이동하는 것을 최소화 또는 막는 것을 의미함. 실내 열환경을 안정시키고 표면결로의 발생을 방지함. 	고기밀창호, 이중외피
채광	<ul style="list-style-type: none"> 건물외피에 창과 같은 개구부를 두어 외부 자연광을 실내로 유입시키는 것을 의미함. 적절한 투과체를 적용하여 건물의 에너지 효율을 증가시킴. 	광선반, 광파이프
차양	<ul style="list-style-type: none"> 외부로부터 유입되는 일사를 차단 및 조절함으로써 쾌적한 냉난방환경을 조성하는 것을 의미함. 일부 건물의 에너지를 절약할 수 있으며 쾌적한 실내환경 조성이 가능함. 	블라인드, 루버, 어닝

2.2 IT의 개념 및 적용범위

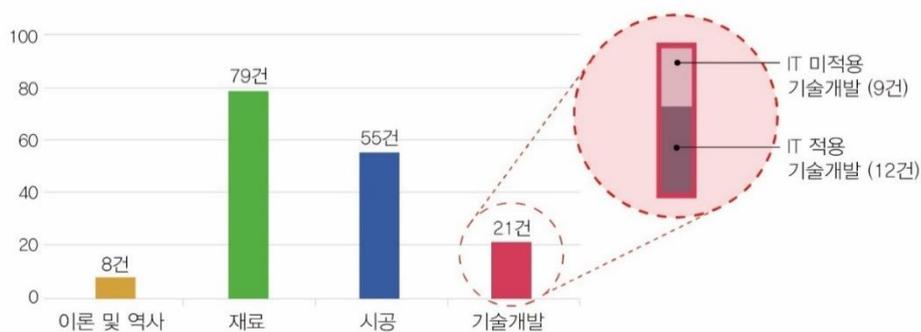
IT는 다른 분야의 기술과 비교하여 상대적으로 발전 속도가 상당히 빠른 진보 기술이다. IT는 기술의 독창성 및 첨단성이 요구되며, 기존 기술 대비 비교 우위성이나 기술 활용성 및 확장성이 기술의 가치를 결정짓는 주 요소이다[18]. 앞서 말한 대표적인 정보기술인 IT는 IoT, ICT 등이 대표적인 기술이다. IoT는 지능화된 사물들이 연결되어 형성되는 네트워크상에서 사람과 사물, 사물과 사물간에 상호 소통하고 상황인식 기반의 지식이 결합되어 지능적인 서비스를 제공하는 글로벌 인프라 기술이다[19]. 두 번째로 ICT는 우리나라 경제 성장의 필수 요소로 평가되는 만큼 국가 경쟁력 확보를 위해 반드시 필요한 기술이다[20]. 최근 IT산업을 포함한 모든 산업분야에서 나타나는 융복합현상은 IT의 역할이 가장 크다. 의학 분야 같은 경우, IT가 비약적으로 발전함에 따라 수년간 의료기기 분야와 활발히 접목되고 있다[21]. 특히 방사선 의료기기 분야는 IT 접목의 중심점이 되고 있다. 건강증진 뿐만 아니라 재활을 목적으로 하는 기술 및 서비스도 진행되고 있다[22]. 차량 분야와 IT를 접목할 경우 편의성과 안전성을 높인

자동차의 고부가가치화에 기여하며, 자동차IT라는 새로운 IT시장을 개척하였다[23]. 조명기술과 IT를 접목한 IT융합 스마트조명은 조명의 기본 지식을 바탕으로 IT를 접목함으로써 감성을 반영하고, 생활의 편리함을 추구하는 조명시스템으로, 에너지 절감 및 광량의 제어가 가능하며 조명기구 자체의 최적배광 구현 및 고효율 구동화로 더욱 효과적인 에너지 사용량 절감이 가능한 기술이다[24]. 이러한 IT는 실내공간에서 많이 적용되고 있으며, 이는 공조, 설비, 위치, 센서 등으로 구분된다. 반면, 건물외피 측면에서는 상대적으로 적용이 약한 것으로 판단된다[25]. 이를 기반으로 최근 전분야의 융합이 강조되는 IT는 기술개발에 반드시 고려해야 할 요인으로 사료된다.

3. 건물외피 적용 IT 동향 및 수준 분석

3.1 선행 연구 선정

IT가 적용된 건물외피 관련 연구 동향을 도출하기 위해서는 관련 선행연구를 선정하는 것이 중요하며, 이에 본 연구는 다음의 내용을 근거하였다. 본 연구는 4차혁명의 발발시점을 고려하여 2010년 이후에 출판된 학술지논문으로 국한하였으며, 학위논문 및 학술발표논문은 제외하였다. 본 연구는 [그림 2]에서 나타나듯이 건물외피를 키워드로 하는 163편의 논문을 1차적으로 선별하였다. 이 중 IT를 접목하여 건물외피를 개발하는 것을 주요목적으로 하고 있는 논문은 12건이 도출되었으며, 연구의 난이도를 고려하여 본 연구의 실제적인 분석에는 8건의 논문을 대상으로 하였다. 이러한 내용은 IT를 접목한 건물외피와 관련한 연구가 현저히 부족하다는 것을 의미한다. 본 연구의 논문검색은 2023년 1월 2일을 기점으로 건축도시연구정보센터에서 제공하고 있는 논문 검색엔진을 사용하였다[26]. 건축도시연구정보센터는 건설전반의 내용을 대상으로 국내외에 분산되어 있는 연구와 교육정보를 체계적으로 수집 및 분류하고 있어서 본 연구에 적합한 것으로 판단된다. 본 연구는 이러한 과정을 통하여 도출된 IT가 접목된 외피제어 관련 연구를 고찰함으로써 외피에 적용되고 있는 IT의 동향과 한계를 분석하였다.



[그림 2] 건물외피 관련 연구동향

[Fig. 2] Research Trends on Building Envelopes

3.2 건물외피 적용 IT 동향 분석을 위한 분석프레임 도출

본 연구는 IT가 적용된 건물외피 관련 연구 동향을 도출하기 위하여 선행연구를

근거하여 [표 2]에서 나타나듯이 다음의 내용을 분석하였다[27]. 첫 번째, 각 논문에서 나타난 IT 적용 수준의 난이도를 분석하였으며, 이에 대하여 상중하로 평가를 진행하였다. 두 번째, 에너지저감 및 쾌적도 평가에 대한 유무를 분석하였으며, 세 번째, 경제성 검토 및 유지 관리에 대한 부분을 분석하였다. 적용수준은 강, 중, 약으로 구분하였으며, 강은 실내외 환경요인 및 재실자를 분석 후 인식하여 재실자가 선호하는 환경을 제시하기 위하여 건물외피를 제어한다. 중은 실내외 환경요인을 수집하여 분석한 후 건물외피가 제어되나, 재실자가 선호하는 환경은 고려되지 않는 경우에 한한다. 약은 실외의 환경만 수집하여 건물외피가 제어되는 경우에 한하여 세 가지로 구분하였다[28].

[표 2] 분석프레임 설정

[Table 2] Analysis Frame Setting

구분	표기
IT 적용 수준	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 적용수준에 따라서 강, 중, 약으로 표기 ▪ 강은 실내외 환경정보 및 재실자를 인식하여 각 재실자가 선호하는 환경을 제공하기 위하여 건물외피를 제어하는 경우에 해당 ▪ 중은 실내외 환경정보를 수집하여 건물외피를 제어하나, 재실자 별 선호환경을 미고려하는 경우에 해당 ▪ 약은 실외의 환경정보만을 수집하여 건물외피를 제어하는 경우에 해당
에너지 저감 평가	▪ 적용 및 미적용으로 표기하며, 적용인 경우 선행기술대비 에너지 저감 정도를 분석
건물 쾌적도 평가	▪ 적용 및 미적용으로 표기하며, 적용인 경우 쾌적지표 및 개선 정도를 분석
경제성 검토	▪ 고려 및 미고려으로 표기하며, 고려인 경우 경제성 검토에 대한 내용을 분석
유지관리 기술 검토	▪ 고려 및 미고려으로 표기하며, 고려인 경우 유지관리 기술에 대한 내용을 분석

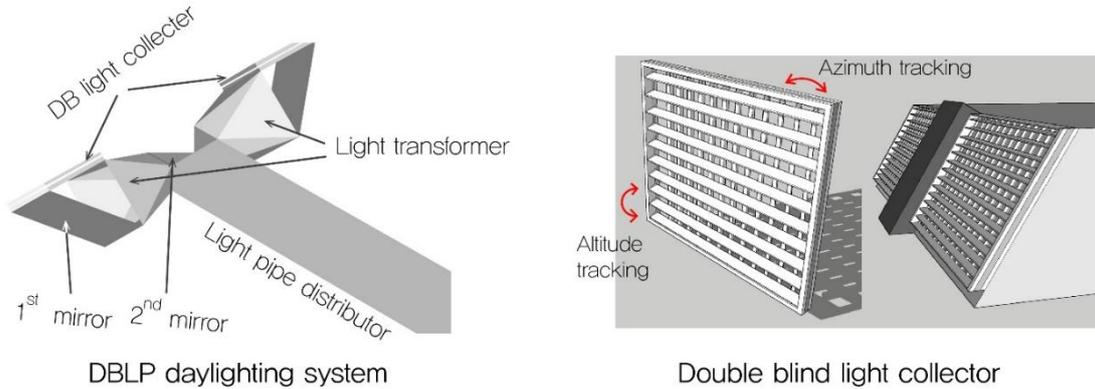
3.3 건물외피 적용 IT 동향 분석 결과

본 연구의 건물외피 적용 IT의 동향 분석을 위하여 선정된 총 8건의 논문의 개요는 다음과 같다.

강은철 외 2명에 의하여 2012년에 수행된 “Tracepro Simulation Design and Evaluation for the Double Blind Light Pipe Daylighting System[29]” 연구는 실제 건물에 적용가능한 채광 조명시스템 도입을 목표로, 광학 해석 프로그램인 TracePro를 활용한 이중 블라인드 광파이프 채광 시스템을 설계하여 적용 가능성 평가를 목적으로 하고 있다. 이중 블라인드 광파이프(DBLP; Double vblind light pipe) 채광 시스템은 이중 블라인드형식의 집광장치와 덕트형식의 광 전송장치, 그리고 전송된 빛을 실내로 확산하는 산광장치로 구성된다. 해당 연구는 [그림 3]과 같이 이중 블라인드를 통하여 방위각 및 태양의 고도를 추적할 수 있다. 그 결과, 집광부 블라인드 날개의 길이가 5cm인 동시에 혼합형 블라인드 사이 간격이 모두 3cm인 경우일 때 가장 높은 효율이 나타난다. 이에 따라 본 연구에서 제시한 DBLP 채광 시스템은 기존 고정형 채광기술과 대비하여 시스템 효율이 평균 10%로 높게 나타나는 결론을 도출하였다.

2015년에 수행된 정유근의 “Developing the Lightweight PV Blinds usings the Polycarbonate”[30] 연구는 [그림 4]와 같이 폴리카보네이트 기술을 활용하여 경량구조의 태양광발전 블라인드 시스템을 개발하고 시뮬레이션 프로그램을 통하여 성능평가를 진행하였다. 또한, 경량 발전모듈 제작기법에 따른 발전모듈의 실용가능성을 평가하였다. 그 결과, 시뮬레이션을 통한 자동제어 태양광발전 블라인드의 발전성능은 설치각도가

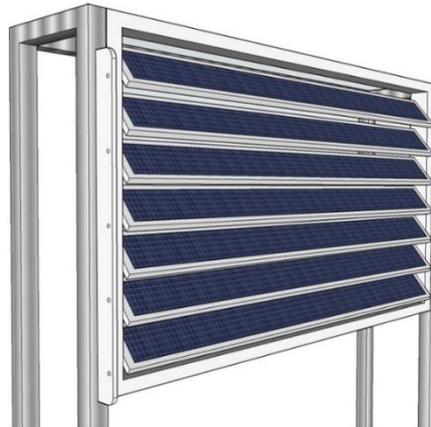
수직(90°)설치인 것이 가장 유리하고, 설치각도가 증가할수록 발전 성능이 감소하는 것으로 나타났다. 이는 측정기간 및 시간이 한정적인 범위로 인하여 보다 다양한 조건에서의 실험이 필요한 것으로 사료된다. 해당 연구는 경량 태양광발전 블라인드 시스템을 통하여 기초적인 자료로 활용이 가능할 것으로 판단되며, 이를 응용하여 발전 성능 및 구조적 안정성 등 다양한 방안에 대한 후속연구가 필요할 것이다.



※본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

[그림 3] 이중 블라인드 추적 시스템 모델링

[Fig. 3] Dual Blind Tracking System Modeling



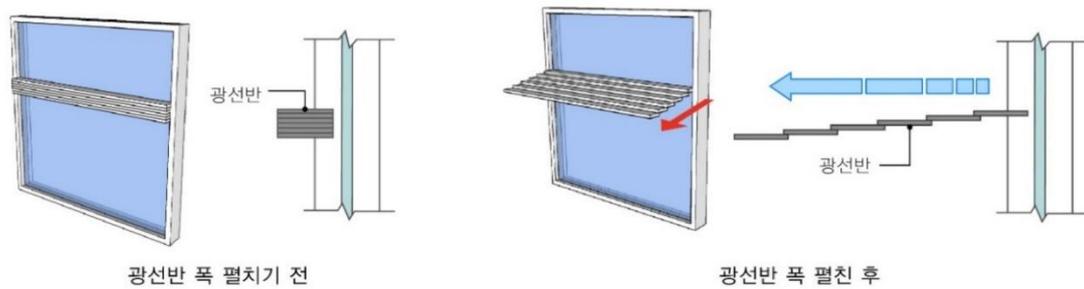
※본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

[그림 4] 태양발전 블라인드 모델링

[Fig. 4] Solar Power Blind Modeling

김다솜 외 3명에 의하여 2016년에 수행된 “Development of a Movable Drawer Type Light-Shelf with Adjustable Depth of the Reflector”[31] 연구는 광선반 폭의 조절이 가능한 서랍형 타입의 가동형 광선반을 제안하며, 이후 테스트베드를 통한 성능평가를 실시함으로써 유효성 검증 및 광선반기술 설계 시 기초자료 구축을 목적으로 진행하였다. 해당 연구는 외부환경에 대응함에 따라 [그림 5]와 같이 재실자 입실 전 및 야간의 경우 광선반

서랍이 모두 닫은 형태로 폭의 길이는 최소화되며, 재실자 입실 시 광선반은 각도 제어를 실시하여 이에 따른 조도값을 도출한다. 획득한 조도값 중 400 lx를 만족하는 각도가 있을 시 400 lx를 만족하는 각도로 재가동되며 광선반 가동제어가 종료되도록 설계하였다. 해당 연구는 기존 광선반이 가지는 문제를 해결한다는 점에서 의미가 있으나, 광선반의 폭의 제어를 위한 경제성 및 기술에 대한 검토가 이루어지지 않아 문제를 해결하기 위하여 지속가능한 연구가 진행되어야 할 것이다.



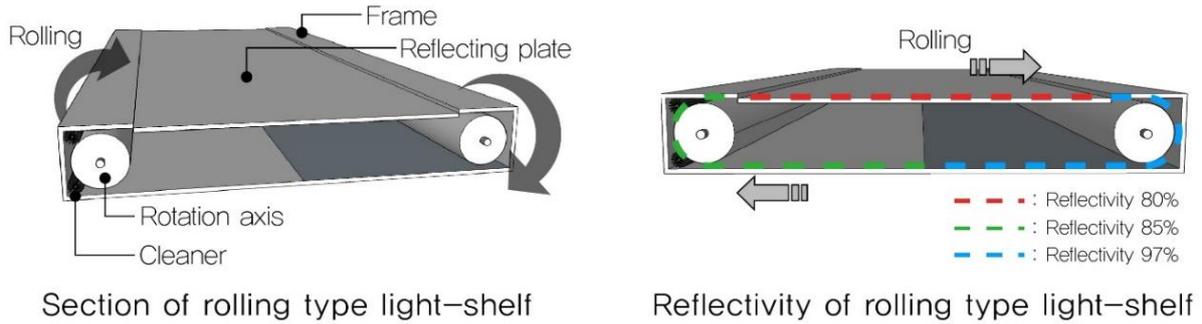
※본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

[그림 5] 폭 조절이 가능한 서랍형 타입의 가동형 광선반 모델링

[Fig. 5] Modeling of a Drawer-Type Movable Beamboard With Adjustable Width

김경수 외 4명에 의하여 2016년에 수행된 “Development of Rolling Type Light-Shelf with Adjustable Reflectivity”[32] 연구는 광선반에 롤링 기술을 적용하여 반사율 조정 및 반사판 표면의 청소를 통한 광선반의 성능유지가 가능한 롤링타입형 광선반을 제안하였다. 이후 테스트베드를 통한 성능평가 및 유효성 검증을 목적으로 하였다. 본 연구는 [그림 6]에서 나타나듯이 롤링을 통하여 광선반의 반사율을 기존 연구를 기반으로 80%, 85%, 97%로 설정하여 성능평가를 진행하였다. 해당 연구는 재실자가 입실시 광선반은 80%반사율 상태에서 각도제어를 우선적으로 진행하며, 각도제어는 실내공간의 조도가 400 lx를 만족하면 종료하도록 설계된다. 단, 광선반의 각도제어 이후에도 400 lx를 만족하지 않을 시 광선반은 롤링을 통하여 광선반의 반사율 85%, 97% 순으로 증가시켜 400 lx를 만족하도록 제어하였다. 해당 연구는 광선반의 성능개선 및 문제해결을 제안한다는 측면에서 유의미하나, 하지 등의 특정상황으로 국한하여 진행하였다는 한계를 가진다.

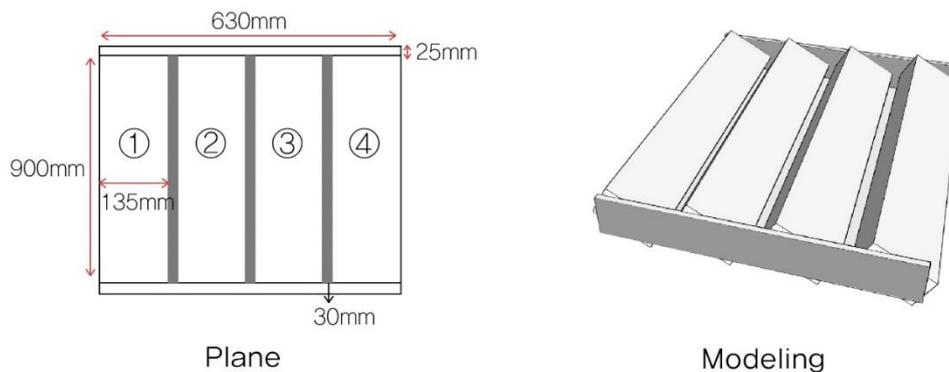
김기훈 외 2명에 의하여 2016년에 수행된 “Improvement of Influx Daylight to Indoor Environment and Efficiency of PV Power Generation using a PV integrated split-light shelf system”[33] 연구는 [그림 7]에서 나타나듯이 광선반 시스템을 통한 주광유입을 개선하여 조명에너지를 절약하고 PV를 통하여 신재생에너지의 생성을 도모하는 시스템을 제안하였다. 해당 연구는 계절별 및 시간별로 변화하는 태양의 고도에 따라 각도가 제어되는 분할 광선반을 통하여 기존 광선반의 단점을 보완하고 실내 주광 활용도를 향상시켰다. 해당 연구에서 제안하는 광선반은 광선반을 분할함으로써, 실내 주광유입량과 PV발전량은 일반 광선반에 대비하여 28.08%의 증가한 연구결과가 나타났다. PV발전 시뮬레이션을 통하여 발전 효율의 향상정도를 객관화하고, 실내 주광유입량과 PV발전량을 최적화할 수 있는 광선반 모듈의 각도 결정을 위한 시뮬레이션 연구가 필요할 것으로 사료된다.



※본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

[그림 6] 롤링타입형 광선반 시스템의 단면 및 빛의 반사율

[Fig. 6] Cross Section and Light Reflectance of a Rolling Type Light Shelf System

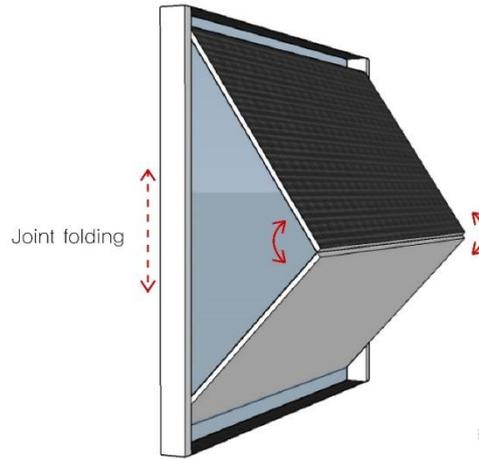


※본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

[그림 7] 분할 광선반 시스템의 평면 및 모델링

[Fig. 7] Plans and Modeling of Split Light Shelf Systems

이광진 외 2명에 의하여 2020년에 수행된 “Development of Kinetic Skin for Energy Saving of User-Based Buildings”[34] 연구는 친환경 키네틱 파사드의 성능평가를 통하여 외부환경에 대응하는 외피의 구동 기준설정 및 실효성 검증을 목표로 한다. 해당 연구는 환경대응과 재실자 쾌적도를 고려하는 파사드의 작동방식을 분석하여 외피시스템을 제안하였으며, 제안한 외피시스템의 설치유무와 각도에 따른 실내환경 성능평가를 진행하였다. 해당 연구에서 제안하는 외피기술은 [그림 8]에서 나타나듯이 조인트 폴딩 구조로 구성되며 수직제어를 통하여 자연채광을 조절한다. 외피 가동 절차는 재실자 입실 전일 경우 PV발전량이 높은 각도를 위치하며, 재실자 입실 시 외벽 상단의 센서가 외부환경 및 조도를 수집한다. 이후 실내의 요구조도에 부합하는 기준각도로 가동하도록 설계하였다. 그 결과, 키네틱 구조를 적용한 외피는 기존 고정외피에 대비하여 PV발전량 효율이 증가한 것으로 나타났다. 해당 연구는 외부환경만 고려한 점과 개폐의 사용되는 전력량을 제외한 한계를 가지며, 향후 연구에는 다양한 방위각 및 사용자 선호 등을 고려한 다양한 연구가 필요할 것으로 판단된다.

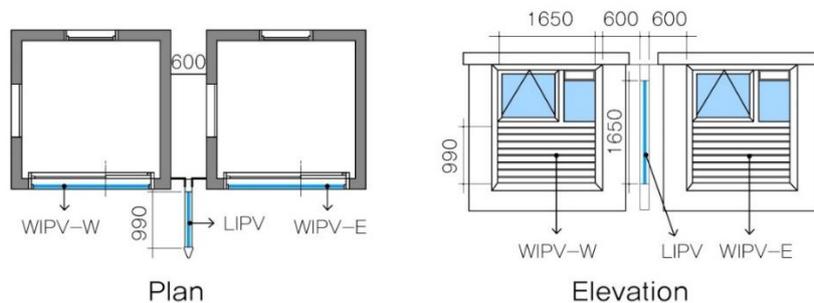


※본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

[그림 8] 키네틱 구조의 폴딩 PV광선반 모델링

[Fig. 8] Modeling of Folding PV Light Shelf With Kinetic Structure

조경주 외 1명에 의하여 2022년에 수행된 “Experimental Analysis on Annual Power Generations of Louver-integrated Bi-facial Photovoltaic Modules for Architectural Applications”[35] 연구는 양면형 태양광 모듈을 동서로 배치했을 경우 실제 현장실험을 통하여 도출된 발전량을 계절별로 분석하여 제로에너지 건축물 달성을 위한 디자인의 기초자료 구축을 목적으로 한다. 이는 BIPV로서의 활용가능성을 확인하기 위하여 LIPV(Louver-integrated photovoltaic)의 좌우, LIPV 그림자의 영향을 받는 위치에 WIPV(Window-integrated photovoltaic)를 설치한 후 발전량 저하를 연구의 범위에 포함하였다. 해당 연구는 단면형 태양광 모듈을 남향 수직으로 설치하는 경우(Case 1), Case 1사이에 LIPV를 설치하는 경우(case 2), Case 1과 LIPV를 그림자의 영향이 없게 떨어뜨려 설치하는 경우(Case 3), 총 3가지 경우로 분류한 후 이에 대한 분석을 진행하였다. 그 결과, Case 2가 Case 1에 대비하여 87.5~89.5%의 발전량 상승한 것으로 나타났고, 이는 전체 발전량 증가의 측면에서 장점을 가질 수 있었다. 향후 연구에는 실제 건물에 다층으로 WIPV와 LIPV를 적용했을 때의 그림자 영향을 반영한 실질 발전량을 분석하여 최적의 배치가 필요할 것으로 사료된다.

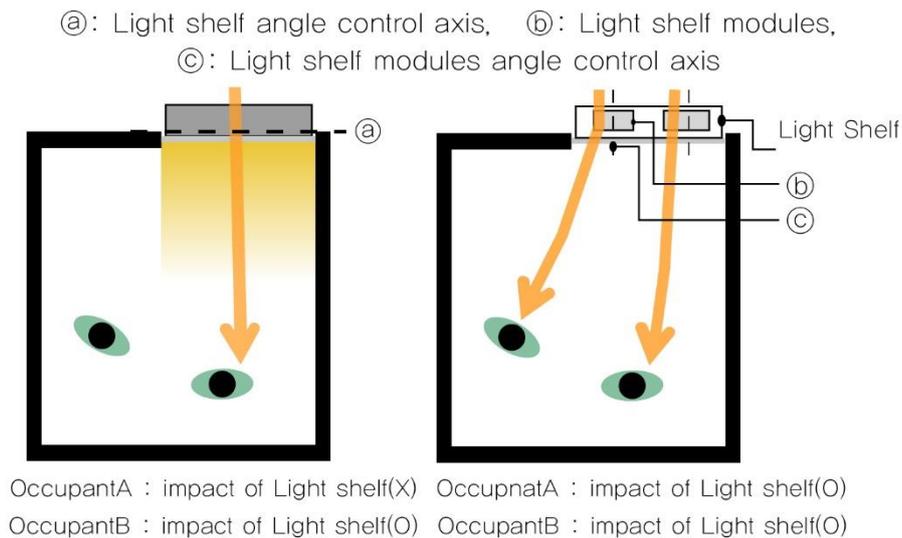


※본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

[그림 9] 양면형 태양광 모듈 루버 시스템

[Fig. 9] Bifacial Solar Module Louver System

김상훈 외 3명에 의하여 2014년에 수행된 “A Study on Light-Shelf System using Location-Awareness Technology for Energy Saving in Residential Space”[36] 연구는 위치인식기술 적용 광선반 시스템을 제안하여 위치인식기술 미적용 광선반과 에너지 저감 성능을 비교분석함으로써 성능검증을 목적으로 한다. 기존 광선반기술은 단순히 외부환경에만 반응하는 수준으로 재실자의 정보를 기반으로 하는 광선반 시스템에 대한 적용사례는 없다고 판단된다. 이에 따라 본 연구에서 제안하는 시스템은 효율적인 에너지 저감을 위한 재실자 위치인식 시스템을 적용한 광선반 시스템을 제안하였다. 광선반 각도 제어는 [그림 9]와 같이 재실자가 입실 시 재실자가 위치한 zone에 대한 정보가 서버로 전송되며, 이는 해당 연구에서 설정한 조도기준 400 lx를 만족하는 광선반 최적 각도를 찾기 위하여 설정된 범위의 광선반 각도 가동신호를 송출하며, 광선반 각도 가동에 따른 조도값은 서버로 전송된다. 또한 광선반 모듈 각도제어는 재실자의 위치를 기준으로 거리상 가장 멀리 떨어진 모듈을 우선으로 가동하였다. 해당 연구는 재실자의 위치 정보뿐만 아니라 외부환경에 적절히 대응하여 에너지 저감 효율을 높인다는 측면에서 위치인식기술을 적용한 광선반 등의 채광시스템에 대한 연구의 필요성이 부각될 것이라고 판단된다.



※본 그림은 이해를 돕기 위하여 논문에서 발췌하여 재구성하였음

[그림 10] 위치인식기술 적용 광선반 시스템

[Fig. 10] Light Shelf System With Location Recognition Technology

위의 내용을 종합한 결과는 [표 3]과 같으며, 이를 근거로 도출되는 내용은 다음과 같다. 기 수행된 연구를 분석결과 건물외피에 적용되는 IT는 소극적인 수준으로 분석된다. 그러나 일부 IT를 적용하여 개발된 건물외피의 에너지 저감률은 높은 수준으로 나타나고 있으며, 이는 건물외피의 IT 적용의 유효성을 입증하고 있다고 판단된다. 또한, 기 수행된 건물외피의 연구동향을 분석한 결과 경제성 및 건물외피의 유지관리에 대한 부분이 고려되고 있지 않다는 것을 알 수 있다. 기술개발 측면에서 경제성 및 유지관리에 대한 검토가 이루어지지 않은 경우 실효성이 높을 수 없다는 측면은 기 수행된 연구들의 한계라 할 수 있을 것이다. 이러한 점들을 고려 시 건물외피 개발은

IT를 적극적으로 도입하여 그 효율을 개선하는 방향으로 진행되어야 할 것이다. 또한, 경제성 및 유지관리의 내용을 검토함으로써 실효성 높은 연구가 이루어져야 할 것으로 사료된다.

[표 3] 분석 프레임

[Table 3] Analysis Frames

저자	IT 적용 수준	에너지 저감 평가	건물 쾌적도 평가	경제성 검토	유지관리 기술 검토 여부
강은철 외 2명	약	적용 (시스템 효율성 평균 10% 증가)	미적용	미고려	미고려
정유근	약	적용(89~98% 에너지 저감)	미적용	미고려	미고려
김다솜 외 3명	약	적용 (14.3~18.7%의 에너지 저감)	적용(균제도 개선확인)	미고려	미고려
김경수 외 4명	약	적용(5.1~12.1% 에너지 저감)	적용(균제도 개선확인)	미고려	미고려
김기훈 외 2명	약	미적용	적용 (평균조도값 437.92 lx 증가)	미고려	미고려
이광진 외 2명	약	적용 (16.03~140.29%의 PV발전량 증가)	적용 (균제도 개선확인)	미고려	미고려
조정주 외 1명	약	적용 (87.5~89.5% PV발전량 증가)	미적용	미고려	미고려
김상훈 외 3명	강(재실자 위치인식)	적용(95.2~96.9%, %의 에너지 저감)	적용(균제도 개선확인)	미고려	미고려

4. 결론

본 연구는 건물 빛환경 성능개선을 위한 건물외피 적용 IT 동향 분석 연구로 국내에 2010부터 출판된 학술지논문을 대상으로 그 IT의 적용의 경향을 분석하였으며, 이에 대한 결론은 다음과 같다.

첫 번째, 국내에서 이루어지고 있는 IT 적용 건물외피 기술개발의 연구는 건물외피 분야의 이론 및 역사, 재료, 시공분야에 대비하여 부족한 실정이다. 이는 첨단 및 고도화되어가는 타학문 분야에 대비 시에도 상대적으로 부족한 것으로 분석된다. 두 번째, IT가 적용 건물외피의 기술개발에 대한 논문을 검토 시 IT는 외부환경정보에 의하여 제어되는 소극적인 IT로 에너지 저감 및 실내공간의 쾌적도 개선에 제한적으로 나타나고 있다. 단, 일부 논문에서 실내외정보 및 재실자에 대한 정보를 수집하는 적극적인 IT는 에너지 저감의 효율은 아주 높은 것으로 나타나고 있으며, 이는 건물외피에서 IT적용의 유효성을 입증하고 있음을 의미한다. 세 번째, 국내에서 기수행된 건물외피 관련 논문들은 경제성 및 유지관리에 대한 부분이 전혀 고려되고 있지 않으며, 이는 기술개발의 실효성을 저하시키는 요인이라 할 수 있다. 이에 향후 연구는 이러한 부분을 고려함으로써 연구의 실효성을 높이는 방향을 제고하여야 할 것이다.

건물외피 부분에서의 IT적용에 대한 연구는 부족한 실정으로 일반화된 경향을 도출하기에는 제약사항이 있다. 그러나 본 연구는 기 수행된 연구의 결과를 통하여 향후 건물외피와 관련한연구의 방향성을 제시한다는 측면에서 유효하며, 이후 IT가 적극적으로 적용된 많은 연구들이 후속되기를 희망한다.

5. 감사의 글

This work was supported by a National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT; NRF-2020R1C1C1004704).

References

- [1] S. Y. Cho, S. B. Leigh, A Study of the Possibility of Building Energy Saving through the Building Data : A Case Study of Macro to Micro Building Energy Analysis, Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering (KJACR), (2017), Vol.29, No.11, pp.580-591.
DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2017.29.11.580>
- [2] M. S. Choi, S. Y. Oh, C. Y. Ji, D. Y. Lee, An Analysis of Residential Building Energy Consumption Using Building Energy Integrated Database - Focused on Building Uses, Regions, Scale and the Year of Construction Completion -, Journal of Real Estate Analysis, (2017), Vol.3, No.1, pp.101-118.
DOI: <https://doi.org/10.30902/jrea.2017.3.1.101>
- [3] <https://www.iea.org/reports/buildings>, Feb 4 (2023)
- [4] S. I. Beak, H. M. Lee, S. Y. Jung, H. W. Lee, Analysis of Research Trends in PV Application of Movable Building Envelopes for Efficient Building Energy Reduction, Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, (2022), Vol.8, No.10, pp.13-24.
DOI: <http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2022.10.02>
- [5] Y. Liu, J. J. Jung, Effect of Thermal Bridges on the Indoor Thermal Environment of Passive Buildings in Cold and Dry Climate Zones, Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, (2022), Vol.8, No.3, pp.1-14.
DOI: <http://dx.doi.org/10.47116/apjcri.2022.03.01>
- [6] J. M. Kim, S. J. Song, Y. S. Kim, A Basic Study on Anti-reflection Coating PV Technology for Reducing Reflected Sunlight on the Building Skin, Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, (2019), Vol.5, No.2, pp.23-30.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21742/apjcri.2019.06.03>
- [7] M. S. Kang, W. H. Kim, Marketing Issues in the Fourth Industrial Revolution: A Conceptual Study, Journal of Digital Contents Society, (2018), Vol.19, No.12, pp.2365-2375.
DOI: <https://doi.org/10.9728/dcs.2018.19.12.2365>
- [8] J. W. Kim, R. Ryu, Y. S. Kim, A Basic Study on Unit Module Planning for the Design Diversity of Modular Architecture, Asia-pacific Journal of Convergent Research Interchange, (2019), Vol.5, No.1, pp.31-45.
DOI: <http://dx.doi.org/10.21742/apjcri.2019.03.04>
- [9] T. W. Park, From the Fourth Industrial Revolution to the Fourth Shared Revolution, Studies in Philosophy East-West, (2018), No.87, pp.321-346.
DOI: <https://doi.org/10.15841/kspew..87.201803.321>
- [10] S. J. Oh, A Study on Technology Appraisal for IT Techniques, The Journal of the Convergence on Culture Technology, (2015), Vol.1, No.4, pp.71-77.
DOI: <https://doi.org/10.17703/JCCT.2015.1.4.71>
- [11] H. S. Jang, S. H. Lee, A Study on the Non-residential Building Envelope Remodeling for Energy Efficiency, Korean Journal of Construction Engineering and Management, (2012), Vol.13, No.6, pp.3-12.
DOI: <https://doi.org/10.6106/KJCEM.2012.13.6.003>
- [12] G. S. Joe, J. H. Kim, M. S. Yeo, K. W. Kim, An Experimental Study on Thermal Performance of Double Skin Facade in Residential Buildings, Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design, (2014), Vol.30, No.11, pp.177-184.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_PD.2014.30.11.177
- [13] M. J. Bae, S. S. Kim, Evaluation and Alternative Searching Method of Building Envelope Design

- Parameters Considering Building Heating, Cooling and Lighting Energy Use, *Journal of the Architectural Institute of Korea Structure & Construction*, (2016), Vol.32, No.11, pp.45-53.
DOI: https://doi.org/10.5659/JAIK_SC.2016.32.11.45
- [14] A. Y. Bang, S. H. Park, J. H. Kim, Y. J. Kim, J. T. Kim, The Improvement of Building Envelope Performance in Existing School Building, *KIEAE Journal*, (2015), Vol.15, No.4, pp.69-76.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2015.15.4.069>
- [15] J. W. Moon, Impact of Redinforced Standard for Envelope Insulation on the Regional heating and Cooling Energy Consumption, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, (2011), Vol.23, No.10, pp.646-655.
DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2011.23.10.646>
- [16] S. H. Cho, A Study on the Optimal Control Method of Smart Skin for Zero Energy Building, *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, (2019), Vol.21, No.6, pp.1090-1096.
DOI: <https://doi.org/10.17958/ksmt.21.6.201912.1090>
- [17] S. H. Han, Implementation and the Energy Efficiency of the Kinetic Shading System, *KIEAE Journal*, (2014), Vol.14, No.5, pp.67-73.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2014.14.5.067>
- [18] S. J. Oh, A Study on Technology Appraisal for IT Techniques, *The Journal of the Convergence on Culture Technology*, (2015), Vol.1, No.4, pp.71-77.
DOI: <https://doi.org/10.17703/JCCT.2015.1.4.71>
- [19] T. K. Sung, A Study on Technology Transfer in IT Industry, *Daehan Academy Of Management Information Systems*, (2009), Vol.28, No.3, pp.45-68.
DOI: <https://doi.org/10.29214/damis.2009.28.3.003>
- [20] Y. D. Kim, S. K. Jeong, J. C. Ahn, An Analysis for the Skill Mismatching of IT Service Sector by Technology Changes, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, (2021), Vol.22, No.2, pp.273-282.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.2.273>
- [21] E. H. Lee, Y. S. Kim, C. G. Ji, A Study on Window Type Ventilation System Using IT Technology for Energy Saving in Housing Space, *Journal of the Korean housing association*, (2013), Vol.24, No.2, pp.61-68.
DOI: <https://doi.org/10.6107/JKHA.2013.24.2.061>
- [22] J. A. Son, The Fourth Industrial Revolution and the Development Conditions of Korean Culture Industry, *Korean Journal of Local Government & Administration Studies*, (2020), Vol.34, No.1, pp.19-34.
DOI: <https://doi.org/10.18398/kjlgas.2020.34.1.19>
- [23] M. H. Beak, Y. Zulfikar, J. I. Oh, S. D. Kim, Analyzing the Long-Term Impact of Energy Efficiency Improvement Programs on Large Commercial Buildings Using GCAM-EML, *Korea Energy Economics Institute*, (2015), Vol.14, No.3, pp.229-264.
DOI: <https://doi.org/10.22794/keer.2015.14.3.008>
- [24] J. H. Yoon, S. C. Kim, K. U. Im, M. H. Oh, The Sensitivity Analysis of Thermal Expansion Breakage of Multi-layer Glazing in Building Envelope, *KIEAE Journal*, (2014), Vol.14, No.6, pp.93-97.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2014.14.6.093>
- [25] Y. J. Lee, J. W. Lee, J. H. Kim, S. H. Park, Standard Housing Model Selection for Quantitative Evaluation of Building Energy Performance, *Journal of the Architectural Institute of Korea*, (2021), Vol.37, No.1, pp.157-165.
DOI: <https://doi.org/10.5659/JAIK.2021.37.1.157>
- [26] <http://www.auric.or.kr>, Feb 4 (2023)
- [27] G. J. Lee, A Basic Study for Sustainable Analysis and Evaluation of Energy Environment in Buildings : Focusing on Energy Environment Historical Data of Residential Buildings, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, (2017), Vol.18, No.1, pp.262-268.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2017.18.1.262>
- [28] J. S. Shim, J. S. Kim, Applicability of Frame Analysis in Conflict Research: A Literature Review, *Public Policy Review*, (2011), Vol.25, No.3, pp.29-64.

DOI: <https://doi.org/10.17327/ippa.2011.25.3.002>

- [29] E. C. Kang, E. J. Lee, S. Y. Yoo, Tracepro Simulation Design and Evaluation for the Double Blind Light Pipe Daylighting System, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, (2012), Vol.24, No.6, pp.515-520.
DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2012.24.6.515>
- [30] S. H. Cho, A Study on the Optimal Control Method of Smart Skin for Zero Energy Building, *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, (2019), Vol.21, No.6, pp.1090-1096.
DOI: <https://doi.org/10.17958/ksmt.21.6.201912.1090>
- [31] D. S. Kim, H. W. Lee, J. W. Seo, Y. S. Kim, Development of a Movable Drawer Type Light-Shelf with Adjustable Depth of the Reflector, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, (2016), Vol.28, No.9, pp.343-349.
DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2016.28.9.343>
- [32] K. S. Kim, H. J. Shim, H. W. Lee, J. H. Seo, Y. S. Kim, Development of Rolling Type Light-Shelf with Adjustable Reflectivity, *Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, (2016), Vol.16, No.5, pp.57-64.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2016.16.5.057>
- [33] G. H. Kim, M. K. Sung, A. S. Choi, Improvement of Influx Daylight to Indoor Environment and Efficiency of PV Power Generation using a PV integrated split-light shelf system, *The Korean Society Of Living Environmental System*, (2016), Vol.23, No.6, pp.793-798.
DOI: <https://doi.org/10.21086/ksles.2016.12.23.6.793>
- [34] K. J. Lee, R. Ryu, Y. S. Kim, Development of Kinetic Skin for Energy Saving of User-Based Buildings, *KIEAE Journal*, (2020), Vol.20, No.1, pp.103-111.
DOI: <https://doi.org/10.12813/kieae.2020.20.1.103>
- [35] K. J. Cho, D. W. Cho, Experimental Analysis on Annual Power Generations of Louver-integrated Bi-facial Photovoltaic Modules for Architectural Applications, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, (2022), Vol.42, No.1, pp.47-56.
DOI: <https://doi.org/10.7836/kses.2022.42.1.047>
- [36] S. H. Gim, Y. S. Kim, J. H. Seo, H. W. Lee, A Study on Light-Shelf System using Location-Awareness Technology for Energy Saving in Residential Space, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, (2014), Vol.26, No.6, pp.275-286.
DOI: <https://doi.org/10.6110/KJACR.2014.26.6.275>