

Displaying a University's Frank Lloyd Wright Artifact Reproductions: Physical and Virtual Environments

Paulette R. Hebert, Tilanka Chandrasekera and Greg Clare

Improving the Energy Performance of a Convention Center Building

Fatma Merve IŞIK, Hatice SÖZER

การประยุกต์ใช้อาคารยานไร้คนขับ เพื่อการจัดทำฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ในงานสถาปัตยกรรม กรณีศึกษา อาคาร 3 และอาคาร 22 กลุ่ม วิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา
อลงกรณ์ ทนิตกาญจน์, สายชล ครอบกลาง และ จิรศักดิ์ มากกลาง

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารเรียนในเขตเมืองโรงเรียนประถมศึกษา เขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ และ ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล

องค์ประกอบหลังคากระเบื้องลอนคู่เพื่อลดการถ่ายเทความร้อน จากแสงอาทิตย์

Fiber Cement Roof Components for Solar Heat Transfer Reduction
คงฤกษ์ เหลืองไตรรัตน์ และ ชำนาญ บุญญาพิสุทธิพงศ์



คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ถ.มิตรภาพ อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002
อีเมล : archkku.journal@gmail.com โทรศัพท์ : 0 4336 2046 โทรสาร : 0 4336 2047

Faculty of Architecture Khon Kaen University Mittraphab Highway,
Khon Kaen, 40002 Thailand E-mail : journal.bee.thailand@gmail.com
Tel. 0 4336 2046 Fax. 0 4336 2047

วารสารวิชาการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)
Journal of Building Energy & Environment Vol.4 (June 2020)
ISSN : 2630-0796

บรรณาธิการ/Editor

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Asst.Prof.Chumnan Boonyaputthipong Khon Kaen University, Thailand

กองบรรณาธิการ/ Editorial Board

รองศาสตราจารย์ ดร.ยິงสวัสดิ์ ไชยะกุล มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Assoc.Prof. Yingsawad Chaiyakul, Ph.D. Khon Kaen University, Thailand

รองศาสตราจารย์ ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Assoc.Prof. Choopong Thongkamsamut, Ph.D. Khon Kaen University, Thailand

อาจารย์ ดร.ฐานันดร ศรีทองชัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Thanun Srithongchai, Ph.D. Khon Kaen University, Thailand

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Asst.Prof.Chanikarn Yimprayoon, Ph.D. Kasetsart University, Thailand

Professor Paulette R. Hebert, Ph.D. Oklahoma State University, USA.

Assoc.Prof. Hatice SÖZER, Ph.D. Istanbul Technical University, Turkey

อีเมล/Email

journal.bee.thailand@gmail.com

เว็บไซต์/Website

<https://bee.kku.ac.th>

เลขานุการและระบบสารสนเทศ/ Secretary and information system

มนิรัตน์ วีระกรพานิช
Manierata Virakornphanich

พิมพ์ชนก ศรีสุริยะมาตย์
Phimchanok Srisuriyamart

อนุพันธ์ พันธุ์อมร
Anuphan Phanamorn

กรรณภัสส์ สิริเกียรติ
Kannapat Sirikiat

ปีที่พิมพ์/Year

2563

ลิขสิทธิ์/Copy Right

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น Faculty of Architecture,
Khon Kaen University
ถนนมิตรภาพ อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น 40002 Mittraphab Highway,
Khon Kaen, 40002 Thailand
โทรศัพท์ 0 4336 2046 โทรสาร 0 4336 2047 Tel. 0 4336 2046
Fax. 0 4336 2047

บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการพลังงานและสิ่งแวดล้อมอาคาร (Journal of Building Energy & Environment : BEE) ฉบับที่สี่ ยังคงมีเป้าหมายในการเผยแพร่บทความในด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร ในฉบับนี้ เราเพิ่ม Dr. Faidon Nikiforiadi เข้ามาเป็นหนึ่งในผู้ทรงคุณวุฒิเพื่อเสริมความเข้มแข็งและขยายความร่วมมือผู้นำนานาชาติมากขึ้น วารสารของเราได้รับความร่วมมือและเสียสละที่ดียิ่งของคณะทำงาน และผู้ทรงคุณวุฒิเช่นเคย

หวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นสื่อในการเปิดประเด็นและมุมมองทางวิชาการสู่การออกแบบ และวิจัยที่เกี่ยวข้องต่อไป

ผศ.ดร.ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์
บรรณาธิการ

The 4 th edition of the Journal of Building Energy & Environment, BEE, is still focused on the topic of Energy and Environment conservation. For this edition, we add Dr. Faidon Nikiforiadi to be in our Reviewer Board. The journal keeps extend the connection to various academic networks from Europe, United State of America and Asia. Editorial team and reviewers are always our great support.

Hopefully, this journal will be the media that opening up issues of academic perspectives and view to the world of design and research in the future.

Asst.Prof.Chumnan Boonyaputthipong , Ph.D.
Editor

ผู้ทรงคุณวุฒิพิจารณาบทความ Reviewer Board

รองศาสตราจารย์ ดร.ยິงสวัสดิ์ ไชยะกุล
Assoc.Prof. Yingsawad Chaiyakul, Ph.D.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Khon Kaen University, Thailand

รองศาสตราจารย์ ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร
Assoc.Prof. Choopong Thongkamsamut, Ph.D.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Khon Kaen University, Thailand

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์
Asst.Prof. Chumnarn Boonyaputthipong, Ph.D.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น
Khon Kaen University, Thailand

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชนิกานต์ ยิ้มประยูร
Asst.Prof.Chanikarn Yimprayoon, Ph.D.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Kasetsart University, Thailand

รองศาสตราจารย์ ดร. ปรีชญา มหัทธโนวิ
Assoc.Prof. Prechaya Mahattanatawe, Ph.D.

มหาวิทยาลัยศิลปากร
Silpakorn University, Thailand

Prof. Paulette R. Hebert, Ph.D.

Oklahoma State University, USA.

Assoc.Prof. Hatice SÖZER, Ph.D.

Istanbul Technical University, Turkey

Faidon Nikiforiadis, Ph.D.

Building Simulation Lab, UK

Contents

Page

Displaying a University's Frank Lloyd Wright Artifact Reproductions: Physical and Virtual Environments

1

Paulette R. Hebert, Tilanka Chandrasekera and Greg Clare

Improving the Energy Performance of a Convention Center Building

16

Fatma Merve IŞIK, Hatice SÖZER

การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ เพื่อการจัดทำฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ในงานสถาปัตยกรรม กรณีศึกษา อาคาร 3 และอาคาร 22 กลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา

53

อลงกรณ์ ภูมิภาญจน์, สายชล ครอบกลาง และ จิรศักดิ์ มากกลาง

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารเรียนในเขตเมืองโรงเรียนประถมศึกษา เขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

63

ปัทมาภรณ์ รัตนประดับ และ ยิ่งสวัสดิ์ ไชยะกุล

องค์ประกอบหลังคากระเบื้องลอนคู่เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์

71

Fiber Cement Roof Components for Solar Heat Transfer Reduction

คงฤทธิ เหลืองไธรัตน์ และ ผศ.ดร.ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์

Displaying a University's Frank Lloyd Wright Artifact Reproductions: Physical and Virtual Environments

Paulette R. Hebert, Tilanka Chandrasekera and Greg Clare

Department of Design, housing and Merchandising

Oklahoma State University

paulette.hebert@okstate.edu

Abstract

Frank. Frank Lloyd Wright (FLW), an important 20th Century American architect, also designed furnishings such as table lamps, stained glass, and statues. A University's collection of museum reproductions of Wright's furnishings were displayed in built-in, glass front cases in a small, in-house museum. This physical collection of artifacts did not rotate often; presented artifacts only in frontal views; and offered only limited viewing times. Researchers suspected the museum cases' illumination was inadequate. In Part I, researchers performed an in situ study of the existing physical museum utilizing a spectrometer. This case study revealed existing, unshielded, lighting fixtures and display case light levels that did not comply with industry recommendations. Researchers made new recommendations for a retrofit featuring shielded, Light Emitting Diode (LED) strips. In Part II, researchers 3D scanned the furnishings reproductions using either a). Hand-held mobile scanner, b). Photogrammetry, or c). Desktop 3D scanner. Artifact complexity influenced the researchers' selection of appropriate scanning method. In Part III, researchers created two versions of a virtual museum environment, based on an existing FLW house. Version 1 used Unity 3D gaming engine supporting a user's interaction with museum artifacts. Version 2 used SketchUp and Enscape Virtual Reality (VR) tools. In Part IV, Researchers modified incomplete scans and installed scans in their new virtual museum. The virtual museum has been activated for online browsing. However, no retrofits of the physical museum's display case lighting have yet been made. The creation of the new virtual museum supplemented the existing physical museum experience. The virtual museum is anticipated to increase user exposure to the artifacts and increase the (virtual) accessibility of the artifacts without damage. The virtual museum also allows for searchable electronic records.

Keywords: 3D scanning, Virtual Reality, Virtual Museum, Museum Lighting

1. Introduction

Lloyd Wright (FLW), an important 20th Century American architect, designed complete environments that included table lamps, stained glass, and statues as well as other furniture and furnishings [1]. Some famous examples include the Sumac Vase, Robie Side Chair, Midway Garden Sprites, etc.

1.1 Existing Conditions

At a large, rural Midwestern University, a design program had long recognized the importance of allowing their users to study artifacts. Program donors had financially supported the purchase of several museum reproductions of Frank Lloyd Wright artifacts for faculty and student use in their facility. The University design program had thus amassed a small collection.

However, the researchers in the design program had noticed that the users' access to the physical artifact collection was somewhat limited. The facility offered only limited viewing times for the displayed artifacts corresponding to the building's open access hours. Due to the facility's exhibit space and security constraints the physical collection of Wright reproductions could not be exhibited in its entirety at one time. Most of the artifacts were fragile and some had already experienced damage through handling. The artifacts that were on display rotate infrequently due to a shortage of curatorial personnel. The displayed artifacts were observable from mostly frontal view only due to the configuration of the existing casework displays.

Further, the researchers anticipated that the artifacts' display case illumination was likely out-of-compliance with current industry-recommended quantity and quality. The Illuminating Engineering Society of North America (IES) is the acknowledged industry authority on lighting design recommendations for various applications including exhibits [2]. The IES recommends light level ranges based on complexity of tasks, anticipated "visual age" of viewers and light sensitivity of displayed artifacts. IES states that older people's eyes need more light to see at the same visual acuity as younger people's eyes [2]. Therefore, the researchers empirically measured and documented the existing conditions and compared the lighting to IES recommendations.

1.2 Virtual Museum Proposal

The researchers wanted to investigate if the existing Wright reproduction artifacts could be successfully 3D scanned in order to create a virtual collection to supplement the existing physical collection. To do so, the researchers experimented with three different light sources to explore with different attributes to explore compatibility with artifacts and with the scanners. Further, the researchers proposed to host this new virtual collection in a Virtual Museum, that would be accessible online and capable of being "toured", via VR with the aid of immersive VR Head

Mounted Displays (HMD), as well as through a non-immersive computer-based simulation. This Virtual Museum could provide accessibility to the artifacts without any physical restrictions.

Providing artifacts in a digital, three-dimensional format could also allow for detailed observations through Virtual Museum “tours”. With 3D scanned artifacts, users could rotate, zoom-in, view and compare various artifacts within the collection.

1.3 Virtual Museums

Most museums traditionally exhibit only a fraction of their entire collection of artifacts [3]. Furthermore, many artifacts are often fragile and delicate, precluding availability for public interactions [3]. VR technology allows users to interact with virtual museums’ artifacts in a variety of ways without risk to artifacts and potentially adding layers of information and interactivity.

With the advancement of technology, museums have begun extending their services through online media allowing them to reach out to broader audiences and mitigating issues of accessibility. According to Schewibenz [4] there are four types of Online Museums: Brochure Museums, Content Museums, Learning Museums and Virtual Museums. Virtual Museums are used in different domains, such as online platforms to host 3D artifacts. Different terminology such as on-line museums, electronic museums, hypermuseums, digital museums, cyber museums or web museums have been used to define these platforms [4]. Despite having no generally accepted definition, Virtual Museums are described as a *“logically related collection of digital objects composed in a variety of media which, through its connectivity and its multi-accessible nature, lends itself to transcending traditional methods of communicating and interacting with visitors.; it has no real place or space; its objects and the related information can be disseminated all over the world”* ([4], p. 146). The term, Virtual Museum, is used extensively even though some of its applications do not utilize 3D content nor virtual tours. In the current study, the term, “Virtual Museum”, describes an immersive 3D environment with 3D content. There were three key challenges in developing a Virtual Museum. The first challenge was understanding the requirements and the technological capabilities of the end-users. The second challenge was developing an architectural design to host the 3D artifacts. The third challenge was adopting technology to develop the virtual environment and 3D content.

Virtual visualization techniques and VR tools have advanced considerably since Morton Heilig’s Sensorama in the 1950s, to the first Head-Mounted Displays (HMD) in the 1960s, and eventually to the modern-day HMDs such as Oculus Rift [5]. In recent years, VR tools have become popular for testing the visual perception of space. The advantages of the Virtual Visualization techniques include higher ecological validity in comparison to the traditional tools, as well the higher level of control over visual elements, such as illumination and location of artifacts in space [6].

2. Research Methodology

2.1 Part I: In-situ Lighting Documentation

Researchers measured existing lighting conditions using an Asensetek Lighting Passport Smartphone Spectrometer, model number ALP-01 in the University collections' display cases that housed the physical Frank Lloyd Wright reproduction artifacts. Spot measurements at heights of 0'-0", 2'-6" (.76 meters) and 4'-0" (1.22 meters) above the finished floor, were taken at different locations within one typical display case following industry recommended measurement procedures. In addition to illuminance readings, attributes of light color and composition were also measured with the spectrometer. The researchers documented existing lighting fixtures' and lamps' specifications photographically and in field notes. Refer to Figure 1 for an example of the existing display case lighting. The existing exhibit cases were physically measured and then documented via Spectrum Genius Advanced software. The software provides data for the correlated color temperature (CCT), color rendering index (CRI), color quality scale Q1-Q15, dominate wavelength, purity, photosynthetic photon flux density (PPFD), and scotopic and photopic vision ratios.



Figure 1: Existing Bare Fluorescent Lamp Mounted in Top of Display Cases

2.2 Part II: 3D Scanning of artifacts

The researchers experimented with different 3D scanning methods to obtain optimal resolution for the scanned artifacts. They also experimented with different lighting conditions, as some scanners required certain lighting levels to function efficiently. The raw, 3D scanned artifacts were then rectified and cleaned using appropriate software.

The 3D scanning of artifacts was conducted using three instruments 1). A hand-held mobile scanner, 2). Photogrammetry, and 3). A desktop 3D scanner. Refer to Figures 2-a, b and c for images of the instruments. The instrument and method chosen for each artifact depended on the artifacts' visual complexity.

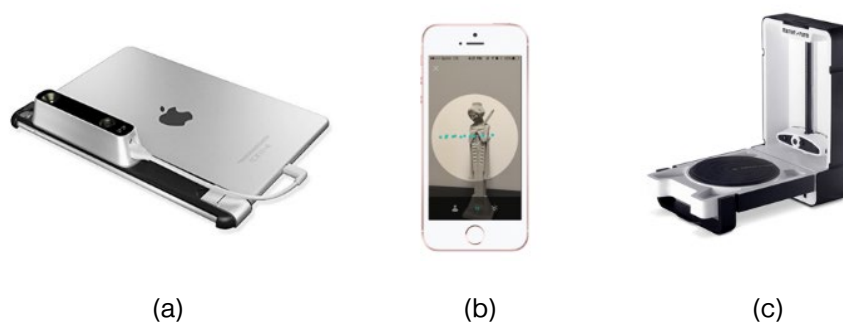


Figure 2: (a) Hand-held mobile scanner, (b) Photogrammetry, (c) Desktop 3D scanner

Members of the research team scanned Frank Lloyd Wright reproduction artifacts against a monochromatic background, using three different lighting conditions: Light emitting diodes (LED) (450 Lumens), LED Bright Stick (490 Lumens), Compact Fluorescent (760 Lumens).

The hand-held mobile scanner consisted of an Occipital Structure Sensor attached to an iPad Air tablet. This method of scanning allowed the researchers to scan larger artifacts such as chairs. Refer to Figure 3 for images of scanning in process.



Figure 3: Scanning using the Occipital Structure Sensor

Photogrammetry is the science of obtaining reliable information about the properties of surfaces and artifacts without physical contact with the artifacts, and of measuring and interpreting this information [7]. Photographs taken from multiple angles and stitched together can reproduce 3D artifacts through photogrammetry [7]. Several mobile applications allow the use of mobile devices such as smartphones and tablets for photogrammetry. In this project a Structure from Motion (SfM) 3D reconstruction software, Autodesk ReCap, was utilized.

The photogrammetry software required the use of a turn-table which could rotate the artifacts so that a continuous stream of photographs could be captured. The research team used a plastic, household, cake turn-table for this purpose. Refer to Figure 4 for an image of the turn-table.



Figure 4: Cake Turn-Table

Due to longer required scan times of approximately five hours for each artifact, a Matter and Form 3D Desktop Scanner was used for smaller Virtual Museum artifacts. The desktop scanner was light sensitive. The researchers experimented with different lighting conditions (LED and compact fluorescent) resulting in artifacts scanned with various resolutions. Refer to Figure 5 for scans created under different lighting conditions.

Lamp Source	Original Point Cloud	Auto Cleaned Point Cloud (Radius 3 pt.)	Manually Cleaned	File Type OBJ
LED				
LED BrightStik				
CFL				

Figure 5: Scanner Test Data- Lighting Conditions

All of the preliminary desktop 3D scans which were created for this project were visually assessed by the researchers and appeared to them to be incomplete. They determined the scans required an additional cleaning step to remove extraneous 3D data. The device's proprietary software application was utilized for this purpose.

2.3 Part III: The Virtual Environment

The development of the virtual aspects of this project's Part III can be described in two phases.

Phase 1: Developing the Virtual Environment and

Phase 2: 3D Scanning and developing the virtual artifacts

Developing the Virtual Environment

The primary intended users of the planned virtual museum were students. Therefore, researchers decided that students should be able to utilize the virtual museum using their personal computers. Researchers designed a virtual environment, the 3D environment that housed the virtual artifacts, which was viewable with or without a VR HMD. The research team developed a 3D virtual model of the Gordon House which was originally designed by Frank Lloyd Wright in

1957 for Evelyn and Conrad Gordon. The physical house still exists; is located in Silverton, Oregon; and serves as a historic house museum [8].

The Virtual Environment was developed in two versions for this project. Version 1 used the Unity 3D gaming engine where viewers could interact with the museum reproduction artifacts (Figure 6). Version 2 used SketchUp and Enscape VR tools. In Version 1, Unity 3D allowed for enhanced user interaction with the environment which the combination of software's of Sketchup and Enscape in Version 2 did not allow. The researchers further developed Version 2 as the final version gave consideration to the rendering quality and the ability to recreate the necessary lighting conditions for the virtual museum artifacts.

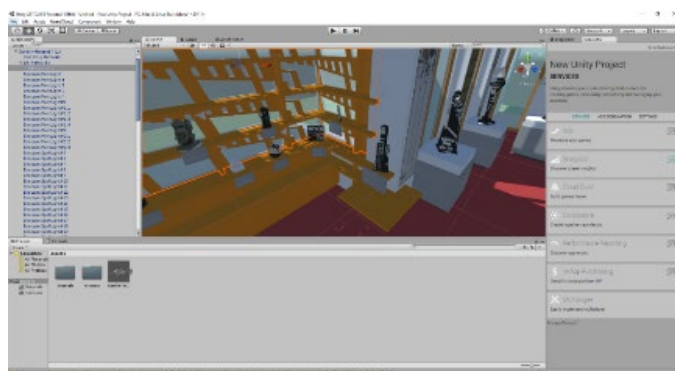


Figure 6: Testing different iterations of the Virtual Environment Using Unity 3D

The final version of the virtual environment that was developed was compatible with the two main types of VR HMDs on the market, HTC Vive and Oculus Rift (CV1) HMD. Refer to Figure 7 for images of users testing the Virtual Environment.



Figure 7: Users interacting in the environment using the HTC Vive HMD

3. Research Results

Research Results tell the clear result of the study. The detail of this part can be included chart, figure, table, etc. 3.1 In-situ Lighting Documentation of Existing Display Cases

The existing lighting of the physical Wright artifact collection was visually observed to be bare lamp (unshielded) fluorescent tubes which were measured to have a Correlated Color Temperature (CCT) of 3440 Kelvin. The Color Rendering Index (CRI) was measured to be 84. Refer to Figure 8 for a plan view of a typical existing University display case with corresponding light level measurement locations. Refer to Figure 9 for an elevation view of a typical existing University display case. Fifteen illumination readings were taken in foot-candles and converted to lux using an online converter. Results ranged from 31.03 foot-candles (334 lux) to 118.08 foot-candles (1271 lux). Using the IES Lighting Handbook, the Frank Lloyd Wright reproduction artifacts were classified by the researchers as low sensitivity to light (some textiles, some plastics and some woods) or no sensitivity to light (ceramics, glass, metal and some woods). Light level measurements were compared with recommendations for visual ages (for younger adults, adult and older adults) and for artifact sensitivity to light. Refer to Table 1 for samples of light level measurements and recommendations. Of the 48 possible combinations (N=48) of visual age and light sensitivity considered, there were only seven incidents of compliance (n=7, 7.77%). About one half of the light levels measured were over $\pm 10\%$ of the recommended maintained illuminance targets (n=47, 52.22%). Over one third (n=36, 40%) of the light level measurements were under $\pm 10\%$ of the recommended maintained illuminance targets.

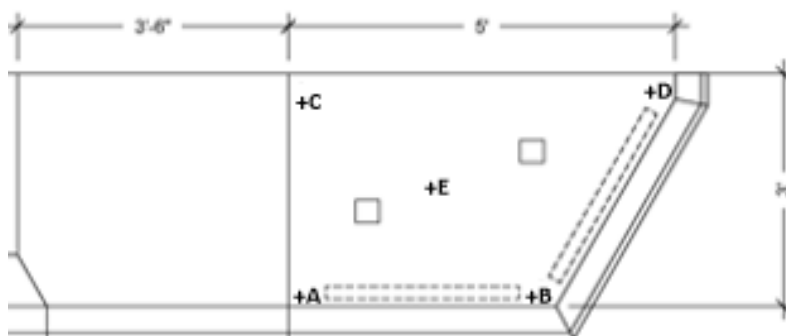


Figure 8. Plan view of existing physical museum display cases with table of light level measurement locations.

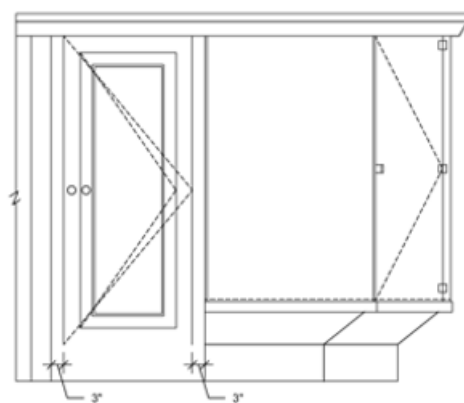


Figure 9. Elevation view

museum display cases

of existing physical

Table 1. Light level measurements and recommendations

Sample of Target Maintained Illumination Recommendations for Low sensitivity to light					Sample of Light level measurements							
Younger Adults <25		Adults, 25-65		Older Adults>65	Height Measured	Units		Compliance			Position in Case	
Lux	Foot candles	Lux	Foot candles	Lux	Above Floor of Case	Lux	Foot candles	Younger	Adults	Older		
100	9.29	200	18.6	400	37	0'-0"	334	31.03	>	>	<	Front Left
							416	38.65	>	>	x	Front Right
							334	31.03	>	>	<	Back Left
							401	37.25	>	>	x	Back Right
							400	37.16	>	>	x	Center
100	9.29	200	18.6	400	37	2'-6"	526	48.87	>	>	>	Front Left
							763	70.89	>	>	>	Front Right
							496	46.08	>	>	>	Back Left
							595	55.28	>	>	>	Back Right
							788	73.21	>	>	>	Center
						4'-0"	1060	98.48	>	>	>	Front Left
							518	48.12	>	>	>	Front Right
							770	71.54	>	>	>	Back Left
							1271	118.1	>	>	>	Back Right
							788	73.21	>	>	>	Center

X Indicates compliance with recommended level

> Indicates measured light level was less than recommended level

< Indicates measured light level was more than recommended level

3.2 Virtual Environment

3.2.1 Developing the Virtual Environment (the 3D environment that houses the virtual artifacts)

A 3D Virtual Museum environment was developed by the researchers to host the reproduction museum artifacts. Refer to Figure 10 for a screenshot of the Virtual Museum. The Virtual Museum was intended to be accessible as an immersive, VR HMD-based experience as well as through a non-immersive experience via a web browser. The Virtual Museum was configured so that it could be downloaded through a dedicated website for the users. The downloadable file required no additional set-up.



Figure 10. Immersive Virtual Museum Screenshot

The website that was developed to host the 3D scanned artifacts included metadata tags, which was intended to allow users to search through the collection. The website was kept simple so that the users were able to interact with it easily. Refer to Figure 10 for a website interface screenshot.

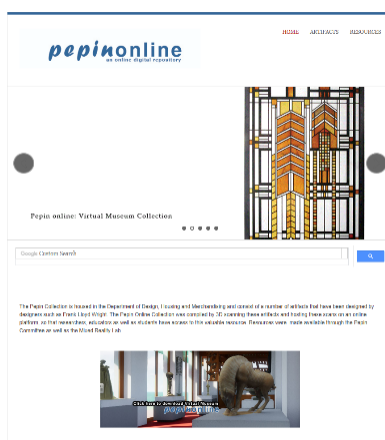


Figure 11. Website interface screenshot

3.2.2 3D Scanning and developing the virtual artifacts

For the initial phase of the project, thirty-two artifacts were 3D scanned using hand-held 3D scanners, Photogrammetry and Desktop 3D scanning. The 3D scans were refined and hosted on a 3D model sharing platform called Sketchfab. The use of Sketchfab allowed the artifacts to be embedded on a dedicated website for the artifact collection. Refer to Figure 12 for a screenshot of the website interface with information and embedded Sketchfab element.

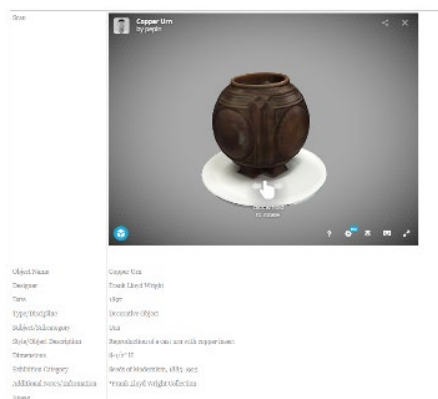


Figure 12. Website interface with information and embedded Sketchfab element

The Sketchfab platform allowed additional enhancements to be made to the artifacts, including enhancing lighting conditions and added VR support for the artifacts. Refer to Figure 13. For a screenshot of the scanned artifacts with enhancement.

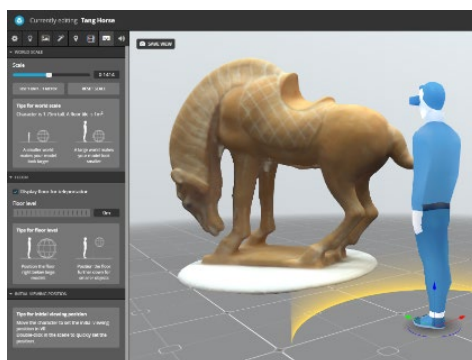


Figure 13. Sketchfab Interface for enhancing scanned artifacts

4. DISCUSSION AND CONCLUSIONS

4.1 Existing Display Cases

The IES makes recommendations for light level ranges for younger and older “visual ages”. The primary age of display case viewers were expected to be younger (i.e. traditional undergraduate students). However, older viewers including non-traditional students, graduate students, University faculty members, staff and community members were also anticipated to visit the display cases and their needs should also be considered. The existing display case lighting system was controlled by one switch, permitting “on” or “off” only of one light level which was below recommendations for older eyes and higher than recommended for younger eyes. Further the existing lighting system was not flexible and could not react to variances in artifact composition in display cases. Further, older adults typically have more visual challenges with glare and unshielded light sources can be a source of glare.

4.2 Virtual Museum

With new developments in technology, 3D scanning of museums artifacts has been increasing [9]. The techniques employed in digitizing museum collections have been found to be time consuming as well as costly [10]. In the current project, the researchers focused on relatively simple methods that could be used to digitize an artifact collection. However, the methods employed in this project required a few improvisations. The researchers experimented with different types of lighting and lighting levels. The researchers found the desktop scanning method to be time consuming and decided to scan only small artifacts with fine details using that method. The researchers also utilized low-tech strategies in their methodology, such as the use of a rotating cake plate which had been originally intended for home bakers’ use in frosting cakes.

3D scanning required the researchers to work with different technologies so that the most suitable method could be selected for the different objects in the collection. The collection of objects included small, medium and large objects. Different lighting conditions were used in the scanning of the objects using the hand-held scanner, and it was found that the LED illuminated scan had the most comprehensive results in terms of points in the 3D point cloud of the scan. The LED difference: LED BrightStik provided better results since it took less time to complete the scan as well as having lower amount of noise in the resulting scan. Furthermore, among the different techniques used, it was evident that high-resolution images supporting the 3D model in ReCap, allowed for visualization of finer details than those captured using a hand-held 3D scanner. Therefore, items that had finer details were scanned using the ReCap

วารสารวิชาการ ผลงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)

Journal of Building Energy & Environment VOL.4 (June 2020)

Photogrammetry software. Refer Figure 14 for a comparison of scans taken with the hand-held scanner and utilizing Photogrammetry.



Figure 14. (a) Foo Lion, Hand-held scanner (b) Foo Lion, ReCap Autodesk Photogrammetry Scan

For smaller object scanning, a desktop 3D scanner was used even though the process took significantly more time. The achieved level of artifact detail was superior to those scanned through the previously mentioned methods.

5. Conclusions and Recommendations

5.1 Existing Display Case

While the challenges of accessibility will still exist, the researchers see merit in continuing to exhibit the physical FLW artifacts in the existing University display cases. The existing lighting systems were aging, unshielded, and did not utilize the latest technology. However, CRI and CCT were determined adequate. The researchers recommend lighting retrofits to improve view-ability and sustainability of artifacts that met lighting industry standards for light quantity, lighting system control flexibility and response to artifacts' light sensitivity. The researchers recommended a new, shielded, LED system controlled by occupancy sensors for the basic lower light level of display case illumination which would be adequate for younger adults and also meet recommendations for the most light-sensitive artifacts. Additionally recommended retrofits included a timer-controlled, on-demand, supplementary lighting system providing a higher light level for older adults. This proposed solution would support artifacts with low or no light sensitivity. LEDs are inherently energy-efficient and long-lived and these attributes will contribute to sustainability. LEDs are available in various Color Rendering Indices (CRI) and Correlated Color Temperature (CCT). For enhancement of artifacts and display case ambience, the researchers recommend that the LED retrofit utilize high CRI and Warm CCT products.

5.2 Virtual Museum

The researchers recommend conducting a usability study for the virtual environments on both the online platform as well as the virtual museum. It is recommended that the interaction factors, i.e., Navigation, Manipulation, and System Control as well as usability factors, i.e., Ease of Use, Efficiency and Satisfaction be evaluated.

6. Acknowledgement

The authors wish to thank Mackenzie Erdley, Oklahoma State University Freshman Research Scholar, for lighting data collection. The authors also thank Yang Pei, undergraduate student for her contributions to data collection and testing portions of this research project. Additional student workers acknowledged for this research include Kylee McNabb Savanah Bush and Rachel Sample for contributions towards data collection and equipment testing. The authors acknowledge the Pepin Committee for funding the virtual aspects of this project.

7. References

- [1] Hanks, D. A., Wright, F. L., & Gallery, R. (1999). The Decorative Designs of Frank Lloyd Wright. Courier Corporation.
- [2] DiLaura, D. (2011). The lighting handbook reference and application. NY, NY: IES.
- [3] Walczak, K., Cellary, W., & White, M. (2006). Virtual museum exhibitions. Computer, 39(3), 93-95.
- [4] Schweibenz, W. (2004). Virtual museums. The Development of Virtual Museums, International Council of Museums (ICOM) News Magazine, 3, 3.
- [5] Boas, Y. A. G. V. (2013, August). Overview of virtual reality technologies. In Interactive Multimedia Conference (Vol. 2013).
- [6] Wilson, C. J., & Soranzo, A. (2015). The use of virtual reality in psychology: A case study in visual perception. Computational and mathematical methods in medicine, 2015.
- [7] Schenk, T. (2005). Introduction to photogrammetry. The Ohio State University, Columbus, 106.
- [8] Potter, E, (2018, March 17) Frank Lloyd Wright Gordon House, The Oregon Encyclopedia, Retrieved from <https://oregonencyclopedia.org>
- [9] Kuzminsky, S. C., & Gardiner, M. S. (2012). Three-dimensional laser scanning: potential uses for museum conservation and scientific research. Journal of Archaeological Science, 39(8), 2744-2751.
- [10] Payne, E. M. (2013). Imaging techniques in conservation. Journal of conservation and museum studies, 10(2).

Improving the Energy Performance of a Convention Center Building

Fatma Merve İŞİK, Hatice SÖZER

ABSTRACT

Energy-efficient design is becoming very important not only for the depletion rate of energy resources but also for the reduction of the carbon dioxide gas emission. To be able to obtain the highest efficiency with the lowest energy consumption several measures can be taken such as the improvements of envelope's thermal performance, and the use of active and passive systems.

In this study, improvement suggestions for the application of an energy-efficient conference center located in Soma, Manisa (in Turkey), a province with a semi-humid climate, have been examined. Different strategies have been presented by using passive and active solutions to meet the credentials of the "Net Zero Energy Building" or "Approximate Zero Energy Building." First, the three-dimensional energy model of the building was created through the eQUEST program by using the current plan and other building specifics. Buildings cause significant energy consumption during their life-span and consequently, environmental effects are integral. For the second stage of the study, the energy improvement method of the conference was achieved by proposing different layers in the building elements, whilst PV panels being mentioned as an active solution. In line with the strategies created, changes in energy performance were evaluated through the eQUEST program. According to the energy analysis results data of the "Current Situation" and "Improvement Scenarios" on the annual use of the Conference Center Building, total energy efficiency increases by 26%. This performance is achieved with an efficiency of 19% in electricity consumption and 38% in gas consumption, and an increase in energy performance is observed with a decrease in total energy consumption. In addition, it has been observed that a total of 223.1 MWh can be achieved

annually with 525 modules installed on the green roof using “PVsyst” program for photovoltaic panels, which are proposed to be integrated as renewable energy sources.

Keywords: Energy Efficient Building Design, Zero Energy Buildings, Energy Consumption, Convention Center, Whole Building Energy Simulation.

1. INTRODUCTION

Nowadays, it is possible to build sustainable structures with zero carbon emissions and achieving a minimum use of resources and waste production by developing qualified design and application principles without causing any increase in lifetime costs (Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources, 2016). In order to obtain a sustainable and environmentally friendly structure criterion, there have to be concrete steps towards reducing the use of fossil fuels, such as oil, natural gas. As a way to meet the standards of the concept of low-energy buildings (Passive, Approximate Zero Energy, Zero/Plus Energy Building), all phases including construction and demolition should be taken into consideration (Technical Assistance for Improving Energy Efficiency in Buildings, 2016).

Zero-energy building is defined as buildings that have significantly lower energy requirements and use renewable energy sources to meet this need (Hermelink, et al., 2013). Along with this, the amount of annual energy being less or equal to that of the supply of renewable energy, is also a definition of an energy-efficient building (The U.S. Department of Energy by The National Institute of Building Sciences, 2015).

This study aims to analyze the energy consumption of a selected Conference Center while developing strategies for energy efficiency with their environmental impacts. Within the scope of the study, to cover the heating and cooling consumption of the Convention Center, the whole year's energy performance was analyzed by utilizing the "eQuest" program. Afterward, certain strategies were determined, to reduce energy consumption. In the second stage, changes were

made regarding the data proposed in the eQUEST program to evaluate the strategies. Finally, the performance analysis for the data received as a result of the application of the structure's current situation data and the proposed scenarios were compared.

Suggested strategies to reduce energy consumption and carbon footprint are:

1. Improvement on the thermal permeability coefficients (U value) by changing the layers in the building openings that cause the thermal bridge,
2. Improvement on the thermal permeability coefficients (U value) by changing the layers of the solid elements that enhanced the building envelope,
3. Integration of the photovoltaic system that generates electricity using solar energy, which could be the alternative energy source,
4. Combination of all strategies to evaluate energy performance.

It has been observed that improvement in energy performance could be achieved by making changes in building components and integrating renewable energy technologies into the design. Further, it is very critical to consider the carbon footprints and embodied energy of applied strategies.

2. LITERATURE REVIEW

In recent years, many national and international academic and scientific theses, publications and studies on “Building Energy Performance” and “Energy Efficiency in Buildings” have been made. Approaches taken within the scope of the studies conducted to evaluate the energy performance levels can be defined as;

- Examination of energy-saving applications,
- Evaluation of energy generating systems,
- Evaluation of both energy-saving methods and energy generating systems together

Including these three definitive approaches, some sources used in literature review and general approaches in studies including detailed master's theses, research reports and articles are detailed below. Although there are many studies within the scope of energy performance, some of the

studies conducted to improve building energy performance are as follows;

In her master thesis, Çiğsem Yağmur Yüksel aims to increase the energy performance of buildings in the Adana region by comparing two buildings with the same heating and cooling demands but with different structural layers. In this study, the effect of applications such as increasing window transparency, improving glass type, adding shading elements, as well as green roof selection among passive design techniques about the house structure was analyzed with the "eQUEST" program. By developing five different energy models, the differentiation between the energy performance of each has been revealed. According to the obtained data, energy consumption was reduced by 40% in the reference structure, 6% reduction in heating loads was achieved with the effect of passive solar design, 6% in electricity consumption and 55% in gas consumption were achieved with the use of green roof. As a result, it is calculated that 48% energy saving will be achieved annually with the implementation of all improvement proposals (Yüksel, 2019).

In their study, Parasonis and others, examined the effect of architectural volumetric design solutions on reducing building energy consumption without the need for a structural or mechanical improvement in the building. The results show that structures with the same area but different shell properties have different energy consumption potentials and geometry is a very effective factor on the building's energy consumption overall (Parasonis et al., 2012).

Gazioğlu and others, aimed to reduce the need for building heating energy by changing certain variables during the design phase. By choosing a building that complies with the regulations, the heating energy consumption amount was calculated for the desired period with the simulation program. A comparison on the passive design variables, different building forms and different climatic zones have been made. Accordingly, a change up to 20% in heating energy consumption was achieved in areas where heating was desired by changing the passive design variables. Also, during the design phase, it turns out that variables such as building form and building envelope should be handled differently for each climate zone (Gazioğlu et al., 2013).

Sezer has examined and evaluated the performance criteria of various glass units for solar control,

light transmittance, color and light reflection to ensure optimal comfort conditions (Sezer, 2005).

Tzempelikos and others, compared high-performance glass and standard glass, which provide thermal and lighting comfort conditions. As a result, when using low permeability glass, the need for artificial lighting and heating load has risen (Tzempelikos et al., 2010).

Nurten Ceylan has evaluated the most commonly used thermal insulation applications and the environmental impact of the production process, resulting in the inception of the graduate thesis as a way to increase energy efficiency in the buildings of Turkey. XPS (Extruded Polystyrene Foam), EPS (Expanded Polystyrene) and rock wool (TSY) applications used in the thermal insulation studies of Istanbul, were analyzed with "SimaPro 7.1" simulation program based on the life cycle analysis approach. As a result of the study, when the production and construction processes of XPS, EPS, and TSY applications are compared, it is seen that the environmental impacts of production are more than ten times the impacts of the production process. Compared to the TSY application, it was found that the EPS application had 4% and XPS application had 22% less environmental impact (Ceylan, 2012).

In the master thesis, the potentials of a solar city in Manisa, which was developed by Ece Özmen, in connection with the support of renewable energy sources were evaluated. To test the benefits of the use of solar energy, three densities were selected according to their intensities, low dense, medium dense and very dense, and the roof area of each of the dwellings in these areas was calculated through "NETCAD" program. With the help of the "Pvsyst" program, annual electricity generation potentials can be obtained with solar energy systems, which are compatible with any roof structure of houses, were calculated. As a result of the simulations, it is envisaged that the annual electricity demand of the less dense island will be met by photovoltaic systems. While it is expected that 88% of the annual energy need will be met by solar energy in the medium-dense building island, it is seen that it is possible to meet 45% of the very dense building island (Özmen, 2018).

"Improving Energy Efficiency through the Design of the Building Envelope" by Hatice Sözer is an article that scrutinizes the improvement plans of a hotel's overall energy performance, with the implementations of the passive solar design techniques. In this research, the "eQuest" software, one of the energy analysis programs, was used to model the hotel building in İzmir. A model based on the assumptions was developed for the comparative evaluation phase. A 21-story lightweight hotel building (based on an existing hotel built in Izmir in 1992) was created to assess the energy performance (Sözer, 2010). The comparative strategies are: 1) Addition or improvement of exterior wall insulation and improvement of the glass system, 2) Reducing the percentage of exterior windows on the facades, 3) The addition of shading elements.

The building envelope determines the energy exchange between the outdoor and living spaces and therefore affects the overall energy performance of the building due to heat transfer. This study demonstrates the importance of building shell design in terms of energy efficiency for a large building. Proper thermal insulation, glass-type, and shading elements are proved throughout the study to have the ability to reduce heat loss from the building envelope, 86% reduction for heating, 60% reduction for cooling and total building energy showing a 40% reduction in success (Yüksel, 2019).

Utkucu and Sözer, made a comparison with the contemporary architectural elements by examining the basic state energy performance of the traditional house selected according to its energy performance through the use of the "eQuest" software. As a result, they came to the conclusion that, the traditional stone house has a better energy performance compared to the concrete and wooden house, which is one of the architectural elements of today (Utkucu, Sözer, 2019).

Dikmen and Savcı, aimed to discuss the role of green roofs on the scale of the city and building and to eliminate the problems that may be encountered in practice. By explaining the benefits of green roofs in the study, they support the implementation of the green roof samples carried out in Turkey and in the world. The research shows that energy consumption will decrease by 24-50%,

CO₂ emission by 33-39%, water consumption by 40% and waste by 70% if using structures according to environmentally friendly definitives (Dikmen, Savcı, 2015).

Aksamija, based on extensive energy modeling and simulations, has examined many design issues such as material selection, improvements in building envelope, strengthening HVAC and lighting systems, occupancy loads and the application of renewable energy sources. Using an existing commercial building, it is aimed to explore how the building can maximize energy savings by using renewable energy sources for its energy needs and how to achieve net zero energy targets. Research results show that the commercial building can meet net zero energy use after the use of appropriate design variables and multiple renewable energy sources (Aksamija, 2016).

Cooperman and others, have examined strategies for strengthening the building shell, an important step in improving the energy performance of existing commercial buildings (Cooperman et al., 2011).

Erkmen has investigated the variations for building cooling, which increases in importance with global warming and causes energy expenditures. He compared the cooling loads of a sample structure with different methods in hot humid and hot dry climatic regions. As a result of the research carried out in Antalya and Diyarbakır provinces, it observed the effect of relative humidity factor on temperature increase and thermal comfort. In the study, it is stated that there is a need for more cooling load in the hot humid climate zone compared to the hot dry climate zone (Erkmen, 2005).

Zoroğlu and others, argue that providing thermal comfort conditions and reducing energy consumption are closely related to design decisions such as orientation and building shell components. He determined that energy consumption was reduced by improving the U value of the building envelope components and changing the mechanical system. However, in order to provide energy efficient building design, it states that it is important to consider the transparency rates of buildings, their orientation with respect to the sun, and the holistic handling of noise control (Zoroğlu et al. 2018).

In the literature scanning process, it was seen that interventions to the building envelope and building components and the use of active and passive systems were applied in the buildings in line with the zero-energy approach. The following; energy performance of buildings with different structural layers, the materials used in manufacturing and the respective production process, environmental impact of the use of renewable energy sources and photovoltaic panels in a likewise location (Manisa, Turkey), utilization of energy analysis program and design phases, establishing the improvement scenario, improving glass systems and changing transparency ratios, the effects of green roofs, the effect of building orientation and geometry on energy consumption potentials, mechanical systems, different climatic zones, commercial buildings where conference centers are included, as well as energy performance analysis in buildings with different functions, were investigated. In the study, different strategies that will be evaluated by using and suggested to be used in energy performance evaluation and improvement studies are included. Further research and experimentation are required with practical case studies on the energy efficiency improvement applications of the commercial building. In this study, considering the literature reviews given, energy efficient improvement strategies have been implemented for the existing Conference Center building. Energy consumption reduction targets were tried to be achieved through diverse and holistic applications.

3. METHODOLOGY

Methodology has been developed to examine the current energy performance of the Conference Center in Soma-Manisa and to offer suggestions for improvements based on the data obtained. Improvement suggestions are not only limited to layer changes, but all components are completely replaced. Accordingly, the study also emphasizes the importance of building energy analysis in the early design phase of a building. The total primary energy consumption of the building was calculated through the "eQuest" energy simulation program. Improvements in energy-efficient design were presented by considering the architectural features and usage profile of the building. Strategies to reduce annual energy consumption were determined accordingly. The main objective

is to evaluate the energy performance of the applied strategies. In the early design process, it is important to determine the impacts of the building on the environment in advance.

The steps taken to analyze the building energy performance is as follows:

- Identification of the environmental data
- Identification of the current building data
- Defining variables related to the improvement scenarios
 - Reducing thermal transmittance coefficients (U-value) in building openings (windows and doors),
 - Reducing the U value in building envelope components (floor, roof and walls),
- Integration of photovoltaic systems (active systems).
- Evaluating the effects of strategies developed within the framework of “improving energy efficiency” on building energy performance.

The working process, including the given steps, is shown in detail in Figure 1.

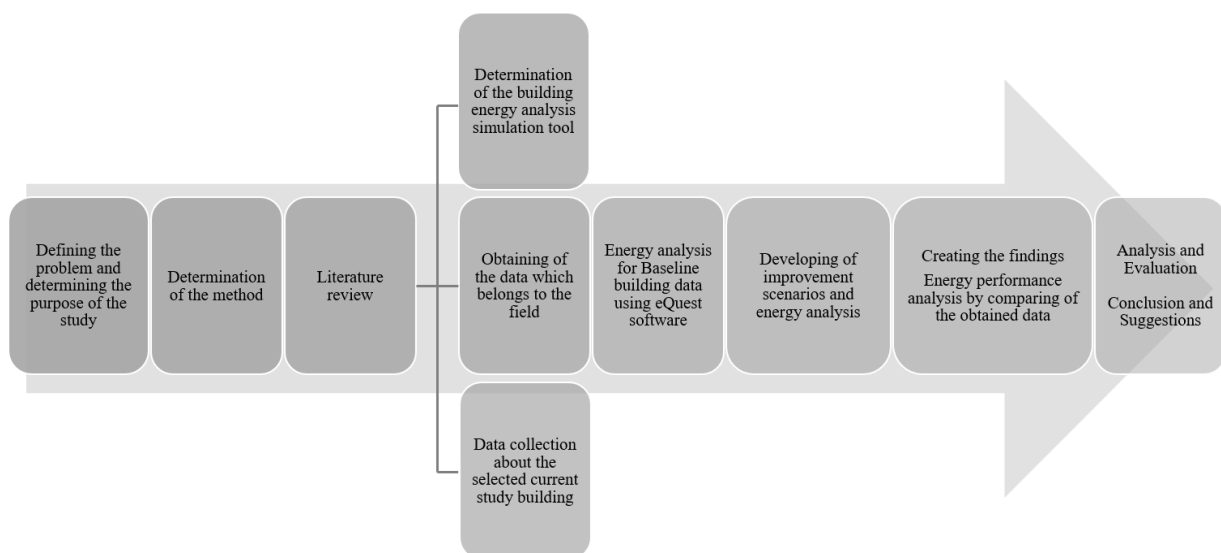


Figure 1. Process steps

3.1. Identification of the Environmental Data

3.1.1. Geography

Soma district is located between $27^{\circ} 36'$ east longitude and $39^{\circ} 11'$ north latitude. More than 50% of the land in Soma is mountainous, surrounded by mountains from the south, east, north and northeast. Because the mountains around the plains are not high enough to cut off the sea effect and their vertical position, the effect of the sea is felt to a decreasing extent from west to east (Municipality of Soma, 2019). The location of Soma, situated in the Aegean Region of Turkey, the aerial views of the study case and the district are shown in Figure 2.



Figure 2. Soma, Manisa's location; Aerial view of the district and the location of the study building;

Aerial view of the study building (Google Earth, 2020).

The physical environment in Soma has been altered by the effect of the thermal power plant operating near the city center. This alteration has caused many environmental problems such as deforestation, loss of productivity in agricultural soil, surface and underground water pollution and air pollution, in and around the city (Karadağ, 2006).

3.1.2. Climate Data

The climatic data of Soma, a district of Manisa, was used as the study area for the conference building proposal. The information was investigated for both the initial design process and the evaluation of the improvement stages.

Soma and its Surroundings: According to the methodic studies of researchers such as Koppen, De Mortann and Erinç, the climate classifications of Turkey define Soma as a “semi-humid Mediterranean climate type”. In this region, the winters are the rainiest, and the summer is almost rainless. The average temperature of the region, which has its hottest days in July, is around 23-24 ° C, and in winter it is often much lower as it is often exposed to cold air currents from the Balkans. The coldest month is January and the average temperature is 3-5 ° C. In winter, there is much more rainfall than in summer. Frequent frost incidents are observed (Municipality of Soma, 2019).

3.1.3. Solar Power in Soma, Manisa

The sunshine times are an important factor to determine the solar energy potential of a given area. Our country is one of the leading countries in Europe with an annual energy potential of 380 billion kWh (Demir, 2012). Figure 3 shows the high sunshine potential, global radiation values and average sunshine duration of Soma, a district of Manisa, every month (Turkish Solar Power Atlas (GEPA), 2019).

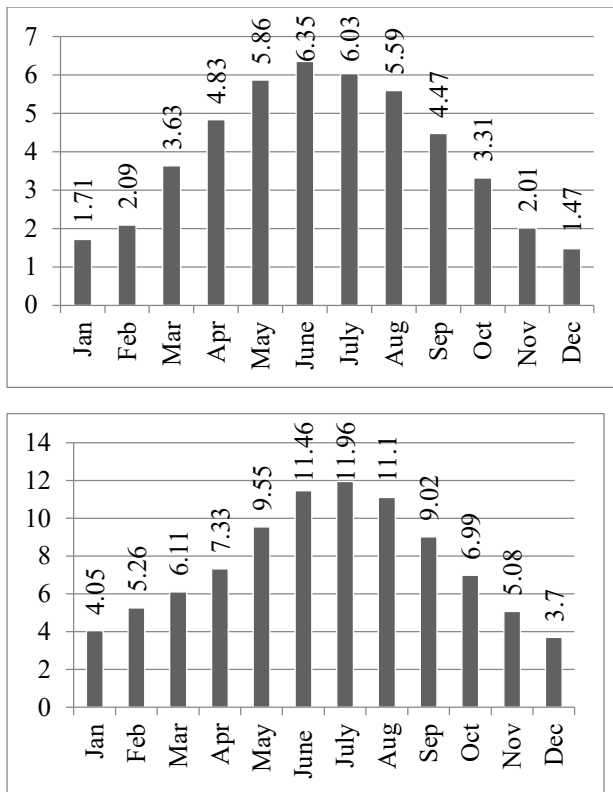


Figure 3. Soma Global Radiation Values (kWh/m²-day); Soma's Values of Sunshine Duration (hour).

The sun is also the energy source of many passive-active energy systems that we provide energy to. Taking into account the annual energy potential of our country from the sun, by taking advantage of this opportunity arising from geographical features, both savings can be achieved and the impact of environmental pollution can be reduced thanks to this unlimited and environmentally friendly renewable energy source (Aksungur, Kurban, Filik, 2013).

3.1.4. Building Orientation

Building orientation is one of the criteria of architectural planning that affects the heat and energy performance of buildings. The daylight situation depends not only on the latitude but also on the orientation of a building, with every facade or material of the building requires a different design significance. Therefore, daylight and architectural design strategies are inseparable (Capeluto, 2003). In this respect, examining traditional architecture and successful natural lighting designs strategies from the past is concerned in our study to understand climate-balanced building design.

3.2. Identification of Data during the Initial Building Design

3.2.1. Building Type and Space Organization

The building has a 4837 m² usable area, which includes the Convention and Meeting Center, Lobbies (Main Entry and Assembly), Dining Area, Corridor, Kitchen, and Food Preparation Spaces, Restrooms, Theater (Motion Picture) and related building services. The ground floor plan of the existing conference center building used in the study and the condition of the rooms determined by the “eQuest” program has been shown in Figure 4.

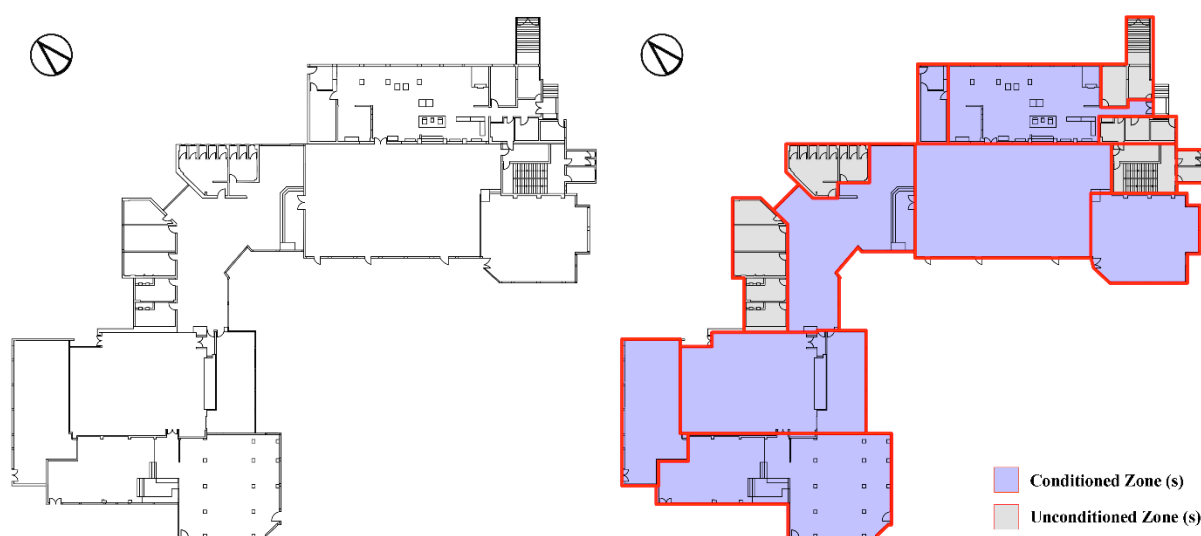


Figure 4. Schematic plan of the Working Conference Center Building;
Air conditioned and non-air conditioned areas identified in the “eQuest” software.

Conference centers are categorized as a commercial building. In the architectural design of commercial buildings, considering the zoning and block/plot situation, heat, natural ventilation, and lighting needs should be kept to a minimum and natural heating, ventilation, and lighting facilities should be utilized as much as possible, taking into account the effect of the wind and sun. In the orientation of the interior spaces, undesirable heat gains and losses should be prevented with the architectural solutions created by considering the meteorological elements such as sun, humidity, wind, rain, and snow in the climate zone where the structure is located. When organizing living spaces, spaces that are used for a long time should be placed in such a way that they get sufficient

efficiency from the sun's heat and light along with benefiting from the natural conditions (Özüpak, 2008).

The high energy efficiency indicators depend on improperly designed projects and construction. At this stage, the total heat transfer coefficients ($\text{W/m}^2 \text{ K}$), as well as insulation standards such as the location, form and physical characteristics of the facade, should be determined to provide optimum energy performance concerning the temperature zones (TS 825, 2008).

3.2.2. Conference Center User Profile

A building's user profile is an important factor for building energy performance analysis. To calculate the energy performance of a building in the most accurate way, it is important to determine the occupancy rates for each building by separating the buildings according to their functions. Since the user profile, occupancy times and operating conditions of each building are different, their energy-saving potentials also vary (Aksakal, 2011). As a result of these studies, user profiles of a conference hall were determined as shown below (Figure 5).

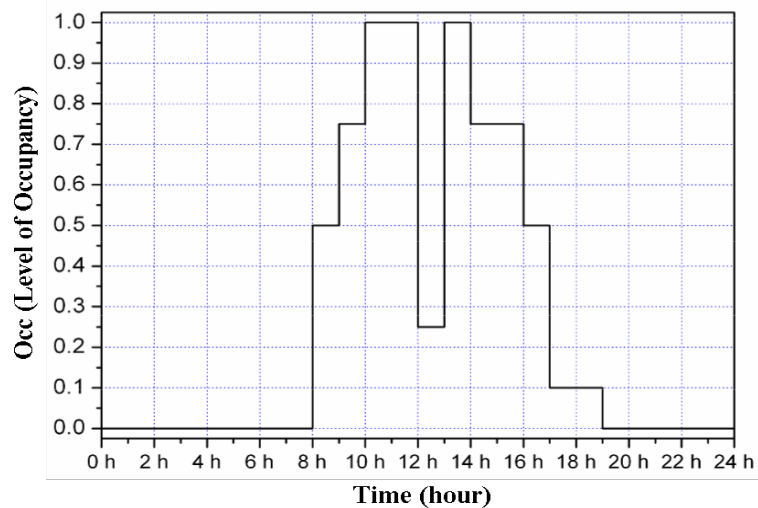


Figure 5. User Profile of the Conference Hall (TS EN 15232, 2008).

Working hours should be known when evaluating the conference rooms and specific functions should be designed for the system to be used. As stated above, conference hours generally reach maximum occupancy around 10 AM and 2 PM, the occupancy rate decreases considerably since there is a break between 12 AM and 2 PM (TS EN 15232, 2008). Considering the function of the

studied Conference Center Building, the occupancy period was defined between 08:00 and 22:00 during the whole week (Monday through Sunday). Accordingly, in terms of user comfort, ventilation and air conditioning (HVAC) systems start working 1 hour before use (07:00) and continue to work 2 hours (00:00) after closure. Considering the factors such as age, gender, clothing status, a large spectrum constitutes to the building's user profile.

3.2.3. Building Components of the Existing Building

The materials and properties of the existing building components are shown in Table 1.

Table 1. Building Component Materials and Properties for the Convention Center

Building Components	Name	Unit weight (kN/m ³)	Area (m ²)	Volume (m ³)	Material Mass (kg)	U values (W/m ² K)
Convention Center- Interior Doors	Wood Door Panel	6.87	185	3.47	2430.85	-
Convention Center- Exterior Doors	Glass	23.7	31	0.05	120.83	1.8
	Wood Door Panel	6.87	16	0.16	112.09	
Convention Center- Windows	Glass	23.7	164	1.03	2489.19	1.8
	Wood Door Panel	6.87	137	1.52	1064.81	
Convention Center- Ground Floor	Ceramic Tile	11.767936	4837	12.09	14501.83	0.57
	Concrete - Sand/Cement Screed	18.632566	4837	12.09	22961.23	
	EIFS - Exterior Insulation and Finish System	0.000077	4837	241.84	1.90	
	Concrete	23.607104	4837	2152.41	5178277.17	
Convention Center- Wall	Paint	0.076973	3929	8.93	70.07	0.57
	Plaster	0.000077	3896	75.88	0.60	
	EPS	0.490331	2117	108.14	5404.19	
	Concrete	23.607104	1975	335.41	807404.45	
Convention Center- Roof	Roofing - Tile	19.122897	2532	75.96	148037.42	0.38
	Insulation- Wool	1.961323	2532	50.64	10122.22	
	Wood	0.076973	2532	126.60	993.13	
	Air Barrier - Air Infiltration Barrier	0.000077	10128	1012.84	159158.72	

3.2.4. Energy Model with the use of “eQuest”

3D geometric modeling of the building was made with the "e-Quest 3-64" program, one of the energy simulation tools with a user-friendly interface with ease of use and quality results. The model was created using a more detailed and data-intensive "Development (DD) Wizard" in the program, which uses three different levels of input data: the schematic design wizard, the design development wizard, and the detailed (DOE-2) interface.

The simulation input data in the program defined for the initial phase is as in the Table 2.

Table 2. Input Summary Design Model Characteristics

General	
Location	Soma, Manisa in Turkey
Simulation Weather File	Custom weather file GBS_06M12_18_073262.bin
Modeling Software	eQuest 3.64
Building Area	4837 m ² (Conditioned+Unconditioned)
Hours of Operation	Monday to Sunday: 8.00am to 10.00pm
Envelope Performance	
Overall Roof U-value	0.38 W/m ² K
Overall Wall U-value	0.57 W/m ² K
Overall Glass U-value including frame	1.8 W/m ² K
Mechanical Systems	
Indoor Design Temperature for Conditioned Areas	Occupied: 70°F heating, 76°F cooling Unoccupied: 64°F heating, 82°F cooling
Maximum Heating Supply Air Temperature	Heating: 95°F
Minimum Cooling Supply Air Temperature	Cooling: 55°F

From the conceptual analysis stage to the final stage of the design, energy simulation and comparative calculations were used to obtain energy consumption data for the building through “eQuest,” a program that can be used throughout the entire stages of the design process. The

three-dimensional model of the structure created with the “eQuest” software using the current definitive features has been shown in Figure 6.



Figure 6. The “eQuest” 3D model obtained using “Baseline” data.

Figure 7 and Table 3 show the monthly and annual electricity consumption, Figure 8 and Table 4 show the energy consumption data for monthly and annual general space heating. Table 5 summarizes the energy consumption per year and per m^2 obtained from the energy analysis.

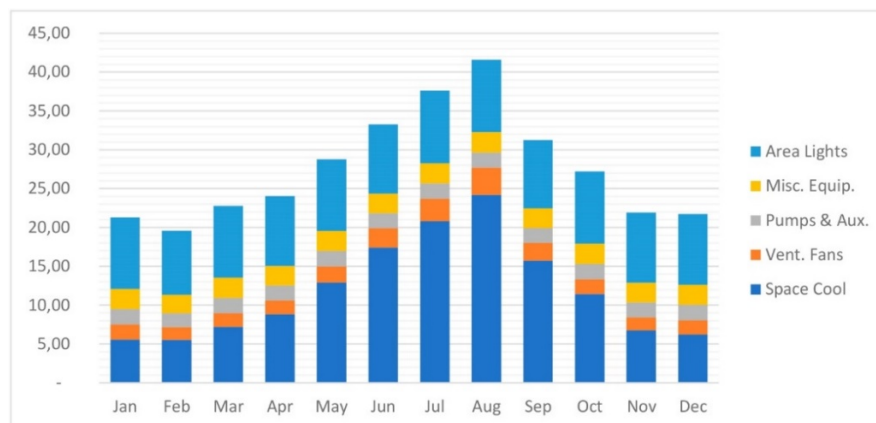


Figure 7. Electric Consumption (kWh) (x000)

Table 3. Electric Consumption (kWh) (x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	kWh/1 year
Space Cool	5,57	5,54	7,21	8,86	12,92	17,41	20,83	24,19	15,75	11,42	6,76	6,23	142,7
Vent. Fans	1,96	1,65	1,75	1,74	2,08	2,5	2,86	3,49	2,28	1,91	1,69	1,83	25,73
Pumps & Aux.	1,98	1,79	1,98	1,92	1,98	1,92	1,98	1,98	1,92	1,98	1,92	1,98	23,35
Misc. Equip.	2,59	2,34	2,59	2,52	2,59	2,51	2,6	2,6	2,5	2,6	2,52	2,58	30,54
Area Lights	9,2	8,27	9,24	9	9,2	8,93	9,34	9,34	8,79	9,31	9,03	9,1	108,73
kWh/1 year	21,31	19,59	22,78	24,04	28,79	33,27	41,6	41,6	31,24	27,22	21,91	21,72	331,04

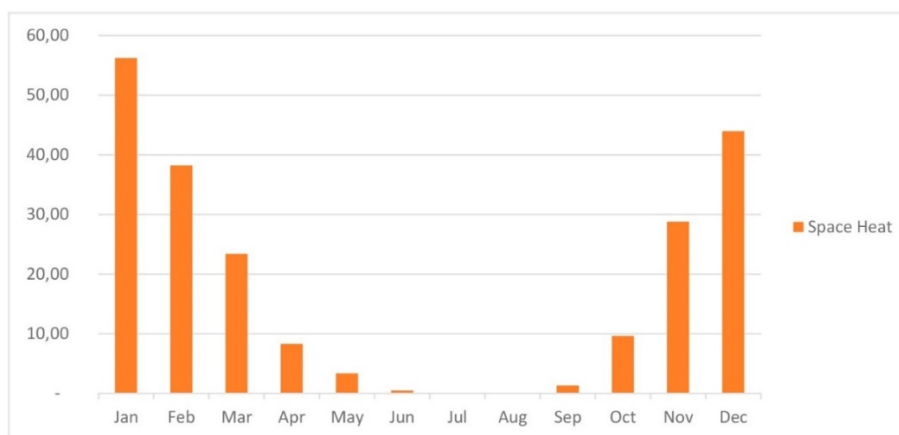


Figure 8. Gas Consumption (kWh) (x000)

Table 4. Gas Consumption (kWh) (x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	kWh/1 year
Space Heat	56,2	38,19	23,38	8,28	3,35	0,5	-	-	1,33	9,6	28,79	43,96	213,63
kWh/1 year	56,2	38,19	23,38	8,28	3,35	0,5	-	-	1,33	9,6	28,79	43,96	213,63

Table 5. "Baseline" Energy Consumption Data Achieved by the use of the "eQuest" Program (kWh)

Energy consumption (kWh)/1 year		Energy consumption (kWh)/m ² .1 year	
Electricity	Heating	Electricity	Heating
331.040	213.631	68,44	44,17
Total energy consumption (kWh)/1 year		Total energy consumption (kWh)/m ² .1 year	
544.671		112,61	

According to the energy performance analysis made for the existing building, the annual total energy consumption of the building was 544671 kWh and the energy consumption per m² was 112.61 kWh. The data obtained is an initial output for the design. Strategies for energy-efficient improvement have been developed and it is aimed to approach the zero-energy building concept by reducing energy consumption.

3.3. Definition of Variables Related to the Improvement Scenarios

By taking into account the amount of energy consumption and location obtained for the Conference Center, they defined different variables in the building structural components and the "PV Panel" application was proposed as a way to prioritize solar energy as an alternative energy source. By increasing the thermal resistance of the walls, floors, and roof structure elements, along with separating the internal environment of the building from the external environment, the aim to minimize the heat transfer between the outdoor air and living spaces, as a way to reduce the energy consumption of the building by gaining energy from the sun, was set at the main goal.

The total heat transfer coefficients which will be accepted as the highest value according to the regions for the existing buildings are as in Table 6.

Table 6. Turkey's U Value (Total Thermal Transmittance) Coefficients by Regions (TS 825, 2013).

	U_D W/m^2K	U_T W/m^2K	U_f W/m^2K	U_p W/m^2K
1 st zone	0.66	0.43	0.66	1.8
2 nd zone	0.57	0.38	0.57	1.8
3 rd zone	0.48	0.28	0.43	1.8
4 th zone	0.38	0.23	0.38	1.8
5 th zone	0.36	0.21	0.36	1.8

U_D : Thermal conductivity of outer wall $[W/m^2 K]$,

U_T : Coefficient of heat permeability of the ceiling $[W/m^2 K]$,

U_f : Number of thermal conductivity of floor/slab $[W/m^2 K]$,

U_p : Thermal conductivity of window $[W/m^2 K]$.

According to TS 825, climatic conditions affect the U values of the structural elements and the climate data for simulation. TS 825 standards were examined and 2nd Region data was taken into consideration as degree day zone for Manisa. Necessary calculations and applications have been made regarding standards.

Considering the last stage of the study, it is possible to say that the energy consumption for the operations can be reduced and the energy performance can be increased by changing the values of the design variables related to the building through simulation tools in the early design phase. In this context, alternative variables in the strategies proposed for the “energy efficient improvement” of the building are described and detailed in the following sections.

3.3.1. Windows and Outdoor Doors

In the first stage, the use of qualified glass was proposed to increase the energy performance of windows and doors with a thermal permeability coefficient of $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ and the use of flat glass and wood frames was proposed and the thermal permeability coefficients were reduced to $1,425 \text{ W/m}^2\text{K}$. At the same time, the window rates on the facades were reduced by 50%.

Wood as a material is a renewable resource and does not harm the environment due to the low primary energy consumed in its production. It is seen that the window frame produced from high-quality wood has a 50-year lifespan under appropriate conditions (Berge, 2001). The thermal conductivity coefficient (U value) of the wooden frame is very low and resistant to thermal effects. U value varies depending on the thickness and type of wood, distance between glasses and the glass/frame ratio (Şahinoğlu, 2012).

The performance of an insulated glass unit can be further improved by the addition of Low-E coatings and by filling inert gases such as argon into the space between the glass. Argon is denser than air and reduces the amount of heat transfer through the insulated glass unit. If 90% argon gas filling is used instead of air,

the insulation value of the glass can be increased up by 16% (Sezer Cam&Alüminyum, 2020).

It is recommended to use Argon infused Triple Insulating Glass Synergy (Double Low-E) for windows and exterior door glasses along with the use of wood for frames. The thermal conductivity coefficient of the proposed glass is $0.7 \text{ W / m}^2\text{K}$. Unit thicknesses are $4 + 12 + 4 + 12 + 4$. The properties of the glass used in the improvement scenarios are shown in Table 7.

Table 7. Double Glazed Application Characteristics (Dilek Cam, 2019).

Product	Unit Thickness (mm)	Daylight		Solar Energy					Thermal Conductivity Coefficient U value $\text{W/m}^2\text{K}$ (EN 673)
		Permeability %	Projection %	Projection %	Absorption %	Direct Permeability %	Total Permeability	Shading Coefficient	Argon
Triple Insulating Glass Synergy (Double Low-E)	36	69	14	28	33	39	0,48	0,55	0,7

3.3.2. Floor, Roof, and Walls

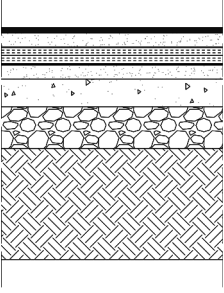
The aim is to increase the thermal resistance of the walls, floor, and roof structure elements separating the internal environment of the building from the external environment and to minimize the heat transfer between the outdoor and indoor spaces.

3.3.2.1. Ground Floor

In today's world, where energy resources are limited, the importance of insulation in buildings and minimizing heat transfers should be given importance to reduce energy consumption for thermal comfort purposes. In this study, thermal resistance was increased by decreasing the thermal permeability coefficient by $0.57 \text{ W / m}^2\text{K}$, obtained within the first layer, (Ceramic Tile, Concrete - Sand/Cement Screed, EIFS - Exterior Insulation and Finish System) defined in the first stage to

minimize the targeted heat transfer. Ground floor layers recommended in improvement scenarios are shown in Table 8.

Table 8. Details for the Proposed Ground Floor in Contact with Soil

Building Component	Stratification	Thickness (cm)	Details	U value (W/m ² K)
Ground Floor	Epoxy	2		0,347
	Screed	5		
	Thermal Insulation - XPS	6		
	2 Layers Waterproofing	0,6		
	Leveling Screed	5		
	Lean Concrete	10		
	Blockage	15		
	Compressed Soil	40		

3.3.2.2. Roof

By selecting the green roof type as the roof covering as opposed to the terraced roof proposed in the "Baseline" for the building, the energy consumption of the building is expected to outperform the current situation. All existing layers of the roof (Roofing - Tile, Insulation - Wool, Wood, Air Barrier - Air Infiltration Barrier) have been changed and transformed into a green roof.

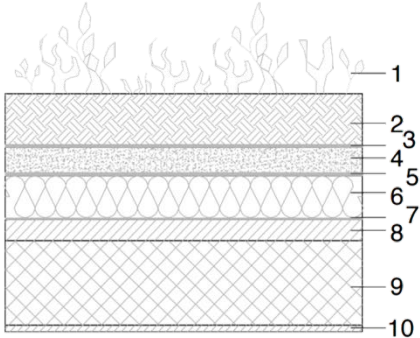
Benefits of green roof; reduced drainage density, improved air quality due to converting rainwater into green cover, providing equivalent heat insulation value to dry rock wool, reducing heat input by 85%, reducing heat loss by 70%, reducing noise by absorbing sound, reducing electromagnetic radiation, retention of metals and water, being recyclable materials, providing the recovery of lost vital soil, protection of the structure from ultraviolet rays, protection of the roof and carrier construction from mechanical damage, prolonging the life of the roof and structure, and being fire resistant. In addition, green grass roof covers; the vapor permeability feature allows the structure to breathe and remove moisture in the structure. This improves the quality of life of the people in the structure and positively affects the sensing threshold of heat (GeoGreen, 2020).

Green roofs are divided into extensively planted and densely planted systems (Bianchini et al., 2011; Ceylan, 2012). In this study, instead of densely planted green roof type, sparse planting system has been chosen for the reasons of, soil depth, having less vegetation than densely green roofs (Weiler

and Katrin, 2009: 8), having less vegetation or no vegetation containing natural vegetation (Erkul, 2012: 24), as oppose to the intensive planting system lighter and more efficient stormwater management and less maintenance requirements (Bianchini et al., 2011; Ceylan, 2012). At the same time, sparsely planted green roofs provide a balance between the indoor and outdoor environments at thermal loads with reduced plant layers. *"These systems, with the heat storage feature of the green roof, reduced thermal load, due to the reduction of the vegetated layer, has less transfer to the interior spaces in the summer season. In the winter season, it prevents the flow of heat from the indoor environment to the outdoor environment and saves cooling and heating energy (Liu and Baskaran, 2003)."*

The features of the green roof system proposed for the improvement scenarios are shown in the table below (Table 9).

Table 9. Details for the Proposed Densely Planted Green Roof Systems

Building Component	Stratification	Thickness (mm)	Details	U value (W/m ² K)
Green Roof	1. Vegetation layer (extensive green roof)	-		0,19
	2. Soil bed	150		
	3. Stab-Filter layer, Polypropylene fiber	1		
	4. Water Drainage/Storage Element, DAKU FSD20	1250x100x80		
	5. Anti-Root&Rot waterproofing membrane	4		
	6. Expanded Polystyrene insulation	50		
	7. Bitumen layer	4		
	8-9. Slopping screed - Concrete ribbed slab	300		
	10. Ceiling plaster	10		

3.3.2.3. Walls

For the existing wall as a building envelope component, only the material has been changed, considering that the thermal insulation made on the outer surface of the wall, as in the current layer layouts, prevents the problems such as thermal bridges, cracking and condensation by ensuring

that the materials forming the building envelope remain on the inside (on the hot side). The thermal

การสำรวจอาคาร พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)

insulation layer is left as by as a likewise procedure used for the wall surface. The application of thermal insulation materials to the outer side of the outer walls is effective in terms of structural physics.

In wall component improvement scenarios, ventilated systems are recommended from applications to the outer surface of the wall. Ventilated systems; These are the systems formed by mounting the thermal insulation materials in sheets on the outer surface of the wall body and placing the outer wall covering material transported to the carrier system elements by leaving at least a 5 cm gap. In this system, the steam escapes from the interior of the building reaching up to the air gap and exiting from there, providing the building has a long life in terms of structure physics (İzocam, 2002). The following figure shows a ventilated system, according to the Thermal Insulation Regulation (Figure 9).

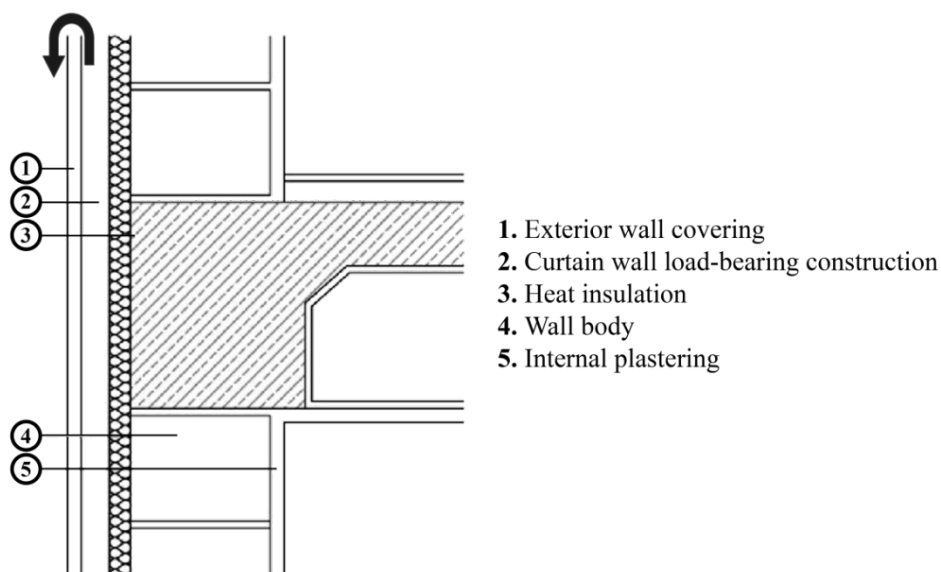


Figure 9. Ventiladed Exterior Wall Thermal Insulation Application (TSE 825, 2008).

It is recommended to use a ventilated wall system that is recyclable as the outer wall cladding and to use clay brick as a sustainable building material. With the development of building technologies, the massive use of brick building material has been replaced by easier and more aesthetic systems. These systems provide high performance to buildings in terms of heat, sound, fire and static, and

better thermal, auditory values for the users, maximizing comfort conditions (Yıldırım, 2018). The proposed wall building component properties for improvement scenarios are shown in Table 10.

Table 10. Recommended Details for the Components of the Wall Construction.

Building Component	Stratification	Thickness (mm)	Details	U value (W/m ² K)
Wall	Plaster	13	Concrete with a density of 350 kg / m ³ covered by TS 825 (7.3.2).	0,4
	Gas Concrete (TS825 0,11 W/mK)	100		
	Glass mineral wool	50		
	Clay bricks (λ : 0,5 W/mK)	105		

3.3.3. PV Panels

Solar energy, which can be used by the building as a renewable energy source, was used as a means of electricity production. The maximum number of panels that can be placed on the building roof, which is the

most suitable place for panel placement, was determined. Improvements have been made by taking into consideration the costs of the proposal. It is aimed to reach the “Zero Energy Building Concept” with the electricity production obtained from solar energy. The properties of the Photovoltaic Panel, proposed to be integrated, are shown in Table 11.

Table 11. Characteristics of Photovoltaic Panels (Tera Solar, 2020).

Electrical & Mechanical Characteristics	
Brand Name	Tera Solar
Model Number	TRP-300B
Maximum Power (P _{max})	300W
Open Circuit Voltage (V _{oc})	45.20V
Maximum Power Voltage (V _{mp})	36.38 V
Short Circuit Current (I _{sc})	8.67A
Maximum Power Current (I _{mp})	8.24A
Operating Temperature	from -40°C to +85°C
Maximum System Voltage	1000VDC
Series Fuse Rating	10A
Linear Performance Warranty	10 Years, Over %90, 25 Years Over %80
Power Tolerance	0~+3%
Dimensions of the Module (WxHxD) (mm)	1960x990x35
Solar Cells	Poly
Solar Size	156x156
No of Solar Cells and Matrix	72(6x12)
Junction Box	IP65, 3 Diodes, 900mm Cable
Connector Type	MC4
Weight	22.5 kg
Front Glass	3.2mm Low Ironed Tempered Solar Glass
Frame	Frame Anodized Aluminum Alloy

STC: Irradance 1000 W/m², module temperature 25°C, AM=1.5

Photovoltaic systems are preferred in terms of energy efficiency because electrical energy is supplied from these systems; it does not leave harmful waste to the environment, it does not cause air pollution, it does not consume primary energy sources and tries to prevent climate change by using direct sunlight as a source of fuel. Contrary to the belief, photovoltaic panels are low cost both in operating and maintenance aspects (Özkılıç Keleş, 2008). Photovoltaic panels, other than providing electricity for constructions provide; thermal insulation, sound insulation, shading, and protection against harsh weather conditions (Güneş, 2019).

Designing high-performance energy-efficient buildings is essential to avoid irreversible environmental problems. Buildings with on-site renewable energy generation and better design can consume zero energy and generate additional energy (U.S. Department of Energy, 2009).

3.4. Evaluation of the Effects of Strategies Developed in the Framework of “Improving Energy Efficiency” on the Energy Performance of the Building

In this study, “eQUEST” energy analysis program was used both in building energy performance evaluation and implementation of energy efficient improvement strategies.

Input data for the proposed variables to minimize energy consumption at the initial stage are summarized in the table below (Table 12).

Table 12. Input Data for Proposed Variables.

Convention Center - Building Components	Name	U values (W/m²K)
Windows	Triple Insulating Glass Synergy (Double Low-E)	1,425
	Wood Window Frame	
Exterior Doors	Triple Insulating Glass Synergy (Double Low-E)	1,425
	Wood Door Frame	
Ground Floor	Epoxy	0,347
	Screed	
	Thermal Insulation - XPS	
	2 Layers Waterproofing	
	Leveling Screed	
	Lean Concrete	
	Blockage	
	Compressed Soil	
Wall	Plaster	0,4
	Gazbeton (TS825 0,11 W/mK)	
	Glass mineral wool	
	Clay bricks (λ: 0,5 W/mK)	
Roof	Vegetation layer (extensive green roof)	0,19
	Soil bed	
	Stab-Filter layer, Polypropylene fiber	
	Water Drainage/Storage Element, DAKU FSD20	
	Anti-Root&Rot waterproofing membrane	
	Expanded Polystyrene insulation	
	Bitumen layer	
	Slopping screed - Concrete ribbed slab	
	Ceiling plaster	
Polikristal PV Panel - Tera Solar		
Baseline + Scenarios		

The energy consumption amount in the "eQuest" program, for the defined structure, was completed with the initial data. For the following process the structural component layers of windows, exterior doors, walls, roofs, and floors were changed. PV panels were added and additionally, window ratios were reduced by half.

3.5. Analysis and Evaluation of the Results

In the second stage of the study, the different alternatives proposed were simulated with the 'eQuest' energy analysis program, by the assistance of the current status data. The proposed improvement scenario variables and current status data are shown in Table 13.

Table 13. Variables in structure components from the “Baseline Scenario” to the “Improvement Scenario”

Convention Center - Building Components	Material Names of Baseline Scenario	U values (W/m ² K)	Material Names of Improvement Scenarios	U values (W/m ² K)
Windows	Glass	1,8	Triple Insulating Glass Synergy (Double Low-E)	1,425
	Wood Door Panel		Wood Window Frame	
Exterior Doors	Glass	1,8	Triple Insulating Glass Synergy (Double Low-E)	1,425
	Wood Door Panel		Wood Door Frame	
Ground Floor	Ceramic Tile	0,57	Epoxy	0,347
	Concrete - Sand/Cement		Screed	
	Screed		Thermal Insulation - XPS	
	EIFS - Exterior Insulation and Finish System		2 Layers Waterproofing	
Wall	Concrete	0,57	Leveling Screed	0,4
	Paint		Lean Concrete	
	Plaster		Blockage	
	EPS		Compressed Soil	
Roof	Concrete	0,38	Plaster	0,19
	Roofing - Tile		Gas Concrete (TS825 0,11 W/mK)	
	Insulation - Wool		Glass mineral wool	
	Wood Door Panel		Clay bricks (λ : 0,5 W/mK)	
Roof	Air Barrier - Air Infiltration Barrier	0,38	Vegetation layer (extensive green roof)	0,19
			Soil bed	
			Stab-Filter layer, Polypropylene fiber	
			Water Drainage/Storage Element, DAKU FSD20	
Roof		0,38	Anti-Root&Rot waterproofing membrane	0,19
			Expanded Polystyrene insulation	
			Bitumen layer	
			Slopping screed - Concrete ribbed slab	
Roof		0,38	Ceiling plaster	0,19

The energy performance analysis results of the renewed building elements integrated into the “Baseline” scenario data are as follows. (Figure 10 – 11 and Table 14 – 15).

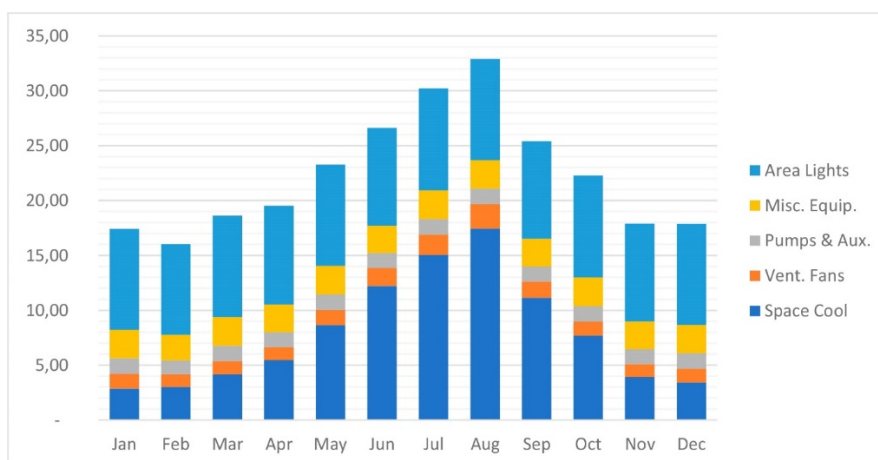


Figure 10. Electric Consumption (kWh) (x000)

Table 14. Electric Consumption (kWh) (x000)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	kWh/1 year
Space Cool	2,87	3,02	4,16	5,46	8,65	12,23	15,05	17,45	11,13	7,68	3,93	3,42	95,05
Vent. Fans	1,34	1,13	1,2	1,17	1,37	1,61	1,85	2,23	1,5	1,28	1,16	1,25	17,1
Pumps & Aux.	1,42	1,28	1,42	1,37	1,42	1,37	1,42	1,42	1,37	1,42	1,37	1,42	16,73
Misc. Equip.	2,59	2,34	2,59	2,52	2,59	2,51	2,6	2,59	2,51	2,6	2,51	2,59	30,54
Area Lights	9,2	8,27	9,24	9	9,23	8,9	9,31	9,23	8,9	9,31	8,92	9,2	108,73
kWh/1 year	17,43	16,05	18,61	19,52	23,27	26,61	30,23	32,92	25,42	22,29	17,9	17,89	268,14

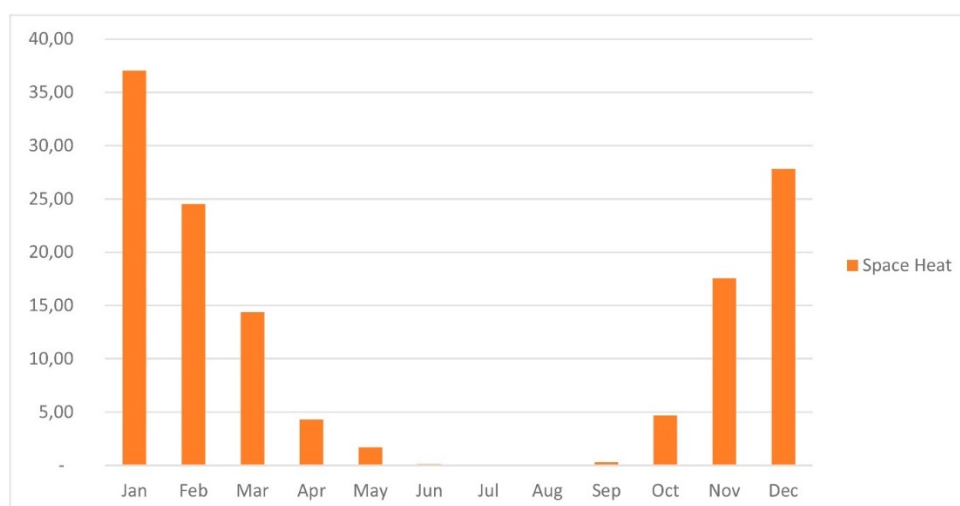


Figure 11. Gas Consumption (kWh) (x000)

Table 15. Gas Consumption (kWh) (x000)

วารสารวิชาการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)

Journal of Building Energy & Environment VOL.4 (June 2020)

	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	kWh/1 year
Space Heat	37,04	24,52	14,37	4,3	1,68	0,11	-	-	0,28	4,67	17,57	27,81	132,35
kWh/1 year	37,04	24,52	14,37	4,3	1,68	0,11	-	-	0,28	4,67	17,57	27,81	132,35

In the first stage, the use of qualified glass was proposed to increase the energy performance of windows and doors with a thermal permeability coefficient of $1.8 \text{ W/m}^2\text{K}$ and the use of glass and wood frames was proposed with the thermal permeability coefficients reduced to $1,425 \text{ W/m}^2\text{K}$. At the same time, the window proportions in the façades were reduced by 50% considering the suitability of the building's main function.

The data obtained by integrating the improvement suggestions are made in line with the increase of thermal resistance of the walls, flooring and roof elements, working as elements that separate the exterior from the interior, by minimizing the heat transfer from the outdoor and indoor spaces, is shown above.

Epoxy floor coverings are long-lasting and do not require frequent floor application, repair, and modification. It is preferred as a way to prevent abrasion, wear and tear at spaces with extensive human use and continuous cleaning methods. Due to the gradual and sequential application of flooring products and applications, with craftsmanship being a prominent element, epoxy flooring activities are a bit more costly and long-term, but they are very useful in terms of their advantages compared to their prices (Sanat Zemin ve Yapı, 2020).

In the improvement scenario according to "Baseline," an evaluation is made by considering that there will be no energy consumption during the operation phase for flooring, where carbon dioxide emission and cumulative energy demand increase in production and construction. It has been evaluated whether the targeted state can be achieved as a result of the improvement practices aimed at minimizing heat transfer, so as to reduce energy consumption for thermal comfort. As a result of the energy analysis conducted, a decrease is observed in the total energy consumption of the building, as well as an increase in energy performance. Factors such as reducing repair,

modification and renewal in the building life cycle and increasing thermal protection in operation will also affect the energy performance positively.

When the performance of the green roof application is taken into consideration, opposing the traditional terrace roof application, one can come in terms with the many benefits. With an area of 4837 m², the proposal works as an urban heat island, reducing noise and air pollution. This can be verified by the data showing that heat loss is reduced by 70%, all the while increasing the heat inlet to 85%. Along with these, the improvement of air quality, rainwater management, support of biodiversity, reduction of electromagnetic radiation, usage of recyclable materials, filtration of heavy metals from precipitation and the extension of the roof/structure's life cycle can be listed as the continuation of the benefits. A performance assessment for the green roof application, which provides the balance between the indoor and outdoor environment at thermal load, has not been made numerically. Although, it can be said that green roof application will regain more of the energy consumed by considering the life span of the building.

The reduced thermal permeability coefficients for the outer walls, which are planned to be installed by mounting the thermal insulation material on the outer surface of the wall body in plates to prevent problems such as thermal bridges, cracking and condensation, and placing the outer wall covering (with construction) material by leaving a 5 cm air gap, are defined in the program.

As a result of the evaluation made with the "PVsyst V6.43" program for the photovoltaic panels that are planned to be integrated into the building in order to benefit from solar energy, the amount of energy produced with 525 modules has been found to be 223.1 MWh / year, and the positive effect it will provide on electrical energy consumption should be considered.

4. CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS

In this study, the evaluation on whether the expected performance can be achieved with the improvement works that can be done to make a Conference Center Building, located in Manisa-Soma, more energy efficient has been made. The scenarios proposed in the study suggests an integration of a new component rather than changing the entirety building component layer. This phenomenon is supported by energy performance simulations and emphasizes the importance of energy performance analysis in the early design phase. For the building, changes were made to the thermal comfort conditions of the building envelope elements and alternative energy sources were implemented. With the application of these variables, the energy performances that have changed during the year for operation have been analyzed. In addition, the structure baseline energy performance data and the data obtained after the improvements were compared as follows;

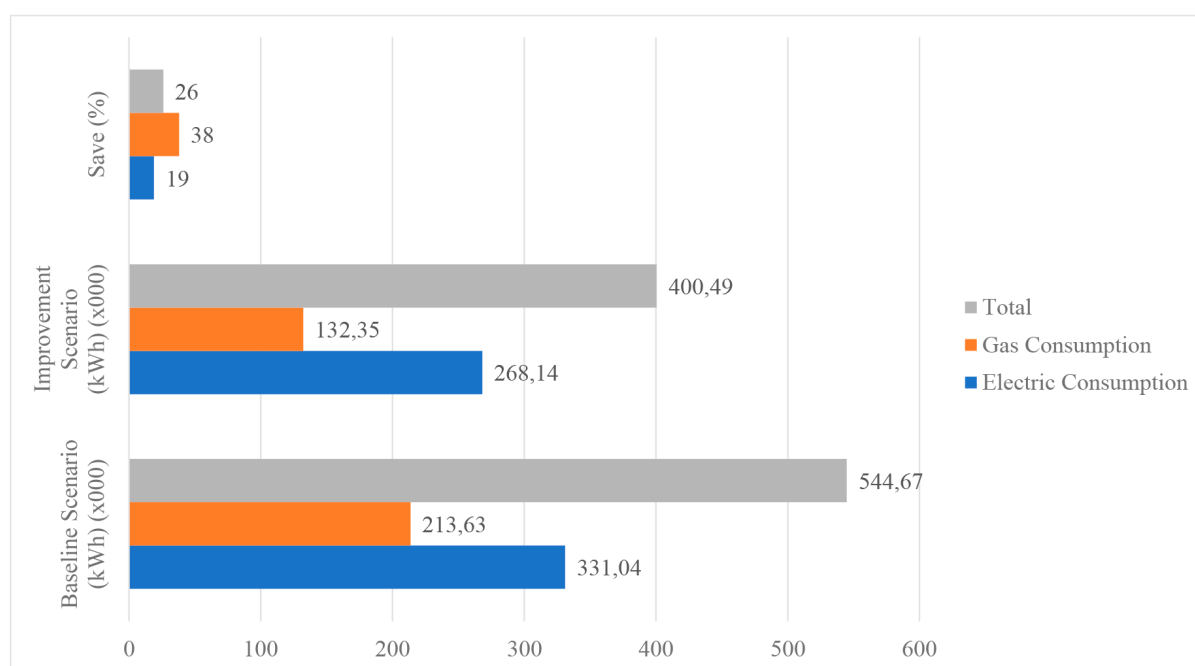


Figure 12. Comparison of “Baseline” and Improved Scenario Energy Consumption Data

(As a result of the evaluation made with the "PVsyst V6.43" program, the amount of energy produced by 525 module applications was found to be 223.1 MWh / year.)

According to the data of electricity and gas consumption, which is constructed upon an annual use of the building, when “Baseline” and improvement scenarios are compared, an increase in energy performance is observed with a decrease in energy consumption. In line with the improvements in electricity consumption, 19% efficiency was achieved, while 38% efficiency was achieved in the gas consumption used for heating. Along with this, total energy efficiency increased by 26%. In addition to the data obtained through the program, factors such as the useful life of the recommended materials, frequency of maintenance/repair, recycling, and positive effects on energy gain should also be taken into consideration during the interpretation phase. The cost of using active system PV panels, integrated into “eQUEST” data through a different program, should be evaluated according to the energy performance efficiency it will bring to the project.

As a result, the determination of basic energy use at the beginning of a study helps to identify feasible targets to improve the design in the early design stage and to develop appropriate strategies to achieve these objectives. All design parameters should be considered as a whole and buildings should be evaluated throughout their life-cycle.

5. REFERENCES

- Aksakal, H. (2011). Analysis of the impact of building automation systems on energy efficiency, Thesis (M.Sc.), Istanbul Technical University, Institute of Energy, Istanbul.
- Aksamija, A. (2016). Regenerative design and adaptive reuse of existing commercial buildings for net-zero energy use. *Sustainable Cities and Society*, 27, 185–195.
- Aksungur, K. M., Kurban, M., & Filik, Ü. B. (2013). Analysis and Evaluation of Solar Radiation Data in Different Regions of Turkey, *Energy Efficiency and Quality Symposium*.
- Berge, B. (2001). *The Ecology of Building Materials*, Architectural Press, United Kingdom.
- Capeluto, I.G., A. Yezioro & E. Shaviv (2003). *Climatic Aspects in Urban Design: A Case Study*, Elsevier, Building and Environment, Faculty of Architecture and Town Planning, Technion-Israel Institute of Technology, 38 (6), 827.

- Ceylan, N. (2012). Environmental Assessment of Production and Construction Phases of Heat Insulation Applications Widely Preferred in Residential Exterior Wall Systems in Turkey, Thesis (M.Sc.), Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Cooperman, A., Dieckmann, J. & Brodrick, J. (2011). Commercial envelopes, ASHRAE Journal, 53 (2011), 134-136.
- Demir, Ş. (2012). Current Point and Future Projections in Solar Energy, Retrieved December 29, 2019, from <http://www.gensed.org/pdf/sunum.pdf>
- Dikmen, Ç. B. & Savcı, S. (2015). Sürdürülebilir Yapı Tasarımı Kapsamında Çevre Dostu Yeşil Çatı Uygulamalarının İrdelenmesi, 2. Uluslararası Sürdürülebilir Yapılar Sempozyumu, 214-220, May 28-30, Ankara.
- Dilek Cam (2019). PVC Construction Contracting Industry and Trade LTD.Co., Retrieved December 31, 2019 from <http://www.dilekcam.com.tr/ws/performans-tablolari/>
- Erkmen, F. İ. (2005). Sıcak İklim Bölgelerinde Yapıların Soğutma Yüklerinin Karşılaştırılması (Antalya, Diyarbakır Örneği), Thesis (M.Sc.), Yıldız Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.
- Erkul, E. (2012). Yeşil Çatı Sistemlerinin Yapım Açısından İrdelenmesi, Thesis (M.Sc.), Dokuz Eylül University, Institute of Science and Technology, Izmir.
- Gazioğlu, A., Akşit, Ş. F. & Manioğlu, G. (2013). Enerji Etkin Bina Tasarımında Isıtma Enerjisi Tüketimini Azaltmaya Yönelik Bir İyileştirme Çalışması, Tesisat Mühendisliği Dergisi, 136, 41-52.
- GeoGreen Green Roof System (2020). Retrieved January 1, 2020 from https://www.istanbulteknik.com/Dosyalar/pdf/geogreen_tr.pdf
- Google Earth (2020). Retrieved June 13, 2020 from <Online>.
- Güneş, O. (2019). Installation of Photovoltaic Systems on the Roof of a Housing Building, Thesis (M.Sc.), Istanbul Technical University, Institute of Energy, Istanbul.
- Hermelink, et al. (2013). Towards Nearly Zero-energy Buildings: Definition of Common Principles Under the EPBD, Ecofys, Koeln.

วารสารวิชาการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)

Journal of Building Energy & Environment VOL.4 (June 2020)

İzocam (2002). Isı Yalıtımı –Teknik Yalıtım –Ses Yalıtımı –Yangın Yalıtımı, İzocam Yayınları, 77-79.

Karadağ, A. (2006). Changing Environment, City and Identity in Soma after Lignite Extraction and Thermal Power Plant, Aegean Geographical Journal, 15/31-50, Izmir.

Liu, K. & Baskaran, B. (2003). Thermal Performance of Green Roofs through Field Evaluation. Greening Rooftops for Sustainable Communities, Chicago.

Municipality of Soma (2019). Retrieved December 30, 2019 from <https://www.soma.bel.tr/sayfalar/hakkinda/69>

Özkırıç Keleş, C. (2008). A Study About Photovoltaic Systems in Point of Energy Efficiency on the Buildings in Turkey, Thesis (M.Sc.), Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.

Özmen, E. (2018). Solar Cities as a Model in Usage of Renewable Energy Sources: Manisa Sample, Thesis (M.Sc.), Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.

Özüpak, Ö. Ş. (2008). The Assessment of the Energy Performance Criteria for the Commercial Buildings, Thesis (M.Sc.), Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.

Parasonis, J., Keizikas, A. & Kalibatiene, D. (2012). The Relationship Between the Shape of a Building and Its Energy Performance, Architectural Engineering and Design Management, 8 (4), 246-256.

Republic of Turkey Ministry of Energy and Natural Resources (2016). Project Development Process with Integrated Building Design Approach Implementation Guide, Ankara. Retrieved January 1, 2020 from <https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu838.pdf>

Şahinoğlu, S. (2012). Heating/Cooling Energy and Visual Comfort Performance Evaluation of Windows with Various Shading Devices, Thesis (M.Sc.), Istanbul Technical University, Institute of Science and Technology, Istanbul.

Sanat Zemin ve Yapı A.Ş. (2020). Retrieved January 4, 2020 from <https://www.sanat-zemin.com/neden-epoksi-zemin/>

Sezer Cam & Alüminyum (2020). Retrieved January 1, 2020 from <http://www.sezer-cam.com/ISICAMARGON>

Sezer, F. (2005). Farklı cam türlerinin performans kriterlerinin incelenmesi, Uludağ University Mühendislik – Mimarlık Fakültesi Dergisi, 10 (1).

Sözer, H. (2010). Improving energy efficiency through the design of the building envelope, Building and Environment, 45, 2581-2593.

Technical Assistance Project for Improving Energy Efficiency in Buildings (2016). Handbook of Energy Systems in Buildings and Measurement Methods. Retrieved January 1, 2020 from <https://webdosya.csb.gov.tr/db/meslekihizmetler/ustmenu/ustmenu841.pdf>

Tera Solar (2020). Retrieved June 21, 2020 from <http://www.tera-solar.com/urun/300w-polikristal-fotovoltaik-panel>.

The U.S. Department of Energy by the National Institute of Building Sciences (2015).

A Common Definition for Zero Energy Buildings. Retrieved January 1, 2020 from <https://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/A%20Common%20Definition%20for%20Zero%20Energy%20Buildings.pdf>

TS EN 15232 (2008). Energy Performance of Buildings - Estimated Results of Building Automation, Control and Building Management.

Turkish Solar Power Atlas – GEPA (Güneş Enerjisi Potansiyeli Atlası) (2019). Retrieved December 29, 2019 from <http://www.yegm.gov.tr/MyCalculator/pages/45.aspx>

Turkish Standard, TS 825, Thermal Insulation Requirements for Buildings, May 2008.

Turkish Standard, TS 825, Thermal Insulation Requirements for Buildings, December 2013.

Tzempelikos et al. (2010). Indoor thermal environmental conditions near glazed facades with shading devices – Part II: Thermal comfort simulation and impact of glazing and shading properties, *Building and Environment*, 45, 2517-2525.

U.S. Department of Energy (2009). Recovery Act Announcement: Obama Administration Launches New Energy Efficiency Efforts, *EERE News*.

Utkucu, D. & Sözer, H. (2019). Investigation of a Traditional House Based on its Energy Conservation, *Journal of Building Energy Environment: BEE*, 3, ISSN: 26

Weiler, S. & Katrin, S.B. (2009). *Green Roof Systems – A Guide to the Planning, Design and Construction of Landscape Over Structure*, Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.

Yıldırım, E. (2018). Kil Esaslı Yapı Malzemelerinin Çatı ve Cepheelerde Geçmişten Günümüze Sürdürülebilir Kullanımı, 9. Ulusal Çatı & Cephe Konferansı, İstanbul Kültür University, Bakırköy, İstanbul.

Yüksel, Ç. Y. (2019). Energy Efficiency for Hot-Humid Climate Based on Openings and Roof Type, Adana Case, Thesis (M.Sc.), Çukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Adana.

Zoroğlu, F., Atmaca, A., B., Zorer, Gedik, G. (2018). Çevresel Sürdürülebilirlik Kapsamında Konutta Isı Konforun Sağlanması ve Enerji Tüketiminin Azaltılması, İstanbul 1. Konut Kurultayı.

การประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ เพื่อการจัดทำฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ในงานสถาปัตยกรรม กรณีศึกษา อาคาร 3 และอาคาร 22 กลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

The application of Unmanned Aerial Vehicle For creating 3D model database in Architecture Case study :
Building 3 and Building 22, Architecture Program Rajamangala University of Technology Isan NakhonRatchasima

อลงกรณ์ ถนิมกาญจน์^{1*}, สายชล ครอบกลาง² และ จิรศักดิ์ มากกลาง³

^{1*} อาจารย์ประจำสาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

² อาจารย์ประจำสาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

³ อาจารย์ประจำสาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา

e-mail: alkorn2000@hotmail.com

บทคัดย่อ

ในบทความนี้ ผู้เขียนนำเสนอขั้นตอน และวิธีการเก็บข้อมูลสภาพปัจจุบันของอาคารด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยมีกรณีศึกษาคือ อาคาร 22 และอาคาร 3 กลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี นครราชสีมา เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ นำไปสู่การวางแผนพัฒนาด้านกายภาพของอาคาร ด้วยการวางแผนการบินแบบอิสระ (free flight) ร่วมกับการวางแผนการบินล่วงหน้าด้วยคำสั่ง way point ในแอปพลิเคชัน Litchi โดยผลการศึกษาสามารถถ่ายภาพได้ทั้งหมด 256 ภาพ เวลาบินรวม 15 นาที ความหนาแน่นของ point cloud อยู่ที่ระดับที่ดีที่สุด จากการจับคู่ภาพขึ้นต่อดัชนี 3 มิติ อยู่ที่ 3 ภาพ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของจุด 3 มิติ ต่อลูกบาศก์เมตร คือ 483.96 จุด จากจำนวนจุด 3 มิติ ทั้งหมด 10,899,260 จุด ซึ่งเป็นค่าที่ยอมรับได้ ผลการศึกษาสามารถนำข้อมูล point cloud ไปทำงานร่วมกับโปรแกรมทางด้าน 3 มิติ ได้อย่างหลากหลาย เช่น โปรแกรม Auto Cad โปรแกรม Autodesk Recap หรือ Autodesk Revit เพื่อใช้วางแผนสร้างแนวทางในการออกแบบปรับปรุงอาคารในส่วนต่างๆ เช่น คำนวณพื้นที่รอบอาคาร การออกแบบหน้าฉากเพื่อบังแดด (facade) ได้อย่างแม่นยำ หรือใช้สำหรับงานรังวัดอาคารในส่วนที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าถึงได้ เป็นต้น นอกจากนี้ผลของการศึกษายังพบว่า รายละเอียดของภาพถ่ายที่ได้ นั้นยังมีบางจุดของอาคาร โดยเฉพาะบริเวณที่มีต้นไม้ปกคลุมอยู่จำนวนมาก อาจได้ข้อมูลที่ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร ผู้ศึกษาจึงเสนอแนะว่าควรมีการถ่ายภาพภาคพื้นดินในส่วนที่อากาศยานไม่สามารถบินเข้าไปถ่ายภาพได้ ร่วมกับการถ่ายภาพทางอากาศ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ/ ฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ

Abstract

This article presents procedures and methods for collecting current conditions of buildings with Unmanned Aerial Vehicles (UAV) using Building 22 and Building 3 in the Architecture Program, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima as the case study location to store 3D model databases leading to the planning of the physical development of the building with free flight planning together with planning the way point flight in Litchi application. The results of the study showed that the total number of images taken was 256, with the total flight time of 15 minutes. The density of the point cloud was at the best level from images taken. The minimum matching image per 3D point were 3 images. The average density of 3D points per cubic meter was 483.96 points out of the total number of 3D points of 10,899,260 points, which were acceptable values. The study results suggest that point cloud data can be used to work with a variety of 3D programs such as Auto Cad, Autodesk Recap, or Autodesk Revit, to plan, build, and design guidelines for building improvements in various parts, such as to provide a more precise calculation of the area of the building frame or the design of facade, or use for building surveyors in areas where humans cannot access, etc. In addition, the study also found that the details of the photos of some buildings, especially in areas with a lot of trees, are not as complete as it should have been. The study, therefore, suggests that ground photographs should be taken in areas that the aircraft cannot access and can be combined with aerial photography to obtain more complete data.

Keywords: Unmanned Aerial Vehicle / 3D model database

1. บทนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles / UAV) หรือที่เราเรียกกันว่า โดรน (Drone) นับว่ามีส่วนสำคัญในการพัฒนาในหลายๆด้านไม่ว่าจะเป็นด้านบันเทิง ด้านเกษตรกรรม ด้านความมั่นคง ด้านการขนส่งสินค้า รวมถึงด้านการศึกษา ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้หลายลักษณะ เช่น ด้านการเกษตร ด้านบันเทิง ด้านขนส่ง และด้านอื่นๆ โดยในด้านสถาปัตยกรรมสามารถประยุกต์ใช้อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles / UAV) ในการสำรวจสภาพปัจจุบันของอาคารต่างๆ (Building condition) พื้นที่ก่อสร้างอาคาร (Site) รวมถึงบริบทรอบๆอาคาร (context) ในบทความนี้ ผู้เขียนนำเสนอขั้นตอน และวิธีการเก็บข้อมูลสภาพปัจจุบันของอาคารด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles / UAV) โดยมีกรณีศึกษาคือ อาคาร 22 และอาคาร 3 กลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน นครราชสีมา ซึ่งปัจจุบันใช้ในการจัดการเรียนการสอน 3 สาขาวิชา ได้แก่ สาขาวิชาสถาปัตยกรรม สาขาวิชาสถาปัตยกรรมภายใน สาขาวิชาการจัดการผังเมือง และสาขาวิชาเทคโนโลยีมัลติมีเดีย นอกจากนี้ยังมีการสำรวจพื้นที่รอบๆอาคาร เพื่อเก็บเป็นฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ นำไปสู่การวางแผนพัฒนาด้านกายภาพของอาคาร หรือเพื่อการอนุรักษ์ต่อไปในอนาคต

2. แนวทางการศึกษา

2.1 ประเภทของอากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles / UAV)

อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles / UAV) ในปัจจุบันมีหลายประเภท โดยในการศึกษาครั้งนี้ ผู้เขียนเลือกใช้อากาศยานไร้คนขับแบบ Multirotor UAVs เพราะมีขนาดเล็ก และคล่องตัว สามารถใช้โปรแกรมบังคับได้ง่าย ชื่อรุ่น DJI Phantom 3 Standard ซึ่งเป็นอากาศยานไร้คนขับแบบ 4 ใบพัด มีน้ำหนัก 1.216 กิโลกรัม ติดตั้งกล้องถ่ายภาพนิ่งและวิดีโอ เพดานบินสูงสุด 500 เมตร และสามารถบินได้ไกล 500 เมตร คลื่นความถี่วิทยุควบคุม 5.725 - 5.825 GHz โดยสามารถบันทึกภาพนิ่งได้ด้วยความละเอียด 12 ล้านพิกเซล และบันทึกวิดีโอความละเอียดสูงสุดที่ 1920 x 1080 Full HD

ประเภท	ประเภท	Drone โดรน
รายละเอียดสินค้าเบื้องต้น	ประเภท/ขนาดของออปติคอลลเซ็นเซอร์	1/2.3" CMOS FOV 94° 20 mm (35 mm format equivalent) f/2.8
	Valid Pixels	12 MP
	ความละเอียด	1920x1080 - Full HD , 1280x720 - HD , 2704x1520
	สื่อที่ใช้บันทึก	Micro SD card
รายละเอียดสินค้าโดยละเอียด	การเชื่อมต่อ	2.4 GHz ISM Wi-Fi Micro USB
	ประเภทแบตเตอรี่	15.2 V LiPo 4S 4480 mAh with net weight of 365g remote control battery 3.7V 2600 mAh LiPo 18650
	อายุการใช้งานแบตเตอรี่	25 min flying time
ขนาด	ขนาด (กว้างxสูงxลึก)	350 mm diagonal size(without propellers)
	น้ำหนัก	1216 g with battery and propellers

ภาพที่ 1 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับอากาศยานไร้คนขับ รุ่น DJI Phantom 3 Standard
อ้างอิง <https://th.price price.com/DJI-Phantom-3-Standard-30570/> สืบค้นเมื่อ 30 ธ.ค. 62

อากาศยานไร้คนขับสามารถทำการสำรวจพื้นที่ที่มนุษย์เข้าไม่ถึงการตรวจสอบเพื่อนำมาพัฒนาด้านต่างๆของเมือง อากาศยานไร้คนขับ ทำการบินโดยการกำหนดโปรแกรมการบิน Flight plan โดยการกำหนดตำแหน่งและทิศทางด้วยระบบ GPS จะสามารถทำให้ประหยัดเวลาและพลังงานในการบินแต่ละครั้ง ซึ่งระบบนำร่อง GPS จะสามารถระบุตำแหน่งทุกแห่งบนโลกจากดาวเทียมทั้งหมดที่โคจรรอบโลกในระดับที่สูงจากคลื่นวิทยุรบกวน แต่ละเครื่องจะทำการรับสัญญาณอย่างน้อย 3 ถึง 4 ดวงในเวลาเดียวกัน ในการคำนวณหาตำแหน่งพิกัด เมื่อกำหนดให้ความสูงคงที่และรับสัญญาณจากดาวเทียม จึงทำให้รูปถ่ายที่ได้มีค่าพิกัดที่เรียกว่า Georeferenced ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นข้อมูลสารสนเทศในการออกแบบ และปรับปรุงพื้นที่อาคารหรืองานด้านอื่นๆ (ธราวุฒิ : 2561)

2.2 พื้นที่กรณีศึกษา

อาคารเรียน 3 และอาคารเรียน 22 เป็นอาคารที่สร้างขึ้นในยุคที่ 1 และ ยุคที่ 3 ตามลำดับ ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ซึ่งเดิมมีเพียงอาคารเรียน 2 และอาคารเรียน 3 เท่านั้น แต่เนื่องจากมีความต้องการใช้ห้องเรียนเพิ่มมากขึ้น จึงได้มีการสร้างอาคารเรียนหลังใหม่ คืออาคารเรียน 22 โดยเป็นการปรับปรุงพื้นที่สนามกีฬาเดิมของนักศึกษาช่างเทคนิคสถาปัตย์กรรม โดยอยู่ภายใต้แนวคิดใช้พื้นที่เดิมให้คุ้มค่าที่สุด จึงออกแบบอาคารให้ ลัดเลี้ยวไป

ตามพื้นที่ว่างระหว่างอาคารเรียนอุตสาหกรรม 1 (อาคารศูนย์วัฒนธรรมในปัจจุบัน) และอาคารเรียนอุตสาหกรรม 2 (อาคารเรียน 3) นอกจากนี้ยังสามารถเปิดรับลมได้ทั้งด้านทิศตะวันออกเฉียงเหนือและตะวันตกเฉียงใต้ และออกแบบให้มีห้องประชุมจำนวน 200-300 ที่นั่ง ที่ปัจจุบันสามารถใช้ได้ทั้งคณาจารย์และนักศึกษา ที่อยู่ภายในกลุ่มสาขาสถาปัตยกรรม รวมถึงนักศึกษาที่อยู่ภายในคณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรมทุกสาขา ในการบินเพื่อเก็บข้อมูลทางกายภาพของอาคารจำเป็นต้องศึกษาพื้นที่ให้ละเอียด เพื่อความถูกต้องและแม่นยำ เนื่องจากภายในบริเวณกลุ่มอาคารเรียนสถาปัตยกรรมมีต้นไม้ขึ้นอยู่เป็นจำนวนมาก ประกอบกับอาคารเรียน 22 และอาคารเรียน 3 มีบางส่วนของอาคารที่เชื่อมต่อกัน ทำให้มีอุปสรรคในการเป็นสำรวจ จึงต้องทำการบินสำรวจอย่างระมัดระวัง ดังภาพที่ 2 ภาพที่ 3 และภาพที่ 4



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายมุมสูงอาคารเรียน 3 และอาคารเรียน 22 กลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม ในปัจจุบัน



ภาพที่ 3 แสดงบริเวณรอบๆอาคาร 22



ภาพที่ 4 แสดงบริเวณรอบๆอาคาร 3

นอกจากนี้การเตรียมความพร้อมของอุปกรณ์ เช่น ตัวเครื่องอากาศยานไร้คนขับต้องอยู่ในสภาพพร้อมบิน แบตเตอรี่ของอากาศยานฯซึ่งควรมีสารองเพื่อการเก็บข้อมูลที่ต่อเนื่อง แบตเตอรี่ของรีโมทบังคับอากาศยานฯต้องมีปริมาณที่เต็ม อุปกรณ์บันทึกข้อมูลประเภทต่างๆ ก็มีความสำคัญเช่นเดียวกัน ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงอากาศยานไร้คนขับรุ่น dji Phantom 3 Standard พร้อมแบตเตอรี่สำรองและรีโมทบังคับอากาศยาน ซึ่งเป็นรูปแบบ 4 ใบพัด

2.3 การวางแผนการบินเพื่อถ่ายภาพ

จากภาพที่ 3 และภาพที่ 4 แสดงอุปสรรครอบๆอาคาร 22 และอาคาร 3 คือต้นไม้ และอาคารข้างเคียง ทำให้ในการบินถ่ายภาพครั้งนี้จำเป็นต้องบินถ่ายภาพรอบๆ อาคารในลักษณะอิสระ (Free Flight) ด้วยโปรแกรม DJI GO ผ่านอุปกรณ์โทรศัพท์มือถือระบบแอนดรอยด์ ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมด้วยผู้บังคับเอง โดยให้มีการถ่ายภาพอัตโนมัติทุกๆ 5 วินาที ระหว่างบินเพื่อให้ภาพมีระยะการซ้อนภาพที่เหมาะสมไม่ต่ำกว่า 75 % ร่วมกับการบินตามแผนการบินแบบ

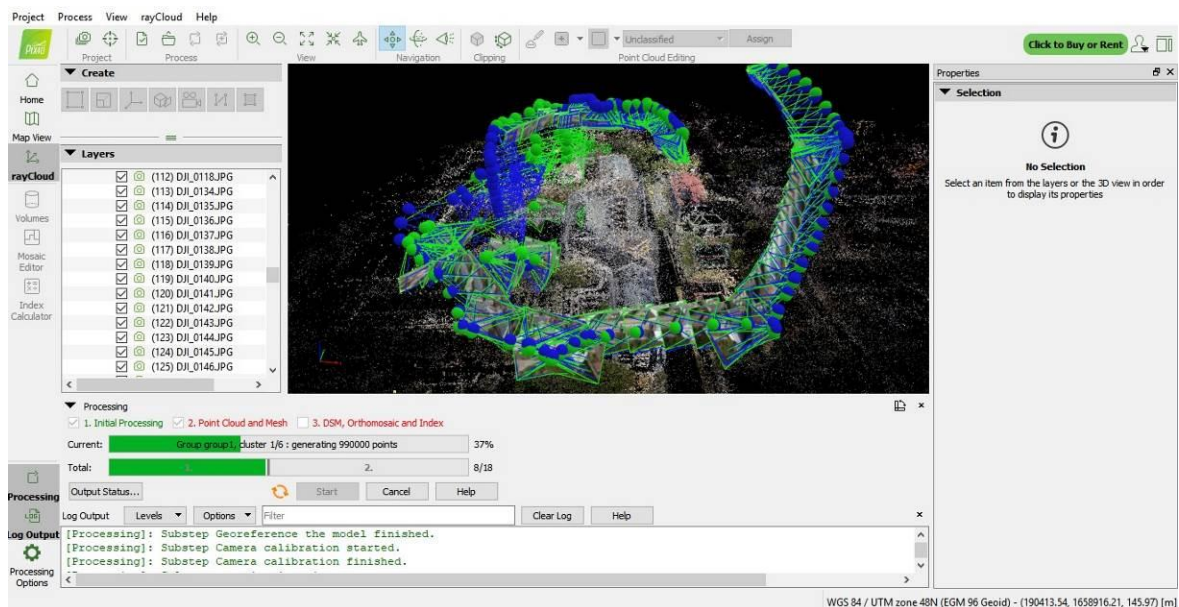
วารสารวิชาการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)

Journal of Building Energy & Environment VOL.4 (June 2020)

5 km/h โดยกำหนดให้กล้องหันไปตามทิศทางที่มองตัวอาคารเสมอ กำหนดให้กล้องถ่ายภาพเองทุกๆ 2 วินาทีระหว่างทำการบินแต่ละจุดเพื่อให้ได้ภาพที่มีระยะที่ไม่ห่างจนเกินไป เพื่อความสมบูรณ์ในการประมวลผลด้วยพิกัด 3 มิติของแต่ละภาพ

3. ผลการศึกษา

จากการวางแผนการบินถ่ายภาพเพื่อเก็บข้อมูลรอบๆอาคาร 22 และอาคาร 3 ลักษณะของการบินเป็นการถ่ายภาพด้วยกล้องของอากาศยานไร้คนขับ (UAV) โดยทำการบินอยู่ในระดับ 40-50 เมตร จากพื้นดิน ขนาดรูรับแสงเท่ากับ f 2.8 มีความละเอียด 12 ล้านพิกเซล ซึ่งอากาศยานไร้คนขับมีอุปกรณ์ช่วยลดการสั่นไหวของกล้องในขณะที่ทำการบิน (Gimbal) ช่วยให้ภาพที่ได้มีคุณภาพที่ดี โดยในการบินครั้งนี้จะได้รูปถ่ายทั้งหมดจำนวน 256 ภาพ ใช้เวลาในการบินรวม 15 นาที โดยทำการบินทั้ง 4 ด้านของอาคารเรียน 3 และอาคารเรียน 22 ซึ่งมีไฟล์ภาพที่โปรแกรมไม่สามารถประมวลผลได้ทั้งหมด 5 ภาพ



ภาพที่ 8 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Pix4D ขณะกำลังประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

จากภาพที่ 8 เป็นการคำนวณด้วยโปรแกรม Pix4D ผ่านระบบปฏิบัติการ windows โดยโปรแกรมจะนำภาพถ่ายจากอากาศยานที่มีพิกัดแต่ละภาพทั้งหมดที่ป้อนเข้าไปมาประมวลผลออกมาเป็นกลุ่มข้อมูล 3 มิติ หรือที่เรียกว่า Point Cloud (อภินันท์, 2560) ผลที่ได้คือ ความหนาแน่นของ point cloud อยู่ที่ระดับดีที่สุดในจากการจับคู่ภาพขั้นต่ำต่อจุด 3 มิติ อยู่ที่ 3 ภาพ ค่าเฉลี่ยความหนาแน่นของจุด 3 มิติ ต่อลูกบาศก์เมตรคือ 483.96 จุด จากจำนวนจุด 3 มิติ ทั้งหมด 10,899,260 จุด ดังภาพที่ 9 และภาพที่ 10 ตามลำดับ

Point Cloud Densification details

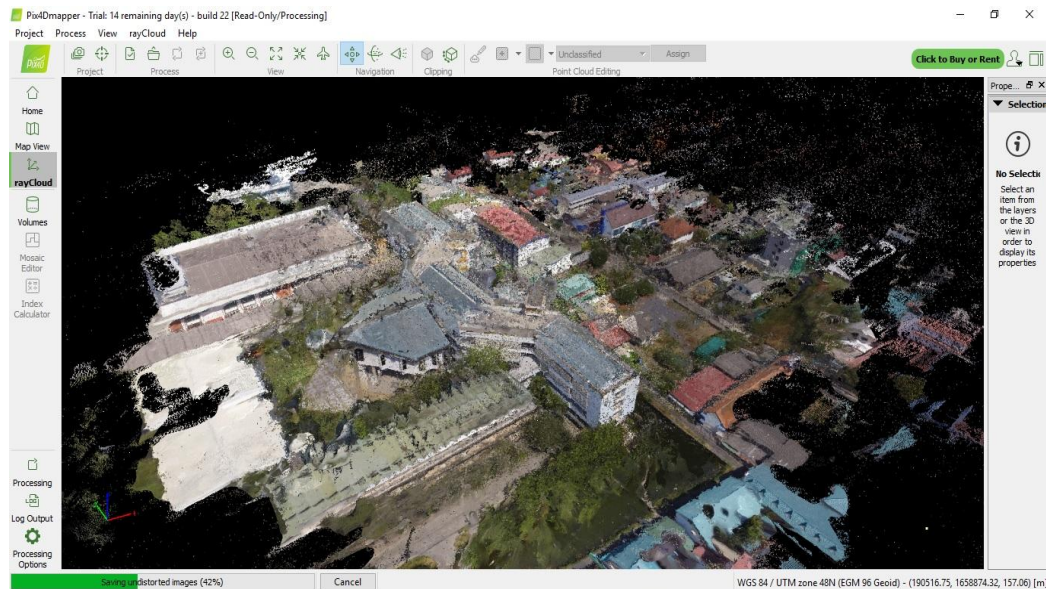
Processing Options

Image Scale	multiscale, 1/2 (Half image size, Default)
Point Density	Optimal
Minimum Number of Matches	3
3D Textured Mesh Generation	yes
3D Textured Mesh Settings:	Resolution: Medium Resolution (default) Color Balancing: no
LOD	Generated: no
Advanced: 3D Textured Mesh Settings	Sample Density Divider: 1
Advanced: Image Groups	group1
Advanced: Use Processing Area	yes
Advanced: Use Annotations	yes
Time for Point Cloud Densification	02h:00m:52s
Time for Point Cloud Classification	NA
Time for 3D Textured Mesh Generation	27m:18s

Results

Number of Processed Clusters	6
Number of Generated Tiles	1
Number of 3D Densified Points	10899260
Average Density (per m ³)	483.96

ภาพที่ 9 ภาพจากโปรแกรม Pix4D แสดงรายละเอียดของการประมวลผลจุด 3 มิติ

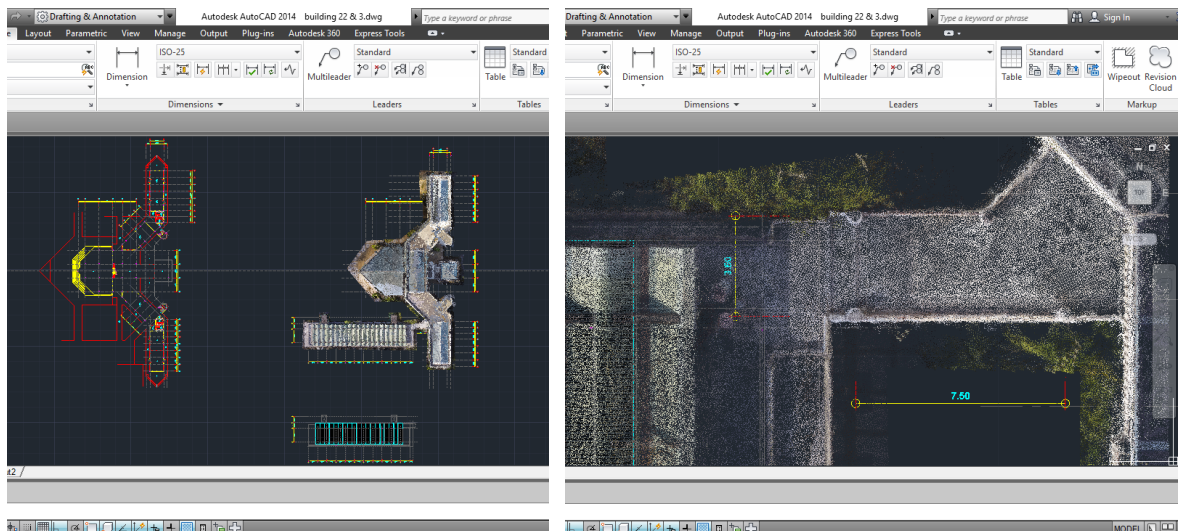


ภาพที่ 10 ไฟล์ point cloud อาคาร 3 และอาคาร 22 จากการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศด้วยโปรแกรม Pix4D

การนำข้อมูล point cloud ไปใช้งานกับโปรแกรมทางด้าน 3 มิติ ต่างๆ เช่น 3d max, sketchup, Autodesk Revit หรือโปรแกรมเกี่ยวกับ 3 มิติ อื่นๆอีกมากมายเนื่องจากปัจจุบันมีบริษัทผู้ผลิตโปรแกรมมากมายออกมาให้ผู้ใช้งานได้หลากหลายวงการ ในที่นี้ผู้ศึกษาจะขอยกตัวอย่าง ดังต่อไปนี้

Point Cloud กับโปรแกรม Auto Cad (เวอร์ชันทดลองใช้)

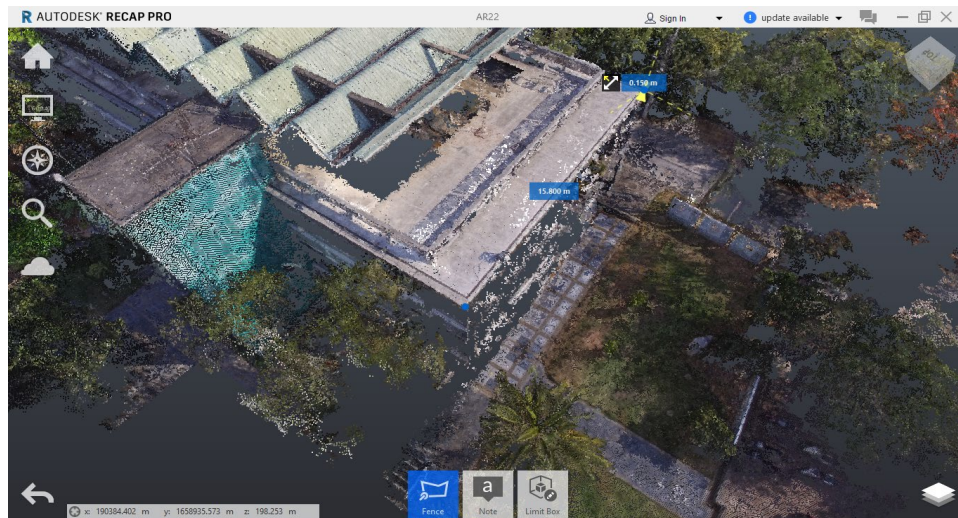
โปรแกรม Auto Cad ซึ่งเป็นเวอร์ชันทดลองใช้ (For Trial Version) โดยการใช้คำสั่ง create point cloud เพื่อนำข้อมูลที่ได้จากโปรแกรม Pix4D เข้ามาทดลองวัดระยะหาความสูง ความกว้าง และความยาว ของตัวอาคารทุกด้าน ทั้งอาคาร 3 และอาคาร 22 รวมถึงบริเวณภูมิทัศน์รอบๆอาคาร จากการทดลองการวัดระยะต่างๆของตัวอาคารพบว่ามีความถูกต้อง แม่นยำในระดับที่น่าพอใจทั้งความสูงของอาคาร ความกว้าง และความยาว รวมทั้งส่วนต่างๆของอาคาร เช่น ระยะของทางเชื่อมอาคารระหว่างอาคาร 3 และอาคาร 22 ตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงหน้าต่างโปรแกรม Auto Cad ขณะนำข้อมูล point cloud เข้ามาใช้งาน

Point Cloud กับโปรแกรม Autodesk Recap (เวอร์ชันทดลองใช้)

ซึ่งโปรแกรม Autodesk Recap เป็นโปรแกรมที่อยู่ในค่ายเดียวกับ Autodesk Revit นั่นเอง โดยหลักการทำงานค่อนข้างง่ายกว่า Auto Cad ที่กล่าวมาข้างต้น เนื่องจากเป็นโปรแกรมสำหรับใช้ปรับแต่งไฟล์ point cloud ที่ได้จากการประมวลผลจากภาพถ่ายโดยเฉพาะ และหน้าต่างของโปรแกรมออกแบบมาให้ใช้งานง่าย จึงเหมาะสำหรับการปรับแต่งรายละเอียดของข้อมูล point cloud เพื่อให้ได้ความสมบูรณ์ของข้อมูลมากยิ่งขึ้น เช่น การลบ point cloud ส่วนที่เกิน การวัดระยะของพิกัดต่างๆซึ่งมีหลายรูปแบบ การปรับการแสดงผลเฉพาะจุดที่ต้องการ เป็นต้น ดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 แสดงหน้าต่างของโปรแกรม Auto Desk Recap ขณะนำข้อมูล point cloud เข้ามาใช้งาน

จากภาพที่ 12 จะเห็นรายละเอียดของอาคาร 3 ค่อนข้างชัดเจน และสามารถวัดระยะต่างๆของอาคารโดยเฉพาะในตำแหน่งที่มนุษย์เข้าถึงได้ยาก แต่โปรแกรมสามารถวัดระยะได้อย่างถูกต้องและค่อนข้างแม่นยำ ซึ่งในที่นี้สามารถเก็บเป็นข้อมูลในรูปแบบ 3 มิติ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ทางด้านปรับปรุงกายภาพต่อไป

4. สรุปผลการศึกษา

จากการทดลองใช้อากาศยานไร้คนขับ เพื่อบินการสำรวจอาคารเรียน 22 และอาคารเรียน 3 ของกลุ่มวิชาสถาปัตยกรรม คณะศิลปกรรมและออกแบบอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เก็บเป็นฐานข้อมูลแบบจำลอง 3 มิติ ผู้ศึกษาพบว่าประเด็นที่น่าสนใจดังนี้

4.1 อุปสรรคของการบินสำรวจ อาคารทั้งสองหลัง พบว่ามีต้นไม้ขึ้นอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้เป็นอุปสรรคของอากาศยานที่ไม่สามารถเข้าไปถ่ายภาพในส่วนต่างๆของอาคารได้ จึงทำให้ข้อมูล point cloud ไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร เทียบกับการรังวัดด้วยวิธีใช้มนุษย์สำรวจจริงวัดอาคาร พบว่า หากใช้วิธีรังวัดอาคารด้วยมนุษย์นั้นสามารถทำได้เกือบทุกส่วนในแนวราบที่สัญจรไปได้ แต่ถ้าหากในแนวดิ่งแล้วก็มีข้อจำกัดถ้ามีระยะที่สูง และเสียงอันตรายเกินไป

4.2 ข้อมูลที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับในการบินสำรวจครั้งนี้แม้จะไม่สมบูรณ์มากนัก แต่ยังสามารถนำไปใช้งานในโปรแกรมทางด้าน 3 มิติ ต่างๆได้เป็นอย่างดี เช่น โปรแกรม Auto Cad หรือโปรแกรม Autodesk recap ดังที่ยกตัวอย่างมาข้างต้น

4.3 ข้อมูล 3 มิติที่ได้สามารถนำไปศึกษาถึง พื้นที่ที่รอบอาคาร ขนาดความสูง ความกว้าง และความยาว ของอาคารทั้ง 2 หลัง เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงอาคาร เช่น หาพื้นที่ทำสียอาคารภายนอก การออกแบบกันสาดของอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน หรือการสร้างทางเลือกเพื่อเป็นแนวทางการออกแบบปรับปรุงอาคาร เป็นต้น

4.4 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ในการวางแผนการบินควรเพิ่มความละเอียดของข้อมูลให้มากขึ้น เช่น ทดลองถ่ายภาพภาคพื้นดินรอบๆอาคารประกอบกับการถ่ายภาพทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ ในการประมวลผลข้อมูลอาจจะได้ข้อมูล point cloud ที่สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] จิรศักดิ์ มากกลาง, “การอนุรักษ์ผังบริเวณและอาคารยุคโมเดิร์น : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี”, ในการประชุมวิชาการระดับชาติ “วลัยลักษณ์วิจัย” ครั้งที่ 10, 2561, หน้า 1-7.
- [2] จเร วิมทยาการ และคณะ, “วารสาร วิทยาลัยเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2511”, นครราชสีมา, โรงพิมพ์ เลิศศิลป์, 2511.
- [3] ธราวุฒิ บัญเหลือ, “การประยุกต์ใช้เครื่องบินบังคับอัตโนมัติ เพื่อสร้างฐานข้อมูลแบบจำลองสารสนเทศ อาคารสำหรับงานสถาปัตยกรรมผังเมือง กรณีศึกษา อ.ธาตุพนม จ.นครพนม”, วารสารวิชาการคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สจล, 2561, หน้า 137-148.
- [4] ประสิทธิ์ โตโพธิ์กลาง และคณะ, “วารสาร 30 ปี แห่งการสถาปนา วิทยาลัยเทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทคนิคภาคตะวันออกเฉียงเหนือ”, บริษัท ลิฟวิ้ง 4242667, 2529.
- [5] ไพฑูรย์ เวศสุวรรณ และคณะ, “วารสาร 4 ทศวรรษ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ นครราชสีมา”, อมรินทร์พรินต์ติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง, 2539.
- [6] อภินันท์ สีม่วงงาม, “เทคนิคการใช้ sUAV ในการเก็บข้อมูลเพื่อการวางแผนและผังพัฒนาพื้นที่ กรณีศึกษา ถนนจอมพล จังหวัดนครราชสีมา”, วารสาร มทร.อีสาน, 2560, หน้า 25 – 39.

ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมของอาคารเรียนในเขตเมือง โรงเรียนประถมศึกษา เขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

บทคัดย่อ

สภาพแวดล้อมชุมชนเมือง เป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคาร และการสัญจร ส่งผลให้อุณหภูมิมีผลภาวะสูงกว่าพื้นที่นอกเมือง และอาจส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของอาคารในเขตเมือง โดยเฉพาะอาคารเรียนไม่ปรับอากาศ ซึ่งบทความนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์สภาพแวดล้อมของโรงเรียน เขตเมืองที่มีขนาดต่างกัน โดยใช้การคัดเลือกตัวอย่างโรงเรียนประถมศึกษา จำนวน 4 แห่ง ในจังหวัดนครราชสีมา จากนั้นจึงสำรวจข้อมูลภาคสนามเบื้องต้น โดยการถ่ายภาพ การสังเกต และ บันทึกข้อมูล เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมของโรงเรียนตัวอย่าง ผลการศึกษา พบว่า องค์ประกอบด้าน (1) คุณลักษณะด้านที่ตั้ง ความสูงอาคารข้างเคียง (2) การใช้ประโยชน์พื้นที่เปิดโล่งภายนอกอาคาร เช่น สัดส่วนพื้นผิวลาดแข็ง และพื้นที่สีเขียว (3) รูปแบบอาคารเรียน มีผลต่อการใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมของอาคารเรียน โดยเฉพาะโรงเรียนขนาดใหญ่ เขตเมือง ที่มีกิจกรรมการเรียนหลากหลาย และ จำนวนผู้ใช้งานต่อขนาดพื้นที่หนาแน่นมาก

คำสำคัญ โรงเรียนประถมศึกษา สิ่งแวดล้อม อาคารเรียน

Abstract

Urban environment is an area with density of buildings and traffic affecting temperature pollution, where is higher than non-urban area. That area may affect the environment of building, especially non-air conditioned school buildings. Propose of this article were as; to study and analysis the environmental factors of urban schools with different sizes and; to analysis and compare the environment factors of those sampled schools. Four primary schools in Nakhon Rachasima province were selected as samples. Fundamental data from field survey was conducted by taking photographs, observation and recording data to compare and analysis the environment factors of the sample. The study revealed that there were different compositions as in inspect of; (1) location, characteristics and height of building in the vicinity, (2) utilization of open space outside the school buildings e.g. the proportion of hard surfaces and green area and (3) building model affecting the utilization of school building's environment; especially large size school in urban areas that had various educational and number of user per area was in high density.

Keywords primary schools environment school building

1. บทนำ

การศึกษาสภาพแวดล้อมชุมชนเมือง เป็นพื้นที่ที่มีความหนาแน่นของอาคาร และพื้นที่ที่แดดแรงมาก มีพื้นที่สีเขียวน้อย วัสดุประกอบอาคาร เช่น คอนกรีต กระเบื้อง ทำให้เกิดการสะท้อนแสงอาทิตย์ และ กีดขวางทิศทางลม รวมถึงการสะสมความร้อน จากอาคารและพื้นที่ที่แดดแรง ต่างๆ นอกจากนั้น ความร้อนที่เปลือกอาคาร การระบายความร้อนจากระบบปรับอากาศในอาคาร ส่งผลให้อุณหภูมิ ฝุ่นละออง มลพิษในเขตเมืองสูงขึ้น จากการสัญจร และ การระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติได้ถูกจำกัด ด้วยกายภาพของเมือง ทำให้อาคารในเขตเมืองใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมโดยรอบได้น้อย และ จามรี (2558) สนับสนุนว่า ภูมิสถาปัตยกรรมเขตเมืองนั้นมีลักษณะพิเศษ เนื่องจาก การใช้ที่ดินหนาแน่น พื้นที่โล่งว่างน้อย สภาพอากาศสูงจากการสะท้อนแสง ความชื้นน้อย และ ปริมาณน้ำฝนที่ผิวดินมากกว่าพื้นที่นอกเมือง เพราะไม่สามารถซึมลงดินได้ ปัจจัยข้างต้น อาจทำให้อาคารเรียน ในโรงเรียนเขตเมือง โดยเฉพาะอาคารเรียนไม่ปรับอากาศ ได้รับผลกระทบจากปัญหาดังกล่าว

การศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมที่มีต่ออาคารเรียนก่อนหน้านี้ โดย เฉลิมวัฒน์ (2554) ศึกษาความเร็วลมในอาคารเรียน พบว่า อาคารเรียนในชนบท มีความเร็วลมเฉลี่ยที่สามารถขยายขอบเขตความสบายเชิงอุณหภูมิได้มากกว่า อาคารเรียนในเขตเมือง และ การศึกษาผลกระทบของเสียงรบกวนต่อการเรียนการสอนในโรงเรียน ระดับมัธยมศึกษา โดย Daniel M. Connolly and et al. (2015) พบว่า สถานที่ตั้งโรงเรียน อาคารที่มีเสียงรบกวนจากภายนอก ส่งผลต่อการเรียนรู้ของนักเรียน และ การศึกษาคุณภาพอากาศภายในโรงเรียนและอาคารเรียน โดย Jose A. Becerra and et al. (2020) พบว่า ผลกระทบเกิดจากกิจกรรมในอาคารเรียน ห้องเรียน อุปกรณ์การเรียนการสอน รวมถึงสภาพแวดล้อมภายนอก จากตำแหน่งที่ตั้ง และกิจกรรมโดยรอบ ซึ่งมีผลต่อสุขภาพของเด็ก นอกจากนั้น Magdy Moussa, Yehia mostafa and Ahmed Ahou Elwafa (2017) เสนอว่า ที่ตั้งโรงเรียน (The location of schools) เป็นหนึ่งในองค์ประกอบสำคัญของสาธารณูปการ และ ที่ตั้งโรงเรียนที่ใกล้กับที่อยู่อาศัย ชุมชน ส่งผลโดยตรงต่อสุขภาพกายและชีวิตประจำวันของเด็ก และ อวิรุทธ์ (2552) พบว่า แนวคิดการออกแบบอาคาร เขตสภาพภูมิอากาศแบบร้อนชื้น คือ การป้องกันความร้อนจากแสงอาทิตย์ การระบายอากาศและความชื้น และ การใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อม

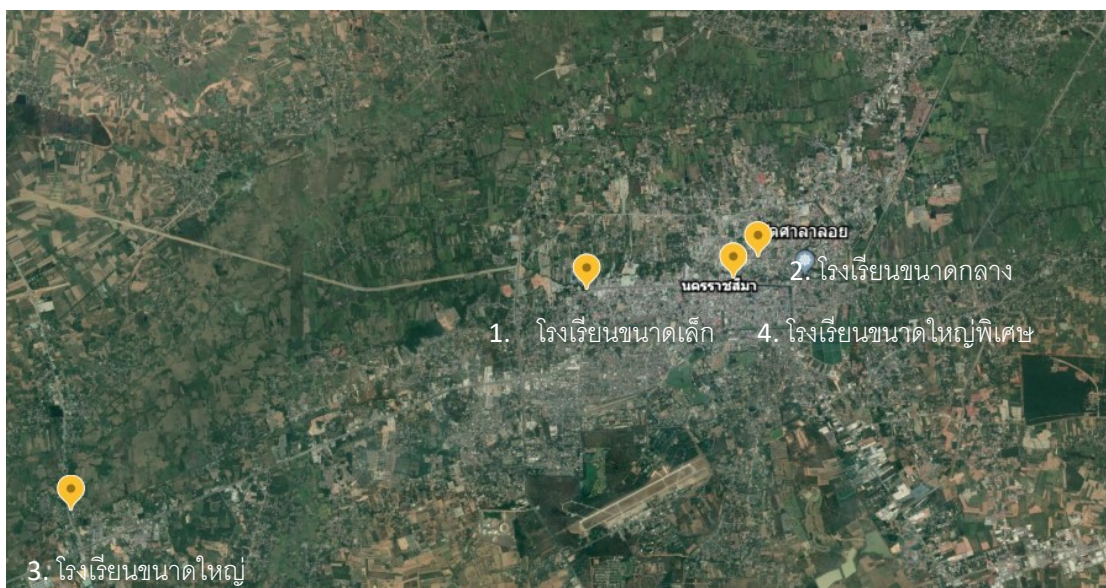
ในจังหวัดนครราชสีมา มีจำนวนโรงเรียนระดับประถมศึกษาเขตอำเภอเมือง 77 แห่ง ระดับมัธยมศึกษา เขตอำเภอเมือง 11 แห่ง และ แบ่งตามจำนวนผู้ใช้งาน ได้แก่ โรงเรียนขนาดเล็ก 24 แห่ง ขนาดกลาง 46 แห่ง ขนาดใหญ่ 3 แห่ง และ ขนาดใหญ่พิเศษ 4 แห่ง (สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษานครราชสีมา, 2562) ปัจจุบันมีแนวทางการออกแบบ (Design guideline) ที่เกี่ยวข้องกับอาคารเรียนมาตรฐาน ได้แก่ การจัดทำต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ ประเภทสถานศึกษา โดย กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2558) ใช้การปรับปรุงรูปแบบอาคารจากมาตรฐานเดิม คือ การติดตั้งวัสดุฉนวน โพลียูรีเทน หนา 100 มม. และ ใช้หลอดไฟประสิทธิภาพสูง LED และ การออกแบบอาคารเรียนทางเลือกใหม่โดยเฉลิมวัฒน์ (2554) เป็นการทบทวนวิธีการออกแบบอาคารมาตรฐานรูปแบบเดิม เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในอนาคต โดยเน้นความสำคัญกับการลดผลกระทบด้านพลังงาน และสิ่งแวดล้อม

จากการทบทวนวรรณกรรมเบื้องต้น เห็นได้ว่า ปัจจัยด้านทำเลที่ตั้ง ผังบริเวณ และ รูปแบบอาคารเรียน มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมในโรงเรียน และอาคารเรียนที่ต่างกัน ซึ่งการศึกษานี้ ใช้การคัดเลือกโรงเรียนตัวอย่าง จากจำนวนผู้ใช้งาน และ การจำแนกตามโรงเรียนที่เปิดสอน โดยคัดเลือกรูปแบบที่มีจำนวนสูงสุด คือ โรงเรียนประถมศึกษา จำนวน 4 แห่ง แบ่งตามขนาดเล็ก ถึงขนาดใหญ่พิเศษ และ กำหนดองค์ประกอบหลักในการศึกษาจากการทบทวนวรรณกรรม แบ่งเป็น 3 ด้าน คือ (1) ตำแหน่งที่ตั้งและอาคารข้างเคียง (2) การใช้ประโยชน์จากพื้นที่เปิดโล่ง (3) คุณลักษณะ หรือรูปแบบอาคารเรียน เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบที่มีผลต่อการใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมของอาคารเรียน เขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

2. ระเบียบวิธีวิจัย

1. การสำรวจข้อมูลภาคสนามโดยวิธีการสังเกต การถ่ายภาพ และ บันทึกข้อมูล (1) ตำแหน่งที่ตั้งและอาคารข้างเคียง (2) การใช้ประโยชน์จากพื้นที่เปิดโล่ง (3) รูปแบบอาคารเรียน ด้วยวิธีการสังเกต ระหว่างวันที่ 17-20 ธันวาคม 2562 เวลา 9:00-12:00 น และ 13:00-16:00 น. ในโรงเรียนประถมศึกษา 4 รูปแบบ ได้แก่ ขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ และ ขนาดใหญ่พิเศษ (นักเรียนไม่เกิน 120 คน – 3,000 คนขึ้นไป) ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ดังภาพที่ 1 แสดงตำแหน่งโรงเรียนตัวอย่าง

2. การวิเคราะห์เปรียบเทียบองค์ประกอบด้าน (1) ตำแหน่งที่ตั้งและอาคารข้างเคียง (2) การใช้ประโยชน์จากพื้นที่เปิดโล่ง (3) คุณลักษณะ หรือ รูปแบบอาคารเรียน เพื่อสรุปผลการศึกษาคู่ประกอบหลักที่มีต่อการใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมของอาคารเรียน ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา

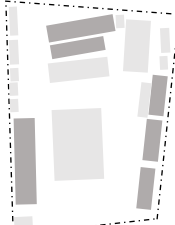


รูปที่ (1) ตำแหน่งที่ตั้งโรงเรียนตัวอย่าง จำนวน 4 แห่ง

3. ผลการวิจัย

การศึกษาและเปรียบเทียบองค์ประกอบด้าน (1) ตำแหน่งที่ตั้งและอาคารข้างเคียง (2) การใช้ประโยชน์จากพื้นที่เปิดโล่ง (3) คุณลักษณะ หรือ รูปแบบอาคารเรียน เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบเชิงบวก และเชิงลบด้านสภาพแวดล้อมของอาคารเรียน โรงเรียนประถมศึกษา 4 แห่ง แบ่งตามขนาด ดังตารางที่ สรุปผลการเปรียบเทียบ ลักษณะที่มีร่วมกัน และแตกต่างกันของโรงเรียนตัวอย่าง

ตารางที่ 1 สรุปผลการเปรียบเทียบ ลักษณะที่มีร่วมกัน และแตกต่างกันของโรงเรียนตัวอย่าง

องค์ประกอบ	โรงเรียนตัวอย่างที่ 1 ขนาดเล็ก	โรงเรียนตัวอย่างที่ 2 ขนาดกลาง	โรงเรียนตัวอย่างที่ 3 ขนาดใหญ่	โรงเรียนตัวอย่างที่ 4 ขนาดใหญ่พิเศษ
ผังโรงเรียน	 ■ อาคารเรียน ■ อาคารประกอบอื่น	 ■ อาคารเรียน ■ อาคารประกอบอื่น	 ■ อาคารเรียน ■ อาคารประกอบอื่น	 ■ อาคารเรียน ■ อาคารประกอบอื่น
คุณลักษณะด้านที่ตั้ง และอาคารข้างเคียง	- ตำแหน่งที่ตั้งในรัศมีไม่เกิน 1.5 กิโลเมตร ใกล้กับโครงการอาคารชุด โรงแรม ศูนย์การค้าขนาดใหญ่ เป็นต้น - อาคารข้างเคียง เป็นชุมชน อาคารพาณิชย์ สูง 3 ชั้น	- ตำแหน่งที่ตั้งในรัศมีไม่เกิน 200 เมตร ใกล้กับโรงพยาบาลรัฐ กลุ่มอาคารราชการ และเขตชุมชน - อาคารข้างเคียงเป็นอาคารพักอาศัย และกลุ่มอาคารราชการ ความสูง ไม่เกิน 3 ชั้น	- ตำแหน่งที่ตั้งในรัศมีไม่เกิน 200 เมตร ใกล้กับสะพานกลับรถ เส้นทางรถไฟ และเขตชุมชน - อาคารข้างเคียงเป็นอาคารพักอาศัย ความสูง 1-2 ชั้น	- ตำแหน่งที่ตั้งในรัศมีไม่เกิน 1.5 กิโลเมตร ใกล้กับ โรงพยาบาลรัฐ ศูนย์การค้าขนาดใหญ่ มหาวิทยาลัยรัฐ โรงเรียนขนาดใหญ่ เป็นต้น - อาคารข้างเคียงเป็นอาคารเรียน ความสูง 3-6 ชั้น
ขนาดที่ดิน และพื้นที่เปิดโล่ง	- ขนาดที่ดิน ประมาณ 3,400 ตร.ม - ขนาดพื้นที่เปิดโล่ง และพื้นที่สีเขียว ประมาณ 825 ตร.ม (คิดเป็นร้อยละ 24 ของพื้นที่ทั้งหมด) 	- ขนาดที่ดิน ประมาณ 8,704 ตร.ม - ขนาดพื้นที่เปิดโล่ง และพื้นที่สีเขียว ประมาณ 1,495 ตร.ม (คิดเป็นร้อยละ 17 ของพื้นที่ทั้งหมด) 	- ขนาดที่ดิน ประมาณ 16,493 ตร.ม - ขนาดพื้นที่เปิดโล่ง และพื้นที่สีเขียว ประมาณ 7,140 ตร.ม (คิดเป็นร้อยละ 43 ของพื้นที่ทั้งหมด) 	- ขนาดที่ดิน ประมาณ 26,131 ตร.ม - ขนาดพื้นที่เปิดโล่งและพื้นที่สีเขียว ประมาณ 6,994 ตร.ม (คิดเป็นร้อยละ 26 ของพื้นที่ทั้งหมด) 

องค์ประกอบ	โรงเรียนตัวอย่างที่ 1 ขนาดเล็ก	โรงเรียนตัวอย่างที่ 2 ขนาดกลาง	โรงเรียนตัวอย่างที่ 3 ขนาดใหญ่	โรงเรียนตัวอย่างที่ 4 ขนาดใหญ่พิเศษ
รูปแบบอาคารเรียน	- อาคารเรียนโครงสร้างไม้ จำนวน 1 อาคาร - อาคารเรียนโครงสร้างคอนกรีต จำนวน 2 อาคาร (ความสูง 2-4 ชั้น) - อาคารเรียนทั้งหมดเป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศ	- อาคารเรียนโครงสร้างไม้และคอนกรีต จำนวน 2 อาคาร เชื่อมต่อกันเป็นอาคารเดียว - อาคารเรียนโครงสร้างคอนกรีต จำนวน 2 อาคาร (ความสูง 2-3 ชั้น) - อาคารเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 เป็นพื้นที่ไม่ปรับอากาศ และ ห้องเรียนชั้นอนุบาลเป็นพื้นที่ปรับอากาศ	- อาคารเรียนโครงสร้างไม้และคอนกรีต จำนวน 2 อาคาร - อาคารเรียนไม้ จำนวน 1 อาคาร - อาคารเรียนโครงสร้างคอนกรีต จำนวน 3 อาคาร (ความสูง 1-3 ชั้น) - อาคารเรียนทั้งหมดเป็น พื้นที่ไม่ปรับอากาศ	- อาคารเรียนโครงสร้างคอนกรีต จำนวน 10 อาคาร (ความสูง 3-4 ชั้น) - อาคารเรียนเป็นพื้นที่ปรับอากาศ และ พื้นที่ไม่ปรับอากาศ แยกตามการเรียนการสอน
ตัวอย่างอาคารเรียน	 	 	 	 
ห้องเรียน	- จำนวนห้องเรียน 11 ห้องเรียน	- จำนวนห้องเรียน 18 ห้องเรียน	- จำนวนห้องเรียน 32 ห้องเรียน	- จำนวนห้องเรียน 114 ห้องเรียน
ผู้ใช้งาน	- จำนวนนักเรียน 111 คน (อัตราส่วนห้องเรียนต่อ จำนวนนักเรียน เท่ากับ 1: 12)	- จำนวนนักเรียน 570 คน (อัตราส่วนห้องเรียนต่อ จำนวนนักเรียน เท่ากับ 1: 32)	- จำนวนนักเรียน 1,129 คน (อัตราส่วนห้องเรียนต่อ จำนวนนักเรียน เท่ากับ 1: 35)	- จำนวนนักเรียน 4,426 คน (อัตราส่วนห้องเรียนต่อ จำนวนนักเรียน เท่ากับ 1: 39)

องค์ประกอบ	โรงเรียนตัวอย่างที่ 1 ขนาดเล็ก	โรงเรียนตัวอย่างที่ 2 ขนาดกลาง	โรงเรียนตัวอย่างที่ 3 ขนาดใหญ่	โรงเรียนตัวอย่างที่ 4 ขนาดใหญ่พิเศษ
ผลกระทบเชิงบวกจากสภาพแวดล้อม	- เข้าถึงได้จากระบบขนส่งสาธารณะ และทางเดินเท้า - พื้นที่ชั้น 1 ทั้งหมดเป็นใต้ถุนโล่ง ไม่มีห้องเรียน - ไม้พุ่มสูง ไม้พุ่มเตี้ยโดยรอบพื้นที่ด้านหน้าอาคารเรียน ความสูงไม่เกิน 3 เมตร	- เข้าถึงได้จากระบบขนส่งสาธารณะ และทางเดินเท้า - เขตที่ดินส่วนด้านหน้าโรงเรียนมีไม้ยืนต้น ขนาดทรงพุ่มหนา ความสูง 3-5 เมตร - พื้นที่โล่งส่วนด้านหน้าโรงเรียน มีหลังคาคลุมพื้นที่ลาดแข็ง	- เข้าถึงได้จากทางเดินเท้า มีถนนโดยรอบทางเข้าออกโรงเรียน 2 จุด ติดกับชุมชน - เขตที่ดินส่วนด้านหน้าโรงเรียนมีไม้ยืนต้น ขนาดทรงพุ่มหนา ความสูง 3-5 เมตร - พื้นที่โล่งส่วนด้านหน้าโรงเรียน มีหลังคาคลุมพื้นที่ลาดแข็ง	- เข้าถึงได้จากระบบขนส่งสาธารณะ และทางเดินเท้า - พื้นที่โล่งส่วนด้านหน้าโรงเรียน มีหลังคาคลุมพื้นที่ลาดแข็ง
ผลกระทบเชิงลบจากสภาพแวดล้อม	- อาคารเรียนชั้นประถมศึกษาปีที่ 1-6 ติดกับถนนหลัก การสัญจรหนาแน่น - อาคารเรียนหันทิศขวางตะวัน จำนวน 2 อาคาร	- อาคารเรียนชิดกับเขตชุมชน อาคารพักอาศัย - อาคารเรียนหันทิศตามตะวันทั้งหมด 4 อาคาร	- อาคารเรียน ตำแหน่งใกล้กับสะพานกลับรถและชุมชน - อาคารเรียนหันทิศขวางตะวัน จำนวน 4 อาคาร	- อาคารเรียนใช้พื้นที่ห้องเรียน เป็นพื้นที่ทานอาหารกลางวัน แทนโรงอาหาร - อาคารเรียนหันทิศขวางตะวัน จำนวน 5 อาคาร

4. สรุปผลและอภิปรายผล

การศึกษาและเปรียบเทียบสภาพแวดล้อมของอาคารเรียนเขตเมือง ในโรงเรียนประถมศึกษา เขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา จากองค์ประกอบด้าน (1) ตำแหน่งที่ตั้งและอาคารข้างเคียง (2) การใช้ประโยชน์จากพื้นที่เปิดโล่ง (3) คุณลักษณะ หรือรูปแบบอาคารเรียน พบว่า

(1) โรงเรียนเขตเมืองทุกขนาดในการสำรวจ มีตำแหน่งที่ตั้ง ที่สามารถเข้าถึงได้จากระบบขนส่งสาธารณะ และทางเดินเท้า ดังภาพที่ 2

(2) การใช้ประโยชน์จากพื้นที่เปิดโล่ง พบว่า โรงเรียนทุกขนาดมีการจัดสวนขนาดเล็ก พื้นผิวลาดแข็งภายนอกอาคาร และ การใช้ไม้พุ่ม ไม้ยืนต้น บังเงาให้กับอาคาร แต่ขนาดทรงพุ่ม ความสูง และ ระยะห่างของต้นไม้ ไม่เอื้อต่อการบังแดด และป้องกันมลภาวะกับอาคารเรียน นอกจากนั้น โรงเรียนตัวอย่าง 3 แห่ง มีการใช้โครงสร้างหลังคาคลุมพื้นที่ผิวลาดแข็ง เพื่อทำกิจกรรมภายนอกอาคาร ดังภาพที่ 3-7

(3) คุณลักษณะ หรือรูปแบบอาคารเรียน ด้านทิศการวางอาคาร มี 2 รูปแบบ คือ แนวทิศเหนือ-ใต้ และ แนวทิศตะวันออก-ตะวันตก จากขนาดและรูปร่างที่ดิน ที่มีด้านแคบอยู่ทางทิศเหนือ-ใต้ ทำให้อาคารเรียน ได้รับผลกระทบจากการความร้อน และการสะสมความร้อนบนพื้นผิวอาคารแข็ง รูปแบบอาคารเรียนในการสำรวจ มี 2 รูปแบบ คือ โครงสร้างคอนกรีต และ โครงสร้างไม้ แบบใต้ถุนโล่ง และ แบบมีห้องเรียนชั้นล่าง ซึ่งอาคารเรียน รูปแบบใต้ถุนโล่ง สามารถใช้พื้นที่ใต้ถุน แทนพื้นที่เปิดโล่งภายนอกที่ไม่มีร่มเงาได้ นอกจากนั้น อาคารเรียนทุกขนาดในการสำรวจ มีความสูง ไม่เกิน 4 ชั้น กรณีที่ตั้งอยู่ในย่านสถานศึกษา กลุ่มอาคารราชการ ที่มีความสูงใกล้เคียงกัน คือ 3-4 ชั้น ทำให้มีผลต่อมุมมองสู่ภายนอกของอาคารเรียน การใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ และการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติ ดังภาพที่ 8-10



ภาพที่ 2 การเข้าถึงโดยทางเดินเท้าและรถขนส่งสาธารณะ



ภาพที่ 3 การจัดสวนขนาดเล็กภายในโรงเรียน



ภาพที่ 4 การใช้โครงสร้างหลังคาคลุมพื้นที่ผิวคอนกรีต



ภาพที่ 5 ความสูงไม้ยืนต้นตามแนวเขตโรงเรียนและอาคารเรียน



ภาพที่ 6 การใช้ไม้พุ่มไม้ยืนต้นบังเงาให้กับอาคาร



ภาพที่ 7 พื้นผิวอาคารแข็งภายนอกอาคาร



ภาพที่ 8 อาคารข้างเคียงที่มีความสูงไม่เกิน 3 ชั้น



ภาพที่ 9 มุมมองจากภายในอาคารเรียนไปยังภายนอก



ภาพที่ 10 การใช้ประโยชน์จากอาคารเรียนรูปแบบใต้ถุนโล่ง

การอภิปรายผลการศึกษابัจจัยด้านสภาพแวดล้อมของโรงเรียนตัวอย่าง พบว่า สภาพแวดล้อมเขตเมือง มีผลต่อการใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อมของอาคารเรียน โดยเฉพาะอาคารเรียนไม่ปรับอากาศ อีกทั้งวารสารวิชาการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)

การใช้ประโยชน์พื้นที่เปิดโล่งภายนอกอาคาร และ พื้นที่อาคารเรียน มีความแตกต่างกันตามขนาดโรงเรียน โดยเฉพาะโรงเรียนขนาดใหญ่ เขตเมือง ที่มีกิจกรรมการเรียนหลากหลาย และ จำนวนผู้ใช้งานต่อขนาดพื้นที่หนาแน่นมาก ซึ่งควรมีการศึกษาเพิ่มเติม ด้านผู้ใช้อาคาร และลักษณะเฉพาะของอาคารเรียนไม่ปรับอากาศเขตเมือง เพื่อสร้างสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมกับอาคารเรียน จากเงื่อนไขสภาพแวดล้อมที่ต่างกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์ในการเข้าสำรวจ และเก็บข้อมูลสภาพแวดล้อมภายในโรงเรียน จากคณะผู้บริหาร และบุคลากรของโรงเรียนตัวอย่าง จำนวน 4 แห่ง ในเขตอำเภอเมือง จังหวัดนครราชสีมา ผู้วิจัยขอขอบคุณหน่วยงาน และ บุคลากรทุกท่าน มา ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน, คู่มือเผยแพร่อาคารต้นแบบประหยัดพลังงานภาครัฐ โครงการศึกษาและพัฒนาเพื่อสร้างต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ, 2558
- [2] จามรี อาระยานิมิตสกุล, พืชพันธุ์ในงานภูมิสถาปัตยกรรม, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2558
- [3] เฉลิมวัฒน์ ต้นสวัสดิ์, การออกแบบที่พึงพาธรรมชาติเพื่อรองรับการเปลี่ยนแปลงทางสภาพภูมิอากาศ โรงเรียนอนุรักษ์พลังงานแห่งอนาคต, ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, 2554
- [4] อวิรุทธ์ ศรีสุภาพรณ, เทคโนโลยีสภาวะแวดล้อมในการออกแบบสถาปัตยกรรมเขตร้อน-ชื้น, ปทุมธานี: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, 2552
- [5] D. M. Connolly and et al., "Students' perceptions of school acoustics and the impact of noise on teaching and learning in secondary schools: Findings of a questionnaire survey", Energy Procedia, Volume 78, pp 3114-3119, 2015.
- [6] J. A. Becerra and et al., "Identification of potential indoor air pollutants in schools", Journal of Cleaner Production, Volume 242, 2020.
- [7] M. Moussa, Y. mostafa and A. A. Elwafa., "School Site Selection Process", Procedia Environmental Sciences. Volume 37, pp. 282-293, 2017.

สืบค้นข้อมูลอิเล็กทรอนิกส์

- [8] สำนักงานคณะกรรมการการศึกษาขั้นพื้นฐาน, รายละเอียดสิ่งก่อสร้าง. (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก http://bobec.bopp-obec.info/build_sch_list.php?Area_CODE=3007 (วันที่ค้นข้อมูล : 15 พฤศจิกายน 2562)
- [9] สำนักงานเขตพื้นที่การศึกษาประถมศึกษานครราชสีมา เขต 1, ข้อมูลสารสนเทศ ปี 2562 (ออนไลน์) เข้าถึงได้จาก <http://koratedu.info/2017/> (วันที่ค้นข้อมูล : 30 พฤศจิกายน 2562)

องค์ประกอบหลังคากระเบื้องลอนคู่เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนจากแสงอาทิตย์

Fiber Cement Roof Components for Solar Heat Transfer Reduction

คงฤทธิ เหลืองไตรรัตน์¹ และ ผศ.ดร.ชำนาญ บุญญาพุทธิพงศ์²

1 โปรแกรมวิชาสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

2 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

Kongrit Luengtrirat¹ and Asst.Prof.Chumnan Boonyaputthipong, Ph.D.²

1 Architectural Program, Faculty of Industrial Technology, Chiangrai Rajabhat University

2 Faculty of Architecture, Khon kean University

บทคัดย่อ

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเพื่อหาแนวทางลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคาบ้านพักอาศัย โดยมุ่งศึกษาองค์ประกอบหลังคากระเบื้องลอนคู่ ซึ่งมีคุณสมบัติของการส่งผ่านความร้อนได้มาก จึงเป็นปัญหาความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่บ้านพักอาศัย โดยจะเพิ่มประสิทธิภาพองค์ประกอบของหลังคาเพื่อลดการถ่ายเทความร้อน จึงเลือกวัสดุมาใช้ในการทดลองและเปรียบเทียบ คือ เพิ่มหลังคากระเบื้องลอนคู่เป็นสองชั้น ใส่ฉนวนใยแก้วกันความร้อนหนา 3 นิ้ว และติดแผ่นสะท้อนรังสีความร้อนอลูมิเนียมฟอยล์ การดำเนินงานวิจัยด้วยกล่องทดลอง เพื่อเปรียบเทียบอุณหภูมิและหาคุณสมบัติวัสดุที่มีประสิทธิภาพลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีที่สุด โดยใช้กล่องทดลองขนาด 1.0 x 1.0 x 1.0 ม. มีหลังคาลาดเอียง 15 องศา การทดลองจะเก็บข้อมูลวัดอุณหภูมิทุก 10 นาที เป็นเวลา 4 วัน

ผลศึกษาพบว่า

กล่องการทดลองที่ 1 เป็นการทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนจากหลังคากระเบื้องลอนคู่ชั้นเดียวโดยไม่มีฉนวนกันความร้อน มีอุณหภูมิกลางกล่องเฉลี่ยอยู่ที่ 33.27 องศาเซลเซียส

กล่องการทดลองที่ 2 เป็นการทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนจากหลังคากระเบื้องลอนคู่โดย ติดฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว ได้หลังคา มีอุณหภูมิกลางกล่องเฉลี่ยอยู่ที่ 31.52 องศาเซลเซียส

กล่องการทดลองที่ 3 เป็นการทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนจากหลังคากระเบื้องลอนคู่โดยติดแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์ ได้หลังคา มีอุณหภูมิกลางกล่องเฉลี่ยอยู่ที่ 31.01 องศาเซลเซียส

กล่องการทดลองที่ 4 เป็นการทดลองหาค่าการถ่ายเทความร้อนจากหลังคากระเบื้องลอนคู่สองชั้น มีช่องว่างในการระบายอากาศ 20 ซม. มีอุณหภูมิกลางกล่องเฉลี่ยอยู่ที่ 32.26 องศาเซลเซียส

ผลจากการศึกษานี้ได้ชี้ให้เห็นว่าการใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์และฉนวนมีประสิทธิผลมากในการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่ารูปแบบการใช้หลังคาสองชั้น โดยแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าติดฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว เล็กน้อย หากเปรียบเทียบราคาวัสดุในท้องตลาดจะพบว่า ราคาอลูมิเนียมฟอยล์จะถูกกว่าฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว ประมาณ 90 บาท ต่อตารางเมตร ดังนั้นผลจากการศึกษานี้สามารถนำไปประกอบการเลือกใช้อุปกรณ์ประกอบสำหรับหลังคากระเบื้องลอนคู่ต่อไป

ABSTRACT

Research study is to find solution of reducing heat transfer from a house's roof. The fiber cement roof is the main focus of the study due to its low heat transfer resistant. It is a problem of heat transfer into the house. The component that improve heat transfer for the fiber cement roof are selected for the study. Three solutions are added double roof with 20 cm. cavity, attached 3-inch thick fiberglass insulation and installed aluminum foil. The study used 1.0x1.0x1.0 m. box with 15 degree faced south roof for the experiments.

The experiment collected temperature data every 10 minutes for 4 days. The results show that:

Box Experiment 1: Single fiber cement roofing without insulation. The average temperature in the middle of the box is 33.27 degrees Celsius.

Box Experiment 2: Single fiber cement roofing with 3-inch thick fiberglass insulation. The average temperature in the middle of the box is 31.52 degrees Celsius.

Box Experiment 3: Single fiber cement roofing with aluminum foil. The average temperature in the middle of the box is 31.01 degrees Celsius.

Box Experiment 4 Double fiber cement roofing with 20 cm. cavity. The average temperature in the middle of the box is 32.26 degrees Celsius.

The study shows that a single fiber cement roofing with 3-inch thick fiberglass insulation and a single fiber cement roofing with aluminum foil are effective for heat transfer from roof. The aluminum foil solution performs slightly better than the 3-inch thick fiberglass insulation one. However, comparison of the material cost, it has been found that aluminum foil is about 90 bath per sq.m. cheaper than 3-inch thick fiberglass insulation. So, the result of this study can be used for choice selection for a house's fiber cement roof component in the future.

1. บทนำ

หลังคาเป็นองค์ประกอบของอาคารที่ทำหน้าที่ปกป้องความร้อนจากแสงแดดจากดวงอาทิตย์ ดังนั้นปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ที่เข้าสู่ภายในอาคารกว่าครึ่งหนึ่งจึงเป็นความร้อนที่มาจากทางหลังคา เพราะเป็นส่วนที่รับความร้อนจากรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ยาวนานที่สุด และมีพื้นที่รับรังสีมากที่สุด (Al-Obaidi K., Ismail M. and Rahman A., 2014) จึงส่งผลให้อุณหภูมิอากาศภายในห้องที่อยู่ชั้นบนสุดของอาคารสูงกว่าสภาวะสบายในเวลากลางวัน ดังนั้นหลังคาของอาคารซึ่งทำหน้าที่เปรียบเสมือนตัวสกัดกั้นผลกระทบโดยตรงจากอิทธิพลการเปลี่ยนแปลงของสภาวะอากาศภายนอกกับสภาพแวดล้อมภายในอาคาร จึงควรเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมในการทำหน้าที่ป้องกันความร้อนจากแสงแดด โดยควรเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติในการป้องกันความร้อนได้ดี มีความแข็งแรงทนทาน มีอายุการใช้งานยาวนาน สามารถทำการก่อสร้างได้อย่างรวดเร็ว ประหยัดทั้งราคา และค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา

วัสดุหลังคาสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลัก คือ หลังคาประเภท Heavyweight Solid ซึ่งส่วนใหญ่เป็นหลังแบน เช่น หลังคาคอนกรีตเสริมเหล็ก (Flat Slab) และหลังคาประเภท Lightweight ซึ่งทั่วไปเป็นหลังคายานอกบนโครงหลังคา วัสดุที่ใช้เป็นแผ่นหลังคาก็แตกต่างกันออกไป เช่น กระเบื้องคอนกรีต กระเบื้องดินเผา หรือแผ่นโลหะต่างๆ (Givoni B., 1969)

วัสดุหลังคา Lightweight ที่มีราคาประหยัดและนิยมใช้อยู่ในประเทศไทยได้แก่ หลังคากระเบื้องลอนคู่ หลังคาเหล็กกริด ซึ่งมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในการลดการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์โดยค่าการถ่ายเทความร้อนนั้น หลังคาเหล็กกริด จะมีค่าลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่าหลังคากระเบื้องลอนคู่ ในเรื่องของ การสะท้อนรังสีความร้อนจากผิวมันวาว และการหน่วงความร้อนของความหนาของหลังคาเหล็กกริด ผิดกับหลังคากระเบื้องลอนคู่มีความหนาที่มากกว่าจึงเป็นมวลสารในการกักเก็บความร้อนและจุความร้อนได้มากกว่าจึงเกิดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร (Boonyaputthipong C., 2017)

จากปัญหาดังกล่าว การลดปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้าสู่อาคารการใช้หลังคากระเบื้องลอนคู่ จึงจำเป็นต้องการปรับปรุงแก้ไขปัญหาในการลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร โดยนำวิธีการลดปริมาณความร้อนที่มีใช้อยู่ในปัจจุบันมาปรับปรุงเพื่อหาค่าประกอบของหลังคากระเบื้องลอนคู่ที่เหมาะสมที่สุดในการลดการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์

โดยที่จะเลือกทำการทดลองการหั่นหลังคารับแสงแดดจากดวงอาทิตย์ทางด้านทิศใต้เพราะเป็นทิศทางของดวงอาทิตย์ที่อ้อมได้ทางประเทศไทยและพื้นที่หลังคาได้รับปริมาณความร้อนได้มากที่สุด ซึ่งหากมีการศึกษาองค์ประกอบหลังคากระเบื้องลอนคู่เพื่อลดการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ตัวอาคาร อาจจะได้คำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการลดการถ่ายเทความร้อนจากหลังคากระเบื้องลอนคู่ที่เหมาะสม เพื่อให้เกิดสภาวะน่าสบายและลดการใช้พลังงานในอาคารจากการใช้งานเครื่องปรับอากาศ

งานวิจัยนี้จะทำการศึกษาค่าการใช้หลังคากระเบื้องลอนคู่ ซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน แต่มีปัญหในเรื่องการนำความร้อนได้ดี ความจุความร้อนได้มาก จึงสามารถถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในอาคารได้ดีตามไปด้วย ดังนั้นการลดความร้อนที่ถ่ายเทจากหลังคากระเบื้องลอนคู่เข้าสู่ภายในอาคารจึงต้องถูกพิจารณาองค์ประกอบหลังคาที่เหมาะสมที่สุดอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น อันส่งผลให้พื้นที่ใช้งานใต้หลังคามีอุณหภูมิลดลง และเกิดการใช้วัสดุอย่างยั่งยืนต่อไปแก่สังคม

2. ขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยได้แบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง คือ ขั้นแรกการเตรียมแบบจำลองหลังคา เพื่อศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดการถ่ายเทความร้อนระหว่างองค์ประกอบหลังคากระเบื้องลอนคู่ทั้ง 4 แบบคือ

- แบบจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่
- แบบจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ใส่นวนกันความร้อนใต้หลังคา
- แบบจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่ใช้แผ่นอลูมิเนียมฟอยล์สะท้อนรังสีความร้อน
- แบบจำลองหลังคากระเบื้องลอนคู่สองชั้น

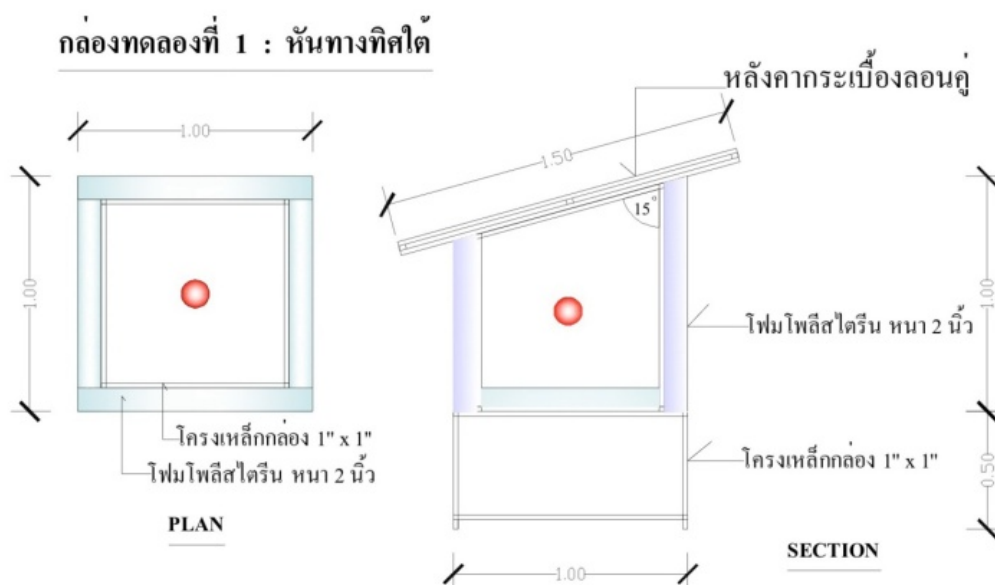
โดยแบบจำลองทั้ง 4 แบบ มีขนาดกล่องสี่เหลี่ยม 1.0x1.0x1.0 ม. และมีความลาดเอียงของหลังคาที่ 15 องศา ยกสูงจากพื้น 0.50 เซนติเมตร ติดตั้ง Data logger : DT - 171 USB เพื่อวัดอุณหภูมิกลางกล่อง ภายในกล่องทดลองทั้ง 4 กล่องทดลอง (ภาพที่ 2-5) วัดอุณหภูมิภายในกล่อง 4 กล่อง โดยเก็บข้อมูลทุก 10 นาที

เป็นเวลา 4 วัน แล้วนำข้อมูลมาดำเนินการวิเคราะห์เปรียบเทียบอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทั้ง 4 กล่อง เพื่อสรุปผลการศึกษา

สถานที่ทำการทดลอง เป็นดาดฟ้าของอาคาร สนพ.คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นมีพื้นที่ว่างไม่มีรั้วไม้ค้ำบังแสงแดด โดยกล่องทดลองจะจัดวางให้หันหลังคารับแสงจากดวงอาทิตย์ทางทิศใต้ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 การจัดวางกล่องทดลอง

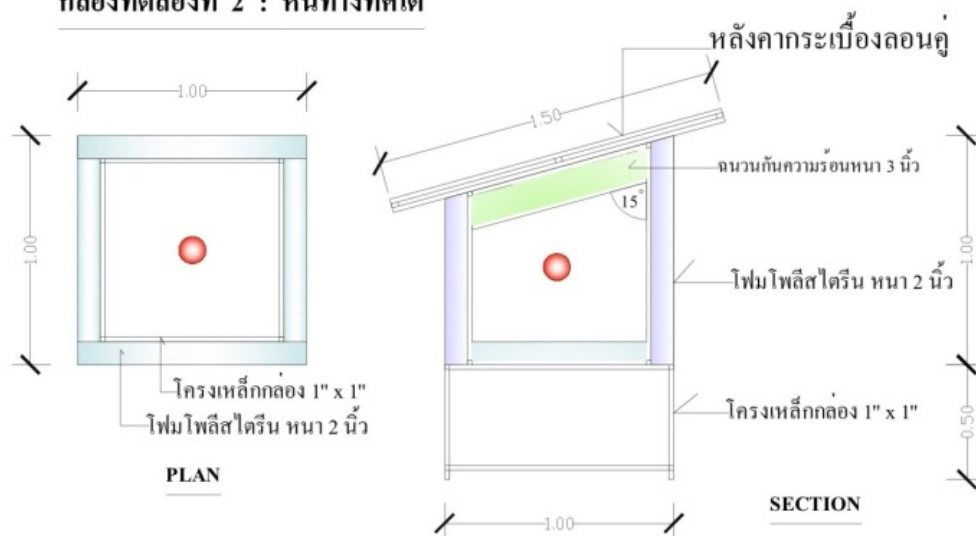


ภาพที่ 2 กล่องทดลองที่ 1 หลังคากระเบื้องลอนคู่

วารสารวิชาการ พลังงานและสิ่งแวดล้อมในอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)

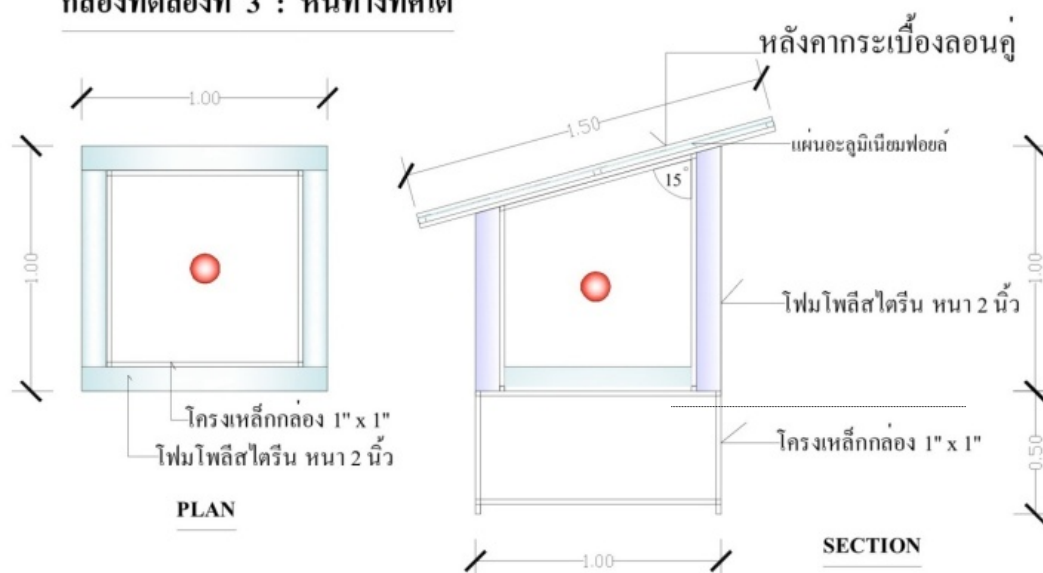
Journal of Building Energy & Environment VOL.4 (June 2020)

กล่องทดลองที่ 2 : หันทางทิศใต้

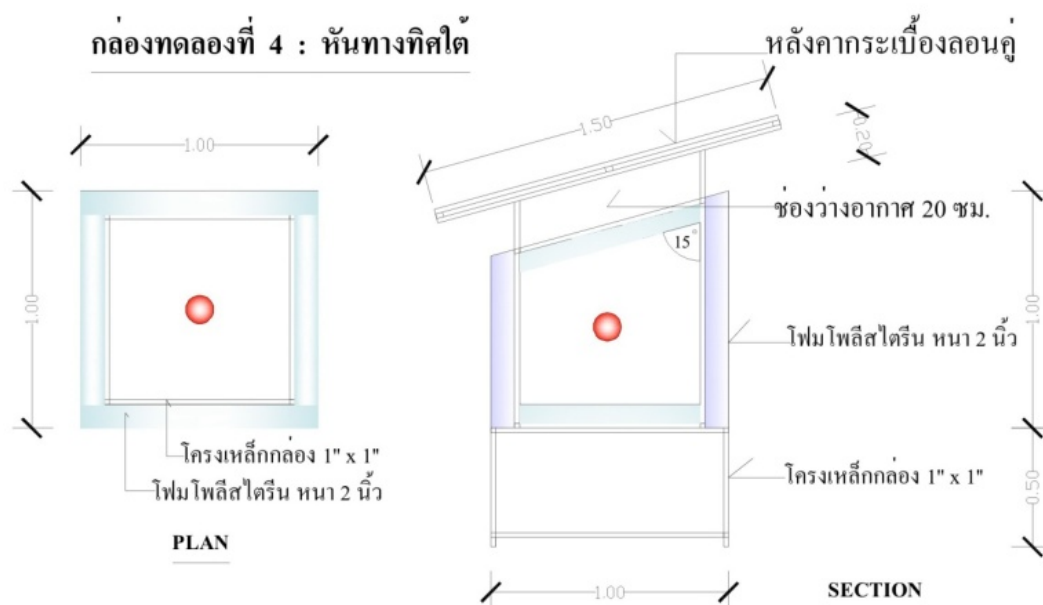


ภาพที่ 3 กล่องทดลองที่ 2 หลังคากระเบื้องลอนคู่ติดฉนวนกันความร้อนใต้หลังคา

กล่องทดลองที่ 3 : หันทางทิศใต้



ภาพที่ 4 กล่องทดลองที่ 3 หลังคากระเบื้องลอนคู่ติดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ใต้หลังคา



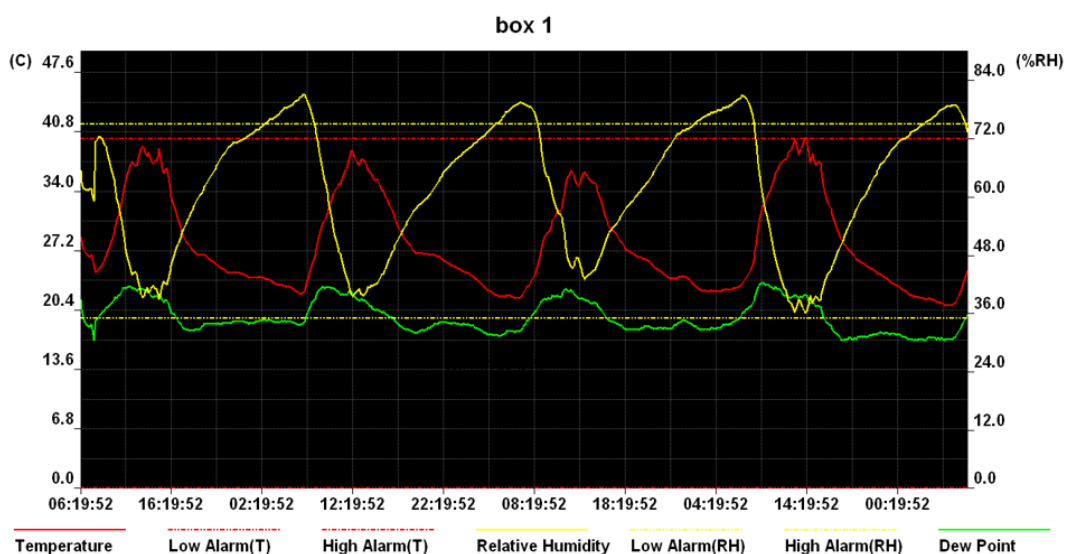
ภาพที่ 5 กล่องทดลองที่ 4 หลังจากกระเบื้องลอนคู่สองชั้น

3. ผลการศึกษา

จากการทดลอง ทั้ง 4 การทดลอง สามารถสรุปผลได้ดังนี้

3.1 การทดลองกล่องที่ 1

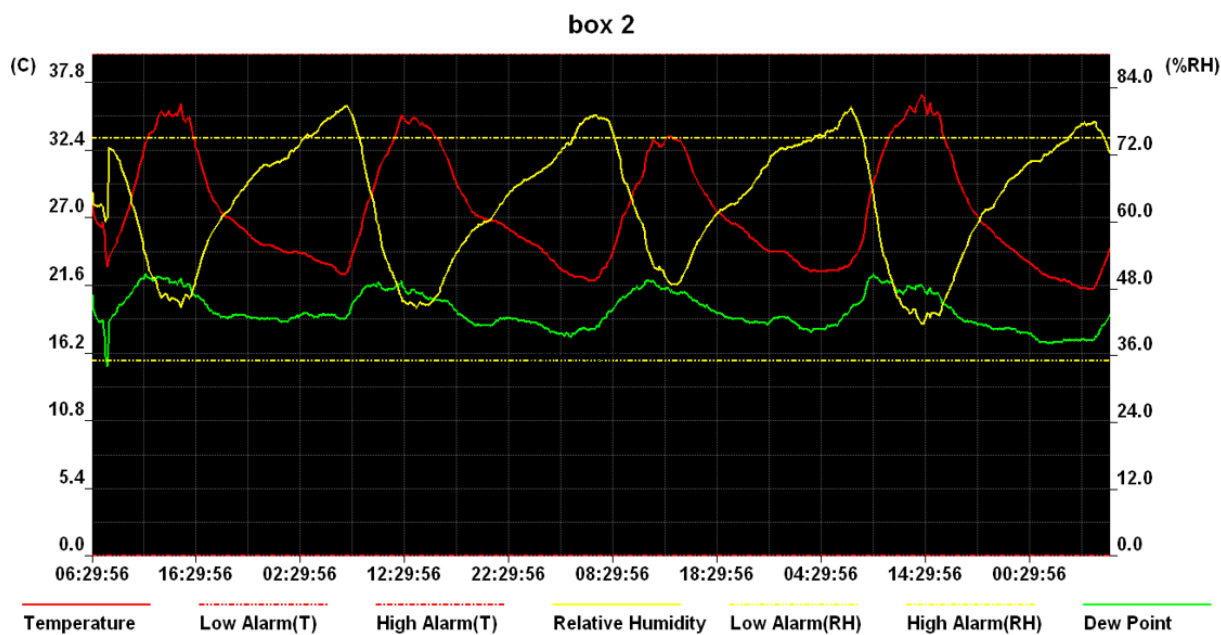
ศึกษาความสามารถในการลดการถ่ายเทความร้อนของ กระเบื้องลอนคู่ชั้นเดียว ทำการทดลองวัดอุณหภูมิบริเวณกลางกล่องทดลองโดยมีผลการทดลองดังนี้ (ภาพที่ 6)



ภาพที่ 6 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องการทดลองที่ 1 กระเบื้องลอนคู่ชั้นเดียว

3.2 การทดลองกล่องที่ 2

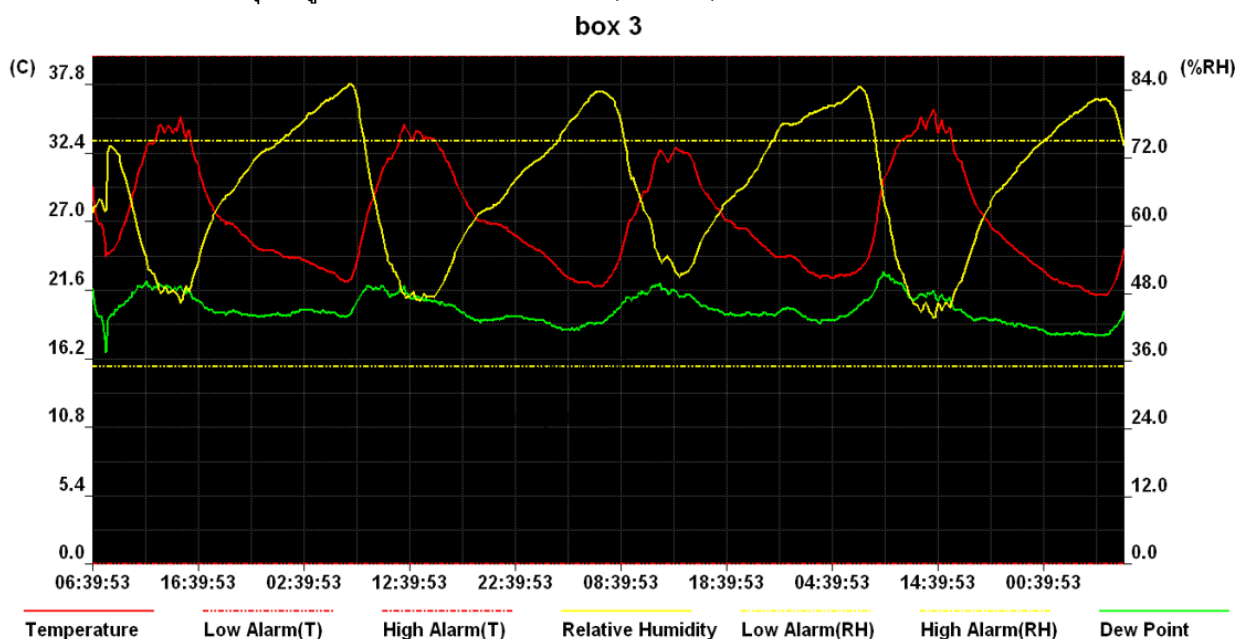
ศึกษาถึงผลการใช้นวนกันความร้อนใยแก้วที่มีความหนา 3 นิ้ว ทำการทดลองวัดอุณหภูมิบริเวณกลางกล่องทดลอง (ภาพที่ 7)



ภาพที่ 7 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องการทดลองที่ 2 หลังการกระเบื้องลอนคู่ติดฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว

3.3 การทดลองกล่องที่ 3

ศึกษาผลของการเพิ่มประสิทธิภาพต่อการลดการถ่ายเทความร้อน จากแผ่นอลูมิเนียมฟอยล์สะท้อนรังสีความร้อน ทำการทดลองวัดอุณหภูมิบริเวณกลางกล่องทดลอง (ภาพที่ 8)



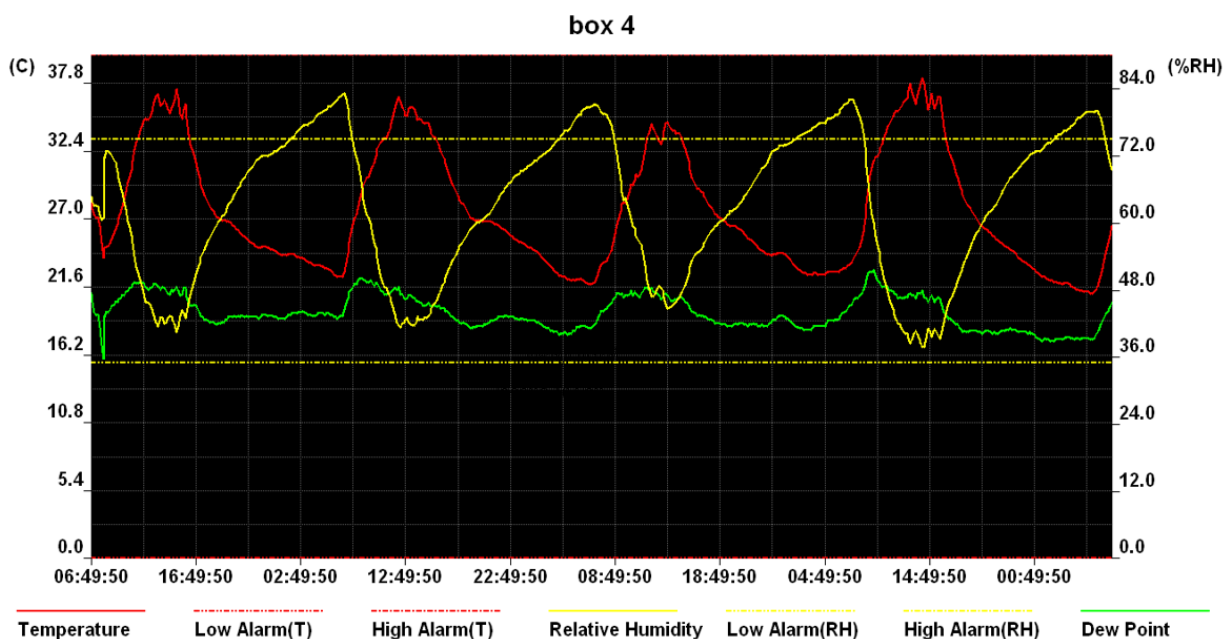
ภาพที่ 8 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องการทดลองที่ 3 หลังการกระเบื้องลอนคู่ติดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

วารสารวิชาการ ผลงานและสิ่งแวดลอมในอาคาร ฉบับที่ 4 (มิถุนายน 2563)

Journal of Building Energy & Environment VOL.4 (June 2020)

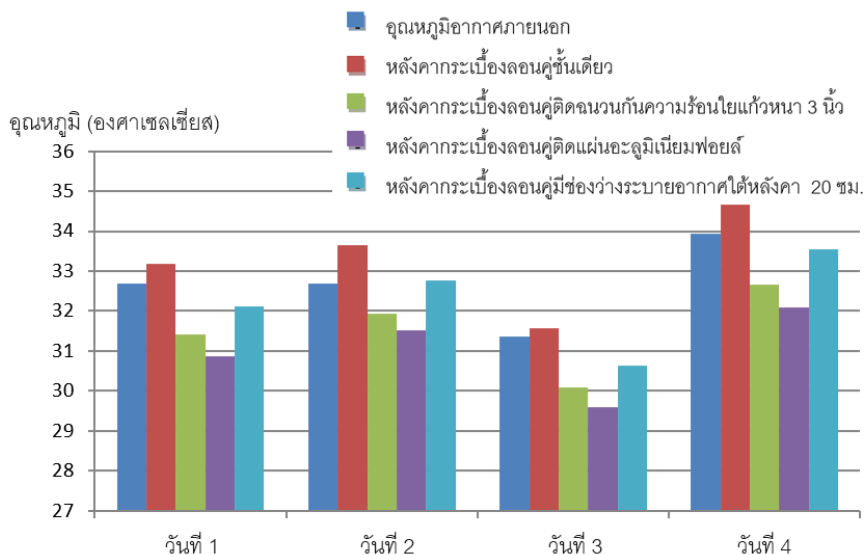
3.4 การทดลองกล่องที่ 4

ศึกษาผลของการเพิ่มประสิทธิภาพต่อการลดการถ่ายเทความร้อน โดยการเสริมเป็นหลังคาสองชั้น โดยเป็นกระเบื้องลอนคู่ ทำการทดลองวัดอุณหภูมิบริเวณกลางกล่องทดลอง (ภาพที่ 9)



ภาพที่ 9 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองที่ 4 หลังคากระเบื้องลอนคู่สองชั้น

เมื่อพิจารณาจากอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ยในช่วงกลางวัน จะพบว่า กล่องทดลองทั้ง 4 กล่องที่หันหลังคาด้านที่เอียงไปทางทิศใต้มีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องทดลองเฉลี่ยต่ำที่สุดคือ (30.01°C) กล่องทดลองที่ 3 ติดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ใต้หลังคากระเบื้องลอนคู่ ทั้ง 4 วันที่ทำการทดลอง รองลงมาคือ (31.52°C) กล่องทดลองที่ 2 ใส่ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว ตามด้วยหลังคากระเบื้องลอนคู่สองชั้น (32.26°C) และหลังคากระเบื้องลอนคู่ชั้นเดียว (33.27°C) และมีอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยเท่ากับ (32.67°C) โดย กล่องทดลองที่ 3 ติดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ใต้หลังคากระเบื้องลอนคู่จะมีอุณหภูมิอากาศภายในกล่องเฉลี่ยต่ำกว่ากล่องทดลองที่ 2 ใส่ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว 0.51°C ต่ำกว่ากล่องทดลองที่ 4 หลังคากระเบื้องลอนคู่สองชั้น 1.25°C และต่ำกว่ากล่องทดลองที่ 1 หลังคากระเบื้องลอนคู่ชั้นเดียว 2.26°C (ภาพที่ 10)



ภาพที่ 10 กราฟแสดงอุณหภูมิอากาศในกล่องทดลองเฉลี่ยทั้ง 4 กล่องและอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยในช่วงกลางวัน

จากการศึกษาพบว่า กล่องทดลองที่ 3 ซึ่งเป็นการใช้แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ติดใต้หลังคาจะมีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในกล่องต่ำกว่ากล่องที่ 2 ที่เป็นฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว อยู่ 0.51°C ต่ำกว่ากล่องทดลองที่ 4 หลังคากระเบื้องลอนคู่สองชั้น 1.25°C และต่ำกว่ากล่องทดลองที่ 1 หลังคากระเบื้องลอนคู่ชั้นเดียว 2.26°C เนื่องจากกล่องทดลองที่ 3 ติดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์ด้วยลักษณะความฉนวนช่วยสะท้อนแสงรังสีความร้อนออกไป จึงทำให้มีค่าการป้องกันความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่กล่องได้ดีกว่ากล่องอื่น

ในช่วงเวลากลางวัน การใช้หลังคาสองชั้นและหลังคาชั้นเดียวที่ไม่มีฉนวน ต่างก็มีอุณหภูมิความร้อนที่สูงที่ถ่ายเทลงมาจากหลังคากระเบื้องลอนคู่ โดยไม่มีฉนวนป้องกันความร้อนหรือฉนวนสะท้อนรังสีความร้อนกลับออกไปเหมือนกับหลังคาที่ใช้ฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วและติดแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์

4. สรุปผลการศึกษา

ผลจากการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่าการใช้แผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์และฉนวนมีประสิทธิภาพมากในการลดการถ่ายเทความร้อนได้ดีกว่ารูปแบบการใช้หลังคาสองชั้น โดยแผ่นอะลูมิเนียมฟอยล์สามารถป้องกันความร้อนได้ดีกว่าฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้วเล็กน้อย หากเปรียบเทียบราคาวัสดุในท้องตลาดจะพบว่า ราคาอะลูมิเนียมฟอยล์จะถูกกว่าฉนวนใยแก้วหนา 3 นิ้ว ประมาณ 90 บาท ต่อตารางเมตร

ดังนั้นจะพบว่า จากการศึกษาเบื้องต้นนี้ สามารถนำไปประกอบการพิจารณาเลือกใช้รูปแบบการติดตั้งสำหรับหลังคากระเบื้องลอนคู่ได้

5. เอกสารอ้างอิง

- Boonyaputthipong C. (2017), Roof Forms and Materials for Energy Saving in Thailand, Key Engineering Materials, Vol. 733, pp. 80-84, 2017
- Givoni, B . (1969). Man, Climate and Architecture. Great Yarmouth : Elsevier Publishing Company Limited.
- Al-Obaidi K., Ismail M. and Rahman A. (2014), Passive cooling techniques through reflective and radiative roofs in tropical houses in Southeast Asia: A literature review, Frontiers of Architectural Research, vol. 3 Issue 3, September 2014, Pages 283-297