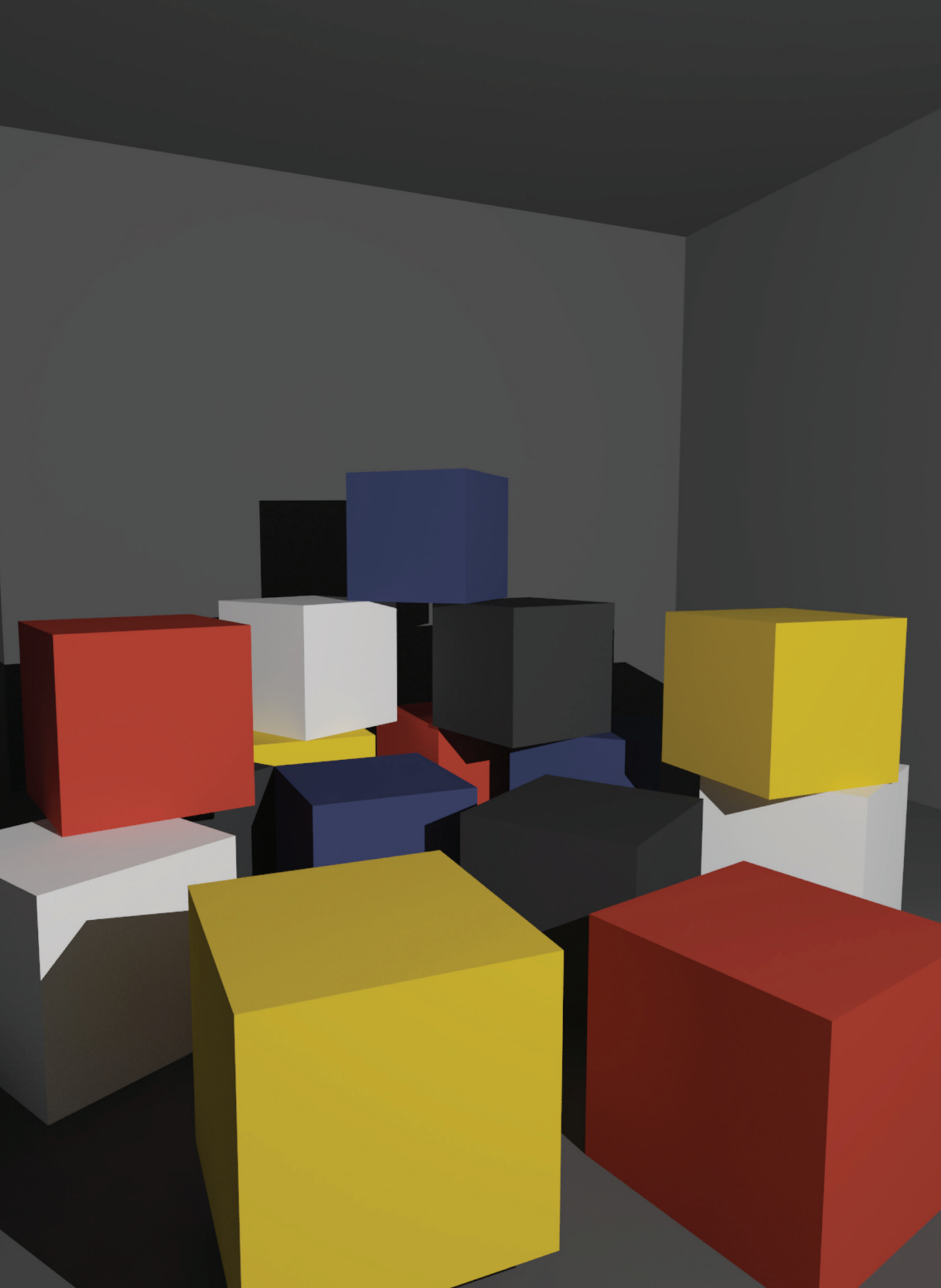




อิทธิพลของทิศทางแสงที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีวัตถุ

Influence of lighting direction on measured brightness values of colored objects

ณัฐกานต์ ประเสริฐสุข¹ และ วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์²
Natthakarn Prasertsuk¹ and Vorapat Inkarojrit²

Received: 2020-07-21

Revised: 2020-09-10

Accepted: 2020-09-22

บทคัดย่อ

ปัจจุบันวิธีการเก็บค่าสีทางสถาปัตยกรรมมีหลากหลายวิธี วิธีการถ่ายภาพและเก็บค่าสีด้วยระบบดิจิทัลเป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ หากแต่วิธีดังกล่าวยังไม่มีการนำปัจจัยเรื่องทิศทางของแสงสว่างและตำแหน่งอาคารมาปรับใช้ร่วมกับการเก็บค่าสีทางสถาปัตยกรรม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อค่าสีวัตถุที่วัดได้มีความแตกต่างไปจากสีเดิมของวัตถุ ดังนั้นงานวิจัยชิ้นนี้ มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาและวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของสี (brightness) เมื่อมีทิศทางของแสงส่องมายังวัตถุแตกต่างกัน โดยเก็บข้อมูลค่าสีจากหุ่นจำลองทรงลูกบาศก์ทั้งหมด 5 สี และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีวัตถุแต่ละด้าน พบว่าเมื่อทิศทางแสงเปลี่ยนแปลงในแนวตั้งจาก 0 องศา เป็น 30 และ 60 องศา ค่าความสว่างของสีส่วนใหญ่ลดลงไม่เกินร้อยละ 15 แต่เมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเปลี่ยนจาก 60 องศา เป็น 90 องศา ค่าความสว่างของสีลดลงเฉลี่ยที่ร้อยละ 80 การเปลี่ยนแปลงนี้ส่งผลต่อค่าสีผิวและสีผ้าโดยตรง นอกจากนี้ยังพบว่ายังมีปัจจัยด้านค่าสี (hue) และค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) ที่ส่งผลต่อค่าสีของสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งค่าความอิ่มตัวของสีเหลืองที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าสีเบื้องต้นมากกว่าร้อยละ 50 ในขณะที่ค่าความอิ่มตัวของสีแดงและสีน้ำเงินมีความแตกต่างจากสีเบื้องต้นไม่เกินร้อยละ 20 งานวิจัยนี้ได้นำไปปรับใช้ร่วมกับการเก็บค่า

¹ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Faculty of Architecture, Chulalongkorn University)

ผู้เขียนหลัก (corresponding author) E-mail: hn.ninng@gmail.com

² คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(Faculty of Architecture, Chulalongkorn University)

สีทางสถาปัตยกรรมในพื้นที่เมืองเก่าสงขลา โดยการวิเคราะห์ทิศทางของแสงอาทิตย์, ตำแหน่งอาคารและค่าความสว่างสี และเพื่อให้วิธีการนี้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น จึงเสนอให้มีการทดลองกับสีอื่นๆ และแบบจำลองที่หลากหลายมากขึ้น รวมถึงวิเคราะห์ค่าเนื้อสีและค่าความอิ่มตัวของสีเพิ่มเติม

คำสำคัญ: การเก็บค่าสี สถาปัตยกรรม เมืองเก่า ค่าความสว่างของสี

Abstract

Currently, there are many ways to collect architectural colors. One of the popular methods is the digital color collection from images. However, the factors of lighting direction and building location were not combined with this method, which is an important factor affecting the measured color value different from the original color. Therefore, this research aimed to investigate the changes in color brightness when the light shines on the objects with different directions by collecting the colors from 5 different color cube models and analyze the color value of each side. The result illustrates that when the direction of the light changes in the vertical from 0 degrees to 30 and 60 degrees, color brightness mostly decreases by not more than 15 percent. However, when the vertical direction of the light changes from 60 degrees to 90 degrees, the brightness of all colors decreases by an average of 80 percent, which directly affects white and black. In addition, this study also found that the factors of hue and saturation affect the yellow, red and blue, in particular, the saturation of the yellow is measured lower than the preliminary color by 50 percent. While the saturation of red and blue are different to primary colors that are less than 20 percent. This research has been applied with the digital color collection architecture in Songkla Old Town, by analyzing with the sun direction, building location and the color brightness. In order to be more precise, the experiment should study various types of colors, model and the analysis of hue and saturation.

Keywords: color detection, architecture, old town, brightness value

บทนำ

พื้นที่เมืองเก่าเป็นสถานที่รวบรวมอัตลักษณ์ทางด้านประวัติศาสตร์ ศิลปะ วัฒนธรรม รวมไปถึงสถาปัตยกรรมที่สืบทอดกันมาอย่างยาวนานของประเทศไทย ซึ่งปัจจุบันสถาปัตยกรรมในบริเวณพื้นที่เมืองเก่าเกิดความทรุดโทรมไปตามกาลเวลา ตามระเบียบสำนักนายกรัฐมนตรี ว่าด้วยการอนุรักษ์และพัฒนากรุงรัตนโกสินทร์ และเมืองเก่า พ.ศ.2546 ได้กำหนดวิธีต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางอนุรักษ์และพัฒนาเมืองเก่าอย่างมีประสิทธิภาพ โดยการปรับปรุงสีอาคารเป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้โดยง่ายและใช้งบประมาณในการปรับปรุงน้อยกว่าวิธีการอื่น แต่การเลือกใช้สีและวัสดุสำหรับงานสถาปัตยกรรมประเภทอาคารเก่าและอาคารอนุรักษ์ให้มีความเหมาะสมนั้นเป็นสิ่งสำคัญ เนื่องจากสีวัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงอาจมีแตกต่างไปจากของเดิมมากเกินไป ทำให้เกิดปัญหาเรื่อง “มลพิษทางสี” ต่อสภาพแวดล้อมในเมืองและ ความรู้สึกของผู้ที่อาศัยอยู่ในเมืองทั้งทางด้านจิตวิทยาและทางด้านกายภาพ ไปจนถึงทัศนคติที่มีต่อสีของคนในพื้นที่ (Molanaie, 2017) จึงมีงานวิจัยจำนวนมากที่พัฒนาวิธีการระบุค่าสีทางสถาปัตยกรรม เพื่อเป็นข้อมูลสำหรับการปรับปรุงสีอาคาร โดยเมื่อทำการศึกษาพบว่าแต่ละวิธีการมักมีข้อจำกัดและข้อบ่งชี้ที่ช่วยให้วิธีการนั้นสมบูรณ์อยู่หลายด้าน ดังนั้นบทความนี้จะเป็นการนำเสนอปัจจัยและวิธีการที่ช่วยให้การระบุค่าสีทางสถาปัตยกรรม มีความสมบูรณ์และใกล้เคียงกับสีอาคารจริงมากขึ้น

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิทยานิพนธ์ “การศึกษารูปแบบชุดสีทางสถาปัตยกรรม พื้นที่เมืองเก่าสงขลา” โดยจำกัดเนื้อหาอยู่ที่กระบวนการรับรู้ด้านสีของมนุษย์ และทิศทางของแสงที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีวัตถุในแต่ละด้าน ซึ่งเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อการเก็บค่าสีทางสถาปัตยกรรม จากการทบทวนทฤษฎี วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบด้านสี ที่มีบทบาทสำคัญในการถ่ายทอดอัตลักษณ์ของเมืองและการรับรู้บริบทต่าง ๆ ผ่านทางสายตา (Tomic & Maric, 2011) ซึ่งผู้คนมักจดจำเป็นครั้งแรกเมื่อมองเห็น (Zhang & Di, 2013) ความคงตัวของสี (color constancy) เป็นหนึ่งในกระบวนการมองเห็นสีวัตถุของมนุษย์ โดยมนุษย์สามารถระบุลักษณะของสีวัตถุได้จากความคุ้นเคย, ความหมายและความทรงจำเกี่ยวกับวัตถุ (Hansen, et al., 2006; Hering, 1920; Siple & Springer, 1983) เช่น เมื่อเห็นใบไม้ไม่ว่าจะอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีมืดหรือสว่าง แต่มนุษย์จะสามารถระบุได้ว่าใบไม้มีสีเขียว หรือในการทดลองระบุสีของผักผลไม้ ซึ่งผู้เข้าร่วมการทดลองสามารถระบุค่าสี (hue) ของผักผลไม้แต่ละชนิดได้อย่างถูกต้อง มีเพียงค่าความสดของสี (chromaticity) ที่ถูกระบุไว้สูงกว่าความเป็นจริง มีผลมาจากความชื่นชอบส่วนตัวของผู้เข้าร่วมการทดลองต่อวัตถุที่พิจารณา (Siple & Springer, 1983) เป็นต้น ความคงตัวของสีจึงเป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญต่อการระบุค่าสีทางสถาปัตยกรรม เมื่อศึกษาเพิ่มเติมพบว่ามิงานวิจัยจำนวนมากอธิบายถึงวิธีการเก็บค่าสีทางสถาปัตยกรรม โดยวิธีการใช้พัดสี (fan deck) จากระบบสีสากลในการเทียบสีจากองค์ประกอบสถาปัตยกรรมโดยตรง เป็นวิธีที่มีความถูกต้องและใกล้เคียงสภาพความเป็นจริงมากที่สุด (De Mattiello & Rabuini, 2011; Jirawongsapan & Tachakitkachon, 2018; Kuo & Tseng, 2011; Lenclos & Lenclos, 2004) แต่การเก็บค่าสีด้วยวิธีนี้มีข้อจำกัดในหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเข้าถึงพื้นที่อาคารที่ถูกจำกัด อีกทั้งยังเป็นวิธีที่ยุ่งยากและใช้เวลานานในการเก็บข้อมูล ดังนั้นในปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการเก็บค่าสีในระบบดิจิทัล ที่สามารถย่นระยะเวลาในการเก็บข้อมูลและยังได้ค่าสีที่มีความใกล้เคียงกับสภาพความเป็นจริง โดยใช้วิธีการบันทึกภาพถ่ายอาคารและสังเคราะห์ค่าสีในระบบสากล ทั้งหมด 5 จุดจากแต่ละองค์ประกอบของอาคาร

ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ จากนั้นจึงนำผลรวมมาหาค่าเฉลี่ยของสี (Changnawa & Chansomsak, 2018; Nguyen & Teller, 2017; Wang, Jiang & Sun, 2013) ซึ่งค่าสีที่วัดได้จากพื้นผิวอาคารมีทั้งที่ใกล้เคียงกับสีอาคารจริง และมีความสว่างหรือมืดเกินความเป็นจริง เนื่องจากตำแหน่งและทิศทางด้านหน้าของอาคารในพื้นที่ที่มีความแตกต่างกัน กอปรกับช่วงเวลาในการบันทึกภาพ มีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางแสงอาทิตย์ แสงที่กระทบพื้นผิวอาคารจึงมีผลต่อค่าสีที่วัดได้ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีที่กล่าวว่าแหล่งกำเนิดแสงสว่างเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี โดยค่าสเปกตรัมและอุณหภูมิสีของแหล่งกำเนิดแสงที่ต่างกัน ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีวัตถุได้อย่างชัดเจน (Foster & Nascimento, 1994; Nascimento & Foster, 1997) นอกจากนี้ในงานวิจัยระบุปัจจัยด้านทิศทางของแสงและตำแหน่งของวัตถุส่งผลกระทบต่อค่าสีของวัตถุอย่างมีนัยยะสำคัญ (Delahunt & Brainard, 2004)

จากการศึกษาทฤษฎีและทบทวนวรรณกรรมสามารถสรุปได้ว่าแหล่งกำเนิดแสงและทิศทางของแสงมีความสำคัญต่อการรับรู้ความแตกต่างทางด้านสีของมนุษย์ และยังส่งผลต่อค่าสีที่วัดได้มีความแตกต่างไปจากสีพื้นผิววัตถุเดิม โดยงานวิจัยในช่วงเวลาที่ผ่านมา ยังไม่มีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของสี วัตถุ เมื่อมีแสงส่องมาในทิศทางที่ต่างกัน และยังไม่มีการนำปัจจัยดังกล่าวมาปรับใช้ร่วมกับการสังเคราะห์สีทางสถาปัตยกรรมในระบบดิจิทัล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อศึกษาค่าความสว่างของสี วัตถุว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร เมื่อทิศทางของแสงที่ส่องไปยังวัตถุนั้นมีความแตกต่างกัน เพื่อนำเสนอวิธีในการเก็บค่าสีให้มีความใกล้เคียงกับสีจริงมากขึ้นและนำไปปรับใช้ร่วมกับการสถาปัตยกรรมต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาและวิเคราะห์ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของสี วัตถุในแต่ละด้าน เมื่อมีทิศทางของแสงที่ส่องไปยังวัตถุในทิศทางที่ต่างกัน
2. ศึกษาและเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าความสว่างของสี วัตถุที่วัดได้กับค่าสีเบื้องต้น
3. นำเสนอแนวทางการเก็บค่าสีในระบบดิจิทัลที่มีความใกล้เคียงกับสีเบื้องต้น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการเก็บข้อมูลค่าสีสำหรับงานสถาปัตยกรรมที่ต้องการปรับปรุงสีอาคารให้มีความใกล้เคียงกับของเดิม

ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการเก็บข้อมูลจากวัตถุทรงลูกบาศก์ด้าน A และ B ซึ่งเปรียบเสมือนรูปด้านของอาคารภายใต้สภาพแวดล้อมจำลอง โดยสีที่ใช้ในงานวิจัยเป็นแม่สีขั้นที่ 1 (primary colors) ได้แก่ สีแดง สีเหลือง สีน้ำเงิน สีขาวและสีดำ ทั้งหมด 5 สี ซึ่งสามารถอ้างอิงค่าสีได้จากระบบสีสากล จากนั้นนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบเฉพาะการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของสี วัตถุเท่านั้น

วิธีดำเนินงานวิจัย

1. กำหนดค่าสีและสร้างหุ่นจำลอง

สีที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้คือสีน้ำชนิดด้านของแบรนด์ TOA ซึ่งสามารถอ้างอิงได้จากระบบสี RGB จากนั้นจึงนำมาเทียบเคียงกับระบบสี HSB ในโปรแกรม Adobe Photoshop เพื่อให้เป็นระบบสีสำหรับสีที่บ โดยผู้วิจัยเลือกใช้ทั้งหมด 5 สี ได้แก่ สีขาว (H: 0, S: 0, B: 100) สีเหลือง (H: 50, S: 100, B: 96) สีแดง (H: 6, S: 71, B: 73) สีน้ำเงิน (H: 231, S: 42, B: 42) และสีดำ (H: 240, S: 2, B: 24) บนหุ่นจำลองที่มีลักษณะพื้นผิวเป็นแบบด้านทรงลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 เซนติเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1

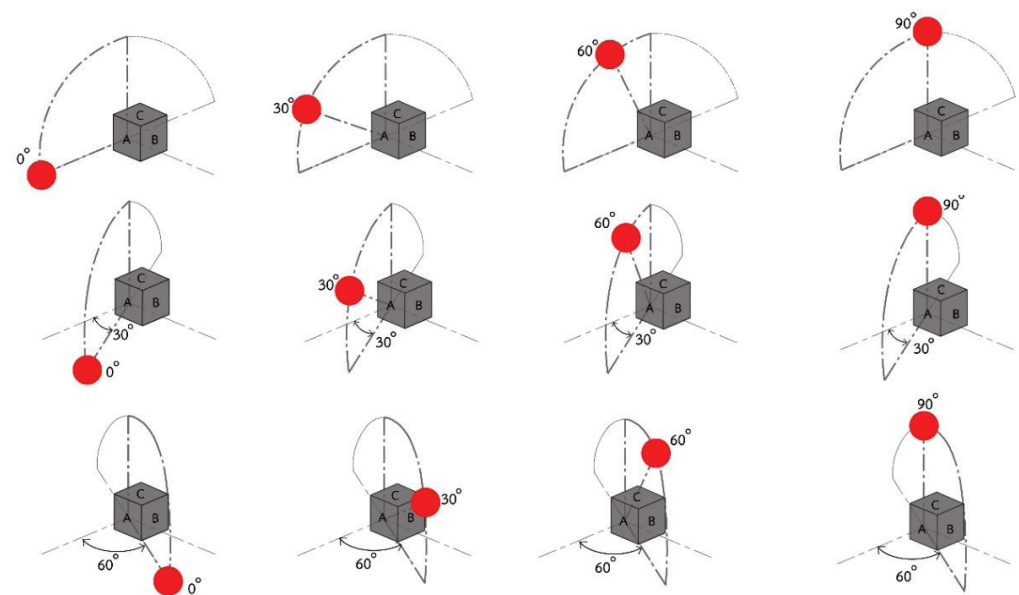


ภาพที่ 1 รูปแบบหุ่นจำลอง

2. วิธีการเก็บข้อมูล

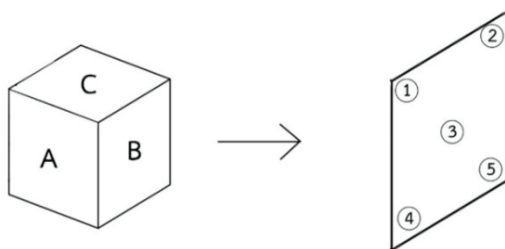
ในการวิจัยและเก็บข้อมูลผู้วิจัยได้แบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.1 เก็บข้อมูลด้วยวิธีการบันทึกภาพถ่ายดิจิทัล โดยกำหนดค่าเบื้องต้นของกล้องตามระบบการใช้งานของกล้องเช่นเดียวกับงานวิจัยที่มีการเก็บค่าสีทางสถาปัตยกรรมงานอื่นๆ เนื่องจากผู้วิจัยทำการบันทึกและเก็บข้อมูลภายใต้สภาพแวดล้อมจำลองที่ไม่มีแสงสว่าง มีผนังและพื้นของฉากเป็นสีดำเพื่อลดการสะท้อนแสงไปยังวัตถุ ดังนั้นจึงมีการกำหนดค่าที่เกี่ยวข้องกับแสงให้มีค่าต่ำกว่าการตั้งค่าในงานวิจัยอื่นๆ โดยมีค่ารูรับแสง (f-number) ที่ F/4.5 ค่าความเร็วชัตเตอร์ (speed shutter) ที่ 1/10 ค่าความไวแสง (ISO) ที่ 100 ในส่วนของการตั้งค่าแสงสมดุลสีขาว (WB) ในโหมดอุณหภูมิสี (CT) ที่ 5,200K และขนาดภาพ 2,736 x 1,824 (pixel) เป็นค่าที่แสดงในระบบของกล้องที่ใช้ในงานวิจัย สำหรับแหล่งกำเนิดแสงที่ใช้ในการส่องสว่างไปยังวัตถุในงานวิจัยนี้เลือกใช้หลอด LED ขนาด 12.5 วัตต์ 1,200 ลูเมน ที่มีอุณหภูมิของสีหลอดไฟ 6,500K ซึ่งมีความใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์ มีค่าความถูกต้องของแสง (CRI) สูงสุดอยู่ที่ 80 โดยทำการปรับเปลี่ยนทิศทางของแสงตามตำแหน่งที่สามารถสังเกตความเปลี่ยนแปลงของแสงได้อย่างชัดเจน ได้แก่ ทิศทางของแสงทำมุมกับวัตถุในแนวนอนที่ 0 องศา 30 องศา และ 60 องศา และในแต่ละมุมแนวนอนยังมีการปรับเปลี่ยนมุมของแสงในแนวตั้งที่ 0 องศา 30 องศา 60 องศา และ 90 องศา รวมทั้งหมด 12 รูปแบบในแต่ละสี ดังแสดงในภาพที่ 2



ภาพที่ 2 ตำแหน่งของหุ่นจำลองและทิศทางของแหล่งกำเนิดแสง

2.2 นำภาพถ่ายเข้าโปรแกรม Adobe Photoshop CS6 เพื่อหาค่าสีจำนวน 5 จุด จากระบบสี HSB ซึ่งเป็นระบบสีสำหรับสีที่บัพจากพื้นผิวในด้าน A และ B ของหุ่นจำลอง ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ตำแหน่งในการเก็บค่าสีของพื้นผิวแต่ละด้านของหุ่นจำลอง

3. วิเคราะห์ข้อมูล

นำค่าสีที่วัดได้ในแต่ละด้านทั้ง 5 จุดจากวัตถุทรงลูกบาศก์ที่มีทิศทางของแหล่งกำเนิดแสงที่แตกต่างกันสี่ละ 12 รูปแบบ มาหาค่าเฉลี่ยด้วยสมการที่ 1 หาค่าเฉลี่ยทั้งหมด 3 ค่า ได้แก่ ค่าสี (hue) ค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) และค่าความสว่างของสี (brightness) โดยในแต่ละค่าจะมี $\bar{x}$ คือค่าเฉลี่ย และ Σx คือผลรวมของค่าสีทั้ง 5 จุด และ N คือจำนวนข้อมูล

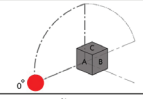
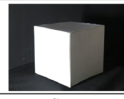
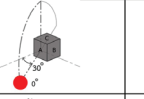
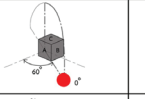
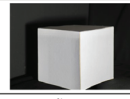
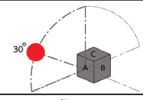
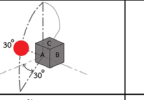
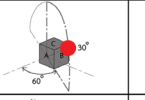
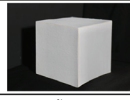
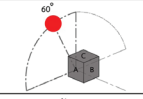
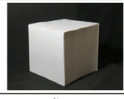
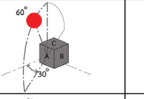
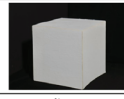
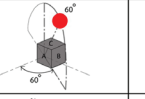
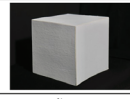
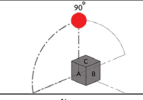
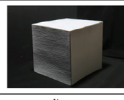
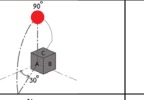
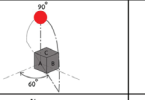
$$\bar{x} = \frac{\Sigma x}{N} \quad \text{สมการที่ (1)}$$

ในงานวิจัยชิ้นนี้ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบค่าสี (hue) ที่มีค่าตั้งแต่ 0-360 องศา ค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) และค่าความสว่างของสี (brightness) ซึ่งแต่ละค่ามีค่าตั้งแต่ร้อยละ 0-100 ผ่านโปรแกรม Microsoft Excel เพื่อหาการเปลี่ยนแปลงของสีพื้นผิววัตถุด้าน A และ B ว่ามีการเปลี่ยนแปลงในลักษณะใด เมื่อทิศทางของแสงมีการเปลี่ยนในแนวตั้งและแนวนอนทุกๆ 30 องศา นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าสีเบื้องต้นกับค่าสีที่วัดได้ เพื่อนำมาปรับใช้ร่วมกับการเก็บค่าสีองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมให้มีความใกล้เคียงกับสีจริงมากที่สุด

ผลการวิจัย

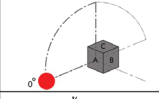
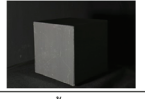
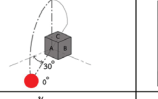
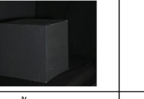
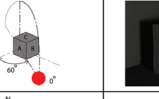
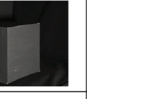
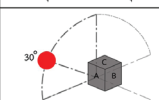
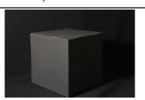
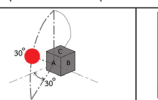
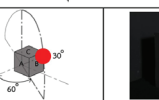
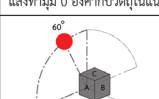
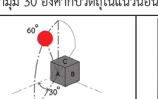
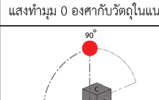
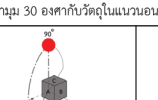
จากการเก็บข้อมูลและวิเคราะห์ค่าความสว่างของสีวัตถุทั้ง 5 ชิ้น ในทิศทางของแสงที่แตกต่างกัน โดยจำแนกค่าความสว่างของสี (brightness) ที่ทำการทดลอง พบว่าสีชาวด้าน A ที่มีแสงทำมุม 0 องศา ทั้งในแนวนอนและแนวตั้งเป็นด้านที่มีค่าความสว่างใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากที่สุด และจากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของวัตถุสีชา พบว่าเมื่อทิศทางแสงเปลี่ยนในแนวตั้งช่วง 0 ถึง 60 องศา จะมีค่าความสว่างของสีลดลงเพียงเล็กน้อยเฉลี่ยที่ร้อยละ 15 แต่เมื่อเปลี่ยนจาก 60 องศา เป็น 90 องศา ค่าความสว่างของสีจะลดลงเฉลี่ยร้อยละ 80 ยกเว้นกรณีของทิศทางแสงที่ทำมุม 0 องศาในแนวนอน ที่เมื่อทิศทางแสงเปลี่ยนจาก 60 องศาเป็น 90 องศาในแนวตั้งของด้าน B ที่มีค่าความสว่างของสีลดลงเพียงร้อยละ 14 ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าสีในระบบ HSB ของสีขาวบนพื้นผิว A และ B ของวัตถุทรงลูกบาศก์เมื่อทิศทางของแสงแตกต่างกัน

แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง											
																	
ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B								
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B			
0	0	100	54	9	36	0	0	73	74	1	72	60	0	73	12	0	86
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง											
																	
ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B								
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B			
0	0	95	37	23	36	70	1	73	61	2	73	108	1	69	8	0	76
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง											
																	
ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B								
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B			
0	0	82	41	22	35	62	1	68	43	2	70	38	1	54	147	1	73
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง											
																	
ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B								
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B			
207	4	35	41	21	30	53	19	11	32	26	19	53	21	10	30	24	25

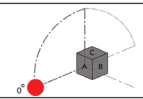
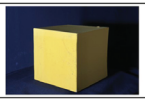
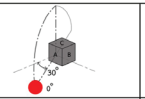
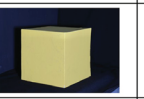
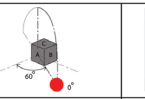
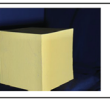
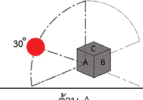
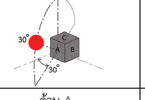
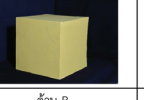
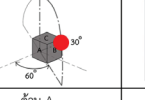
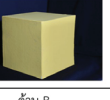
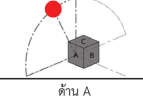
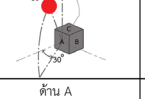
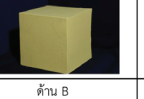
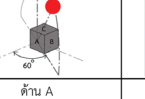
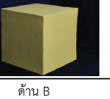
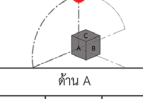
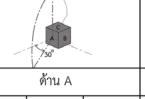
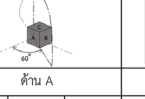
ในส่วนของตารางที่ 2 ซึ่งแสดงการจำแนกค่าสีวัตถุทรงลูกบาศก์สีดำ พบว่าด้าน A ที่มีแสงทำมุม 0 องศาในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้งเป็นด้านที่มีค่าความสว่างใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากที่สุด และจากการวิเคราะห์เมื่อทิศทางของแสงมีการเปลี่ยนแปลงในแนวตั้ง พบว่าด้าน A และ B ที่มีทิศทางของแสงทำมุม 0, 30 และ 60 องศาในแนวนอน เมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเปลี่ยนในช่วง 0 ถึง 60 องศา จะมีค่าความสว่างของสีลดลงร้อยละ 13-45 และเมื่อทิศทางของแสงในแนวตั้งเพิ่มเป็น 90 องศา ค่าความสว่างของสีจะลดลงประมาณร้อยละ 61-83 ส่วนกรณีของด้าน B แสงที่ทำมุม 0 องศาในแนวนอน ค่าความสว่างสีจะลดลงในการเปลี่ยนแปลงครั้งแรก ก่อนที่เพิ่มขึ้นเมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเปลี่ยนจาก 30 เป็น 60 องศาในแนวตั้ง และลดลงอีกครั้งเมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเปลี่ยนแปลงเป็น 90 องศา

ตารางที่ 2 ค่าสีในระบบ HSB ของสีดำบนพื้นผิว A และ B ของวัตถุทรงลูกบาศก์เมื่อทิศทางของแสงแตกต่างกัน

แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง		
								
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
42	5	45	72	37	6	226	7	18
184	6	20	36	2	18	30	4	33
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง		
								
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
32	5	35	72	44	5	172	14	12
142	9	15	200	12	10	176	10	18
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง		
								
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
62	4	23	72	34	6	132	10	10
120	8	13	164	13	6	192	14	14
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง		
								
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
28	37	2	72	39	5	41	47	2
72	45	5	26	40	1	72	65	3

ด้าน A ของวัตถุทรงลูกบาศก์สีเหลืองที่มีแสงทำมุม 0 องศาทั้งในแนวนอนและแนวตั้งเป็นด้านที่มีค่าความสว่างใกล้เคียงกับสีเบี่ยงต้นมากที่สุด จากการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสี ทิศทางของแสงที่ทำมุมกับวัตถุ 0, 30 และ 60 องศาในแนวนอน ด้าน A จะมีค่าความสว่างของสีลดลงเฉลี่ยที่ร้อยละ 15 เมื่อมีทิศทางแสงเปลี่ยนในแนวตั้งช่วง 0 ถึง 60 องศา แต่เมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเปลี่ยนจาก 60 องศา เป็น 90 องศา ค่าความสว่างของสีจะลดลงเฉลี่ยร้อยละ 82 ลักษณะเช่นนี้เกิดขึ้นกับด้าน B ที่มีทิศทางของแสงทำมุมกับวัตถุ 30 และ 60 องศาในแนวนอนด้วยเช่นกัน ในขณะที่ด้าน B ที่มีทิศทางของแสงทำมุมกับวัตถุ 0 ในแนวนอน ค่าความสว่างสีมีการเปลี่ยนแปลงในทิศทางที่ลดลงเมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเพิ่มจาก 0 เป็น 30 องศา และมีลักษณะเพิ่มขึ้นเมื่อทิศทางแสงเปลี่ยนจาก 30 เป็น 60 องศาในแนวตั้ง ก่อนที่จะลดลงเมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเปลี่ยนแปลงเป็น 90 องศา ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสีในระบบ HSB ของสีเหลืองบนพื้นผิว A และ B ของวัตถุทรงลูกบาศก์เมื่อทิศทางของแสงแตกต่างกัน

แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง											
																	
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A											
H	S	B	H	S	B	H	S	B									
49	49	95	43	52	31	54	37	80	55	34	79	53	34	76	52	37	85
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง											
																	
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A											
H	S	B	H	S	B	H	S	B									
53	40	84	42	52	28	53	41	68	53	39	76	54	40	60	53	37	83
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง											
																	
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A											
H	S	B	H	S	B	H	S	B									
52	41	85	42	53	29	53	47	60	54	40	65	53	49	36	53	42	74
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง											
																	
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A											
H	S	B	H	S	B	H	S	B									
42	39	15	42	51	26	44	47	9	36	50	18	58	44	7	41	48	15

ในขณะที่ตารางที่ 4 ซึ่งแสดงค่าสีของวัตถุสีแดง โดยมีด้าน A ที่แสงทำมุม 0 องศาในแนวนอนและ 60 องศาในแนวตั้งเป็นด้านที่มีค่าความสว่างของสีใกล้เคียงกับสีเบี่ยงต้นมากที่สุด และจากการวิเคราะห์ค่าความสว่างของสีพบว่า วัตถุที่มีแสงทำมุม 0 องศาในแนวนอน เมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งในช่วง 0 ถึง 60 องศา ด้าน A จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีลดลงที่ร้อยละ 3-9 และเมื่อทิศทางของแสงเพิ่มขึ้นเป็น 90 องศาในแนวนอน จะมีค่าความสว่างของสีลดลงร้อยละ 92 ในขณะที่ด้าน B มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีที่เพิ่มขึ้นเมื่อการเปลี่ยนแปลงของทิศทางแสงจาก 30 เป็น 60 องศาในแนวตั้ง ก่อนที่จะลดลงเมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเปลี่ยนแปลงเป็น 90 องศา โดยปริมาณที่เปลี่ยนแปลงนั้นต่ำกว่าร้อยละ 10 สำหรับทิศทางของแสงที่ทำมุม 30 และ 60 องศาในแนวนอนทั้งด้าน A และ B มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีในทางที่ลดลงทั้งคู่ เพียงแต่แสงที่ทำมุม 30 องศาในแนวนอนและแนวตั้ง เมื่อทำมุมในแนวตั้งเพิ่มขึ้นเป็น 60 องศา จะลดลงเพียงเล็กน้อยเท่านั้นโดยไม่เกินร้อยละ 6 ก่อนจะลดลงอีกร้อยละ 76-92 เมื่อทำมุมเพิ่มขึ้นเป็น 90 องศาในแนวตั้ง ในขณะที่วัตถุที่แสงทำมุม 60 องศาในแนวนอน มีการเปลี่ยนแปลงของแสงในแนวตั้งจาก 30 เป็น 60 องศาจะมีค่าความสว่างของสีลดลงร้อยละ 28-50 และลดลงอีกร้อยละ 66-83 เมื่อทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง

ตารางที่ 4 ค่าสีในระบบ HSB ของสีแดงบนพื้นผิว A และ B ของวัตถุทรงลูกบาศก์เมื่อทิศทางของแสงแตกต่างกัน

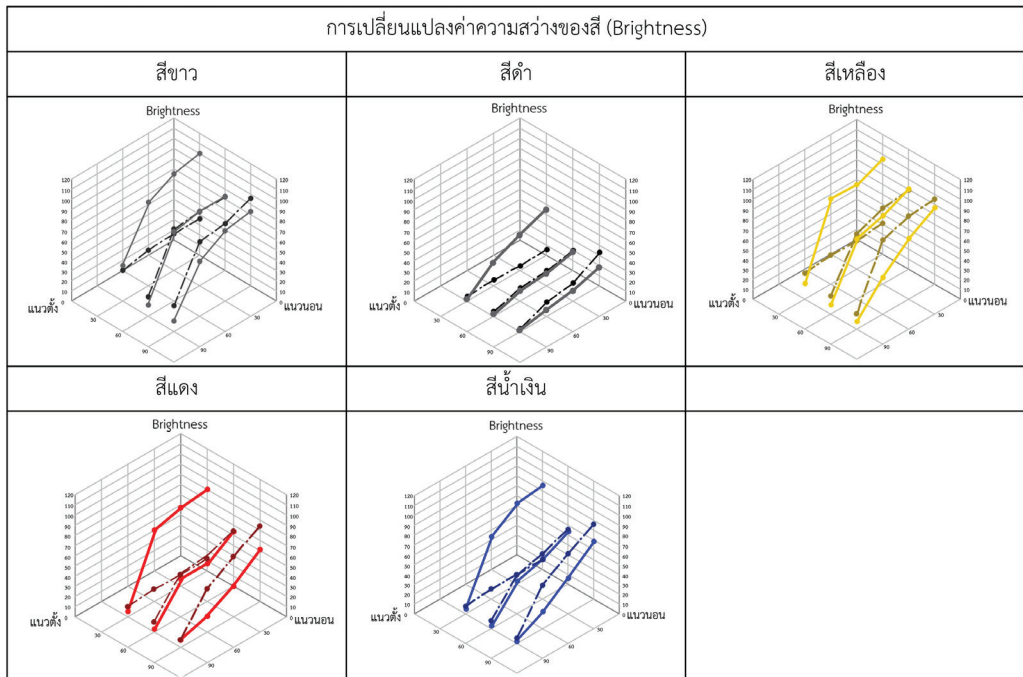
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง		
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
331	42	80	345	51	12	337	54	53
ด้าน B			ด้าน B			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
345	51	12	332	50	54	331	53	51
ด้าน B			ด้าน B			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
328	44	74	แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง		
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
333	45	77	344	51	11	338	59	37
ด้าน B			ด้าน B			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
337	55	45	333	58	30	334	53	59
ด้าน B			ด้าน B			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
340	50	12	แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง		
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
333	49	70	354	65	37	352	62	42
ด้าน B			ด้าน B			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
341	54	15	339	59	42	แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง		
			แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง			แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง		
ด้าน A			ด้าน A			ด้าน A		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
341	35	5	344	47	10	333	32	3
ด้าน B			ด้าน B			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B
344	54	10	341	50	5	279	57	7

สำหรับวัตถุทรงลูกบาศก์สีน้ำเงินด้านที่มีค่าความสว่างใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากที่สุดคือ ด้าน A ที่มีแสงทำมุม 30 องศาทั้งในแนวตั้งและแนวนอน และ ด้าน B ที่มีแสงทำมุม 60 องศาทั้งในแนวตั้งและแนวนอน เมื่อวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีน้ำเงิน ด้าน A ที่มีทิศทางแสงทำมุม 0 และ 30 องศาในแนวนอน เมื่อมีทิศทางของแสงเปลี่ยนในแนวตั้งช่วง 0 ถึง 60 องศาในแนวตั้ง ค่าความสว่างสีจะลดลงไม่เกินร้อยละ 25 ในขณะที่ด้าน B ค่าความสว่างของสีวัตถุจะมีค่าคงที่หรือลดลงไม่เกินร้อยละ 20 แต่เมื่อทิศทางแสงในแนวตั้งเพิ่มขึ้นเป็น 90 องศา ค่าความสว่างของสีวัตถุด้าน A และ B จะลดลงมากกว่าร้อยละ 90 แต่สำหรับทิศทางแสงที่ทำมุม 60 องศาในแนวนอน ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของสีวัตถุทั้งด้าน A และ B แตกต่างจากทั้ง 2 มุมก่อนหน้านี้เพียงเล็กน้อย โดยด้าน A มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีลดลงที่ร้อยละ 38 ร้อยละ 52 และร้อยละ 88 ตามลำดับเมื่อทิศทางของแสงในแนวตั้งเพิ่มขึ้นทุกๆ 30 องศา ในขณะที่ค่าความสว่างสีของด้าน B เมื่อมีทิศทางของแสงเพิ่มขึ้นในแนวตั้งทุกๆ 30 องศา จะมีค่าความสว่างของสีลดลงร้อยละ 20 ร้อยละ 28 และร้อยละ 84 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าสีในระบบ HSB ของสีน้ำเงินบนพื้นผิว A และ B ของวัตถุทรงลูกบาศก์เมื่อทิศทางของแสงแตกต่างกัน

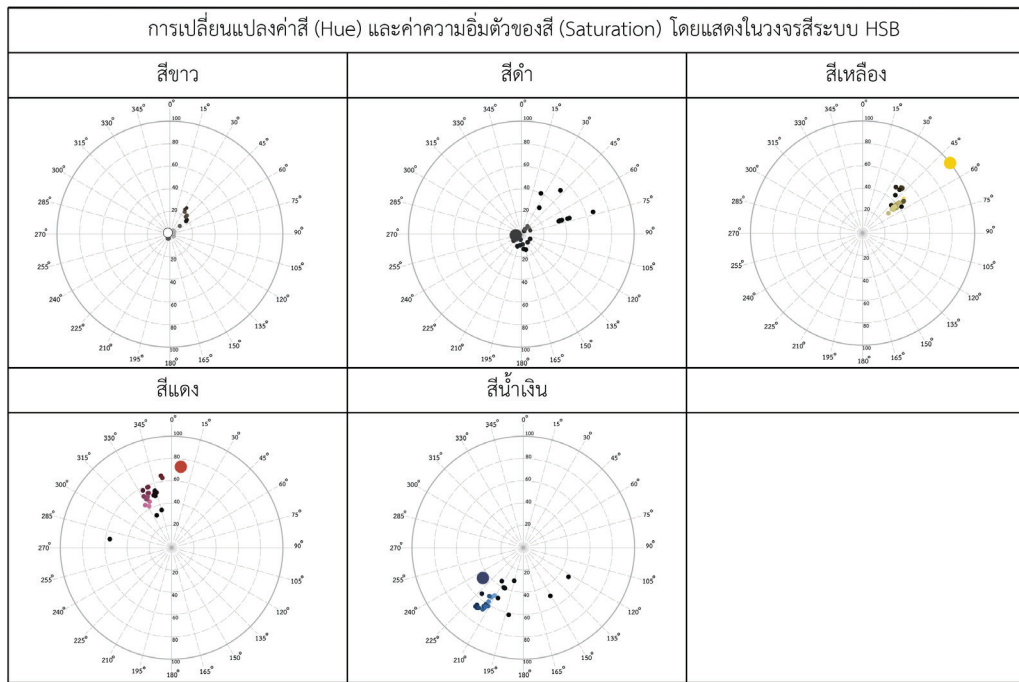
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง						แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง						แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 0 องศาในแนวตั้ง					
ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
211	51	85	207	40	10	213	64	53	211	61	56	213	64	58	212	58	76
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง						แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง						แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 30 องศาในแนวตั้ง					
ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
212	54	82	212	36	10	216	64	40	214	63	46	217	64	36	213	63	61
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง						แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง						แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 60 องศาในแนวตั้ง					
ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
213	63	63	204	40	10	217	63	33	215	61	39	221	57	17	215	65	44
แสงทำมุม 0 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง						แสงทำมุม 30 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง						แสงทำมุม 60 องศากับวัตถุในแนวนอนและทำมุม 90 องศาในแนวตั้ง					
ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B			ด้าน A			ด้าน B		
H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B	H	S	B
192	61	5	207	40	8	148	51	3	195	34	8	129	49	2	207	50	5

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของความสว่างสีวัตถุ



จากตารางที่ 6 ซึ่งแสดงการเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีทั้ง 5 สี พบว่าค่าความสว่างของสีวัตถุ สีขาวและสีเหลืองมีการลดลงของค่าความสว่างสีในลักษณะใกล้เคียงกัน ยกเว้นกรณีของด้าน A ที่แสงทำมุม 0 องศาในแนวนอน ซึ่งมีลักษณะเช่นเดียวกับที่เกิดขึ้นในด้าน A ที่ทำมุมเดียวกันของสีแดงและสีน้ำเงิน ในขณะที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีด้านนั้นแตกต่างไปจากสีอื่นๆ โดยมีด้าน A ที่แสงทำมุม 0 องศาในแนวนอนกับวัตถุ เป็นด้านที่มีการลดลงของค่าความสว่างของสีมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกรณีอื่น ๆ ที่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีต่ำ นอกจากค่าความสว่างของสีแล้ว ผู้วิจัยยังพบว่าค่าสี (hue) และค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) เป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลให้ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าสีและค่าความอิ่มตัวของสีวัดฤ

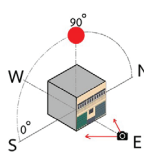
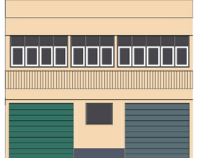


จากตารางที่ 7 เป็นการแสดงตำแหน่งค่าสีและค่าความอิ่มตัวของสีในรูปแบบ 2 มิติของระบบสี HSB โดยแสดงค่าสีเป็นองศาตั้งแต่ 0 ถึง 360 และเส้นรอบวงกลมแสดงค่าความอิ่มตัวของสีที่ร้อยละ 20 40 60 80 และ 100 เพื่อเปรียบเทียบความแตกต่างและการกระจายตัวระหว่างค่าสีที่วัดได้ซึ่งเป็นจุดเล็กๆ ในกราฟ กับค่าสีเบื้องต้นที่แสดงเป็นจุดที่ใหญ่ที่สุดในกราฟ พบว่าค่าสีและค่าความอิ่มตัวของสีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงในสีขาวและสีดำเพียงเล็กน้อยเท่านั้น โดยการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 2 สีขึ้นอยู่กับค่าความสว่างของสีที่เพิ่มขึ้นหรือลดลง หากมีค่าความสว่างของสีใกล้เคียงร้อยละ 100 สีที่ได้จะใกล้เคียงกับสีขาวเสมอ แต่ถ้าค่าความสว่างของสีใกล้เคียงกับร้อยละ 0 มากเท่าไรสีที่ได้ก็จะใกล้เคียงกับสีดำ ในขณะที่ค่าสีและค่าความอิ่มตัวของสีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน โดยค่าสีของสีเหลืองเฉลี่ยอยู่ที่ 52 องศาใกล้เคียงกับค่าสีเบื้องต้นซึ่งมีค่าสีอยู่ที่ 50 องศา แต่ค่าความอิ่มตัวของสีเหลืองที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ร้อยละ 42 ซึ่งต่ำกว่าสีเบื้องต้นที่มีค่าความอิ่มตัวของสีอยู่ที่ร้อยละ 100 สำหรับค่าสีเบื้องต้นของสีแดงอยู่ที่ 6 องศา มีค่าสีแดงค่อนข้างไปทางสีส้ม แต่ค่าสีที่วัดได้อยู่ที่ 337 องศาซึ่งมีค่าสีแดงค่อนข้างไปทางสีชมพู แต่ค่าความอิ่มตัวของสีโดยส่วนใหญ่อยู่ที่ร้อยละ 40-60 ซึ่งต่ำกว่าค่าความอิ่มตัวของสีเบื้องต้นที่มีค่าร้อยละ 71 เพียงเล็กน้อย ในส่วนค่าสีของสีน้ำเงินที่วัดได้ส่วนใหญ่มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 215 องศา แตกต่างกับค่าสีเบื้องต้น 16 องศา มีเพียงค่าสีในทิศทางแสงแนวตั้ง 90 องศา มีค่าสีค่อนข้างไปทางสีเขียว ในขณะที่ค่าความอิ่มตัวของสีน้ำเงินที่วัดได้มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 59 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าความอิ่มตัวของสีเบื้องต้น

จากข้อมูลข้างต้นแสดงให้เห็นว่าค่าความสว่างของสีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของทั้ง 5 สีมากที่สุด เมื่อเทียบกับค่าสีและค่าความอิ่มตัวของสีที่จะเห็นการเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนกว่าแค่ในสีเหลือง สีแดง และ สีน้ำเงิน ถึงแม้ว่าค่าความสว่างของสีจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของสี แต่การรับรู้ด้านสีของมนุษย์ด้านความคงตัวของสีทำให้มนุษย์สามารถระบุได้ว่าวัตถุนี้เป็นสีอะไร เช่นค่าสีที่วัดได้ของสีขาวส่วนใหญ่เป็นสีเทาอ่อน ถ้าหากมีการปรับค่าความสว่างของสีให้สูงขึ้น ก็จะได้สีที่ใกล้เคียงกับสีขาวมากขึ้น หรือในบางกรณีของสีดำที่มีสีเหลืองเจือปน แต่มีค่าความสว่างของสีต่ำทำให้ยังสามารถระบุได้ว่าเป็นสีดำแทนที่จะเป็นสีเหลือง ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนอวิธีการเพิ่มเติมสำหรับการเก็บค่าสีทางสถาปัตยกรรม โดยวิธีการนี้จำเป็นต้องทราบถึงตำแหน่งของอาคารและช่วงเวลาบันทึกภาพ ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้ระบุทิศทางของแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังอาคาร เพื่อให้สามารถนำค่าความสว่างของสีที่วัดได้ไปเปรียบเทียบกับและปรับค่าความสว่างของสีจากส่วนต่างของด้านที่มีความใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากที่สุดในแต่ละสีตามข้อมูลข้างต้น ได้แก่ ด้าน A ของสีขาวและสีเหลืองที่มีแสงทำมุม 0 องศาทั้งในแนวนอนและแนวตั้งกับวัตถุ สีดำด้าน A และสีแดงด้าน B ที่แสงทำมุม 0 องศาในแนวนอนและ 60 องศาในแนวตั้ง ส่วนสีน้ำเงินคือด้าน A ที่แสงทำมุม 30 องศาทั้งในแนวตั้งและแนวนอน และด้าน B ที่มีแสงทำมุม 60 องศาทั้งในแนวตั้งและแนวนอน

ผู้วิจัยได้นำวิธีดังกล่าวไปประยุกต์ใช้กับการเก็บค่าสีในพื้นที่เมืองเก่าสงขลา โดยอาคารที่นำมาเป็นอาคารพาณิชย์บนถนนนครนอกซึ่งถ่ายภาพในช่วงเวลา 12.00 น. ด้านหน้าอาคารหันไปทางทิศตะวันออกและมีทิศทางของแสงอาทิตย์ทำมุม 0 องศาในแนวนอนและ 90 องศาในแนวตั้งจากทางทิศใต้ ดังนั้นด้านหน้าของอาคารหลังนี้จึงเป็นด้าน B ซึ่งค่าสีความสว่างสีของผนัง ประตู และหน้าต่างที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าค่าความสว่างของสีอาคารจริงโดยตารางที่ 8 แสดงค่าสีตามองค์ประกอบทางสถาปัตยกรรมที่วัดได้จากภาพถ่ายอาคารในระบบ HSB และภาพจำลองสีอาคาร ซึ่งทำการเทียบสีผนังสีที่ 1 กับสีเหลือง สีผนังสีที่ 2 และสีวงกบกับสีดำ สีประตูสีที่ 1 ที่เป็นสีเขียวเทียบกับตารางค่าสีน้ำเงิน สีประตูสีที่ 2 กับสีดำ และสีหน้าต่างกับสีขาว โดยเพิ่มหรือลดค่าความสว่างที่วัดได้ให้มีความใกล้เคียงกับด้านที่มีค่าความสว่างของสีใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากที่สุด สำหรับอาคารนี้มีการเพิ่มค่าความสว่างของสีเหลืองร้อยละ 41 สีดำร้อยละ 18 สีน้ำเงินร้อยละ 38 และสีขาวร้อยละ 70 ในกรณีของสีหน้าต่างซึ่งเป็นสีขาว ผู้วิจัยระบุค่าความสว่างไว้ที่ร้อยละ 100 เนื่องจากเมื่อเพิ่มค่าความสว่างของสีแล้ว ทำให้มีค่าสูงกว่าร้อยละ 100 ซึ่งเป็นค่าความสว่างของสีที่สูงที่สุดในระบบ HSB โดยวิธีการนี้ส่งผลต่อสีขาวและสีดำโดยตรง ทำให้เมื่อมีปรับค่าความสว่างแล้วจะมีความใกล้เคียงกับค่าสีเบื้องต้น ในขณะที่สีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงินเมื่อปรับค่าความสว่างของสีแล้วจะช่วยให้มีความใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น หากต้องการให้ใกล้เคียงมากขึ้น จำเป็นต้องมีการปรับค่าสีและค่าความอิ่มตัวของสีร่วมด้วย

ตารางที่ 8 เปรียบเทียบค่าความสว่างสีของภาพถ่ายอาคารในสถานที่จริงกับภาพจำลองค่าสีที่วัดได้ และภาพจำลองค่าสีที่ปรับค่าความสว่าง

ทิศทางของอาคาร	ภาพถ่ายจากสถานที่จริง	ค่าสีเบื้องต้นที่วัดจากวิธี Digital			ค่าสีที่มีการปรับค่าความสว่าง			ค่าความ สว่างที่ เพิ่มขึ้น (%)	
									
องค์ประกอบทางสถาปัตยกรรม		H	S	B	H	S	B		
สีผนังสีที่ 1 (สีเหลือง)		36	26	54	36	26	96		(+41%)
สีผนังสีที่ 2 (สีเทาเข้ม)		220	19	24	220	19	42		(+18%)
สีวงกบ		37	7	48	37	7	66		(+18%)
สีประตูสีที่ 1 (สีเขียว)		165	51	21	165	51	59		(+38%)
สีประตูสีที่ 2 (สีเทา)		200	22	26	200	22	44		(+18%)
สีหน้าต่าง (สีขาว)		231	4	74	231	4	100	(+70%)	

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ทิศทางของแสงและตำแหน่งของวัตถุส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างของสี (brightness) วัตถุทรงลูกบาศก์ในแต่ละด้านตามที่งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้กล่าวไว้ (Delahunt & Brainard, 2004) โดยพบว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสีของสีเหลืองมีลักษณะใกล้เคียงกับสีเหลือง และสีแดงใกล้เคียงกับสีน้ำเงิน ในขณะที่ลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าความสว่างของสีด้านนั้นแตกต่างไปจากสีอื่นๆ นอกจากนี้ผู้วิจัยยังพบว่า มีปัจจัยด้านค่าสี (hue) และค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) ที่ส่งผลให้ค่าสีมีการเปลี่ยนแปลงด้วยเช่นกัน โดยมีผลกับสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงินมากกว่าสีเทาและสีดำที่ขึ้นอยู่กับค่าความสว่างของสีเป็นส่วนใหญ่ ถึงแม้ว่าค่าสีของสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงินจะไม่แตกต่างจากค่าสีเบื้องต้นมากนัก แต่สำหรับค่าความอิ่มตัวของสีเหลืองที่วัดได้มีค่าต่ำกว่าสีเบื้องต้นมากกว่าร้อยละ 50 ในขณะที่ค่าความอิ่มตัวของสีแดงและสีน้ำเงินที่วัดได้แตกต่างจากสีเบื้องต้นไม่เกินร้อยละ 20

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นการเพิ่มเติมวิธีการสำหรับเก็บข้อมูลสีในงานสถาปัตยกรรม ซึ่งจากงานวิจัยในลักษณะเดียวกันก่อนหน้านี้เป็นการเก็บและสรุปค่าสีจากสีที่วัดได้ในพื้นที่ที่ไม่มีการปรับค่าสีหรือค่าความสว่างเพิ่มเติม แต่เนื่องจากตำแหน่งอาคารในแต่ละพื้นที่มีความแตกต่างกัน รวมถึงช่วงเวลาในการถ่ายภาพ ซึ่งเป็นสิ่งที่ใช้ระบุทิศทางของแสง ส่งผลต่อการระบุค่าสีของระบบดิจิทัลและรับรู้ทางด้านสีของมนุษย์มีความผิดเพี้ยนไปจากสีที่ควรจะเป็น ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเป็นแนวทางในการปรับค่าความสว่างของสี เพื่อค่าสีที่วัดได้ให้มีความใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากขึ้น โดยจำเป็นต้องทราบถึงตำแหน่งของอาคารและช่วงเวลาที่บ้านพักภาพ จากนั้นนำค่าส่วนต่างของค่าความสว่างสีที่วัดได้มาปรับเพิ่มหรือลดให้ใกล้เคียงกับด้านที่มีค่าความสว่างของสีใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากที่สุด ซึ่งวิธีการนี้สามารถทำให้ค่าสีเทาและสีดำมีความใกล้เคียงกับสีเบื้องต้น

ได้อย่างชัดเจน ในขณะที่การปรับค่าความสว่างของสีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงิน สามารถช่วยให้สีมีความใกล้เคียงได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น จำเป็นต้องมีการปรับค่าสีและค่าความอิ่มตัวของสีร่วมด้วย จึงจะได้สีที่มีความใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยคือศึกษาการเปลี่ยนแปลงของค่าความสว่างสี (brightness) ของวัตถุเมื่อมีทิศทางของแสงแตกต่างกัน โดยการเก็บข้อมูลและสังเคราะห์ค่าสีจากหุ่นจำลองขนาดเล็ก พบว่าค่าความสว่างของสีส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าสีขาวและสีดำได้อย่างชัดเจน ในขณะที่สีเหลือง สีแดง และสีน้ำเงินมีปัจจัยด้านค่าสี (hue) และค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) ร่วมด้วย ดังนั้นเมื่อนำส่วนต่างระหว่างค่าความสว่างที่วัดได้กับค่าเบื้องต้นไปปรับในค่าความสว่างที่วัดได้ จะทำให้ค่าสีมีความใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้น โดยนำวิธีนี้ไปประยุกต์ใช้ร่วมกับการศึกษารูปแบบชุดสีทางสถาปัตยกรรม พื้นที่เมืองเก่าสงขลา ทำให้ชุดสีที่ได้มีความใกล้เคียงกับสีที่มองเห็นได้จากภาพถ่ายและอาคารจริงมากขึ้น สามารถนำไปผลที่ได้ไปวิเคราะห์ชุดสีในประเด็นอื่นๆต่อไปได้ สำหรับการเก็บข้อมูลในงานวิจัยนี้มีข้อจำกัดในเรื่องการใช้สี ซึ่งผู้วิจัยเลือกใช้เพียงแม่สีขั้นที่ 1 (primary colors) สีขาวและสีดำ ทั้งหมด 5 สีเท่านั้น ทดลองแยกจากกันโดยไม่มีการผสมให้เกิดสีอื่นๆ อีกทั้งงานวิจัยนี้ทำการทำสอบเพียงค่าความสว่างของสี (brightness) และยังมีข้อจำกัดในเรื่องสภาพแวดล้อมและแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความถูกต้องของแสงต่ำกว่า 90 ทำให้ค่าเนื้อสี (hue) และค่าความอิ่มตัวของสี (saturation) ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการรับรู้ทางด้านสีผิดเพี้ยนไปจากที่ควรเป็นเล็กน้อย ดังนั้นในงานวิจัยต่อยอดอาจเป็นการทดลองที่มีความหลากหลายของสีมากขึ้น หรือรูปทรงที่แตกต่างออกไป รวมถึงการวิเคราะห์เรื่องค่าเนื้อสีและความสดของสีจากแหล่งกำเนิดแสงที่มีค่าความถูกต้องมากขึ้น เพื่อให้ได้ค่าสีที่มีความใกล้เคียงกับสีเบื้องต้นมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- Changnawa, T. & Chansomsak, S. (2018). Rubbab si khong ongprakob tang sathapattayakam phuentee yan thanon Bam Rung Mueang, Krungthepmahanakhon. (In Thai) [Color Patterns of architectural elements on Bam Rung Muang Road, Bangkok]. **Built Environment Inquiry Journal**, 17 (1), 118-131.
- Delahunt, P. B., & Brainard, D. H. (2004). Color constancy under changes in reflected illumination. **Journal of Vision**, 4 (9), 764-778.
- De Mattiello, M. L. F. & Rabuini, E. (2011). Colours in La Boca: patrimonial identity in the urban landscape. **Color Research & Application**, 36 (3), 222-228.
- Foster, D. H., & Nascimento, S. M. C. (1994). Relation color constancy from invariant cone-excitation ratios. **Proceedings of the Royal Society of London Series B – Biological Sciences**, 257 (1349), 115-121.
- Hansen, T., et al. (2006). Memory modulates color appearance. **Nature Neuroscience**, 9 (11), 1367–1368.
- Hering, E. (1920). **Grundzüge der Lehre vom Lichtsinn** (In German) [Basic principles of the doctrine of the sense of light]. Berlin: Springer.
- Jirawongsapan, W., & Tachakitkachon, T. (2018). **Karn priapthiap ongprakob tang sathapattayakam dan si mueang kao Nan lae Phayao**. (In Thai) [Comparison of color element in historic townscape of Nan and Phayao]. (Master's thesis). Bangkok: Chulalongkorn university.
- Kuo, M. & Tseng, Y. (2011). Landschaftsfarben in Yangmingshan. (In German) [Landscape colors in Yangmingshan]. **Licht Trifft Farbe**, 137, 27-29.
- Lenclos, J.-P. & Lenclos, D. (2004). **Colors of the world: the geography of color**. New York: Norton.
- Molanaie, E. (2017). The effect of color on urban beautification and peace of citizens. **International Journal of Engineering Science Invention**, 6 (3), 12-16.
- Nascimento, S. M. C. & Foster, D. H. (1997). Detecting natural changes cone-excitation ratios in simple and complex colored images. **Proceedings of the Royal Society of London Series B – Biological Sciences**, 264 (1386), 1395-1402.
- Nguyen, L. & Teller, J. (2017). Color in the urban environment: a user-oriented protocol for chromatic characterization and the development of a parametric typology. **Color Research & Application**, 42 (1), 131-142.

- Siple, P. & Springer, R. M. (1983). Memory and preference for the colors of objects. **Perception & Psychophysics**, 34, 363–370.
- Tomic, D. & Maric, I. (2011). Colour in the city: principle of nature-climate characteristic. **Architecture and Civil Engineering**, 9 (2), 315-323.
- Wang, J., Jiang, Z. & Sun, H. (2013). Investigation and analysis on color characteristic of modern architecture in Nantong. **China Academic Journal Electronic Publishing House**, 2 , 54-57.
- Zhang, X. F. & Di, X. (2013). Preliminary investigation and planning on urban colorscape of old town of Lhasa. **Journal of Tibet University**, 2, 78-84.