พัฒนาการ และทิศทางการออกแบบ-วิจัยด้านการใช้แสงธรรมชาติสำหรับงานสถาปัตยกรรมในประเทศไทย

The Development and Direction of Architectural Daylighting Design-Research in Thailand

อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ
Awiroot Srisutapan

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ จังหวัดปทุมธานี 12121
Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University, Pathumthani 12121, Thailand
E-mail: awi_cl@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและรวบรวมผลงานเกี่ยวกับการใช้แสงธรรมชาติในงานสถาปัตยกรรมเพื่อให้ทราบถึงพัฒนาการและทิศทางการทำวิจัยในอนาคต โดยได้รวบรวมผลงานจากรายงานวิจัย วิทยานิพนธ์ วารสารวิชาการ บทความวิชาการ และเอกสารอื่น ๆ ที่ตีพิมพ์และเผยแพร่ในประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ. 2545 – 2557 นำรายละเอียดมาจัดหมวดหมู่และวิเคราะห์ในของการใช้ช่องเปิดด้านข้าง อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง การใช้อุปกรณ์บังแดดและหิ้งสะท้อนแสง และการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ ผลที่ได้พบว่า 1) มีการวิเคราะห์หรือมองในหลายประเด็นร่วมกันมากขึ้น เช่น ความส่องสว่าง ความสบายตา และการใช้พลังงาน 2) มีการเลือกใช้วัสดุ ระบบ และเทคโนโลยีที่หลากหลายในการวิจัย เช่น กระจกประสิทธิภาพสูง ระบบตรวจจับแสงธรรมชาติ ระบบควบคุมดวงโคมอัตโนมัติ 3) มีงานวิจัยบางส่วนที่ใช้หลักการออกแบบเดิมกับอาคารต่างประเภทหรือที่ตั้งต่างกัน 4) มีงานวิจัยหลายชิ้นที่มีลักษณะคล้ายคลึงกันแต่ให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน ซึ่งอาจสร้างความสับสนในการนำไปใช้งาน ผลที่ได้จากงานวิจัยสะท้อนให้เห็นถึงจุดอ่อนในการเลือกหัวข้อ กระบวนการทำงาน และการออกแบบการวิจัย ซึ่งอาจต้องทำการสังเคราะห์และเชื่อมโยงสาระหลักที่เกี่ยวเนื่องจากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องให้มากขึ้น และควรมีการกำหนดค่าอ้างอิงในการศึกษาให้เป็นมาตรฐานเดียวกัน เช่น ขนาดห้องอ้างอิง ค่าการสะท้อนแสงของห้อง ประเภทของหลอดไฟ เป็นต้น เพื่อให้นำมาเปรียบเทียบกันได้ งานวิจัยนี้นอกจากจะสร้างฐานข้อมูลทางวิชาการแล้ว ยังช่วยเปิดมุมมองในการศึกษาการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารเพื่อให้ใช้พลังงานอย่างเหมาะสมและสร้างสรรค์นวัตกรรมทางสถาปัตยกรรมต่อไป

คำสำคัญ
การออกแบบ-วิจัย
แสงธรรมชาติ
สถาปัตยกรรม

Abstract

This research focused on the investigation of development and the future direction of architectural daylighting-design research area. By exploring and gathering data, the sources of academic outputs are collected from various means, such as research report, thesis, academic journal, academic paper, proceeding, and other related documents that published and distributed in Thailand during 2002-2014. Side lighting, window to wall ratio, shading device and light shelf, and daylight and artificial lighting integration design techniques are categorized and analyzed. The results of research are shown as following: 1) Various aspects, such as illumination level, daylight factor, uniformity, visual comfort, energy consumption, glare control, are combined and integrated in a research to figure out the best optimization. 2) New materials and technologies, such as hi-performance glazing, daylight sensors, and automated control switch, are taken into account. 3) Mostly, the outcomes from research are not different from basic design guidelines from the past. It is indicated that some research is processed like old design strategies in new contexts. Use of typical shading device with other building types or locations is an example. 4) Even though the amounts of research outputs are high, but some of the results do not shown in the same direction. It makes a lot of confusion and it is difficult to apply. The result of research reflects the weak point of research topic initiation, research process, and research design. Literature reviewing should be more synthesized and synchronized. Reference values, such as standard room reflectance, room dimension, light bulb types, in research experiment and simulation should be standardized. Finally, this research is not only create an architectural daylighting research database for academic field, but also broaden the perspective and provided the opportunity to generate appropriate daylighting design solutions in terms of energy efficient and innovation in architectural profession.

Keywords

Research-Design

Daylight

Architecture

1. บทนำและความเป็นมา

การออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติเป็นแนวทางหนึ่งในการสร้างความยั่งยืน การประหยัดและใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในงานสถาปัตยกรรม และในกระบวนการออกแบบจะต้องอาศัยองค์ความรู้จากหลายสาขาวิชาและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีเข้ามาผสมผสานกันเพื่อให้สามารถบรรลุตามเป้าหมายได้อย่างสมบูรณ์ อย่างไรก็ตาม แม้การศึกษาและวิจัยในประเด็นข้างต้นจะเป็นเรื่องที่สำคัญและมีการดำเนินการมาเป็นระยะเวลานานพอสมควรแล้ว แต่ยังไม่ได้มีการประเมินวิเคราะห์ และทบทวนถึงศักยภาพและผลลัพธ์ของงานวิจัยที่ได้มีการศึกษามาแล้วอย่างจริงจัง เพื่อนำไปปรับปรุงพัฒนา กำหนดแนวทางและทิศทางการออกแบบและการทำวิจัยในอนาคต

2. วัตถุประสงค์

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของงานวิจัยเรื่อง พัฒนาการ และทิศทางการออกแบบ-วิจัยด้านการใช้แสงธรรมชาติสำหรับงานสถาปัตยกรรมในประเทศไทย มีการกำหนดวัตถุประสงค์การศึกษาไว้ดังนี้

2.1 เพื่อสำรวจและรวบรวมผลงานทางวิชาการ/วิจัยที่เกี่ยวกับการใช้แสงธรรมชาติสำหรับงานสถาปัตยกรรมในประเทศไทย

2.2 เพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเนื้อหา พัฒนาการ ทิศทาง และการบูรณาการองค์ความรู้ เพื่อให้เห็นภาพรวมของพัฒนาที่เกิดขึ้น

2.3 เพื่อจัดทำฐานข้อมูลวิชาการด้านการใช้แสงธรรมชาติสำหรับงานสถาปัตยกรรมในประเทศไทย

2.4 เพื่อเสนอแนะแนวทาง ทิศทาง และโอกาสในการทำวิจัยทางด้านการใช้แสงธรรมชาติสำหรับงานสถาปัตยกรรม

3. วิธีการศึกษา

กระบวนการศึกษาดำเนินการโดยทำการสำรวจและรวบรวมผลงานทางวิชาการ/วิจัยจากแหล่งต่าง ๆ โดยจะครอบคลุมถึงรายงานวิจัย วิทยานิพนธ์ วารสารวิชาการ บทความวิชาการ เอกสารประกอบการประชุมเชิงวิชาการ และเอกสารอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง ที่มีการตีพิมพ์และเผยแพร่ในประเทศไทย และเป็นผลงานที่เกิดขึ้นในช่วงปี พ.ศ. 2545 – 2557 นำรายละเอียดเนื้อหามาจัดหมวดหมู่และวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเนื้อหาของผลงานภายในหมวดเดียวกันและระหว่างหมวด ทำการวิเคราะห์ อภิปรายและสรุปผล

ตารางที่ 1 ตัวอย่างการจัดหมวดหมู่และการวิเคราะห์ข้อมูล (An example of data category and analysis.)

	รายการ	วิธีการ																		การกำหนดพื้นที่ที่จะนำไปใช้					
	วิธีการ และการกำหนดพื้นที่ที่จะนำไปใช้ 8/11	วัดจากสถานที่จริง / ห้องทดลอง	หุ่นจำลอง	การคำนวณ	กล้อง / เลนส์	ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลอง	- DIALux	- Radiance	- Lightscape	- DAYSM	- EnergyPlus	- eQuest	- Visual DOE	- Ecotect	- Photopia	- BESim	- Archipak	- Evalgare	วิธีการอื่น ๆ	กรุงเทพฯ	จังหวัดอื่น ๆ	ประเทศไทย	เขตร้อน-ชื้น	ต่างประเทศ	ไม่ได้กำหนด
83	วรภัทร อังสนันรัตนา การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงและฝ้าเพดานเพื่อการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติอย่างมีประสิทธิภาพสำหรับอาคารสำนักงาน					o	o																		o
84	วรภัทร์ อิงคโรจน์ฤทธิ์ ข้อแนะนำในการประยุกต์ใช้เทคนิคการใช้แสงธรรมชาติกับอาคาร																								
85	วรวุฒิ ศิริรัชกุล การศึกษาต้นแบบช่องเปิดสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น		o			o																	o		
86	วรสัณห์ บูรณากาญจน์ การวิจับแบบบูรณาการต่อยอดองค์ความรู้ประหยัดพลังงานสู่บ้านพอเพียง																								
87	วรากร สงวนทรัพย์ รายงานเรื่อง โครงการศึกษาการออกแบบอุปกรณ์บังแดดและตำแหน่งช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศโดยวิธีธรรมชาติสำหรับอาคารพักอาศัยประเภทห้องชุด ในเขตกรุงเทพฯ					o								o			o			o					
88	วรากุล ตันทนะเทวินทร์ การประเมินประสิทธิภาพการใช้แสงสว่างในหอศิลป์ : กรณีศึกษาพิพิธภัณฑ์ศิลปะไทยร่วมสมัย	o				o	o													o					
89	วรากุล ตันทนะเทวินทร์ การประเมินประสิทธิภาพการใช้แสงสว่างในพิพิธภัณฑ์วัดมหาชัย จังหวัดมหาสารคาม	o				o	o														o				
90	วีรี กังวารกิตติ การใช้ความสว่างโดยแสงธรรมชาติที่มีประสิทธิภาพสำหรับอาคารห้องสมุด		o																						
91	วุฒิพงศ์ แสนบุดดา แนวทางการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้แสงธรรมชาติ กรณีศึกษา : ศาลากลาง จังหวัดนนทบุรี					o		o																	
92	ศตวรรษ พรหมมา การใช้แสงธรรมชาติในอาคารใต้ดิน	o	o																						
93	ศรีเชียร ตั้งกมลสุข การออกแบบแสงสว่างธรรมชาติในอาคารกีฬาในร่ม					o	o																		o
94	ศรีสุดา จารยะพันธ์ คู่มือคนไทนหัวใจสีเขียว Green Office																								
95	ศิวดล อุปพงษ์ และยิ่งสวัสดิ์ โชยะกุล การใช้แสงธรรมชาติในอาคารผ่านท่อนำแสงแนวดิ่ง					o	o																		o
96	เศรษฐวัฒน์ ศรีวิโรจน์ ผลกระทบของความร้อนที่เกิดจากการนำแสงธรรมชาติ เข้ามาใช้ในอาคารโดยผ่านช่องแสงกระจกด้านข้าง		o																				o		

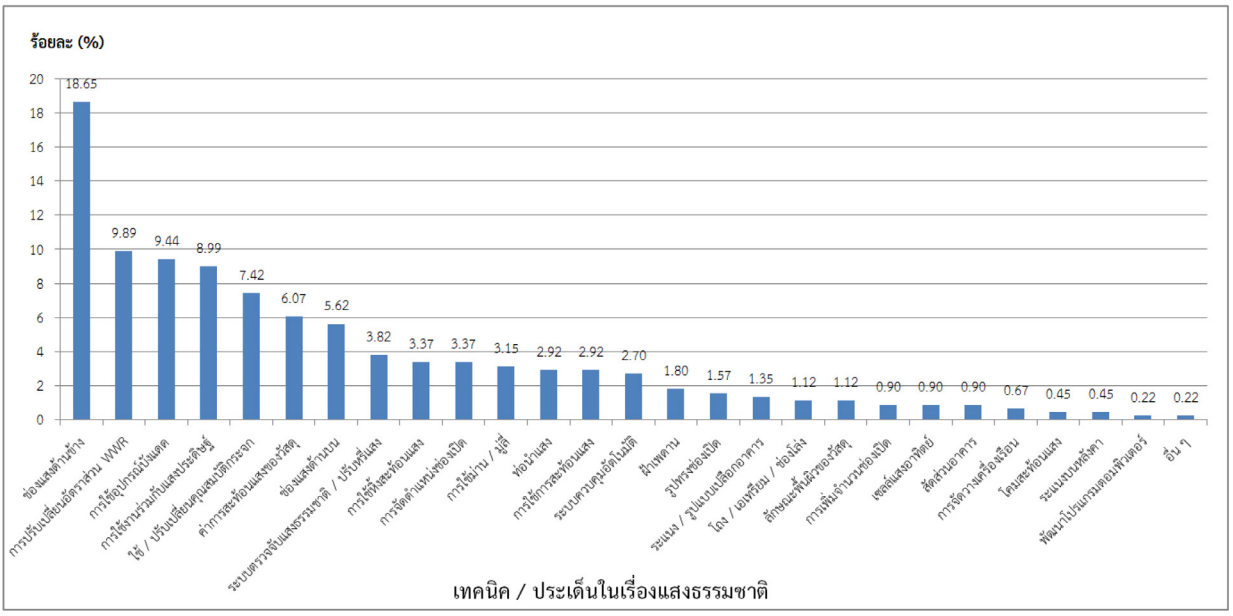
4. ผลการศึกษา

ผลงานวิชาการที่สามารถรวบรวมได้มีจำนวน 153 รายการ ทำการจัดหมวดหมู่ตามเนื้อหาและประเด็นที่เกี่ยวข้องกัน พบว่า ตัวแปรในการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ช่องแสงด้านข้างมีสัดส่วนที่มากที่สุด คือ ร้อยละ 18.65 รองลงมา คือ การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง (WWR) ร้อยละ 9.89 การใช้อุปกรณ์บังแดด ร้อยละ 9.44 การพิจารณาการใช้ช่องเปิดร่วมกับแสงประดิษฐ์ ร้อยละ 8.99 การใช้/ปรับเปลี่ยนคุณสมบัติกระจก ร้อยละ 7.42 ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุภายในอาคาร ร้อยละ 6.07 การใช้ช่องแสงด้านบน ร้อยละ 5.62 ระบบตรวจจับแสงธรรมชาติ/ปรับหรี่แสงประดิษฐ์ ร้อยละ 3.82 การใช้หิ้งสะท้อนแสง ร้อยละ 3.37 การจัดตำแหน่งช่องเปิด ร้อยละ 3.37 การใช้ม่าน/มู่ลี่ ร้อยละ 3.15 ท่อนำแสง ร้อยละ 2.92 การใช้การสะท้อนแสงขององค์ประกอบในอาคาร ร้อยละ 2.92 ระบบควบคุมม่าน/มู่ลี่อัตโนมัติ ร้อยละ 2.70 และการใช้ฝ้าเพดาน รูปทรงช่องเปิด ระแนง/รูปแบบเปลือกอาคาร โถง/เอเทรียม/ช่องโล่ง ลักษณะพื้นผิวของวัสดุ การเพิ่มจำนวนช่องเปิด การใช้เซลล์แสงอาทิตย์ การใช้สัดส่วนอาคาร การจัดวางเครื่องเรือน การใช้โคมสะท้อนแสง การใช้ระแนงบนหลังคา พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และอื่น ๆ ในสัดส่วนที่ลดลงตามลำดับ ดังรูปที่ 1

อนึ่ง อาจมีการผสมผสานหลายเทคนิคและประเด็นการออกแบบเข้าด้วยกันในงานวิจัยหนึ่งชิ้น ดังนั้น จึงได้นำเสนอเนื้อหาใน 4 ลำดับแรก คือ การใช้ช่องเปิดด้านข้าง อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์และการใช้อุปกรณ์บังแดด โดยได้รวมเรื่องของหิ้งสะท้อนแสงเข้ามาด้วย เนื่องจากมีบางประเด็นเกี่ยวเนื่องกับเรื่องของอุปกรณ์บังแดด โดยแบ่งออกเป็นหัวข้อดังนี้

4.1 ช่องเปิดด้านข้าง และอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง

ช่องเปิดด้านข้างเป็นตัวแปรหนึ่งที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้งาน และยังเป็นช่องเปิดพื้นฐานที่มีการใช้งานกับทุกประเภทอาคาร โดยการใช้งานอาจมีวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกันออกไป เช่น เพื่อควบคุมปริมาณแสงและลดแสงบาดตา (Potipituk, 2003; Potipituk; 2006; Saguansup, 2009; Oonprai & Yiemwattana, 2013) เพื่อให้มีปริมาณแสงและการระบายอากาศที่เหมาะสม (Saguansup, 2009) และยังได้มีการนำเสนอรูปแบบและลักษณะที่เหมาะสมของช่องเปิดไว้หลายประการ เช่น ช่องเปิดควรมี 2 ส่วน คือ ส่วนล่าง มีหน้าที่สำหรับการเปิดมุมมอง และส่วนบน มีหน้าที่ในการนำแสงเข้ามา (Saihong & Srisutapan, 2008, pp. 67-81; Harnprakhon, 2011)



รูปที่ 1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเทคนิค/ประเด็นในเรื่องแสงธรรมชาติ (Daylighting design techniques collection results.)

ออกแบบให้ช่องเปิดที่มีขอบบนสูง เพื่อให้แสงเข้ามาได้ลึกและมากขึ้น (Thongkamsamut, 2010, pp. 1-13) ใช้การเอียงของผนังและการยื่นของผนังอาคารเพื่อป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ไม่ให้กระทบช่องเปิด (Asavapitayanont, 2010; Jirattikalkit, Boonyatikarn & Buranakarn, 2011, pp. 59-78; Jitawisutthikul & Varodompun, 2014, pp. 66-71) มีการนำเสนอต้นแบบช่องเปิดที่เหมาะสมสำหรับอาคารในเขตร้อนชื้น โดยพิจารณาจากการใช้พลังงาน ความส่องสว่าง และพลังงานสุทธิ คือ ช่องเปิดขนาด 0.90x1.20 เมตร ติดตั้งระดับวงกบบนที่ 2.00 ม. ช่องเปิดขนาด 0.90x0.60 เมตร ติดตั้งระดับวงกบบนที่ 2.00–2.80 เมตร และช่องเปิดวงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 เมตร ติดตั้งบนระดับวงกบบนที่ความสูง 2.00 เมตร (Sirirachata, 2007) เป็นต้น

นอกเหนือจากการนำแสงธรรมชาติมาจากทางด้านทิศเหนือแล้ว ยังสามารถนำแสงธรรมชาติมาจากทิศทางอื่น ๆ ได้ เช่น การนำแสงธรรมชาติจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือก็สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างได้ถึง 32% (Taow-Klang & Pattanasethanon, 2008, pp. 597-605) รวมถึงการนำเสนอข้อควรระวังในการเปิดช่องเปิดทางด้านทิศใต้ ซึ่งจะส่งผลต่อการใช้พลังงานของอาคารไม่ว่าจะเปิดที่อัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดใดก็ตาม และสำหรับอาคารที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดต่ำและมีความกว้างและลึกของอาคารไม่มากนัก การใช้เทคนิคในการเปิดช่องเปิดในทิศใดทิศหนึ่งที่เหมาะสมให้มีขนาดใหญ่กว่าทิศอื่น ๆ จะสามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ (Sirisawadwattana & Varodompun, 2013, pp. 107-112) ก็เป็นทางเลือกหนึ่งในการออกแบบได้เช่นกัน ในประเด็นของอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดหรือพื้นที่ช่องเปิด สามารถใช้วิธีการเพิ่มจำนวนช่องเปิดเพื่อช่วยในการเพิ่มความส่องสว่างได้ (Oonprai & Yiemwattana, 2013) โดยได้นำเสนอผลที่ได้จากการศึกษาในเรื่องของการกำหนดอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดที่เหมาะสมไว้ ดังตัวอย่างในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบข้อเสนอแนะในการกำหนดค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดของแต่ละงานวิจัย (A comparison of proposed WWR design guidelines.)

ประเภทอาคาร	WWR									ที่มา
	N	S	E	W	NE	NW	SE	SW	คิดภาพรวม	
ไม่ได้กำหนด									20 – 40	(Srivirote, 2004)
สำนักงาน					60	60	40	40		(Mukhruck & Turapra, 2006)
ห้องเรียน	100									(Pattanasethanon, 2007)
ห้องเรียน						100				(Junkhumuang, 2007)
ไม่ได้กำหนด									20 – 40	(Tharanon, 2008)
สำนักงาน	40	40	40	10						(Chindapol, 2008)
ห้องสมุด	82	37	37	82						(Paijitsattaya, 2011)
ตึกแถว									40	(Temtananan, 2011)
อาคารพักอาศัย									50 – 100	(Kittichanthira, 2011)
ไม่ได้กำหนด	100									(Chantasiri, 2012)
สำนักงาน	100*	40	80**	80**						(Borvontanajuny & Varodompun, 2013)
อาคารแนวราบและแนวดิ่ง	30–40***	30–40***								(Sreshthaputra, 2013)
สำนักงาน ห้องสมุด									< 25 – < 35	(Department of Energy Development and Efficiency, 2007a)
ห้างสรรพสินค้า									< 20 – < 30	(Department of Energy Development and Efficiency, 2007a)
โรงแรม โรงพยาบาล									< 20 – < 30	(Department of Energy Development and Efficiency, 2007a)
บ้าน									< 20 – < 30	(Department of Energy Development and Efficiency, 2007b)

* ต้องมีอุปกรณ์บังแดด และค่าการสะท้อนแสงของผนังภายใน = 80% ค่าการสะท้อนแสงของเพดาน = 90%

** ต้องมีอุปกรณ์บังแดด

*** คิดแยก 2 ส่วน คือ WWR ของผนังทิศเหนือ และ WWR เฉลี่ยของผนังทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

หากต้องการนำเรื่องแสงธรรมชาติและการกำหนดค่าอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิด ไปประเมินร่วมกับเกณฑ์การออกแบบที่เกี่ยวข้อง อาจต้องพิจารณาประเด็นบางอย่างเพิ่มเติมขึ้นด้วย เช่น

• สำหรับเกณฑ์การประเมินชุมชนน่าอยู่น่าสบายอย่างยั่งยืน แสงธรรมชาติในพื้นที่ใช้งานรอง ทั้งอาคารแนวราบและแนวดิ่ง ช่องเปิดต้องมีสัดส่วนไม่น้อยกว่า 15% ของพื้นที่ใช้สอยรองทั้งหมด (Sreshthaputra, 2013)

• นอกจากการทำคะแนนในเรื่องของการกำหนดอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดแล้ว ยังสามารถทำคะแนนในส่วนของระบบธรรมชาติและพลังงานทดแทนได้อีกหากพื้นที่ใช้สอยหลักทั้งหมดได้รับแสงธรรมชาติโดยมีพื้นที่ช่องแสงต้องไม่ต่ำกว่า 15% ของพื้นที่ใช้งาน และพื้นที่ใช้สอยรองไม่ต่ำกว่า 60% ได้รับแสงธรรมชาติโดยมีพื้นที่ช่องแสงต้องไม่ต่ำกว่า 10% ของพื้นที่ใช้งาน สำหรับอาคารพักอาศัย (Department of Energy Development and Efficiency, 2007b; Homdee & Yongaroen, 2012)

• หากพิจารณาร่วมกับประกาศกระทรวงพลังงาน เรื่อง หลักเกณฑ์และวิธีการคำนวณในการออกแบบอาคารแต่ละระบบ การใช้พลังงานโดยรวมของอาคาร และการใช้พลังงานหมุนเวียนในระบบต่าง ๆ ของอาคาร พ.ศ. 2552 ที่ได้กำหนดค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุดของระบบไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารและให้คำนวณตามหลักเกณฑ์ของประกาศกระทรวงพลังงานฯ ซึ่งหากมีการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติแล้ว สามารถที่จะยกเว้นการนับการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารได้โดยเสมือนว่าไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ไฟฟ้าแสงสว่างในบริเวณนั้น โดยเงื่อนไขของการใช้แสงธรรมชาตินั้น ได้มีการกำหนดในกฎกระทรวง กำหนดประเภท หรือขนาดของอาคาร และมาตรฐาน หลักเกณฑ์ และวิธีการในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 คือ พื้นที่กระจกหน้าต่างตามแนวกรอบอาคาร ต้องไม่น้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบ แต่จากการศึกษาเพิ่มเติม พบว่า มีความเป็นไปได้ในการออกแบบให้มีพื้นที่ช่องเปิดน้อยกว่าพื้นที่ผนังทึบ โดยที่สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้งานได้อย่างเหมาะสม (Srisutapan, 2014, pp. 37-52)

• หากต้องการให้อาคารผ่านเกณฑ์ทางด้านแสงธรรมชาติของทุกเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในกลุ่มประเทศอาเซียน เกณฑ์ขั้นต่ำเพื่อที่จะผ่านการประเมินคือมีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดขั้นต่ำ 50% และมีค่าการสะท้อนแสงของส่วนต่าง ๆ ตามที่กำหนดไว้ (Subcharoen & Varodompun, 2014, pp. 81-87) ดังรูปที่ 2

WWR	VLT	$\rho_{CEILING}$	ρ_{WALL}	ρ_{FLOOR}
50	0.66	80-90	40-50-60	40
	0.74	80	50-60	
		90	40-50-60	
60	0.53	90	50-60	40
	0.66	70	40-50-60	40
		80		
		90		40 (30; ρ_{w60})
	0.74	70	50-60	40
		80	40-50-60	
		90		40 (30; ρ_{w60})

ที่มา: Subcharoen & Varodompun, 2014, pp. 81-87

รูปที่ 2 แนวทางการออกแบบเพื่อให้ผ่านเกณฑ์ทางด้านแสงธรรมชาติของทุกเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในกลุ่มประเทศอาเซียน (Daylighting design guidelines of office building based on ASEAN green building rating systems.)

จะเห็นได้ว่า แนวทางและข้อควรพิจารณาในการออกแบบสำหรับช่องเปิดด้านข้างมีจำนวนและรายละเอียดมากพอสมควร หากพิจารณาในมุมมองของผู้ที่จะนำไปใช้งานแล้ว อาจก่อให้เกิดความสับสนในการเลือกข้อมูลเหล่านั้นเพื่อนำไปใช้ในงานได้เช่นกัน หรือแนวทางใดเป็นแนวทางที่เหมาะสมที่สุด

4.2 การใช้อุปกรณ์บังแดด และหิ้งสะท้อนแสง

วัตถุประสงค์ในการใช้อุปกรณ์บังแดดมีอยู่หลายประการ เช่น เพื่อลดปริมาณแสงที่มากเกินไป (Harnprakhon, 2011; Pongboriboon 2011) เพื่อลดความแปรปรวนและเพื่อเพิ่มความสม่ำเสมอของแสง และเกิดความสบายตา (Suriyadetsakul, 2003; Bhumibhanit, 2012) เพื่อลดภาระการปรับอากาศ และให้แสงเข้ามาได้ลึกขึ้น (Chirarattananona, Matuampunwong, Budimana & Chandra, 2013) ออกแบบอุปกรณ์บังแดดร่วมกับช่องเปิดเพื่อการระบายอากาศที่ดี (Saguansup, 2009) ใช้อุปกรณ์บังแดดเพื่อช่วยควบคุมปริมาณแสงสว่าง ลดการใช้พลังงาน และยังสามารถช่วยทำให้เปิดพื้นที่ช่องเปิดได้

มากขึ้นสำหรับการใช้ช่องเปิดด้านบน (Bunnag & Varodompun, 2014) เพื่อลดค่าการถ่ายเทความร้อนรวมผ่านกรอบอาคาร (OTTV) แต่ก็จะส่งผลให้ความส่องสว่างภายในห้องลดลง (Tuaycharoen, Konisranukul & Chaychom, 2011) ใช้อุปกรณ์บังแดดที่ผสานระบบเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อบังแดด ลดการใช้พลังงาน และผลิตพลังงาน (Tongtuam, 2012) เป็นต้น โดยลักษณะของอุปกรณ์บังแดดที่ใช้ก็มีหลายรูปแบบเช่นกัน ไม่ว่าจะเป็นอุปกรณ์บังแดดแนวนอน แนวตั้ง แบบผสม แบบระแนง อุปกรณ์บังแดดกับหิ้งสะท้อนแสง อุปกรณ์บนหลังคาแบบ skylight shutter แบบปรับมุมได้ เป็นต้น นอกจากแนวทางข้างต้นแล้ว ยังมีการกำหนดคุณสมบัติของอุปกรณ์บังแดดโดยใช้ค่าอ้างอิงคือค่าสัมประสิทธิ์การบังแดดของอุปกรณ์บังแดด โดยอาคารที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัย ควรมีค่าระหว่างต่ำกว่า 0.8 – ต่ำกว่า 0.9 และอาคารพักอาศัย ควรมีค่าระหว่างต่ำกว่า 0.7 – ต่ำกว่า 0.9 (Department of Energy Development and Efficiency, 2007a; 2007b) ซึ่งแนวทางการออกแบบอาจแบ่งออกเป็นกลุ่มได้อีก คือ

4.2.1 การพิจารณาตามทิศทาง

• อุปกรณ์บังแดดแบบหลายชั้นแนวนอน ใช้ร่วมกับช่องเปิดที่มีอัตราส่วนช่องเปิด 68% เหมาะกับทิศเหนือ (Chirarattananon, Rugkwamsuk & Matuampunwong, 2010, pp. 165-171)

• อุปกรณ์บังแดดแบบชั้นเดียวแนวนอน แบบติดตาย เหมาะกับทิศเหนือ อุปกรณ์บังแดดแบบหลายชั้นแนวนอน แบบติดตาย เหมาะกับทิศเหนือและใต้ และอุปกรณ์บังแดดแบบหลายชั้นแนวตั้ง แบบติดตาย เหมาะกับทิศตะวันออกและตก (Chirarattananon et al., 2013)

4.2.2 พิจารณาตามประเภทอาคาร

<u>สำนักงาน</u>

• สำหรับสำนักงานที่มีความลึกไม่เกิน 14 เมตร ใช้หิ้งสะท้อนแสงแนวราบ ติดตั้งภายนอก ระยะยื่น 0.61 เมตร สำหรับทิศเหนือ ส่วนทิศใต้มีระยะยื่น 1.24 เมตร โดยทั้งสองทิศติดตั้งที่ความสูง 2 เมตร ใช้วัสดุมันวาวที่มีค่าการสะท้อนแสง 75.25% (Muttisan, 2005)

• ใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบโค้งเว้าที่มีสัดส่วนความสูง: ความลึก 2.3 : 4 ยื่น 1.2 เมตร ติดตั้งสูงจากพื้น 2.2 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายในแบบโค้งเว้า ยื่น 1.4 เมตร ติดตั้งสูงจากพื้น 2.2 เมตร (Angsananrattana, 2006)

• ใช้หิ้งสะท้อนแสงแบบโค้งร่วมกับแผงสะท้อนแสงแบบโค้งระนาบนอน (Rerkasem & Chindavanic, 2011, pp. 21-37)

• ใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกยื่น 1.5 เมตร ภายในยื่น 0.5 เมตร ฝ้าเพดานรูปทรงโค้ง (Limsatjapanit & Wankanapon, 2014, pp. 109-116)

<u>ห้องเรียน</u>

• ใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกยื่น 0.98 เมตร ภายในยื่น 0.5 เมตร วัสดุสีขาวมีค่าการสะท้อนแสง 85% เอียงขึ้น 35 องศา (Dankul, 2002)

• สำหรับห้องเรียน ทิศเหนือ อุปกรณ์บังแดดภายนอกยื่น 1 เมตร หิ้งสะท้อนแสงภายในยื่น 0.6 เมตร ทิศใต้ อุปกรณ์บังแดดภายนอกยื่น 1.24 เมตร หิ้งสะท้อนแสงภายในยื่น 0.5 เมตร (Bhumibhanit, 2012) ตึกแถว

• ทางทิศใต้ ใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวนอนยื่น 1.5 เมตร แนวตั้งยื่น 0.8 เมตร ส่วนทางทิศเหนือ หิ้งสะท้อนแสงภายนอกแนวนอนยื่น 1 เมตร แนวตั้งยื่น 0.8 เมตร (Temtananan, 2011)

<u>อื่น ๆ</u>

• ใช้แบบผสมที่ใช้วัสดุทึบ มีระยะยื่น 1.5 เมตร สำหรับคอมมูนิตี้มอลล์ (Chulpornchit & Wankanapon, 2014)

• ใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกยื่น 1.5 เมตร ภายในยื่น 0.5 เมตร เอียงขึ้น 25 องศา ใช้วัสดุสีเงินมันวาว สำหรับห้องสมุด (Kosalprapai, 2008)

• ใช้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกยื่น 0.7 เมตร ภายในยื่น 0.65 เมตร และมีช่องแสงสูง 1 เมตร เหนือหน้าต่าง สำหรับศาลากลาง (Sanbudda, 2009)

ที่มา: Chirarattananon et al., 2013

รูปที่ 3 ตัวอย่างลักษณะของห้องทดลองและรูปแบบอุปกรณ์บังแดดแบบต่าง ๆ และการติดตั้งอุปกรณ์วัดแสงในห้องทดลอง (Various types of shading devices and experimental unit.)

นอกจากนี้ ยังมีข้อเสนอแนะและข้อสังเกตบางประการ เช่น

• การออกแบบอุปกรณ์บังแดดต้องให้สอดคล้องกับทิศทางการโคจรของดวงอาทิตย์ (Saihong & Srisutapan, 2008, pp. 67-81)

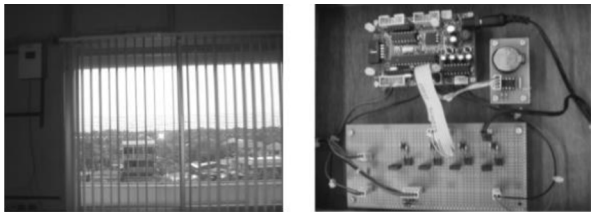
• บ้านที่มีอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดสูง การใช้อุปกรณ์บังแดดจะช่วยลดการใช้พลังงานได้ โดยอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดที่ 50–100% และมีการบังแดดที่ 60% ขึ้นไป การใช้อุปกรณ์บังแดดจะคืนทุนเร็วกว่าการใช้กระจก Double Low-e ถึง 23 ปี (Kittichanthira, 2011, pp. 417-428)

• การใช้กระจกคุณภาพดีจะช่วยป้องกันความร้อนได้ดีกว่าการใช้อุปกรณ์บังแดด แต่การใช้อุปกรณ์บังแดดจะช่วยให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้มากกว่า (Theppipit & Chindavanic, 2013, pp. 32-44)

4.3 การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์

วัตถุประสงค์หลักในการศึกษาหัวข้อนี้ คือ แนวทางการลดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง โดยที่ยังคงรักษาระดับความส่องสว่างที่เหมาะสมในการใช้งาน มีการเสนอแนวทางการดำเนินการที่หลากหลาย เช่น การใช้ระบบควบคุมแสงสว่างควบคุมหลอดไส้ และการเปิดมู่ลี่สามารถประหยัดพลังงานได้ 78.67% (Suriyopasurai & Sawestsakulanond, 2005) การใช้ระบบควบคุมโดยการหรี่ หรือเปิด – ปิดโดมไฟโดยใช้การตรวจจับแสงธรรมชาติจะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ 48–62% (Poonasawasombat, 2010) การใช้ระบบอัตโนมัติในการตรวจจับแสงธรรมชาติ และควบคุมการเปิด – ปิดม่านแนวตั้ง และใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ สามารถประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ 18% (Mettanant, 2013, pp. 123-128) การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การหรี่ดวงโคม และเปิดหน้าต่างทางทิศเหนือ 100% สามารถประหยัดไฟฟ้าแสงสว่างได้ 33% (Pattanasethanon, 2007) การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ การหรี่ดวงโคม สามารถประหยัดไฟฟ้าได้ 19.4% (Junkhumuang, 2007) และ 15 – 18.6% (Chantasiri, 2012) การใช้ระบบหรี่แสงอัตโนมัติช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในทิศเหนือได้ประมาณ 20% (Borvontanajunya & Varodompun, 2013, pp. 113-119) การออกแบบผสมผสานการใช้ช่องแสง อุปกรณ์บังแดด หิ้งสะท้อนแสง ฯลฯ สามารถช่วยให้ประหยัดไฟฟ้าแสงสว่างได้ 82.14% (Temtananan, 2011) และ 82% สำหรับอาคารประเภทโรงเรียน (Wankanapon, 2011) การใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ร่วมกับบัลลาสต์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์บังแดดผสานระบบเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถประหยัดได้ 28 – 69% เมื่อใช้ระบบเปิด – ปิด และ 52 – 73% เมื่อใช้ระบบหรี่แสง (Tongtuam, 2012) อย่างไรก็ตาม มีข้อสังเกตคือ เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนพื้นที่ช่องเปิดให้มากขึ้น จะสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างลงได้ แต่จะเพิ่มภาระการปรับอากาศแทน และเมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์บังแดด จะสามารถช่วยลดภาระการปรับอากาศลงได้ แต่จะเพิ่มการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างแทน (Borvontanajunya & Varodompun, 2013) และในหลายอาคารยังคงขาดการออกแบบและผสมผสานการใช้งานที่เหมาะสม จึงควรพิจารณาเรื่องการวางผังควบคุมการเปิด–ปิดวงจรไฟฟ้าแสงสว่างตั้งแต่กระบวนการออกแบบ (Saihong & Srisutapan, 2008, pp. 67-81; Srisutapan, 2009, pp. 13-29; Thongkamsamut, 2010, pp. 1-13)

ในการประเมินอาคารประหยัดพลังงานหรืออาคารเขียว มีการกำหนดเกณฑ์ที่เกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติด้วยเช่นกัน คือ ต้องมีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมการเปิด – ปิดหรือหรี่ระบบไฟฟ้าแสงสว่างเพื่อให้เกิดความเหมาะสมในการใช้แสงธรรมชาติทดแทนแสงประดิษฐ์ทั้งในห้องที่มีการใช้งานประจำและทางเดินส่วนกลาง (Department of Energy Development and Efficiency, 2007a; Homdee & Yongaroen, 2012, pp. 47-58; Sreshthaputra, 2013) มีการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมระบบส่องสว่างเพื่อประหยัดพลังงานอย่างน้อย 20% ของสวิตซ์ควบคุมไฟฟ้าทั้งหมดสำหรับอาคารพักอาศัย (Department of Energy Development and Efficiency, 2007b) และมากกว่า 50% ของพื้นที่ใช้สอยทั้งหมด สำหรับอาคารที่ไม่ใช่อาคารพักอาศัย (Department of Energy Development and Efficiency, 2007b; Homdee & Yongaroen, 2012, pp. 47-58)



ที่มา: Mettanant, 2013, pp. 123-128

รูปที่ 4 ตัวอย่างของการติดตั้งมู่ลี่และใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ในการควบคุม (Use of an automated vertical blinds system with microcontroller.)

โดยสรุปแล้ว การใช้ระบบตรวจจับแสงธรรมชาติและระบบควบคุม เปิด-ปิด หรือหรี่ดวงโคมอัตโนมัติ หรือการควบคุมม่าน สามารถช่วยลดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างได้อย่างแน่นอน แต่ต้องมีการวางผังการควบคุมอย่างเหมาะสม ส่วนประเด็นเรื่องความสามารถในการประหยัดว่าจะได้มากน้อยเท่าไรนั้น อาจไม่สามารถนำตัวเลขการประหยัดมาเปรียบเทียบกันได้โดยตรง เนื่องจากการประหยัดอาจขึ้นอยู่กับทิศทาง ลักษณะทางกายภาพของห้อง ระดับความส่องสว่างที่ต้องการ ประเภทของหลอดไฟที่ใช้จำนวนดวงโคมและระยะในการจัดวางดวงโคม เป็นต้น

ประเด็นเรื่องภาระการปรับอากาศที่เกิดจากการใช้แสงธรรมชาติ เป็นประเด็นที่แฝงอยู่และควรศึกษาต่อไป เพราะการประหยัดพลังงานในส่วนของระบบไฟฟ้าแสงสว่างอาจมีผลเพียงน้อยนิดหรือได้ไม่คุ้มเสียเมื่อเทียบกับภาระการปรับอากาศที่เพิ่มขึ้น (Borvontanajunya & Varodompun, 2013) ดังที่ได้มีการศึกษาไว้

5. บทสรุป

ผลที่ได้จากการวิจัยอาจพอสรุปเป็นประเด็นได้ดังนี้

5.1 ด้านพัฒนาการของการวิจัย

<u>ด้านที่มีพัฒนาการมากขึ้น</u>

• มีการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ที่หลากหลายนอกเหนือจากการพิจารณาด้านปริมาณของแสงเพียงด้านเดียว เช่น พิจารณาความส่องสว่างไปพร้อม ๆ กับการประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น

• มีการพิจารณาเรื่องของการใช้วัสดุ ระบบ และเทคโนโลยีที่มีความก้าวหน้า มาผสมผสานการใช้งานมากขึ้น เช่น การเลือกใช้กระจกประสิทธิภาพสูง ระบบตรวจจับแสงธรรมชาติ ระบบอัตโนมัติควบคุมการเปิด-ปิดดวงโคม เป็นต้น ซึ่งทำให้ระบบการนำแสงธรรมชาติมาใช้งานมีการตอบสนองต่อการใช้งานที่ดีขึ้น และยังทำให้ประหยัดพลังงานได้มากขึ้นตามไปด้วย

<u>ด้านที่ยังไม่มีการเปลี่ยนแปลงมากนัก</u>

• แนวทางการออกแบบส่วนใหญ่ ยังไม่มีความแตกต่างมากนักเมื่อเปรียบเทียบกับหลักการพื้นฐานในการออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติที่ได้มีการนำเสนอมาตั้งแต่ในอดีต เช่น การป้องกันรังสีตรงจากดวงอาทิตย์ การทำให้แสงอาทิตย์เกิดการสะท้อนก่อนที่จะนำเข้ามาในอาคาร การออกแบบอุปกรณ์บังแดดโดยพิจารณาจากการโคจรของดวงอาทิตย์ เป็นต้น ทำให้รูปแบบของการออกแบบหรือการนำเสนอทางเลือกไม่ต่างจากเดิมเท่าไรนัก

• บางส่วนของหัวข้อการวิจัยมีลักษณะการนำแนวคิดหรือหลักการเดิมมาปรับใช้กับกับอาคารต่างประเภทกัน ซึ่งอาจเป็นการพิสูจน์ทฤษฎีหรือเป็นการออกแบบรายละเอียดปลีกย่อย เช่น การใช้อุปกรณ์บังแดดสำหรับอาคารสำนักงาน สถานศึกษา หรือห้องสมุด เป็นต้น หรือนำไปใช้ภายใต้บริบทใหม่ เช่น การนำไปใช้ในที่ตั้งหรือจังหวัดอื่น ๆ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้อาจมีความแตกต่างกันเพียงในเรื่องของรูปแบบและระยะยื่นของอุปกรณ์บังแดดเท่านั้น

5.2 ความสอดคล้องของผลการวิจัย และการนำไปใช้ประโยชน์

• ผลลัพธ์มีความหลากหลายมาก ทั้งในเรื่องของการใช้รูปแบบอุปกรณ์บังแดด ปริมาณแสงธรรมชาติที่ส่องเข้ามาในอาคารได้ ความสามารถในการประหยัดพลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ฯลฯ ซึ่งอาจทำให้เกิดความสับสนในการเลือกใช้งานได้

• เนื่องจากได้มีการนำเสนอแนวทางการออกแบบหลายแนวทางและจากหลายแหล่งข้อมูล ทั้งจากงานวิจัย เกณฑ์การออกแบบอาคารเขียว หรือมาตรฐานอื่น ๆ เป็นต้น ทำให้อาจเกิดข้อสงสัยได้ว่าแนวทางใดจะสามารถทำให้เกิดประสิทธิภาพและการประหยัดพลังงานสูงสุด หรือควรใช้ผลลัพธ์ใดมาอ้างอิงในการออกแบบ

• ในอนาคต อาจจะต้องมีการปรับปรุงกฎหมาย มาตรฐาน หรือข้อบังคับต่าง ๆ เพื่อให้เกิดความสอดคล้องกับสภาพปัจจุบันมากขึ้น โดยอ้างอิงจากผลลัพธ์จากผลงานวิชาการต่าง ๆ ที่ได้มีการศึกษามา เช่น ประเด็นเรื่องของตัวแปรสำคัญสำหรับการจำลองพลังงานในอาคาร (Jareemit & Inprom, 2015) เพื่อให้บรรลุเป้าหมายในการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

5.3 การกำหนดมาตรฐานและการอ้างอิง

การกำหนดตัวแปรอ้างอิงต่าง ๆ ในการดำเนินการวิจัยมีความแตกต่างกันพอสมควร เช่น การกำหนดขนาดห้องของแต่ละประเภทอาคาร การกำหนดค่าการสะท้อนแสงของพื้น ผนัง และเพดาน การเลือกใช้ประเภทของหลอดไฟในการพิจารณาการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง เป็นต้น ซึ่งนอกจากจะส่งผลให้ผลลัพธ์ที่ได้มีความ

แตกต่างกันแล้ว ยังไม่สามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ โดยตรงว่าผลลัพธ์จากงานวิจัยใดมีประสิทธิภาพดีหรือด้อยกว่ากันเพียงไร ดังนั้น การกำหนดแนวทางในการเลือกใช้ค่าอ้างอิงต่าง ๆ ให้เป็นไปในแนวทางเดียวกัน จึงเป็นเรื่องที่สำคัญเช่นกัน

งานวิจัยนี้มีความมุ่งหวังเพื่อให้ผู้อ่านหรือผู้วิจัยสามารถมองเห็นภาพรวมของหัวข้อวิจัยที่เกี่ยวข้องกับเรื่องของการออกแบบและใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ และนอกจากจะเป็นการรวบรวมและสร้างฐานข้อมูลของผลงานที่เกี่ยวข้องที่ได้มีการศึกษามาแล้ว ยังอาจช่วยทำให้เปิดมุมมองให้เห็นโอกาส ช่องว่าง และแนวทางการศึกษาในประเด็นอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องและเป็นประโยชน์ต่อไปในอนาคตได้มากขึ้น อีกทั้งยังเป็นการกระตุ้นให้เกิดการพัฒนามาตรฐานการทำงานทางวิชาการในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับแสงธรรมชาติด้วย รวมถึงการผลักดันให้เกิดการนำไปใช้งานจริงอย่างแพร่หลายมากขึ้นในวงวิชาชีพสถาปัตยกรรมเพื่อให้เกิดการออกแบบที่เหมาะสมและเป็นประโยชน์ทั้งในเชิงของการลดใช้พลังงาน และการสร้างสรรค์นวัตกรรมทางสถาปัตยกรรมต่อไปในอนาคตได้ด้วยเช่นกัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัย จากกองทุนวิจัย มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2557 ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

References

Angsananrattana, V. (2006). *Light shelves and ceiling design for efficient daylighting in office building*. (Master’s Thesis). Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Asavapitayanont, A. (2010). *Energy conservation performance in buildings with tilted envelope in hot-humid climate*. (Master’s Thesis). Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Bhumibhanit, T. (2012). *The performance of exterior shading and light shelves for visual quality and energy conservation*. (Master’s Thesis). Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Borvontanajunya, K., & Varodompun, J. (2013). Integration of automatic daylight-dimming system with the design of an office building components for energy conservation. *Built Environment Research Associates Conference IV, 2013*. (pp. 113-119). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Bunnag, T., & Varodompun, J. (2014). Energy efficiency and natural light quality of skylight with shading devices in hot-humid. *Built Environment Research Associates Conference 5, 2014*. (pp. 24-29). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Chantasiri, J. (2012). *Design and application of daylight model, Case study: Mahasarakham, Thailand.* (Ph.D. Dissertation). Faculty of Engineering, Mahasarakham University.

Chindapol, S. (2008). *Fenesstration design guidelines for optimizing heat gain and daylight in office building*s. (Master’s Thesis). Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Chirarattananon, S., Rugkwamsuk, P., & Matuampunwong, D. (2010). Optimizing benefits of multiple-slat shading device and high performance glazing on high-rise buildings. *Journal of Sustainable Energy and Environment, 1*, 165-171.

Chirarattananona, S., Matuampunwong, D., Budimana, M. F., & Chandra, D. L. (2013). Energy savings from daylighting through shaded windows. *Proceeding of the 7th Luxpacifica 2013, Cultural Lighting*. (pp. 403-408). Bangkok: Author.

Chulpornchit, Y. & Wankanapon, P. (2014). External shading design for increasing energy and daylight performance of community malls in Bangkok and its vicinity. *Built Environment Research Associates Conference 5, 2014*. (pp. 96–102). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Dankul, R. (2002). *Light shelves design for efficient daylighting in school building Case study: Secondary school in Bangkok.* (Master's Thesis). King Mongkuts Institute of Technology Ladkrabang.

Department of Energy Development and Efficiency. (2007a). *Thailand energy and environmental assessment method: Public building*. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Department of Energy Development and Efficiency. (2007b). *Thailand energy and environmental assessment method: Residential building*. Bangkok: Chulalongkorn University Press.

Harnprakhon, N. (2011). *The use of daylighting in patient's room, Case study: Srinagarind Anusorn 2 building, Srinagarind Hospital, Khonkean*. (Master's Thesis). Faculty of Architecture, Silpakorn University.

Homdee, D., & Yongaroen, W. (2012). Construction of energy conservation evaluation form for residential buildings. *Journal of Energy Research, 9*(1), 47-58.

Jareemit, D. & Inprom, N. (2015). Review article: Significant parameters in building energy simulation. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 12*(1), 1-14.

Jirattikalkit, N., Boonyatikarn, S., & Buranakarn, V. (2011). Design integration techniques to reduce cooling load, Co_2 emission and heat rejection in a building: A case study of the government complex commemorating His Majesty the King's 80^{th} birthday anniversary, 5^{th} December, B.E. 2007. *Built Environment Research Associates Conference II, 2011*. (pp. 59-78). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Jitawisutthikul, R., & Varodompun, J. (2014). Energy performance in office buildings with self shading envelope in hot-humid climate. *Built Environment Research Associates Conference 5, 2014*. (pp. 66-71). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Junkhumuang, K. (2007). *Electrical energy saving in building by daylighting: A case study of side lighting*. (Master's Thesis). Faculty of Engineering, Mahasarakham University.

Kittichanthira, P. (2011). Energy saving from double-skin shading devices of residential in Bangkok. *Sarasatr Academic Journal, 16*, 417-428.

Kosalprapai, P. (2008). *The utilization of daylight in the reading room Case study: National library*. (Master's Thesis). Faculty of Architecture, Silpakorn University.

Limsatjapanit, T., & Wankanapon, P. (2014). Innovative design for integrated tensile fabric curved ceiling with light shelf for daylight performance in office. *Built Environment Research Associates Conference 5, 2014*. (pp. 109–116). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Mettanant, V. (2013). Daylight performance of an automated vertical blinds system. *Journal of Science and Technology Mahasarakham University, 32*(1), 123-128.

Mukhruck, Y., & Turapra, P. (2006). *Side lighting for energy conservation in office building*. Bachelor's Thesis, Faculty of Engineering, Mahasarakham University.

Muttisan, C. (2005). *The impacts of lightshelf's physical factors on daylighting in buildin*gs. (Master's Thesis). Faculty of Architecture, Chulalongkorn University.

Oonprai, K., & Yiemwattana, S. (2013). *Eneygy conservation by passive cooling methods of creating thermal comfort for apartment building: A case study of Mo-No Nivet No.5 staff resedense.* Phitsanulok: Naresuan University.

Paijitsattaya, P. (2011). *Development of daylighting design strategies in libraries*. (Master's Thesis). Faculty of Architecture, Chulalongkorn University.

Pattanasethanon, S. (2007). *A study of daylight illumination and safely using light for energy conservation in building*. (Ph.D. Dissertation). Faculty of Engineering, Mahasarakham University.

Pongboriboon, I. (2011). *Daylighting design guidelines for top aperture of marke*t. (Master's Thesis). Faculty of Architecture, Silpakorn University.

Poonasawasombat, R. (2010). *The relationship of interior surface reflectance on daylight-linked photo sensor efficiency*. (Master's Thesis). Faculty of Architecture, Chulalongkorn University.

Potipituk, C. (2003). *The study of shading devices and side lighting to enhance the use of daylighting in a classroom*. (Master's Thesis). Faculty of Architecture, Silpakorn University.

Potipituk, C. (2006). *The study of shading devices and side lighting to enhance the use of daylighting in a classroom, Case Study: Faculty of Architecture Building, Rajamangala University of Technology I-Sarn, Northeastern Campus, Nakornrachasrima* (Final report). Nakornrachasrima: Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology I-Sarn.

Rerkasem, K., & Chindavanic, T. (2011). The efficiency of interior daylighting panels. *Journal of Energy Research, 8*(1), 21 - 37.

Saguansup, V. (2009). *A study and design of shading devices and opening in accordance with naturak ventilation for residential suits in Bangkok* (Final report). Bangkok: Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi.

Saihong, N., & Srisutapan, A. (2008). Guidelines for lighting design in multimedia classroom. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 5*(1), 67 - 81.

Sanbudda, W. (2009). *Design guideline to improve efficiency daylight utilization, Case study: Nonthaburi city hall*. (Master's Thesis). Faculty of Architecture, Silpakorn University.

Sirirachata, V. (2007). *A study of fenestration prototypes for hot-humid climate building*. Master's Thesis, Faculty of Architecture, Chulalongkorn University.

Sirisawadwattana, P., & Varodompun, J. (2013). The energy performances of glazing area allocation on office building facades with different orientations. *Built Environment Research Associates Conference IV, 2013.* (pp. 107-112). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Sreshthaputra, A. (2013). *Ecovillage evaluation manual: NHA*. Bangkok: Papermate (Thailand).

Srisutapan, A. (2009). The assessment of building energy performance: Thammasat Universuty, Rangsit Campus. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 6*(1), 13-29.

Srisutapan, A. (2014). Potential of energy saving from daylight usage under ministerial regulation. *Journal of Architectural/Planning Research and Studies, 11*(2), 37-52.

Srivirote, S. (2004). The effect of heat transmittance from utilization of daylighting in building through side-glazings. *Journal of Energy Research, 1*, 36-79.

Subcharoen, P., & Varodompun, J. (2014). Guidelines for enhanced daylight performance of office building based on ASEAN green building rating systems. *Built Environment Research Associates Conference 5, 2014*. (pp. 81-87). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Suriyadetsakul. K. (2003). Daylighting techniques for the museum of art in hot-humid climate. *Academic Journal, Faculty of Architecture, Khon Kaen University, 2*(1), 23-32 .

Suriyopasurai, R., & Sawestsakulanond, B. (2005). *A comparison of daylight with/without lighting system electrical energy. The 1st conference on energy network of Thailand*. (ECB03-1 - ECB03-6). Bangkok: King Mongkut's University of Technology Thonburi.

Taow-Klang, C., & Pattanasethanon, S. (2008). Using of artificial light combination with daylight in interior. *Khon Kaen University Research Journal, 13*(5), 597 - 605.

Temtananan, P. (2011). *Increasing daylight performance of typical shophouses*. (Master's Thesis). Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Tharanon, K. (2008). *The effect of heat due to natural light utilized in the building through glass side window* (Final report). Pathumthani: Faculty of Architecture, Rajamangala University of Technology, Thanyaburi.

Theppipit, J., & Chindavanic, T. (2013). The comparison of effective shading coefficient between glazing glass and shading device. *Journal of Energy Research, 10*(2), 32 – 44.

Thongkamsamut, C. (2010). Design guidelines for enhancing learning process: Case study the 40th year anniversary of demonstration school building, Khon Kaen University. *Academic Journal, Faculty of Architecture, Khon Kaen University, 9*, 1 - 13.

Tongtuam, Y. (2012). Increased performance of side windows from an integrated photovoltaic shading device system. *Built Environment Research Associates Conference III, 2012*. (pp. 21 – 34). Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.

Tuaycharoen, N., Konisranukul, W., & Chaychom, W. (2011). Design and renovation of daylighting for energy conservation for university building: A case study of Faculty of Architecture, Naresuan University. *The 2011 National Conference on Sustainable Community Developmen*t. (pp. 582-589). Khon Kaen: Khon Kaen University.

Wankanapon, P. (2011). *Integrated passive daylighting for climate change: Energy efficient school.* Pathumthani: Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University.