

# การพัฒนาระบบให้น้ำพืชจากน้ำทิ้งระบบปรับอากาศแบบ Split-type

## Development of Irrigation from Split-type Air Conditioner Wastewater

ชัชสนันท์ ชินพงค์

Chanasnan Chinnapong

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

E-mail: chanasnan\_june@hotmail.com

### บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบให้น้ำพืชจากน้ำทิ้งระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน การนำน้ำทิ้งจากเครื่องปรับอากาศเหล่านี้มาใช้ประโยชน์โดยการรดน้ำต้นไม้ เป็นการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากอาคารอย่างยั่งยืน ช่วยหมุนน้ำและช่วยให้ต้นไม้เจริญเติบโตปกคลุมอาคาร การศึกษาการเก็บกักน้ำทิ้งจากเครื่องปรับอากาศเพื่อทำระบบน้ำหยดให้แก่ต้นไม้จึงเป็นประโยชน์และส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรแบบหมุนเวียน และสามารถพัฒนาไปสู่นวัตกรรมที่ใช้ประกอบอาคารได้

ผลการทดสอบเบื้องต้นกับการทดลองให้น้ำพืชทั้ง 3 ชนิด โดยเปรียบเทียบการให้น้ำโดยใช้น้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศแบบแยกส่วนและการให้น้ำประปา พบว่า พืชทั้ง 3 ชนิดมีการเจริญเติบโตเท่า ๆ กัน และเมื่อนำน้ำไปทดสอบหาค่า pH ได้ค่า 7.2 และมีอุณหภูมิ 23-25 องศาเซลเซียส ซึ่งอยู่ในช่วงที่เหมาะสมแก่การนำไปเลี้ยงต้นไม้สามารถใช้แทนกันได้ จากการทดลองเก็บน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศ พบว่า เก็บน้ำได้ประมาณวันละ 18,032 มล. ซึ่งสามารถใช้เลี้ยงต้นกุหลาบที่มีความต้องการใช้น้ำประมาณวันละ 583 มล. ได้ประมาณ 30 ต้นต่อวัน จากการทดลองออกแบบและติดตั้งระบบเบื้องต้น พบว่า สามารถให้น้ำพืชได้โดยระบบน้ำซึมซึ่งพืชสามารถเจริญเติบโตอยู่ได้โดยไม่ต้องใช้พลังงานในการรดน้ำต้นไม้

### Abstract

The objective of this research was to develop irrigation system by using wastewater from split-type air conditioning system. In other words, the wastewater from the air conditioning system can be used for watering plants in order to sustainably manage wastes, water retention, and greening the building. The wastewater from the air conditioning system was studied in order to develop the sub irrigation system for the plants, promote resource circulation, and develop innovations for the buildings.

Initially, three types of plants growth were compared between using wastewater from the split-type air conditioning system and ordinary tap water. It was found that the growth of the

three types of plants were similar. That means, both types of water are substitutable. By measuring, pH value of the water is 7.2, which is appropriate for growing plants. The temperature of nearby outcome water is 23 - 25 °c. By storing the wastewater from each air conditioning unit, it was found that average 18,032 ml. of the wastewater could be stored per day. This amount of the wastewater could be used for watering Coleus (*Solenostemon scutellarioides* (L.)), which required about 583 ml. of water per day. Thus, 30 Coleus could be watered per day. By initially designing and installing the system, it was found that the plants could be watered with the sub irrigation system. With the system, the plants could grow without requiring energy for watering the plants.

**คำสำคัญ (Keywords):** ระบบให้น้ำพืช (Irrigation System), ระบบน้ำซึม (Sub Irrigation System), น้ำทิ้ง (Wastewater), ระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน (Split-type Air Conditioner)

## 1. คำนำ

การที่มีประชากรอาศัยอยู่ในกรุงเทพมหานครเป็นจำนวนมากนั้นทำให้อาคารบ้านเรือนและตึกสูง ๆ ถูกสร้างขึ้นเป็นจำนวนมาก และวัสดุก่อสร้างเหล่านี้จะเป็นตัวดูดซับความร้อนโดยตรงจากดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน และทำให้เกิดการสะสมเกิดเป็นปรากฏการณ์เกาะความร้อนขึ้นในเมืองเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและมีลมพิษมากขึ้น จึงทำให้ผู้คนส่วนใหญ่หันมาติดตั้งเครื่องปรับอากาศเป็นจำนวนมากไม่ว่าจะเป็น สำนักงาน ร้านอาหาร ร้านค้า มหาวิทยาลัย บ้านพักอาศัยหรือแม้กระทั่งตลาดนัดต่าง ๆ ในปัจจุบัน การปลูกต้นไม้บนพื้นผิวอาคารเป็นวิธีการที่ช่วยลดปัญหาอุณหภูมิสูงจากภาวะเกาะความร้อนเมืองได้ ทั้งยังช่วยหมุนเวียนน้ำฝนและน้ำจากอาคารที่ปล่อยลงทางระบายน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

จากการใช้งานเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนเป็นจำนวนมาก และโดยปกติแล้วภายในห้องที่มีการติดตั้งเครื่องปรับอากาศ จะมีความชื้นสัมพัทธ์อยู่ประมาณ 55% ที่อุณหภูมิ 23-24 องศาเซลเซียส โดยที่อากาศภายนอกมีความชื้นสัมพัทธ์ประมาณ 70-80% ที่อุณหภูมิ

30-35 องศาเซลเซียส และอาจสูงถึง 100% ในหน้าฝน นอกจากเครื่องปรับอากาศจะทำหน้าที่ลดอุณหภูมิภายในห้องแล้วยังทำหน้าที่ลดความชื้นอีกด้วย โดยเมื่ออากาศผ่านคอยล์เย็น กระแทกกับผิวคอยล์เย็น จะเกิดการกลั่นตัวของความชื้นในอากาศที่ผิวคอยล์เย็น และเกิดเป็นหยดน้ำไหลลงไปยังถาดรองน้ำทิ้งซึ่งอยู่ใต้คอยล์เย็น และไหลลงสู่อ่างน้ำทิ้งซึ่งเรียกว่า Condensate Drain เพื่อระบายน้ำทิ้งต่อไป ดังนั้น เมื่อมีการใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนมากขึ้น ก็จะทำให้เกิดน้ำทิ้งจากระบบการทำงานของเครื่องปรับอากาศมากขึ้นเช่นกัน น้ำเหล่านี้ถูกปล่อยทิ้งลงที่ระบายน้ำ การนำน้ำทิ้งจากเครื่องปรับอากาศเหล่านี้มาใช้ประโยชน์โดยการพัฒนาเป็นระบบให้น้ำพืช เป็นการกำจัดของเสียที่เกิดขึ้นจากอาคารอย่างยั่งยืน ช่วยหมุนเวียนน้ำและช่วยให้ต้นไม้เจริญเติบโตปกคลุมอาคาร การศึกษาการเก็บกักน้ำทิ้งจากเครื่องปรับอากาศเพื่อทำระบบให้น้ำแก่ต้นไม้จึงเป็นประโยชน์และส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรแบบหมุนเวียน การลดภาวะเกาะความร้อนในเมือง และสามารถพัฒนาไปสู่นวัตกรรมที่ใช้ประกอบอาคารได้

จากการทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาพัฒนาระบบให้น้ำพืชที่ผ่านมา พบว่า มีความสำเร็จในการออกแบบติดตั้งเป็นอย่างมาก เช่น ระบบน้ำซึม ระบบน้ำหยด (มนตรี คำชู, 2557) และพบภาชนะปลูกแบบใหม่ที่มีการให้น้ำจากทางด้านล่างของดิน จากการทดลองปลูกพืช 3 ชนิด ได้แก่ cayenne pepper (*Capsicum annuum*) sungold cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum*) และ lacinato kale (*Brassica oleracea*) ในภาชนะปลูกที่แตกต่างกัน 5 แบบเปรียบเทียบกับภาชนะปลูกแบบมาตรฐาน พบว่าภาชนะปลูกแบบใหม่นี้มีประสิทธิภาพในการใช้น้ำมากกว่าภาชนะปลูกมาตรฐาน Sullivan et.al., (2014) แต่ยังไม่พบงานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศมาพัฒนาเป็นระบบให้น้ำแก่พืช ดังนั้น ด้วยคุณสมบัติของน้ำทิ้งจากเครื่องปรับอากาศจึงทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะนำมาพัฒนาเป็นระบบให้น้ำพืช ซึ่งจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการวิจัยเพื่อพัฒนาระบบให้มีประสิทธิภาพและสามารถใช้งานได้อย่างยั่งยืน

## 2. วิธีการวิจัย

แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ การเก็บน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศ การทดลองปลูกพืชโดยใช้น้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศ การทดสอบการดูดซึมน้ำของดิน การออกแบบและติดตั้งระบบให้น้ำแก่พืช

2.1 การเก็บน้ำทิ้งจากเครื่องปรับอากาศยี่ห้อ Amtec อายุการใช้งานประมาณ 10 ปี บริเวณห้องเรียน 1302 ชั้น 2 คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ โดยเก็บตัวอย่างน้ำจากเครื่องปรับอากาศจำนวน 3 เครื่อง เครื่องละ 1 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 3 วัน



รูปที่ 1 การเก็บน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศและนำมาตวง

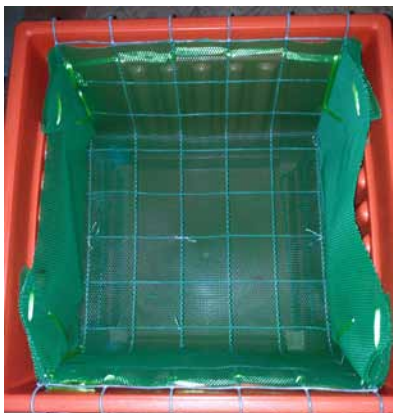
2.2 การทดลองปลูกพืชโดยใช้น้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศ โดยทดลองใช้น้ำที่เก็บได้จากระบบปรับอากาศที่คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ในการรดน้ำต้นไม้เปรียบเทียบกับการใช้น้ำประปา และสังเกตดูการเจริญเติบโตของต้นพืช โดยทดลองกับต้นพืช 3 ชนิด คือ พยับหมอก บุษบาฮาวาย และฤๅษีผสม แบ่งเป็นชนิดละ 2 ต้น โดยต้นที่ 1 จะทำการให้น้ำประปา และต้นที่ 2 จะทำการให้น้ำทิ้งจากเครื่องปรับอากาศที่เก็บไว้โดยทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน

2.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำของดิน ทดสอบการดูดซึมน้ำของดิน 3 ชนิด คือ ดินก้ามปู ดินรพีทอง และดินท็อปเท็นส์ โดยใส่แก้วที่ถาดรองน้ำด้านล่าง และสังเกตว่าน้ำในถาดรองลดลงไปและเมื่อสัมผัสผิวดิน พบว่า ดินค่อนข้างชื้น จึงได้นำไปทดลองปลูกพืช แบ่งเป็น 3 ขนาด เล็ก กลางและใหญ่ โดยใช้ดินฤๅษีผสมในการทดลอง และใช้ดินทั้ง 3 ชนิดในการปลูก รวมเป็น 9 ต้น

2.4 การออกแบบและติดตั้งระบบให้น้ำแก่พืชโดยระบบให้น้ำพืชจากน้ำทิ้งระบบปรับอากาศต้องประกอบด้วยถังเก็บน้ำจากท่อน้ำทิ้ง ถังติดตั้งวาล์วลูกลอยเพื่อรักษาระดับน้ำ และกระถางสำหรับการเพาะปลูกพืช

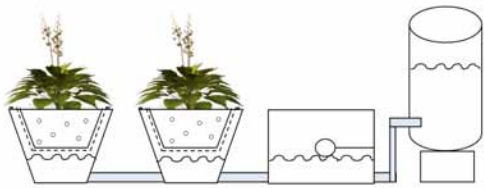
2.4.1 ออกแบบดัดแปลงกระถางสำหรับปลูกต้นไม้ให้สามารถเก็บน้ำไว้ในกระถางแทนการใช้ถาดรองกระถางเพื่อความสวยงามมากขึ้น จากนั้นจึงเริ่มทำการวัดระยะและเจาะรูเตรียมไว้สำหรับการต่อท่อ โดยการเจาะรูจะต้องคำนึงถึงความสูงของระดับน้ำที่ต้องการให้ขังอยู่ภายในกระถาง โดยเลือกเจาะที่ระยะต่ำสุดเพื่อให้ระดับน้ำในกระถางไม่สูงจนเกินไปและเหลือที่ไว้สำหรับการใส่ดินปลูกอีกด้วย

2.4.2 ทำการออกแบบตะกร้าสำหรับใส่ดินปลูกต้นไม้ เนื่องจากพื้นที่สำหรับด้านล่างซึ่งเปรียบเสมือนถาดรองกระถางต้นไม้ ซึ่งจะใช้สำหรับเก็บน้ำเพื่อให้ต้นไม้สามารถดูดซึมมาใช้ในการเจริญเติบโต และจำเป็นที่จะต้องกันดินไม่ให้ร่วงหล่นลงไปในส่วนเก็บน้ำด้านล่าง จึงได้มีการนำลวดตาข่ายมาตัดและดัดเป็นทรงตะกร้าและรองด้วยตาข่ายพลาสติกกรุเล็กและเย็บติดกัน ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ตาข่ายพลาสติกเย็บติดกับลวดตาข่าย

2.4.3 นำทั้ง 3 ส่วน คือถังเก็บน้ำ ถังรักษาระดับน้ำติดตั้งวาล์วลูกลอย และกระถางที่ปลูกพืชไว้เรียบร้อยแล้ว มาต่อท่อเชื่อมระบบถึงกัน โดยมีหลักการการทำงานคือ เมื่อพืชดูดน้ำจากส่วนเก็บน้ำด้านล่างของกระถางไปใช้ในการเจริญเติบโตระดับน้ำในกระถางจะลดลง และเมื่อระดับน้ำในกระถางลดลงน้ำจากถังรักษาระดับน้ำที่ติดตั้งวาล์วลูกลอยจะส่งน้ำมาแทนที่ และเมื่อระดับน้ำในถังที่ติดตั้งวาล์วลูกลอยลดลงก็จะถูกเติมโดยถังเก็บน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศที่ได้มีการกักเก็บน้ำไว้ ดังที่แสดงในรูปด้าน



รูปที่ 3 แนวการทดลองระบบกระถางน้ำซึมคงที่

### 3. สรุปผลการทดลอง

3.1 การทดลองเก็บน้ำทิ้งจากระบบปรับอากาศ นำปริมาณน้ำทิ้งที่เก็บได้มาหาค่าเฉลี่ยรวมจะได้เท่ากับ 2,254 มล./ชม. ซึ่งโดยปกติห้องเรียนจะใช้เวลาในการเปิดเครื่องปรับอากาศตั้งแต่วันจันทร์ถึงศุกร์วันละประมาณ 8 ชั่วโมง จึงทำให้เก็บน้ำได้ประมาณวันละ 18,032 มล. จากตารางจะแสดงให้เห็นว่าวันที่ 3 ของการทดลองนั้นเก็บน้ำทิ้งได้ค่อนข้างน้อย และเป็นวันที่ฝนตกหนัก จึงตั้งข้อสังเกตว่า เมื่ออุณหภูมิในอากาศลดลง เครื่องปรับอากาศจะทำงานน้อยลง จึงทำให้น้ำทิ้งที่ได้มีปริมาณลดน้อยลงและเมื่อนำน้ำที่เก็บได้ไปทดสอบหาค่า pH ได้ค่าเท่ากับ 7.2 ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมต่อการเพาะปลูกพืชคือ 5.0 - 9.0 (พงศศักดิ์, 2548) ในขณะที่น้ำ

ประปามีค่า pH เท่ากับ 7.5 น้ำทิ้งที่เก็บได้วัด  
อุณหภูมิได้ประมาณ 12 องศาเซลเซียส สามารถ  
นำไปใช้รดได้เลยโดยไม่ต้องผ่านการปรับ  
อุณหภูมิอีก

ตารางที่ 1 ปริมาณน้ำที่เก็บได้ (มล.)

เครื่อง ครั้ง	1	2	3
1 (19/3/15)	2,450	2,180	2,360
2 (23/3/15)	2,900	2,680	2,100
3 (25/3/15)	2,340	1,900	1,380



รูปที่ 4 การทดสอบหาค่า PH

3.2 การทดลองปลูกต้นไม้โดยใช้น้ำทิ้งจาก  
ระบบปรับอากาศ ผลที่ได้คือต้นไม้ที่รดน้ำด้วยน้ำ  
ทิ้งจากเครื่องปรับอากาศสามารถเจริญเติบโตอยู่  
ได้ไม่ต่างจากต้นไม้ที่ถูกรดน้ำโดยน้ำประปาแต่  
อย่างใด จากการทดลองเป็นระยะเวลา 1 เดือน  
ต้นไม้มีอัตราการเจริญเติบโตเท่าๆ กัน จากตารางที่  
2 หมายเลข 1 ใช้น้ำประปา หมายเลข 2 ใช้น้ำทิ้ง



รูปที่ 5 ต้นไม้ทดลอง บุษบาฮาวาย ฤๅษีผสม และพยัพมหอก

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของต้นไม้ทดลอง (หน่วยความ  
สูงเป็นเซนติเมตร)

ชื่อ	สัปดาห์ที่ 1		สัปดาห์ที่ 2		สัปดาห์ที่ 3		สัปดาห์ที่ 4	
	1	2	1	2	1	2	1	2
ฤๅษีผสม	27	27	30	30	34	33	39	37
บุษบาฮาวาย	25	25	25	25	25	26	26	26
พยัพมหอก	18	18	19	19.5	20.5	21.5	22	23

3.3 การทดสอบการดูดซึมน้ำ จากผลการ  
ทดลอง พบว่า น้ำในถาดรองจะลดลงทุก ๆ วัน  
และเมื่อเติมน้ำลงไปให้เต็ม ต้นไม้จะดูดน้ำจาก  
ถาดรองขึ้นไปใช้ โดยไม่ต้องทำการรดน้ำที่โคน  
ต้นไม้อีกต่อไป ต้นไม้ชนิดกลางแจ้งเหมือนกัน  
ขนาดเท่าๆ กัน จะใช้ปริมาณน้ำใกล้เคียงกัน เช่น  
ต้นไม้ที่ได้ทำการทดลอง คือ ต้นฤๅษีผสม พบว่า  
ทั้ง 9 ต้นมีการใช้น้ำเฉลี่ยวันละ 583 มล. เป็นต้น

ตารางที่ 3 ปริมาณการใช้น้ำของพืช (มล.)

	ต้นฤๅษีผสมต้นที่	ปริมาณน้ำที่ใช้ มล.
ดินทิวปเท็นส์	1	600
	2	600
	3	600
ดินชนรณีทอง	1	600
	2	600
	3	650
ดินกำมปู	1	500
	2	500
	3	600

จากตารางที่ 1 และ ตารางที่ 3 สามารถ  
คำนวณได้ว่าปริมาณน้ำที่เก็บได้วันละ 18,032 มล.

สามารถใช้เลี้ยงต้นกุหลาบซึ่งมีความต้องการ  
ใช้น้ำ เฉลี่ยวันละ 583 มล. ได้ประมาณ 30 ต้น



รูปที่ 6 ทดลองการปลูกพืชและให้น้ำจากถาดรอง

3.4 จากการทดลองออกแบบและติดตั้ง  
ระบบเบื้องต้น พบว่า วิธีการนี้สามารถใช้งานได้  
จริง โดยเป็นวิธีการที่พืชสามารถดูดซึมน้ำไปใช้ได้  
อย่างเพียงพอต่อการเจริญเติบโต โดยที่ไม่ต้อง  
ทำการรดน้ำต้นไม้อีกต่อไป เนื่องจากน้ำในระบบ  
จะทำการรักษาสมดุลไว้ให้คงที่พอเพียงแก่ความ  
ต้องการการใช้น้ำของพืชตลอดเวลา ต้นไม้ที่ได้  
ทำการทดลองปลูกด้วยระบบน้ำซึมน้ำสามารถ  
เจริญเติบโตอยู่ได้ อีกทั้งยังเป็นวิธีการที่ติดตั้ง  
ได้ง่าย ลงทุนน้อยและสามารถใช้งานได้ในระยะ  
ยาว เหมาะแก่การนำไปติดตั้งริมระเบียงภายใน  
อาคารสถานศึกษา งานวิจัยนี้จึงเป็นประโยชน์  
และส่งผลต่อการใช้ทรัพยากรแบบหมุนเวียน  
อย่างยั่งยืน



รูปที่ 7 การทดลองระบบกระถางน้ำซึมคงที่

### รายการอ้างอิง

- พงศศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์. (2548). *เทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืชแบบของค์รวม*. ภาควิชาเกษตรกล  
วิธาน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.  
มนตรี คำชู. (2524). *หลักการชลประทานแบบหยด  
การออกแบบและการแก้ปัญหา*. กรุงเทพฯ:  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย  
เกษตรศาสตร์.  
มนตรี คำชู. (2553). *เทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช  
แบบของค์รวม*. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรม  
ทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.  
มนตรี คำชู. (2557). *ระบบให้น้ำพืชสำหรับนวัต  
กรรมอาคาร*. กรุงเทพฯ: คณะวิศวกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

อภิชาติ อนุกุลอำไพ, วิบูลย์ บุญยธโรกุล, วราวุธ  
วุฒิวณิชย์ โกวิทย์, ท่วมเสงี่ยม และมนตรี  
คำชู. (2524). *คู่มือการชลประทานระดับไร่นา*.  
กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมเกษตรและอาหาร  
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย.

Sullivan, C., Hallaran, T., Sogorka, G. & Weinkl, K.  
(2014). An evaluation of conventional and  
subirrigated planters for urban agriculture.  
*Renewable Agriculture and Food Systems*,  
9(1), 1-9.

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพ  
ในการรับแรงของข้อต่อโครงถักไม้ไผ่  
Study of Physical Properties and Structural Capability  
of Bamboo Trussed Frame Connections

รุ่งพรธนา น้อยจันทร์<sup>1</sup> และ ผศ.ดร. สุปรีย์ดี ฤทธิรงค์<sup>2</sup>

Rungpansa Noichan<sup>1</sup> and Asst. Prof. Supreedee Rittironk, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: jeejie.rn@gmail.com<sup>1</sup> , supreedee@ap.tu.ac.th<sup>2</sup>

#### บทคัดย่อ

ไม้ไผ่เป็นวัสดุทางเลือกที่เป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้แปรรูปในงานโครงสร้าง แต่การนำไม้ไผ่มาใช้ในงานโครงสร้างมีองค์ความรู้ที่จำกัดจึงทำให้ขนาดของโครงสร้างไม้ไผ่ขาดความหลากหลาย โดยเฉพาะความสามารถในการพาดช่วงที่ยังสั้นอยู่มาก เนื่องจากข้อจำกัดทางกายภาพของไม้และการเชื่อมต่อลำไม้ที่ทำได้ยาก ทำให้เกิดปัญหาในการนำไม้มาใช้ในอาคารที่ต้องการพื้นที่ที่มีช่วงพาดยาว เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้งาน งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาข้อต่อโครงถักไม้ไผ่ที่ใช้ในโครงสร้างสถาปัตยกรรมซึ่งเป็นข้อต่อเหล็ก 5 ประเภท ได้แก่ ข้อต่อแบบท่อน แบบกรวยมีสลักเกลียวและไม่มีสลักเกลียว แบบแผ่นเหล็ก และแบบแผ่นเหล็กฉากรูปตัวที มีสลักเกลียวและอีพ็อกซีเป็นวัสดุประสานเชื่อมระหว่างเหล็กกับไม้ไผ่ โดยทดสอบกำลังรับแรงอัดและแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D198 Standard Methods of Static Test of Timbers in Structural Size เพื่อเป็นแนวทางในการเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมสำหรับโครงถักไม้ไผ่ ผลการศึกษาพบว่า ในการรับแรงอัดข้อต่อแบบกรวยแบบไม่มีสลักเกลียวมีความสามารถในการรับแรงดีที่สุด ในขณะที่ข้อต่อแบบท่อนที่มีการอัดอีพ็อกซีสามารถรับแรงดึงได้มากที่สุด ซึ่งข้อต่อที่ได้จากผลการวิจัยนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับข้อต่อที่มีลักษณะเหมือนกันในโครงถักไม้ไผ่ได้ โดยไม่จำเป็นจะต้องเป็นโครงถักไม้ไผ่เท่านั้น แต่ทั้งนี้ความสามารถในการรับแรงอาจจะแตกต่างกันไป

#### Abstract

Bamboo recently has become the structural material of choices in structural engineering design. However, knowledge about bamboo structures is still limited. The design of bamboo structure doesn't have variety. Moreover, the trend to use bamboo structure is only with regular span. The idea to push bamboo structure towards long span is not much explored. Therefore, this research will be an experimental research to seek new dimension of bamboo by exploring



truss frames. The key component is connection. Five potential connections are rented to find structural capability. The performance of the connectors will be tested by using ASTM D198 Standard Methods of Static Test of Timber in Structural Size. The test result of compression of the five connectors appears to be as follow: cone connector without bolt is the best and tension: pipe connector fill epoxy is the best. With this finding, it is hoped that this research can be a pilot knowledge and able to be applied to other connections in bamboo structure in the future. It may not necessarily applicable to only bamboo truss frames, but other forms as well. This research will provide surely as the database for future development of Bamboo structure to gain and promote more innovative and advanced future uses.

**คำสำคัญ (Keywords):** โครงสร้างไม้ไผ่ (Bamboo Structure), โครงถัก (Trusses Structure), ข้อต่อ (Connection), ความสามารถในการรับแรง (Performance of Strength), มาตรฐาน ASTM (ASTM Standard)

## 1. บทนำ

ความต้องการใช้ไม้แปรรูปในอุตสาหกรรม การก่อสร้างในปัจจุบันมีจำนวนมากขึ้น ในขณะที่ ปริมาณไม้ยืนต้นที่มีอยู่ภายในประเทศลดน้อยลง เรื่อย ๆ ทำให้ต้องมีการนำเข้าไม้ท่อนและไม้แปรรูปจากต่างประเทศซึ่งมีราคาสูง ส่งผลให้ค่าก่อสร้างอาคารไม้สูงขึ้น จึงเริ่มมีการมองหาวัสดุทดแทนไม้ยืนต้นที่มีคุณสมบัติทางวัสดุใกล้เคียงกันมาใช้ในการก่อสร้างและเนื่องจากในอดีตการก่อสร้างบ้านเรือนนิยมใช้ไม้เป็นวัสดุในการก่อสร้าง ดังนั้น จึงเริ่มมีการนำเอาไม้กลับมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและโครงสร้างทางสถาปัตยกรรม โดยพัฒนาคุณสมบัติของวัสดุไม้ให้มีความเหมาะสมกับการก่อสร้างในปัจจุบัน ซึ่งไม้เป็นวัสดุธรรมชาติที่ส่งเสริมความยั่งยืน เป็นโครงสร้างที่เป็นวัสดุทางเลือกในงานวิศวกรรม โครงสร้างและได้รับความสนใจมากขึ้นในเชิงอนุรักษ์ธรรมชาติ มีคุณสมบัติในการรับแรงอัดและแรงดึงดี จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้เป็นวัสดุทดแทนไม้แปรรูปที่ในปัจจุบันมีปริมาณจำกัด แต่

เนื่องจากการนำไม้มาใช้ทำโครงสร้างยังมีองค์ความรู้ที่จำกัด ทำให้เกิดปัญหาในเรื่องการนำไม้มาใช้ในอาคารที่ต้องพื้นที่โล่งกว้าง จึงเล็งเห็นความจำเป็นในการพัฒนาโครงสร้างไม้ไผ่ในด้านเทคนิคการก่อสร้างและเรื่องการใช้วัสดุร่วมกับไม้ โครงสร้างที่มีระบบ รวมไปถึงการเชื่อมต่อไม้ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ยากที่สุดในโครงสร้างไม้ เนื่องจากไม้ไผ่มีลักษณะเป็นท่อนกลวง เนื้อไม้ภายในไม่สม่ำเสมอ และผิวของไม้มีลักษณะลื่นทำให้ยากต่อการยึดจับ จึงจำเป็นต้องเลือกการเชื่อมต่อให้มีความเหมาะสมกับการต่อแต่ละประเภท แต่ละชิ้นส่วน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการรับและถ่ายแรงระหว่างชิ้นส่วนอาคาร โดยกำหนดระบบโครงสร้างให้เป็นแบบอาคารช่วงพาดยาว คือ ระบบโครงถักเพื่อศึกษาความเป็นไปได้และความสามารถในการรับแรงของชิ้นส่วนโครงสร้าง เพื่อที่จะสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการออกแบบและการก่อสร้างทางสถาปัตยกรรมได้ง่ายและมีประสิทธิภาพ ช่วยในการประหยัดงบประมาณและระยะเวลาในการก่อสร้าง

## 2. ทฤษฎีและบทความที่เกี่ยวข้อง

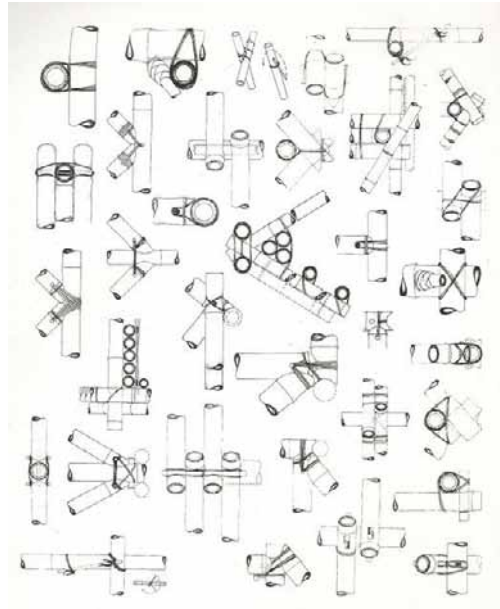
### 2.1 คุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของไม้ไทย 5 สายพันธุ์ พบว่า ส่วนปลายของไม้มีความความด่างจำเพาะและประสิทธิภาพในการรับแรงสูงกว่าส่วนโคน คุณสมบัติเชิงกลของไม้ที่ทำการทดสอบทั้ง 5 สายพันธุ์มีความด่างจำเพาะอยู่ในช่วง 0.50-0.80 โมดูลัสการแตกร้าวอยู่ในช่วง 105-200 เมกะพาสคัล โมดูลัสยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 11,850-19,300 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัดในแนวนานเส้นใยอยู่ในช่วง 41-87 เมกะพาสคัล ความต้านทานแรงอัดในแนวตั้งฉากเส้นใยอยู่ในช่วง 1.50-11.26 เมกะพาสคัล และมีค่าต้านทานแรงเฉือนอยู่ในช่วง 5.25-14.75 เมกะพาสคัล (ฐิติกุล, 2540; สุทธิชา, 2556) จึงพบว่าไม้ขางมีคุณสมบัติโดยรวมดีที่สุด เหมาะที่จะนำไปใช้ในงานโครงสร้างขนาดใหญ่ มีประสิทธิภาพในการรับแรงดึง แรงอัด และแรงดัดสูง (ภักฐิตา, 2557)

### 2.2 ข้อต่อไม้ไผ่

ในงานโครงสร้างไม้ไผ่การเชื่อมต่อรอยต่อต่างๆ นับว่าเป็นส่วนที่ยากที่สุด เนื่องจากลักษณะทางกายภาพของไม้ที่เป็นท่อนกลวง เนื้อไม้ภายในไม่สม่ำเสมอและผิวของไม้เส้นทำให้ยากต่อการยึดจับ จึงจำเป็นต้องเลือกการเชื่อมต่อให้มีความเหมาะสม (Andry & David, 2012) หนังสือ IL31 Bambus-Bamboo ที่จัดทำโดย Institute for Lightweight Structure ได้รวบรวมการต่อไม้ที่ใช้เทคนิคการก่อสร้างของช่างพื้นถิ่นรูปแบบต่างๆ ไว้ นอกจากนี้ Albermani & Goh (2549) ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาเรื่อง Double layer grids โดยใช้ PVC เป็นจุดเชื่อมต่อ ผลที่ได้คือระบบ

Double layer grids นี้สามารถใช้ในโครงสร้างไม้ไผ่น้ำหนักเบาที่มีระยะพาดปานกลางได้เป็นอย่างดีและเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม



รูปที่ 1 การต่อไม้ที่ใช้เทคนิคช่างก่อสร้างพื้นถิ่น จากหนังสือ IL31 Bambus-Bamboo

งานวิจัยนี้มุ่งศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและประสิทธิภาพในการรับแรงของข้อต่อโครงถักไม้ไผ่ โดยเลือกทดสอบข้อต่อ 5 รูปแบบ คือ ข้อต่อแบบท่อนกลวง ข้อต่อแบบกรวยไม่มีสลักเกลียว ข้อต่อแบบกรวยมีสลักเกลียว ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และข้อต่อแผ่นเหล็กตัวที เพื่อที่จะสามารถเลือกใช้ข้อต่อที่เหมาะสมกับโครงถักไม้ไผ่ทำให้โครงสร้างไม้ไผ่สามารถใช้ในอาคารช่วงพาดยาวได้

## 3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วน โดยแต่ละส่วนมีตัวแปรที่แตกต่างกัน ดังนี้



รูปที่ 2 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการทดสอบ

**3.1 ส่วนที่ 1** เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลเบื้องต้นของไม้ที่จะใช้ในการศึกษาตามมาตรฐาน ISO 22157 Determination of physical and mechanical properties of bamboo

*ตัวแปรต้น:* ไม้ซางหม่นบริเวณกลางลำ

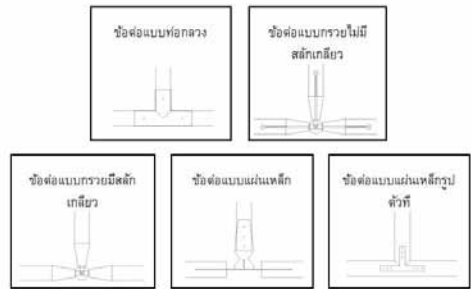
*ตัวแปรตาม:* ความชื้น และความหนาแน่นของเนื้อไม้ ความสามารถในการรับแรงอัด และแรงดึง  
*ตัวแปรควบคุม:* พันธุ์ไม้ที่ใช้ คือ ไม้ซางหม่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร อายุ 3-4 ปี

**3.2 ส่วนที่ 2** เป็นการทดสอบประสิทธิภาพในการรับแรงของข้อต่อ โดยนำไม้ซางมาประกอบกับข้อต่อทั้ง 4 ชนิด และนำไปทดสอบประสิทธิภาพการรับแรงตามมาตรฐาน ASTM D198

*ตัวแปรต้น:* ประเภทของข้อต่อโครงถัก ได้แก่ ข้อต่อแบบท่อกวาง ข้อต่อแบบกรวย ข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และข้อต่อแผ่นเหล็กตัวที่ วัสดุประกอบข้อต่อ ได้แก่ สลักเกลียว และอีพ็อกซี

*ตัวแปรตาม:* ความสามารถในการรับแรงตามมาตรฐาน ASTM D198, ลักษณะการวิบัติ

*ตัวแปรควบคุม:* พันธุ์ไม้ที่ใช้ คือ ไม้ซางหม่น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 8-10 เซนติเมตร อายุ 3-4 ปี



รูปที่ 3 ข้อต่อแบบข้อต่อโครงถัก

#### 4. ผลการศึกษา

ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพและคุณสมบัติเชิงกลของไม้ที่นำมาใช้ในงานวิจัยตามมาตรฐาน ISO 22157

ตารางที่ 1 คุณสมบัติเชิงกลของไม้

รายละเอียด	เฉลี่ย	หน่วย
1.ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง	8.57 ซม.
	ความหนา	1.44 ซม.
2.น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)	50.46	กรัม
3.น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m <sub>0</sub> )	47.07	กรัม
4.ปริมาตรของชิ้นส่วนทดสอบก่อนการอบแห้ง	21,650	ลบ.มม.
5.ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)	7.05	เปอร์เซ็นต์
6.ความหนาแน่น (P <sub>0</sub> )	468.6	กก./ลบ.ม.
7.ความถ่วงจำเพาะ	0.459	เปอร์เซ็นต์
8.แรงอัดสูงสุด (F <sub>u</sub> )	19,101	กก.

ตารางที่ 2 คุณสมบัติในการรับแรงอัดของข้อต่อ

รายละเอียด		หน่วย	ข้อต่อแบบ ท่อ	ข้อต่อแบบ กรวยไม่มี สลักเกลียว	ข้อต่อแบบ กรวยมีสลัก เกลียว	ข้อต่อแบบ แผ่นเหล็ก	ข้อต่อแบบ เหล็กตัวที
ขนาดของไม้ตัวอย่าง	เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก	มม.	89.27	81.9	80.37	80.97	88.2
	ความหนา	มม.	13.86	12.47	12.37	13.57	13.8
พื้นที่ (A) = $\pi/4 (D^2 - (D-2t)^2)$		ตร.มม.	3286.8	2,720.55	2,642.8	2,868.78	3226.83
แรงอัดสูงสุด (Fult)		กก.	1,962	6,602.67	1,952.33	621.78	1,793
หน่วยแรงอัดสูงสุด ( $\sigma_{ult}$ ) = $F_{ult} / A$		กก./ตร.มม.	0.59	2.43	0.74	0.22	0.56
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างก่อนอบแห้ง (m)		กรัม	33.7	26.77	24.53	16.53	34.7
น้ำหนักของไม้ตัวอย่างหลังอบแห้ง (m <sub>0</sub> )		กรัม	30.13	24.26	21.9	14.17	31.29
ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ (MC)		เปอร์เซ็นต์	12.36	10.28	11.94	14.05	11.22

จากตารางที่ 2 พบว่า ข้อต่อแบบกรวยไม่มี สลักเกลียวมีความสามารถในการรับแรงอัด มากกว่าข้อต่อชนิดอื่น ๆ ในขณะที่ข้อต่อแบบแผ่น เหล็กซึ่งมีสลักเกลียว 3 ตัวยึดระหว่างไม้กับข้อต่อ นั้น มีความสามารถในการรับแรงอัดน้อยที่สุด

จากการทดสอบพบว่า ความสามารถในการรับแรงอัดและแรงดึงของไผ่ลดลงเมื่อนำมาใช้ ร่วมกับข้อต่อเหล็ก โดยที่ความสามารถในการรับแรงจะแตกต่างกันไปตามลักษณะการเชื่อมต่อ ซึ่ง จำนวนสลักเกลียวที่นำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมต่อ ระหว่างข้อต่อเหล็กกับไม้มีผลทำให้ความสามารถ ในการรับแรงอัดลดลง โดยข้อต่อแบบแผ่นเหล็ก และเหล็กตัวที ข้อต่อแบบท่อ และข้อต่อแบบ กรวยมีสลักเกลียว มีจำนวนสลักเกลียว 3, 2, 1 ตัว ตามลำดับ มีหน่วยแรงอัดสูงสุด 0.22, 0.56, 0.59, 0.74 และ 2.43 กก./ตร.มม. ตามลำดับ ทั้งนี้สามารถปรับปรุงคุณสมบัติการรับแรงได้โดย การอัดอีพ็อกซี่ ทำให้กำลังรับแรงอัดของข้อต่อ แต่ละประเภทมากขึ้น 5-7 กก./ตร.มม. และกำลัง รับแรงดึงเพิ่มขึ้น 1.5-2 กก./ตร.มม. ซึ่งจากการ ทดสอบแรงดึงที่ทดสอบโดยการอัดอีพ็อกซี่เข้าไป ระหว่างไม้กับข้อต่อเหล็ก พบว่า ข้อต่อแบบท่อมี ความสามารถในการรับแรงมากที่สุด เนื่องมาจาก

พื้นที่ผิวสัมผัสที่มาก ส่วนข้อต่อแบบกรวยไม่มี สลักเกลียวสามารถรับแรงดึงได้น้อยที่สุด

## 5. สรุปผล

งานวิจัยนี้สามารถสรุปความสามารถใน การรับแรงของข้อต่อโครงถักไม้ไผ่ ได้ดังนี้

1) ข้อต่อที่มีความเหมาะสมที่จะนำไปใช้ ในระบบโครงถักไม้ไผ่ คือ ข้อต่อแบบท่อ และข้อ ต่อแบบแผ่นเหล็กตัวที ซึ่งมีความสามารถในการ รับแรงโดยรวมดีที่สุด และมีค่าใช้จ่ายในการ ก่อสร้างที่เหมาะสม มีกรรมวิธีในการทำที่ไม่ยุ่ง ยากซับซ้อน และถึงแม้ว่าข้อต่อแบบกรวยไม่มี สลักเกลียวจะสามารถรับแรงอัดได้มากแต่ความ สามารถในการรับแรงดึงนั้นน้อยมาก รวมไปถึงค่า ใช้จ่ายในการก่อสร้างที่มากกว่า ทำให้ข้อต่อแบบ กรวยเป็นทางเลือกที่ไม่เหมาะสมจะนำไปใช้งาน เท่าใด

2) การใช้วัสดุประสาน เช่น อีพ็อกซี่ เป็น ตัวเชื่อมระหว่างไม้กับข้อต่อเหล็ก ทำให้ความ สามารถในการรับแรงของข้อต่อเพิ่มมากขึ้น ใน ขณะที่ใช้สลักเกลียวจะทำให้ความสามารถใน การรับแรงลดลง โดยจำนวนของสลักเกลียวจะ แปรผกผันกับหน่วยแรง

3) ขนาดของไผ่มีผลต่อความสามารถในการรับแรง โดยไผ่ที่มีเนื้อหนาจะมีความสามารถรับแรงที่มากกว่าไผ่ที่มีเนื้อบาง และไผ่ที่มีความยาวของลำที่สั้นกว่าจะสามารถรับแรงอัดได้ดีกว่า เนื่องจากไม่เกิดแรงดัดขึ้นภายในลำ

## 6. ข้อเสนอแนะ

1) ในการทดสอบความสามารถในการรับแรงของข้อต่อโครงถักไม้ไผ่นี้ ทำการทดสอบเฉพาะบริเวณข้อต่อที่ต่อกับลำไผ่เท่านั้น ไม่ได้ทดสอบทั้งระบบโครงถัก เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านเครื่องมือ ดังนั้น ค่าที่ได้อาจไม่ตรงตามความจริงร้อยละเซ็นต์ หากนำมาใช้งานควรมีการคำนวณความสามารถในการรับแรงเพื่อเอาไว้

2) เนื่องจากไผ่ที่ใช้ในการทดสอบเป็นไผ่ลำสั้นทำให้ไม่เกิดแรงดัดในลำไผ่ ดังนั้นในการใช้งานความยาวของชิ้นส่วนโครงถักที่เป็นไผ่ไม่ควรยาวเกิน 1 เมตร เพราะชิ้นส่วนที่ยาวเกินไปจะเกิดแรงดัดขึ้นในลำไผ่ และทำให้ความสามารถในการรับแรงลดลง

3) ข้อต่อโครงถักไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดสอบนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโครงสร้างไผ่รูปแบบอื่นๆ ที่มีลักษณะการต่อเหมือนกันได้ โดยไม่จำเป็นจะต้องเป็นโครงถักเท่านั้น

## รายการอ้างอิง

ฐิติกุล ภาคศิริ. (2540). *สมบัติทางกายภาพเชิงกลของไม้ไผ่ตง*. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภัทฐิตา พงศ์ธนา. (2557). *การศึกษาความสามารถการรับน้ำหนักของโครงสร้างไผ่โดยวิธีการรวบลำ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบสถาปัตยกรรม*. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สุทธิชา บรรจงรัตน์. (2556). *การพัฒนาคุณสมบัติทางกลของพันธุ์ไผ่ไทยในงานโครงสร้างเรียบง่าย*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

Albermani, F., Goh, G. Y. & Chan, S. L. (2007). *Lightweight bamboo double layer grid system*. Oxford: Elsevier.

David, G. (2005). *Connections and slab for bamboo constructions*. Report Laboratory of Construction and Conservation, Swiss Federal Institute of Technology EPFL, Switzerland.

Institute for Lightweight Structure. (1985). *IL 31 Bamboo-Bambus*. Germany: University of Stuttgart.

Widyowijatnoko, A. (2012). *Traditional and innovative joints in bamboo construction*. Ph.D. Thesis, Faculty of Architecture, RWTH Aachen University, Germany.

**แนวทางการใช้วิธีการประเมินผลแสงธรรมชาติ  
โดยวิธีการพลวัตสำหรับอาคารสำนักงาน**  
**Guidelines for Using Method of Daylight Evaluation by Means  
of the Dynamic Evaluation Method for Office Building.**

**ชานินทร์ กุลสุริก<sup>1</sup> และ รศ. อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ<sup>2</sup>**  
**Chanin Kulsurakit<sup>1</sup> and Assoc. Prof. Awirut Srisutapan<sup>2</sup>**  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
E-mail: chanin.k19@hotmail.com<sup>1</sup> , awi\_cl@hotmail.com<sup>2</sup>

**บทคัดย่อ**

ในปัจจุบันการออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้ในงานในอาคารสำนักงานนั้นเป็นไปอย่างแพร่หลาย โดยเกณฑ์ในการประเมินผลแสงธรรมชาติตามมาตรฐานอาคารเขียวในปัจจุบันยังคงใช้วิธีการจำลองแสงธรรมชาติภายในอาคารแบบอพลวัต ซึ่งเป็นรูปแบบการจำลองแสงธรรมชาติภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมมากเพียงแบบเดียว โดยใช้ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติหน่วยวัตต์พื้นฐานในการประเมินผลแสงธรรมชาติ ซึ่งส่งผลให้พื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติรวมถึงคุณภาพของแสงที่ได้นั้นมีข้อจำกัดอยู่มาก ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการจำลองแสงธรรมชาติในอาคารสำนักงานด้วยวิธีการพลวัตและจำลองแสงธรรมชาติด้วยโปรแกรม Daysim 2.1 ผ่านการสร้างแบบจำลองด้วยโปรแกรม Ecotect ในขั้นต้นได้กำหนดรูปแบบของห้องทดลองตามมาตรฐานอาคารสำนักงานในเขตกรุงเทพมหานคร โดยมีสัดส่วนความกว้าง 19.80 เมตร และระยะความลึกจากขอบอาคารถึงแกนอาคารอยู่ที่ 12.20 เมตร โดยเลือกศึกษากรณีช่องเปิดด้านเดียวเพื่อเปรียบเทียบในกรณีทิศทางช่องเปิดที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองที่ได้ชี้ให้เห็นว่าการเลือกใช้ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติในการประเมินผลแสงธรรมชาติส่งผลให้ปริมาณพื้นที่ใช้งานที่ได้มีต่ำกว่าสภาพแสงในการใช้งานจริงในทุกสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังอาคาร และในส่วนของ การใช้ค่า Daylight Autonomy ร่วมกับค่า Useful Daylight Illuminance ซึ่งเป็นหน่วยวัตต์ในรูปแบบพลวัตในการพิจารณาพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาตินั้น สามารถประเมินผลได้ทั้งในส่วนของปริมาณพื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติรวมถึงคุณภาพ โดยผลการทดลองสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ความร้อนที่เกิดจากนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารรวมถึงใช้ในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการประเมินผลแสงธรรมชาติตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในปัจจุบันเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในอาคารได้ต่อไป

## Abstract

Currently designed to bring daylight into the office building is very widespread. Criterion in the evaluation of daylighting standards for green building currently still using a static daylight simulation. Which is a simulation of daylight under an overcast sky. Using daylight factor is measured based on the evaluation of daylight. As a result, the use of daylight, as well as the quality of light that there was limited. In this study, we conducted a study on the simulation of daylight in buildings by means of dynamic daylight simulation with Daysim2.1 through modeling with Ecotect initially determine the form of laboratory standards office building in Bangkok. The ratio of the width and depth of 19.80 meters, the building edge to the core of the building is at 12.20 meters by open channel case study by one side to compare the opening on a different direction. The results obtained suggest that the application of the role of daylight in the evaluation of daylight, the amount of work that has lower light conditions in actual use in all areas of the opening of the facade. And in their use of the Daylight Autonomy with the Useful Daylight Illuminance is measured on the dynamics daylight simulation of the area that receives daylight that can be evaluated in terms of the amount of space available daylight as well as quality. The results can be applied to analyze the heat generated from the introduction of daylight into office building, including used to modify the model to evaluate daylighting according to the current green building evaluation criteria to enhance the use of daylight in the building to continue.

**คำสำคัญ (Keywords):** แสงธรรมชาติ (Daylighting), การจำลองแสงธรรมชาติด้วยวิธีการอพลวัต (Static Daylight Simatlon), การจำลองแสงธรรมชาติด้วยวิธีการพลวัต (Dynamic Daylight Simulation), อาคารสำนักงาน (Office Building)

### 1. ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันมีการออกแบบเพื่อใช้ประโยชน์จากการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคารอย่างแพร่หลาย ซึ่งการประเมินผลแสงธรรมชาติในอาคารโดยใช้เกณฑ์ตามมาตรฐานอาคารเขียวมักใช้การประเมินผลแสงธรรมชาติโดยการจำลองแสงธรรมชาติในอาคารด้วยวิธีการอพลวัตซึ่งเป็นรูปแบบการจำลองแสงธรรมชาติภายใต้สภาพท้องฟ้าแบบมีเมฆปกคลุมมากเพียงแบบเดียวซึ่งการจำลองแสงธรรมชาติแบบอพลวัตนั้น จะวัดผล

โดยใช้ค่าตัวประกอบแสงเป็นหน่วยวัดพื้นฐานในการประเมินผลแสงธรรมชาติในอาคารเพียงอย่างเดียว ส่งผลให้การวัดผลแสงธรรมชาติโดยใช้ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาตินั้นมีข้อจำกัดหลายด้านทั้งในเรื่องของคุณภาพของแสงธรรมชาติที่นำมาใช้งานรวมถึงพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติ โดยงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นศึกษาการจำลองแสงธรรมชาติในอาคารสำนักงานด้วยวิธีการพลวัต ซึ่งเป็นการจำลองแสงธรรมชาติภายใต้สภาพท้องฟ้าจริง โดยจะแสดงผลความสว่างของพื้นที่ภายในที่สัมพันธ์กับเวลา

ที่เปลี่ยนแปลงไปในทุก ๆ ช่วงเวลาตามแต่ละ ชั่วโมงการทำงานทั้งปี โดยมีการคำนวณปริมาณแสงธรรมชาติจากสภาพท้องฟ้าที่เกิดขึ้นในทุก ๆ ชั่วโมงการใช้งานอาคารในแต่ละวันตามจริงส่งผลให้มีปริมาณแสงธรรมชาติที่นำมาใช้ได้ในการเพิ่มมากขึ้นและมีความละเอียดถูกต้องแม่นยำมากยิ่งขึ้น รวมถึงนำเสนอรูปแบบการเลือกใช้งานจำลองแสงธรรมชาติและหน่วยวัดแสงธรรมชาติให้เหมาะสมกับรูปแบบอาคารเพื่อเกิดประโยชน์สูงสุดในการนำไปใช้งานจริงในเชิงปริมาณและคุณภาพ

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการพิจารณาแสงสว่างภายในอาคาร

2.1.1 การพิจารณาแสงสว่างในอาคารแบบพลวัตโดยวิธีตัวประกอบแสงธรรมชาติ (Daylight Factor Method; DF) เป็นวิธีการคิดองค์ประกอบแสงธรรมชาติสำหรับการให้แสงสว่างด้านข้างที่แสดงค่าเปอร์เซ็นต์ โดยการคำนวณค่าความสว่างภายนอกจะพิจารณาเฉพาะแสงในแนวราบในสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมมาก เพราะมีค่าที่แน่นอนสำหรับการคำนวณองค์ประกอบแสงธรรมชาติ = (ความสว่างภายในจุดที่อ้างอิง x 100)/ความสว่างในแนวราบภายนอกที่ไม่ถูกบัง (วรภัทร, 2549)

2.1.2 การพิจารณาแสงสว่างในอาคารแบบพลวัต (Daylight Autonomy; DA) พื้นที่ที่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้โดยไม่ต้องใช้แสงสว่างจากแสงประดิษฐ์ โดยบ่งบอกเป็นสัดส่วนของเวลาทั้งหมดใน 1 ปีที่มีความส่องสว่างมากกว่าความสว่างขั้นต่ำที่กำหนดภายใต้ทุกสภาพท้องฟ้าตลอดทั้งปี รวมถึงคำนวณพฤติกรรมกรรมการใช้งานอาคารในทุกประเภท เช่น การเปิดม่านปิดม่านของผู้ใช้อาคาร

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการใช้แสงธรรมชาติในอาคาร โดยแนวคิดที่จะกล่าวต่อจากนี้ได้จากการศึกษาบทความในหนังสือ Dynamic Daylight Performance Metrics for Sustainable Building Design (Reinhart, , Mardaljevic & Rogers, 2006) เช่นเดียวกัน

2.1.3 การพิจารณาแสงสว่างในอาคารแบบพลวัต (Maximum Daylight Autonomy; DAm<sub>ax</sub>) แสดงถึงพื้นที่ใช้งานที่ได้แสงธรรมชาติที่มีค่าเกินกว่า 10 เท่าของปริมาณแสงที่ต้องการ ซึ่งตัวแปรนี้จะบ่งบอกถึงการใช้งานพื้นที่ซึ่งพื้นที่ที่มีค่า Maximum Daylight Autonomy มากจะทำให้พื้นที่นั้นมีช่วงเวลาที่ใช้แสงธรรมชาติได้จริงน้อยมาก เนื่องจากแสงส่องเข้ามาในปริมาณที่มากเกินไป ความต้องการ ทำให้ผู้ใช้อาคารอาจปิดม่านบังแดดเพื่อป้องกันแสงจ้า

2.1.4 การพิจารณาแสงสว่างในอาคารแบบพลวัต (Useful Daylight Illuminance; UDI) แสดงถึงพื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติโดยแบ่งค่าความสว่างในพื้นที่ออกเป็น 3 ช่วงของความสว่าง ได้แก่

UDI<sub>0-100</sub> เป็นช่วงที่แสงธรรมชาติไม่เพียงพอต่อการใช้งาน

UDI<sub>100-2000</sub> เป็นช่วงที่สามารถใช้แสงธรรมชาติได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

UDI<sub>2000</sub> ขึ้นไปเป็นช่วงของแสงธรรมชาติที่เข้ามาถึงพื้นที่เกินความต้องการทำให้เกิดความไม่สบายตาหรือเกิดแสงจ้า

### 2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับองค์ประกอบที่มีผลต่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ภายในอาคาร

2.2.1 อัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังอาคาร จากการศึกษา พบว่า อัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังของอาคารสำนักงานมีอัตราส่วนร้อยละ 20 – 80 โดยค่าสูงสุดมีค่าไม่เกินร้อยละ 90 และค่าต่ำสุดมีค่า



ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 20 (สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, 2547) ซึ่งรูปแบบอาคารสำนักงานในปัจจุบันมักจะเลือกใช้ผนังกระจกในการออกแบบ ทำให้มีอัตราส่วนของช่องเปิดต่อผนังที่อาคารที่ค่อนข้างสูง

### 3. ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงจำลองสถานการณ์จริง (Simulation Research) มุ่งเน้นศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพในการใช้งานแสงธรรมชาติในอาคารด้วยการจำลองแสงธรรมชาติในอาคารสำนักงานด้วยโปรแกรม Daysim 2.1 โดยสร้างแบบจำลองผ่านโปรแกรม Ecotect เพื่อสร้างแนวทางดังกล่าวต่อองค์การศึกษาศึกษาปัจจุบันอย่างละเอียด โดยสามารถแบ่งการศึกษาตามตัวแปรที่เกี่ยวข้องได้ดังนี้

#### 3.1 การจำลองแสงธรรมชาติด้วยวิธีการพลวัต โดยกำหนดให้อุปกรณ์ป้องกันแสงไม่เคลื่อนไหว

ประกอบไปด้วยตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

3.1.1 อัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังอาคาร จากการศึกษาการคำนวณอัตราพลังงานความร้อนที่ผ่านหน้าต่างกระจกเข้ามาภายในห้องพบว่า รูปแบบช่องเปิดมีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อสัดส่วนพื้นที่กระจก 40%-50% ของผนัง (พิรุฬห์รัตน์, 2543) ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานช่องเปิดต่อผนังอาคารตามมาตรฐาน ASHRAE 90.1 จึงได้กำหนดค่าอัตราส่วนช่องเปิดต่อผนังที่อาคารมีค่า 40% 60% และ 80% ตามลำดับ

3.1.2 ทิศทางการวางตัวอาคาร วางตัวอาคารโดยหันช่องเปิดไปทางทิศเหนือ ทิศใต้ ทิศตะวันออก และทิศตะวันตก

3.1.3 รูปแบบการจำลองแสงธรรมชาติในงานวิจัยนี้ใช้การจำลองแสงธรรมชาติแบบพลวัตโดยใช้ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติในการวัดผล และการจำลองแสงธรรมชาติแบบพลวัตโดยใช้ค่า Daylight Autonomy และค่า Useful Daylight Illuminance

3.1.4 พื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติ วัดผลแสงสว่างบนแนวระดับพื้นที่ใช้งานที่ระดับความสูง 0.75 เมตรจากระดับพื้นห้อง

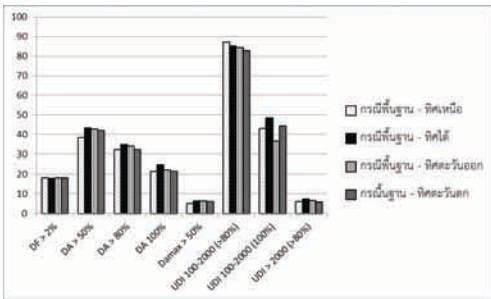
3.1.5 ห้องมาตรฐานที่ใช้ในการทดลอง เป็นอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้าช่องเปิดทิศทางเดียว ซึ่งมีสัดส่วน 19.80 x 12.20 เมตร โดยมีระยะความสูงจากพื้นถึงฝ้าเพดาน 2.80 เมตร โดยระยะความลึกจากผนังอาคารถึงผนังส่วนบริการมีค่าเท่ากับ 12.20 เมตร มีพื้นที่ใช้งานเฉลี่ย 240 ตารางเมตร

3.1.6 ค่าการสะท้อนแสงขององค์ประกอบภายในอาคาร กำหนดให้ผนังมีการสะท้อนแสงเท่ากับ 60 เปอร์เซ็นต์ ฝ้าเพดานมีการสะท้อนแสงเท่ากับ 80 เปอร์เซ็นต์ และพื้นห้องมีการสะท้อนแสงเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์

3.1.7 ช่วงเวลาที่ทำการศึกษากำหนดช่วงเวลาทำการศึกษาคือ 08.00-16.00 น. ซึ่งเป็นช่วงเวลาใช้งานของอาคารสำนักงาน

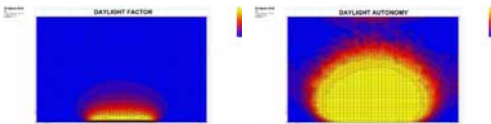
### 4. ผลการทดลอง

4.1 เปรียบเทียบร้อยละของพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติที่ได้จากการจำลองแสงธรรมชาติด้วยวิธีการพลวัต ที่มีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 40% 60% และ 80% ตามลำดับ กรณีกำหนดค่าความสว่างพื้นฐานที่ 300 ลักซ์

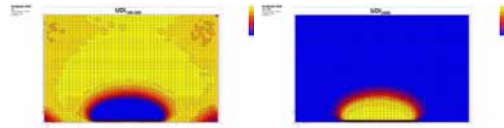


รูปที่ 1 เปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติกรณีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 40% และกำหนดความสว่างพื้นฐานที่ 300 ลักซ์

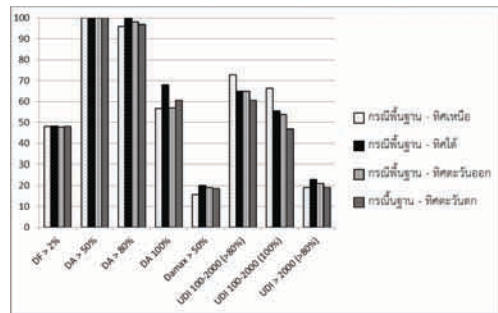
จากกราฟในรูปที่ 1 พบว่า ในกรณีที่อาคารมีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่ 40% นั้นส่งผลให้มีปริมาณพื้นที่ที่มีค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติมากกว่า 2% น้อย เมื่อเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการจำลองแสงธรรมชาติด้วยวิธีการพลวัตโดยใช้ค่า Daylight Autonomy ในการวัดผลซึ่งจะมีพื้นที่ 34% ของพื้นที่ใช้งานทั้งหมดที่ได้รับแสงธรรมชาติมากกว่า 50% ของชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี ดังรูปที่ 2 มากถึง 85% ของพื้นที่ใช้งานทั้งหมดส่งผลให้พื้นที่ที่มีแสงมีความสว่างเกินกว่าช่วงที่เหมาะสมแก่การใช้งานมีปริมาณน้อยลง ดังรูปที่ 3



รูปที่ 2 เปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติจากการวัดผลด้วยค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติ และการวัดผลด้วยค่า Daylight Autonomy กรณีช่องเปิดทางด้านทิศใต้โดยมีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 40% และกำหนดความสว่างพื้นฐานที่ 300 ลักซ์

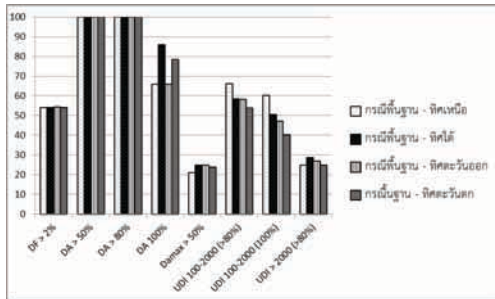


รูปที่ 3 เปรียบเทียบพื้นที่ที่มีปริมาณแสงซึ่งอยู่ในช่วงการใช้งานที่เหมาะสมมากกว่า 80% ใน 1 จุดวัด (UDI100-2000) กับพื้นที่ที่มีแสงมีความสว่างเกินกว่าช่วงที่เหมาะสมแก่การใช้งาน (UDI2000) กรณีช่องเปิดทางด้านทิศใต้โดยมีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 40% และกำหนดความสว่างพื้นฐานที่ 300 ลักซ์



รูปที่ 4 เปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติกรณีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% และกำหนดความสว่างพื้นฐานที่ 300 ลักซ์

จากกราฟในรูปที่ 4 ในกรณีที่อาคารมีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่ 60% นั้น ส่งผลให้พื้นที่ 48% ของพื้นที่ทดลองทั้งหมดมีค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติมากกว่า 2% โดยพื้นที่ใช้งานทั้งหมดได้รับแสงธรรมชาติมากกว่า 50% ของชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี รวมถึงมีพื้นที่ที่มีแสงซึ่งอยู่ในช่วงการใช้งานที่เหมาะสม (UDI<sub>100-2000</sub>) 64% ของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด ส่งผลให้พื้นที่ที่แสงมีความสว่างมากเกินความต้องการใช้งานมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น โดยจะเพิ่มมากขึ้นในกรณีช่องเปิดทางทิศเหนือ โดยเพิ่มมากขึ้นถึง 72.80% ของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด



**รูปที่ 5** เปรียบเทียบพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติ สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 80% และกำหนดความสว่างพื้นฐานที่ 300 ลักซ์

จากกราฟในรูปที่ 5 ในกรณีที่มีอาคารมีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนังที่ 80% นั้นส่งผลให้พื้นที่ 54% ของพื้นที่ที่ทดลองทั้งหมดมีค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติมากกว่า 2% โดยพื้นที่ใช้งานทั้งหมดได้รับแสงธรรมชาติมากกว่า 80% ของชั่วโมงการใช้งานตลอดทั้งปี รวมถึงมีพื้นที่ที่มีแสงซึ่งอยู่ในช่วงการใช้งานที่เหมาะสม (UDI<sub>100-2000</sub>) 58% ของพื้นที่ใช้งานทั้งหมดโดยจะเพิ่มมากขึ้นในกรณีช่องเปิดทางทิศเหนือ ส่งผลให้มีปริมาณพื้นที่ที่แสงมีความสว่างเกินกว่าช่วงที่เหมาะสมแก่การใช้งานในปริมาณมากถึง 66.24% ของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด

## 5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

จากการพิจารณาการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติในอาคาร พบว่า การใช้ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติในการประเมินผลแสงธรรมชาติในอาคารนั้นให้ผลที่ค่อนข้างต่ำกว่าสภาพแสงในการใช้งานจริงและไม่สามารถแสดงผลในส่วนที่สะท้อนถึงความจริงในการใช้งาน ในทุกสัดส่วนช่องเปิดที่ทำการทดลอง ในส่วนของการใช้ค่า Daylight Autonomy ในการประเมินผลแสงธรรมชาตินั้นบ่ง

บอกถึงพื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติบ่งบอกเป็นช่วงเวลาใช้งานของชั่วโมงใช้งานตลอดทั้งปี โดยที่การประเมินผลโดยใช้ค่า DA จะให้ปริมาณพื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติที่สอดคล้องกับสภาพแสงตามจริง ซึ่งพบว่า มีปริมาณพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติมากกว่าการใช้ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติในการประเมินผล ทั้งนี้เกิดจากสภาพท้องฟ้าที่ใช้ในการจำลองแสงธรรมชาติโดยในกรณีของอาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 40% โดยหากเลือกใช้ค่า DA ในการประเมินผลแสงธรรมชาติจะส่งผลต่อปริมาณพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติที่แตกต่างกันตามแต่ละทิศของช่องเปิดในกรณีที่มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติมากกว่า 50% ของชั่วโมงใช้งานตลอดปี

ในกรณีของอาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 60% การเลือกใช้ค่า DA ในการประเมินผลแสงธรรมชาติจะส่งผลต่อปริมาณพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติที่แตกต่างกันตามแต่ละทิศของช่องเปิดในกรณีที่มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติมากกว่า 80% ของชั่วโมงใช้งานตลอดปี และในกรณีของอาคารที่มีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 80% การเลือกใช้ค่า DA ในการประเมินผลแสงธรรมชาติจะส่งผลต่อปริมาณพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติที่แตกต่างกันตามแต่ละทิศของช่องเปิดในกรณีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติในทุกชั่วโมงใช้งานตลอดปี ในส่วนของค่า UDI แสงที่อยู่ในช่วงใช้งานที่เหมาะสมจากการทดลอง พบว่า ปริมาณพื้นที่ที่มีแสงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงเป็นไปในทิศทางเดียวกันกับสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง ดังเช่น กรณีที่ห้องทดลองมีสัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 40% พบว่า มีพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติอยู่ในช่วงใช้งานที่เหมาะสมมากถึง 84% ของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด และในกรณีที่สัดส่วนช่องเปิดต่อพื้นที่ผนัง 80% นั้นส่งผลให้พื้นที่ที่ได้รับ

แสงธรรมชาติในช่วงที่เหมาะสมต่อการใช้งานเพียง 60% ของพื้นที่ใช้งานทั้งหมด ซึ่งลดลงจากกรณีช่องเปิด 40% ของพื้นที่ผนัง

การใช้ค่า DA ร่วมกับค่า UDI ซึ่งเป็นหน่วยวัดในรูปแบบพลวัตในการพิจารณาพื้นที่ที่ได้รับแสงธรรมชาติภายในอาคารนั้น สามารถให้ผลการทดลองทั้งในส่วนของปริมาณพื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติรวมถึงคุณภาพของแสงที่ส่องเข้ามายังพื้นที่ใช้งานซึ่งทำให้พื้นที่ใช้งานแสงธรรมชาติเพิ่มมากขึ้นและควบคุมคุณภาพของแสงให้สอดคล้องกับสภาพแสงตามการใช้งานจริงได้ โดยที่การใช้ค่าตัวประกอบแสงธรรมชาติในการวัดผล จะไม่สามารถบอกถึงรายละเอียดในส่วนในช่วงเวลาที่พื้นที่นั้น ๆ จะใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติได้และคุณภาพของแสงว่ามีปริมาณที่เหมาะสมมากเกินไปหรือน้อยเกินไปหรือไม่ ทั้งนี้ สามารถนำผลการจำลองแสงธรรมชาติไปใช้ในการวิเคราะห์ความร้อนที่มีผลต่อการใช้แสงในอาคาร รวมถึงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปรับเปลี่ยนรูปแบบการประเมินผลแสงธรรมชาติตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในปัจจุบันต่อไป

### รายการอ้างอิง

บุรพล แจ็งสว่าง. (2548). *แนวทางการกำหนดมาตรฐานการใช้แสงธรรมชาติในอาคารสำนักงาน*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

ปฎิภา ททรัพย์เจริญ. (2548). *ศักยภาพการใช้แสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงานตามเกณฑ์การประเมินอาคารเขียวในกลุ่มประเทศอาเซียน*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

พิรุรัตน์ บุรีประเสริฐ. (2545). *รูปแบบช่องเปิดด้านข้างเพื่อการนำแสงธรรมชาติมาใช้ในอาคารสำนักงาน*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย. (2547). *คู่มือการออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพด้านการประหยัดพลังงาน*. ไม่ปรากฏสถานที่พิมพ์.

Ko, D-H., Elnimeiri, M. & Clark, R. J. (2009). *Assessment and prediction of daylight performance in high-rise office building*. Illinois Institute of Technology, College of Architecture. Retrieved August 30, 2012, from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/tal.474/pdf>

Nabil, A. & Madaljevic, J. (2006). *Useful daylight illuminance: A replacement for daylight factors*. Institute of Energy and Sustainable Development, De Montfort University, The Gateway, Leicester LE1 9BH, UK.

Reinhart, C. F., Mardaljevic, J. & Rogers, Z. (2006). Dynamic daylight performance metrics for sustainable building design. *Leukos*, 3(1), 7-31.

# แนวทางการออกแบบอาคารสำนักงานของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงาน

## Design Guidelines for Energy Conservation in the Government Office Building

ชมพูนุท แสงกาญจนวนิช<sup>1</sup> และ รศ. อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรรณ<sup>2</sup>

Chompunuch Sangkanchanvanich<sup>1</sup> and Assoc. Prof. Awirut Srisutapan<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: chompunuch.ps@gmail.com<sup>1</sup>, awi\_cl@hotmail.com<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยได้มีการส่งเสริมการประหยัดพลังงานภายในอาคาร โดยทางกระทรวงพลังงานได้เสนอแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี และกำหนดเป้าหมายในการลดการใช้พลังงานอยู่ที่ 25% แต่ไม่มีความชัดเจนในเรื่องของการออกแบบอาคารเพื่อส่งเสริมให้ประหยัดพลังงาน โดยเฉพาะในอาคารสำนักงานของรัฐที่สร้างโดยใช้แบบเดียวกัน เนื่องจากมีการจำกัดงบประมาณในการก่อสร้าง โดยอาคารออกแบบตั้งแต่ก่อนมีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 จึงไม่ได้คำนึงถึงการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงานภายในอาคาร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอแนวทางการออกแบบอาคารสำนักงานของรัฐที่คำนึงถึงการประหยัดพลังงาน โดยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลงานวิจัยและบทความที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน พร้อมทั้งศึกษาและเก็บข้อมูลอาคารสำนักงานของรัฐที่มีอยู่ในปัจจุบันเพื่อนำมาใช้ในการกำหนดอาคารอ้างอิง จากนั้นจึงทำการจำลองอาคารอ้างอิงผ่านโปรแกรม eQUEST 3.65 โดยจะเปรียบเทียบการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นจากการปรับเปลี่ยนขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร ทิศทางการวางตัวอาคาร อัตราส่วนรูปทรงอาคาร จำนวนทิศทางของช่องเปิด และสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังอาคาร โดยผลการทดลองสรุปได้ว่า การปรับเปลี่ยนอัตราส่วนของรูปทรงอาคาร และสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังอาคารให้ผลการประหยัดพลังงานมากเมื่อพื้นที่อาคารมีขนาดเล็ก (300 ตร.ม.) แต่ส่งผลน้อยเมื่อพื้นที่อาคารมีขนาดใหญ่ (12,000 ตร.ม.) ส่วนการเปลี่ยนทิศทางการวางตัวของอาคารให้ผลการประหยัดพลังงานมากเมื่ออาคารมีช่องเปิด 2 ทิศทาง และไม่ส่งผลประหยัดพลังงานเมื่ออาคารมีช่องเปิด 4 ทิศทาง

### Abstract

Although, The Ministry of Energy emphasizes energy conservation by publishing the 20-Year Energy Efficiency Development Plan (EEDP) which targets to reduce energy intensity by 25%, there is no particular energy conservation promotion act for buildings. Notably, due to limited fund, government office buildings are entirely constructed under the same pattern that

does not help diminishing the overuse of energy since it is designed before The Energy Conservation Promotion Act B.E. 2535. This research is therefore aimed at proposing a government office buildings' design that will play an important role in reducing energy consumption. Studies and articles involving design for energy saving buildings and typical government office buildings basis are collected as references and prototypical building model respectively. The imitation of the prototypical building is done via eQUEST 3.65 in order to compare emitted energy from various utility space, building orientation, building ratio, number of window direction, and window-to-wall ratio. Different building ratio and window-to-wall ratio will significantly participate in reducing energy intensity granted that the area is small (300 sq.m). However if the area is large (12,000 sq.m), the effect is slight. Adjustment of building orientation will greatly influence saving energy if there are two window directions. Nevertheless, it does not affect four-window-directions buildings.

**คำสำคัญ (Keywords):** อาคารสำนักงานของรัฐ (Government Office Building), การประหยัดพลังงาน (Energy Conservation), การออกแบบอาคาร (Building Design), ขนาดพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (Building Area)

## 1. ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยมีการใช้พลังงานจากอาคารเป็นสัดส่วนที่สูงซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากอาคารส่วนใหญ่เป็นอาคารเก่าซึ่งสร้างมาตั้งแต่ก่อนที่จะมีพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535 ทำให้อาคารไม่ได้ถูกออกแบบที่คำนึงถึงการประหยัดพลังงาน และโดยเฉพาะในอาคารของภาครัฐที่ปัจจุบันยังคงลักษณะแบบการก่อสร้างที่ออกแบบไว้ตั้งแต่ก่อนปี พ.ศ. 2535 และทางกระทรวงพลังงานได้มุ่งไปในเรื่องของการออกนโยบายข้อบังคับในการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมผู้ใช้อาคารมากกว่าการส่งเสริมการออกแบบและปัจจุบันในแผนอนุรักษ์พลังงาน 20 ปี ทางกระทรวงพลังงานได้มีการกำหนดตัวเลข 25% ขึ้นเพื่อเป็นเป้าหมายในการลดใช้พลังงานแต่ยังไม่มีความชัดเจนในเรื่องของการออกแบบอาคารเพื่อส่งเสริมให้ประหยัดพลังงาน จึงนำมาสู่การ

จัดทำกรวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการออกแบบอาคารภาครัฐที่มีการออกแบบและสร้างอาคารลักษณะที่ใกล้เคียงกันซึ่งเป็นผลมาจากการควบคุมงบประมาณการก่อสร้างต่อตารางเมตรให้ลดพลังงานได้ตามนโยบายที่ทางกระทรวงพลังงานกำหนด โดยเปรียบเทียบวิธีการและลักษณะการออกแบบที่ช่วยลดการใช้พลังงานกับงบประมาณที่ใช้ในการก่อสร้าง และระยะเวลาในการคืนทุน พร้อมทั้งศึกษาหาวิธีการออกแบบอาคารที่ส่งผลให้ลดการใช้พลังงานได้มากที่สุดโดยประเมินประสิทธิภาพการลดพลังงานจากกลุ่มตัวอย่างของอาคารสำนักงานของรัฐปัจจุบันจำลองผลด้วยโปรแกรมทดสอบศักยภาพด้านพลังงาน eQUEST วิเคราะห์และสรุปผลเพื่อสร้างแนวทางการปรับปรุงและพัฒนาอาคารเดิม และเพื่อการลดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานของรัฐ

## 2. วรรณกรรมและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 ศึกษาอาคารสำนักงานของรัฐ

เพื่อให้อาคารที่ทำงานของราชการอยู่ในมาตรฐานเดียวกัน และมีราคาค่าก่อสร้างต่อเนื้อที่ใช้สอยของอาคารแต่ละชั้นเฉลี่ยตารางเมตรเท่ากัน จึงได้มีการกำหนดมาตรฐานอาคารประเภทที่ทำการของราชการ พ.ศ. 2521 โดยมีการกำหนดรายการการก่อสร้างไว้ทั้งหมด 3 หัวข้อ ได้แก่

1. การออกแบบ กำหนดให้ใช้ระบบประสานทางพิกัด (Modular Coordination) ตามมาตรฐานของสถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย

2. ลักษณะของอาคาร มีการกำหนดขนาดพื้นที่ใช้สอยของราชการแต่ละตำแหน่งเพื่อประโยชน์แก่การคำนวณเนื้อที่ทั้งหมดของอาคาร

3. วัสดุก่อสร้าง มีการกำหนดวัสดุมาตรฐานในการก่อสร้าง เช่น โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ผนังก่ออิฐเผาแห้งตันหรืออิฐเผาไปรงคอนกรีตบล็อก

โดยอาคารสำนักงานของรัฐที่สร้างโดยลักษณะรูปทรงใกล้เคียงกันประกอบไปด้วย

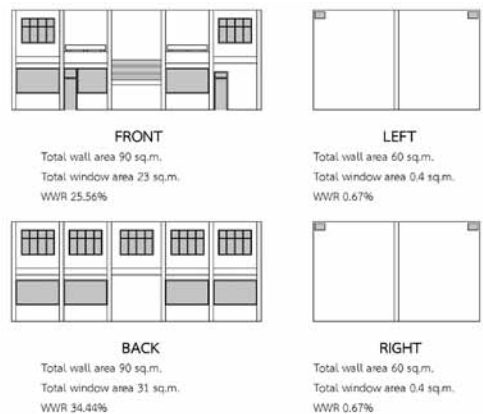
1. สถานีอนามัย
2. ที่ว่าการอำเภอ
3. สำนักงานที่ดิน
4. ศาลากลางจังหวัด
5. ศาลจังหวัด

จากการศึกษาพบว่า อาคารสำนักงานของรัฐมีพื้นที่ใช้สอยแบ่งได้ประมาณ 3 กลุ่ม ประกอบด้วย 300 1,200 และ 12,000 ตารางเมตร โดยมีขนาดอัตราส่วนของรูปทรงแตกต่างกันไปตามประเภทของอาคาร และตัวอาคารมีลักษณะเป็นช่องเปิด 2 ทิศทาง คือ ทิศทางด้านหน้าอาคารและหลังอาคารส่วนทางด้านข้างจะ

ไม่มีช่องเปิด เช่น อาคารสถานีอนามัยมีขนาดพื้นที่ใช้สอย 300 ตารางเมตร ขนาดอัตราส่วนของรูปทรงอาคารเป็น 1:1.5/1:2 สัดส่วนช่องเปิดต่อผนังเฉลี่ย 30% ในทิศด้านหน้าอาคารและด้านหลังอาคาร และสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังเฉลี่ย 0.7% ในทิศด้านข้างอาคาร ดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2



รูปที่ 1 อาคารสถานีอนามัยในแต่ละจังหวัด พร้อมแสดงสัดส่วนการใช้พื้นที่ภายในอาคาร



รูปที่ 2 สัดส่วนช่องเปิดของอาคารสถานีอนามัย

### 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการลดพลังงานในอาคารเป็นการศึกษาเกี่ยวกับการลดรังสีความร้อนที่ผ่านเข้ามาภายในอาคารโดยทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ ทิศทางการวางตัวของอาคาร รูปทรงอาคาร สัดส่วนช่องเปิด

วัสดุของอาคาร การเพิ่มอุปกรณ์กันแดดให้กับอาคาร ระบบปรับอากาศ และระบบแสงสว่าง เป็นต้น

ในด้านงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบอาคารของรัฐเพื่อการประหยัดพลังงานที่ผ่านมาเน้นที่การพัฒนาปรับปรุงอาคารกรณีศึกษาอาคารใดอาคารหนึ่ง เพื่อพิจารณาเปรียบเทียบพลังงาน และค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างที่ใช้ในอาคารก่อนการปรับปรุงและพลังงานหลังการปรับปรุง ผู้วิจัยจะทำการจำลองตัวอาคารและคำนวณการใช้พลังงานด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ซึ่งผลที่ได้แค่เพื่อการปรับปรุงลดพลังงานภายในอาคารกรณีศึกษาเท่านั้น แต่พบว่ายังขาดการศึกษาเชิงลึกในการหาจุดร่วมของรูปแบบของอาคารสำนักงานภาครัฐเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงาน และขาดการเปรียบเทียบผลการปรับปรุงกับนโยบายการลดการใช้พลังงานของภาครัฐ ส่วนในด้านการศึกษารออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานนั้น ยังขาดในด้านของเรื่องการเปรียบเทียบงบประมาณที่ใช้ในการก่อสร้าง ความเป็นไปได้ที่นำมาประยุกต์ใช้กับอาคารสำนักงานของรัฐ และระยะเวลาในการคืนทุน

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาการหาจุดรูปแบบอาคารของภาครัฐที่มีจุดร่วมเหมือนกัน ทำการศึกษาหาความเป็นไปได้ในการออกแบบเพื่อประหยัดพลังงานและความเป็นไปได้ของนโยบายการประหยัดพลังงานของภาครัฐ

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับรูปทรงการออกแบบอาคารเพื่อการประหยัดพลังงานสามารถสรุปได้ว่า อาคารรูปทรงกระบอกเป็นอาคารที่มีผลต่อการประหยัดพลังงานมากที่สุดไม่ว่าจะเป็นอาคารประเภทใดหรือมีพื้นที่อาคารขนาดเท่าไร (การุณย์, 2548, อรรถน์, 2550) ส่วนอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมผืนผ้า พบว่า งานวิจัย

ที่ผู้วิจัยนำมาศึกษามีการจำลองอาคารจากอาคารที่ประเภทต่างกัน และยังมีขนาดพื้นที่ต่างกันจึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเมื่อเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยมอัตราส่วนใดจึงจะให้ผลการประหยัดพลังงานมากกว่า ดังรูปที่ 3

	ประเภทอาคาร	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	รูปทรงอาคาร						
			ใช้พลังงานน้อย --> มาก						
การุณย์ ศุภมิตรโยธิน, 2548	อาคารสำนักงาน	10,000	วงกลม วงรี สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม
อรรถน์ เศรษฐบุตร, 2550	ทาวนเฮ้าส์	150	วงกลม วงรี สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม
ณัฐภูมิ รับคำอินทร์, 2552	สำนักงาน / ห้างสรรพสินค้า / โรงแรม	-	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม
ภาณีภัทร ศิริสวัสดิวัฒนา, 2556	อาคารสำนักงาน	58,600	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สี่เหลี่ยม
Olgvy V., 1992			ไม่ควรมีสัดส่วนอาคารมากกว่า 1 : 3						

รูปที่ 3 งานวิจัยการออกแบบรูปทรงเพื่อการประหยัดพลังงาน

### 3. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม eQUEST มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของทิศทางการวางตัวอาคาร รูปทรงและสัดส่วนของอาคาร จำนวนทิศทางของช่องเปิด และสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังทึบ ทำการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานที่เกิดขึ้นเพื่อนำเสนอเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารสำนักงานราชการ

#### 3.1 การจำลองอาคารต้นแบบ

กำหนดอาคารอ้างอิง (Reference building) เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าการใช้พลังงาน โดยมี



การกำหนดค่าพื้นฐานของแบบจำลอง ดังตารางที่ 1

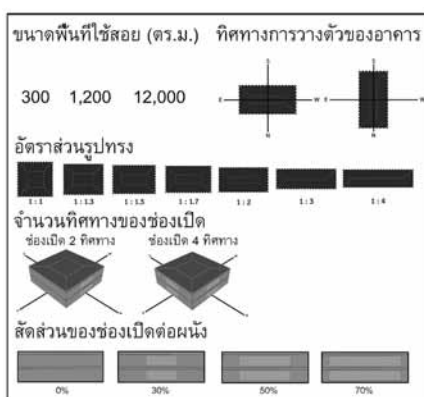
ตารางที่ 1 รายละเอียดแบบจำลองอาคาร

Type	Data
Building Type	Office, Two Story
Floor to Floor	10 ft. (3 m.)
Floor to Ceiling	8.5 ft. (2.6 m.)
Roof Type	Concrete Slap
Glass Type	Single Clear 6 mm.
HVAC System	Split Type

### 3.2 การกำหนดตัวแปรในงานวิจัย

ตัวแปรที่เลือกมาศึกษาในงานวิจัย เป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับอาคารที่มีอยู่ในปัจจุบัน หรือเกี่ยวข้องกับการออกแบบที่มีผลต่อการใช้พลังงานภายในอาคาร เพื่อทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการประหยัดพลังงาน โดยตัวแปรที่ทำการศึกษามีรายละเอียดดังรูปที่ 4 ได้แก่

1. พื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร
2. ทิศทางการวางตัวของอาคาร
3. อัตราส่วนรูปทรง
4. จำนวนทิศทางของช่องเปิด
5. สัดส่วนของช่องเปิดต่อผนัง



รูปที่ 4 รายละเอียดตัวแปรที่ใช้ศึกษาในงานวิจัย

## 4. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองเป็นการเปรียบเทียบค่าการใช้พลังงานในแต่ละกรณี ดังนี้

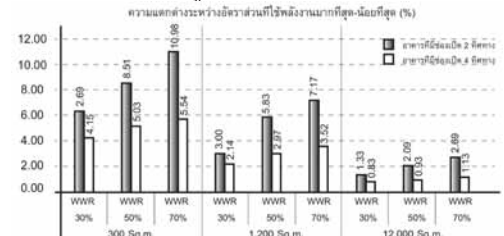
### 4.1 เปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคารจากการเปลี่ยนทิศทางการวางตัวของอาคาร

พบว่า การเปลี่ยนทิศทางการวางตัวของอาคารส่งผลมากต่ออาคารขนาด 300 ตร.ม. ที่มีช่องเปิด 2 ทิศทาง แต่ไม่ส่งผลต่ออาคารในลักษณะอื่น ๆ

### 4.2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคารจากการเปลี่ยนอัตราส่วนรูปทรงอาคาร

อาคารที่มีช่องเปิด 2 ทิศทาง อัตราส่วนรูปทรงอาคารที่ส่งผลให้อาคารประหยัดพลังงานคืออัตราส่วน 1:1 สำหรับอาคารที่มีช่องเปิด 4 ทิศทาง อัตราส่วนรูปทรงอาคารที่ส่งผลให้อาคารประหยัดพลังงานในอาคารขนาด 300 ตร.ม. คืออัตราส่วน 1:2 อาคารขนาด 1,200 ตร.ม. และ 12,000 ตร.ม. คือ อัตราส่วน 1:1

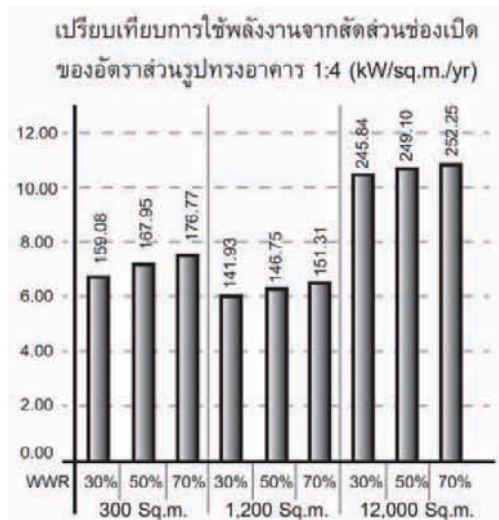
การเปลี่ยนอัตราส่วนรูปทรงอาคารจะส่งผลมากต่ออาคารที่มีช่องเปิด 2 ทิศทางขนาด 300 ตร.ม. และ 1,200 ตร.ม. และอาคารที่มีช่องเปิด 4 ทิศทางขนาด 300 ตร.ม. ให้ผลการประหยัดพลังงานน้อยกับอาคารที่มีช่องเปิด 4 ทิศทางขนาด 1,200 ตร.ม. แต่จะไม่มีผลกับอาคารขนาด 12,000 ตร.ม. ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 กราฟแสดงความแตกต่างของพลังงานจากการเปลี่ยนอัตราส่วนของรูปทรงอาคาร

### 4.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานภายในอาคาร จากการเปลี่ยนสัดส่วนของช่องเปิดต่อผนัง

เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนส่วนของช่องเปิดต่อผนังที่ 0% 30% 50% และ 70% พบว่าส่งผลมากกับอาคารขนาด 300 ตร.ม. และส่งผลน้อยลงกับอาคาร 1,200 และ 12,000 ตร.ม. ตามลำดับดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าความแตกต่างของการใช้พลังงานจากการเปลี่ยนสัดส่วนของช่องเปิดต่อผนังของอาคารที่มีช่องเปิด 2 ทิศทาง อัตราส่วนรูปทรงอาคาร 1:4

## 5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

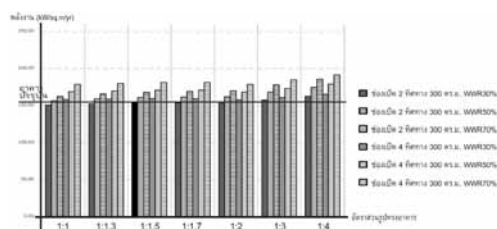
### 5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบอาคารสำนักงานของรัฐเมื่อมีขนาดพื้นที่ใช้สอยที่แตกต่างกัน ไม่สามารถใช้วิธีการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงานเดียวกันได้

โดยการเปรียบเทียบพลังงานจากการจำลองผ่านโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะได้อาคารปรับเปลี่ยนอัตราส่วนรูปทรง และสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังจะให้ผลไม่เหมือนกันเมื่ออาคารมีขนาด

พื้นที่ใช้สอยที่แตกต่างกัน โดยส่งผลประหยัดพลังงานมากกับอาคารที่มีขนาด 300 ตร.ม. แต่ส่งผลน้อยกับอาคารขนาด 1,200 ตร.ม. และไม่ส่งผลกับอาคารขนาด 12,000 ตร.ม. สำหรับการปรับเปลี่ยนทิศทางการวางตัวอาคาร การใช้พลังงานภายในอาคารจะแตกต่างกันเมื่ออาคารมีช่องเปิด 2 ทิศทาง และไม่แตกต่างเมื่ออาคารมีช่องเปิด 4 ทิศทาง

จากการเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานในอาคารกรณีศึกษาขนาด 300 ตร.ม. กับอาคารที่มีอยู่ปัจจุบัน พบว่า หากต้องการลดการใช้พลังงานในอาคาร แต่ยังคงสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังอาคารที่ 30% และคงค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างสามารถเปลี่ยนอัตราส่วนรูปทรงอาคารจาก 1:1.5 เป็น 1:1 สามารถลดพลังงานได้ 1.51% ดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 เปรียบเทียบอาคารที่มีในปัจจุบันกับอาคารกรณีศึกษา

### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ควรจะทำการศึกษาเพิ่มในเรื่องของการเปลี่ยนวัสดุผนัง หลังคา หรือกระจก ในการทดลองควบคุมไปกับการเลือกอัตราส่วนรูปทรงอาคาร และสัดส่วนช่องเปิดต่อผนังที่เหมาะสม เพื่อเพิ่มผลการประหยัดพลังงาน

## รายการอ้างอิง

- การุณย์ ศุภมิตรโยธิน. (2548). *การศึกษาเกณฑ์ชี้วัดการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานเขตร้อนชื้น*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ณัฐภูมิ รัชคำอินทร์. (2552). *อิทธิพลของสัดส่วนและทิศทางอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์-มหาวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- ภาณิตภัทร ศิริสวัสดิ์วัฒนา. (2556). *ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานเมื่อมีการกำหนดพื้นที่กระจกต่อผนังอาคารตามทิศ*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อรรถน์ เศรษฐบุตตร. (2550). *การพัฒนาเกณฑ์ขั้นต่ำของคุณสมบัติการป้องกันความร้อนของเปลือกอาคารในอาคารทาวน์เฮ้าส์*. *วารสารวิจัยและสาระสถาปัตยกรรม/การผังเมือง*, 5(1), 31-52.
- อาคารอนุรักษ์พลังงาน. (2555). *โครงการศึกษาเพื่อสร้างต้นแบบอาคารอนุรักษ์พลังงานสำหรับภาครัฐ*. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน กระทรวงพลังงาน. สืบค้นเมื่อวันที่ 21 พฤศจิกายน พ.ศ. 2557, จาก [http://www.2e-building.com/government building](http://www.2e-building.com/government-building).
- Olgay, V. (1992). *Design with climate bioclimatic approach to architectural regionalism*. New York, Van Nostrand Reinhold.

การศึกษาสัดส่วนอาคารสำนักงานและทิศทางอาคาร  
เซลล์แสงอาทิตย์เพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร  
Study of Building Proportion and PV Orientation for  
Energy Efficiency in Office Building

พิชญ์ณัฐ จำนงค์เดช<sup>1</sup> และ รศ. อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรหม<sup>2</sup>

Pitchanat Chomnongdej<sup>1</sup> and Assoc. Prof. Awiroot Srisutapan<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: c.pitchanat@gmail.com<sup>1</sup>, awiroot@ap.tu.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ในปัจจุบันปัญหาภาวะโลกร้อนและพลังงานขาดแคลนเป็นปัญหาสำคัญที่ทั่วโลกกำลังให้ความสนใจ และการใช้พลังงานสะอาดทดแทนเป็นหนทางหนึ่งที่จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยรัฐบาลไทยเองก็มีนโยบายตามมาตรการ FIT (Feed in Tariff) ส่งเสริมการใช้พลังงานสะอาดทั้งในภาคครัวเรือน ธุรกิจและอุตสาหกรรม นอกจากนี้ การลดปริมาณการใช้พลังงานก็เป็นอีกวิธีที่จะช่วยลดปัญหาได้ โดยปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร คือ สัดส่วน และทิศทางการวางตัวของอาคาร งานวิจัยนี้จึงศึกษาการประยุกต์ใช้เซลล์แสงอาทิตย์ในอาคารสำนักงานที่มีความสูง 7 ชั้น ขนาด 4,200 9,800 และ 17,500 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนของอาคารเท่ากับ 1:1 1:1.3 1:1.7 และ 1:2 ในทิศทางการวางตัว 0° 45° 90° และ 315° ทำมุมกับทิศตะวันออก ด้วยการจำลองผ่านโปรแกรม eQUEST 3.65 เพื่อหาปริมาณการใช้พลังงานในรูปแบบต่าง ๆ จากนั้นศึกษาทิศทางการวางตัวเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคาที่ได้จากการศึกษาสัดส่วนและทิศทางการวางตัวอาคารใน 5 ทิศทาง คือ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตก เพื่อนำมาหารูปแบบอาคารสำนักงานที่มีสัดส่วนการผลิตพลังงานไฟฟ้าใกล้เคียงกับปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารมากที่สุด จากการวิจัยพบว่า อาคารสำนักงานที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุดคือ อาคารขนาด 9,800 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนอาคาร 1:1.7 และทำมุม 315° กับแนวแกนทิศตะวันออก และอาคารสำนักงานที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำสุดคือ อาคารขนาด 4,200 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนอาคาร 1:1.7 และทำมุม 45° กับแนวแกนทิศตะวันออก เนื่องจากขนาดอาคารที่เพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มากขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารเพิ่มสูงขึ้น และจากผลการวิจัยสามารถนำข้อมูลไปใช้เป็นแนวทางในการออกแบบอาคารสำนักงานเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับเงื่อนไขในการออกแบบมากที่สุด

## Abstract

Global Warming and energy shortage are major issues of human beings lately and renewable energy is one of the solutions to solve the problems. The Government of Thailand uses a policy, FiT (Feed in Tariff), to promote renewable energy usage in the residential, commercial and industrial. Moreover, reducing energy consumption is another way to reduce the problem and the factors that affect energy use in buildings is the proportion and orientation of the building. This research study on how to adapt the use of solar cells in 7-stories office building with 4,200 9,800 and 17,500 square meters, the proportion of the building was 1:1 1:1.3 1:1.7 and 1:2 and the orientation of 0° 45° 90° and 315° angle to the East. We use eQUEST 3.65, a simulation program, to determine the energy usage in each case we mentioned earlier were studied about the orientation of solar cells on the rooftop in five different directions (east, southeast, south, southwest and west) to find the office building with maximum energy efficiency. As a result, we have found that highest energy efficiency office building is the one with 9,800 square meters with 1:1.7 ratio and 315° to the East. The lowest energy efficiency building is 4,200 square meters with 1:1.7 ratio and 45° to the East because the more space to install solar panels, the better ratio of energy use. The results of the research data can be used to guide the design of office buildings for energy efficiency in design to suit most conditions.

**คำสำคัญ (Keywords):** ทิศทางการวางตัวของอาคาร (Building Orientation), สัดส่วนอาคาร (Building Proportion), เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar PV), การจำลองผลการใช้พลังงาน (Energy Simulation)

## 1. บทนำ

สภาพอากาศในปัจจุบันมีแนวโน้มของอุณหภูมิที่ปรับตัวสูงขึ้น เนื่องจากปัญหาภาวะโลกร้อน ส่งผลให้เกิดการใช้พลังงานเพื่อการปรับอากาศเพิ่มขึ้น โดยเฉพาะประเทศในเขตร้อนอย่างประเทศไทยซึ่งประเทศไทยก็ได้เริ่มมีนโยบายส่งเสริมพลังงานทดแทน ซึ่งเป็นหนึ่งในแนวทางลดปริมาณการปล่อยก๊าซเรือนกระจก รวมทั้งเป็นจุดเริ่มต้นให้ประเทศไทยเริ่มก้าวสู่เส้นทางของการเป็นสังคมคาร์บอนต่ำ (Low Carbon Society) ในปัจจุบันประเทศไทยยังต้องพึ่งพาการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศเป็นหลัก โดยในปี 2554 พบว่า กว่าร้อยละ 60 ของความต้องการ

พลังงานขึ้นต้นมาจากการนำเข้า โดยมีสัดส่วนการนำเข้าน้ำมันสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการใช้ น้ำมันทั้งหมดภายในประเทศ และยังมีแนวโน้มจะสูงขึ้นอีกเพราะไม่สามารถเพิ่มปริมาณการผลิตปิโตรเลียมในประเทศได้ทันกับความต้องการใช้ งาน การพัฒนาพลังงานทดแทนจะช่วยลดการพึ่งพาและการนำเข้าน้ำมันเชื้อเพลิงและพลังงานชนิด ถือเป็นหนึ่งในเชื้อเพลิงเป้าหมายที่คาดว่าจะสามารถนำมาใช้ในการผลิตไฟฟ้าทดแทนก๊าซธรรมชาติได้อย่างมี และอาจสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานหลักในการผลิตไฟฟ้าสำหรับประเทศไทยได้ในอนาคต (แผนพัฒนาพลังงานทดแทน และพลังงานทางเลือก, 2555)

จากสถานการณ์ราคาน้ำมันดิบที่เพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วทำให้ประเทศไทยต้องจัดหาพลังงานทดแทนเพื่อใช้ทดแทนน้ำมัน ซึ่งภาครัฐมีมาตรการและนโยบายที่สนับสนุนให้มีการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะพลังงานทดแทนที่สามารถผลิตได้จากภายในประเทศ ประกอบด้วย พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังน้ำ ชีวมวล ก๊าซชีวภาพ ชยะ และเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยในปี พ.ศ. 2555 พบว่า การใช้พลังงานทดแทนทั้งสิ้น 7,292 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2554 ร้อยละ 14.3 (กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน, 2556)

จากแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2555-2564 ได้กำหนดให้มีสัดส่วนการใช้พลังงานทดแทนเพิ่มขึ้นจาก 7,413 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ในปี พ.ศ. 2555 เป็น 25,000 พันตันเทียบเท่าน้ำมันดิบ ในปี พ.ศ. 2564 หรือคิดเป็น 25% ของการใช้พลังงานรวมทั้งหมด จะเห็นได้ว่านโยบายนี้ยังต้องการการร่วมมือจากภาคเอกชนและภาคครัวเรือนอย่างมากเพื่อบรรลุเป้าหมาย โดยการนำพลังงานทดแทนมาใช้ในอาคารนอกจากประโยชน์ด้านการลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก และการบรรลุเป้าหมายแผนการพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือกแล้ว ผู้ประกอบการยังสามารถเข้าร่วมการประเมินอาคารเขียวได้ เพื่อเพิ่มมูลค่าและภาพลักษณ์ให้กับองค์กร

## 2. ทฤษฎีและแนวความคิดที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 การถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร

ความร้อนสามารถถ่ายเทผ่านกรอบอาคารได้จากพื้น ผนัง หลังคา และกระจกที่ปกคลุมตัวอาคาร โดยพลังงานความร้อนสามารถ

ถ่ายเทเข้าและออกจากอาคารได้โดย การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน ซึ่งเมื่อความร้อนถูกถ่ายเทเข้าสู่ตัวอาคารจะทำให้เกิดภาวะการทำความร้อนแก่อาคารนั้น ๆ โดยประสิทธิภาพของกรอบอาคาร เป็นปัจจัยภายนอกที่ส่งผลต่อภาวะการทำความร้อน เมื่ออาคารมีการทำความเย็น กรอบอาคารควรมีประสิทธิภาพในการลดความร้อนที่จะเข้าสู่อาคาร และป้องกันการรั่วไหลของอากาศให้ได้มากที่สุด

### 2.2 แนวคิดการออกแบบเพื่อการประหยัดพลังงาน

2.2.1 *ที่ตั้งและสภาพแวดล้อม* การทำให้สภาพแวดล้อมโดยรอบภายนอกอาคารมีอุณหภูมิต่ำกว่าสภาพภูมิอากาศปกติ และลดผลกระทบที่เกิดจากความร้อนของรังสีดวงอาทิตย์ในเวลากลางวัน มีผลทำให้สามารถลดภาวะการทำความร้อนให้กับตัวอาคารได้โดยตัวแปรที่ควรพิจารณา ได้แก่ พืชพรรณ สภาพภูมิประเทศ และสภาพภูมิอากาศ

2.2.2 *ตัวอาคาร* ตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับตัวอาคาร เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเป็นอย่างมาก เพราะความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ จะแปรผันไปตามทิศทางของดวงอาทิตย์ โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบตัวอาคาร ดังนี้

- 1) ทิศทางการวางตัวอาคาร
- 2) รูปทรงอาคาร
- 3) ตำแหน่งช่องเปิด

2.2.3 *วัสดุกรอบอาคาร* ภาวะการทำความร้อนของอาคารมาส่วนใหญ่มาจากปริมาณความร้อนที่ผ่านวัสดุกรอบอาคารเข้ามาภายในอาคาร การลดปริมาณความร้อนที่ผ่านกรอบอาคารจึงเป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่จะช่วยลดการใช้พลังงานลงได้ โดยวัสดุกรอบอาคารทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ วัสดุทึบแสง และวัสดุโปร่งแสง

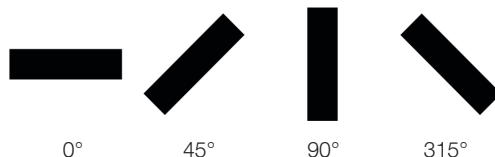
### 2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากรูปทรงสี่เหลี่ยมทำให้อาคารมีด้านที่สัมผัสกับรังสีดวงอาทิตย์เป็นเวลานานมากกว่ารูปทรงโค้ง ส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่ตัวอาคารได้มากทำให้เกิดภาวะการทำความเย็นที่สูง ดังนั้น การออกแบบอาคารรูปทรงสี่เหลี่ยมจึงต้องมีแนวทางสำหรับการลดผลกระทบจากรังสีความร้อน โดยปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกับการใช้พลังงานในอาคารก็คือ สัดส่วน และทิศทางการวางตัว ที่สามารถช่วยให้อาคารที่พื้นที่เท่ากันมีการใช้พลังงานที่แตกต่างกันไปได้ งานวิจัยเกี่ยวกับสัดส่วนและทิศทางการวางตัวอาคาร โดย อวิรุทธ์ กัลยา (2556), ณัฐภูมิ รัชคานินทร์ (2553) และ ภาณุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล (2556) ได้ทำการจำลองอาคารด้วยตัวแปรเรื่องสัดส่วนอาคารด้วยสัดส่วนที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยทั้งสามชิ้นมีการกำหนดทิศทางการวางตัวอาคารสำหรับการจำลองที่เหมือนกันคือ 0 องศา (ตามตะวัน), 45 องศา, 90 องศา (ขวางตะวัน) และ 315 องศา ด้วยสัดส่วนอาคารที่แตกต่างกัน โดยงานวิจัยมีผลลัพธ์ที่สอดคล้องกันในเรื่องสัดส่วนอาคาร โดยสัดส่วนอาคารที่มีการใช้พลังงานน้อยที่สุดมีสัดส่วนอยู่ระหว่าง 1:1.3 ถึง 1:1.7 แต่ไม่สามารถสรุปตัวแปรเรื่องทิศทางการวางตัวของอาคารได้ เนื่องจากงานวิจัยมีความขัดแย้งกัน และงานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นการลดใช้พลังงานในอาคาร งานวิจัยชิ้นนี้จึงนำเอาตัวแปรเรื่องสัดส่วน และทิศทางการวางตัวอาคารมาทำการวิจัยพร้อมกับเพิ่มตัวแปรเรื่องขนาดของอาคารเข้ามา เพื่อศึกษาความเปลี่ยนแปลงเมื่ออาคารมีขนาดแตกต่างไป และศึกษาการเพิ่มความสามารถการผลิตพลังงานในอาคารด้วยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

### 3. วิธีการวิจัย

#### 3.1 การจำลองผลการใช้พลังงานในอาคาร

การทดลองนี้เป็นการจำลองผลการใช้พลังงานของอาคารด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ eQuest 3.65 เพื่อจำลองการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานที่มีสัดส่วนและทิศทางการวางตัวอาคารที่แตกต่างกัน โดยการสร้างโมเดลจำลองอาคาร 3 ขนาด คือ 4,200 9,800 และ 17,500 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนของผังอาคารเท่ากับ 1:1, 1:1.3, 1:1.7 และ 1:2 โดยมีทิศทางการวางตัวอาคารทั้งหมด 4 ทิศทาง คือ ทิศ 0° (ตามตะวัน), 45°, 90° (ขวางตะวัน) และ 315° ได้กรณีศึกษาทั้งหมด 42 กรณี



รูปที่ 1 ทิศทางการวางตัวอาคารสำหรับการทดลอง

#### 3.2 ออกแบบการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์

ในการทดลองนี้จะคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนพื้นที่หลังคาของกรณีศึกษาทั้ง 42 กรณี โดยกำหนดทิศทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์เป็น 5 ทิศ ดังนี้ ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ และทิศตะวันตก เพื่อหาปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้ในแต่ละทิศทาง โดยกำหนดให้เซลล์แสงอาทิตย์ทำมุม 15° กับพื้นราบ และเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละแถวติดตั้งห่างกัน 3 เมตร เพื่อไม่ให้เกิดการบังเงา จากนั้นนำข้อมูลปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้งได้มาคำนวณปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ในแต่ละรูปแบบด้วยสมการ

การศึกษาสัดส่วนอาคารสำนักงานและทิศทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานในอาคาร พิชญ์ณัฐ จ่านงค์เดช และ รศ. อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ

$$PVE = \frac{(6) \cdot (365) \cdot A_{mod} \cdot \eta_{sys} \cdot ESR_{PV}}{1000}$$

โดยที่

$(6) \cdot (365)$  = จำนวนชั่วโมงเฉลี่ยที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตกระแสไฟฟ้าได้ใน 1 ปี

$PVE$  = พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ยรายปีที่ผลิตได้โดยเซลล์แสงอาทิตย์ (kWh)

$A_{mod}$  = พื้นที่รวมทั้งหมดของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ติดตั้ง (sq.m.)

$\eta_{sys}$  = ประสิทธิภาพรวมของระบบ

$ESR_{PV}$  = ค่ารังสีอาทิตย์ที่มุมเอียงและทิศทางที่ตรงกับการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ( $W/m^2$ )

ตารางที่ 1 ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำมุม 15 องศาับระนาบพื้น

มุมเอียง 15 องศา	ทิศทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์				
	ตะวันออก	ตะวันต	ตะวันออกเฉียงใต้	ตะวันตกเฉียงใต้	ใต้
ค่ารังสีดวงอาทิตย์ (ESRPV)	433.61	431.51	440	438.90	441.62

ที่มา: ประกาศกระทรวงพลังงาน พ.ศ. 2552

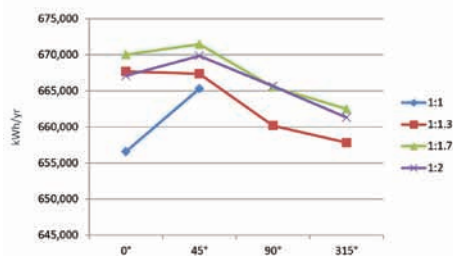
### 3.3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคาร

นำข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ตัวแปรเรื่องขนาดอาคาร สัดส่วน ทิศทางการวางตัวของอาคาร และปริมาณการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางต่างๆ (ทิศตะวันออก ทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทิศใต้ ทิศตะวันตกเฉียงใต้ ทิศตะวันตก) ตามที่ได้กำหนดเอาไว้ข้างต้น มาเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงาน และปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/year) เพื่อหาว่าอาคารแต่ละรูปแบบมีประสิทธิภาพการใช้พลังงานเท่าไร

## 4. ผลการวิจัย

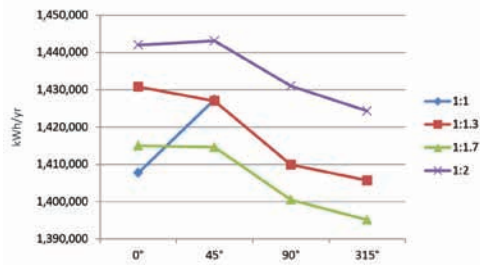
### 4.1 ผลการจำลองการใช้พลังงานในอาคาร

จากการจำลองการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารด้วยโปรแกรม eQuest 3.65 พบว่า กรณีอาคารสำนักงานขนาด 4,200 ตารางเมตร รูปแบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารน้อยที่สุดคือ อาคารที่มีอัตราส่วน 1:1 และวางตัวอาคารทำมุม 0° กับทิศตะวันออก (ตามตะวัน) รูปแบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารมากที่สุดคืออาคารที่มีอัตราส่วน 1:1.7 และวางตัวอาคารทำมุม 45° กับทิศตะวันออก กรณีอาคารสำนักงานขนาด 9,800 ตารางเมตร รูปแบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารน้อยที่สุดคือ อาคารที่มีอัตราส่วน 1:1.7 และวางตัวอาคารทำมุม 315° กับทิศตะวันออก (ตามตะวัน) รูปแบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารมากที่สุดคือ อาคารที่มีอัตราส่วน 1:2 และวางตัวอาคารทำมุม 45° กับทิศตะวันออก กรณีอาคารสำนักงานขนาด 17,500 ตารางเมตร รูปแบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารน้อยที่สุดคือ อาคารที่มีอัตราส่วน 1:1.3 และวางตัวอาคารทำมุม 315° กับทิศตะวันออก (ตามตะวัน) รูปแบบที่มีการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารมากที่สุดคือ อาคารที่มีอัตราส่วน 1:2 และวางตัวอาคารทำมุม 0° กับทิศตะวันออก

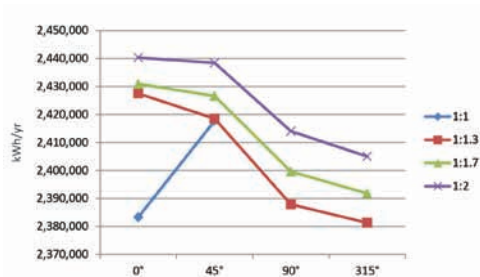


รูปที่ 2 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารสำนักงานขนาด 4,200 ตารางเมตร





รูปที่ 3 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ขนาด 9,800 ตารางเมตร



รูปที่ 4 เปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารสำนักงาน ขนาด 17,500 ตารางเมตร

#### 4.2 ผลการจำลองปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จาก เซลล์แสงอาทิตย์

จากข้อมูลค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (ตารางที่ 1) จะเห็นได้ว่าการหันเซลล์แสงอาทิตย์ไปทางทิศใต้ จะทำให้ได้รับรังสีดวงอาทิตย์ได้ดีที่สุด แต่ผลการจำลองปริมาณการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ในกรณีต่างๆ พบว่า บางกรณีทิศทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่เหมาะสมกลับเป็นทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทั้งนี้เป็นผลมาจากปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์ที่สามารถติดตั้งได้ในแต่ละกรณีมีความแตกต่างกัน โดยอาคารที่มีทิศการวางตัวอาคาร 0° เหมาะสมกับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทางทิศใต้ อาคารที่มีทิศการวางตัวอาคาร 45° เหมาะสมกับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทางทิศตะวันออกเฉียงใต้ อาคารที่มีทิศการวางตัวอาคาร 90° เหมาะสมกับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทางทิศตะวันออก และอาคารที่มีทิศการวางตัวอาคาร 315° เหมาะสมกับการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้

ตารางที่ 2 ตัวอย่างปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากการวางเซลล์แสงอาทิตย์ในทิศทางต่างๆ

ลักษณะการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์	รูปแบบอาคาร	ทิศทางการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์	ปริมาณเซลล์แสงอาทิตย์ (แผง)	ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้ (kWh/year)
	4,200 ตารางเมตร สัดส่วน: 1:2 ทิศทาง: 0°	ใต้	783	137,446
	4,200 ตารางเมตร สัดส่วน: 1:2 ทิศทาง: 0°	ตะวันออกเฉียงใต้	746	130,470
	4,200 ตารางเมตร สัดส่วน: 1:2 ทิศทาง: 45°	ใต้	746	130,951
	4,200 ตารางเมตร สัดส่วน: 1:2 ทิศทาง: 45°	ตะวันออกเฉียงใต้	783	136,942

## 5. วิเคราะห์และสรุปผล

จากการวิจัยพบว่า อาคารสำนักงานที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุด คือ อาคารขนาด 9,800 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนอาคาร 1:1.7 และวางตัวอาคารทำมุม  $315^{\circ}$  กับแนวแกนทิศตะวันออก และอาคารสำนักงานที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานต่ำสุด คือ อาคารขนาด 4,200 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนอาคาร 1:1.7 และวางตัวอาคารทำมุม  $45^{\circ}$  กับแนวแกนทิศตะวันออก เนื่องจากขนาดอาคารที่เพิ่มขึ้นทำให้มีปริมาณพื้นที่ติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์ที่มากขึ้น ส่งผลให้สัดส่วนการผลิตไฟฟ้าต่อปริมาณการใช้ไฟฟ้าของอาคารเพิ่มสูงขึ้น

จากการศึกษาตัวแปรเรื่องขนาดอาคารพบว่า เมื่ออาคารมีขนาดเปลี่ยนแปลงไปทำให้สัดส่วนการใช้พลังงานเปลี่ยนแปลงไปด้วยเช่นกัน ดังจะเห็นได้จากผลการทดลอง การใช้พลังงานของอาคารขนาด 4,800 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนอาคารเท่ากับ 1:1.7 และวางตัวอาคารทำมุม  $45^{\circ}$  เป็นรูปแบบอาคารที่มีการใช้พลังงานสูงสุดเมื่อเทียบกับอาคารรูปแบบอื่นที่มีขนาดอาคารเท่ากัน แต่เมื่ออาคารมีขนาดเพิ่มขึ้น ที่สัดส่วนอาคารและการวางตัวเดิม กลับมีการใช้พลังงานน้อยกว่าอาคารรูปแบบอื่นที่มีขนาดอาคารเท่ากัน เช่น อาคารขนาด 9,800 ตารางเมตร ที่มีสัดส่วนอาคารเท่ากับ 1:1.7 วางตัวอาคารทำมุม  $45^{\circ}$  มีการใช้พลังงานน้อยกว่าอาคารที่มีสัดส่วนอาคารเท่ากับ 1:2 วางตัวอาคารทำมุม  $45^{\circ}$

จากการจำลองปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่า จำนวนแผงเซลล์แสงอาทิตย์มีผลกับปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้มากกว่าทิศทางการติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อพิจารณาบนอาคารที่มีพื้นที่หลังคาเท่ากัน

งานวิจัยชิ้นนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองที่ทำขึ้นเพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบอาคารสำนักงานที่ลดการใช้พลังงานในอาคาร และเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตพลังงานด้วยการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์บนหลังคา เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่อาคารพลังงานสุทธิเป็นศูนย์ โดยยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารที่ไม่ได้ถูกนำมาเป็นตัวแปรในงานวิจัยชิ้นนี้ เช่น การบังเงาของอาคารข้างเคียง รูปทรงอาคาร วัสดุกรอบอาคาร ชนิดระบบปรับอากาศ เป็นต้น

## รายการอ้างอิง

- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2555). *แผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก 25% ใน 10 ปี (พ.ศ.2555-2564)*. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://dede.go.th>
- กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. (2556). *การชดเชยค่าพลังงานไฟฟ้าด้วยไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์*. สืบค้นเมื่อวันที่ 22 พฤศจิกายน 2557, จาก <http://www.2e-building.com/article.php?cat=bec&id=107>
- ณัฐภูมิ รัชคำอินทร์. (2553). *อิทธิพลของสัดส่วนและทิศทางการที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคาร*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์, สาขาวิชาสถาปัตยกรรม.
- ภาณุพงษ์ ญาณเวทย์สกุล. (2556). *แนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพด้านการใช้พลังงานของอาคารสำนักงานราชการขนาดใหญ่พิเศษด้วยการปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร*. วารสารการจัดประชุมวิชาการ (BERAC 4) คณะ-

สถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง  
มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.  
อิริวท์ กัลยา. (2556). *อิทธิพลของรูปทรงอาคาร  
และทิศทางต่อภาระการทำความเย็นของ  
อาคาร กรณีศึกษาจังหวัดขอนแก่น*. วิทยานิพนธ์  
สถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต, คณะ  
สถาปัตยกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

# การศึกษาเชิงตัวเลขเพื่อทำนายอิทธิพลของความชื้น ต่อสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์

## Numerical Prediction of the Effect of Humidity on the Performance of Solar Chimney

ชัชวรินทร์ ชินสรนันท์<sup>1</sup> และ ผศ. ดร. สุธาภรณ์ สุดประเสริฐ<sup>2</sup>

Chatchawin Chinsorranant<sup>1</sup> and Asst. Prof. Sudaporn Sudprasert, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: immortal@msn.com<sup>1</sup>, chungloo@tu.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาเชิงตัวเลข เพื่อทำนายผลกระทบของความชื้นในอากาศที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยผู้วิจัยได้กำหนดค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในช่องอากาศที่ 30-80 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการวิเคราะห์และคำนวณด้วยโปรแกรมพลศาสตร์ของไหลที่ถูกกำหนดด้วยอุณหภูมิผนังด้านในที่ติดกับช่องอากาศ เท่ากับ 33 องศาเซลเซียส พบว่า อากาศแห้งให้ความเร็วเฉลี่ยภายในช่องอากาศดีกว่าอากาศที่มีความชื้นมีค่าเท่ากับ 15.6 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่องทางออกอากาศ และ 26.3 เปอร์เซ็นต์ ที่ช่องทางเข้าอากาศ จากผลการทดลองเบื้องต้น พบว่า อากาศที่มีความชื้นมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการทำงานของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในเขตอากาศแบบร้อนชื้น

### Abstract

This Numerically study investigated the Effect of Humidity on the Performance of Solar Chimney. The Numerical models simulate heat transfer and fluid flow of dry air and moist air with relative of 30%-80% in the Solar Chimney. The Computational results of air velocity and temperature distribution in the Solar Chimney with dry air were compared to the Solar Chimney with moist air, under the Chimneys wall temperature of C. The results show the dry-air model gives higher average air velocity than that of the moist-air model by 15.6% and 26.2% at the outlet and inlet, respectively. According to the results, high humidity air significantly effect the ventilation performance of a Solar Chimney in the hot and humid environment

**คำสำคัญ (Keywords):** ผนังทროมบ์ (Trombe Wall), ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (Solar Chimney), แรงลอยตัว (Buoyancy Force), การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection)

## 1. ที่มาและความสำคัญ

งานวิจัยนี้ศึกษาพฤติกรรมการไหลของอากาศภายในช่องอากาศของผนัง 2 ชั้น ที่เรียกว่าผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (solar chimney) โดยจะศึกษาอิทธิพลของความชื้นในอากาศที่มีผลต่อสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ด้วยการศึกษางานวิจัยเกี่ยวกับผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ผ่านมาจากการทดลองจริงและการจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่า ยังไม่ได้มีศึกษาเชิงลึกเพื่อให้เข้าใจถึงผลกระทบของความชื้นที่มีผลต่อสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ในการทดลองหนึ่งภายใต้สภาพอากาศจริง พบว่า ความชื้นในอากาศมีผลต่ออุณหภูมิผิวผนัง อุณหภูมิอากาศ และอัตราการระบายอากาศภายในช่องอากาศของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (กนก, 2557) งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาวิธีการจำลอง และการวิเคราะห์ผลของความชื้นในอากาศ ด้วยโปรแกรม ANSYS fluent 14.0 โดยจะใช้แบบจำลองอากาศผสมไอน้ำ ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงลึกเพื่อให้เข้าใจพฤติกรรมของความชื้นที่มีผลต่ออุณหภูมิ และความเร็วอากาศในช่องอากาศระหว่างผนัง ที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ให้กับห้องพักอาศัย ผลการศึกษาจะทำให้เข้าใจถึงพฤติกรรม ทิศทางการไหลของอากาศ และสามารถนำผลการวิจัยไปพัฒนาต่อในการเปลี่ยนลักษณะทางกายภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ให้มีความเหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกันความร้อน

## 2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

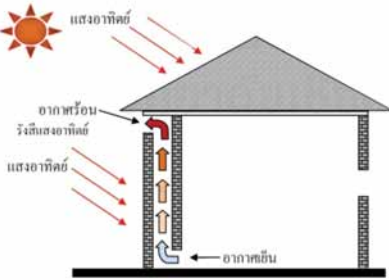
### 2.1 การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร

ลักษณะการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคารสามารถแบ่งรูปแบบการถ่ายเทความร้อนออกได้

เป็น 3 วิธี คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสีความร้อน โดยการเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิขึ้น การพาความร้อนแบบอิสระ (free convection) คือ การเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหล โดยที่ไม่มีกลไกใด ๆ ที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่ แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็จะเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของไหลเอง แรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหล เมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในของไหลขึ้น

### 2.2 ผนังทรอมบี (Trombe's wall) และผนังทรอมบีแบบปรับปรุง (Modified Trombe wall)

ผนังทรอมบี คือ ผนังที่ถูกออกแบบเพื่อป้องกันความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์ ประกอบด้วยผนัง 2 ชั้น ผนังชั้นนอกเป็นกระจกและผนังชั้นในเป็นผนังทึบ มีช่องอากาศระหว่างผนังโดยช่องอากาศมีหน้าที่ระบายอากาศ โดยอาศัยปรากฏการณ์ทางธรรมชาติที่อากาศร้อนจะลอยตัวสูงขึ้น เนื่องจากความหนาแน่นของอากาศลดลงและระบายออกทางช่องเปิดด้านบน ต่อมามีการปรับปรุงผนังทรอมบีให้เหมาะกับสภาพอากาศในเขตร้อนมากขึ้น โดยมีหลักการทำงานเหมือนเดิมแต่วัสดุภายนอกของผนังจะเปลี่ยนจากผนังกระจกเป็นผนังทึบ เพื่อป้องกันพลังงานความร้อนที่จะถ่ายเทเข้าสู่อาคารมากเกินไป และยังเป็น การเพิ่มประสิทธิภาพความเป็นฉนวนให้กับผนัง (อัศศิริสร์, 2552 ดัดแปลง) ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 หลักการทำงานผนังทროมบแบบปรับปรุงหรือปล่องรังสีดวงอาทิตย์

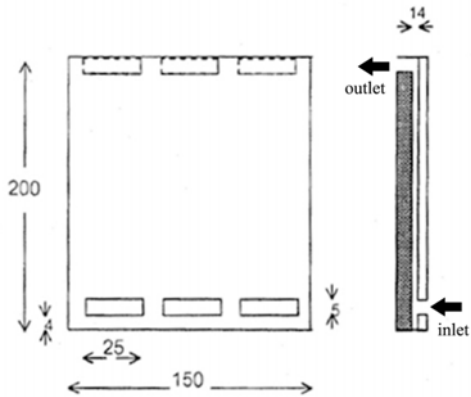
### 2.3 ปล่องรังสีดวงอาทิตย์กับความชื้น

จากการศึกษางานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับปล่องรังสีดวงอาทิตย์กับความชื้นโดย กนก นพวงศ์, 2557 ได้ทำการวิจัยศึกษาสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ร่วมกับการระเหยน้ำเพื่อลดความร้อนเข้าสู่อาคาร โดยแบ่งการทดลองเป็น 2 กรณี คือ ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ไม่ระเหยน้ำ โดยไม่มีอิทธิพลการระเหยน้ำ และผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ไม่ระเหยน้ำโดยได้รับอิทธิพลการระเหยน้ำ พบว่า ผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์วัสดุไม่ระเหยน้ำ สามารถลดความร้อนเข้าสู่อาคารได้ ซึ่งอุณหภูมิผิวผนังชั้นในมีอุณหภูมิต่ำกว่าผิวผนังชั้นนอก 9 องศาเซลเซียส เมื่อไม่มีแหล่งน้ำ และต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส เมื่อมีแหล่งน้ำ เนื่องจากอากาศบริเวณทางเข้าของช่องอากาศสัมผัสกับแหล่งน้ำ ทำให้อากาศบริเวณนั้นมีอุณหภูมิต่ำ และมีความชื้นสูงจึงสามารถระบายความร้อนด้วยการพาความร้อนได้มากขึ้น โดยมีผลต่ออัตราการระบายอากาศ โดยในกรณีที่ไม่มีแหล่งน้ำมีความเร็วลมในปล่อง 0.2–0.5 เมตรต่อวินาที ส่วนในกรณีที่มีแหล่งน้ำความเร็วลมในปล่องมีค่า 0.0 – 0.6 เมตรต่อวินาที

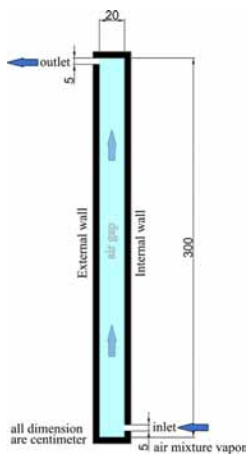
## 3. ระเบียบวิธีวิจัย

### 3.1 การเลือกขนาดของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ (studied case)

งานวิจัยนี้จะกำหนดลักษณะทางกายภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ให้เป็น ตัวแปรควบคุม โดยจะกำหนดจากการศึกษางานวิจัยก่อนหน้าที่ศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ปล่องรังสีดวงอาทิตย์กับผนังบ้าน พบว่า ขนาดของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความสูง 2.00 เมตร ขนาดช่องอากาศระหว่างผนัง 0.14 เมตร และช่องเปิดทางเข้าออกมีขนาด 0.05 เมตร จะให้อัตราการระบายอากาศได้สูงสุด จากการศึกษาลักษณะทางกายภาพของงานวิจัยที่ผ่านมา ผู้วิจัยจึงนำมากำหนดเป็นกรณีพื้นฐาน (base case) ของนิพนธ์ราชประดิษฐ์, 2543 ดังรูปที่ 2 แต่เนื่องจากขนาดผนังที่ใช้ทดลองจริงที่ผ่านมา ไม่ได้มาตรฐานสำหรับงานออกแบบผู้วิจัยจึงกำหนดขนาดของผนังใหม่ แต่ยังคงอัตราส่วนความกว้างของช่องอากาศต่อความสูงผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์โดยอัตราส่วนเดิมมีค่าเท่ากับ 13.8 : 1 เพื่อใช้ออกแบบผนังกรณีศึกษา (studied case) ลักษณะทางกายภาพของกรณีศึกษาจะมีขนาดผนังสูง 3.00 เมตร ช่องอากาศระหว่างผนังกว้าง 0.20 เมตร และช่องทางเข้าออกอากาศขนาด 0.05 เมตร โดยในช่องทางเข้าอากาศจะยกสูงจากพื้น 0.05 เมตร และทำการศึกษามัณฐานกรณีศึกษาเป็น 2 มิติ ดังรูปที่ 3



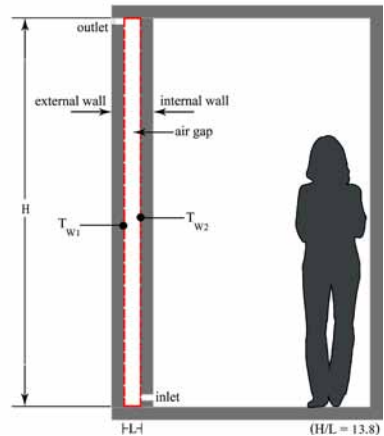
รูปที่ 2 ลักษณะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีแบบจำลองพื้นฐาน



รูปที่ 3 ลักษณะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีศึกษา (studied case)

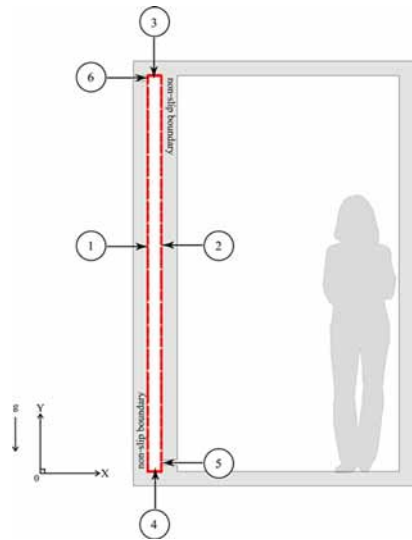
### 3.2 ลักษณะทางกายภาพของผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์

งานวิจัยจะกำหนดการศึกษาวิเคราะห์พฤติกรรมของอากาศที่เคลื่อนที่ภายในช่องอากาศระหว่างผนังโดยกำหนดขอบเขตการศึกษาจำลองเป็นการวิเคราะห์ผล 2 มิติ และจะศึกษาเฉพาะผิวผนังด้านในที่ติดกับช่องอากาศทั้ง 2 ด้านและช่องอากาศระหว่างผนังตั้งเส้นประ ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 ลักษณะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ในกรณีศึกษาสำหรับการศึกษาวิเคราะห์ผลในโปรแกรม

การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบสำหรับการวิเคราะห์ผลของโปรแกรม โดยสามารถแบ่งการวิเคราะห์ได้เป็น 2 รูปแบบ คือ การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน และการวิเคราะห์การไหลดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 เงื่อนไขที่ขอบในการวิเคราะห์ผล

การวิเคราะห์การถ่ายเทความร้อน

- ตำแหน่งที่ 1  $T = T_{W1}$
- ตำแหน่งที่ 2  $T = T_{W2}$
- ตำแหน่งที่ 3  $\frac{\partial T_{w3}}{\partial y} \Big|_{y=H} = 0$
- ตำแหน่งที่ 4  $\frac{\partial T_{w4}}{\partial y} \Big|_{y=0} = 0$
- ตำแหน่งที่ 5  $h_{inlet} = C p_a T_{room}$
- ตำแหน่งที่ 6  $h_{outlet} = C p_a T_{out}$

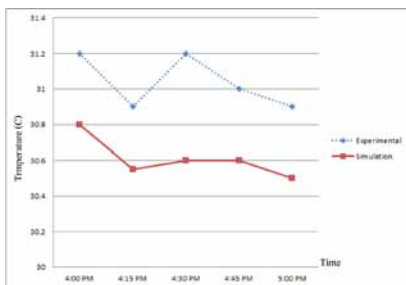
การวิเคราะห์การไหล

- ตำแหน่งที่ 5  $P_{inlet} = P_0$
- ตำแหน่งที่ 6  $P_{outlet} = P_0$

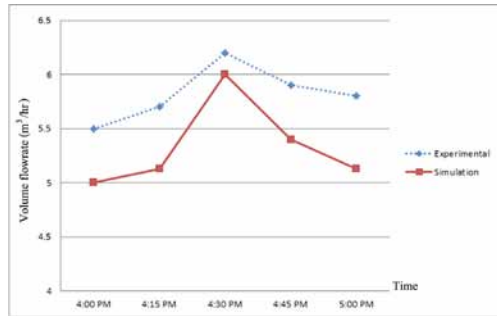
**4. อภิปรายและวิเคราะห์ผลการทดลอง**

**4.1 ผลการจำลองแบบจำลองในโปรแกรม ANSYS fluent 14.0**

การสร้างแบบจำลองในโปรแกรม จะสร้างแบบจำลองการวิเคราะห์ผลเป็น 2 มิติ และการกำหนดขนาดของ mesh ที่เหมาะสมสำหรับงาน โดยทำการศึกษากการวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดลองจริง (นินนาท, 2543) ในด้านอุณหภูมิ ดังรูปที่ 6 และอัตราการระบายอากาศดังรูปที่ 7 พบว่า การทดลองจริงกับโปรแกรมให้ผลที่น่าเชื่อถือได้ในช่วงเวลาเย็น 16.00-17.00 น.

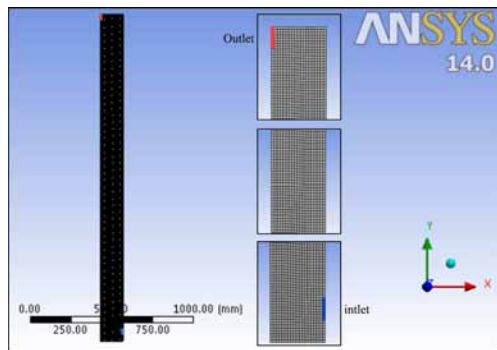


รูปที่ 6 ผลของอุณหภูมิของการทดลองจริงเปรียบเทียบกับ การจำลองด้วยโปรแกรม



รูปที่ 7 ผลของอัตราการระบายอากาศของการทดลองจริงเปรียบเทียบกับ การจำลองด้วยโปรแกรม

จากการจำลองผลของการวิเคราะห์ของโปรแกรมเปรียบเทียบกับผลของการทดลองจริงพบว่า ขนาด mesh ที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการวิเคราะห์ผลมีขนาด 5-15 มิลลิเมตร โดยกำหนดให้มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม เนื่องจากแบบจำลองมีรูปทรงที่ง่ายไม่ซับซ้อน ดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 รูปทรงและขนาดของ Mesh

**4.2 ผลการจำลองการศึกษาอิทธิพลของความชื้นที่มีผลต่อสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์**

การทดลองในส่วนนี้จะศึกษาอิทธิพลของความชื้นในอากาศ ที่มีผลต่อสมรรถนะปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยจะกำหนดอากาศชื้นให้เป็นของผสมระหว่างอากาศแห้งกับไอน้ำ โดยจากการศึกษาโปรแกรม ANSYS fluent 14.0 สามารถ

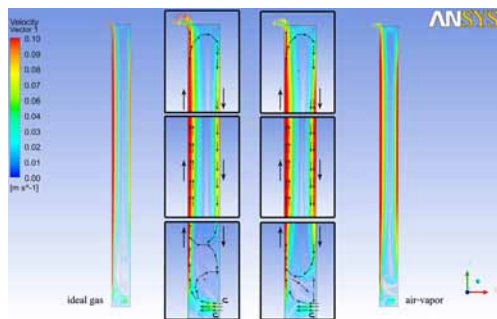


กำหนดค่าของของผสมได้โดยการกำหนดค่า mass fraction ของของผสมโดยสามารถหาได้ กำหนดความชื้นในอากาศได้จากตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** ค่าความชื้นในอากาศ

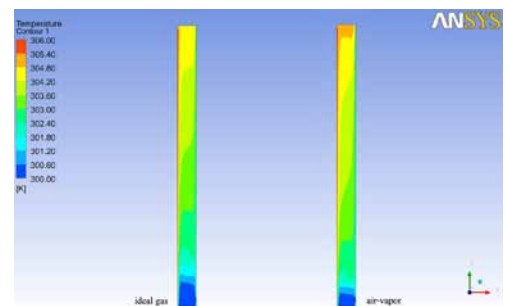
ค่าความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ไอน้ำ (H <sub>2</sub> O)	อากาศ (O <sub>2</sub> )
0 %	0	1
30 %	0.008	0.992
50 %	0.013	0.987
70 %	0.019	0.981
80 %	0.023	0.977

ผลจากการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม พบว่าความชื้นมีผลต่อสมรรถนะการป้องกันความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยมีผลต่อความเร็วการเคลื่อนที่ของอากาศภายในช่องอากาศ โดยอากาศแห้งจะให้ความเร็วเฉลี่ยอากาศภายในช่องอากาศได้ดีกว่าอากาศชื้น เพราะอากาศแห้งเป็นของไหลสถานะเดียวทำให้มีการเคลื่อนที่ และการลอยตัวที่ดีกว่าอากาศชื้น ส่งผลให้อากาศแห้งมีการระบายความร้อนได้ดีกว่าอากาศชื้น ดังรูปที่ 9

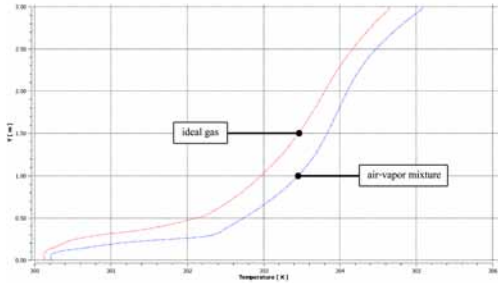


**รูปที่ 9** เปรียบเทียบทิศทางการไหลของอากาศแห้งและอากาศชื้น

ผลจากการจำลองการเคลื่อนที่ของอากาศจะแบ่งการวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 รูปแบบคือ การเคลื่อนที่ของอากาศแห้ง และอากาศที่มีความชื้นที่เป็นของผสม เนื่องจากการวิเคราะห์ของอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ตั้งแต่ 30%-80% ดังตารางที่ 1 ให้ผลรูปแบบการเคลื่อนที่ของอากาศและความเร็วเฉลี่ยของอากาศภายในช่องอากาศระหว่างผนังที่ใกล้เคียงกัน โดยผลสามารถวิเคราะห์ ดังรูปที่ 9 อากาศแห้งจะให้ความเร็วของอากาศเฉลี่ยภายในปล่องที่มากกว่าอากาศชื้น ทำให้มีการระบายอากาศผ่านช่องระหว่างผนังที่มากกว่า และทิศทางการไหลของอากาศชื้นจะมีการไหลของอากาศที่แปรปรวนมากกว่าอากาศแห้ง กล่าวคือทิศทางการไหลของอากาศชื้นจะมีทิศทางการไหลของอากาศที่มีการไหลวนย้อนกลับมากกว่า และมีอากาศตกลงมาเร็วและแรงกว่าอากาศแห้ง ทำให้อากาศร้อนที่อยู่ด้านบนไหลย้อนกลับลงมาด้านล่างบริเวณช่องทางเข้า (inlet) ส่งผลให้เกิดการผสมของอากาศ โดยอากาศบริเวณนั้นมีอุณหภูมิสูงขึ้น และเกิดการสะสมความร้อนภายในระบบผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายในช่องอากาศระหว่างผนัง ในกรณีของอากาศชื้นสูงกว่าอากาศแห้ง ดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11



**รูปที่ 10** เปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศแห้ง และอากาศชื้นในสภาวะคงที่



รูปที่ 11 เปรียบเทียบค่าอุณหภูมิอากาศที่เป็นก๊าซในอุดมคติ และอากาศที่มีความชื้น ณ กึ่งกลางปล่อง

## 5. สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

อากาศที่มีความชื้นมีอิทธิพลต่อสมรรถนะของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ โดยอากาศที่ชื้นมากจะทำให้ความเร็วเฉลี่ยของอากาศระหว่างผนังปล่องรังสีดวงอาทิตย์ที่ลดลง ส่งผลให้เกิดการระบายอากาศผ่านช่องอากาศที่ลดลง และมีการสะสมความร้อนภายในช่องอากาศที่มากขึ้น ดังนั้น การออกแบบการใช้งานผนังลักษณะนี้ จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงสภาพอากาศของอาคาร หรือบ้านพักอาศัยที่จะติดตั้ง ซึ่งการเพิ่มพลังงานความร้อนให้กับผนังชั้นนอกก็เป็นส่วนที่ช่วยเพิ่มความเร็วเฉลี่ยของอากาศในปล่องให้เพิ่มขึ้น ซึ่งผู้ออกแบบควรที่จะเข้าใจถึงพฤติกรรมมวลไหลของอากาศและทิศทางการติดตั้ง เพราะการติดตั้งใช้งานผนังชนิดนี้ควรอยู่ในทิศทางที่ได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์มากที่สุด เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการระบายอากาศให้กับปล่องรังสีดวงอาทิตย์ผ่านช่องอากาศระหว่างผนัง และยังเป็นเพิ่มสมรรถนะการทำงานของผนังชนิดนี้

## รายการอ้างอิง

- กนก นพวงศ์. (2557). *การศึกษาเชิงทดลองสมรรถนะทางความร้อนของปล่องรังสีดวงอาทิตย์ไม่ธรรมดาที่รวมกับการระเหยน้ำ*: มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ สาขาสถาปัตยกรรม. จงจิตรี หิรัญลาภ. (2520). *กระบวนการพลังงานรังสีอาทิตย์ในรูปแบบความร้อน*. กรุงเทพฯ: บริษัทสำนักพิมพ์ ดวงกลม จำกัด.
- นักสิทธิ์ คุ้มณาชัย. (2533). *การถ่ายเทความร้อน* (พิมพ์ครั้งที่ 3). กรุงเทพฯ:โครงการตำราเรียนสำนักพิมพ์ฟิลิกส์เซ็นเตอร์.
- นินนาท ราชประดิษฐ์. (2543). *สมรรถนะของปล่องระบายอากาศแสงอาทิตย์ในการใช้งานร่วมกับเครื่องปรับอากาศภายในอาคาร*. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- ภัทรวรรณ เอมกมล. (2557). *การออกแบบฝ้าเพดานเพิ่มการระบายอากาศแบบบังคับเพื่อลดการถ่ายเทความร้อนในพื้นที่ชั้นบนของพื้นที่อาศัย*. ปทุมธานี: คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- อัคคีภัทร์ ลีระเศรษฐากร. (2552). *การทดสอบสมรรถนะของผนังทอมบ์ผิวกระจกที่ติดตั้งกับบ้านปรับอากาศ*. เชียงใหม่: วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- Zhigang , L. & Per, H. (2005). *CFD Simulations for water evaporation and airflow movement in swimming baths*. Institutet for bygningsteknik: Aalborg University.

# การศึกษาการเลือกใช้ระบบเพื่อการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่

## The Study of Selection Criteria of Construction Systems for Bamboo Building

ไชยภพ เกตุเพชร<sup>1</sup> และ ผศ.ดร. สุปรีดี ฤทธิรงค์<sup>2</sup>

Chaiyaphop Katepetch<sup>1</sup> and Asst. Prof. Supreedee Rittironk, Ph.D.<sup>2</sup>

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

E-mail: k.chaiyaphop@hotmail.com<sup>1</sup>, supreedee@ap.tu.ac.th<sup>2</sup>

### บทคัดย่อ

ไม้ไผ่เป็นไม้ชนิดหนึ่งที่อยู่กับงานก่อสร้างของคนไทยและชาติพันธุ์แถบตะวันออกเฉียงมาช้านาน นับตั้งแต่อดีตมาจนถึงปัจจุบันตั้งแต่เรือนอยู่อาศัยขนาดเล็กจนถึงตึกสูงระฟ้า ถึงแม้ว่ารูปแบบที่นำไปใช้อาจมีความสำคัญ ลักษณะและวิธีการที่แตกต่างกันออกไปแต่ไม้ไผ่ยังคงมีบทบาทสำคัญเสมอมาปัจจุบันไม้ไผ่เป็นวัสดุที่ได้รับความสนใจจากนักออกแบบทั่วโลก ด้วยคุณสมบัติวงจรชีวิตของไม้ไผ่ที่เติบโตอย่างรวดเร็วสามารถปลูกทดแทนหมุนเวียนได้ เป็นวัสดุที่ยั่งยืนและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย รวมกับความตระหนักถึงภาวะโลกร้อนของสังคมโลกในปัจจุบัน ทำให้ไม้ไผ่ถูกนำมาใช้ในงานออกแบบและงานสถาปัตยกรรมมากขึ้น เกิดการเปลี่ยนสถานะของไม้ไผ่จากเดิมที่เป็นแค่วัสดุพื้นถิ่นไปสู่วัสดุตกแต่งและก่อสร้างทางสถาปัตยกรรมที่สังคมยอมรับมากขึ้น

### Abstract

Bamboo is one of the famous constructing and decorating plants in Thailand and oriental countries for a long time. The using of bamboo for construction and decoration is still difference among the various countries and culture. Nowadays, bamboo received more and more attention from designer around the world due to the short life cycle and fast growing rate in comparing with other constructing plants such as Teak, Oak and etc. Therefore, the using of bamboo is exhibited the less effect on environmental problems. The more concerning on global warming and greenhouse effect leading to the more utilizing of bamboo. Recently, bamboo is not only a decoration material but also applying as material for construction structure.

**คำสำคัญ (Keywords):** ไม้ไผ่ (Bamboo), สิ่งแวดล้อม (Environmental Problems), ภาวะโลกร้อน (Global Warming), ปฏิกิริยาเรือนกระจก (Greenhouse Effect)

## 1. บทนำ

ระบบการก่อสร้างอาคารสถาปัตยกรรมไม้ไผ่ของประเทศไทยในปัจจุบันมักจะเป็น 2 ระบบใหญ่ ๆ คือ ระบบการก่อสร้างแบบในที่ (On-site Construction) และระบบการก่อสร้างกึ่งสำเร็จรูป (Pre-Fabricated Construction) งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการเปรียบเทียบระบบการก่อสร้างทั้งสองระบบว่า ระบบการก่อสร้างแบบใดที่จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการจัดการกับปัญหาและปัจจัยเสี่ยงต่าง ๆ ที่จะเกิดขึ้นในงานก่อสร้าง รวมถึงส่งเสริมระบบการทำงานในการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่ได้ดีที่สุด โดยทำการสำรวจอาคารไม้ไผ่ในประเทศไทยที่ก่อสร้างด้วยระบบการก่อสร้างแบบในที่และระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปแล้วทำการเลือกอาคารตัวอย่าง 4 อาคาร (2 อาคารต่อ 1 ระบบการก่อสร้าง) เพื่อใช้เก็บข้อมูลในการก่อสร้าง ได้แก่ งบประมาณในการก่อสร้างระยะเวลาในการก่อสร้าง และคุณภาพงานก่อสร้าง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกันเพื่อทำการประเมินและวิเคราะห์อาคารไม้ไผ่ทั้ง 4 หลัง เพื่อที่จะช่วยในการพิสูจน์ข้อเท็จจริงในส่วนของระบบการก่อสร้างทั้งสองระบบว่า ระบบการก่อสร้างแบบใดที่จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการจัดการกับปัญหาและข้อผิดพลาดต่าง ๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นในการก่อสร้าง รวมถึงส่งเสริมระบบการทำงานในการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่ได้ดีที่สุดและเสนอเป็นแนวทางสำหรับการเลือกใช้ระบบการก่อสร้างที่เหมาะสมกับสถาปัตยกรรมอาคารไม้ไผ่ในรูปแบบต่าง ๆ ต่อไป

### 1.1 ระบบการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่ในประเทศไทย

1.1.1 ระบบการก่อสร้างแบบในที่  
เป็นการก่อสร้างในพื้นที่ก่อสร้าง จะต้องมีการ

เตรียมพื้นที่เก็บไม้ไผ่การทำความสะดวกผิวลำไม้ไผ่ การตัดโค้งอาจรวมถึงกระบวนการถนอมไม้ไผ่ด้วย เพื่อใช้ในส่วนประกอบขององค์อาคาร โดยเกือบทุกกระบวนการจะเกิดขึ้นที่พื้นที่ก่อสร้าง ซึ่งเป็นวิธีการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่ซึ่งเป็นที่นิยมในประเทศไทย



รูปที่ 1 การเตรียมงานก่อสร้างอาคารไม้ไผ่แบบในที่



รูปที่ 2 การก่อสร้างอาคารไม้ไผ่แบบในที่

#### 1.1.2 ระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป

การก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป คือ การเตรียม หรือประกอบสำเร็จของอาคารไม้ไผ่เป็นการเตรียมไม้ไผ่จากโรงงานหรือผลิตจากโรงงาน ครอบคลุมถึงกระบวนการถนอมไม้ไผ่ การทำความสะอาดผิวไม้ไผ่ การตัดโค้ง การเตรียมชุดโครงสร้าง และชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เป็นส่วนประกอบ

ขององค์อาคาร เช่น เสา คาน พื้นสำเร็จรูป ผนัง หลังคา ฝ้าเพดาน เป็นต้น แล้วมาทำการติดตั้งที่พื้นที่ก่อสร้าง



รูปที่ 3 การเตรียมงานก่อสร้างอาคารไม้เฟรมแบบ กึ่งสำเร็จรูป

กำหนดจากจำนวนไม้เฟรมทั้งหมดที่ใช้ในโครงการ ต่อพื้นที่อาคาร โดยถ้าเป็นอาคารศาลาไม้เฟรมที่ใช้ ไม้เฟรมน้อยกว่า 5 ลำ/ตร.ม. ให้ถือว่าเป็นโครงสร้าง แบบง่าย แต่ถ้ามีการใช้ไม้เฟรมมากกว่าจำนวน ดังกล่าวขึ้นไปให้ถือว่าเป็นโครงสร้างแบบซับซ้อน โดยในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกอาคารประเภท ศาลาไม้เฟรมลักษณะเปิดโล่งทุกด้าน มาใช้ในการ เก็บข้อมูลวิจัยเพราะถ้าเป็นอาคารไม้เฟรมที่มี ลักษณะปิดทึบหรือมีผนังกันห้องระบบการ ก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปจะได้เปรียบกว่าอย่าง ชัดเจน ซึ่งอาจส่งผลให้ผลการเปรียบเทียบไม่ ยุติธรรมกับระบบการก่อสร้างแบบในที หลังจากนั้น จึงคัดเลือกอาคารที่เข้ากับเกณฑ์ที่กำหนดทั้งหมด เป็นกรณีศึกษาในการวิจัย



รูปที่ 4 การก่อสร้างอาคารไม้เฟรมแบบกึ่งสำเร็จรูป



รูปที่ 5 อาคารไม้เฟรมโครงสร้างแบบง่าย

## 2. อาคารไม้เฟรมที่ใช้ในการเก็บข้อมูลวิจัย

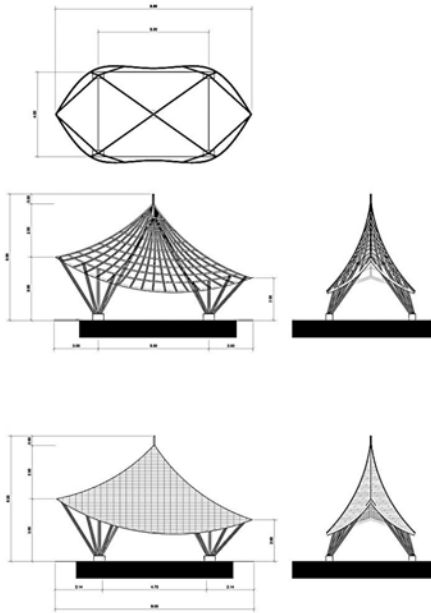
ในการเลือกโครงการที่จะทำการเข้าเก็บ ข้อมูลการก่อสร้างนั้นผู้วิจัยได้พิจารณาเลือก โครงการก่อสร้างอาคารไม้เฟรมที่ก่อสร้างด้วยระบบ การก่อสร้างแบบในทีและระบบการก่อสร้างแบบ กึ่งสำเร็จรูป ซึ่งต้องมีทั้งรูปแบบโครงสร้างแบบ ง่ายและโครงสร้างแบบซับซ้อนมีขนาดพื้นที่ใช้งาน และรูปแบบของอาคารที่ใกล้เคียงกัน โดยเกณฑ์ ในการจำแนกลักษณะของศาลาไม้เฟรมนั้น ผู้วิจัยได้



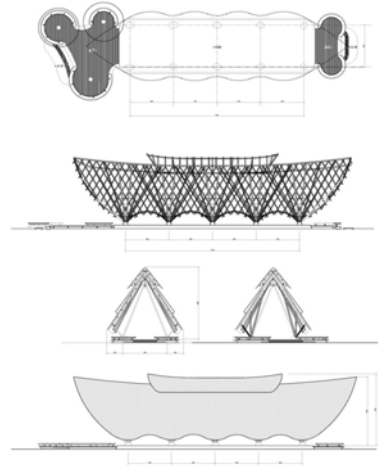
รูปที่ 6 อาคารไม้เฟรมโครงสร้างแบบซับซ้อน

**2.1 อาคารไม้ไผ่จากระบบการก่อสร้างแบบในที่**

สำหรับอาคารไม้ไผ่ที่ก่อสร้างด้วยระบบการก่อสร้างแบบในที่ แบ่งเป็น 2 โครงการ โดยโครงการที่ 1 เป็นอาคารไม้ไผ่ที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบง่าย 1 อาคาร ลักษณะการใช้งานเป็นศาลาไม้ไผ่ พื้นที่ใช้สอย 35 ตร.ม. โครงการที่ 2 เป็นอาคารไม้ไผ่ที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบซับซ้อน 1 หลัง ลักษณะการใช้งานเป็นที่จัดแสดงงานและกิจกรรมต่าง ๆ ตามแต่วัตถุประสงค์ พื้นที่ใช้สอย 144 ตร.ม.



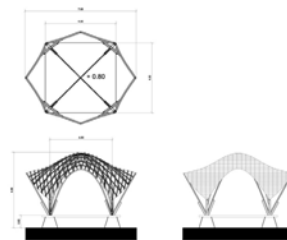
รูปที่ 7 อาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบง่ายจากระบบการก่อสร้างแบบในที่



รูปที่ 8 อาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบซับซ้อนจากระบบการก่อสร้างแบบในที่

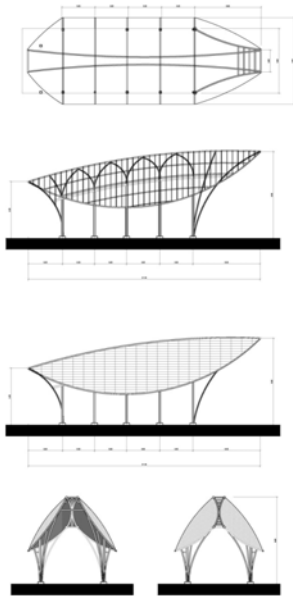
**2.2 อาคารไม้ไผ่จากระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป**

อาคารไม้ไผ่ที่ก่อสร้างด้วยระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป แบ่งเป็น 2 โครงการ โดยโครงการที่ 1 เป็นอาคารไม้ไผ่ที่มีรูปแบบโครงสร้างแบบง่าย 1 อาคาร ลักษณะการใช้งานเป็นศาลาไม้ไผ่ พื้นที่ใช้สอย 32 ตร.ม. โครงการที่ 2 เป็นอาคารไม้ไผ่รูปแบบโครงสร้างแบบซับซ้อน 1 อาคาร ลักษณะการใช้งานเป็นพื้นที่ต้อนรับแขกของรีสอร์ท พื้นที่ใช้สอย 126 ตร.ม.



รูปที่ 9 อาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบง่ายจากระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป

ก่อสร้าง และคุณภาพ



รูปที่ 10 อาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบซับซ้อนจากระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป

ตารางที่ 1 รายละเอียดอาคารศาลาไม้ไผ่ 4 อาคาร

ลำดับ	ระบบการก่อสร้าง	รูปแบบโครงสร้าง	ประเภทของอาคาร	พื้นที่ใช้สอย
1	ระบบการก่อสร้างแบบในที่	โครงสร้างแบบง่าย	ศาลา	35 ตร.ม.
2	ระบบการก่อสร้างแบบในที่	โครงสร้างแบบซับซ้อน	อาคารอเนกประสงค์	144 ตร.ม.
3	ระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป	โครงสร้างแบบง่าย	ศาลา	32 ตร.ม.
4	ระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป	โครงสร้างแบบซับซ้อน	อาคารคันทัน	126 ตร.ม.

3. การเปรียบเทียบข้อมูลและการวัดผล

อาคารไม้ไผ่ที่ใช้ในการวิจัยในครั้งนี้มีทั้งสิ้นจำนวน 4 อาคาร ประกอบไปด้วย อาคารไม้ไผ่ที่ก่อสร้างด้วยระบบการก่อสร้างแบบในที่ จำนวน 2 อาคาร (โครงสร้างแบบง่าย และโครงสร้างแบบซับซ้อน) และอาคารไม้ไผ่ที่ก่อสร้างด้วยระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป จำนวน 2 อาคาร (โครงสร้างแบบง่าย และโครงสร้างแบบซับซ้อน) ซึ่งจะนำผลการเก็บข้อมูลของอาคารไม้ไผ่ทั้ง 4 อาคาร จาก 2 ระบบการก่อสร้าง แยกเปรียบเทียบในชนิดของโครงสร้างแบบเดียวกัน เพื่อหาผลการเปรียบเทียบทั้งด้านต้นทุน ระยะเวลาการ

3.1 ระยะเวลาในการก่อสร้าง

จากการเปรียบเทียบข้อมูล สรุปได้ว่า เมื่อเปรียบเทียบต่อระบบแล้ว กรณีอาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบง่าย ระบบการก่อสร้างแบบในที่จะสามารถสร้างได้เร็วกว่าระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปในปริมาณแรงงานที่เท่ากัน

ส่วนในกรณีอาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบซับซ้อนระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปจะสามารถสร้างได้เร็วกว่าระบบการก่อสร้างแบบในที่ในปริมาณแรงงานที่เท่ากัน เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแรงงานในการทำงานหนึ่งวันพบว่า แรงงานที่ทำงานด้วยระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปสามารถทำงานได้มากกว่าแรงงานในระบบการก่อสร้างแบบในที่ และยังใช้จำนวนแรงงานทั้งหมดในการก่อสร้างน้อยกว่าอีกด้วย

3.2 งบประมาณในการก่อสร้าง

ด้านต้นทุนการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่ เมื่อเปรียบเทียบต่อระบบแล้ว กรณีอาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบง่าย ระบบการก่อสร้างแบบในที่จะใช้งบประมาณในการก่อสร้างน้อยกว่าระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป ส่วนอาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบซับซ้อนการก่อสร้างด้วยระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปจะใช้งบประมาณน้อยกว่าการก่อสร้างแบบในที่ ในส่วนของราคาค่าก่อสร้างต่อพื้นที่อาคาร พบว่า กรณีเป็นอาคารโครงสร้างแบบง่าย ราคาค่าก่อสร้างต่อพื้นที่ของระบบการก่อสร้างแบบในที่จะถูกกว่าระบบแบบกึ่งสำเร็จรูป แต่ถ้าเป็นรูปแบบอาคารโครงสร้างแบบซับซ้อน ราคาค่าก่อสร้างต่อพื้นที่ของระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปจะถูกกว่าระบบในที่สอดคล้องกับข้อมูลงบประมาณในการก่อสร้าง

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในการก่อสร้างอาคารศาลาไม้ไฟโครงสร้างแบบง่าย

ระบบการก่อสร้าง	รูปแบบโครงสร้างอาคาร	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	งบประมาณ		ระยะเวลา			คุณภาพ	
			ราคารวม (บาท)	ราคาต่อพื้นที่ (บาท/ตร.ม.)	ความเร่งมือในการก่อสร้าง (ตร.ม./วัน)	ปริมาณแรงงานที่ใช้ (คน/วัน)	ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแรงงาน (ตร.ม./คน.วัน)	จำนวนจุดบกพร่อง (จุด)	ระยะเวลาในการเกิดจุดบกพร่องในอาคาร (วัน/จุด)
ระบบการก่อสร้างในที	อาคารไม้ไฟ โครงสร้างแบบง่าย	35	33,595	959.86	1.75	49	0.71	10	53.3
ระบบการก่อสร้างกึ่งสำเร็จรูป	อาคารไม้ไฟ โครงสร้างแบบง่าย	32	104,788	3,274.63	1.33	68	0.47	29	24.62

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบในการก่อสร้างอาคารศาลาไม้ไฟโครงสร้างแบบซับซ้อน

ระบบการก่อสร้าง	รูปแบบโครงสร้างอาคาร	พื้นที่อาคาร (ตร.ม.)	งบประมาณ		ระยะเวลา			คุณภาพ	
			ราคารวม (บาท)	ราคาต่อพื้นที่ (บาท/ตร.ม.)	ความเร่งมือในการก่อสร้าง (ตร.ม./วัน)	ปริมาณแรงงานที่ใช้ (คน/วัน)	ประสิทธิภาพเฉลี่ยของแรงงาน (ตร.ม./คน.วัน)	จำนวนจุดบกพร่อง (จุด)	ระยะเวลาในการเกิดจุดบกพร่องในอาคาร (วัน/จุด)
ระบบการก่อสร้างในที	อาคารไม้ไฟ โครงสร้างแบบซับซ้อน	144	1,273,316	8,842.47	3.12	225	0.64	27	14.07
ระบบการก่อสร้างกึ่งสำเร็จรูป	อาคารไม้ไฟ โครงสร้างแบบซับซ้อน	126	460,788	3,696.57	5.25	103	1.22	48	7.44

#### 4. การอภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

สำหรับผลการวิจัยในครั้งนี้ อาคารไม้ไฟที่ก่อสร้างด้วยระบบในทีและกึ่งสำเร็จรูป รูปแบบโครงสร้างแบบง่ายและแบบซับซ้อนนั้น พบว่าแต่ละระบบแต่ละรูปแบบโครงสร้าง มีข้อดีข้อเสียต่างกันไป

##### 4.1 ด้านงบประมาณ

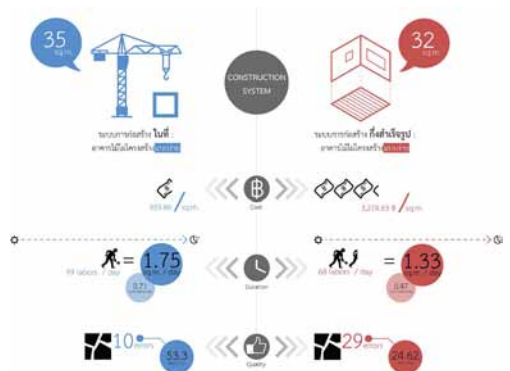
ด้านงบประมาณในการก่อสร้าง ถ้าเป็นอาคารไม้ไฟโครงสร้างแบบง่าย ระบบการก่อสร้างแบบในทีจะใช้งบประมาณในการก่อสร้างน้อยกว่าการก่อสร้างด้วยระบบกึ่งสำเร็จรูป แต่ถ้าเป็นอาคารไม้ไฟโครงสร้างแบบซับซ้อน ระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปจะใช้งบประมาณในการก่อสร้างน้อยกว่าการก่อสร้างด้วยระบบในที

##### 4.2 ด้านระยะเวลา

ด้านระยะเวลาในการก่อสร้าง ถ้าเป็นอาคารไม้ไฟโครงสร้างแบบง่าย ระบบการก่อสร้างแบบในทีจะสามารถสร้างได้โดยใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุด แต่ถ้าเป็นอาคารไม้ไฟโครงสร้างแบบซับซ้อน ระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูปจะสามารถสร้างโดยใช้ระยะเวลาที่น้อยที่สุด

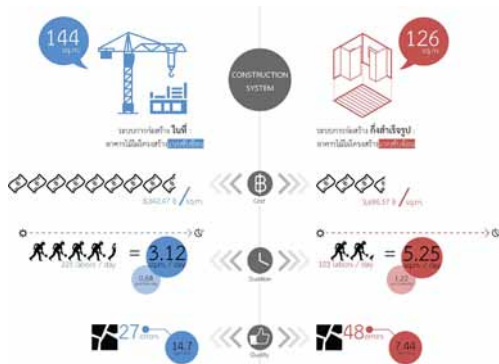
##### 4.3 ด้านคุณภาพ

ด้านคุณภาพงานก่อสร้าง พบว่า อาคารไม้ไฟที่ก่อสร้างด้วยระบบการก่อสร้างแบบในทีมีจุดบกพร่องเกิดขึ้นภายในอาคารน้อยกว่าอาคารไม้ไฟที่ก่อสร้างด้วยระบบสำเร็จรูป และมีระยะเวลาเฉลี่ยในการเกิดจุดบกพร่องในอาคารที่ยาวนานกว่าอาคารทุกรูปแบบโครงสร้างจากระบบการก่อสร้างแบบกึ่งสำเร็จรูป



รูปที่ 11 แผนภาพเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบการก่อสร้างแบบในทีและแบบกึ่งสำเร็จรูปในการก่อสร้างอาคารศาลาไม้ไฟโครงสร้างแบบง่าย





รูปที่ 12 แผนภาพเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบการก่อสร้างแบบในที่และแบบกึ่งสำเร็จรูปในการก่อสร้างอาคารศาลาไม้ไผ่ โครงสร้างแบบซับซ้อน

#### 4.4 ข้อเสนอแนะจากงานวิจัย

##### 4.4.1 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ประกอบการ

สำหรับผู้ประกอบการที่มีความสนใจเลือกระบบการก่อสร้างที่เหมาะสมกับรูปแบบของอาคารไม้ไผ่นั้น ควรพิจารณาความเหมาะสมในด้านงบประมาณ ระยะเวลาในการก่อสร้าง และคุณภาพของอาคารไม้ไผ่ที่ต้องการก่อสร้าง เนื่องจากอาคารไม้ไผ่ที่ก่อสร้างในแต่ระบบการก่อสร้างมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกันไปผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะให้ผู้ประกอบการที่ต้องการสร้างอาคารไม้ไผ่ โครงสร้างแบบง่าย เลือกระบบการก่อสร้างแบบในที่ในการก่อสร้างจะเหมาะสมกว่าส่วนอาคารไม้ไผ่โครงสร้างแบบซับซ้อนสำหรับตารางเปรียบเทียบงบประมาณ ระยะเวลา และคุณภาพของงานก่อสร้าง

##### 4.4.2 ข้อเสนอแนะสำหรับผู้ประกอบการ

ขอแนะนำสำหรับการทำวิจัยเรื่องการศึกษาการเลือกใช้ระบบเพื่อการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่โดยวิธีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่แบบในที่และแบบกึ่งสำเร็จรูปในครั้งต่อไปนั้น ขอแนะนำว่าในเรื่อง

ของระบบการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่ยังมีอีกหลายแง่มุมที่น่าสนใจ ยังมีอีกหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่กับกระบวนการและขั้นตอนในการก่อสร้างซึ่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่วิธีการถนอมรักษาไม้ไผ่ที่แตกต่างกันส่งผลกับอาคารไม้ไผ่อย่างไรบ้างในเรื่องของจุดบกพร่องที่ตรวจพบภายในอาคาร อีกทั้งขนาดขององค์กรหรือผู้ประกอบการที่เหมาะสมกับแต่ละระบบปัจจัยเหล่านี้ก็อาจเป็นตัวแปรที่ทำให้การวิจัยได้ผลลัพธ์ที่แตกต่างไปได้ การทำวิจัยครั้งต่อไปอาจเปรียบเทียบกับส่วนอื่น วิธีการหรือปัจจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องดังที่ได้กล่าวมาแล้ว รวมทั้งงานวิจัยในครั้งนี้อาจสรุปถึงภาพรวมของวิธีการเลือกใช้ระบบเพื่อการก่อสร้างอาคารไม้ไผ่ทั้งหมดได้อย่างครอบคลุมมากยิ่งขึ้น

#### รายการอ้างอิง

ชุตินถนพันธ์ เสียงสุทธิวงศ์. (2556). การศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุไม้ประเภทที่ทำจากพันธุ์ไม้ไทยเพื่อใช้ออกแบบคานไม้สำหรับอาคารสาธารณะขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.

ฐิตยา สารฤทธิ์. (2553). การออกแบบบ้านเดี่ยวขนาดเล็กด้วยระบบโมดูลาร์ที่เหมาะสมสำหรับกรุงเทพมหานคร. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง.

ตระกูล อร่ามรักษ์. (2526). การออกแบบโครงสร้างไม้ (Timber structure design). มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, คณะวิศวกรรมศาสตร์.

- ทรงเกียรติ เที้ยรทรัพย์. (2545). *เทคนิคการก่อสร้างอาคารด้วยไม้ไฟ การออกแบบและสร้างอาคารตัวอย่าง ณ พื้นที่โครงการพัฒนา ดอยตุง อ.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์.
- รุ่งคุณ ราศีนวนล. (2550). *การพัฒนาวัสดุหลังคาและผนังจากไม้ไฟเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ในการก่อสร้าง*. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
- Bahamon, A. (2002). *Prefab: adaptable, modular, dismountable, light, mobile architecture*. New York: Hearst Book Intl.
- Chariar, V. M. (2009). *Fabrication and testing of jute reinforced engineered bamboo structural elements*. Centre for Rural Development and Technology Indian Institute of Technology Delhi.
- De Vries, S. K. (2002). *Bamboo construction technology for housing in bangladesh*. Eindhoven University of Technology.
- Elizabeth, L. (Ed.) & Adams, C. (Ed.). (2000). *Alternative construction: contemporary natural building methods*. Hoboken, NJ: Wiley.
- Hidalgo-Lopez, O. (2003). *Bamboo: The gift of the god. Bogotá, Colombia S.A.:* The Author.
- Janssen, J. J. A. (2000). *Designing and building with bamboo*. Technical University of Eindhoven.
- Lugt, P. V. D. (2008). *Design interventions for stimulating bamboo commercialization: Dutch design meets bamboo as a replicable model*. Delft University of Technology.
- Velez, S., Vegesack, A. V. & Kries, M. (2000). *Grow your own house: Simon velez and bamboo architecture*. Vitra Design Museum.
- Velez, S. (2004). *New bamboo guadua, the vegetable steel*. Vitra Design Museum/ZERI, Geneve.
- Wong, L. (2006). *U.S. Bamboo house of the future: Standardizing ecological living*. Massachusetts Institute of Technology (MIT).
- Yoshikawa, I. (1997). *Building with bamboo, a handbook*. Japan: Graphic-sha.

แนวทางการบริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรมรีสอร์ท  
ให้ได้มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน  
Facility Management Guideline for Resort Hotel  
to Achieve ASEAN Green Hotel Standard

กนกพร อ่องอนันตพงศ์<sup>1</sup> และ รศ. อวิรุทธ์ ศรีสุธาพรณ<sup>2</sup>  
Kanokporn Onganantapong<sup>1</sup> and Assoc. Prof. Awiroot Srisutapan<sup>2</sup>  
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์  
E-mail: imkanokporn@gmail.com<sup>1</sup>, awiroot@ap.tu.ac.th<sup>2</sup>

#### บทคัดย่อ

ประเทศสมาชิกอาเซียน ได้ร่วมมือกำหนดแผนยุทธศาสตร์การท่องเที่ยวอาเซียนเพื่อยกระดับมาตรฐานการท่องเที่ยวของแต่ละประเทศให้มีความใกล้เคียงกัน โดยกำหนดมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนเป็นมาตรฐานให้แก่ผู้ประกอบการธุรกิจโรงแรมตระหนักถึงการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นการสร้างจุดขายและช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานแก่ผู้ประกอบการ งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางการบริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรมรีสอร์ทให้ได้มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนและเสนอแนะแนวทางการใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่มีความเหมาะสมในการลงทุนปรับปรุงโรงแรมรีสอร์ท โรงแรมรีสอร์ทที่ได้รับมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน ซึ่งตั้งอยู่ในจังหวัดภูเก็ตและเกาะสมุย จังหวัดสุราษฎร์ธานี จะใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการเก็บข้อมูลเชิงคุณภาพโดยการสัมภาษณ์ตัวแทนผู้ประกอบการ เพื่อนำมาวิเคราะห์แนวทางการบริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรมรีสอร์ทตามมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนและวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงด้านพลังงานโรงแรมรีสอร์ทกรณีศึกษาโดยใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่มีความเหมาะสมต่อการลงทุน ด้วยการศึกษาจากระยะเวลาคืนทุน ผลการวิจัยพบว่า โรงแรมรีสอร์ทกลุ่มตัวอย่างที่มีการบริหารทรัพยากรกายภาพตามมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน ใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงาน ได้แก่ ระบบไฟฟ้าแสงสว่างใช้หลอดไฟประหยัดพลังงานแอลอีดี ระบบปรับอากาศใช้การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์และระบบทำน้ำร้อนใช้ฮีทปั๊มเพื่อลดการใช้พลังงาน โดยส่วนใหญ่ระยะเวลาคืนทุนเฉลี่ยประมาณ 2-3 ปี และเมื่อนำแนวทางข้างต้นมาปรับปรุงโรงแรมรีสอร์ท กรณีศึกษาพบว่า มีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

#### Abstract

The ten ASEAN member countries have considered the standardize of tourism service essential for helping ASEAN to be a quality single destination. One of the six ASEAN Tourism Standard is Green hotel which is environmentally friendly and adopts energy conservation measures. These hotels benefit by saving money while doing less harm to environment. This research

presents on how to utilize the facility management and resources to the ASEAN green hotel standard includes the investment of suitable technology for energy saving. This research will study and use the program implemented to demonstrate its commitment to environment excellence of green hotel in Phuket province and Samui Island, Suratthani province. An interview method with the representative of those green hotels has been used to collect qualitative information in order to develop the implementation of the most suitable environmental friendly program especially energy saving program of each resort hotels that are appropriate to the return of investment. The result shows that the target resort hotels have implemented the green hotel standard program and also used energy and water saving technology such as using LED light bulb in electricity system, installing variable speed drive for air conditioning system and using heat pump in hot water system. Most of them claimed that a payback period returns within 2-3 years, and the modification method is worth for investment.

**คำสำคัญ (Keywords):** โรงแรมสีเขียว (Green Hotel), การบริหารทรัพยากรกายภาพ (Facility Management), ประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน (ASEAN Economic Community)

## 1. บทนำ

### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนเป็นมาตรฐานที่ประเทศสมาชิกอาเซียนกำหนดขึ้นเพื่อส่งเสริมให้ผู้ประกอบการธุรกิจโรงแรมตระหนักถึงการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม อีกทั้งยังช่วยให้ผู้ประกอบการสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานและใช้พลังงานได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยจากการจัดลำดับสภาพปัญหาของธุรกิจโรงแรมและรีสอร์ท จากกลุ่มตัวอย่างจำนวน 566 กิจการ พบว่า ปัญหาด้านต้นทุนและค่าใช้จ่ายด้านพลังงานเป็นปัญหาหลักที่ผู้ประกอบการให้ความสำคัญมากที่สุด สามารถสรุปประเด็นปัญหาที่มีผลต่อการใช้พลังงานของโรงแรมและรีสอร์ทจากน้อยไปมาก ได้แก่ ปัญหาหรือความสูญเสียในระบบมอเตอร์ไฟฟ้า ปัญหาหรือความสูญเสียจากการใช้เชื้อเพลิง ปัญหาหรือความสูญเสียจากนโยบายจัดการพลังงาน ปัญหาหรือความ

สูญเสียจากระบบทำความเย็นและระบบปรับอากาศ ปัญหาหรือความสูญเสียจากระบบไฟฟ้าแสงสว่างและอุปกรณ์อื่น ๆ และปัญหาหรือความสูญเสียจากระบบทำความร้อน (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น, 2553) เพราะฉะนั้น หากโรงแรมรีสอร์ทดำเนินการตามมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนและนำหลักการและแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารทรัพยากรกายภาพมาประยุกต์ใช้ร่วมกันสามารถช่วยในการจัดการเรื่องต้นทุนและค่าใช้จ่ายจากการดำเนินงานด้านพลังงานเหล่านี้ได้

ทั้งนี้ สมพงษ์ โสทะรักษ์ (2556) ได้ศึกษาแนวทางการพัฒนาโรงแรมระดับ 3 ดาวสู่มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน พบว่า โรงแรมยังดำเนินการไม่ครบตามข้อกำหนดมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน โดยหัวข้อที่โรงแรมยังไม่ได้ดำเนินการเป็นหัวข้อด้านประสิทธิภาพการใช้พลังงาน เนื่องจากการลดการใช้พลังงานจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีซึ่งมีราคาสูง ทำให้ต้นทุนเหล่านี้เป็น

อุปสรรคต่อแนวคิดเพื่อสิ่งแวดล้อม (หงสกุล, 2555) ดังนั้น จึงควรพิจารณาว่าเทคโนโลยีมีความคุ้มค่าแก่การลงทุนมากน้อยเพียงใดเมื่อเปรียบเทียบกับผลที่จะตามมาจากการลงทุน โดยนอกเหนือจากการประหยัดพลังงานและลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในระยะยาวแล้ว หากโรงแรมได้รับมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนจะส่งผลดีในแง่ของการตลาด การประชาสัมพันธ์ ชื่อเสียง สร้างความประทับใจต่อลูกค้าและเป็นการยกระดับการดำเนินธุรกิจ อีกทั้งยังเป็นการสร้างจุดขายให้แก่โรงแรมรีสอร์ตและสอดคล้องกับความรับผิดชอบต่อสังคมอีกด้วย ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาแนวทางการบริหารทรัพยากรกายภาพของโรงแรมรีสอร์ตให้ได้มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน โดยเฉพาะแนวทางการจัดการด้านพลังงานว่าควรใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานใดที่มีความเหมาะสมแก่การลงทุน ด้วยการพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุน โดยการรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่ใช้ในโรงแรมรีสอร์ต รวมถึงแนวคิดเกี่ยวกับการบริหารทรัพยากรกายภาพ ทั้งข้อมูลจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการสัมภาษณ์ตัวแทนผู้ประกอบการธุรกิจโรงแรมรีสอร์ตที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน นำมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นแนวทางในการปรับปรุงโรงแรมรีสอร์ตกรณีศึกษา แล้วสรุปผลเพื่อนำเสนอเป็นแนวทางในการใช้พิจารณาเทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่มีความเหมาะสมแก่การลงทุนแก่ผู้ประกอบการธุรกิจโรงแรมรีสอร์ตที่ต้องการปรับปรุงโรงแรมรีสอร์ตให้ประหยัดพลังงานและเพื่อให้ได้มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. ศึกษาเกณฑ์การประเมินมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน
2. ศึกษาแนวทางการบริหารทรัพยากรกายภาพของโรงแรมรีสอร์ตที่ผ่านเกณฑ์การประเมินมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน
3. ศึกษาเทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่ใช้ในโรงแรม รีสอร์ตและความเหมาะสมในการลงทุนเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน โดยพิจารณาจากระยะเวลาคืนทุน
4. เสนอแนะแนวทางการบริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรมรีสอร์ตที่สอดคล้องกับมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนและเสนอแนะเทคโนโลยีที่มีความเหมาะสมและคุ้มค่าแก่การลงทุน

## 2. แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน

มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนเป็นส่วนหนึ่งของแผนพัฒนาการท่องเที่ยวอาเซียนปี พ.ศ. 2554-2558 ที่ประเทศในกลุ่มสมาชิกอาเซียนตกลงร่วมกัน โดยมอบหมายให้กระทรวงการท่องเที่ยวของแต่ละประเทศเป็นผู้รับผิดชอบ มีข้อกำหนดการตรวจประเมินมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนครอบคลุมด้านต่าง ๆ ได้แก่ นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและการดำเนินงานสำหรับการบริหารงานโรงแรม การใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม ความร่วมมือกับชุมชนและองค์กรท้องถิ่น การพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ การกำจัดขยะ ประสิทธิภาพพลังงาน ประสิทธิภาพน้ำ การจัดการคุณภาพอากาศ การจัดการเสียง การจัดการน้ำเสียและการบำบัดและการจัดการขยะมีพิษและขยะอันตราย (กรมการท่องเที่ยว กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา, 2557)

## 2.2 การบริหารทรัพยากรกายภาพ

การบริหารทรัพยากรกายภาพเป็นกระบวนการทำงานบริหารจัดการ กำกับการใช้ และดูแลซ่อมบำรุงอาคารและทรัพยากรกายภาพ ได้แก่ สิ่งก่อสร้าง อุปกรณ์อาคาร อุปกรณ์สำนักงาน สถานที่และสภาพแวดล้อมให้มีความพร้อมและตอบสนองการใช้งาน เอื้อให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อผู้ใช้และเจ้าของอาคาร กำหนดให้กิจกรรมและเป้าหมายขององค์กรเป็นศูนย์กลาง อาคารเป็นเครื่องมือสนับสนุนองค์กรในการเพิ่มประสิทธิภาพและประสิทธิผล โดยการบูรณาการความรู้สามแขนงเข้าด้วยกัน คือ ความรู้ด้านอาคารหรือทรัพยากรกายภาพ ความรู้ด้านการจัดการและความรู้ด้านการเงิน ครอบคลุมกิจกรรมตั้งแต่การดูแลประจำวัน ไปสู่การจัดการใช้สอยและการวางแผนในระยะยาว โดยเกี่ยวข้องกับทรัพยากรกายภาพ ระบบการทำงานและผู้ใช้อาคาร (บัณฑิต และเสริชย์, 2547) มีขอบเขตหน้าที่ครอบคลุม 4 ด้าน ได้แก่ 1. การจัดการอสังหาริมทรัพย์ คือ การดำเนินนโยบายเพื่อการตัดสินใจในการจัดหาอาคารสถานที่เพื่อดำเนินธุรกิจ เพื่อให้ใช้อสังหาริมทรัพย์นั้นอย่างคุ้มค่าและตอบสนองประโยชน์สูงสุดขององค์กร 2. การจัดการพื้นที่ใช้สอยเป็นการกำหนดนโยบายและแผนงานในการใช้พื้นที่อาคารให้เกิดประโยชน์สูงสุดและตอบสนองเป้าหมายขององค์กร 3. การจัดการบำรุงรักษาอาคาร เป็นการกำหนดนโยบายและแผนงานในการบำรุงรักษาอาคารทั้งกายภาพและงานระบบอาคารเพื่อการประหยัดและยืดอายุการใช้งานอุปกรณ์อาคาร อาศัยความรู้ด้านงานระบบอาคาร การบันทึกข้อมูลและสถิติเพื่อการวิเคราะห์ 4. การจัดการบริการที่เกี่ยวข้องเป็นการกำหนดนโยบายและแผนงานต่อการบริหารที่สนับสนุนงานหลักขององค์กร ได้แก่ งานรักษาความปลอดภัยและงานทำความสะอาด (ปริญญา, 2549)

การจัดการพลังงานในอาคาร คือ การดูแลรักษาอาคารเพื่อให้เกิดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ ลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานของอาคาร โดยไม่ให้เกิดผลเสียแก่การทำงานในอาคาร การบริหารจัดการพลังงานในอาคารทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการลงทุนและระยะเวลา ได้แก่ การปรับพฤติกรรมกรรมการใช้พลังงาน การปรับเปลี่ยนอุปกรณ์ การปรับปรุงอาคาร และการสร้างอาคารประหยัดพลังงาน (บัณฑิต และเสริชย์, 2547) ดังนั้น จากการพิจารณาแนวคิดและทฤษฎีการบริหารทรัพยากรกายภาพข้างต้น ทำให้ได้ขอบเขตในการศึกษาการบริหารทรัพยากรกายภาพให้ได้มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน คือ การจัดการทรัพยากรกายภาพด้วยการบำรุงรักษาอาคาร ด้วยวิธีการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพื่อการอนุรักษ์พลังงาน อาศัยความรู้เรื่องงานระบบอาคารมาวิเคราะห์เทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่มีความคุ้มค่าในการลงทุน รวมถึงกำหนดนโยบายและแผนงานในการบำรุงรักษาอาคาร

## 3. วิธีการวิจัย

1. วิเคราะห์ข้อมูลจากแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อกำหนดประเด็นปัญหาและตัวแปรในการวิจัยออกแบบแบบสัมภาษณ์ เพื่อใช้สัมภาษณ์ตัวแทนผู้ประกอบการที่มีความรู้เรื่องการบริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรมรีสอร์ทตามมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน และกำหนดกลุ่มตัวอย่างโรงแรมรีสอร์ทที่ใช้ในการศึกษา คือ โรงแรมประเภทรีสอร์ท ระดับ 4-5 ดาว ที่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน และโรงแรมรีสอร์ททกรณีศึกษาที่ยังไม่ได้เข้าร่วมมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน จำนวน 1 แห่ง ในจังหวัดภูเก็ต เพื่อใช้ในการปรับปรุงด้านพลังงาน

2. รวบรวมข้อมูลจากการสัมภาษณ์ นำมาวิเคราะห์เพื่อสรุปเป็นแนวทางการบริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรม รีสอร์ทตามมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนและรวบรวมข้อมูลเทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่ใช้ในรีสอร์ท รวมถึงข้อมูลจากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง มาวิเคราะห์แนวทางในการปรับปรุงด้านพลังงานโรงแรมรีสอร์ท

3. เก็บข้อมูลงานระบบโรงแรมรีสอร์ทกรณีศึกษา แล้วนำมาปรับปรุงด้านพลังงานโดยใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานและวิเคราะห์ความเหมาะสมในการลงทุน

4. สรุปผลเพื่อนำเสนอแนวทางการใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่มีความเหมาะสมในการลงทุนแก่ผู้ประกอบการที่ต้องการปรับปรุงโรงแรมรีสอร์ทให้ลดการใช้พลังงานและเพื่อให้ได้มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน

#### 4. ผลการวิจัย

##### 4.1 ผลการศึกษาแนวทางการบริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรมรีสอร์ทที่ผ่านการประเมินมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน

สามารถสรุปผลการศึกษาได้ 2 ส่วน ได้แก่

1. ผลการศึกษาด้านคุณลักษณะของโรงแรมรีสอร์ทและนโยบายด้านสิ่งแวดล้อม พบว่าโรงแรมรีสอร์ทที่มีการบริหารจัดการแบบเครือข่ายมีการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมโดยบริษัทแม่และโรงแรมรีสอร์ทที่มีการบริหารงานแบบอิสระ มีการกำหนดนโยบายด้านสิ่งแวดล้อมโดยผู้บริหารหรือเจ้าของโรงแรม มีเป้าหมายที่สอดคล้องกัน คือ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม รวมถึงเพื่อเป็นการสร้างจุดขายเนื่องจากเป็นธุรกิจที่ต้องอาศัยธรรมชาติเป็นจุดดึงดูดลูกค้าและ 2. ผลการศึกษาแนวทางการ

บริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรมรีสอร์ทที่สอดคล้องกับมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียนสามารถวิเคราะห์ผลแบ่งตามหัวข้อการประเมินได้ดังนี้

##### 4.1.1 นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมและการดำเนินงานสำหรับการบริหารโรงแรม

มีการประกาศใช้นโยบายด้านสิ่งแวดล้อมเป็นลายลักษณ์อักษรเพื่อเป็นแนวทางปฏิบัติให้แก่พนักงานและจัดตั้งคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมซึ่งเป็นตัวแทนจากทุกแผนก ประชุมเดือนละ 1 ครั้งเพื่อรายงานการใช้พลังงานและเสนอแนวทางการลดใช้พลังงาน

##### 4.2.2 การใช้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม

ใช้วิธีการกำหนดนโยบายการจัดซื้อและจัดประชุมระหว่างฝ่ายจัดซื้อและผู้บริหาร เพื่อให้การจัดซื้อเป็นไปตามนโยบายและจะต้องเก็บหลักฐานการจัดซื้อทุกครั้ง

##### 4.2.3 ความร่วมมือกับชุมชนและองค์กรท้องถิ่น

ใช้วิธีการกำหนดแผนกิจกรรมร่วมกับชุมชนและองค์กรท้องถิ่นโดยการส่งตัวแทนสำรวจว่าชุมชนและองค์กรท้องถิ่นควรได้รับความช่วยเหลืออย่างไรหรือการขอความร่วมมือจากชุมชนและองค์กรท้องถิ่นแล้วจึงวางแผนกิจกรรม

##### 4.2.4 การพัฒนาทรัพยากรมนุษย์

มีการจัดอบรมและให้ความรู้เกี่ยวกับการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมแก่พนักงานโดยฝ่ายช่างหรือองค์กรจากภายนอก และหากมีการจัดฝึกอบรมนอกสถานที่ จะส่งตัวแทนพนักงานเข้าร่วมการฝึกอบรม รวมถึงจัดกิจกรรมให้พนักงานมีส่วนร่วมในการทำกิจกรรมที่เกี่ยวกับสิ่งแวดล้อมโดยตรง

##### 4.2.5 การกำจัดขยะ

ใช้หลักพื้นฐานการแยกขยะ คือ Reduce Reuse และ Recycle ซึ่งสามารถแยกขยะได้เป็น

2 ประเภท คือ ชยะที่สามารถนำกลับมาใช้ได้หรือขายได้ ผลตอบแทนจากการขายชยะจะเป็นรางวัลแก่พนักงานเพื่อเป็นแรงจูงใจในการแยกชยะ และชยะที่ต้องนำไปทิ้งจะมีเจ้าหน้าที่หน่วยงานภาครัฐมารับไปกำจัด

#### 4.2.6 ประสิทธิภาพพลังงาน

มีการกำหนดนโยบายและแผนกิจกรรมเพื่อส่งเสริมการประหยัดพลังงานและติดตั้งมิเตอร์แยกแต่ละส่วนของโรงแรมรีสอร์ต บันทึกข้อมูลการใช้พลังงานทุกวันเพื่อตรวจสอบและควบคุมการใช้พลังงาน รวมถึงใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน

#### 4.2.7 การประหยัดน้ำ

ใช้วิธีเปลี่ยนมาใช้สุขภัณฑ์ประหยัดน้ำหรือเปลี่ยนตัวถังชักโครกให้ใช้น้ำปริมาณน้ำน้อยลง และปรับอุปกรณ์เดิมให้ใช้ปริมาณน้ำน้อยลงโดยการติดตั้งอุปกรณ์ลดการใช้น้ำกับก๊อกน้ำล้างมือและฝักบัวอาบน้ำ

#### 4.2.8 การจัดการคุณภาพอากาศ (ภายในและภายนอกอาคาร)

ใช้วิธีการห้ามสูบบุหรี่ภายในโรงแรมรีสอร์ตหรือจัดพื้นที่เฉพาะสำหรับสูบบุหรี่และบำรุงรักษา ล้างทำความสะอาดเครื่องปรับอากาศเป็นประจำทุกปี

#### 4.2.9 การจัดการเสียง

ใช้วิธีหลีกเลี่ยงให้ลูกค้าเข้าพักในบริเวณที่เกิดเสียงดังหรือหากมีความจำเป็นจะต้องแจ้งให้ลูกค้าทราบก่อน ซึ่งวิธีที่ดีที่สุด คือ ควรเลือกปรับปรุงโรงแรมรีสอร์ตในช่วงโลว์ซีซั่น

#### 4.2.10 การจัดการน้ำเสียและการบำบัด

ติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียและทดสอบประสิทธิภาพของน้ำทุกเดือน โดยน้ำที่ได้จากการบำบัดจะนำมาใช้รดน้ำต้นไม้

#### 4.2.11 การจัดการชยะมีพิษและชยะอันตราย

ใช้วิธีแยกชยะมีพิษและชยะอันตรายออกจากชยะอื่น ๆ มาเก็บรวบรวมไว้ในพื้นที่ที่จัดเตรียมไว้โดยเฉพาะ เมื่อได้ปริมาณเยอะพอสมควรจึงติดต่อหน่วยงานที่เกี่ยวข้องมารับไปกำจัด

### 4.2 เทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่ใช้ในโรงแรมรีสอร์ตและความเหมาะสมในการลงทุนเทคโนโลยีประหยัดพลังงาน

สามารถแบ่งการใช้พลังงานในโรงแรมรีสอร์ต ได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่ 1. พลังงานไฟฟ้า ประกอบด้วย ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง ระบบปรับอากาศ ระบบทำน้ำร้อนและอุปกรณ์การใช้ไฟฟ้าอื่น ๆ 2. พลังงานจากเชื้อเพลิง ได้แก่ น้ำมันดีเซล น้ำมันเบนซิน น้ำมันเตา และ 3. พลังงานจากก๊าซ ได้แก่ ก๊าซหุงต้มที่ใช้ในการทำอาหาร โดยเทคโนโลยีประหยัดพลังงานที่ใช้ในโรงแรมรีสอร์ต ส่วนใหญ่จะใช้ในระบบไฟฟ้า ได้แก่ ระบบไฟฟ้าแสงสว่าง จะใช้หลอดประหยัดพลังงานแอลอีดี โดยการทยอยเปลี่ยนเป็นโซนหรือเปลี่ยนแทนที่หลอดเดิมจนครบทุกตำแหน่ง มีวิธีการเลือกใช้หลอดแอลอีดีโดยการพิจารณาจากปริมาณความสว่างที่ต้องการใช้ในพื้นทีนั้น ๆ และใช้หลอดที่มีขั้วหลอดเหมือนหลอดเดิม ระบบปรับอากาศแบ่งเป็น 2 แบบ คือ ระบบปรับอากาศแบบเครื่องทำน้ำเย็น ซึ่งใช้ในโรงแรมรีสอร์ตขนาดใหญ่ มีจำนวนห้องมากและมีหลายชั้น ลดการใช้พลังงานด้วยการติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมความเร็วมอเตอร์ที่เครื่องสูบน้ำเย็น โดยให้บริษัทที่มีความเชี่ยวชาญเฉพาะเข้ามาดำเนินการ ผลประหยัดที่ได้จะจ่ายเป็นค่าตอบแทนให้บริษัทนั้น ๆ หรือตามข้อตกลงส่วนระบบปรับอากาศแบบแยกส่วน ซึ่งใช้ในโรงแรมรีสอร์ตขนาดเล็ก มีลักษณะห้องพักแยกเป็นหลัง ๆ ลดการใช้พลังงานโดยการใช้เครื่อง



ปรับอากาศเบอร์ 5 และใช้ขนาดที่เหมาะสมกับขนาดห้อง โดยทยอยเปลี่ยนทดแทนตัวเก่าและระบบการทำน้ำร้อน จะใช้ฮีทปั๊มซึ่งสามารถประหยัดไฟฟ้าได้มากกว่าเครื่องทำน้ำร้อนแบบแยกตามห้องพักหรือฮีทเตอร์ไฟฟ้า ทั้งนี้การลงทุนเทคโนโลยีประหยัดพลังงานของโรงแรมริสอร์ททกรณีศึกษาทั้ง 4 แห่ง มีการคำนวณผลตอบแทนจากการลงทุนและระยะเวลาคืนทุน โดยจะต้องมีระยะเวลาคืนทุน 2-3 ปี จึงจะมีความคุ้มค่าในการลงทุน

ผลการวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนด้วยเทคโนโลยีประหยัดพลังงานโรงแรมริสอร์ททกรณีศึกษาที่ใช้เป็นตัวแทนในการปรับปรุงด้านพลังงาน โดยใช้แนวทางข้างต้นพบว่า การลงทุนปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานในระบบไฟฟ้าแสงสว่างโดยการเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแอลอีดี มีความคุ้มค่าแก่การลงทุน มีระยะเวลาคืนทุน คือ 1.7 ปี มีรายละเอียดดังตารางที่ 1

**ตารางที่ 1** การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยีประหยัดพลังงานระบบไฟฟ้าแสงสว่างด้วยหลอดไฟแอลอีดี

เงินลงทุน	256,013.00 บาท
ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	383,003.12 บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	232,381.62 บาท/ปี
ผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับ	150,621.50 บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.70 ปี

การลงทุนปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศโดยการเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศระบบเดิมที่มีขนาดเหมาะสมกับขนาดห้องพบว่า มีความคุ้มค่าในการลงทุน โดยมีระยะเวลาคืนทุน คือ 1.63 ปี มีรายละเอียดดังตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยีประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศระบบเดิม

เงินลงทุน	821,300.00 บาท
ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	4,055,422.14 บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	3,552,215.62 บาท/ปี
ผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับ	503,206.52 บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.63 ปี

และการลงทุนปรับปรุงเพื่อลดการใช้พลังงานระบบปรับอากาศโดยการเปลี่ยนมาใช้เครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์ที่มีขนาดเหมาะสมกับขนาดห้อง พบว่ามีความคุ้มค่าในการลงทุนเช่นกัน โดยมีระยะเวลาคืนทุน คือ 1.5 ปี มีรายละเอียดดังตารางที่ 3

**ตารางที่ 3** การวิเคราะห์ความคุ้มค่าในการลงทุนเทคโนโลยีประหยัดพลังงานระบบปรับอากาศด้วยเครื่องปรับอากาศระบบอินเวอร์เตอร์

เงินลงทุน	893,000.00 บาท
ค่าไฟฟ้าก่อนปรับปรุง	4,055,422.14 บาท/ปี
ค่าไฟฟ้าหลังปรับปรุง	3,464,034.73 บาท/ปี
ผลประหยัดที่คาดว่าจะได้รับ	591,387.41 บาท/ปี
ระยะเวลาคืนทุน	1.51 ปี

## 5. สรุปผลการวิจัย

การบริหารทรัพยากรกายภาพโรงแรมริสอร์ทให้ได้มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน ผู้ประกอบการจะต้องศึกษาเกณฑ์การประเมินและประเมินโรงแรมริสอร์ทเบื้องต้น เพื่อศึกษาว่าโรงแรมริสอร์ทยังขาดการดำเนินงานในหัวข้อใดแล้วจึงพิจารณาปรับปรุงแต่ละหัวข้อ โดยด้านประสิทธิภาพพลังงาน ควรสำรวจว่ามีการใช้อุปกรณ์ไฟฟ้าที่เหมาะสมกับการใช้งานหรือไม่ ด้วยการพิจารณาตามมาตรฐานการใช้งานของแต่ละอุปกรณ์ แล้วจึงศึกษาความเป็นไปได้ในการ

ลงทุนในการใช้เทคโนโลยีประหยัดพลังงาน จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนมาใช้หลอดไฟแอลอีดีในระบบไฟฟ้าแสงสว่างและใช้เครื่องปรับอากาศที่มีขนาดเหมาะสมกับขนาดห้องสามารถช่วยลดการใช้พลังงานได้และมีความคุ้มค่าในการลงทุนสำหรับโรงแรมรีสอร์ทที่ได้รับมาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน ควรปฏิบัติตามข้อกำหนดและรักษามาตรฐานการดำเนินงานอย่างสม่ำเสมอ เนื่องจากจะมีการติดตามผลอย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง หลังจากผ่านการรับรอง เพื่อให้เกิดการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน

### รายการอ้างอิง

กรมการท่องเที่ยว กระทรวงการท่องเที่ยวและกีฬา. (2557). *คู่มือหลักเกณฑ์และเงื่อนไขการตรวจประเมินและรองรับมาตรฐานโรงแรมสีเขียวของอาเซียน*. สืบค้นเมื่อวันที่ 24 ธันวาคม 2557, <http://www.tourism.go.th>

บัณฑิต จุลาลัย และเสรีชัย โชติพานิช. (2547). *การบริหารทรัพยากรกายภาพ*. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปริญญา เจริญบัณฑิต. (2549). *การจัดการทรัพยากรกายภาพ*. กรุงเทพฯ: พลัสเพรส.

สมพงษ์ ไสทะรักษ์. (2556). *แนวทางการพัฒนาโรงแรมระดับ 3 ดาวสู่มาตรฐานโรงแรมสีเขียวอาเซียน*. วิทยานิพนธ์สถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิตมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). (2553). *บทวิเคราะห์ธุรกิจโรงแรมและรีสอร์ท*. สืบค้นเมื่อ 10 กันยายน 2557, จาก <http://www.sme.go.th>

หงสกุล เมสนุกุล. (2555). *การศึกษาแนวทางการจัดการสิ่งแวดล้อมของธุรกิจที่พักตามมาตรฐานใบไม้เขียวของซิกเซ็นส์ ไฮอเวย์ เกาะยาวนาน้อย จังหวัดภูเก็ต*. วิทยานิพนธ์ศิลปศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.