



## รายงานผลการวิจัย

เรื่อง อาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม ตามมาตรฐาน  
อาคารเขียวและสภาวะน่าสบายของมนุษย์  
กรณีศึกษา : อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้  
Educational Building Model for Energy and Environmental Conservative  
According to Green Building Standard and Human Comfort  
Cast Study: Architectural and Environmental Design Building,  
Maejo University

ได้รับการจัดสรรงบประมาณวิจัย ประจำปี 2559  
จำนวน 289,700 บาท

หัวหน้าโครงการ พันธุ์ระวี กองบุญเทียม  
ผู้ร่วมโครงการ วุฒิกานต์ ประพรม

งานวิจัยเสร็จสิ้นสมบูรณ์

28 / มีนาคม / 2561

## สารบัญ

	หน้า
สารบัญตาราง	ข
สารบัญภาพ	ค
บทคัดย่อ	1
Abstract	2
คำนำ	3
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	4
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
การตรวจเอกสาร	6
อุปกรณ์และวิธีการ	22
ผลการวิจัย	29
วิจารณ์ผลการวิจัย	129
สรุปผลการวิจัย	130
เอกสารอ้างอิง	135

## สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 1	ค่าขั้นต่ำของประสิทธิภาพการใช้พลังงานผ่านเปลือกอาคาร	20
ตารางที่ 2	แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน (9 ชั่วโมง) จากเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่าง ของห้องเรียน 4 ประเภท	74
ตารางที่ 3	เปรียบเทียบตัวแปร User / Operation อาคารเรียนทั่วไป และอาคารเรียนต้นแบบ	84
ตารางที่ 4	เปรียบเทียบตัวแปร Site / Climate อาคารเรียนทั่วไป และอาคารเรียนต้นแบบ	101
ตารางที่ 5	เปรียบเทียบตัวแปร Building / Systems อาคารทั่วไปและอาคาร ที่ได้รับการออกแบบ	115
ตารางที่ 6	เปรียบเทียบตัวแปร Site / Climate อาคารเรียนทั่วไป และอาคารเรียนต้นแบบ	127
ตารางที่ 7	เปรียบเทียบตัวแปร Building / Systems อาคารเรียนทั่วไป และอาคารเรียนต้นแบบ	127

## สารบัญภาพ

		หน้า
ภาพที่ 1	แสดงความสัมพันธ์ของการพัฒนาที่ส่งผลทำให้เกิดการใช้พลังงาน	3
ภาพที่ 2	Bioclimatic Chart for Latitude 13 N or S	7
ภาพที่ 3	อิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ ต่อการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิอากาศ	8
ภาพที่ 4	แผนภูมิไซโครเมตริกหน่วย “องศาเซลเซียส” (°C) ที่ระดับน้ำทะเล (Sea level)	10
ภาพที่ 5	แสดงกระบวนการใช้แผนภูมิไซโครเมตริก ในการปรับสภาพอากาศ	11
ภาพที่ 6	แสดงอิทธิพลของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลก ในช่วงเวลาต่างๆ	12
ภาพที่ 7	แสดงตำแหน่งการพาดผ่านของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ที่ 18 N	13
ภาพที่ 8	การแลกเปลี่ยนความร้อนในเวลากลางวัน (Heat Change by Day)	14
ภาพที่ 9	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย	15
ภาพที่ 10	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารพักอาศัย	15
ภาพที่ 11	แสดงความแตกต่างขององค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง (Site Elements) ระหว่างสภาพแวดล้อมในเมืองกับธรรมชาติ ที่ส่งผลถึงความแตกต่าง ของอุณหภูมิอากาศ	17
ภาพที่ 12	วิธีการ/ลำดับขั้นตอนการทำวิจัยตลอด โครงการ	22
ภาพที่ 13	เครื่องบันทึกอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น ENTECH SD500	24
ภาพที่ 14	เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ รุ่น HGM-HY-303C	25
ภาพที่ 15	เครื่องวัดอุณหภูมิผิววัสดุ Testo 860-T2	26
ภาพที่ 16	เครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รุ่น OEM TES-1333	27
ภาพที่ 17	เครื่องวัดความเร็วลม รุ่น ENTECH AN100	28
ภาพที่ 18	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารเรียนรวมแม่โจ้ 70 ปี	32
ภาพที่ 19	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารเรียนรวมสุวรรณจากกสิกิจ	33
ภาพที่ 20	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทร์ราชบุรี	34

ภาพที่ 21	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารอำนวยการ ขสสช	35
ภาพที่ 22	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคาร 25 ปี คณะบริหารธุรกิจ	36
ภาพที่ 23	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคาร แม่โจ้ 60 ปี (คณะวิทยาศาสตร์)	37
ภาพที่ 24	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารจุฬารักษ์ (คณะวิทยาศาสตร์)	38
ภาพที่ 25	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมศาสตร์	39
ภาพที่ 26	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารเทคโนโลยีการประมง	40
ภาพที่ 27	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารประเสริฐ ณ นคร (คณะศิลปศาสตร์)	41
ภาพที่ 28	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารบรรณ สิริพิชัย (คณะเศรษฐศาสตร์)	42
ภาพที่ 29	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม	43
ภาพที่ 30	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารเรียนรวมวิทยาลัยบริหารศาสตร์	44
ภาพที่ 31	แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคาร 75 ปี แม่โจ้ (คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร)	45
ภาพที่ 32	แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ ( $Kw/h/m^2$ ) ตลอดทั้งปี ของอาคารเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 14 อาคาร ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่	47
ภาพที่ 33	อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่	48
ภาพที่ 34	แสดงปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดทั้งปี ( $Kw/h$ ) ของอาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	49

ภาพที่ 35	แสดงปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ตารางเมตร ตลอดทั้งปี ( $w/h/m^2$ ) ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	50
ภาพที่ 36	แสดงผังพื้นที่ชั้น 1 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	51
ภาพที่ 37	แสดงผังพื้นที่ชั้น 2 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	51
ภาพที่ 38	แสดงผังพื้นที่ชั้น 3 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	52
ภาพที่ 39	แสดงผังพื้นที่ชั้น 4 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	52
ภาพที่ 40	แสดงผังพื้นที่ชั้น 5 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	53
ภาพที่ 41	แสดงผังหลังคา อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	53
ภาพที่ 42	แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้า พลังงานจากระบบแสงสว่าง และพลังงานจากระบบปรับอากาศ ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	54
ภาพที่ 43	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	57
ภาพที่ 44	แสดงอุณหภูมิอากาศ รายชั่วโมง ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	57
ภาพที่ 45	แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	58
ภาพที่ 46	แสดงความเร็วลม รายชั่วโมง ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	58
ภาพที่ 47	แสดงลักษณะวัสดุปิดผิว (Ground cover) ซึ่งเป็นแหล่งความร้อนของสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	60

ภาพที่ 48	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนมกราคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	64
ภาพที่ 49	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	64
ภาพที่ 50	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนมีนาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	65
ภาพที่ 51	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนเมษายน 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	65
ภาพที่ 52	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	66
ภาพที่ 53	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนมิถุนายน 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	66
ภาพที่ 54	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนกรกฎาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	67
ภาพที่ 55	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนสิงหาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	67
ภาพที่ 56	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนกันยายน 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	68
ภาพที่ 57	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนตุลาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	68
ภาพที่ 58	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	69
ภาพที่ 59	แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง ช่วงเดือนธันวาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่	69
ภาพที่ 60	แสดงอุปกรณ์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในห้องเรียน อาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	74
ภาพที่ 61	แสดงลักษณะตำแหน่งดวง โคม ระบบแสงสว่าง ภายในห้องเรียน อาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	75
ภาพที่ 62	แสดงเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ที่มากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak-load) 37.5%	76

ภาพที่ 63	แสดงตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน	78
ภาพที่ 64	แสดงลักษณะถนนคอนกรีต บริเวณทิศใต้ ของอาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ม.แม่โจ้	79
ภาพที่ 65	อิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ ที่กระทำกับผิวดินในลักษณะต่างๆ	81
ภาพที่ 66	อิทธิพลของสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ	82
ภาพที่ 67	ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร	83
ภาพที่ 68	แสดงทิศทางและความสัมพันธ์ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ฯ กับตำแหน่งดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพล	83
ภาพที่ 69	ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร	84
ภาพที่ 70	แสดงลักษณะประตูไม้เกล็ดติดตายพร้อมหน้าต่างบานเกล็ด ภายในห้องบรรยาย อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	86
ภาพที่ 71	แสดงลักษณะคอกแสกเกล็ดติดตายภายในห้องบรรยาย อาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	86
ภาพที่ 72	รูปแบบช่องเปิดกระจกใส ภายในห้องบรรยายฝั่งทิศใต้ อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	87
ภาพที่ 73	รูปแบบช่องเปิดกระจกใส ภายในห้องบรรยายฝั่งทิศตะวันตก อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	87
ภาพที่ 74	การคำนวณค่า S/A ของอาคารทั่วไป ที่มีลักษณะกรอบอาคาร เป็นรูปทรงลูกบาศก์	88
ภาพที่ 75	การเปรียบเทียบค่า S/A ของอาคารที่มีรูปทรงซับซ้อนกับรูปทรงเรียบง่าย	89
ภาพที่ 76	การเปรียบเทียบรูปทรงลูกบาศก์ของอาคารเรียนขนาดเล็กและขนาดใหญ่	89
ภาพที่ 77	ฉลากประหยัดไฟ เบอร์ 5 ที่ประกอบด้วยข้อมูลพลังงาน	90
ภาพที่ 78	ลักษณะห้องเรียนแบบที่ 1 (Lecture A) อาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	92
ภาพที่ 79	ลักษณะห้องเรียนแบบที่ 1 (Lecture B) อาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	92
ภาพที่ 80	ลักษณะห้องเขียนแบบ (Drawing) อาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	93

ภาพที่ 81	ลักษณะห้องแสดงงาน (Presentation) อาคารเรียน คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	93
ภาพที่ 82	แสดงอิทธิพลของวัสดุปิดผิว (Ground cover) ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อน สู่สภาพแวดล้อม	95
ภาพที่ 83	แสดงลักษณะแหล่งน้ำที่มีการไหลของน้ำตลอดเวลา บริเวณทิศใต้ ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้	97
ภาพที่ 84	การออกแบบสภาพแวดล้อมเพื่อให้เกิดความร่มรื่นเย็นสบาย	99
ภาพที่ 85	ความแตกต่างของการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมและเหมาะสม ทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอก	99
ภาพที่ 86	แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อม ที่ได้รับการปรับปรุง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศทั่วไป	102
ภาพที่ 87	แสดงอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ต่อการถ่ายเทปริมาณความร้อน สู่สภาพแวดล้อม ส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคาร	104
ภาพที่ 88	แสดงวัสดุผนังกระจกติดตาย ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้	105
ภาพที่ 89	แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุหลังคา/เพดาน อาคารเรียนทั่วไป	106
ภาพที่ 90	แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุพื้น อาคารเรียนทั่วไป	106
ภาพที่ 91	แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง อาคารเรียนทั่วไป	107
ภาพที่ 92	แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก อาคารเรียนทั่วไป	107
ภาพที่ 93	แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุหลังคา/เพดาน อาคารเรียนต้นแบบ	109
ภาพที่ 94	แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุพื้น อาคารเรียนต้นแบบ	109
ภาพที่ 95	แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง อาคารเรียนต้นแบบ	110
ภาพที่ 96	แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก อาคารเรียนต้นแบบ	110
ภาพที่ 97	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผนังห้องเรียนต้นแบบ เปรียบเทียบกับ อุณหภูมิอากาศทั่วไป	112
ภาพที่ 98	แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผนังห้องเรียนทั่วไป เปรียบเทียบกับ อุณหภูมิอากาศทั่วไป	112

ภาพที่ 99	วัสดุกระจกฉนวน ที่นำมาใช้ในอาคารเรียนต้นแบบ	113
ภาพที่ 100	แสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในห้องบรรยาย 1 (Lecture A) ของอาคารเรียนต้นแบบฯ (Model education building) เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)	117
ภาพที่ 101	แสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในห้องบรรยาย 2 (Lecture B) ของอาคารเรียนต้นแบบฯ (Model education building) เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)	118
ภาพที่ 102	แสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในห้องเขียนแบบ (Drawing) ของอาคารเรียนต้นแบบฯ (Model education building) เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)	118
ภาพที่ 103	แสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในห้องแสดงงาน (Presentation) ของอาคารเรียนต้นแบบฯ (Model education building) เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)	119
ภาพที่ 104	แสดงสัดส่วนการลดใช้พลังงานระบบปรับอากาศของอาคารเรียนต้นแบบฯ เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป	120
ภาพที่ 105	แสดงการติดตั้งแผง Solar cell บริเวณหลังคาชั้นดาดฟ้า	123
ภาพที่ 106	แสดงข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเดือนพฤษภาคม ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้	125
ภาพที่ 107	แสดงทัศนียภาพพื้นที่แผง Solar cell ตำแหน่งหลังคาชั้นดาดฟ้า และตำแหน่งพื้นที่ชั้นดาดฟ้า อาคารเรียนต้นแบบฯ ม.แม่โจ้	125
ภาพที่ 108	กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยตลอดทั้งปี กับเกณฑ์สบายของมนุษย์ทางด้านอุณหภูมิอากาศ	129

อาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม  
ตามมาตรฐานอาคารเขียวและสภาวะน่าสบายของมนุษย์  
กรณีศึกษา : อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม  
มหาวิทยาลัยแม่โจ้

**Educational Building Model for Energy and Environmental Conservative  
According to Green Building Standard and Human Comfort  
Cast Study: Architectural and Environmental Design Building, Maejo University**

พันธุ์ระวี กองบุญเทียม<sup>1</sup> และ วุฒิกานต์ ปุระพรหม<sup>1</sup>  
Punravee Kongboontiam<sup>1</sup> and Wuttigarn Puraprom<sup>1</sup>

<sup>1</sup>คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

**บทคัดย่อ**

ปัจจุบันการพัฒนาศักยภาพของมหาวิทยาลัยเป็นไปอย่างต่อเนื่อง การผลักดันนโยบายสู่มหาวิทยาลัยสีเขียวจึงต้องลดการใช้พลังงานในอาคารลงและเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานทดแทน การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้เก็บข้อมูล (1)ปัจจัยที่ใช้เป็นพลังงานทดแทน ได้แก่ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ (2)ออกแบบวัสดุอาคารที่มีค่าการถ่ายเทความร้อนต่ำ (3)ปรุงแต่งสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร เพื่อลดค่าความต่างของอุณหภูมิอากาศภายใน-ภายนอก และคำนวณหาค่าการใช้พลังงานรวมของอาคารเรียน ตลอด 24 ชั่วโมง ผลการวิจัยพบว่า การผลิตพลังงานทดแทนจากรังสีดวงอาทิตย์สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างลง 100% การออกแบบวัสดุอาคารและการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าจากระบบปรับอากาศลง 53 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลทำให้การใช้พลังงานรวมของอาคารลดลง 69% จะเห็นได้ว่า กระบวนการดังกล่าวสามารถเป็นแนวทางการออกแบบ-ปรับปรุง “อาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม” ตามมาตรฐานอาคารเขียวได้อย่างมีประสิทธิภาพ คำสำคัญ : อาคารเรียน ภาระการทำความเย็น แนวทางการออกแบบ สภาวะน่าสบาย

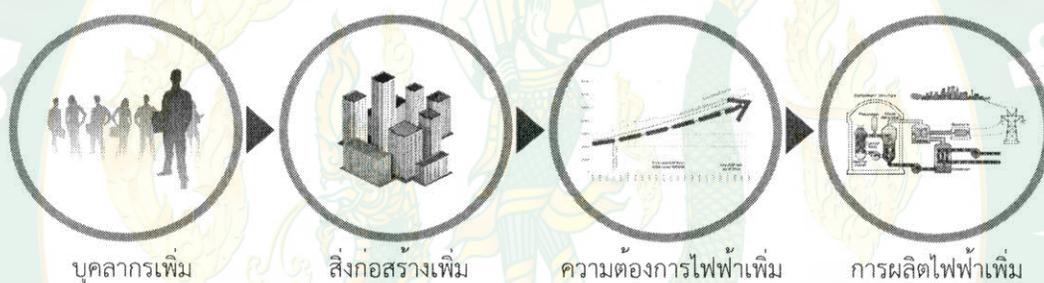
### Abstract

There is a continuous development of green university. Policy makers are concentrating on reduction of energy usage, and the increase of efficiency in alternative energy. This study has calculated energy use of an education building by record the follow data over a 24-hour period: (1) solar radiation as source of alternative energy, (2) building materials design with low heat transfer coefficient, (3) design of outside environment to reduce air temperature difference between the inside and outside of a building. The study found solar energy can reduce 100 percent of energy used in lighting and electric. Design of building materials and the outside environment can reduce 53 percent of energy used in air-condition, which resulted in a 69 percent decrease of the overall energy use. In conclusion, the process used in this study can be effectively applied to design and renovation guidelines for a "Model educational green building for energy conservation and environment".

Keyword : Educational building ,Cooling load ,Design Guidelines ,Comfort zone

## คำนำ

ปัจจุบันการพัฒนาศักยภาพของมหาวิทยาลัยแม่โจ้เป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาทางด้านวิชาการ คุณภาพของบุคลากร คณาจารย์และนักศึกษา ที่มีปริมาณสัดส่วนเพิ่มขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อการพัฒนาทางด้านกายภาพโดยรวมของมหาวิทยาลัยที่ต้องรองรับพฤติกรรมและการใช้งานของบุคลากร ไม่ว่าจะเป็นอาคาร สถานที่ และสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ การเพิ่มขึ้นของปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการใช้พลังงานที่เพิ่มมากขึ้น ทำให้มหาวิทยาลัยต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซื้อกระแสไฟฟ้าจากทางภาครัฐ โดยเฉลี่ยสูงขึ้นทุกปี อีกทั้งกำลังการผลิตไฟฟ้าของภาครัฐมีไม่เพียงพอต่อความต้องการของคนในประเทศจึงทำให้ราคาพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยสูงขึ้นตามช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามากและแรงจูงใจให้มีการประหยัดไฟ การจัดการปัญหาจึงถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ การลดใช้ไฟฟ้าและการค้นหา/ผลิตพลังงานทดแทน



ภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ของการพัฒนาที่ส่งผลทำให้เกิดการใช้พลังงาน

การผลิตพลังงานเพื่อรองรับการพัฒนาดังกล่าว ต้องเปลี่ยนแนวคิดในการผลิตพลังงานด้วยระบบทุน เพราะระบบจะไม่สร้างความยั่งยืนให้กับบริการเนื่องด้วยสาเหตุที่พลังงานมีวันหมด และการผลิตพลังงานไม่เพียงพอต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น การสร้างโรงไฟฟ้าพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น การสร้างแนวคิดที่พึ่งพาตนเองโดยการแสวงหาพลังงานทางเลือกหรือพลังงานทดแทน ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ (Solar energy) ซึ่งเป็นพลังงานสะอาดที่สามารถหาได้ทั่วไป การป้องกันและเก็บเกี่ยวประโยชน์จากแสงอาทิตย์ เป็นเทคนิคการออกแบบความสัมพันธ์ของตัวแปรระหว่างอาคาร (Building) กับสภาพแวดล้อม (Environment) ที่มีอิทธิพลต่อระดับความรู้สึกและสภาวะน่าสบายของมนุษย์ (Human Comfort) ส่งผลถึงประสิทธิภาพการเรียน-การสอนของอาจารย์และนักศึกษา โดยเฉพาะอิทธิพลความร้อน (Heat) จากสภาพแวดล้อมเขตร้อนชื้น ทำให้อาคารยุคปัจจุบันมีความจำเป็นต้องติดตั้งระบบปรับอากาศเป็นองค์ประกอบพื้นฐาน เป็นการแก้ปัญหาจากการออกแบบอาคารที่ไม่คำนึงถึงสภาพแวดล้อม ทำให้อาคารในยุคปัจจุบันมีอัตราการใช้พลังงานสูงกว่าอาคารในยุคอดีต จาก

ผลการวิจัย พบว่า การใช้พลังงานทั้งหมดในอาคาร 100% มีอัตราส่วนการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศมากถึงร้อยละ 70 ระบบแสงสว่างร้อยละ 20 และอุปกรณ์อื่นๆ ร้อยละ 10 (นวัตกรรมการออกแบบอาคารประหยัดพลังงานยุคใหม่, 2555) เพื่อควบคุมอุณหภูมิอากาศภายในห้องใกล้เคียง 25 องศาเซลเซียสและระดับความชื้นสัมพัทธ์ที่ 50% ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในอาคารและสภาพแวดล้อม ถือเป็นตัวแปรสำคัญตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ถ้าองค์ประกอบโดยรอบที่ตั้งของสภาพแวดล้อม (Site elements) เป็นวัสดุคาดแจ้ง จะทำให้ค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ( $\Delta t$ ) ภายใน-ภายนอกสูงขึ้น ส่งผลต่อการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ (Cooling load) สูงตามไปด้วย นอกจากนี้แล้ว ประสิทธิภาพของอาคารเรียนไม่ว่าจะเป็นวัสดุผนัง พื้น หลังคาที่เชื่อมต่อหรือกั้นที่วางระหว่างภายในและภายนอก ล้วนต้องมีคุณสมบัติในการต้านทานความร้อนสูง (R) หรือในทางกลับกันคุณสมบัติของวัสดุอาคารต้องยอมให้มีการถ่ายเทความร้อน (U) ต่ำ อาคารจึงจะมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนได้สูงสุด

การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนและการออกแบบอาคารเพื่อป้องกันอิทธิพลความร้อน จึงถือเป็นภารกิจคู่ที่ต้องดำเนินไปพร้อมกัน เพื่อการทดแทนและลดการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมุ่งหวังทดแทนส่วนการใช้พลังงานจากระบบแสงสว่างร้อยละ 30 ของพลังงานทั้งหมด และออกแบบ/ปรับปรุงอาคารให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน เพื่อลดการใช้พลังงานลงร้อยละ 50 ของระบบปรับอากาศ (ร้อยละ 35 ของพลังงานทั้งหมด) ทั้งนี้ จะเหลือสัดส่วนความต้องการใช้พลังงานจากทางภาครัฐเพียงร้อยละ 35 ของพลังงานทั้งหมดในอาคาร ฉะนั้น ผลที่ได้จากการวิจัยจะทำให้อาคารเรียนมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานลง 75% และกระบวนการดังกล่าวจะสามารถเป็นแนวทางออกแบบ “อาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม” ที่เหมาะสมกับบริบทเชิงที่ตั้งของมหาวิทยาลัย ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

### วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคารเรียน
2. ค้นหาศักยภาพพลังงานทดแทนและการใช้ประโยชน์จากสภาพแวดล้อม
3. สร้างแนวทางออกแบบ "อาคารเรียนต้นแบบ เพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม.แม่โจ้"

## ขอบเขตของโครงการวิจัย

### ด้านเนื้อหา

1. ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานในอาคารเรียน ประเภทบรรยาย (Lecture)
2. ศึกษาศักยภาพพลังงานทดแทนจากสภาพแวดล้อม ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์

### ด้านพื้นที่

1. ออกแบบการใช้พลังงานทดแทนสูงสุด ตามศักยภาพของที่ตั้งเขตเมืองร้อนชื้น

### ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. อิทธิพลหรือตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียน
2. ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนจากสภาพแวดล้อม
3. แนวทางการออกแบบอาคารเรียนต้นแบบของมหาวิทยาลัยแม่โจ้

### แผนการถ่ายทอดเทคโนโลยีหรือผลการวิจัยสู่กลุ่มเป้าหมาย

กลุ่มเป้าหมาย : กลุ่มผู้บริหาร บุคลากร คณาจารย์ และนักศึกษา ม. แม่โจ้

### สถานที่ทำการทดลอง/เก็บข้อมูล

มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่

### ปัจจัยที่เอื้อต่อการวิจัย

- |  |                 |
|--|-----------------|
| 1. เครื่องมือวัดระดับอุณหภูมิอากาศ                           | จำนวน 3 เครื่อง |
| 2. เครื่องมือวัดปริมาณความชื้นสัมพัทธ์                       | จำนวน 3 เครื่อง |
| 3. เครื่องวัดอุณหภูมิผิวระยะไกล                              | จำนวน 3 เครื่อง |
| 4. เครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์                           | จำนวน 1 เครื่อง |
| 5. อุปกรณ์สิ้นเปลืองสำนักงานสำหรับทำเอกสารต่างๆที่เกี่ยวข้อง |                 |

## การตรวจเอกสาร

### 1. สภาวะน่าสบายของมนุษย์ (Human Comfort)

สภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) หรือ (Comfort Requirement) ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน รวมทั้งความเคยชิน ข้อมูลทางด้านกายภาพ (Physiology) สามารถที่จะแสดงออกมาได้ แต่ทางด้านสภาพจิตใจ (Psychology) เป็นการยากที่จะบ่งบอกออกมาได้ บุคคลที่เคยชินกับสภาพอากาศอบอุ่นหรือหนาวและย้ายไปอยู่ในเขตร้อน สามารถปรับเปลี่ยนสภาพทางร่างกายได้ในเวลา 1 เดือน ส่วนสภาพทางจิตใจยากที่จะได้รับความน่าสบายอย่างสมบูรณ์ โดยการออกแบบงานสถาปัตยกรรมของสถาปนิก หรือนักศึกษาคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยต่างๆ ล้วนแต่ต้องการสร้างอาคารให้มีสภาวะที่ใกล้เคียงกับสภาวะน่าสบายมากที่สุด เท่าที่สภาพแวดล้อมโดยรอบเอื้ออำนวย

ปัจจัยที่เข้ามามีส่วนเกี่ยวข้องในการสร้างสรรค์สภาวะน่าสบายของมนุษย์ได้แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มปัจจัย หลักๆ ดังนี้

#### 1.1 ปัจจัยจากตัวแปรภายนอก ได้แก่

- อุณหภูมิอากาศ
- ความชื้นสัมพัทธ์
- อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ
- ความเร็วลม

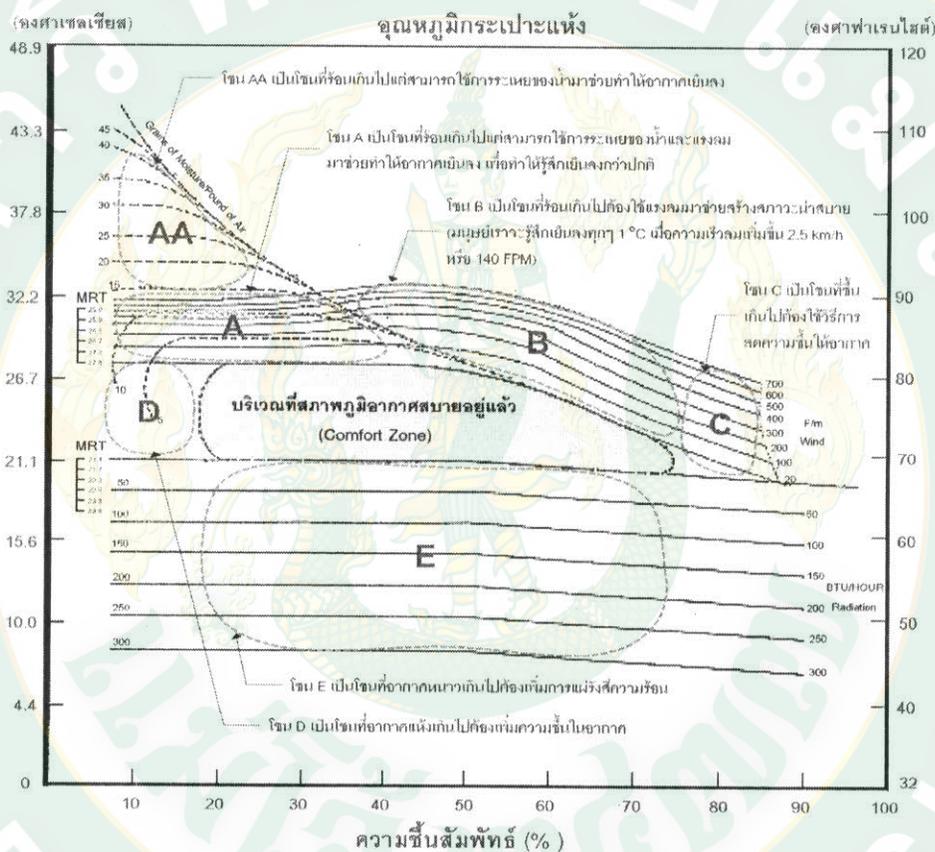
#### 1.2 ปัจจัยจากตัวแปรภายใน ได้แก่

- เสื้อผ้าที่สวมใส่
- อัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย

การแบ่งกลุ่มปัจจัยที่มีผลต่อสภาวะน่าสบายนี้ แบ่งได้จากความสามารถในการรองรับของงานสถาปัตยกรรม ที่จะสามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ได้ ซึ่งปัจจัยจากตัวแปรภายนอก ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ และความเร็วลม เป็นปัจจัยที่งานสถาปัตยกรรมสามารถถูกออกแบบมาเพื่อป้องกันหรือควบคุมให้อยู่ขอบเขตสภาวะน่าสบายได้ ส่วนปัจจัยจากตัวแปรภายนอก ได้แก่ เสื้อผ้าที่สวมใส่และอัตราการเผาผลาญพลังงานในร่างกายเป็นตัวแปรที่อยู่นอกเหนือความสามารถของงานสถาปัตยกรรม ซึ่งปัจจัยดังกล่าวขึ้นอยู่กับการควบคุมของมนุษย์ อุณหภูมิพอเหมาะพอสบายในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น อยู่ระหว่าง 71.5-85 องศา

ฟาเรนไฮต์ หรือประมาณ 22.5-27.5 องศาเซลเซียส โดยมีความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ระหว่าง 20%-50%

จากแผนภูมิตาราง Bioclimatic Chart จะเห็นตำแหน่งของสภาวะน่าสบายอยู่ตรงกลางเหนือตำแหน่งสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) คือตำแหน่งของสภาวะร้อนวิกฤติหรือสภาวะร้อนจัด (Over Heated Zone) ซึ่งจากตารางจะเห็นเส้นแสดงความเร็วลม ซึ่งจะสามารถนำมาช่วยในการทำให้บริบทนั้นๆ ยังอยู่ในสภาวะน่าสบายได้



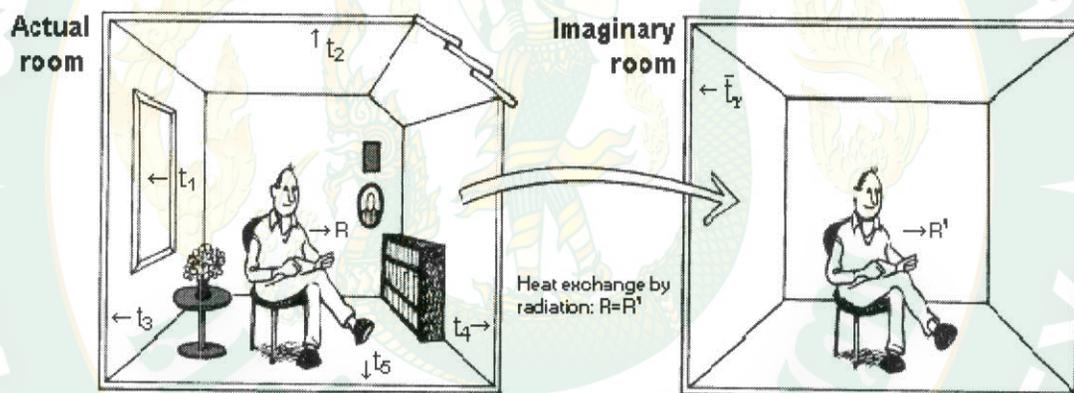
ภาพที่ 2 Bioclimatic Chart for Latitude 13 N or S

(สุนทร บุญญาริการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน, 2545)

แผนภูมิไบโอไคลเมติกสามารถใช้เป็นเครื่องมืออธิบายเทคนิคการปรุงแต่งสภาพแวดล้อม เพื่อให้สภาพอากาศที่อยู่นอกเขตสบายถูกปรุงแต่งให้มีความรู้สึกเสมือนอยู่ในเขตสบายได้ ตัวแปรความเร็วลมสามารถทำให้สภาพอากาศที่อยู่ในโซน บี ที่มีลักษณะร้อนและชื้นมากเกินไป รู้สึกเสมือนเข้าสู่เขตสบายได้ และสภาพอากาศในโซน เอ และ โซน บี ที่อยู่สูงกว่าเขตสบายสามารถใช้อิทธิพลของอุณหภูมิจนเย็นผิวโดยรอบที่ต่ำกว่าอุณหภูมิกายช่วยทำให้สภาพอากาศดังกล่าวรู้สึกเสมือนอยู่ในเขตสบายได้ โดยการทำให้ร่างกายสูญเสียความร้อนด้วยการแผ่รังสีสู่สภาพแวดล้อม

อุณหภูมิพื้นผิวโดยเฉลี่ยจึงเป็นอีกตัวแปรหนึ่ง ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของสภาวะแวดล้อมที่ส่งผลต่อความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ ที่มาจากการสะสมความร้อนของวัสดุพื้นผิวที่เกิดจากการตกกระทบของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งวัสดุแต่ละชนิด จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (ค่า  $k$ ) ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับลักษณะ ขนาดและประเภทของวัสดุ ทั้งนี้ พื้นที่บริเวณลานคอนกรีตหน้าตึกจุฬาลงกรณ์ คณะวิทยาศาสตร์หรือลานสี่เหลี่ยมจัตุรัส จะมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่าพื้นที่หญ้ากลางสนามฟุตบอล ส่งผลรวมให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบสูง (MRT)

ในการวิเคราะห์อุณหภูมิพื้นผิวนั้นกระทำได้โดยการใช้ค่า Mean Radius Temperature (MRT) ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิของทุกพื้นผิวโดยรอบคูณด้วยมุมกระทำ (Solid Angle) ของขอบพื้นที่ผิวนั้นๆ ณ จุดที่ทำกรวัด (อ้างอิง : ธนิต จินดาวงศ์) ซึ่งปริมาณความร้อนที่เกิดจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบจะส่งผลทำให้ค่าอุณหภูมิเฉลี่ยอากาศเพิ่มสูงขึ้น



ภาพที่ 3 อิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (Concettina, M., 2017)

นอกจากนี้ที่เหนือตำแหน่ง สภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) จะเห็นเส้นแสดงค่าความชื้นในอากาศ ซึ่งสามารถจะนำไปช่วยให้เกิดสภาวะน่าสบายได้ ในบริบทที่มีความชื้นอากาศต่ำ ได้ตำแหน่งสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) มีเส้นแสดงความต้องการร่วมเงา (การกันแดด) ซึ่งจะเป็นผลต่อการทำมุมมองของดวงอาทิตย์กับพื้นโลก ได้ตำแหน่งสภาวะน่าสบายลงไป เรียกว่า สภาวะเย็นวิกฤติ หรือสภาวะหนาวเย็น (Under Heated Zone) จะมีเส้นแสดงความต้องการ การแผ่รังสีความร้อน หรือการต้องการความร้อนเพิ่มทางใดทางหนึ่ง

## 2. การรับรู้ของมนุษย์ (Human Perception)

การเรียนรู้ คือ กระบวนการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความคิดและพฤติกรรม ซึ่งเป็นการเรียนรู้จากประสบการณ์ การเผชิญสถานการณ์ โดยเฉพาะสถานการณ์ซ้ำๆ โดยไม่ได้เป็นสัญชาตญาณ (ชวรัตน์ ชาญศิลป์. 2552) การปฏิสัมพันธ์กับสิ่งแวดล้อม เช่น การได้ยิน การสัมผัส หรือจากการถ่ายทอดจากบุคคลอื่น การเรียนของเด็กและผู้ใหญ่จะมีความต่างกัน โดยเด็กจะเรียนรู้จากการเรียน มีผู้อบรมสั่งสอนหรือถ่ายทอดประสบการณ์ ส่วนผู้ใหญ่จะเรียนรู้จากประสบการณ์ของตนเองที่มีอยู่ การเรียนรู้ต้องอาศัยการจำจากประสบการณ์ต่างๆซึ่งทำงาน โดยสมอง และนำเรื่องที่จำไปเชื่อมโยงกับสิ่งที่จำเอาไว้แล้ว โดยทฤษฎีการเรียนรู้ คือแนวความคิดที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถใช้อธิบายลักษณะของการเรียนรู้ได้

แนวความคิดพื้นฐานของทฤษฎีการเรียนรู้พฤติกรรมนิยมคือ การกระทำต่างๆของมนุษย์เกิดจากอิทธิพลของสิ่งเร้าภายนอก ทำให้มนุษย์มีลักษณะการตอบสนองต่อสิ่งเร้าจึงทำให้เกิดพฤติกรรมขึ้น กระบวนการนี้เป็นการเชื่อมโยงการรับรู้สิ่งเร้าผ่านสมองและตอบสนองออกมาทางพฤติกรรม สามารถวัดและทดสอบได้ จากการทดลองพฤติกรรมหนูขาวของ จอห์น วัตสัน สรุปได้ว่าพฤติกรรมเป็นสิ่งที่สามารถควบคุมให้เกิดขึ้นได้ ด้วยวิธีการควบคุมสิ่งเร้าให้สัมพันธ์กับสิ่งเร้าธรรมชาติ หากทำอย่างสม่ำเสมอการรับรู้ก็จะคงทนถาวร และเมื่อเกิดพฤติกรรมได้ก็สามารถทำให้พฤติกรรมเหล่านั้นหายไปได้ (ทิสนา เขมมณี. 2550) โดยการจัด สภาพแวดล้อม หรือบรรยากาศที่ก่อให้เกิดการเรียนรู้ ซึ่งการปรับเปลี่ยนพฤติกรรมนี้เรียกว่าพฤติกรรมที่ถูกวางเงื่อนไข (Conditioned Behavior) (John Watson. 1878-1958)

## 3. ตัวแปรและความสัมพันธ์ของสภาวะอากาศ (Psychometric chart)

ในสภาวะอากาศประกอบด้วยตัวแปรต่างๆมากมาย เช่น อุณหภูมิ (Temperature) ความชื้น (Humidity) ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific volume) เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงตัวแปรใดๆ จะส่งผลกระทบต่อความสัมพันธ์กับตัวแปรอื่นๆ ด้วย แผนภูมิไซโครเมตริก จะเป็นแผนภูมิที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆที่มีอยู่ในสภาวะอากาศ จำแนกตามตัวแปรต่างๆ ดังนี้

### 3.1 อุณหภูมิ (Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (Dry Bulb Temperature)

อุณหภูมิกระเปาะเปียก (Wet Bulb Temperature)

อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (Dew Point Temperature)

### 3.2 ความชื้น (Humidity)

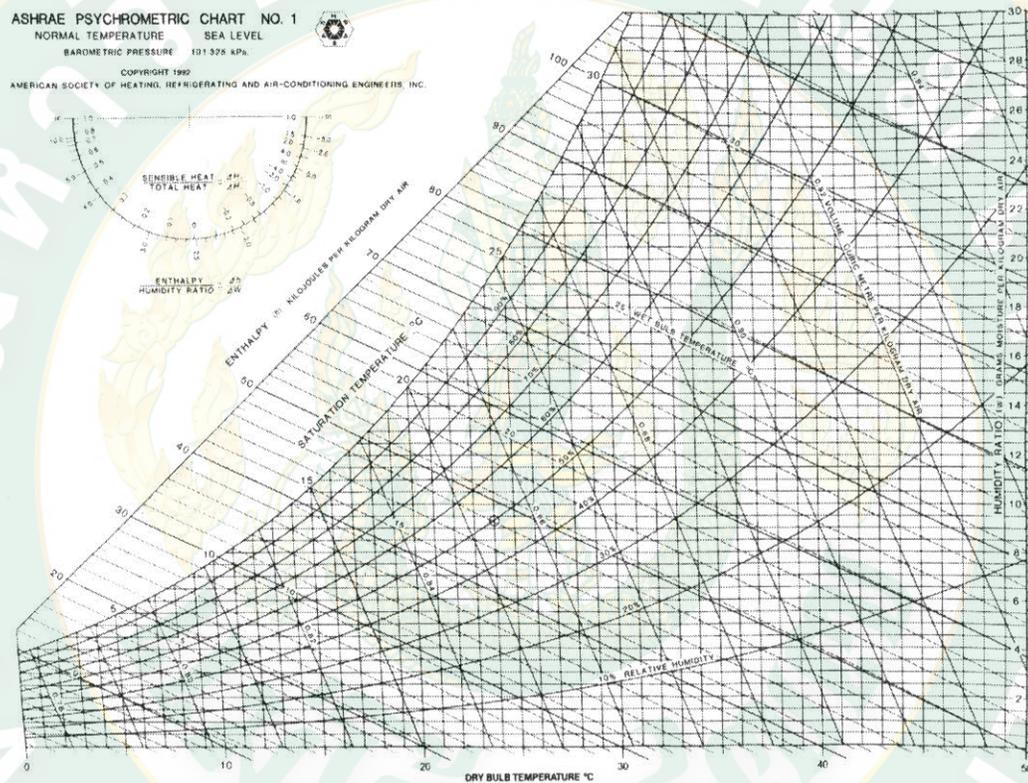
อัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio)

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity)

### 3.3 ปริมาตรจำเพาะของอากาศ (Specific Volume)

### 3.4 เส้นอากาศอิ่มตัว (Saturation Line, Air saturation line)

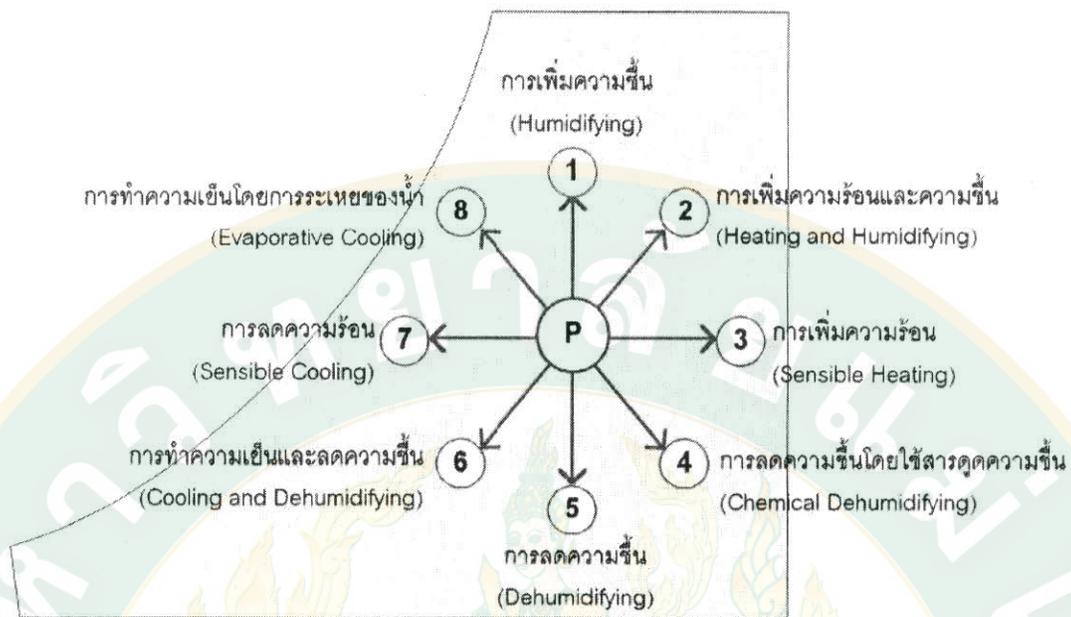
### 3.5 เอนทัลปี (Enthalpy)



ภาพที่ 4 แผนภูมิไซโครเมตริกหน่วย “องศาเซลเซียส” (°C) ที่ระดับน้ำทะเล (Sea level)

(ASHRAE., 2001)

ในการออกแบบสภาพแวดล้อม การควบคุมและการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศสามารถนำแผนภูมิไซโครเมตริกมาประยุกต์ใช้ในการพิจารณาถึงผลกระทบและความสัมพันธ์ที่มีต่อตัวแปรอื่นๆ ทั้งนี้ เพื่อให้ได้ซึ่งสภาวะอากาศที่เหมาะสมกับเขตสบายของมนุษย์ (Comfort zone) มากที่สุด



ภาพที่ 5 แสดงกระบวนการใช้แผนภูมิไซโครเมตริก ในการปรับสภาพอากาศ  
(สุนทร บุญญธิการ, 2542)

โดย	จุด P ไปจุด 1	ใช้การเพิ่มความชื้นให้กับอากาศ
	จุด P ไปจุด 2	ใช้การเพิ่มความร้อนและความชื้นให้กับอากาศ
	จุด P ไปจุด 3	ใช้การเพิ่มความร้อนให้กับอากาศ
	จุด P ไปจุด 4	ใช้การเพิ่มความชื้นให้กับอากาศโดยใช้สารดูดความชื้น (ใช้กระบวนการทางเคมี)
	จุด P ไปจุด 5	ใช้การลดความชื้นให้กับอากาศ
	จุด P ไปจุด 6	ใช้การทำความเย็น (ลดความร้อน) และลดความชื้น ให้กับอากาศ
	จุด P ไปจุด 7	ใช้การลดความร้อนให้กับอากาศ
	จุด P ไปจุด 8	ใช้การทำความเย็นให้กับอากาศ โดยอาศัยการระเหย ของน้ำ

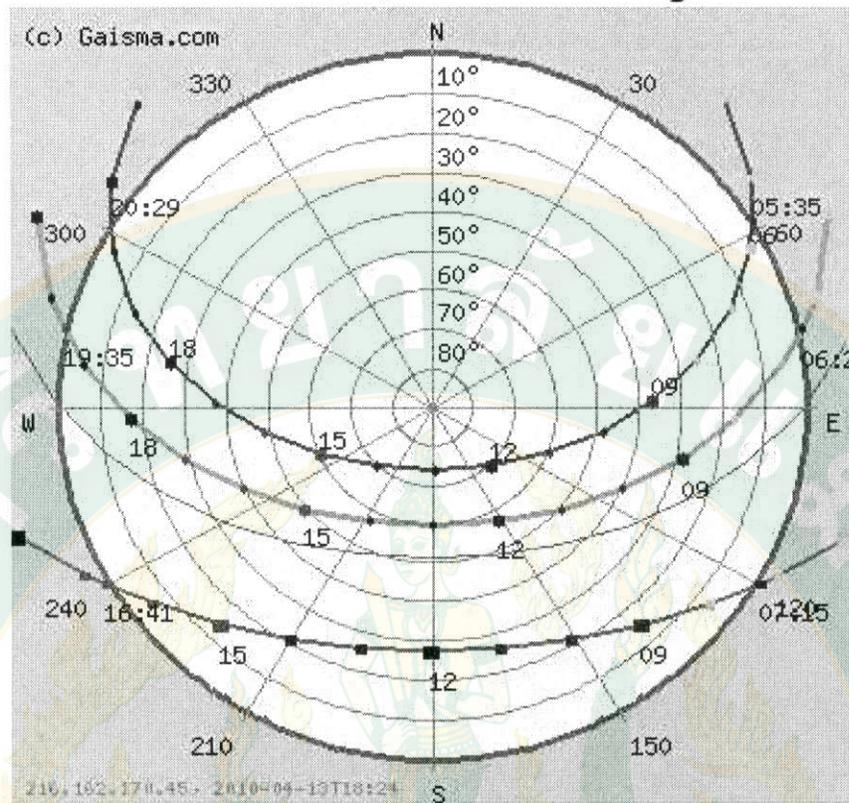
#### 4. การเคลื่อนที่และตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ (Sun) เป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลสูงสุดและเป็นตัวแปรเริ่มของการได้มาซึ่งความร้อน จากข้อมูลของ Olgyay, V., Design with Climate พบว่า พลังงานจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์มายังพื้น โลกเท่ากับ  $420 \text{ Btu/ft}^2/\text{hr}$ . มีระยะทางประมาณ 92,955,807 ไมล์หรือ 149,597,870,700 กิโลเมตร (Astronomy Department, University of Michigan) ซึ่งการตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์กับวัตถุใดๆ จะเกิดการแปรเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ข้อมูลของ Mechanical and electrical equipment for Buildings. ณ พื้นที่บริเวณละติจูดที่  $16^\circ\text{N}$  มีอิทธิพลการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์เท่ากับ  $289 \text{ Btu/ft}^2/\text{hr}$ . (Solar time = 12) อย่างไรก็ตาม ปริมาณรังสีของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลก จะแตกต่างกันไปตามแนวพาดผ่าน เวลา และมุมกระทำของดวงอาทิตย์กับพื้นโลก ประเทศไทย ตั้งอยู่บนแนวละติจูดที่ 5-21 องศาเหนือและลองจิจูดที่ 97-106 องศาตะวันออก (สมสิทธิ์ นิตยะ, Tropical Design Environment)

ตารางโคจรของดวงอาทิตย์มีหลายระบบด้วยกันในการลากเส้น โยง (Project) ของขอบฟ้ากับตำแหน่งโคจรผ่านบนระนาบ บางวิธีการลากเส้น โยงกับระนาบที่ขนานกับขอบฟ้า แต่วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุด คือ วิธีที่มาจาก Prof. Olgyay ที่ว่ามีข้อดีอยู่หลายประการ ง่ายในการอ่านและมีความสม่ำเสมอในการอ่านค่าทุกๆ ส่วนของพื้นที่ในโลก ไม่ว่าจะอยู่ที่ตำแหน่งบริเวณเส้นศูนย์สูตรหรือตำแหน่งบริเวณขั้วโลก ซึ่งสามารถอ่านได้จากตำแหน่งเส้นรุ้ง และสามารถแจกแจงวิธีการใช้ได้มาก คือ Sun Path Diagrams ซึ่งสร้างขึ้นในระบบ Equidistant Method



ภาพที่ 6 แสดงอิทธิพลของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นโลก ในช่วงเวลาต่างๆ



ภาพที่ 7 แสดงตำแหน่งการพาดผ่านของดวงอาทิตย์บนพื้นโลก ที่ 18 N  
(<https://www.gaisma.com/en/location/bombay.html>)

## 5. รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์

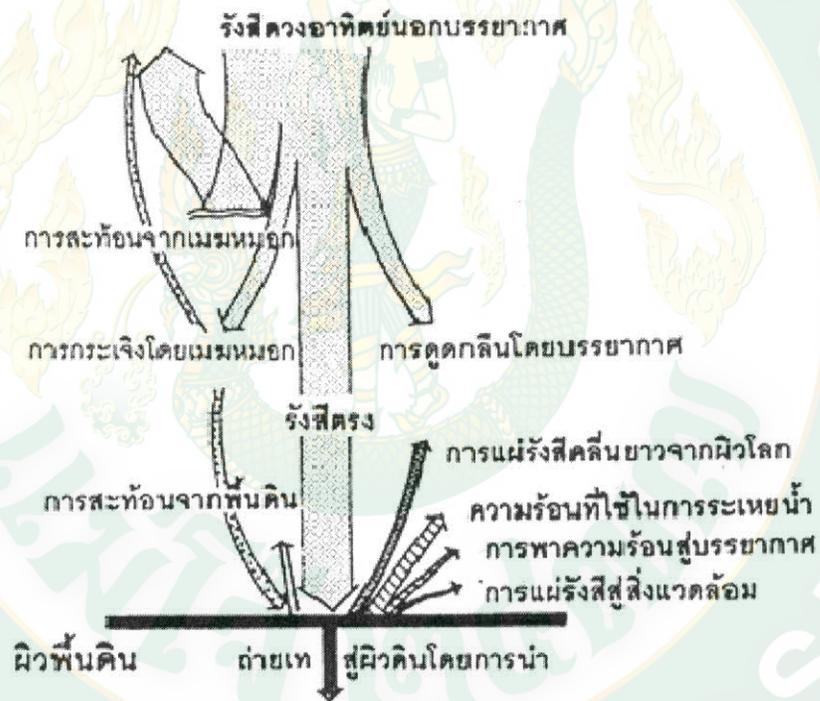
ปัจจัยอากาศ เป็นส่วนที่มีความแตกต่างกันทางอุตุนิยมวิทยา เป็นการยากที่จะแสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกันเพียงแต่อุณหภูมิของอากาศได้ การแก้ปัญหาของสถาปนิกหรือนักออกแบบที่ต้องเรียนรู้การสร้างสรรค์งานสถาปัตยกรรมที่สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมและให้สภาน่าสบายภายในอาคารมีความสมดุลทางบรรยากาศ (Climate Balanced Structure) จึงต้องวิเคราะห์ถึงความสัมพันธ์ที่เกี่ยวเนื่องกันของปัจจัยทั้งหมดในอากาศ

ปัจจัยที่สำคัญในอากาศที่มีส่วนร่วมและมีอิทธิพลหลักต่อสภาน่าสบายในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น คือ อุณหภูมิอากาศ และการแผ่รังสีความร้อน ทั้งสองตัวแปรดังกล่าวล้วนเกิดจากอิทธิพลของดวงอาทิตย์ ความแปรเปลี่ยน หรือความแตกต่างของอุณหภูมิประจำวันและประจำปี รวมทั้งการเหนี่ยวนำที่จะทำให้เกิดการพัดพาของอากาศที่ก่อให้เกิดกระแสลม ขึ้นอยู่กับปริมาณการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการโคจรและการหมุนรอบตัวของโลกกับดวงอาทิตย์ที่แตกต่างกันไปตามฤดูกาล ดังนั้น ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุณหภูมิอากาศ การแผ่รังสี และการเกิด

กระแสดม จึงเป็นข้อมูลที่เกิดจากการพาผ่านของดวงอาทิตย์กับ โลก ซึ่งดวงอาทิตย์เป็นตัวแปรสำคัญในการศึกษา วิเคราะห์ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบงานสถาปัตยกรรมในเขตรภูมิอากาศร้อนชื้น

การแผ่รังสีความร้อน มีอยู่หลายลักษณะตามชนิดของต้นกำเนิดและลักษณะการถ่ายเท คือ

- คลื่นรังสี โดยตรงจากดวงอาทิตย์ (Direct Radiation)
- คลื่นรังสีสั้นแผ่กระจาย (Diffuse Radiation)
- คลื่นรังสีสั้นสะท้อนจากพื้นดินและสิ่งใกล้เคียง
- คลื่นรังสียาวจากพื้นดินหรือสิ่งใกล้เคียงที่ร้อน
- คลื่นรังสียาวที่อาคารแผ่กลับให้บรรยากาศ

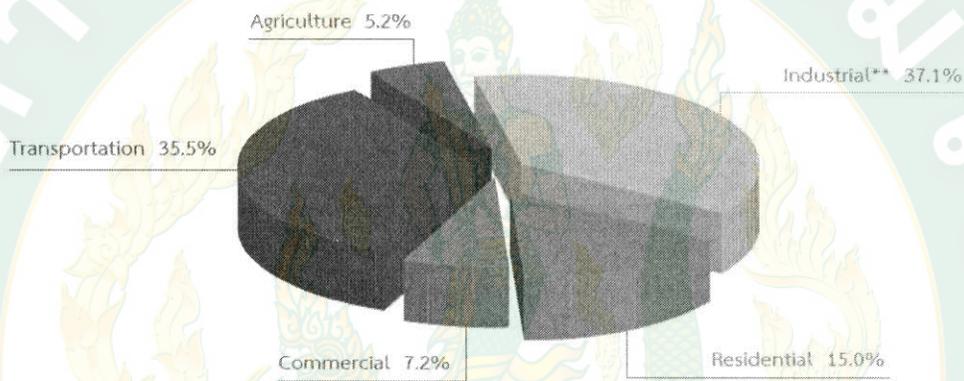


ภาพที่ 8 การแลกเปลี่ยนความร้อนในเวลากลางวัน (Heat Change by Day)

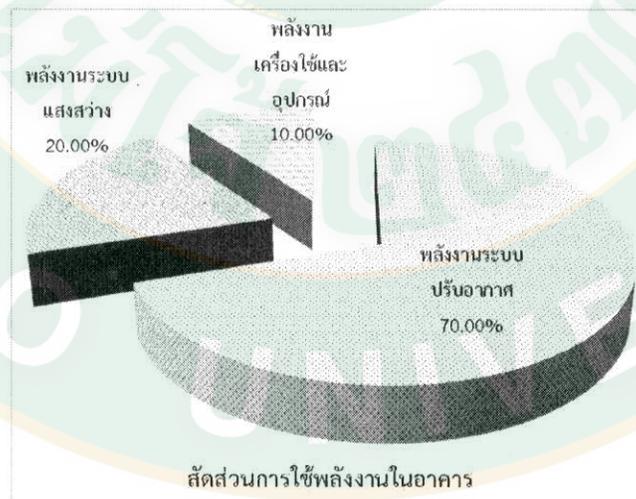
(ตรึงใจ นูรณสมภพ, การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน, 2539)

## 6. เหนือหรือดัชนีที่ใช้ประเมินสภาพแวดล้อม

จากสถานการณ์โลกร้อน “สภาพแวดล้อมปัจจุบัน มีความเปลี่ยนแปลงไปจากอดีตเป็นอย่างมาก” นี้คือบทความตอนหนึ่ง ของหนังสือเทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงานฯ ของ ศ.ดร.สุนทร บุญญาริการ ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ส่งผลต่อการอยู่อาศัยและรูปแบบอาคาร บ้านเรือนของมนุษย์ จากการศึกษาพบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อรูปแบบอาคารมากที่สุด คือ ความร้อน (สุนทร บุญญาริการ, เทคนิคการออกแบบบ้านประหยัดพลังงาน เพื่อคุณภาพชีวิตที่ดีกว่า) เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ ส่งผลให้อาคารในปัจจุบันมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 9 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าของประเทศไทย  
(Energy Development and Efficiency., 2013)



ภาพที่ 10 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานไฟฟ้าในอาคารพักอาศัย  
(สุนทร บุญญาริการและคณะ, 2554)

จากแผนภูมิ แสดงถึงสถานการณ์การใช้พลังงานไฟฟ้าในปัจจุบัน ซึ่งการใช้พลังงานในอาคารพักอาศัยสูงเป็นอันดับสาม รองจากการคมนาคมและระบบอุตสาหกรรม และปริมาณการใช้ไฟฟ้าในบ้านพักอาศัยร้อยละ 70 มาจากพลังงานในระบบปรับอากาศ และ 20% มาจากพลังงานระบบแสงสว่าง ฉะนั้น การออกแบบอาคารในยุคปัจจุบันที่โลกมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะต้องคำนึงถึงการใช้พลังงานของ 2 ตัวแปรดังกล่าวเป็นหลัก ประสิทธิภาพกรอบอาคารต้องมีความสามารถป้องกันอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์และสภาพแวดล้อมภายนอกได้ ส่งผลทำให้เกิดการใช้ปริมาณพลังงานจากเครื่องปรับอากาศลดลง การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการลดใช้พลังงาน เกิดจากความเข้าใจเรื่องอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Sun) ที่กระทำต่ออาคารและสภาพแวดล้อม สามารถแยกความสัมพันธ์ได้เป็น 2 ส่วน คือ

- แหล่งกำเนิดความร้อน ได้แก่ ดวงอาทิตย์
- แหล่งรับความร้อน ได้แก่ อาคาร สภาพแวดล้อม และผู้ใช้

ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนเข้าสู่อาคาร ประกอบด้วย ตัวแปรอุณหภูมิอากาศ ซึ่งเป็นผลจากสภาพแวดล้อมที่ได้รับอิทธิพลจากการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ตัวแปรสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุผิวอาคาร และตัวแปรพื้นที่เปลือกอาคารภายนอก (วรสันต์ บูรณากาญจน์, โครงการวิจัยดัชนีระบบนิเวศยุคใหม่เพื่อความยั่งยืน, 2550) โดยสามารถคำนวณปริมาณพลังงานความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคารได้

$$q = U * A * \Delta t$$

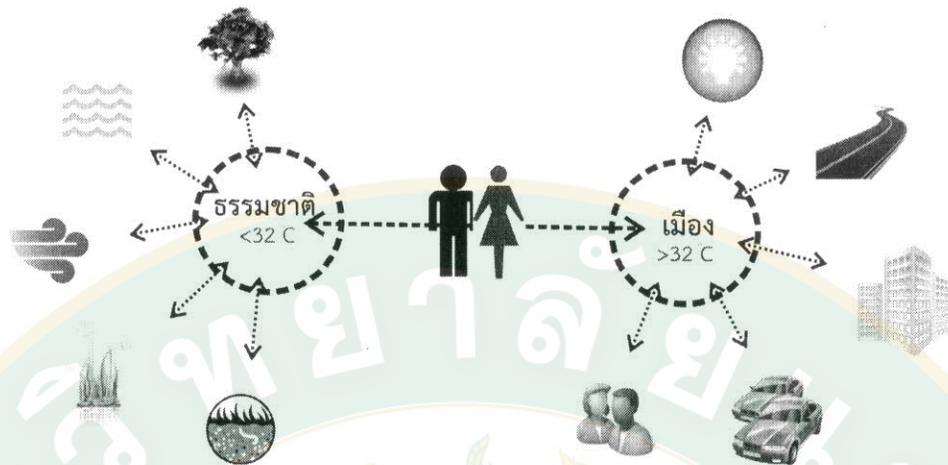
โดย q คือ ปริมาณความร้อน

U คือ ตัวแปรสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุผิวอาคาร

A คือ พื้นที่ผิวเปลือกอาคาร

$\Delta t$  คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

จากสูตร การปรับปรุงสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร ให้มีความสามารถในการป้องกันการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ ใช้วัสดุที่มีค่าการสะสมความร้อนน้อยและมี Heat Capacity สูง เช่น แหล่งน้ำ หรือพื้นหญ้าเปียกในพื้นที่ที่มีการตกกระทบของแสง โดย จากสภาพแวดล้อมดังกล่าว สามารถลดระดับอุณหภูมิอากาศลงได้ 2-3 องศาเซลเซียส (สุนทร บุญญาธิการม, บ้านชีวาศาสตร์) เป็นการกรองปริมาณความร้อนชั้นที่ 1 ก่อนเข้าสู่ผิวอาคาร การใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีค่าความร้อนสูง และลดพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศภายนอกให้น้อยที่สุด เพื่อลดช่องทางผ่านของความร้อนจากภายนอก ฉะนั้น การเลือกใช้วัสดุและรูปแบบอาคารที่เหมาะสม จะช่วยลดการถ่ายเทความร้อนจากสภาพแวดล้อม ชั้นที่ 2 ก่อนเข้าสู่ภายในอาคาร



ภาพที่ 11 แสดงความแตกต่างขององค์ประกอบ โดยรอบที่ตั้ง (Site Elements) ระหว่างสภาพแวดล้อมในเมืองกับชนบท ที่ส่งผลถึงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศ

## 7. เกณฑ์หรือดัชนีที่ใช้ประเมินสภาพแวดล้อม

### 7.1 เกณฑ์หรือดัชนีที่มีอยู่ในปัจจุบัน

การศึกษาดัชนีวัดการใช้พลังงานที่เหมาะสมกับภูมิภาคร้อนชื้นนั้น ได้ศึกษาหลักการของดัชนีสำคัญอื่นๆ ที่ใช้ในภูมิภาคต่างๆ เพื่อนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบในด้านต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 7.2 ระเบียบการประเมินมาตรฐานและดัชนีคาร์บอน , แซพ (The Standard Assessment Procedure and Carbon Index , SAP )

ดัชนี แซพ ; SAP (The Standard Assessment Procedure ,2006 ) เป็นมาตรฐานหนึ่งของประเทศออสเตรเลีย คือ การคำนวณประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานในอาคารพักอาศัย โดยกำหนดเป็นระดับ 1 ถึง 120 โดยมีมาตรฐานตามกฎหมายอยู่ที่ 100 โดยอาคารที่ได้ดัชนี 120 จะเป็นอาคารที่ประหยัดพลังงานมากที่สุด

ส่วนดัชนีคาร์บอน (Carbon Index) นั้น คำนวณมาจากการประหยัดพลังงานภายในอาคารโดยมีความสัมพันธ์กับการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย อ้างอิงจากเกณฑ์การปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์รายปี ดัชนีที่ได้จะแสดงเป็นมาตร 1 ถึง 10 โดยที่ตัวเลขจะแสดงถึงการประหยัดพลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ

ดัชนีประเภทนี้สร้างขึ้นมาเพื่อส่งเสริมภาพลักษณ์ที่ดี ในการอนุรักษ์สภาพแวดล้อมเพื่อลดภาวะโลกร้อนอันเกิดจากก๊าซเรือนกระจก

7.3 กระบวนการประเมินสภาพแวดล้อมของอาคาร ,บริม (The Building Research Establishment Environmental Assessment Method ,BREEAM)

เป็นมาตรฐานของประเทศอังกฤษ ที่พัฒนาจากองค์กรวิจัยอาคาร (The Building Research Establishment , BRE) เพื่อทำการชี้วัดอาคารประเภทต่างๆ ทั้งการปรับปรุงอาคารเก่าและอาคารที่สร้างใหม่ด้วย ซึ่งมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องจนถึงปัจจุบัน

ดัชนีประเภทนี้สร้างขึ้นมาเพื่อส่งเสริมประสิทธิภาพการใช้พลังงานในภาพรวม เป็นเครื่องมือในการประเมินมาตรฐานอาคารเพื่อสิ่งแวดล้อม (Building Environmental Assessment Tool) ทั้งหมดโดยสอดคล้องกับมาตรฐานอนุกรม ISO 14020 ในการอนุรักษ์สภาพแวดล้อม ที่เกิดจากอาคารและผู้ใช้งานในอาคาร เพื่อให้มีสภาพความเป็นอยู่ที่ได้มาตรฐานต่อตนเองและรับผิดชอบต่อสังคม จนไปถึงส่งเสริมการนำวัสดุจากแหล่งที่กลับนำมาใช้ใหม่

7.4 ดัชนีกรีนมาร์ค (Green Mark Rating) เป็นมาตรฐานของประเทศสิงคโปร์

ดัชนีประเภทนี้สร้างขึ้นมา เพราะประเทศสิงคโปร์เป็นประเทศที่บริโภคพลังงานจากภายนอกประเทศ ทั้งไฟฟ้าและน้ำ ดังนั้น ดัชนีนี้จึงมีจุดประสงค์ที่จะลดการบริโภคเหล่านี้ให้น้อยลงอย่างมีประสิทธิภาพโดยใช้เทคโนโลยีและนวัตกรรมต่างๆ มาช่วยและรักษาสภาพแวดล้อมภายในและภายนอกอาคารให้ดีขึ้น

7.5 ระบบการประเมินประสิทธิภาพสภาพแวดล้อมของสิ่งก่อสร้าง ,แคสบี

(Comprehensive Assessment System for Building Environmental Efficiency , CASBEE)

เป็นมาตรฐานของประเทศญี่ปุ่น ซึ่งมีวัตถุประสงค์มุ่งหวังที่จะสร้างสถาปัตยกรรมเพื่อสิ่งแวดล้อมที่ดี ตั้งแต่เริ่มออกแบบจนถึงก่อสร้างประกอบด้วย 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มดัชนีประสิทธิภาพของอาคารจากสภาพแวดล้อม กลุ่มลดการใช้พลังงานลงมา ซึ่งดัชนี CASBEE มีการจัดลำดับและการให้คะแนนแบ่งเป็น 5 ระดับ คือ C (ระดับต่ำ), B-, B+, A ,S (ระดับดีเยี่ยม)

ดัชนีประเภทนี้สร้างขึ้นมา เน้นเรื่องการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพ โดยอาคารจะมีเกณฑ์พิจารณาครอบคลุมทุกด้านอย่างละเอียด โดยอาคารจะถูกนำมาพิจารณาในเชิงนิเวศเศรษฐกิจ (Economic and Ecological Design) ใช้ทรัพยากรอย่างมีคุณค่า เชื่อมโยงการรักษาสิ่งแวดล้อมต่อผู้ใช้อาคาร และทางแคสบี ยังมุ่งหวังจะให้ดัชนี เป็นมาตรฐานการแข่งขันของบุคคลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอาคาร

#### 7.6 ระบบการประเมินความเป็นผู้นำการออกแบบด้านพลังงานและสภาพแวดล้อม (Leadership in Energy and Environmental Design , LEED)

เป็นมาตรฐานของประเทศสหรัฐอเมริกา ดัชนี LEED มีการจัดลำดับและการให้คะแนนแบ่งเป็น 4 ระดับ ได้แก่ แพลตตินั่ม (Platinum) , โกลด์ (Gold) , ซิลเวอร์ (Silver) , และผ่านเกณฑ์ (Certified) : ซึ่งทางประเทศแคนาดาได้นำหลักการและรายละเอียดไปพัฒนา และเรียกชื่อว่า LEED Canada

โดยดัชนี LEED ถือได้ว่าเป็นแม่แบบในการริเริ่มในการประหยัดพลังงานในอาคารโดยมีพื้นฐานจากการคำนึงถึงการออกแบบอาคารเพื่อประหยัดพลังงานเป็นหลัก เนื่องจากความต้องการในการลดการบริโภคพลังงานไฟฟ้าในภาพรวม โดยกำหนดเป็นนโยบายหลักเพื่ออนุรักษ์การใช้พลังงานให้น้อยลงโดย มีแรงจูงใจทางด้านตัวแปรเศรษฐกิจเป็นตัวผลักดัน เช่น การลดภาษี การส่งเสริมการขาย การสร้างความภูมิใจให้กับอาคารของตน โดยการได้ชื่อเสียงและสิทธิพิเศษต่างๆ ซึ่งต่อมาดัชนี LEED ได้นำแนวความคิดทางด้านสิ่งแวดล้อมเข้ามาเสริมตั้งแต่ขั้นตอนการออกแบบ การก่อสร้าง การใช้งาน โดยการใช้งานในอาคารเป็นช่วงที่อาคารควรใช้พลังงานและทรัพยากรมากที่สุด

#### 7.7 เกณฑ์การประเมินอาคารเขียว (Green Building)

ในส่วนของประเทศไทยนั้น การประหยัดพลังงานเป็นอีกมาตรการหนึ่งที่ได้รับ การส่งเสริมจากรัฐ โดยมีการออกพระราชกฤษฎีกากำหนดอาคารควบคุมกระทรวงออกตามความในพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (2535) โดยค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของผนังด้านนอกแต่ละด้าน (OTTV) คือ การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวม มาจากค่าเฉลี่ยต่อตารางเมตรของปริมาณความร้อนจากผนังภายนอก ที่ถ่ายเทผ่านเปลือกอาคารเข้ามา ส่วนค่าการถ่ายเทความร้อนรวมของหลังคาอาคาร ( RTTV) นั้นคือ การคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนรวมโดยผ่านหลังคาเท่านั้น สำหรับพื้นที่ปรับอากาศ โดยกำหนดให้อาคารที่สร้างหลังปี พ.ศ. 2536 จะต้องมีค่า OTTV ไม่เกิน 45 วัตต์ / ตร.ม. และ RTTV จะต้องมีค่าไม่เกิน 25 วัตต์/ ตร.ม. ซึ่งถือว่าเป็นจุดเริ่มต้นที่ดีในการหา มาตรการในการชีวิตการใช้พลังงาน แต่เมื่อเทียบถึงดัชนีชีวิตที่ใช้ในภูมิภาคอื่นแล้ว ยังคง ต้องพัฒนาในแนวทางที่ถูกต้องเป็นอย่างมาก และสิ่งสำคัญก็คือผู้ใช้อาคาร และ ผู้ออกแบบ มีความสนใจในการประหยัดพลังงานไม่มากเท่าที่ควร นอกจากหน่วยงานที่รับผิดชอบ หรือ บริษัทสถาปนิกที่ต้องทำมาตรฐานเดียวกับต่างประเทศ และการประเมินอาคารแบบ ใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์คำนวณ OTTV และ RTTV เป็นเรื่องซับซ้อนสำหรับบุคคล ทั่วไปที่จะเข้าใจ เนื่องจากต้องมีทักษะการใช้คอมพิวเตอร์ และศัพท์เทคนิคในการ

ประหยัดพลังงาน แม้กระทั่งข้อจำกัดหลายอย่างของโปรแกรมซึ่งคำนึงเพียงการลดภาระการใช้พลังงานในอาคารผ่านเปลือกอาคารให้ผ่านตามกฎหมายเท่านั้น

ปัจจุบันกรมพัฒนาพลังงานทดแทน ฯ ได้ร่วมกับกรมโยธาธิการและผังเมืองกำลังจะมีการปรับปรุงพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน ฯ หรือ ปรับปรุง OTTV และ RTTV ขึ้นมาใหม่ โดยมีการออกร่างกฎกระทรวงว่าด้วยการก่อสร้างอาคารประหยัดพลังงาน (2552) สำหรับอาคารใหม่ที่มีพื้นที่ 2,000 ตร.ม. ขึ้นไป ที่ขออนุญาตก่อสร้างจะต้องแสดงแบบการก่อสร้างอาคารที่ใช้วัสดุพื้นผิวและระบบประหยัดพลังงานด้วย

อาคารที่อยู่ในข่ายที่ต้องควบคุม ได้แก่

- ประเภทที่ 1 อาคารสำนักงาน สถานศึกษา ที่พักอาศัย
- ประเภทที่ 2 ห้างสรรพสินค้า ร้านค้าย่อย ศูนย์การค้าหรือซูเปอร์สโตร์
- ประเภทที่ 3 โรงแรม โรงพยาบาล สถานพักผ่อน

อาคารที่มีพื้นที่ต่ำกว่า 2,000 ตารางเมตรนั้น สามารถเข้าโครงการประหยัดพลังงานโดยติดฉลากพลังงาน ซึ่งจะต้องประหยัดพลังงานได้ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 10 ของการใช้พลังงานทั้งหมด ซึ่งข้อกำหนดการใช้พลังงานในอาคารที่จะขออนุญาตก่อสร้างใหม่ให้มีรายละเอียดค่าการถ่ายเทความร้อนผ่านกรอบอาคาร (OTTV , RTTV)

ประเภทอาคาร	ชม.การใช้ต่อปี	OTTV (วัตต์/ตร.ม.)	RTTV (วัตต์/ตร.ม.)
สำนักงาน หรือ โรงเรียน	2,340	< 50	< 15
ห้างสรรพสินค้า	4,380	<40	<12
โรงแรม หรือ โรงพยาบาล	8,760	<30	<10

ตารางที่ 1 ค่าขั้นต่ำของประสิทธิภาพการใช้พลังงานผ่านเปลือกอาคาร

การประเมินอาคารเขียวกรณีอาคารเดิม มีแนวคิดในการประเมินมุ่งเน้นด้านการใช้พลังงานและบำรุงรักษา (Operation & Maintenance) อาคารและสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ โดยอาศัยเกณฑ์ที่กำหนดขึ้นมาซึ่งแบ่งออกเป็น 8 หมวด ได้แก่

1. การบริหารจัดการอาคาร (Building Management)
2. ผังบริเวณ และภูมิสถาปัตยกรรม (Site and Landscape)
3. การประหยัดน้ำ (Water Conservation)
4. พลังงานและบรรยากาศ (Energy and Atmosphere)
5. วัสดุและทรัพยากรในการก่อสร้าง (Materials and Resources)

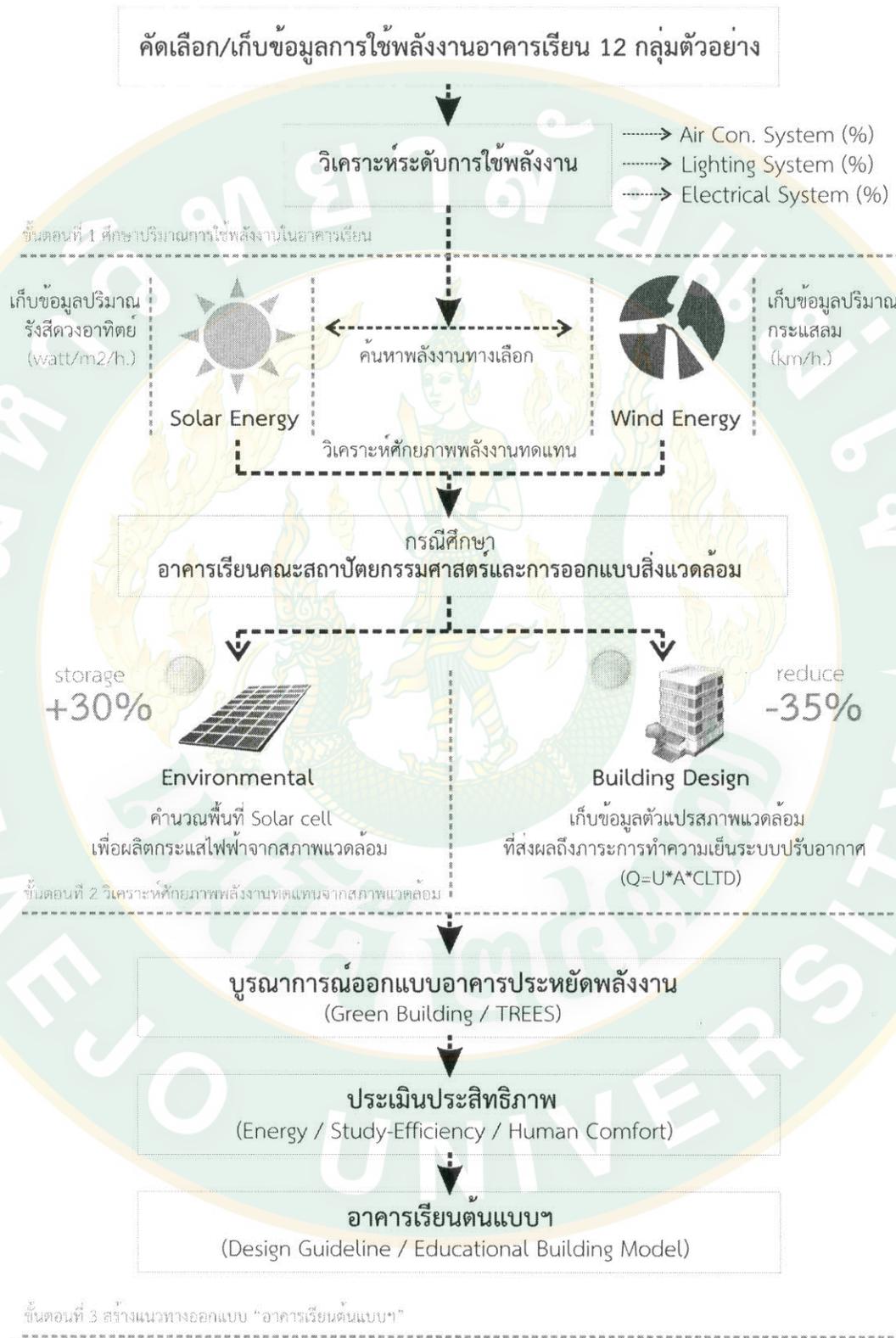
6. คุณภาพและสภาพแวดล้อมภายในอาคาร (Indoor Environmental Quality)
7. การป้องกันผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection)
8. นวัตกรรม (Green Innovation)

สำหรับเกณฑ์ที่ใช้ประเมินมีอยู่ 2 ประเภท คือ

- เกณฑ์ที่ต้องผ่าน (Prerequisite) หมายถึง เกณฑ์ที่อาคารต้องดำเนินการให้ได้ตามที่ระบุไว้ทุกเกณฑ์ โดยค่าที่ใช้อ้างอิงในเกณฑ์ส่วนนี้ได้จากค่ามาตรฐานหรือที่ระบุไว้ในกฎหมายหรือข้อบังคับต่างๆ

- เกณฑ์ที่ให้คะแนน (Credit) เป็นเกณฑ์ใช้พิจารณาเพื่อประเมินว่าอาคารดังกล่าวเป็นอาคารเขียวหรือไม่ ในการสร้างเกณฑ์ประเมินอาคารอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อมหรืออาคารเขียว (Green Building) สามารถช่วยลดผลกระทบของอาคารที่มีต่อสิ่งแวดล้อมและสุขภาพของมนุษย์เป็นอาคารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในการดำเนินงานที่ผ่านมา ในปี ๒๕๕๑ ได้มีการกำหนดเกณฑ์อาคารราชการเขียวสำหรับเกณฑ์อาคารเดิมและเกณฑ์อาคารที่จะมีการก่อสร้างใหม่ ดร.ชูพงษ์ ทองคำสมุทร (2553) ได้ศึกษาการออกแบบอาคารเรียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้นั้นมีความสำคัญเป็นอย่างมาก ทั้งนี้เนื่องจากการศึกษาเป็นรากฐานที่สำคัญของการพัฒนาประเทศ สภาพแวดล้อมภายในอาคารเรียนเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญต่อกระบวนการเรียนรู้ ดังนั้นแนวทางการออกแบบอาคารเรียนนี้จึงมีเป้าหมายในการเสริมสร้างสภาวะน่าสบายในอาคาร ทั้งในส่วนของความสบายทางด้านอุณหภูมิและความรู้สึกร้อนหนาว ความสบายทางด้านแสงสว่าง และการมองเห็นที่เหมาะสม และความสบายทางด้านคุณภาพเสียงภายในอาคาร โดยคำนึงถึงอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องรวมทั้งความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านั้น เพื่อให้สามารถออกแบบอาคารเรียนให้บรรลุเป้าหมายตามที่ต้องการได้อย่างบูรณาการ

## อุปกรณ์และวิธีการ



ภาพที่ 12 วิธีการ/ลำดับขั้นตอนการทำวิจัยตลอดโครงการ

- 3.1 เก็บข้อมูลปริมาณการใช้พลังงานในอาคารเรียนกลุ่มตัวอย่าง 14 อาคาร
- 3.1.1 สํารวจการใช้พลังงานกลุ่มตัวอย่างอาคารเรียนประเภทบรรยาย ที่มีลักษณะเดียว/ใกล้เคียง ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพื่อหาค่าเฉลี่ยการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่
- 3.1.2 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารเรียนตัวอย่าง ได้แก่ อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้ ตลอดทั้งปี
- 3.1.3 วิเคราะห์ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคารเรียน
- 3.2 วิเคราะห์ศักยภาพพลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์
- 3.2.1 เก็บข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในช่วง Solar time (12 hr.)
- 3.2.2 คำนวณพื้นที่ Solar cell รวมถึงระบบและตำแหน่งการติดตั้ง ณ ตำแหน่งหลังคา/ดาดฟ้า ของตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม โดยถือเป็น อาคารตัวอย่างที่ใช้ออกแบบ/ปรับปรุง อาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้
- 3.3.3 เปรียบเทียบสัดส่วนความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าเฉลี่ย กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ต่อหน่วยพื้นที่
- 3.3 กำหนดแนวทางการออกแบบ อาคารเรียนต้นแบบฯ
- 3.3.1 สํารวจและเก็บข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อม ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงาน
- 3.3.2 ออกแบบ/ปรับปรุงอาคารเรียนและสภาพแวดล้อม ให้มีประสิทธิภาพการลดใช้พลังงานสูงสุด
- 3.3.3 สร้างข้อกำหนด/เกณฑ์มาตรฐาน “อาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้”

### 3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยประกอบด้วยเครื่องมือต่าง ๆ ดังนี้

#### 3.4.1 เครื่องบันทึกอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ (Data logger)

เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ รุ่น DIGICON Model: DL-TH-USB การวัดอุณหภูมิมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) และองศาฟาเรนไฮต์ ( $^{\circ}\text{F}$ ) การวัดความชื้นสัมพัทธ์มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

- ย่านในการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง  $-35$  ถึง  $80$  OC ( $-31$  ถึง  $176$  OF) มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่  $\pm 0.5$  ถึง  $\pm 2$  OC ( $\pm 1$  ถึง  $\pm 4$  OF) ค่าความละเอียดภายในอยู่ที่  $\pm 0.5$  OC ( $\pm 1.0$  OF)
- ย่านในการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 % มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่  $\pm 3$  % (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 20 ถึง 80 %) ค่าความละเอียดอยู่ที่ 0.5 %
- ค่าอุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งานอยู่ระหว่าง  $-35$  ถึง  $80$   $^{\circ}\text{C}$  ( $-31$  ถึง  $176$   $^{\circ}\text{F}$ )
- อัตราการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 10 วินาที ถึง 12 ชั่วโมง



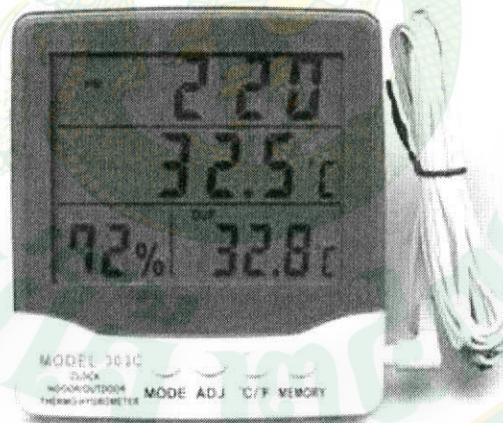
ภาพที่ 13 เครื่องบันทึกอุณหภูมิอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ รุ่น ENTECH SD500

(<http://www.extech.com/display/?id=14720>)

### 3.4.2 เครื่องวัดอุณหภูมิอากาศ (Thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ รุ่น Nicety TH802A การวัดอุณหภูมิมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส ( $^{\circ}\text{C}$ ) และองศาฟาเรนไฮต์ ( $^{\circ}\text{F}$ ) การวัดความชื้นสัมพัทธ์มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

- ย่านในการวัดอุณหภูมิภายในอาคารอยู่ระหว่าง 0 ถึง 50  $^{\circ}\text{C}$  (0 ถึง 122  $^{\circ}\text{F}$ ) และ อุณหภูมิภายนอกอาคารอยู่ระหว่าง -20 ถึง 70  $^{\circ}\text{C}$  (-68 ถึง 158  $^{\circ}\text{F}$ ) มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่  $\pm 1$   $^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1.8$   $^{\circ}\text{F}$ ) ค่าความละเอียดภายในอยู่ที่  $\pm 1$   $^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 1.8$   $^{\circ}\text{F}$ )
- ย่านในการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 20 ถึง 90 % มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่  $\pm 5$  % (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 10 ถึง 90 %) ค่าความละเอียดอยู่ที่ 1 %
- ค่าอุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งานอยู่ระหว่าง -20 ถึง 60  $^{\circ}\text{C}$  (-68 ถึง 140  $^{\circ}\text{F}$ )
- ค่าความชื้นสัมพัทธ์แวดล้อมขณะใช้งานอยู่ระหว่าง 20 ถึง 80 %
- บันทึกค่าสูงสุด ค่าสุดของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์



ภาพที่ 14 เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ รุ่น HGM-HY-303C

### 3.4.3 เครื่องวัดอุณหภูมิฟิวดระยะไกล (Infrared Thermometer)

เครื่องวัดอุณหภูมิฟิวดวัสดุเป็นเครื่องวัดอุณหภูมิฟิวดด้วยรังสีอินฟราเรด รุ่น Testo 860-T2 สามารถเปลี่ยนค่าอีมิตซีวิตี (Emissivity value) ของฟิวดวัสดุได้ มีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C)

- ระยะในการวัดมาตรฐาน (Standard optical) มีความสัมพันธ์ 60:1
- ระยะในการวัดแบบใกล้ (Close focus optical) มีความสัมพันธ์ 50:1
- ย่านในการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -50 ถึง 500 °C
- ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -5 ถึง 500°C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 1% ของค่าที่อ่านได้ หรือ +/- 1 °C
- ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -30 ถึง -5°C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 1.5 °C
- ย่านในการวัดอุณหภูมิระหว่าง -50 ถึง -30°C มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 2 °C



ภาพที่ 15 เครื่องวัดอุณหภูมิฟิวดวัสดุ Testo 860-T2

([http://www.suntech-hk.com/index\\_e.htm](http://www.suntech-hk.com/index_e.htm))



### 3.4.4 เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ (Pyrometer - Solar Radiation)

เป็นเครื่องวัดกำลังไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์ กำหนดประสิทธิภาพของระบบ PV ของพลังงานแสงอาทิตย์ อุปกรณ์ที่มีเซ็นเซอร์ในตัวที่ด้านบน มีหน่วยเป็น W/m<sup>2</sup> หรือ BTU/ft<sup>2</sup>/h สามารถวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ตั้งแต่ 1-2000 W/m<sup>2</sup> หรือ 1-634 BTU/ft<sup>2</sup>/h



ภาพที่ 16 เครื่องวัดปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รุ่น OEM TES-1333

เครื่องวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์เป็นเครื่องวัดและบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ รุ่น DIGICON Model: DL-TH-USB การวัดอุณหภูมิมีหน่วยเป็น องศาเซลเซียส (OC) และ องศาฟาเรนไฮต์ (OF) การวัดความชื้นสัมพัทธ์มีหน่วยเป็น เปอร์เซ็นต์ (%)

- ย่านในการวัดอุณหภูมิอยู่ระหว่าง -35 ถึง 80 OC (-31 ถึง 176 OF) มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 0.5 ถึง +/- 2 OC (+/- 1 ถึง +/- 4 OF) ค่าความละเอียดภายในอยู่ที่ +/- 0.5 OC (+/- 1.0 OF)
- ย่านในการวัดความชื้นสัมพัทธ์อยู่ระหว่าง 0 ถึง 100 % มีค่าความเที่ยงตรงอยู่ที่ +/- 3 % (ที่ความชื้นสัมพัทธ์ 20 ถึง 80 %) ค่าความละเอียดอยู่ที่ 0.5 %
- ค่าอุณหภูมิแวดล้อมขณะใช้งานอยู่ระหว่าง -35 ถึง 80 OC (-31 ถึง 176 OF)
- อัตราการบันทึกข้อมูลตั้งแต่ 10 วินาที ถึง 12 ชั่วโมง

### 3.4.5 เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer)



ภาพที่ 17 เครื่องวัดความเร็วลม รุ่น EXTECH AN100

(<http://www.extech.com/category/?id=14876>)

## ผลการวิจัย

### 4.1 ตัวแปรสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียน

ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ปัจจัยจากสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลมากที่สุดต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์คือ ดวงอาทิตย์ (Sun) ความสัมพันธ์ของการอยู่ร่วมกันระหว่างมนุษย์กับดวงอาทิตย์ส่งผลทำให้เกิดสิ่งค้ำกันกาย ที่เรียกว่า อาคาร (Building) ซึ่งมีหลากหลายรูปแบบแตกต่างกันไปตามประเภทการใช้งานของแต่ละอาคาร โดยมีวัตถุประสงค์เดียวกันคือ ปกป้องมนุษย์จากสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิต จะเห็นได้ว่า ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น สภาพแวดล้อมภายนอกโดยเฉลี่ยไม่เหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ ซึ่งอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์เป็นปัจจัยหลัก ดังนั้นงานสถาปัตยกรรม/อาคารจึงต้องปกป้องอิทธิพลเหล่านี้ได้ การสร้างสภาวะอากาศแบบน่าสบาย (Comfort zone) ของมนุษย์ภายในอาคาร จึงเป็นปัจจัยหลักในการออกแบบ

จากการศึกษา มากกว่าร้อยละ 80 อาคารเรียนใช้พลังงานหมดไปกับระบบปรับอากาศ ฉะนั้นเมื่ออาคารเรียนเป็นตัวกลางที่กั้นระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกกับสภาพแวดล้อมภายใน ประสิทธิภาพของวัสดุอาคารต้องมีความสามารถในการป้องกันความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ดี ส่งผลให้การใช้พลังงานในการทำความเย็นจากเครื่องปรับอากาศสมบูรณ์ที่สุด อีกครั้ง การลดอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อมภายนอก ให้เข้าใกล้ 25 องศาเซลเซียส หรืออยู่ใกล้เคียงเกณฑ์น่าสบายของมนุษย์ จะเป็นการลดภาระการทำความเย็น ของเครื่องปรับอากาศ ส่งผลให้การใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารลดลงได้

แต่ในปัจจุบัน พบว่าการก่อสร้างอาคารเรียนด้วยวัสดุที่ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน ทำให้ไม่สามารถเก็บกักความเย็นจากเครื่องปรับอากาศภายในอาคารได้ ส่งผลให้เกิดการรั่วไหลหรือถ่ายเทอากาศระหว่างภายนอก-ภายในอยู่ตลอดเวลา ทำให้อาคารต้องใช้พลังงานเพื่อปรับอากาศที่ถ่ายเทเข้ามาใหม่อยู่ตลอดเวลาและมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้น

งานวิจัยชิ้นนี้ จึงต้องค้นหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ของอาคารเรียน โดยทำการสำรวจการใช้พลังงานของอาคารเรียนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 14 ตัวอย่างภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เพื่อวิเคราะห์สัดส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ และค้นหาตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคารสูงสุด

#### 4.1.1 ตำรวจการใช้พลังงานกลุ่มตัวอย่างอาคารเรียนประเภทบรรยาย ที่มีลักษณะเดียว/ ใกล้เคียง ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้

ผู้วิจัยได้มีการเก็บข้อมูลกลุ่มตัวอย่างการใช้พลังงานของอาคารเรียนประเภทบรรยาย ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ในช่วงปี 2557-2558 จำนวน 14 อาคารเรียน เพื่อหาการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่ตารางเมตร พบว่า

1. อาคารเรียนรวมแม่โจ้ 70 ปี มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 18,919 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน
2. อาคารเรียนรวมสุวรรณวาจกกสิกิจ มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 5,072 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน
3. อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชินี มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 14,550 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม
4. อาคารอำนวยการยศสุข มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 10,971 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนมิถุนายน
5. อาคาร 25 ปี คณะบริหารธุรกิจ มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 13,549 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคม
6. อาคารแม่โจ้ 60 ปี มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 58,982 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน
7. อาคารจุฬารักษ์ มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 30,932 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน
8. อาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมศาสตร์ มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 18,000 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม
9. อาคารเทคโนโลยีการประมง มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 21,203 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนมกราคม
10. อาคารประเสริฐ ๓ นคร มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 11,872 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน
11. อาคารขรรค์ สิทธีชัย มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 10,900 กิโลวัตต์/เดือน และสูงสุดในช่วงเดือนสิงหาคมและตุลาคม

## 12. อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม

มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 3,320 กิโลวัตต์/เดือน  
และสูงสุดในช่วงเดือนมีนาคมและพฤษภาคม

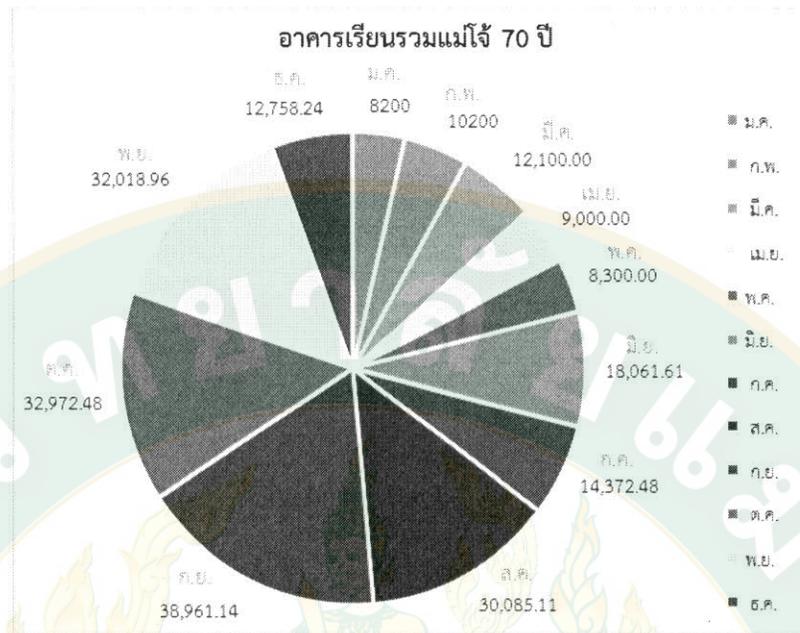
## 13. อาคารเรียนรวมวิทยาลัยบริหารศาสตร์

มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 13,046 กิโลวัตต์/เดือน  
และสูงสุดในช่วงเดือนกันยายน

## 14. อาคาร 75 ปี แม่โจ้

มีการใช้พลังงานเฉลี่ย 2,417 กิโลวัตต์/เดือน  
และสูงสุดในช่วงเดือนตุลาคม

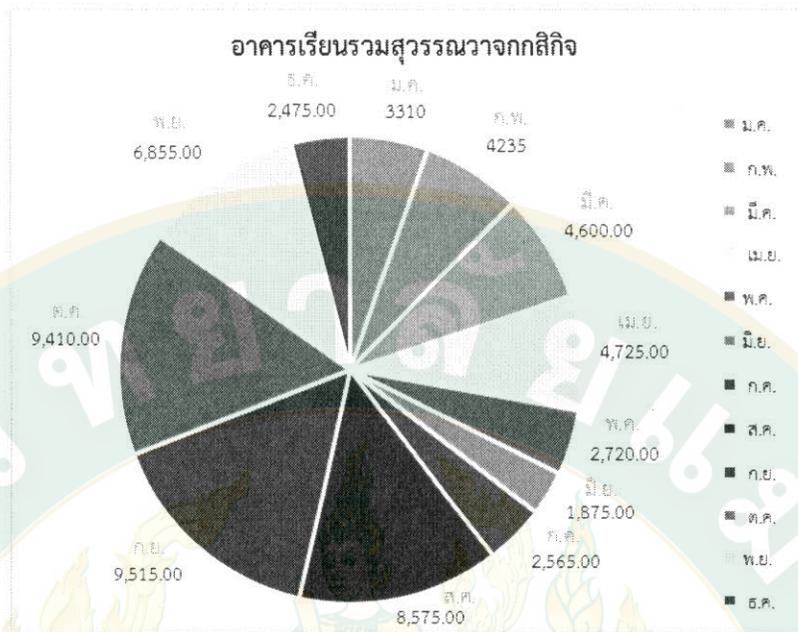




ภาพที่ 18 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารเรียนรวมแม่โจ้ 70 ปี

อาคารเรียนรวมแม่โจ้ 70 ปี เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของทุกภาควิชาทุกคณะในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 12,161.62 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 3,105.81 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 9,055.81 ตารางเมตรก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศตะวันตก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวัน ตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 18,919 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนกันยายนมีการใช้พลังงานสูงสุด 38,961.14 กิโลวัตต์ และเดือนมกราคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 8,200 กิโลวัตต์

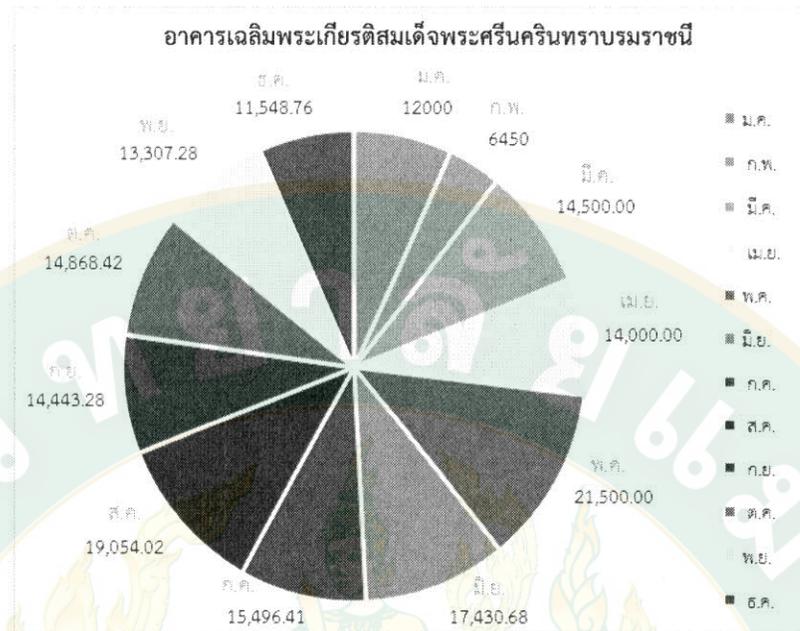
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม-พฤษภาคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าว เดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ เป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว) และช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม เป็นช่วงปิดภาคเรียน (ฤดูร้อน)



ภาพที่ 19 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคารเรียนรวมสุวรรณวาจกกสิกิจ

อาคารเรียนรวมสุวรรณวาจกกสิกิจ เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของทุกภาควิชาทุกคณะในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 2,211.44 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 585.72 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 1,625.72 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศตะวันตก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 5,072 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนกันยายนมีการใช้พลังงานสูงสุด 9,515 กิโลวัตต์ และเดือนมิถุนายนมีการใช้พลังงานต่ำสุด 1,875 กิโลวัตต์

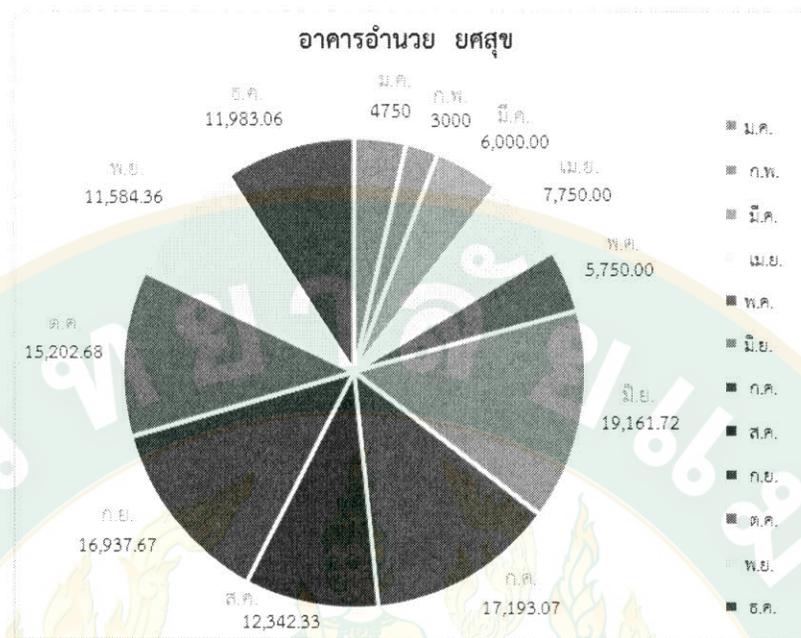
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม-กรกฎาคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าว เดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ เป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว) และช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม เป็นช่วงปิดภาคเรียน (ฤดูร้อน)



ภาพที่ 20 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชินี

อาคารเฉลิมพระเกียรติสมเด็จพระศรีนครินทราบรมราชินีเป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 6,853.56 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 4,332.20 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 2,521.36 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 14,550 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนพฤษภาคมมีการใช้พลังงานสูงสุด 21,500 กิโลวัตต์ และเดือนกุมภาพันธ์มีการใช้พลังงานต่ำสุด 6,450 กิโลวัตต์

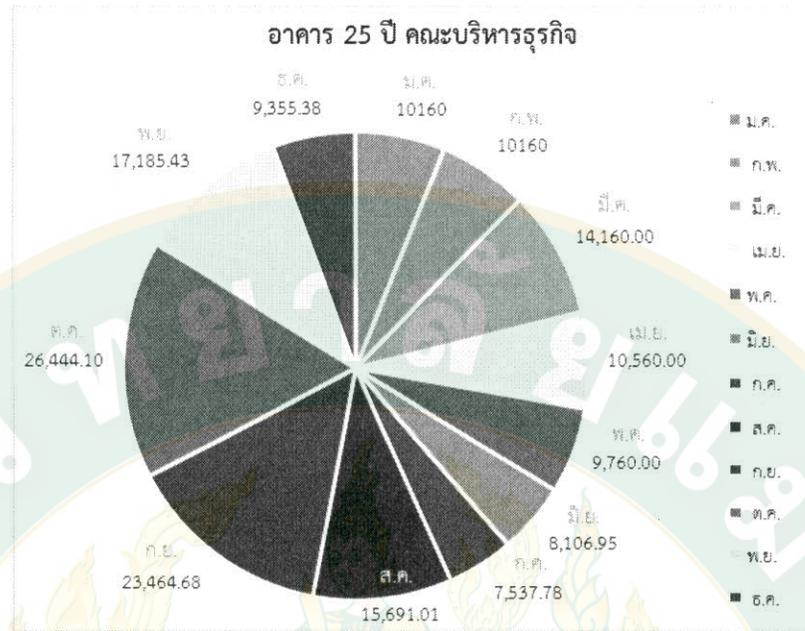
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกเดือน และต่ำสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 21 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารอำนวยการ ยศสุข

อาคารอำนวยการ ยศสุข เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยายและกิจการนักศึกษา ลักษณะอาคารเป็นอาคารสูง 5 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 16,262.60 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 3,148.74 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 13,113.86 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศตะวันตก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 10,971 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนมิถุนายนมีการใช้พลังงานสูงสุด 19,161.72 กิโลวัตต์ และเดือนกุมภาพันธ์มีการใช้พลังงานต่ำสุด 3,000 กิโลวัตต์

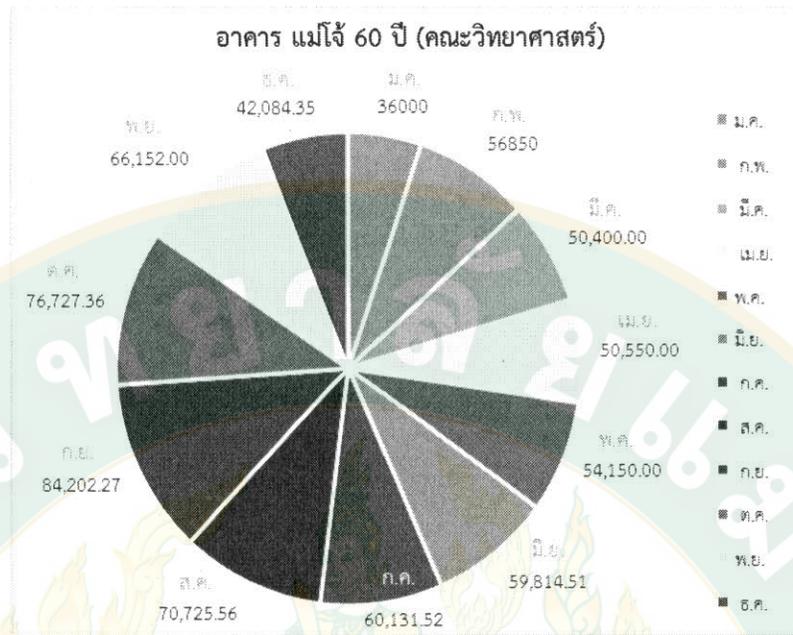
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายน-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน (ฤดูฝน) และต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม-พฤษภาคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าว เดือนมกราคม-กุมภาพันธ์ เป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว) และช่วงเดือนมีนาคม-พฤษภาคม เป็นช่วงปิดภาคเรียน (ฤดูร้อน)



ภาพที่ 22 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคาร 25 ปี คณะบริหารธุรกิจ

อาคาร 25 ปี คณะบริหารธุรกิจ เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของคณะบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 4,042 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ที่ปรับอากาศ 2,276 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 1,766 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศใต้ การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 13,549 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนตุลาคมมีการใช้พลังงานสูงสุด 26,444.10 กิโลวัตต์ และเดือนกรกฎาคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 7,537.78 กิโลวัตต์

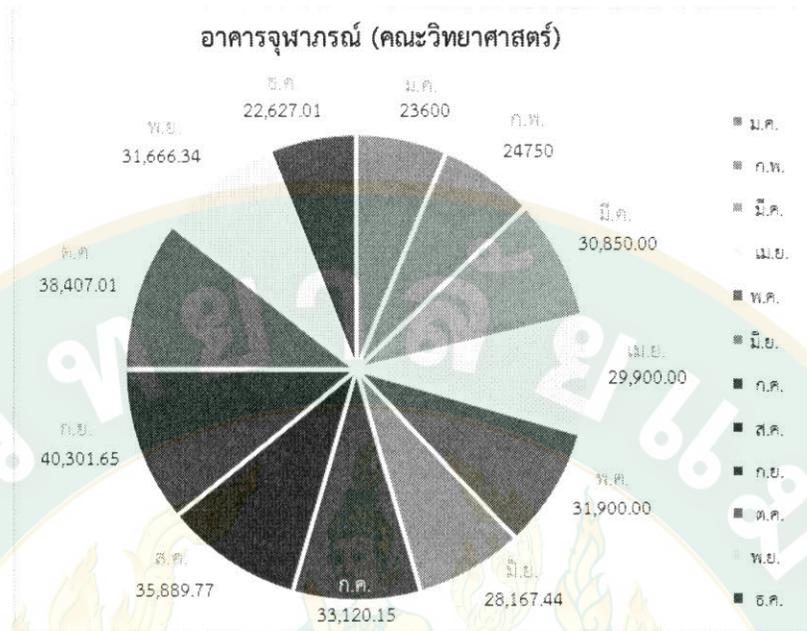
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน และต่ำสุดในช่วงเดือนพฤษภาคม-กรกฎาคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าว เดือนพฤษภาคม-มิถุนายน เป็นช่วงปิดภาคเรียน (ฤดูร้อน) และช่วงเดือนมิถุนายน-กรกฎาคม เป็นช่วงเปิดภาคเรียน



ภาพที่ 23 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคาร แม่โจ้ 60 ปี (คณะวิทยาศาสตร์)

อาคาร แม่โจ้ 60 ปี (คณะวิทยาศาสตร์) เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 21,858.25 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 8,723.13 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 13,135.12 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กค้ำหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศตะวันออก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 58,982 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนกันยายนมีการใช้พลังงานสูงสุด 84,202.27 กิโลวัตต์ และเดือนมกราคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 36,000 กิโลวัตต์

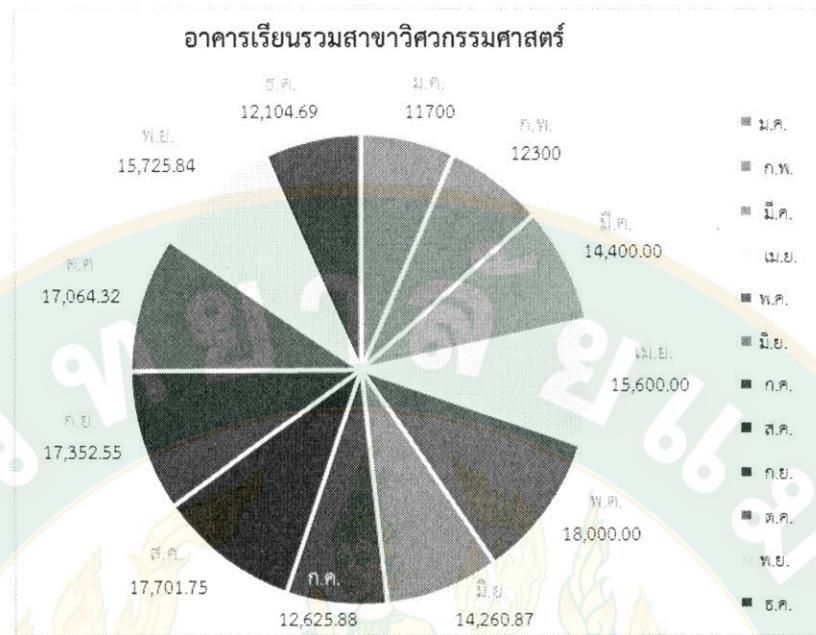
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนกรกฎาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม ซึ่งเป็นช่วงปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 24 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารจุฬารณณ์ (คณะวิทยาศาสตร์)

อาคารจุฬารณณ์ (คณะวิทยาศาสตร์) เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของทุกภาควิชาทุกคณะในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 9,146 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 3,705.38 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 5,440.62 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศตะวันตก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 30,932 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนกันยายนมีการใช้พลังงานสูงสุด 40,301.65 กิโลวัตต์ และเดือนธันวาคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 22,627.01 กิโลวัตต์

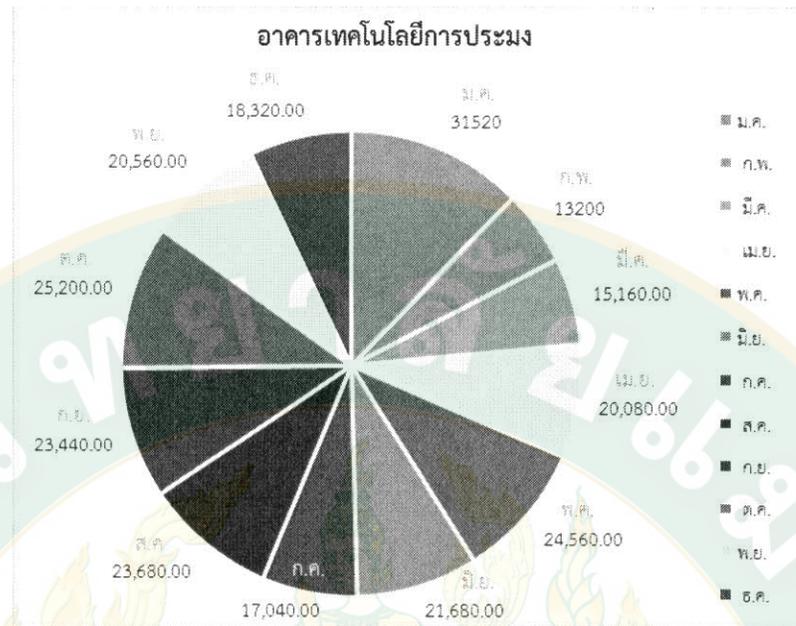
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกเดือน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 25 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมศาสตร์

อาคารเรียนรวมสาขาวิศวกรรมศาสตร์ เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของทุกสาขาในคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 19,615.08 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 2,409.87 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 17,205.21 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศตะวันตก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 14,903 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนพฤษภาคมมีการใช้พลังงานสูงสุด 18,000 กิโลวัตต์ และเดือนมกราคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 11,700 กิโลวัตต์

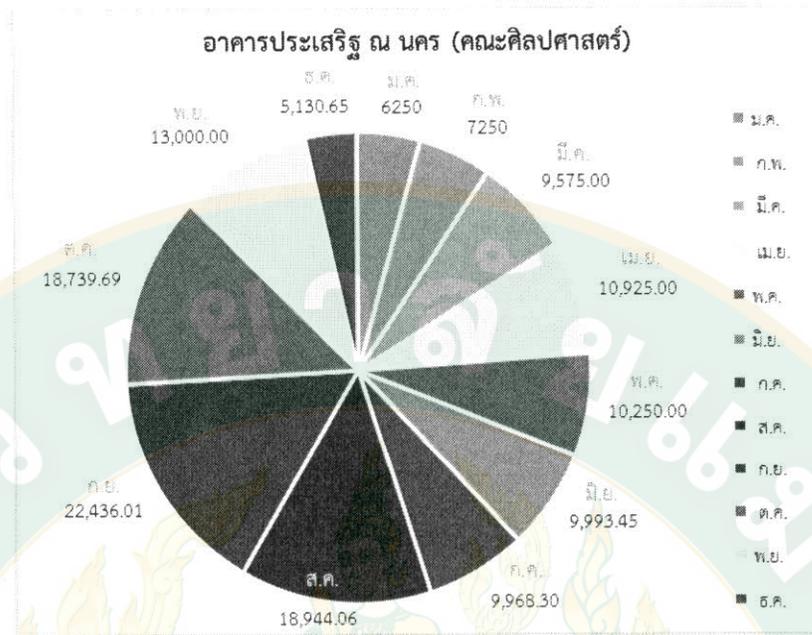
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกเดือน และต่ำสุดในช่วงเดือนมกราคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 26 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารเทคโนโลยีการประมง

อาคารเทคโนโลยีการประมง เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของคณะเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 3,661.64 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 1,413.53 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 2,248.11 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศเหนือ การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 21,203 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนมกราคมมีการใช้พลังงานสูงสุด 31,520 กิโลวัตต์ และเดือนกุมภาพันธ์มีการใช้พลังงานต่ำสุด 13,200 กิโลวัตต์

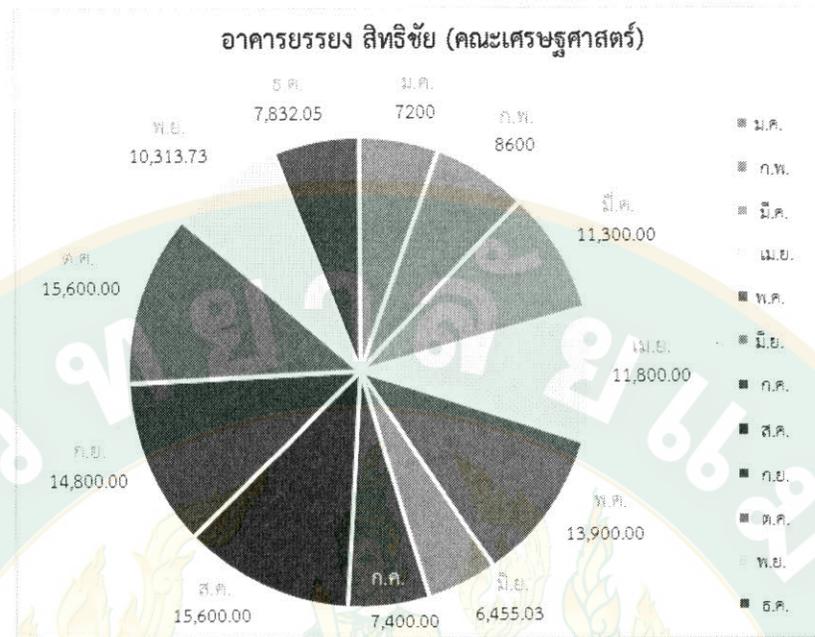
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกเดือน และต่ำสุดในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 27 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารประเสริฐ ณ นคร (คณะศิลปศาสตร์)

อาคารประเสริฐ ณ นคร (คณะศิลปศาสตร์) เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของคณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 7,639.41 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 3,593.78 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 4,045.63 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศตะวันตก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 11,872 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนกันยายนมีการใช้พลังงานสูงสุด 22,436.01 กิโลวัตต์ และเดือนธันวาคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 5,130.65 กิโลวัตต์

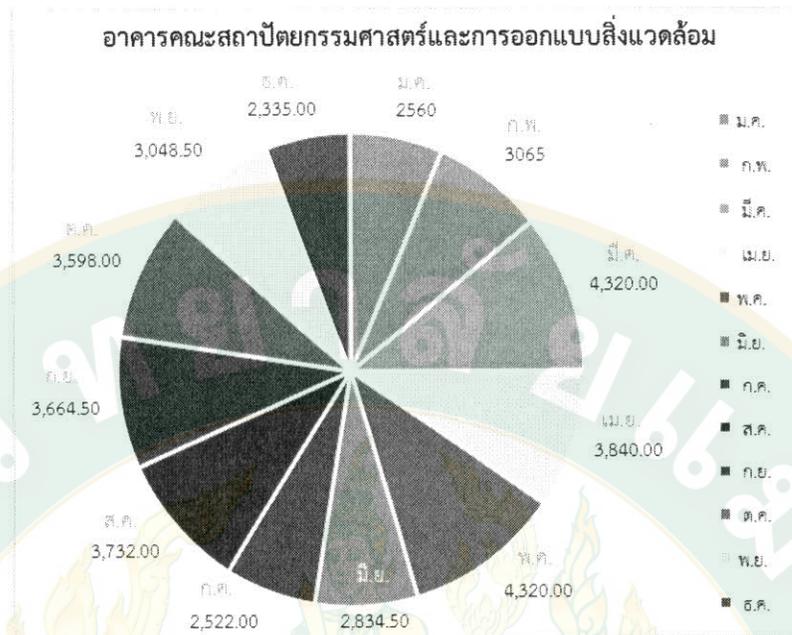
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 28 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารบรรยาย สิทธิชัย (คณะเศรษฐศาสตร์)

อาคารบรรยาย สิทธิชัย (คณะเศรษฐศาสตร์) เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของคณะเศรษฐศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ลักษณะอาคารเป็นอาคารสูง 5 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 4,880 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 2,975.82 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 1,904.18 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศเหนือ การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 10,900 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนสิงหาคมและตุลาคมมีการใช้พลังงานสูงสุด 15,600 กิโลวัตต์ และเดือนมกราคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 7,200 กิโลวัตต์

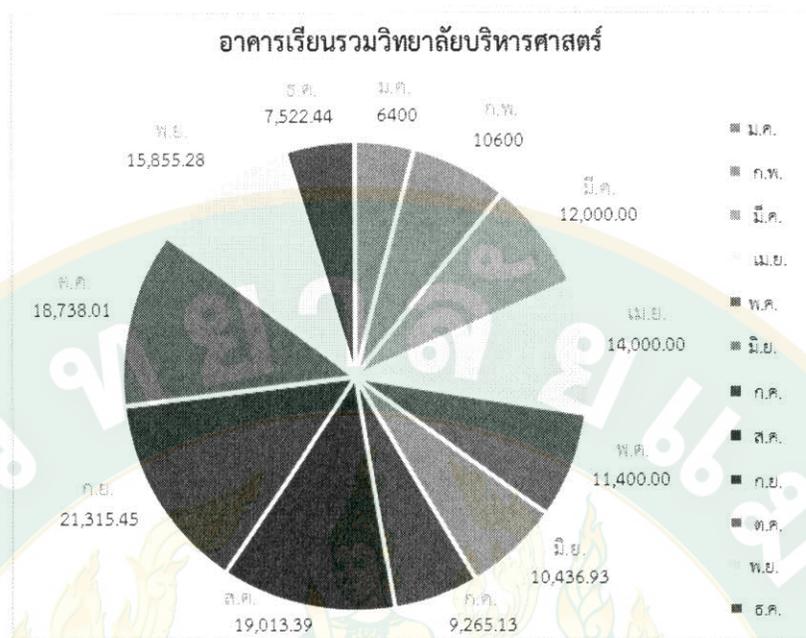
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม-ตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 29 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม

อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ลักษณะอาคารเป็นอาคารสูง 5 ชั้น มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 5,469.65 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 1,094.90 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 4,374.75 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศเหนือ การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 3,320 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนมีนาคมและพฤษภาคมมีการใช้พลังงานสูงสุด 4,320 กิโลวัตต์ และเดือนธันวาคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 2,335 กิโลวัตต์

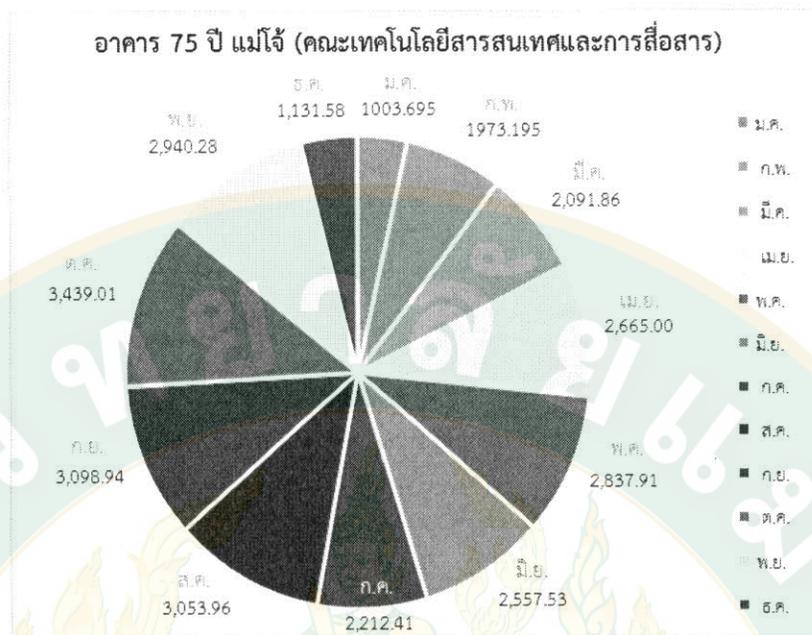
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารเฉลี่ยใกล้เคียงกันทุกเดือน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 30 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558)  
ของอาคารเรียนรวมวิทยาลัยบริหารศาสตร์

อาคารเรียนรวมวิทยาลัยบริหารศาสตร์ เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของวิทยาลัยบริหารศาสตร์ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 9,523 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 2,727.73 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 6,795.27 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศเหนือ การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 13,046 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนกันยายนมีการใช้พลังงานสูงสุด 21,315.45 กิโลวัตต์ และเดือนมกราคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 6,400 กิโลวัตต์

จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าว เป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)



ภาพที่ 31 แสดงปริมาณการใช้พลังงานเฉลี่ยรายเดือน (ตลอดปี 2557-2558) ของอาคาร 75 ปี แม่โจ้ (คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร)

อาคาร 75 ปี แม่โจ้ (คณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร) เป็นอาคารเรียนประเภทบรรยาย สามารถรองรับการเรียนการสอนของคณะเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ มีพื้นที่ใช้สอยรวมทั้งหมด 5,562.50 ตารางเมตร แบ่งเป็นพื้นที่ปรับอากาศ 815.90 ตารางเมตร และพื้นที่ไม่ปรับอากาศ 4,746.60 ตารางเมตร ก่อสร้างด้วยระบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็ก ด้านหน้าหรือทางเข้าอาคารอยู่ทางทิศตะวันตก การใช้งานของอาคารมีการเปิดการใช้งานเป็นประจำในช่วงระยะเวลากลางวันตลอดภาคการศึกษา มีการใช้พลังงานเฉลี่ยต่อเดือน 2,417 กิโลวัตต์/เดือน ซึ่งเดือนตุลาคมมีการใช้พลังงานสูงสุด 3,439.01 กิโลวัตต์ และเดือนมกราคมมีการใช้พลังงานต่ำสุด 1,003.69 กิโลวัตต์

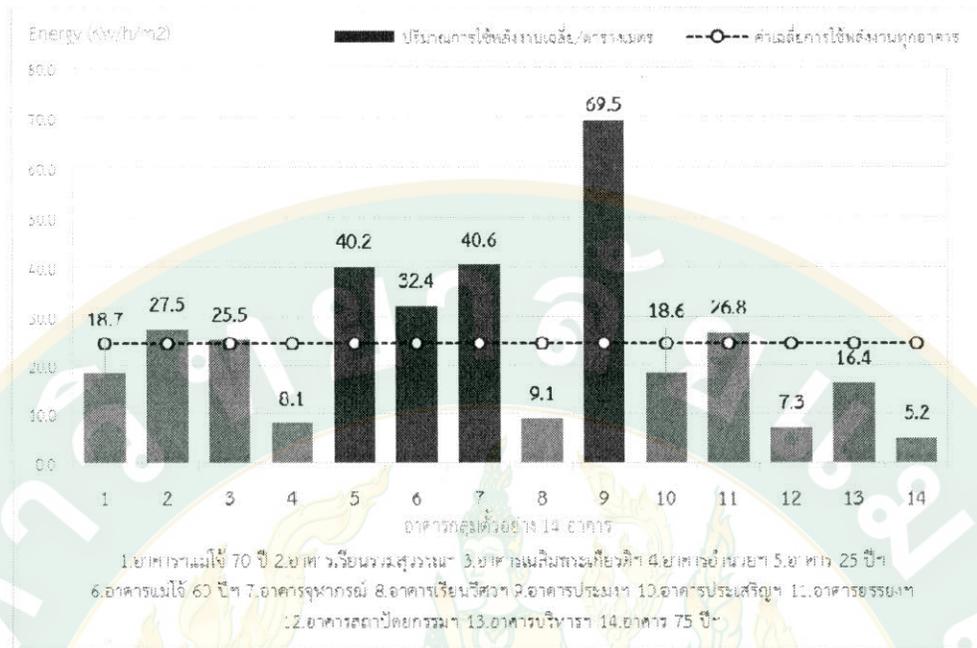
จะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของอาคารมากที่สุดในช่วงเดือนสิงหาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงที่มีการเปิดการเรียนการสอน และต่ำสุดในช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม ซึ่งในช่วงช่วงระยะเวลาดังกล่าว เป็นช่วงเปิดภาคเรียน (ฤดูหนาว)

จากการสำรวจข้อมูลการใช้ปริมาณพลังงานในอาคารเรียนกลุ่มตัวอย่างจำนวน 14 อาคารเรียนภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ช่วงปี 2558-2559 ซึ่งเมื่อเทียบการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่แล้ว พบว่า มีการใช้พลังงานที่แตกต่างกัน การพิจารณาเฉพาะช่วงเวลาเปิดภาคเรียน จะพบว่าการใช้พลังงานภายในอาคารเรียนกลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงระยะเวลาการเปิดภาคเรียน ระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน ระบบปรับอากาศภายในอาคารจะมีการทำงานตลอดเวลา อิทธิพลความชื้นจากสภาพแวดล้อมภายนอกอยู่ในระดับที่สูง สามารถวัดค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ มากกว่า 90% ส่งผลต่อภาระการทำงานของเครื่องปรับอากาศ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงสุดในอาคาร และเมื่อนำการใช้พลังงานมาคิดเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่แต่ละอาคาร จะพบว่าอาคารเทคโนโลยีการประมงมีการใช้พลังงานสูงสุด ทั้งนี้ เนื่องจากสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารประกอบไปด้วยแหล่งน้ำ ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยและการประมง ส่งผลทำให้สภาพอากาศโดยรอบอาคารมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ที่เกิดจากการระเหยของน้ำในช่วงเวลากลางวัน อยู่ในเกณฑ์ระดับสูงกว่าสภาพแวดล้อมอื่น ซึ่งเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ

ส่วนเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นระยะเวลาการเปิดภาคเรียนในช่วงฤดูหนาว มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์สบายของมนุษย์ และสภาพอากาศมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์อยู่ในระดับต่ำ (อากาศแห้ง) ซึ่งสามารถวัดค่าปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศอยู่ระหว่าง 40-60 เปอร์เซ็นต์ ส่งผลให้ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานต่ำ และการใช้พลังงานในภาพรวมของอาคารในช่วงระยะเวลาดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ต่ำสุดในรอบปี

ส่วนเดือนมีนาคม-พฤษภาคม เป็นระยะเวลาการปิดภาคเรียนในช่วงฤดูร้อน มีการใช้งานภายในอาคารเฉพาะกลุ่มนักศึกษาภาคฤดูร้อน ซึ่งคิดเป็น 1 ใน 4 ของจำนวนนักศึกษาทั้งหมด แต่เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในอาคารกลับสูงกว่าระยะเวลาการเปิดภาคเรียนในช่วงฤดูหนาว (ธันวาคม-กุมภาพันธ์) มากถึง 1.8 เท่า และเมื่อคิดการใช้งานของอาคารเรียนเต็มจำนวนนักศึกษาตลอดทั้งปี จะมีการใช้พลังงานมากกว่าช่วงเดือนกันยายน-พฤศจิกายนถึง 2.3 เท่า

ทั้งนี้ เมื่อจำลองการใช้งานของอาคารจากจำนวนนักศึกษาเต็มตลอดทั้งปี จะพบว่าการใช้พลังงานในแต่ละเดือนจะกระจายตัวอยู่ในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย



ภาพที่ 32 แสดงการเปรียบเทียบปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ ( $Kw/h/m^2$ ) ตลอดทั้งปีของอาคารเรียนกลุ่มตัวอย่าง จำนวน 14 อาคาร ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

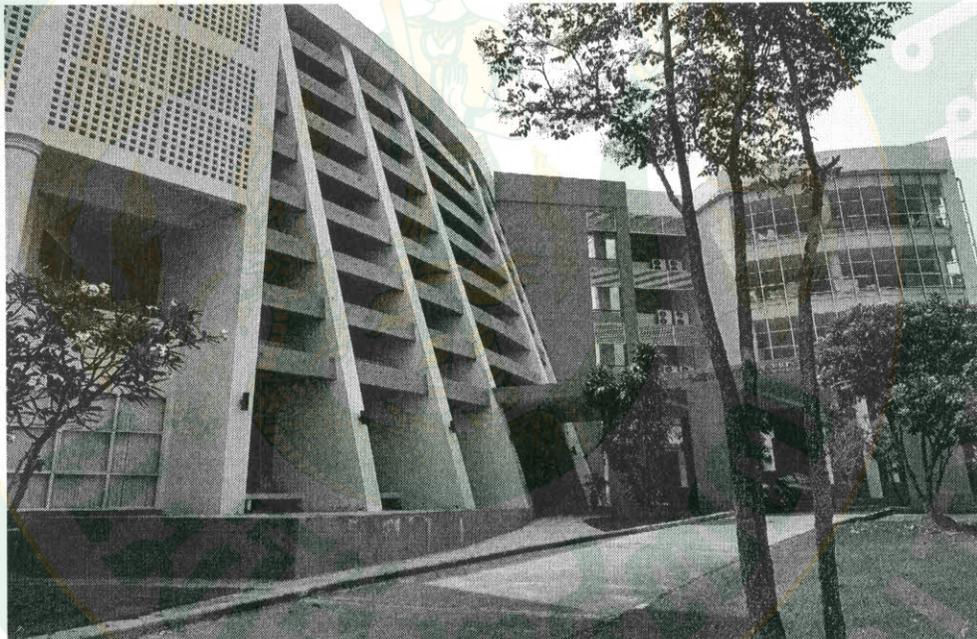
งานวิจัยชิ้นนี้ จะศึกษาการใช้งานของอาคารเต็มจำนวน ซึ่งจะส่งผลต่อการออกแบบ/ปรับปรุงอาคารเรียนเพื่อรองรับการใช้งานของนักศึกษาตลอดทั้งปี จากข้อมูลการจำลองการใช้พลังงานในอาคารพบว่า มีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมากที่สุดในช่วงเดือนเมษายน-พฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงฤดูร้อนที่มีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงสุดในรอบปี ซึ่งสามารถวัดค่าอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยได้ 35 องศาเซลเซียส และมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเฉลี่ยที่ 70 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับเกณฑ์ภาระการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ ที่ต้องการปรับสภาพอากาศภายในห้องให้มีอุณหภูมิอากาศ 25 องศาเซลเซียส และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ 50% จะต้องใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพื่อลดอุณหภูมิอากาศและปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ ลง 10 องศาเซลเซียส และ 20 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ

จากการเก็บข้อมูลการใช้พลังงานรวมของอาคาร นอกเหนือจากการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศแล้ว ยังมีการใช้พลังงานจากระบบอื่นๆ ซึ่งได้แก่ พลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้า และพลังงานจากระบบแสงสว่าง (อ้างอิง) ทั้งนี้ ผู้วิจัยจากคัดเลือกอาคารที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ได้แก่ อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม เพื่อจำแนกการใช้พลังงานในแต่ละส่วน โดยมุ่งเน้นการลดใช้พลังงานในส่วนที่มีการใช้พลังงานสูงสุด เพื่อตอบสนองประสิทธิภาพการใช้พลังงานรวมของอาคาร

#### 4.1.2 ศึกษาข้อมูลการใช้พลังงานของอาคารเรียนตัวอย่าง ได้แก่ อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้ ตลอดทั้งปี

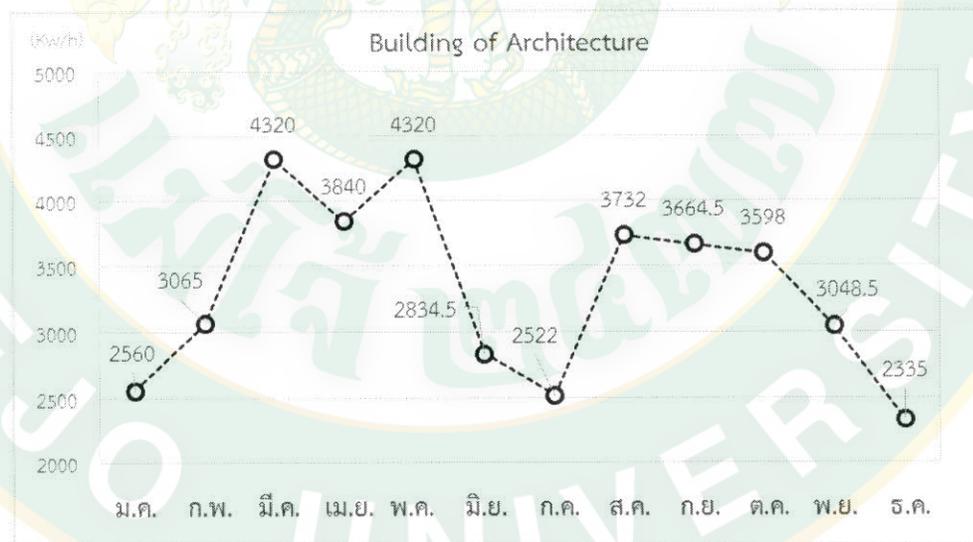
จากการใช้พลังงานของอาคารเรียนกลุ่มตัวอย่าง ผู้วิจัยได้เจาะลึกและเก็บข้อมูลอาคารเรียนที่ใช้เป็นกรณีศึกษา ได้แก่ อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ และได้เก็บข้อมูลการใช้พลังงานภายในอาคารโดยแยกออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่

1. พลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้า
2. พลังงานจากระบบแสงสว่าง
3. พลังงานจากระบบปรับอากาศ

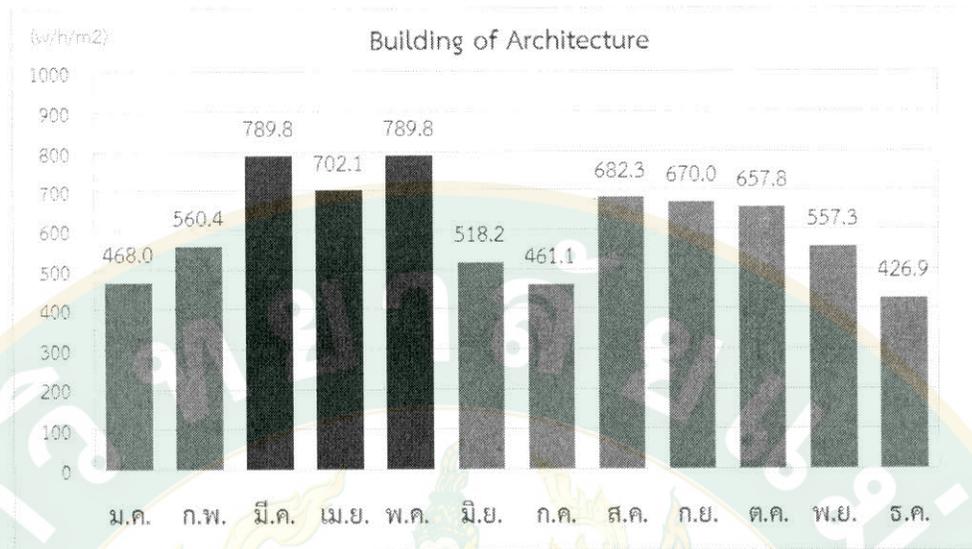


ภาพที่ 33 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

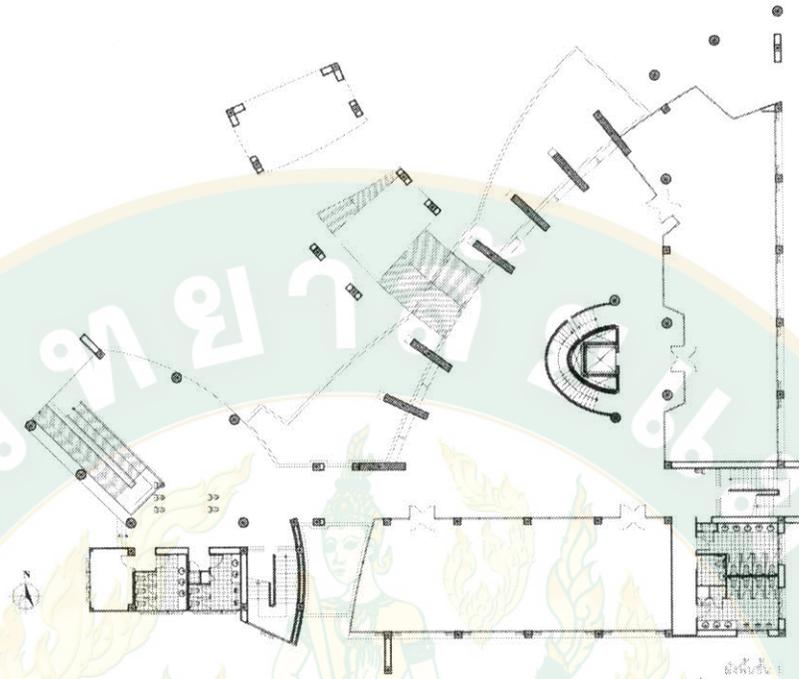
จากข้อมูลพบว่า ระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานสูงสุดในอาคารเรียนและมากกว่าพลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้ารวมกับพลังงานจากระบบแสงสว่างถึง 3 เท่า จากการสำรวจสภาพห้องเรียนอาคารเรียนตัวอย่าง พบว่า วัสดุเปลือกอาคารยังไม่มีประสิทธิภาพในการกักเก็บความเย็น กล่าวคือ ไม่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ อาทิเช่น การใช้ประตูบานเกล็ดไม้ติดตายและช่องเปิดหน้าต่างที่มีเกล็ดอลูมิเนียมบริเวณคอแสงด้านบน ทำให้เกิดการถ่ายเทปริมาณความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกผ่านช่องเปิดดังกล่าวเข้าสู่ภายในห้องเรียนได้ ส่งผลต่อภาระทำความเย็น (Cooling load) ของเครื่องปรับอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ทั้งนี้ ถ้าสภาพแวดล้อมภายนอกมีอุณหภูมิอากาศใกล้เคียงสบายของมนุษย์ (Human comfort) จะส่งผลให้ภาระทำความเย็นของระบบปรับอากาศลดลง สังเกตได้จากช่วงเดือนธันวาคม-มกราคม ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์สบายของมนุษย์จะมีระดับการใช้พลังงานในอาคารต่ำสุดในรอบปี ส่วนพฤติกรรมการใช้งานของมนุษย์ (Human behavior) เป็นอีกปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ สำหรับงานวิจัยชิ้นนี้จะอยู่นอกเหนือการควบคุม ซึ่งผู้วิจัยจะคิดปริมาณความร้อนที่เกิดจากอาคารและสภาพแวดล้อม ซึ่งไม่รวมปริมาณความร้อนจากการใช้งานของมนุษย์



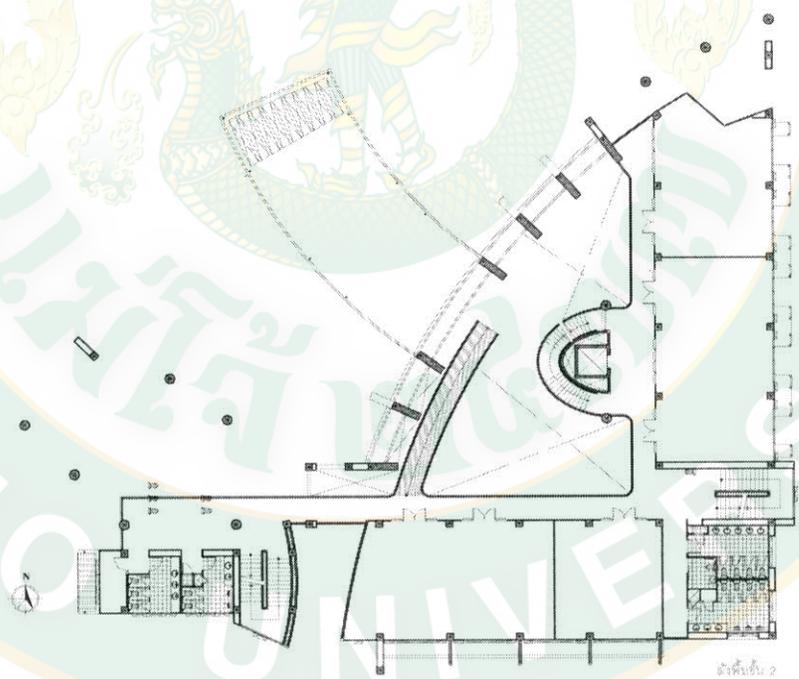
ภาพที่ 34 แสดงปริมาณการใช้พลังงานรวมตลอดทั้งปี (Kw/h) ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้



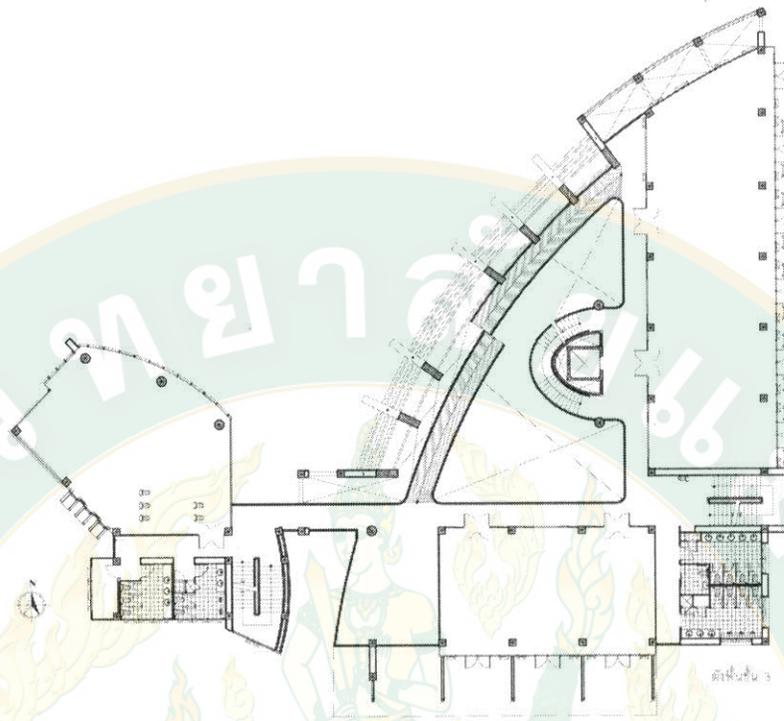
ภาพที่ 35 แสดงปริมาณการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ตารางเมตร ตลอดทั้งปี (w/h/m<sup>2</sup>) ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้



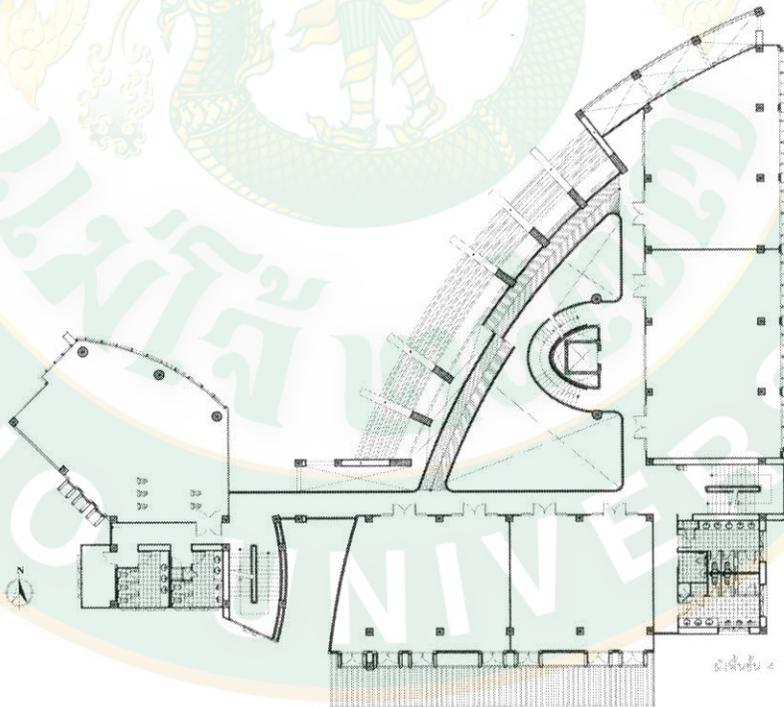
ภาพที่ 36 แสดงผังพื้นชั้น 1 อาคารเรียนคณะศึกษาศาสตร์และการออกแบบ  
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้



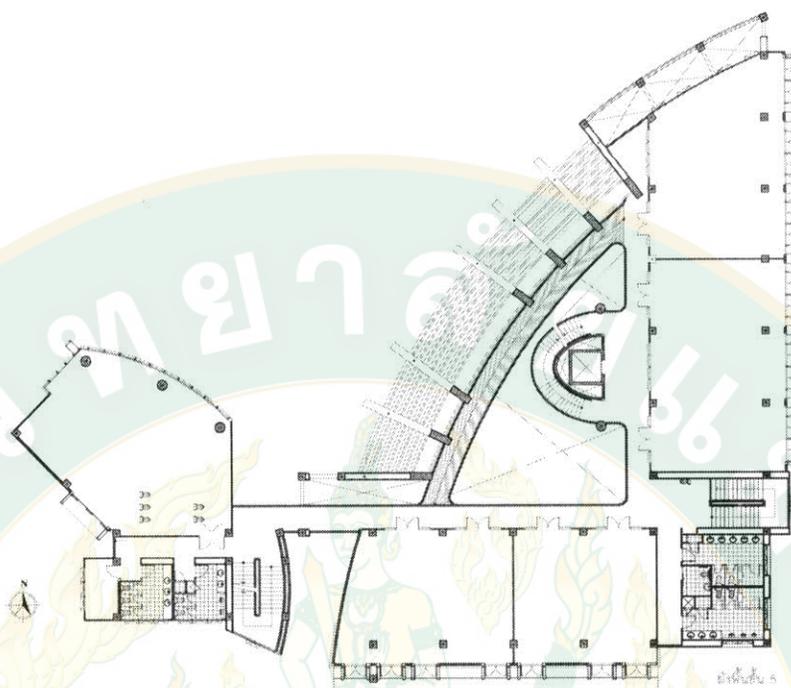
ภาพที่ 37 แสดงผังพื้นชั้น 2 อาคารเรียนคณะศึกษาศาสตร์และการออกแบบ  
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้



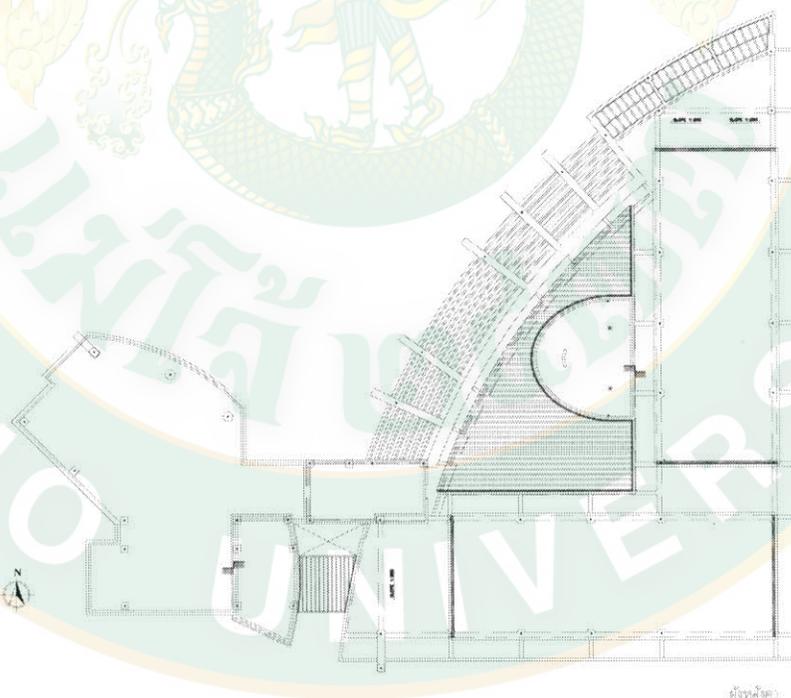
ภาพที่ 38 แสดงผังพื้นชั้น 3 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ  
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพที่ 39 แสดงผังพื้นชั้น 4 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ  
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

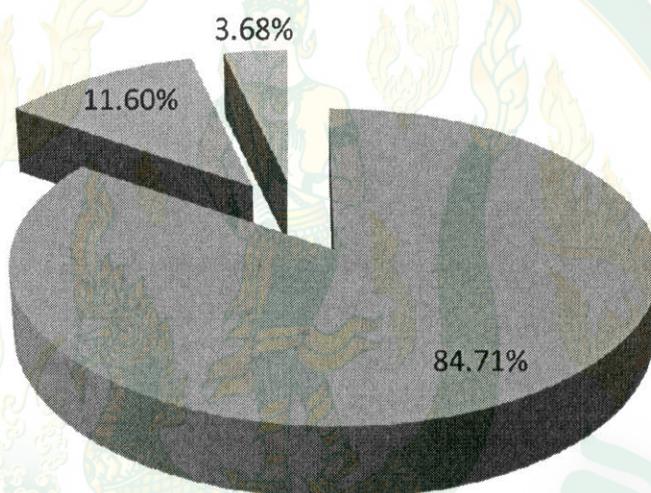


ภาพที่ 40 แสดงผังพื้นที่ชั้น 5 อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ  
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพที่ 41 แสดงผังหลังคา อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ  
สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

จากการคำนวณการใช้ปริมาณไฟฟ้าภายในห้องเรียน ของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม โดยกำหนดให้มีการใช้งานเต็มเวลาตลอดระยะเวลา 9 ชั่วโมงทำการ (8:00-17:00 น.) พบว่า ปริมาณการใช้พลังงานร้อยละ 84.71 ใช้ไปกับระบบปรับอากาศ ทั้งนี้เมื่อสังเกตคุณลักษณะวัสดุและอุปกรณ์ภายในห้อง พบว่า มีการรั่วไหลของอากาศภายในห้องออกสู่ภายนอกได้ง่าย เช่น การใช้ประตูบานเกล็ดไม้ติดตาย และคอแสงเกล็ดคอดูมึนนิ่ม เป็นต้น อีกทั้ง ช่องเปิดภายในห้องประกอบด้วยวัสดุกระจกเป็นจำนวนมาก ส่วนพลังงานจากระบบแสงสว่างและจากเครื่องใช้ไฟฟ้า มีสัดส่วนร้อยละ 11.60 และ 3.68 ตามลำดับ



ภาพที่ 42 แสดงสัดส่วนการใช้พลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้า พลังงานจากระบบแสงสว่าง และพลังงานจากระบบปรับอากาศ ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้

#### 4.1.2 วิเคราะห์ปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อปริมาณการใช้พลังงานในอาคารเรียน

จากการศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ซึ่งมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากถึง 84.71 เปอร์เซ็นต์ พบว่า ปัจจัยด้านความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายใน-ภายนอก ( $\Delta t$ ) เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อภาระทำความเย็น (Cooling load) ของเครื่องปรับอากาศ ทั้งนี้ ผู้วิจัยมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารให้มีอุณหภูมิอากาศใกล้เคียงสภาวะน่าสบายของมนุษย์ การลดอุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมเขตร้อนชื้น ต้องวิเคราะห์ถึงแหล่งที่มาของความร้อนจากสภาพแวดล้อม ซึ่งสามารถสรุปปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ดังนี้

##### 1) ปัจจัยจากสภาพแวดล้อม (Climate factor)

###### - ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์

เป็นอิทธิพลความร้อนหลักของสภาพแวดล้อม ในพื้นที่โล่งแจ้งจะมีปริมาณการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์สูงสุด  $73.26 \text{ W/m}^2 \text{ h}$  ( $250 \text{ Btu/ft}^2/\text{h}$ ) ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงเพิ่มสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไปเฉลี่ย 5.8 องศาเซลเซียส และในพื้นที่ใต้ร่มเงาจะมีปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ ระหว่าง  $9.46\text{-}13.42 \text{ W/m}^2 \text{ h}$  ( $32.6\text{-} 45.8 \text{ Btu/ft}^2/\text{h}$ ) หรือคิดเป็น 11-16 % ของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงหรือต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป เฉลี่ย 2 องศาเซลเซียส ปริมาณความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นวัสดุโดยตรง มีผลทำให้อุณหภูมิผิววัสดุเพิ่มสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศ แต่สำหรับสภาพแวดล้อมที่ได้รับ การบดบังรังสีดวงอาทิตย์จากร่มเงาต้นไม้หรือสิ่งปลูกสร้าง จะมีอุณหภูมิผิววัสดุต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ นั่นแสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของปริมาณรังสีดวงอาทิตย์มีผลต่อการปริมาณการสะสมความร้อนของวัสดุองค์ประกอบรอบที่ตั้ง ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศในแต่ละสภาพแวดล้อมแตกต่างกัน

###### - ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ

เป็นตัวแปรสภาพอากาศที่มีความสัมพันธ์ต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศแบบผกผัน ในสภาพแวดล้อมเขตร้อนชื้น ช่วงเวลากลางคืนปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะอยู่ในเกณฑ์สูง ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศอยู่ในระดับต่ำ และช่วงเวลากลางวันปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจะอยู่ในเกณฑ์ต่ำ ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้นกว่าสภาวะน่าสบายของมนุษย์ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ในช่วงเวลา

กลางวันให้ต่ำลง สามารถทำได้โดยเพิ่มปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศให้สูงขึ้น เนื่องจากอิทธิพลปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ส่งผลทำให้การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศเป็นไปได้ยาก เพราะอากาศชื้นต้องใช้ปริมาณความร้อนมากกว่าอากาศแห้ง ที่จะทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้น อิทธิพลการระเหยของน้ำจากแหล่งน้ำมีผลทำให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพิ่มสูงขึ้น 11.2% ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมบริเวณดังกล่าวลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป 2.6 องศาเซลเซียส

#### - ความเร็วลม

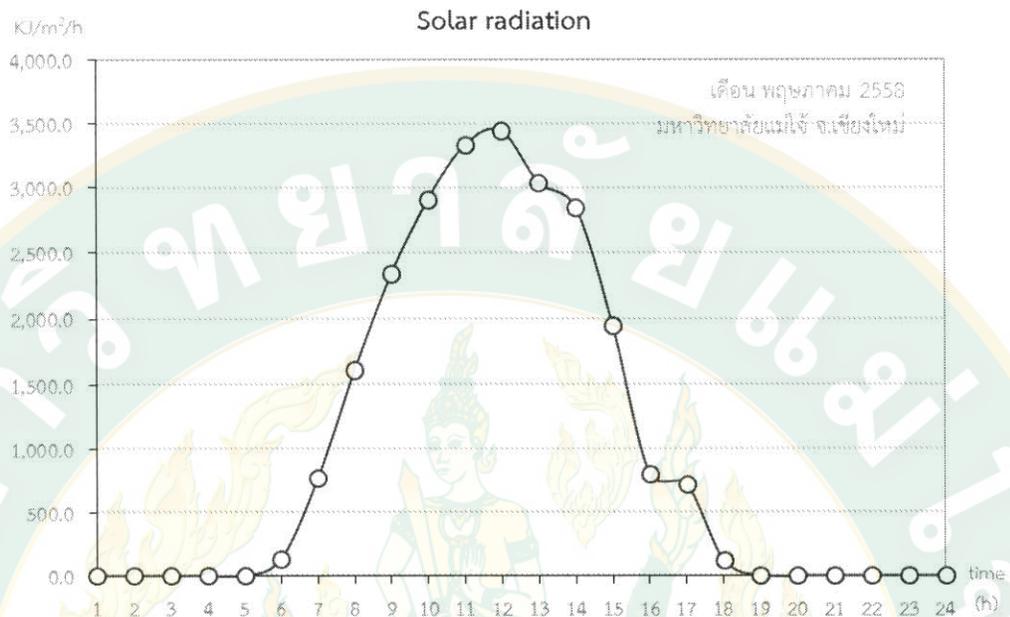
การเคลื่อนที่ของมวลอากาศ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิอากาศต้นทิศทางลม ถ้าอุณหภูมิอากาศตำแหน่งต้นทิศทางลมมีระดับอุณหภูมิอากาศสูงกว่าจะส่งผลทำให้สภาพแวดล้อมบริเวณนั้นสูงตามไปด้วย จากการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศบริเวณป้ายประตูทางเข้ามหาวิทยาลัย (ตำแหน่ง A) พบว่า อิทธิพลความเร็วลมที่พัดมาจากทิศตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งมีสภาพแวดล้อมเป็นถนนหน้ามหาวิทยาลัย มีปริมาณความร้อนจากพื้นถนนและยานพาหนะ การเคลื่อนที่ของมวลอากาศดังกล่าวส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมบริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป 11.7 องศาเซลเซียส ในทางกลับกัน อิทธิพลความเร็วลมที่พัดมาจากแหล่งน้ำโล่งแจ้ง เป็นปัจจัยช่วยทำให้การระเหยของน้ำเพิ่มมากขึ้น ทำให้ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศช่วงท้ายลมอยู่ในระดับสูง ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมบริเวณดังกล่าวต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป

#### - อุณหภูมิอากาศทั่วไป

เป็นระดับปริมาณความร้อนจากสภาพแวดล้อมขนาดใหญ่ (Macro-climate) ซึ่งในงานวิจัย จะใช้เป็นอุณหภูมิอากาศตั้งต้นเพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อมขนาดเล็กหรืออุณหภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ (Micro-climate) ฉะนั้นการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศที่เกิดจากอิทธิพลองค์ประกอบรอบที่ตั้ง ตลอด 24 ชั่วโมง จะเปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศทั่วไปทุกช่วงเวลา โดยมีวัตถุประสงค์ในการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศขนาดเล็กหรืออุณหภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่โดยรอบอาคารเรียน ให้เข้าใกล้เขตสบายของมนุษย์มากที่สุด

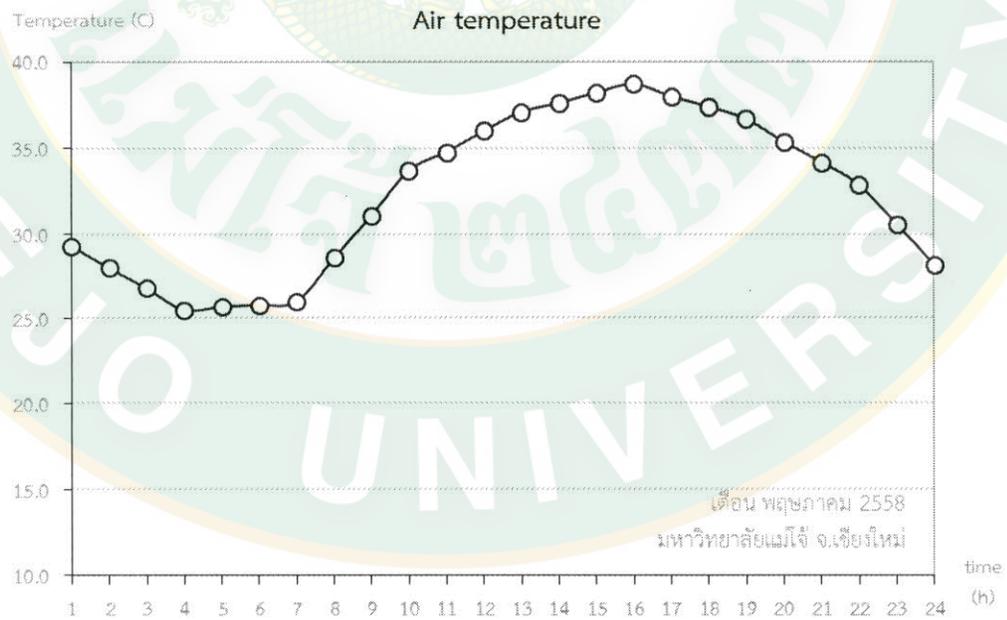
ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลปัจจัยสภาพแวดล้อม ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ เพื่อนำมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์ที่ส่งผลต่อการออกแบบสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารเรียน

- ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์



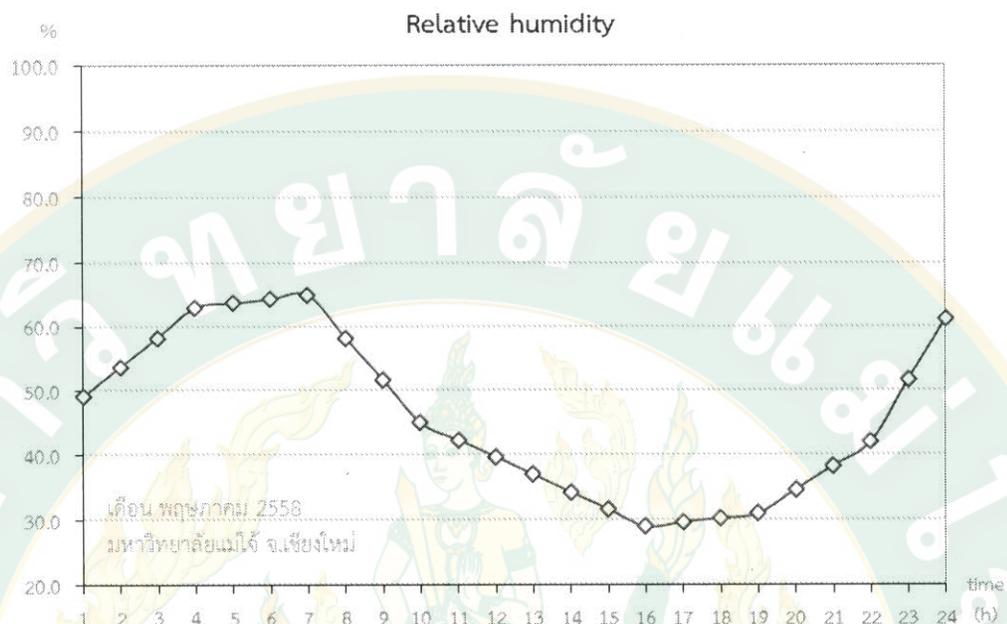
ภาพที่ 43 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

- อุณหภูมิอากาศ



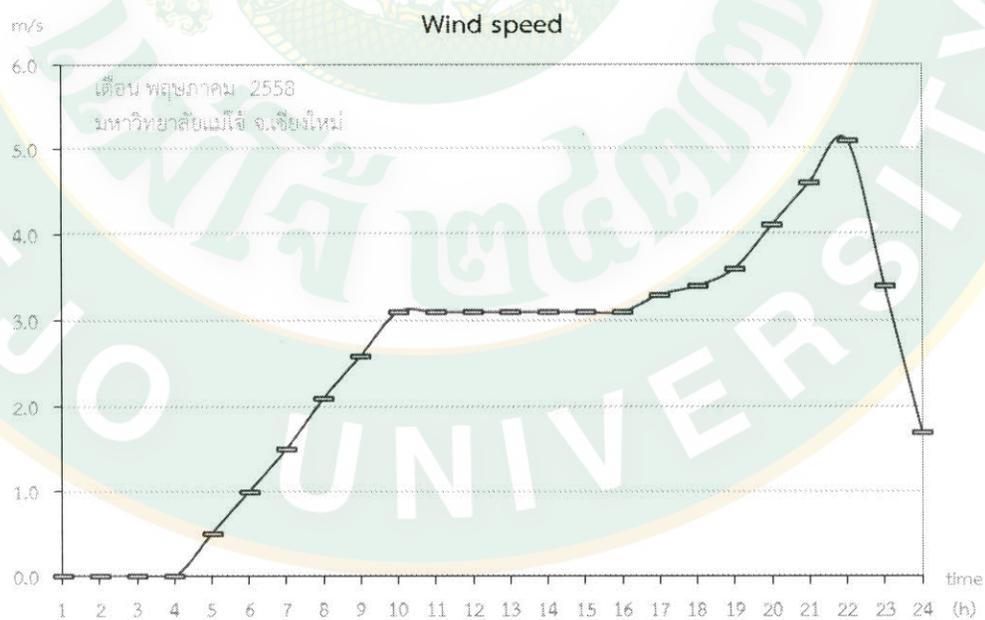
ภาพที่ 44 แสดงอุณหภูมิอากาศ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

- ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ



ภาพที่ 45 แสดงปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

- ความเร็วลม



ภาพที่ 46 แสดงความเร็วลม รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

## 2) ปัจจัยจากองค์ประกอบรอบที่ตั้ง (Site elements factor)

### - ลักษณะองค์ประกอบรอบที่ตั้ง

ลักษณะทางกายภาพขององค์ประกอบรอบที่ตั้งเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ เนื่องจากสภาพแวดล้อมแต่ละสภาพแวดล้อมประกอบไปด้วยลักษณะองค์ประกอบที่แตกต่างกัน เช่น ประเภทวัสดุ และการบดบังร่มเงา เป็นต้น การสะสมปริมาณความร้อนที่ได้รับจากดวงอาทิตย์ขององค์ประกอบรอบที่ตั้งจึงมีความแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติการสะสมความร้อนของวัสดุ ไม่ว่าจะเป็น ความจุความร้อน การสะท้อนความร้อนของผิววัสดุ และการดูดซับความร้อน เป็นต้น จากการสำรวจข้อมูลอุณหภูมิอากาศในพื้นที่โล่งแจ้ง พบว่า สภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยวัสดุคาดแข็งประเภท คอนกรีต กระเบื้อง และพื้นผิวยางมะตอย จะมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยเพิ่มสูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป 7.9 องศาเซลเซียส และสภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยวัสดุคาดอ่อนประเภท พื้นหญ้าและพื้นน้ำ จะมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป 4 องศาเซลเซียส ส่วนสภาพแวดล้อมได้ร่มเงาจะมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไปเพียง 0.8 องศาเซลเซียส

ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศแต่ละสภาพแวดล้อม ขึ้นอยู่กับปริมาณความร้อนที่สะสมในองค์ประกอบรอบที่ตั้ง สภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบคาดแข็งจะมีปริมาณความร้อนสูง เช่น พื้นผิวยางมะตอย คอนกรีต และแกรนิต สามารถวัดอุณหภูมิผิวได้ 59.2, 56.4 และ 49.6 องศาเซลเซียสตามลำดับ ปริมาณความร้อนที่สะสมในตัววัสดุจะถ่ายเทผ่านผิววัสดุสู่สภาพแวดล้อมด้านบนที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมนั้นเพิ่มสูงขึ้น ในทางกลับกัน สภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยองค์ประกอบคาดอ่อน จะมีปริมาณความร้อนต่ำ เช่น พื้นน้ำ (แหล่งน้ำ) หรือพื้นดินชุ่มน้ำ (แปลงเกษตรฯ) สามารถวัดอุณหภูมิผิวได้ 30.7 และ 34 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป ปริมาณความร้อนในสภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูงกว่า จะถ่ายเทลงสู่ผิววัสดุ ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศบริเวณนั้นลดต่ำลง



ภาพที่ 47 แสดงลักษณะวัสดุปิดผิว (Ground cover) ซึ่งเป็นแหล่งความร้อนของ  
สภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ  
สิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้

ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในแต่ละสภาพแวดล้อม เกิดจากการถ่ายเท  
ปริมาณความร้อนจากองค์ประกอบรอบที่ตั้งที่แตกต่างกัน ซึ่งสภาพแวดล้อมดังกล่าวได้รับ  
อิทธิพลจากแหล่งความร้อนหลักคือ ปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar radiation) ส่งผลทำ  
ให้อากาศเหนือระนาบผิวพื้นมีอุณหภูมิอากาศแตกต่างกันตามปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่  
ได้รับ ทั้งนี้ปริมาณความร้อนที่คงเหลือหลังรังสีดวงอาทิตย์หมดอิทธิพลลง จะสะสมอยู่ใน  
องค์ประกอบรอบที่ตั้งเพื่อรอการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อมที่เย็นหรือมีอุณหภูมิต่ำ  
กว่า จนอุณหภูมิผิววัสดุและอุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมมีความใกล้เคียงกันหรือ  
เท่ากัน

จากการศึกษาปัจจัยสภาพแวดล้อมและองค์ประกอบรอบที่ตั้งที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ สามารถเรียงลำดับจากมากไปหาน้อย ดังนี้

#### 1. ตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative humidity)

ปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศมีความสัมพันธ์กับเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศโดยตรง ในสภาพอากาศปกติเมื่อมีปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพิ่มสูงขึ้นจะส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง และในทางกลับกันเมื่อปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศลดลงจะส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มสูงขึ้น ซึ่งเป็นตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศสูงสุด

#### 2. ตัวแปรรังสีดวงอาทิตย์ (Solar radiation)

รังสีดวงอาทิตย์เป็นแหล่งอิทธิพลความร้อนหลักของสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมขนาดใหญ่ เช่น การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลากลางวัน-กลางคืน โดยตัวแปรรังสีดวงอาทิตย์จะมีอิทธิพลชัดเจนที่สุดในช่วงเวลากลางวัน สำหรับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมเฉพาะพื้นที่ ขึ้นอยู่กับอิทธิพลองค์ประกอบที่ตั้งที่แตกต่างกัน การสกัดกั้นการแผ่รังสีดวงอาทิตย์จากองค์ประกอบที่ตั้งจะทำให้อิทธิพลของตัวแปรรังสีดวงอาทิตย์ลดลง

#### 3. ตัวแปรความเร็วลม (Wind velocity)

ความเร็วลมเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมที่ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิของอากาศของลมต้นทาง ลมที่มีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป(ลมร้อน) ส่วนลมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป(ลมเย็น) และลมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป(ลมหนาว) ส่วนความเร็วลมจะมีอิทธิพลทำให้อุณหภูมิอากาศเปลี่ยนแปลงไปในทิศทางเดียวกันกับลมต้นทาง เป็นตัวแปรจากสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศน้อยที่สุด

#### 4. ตัวแปรความจุความร้อนของวัสดุ (Heat capacity)

ความจุความร้อนของวัสดุเป็นตัวแปรจากปัจจัยจากองค์ประกอบที่ตั้งที่มีอิทธิพลน้อยกว่าตัวแปรจากปัจจัยสภาพแวดล้อม แต่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศเฉพาะพื้นที่ เนื่องจากตัวแปรความจุความร้อนของวัสดุมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตัวแปรรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งอิทธิพลความร้อนหลักของสภาพแวดล้อม โលง่แ่งที่ประกอบไปด้วยวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนต่ำจะส่งผลทำให้การ

เปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศอยู่ในระดับที่สูงกว่าสภาพแวดล้อมที่ประกอบไปด้วยวัสดุที่มีความจุความร้อนสูง ทั้งนี้ การสกัดกั้นปริมาณรังสีดวงอาทิตย์จากพื้นที่ร่มเงา แก้ววัสดุที่มีความจุความร้อนต่ำ จะสามารถลดอิทธิพลตัวแปรความจุความร้อนของวัสดุที่ส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศได้



## 4.2 ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทน

ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากพลังงานทดแทนในส่วนนี้ จะนำไปใช้ทดแทนการใช้พลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างเท่านั้น ส่วนพลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศ มีสัดส่วนการใช้พลังงานที่มหาศาล ซึ่งไม่เพียงพอต่อการผลิตไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานทดแทน เนื่องจากพลังงานทดแทนที่ผลิตได้มาจากแสงอาทิตย์ ซึ่งอิทธิพลสภาพท้องฟ้าเป็นปัจจัยหลักต่อการผลิตพลังงานในส่วนนี้

ประเทศไทยตั้งอยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งสภาพอากาศมีปริมาณความร้อนและปริมาณความชื้นอยู่จำนวนมาก ส่งผลทำให้สภาพท้องฟ้าในบางฤดูถูกปกคลุมด้วยเมฆฝน ซึ่งเป็นอิทธิพลหลักต่อการผลิตพลังงานจากแสงอาทิตย์ ความไม่เสถียรดังกล่าวจึงไม่เหมาะสมในการผลิตพลังงานที่รองรับการใช้พลังงานไฟฟ้าจำนวนมากได้ อาทิเช่น ระบบปรับอากาศเป็นต้น อีกทั้งยังต้องซื้อพื้นที่สำหรับวางแผงโซลาร์เซลล์เป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยจึงแบ่งที่มาของการลดการใช้ไฟฟ้าในอาคารออกเป็น 2 ส่วนคือ 1) การลดพลังงานจากระบบปรับอากาศ จากประสิทธิภาพวัสดุอาคาร และ 2) การลดพลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างจากการสร้างพลังงานทดแทน

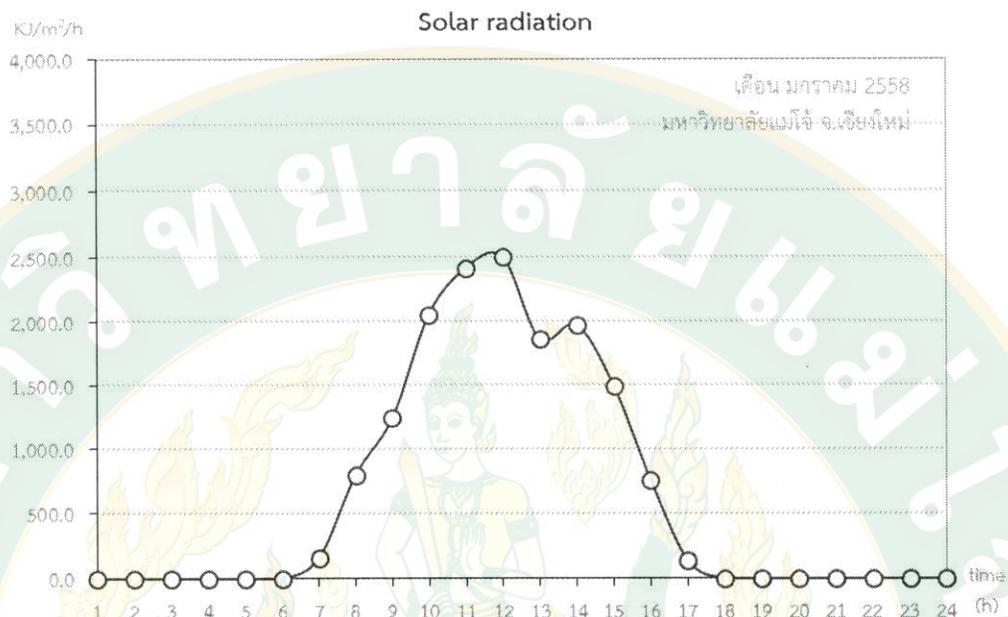
ผู้วิจัยมีการเก็บข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ตลอด 12 เดือน โดยทำการติดตั้งเครื่องมือบริเวณชั้นดาดฟ้าของอาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ซึ่งเป็นตำแหน่งเดียวกับพื้นที่รองรับระบบโซลาร์เซลล์ ปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ในวันที่ทำการเก็บข้อมูลมีความสม่ำเสมอ ยกเว้นเดือนสิงหาคม-กันยายน ซึ่งเป็นช่วงมรสุม แนวทางการแก้ไขปัญหาดังกล่าว ผู้วิจัยจะทำการสำรองพื้นที่แผงโซลาร์เซลล์เพิ่มมากกว่าความต้องการใช้พลังงานสูงสุด (Peak load) 23% เพื่อที่จะสามารถผลิตไฟฟ้าสำรองไว้ใช้ใน ช่วงเวลาดังกล่าวได้

โดยเตรียมพื้นที่รองรับการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ แบ่งออกเป็น 2 พื้นที่ ได้แก่

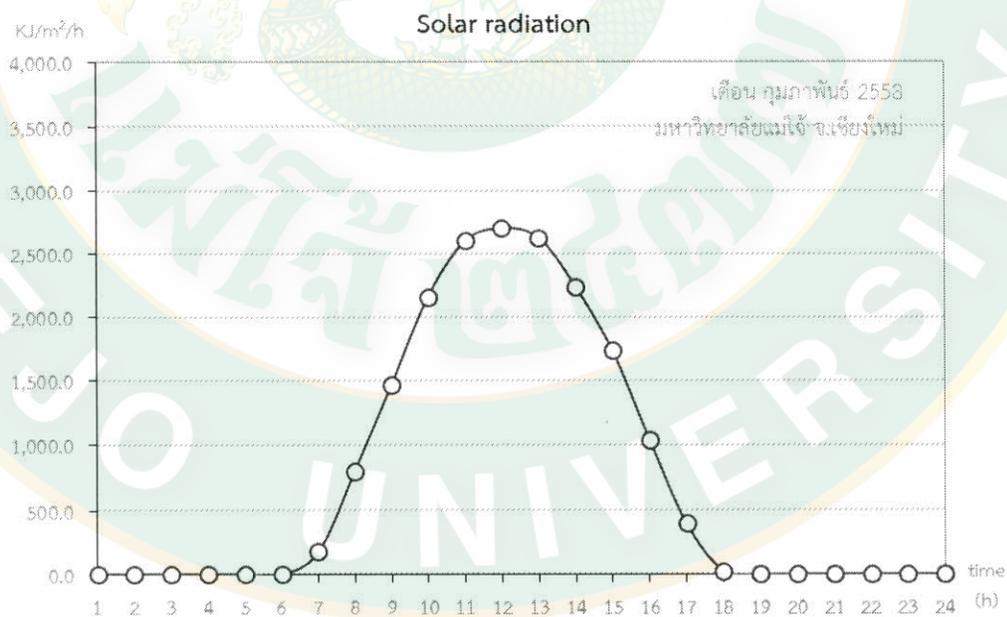
- 1) พื้นที่บริเวณชั้นดาดฟ้าฝั่งอาคารด้านทิศใต้ ซึ่งมีพื้นที่ 216 ตารางเมตร และ
- 2) พื้นที่หลังคากันสาดบริเวณชั้น 3 ฝั่งอาคารด้านทิศใต้ ซึ่งมีพื้นที่ 138 ตารางเมตร

จากข้อมูลวิจัยพบว่า มีการใช้พลังงานในส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างสูงสุด 43,200 วัตต์/ชั่วโมง และการติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์มีพื้นที่รวมกันทั้งหมด 354 ตารางเมตร สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 53,100 วัตต์/ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าความต้องการใช้พลังงานสูงสุด 9,900 วัตต์/ชั่วโมง หรือคิดเป็นร้อยละ 23 ของพลังงานที่ต้องการใช้

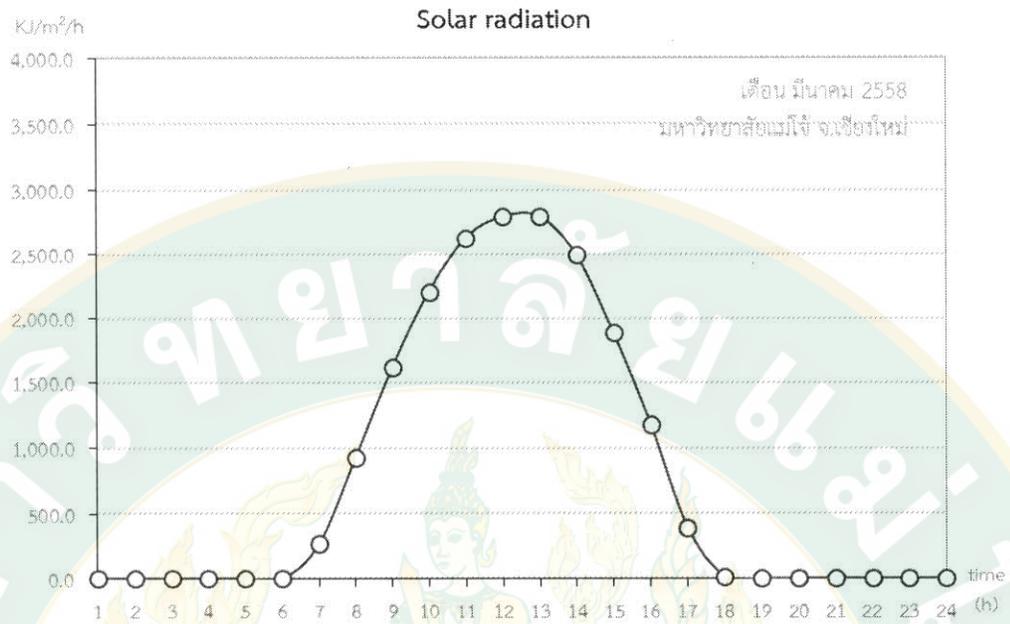
#### 4.2.1 ข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ตลอดทั้งปี (12 เดือน)



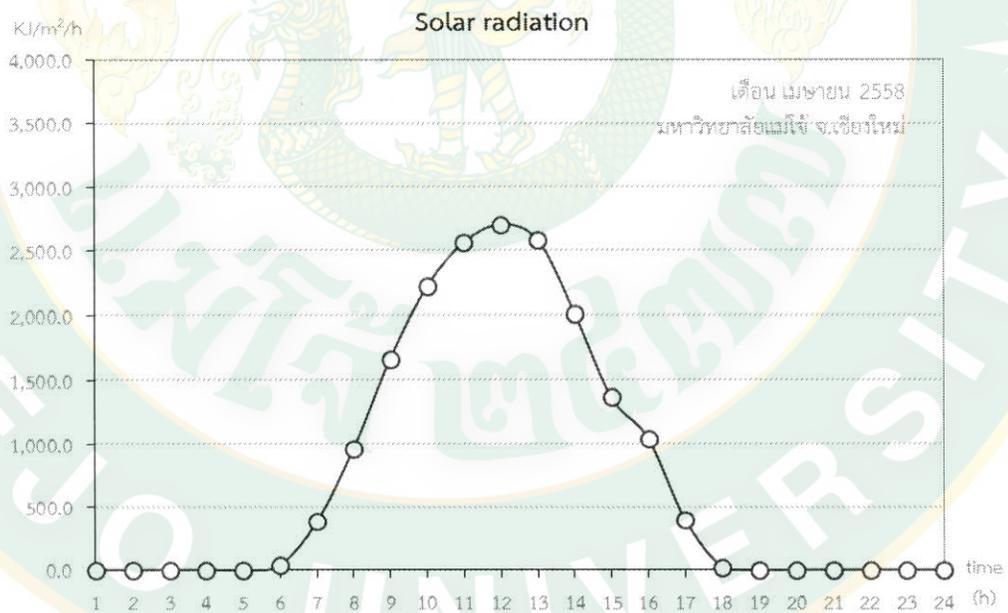
ภาพที่ 48 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนมกราคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



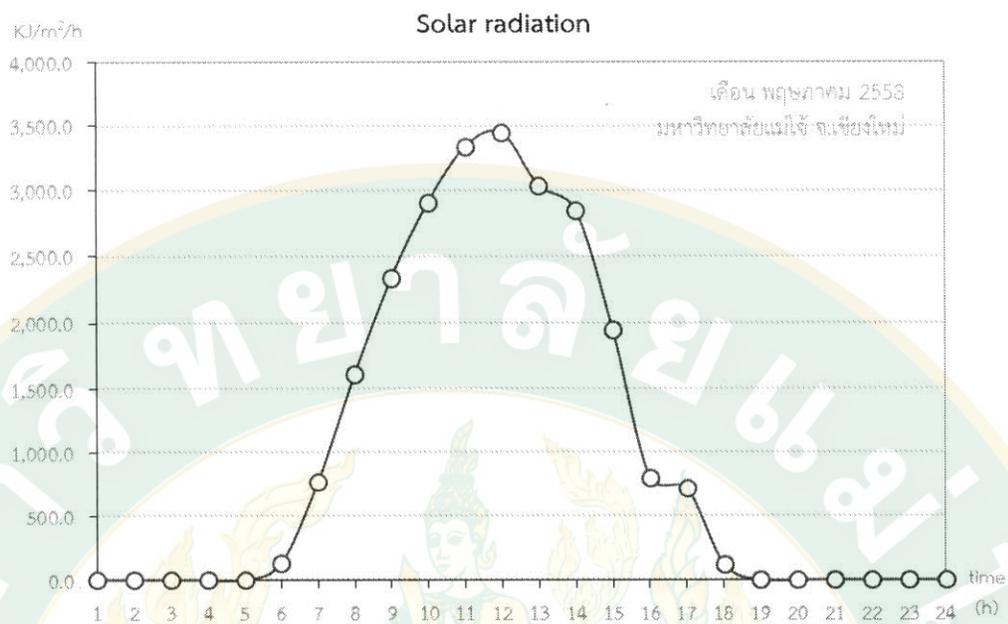
ภาพที่ 49 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



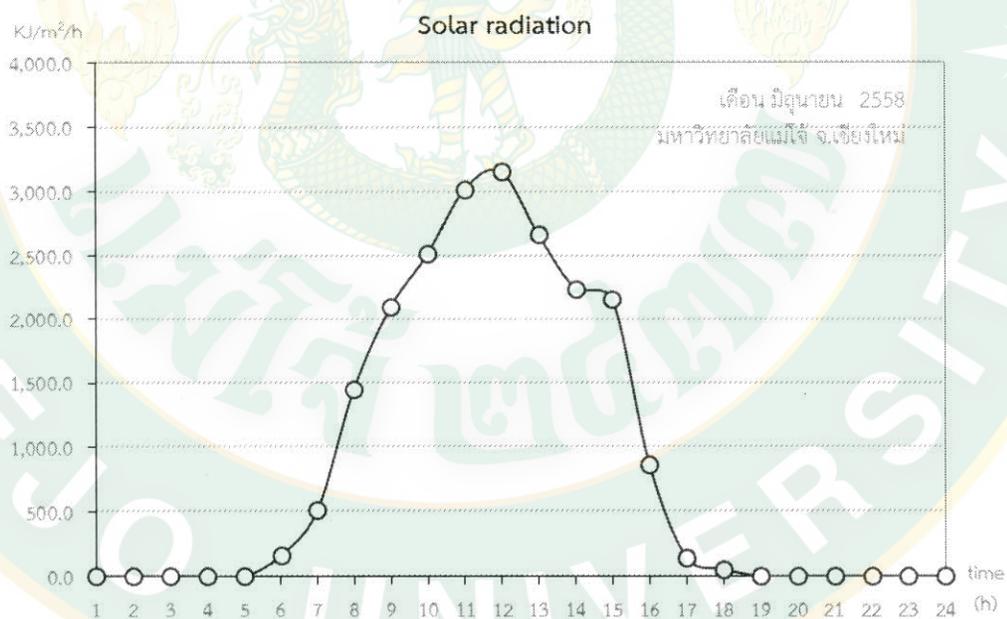
ภาพที่ 50 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนมีนาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



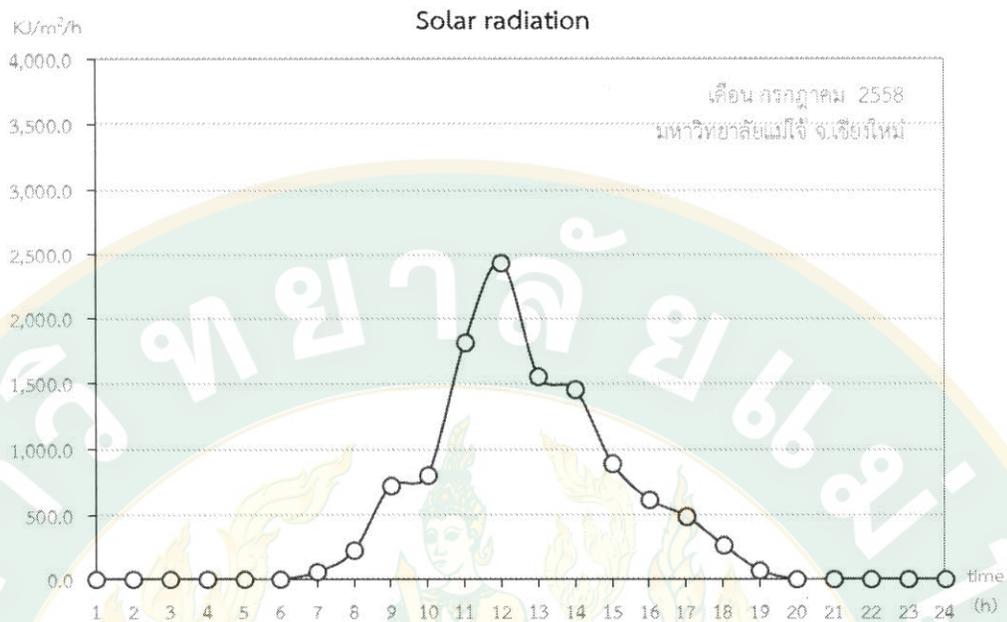
ภาพที่ 51 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนเมษายน 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



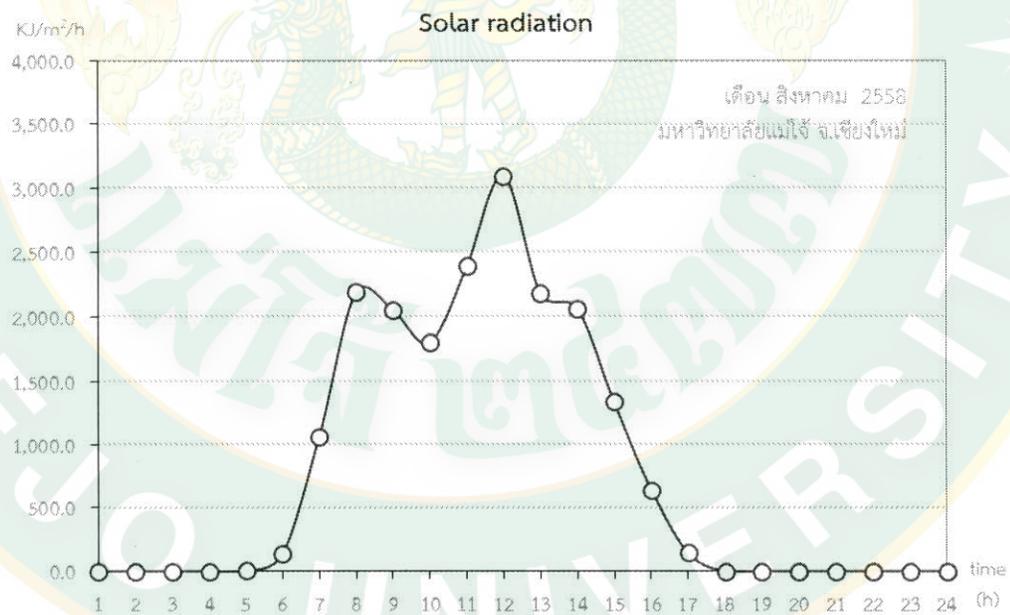
ภาพที่ 52 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนพฤษภาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



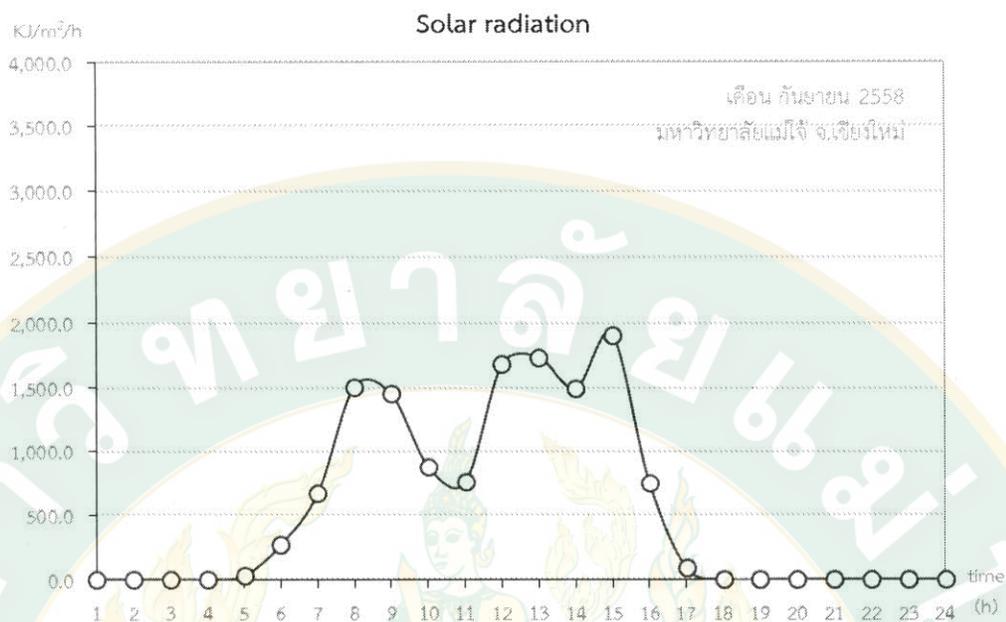
ภาพที่ 53 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนมิถุนายน 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



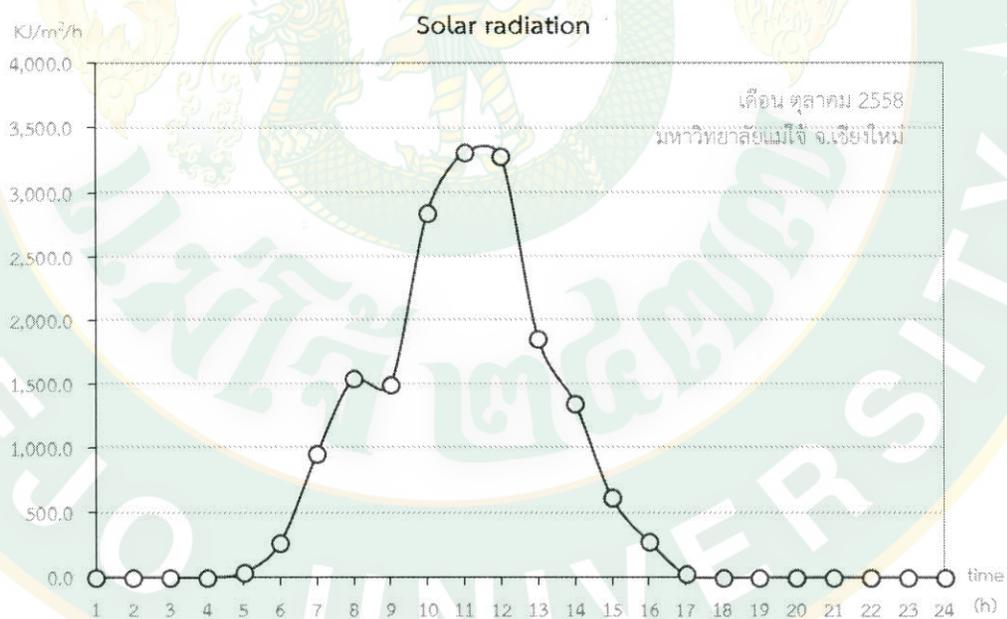
ภาพที่ 54 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนกรกฎาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



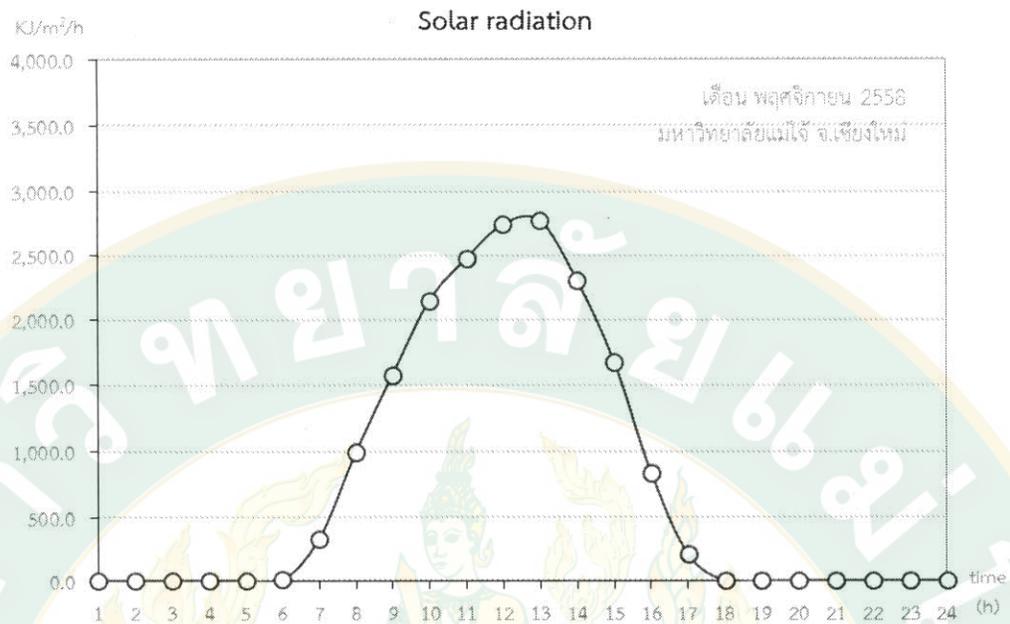
ภาพที่ 55 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนสิงหาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



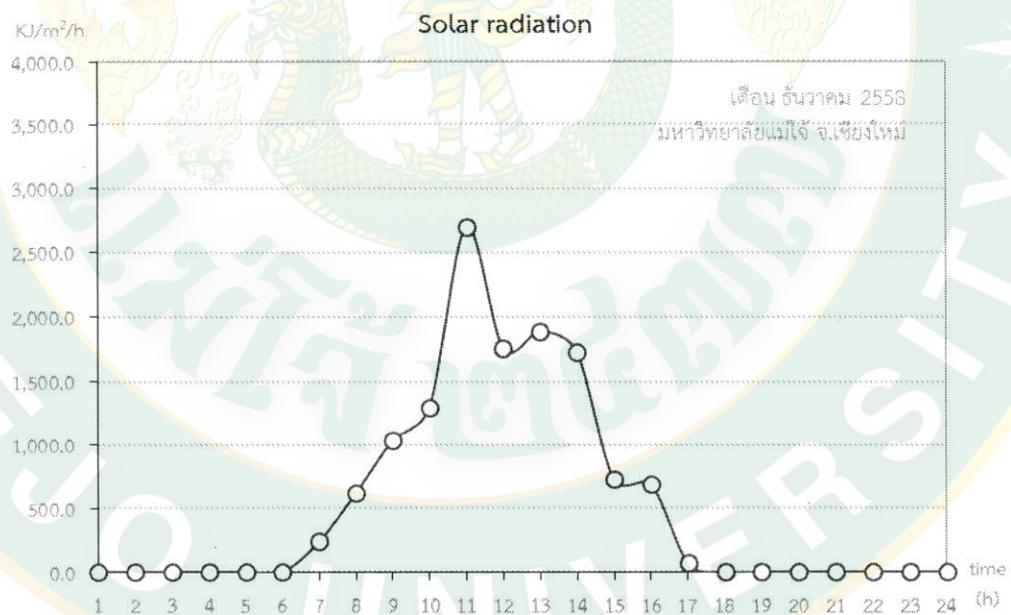
ภาพที่ 56 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนกันยายน 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



ภาพที่ 57 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนตุลาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



ภาพที่ 58 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนพฤศจิกายน 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่



ภาพที่ 59 แสดงปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ รายชั่วโมง  
ช่วงเดือนธันวาคม 2558 บริเวณมหาวิทยาลัยแม่โจ้ จ.เชียงใหม่

4.2.2 จำนวนพื้นที่ Solar cell รวมถึงระบบและตำแหน่งการติดตั้ง ณ ตำแหน่งหลังคา/ ฝ้าฟ้า ของตึกคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม โดยถือเป็น อาคาร ตัวอย่างที่ใช้ออกแบบ/ปรับปรุง อาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและ สิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้

การหาขนาดพื้นที่รองรับแผงโซลาร์เซลล์ คิดมาจากพื้นฐานการใช้พลังงาน 2 ส่วน คือพลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้า และพลังงานจากระบบแสงสว่าง โดยคำนวณการใช้ พลังงานทั้ง 2 ส่วนดังกล่าวเต็มเวลาพร้อมกันทุกชนิดทุกอุปกรณ์ เพื่อให้ได้อัตราการใช้ พลังงานสูงสุด (Peak load) และนำมาคิดคำนวณหาขนาดของพื้นที่โซลาร์เซลล์ที่ใช้ในการ ผลิตไฟฟ้าเพื่อรองรับการใช้พลังงานส่วนนั้น

พลังงานช่วง Peak load ของเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างของห้องเรียนคณะ สถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม สามารถคำนวณได้ 33,194 วัตต์/ ชั่วโมง ซึ่งผู้วิจัยได้คิดการใช้พลังงานของพื้นที่ส่วนกลางเพิ่ม 30% ส่งผลทำให้มีอัตราการ ใช้พลังงานสูงสุด 43,200 วัตต์/ชั่วโมง

ผู้วิจัยจะคิดกำลังการใช้ไฟฟ้าจากระบบแสงสว่าง (Lighting system) และกำลังการใช้ ไฟฟ้าจากเครื่องใช้ไฟฟ้า (Electrical system) ในช่วงระยะที่มีการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak load) จากลักษณะการแบ่งประเภทห้องเรียนออกเป็น 4 ลักษณะ ตามขนาดพื้นที่และ รูปแบบห้องบรรยายแต่ละประเภท เพื่อนำมาคำนวณหาพื้นที่แผง Solar cell ในการรองรับ การผลิตพลังงานทดแทน ได้แก่

1. ห้องเรียนแบบที่ 1 (Lecture A)
2. ห้องเรียนแบบที่ 2 (Lecture B)
3. ห้องเขียนแบบ (Drawing)
4. ห้องแสดงงาน (Presentation)

สามารถคำนวณการใช้พลังงานไฟฟ้าได้จากสูตร

$$E = P * \text{Time}$$

เมื่อ	E	คือ พลังงานไฟฟ้า (Watt/hour)
	P	คือ กำลังไฟฟ้า (Watt)
	Time	คือ เวลาที่ใช้งาน (hour)

- ห้องเรียนแบบที่ 1 (Lecture A)

- หลอดเรสเซนซ์ LED T8 20 Watt

จำนวน = 54 หลอด

พลังงานไฟฟ้า =  $(20 \times 9) \times 54$

คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า = 9,720 Watt

- พัดลมเพดาน 16 นิ้ว 52 Watt

จำนวน = 12 ตัว

พลังงานไฟฟ้า =  $(52 \times 9) \times 12$

คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า = 5,616 Watt

- ลำโพง 30 Watt

จำนวน = 4 ตัว

พลังงานไฟฟ้า =  $(30 \times 9) \times 4$

คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า = 1,080 Watt

- เครื่องขยายเสียง 300 Watt

จำนวน = 1 ตัว

พลังงานไฟฟ้า =  $(300 \times 9) \times 1$

คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า = 2,700 Watt

- โพรเจกเตอร์ 230 Watt

จำนวน = 1 ตัว

พลังงานไฟฟ้า =  $(230 \times 9) \times 1$

คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า = 2,070 Watt

ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด = 21,186 Watt

- ห้องเรียนแบบที่ 2 (Lecture B)

- หลอดเรสเซนซ์ LED T8 20 Watt

จำนวน = 30 หลอด

พลังงานไฟฟ้า =  $(20 \times 9) \times 30$

คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า = 5,400 Watt

- พัดลมเพดาน 16 นิ้ว 52 Watt

จำนวน = 10 ตัว

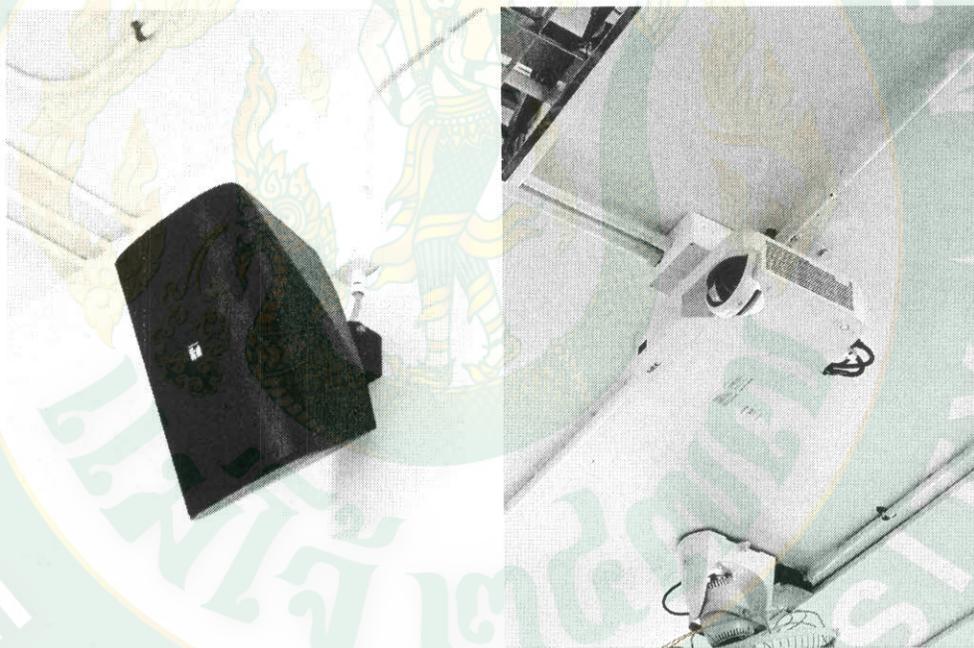
พลังงานไฟฟ้า =  $(52 \times 9) \times 10$

คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 4,680 Watt
- ลำโพง 30 Watt	
จำนวน	= 4 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (30*9) * 4
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 1,080 Watt
- เครื่องขยายเสียง 300 Watt	
จำนวน	= 1 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (300*9) * 1
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 2,700 Watt
- โปรเจกเตอร์ 230 Watt	
จำนวน	= 1 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (230*9) * 1
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 2,070 Watt
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด	= 15,930 Watt
- ห้องเขียนแบบ (Drawing)	
- หลอดเรสเซนซ์ LED T8 20 Watt	
จำนวน	= 54 หลอด
พลังงานไฟฟ้า	= (20*9) * 54
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 9,720 Watt
- พัดลมเพดาน 16 นิ้ว 52 Watt	
จำนวน	= 16 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (52*9) * 16
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 7,488 Watt
- ลำโพง 30 Watt	
จำนวน	= 4 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (30*9) * 4
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 1,080 Watt
- เครื่องขยายเสียง 300 Watt	
จำนวน	= 1 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (300*9) * 1

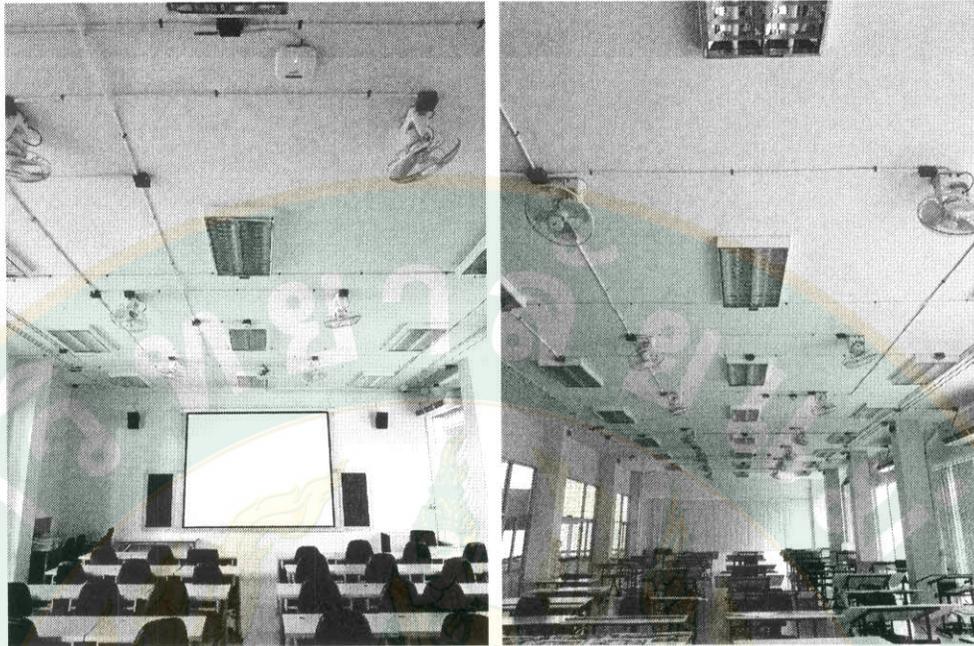
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 2,700 Watt
- โพรเจกเตอร์ 230 Watt	
จำนวน	= 1 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (230*9) * 1
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 2,070 Watt
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด	= 23,058 Watt
- ห้องแสดงงาน (Presentation)	
- หลอดเรสเซนซ์ LED T8 20 Watt	
จำนวน	= 30 หลอด
พลังงานไฟฟ้า	= (20*9) * 30
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 5,400 Watt
- พัดลมเพดาน 16 นิ้ว 52 Watt	
จำนวน	= 13 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (52*9) * 13
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 6,084 Watt
- ลำโพง 30 Watt	
จำนวน	= 2 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (30*9) * 2
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 540 Watt
- เครื่องขยายเสียง 300 Watt	
จำนวน	= 1 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (300*9) * 1
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 2,700 Watt
- โพรเจกเตอร์ 230 Watt	
จำนวน	= 1 ตัว
พลังงานไฟฟ้า	= (230*9) * 1
คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้า	= 2,070 Watt
ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด	= 27,594 Watt

	ลักษณะ/ประเภทห้องเรียน	E/room (watt/day)	Room (unit)	E total (watt/day)
1.	ห้องเรียนแบบที่ 1 (Lecture A)	21,186	4	84,744
2.	ห้องเรียนแบบที่ 2 (Lecture B)	15,930	1	15,930
3.	ห้องเขียนแบบ (Drawing)	23,058	5	115,290
4.	ห้องแสดงงาน (Presentation)	27,594	3	82,782
รวมพลังงานไฟฟ้า/วัน		298,746 watt/dat		
รวมพลังงานไฟฟ้า/ชั่วโมง		33,194 watt/hour		

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าต่อวัน (9 ชั่วโมง) จากเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบ  
แสงสว่าง ของห้องเรียน 4 ประเภท



ภาพที่ 60 แสดงอุปกรณ์ และเครื่องใช้ไฟฟ้า ภายในห้องเรียน  
อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้



ภาพที่ 61 แสดงลักษณะตำแหน่งดวง โคม ระบบแสงสว่าง ภายในห้องเรียน  
อาคารคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้

#### 4.2.3 เปรียบเทียบสัดส่วนความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้า กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์

จากพื้นที่รองรับการติดตั้งพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ 354 ตารางเมตร ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ พื้นที่ว่างชั้นดาดฟ้า และพื้นที่หลังคาถ้ำสามัคคีบริเวณชั้น 3 ของอาคารเรียนฯ สามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้สูงสุด 53,100 วัตต์/ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (33,194 วัตต์/ชั่วโมง) ที่ 9,900 วัตต์ต่อชั่วโมง ซึ่งมากกว่าความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าทั้งหมด 37.5 เปอร์เซ็นต์

$$\text{พื้นที่ว่างชั้นดาดฟ้า} = 8 * 27$$

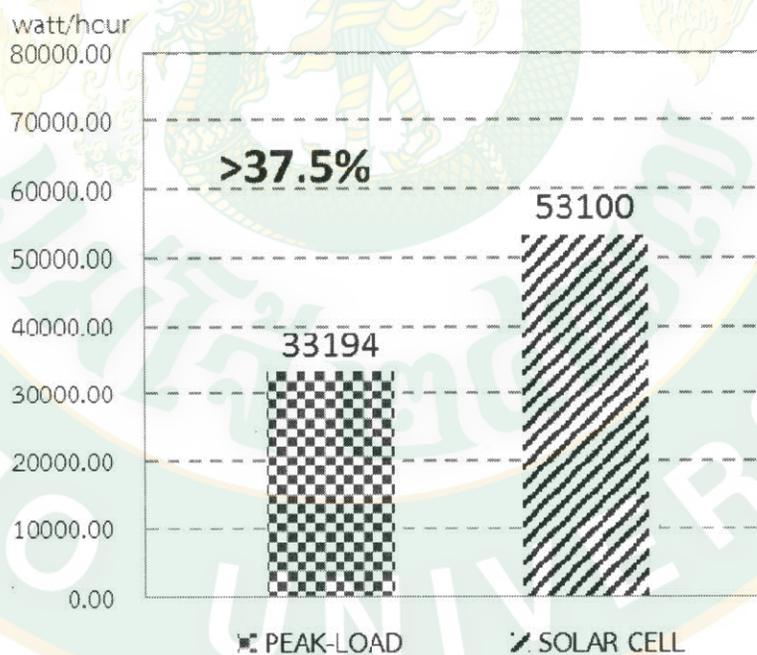
$$= 216 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{พื้นที่หลังคาถ้ำสามัคคีชั้น 3} = 6 * 23$$

$$= 138 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{รวมพื้นที่รองรับ Solar cell ทั้งหมด} = 354 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้} = 177 * 300 = 53,100 \text{ วัตต์/ชั่วโมง}$$



ภาพที่ 62 แสดงเปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) ที่มากกว่าความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด (Peak-load) 37.5%

### 4.3 แนวทางการออกแบบอาคารเรียนต้นแบบ มหาวิทยาลัยแม่โจ้

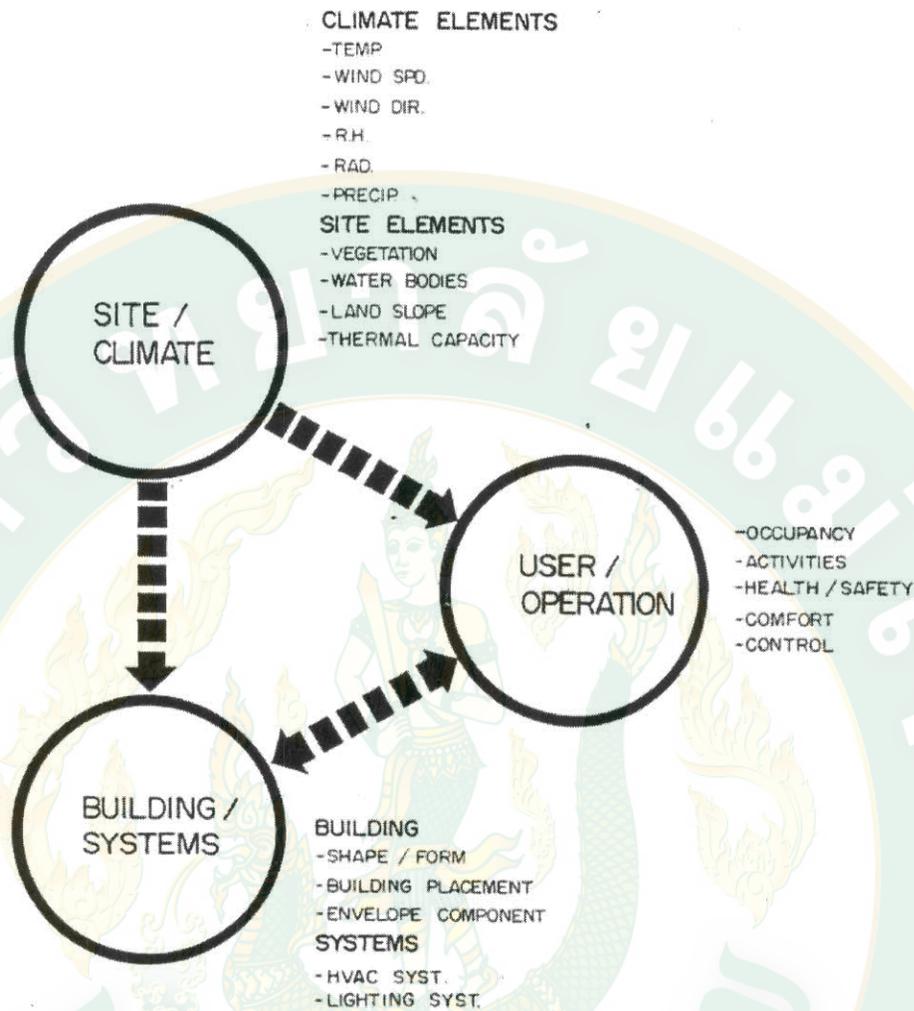
#### 4.3.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

จากสถานการณ์โลกร้อน “สภาพแวดล้อมปัจจุบัน มีความเปลี่ยนแปลงไปจากอดีตเป็นอย่างมาก” ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว ส่งผลต่อรูปแบบการอยู่อาศัยของมนุษย์และการเปลี่ยนแปลงรูปแบบอาคารเรียนจากยุคอดีตสู่ปัจจุบัน ที่ต้องป้องกันความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกได้ดีที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อสภาวะน่าสบายของมนุษย์ที่ใช้อาคารดังกล่าว จากการศึกษพบว่า ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อรูปแบบอาคารเรียนมากที่สุด คือ ความร้อน (Heat) เนื่องจากความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกโดยเฉพาะเขตภูมิอากาศร้อนชื้นมีอุณหภูมิอากาศสูงขึ้นทุกปี การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศ ส่งผลทำให้อาคารในปัจจุบันมีการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศเพิ่มมากขึ้น

ซึ่งสามารถสรุปปัจจัย ที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารได้ ดังนี้

- 1) สภาพที่ตั้งและภูมิอากาศ (Site / Climate)
- 2) ผู้ใช้และกิจกรรม (User / Operation)
- 3) อาคารและงานระบบ (Building / Systems)

จากความสัมพันธ์ขององค์ประกอบทั้ง 3 ส่วน ได้แก่ 1) สภาพที่ตั้งและภูมิอากาศ (Site / Climate) 2) ผู้ใช้และกิจกรรม (User / Operation) และ 3) อาคารและงานระบบ (Building / Systems) ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ ซึ่งมากกว่าร้อยละ 80 ของการใช้พลังงานอาคารเรียน งานวิจัยชิ้นนี้จะวิจัย ออกแบบ/ปรับปรุง ครอบคลุมเฉพาะองค์ประกอบ สภาพที่ตั้ง/ภูมิอากาศ และ อาคาร/งานระบบ เท่านั้น ส่วนองค์ประกอบผู้ใช้/กิจกรรม จะอยู่นอกเหนือขอบเขตของงานวิจัยชิ้นนี้



ภาพที่ 63 แสดงตัวแปรที่มีผลต่อการใช้พลังงาน  
(Soontorn Boonyatikarn, 1982, University of Michigan)

#### 1) สภาพที่ตั้งและภูมิอากาศ (Site / Climate)

เป็นองค์ประกอบของสภาพแวดล้อมที่มีผลต่อการใช้พลังงานเป็นอย่างมาก ตัวแปรดังกล่าวจะได้รับอิทธิพลจากแหล่งกำเนิดความร้อนหลัก คือ ดวงอาทิตย์ ซึ่งจะส่งผลต่อผู้ใช้ (User) และอาคาร (Building) โดยตรง ฉะนั้น เมื่อผู้วิจัยได้วิเคราะห์แล้วเก็บข้อมูลแหล่งความร้อนโดยรอบอาคาร พบว่า บริเวณถนนคอนกรีตทางด้านทิศใต้ ซึ่งได้การตกกระทบของปริมาณรังสีจากดวงอาทิตย์โดยตรงตลอดทั้งวัน ทำให้อุณหภูมิผิวคอนกรีตสูงมากกว่า 45 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าอุณหภูมิอากาศ 10 องศาเซลเซียส (อุณหภูมิอากาศเวลา 12:00 น. วัดได้ 35 องศาเซลเซียส)



ภาพที่ 64 แสดงลักษณะถนนคอนกรีต บริเวณทิศใต้  
ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ ม.แม่โจ้

การป้องกันอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ จะต้องสร้างสรรค์สภาพแวดล้อม บริเวณโดยรอบอาคารให้มีความสามารถในการป้องกันอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ จากการศึกษารายละเอียดประกอบ โดยรอบที่ตั้ง (Site Elements) ที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิอากาศ (Climate Elements) ของสภาพแวดล้อม พบว่าตัวแปรที่มีอิทธิพล ได้แก่ Vegetation, Water Bodies, Land Slope, Thermal Capacity จากตัวแปรดังกล่าว สามารถ จำแนกเป็นองค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง ที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียน ดังนี้

- ขนาดและสัดส่วนพื้นที่ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่และพืชคลุมดิน

มีสัดส่วนการปกคลุมของพื้นที่ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ที่มีขนาดทรงพุ่มสูงเกิน 5 เมตร มากกว่าพื้นที่โดนแดดและเลือกใช้ต้นไม้ที่ผลัดใบในฤดูหนาว เช่น ต้นพิกุล ต้นหู กวาง เป็นต้น ส่งผลทำให้ได้รับร่มเงาช่วงเวลาที่อากาศร้อนจัดในเดือนเมษายน ทรงพุ่ม ไม้ไม่มีความหนาแน่นสูง ระดับการส่องผ่านของแสงได้พุ่มน้อยกว่า 20% และในส่วนพื้นที่ที่มีการตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์โดยตรง กำหนดให้เป็นสนามหญ้าหรือพื้นที่ลาด อ่อน (Soft scape) เพื่อลดการสะสมความร้อน ส่วนพื้นที่ลาดแข็ง (Hard scape) เช่น พื้น ถนนคอนกรีต กำหนดให้ปลูกต้นไม้บริเวณกันชนคลองทางด้านทิศใต้ของถนน เพื่อ

กำหนดให้ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ปกคลุมผิวคอนกรีต จะสามารถลดอุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมจากอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากพื้นคอนกรีตได้

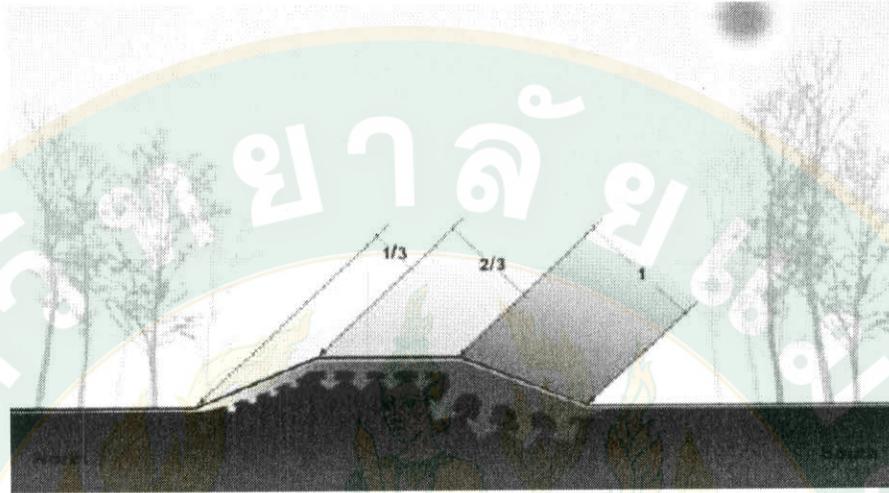
- ลักษณะความแตกต่างของวัสดุปูพื้น

การวางผังภูมิทัศน์ กำหนดให้พื้นที่ส่วนมากประกอบด้วยวัสดุลาดอ่อน เลือกใช้พื้นผิวลาดแข็งเท่าที่จำเป็น ถนนทางเข้าปูด้วยบล็อกตัวหนอนซึ่งมีสัดส่วนพื้นที่ปูนสลับกับหญ้า 50/50 สามารถลดพื้นที่เกาะความร้อนได้ร้อยละ 50 ของพื้นที่ถนนทั้งหมด พื้นที่โดยรอบอาคารเรียนฯ ในรัศมีอย่างน้อย 5 เมตร ปิดผิวด้วยหญ้า และมีระบบการให้น้ำอย่างเพียงพอจากน้ำฝนและน้ำทิ้งจากระบบสุขาภิบาล ทำให้หญ้าดูดซับน้ำน้ำใต้ดินมาระเหยส่งผลให้ผู้รู้สึกเย็นสบายอันเนื่องมาจากการแลกเปลี่ยนความร้อนบริเวณผิวกาย

- อิทธิพลของดินและความลาดเอียง

อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้ มีด้านหน้าอาคารอยู่ฝั่งด้านทิศเหนือ ซึ่งเป็นทิศที่ไม่ได้รับการความร้อนจากการตกกระทบโดยตรงของแสงจากดวงอาทิตย์ ออกแบบลักษณะผิวดินให้มีความเรียบและชุ่มชื้นอยู่ตลอดเวลา อุณหภูมิดินเปียกจะเปลี่ยนแปลงไปอย่างช้าๆ ส่งผลทำให้ค่าความจุความร้อนสูงใกล้เคียงน้ำ (ดินเปียก = 0.88) จึงไม่เกิดการถ่ายเทปริมาณความร้อนสู่สภาพแวดล้อมพื้นและผนังบริเวณทิศเหนือและทิศตะวันออก ออกแบบให้ต่ำกว่าระดับดิน 60 ซม. เพื่ออาศัยอิทธิพลความเย็นของดินที่อุณหภูมิ 26-27 องศาเซลเซียส ส่วนพื้นดินบริเวณด้านทิศใต้ของอาคารเรียนฯ สามารถออกแบบสิ่งปกคลุมผิวพื้นให้เป็นวัสดุที่มีค่าความจุความร้อนสูง กล่าวคือ เป็นวัสดุที่มีการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อมต่ำ ได้แก่ พื้นน้ำ หรือ สนามหญ้าชุ่มน้ำ เป็นต้น

จากภาพ แสดงให้เห็นถึงลักษณะความลาดเอียงของผิวดินกับมุมตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์ ส่งผลทำให้เกิดการสะสมปริมาณความร้อนไม่เท่ากัน



North Slope	ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์น้อย
Flat Plane	ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ปกติ
South Slope	ได้รับอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์มาก

ภาพที่ 65 อิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ ที่กระทำกับผิวดินในลักษณะต่างๆ (สุนทร บุญญาริการและคณะ, โครงการออกแบบเพื่อกายภาพบำบัดและสร้างดัชนีระบบนิเวศ)

- ขนาดพื้นที่แหล่งน้ำ

กำหนดให้ขยายแหล่งน้ำข้างถนนทางด้านทิศใต้ให้กว้างขึ้น 8-10 เมตร และมีความลึกมากกว่า 1.50 ม. เพื่อรองรับปริมาณความร้อนที่ตกกระทบตลอดทั้งวัน ซึ่งน้ำมีค่าความจุความร้อน = 1 ทำให้อุณหภูมิผิวน้ำค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งวัน ลักษณะดังกล่าวสามารถช่วยลดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมลงได้ และองค์ประกอบแหล่งน้ำดังกล่าว จะสามารถเพิ่มปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้ จากกระแสลมประจำถิ่นที่พัดผ่านทางทิศใต้จะช่วงเร่งการระเหยของน้ำให้เพิ่มสูงขึ้น ส่งผลให้อุณหภูมิอากาศที่พัดผ่านเข้ามาต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป

การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารจากอิทธิพลขององค์ประกอบที่ตั้ง (Site Elements) เป็นตัวแปรหลักที่สามารถเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมขนาดเล็ก (Micro Climate) องค์ประกอบโดยรอบที่ตั้งที่ผู้วิจัยนำมาใช้ในการลดอุณหภูมิอากาศมีดังนี้

1. ขนาดและสัดส่วนพื้นที่ร่มเงา จากต้นไม้ใหญ่
2. ลักษณะความแตกต่างของวัสดุปูพื้น
3. อิทธิพลของดินและความลาดเอียง
4. ขนาดพื้นที่แหล่งน้ำ



ภาพที่ 66 อิทธิพลของสภาพแวดล้อม ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ  
(สุนทร บุญญาธิการ, การออกแบบประสานระบบมหาวิทยาลัยชินวัตร)

จากภาพ แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลขององค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง ที่สามารถลดอุณหภูมิสภาพแวดล้อมได้ 3 องศาเซลเซียส จากระดับอุณหภูมิสูงสุด 40.7 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาและเก็บข้อมูล วันที่อุณหภูมิอากาศ 35 องศาเซลเซียส ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ พบว่า อุณหภูมิผิวขององค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง ได้แก่ คอนกรีตโดนแดด = 43.6 °C ถนนลาดยางมะตอย = 50.1 °C พื้นที่ร่มเงาต้นไม้ = 28.9 °C สนามหญ้า = 30.1 °C บล็อกหญ้า = 33.7 °C แหล่งน้ำ = 27.6 °C



ภาพที่ 67 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร



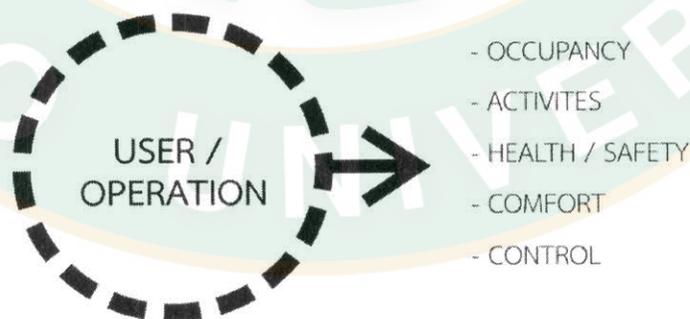
ภาพที่ 68 แสดงทิศทางและความสัมพันธ์ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ฯ กับตำแหน่งดวงอาทิตย์ซึ่งเป็นปัจจัยสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพล

## 2.) ผู้ใช้และกิจกรรม (User / Operation)

เป็นองค์ประกอบที่ได้รับอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ส่วนหนึ่ง อีกส่วนหนึ่งก็จะสามารถผลิตพลังงานความร้อนในตัวเอง จากการเผาผลาญพลังงานในร่างกาย ปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากการเผาผลาญพลังงานดังกล่าว ขึ้นอยู่กับลักษณะการทำงานหรือกิจกรรมของแต่ละคน ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศภายในอาคาร ไม่ว่าจะเป็นตัวแปรความร้อนจากการเผาผลาญพลังงานฯ ความชื้นจากเหงื่อ และคาร์บอนไดออกไซด์จากการหายใจ ที่เพิ่มมากขึ้น เป็นแปรดังกล่าว จึงเป็นอีกตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

	User / Operation	อาคารเรียนทั่วไป	อาคารเรียนต้นแบบ
1.	Occupancy	มีผู้ใช้จำนวนมาก	แบ่งสัดส่วนผู้ใช้อาคาร
2.	Activities	กิจกรรมมีการเผาผลาญพลังงานมาก	กิจกรรมเผาผลาญพลังงานน้อย
3.	Health / Safety	มีการทำอาหาร กลิ่น ความชื้น CO2	มีปรับอากาศ และ ไม่มีมลพิษ
4.	Comfort	อยู่นอกเขตภาวะน่าสบาย	อยู่ในเขตภาวะน่าสบาย
5.	Control	เปิดประตู หน้าต่างทิ้งไว้ ปรับแอร์ 20 C	เปิด ปิดประตูเท่าที่จำเป็น

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบตัวแปร User / Operation อาคารเรียนทั่วไปและอาคารเรียนต้นแบบ



ภาพที่ 69 ตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในอาคาร

### 3) อาคารและงานระบบ (Building / Systems)

เป็นองค์ประกอบสุดท้ายที่รองรับอิทธิพลความร้อนจาก Site / Climate และ User / Operation การผลิตความเย็นเพื่อรองรับปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้น จากทั้ง 2 องค์ประกอบ จะต้องใช้พลังงานมหาศาล ส่งผลถึงแนวคิดในการออกแบบบ้านแยกที่จะต้องใช่วัสดุก่อสร้างอาคารที่มีประสิทธิภาพต่ำ มีพื้นที่ผิวมาก เปรียบเสมือนเป็นช่องทางในการส่งผ่านความร้อนเข้ามาภายในบ้านโดยง่าย ส่วนแนวคิดในการออกแบบบ้านดี ต้องใช่วัสดุเปลือกอาคารที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในได้

การหาค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน (Heat Transfer Coefficient หรือ U-value) ของเปลือกอาคารทั้งหมด มีหน่วยเป็นวัตต์ต่อตารางเมตรต่อองศาเซลเซียส เนื่องจากอาคารมีวัสดุเปลือกอาคารในแต่ละองค์ประกอบของอาคารที่แตกต่างกัน ได้แก่ ผนัง ฝ้า หลังคา และกระจก ดังนั้น ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนจึงต้องนำมาหาค่าเฉลี่ยตามขนาดพื้นที่วัสดุที่ใช้

$$U_{avg} = \frac{U_1A_1 + U_2A_2 + \dots + U_nA_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

เมื่อ  $U_{avg}$  คือ ค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อน

$U_1$  คือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของผนังที่ 1

$A_1$  คือ พื้นที่ผิวของผนังที่ 1

ดังนั้น จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนขึ้นอยู่กับ การออกแบบอาคารและการเลือกใช่วัสดุในองค์ประกอบต่างๆของอาคาร เนื่องจากโดยทั่วไป ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจกและส่วนผนังหรือหลังคาทึบ จะมีค่าที่แตกต่างกันมาก กล่าวคือ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านความร้อนของกระจกจะมีค่าสูงกว่า ส่วนผนังหรือหลังคาทึบ ดังนั้นสัดส่วนของการเจาะช่องแสงหรืออัตราส่วนของพื้นที่กระจกต่อพื้นที่ผนังทั้งหมด (Window to Wall area Ratio ; WWR) จึงเป็นตัวแปรที่สำคัญ ตัวแปรหนึ่งที่น่าสนใจนำมาพิจารณาเพื่อใช้ในการออกแบบวัสดุเปลือกอาคาร



ภาพที่ 70 แสดงลักษณะประตูไม้เก็ล็ดติดตายพร้อมหน้าต่างบานเก็ล็ด ภายในห้องบรรยาย  
อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้



ภาพที่ 71 แสดงลักษณะคอกแสงเก็ล็ดติดตายภายในห้องบรรยาย  
อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้



ภาพที่ 72 รูปแบบช่องเปิดกระจกใส ภายในห้องบรรยายผังทิสใต้  
อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้



ภาพที่ 73 รูปแบบช่องเปิดกระจกใส ภายในห้องบรรยายผังทิสตะวันตก  
อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้

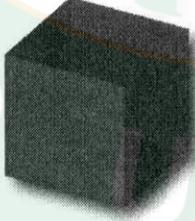
การพิจารณาออกแบบรูปทรงอาคารมีความสัมพันธ์กับพื้นที่เปลือกอาคาร อาคารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสของเปลือกอาคารกับอากาศภายนอกมากย่อมจะทำให้เกิดการถ่ายเทปริมาณความร้อนที่มาก ฉะนั้น การออกแบบอาคารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศภายนอกน้อย จะเป็นผลดีถึงการถ่ายเทปริมาณความร้อนที่เข้าน้อยเช่นกัน จากการศึกษาข้อมูลความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้งานภายในอาคารกับพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร พบว่า อาคารทั่วไปจะมีค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (S) ต่อพื้นที่ใช้งานจริง (A) มากกว่า 3 และอาคารที่ได้รับการออกแบบจะมีค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (S) ต่อพื้นที่ใช้งานจริง (A) น้อยกว่า 2

ตัวแปรของรูปทรงอาคารที่มีผลต่อการใช้พลังงาน คืออัตราส่วนของพื้นที่ผิวที่สัมผัสความร้อนจากภายนอกต่อพื้นที่ใช้สอยภายในอาคาร (Surface area Ratio หรือ S/A) สามารถคำนวณจาก

$$\frac{S}{A} = \frac{\text{Surface Area}}{\text{Useable Area}}$$

เมื่อ Surface Area คือ พื้นที่ผิวของอาคาร  
ประกอบด้วย พื้น ผนัง หลังคา กระจก  
Useable Area คือ พื้นที่ใช้สอยในอาคาร

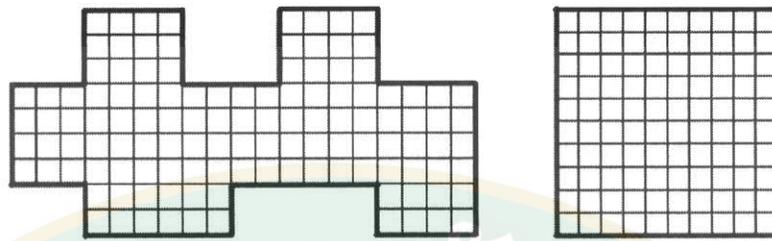
ดังนั้น การออกแบบพื้นที่ผิวอาคารเพื่อลดการส่งผ่านความร้อนจากวัสดุเปลือกอาคารจึงต้องพิจารณาพื้นที่เปลือกอาคารทุกองค์ประกอบ ได้แก่ พื้น ผนัง หลังคา กระจก เพื่อนำมาหาสัดส่วนของพื้นที่ผิวอาคารต่อพื้นที่ใช้สอย



$$\frac{\text{SURFACE AREA}}{\text{USEABLE AREA}} = \frac{6}{1}$$

การคำนวณ S/A ของอาคารทั่วไป

ภาพที่ 74 การคำนวณค่า S/A ของอาคารทั่วไป ที่มีลักษณะกรอบอาคารเป็นรูปทรง  
ลูกบาศก์



$$S/A = 3$$

กรณี 1 ชั้น  
รูปทรงอาคารซับซ้อนที่มีพื้นที่ผิวมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ใช้สอย

$$S/A = 2$$

กรณี 1 ชั้น  
รูปทรงอาคารที่มีพื้นที่ผิวน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับพื้นที่ใช้สอย

ภาพที่ 75 การเปรียบเทียบค่า S/A ของอาคารที่มีรูปทรงซับซ้อนกับรูปทรงเรียบง่าย

จากภาพ แสดงให้เห็นถึงการเปรียบเทียบสัดส่วนพื้นที่ผิวเปลือกอาคารกับพื้นที่ใช้งานจริง ของอาคารทั้ง 2 อาคาร

$$\text{อาคารเรียนทั่วไป} = 448.52 / 79.24 = 5.66 \text{ m}^2$$

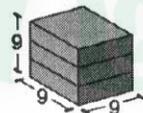
$$\text{อาคารเรียนต้นแบบ} = 344.15 / 75.18 = 4.57 \text{ m}^2$$

ซึ่งทั้ง 2 อาคาร มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอิทธิพลความร้อนจากภายนอกแตกต่างกัน

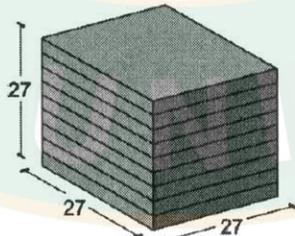
1.24 เท่า



$$= 1:6$$



$$= 1:2$$



$$= 1:0.6$$

ภาพที่ 76 การเปรียบเทียบรูปทรงลูกบาศก์ของอาคารเรียนขนาดเล็กและขนาดใหญ่

การพิจารณาประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศเพื่อการประหยัดพลังงานในอาคาร นอกจากการสร้างสภาพแวดล้อมภายนอกอาคารให้เอื้ออำนวยต่อการอยู่อาศัย การสร้างกรอบอาคารที่สามารถป้องกันรังสีความร้อนจากดวงอาทิตย์ ที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานของเครื่องปรับอากาศในการปรับสภาพแวดล้อมภายในอาคารให้อยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ประสิทธิภาพของเครื่องปรับอากาศที่ดีและประหยัดพลังงานจะต้องมีความสามารถในการทำความเย็นปริมาณมากโดยใช้พลังงานไฟฟ้าน้อย ค่า COP (Coefficient of Performance) หรือค่าสัมประสิทธิ์ในการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ ที่มาจากความสัมพันธ์ของความสามารถของการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศต่อการ ใช้พลังงานไฟฟ้า ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 11 หรือเทียบเท่าฉลากประหยัดไฟเบอร์ 5 ของเครื่องปรับอากาศ ตามพระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2535



ภาพที่ 77 ฉลากประหยัดไฟ เบอร์ 5 ที่ประกอบด้วยข้อมูลพลังงาน

การเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นจากภายใน ได้แก่ประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (energy output) ต่อพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในเครื่องปรับอากาศ (energy input) หรือที่เรียกกันว่า ประสิทธิภาพเครื่องปรับอากาศ ประเมินได้จาก ค่าซีโอพี (Coefficient of performance, COP)

#### 4.3.2 ออกแบบ/ปรับปรุงอาคารเรียนและสภาพแวดล้อม ให้มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงสุด

การออกแบบอาคารที่มีประสิทธิภาพในการลดใช้พลังงาน เกิดจากความเข้าใจเรื่องอิทธิพลความร้อนจากดวงอาทิตย์ (Sun) ที่กระทำต่ออาคารและสภาพแวดล้อม สามารถแยกความสัมพันธ์ได้เป็น 2 ส่วน คือ

- แหล่งกำเนิดความร้อน ได้แก่ ดวงอาทิตย์
- แหล่งรับความร้อน ได้แก่ อาคาร สภาพแวดล้อม และผู้ใช้

จากการศึกษาพบว่า การออกแบบ-ปรับปรุงวัสดุอาคารที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนต่ำ (U) การลดพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (A) และการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อลดค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายใน-ภายนอก ( $\Delta t$ ) ส่งผลทำให้ ภาระการทำ ความเย็นในระบบปรับอากาศลดลง สามารถคำนวณได้จากสูตร

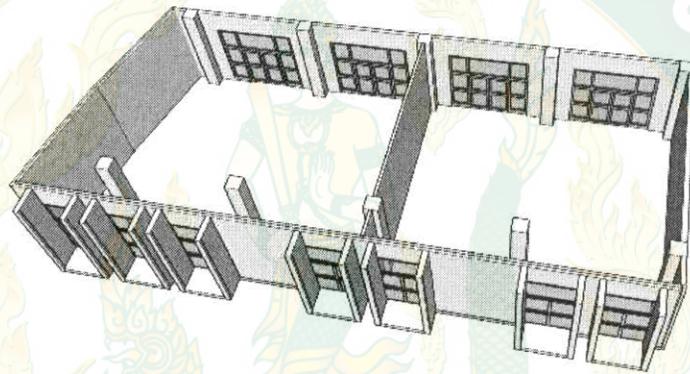
$$q = \Sigma(U \cdot A) \Delta t$$

โดย	q	คือ ปริมาณความร้อน
	U	คือ ตัวแปรสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนของวัสดุผิวอาคาร
	A	คือ พื้นที่ผิวเปลือกอาคาร
	$\Delta t$	คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายนอกและภายในอาคาร

การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศ เป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียน ซึ่งพลังงานดังกล่าวมีสัดส่วนการใช้พลังงานมากถึง 85 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมด ผู้วิจัยมีกรอบความคิดที่จะลดการใช้พลังงานในส่วนนี้ลง จากอิทธิพล (1)การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร (2)การออกแบบ-ปรับปรุงวัสดุอาคาร และ (3)พื้นที่ผิวเปลือกอาคาร ส่วนการใช้พลังงานจากระบบแสงสว่างและเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีสัดส่วน 15 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมด จะทดแทนด้วยพลังงานที่ผลิตได้จากแสงอาทิตย์ (Solar energy) หรือแผงโซลาร์เซลล์

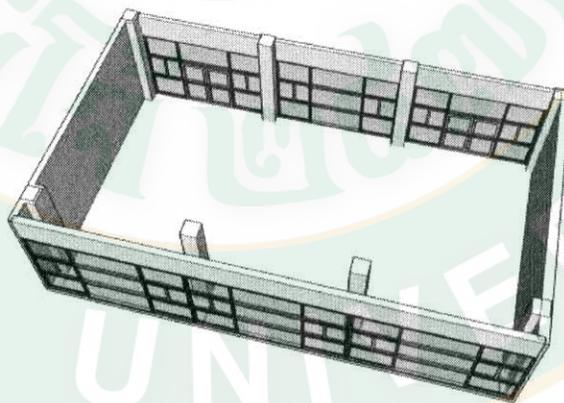
จากอาคารกรณีศึกษา ผู้วิจัยได้แบ่งลักษณะห้องเรียนที่แตกต่างกันออกเป็น 4 ลักษณะ ตามขนาดพื้นที่และรูปแบบห้องบรรยายแต่ละประเภท เพื่อเปรียบเทียบการใช้พลังงานในส่วนต่างๆ จากตัวแปรสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพล ได้แก่

1. ห้องเรียนแบบที่ 1 (Lecture A)
2. ห้องเรียนแบบที่ 2 (Lecture B)
3. ห้องเขียนแบบ (Drawing)
4. ห้องแสดงงาน (Presentation)



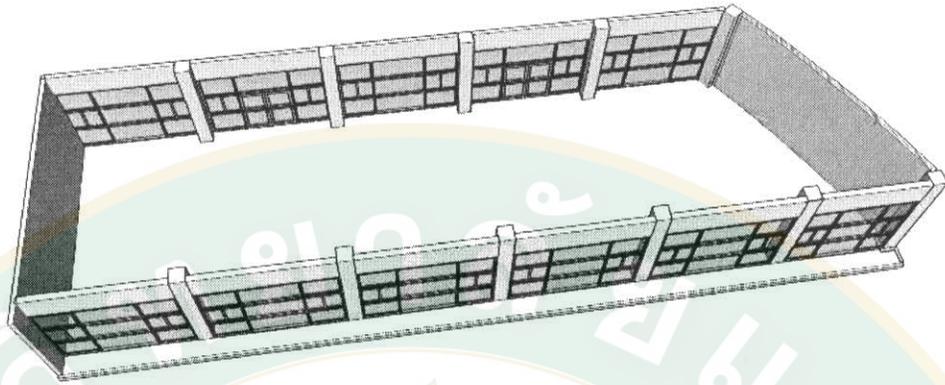
ภาพที่ 78 ลักษณะห้องเรียนแบบที่ 1 (Lecture A)

อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้

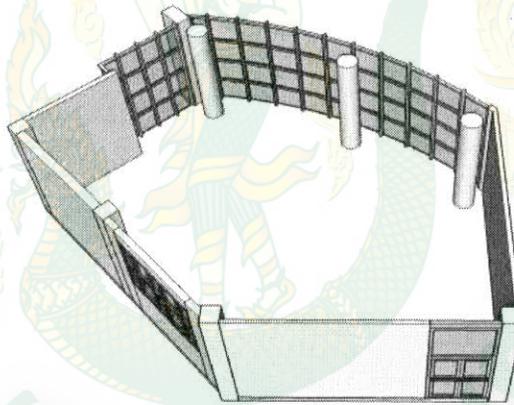


ภาพที่ 79 ลักษณะห้องเรียนแบบที่ 2 (Lecture B)

อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้



ภาพที่ 80 ลักษณะห้องเขียนแบบ (Drawing)  
อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้



ภาพที่ 81 ลักษณะห้องแสดงงาน (Presentation)  
อาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้

เพื่อประสิทธิภาพการลดใช้พลังงานสูงสุด ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ศักยภาพของตัวแปรในแต่ละด้าน ที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ เพื่อหาแนวทางการออกแบบ/ปรับปรุงอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ให้เป็นอาคารเรียนต้นแบบ ที่มีการลดใช้พลังงานสูงสุด

การออกแบบ/ปรับปรุงอาคารเรียนต้องคำนึงถึงตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศของอาคารเรียน ดังนี้

1. การออกแบบ/ปรับปรุงสภาพแวดล้อม
2. การออกแบบ/ปรับปรุงวัสดุอาคาร
3. การออกแบบ/ปรับปรุงพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร
4. ประสิทธิภาพการลดพลังงานในอาคาร
5. การผลิตพลังงานทดแทน

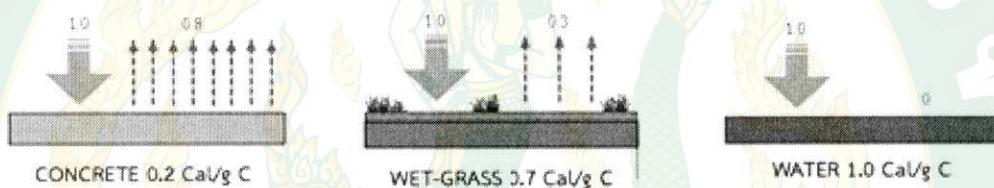
1. การออกแบบ/ปรับปรุงสภาพแวดล้อม

การออกแบบ/ปรับปรุงสภาพแวดล้อม เพื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศให้เข้าใกล้เขตสบายของมนุษย์ ที่ 25 องศาเซลเซียสในเขตภูมิอากาศร้อนชื้น ซึ่งมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงกว่าสภาวะน่าสบายของมนุษย์ (Human comfort) ตลอดทั้งวัน การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อลดอุณหภูมิอากาศ จึงเป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จากการเก็บข้อมูลในช่วงระยะเวลาการทำวิจัย พบว่าสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารเรียนตัวอย่างที่ใช้เป็นกรณีศึกษามีอุณหภูมิอากาศ ในช่วงเวลากลางวัน (12:00 น.) ที่ 35 องศาเซลเซียส ซึ่งมากกว่าสภาวะน่าสบายของมนุษย์ถึง 10 องศาเซลเซียส การลดความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายใน-ภายนอก จะสามารถช่วยลดภาระการทำความเย็น (Cooling load) ของเครื่องปรับอากาศลงได้

จากการศึกษาแหล่งกำเนิดความร้อนจากสภาพแวดล้อม พบว่า เกิดจากอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนของวัสดุองค์ประกอบรอบที่ตั้ง (Site element) ซึ่งสามารถวัดได้จากค่าอุณหภูมิผิววัสดุ องค์ประกอบรอบที่ตั้งโดยรอบอาคารเรียนตัวอย่างที่มีปริมาณความร้อนสูงสุด คือ พื้นผิวถนนคอนกรีตบริเวณด้านทิศใต้ของอาคารเรียน ซึ่งได้รับการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์เกือบตลอดทั้งวัน มีค่าอุณหภูมิผิวสูงถึง 48 องศาเซลเซียส ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป 13 องศาเซลเซียส อุณหภูมิผิววัสดุที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศ จะเกิดการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศใน

สภาพแวดล้อมบริเวณนั้นเพิ่มสูงขึ้นจากตัวแปรความจุความร้อนของวัสดุ (Heat capacity) แต่ละชนิด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าความจุความร้อนของวัสดุ 3 ชนิด ได้แก่ พื้นคอนกรีต (Concrete) พื้นหญ้า (Wet-grass) และพื้นน้ำ (Water) พบว่า พื้นคอนกรีตมีค่าความจุความร้อนของวัสดุต่ำกว่าพื้นหญ้าและพื้นผิวน้ำ เมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบผิ่ววัสดุทั้ง 3 ชนิด ในปริมาณเท่าๆกัน จะส่งผลทำให้พื้นคอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวเพิ่มสูงขึ้นมากกว่าพื้นหญ้าและพื้นผิวน้ำ

จากภาพที่ 82 แสดงให้เห็นถึงปริมาณความร้อน 1 หน่วย ที่ตกกระทบสิ่งปกคลุมพื้นผิวทั้ง 3 ชนิด พื้นผิวน้ำ ซึ่งมีค่าความจุความร้อนของวัสดุเท่ากับ 1 จะไม่มีการถ่ายเทความร้อนกลับสู่สภาพแวดล้อม ส่วนพื้นหญ้าชุ่มน้ำ และพื้นผิวกอนกรีต ซึ่งมีค่าความจุความร้อน 0.7 และ 0.2 จะมีค่าการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อม 0.3 และ 0.8 ตามลำดับ



ภาพที่ 82 แสดงอิทธิพลของวัสดุปิดผิว (Ground cover) ที่มีผลต่อการถ่ายเทความร้อนสู่สภาพแวดล้อม

การปรุงแต่งสภาพแวดล้อมให้อยู่ในเขตสบายทั้งในฤดูร้อนและฤดูหนาว ซึ่งเป็นเทคนิคการลดความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายในและภายนอก ด้วยตัวแปรสภาพแวดล้อมที่ช่วยลดความรุนแรงของสภาพอากาศและการใช้ประโยชน์จากภูมิประเทศ เช่น ในฤดูร้อนใช้องค์ประกอบของต้นไม้ในการให้ร่มเงา ลักษณะเนินดิน ผิวน้ำ เพื่อสร้างความร่มรื่นร่มเย็น สร้างพื้นผิวที่เย็น ควบคุมทิศทางลม ส่วนในฤดูหนาวใช้องค์ประกอบบางส่วนของเนินเขาที่อยู่รอบข้างเพื่อบังและบังคับทิศทางของลมหนาว และใช้บางส่วนของเนินเขารับแดดเพื่อสร้างความอบอุ่นในเวลาเช้า โดยการหาค่าความแตกต่างสูงสุดของอากาศภายนอกและภายในอาคาร จากความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิอากาศภายนอกสูงสุดกับอุณหภูมิอากาศภายในอาคาร ซึ่งได้กำหนดอุณหภูมิอากาศภายในอาคารตามสภาวะน่าสบาย (Comfort Zone) ไว้ที่ 25 องศาเซลเซียส ตามการตั้งอุณหภูมิของเครื่องปรับอากาศ

การใช้อิทธิพลร่มเงาของต้นไม้ (Shade) ปกคลุมพื้นผิววัสดุที่มีค่าความจุความร้อนของวัสดุต่ำ จะสามารถลดการสะสมปริมาณความร้อนจากการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ได้ ผู้วิจัยมีการเก็บข้อมูลอุณหภูมิอากาศ บริเวณถนนคอนกรีตใต้ร่มเงาต้นไม้ใหญ่ เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในช่วงเวลาเดียวกัน พบว่า อุณหภูมิผิวคอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศอยู่ในระดับต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไปในช่วงเวลากลางวัน (ช่วงเวลาทำการ 8:00-16:30 น.) ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นผิวคอนกรีตใต้ร่มเงาเปลี่ยนแปลงต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไปจากอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนของสิ่งปกคลุมพื้นผิวคอนกรีต และปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เพิ่มสูงขึ้นจากอิทธิพลการคายน้ำของต้นไม้

การเพิ่มปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ (Relative humidity) เป็นอีกปัจจัยที่สามารถลดอุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมได้ การขยายขนาดแหล่งน้ำบริเวณข้างถนนที่รองรับการไหลของน้ำจากอ่างเก็บน้ำเพื่อใช้ในการเกษตรกรรมของมหาวิทยาลัยฯ ให้มีขนาดกว้างขึ้น จะช่วยเพิ่มปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศจากการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นไอระเหยของผิวน้ำได้ การเพิ่มปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ 10% ในสภาวะอากาศที่ 35 องศาเซลเซียส จะส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศลดลง 2.3 องศาเซลเซียส (Psychometric chart)



ภาพที่ 83 แสดงลักษณะแหล่งน้ำที่มีการไหลของน้ำตลอดเวลา บริเวณทิศใต้ของอาคาร  
เรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ม.แม่โจ้

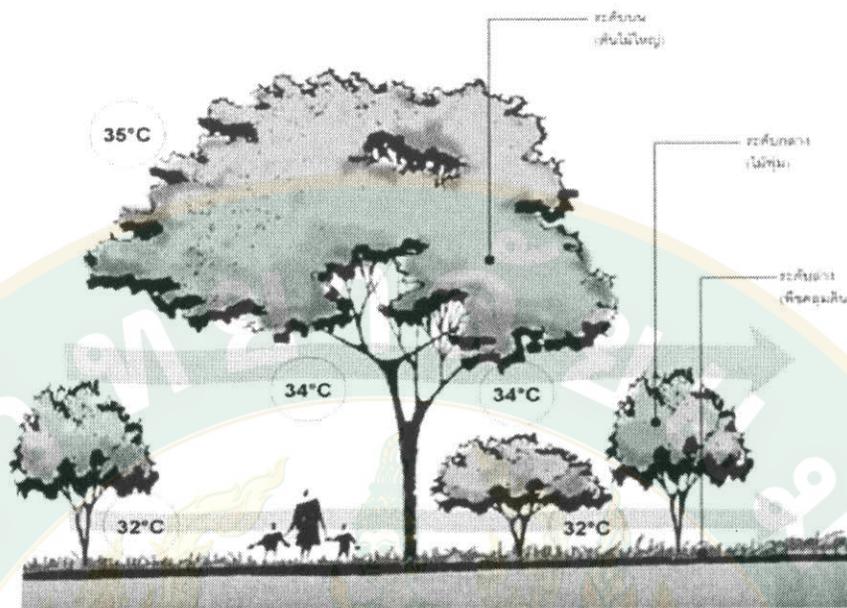
การประเมินความแตกต่างระหว่างอากาศภายนอกและภายใน เพื่อลดความแตกต่างจากอุณหภูมิอากาศสง โดยอาศัยอิทธิพลตัวแปรต่างๆจากสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคาร โดยเฉพาะแสงจากดวงอาทิตย์ ซึ่งเป็นอิทธิพลหลักในการส่งความร้อนเข้าสู่อาคาร ในวันที่ท้องฟ้าปลอดโปร่งประสิทธิภาพของแสงจากดวงอาทิตย์จะมีมากถึง 250 Btu/h/ft<sup>2</sup> ในวันที่เก็บข้อมูล เป็นช่วงสภาพอากาศแปรปรวน ท้องฟ้ามีเมฆมาก ทำให้ปริมาณแสงจากดวงอาทิตย์ส่องมาบนพื้นโลกได้ไม่เต็มที่ ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศในตอนกลางวันร้อนสุดที่ 38 องศาเซลเซียส และต่ำสุดที่ 26 องศาเซลเซียส ในช่วงเวลา 16.00 น. และ 4.00 น. ตามลำดับ

พื้นที่ตกกระทบของแสงโดยรอบอาคารเป็นพื้นดิน พื้นหญ้า และพื้นคอนกรีต ส่งผลทำให้เกิดการสะสมความร้อนในปริมาณที่แตกต่างกันตามแต่ลักษณะพื้นที่ โดยสามารถแยกประเภทตามค่าความจุความร้อนได้ ดังนี้

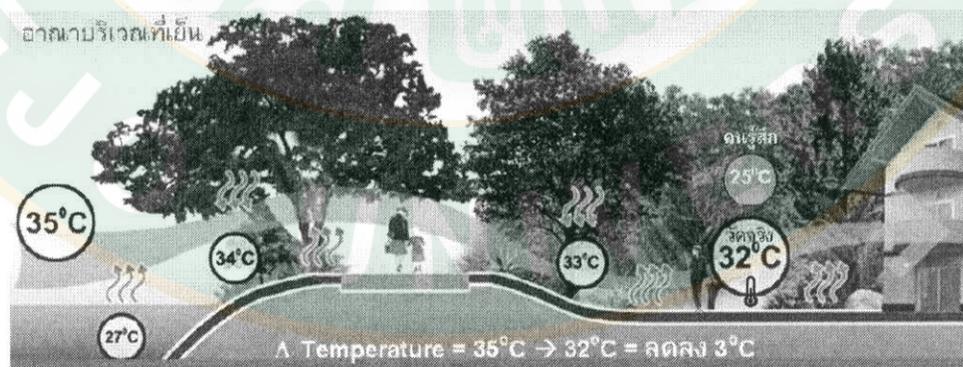
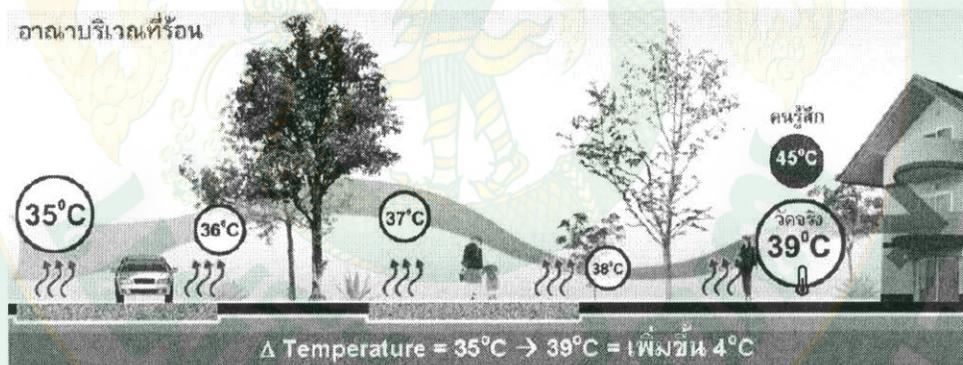
- พื้นดินและพื้นหญ้า มีค่าความจุความร้อน (Specific Heat) สูง และลักษณะดินชุ่มน้ำ เนื่องจากพื้นดินและหญ้ามักมีกรดน้ำเป็นประจำ ดินจึงมีองค์ประกอบของน้ำอยู่มากหรือเรียกว่าดินเปียก จึงมีค่าความจุความร้อนใกล้เคียง 1 (ค่าความจุความร้อนของน้ำ = 1) ส่งผลทำให้ความสามารถของดินในการกักเก็บความร้อนของแสงจากดวงอาทิตย์สูง จึงส่งอิทธิพลความร้อนสู่สภาพแวดล้อมได้น้อย

- พื้นคอนกรีต เป็นถนนอยู่บริเวณด้านทิศตะวันออกและทิศใต้ของอาคารเรียน โดยลักษณะพื้นคอนกรีต มีค่าความจุความร้อนในตัวน้อย กล่าวคือ วัสดุคอนกรีตสามารถเก็บกักความร้อนที่มาจากดวงอาทิตย์ได้น้อย การตกกระทบของแสงจากดวงอาทิตย์บริเวณทิศใต้ตลอดทั้งวัน ส่งผลทำให้วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในตัวสูงและรวดเร็ว เมื่อพื้นคอนกรีตมีอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิอากาศจะทำให้ความร้อนทะลักและแผ่อิทธิพลสู่สภาพแวดล้อม ส่งผลให้สภาพแวดล้อมโดยรอบมีอุณหภูมิอากาศสูงขึ้น

การสะท้อนรังสีความร้อนจากอาคารข้างเคียง เนื่องจากบริเวณโดยรอบอาคารเรียนทั่วไป จะประกอบไปด้วยพื้นที่ผิวลาดแข็งเป็นคอนกรีต เช่น พื้นถนน ห้องเรียนบริเวณชั้น 2 และ 3 จะได้รับอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนที่สะท้อนออกจากพื้นถนนดังกล่าวและเพื่อกันสาดหลังคาเหล็กบริเวณชั้น 3 ซึ่งเป็นวัสดุสังกะสีเข้าสู่ทางหน้าต่างและผนังห้องเรียน ปรากฏการณ์ดังกล่าว ส่งผลทำให้เกิดแสงจ้าบาดตาบวทศนวิสัยการเรียน และส่งผลทำให้ปริมาณความร้อนเพิ่มสูงขึ้นบริเวณผนังภายนอกและภายในห้องเรียน



ภาพที่ 84 การออกแบบสภาพแวดล้อมเพื่อให้เกิดความร่มรื่นเย็นสบาย



ภาพที่ 85 ความแตกต่างของการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมและเหมาะสม ทำให้มีความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างภายในและภายนอก

อิทธิพลความร้อนจากสภาพแวดล้อมดังกล่าว ซึ่งมีอยู่มากในอาคารเรียนทั่วไปทั่วทั้งมหาวิทยาลัย เป็นตัวแปรหลักที่ส่งผลกระทบต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศ (Cooling load) การปรับปรุงห้องเรียนเพื่อตอบสนองประสิทธิภาพการเรียนรู้ จึงต้องป้องกันอิทธิพลความร้อนผ่านเปลือกอาคารรอบด้าน โดยเฉพาะเปลือกอาคารด้านที่กั้นระหว่างสภาพแวดล้อมภายนอกและสภาพแวดล้อมภายใน

จากการศึกษาและเก็บข้อมูลวัสดุองค์ประกอบรอบที่ตั้ง (Site elements) ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้ เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ 35 องศาเซลเซียส (ข้อมูลจากศูนย์วิจัยพืชไร่ เชียงใหม่) พบว่า อุณหภูมิผิวขององค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง ได้แก่ คอนกรีต โคนแดด = 43.6 °C ถนนลาดยางมะตอย = 50.1 °C พื้นที่ร่มเงาคันไม้ = 28.9 °C สนามหญ้า = 30.1 °C บล็อกหญ้า = 33.7 °C แหล่งน้ำ = 27.6 °C จากข้อมูลดังกล่าวสามารถคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวองค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง ดังนี้

$$\text{Normal building คอนกรีต} = 43.6 * 404.75 = 17647.1$$

$$\text{ถนนยางมะตอย} = 50.1 * 40.19 = 2013.51$$

$$\text{รวม} = 19660.6$$

$$\text{พื้นที่ผิวรวม} = 444.94 \text{ ตร.ม.}$$

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิว} = 19660.6 / 444.94 = 44.18 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกได้} = (44.18 + 35) / 2 = 39.59 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{สูงขึ้นกว่าอุณหภูมิอากาศจริง} = 4.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{Model building พื้นที่ร่มเงาคันไม้} = 28.9 * 150.72 = 4355.8$$

$$\text{สนามหญ้า} = 30.1 * 393.82 = 11853.9$$

$$\text{บล็อกหญ้า} = 33.7 * 32.67 = 1100.9$$

$$\text{แหล่งน้ำ} = 27.6 * 26.85 = 741$$

$$\text{รวม} = 18051.6$$

$$\text{พื้นที่ผิวรวม} = 604.06 \text{ ตร.ม.}$$

$$\text{อุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิว} = 18051.6 / 604.06 = 29.88 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\text{อุณหภูมิที่มนุษย์รู้สึกได้} = (29.88 + 35) / 2 = 32.44 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

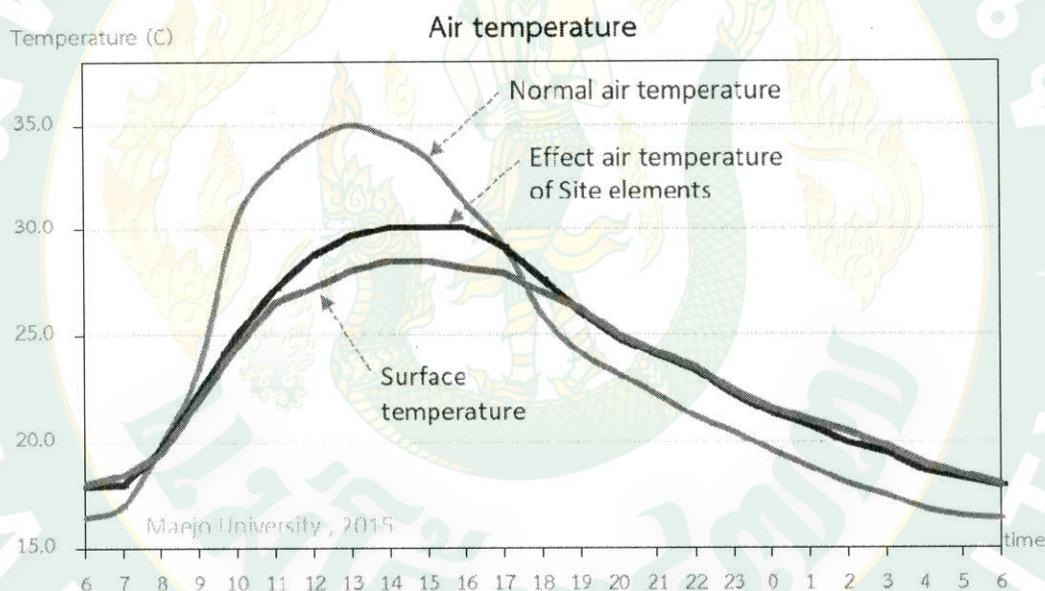
$$\text{ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศจริง} = 2.5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

ฉะนั้น อิทธิพลของการปรุงแต่งองค์ประกอบ โดยรอบที่ตั้ง (Site elements) ที่มาจากตัวแปร Site / Climate ส่งผลให้อาคารเรียนทั่วไป (Normal building) รู้สึกร้อนกว่าอุณหภูมิอากาศจริง และอาคารเรียนต้นแบบ (Model building) รู้สึกเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศจริง

	Site / Climate	อาคารเรียนทั่วไป	อาคารเรียนต้นแบบ
1.	Vegetation	ไม่มีต้นไม้ หรือพืชคลุมดิน	มีต้นไม้ใหญ่ในร่มเงา และหญ้า
2.	Water Bodies	ไม่มีแหล่งน้ำ มีลานคอนกรีต	มีพื้นที่แหล่งน้ำช่วยทำ ความเย็น
3.	Land Slope	ลานคอนกรีตลาดเอียงทิศใต้	พื้นที่เรียบ ปูพื้นด้วยหญ้า เปียก
4.	Thermal Capacity	วัสดุมีการสะสมความร้อน	วัสดุมีค่าความจุความร้อน สูง

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบตัวแปร Site / Climate อาคารเรียนทั่วไปและอาคารเรียนต้นแบบ

การศึกษาและเก็บข้อมูล ทำให้ทราบถึงความแตกต่างของบริบทได้อย่างชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศระหว่างภายนอก-ภายใน อิทธิพลที่ส่งผลถึงความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศในระดับ Micro climate โดยรอบอาคารเรียน คือ องค์ประกอบโดยรอบที่ตั้ง (Site Elements) เนื่องจากพื้นที่โดยรอบอาคารเรียนประกอบด้วย อุปกรณ์ไฟฟ้า ถนน อาคาร รถยนต์ และประชากรจำนวนมาก แต่ละองค์ประกอบส่งอิทธิพลความร้อนผ่านอุณหภูมิผิวสู่บรรยากาศโดยรอบ ทำให้ค่าอุณหภูมิอากาศโดยรอบอยู่ในระดับสูงกว่าอุณหภูมิอากาศปกติ ส่วนพื้นที่ธรรมชาติประกอบด้วย ต้นไม้ แหล่งน้ำ ลม พื้นหญ้า และพื้นดิน ซึ่งมีอุณหภูมิผิวอยู่ในระดับที่ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศ (ในเวลากลางวัน) ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศโดยรอบอยู่ในระดับต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศปกติ ซึ่งเป็นอิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิวโดยรอบ (MRT)



ภาพที่ 86 แสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิผิวและอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อมที่ได้รับการปรับปรุง เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศทั่วไป

## 2. การออกแบบ/ปรับปรุงวัสดุอาคาร (U)

ตัวแปรวัสดุอาคาร เลือกใช้วัสดุที่มีค่าการป้องกันความร้อนความชื้นสูง หรือที่มีค่าเฉลี่ยของสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) ต่ำ ด้วยการเลือกใช้ระบบผนังและหลังคา ฉนวนกันความร้อนแผ่น (Insulation panel) เพื่อลดรอยต่อของชิ้นส่วนวัสดุอันเป็นที่มาของแหล่งความร้อนจากภายนอกและการรั่วไหลของความเย็นจากเครื่องปรับอากาศภายใน ใช้เวลาการก่อสร้างระบบติดตั้งที่ง่ายและรวดเร็วประหยัดเวลา ออกแบบช่องกระจกให้มีขนาดเพียงพอต่อความต้องการของแสงธรรมชาติและการมองเห็นทัศนียภาพภายนอกผ่านกระจกฉนวน

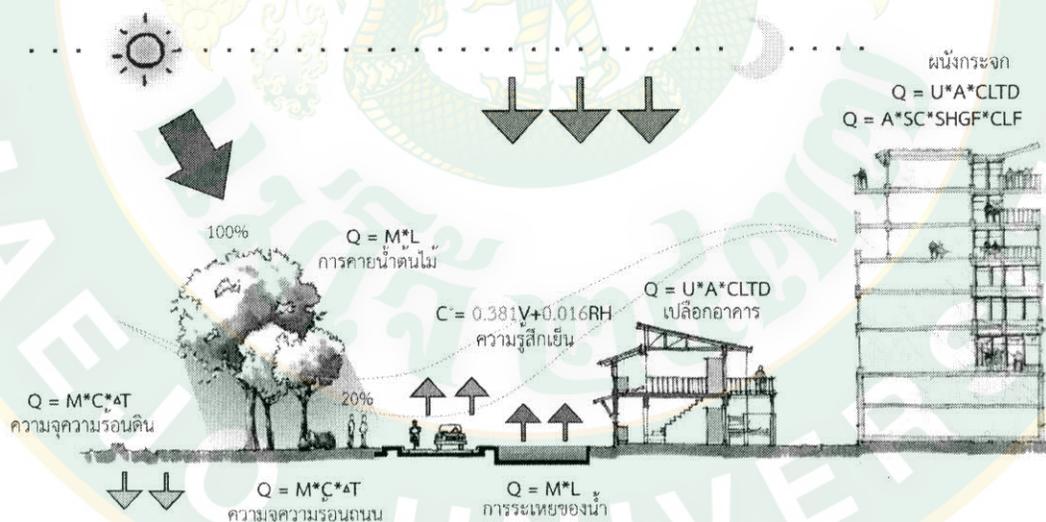
จากการวิเคราะห์วัสดุอาคารเดิม พบว่า ระนาบด้านข้างเป็นวัสดุผนังก่ออิฐชั้นเดียว มีความหนาประมาณ 12-15 ซม. ซึ่งมีค่าการต้านทานความร้อนรวม (Total R) = 1.81 ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ระหว่างภายนอกสู่ภายใน = 0.52 และผนังบางส่วน เป็นกระจกใส (Clear Glass) หนา 6 มิลลิเมตร มีค่าการต้านทานความร้อนรวม (Total R) = 0.97 ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ระหว่างภายนอกสู่ภายใน = 1.03 ระนาบพื้นเป็นวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กปิดผิวด้วยกระเบื้องแผ่นเรียบ มีค่าการต้านทานความร้อนรวม (Total R) = 5.22 ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ระหว่างภายนอกสู่ภายใน = 0.19 ระนาบเหนือศีรษะ ไม่มีฝ้าเพดานเป็นวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กทาสี มีค่าการต้านทานความร้อนรวม (Total R) = 5.17 ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ระหว่างภายนอกสู่ภายใน = 0.19 ส่วนช่องเปิดประตูและหน้าต่างคอกแสก ใช้วัสดุไม้และอลูมิเนียมมีช่องเกร็ดระบายอากาศยาวตลอดแนว จึงทำให้เกิดการรั่วไหลของอากาศระหว่างพื้นที่ภายในและภายนอกได้ ซึ่งวัสดุทั้ง 6 ระนาบ เป็นส่วนที่กั้นระหว่างพื้นที่ปรับอากาศภายในห้องเรียนกับพื้นที่ภายนอก

จากประสิทธิภาพของอาคารเรียนในการป้องกันอิทธิพลจากสภาพแวดล้อมภายนอกอาคาร สามารถคำนวณค่าการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศสูงสุดได้ การทราบระดับอุณหภูมิอากาศสูงสุด สามารถนำมาคำนวณภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศสูงสุด (Peak Cooling load) เป็นผลถึงการเลือกใช้ขนาดของเครื่องปรับอากาศที่เหมาะสมและสามารถรองรับปริมาณการทำความเย็นในสภาวะดังกล่าวได้

วัสดุเปลือกอาคารที่มีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อน ได้แก่

- หลังคา เป็นองค์ประกอบที่ได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์  
ด้านบน
- พื้น เป็นองค์ประกอบที่ได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากพื้นดิน
- ผนัง เป็นองค์ประกอบที่ได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนจากดวงอาทิตย์
- กระจก เป็นองค์ประกอบที่ได้รับอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนโดยตรงจากดวง  
อาทิตย์

จากการวิเคราะห์ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่กั้นระหว่างพื้นที่ปรับอากาศกับสภาพแวดล้อมภายนอก พบว่า ระบายด้านข้างจะมีการถ่ายเทความร้อนของวัสดุสูงสุด ได้แก่ วัสดุกระจก รองลงมาคือวัสดุผนังก่ออิฐฉาบปูน ส่วนระบายพื้นและระบายเพดานเป็นวัสดุคอนกรีตเสริมเหล็กมีค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุใกล้เคียงกัน การลดอิทธิพลความร้อนจากการถ่ายเทความร้อนโดยรอบห้องเรียน จึงต้องยับยั้งการถ่ายเทความร้อนของวัสดุที่มีอิทธิพลการถ่ายเทความร้อนสูงสุด คือ วัสดุผนัง ได้แก่ ผนังกระจกและผนังก่ออิฐฉาบปูน



ภาพที่ 87 แสดงอิทธิพลจากรังสีดวงอาทิตย์ต่อการถ่ายเทปริมาณความร้อนสู่สภาพแวดล้อม ส่งผลต่อการใช้พลังงานของระบบปรับอากาศภายในอาคาร

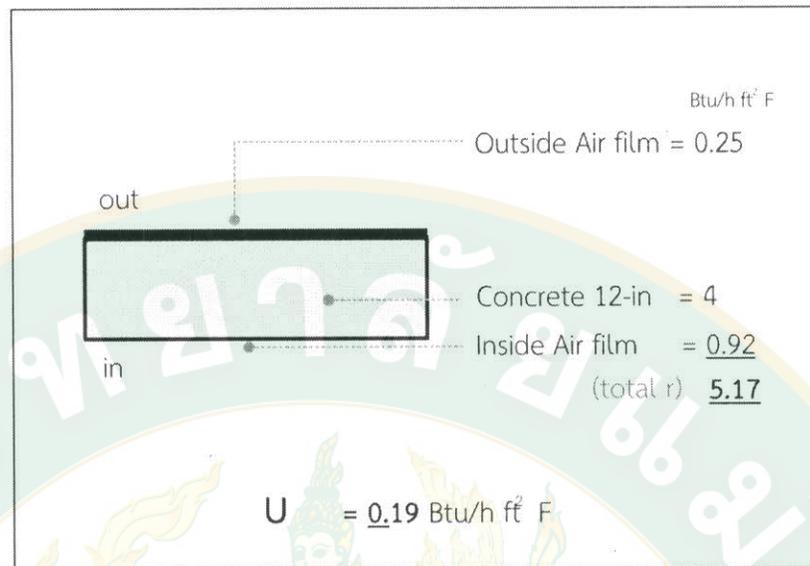
- วัสดุอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)

อาคารเรียนทั่วไปมีการเลือกใช้วัสดุเปลือกอาคารที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน (U) สูง หรือประสิทธิภาพในการต้านทานความร้อน (R) ต่ำ วัสดุพื้นและหลังคาชั้นนอกเป็นคอนกรีตเทเรียบหนา 5 นิ้ว เป็นผลทำให้เกิดการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ในแนวตั้งฉาก และมวลของคอนกรีตสามารถสะสมความร้อนในช่วงเวลากลางวัน และถ่ายเทสู่ภายในห้องเรียนในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน ทำให้ภายในห้องเรียนมีปริมาณความร้อนที่สูงกว่าอุณหภูมิอากาศภายนอก

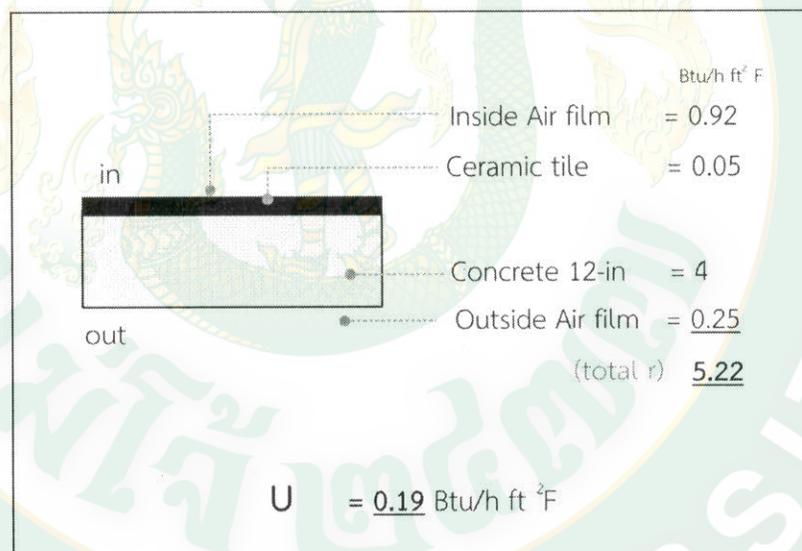
ส่วนวัสดุผนัง เป็นก่ออิฐฉาบปูน 4 นิ้ว มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน  $= 0.88 \text{ Btu/h/ft}^2 \text{ } ^\circ\text{F}$  ซึ่งประสิทธิภาพดังกล่าวทำให้การถ่ายเทของปริมาณความร้อนจากภายนอกเข้าไปสะสมในเนื้อวัสดุ อาคารทั่วไปถูกออกแบบให้มีพื้นที่กระจกมากกว่า 30% โดยเฉพาะด้านทิศใต้และทิศตะวันตก ซึ่งลักษณะดังกล่าว จะทำให้การถ่ายเทความร้อนเข้าสู่ภายในห้องเรียนในช่วงเวลาบ่าย ส่งผลให้เกิดการสะสมความร้อนที่ผนัง



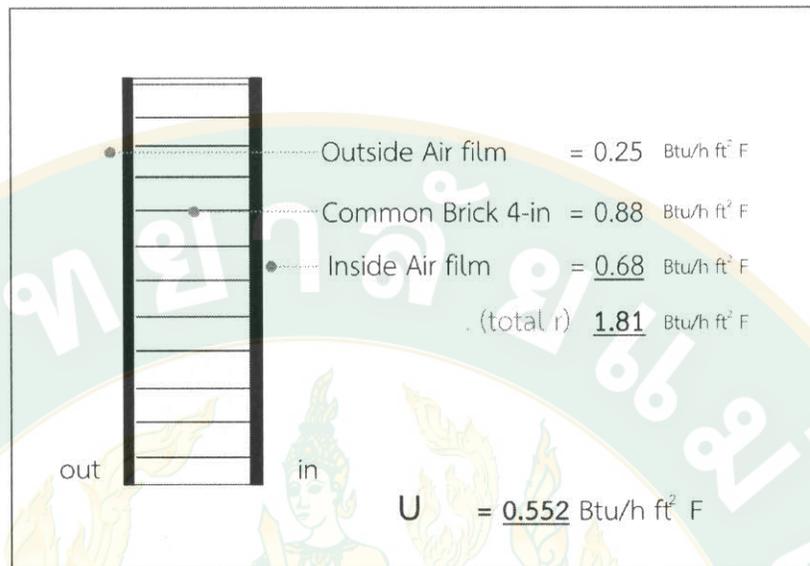
ภาพที่ 88 แสดงวัสดุผนังกระจกติดตาย ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้



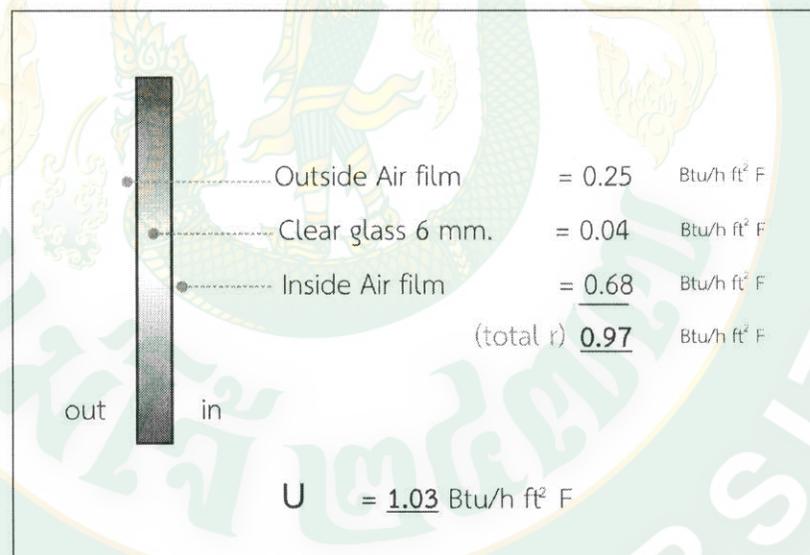
ภาพที่ 89 แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุหลังคา/เพดาน อาคารเรียนทั่วไป



ภาพที่ 90 แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุพื้น อาคารเรียนทั่วไป



ภาพที่ 91 แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง อาคารเรียนทั่วไป

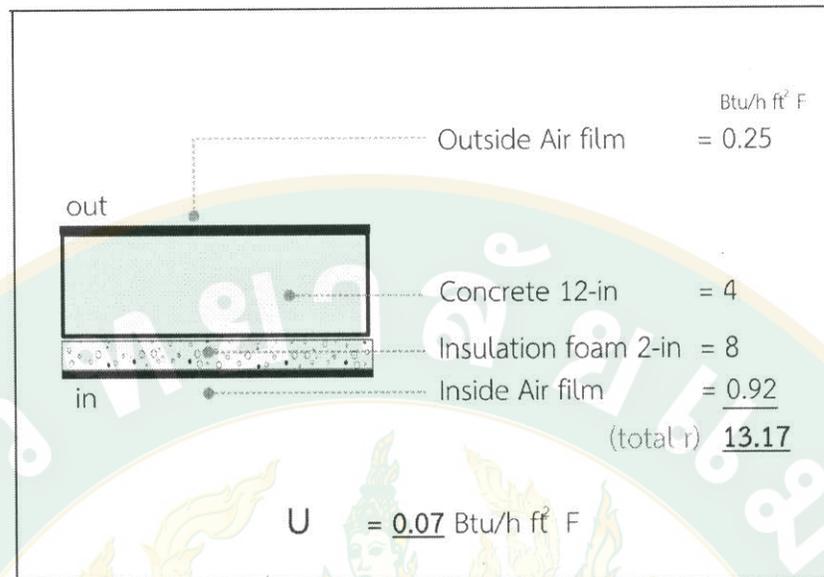


ภาพที่ 92 แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก อาคารเรียนทั่วไป

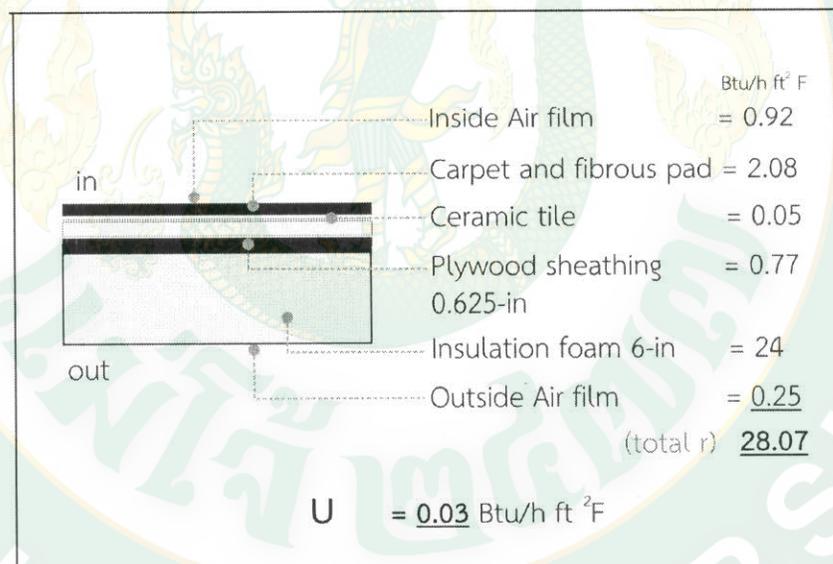
- อาคารเรียนต้นแบบ (Model education building)

การใช้วัสดุพื้น เป็นพื้นคอนกรีตเทบนดินบริเวณชั้นล่าง และเทหนาบริเวณชั้นบน ปิดผิวด้วยกระเบื้องหินอ่อน ซึ่งลักษณะดังกล่าว มวลสารของพื้นสามารถอาศัยอิทธิพล ความเย็นจากพื้นดินและการสะสมความเย็นให้กับพื้นหนาตามความจุความร้อนของพื้น คอนกรีตได้ และวัสดุปูพื้นเป็นหินอ่อนจะช่วยทำให้อุณหภูมิเสมือน (Sensation) ภายใน ห้องเรียน ให้รู้สึกเย็นกว่าอุณหภูมิอากาศจริง ผ่านทางอิทธิพลจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิว โดยรอบ (MRT)

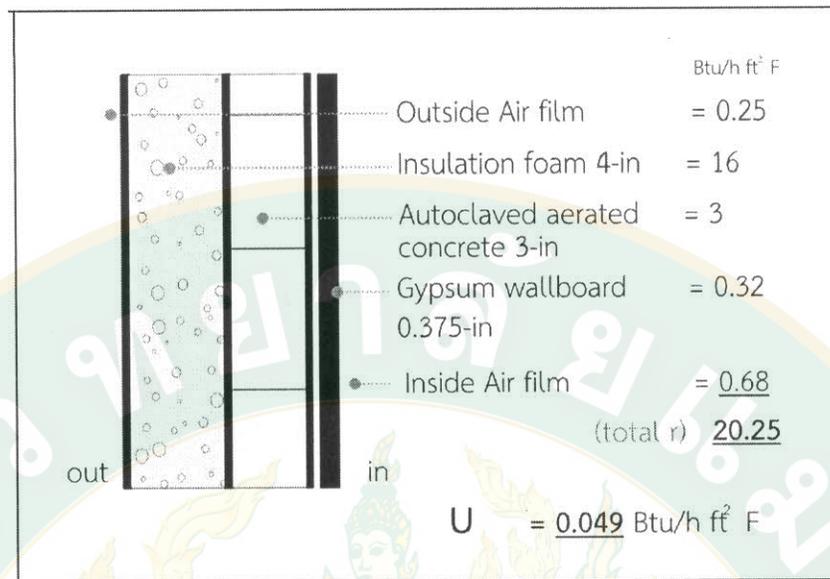
วัสดุผนังเป็นคอนกรีตมวลเบากับ Insulation foam 4 นิ้ว ปิดผิวภายในด้วยยิปซัมบอร์ด ซึ่งมีประสิทธิภาพในการกั้นความร้อนรวม = 20.25 และใช้พื้นที่กระจกฉนวนกันความร้อนขนาด 12 มม. 2 ชั้น มีช่องว่างอากาศตรงกลาง เท่าที่จำเป็น เพียงพอต่อปริมาณแสงสว่างภายในอาคาร ซึ่งมีค่า SC = 0.48 และค่า U = 0.31 ทำให้มีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนผ่านกระจกในปริมาณน้อย



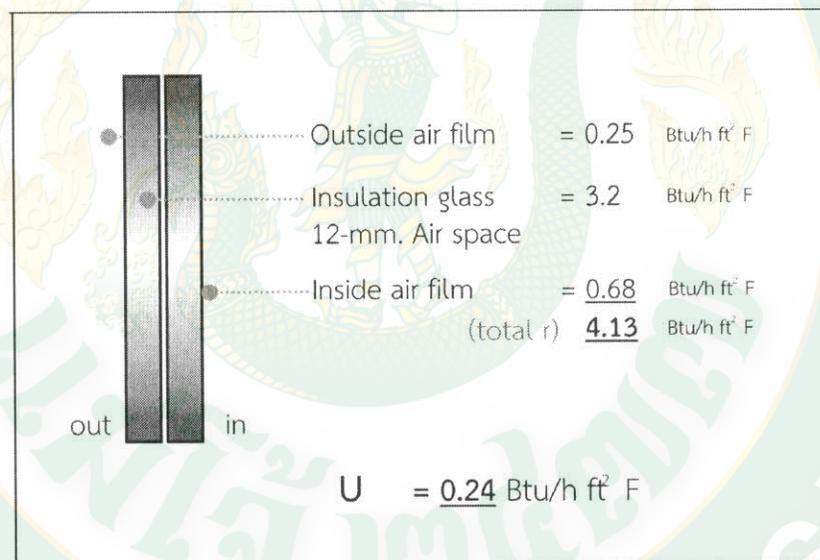
ภาพที่ 93 แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุหลังคา/เพดาน อาคารเรียน  
ต้นแบบ



ภาพที่ 94 แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุพื้น อาคารเรียนต้นแบบ



ภาพที่ 95 แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง อาคารเรียนต้นแบบ

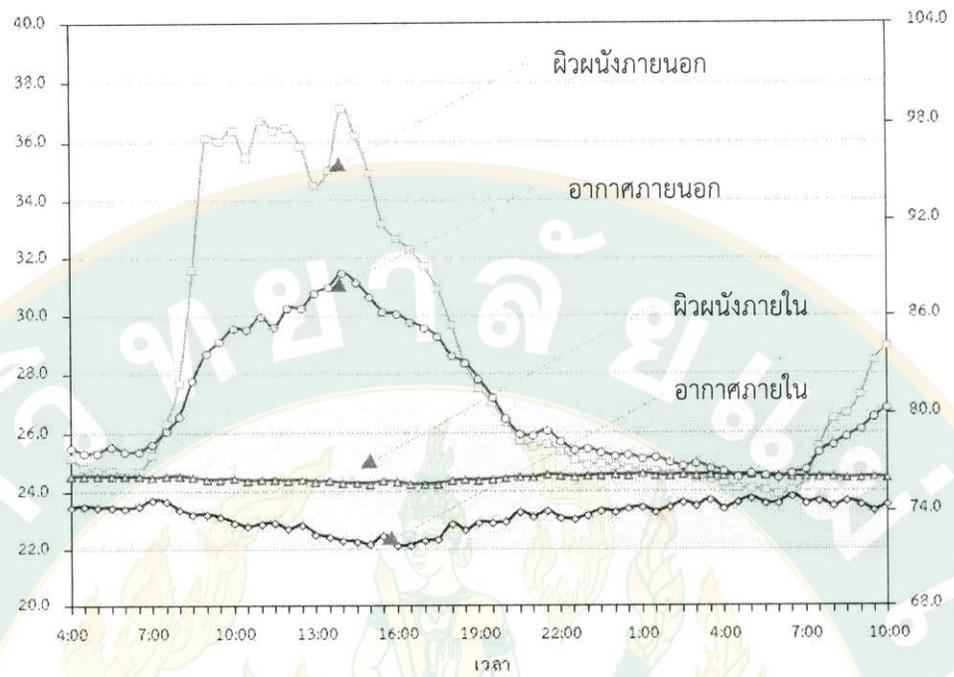


ภาพที่ 96 แสดงประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนผ่านผนังกระจก อาคารเรียนต้นแบบ

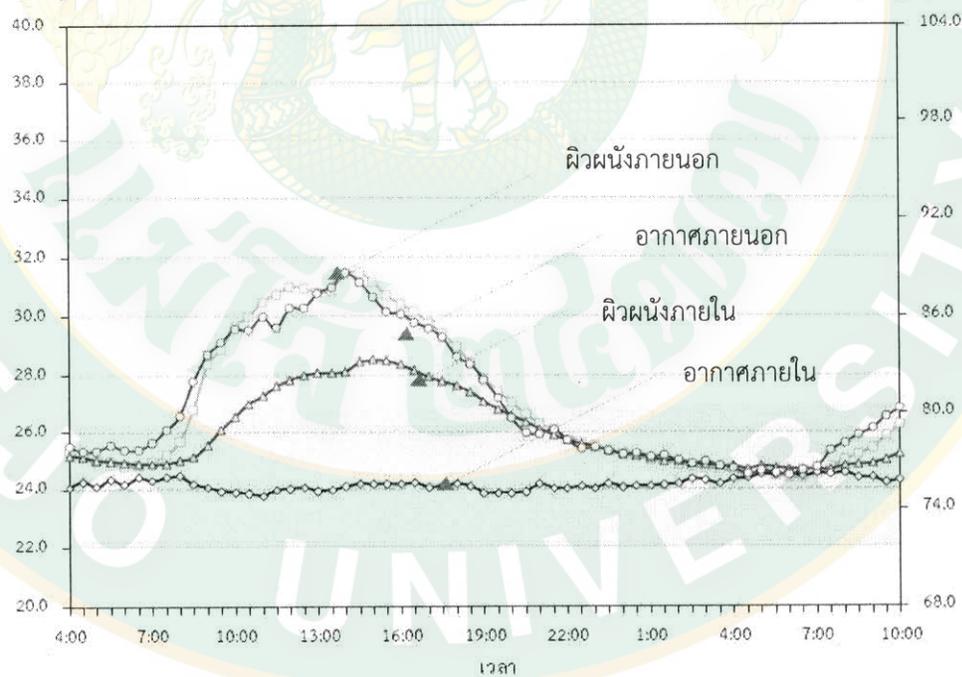
สำหรับการปรับปรุงอาคารเรียนที่สร้างแล้ว การป้องกันความร้อนจากผนังอาคาร ต้องป้องกันอิทธิพลความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกไม่ให้เข้าสู่ภายในห้อง ผนังก่ออิฐฉาบปูน เป็นเทคนิคการก่อสร้างผนังที่นิยมใช้มาตั้งแต่ในอดีต โดยมีข้อดีในด้านความแข็งแรง คงทนกับสภาพแวดล้อม แต่ในปัจจุบัน สภาพแวดล้อมมีระดับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลถึงการสะสมปริมาณความร้อนในตัววัสดุและความสามารถในการต้านทานความร้อน

จากกราฟ แสดงให้เห็นถึงระดับปริมาณความร้อน ที่ส่งผ่านผนังอาคารต้นแบบ เปรียบเทียบกับผนังห้องเรียนทั่วไปที่ผนังเป็นแบบก่ออิฐฉาบปูน โดยทั้งสองห้องเครื่องคิดปรับอากาศขนาด 9000 บีทียู และตั้งอุณหภูมิทำเย็นที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากัน มีเป้าหมายที่จะเปรียบเทียบปริมาณความร้อนจากภายนอกเข้าสู่ภายในห้องเรียน ส่งผลถึงการลดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิอากาศภายในห้องและลดการใช้พลังงานในการทำความเย็นของระบบปรับอากาศ

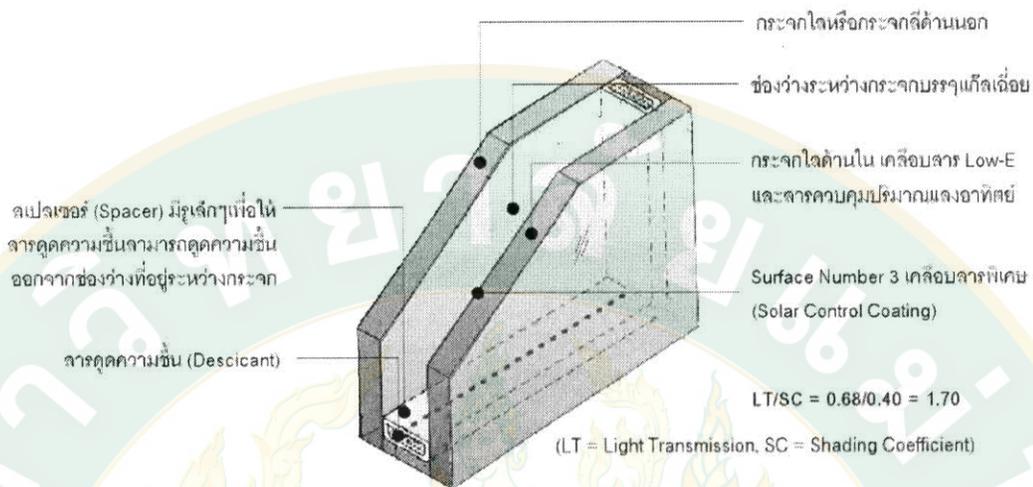
จากการคำนวณ เครื่องปรับอากาศถูกตั้งค่าอุณหภูมิการทำงานเย็นที่ 25 องศาเซลเซียสเท่ากันทั้ง 4 ห้อง จากรูป แสดงถึงอิทธิพลของผิวผนังภายในห้องเรียนต้นแบบ และห้องเรียนทั่วไปกับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศภายในห้อง (25 องศาเซลเซียส) จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องเรียนต้นแบบมีระดับต่ำกว่า 25 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องเรียนทั่วไปในช่วงกลางวันมีระดับอุณหภูมิอยู่ในเกณฑ์สูงกว่า 25 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อภาระการทำงานเย็นของเครื่องปรับอากาศในช่วงเวลาใช้งาน (working time) ระดับความต่างของอุณหภูมิผิวผนังภายในกับอุณหภูมิเครื่องปรับอากาศ ห้องเรียนทั่วไป = 3.53 องศาเซลเซียส ณ ช่วงเวลา 15.00 น. และสูงกว่าต่อเนื่องเป็นระยะเวลา 9 ชั่วโมงต่อวัน



ภาพที่ 97 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผนังห้องเรียนต้นแบบ  
เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศทั่วไป



ภาพที่ 98 แสดงการเปรียบเทียบอุณหภูมิผนังห้องเรียนทั่วไป  
เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศทั่วไป



รูปตัดแสดงส่วนประกอบของกระจกยี่สิบต่อปี ที่มีค่าการสะท้อนแสงภายในน้อย

ภาพที่ 99 วัสดุกระจกฉนวน ที่นำมาใช้ในอาคารเรียนต้นแบบ  
(สุนทร บุญญาริการ, การออกแบบประสานระบบมหาวิทยาลัยชินวัตร)

เห็นได้ว่าห้องเรียนต้นแบบที่ได้รับการปรับปรุงจะมีอุณหภูมิอากาศภายในต่ำกว่าห้องเรียนเดิม และอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องเรียนปรับปรุงอยู่ในเขตสภาวะน่าสบาย ส่วนอุณหภูมิผิวผนังภายในห้องเรียนเดิมช่วงเวลา 10.00 – 19.00 น. จะอยู่นอกเหนือเขตสภาวะน่าสบายและมีอุณหภูมิสูงสุดที่ 28.53 องศาเซลเซียสที่เวลา 15.00 น. ซึ่งช่วงเวลาดังกล่าวคิดเป็นร้อยละ 80 ของเวลาเรียนทั้งวัน อิทธิพลความร้อนจากผิวผนังจะถ่ายเทสู่ภายในห้องตลอดเวลา ส่งผลทำให้ตำแหน่งโต๊ะนั่งของนักศึกษาบริเวณข้างผนังจะรู้สึกร้อนกว่า 25 องศาเซลเซียส และความร้อนดังกล่าวจะส่งผลถึงอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องปรับอากาศตลอด 9 ชั่วโมงต่อวัน

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการกันความร้อนของผนัง จากรูปด้านล่าง พื้นที่สีแดงแสดงถึงปริมาณความร้อนที่ผนังสามารถต้านทานได้ วัดจากระดับความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศภายนอกกับอุณหภูมิผิวผนังภายในห้อง จะเห็นได้ว่าผนังห้องเรียนต้นแบบที่ได้รับการปรับปรุงสามารถต้านทานความร้อนได้ดีและมากกว่าผนังห้องเรียนเดิมในอาคารเรียนทั่วไป และในช่วงเวลาที่มีอุณหภูมิสูงสุด ผนังห้องเรียนต้นแบบสามารถต้านทานความร้อนได้ถึง 7.17 องศาเซลเซียส ส่วนผนังห้องเรียนทั่วไปสามารถต้านทานความร้อนในช่วงเวลาดังกล่าวได้เพียง 2.98 องศาเซลเซียส

### 3. การออกแบบ/ปรับปรุงพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (A)

การพิจารณาออกแบบรูปทรงอาคารมีความสัมพันธ์กับพื้นที่เปลือกอาคาร อาคารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสของเปลือกอาคารกับอากาศภายนอกมาก ย่อมจะทำให้เกิดการถ่ายเทปริมาณความร้อนที่มาก ฉะนั้น การออกแบบอาคารที่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับอากาศภายนอกน้อย จะเป็นผลดีถึงการถ่ายเทปริมาณความร้อนที่เข้าน้อยเช่นกัน จากการศึกษาข้อมูลความสัมพันธ์ของพื้นที่ใช้งานภายในอาคารกับพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร พบว่า อาคารทั่วไปจะมีค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (S) ต่อพื้นที่ใช้งานจริง (A) มากกว่า 3 และอาคารที่ได้รับการออกแบบจะมีค่าสัดส่วนของพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (S) ต่อพื้นที่ใช้งานจริง (A) น้อยกว่า 2

ออกแบบรูปทรงให้อาคารมีรูปทรงเรียบเพื่อลดพื้นที่ผิวที่ไม่จำเป็นของอาคาร โดยออกแบบประโยชน์ใช้สอยให้มีลักษณะแบบกระชับ (Compact) ทำให้มีพื้นที่ผิวที่สัมผัสความร้อนภายนอกน้อยเมื่อเทียบกับอาคารทั่วไป นอกจากการลดพื้นที่ผิวอาคารแล้วยังออกแบบรูปทรงเพื่อเน้นการใช้ประโยชน์จากปัจจัยธรรมชาติ การออกแบบอาคารเรียนทั่วไป ส่วนมากจะใช้วัสดุก่อสร้างอาคารที่มีประสิทธิภาพต่ำ มีพื้นที่ผิวมาก เปรียบเสมือนเป็นช่องทางในการส่งผ่านความร้อนเข้ามาภายในอาคารได้มากตามไปด้วย ส่วนอาคารที่ได้รับการออกแบบ ต้องใช้วัสดุเปลือกอาคารที่สามารถป้องกันการถ่ายเทความร้อนจากภายนอกสู่ภายในได้

จากแนวคิดดังกล่าว ผู้วิจัยได้มีการออกแบบ/ปรับปรุงอาคารเรียนต้นแบบโดยติดตั้งฝ้าเพดานให้กับห้องเรียน นอกจากจะช่วยปิดมุมมองในส่วนงานระบบที่ติดตั้งในส่วนระนาบเหนือศีรษะ ยังสามารถลดพื้นที่ผิวเปลือกอาคารบริเวณยอดผนังที่สัมผัสกับอากาศภายนอกลง เมื่อลดพื้นที่สะพานความร้อนที่เชื่อมหรือกั้นระหว่างผนังภายในภายนอกแล้ว จะสามารถลดการเดินทางของปริมาณความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกผ่านผนังวัสดุดังกล่าวเข้าสู่ภายในห้องได้

	Building / Systems	อาคารเรียนทั่วไป	อาคารเรียนต้นแบบ
1	Shape / Form	มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร มาก	มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร น้อย
2	Building / Placement	เจาะช่องเปิดทางทิศใต้	เจาะช่องเปิดทางทิศเหนือ
3	Envelope Component	ประสิทธิภาพเปลือก อาคารต่ำ	ประสิทธิภาพเปลือก อาคารสูง

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบตัวแปร Building / Systems อาคารทั่วไปและอาคารที่ได้รับการออกแบบ

#### 4. ประสิทธิภาพการลดพลังงานในอาคาร

การคิดคำนวณพลังงานในระบบปรับอากาศจากความสัมพันธ์ของตัวแปรในแต่ละด้าน ได้แก่ ความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายนอก-ภายใน ( $\Delta t$ ) ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนจากวัสดุอาคาร ( $U$ ) และพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร ( $A$ ) สามารถคำนวณปริมาณความร้อนของสภาพแวดล้อมภายนอกที่ถ่ายเทผ่านวัสดุอาคารสู่ภายในห้องเรียนมาคิดเป็นภาระการทำความเย็น (Cooling load) ของเครื่องปรับอากาศ โดยปริมาณความร้อนดังกล่าวจะพิจารณาจากการถ่ายเทความร้อนผ่านวัสดุทั้ง 6 ระนาบ ได้แก่ ระนาบด้านข้าง 4 ระนาบระนาบพื้น และระนาบเพดาน ผ่านเปลือกวัสดุที่กั้นระหว่างพื้นที่ปรับอากาศและไม่ปรับอากาศ ซึ่งตัวแปรที่นำมาใช้ในการคำนวณภาระการทำความเย็น ได้แก่ ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ ( $U$ ) พื้นที่ผิวเปลือกอาคาร ( $A$ ) และค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในและภายนอก ( $\Delta t$ ) ซึ่งผู้วิจัยจะใช้ค่าความแตกต่างจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ (Cooling load temperature difference หรือ CLTD) มาคิด ซึ่งจะสัมพันธ์กับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในแต่ละช่วงเวลา

สามารถคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

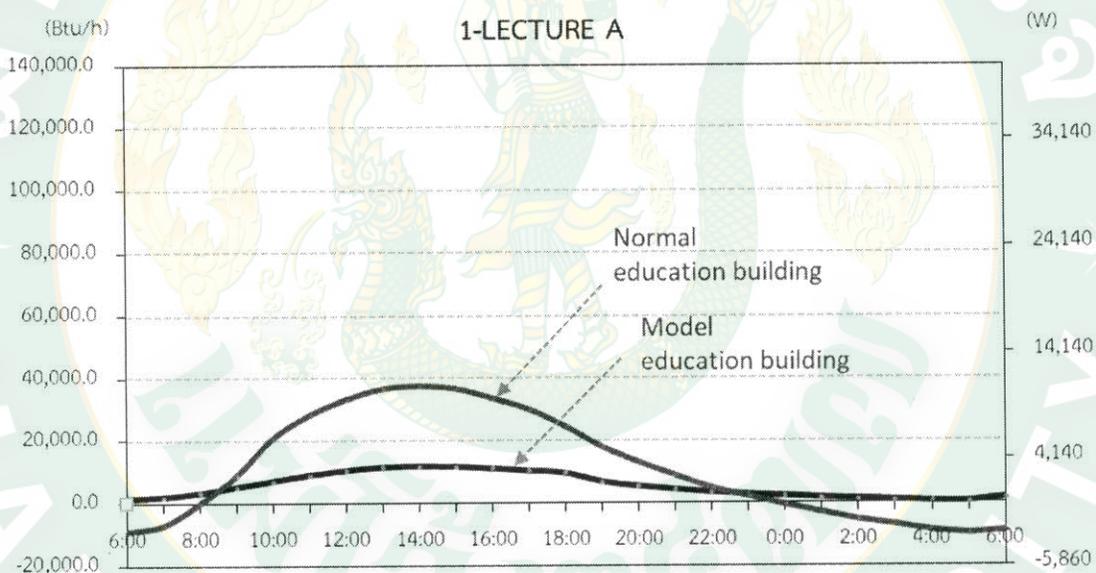
$$q = U \times A \times \text{CLTD}$$

$$\text{CLTD}_{\text{corr}} = [(\text{CLTD} + \text{LM}) \times K + (78 - T_R) + (T_o - 85)] \times f$$

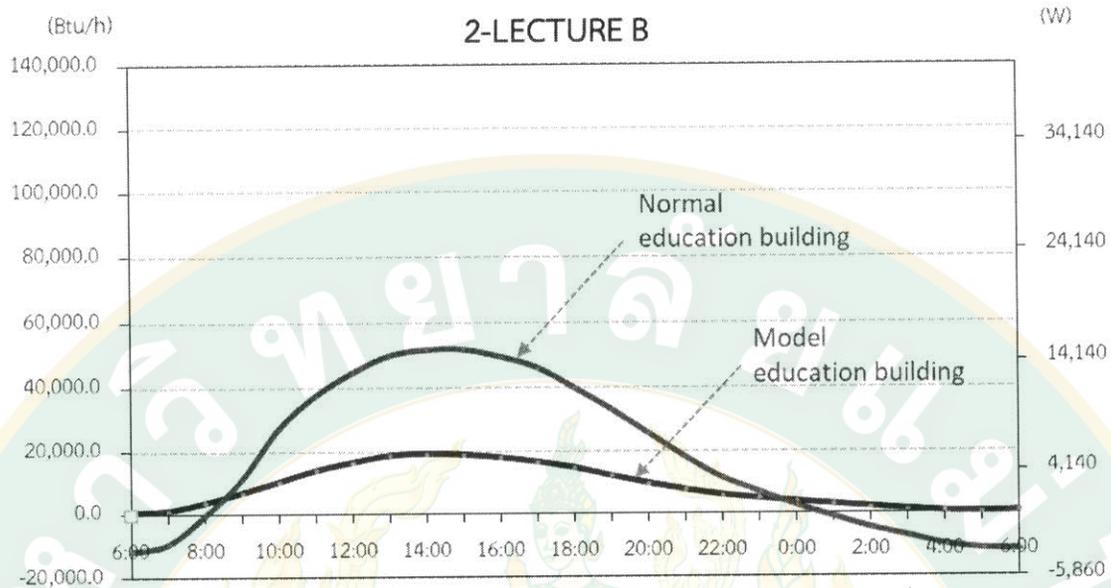
โดยค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายใน-ภายนอก (CLTD) ผู้วิจัยได้แทนค่าตัวแปรระยะจุด (LM) และค่าของวัสดุ ( $K$ ) มาคำนวณด้วย เนื่องจากสภาพอากาศในแต่ละช่วงเวลาไม่คงที่ ส่งผลต่อการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศแต่ละช่วงเวลาไม่เท่ากันซึ่งเกิดจากอิทธิพลและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ที่กระทำกับพื้นผิวโลกในเขตร้อนชื้น ทั้งนี้เพื่อมุ่งหวังให้การจำลองการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศของอาคารเรียนตัวอย่าง มีผลออกมาใกล้เคียงสภาพอากาศจริงมากที่สุด

- ห้องเรียนแบบที่ 1 (lecture A) ซึ่งเป็นห้องเรียนที่มีขนาดเล็กที่สุด สามารถลดการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศลงได้ 68 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 25,750 Btu/h จากช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุด

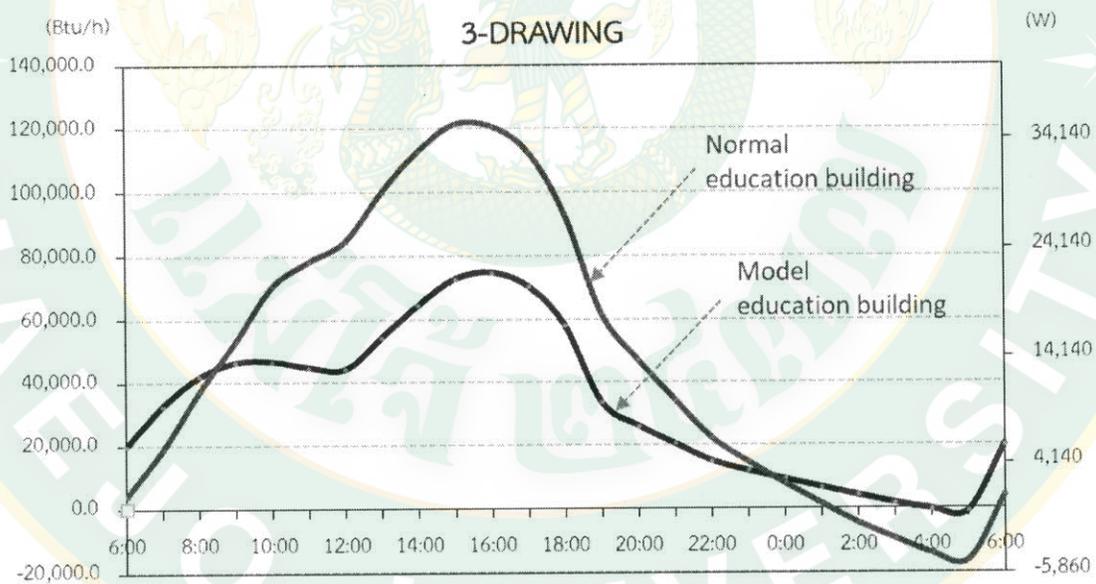
- ห้องเรียนแบบที่ 2 (lecture B) ซึ่งเป็นห้องเรียนที่มีขนาดกลาง สามารถลดการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศลงได้ 63 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 32,693 Btu/h จากช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุด
- ห้องเขียนแบบ (Drawing) ซึ่งเป็นห้องปฏิบัติการขนาดใหญ่ สามารถลดการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศลงได้ 40 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 48,238 Btu/h จากช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุด
- ห้องแสดงงาน (Presentation) ซึ่งเป็นห้องนำเสนอผลงาน สามารถลดการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศลงได้ 50 เปอร์เซ็นต์ หรือคิดเป็น 31,644 Btu/h จากช่วงเวลาที่มีการใช้พลังงานสูงสุด



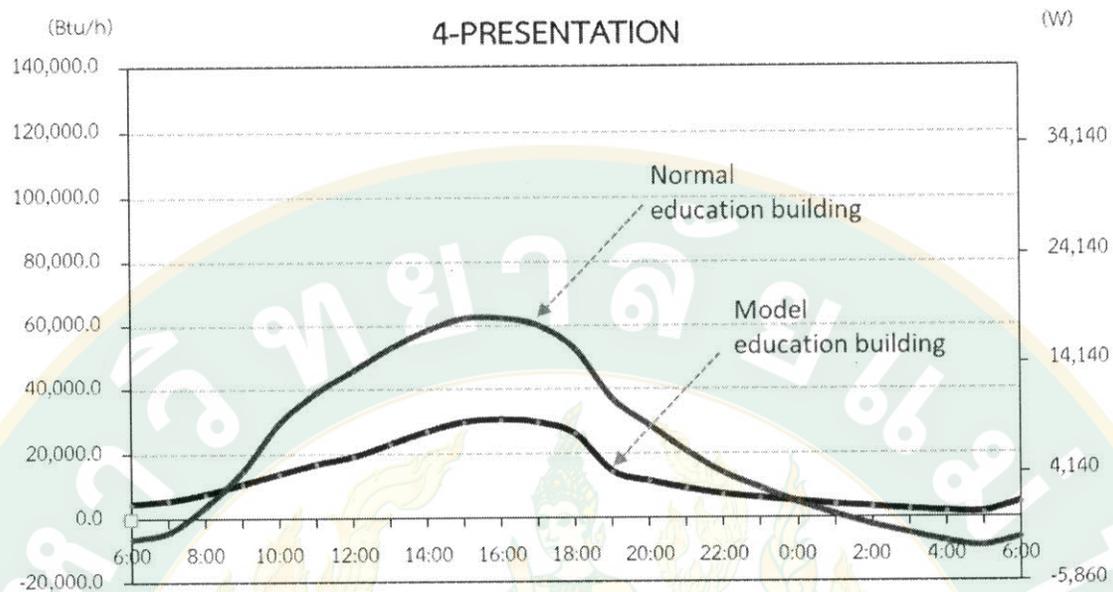
ภาพที่ 100 แสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในห้องบรรยาย 1 (Lecture A) ของอาคารเรียนต้นแบบฯ (Model education building) เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)



ภาพที่ 101 แสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในห้องบรรยาย 2 (Lecture B) ของอาคารเรียนต้นแบบฯ (Model education building) เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)

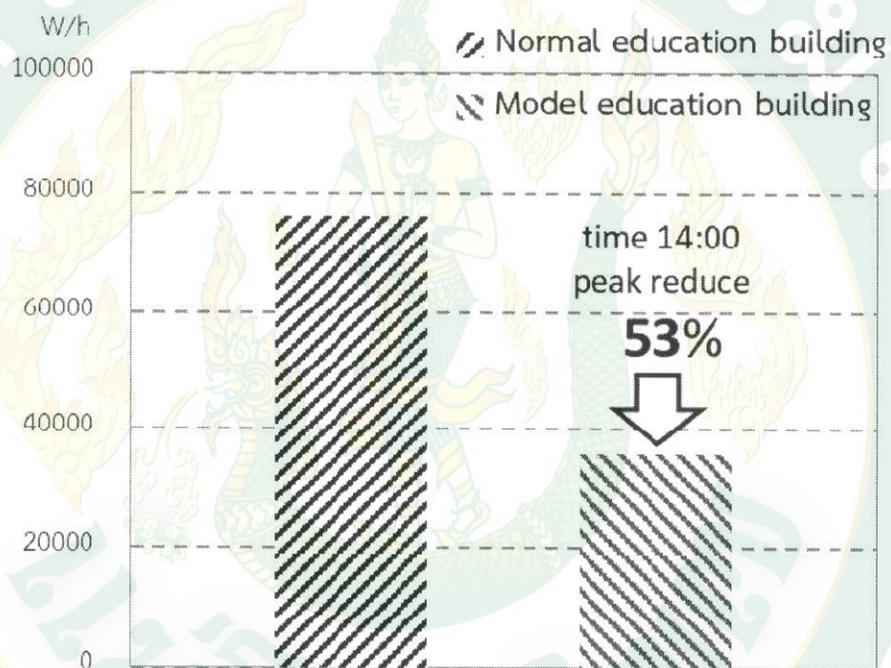


ภาพที่ 102 แสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในห้องเขียนแบบ (Drawing) ของอาคารเรียนต้นแบบฯ (Model education building) เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)



ภาพที่ 103 แสดงการใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศภายในห้องแสดงงาน (Presentation) ของอาคารเรียนต้นแบบฯ (Model education building) เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป (Normal education building)

จะเห็นได้ว่าการออกแบบวัสดุอาคารที่มีประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนของวัสดุต่ำ การติดตั้งฝ้าเพดานที่ส่งผลทำให้พื้นที่ผิวเปลือกอาคารลดลง และการปรุงแต่งสภาพแวดล้อมเพื่อลดอุณหภูมิอากาศภายนอก ส่งผลทำให้การใช้พลังงานในส่วนระบบปรับอากาศของห้องเรียนทั้ง 4 รูปแบบลดต่ำลง เมื่อนำมาคิดสัดส่วนการใช้พลังงานต่อหน่วยพื้นที่ จะสามารถลดการใช้พลังงานลงเฉลี่ย 53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งพลังงานในระบบปรับอากาศมีสัดส่วนการใช้พลังงานสูงสุดในอาคารเรียนคิดเป็นสัดส่วน 85 เปอร์เซ็นต์ของการใช้พลังงานทั้งหมด จะสามารถทำให้การใช้พลังงานรวมของอาคารลดลง มากกว่า 69%



ภาพที่ 104 แสดงสัดส่วนการลดใช้พลังงานระบบปรับอากาศของอาคารเรียนต้นแบบฯ  
เปรียบเทียบกับอาคารเรียนทั่วไป

## 5. การผลิตพลังงานทดแทน

จากการใช้พลังงานไฟฟ้าภายในอาคาร ส่งผลถึงค่าใช้จ่ายในการซื้อไฟฟ้าจากภาครัฐในปริมาณที่มากและทำให้ภาครัฐต้องผลิตกระแสไฟฟ้าให้เพียงพอต่อการใช้งาน และรองรับแนวโน้มของอัตราการใช้พลังงานไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้น ด้วยสาเหตุนี้การใช้พลังงานไฟฟ้าจากพลังงานทดแทน จึงมีส่วนสำคัญต่ออนาคตของประเทศ พลังงานทดแทนที่ได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผง Solar cell จะต้องสัมพันธ์กับปริมาณการใช้ไฟฟ้าภายในอาคาร การประเมินความเป็นไปได้ในการใช้พลังงานทดแทนจากแผง Solar cell จึงต้องคำนวณจากปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด ที่เป็นผลต่อขนาดกำลังการผลิต ค่าใช้จ่าย และพื้นที่ในการติดตั้ง

การใช้พลังงานจากระบบปรับอากาศลง 53% คงเหลือเพียง 47% ในส่วนระบบปรับอากาศที่ต้องการปริมาณการใช้ไฟฟ้าจากภาครัฐ กล่าวคือ การผลิตพลังงานทดแทนจาก Solar cell จะนำมาทดแทนพลังงานจากระบบแสงสว่างและพลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้า ซึ่งมีเพียง 15% ของพลังงานทั้งหมด



การคำนวณค่าพลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างในส่วนห้องเรียน มีการใช้พลังงานทั้งหมด 298,746 วัตต์/วัน โดยคำนวณจากการใช้งานเต็มเวลา 9 ชั่วโมง (8:00-17:00 น.) ทั้งนี้ การใช้พลังงานในส่วนดังกล่าวจะคิดมาจากห้องที่มีการเรียนการสอนเท่านั้น ซึ่งไม่รวมการใช้พลังงานไฟฟ้าในส่วนห้องเก็บของ ห้องน้ำ และพื้นที่ส่วนกลาง เช่น ทางเดิน โถง และบันได ซึ่งคิดเป็น 30 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ทั้งหมด และเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงานทดแทนปริมาณการใช้ไฟฟ้าในส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างครอบคลุมทั้งอาคาร จึงมีการคิดปริมาณการใช้ไฟฟ้าเพิ่มเติมแบบถ่วงน้ำหนัก พื้นที่อาคาร จะได้ปริมาณการใช้ไฟฟ้าดังนี้

ร้อยละ 30 ของปริมาณการใช้ไฟฟ้าต่อวัน

$$298,746 * 0.30 = 89,624 \text{ Watt}$$

รวมปริมาณการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุดต่อวัน

$$298,746 + 89,624 = 388,370 \text{ Watt/day}$$

$$= 43,153 \text{ Watt/hour}$$

การคิดพลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถนำค่าการใช้พลังงานต่อชั่วโมง (43,153 Watt/hour) มาคิดเป็นจำนวนแผง Solar cell โดยคำนวณจากพื้นที่การวางแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1.47\*0.68 เมตร ซึ่งสามารถผลิตพลังงานได้ 300 วัตต์ต่อชั่วโมง (สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน) ส่งผลทำให้ต้องใช้แผ่นโซลาร์เซลล์จำนวน 144 แผ่น ถึงจะเพียงพอต่อการผลิตพลังงานเพื่อรองรับการใช้พลังงานสูงสุดในช่วงเวลาดังกล่าว

$$43,153 / 300 = 143.84 \text{ แผง (Solar cell 144 แผ่น)}$$

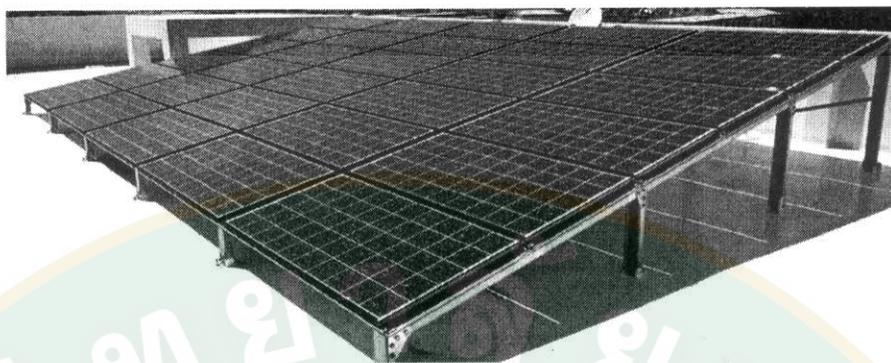
สามารถผลิตพลังงานทดแทนได้ = 43,200 วัตต์/ชั่วโมง

โดยวางแผ่น Solar cell ลาดเอียงไปทางทิศใต้ตามละติจูดที่ตั้งที่ 18 องศา ซึ่งการจัดทำ Solar PV Rooftop จะต้องใช้พื้นที่รองรับการวางโครงสร้างแผ่นโซลาร์เซลล์ 2 ตารางเมตรต่อแผง รวมพื้นที่ทั้งหมด 288 ตารางเมตร ซึ่งขนาดหลังคาบ้านแคดและหลังคาคอนกรีตชั้นดาดฟ้าอาคารเรียนมีขนาดพื้นที่เพียงพอต่อการวางโครงสร้างดังกล่าว

$$\text{จำนวนแผง Solar cell} = 144 * 2$$

$$= 288 \text{ ตารางเมตร}$$

ลักษณะพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง Solar cell มีความเหมาะสมในการทดแทนพลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและพลังงานจากระบบแสงสว่างมากกว่าการทดแทนพลังงานจากระบบปรับอากาศ เนื่องจากสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีการใช้พลังงานทดแทนจากแผง Solar cell อาจมีความแปรปรวนจากระบบการผลิตและการจ่ายไฟที่ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพท้องฟ้า อีกทั้งการเก็บพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงในการสร้างที่เก็บประจุไฟฟ้าหรือขนาดของแบตเตอรี่จำนวนมาก



ภาพที่ 105 แสดงการติดตั้งแผง Solar cell บริเวณหลังคาชั้นคาเฟ่

(<http://www.amornsolar.com/single-1.php>)

- วิเคราะห์ปริมาณการใช้ไฟฟ้าสูงสุด

- อาคารเรียนต้นแบบ (Model education building)

มีการใช้พลังงานไฟฟ้าสูงสุด = 298,746 วัตต์/วัน

คิดเป็นปริมาณการใช้ไฟฟ้าเฉลี่ยต่อชั่วโมง = 43,153 วัตต์/ชั่วโมง

= 43.2 กิโลวัตต์/ชั่วโมง

- วิเคราะห์กำลังการผลิตและจำนวนแผง Solar cell

จากข้อมูลของสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน (TECPA) ในการจัดทำ Solar PV Rooftop ของภาคครัวเรือนที่ได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ กำหนดกำลังการผลิตไฟฟ้าของแผง Solar cell ที่ 300 วัตต์ต่อ 1 แผง ฉะนั้นจึงสามารถสรุปจำนวนแผง Solar cell ที่มาจากการใช้ปริมาณไฟฟ้าสูงสุด เพื่อรองรับกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้า

- อาคารเรียนต้นแบบ (Model education building)

จำนวนแผง Solar cell = 43,153 / 300

= 143.84 (144 แผง)

สามารถผลิตไฟฟ้าได้ = 43,200 วัตต์/ชั่วโมง

= 43.2 กิโลวัตต์/ชั่วโมง

- วิเคราะห์พื้นที่ในการรองรับแผง Solar cell

จากข้อมูลของสมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน (TECPA) ในการจัดทำ Solar PV Rooftop ของภาคครัวเรือนที่ได้รับการส่งเสริมจากภาครัฐ กำหนดขนาดแผง Solar cell = 2 ตารางเมตรต่อ 1 แผง ฉะนั้นจะได้พื้นที่รองรับการติดตั้ง ดังนี้

- อาคารเรียนต้นแบบ (Model education building)

$$\text{จำนวนแผง Solar cell} = 144 * 2$$

$$\text{พื้นที่รองรับ Solar cell} = 288 \text{ ตารางเมตร}$$

เมื่อนำมาคิดหาพื้นที่ของแผงโซลาร์เซลล์สามารถใช้จำนวนแผงโซลาร์เซลล์ขนาด 1.47\*0.68 เมตร จำนวน 144 แผง ใช้พื้นที่ในการวางและติดตั้ง 288 ตารางเมตร ซึ่งการออกแบบตำแหน่งการวางแผงโซลาร์เซลล์คือพื้นที่บริเวณชั้นดาดฟ้า อาคารเรียนฯ ซึ่งมีพื้นที่ 216 ตารางเมตร ซึ่งไม่เพียงพอในการผลิตพลังงานเพื่อรองรับช่วงเวลากการใช้พลังงานสูงสุด

ผู้วิจัยมองเห็นพื้นที่หลังคาบริเวณกันสาดชั้น 3 ของอาคารเรียนฯ ที่มีความลาดเอียง 20 องศาทางด้านทิศใต้ ซึ่งใกล้เคียงละติจูดของพื้นที่จังหวัดเชียงใหม่ที่ 18 องศาเหนือ และมีขนาดพื้นที่หลังคา 138 ตารางเมตร เมื่อรวมพื้นที่การติดตั้งแผงโซลาร์เซลล์ทั้งหมด 354 ตารางเมตร จะสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้ 53,100 วัตต์/ชั่วโมง ซึ่งมากกว่าช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงสุด

การออกแบบพื้นที่วาง Solar cell บริเวณชั้นดาดฟ้าซึ่งมีพื้นที่ว่างขนาดกว้าง 8.50 เมตร ยาว 27.5 เมตร และพื้นที่หลังคากันสาดชั้น 3 ขนาดกว้าง 6 เมตร ยาว 23 เมตร ซึ่งมีความลาดเอียงใกล้เคียง 18 องศาทางด้านทิศใต้ของอาคารเรียนคณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบสิ่งแวดล้อม ซึ่งเมื่อกำหนดพื้นที่รองรับแผง Solar cell มีพื้นที่รวมกัน 354 ตารางเมตร

$$\text{พื้นที่ว่างชั้นดาดฟ้า} = 8 * 27$$

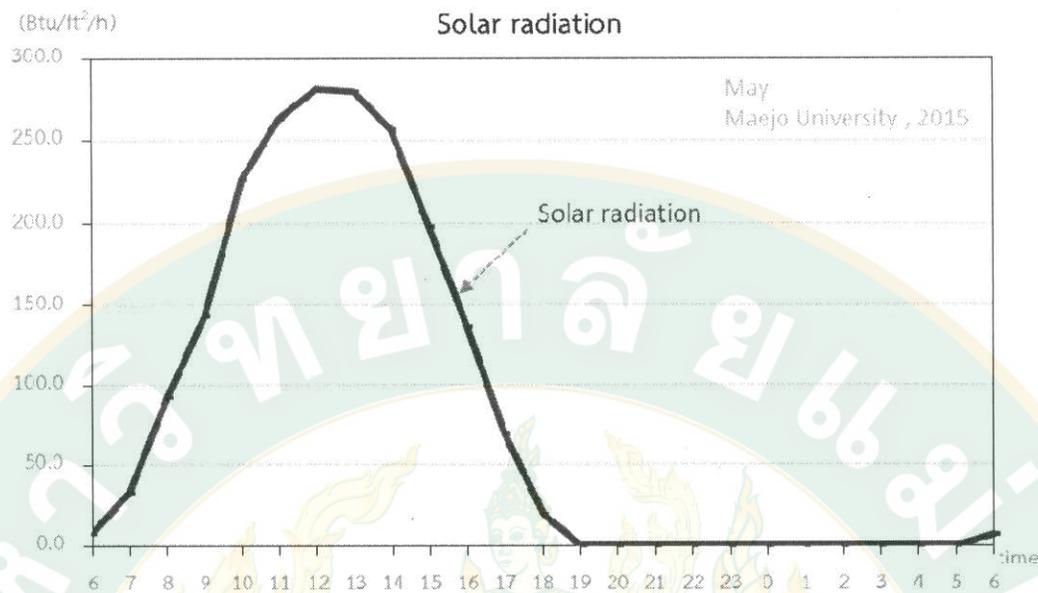
$$= 216 \text{ ตารางเมตร}$$

$$\text{พื้นที่หลังคากันสาดชั้น 3} = 6 * 23$$

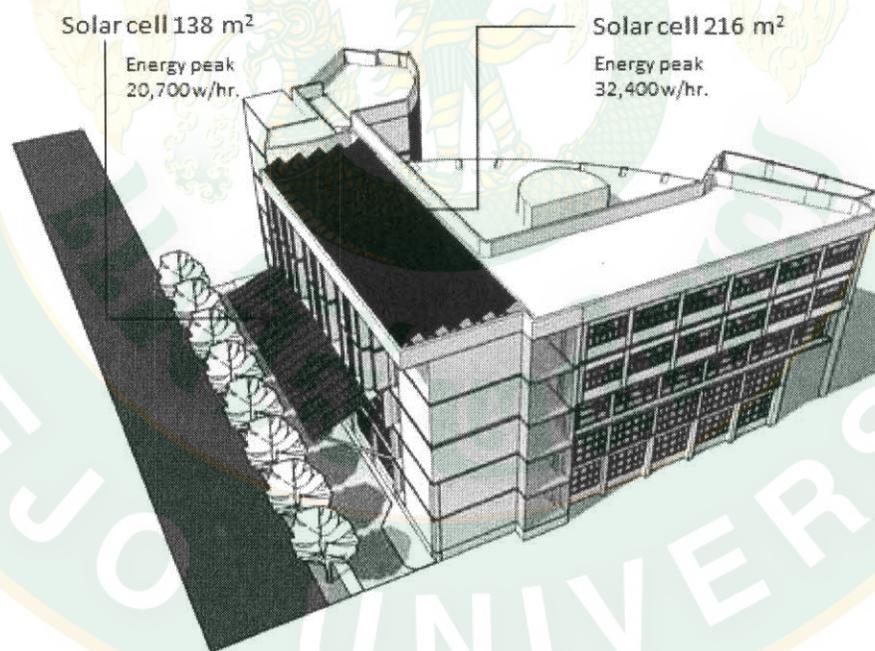
$$= 138 \text{ ตารางเมตร}$$

รวมพื้นที่รองรับ Solar cell ทั้งหมด

$$= 354 \text{ ตารางเมตร}$$



ภาพที่ 106 แสดงข้อมูลปริมาณรังสีดวงอาทิตย์เฉลี่ยช่วงเดือนพฤษภาคม ภายในมหาวิทยาลัยแม่โจ้



ภาพที่ 107 แสดงทัศนียภาพพื้นที่แผง Solar cell ตำแหน่งหลังคาชั้น 3 และตำแหน่งพื้นที่ชั้น

ดาดฟ้า อาคารเรียนต้นแบบฯ ม.แม่โจ้

#### 4.3.3 สร้างข้อกำหนด/เกณฑ์มาตรฐาน “อาคารเรียนต้นแบบเพื่อการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยแม่โจ้”

##### 1. แนวทางการออกแบบ/ปรับปรุงสภาพแวดล้อม

จากตัวแปรในสมการความสัมพันธ์ พบว่า การลดค่าตัวแปรรังสีดวงอาทิตย์ และเพิ่มค่าตัวแปรปริมาณความชื้นสัมพัทธ์และค่าตัวแปรความจุความร้อนของวัสดุ จะส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศลดลงใกล้เคียงสภาวะน่าสบาย การสร้างสภาพแวดล้อมจากอิทธิพลองค์ประกอบรอบที่ใช้เป็นแนวทางการออกแบบ มีดังนี้

- ปลูกต้นไม้ใหญ่ทรงพุ่มหนาแน่น เช่น ต้นเลียบ ต้นไทร ปกคลุมพื้นที่โดยรอบอาคาร โดยมีพื้นที่ร่มเงาปกคลุมตลอดระยะ 20 เมตร จากตัวอาคาร และสร้างพื้นที่ร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ปกคลุมถนนผิวคอนกรีตหรือผิวยางมะตอย อิทธิพลร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่จะส่งผลทำให้ตัวแปรรังสีดวงอาทิตย์ลดลง
- วางตำแหน่งแหล่งน้ำหรือบึงขนาดใหญ่ทางทิศใต้และทิศตะวันตก สำหรับอาคารเรียนขนาดเล็ก ให้วางองค์ประกอบที่มีน้ำเป็นส่วนประกอบ เช่น สระว่ายน้ำขนาดเล็ก บ่อปลา หรือน้ำตก บริเวณทิศใต้และทิศตะวันตก อิทธิพลการระเหยของน้ำจะส่งผลทำให้ตัวแปรความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศเพิ่มสูงขึ้น
- กำหนดวัสดุหุ้มที่มีการรดน้ำเป็นประจำทุกวันเป็นวัสดุผิวพื้นที่ในที่โล่งแจ้ง การปลูกไม้เลื้อย เช่น ตีนตุ๊กแก ปกคลุมกำแพงรั้วคอนกรีต และปลูกไม้พุ่ม เช่น ไทรเกาหลี บดบังผนังปูนทางทิศใต้และทิศตะวันตกของอาคาร อิทธิพลดังกล่าวจะส่งผลทำให้ตัวแปรความจุความร้อนของวัสดุเพิ่มสูงขึ้น
- สร้างสภาพแวดล้อมบริเวณทิศใต้และทิศตะวันตก ด้วยวัสดุคาดอ่อน เช่น สนามหญ้า ต้นไม้ใหญ่ ดินชุ่มน้ำ บ่อปลา เป็นต้น จะส่งผลทำให้อุณหภูมิของลมประจำถิ่นที่พัดเข้ามามีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป

	Site / Climate	อาคารเรียนทั่วไป	อาคารเรียนต้นแบบ
1.	Vegetation	ไม่มีต้นไม้ หรือพืชคลุมดิน	มีต้นไม้ใหญ่ในร่มเงา และหญ้า
2.	Water Bodies	ไม่มีแหล่งน้ำ มีลานคอนกรีต	มีพื้นที่แหล่งน้ำช่วยทำความเย็น
3.	Land Slope	ลานคอนกรีตลาดเอียงทิศใต้	พื้นที่เรียบ ปูพื้นด้วยหญ้าเปียก
4.	Thermal Capacity	วัสดุมีการสะสมความร้อน	วัสดุมีค่าความจุความร้อนสูง

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบตัวแปร Site / Climate อาคารเรียนทั่วไปและอาคารเรียนต้นแบบ

## 2. แนวทางการออกแบบ/ปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคาร

	Building / Systems	อาคารเรียนทั่วไป	อาคารเรียนต้นแบบ
1.	Shape / Form	มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคารมาก	มีพื้นที่ผิวเปลือกอาคารน้อย
2.	Building / Placement	เจาะช่องเปิดทางทิศใต้	เจาะช่องเปิดทางทิศเหนือ
3.	Envelope Component	ประสิทธิภาพเปลือกอาคารต่ำ	ประสิทธิภาพเปลือกอาคารสูง

ตารางที่ 7 เปรียบเทียบตัวแปร Building / Systems อาคารเรียนทั่วไปและอาคารเรียนต้นแบบ

### 3. การผลิตพลังงานทดแทน

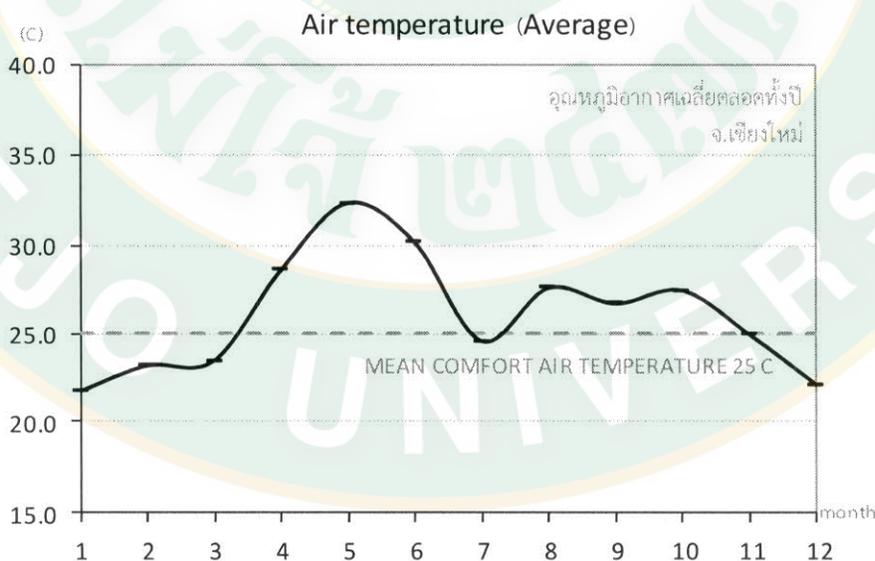
ลักษณะพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง Solar cell มีความเหมาะสมในการทดแทนพลังงานไฟฟ้าในระบบแสงสว่างมากกว่าระบบปรับอากาศ เนื่องจากสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีมาก การใช้พลังงานทดแทนจากแผง Solar cell อาจมีความแปรปรวนจากระบบการจ่ายไฟ รวมถึงค่าใช้จ่ายที่สูงในการซื้อที่เก็บประจุไฟฟ้าหรือแบตเตอรี่จำนวนมาก ฉะนั้น แนวทางการผลิตกระแสไฟฟ้าจากแผง Solar cell จะถูกขายคืนให้กับการไฟฟ้าผ่านระบบเชื่อมต่อนอกจากการนำไปใช้ในระบบปรับอากาศ และสามารถนำส่วนต่างจากราคาขายคืน มาใช้เพื่อรองรับค่าใช้จ่ายพลังงานในระบบปรับอากาศ



### วิจารณ์ผลการวิจัย

การเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อมในช่วงที่มีอากาศร้อน ตั้งแต่เดือนมีนาคม-มิถุนายน พ.ศ.2559 ภายในพื้นที่มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ ส่งผลทำให้ผลการวิจัยใช้ได้เฉพาะช่วงเวลาดังกล่าว การนำผลวิจัยไปใช้ในการออกแบบอาคารเรียน ณ สถานที่หรือสถาบันการศึกษาอื่น ๆ นอกเหนือช่วงเวลาที่ระบุ อาจมีความคลาดเคลื่อนของประสิทธิภาพการใช้พลังงานจากปัจจัยอื่นที่มีอิทธิพล เพื่อประสิทธิภาพการนำผลวิจัยไปใช้ในการออกแบบได้แม่นยำควรมีการเก็บข้อมูลการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายนอกซึ่งเป็นตัวแปรหลักที่มีผลต่อการใช้พลังงานในอาคารเรียน ครอบคลุมระยะเวลาตลอดทั้งปี เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในแต่ละฤดูกาล มีการเปลี่ยนแปลงที่แตกต่างกันจากปัจจัยอื่น ๆ ที่มีอิทธิพล โดยเฉพาะการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในช่วงฤดูฝนที่มีการหน่วงอุณหภูมิด้วยปัจจัยความจุความร้อนของน้ำ รวมทั้งการกำหนดพื้นที่ที่ใช้ในการเก็บข้อมูลที่มีความหลากหลายของสภาพแวดล้อม จะส่งผลทำให้การใช้พลังงานในอาคารแตกต่างกันได้

งานวิจัยชิ้นนี้ สามารถต่อยอดองค์ความรู้และพัฒนาไปสู่งานวิจัยหลายด้าน ปัจจัยด้านความรู้สึกเสมือนของมนุษย์กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ นอกจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศจากอิทธิพลสภาพแวดล้อมภายนอก ปัจจัยอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิววัสดุโดยรอบ (MRT) ห้องเรียน ยังเป็นอีกปัจจัยที่ส่งผลต่อความรู้สึกของมนุษย์ในอาคารเรียน การศึกษาปัจจัยดังกล่าว ส่งผลทำให้มนุษย์เข้าใจสิ่งแวดล้อมมากยิ่งขึ้น



ภาพที่ 108 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศภายนอกเฉลี่ยตลอดทั้งปี กับเกณฑ์สบายของมนุษย์ทางด้านอุณหภูมิอากาศ

## สรุปผลการวิจัย

อาคารเรียนต้นแบบ ออกแบบมาเพื่อตอบสนองประสิทธิภาพการเรียนรู้ในยุคปัจจุบัน ซึ่งมีสภาพอากาศที่ร้อนและมีอุณหภูมิสูงขึ้นกว่าในอดีตและยังสูงขึ้นเรื่อยๆ อันเกิดจากปรากฏการณ์สภาวะเรือนกระจก (Global Warming) ฉะนั้น หัวใจหลักของอาคารจะต้องมีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนจากภายนอกได้เป็นอย่างดี อีกทั้งประสิทธิภาพการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศภายในอาคารต้องใช้พลังงานน้อยที่สุด ซึ่งอาจแยกได้เป็น 2 ส่วน คือ การป้องกันอิทธิพลความร้อนจากภายนอก และการเพิ่มประสิทธิภาพการทำความเย็นจากภายใน



### 1. อิทธิพลจากสภาพแวดล้อม

การปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกให้มีอุณหภูมิอากาศลดลง เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่มีอิทธิพลต่อระบบปรับอากาศภายในห้องเรียน เนื่องจากภูมิอากาศเขตร้อนชื้นจะมีอุณหภูมิอากาศเฉลี่ยสูงกว่าสภาวะนำสบายของมนุษย์ตลอดทั้งปี การปรับปรุงสภาพแวดล้อมภายนอกให้มีอุณหภูมิอากาศลดลง จึงต้องสกัดกั้นแหล่งที่มาของอิทธิพลความร้อนจากองค์ประกอบรอบที่ตั้ง องค์ประกอบที่ตั้งที่มีค่าความจุความร้อนต่ำ ได้แก่ พื้นถนนผิวคอนกรีต ผิวยางมะตอย และวัสดุผิวโลหะ เป็นต้น การให้ร่มเงาแก่วัสดุดังกล่าว การวางแนวต้นไม้ทรงสูงแผ่กิ่งใบกว้าง บริเวณทิศใต้ของอาคารครอบคลุมถนนผิวคอนกรีต จะสามารถลดการสะสมความร้อนที่เกิดจากการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ได้ ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศเหนือพื้นถนนผิวคอนกรีตเปลี่ยนแปลงอยู่ในเกณฑ์ต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป อีกทั้งกระบวนการคายน้ำของต้นไม้ (Transpiration) ยังเป็นปัจจัยที่มีผลต่อการลดลงของอุณหภูมิอากาศได้มากกว่าการให้ร่มเงาจากวัสดุผนังหลังคา การออกแบบทางระบายน้ำข้างถนนให้มีขนาดกว้างขึ้นและผิวน้ำมีการเคลื่อนตัว จะสามารถช่วยลดอุณหภูมิอากาศจากอิทธิพลการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นไอระเหยได้

ในสภาพแวดล้อมเขตร้อนชื้น องค์ประกอบรอบที่ตั้งในสภาพแวดล้อมที่มีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ ได้แก่

- อิทธิพลต้นไม้ใหญ่
- อิทธิพลแหล่งน้ำ
- อิทธิพลสิ่งปกคลุมผิวพื้น

แนวทางการออกแบบสภาพแวดล้อมโดยรอบอาคารเรียนในเขตร้อนชื้น ควรทำเป็นลำดับขั้นตอน ตั้งแต่การสกัดกันแหล่งที่มาความร้อนจากการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ โดยใช้อิทธิพลร่มเงาจากต้นไม้ใหญ่ทรงพุ่มหนาแน่นที่ผลัดใบช่วงฤดูหนาวปกคลุมองค์ประกอบรอบที่ตั้งที่มีค่าความจุความร้อนต่ำ เช่น ถนนผิวคอนกรีต หรือผิวยางมะตอย ส่วนพื้นที่โล่งแจ้งสามารถกำหนดวัสดุปูพื้นที่มีค่าความจุความร้อนสูง เช่น พื้นผิวหญ้าหรือพื้นผิวดินชุ่มน้ำ จะสามารถรองรับการเปลี่ยนแปลงปริมาณความร้อนในวัสดุ ส่งผลให้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมไม่เพิ่มสูงขึ้นมากเกินไป เมื่อป้องกันแหล่งที่มาของความร้อนและสามารถยับยั้งการถ่ายเทความร้อนจากองค์ประกอบรอบที่ตั้งได้แล้ว การสร้างแหล่งความเย็นให้กับสภาพแวดล้อมจากอิทธิพลการระเหยของแหล่งน้ำ จะสามารถทำให้อุณหภูมิอากาศของสภาพแวดล้อมลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไปได้ การวางตำแหน่งแหล่งน้ำขนาดใหญ่ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ซึ่งเป็นทิศทางที่ลมประจำถิ่นพัดผ่าน จะช่วยเร่งการเปลี่ยนสถานะของน้ำเป็นไอระเหยได้ดีขึ้นและทำให้อุณหภูมิลมที่พัดผ่านลดต่ำลงจากอิทธิพลการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศ ส่งผลทำให้อุณหภูมิอากาศในสภาพแวดล้อมลดต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศทั่วไป

## 2. ประสิทธิภาพของผนังอาคาร

การป้องกันอิทธิพลความร้อนจากภายนอก มีตัวแปรที่เป็นปัจจัยต่อปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทเข้ามาในอาคาร ได้แก่ ประสิทธิภาพวัสดุเปลือกอาคาร (U) พื้นที่เปลือกอาคาร (A) และความต่างของอุณหภูมิอากาศระหว่างภายในกับภายนอก ( $\Delta t$ ) การออกแบบและปรับปรุงอาคารเรียนต้นแบบ จะคำนึงถึงตัวแปรต่างๆดังที่กล่าวมาข้างต้น เพื่อประสิทธิภาพการป้องกันความร้อนสูงสุด และการประหยัดพลังงานเป็นแนวคิดพื้นฐานของการออกแบบ และสามารถก่อสร้างได้ในระยะเวลาอันสั้น เพื่อการประหยัดค่าใช้จ่าย แรงงาน เวลา เป็นต้น โดยพิจารณาตามตัวแปรต่างๆ

แนวทางการออกแบบอาคารที่สามารถลดการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศ จึงต้องออกแบบ/ปรับปรุงวัสดุเปลือกอาคารที่มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนสูง การติดตั้งฉนวนภายนอกผนังอาคารเป็นอีกแนวทางที่สามารถลดการถ่ายเทความร้อนจากรังสีดวงอาทิตย์เข้าสู่ผนังห้องเรียนได้ อีกทั้งยังป้องกันการเกิดหยดน้ำจากการควบแน่นจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิอากาศ

ในเขตร้อนชื้นบริเวณภายในผนังห้องเรียนได้ การป้องกันความร้อนดังกล่าวส่งผลให้ผนังภายในห้องเรียนมีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิอากาศจากสภาพแวดล้อม การกรุแผ่นยิปซัมบอร์ดภายในห้องเรียนจะส่งผลทำให้อุณหภูมิผิวผนังภายในห้องเรียนใกล้เคียงสภาวะนำสบายของมนุษย์ กระบวนการดังกล่าวจะสามารถลดภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศลงได้

การลดปริมาณการถ่ายเทความร้อนของวัสดุกระจกสามารถทำได้โดย เปลี่ยนชนิดกระจก จากกระจกใสเป็นกระจก EIFS หรือกระจก 2 ชั้นบรรจุก๊าซเฉื่อยตรงกลางระหว่างแผ่น และพื้นผิวกระจกด้านในมีค่าการแผ่รังสีความร้อนต่ำ (Low-emissivity) จะสามารถลดค่าการถ่ายเทความร้อนจากผิวกระจกได้มาก ซึ่งกระจกดังกล่าวเป็นกระจกที่มีประสิทธิภาพและราคาที่สูง จึงไม่สัมพันธ์ต่องบประมาณที่ใช้ในการก่อสร้างอาคารเรียนในระบบราชการ การลดอิทธิพลความร้อนจากกระจก จึงต้องลดตัวแปรพื้นที่ผิวกระจก โดยเฉพาะพื้นผิวกระจกที่ได้รับการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์โดยตรง ซึ่งกระจกที่ได้รับการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์จะมีอุณหภูมิผิวกระจกสูงกว่าอุณหภูมิอากาศและสูงมากถึง 50 องศาเซลเซียส ทำให้ปริมาณความร้อนจากผิวกระจกถ่ายเทสู่สภาพแวดล้อมที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าทั้งภายในและภายนอก ถ่ายเทปริมาณความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนสู่พื้นที่ปรับอากาศภายในห้องเรียนจะเกิดขึ้นมากกว่าภายนอกห้องเรียน เนื่องจากภายในห้องเรียนมีอุณหภูมิอากาศต่ำกว่าสภาพแวดล้อมภายนอก ส่งผลต่อภาระการทำความเย็นของเครื่องปรับอากาศที่ 25 องศาเซลเซียส ซึ่งมีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศและอุณหภูมิผิวกระจกมากถึง 25 องศาเซลเซียส จากอิทธิพลดังกล่าว ผู้วิจัยได้คำนวณระดับความสูงของการตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์จากผิวกระจกด้านทิศใต้ของห้องเรียน ในเวลา 12.00 น. ช่วงเดือนพฤษภาคม พบว่า ระยะยื่นของแผงกันแดดส่งผลทำให้เกิดพื้นที่ร่มเงาแก่ผนังกระจกเหนือระดับพื้นห้องเรียน 80 เซนติเมตร การปิดผิววัสดุกระจกด้วยอิฐมวลเบาภายนอกจะสามารถลดอิทธิพลการแผ่รังสีความร้อนของกระจกในส่วนนี้ได้

การลดค่าการถ่ายเทความร้อนของผนังก่ออิฐฉาบปูน สามารถทำได้โดยคิดฉนวนกันความร้อน จากภายนอกและกรุผิวผนังภายในด้วยแผ่นยิปซัมบอร์ด จะทำให้ค่าการต้านทานความร้อนรวม (total r) เพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ลดลงได้

ส่วนวัสดุพื้นและเพดานคอนกรีต ผู้วิจัยมีการลดค่าการถ่ายเทความร้อน โดยปูพื้นปิดผิวด้วยพรมหรือแผ่นรองพื้นที่มีค่าการระเหยของสารระเหยต่ำ (VOCs) ส่งผลทำให้ค่าตัวแปรการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ลดลงได้มาก และพ่นฉนวนโฟมบริเวณฝ้าเพดานและกรุด้วยฝ้าเพดานยิปซัมบอร์ด จะสามารถทำให้ค่าการต้านทานความร้อนรวมในส่วนวัสดุเพดานเพิ่มสูงขึ้น ส่งผลทำให้ค่าการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ (U) ลดลง อีกทั้งจะช่วยลดพื้นที่ผิวเปลือกอาคาร (A) ซึ่งจะทำให้ปริมาณความร้อนจากภายนอกถ่ายเทสู่ภายในห้องได้น้อยลง การลดพื้นที่ผิวเปลือกอาคารหรือพื้นที่ผิวที่กั้นระหว่างพื้นที่ปรับอากาศกับสภาพแวดล้อมภายนอกจะสามารถลดช่องทางการเชื่อมต่อของสะพานความร้อนจากภายนอกได้ การติดตั้งฝ้าเพดานให้กับห้องเรียน นอกจากจะช่วยปิดมุมมองในส่วนงานระบบที่ติดตั้งในส่วนระนาบเหนือศีรษะ ยังสามารถลดพื้นที่ผิวเปลือกอาคารบริเวณยอดผนังที่สัมผัสกับอากาศภายนอกลง เมื่อลดพื้นที่สะพานความร้อนที่เชื่อมหรือกั้นระหว่างผนังภายใน-ภายนอกแล้ว จะสามารถลดการเดินทางของปริมาณความร้อนจากสภาพแวดล้อมภายนอกผ่านผิวผนังวัสดุดังกล่าวเข้าสู่ภายในห้องได้

จากสมการที่ใช้ในการคำนวณ จะเห็นได้ว่าตัวแปร  $\Delta t$  (ความแตกต่างอุณหภูมิอากาศภายใน-ภายนอก : เฉพาะเวลา) ถูกเปลี่ยนเป็น CLTD (ความแตกต่างอุณหภูมิอากาศภายใน-ภายนอก : รายชั่วโมง) เนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิอากาศแต่ละชั่วโมงในรอบวัน มีความแตกต่างไม่เท่ากัน จะส่งผลให้ค่า  $q$  ในสมการเปลี่ยนแปลงได้ทุกชั่วโมง โดย CLTD จะคำนวณจากอุณหภูมิอากาศภายในที่ 25 องศาเซลเซียส เท่ากันทุกชั่วโมง ส่วนอุณหภูมิอากาศภายนอกจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งเป็นอิทธิพลจากตำแหน่งดวงอาทิตย์ ละติจูดที่ตั้ง ระดับน้ำทะเล สีและสภาพท้องฟ้า เป็นต้น

### 3. การประหยัดพลังงาน

จากแนวทางการออกแบบข้างต้น ส่งผลทำให้พลังงานที่ใช้ในระบบปรับอากาศของอาคารเรียนต้นแบบลดลง 53 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งคิดเป็น 69 เปอร์เซ็นต์ของพลังงานทั้งหมด คงเหลือเพียง 15 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นพลังงานในส่วนเครื่องใช้ไฟฟ้าและพลังงานจากระบบแสงสว่าง ซึ่งเพียงพอต่อการผลิตพลังงานทดแทนจากแผงโซลาร์เซลล์

การคำนวณค่าพลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและระบบแสงสว่างในส่วนห้องเรียน มีการใช้พลังงานทั้งหมด 34,071 วัตต์ต่อชั่วโมง สามารถนำมาคิดเป็นพลังงานทดแทนที่ผลิตได้จากพลังงานเซลล์แสงอาทิตย์ โดยคำนวณจากพื้นที่การวางแผงโซลาร์เซลล์ขนาด  $1.47 \times 0.68$  เมตร ซึ่งสามารถผลิตพลังงานได้ 300 วัตต์ต่อชั่วโมง (สมาคมนส่งเสริมเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน) ส่งผลทำให้ต้องใช้แผ่นโซลาร์เซลล์จำนวน 114 แผ่น วางลาดเอียงไปทางทิศใต้ตามละติจูดที่ตั้งที่ 18 องศา ซึ่งการจัดทำ Solar PV Rooftop จะต้องใช้พื้นที่รองรับการวางโครงสร้างแผ่นโซลาร์เซลล์ 2 ตารางเมตรต่อแผง รวมพื้นที่ทั้งหมด 228 ตารางเมตร ซึ่งขนาดหลังคาบ้านแคดและหลังคาคอนกรีตชั้นดาดฟ้าอาคารเรียนมีขนาดพื้นที่เพียงพอต่อการวางโครงสร้างดังกล่าว

$$\begin{aligned} \text{จำนวนแผง Solar cell} &= 114 * 2 \\ &= 228 \text{ ตารางเมตร} \end{aligned}$$

ลักษณะพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผง Solar cell มีความเหมาะสมในการทดแทนพลังงานจากเครื่องใช้ไฟฟ้าและพลังงานจากระบบแสงสว่างมากกว่าการทดแทนพลังงานจากระบบปรับอากาศ เนื่องจากสัดส่วนการใช้พลังงานในระบบปรับอากาศมีมาก การใช้พลังงานทดแทนจากแผง Solar cell อาจมีความแปรปรวนจากระบบการผลิตและจ่ายไฟที่ต้องขึ้นอยู่กับปัจจัยสภาพท้องฟ้า อีกทั้งการเก็บพลังงานไฟฟ้าจำนวนมากจะมีค่าใช้จ่ายที่สูงในการสร้างที่เก็บประจุไฟฟ้าหรือขนาดของแบตเตอรี่จำนวนมาก

## เอกสารอ้างอิง

- กฎกระทรวง (พ.ศ. 2546) ว่าด้วยระบบ หลักเกณฑ์ และวิธีการประกันคุณภาพการศึกษาภายในสถานศึกษา ระดับอุดมศึกษา พ.ศ. 2546
- ชวรัตน์ ชาญศิลป์. ทฤษฎีการเรียนรู้ (Learning Theory). คณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.
- ชูพงษ์ ทองคำสมุทร. แนวทางการออกแบบอาคารเรียนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเรียนรู้. วารสารวิชาการ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2553
- ตริงใจ บุณสมภพ. การออกแบบสถาปัตยกรรมเมืองร้อนในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: นำอักษรการพิมพ์, 2521
- ทศนา แคมมณี. 2545. ศาสตร์การสอน. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- เทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, สมาคม. เอกสารสัมมนา Thailand Industrial Fogus 2012: Solar PV Rooftop in Thailand. กรุงเทพมหานคร: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยีการอนุรักษ์พลังงาน, 2555
- ถิมน ชนบุญสมบัติ. แนวทางการสร้างแบบประเมินค่าการประหยัดพลังงานเนื่องจากสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติโดยรอบอาคาร. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.
- วรสันต์ บุรณากาญจน์. โครงการวิจัยดัชนีระบบนิเวศยุคใหม่เพื่อความยั่งยืน. กรุงเทพมหานคร: ศูนย์บริการวิชาการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2550.
- วิมลสิทธิ์ หรยางกูร. พฤติกรรมมนุษย์กับสภาพแวดล้อม มูลฐานทางพฤติกรรมเพื่อการออกแบบและวางแผน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535.
- พระราชบัญญัติ การส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน (ฉบับที่2) พ.ศ. 2550.
- พันธุระวี กองบุญเทียม, วุฒิกานต์ ประพรหม. การออกแบบสภาวะแวดล้อมภายนอกอาคาร เพื่อลดปริมาณความร้อน ที่เกิดจากอุณหภูมิเฉลี่ยของพื้นผิว โดยรอบ. สำนักวิจัยแม่โจ้. มหาวิทยาลัยแม่โจ้, 2555
- วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม, กระทรวง. กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน. คู่มือการอนุรักษ์พลังงานในอาคาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2538.
- สถาบันอาคารเขียวไทย. เกณฑ์การประเมินความยั่งยืนทางพลังงานและสิ่งแวดล้อมไทย. กรุงเทพมหานคร: สมาคมสถาปนิกสยามในพระบรมราชูปถัมภ์และวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2551.
- สมสิทธิ์ นิตยะ. การออกแบบอาคารสำหรับภูมิอากาศร้อนชื้น. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.

- สุธีวัน โล่ห์สุวรรณ. นวัตกรรมการสร้างสรรค์ห้องเรียนคุณภาพสูงด้วยระบบธรรมชาติ.  
 วิทยานิพนธ์ปริญญาคุุณวุฒิปรัชญา, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- สุนทร บุญญธิการ. การออกแบบประสานระบบ มหาวิทยาลัยชินวัตร. กรุงเทพฯ: จีเอ็ม แม็ก  
 มีเดีย, 2545.
- สุนทร บุญญธิการ. บ้านชีวาทิพย์ บ้านพลังงานแสงอาทิตย์ เพื่อคุณภาพชีวิตผลิตพลังงาน.  
 กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2547.
- สุนทร บุญญธิการและคณะ. โครงการออกแบบเพื่อกายภาพบำบัดและสร้างดัชนีระบบนิเวศ.  
 กรุงเทพมหานคร: สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, 2554.
- อโณทัย ชนะเจริญกิจ. การศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิเฉลี่ยพื้นผิวโดยรอบกับ โชนสบาย.  
 วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบัณฑิต, ภาควิชาสถาปัตยกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์  
 มหาวิทยาลัย, 2543.
- America Society of Heating, Refrigeration and Air Condition Engineering. 2001 ASHRAE  
 Fundamentals Handbook IP Edition. Atlanta Georgia: (n.p.), 2001.
- Boonyatikarn, S. (1982). A method for developing energy budgets and energy design guidelines  
 for institutional buildings. Doctoral Dissertation of Architecture, University of Michigan,  
 USA.
- Concettina, M., Antonino N., Matilde P., Erika P., The effect of the short wave radiation and its  
 reflected components on the mean radiant temperature: modelling and preliminary  
 experimental results. Journal of Building Engineering, 2017. 9: p. 42-51.
- Energy Development and Efficiency. (2013). Facts & Figures : Energy in Thailand Q1/2013.  
 Department of Alternative. Bangkok, Thailand.
- Extech. 2018. FLIR Commercial Systems Inc. Available from : <http://www.extech.com> (2018  
 Mar 1).
- Fanger, P. O. Thermal comfort : analysis and applications in environmental engineering. New  
 York: McGraw-Hill, 1970.
- Iamtrakul, P., Nusook, T., and Ubolchay, P., Impact of Urban heat island on Daily life of People  
 in Bangkok metropolitan region (BMR). Journal of Architectural/Planning Research and  
 Studies, 2014. 11(2): p. 53-72.

Olgyay, V. Design with Climate: Bioclimatic approach to Architectural Regionalism. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.

Puraprom, W. (2016). The Impact of Site Elements to Micro-Climate Air Temperature. Journal of Architectural/Planning Research and Studies. 13(1): p. 23-34.

Stein, B. and Reynolds, J. S. Mechanical and electrical equipment for Buildings. 9<sup>th</sup> ed. New York: John Wiley & Sons, 2000.

TGBI. (2012), Thai's Rating of Energy and Environmental Sustainability for New Construction and Major Renovation. Thai-Green Building Industry. Thailand.

