



แนวทางการปรับปรุงการส่องสว่างและสถาปัตยกรรมของห้องปฏิบัติงานช่างเพื่อเพิ่มคุณภาพ
การมองเห็นและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน กรณีศึกษา: ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อม
วิทยาลัยเทคนิคแพร่

โดย

นางสาวกนกกานต์ วัจมณี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ

ปริญญาามหาบัณฑิต

ภาควิชาสถาปัตยกรรม

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2562

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

แนวทางการปรับปรุงการส่องสว่างและสถาปัตยกรรมของห้องปฏิบัติงานช่างเพื่อเพิ่ม
คุณภาพ
การมองเห็นและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน กรณีศึกษา: ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อม
วิทยาลัยเทคนิคแพร่



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาสถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม) ระดับ
ปริญญาโท
ภาควิชาสถาปัตยกรรม
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2562
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

WORKSHOP LIGHTING AND BUILDING RETROFIT FOR VISUAL QUALITY AND
ENERGY EFFICIENCY CASE STUDY: WELDING AND SHEET METAL WORKSHOP,
PHRAE TECHNICAL COLLEGE



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Architecture (Architecture)
Department of Architecture
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2019
Copyright of Graduate School, Silpakorn University

60054213 : สถาปัตยกรรม แผน ก แบบ ก 2 การอนุรักษ์พลังงานในอาคาร(วิจัยสถาปัตยกรรม)
ระดับปริญญาโท

คำสำคัญ : แสงธรรมชาติ, ห้องเรียนปฏิบัติงาน, ความส่องสว่าง, ความสม่ำเสมอของแสง, แสงจ้าร
ระคายตา

นางสาว กนกกานต์ วังมณี: แนวทางการปรับปรุงการส่องสว่างและสถาปัตยกรรมของห้อง
ปฏิบัติงานช่างเพื่อเพิ่มคุณภาพการมองเห็นและประสิทธิภาพการใช้พลังงาน กรณีศึกษา: ห้องเรียน
ปฏิบัติงานช่างเชื่อมวิทยาลัยเทคนิคแพร่ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธา
ริณี รามสูต

ในการศึกษาห้องเรียนปฏิบัติงานระดับอาชีวศึกษาต้องมีปริมาณแสงสว่างที่เหมาะสม
เพื่อการมองเห็นได้อย่างชัดเจนอาคารเรียนและห้องฝึกปฏิบัติงานของวิทยาลัยเทคนิคแพร่ ใช้รูปแบบ
มาตรฐานของสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา ซึ่งพบปัญหาห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น
1 และห้องเรียนฝึกฝีมือชั้น 3 มีแสงสว่างไม่เพียงพอ ไม่ได้ตามค่ามาตรฐาน การศึกษานี้จึงมี
วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงสถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติและแสง
ประดิษฐ์ในห้องเรียนปฏิบัติงานให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐาน มีคุณภาพและเพิ่มประสิทธิภาพของระบบ
ไฟฟ้าแสงสว่าง การศึกษานี้ใช้วิธีการจำลองสถานะแสงจริงในโปรแกรม Dialux evo ใน 4 วันสำคัญ
4 เวลา

จากการศึกษาการเปลี่ยนกันสาดเป็นไฟเบอร์กลาส เปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส
ปรับปรุงฝ้าเพดานเป็นฝ้าชนิดเรียบ ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก สามารถเพิ่มความส่องสว่างได้มาก
ที่สุด โดยห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 เพิ่มจากก่อนการปรับปรุง 283% และชั้น 3 สามารถเพิ่มความ
ส่องสว่างจากก่อนการปรับปรุง 103% การปรับปรุงแสงประดิษฐ์ของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ติดตั้ง
หลอดไฟแบบเป็นแถวระยะห่างแถว 2.70 เมตร จำนวน 104 หลอด สามารถเพิ่มความส่องสว่างจาก
ก่อนการปรับปรุง 157% และชั้น 3 สามารถเพิ่มความส่องสว่างจากก่อนการปรับปรุง 190% ทั้งนี้
การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์จากหลอดไฟที่มีกำลังสูงแล้ว ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ใช้
พลังงานเพิ่มขึ้นประมาณ 13% และชั้น 3 เพิ่มขึ้นประมาณ 19% แต่จะได้รับแสงส่องสว่างสม่ำเสมอ
และใช้ประโยชน์ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

60054213 : Major (Architecture)

Keyword : illuminance, natural light, workshop, light quantity, light uniformity

MISS KANOKKARN VUNGMANEE : WORKSHOP LIGHTING AND BUILDING RETROFIT FOR VISUAL QUALITY AND ENERGY EFFICIENCY CASE STUDY: WELDING AND SHEET METAL WORKSHOP, PHRAE TECHNICAL COLLEGE THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR DR. THARINEE RAMASOOT

In metal workshops, adequate lighting is vital to enhance visual performance.

At Phrae technical college, the workshops on floor 1 and 3, which are designed in accordance with the vocational education commission's standard, were found to have problems with insufficient illuminance levels. The amount of natural light and artificial light in the workshops are far below the recommended levels in standards. This study aims to explore the natural lighting and artificial lighting strategies to increase the amount of light in the workshops to meet the standards and improve the energy efficiency of the lighting system. Dialux Evo, a lighting simulation software, was used as the tool to simulate lighting in the workshops throughout the operation times on 4 key dates.

The study found that the maximum amount of natural lighting is achieved by the combined design of the light shelf, the fiberglass shading, the change from aluminum to glass louvers and the flat ceiling. In the workshops on floor 1, the amount of light is increased by 283%. In the workshops on floor 3, the amount of light is increased by 103%. For artificial lighting, refitting the lighting with the arrays of 104 LED lamps results in 157% increase in illuminance with only 13% increase of energy consumption on floor 1 and 190% increase in illuminance with only 19% increase of energy consumption on floor 3. With slight increase in energy consumption, the new energy efficient lighting systems will improve light quantity and uniformity in the workshops to meet the standards.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความอนุเคราะห์จากผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ธา
ริณี งามสุต อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ให้ความรู้ คำแนะนำและความช่วยเหลือตลอดการดำเนิน
งานวิจัย จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ให้ความรู้และคำปรึกษาที่ดีเสมอมา

ขอขอบพระคุณวิทยาลัยเทคนิคแพร่ ที่ให้ความอนุเคราะห์เก็บข้อมูลสำรวจ ขอขอบคุณ
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย [หอสมุดกลาง] และ ห้องสมุดคณะสถาปัตยกรรม
ศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สถานที่ค้นคว้าข้อมูลตั้งแต่เริ่มต้น ขอขอบคุณบุคลากรสำนักงาน
อธิการบดี มหาวิทยาลัยศิลปากรที่ให้ความช่วยเหลือและคำปรึกษา

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณคุณพ่อ คุณแม่ คุณยาย ที่ให้ความช่วยเหลือและการสนับสนุนทุก
อย่าง ขอขอบคุณเพื่อนสนิท นางสาวกิตติมา วงษ์มะเขาะ เพื่อน ๆ ที่ร่วมเรียน และบุคคลอันเป็นที่รัก
เป็นที่ยึดเหนี่ยวให้กำลังใจช่วยเหลือเกื้อกูลกันเสมอมา

กนกกานต์ วัจมณี



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ต
สารบัญภาพ.....	บ
สารบัญแผนภูมิ.....	พ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
วัตถุประสงค์ในการศึกษา.....	2
สมมติฐานของการศึกษา.....	2
ขอบเขตของการวิจัย.....	2
ขั้นตอนการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
ความหมายและคำที่เกี่ยวข้อง.....	5
ความส่องสว่าง (Illuminance , E).....	5
ความสว่าง (Luminance , L).....	6
ความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity , I).....	6
ฟลักซ์ของการส่องสว่าง (Luminous flux , Φ).....	6
สเตอเรเดียน (steradian , ω).....	6
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ (p).....	6

ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Illuminance Uniformity , U).....	6
อุณหภูมิสี (Color Temperature , K).....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	8
1. กฎและหลักการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่าง.....	8
1.1 กฎโคไซน์ของแลมเบิร์ต (Lambert's cosine's law)	8
1.2 กฎกำลังสองผกผัน.....	8
1.3 การคำนวณการสะท้อนแสง (Reflection)	9
1.3.1 พื้นผิวชนิดเรียบมีการสะท้อนแสงแบบสมบูรณ์.....	9
1.3.2 พื้นผิวชนิดด้าน.....	9
1.4 การคำนวณความส่องสว่าง (Illuminance)	10
1.5 การคำนวณความเปรียบต่าง (Contrast)	10
1.6 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้นผิววัสดุ (ρ).....	11
2. ทฤษฎีแสงที่เกี่ยวข้อง.....	11
2.1 พฤติกรรมของแสง	11
2.1.1 การสะท้อนแสง (Reflection).....	12
2.2 วัสดุและการสะท้อนแสง.....	13
2.2.1 การกระจายความสว่าง (luminance distribution)	13
2.2.2 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้นผิววัสดุ (ρ)	14
2.3 การมองเห็นของหลอดตา.....	15
4. แสงธรรมชาติ.....	16
4.1 ศักยภาพแสงธรรมชาติในประเทศไทย	16
4.2 ลักษณะของแสงธรรมชาติ	18
4.2.1 แสงสว่างจากหลอดอาทิตย์ (Sunlight)	18
4.2.2 แสงสว่างจากท้องฟ้า (Sky light).....	18

4.2.3	แสงธรรมชาติจากพื้นดิน (Ground light)	19
4.3	วันสำคัญของหลอดอาทิตย์	19
5.	แสงประดิษฐ์	20
5.1	หลอดไฟ	21
5.1.1	หลอดอินแคนเดสเซนต์ (incandescent lamps)	21
5.1.2	หลอดดิสชาร์จ (Discharge lamps).....	23
5.1.3	หลอดไอโอดีนเปล่งแสง LED.....	26
5.1.4	ขั้วหลอด.....	29
5.2	หลอดโคม	30
5.2.1	หลอดโคมกระจายแสงลง (direct luminaire).....	30
5.2.2	หลอดโคมกระจายแสงแบบกึ่งกระจายลง (semi-direct luminaire).....	31
5.2.3	หลอดโคมกึ่งกระจายแสงขึ้น (semi-direct luminaire).....	31
5.2.4	หลอดโคมแบบกระจายแสงขึ้น (direct luminaire).....	32
6.	ข้อกำหนดกฎหมายและเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง.....	32
6.1	กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความส่องสว่าง.....	32
6.1.1	กฎกระทรวงมาตรฐานความเข้มของการส่องสว่าง.....	32
6.1.2	พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน	33
6.2	เกณฑ์ในการประเมินแสงธรรมชาติ.....	34
6.2.1	ดัชนีแสงธรรมชาติ (DF).....	34
6.3	เกณฑ์ในการประเมินแสงประดิษฐ์.....	35
6.3.1	เกณฑ์การประเมินแสงจําระคายตา (UGR).....	35
6.4	เกณฑ์การประเมินความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Illuminance Uniformity).....	35
6.5	เกณฑ์ในการประเมิน Daylight zone	35
6.6	เกณฑ์ในการกำหนดจุดคำนวณในการเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่าง	37

6.7 เกณฑ์ในการพิจารณาระบบไฟฟ้าแสงสว่าง.....	37
6.7.1 เกณฑ์ในการพิจารณารูปแบบการจัดวางผังไฟ.....	37
6.7.2 เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกชนิดหลอดและโคม.....	37
6.7.3 เกณฑ์ในการพิจารณาการให้แสงสว่างในห้องเรียนปฏิบัติงานช่าง.....	38
6.8 เกณฑ์ในการประเมิน Correlation Coefficient (r).....	38
7. ทฤษฎีการออกแบบที่เกี่ยวข้อง.....	39
7.1 หลักในการใช้แสงธรรมชาติด้านข้างอาคาร (side light).....	39
7.1.1 หน้าต่างช่วงบน (Upper window).....	39
7.1.2 หน้าต่างช่วงกลาง (middle window).....	39
7.1.3 หน้าต่างช่วงล่าง (lower window).....	39
7.2 รางสะท้อนแสง (light shelves).....	40
7.2.1 รางสะท้อนแสงนอกอาคาร (External light shelves).....	41
7.2.2 รางสะท้อนแสงในอาคาร (Internal light shelves).....	41
7.2.3 รางสะท้อนแสงแบบผสมผสาน (Combined shelves).....	41
7.3 ฝ้าเพดานกับการกระจายแสง.....	41
7.3.1 ฝ้าเพดานชนิดสามเหลี่ยม.....	42
7.3.2 ฝ้าเพดานชนิดเรียบ.....	42
7.3.3 ฝ้าเพดานชนิดโค้ง.....	42
7.3.4 ฝ้าเพดานชนิดคาน.....	43
7.4 ทฤษฎีการออกแบบห้องเรียนปฏิบัติงานช่าง.....	43
7.4.1 ระบบแสงสว่างในเชิงปริมาณ.....	43
7.4.2 ระบบแสงสว่างในเชิงคุณภาพ.....	44
8. โปรแกรมในการประเมินแสงสว่าง.....	49
8.1 Relux.....	50

8.2 Daysim	50
8.3 Dialux Evo	51
8.3.1 ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้โปรแกรม Dialux 4.12 version	51
บทที่ 3 วิธีการศึกษา	54
1. สถานที่ในการศึกษา	54
1.1 ตำแหน่งที่ตั้ง	54
1.2 ลักษณะอาคาร	56
1.3 สภาพแวดล้อมและปัญหาของอาคาร	59
2. การศึกษานำร่อง	61
1.1 วิธีการศึกษา	62
1.1.1 การหาค่าความส่องสว่างของสถานที่จริง	62
1.1.2 การหาค่าความส่องสว่างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์	64
1.1.3 การหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่าง	68
3. การศึกษาหลัก	70
3.1 การศึกษาแสงธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	70
3.1.1 การรื้อกันสาดแนวตั้ง (1-B)	70
3.1.2 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C)	71
3.1.3 การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมทึบเป็นช่องกระจกใส (1-D)	72
3.1.4 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)	73
3.1.5 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F)	74
3.1.6 การติดตั้งชนิดผ้าเพดาน (1-G)	74
3.1.7 การปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H)	76
3.2 การศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	78
3.2.1 ชนิดของหลอดไฟ LED	78

3.2.2	การจัดตำแหน่งหลอดไฟและจำนวนหลอด	79
3.3	การศึกษาแสงธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3	82
3.3.1	การร้อยกันสาดแนวตั้ง (3-B)	82
3.3.2	การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C)	83
3.3.3	การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมทึบเป็นช่องกระจกใส (3-D)	84
3.3.4	การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)	85
3.3.5	การติดตั้งชนิดฝ้าเพดาน (3-F)	86
3.4	การศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3	87
3.4.1	ชนิดของหลอดไฟ LED	87
3.4.2	การจัดตำแหน่งหลอดไฟและจำนวนหลอด	87
3.5	ขั้นตอนการศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงธรรมชาติ	90
3.5.1	การสร้างแบบจำลองตั้งต้น (model base)	90
3.5.2	ศึกษาผลค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจากตัวแปรต้น	90
3.5.3	สรุปผลการศึกษา	91
3.6	ขั้นตอนการศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์	92
3.6.1	ศึกษาแสงประดิษฐ์โดยไม่แสงธรรมชาติมาเกี่ยวข้อง	92
3.6.2	ศึกษาผลค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจากตัวแปรต้น	92
3.6.3	สรุปผลการศึกษา	92
บทที่ 4	ผลการศึกษา	93
1.	ผลศึกษานำร่อง	93
1.1	ผลศึกษานำร่องของห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	93
1.1.1	ผลศึกษานำร่องสถานการณ์แสงธรรมชาติ	93
1.1.2	ผลศึกษานำร่อง สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์	94
1.2	ผลศึกษานำร่องของห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3	94

1.2.1 ผลการศึกษานำร่อง สถานการณ์แสงธรรมชาติ.....	94
1.2.2 ผลการศึกษานำร่อง สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์.....	95
2. ผลการศึกษาหลัก.....	96
2.1 ผลการปรับปรุงโดยแสงธรรมชาติบริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	96
2.1.1 ก่อนการปรับปรุง (base case) (1-A).....	96
2.1.2 การร้อยแผงกันสาดแนวตั้ง (1-B).....	97
2.1.3 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C).....	99
2.1.4 การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นช่องกระจกใส (1-D)	101
2.1.5 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E).....	103
2.1.6 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F).....	105
2.1.7 การปรับปรุงฝ้าเพดาน (1-G).....	107
2.1.8 การปรับปรุงรูปแบบผสมผสาน (1-H).....	108
2.1.9 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง	111
2.2 ผลการปรับปรุงโดยแสงประดิษฐ์บริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อม ชั้น 1	112
2.2.1 ก่อนการปรับปรุง (Base case) (1-lightA).....	112
2.2.2 ก่อนการปรับปรุงโดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติ No daylight (1-lightA1)	113
2.2.3 การปรับปรุงแสงประดิษฐ์ (1-lightB-D).....	114
2.2.4 การใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์ no daylight	118
2.2.5 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (LPD).....	119
2.2.6 เกณฑ์การประเมิน CIE Unified glare rating (UGR)	119
2.2.7 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง	120
2.2.8 การใช้พลังงานจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ	121
2.3 ผลการปรับปรุงโดยแสงธรรมชาติบริเวณห้องเรียนฝึกฝีมือ ชั้น 3.....	122
2.3.1 ก่อนการปรับปรุง (base case) (3-A).....	122

2.3.2 การรื้อแผงกันสาดแนวตั้ง (3-B).....	123
2.3.3 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C)	124
2.3.4 การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นช่องกระจกใส (3-D)	127
2.3.5 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)	129
2.3.6 การปรับปรุงฝ้าเพดาน (3-F).....	131
2.3.7 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง	132
2.4 ผลการปรับปรุงโดยแสงประดิษฐ์บริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3	133
2.4.1 ก่อนการปรับปรุง (Base case) (3-lightA).....	133
2.4.2 ก่อนปรับปรุงโดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติ No daylight (3-lightA1).....	134
2.4.3 การปรับปรุงแสงประดิษฐ์ (3-lightB-C).....	135
2.4.4 การใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์ no daylight	138
2.4.5 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (LPD).....	139
2.4.6 เกณฑ์การประเมิน CIE Unified glare rating (UGR)	140
2.4.7 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง	141
2.4.8 การใช้พลังงานจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ	141
3. ประมวลภาพผลการปรับปรุง	143
3.1 ก่อน - หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติของเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	143
3.2 ก่อน - หลังการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ของเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	144
3.3 ก่อน - หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติของเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3	145
3.4 ก่อน - หลังการปรับปรุงประดิษฐ์ของเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3	146
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	148
1. สรุปและอภิปรายผล.....	149
1.1 แนวทางการปรับปรุงแสงธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	149
1.1.1 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง.....	149

1.1.2	ความสม่ำเสมอของแสง Uniformity	152
1.2	แนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	152
1.2.1	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง	152
1.2.2	ความสม่ำเสมอของแสง Uniformity	154
1.2.3	การประเมินด้วยเกณฑ์ (UGR).....	155
1.2.4	การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์.....	155
1.2.5	การลดการใช้พลังงานจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ	156
1.4	แนวทางการปรับปรุงแสงธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3	157
1.4.1	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง	157
1.4.2	ความสม่ำเสมอของแสง Uniformity.....	160
1.5	แนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3	160
1.5.1	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง	160
1.5.2	ความสม่ำเสมอของแสง Uniformity.....	162
1.5.3	การประเมินด้วยเกณฑ์ (UGR).....	162
1.5.4	การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์.....	162
1.5.5	การลดการใช้พลังงานจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ	163
2.	ข้อกำหนดในการวิจัย.....	164
2.1	แสงธรรมชาติ.....	164
2.2	แสงประดิษฐ์.....	164
2.3	ข้อกำหนดด้านสถานที่	164
2.4	ข้อกำหนดด้านโปรแกรม.....	164
3.	ข้อเสนอแนะ	165
	รายการอ้างอิง	167
	ภาคผนวก ก	170

1. รายละเอียดของตัวแปรต้น	170
1.1 วัสดุกันสาดไฟเบอร์กลาสจากผู้ผลิต.....	170
2.1 รายละเอียดภาพตัดการติดตั้งไฟเบอร์กลาส (1-C)	170
2. Code ชื่อการศึกษา	173
2.1 สรุปรูป Code ของการศึกษาห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1.....	173
2.2 สรุปรูป Code ของการศึกษาห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3.....	176
ภาคผนวก ข	178
1. ผลการศึกษา	178
1.1 ผลการศึกษานำร่อง	178
1.1.1 ค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงและโปรแกรม Dialux Evo (แสงธรรมชาติ) ชั้น 1.....	178
1.1.2 ค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงและโปรแกรม Dialux Evo (แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์) ชั้น 1	179
1.1.3 ค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงและโปรแกรม Dialux Evo (แสงธรรมชาติ) ชั้น 3.....	180
1.1.4 ค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงและโปรแกรม Dialux Evo (แสงธรรมชาติ) ชั้น 3.....	181
1.2 ผลการศึกษาหลักการปรับปรุงแสงธรรมชาติชั้น 1	182
1.2.1 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A).....	182
1.2.2 ผลการศึกษาความส่องสว่างการร้อยกันสาดออก (1-B).....	184
1.2.3 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C).....	185
1.2.4 ผลการศึกษาความส่องสว่างการเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D)	214
1.2.5 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)	242
1.2.6 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F)	248
1.2.7 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ (1-G)	253

1.2.8 ผลการศึกษาความส่องสว่างการปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H) (1-H)	259
1.3 ผลการศึกษาหลักการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ชั้น 1	261
1.3.1 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนปรับปรุง (1-lightA)	261
1.3.2 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนปรับปรุงโดยไม่มีแสงธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้อง (1-Light1.1)	263
1.3.3 ผลการศึกษาความส่องสว่างการปรับปรุงในรูปแบบที่ 1 (1-lightB)	263
1.3.4 ผลการศึกษาความส่องสว่างการปรับปรุงในรูปแบบที่ 2 (1-lightC)	265
1.3.5 ผลการศึกษาความส่องสว่างการปรับปรุงในรูปแบบที่ 3 (1-lightD)	266
1.3.6 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยแสงธรรมชาติร่วมกับปลงประดิษฐ์หลังการปรับปรุง	267
1.4 ผลการศึกษาหลักการปรับปรุงแสงธรรมชาติชั้น 3	268
1.4.1 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (3-A)	268
1.4.2 ผลการศึกษาความส่องสว่างการรื้อกันสาดออก (3-B)	270
1.4.3 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C)	272
1.4.4 ผลการศึกษาความส่องสว่างการเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D)	300
1.4.5 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)	307
1.4.6 ผลการศึกษาความส่องสว่างชนิดของฝ้าเพดาน (3-F)	310
1.5 ผลการศึกษาหลักการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ชั้น 3	313
1.5.1 ผลการศึกษาความส่องสว่าง (3-lightA)	313
1.5.2 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงโดยไม่มีฟุ้งหาแสงธรรมชาติ	315
(3-lightA1)	315
1.5.3 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 (3-lightB). 315	
ประวัติผู้เขียน	319

สารบัญตาราง

หน้า

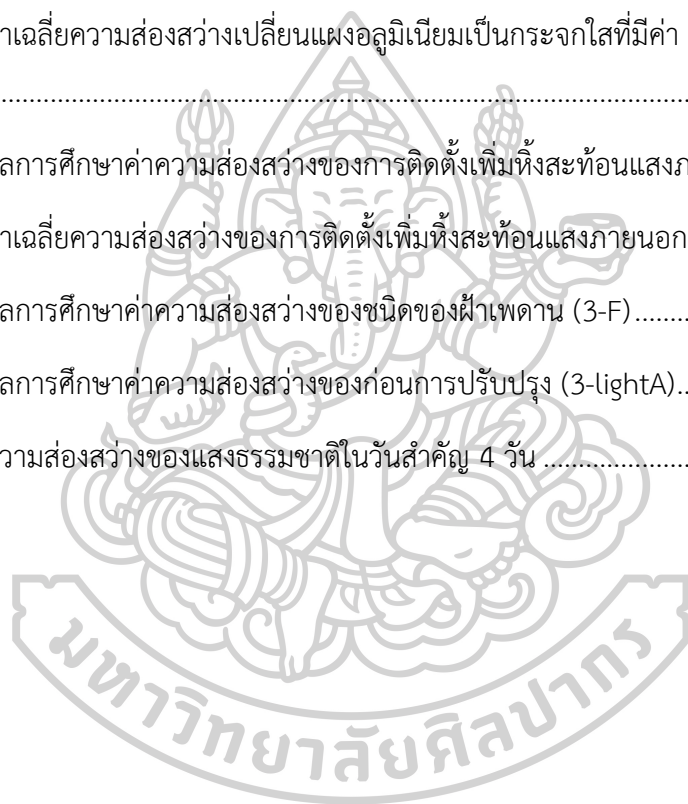
ตารางที่ 1	สรุปสัญลักษณ์ หน่วยของแสงและความหมาย	7
ตารางที่ 2	ค่าการสะท้อนแสงและระดับความส่องสว่างที่แนะนำสำหรับพื้นผิวต่าง ๆ.....	13
ตารางที่ 3	ตัวอย่างค่าสะท้อนของวัสดุ	14
ตารางที่ 4	ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสีของวัสดุ.....	14
ตารางที่ 5	ค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกในแนวตั้งทุกทิศและค่าเฉลี่ยมุมเงยของหลอดอาทิติย์ตลอดปี รายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. (วัชรินทร์ วิมานจตุรงค์, 2558).....	17
ตารางที่ 6	เปรียบเทียบคุณสมบัติหลอดไฟแต่ละชนิด	29
ตารางที่ 7	มาตรฐานความเข้มของแสงสว่างตามกฎกระทรวงอาชีวอนามัย	33
ตารางที่ 8	ข้อกำหนดในการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารแต่ละประเภทในกฎกระทรวงการ อนุรักษ์พลังงาน.....	34
ตารางที่ 9	เกณฑ์การประเมินค่า Daylight factor.....	34
ตารางที่ 10	เกณฑ์แสงจําเพาะคายตากับพื้นที่การใช้งาน.....	35
ตารางที่ 11	ระยะห่างระหว่างและจำนวนจุดคำนวณ	37
ตารางที่ 12	แนวทางการติดตั้งแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนปฏิบัติงานข้าง	38
ตารางที่ 13	เกณฑ์ในการอธิบายความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้น (R^2).....	38
ตารางที่ 14	เกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบระบบแสงสว่างของโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก	44
ตารางที่ 15	ตัวอย่างการให้แสงสว่างในตำแหน่งต่าง ๆ ในการทำงานอุตสาหกรรม	44
ตารางที่ 16	ความต้องการพื้นที่ใช้งานต่อจำนวนนักเรียน.....	47
ตารางที่ 17	พื้นผิวที่เหมาะสมกับประเภทของงานช่างในโรงฝึกงาน	48
ตารางที่ 18	ค่าการสะท้อนแสงของสีต่าง ๆ.....	49
ตารางที่ 19	การตั้งค่าหุ่นจำลองติดตั้งในโปรแกรม Dialux Evo	65
ตารางที่ 20	การตั้งค่าวัสดุของหุ่นจำลองในโปรแกรม Dialux Evo	68

ตารางที่ 21	สรุปตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1	76
ตารางที่ 22	สรุปควบคุมในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1	77
ตารางที่ 23	หลอดที่ใช้ในการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1	78
ตารางที่ 24	สรุปตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1	81
ตารางที่ 25	สรุปตัวแปรต้นควบคุมในการศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1	81
ตารางที่ 26	สรุปตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3	86
ตารางที่ 27	สรุปตัวแปรควบคุมในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3	86
ตารางที่ 28	สรุปตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1	89
ตารางที่ 29	สรุปตัวแปรควบคุมในการศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1	90
ตารางที่ 30	สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A)	97
ตารางที่ 31	สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างหลังรื้อกันสาดออก (1-B)	98
ตารางที่ 32	สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการศึกษาระยะติดตั้งและขนาดแผงกันสาด (1-C)	100
ตารางที่ 33	สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใสที่มีค่า transparent 80% (1-D)	101
ตารางที่ 34	สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)	103
ตารางที่ 35	สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.50 (1-F)	105
ตารางที่ 36	สรุปผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ (1-G)	107
ตารางที่ 37	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานในสภาวะแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ก่อนปรับปรุง (1-LightA)	113
ตารางที่ 38	ผลการศึกษาการปรับปรุงโดยแทนที่หลอดและโคมในตำแหน่งเดิม (1-lightB)	114
ตารางที่ 39	ผลการศึกษาการปรับปรุงรูปแบบการวางตำแหน่งและชนิดหลอดไฟ (1-lightC)	115
ตารางที่ 40	แสดงผลการศึกษาการปรับปรุงรูปแบบการวางตำแหน่งและชนิดหลอดไฟ (1-lightD)	116

ตารางที่ 41 ผลการศึกษาทั้ง 3 รูปแบบ โดยไม่มีแสงธรรมชาติมาเกี่ยวข้อง	118
ตารางที่ 42 แสดงผลการศึกษา URG ทั้ง 3 จุด	120
ตารางที่ 43 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 ก่อนปรับปรุง (3-A)	122
ตารางที่ 44 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างหลังรื้อกันสาดออก (3-B)	123
ตารางที่ 45 สรุปผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของระยะติดตั้งและขนาดแผงกันสาด (3-C)	125
ตารางที่ 46 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใสที่มีค่า transparent 80% (3-D).....	127
ตารางที่ 47 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E).....	129
ตารางที่ 48 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเฉลี่ยของชนิดของฝ้าเพดานเรียบ (3-F1.1).....	131
ตารางที่ 49 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ของห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3 ก่อนปรับปรุง (3-LightA).....	134
ตารางที่ 50 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 (3-lightB).....	135
ตารางที่ 51 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงรูปแบบที่ 2 (3-lightC).....	136
ตารางที่ 52 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงทั้งสองรูปแบบ	138
ตารางที่ 53 ผลการศึกษา URG ทั้ง 3 จุด.....	140
ตารางที่ 54 Code Floor1 Daylight.....	173
ตารางที่ 55 Code Floor1 Electric light.....	174
ตารางที่ 56 Code Floor3 Daylight.....	176
ตารางที่ 57 Code Floor3 Electric light.....	177
ตารางที่ 58 ค่าความส่องสว่างจากการวัดในสถานที่จริงที่บริเวณชั้น 1 เมื่อปิดไฟ (แสงธรรมชาติ)	178
ตารางที่ 59 ค่าความส่องสว่างจากการจำลองด้วย Dialux ที่บริเวณชั้น 1 เมื่อปิดไฟ (แสงธรรมชาติ)	178
ตารางที่ 60 ค่าความส่องสว่างจากการวัดในสถานที่จริงที่บริเวณชั้น 1 เมื่อเปิดไฟ (แสงธรรมชาติและ แสงประดิษฐ์).....	179

ตารางที่ 61 ค่าความส่องสว่างจากการจำลองด้วย Dialux ที่บริเวณชั้น 1 เมื่อเปิดไฟ (แสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์).....	179
ตารางที่ 62 ค่าความส่องสว่างจากการวัดในสถานที่จริงที่บริเวณชั้น 3 เมื่อปิดไฟ (แสงธรรมชาติ) 180	180
ตารางที่ 63 ค่าความส่องสว่างจากการจำลองด้วย Dialux ที่บริเวณชั้น 3 เมื่อปิดไฟ (แสงธรรมชาติ)	180
ตารางที่ 64 แสดงค่าความส่องสว่างจากการวัดในสถานที่จริงที่บริเวณชั้น 3 เมื่อเปิดไฟ (แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์).....	181
ตารางที่ 65 แสดงค่าความส่องสว่างจากการจำลองด้วย Dialux ที่บริเวณชั้น 3 เมื่อเปิดไฟ (แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์).....	181
ตารางที่ 66 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (1-A).....	182
ตารางที่ 67 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างหลังรื้อกันสาดออก วันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (1-B).....	184
ตารางที่ 68 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของช่องการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C).....	185
ตารางที่ 69 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของระยะติดตั้งกับขนาดกันสาด (1-C)	210
ตารางที่ 70 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างเมื่อเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D).....	214
ตารางที่ 71 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการศึกษาเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใสที่มีค่า transparent 80% วันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (1-D).....	238
ตารางที่ 72 ผลศึกษาค่าความส่องสว่างของการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E).....	242
ตารางที่ 73 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง (1-F).....	248
ตารางที่ 74 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.50 (1-F).....	252
ตารางที่ 75 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ (1-G).....	253
ตารางที่ 76 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ (1-G).....	258
ตารางที่ 77 แสดงผลการศึกษาค่าความส่องสว่างหลังปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H).....	259
ตารางที่ 78 แสดงผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างหลังปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H).....	260
ตารางที่ 79 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ก่อนปรับปรุง (1-LightA)	261

ตารางที่ 80 ความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในวันสำคัญ 4 วัน เวลา 9.00 น.....	267
ตารางที่ 81 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 ก่อนปรับปรุง (3-A).....	268
ตารางที่ 82 ผลการศึกษาความส่องสว่างการรื้อกันสาดออก (3-B)	270
ตารางที่ 83 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C).....	272
ตารางที่ 84 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างระยะติดตั้งกับขนาดของกันสาด ชั้น (3-C)	296
ตารางที่ 85 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างการเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D)	300
ตารางที่ 86 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใสที่มีค่า transparent 80% (F3-D).....	306
ตารางที่ 87 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของการติดตั้งเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E).....	307
ตารางที่ 88 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการติดตั้งเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E).....	310
ตารางที่ 89 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของชนิดของฝ้าเพดาน (3-F).....	310
ตารางที่ 90 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของก่อนการปรับปรุง (3-lightA).....	313
ตารางที่ 91 ความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในวันสำคัญ 4 วัน	318



สารบัญภาพ

	หน้า
ภาพที่ 1 แผนขั้นตอนดำเนินงานการศึกษาแสงธรรมชาติ	4
ภาพที่ 2 แผนขั้นตอนดำเนินงานการศึกษาแสงประดิษฐ์	5
ภาพที่ 3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า	12
ภาพที่ 4 การสะท้อนแสงบนพื้นผิวเรียบ	12
ภาพที่ 5 การสะท้อนแสงบนพื้นผิวด้าน	13
ภาพที่ 6 บริเวณการเห็นของหลอดตามนุษย์	15
ภาพที่ 7 ความเข้มของรังสีหลอดอาทิติย์ของประเทศไทย (zanzaap, 2016)	16
ภาพที่ 8 แผนภูมิแสดงค่าส่องสว่างของท้องฟ้าในประเทศไทย (Surapong Chirarattananon and others, 2010).....	17
ภาพที่ 9 ตำแหน่งการเคลื่อนที่หลอดอาทิติย์ของจังหวัดแพร่	18
ภาพที่ 10 การโคจรของหลอดอาทิติย์ที่มีผลให้เกิดปรากฏการณ์สำคัญกับแสงสว่าง	20
ภาพที่ 11 อุณหภูมิสีของแสงและหลอดไฟชนิดต่างๆ	20
ภาพที่ 12 หลอดไส้ชนิดธรรมดา.....	21
ภาพที่ 13 หลอดไส้ชนิดมีตัวสะท้อนแสง (หลอด PAR)	22
ภาพที่ 14 หลอดทั้งสแตนฮาโลเจนแบบแท่งและแบบความดันต่ำ	22
ภาพที่ 15 หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่าง ๆ.....	24
ภาพที่ 16 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่าง ๆ.....	24
ภาพที่ 17 หลอดเมทัลฮาไลด์	25
ภาพที่ 18 หลอดโซเดียมความดันสูงแบบกลมกับแบบแท่ง.....	26
ภาพที่ 19 หลอด LED แบบ Lamp type ที่ใช้ตามอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์.....	27
ภาพที่ 20 หลอดไฟ LED BULB (หลอดกระเปาะ)	27

ภาพที่ 21 หลอดไฟ LED TUBE (หลอดยาว).....	28
ภาพที่ 22 หลอด LED Smartbright (Batten) ชนิดครบวงจรในตัว	28
ภาพที่ 23 ขั้วเกลียวของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ	30
ภาพที่ 24 ขั้วเขี้ยวของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ	30
ภาพที่ 25 หลอดโคมชนิดกระจายแสงลง	31
ภาพที่ 26 หลอดโคมกระจายแสงแบบกึ่งกระจายลง	31
ภาพที่ 27 หลอดโคมกึ่งกระจายแสงขึ้น	32
ภาพที่ 28 หลอดโคมแบบกระจายแสงขึ้น	32
ภาพที่ 29 เกณฑ์ในการวัดความลึกของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคาร.....	36
ภาพที่ 30 ผังพื้นที่ระยะที่แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารในเกณฑ์การประเมิน Daylight zone.....	36
ภาพที่ 31 ภาพตัดสัดส่วนของความสูงช่องเปิดด้านข้างกับแสงที่ธรรมชาติที่เข้าสู่อาคาร.....	40
ภาพที่ 32 ภาพตัดการกระจายแสงในห้องที่มีหิ้งสะท้อนแสงช่วยกับห้องที่ไม่มีหิ้งสะท้อนแสง	40
ภาพที่ 33 ภาพตัดประเภทหิ้งสะท้อนแสงแบบต่าง ๆ (Claude L. Robbins, 1986).....	41
ภาพที่ 34 ภาพตัดลักษณะฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ กับการกระจายแสงสว่าง	42
ภาพที่ 35 ฝ้าเพดานชนิดสามเหลี่ยม	42
ภาพที่ 36 ฝ้าเพดานชนิดเรียบ.....	42
ภาพที่ 37 ฝ้าเพดานชนิดโค้ง.....	43
ภาพที่ 38 ฝ้าเพดานชนิดคาน.....	43
ภาพที่ 39 หน้าต่างในการทำงานของโปรแกรม Relux.....	50
ภาพที่ 40 หน้าต่างในการทำงานของโปรแกรม Daysim.....	51
ภาพที่ 41 ภาพตัดของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุด	53
ภาพที่ 42 ผลการจำลองสภาพแสงสว่างด้วยโปรแกรม Dialux 4.12.....	53
ภาพที่ 43 แผนผังของวิทยาลัยเทคนิคแพร่และตำแหน่งอาคารปฏิบัติงานข้างเชื่อม	55

ภาพที่ 44 ลักษณะที่ตั้งของอาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อม และอาคารช่างอื่น ๆ ที่มีแบบก่อสร้างเดียวกัน	56
ภาพที่ 45 สถานที่จริงอาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อม วิทยาลัยเทคนิคแพร่	56
ภาพที่ 46 แผนผังอาคารชั้น 1 และพื้นที่ปฏิบัติงาน	57
ภาพที่ 47 แผนผังอาคารชั้น 3 และพื้นที่ปฏิบัติงาน	57
ภาพที่ 48 แบบรูปด้านยาว (ก) รูปด้านขวาง (ข) และรูปตัด (ค) อาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อม วิทยาลัยเทคนิคแพร่	58
ภาพที่ 49 ลักษณะของกันสาดแนวนอนและแนวตั้งที่คลุมหน้าต่างของอาคารทุกชั้น.....	59
ภาพที่ 50 ระยะห่างของอาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อมและอาคารรอบข้าง	60
ภาพที่ 51 สภาพแวดล้อมรอบอาคารและโรงฝึกงานที่ต่อเติมบริเวณพื้นที่ชั้น 1.....	60
ภาพที่ 52 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของช่องเปิดอาคาร	61
ภาพที่ 53 ตำแหน่งในการวัดค่าความส่องสว่างบริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1	63
ภาพที่ 54 ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 วันที่ 17 พฤษภาคม 2562 เวลา 9.00 น.	63
ภาพที่ 55 ตำแหน่งในการวัดค่าความส่องสว่างบริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3.....	64
ภาพที่ 56 ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 วันที่ 17 พฤษภาคม 2562 เวลา 15.00 น.	64
ภาพที่ 57 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าแสงในสถานที่จริง	66
ภาพที่ 58 การใช้ lux merter วัดค่าความส่องสว่าง (ชำนานู ห่อเกียรติ,2550).....	66
ภาพที่ 59 การใช้ Measuring instrument Luminance meter วัดค่าความสว่าง (ชำนานู ห่อเกียรติ,2550).....	67
ภาพที่ 60 แผนผังขั้นตอนการศึกษานำร่อง เพื่อหาความน่าเชื่อถือของการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับสถานการณ์จริง	69
ภาพที่ 61 ภาพตัดก่อนการปรับปรุงกันสาด (1-A) และหลังการปรับปรุง (1-B).....	70
ภาพที่ 62 ภาพตัดกันสาดที่ลดระยะติดตั้งทุก 20 เซนติเมตร (1-C).....	71
ภาพที่ 63 ภาพตัดกันสาดที่อ้างอิงขนาดของกันสาดกับสัดส่วนของช่องเปิดหน้าต่างต่าง (1-C)	72
ภาพที่ 64 ภาพช่องเกล็ดอลูมิเนียมและบานกระຈກใส่.....	73

ภาพที่ 65 ภาพตัดหึ่งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 1.10 เมตร (1-E).....	73
ภาพที่ 66 ภาพตัดหึ่งสะท้อนแสงภายในขนาด 0.50 เมตร (1-F).....	74
ภาพที่ 67 ภาพตัดผ้าเพดานชนิดเรียบ (1-G1).....	75
ภาพที่ 68 ภาพตัดผ้าเพดานชนิดโค้ง (1-G2)	75
ภาพที่ 69 ภาพตัดผ้าเพดานชนิดสามเหลี่ยม (1-G3)	76
ภาพที่ 70 ผังการจัดวางหลอดไฟก่อนการปรับปรุง (1-lightA)	79
ภาพที่ 71 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 1 (1-lightB).....	80
ภาพที่ 72 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 2 (1-lightC).....	80
ภาพที่ 73 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 2 (1-lightD).....	81
ภาพที่ 74 ภาพตัดก่อนการปรับปรุงกันสาด (3-A) และหลังการปรับปรุง (3-B).....	82
ภาพที่ 75 ภาพตัดกันสาดที่ลดระยะติดตั้งทุก 20 เซนติเมตร (3-C).....	83
ภาพที่ 76 ภาพตัดกันสาดที่อ้างอิงขนาดของกันสาดกับสัดส่วนของช่องเปิดหน้าต่าง (3-C)	84
ภาพที่ 77 ช่องเกล็ดอลูมิเนียมและบานกระจกใส (3-D)	85
ภาพที่ 78 ภาพตัดหึ่งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 1.10 เมตร (3-E).....	85
ภาพที่ 79 ผังการจัดวางหลอดไฟก่อนการปรับปรุง (3-lightA).....	88
ภาพที่ 80 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 1 (3-lightB).....	88
ภาพที่ 81 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 2 (3-lightC).....	89
ภาพที่ 82 แผนผังขั้นตอนการศึกษาแสงธรรมชาติด้วยโปรแกรม Dialux Evo.....	91
ภาพที่ 83 แผนผังขั้นตอนการศึกษาแสงประดิษฐ์ด้วยโปรแกรม Dialux Evo.....	92
ภาพที่ 84 ภาพอธิบาย Daylight zone ในเกณฑ์ของ IECC 2009.....	110
ภาพที่ 85 จุดวัด 3 จุดบริเวณพื้นที่ทำงาน.....	120
ภาพที่ 86 จุดวัดค่า UGR 3 จุดบริเวณพื้นที่ทำงาน ในโปรแกรม Dialux Evo.....	140
ภาพที่ 87 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 ก่อนการปรับปรุงแสงธรรมชาติ.....	143
ภาพที่ 88 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติ	143

ภาพที่ 89 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 ก่อนการปรับปรุงแสงประดิษฐ์.....	144
ภาพที่ 90 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 หลังการปรับปรุงแสงประดิษฐ์.....	144
ภาพที่ 91 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 3 ก่อนการปรับปรุงแสงธรรมชาติ.....	145
ภาพที่ 92 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 3 หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติ.....	145
ภาพที่ 93 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 3 ก่อนการปรับปรุงแสงประดิษฐ์.....	146
ภาพที่ 94 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 3 หลังการปรับปรุงแสงประดิษฐ์.....	146
ภาพที่ 95 กั้นสาดไฟเบอร์กลาสใสโดยใช้วัสดุจากผู้ผลิต (บริษัท กรีนเวย์ สตีล โปรดักส์ จำกัด, 2004)	170
ภาพที่ 96 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ก่อนปรับปรุงโดยไม่มีแสงธรรมชาติเข้ามา เกี่ยวข้อง (no daylight).....	263
ภาพที่ 97 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 20 W จำนวน 56 หลอด (1-lightB1).....	263
ภาพที่ 98 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 56 หลอด (1-lightB2).....	264
ภาพที่ 99 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 30 W จำนวน 56 หลอด (1-lightB3).....	264
ภาพที่ 100 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 104 หลอด (1-lightC1).....	265
ภาพที่ 101 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2 ชนิดหลอด 30 W จำนวน 104 หลอด (1-lightC2).....	265
ภาพที่ 102 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 3 ชนิดหลอด 20 W จำนวน 114 หลอด (1-light D1).....	266
ภาพที่ 103 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 3 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 114 หลอด (1-light D2).....	266
ภาพที่ 104 ผลการศึกษาความส่องสว่าง Base case ก่อนปรับปรุงโดยไม่พึ่งพาแสงธรรมชาติ No daylight (3-lightA1).....	315

ภาพที่ 105 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 104 หลอด (3-lightB1).....	315
ภาพที่ 106 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 30 W จำนวน 104 หลอด (3-lightB2).....	316
ภาพที่ 107 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2 ชนิดหลอด 20 W จำนวน 114 หลอด (3-lightC1)	316
ภาพที่ 108 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 114 หลอด (3-lightC2)	317



สารบัญแผนภูมิ

หน้า

แผนภูมิที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและจากการจำลองด้วยโปรแกรม	93
แผนภูมิที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและจากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 1	94
แผนภูมิที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 3 สถานการณ์แสงธรรมชาติ	95
แผนภูมิที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 3 สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์	96
แผนภูมิที่ 5 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A) และหลังรื้อกันสาดออก (1-B)..	98
แผนภูมิที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A) และระยะติดตั้งและ	101
แผนภูมิที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A) และการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจก (1-D).....	102
แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D) และการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด (1-E)	104
แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการปรับปรุงหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E) และ หิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน (1-F).....	106
แผนภูมิที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการปรับปรุงหิ้งสะท้อนภายใน (1-F) และ ชนิดฝ้าเพดาน (1-G).....	108
แผนภูมิที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในการพัฒนารูปแบบต่าง ๆ ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากที่สุด.....	109
แผนภูมิที่ 12 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในการพัฒนาปรับปรุงรูปแบบต่าง ๆ ของ daylight zone.....	111
แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบความสม่ำเสมอของความส่องสว่างแสงธรรมชาติในรูปแบบการปรับปรุงต่าง ๆ	112
แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ ในรูปแบบการจัดวางตามแห่งเดิม	114

แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ ในการจัดวางตำแหน่งไฟเดิม	116
แผนภูมิที่ 16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ ในการจัดวางตำแหน่งไฟให้มีการกระจายไปทั่วห้องโดยระยะเฉลี่ยเท่าๆกัน.....	117
แผนภูมิที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในรูปแบบต่าง ๆ.	118
แผนภูมิที่ 18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าความส่องสว่างและการใช้พลังงานของหลอดไฟ....	119
แผนภูมิที่ 19 เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอแสงประดิษฐ์ของรูปแบบการปรับปรุงต่างๆ.....	121
แผนภูมิที่ 20 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างก่อนปรับปรุง (3-A) และหลังรื้อกันสาดออก (3-B)....	124
แผนภูมิที่ 21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการปรับปรุงห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 รูปแบบก่อนปรับปรุง (3-A) และ ระยะติดตั้งและขนาดแผงกันสาด (3-C).....	126
แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนปรับปรุง (3-A) และการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D).....	128
แผนภูมิที่ 23 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของระยะติดตั้งและขนาดกันสาดไฟเบอร์กลาส	128
แผนภูมิที่ 24 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D) การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E).....	130
แผนภูมิที่ 25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในการพัฒนารูปแบบต่าง ๆ ของระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร	132
แผนภูมิที่ 26 เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของแสงธรรมชาติของรูปแบบการปรับปรุงต่าง ๆ	133
แผนภูมิที่ 27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ ในการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 (3-lightB)	136
แผนภูมิที่ 28 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ ในการปรับปรุงรูปแบบที่ 2 (3-lightC)	137
แผนภูมิที่ 29 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในรูปแบบต่าง ๆ.	138
แผนภูมิที่ 30 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยความส่องสว่างและการใช้พลังงานของหลอดไฟในรูปแบบการศึกษาต่าง ๆ	139
แผนภูมิที่ 31 เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอแสงประดิษฐ์ของรูปแบบการปรับปรุงต่างๆ.....	141

บทที่ 1

บทนำ

ที่มาและความสำคัญของปัญหา

มนุษย์ใช้แสงสว่างในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ทั้งกลางวันและกลางคืน แสงสว่างที่พอดี จะทำให้การดำเนินกิจกรรมต่าง ๆ เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ แต่หากมนุษย์ต้องทำกิจกรรมใน สภาวะแสงสว่างที่ไม่เหมาะสมจะส่งผลเสียหลายสิ่งตามมา ยกตัวอย่างเช่น ในห้องเรียนทั่วไปหากมี สภาวะแสงสว่างที่ไม่เหมาะสมซึ่งแสงสว่างอาจมากหรือน้อยเกินไปจะส่งผลต่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะเป็นห้องเรียนปฏิบัติงานที่มีกิจกรรมและความเสี่ยงมากกว่าปกติ นอกจากปริมาณแสงสว่าง ที่เหมาะสมแล้วคุณภาพของแสงสว่างต่อการมองเห็นขณะทำกิจกรรมก็เป็นสิ่งสำคัญ

ในประเทศไทยมีสถานศึกษาที่มีห้องเรียนฝึกปฏิบัติงานอยู่หลายแห่ง โดยเฉพาะวิทยาลัย ต่าง ๆ ทั่วประเทศในเครือสำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา (สอศ.) ห้องเรียนปฏิบัติงานเหล่านี้มี เครื่องมือและเครื่องจักรเป็นส่วนประกอบในการจัดการเรียนการสอน ต้องมีความระมัดระวังใน การใช้งาน

วิทยาลัยเทคนิคแพร่เป็นสถานศึกษาในเครือสำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา (สอศ.) แต่ละแผนกมีห้องเรียนปฏิบัติงาน รูปทรงของห้องเรียนปฏิบัติงานเป็นรูปแบบมาตรฐานเดียวกันทั่ว ประเทศ เมื่อสำรวจและวิเคราะห์สถานที่พบว่าอาคารเรียนและห้องเรียนปฏิบัติงานของแผนกช่าง เชื่อมและโลหะแผ่นบริเวณชั้น 1 shop โลหะ และชั้น 3 shop ตะไบ พบปัญหาเรื่องแสงสว่าง ไม่เพียงพอ ไม่ได้ตามค่ามาตรฐานกฎกระทรวงอาชีวอนามัย ส่งผลให้สภาพแวดล้อมภายในห้องเรียน ปฏิบัติงานไม่เหมาะสม จึงนำมาสู่แนวคิดในการแก้ไขปัญหาของห้องเรียนปฏิบัติงาน โดยวิธีการปรับปรุง ความส่องสว่างด้วยแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ เพื่อเพิ่มคุณภาพในการมองเห็นของผู้ปฏิบัติงาน และเพิ่มประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

1. เพื่อศึกษาแนวทางการปรับปรุงสถาปัตยกรรม เพื่อเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติในห้องเรียนปฏิบัติงานเพื่อให้ความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์มาตรฐานโดยศึกษาตัวแปรที่มีอิทธิพลในการปรับปรุง
2. เพื่อศึกษาแนวทางการให้แสงสว่างที่มีคุณภาพ ได้แก่ ความสม่ำเสมอของแสง การให้แสงโดยไม่เกิดแสงจ้ำระคายตาในการทำงาน
3. เพื่อศึกษาแนวทางเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและลดการใช้พลังงาน

สมมติฐานของการศึกษา

1. การปรับปรุงเปลี่ยนกันสาดด้านหน้าและปรับปรุงหน้าต่างสามารถเพิ่มความส่องสว่างแสงธรรมชาติภายในห้องเรียนปฏิบัติงานได้
2. การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง (light shelves) แบบผสมผสานสามารถเพิ่มความส่องสว่างแสงธรรมชาติภายในห้องเรียนปฏิบัติงานได้
3. การปรับปรุงโดยติดตั้งฝ้าเพดานสามารถเพิ่มความส่องสว่างแสงธรรมชาติภายในห้องเรียนปฏิบัติงานได้
4. การใช้หลอด LED แทนหลอดฟลูออเรสเซนต์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าแสงสว่างและลดการใช้พลังงานได้

ขอบเขตของการวิจัย

1. ศึกษาความส่องสว่างภายในห้องเรียนปฏิบัติงานของวิทยาลัยเทคนิคแพร่ที่ได้จากการปรับปรุงรูปแบบต่าง ๆ โดยประเมินที่ระดับที่ใช้งาน (work plan) ที่ความสูง 1.00 เมตร บริเวณชั้น 1 และที่ระดับ 0.80 เมตร บริเวณชั้น 3 จากระดับพื้นห้อง
2. ศึกษาการปรับปรุงอาคารเพื่อเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติโดยศึกษาในส่วนที่ไม่กระทบกับโครงสร้างหลักของอาคาร ได้แก่ การปรับปรุงกันสาด การปรับปรุงช่องเปิด การติดตั้ง

หิ้งสะท้อนแสง การติดตั้งฝ้าเพดาน เป็นต้น

3. จำลองสภาวะแสงจริงในโปรแกรม Dialux evo เพื่อเป็นแบบจำลองตั้งต้น (model base) ในการศึกษาปริมาณแสงสว่างเพื่อเปรียบเทียบแบบพัฒนาอื่น โดยการจำลองผลในวันสำคัญของปี 4 วัน 4 เวลา เพื่อหาค่าเฉลี่ย คือ วันที่ 21 มี.ค. / 21 มิ.ย. / 23 ก.ย. / 22 ธ.ค.2562 และกำหนดช่วงเวลาในการจำลองผลทุก 2 ชั่วโมง คือ 9.00 / 11.00 / 13.00 / 15.00 น.

ขั้นตอนการวิจัย

1. ศึกษาค้นคว้าข้อมูลที่เกี่ยวข้องจากเอกสาร งานวิจัย สื่อมัลติมีเดียและสิ่งพิมพ์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานแสงสว่าง ทฤษฎีแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ กรณีในการประเมินแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ทฤษฎีการออกแบบโรงงานและมาตรฐานโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

2. ศึกษาจำลองสถานการณ์จริงในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยการศึกษานำร่องเพื่อนำผลที่น่าเชื่อถือไปสู่การศึกษาขั้นต่อไป ดังนี้

2.1 ศึกษาปริมาณแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 และชั้น 3 โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต้นต่าง ๆ ได้แก่

- 2.1.1 การรื้อกันสาดคอนกรีตเดิม
- 2.1.2 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส
- 2.1.3 การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส
- 2.1.4 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก
- 2.1.5 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน
- 2.1.6 การติดตั้งชนิดฝ้าเพดาน
- 2.1.7 การปรับปรุงแบบผสมผสาน

เปรียบเทียบสรุปผลเพื่อนำไปสู่การศึกษาการปรับปรุงด้วยแสงประดิษฐ์

2.2 ศึกษาปริมาณแสงประดิษฐ์ในอาคารโดยไม่มีแสงธรรมชาติ มาเกี่ยวข้อง (no daylight) ของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 และชั้น 3 โดยการปรับเปลี่ยนตัวแปรต่าง ๆ ดังนี้

2.2.1 รูปแบบที่ 1 จำนวนหลอดไฟ 56 หลอด

- หลอด LED 20 W
- หลอด LED 27 W
- หลอด LED 30 W

2.2.3 รูปแบบที่ 2 จำนวนหลอดไฟ 104 หลอด

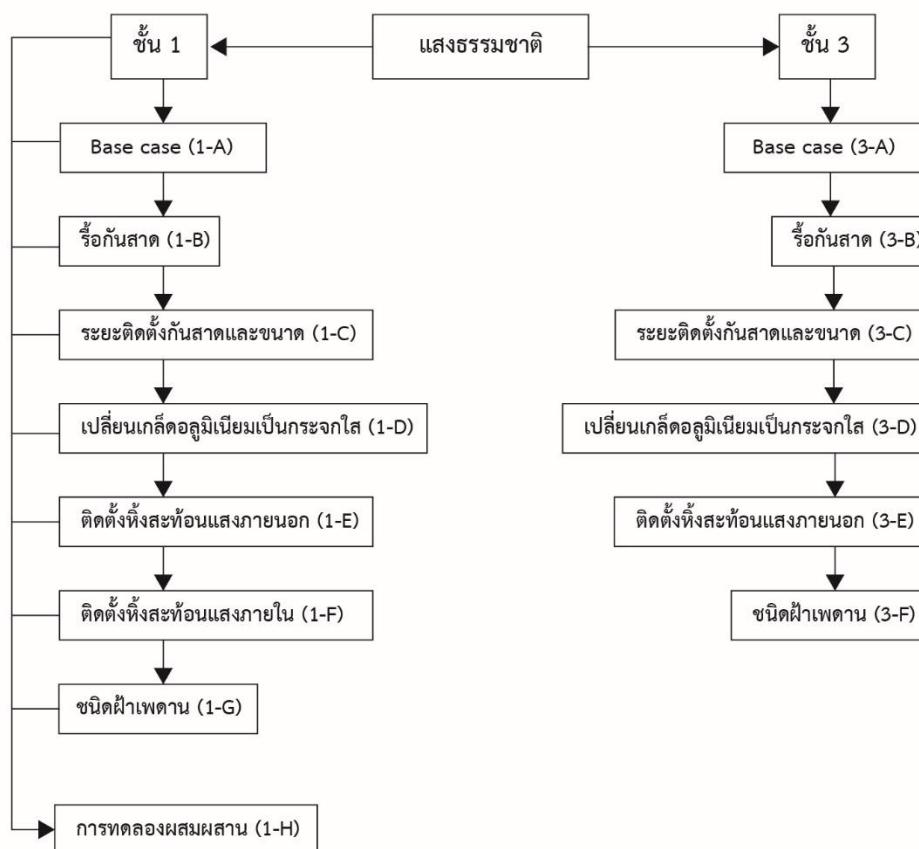
- หลอด LED 27 W
- หลอด LED 30 W

2.2.4 รูปแบบที่ 3 จำนวนหลอดไฟ 114 หลอด

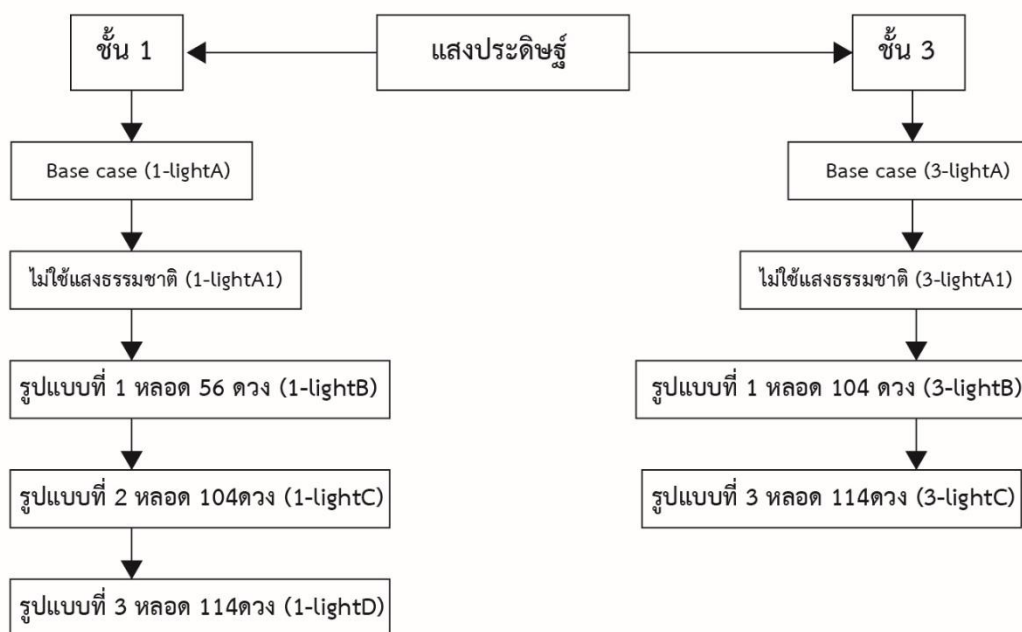
- หลอด LED 20 W
- หลอด LED 27 W

เปรียบเทียบสรุปผลเพื่อนำไปสู่การศึกษาการใช้พลังงาน

3. ศึกษาผลที่ได้จากการจำลองเพื่อประเมินตามเกณฑ์ที่กำหนดและสรุปผล สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 1 และ 2



ภาพที่ 1 แผนขั้นตอนดำเนินงานการศึกษาแสงธรรมชาติ



ภาพที่ 2 แผนขั้นตอนดำเนินงานการศึกษาแสงประดิษฐ์

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. เพื่อเป็นแนวทางในการแก้ไขปัญหาแสงสว่างไม่เพียงพอและเพิ่มคุณภาพในการมองเห็นในห้องเรียนปฏิบัติงานของวิทยาลัยเทคนิคแพร่
2. เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงความส่องสว่างให้แก่อาคารปฏิบัติงานที่มีห้องเรียนปฏิบัติงานช่างในเครื่องสำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา (สอศ.)

ความหมายและคำที่เกี่ยวข้อง

ความส่องสว่าง (Illuminance , E)

หมายถึง ปริมาณหรือความหนาแน่นของฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร (Lux) หรือลูเมนต่อตารางฟุต (fc)

ความสว่าง (Luminance , L)

หมายถึง ส่วนที่เปล่งแสงของโคมโพแต่ละโคมโพในทิศทางการมองของผู้สังเกตมีหน่วยเป็น แคนเดลาต่อตารางเมตร (Cd/m^2)

ความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity , I)

หมายถึง ความเข้มของปริมาณแสงที่ส่องต่อวินาที หรือฟลักซ์ของการส่องสว่างที่แผ่ออกมาในหนึ่งหน่วยของมุมตัน มีหน่วยวัดเป็นแคนเดลา (Candela, cd)

ฟลักซ์ของการส่องสว่าง (Luminous flux , ϕ)

หมายถึง ความสว่างของแหล่งกำเนิดแสง หรือ ปริมาณแสงทั้งหมดที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสงต่อวินาที มีหน่วยเป็น ลูเมน (lm)

สเตอเรเดียน (steradian , ω)

หมายถึง หน่วยวัดมุมในวัตถุทรงตันชนิดหนึ่ง ใช้อธิบายขนาดของการวาดมุมแบบสองมิติ

ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ (ρ)

หมายถึง อัตราส่วนเปรียบเทียบการสะท้อนแสงของพื้นผิวกับปริมาณรังสีทั้งหมดที่ตกกระทบ โดยมีค่าไม่เกิน 1

ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Illuminance Uniformity , U)

หมายถึง อัตราส่วนของความส่องสว่างขั้นต่ำต่อความส่องสว่างเฉลี่ยบนพื้นผิวที่กำหนด

อุณหภูมิสี (Color Temperature , K)

หมายถึง สีที่เกิดขึ้นจากการให้ความร้อนผ่านวัตถุสีดำหรือเผาไหม้วัตถุสีดำ เมื่อวัตถุมีการดูดซับความร้อน จนได้ในระดับต่าง ๆ สีจะเปลี่ยนไปตามอุณหภูมิที่ได้รับ

ตารางที่ 1 สรุปสัญลักษณ์ หน่วยของแสงและความหมาย

ปริมาณทางแสง	หน่วยวัดทางแสง	สัญลักษณ์
ความส่องสว่าง (Illuminance)	ลักซ์ (lux)	E
ความสว่าง (Luminance)	แคนเดลาต่อตารางเมตร (Cd/m ²)	L
ความเข้มส่องสว่าง (Luminous intensity)	แคนเดลา (cd)	I
ฟลักซ์ของการส่องสว่าง (Luminous flux)	ลูเมน (lm)	Φ
สเตอเรเดียน (steradian)	ไม่มี	ω
ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ	ไม่มี	ρ
ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Illuminance Uniformity)	ไม่มี	U



บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. กฎและหลักการคำนวณที่เกี่ยวข้องกับแสงสว่าง

1.1 กฎโคไซน์ของแลมเบิร์ต (Lambert's cosine's law)

เป็นกฎที่วัดความส่องสว่างที่แหล่งกำเนิดแสงเบี่ยงไปจากแนวตรงและทำมุมต่าง ๆ กับพื้นที่ทำงานโดยจะต้องทำการคำนวณทั้งแนวตั้งและแนวราบ

$$E_H = \frac{I}{d^2} \times \cos\theta \quad E_V = \frac{I}{d^2} \times \sin\theta$$

โดย

E_H = ความส่องสว่างในแนวราบ

E_V = ความส่องสว่างในแนวตั้ง

d = ระยะทางจากหลอดไฟถึงพื้นที่ที่ต้องการศึกษา (เมตรหรือฟุต)

เมื่อรวมสมการปรับปรุงให้สะดวกต่อการคำนวณ โดยกำหนดให้ H เป็นความสูงในแนวตั้งจากโคมไฟไปยังพื้นที่ใช้งาน W เป็นระยะในแนวราบจากโคมไฟไปตำแหน่งที่ต้องการคำนวณ ค่าความส่องสว่าง และ d เป็นระยะโคมไฟไปยังตำแหน่งที่ต้องการหาค่าความส่องสว่าง จึงได้สมการดังนี้

$$E_H = \frac{I}{H^2} \times \cos^3\theta$$

กฎโคไซน์รวมสมการในแนวราบ

$$E_V = \frac{I}{W^2} \times \sin^3\theta$$

กฎโคไซน์รวมสมการในแนวตั้ง

1.2 กฎกำลังสองผกผัน

เป็นกฎที่วัดความเข้มของความส่องสว่าง (lux) กับพื้นที่ผิวที่ได้รับในแนวตั้งกับระยะห่างของแหล่งกำเนิดแสง

$$E = \frac{I}{d^2}$$

โดย E = ความส่องสว่าง (ลักซ์ หรือ ฟุตแคนเดิล)

I = ความเข้มแห่งการส่องสว่าง (แคนเดลา)

d = ระยะทาง (เมตร หรือ ฟุต)

1.3 การคำนวณการสะท้อนแสง (Reflection)

1.3.1 พื้นผิวชนิดเรียบมีการสะท้อนแสงแบบสมบูรณ์

$$L = \frac{I}{A_p \cdot \cos \theta}$$

โดย

I = ความเข้มของการส่องสว่างในทิศทางของผู้มอง

A_p = พื้นที่ของแหล่งกำเนิดแสงในแนวทิศทางการมอง (Perceived surface)

$\cos \theta$ = มุมเอียงระหว่างแหล่งกำเนิดแสงกับระนาบการสะท้อน

1.3.2 พื้นผิวชนิดด้าน

$$L = \frac{E \cdot p}{\pi}$$

โดย

L = ความสว่าง (cd/m^2)

E = ความส่องสว่าง (ลักซ์)

p = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ

π = เป็นการหาค่าต่อมุมตัน

1.4 การคำนวณความส่องสว่าง (Illuminance)

มีหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร (ลักซ์) หรือลูเมนต่อตารางเมตร (ฟุตแคนเดิล) ใช้อธิบายปริมาณหรือความหนาแน่นของฟลักซ์การส่องสว่างที่ตกกระทบลงบนพื้นที่ ดังสมการ

$$E = \frac{\Phi}{A}$$

โดย

E = ความส่องสว่าง (ลักซ์หรือฟุตแคนเดิล)

Φ = ฟลักซ์ของการส่องสว่าง (ลูเมน)

A = พื้นที่ (ตารางเมตร หรือตารางฟุต)

1.5 การคำนวณความเปรียบต่าง (Contrast)

คือความสามารถมองเห็นวัตถุในสภาพแวดล้อมนั้นๆ ซึ่งต้องอาศัยการเปรียบต่างของวัตถุกับพื้นหลังซึ่งมีความกว้างไม่น้อยกว่า 3 เมตร และมีความส่องสว่างไม่น้อยกว่า 1 ใน 3 ของความส่องสว่างบนพื้นที่รอบๆ สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$C = \frac{L_m - L_l}{L_m}$$

โดย

- C = ความเปรียบต่าง
 L_m = ความสว่างที่มีค่ามากกว่า (cd/m²)
 L_l = ความสว่างที่มีค่าน้อยกว่า (cd/m²)

1.6 การคำนวณสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้นผิววัสดุ (p)

เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของสีและพื้นผิววัสดุที่มีลักษณะทึบแสง ใช้ประโยชน์ในการหาค่าการสะท้อนแสงของวัสดุที่ไม่มีกำหนดในตำราหรือจากวัสดุจริง

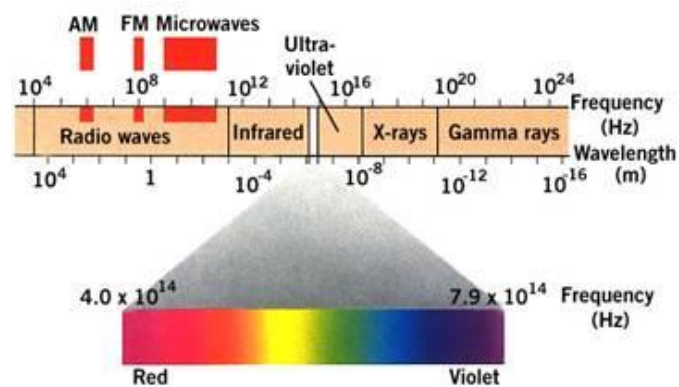
$$p = \frac{L * \pi}{E}$$

- โดย L = ความสว่าง (cd/m²)
 E = ความส่องสว่าง (ลักซ์)
 p = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ
 π = เป็นการหาค่าต่อมุมตัน

2. ทฤษฎีแสงที่เกี่ยวข้อง

2.1 พฤติกรรมของแสง

แสง เป็นเป็นพลังงานรูปหนึ่งที่เป็นคลื่น สามารถเคลื่อนที่ได้เหมือนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสงที่มองเห็นได้ปกติมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง 400–700 นาโนเมตร และแสงยังเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีช่วงสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่สามารถมองเห็นได้ 7 สี ดังภาพที่ 3

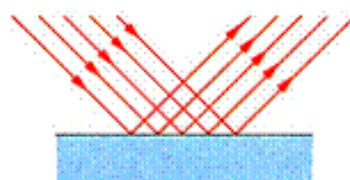


ภาพที่ 3 สเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า
(ปรียา, 2018)

2.1.1 การสะท้อนแสง (Reflection)

แสงที่ตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนออกโดยที่ความถี่คลื่นไม่มีการเปลี่ยนแปลง ซึ่งลักษณะการสะท้อนนี้สามารถแบ่งได้ 2 ประเภท คือการสะท้อนแบบกระจก ทำให้มุมตกกระทบ เท่ากับมุมสะท้อนออกไปเป็นลำแสงและหากพื้นผิวที่ตกกระทบมีความเรียบมันเงาในลักษณะต่าง ๆ แสงจะสะท้อนเป็นมุมกว้างในทิศทางเฉลี่ยของแสงที่ตกกระทบไปในทิศทางเดียวกัน และการสะท้อนแบบกระจาย คือแสงที่ตกกระทบลงบนวัตถุและแสงกระจายไปหลายทิศทาง ซึ่งแต่ละพื้นผิวจะมีการสะท้อนลักษณะต่างกัน

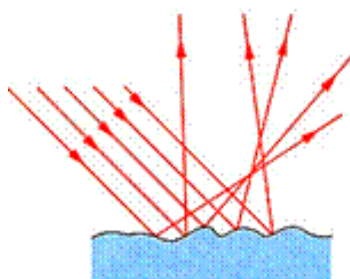
- พื้นผิวชนิดเรียบมีการสะท้อนแสงแบบสมบูรณ์



ผิวเรียบ

ภาพที่ 4 การสะท้อนแสงบนพื้นผิวเรียบ
(ปรียา, 2018)

- พื้นผิวชนิดด้าน



ผิวขรุขระ

ภาพที่ 5 การสะท้อนแสงบนพื้นผิวด้าน
(ปรียา, 2018)

2.2 วัสดุและการสะท้อนแสง

2.2.1 การกระจายความสว่าง (luminance distribution)

วัสดุทุกชนิดเมื่อแสงส่องมาจะเกิดการสะท้อน ซึ่งการสะท้อนนี้ส่งผลต่อการรับรู้ของ
หลอดตามนุษย์ จึงต้องมีการควบคุมค่าการสะท้อนแสง ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าการสะท้อนแสงและระดับความส่องสว่างที่แนะนำสำหรับพื้นผิวต่าง ๆ
(สมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง, 2559)

พื้นผิว	ค่าการสะท้อนแสงของพื้นผิว(%)	ความส่องสว่างบนพื้นผิวต่าง ๆ
เพดาน	70-90	$E \geq 30$ ลักซ์ โดยมีความสม่ำเสมอของ ความส่องสว่าง U ไม่น้อยกว่า 0.1
ผนัง	50-80	$E \geq 50$ ลักซ์ โดยมีความสม่ำเสมอของ ความส่องสว่าง U ไม่น้อยกว่า 0.1
พื้น	20-40	

ตารางที่ 3 ตัวอย่างค่าสะท้อนของวัสดุ

(สมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง,2559)

ตัวอย่างวัสดุ	ค่าการสะท้อนแสง (%)
กระดาษขาว	78
ปูนพลาสติก	78
หินอ่อน	68
โลหะ	80
ไม้สีอ่อน	52
ไม้สีเข้ม	15
ปูนสีอ่อน	47
คอนกรีต	27
อิฐ	20
กระจกใส	6

2.2.2 สัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงพื้นผิววัสดุ (p)

ตารางที่ 4 ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงสีของวัสดุ

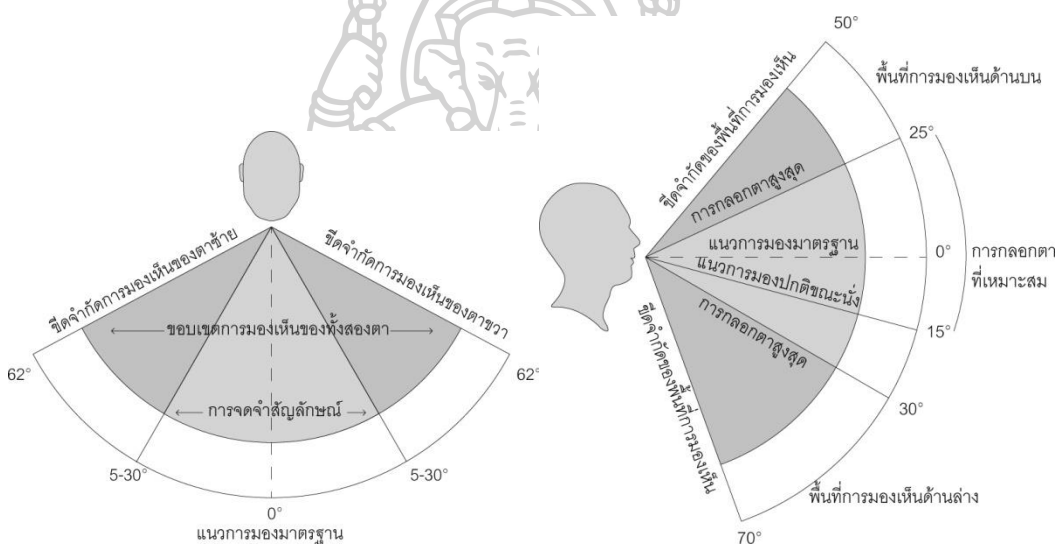
(ขำนาญ ห่อเกียรติ, 2550)

สี	สัมประสิทธิ์การสะท้อน	สี	สัมประสิทธิ์การสะท้อน
ขาว	0.70-0.80	น้ำเงิน	0.10-0.15
ครีมอ่อน	0.70-0.80	แดงเข้ม	0.10-0.15
เหลืองอ่อน	0.55-0.65	เทาเข้ม	0.10-0.15
เขียวอ่อน	0.45-0.50	น้ำเงินเข้ม	0.05-0.10
ชมพู	0.45-0.50	ดำ	0.04
ฟ้าอ่อน	0.40-0.45	อิฐแดง	0.05-0.25
เทาอ่อน	0.40-0.45	คอนกรีต	0.15-0.40
เนื้ออ่อน	0.25-0.35	สีอิฐอ่อน	0.15-0.20
เหลืองเข้ม	0.25-0.35	ขาวอีนาเมล	0.65-0.75
น้ำตาลอ่อน	0.25-0.35	กระสกใจ	0.06-0.08

เขียว	0.25-0.35	ไม้ครีม	0.50-0.60
ส้ม	0.20-0.25	พลาสติกอร์	0.80
เขียวส้ม	0.10-0.15	วอลนัตเข้ม	0.15-0.20

2.3 การมองเห็นของหลอดตา

หลอดตาทำหน้าที่รับภาพทำให้สามารถเห็นภาพวัตถุและแยกแยะสีของวัตถุ หลอดตามีความสามารถแยกแยะได้ด้วยส่วนประกอบของเซลล์ประสาทในหลอดตา ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นเซลล์ที่ทำงานในเวลากลางวัน และเวลากลางคืน เรียกว่า light receptors ระบบของจอประสาทตา (retina) และหลอดตายังมีการเคลื่อนไหวได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 บริเวณการเห็นของหลอดตามนุษย์ (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง, 2559)

- แนวนอน มนุษย์มองเห็นได้ในระยะ 62° ทั้งตาซ้ายและตาขวา และสามารถจดจำสิ่งที่อยู่ได้ในวง 5-30°
- แนวตั้ง มนุษย์กรอกตาขึ้นได้สูงสุด 25° ลงสุดได้ 30° แต่มีระยะการรับรู้มองสูงสุดที่ 50° และต่ำสุด 70° โดยแนวสายตาทอดมองยามนั่งปกติอยู่ที่ 15°

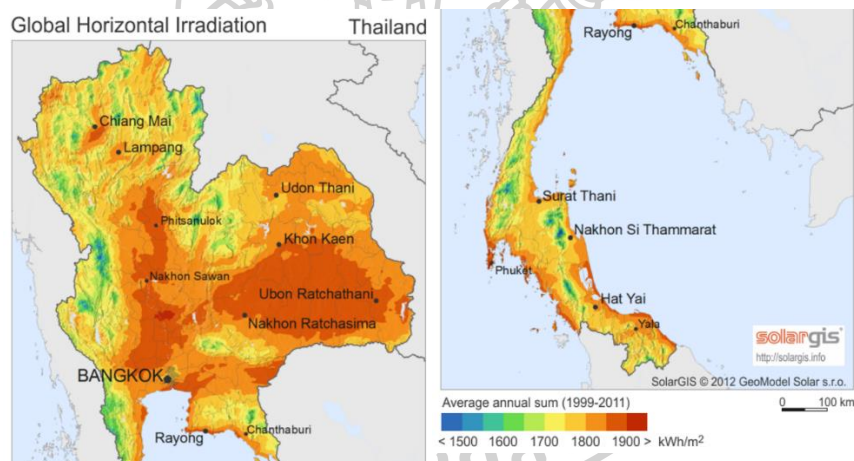
4. แสงธรรมชาติ

แสงธรรมชาติ (Daylight) เป็นรูปแบบพลังงานที่เกิดจากทิศทางและตำแหน่งในการโคจรของหลอดอาทิตย์ ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ทำให้หลอดตามองเห็นสี และแสงธรรมชาติดังนี้มีความถูกต้องของสีที่แสดงมากที่สุด แต่แสงธรรมชาติเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาทำให้ค่าความสม่ำเสมอ

ของแสงไม่สม่ำเสมอ

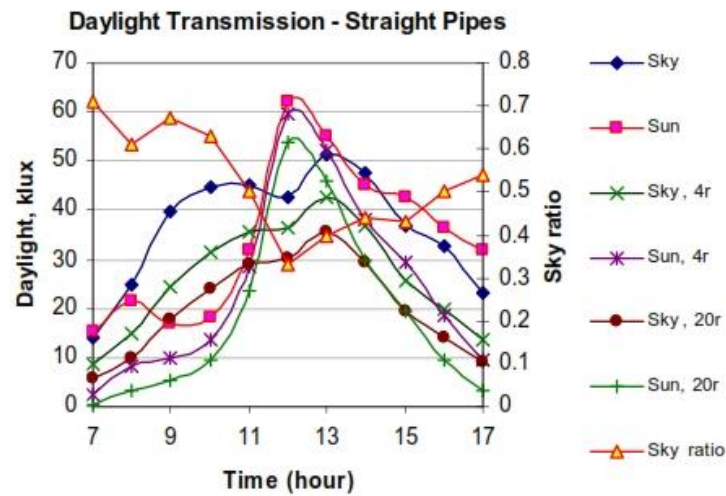
4.1 ศักยภาพแสงธรรมชาติในประเทศไทย

ประเทศไทยเป็นประเทศในเขตร้อนชื้น อยู่ใกล้เส้นศูนย์สูตรโดยสภาพที่ตั้งของประเทศไทยอยู่ระหว่าง Latitude ที่ 5 ถึง 21 องศาเหนือและ Longitude ที่ 97 และ 106 องศาตะวันออก สภาพของท้องฟ้ามีเมฆมาก และมีความเข้มของรังสีหลอดอาทิตย์ต่อพื้นที่ (Solar Irradiation) ค่อนข้างสูง



ภาพที่ 7 ความเข้มของรังสีหลอดอาทิตย์ของประเทศไทย (zanzaap, 2016)

ประเทศไทยอยู่ในเขตโซนมีแสงธรรมชาติที่เพียงพอ โดยมีปริมาณแสงสว่างที่ได้จากท้องฟ้าที่มีค่ามากกว่า 10,000 (lux) สูงถึง 90% (ศิวดล อุพงษ์ & ไชยะกุล, 2556)



(a) Measured daylight and calculated transmitted daylight

ภาพที่ 8 แผนภูมิแสดงค่าส่องสว่างของท้องฟ้าในประเทศไทย (Surapong Chirattananon and others, 2010)

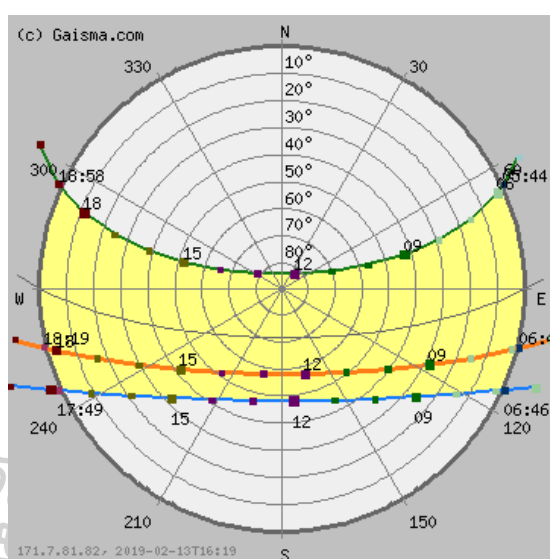
ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกในแนวตั้งทุกทิศและค่าเฉลี่ยมุมเงยของหลอดอาทิตย์ตลอดปี รายชั่วโมงตั้งแต่เวลา 8.00 – 17.00 น. (วัชรินทร์ วิมานจตุรงค์, 2558)

เวลาท้องถิ่น (Local time)	ค่าเฉลี่ยความสว่างภายนอกใน แนวตั้งทุกทิศ (lx)	ค่าเฉลี่ยมุมเงยของหลอด อาทิตย์ (องศา)
8.00	23,504	23.23
9.00	28,912	36.84
10.00	32,218	19.92
11.00	30,713	61.85
12.00	28,757	70.86
13.00	29,576	68.48
14.00	30,447	58.06
15.00	30,145	45.61
16.00	27,301	32.27
17.00	13,031	18.54

4.2 ลักษณะของแสงธรรมชาติ

4.2.1 แสงสว่างจากหลอดอาทิตย์ (Sunlight)

แสงส่องตรงลงมาจากหลอดอาทิตย์ ในขณะที่โลกทำแนวเอียง 23.5 องศา กับหลอดอาทิตย์ซึ่งเมื่อรังสีทำมุม 90 องศา กับพื้นผิวที่ตกกระทบจะมีความเข้มรังสีสูงที่สุดเมื่อหลอดอาทิตย์เคลื่อนไปในแต่ละเดือนก็จะทำมุมต่างกัน จังหวัดแพร่อยู่ทางภาคเหนือที่ 18.15 องศาเหนือ 100.16 องศาตะวันออกซึ่งการโคจรของหลอดอาทิตย์จะเป็นลักษณะดังภาพ



ภาพที่ 9 ตำแหน่งการเคลื่อนที่หลอดอาทิตย์ของจังหวัดแพร่ (Tukiainen, 2019)

4.2.2 แสงสว่างจากท้องฟ้า (Sky light)

แสงจากหลอดอาทิตย์ที่ส่องผ่านชั้นบรรยากาศต่าง ๆ มายังผิวโลกเมื่อกระทบกับฝุ่น ละอองไอน้ำและสารแขวนลอยต่าง ๆ จะเกิดการกระจายตัวของแสงฟุ้งกระจายไปทั่วท้องฟ้า เกิดเป็นท้องฟ้าในลักษณะต่าง ๆ ได้แก่ ท้องฟ้าโปร่ง (Clear Sky) มีเมฆปกคลุมน้อยกว่า 30% ท้องฟ้าที่มีเมฆเป็นบางส่วน (Partly Sky or Cloud Sky) มีเมฆปกคลุม 30-70% ตามสภาพอากาศที่แปรปรวน ท้องฟ้าที่มีเมฆทึบ (Overcast Sky) มีเมฆปกคลุมมากกว่า 70%

4.2.3 แสงธรรมชาติจากพื้นดิน (Ground light)

นอกจากแสงที่ส่องลงมายังพื้นดินแล้วยังมีแสงที่ตกกระทบกับสภาพแวดล้อมและสะท้อนเข้าสู่อาคาร ซึ่งค่าการสะท้อนเข้าสู่ช่องเปิดอาคารมีปริมาณ 10-15% ของปริมาณแสงที่ส่องลงมาและขึ้นอยู่กับ การสะท้อนแสงของพื้นผิวนั้น

4.3 วันสำคัญของหลอดอาทิติย์

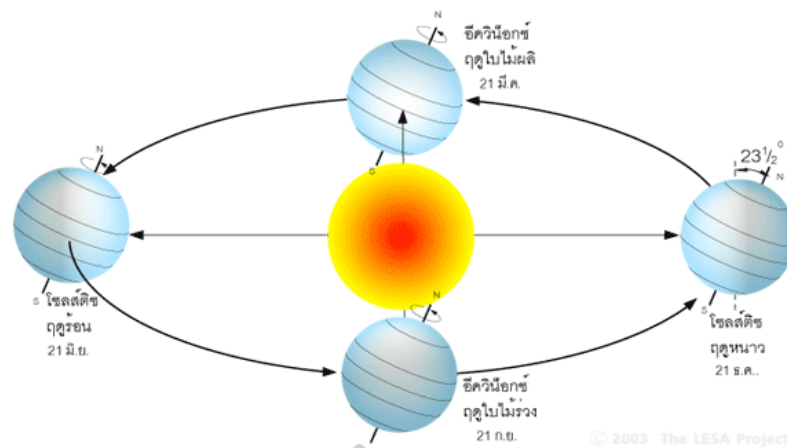
ใน 1 ปีโลกจะมีปรากฏการณ์สำคัญเนื่องจากแสงธรรมชาติมีปริมาณที่แตกต่างกันไปตามการโคจรของโลกรอบหลอดอาทิติย์ ซึ่งส่งผลกับแสงสว่างที่ได้รับ โดยวันสำคัญ ได้แก่

Vernal Equinox ซึ่งในปี 2562 นี้ตรงกับวันที่ 21 มี.ค. เป็นวันที่หลอดอาทิติย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงและตกทางทิศตะวันตกพอดี ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันเท่ากับกลางคืน

Summer Solstice ซึ่งในปี 2562 นี้ตรงกับวันที่ 21 มิ.ย. เป็นวันที่หลอดอาทิติย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงไปทางเหนือมากที่สุด และตกทางทิศตะวันตกเฉียงไปทางเหนือมากที่สุด ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันยาวที่สุดในรอบปีและเป็นวันที่มีปริมาณแสงยาวที่สุด

Autumnal Equinox ซึ่งในปี 2562 นี้ตรงกับวันที่ 23 ก.ย. เป็นวันที่หลอดอาทิติย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงและตกทางทิศตะวันตกพอดี ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันเท่ากับกลางคืนพอดี เหมือนกับวัน Vernal Equinox

Winter Solstice ซึ่งในปี 2562 นี้ตรงกับวันที่ 22 ธ.ค. เป็นวันที่หลอดอาทิติย์ขึ้นทางทิศตะวันออกเฉียงไปทางใต้มากที่สุด และตกทางทิศตะวันตกเฉียงไปทางใต้มากที่สุด ส่งผลให้ช่วงเวลากลางวันสั้นที่สุดและกลางคืนยาวที่สุดในรอบปี



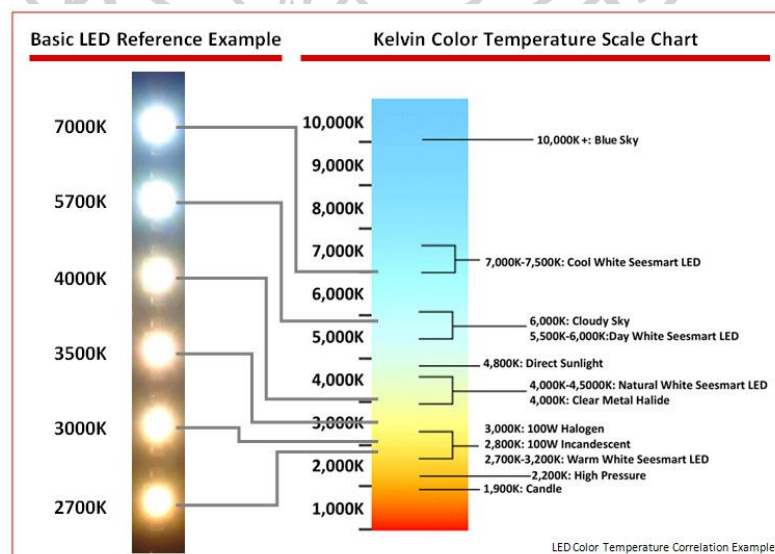
ภาพที่ 10 การโคจรของหลอดอาทิตย์ที่มีผลให้เกิดปรากฏการณ์สำคัญกับแสงสว่าง (Arthur Konze, 2004)

การศึกษานี้ใช้ค่าเฉลี่ยจากแสงสว่างในวันสำคัญนี้ เป็นหลักในการศึกษาปริมาณแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อม

5. แสงประดิษฐ์

เป็นแสงที่ประดิษฐ์ขึ้นเพื่อทดแทนแสงธรรมชาติที่ไม่เพียงพอ โดยคุณสมบัติของแสงประดิษฐ์จะขึ้นอยู่กับชนิดของแหล่งกำเนิดแสง เช่น หลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดดิสชาร์จ หลอด LED เป็นต้น ฟลักซ์การส่องสว่างมากน้อยที่มาจากแหล่งกำเนิดแสงและประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lumen per watt)

การกระจายแสงขึ้นอยู่กับหลอดโคม อุณหภูมิสีของแสง สเปกตรัม



ภาพที่ 11 อุณหภูมิสีของแสงและหลอดไฟชนิดต่างๆ

(Amardeep M. Dugar & Agarwal, 2019)

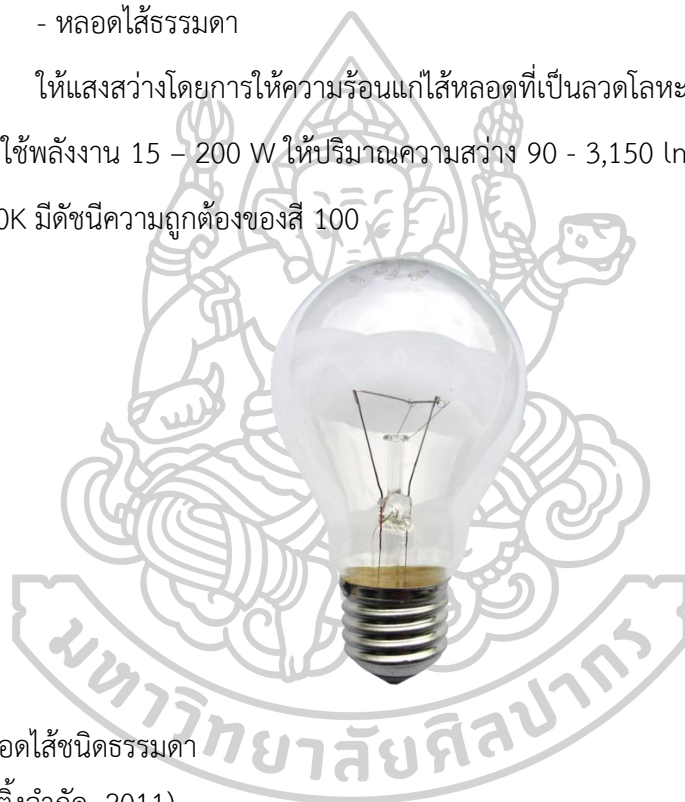
5.1 หลอดไฟ

5.1.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ (incandescent lamps)

เป็นหลอดชนิดเผาไส้ทำจากทังสเตน (Tungsten) เป็นแบบขดลวดชั้นเดียว (Coiled) และแบบขดลวดสองชั้น (Coiled-Coil) ซึ่งแบบขดลวดสองชั้นจะช่วยลดการระเหิดของทังสเตน

- หลอดไส้ธรรมดา

ให้แสงสว่างโดยการให้ความร้อนแก่ไส้หลอดที่เป็นลวดโลหะกระทั่งมีอุณหภูมิสูง และเปล่งแสง ใช้พลังงาน 15 – 200 W ให้ปริมาณความสว่าง 90 - 3,150 lm มีอุณหภูมิของสี 2,500 - 2,700K มีดัชนีความถูกต้องของสี 100



ภาพที่ 12 หลอดไส้ชนิดธรรมดา
(บริษัทจีวันไลท์ติ้งจำกัด, 2011)

- หลอดไส้ชนิดมีตัวสะท้อนแสง (หลอด PAR)

หลอดไส้ที่มีตัวสะท้อนแสง PAR ตัวหลอดเคลือบอลูมิเนียม ช่วยสะท้อนเพิ่มความเข้มของแสง ใช้พลังงาน 25 – 300 W ให้ปริมาณความสว่าง 210 - 1,300 lm มีอุณหภูมิของสี 2,500K มีดัชนีความถูกต้องของสี 100



ภาพที่ 13 หลอดไส้ชนิดมีตัวสะท้อนแสง (หลอด PAR)
(บริษัทจีวันไลต์ติ้งจำกัด,2011)

- หลอดไส้ทั้งสแตน-ฮาโลเจน

เป็นหลอดไส้ที่มีไส้หลอดเป็นทั้งสแตน ซึ่งบรรจุในแก๊สเฉื่อยและฮาโลเจนปริมาณน้อย เมื่อมีกระแสไฟ
ส่งเข้ามา ไส้ทั้งสแตนจะเกิดความร้อนและปล่อยไอออกมารวมตัวกับก๊าซฮาโลเจนก่อให้เกิดเป็น
แสงสว่างขึ้น ใช้พลังงาน 40 - 2,000 W ให้ปริมาณความสว่าง 490 - 44,000 lm มีอุณหภูมิของสี
2,800K มีดัชนีความถูกต้องของสี 90-100



ภาพที่ 14 หลอดทั้งสแตนฮาโลเจนแบบแท่งและแบบความดันต่ำ
(บริษัทจีวันไลต์ติ้งจำกัด,2011)

ข้อดี - หลอดไส้เป็นหลอดที่มีราคาถูก มีค่าดัชนีความถูกต้องของสีสูง เปิดแล้ว
ติดทันทีไม่ต้องใช้บัลลาสต์หรือสตาร์ทเตอร์ สามารถหรี่แสงได้โดยการปรับแสงดันที่เข้าหลอด
มีขนาดเล็ก กระทัดรัดและเบา แสงกระพริบน้อย

ข้อเสีย - หลอดไส้มีประสิทธิภาพต่ำในเรื่องของความสว่างและการใช้พลังงาน

อายุการใช้งานของหลอดสั้น เสื่อมสภาพไวกว่าหลอดประเภทอื่น

ในงานวิจัยอาคารปฏิบัติงานของช่างเชื่อมมีการใช้หลอดอินแคนเดสเซนต์ เป็นบางส่วนโดยเครื่องจักรบางชนิดจะมีหลอดประเภทนี้ติดอยู่กับตัวเครื่องเพื่อให้ความสว่าง และความปลอดภัย เนื่องจากเครื่องจักรมีการหมุนอยู่ตลอดเวลาทำให้ต้องใช้แสงจากหลอดที่มีการกระพริบน้อยและให้ภาพที่คมชัดสูง

5.1.2 หลอดดิสชาร์จ (Discharge lamps)

เป็นหลอดไม่มีไส้ที่เกิดจากการปล่อยประจุและรังสีอัลตราไวโอเล็ต ในหลอดมี สารฟลูออเรสเซนต์ช่วยเปล่งแสง หลอดดิสชาร์จแบ่งประเภทเป็นหลอดประเภทความดันต่ำ เช่น หลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ ประเภทความดันสูง เช่น หลอดเมทัลฮาไลด์ หลอดโซเดียมความดันสูง

- หลอดความดันต่ำ

หลอดฟลูออเรสเซนต์

เป็นหลอดไฟฟ้าระบบปล่อยประจุ ที่บรรจุไอปรอทความดันต่ำ เมื่อกระแสไฟฟ้า ไหลผ่านไอปรอทจะเปล่งแสงให้แสงสว่าง หลอดหลอดฟลูออเรสเซนต์ต้องใช้บัลลาสต์เป็นตัวเพิ่มแรงดันขณะจุดไส้หลอดและสตาร์ทเตอร์เป็นตัวช่วยจุดกระแสไฟให้หลอด แบ่งเป็นหลอด T5 T8 T12 ใช้พลังงาน 10 - 58W ให้ปริมาณความสว่าง 450 - 4,600 lm มีอุณหภูมิของสี 2,700 - 6,500K มีดัชนีความถูกต้องของสี 60 - 80



ภาพที่ 15 หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่าง ๆ
(บริษัทจีวันไลต์ติ้งจำกัด, 2011)

หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (CFL)

เป็นหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดที่มีบัลลาสต์ภายในแบบมีเขี้ยวและแบบเกลียว และชนิดแบบมีบัลลาสต์อยู่ภายนอก มีขาเสียบ เพื่อต่อเข้ากับบัลลาสต์ ใช้พลังงาน 5-55 W ให้ปริมาณความสว่าง 200 - 3,200 lm มีอุณหภูมิของสี 2,700 - 6,500K มีดัชนีความถูกต้องของสี 80 - 90



ภาพที่ 16 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ชนิดต่าง ๆ
(บริษัทจีวันไลต์ติ้งจำกัด, 2011)

- หลอดความดันสูง

หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal halides)

เป็นหลอดให้ไฟในความเข้มสูง หลอดมีขนาดเล็ก และมีประสิทธิภาพแสงมาก เป็นหลอดที่ใช้งานภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงได้ ใช้พลังงาน 35 - 2,000 W ให้ปริมาณ ความสว่าง 2,400 - 240,000 lm มีอุณหภูมิของสี 2,900 - 6,000K มีดัชนีความถูกต้องของสี 60 - 90



ภาพที่ 17 หลอดเมทัลฮาไลด์
(บริษัทจีวันไลท์จำกัด, 2011)

หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium Lamp)

เป็นหลอดที่มี arc tube มีขนาดเล็ก มีประสิทธิภาพแสงมาก เป็นหลอดที่ใช้งาน ภายใต้ความดันและอุณหภูมิสูงได้ ใช้พลังงาน 35 - 1,000 W ให้ปริมาณความสว่าง 2,400 - 130,000 lm มีอุณหภูมิของสี 2,000 - 2,200K มีดัชนีความถูกต้องของสี 30 - 50



ภาพที่ 18 หลอดโซเดียมความดันสูงแบบกลมกับแบบแท่ง

(Konze, 2004)

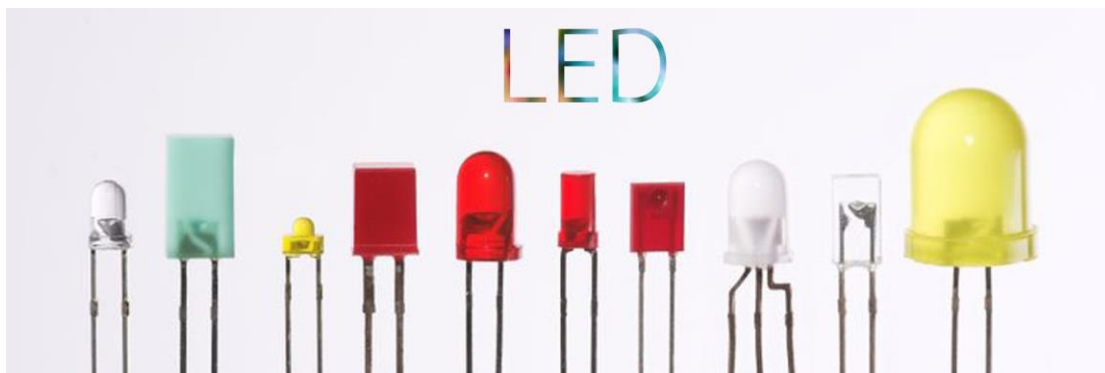
ข้อดี - หลอดฟลูออเรสเซนต์มีอายุการใช้งานค่อนข้างยาว เป็นที่นิยม ราคาหลอดถูก มีความเสื่อน้อย มีอุณหภูมิสีให้เลือกหลายหลาย ค่าความถูกต้องของสีปานกลาง ถึงมาก

ข้อเสีย - ประสิทธิภาพแสงไม่สูงทั้งปริมาณแสงและการใช้พลังงานจึงต้องใช้ปริมาณ มากทำให้เกิดความร้อน เปิดแล้วไม่ติดทันที มีการกระพริบของแสง ต้องใช้อุปกรณ์ประกอบหลาย ชนิดเช่น บัลลาสต์ สตาร์ทเตอร์ ขั้วรับ เป็นต้น ไม่ทนทานต่อความดันหรืออุณหภูมิที่สูงหรือต่ำ

ในงานวิจัยอาคารปฏิบัติงานของช่างเชื่อมใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิด T8 เป็นหลัก ปัญหาที่พบคือปริมาณแสงสว่างไม่เพียงพอเนื่องจากจำนวนน้อยทั้งยังเป็นหลอดที่มี ประสิทธิภาพต่ำและไม่มากพอทำให้พื้นที่ทำงานมีค่าความสว่างที่เหมาะสมอีกทั้งยังมีการกระพริบ ของแสงสว่างซึ่งไม่ปลอดภัยในขณะที่ทำงานกับเครื่องจักรที่มีการหมุน

5.1.3 หลอดไอโอดีนเปล่งแสง LED

เป็นหลอดที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดหนึ่ง จัดอยู่ในพวกไอโอดีนที่สามารถเปล่งแสง ในช่วงสเปกตรัมแคบได้ LED มี 2 รูปแบบคือ แบบ Lamp type เป็นเม็ดแอลอีดีที่ใช้ในอุปกรณ์ อิเล็กทรอนิกส์



ภาพที่ 19 หลอด LED แบบ Lamp type ที่ใช้ตามอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์
(แสงไฟต่อทคอม)

แบบ High Power LED เป็นเทคโนโลยีเซมิคอนดักเตอร์ ที่มีความสามารถ
ในการเปล่งแสงที่มีความเข้ม และความสว่างสูงชันมากใช้ผลิตเป็นหลอด LED

- หลอดไฟ LED BULB (หลอดกระเปาะ) ถูกนำมาแทนที่หลอดไส้ (Incandescent)
หรือหลอดตะเกียบ มีแผงวงจรในตัว ใช้พลังงาน 3 - 100 W ให้ปริมาณความสว่าง
1,000 - 8,100 lm มีอุณหภูมิของสี 2,700 - 6,500K มีดัชนีความถูกต้องของสี 60 - 80



ภาพที่ 20 หลอดไฟ LED BULB (หลอดกระเปาะ)
(แสงไฟต่อทคอม)

- หลอดไฟ LED TUBE (หลอดยาว) ถูกนำมาแทนที่หลอดนีออน หรือ
หลอดฟลูออเรสเซนต์ T5 ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 มิลลิเมตร และ T8 มีขนาด

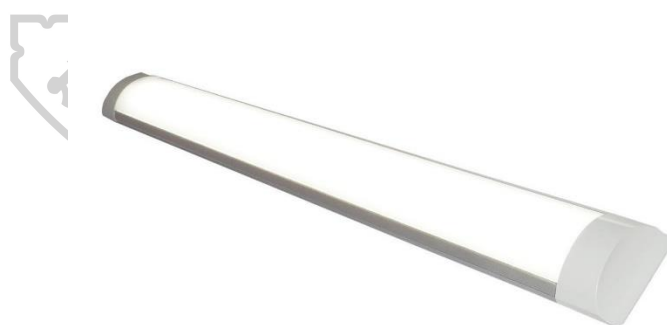
เส้นผ่านศูนย์กลางหลอด 26 มิลลิเมตร มีแผงวงจรในตัว ใช้พลังงาน 3 - 40 W ให้ปริมาณความสว่าง 1,000 - 8,100 lm มีอุณหภูมิของสี 2,700 - 6,500K มีดัชนีความถูกต้องของสี 60 - 80



ภาพที่ 21 หลอดไฟ LED TUBE (หลอดยาว)
(แสงไฟดอทคอม)

- หลอด LED Smartbright (Batten)

เป็นหลอดที่ผลิตขึ้นมาเป็นชุดครบวงจรในตัว ทั้งระบบราง หลอดและทิศทางของแสง เรียก Slimline LED เป็นหลอด T5 ใช้พลังงาน 10 - 40 W ให้ปริมาณความสว่าง 1,000 - 3,200 lm มีอุณหภูมิของสี 3,000 - 6,500K มีดัชนีความถูกต้องของสี 60 - 80



ภาพที่ 22 หลอด LED Smartbright (Batten) ชนิดครบวงจรในตัว
(แสงไฟดอทคอม)

ข้อดี - หลอด LED ให้แสงสีขาวที่แท้จริง อายุการใช้งานนาน ทนต่อแรงกระแทก อุณหภูมิต่ำ เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพทั้งเรื่องค่าความส่องสว่างและการใช้พลังงาน ไม่มีรังสี UV หลอดมีการกระพริบต่ำ

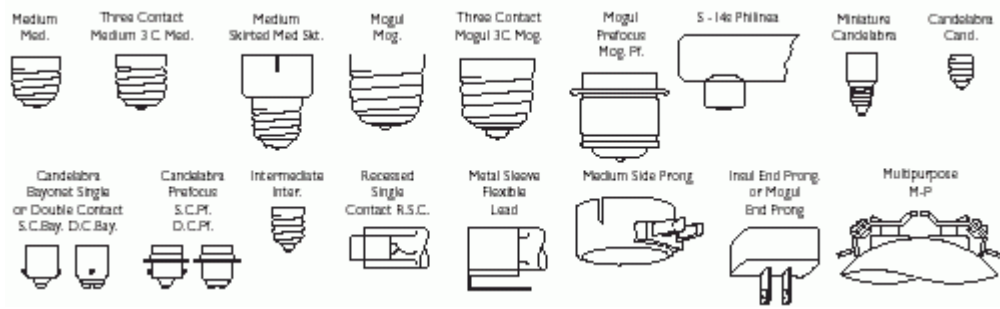
ข้อเสีย - ในปัจจุบันหลอด LED บางชนิดยังมีราคาสูง ต้องมีการระบายความร้อนของแผงวงจรที่ดี แรงดันไฟที่สม่ำเสมอจะส่งผลเสียกับหลอด

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบคุณสมบัติหลอดไฟแต่ละชนิด

ชื่อหลอด	กำลัง (W)	ปริมาณแสง (lm)	อุณหภูมิสี (K)	ดัชนีความถูกต้องของสี (CRI)
หลอดอินแคนเดสเซนต์ หลอดไส้	15-200	90-3,150	2,500-2,700	100
หลอดไส้ชนิดมีตัวสะท้อนแสง	25-300	210-1,300	2,500	100
หลอดไส้ทั้งสแตนฮาโลเจน	40-2,000	490-44,000	2,800	90-100
หลอดดิสชาร์จ หลอดฟลูออเรสเซนต์	10-58	450-4,600	2,700-6,500	60-80
หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์	5-55	200-3,200	2,700-6,500	80-70
หลอดเมทัลฮาไลด์	35-2,000	2,400- 240,000	2,900-6,000	60-90
หลอดโซเดียมความดันสูง	35-1,000	2,400- 130,000	2,000-2,200	30-50
หลอดโอดดเปล่งแสง LED หลอดไฟ LED BULB	3-100	1,000-8,100	2,700-6,300	60-80
หลอดไฟ LED TUBE	3-40	1,000-8,100	2,700-6,500	60-80

5.1.4 ขั้วหลอด

- ขั้วเกลียว E10 , E11 , E12 , E14 , E17 , E27 , E40 โดยตัวเลขหมายถึงเส้นผ่าศูนย์กลางของขั้วหลอด หน่วยเป็นมิลลิเมตร เป็นขั้วที่ใช้กับหลอดชนิด คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ หลอดไส้ หรือหลอด LED ที่มีลักษณะเป็นแบบ BULB



ภาพที่ 23 ขั้วเกลียวของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ

(Konze,2004)

- ขั้วเขี้ยว MR11 MR16 GU10 G4 G9 เป็นขั้วหลอดที่ใช้กับหลอดชนิด

ฟลูออเรสเซนต์ หลอด LED ที่มีลักษณะเป็นแบบ Tube



ภาพที่ 24 ขั้วเขี้ยวของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ

(Konze,2004)

5.2 หลอดโคม

5.2.1 หลอดโคมกระจายแสงลง (direct luminaire)

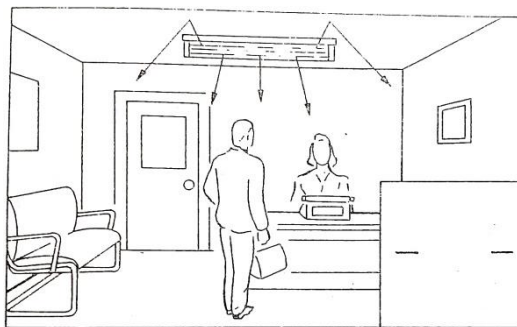
แสงปริมาณ 900-100% จะกระจายลงข้างล่าง ข้อดีคือสามารถควบคุมทิศทางของลำแสงไปในทางที่ต้องการได้ แต่จะเกิดความเปรียบต่าง (contrast) ของผนังกับหลอดโคม



ภาพที่ 25 หลอดโคมชนิดกระจายแสงลง
(พิบูลย์ ดิษฐอุตม, 2540)

5.2.2 หลอดโคมกระจายแสงแบบกึ่งกระจายลง (semi-direct luminaire)

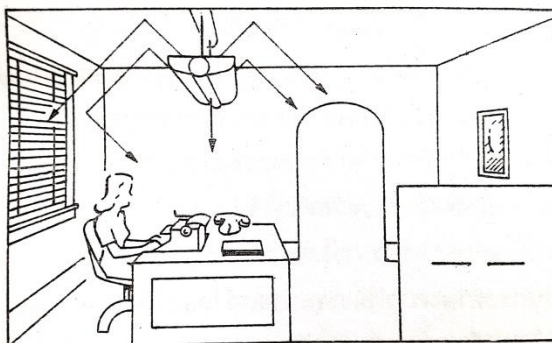
หลอดโคมชนิดนี้กระจายแสงลงข้างล่างประมาณ 60-90% และปล่อยแสงสู่เพดานประมาณ 10-40% ข้อดีคือช่วยลดความเปรียบต่าง (contrast) ของหลอดโคมกับเพดาน แต่ทำให้เกิดเงาบนพื้นงานได้ง่าย



ภาพที่ 26 หลอดโคมกระจายแสงแบบกึ่งกระจายลง
(พิบูลย์ ดิษฐอุตม, 2540)

5.2.3 หลอดโคมกึ่งกระจายแสงขึ้น (semi-direct luminaire)

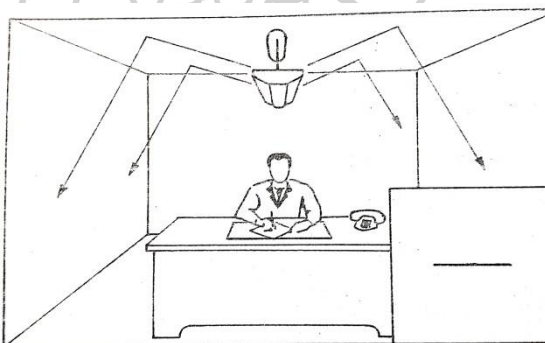
ปริมาณแสงกระจายขึ้นด้านบน 60-90% สู่เพดานแล้วปล่อยแสงที่เหลือกระจายลงสู่พื้น ทำให้เพดานสว่างและเพื่อให้มีประสิทธิภาพเพดานต้องเป็นวัสดุที่มีค่าสะท้อนแสงมาก การใช้โคมชนิดนี้ช่วยลดแสงจ้ารคายตา (discomfort glare)



ภาพที่ 27 หลอดโคมกิ่งกระจายแสงขึ้น
(พิบูลย์ ดิษฐอุตม,2540)

5.2.4 หลอดโคมแบบกระจายแสงขึ้น (direct luminaire)

ปริมาณแสงจากหลอดโคมเกือบทั้งหมด 90-100% กระจายขึ้นสู่เพดานและส่วนบนของผนังแล้วจึงสะท้อนสู่พื้นงาน ข้อดีคือแสงสม่ำเสมอทั่วห้อง



ภาพที่ 28 หลอดโคมแบบกระจายแสงขึ้น
(พิบูลย์ ดิษฐอุตม,2540)

6. ข้อกำหนดกฎหมายและเกณฑ์ที่เกี่ยวข้อง

6.1 กฎหมายที่เกี่ยวข้องกับความส่องสว่าง

6.1.1 กฎกระทรวงมาตรฐานความเข้มของการส่องสว่าง

กำหนดมาตรฐานในการบริหารจัดการและดำเนินการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่างและเสียง พ.ศ. 2559

ว่าด้วยเรื่องมาตรฐานความเข้มของการส่องสว่าง ที่ให้นายจ้างจัดสถานประกอบการให้ได้ตาม มาตรฐานที่ทางกฎกระทรวงกำหนด

ซึ่งกฎกระทรวงนี้ได้ถูกนำมาใช้เป็นมาตรฐานและข้อกำหนดในหลาย ๆ ส่วน ของกิจการในรัฐ เช่น อาคารเรียนปฏิบัติการช่างทั่วประเทศที่อยู่ในเครือสำนักงานคณะกรรมการ อาชีวศึกษา ศอศ. ก็ใช้มาตรฐานของอาชีวอนามัยในการออกแบบก่อสร้างอาคาร โดยมี ความส่องสว่างที่มาตรฐานกำหนดไว้ดังนี้

ตารางที่ 7 มาตรฐานความเข้มของแสงสว่างตามกฎกระทรวงอาชีวอนามัย (สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ & สำนักนายกรัฐมนตรี, 2560)

การใช้สายตา	ลักษณะงาน	ตัวอย่างลักษณะงาน	ค่าความเข้ม ของแสงสว่าง (ลักซ์)
งานหยาบ	งานที่มีชิ้นงานขนาดใหญ่สามารถ มองเห็นได้ชัดเจน มีความแตกต่างสี ชัดเจน	- งานหยาบที่ทำบนโต๊ะหรือเครื่องจักร ชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่กว่า 750 ไมโครเมตร - การตรวจงานหยาบด้วยสายตา การนับ การตรวจเช็คสิ่งของที่มีขนาดใหญ่ - งานตี และเชื่อมเหล็ก	200 - 300
งานละเอียดเล็กน้อย	งานที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลาง สามารถมองเห็นได้ชัดเจน มีความ แตกต่างของสีชัดเจน	- การทำงานที่ชิ้นงานมีขนาดปานกลาง - งานเจาะรู ทางกาว งานบันทึกคัดลอกข้อมูล	300 - 400
งานละเอียด	งานที่มีขนาดปานกลางหรือเล็ก สามารถมองเห็นได้ไม่ชัดเจน มีความ แตกต่างของสีปานกลาง	- งานที่มีขนาดชิ้นงาน 125 ไมโครเมตร - งานตรวจสอบแผ่นเหล็ก - งานไม้ละเอียดบนโต๊ะหรือเครื่องจักร	400 - 500

6.1.2 พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน

พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ. 2552 โดยกำหนดประเภท หรือขนาดของอาคารและมาตรฐาน ในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้

กำหนดการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในระบบอาคาร โดยไม่รวมพื้นที่จอดรถ

ตารางที่ 8 ข้อกำหนดในการใช้พลังงานไฟฟ้าแสงสว่างของอาคารแต่ละประเภทในกฎกระทรวงการอนุรักษ์พลังงาน

(รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน, 2552)

ประเภทอาคาร	ค่ากำลังไฟฟ้าส่องสว่างสูงสุด (วัดต่อตารางเมตรของพื้นที่ใช้งาน)
(ก) สถานศึกษา สำนักงาน	14
(ข) โรงมหรสพ ศูนย์การค้า สถานบริการ ห้างสรรพสินค้า อาคารชุมนุมคน	18
(ค) โรงแรม สถานพยาบาล อาคารชุด	12

6.2 เกณฑ์ในการประเมินแสงธรรมชาติ

6.2.1 ดัชนีแสงธรรมชาติ (DF)

ตารางที่ 9 เกณฑ์การประเมินค่า Daylight factor
(Stein, Benjamin, Reynolds, & John S, 1994)

ลักษณะการใช้งาน	ความต้องการแสง	ค่า DF %
การอ่านหนังสือและการใช้งานปกติ	หากใช้แสงธรรมชาติอย่างเดียวจะทำให้ห้องมืดต้องใช้แสงประดิษฐ์	1.5 - 2
การทำงานที่ใช้สายตาในที่หนึ่งๆเป็นเวลานานหรือมีอุปกรณ์ที่มีความเสี่ยงอันตราย	มีบริเวณที่ได้รับแสงธรรมชาติแต่ยังต้องการแสงประดิษฐ์เพิ่มเติมเป็นบางส่วน	2 - 5
งานที่มีความเสี่ยงสูงและอันตราย	พื้นที่ได้รับแสงสว่างมากจนเกิดความร้อนและแสงจ้าระคายตา	5 - 8

6.3 เกณฑ์ในการประเมินแสงประดิษฐ์

6.3.1 เกณฑ์การประเมินแสงจําระคายตา (UGR)

ตารางที่ 10 เกณฑ์แสงจําระคายตากับพื้นที่การใช้งาน

(CIE117-1995)

ค่า UGR	พื้นที่การใช้งาน
≤ 16	เขียนแบบ
≤ 19	อ่านหนังสือ เขียนหนังสือ ประชุม และการทำงานทั่วไป
≤ 22	งานประดิษฐ์และแสงในโรงงานอุตสาหกรรม
≤ 25	จักรกลหนัก
≤ 28	ชานชาลารถไฟ

6.4 เกณฑ์การประเมินความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง (Illuminance Uniformity)

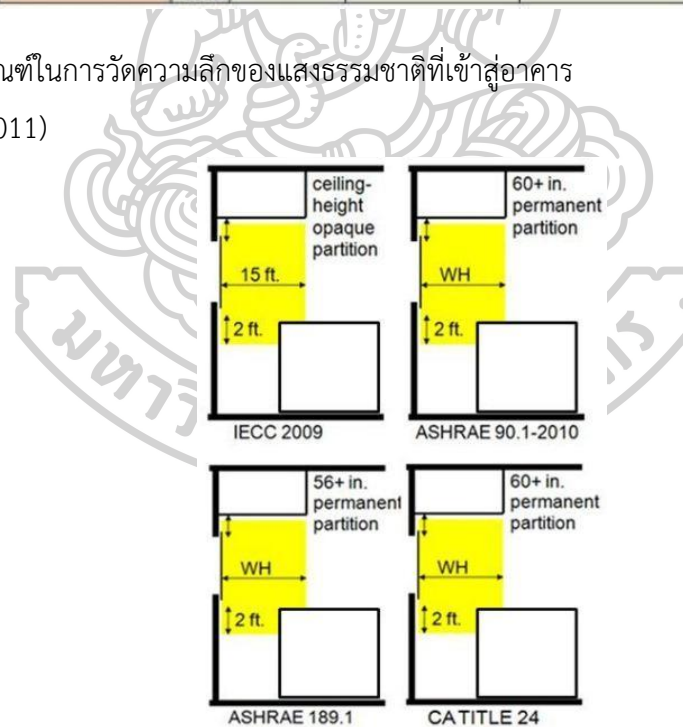
เกณฑ์ความสม่ำเสมอของแสงบนพื้นที่ทำงานและรอบข้างไม่น้อยกว่า 0.5 ของค่าความส่องสว่าง (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง, 2559)

6.5 เกณฑ์ในการประเมิน Daylight zone

เป็นเกณฑ์ในการวัดค่าความลึกของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่ภายในอาคาร โดยใช้เกณฑ์ของ IECC 2009 กล่าวว่า daylight zone จะเข้ามาภายในอาคารได้เท่ากับ 15 ft. หรือประมาณ 4.5 เมตร และกระจายออกด้านข้าง 2 ft. หรือประมาณ 0.60 เมตร

	IECC 2009	ASHRAE/IES 90.1-2010	ASHRAE 189.1-2009	California Title 24-2008
Optimal primary sidelighting daylight zone	Width = window width + 2 ft. on each side Depth = 15 ft.	Width = window width + 2 ft. on each side Depth = WH	Width = window width + 2 ft. on each side Depth = WH	Width = window width + 2 ft. on each side Depth = WH
Limitations (reduces ideal dimensions if shorter; if multiple limitations in conflict, the closer limitation applies)	If horizontal distance from glazing to adjacent windows < 2 ft., then limit daylight zone width to 1/2 distance to adjacent window If horizontal distance from glazing to nearest ceiling-height opaque partition < 15 ft., then limit daylight zone depth to distance to partition	If horizontal distance from glazing to nearest 60-inch or taller permanent partition < WH, then limit daylight zone depth to distance to partition	If horizontal distance from glazing to adjacent windows < 2 ft., then limit daylight zone width to 1/2 distance to adjacent window If horizontal distance from glazing to nearest 56-inch or taller permanent partition < WH, then limit daylight zone depth to distance to partition	If horizontal distance from glazing to nearest 60-inch or taller permanent partition < WH, then limit daylight zone depth to distance to partition
Contiguous zoning	Adjacent zones may be considered a single zone (with a single controller) as long the zone does not face more than two adjacent directions (north, east, west, south)	Adjacent zones are considered a single daylight zone, without double counting overlapping areas	No specific language allows this, implying each daylight zone requires at least one control zone	Adjacent zones are considered a single daylight zone, without double counting overlapping areas

ภาพที่ 29 เกณฑ์ในการวัดความลึกของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคาร (Cdilouie, 2011)



ภาพที่ 30 ผังพื้นที่ระยะที่แสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารในเกณฑ์การประเมิน Daylight zone (Cdilouie, 2011)

6.6 เกณฑ์ในการกำหนดจุดคำนวณในการเก็บข้อมูลค่าความส่องสว่าง

การคำนวณจะใช้พื้นที่เท่าๆกันทั้งด้านกว้างและด้านยาวซึ่งมีความสัมพันธ์กับขนาดห้อง และบริเวณชายขอบ 0.50 เมตร จะไม่นำมาคิดคำนวณ

ตารางที่ 11 ระยะห่างระหว่างและจำนวนจุดคำนวณ

(สมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง,2559)

ความยาวของพื้นที่ (เมตร)	ระยะห่างระหว่างจุด ไม่เกิน (เมตร)	จำนวนจุด ไม่น้อยกว่า (จุด)
0.40	0.15	3
0.60	0.20	3
1.00	0.20	5
2.00	0.30	6
5.00	0.60	8
10.00	1.00	10
25.00	2.00	12
50.00	3.00	17
100.00	5.00	20
≥200.00	10.00	-

6.7 เกณฑ์ในการพิจารณาระบบไฟฟ้าแสงสว่าง

6.7.1 เกณฑ์ในการพิจารณารูปแบบการจัดวางผังไฟ

การจัดวางผังไฟฟ้าแสงสว่างระยะห่างเฉลี่ยควรเท่ากันเพื่อให้ได้รับแสงสว่างสม่ำเสมอและทั่วถึง โดยต้องคำนึงถึงการจัดวางเครื่องมือและอุปกรณ์ภายในห้องเรียนปฏิบัติงานและการเปลี่ยนตำแหน่งเครื่องจักรในอนาคต แสงสว่างที่ได้โดยที่ไม่พึงแสงธรรมชาติจะต้องเพียงพอต่อการใช้งานและได้ตามมาตรฐานที่กำหนดและมีประสิทธิภาพมากกว่าหลอดในปัจจุบัน โดยใช้พลังงานน้อยกว่าแต่ให้ค่าความสว่างที่ดีกว่าในจำนวนหลอดที่เท่ากัน เพื่อลดการเปิดไฟในเวลากลางวันและลดการใช้พลังงานจากแสงสว่าง

6.7.2 เกณฑ์ในการพิจารณาเลือกชนิดหลอดและโคม

โคมที่ติดตั้งควรมีประสิทธิภาพสูงเมื่รวมกับการจัดวางผัง ต้องทำให้

ค่าความส่องสว่างเพียงพอและได้ตามมาตรฐาน ดูแล้งง่าย มีอายุการใช้งานนาน มีการกระพริบหรือ flicker light น้อยเพื่อคุณภาพในการมองเห็นขณะปฏิบัติงานช่วงและประหยัดพลังงานลดการใช้ไฟฟ้า

6.7.3 เกณฑ์ในการพิจารณาการให้แสงสว่างในห้องเรียนปฏิบัติงานช่วง

พื้นที่ปฏิบัติงานช่วงมีความต้องการลักษณะการให้แสงแตกต่างกันตามลักษณะและประเภทของการทำงาน ดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แนวทางการติดตั้งแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนปฏิบัติงานช่วง

กลุ่มเครื่องมือและพื้นที่ทำงาน	ลักษณะการให้แสงสว่าง	ค่าความส่องสว่าง (Lux)
เครื่องตัด เครื่องพับ เครื่องม้วน เครื่องตัด และขึ้นรูปแผ่นโลหะ	General lighting	300
เครื่องเจาะ	local lighting	500
เครื่องมือตัดเหล็ก	General lighting	300
เครื่องเชื่อมแก๊ส	General lighting	300
โต๊ะตรวจงาน	General lighting	300

หมายเหตุ วิเคราะห์จากหลักการให้แสงสว่างกับลักษณะงานของ (พิชัย ศิริทัศน์กุล, 2543)

6.8 เกณฑ์ในการประเมิน Correlation Coefficient (r)

Correlation Coefficient หรือ r คือ เกณฑ์ในการอธิบายความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นที่มีความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกันมากหรือน้อย มีค่าตั้งแต่ 0 – 1 สามารถอธิบายได้ดังตารางที่ 13

ตารางที่ 13 เกณฑ์ในการอธิบายความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้น (R^2)

(CORALINE CO. LTD, 2017)

0	มีความสัมพันธ์กันน้อย ความคลาดเคลื่อนสูง
0.5	มีความสัมพันธ์กันปานกลาง ความคลาดเคลื่อนปานกลาง
0.9	มีความสัมพันธ์กันมาก ความคลาดเคลื่อนต่ำ

7. ทฤษฎีการออกแบบที่เกี่ยวข้อง

7.1 หลักในการใช้แสงธรรมชาติด้านข้างอาคาร (side light)

แสงธรรมชาติให้ความสว่าง บรรยากาศที่ช่วยให้ภายในอาคารน่าใช้งานและยังช่วยลดค่าใช้จ่ายด้านพลังงานลง แต่การมีช่องเปิดเพื่อนำแสงธรรมชาติเข้ามาต้องคำนึงถึงความเหมาะสมกับอาคารโดยแสงธรรมชาติที่ได้มาจาก 2 ทิศทางหลัก คือ ช่องเปิดจากด้านบน (Top light) และช่องเปิดด้านข้าง (side light)

(M. David Egan & Victor Olgyay, 2002)

แบ่งการเปิดช่องเปิดหน้าต่างบนผนังเป็น 3 ช่วง

7.1.1 หน้าต่างช่วงบน (Upper window)

มีความสูงจากพื้น 2 เมตร ขึ้นไป หน้าต่างชนิดนี้ให้แสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกที่สุด ทั้งแสงโดยตรงและแสงกระจาย ข้อดีคือลดปัญหาแสงจ้า (glare) เพราะช่องเปิดอยู่ตำแหน่งเหนือระดับสายตา แต่ข้อเสียคือจะไม่ได้รับปริมาณแสงที่เพียงพอในตำแหน่งที่อยู่ใกล้ช่องเปิดจะมี และไม่ได้รับทัศนวิสัยในการมองเห็น

7.1.2 หน้าต่างช่วงกลาง (middle window)

มีความสูงจากพื้นห้อง 0.90 – 2.00 เมตร เป็นหน้าต่างที่ทำให้ได้รับแสงสว่างโดยตรงและจากการสะท้อน แต่แสงที่เข้ามาไม่ลึกและประสิทธิภาพการสะท้อนแสงจากพื้นน้อยกว่า หน้าต่างชนิดช่วงกลางและประสิทธิภาพการกระจายแสงได้น้อยกว่าหน้าต่างช่วงบน โดยความลึกของแสงสว่างที่เพียงพอของหน้าต่างชนิดนี้อยู่ที่ 2.00 -3.00 เมตร ได้รับทัศนวิสัยในการมองเห็น แต่จะเกิดปัญหาแสงจ้า (glare) และความร้อนในบริเวณที่อยู่ใกล้ช่องเปิด ซึ่งแก้ไขด้วยการใช้แผงบังแดดเพื่อย่นร่มเงาไม่ให้แสงแดดส่องเข้ามาในอาคารโดยตรง

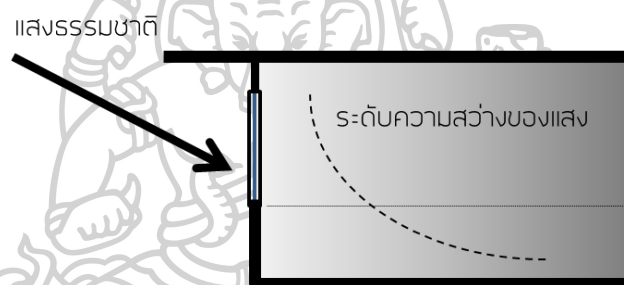
7.1.3 หน้าต่างช่วงล่าง (lower window)

มีความสูงพื้นห้อง 0.00 – 1.50 เมตร เป็นหน้าต่างที่จะได้รับแสงสะท้อนจากบริเวณข้างเคียงและจากการสะท้อนพื้นดิน หน้าต่างชนิดนี้ไม่ค่อยมีปัญหาเรื่องแสงจ้า (glare) และความร้อน แต่เกิดปัญหาด้านทัศนวิสัยในการมองเห็นและความแปรปรวนของผนังเหนือช่องเปิดและฝ้าเพดาน

ข้อดี - ช่องเปิดตรงกับระดับสายและระดับตัวคน ซึ่งจะทำให้มองเห็นภายนอกและช่วยให้ลมพัดผ่านได้ดี สามารถเปิดช่องเปิดได้ทุกชั้นที่ติดกับกรอบของอาคาร

ข้อเสีย - การเปิดช่องเปิดด้านข้างอาจทำให้เกิดแสงจ้าระคายตาได้ แสงที่เข้าสู่อาคารด้วยช่องเปิดด้านข้างจะเข้ามาได้ไม่ลึก พื้นที่ที่ได้รับแสงสว่างมีเพียงใกล้กรอบอาคาร ทำให้ภายในห้องที่ลึกมีมืดและเกิดความแตกต่างของแสงมาก โดยปัจจัยที่จะทำให้แสงเข้ามาในอาคารมากขึ้นขึ้นอยู่กับสภาพท้องฟ้าและอาคารรอบข้าง

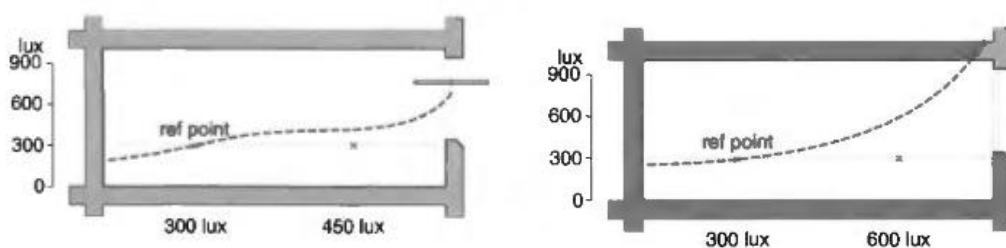
ลักษณะแสงช่องเปิดด้านข้าง โดยปกติแสงธรรมชาติจะผ่านเข้ามาในอาคารได้ลึก 2.50 เท่า ของความสูงช่องเปิด โดยที่ความลึกของห้องไม่ควรเกิน 2.50 H ของความสูง แสงสว่างจะลดลงเรื่อย ๆ เมื่อความลึกมากขึ้น ซึ่งค่า daylight factor ควรอยู่ที่ 2-5% ดังภาพที่ 31



ภาพที่ 31 ภาพตัดสัดส่วนของความสูงช่องเปิดด้านข้างกับแสงที่ธรรมชาติที่เข้าสู่อาคาร (บุญยวีร์ เต็มทนานันท์, 2554)

7.2 หิ้งสะท้อนแสง (light shelves)

ในพื้นที่ลึกหรือได้รับแสงน้อยจนเกิดปัญหาแสงไม่พอต้องใช้แสงจากไฟประดิษฐ์เข้ามาช่วย ซึ่งตัวหิ้งสะท้อนแสงเป็นสิ่งที่ช่วยให้แสงธรรมชาติกระจายเข้ามาได้ลึกมากขึ้น ทำให้ค่าความสว่างของห้องที่มีหิ้งสะท้อนแสงมีปริมาณมากกว่าห้องที่ไม่มีหิ้งสะท้อน ดังภาพที่ 32



ภาพที่ 32 ภาพตัดการกระจายแสงในห้องที่มีหิ้งสะท้อนแสงช่วยกับห้องที่ไม่มีหิ้งสะท้อนแสง (Baker, Nick, Steemers, 2014)

โดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงนั้นจะติดตั้งให้อยู่เหนือระดับสายตาและต่ำลงมา จากขอบของช่องเปิด มีการยื่นออกภายนอกและเข้ามาภายในเป็นเหมือนสะพานนำแสงเข้ามา กระจายสู่เพดานด้านบนเพื่อให้เพดานสว่างและกระจายลงสู่พื้นที่ทำงานด้านล่าง ซึ่งหิ้งสะท้อนแสง ควรถูกออกแบบพร้อมกับแผงบังแดดเพื่อลดความจ้าของแสงจากระกายตา แสงรบกวน ความร้อน แต่ยังคงได้ความสว่าง สามารถแบ่งได้ตามประเภทต่าง ๆ ดังนี้

7.2.1 หิ้งสะท้อนแสงนอกอาคาร (External light shelves)

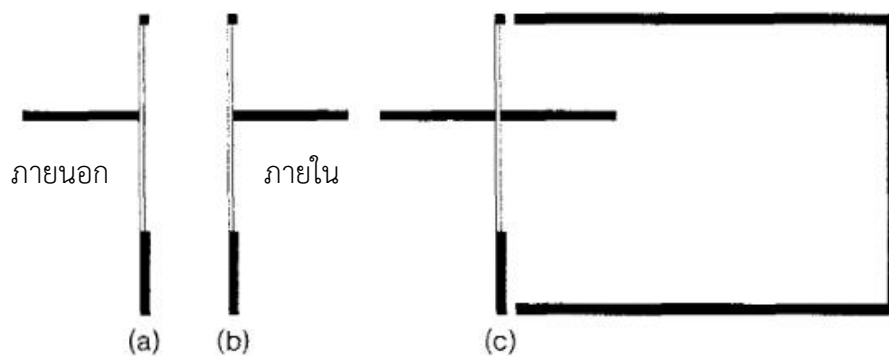
ลักษณะเป็นแผ่นที่ยื่นยาวออกไปจากตัวอาคาร เหมาะกับอาคารที่อยู่ในภูมิอากาศ เขตร้อน เนื่องจากช่วยสะท้อนปริมาณแสงแดดที่มากเกินไปลดทอนแสงจากระกายตา ก่อนเข้าสู่อาคาร

7.2.2 หิ้งสะท้อนแสงในอาคาร (Internal light shelves)

ลักษณะเป็นแผ่นยื่นยาวเข้ามาภายในอาคาร เหมาะกับอาคารในภูมิอากาศ เขตหนาว เนื่องจากช่วยดึงแสงธรรมชาติที่มีปริมาณไม่มากและไม่คงที่เข้าสู่ภายในอาคารให้มากที่สุด

7.2.3 หิ้งสะท้อนแสงแบบผสมผสาน (Combined shelves)

ลักษณะเป็นแผ่นยาวอยู่กึ่งกลางระหว่างผนังด้านนอกและด้านใน เหมาะสำหรับ ภูมิอากาศเขตอบอุ่นที่ปริมาณแสงปรับเปลี่ยนไประหว่างวัน



ภาพที่ 33 ภาพตัดประเภทหิ้งสะท้อนแสงแบบต่าง ๆ (Claude L. Robbins, 1986)

7.3 ฝ้าเพดานกับการกระจายแสง

ฝ้าเพดานมีส่วนช่วยในการกระจายแสงทำให้มีค่าความสว่างที่ดีขึ้นซึ่งขึ้นอยู่กับช่องเปิด และรูปร่างของฝ้าเพดาน ยังมีข้อกมมมากมายทำให้การกระจายแสงสว่างได้ไม่ดี



ภาพที่ 34 ภาพตัดลักษณะฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ กับการกระจายแสงสว่าง
ชนิดแบบคานเป็นฝ้าที่กระจายแสงได้แย่มากที่สุด (ซ้าย) ชนิดแบบเรียบกระจายแสงได้ดี (กลาง) ชนิดแบบโค้งกระจายแสงได้ดีที่สุด (ขวา)

(William M. C. Lam,2529)

7.3.1 ฝ้าเพดานชนิดสามเหลี่ยม

เป็นฝ้าเพดานที่ให้การกระจายแสงสว่างได้ดีที่สุดเนื่องจากแสงมีการสะท้อนที่เพดานและกระจายลงในมุมที่เหมาะสมทำให้พื้นที่ด้านในของห้องที่ไม่ติดช่องเปิดยังคงได้รับแสงสว่าง



ภาพที่ 35 ฝ้าเพดานชนิดสามเหลี่ยม

(William M. C. Lam,2529)

7.3.2 ฝ้าเพดานชนิดเรียบ

เป็นฝ้าเพดานที่กระจายแสงได้ปานกลาง การสะท้อนและกระจายแสงจะอยู่บริเวณใกล้ช่องเปิดและค่าความสว่างจะลดต่ำลงเมื่อใกล้ช่องเปิดทำให้พื้นที่ด้านในมีแสงสว่างน้อย ความสูงของฝ้าเพดานชนิดตรงมีผลต่อการสะท้อนและกระจายแสงยิ่งฝ้าเพดานต่ำยิ่งทำให้การกระจายแสงไม่ดีเท่าฝ้าเพดานที่สูงขึ้นไปเหนือช่องเปิด



ภาพที่ 36 ฝ้าเพดานชนิดโค้ง

(William M. C. Lam,2529)

7.3.3 ฝ้าเพดานชนิดโค้ง

เป็นฝ้าเพดานที่ให้การกระจายแสงสว่างได้ดีเนื่องจากแสงมีการสะท้อนที่เพดานและกระจายไปทั่วห้องทุกทิศทาง ทำให้แสงสว่างทั่วถึง



ภาพที่ 37 ฝ้าเพดานชนิดโค้ง
(William M. C. Lam,2529)

7.3.4 ฝ้าเพดานชนิดคาน

เป็นฝ้าเพดานที่กระจายแสงได้ดีต่ำที่สุดเนื่องจากแสงจากช่องเปิดถูกปิดกั้นจากคาน ทำให้การกระจายแสงไม่สม่ำเสมอและลดลงมากเมื่อห่างจากช่องเปิดทำให้ห้องข้างในมืด



ภาพที่ 38 ฝ้าเพดานชนิดคาน
(William M. C. Lam,2529)

7.4 ทฤษฎีการออกแบบห้องเรียนปฏิบัติงานช่าง

การออกแบบระบบแสงสว่างของโรงงานอุตสาหกรรมนอกจากปริมาณความสว่างที่เหมาะสมแล้วยังเกี่ยวข้องกับเรื่องประสิทธิภาพของระบบแสงสว่างเพื่อความปลอดภัยในการทำงานอีกด้วย การติดตั้งระบบแสงสว่างที่ดีจะช่วยเพิ่มผลผลิตได้ 20% ในชั่วโมงการทำงานเท่าเดิม สามารถลดผลัดการทำงานเหลือเพียง 2 ผลัด ลดจำนวนวัสดุเหลือทิ้งได้ 15% ลดจำนวนอุบัติเหตุของพนักงานและเครื่องจักรได้ 30% ต่อปี และประหยัดค่าไฟฟ้าลง 25% ต่อเดือน (พิชัย ศิริทัศนกุล, 2543)

และในหลักการออกแบบห้องปฏิบัติงานช่างของสถานศึกษาในเครือทั่วประเทศไทย ได้ใช้หลักการออกแบบโรงงานอุตสาหกรรมและกฎกระทรวงที่กำหนด ดังนั้นจึงควรใช้หลักเกณฑ์ในการออกแบบระบบแสงสว่างโรงงานอุตสาหกรรม ดังนี้

7.4.1 ระบบแสงสว่างในเชิงปริมาณ

ในการออกแบบปริมาณแสงสว่างทางกฎกระทรวงกล่าวว่าควรมากกว่าหรือเท่ากับเกณฑ์ที่กำหนดให้เนื่องจากอาคารเหล่านี้เมื่อใช้งานไปจะเกิดความเสื่อมสภาพและสกปรกตามเวลาและไม่สามารถทำความสะอาดได้บ่อยครั้ง

ตารางที่ 14 เกณฑ์มาตรฐานในการออกแบบระบบแสงสว่างของโรงงานอุตสาหกรรมเหล็ก
(สมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง,2559)

ชนิดของงานหรือกิจกรรมภายใน	E (Lux)	UGRL	U
การตีขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ชนิดเปิด (open die forging)	200	25	0.6
การทุบกระแทก, เชื่อม, ขึ้นรูปเย็น (drop forging, welding, cold forming)	300	25	0.6
การตกแต่งด้วยเครื่องมือกล อย่างหยาบและปานกลาง: เกณฑ์ความคลาดเคลื่อน ≥ 0.1 mm (rough & average machining: tolerances ≥ 0.1 mm)	300	25	0.6
การทำแผ่นเพลทด้วยเครื่องมือกล ≥ 5 mm (plate machining ≥ 5 mm)	200	25	0.6
งานโลหะแผ่น (sheet metal work) < 5 mm	300	22	0.6
ทำเครื่องมือ: อุปกรณ์ตัด (tool making: cutting equipment)	750	19	0.7

7.4.2 ระบบแสงสว่างในเชิงคุณภาพ

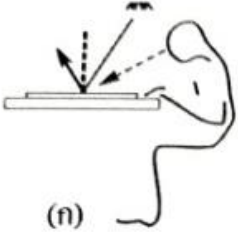
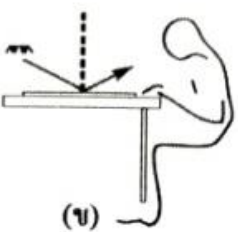
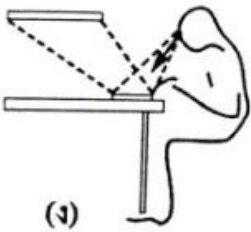
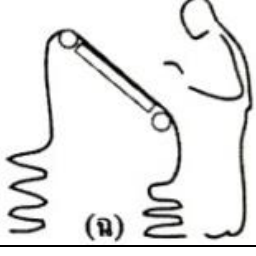
คืออัตราส่วนความจ้าระหว่างชิ้นงานกับพื้นที่ข้างเคียง การสะท้อนเข้าสู่หลอดตา สีเงา ความสม่ำเสมอของแสงสว่าง (uniformity) ซึ่งสามารถส่งผลกระทบต่อสมรรถนะในการมองเห็นของหลอดตาผู้ปฏิบัติงาน โดยมีเกณฑ์ไม่ต่ำกว่า 0.5 หรือ 1/3 ของความส่องสว่าง (The Unified Glare Rating, CIE117-1995)

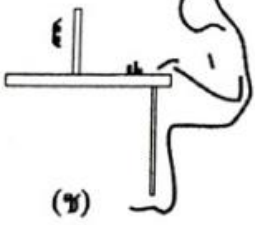

การให้แสงสว่างในเชิงคุณภาพสามารถแบ่งได้หลายแบบดังนี้ การให้แสงสว่างแบบทั่วไป (general lighting) การให้แสงสว่างบริเวณพื้นที่ (localised lighting) การให้แสงสว่างเฉพาะจุดทำงาน (local lighting)

- ตำแหน่งในการให้แสงสว่างกับการทำงาน

บางชิ้นงานในกระบวนการทำงานจะต้องมีการตรวจสอบไปด้วยในตัวแสงสว่างที่ส่องมาในมุมและตำแหน่งต่าง ๆ มีผลต่อการมองเห็นวัตถุที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ตัวอย่างการให้แสงสว่างในตำแหน่งต่าง ๆ ในการทำงานอุตสาหกรรม
(ยึงสวัสดิ์ ไชยะกุล,2012)

 <p>(ก)</p>	<p>การให้แสงสว่างแบบป้องกันการสะท้อนแสงรบกวนหลอดตา (veiling glare) โดยให้แสงจากด้านบนเหนือศีรษะแต่ลำแสงส่องไปที่ผลงานและให้แสงสะท้อนออกไปในมุมตรงข้าม</p>
 <p>(ข)</p>	<p>การให้แสงสว่างแบบย้อนเข้าหาตัวผู้ปฏิบัติงานเพื่อตรวจสอบรายละเอียดและแสงที่สะท้อนกระจายขึ้นมามีจะต้องไม่อยู่ในมุมของสายตา</p>
 <p>(ค)</p>	<p>การให้แสงส่องเข้ามาในมุมต่ำเพื่อให้มองเห็นพื้นผิวที่ไม่เรียบ</p>
 <p>(ง)</p>	<p>การให้แสงจากแหล่งกำเนิดแสงใหญ่ (area source) ช่วยในการตรวจสอบจุดบกพร่องของพื้นผิวมันเงา</p>
 <p>(จ)</p>	<p>การให้แสงแบบกระจายจากแหล่งกำเนิดแสงบนพื้นที่ ช่วยในงานตรวจตัวอักษร</p>
 <p>(ฉ)</p>	<p>การให้แสงจากด้านหลังย้อนขึ้นมาแล้วแผ่กระจายบนพื้นระนาบทำงานช่วยในการตรวจสอบวัตถุที่มีความโปร่งแสง เช่น งานโต๊ะเขียนแบบชนิดมิไฟ</p>

 <p>(ข)</p>	<p>การให้แสงแบบเพื่อให้เกิดเงาดำ (silhouette) ช่วยในการตรวจระดับ</p>
 <p>(ช)</p>	<p>การให้แสงแบบตรง (directional lighting) เพื่อดูรูปร่างและพื้นผิว</p>

- การจัดวางแผนโรงฝึกงาน

หมายถึงการจัดวางแผนเพื่อจัดวางเครื่องมืออุปกรณ์รวมถึงอำนวยความสะดวกในโรงฝึกงาน โดยแบ่งประเภทของโรงฝึกงานเป็น 3 ชนิด

แบบที่ 1 โรงฝึกงานที่มีการสอนหมวดงานช่างทั่วไปหลายหมวดในโรงฝึกงานเดียวกัน

แบบที่ 2 โรงฝึกงานที่มีการสอนหมวดวิชาช่างใดช่างหนึ่งเพียงอย่างเดียว

แบบที่ 3 โรงฝึกงานที่ใช้สอนงานเฉพาะช่างเพียงช่างเดียว (unit shop) เป้าหมายคือเพื่อให้เกิดความชำนาญ เช่น ช่างกลโรงงาน ช่างเชื่อมโลหะ ซึ่งต้องมีการจัดเครื่องจักรให้ใกล้เคียงกับโรงงานอุตสาหกรรมจริง ซึ่งโรงฝึกงานแบบนี้จึงมีในสถาบันอาชีวศึกษาเป็นส่วนใหญ่ (พิชัย ศิริทัศน์กุล,2543)

- หลักพื้นฐานในการจัดและวางแผนโรงฝึกงาน

หลักในการออกแบบควรยึดจากวัตถุประสงค์ของโครงการศึกษา ซึ่งแบ่งเป็น 2 ประเภทคือเพื่อการอุตสาหกรรมศิลปศึกษาและเพื่ออาชีวศึกษาทางการช่างอุตสาหกรรม ที่มีความสะดวกสบายในการใช้โรงฝึกงาน ความสำเร็จและคุณภาพของงานจะมีส่วนเกี่ยวเนื่องมาจาก

สภาพแวดล้อมและสถานที่ปฏิบัติงาน โดยต้องคำนึงถึงผู้เรียนทั้งเพศ วัย และสิ่งอำนวยความสะดวก
ต้องคำนึงถึงในกรณีที่เป็นต้องต่อเติมขยายอาคารเพื่อเพิ่มพื้นที่เก็บและปฏิบัติงานในอนาคต
(พิชัย ศิริทัศน์กุล,2543)

- การวางแผนจัดโรงฝึกงาน

การสร้างโรงฝึกงานควรสร้างเป็นอาคารชั้นเดียวแต่หากมีมากกว่า 2 ชั้นควรมี
การจัดลำดับวัตถุประสงค์ในการใช้งานและภาระน้ำหนัก (load) ซึ่งอาคารฝึกงานควรอยู่ห่างจาก
อาคารเรียนเพื่อไม่ให้เกิดความรบกวนและควรตั้งอยู่ในแนวทิศเหนือและตะวันออกเพื่อให้ได้รับ
แสงสว่างธรรมชาติสม่ำเสมอ โรงฝึกงานควรมีทางเดินโดยรอบและประตูเข้าออกควรมีทางลาด
เพื่อการขนย้ายวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ โดยรูปทรงอาคารที่ควรออกแบบควรเป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
โดยมีความกว้าง : ความยาว = 1 : 1.5 หรือ 1 : 2 ขนาดและพื้นที่ของอาคารขึ้นอยู่กับรูปแบบ
ของโรงฝึกซึ่งในแบบที่ 3 ควรมีนักเรียนไม่เกิน 15 คนต่อหนึ่งคาบเรียน โดยพื้นที่ต่อคนต่ำสุดอยู่
ที่ประมาณ 4.60 ตารางเมตร/คน และสูงสุดอยู่ที่ประมาณ 11.60 ตารางเมตร/คน ดังตารางที่ 16
ตารางที่ 16 ความต้องการพื้นที่ใช้งานต่อจำนวนนักเรียน
(พิชัย ศิริทัศน์กุล,2543)

ประเภทของโรงฝึกงาน	พื้นที่ ตารางเมตร / คน	รวมเนื้อที่ทั้งหมด ตารางเมตร
โรงฝึกงานแบบงานช่างเดี่ยว (แบบที่3)		
งานช่างกลโรงงาน (ช่างกลึง)	7 - 7.50	125 - 142
ห้องเขียนแบบ	4.60 - 5.50	83.60 - 100
ช่างเชื่อม	5.50 - 6.50	100 - 117
ช่างยนต์	9.20 - 13.90	167 - 250.80
อิเล็กทรอนิกส์ (วิทยุ - โทรทัศน์)	5.50	100
ช่างตู้เย็น	7.50 - 8.30	133.70 - 150.50
ช่างปรับอากาศ	8.30 - 9.20	150.50 - 167
ช่างพิมพ์	7.80 - 9.20	142 - 167
ช่างไม้เฟอร์นิเจอร์	7.50 - 9.20	133.70 - 140
ช่างไม้ทั่วไป	10.20 - 13.90	183.90 - 250.80
ช่างก่อสร้าง	12 - 14	215.50 - 251

- การออกแบบพื้น

พื้นผิวที่ใช้งานในอาคารปฏิบัติงานมีความแตกต่างกันตามแต่ละกิจกรรม และวัตถุประสงค์ในการใช้งาน ดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 พื้นผิวที่เหมาะสมกับประเภทของงานช่างในโรงฝึกงาน (พิชัย ศิริทัศนกุล,2543)

ประเภทของกิจกรรมงานช่าง	ชนิดของพื้น		
	ซีเมนต์	กระเบื้องยาง	ไม้เนื้อแข็ง
ห้องวางแผนและเขียนแบบ		X	X
งานช่างไม้ (เครื่องมือ)	X		X
งานช่างไม้ (เครื่องจักร)	X		X
ห้องตกแต่ง (พ่นสี ทาสี ทาเชลแล็ค แลคเกอร์)	X		X
ห้องเก็บของ	X		X
ห้องพักครู		X	
งานเชื่อมโลหะ	X		
ช่างกลโรงงาน	X		
งานโลหะแผ่น (แทนงานงาน)			X
งานโลหะศิลป์ (art metal)		X	X
งานหล่อ	X		
งานตีเหล็ก	X	X	X
งานไฟฟ้า		X	X
งานพิมพ์		X	
งานช่างยนต์	X		
เครื่องปั้นดินเผา	X		

- การออกแบบผนัง

โดยทั่วไปเป็นการก่ออิฐถือปูนหรืออิฐบล็อกและบางครั้งมีการใช้บล็อกแก้วเพื่อช่วยเพิ่มแสงสว่างโดยมีการทาสีภายในอาคารเพื่อช่วยให้อาคารดูสวยงาม น่าใช้ มีแรงจูงใจ

ในการทำงานและเพื่อความปลอดภัย ซึ่งสีที่ใช้ทามีค่าการสะท้อนแสงดังตารางที่ 18

ตารางที่ 18 ค่าการสะท้อนแสงของสีต่าง ๆ

(พิชัย ศิริทัศนกุล,2543)

สี	ค่าการสะท้อนแสง (%)	สี	ค่าการสะท้อนแสง (%)
ขาว	84	เทาอ่อน	53
ครีม	70	น้ำตาล	23
เหลือง	60	เขียวแก่	9
เขียวอ่อน	53	ดำ	10

- การออกแบบหน้าต่าง

หน้าต่างควรมีอย่างน้อยสองด้าน อยู่ทิศเหนือและตะวันออก สูงจากพื้นของอาคาร 1 เมตร เป็นชนิดบานเปิดหรือบานเกล็ด เพื่อต้องการแสงสว่างและระบายอากาศ โดยพื้นที่ของหน้าต่างควรเป็น $\frac{1}{4}$ ของพื้นที่อาคาร

- การออกแบบฝ้าเพดานและหลังคา

ฝ้าเพดานควรสูงอย่างน้อย 3.60 – 4.20 เมตร

- สีของเครื่องจักร

มาตรฐานได้กำหนดให้เครื่องจักรทุกชนิดต้องทาสีเขียวแก่ หรือเทา ขึ้นส่วนของเครื่องจักรที่มีการหมุนต้องทาสีส้มหรือสีเหลือง และบริเวณสวิตซ์ไฟฟ้าและเขตปลอดภัย (safety zone) ให้ทาสีแดงสด

8. โปรแกรมในการประเมินแสงสว่าง

ในการประเมินแสงสว่างทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ในปัจจุบันนิยมใช้โปรแกรมในการจำลองและประมวลผลด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อผลที่แม่นยำและน่าเชื่อถือซึ่งแต่ละโปรแกรมมีความสามารถในการจำลองและแสดงผลที่แตกต่างกัน โปรแกรมที่ใช้ประเมิน

แสงสว่างที่นิยมในประเทศไทย ได้แก่

8.1 Relux

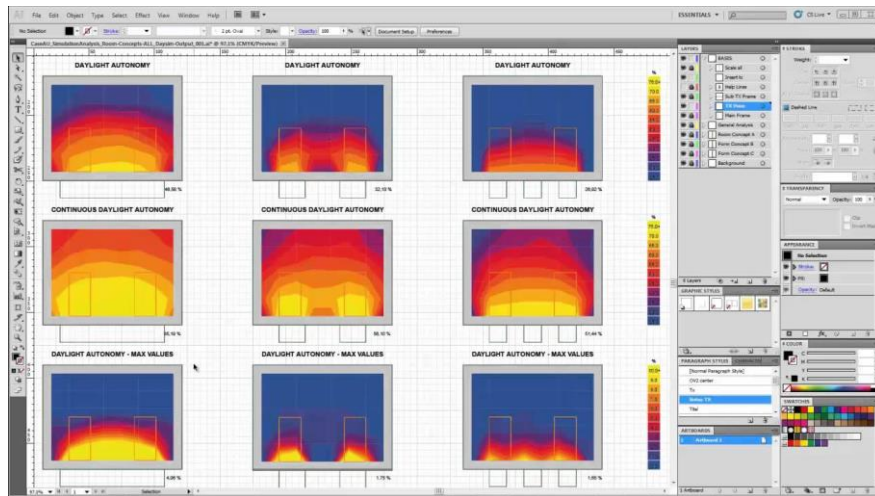
เป็นโปรแกรมฟรีแวร์ที่สามารถจำลองและประเมินแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ได้ทั้งภายนอกและภายใน เป็นโปรแกรมที่หน้าตาใช้งานใกล้เคียงกับโปรแกรม Dialux 4.12 โดยมีหน้าตาคำสั่งค่อนข้างซับซ้อนและใช้งานยากเนื่องจากเป็นโปรแกรมเก่าจึงไม่ค่อยเป็นที่นิยม



ภาพที่ 39 หน้าต่างในการทำงานของโปรแกรม Relux

8.2 Daysim

เป็นโปรแกรมสำหรับจำลองแสงธรรมชาติซึ่งต้องใช้ร่วมกับหลายโปรแกรมในการใส่ค่าเพื่อให้โปรแกรม Daysim แสดงผล เช่น Ecotect analysis , rediance , weather data เป็นต้น ซึ่งโปรแกรม Daysim สามารถประเมินและแสดงผลได้หลากหลายและค่อนข้างละเอียด



ภาพที่ 40 หน้าต่างในการทำงานของโปรแกรม Daysim

8.3 Dialux Evo

เป็นโปรแกรมฟรีแวร์ที่พัฒนามาจาก 4.12 สามารถจำลองและประเมินแสงธรรมชาติ และแสงประดิษฐ์ได้ทั้งภายนอกและภายใน มีหน้าต่างคำสั่งที่ใช้ทำงานง่าย สะดวก และสามารถแสดงผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นที่นิยมใช้ในประเทศไทย

8.3.1 ตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้โปรแกรม Dialux 4.12 version

การออกแบบห้องสะท้อนแสงและฝ้าเพดานเพื่อการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติ สำหรับอาคารสำนักงาน โดย วรภัทร อังสนันวัฒนา ระดับมหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ 2549

ผู้วิจัยเลือกงานวิจัยนี้เป็นตัวอย่างในการศึกษาเนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม Dialux ซึ่งสามารถจำลองและประมวลผลได้ทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ทั้งภายนอกและภายในอาคาร วิธีการศึกษาที่ใช้ห้องสะท้อนแสงเป็นตัวแปรในการศึกษาซึ่งสอดคล้องกับข้อสันนิฐานในการศึกษาของผู้วิจัย

เครื่องมือในการวิจัย : โปรแกรม Dialux 4.1

ตัวแปรต้น	ตัวแปรควบคุม	ตัวแปรตาม
ระดับความสูง , ระยะยื่น รูปทรง , สัดส่วน	สภาพแวดล้อมทั้งภายนอก และภายใน , ทิศทางการวาง อาคาร , สภาพท้องฟ้า ช่วงเวลา , ค่าการสะท้อนของ วัสดุ	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง , ค่า ความสม่ำเสมอของแสง

วิธีการศึกษา

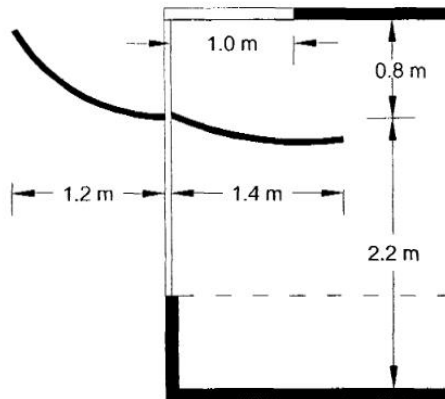
1. หิ้งสะท้อนแสงภายนอก

โดยการติดตั้งระดับความสูงหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ที่ระยะ 2.40 / 2.20 / 2.00 / 1.80 เมตร โดยมีระยะยื่นของหิ้งสะท้อน ที่ระยะ 0.80 / 1.00 / 1.20 / 1.40 เมตร และรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงภายนอกแบบต่าง ๆ

2. หิ้งสะท้อนแสงภายใน

กำหนดความลึกของหิ้งสะท้อน ที่ระยะ 0.60 / 1.00 / 1.40 / 1.80 เมตร โดยมีรูปทรงของหิ้งแบบต่าง ๆ

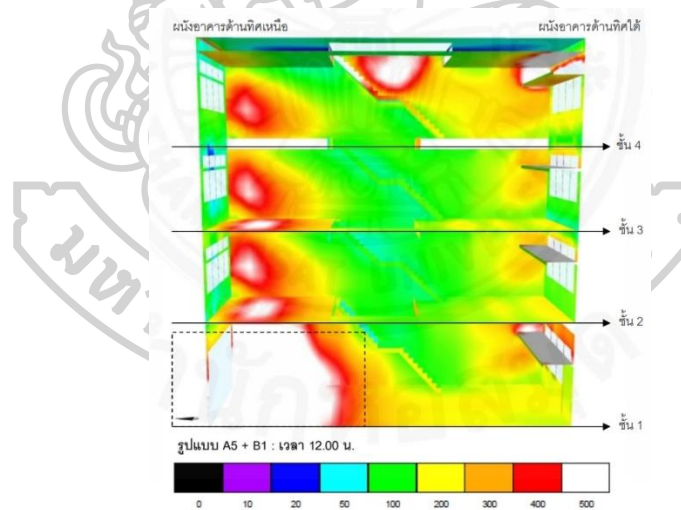
รูปแบบที่ดีที่สุดในการศึกษาคือ หิ้งสะท้อนภายนอกโค้งเว้าลงระยะยื่น 1.20 เมตร หิ้งสะท้อนแสงภายในโค้งเว้าลงระยะยื่น 1.40 เมตร ติดที่ระดับความสูง 2.20 เมตร โดยใช้ฝ้าเพดานชนิดเรียบ ดังภาพที่ 41



ภาพที่ 41 ภาพตัดของรูปแบบหิ้งสะท้อนแสงที่ดีที่สุด

(วรภัทร อังสนันวัฒนา,2549)

ผลการวิจัยของวรภัทร อังสนันวัฒนา ได้ข้อสรุปว่าหิ้งสะท้อนแสงแบบผสมผสานจะได้ผลดีที่สุดขึ้นอยู่กับความยาวในการยื่นออกไปรับแสงโดยตรงของหิ้งสะท้อนภายนอกและการติดตั้งแสงในเข้ามาภายในอาคารให้ได้มากที่สุดของหิ้งสะท้อนภายใน มุมโค้งของหิ้ง วัสดุที่ใช้และทิศทางในการวางอาคารเพื่อให้แสงเข้าสู่หน้าต่างมากที่สุดคือวางหันไปทางทิศเหนือ ดังผลการจำลองดังภาพที่ 42



ภาพที่ 42 ผลการจำลองสภาพแสงสว่างด้วยโปรแกรม Dialux 4.12

(วรภัทร อังสนันวัฒนา,2549)

บทที่ 3 วิธีการศึกษา

การศึกษานี้มุ่งเน้นในการหาแนวทางในการปรับปรุงสถาปัตยกรรมเพื่อเพิ่มปริมาณแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ให้มีค่าความส่องสว่างเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ปรับปรุงแสงสว่างให้มีคุณภาพที่ดี มีความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง และไม่เกิดแสงจําระคายตาขณะปฏิบัติงาน เพิ่มประสิทธิภาพการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างและลดการใช้พลังงาน โดยมีข้อจํากัดในการศึกษาคือการปรับปรุงด้านสถาปัตยกรรมต้องไม่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างหลักของอาคาร ไม่ล้ำเข้าไปในเขตพื้นที่ของเครื่องจักร และไม่ยื่นออกมามากกว่าเขตทางเดินนอกอาคารและกรอบอาคาร

ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมเป็นอาคาร 4 ชั้น มีช่องหน้าต่างอาคารสองด้าน พื้นที่รวม 4,000 ตารางเมตร มีห้องเรียนปฏิบัติงานอยู่บริเวณชั้น 1 และชั้น 3 โดยชั้น 2 และ 4 เป็นห้องเรียน ดังนั้นการศึกษานี้จึงเลือกศึกษาเพียงห้องเรียนปฏิบัติงานเท่านั้น โดยมีพื้นที่ส่วนปฏิบัติงานชั้น 1 และ 3 กว้าง 20 เมตร ยาว 32 เมตร รวม 640 ตารางเมตร

แนวทางในการศึกษาเริ่มต้นจากศึกษาตัวแปรของสถาปัตยกรรมที่ส่งผลต่อแสงธรรมชาติ โดยการเลือกตัวแปรที่คาดว่าจะมีผลกับแสงสว่างและข้อมูลสามารถเปรียบเทียบผลได้ จากตัวแปรภายนอกสู่ตัวแปรภายในของห้องเรียนปฏิบัติงาน การปรับปรุงตัวแปรจะเป็นรูปแบบการพัฒนาต่อเนื่องกัน นำไปสู่การปรับปรุงแสงประดิษฐ์โดยการกำหนดตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับชนิดและปริมาณของแสงประดิษฐ์ นำผลการปรับปรุงแสงประดิษฐ์มาเปรียบเทียบการใช้พลังงาน วิเคราะห์และสรุปผล

1. สถานที่ในการศึกษา

1.1 ตำแหน่งที่ตั้ง

ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อม วิทยาลัยเทคนิคแพร่ ตั้งอยู่ที่ เลขที่ 5 ถนนเหมืองหิต ตำบลในเวียง อำเภอเมือง จังหวัดแพร่ รหัสไปรษณีย์ 54000 มีเนื้อที่ของวิทยาลัย 73 ไร่ 38 ตารางวา โดยมีจำนวนนักเรียนในปีการศึกษา 2561 จำนวน 3,434 คน



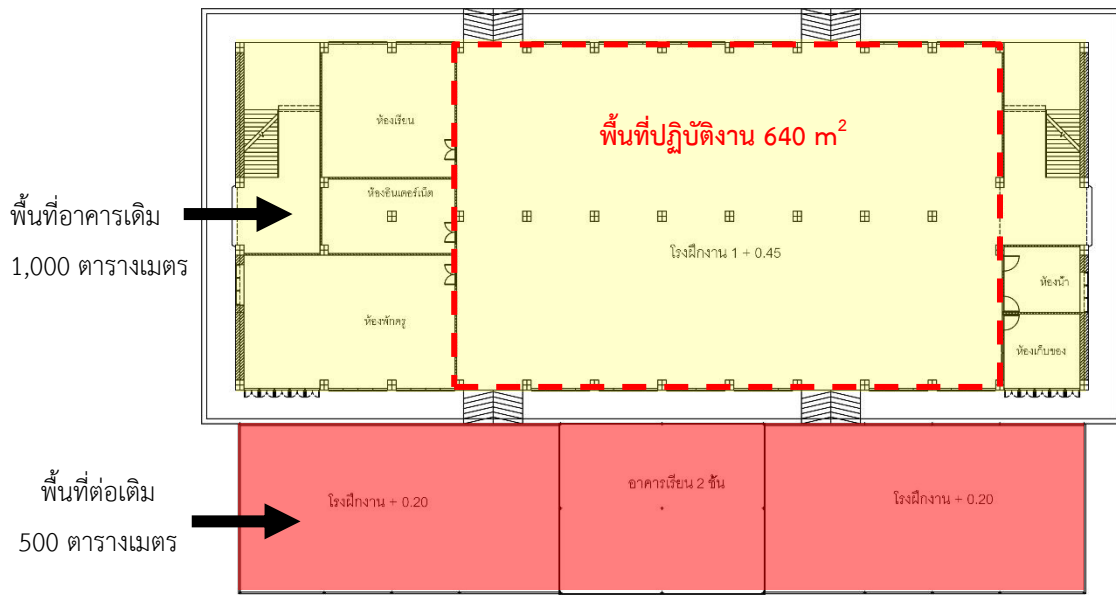
ภาพที่ 44 ลักษณะที่ตั้งของอาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อม และอาคารช่างอื่น ๆ ที่มีแบบก่อสร้างเดียวกัน

1.2 ลักษณะอาคาร

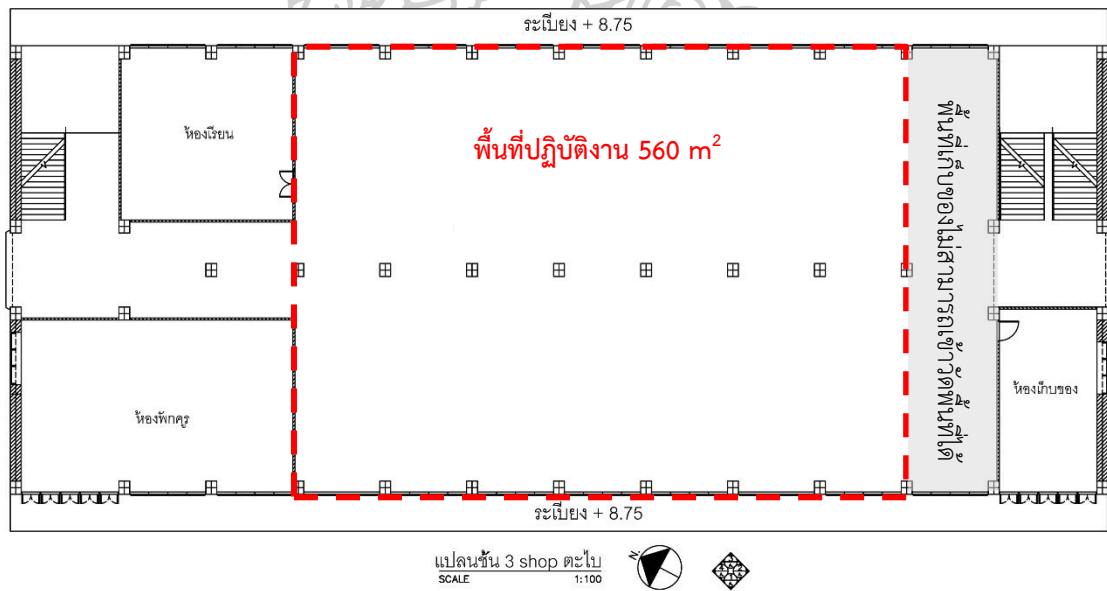
อาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อมตามแบบก่อสร้างเป็นอาคาร 4 ชั้น ความสูง 20 เมตร พื้นที่แต่ละชั้น 1,000 ตารางเมตร รวมพื้นที่อาคาร 4,000 ตารางเมตร และมีการต่อเติมบริเวณชั้น 1 500 ตารางเมตร เป็นอาคารชั้นเดียวเชื่อมกับอาคารหลัก ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1,3 มีขนาด กว้าง 20 เมตร ยาว 32 เมตร รวม 640 ตารางเมตร



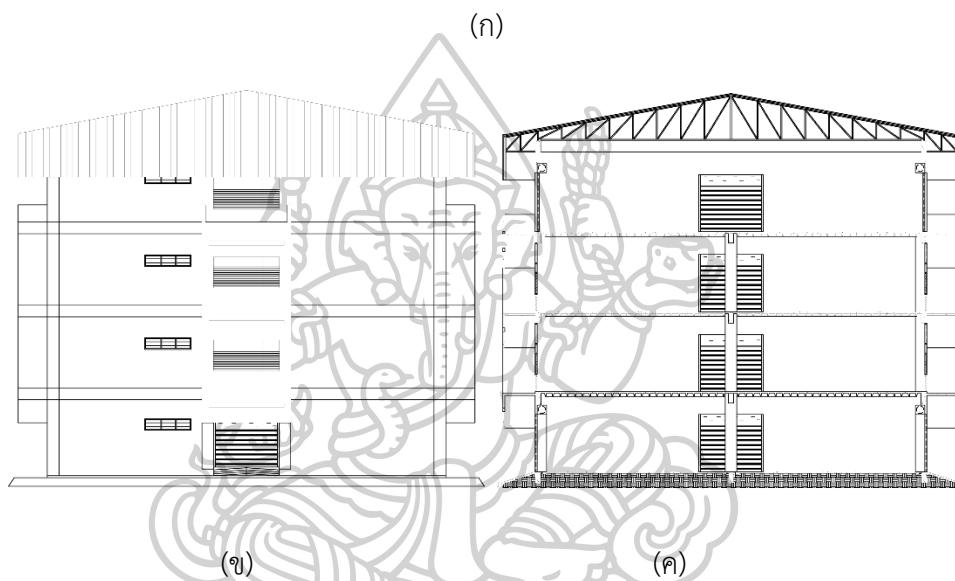
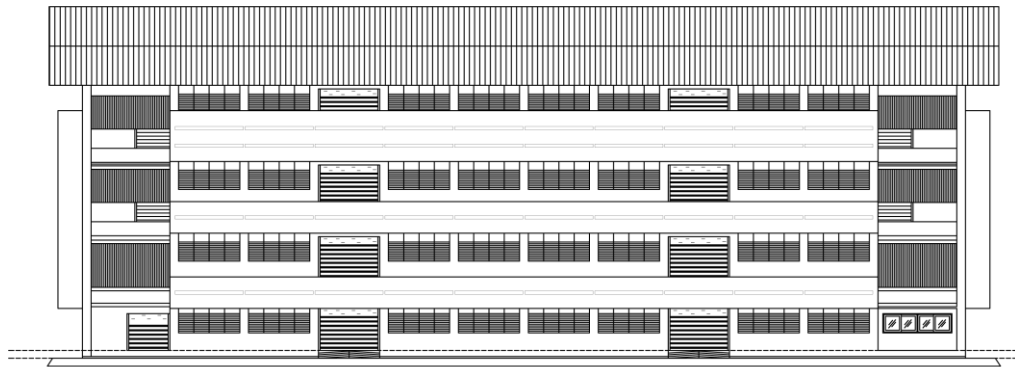
ภาพที่ 45 สถานที่จริงอาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อม วิทยาลัยเทคนิคแพร่



ภาพที่ 46 แผนผังอาคารชั้น 1 และพื้นที่ปฏิบัติงาน



ภาพที่ 47 แผนผังอาคารชั้น 3 และพื้นที่ปฏิบัติงาน



ภาพที่ 48 แบบรูปด้านยาว (ก) รูปด้านขวาง (ข) และรูปตัด (ค) อาคารปฏิบัติการช่างเชื่อม
วิทยาลัยเทคนิคแพร่

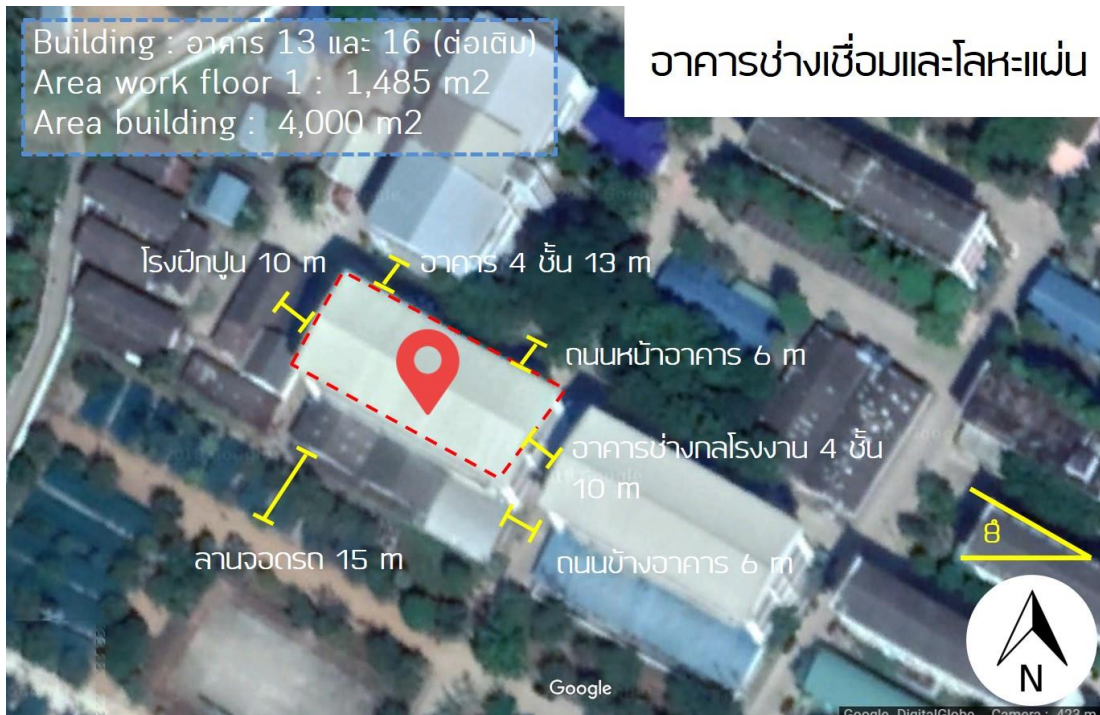
อาคารปฏิบัติการช่างมีรูปทรงเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีช่องเปิดหน้าต่างสองฝั่งในแนวยาว หน้าต่างทุกชั้นมีกันสาดคอนกรีตในแนวตั้งนอนยื่นออกจากอาคาร 1.70 เมตร ทำหน้าที่เป็นกันสาดของชั้นล่างและเป็นพื้นระเบียงของชั้นบนที่ไม่สามารถรื้อถอนหรือปรับเปลี่ยนได้ มีกันสาดคอนกรีตแนวตั้งเชื่อมกับการสาดแนวนอนขนาด 1.80 เมตร มีช่องเจาะขนาดเล็กเป็นแนวยาว กันสาดนี้ทำหน้าที่ป้องกันละอองฝนสาดเข้าช่องระบายอากาศที่อยู่ส่วนบนสุดของหน้าต่างและป้องกันแสงแดดโดยตรงที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติการ กันสาดนี้ไม่ได้เชื่อมโยงกับโครงสร้างหลักของอาคาร ดังภาพที่ 49



ภาพที่ 49 ลักษณะของกันสาดแนวนอนและแนวตั้งที่คลุมหน้าต่างของอาคารทุกชั้น

1.3 สภาพแวดล้อมและปัญหาของอาคาร

เนื่องจากอาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อมเป็นอาคารแรก ๆ ที่ก่อสร้างขึ้นมาใช้งานเป็นระยะเวลาเวลานานกว่า 10 ปี มีการต่อเติมพื้นที่ปฏิบัติงานบริเวณด้านหลังอาคารเพิ่มเติมเป็นโรงฝึกงานชั้นเดียว ทำให้เกิดปัญหาด้านแสงสว่างและปัญหาอื่นๆตามมา ช่องเปิดอาคารมีเพียงสองทางคือทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและทิศตะวันตกเฉียงใต้ โดยบริเวณด้านหน้าทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือทั้งอาคารตั้งอยู่ในจุดที่ใกล้กับอาคารสูงอื่นและกลุ่มต้นไม้สูง มีระยะห่าง 10 เมตร และชั้น 1 บริเวณหลังทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ถูกอาคารต่อเติมชั้นเดียวบดบังแสง โดยด้านหลังอาคารเป็นพื้นที่จอดรถโล่งขนาด 15 เมตร สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ 50



ภาพที่ 50 ระยะห่างของอาคารปฏิบัติงานช่างเชื่อมและอาคารรอบข้าง



ภาพที่ 51 สภาพแวดล้อมรอบอาคารและโรงฝึกงานที่ต่อเติมบริเวณพื้นที่ชั้น 1

อาคารปฏิบัติงานมีช่องเปิดที่กว้างแต่มีแผงกันสาดคอนกรีตที่ใช้สำหรับบังแดดและฝน ผู้วิจัยจึงสันนิษฐานว่านอกเนื่องจากอาคารต่อเติมชั้น 1 ด้านหลังแล้ว กันสาดคอนกรีตอาจจะเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้แสงเข้าสู่ภายในห้องเรียนปฏิบัติงานน้อย และบานเกล็ดอลูมิเนียมที่บังแสงก็เป็นอีกส่วนที่บดบังแสงที่เข้ามา ดังภาพที่ 52



ภาพที่ 52 ส่วนประกอบต่าง ๆ ของช่องเปิดอาคาร

2. การศึกษานำร่อง

ผู้วิจัยได้ศึกษาสภาพแสงในปัจจุบันทั้งแสงธรรมชาติและแสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ เพื่อวิเคราะห์ถึงแนวทางในการปรับปรุงและแก้ไขสถาปัตยกรรมนำไปสู่การกำหนดตัวแปรในการศึกษาการปรับปรุงทั้งแสงสว่างธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ โดยเลือกเก็บข้อมูลผลค่าความส่องสว่างบริเวณชั้น 1 และชั้น 3 ในพื้นที่ที่เป็นห้องเรียนปฏิบัติงาน

วัตถุประสงค์ในการศึกษานำร่อง

การศึกษาหลักเป็นการจำลองแสงสว่างด้วยโปรแกรม Dialux Evo เพื่อหาความเที่ยงตรงในการพยากรณ์สภาพแสงสว่างภายในอาคารระหว่างความส่องสว่างที่ได้จากสถานที่จริงและความส่องสว่างได้จากการจำลองในโปรแกรม

1.1 วิธีการศึกษา

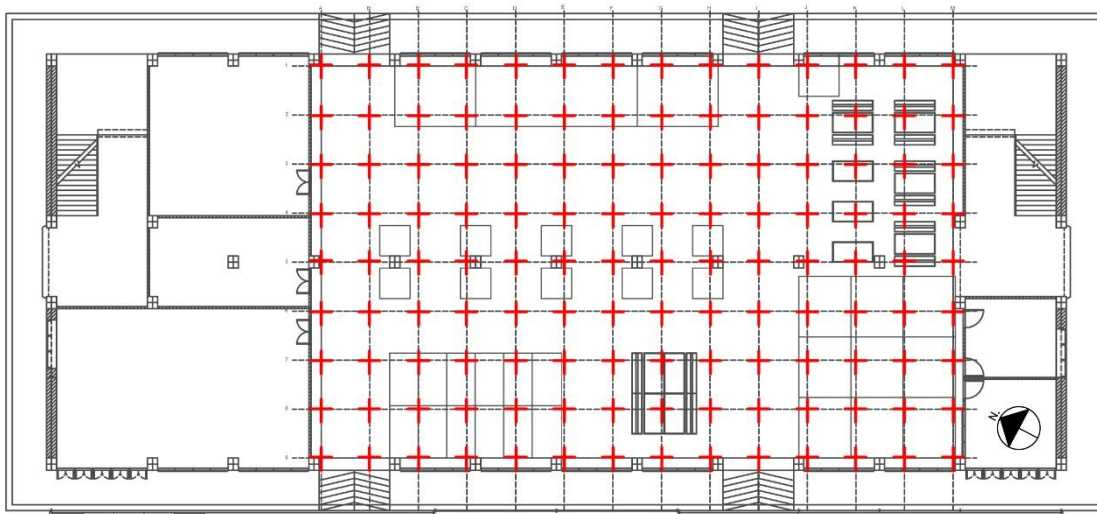
การเก็บผลค่าความส่องสว่างในสถานที่จริงทำการวัดค่าความส่องสว่างตามจำนวนจุดที่กำหนดโดยอ้างอิงจากสมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง และระดับความสูงของพื้นที่ทำงาน (work plan) ที่อ้างอิงจากระดับการใช้งานจริงของห้องเรียนปฏิบัติงานทั้งสองชั้น โดยระยะเวลาในการวัดเสร็จสิ้นใน

1 ชั่วโมงต่อ 1 ชั้น เพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากแสงธรรมชาติที่เปลี่ยนไปตลอดเวลา

1.1.1 การหาค่าความส่องสว่างของสถานที่จริง

- ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1

ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 มีขนาด 32 x 20 เมตร สูง 4.20 เมตร ช่องเปิดทิศตะวันออกและตะวันตกยาว 2.60 เมตร ทำการตั้งจุดในการวัดค่าความส่องสว่าง 2.30 x 2.00 เมตร จำนวน 126 จุด โดยใช้อุปกรณ์ลักซ์มิเตอร์วัดที่ระยะความสูง 1.00 เมตร ซึ่งเป็นระดับทำงานของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ที่เวลา 9.00 – 10.00 น. ของวันที่ 17 พฤษภาคม 2562 คูภาพที่ 53 ประกอบ



ภาพที่ 53 ตำแหน่งในการวัดค่าความส่องสว่างบริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1

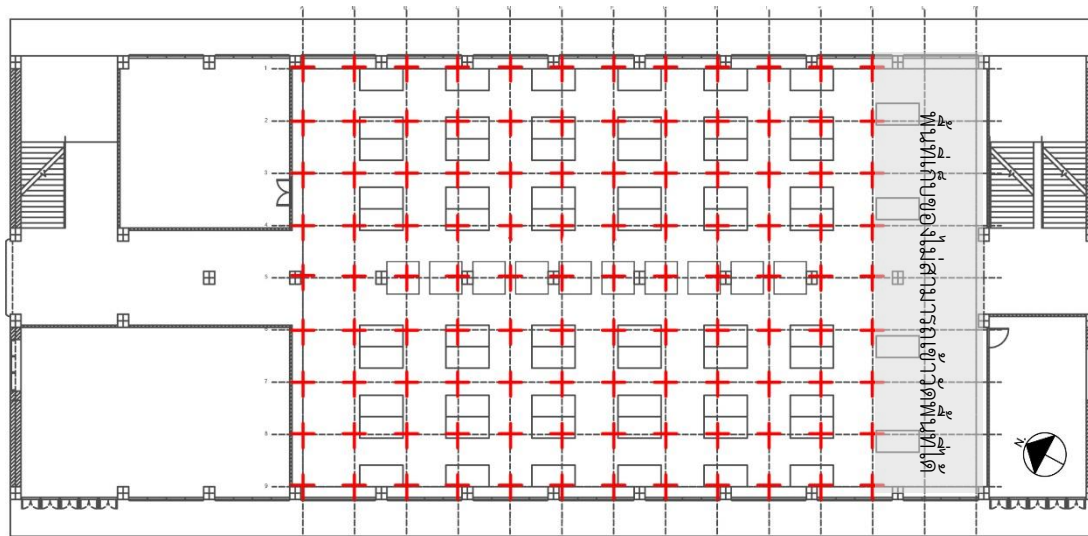


ภาพที่ 54 ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 วันที่ 17 พฤษภาคม 2562 เวลา 9.00 น.

- ห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3

ห้องเรียนปฏิบัติฝึกฝีมืองานชั้น 3 มีขนาด 32 x 20 เมตร สูง 4.20 เมตร ช่องเปิดทิศตะวันออกและตะวันตกยาว 2.60 เมตร ทำการตั้งจุดในการวัดค่าความส่องสว่าง 2.30 x 2.00 เมตร จำนวน 108 จุด (เนื่องจากบริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานชั้นนี้มีอุปสรรคกีดขวางทำให้

ไม่สามารถเข้าวัดพื้นที่ได้ 2 แถว) โดยใช้อุปกรณ์ลักซ์มิเตอร์วัดที่ระยะความสูงที่ 0.80 เมตร เป็นระดับทำงานของห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3 ที่เวลา เวลา 14.00 – 15.00 น. ของวันที่ 17 พฤษภาคม 2562 ดูภาพที่ 55 ประกอบ



ภาพที่ 55 ตำแหน่งในการวัดค่าความส่องสว่างบริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3



ภาพที่ 56 ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 วันที่ 17 พฤษภาคม 2562 เวลา 15.00 น.

1.1.2 การหาค่าความส่องสว่างจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

- เขียนแบบผังด้วยโปรแกรม Auto cad เพื่อใช้ในการวัดระยะและ Export เพื่อนำไปสร้างแบบจำลองในโปรแกรม Sketch up และ Import แบบแปลนจาก Auto cad ใช้ในการสร้างแบบจำลองโมเดลคร่าวๆเพื่อใช้วัดระยะต่าง ๆ ในรูปแบบ 3 มิติ เนื่องจากโปรแกรม Dialux Evo มีข้อจำกัดในการวัดระยะจึงต้องสร้างชิ้นส่วนแบบจำลองในโปรแกรม sketch up แล้ว Export เป็นไฟล์ 3Ds เพื่อนำไปใช้ในโปรแกรม Dialux Evo

- ทำการจำลองห้องตัวอย่างด้วยโปรแกรม Dialux Evo กำหนดตำแหน่ง ทิศทาง วันและเวลา ค่าการสะท้อนและสีของวัสดุให้ตรงกับสถานที่จริง ตั้งจุดในการคำนวณค่าความส่องสว่าง

ทั้งชั้น 1 และชั้น 3 ขนาด 2.30 x 2.00 เมตร จำนวน 126 จุด โดยชั้น 1 ตั้งค่าพื้นที่ทำงานระยะ
 ความสูง 1.00 เมตร ชั้น 3 พื้นที่ทำงานระยะความสูง 0.80 เมตร โดยจำลองแสงสว่างชั้น 1 ในวันที่
 17 พฤษภาคม 2562 เวลา 9.00 น. และชั้น 3 เวลา 15.00 น. โดยการตั้งค่าแบบจำลอง (setting)
 ในโปรแกรม ได้ใช้ค่าตามตารางที่ 19

ตารางที่ 19 การตั้งค่าหุ่นจำลองตั้งต้นในโปรแกรม Dialux Evo

Location	Bangkok
Longitude	100.13 E
Latitude	18.13 N
North alignment	299.20
Time zone	(UTC+07.00) bangkok , hanoi , jakata
Date and time	17/5/2019 9.00 AM 17/5/2019 15.00 AM
Reference sky type	average sky
Grid size caculate	2.20 x 2.15 เมตร
wall zone	0.50 เมตร
high level	1.00 เมตร

- ค่าการสะท้อนแสงของวัสดุจากสถานที่จริง

เนื่องจากการใส่ข้อมูลวัสดุลงในโปรแกรมต้องอ้างอิงมาจากค่าการสะท้อนของวัสดุจริง
 เพื่อความแม่นยำผู้วิจัยจึงต้องทำการวัดและคำนวณเพื่อหาค่าการสะท้อนแสง โดยวิธีการวัด
 อ้างอิงจาก รศ.ดร.ชำนาญ ห่อเกียรติ วัดความเข้มของการส่องสว่างของพื้นวัสดุด้วยเครื่อง
 Luminance meter และวัดค่าความส่องสว่างที่ตกลงบนพื้นผิวนั้น ๆ ด้วยเครื่อง Lux meter
 ตามวัสดุภายในห้องเพื่อหาค่าเฉลี่ยของการสะท้อนของวัสดุต่าง ๆ เช่น พื้น ผนัง เสา เพดาน
 เครื่องจักรและโต๊ะทำงาน เป็นต้น
 (ชำนาญ ห่อเกียรติ,2550)

อุปกรณ์ในการวัดค่าความส่องสว่าง



Lux meter



Measuring instrument Luminance meter

ภาพที่ 57 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าแสงในสถานที่จริง

ใช้ lux meter วัดค่าความส่องสว่างแสงที่ตกกระทบบนผิวที่มีหน่วยเป็น (lux)



ภาพที่ 58 การใช้ lux meter วัดค่าความส่องสว่าง (ชำนาญ ห่อเกียรติ, 2550)

ใช้ Measuring instrument Luminance meter วัดค่าความสว่างของพื้นผิวมีหน่วยเป็น (Cd/m^2)



ภาพที่ 59 การใช้ Measuring instrument Luminance meter วัดค่าความสว่าง (ชำนาญ ห่อ เกียรติ, 2550)

- การตั้งค่าวัสดุ

จากการวัดค่าความส่องสว่างของเครื่อง lux meter ในหน่วย lux และความสว่างของเครื่อง Measuring instrument Luminance meter ในหน่วย cd/m^2 นำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาค่าการสะท้อนของวัสดุด้วยสูตรการหาค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง

$$\rho = \frac{L \cdot \pi}{E}$$

โดย L = ความสว่าง (cd/m^2)

E = ความส่องสว่าง (ลักซ์)

ρ = ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงของวัตถุ

π = เป็นการหาค่าต่อมุมตัน

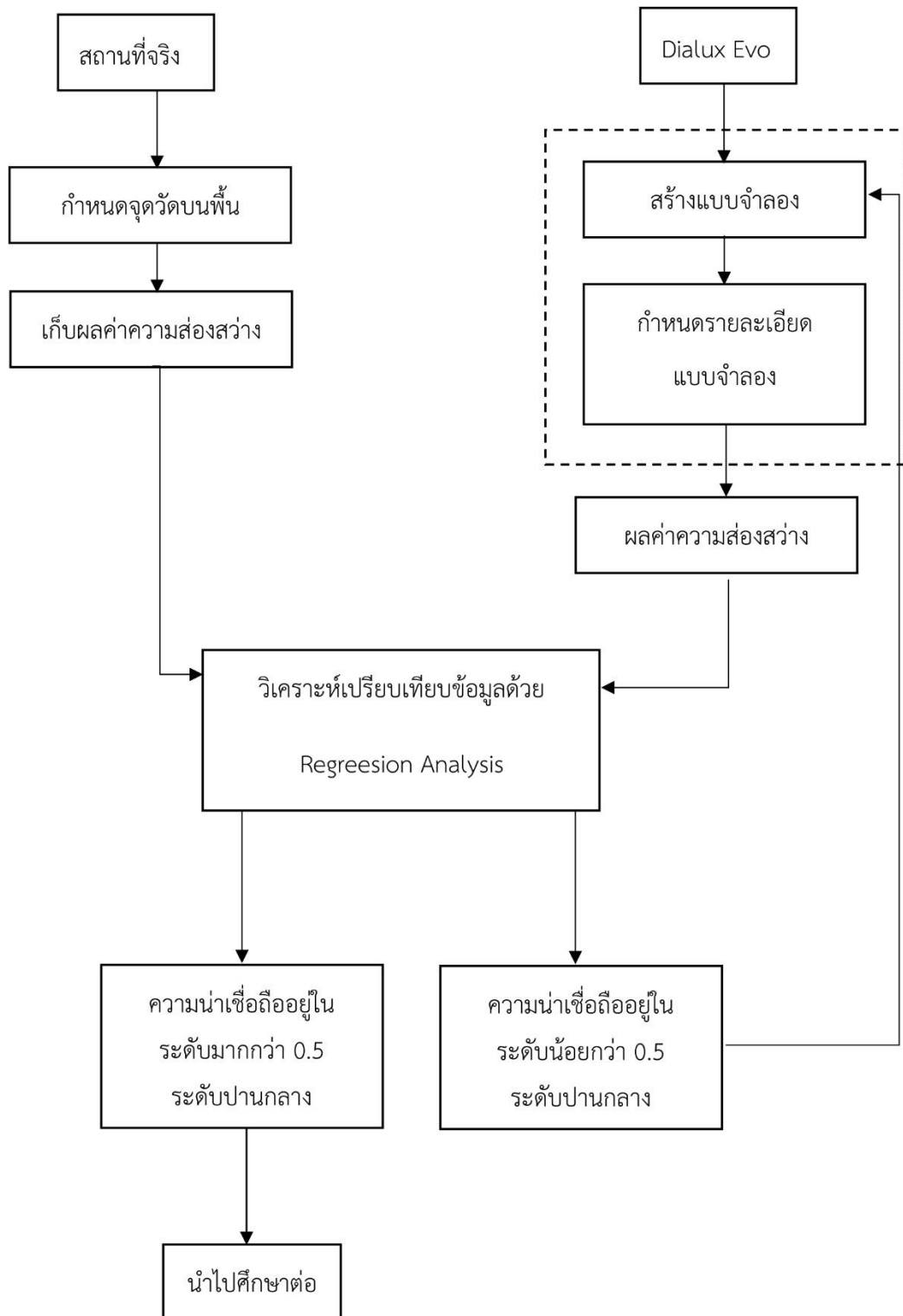
และได้ค่าการสะท้อนของวัสดุภายในห้องเรียนปฏิบัติงาน ดังตารางที่ 20

ตารางที่ 20 การตั้งค่าวัสดุของหุ่นจำลองในโปรแกรม Dialux Evo

Object	Color	Reflection factor	Material type	Degree of transmission	Refractive index
facade Wall Beam Ceiling Colum top	9002 (grey white)	80%	painted	0%	0
Colum buttom	7030 (stone grey)	30%	painted	0%	0
window	9003(Signal white)	0%	trasparent	50%	1
Door + viod	defaul	0%	trasparent	100%	1
Floor indoor	Concrete 19	36%	painted	0%	0
Floor outdoor	Plnking concrete	30%	painted	0%	0
Wire mesh	7035 (light grey)	90%	painted	0%	0
grass	Plnking pine	10%	painted	30%	1
Machine green	6001 (Emerald green)	18%	painted	0%	0
Machine blue	5005 (Signal blue)	13%	painted	0%	0
Aluminium	9003(Signal white)	20%	painted	0%	0

1.1.3 การหาค่าความสัมพันธ์ของค่าความส่องสว่าง

นำผลการคำนวณในแต่ละจุดของการจำลองจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาเปรียบเทียบกับค่าจากสถานที่จริงด้วยจำนวนและตำแหน่งจุดวัดที่ตรงกัน ประเมินด้วย Correlation Coefficient หรือ r เพื่อหาความสัมพันธ์ของสมการเชิงเส้นว่า แบบจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรม Dialux evo มีความน่าเชื่อถือมากหรือน้อย โดย 0 หมายถึงความน่าเชื่อถือต่ำ 0.5 หมายถึงความน่าเชื่อถือปานกลาง และ 1 หมายถึงความน่าเชื่อถือสูง โดยผู้วิจัยต้องการผลที่มีค่ามากกว่า 0.5 เพื่อความแม่นยำและนำไปสู่แบบต้งต้นในการพัฒนาขั้นต่อไป (CORALINE CO. LTD,2017)



ภาพที่ 60 แผนผังขั้นตอนการศึกษานำร่อง เพื่อหาความน่าเชื่อถือของการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับสถานการณ์จริง

3. การศึกษาหลัก

วัตถุประสงค์ในการศึกษา

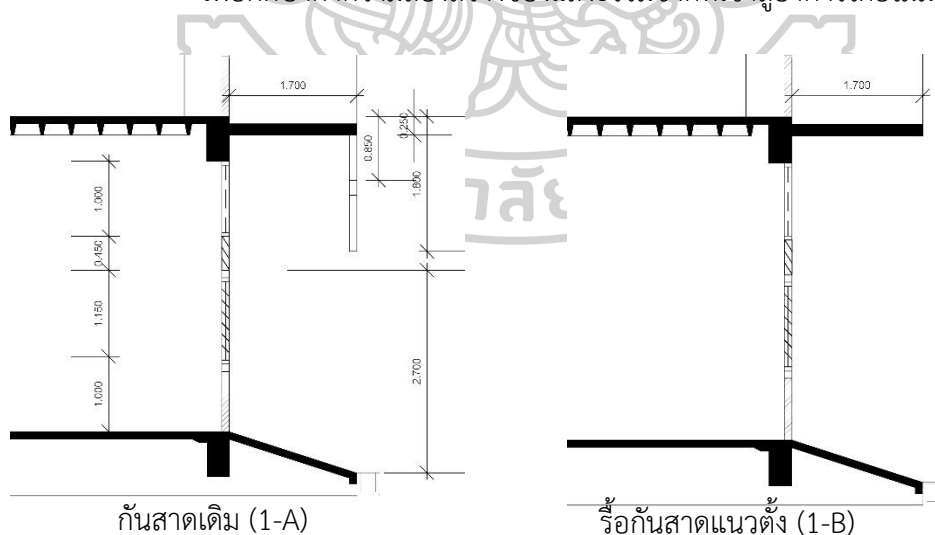
เพื่อค้นหาแนวทางในการปรับปรุงค่าความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อม ชั้น 1 และห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3 ที่เกิดปัญหาจากแสงสว่างไม่เพียงพอทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ซึ่งไม่ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดที่ 300 lux ในบริเวณชั้น 1 และ 500 lux ในบริเวณชั้น 3 และค้นหาแนวทางปรับปรุงให้แสงมีความเหมาะสมช่วยประหยัดพลังงาน (ชื่อการศึกษาคูเพิ่มเติมในภาคผนวก ก)

3.1 การศึกษาแสงธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ถึงปัญหาและอุปสรรคของสถาปัตยกรรมที่คาดว่ามีผลต่อแสงสว่าง ทำให้แสงเข้าน้อยและเข้ามาได้ไม่เต็มที่ อ้างอิงจากภาพที่ 52 ในหัวข้อที่ 1.3 สภาพปัญหาของอาคารที่กันสาดคอนกรีตแนวตั้งคลุมพื้นที่ด้านหน้าของช่องเปิดหน้าต่าง

3.1.1 การรื้อกันสาดแนวตั้ง (1-B)

เพื่อศึกษาค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารโดยไม่มีสิ่งบดบัง

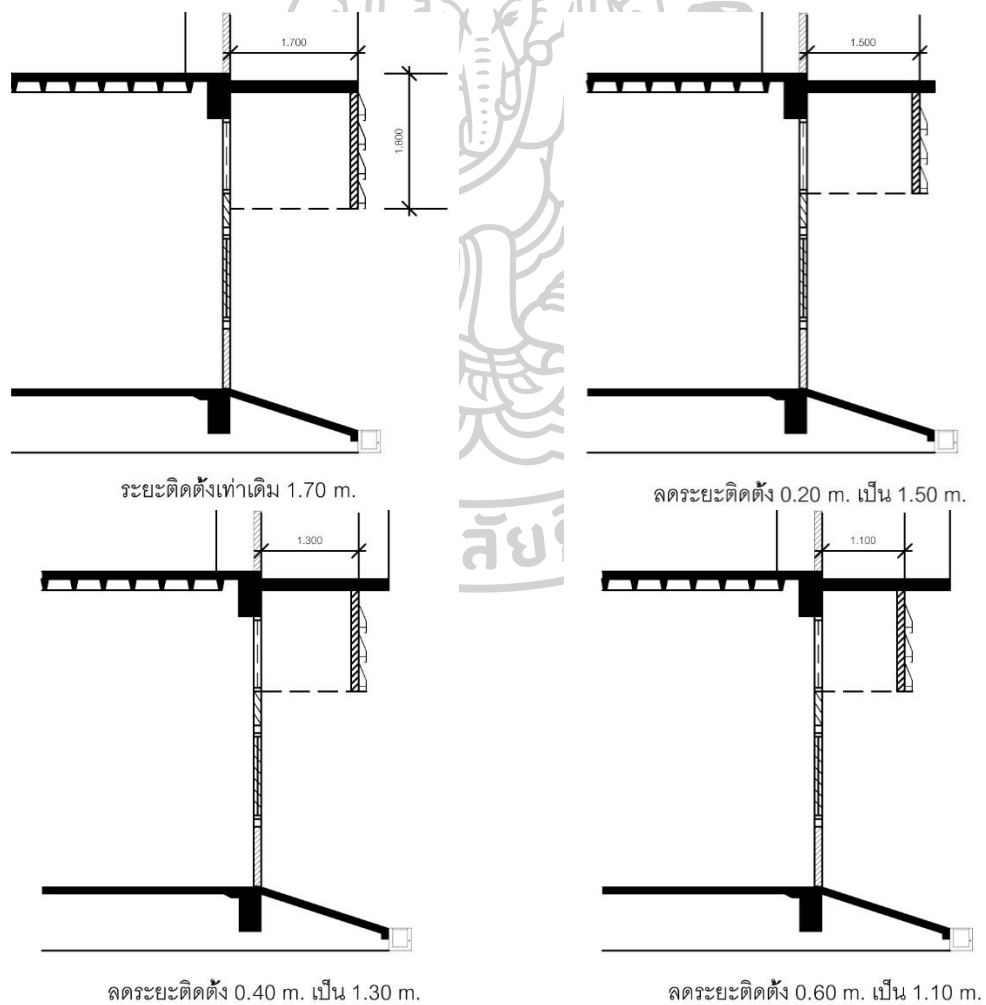


ภาพที่ 61 ภาพตัดก่อนการปรับปรุงกันสาด (1-A) และหลังการปรับปรุง (1-B)

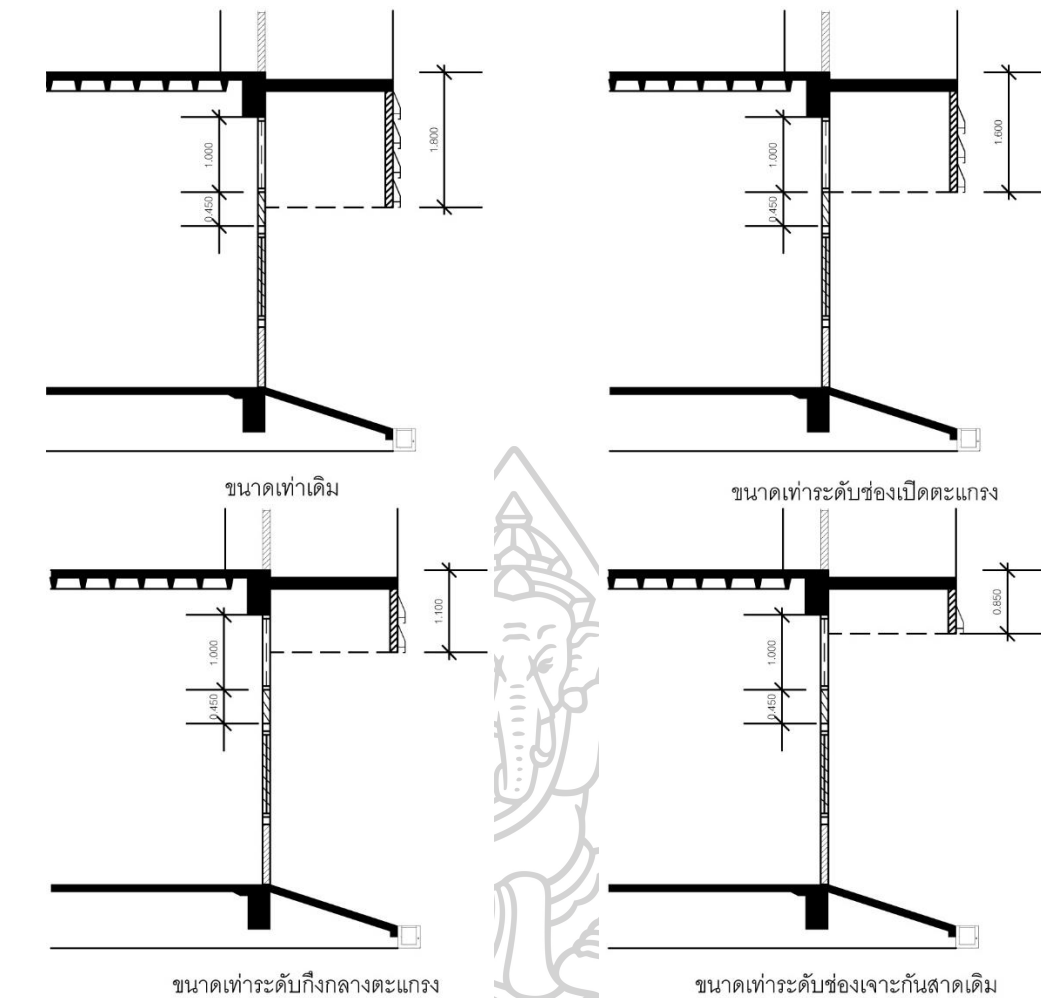
ผู้วิจัยเลือกผลการศึกษาที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นต่อไป

3.1.2 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C)

กันสาดคอนกรีตเดิมทำหน้าที่ใช้บังฝนสาดช่องเปิดโล่งด้านบนของหน้าต่างและบังแสงแดดโดยตรง หากไม่มีชิ้นส่วนนี้อาจเกิดปัญหาฝนสาดและแสงแดดจ้าบริเวณริมหน้าต่าง ซึ่งมีเครื่องจักรตั้งอยู่อาจเกิดความเสียหาย ผู้วิจัยจึงศึกษากันสาดที่มีคุณสมบัติสามารถบังฝนแต่ยังสามารถให้แสงสว่างส่องผ่าน คือกันสาดไฟเบอร์กลาสของ บริษัท กรีนเวย์ สตีล โปรดักส์ สีขาวใส ซึ่งทางบริษัทมีผลทดสอบอัตราแสงส่องผ่านที่ 70% (รายละเอียดในภาคผนวก ก) โดยการติดตั้งที่ระยะ 1.70 , 1.50 , 1.30 , 1.10 เมตร จากระยะติดตั้งเดิมลดระยะลงมาทุก ๆ 20 เซนติเมตร อธิบายได้ดังภาพที่ 62 และขนาดของแผงกันสาดที่ 1.80 , 1.60 , 1.10 , 0.85 เมตร ที่มีความสัมพันธ์กับช่องเปิดของหน้าต่าง อธิบายได้ดังภาพที่ 63



ภาพที่ 62 ภาพตัดกันสาดที่ลดระยะติดตั้งทุก 20 เซนติเมตร (1-C)



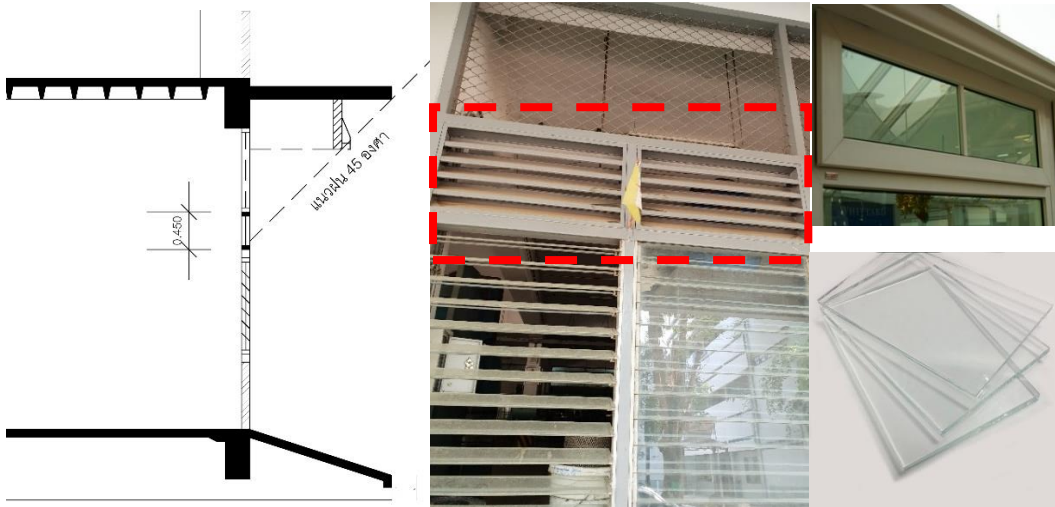
ภาพที่ 63 ภาพตัดกันสาดที่อ้างอิงขนาดของกันสาดกับสัดส่วนของช่องเปิดหน้าต่าง (1-C)

ผู้วิจัยเลือกผลการศึกษาที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นตอนต่อไป

3.1.3 การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมทึบเป็นช่องกระจกใส (1-D)

บริเวณช่องเปิดหน้าต่างมีวัสดุที่สามารถให้แสงผ่านเข้ามาได้เป็นส่วนใหญ่ยกเว้นส่วนที่เป็นเกล็ดอลูมิเนียมทึบ ทำให้หน้าที่ป้องกันฝนสาดได้ช่องเปิดด้านบน ผู้วิจัยจึงศึกษาวัสดุที่สามารถป้องกันฝนแต่ให้แสงผ่านเข้าหน้าต่างได้ โดยเปลี่ยนวัสดุจากอลูมิเนียมทึบแสงเป็นกระจกใส ความหนา 3 มิลลิเมตร ที่มีค่าความโปร่งใสที่ 80% ดังภาพที่ 64

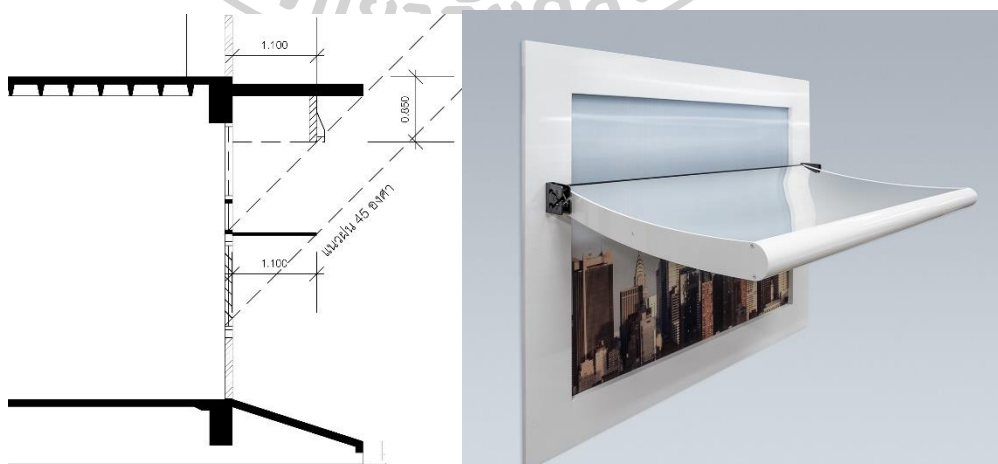
(Building Science: Concepts and Application)



ภาพที่ 64 ภาพช่องเกล็ดต่อลูมิเนียมและบานกระจกใส
ผู้วิจัยเลือกผลการศึกษาที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นตอนต่อไป

3.1.4 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)

แสงสว่างจะสามารถเข้ามาได้ลึกขึ้นเมื่อมีชิ้นส่วนแผ่นสะท้อนที่ยื่นออกไปเพื่อรับแสงจากภายนอกและยื่นเข้ามาภายใน อ้างอิงจากงานวิจัยของ Claude L. Robbins และงานวิจัยของ วรภัทร อังสนันวัฒนา ผู้วิจัยจึงศึกษาการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ที่ระยะยื่น 1.10 เมตร ติดบริเวณใต้ช่องแสงกระจก ซึ่งเป็นระยะที่สามารถบังฝนสาดหน้าต่างบานเกล็ดและไม่ยื่นยาวเลยเขตทางเดินภายนอกและกรอบอาคาร โดยใช้วัสดุเป็นคอมโพสิทสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสง 80% ดังภาพที่ 65



ภาพที่ 65 ภาพตัดหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 1.10 เมตร (1-E)

ผู้วิจัยเลือกผลการศึกษาคือที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นต่อไป

3.1.5 การติดตั้งห้องสะท้อนแสงภายใน (1-F)

สืบเนื่องจากการติดตั้งห้องสะท้อนแสงภายนอก ห้องสะท้อนแสงภายในจะช่วยดึงแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคารมากขึ้น ผู้วิจัยจึงศึกษาการติดตั้งห้องสะท้อนแสงภายใน ระยะยื่น 0.50 เมตร ติดบริเวณใต้ช่องแสงกระจกด้านใน โดยระยะยื่นนี้เป็นระยะสูงสุดที่สามารถทำได้ เนื่องจากภายในห้องเรียนปฏิบัติงานมีเครื่องจักรที่ตั้งอยู่ริมหน้าต่างและไม่ควรมีชิ้นส่วนใดยื่นเข้าไปในเขตเครื่องจักร จึงยื่นเข้ามาได้เท่ากับความหนาของเสา คือระยะ 0.50 เมตร โดยใช้วัสดุเป็นคอมโพสิทสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสง 80% เช่นเดียวกับด้านนอก



ภาพที่ 66 ภาพตัดห้องสะท้อนแสงภายในขนาด 0.50 เมตร (1-F)

ผู้วิจัยเลือกผลการศึกษาคือที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นต่อไป

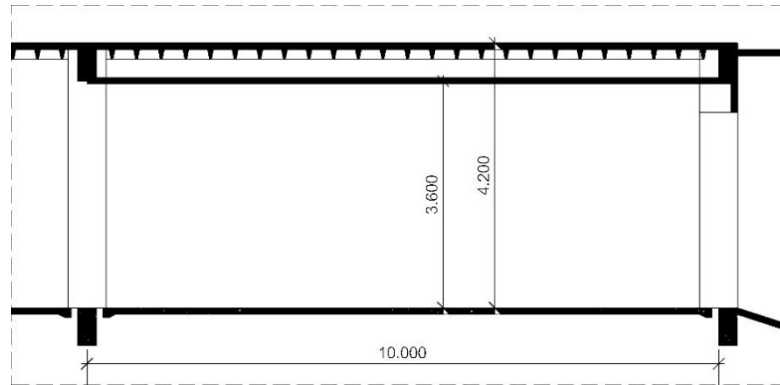
3.1.6 การติดตั้งชนิดผ้าเพดาน (1-G)

การติดตั้งห้องสะท้อนแสงต้องใช้งานร่วมกับผ้าเพดานเพื่อให้มีประสิทธิภาพ และช่วยในการกระจายแสง อ้างอิงจากงานวิจัยของ William M. C. Lam ถึงชนิดของผ้าเพดาน และการกระจายแสง ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาการติดตั้งผ้าเพดานชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ผ้าชนิดโค้ง ผ้าชนิดเรียบ ผ้าชนิดสามเหลี่ยม โดยใช้วัสดุเป็นผ้าสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสง 80% ความหนา 5 มิลลิเมตร เหมือนกันทั้ง 3 ชนิด

- ฝ้าเพดานชนิดเรียบ

มีความสูงเท่าระดับใต้ท้องคานเพื่อปิดเรียบเป็นผืนเดียวกันทั้งห้อง สูงจากพื้น

3.60 เมตร



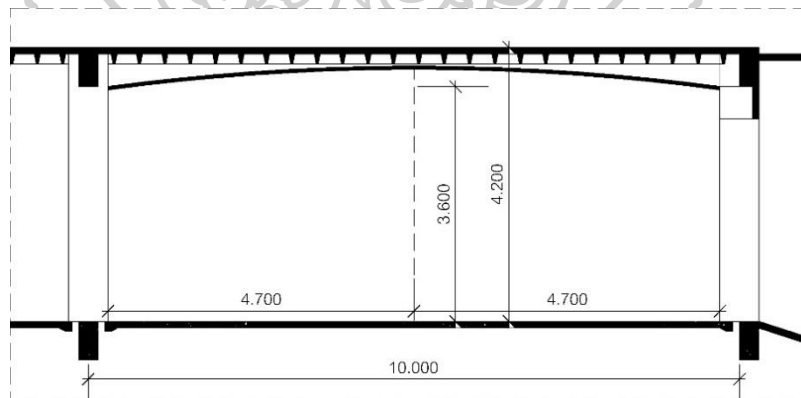
ภาพที่ 67 ภาพตัดฝ้าเพดานชนิดเรียบ (1-G1)

- ฝ้าเพดานชนิดโค้ง

มีความสูงจากปลาย 3.60 เมตร และจุดตรงกลางสูงขึ้นไปจนขีดใต้ท้องพื้นชั้น 2

4.20 เมตร เนื่องจากห้องเรียนปฏิบัติงานช่างควรมีความสูงของเพดานไม่ต่ำกว่าระยะ 3.60 เมตร

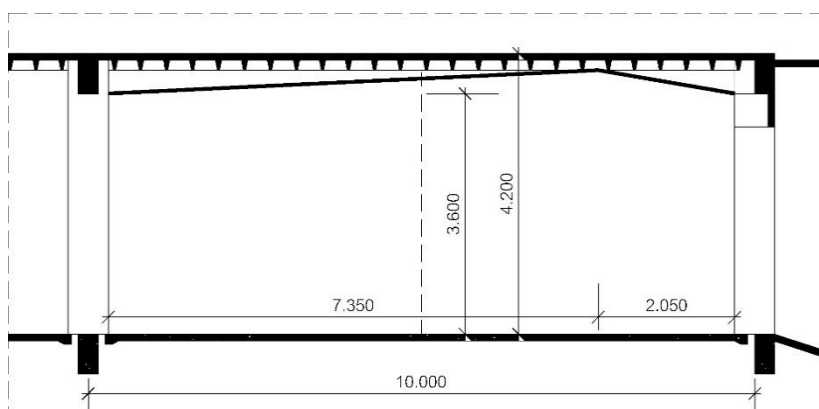
อ้างอิงจากทฤษฎีการออกแบบห้องเรียนปฏิบัติงานช่างของ พิชัย ศิริทัศน์กุล จึงทำให้ฝ้าเพดานชนิดนี้ ต้องเข้าไปติดตั้งอยู่ในร่องคานของแต่ละช่วงคานไม่เป็นผืนเดียวกัน



ภาพที่ 68 ภาพตัดฝ้าเพดานชนิดโค้ง (1-G2)

- ฝ้าเพดานชนิดสามเหลี่ยม

มีความสูงจากปลาย 3.60 เมตร สูงขึ้นไปจนขีดใต้ท้องพื้นชั้น 2 4.20 เมตร ห่างจากปลายเสาต้นริมหน้าต่าง 2.05 เมตร อ้างอิงจากทฤษฎีการออกแบบห้องเรียนปฏิบัติงานช่าง ของ พิชัย ศิริทัศนกุล จึงทำให้ฝ้าเพดานชนิดนี้จึงต้องเข้าไปติดตั้งอยู่ในร่องคานของแต่ละช่วงคาน ไม่เป็นผืนเดียวกัน



ภาพที่ 69 ภาพตัดฝ้าเพดานชนิดสามเหลี่ยม (1-G3)

ผู้วิจัยเลือกผลการศึกษาที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นตอนต่อไป

3.1.7 การปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H)

จากผลการศึกษา A-G นำรูปแบบที่ดีที่สุดของแต่ละการปรับปรุงมาผสมผสาน
รวมกันและศึกษาผลการจำลอง

สามารถสรุปตัวแปรในการศึกษาแสงธรรมชาติได้ดังตารางที่ 21 และ 22

ตารางที่ 21 สรุปตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม
การรื้อกันสาด	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจาก 126 จุด
ระยะติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส	ค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงจาก 126 จุด
ขนาดของไฟเบอร์กลาส	
การเปลี่ยนเกล็ดท่อเป็นช่องกระจกใส	
การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 1.10 เมตร	
การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.50 เมตร	
การติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ	
การผสมผสาน	

ตารางที่ 22 สรุปควบคุมในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

ตัวแปรควบคุม	
Location	Bangkok
Longitude	100.13
Latitude	18.13
North alignment	299.20
Time zone	(UTC+07.00) bangkok , hanoi , jakata
Date and time	21/3/2019 9.00 AM 21/3/2019 11.00 AM 21/3/2019 13.00 AM 21/3/2019 15.00 AM 21/6/2019 9.00 AM 21/6/2019 11.00 AM 21/6/2019 13.00 AM 21/6/2019 15.00 AM 22/12/2019 9.00 AM 22/12/2019 11.00 AM 22/12/2019 13.00 AM 22/12/2019 15.00 AM
Reference sky type	average sky
Grid size caculate	2.20 x 2.15 เมตร
wall zone caculate	0.50 เมตร
high level caculate	1.00 เมตร
Point caculate	126 จุด

จากผลการศึกษาในส่วนของการปรับปรุงโดยแสงธรรมชาติ ผู้วิจัยเลือกรูปแบบที่ดีที่สุดในการปรับปรุงมาพัฒนาต่อในการศึกษาแสงประดิษฐ์

3.2 การศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1

ผู้วิจัยนำแบบจำลองจากข้อสรุปการปรับปรุงแสงธรรมชาติมาต่อยอดในการศึกษาปรับปรุงแสงประดิษฐ์ ซึ่งในปัจจุบันห้องเรียนปฏิบัติงานใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36W เป็นหลอดรุ่นเก่าในขนาดทางสถาบันมีการวางแผนที่จะปรับเปลี่ยนหลอดไฟทั้งอาคารเป็นหลอดชนิด LED ทั้งหมด เพื่อประสิทธิภาพที่ดีและประหยัดพลังงาน ผู้วิจัยจึงเลือกศึกษาชนิดหลอดไฟ LED เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของทางสถาบัน

ผู้วิจัยเลือกศึกษาการการใช้แสงประดิษฐ์โดยไม่มีแสงธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้อง (No daylight) เพื่อศึกษาแนวทางในการปรับปรุงค่าความส่องสว่างของแสงในพื้นที่ห้องเรียนปฏิบัติงานให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานแม้จะไม่ใช้แสงธรรมชาติร่วมด้วย

3.2.1 ชนิดของหลอดไฟ LED

หลอดไฟ LED ที่ผู้วิจัยได้เลือกศึกษาได้แก่ หลอด LED Phillips | T8 | 20W เป็นหลอด LED ขั้วเขียวที่ผลิตมาเพื่อใส่ทดแทนในรางของหลอดฟลูออเรสเซนต์ชนิดเก่าต้องมีการเดินวงจรเพิ่ม หลอด LED Phillips | T8 | 27W เป็น LED แบบรางชุดครบวงจรในตัวเป็นรางที่ติดตั้งในฝ้าเพดาน หลอด LED Phillips | T8 | 30W เป็น LED แบบรางชุดครบวงจรในตัวเป็นหลอดไฟที่สามารถติดตั้งห้อยออกมาจากฝ้าเพดาน ซึ่งหลอดทั้งหมดมีจำหน่ายในท้องตลาดและมีข้อมูลจากผู้ผลิต

ตารางที่ 23 หลอดที่ใช้ในการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

รายละเอียด	หลอดฟลูออเรสเซนต์ 36W	หลอด LED ชนิด 20W	หลอด LED ชนิด 27W	หลอด LED ชนิด 30W
ภาพหลอด				
รุ่น	TMS022 1xTL-D36W HFS +GMS022 R	LEDtube HO 20W G13 765 T8 AP	SM134V PSU W20L120 1 xLED27S_840 NOC	SM480C W24L134 1xLED35S_840 ACC-MLO
ชนิดหลอด	T8	T8	-	-
ขั้วหลอด	G13	G13	-	-
กำลังไฟฟ้า (W)	36	20	27	30

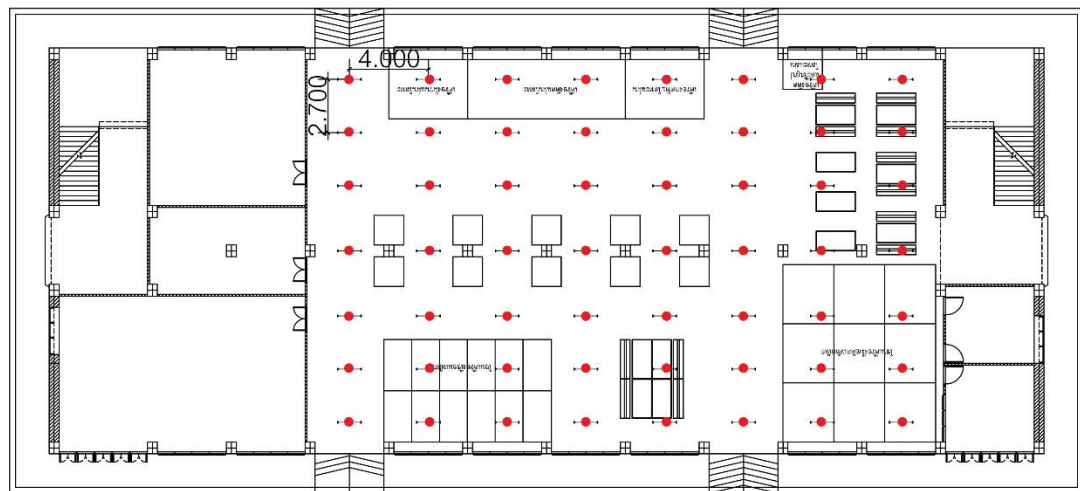
อุณหภูมิสี (K)	5200	6500	6500	6500
ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	3250	2100	2700	3500

3.2.2 การจัดตำแหน่งหลอดไฟและจำนวนหลอด

การจัดตำแหน่งหลอดไฟและจำนวนหลอด มี 3 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 จำนวน 56 หลอด (จัดวางตำแหน่งเดิมจำนวนหลอดเท่าเดิม) รูปแบบที่ 2 จำนวน 104 หลอด (จัดวางตำแหน่งเดิมเพิ่มจำนวนหลอด 2 เท่า) รูปแบบที่ 3 จำนวน 114 หลอด (จัดวางตำแหน่งกระจายให้ทั่วห้อง)

- Base case (1-lightA)

ห้องเรียนปฏิบัติงานในปัจจุบันใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 Philips lifemax 3250 lm. 36W/54-765 Daylight 1200 มิลลิเมตร 5200K มีการติดตั้งระยะ 4.00 x 2.70 เมตร จำนวน 56 หลอด

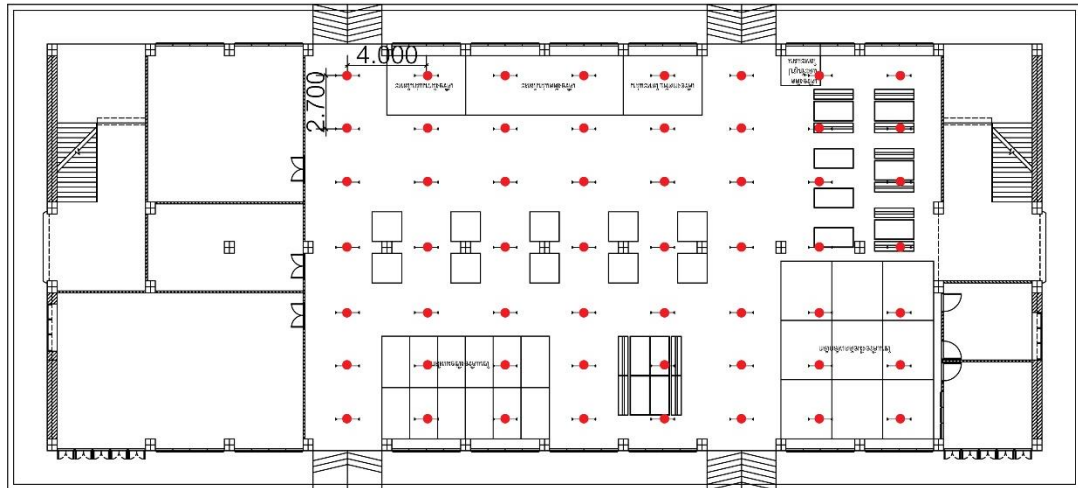


ภาพที่ 70 ผังการจัดวางหลอดไฟก่อนการปรับปรุง (1-lightA)

- รูปแบบที่ 1 (1-lightB)

รูปแบบที่ 1 การจัดวางตำแหน่งหลอดไฟจากห้องเรียนปฏิบัติงานในปัจจุบัน

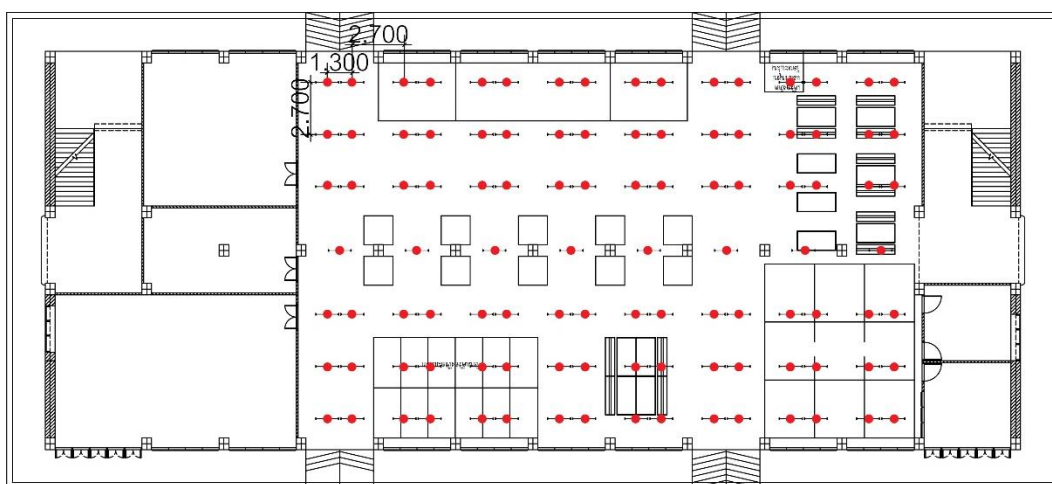
ระยะห่าง 2.70 x 4.00 เมตร ใช้จำนวนหลอด 56 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังสูงแต่เว้นระยะห่างมาก



ภาพที่ 71 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 1 (1-lightB)

- รูปแบบที่ 2 (1-lightC)

รูปแบบการจัดวางตำแหน่งเดิม เพิ่มจำนวนหลอดในแนวยาว ระยะห่าง 2.70 x 2.70 เมตร ใช้จำนวนหลอด 104 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังสูงแต่เว้นระยะห่างมาก

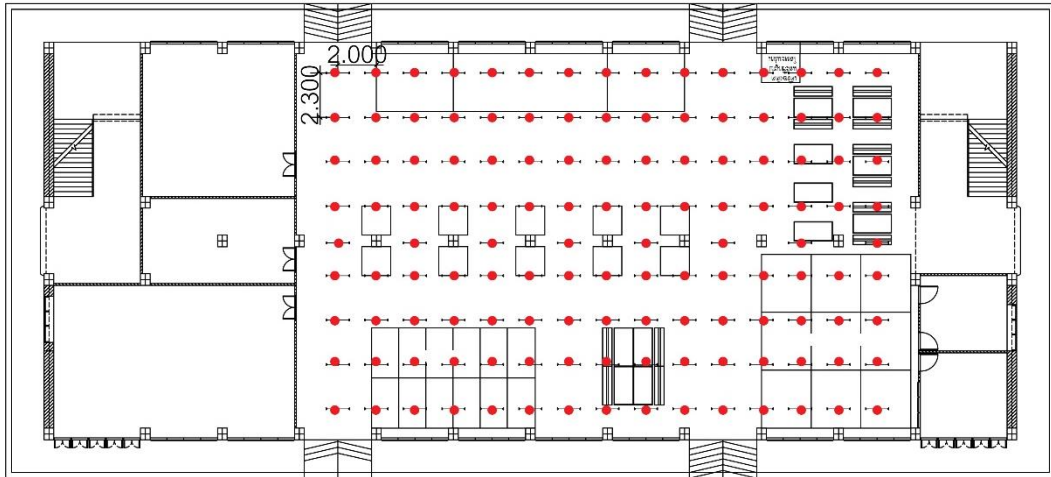


ภาพที่ 72 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 2 (1-lightC)

- รูปแบบที่ 3 (1-lightD)

รูปแบบการจัดวางตำแหน่งกระจายระยะเท่า ๆ กัน ระยะห่าง 2.30 x 2.00 เมตร

ใช้จำนวนหลอด 114 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังต่ำ ติดตั้งจำนวนมาก



ภาพที่ 73 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 2 (1-lightD)

สามารถสรุปตัวแปรในการศึกษาแสงประดิษฐ์ได้ดังตารางที่ 24 และ 25

ตารางที่ 24 สรุปตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม
รูปแบบที่ 1 เปลี่ยนหลอดตำแหน่งเดิม	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจาก 126 จุด
รูปแบบที่ 2 ตำแหน่งเดิมเพิ่มจำนวน	ค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงจาก 126 จุด
รูปแบบที่ 3 เพิ่มจำนวนกระจายเท่าๆกัน	

ตารางที่ 25 สรุปตัวแปรต้นควบคุมในการศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

ตัวแปรควบคุม	
Location	Bangkok
Longitude	100.13
Latitude	18.13
North alignment	299.20
Time zone	(UTC+07.00) bangkok , hanoi , jakata
Date and time	Every day
Reference sky type	nodaylight

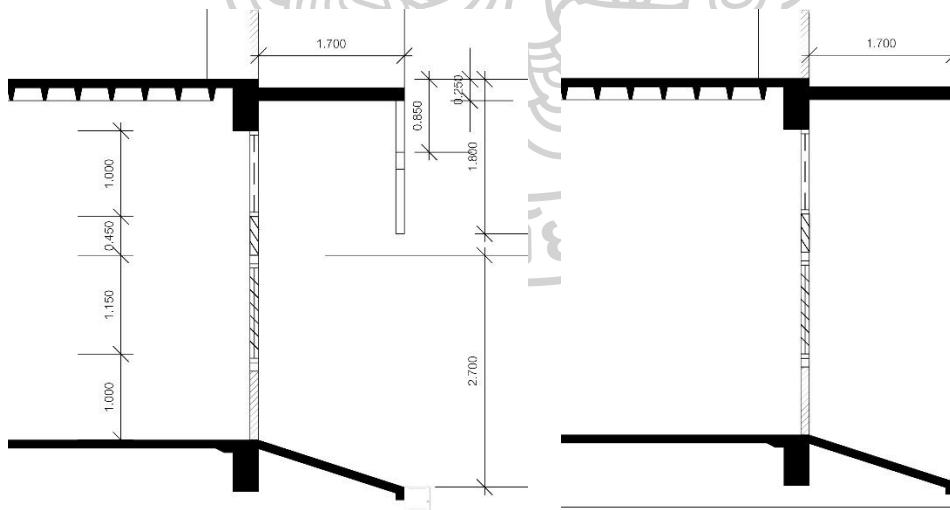
Grid size caculate	2.20 x 2.15 เมตร
wall zone caculate	0.50 เมตร
high level caculate	1.00 เมตร
Point caculate	126 จุด

3.3 การศึกษาแสงธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3

แนวทางในการศึกษาการปรับปรุงแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 มีแนวทางในการศึกษาเหมือนกับบริเวณชั้น 1 เนื่องจากพื้นที่ห้องเรียนปฏิบัติงานมีขนาดเท่ากัน มีข้อจำกัดในด้านระยะยื่นออกและยื่นเข้าที่เหมือนกัน แต่แตกต่างที่อุปสรรคภายนอกที่ชั้น 3 ไม่มีการต่อเติมความสูงของระดับชั้น เครื่องจักรอุปกรณ์ภายในห้องที่มีขนาดเล็กกว่าโดยส่วนใหญ่เป็นโต๊ะสำหรับตะไบโลหะ

3.3.1 การรื้อกันสาดแนวตั้ง (3-B)

อ้างอิงจากการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 เพื่อศึกษาค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารโดยไม่มีสิ่งบดบังและเลือกผลการศึกษาที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นตอนต่อไป



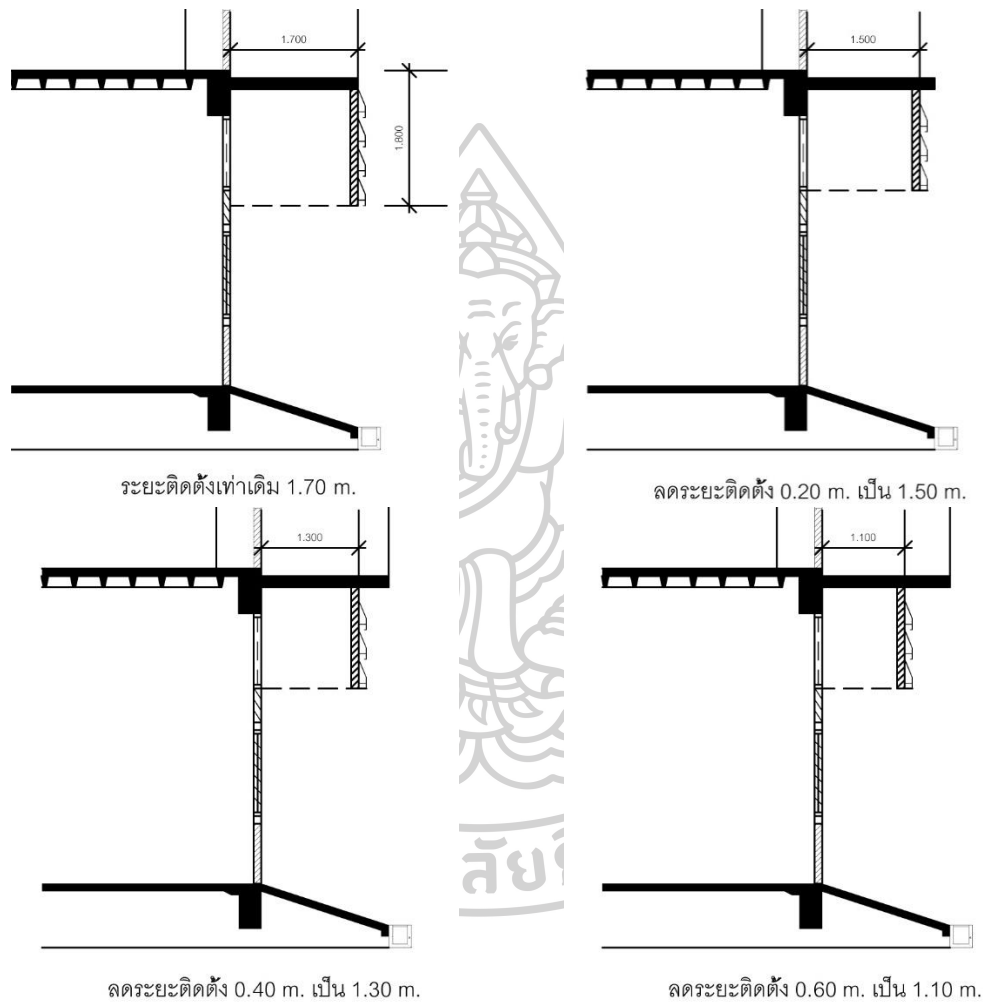
กันสาดเดิม (3-A)

กันสาดเดิม (3-B)

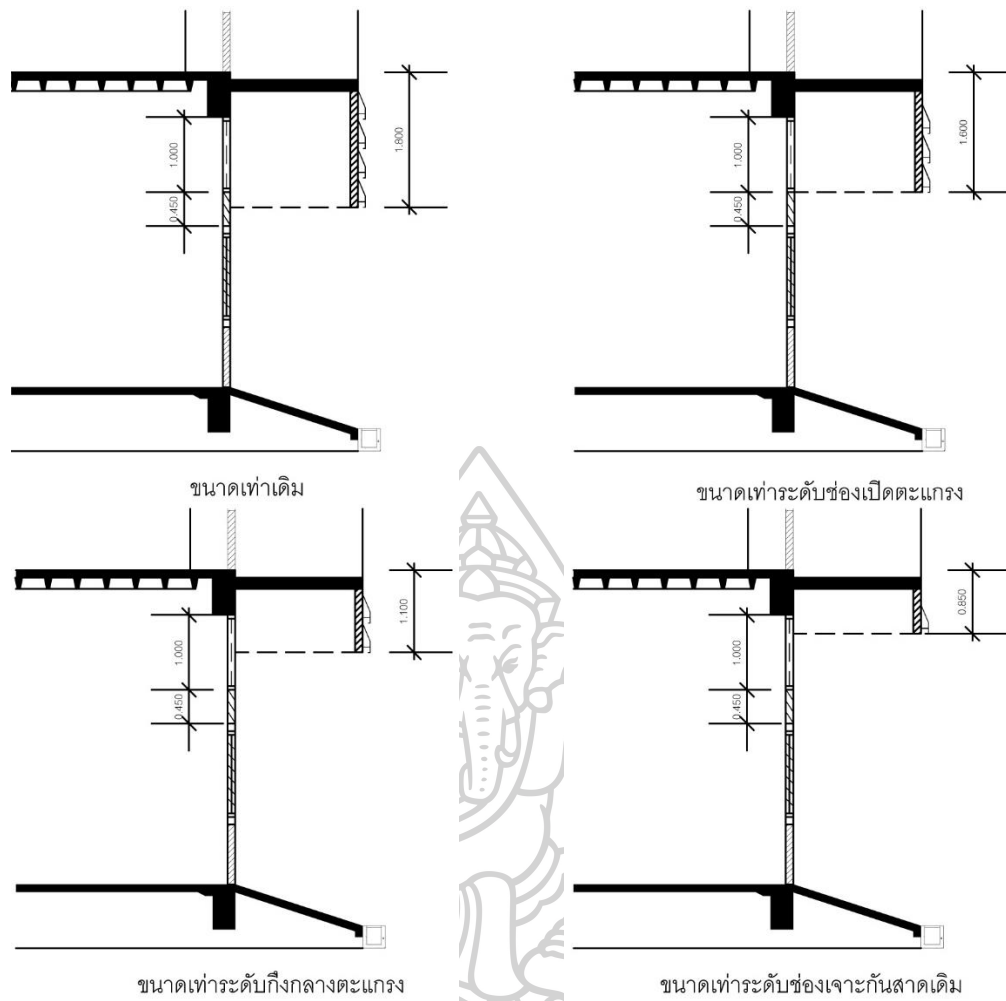
ภาพที่ 74 ภาพตัดก่อนการปรับปรุงกันสาด (3-A) และหลังการปรับปรุง (3-B)

3.3.2 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C)

อ้างอิงจากการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ที่ต้องมีการป้องกัน ฝนสาดเข้าช่องเปิดหน้าต่างด้านบนด้วยกันสาด ผู้วิจัยศึกษาด้วยวัสดุเดิมคือกันสาดไฟเบอร์กลาส ซึ่งมีอัตราแสงส่องผ่าน 70% โดยติดตั้งที่ระยะ 1.70 , 1.50 , 1.30 , 1.10 เมตร อธิบายได้ ดังภาพที่ 75 และขนาดของแผงกันสาดที่ 1.80 , 1.60 , 1.10 , 0.85 เมตร อธิบายได้ดังภาพที่ 76



ภาพที่ 75 ภาพตัดกันสาดที่ลดระยะติดตั้งทุก 20 เซนติเมตร (3-C)



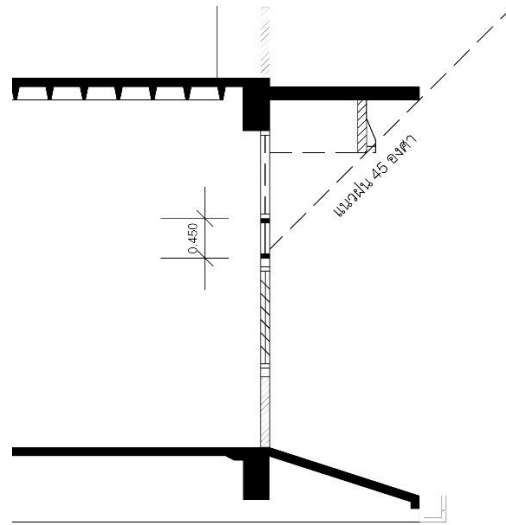
ภาพที่ 76 ภาพตัดกันสาดที่อ้างอิงขนาดของกันสาดกับสัดส่วนของช่องเปิดหน้าต่าง (3-C)

ผู้วิจัยเลือกผลการศึกษาที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นตอนต่อไป

3.3.3 การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมทึบเป็นช่องกระจกใส (3-D)

อ้างอิงจากการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ที่ช่องเปิดหน้าต่างที่มีบานเกล็ดอลูมิเนียมอาจเป็นส่วนทำให้แสงเข้ามาภายในห้องเรียนปฏิบัติงานได้ไม่เต็มที่ ผู้วิจัยศึกษาการเปลี่ยนวัสดุจากอลูมิเนียมทึบแสงเป็นกระจกใสความหนา 3 มิลลิเมตร ที่มีค่าความโปร่งใสที่ 80%

(อ้างอิง : Building Science: Concepts and Application)

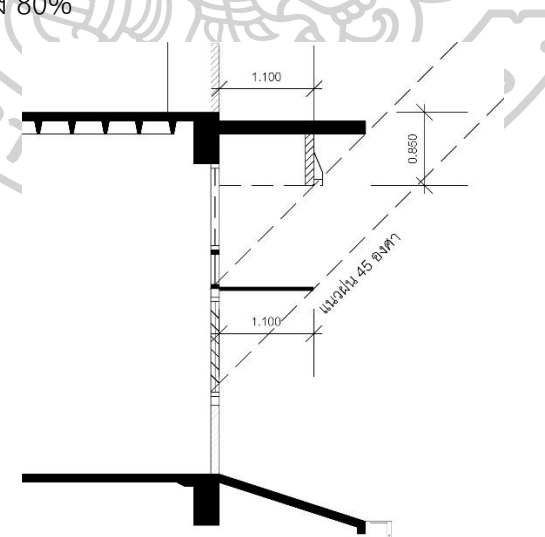


ภาพที่ 77 ช่องเกล็ดต่อลูมิเนียมและบานกระจกใส (3-D)

ผู้วิจัยเลือกผลการศึกษาที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นตอนต่อไป

3.3.4 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)

อ้างอิงจากการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ที่หิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายในช่วยดึงแสงสว่างจากภายนอกเข้าสู่ภายในมากขึ้น ผู้วิจัยศึกษาการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ระยะยื่น 1.10 เมตร ติดบริเวณใต้ช่องแสงกระจก โดยใช้วัสดุเป็นคอมโพสิทสีขาวที่มีค่าการสะท้อนแสง 80%



ภาพที่ 78 ภาพตัดหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 1.10 เมตร (3-E)

เนื่องจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในเป็นส่วนย่อยของการศึกษาเรื่องหิ้งสะท้อนแสงภายนอก ซึ่งอ้างอิงจากแนวทางในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ผู้วิจัยจึงลดขั้นตอนการศึกษาลงและเลือกผลการศึกษาที่ดีที่สุดนำไปพัฒนาขั้นตอนต่อไป

3.3.5 การติดตั้งชนิดฝ้าเพดาน (3-F)

อ้างอิงจากการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ที่ฝ้าเพดานทำงานร่วมกับหิ้งสะท้อนแสงจึงจะมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยเลือกศึกษาชนิดของฝ้าเพดานที่ทำให้ค่าความส่องสว่างภายในห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 มาศึกษาต่อในการศึกษาชนิดฝ้าเพดานของชั้น 3 ร่วมกับผลการศึกษารูปแบบที่ดีที่สุดของการศึกษาก่อนหน้าคือ การศึกษาหิ้งสะท้อนแสงภายนอก

สามารถสรุปตัวแปรในการศึกษาแสงธรรมชาติได้ดังตารางที่ 26 และ 27

ตารางที่ 26 สรุปตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม
การรื้อกันสาด	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจาก 126 จุด
ระยะติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส	ค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงจาก 126 จุด
ขนาดของไฟเบอร์กลาส	
การเปลี่ยนเกล็ดดอลูเป็นช่องกระจกใส	
การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 1.10 เมตร	
การติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ	

ตารางที่ 27 สรุปตัวแปรควบคุมในการศึกษาแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3

ตัวแปรควบคุม	
Location	Bangkok
Longitude	100.13
Latitude	18.13
North alignment	299.20
Time zone	(UTC+07.00) bangkok , hanoi , jakata
Date and time	(วันและเวลาในการคำนวณเหมือนกับตารางที่ 23)

Reference sky type	average sky
Grid size caculate	2.20 x 2.15 เมตร
wall zone caculate	0.50 เมตร
high level caculate	0.80 เมตร
Point calculate	126 จุด

3.4 การศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3

ผู้วิจัยนำแบบจำลองจากข้อสรุปการปรับปรุงแสงธรรมชาติมาต่อยอดในการศึกษาปรับปรุงแสงประดิษฐ์ เช่นเดียวกับการศึกษาของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

3.4.1 ชนิดของหลอดไฟ LED

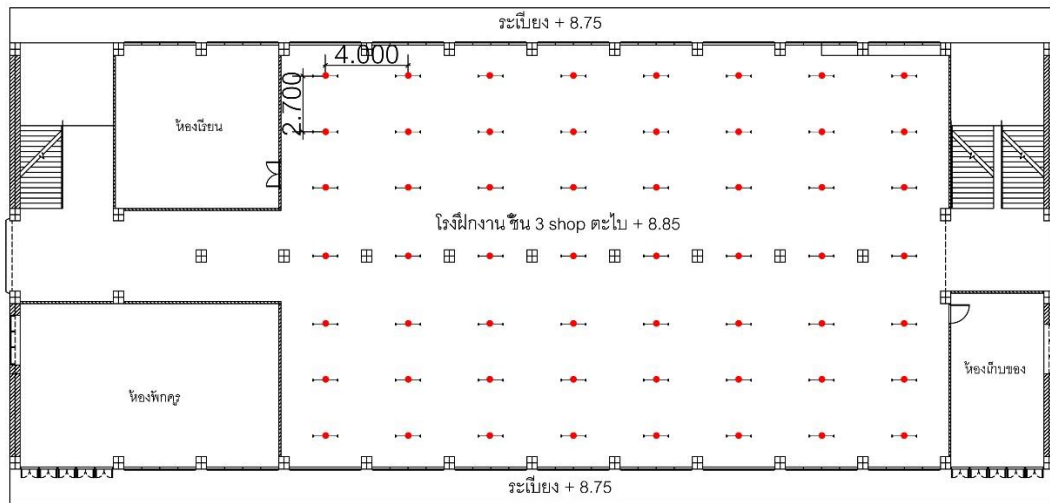
อ้างอิงจากการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ผู้วิจัยศึกษาการปรับเปลี่ยนหลอด LED ชนิดต่าง ๆ ได้แก่ หลอด LED Phillips | T8 | 20W / หลอด LED Phillips | T8 | 27W / หลอด LED Phillips | T8 | 30W

3.4.2 การจัดตำแหน่งหลอดไฟและจำนวนหลอด

การจัดตำแหน่งหลอดไฟและจำนวนหลอด มี 2 รูปแบบ ได้แก่ รูปแบบที่ 1 จำนวน 104 หลอด (จัดวางตำแหน่งเดิมเพิ่มจำนวนหลอด 2 เท่า) รูปแบบที่ 2 จำนวน 114 หลอด (จัดวางตำแหน่งกระจายให้ทั่วห้อง)

- Base case (3-lightA)

ห้องเรียนปฏิบัติงานในปัจจุบันใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์ T8 Philips lifemax 3250 lm. 36W/54-765 Daylight 1200 มิลลิเมตร 5200K มีการติดตั้งระยะ 4.00 x 2.70 เมตร จำนวน 56 หลอด

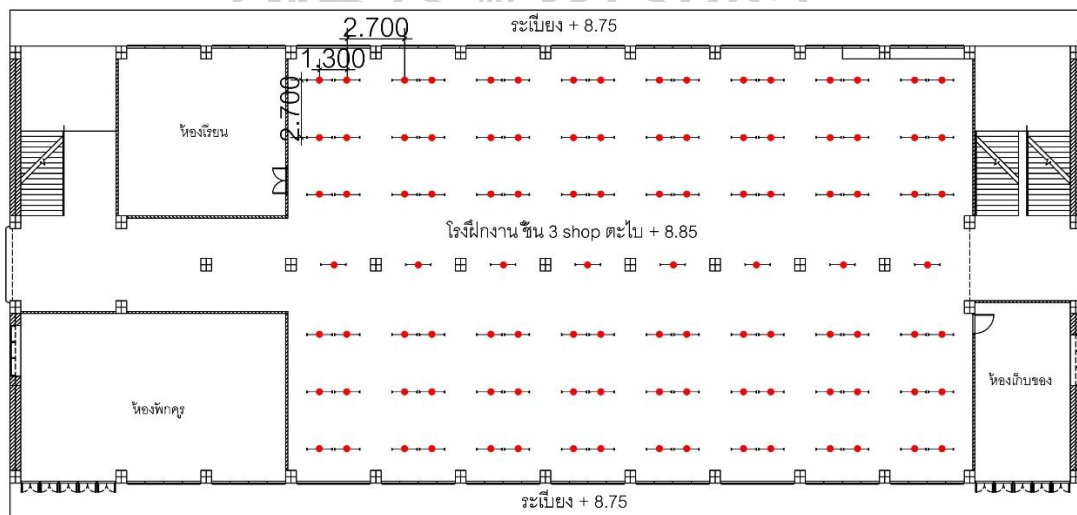


ภาพที่ 79 ผังการจัดวางหลอดไฟก่อนการปรับปรุง (3-lightA)

รูปแบบที่ 1 (3-lightB)

รูปแบบการจัดวางตำแหน่งหลอดไฟคู่ ระยะห่าง 2.70 x 2.70 เมตร ใช้จำนวน

หลอด 104 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังสูงแต่เว้นระยะห่างมาก

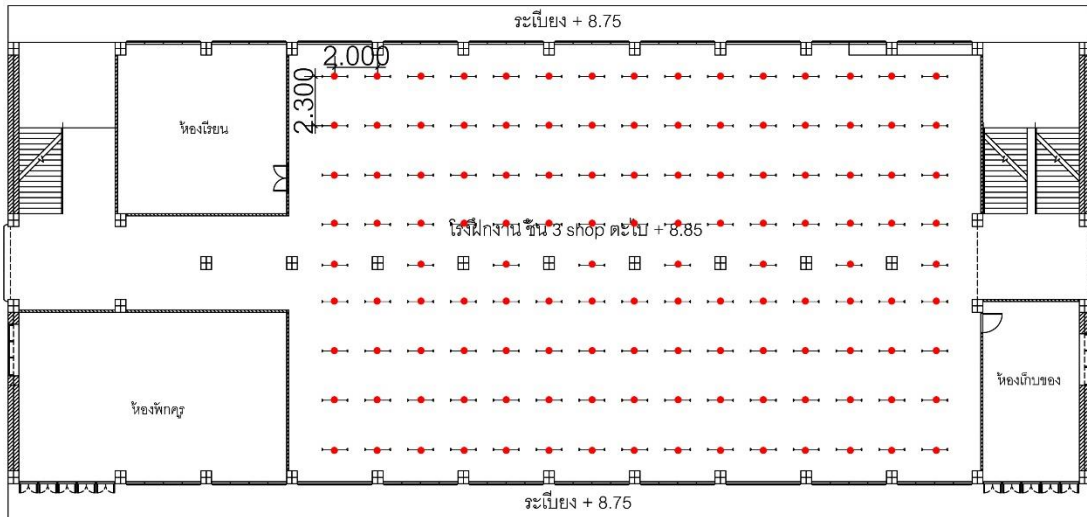


ภาพที่ 80 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 1 (3-lightB)

รูปแบบที่ 2 (3-lightC)

รูปแบบการจัดวางตำแหน่งกระจายระยะเท่า ๆ กัน ระยะห่าง 2.30 x 2.00 เมตร

ใช้จำนวนหลอด 114 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังต่ำและติดตั้งจำนวนมาก



ภาพที่ 81 ผังการจัดวางหลอดไฟรูปแบบที่ 2 (3-lightC)

สามารถสรุปตัวแปรในการศึกษาแสงประดิษฐ์ได้ดังตารางที่ 28 และ 29

ตารางที่ 28 สรุปตัวแปรต้นและตัวแปรตามในการศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

ตัวแปรต้น	ตัวแปรตาม
รูปแบบที่ 1 ตำแหน่งเดิมเพิ่มจำนวน	ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจาก 126 จุด
รูปแบบที่ 2 เพิ่มจำนวนกระจายเท่าๆกัน	ค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงจาก 126 จุด

ตารางที่ 29 สรุปตัวแปรควบคุมในการศึกษาแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

ตัวแปรควบคุม	
Location	Bangkok
Longitude	100.13
Latitude	18.13
North alignment	299.20
Time zone	(UTC+07.00) bangkok , hanoi , jakata
Date and time	Every day
Reference sky type	nodaylight
Grid size caculate	2.20 x 2.15 เมตร
wall zone caculate	0.50 เมตร
high level caculate	0.80 เมตร
Point calculate	126 จุด

3.5 ขั้นตอนการศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงธรรมชาติ

การปรับปรุงแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 และชั้น 3 ใช้การศึกษาด้วยตัวแปรต้นที่เหมือนกันเพื่อศึกษาผลที่ได้ เปรียบเทียบและหาข้อสรุป เพื่อนำไปสู่การศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ของทั้งสองชั้น

3.5.1 การสร้างแบบจำลองตั้งต้น (model base)

สร้างแบบจำลองอาคารทั้งชั้น 1 และชั้น 3 ด้วยโปรแกรม Dialux Evo ขนาดห้อง 32 x 20 เมตร สูง 4.20 เมตร โดยมีช่องเปิดทิศตะวันออกและตะวันตกยาว 2.60 เมตร สร้างรายละเอียดภายนอกและภายในอาคารให้เหมือนกับสถานการณ์จริงรวมถึงการตั้งค่าพื้นผิวและการสะท้อน

3.5.2 ศึกษาผลค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจากตัวแปรต้น

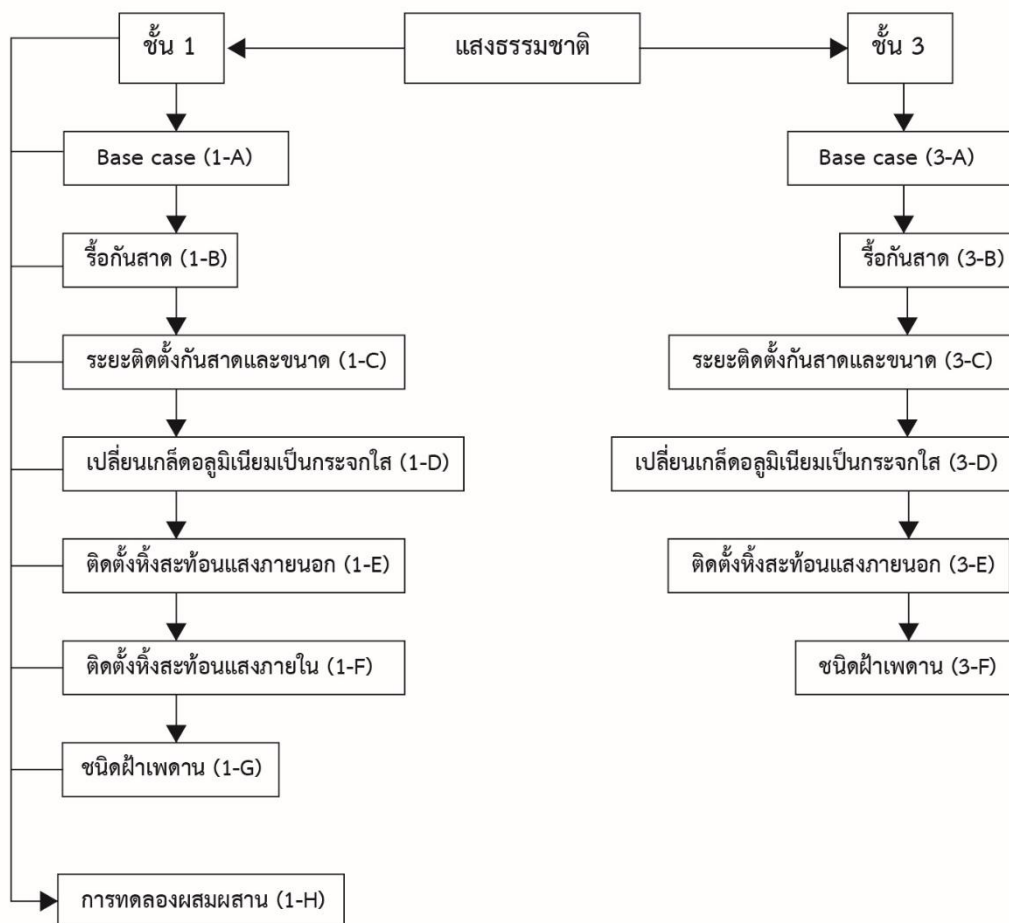
ศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อร้อยถอนกันสาดคอนกรีตออกเพื่อนำผลและปัญหาที่ได้มาพัฒนาในขั้นตอนต่อไป โดยการศึกษาแผงกันสาดไฟเบอร์กลาสที่ระยะติดตั้งและขนาดต่าง ๆ นำผลการศึกษาที่ได้พร้อมปัญหามาพัฒนาในขั้นตอนต่อไปคือ การเปลี่ยน

บานเกล็ดอลูมิเนียมเป็นช่องกระจกใส ศึกษาการติดตั้งแสงสว่างจากภายนอกเข้าสู่อาคารโดยการติดตั้ง หิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายในตามลำดับ นำผลการศึกษาที่ได้พัฒนาการกระจายแสง ของห้องด้วยฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ

3.5.3 สรุปผลการศึกษา

นำผลการศึกษาในรูปแบบต่าง ๆ ที่ดีที่สุดมาศึกษาการปรับปรุงแบบผสมผสาน ในขั้นตอนสุดท้าย และศึกษาผลที่ได้ วิเคราะห์ เปรียบเทียบ เพื่อทำการสรุปผลและนำไปพัฒนาต่อ ในการปรับปรุงแสงประดิษฐ์

สามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพที่ 82



ภาพที่ 82 แผนผังขั้นตอนการศึกษาแสงธรรมชาติด้วยโปรแกรม Dialux Evo

3.6 ขั้นตอนการศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์

จากข้อสรุปของการปรับปรุงแสงธรรมชาตินำมาต่อยอดการศึกษาแสงประดิษฐ์ชั้น 1 และชั้น 3 ด้วยตัวแปรต้นที่เหมือนกันเพื่อศึกษาผลที่ได้ เปรียบเทียบและหาข้อสรุป เพื่อนำไปศึกษาผลการใช้พลังงานของทั้งสองชั้น

3.6.1 ศึกษาแสงประดิษฐ์โดยไม่แสงธรรมชาติมาเกี่ยวข้อง

นำแบบจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ก่อนการปรับปรุงมาศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์โดยแยกกับแสงธรรมชาติ (No daylight) ทั้งชั้น 1 และชั้น 3

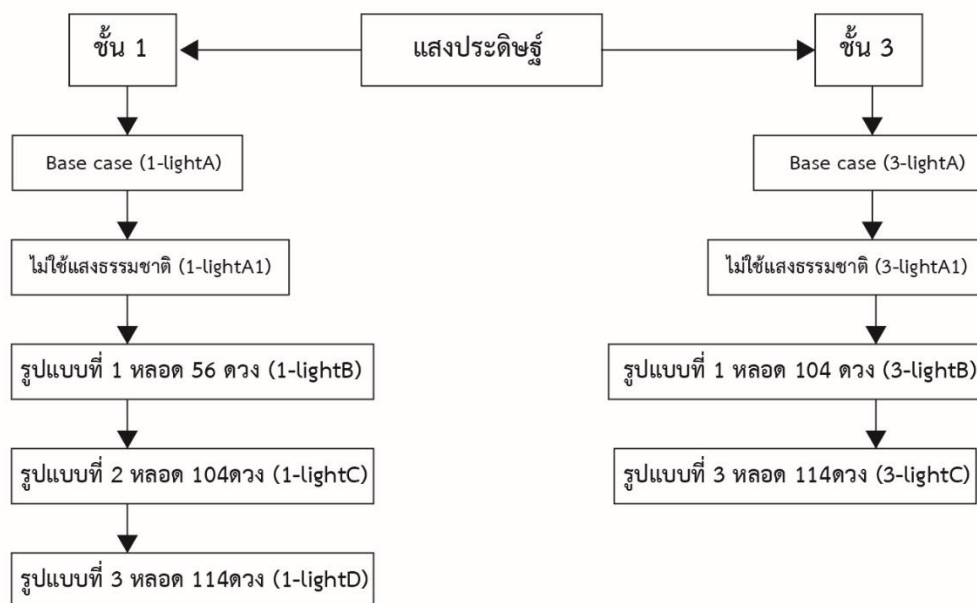
3.6.2 ศึกษาผลค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจากตัวแปรต้น

ศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนปฏิบัติงานที่ปรับปรุงแสงธรรมชาติแล้วโดยการปรับเปลี่ยนชนิดของหลอดไฟ การปรับเปลี่ยนการจัดวาง จำนวนหลอด และคำนวณการใช้พลังงาน

3.6.3 สรุปผลการศึกษา

ศึกษาผลที่ได้ วิเคราะห์ เปรียบเทียบ ทำการสรุปและอภิปรายผล

สามารถสรุปขั้นตอนการศึกษาได้ดังภาพที่ 83



ภาพที่ 83 แผนผังขั้นตอนการศึกษาแสงประดิษฐ์ด้วยโปรแกรม Dialux Evo

บทที่ 4

ผลการศึกษา

การศึกษาแนวทางการปรับปรุงแสงสว่างห้องเรียนปฏิบัติงานช่าง มีการศึกษาอยู่ 2 ส่วน คือการศึกษานำร่องเพื่อหาความน่าเชื่อถือของสถานที่จริงกับแบบจำลองที่สร้างด้วยโปรแกรม Dialux Evo และนำไปใช้ในการศึกษาหลัก ซึ่งเป็นการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงแสงสว่าง ธรรมชาติ แสงประดิษฐ์ และการใช้พลังงาน

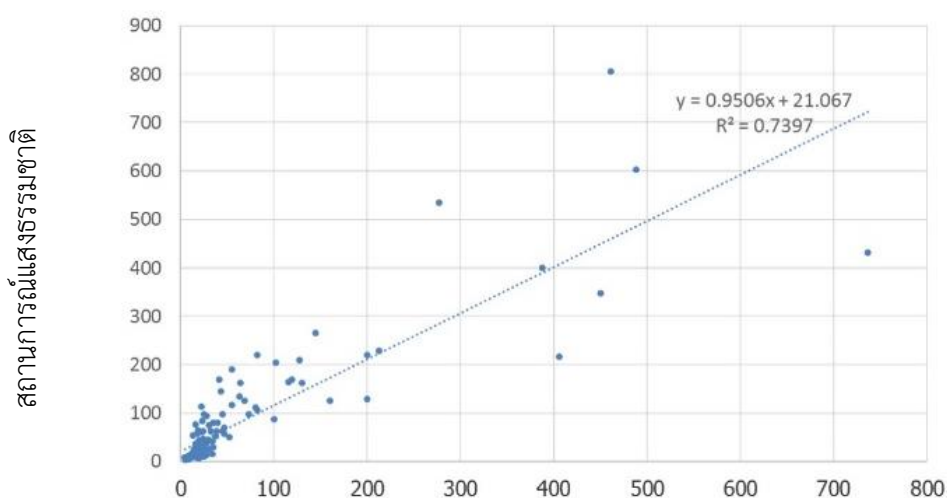
1. ผลการศึกษานำร่อง

การศึกษานำร่องเป็นการศึกษาหาความน่าเชื่อถือของแบบจำลองที่สร้างขึ้นในโปรแกรม Dialux Evo เปรียบเทียบกับสถานที่จริง โดยการวัดจุดคำนวณ 126 จุด เปรียบเทียบกันด้วยสมการเชิงเส้นให้ได้ค่ามากกว่า 0.5 หมายถึง มีความน่าเชื่อถือของแบบจำลองสูง จึงสามารถนำไปใช้ในการศึกษาหลักต่อไป

1.1 ผลการศึกษานำร่องของห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1

1.1.1 ผลการศึกษานำร่องสถานการณแสงธรรมชาติ

ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 1 สถานการณ์แสงธรรมชาติ (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) เป็นดังแผนภูมิกราฟที่ 1 โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ $y = 0.9506x + 21.067$ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ 73% ($R^2 = 0.7397$)



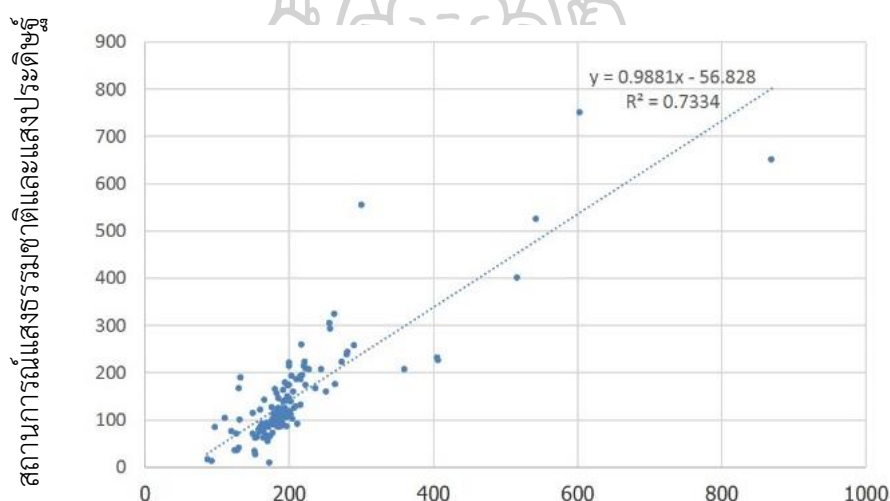
แผนภูมิที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและจากการจำลองด้วยโปรแกรม

Dialux Evo บริเวณชั้น 1

จากผลการศึกษาพบว่าค่า R^2 ที่ได้คือ 0.7397 อยู่ในเกณฑ์มีความสัมพันธ์ระดับดี มีความน่าเชื่อถือ (CORALINE CO. LTD, 2017) สามารถนำไปศึกษาในขั้นต่อไป

1.1.2 ผลการศึกษานำร่อง สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 1 สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) เป็นดังแผนภูมิกราฟที่ 2 โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ $y = 0.9881x - 56.828$ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ 73% ($R^2 = 0.7334$)



แผนภูมิที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 1

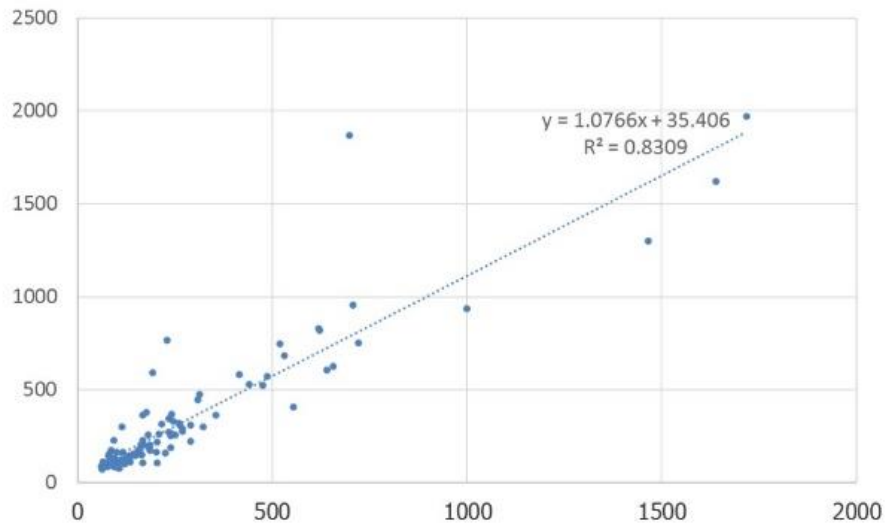
จากผลการศึกษาพบว่าค่า R^2 ที่ได้คือ 0.7334 อยู่ในเกณฑ์มีความสัมพันธ์ระดับดี มีความน่าเชื่อถือ (CORALINE CO. LTD, 2017) สามารถนำไปศึกษาในขั้นต่อไป

1.2 ผลการศึกษานำร่องของห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3

1.2.1 ผลการศึกษานำร่อง สถานการณ์แสงธรรมชาติ

ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 3 สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

(ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) เป็นดังแผนภูมิกราฟที่ 3 โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ $y = 1.0766x + 35.406$ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ 83% ($R^2 = 0.8309$)



แผนภูมิที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 3 สถานการณ์แสงธรรมชาติ

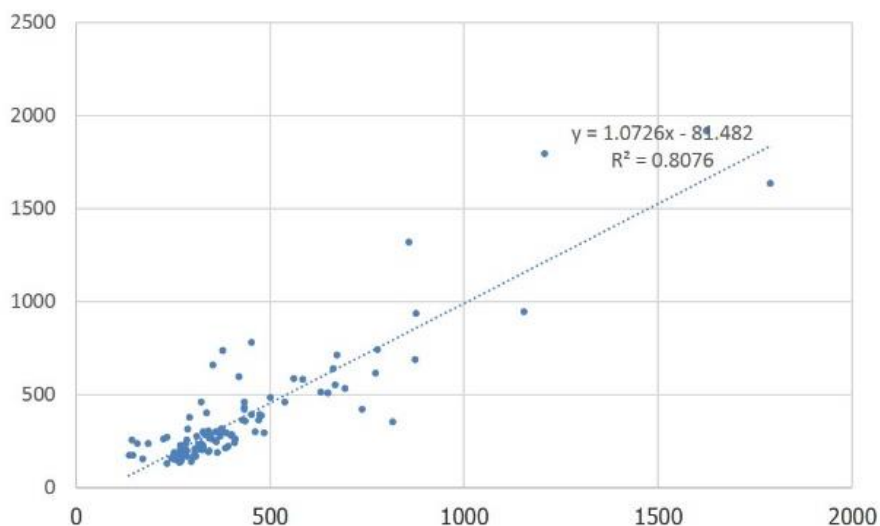
จากผลการศึกษาพบว่าค่า R^2 ที่ได้คือ 0.8309 อยู่ในเกณฑ์มีความสัมพันธ์ระดับดีมาก มีความน่าเชื่อถือ (CORALINE CO. LTD, 2017) สามารถนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป

1.2.2 ผลการศึกษานำร่อง สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 3 สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

(ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) เป็นดังแผนภูมิกราฟที่ 4 โดยมีความสัมพันธ์ดังสมการ

$y = 1.0766x - 81.482$ ซึ่งสามารถอธิบายความสัมพันธ์ได้ 80% ($R^2 = 0.8076$)



แผนภูมิที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างที่วัดได้จริงและความส่องสว่างที่ได้จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo บริเวณชั้น 3 สถานการณ์แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์

จากผลการศึกษาพบว่าค่า R^2 ที่ได้คือ 0.8076 อยู่ในเกณฑ์มีความสัมพันธ์ระดับดีมาก มีความน่าเชื่อถือ (CORALINE CO. LTD, 2017) สามารถนำไปศึกษาในขั้นตอนต่อไป ผลการศึกษาที่ได้มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง ดังนั้น โปรแกรม Dialux Evo จึงคาดว่าจะสามารถนำมาใช้เป็นเครื่องมือในการทำนายสภาพแสงสว่างในการศึกษาต่อไป

2. ผลการศึกษาหลัก

การศึกษาหลักเป็นการหาแนวทางในการปรับปรุงแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ในห้องเรียนปฏิบัติงานให้ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของกฎกระทรวง ที่พื้นที่ปฏิบัติงานช่างชั้น 1 ต้องมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 300 lux และชั้น 3 ต้องมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 500 lux โดยการศึกษาตัวแปรต้นของการปรับปรุงแสงธรรมชาตินำไปสู่การศึกษาค่าแปรของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์และการใช้พลังงานเป็นลำดับ

2.1 ผลการปรับปรุงโดยแสงธรรมชาติบริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1

2.1.1 ก่อนการปรับปรุง (base case) (1-A)

แบบจำลองตั้งต้นจากการศึกษานำร่องในสถานการณ์แสงธรรมชาติที่จำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา ได้ผลดังตารางที่ 30

หมายเหตุ : เนื่องจากวันที่ 23 ก.ย. ให้ผลเช่นเดียวกับวันที่ 21 มี.ค. จึงได้เลือกทำการศึกษาเพียงวันเดียวและใช้ค่าผลแทนวันดังกล่าว

ตารางที่ 30 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A)

วัน	เวลา				เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)		
21 มีนาคม 2562	87	38	23	38	46	0.21
21 มิถุนายน 2562	119	30	15	35	50	0.22
23 กันยายน 2562	87	38	23	38	46	0.21
22 ธันวาคม 2562	32	44	39	33	37	0.23
เฉลี่ย	81	37	25	36	45	0.23

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติก่อนการปรับปรุง (1-A) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 จะเห็นได้ว่าแสงธรรมชาติของสถานที่จริงในการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 45 lux ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กฎกระทรวงกำหนด และค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอ 0.23 หมายถึงมีความสม่ำเสมอของแสงน้อย โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติงานและลดลงเมื่อมีระยะลึกเข้ามาเนื่องจากบริเวณด้านหลังเป็นโรงปฏิบัติงานที่ต่อเติมทำให้แสงสว่างเข้ามาในปริมาณน้อยมาก (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) จึงต้องศึกษาวิธีในการปรับปรุงต่อไป

2.1.2 การรื้อแผงกันสาดแนวตั้ง (1-B)

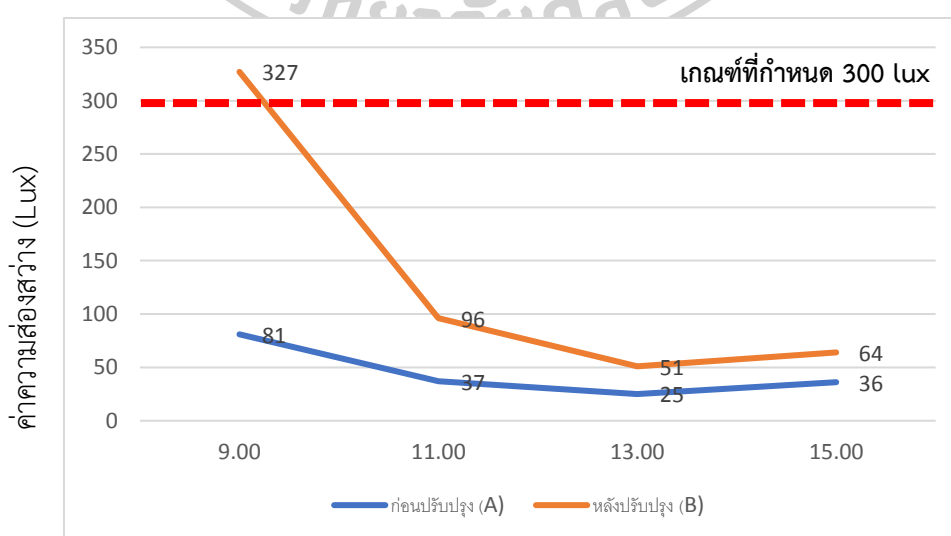
กันสาดเดิมของอาคารมีลักษณะเป็นแผงกันสาดเป็นคอนกรีตสีขาว กันสาดรูปแบบนี้มีความทึบตัน ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้แสงสว่างภายในห้องเรียนปฏิบัติงานไม่เพียงพอ ผู้วิจัยจึงศึกษาสภาพแสงสว่าง หากรื้อกันสาดแนวตั้งซึ่งไม่เกี่ยวเนื่องกับโครงสร้างหลักของอาคาร เนื่องจากกันสาดแนวนอนถือเป็นส่วนหนึ่งของโครงสร้างหลักและเป็นพื้นระเบียงของชั้นบนจึงไม่สามารถรื้อถอนได้ โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 31

ตารางที่ 31 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างหลังรื้อกันสาดออก (1-B)

วัน	เวลา				เฉลี่ย (Lux)	Unifromity (min/mean)
	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)		
21 มีนาคม 2562	354	98	47	66	141	0.15
21 มิถุนายน 2562	512	83	35	66	174	0.14
23 กันยายน 2562	354	98	47	66	141	0.15
22 ธันวาคม 2562	91	103	77	57	82	0.18
เฉลี่ย	327	96	51	64	135	0.15

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติหลังการรื้อกันสาดออก (1-B) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายในห้องเรียนปฏิบัติงานยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux แต่มีปริมาณแสงเพิ่มมากขึ้น มีความสม่ำเสมอของแสงน้อย โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติงาน มีแสงแดดโดยตรงเข้ามาในพื้นที่ปฏิบัติงานและปริมาณแสงลดลงเมื่อมีระยะลึกเข้ามา

สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาได้ดังกราฟที่ 5



แผนภูมิที่ 5 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A) และหลังรื้อกันสาดออก (1-B)

พบว่าเมื่อรื้อกันสาดที่เป็นคอนกรีตออกค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเพิ่มมากขึ้น ในช่วงเวลา 9.00 น. และลดลงเมื่อเลยช่วงเวลาเช้าทำให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างยังไม่เพียงพอในการใช้งานตลอดทั้งวัน

ดังนั้นการปรับปรุงจึงจำเป็นต้องมีการแก้ไขเพิ่มเติมมากขึ้นโดยเฉพาะอย่างยิ่ง การป้องกันละอองฝนเข้าสู่เครื่องจักรที่อยู่บริเวณริมหน้าต่างเนื่องจากการรื้อกันสาดเดิมออก เพื่อรักษาปริมาณความส่องสว่างให้ได้มากที่สุด ผู้วิจัยได้เลือกใช้กันสาดไฟเบอร์กลาสมาติดตั้ง ทั้งนี้เนื่องจากกันสาดของอาคารจำเป็นต้องทำหน้าที่ในการป้องกันฝนสาดที่ทำมุม 45 องศา (อาคารปฏิบัติงานช่างมีเครื่องจักรที่ตั้งอยู่บริเวณริมหน้าต่างควรหลีกเลี่ยงความชื้นจากละอองฝน)

2.1.3 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C)

เนื่องจากการรื้อถอนกันสาดคอนกรีตแนวตั้งออกอาจทำให้เกิดปัญหาฝนสาด เข้าที่บริเวณหน้าต่างซึ่งเป็นจุดที่มีเครื่องจักรติดตั้งและอาจทำให้เครื่องจักรเสียหายได้ ผู้วิจัย จึงศึกษากันสาดที่สามารถบังฝนแต่ยังสามารถให้แสงสว่างส่องผ่านได้คือกันสาดไฟเบอร์กลาส ของบริษัท กรีนเวย์ สตีล โปรดักส์ สีขาวใส ซึ่งมีอัตราแสงส่องผ่าน 70%

ขนาดของแผงกันสาดกำหนดขึ้นโดยอ้างอิงจากสัดส่วนของช่องเปิดหน้าต่าง โดยขนาดแผงกันสาด 1.80 เมตร เท่ากับขนาดเดิม , ขนาดแผงกันสาด 1.60 เมตร เท่ากับระดับ ของตะแกรงช่องเปิดด้านบน , ขนาดแผงกันสาด 1.10 เมตร เท่ากับระดับกึ่งกลางช่องเปิดตะแกรง , ขนาดแผงกันสาด 0.85 เมตร เท่ากับระดับช่องเจาะของแผงกันสาดเดิม

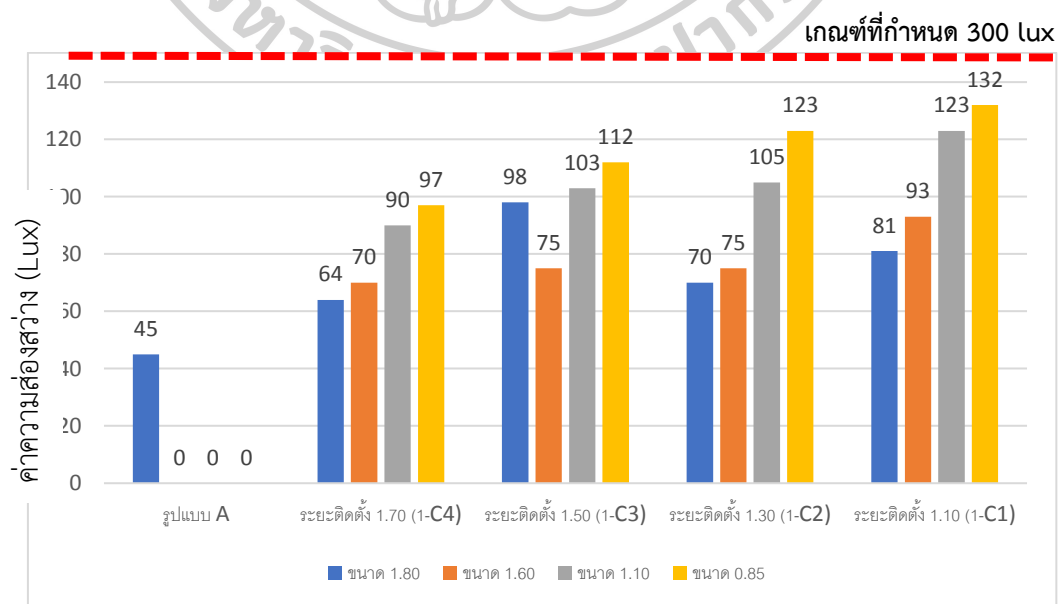
ผู้วิจัยได้ศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เกิดจากระยะการติดตั้ง ขนาด และการป้องกันฝนของกันสาดในแนว 45 องศา โดยระยะติดตั้งศึกษาจากระยะเดิมและทำการ ลดระยะครั้งละ 20 เซนติเมตร เพื่อศึกษาผลความส่องสว่าง และขนาดของกันสาดแนวตั้งที่อ้างอิง จากสัดส่วนของช่องเปิดที่อยู่ริมหน้าต่าง โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 32

ตารางที่ 32 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการศึกษาระยะติดตั้งและขนาดแผงกันสาด (1-C)

ระยะติดตั้ง (เมตร) \ ขนาด (เมตร)	1.80	1.60	1.10	0.85
1.70	64	70	90	97
1.50	98	75	103	112
1.30	70	75	105	123
1.10	81	93	123	132
ความสม่ำเสมอของแสง				0.15

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 32 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้จากการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาสทุกรูปแบบมีค่าน้อยกว่ารูปแบบรื้อกันสาดออก (1-B) ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ความสม่ำเสมอของแสงน้อย โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติงานปริมาณแสงลดลงเมื่อระยะลึกลงเข้ามาภายในห้อง ดังนั้นการเปลี่ยนวัสดุจากกันสาดคอนกรีตเป็นกันสาดไฟเบอร์กลาสทำให้ห้องเรียนปฏิบัติงานมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากขึ้น

สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาดังกราฟที่ 6



แผนภูมิที่ 6 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A) และระยะติดตั้งและขนาดแผงกันแดด (1-C)

จากการศึกษาพบว่าระยะติดตั้งและขนาดแผงกันแดดที่สามารถป้องกันฝนแดดได้ยังมีค่าความส่องสว่างที่ไม่เพียงพอ แต่ระยะติดตั้งและขนาดแผงกันแดดที่ให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ใกล้เคียงกับรูปแบบ 1-B ที่ 135 lux และเหมาะแก่การนำไปศึกษาต่อคือ

รูปแบบ 1-C1.1 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันแดด 0.85 เมตร

รูปแบบ 1-C1.2 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันแดด 1.10 เมตร

รูปแบบ 1-C2.1 ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร ขนาดแผงกันแดด 0.85 เมตร

จึงนำมาสู่การพัฒนาขั้นต่อไป

2.1.4 การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นช่องกระจกใส (1-D)

ผู้วิจัยได้ศึกษาอุปสรรคที่บดบังแสงสว่างที่เข้าสู่อาคารคือ เกล็ดอลูมิเนียมซึ่งมีลักษณะที่บดบังอาจมีส่วนทำให้แสงสว่างเข้ามาไม่เต็มประสิทธิภาพ จึงศึกษาการเปลี่ยนวัสดุเป็นกระจกใสที่มีค่าความโปร่งใสที่ 80%

(อ้างอิง : Building Science: Concepts and Application)

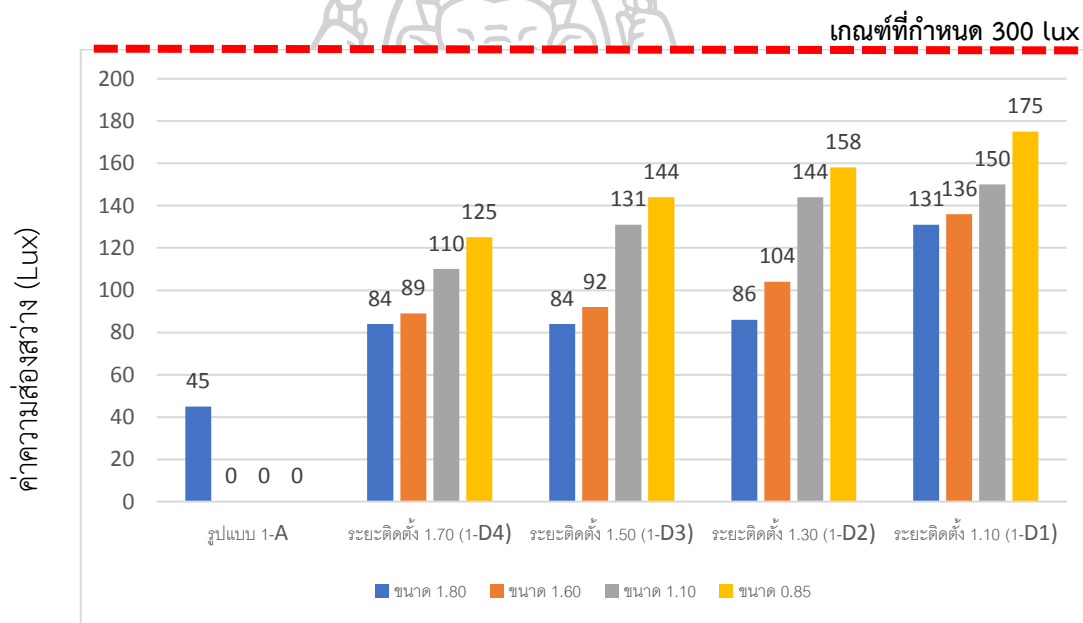
ผู้วิจัยเลือกที่จะศึกษาผลทั้งหมดเพื่อความแม่นยำ โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 33

ตารางที่ 33 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใสที่มีค่า transparent 80% (1-D)

ระยะติดตั้ง (เมตร) \ ขนาด (เมตร)	1.80	1.60	1.10	0.85
1.70	84	89	110	125
1.50	84	92	131	144
1.30	86	104	144	158
1.10	131	136	150	175
ความสม่ำเสมอของแสง				0.14

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการเปลี่ยน เกล็ดอลูมิเนียมเป็นช่องกระจกใส (1-D) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 33 จะพบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้มีค่าที่สูงขึ้นแต่ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ความความสม่ำเสมอของแสงน้อยลง โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติงานและปริมาณแสงลดลงเมื่อระยะลึกเข้ามาภายในห้อง ดังนั้นการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาสและการเปลี่ยน เกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใสทำให้ห้องเรียนปฏิบัติงานมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากขึ้น

สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาได้ดังกราฟที่ 7



แผนภูมิที่ 7 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A) และการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจก (1-D)

จากแผนภูมิที่ 7 เมื่อปรับเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใสที่มีค่า transparent 80% จะพบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากขึ้นเมื่อระยะติดตั้งของแผงกันสาดในแนวนอนลดลงและขนาดของไฟเบอร์กลาสที่ลดลง โดยกันสาดแบบ 1-D1.1 ที่ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร มีค่าความส่องสว่างตลอดปีสูงที่สุด อย่างไรก็ตามยังคงมีปัญหาในการป้องกันละอองฝนสาด และ

ผู้วิจัยมีข้อสันนิษฐานว่าการติดตั้งแผง light shelves หรือหิ้งสะท้อนแสงจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันฝนและช่วยกระจายแสงเข้าสู่อาคารมากขึ้น

โดยการผลการศึกษาที่เลือกนำไปพัฒนาในขั้นต่อไป ได้แก่

รูปแบบ 1-D1.1 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันสาด 0.85 เมตร

รูปแบบ 1-D1.2 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันสาด 1.10 เมตร

รูปแบบ 1-D2.1 ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร ขนาดแผงกันสาด 0.85 เมตร

2.1.5 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)

เนื่องจากผลการศึกษาที่เลือกอาจยังมีปัญหาในการป้องกันละอองฝนที่จะสาดเข้าหน้าต่างโดยตรง ซึ่งอาจจะมีผลต่อเครื่องจักรที่อยู่ริมหน้าต่าง ผู้วิจัยจึงคาดว่าหิ้งสะท้อนแสงจะช่วยให้การป้องกันละอองฝนสาดและยังมีประโยชน์ช่วยในการนำแสงสว่างเข้าสู่อาคาร โดยระยะยื่น 1.10 เมตร คือระยะที่น้อยที่สุดที่จะสามารถป้องกันฝนในมุม 45 องศาได้ และไม่กีดขวางทางเดินภายนอก

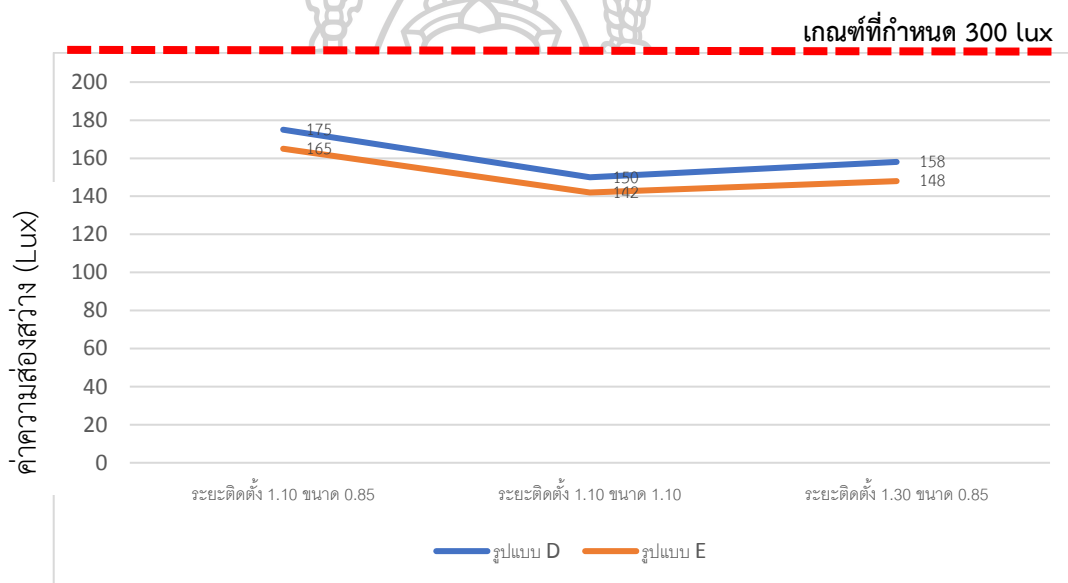
ผู้วิจัยได้เลือก 3 ผลการศึกษาจากการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจก (1-D) มาใช้ในการศึกษาต่อ โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 34 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)

ระยะติดตั้ง	วัน	เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
	เวลา		
ระยะติดตั้ง 1.10 (1-E1)	ขนาดแผง 0.85 (1-E1.1)		
	เฉลี่ย	165	0.23
	ขนาดแผง 1.10 (1-E1.2)		
	เฉลี่ย	142	0.25
ระยะติดตั้ง 1.30 (E2)	ขนาดแผง 0.85 (1-E1.3)		
	เฉลี่ย	148	0.24

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการติดตั้ง หึ่งสะท้อนแสงภายนอก (1-E) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 34 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้มีค่าลดลง ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ความความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น โดยลักษณะแสง มีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติการมีการกระจายแสงขึ้นสู่ด้านบน เพดานทำให้แสงเข้ามาได้ลึกมากขึ้นจึงส่งผลกับความสม่ำเสมอของแสง ดังนั้นการติดตั้งกันสาด ไฟเบอร์กลาส การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส และการติดตั้งหึ่งสะท้อนแสงภายนอก อาจทำให้แสงลดปริมาณลงแต่ได้ความสม่ำเสมอมากขึ้น

สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาดังกราฟที่ 8



แผนภูมิที่ 8 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D) และการติดตั้งหึ่งสะท้อนแสงภายนอกขนาด (1-E)

จากผลการศึกษาเมื่อติดตั้งหึ่งสะท้อนแสงภายนอกพบว่าปริมาณค่าเฉลี่ยความส่องสว่างลดลงแต่สามารถป้องกันแนวฝนสาดในมุม 45 องศาได้ และรูปแบบที่ให้ค่าความส่องสว่างสูงสุด ได้แก่

รูปแบบ 1-E1.1 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันสาด 0.85 เมตร

ผู้วิจัยจึงสันนิษฐานว่าหากมีหิ้งสะท้อนแสงภายใน จะช่วยนำแสงเข้าสู่อาคารมากขึ้น โดยเลือกผลทางการศึกษาทั้ง 3 รูปแบบเพื่อความแม่นยำ ได้แก่

รูปแบบ 1-E1.1 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันสาด 0.85 เมตร

รูปแบบ 1-E1.2 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันสาด 1.10 เมตร

รูปแบบ 1-E2.1 ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร ขนาดแผงกันสาด 0.85 เมตร

2.1.6 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F)

เนื่องจากบริเวณริมหน้าต่างของห้องมีเครื่องจักรขนาดใหญ่และมีความสูงค่อนข้างมากติดตั้งอยู่ทำให้ระยะยื่นหิ้งสะท้อนแสงภายในจึงจะต้องไม่ล้ำเข้ามาในเขตเครื่องจักรหรือควรเท่ากับระยะความลึกเสา คือ 0.50 เมตร

ผู้วิจัยได้เลือก 3 ผลการศึกษาจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด (1-E) มาใช้ในการศึกษาต่อ โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข)

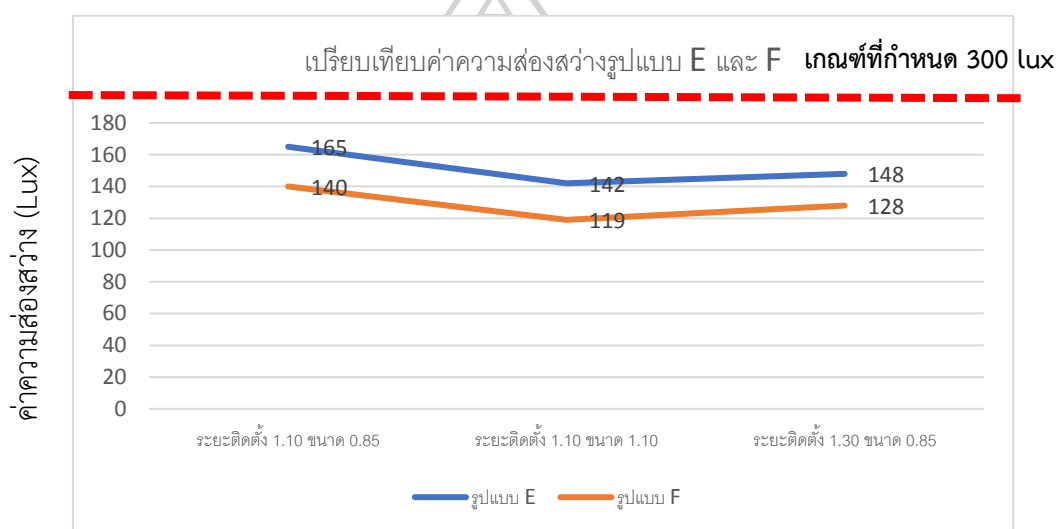
ตารางที่ 35 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.50 (1-F)

	เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาดแผง 0.85 (1-F1.1)		
เฉลี่ย	140	0.25
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาดแผง 1.10 (1-F1.2)		
เฉลี่ย	119	0.26
ระยะติดตั้ง 1.30 ขนาดแผง 0.85 (1-F2.1)		
เฉลี่ย	128	0.26

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 35 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้มีค่าลดลง

ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ความความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติงานมีการกระจายแสงขึ้นสู่ด้านบน เพดานทำให้แสงเข้ามาได้ลึกมากขึ้นจึงส่งผลกับความสม่ำเสมอของแสง ดังนั้นการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายใน อาจทำให้แสงลดปริมาณลงแต่ได้ความสม่ำเสมอมากขึ้น

สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาดังกราฟที่ 9



แผนภูมิที่ 9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการปรับปรุงหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E) และ หิ้งสะท้อนแสงทั้งภายนอกและภายใน (1-F)

จากผลการศึกษาเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงภายใน 0.50 เมตร และหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 1.10 เมตร พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมีปริมาณที่ลดลงเนื่องจากหิ้งสะท้อนแสงภายในมีระยะยื่นสั้น ทำให้อาจเป็นส่วนบดบังแสงมากกว่าช่วยดึงแสงเข้ามา แต่หิ้งสะท้อนแสงภายนอกช่วยในการป้องกันละอองฝนได้จึงจำเป็นต้องติดตั้ง และรูปแบบที่ให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างดีที่สุดคือ

รูปแบบ 1-F1.1 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันสาด 0.85 m

ผู้วิจัยจึงนำผลการศึกษา 1-F1.1 พัฒนาในขั้นต่อไป

2.1.7 การปรับปรุงฝ้าเพดาน (1-G)

เนื่องจากห้องเรียนปฏิบัติงานในปัจจุบันเป็นฝ้าเพดานชนิดเปิด มีคานและติดตั้งหลอดไฟไว้ในช่องของแนวกานซึ่งอาจจะทำให้แสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคารกระจายไม่สม่ำเสมอและมีประสิทธิภาพน้อย ผู้วิจัยเปลี่ยนชนิดของฝ้าเพดานซึ่งคาดว่าจะช่วยเพิ่มค่าความส่องสว่างให้ห้องเรียนปฏิบัติงานมากขึ้น โดยการติดตั้งจะต้องไม่ทำให้ระดับพื้นถึงฝ้าเพดานน้อยกว่าระยะ 3.60 เมตร

ผู้วิจัยได้เลือก 1 ผลการศึกษาจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนภายใน (1-F) มาใช้ในการศึกษาต่อ โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข)

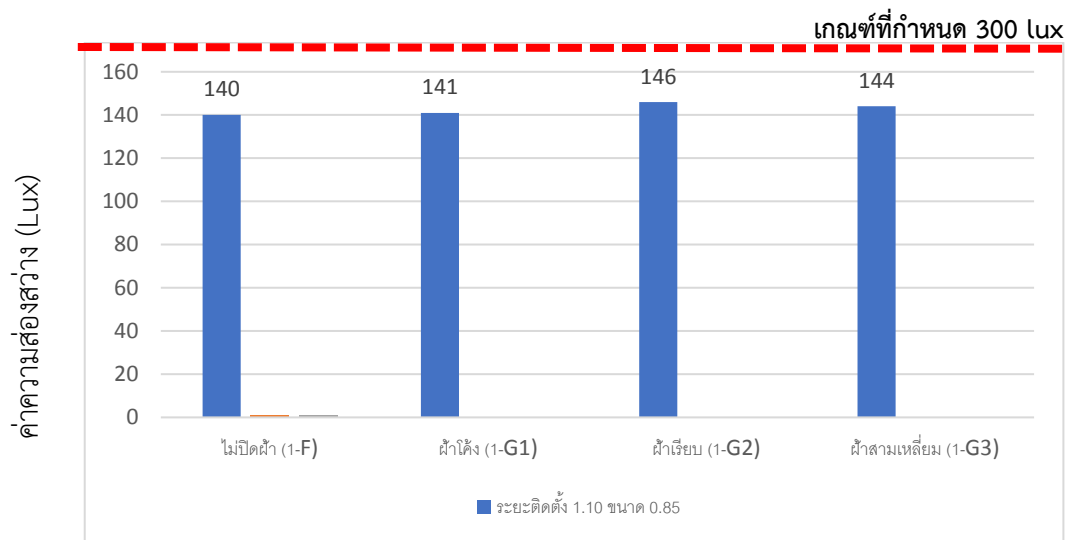
ตารางที่ 36 สรุปผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ (1-G)

	เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาด 0.85 (1-G1.1)		
เฉลี่ย	141	0.25
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาด 0.85 (1-G1.2)		
เฉลี่ย	146	0.25
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาด 0.85 (1-G1.3)		
เฉลี่ย	144	0.25

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการติดตั้งฝ้าเพดาน (1-G) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 36 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ความสม่ำเสมอของแสงลดลง โดยลักษณะแสงมี

ความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติงาน มีการกระจายแสงขึ้นสู่ด้านบน เพดานทำให้แสงเข้ามาได้ลึกมากขึ้น ดังนั้นการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียม เป็นกระจกใส การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกและภายใน การติดตั้งฝ้าเพดาน อาจทำให้แสง ลดปริมาณลงแต่ได้ความสม่ำเสมอมากขึ้นจากการกระจายแสง

สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาได้ดังกราฟที่ 10



แผนภูมิที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการปรับปรุงหิ้งสะท้อนภายใน (1-F) และ ชนิดฝ้าเพดาน (1-G)

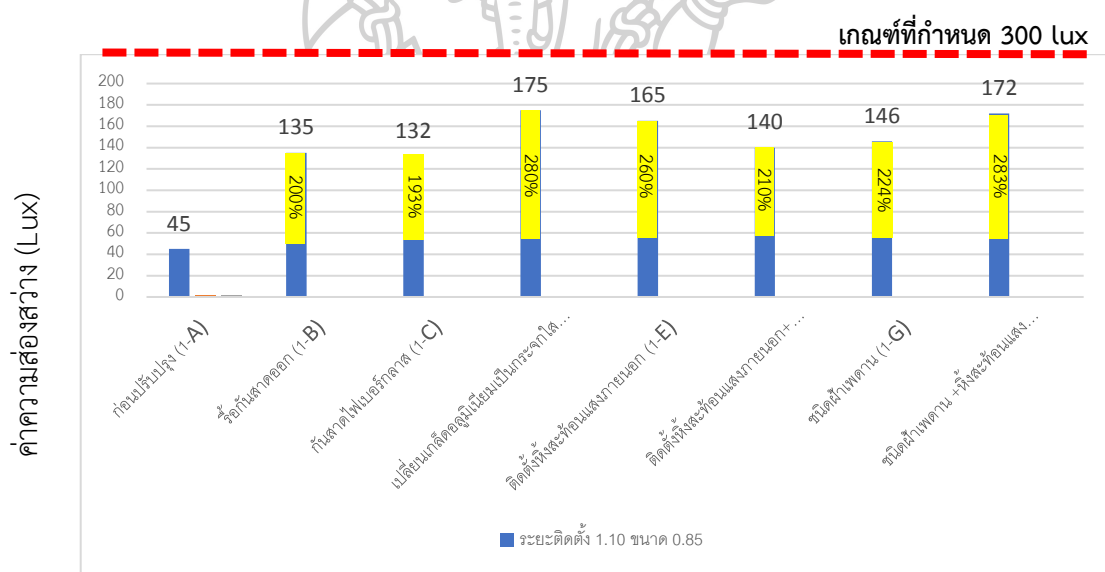
จากผลการศึกษการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ สูงจากพื้น 3.60 เมตร วัสดุเป็นผ้าสีขาว ที่มีค่าการสะท้อนแสง 80% พบว่าฝ้าเพดานชนิดเรียบและชนิดสามเหลี่ยมที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากที่สุด ที่ระยะติดตั้งกันสาด 1.10 เมตร ขนาดกันสาด 0.85 เมตร และมีหิ้งสะท้อนแสงทั้ง ภายนอกและภายใน

2.1.8 การปรับปรุงรูปแบบผสมผสาน (1-H)

จากศึกษาข้างต้นทำให้พบข้อดีและข้อเสียในแต่ละแบบการปรับปรุง จึงนำมาสู่ การปรับปรุงแบบผสมผสานโดยอ้างอิงจากค่าความส่องสว่างมากที่สุด คือ การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียม เป็นช่องกระจก (1-D) การปรับเปลี่ยนฝ้าเพดานเป็นชนิดเรียบ (1-G1) และการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง ภายนอก (1-D1) โดยมีระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดกันสาด 0.85 เมตร (1-C1.1)

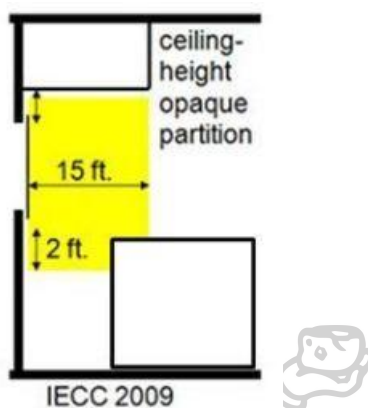
จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการผสมผสานรูปแบบการปรับปรุง (1-H) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 172 lux ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง 0.24 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ความสม่ำเสมอของแสงลดลง โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติงาน มีการกระจายแสงขึ้นสู่ด้านบนเพดานทำให้แสงเข้ามาได้ลึกมากขึ้น ดังนั้นการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก การติดตั้งฝ้าเพดาน ทำให้ได้ปริมาณแสงที่มากขึ้นและยังช่วยให้ความสม่ำเสมอของแสงอยู่ในระดับดี

สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาดูแลเริ่มต้นในการปรับปรุงแสงธรรมชาติของห้องเรียนปฏิบัติงานช่วงเชื่อมชั้น 1 ได้ดังกราฟที่ 11



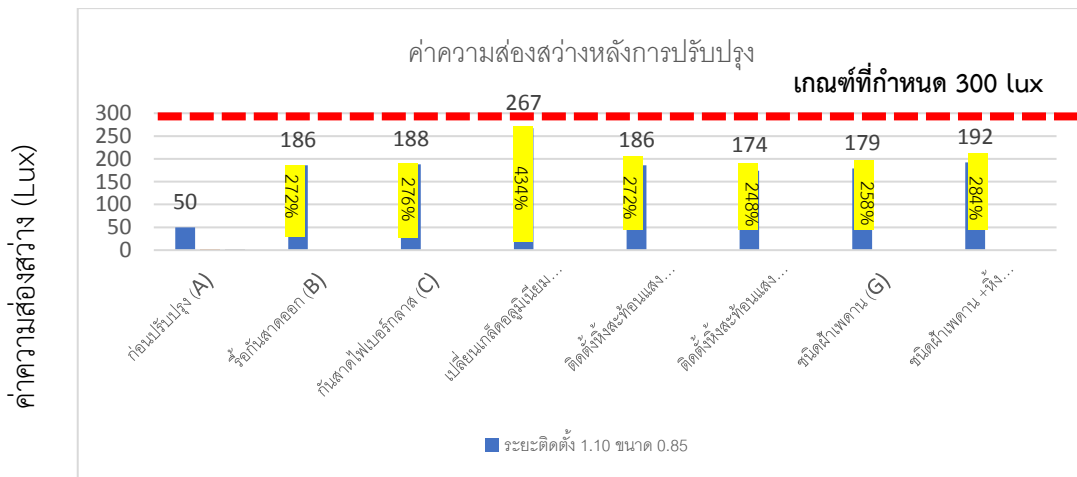
แผนภูมิที่ 11 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในการพัฒนารูปแบบต่าง ๆ ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากที่สุด

อย่างไรก็ตามตัวเลขความส่องสว่างนั้นมาจากการคำนวณค่าเฉลี่ยทั้งห้องซึ่งลึกมาก หากพิจารณาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างจากเกณฑ์ Daylight zone IECC 2009 กล่าวไว้ว่า daylight zone จะเข้ามาภายในอาคารได้เท่ากับ 15 ฟุต หรือประมาณ 4.5 เมตร และกระจายออกด้านข้าง 2 ฟุต หรือประมาณ 0.60 เมตร



ภาพที่ 84 ภาพอธิบาย Daylight zone ในเกณฑ์ของ IECC 2009

ซึ่งในห้องเรียนปฏิบัติงานมีความลึก 20 เมตร ซึ่งตามเกณฑ์ IECC 2009 แสงธรรมชาติจะเข้าสู่ภายในอาคารจากช่องเปิดได้ 4.50 เมตร ซึ่งหน้าต่างห้องนี้สูง 2.60 เมตร และเมื่อปรับปรุงแล้วพบว่าที่ความลึก 10 เมตร จากหน้าต่างมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน (ตั้งแผนภูมิที่ 11) ซึ่งระยะ 10 เมตร มากกว่า daylight zone ตามปกติซึ่งถือว่าการออกแบบนี้สามารถนำแสงธรรมชาติเข้ามาใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพแล้ว จึงนำมาสู่การศึกษาปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในขั้นต่อไป



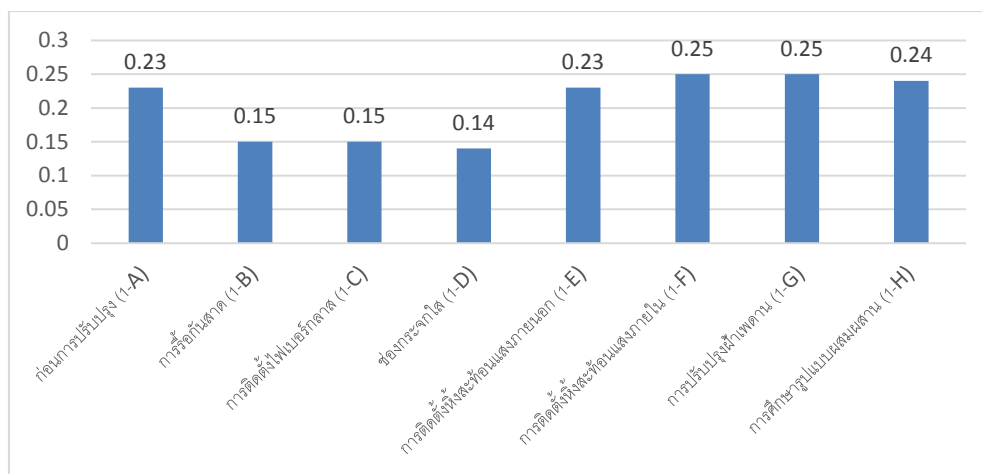
แผนภูมิที่ 12 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างในการพัฒนาปรับปรุงรูปแบบต่าง ๆ ของ daylight zone

หลังปรับปรุงเมื่อหาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างใน Daylight zone พบว่าสามารถแก้ไขให้ค่าความส่องสว่างของทางเดินให้อยู่ในเกณฑ์ 100 lux ได้สำเร็จ และบริเวณเครื่องจักรทำงานริมหน้าต่างสามารถแก้ไขค่าความส่องสว่างให้อยู่ในเกณฑ์ 300 lux ได้ และนำไปสู่การแก้ไขปรับปรุงในเรื่องแสงประดิษฐ์ต่อไป

2.1.9 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างจะลดลงเมื่อมีความแตกต่างกันของความส่องสว่างมากในแต่ละจุดวัด โดยเฉพาะบริเวณริมหน้าต่างที่มีปริมาณแสงมากแต่ภายในห้องที่ลึกเกินไปมีปริมาณแสงน้อย ขณะที่หากความส่องสว่างในแต่ละจุดวัดมีความแตกต่างกันน้อยจะทำให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น

สามารถสรุปได้ดังกราฟที่ 13



แผนภูมิที่ 13 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงของแสงธรรมชาติในรูปแบบการปรับปรุงต่างๆ

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิที่ 12 และ 13 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณแสงมากขึ้นในรูปแบบการปรับปรุงที่ทำให้แสงสว่างเข้าสู่ห้องได้เต็มที่ ค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงลดลงจากความแตกต่างกันมากของแสงธรรมชาติที่เข้ามาในห้อง แต่เมื่อมีการปรับปรุงในรูปแบบที่ทำให้แสงกระจายมากขึ้นแม้ปริมาณแสงลดลงแต่มีค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสงมากขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของแสงบริเวณริมหน้าต่างและภายในห้องมีความแตกต่างกันน้อยลง

2.2 ผลการปรับปรุงโดยแสงประดิษฐ์บริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อม ชั้น 1

2.2.1 ก่อนการปรับปรุง (Base case) (1-lightA)

ห้องเรียนปฏิบัติงานเดิมมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในสภาวะแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ดังตารางที่ 37

ตารางที่ 37 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานในสภาวะแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ก่อนปรับปรุง (1-LightA)

วัน	เวลา				เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)		
21 มีนาคม 2562	217	175	164	175	182	0.16
21 มิถุนายน 2562	246	169	158	172	186	0.15
23 กันยายน 2562	217	175	164	175	182	0.16
22 ธันวาคม 2562	170	179	177	172	174	0.16
เฉลี่ย	212	174	165	173	181	0.15

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงประดิษฐ์ของแบบจำลอง ก่อนการปรับปรุง วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 37 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ที่ได้มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในรูปแบบที่ปรับปรุงแล้ว แต่ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ความสม่ำเสมอของแสงน้อย ผู้วิจัยจึงศึกษาในขั้นต่อไป

2.2.2 ก่อนการปรับปรุงโดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติ No daylight (1-lightA1)

ผู้วิจัยได้จำลองสถานการณ์ที่ไม่มีแสงธรรมชาติเข้ามาเกี่ยวข้องในการศึกษาปรับปรุงแสงประดิษฐ์เพื่อให้ได้ความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux โดยจำลองเพียง 1 ผล เนื่องจากสภาวะไร้แสงธรรมชาติจะให้ผลเหมือนกัน

ผลการศึกษาได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 163 lux ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง 0.57 ใช้หลอดไฟชนิด 38 W จำนวน 56 หลอด รวมพลังงาน 2,128 W พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างน้อยกว่ารูปแบบการใช้แสงธรรมชาติร่วมด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาการเปลี่ยนการส่องสว่างในรูปแบบอื่นต่อไป

2.2.3 การปรับปรุงแสงประดิษฐ์ (1-lightB-D)

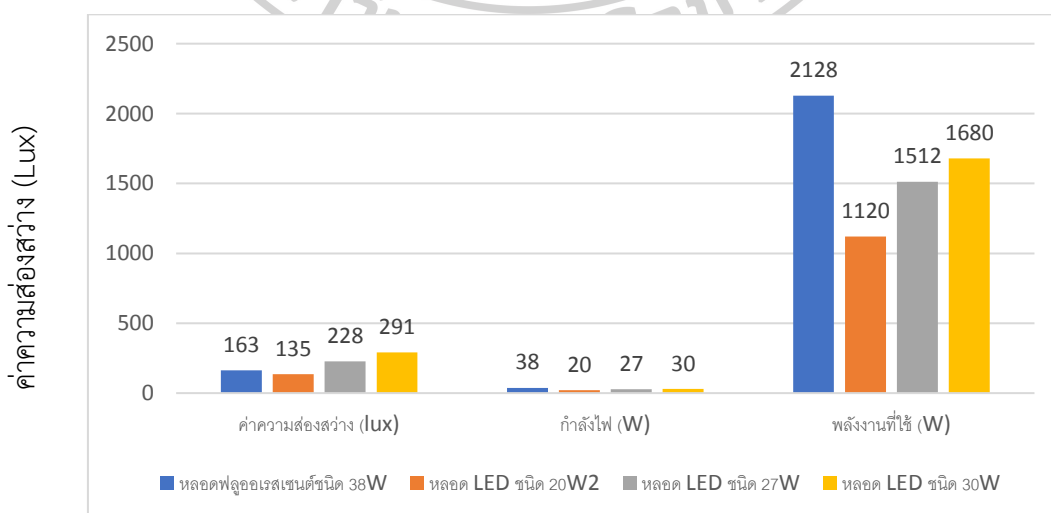
รูปแบบที่ 1 (1-lightB)

เป็นการศึกษาการปรับเปลี่ยนหลอดไฟชนิดต่าง ๆ โดยรูปแบบการจัดวางตำแหน่ง หลอดไฟจากห้องเรียนปฏิบัติงานในปัจจุบัน ระยะห่าง 2.70 x 4.00 เมตร ใช้จำนวนหลอด 56 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังสูงแต่เว้นระยะห่างมาก (ดูเพิ่มเติมใน ภาคผนวก ข)

ตารางที่ 38 ผลการศึกษาการปรับปรุงโดยแทนที่หลอดและโคมในตำแหน่งเดิม (1-lightB)

	(1-lightB1) 20W	(1-lightB2) 27W	(1-lightB3) 30W
ค่าความส่องสว่าง (lux)	135	228	291 lux
พลังงาน (W)	1120	1512	1680 W
ค่าความสม่ำเสมอ	0.60	0.53	0.53

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 (1-lightB) สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 38 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของทั้ง 3 รูปแบบ ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux แต่มีความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ดีและใช้พลังงานน้อยกว่าก่อนการปรับปรุง สามารถเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 14



แผนภูมิที่ 14 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดไฟชนิดต่าง ๆ ในรูปแบบการจัดวางตามแห่งเดิม

จะเห็นได้ว่าการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 เปลี่ยนชนิดหลอดจากฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED แต่ด้วยฟลักซ์ที่เปล่งออกมาของแสงและกำลังไฟที่น้อย ทำให้จำนวน 56 หลอดเท่าเดิมไม่สามารถทำให้ค่าความส่องสว่างได้ถึงตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ได้

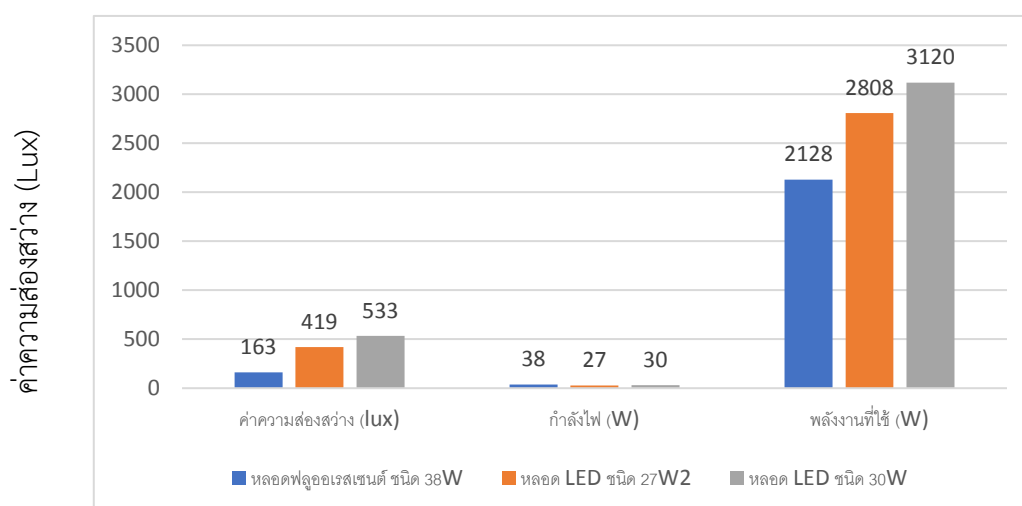
รูปแบบที่ 2 (1-lightC)

เป็นการศึกษาการปรับเปลี่ยนหลอดไฟชนิดต่าง ๆ และรูปแบบการจัดวางตำแหน่งหลอดไฟเพิ่มเป็น 2 เท่าในตำแหน่งเดิม ระยะห่าง 2.70 x 2.70 เมตร ใช้จำนวนหลอด 104 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังสูงแต่เว้นระยะห่างมาก (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 39 ผลการศึกษาการปรับปรุงรูปแบบการวางตำแหน่งและชนิดหลอดไฟ (1-lightC)

	(1-lightC1) 27W	(1-lightC2) 30W
ค่าความส่องสว่าง (lux)	419 lux	533 lux
พลังงาน (W)	2808	3120
ค่าความสม่ำเสมอ	0.57	0.57

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติรูปแบบ (1-lightC) สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 39 พบว่ามีรูปแบบที่ให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux มีความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ดี แต่ใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง สามารถเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 15 สามารถสรุปผลเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 15



แผนภูมิที่ 15 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ ในการจัดวางตำแหน่งไฟเดิม แต่เพิ่มเป็น 2 หลอดโดยที่ใช้หลอดที่มีกำลังสูง

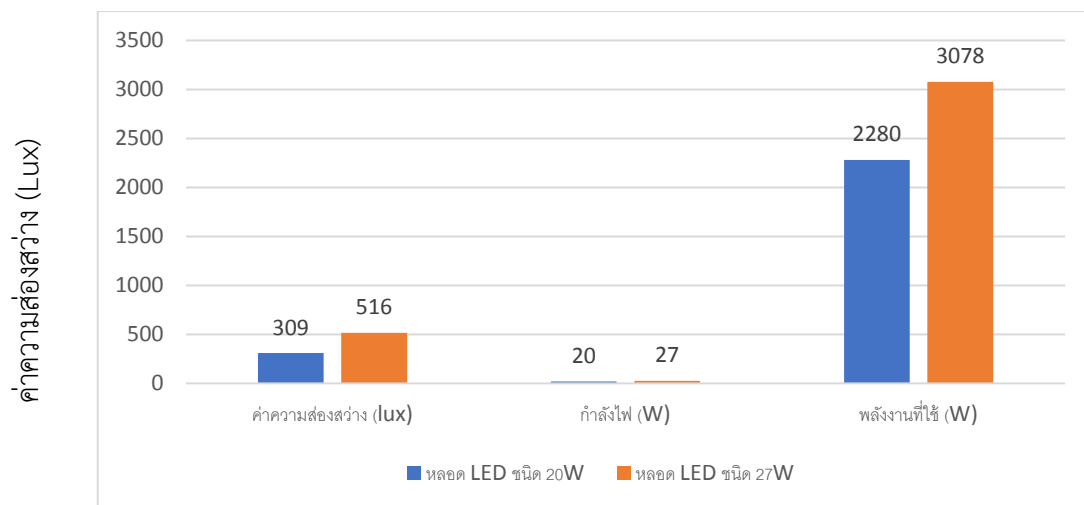
จะเห็นได้ว่าในการปรับปรุงรูปแบบที่ 2 เปลี่ยนชนิดหลอดจากฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED เพิ่มจำนวนเป็น 104 หลอด สามารถทำให้ค่าความส่องสว่างได้ถึงตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ได้ ทั้งหลอด 27 W และ 30 W แม้จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุงรูปแบบที่ 3 (1-lightD)

เป็นการศึกษาการปรับเปลี่ยนหลอดไฟชนิดต่าง ๆ และรูปแบบการจัดวางตำแหน่งกระจายระยะเท่าๆกัน ระยะห่าง 2.30 x 2.00 เมตร ใช้จำนวนหลอด 114 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังต่ำและติดตั้งจำนวนมาก

ตารางที่ 40 แสดงผลการศึกษาการปรับปรุงรูปแบบการวางตำแหน่งและชนิดหลอดไฟ (1-lightD)

	(1-lightD1) 20W	(1-lightD2) 27W
ค่าความส่องสว่าง (lux)	309	516
พลังงาน (W)	2280	3078
ค่าความสม่ำเสมอ	0.61	0.57

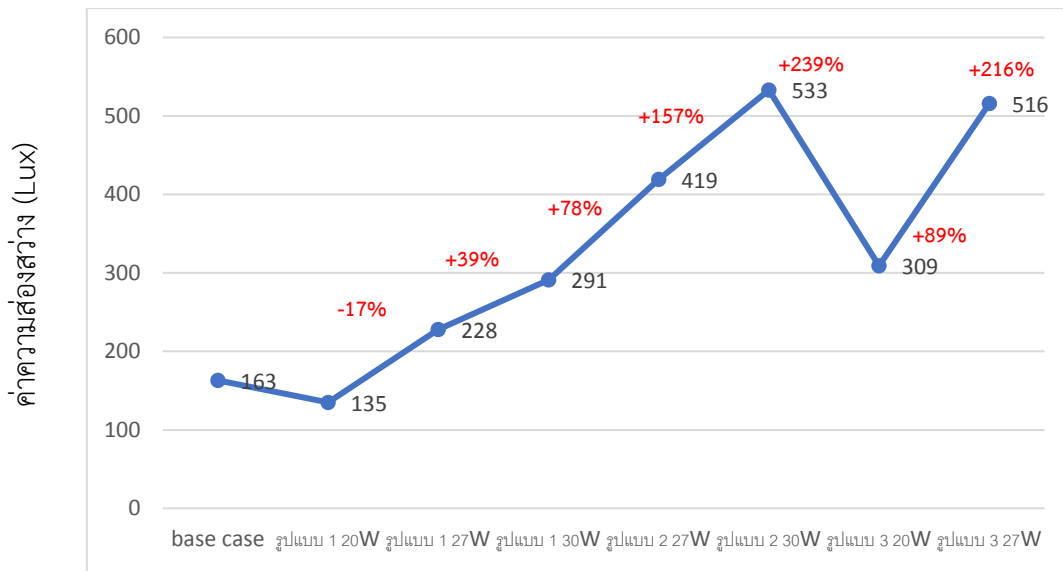
จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติรูปแบบ (1-lightD) สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 40 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของทั้ง 2 รูปแบบย่อย มีรูปแบบที่ให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างตามเกณฑ์สามารถสรุปผลเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 16



แผนภูมิที่ 16 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ ในการจัดวางตำแหน่งไฟให้มีการกระจายไปทั่วห้องโดยระยะเฉลี่ยเท่าๆกัน

จะเห็นได้ว่าในการปรับปรุงรูปแบบที่ 3 เปลี่ยนชนิดหลอดจากฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED เพิ่มจำนวนเป็น 114 หลอด สามารถทำให้ค่าความส่องสว่างได้ถึงตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 300 lux ได้ทั้ง หลอด 20 W และ 27 W แต่หลอดทั้งสองชนิดใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุงค่อนข้างมาก

จากผลการศึกษานี้สามารถสรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์แต่ละรูปแบบได้ดังกราฟที่ 17



แผนภูมิที่ 17 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในรูปแบบต่าง ๆ

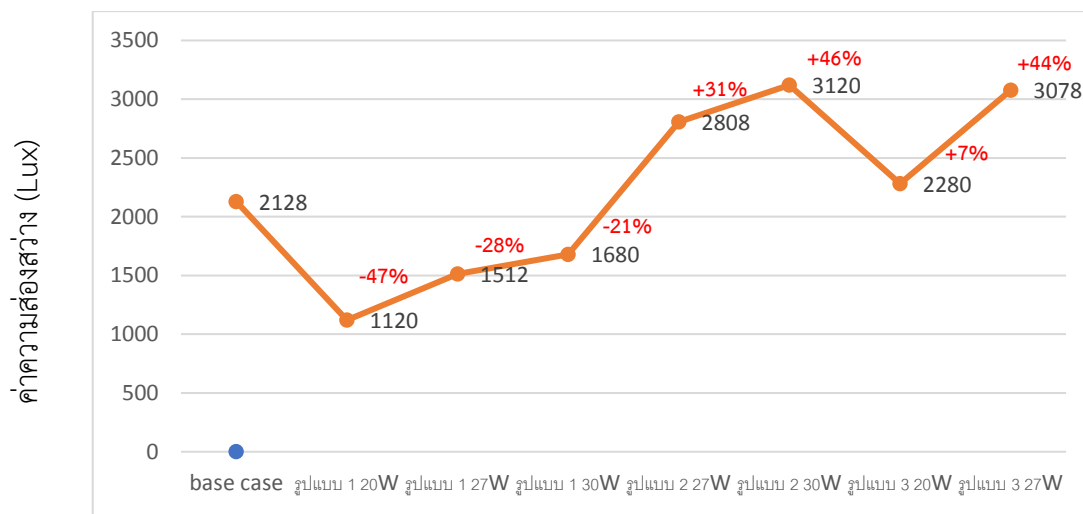
จากการปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งและชนิดหลอดรูปแบบต่าง ๆ พบว่า รูปแบบที่ทำให้ค่าความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานได้ตามมาตรฐานคือ 300 lux คือ รูปแบบที่ 2 (1-lightC1)

2.2.4 การใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์ no daylight

ตารางที่ 41 ผลการศึกษาทั้ง 3 รูปแบบ โดยไม่มีแสงธรรมชาติมาเกี่ยวข้อง

	Base case	รูปแบบที่ 1			รูปแบบที่ 2		รูปแบบที่ 3	
		20 W (1-lightB1)	27 W (1-lightB2)	30 W (1-lightB3)	27 W (1-lightC1)	30 W (1-lightC2)	20 W (1-lightD1)	27 W (1-lightD1)
จำนวนหลอด	56	56	565	56	104	104	114	114
พลังงาน (W)	38	20	27	30	27	30	20	27
ค่าความส่องสว่าง (lux)	163	135	228	291	419	533	309	516
รวม	2128	1120	1512	1680	2808	3120	2280	3078

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณพลังงานของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 41 พบว่ารูปแบบที่ให้ค่าความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์คือรูปแบบการปรับปรุงที่ 2 และ 3 สามารถสรุปผลเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 18



แผนภูมิที่ 18 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าความส่องสว่างและการใช้พลังงานของหลอดไฟ
ในรูปแบบการศึกษาต่าง ๆ

รูปแบบที่ 2 (1-lightC1) ใช้พลังงานมากกว่าแต่ให้ค่าความส่องสว่างได้ถึงเกณฑ์
ที่กำหนดและคุณภาพแสงเรื่องความสม่ำเสมอที่ดีกว่า โดยการให้แสงประดิษฐ์ควรทำให้มี
ค่าความส่องสว่างที่มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อความสบายและความเสื่อมสภาพในอนาคต

2.2.5 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (LPD)

การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง (1-lightA1.1) โดยใช้โปรแกรม Dialux Evo
คำนวณการใช้พลังงานที่ 3.10 W/m² และใช้พลังงานหลังปรับปรุงรูปแบบที่ 2 (1-lightC1)
4.31 W/m² ปริมาณพลังงานจากไฟฟ้าแสงสว่างภายในห้องตั้งแต่ 9.00 – 15.00 น. 6 ชั่วโมง

2.2.6 เกณฑ์การประเมิน CIE Unified glare rating (UGR)

เป็นเกณฑ์การประเมินแสงจําระคายตาจากแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ ซึ่งจากศึกษา
จากจุดวัดบนพื้นพื้นที่ปฏิบัติงานในระดับสายตาของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2
(1-lightC1) โดยใช้โปรแกรม Dialux Evo คำนวณได้ผลดังนี้



ภาพที่ 85 จุดวัด 3 จุดบริเวณพื้นที่ทำงาน

ตารางที่ 42 แสดงผลการศึกษา URG ทั้ง 3 จุด

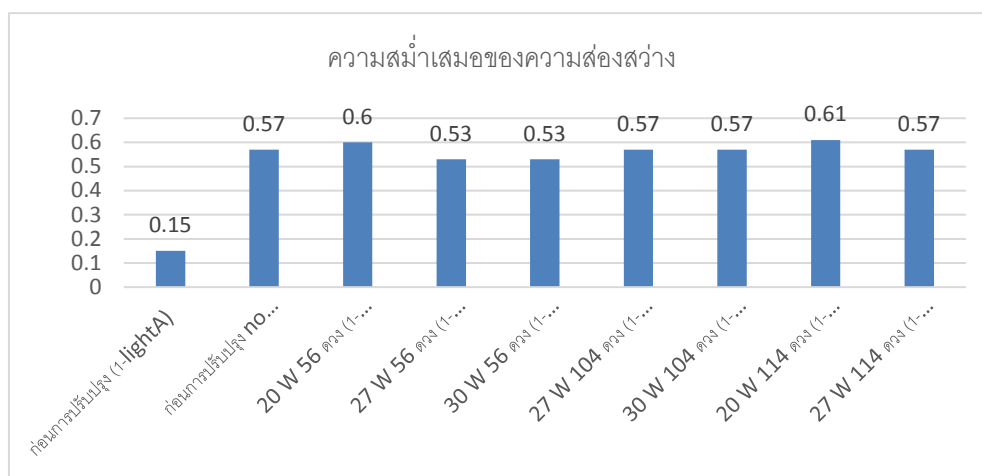
รายการ	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย
URG	20	19.8	19.7	19.8
เกณฑ์ที่กำหนด	≤ 22	≤ 22	≤ 22	-
ความสูงของจุด (เมตร)	1.50	1.50	1.50	-
มุมในการมอง (องศา)	15	15	15	-
ระดับมุมมอง (องศา)	180	180	180	-

จากผลการศึกษาในตารางที่ 42 จะเห็นว่าจุดในการคำนวณ URG ในระดับสายตา ทั้ง 3 จุดไม่เกินค่าที่กำหนดคือ 22 หมายถึง จะไม่เกิดแสงจ้ำระคายตาจากแสงประดิษฐ์ ในขณะปฏิบัติงาน

2.2.7 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

ความสม่ำเสมอของแสงประดิษฐ์จะมีมากกว่าแสงธรรมชาติเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดแสงที่ทำให้พื้นที่ได้รับแสงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ค่าความส่องสว่างไม่แตกต่างกันมากจึงมีผลต่อค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

สามารถสรุปได้ดังกราฟที่ 19



แผนภูมิที่ 19 เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอแสงประดิษฐ์ของรูปแบบการปรับปรุงต่างๆ

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิที่ 17 และ 19 จะเห็นได้ว่าหลอดไฟที่มีกำลังต่ำติดตั้งในปริมาณมากจะช่วยให้ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมีมากแต่ปริมาณแสงยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ขณะที่หลอดไฟกำลังสูงแต่ติดตั้งห่างกันความสม่ำเสมอของความส่องสว่างอาจลดลง แต่ได้ความส่องสว่างตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ 300 lux

2.2.8 การใช้พลังงานจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ

หลังการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ผู้วิจัยได้ศึกษาการใช้แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ร่วมกันโดยศึกษาจากผลการจำลองของแสงธรรมชาติในวันสำคัญ 4 วัน เวลา 9.00 น. เป็นเวลาที่แสงเข้ามามากที่สุด พบว่าแสงจะเข้าสู่เรียนปฏิบัติงานได้ 25-50% แสงจะเข้ามาในช่วงเวลาเข้าบริเวณด้านหน้าตลอดปีคือเวลา 9.00-11.00 น. เป็นเวลา 2 ชม. ต่อวัน ดังนั้นการใช้แสงประดิษฐ์เสริมเป็นบางช่วงเวลาจะช่วยลดพลังงานมากขึ้น (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข)

ช่วงฤดูร้อนถึงฤดูฝน มี.ค. - ต.ค. จะลดการเปิดไฟได้ 50% หรือครึ่งห้องเป็นเวลา 2 ชม. ดังนั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าดังนี้

$$(104-52) \times 2 \text{ ชม.} \times 27\text{W} = 2,808 \text{ kwh}$$

$$104 \times 4 \text{ ชม.} \times 27\text{W} = 11,232 \text{ kwh}$$

รวมการใช้พลังงานไฟฟ้า 14,040 kwh ลดลงจากการเปิดทุกหลอดที่ 16,848 kwh 16% และใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA) 12,768 kwh 9%

ช่วงฤดูหนาว พ.ย. - ก.พ. จะลดการเปิดไฟได้ 25% ของห้องเป็นเวลา 2 ชม. ดังนั้น จะใช้พลังงานไฟฟ้าดังนี้

$$(104-32) \times 2 \text{ ชม.} \times 27W = 3,888 \text{ kwh}$$

$$104 \times 4 \text{ ชม.} \times 27W = 11,232 \text{ kwh}$$

รวมการใช้พลังงานไฟฟ้า 15,120 kwh ลดลงจากการเปิดทุกหลอดที่ 16,848 kwh 10% และใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA) 12,768 kwh 18%

2.3 ผลการปรับปรุงโดยแสงธรรมชาติบริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3

2.3.1 ก่อนการปรับปรุง (base case) (3-A)

ด้วยสภาพของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 เป็นห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมืองานตะใบ ซึ่งต้องใช้ความละเอียดมากกว่าห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ซึ่งเป็นห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมถึง 500 Lux โดยลักษณะงานคือการขัดโลหะด้วยอุปกรณ์มือกับแท่นหนีบจึงต้องใช้สายตาและแสงสว่างมากเพื่อตรวจสอบชิ้นงานไปในขณะขัด

ตารางที่ 43 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 ก่อนปรับปรุง (3-A)

วัน	เวลา				เฉลี่ย (Lux)	Unifromity (min/mean)
	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)		
22 มีนาคม 2562	529	170	133	292	213	0.18
22 มิถุนายน 2562	319	124	83	326	213	0.20
23 กันยายน 2562	529	170	133	292	213	0.18
21 ธันวาคม 2562	144	223	25	340	240	0.18
เฉลี่ย	245	171	150	312	220	0.19

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติก่อนการปรับปรุง (3-A) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 43 จะเห็นได้ว่าแสงธรรมชาติของสถานที่จริงในการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 220 lux ซึ่งต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 500 lux จึงต้องศึกษาวิธีการในการปรับปรุงต่อไป

2.3.2 การรื้อแผงกันสาดแนวตั้ง (3-B)

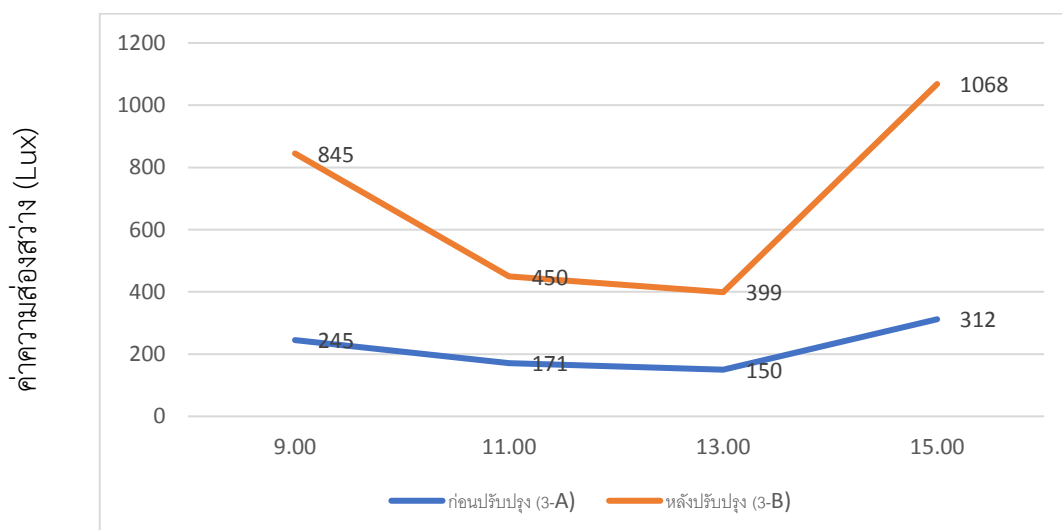
ผู้วิจัยอ้างอิงจากผลการศึกษาระดับ 1 โดยรื้อกันสาดคอนกรีตแนวตั้งออกเพื่อศึกษาค่าความส่องสว่าง โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 44

ตารางที่ 44 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างหลังรื้อกันสาดออก (3-B)

วัน	เวลา				เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)		
22 มีนาคม 2562	987	449	350	1126	705	0.15
22 มิถุนายน 2562	1192	334	223	622	592	0.16
23 กันยายน 2562	987	449	350	1126	705	0.15
21 ธันวาคม 2562	395	570	673	1401	759	0.16
เฉลี่ย	845	450	399	1068	690	0.16

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติหลังการรื้อกันสาดออก (3-B) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 44 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติภายในห้องเรียนปฏิบัติงานเพิ่มขึ้นได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 500 lux แต่ความสม่ำเสมอของแสงน้อย

โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าห้องเรียนปฏิบัติงานในช่วงเช้าและช่วงบ่ายทางด้านหลัง มีแสงแดดโดยตรงเข้ามาในพื้นที่ปฏิบัติงานและปริมาณแสงลดลงเมื่อมีระยะลึกเข้ามากลางห้อง สามารถสรุปผลการเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 20



แผนภูมิที่ 20 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างก่อนปรับปรุง (3-A) และหลังรื้อกันสาดออก (3-B)

จากแผนภูมิกราฟพบว่าแสงธรรมชาติเข้ามาได้ลึกขึ้นแต่บริเวณริมอาคารที่เป็นเครื่องจักรปฏิบัติงานกลับได้รับแสงแดดโดยตรงซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานและการบำรุงรักษาเครื่องจักรจากแสงแดดและฝนที่อาจสาดเข้าทางหน้าต่างได้ จึงนำผลการศึกษาพัฒนาขั้นต่อไป

2.3.3 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C)

ผู้วิจัยได้อ้างอิงจากผลการศึกษาของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 เพื่อศึกษาค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติที่เข้าสู่อาคาร โดยสาดไฟเบอร์กลาสของ บริษัท กรีนเวย์ สตีล โปรดักส์ สีขาวใส ซึ่งมีอัตราแสงส่องผ่าน 70% ระยะติดตั้งและขนาดของแผงกันสาดเช่นเดียวกับห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 45

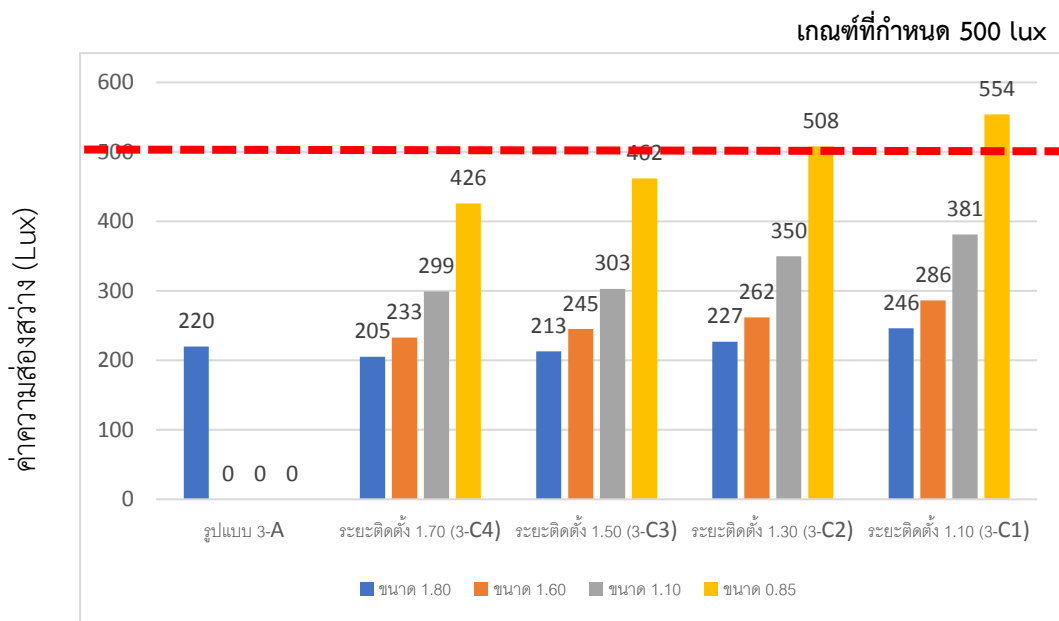
ตารางที่ 45 สรุปผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของระยะติดตั้งและขนาดแผงกันสาด (3-C)

ระยะติดตั้ง (เมตร)	ขนาด (เมตร)	1.80	1.60	1.10	0.85
1.70		205	233	299	426
1.50		213	245	303	462
1.30		227	262	350	508
1.10		246	286	381	554
ความสม่ำเสมอของแสง					0.12

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 45 จะพบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้จากทุกรูปแบบมีค่าน้อยกว่ารูปแบบรื้อกันสาดออก (3-B) มีรูปแบบที่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 500 lux ความสม่ำเสมอของแสงน้อย โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้า ในช่วงเช้าและด้านหลังในช่วงบ่าย มีแสงแดดโดยตรงเข้ามาในพื้นที่ปฏิบัติงาน ปริมาณแสงจะลดลงเมื่อระยะลึกเข้ามาถึงกลางห้อง



สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาได้ดังกราฟที่ 21



แผนภูมิที่ 21 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการปรับปรุงห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 รูปแบบก่อนปรับปรุง (3-A) และ ระยะติดตั้งและขนาดแผงกันสายตา (3-C)

เมื่อศึกษาระยะติดตั้งและขนาดแผงกันสายตาแล้ว แผงกันสายตาที่สามารถบังฝนสายตาได้ ยังมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ไม่เพียงพอ แต่ระยะติดตั้งและขนาดแผงกันสายตาที่ให้ค่าความส่องสว่างที่ใกล้เคียงและได้ตามมาตรฐานคือ 500 lux และเหมาะแก่การนำไปศึกษาต่อคือ

รูปแบบ 3-C1.1 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันสายตา 0.85 เมตร

รูปแบบ 3-C2.1 ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร ขนาดแผงกันสายตา 0.85 เมตร

รูปแบบ 3-C3.1 ระยะติดตั้ง 1.50 เมตร ขนาดแผงกันสายตา 0.85 เมตร

รูปแบบ 3-C4.1 ระยะติดตั้ง 1.70 เมตร ขนาดแผงกันสายตา 0.85 เมตร

ซึ่งยังไม่สามารถป้องกันละอองฝนสายตาได้ จึงนำมาสู่การพัฒนาขั้นต่อไป

2.3.4 การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นช่องกระจกใส (3-D)

ผู้วิจัยได้อ้างอิงผลการศึกษจากห้องปฏิบัติงานชั้น 1 ที่เมื่อเปลี่ยนบานเกล็ดอลูมิเนียมทึบเป็นกระจกใสที่มีค่าความโปร่ง 80% ผู้วิจัยเลือก 4 ผลที่มีความเหมาะสมมาทำการศึกษาต่อ โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 46

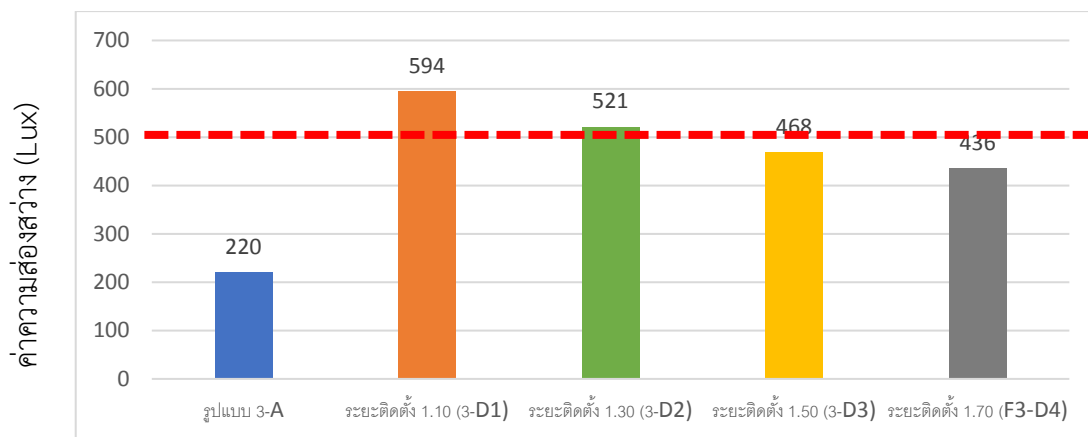
ตารางที่ 46 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการเปลี่ยนแผงอลูมิเนียมเป็นกระจกใสที่มีค่า transparent 80% (3-D)

เมตร	ระยะติดตั้ง			
	1.70	1.50	1.30	1.10
0.085	436	468	521	594
ความสม่ำเสมอของแสง	0.20	0.16	0.15	0.14

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นช่องกระจกใส (3-D) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มี.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 46 จะพบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้มีค่าที่สูงขึ้น มีรูปแบบที่ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 500 lux ความสม่ำเสมอของแสงน้อย โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าในช่วงเช้าและด้านหลังในช่วงบ่าย มีแสงแดดโดยตรงเข้ามาในพื้นที่ปฏิบัติงาน ปริมาณแสงจะลดลงเมื่อระยะลิคเข้ามาถึงกลางห้อง

สามารถเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 22

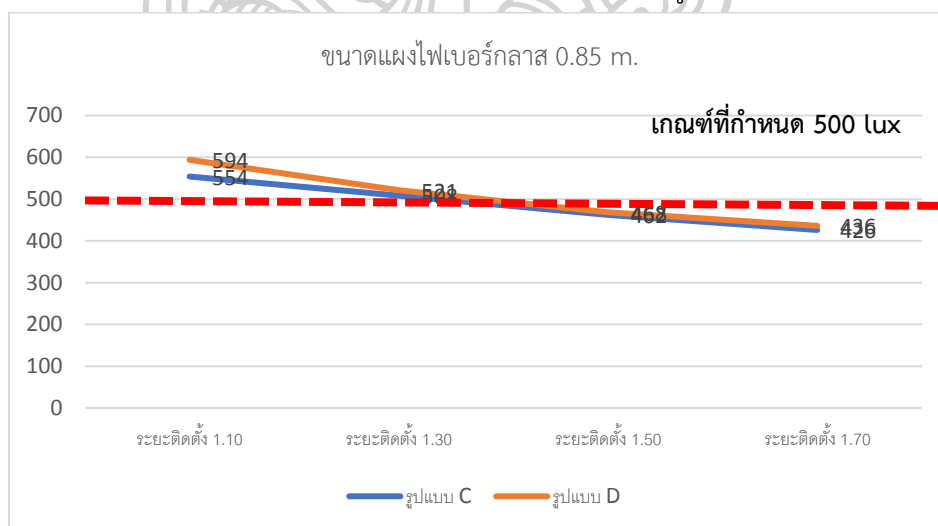
เกณฑ์ที่กำหนด 500 lux



แผนภูมิที่ 22 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนปรับปรุง (3-A) และการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D)

จากแผนภูมิที่ 22 จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างมากขึ้นเมื่อระยะติดตั้งของแผงกันสาดในแนวนอนลดลงและไฟเบอร์กลาสที่ขนาดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 โดยรูปแบบที่ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคือระยะติดตั้งที่ 1.10 เมตร และ 1.30 เมตร ขณะที่ขนาดแผงไฟเบอร์กลาสเท่ากันที่ขนาด 0.85 เมตร

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษาการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (F3-C)



แผนภูมิที่ 23 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของระยะติดตั้งและขนาดกันสาดไฟเบอร์กลาส (F3-C) และการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (F3-D)

จะเห็นได้ว่าค่าความส่องสว่างการปรับปรุงเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส

ของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 มีความแตกต่างน้อยกว่าการปรับปรุงของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 อาจเนื่องมาจากห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 อยู่ในระดับความสูงที่ได้รับปริมาณแสงมากและมุมมองคาของหลอดอาทิติยที่ทำมุมแตกต่างจากชั้น 1

ทั้งนี้แผงกันสาดทั้ง 2 รูปแบบยังไม่สามารถกันฝนสาดในแนว 45 องศาได้ จึงต้องมีการนำไปพัฒนาต่อในขั้นต่อไป

โดยการศึกษาที่ผู้วิจัยเลือกนำไปพัฒนาต่อ ได้แก่

รูปแบบ F3-D1 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาดแผงกันสาด 0.85 เมตร

รูปแบบ F3-D2 ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร ขนาดแผงกันสาด 0.85 เมตร

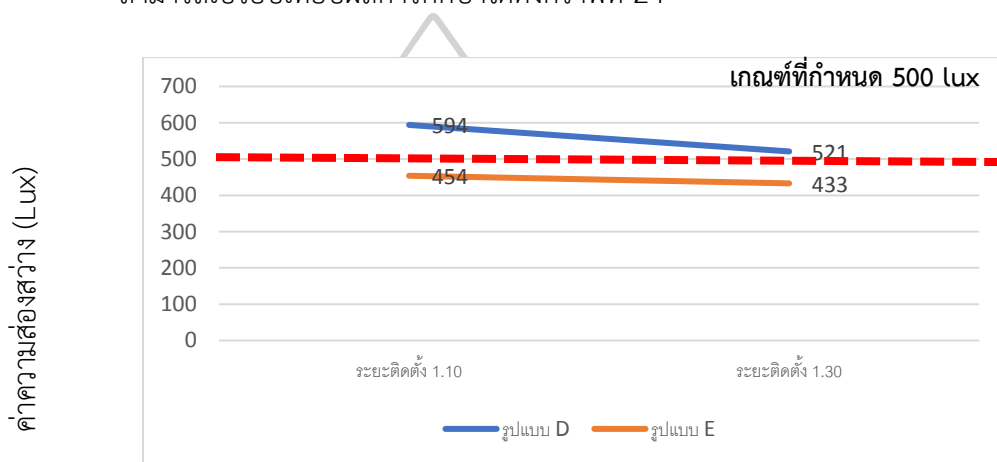
2.3.5 การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)

ผู้วิจัยได้อ้างอิงผลการศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตร์ชั้น 1 โดยเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงด้วยวัสดุอลูมิเนียมคอมโพสิทสีขาวย ค่าการสะท้อนแสง 80% โดยระยะติดตั้งสูงจากพื้นทางเดินภายนอก 2.70 เมตร และมีระยะยื่น 1.10 เมตร ผู้วิจัยได้เลือก 2 ผล มาศึกษาต่อ โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 47

ตารางที่ 47 สรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)

ระยะติดตั้ง	วัน	เฉลี่ย (Lux)	Unifromity (min/mean)
	เวลา		
ระยะติดตั้ง 1.10 (1-E1)	ขนาดแผง 0.85 (1-E1.1)		
	เฉลี่ย	454	0.17
ระยะติดตั้ง 1.30 (E2)	ขนาดแผง 0.85 (1-E1.3)		
	เฉลี่ย	433	0.17

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการติดตั้ง หึ่งสะท้อนแสงภายนอก (3-E) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 48 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้มีค่าลดลง ไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 500 lux ความสม่ำเสมอของแสงน้อย โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมาก ที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าในช่วงเช้าและด้านหลังในช่วงบ่าย มีการกระจายแสงขึ้นสู่เพดาน แสงแดดโดยตรงเข้ามาในพื้นที่ปฏิบัติงานลดลง ปริมาณแสงจะลดลงเมื่อระยะลึกเข้ามาที่กลางห้อง สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาดังกราฟที่ 24



แผนภูมิที่ 24 เปรียบเทียบค่าความส่องสว่างการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D) การติดตั้ง หึ่งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)

จากแผนภูมิที่ 24 เมื่อติดตั้งหึ่งสะท้อนแสงภายนอก 0.10 เมตร พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเฉลี่ยของห้องลดลง อาจเนื่องมาจากหึ่งสะท้อนแสงไปบังแสงที่เข้าสู่อาคารมากกว่าช่วยสะท้อนแสง แต่ผลประโยชน์ที่ได้รับจากหึ่งสะท้อนแสงคือช่วยป้องกันฝนสาดและป้องกันแสงแดดที่เข้าสู่อาคารโดยตรงในเวลาบ่าย ซึ่งจะมีผลต่อการทำงานและการเก็บรักษาเครื่องจักรที่อยู่บริเวณริมหน้าต่างและรูปแบบที่ดีที่สุดคือ 3-E1 ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร และหึ่งสะท้อนแสงภายนอก 1.10 เมตร

อ้างอิงจากการศึกษาชั้นที่ 1 ผู้วิจัยสันนิษฐานว่าฝ้าเพดานชนิดเรียบจะช่วยให้แสงกระจายและช่วยให้ค่าความส่องสว่างเพิ่มขึ้น จึงเลือกผลระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร และหึ่งสะท้อนแสงภายนอก 1.10 เมตร ศึกษาในขั้นต่อไป

2.3.6 การปรับปรุงฝ้าเพดาน (3-F)

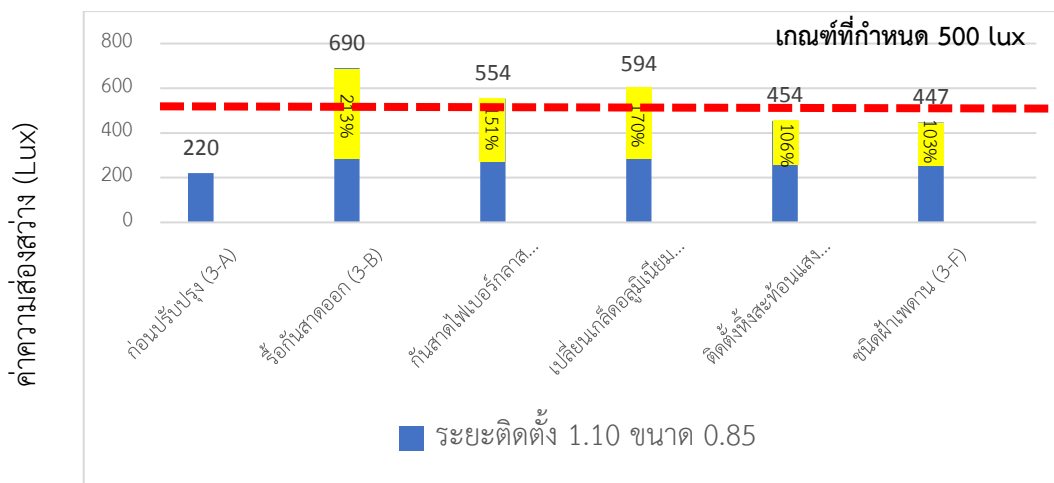
อ้างอิงจากผลศึกษาของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ที่ฝ้าเพดานมีผลต่อการช่วยกระจายแสงสว่าง ผู้วิจัยเลือก 1 ผล มาศึกษาต่อ โดยการจำลองค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ได้ผลดังตารางที่ 48

ตารางที่ 48 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเฉลี่ยของชนิดของฝ้าเพดานเรียบ (3-F1.1)

วัน เวลา	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)	เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
21 มีนาคม 2562	558	303	235	640	434	0.16
21 มิถุนายน 2562	732	228	149	425	383	0.17
23 กันยายน 2562	558	303	235	640	434	0.16
22 ธันวาคม 2562	266	390	458	1042	539	0.17
เฉลี่ย	528	306	269	686	447	0.17

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงธรรมชาติของการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดเรียบ (3-F1.1) วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 48 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้มีค่าลดลง ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 500 lux ความสม่ำเสมอของแสงน้อย โดยลักษณะแสงมีความส่องสว่างมากที่บริเวณริมหน้าต่างด้านหน้าในช่วงเช้าและด้านหลังในช่วงบ่าย มีการกระจายแสงขึ้นสู่เพดาน แสงแดดโดยตรงเข้ามาในพื้นที่ปฏิบัติงานลดลง ปริมาณแสงจะลดลงเมื่อระยะลิคเข้ามาถึงกลางห้อง

สามารถเปรียบเทียบผลการศึกษาได้ดังกราฟที่ 25



แผนภูมิที่ 25 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างในการพัฒนารูปแบบต่าง ๆ ของระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร

อย่างไรก็ตามแม้ว่าฝ้าเพดานจะทำให้ค่าความส่องสว่างเฉลี่ยลดลงแต่ช่วยในการกระจายแสงของแสงประดิษฐ์ซึ่งอ้างอิงจากการศึกษาของชั้น 1 ดังนั้นรูปแบบในการปรับปรุงของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 จึงมีองค์ประกอบดังนี้

กันสาดไฟเบอร์กลาสระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร

การเปลี่ยนเก็ลตอลูมิเนียมเป็นกระจกใส

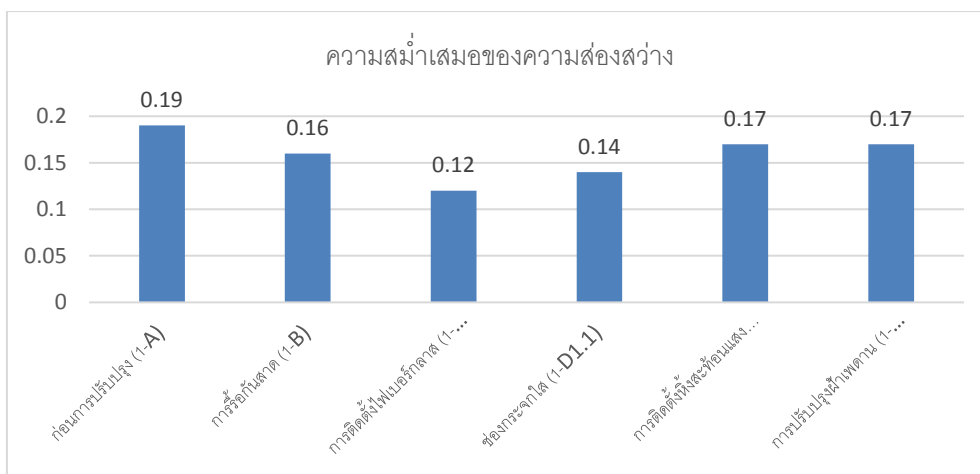
การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกขนาด 1.10 เมตร

การติดตั้งฝ้าเพดานชนิดเรียบ

2.3.7 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างจะลดลงเมื่อความส่องสว่างแต่ละจุดแตกต่างกันมาก โดยเฉพาะบริเวณริมหน้าต่างจะมีปริมาณแสงมากแต่ภายในห้องที่ลึกเกินไปมีปริมาณแสงน้อย ในขณะที่ความส่องสว่างในแต่ละจุดวัดมีความแตกต่างกันน้อยจะทำให้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น

ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างสามารถสรุปได้ดังกราฟที่ 27



แผนภูมิที่ 26 เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอของแสงธรรมชาติของรูปแบบการปรับปรุงต่าง ๆ

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิที่ 25 และ 26 จะเห็นได้ว่าเมื่อปริมาณแสงมากขึ้น ในรูปแบบการปรับปรุงที่ทำให้แสงสว่างเข้าสู่ห้องได้เต็มที่ ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างลดลง จากความแตกต่างกันมากของความส่องสว่างริมหน้าต่างและภายในห้อง แต่เมื่อมีการปรับปรุง ในรูปแบบที่ทำให้แสงกระจายมากขึ้นแม้ปริมาณแสงลดลงแต่มีความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมากขึ้น เนื่องจากความแตกต่างของแสงบริเวณริมหน้าต่างและภายในห้องมีความแตกต่างกันน้อยลง

2.4 ผลการปรับปรุงโดยแสงประดิษฐ์บริเวณห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3

2.4.1 ก่อนการปรับปรุง (Base case) (3-lightA)

ห้องเรียนปฏิบัติงานเดิมมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างโดยใช้ทั้งแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ในวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข) ดังตารางที่ 49

ตารางที่ 49 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ของห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3 ก่อนปรับปรุง (3-LightA)

วัน	เวลา				เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)		
21 มีนาคม 2562	435	346	309	468	389	0.17
21 มิถุนายน 2562	495	300	259	412	366	0.22
23 กันยายน 2562	435	346	309	468	389	0.17
22 ธันวาคม 2562	320	399	429	516	416	0.2
เฉลี่ย	421	347	326	466	390	0.19

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณแสงประดิษฐ์ของแบบจำลอง ก่อนการปรับปรุง วันที่ 21 มี.ค. , 21 มิ.ย. , 23 ก.ย. , 22 ธ.ค.62 ในเวลา 9.00 , 11.00 , 13.00 , 15.00 น. สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 49 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ที่ได้มีค่ามากกว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในรูปแบบที่ปรับปรุงแล้ว แต่ยังไม่ได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 500 lux จึงศึกษาในขั้นต่อไป

2.4.2 ก่อนปรับปรุงโดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติ No daylight (3-lightA1)

นอกจากการปรับปรุงแสงธรรมชาติแล้วการปรับปรุงแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติยังต้องปรับปรุงให้ได้เท่ามาตรฐานที่กำหนดคือ 500 lux โดยทั่วทั้งห้องเรียนปฏิบัติงาน โดยการสร้างสภาพแวดล้อมแบบไร้แสง (No daylight) โดยการตั้งค่าการศึกษาเช่นเดียวกับชั้น 1

ผลการศึกษาได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 173 lux ค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง 0.60 ใช้หลอดไฟชนิด 38 W จำนวน 56 หลอด รวมพลังงาน 2,128 W พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างน้อยกว่ารูปแบบการใช้แสงธรรมชาติร่วมด้วย ดังนั้นผู้วิจัยจึงศึกษาการเปลี่ยนการส่องสว่างในรูปแบบอื่นต่อไป

จากตารางเมื่อเทียบกับมาตรฐานความส่องสว่างที่ 500 lux จะสังเกตได้ว่า ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 ต่ำกว่ามาตรฐานตลอดทั้งปีถึงแม้จะได้รับแสงธรรมชาติมาเสริม อีกทั้งค่าความส่องสว่างแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียวก็ยังไม่ได้ค่าความส่องสว่างตามมาตรฐานที่ 500 lux โดยหลอดไฟเดิมใช้จำนวนหลอด 56 หลอด ใช้พลังงาน 2,128 W

ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการเปลี่ยนการส่องสว่างในรูปแบบต่างโดยอ้างอิงจากผลการศึกษา

ชั้น 1

2.4.3 การปรับปรุงแสงประดิษฐ์ (3-lightB-C)

รูปแบบที่ 1 (3-lightB)

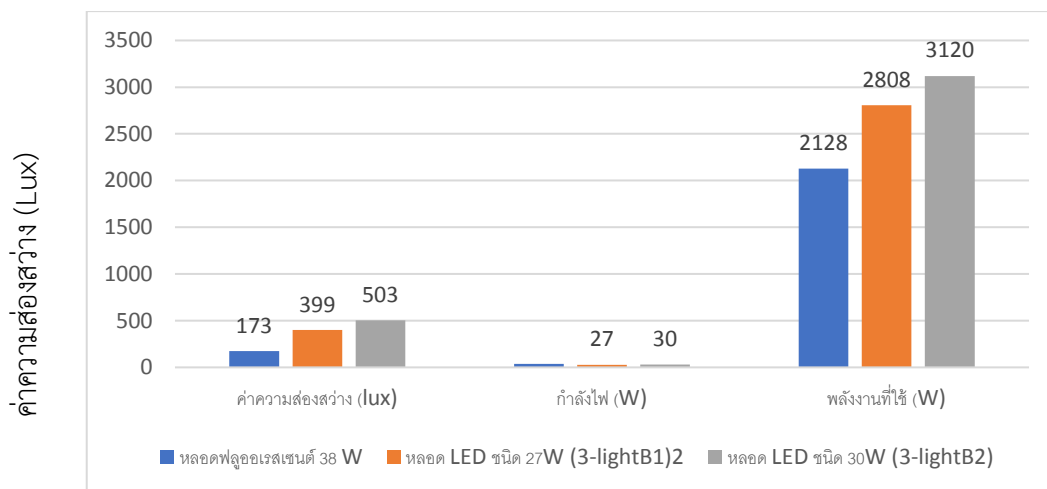
อ้างอิงจากการศึกษาค่าความส่องสว่างชั้นที่ 1 เป็นการศึกษาการปรับเปลี่ยนหลอดไฟชนิดต่าง ๆ และรูปแบบการจัดวางตำแหน่งหลอดไฟคู่ ระยะห่าง 2.70 x 2.70 เมตร ใช้จำนวนหลอด 104 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังสูงแต่เว้นระยะห่างมาก

ตารางที่ 50 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 (3-lightB)

	(3-lightB1) 27W	(3-lightB2) 30W
ค่าความส่องสว่าง (lux)	399	503
พลังงาน (W)	2808	3120
ค่าความสม่ำเสมอ	0.57	0.61

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติรูปแบบ (3-lightB) สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 50 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของทั้ง 2 รูปแบบย่อย มีรูปแบบที่ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 500 lux มีความสม่ำเสมอของความส่องสว่างที่ดีแต่ใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง สามารถเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 27

สามารถสรุปผลเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 27



แผนภูมิที่ 27 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ ในการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 (3-lightB)

จะเห็นได้ว่าในการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 เปลี่ยนชนิดหลอดจากฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED เพิ่มจำนวนเป็น 104 หลอด สามารถทำให้ค่าความส่องสว่างได้ถึงตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 500 lux ได้ที่หลอด 30 W แม้จะใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุงค่อนข้างมาก

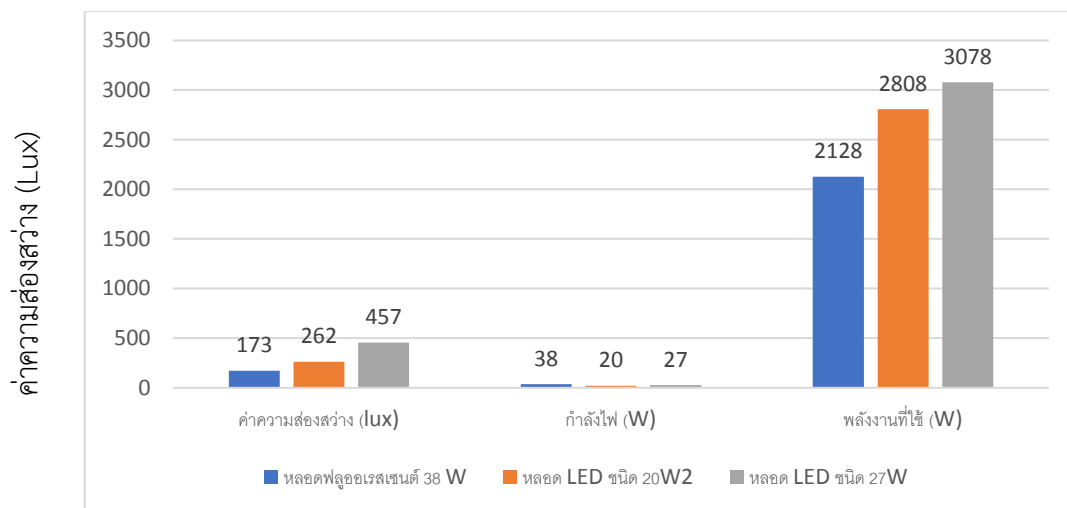
รูปแบบที่ 2 (3-lightC)

อ้างอิงจากการศึกษาค่าความส่องสว่างชั้น 1 รูปแบบการจัดวางตำแหน่งกระจายระยะเท่าๆกัน ระยะห่าง 2.30 x 2.00 เมตร ใช้จำนวนหลอด 114 หลอด เป็นการให้แสงสว่างแบบ General lighting ที่ใช้หลอดไฟกำลังต่ำและติดตั้งจำนวนมาก

ตารางที่ 51 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงรูปแบบที่ 2 (3-lightC)

	(3-lightC1) 20W	(3-lightC2) 27W
ค่าความส่องสว่าง (lux)	262	457
พลังงาน (W)	2280	3078
ค่าความสม่ำเสมอ	0.61	0.56

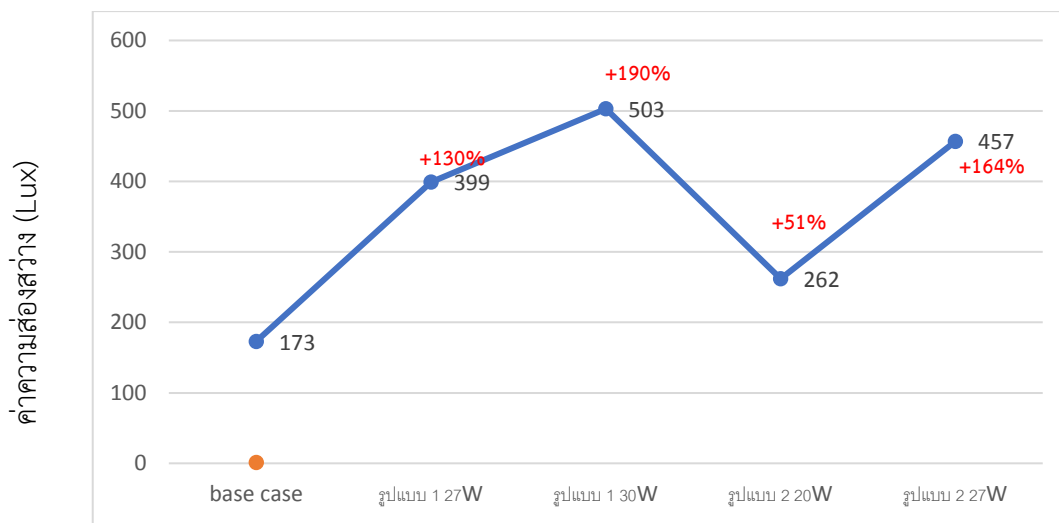
จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติรูปแบบ (3-lightC) สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 51 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของทั้ง 2 รูปแบบย่อย มีรูปแบบที่ให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างตามเกณฑ์สามารถสรุปผลเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 28



แผนภูมิที่ 28 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของหลอดชนิดต่าง ๆ ในการปรับปรุงรูปแบบที่ 2 (3-lightC)

จะเห็นได้ว่าในการปรับปรุงรูปแบบที่ 2 เปลี่ยนชนิดหลอดจากฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED เพิ่มจำนวนเป็น 114 หลอด ยังไม่สามารถทำให้ค่าความส่องสว่างได้ถึงตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด 500 lux ได้ทั้ง หลอด 20 W และ 27 W และหลอดทั้งสองชนิดใช้พลังงานเพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุงค่อนข้างมาก

จากผลการศึกษาสามารถสรุปค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์แต่ละรูปแบบได้ดังกราฟที่ 29



แผนภูมิที่ 29 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในรูปแบบต่าง ๆ

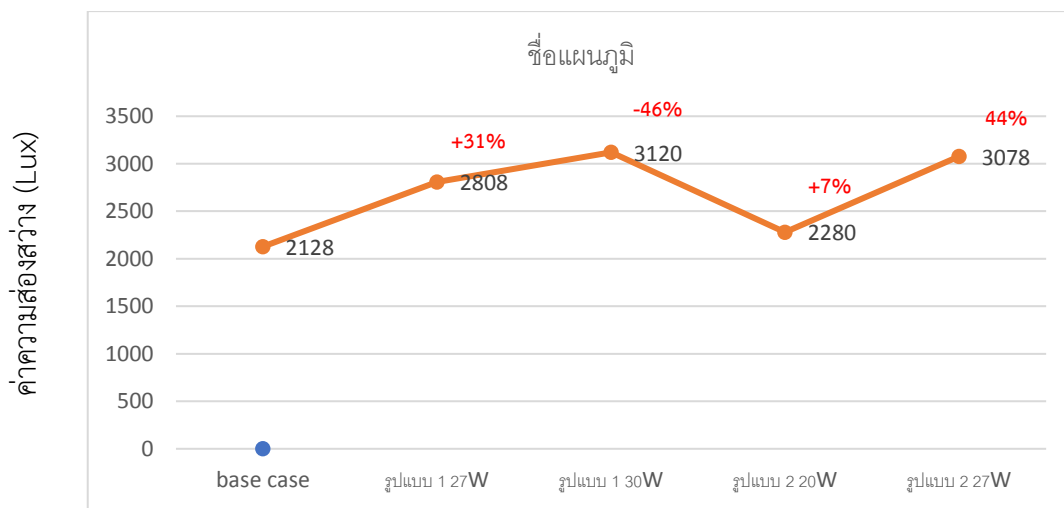
จากการศึกษาการปรับเปลี่ยนตำแหน่งติดตั้งและชนิดหลอดรูปแบบต่าง ๆ พบว่า รูปแบบที่ทำให้ค่าความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานได้ตามมาตรฐานคือ 500 lux คือรูปแบบที่ 1 ด้วยหลอด 30W

2.4.4 การใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์ no daylight

ตารางที่ 52 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงทั้งสองรูปแบบ

	Base case	รูปแบบที่ 1 (3-lightB)		รูปแบบที่ 2 (3-lightC)	
		LED 27 W (3-lightB1)	LED 30 W (3-lightB2)	LED 20 W (3-lightC1)	LED 27 W (3-lightC2)
จำนวนหลอด	56	104	104	114	114
พลังงาน (W)	38	27	30	20	27
ค่าความส่องสว่าง (lux)	173	399	503	262	457
รวม	2128	2808	3120	2280	3078

จากการจำลองด้วยโปรแกรม Dialux Evo ปริมาณพลังงานของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ สามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 52 พบว่ารูปแบบที่ให้ค่าความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์คือรูปแบบการปรับปรุงที่ 3 สามารถสรุปผลเปรียบเทียบได้ดังกราฟที่ 30



แผนภูมิที่ 30 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าเฉลี่ยความส่องสว่างและการใช้พลังงานของหลอดไฟในรูปแบบการศึกษาต่าง ๆ

รูปแบบที่ 1 (3-lightB1) ใช้พลังงานมากกว่าแต่ให้ค่าความส่องสว่างได้ถึงเกณฑ์ที่กำหนดและคุณภาพแสงเรื่องความสม่ำเสมอที่ดีกว่า โดยการให้แสงประดิษฐ์ควรทำให้มีค่าความส่องสว่างที่มากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดเพื่อความสบายและความเสื่อมสภาพในอนาคต

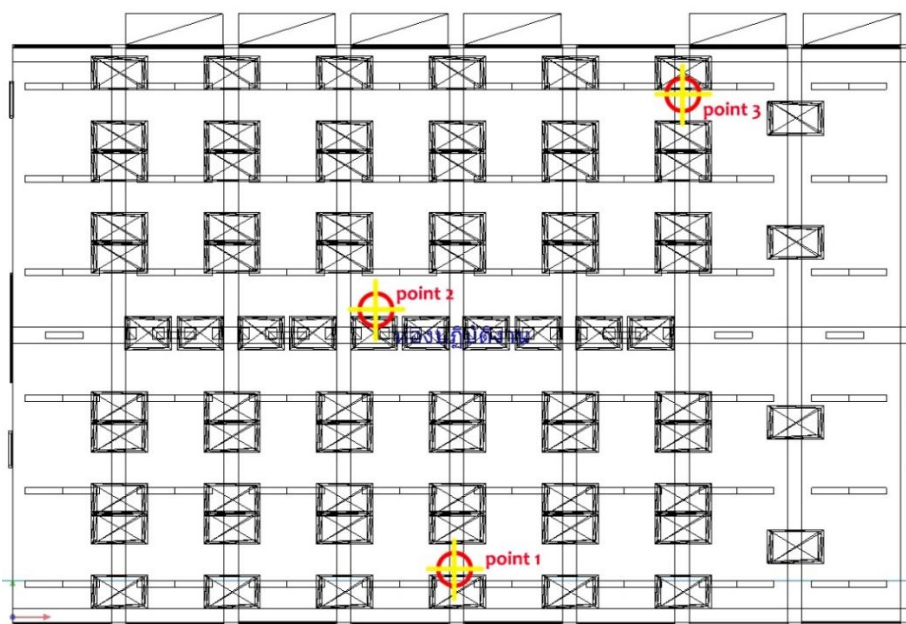
ซึ่งแตกต่างจากผลการศึกษาระดับชั้น 1 เนื่องจากห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 มีความต้องการความส่องสว่างมากกว่า แม้จะใช้พลังงานมากกว่าแต่ให้ค่าความส่องสว่างได้ถึงเกณฑ์ที่กำหนดและคุณภาพแสงเรื่องความสม่ำเสมอที่ดีกว่า

2.4.5 ประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน (LPD)

การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง (3-lightA1.1) โดยใช้โปรแกรม Dialux Evo คำนวณการใช้พลังงานที่ 3.10 W/m² และใช้พลังงานหลังปรับปรุง (3-lightB2) 4.79 W/m² โดยปริมาณพลังงานจากไฟฟ้าแสงสว่างภายในห้องตั้งแต่ 9.00 – 15.00 น. 6 ชั่วโมง

2.4.6 เกณฑ์การประเมิน CIE Unified glare rating (UGR)

เป็นเกณฑ์การประเมินแสงจําระคายตาจากแหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ ซึ่งจากศึกษาจากจุดวัดในห้องเรียนปฏิบัติงานโดยใช้โปรแกรม Dialux Evo คำนวณได้ผลดังนี้



ภาพที่ 86 จุดวัดค่า UGR 3 จุดบริเวณพื้นที่ทำงาน ในโปรแกรม Dialux Evo

ตารางที่ 53 ผลการศึกษา UGR ทั้ง 3 จุด

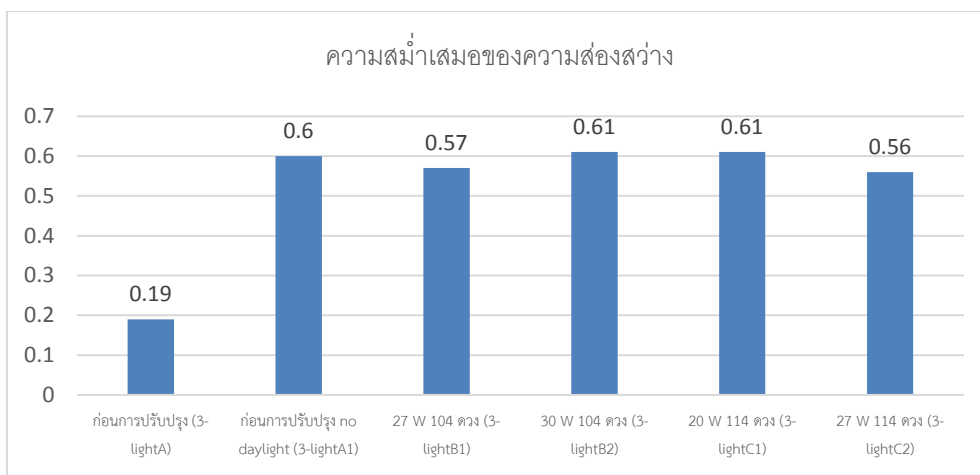
รายการ	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3	เฉลี่ย
URG	16.6	17	15.5	16.3
เกณฑ์ที่กำหนด	≤ 22	≤ 22	≤ 22	-
ความสูงของจุด (เมตร)	1.50	1.50	1.50	-
มุมในการมอง (องศา)	15	15	15	-
ระดับมุมมอง (องศา)	180	180	180	-

จากผลการศึกษาในตารางที่ 53 จะเห็นว่าจุดในการคำนวณ UGR ในระดับสายตา ทั้ง 3 จุดไม่เกินค่าที่กำหนดคือ 22 หมายถึง จะไม่เกิดแสงจําระคายตาจากแสงประดิษฐ์ในขณะปฏิบัติงาน

2.4.7 ความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

ความสม่ำเสมอของแสงประดิษฐ์จะมีมากกว่าแสงธรรมชาติเนื่องจากมีแหล่งกำเนิดแสงที่ทำให้พื้นที่ได้รับแสงในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน ค่าความส่องสว่างไม่แตกต่างกันมากจึงมีผลต่อค่าความสม่ำเสมอของความส่องสว่าง

สามารถสรุปได้ดังกราฟที่ 31



แผนภูมิที่ 31 เปรียบเทียบค่าความสม่ำเสมอแสงประดิษฐ์ของรูปแบบการปรับปรุงต่างๆ

จากการเปรียบเทียบแผนภูมิที่ 30 และ 31 จะเห็นได้ว่าหลอดไฟที่มีกำลังต่ำแต่ติดตั้งในปริมาณมากจะช่วยให้ความสม่ำเสมอของความส่องสว่างมีมากแต่ปริมาณแสงยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ ขณะที่หลอดไฟกำลังสูงแต่ติดตั้งห่างกันความสม่ำเสมอของความส่องสว่างอาจลดลง แต่ได้ความส่องสว่างตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ 500 lux

2.4.8 การใช้พลังงานจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ

หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติโดยการปรับปรุงชนิดฝ้าเพดานชนิดเรียบ (3-F1.1) พบว่าความส่องสว่างที่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 500 lux แสงสามารถเข้ามาได้ลึก 25% ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของห้องในช่วงเวลา 9.00-11.00 น. เป็นเวลา 2 ชม. ต่อวัน และเข้ามาได้ลึก 25% ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของห้องในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. เป็นเวลา 2 ชม. ต่อวัน รวม 8 เดือน คือช่วงฤดูร้อนจนถึงฤดูฝน และในช่วงฤดูหนาว 4 เดือน แสงสามารถเข้ามาได้ 25% ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของห้องในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. เป็นเวลา 2 ชม. ต่อวัน ดังนั้น

การใช้แสงประดิษฐ์เสริมเป็นบางช่วงเวลาจะช่วยลดพลังงานมากขึ้น (ดูเพิ่มเติมในภาคผนวก ข)

ช่วงฤดูร้อนถึงฤดูฝน มี.ค. - ต.ค. จะลดการเปิดไฟได้ 25% เป็นเวลา 2 ชม.

ในช่วงเช้า และอีก 25% 2 ชม. ในช่วงบ่าย ดังนั้นจะใช้พลังงานไฟฟ้าดังนี้

$$(104-32) \times 2 \text{ ชม.} \times 30\text{W} = 4,320 \text{ kwh}$$

$$(104-32) \times 2 \text{ ชม.} \times 30\text{W} = 4,320 \text{ kwh}$$

$$104 \times 2\text{ชม.} \times 30\text{W} = 6,240 \text{ kwh}$$

รวมการใช้พลังงานไฟฟ้า 14,880 kwh ลดลงจากการเปิดทุกหลอดที่ 18,720 kwh
20% และใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA) 12,768 kwh 16%

ช่วงฤดูหนาว พ.ย. - ก.พ. จะลดการเปิดไฟได้ 25% ของห้องเป็นเวลา 2 ชม. ดังนั้น
จะใช้พลังงานไฟฟ้าดังนี้

$$(104-32) \times 2 \text{ ชม.} \times 30\text{W} = 4,320 \text{ kwh}$$

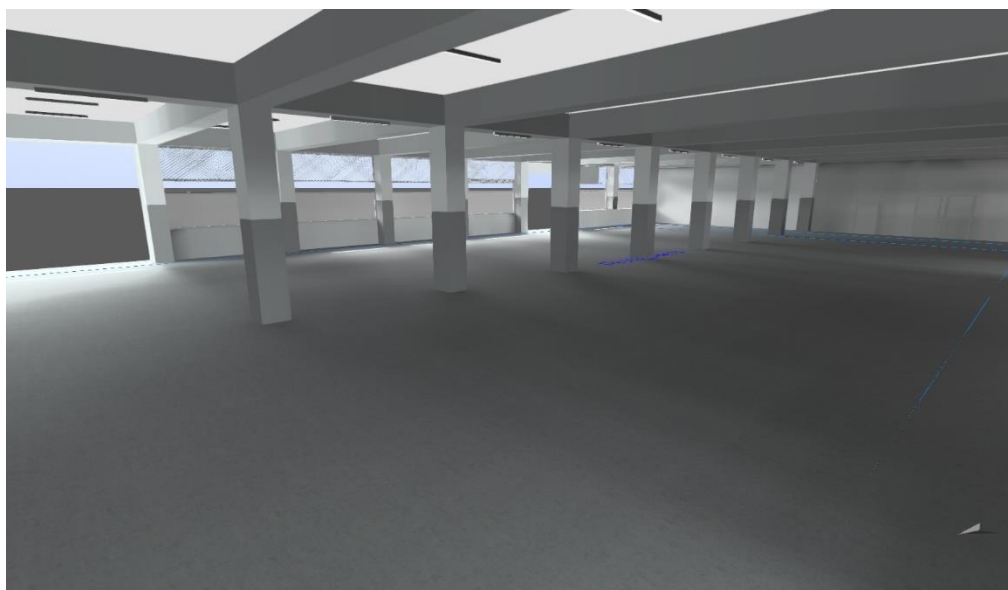
$$104 \times 4\text{ชม.} \times 30\text{W} = 12,480 \text{ kwh}$$

รวมการใช้พลังงานไฟฟ้า 16,880 kwh ลดลงจากการเปิดทุกหลอดที่ 18,720 kwh
9% และใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA) 12,768 kwh 32%

3. ประมวลภาพผลการปรับปรุง

การปรับปรุงแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ได้ผลการศึกษาคือเป็นค่าความส่องสว่างในรูปแบบภาพสามมิติ ก่อนการปรับปรุงและหลังการปรับปรุง ดังนี้

3.1 ก่อน - หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติของเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1



ภาพที่ 87 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 ก่อนการปรับปรุงแสงธรรมชาติ



ภาพที่ 88 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติ

การปรับปรุงแสงธรรมชาติเห็นความเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนที่เงาของเสาบริเวณกลางห้อง จางหายไปจากแสงภายในห้องที่มากขึ้น ฝ้าเพดานชนิดเรียบทำให้แสงมีการกระจายได้ทั่วถึง ส่งผลให้สภาพห้องและพื้นดูสว่างมากขึ้น

3.2 ก่อน - หลังการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ของเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1



ภาพที่ 89 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 ก่อนการปรับปรุงแสงประดิษฐ์



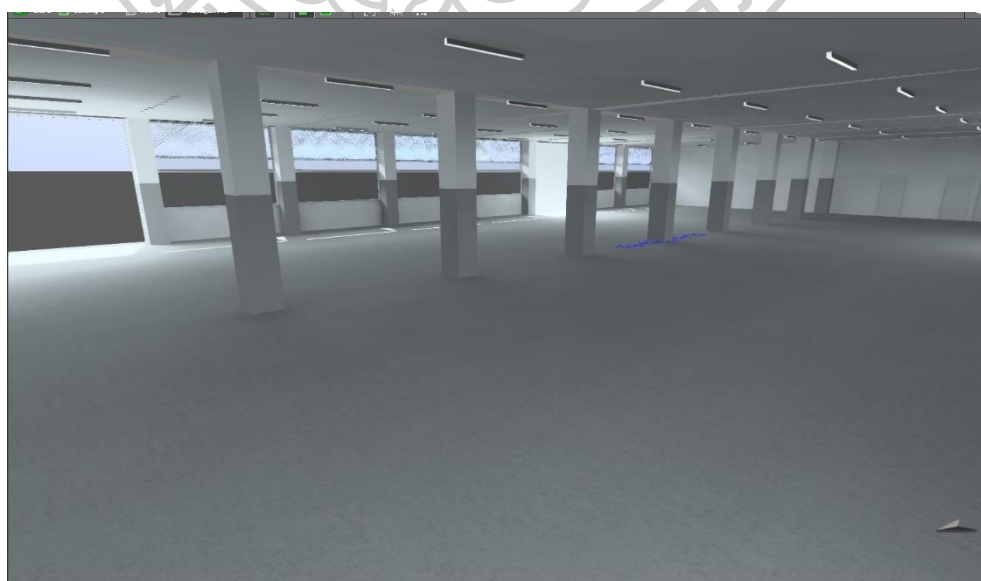
ภาพที่ 90 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1 หลังการปรับปรุงแสงประดิษฐ์

การปรับปรุงแสงประดิษฐ์เห็นความเปลี่ยนแปลงได้ชัดเจนที่ฝ้าเพดานที่เป็นร่องคานมีความมืดทำให้แสงกระจายลงมาข้างล่างน้อย ส่งผลให้พื้นของห้องเรียนมืด หลังจากปรับปรุงพบว่าฝ้าเพดานชนิดเรียบทำให้แสงมีการกระจายได้ทั่วถึงส่งผลให้สภาพห้องและพื้นดูสว่างมากขึ้น

3.3 ก่อน - หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติของเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3



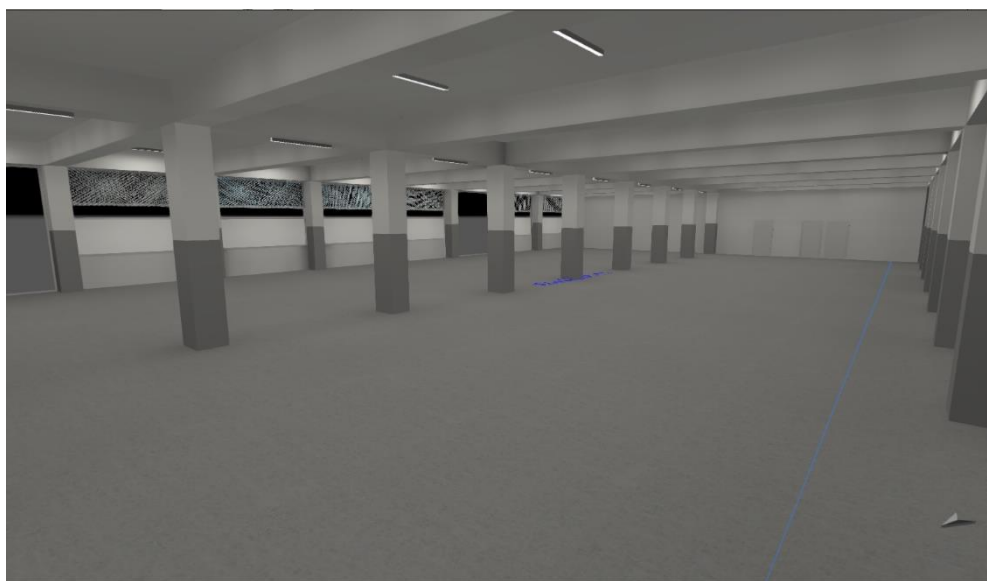
ภาพที่ 91 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 3 ก่อนการปรับปรุงแสงธรรมชาติ



ภาพที่ 92 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 3 หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติ

การปรับปรุงแสงธรรมชาติเห็นความเปลี่ยนแปลงได้ที่เงาของฝ้าเพดานที่มีลักษณะเป็นร่องคานมีเงา ส่งผลให้สภาพแสงภายในและพื้นห้องเรียนมืด เมื่อเปลี่ยนฝ้าเป็นชนิดเรียบทำให้แสงมีการกระจายได้ทั่วถึงส่งผลให้สภาพห้องและพื้นดูสว่างมากขึ้น

3.4 ก่อน - หลังการปรับปรุงประดิษฐ์ของเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3



ภาพที่ 93 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 3 ก่อนการปรับปรุงแสงประดิษฐ์



ภาพที่ 94 ภาพสามมิติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 3 หลังการปรับปรุงแสงประดิษฐ์

การปรับปรุงแสงประดิษฐ์เห็นความเปลี่ยนแปลงได้ที่ฝ้าเพดานที่เป็นร่องคานมีความมืด ทำให้แสงกระจายลงมาข้างล่างน้อย ส่งผลให้พื้นของห้องเรียนมืด หลังจากปรับปรุงพบว่าฝ้าเพดาน ชนิดเรียบทำให้แสงมีการกระจายได้ทั่วถึงส่งผลให้สภาพห้องและพื้นดูสว่างมากขึ้น



บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

ปัจจุบันห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมติดตั้งด้วยหลอดไฟฟลูออเรสเซนต์ philips liftmax 36w/54-765 หลอด T8 แสงสีขาว ความยาวหลอด 120 เซนติเมตร จำนวน 130 หลอด ในบริเวณพื้นที่ทำงานหลอดโคมให้การกระจายแสงลง (direct luminaire) เป็นการให้ความสว่างแบบทั่วไป (general lighting) แต่การติดตั้งไฟฟ้าแสงสว่างมีความบกพร่อง เนื่องจากเป็นเพดานเปลือยไม่มีฝ้าและติดตั้งแผงไฟอยู่ในแนวร่องคานอีกทั้งยังมีการปรับเปลี่ยนจากแบบก่อสร้างกำหนดให้ติดไฟสองหลอดเหลือเพียงหนึ่งหลอด ทำให้แสงสว่างไม่เพียงพอต่อการใช้งาน ซึ่งในปัจจุบันเป็นช่วงเปลี่ยนผ่านของการใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอด LED ด้วยความนิยมที่สูงขึ้น ราคาถูกลงและประโยชน์ที่หลากหลายทั้งยังประหยัดพลังงาน ทางผู้บริหารของสถานศึกษามีนโยบายในการปรับเปลี่ยนระบบแสงสว่างในอนาคตต่อไป

ในงานวิจัยที่ศึกษาเป็นห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมของวิทยาลัยเทคนิคแพร่ที่มีการเรียนการสอนมุ่งเน้นการฝึกทักษะและมีการใช้เครื่องจักรกลเหมือนกับในโรงงานอุตสาหกรรมจริง โดยมีจำนวนนักเรียนชายมากกว่านักเรียนหญิง เป็นอาคาร 4 ชั้น รูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า มีช่องเปิดสองด้าน พื้นที่แต่ละชั้น 1,000 ตารางเมตร รวมพื้นที่ 4,000 ตารางเมตร ชั้นที่ 1 ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อม ชั้นที่ 2 ห้องเรียน ชั้นที่ 3 ห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้นที่ 4 ห้องเขียนแบบ อาคารหันแนวยาวไปทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือและมีการต่อเติมอาคารด้านหลังออกมาอีก 500 ตารางเมตร เป็นโรงปฏิบัติงานสูง 4.40 เมตร ไม่มีฝ้าเพดาน ผนังเป็นลูกกรงเหล็ก หลังคาเป็นทรงจั่วมีการใช้กระเบื้องพลาสติกโปร่งใสเพื่อนำแสงสว่างเข้า โครงสร้างอาคารหลักเป็นคอนกรีตเสริมเหล็กช่วงพาดกว้าง 4 x 8 เมตร ทำให้มีแนวคานกว้าง 50 เซนติเมตร หนา 60 เซนติเมตร ไม่มีฝ้าเพดานปิด จากใต้คานถึงพื้นสูง 3.60 เมตร จากใต้เพดานถึงพื้น 4.20 เมตร หน้าต่างชุดช่วงกลางเป็นบานเกล็ดกระจกใสช่วงบนเป็นลูกกรงเหล็ก โดยรวมกว้าง 3.50 เมตร สูง 2.60 เมตร ประตูเป็นเหล็กบานม้วน กว้าง 3.50 เมตร สูง 3.00 เมตร มีทางลาดและยกพื้นสูงขึ้นมา 0.45 เมตร พื้นเป็นคอนกรีตขัดมันหยาบ ผนัง คาน และเพดาน ทาสีขาว

1. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาแนวทางในการปรับปรุงแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ในตัวแปรต่าง ๆ ให้ค่าความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์มาตรฐานเพื่อความสม่ำเสมอของแสง ไม่เกิดแสงจ้า ระคายตาและลดการใช้พลังงานจากแสงประดิษฐ์ของห้องเรียนปฏิบัติงานช่าง

1.1 แนวทางการปรับปรุงแสงธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1

1.1.1 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างตามมาตรฐานที่กำหนดของห้องเรียนปฏิบัติงานที่ทางเดินไม่น้อยกว่า 100 lux และบริเวณพื้นที่ทำงานไม่น้อยกว่า 300 lux จากการปรับปรุงอาคารด้วยวิธีการต่าง ๆ กันได้ผลดังนี้

- การรื้อถอนกันสาดออก (1-B)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยไม่มีสิ่งใดบดบัง พบว่าการรื้อถอนกันสาด (1-B) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 135 lux ซึ่งมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 45 lux 200%

- การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยมีกันสาดที่ช่วยในการป้องกันละอองฝนสาด พบว่ารูปแบบการติดตั้งไฟเบอร์กลาสที่ระยะ 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร (1-C.1.1) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 132 lux ได้ค่าความส่องสว่างมากที่สุด ซึ่งลดลงจากการรื้อถอนกันสาดออก (1-B) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 135 lux 2% แต่ก็มากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 45 lux 193%

- การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมทึบแสงกลางช่องเปิดเป็นช่องกระจกใส พบว่าการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 175 lux มีค่าสูงที่สุดในทุกรูปแบบที่ศึกษา ซึ่งเพิ่มขึ้นจากการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาสที่ระยะ 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร (1-C.1.1) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 132 lux 32% และมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 45 lux 288%

- การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงในทิศตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อประโยชน์ในการนำแสงเข้ามาภายในห้อง และช่วยในการป้องกันละอองฝนและแสงแดดโดยตรง พบว่าการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 165 lux ซึ่งลดลงจากการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 175 lux 5% แต่ก็เพิ่มจากก่อนการปรับปรุง (1-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 45 lux 260%

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษางานวิจัยเรื่อง การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงและฝ้าเพดานเพื่อการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงาน (วรภัทร, 2549) ที่การติดตั้งหิ้งสะท้อนภายนอกมีความโค้งเว้าระยะยื่น 1.20 เมตรเพื่อรับแสงโดยตรงจากภายนอกอาคารโดยไม่มีสภาพแวดล้อมเข้ามาเกี่ยวข้องทำให้แสงเข้าสู่ภายในห้องโดยไม่ถูกลดทอนค่าความส่องสว่าง แต่ในการศึกษาของผู้วิจัยมีสภาพแวดล้อมภายนอกเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งมีผลกับปริมาณแสง และข้อจำกัดของระยะยื่นหิ้งสะท้อนแสง 1.10 เมตร และรูปทรงอาจเป็นอีกปัจจัยที่ทำให้การนำแสงเข้ามาได้น้อย ดังนั้นการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอกจะมีประสิทธิภาพในการเพิ่มความส่องสว่างหรือไม่ ขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อมโดยรอบ ทิศทางการวางอาคาร รูปทรงของหิ้งสะท้อน สถาปัตยกรรมที่ส่งผลกับการรับแสงของหิ้งสะท้อน

- การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในเพื่อนำแสงเข้าสู่อาคารมากขึ้น พบว่าการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 140 lux ลดลงจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 165 lux 15% แต่ก็เพิ่มจากก่อนการปรับปรุง (1-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 45 lux 210%

เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษางานวิจัยเรื่อง การออกแบบหิ้งสะท้อนแสงและฝ้าเพดานเพื่อการใช้ประโยชน์จากแสงธรรมชาติสำหรับอาคารสำนักงาน (วรภัทร, 2549) ที่การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงเว้าระยะยื่น 1.40 เมตรเข้ามาภายในห้องช่วยให้การกระจายแสงดีขึ้น แต่ในการศึกษา

ของผู้วิจัยมีอุปสรรคคือกรอบพื้นที่ของเครื่องจักรที่ตั้งอยู่บริเวณริมหน้าต่างจะต้องไม่ล้ำเข้าไปในเขตของเครื่องจักรซึ่งระยะยื่น 0.50 เมตรคือระยะมากที่สุดที่สามารถติดตั้งได้เท่าระยะความลึกของเสา และยังส่งผลให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างลดลงเนื่องจากหิ้งสะท้อนแสงภายในอาจเป็นตัวบดบังแสงสว่าง

ดังนั้นการไม่ติดหิ้งสะท้อนแสงภายในของห้องเรียนปฏิบัติงานจะเป็นผลดีกว่า เนื่องจากข้อจำกัดการทำงานในพื้นที่ปฏิบัติงานที่ไม่ควรมีชิ้นส่วนใดที่อาจเกิดอุปสรรคต่อการทำงาน ล้ำเข้ามาในพื้นที่ทำงาน คือระยะ 0.50 เมตรจากกรอบผนัง ทำให้หิ้งสะท้อนจะมีขนาดสั้นและไม่ช่วยในการสะท้อนแสงจากภายนอกและกลายเป็นอุปสรรคทำให้ค่าความส่องสว่างลดลง อีกทั้งยังทำให้ดูแลรักษาความสะอาดยาก

- การปรับปรุงฝ้าเพดาน (1-G)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างภายในห้องเรียนปฏิบัติงานโดยการปรับเปลี่ยนชนิดฝ้าเพดาน พบว่าการปรับปรุงฝ้าเพดาน (1-G) แบบชนิดเรียบ ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 146 lux เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 140 lux 4% และมากกว่าก่อนการปรับปรุง มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 45 lux 224%

เมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยลักษณะฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ กับการกระจายแสงสว่าง (William M. C. Lam, 2529) ผลการศึกษาพบว่าชนิดฝ้าเพดานที่ให้การกระจายแสงได้ดีที่สุดคือฝ้าเพดานชนิดโค้ง ซึ่งเกิดในห้องที่เพดานเป็นผืนเดียวกัน แต่ในการศึกษาของผู้วิจัยเนื่องจากเพดานมีลักษณะเป็นห้องคานอยู่ในระดับที่ 3.60 เมตร ซึ่งเป็นระดับที่เหมาะสมของห้องเรียนปฏิบัติงาน (พิชัย ศิริทัศนกุล, 2543) จึงไม่สามารถลดระดับต่ำกว่านี้ เนื่องด้วยความสูงของเครื่องจักรและการใช้งานภายในห้องงาน การศึกษานี้จึงเลือกใช้ฝ้าเพดานชนิดเรียบปิดบริเวณใต้ห้องคาน

จากการศึกษาข้างต้นจึงได้ข้อสรุปในวิธีการปรับเปลี่ยนสถาปัตยกรรมของอาคาร เพื่อนำแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคารให้ได้มากที่สุด นำมาสู่รูปแบบสุดท้ายของการผสมผสาน (1-H) โดยมีรายละเอียดในการปรับเปลี่ยนดังนี้ กั้นสาดไฟเบอร์กลาสที่ระยะติดตั้ง 0.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร เปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส ติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก 1.10 เมตร และติดตั้งฝ้าเพดานชนิดเรียบ ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 172 lux เพิ่มขึ้นจากก่อนการปรับปรุง 283% รูปแบบนี้จะให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากที่สุด และยังสามารถป้องกันละอองฝนสาดในแนว

45 องศา รวมถึงบังแสงแดดโดยตรงที่อาจส่งผลกระทบต่อการรักษาเครื่องจักรที่อยู่บริเวณริมหน้าต่าง ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในอาคารปฏิบัติงานในเครื่องสำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา (สอศ.) ที่มีบริบทใกล้เคียงกันได้

ทั้งนี้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติยังไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดที่ 300 lux อาจเนื่องมาจาก ทิศทางการวางอาคาร สภาพแวดล้อมภายนอกที่มีต้นไม้และอยู่ใกล้กับอาคารสูง หึ่งสะท้อนแสงที่ไม่ได้รับแสงสว่างโดยตรง สภาพแวดล้อมภายใน ความสกปรก เครื่องจักรอุปกรณ์ ส่วนต่อเติมอาคาร เป็นต้น ดังนั้นจึงต้องมีการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมด้วย

1.1.2 ความสม่ำเสมอของแสง Uniformity

เกณฑ์ความสม่ำเสมอของแสงบนพื้นที่ทำงานและรอบข้างไม่น้อยกว่า 0.5 ของค่าความส่องสว่าง (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง, 2559)

ผลการศึกษพบว่ารูปแบบการปรับปรุงแสงธรรมชาติในรูปแบบผสมผสาน (1-H) มีค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงสว่างอยู่ที่ 0.24 ทำให้ได้ข้อสังเกตว่าการให้แสงสว่างธรรมชาติเพียงฝั่งเดียวของห้องเรียนปฏิบัติงานเป็นสาเหตุหลักที่ทำให้แสงมีความสม่ำเสมอได้ยาก ค่าความส่องสว่างภายในห้องที่ลึกเกินกว่าระยะ 5 เมตร มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ลดลงและสัดส่วนต่างกันอย่างมาก จึงเป็นผลให้ค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงสว่างมีค่าน้อย แนวทางในการแก้ไขคือต้องใช้แสงประดิษฐ์ร่วมด้วย

1.2 แนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเชื่อมชั้น 1

1.2.1 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานขนาด 32x20 เมตร พื้นที่ 640 ตารางเมตร พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์และแสงธรรมชาติ ก่อนการปรับปรุง (1-lighA) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 181 lux ซึ่งมากกว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติหลังการปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 172 lux เมื่อจำลองในสภาวะไร้แสงธรรมชาติก่อนการปรับปรุง (1-lighA1) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 163 lux

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างตามมาตรฐานของแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติต้อง
ได้ตามมาตรฐาน บริเวณทางเดินไม่น้อยกว่า 100 lux และบริเวณพื้นที่ทำงานไม่น้อยกว่า 300 lux

รูปแบบที่ 1 (1-lightB) จำนวนหลอด 56 หลอด ติดตั้งในตำแหน่งฝังไฟเดิม ได้ผล
ดังนี้

หลอด LED 20W (1-lightB1) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 135 lux ลดลงจาก
ก่อนการปรับปรุง no daylight (1-lightA1.1) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 163 lux 18%

หลอด LED 27W (1-lightB2) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 228 lux ได้มากกว่า
จากก่อนการปรับปรุง no daylight (1-lightA1.1) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 163 lux 39%

หลอด LED 30W (1-lightB3) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 291 lux ได้มากกว่า
จากก่อนการปรับปรุง no daylight (1-lightA1.1) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 163 lux 78%

พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ยังไม่ได้ตามเกณฑ์ และได้ข้อสังเกตว่าการติดตั้งไฟ
ในรูปแบบเดิมหากต้องการให้ค่าเฉลี่ยได้ถึง 300 lux ต้องติดตั้งหลอดไฟที่มีกำลังสูงมากกว่า 30 W
แต่กลับพบว่าค่าความสม่ำเสมอของแสงลดน้อยลงเมื่อใช้หลอดกำลังสูง เนื่องจากเกิดความแตกต่าง
ของแสงภายในห้องมาก

รูปแบบที่ 2 (1-lightC) จำนวนหลอด 104 หลอด ติดตั้งในตำแหน่งฝังไฟเดิมแต่เพิ่ม
จำนวนเป็น 2 หลอดติดตั้งในแนวยาว ยกเว้นบริเวณระหว่างเสาใช้ 1 หลอดเท่าเดิม ได้ผลดังนี้

หลอด LED 27W (1-lightC1) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 419 lux ได้มากกว่า
จากก่อนการปรับปรุง no daylight (1-lightA1.1) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 163 lux 157%

หลอด LED 30W (1-lightC2) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 533 lux ได้มากกว่า
จากก่อนการปรับปรุง no daylight (1-lightA1.1) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 163 lux 226%

พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมีรูปแบบที่ได้ตามเกณฑ์คือ หลอด LED 27W

(1-lightC1) ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 419 lux เพียงพอต่อการใช้งาน และได้ข้อสังเกตว่าการติดตั้งไฟในรูปแบบนี้ใช้จำนวนหลอดมากขึ้นเป็นหลอดที่มีกำลังปานกลาง-สูง ใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง แต่ได้ค่าความสม่ำเสมอของแสงในระดับดีเนื่องจากการกระจายของหลอดไฟมากขึ้นทำให้ห้องได้รับความส่องสว่างที่ทั่วถึง

รูปแบบที่ 3 (1-lightD) จำนวนหลอด 114 หลอด เปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่มจำนวนหลอด กระจายไปทั่วห้อง ได้ผลดังนี้

หลอด LED 20W (1-lightC1) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 309 lux มากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA1.1) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 163 lux 89%

หลอด LED 27W (1-lightC1) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 516 lux มากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA1.1) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 163 lux 216%

จากการศึกษาพบว่าการปรับปรุงรูปแบบที่ 2 ด้วยหลอด 27W 104 หลอด ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างได้ตามเกณฑ์ และได้ข้อสังเกตว่าการติดตั้งไฟในรูปแบบนี้ใช้หลอดจำนวนมากใช้หลอดกำลังต่ำ-ปานกลาง จะให้ค่าความสม่ำเสมอของแสงมากเนื่องจากการกระจายของหลอดไฟทำให้มีความแตกต่างของแสงน้อย แต่การจัดตำแหน่งรูปแบบนี้สิ้นเปลืองพลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง

ดังนั้นการจัดวางตำแหน่งของหลอดไฟและการเลือกใช้หลอดของห้องเรียน ปฏิบัติงานควรคำนึงถึงภาพรวมของความส่องสว่างเป็นหลัก ให้พื้นที่ทำงานมีค่าความส่องสว่างไม่น้อยกว่า

300 lux และพื้นที่ทางเดินไม่น้อยกว่า 100 lux ตามมาตรฐาน การจัดไฟในรูปแบบไฟที่กระจายตัวของหลอดเป็นแนวยาวและใช้หลอดที่มีกำลังปานกลาง-สูง จะช่วยให้ค่าความส่องสว่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2.2 ความสม่ำเสมอของแสง Uniformity

เกณฑ์ความสม่ำเสมอของแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติบนพื้นที่ทำงานและรอบข้างไม่น้อยกว่า 0.5 ของค่าความส่องสว่างเช่นเดียวกับเกณฑ์แสงธรรมชาติ

ผลการศึกษพบว่ารูปแบบที่มีค่าความสม่ำเสมอของแสงดีและสอดคล้องกับเกณฑ์อื่น ๆ คือรูปแบบที่ 3 (1-lightD1) โดยมีค่าความสม่ำเสมอของแสง 0.61 และมีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากที่สุด แต่เนื่องด้วยต้องคำนึงถึงค่าเฉลี่ยความส่องสว่างและประสิทธิภาพการใช้พลังงานและค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง รูปแบบที่ 2 (1-lightC1) มีค่าความสม่ำเสมอของแสง 0.57 จึงความเหมาะสมมากที่สุด

จากการศึกษาจะสังเกตได้ว่าแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียวจะมีค่าความสม่ำเสมอของแสงมากกว่าแสงธรรมชาติ เนื่องจากพื้นที่ได้รับความส่องสว่างจากหลอดไฟในกำลังส่องสว่างที่เท่า ๆ กัน จึงทำให้ผลค่าความสม่ำเสมอมีค่ามากกว่าแสงธรรมชาติ ดังนั้นหากมีการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติจะต้องมีการกำหนดแนวในการปิดเปิดไฟตามผังหลอดไฟ เพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยที่ได้มาตรฐานและค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ดีด้วย

1.2.3 การประเมินด้วยเกณฑ์ (UGR)

จากการพัฒนาปรับปรุงค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ให้ได้ตามเกณฑ์ ผลการศึกษาได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 419 lux ซึ่งเมื่อใช้การคำนวณด้วยโปรแกรม Dialux Evo พบว่าค่า UGR เฉลี่ยมีค่า 19.8 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ≤ 22 (CIE117-1995) ดังนั้นการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในรูปแบบ (1-lightC) 27W จึงไม่ทำให้เกิดแสงจ้าระคายตาขณะใช้งานห้องเรียน ปฏิบัติงาน

1.2.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์

จากผลการศึกษาพบว่า การปรับปรุงระบบแสงประดิษฐ์ รูปแบบที่ 2 (1-lightC2) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานได้ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-lightA1.1) 163 lux และหลังปรับปรุง (1-lightC2) 419 lux ทำให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของห้องเพิ่มขึ้น 226% การใช้พลังงานก่อนการปรับปรุง (1-lightA1.1) ที่ 3.10 W/m^2 หลังการปรับปรุง (1-lightC1) 4.31 W/m^2

ใช้พลังงานเพิ่มมากขึ้น 39% ปริมาณพลังงานจากไฟฟ้าแสงสว่างภายในห้องตั้งแต่ 9.00 – 15.00 น. 6 ชั่วโมง ก่อนการปรับปรุง (1-lightA.1) ใช้พลังงานที่ 12,768 kwh และหลังการปรับปรุง (1-lightC1) ใช้พลังงานที่ 16,848 kwh เพิ่มมากขึ้น 31%

เมื่อเปรียบเทียบผลดีและผลเสียของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ที่ใช้พลังงาน ต่อตารางเมตรเพิ่มขึ้น 39% ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้น 31% แต่ได้รับความส่องสว่างเพิ่มมากขึ้น 226% ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด อีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะลดการใช้พลังงานลงอีกหากมีการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์

1.2.5 การลดการใช้พลังงานจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ ก่อนการปรับปรุงแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานมีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ (1-lightA) ที่ 181 lux มีค่าความสม่ำเสมอของแสง 0.15 ต้องเปิดไฟทั้งหมด 56 หลอด หรือ 100% ใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 12,768 kwh จากเวลาทำงาน 6 ชม. 9.00-15.00 น.

หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติแบบผสมผสาน (1-H) พบว่าความส่องสว่างที่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 300 lux แสงสามารถเข้ามาได้ลึกถึงครึ่งห้องที่มีความลึก 20 เมตร คิดเป็น 50% ของความลึกห้อง เป็นเวลาประมาณ 8 เดือน คือช่วงฤดูร้อนจนถึงฤดูฝน และในช่วงฤดูหนาว 4 เดือน สามารถเข้ามาได้ 25% แสงจะเข้ามาในช่วงเวลาเช้าตลอดปีคือเวลา 9.00-11.00 น. เป็นเวลา 2 ชม. ต่อวัน ดังนั้นการใช้แสงประดิษฐ์เสริมเป็นบางช่วงเวลาจะช่วยลดพลังงานมากขึ้น โดยฤดูร้อนรวมการใช้พลังงานไฟฟ้า 14,040 kwh ลดลงจากการเปิดทุกหลอดที่ 16,848 kwh 16% และใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA) 12,768 kwh 9% ฤดูหนาวรวมการใช้พลังงานไฟฟ้า 15,120 kwh ลดลงจากการเปิดทุกหลอดที่ 16,848 kwh 10% และใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA) 12,768 kwh 18% เฉลี่ยปีละ 13%

แม้จะใช้พลังงานมากกว่าแต่รูปแบบหลังการปรับปรุงนี้จะได้รับค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้ตามมาตรฐานและอาจส่งผลดีต่อคุณภาพในการมองเห็นจากความสม่ำเสมอของแสงที่มากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการให้แสงสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานช่างทุกประเภท

1.4 แนวทางการปรับปรุงแสงธรรมชาติห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3

1.4.1 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างตามมาตรฐานที่กำหนดของห้องเรียนปฏิบัติงานช่างที่ทางเดิน ไม่น้อยกว่า 100 lux และบริเวณพื้นที่ทำงานไม่น้อยกว่า 500 lux จากการปรับปรุงอาคารด้วยวิธีการ ต่างๆกันได้ผลดังนี้

- การรื้อกันสาดออก (3-B)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยที่ไม่มีสิ่งใดบดบัง พบว่าการรื้อกันสาดออก (3-B) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 690 lux ซึ่งเป็นรูปแบบที่ให้ค่าเฉลี่ย ความส่องสว่างสูงที่สุด และเพิ่มจากก่อนการปรับปรุง (3-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 220 lux 213%

- การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยมีกันสาดที่ช่วยใน การป้องกันละอองฝนสาด พบว่าการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาสที่ระยะ 1.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร (3-C1.1) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 554 lux ลดลงจากการรื้อกันสาดออก (3-B) ที่มี ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 690 lux 19% แต่มากกว่าก่อนการปรับปรุง (3-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 220 lux 151%

- การเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยการเปลี่ยนเกล็ด อลูมิเนียมทึบแสงกลางช่องเปิดเป็นช่องกระจกใส พบว่าการเปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 594 lux เพิ่มขึ้นจากการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C1.1) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 554 lux 7% เพิ่มจากก่อนการปรับปรุง (3-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 220 lux 280%

- การติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่เข้าสู่ห้องเรียนปฏิบัติงานโดยการติดตั้ง

หิ้งสะท้อนแสงในทิศตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อประโยชน์ในการนำแสงเข้ามาภายในห้อง ช่วยในการป้องกันละอองฝนและแสงแดดโดยตรง พบว่าการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 454 lux ลดลงการเปลี่ยนเกิ้ล็ดลูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 554 lux 23% เพิ่มจากก่อนการปรับปรุง (3-A)) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 220 lux 260%



เมื่อเปรียบเทียบกับห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของ หิ้งสะท้อนแสงภายนอกชั้น 3 ลดลงมากกว่าชั้น 1 อาจเป็นเพราะมุมของหลอดอาทิติย์และผลจากความสูงและสภาพแวดล้อมที่ค่อนข้างโปร่งโล่ง ไม่มีเครื่องจักรขนาดใหญ่หรือสูง ซึ่งบริเวณชั้น 3 ได้รับแสงสว่างค่อนข้างมากและมีปัญหาอุปสรรคด้านแสงสว่างน้อยกว่าชั้น 1 ซึ่งการติดตั้ง หิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาจเป็นการลดทอนแสงที่เข้าสู่ภายในห้อง แต่ทั้งนี้ยังคงจำเป็นต้องใช้เพื่อการป้องกันละอองฝนสาดเครื่องจักรที่อยู่บริเวณริมหน้าต่าง

จากผลการศึกษาของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 ทำให้สังเกตเห็นว่าการติดตั้ง หิ้งสะท้อนแสงภายในจะทำให้แสงสว่างเข้ามาภายในได้น้อยลงมีผลให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างลดลง ผู้วิจัยจึงลดทอนขั้นตอนการศึกษาการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายในของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 และศึกษารูปแบบในการปรับปรุงอื่น

- การปรับปรุงฝ้าเพดาน (1-F)

เพื่อศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างภายในห้องเรียนปฏิบัติงานจากปรับเปลี่ยนชนิด ฝ้าเพดาน พบว่าการปรับปรุงฝ้าเพดาน (1-F1.1) แบบชนิดเรียบ ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 447 lux ลดลงจากการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E) มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 454 lux 17% แต่ก็เพิ่มจากก่อนการปรับปรุง (3-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 220 lux 103%

เมื่อเปรียบเทียบกับห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของ หิ้งสะท้อนแสงภายนอกชั้น 3 ลดลงมากกว่าชั้น 1 อาจเนื่องมาจากความสูงของฝ้าเพดานที่ลดระดับ ลงมาทำให้การกระจายแสงธรรมชาติที่เข้ามาถูกทอนลงและหิ้งสะท้อนแสงภายนอกอาจเป็น อีกส่วนที่ทำให้เกิดการบดบังแสง แต่ทั้งนี้ฝ้าเพดานชนิดเรียบ (3-F1) มีผลต่อการช่วยกระจายแสง ของแสงประดิษฐ์จึงจำเป็นต้องมีการติดตั้งฝ้าเพดาน

จากการศึกษาข้างต้นจึงได้ข้อสรุปในวิธีการปรับเปลี่ยนสถาปัตยกรรมของอาคาร เพื่อนำแสงสว่างเข้าสู่ภายในอาคารให้ได้มากที่สุดของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 คือ ติดตั้งกันสาด ไฟเบอร์กลาสที่ระยะติดตั้ง 0.10 เมตร ขนาด 0.85 เมตร เปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นกระจกใส ติดตั้ง หิ้งสะท้อนแสงภายนอก 1.10 เมตร และติดตั้งฝ้าเพดานชนิดเรียบ ผลการศึกษาได้ค่าเฉลี่ย ความส่องสว่างที่ 447 lux เพิ่มจากก่อนการปรับปรุง (3-A) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 220 lux 103%

รูปแบบนี้ให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างมากที่สุด และยังสามารถป้องกันละอองฝนสาดในแนว 45 องศา รวมถึงลดทอนแสงแดดโดยตรงที่อาจส่งผลต่อการเก็บรักษาเครื่องจักรที่อยู่บริเวณริมหน้าต่าง ซึ่งเป็นแนวทางที่สามารถนำไปใช้ในอาคารปฏิบัติงานในเครื่องสำนักงานคณะกรรมการอาชีวศึกษา (สอศ.) ที่มีบริบทใกล้เคียงกันได้

1.4.2 ความสม่ำเสมอของแสง Uniformity

เกณฑ์ความสม่ำเสมอของแสงบนพื้นที่ทำงานและรอบข้างไม่น้อยกว่า 0.5 ของค่าความส่องสว่างเช่นเดียวกับห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 (สมาคมไฟฟ้าแสงสว่าง, 2559)

ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบการปรับปรุงแสงธรรมชาติในการปรับปรุงฝ้าเพดานชนิดเรียบ (3-F1.1) มีค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงสว่างอยู่ที่ 0.17 อาจเนื่องมาจากห้องเรียนปฏิบัติงานได้รับแสงธรรมชาติเข้ามาทั้งสองฝั่งของอาคาร ทำให้ค่าความส่องสว่างภายในห้องที่ลึกเกินกว่าระยะ 5 เมตร ของทั้งสองฝั่ง มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ลดลงและสัดส่วนต่างกันอย่างมาก จึงมีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสงสว่างมีค่าน้อย แนวทางในการแก้ไขคือต้องใช้แสงประดิษฐ์ร่วมด้วย

1.5 แนวทางการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือ ชั้น 3

1.5.1 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง

ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานขนาด 32x20 เมตร พื้นที่ 640 ตารางเมตร พบว่าแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ก่อนการปรับปรุง (3-lightA) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 390 lux และแสงธรรมชาติหลังการปรับปรุง (3-F1.1) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 447 lux ซึ่งหมายความว่าแสงธรรมชาติได้ผลที่ดีกว่า เมื่อจำลองในสภาวะไร้แสงธรรมชาติการปรับปรุง (3-lightA1) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 173 lux

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างตามมาตรฐานของแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติต้องได้เท่ากับเวลากลางวัน ที่ทางเดินไม่น้อยกว่า 100 lux และบริเวณพื้นที่ทำงานไม่น้อยกว่า 500 lux โดยศึกษาตัวแปรดังนี้

รูปแบบที่ 1 (3-lightB) จำนวน 104 หลอด ติดตั้งในตำแหน่งฝังไฟเดิมแต่เพิ่มจำนวนเป็น 2 หลอดติดตั้งในแนวยาว ยกเว้นบริเวณระหว่างเสาใช้ 1 หลอดเท่าเดิม ได้ผลดังนี้

หลอด LED 27W (3-lightB1) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 399 lux ได้มากกว่าก่อนการปรับปรุง (3-lightA1.1) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 173 lux 130%

หลอด LED 30W (3-lightB2) ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 503 lux ได้มากกว่าก่อนการปรับปรุง (3-lightA1.1) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 173 lux 190%

พบว่าค่าเฉลี่ยความส่องสว่างรูปแบบที่ได้ตามเกณฑ์คือ หลอด LED 30W (3-lightB2) ซึ่งได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 503 lux เพียงพอต่อการใช้งาน และได้ข้อสังเกตว่าหลอดไฟชนิด 27W แบบผลการศึกษาในชั้น 1 มีความส่องสว่างได้ไม่ถึงเกณฑ์ในชั้น 3 ที่ต้องการความส่องสว่างมากกว่าและต้องใช้หลอดที่มีกำลังสูงขึ้น

รูปแบบที่ 2 (3-lightC) จำนวนหลอด 114 หลอด เปลี่ยนตำแหน่งและเพิ่มจำนวนหลอด กระจายไปทั่วห้อง ได้ผลดังนี้

หลอด LED 20W (3-lightC1) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 262 lux ได้มากกว่าก่อนการปรับปรุง (3-lightA1.1) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 173 lux 51%

หลอด LED 27W (3-lightC1) ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 457 lux ได้มากกว่าก่อนการปรับปรุง (3-lightA1.1) ที่มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่าง 173 lux 164%

ซึ่งค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้ยังไม่เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากการศึกษาพบว่าการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 ด้วยหลอด 30W 104 หลอด ให้ค่าความส่องสว่างที่เหมาะสมตามเกณฑ์ และได้ข้อสังเกตว่าการจัดตำแหน่งหลอดไฟยังคงได้ผลการศึกษาเช่นเดียวกับห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1 จึงได้ข้อสรุปว่าการจัดตำแหน่งของหลอดไฟในห้องเรียนปฏิบัติงานบริเวณชั้นล่างอาคารที่มักมีปริมาณแสงน้อยและบริเวณชั้นบนที่มีปริมาณแสงมากสามารถใช้การจัดรูปแบบหลอดไฟเดียวกัน คือใช้หลอดที่มีกำลังส่องสว่างปานกลาง-สูง ตามแต่ความต้องการค่าความส่องสว่างของงานช่างแต่ละประเภท และเพิ่มจำนวนหลอดในแนวยาว จะช่วยให้ได้ค่าความส่องสว่างที่มากขึ้นและได้ค่าความสม่ำเสมอของแสงมากขึ้น

1.5.2 ความสม่ำเสมอของแสง Uniformity

เกณฑ์ความสม่ำเสมอของแสงประดิษฐ์โดยไม่พึ่งแสงธรรมชาติบนพื้นที่ทำงานและพื้นที่รอบข้างไม่น้อยกว่า 0.5 ของค่าความส่องสว่างเช่นเดียวกับเกณฑ์แสงธรรมชาติ

ผลการศึกษาพบว่ารูปแบบที่มีค่าความสม่ำเสมอของแสงเหมาะสมและสอดคล้องกับเกณฑ์อื่นๆคือรูปแบบที่ 1 (3-lightB2) โดยมีค่าเฉลี่ยความสม่ำเสมอของแสง 0.61 ซึ่งได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

จากการศึกษาจะสังเกตได้ว่าแสงประดิษฐ์เพียงอย่างเดียวจะมีค่าความสม่ำเสมอมากกว่าแสงธรรมชาติซึ่งการศึกษานี้ได้ผลคล้ายคลึงกับค่าความสม่ำเสมอของบริเวณชั้น 1 แต่เนื่องจากบริเวณชั้น 3 มีช่องเปิดหน้าต่าง 2 ด้านคือทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือกับทิศตะวันตกเฉียงใต้ทำให้สภาพแสงที่เกิดขึ้นมีความสว่างมากบริเวณริมหน้าต่างแต่มีบริเวณกลางห้องที่เป็นแนวเสา และมีสัดส่วนที่แตกต่างกันมากจึงทำให้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงธรรมชาติน้อย ดังนั้นหากมีการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติจะต้องมีการกำหนดแนวในการปิดเปิดไฟตามผังหลอดไฟ เพื่อให้ได้ค่าความส่องสว่างมีค่าเฉลี่ยที่ได้มาตรฐานและค่าความสม่ำเสมอของแสงที่ดีด้วย

1.5.3 การประเมินด้วยเกณฑ์ (UGR)

จากการพัฒนาปรับปรุงค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ได้ใกล้เคียงตามเกณฑ์ ผลการศึกษาได้ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ 503 lux ซึ่งเมื่อใช้การคำนวณด้วยโปรแกรม Dialux Evo พบว่าค่า UGR เฉลี่ยมีค่า 16.3 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด ≤ 22 (CIE117-1995) ดังนั้นการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ในรูปแบบที่ 1 (3-lightB2) จึงไม่ทำให้เกิดแสงจําระคายตาขณะใช้งานห้องเรียนปฏิบัติงาน

1.5.4 การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงานของแสงประดิษฐ์

จากผลการศึกษาพบว่าการปรับปรุงระบบแสงประดิษฐ์ รูปแบบที่ 2 (3-lightC2) สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พลังงานได้ ดังนี้

ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (3-lightA1.1) 173 lux และหลังปรับปรุง (3-lightB2) 503 lux ทำให้มีค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของห้องเพิ่มขึ้น 190% การใช้พลังงานก่อน

การปรับปรุง (3-lightA1.1) ที่ 3.10 W/m² หลังการปรับปรุง (3-lightB2) 4.79 W/m² ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 54% ปริมาณพลังงานจากไฟฟ้าแสงสว่างภายในห้องตั้งแต่ 9.00 – 15.00 น. 6 ชั่วโมง ก่อนการปรับปรุง (3-lightA1.1) ที่ 12,768 kwh และหลังการปรับปรุง (3-lightB2) ที่ 18,720 kwh ใช้พลังงานเพิ่มขึ้น 46%

เมื่อเปรียบเทียบผลดีและผลเสียของการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ที่ใช้พลังงานต่อตารางเมตรเพิ่มขึ้น 54% ใช้พลังงานไฟฟ้ารวมเพิ่มขึ้น 46% แต่ได้รับความส่องสว่างเพิ่มมากขึ้น 190% ได้ตามมาตรฐานที่กำหนด อีกทั้งยังมีแนวโน้มที่จะลดการใช้พลังงานลงอีกหากมีการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์

1.5.5 การลดการใช้พลังงานจากการใช้แสงประดิษฐ์ร่วมกับแสงธรรมชาติ

ก่อนการปรับปรุงแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ห้องเรียนปฏิบัติงานมีค่าความส่องสว่างของแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ (3-lightA) ที่ 181 lux มีค่าความสม่ำเสมอของแสง 0.15 ต้องเปิดไฟทั้งหมด 56 หลอด หรือ 100% ใช้พลังงานไฟฟ้ารวม 12,768 kwh จากเวลาทำงาน 6 ชม. 9.00-15.00 น.

หลังการปรับปรุงแสงธรรมชาติโดยการปรับปรุงชนิดฝ้าเพดานชนิดเรียบ (3-F1.1) พบว่าความส่องสว่างที่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด 500 lux แสงสามารถเข้ามาได้ลึก 25% ทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือของห้องในช่วงเวลา 9.00-11.00 น. เป็นเวลา 2 ชม. ต่อวัน และเข้ามาได้ลึก 25% ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของห้องในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. เป็นเวลา 2 ชม. ต่อวัน รวม 8 เดือน คือช่วงฤดูร้อนจนถึงฤดูฝน และในช่วงฤดูหนาว 4 เดือน แสงสามารถเข้ามาได้ 25% ทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ของห้องในช่วงเวลา 13.00-15.00 น. เป็นเวลา 2 ชม. ต่อวัน ดังนั้นการใช้แสงประดิษฐ์เสริมเป็นบางช่วงเวลาจะช่วยลดพลังงานมากขึ้น โดยฤดูร้อนรวมการใช้พลังงานไฟฟ้า 14,880 kwh ลดลงจากการเปิดทุกหลอดที่ 18,720 kwh 20% และใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA) 12,768 kwh 16% ฤดูหนาวรวมการใช้พลังงานไฟฟ้า 16,880 kwh ลดลงจากการเปิดทุกหลอดที่ 18,720 kwh 9% และใช้พลังงานมากกว่าก่อนการปรับปรุง (1-lightA) 12,768 kwh 32% เฉลี่ยปีละ 19%

แม้จะใช้พลังงานมากกว่าแต่รูปแบบหลังการปรับปรุงนี้จะได้รับค่าเฉลี่ยความส่องสว่างที่ได้ตามมาตรฐานและอาจส่งผลดีต่อคุณภาพในการมองเห็นจากความสม่ำเสมอของแสงที่มากขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญในการให้แสงสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานช่างทุกประเภท

2. ข้อจำกัดในการวิจัย

การศึกษาปรับปรุงการส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานช่างเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้านความส่องสว่าง คุณภาพการมองเห็นและประสิทธิภาพในการใช้พลังงาน กรณีศึกษา : อาคารช่างเชื่อมวิทยาลัยเทคนิคแพร่ มีข้อจำกัด ดังนี้

2.1 แสงธรรมชาติ

ข้อจำกัดคือสภาพแวดล้อม เช่น ลักษณะช่องเปิด อาคารข้างเคียง พื้นผิว วัสดุภายนอกและภายใน ต้นไม้ สภาพท้องฟ้า การจัดวางเครื่องจักรเครื่องมือ ทิศทางการวางอาคารของแต่ละพื้นที่ และการต่อเติมที่แตกต่างกัน อาจทำให้ผลการศึกษาดังกล่าวออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยที่จะเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นในการศึกษา เช่น อาคารปฏิบัติงานช่างกลโรงงานของวิทยาลัยเทคนิคหาดใหญ่ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่สภาพท้องฟ้ามีเมฆมากฝนตกชุกตลอดปี จะต้องใช้แสงประดิษฐ์ช่วยมากขึ้น

2.2 แสงประดิษฐ์

การจัดวางเครื่องจักรและอุปกรณ์ภายในห้องเรียนปฏิบัติงาน สี และวัสดุภายในห้องและความต้องการค่าความส่องสว่างที่แตกต่างกันตามแต่ละประเภทของงานช่างอาจทำให้ผลการศึกษาดังกล่าวออกไปขึ้นอยู่กับปัจจัยที่จะเปลี่ยนแปลงตัวแปรต้นในการศึกษา เช่น ช่างแม่พิมพ์ที่ต้องการค่าความส่องสว่างสูงกว่า 500 lux จะต้องใช้หลอดที่มีกำลังสูงมากกว่าในการศึกษานี้ เป็นต้น

2.3 ข้อจำกัดด้านสถานที่

เนื่องจากสถานที่จริงในการศึกษาวิจัยอยู่ต่างจังหวัดทำให้ไม่สะดวก ต้องเดินทางไกลและไม่สามารถเก็บข้อมูลได้บ่อยครั้ง

2.4 ข้อจำกัดด้านโปรแกรม

โปรแกรม Dialux Evo มีข้อจำกัดให้การสร้างโมเดลสามมิติ การตั้งค่าวัสดุบางอย่าง รวมถึงข้อจำกัดในการประมวลผลและแสดงผลบางประการ

3. ข้อเสนอแนะ

จากผลการศึกษาผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะในการออกแบบอาคารปฏิบัติงานช่างในอนาคต ดังนี้

อาคารชุดที่มีการปฏิบัติงานและห้องเรียนรวมอยู่ภายในอาคารควรจัดลำดับภาระน้ำหนักของเครื่องจักรโดยเครื่องจักรหนักควรอยู่ชั้นล่างและเครื่องมือเบาไว้ชั้นถัดไปและห้องเรียนควรอยู่ชั้นบนเพื่อไม่ให้เสียงเครื่องจักรรบกวนการเรียนตามมาตรฐานการออกแบบห้องเรียนปฏิบัติงาน โดยทั้งอาคารควรมีช่องเปิด 2 ฝั่ง ในแนวยาวของอาคารและสัดส่วนของช่องเปิดควรเป็น $\frac{1}{4}$ ของพื้นที่อาคาร ต้องมีช่องระบายอากาศที่สามารถระบายอากาศได้ 24 ชม. ด้านบนสุดและหน้าต่างควรเป็นบานเปิดหรือบานเกล็ดที่เป็นกระจกเพื่อรับแสงสว่าง และคำนึงถึงการป้องกันฝนสาด

ดังนั้นในการออกแบบเพื่อนำแสงธรรมชาติมาใช้ในห้องเรียนปฏิบัติงานให้ได้มากที่สุด ต้องคำนึงถึงการเลือกสถานที่ตั้ง ระยะห่างจากอาคารข้างเคียงและอุปสรรคที่ส่งผลต่อแสงธรรมชาติ ทิศทางในการวางอาคารเพื่อรับแสงได้ดีที่สุดคือแนวทิศเหนือและทิศตะวันออก ต่อมาคือการจัดแสงธรรมชาติเข้าสู่อาคารด้วยหิ้งสะท้อนแสงภายนอกซึ่งหากได้รับแสงสว่างโดยตรงจะช่วยให้ค่าความส่องสว่างภายในห้องเรียนปฏิบัติงานมากขึ้น ทั้งนี้หิ้งสะท้อนแสงภายนอกจะทำงานได้ดีกับช่องกระจกใสที่ติดตั้งเหนือหิ้งสะท้อนแสงและฝ้าเพดานชนิดเรียบที่มีความสูง 3.60 เมตร แต่ไม่เกิน 4.20 เมตร และต้องคำนึงถึงการป้องกันละอองฝนที่ช่องเปิดระบายอากาศส่วนบนสุดด้วย

ห้องเรียนปฏิบัติงานมักมีความกว้างอาคารที่มากกว่า 10 เมตร เพื่อประโยชน์ในการใช้พื้นที่การทำงานทำให้แสงธรรมชาติไม่สามารถใช้งานได้ตลอดทั้งวันโดยเฉพาะบริเวณชั้น 1 จะพบปัญหาความส่องสว่างมีปริมาณน้อยกว่าชั้นบนดังนั้นจึงต้องใช้แสงประดิษฐ์เข้ามาเสริมโดยการจัดตำแหน่งหลอดไฟแบบเรียงแนวยาวตามความยาวของห้องโดยมีระยะห่างของแต่ละแถว 2.70 เมตร และใช้หลอดที่มีกำลังปานกลาง-สูง ตามความต้องการความส่องสว่างในแต่ละประเภทของงาน การจัดตำแหน่งไฟแบบนี้จะทำให้ได้ความสม่ำเสมอของแสงที่ดีในสถานการณ์ไร้แสงธรรมชาติด้วย

การใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์จะต้องคำนึงถึงแนวในการปิดเปิดไฟตามแนวยาวของห้องเพื่อใช้ธรรมชาติและใช้แสงประดิษฐ์ในแต่ละแถวที่ติดตั้งเสริมสำหรับพื้นที่ที่แสงไม่เพียงพอ และต้องสามารถยืดหยุ่นกับการทำงานเพราะห้องเรียนปฏิบัติงานไม่ได้ใช้งานพร้อมกันทุกส่วน ดังนั้นต้องคำนึงถึงการจัดวางเครื่องจักรและอุปกรณ์ไม่ควรวางเครื่องจักรสูงบดบังแสง

จากหน้าต่าง คำนี้ถึงขั้นตอนการทำงานเพื่อจัดวางหมวดเครื่องจักรให้สามารถใช้งานเป็นโชน
ซึ่งจะช่วยให้การใช้งานแสงประดิษฐ์อย่างมีประสิทธิภาพและช่วยในการประหยัดพลังงานมากที่สุด

ทั้งนี้อาจต้องมีการศึกษาเพิ่มเติม กรณีการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับแสงประดิษฐ์ในเวลา
กลางวัน เนื่องจากการศึกษานี้ได้แยกศึกษาเฉพาะการปรับปรุงแสงธรรมชาติและ การปรับปรุง
แสงประดิษฐ์เป็นหลัก หรือศึกษาปัจจัยใดๆที่เกี่ยวข้อง เช่น รูปแบบของกันสาด รูปทรงของ
หิ้งสะท้อนแสงที่เหมาะสมกับรูปแบบช่องเปิดของอาคารปฏิบัติงานช่าง และการศึกษาการใช้พลังงาน
รวมทั้งอาคาร เป็นต้น



รายการอ้างอิง

- Amardeep M. Dugar, & Agarwal, D. (2019). *Light & Engineering* (Vol. 27).
- Arthur Konze. (2004). สุริยะวิถี. Retrieved from <http://www.rmutphysics.com>
- Cdilouie. (2011). Daylight Zones: Sidelighted Spaces.
- CIE117-1995. The Unified Glare Rating. In.
- Claude L. Robbins. (1986). *Daylighting: Design and Analysis*.
- CORALINE CO. LTD. (2017). สถิติเบื้องต้น.
- Konze. (2004). หลอดไฟฟ้า. Retrieved from <http://www.electron.rmutphysics.com>
- M. David Egan, & Victor Olgyay. (2002). *Architectural Lighting*.
- Stein, Benjamin, Reynolds, & John S. (1994). *mechanical and electrical equipment for buildings*.
- Surapong Chirattananon and others. (2010). Simulation of Transmission of Daylight through Cylindrical Light Pipes. *Journal of Sustainable Energy & Environment* 1 (2010), 97-103.
- Tukiainen, M. (2019). gaisma. Retrieved from <https://www.gaisma.com/en/zanzaap>.
- zanzaap. (2016). รังสีจากดวงอาทิตย์ (Solar Radiation). Retrieved from <http://www.zanzaap.com>
- แสงไฟดอทคอม. หลอดไฟแอลอีดี มีกี่ประเภท. Retrieved from <https://www.sangfi.com>
- ชำนาญ ห่อเกียรติ. (2550). เทคนิคการส่องสว่าง. กรุงเทพฯ: จรัสสินทวงศ์ การพิมพ์.
- บริษัท กรีนเวย์ สตีล โปรดักส์ จำกัด. (2004). บานเกล็ดระบายอากาศแบบโปร่งแสงไฟเบอร์กลาส. Retrieved from <http://www.greenwaysteel.co.th>
- บริษัทจีวันไลต์ติ้งจำกัด. (2011). ความรู้เกี่ยวกับหลอดไฟ. Retrieved from <http://www.faibaan.com>
- ปรียา, อ. (2018). ทฤษฎีแสง. Retrieved from <http://www.rmutphysics.com>
- บุญยวีร์ เต็มทนานนท์. (2554). การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้แสงธรรมชาติของอาคารพาณิชย์ประเภทตึกแถว.
- พิบูลย์ ดิษฐอุตม. (2540). การออกแบบระบบแสงสว่าง. กรุงเทพฯ: ซีเอ็ดดูเคชั่น.
- รัฐมนตรีว่าการกระทรวงพลังงาน. (2552). กฎกระทรวงในการออกแบบอาคารเพื่อการอนุรักษ์พลังงาน 2552.

วัชรินทร์ วิมานจตุรงค์. (2558). การใช้แสงธรรมชาติในห้างค้าปลีกขนาดใหญ่ผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง.

ศิวดล อุปพงษ์, & ไชยะกุล, ย. (2556). การใช้แสงธรรมชาติในอาคารผ่านท่อนำแสงแนวตั้ง.

วารสารวิชาการปีที่ 12, 1(Vol 12 No 1 (2013): June – November 2013).

สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, & สำนักนายกรัฐมนตรี. (2560).

แผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่12 พ.ศ. 2560-2564. กรุงเทพฯ: สำนัก

นายกรัฐมนตรี





ภาคผนวก

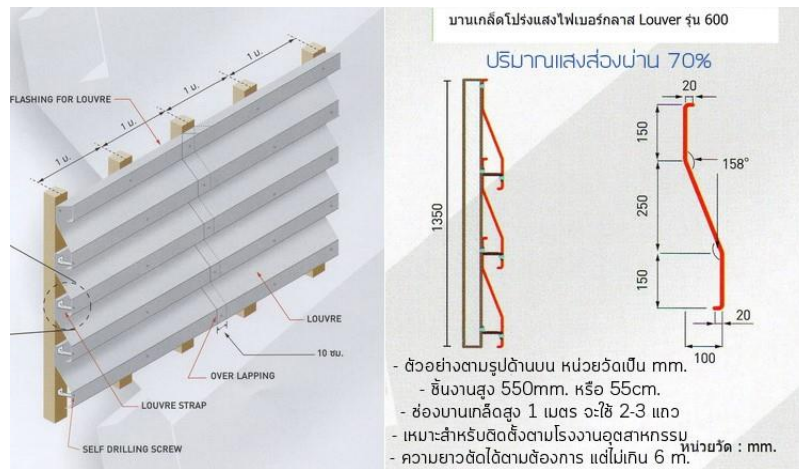
ภาคผนวก ก

รายละเอียดเพิ่มเติม

1. รายละเอียดของตัวแปรต้น

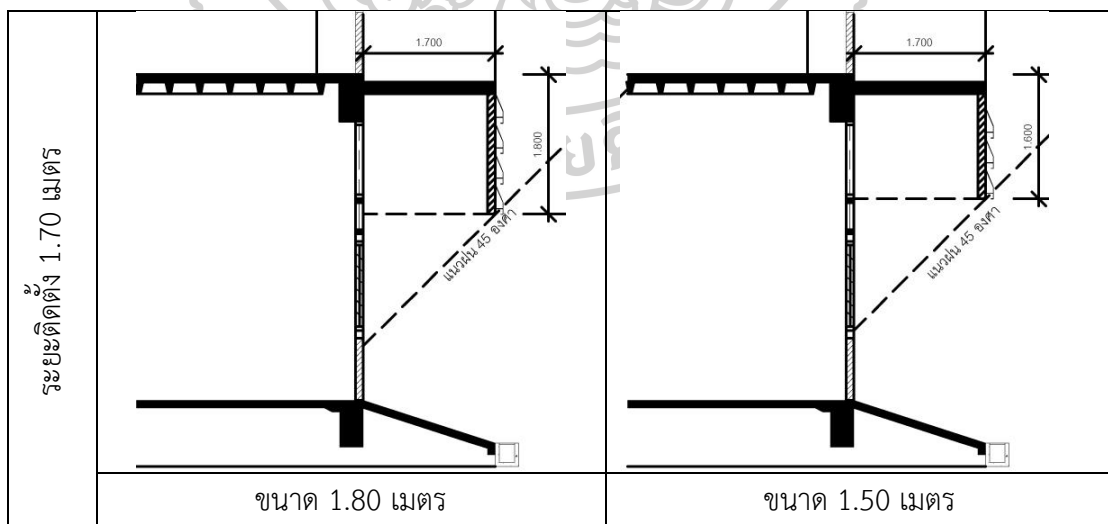
1.1 วัสดุกันสาดไฟเบอร์กลาสจากผู้ผลิต

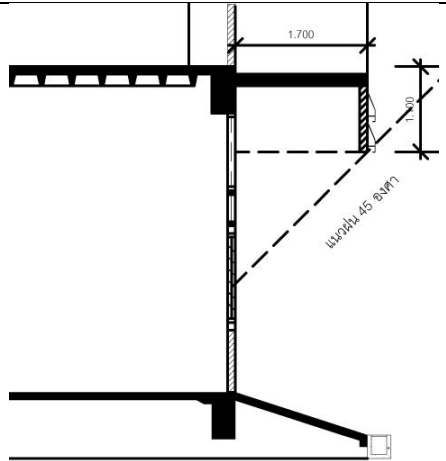
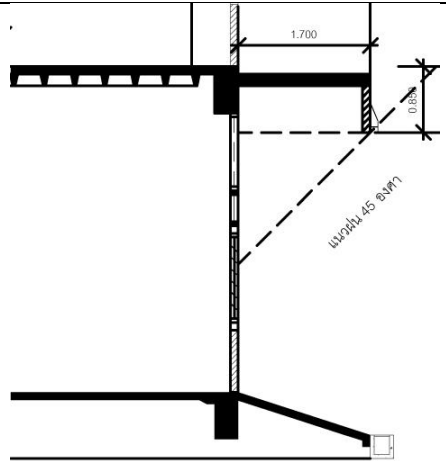
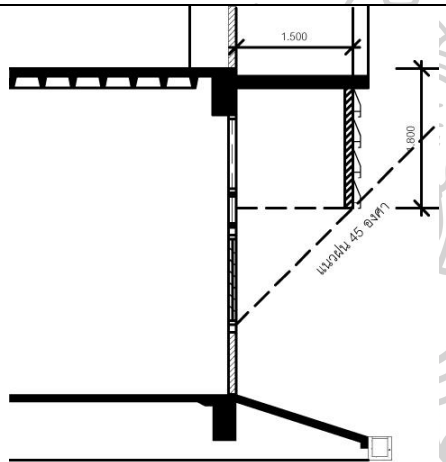
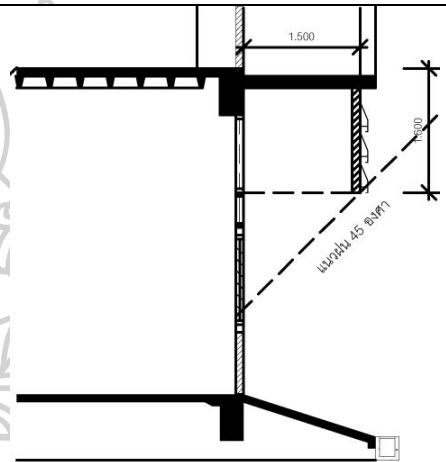
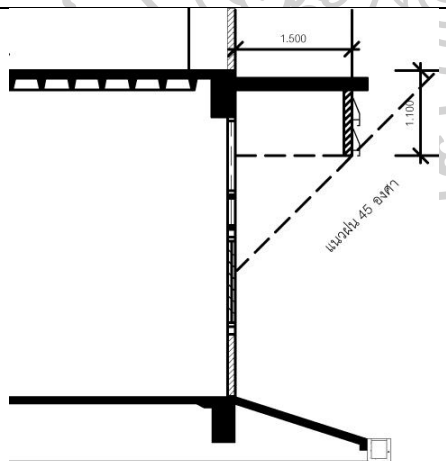
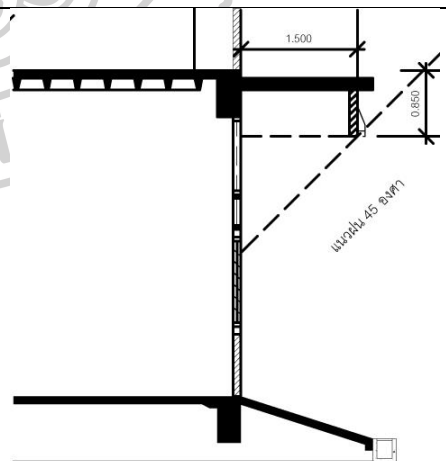
อธิบายในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.1.2 การติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C)



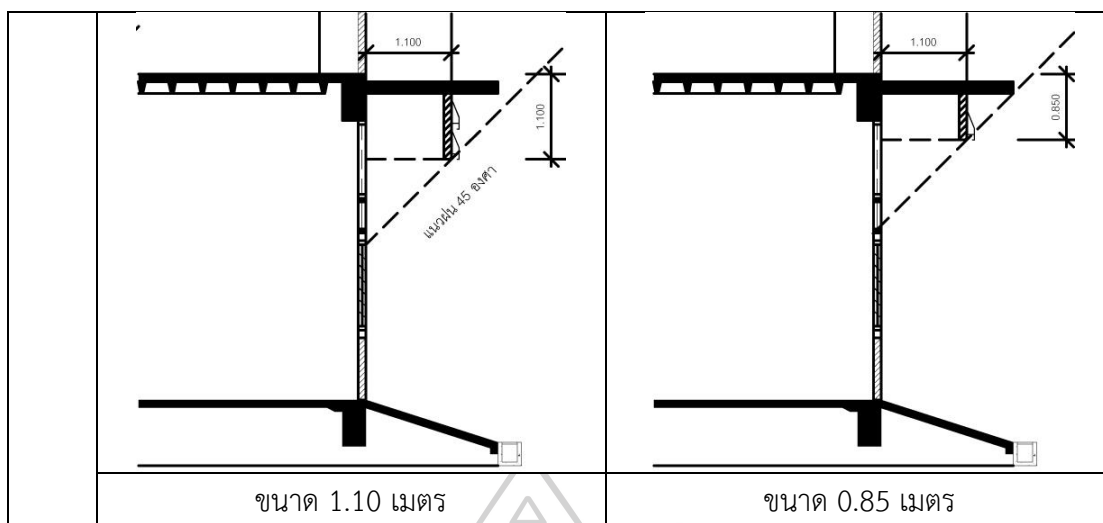
ภาพที่ 95 กันสาดไฟเบอร์กลาสใสโดยใช้วัสดุจากผู้ผลิต (บริษัท กรีนเวย์ สตีล โปรดักส์ จำกัด, 2004)

2.1 รายละเอียดภาพตัดการติดตั้งไฟเบอร์กลาส (1-C)



		
	<p>ขนาด 1.10 เมตร</p>	<p>ขนาด 0.85 เมตร</p>
<p>ระยะติดตั้ง 1.50 เมตร</p>		
	<p>ขนาด 1.80 เมตร</p>	<p>ขนาด 1.50 เมตร</p>
		
	<p>ขนาด 1.10 เมตร</p>	<p>ขนาด 0.85 เมตร</p>

<p>ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร</p>		
	<p>ขนาด 1.80 เมตร</p>	<p>ขนาด 1.50 เมตร</p>
	<p>ขนาด 1.10 เมตร</p>	<p>ขนาด 0.85 เมตร</p>
<p>ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร</p>		
	<p>ขนาด 1.80 เมตร</p>	<p>ขนาด 1.50 เมตร</p>



2. Code ชื่อการศึกษา

2.1 สรุป Code ของการศึกษาห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 1

ตารางที่ 54 Code Floor1 Daylight

code	ชื่อการศึกษา	code	รายละเอียด	code	รายละเอียด
1-A	Model base				
1-B	รื้อแผงกันสาด				
1-C	ระยะติดตั้งและขนาดกันสาด	1-C1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร	1-C1.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-C1.2	ขนาด 1.10 เมตร
				1-C1.3	ขนาด 1.60 เมตร
				1-C1.4	ขนาด 1.80 เมตร
		1-C2	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	1-C2.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-C2.2	ขนาด 1.10 เมตร
				1-C2.3	ขนาด 1.60 เมตร
				1-C2.4	ขนาด 1.80 เมตร
		1-C3	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	1-C3.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-C3.2	ขนาด 1.10 เมตร
				1-C3.3	ขนาด 1.60 เมตร
				1-C3.4	ขนาด 1.80 เมตร
		1-C4	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	1-C4.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-C4.2	ขนาด 1.10 เมตร
				1-C4.3	ขนาด 1.60 เมตร

				1-C4.4	ขนาด 1.80 เมตร
1-D	เปลี่ยนเกล็ดลูมิเนียมเป็นช่องแสงกระจก	1-D1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร	1-D1.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-D1.2	ขนาด 1.10 เมตร
				1-D1.3	ขนาด 1.60 เมตร
				1-D1.4	ขนาด 1.80 เมตร
		1-D2	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	1-D2.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-D2.2	ขนาด 1.10 เมตร
				1-D2.3	ขนาด 1.60 เมตร
				1-D2.4	ขนาด 1.80 เมตร
		1-D3	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	1-D3.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-D3.2	ขนาด 1.10 เมตร
				1-D3.3	ขนาด 1.60 เมตร
				1-D3.4	ขนาด 1.80 เมตร
		1-D4	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	1-D4.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-D4.2	ขนาด 1.10 เมตร
				1-D4.3	ขนาด 1.60 เมตร
				1-D4.4	ขนาด 1.80 เมตร
1-E	หิ้งสะท้อนแสงภายนอก	1-E1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร	1-E1.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-E1.2	ขนาด 1.10 เมตร
		1-E2	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	1-E2.1	ขนาด 0.85 เมตร
1-F	หิ้งสะท้อนแสงภายใน	1-F1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร	1-F1.1	ขนาด 0.85 เมตร
				1-F1.2	ขนาด 1.10 เมตร
		1-F2	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	1-F2.1	ขนาด 0.85 เมตร
1-G	ชนิดฝ้าเพดาน	1-G1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาด 0.85	1-G1.1	ฝ้าชนิดโค้ง
				1-G1.2	ฝ้าชนิดเรียบ
				1-G1.3	ฝ้าชนิดสามเหลี่ยม

ตารางที่ 55 Code Floor1 Electric light

code	ชื่อการศึกษา	code	รายละเอียด
1-ligthA	Model base	1-ligthA1	No daylight
1-ligthB	รูปแบบที่ 1 (ตำแหน่งเดิม จำนวนเดิม เปลี่ยนหลอด)	1-ligthB1	LED 20 W
		1-ligthB2	LED 27 W

		1-ligthB3	LED 30 W
1-ligthC	รูปแบบที่ 2 (ตำแหน่งเดิม เพิ่มจำนวนหลอด W หลอดสูง)	1-ligthC1	LED 27 W
		1-ligthC2	LED 30 W
1-ligthD	รูปแบบที่ 3 (ตำแหน่งเดิม เพิ่มจำนวนหลอด W หลอดสูง)	1-ligthD1	LED 27 W
		1-ligthD2	LED 30 W



2.2 สรุป Code ของการศึกษาห้องเรียนปฏิบัติงานฝึกฝีมือชั้น 3

ตารางที่ 56 Code Floor3 Daylight

code	ชื่อการศึกษา	code	รายละเอียด	code	รายละเอียด
3-A	Model base				
3-B	รื้อแผงกันสาด				
3-C	ระยะติดตั้งและขนาดกันสาด	3-C1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร	3-C1.1	ขนาด 0.85 เมตร
				3-C1.2	ขนาด 1.10 เมตร
				3-C1.3	ขนาด 1.60 เมตร
				3-C1.4	ขนาด 1.80 เมตร
		3-C2	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	3-C2.1	ขนาด 0.85 เมตร
				3-C2.2	ขนาด 1.10 เมตร
				3-C2.3	ขนาด 1.60 เมตร
				3-C2.4	ขนาด 1.80 เมตร
		3-C3	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	3-C3.1	ขนาด 0.85 เมตร
				3-C3.2	ขนาด 1.10 เมตร
				3-C3.3	ขนาด 1.60 เมตร
				3-C3.4	ขนาด 1.80 เมตร
		3-C4	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	3-C4.1	ขนาด 0.85 เมตร
				3-C4.2	ขนาด 1.10 เมตร
				3-C4.3	ขนาด 1.60 เมตร
				3-C4.4	ขนาด 1.80 เมตร
3-D	เปลี่ยนเกล็ดอลูมิเนียมเป็นช่อง แสงกระจก	3-D1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร	3-D1.1	ขนาด 0.85 เมตร
		3-D2	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	3-D2.1	ขนาด 0.85 เมตร
		3-D3	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	3-D3.1	ขนาด 0.85 เมตร
		3-D4	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	3-D4.1	ขนาด 0.85 เมตร
3-E	หึ่งสะท้อนแสงภายนอก	3-E1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร	3-E1.1	ขนาด 0.85 เมตร
		3-E2	ระยะติดตั้ง 1.30 เมตร	3-E2.1	ขนาด 0.85 เมตร
3-F	ชนิดฝ้าเพดาน	3-F1	ระยะติดตั้ง 1.10 เมตร ขนาด 0.85	3-F1.1	ฝ้าชนิดเรียบ

ตารางที่ 57 Code Floor3 Eletric light

code	ชื่อการศึกษา	code	รายละเอียด
3-ligthA	Model base	3-ligthA1	No daylight
3-ligthB	รูปแบบที่ 1 (ตำแหน่งเดิม เพิ่มจำนวนหลอด W หลอดสูง)	3-ligthB1	LED 27 W
		3-ligthB2	LED 30 W
3-ligthC	รูปแบบที่ 2 (ตำแหน่งเดิม เพิ่มจำนวนหลอด W หลอดสูง)	3-ligthC1	LED 27 W
		3-ligthC2	LED 30 W



ภาคผนวก ข

ตารางผลการศึกษา

1. ผลการศึกษา

1.1 ผลการศึกษานำร่อง

1.1.1 ค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงและโปรแกรม Dialux Evo (แสงธรรมชาติ)

ชั้น 1

ตารางที่ 58 ค่าความส่องสว่างจากการวัดในสถานที่จริงที่บริเวณชั้น 1 เมื่อปิดไฟ (แสงธรรมชาติ)

แถวที่	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	432	603	98	61	220	163	125	348	229	805	265	216	535	400
2	130	162	97	62	36	54	80	77	165	220	191	170	204	209
3	88	117	70	52	42	46	62	84	135	169	145	125	112	106
4	50	75	47	38	29	26	43	65	97	114	95	80	63	62
5	30	26	17	18	17	14	18	33	28	57	36	43	38	26
6	14	18	10	10	7	7	7	13	14	18	18	16	10	10
7	14	15	6	5	6	7	10	14	16	22	19	17	14	12
8	26	14	8	6	7	8	9	14	16	21	14	12	8	7
9	58	43	12	3	8	6	8	13	10	15	14	13	10	11

ตารางที่ 59 ค่าความส่องสว่างจากการจำลองด้วย Dialux ที่บริเวณชั้น 1 เมื่อปิดไฟ (แสงธรรมชาติ)

แถวที่	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	737	488	73	22	200	130	160	450	213	461	145	406	277	388
2	200	64	45	24	16	13	40	16	116	82	55	119	102	128
3	100	55	47	38	34	30	32	23	63	41	43	69	80	82
4	52	31	24	25	18	17	20	19	25	22	28	35	39	45
5	35	23	17	15	12	13	13	17	15	18	21	24	28	31
6	25	15	12	11	8.6	11	10	16	14	16	17	19	20	24
7	19	12	9.2	8	6.5	8	8.3	13	13	14	15	16	18	20
8	25	18	8.5	5.8	4.9	6.3	7.2	14	15	20	19	18	17	20
9	47	22	8.5	5.4	4.4	6	7.3	15	18	34	28	22	23	25

1.1.2 ค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงและโปรแกรม Dialux Evo (แสงธรรมชาติ
และแสงประดิษฐ์) ชั้น 1

ตารางที่ 60 ค่าความส่องสว่างจากการวัดในสถานที่จริงที่บริเวณชั้น 1 เมื่อเปิดไฟ (แสงธรรมชาติและ
แสงประดิษฐ์)

แถวที่	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	651	556	167	114	215	190	160	325	240	752	233	227	526	402
2	208	223	187	147	120	128	114	110	223	305	194	259	293	244
3	176	195	174	125	130	118	140	175	210	261	221	208	208	168
4	132	139	146	120	107	107	118	142	164	214	180	186	95	113
5	92	103	150	101	157	122	144	166	124	194	161	175	116	87
6	89	95	103	92	10	97	104	115	116	141	125	125	114	74
7	110	105	86	77	72	77	93	105	100	113	101	109	103	67
8	93	92	87	71	81	75	68	96	93	107	92	87	86	55
9	89	85	36	14	18	36	41	62	64	85	62	76	34	28

ตารางที่ 61 ค่าความส่องสว่างจากการจำลองด้วย Dialux ที่บริเวณชั้น 1 เมื่อเปิดไฟ (แสงธรรมชาติและ
แสงประดิษฐ์)

แถวที่	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	869	300	130	178	220	132	251	262	279	602	405	406	406	516
2	359	221	215	185	184	175	201	179	273	255	215	290	257	280
3	264	218	222	206	209	200	202	197	222	217	200	244	227	236
4	216	192	200	191	191	188	191	194	192	200	194	210	190	202
5	211	204	197	131	182	160	165	180	184	203	205	200	149	196
6	186	169	177	167	172	176	179	190	182	195	185	194	179	177
7	180	110	159	119	126	163	177	186	183	192	182	191	178	173
8	181	162	166	149	157	158	168	182	178	196	179	188	171	170
9	181	97	124	92	86	128	130	153	155	185	164	164	151	153

1.1.3 ค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงและโปรแกรม Dialux Evo (แสงธรรมชาติ)

ชั้น 3

(หมายเหตุ : เนื่องด้วยสถานที่จริงมีสิ่งกีดขวางทำให้ไม่สามารถเก็บผลการศึกษาได้ในแถว M-N)

ตารางที่ 62 ค่าความส่องสว่างจากการวัดในสถานที่จริงที่บริเวณชั้น 3 เมื่อปิดไฟ (แสงธรรมชาติ)

แถวที่	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	580	765	594	362	376	173	200	313	191	572	303	255	N/A	N/A
2	228	303	230	175	153	95	103	122	116	179	157	128	N/A	N/A
3	145	165	136	143	104	88	85	93	101	115	108	104	N/A	N/A
4	106	123	113	93	91	71	85	93	101	113	87	83	N/A	N/A
5	105	149	130	112	99	91	110	108	109	128	76	104	N/A	N/A
6	162	165	166	145	145	140	143	109	174	206	205	151	N/A	N/A
7	224	311	266	260	256	196	205	220	253	319	274	271	N/A	N/A
8	409	607	475	290	368	346	328	310	363	523	530	447	N/A	N/A
9	1620	1968	958	748	624	682	832	820	752	1298	934	1867	N/A	N/A

ตารางที่ 63 ค่าความส่องสว่างจากการจำลองด้วย Dialux ที่บริเวณชั้น 3 เมื่อปิดไฟ (แสงธรรมชาติ)

แถวที่	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	416	230	192	168	177	185	185	216	239	488	322	250	N/A	N/A
2	167	113	93	86	82	82	84	94	127	161	143	114	N/A	N/A
3	135	99	86	78	72	77	77	81	86	107	105	102	N/A	N/A
4	168	125	90	74	66	63	60	66	71	86	92	99	N/A	N/A
5	204	150	96	66	67	78	80	68	65	94	107	120	N/A	N/A
6	226	203	117	146	136	128	133	134	156	162	170	164	N/A	N/A
7	290	290	240	208	182	180	185	205	239	260	270	234	N/A	N/A
8	553	640	314	269	242	235	247	262	355	476	440	308	N/A	N/A
9	1638	1716	708	519	655	530	618	622	720	1465	1000	697	N/A	N/A

1.1.4 ค่าความส่องสว่างจากสถานที่จริงและโปรแกรม Dialux Evo (แสงธรรมชาติ)

ชั้น 3

ตารางที่ 64 แสดงค่าความส่องสว่างจากการวัดในสถานที่จริงที่บริเวณชั้น 3 เมื่อเปิดไฟ (แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์)

แถวที่	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	586	737	661	463	401	192	305	316	225	508	386	262	N/A	N/A
2	281	376	314	228	209	135	146	197	171	256	214	170	N/A	N/A
3	209	255	238	197	188	168	175	170	168	191	172	163	N/A	N/A
4	198	209	206	186	187	153	161	160	151	193	153	141	N/A	N/A
5	211	274	263	173	255	153	238	237	175	273	133	204	N/A	N/A
6	242	297	275	285	301	235	237	230	268	300	245	191	N/A	N/A
7	294	395	359	280	300	301	313	285	362	363	302	432	N/A	N/A
8	421	641	583	393	461	598	422	780	461	555	514	487	N/A	N/A
9	1636	1795	937	712	353	534	617	741	690	1916	947	1319	N/A	N/A

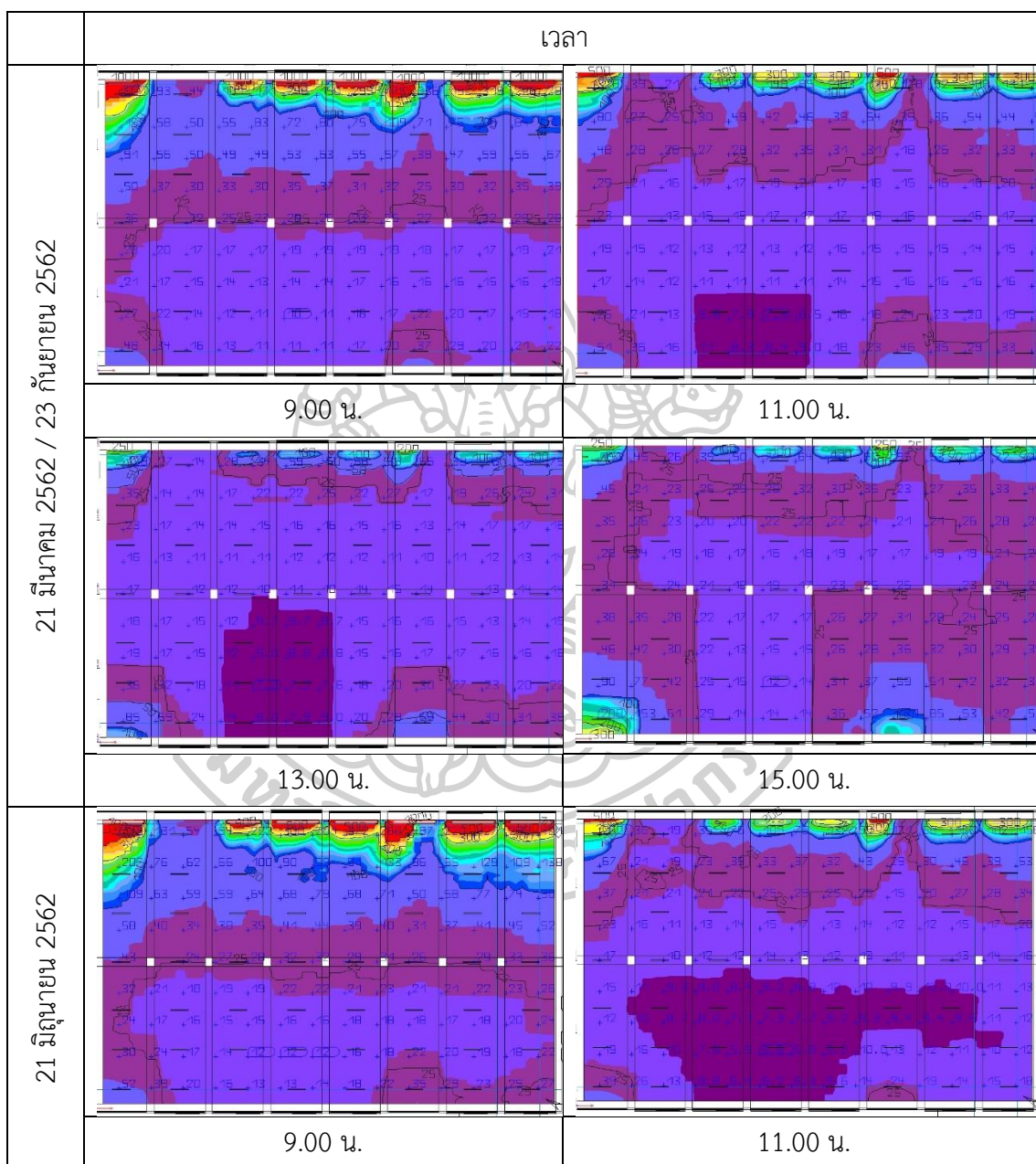
ตารางที่ 65 แสดงค่าความส่องสว่างจากการจำลองด้วย Dialux ที่บริเวณชั้น 3 เมื่อเปิดไฟ (แสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์)

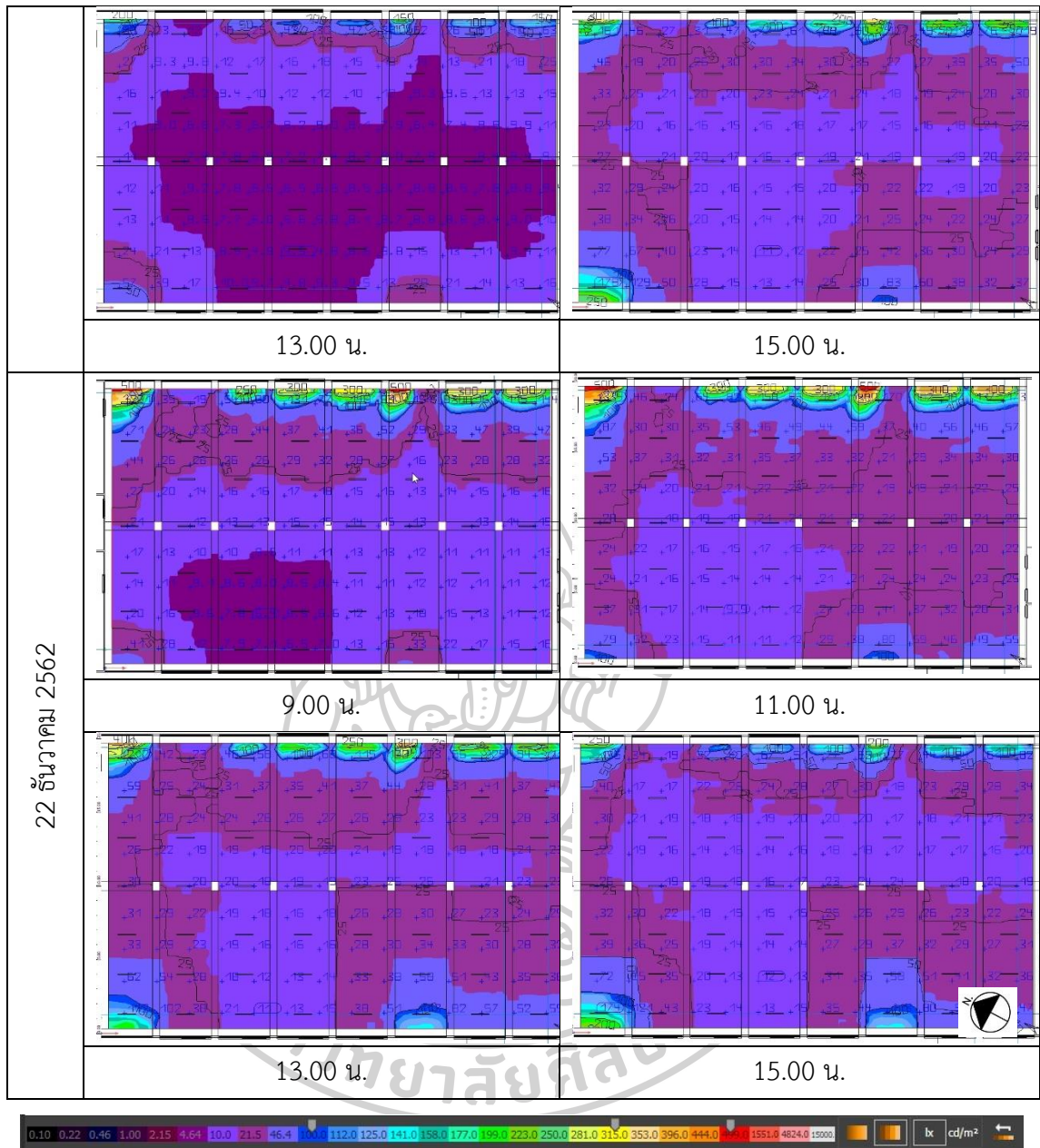
แถวที่	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	561	377	352	323	337	341	340	373	391	650	478	411	N/A	N/A
2	345	293	288	269	270	267	272	285	305	355	327	309	N/A	N/A
3	319	285	283	268	267	268	269	277	285	307	254	301	N/A	N/A
4	344	307	283	258	252	250	246	257	257	280	261	298	N/A	N/A
5	384	310	226	137	144	172	185	157	146	234	234	324	N/A	N/A
6	409	387	371	332	327	316	323	327	343	360	361	364	N/A	N/A
7	484	473	436	399	377	374	375	400	430	470	461	433	N/A	N/A
8	736	663	585	452	433	419	434	452	538	668	630	501	N/A	N/A
9	1789	1207	876	672	815	692	771	777	874	1624	1153	970	N/A	N/A

1.2 ผลการศึกษาหลักการปรับปรุงแสงธรรมชาติชั้น 1

1.2.1 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (1-A)

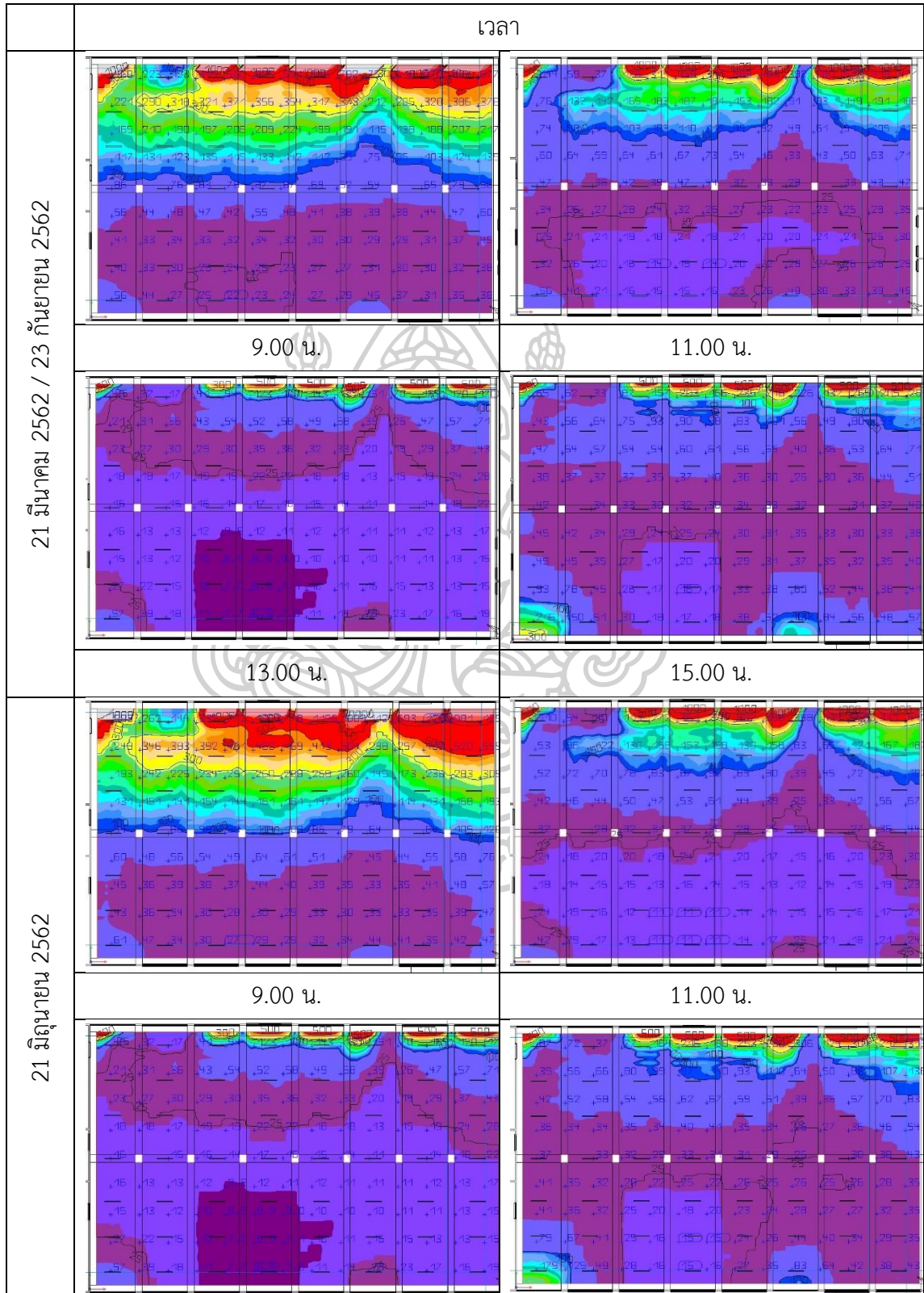
ตารางที่ 66 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงวันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (1-A)

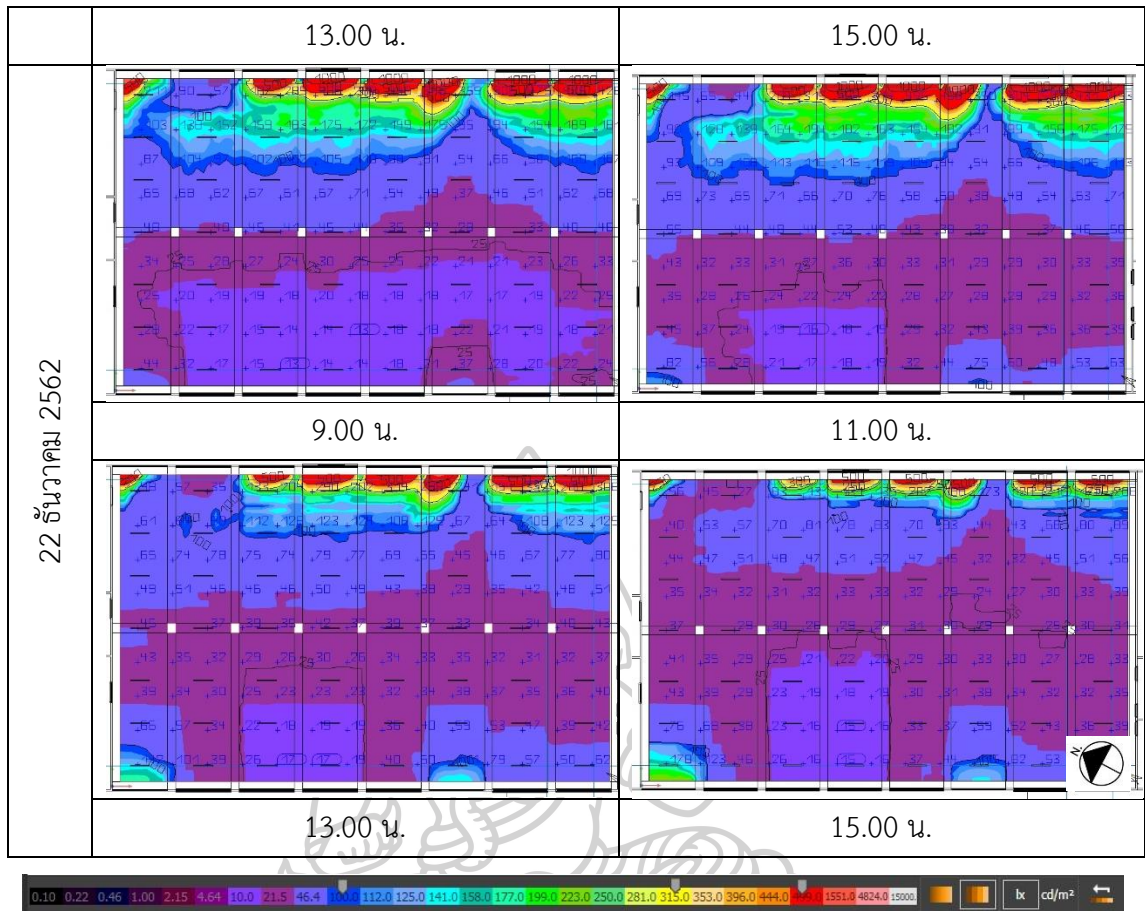




1.2.2 ผลการศึกษาความส่องสว่างการรื้อกันสาดออก (1-B)

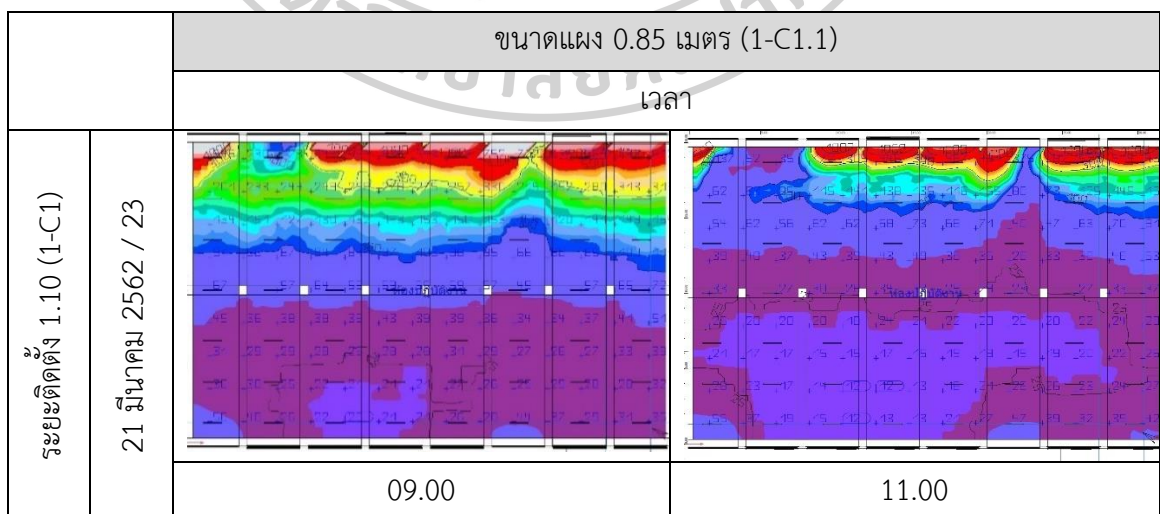
ตารางที่ 67 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างหลังรื้อกันสาดออก วันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (1-B)

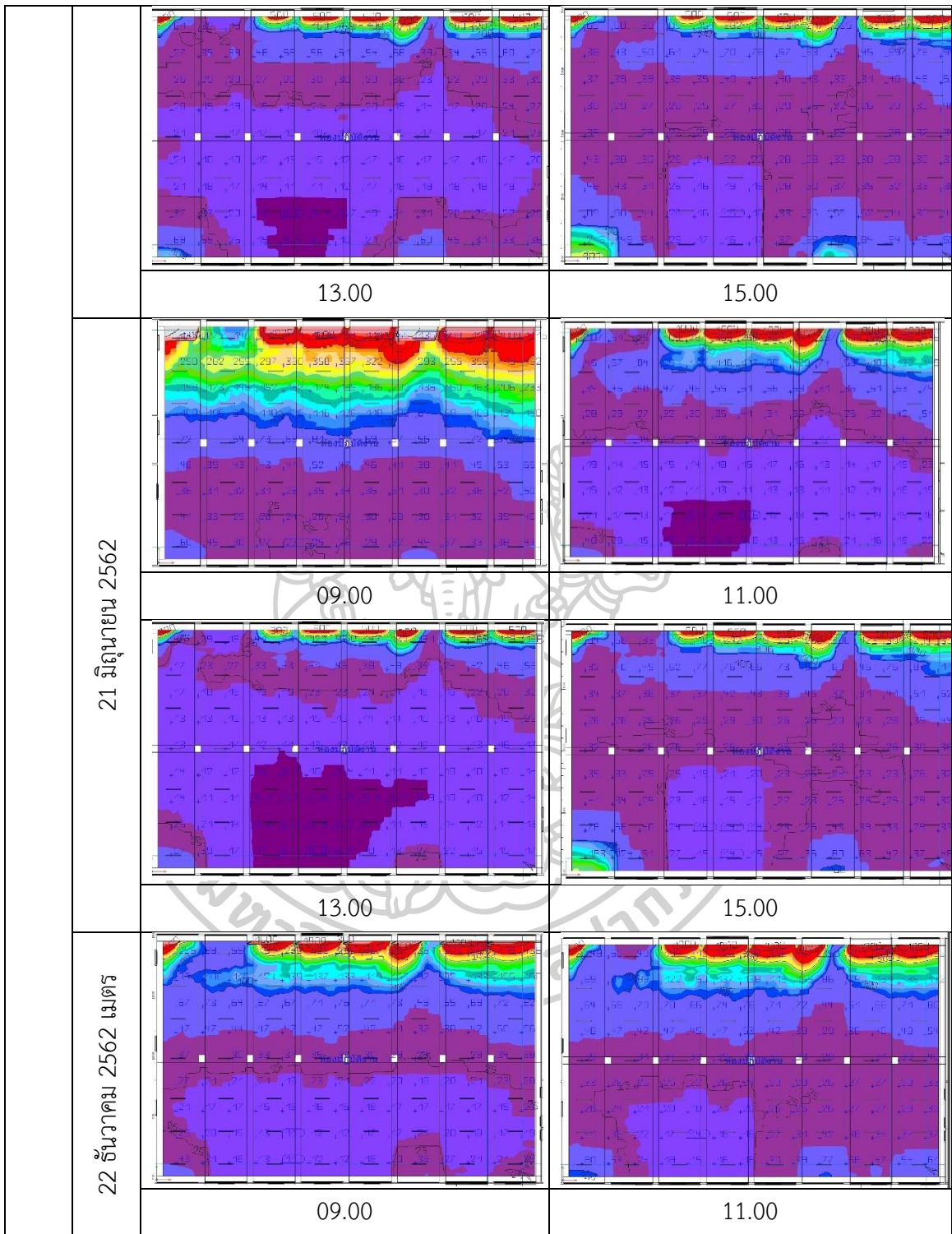


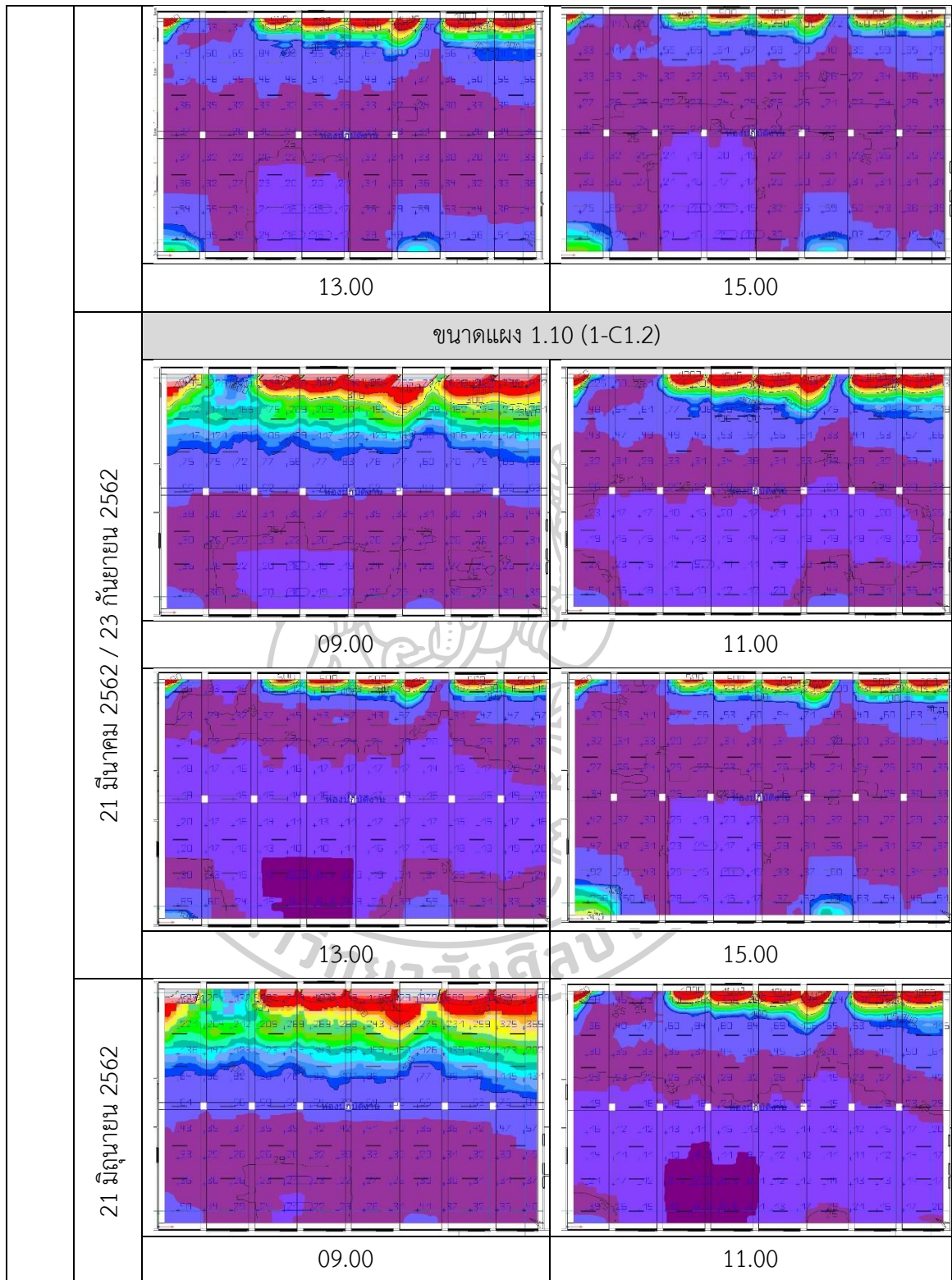


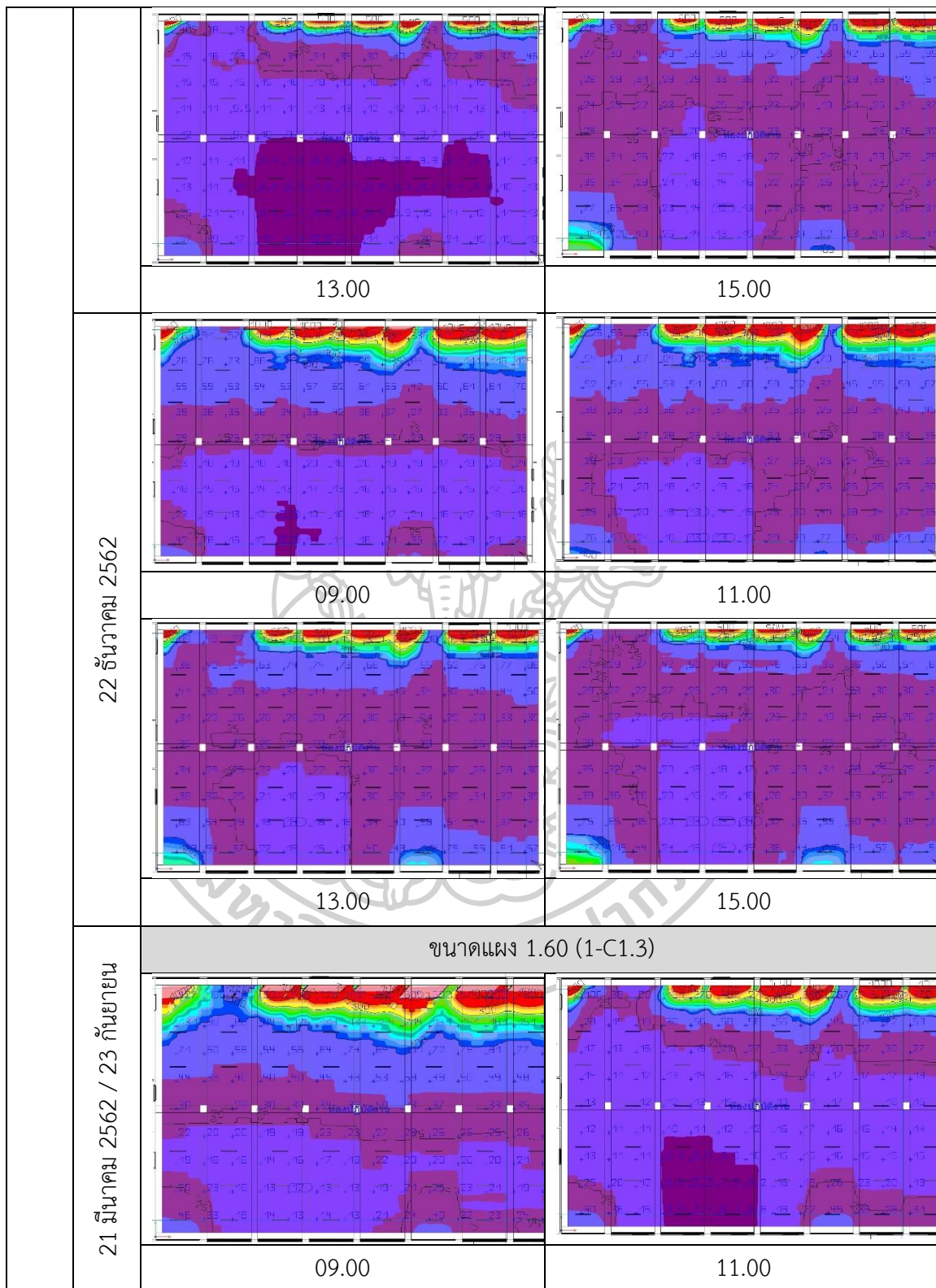
1.2.3 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C)

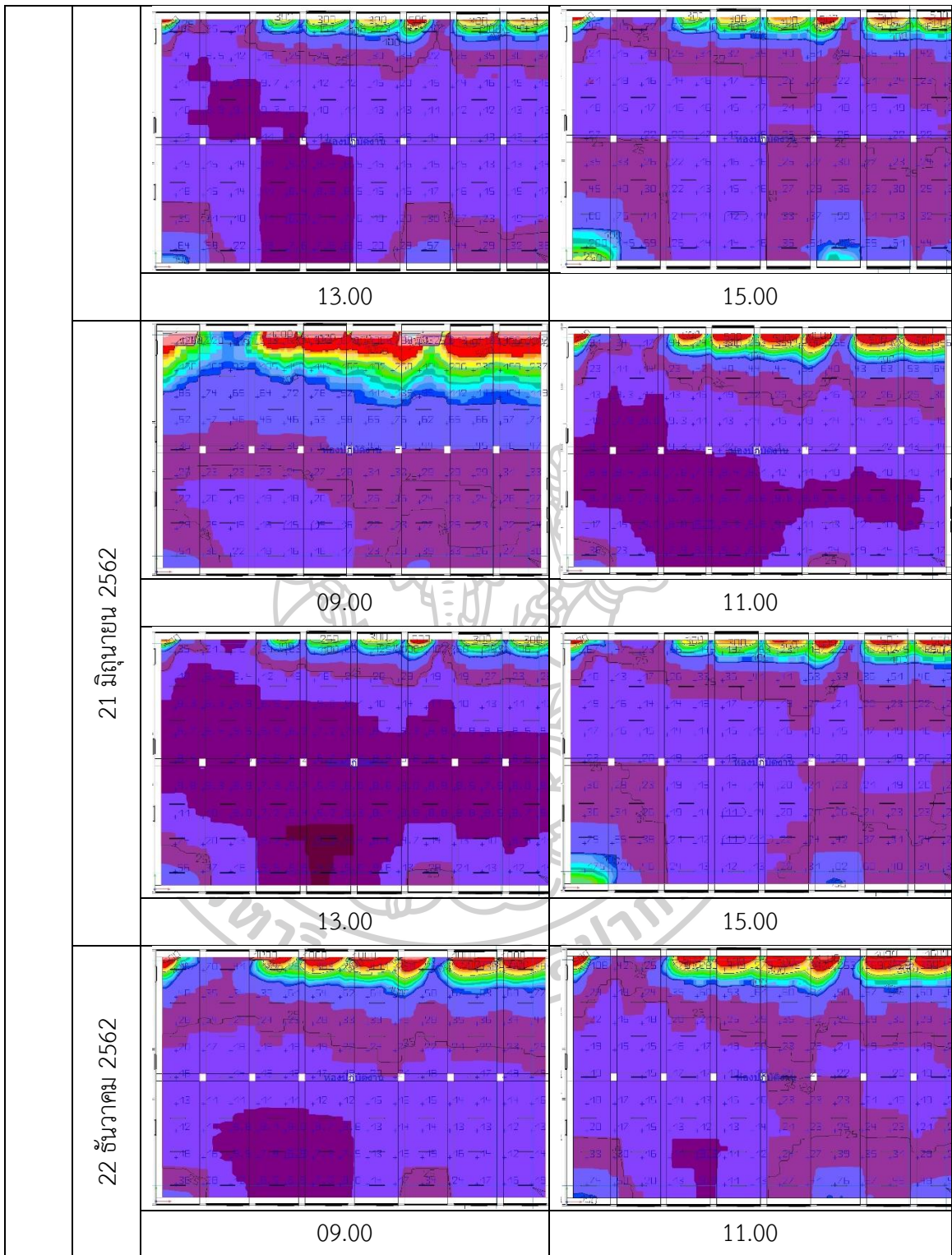
ตารางที่ 68 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของของการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (1-C)

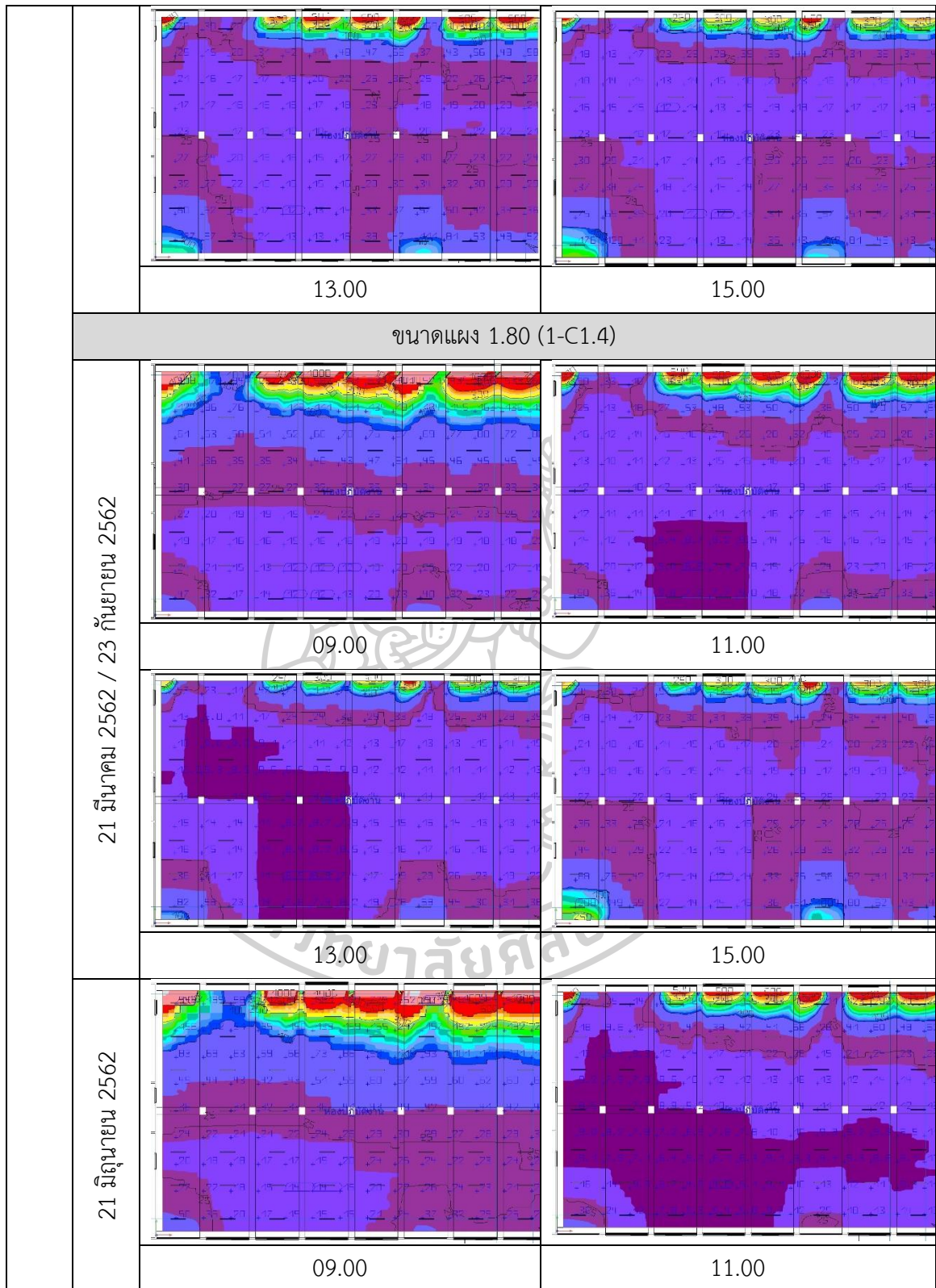


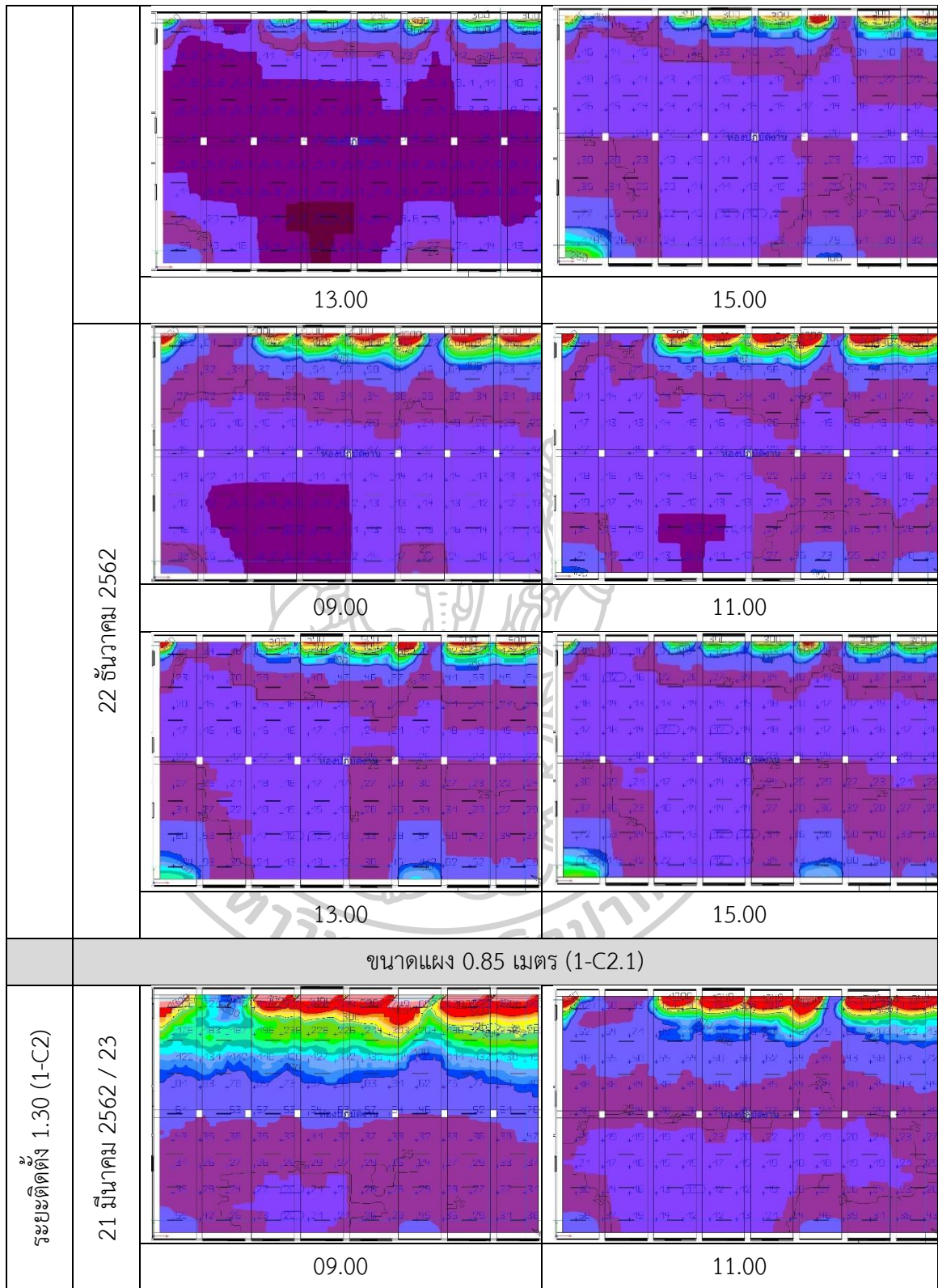


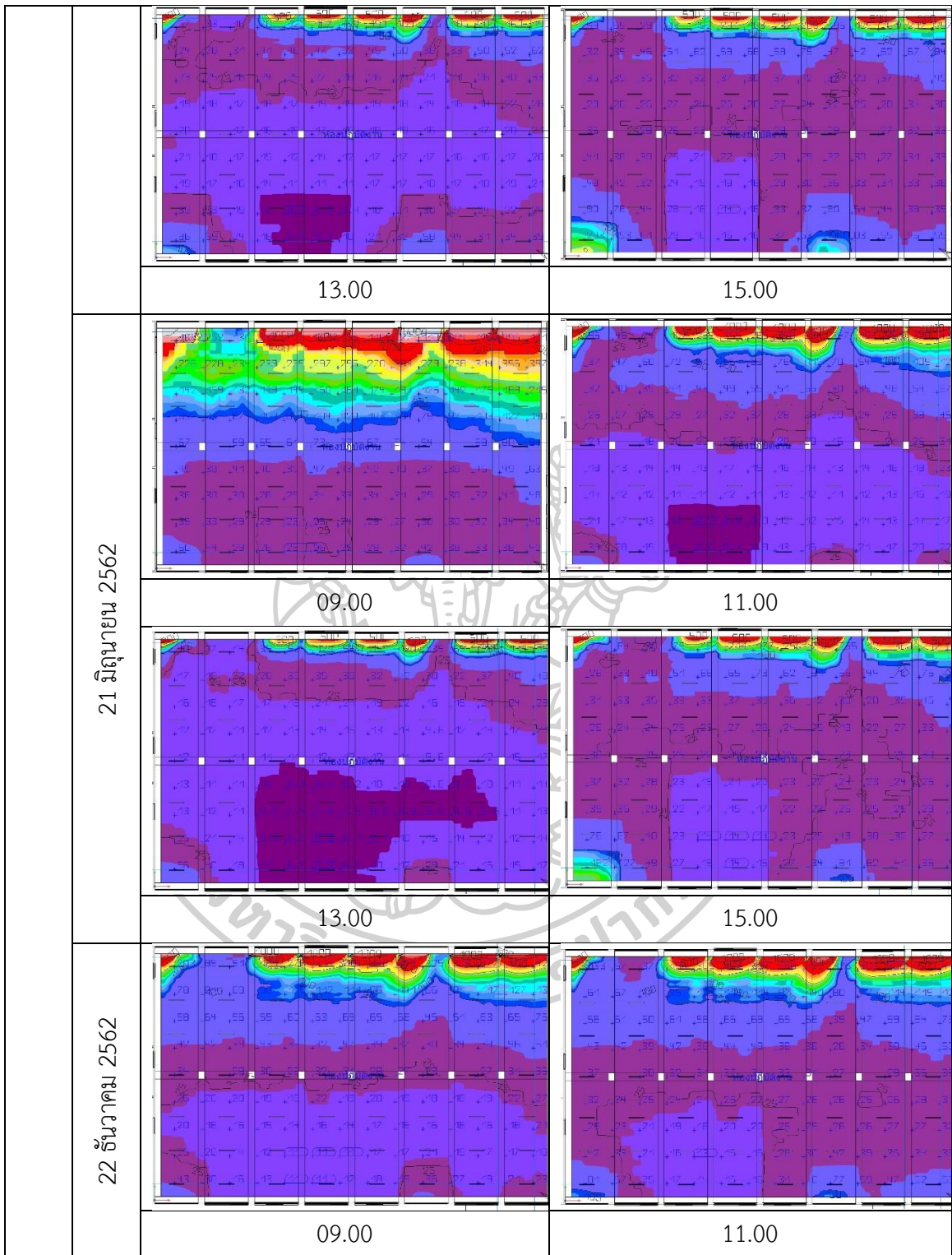


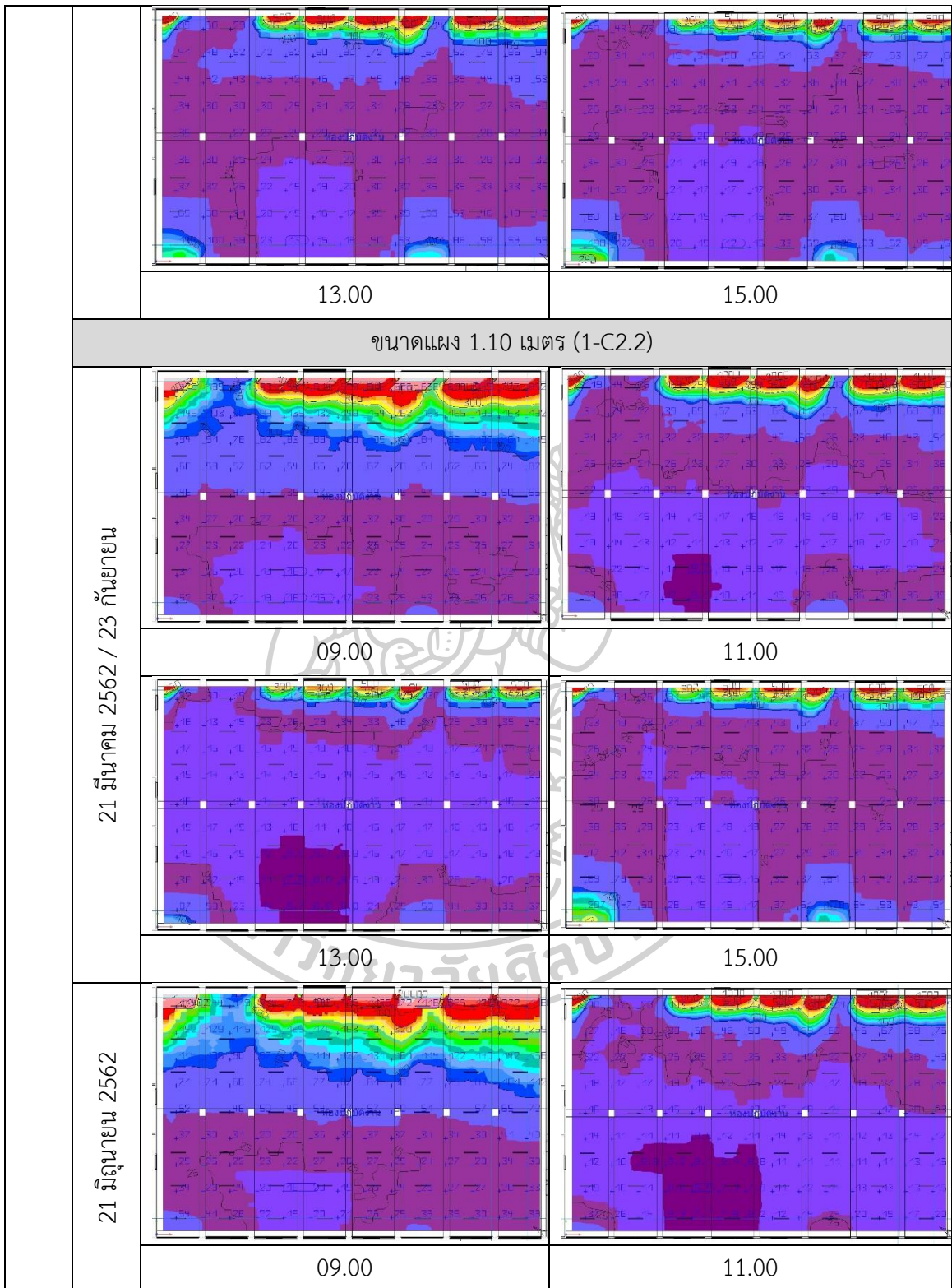


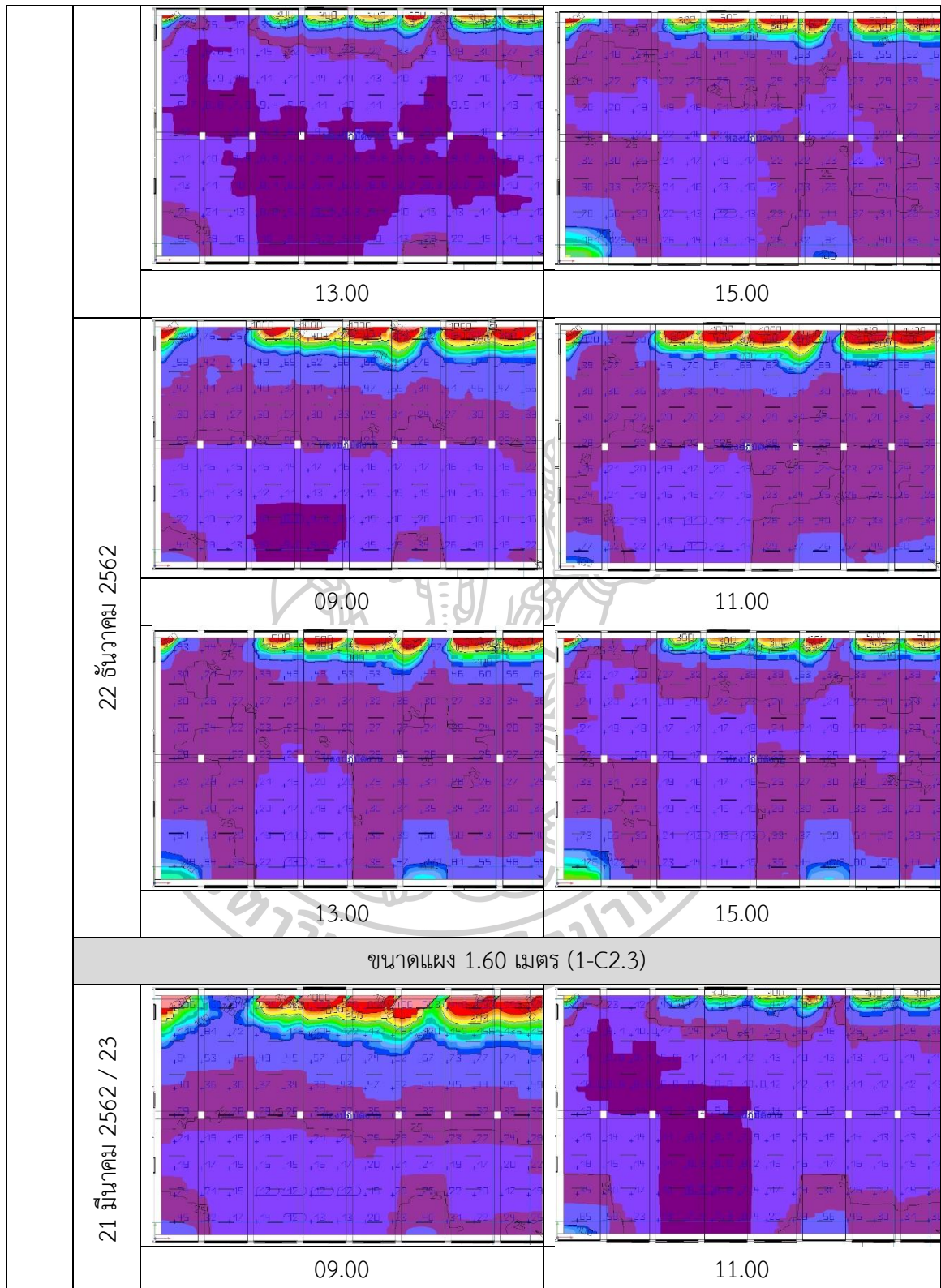


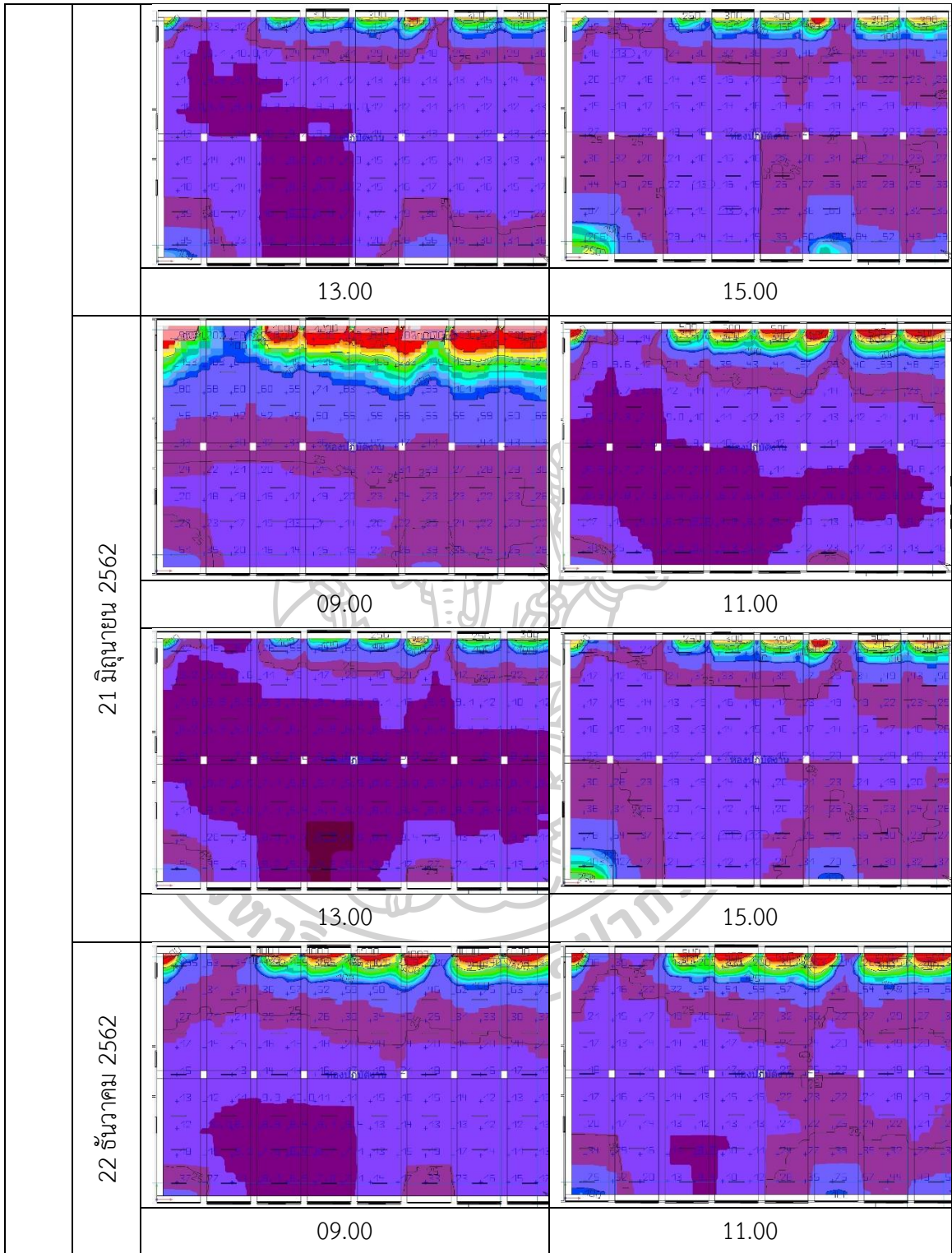


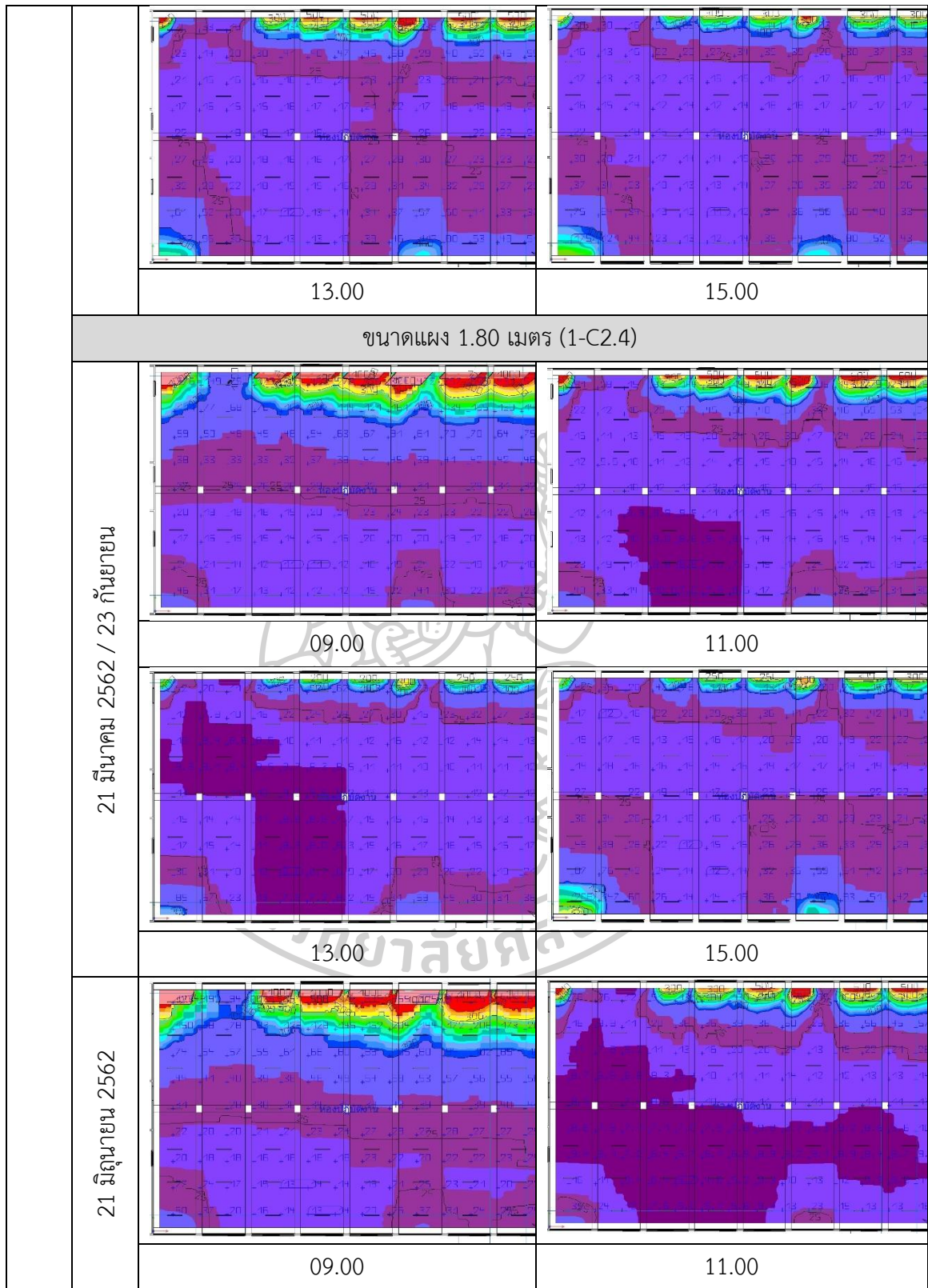


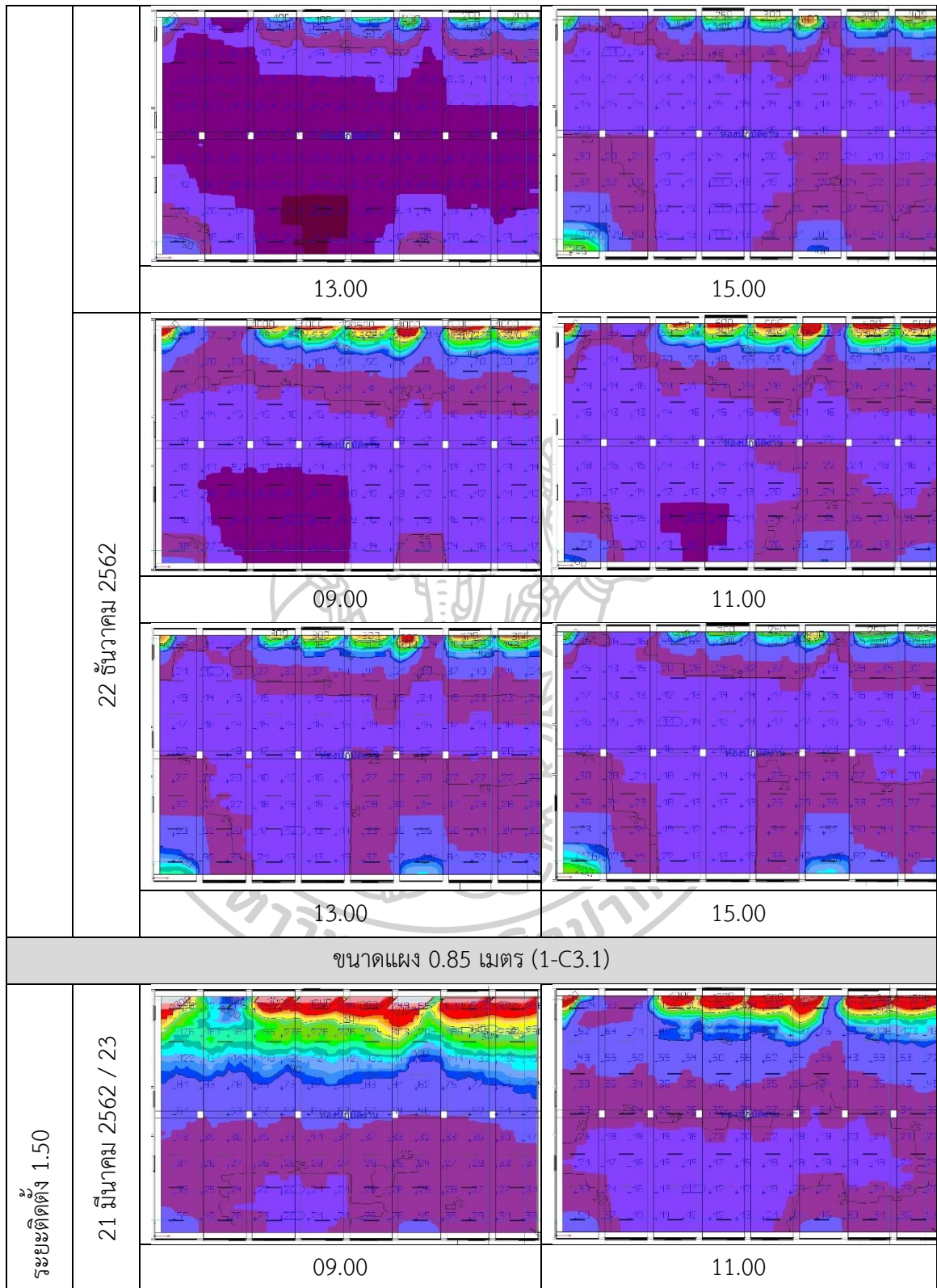


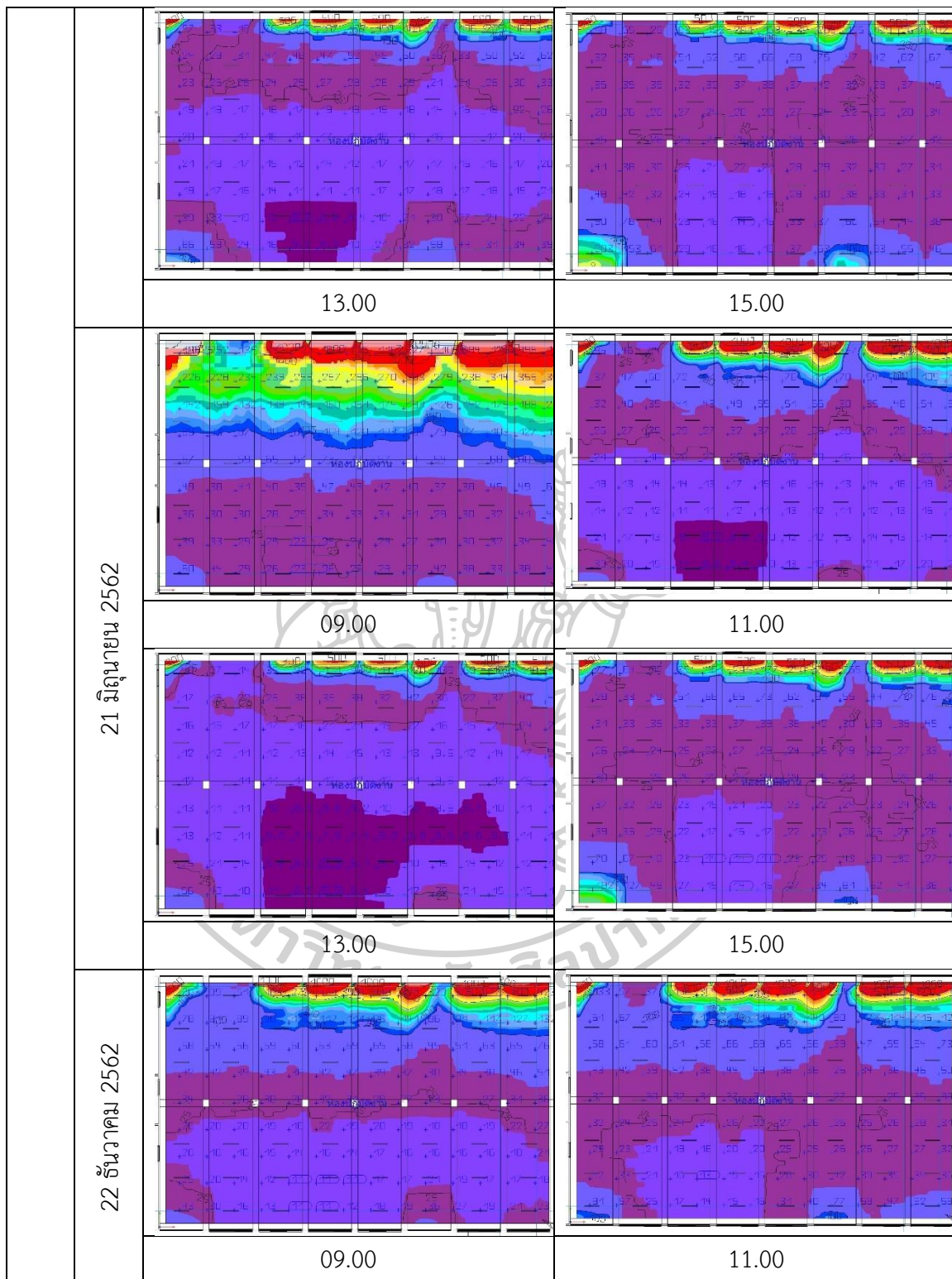


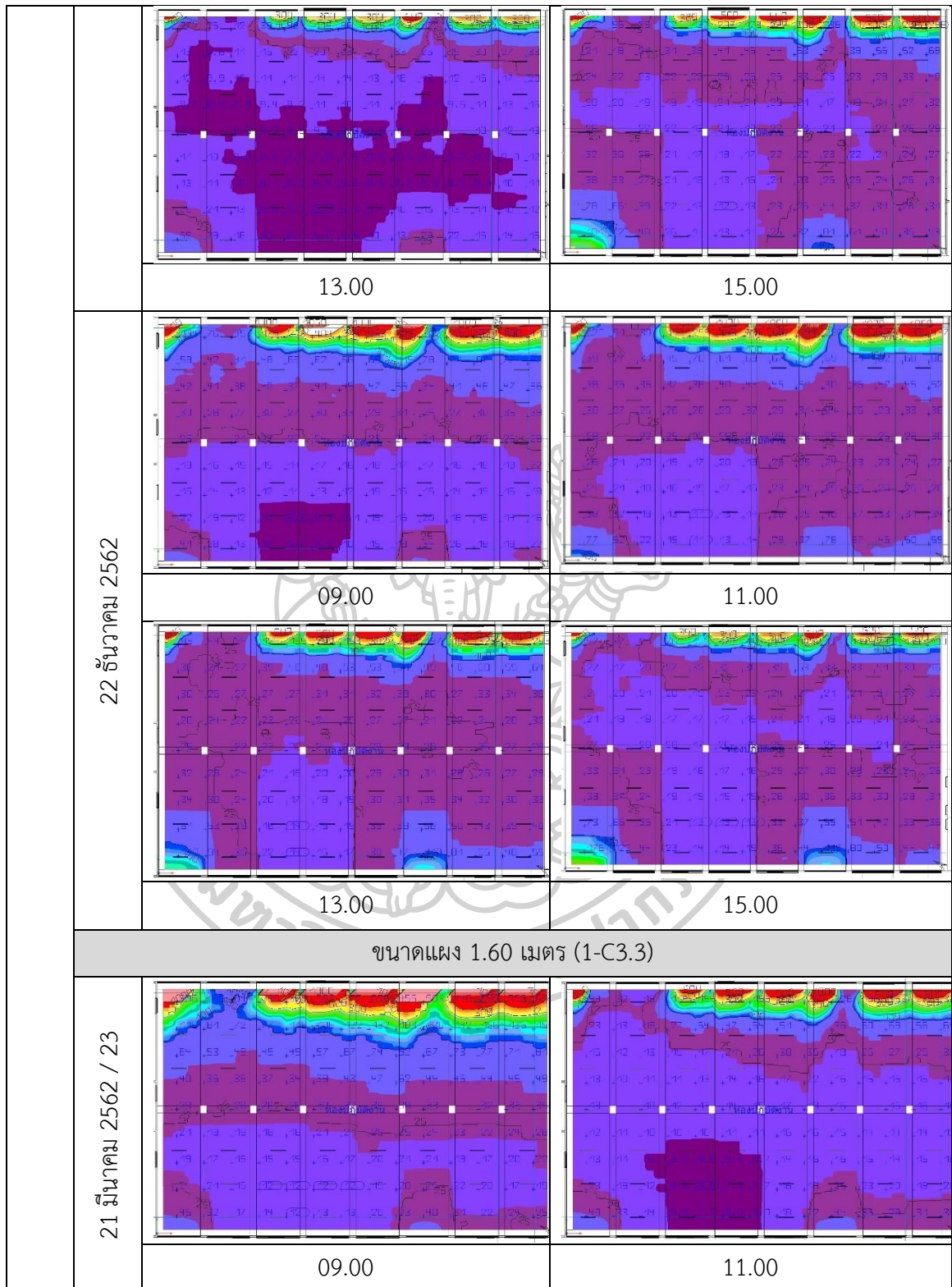


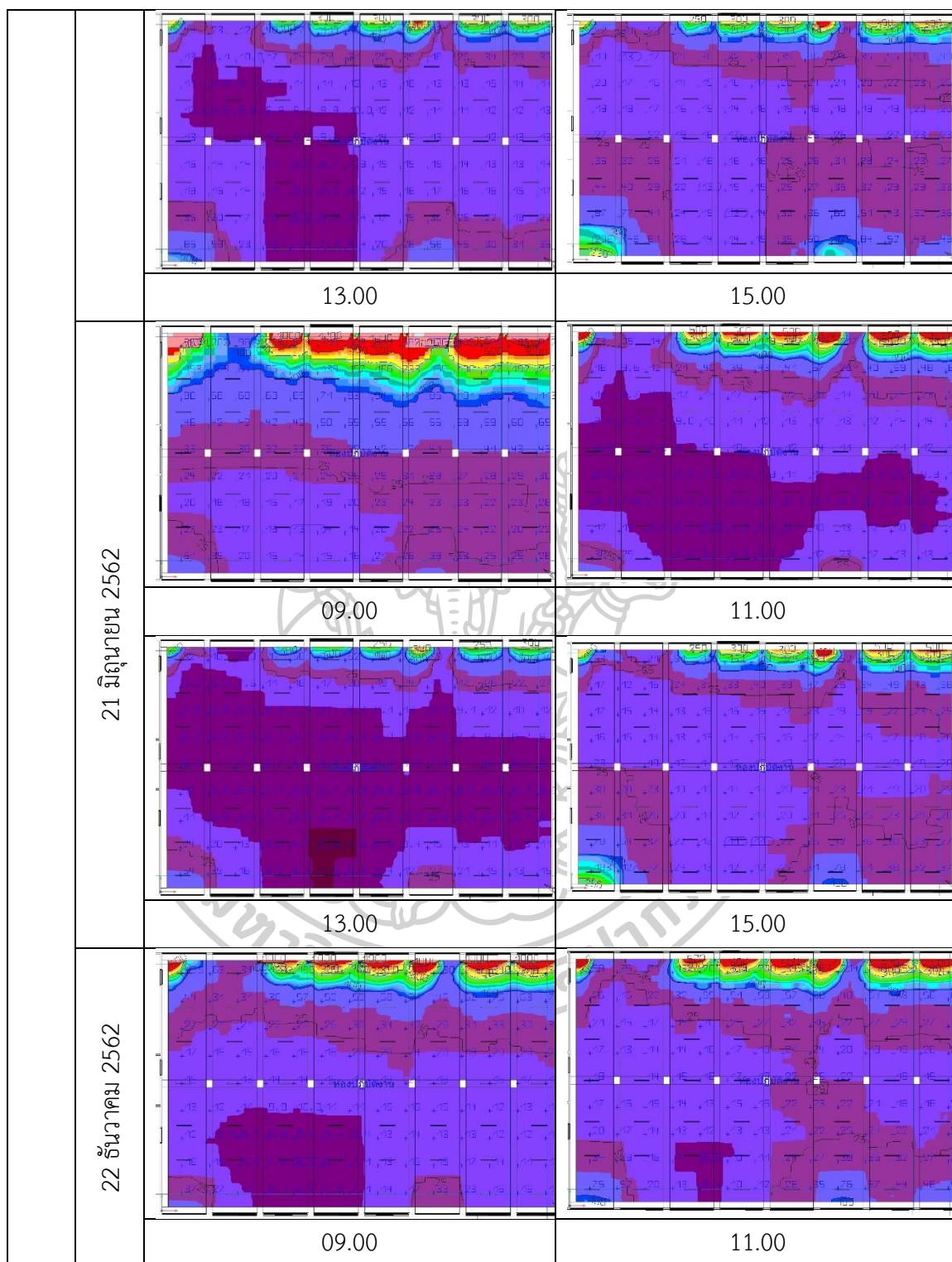


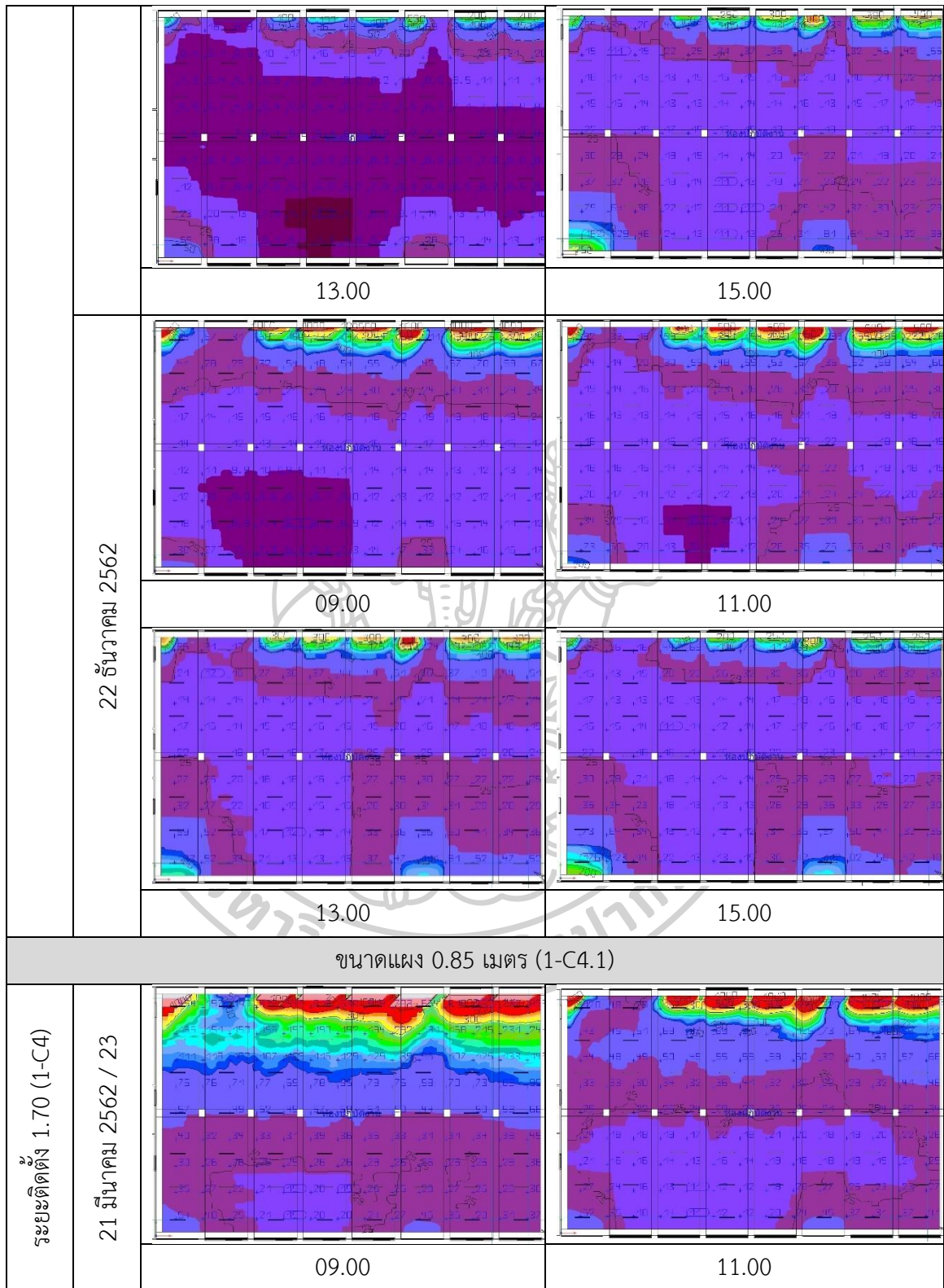


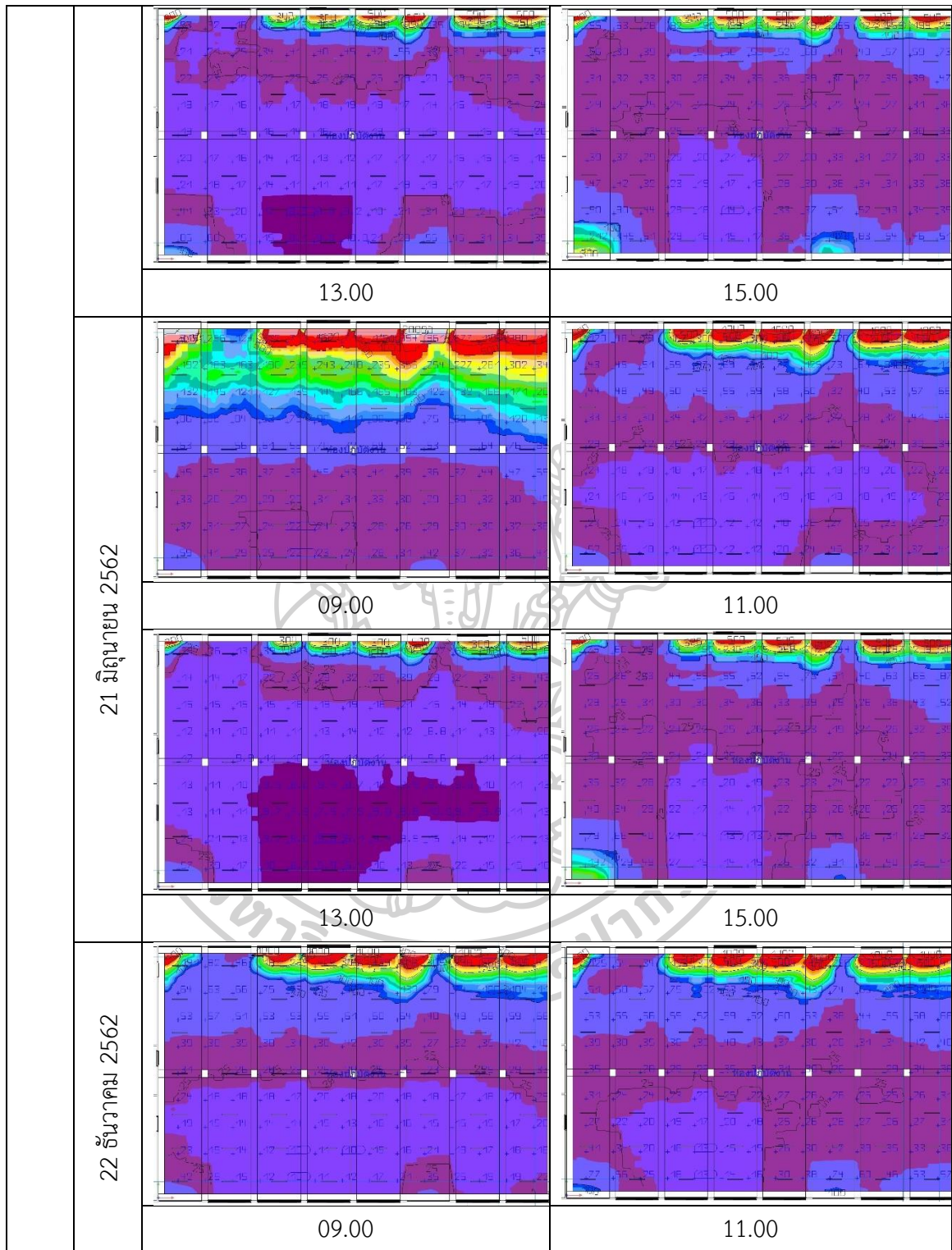


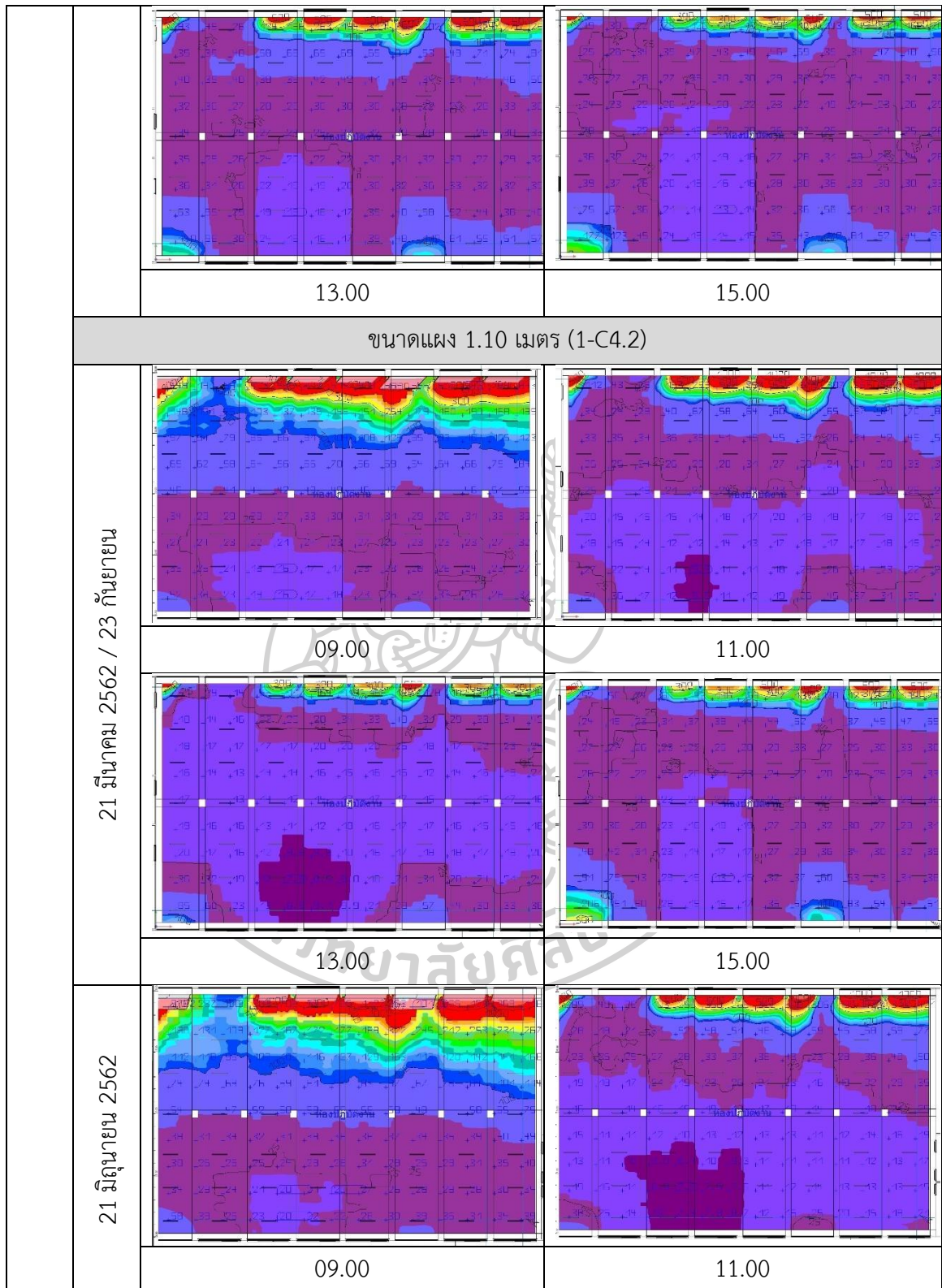


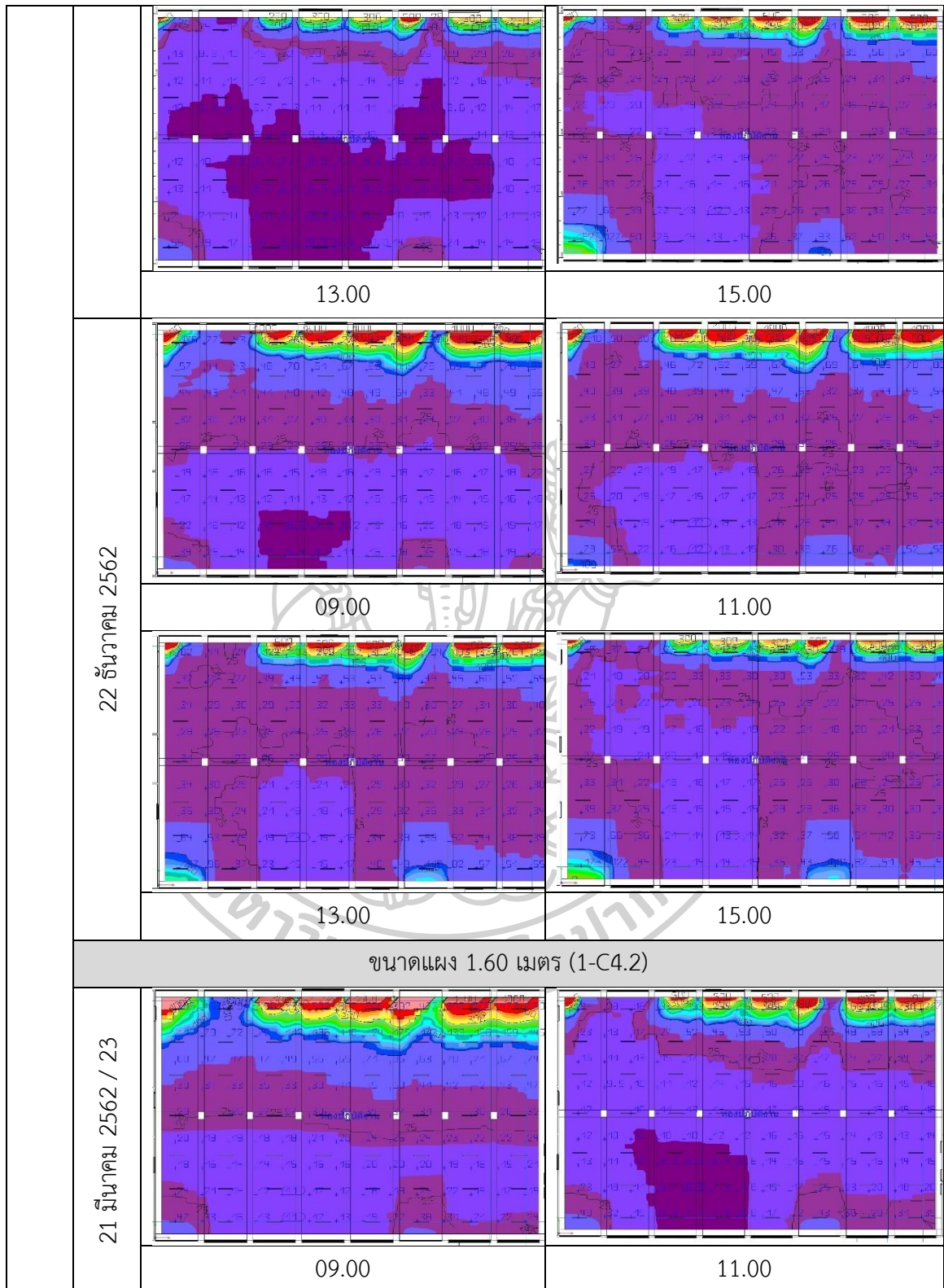


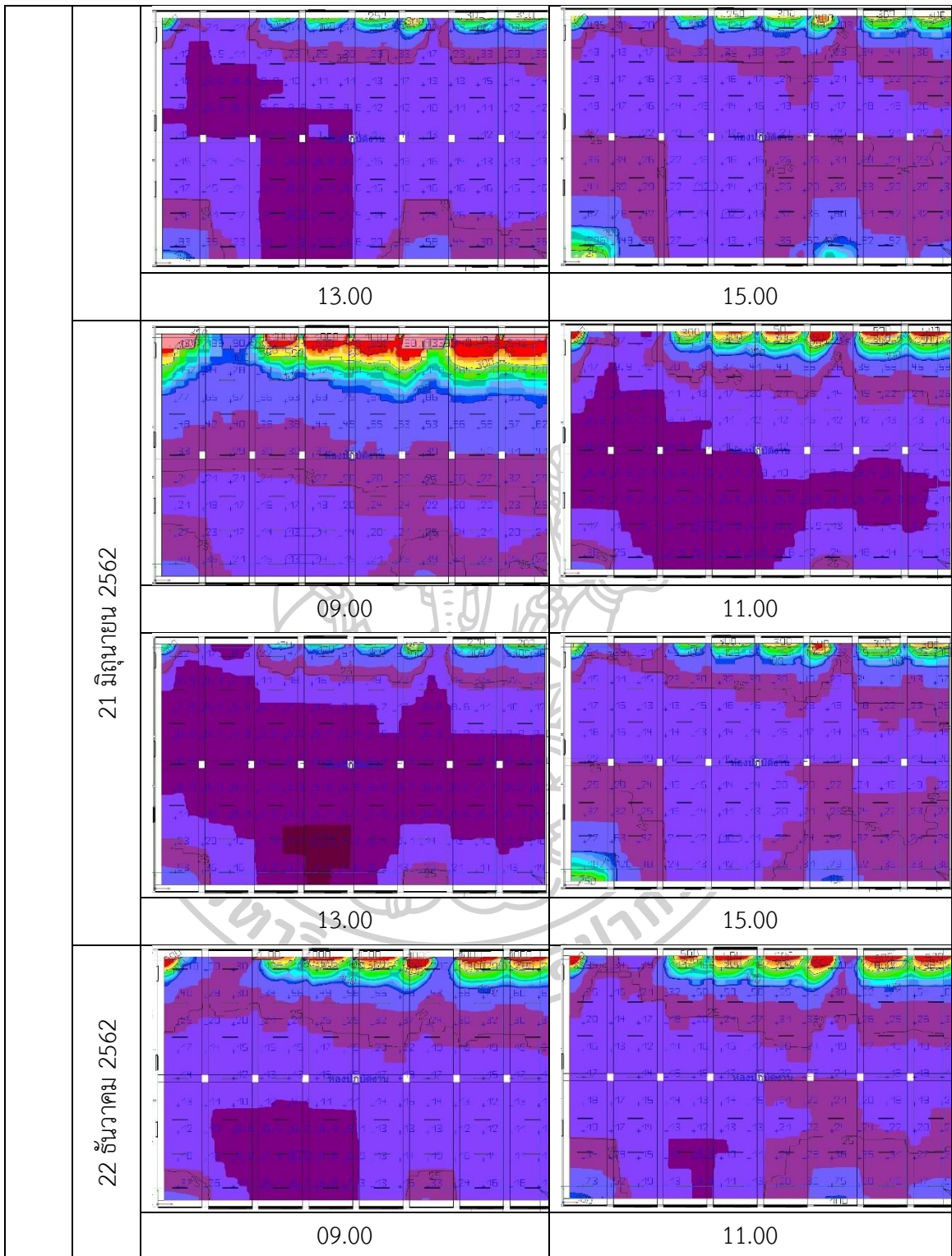


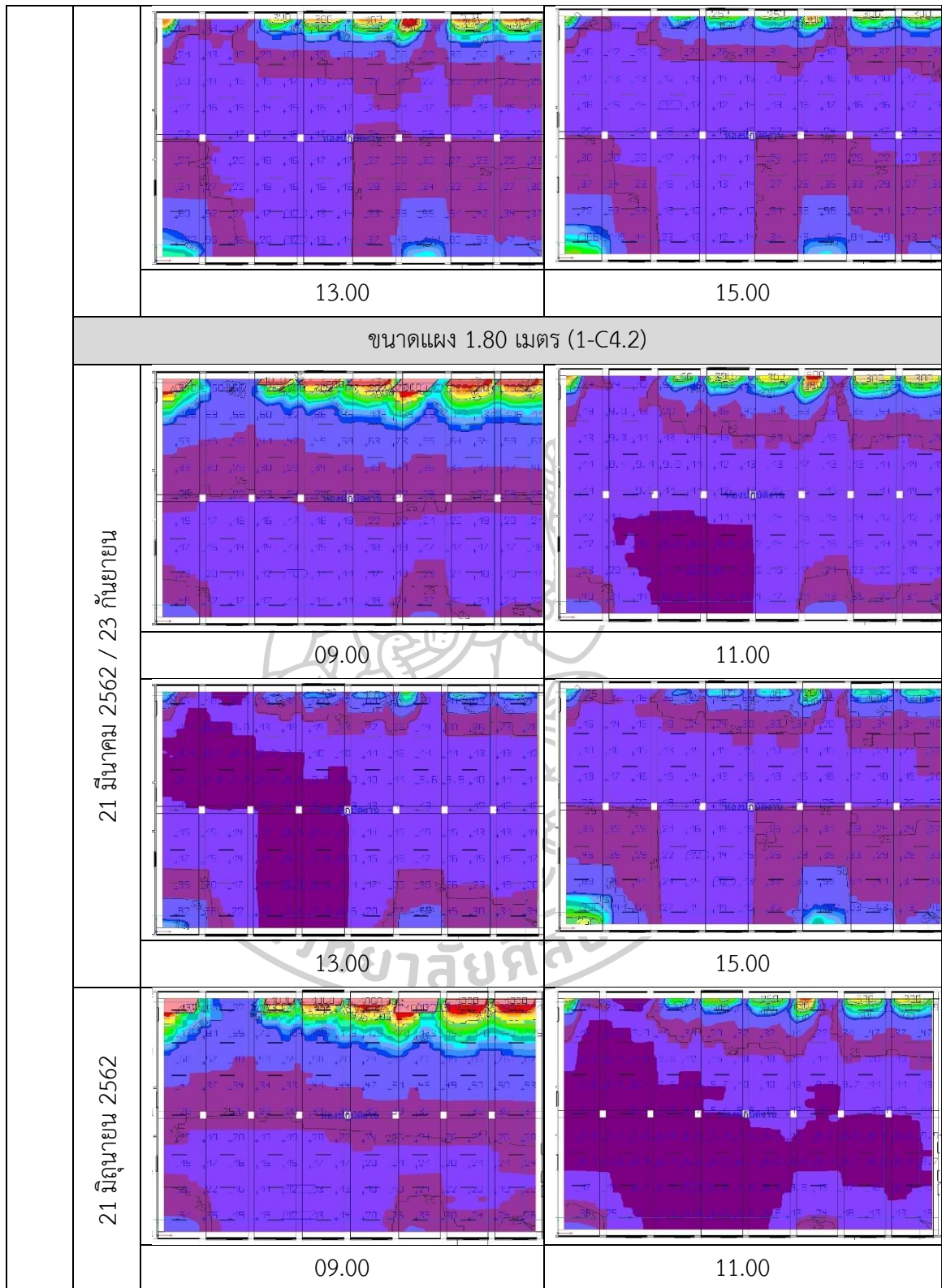


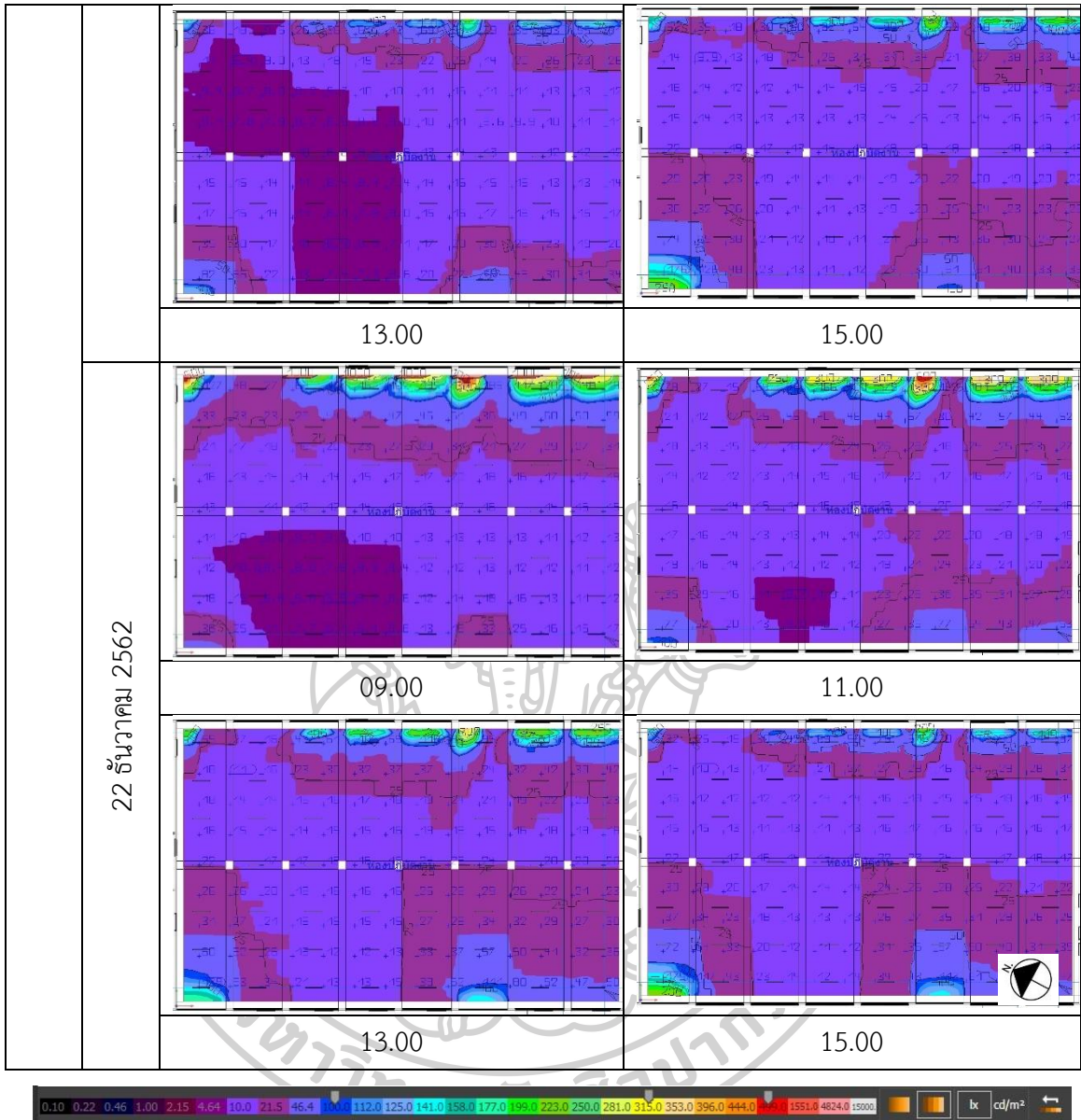












ตารางที่ 69 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของระยะติดตั้งกับขนาดกันสาด (1-C)

	วัน เวลา	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity
		(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.10 (1-C1)	ขนาดแผง 0.85 (1-C1.1)						
	21 มีนาคม 2562	363	97	43	61	138	0.14
	21 มิถุนายน 2562	528	74	32	61	174	0.14
	23 กันยายน 2562	363	97	43	61	138	0.14
	22 ธันวาคม 2562	105	91	70	52	79	0.17
	เฉลี่ย	339	85	47	59	132	0.15
	ขนาดแผง 1.10 (1-C1.2)						
	21 มีนาคม 2562	340	79	39	57	128	0.12
	21 มิถุนายน 2562	497	67	29	56	162	0.14
	23 กันยายน 2562	340	79	39	57	128	0.14
	22 ธันวาคม 2562	93	82	64	49	72	0.17
	เฉลี่ย	317	76	43	55	123	0.14
	ขนาดแผง 1.60 (1-C1.3)						
	21 มีนาคม 2562	256	56	39	57	128	0.12
	21 มิถุนายน 2562	387	46	29	56	162	0.14
	23 กันยายน 2562	256	56	39	57	128	0.12
	22 ธันวาคม 2562	66	61	64	49	72	0.17
	เฉลี่ย	241	54	43	55	123	0.14
	ขนาดแผง 1.80 (1-C1.4)						
	21 มีนาคม 2562	223	47	26	42	84	0.16
21 มิถุนายน 2562	334	37	18	39	107	0.16	
23 กันยายน 2562	223	47	26	42	84	0.16	
22 ธันวาคม 2562	60	52	45	37	49	0.20	
เฉลี่ย	210	46	29	40	81	0.17	

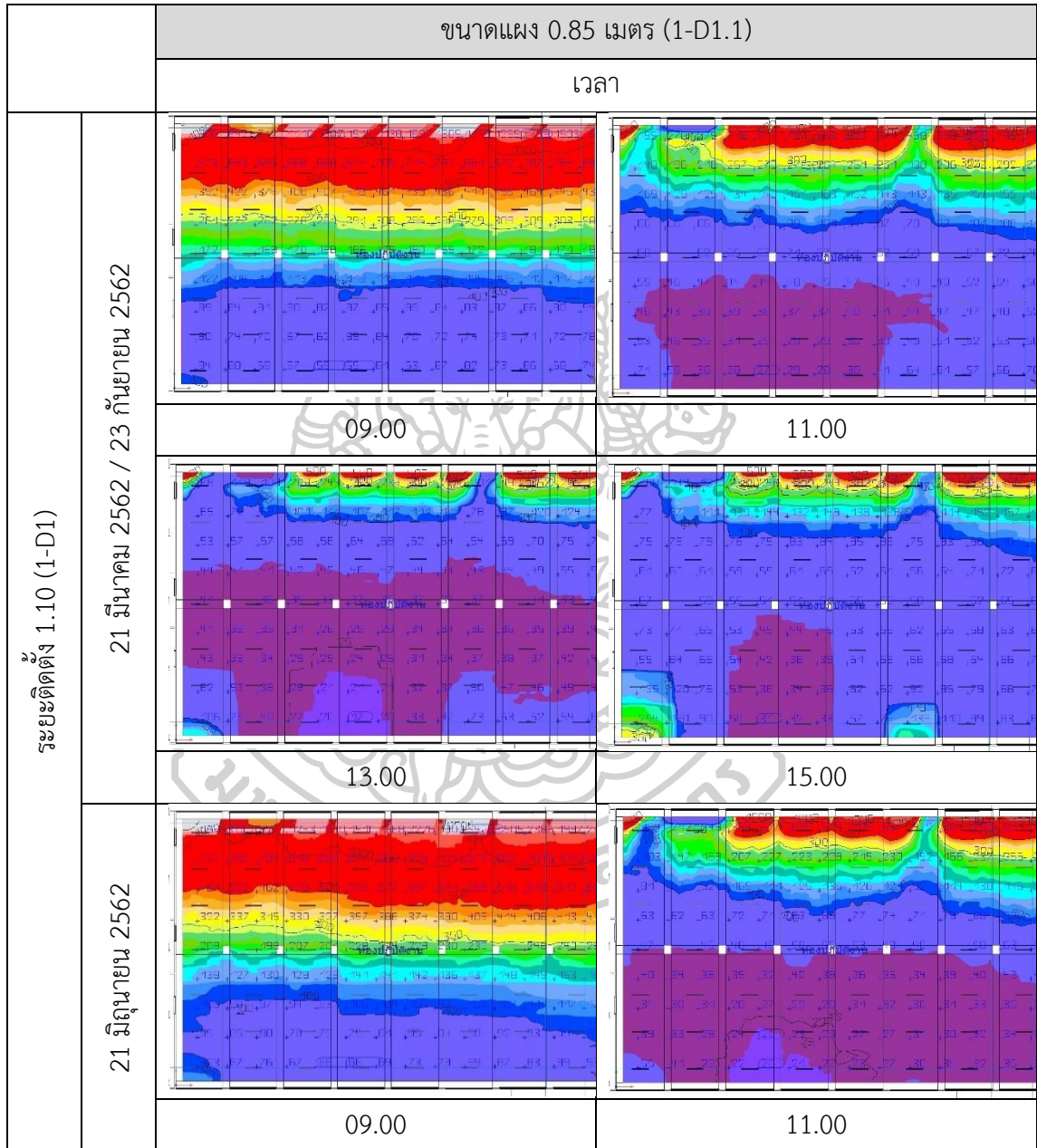
	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.30 (1-C2)	ขนาดแผง 0.85 (1-C2.1)						
	21 มีนาคม 2562	340	80	40	58	129	0.15
	21 มิถุนายน 2562	497	68	30	57	163	0.14
	23 กันยายน 2562	340	80	40	58	129	0.15
	22 ธันวาคม 2562	98	84	66	50	72	0.16
	เฉลี่ย	316	78	44	56	123	0.15
	ขนาดแผง 1.10 (1-C2.2)						
	21 มีนาคม 2562	296	67	34	51	112	0.15
	21 มิถุนายน 2562	438	55	25	50	142	0.15
	23 กันยายน 2562	296	67	34	51	112	0.15
	22 ธันวาคม 2562	45	71	57	44	55	0.18
	เฉลี่ย	268	65	38	49	105	0.16
	ขนาดแผง 1.60 (1-C2.3)						
	21 มีนาคม 2562	214	46	27	48	84	0.16
	21 มิถุนายน 2562	234	38	18	39	82	0.16
	23 กันยายน 2562	214	46	27	48	84	0.16
	22 ธันวาคม 2562	60	53	45	37	49	0.19
	เฉลี่ย	180	46	29	43	75	0.17
	ขนาดแผง 1.80 (1-C2.4)						
	21 มีนาคม 2562	197	40	24	39	75	0.18
21 มิถุนายน 2562	299	31	16	36	95	0.17	
23 กันยายน 2562	197	40	24	39	75	0.18	
22 ธันวาคม 2562	52	15	41	34	35	0.21	
เฉลี่ย	186	31	26	37	70	0.19	

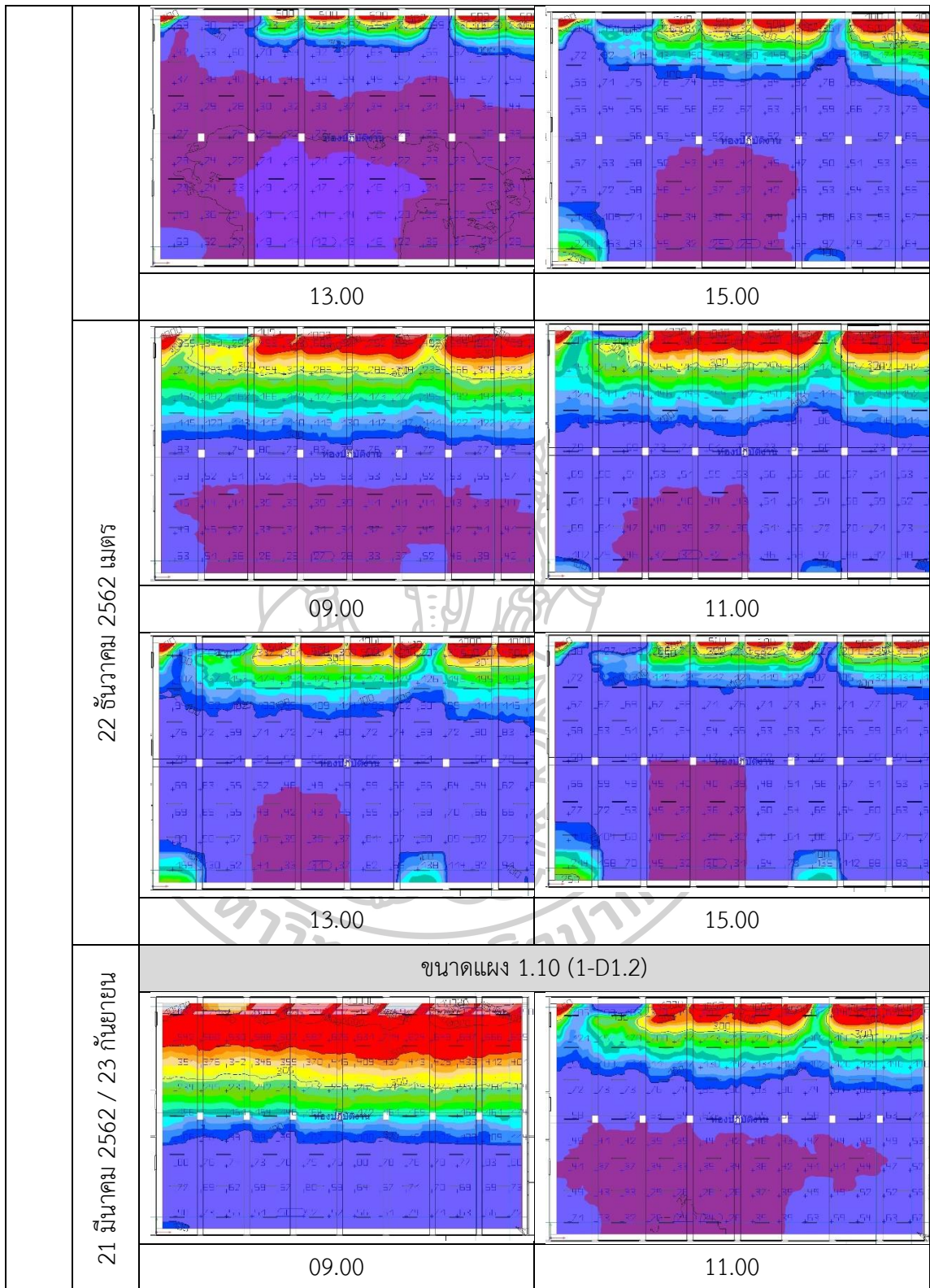
	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity	
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)	
ระยะติดตั้ง 1.50 (1-C3)	ขนาดแผง 0.85 (1-C3.1)							
	21 มีนาคม 2562	311	74	37	55	119	0.15	
	21 มิถุนายน 2562	460	32	27	54	143	0.15	
	23 กันยายน 2562	311	74	37	55	119	0.15	
	22 ธันวาคม 2562	81	79	62	47	67	0.19	
	เฉลี่ย	290	65	41	53	112	0.16	
	ขนาดแผง 1.10 (1-C3.2)							
	21 มีนาคม 2562	281	66	34	51	108	0.16	
	21 มิถุนายน 2562	418	54	24	46	136	0.15	
	23 กันยายน 2562	281	66	34	51	108	0.16	
	22 ธันวาคม 2562	75	71	57	44	61	0.19	
	เฉลี่ย	263	64	37	48	103	0.17	
	ขนาดแผง 1.60 (1-C3.3)							
	21 มีนาคม 2562	203	43	25	40	78	0.17	
	21 มิถุนายน 2562	305	34	17	37	98	0.17	
	23 กันยายน 2562	203	43	25	37	78	0.17	
	22 ธันวาคม 2562	55	48	43	35	45	0.20	
	เฉลี่ย	191	42	27	38	75	0.18	
	ขนาดแผง 1.80 (1-C3.4)							
	21 มีนาคม 2562	191	37	23	38	72	0.19	
21 มิถุนายน 2562	290	29	15	34	92	0.18		
23 กันยายน 2562	191	37	23	38	72	0.19		
22 ธันวาคม 2562	514	43	39	33	157	0.22		
เฉลี่ย	296	36	25	36	98	0.19		

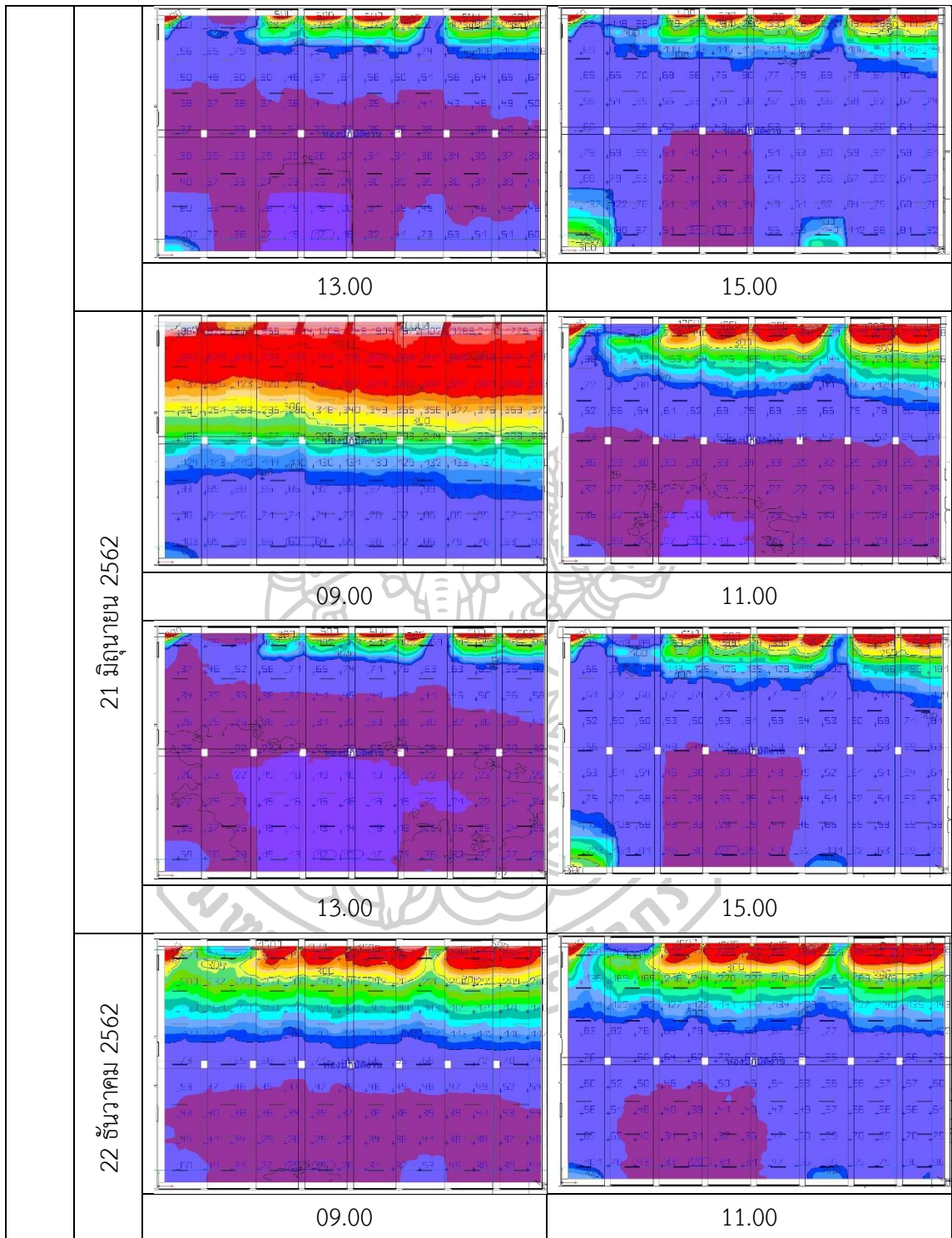
	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Unifromity
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.70 (1-C4)	ขนาดแผง 0.85 (1-C4.1)						
	21 มีนาคม 2562	253	65	33	50	100	0.17
	21 มิถุนายน 2562	385	53	24	49	127	0.16
	23 กันยายน 2562	253	65	33	50	100	0.17
	22 ธันวาคม 2562	77	70	56	44	61	0.17
	เฉลี่ย	242	63	37	48	97	0.17
	ขนาดแผง 1.10 (1-C4.2)						
	21 มีนาคม 2562	232	58	31	47	92	0.17
	21 มิถุนายน 2562	343	47	52	41	121	0.18
	23 กันยายน 2562	232	58	31	47	92	0.17
	22 ธันวาคม 2562	71	63	52	41	57	0.20
	เฉลี่ย	219	56	41	44	90	0.18
	ขนาดแผง 1.60 (1-C4.3)						
	21 มีนาคม 2562	194	37	22	37	72	0.18
	21 มิถุนายน 2562	291	29	15	34	92	0.18
	23 กันยายน 2562	194	37	22	37	72	0.18
	22 ธันวาคม 2562	53	43	39	33	42	0.22
	เฉลี่ย	183	36	25	35	70	0.19
	ขนาดแผง 1.80 (1-C4.4)						
	21 มีนาคม 2562	183	30	20	34	67	0.21
21 มิถุนายน 2562	282	23	13	30	87	0.21	
23 กันยายน 2562	183	30	20	34	67	0.21	
22 ธันวาคม 2562	47	36	34	30	37	0.24	
เฉลี่ย	173	30	22	32	64	0.22	

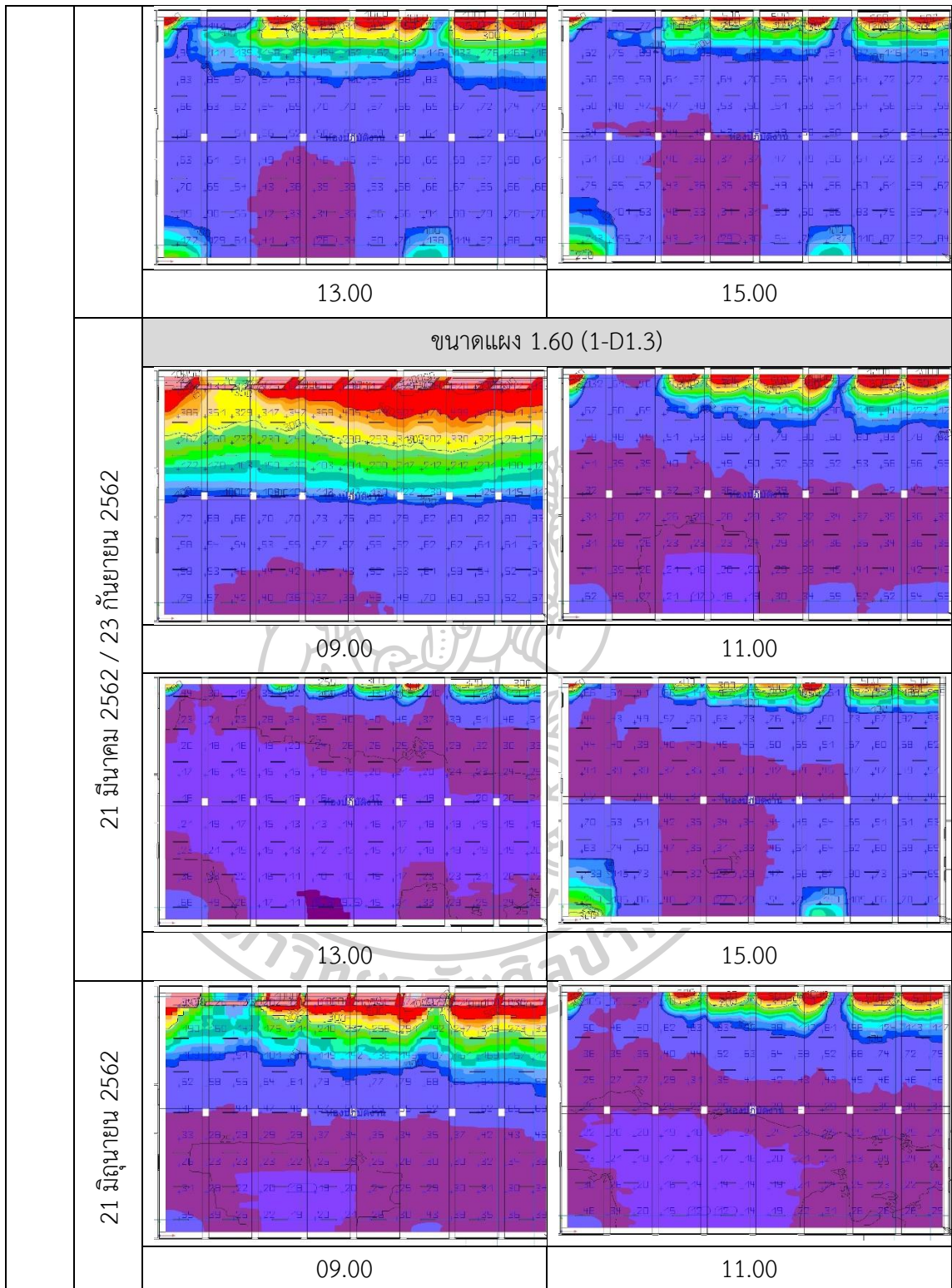
1.2.4 ผลการศึกษาความส่องสว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D)

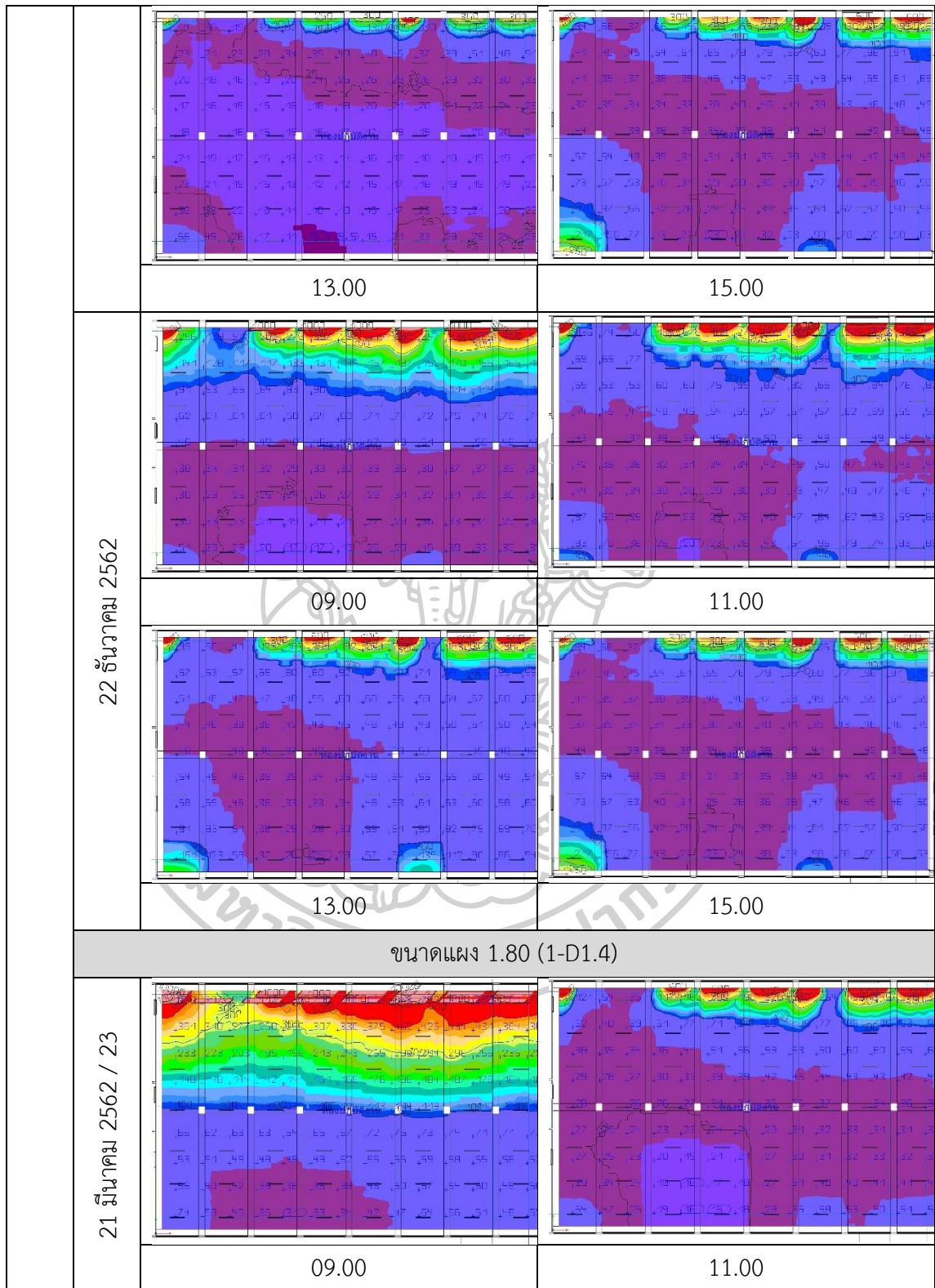
ตารางที่ 70 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างเมื่อเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนียมเป็นกระจกใส (1-D)

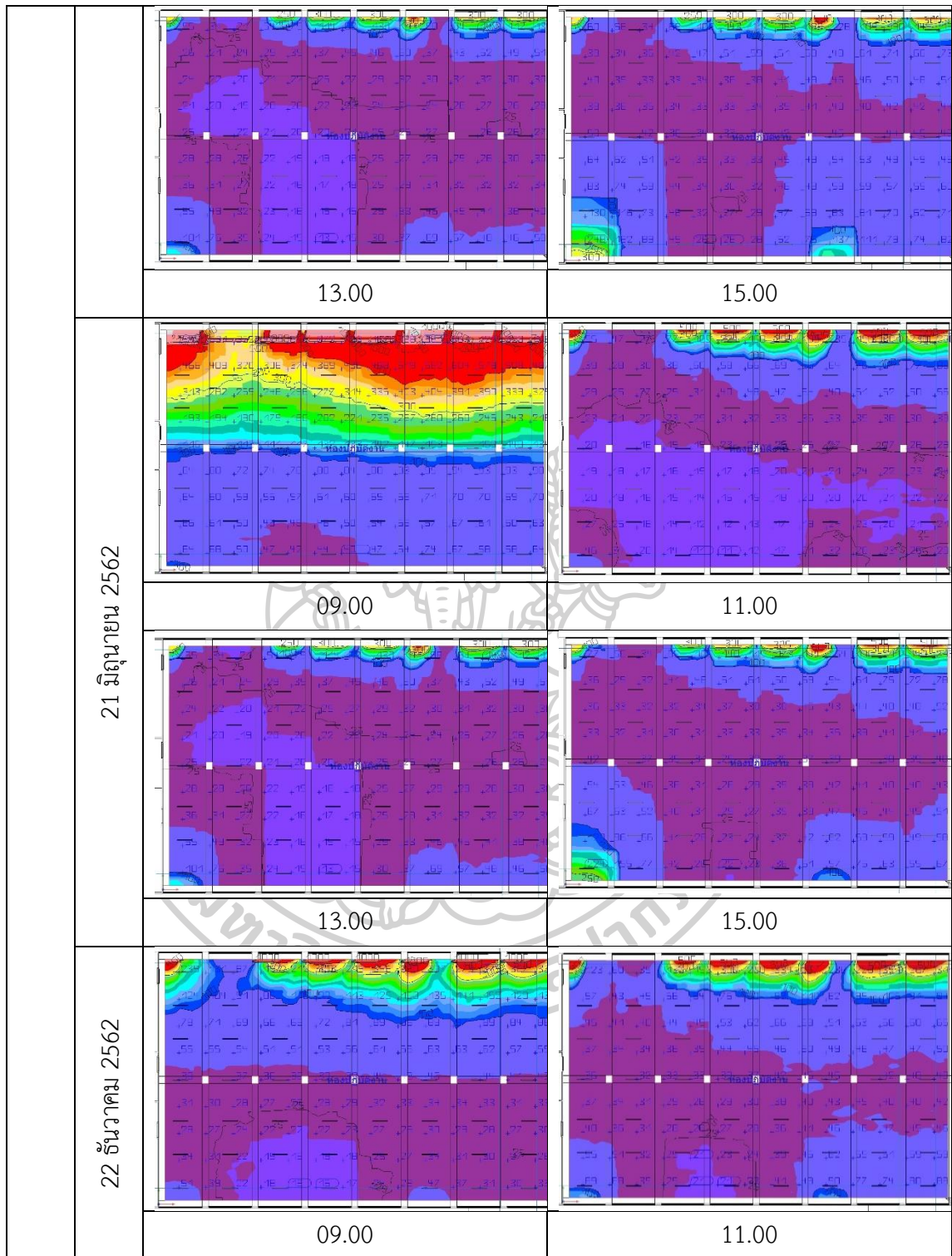


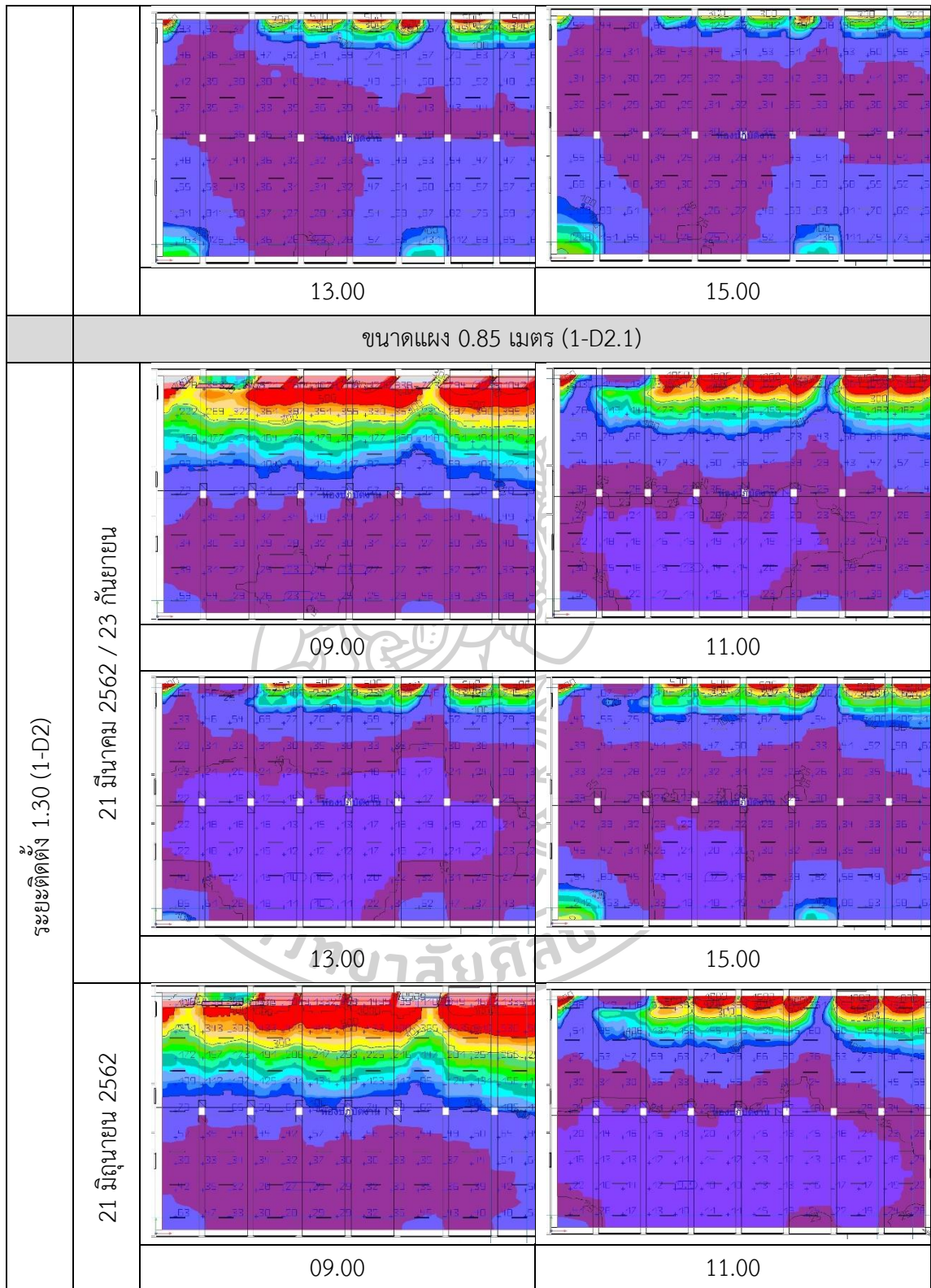


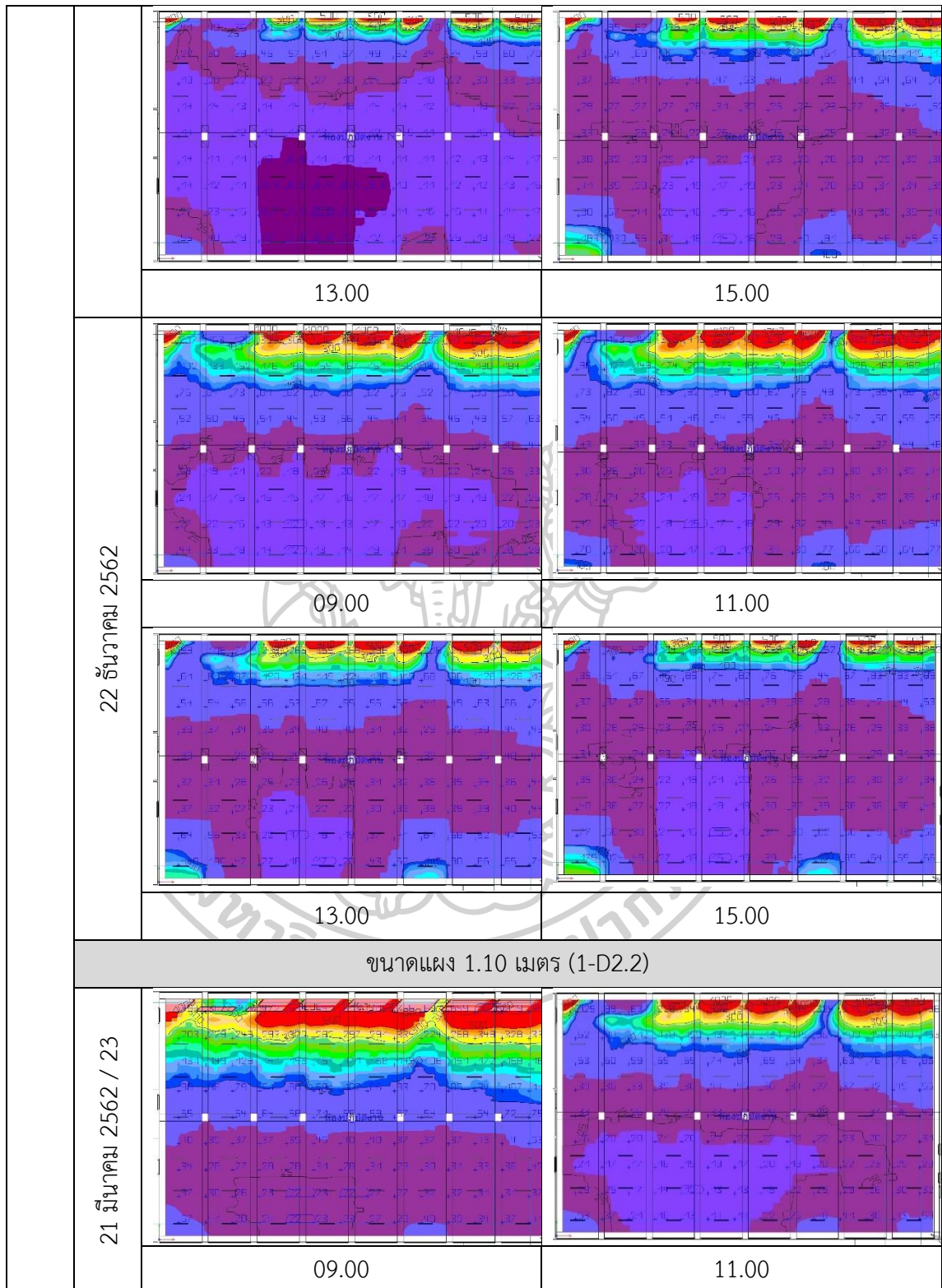


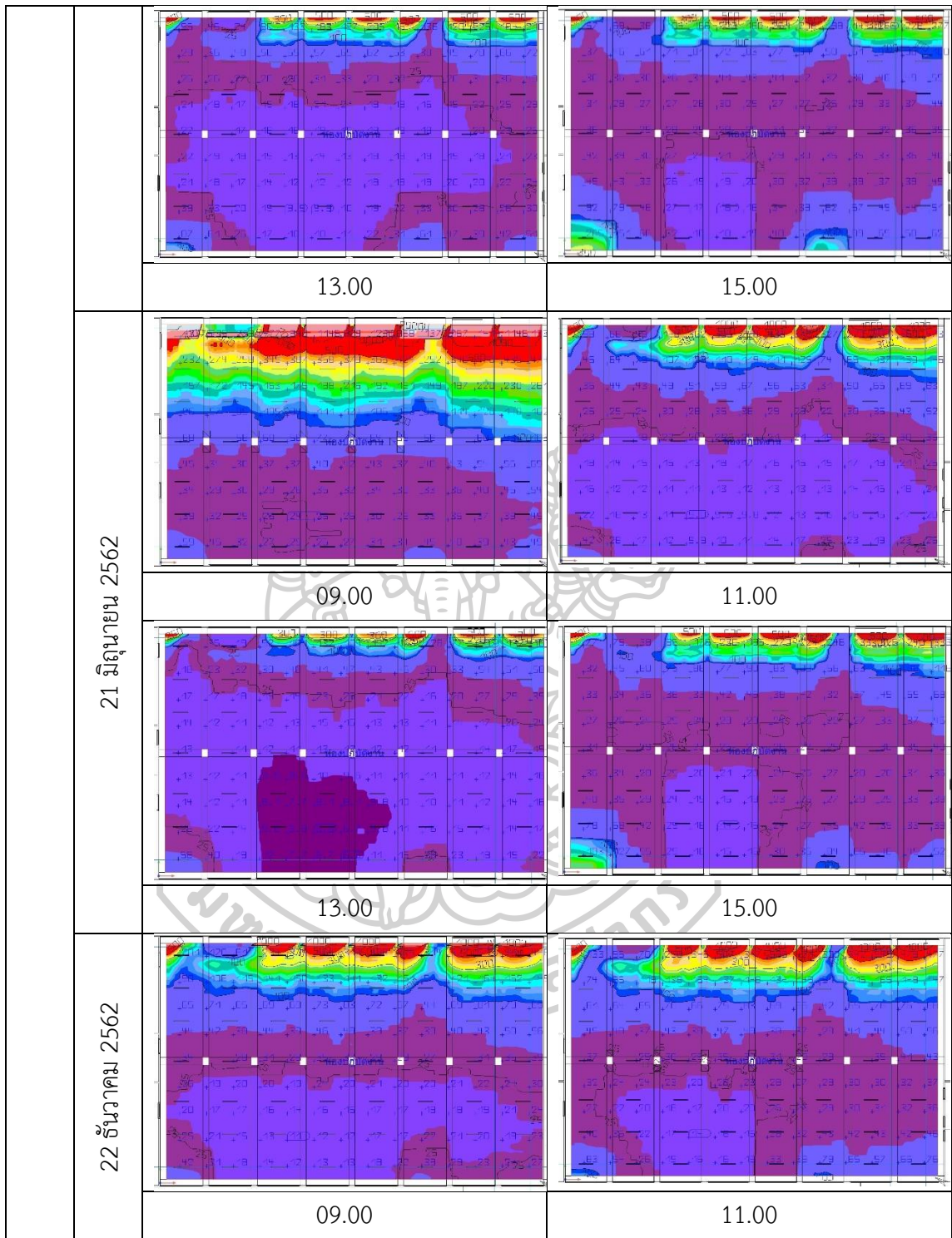


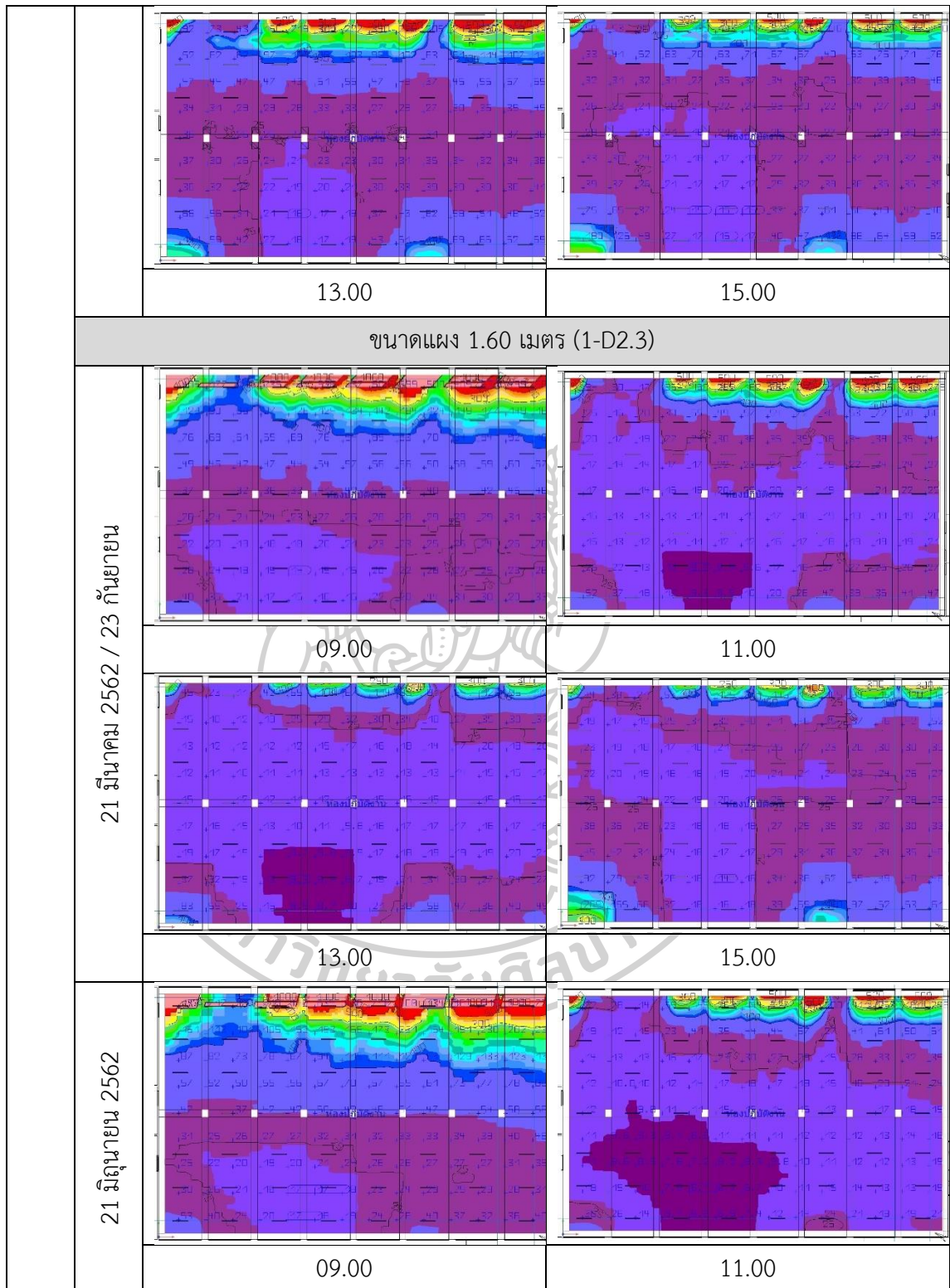


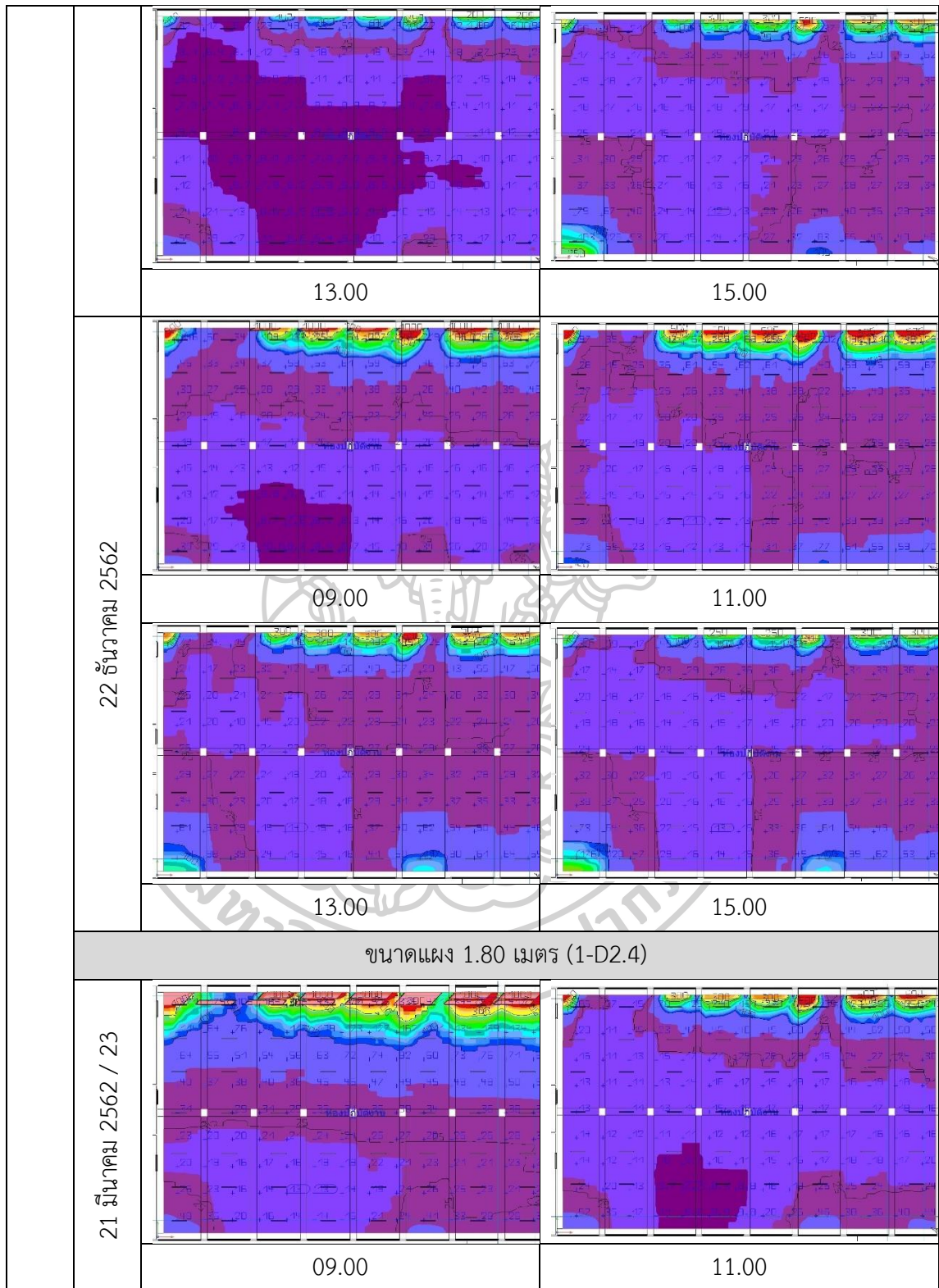


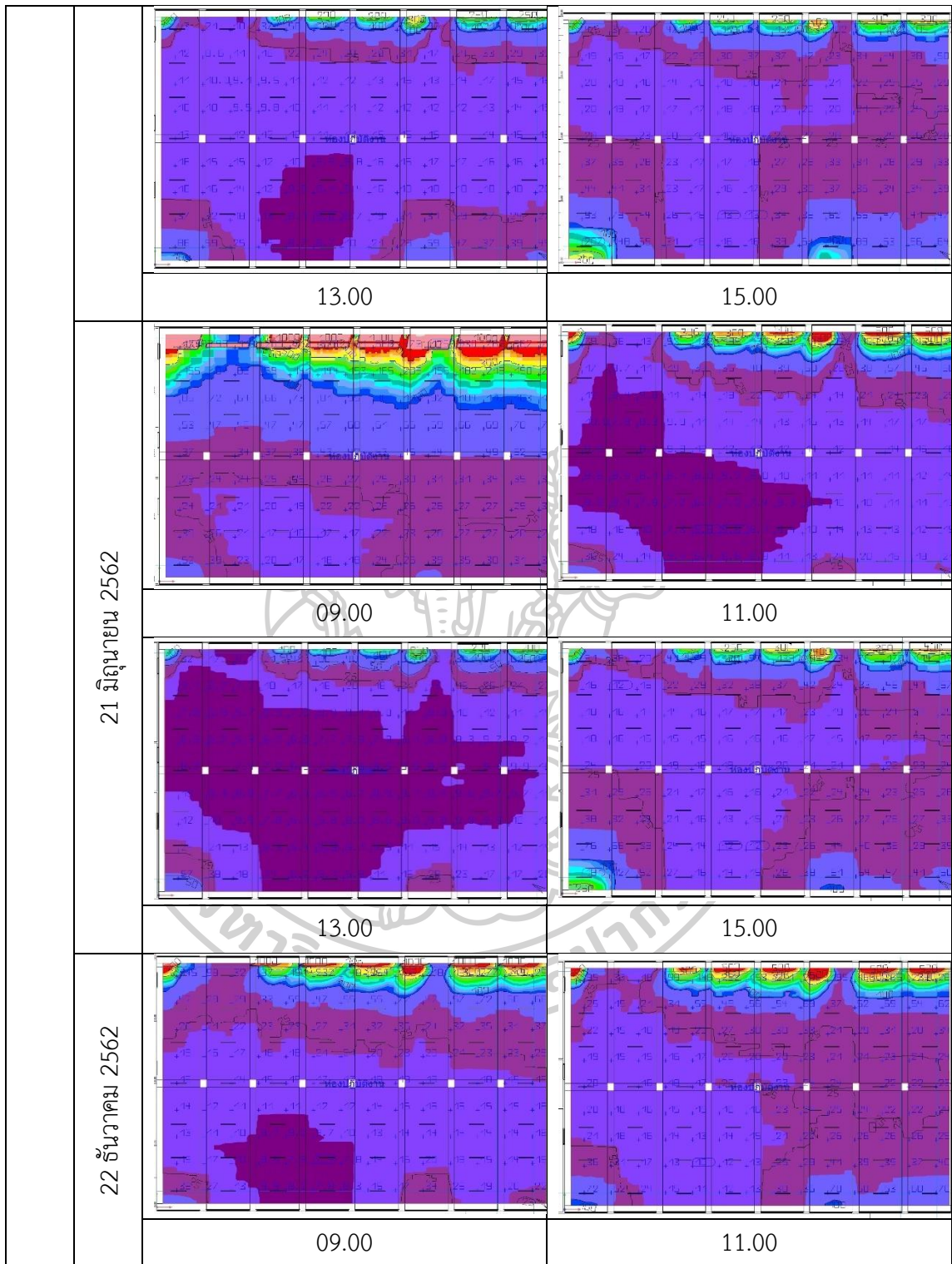


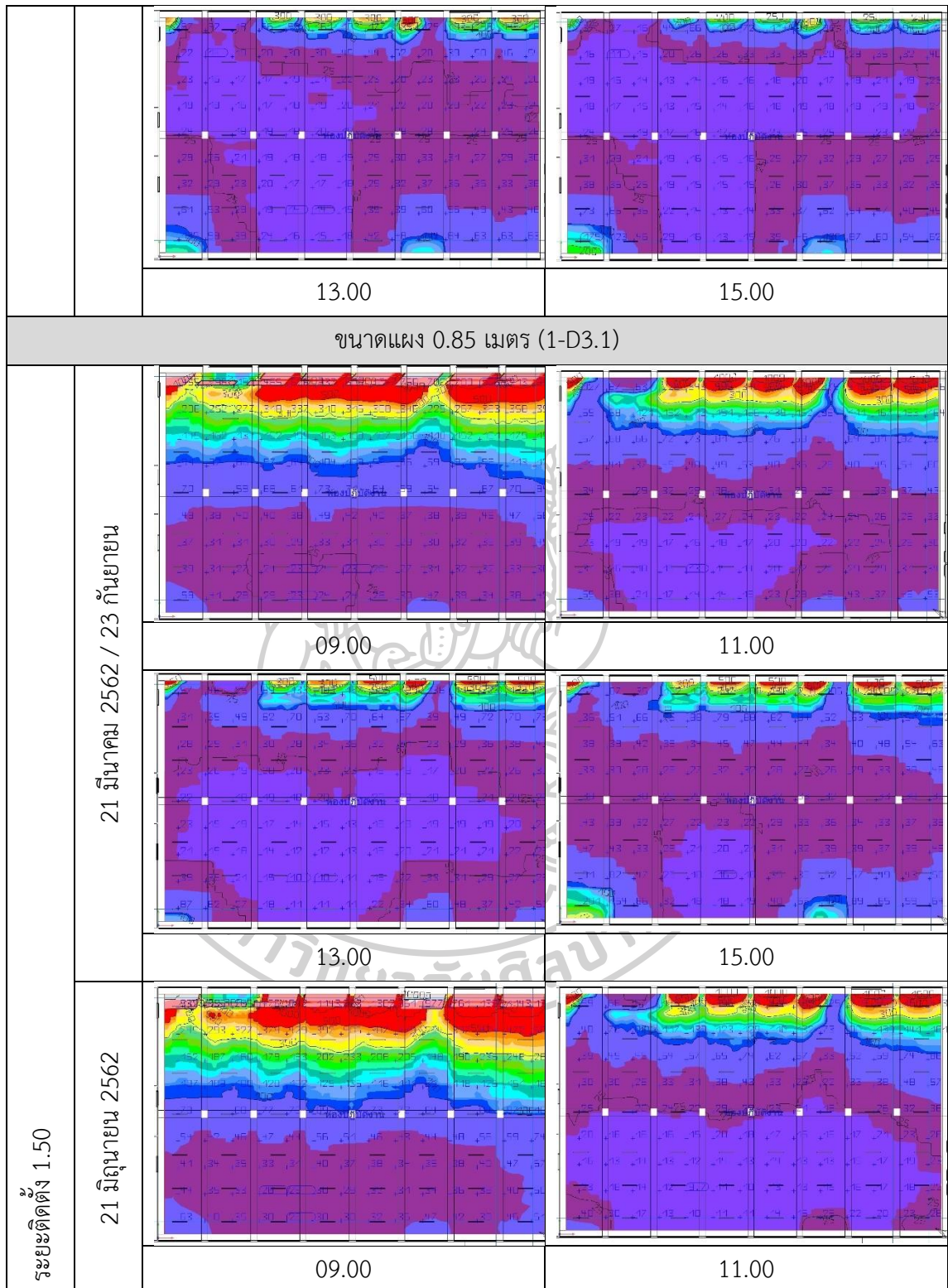


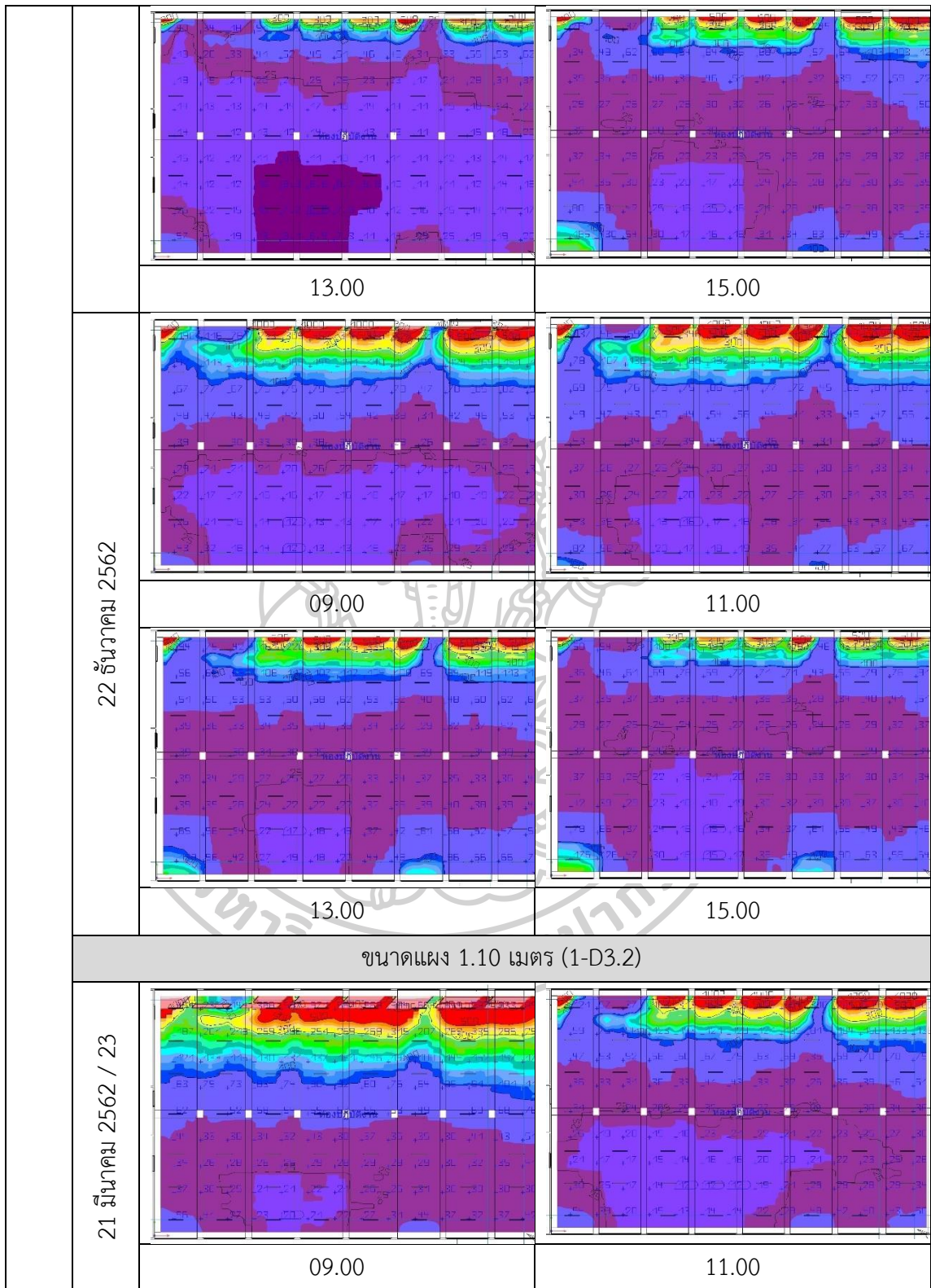


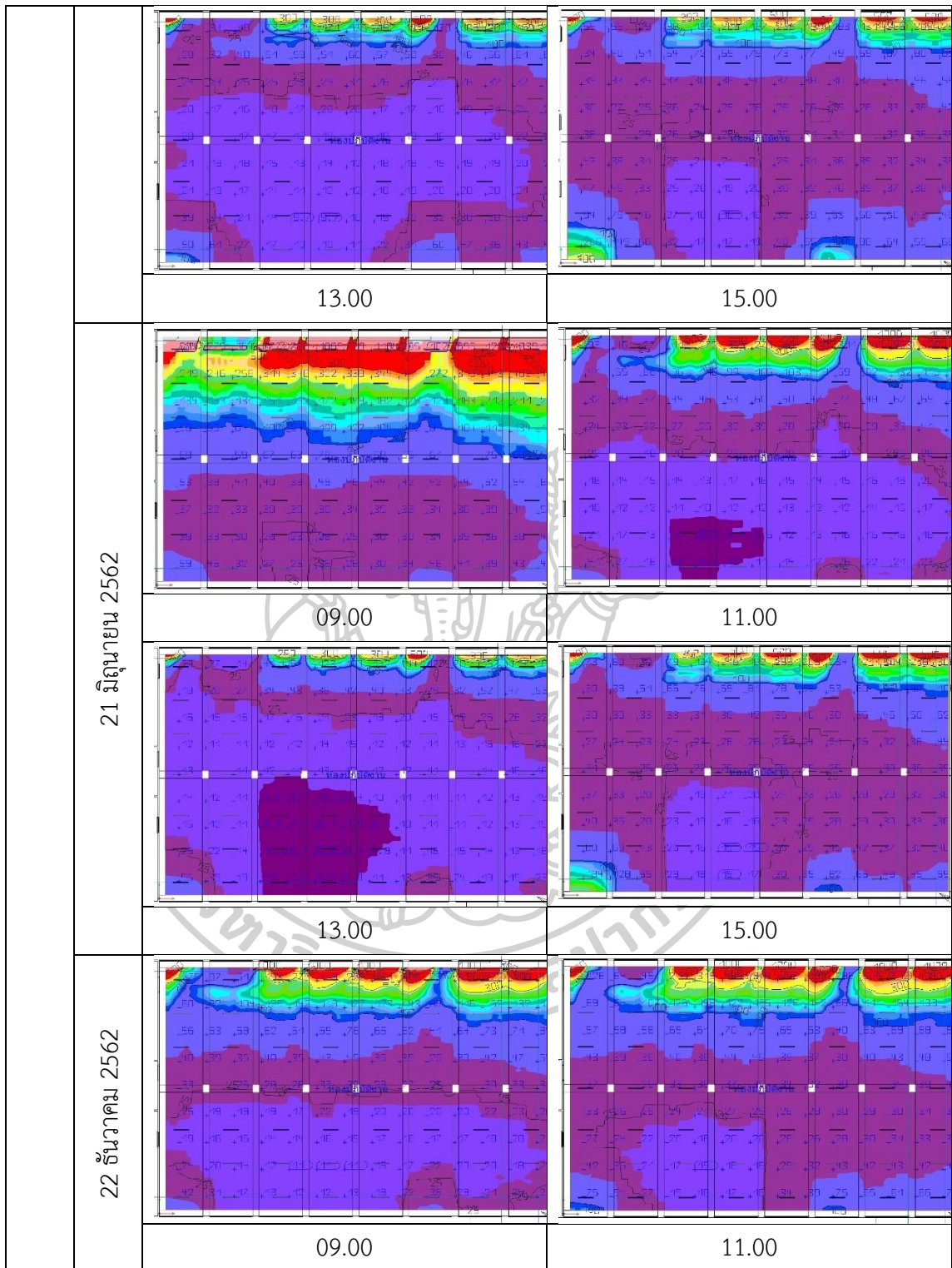


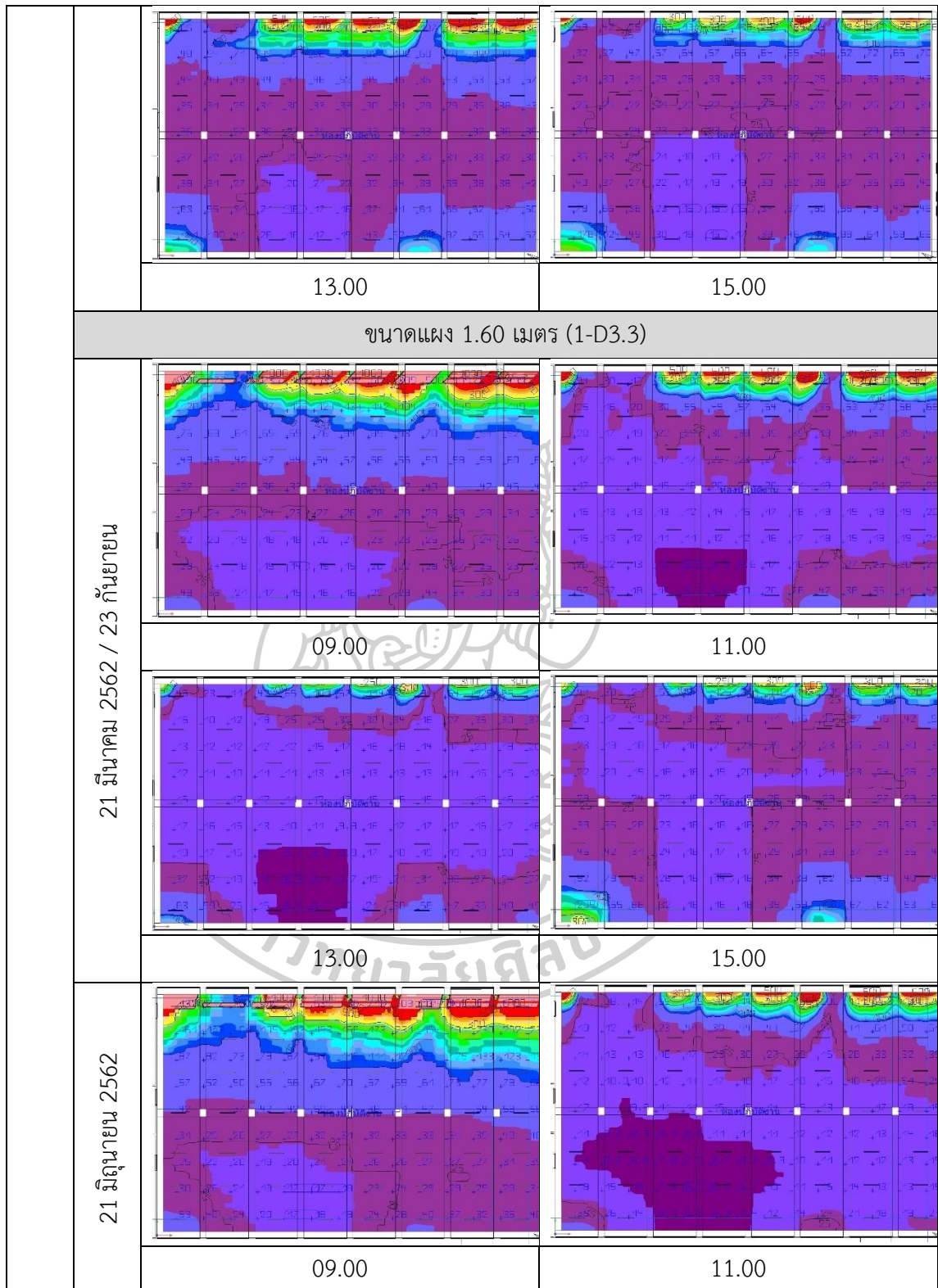


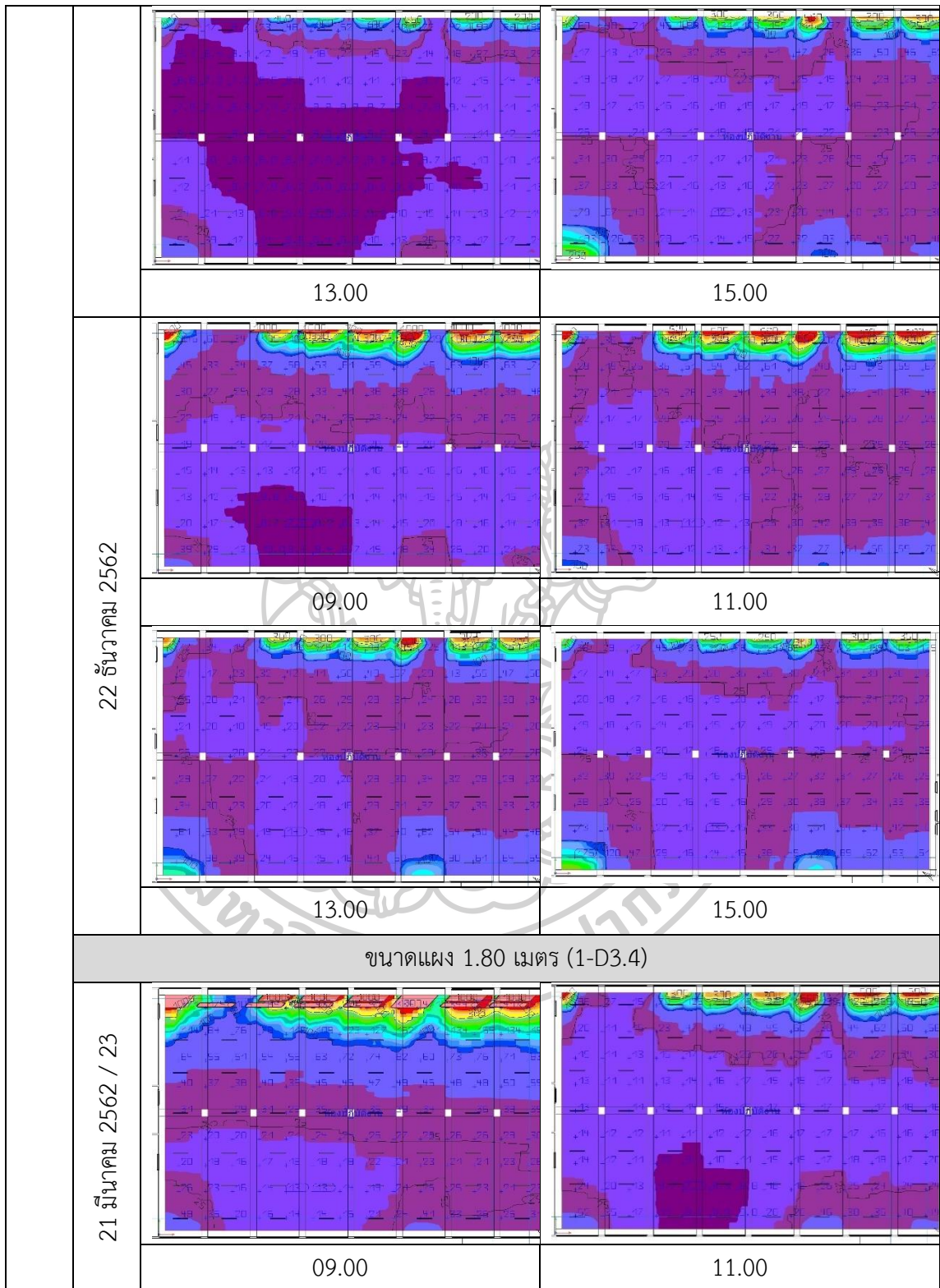


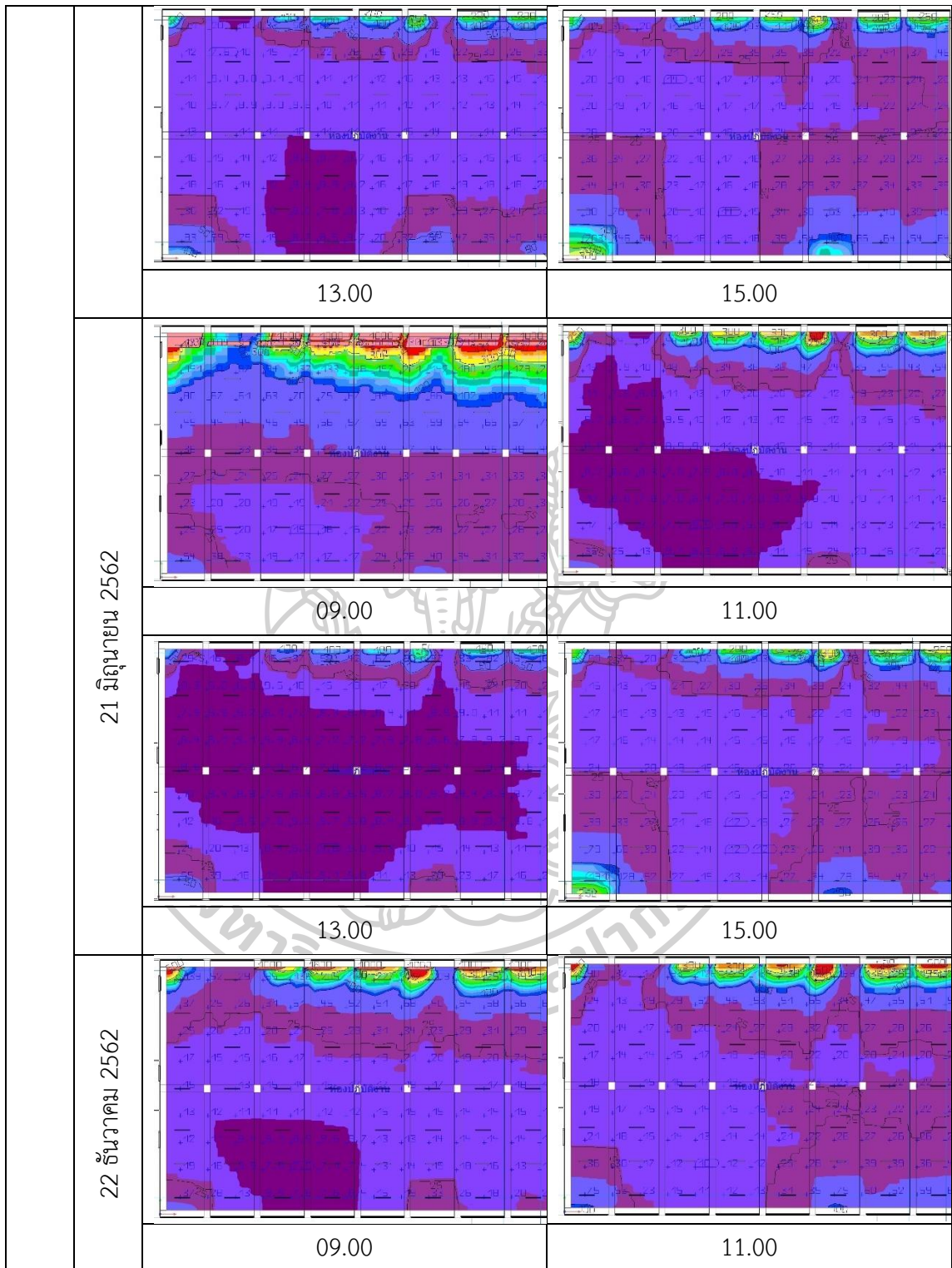


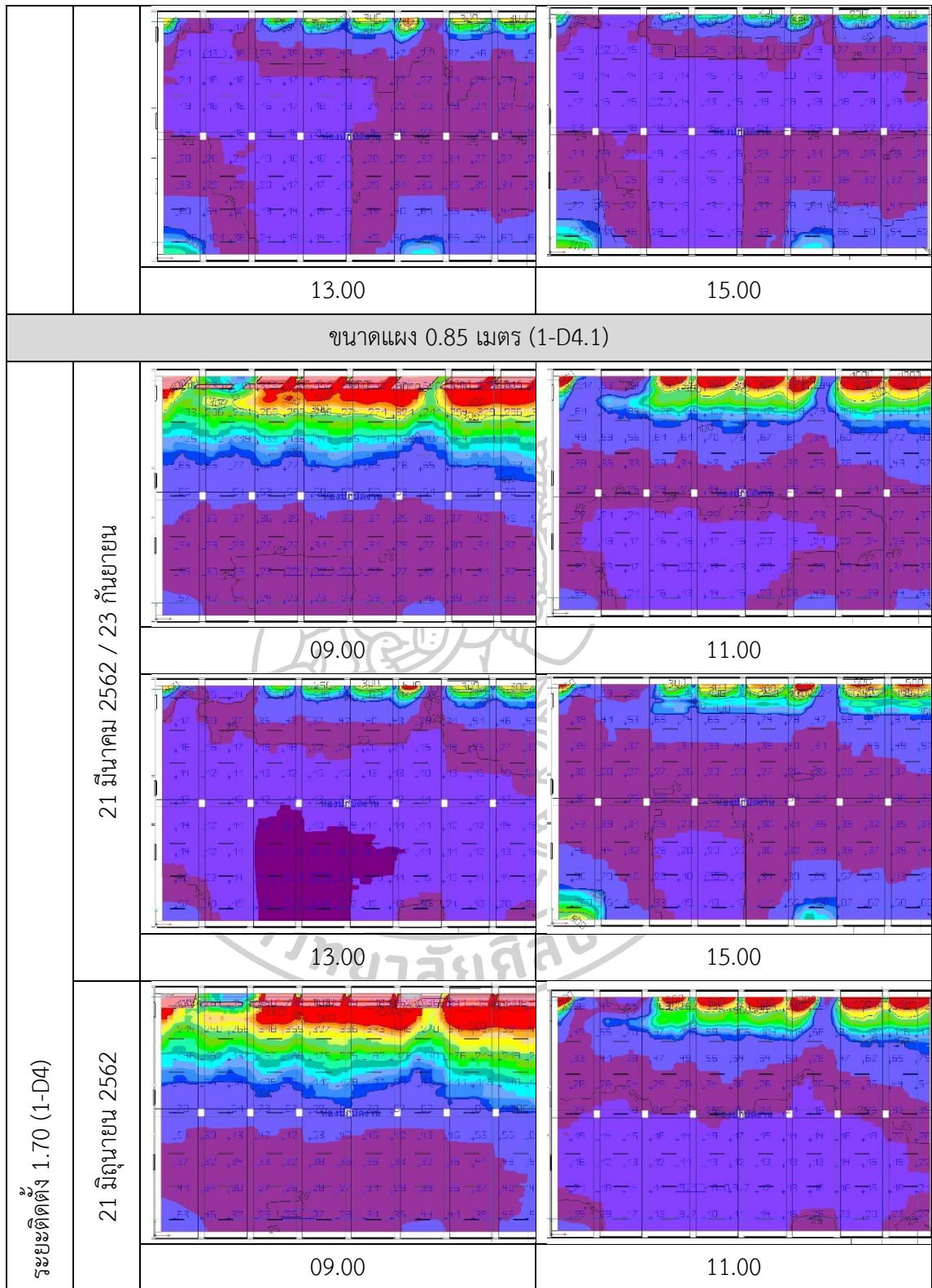


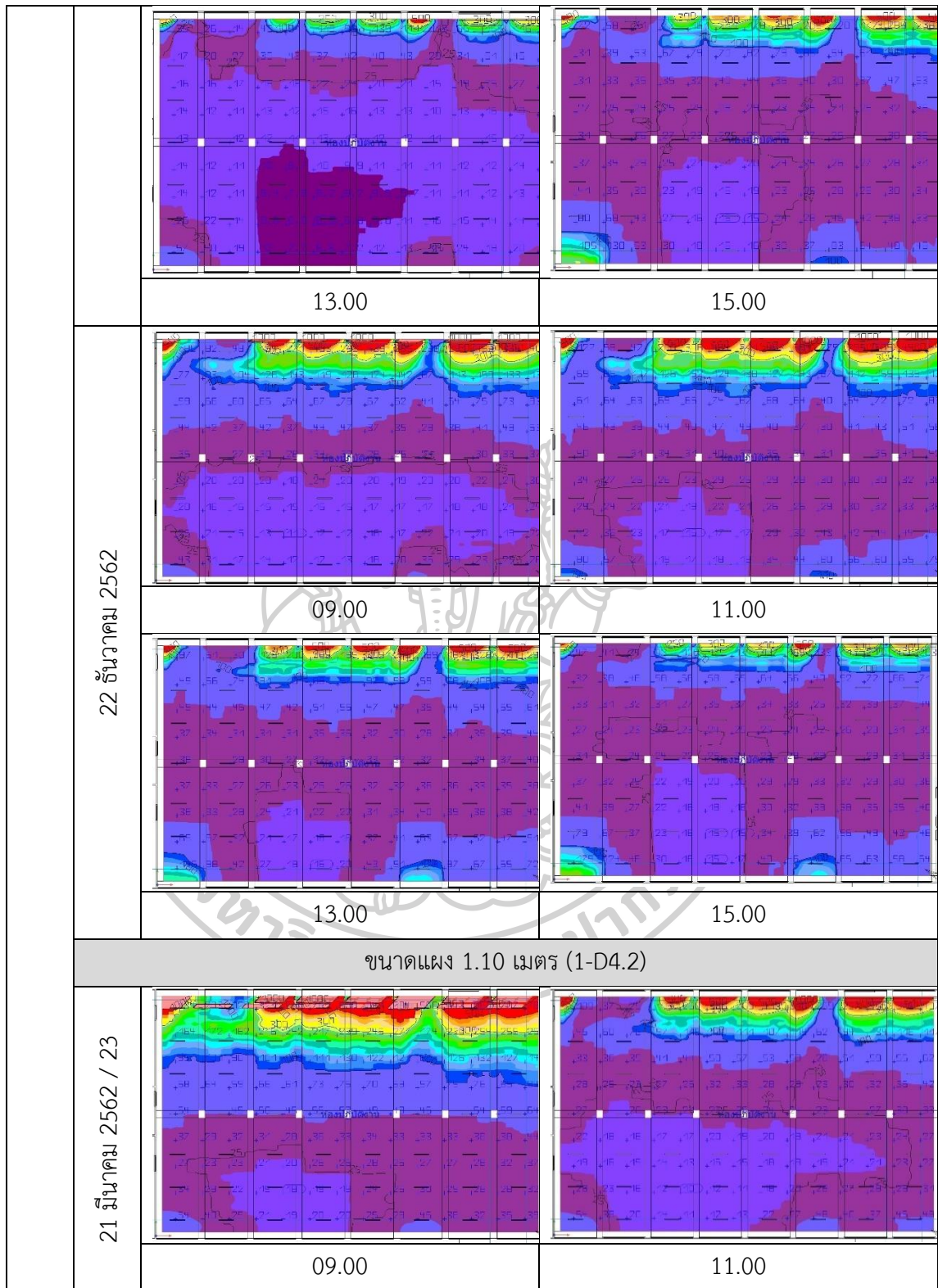


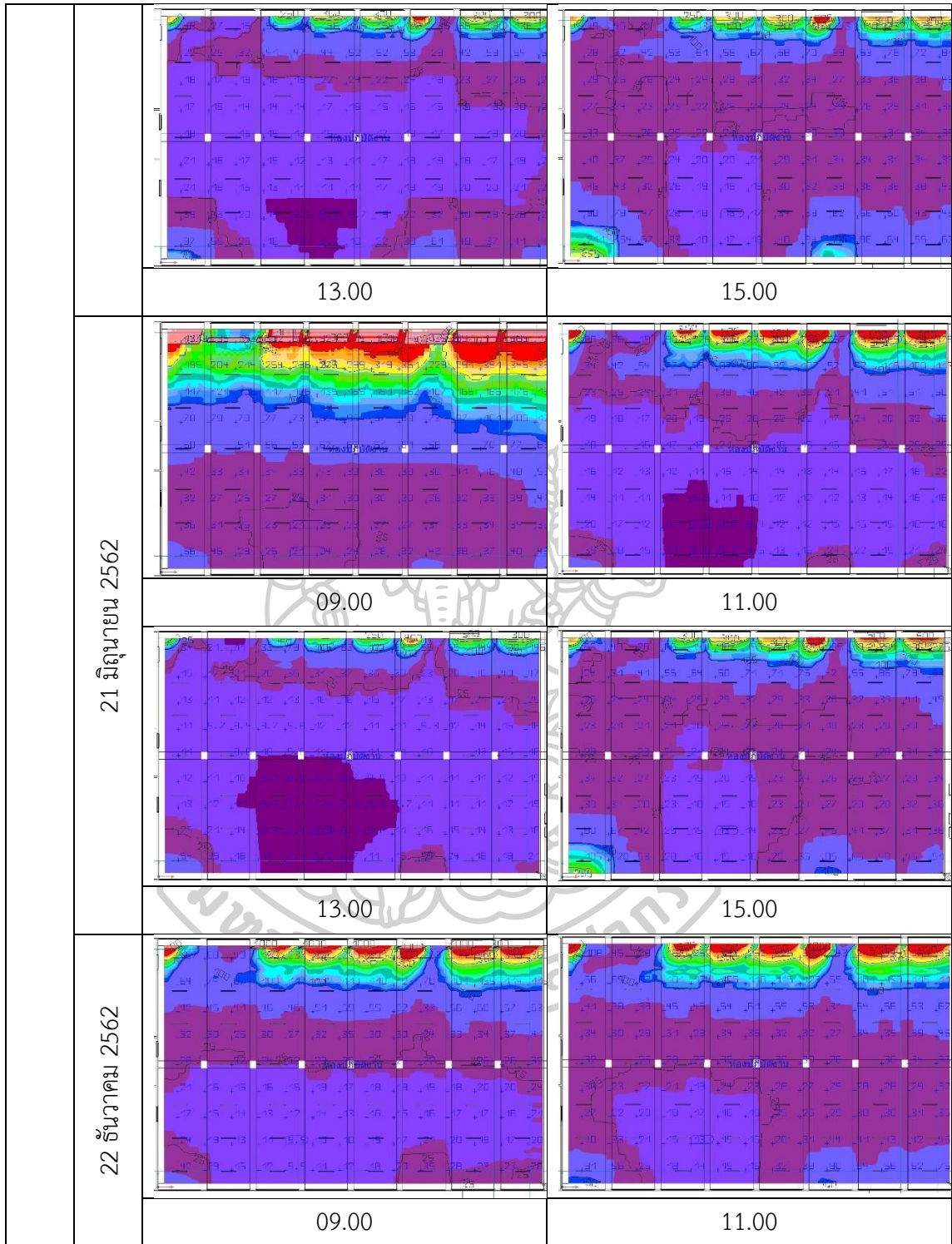


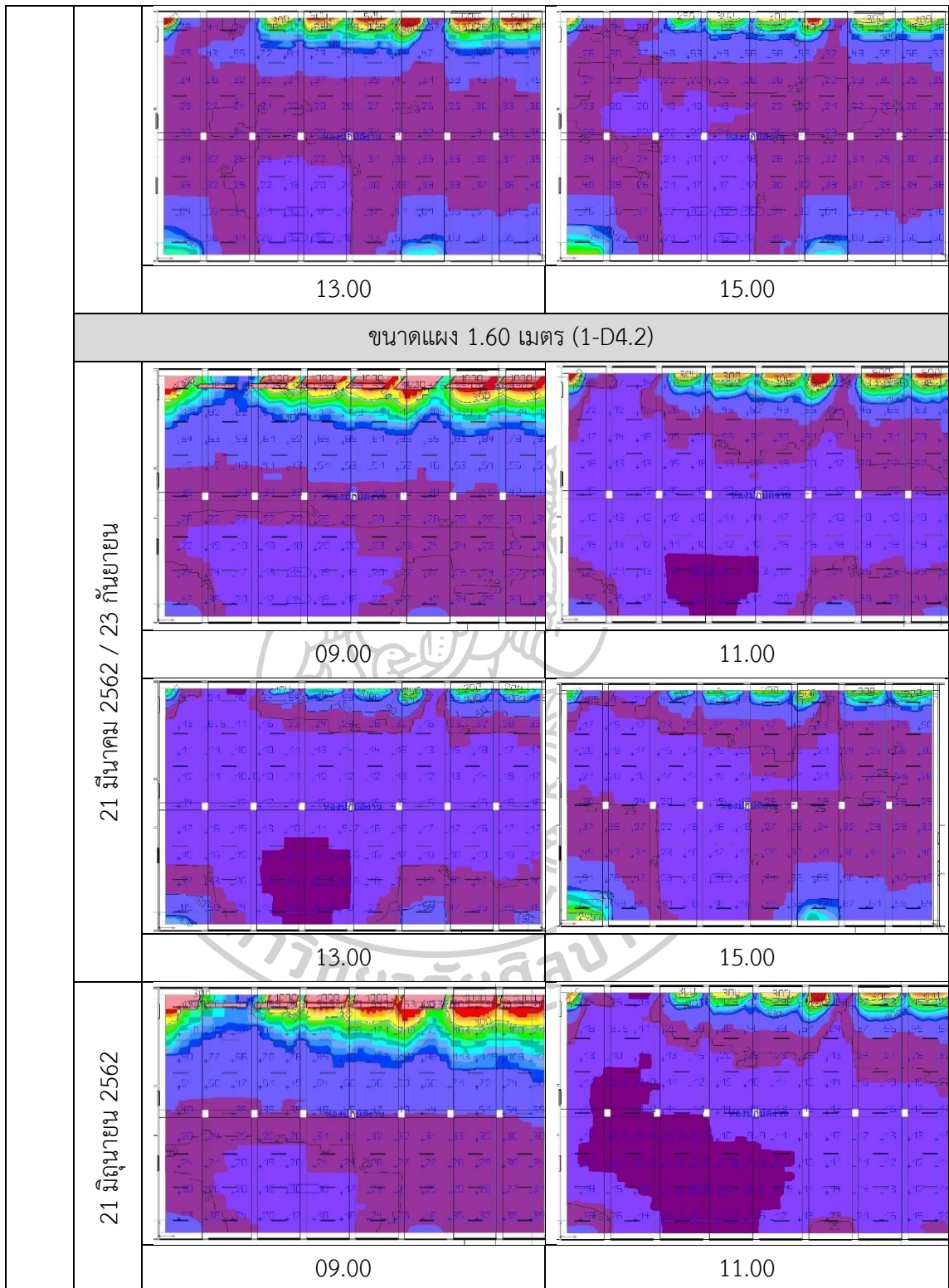


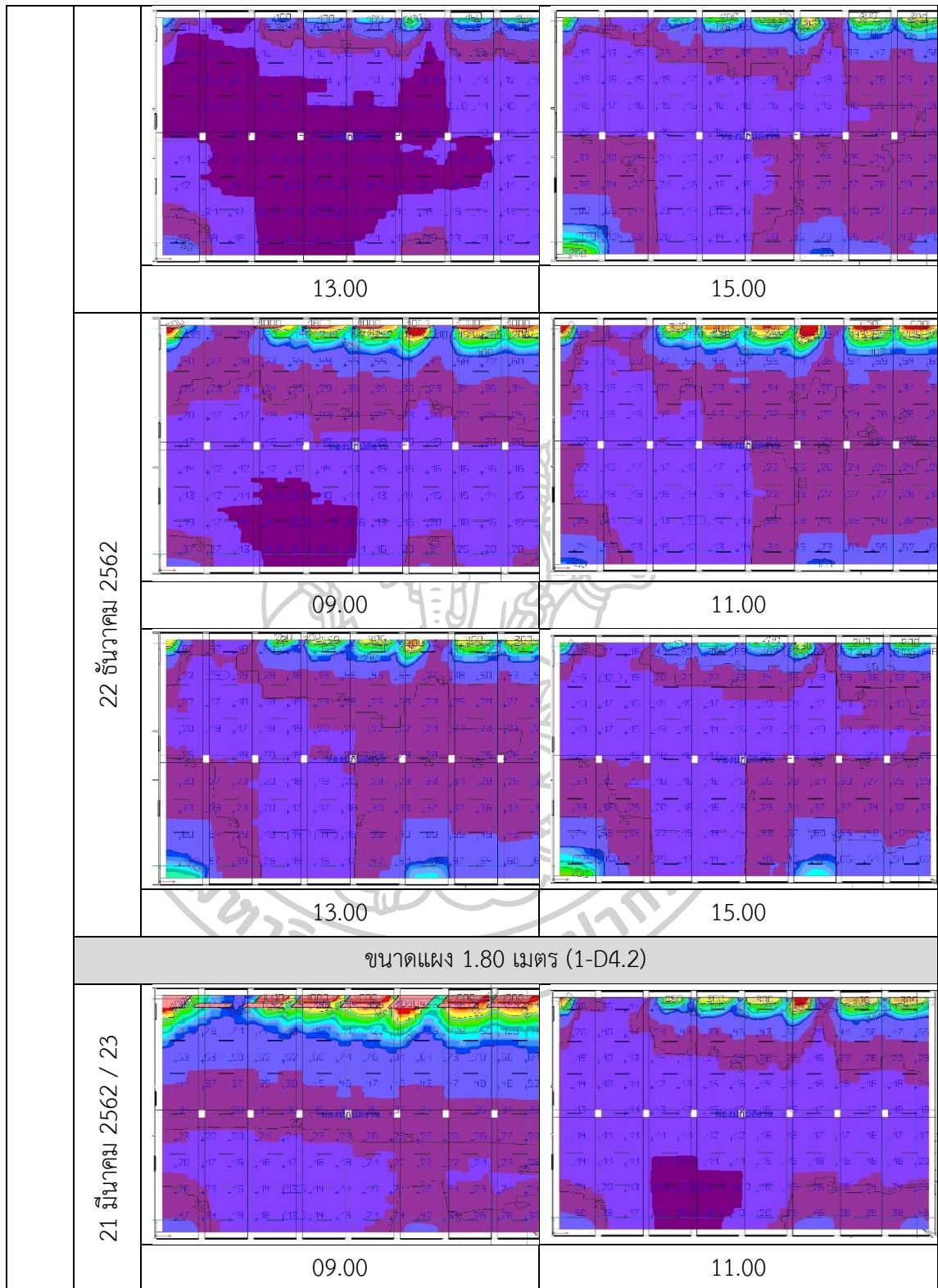


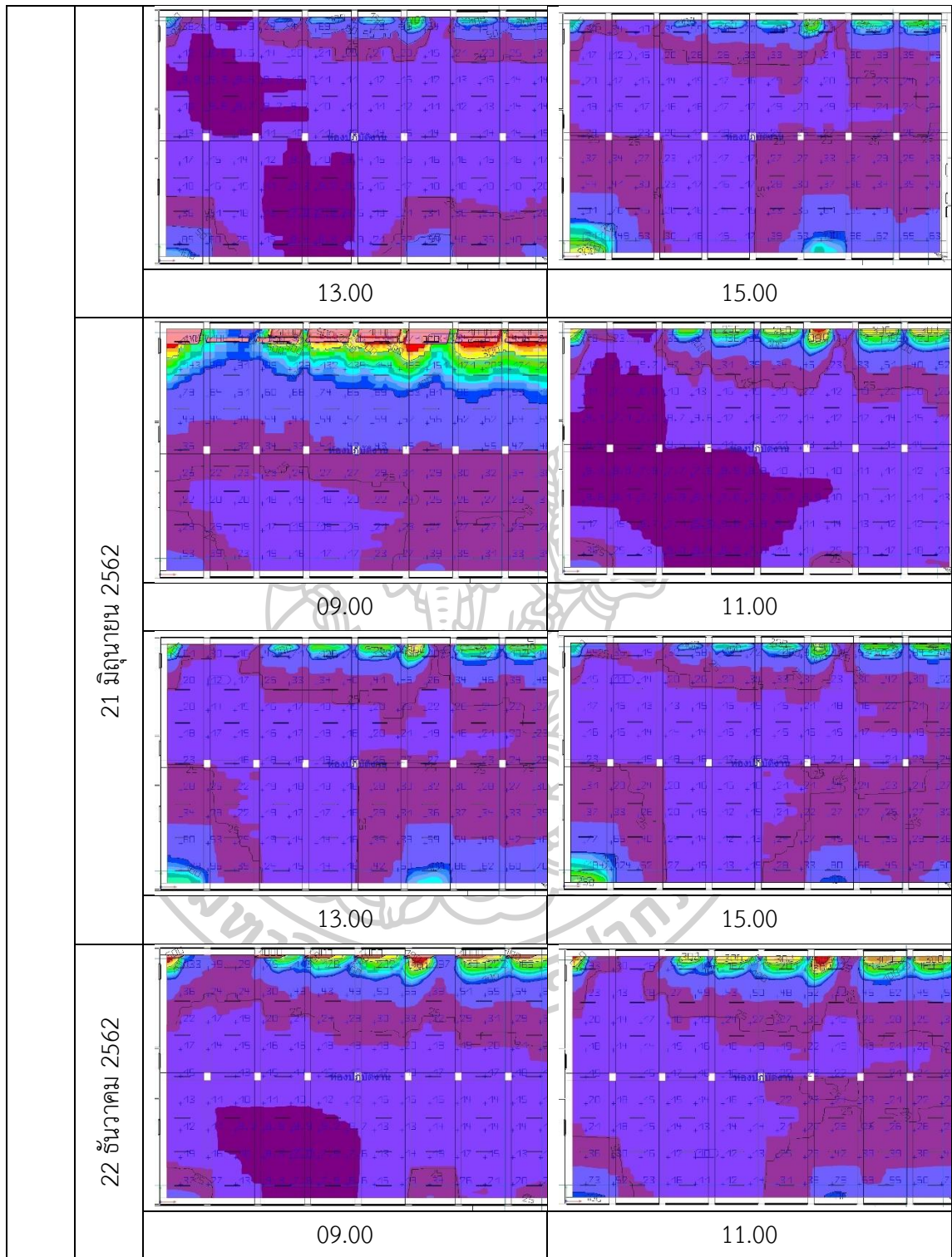


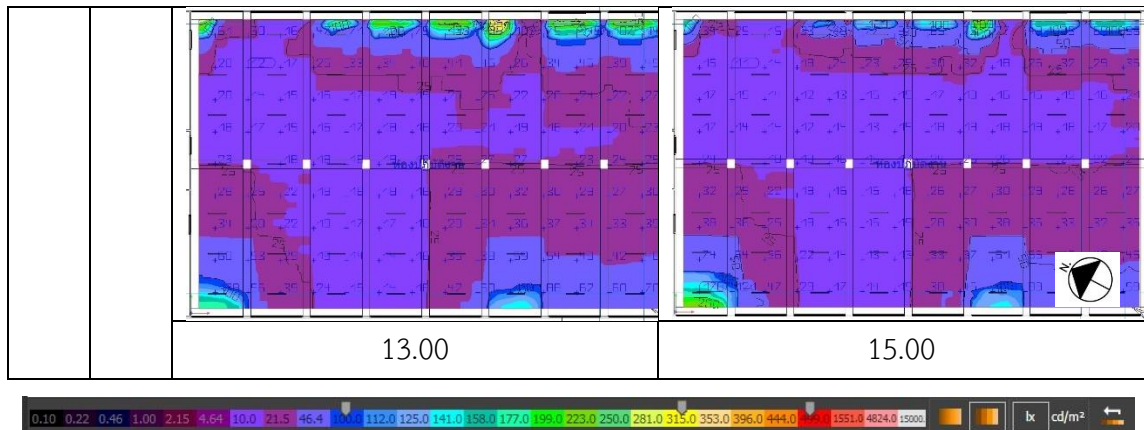












ตารางที่ 71 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการศึกษาเปลี่ยนแปลงอคูมิเนียมเป็นกระจกใสที่มีค่า transparent 80% วันสำคัญ 4 วัน 4 เวลา (1-D)

	วัน	เวลา	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity
			(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.10 (1-D1)	ขนาดแผง 0.85 (1-D1.1)							
		21 มีนาคม 2562	492	115	54	75	184	0.13
		21 มิถุนายน 2562	723	97	41	76	234	0.12
		23 กันยายน 2562	492	115	54	75	184	0.13
		22 ธันวาคม 2562	128	119	88	64	100	0.16
		เฉลี่ย	458	111	59	72	175	0.14
	ขนาดแผง 1.10 (1-D1.2)							
		21 มีนาคม 2562	426	95	46	66	158	0.13
		21 มิถุนายน 2562	624	79	34	65	200	0.12
		23 กันยายน 2562	426	95	46	66	158	0.13
		22 ธันวาคม 2562	105	99	76	57	84	0.17
		เฉลี่ย	395	92	51	63	150	0.15
	ขนาดแผง 1.60 (1-D1.3)							
		21 มีนาคม 2562	425	80	45	71	155	0.21
	21 มิถุนายน 2562	442	65	31	67	151	0.16	

	23 กันยายน 2562	425	80	45	71	155	0.21
	22 ธันวาคม 2562	106	89	77	62	83	0.28
	เฉลี่ย	349	79	50	68	136	0.22
	ขนาดแผง 1.80 (1-D1.4)						
	21 มีนาคม 2562	386	65	39	64	139	0.24
	21 มิถุนายน 2562	562	52	27	59	175	0.24
	23 กันยายน 2562	386	56	39	64	139	0.24
	22 ธันวาคม 2562	94	74	67	56	73	0.30
	เฉลี่ย	357	64	43	61	131	0.26

	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Unifromity
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.30 (1-D2)	ขนาดแผง 0.85 (1-D2.1)						
	21 มีนาคม 2562	440	103	46	69	164	0.14
	21 มิถุนายน 2562	644	86	36	69	209	0.13
	23 กันยายน 2562	440	103	46	69	164	0.14
	22 ธันวาคม 2562	110	107	81	59	89	0.17
	เฉลี่ย	408	99	52	67	158	0.14
	ขนาดแผง 1.10 (1-D2.2)						
	21 มีนาคม 2562	407	92	45	65	152	0.15
	21 มิถุนายน 2562	592	76	33	64	191	0.14
	23 กันยายน 2562	407	92	45	65	152	0.15
	22 ธันวาคม 2562	98	96	74	65	83	0.15
	เฉลี่ย	376	89	49	64	144	0.15
	ขนาดแผง 1.60 (1-D2.3)						
	21 มีนาคม 2562	300	58	32	49	109	0.17
	21 มิถุนายน 2562	442	46	22	46	139	0.16
	23 กันยายน 2562	300	58	32	49	109	0.17
	22 ธันวาคม 2562	70	64	54	43	58	0.20

	เฉลี่ย	278	57	35	47	104	0.18
	ขนาดแผง 1.80 (1-D2.4)						
	21 มีนาคม 2562	255	42	25	41	91	0.19
	21 มิถุนายน 2562	384	62	17	38	118	0.20
	23 กันยายน 2562	255	42	25	41	91	0.19
	22 ธันวาคม 2562	54	48	43	36	45	0.22
	เฉลี่ย	237	41	28	39	86	0.20

	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Unifromity
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.50 (1-D3)	ขนาดแผง 0.85 (1-D3.1)						
	21 มีนาคม 2562	399	94	46	65	151	0.15
	21 มิถุนายน 2562	587	78	33	65	191	0.15
	23 กันยายน 2562	399	94	49	65	151	0.15
	22 ธันวาคม 2562	99	99	76	57	83	0.18
	เฉลี่ย	371	91	50	63	144	0.16
	ขนาดแผง 1.10 (1-D3.2)						
	21 มีนาคม 2562	366	83	41	60	137	0.15
	21 มิถุนายน 2562	540	68	30	59	174	0.15
	23 กันยายน 2562	366	83	41	60	137	0.19
	22 ธันวาคม 2562	90	89	69	52	75	0.19
	เฉลี่ย	340	80	45	58	131	0.16
	ขนาดแผง 1.60 (1-D3.3)						
	21 มีนาคม 2562	275	47	27	44	98	0.19
	21 มิถุนายน 2562	396	37	18	40	123	0.17
	23 กันยายน 2562	275	47	27	44	98	0.19
	22 ธันวาคม 2562	59	53	47	38	49	0.23
	เฉลี่ย	251	46	30	42	92	0.19
	ขนาดแผง 1.80 (1-D3.4)						

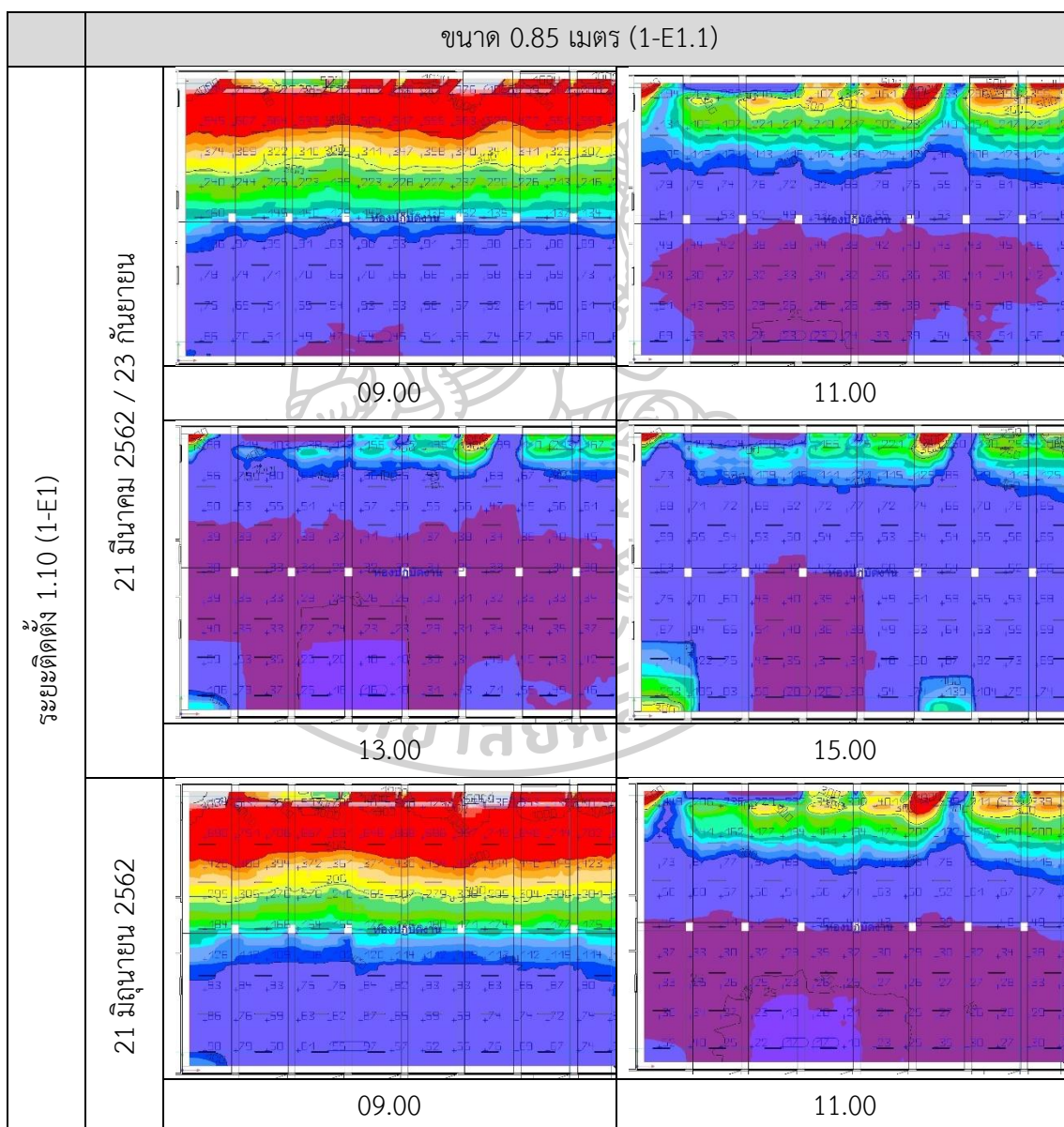
	21 มีนาคม 2562	262	37	23	39	90	0.21
	21 มิถุนายน 2562	379	29	15	35	144	0.21
	23 กันยายน 2562	262	37	23	39	90	0.21
	22 ธันวาคม 2562	52	43	40	34	42	0.24
	เฉลี่ย	238	37	26	37	84	0.22

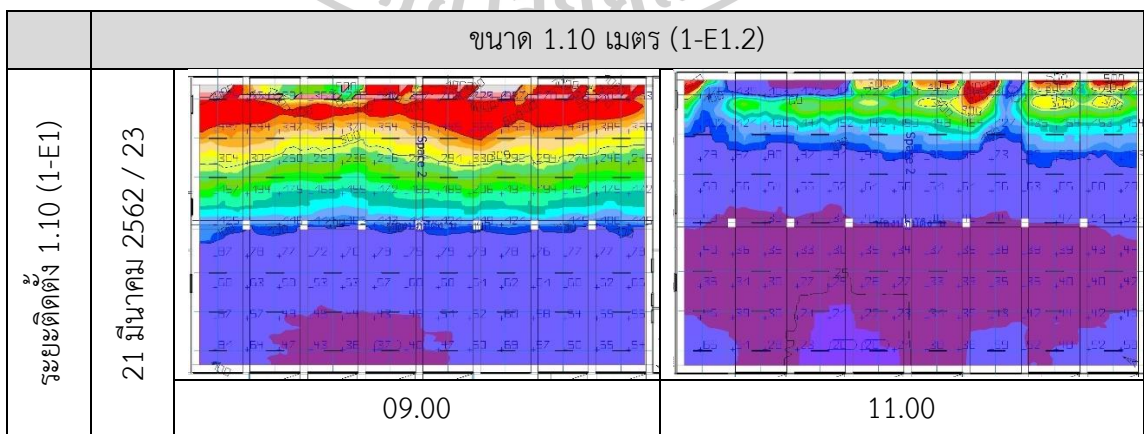
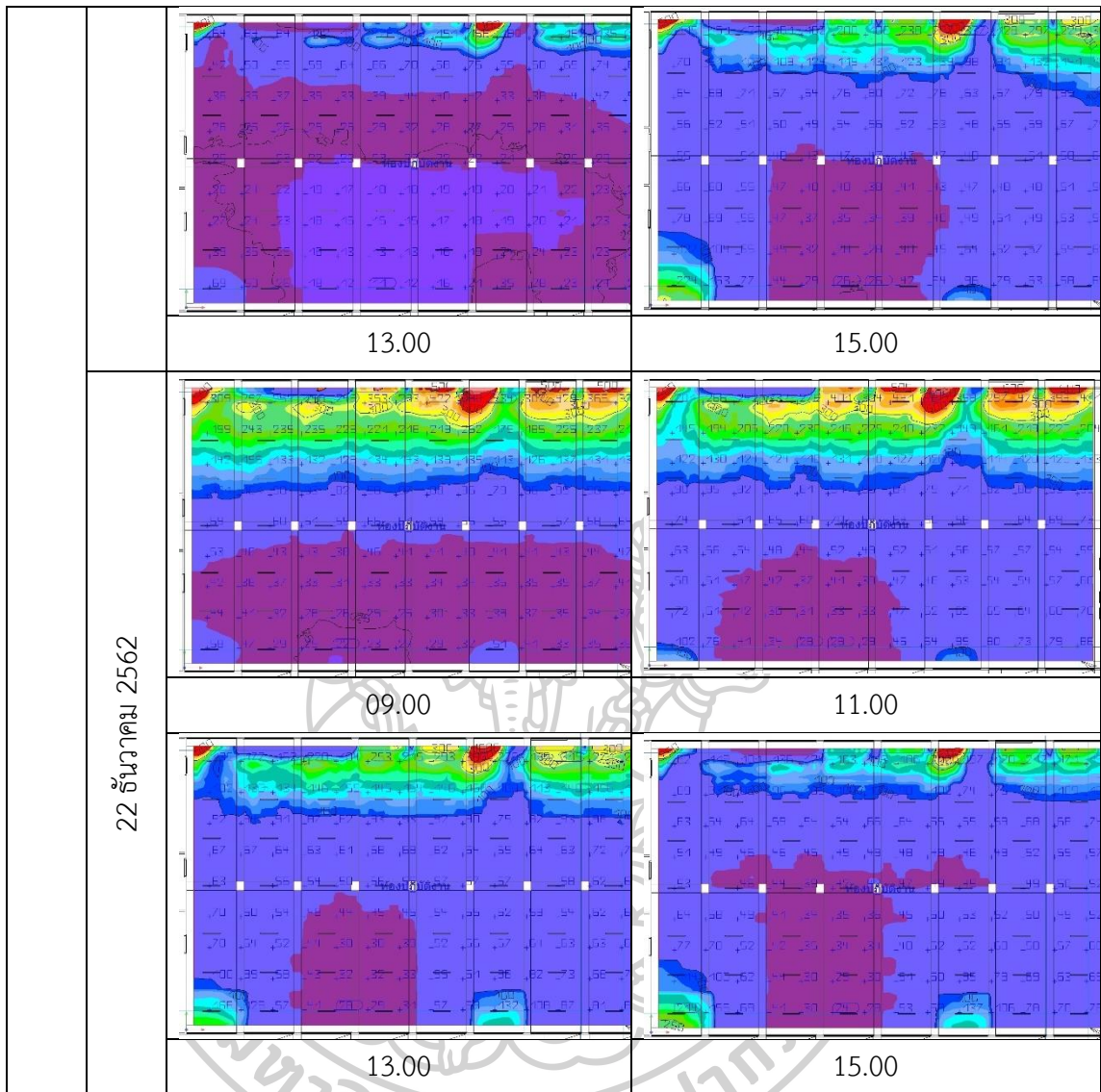
	วัน เวลา	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity
		(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.70 (1-D4)	ขนาดแผง 0.85 (1-D4.1)						
	21 มีนาคม 2562	346	81	40	60	132	0.17
	21 มิถุนายน 2562	504	65	29	58	164	0.16
	23 กันยายน 2562	346	81	40	60	132	0.17
	22 ธันวาคม 2562	91	87	68	53	74	0.19
	เฉลี่ย	321	79	44	57	125	0.17
	ขนาดแผง 1.10 (1-D4.2)						
	21 มีนาคม 2562	315	66	34	53	117	0.18
	21 มิถุนายน 2562	452	53	24	50	145	0.17
	23 กันยายน 2562	315	66	34	53	117	0.18
	22 ธันวาคม 2562	78	72	59	46	64	0.17
	เฉลี่ย	290	64	38	50	110	0.17
	ขนาดแผง 1.60 (1-D4.3)						
	21 มีนาคม 2562	273	40	24	41	94	0.20
	21 มิถุนายน 2562	402	31	16	37	121	0.20
	23 กันยายน 2562	273	40	24	41	94	0.20
	22 ธันวาคม 2562	56	46	42	36	45	0.25
	เฉลี่ย	251	39	27	38	89	0.21
	ขนาดแผง 1.80 (1-D4.4)						
	21 มีนาคม 2562	264	34	22	38	89	0.23
21 มิถุนายน 2562	391	26	26	14	114	0.18	

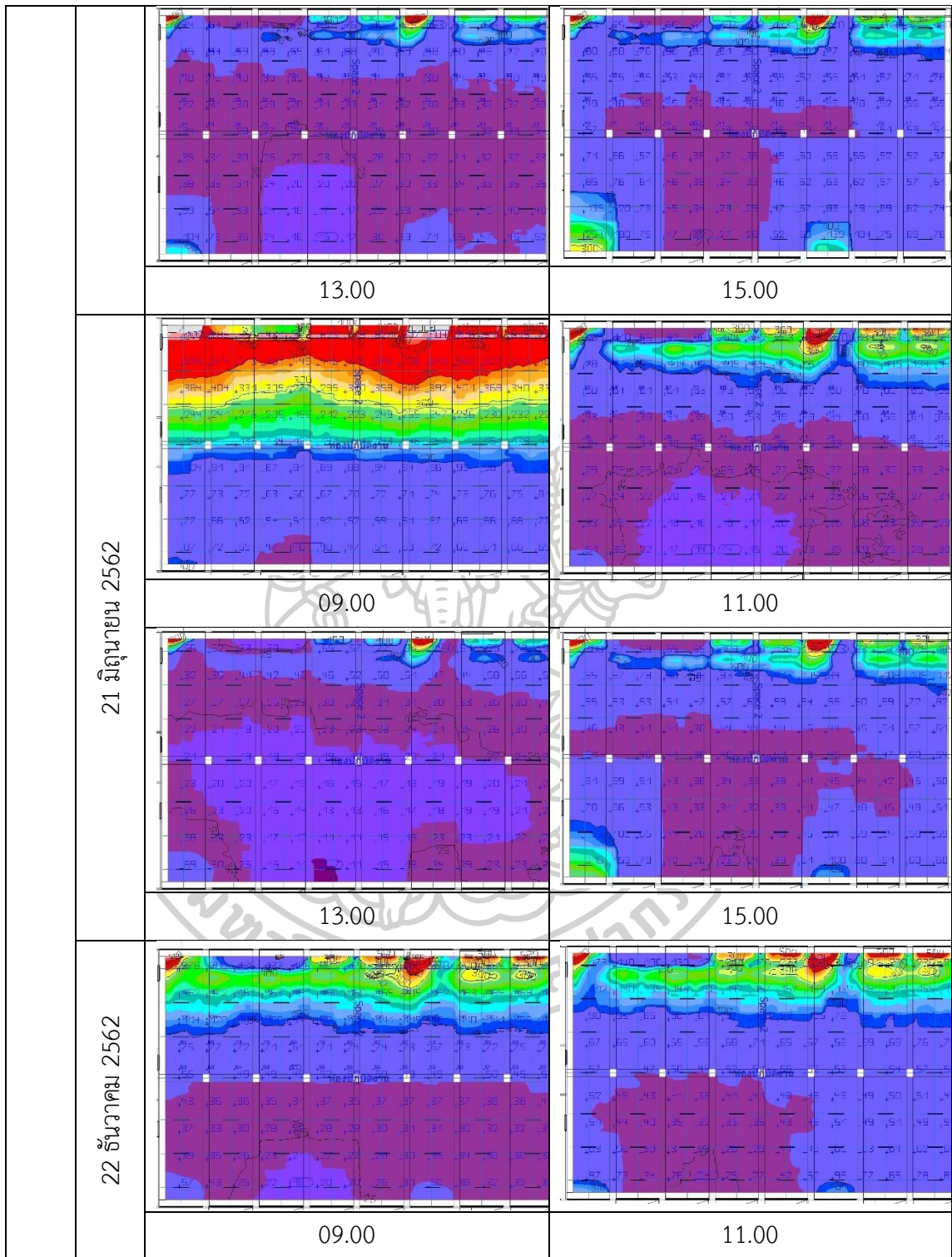
	23 กันยายน 2562	264	34	22	38	89	0.23
	22 ธันวาคม 2562	50	40	38	33	40	0.25
	เฉลี่ย	242	33	27	31	84	0.22

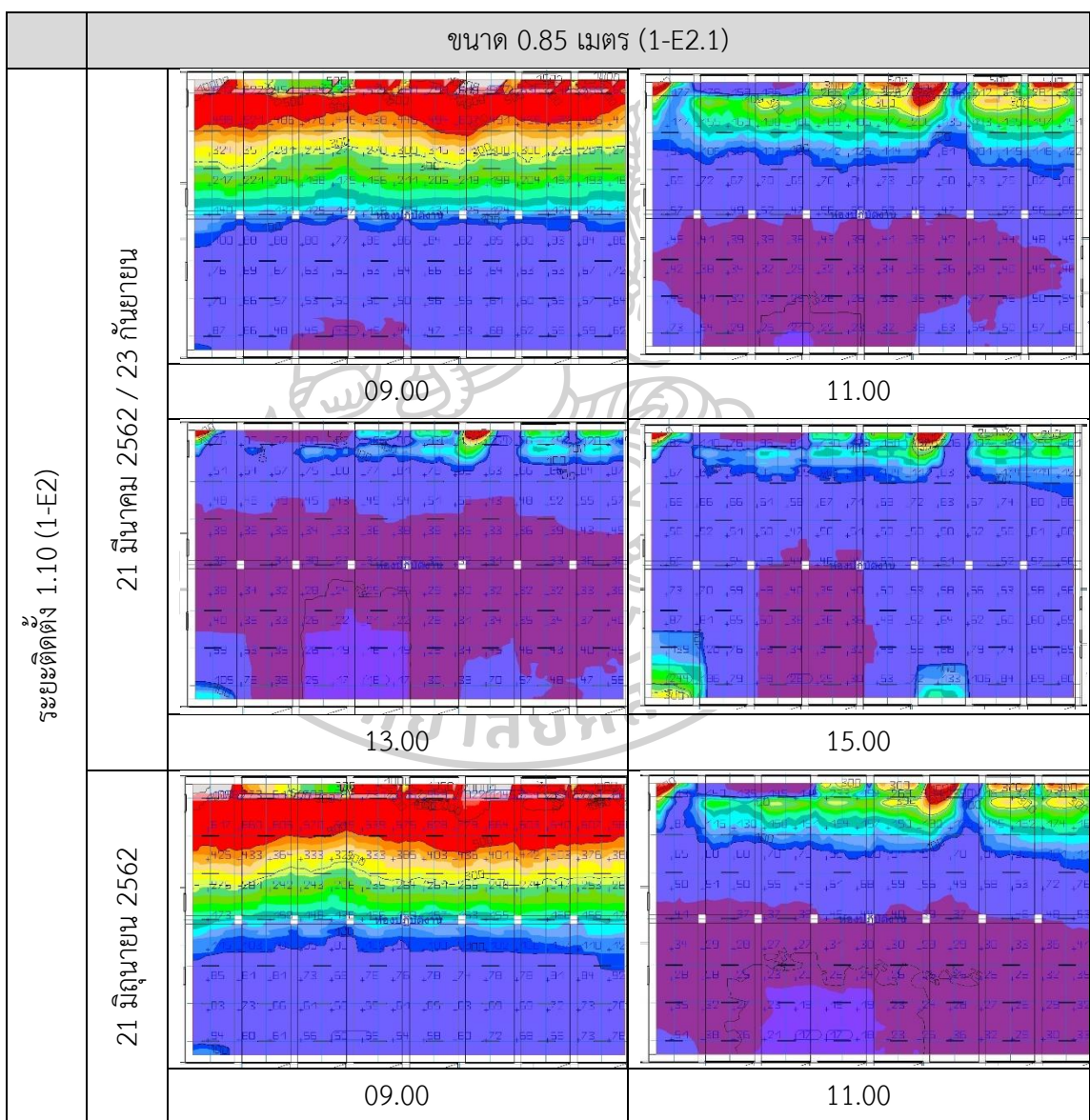
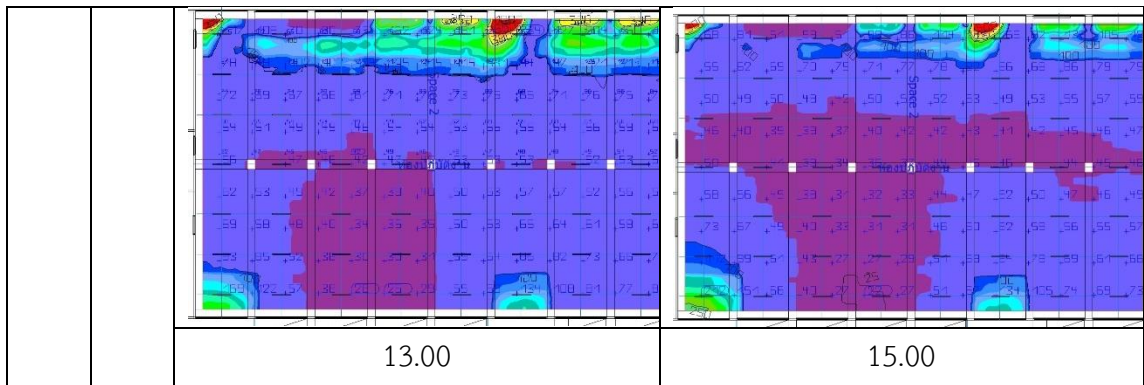
1.2.5 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)

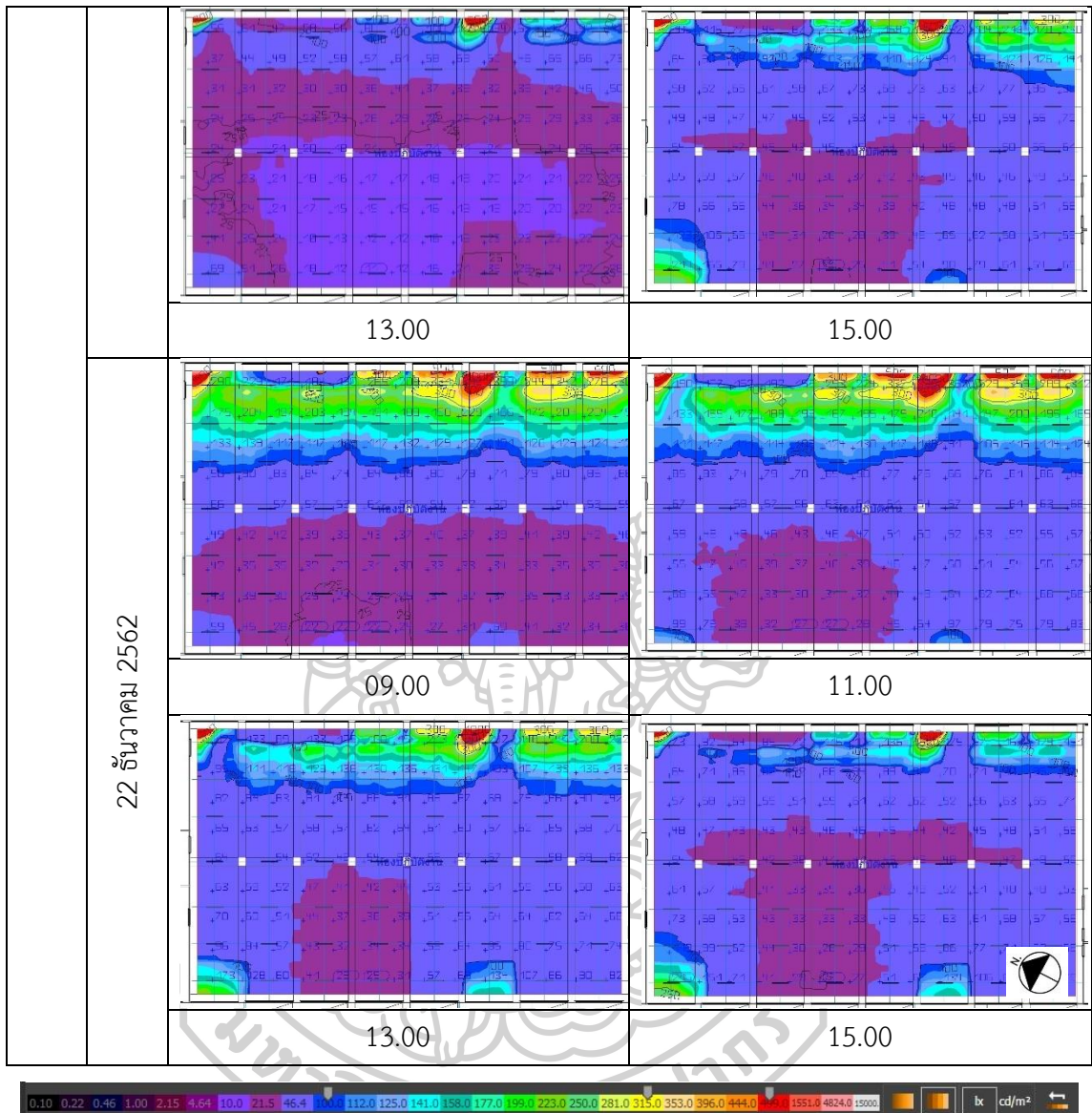
ตารางที่ 72 ผลศึกษาค่าความส่องสว่างของการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (1-E)







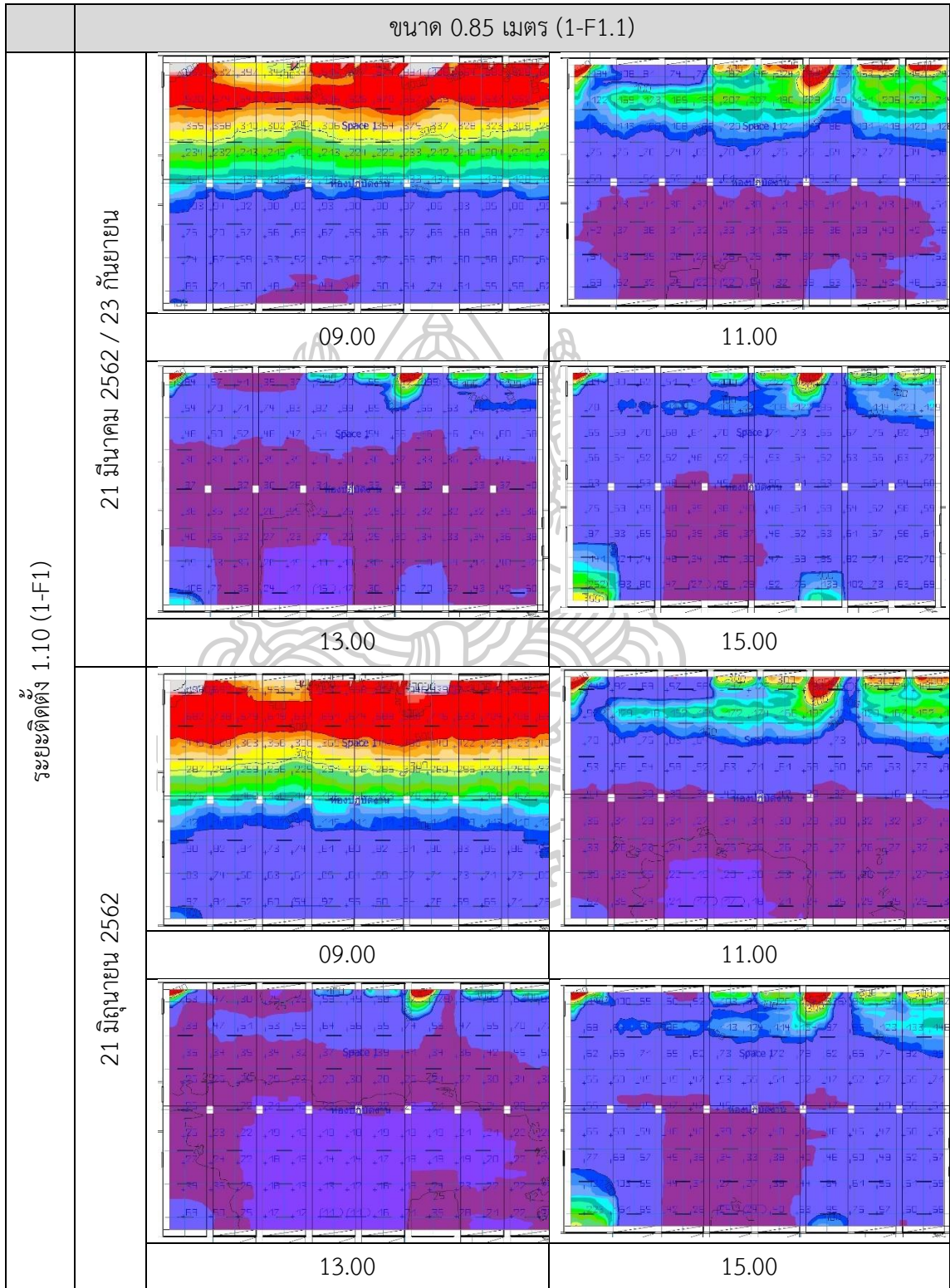


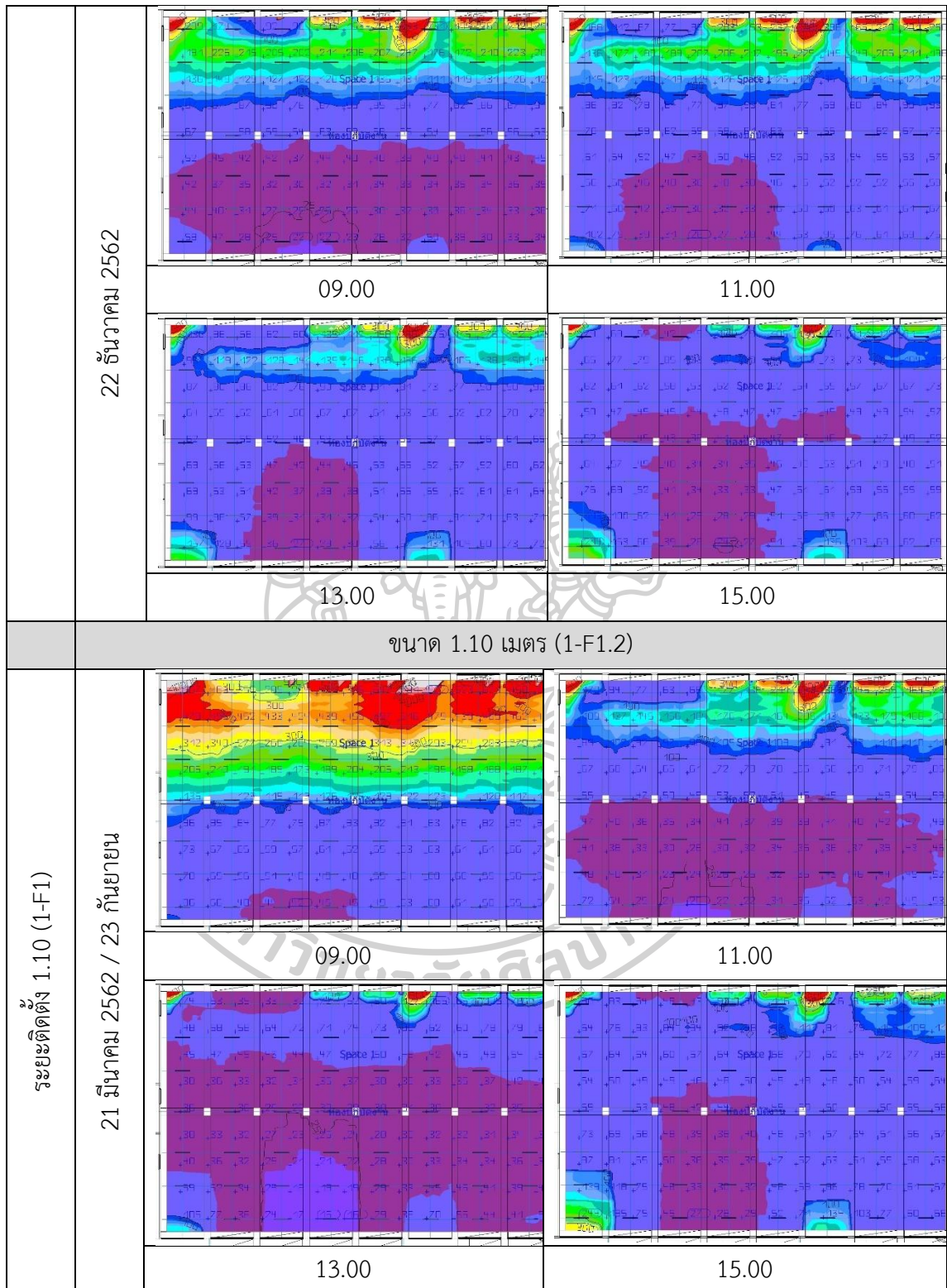


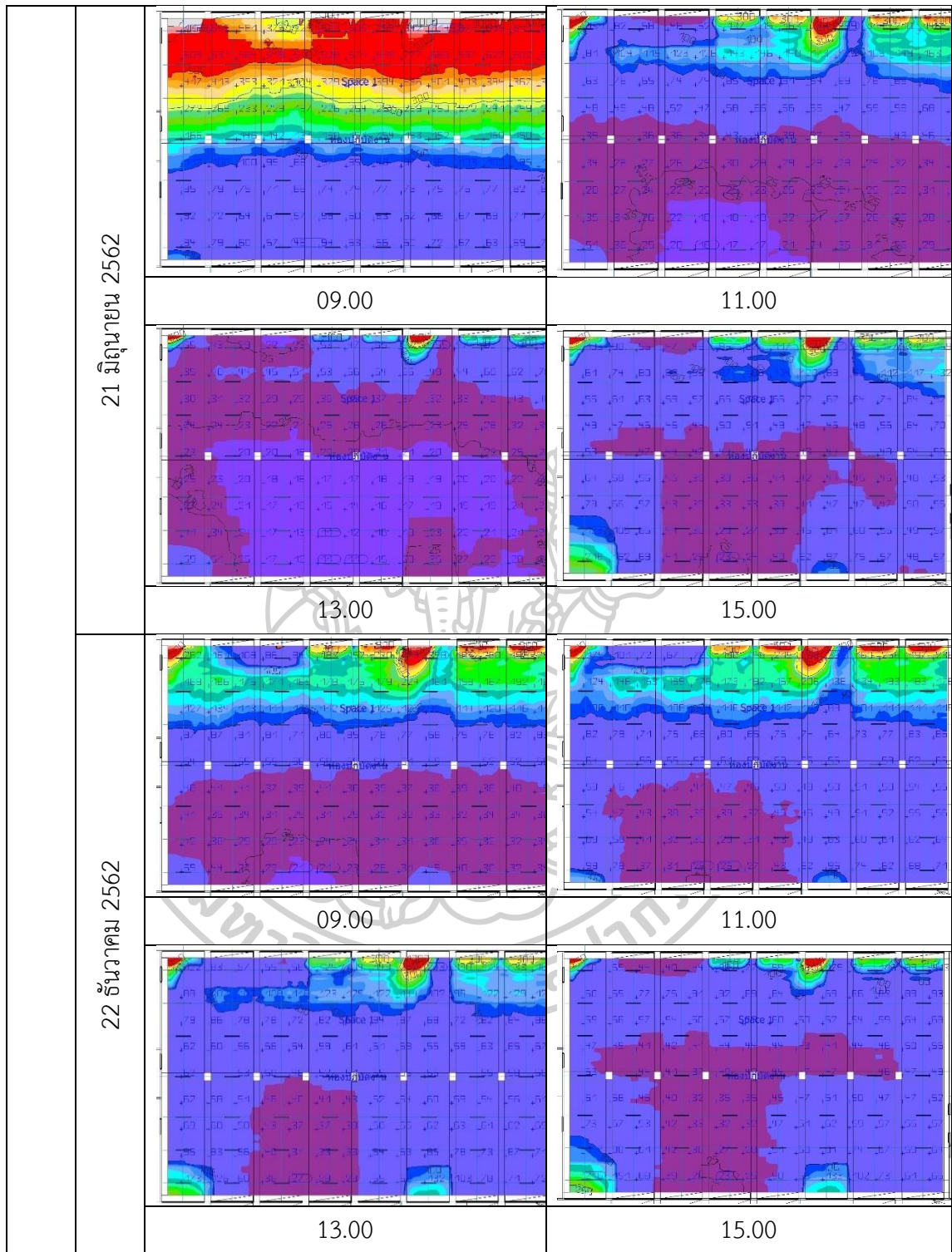
	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity	
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)	
ระยะติดตั้ง 1.10 (1-E1)	ขนาดแผง 0.85 (1-E1.1)							
	21 มีนาคม 2562	445	109	56	83	173	0.23	
	21 มิถุนายน 2562	639	89	40	81	212	0.21	
	23 กันยายน 2562	445	109	56	83	173	0.23	
	22 ธันวาคม 2562	123	118	94	73	102	0.26	
	เฉลี่ย	413	106	62	80	165	0.23	
	ขนาดแผง 1.10 (1-E1.2)							
	21 มีนาคม 2562	377	86	47	73	146	0.24	
	21 มิถุนายน 2562	530	69	33	69	175	0.22	
	23 กันยายน 2562	377	86	47	73	146	0.24	
	22 ธันวาคม 2562	162	95	80	64	100	0.30	
	เฉลี่ย	361	84	52	70	142	0.25	
ระยะติดตั้ง 1.10 (E2)	ขนาดแผง 0.85 (1-E1.3)							
	21 มีนาคม 2562	396	98	52	79	156	0.24	
	21 มิถุนายน 2562	554	79	37	76	186	0.22	
	23 กันยายน 2562	396	98	52	79	156	0.24	
	22 ธันวาคม 2562	109	107	87	69	93	0.27	
	เฉลี่ย	363	95	57	75	148	0.24	

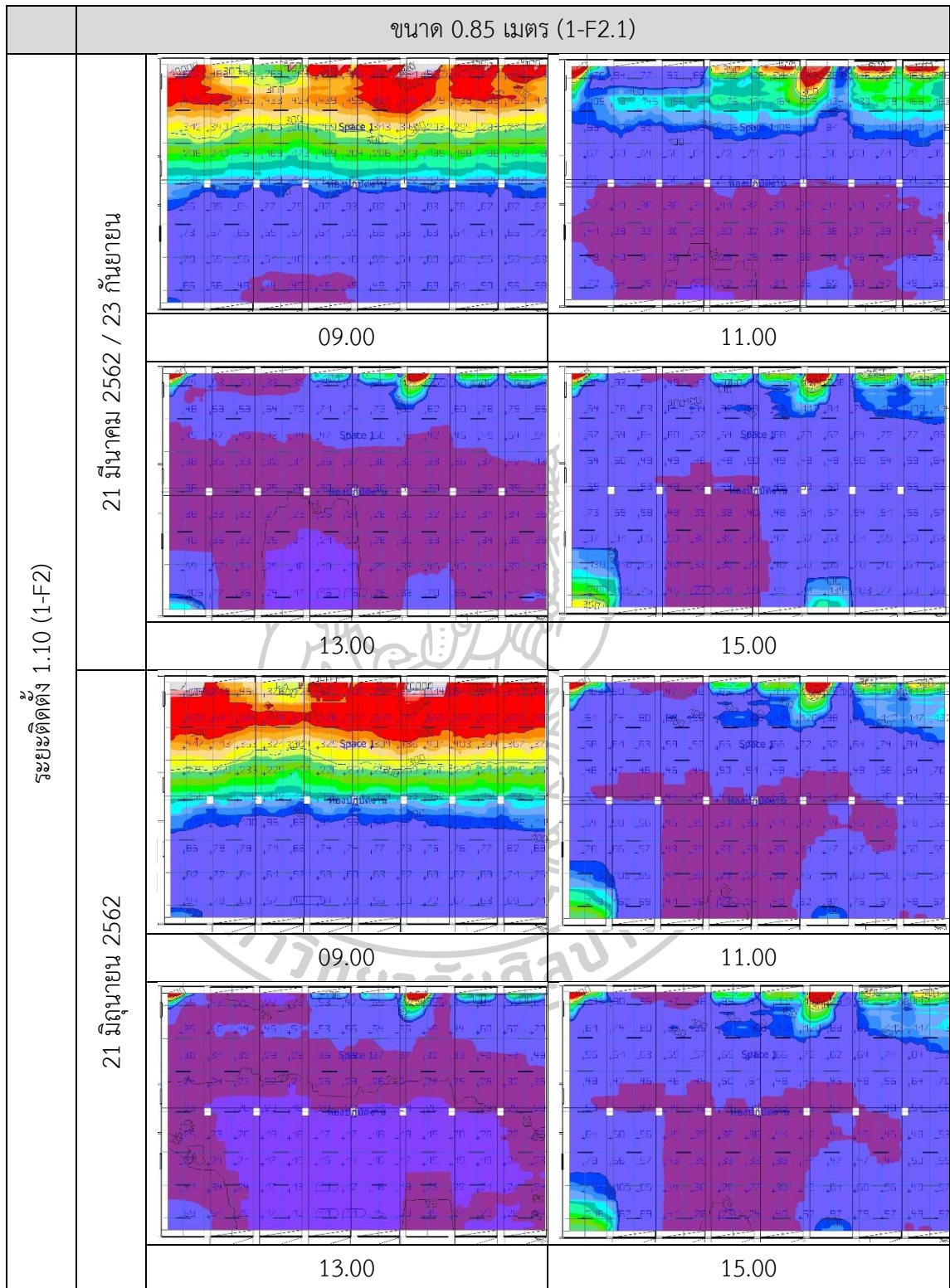
1.2.6 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสงภายใน (1-F)

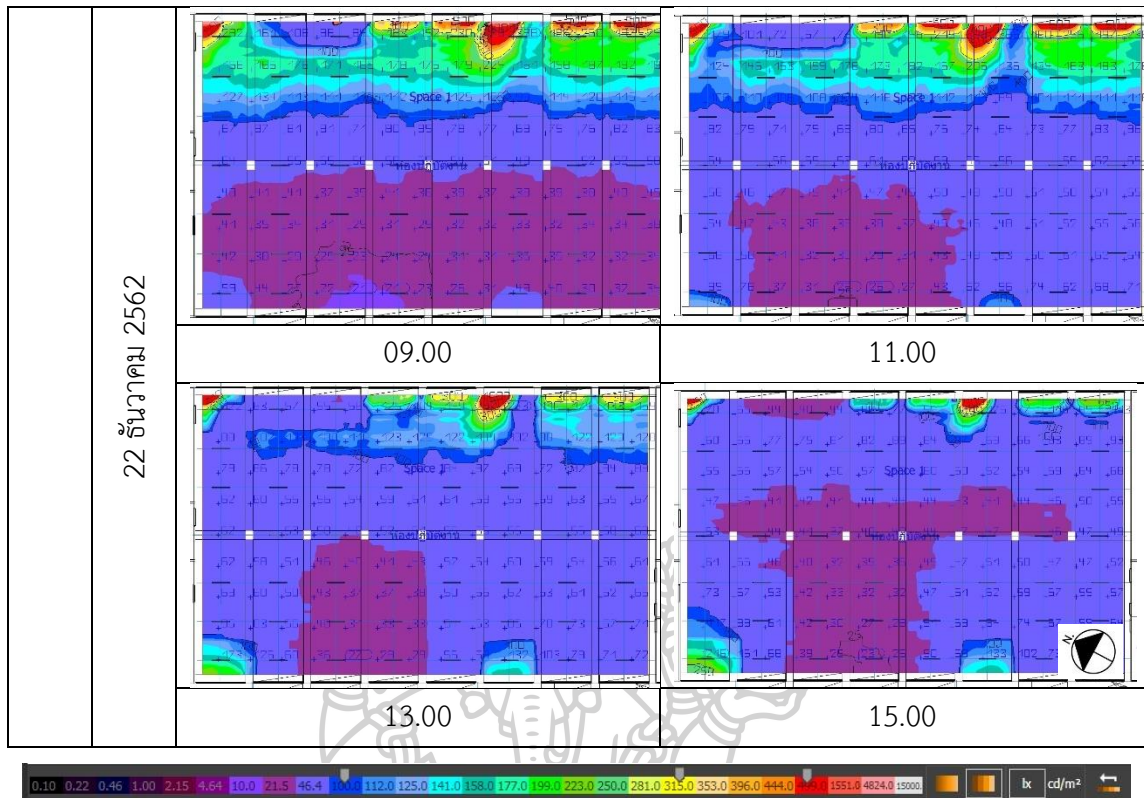
ตารางที่ 73 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งหิ้งสะท้อนแสง (1-F)











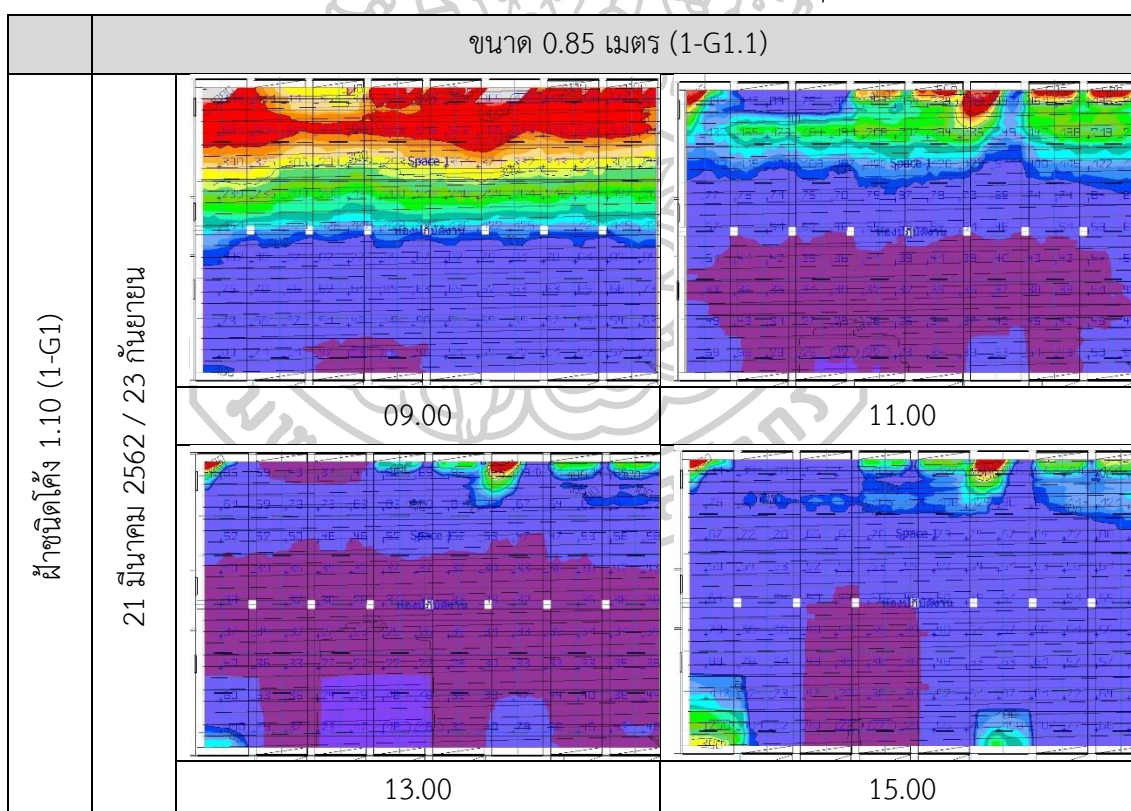
ตารางที่ 74 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างเมื่อติดตั้งห้องสะท้อนแสงภายใน 0.50 (1-F)

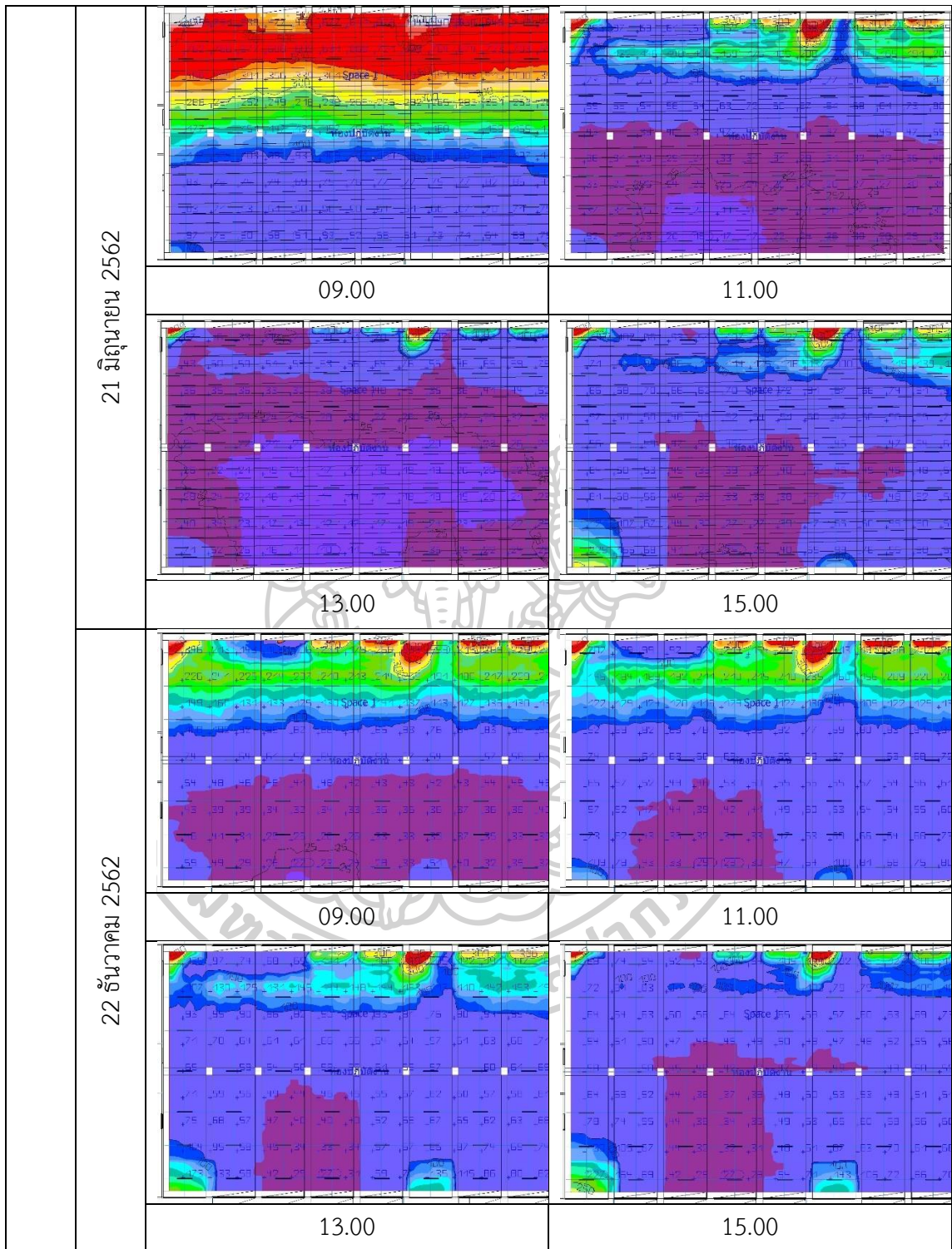
วัน เวลา	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)	เฉลี่ย (Lux)	Unifromity (min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาดแผง 0.85 (1-F1.1)						
21 มีนาคม 2562	365	95	51	77	147	0.24
21 มิถุนายน 2562	506	77	36	74	173	0.23
23 กันยายน 2562	365	95	51	77	147	0.24
21 ธันวาคม 2562	112	104	88	67	93	0.27
เฉลี่ย	337	93	56	74	140	0.25
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาดแผง 1.10 (1-F1.2)						
21 มีนาคม 2562	311	77	44	68	125	0.26
21 มิถุนายน 2562	432	62	31	64	147	0.23
23 กันยายน 2562	311	77	44	68	125	0.26

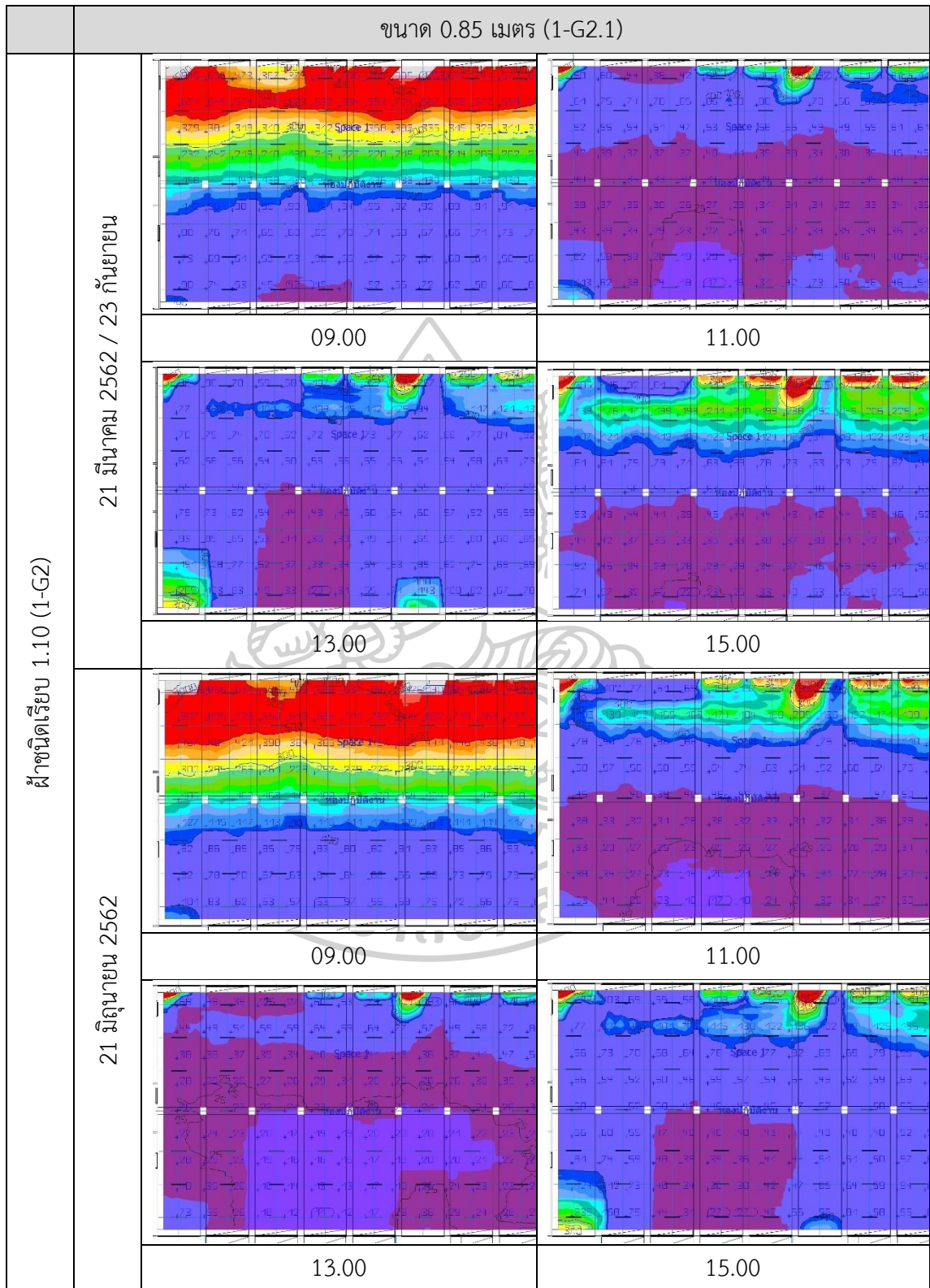
22 ธันวาคม 2562	92	86	74	60	78	0.28
เฉลี่ย	286	76	48	65	119	0.26
ระยะติดตั้ง 1.30 ขนาดแผง 0.85 (1-F2.1)						
21 มีนาคม 2562	330	87	48	73	134	0.25
21 มิถุนายน 2562	457	70	33	70	157	0.24
23 กันยายน 2562	330	87	48	73	134	0.25
22 ธันวาคม 2562	100	96	80	64	85	0.28
เฉลี่ย	304	85	52	70	128	0.26

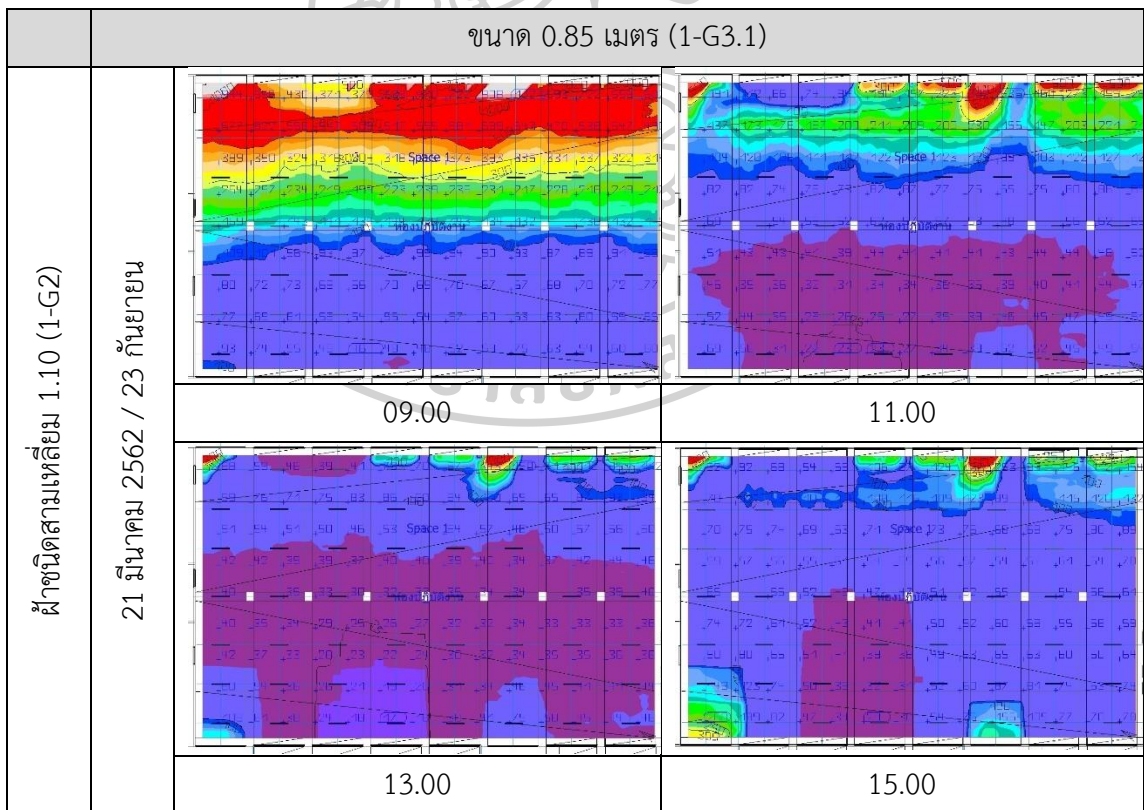
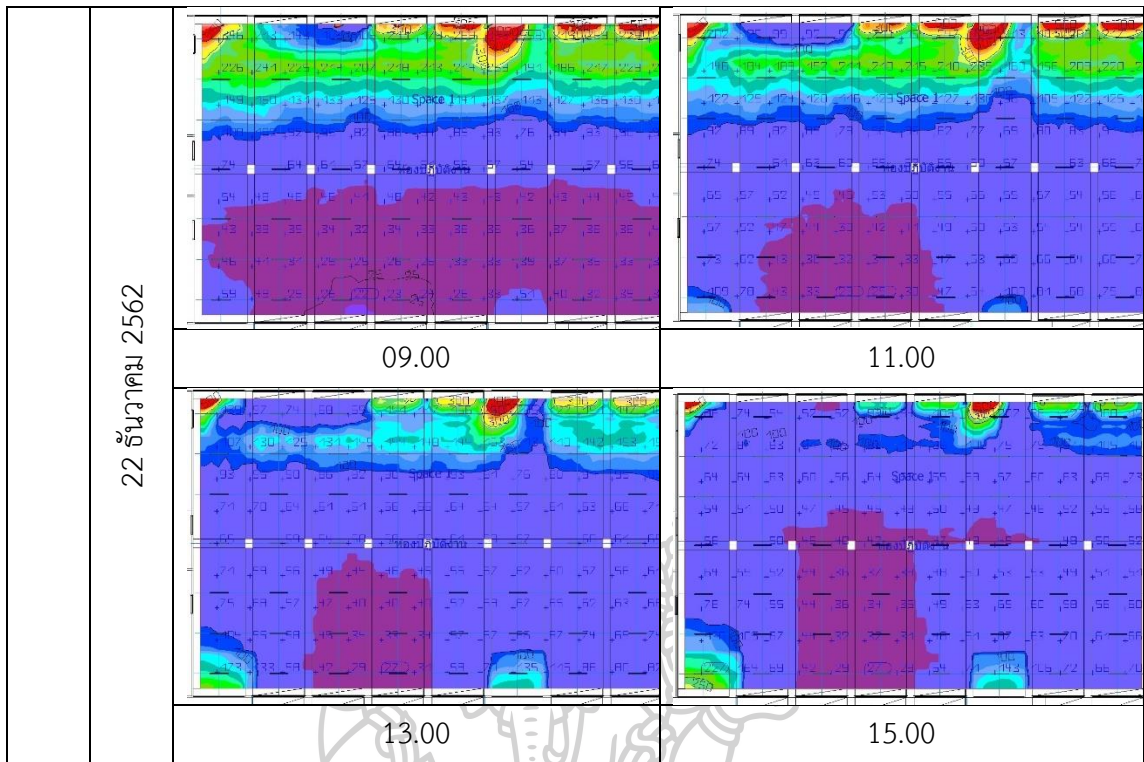
1.2.7 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ (1-G)

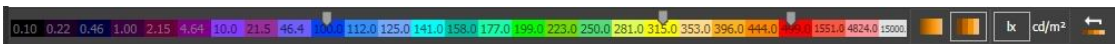
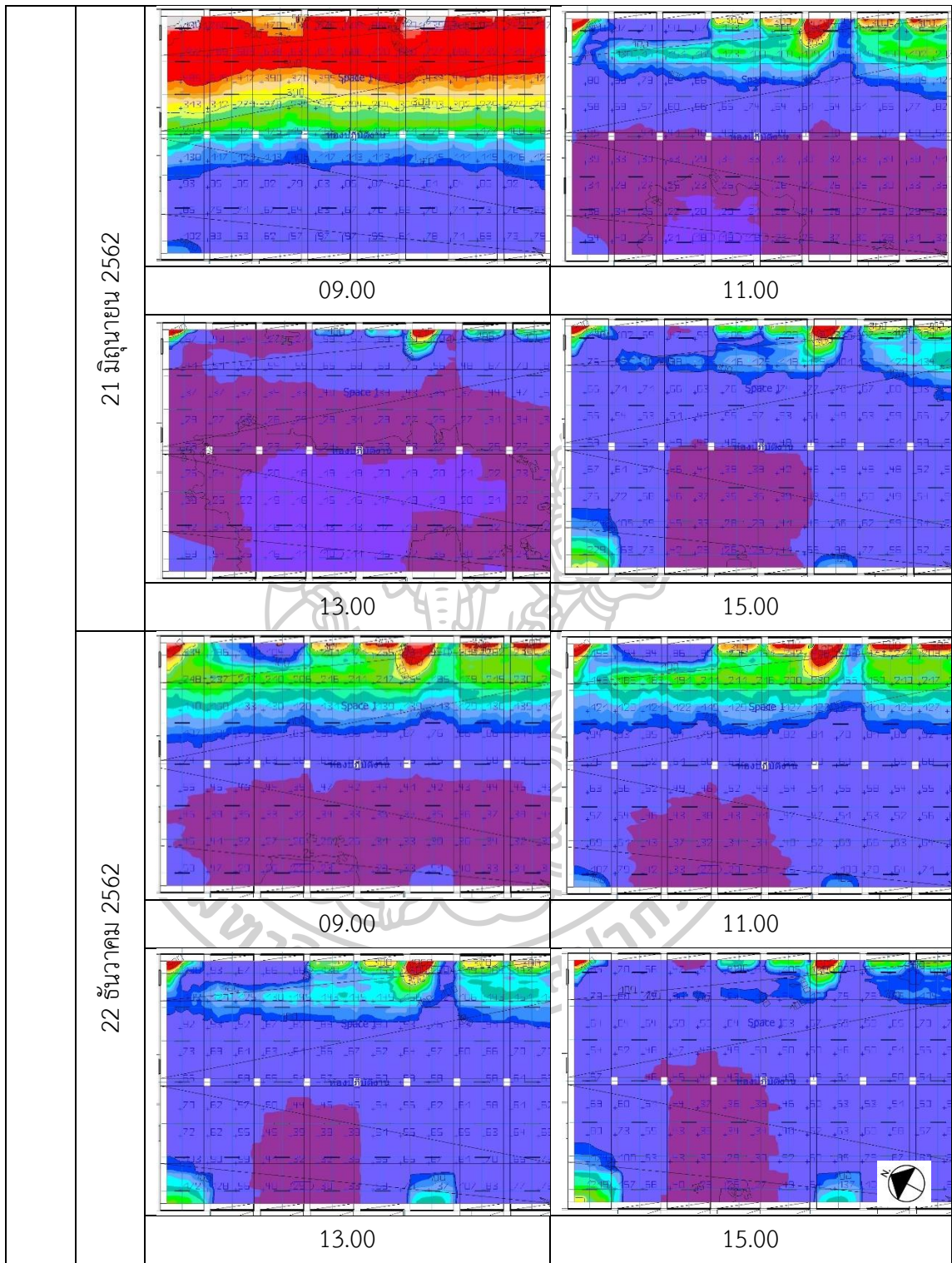
ตารางที่ 75 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ (1-G









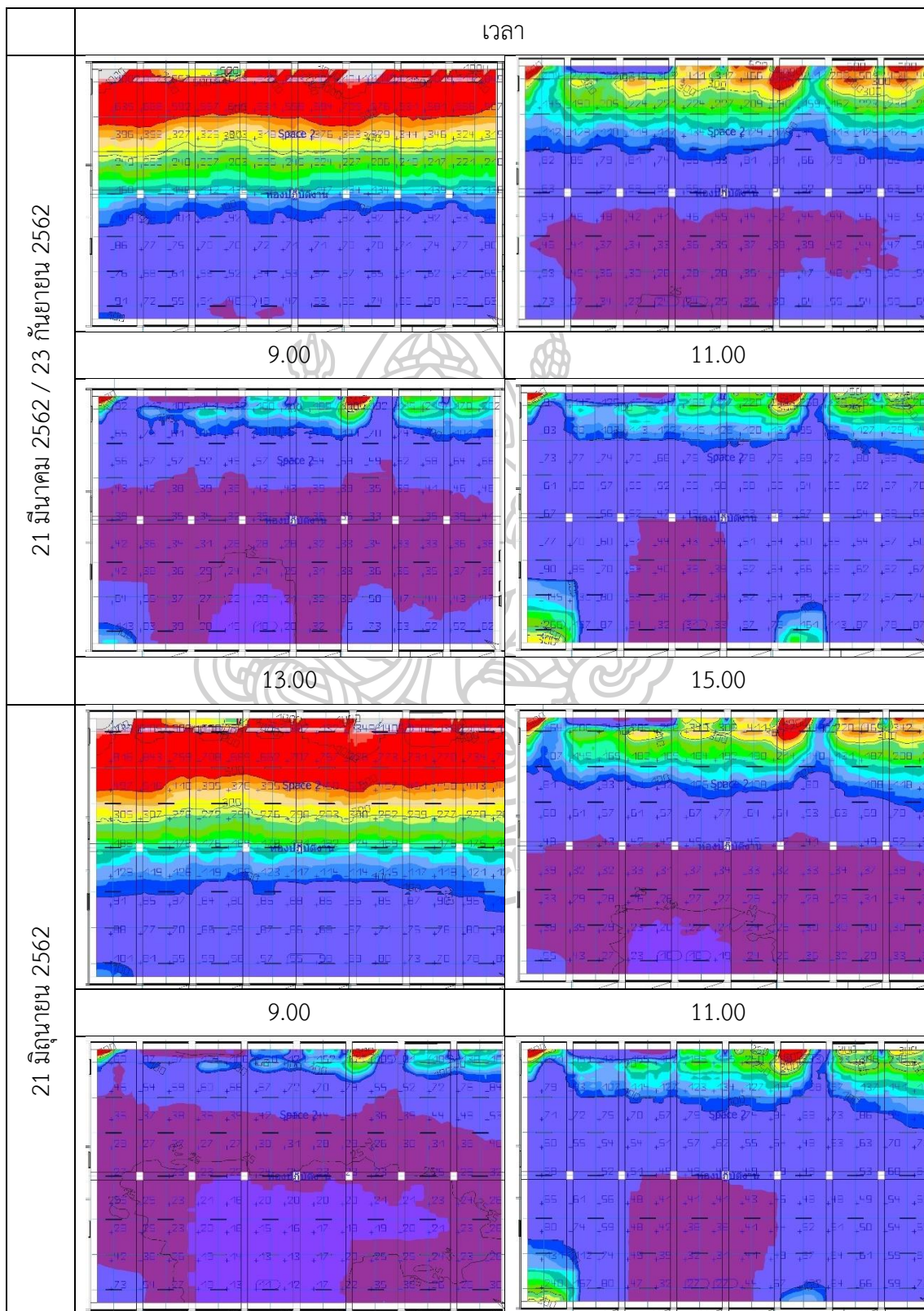


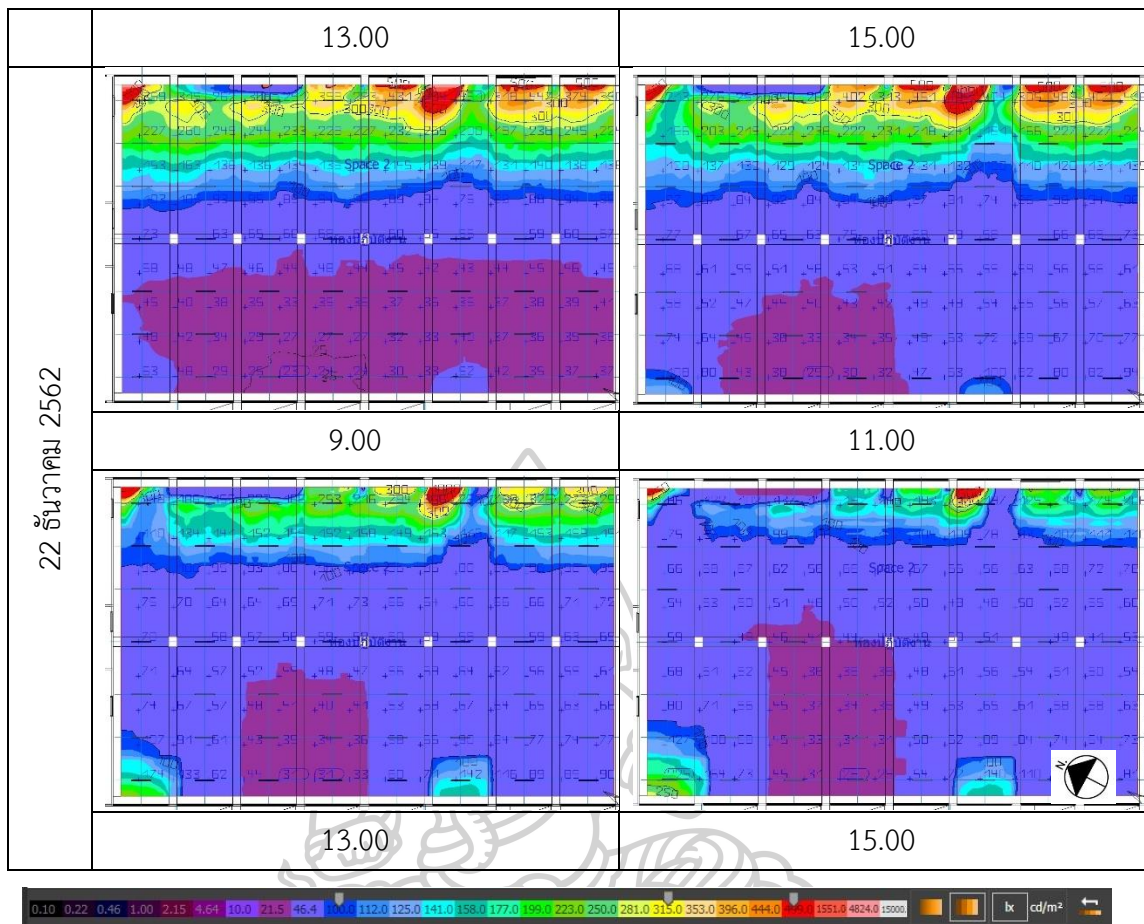
ตารางที่ 76 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างการติดตั้งฝ้าเพดานชนิดต่าง ๆ (1-G)

	เวลา	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)	เฉลี่ย (Lux)	Uniformity (min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาด 0.85 (1-G1.1)							
ฝ้าชนิดโด้ (1-G1)	22 มีนาคม 2562	367	96	51	77	148	0.24
	22 มิถุนายน 2562	509	78	36	75	174	0.22
	23 กันยายน 2562	367	96	51	77	148	0.24
	21 ธันวาคม 2562	117	109	89	70	96	0.28
	เฉลี่ย	340	94	57	75	141	0.25
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาด 0.85 (1-G1.2)							
ชนิดฝ้าเรียบ (1-G2)	22 มีนาคม 2562	379	53	80	99	153	0.25
	22 มิถุนายน 2562	542	82	38	78	184	0.23
	23 กันยายน 2562	379	53	80	99	153	0.25
	21 ธันวาคม 2562	117	109	89	70	96	0.28
	เฉลี่ย	354	74	72	86	146	0.25
ระยะติดตั้ง 1.10 ขนาด 0.85 (1-G1.3)							
ชนิดฝ้าสามเหลี่ยม (G3)	22 มีนาคม 2562	376	98	52	79	151	0.25
	22 มิถุนายน 2562	520	79	37	76	178	0.23
	23 กันยายน 2562	376	98	52	79	151	0.25
	21 ธันวาคม 2562	116	107	88	69	95	0.28
	เฉลี่ย	347	95	57	76	144	0.25

1.2.8 ผลการศึกษาความส่องสว่างการปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H) (1-H)

ตารางที่ 77 แสดงผลการศึกษาค่าความส่องสว่างหลังปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H)





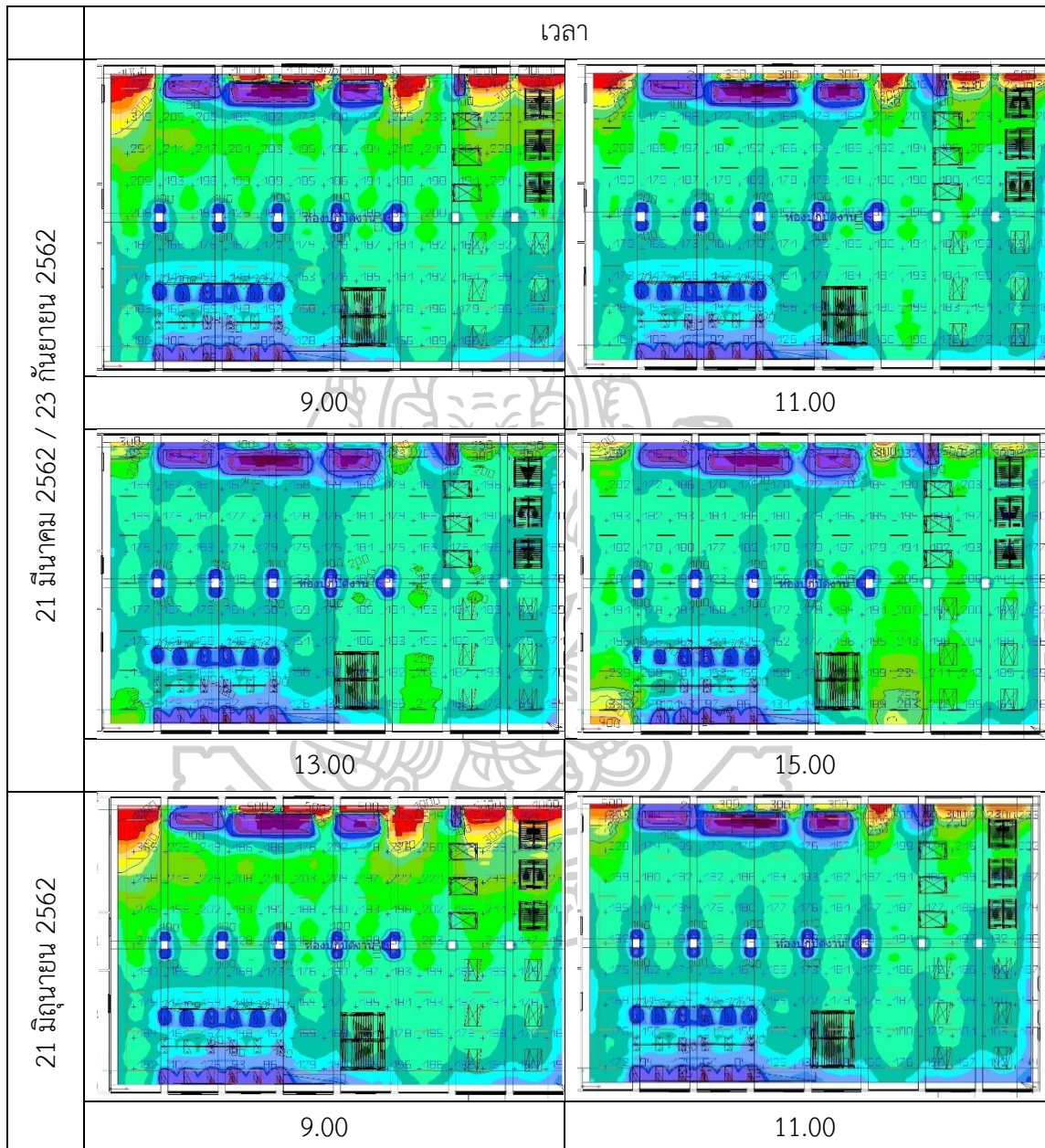
ตารางที่ 78 แสดงผลศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างหลังปรับปรุงแบบผสมผสาน (1-H)

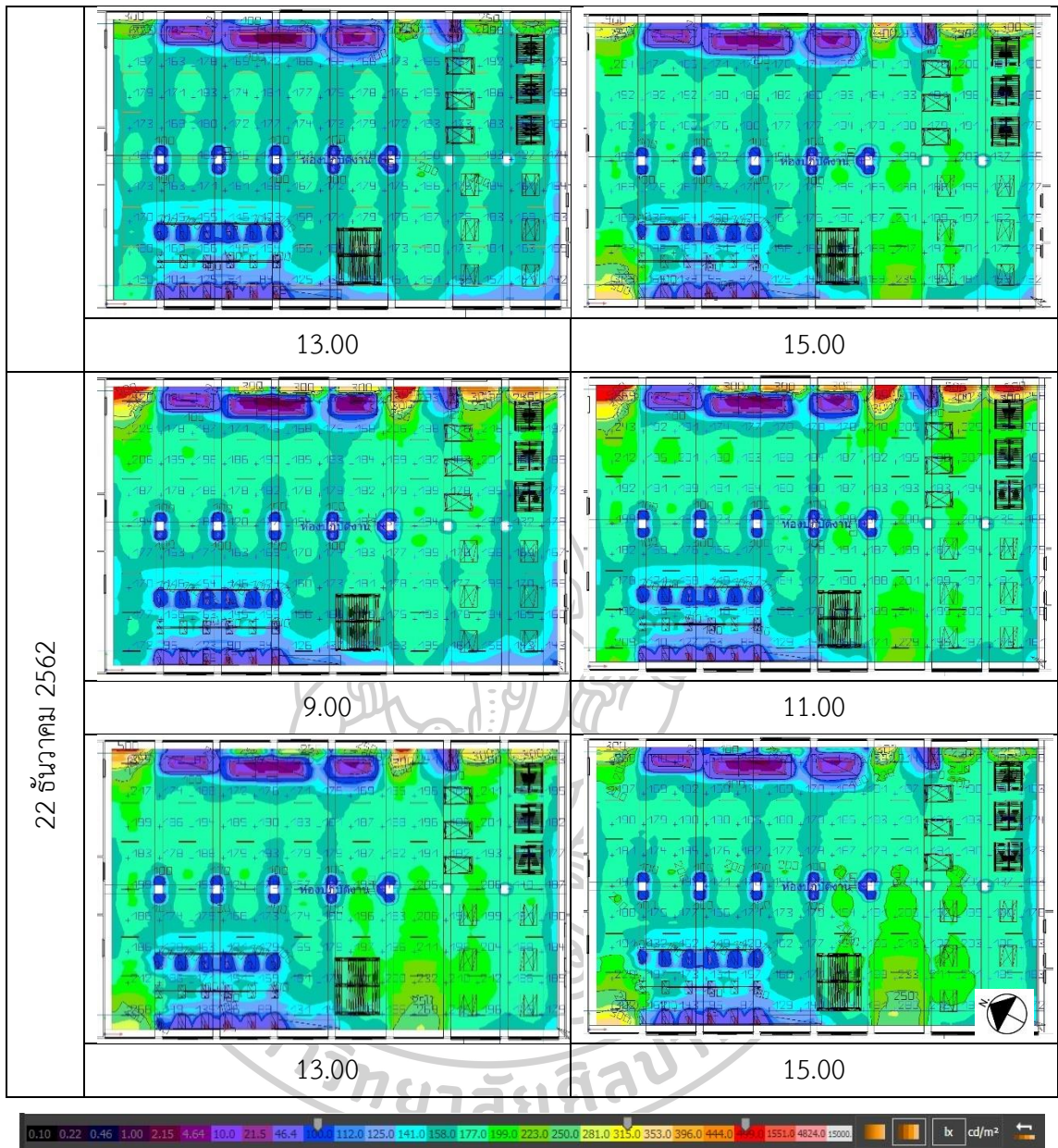
วัน เวลา	9.00 (Lux)	11.00 (Lux)	13.00 (Lux)	15.00 (Lux)	เฉลี่ย (Lux)	Unifromity (min/mean)
21 มีนาคม 2562	469	113	59	87	182	0.24
21 มิถุนายน 2562	657	92	42	85	219	0.21
23 กันยายน 2562	469	113	59	87	182	0.24
22 ธันวาคม 2562	128	122	97	76	106	0.27
เฉลี่ย	430	110	64	83	172	0.24

1.3 ผลการศึกษาหลักการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ชั้น 1

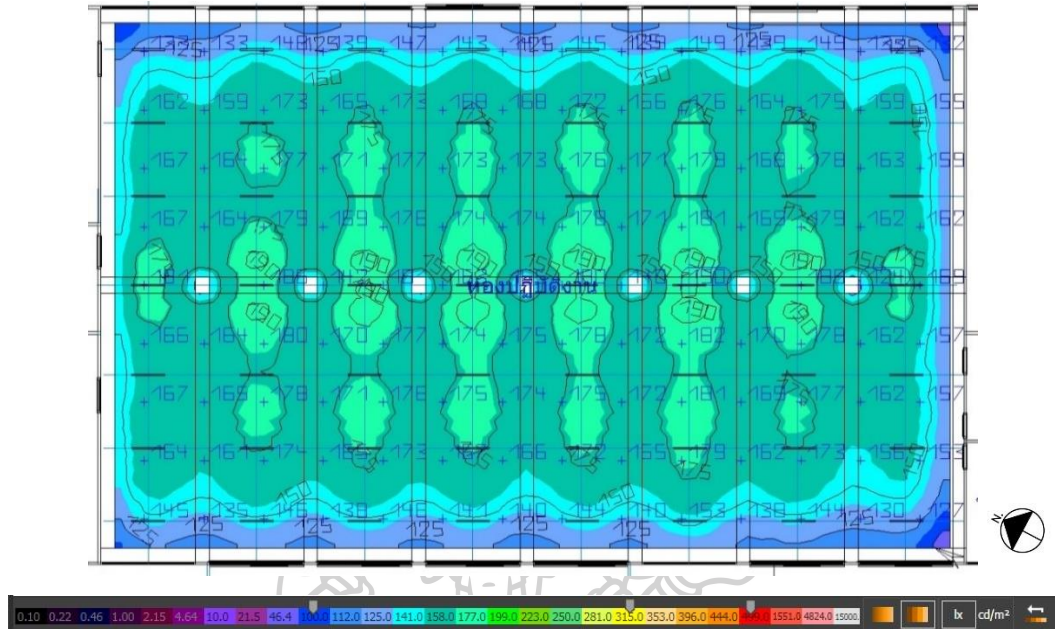
1.3.1 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนปรับปรุง (1-lightA)

ตารางที่ 79 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างแสงธรรมชาติและแสงประดิษฐ์ ก่อนปรับปรุง (1-LightA)



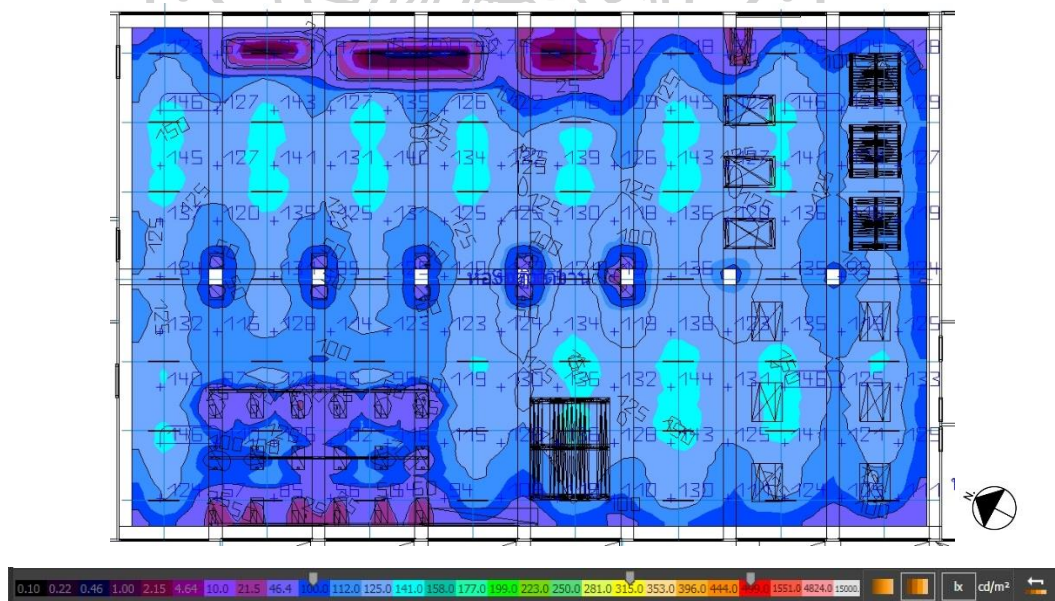


1.3.2 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนปรับปรุงโดยไม่มีแสงธรรมชาติเข้ามา
เกี่ยวข้อง (1-Light1.1)

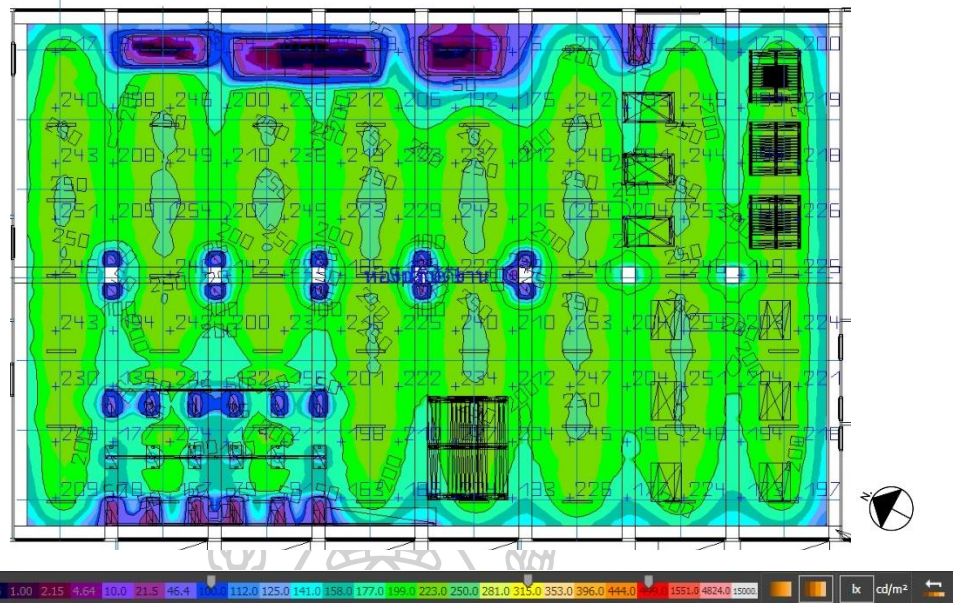


ภาพที่ 96 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของแสงประดิษฐ์ก่อนปรับปรุงโดยไม่มีแสงธรรมชาติเข้ามา
เกี่ยวข้อง (no daylight)

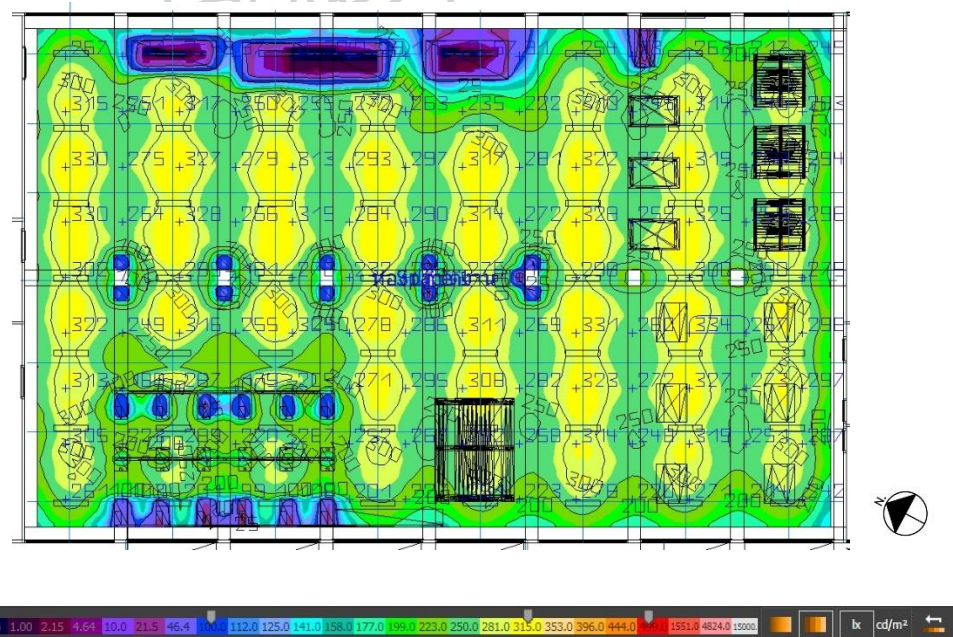
1.3.3 ผลการศึกษาความส่องสว่างการปรับปรุงในรูปแบบที่ 1 (1-lightB)



ภาพที่ 97 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 20 W จำนวน 56 หลอด
(1-lightB1)

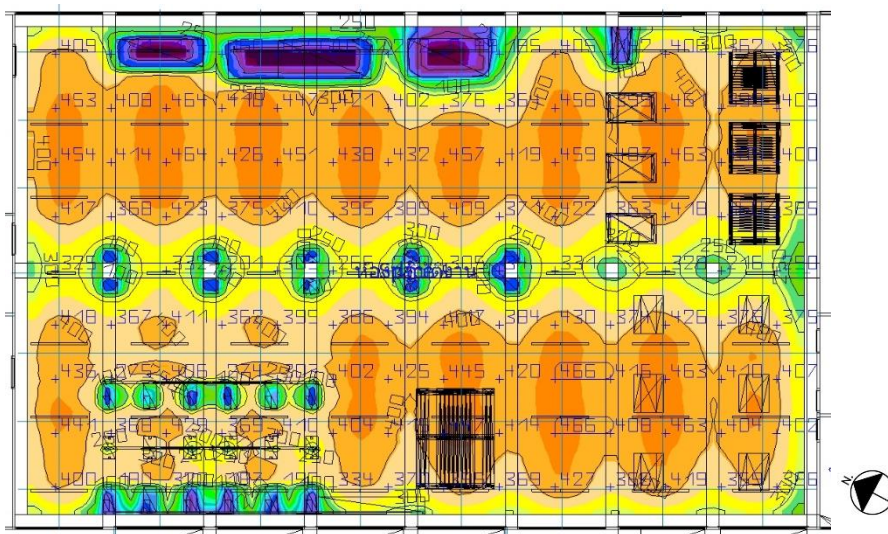


ภาพที่ 98 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 56 หลอด (1-lightB2)

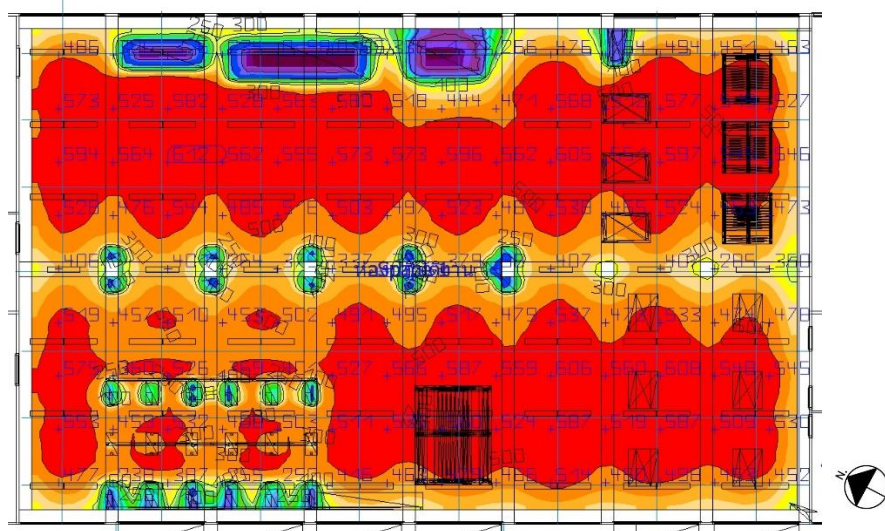


ภาพที่ 99 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 30 W จำนวน 56 หลอด (1-lightB3)

1.3.4 ผลการศึกษาความส่องสว่างการปรับปรุงในรูปแบบที่ 2 (1-lightC)

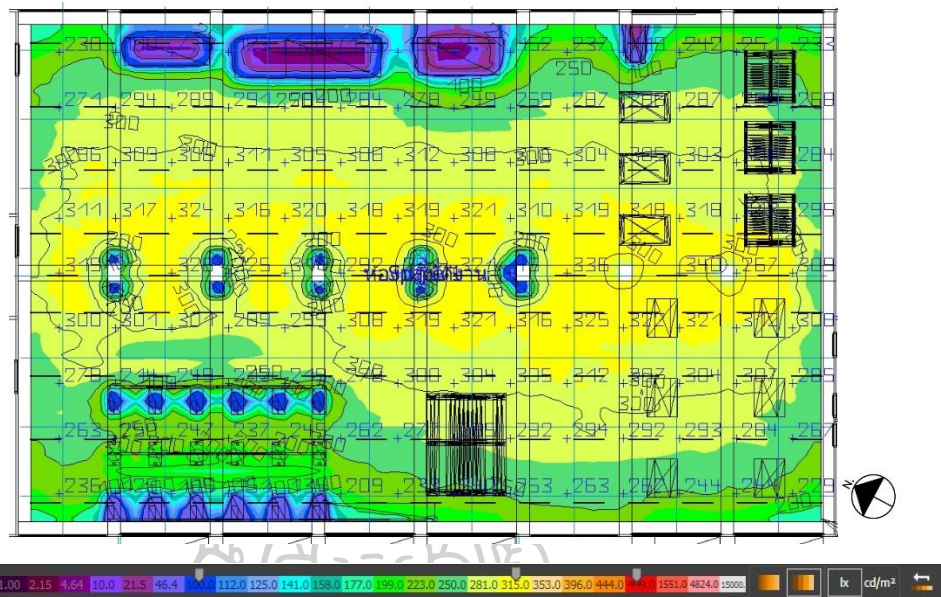


ภาพที่ 100 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 104 หลอด (1-lightC1)

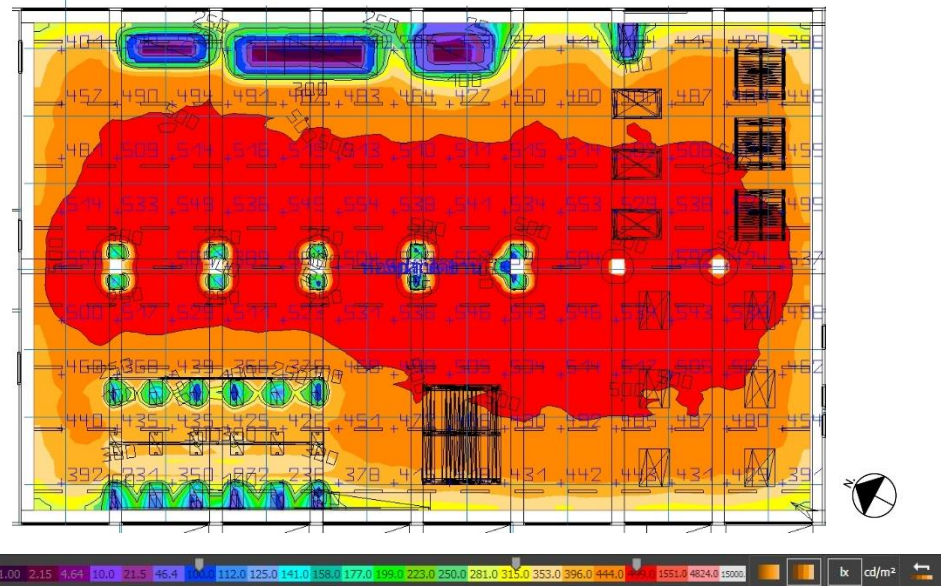


ภาพที่ 101 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2 ชนิดหลอด 30 W จำนวน 104 หลอด (1-lightC2)

1.3.5 ผลการศึกษาความส่องสว่างการปรับปรุงในรูปแบบที่ 3 (1-lightD)



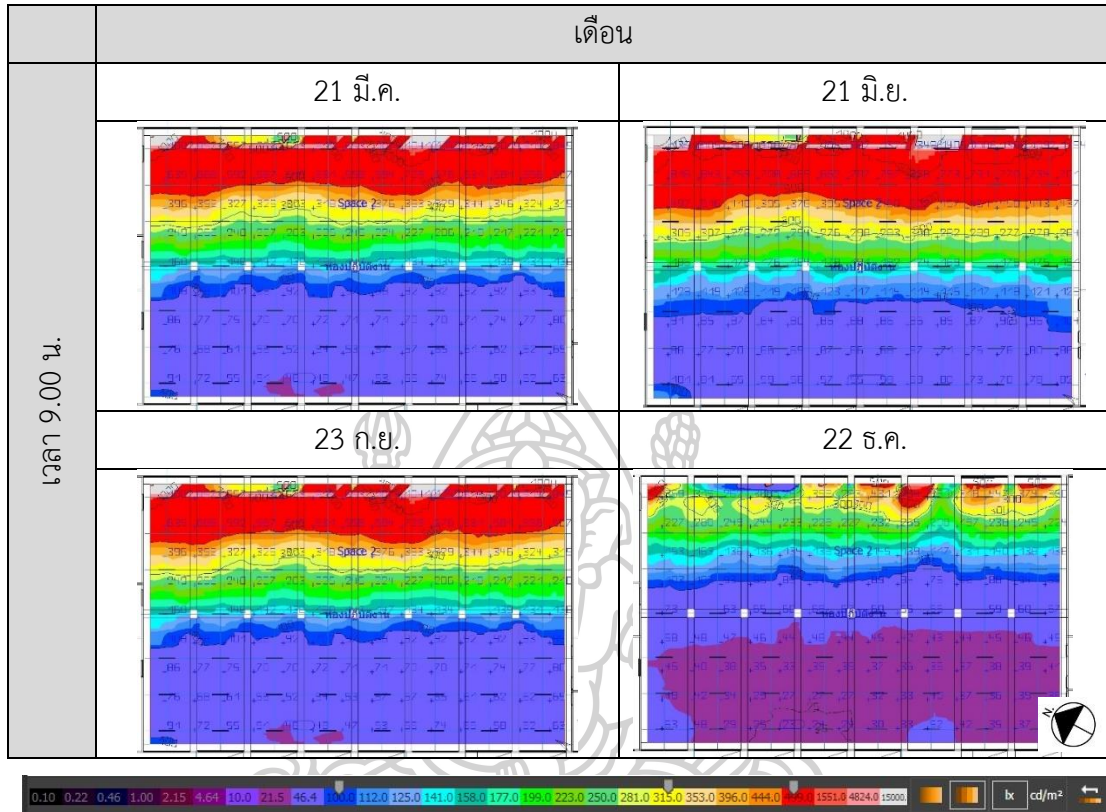
ภาพที่ 102 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 3 ชนิดหลอด 20 W จำนวน 114 หลอด (1-light D1)



ภาพที่ 103 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 3 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 114 หลอด (1-light D2)

1.3.6 ผลการศึกษากการใช้แสงธรรมชาติร่วมกับปลงประดิษฐ์หลังการปรับปรุง

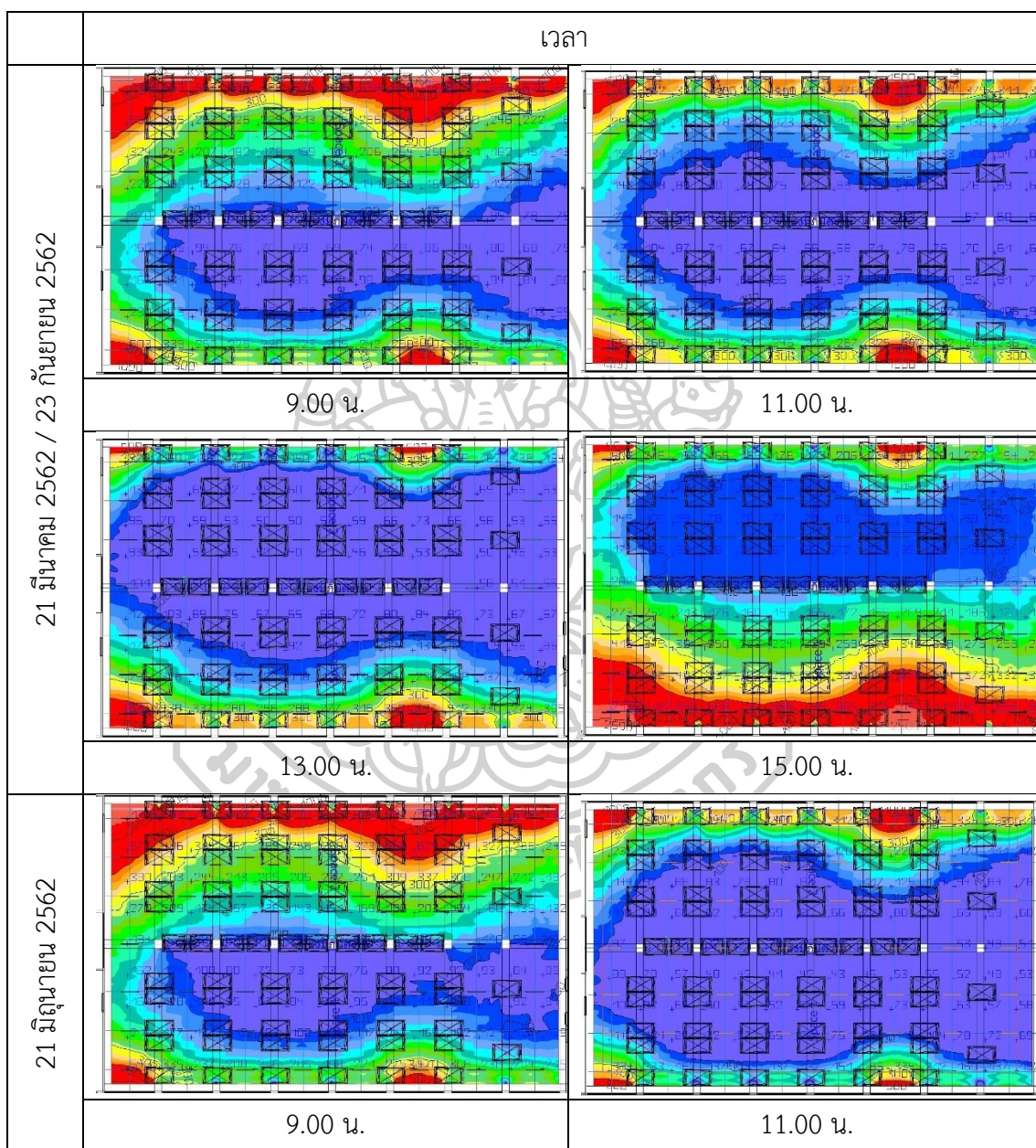
ตารางที่ 80 ความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในวันสำคัญ 4 วัน เวลา 9.00 น.



1.4 ผลการศึกษาหลักการปรับปรุงแสงธรรมชาติชั้น 3

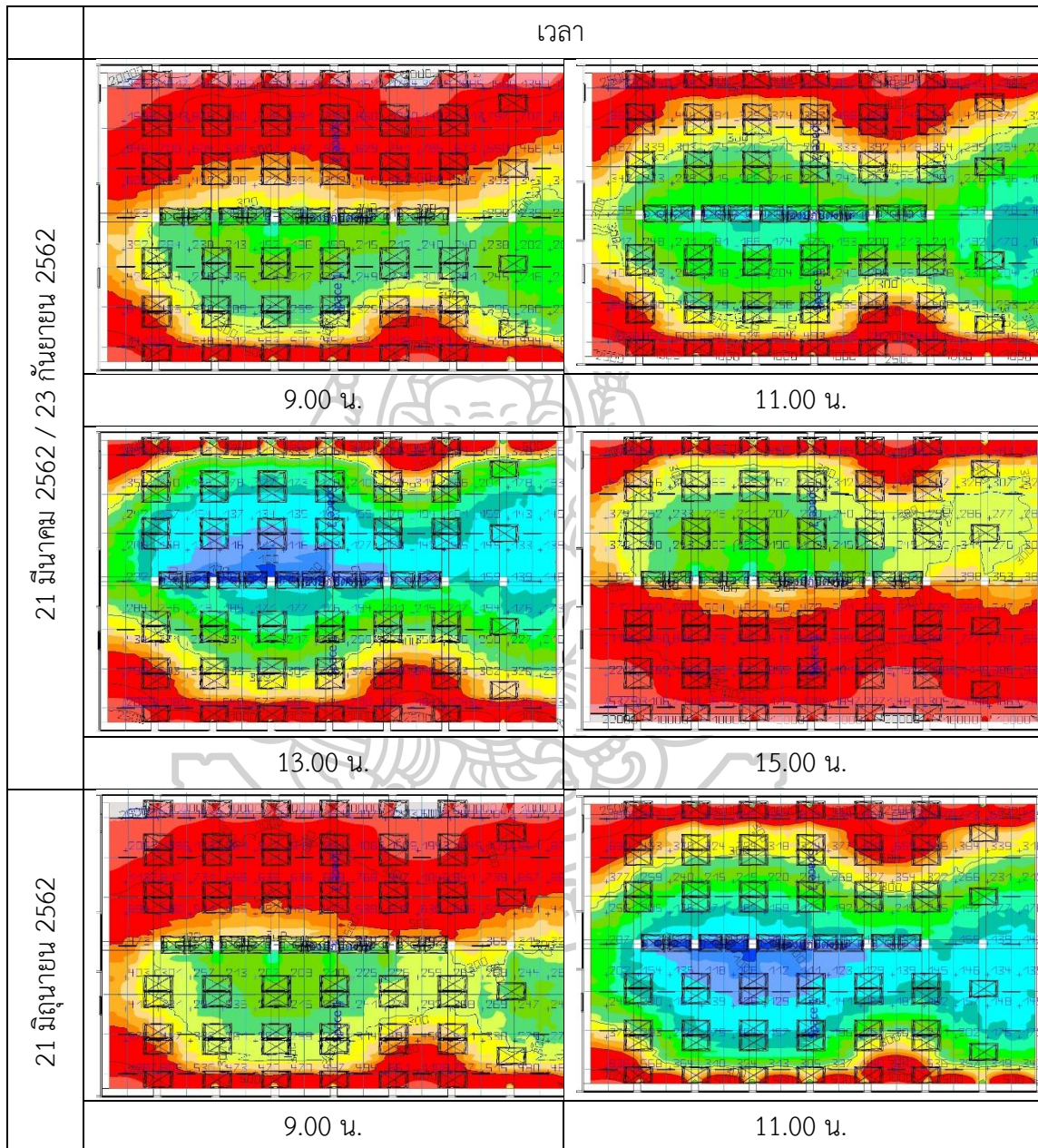
1.4.1 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุง (3-A)

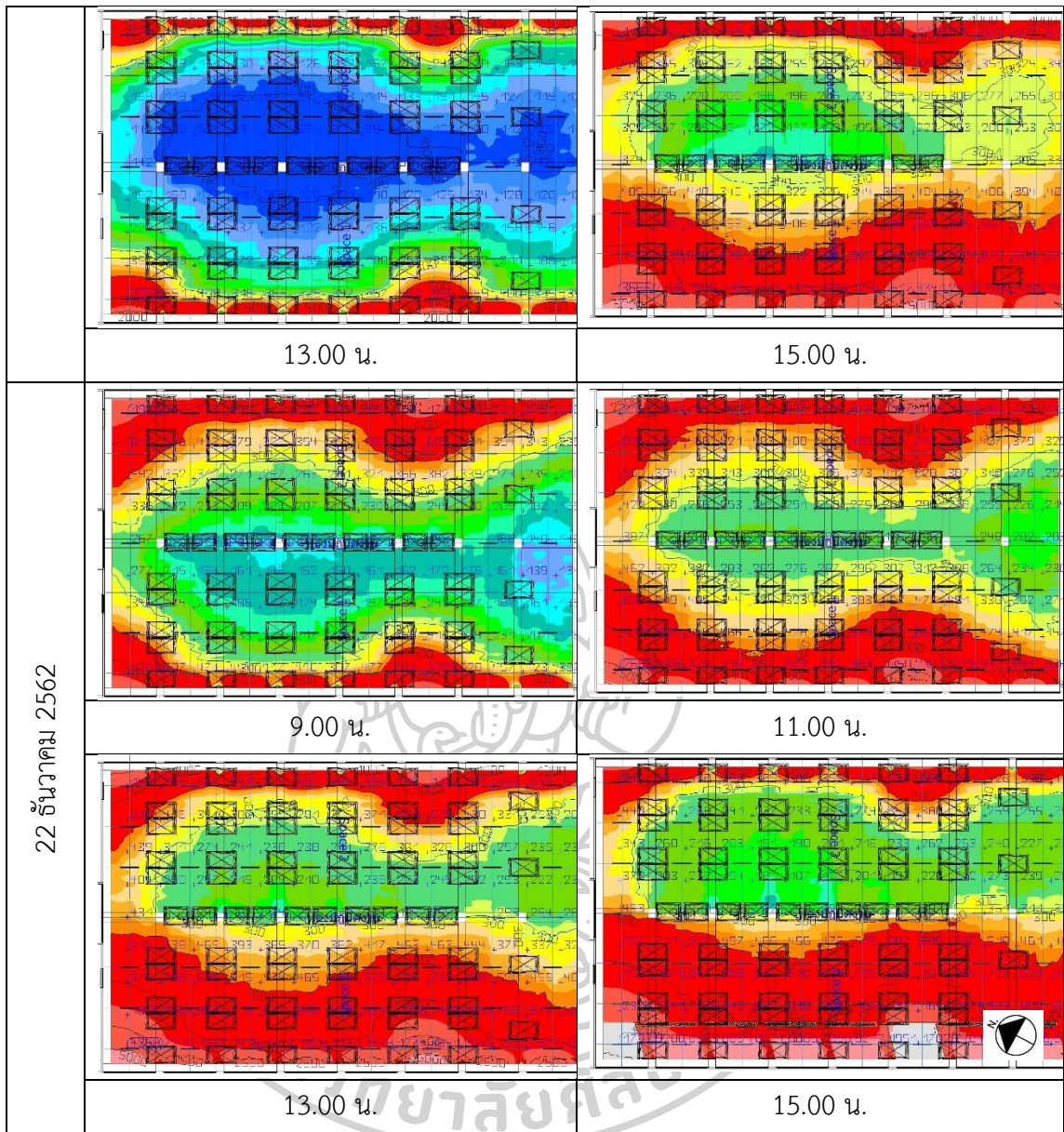
ตารางที่ 81 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของห้องเรียนปฏิบัติงานชั้น 3 ก่อนปรับปรุง (3-A)



1.4.2 ผลการศึกษาความส่องสว่างการรื้อกันสาดออก (3-B)

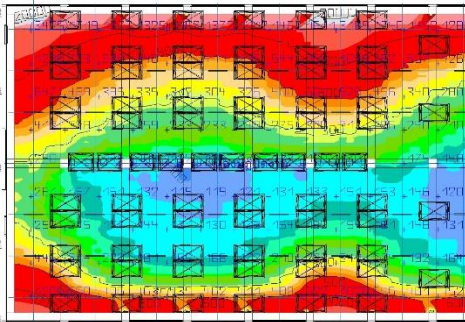
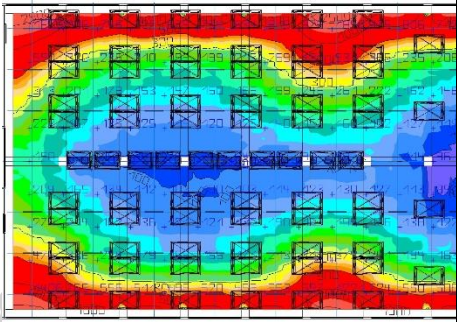
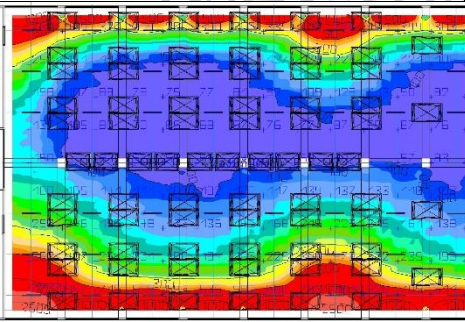
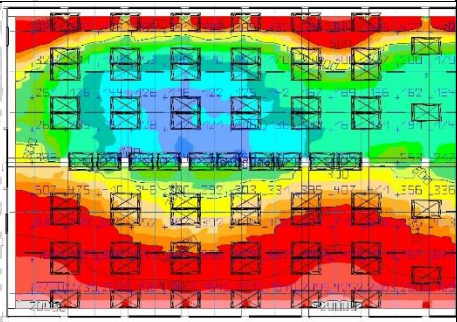
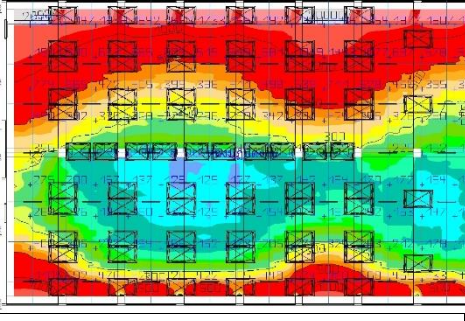
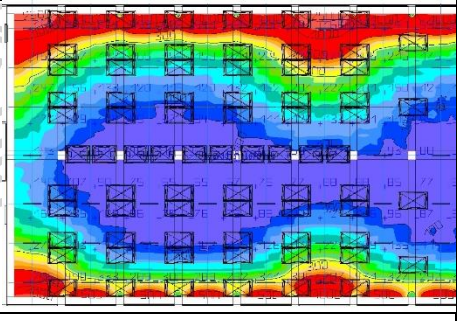
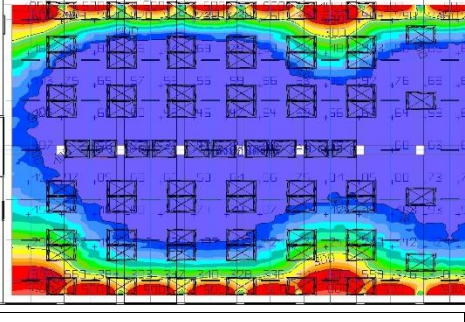
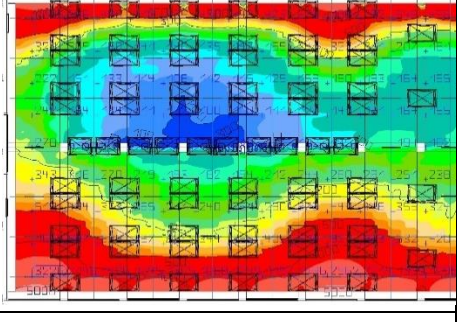
ตารางที่ 82 ผลการศึกษาความส่องสว่างการรื้อกันสาดออก (3-B)

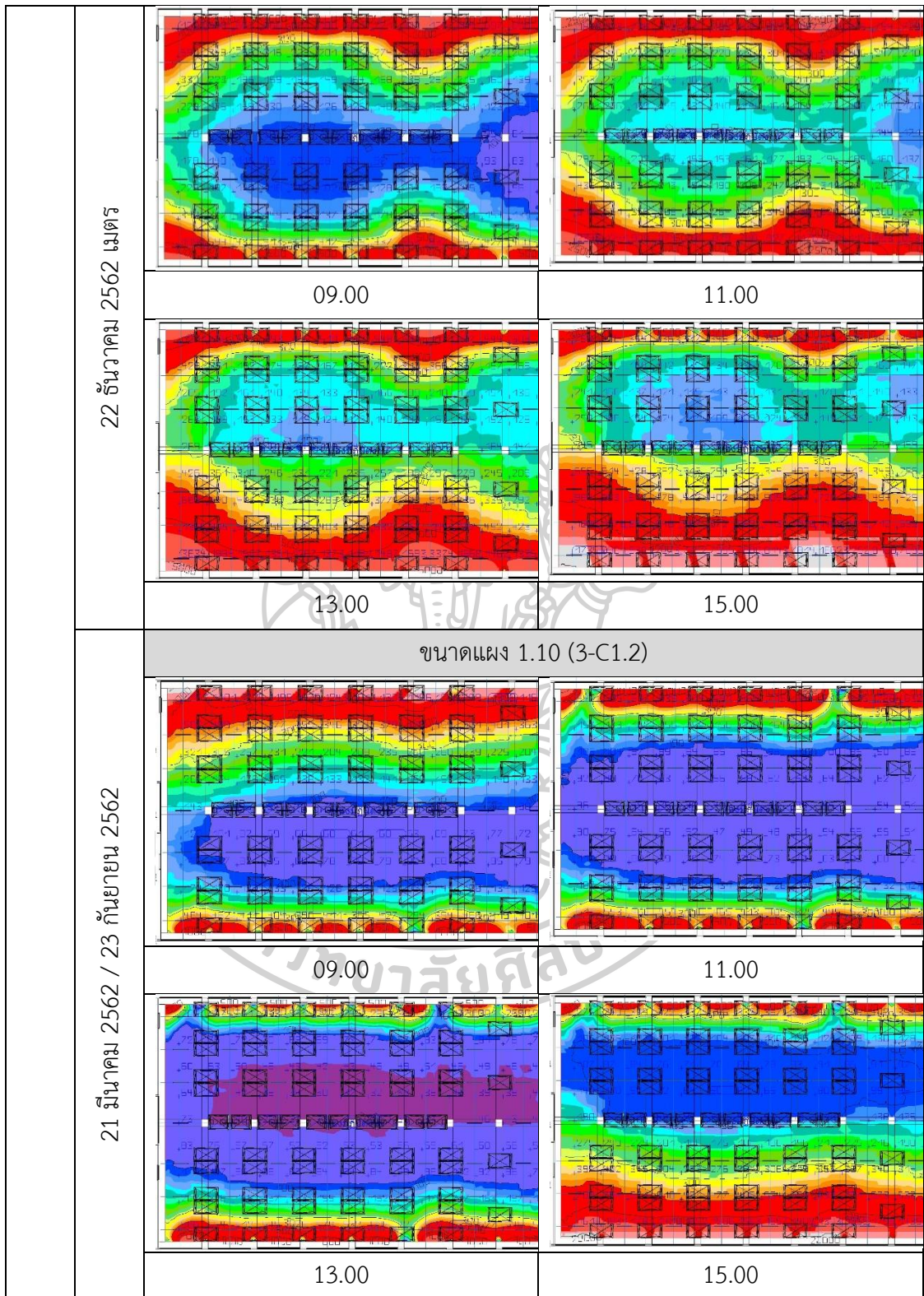


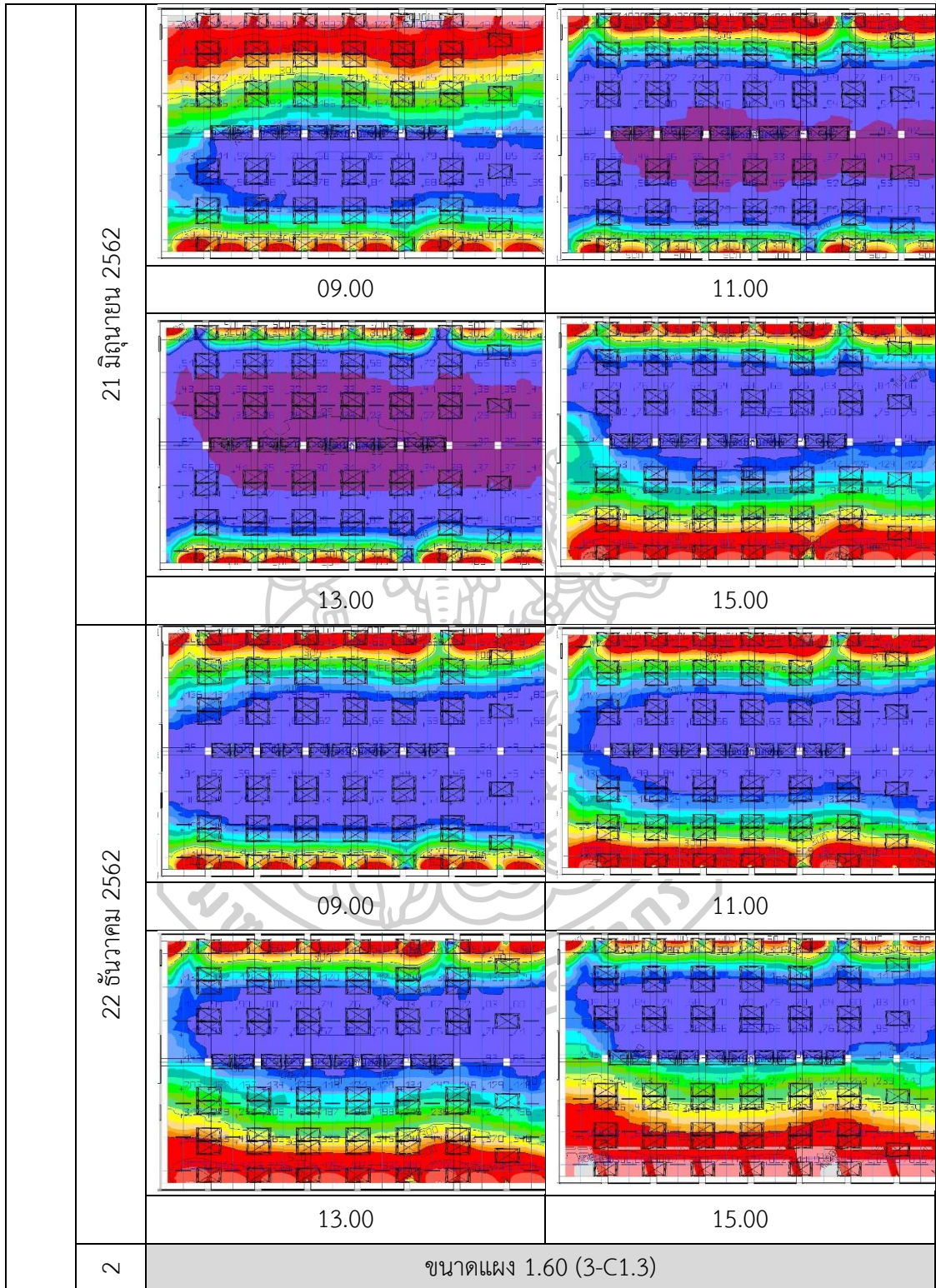


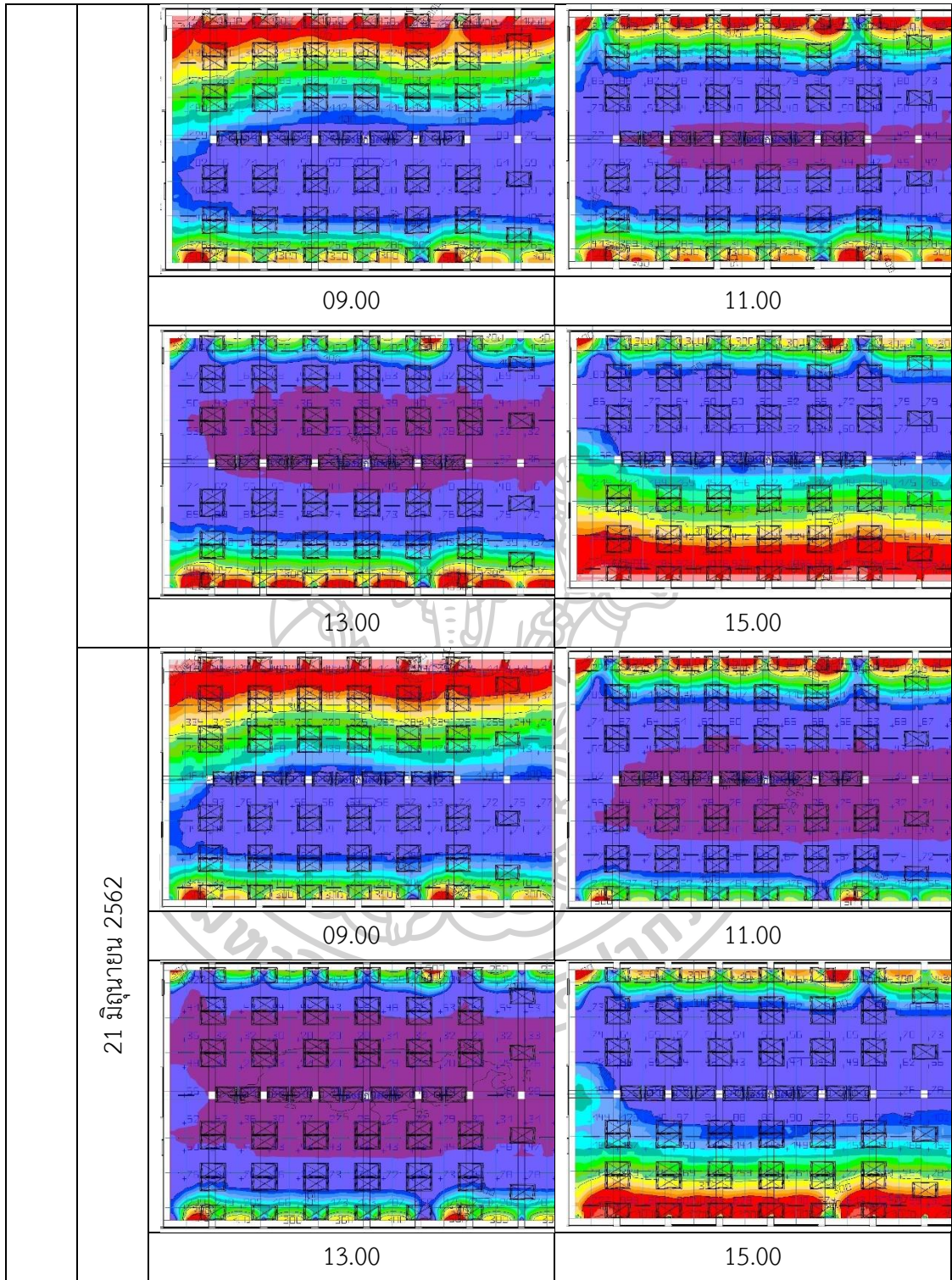
1.4.3 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C)

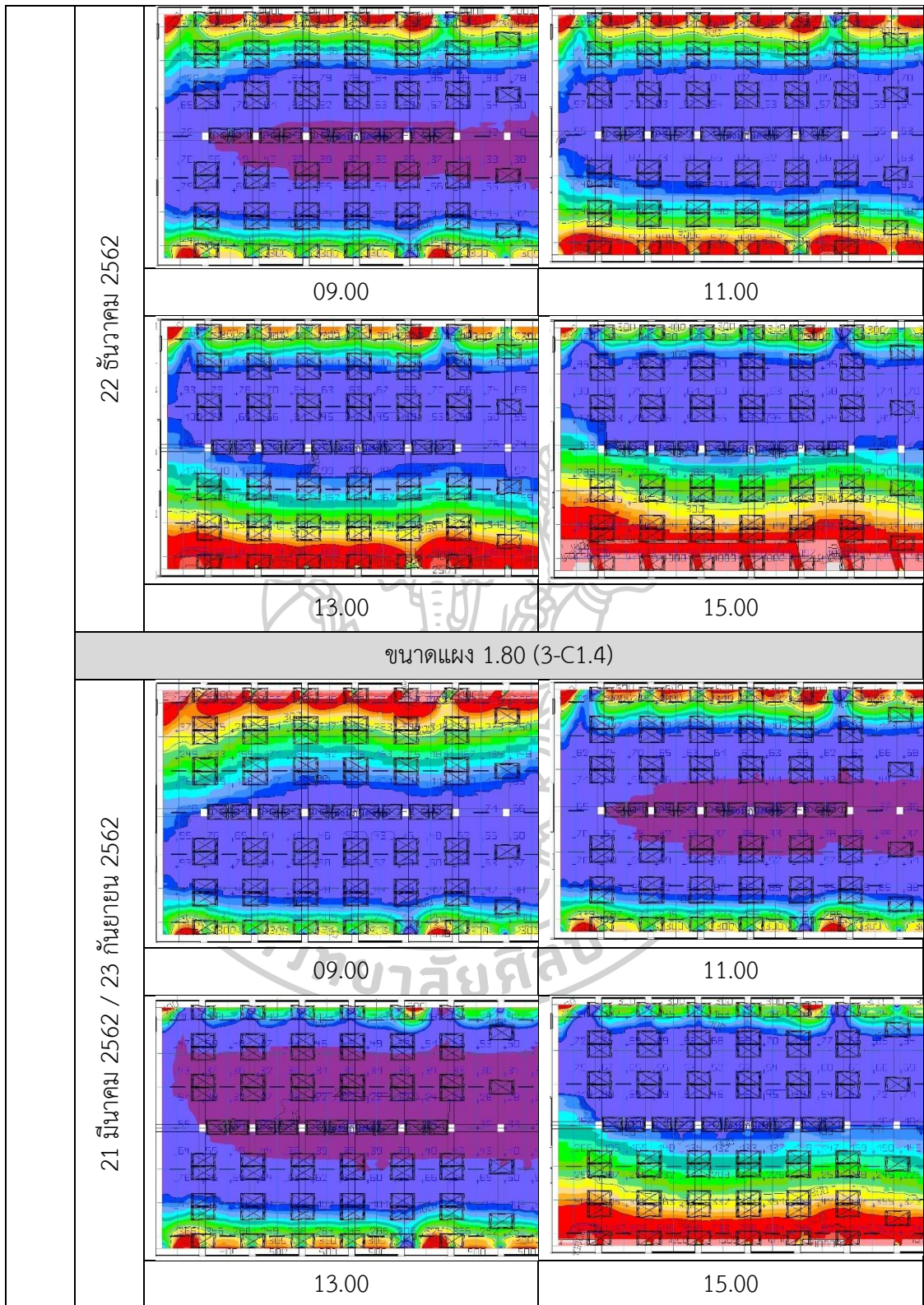
ตารางที่ 83 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างการติดตั้งกันสาดไฟเบอร์กลาส (3-C)

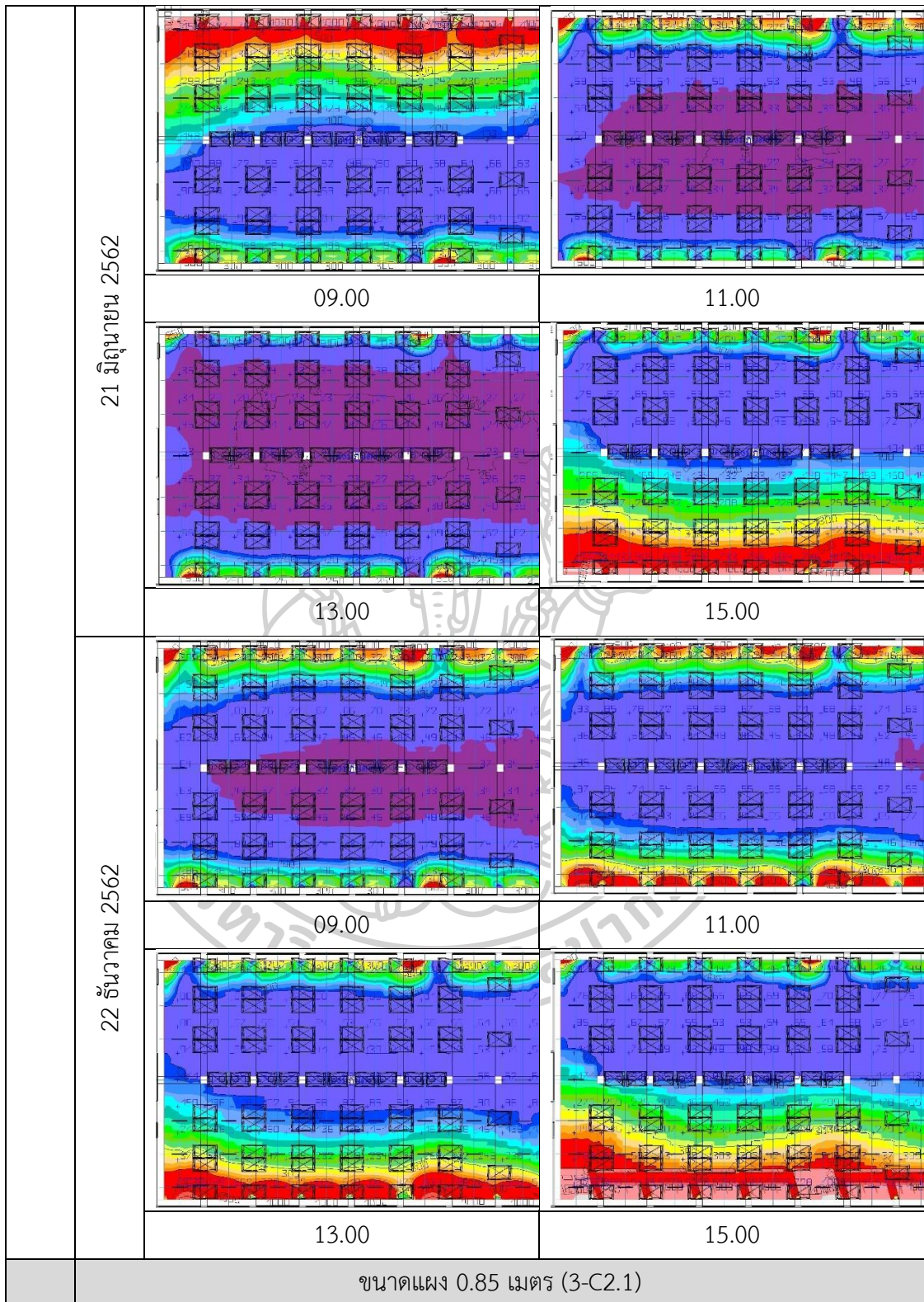
		ขนาดแผง 0.85 เมตร (3-C1.1)	
		เวลา	
ระยะติดตั้ง 1.10 (3-C1)	21 มีนาคม 2562 / 23 กันยายน 2562		
		09.00	11.00
			
		13.00	15.00
	21 มิถุนายน 2562		
		09.00	11.00
			
		13.00	15.00

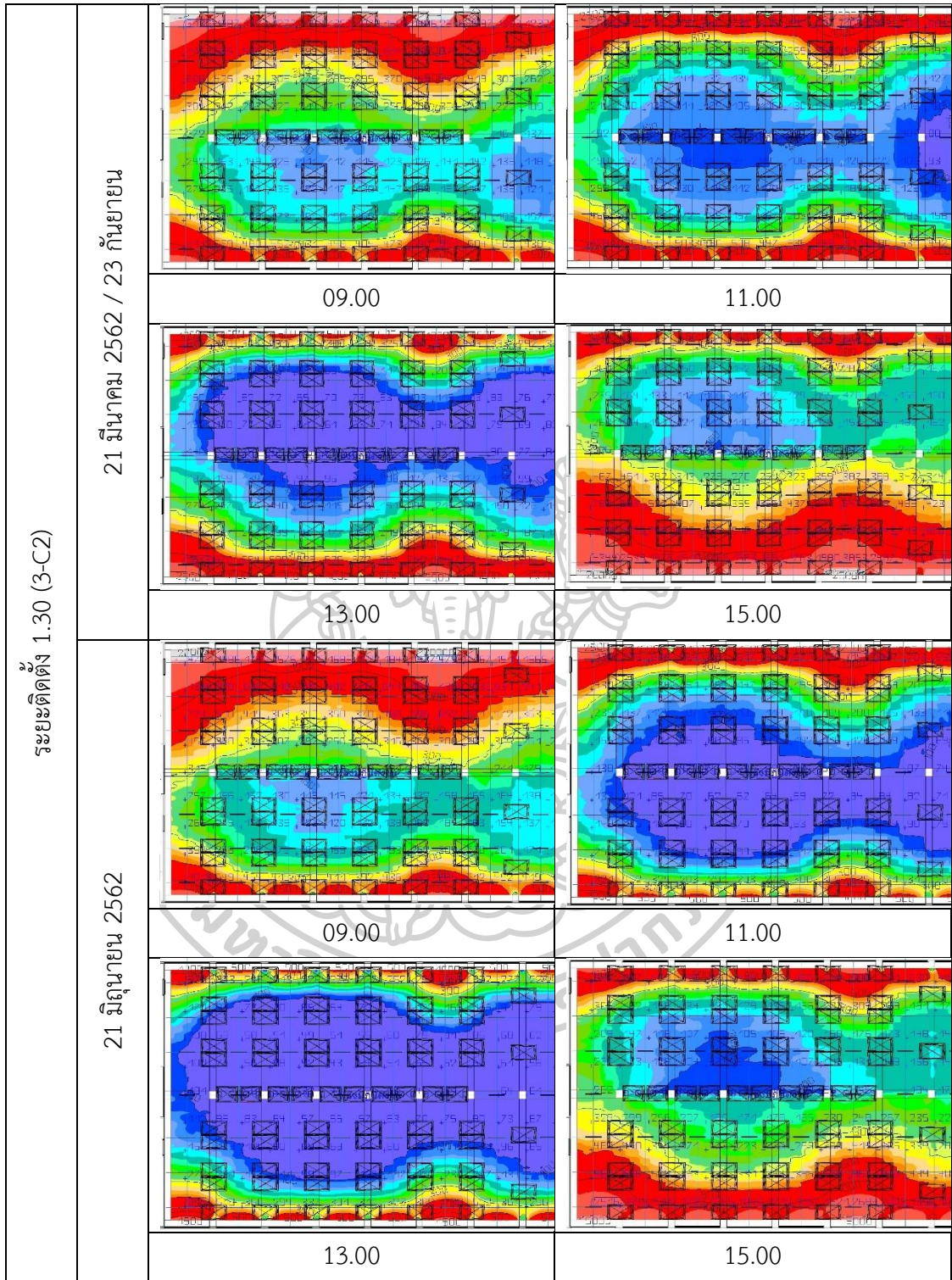


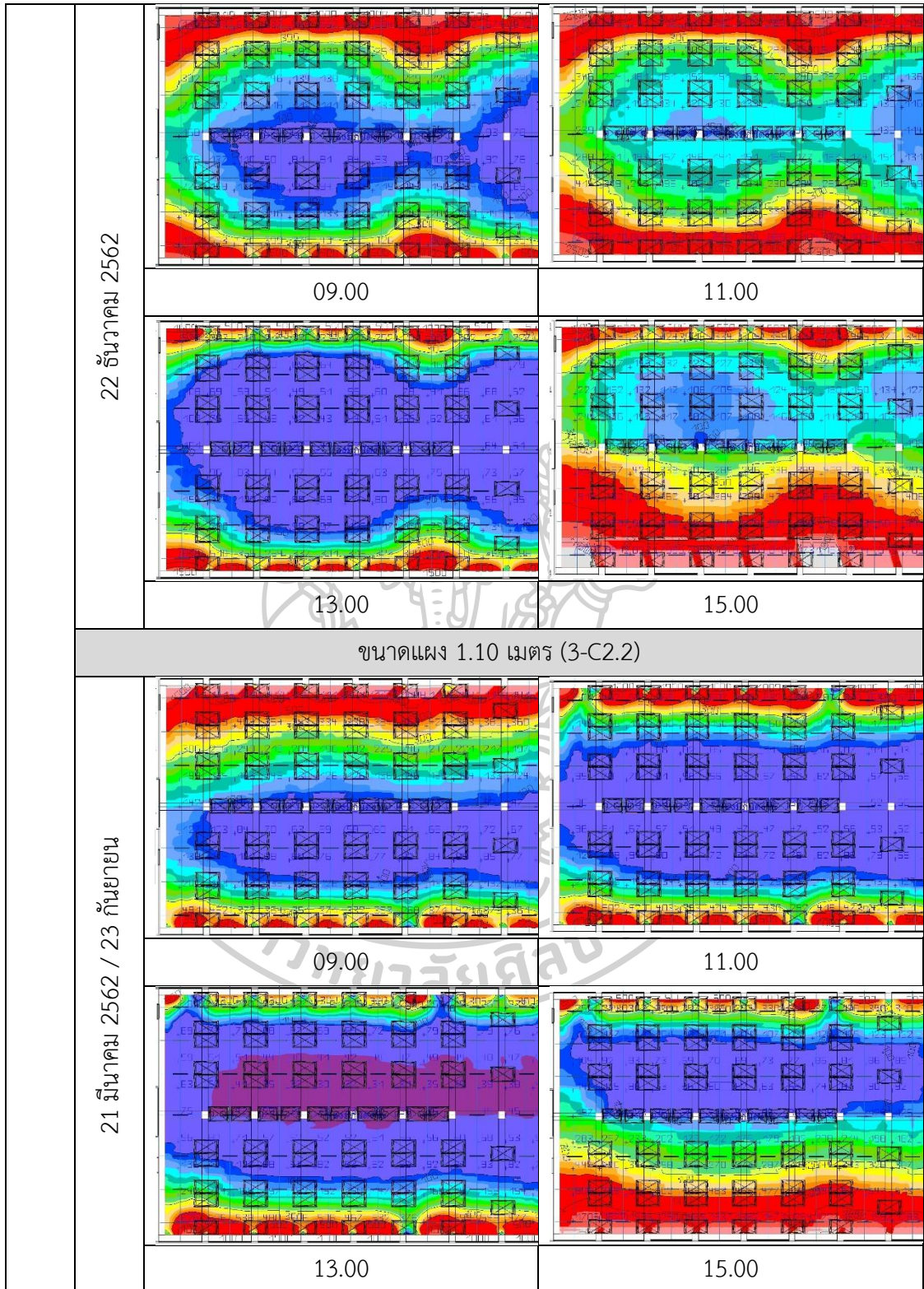


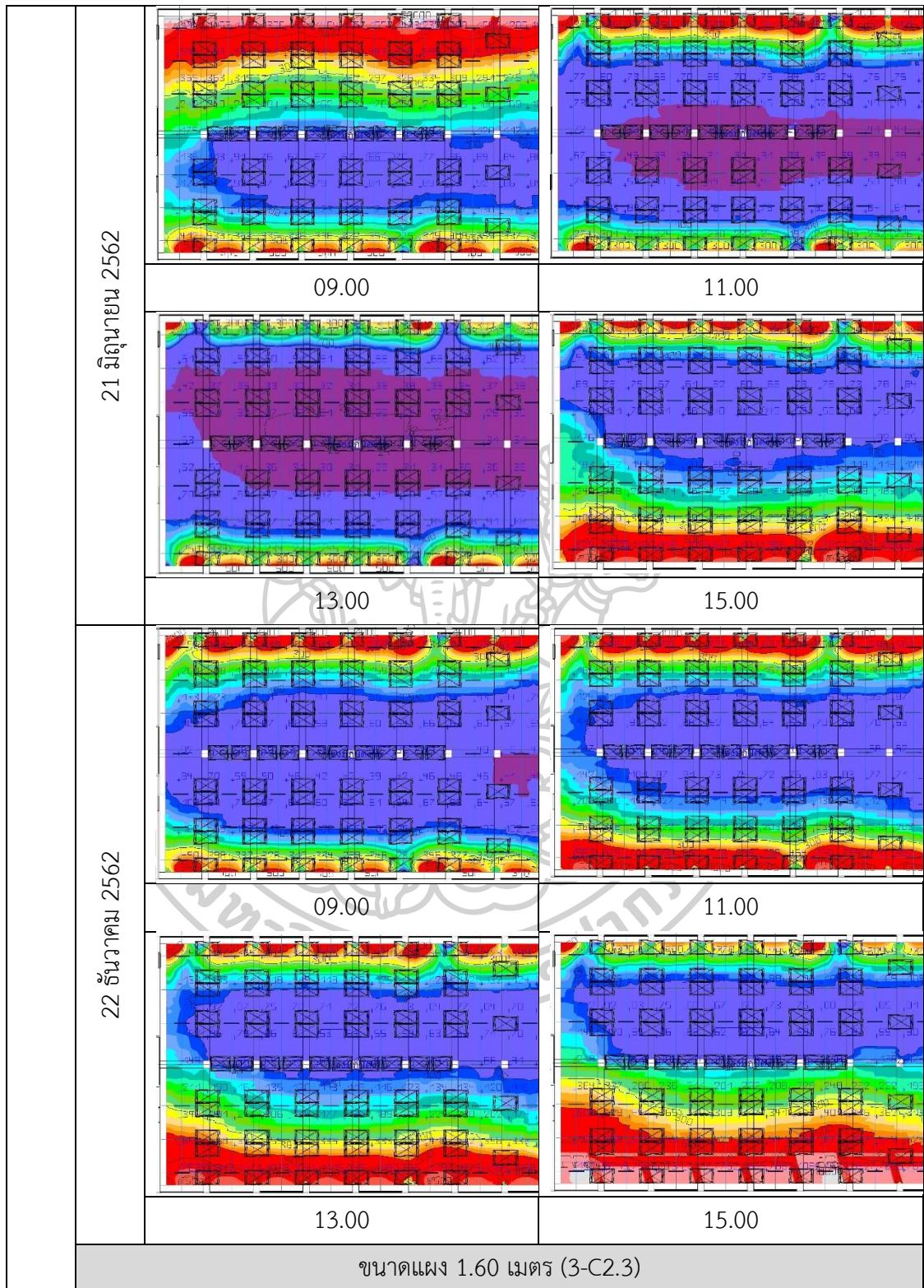


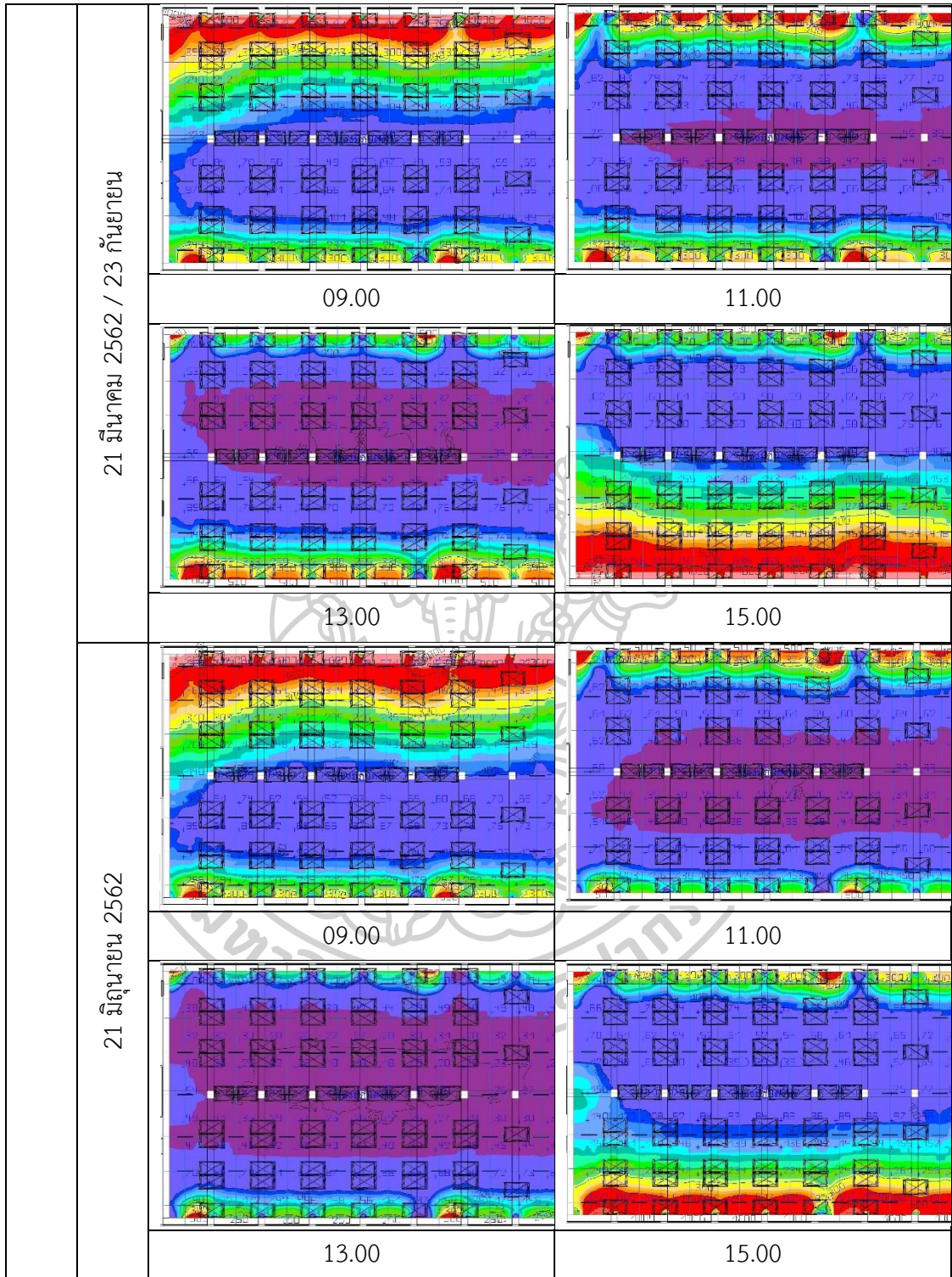


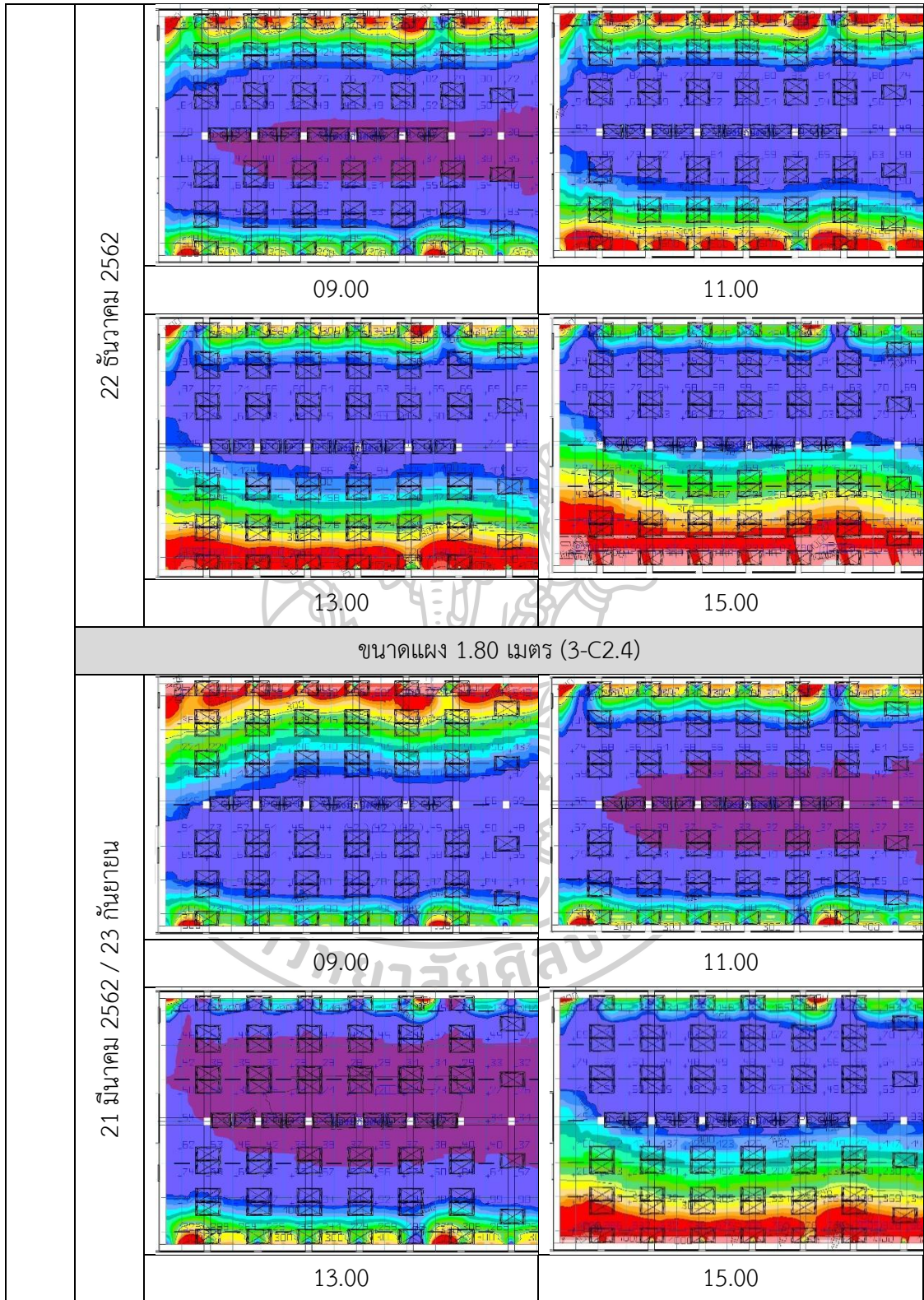


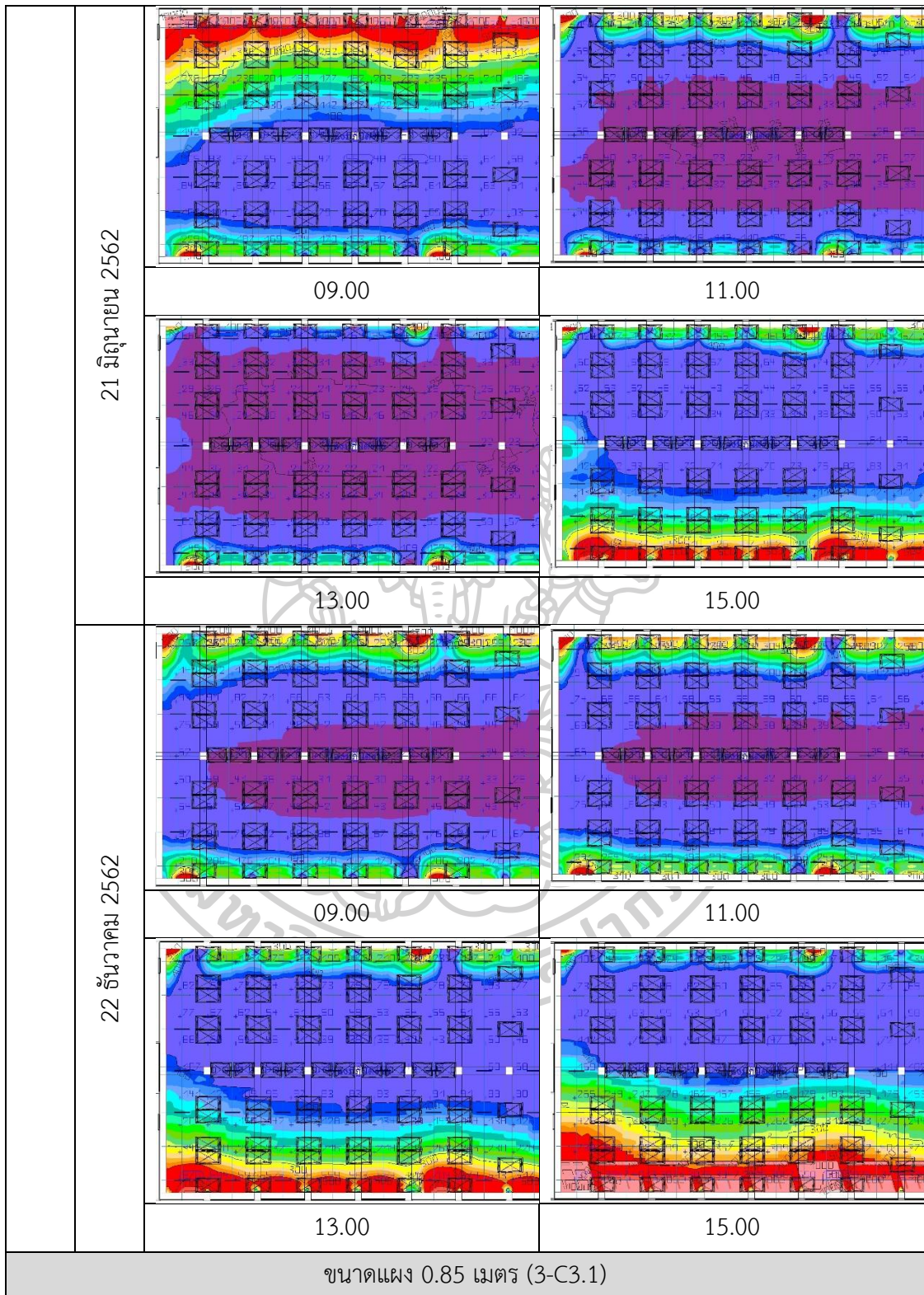


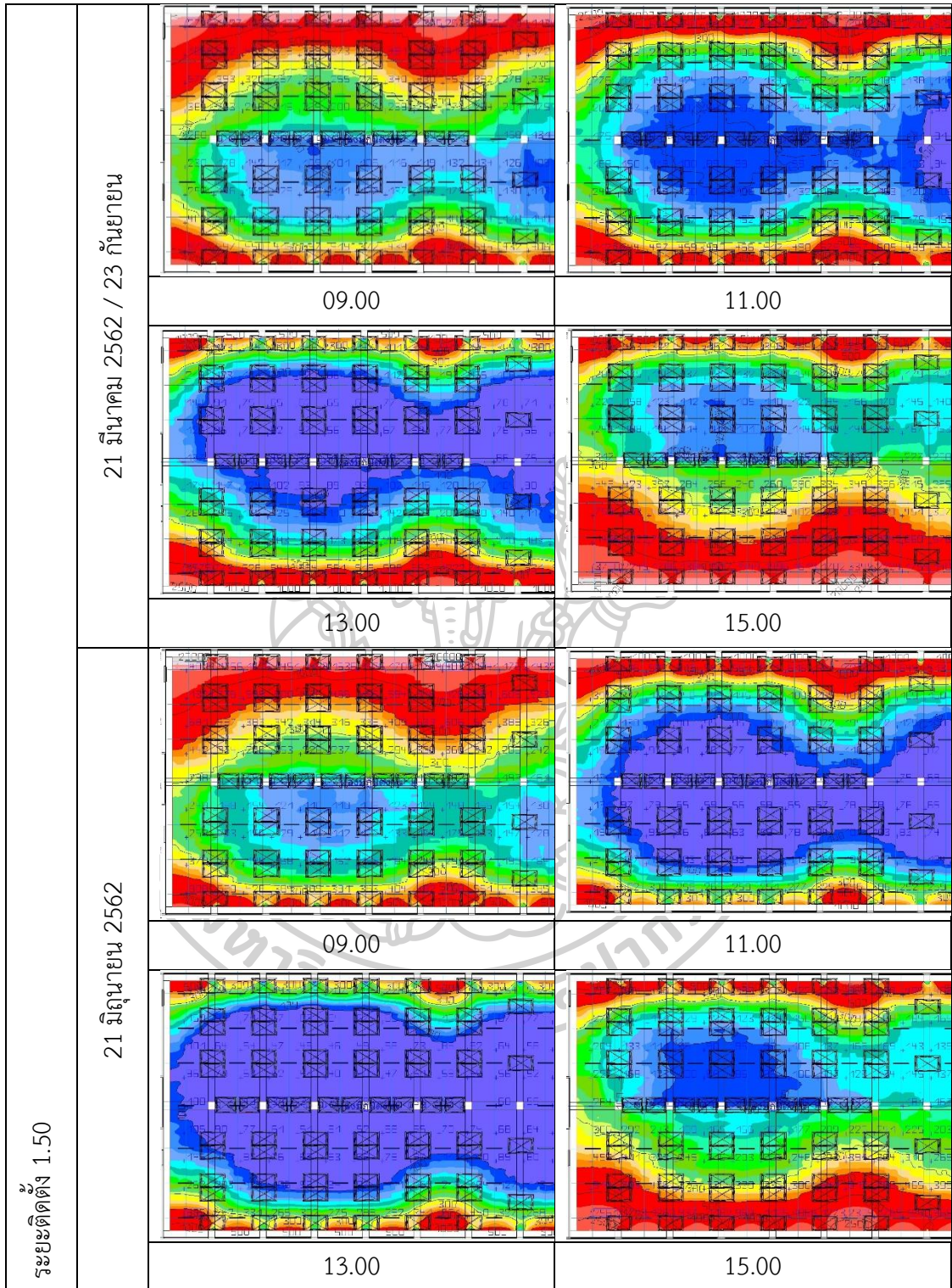


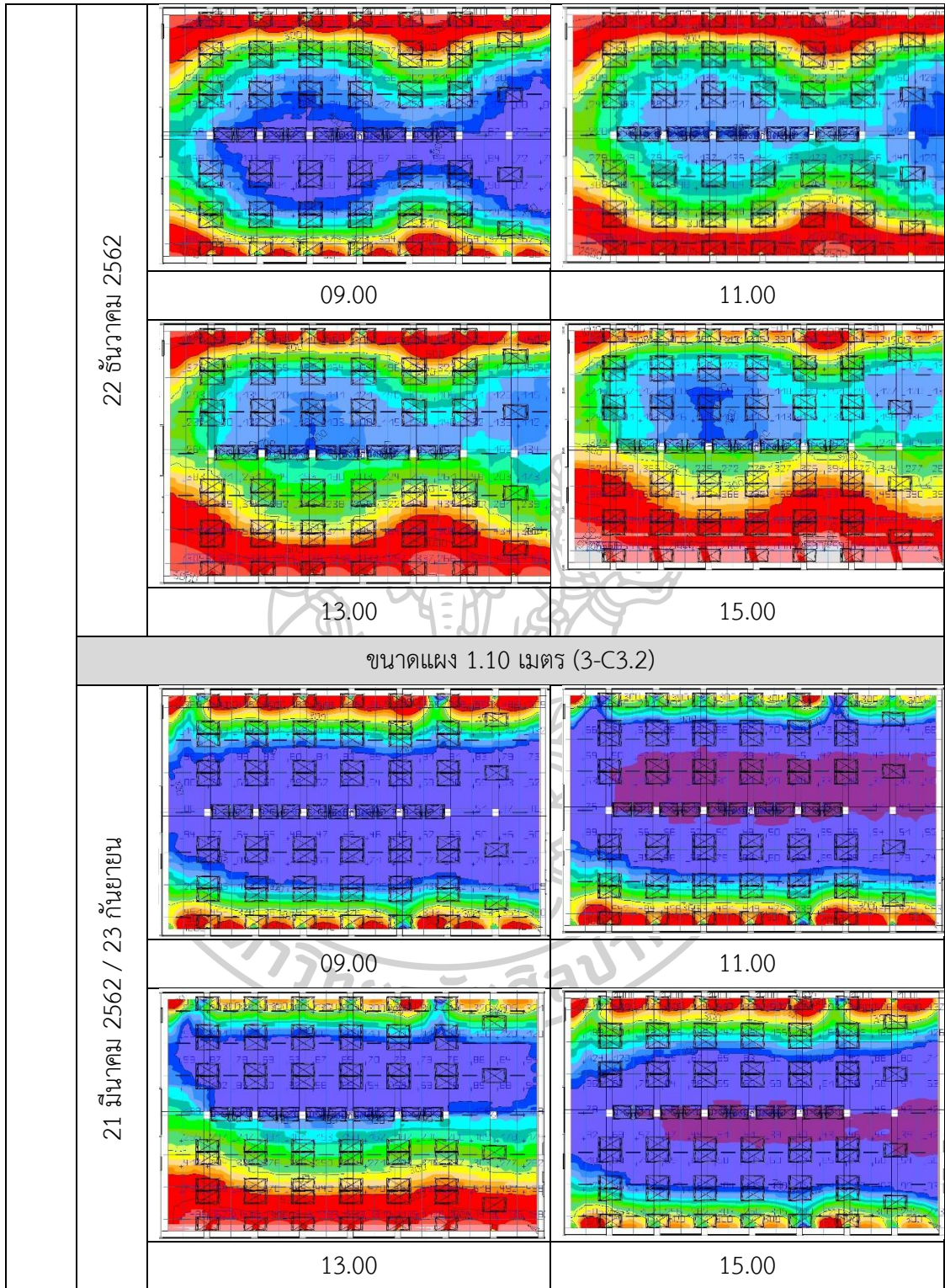


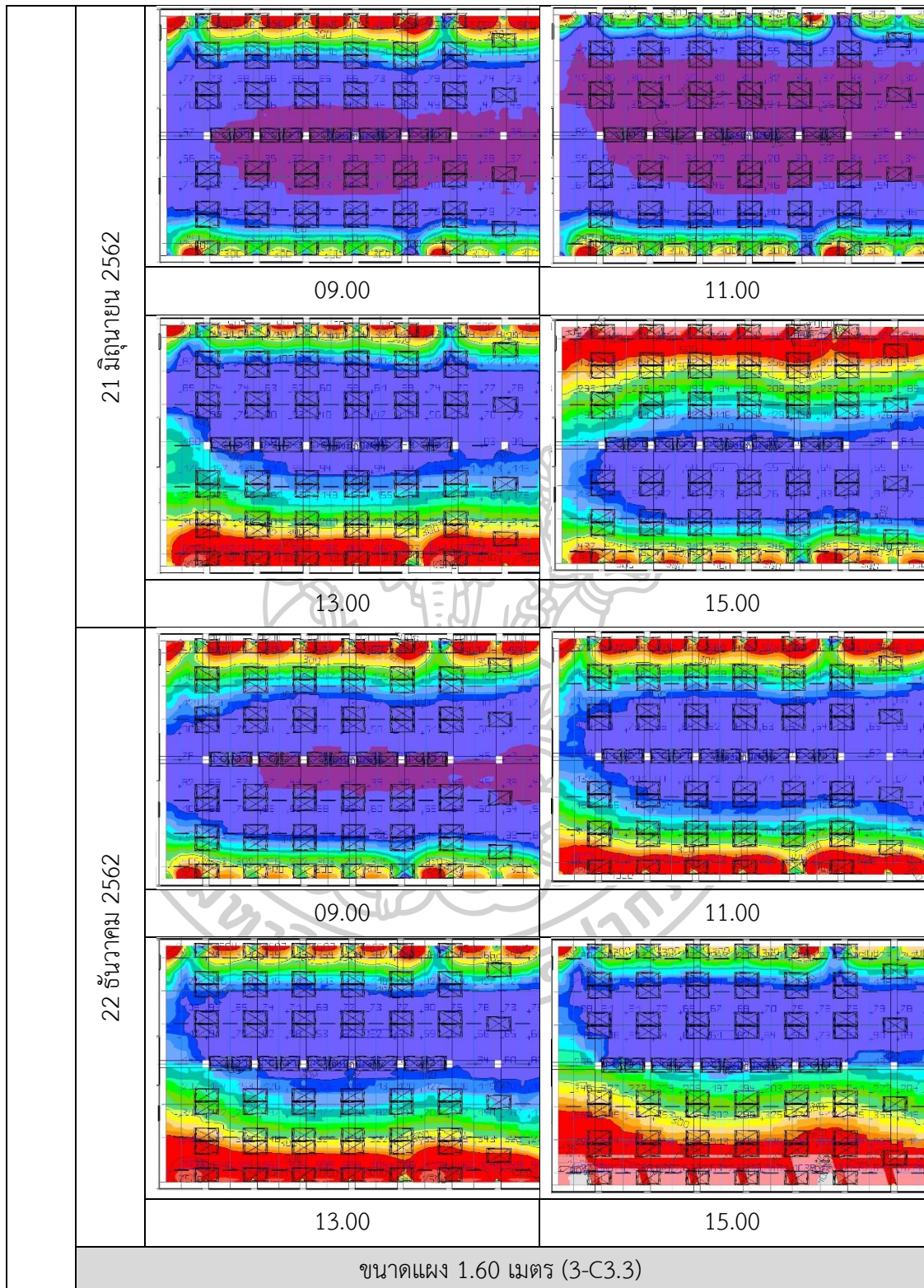


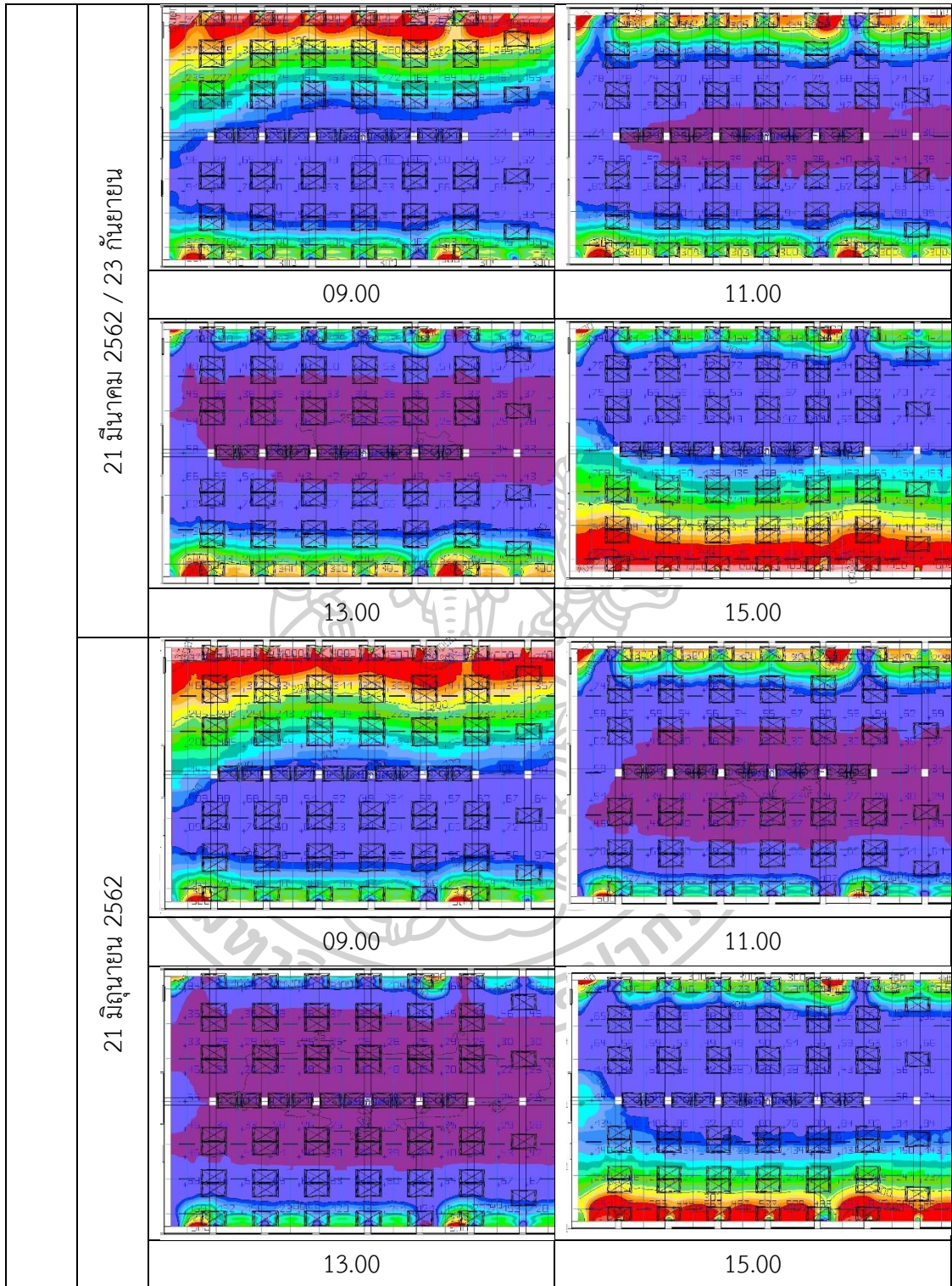


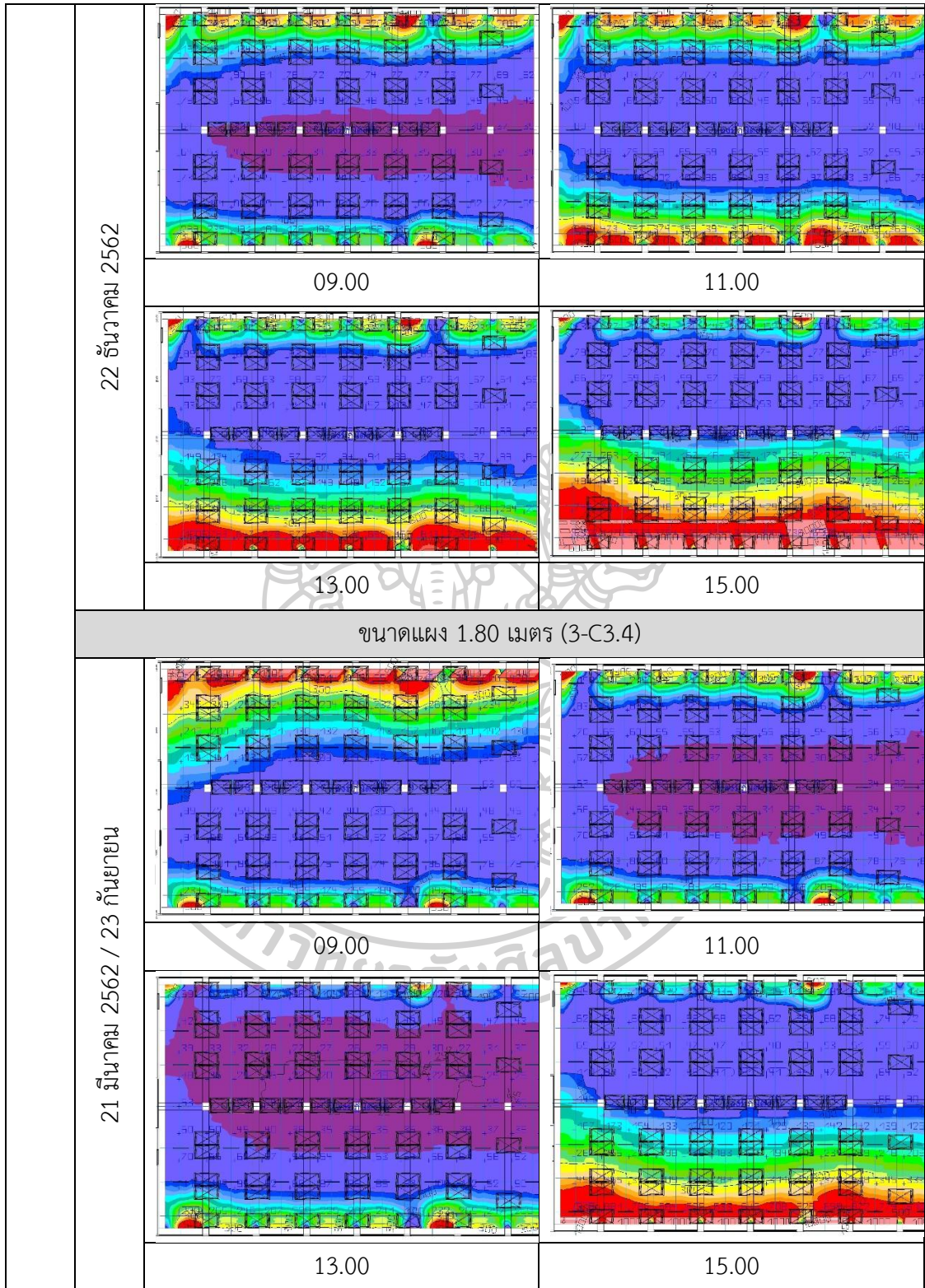


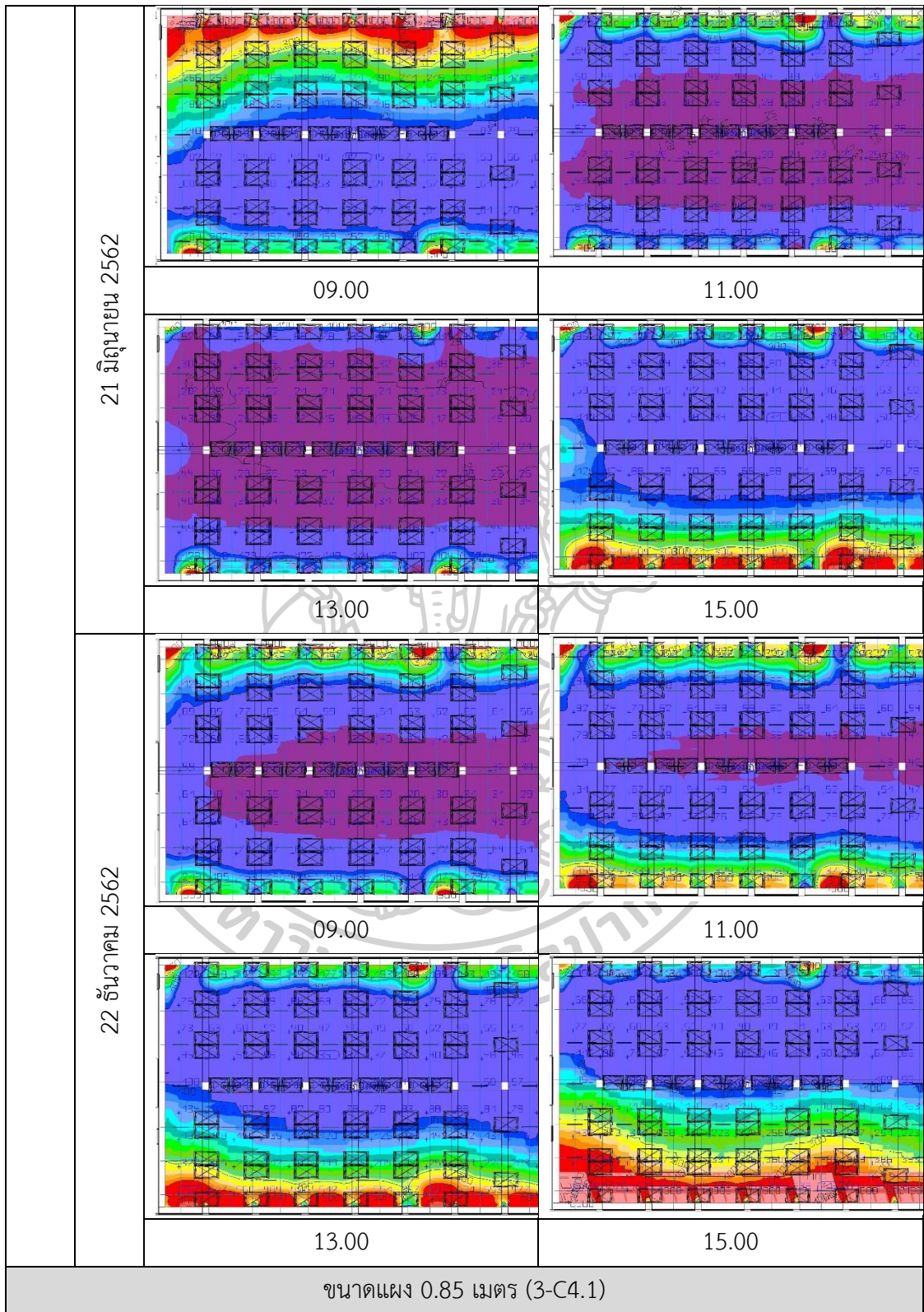


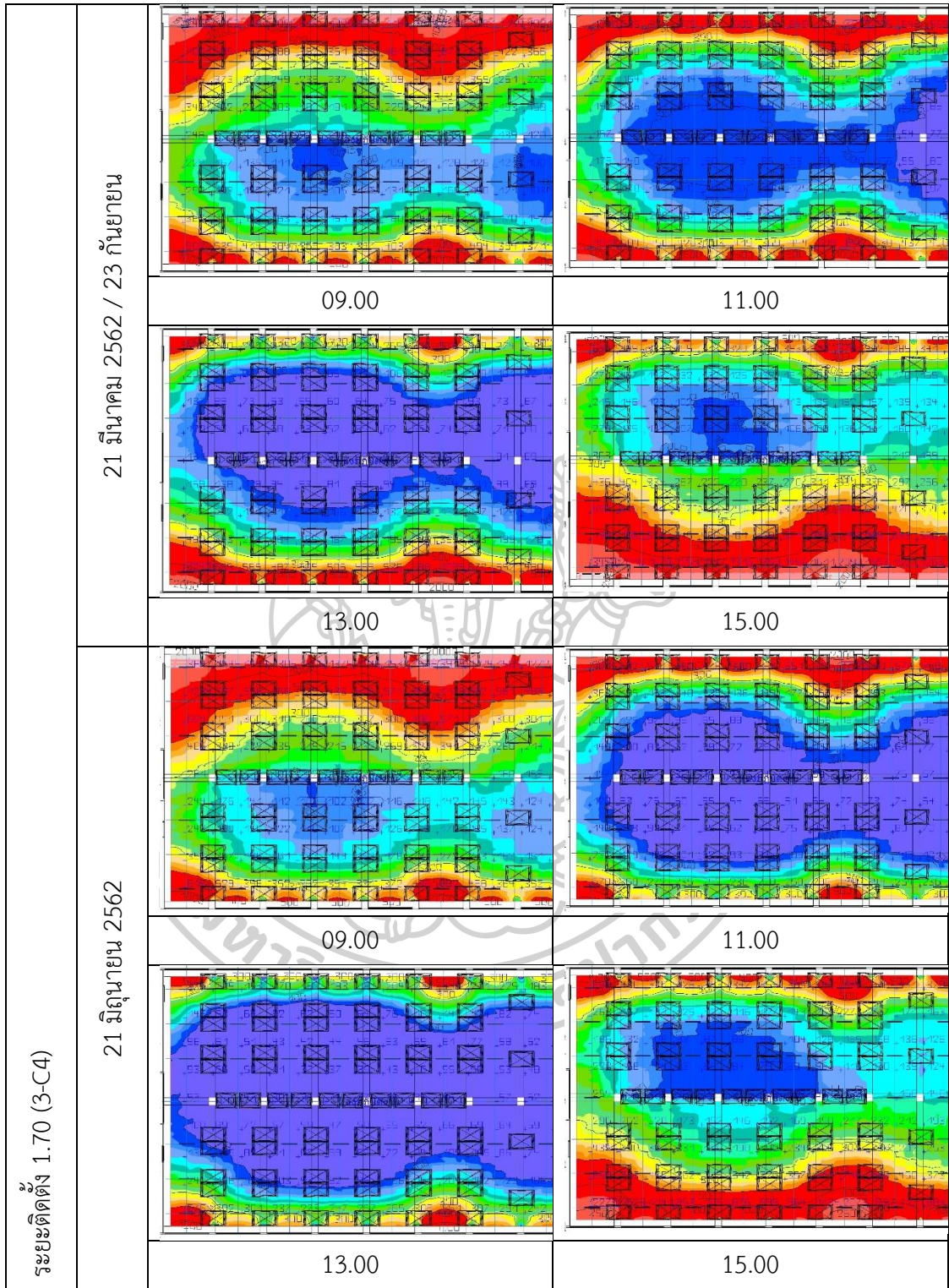


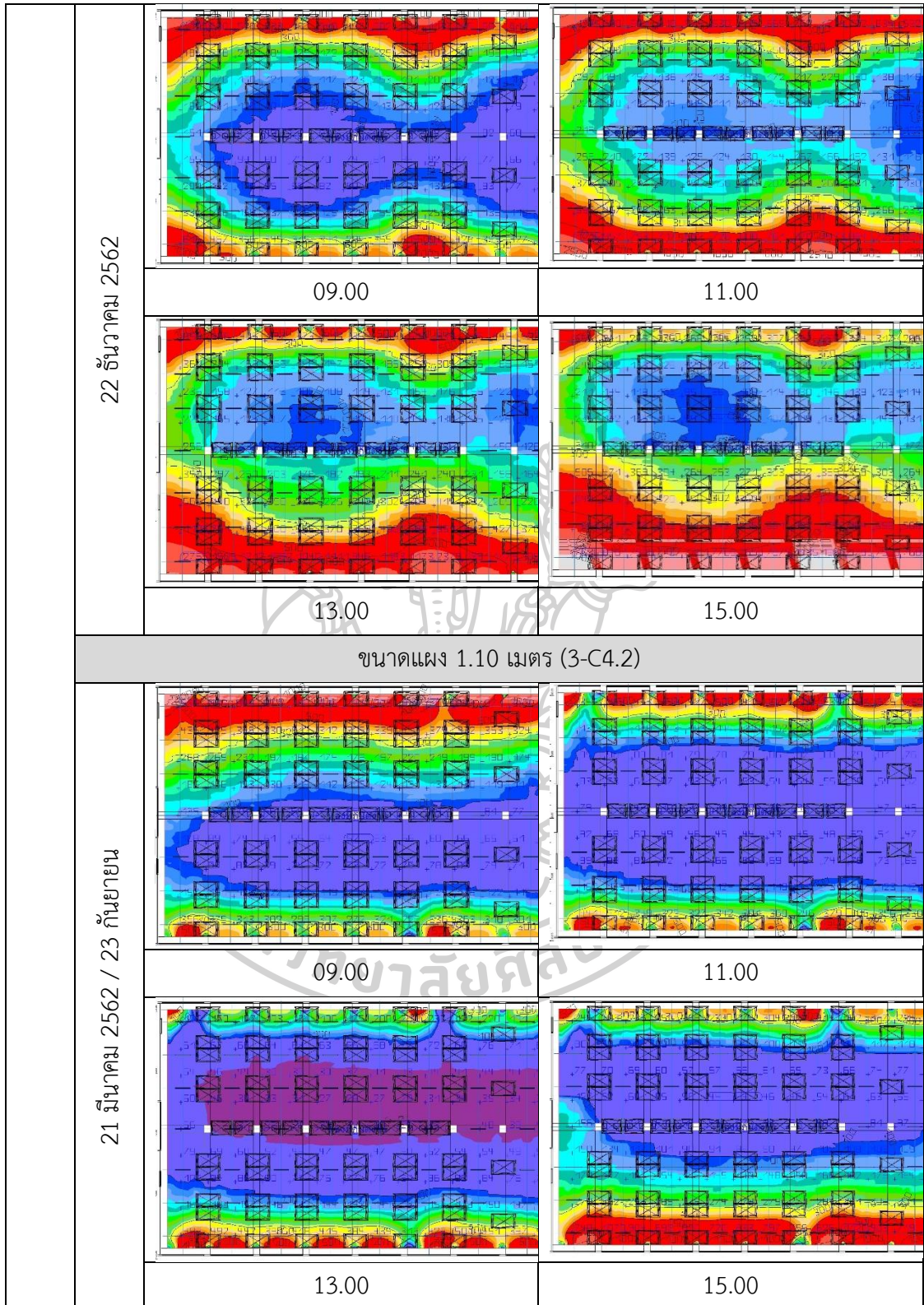


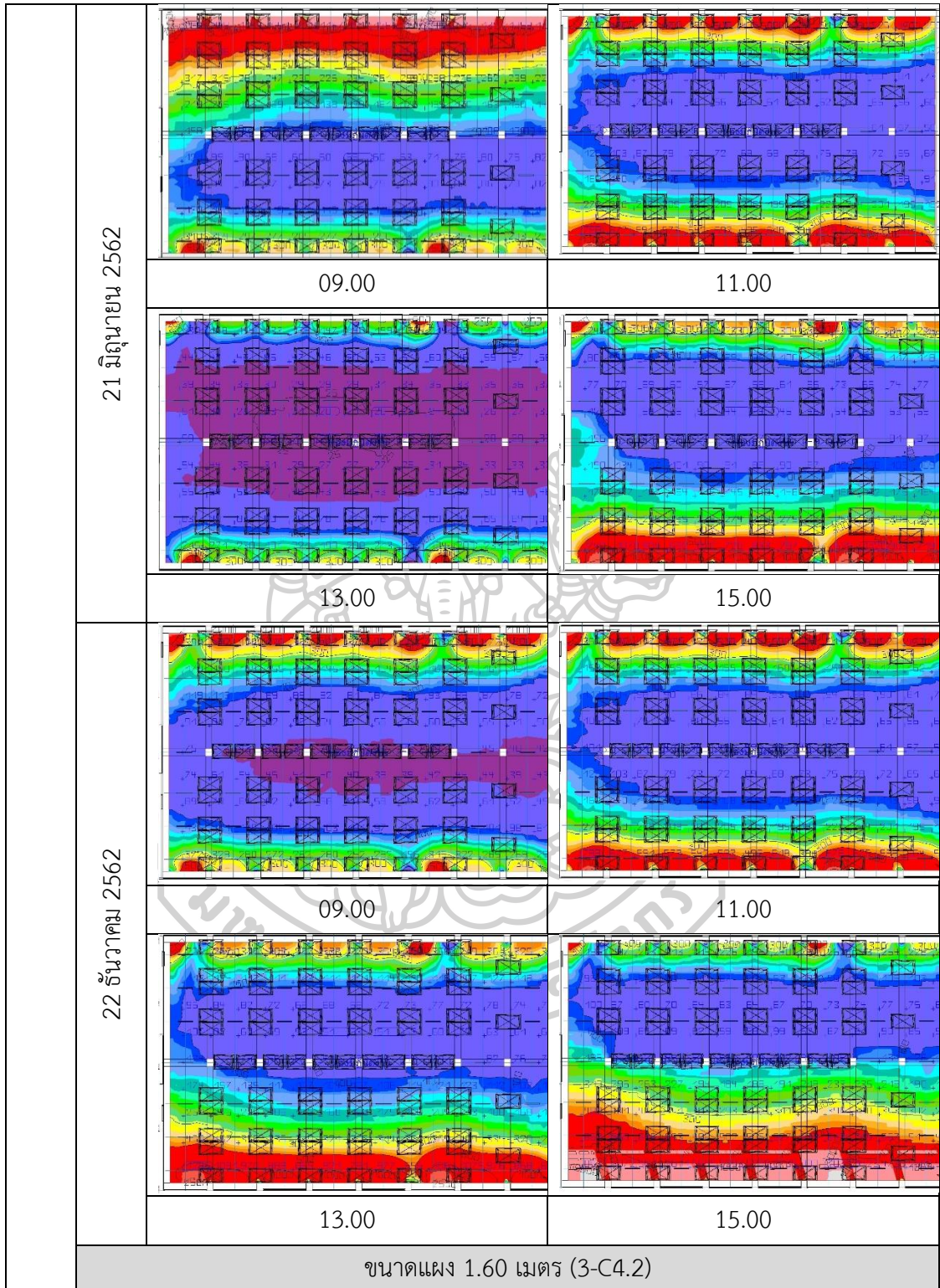


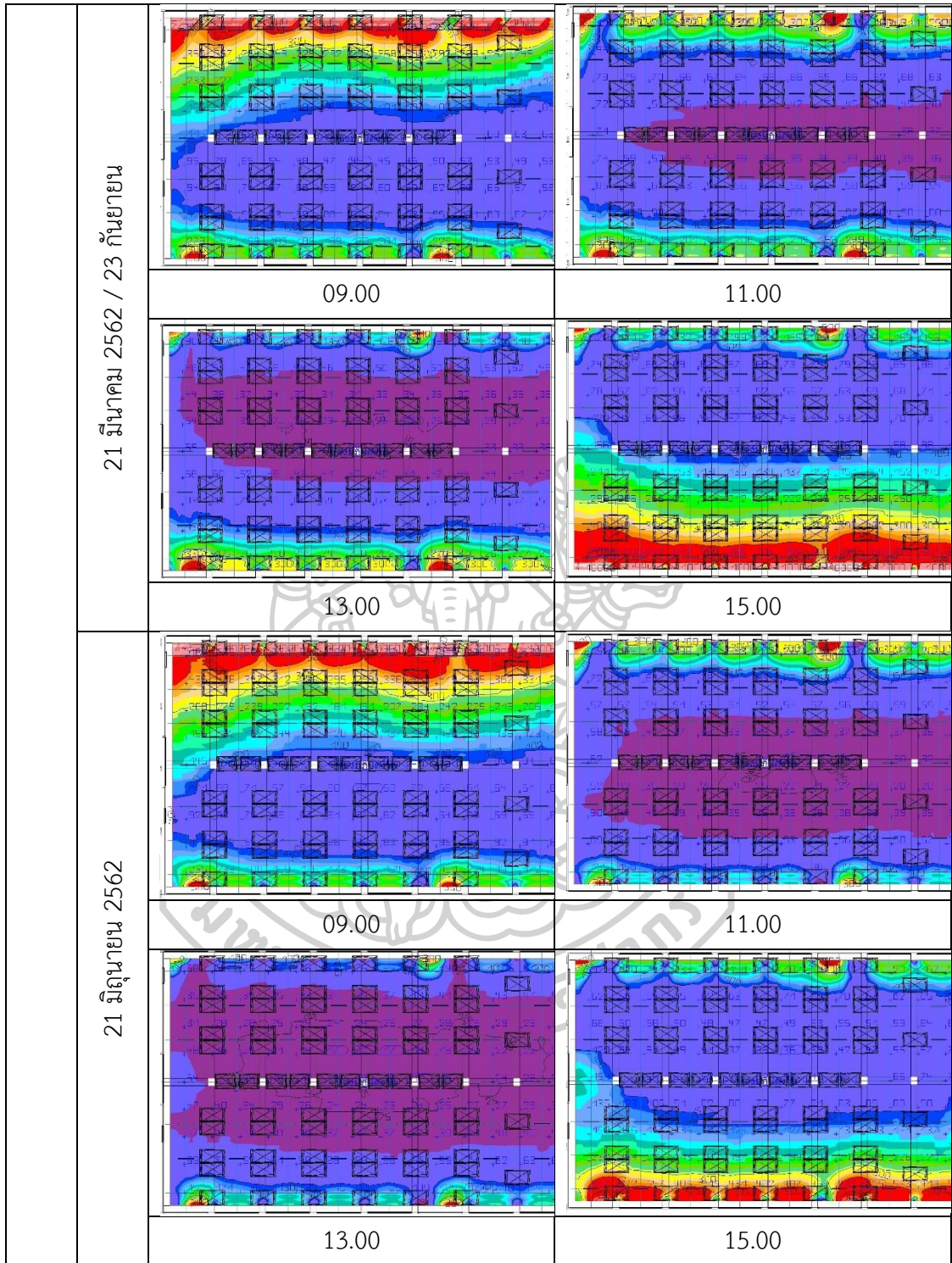


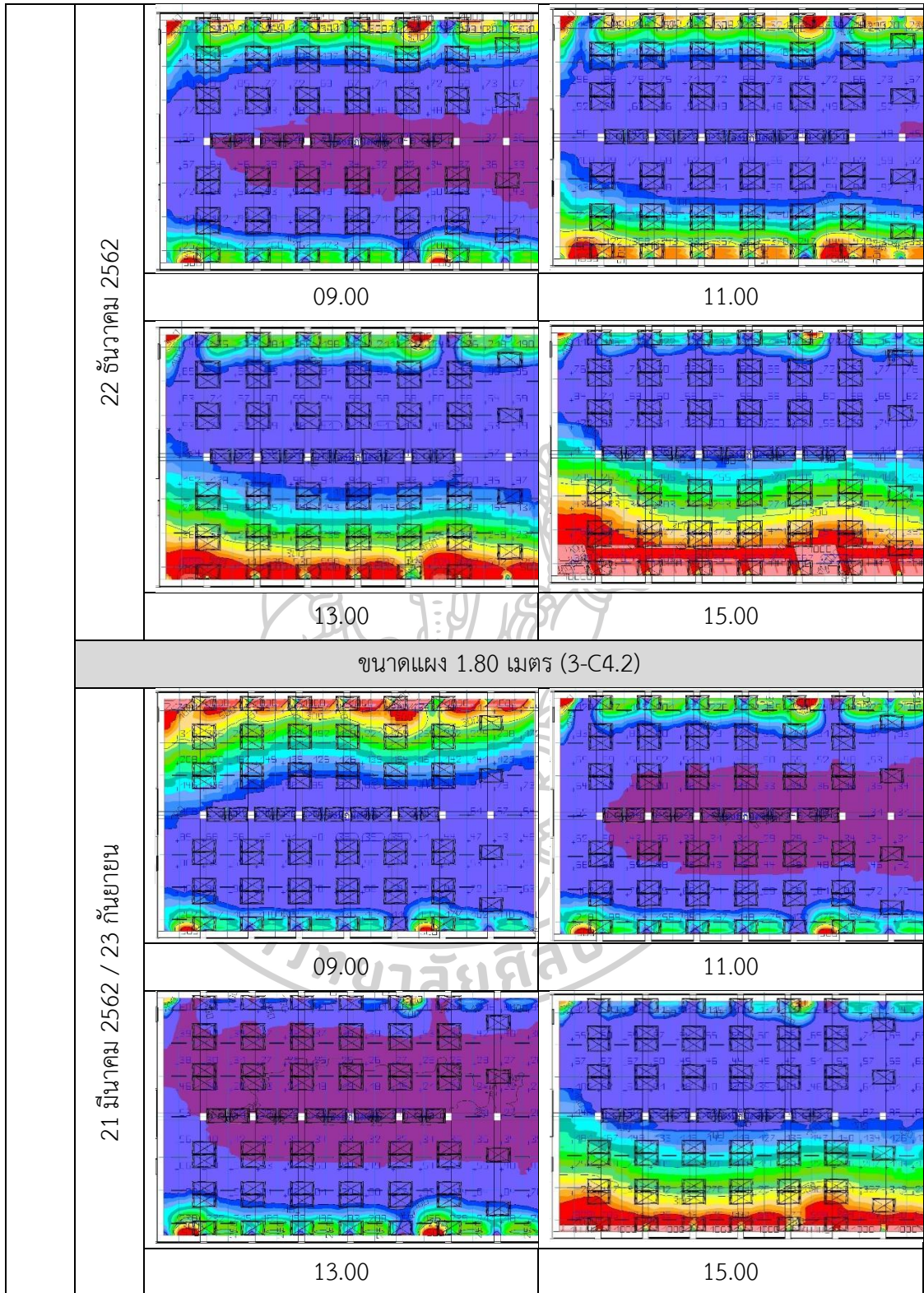


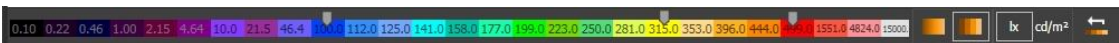
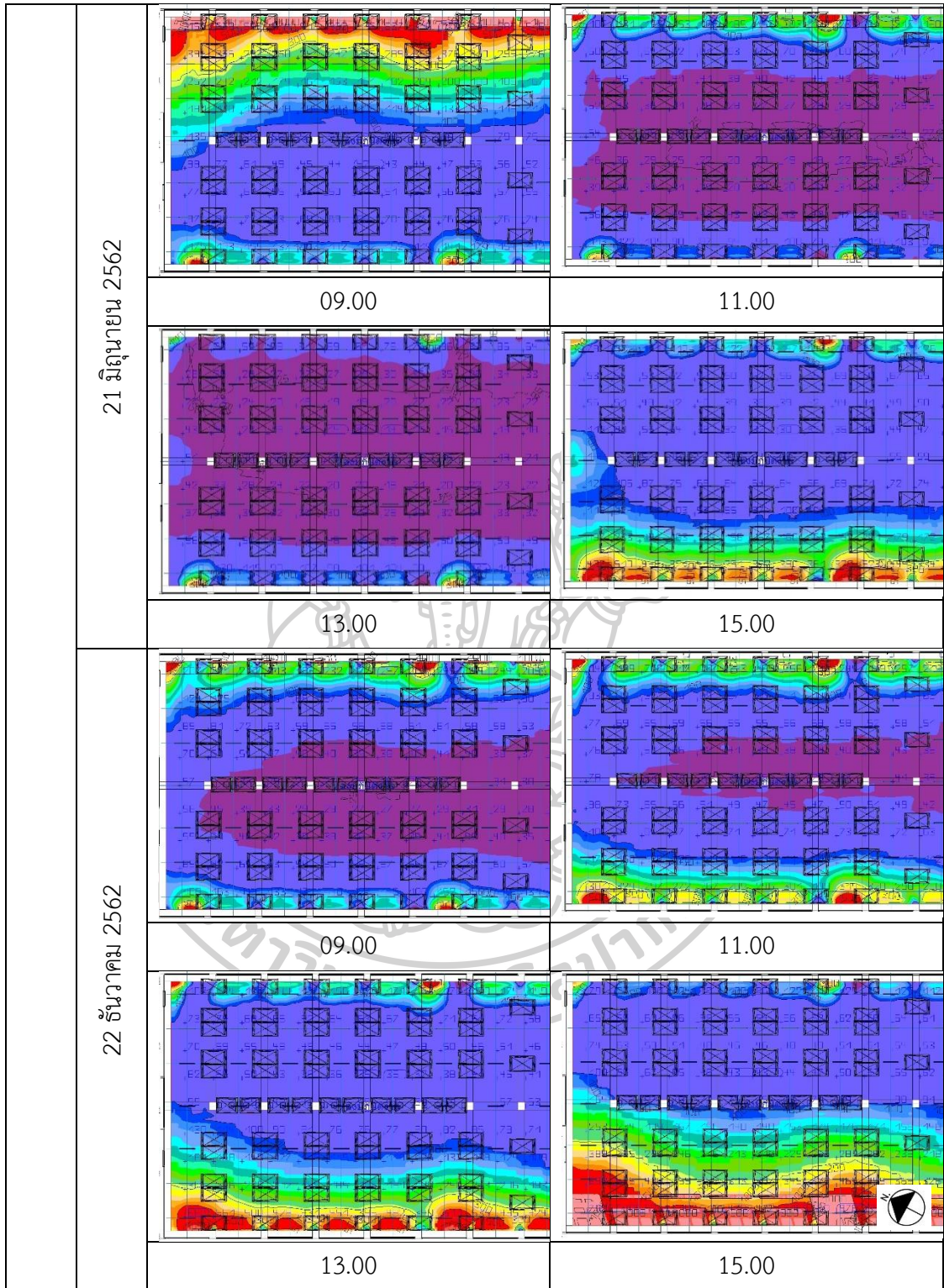












ตารางที่ 84 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างระยะติดตั้งกับขนาดของกันสาด ชั้น (3-C)

	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Unifromity
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.10 (3-C1)	ขนาดแผง 0.85 (3-C1.1)						
	21 มีนาคม 2562	736	340	268	919	565	0.12
	21 มิถุนายน 2562	998	260	171	477	476	0.12
	23 กันยายน 2562	736	340	268	919	565	0.12
	22 ธันวาคม 2562	302	432	520	1181	608	0.13
	เฉลี่ย	693	343	306	874	554	0.12
	ขนาดแผง 1.10 (3-C1.2)						
	21 มีนาคม 2562	525	202	160	638	381	0.11
	21 มิถุนายน 2562	736	153	101	289	319	0.11
	23 กันยายน 2562	525	202	160	638	381	0.11
	22 ธันวาคม 2562	188	260	324	997	442	0.13
	เฉลี่ย	493	204	186	640	381	0.12
	ขนาดแผง 1.60 (3-C1.3)						
	21 มีนาคม 2562	389	144	113	491	284	0.12
	21 มิถุนายน 2562	538	107	70	209	231	0.14
	23 กันยายน 2562	389	144	113	491	284	0.12
	22 ธันวาคม 2562	141	190	236	812	344	0.13
	เฉลี่ย	364	146	133	500	286	0.13
	ขนาดแผง 1.80 (3-C1.4)						
	21 มีนาคม 2562	344	115	90	430	244	0.14
21 มิถุนายน 2562	483	84	56	168	198	0.17	
23 กันยายน 2562	344	115	90	430	277	0.14	
22 ธันวาคม 2562	117	153	192	732	298	0.14	
เฉลี่ย	322	116	107	440	246	0.15	

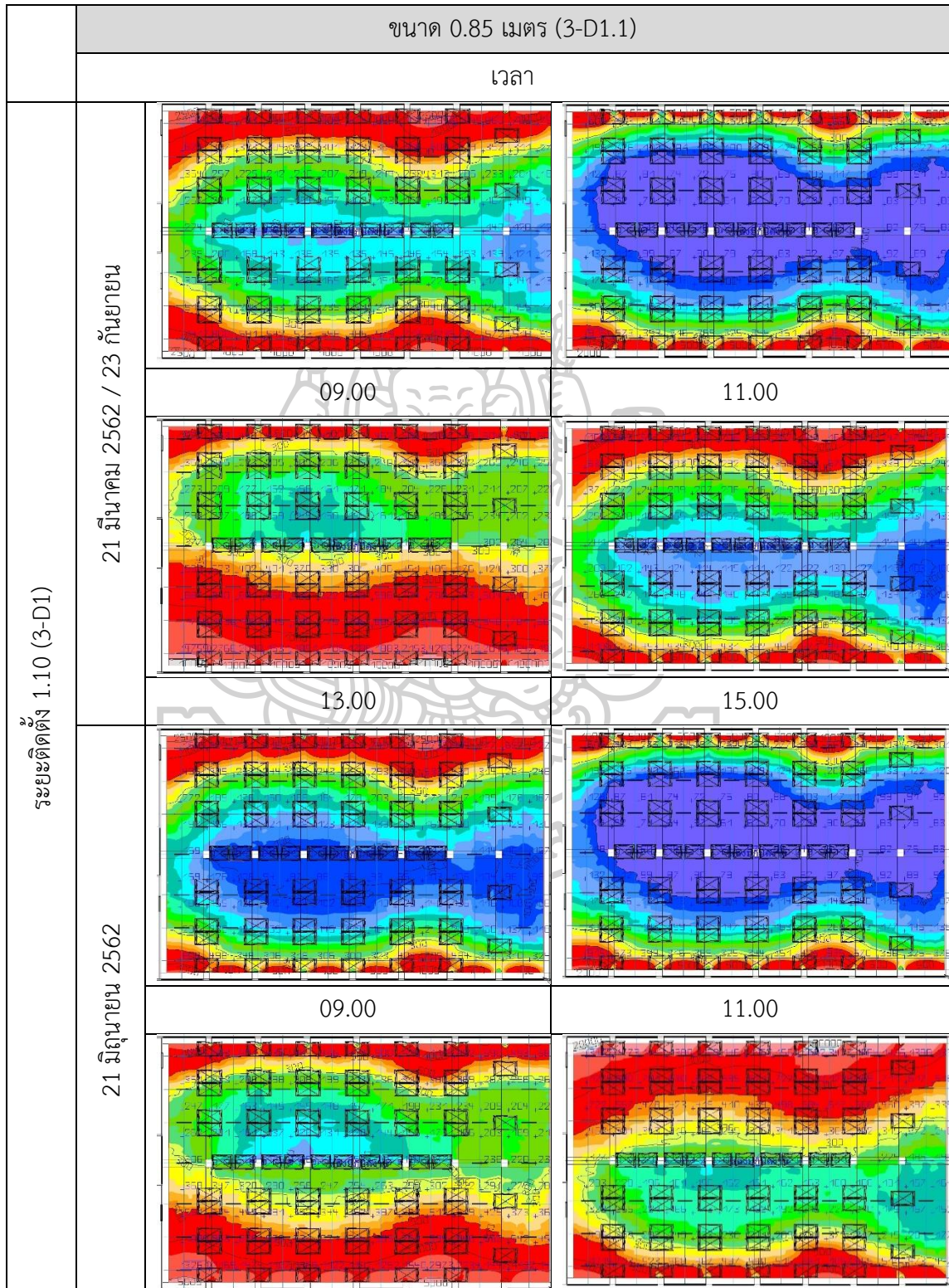
	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.30 (3-C2)	ขนาดแผง 0.85 (3-C2.1)						
	21 มีนาคม 2562	673	313	246	814	511	0.13
	21 มิถุนายน 2562	913	236	156	441	436	0.13
	23 กันยายน 2562	673	313	246	814	511	0.13
	22 ธันวาคม 2562	276	401	480	1148	576	0.13
	เฉลี่ย	633	315	282	804	508	0.13
	ขนาดแผง 1.10 (3-C2.2)						
	21 มีนาคม 2562	472	189	149	574	346	0.12
	21 มิถุนายน 2562	665	141	93	272	292	0.13
	23 กันยายน 2562	472	189	149	574	346	0.12
	22 ธันวาคม 2562	126	246	303	949	418	0.12
	เฉลี่ย	335	191	173	592	350	0.12
	ขนาดแผง 1.60 (3-C2.3)						
	21 มีนาคม 2562	357	130	102	447	259	0.14
	21 มิถุนายน 2562	503	95	63	188	212	0.17
	23 กันยายน 2562	357	130	102	447	259	0.14
	22 ธันวาคม 2562	126	172	213	770	320	0.15
	เฉลี่ย	335	131	120	463	262	0.15
	ขนาดแผง 1.80 (3-C2.4)						
	21 มีนาคม 2562	315	103	81	405	266	0.14
21 มิถุนายน 2562	450	74	50	150	181	0.19	
23 กันยายน 2562	315	103	81	405	226	0.14	
22 ธันวาคม 2562	103	137	171	688	274	0.16	
เฉลี่ย	295	104	95	412	227	0.16	

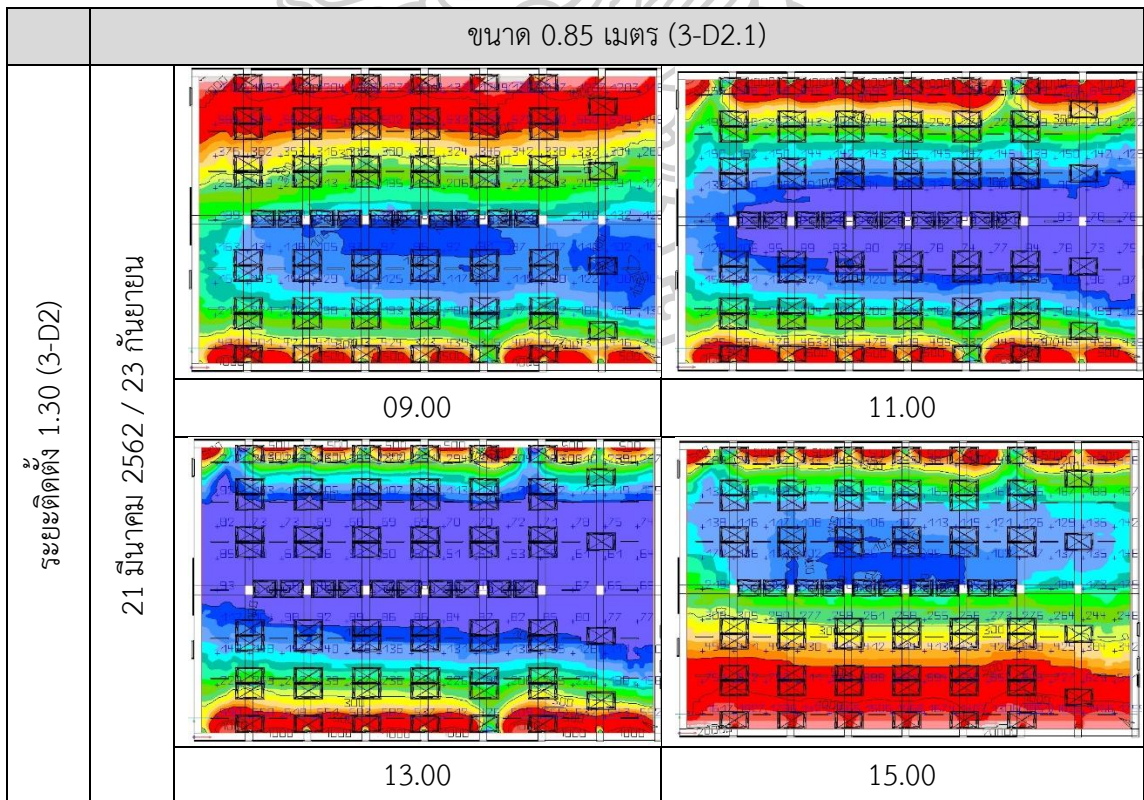
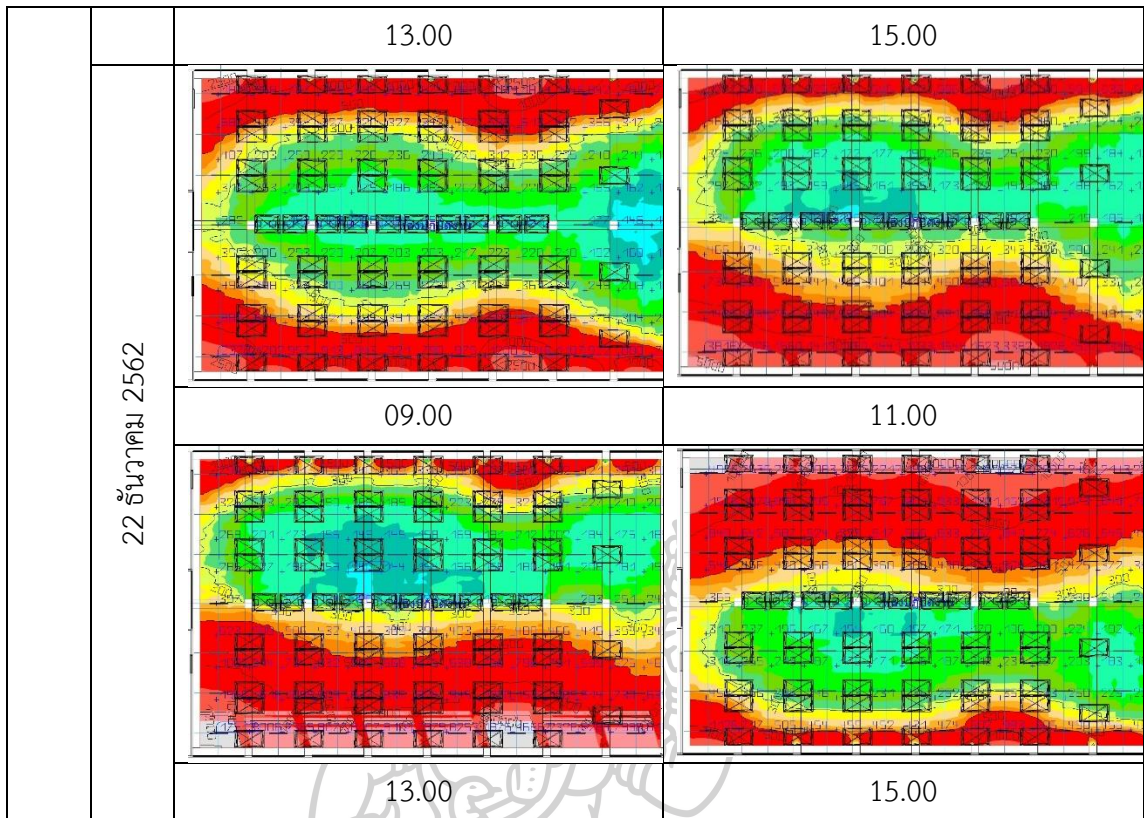
	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Unifromity
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.50 (3-C3)	ขนาดแผง 0.85 (3-C3.1)						
	21 มีนาคม 2562	605	287	224	711	456	0.13
	21 มิถุนายน 2562	825	215	141	404	396	0.14
	23 กันยายน 2562	605	287	224	711	456	0.14
	22 ธันวาคม 2562	265	371	440	1097	541	0.14
	เฉลี่ย	572	290	257	730	462	0.13
	ขนาดแผง 1.10 (3-C3.2)						
	21 มีนาคม 2562	173	137	514	161	246	0.14
	21 มิถุนายน 2562	128	84	249	420	220	0.14
	23 กันยายน 2562	173	137	514	161	246	0.14
	22 ธันวาคม 2562	228	279	911	592	502	0.11
	เฉลี่ย	175	159	547	333	303	0.13
	ขนาดแผง 1.60 (3-C3.3)						
	21 มีนาคม 2562	331	117	92	436	244	0.12
	21 มิถุนายน 2562	465	85	57	170	194	0.18
	23 กันยายน 2562	331	117	92	436	224	0.12
	22 ธันวาคม 2562	118	156	192	724	297	0.15
	เฉลี่ย	311	118	108	441	245	0.15
	ขนาดแผง 1.80 (3-C3.4)						
	21 มีนาคม 2562	305	92	73	391	215	0.16
21 มิถุนายน 2562	425	66	45	136	168	0.20	
23 กันยายน 2562	305	92	73	391	215	0.16	
22 ธันวาคม 2562	96	123	156	647	255	0.16	
เฉลี่ย	282	93	87	391	213	0.17	

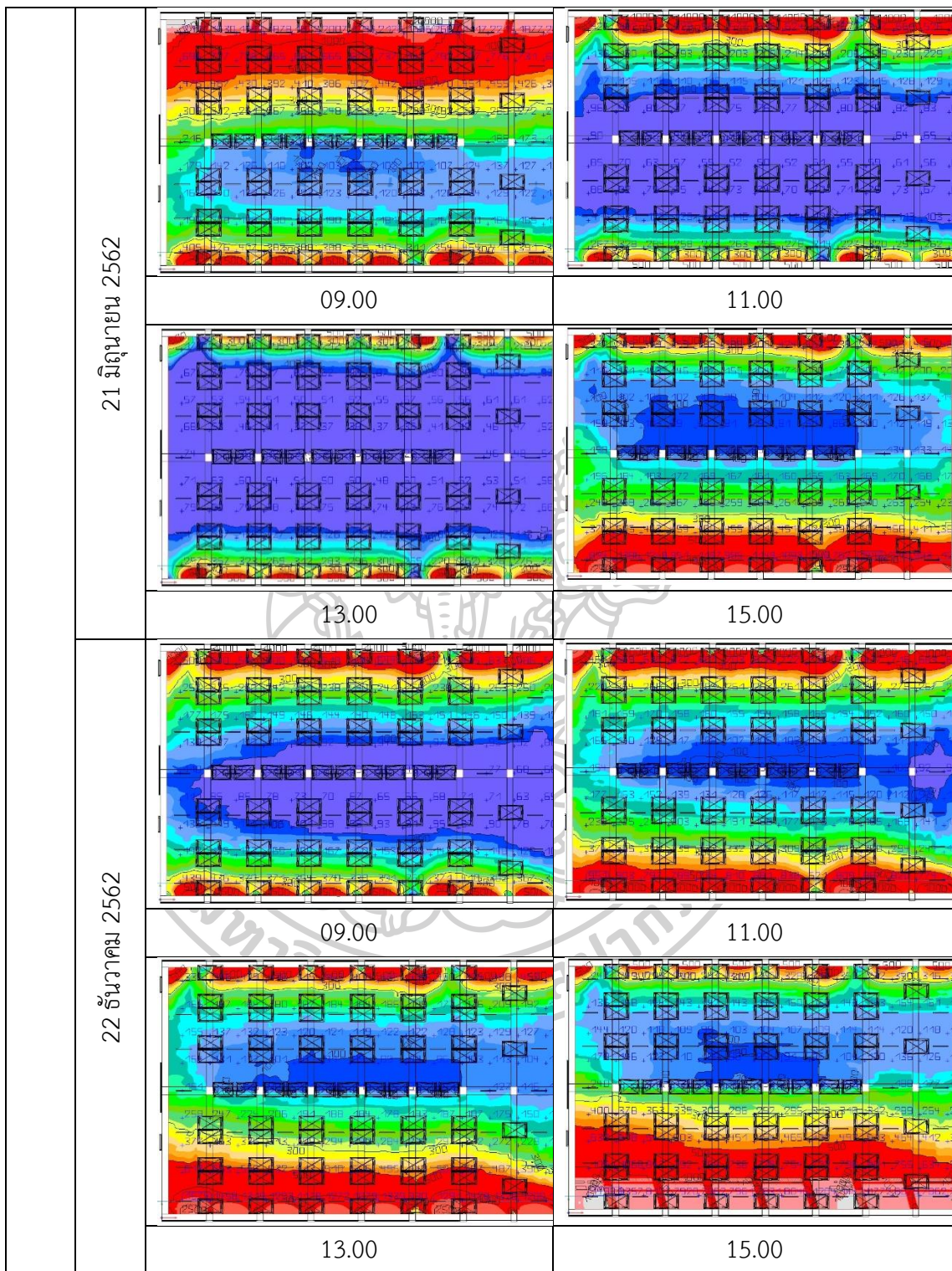
	วัน	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Unifromity
	เวลา	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.70 (3-C4)	ขนาดแผง 0.85 (3-C4.1)						
	21 มีนาคม 2562	738	264	206	663	418	0.14
	21 มิถุนายน 2562	239	196	129	372	358	0.14
	23 กันยายน 2562	738	264	206	663	418	0.14
	22 ธันวาคม 2562	239	196	408	1060	512	0.13
	เฉลี่ย	513	267	237	689	426	0.13
	ขนาดแผง 1.10 (3-C4.2)						
	21 มีนาคม 2562	388	158	124	505	293	0.12
	21 มิถุนายน 2562	540	177	76	226	239	0.15
	23 กันยายน 2562	388	158	124	505	293	0.12
	22 ธันวาคม 2562	152	209	255	870	371	0.13
	เฉลี่ย	367	160	144	526	299	0.13
	ขนาดแผง 1.60 (3-C4.3)						
	21 มีนาคม 2562	327	107	84	423	235	0.16
	21 มิถุนายน 2562	453	77	52	157	185	0.17
	23 กันยายน 2562	237	107	84	423	235	0.17
	22 ธันวาคม 2562	109	143	179	682	278	0.17
	เฉลี่ย	304	108	100	421	233	0.17
	ขนาดแผง 1.80 (3-C4.4)						
	21 มีนาคม 2562	296	82	65	390	208	0.16
21 มิถุนายน 2562	424	59	41	123	162	0.20	
23 กันยายน 2562	296	82	65	390	208	0.16	
22 ธันวาคม 2562	88	111	142	627	242	0.18	
เฉลี่ย	276	84	78	382	205	0.18	

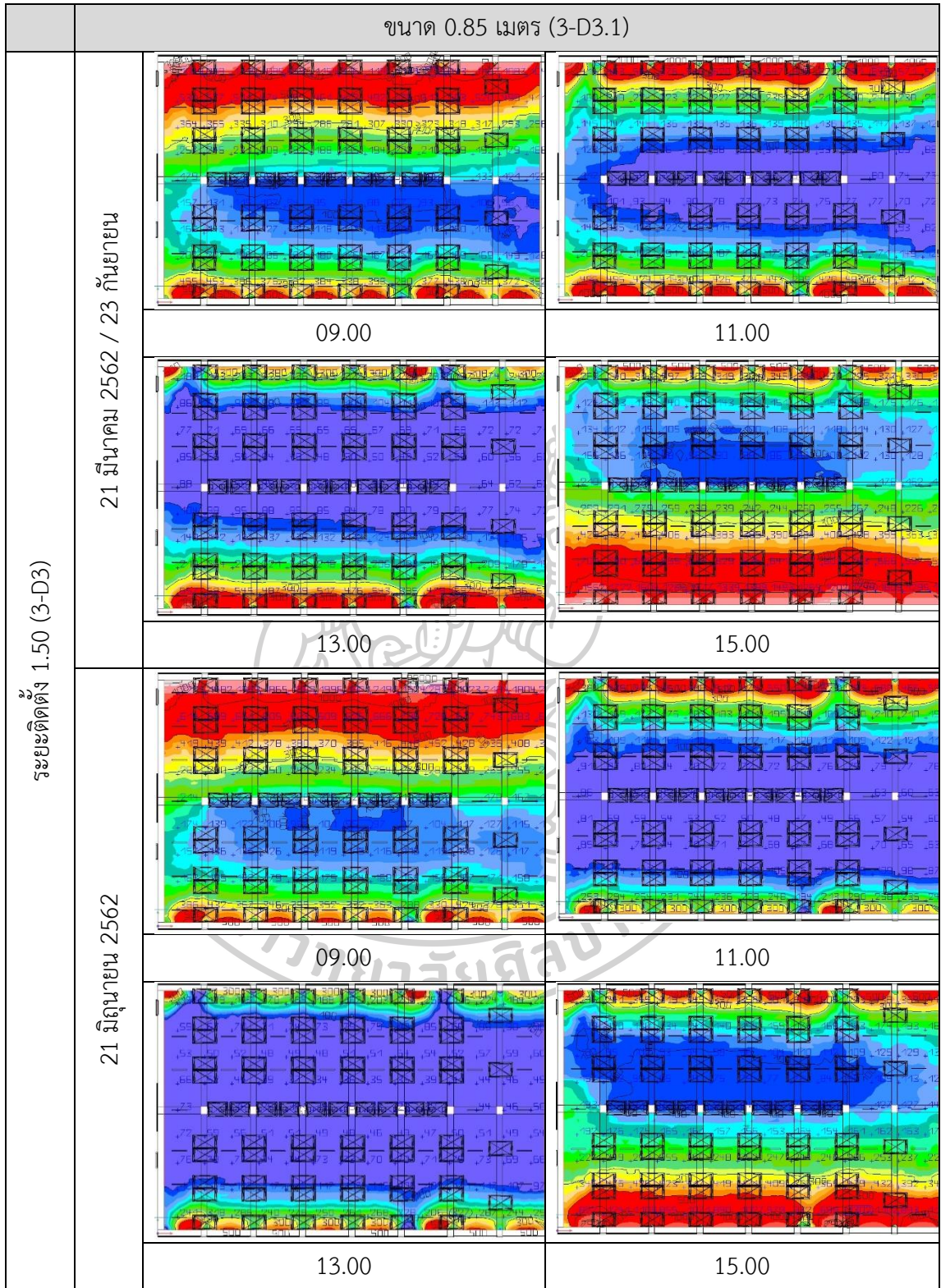
1.4.4 ผลการศึกษาความส่องสว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D)

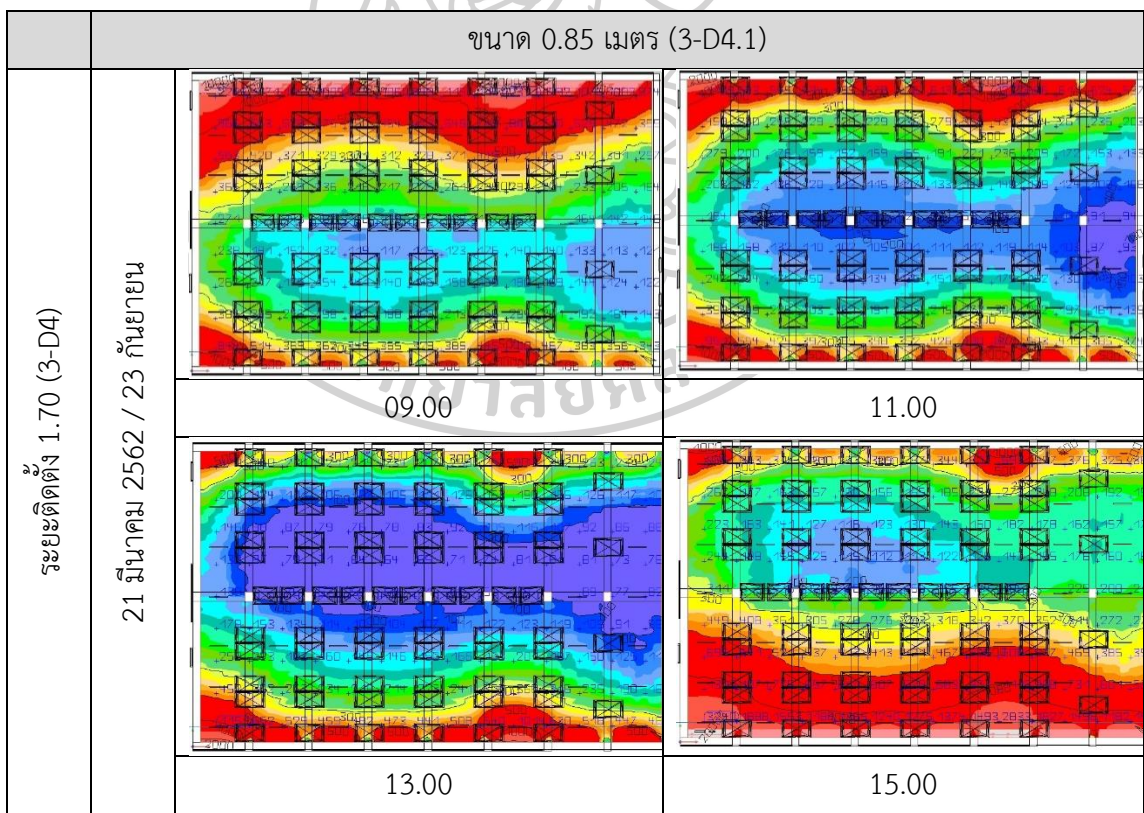
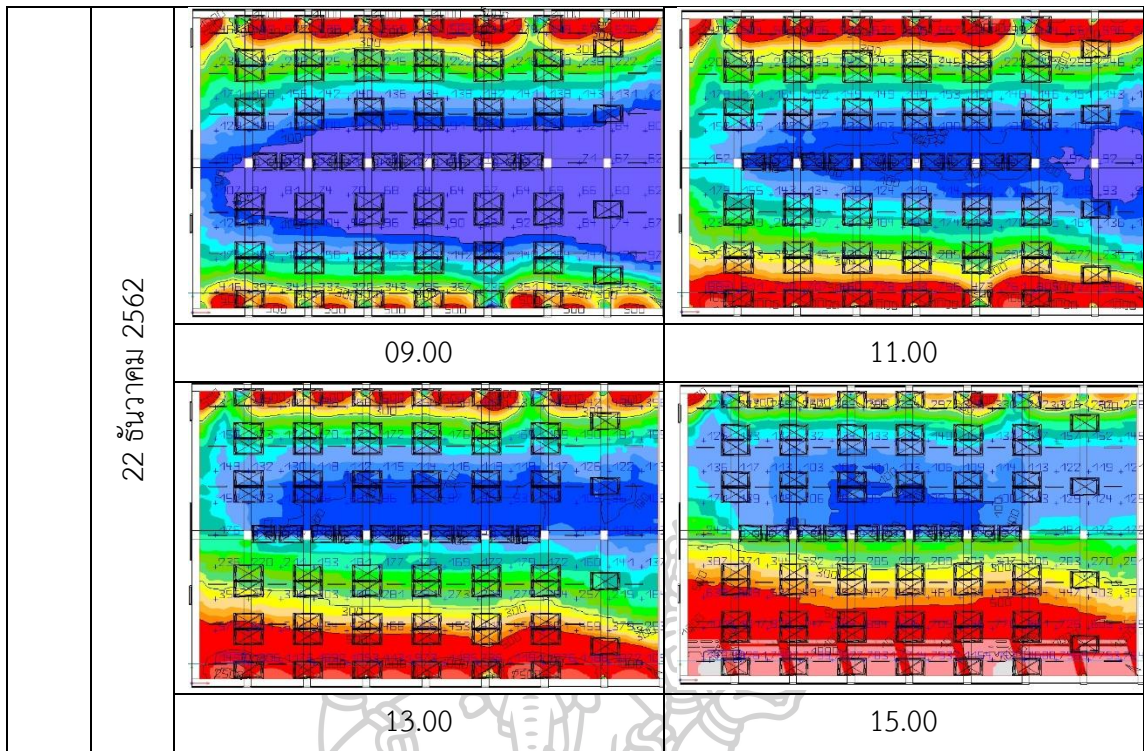
ตารางที่ 85 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเนียมเป็นกระจกใส (3-D)

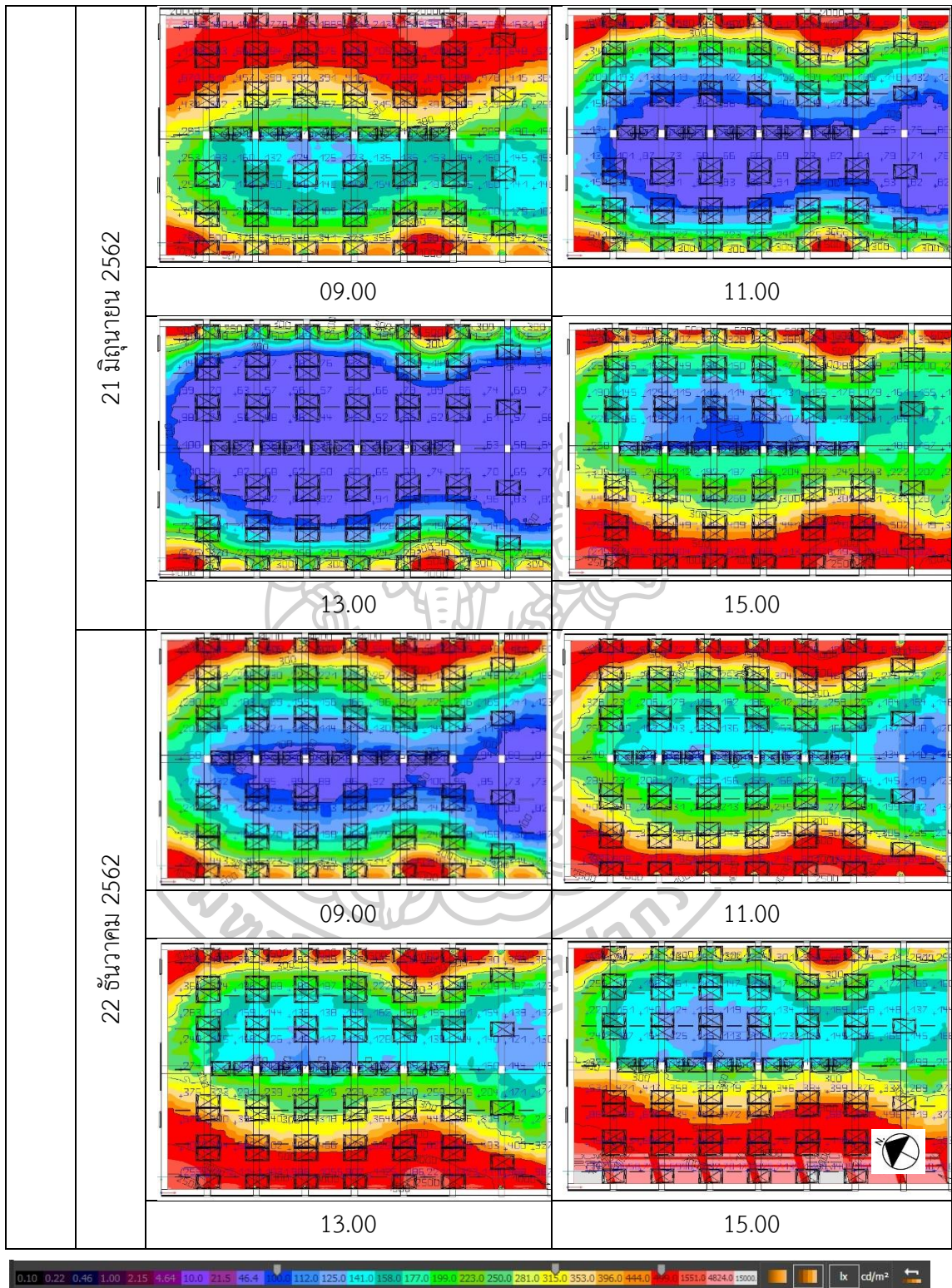








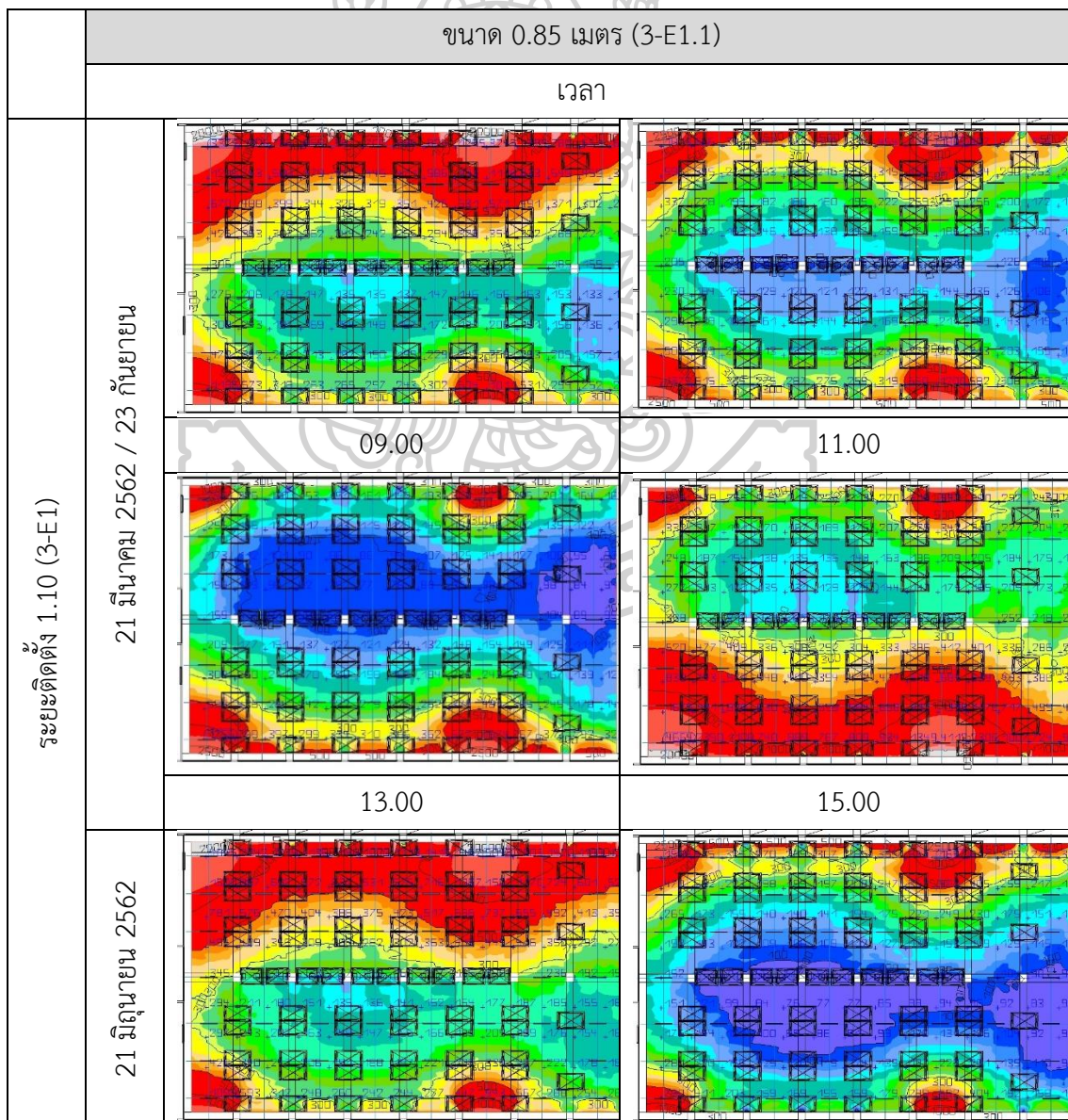


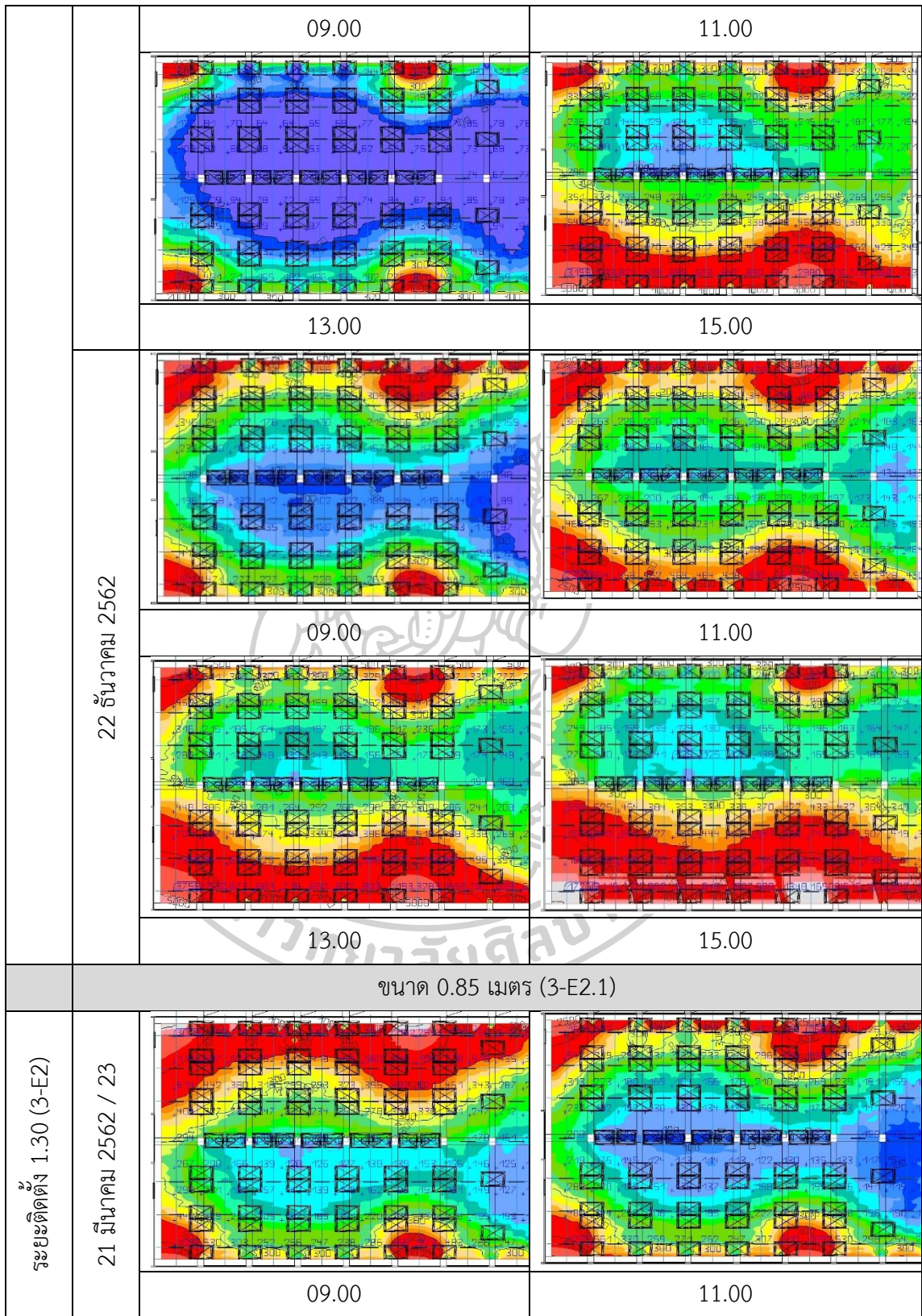


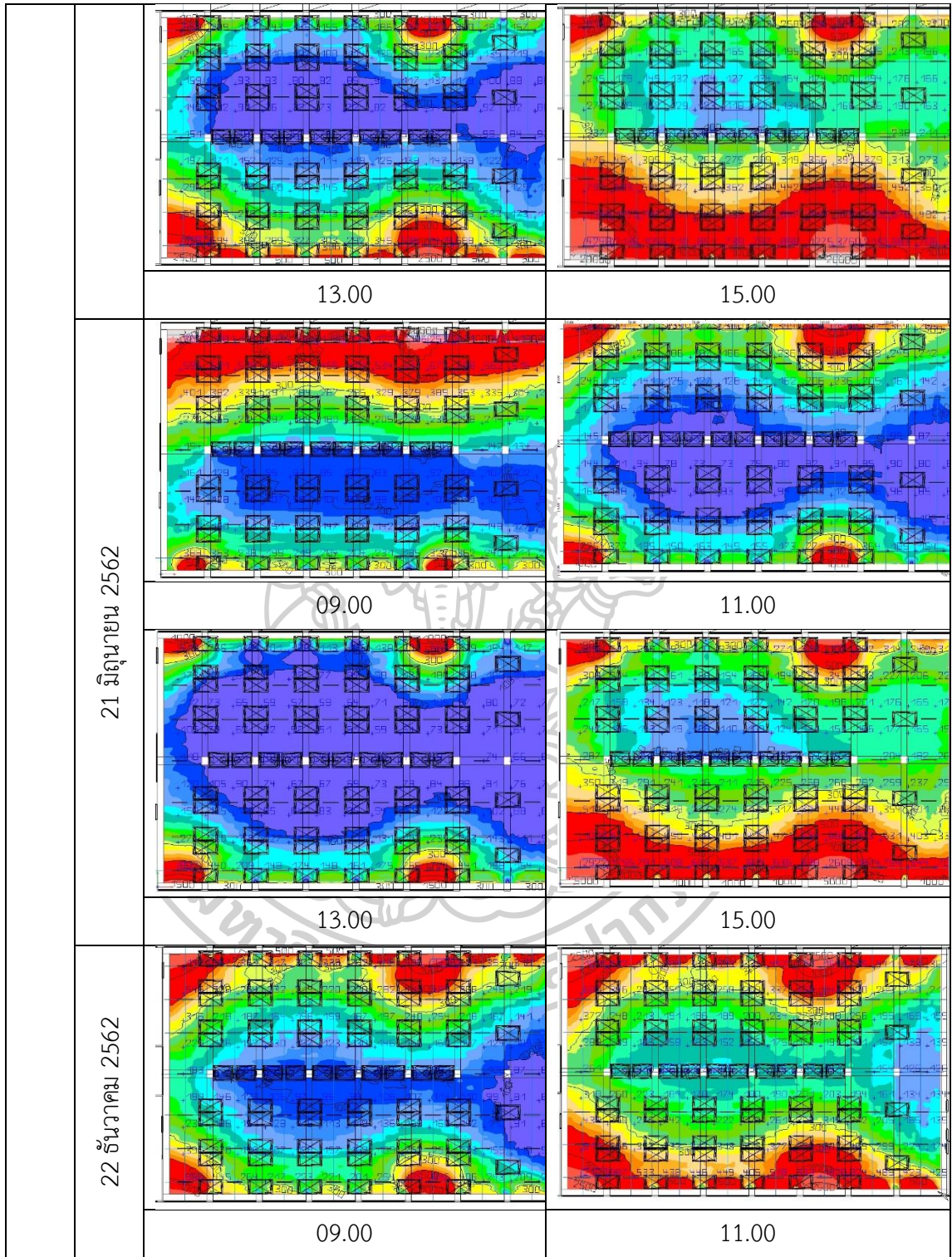
ระยะติดตั้ง 1.70 (3-D4)	ขนาดแผง 0.85 (3-D4.1)						
	21 มีนาคม 2562	189	209	252	689	334	0.25
	21 มิถุนายน 2562	229	150	345	987	427	0.16
	23 กันยายน 2562	189	209	252	689	334	0.25
	22 ธันวาคม 2562	556	389	598	1048	647	0.17
เฉลี่ย	290	239	361	853	436	0.20	

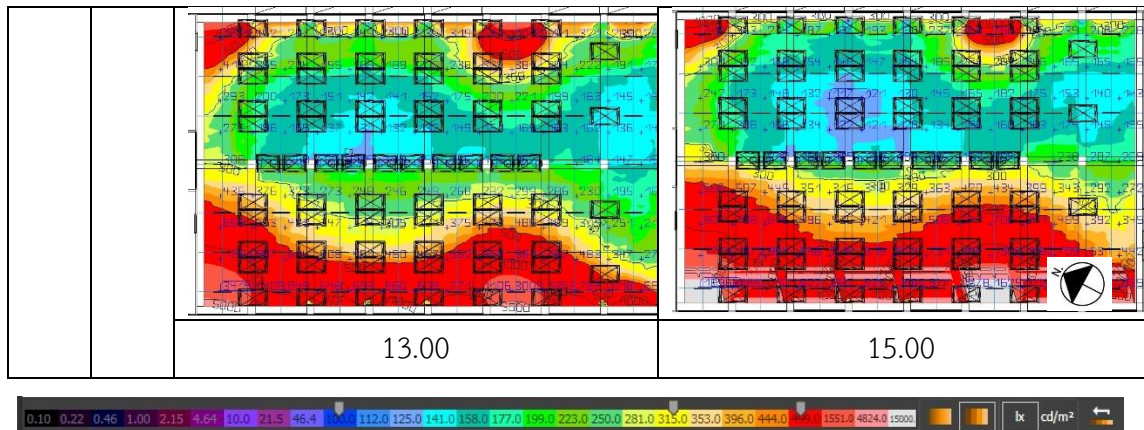
1.4.5 ผลการศึกษาความส่องสว่างการติดตั้งเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)

ตารางที่ 87 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของการติดตั้งเพิ่มหิ้งสะท้อนแสงภายนอก (3-E)







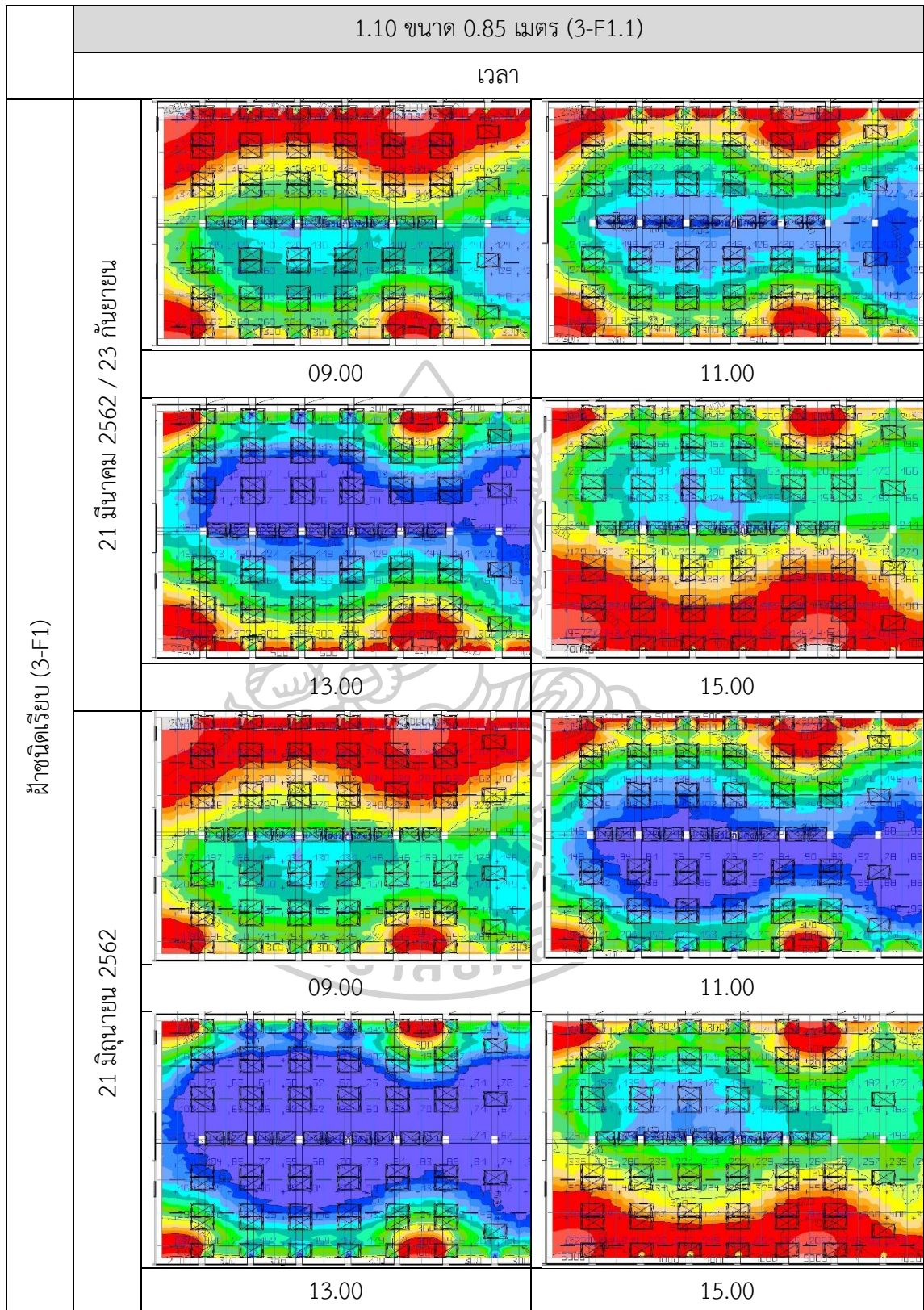


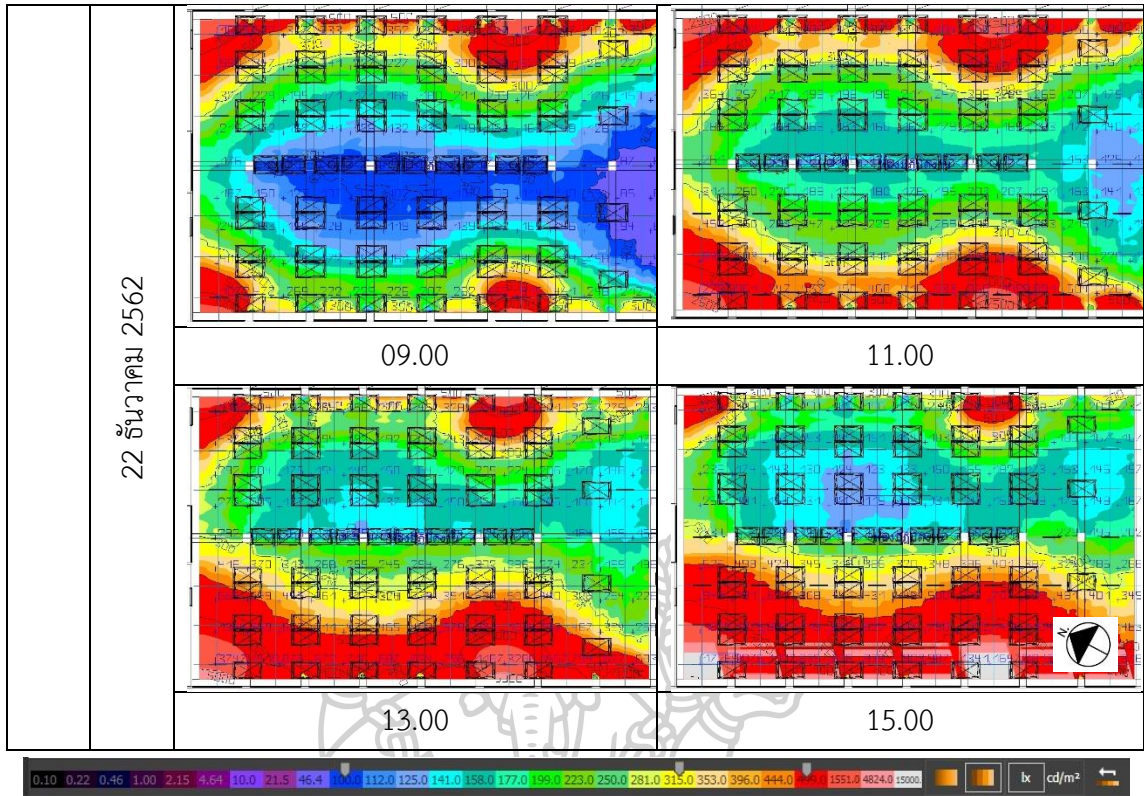
ตารางที่ 88 ค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการติดตั้งเพิ่มห้องสะท้อนแสงภายนอก (3-E)

	วัน เวลา	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity
		(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.10 (3-E1)	ขนาดแผง 0.85 (3-E1.1)						
	21 มีนาคม 2562	568	308	239	651	411	0.17
	21 มิถุนายน 2562	744	231	152	432	389	0.18
	23 กันยายน 2562	568	308	239	651	411	0.17
	22 ธันวาคม 2562	270	396	466	1056	547	0.17
	เฉลี่ย	537	310	274	697	454	0.17
	วัน เวลา	9.00	11.00	13.00	15.00	เฉลี่ย	Uniformity
		(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(Lux)	(min/mean)
ระยะติดตั้ง 1.30 (F3-E2)	ขนาดแผง 0.85 (3-E2.1)						
	21 มีนาคม 2562	523	284	220	592	404	0.17
	21 มิถุนายน 2562	592	249	368	433	410	0.18
	23 กันยายน 2562	523	284	220	592	404	0.17
	22 ธันวาคม 2562	249	368	433	1001	512	0.16
	เฉลี่ย	471	296	310	654	433	0.17

1.4.6 ผลการศึกษาความส่องสว่างชนิดของฝ้าเพดาน (3-F)

ตารางที่ 89 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของชนิดของฝ้าเพดาน (3-F)

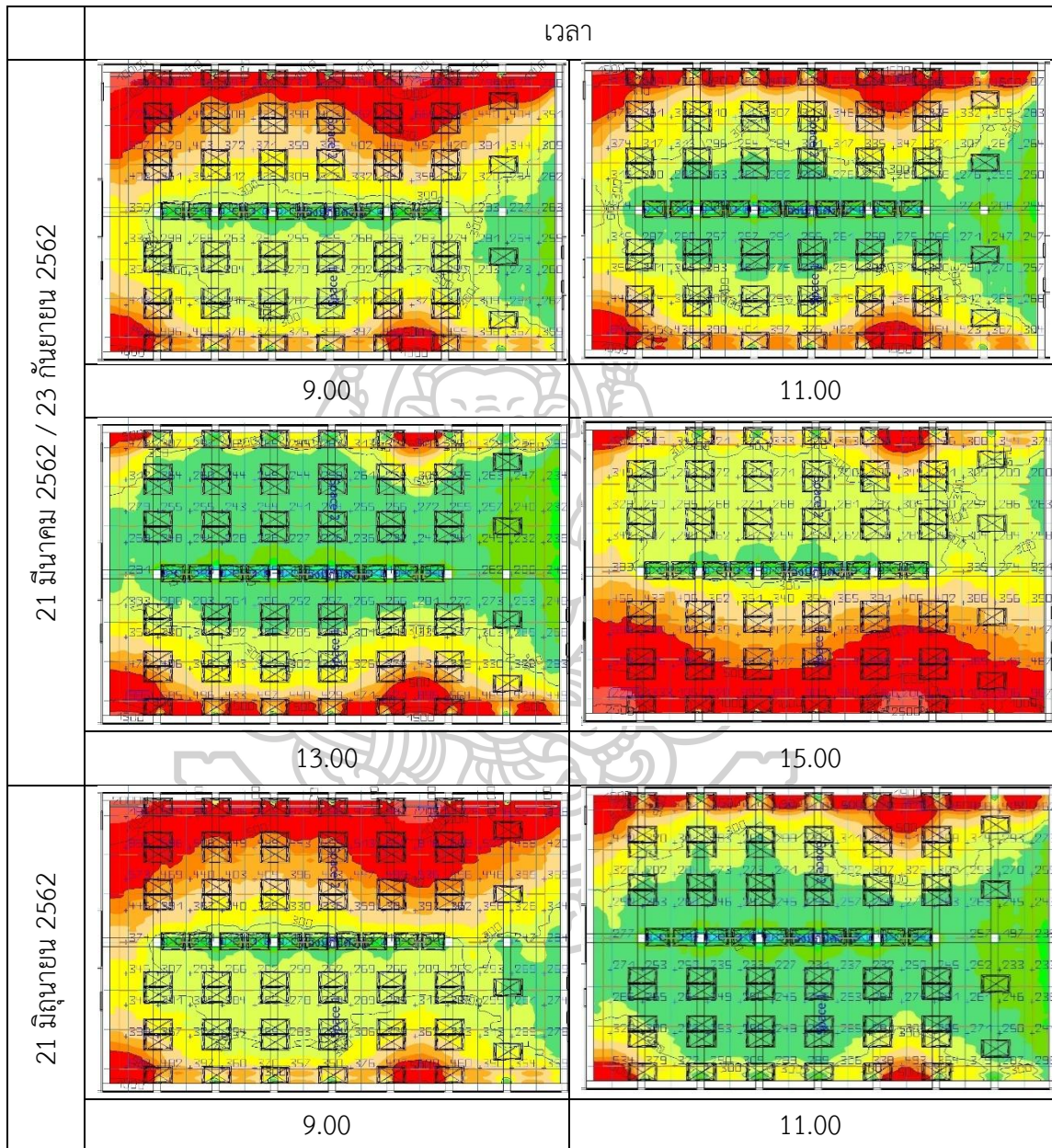


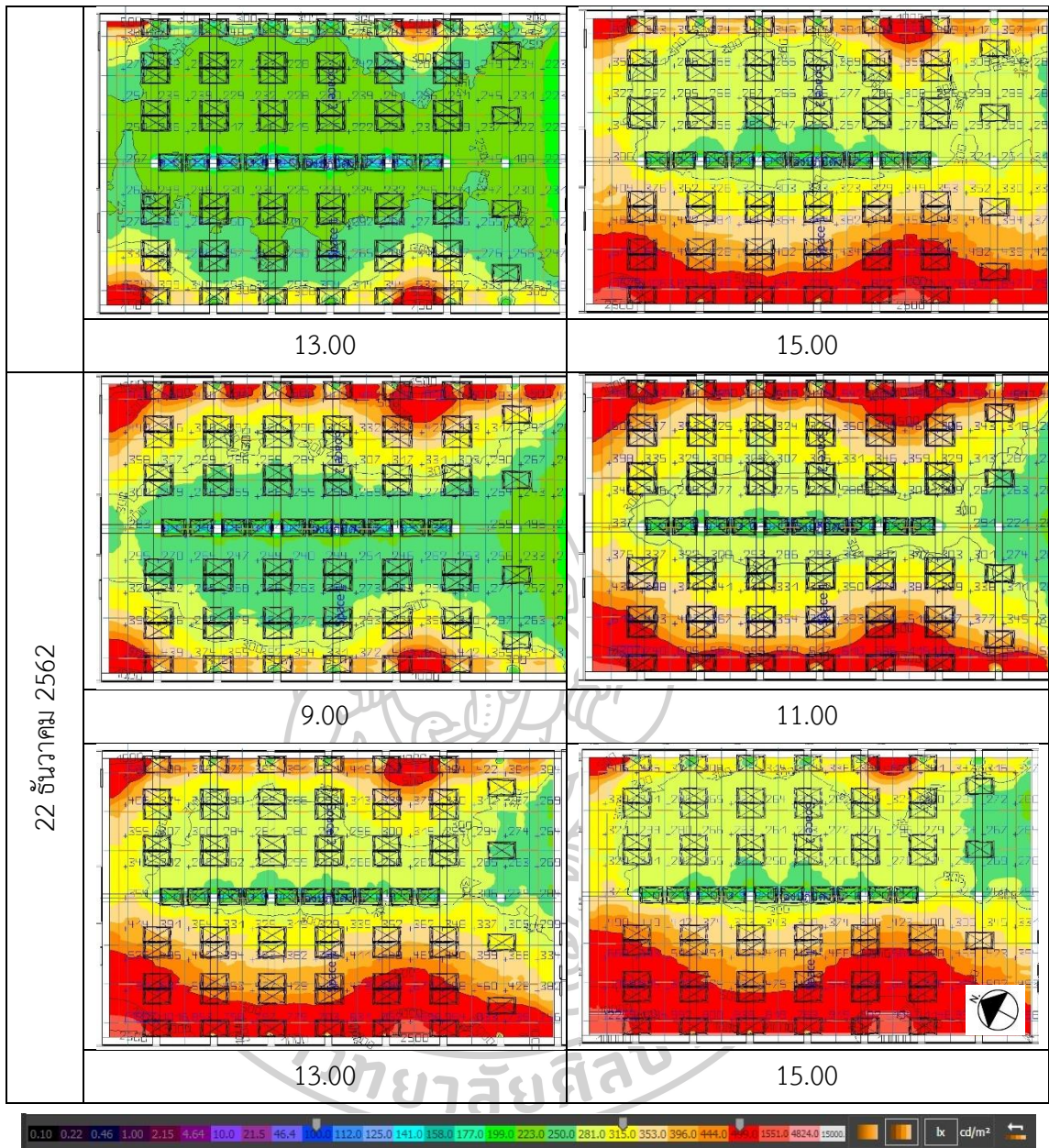


1.5 ผลการศึกษาหลักการปรับปรุงแสงประดิษฐ์ชั้น 3

1.5.1 ผลการศึกษาความส่องสว่าง (3-lightA)

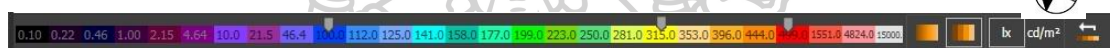
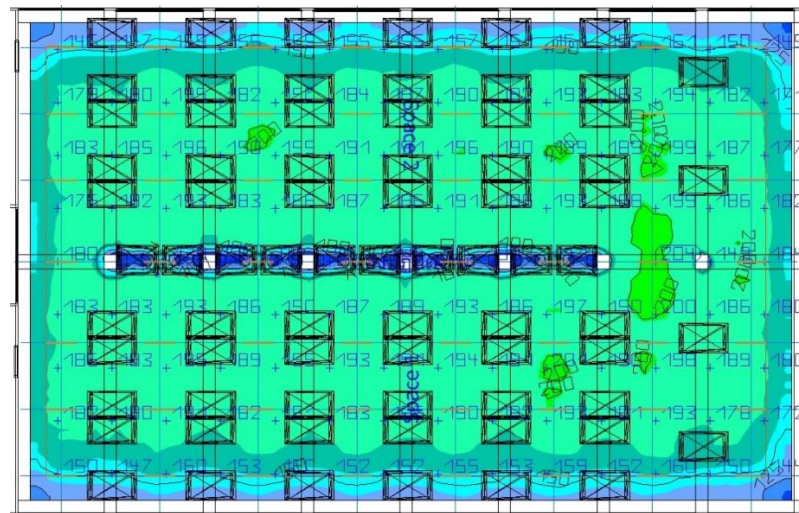
ตารางที่ 90 ผลการศึกษาค่าความส่องสว่างของก่อนการปรับปรุง (3-lightA)





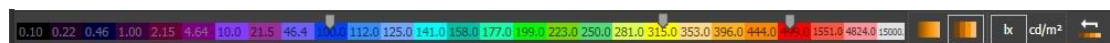
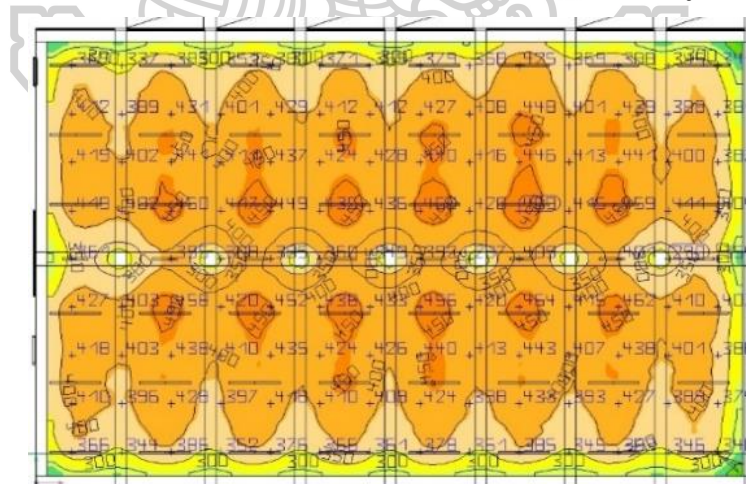
1.5.2 ผลการศึกษาความส่องสว่างก่อนการปรับปรุงโดยไม่พึ่งพาแสงธรรมชาติ

(3-lightA1)

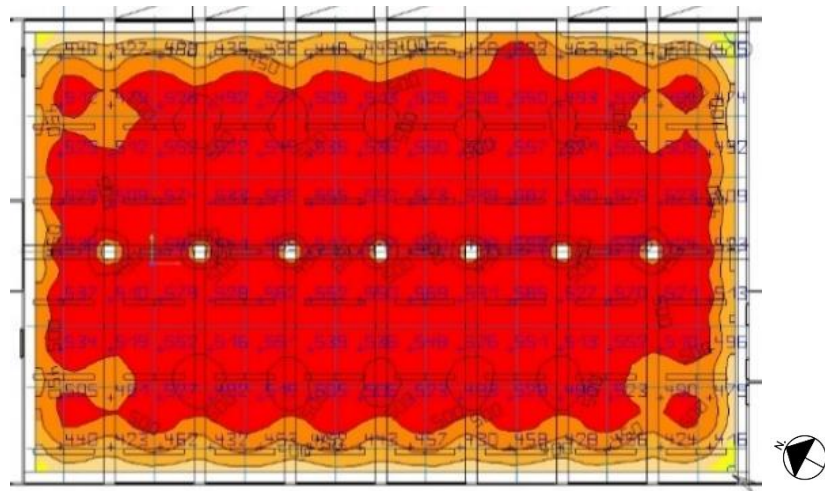


ภาพที่ 104 ผลการศึกษาความส่องสว่าง Base case ก่อนปรับปรุงโดยไม่พึ่งพาแสงธรรมชาติ No daylight (3-lightA1)

1.5.3 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงรูปแบบที่ 1 (3-lightB)

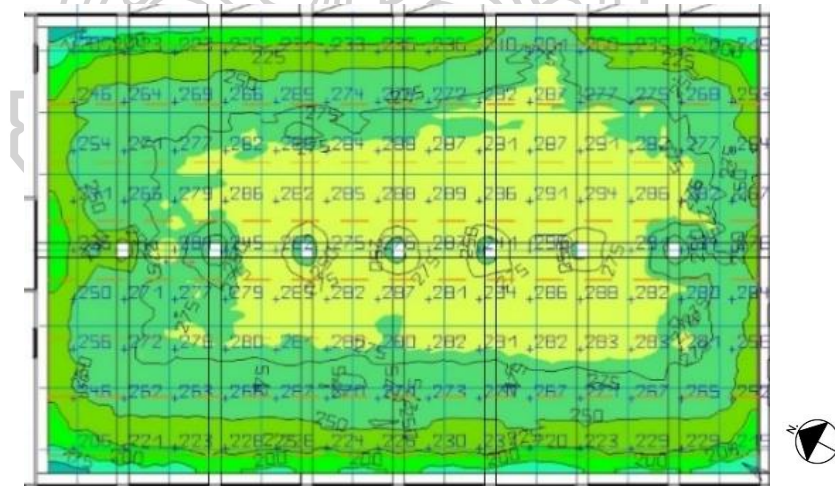


ภาพที่ 105 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 104 หลอด (3-lightB1)

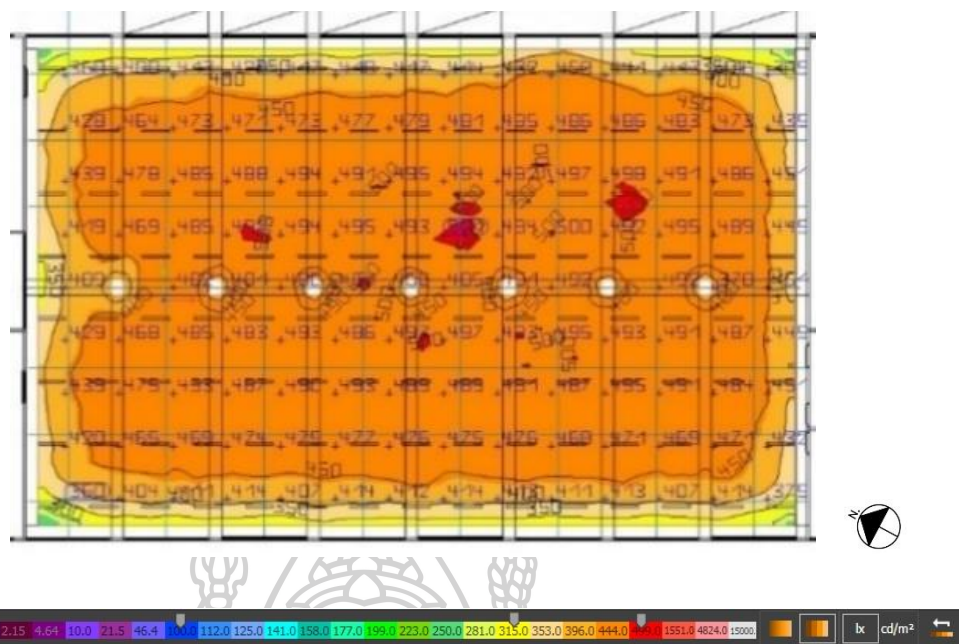


ภาพที่ 106 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 1 ชนิดหลอด 30 W จำนวน 104 หลอด (3-lightB2)

1.5.4 ผลการศึกษาค่าเฉลี่ยความส่องสว่างของการปรับปรุงรูปแบบที่ 2 (3-lightC)



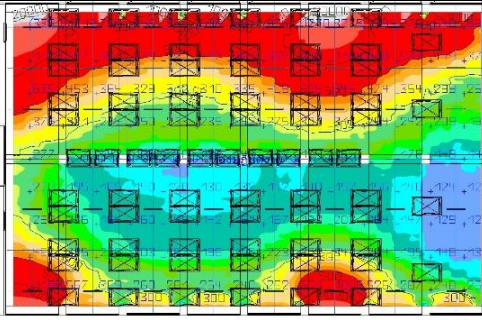
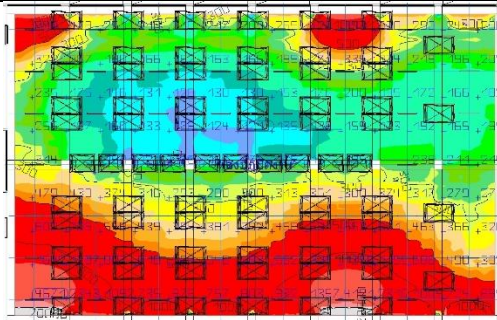
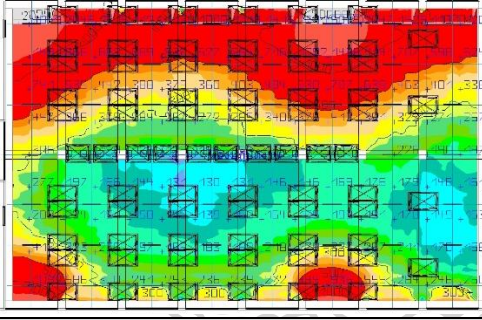
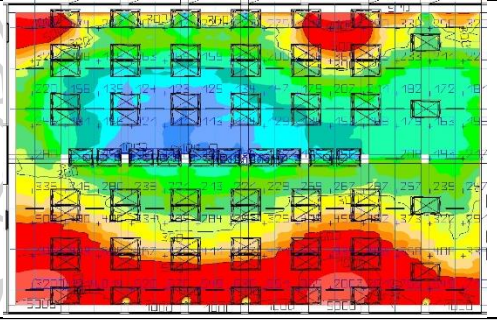
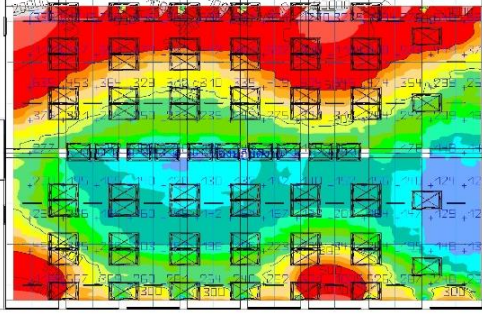
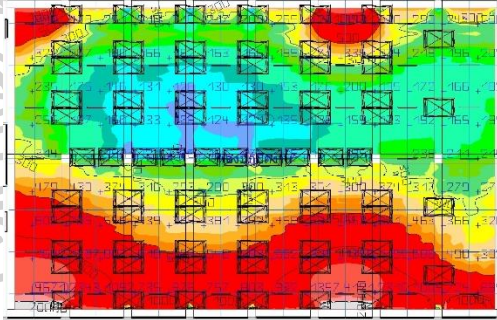
ภาพที่ 107 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2 ชนิดหลอด 20 W จำนวน 114 หลอด (3-lightC1)



ภาพที่ 108 ผลการศึกษาการปรับปรุงแสงประดิษฐ์รูปแบบที่ 2 ชนิดหลอด 27 W จำนวน 114 หลอด (3-lightC2)



ตารางที่ 91 ความส่องสว่างของแสงธรรมชาติในวันสำคัญ 4 วัน

	เวลา	
	9.00 น.	15.00 น.
21 มี.ค.		
21 มี.ย.		
23 ก.ย.		
	13.00 น.	15.00 น.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นางสาวกนกกานต์ วังมณี
วัน เดือน ปี เกิด	01 มกราคม 2535
สถานที่เกิด	จังหวัดแพร่
วุฒิการศึกษา	สถาปัตยกรรมศาสตร์บัณฑิต สาขาสถาปัตยกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี ราชมงคลธัญบุรี (สำเร็จการศึกษาในปี 2557)
ที่อยู่ปัจจุบัน	227 ม.9 ถ.น้ำทองแอร์พอร์ต ต.นาจักร อ.เมืองแพร่ จ.แพร่

