



การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความสว่างรวมของแสงธรรมชาติจากการปกคลุมท้องฟ้าของ

เมฆ

โดย

นางสาวนัฐยาศร บุรีวัน



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญามหาบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

ปีการศึกษา 2564

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความสว่างรวมของแสงธรรมชาติจากการปกคลุม
ท้องฟ้าของเมฆ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต
ภาควิชาฟิสิกส์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2564
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF A MODEL FOR CALCULATING GLOBAL SOLAR
ILLUMINANCE FROM CLOUD COVER



By
MISS Nattayasorn BURIWAN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for Master of Science (PHYSICS)
Department of PHYSICS
Graduate School, Silpakorn University
Academic Year 2021
Copyright of Silpakorn University

| | |
|----------------------|--|
| หัวข้อ | การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความสว่างรวมของแสง ธรรมชาติจากการปกคลุมท้องฟ้าของเมฆ |
| โดย | นัฐยาศร บุรีวัน |
| สาขาวิชา | ฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทมหาบัณฑิต |
| อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก | ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย |

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

| | |
|--|----------------------|
| | คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย |
| (รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช) | |
| พิจารณาเห็นชอบโดย | |
| | ประธานกรรมการ |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อิสระ มะศิริ) | |
| | อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก |
| (ศาสตราจารย์ ดร.เสริม จันทร์ฉาย) | |
| | อาจารย์ที่ปรึกษารวม |
| (ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รุ่งรัตน์ วัตตาล) | |
| | ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก |
| (รองศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล) | |

620720022 : ฟิสิกส์ แผน ก แบบ ก 2 ระดับปริญญาโทบัณฑิต

คำสำคัญ : ความเข้มแสงสว่างรวมจากดวงอาทิตย์, ปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า, แบบจำลอง

นางสาว นัฐยาศร บุรีวัน: การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความสว่างรวมของแสงธรรมชาติจากการปกคลุมท้องฟ้าของเมฆ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ย ต่อเดือนจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า ในการพัฒนาแบบจำลองดังกล่าว ผู้วิจัยได้ดำเนินการวัด ความเข้มแสงสว่างธรรมชาติบนพื้นราบ และข้อมูลเมฆจากภาพถ่ายท้องฟ้า ที่สถานีอุตุนิยมวิทยา 4 แห่ง ได้แก่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ (18.78 °N, 98.98 °E) ศูนย์อุตุนิยมวิทยา ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี (15.25 °N, 104.87 °E) มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัด นครปฐม (13.82 °N, 100.04 °E) และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา (7.20 °N, 100.60 °E) จากนั้นได้ใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2015-2019 เป็นระยะเวลา 5 ปี เพื่อสร้าง แบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่าง ซึ่งแสดงความสัมพันธ์เชิงเส้นระหว่างอัตราส่วนความ เข้มแสงสว่างรวมต่อความเข้มแสงสว่างรวมนอกบรรยากาศโลกกับปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า จากนั้นทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง โดยนำไปคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างจากข้อมูลที่ไม่ได้ใช้ในการสร้างแบบจำลองของสถานีหลัก 4 แห่ง ในช่วงปี ค.ศ. 2020 และนำผลที่ได้ไป เปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการวัด ผลที่ได้พบว่าค่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองส่วนใหญ่มี ความสอดคล้องกับค่าที่ได้จากการวัด โดยมีความต่างในรูปของ root mean square difference เท่ากับ 16.0% และ mean bias difference เท่ากับ 0.56% แสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่ ผู้วิจัยพัฒนาขึ้นอยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดี และสามารถนำไปคำนวณหาค่าความเข้มแสงสว่างรวมได้ สุดท้าย ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติของความเข้มแสงสว่างรวมจากทั้ง 15 สถานี ในลักษณะของ การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามเวลาในรอบวัน การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลใน รอบปี และการแจกแจงความเข้มแสงสว่างรวมในแต่ละเดือน

620720022 : Major (PHYSICS)

Keyword : global solar illuminance cloud cover model

MISS NATTAYASORN BURIWAN : DEVELOPMENT OF A MODEL FOR CALCULATING GLOBAL SOLAR ILLUMINANCE FROM CLOUD COVER THESIS ADVISOR : PROFESSOR DR. SERM JANJAI

In this work, a model for calculating monthly average hourly global solar illuminance from cloud cover was developed. To obtain data for the development of the model, global solar illuminance and cloud cover were measured at four locations namely, the Meteorological Center of the North at Chiang Mai (18.78 °N, 98.98 °E), the Meteorological Center in the Northeast at Ubon Ratchathani (15.25 °N, 104.87 °E), the Solar Monitoring station of Silpakorn University at Nakhon Pathom (13.82 °N, 100.04 °E) and the Meteorological Center of the Eastern Coast of the South at Songkhla (7.20 °N, 100.60 °E) encompassing the year 2015-2020. The data from the measurement in the period of 2015-2019 (5 years) were used to create the model. The model expresses a linear relation between the ratio of the illuminance to the corresponding value of extraterrestrial illuminance and cloud cover. To evaluate the performance of the model, it was used to calculate the illuminance at the four stations using the data for the year 2020. It was found that most of the illuminance calculated from the model reasonably agree with those obtained from the measurement. Additionally, statistical characteristics of global solar illuminance from 15 meteorological stations throughout the country were also analyzed. The analysis includes the diurnal variation, seasonal variation and statistical distribution of the global solar illuminance.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ซึ่งผู้วิจัยขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณศาสตราจารย์ ดร. เสริม จันทร์ฉาย ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ให้คำแนะนำด้านวิชาการ พร้อมทั้งจัดหาทุนวิจัย เครื่องมือ อุปกรณ์ และข้อมูลสำหรับการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. พิพัฒน์ ชัยวิวัฒน์วรกุล ที่กรุณาเสียสละเวลามาเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ในครั้งนี้เป็นอย่างสูงยิ่ง

นอกจากนี้ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. รุ่งรัตน์ วัฒนาล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อิศระ มะศิริ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สมเจตน์ ภัทรพานิชชัย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุมาลย์ บันเทิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ประสาน ปานแก้ว อาจารย์ ดร. อรรธรณ อัมพร และนักวิจัยของห้องปฏิบัติการวิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยศิลปากร ที่ช่วยสนับสนุนช่วยเหลือ และแนะนำเกี่ยวกับงานวิจัย และขอบคุณเจ้าหน้าที่ ภาควิชาฟิสิกส์ทุกท่านที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ คุณประโยชน์ที่ได้จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้วิจัยขอมอบให้บิดาและมารดา รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่าน เพื่อตอบแทนพระคุณที่ได้ช่วยให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการศึกษา

นางสาว นัฐยาศร บุรีวัน

สารบัญ

| | หน้า |
|---|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย..... | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ..... | ช |
| สารบัญตาราง..... | ฌ |
| สารบัญรูป..... | ญ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย | 2 |
| 1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 ทฤษฎี..... | 3 |
| 2.1.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave)..... | 3 |
| 2.1.2 แหล่งที่มาของรังสีดวงอาทิตย์..... | 4 |
| 2.1.3 แสงสว่าง (visible light) | 6 |
| 2.1.4 แสงสว่างธรรมชาติ (daylight)..... | 12 |
| 2.1.5 การหาค่าปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ | 16 |
| 2.1.6 การวัดปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ..... | 17 |
| 2.2 ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์..... | 21 |
| 2.2.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์..... | 21 |
| 2.2.2 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์..... | 22 |

| | |
|---|-----|
| 2.3 ปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า..... | 28 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 31 |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัยและผล | 38 |
| 3.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล | 38 |
| 3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดแสงสว่างธรรมชาติ..... | 44 |
| 3.3 การควบคุมคุณภาพของข้อมูล..... | 47 |
| 3.4 ปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้า (cloud cover, C) จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view)..... | 48 |
| 3.5 การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า | 53 |
| 3.5.1 ข้อมูล | 54 |
| 3.5.2 การสร้างแบบจำลอง..... | 55 |
| 3.5.3 การทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง | 56 |
| 3.6 ลักษณะทางสถิติของแสงสว่างธรรมชาติในภูมิภาคต่างๆในประเทศไทย..... | 61 |
| 3.6.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงตามเวลาในรอบวัน..... | 62 |
| 3.6.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปี | 79 |
| 3.6.3 การแจกแจงความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน..... | 95 |
| บทที่ 4 สรุป..... | 113 |
| รายการอ้างอิง | 115 |
| ประวัติผู้เขียน..... | 118 |

สารบัญตาราง

หน้า

| | |
|--|-----|
| ตารางที่ 1 ช่วงความยาวคลื่นและสัดส่วนของพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่สำคัญเมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมดของรังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์ (Petty 2004, ISO 2007)..... | 6 |
| ตารางที่ 2 แสดงค่าการตอบสนองของสายตามนุษย์ ($R\lambda$) ตามมาตรฐานของ CIE (Murdoch and Murdoch 1994) | 8 |
| ตารางที่ 3 รายละเอียดของสถานีวัดความเข้มแสงสว่างที่ 4 ภูมิภาคหลักและจังหวัดต่างๆ 11 แห่ง สำหรับใช้สร้างแบบจำลอง ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง และศึกษาลักษณะทางสถิติของแสงสว่าง..... | 40 |
| ตารางที่ 4 ค่าความแตกต่างทางสถิติในรูป RMSD และ MBD ที่ได้จากการเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัดกับความเข้มแสงสว่างที่ได้จากแบบจำลองของสถานีหลัก 4 แห่งในประเทศไทย | 60 |
| ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์จากการแจกแจงของเดือนที่มีค่าความเข้มแสงสว่างสูงสุด >100 klux ของสถานีต่างๆ..... | 111 |
| ตารางที่ 6 ค่าความเข้มแสงสว่างสูงสุด 81-100 klux คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากการแจกแจงรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน | 112 |

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ | 3 |
| รูปที่ 2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความยาวคลื่นช่วงต่าง ๆ..... | 4 |
| รูปที่ 3 โครงสร้างของดวงอาทิตย์ | 5 |
| รูปที่ 4 กราฟแสดงการตอบสนองต่อแสงสว่างของตามมนุษย์ตามมาตรฐานของคณะกรรมการความสว่างนานาชาติ (Murdoch and Murdoch 1994, CIE 2003)..... | 7 |
| รูปที่ 5 พลักซ์แสงสว่างตามจำกัดความของ luminance | 9 |
| รูปที่ 6 พลักซ์แสงสว่าง $d\phi_E$ ที่ตกกระทบบนพื้นที่ dA | 10 |
| รูปที่ 7 แสดงการให้คำจำกัดความของ luminance exitance | 11 |
| รูปที่ 8 แสดงการให้คำจำกัดความของ Luminous intensity | 11 |
| รูปที่ 9 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกตามมาตรฐานของ ASTM E-490 เมื่อ I_λ คือความเข้มรังสีอาทิตย์ และ λ คือความยาวคลื่น (โดยกราฟเขียนจากข้อมูล ASTM (2000))..... | 12 |
| รูปที่ 10 กราฟแสดงสเปกตรัมรังสีตรง (Iqbal 1983)..... | 13 |
| รูปที่ 11 กราฟแสดงสเปกตรัมรังสีกระจาย (Iqbal 1983)..... | 14 |
| รูปที่ 12 กราฟแสดงสเปกตรัมรังสีรวม (Iqbal 1983)..... | 14 |
| รูปที่ 13 แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (skylight)..... | 15 |
| รูปที่ 14 แสดงความเข้มแสงสว่างในรูปของ direct illuminance และ diffuse illuminance | 16 |
| รูปที่ 15 แสดงเครื่อง sky scanner..... | 18 |
| รูปที่ 16 แสดงลักซ์มิเตอร์ (luxmeter) | 19 |
| รูปที่ 17 แสดงเครื่องวัด diffuse illuminance บนพื้นราบ | 20 |
| รูปที่ 18 แสดงเครื่องวัด global illuminance บนพื้นราบ | 20 |
| รูปที่ 19 แสดงเครื่องวัด direct illuminance บนพื้นราบ | 21 |
| รูปที่ 20 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์..... | 22 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 21 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง | 23 |
| รูปที่ 22 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง | 25 |
| รูปที่ 23 การแปรค่าของเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (δ) ตามเวลาในรอบปี (Benard 1980)..... | 25 |
| รูปที่ 24 การแปรค่าในรอบปีของความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (E_t) (ดัดแปลงจาก Bernard et al., 1980)..... | 28 |
| รูปที่ 25 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า sky view | 29 |
| รูปที่ 26 แผนผังการทำงานของ sky view (ที่มา: บริษัท Prede)..... | 30 |
| รูปที่ 27 โปรแกรม Sky Log Ver.3.10..... | 30 |
| รูปที่ 28 แสดงการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีอาทิตย์ที่เกิดจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ | 31 |
| รูปที่ 29 โครงข่ายประสาทเทียม Multiple layer perceptron (MLP)..... | 33 |
| รูปที่ 30 แผนผังโครงข่าย MLP ที่ได้รับการฝึกอบรม..... | 33 |
| รูปที่ 31 แสดงลักษณะเครื่องมือ | 38 |
| รูปที่ 32 data logger รุ่น DX2000 ผลิตโดยบริษัท Yokogawa | 39 |
| รูปที่ 33 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดความเข้มแสงสว่างทั้ง 15 สถานี ของประเทศไทย โดยสัญลักษณ์ ★ แสดง 4 สถานีหลักที่จะนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลอง ทดสอบแบบจำลองและศึกษาลักษณะทางสถิติ ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ สถานีอุบลราชธานี สถานีนครปฐม และสถานีสงขลา สัญลักษณ์ ◎ แสดงตำแหน่งของสถานีวัด 11 แห่งที่จะนำมาศึกษาลักษณะทางสถิติ..... | 41 |
| รูปที่ 34 เครื่องความเข้มแสงสว่างที่ติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่..... | 42 |
| รูปที่ 35 เครื่องความเข้มแสงสว่างที่ติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี..... | 42 |
| รูปที่ 36 เครื่องความเข้มแสงสว่างที่ติดตั้งที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม | 43 |
| รูปที่ 37 เครื่องความเข้มแสงสว่างที่ติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา... .. | 43 |
| รูปที่ 38 การสอบเทียบเครื่องลักษณะเครื่องมือ | 45 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงสว่าง ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่..... | 45 |
| รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงสว่าง ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี..... | 46 |
| รูปที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงสว่าง ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม..... | 46 |
| รูปที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงสว่าง ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่ง ตะวันออก จังหวัดสงขลา..... | 47 |
| รูปที่ 43 ตัวอย่างกราฟบันทึกข้อมูลความเข้มแสงสว่างในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งทำการวัดที่ สถานีนครปฐม ของวันที่ 5 ธันวาคม 2019 | 48 |
| รูปที่ 44 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่..... | 49 |
| รูปที่ 45 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัด อุบลราชธานี..... | 50 |
| รูปที่ 46 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัด นครปฐม..... | 50 |
| รูปที่ 47 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา | 51 |
| รูปที่ 48 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่อง sky view ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัด เชียงใหม่ วันที่ 21 มกราคม 2020 เวลา 09:00 น..... | 51 |
| รูปที่ 49 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่อง sky view ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี วันที่ 21 มกราคม 2020 เวลา 09:00 น..... | 52 |
| รูปที่ 50 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่อง sky view ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม วันที่ 21 มกราคม 2020 เวลา 09:00 น..... | 52 |
| รูปที่ 51 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่อง sky view ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา วันที่ 21 มกราคม 2020 เวลา 09:00 น..... | 53 |
| รูปที่ 52 ตัวอย่างกราฟบันทึกข้อมูลความเข้มแสงสว่างในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม ซึ่งทำการวัดที่ สถานีนครปฐม ของวันที่ 20 ธันวาคม 2019 | 54 |

| | |
|--|----|
| รูปที่ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มแสงสว่างรวมต่อความเข้มแสงสว่างรวม นอกระบบอากาศโลก (Eg/E0h) กับปริมาณเมฆ (C) โดยเป็นข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2015-2019 | 56 |
| รูปที่ 54 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด (Eg, meas) กับความเข้มแสงสว่าง ที่ได้จากแบบจำลอง (Eg, model) ของสถานีวัดทั้ง 4 แห่งโดยเป็นข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2020 58 | |
| รูปที่ 55 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด (Eg, meas) กับความเข้มแสงสว่าง ที่ได้จากแบบจำลอง (Eg, model) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ 58 | 58 |
| รูปที่ 56 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด (Eg, meas) กับความเข้มแสงสว่าง ที่ได้จากแบบจำลอง (Eg, model) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัด อุบลราชธานี..... | 59 |
| รูปที่ 57 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด (Eg, meas) กับความเข้มแสงสว่าง ที่ได้จากแบบจำลอง (Eg, model) ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม | 59 |
| รูปที่ 58 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด (Eg, meas) กับความเข้มแสงสว่าง ที่ได้จากแบบจำลอง (Eg, model) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา | 60 |
| รูปที่ 59 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัด เชียงใหม่..... | 63 |
| รูปที่ 60 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่ศูนย์อุตุนิยมภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี..... | 64 |
| รูปที่ 61 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร จังหวัดนครปฐม..... | 65 |
| รูปที่ 62 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่ง ตะวันออกเฉียง จังหวัดสงขลา..... | 66 |
| รูปที่ 63 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีกรุงเทพมหานคร 67 | 67 |
| รูปที่ 64 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีเพชรบูรณ์..... 68 | 68 |
| รูปที่ 65 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีแม่สะเรียง 69 | 69 |

| | |
|---|----|
| รูปที่ 66 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีแพร่..... | 70 |
| รูปที่ 67 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีกาญจนบุรี | 71 |
| รูปที่ 68 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีชุมพร..... | 72 |
| รูปที่ 69 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีภูเก็ต | 73 |
| รูปที่ 70 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีประจวบคีรีขันธ์ | 74 |
| รูปที่ 71 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีนครสวรรค์ | 75 |
| รูปที่ 72 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีลพบุรี | 76 |
| รูปที่ 73 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีนครราชสีมา | 77 |
| รูปที่ 74 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัด เชียงใหม่..... | 80 |
| รูปที่ 75 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาค ตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี..... | 81 |
| รูปที่ 76 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัย ศิลปากร จังหวัดนครปฐม..... | 82 |
| รูปที่ 77 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่ง ตะวันออก จังหวัดสงขลา..... | 83 |
| รูปที่ 78 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีกรุงเทพมหานคร..... | 84 |
| รูปที่ 79 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีเพชรบูรณ์..... | 85 |
| รูปที่ 80 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีแม่สะเรียง..... | 86 |
| รูปที่ 81 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีแพร่..... | 87 |
| รูปที่ 82 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีกาญจนบุรี | 88 |
| รูปที่ 83 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีชุมพร..... | 89 |
| รูปที่ 84 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีภูเก็ต..... | 90 |
| รูปที่ 85 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีประจวบคีรีขันธ์ | 91 |
| รูปที่ 86 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีนครสวรรค์..... | 92 |

| | |
|--|-----|
| รูปที่ 87 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีลพบุรี..... | 93 |
| รูปที่ 88 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีนครราชสีมา | 94 |
| รูปที่ 89 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ ของศูนย์ อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่..... | 96 |
| รูปที่ 90 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ ของศูนย์ อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี | 97 |
| รูปที่ 91 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ ของคณะ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม | 98 |
| รูปที่ 92 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ ของศูนย์ อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา | 99 |
| รูปที่ 93 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี กรุงเทพมหานคร | 100 |
| รูปที่ 94 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี เพชรบูรณ์..... | 101 |
| รูปที่ 95 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีแม่สะ เรียง | 102 |
| รูปที่ 96 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีแพร่ | 103 |
| รูปที่ 97 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี กาญจนบุรี..... | 104 |
| รูปที่ 98 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีชุมพร | 105 |
| รูปที่ 99 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีภูเก็ต | 106 |
| รูปที่ 100 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี ประจวบคีรีขันธ์..... | 107 |
| รูปที่ 101 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี นครสวรรค์..... | 108 |

รูปที่ 102 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีลพบุรี
..... 109

รูปที่ 103 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี
นครราชสีมา..... 110



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบันการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่างภายในอาคารในประเทศไทยมีปริมาณเพิ่มมากยิ่งขึ้น และยังมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการขยายตัวของเศรษฐกิจอีกด้วย ทั้งนี้มาจากอาคารสำนักงาน ร้านค้า ที่อยู่อาศัย คริวเรือน ส่วนใหญ่นั้นต้องใช้แสงสว่างทั้งในช่วงเวลากลางวันและกลางคืน การใช้ไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่างภายในอาคารจะลดลงได้ ถ้าสถาปนิกและวิศวกรทำการออกแบบอาคารให้ใช้ประโยชน์สูงสุด โดยการนำแสงสว่างจากดวงอาทิตย์เข้ามาประยุกต์ใช้ในอาคารร่วมกับแสงประดิษฐ์ (artificial light) เพื่อลดการใช้ไฟฟ้าสำหรับแสงสว่างในช่วงเวลากลางวัน (Muneer 1997)

โดยทั่วไปพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลกเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานส่วนใหญ่จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.3-3.0 μm แต่ตาของมนุษย์ใช้ประโยชน์ในรูปของแสงสว่างได้เฉพาะในช่วงความยาวคลื่นแคบ ๆ ระหว่าง 0.38-0.77 μm เท่านั้นซึ่งเรียกว่าแสงสว่าง และแสงสว่างในแต่ความยาวคลื่นของสายตามนุษย์ยังมีการตอบสนองต่อความยาวคลื่นได้ดีไม่เท่ากัน โดยจะมีการตอบสนองได้ดีที่สุดที่ความยาวคลื่น 0.55 μm โดยทั่วไปเรียกความเข้มรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นที่สายตาของมนุษย์ตอบสนองได้ว่าแสงสว่างธรรมชาติ (daylight) ซึ่งจะประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ แสงที่พุ่งตรงมาจากดวงอาทิตย์ (sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (skylight) ซึ่งแสงที่พุ่งตรงมาจากดวงอาทิตย์จะเป็นความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ผ่านบรรยากาศเป็นแนวเส้นตรงมายังพื้นผิวโลก ส่วนแสงกระจายจะเป็นความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ถูกกระเจิงจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ เช่น ฝุ่นละออง (aerosols) เมฆ ไอน้ำ และโมเลกุลของอากาศ ที่มีทิศทางและการเคลื่อนที่ที่ไม่แน่นอน ซึ่งในการประยุกต์ใช้ข้อมูลดังกล่าว สถาปนิกและวิศวกรต้องทราบข้อมูลความเข้มแสงสว่างที่บริเวณนั้น ๆ สามารถทำได้โดยการติดตั้งเครื่องวัดแสงสว่างที่เรียกว่า ลักซ์มิเตอร์ (luxmeter) อย่างไรก็ตาม ข้อมูลความเข้มแสงสว่างค่อนข้างมีจำกัด เพราะไม่ได้มีการวัดอย่างต่อเนื่องหรือมีสถานีวัดค่อนข้างน้อย ทำให้ในช่วงหลายปีที่ผ่านมา มีนักวิจัยต่าง ๆ ได้ทำการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองสำหรับประมาณค่าความเข้มแสงสว่างขึ้น (Janjai, Jantarach et al. 2003, Tiba and Leal 2012, Dieste-Velasco, Diez-Mediavilla et al. 2019, He, Zhang et al. 2020) แต่เนื่องจากแสงสว่างที่ตกกระทบลงพื้นผิวโลกนั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ ซึ่งแบบจำลองดังกล่าวมีความซับซ้อนและต้องใช้ข้อมูลอินพุตค่อนข้างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลอง

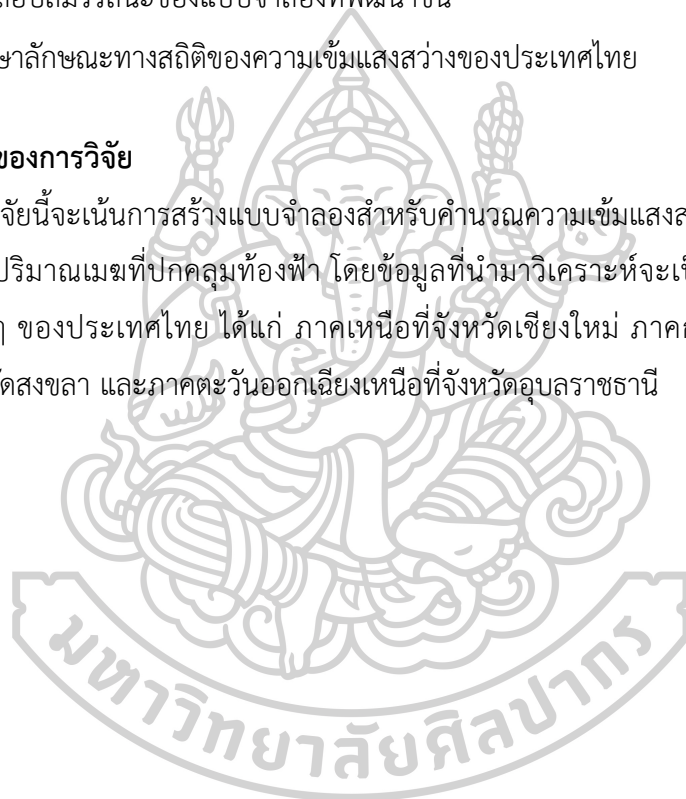
อย่างง่ายสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า และทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ไม่ยุ่งยากและไม่ซับซ้อน ทั้งนี้เพื่อนำผลที่ได้ไปใช้งานด้านการอนุรักษ์พลังงานต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1) เพื่อพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า
- 2) เพื่อทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น
- 3) เพื่อศึกษาลักษณะทางสถิติของความเข้มแสงสว่างของประเทศไทย

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้จะเน้นการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยข้อมูลที่น่ามาวิเคราะห์จะเป็นข้อมูลที่ทำการวัดในภูมิภาคต่าง ๆ ของประเทศไทย ได้แก่ ภาคเหนือที่จังหวัดเชียงใหม่ ภาคกลางที่จังหวัดนครปฐม ภาคใต้ที่จังหวัดสงขลา และภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่จังหวัดอุบลราชธานี



บทที่ 2

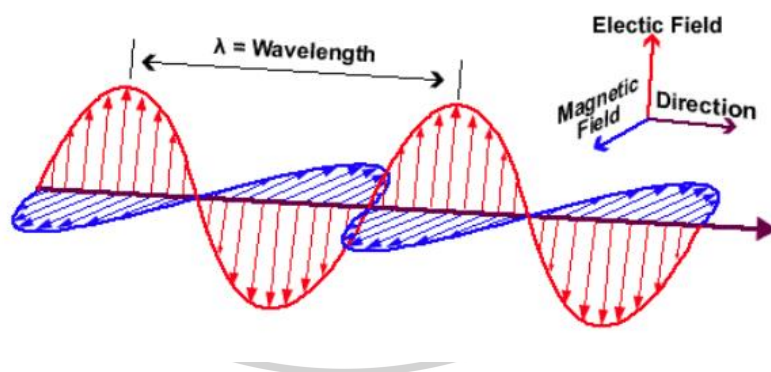
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินงานวิจัยเกี่ยวกับแสงสว่าง จำเป็นต้องมีพื้นฐานความด้านรู้แสงสว่าง ซึ่งเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า โดยในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของแสงสว่างและทฤษฎีของเมฆรวมถึงงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎี

2.1.1 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic wave)

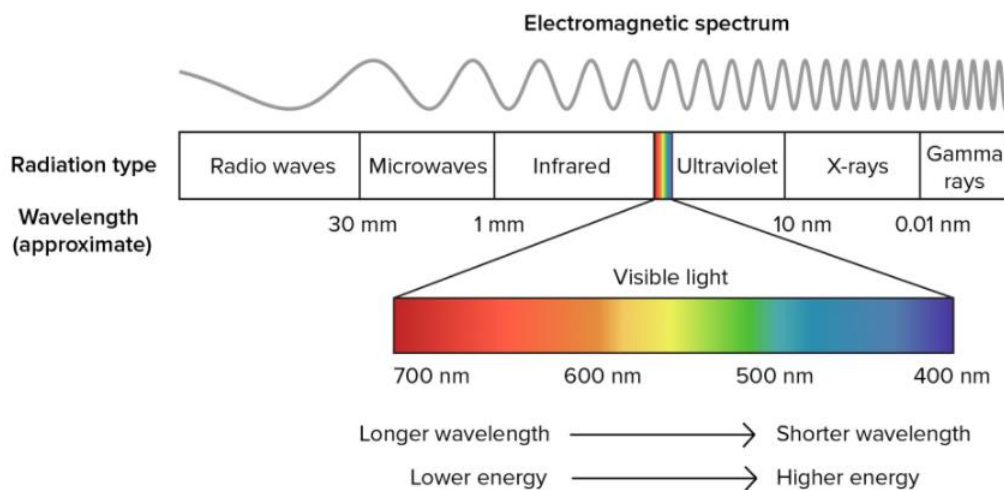
คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นคลื่นตามขวางที่ประกอบด้วยสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าซึ่งมีการสั่นในแนวตั้งฉากกัน และอยู่บนระนาบตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ของคลื่น โดยมีความเร็วในสุญญากาศ เท่ากับ 3×10^8 m/s



รูปที่ 1 ลักษณะการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในสุญญากาศ

ในกรณีทั่วไป คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีคุณสมบัติสามารถทำนายหรืออธิบายได้จากสมการของแมกซ์เวลล์ (Maxwell's equations) ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญได้แก่ การสะท้อน (reflection) การหักเห (refraction) การเลี้ยวเบน (diffraction) และการแทรกสอด (interference) โดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีความยาวคลื่นที่ไม่จำกัด สเปกตรัม (spectrum) ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะประกอบด้วยคลื่น

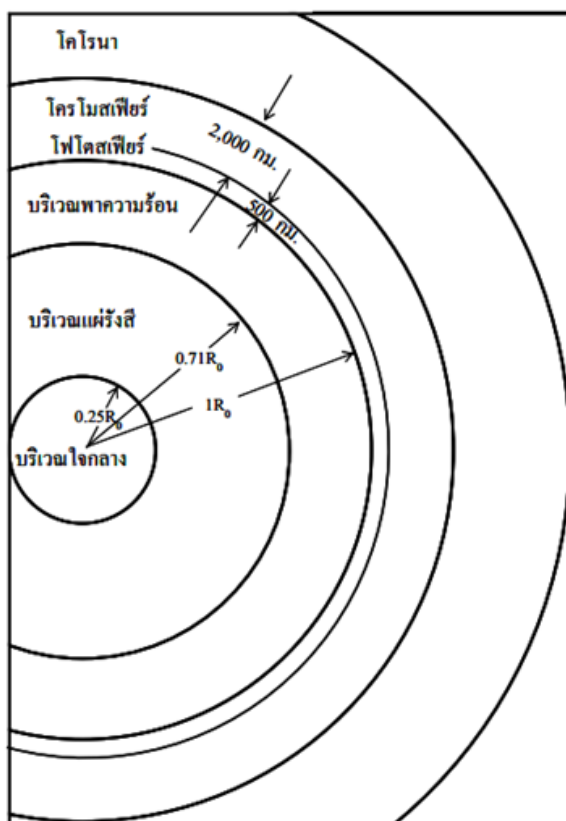
แม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่ และความยาวคลื่นที่มีความแตกต่างกัน ตั้งแต่รังสีแกมมา รังสีเอกซ์ รังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงสว่าง รังสีอินฟราเรด ไมโครเวฟ และคลื่นวิทยุ ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นช่วงต่าง ๆ

2.1.2 แหล่งที่มาของรังสีดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์ คือ ดาวฤกษ์บริเวณใจกลางของระบบสุริยะ (solar system) มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.39 ล้านกิโลเมตร ใหญ่กว่าโลก 109 เท่า และมีมวลประมาณ 330,000 เท่าของโลก คิดเป็นประมาณร้อยละ 99.86 ของมวลทั้งหมดของระบบสุริยะ เนื่องจากมีองค์ประกอบเป็นไฮโดรเจน 74% ฮีเลียม 25% และธาตุชนิดอื่น 1% มีโลกและดาวเคราะห์อื่น ๆ เป็นบริวาร ซึ่งดวงอาทิตย์จะแผ่คลื่นแม่เหล็กออกมาอยู่ในช่วงความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.3 – 3.0 μm ซึ่งเป็นความยาวคลื่นในช่วงรังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงสว่าง และรังสีอินฟราเรด ดวงอาทิตย์มีมวลที่มหาศาลจะดึงดูดเข้าหากันด้วยแรงโน้มถ่วง (Gravitational attraction) โดยโครงสร้างของดวงอาทิตย์จากภายในสู่ภายนอกจะประกอบด้วย บริเวณใจกลาง (core) ชั้นแผ่รังสี (radiative zone) ชั้นพาพลังงานความร้อน (convective zone) และบรรยากาศ (atmosphere) ซึ่งชั้นล่างสุดคือ โฟโตสเฟียร์ (photosphere) ถัดขึ้นมาคือ โครโมสเฟียร์ (chromosphere) และบรรยากาศชั้นนอกสุดคือโคโรนา (corona) โครงสร้างดังกล่าวของดวงอาทิตย์แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 โครงสร้างของดวงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานสำคัญสำหรับสิ่งมีชีวิต พลังงานที่กำเนิดขึ้นจะแผ่ออกสู่อวกาศรอบ ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความยาวคลื่นแตกต่างกัน โดยจะอยู่ในรูปของรังสีและแสงสว่าง เรียกว่า รังสีอาทิตย์ (solar radiation) พลังงานรวมทั้งหมดที่แผ่ออกมาจะมีค่าเท่ากับ 3.854×10^{26} วัตต์ ประกอบด้วยรังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงสว่าง และรังสีอินฟราเรด ส่วนใหญ่อยู่ในรูปของแสงสว่างและรังสีอินฟราเรด สำหรับรังสีอัลตราไวโอเล็ตที่มีสัดส่วนค่อนข้างน้อยแต่มีพลังงานโฟตอน (photon energy) สูง ซึ่งมีผลกระทบต่อเซลล์สิ่งมีชีวิต นอกจากรังสีต่างๆ ดังกล่าวแล้ว ดวงอาทิตย์ยังแผ่รังสีเอกซ์และคลื่นวิทยุอีกเล็กน้อย ซึ่งมีผลในด้านของพลังงานน้อยมาก โดยพลังงานของรังสีแต่ละช่วงความยาวคลื่นมีสัดส่วนเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 1

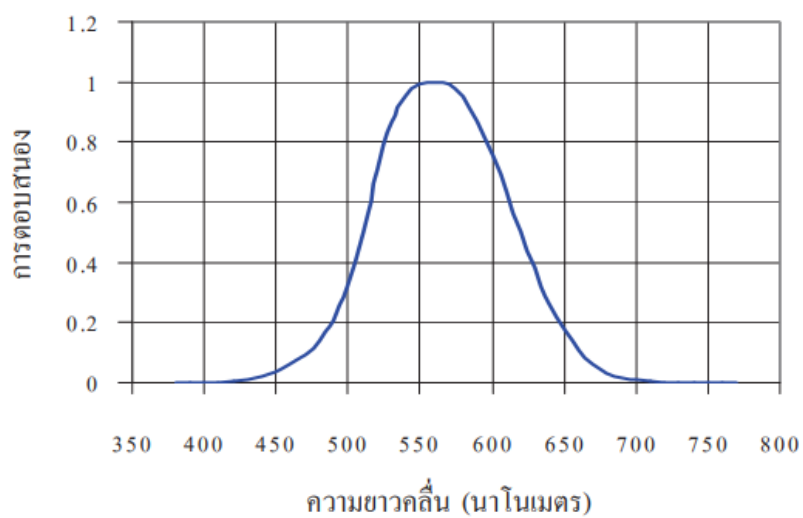
ตารางที่ 1 ช่วงความยาวคลื่นและสัดส่วนของพลังงานในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ที่สำคัญเมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมดของรังสีที่แผ่จากดวงอาทิตย์ (Petty 2004, ISO 2007)

| รังสีอาทิตย์ | ช่วงความยาวคลื่น (μm) | สัดส่วนของพลังงาน เมื่อเทียบกับพลังงานทั้งหมดที่แผ่ออกมา (%) |
|---|-----------------------|--|
| รังสีอัลตราไวโอเล็ตที่ความคลื่นสั้นมาก (extreme ultraviolet, XUV) | 0.01-0.1 | 3×10^{-6} |
| รังสีอัลตราไวโอเล็ตไกล (far ultraviolet, FUV) | 0.1-0.2 | 0.01 |
| รังสีอัลตราไวโอเล็ตซี (ultraviolet C, UVC) | 0.2-0.28 | 0.5 |
| รังสีอัลตราไวโอเล็ตบี (ultraviolet B, UVB) | 0.28-0.32 | 1.3 |
| รังสีอัลตราไวโอเล็ตเอ (ultraviolet A, UVA) | 0.32-0.40 | 6.2 |
| แสงสว่าง (visible) | 0.40-0.78 | 39 |
| รังสีอินฟราเรด (infrared radiation) | 0.78-1,000 | 52.9 |

2.1.3 แสงสว่าง (visible light)

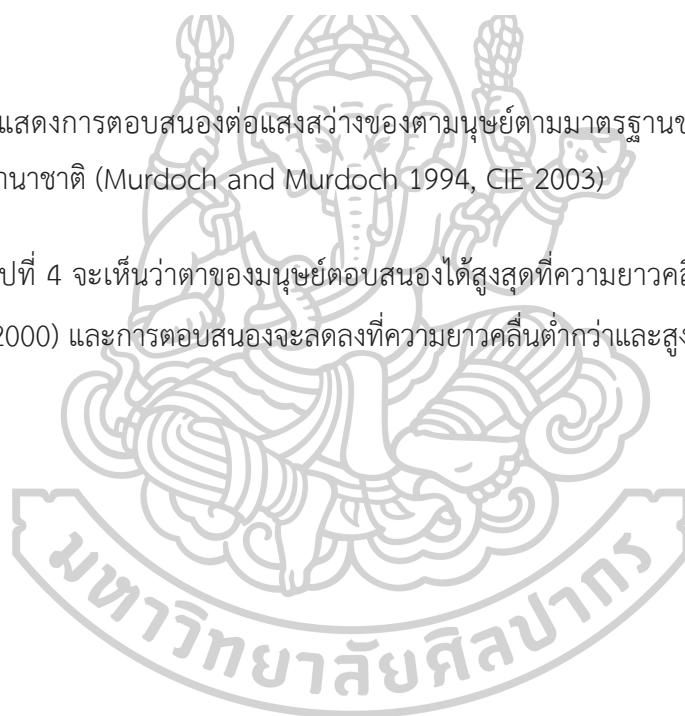
1) การตอบสนองของสายตามนุษย์

แสงสว่างเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงความยาวคลื่น 0.38-0.77 μm ซึ่งสามารถรับรู้ได้ด้วยสายตาของมนุษย์ ซึ่งตาของมนุษย์จะตอบสนองต่อแสงสว่างที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ไม่เท่ากัน โดยจะตอบสนองได้ดีที่สุดในช่วงความยาวคลื่น 0.55 μm ซึ่งเป็นแสงสีเขียว โดยคณะกรรมการความสว่างนานาชาติ (International Commission of Illuminance หรือ Centre International d'Éclairage, CIE) ได้กำหนดมาตรฐานการตอบสนองของสายตามนุษย์ในสภาพแสงปกติ ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 กราฟแสดงการตอบสนองต่อแสงสว่างของตามนุษย์ตามมาตรฐานของคณะกรรมการความสว่างนานาชาติ (Murdoch and Murdoch 1994, CIE 2003)

จากกราฟในรูปที่ 4 จะเห็นว่าตาของมนุษย์ตอบสนองได้สูงสุดที่ความยาวคลื่น $\lambda = 555$ นาโนเมตร (Vartiainen 2000) และการตอบสนองจะลดลงที่ความยาวคลื่นต่ำกว่าและสูงกว่าค่าดังกล่าว



ตารางที่ 2 แสดงค่าการตอบสนองของสายตามนุษย์ (R_λ) ตามมาตรฐานของ CIE (Murdoch and Murdoch 1994)

| Wavelength (nm) | Photopic response | Wavelength (nm) | Photopic response |
|--------------------|-------------------|--------------------|-------------------|
| 380 | 0.00004 | 580 | 0.952 |
| 390 | 0.00012 | 590 | 0.87 |
| 400 | 0.0004 | 600 | 0.757 |
| 410 | 0.0012 | 610 | 0.631 |
| 420 | 0.004 | 620 | 0.503 |
| 430 | 0.0116 | 630 | 0.381 |
| 440 | 0.023 | 640 | 0.265 |
| 450 | 0.038 | 650 | 0.175 |
| 460 | 0.06 | 660 | 0.107 |
| 470 | 0.097 | 670 | 0.061 |
| 480 | 0.139 | 680 | 0.032 |
| 490 | 0.208 | 690 | 0.017 |
| 500 | 0.323 | 700 | 0.0082 |
| 510 | 0.503 | 710 | 0.0041 |
| 520 | 0.71 | 720 | 0.0021 |
| 530 | 0.862 | 730 | 0.00105 |
| 540 | 0.954 | 740 | 0.00052 |
| 550 | 0.995 | 750 | 0.00025 |
| 555 | 1.00 | 760 | 0.00012 |
| 560 | 0.995 | 770 | 0.00006 |
| 570 | 0.995 | | |

2) ปริมาณแสงสว่าง

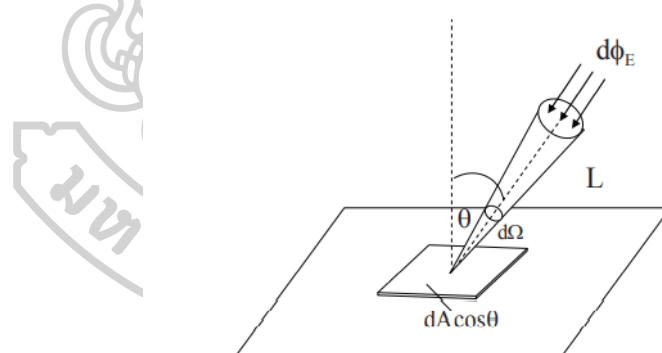
ในด้านของแสงสว่างธรรมชาติโดยทั่วไปมีการกำหนดศัพท์เทคนิคที่ใช้ในการบอกปริมาณต่างๆ ด้านแสงสว่าง โดยปริมาณที่สำคัญมีดังนี้

ก) **ฟลักซ์แสงสว่าง (luminous flux)** ฟลักซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเป็นอัตราการไหลของพลังงานของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่อหนึ่งหน่วยเวลา โดยมีหน่วยเป็นจูลต่อวินาที หรือวัตต์ เมื่อฟลักซ์แสงสว่างตกกระทบบนที่ประสาทตาของมนุษย์ ประสาทตาของมนุษย์จะสามารถรับรู้ในรูปของฟลักซ์แสงสว่างในรูปของลูเมน (lumen) ซึ่งมีความสัมพันธ์กับฟลักซ์ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดังนี้

$$683 \text{ ลูเมน} = 1 \text{ วัตต์ ที่ความยาวคลื่น } 555 \text{ นาโนเมตร}$$

ฟลักซ์แสงสว่างอาจจะออกมาจากแหล่งกำเนิดแสงที่ตกกระทบบนพื้นที่ต่าง ๆ หรือเป็นฟลักซ์แสงสว่างที่เคลื่อนที่ผ่านตัวกลางต่าง ๆ

ข) **ความส่องสว่าง (luminance)** คือฟลักซ์แสงสว่างที่พุ่งเข้าหรือพุ่งออกจากจุดบนพื้นที่ตั้งฉากกับทางเดินของแสงในหนึ่งหน่วย ของกรวยแคบ ๆ มีมุมตัน 1 สเตอเรเดียน ดังรูปที่ 5 หรือเขียนได้ดังสมการที่ 2.1



รูปที่ 5 ฟลักซ์แสงสว่างตามจำกัดความของ luminance

$$L = \frac{d^2\phi_E}{dA \cos\theta d\Omega} \quad (2.1)$$

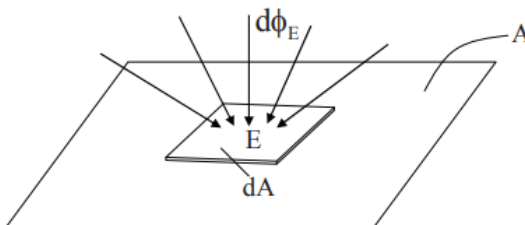
| | | |
|-------|----------|--|
| เมื่อ | L | คือ ความส่องสว่าง (cd/m ²) |
| | ϕ_E | คือ ฟลักซ์แสงสว่าง (lm) |
| | Ω | คือ มุมตัน (steradian) |

A คือ พื้นที่ (m^2)

θ คือ มุมตกกระทบของแสงสว่างบนพื้นที่ที่พิจารณา (degree)

ความส่องสว่าง มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อสเตอเรเดียนต่อตารางเมตร แต่นักวิทยาศาสตร์กำหนดให้หน่วยลูเมนต่อสเตอเรเดียนมีหน่วยอีกอย่างหนึ่งคือ แคนเดลา (candela, Cd) ดังนั้นความส่องสว่างหน่วยจึงเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร

ค) **ความสว่างหรือความเข้มแสงสว่าง (illuminance)** คือปริมาณของฟลักซ์แสงสว่างที่ตกกระทบบนพื้นที่หนึ่งหน่วยมีหน่วยเป็น ลูเมนต่อตารางเมตร มีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ลักซ์ (lux) แสดงดังรูปที่ 6 หรือเขียนได้ดังสมการที่ 2.2



รูปที่ 6 ฟลักซ์แสงสว่าง $d\phi_E$ ที่ตกกระทบบนพื้นที่ dA

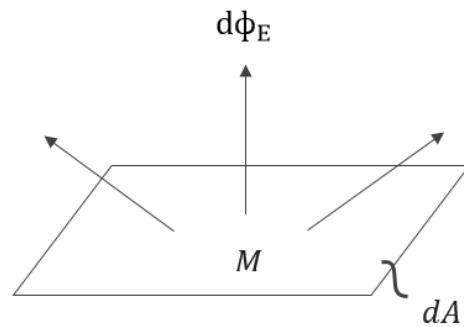
$$E = \frac{d\phi_E}{dA} \quad (2.2)$$

เมื่อ E คือ ความสว่าง (lux)

ϕ_E คือ ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)

A คือ พื้นที่ (m^2)

ง) **Luminance exitance** คือแสงสว่างที่คล้ายกับ illuminance แต่จะคิดในกรณีที่แสงพุ่งออกจากพื้นที่ที่เกิดจากการสะท้อนและจากการแผ่ออกมาของแสงสว่างจากพื้นที่นั้น ดังแสดงในรูปที่ 7 หรือเขียนได้ดังสมการที่ 2.3



รูปที่ 7 แสดงการให้คำจำกัดความของ luminance exitance

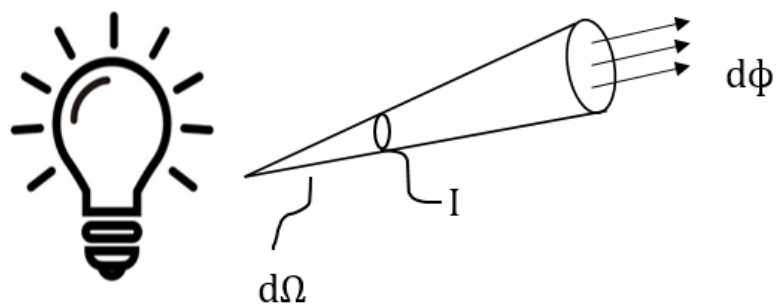
$$M = \frac{d\phi_E}{dA} \quad (2.3)$$

เมื่อ M คือ luminance exitance (lux)

ϕ_E คือ ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)

A คือ พื้นที่ (m^2)

จ) **Luminous intensity** คือปริมาณของแสงสว่างที่ออกจากแหล่งกำเนิดแสง ซึ่งสามารถอธิบายได้ในรูปของฟลักซ์ของแสงสว่างที่เปล่งออกจากแหล่งกำเนิดภายในกรวยแคบ ๆ ของหนึ่งหน่วยมุมตัน ดังแสดงได้ในรูปที่ 8 หรือเขียนได้ดังสมการที่ 2.4



รูปที่ 8 แสดงการให้คำจำกัดความของ Luminous intensity

$$I_E = \frac{d\Phi_E}{d\Omega} \quad (2.4)$$

เมื่อ I_E คือ luminous intensity (lumen/steradian)

Φ_E คือ ฟลักซ์แสงสว่าง (lm)

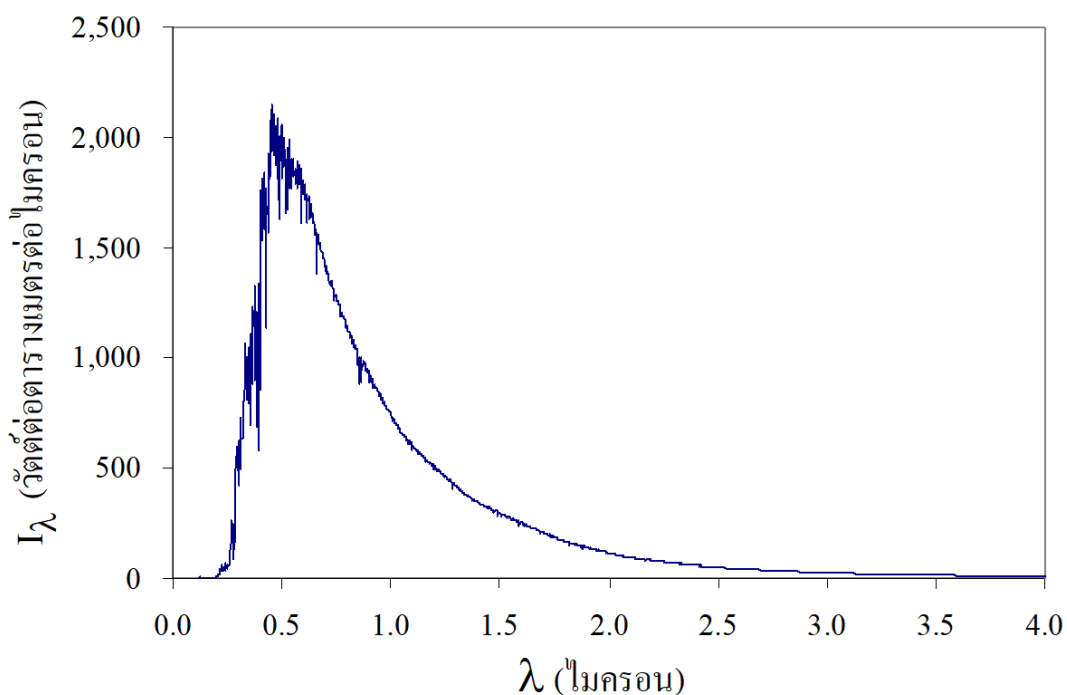
Ω คือ มุมตัน (steradian)

โดย luminous intensity มีหน่วยเป็น ลูเมนต่อสเตอเรเดียน

2.1.4 แสงสว่างธรรมชาติ (daylight)

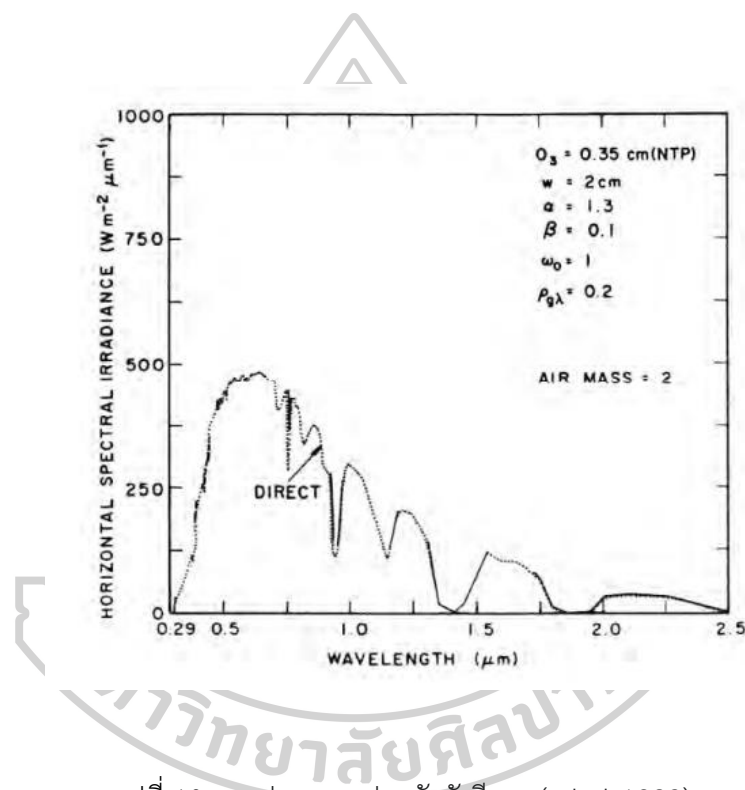
1) แหล่งกำเนิดของแสงสว่างธรรมชาติ

ดวงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดของแสงสว่างธรรมชาติ โดยส่งพลังงานออกมาสู่อวกาศรอบ ๆ ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งมีความยาวคลื่นเริ่มตั้งแต่รังสีแกมมาจนถึงคลื่นวิทยุ เมื่อเดินทางผ่านบรรยากาศของโลกจะถูกโมเลกุลของอากาศ ฝุ่นละอองและเมฆดูดกลืน และกระเจิง ส่วนที่ตกกระทบลงพื้นผิวโลกจะเหลือเฉพาะรังสีอัลตราไวโอเล็ต แสงสว่าง และรังสีอินฟราเรด ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.29 - 0.4 μm (Iqbal 1983) ดังแสดงในรูปที่ 9

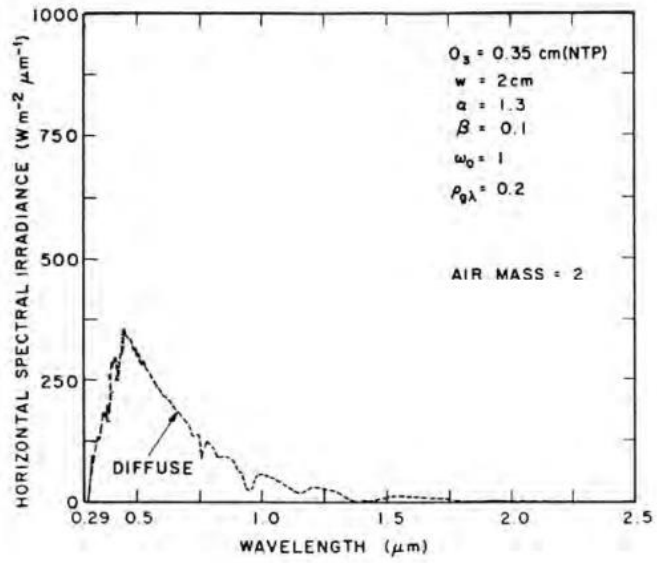


รูปที่ 9 สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลกตามมาตรฐานของ ASTM E-490 เมื่อ I_λ คือความเข้มรังสีอาทิตย์ และ λ คือความยาวคลื่น (โดยกราฟเขียนจากข้อมูล ASTM (2000))

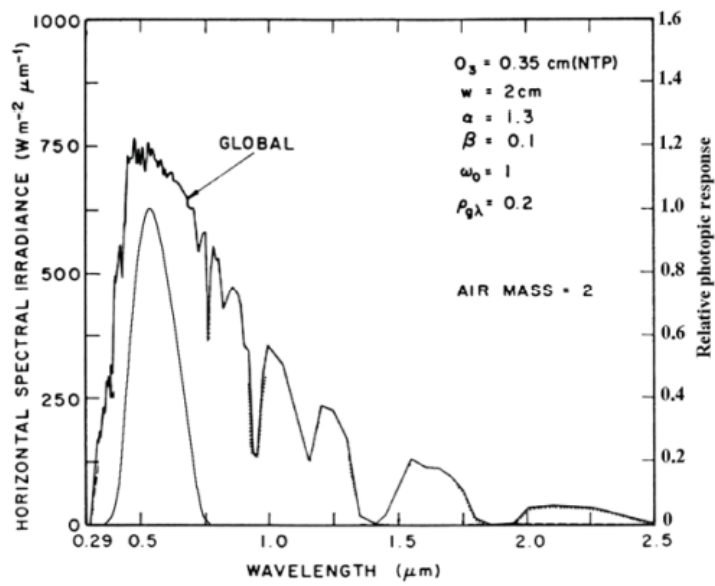
เมื่อรังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่านบรรยากาศมายังพื้นผิวโลกจะถูกโมเลกุลอากาศ ฝุ่นละออง (aerosol) และเมฆดูดกลืน (absorb) และการกระเจิง (scatter) ส่วนที่ถูกกระเจิงทำให้เกิดรังสีกระจาย (diffuse radiation) ส่วนที่พุ่งตรงลงมายังผู้สังเกตเรียกว่า รังสีตรง (direct radiation) และผลรวมของทั้งสองรังสีเรียกว่า รังสีรวม (global radiation) ซึ่งสเปกตรัมของรังสีทั้งสาม ในกรณีของท้องฟ้าปราศจากเมฆจะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ ได้แก่ ไอน้ำ ฝุ่นละออง โอโซน (ozone) และก๊าซต่างๆ นอกจากนี้ยังขึ้นอยู่กับมวลอากาศ (air mass) ที่รังสีอาทิตย์เคลื่อนที่ผ่าน แสดงดังรูปที่ 10-12



รูปที่ 10 กราฟแสดงสเปกตรัมรังสีตรง (Iqbal 1983)

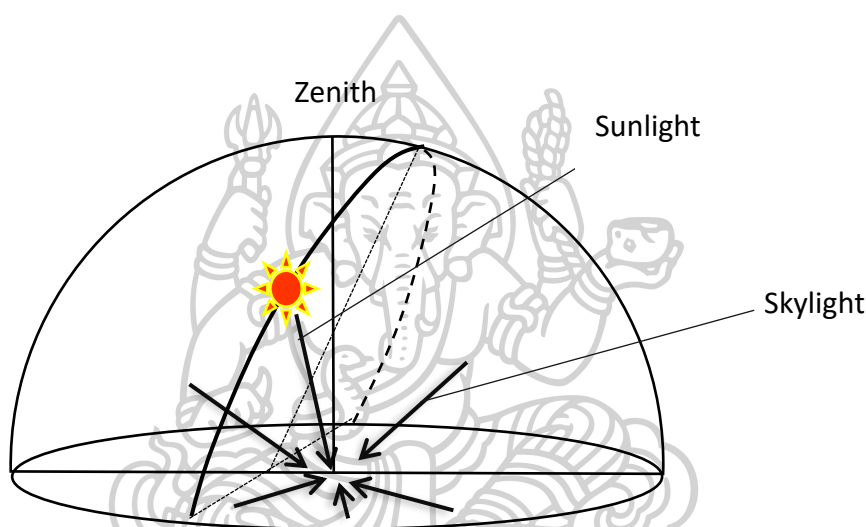


รูปที่ 11 กราฟแสดงสเปกตรัมรังสีกระจาย (Iqbal 1983)



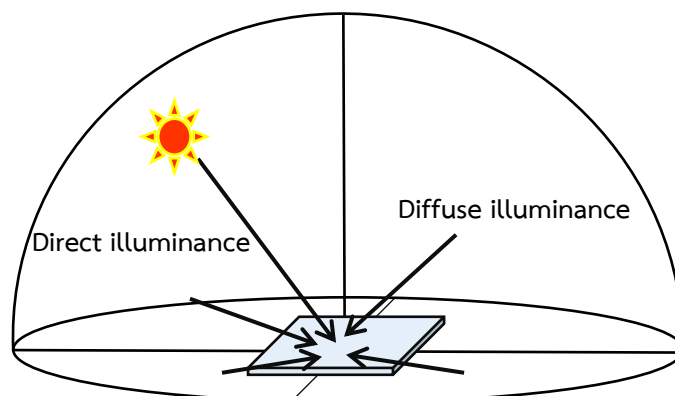
รูปที่ 12 กราฟแสดงสเปกตรัมรังสีรวม (Iqbal 1983)

ส่วนสเปกตรัมรังสีอาทิตย์ที่ตาของมนุษย์สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ เรียกว่า แสงสว่างธรรมชาติ (daylight) ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ แสงที่พุ่งตรงมาจากดวงอาทิตย์ (sunlight) และ ส่วนของแสงกระจายจากท้องฟ้า (skylight) ซึ่งมีความยาวคลื่นอยู่ในช่วง $0.38-0.77 \mu\text{m}$ โดยแสงที่พุ่งตรงมาจากดวงอาทิตย์จะเป็นส่วนของรังสีดวงอาทิตย์ที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์ผ่านบรรยากาศของโลกลงมายังตำแหน่งที่ทำการพิจารณา และส่วนของแสงกระจายจากท้องฟ้าจะเป็นแสงที่เกิดจากการกระเจิงของแสงที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์โดยองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ เช่น โมเลกุลของอากาศ ฝุ่นละออง และเมฆ ดังแสดงในรูปที่ 13



รูปที่ 13 แสงตรงจากดวงอาทิตย์ (sunlight) และแสงกระจายจากท้องฟ้า (skylight)

เมื่อแสงที่พุ่งตรงจากดวงอาทิตย์และแสงกระจายจากท้องฟ้าตกกระทบลงที่ต้นไม้ พื้นดิน และสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ จะทำให้มีการสะท้อน ซึ่งทำให้แสงสว่างส่วนนี้ยังเป็นแสงสว่างธรรมชาติอีกส่วนซึ่งจะเรียกว่า แสงสว่างธรรมชาติ ที่สะท้อนจากพื้นผิวโลก แสงสว่างธรรมชาติ เป็นรังสีอาทิตย์ในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่าง ซึ่งถ่วงน้ำหนักด้วยผลการตอบสนองของตามนุษย์และทำให้เกิดความสว่าง ประกอบด้วยความสว่างจากแสงตรง (direct illuminance) และความสว่างจากแสงกระจาย (diffuse illuminance) ผลรวมของปริมาณทั้งสองจะเรียกว่า ความสว่างจากแสงรวม (global illuminance) ดังแสดงในรูปที่ 14



รูปที่ 14 แสดงความเข้มแสงสว่างในรูปของ direct illuminance และ diffuse illuminance

2.1.5 การหาค่าปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ

1) แสงสว่างธรรมชาตินอกบรรยากาศโลก

โดยทั่วไปแล้วแสงสว่างธรรมชาติที่นอกบรรยากาศโลกสามารถหาได้โดยการคำนวณ ทั้งนี้เพราะปัจจุบันที่ทราบค่าสเปกตรัมของรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก และค่า response ของตามนุษย์ที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ได้อย่างละเอียด จากปริมาณทั้งสองนี้จะสามารถหาความเข้มแสงสว่างในรูปของ illuminance บนระนาบที่ตั้งฉากกับลำแสงจากดวงอาทิตย์ที่ระยะเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ ดังแสดงสมการที่ 2.5

$$\bar{E}_{SC} = k \int_{0.38}^{0.77} G_{s\lambda} R_{\lambda} d\lambda \quad (2.5)$$

- เมื่อ \bar{E}_{SC} คือ ความเข้มแสงสว่างนอกบรรยากาศโลกบนระนาบตั้งฉากกับทิศทางของรังสีอาทิตย์ที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (lux)
- $G_{s\lambda}$ คือ สเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกบรรยากาศโลก ($W/m^2-\mu m$)
- R_{λ} คือ ฟังก์ชันการตอบสนองของตามนุษย์ (-)
- k คือ ประสิทธิภาพแสงสว่างธรรมชาติ (daylight efficacy) (683 lm/W)
- λ คือ ความยาวคลื่น (μm)

ค่า R_{λ} สามารถหาได้จากตารางมาตรฐานของ CIE ซึ่งแสดงดังตารางที่ 2.2 และกราฟในรูปที่ 2.4

สำหรับกรณีของความเข้มแสงสว่างนอกบรรยากาศโลกบนระนาบในแนวระดับที่ขนานกับพื้นผิวโลก E_{0h} ซึ่งจะหาได้จากสมการที่ 2.6

$$E_{0h} = \bar{E}_{sc} E_0 \cos \theta_z \quad (2.6)$$

เมื่อ E_0 คือ แฟลักซ์สำหรับแก๊สจากการแปรค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (-)
 θ_z คือ มุมเซนธิธของดวงอาทิตย์ (degree)

2) แสงสว่างธรรมชาติที่พื้นผิวโลก

ดังที่กล่าวไปแล้วว่าแสงสว่างธรรมชาติที่พื้นผิวโลกประกอบด้วย แสงสว่างที่พุ่งตรงมาจากดวงอาทิตย์ที่เรียกว่า beam illuminance และแสงที่กระเจิงมาจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า หรือ diffuse illuminance ซึ่งการหาปริมาณทั้งสองในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆสามารถคำนวณได้ แต่ในสมการคำนวณปริมาณดังกล่าวจำเป็นต้องทราบองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศที่สำคัญ

สำหรับกรณีท้องฟ้ามีเมฆ การคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างโดยอาศัยข้อมูลภาคพื้นดินทำได้ยากเนื่องจากว่ามีเมฆเป็นตัวแปรที่สำคัญส่งผลต่อปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติ ทั้งความเข้มแสงสว่างรวมและความเข้มแสงสว่างกระจาย โดยที่ปริมาณของเมฆและตำแหน่งของเมฆเป็นข้อมูลที่ไม่ค่อยมีการวัดประจำที่สถานีอุตุนิยมวิทยา ดังนั้นการหาค่าปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติจึงสามารถทำได้โดยการจัดตั้งสถานีวัด และทำการวัดข้อมูลให้มีความต่อเนื่อง เพื่อใช้สำหรับเป็นข้อมูลเชิงสถิติของบริเวณนั้น ๆ

2.1.6 การวัดปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ

ดังที่ทราบกันดีว่าปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติจะขึ้นอยู่กับสภาพอากาศ โดยแปรตามฤดูกาลและสถานที่ ดังนั้นการนำปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติมาใช้งานภายในสำนักงานหรืออาคารต่าง ๆ สถาปนิกและวิศวกรควรจะต้องมีความรู้ด้านข้อมูลปริมาณความเข้มแสงสว่างในบริเวณนั้น ๆ ซึ่งมีการวัดปริมาณความเข้มแสงสว่างที่สำคัญดังต่อไปนี้

1) การวัดความเข้มแสงสว่างธรรมชาติจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้า

สำหรับการวัดความเข้มแสงสว่างธรรมชาติจากส่วนต่าง ๆ ของท้องฟ้าจะวัดในรูปของลูมิแนนซ์ (luminance) ซึ่งเป็นฟลักซ์แสงสว่างที่เปล่งออกมาจากท้องฟ้าเข้ามาภายในกรวยแคบ ๆ ต่อ

หนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศที่แสงเข้ามา มีหน่วยเป็นแคนเดลาต่อตารางเมตร ($\text{candela}/\text{m}^2$)
เครื่องมือที่ใช้วัดคือ sky scanner มีลักษณะดังรูปที่ 15



รูปที่ 15 แสดงเครื่อง sky scanner

เครื่องมือนี้จะมีหัวลูมิแนนซ์กวาดไปทั่วทุกส่วนของท้องฟ้า และวัดค่าความเข้มแสงสว่างจากส่วนต่าง ๆ โดยถือว่าข้อมูลนี้เป็นข้อมูลที่เหมาะสมสำหรับการออกแบบอาคารสำนักงาน อีกทั้งยังสามารถนำมาใช้สำหรับคำนวณปริมาณความเข้มแสงสว่างที่ผ่านช่องแสง หรือหน้าต่างของสำนักงานเข้ามายังพื้นที่ภายในได้ อย่างไรก็ตาม เครื่อง sky scanner ราคาค่อนข้างที่จะแพง จึงมีการวัดน้อยมาก

2) การวัดปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติที่ตักกระทบระนาบต่าง ๆ

ฟลักซ์แสงสว่างที่ตักกระทบระนาบต่าง ๆ ต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่เรียกว่า illuminance ประกอบด้วย direct หรือ beam illuminance และ diffuse illuminance ซึ่งปริมาณของผลรวมทั้งสองเรียกว่า global illuminance มีหน่วยเป็น lumen/m^2 หรือ lux โดยเครื่องที่ใช้ทำการวัดเรียกว่า ลักซ์มิเตอร์ (luxmeter) มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 16



รูปที่ 16 แสดงลักซ์มิเตอร์ (luxmeter)

ลักซ์มิเตอร์นี้จะใช้วัด global illuminance บนระนาบต่าง ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ การวัดบนพื้นราบและการวัดบนระนาบในแนวตั้งที่หันหน้าไปตามทิศต่าง ๆ และการวัด diffuse illuminance บนพื้นราบ โดยทำการติดตั้งวงแหวนเพื่อบังแสงตรง ดังรูปที่ 17 นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้วัด direct illuminance ซึ่งประกอบกับอุปกรณ์ติดตามดวงอาทิตย์ (sun tracker) ดังรูปที่ 19 จากค่า global illuminance และ diffuse illuminance บนพื้นราบ สามารถนำค่าที่ได้มาคำนวณหา direct illuminance บนพื้นราบได้ ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญในการคำนวณหาปริมาณความเข้มแสงสว่างที่ผ่านช่องที่เปิดของกรอบอาคาร หน้าต่างที่เข้าไปภายในอาคาร



รูปที่ 17 แสดงเครื่องวัด diffuse illuminance บนพื้นราบ



รูปที่ 18 แสดงเครื่องวัด global illuminance บนพื้นราบ

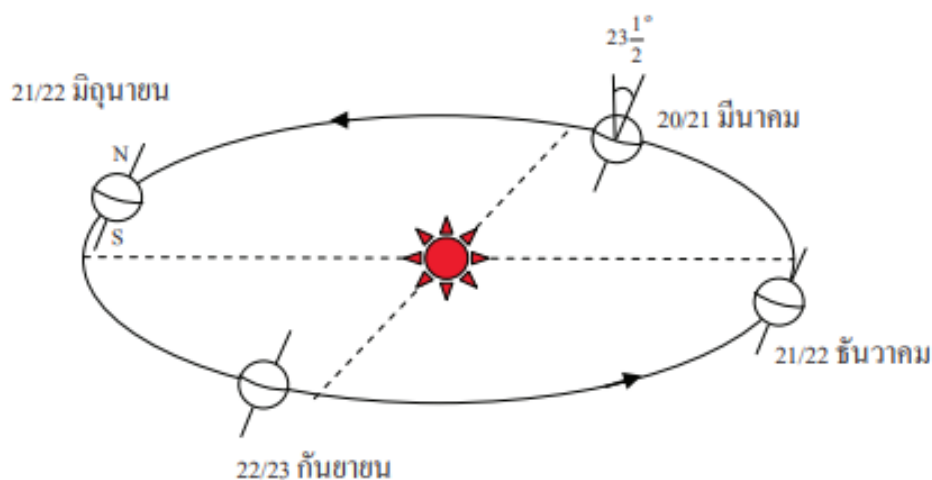


รูปที่ 19 แสดงเครื่องวัด direct illuminance บนพื้นราบ

2.2 ความสัมพันธ์ทางเรขาคณิตระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

2.2.1 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์มีลักษณะเป็นวงรี โดยมีดวงอาทิตย์เป็นจุดโฟกัสหนึ่งของวงรี ดังกล่าว และแกนหมุนของโลกทำมุมเอียงกับเส้นตั้งฉากของระนาบวงโคจรของโลกเป็นมุม $23\frac{1}{2}$ องศา ดังแสดงในรูปที่ 20



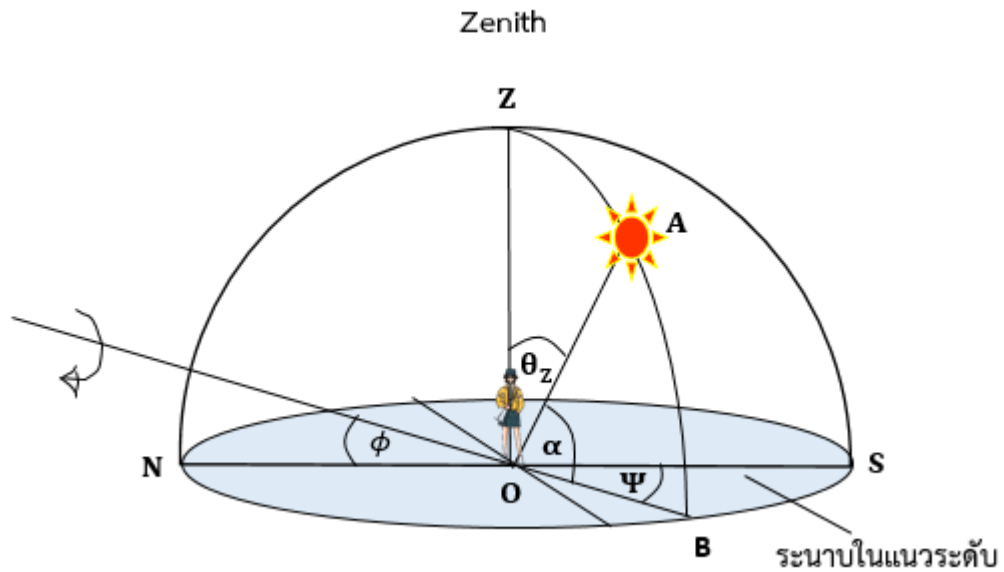
รูปที่ 20 วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์

จากรูปที่ 20 จะเห็นว่าในวันที่ 21 หรือ 22 มิถุนายน โลกจะหันขั้วโลกเหนือเข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้ซีกโลกเหนือมีกลางวันยาวนานที่สุด ส่วนในช่วงวันที่ 21 หรือ 22 ธันวาคม โลกจะหันทิศใต้เข้าหาดวงอาทิตย์มากที่สุด ทำให้ซีกโลกใต้มีกลางวันยาวนานที่สุด และสำหรับวันที่ 20 หรือ 21 มีนาคม และ 22 หรือ 23 กันยายน ดวงอาทิตย์จะอยู่ในแนวศูนย์สูตรของโลก ทำให้ช่วงเวลาดังกล่าวมีกลางวันเท่ากับกลางคืน

2.2.2 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์

ในการคำนวณหาค่ารังสีอาทิตย์ทั้งที่อยู่นอกบรรยากาศโลกและที่ตกกระทบบนพื้นผิวโลก จำเป็นต้องทราบตำแหน่งของดวงอาทิตย์ สำหรับการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์จะพิจารณาว่าท้องฟ้าเป็นครึ่งหนึ่งของทรงกลม เรียกว่า ทรงกลมท้องฟ้า โดยมีผู้สังเกตอยู่ตรงกลาง และจะใช้มุม 2 มุม หรือใช้ส่วนโค้ง (arc) ของทรงกลมท้องฟ้า 2 ส่วนโค้ง จึงสามารถระบุตำแหน่งได้และจะแบ่งออกเป็น 2 ระบบ ดังนี้

1) ระบบที่ใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง (horizontal system) ระบบนี้จะอาศัยมุม 2 มุม ในการระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ (รูปที่ 21) ดังนี้



รูปที่ 21 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิง

ก.มุมอาซิมุท (azimuth angle, ψ) เป็นมุมที่วัดจากแนวทิศใต้ (OS ในรูปที่ 21) ไปยังภาพฉาย (projection) ของเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์บนระนาบในแนวระดับ (OB) โดยมีค่าเป็นบวกถ้าเงาดังกล่าวอยู่ด้านทิศตะวันออก และเป็นลบถ้าอยู่ซีกตะวันตกของท้องฟ้า หรือ $-180^\circ \leq \psi \leq 180^\circ$ เขียนสมการได้ดังนี้

$$\psi = \cos^{-1} \left(\frac{\sin \alpha \sin \phi - \sin \delta}{\cos \alpha \cos \phi} \right) \quad (2.7)$$

| | | |
|-------|----------|---|
| เมื่อ | ψ | คือ มุมอาซิมุท (degree) |
| | α | คือ มุมอัลติจูด (degree) |
| | ϕ | คือ ตำแหน่งละติจูดของผู้สังเกต (degree) |
| | δ | คือ มุมเดคลิเนชันหรือระยะห่างเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับเส้นศูนย์สูตรท้องฟ้า (degree) |

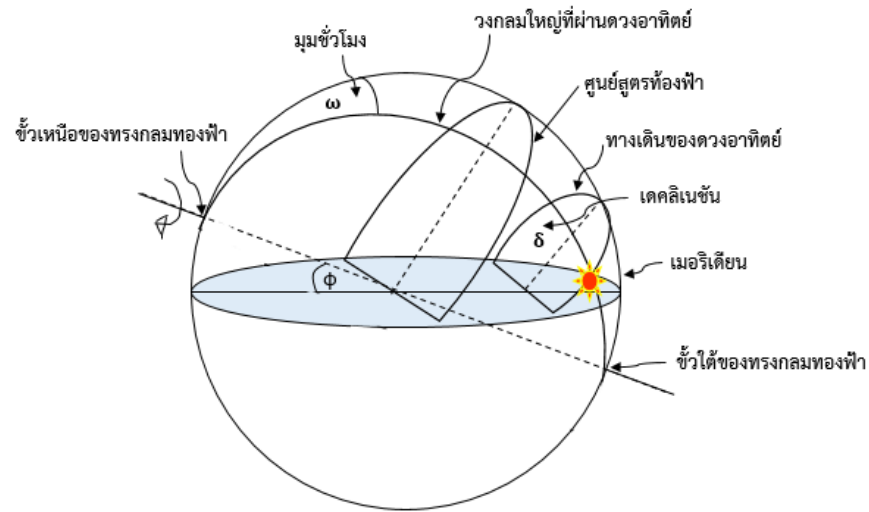
ข. มุมอัลติจูด (altitude, α) หรือมุมเงยเป็นมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ (OA) กับภาพฉายของเส้นตรงดังกล่าวบนระนาบในแนวระดับ (OB) ซึ่งมีค่า 0 ถึง 90 องศา สำหรับมุมระหว่างเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับดวงอาทิตย์ (OA) กับเส้นตรงที่เชื่อมต่อระหว่างผู้สังเกตกับจุดเซนิธ (OZ) จะเรียกว่า มุมเซนิธ (zenith angle, θ_z) ซึ่งนิยมใช้บอกตำแหน่งดวงอาทิตย์เช่นกัน โดยที่ $\theta_z = 90 - \alpha$

$$\alpha = \sin^{-1}[\sin \phi \sin \delta + \cos \phi \cos \delta \cos \omega] \quad (2.8)$$

เมื่อ θ_z คือ มุมระหว่างดวงอาทิตย์กับจุดเซนิธ (degree)
 ω คือ มุมชั่วโมง (degree)

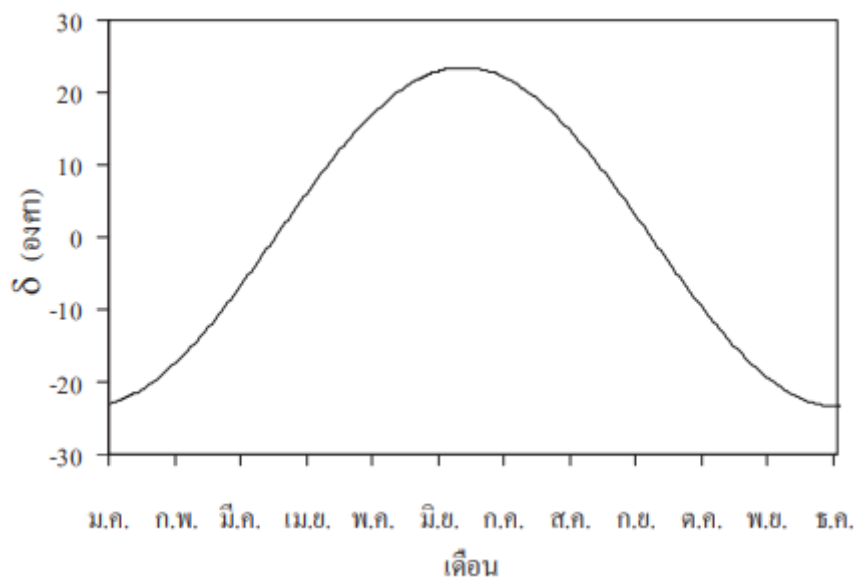
การบอกตำแหน่งโดยใช้ระนาบในแนวระดับอ้างอิงมีข้อดี คือ เข้าใจง่ายแต่มีข้อด้อย คือ ค่ามุมอาซิมุทและมุมอัลติจูด จะเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาตั้งแต่ดวงอาทิตย์ขึ้นจนถึงดวงอาทิตย์ตก และเปลี่ยนแปลงไปตามวันในรอบปีด้วย

2) ระบบที่ใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง เนื่องจากระนาบของทางเดินดวงอาทิตย์บนทรงกลมท้องฟ้าจะขนานกับระนาบศูนย์สูตรท้องฟ้าโดยในช่วงเวลา 1 วัน ระนาบของทางเดินของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนแปลงน้อยมากจนสามารถถือได้ว่าคงที่ ดังนั้นจะใช้ 2 ตัวแปรในระบุตำแหน่งของดวงอาทิตย์ได้ดังนี้



รูปที่ 22 การบอกตำแหน่งของดวงอาทิตย์โดยใช้ระนาบศูนย์สูตรอ้างอิง

ก.เดคลิเนชัน (declination) คือระยะห่างเชิงมุมระหว่างดวงอาทิตย์กับศูนย์สูตรท้องฟ้าบนวงกลมใหญ่ (great circle) ที่ลากเส้นจากขั้วหนึ่งขั้วของท้องฟ้าผ่านดวงอาทิตย์ไปยังอีกขั้วหนึ่ง โดยเดคลิเนชันจะแปรค่าอยู่ระหว่าง $-23\frac{1}{2}$ องศา และ $23\frac{1}{2}$ องศา ดังกราฟรูปที่ (23) ซึ่งหาได้จากสูตรอย่างง่ายของคูเปอร์ (Cooper, 1969)



รูปที่ 23 การแปรค่าของเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ (δ) ตามเวลาในรอบปี (Benard 1980)

$$\delta = 23.45 \sin \left[\frac{360}{365} (d_n + 284) \right] \quad (2.9)$$

โดยที่ δ คือ เดคลิเนชัน (degree)
 d_n คือ ลำดับวันในรอบปี

หรือหากต้องการความละเอียดถูกต้องของเดคลิเนชัน โดยมีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 3 ลิปดา สามารถหาเดคลิเนชันโดยใช้สมการดังนี้

$$\delta = (0.006918 - 0.399912 \cos \Gamma + 0.070257 \sin \Gamma - 0.00675 \cos 2\Gamma + 0.000907 \sin 2\Gamma - 0.002697 \cos 3\Gamma + 0.00148 \sin 3\Gamma)(180 / \pi) \quad (2.10)$$

โดยที่ Γ คือ มุมวัน (day angle) (เรเดียน) ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$\Gamma = 2\pi(d_n - 1) / 365 \quad (2.11)$$

ข. มุมชั่วโมง (hour angle, ω) คือมุมบนผิวทรงกลมท้องฟ้าระหว่างวงกลมใหญ่ที่ลากผ่านดวงอาทิตย์ และเส้นเมริเดียน โดยจะแปรตามเวลาที่ใช้ตำแหน่งดวงอาทิตย์อ้างอิงหรือเวลาดวงอาทิตย์ (solar time) ทั้งนี้เพราะช่วงเวลาที่ดวงอาทิตย์เคลื่อนที่จากเส้นเมริเดียนที่อยู่ตรงศีรษะของผู้สังเกต ไปทางทิศตะวันตกจนกลับมาตำแหน่งเดิมอีกครั้ง จะใช้เวลา 24 ชั่วโมง ในขณะที่มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ก็จะวนมาครบรอบ หรือ 360 องศา จะเห็นว่าดวงอาทิตย์เคลื่อนที่ด้วยอัตรา 15 องศาต่อชั่วโมง ดังนั้นเราจึงสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างมุมชั่วโมงกับเวลาดวงอาทิตย์ได้ดังสมการ

$$\omega = 15(12 - ST) \quad (2.12)$$

โดยที่ ω คือ มุมชั่วโมงของดวงอาทิตย์ (degree)
 ST คือ เวลาดวงอาทิตย์ (ชั่วโมง:นาท)

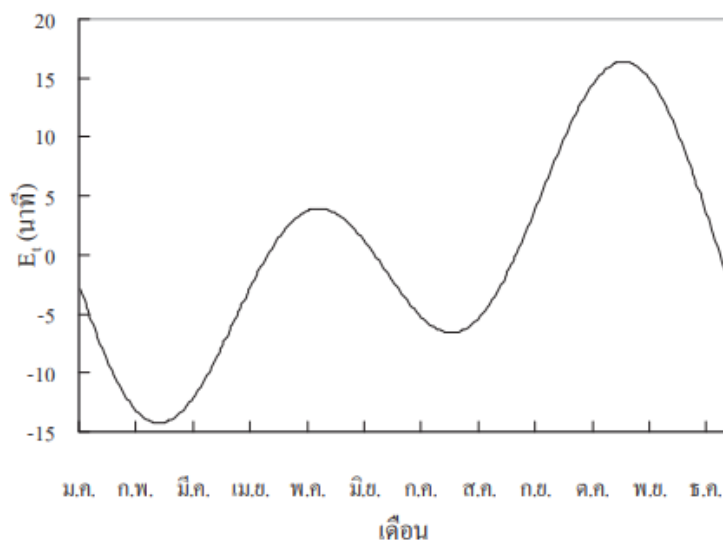
เวลาดวงอาทิตย์จะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับตำแหน่งของดวงอาทิตย์ กล่าวคือ เมื่อเวลา 12.00 นาฬิกา ตามเวลาดวงอาทิตย์ ค่า $\omega = 0$ องศา ถ้าเวลาดวงอาทิตย์เป็น 11.00 นาฬิกา $\omega = 15$ องศา เวลาดวงอาทิตย์สามารถคำนวณได้จากเวลามาตรฐานท้องถิ่น สมการเวลา และผลระหว่างตำแหน่งเส้นลองจิจูดมาตรฐาน และเส้นลองจิจูดของเส้นที่ต้องการคำนวณซึ่งเขียนเป็นรูปสมการได้ดังนี้

$$ST = LST + 4(L_s - L_{log}) + E_t \quad (2.13)$$

| | | |
|--------|-----------|---|
| โดยที่ | ST | คือ เวลาดวงอาทิตย์ (ชั่วโมง:นาที) |
| | LST | คือ เวลาท้องถิ่น (ชั่วโมง:นาที) |
| | L_s | คือ ลองจิจูดมาตรฐาน (degree) |
| | L_{log} | คือ ลองจิจูดของตำแหน่งที่ต้องการคำนวณ (degree) |
| | E_t | คือ ความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (นาทีก) |

ค่าของ $4(L_s - L_{log})$ มีหน่วยเป็นนาทีกและค่าของ L_s และ L_{log} เป็นลบเมื่ออยู่ทางทิศตะวันออกของกรีนิช และเป็นบวก เมื่ออยู่ทางทิศตะวันตกของกรีนิช และสำหรับค่าความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย ดังกราฟรูปที่ 24 ซึ่งคำนวณได้จากสมการ

$$E_t = 229.18(0.000075 + 0.001868 \cos \Gamma - 0.032077 \sin \Gamma - 0.014615 \cos 2\Gamma - 0.04089 \sin 2\Gamma) \quad (2.14)$$



รูปที่ 24 การแปรค่าในรอบปีของความแตกต่างระหว่างเวลาดวงอาทิตย์กับเวลาดวงอาทิตย์เฉลี่ย (E_t) (ดัดแปลงจาก Bernard et al., 1980)

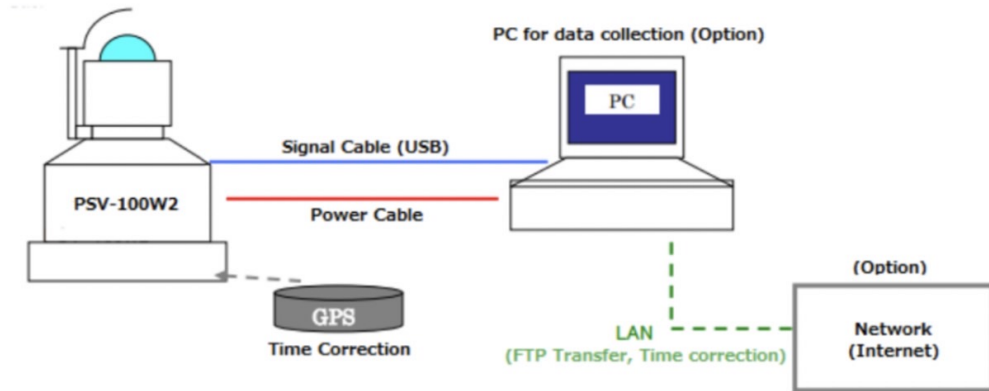
2.3 ปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า

ปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า (cloud cover) หมายถึง จำนวนของเมฆในท้องฟ้าที่มีอยู่เป็นอัตราส่วนเท่าไรกับท้องฟ้าทั้งหมด 10 ส่วน ซึ่งบอกในรูปของตัวเลขแทนปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าโดยแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วน ตามหลักการสังเกตปริมาณเมฆขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (World Meteorological Organization, WMO) ซึ่งมีการสังเกตการณ์ตามสถานีอุตุนิยมวิทยาทั่วไป โดยการสังเกตการณ์ส่วนใหญ่จะดูด้วยตาเปล่า และประมาณว่า ณ ขณะนั้นมีเมฆปกคลุมท้องฟ้ากี่ส่วน อย่างไรก็ตาม ในปัจจุบันสามารถใช้กล้องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ถ่ายภาพปริมาณเมฆโดยอัตโนมัติได้ มีลักษณะแสดงดังรูปที่ 25

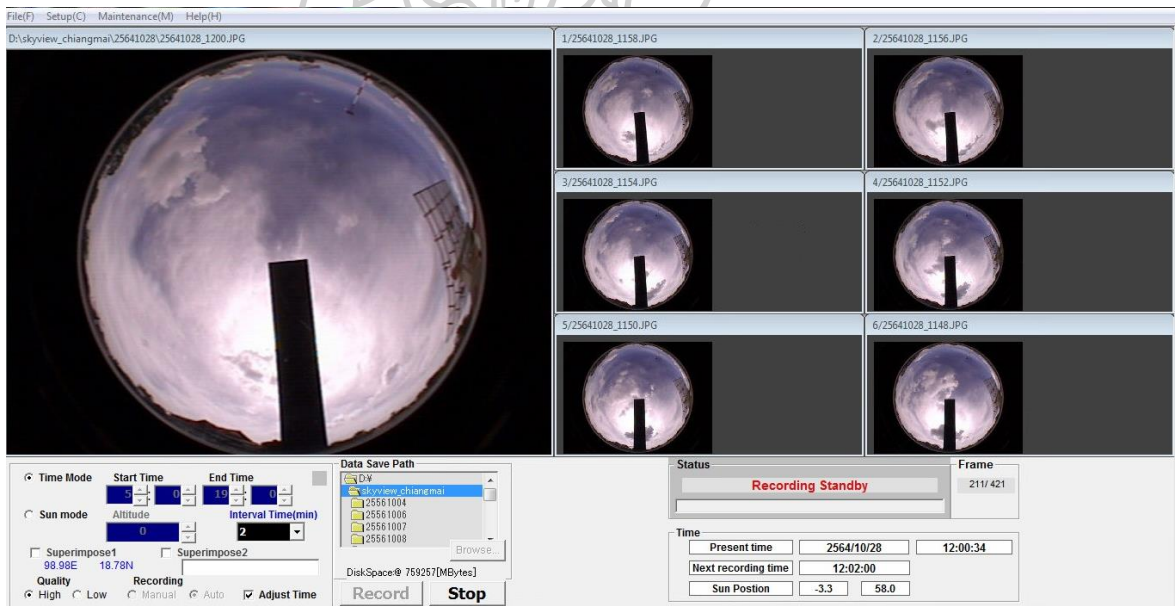


รูปที่ 25 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า sky view

เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ผลิตโดยบริษัท Prede ประเทศญี่ปุ่น รุ่น PSV-100 เป็นอุปกรณ์ถ่ายภาพอัตโนมัติสามารถถ่ายภาพท้องฟ้าได้ในมุมกว้าง ตัวอุปกรณ์ประกอบด้วยกล้องถ่ายภาพเลนส์ตาปลา (fisheye lens) ถูกรอบไว้ด้วยโดมแก้ว มีแผ่นโลหะสีเหลืองขนาดเล็กสำหรับบังดวงอาทิตย์ที่ติดตามตลอดเวลาเพื่อไม่ให้แสงนั้นผ่านเข้ามายังบริเวณรูรับแสงของกล้อง ช่วยให้ไม่เกิดแสงจ้ารบกวนขณะกล้องบันทึกภาพ ภาพที่ได้บันทึกนั้นทำให้เห็นสภาพท้องฟ้าที่เวลานั้นชัดเจน โดยจะทำการถ่ายภาพออกมาทุก ๆ 10 นาที ตั้งแต่เวลา 05:00-19:00 น. ภาพเป็นไฟล์ดิจิทัลไฟล์ JPEG เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อจะบันทึกภาพอัตโนมัติผ่านโปรแกรม Sky Log Ver.3.10 (รูปที่ 26)



รูปที่ 26 แผนผังการทำงานของ sky view (ที่มา: บริษัท Prede)

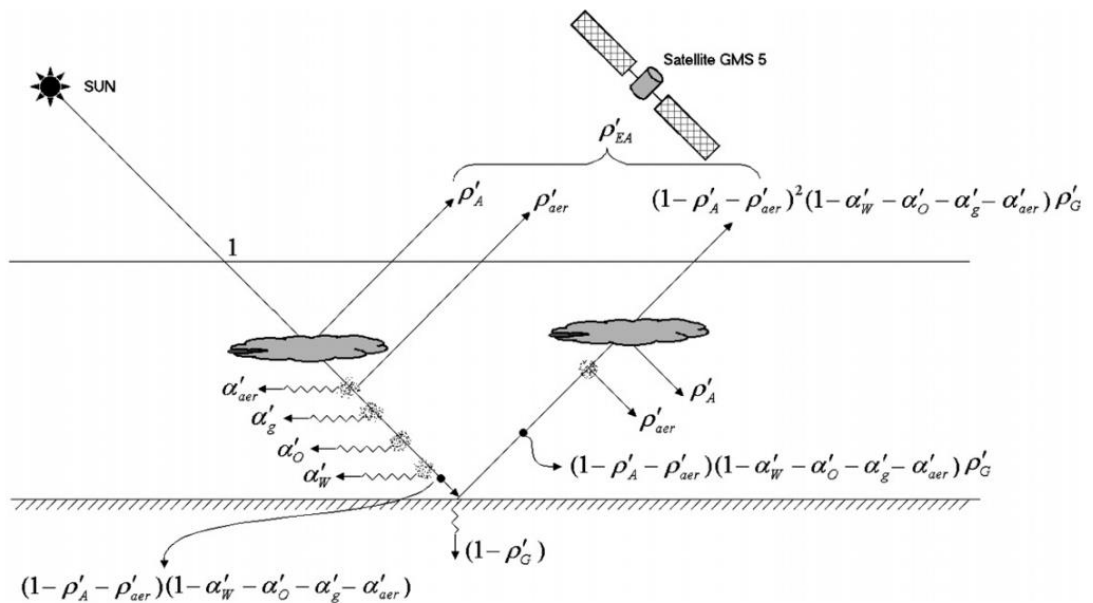


รูปที่ 27 โปรแกรม Sky Log Ver.3.10

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื่องจากการนำปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ (daylight) มาประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุดในด้านของการออกแบบอาคารจากแสงสว่างธรรมชาติ ซึ่งช่วยประหยัดการใช้ไฟฟ้าเพื่อให้แสงสว่างภายในอาคารได้ค่อนข้างมาก จึงทำให้มีผู้สนใจที่จะศึกษาปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติโดยวิธีการวัดด้วยเครื่องมือวัดภาคพื้นดินและทำการสร้างแบบจำลองทางฟิสิกส์ของปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติที่ขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศหรือแบบจำลองทางสถิติ โดยงานที่สำคัญต่าง ๆ สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

จากแบบจำลองเชิงฟิสิกส์ที่มีความซับซ้อนในการคำนวณหาค่าปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติ (Janjai, Tohsing et al. 2008) ได้ทำการเสนอแบบจำลองเชิงฟิสิกส์สำหรับความเข้มแสงสว่างจากแสงสว่างธรรมชาติโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม โดยแบบจำลองที่นำเสนอได้พิจารณาผลของการดูดกลืนและกระเจิงขององค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศแสดงดังรูปที่ 28 และสามารถเขียนได้ดังสมการที่ 2.15



รูปที่ 28 แสดงการดูดกลืนและการกระเจิงของรังสีอาทิตย์ที่เกิดจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ

$$\tau = \frac{(1 - \rho_A - \rho_{aer})(1 - \alpha_o - \alpha_w - \alpha_g - \alpha_{aer})}{1 - (\rho_A - \rho_{aer})\rho_G} \quad (2.15)$$

| | | | |
|-------|----------------|-----|---|
| เมื่อ | τ | คือ | สัมประสิทธิ์การส่งผ่านของบรรยากาศ (-) |
| | ρ_A | คือ | สัมประสิทธิ์การสะท้อนของบรรยากาศและพื้นผิวโลก (-) |
| | ρ_{aer} | คือ | สัมประสิทธิ์การสะท้อนเนื่องจากฝุ่นละออง (-) |
| | ρ_G | คือ | สัมประสิทธิ์การสะท้อนของพื้นผิวโลก (-) |
| | α_w | คือ | สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความสว่างเนื่องจากปริมาณไอน้ำ (-) |
| | α_{aer} | คือ | สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความสว่างเนื่องจากฝุ่นละออง (-) |
| | α_o | คือ | สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความสว่างเนื่องจากโอโซน (-) |
| | α_g | คือ | สัมประสิทธิ์การดูดกลืนความสว่างเนื่องจากก๊าซต่าง ๆ ในบรรยากาศ (-) |

หลังจากนั้นทำการคำนวณค่าความเข้มแสงสว่าง (E_{gh}) จากค่าสัมประสิทธิ์การส่งผ่านในช่วงความยาวคลื่นแสงสว่าง (τ) และความสว่างนอกบรรยากาศโลกได้จากสมการที่ (2.16)

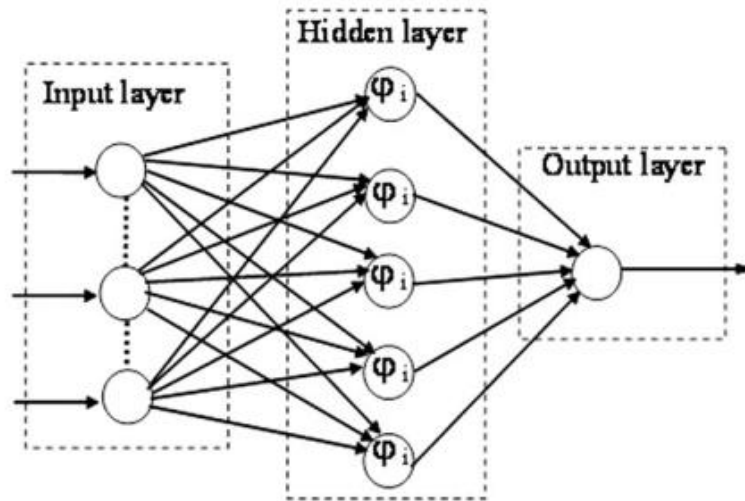
$$E_{gh} = \tau E_{oh} \quad (2.16)$$

สำหรับแสงสว่างนอกบรรยากาศโลกบนระนาบในแนวระดับที่ขนานกับพื้นผิวโลก (E_{oh}) สามารถคำนวณได้ดังสมการ

$$E_{oh} = \bar{E}_{sc} E_0 \cos \theta_z \quad (2.17)$$

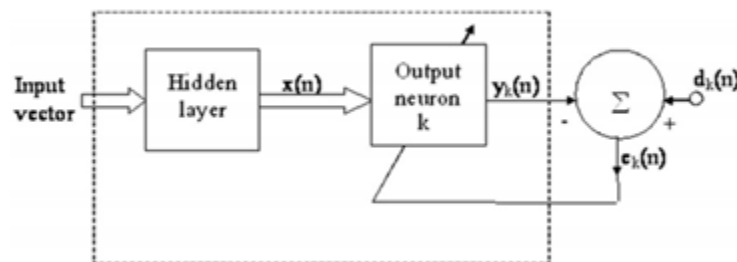
| | | | |
|-------|----------------|-----|---|
| เมื่อ | E_0 | คือ | แฟคเตอร์สำหรับแก้ผลจากการแปรค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (-) |
| | θ_z | คือ | มุมเซนธิสของดวงอาทิตย์ (degree) |
| | \bar{E}_{sc} | คือ | แสงสว่างนอกบรรยากาศโลกบนระนาบตั้งฉากกับทิศทางของรังสีอาทิตย์ที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (lux) |

(Tiba and Leal 2012) ได้ทำการประมาณค่าประสิทธิภาพความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงด้วยวิธีโครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network, ANN) แบบ multilayer perceptron (MLP) ที่เมืองเรซิเฟและเปสเควรา ประเทศบราซิล ดังรูปที่ 29



รูปที่ 29 โครงข่ายประสาทเทียม Multiple layer perceptron (MLP)

จากนั้นทำการวัดความเข้มแสงสว่างและความเข้มรังสีอาทิตย์รายชั่วโมง สำหรับทุกสภาพท้องฟ้า เพื่อทำการฝึกอบรม (train) ในการฝึกอบรมได้ใช้ข้อมูล input ที่ป้อนเข้าไป ได้แก่ อุณหภูมิ จุดน้ำค้าง ไอน้ำ sky brilliance index และดัชนีความแจ่มใสของเปเรซ ดังแสดงในรูปที่ 30



รูปที่ 30 แผนผังโครงข่าย MLP ที่ได้รับการฝึกอบรม

เมื่อทำการจัดฝึกอบรมเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ (test) ด้วยวิธี ANN เพื่อหาค่าประสิทธิภาพของแสงสว่าง หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำค่าประสิทธิภาพของแสงสว่างด้วยวิธี ANN ไปทำการเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการวัด และเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพของแสงสว่างจากแบบจำลองดั้งเดิมของ (Perez, Seals et al. 1993) และแบบจำลองของ (Robledo and Soler 2001) ซึ่งจะทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ (adjusted coefficients) ของแบบจำลองทั้งสองแบบจำลอง

ผลการเปรียบเทียบพบว่า การคำนวณค่าประสิทธิศักรด้วยวิธีการ ANN ให้ผลที่ดีกว่า โดยมีค่า RMSD ของเมืองเรซิเฟเท่ากับ 5.8% และเมืองเปสเคอราเท่ากับ 3.6%

(Pattarapanitchai, Janjai et al. 2015) ได้พัฒนาแบบจำลองกึ่งเอมไพริคัลอย่างง่าย สำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมจากข้อมูลภาคพื้นดินและข้อมูลดาวเทียมที่สถานีหลัก 4 แห่งของประเทศไทย ได้แก่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา และใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2007-2010 ในการสร้างแบบจำลอง โดยแบบจำลองดังกล่าวได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงสว่างรวมกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศ ที่ลดทอนความเข้มแสงสว่างรวม ได้แก่ เมฆ ไอน้ำ โอโซน ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง และโมเลกุลอากาศ ซึ่งสามารถเขียนได้ดังสมการ

$$E_g = E_{sc} E_0 \cos \theta_z \{ \exp[-(a_0 + a_1 AOD + a_2 TOC + a_3 w) m_a] \} \times (1 - a_4 n) \quad (2.18)$$

| | | | |
|-------|----------------------|-----|--|
| เมื่อ | E_g | คือ | ค่าความเข้มแสงสว่างรวม (klux) |
| | E_{sc} | คือ | ค่าคงตัวรังสี (klux) |
| | E_0 | คือ | แฟคเตอร์สำหรับแก้ผลจากการแปรค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (-) |
| | θ_z | คือ | มุมเซนนิธของดวงอาทิตย์ (degree) |
| | AOD | คือ | ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละอองที่ 500 nm (-) |
| | TOC | คือ | ปริมาณโอโซน (cm) |
| | w | คือ | ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (cm) |
| | m_a | คือ | มวลอากาศ (-) |
| | n | คือ | ดัชนีเมฆ (-) |
| | a_0, a_1, a_2, a_3 | คือ | สัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง |

จากนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ข้อมูลปี ค.ศ. 2011 ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถทำนายค่าความเข้มรังสีรวมได้อยู่ในเกณฑ์ที่ดี โดยมีค่า RMSD และ MBD เท่ากับ 8.1% และ -0.8% ตามลำดับ หลังจากนั้นผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่

พัฒนาขึ้นไปคำนวณความเข้มแสงสว่างทั่วประเทศไทยและจัดแสดงในรูปแบบที่ความเข้มแสงสว่างรวม

(Dieste-Velasco, Díez-Mediavilla et al. 2019) ได้นำเสนอแบบจำลองประสิทธิภาพแสงสว่างรวมบนพื้นราบ โดยทำการศึกษาแบบจำลองของนักวิจัยอื่น ๆ รวม 18 แบบจำลอง ทั้งที่เป็นแบบจำลองดั้งเดิมและแบบจำลองใหม่ซึ่งมีการดัดแปลงสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองให้เหมาะสมกับเมืองบูร์โกส ประเทศสเปน เพื่อคำนวณความเข้มแสงสว่างบนพื้นราบ โดยเลือกแบบจำลองสำหรับสภาพท้องฟ้าทั่วไป 6 แบบจำลอง สำหรับท้องฟ้าปราศจากเมฆ 5 แบบจำลอง สำหรับท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วน 3 แบบจำลองและท้องฟ้าปกคลุมไปด้วยเมฆ 4 แบบจำลอง ซึ่งทั้ง 18 แบบจำลองจะนำไปเปรียบเทียบกับค่าความสว่างรวมที่วัดได้ในแต่ละสภาพท้องฟ้า

ในการดัดแปลงสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองดังกล่าว ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลตั้งแต่ 1 ตุลาคม ค.ศ. 2016 ถึง 31 มีนาคม ค.ศ. 2018 จากนั้นผู้วิจัยได้ทดสอบสมรรถนะแบบจำลองของนักวิจัยอื่นๆ (สัมประสิทธิ์ดั้งเดิม) และแบบจำลองที่ปรับแก้สัมประสิทธิ์ใหม่ โดยใช้ข้อมูลในวันที่ 1 เมษายน ถึง 31 พฤษภาคม ค.ศ. 2018 ผลการทดสอบพบว่าแบบจำลองที่ดัดแปลงสัมประสิทธิ์ให้ค่า RMSE และ MBE ต่ำกว่าที่ได้จากการใช้สัมประสิทธิ์ดั้งเดิม

นอกจากนี้ (Dieste-Velasco, Díez-Mediavilla et al. 2019) ได้พัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าประสิทธิภาพของแสงสว่างรวมซึ่งมีความสัมพันธ์กับดัชนีความแจ่มใส (K_t) และมุมเงยของดวงอาทิตย์ ดังสมการ

$$K_g = p_0 * e^{p_1 * K_t * \sin(p_2 * \alpha^2)} \quad (\text{lm/W}) \quad (2.19)$$

| | | |
|-------|----------------------|---------------------------------------|
| เมื่อ | K_g | คือ ประสิทธิภาพของแสงสว่างรวม (lm/W) |
| | p_0, p_1 และ p_2 | คือ สัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง (-) |
| | K_t | คือ ดัชนีความแจ่มใส (lm/W) |
| | α | คือ มุมอัลติจูดของดวงอาทิตย์ (degree) |

โดยค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองในสภาพท้องฟ้าแบบต่างๆ ทั้ง 4 แบบ ได้แก่ ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปมีค่าสัมประสิทธิ์ $p_0 = 111.616, p_1 = -0.127, p_2 = 1.232$ สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆมีค่าสัมประสิทธิ์ $p_0 = 108.591, p_1 = -0.111, p_2 = 1.031$ สภาพท้องฟ้ามีเมฆเป็นบางส่วนมี

ค่าสัมประสิทธิ์ $p_0 = 1.232, p_1 = -0.100, p_2 = 1.013$ และสภาพท้องฟ้ามีเมฆมากมีค่าสัมประสิทธิ์ $p_0 = 111.693, p_1 = -0.103, p_2 = 1.241$

หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในสภาพท้องฟ้าแบบต่างๆ กับแบบจำลองแบบดั้งเดิมทั้ง 18 แบบจำลอง พบว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีค่า RMSE ต่ำกว่า สำหรับสภาพท้องฟ้าทั่วไป สภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆ สภาพท้องฟ้ามีเมฆบางส่วน และสภาพท้องฟ้าที่มีเมฆปกคลุมทั้งหมด ดังนั้นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในสภาพท้องฟ้าทั่วไปสามารถใช้ได้ทุกสภาพท้องฟ้า โดยไม่จำเป็นต้องแบ่งสภาพท้องฟ้าเป็นแบบต่างๆ

(He, Zhang et al. 2020) เสนอแบบจำลองประมาณค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงในวันที่ฟ้าปราศจากเมฆโดยใช้ข้อมูลภาพถ่ายดาวเทียม ซึ่งจะนำตัวแปรทางบรรยากาศมาทำการพิจารณา ได้แก่ ข้อมูลความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (AOD) ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศและมุมอัสติจูดของดวงอาทิตย์ แบบจำลองที่นำเสนอเขียนได้ดังสมการ

$$E_c = a \sin \alpha + b \tau + c w + d \quad (2.20)$$

เมื่อ E_c คือ ความสว่างรายชั่วโมงของวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ (klux)
 α คือ มุมอัสติจูดของดวงอาทิตย์ (degree)
 τ คือ ความลึกเชิงแสงของฝุ่นละออง (-)
 w คือ ปริมาณไอน้ำในบรรยากาศ (-)
 a, b, c, d คือ ค่าสัมประสิทธิ์ของสมการในเมืองฉงชิ่ง (-)

จากนั้นผู้วิจัยได้นำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมาคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อปี ราย 3 เดือน ความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน และความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อปีของเมืองฉงชิ่งในสภาพท้องฟ้าปราศจากเมฆดังกล่าวจะนำมาใช้ในการสร้างแผนที่

จากงานวิจัยต่าง ๆ ที่ผ่านมาจะเห็นว่าแบบจำลองเกี่ยวกับแสงสว่างส่วนใหญ่ค่อนข้างมีความซับซ้อนมากและต้องใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับองค์ประกอบต่าง ๆ ของบรรยากาศจึงไม่สะดวกในการนำมาใช้งานทั่วไป ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงทำการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างธรรมชาติที่ไม่ซับซ้อนโดยใช้ปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ามาทำการพิจารณาและสามารถนำแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้งานต่อไปได้



บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัยและผล

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะดำเนินการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างธรรมชาติบนพื้นผิวโลกโดยใช้ข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า พร้อมทั้งวิเคราะห์ลักษณะทางสถิติของแสงสว่างธรรมชาติในประเทศไทย ตามรายละเอียดดังนี้

3.1 การวัดและการบันทึกข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องมือวัดความเข้มแสงสว่าง หรือที่เรียกว่า ลักซ์มิเตอร์ (luxmeter) ซึ่งเป็นชนิดใช้งานกลางแจ้ง ยี่ห้อ EKO รุ่น ML-020S-O ลักซ์มิเตอร์จะประกอบด้วยตัวรับแสงที่ทำหน้าที่รับแสงจากภายนอกและจะกระจายเข้าไปภายในเครื่องวัดแบบ lambertian ซึ่งลักซ์มิเตอร์จะมีเซนเซอร์ (sensor) ที่เป็นสารกึ่งตัวนำ เมื่อได้รับแสงสว่างจะให้สัญญาณไฟฟ้า โดยจะแปลงเป็นค่าความสว่างได้โดยอาศัยการสอบเทียบมาตรฐาน สัญญาณที่ได้จะอยู่ในรูปศักย์ไฟฟ้าในช่วง 0-20 mV ซึ่งจะทำการบันทึกด้วย data logger ยี่ห้อ Yokogawa รุ่น DX2000 ลักษณะของลักซ์มิเตอร์และเครื่องบันทึกข้อมูลแสดงไว้ในรูปที่ 31 และ 32



รูปที่ 31 แสดงลักซ์มิเตอร์



รูปที่ 32 data logger รุ่น DX2000 ผลิตโดยบริษัท Yokogawa

เนื่องจากประเทศไทยประกอบด้วยภูมิภาคหลัก 4 ภาค ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการติดตั้งอุปกรณ์วัดแสงสว่างธรรมชาติภูมิภาคละ 1 ชุด ได้แก่ ภาคเหนือติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี ภาคกลางที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และภาคใต้ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา และได้ติดตั้งอุปกรณ์วัดแสงสว่างธรรมชาติตามจังหวัดต่างๆ อีก 11 แห่ง รายละเอียดของสถานีวัดทั้ง 15 แห่ง แสดงดังตารางที่ 3 และตำแหน่งที่ตั้งและลักษณะของเครื่องมือที่ติดตั้งแสดงดังรูปที่ 33-37

ตารางที่ 3 รายละเอียดของสถานีวัดความเข้มแสงสว่างที่ 4 ภูมิภาคหลักและจังหวัดต่างๆ 11 แห่ง
 สำหรับใช้สร้างแบบจำลอง ทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง และศึกษาลักษณะทางสถิติ
 ของแสงสว่าง

| ลำดับ | สถานี | latitude (°N) | longitude (°E) | รายละเอียดข้อมูล |
|-------|---|---------------|----------------|-----------------------------------|
| 1 | ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ | 18.78 | 98.98 | - สร้างแบบจำลอง |
| 2 | ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี | 15.25 | 104.87 | - ทดสอบ สมรรถนะของ แบบจำลอง |
| 3 | ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม | 13.82 | 100.04 | - ศึกษาลักษณะ ทางสถิติ |
| 4 | ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา | 7.20 | 100.60 | |
| 5 | กรุงเทพ | 13.75 | 100.50 | |
| 6 | เพชรบูรณ์ | 16.82 | 101.25 | |
| 7 | แม่ฮ่องสอน | 18.17 | 97.93 | |
| 8 | แพร่ | 18.06 | 100.06 | |
| 9 | กาญจนบุรี | 14.02 | 99.53 | ศึกษาลักษณะทาง สถิติ |
| 10 | ชุมพร | 10.40 | 99.18 | |
| 11 | ภูเก็ต | 8.13 | 98.30 | |
| 12 | ประจวบคีรีขันธ์ | 11.83 | 99.88 | |
| 13 | นครสวรรค์ | 15.67 | 100.12 | |
| 14 | ลพบุรี | 15.27 | 101.19 | |
| 15 | นครราชสีมา | 8.57 | 99.94 | |



รูปที่ 33 ตำแหน่งที่ตั้งของสถานีวัดความเข้มแสงสว่างทั้ง 15 สถานี ของประเทศไทย โดยสัญลักษณ์

- ★ แสดง 4 สถานีหลักที่จะนำข้อมูลมาสร้างแบบจำลอง ทดสอบแบบจำลองและศึกษา ลักษณะทางสถิติ ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ สถานีอุบลราชธานี สถานีนครปฐม และสถานีสงขลา
- แสดงตำแหน่งของสถานีวัด 11 แห่งที่จะนำมาศึกษาลักษณะทางสถิติ



รูปที่ 34 เครื่องความเข้มแสงสว่างที่ติดตั้งที่ศูนย์อุตสาหกรรมวิทยภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 35 เครื่องความเข้มแสงสว่างที่ติดตั้งที่ศูนย์อุตสาหกรรมวิทยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 36 เครื่องความเข้มแสงสว่างที่ติดตั้งที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 37 เครื่องความเข้มแสงสว่างที่ติดตั้งที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา

ในการวัดความเข้มแสงสว่างรวม ผู้วิจัยจะติดตั้งเครื่องลักซ์มิเตอร์ไว้บริเวณกลางแจ้งและต่อสายสัญญาณเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล โดยจะวัดและบันทึกข้อมูลทุก ๆ 1 วินาที และเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที แล้วบันทึกลงใน Data logger ในรูปศักย์ไฟฟ้า สัญญาณศักย์ไฟฟ้าที่ได้จะถูกนำมาแปลงเป็นค่าแสงสว่างโดยการหารด้วยสภาพการตอบสนอง (responsivity) ของเครื่องวัด ซึ่งได้จากการสอบเทียบมาตรฐาน สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$E_g = \frac{V}{S} \quad (3.1)$$

| | | |
|-------|-------|---|
| เมื่อ | E_g | คือ ความเข้มแสงสว่าง (lux) |
| | V | คือ ค่าสัญญาณศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องลักซ์มิเตอร์ (V) |
| | S | คือ ค่าสภาพการตอบสนองจากเครื่องลักซ์มิเตอร์ (V/lux) |

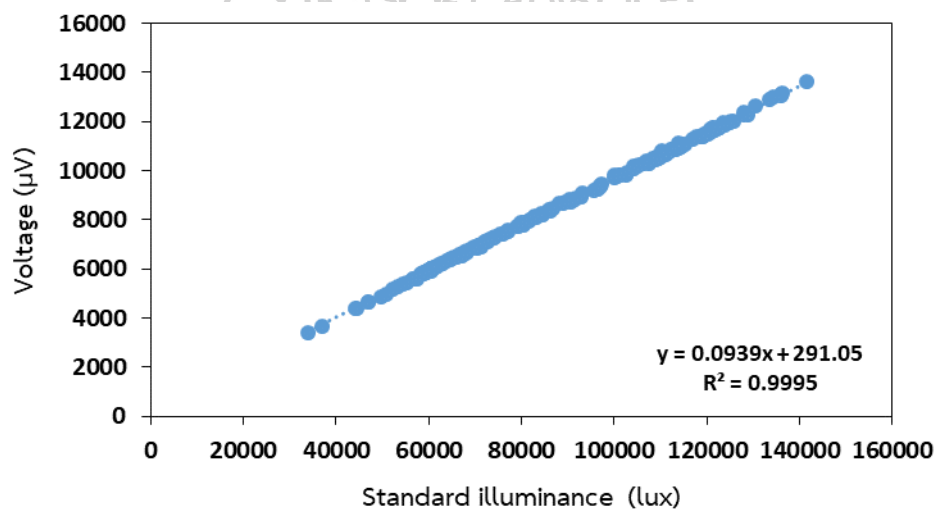
3.2 การสอบเทียบเครื่องวัดแสงสว่างธรรมชาติ

โดยทั่วไปลักซ์มิเตอร์ที่ใช้วัดความเข้มแสงสว่างต้องทำการวัดอย่างต่อเนื่องอยู่บริเวณกลางแจ้งตลอดเวลา ทำให้หัววัดอาจมีการเสื่อมสภาพ โดยค่าสภาพการตอบสนองของเครื่องมือวัดจะมีการเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงต้องทำการสอบเทียบอย่างสม่ำเสมอ ประมาณปีละ 1-2 ครั้ง

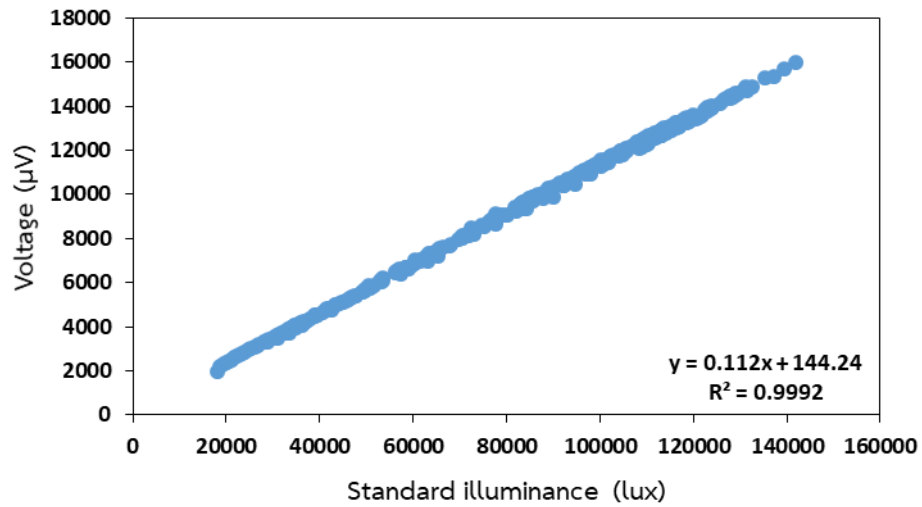
ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำลักซ์มิเตอร์ที่สอบเทียบจากบริษัทผู้ผลิตมาใช้เป็นเครื่องวัดมาตรฐานในการสอบเทียบ โดยจะนำเครื่องวัดมาตรฐานไปติดตั้งคู่กับเครื่องลักซ์มิเตอร์ที่สถานีวัด (รูปที่ 3.8) แล้วต่อสายเข้ากับเครื่องบันทึกข้อมูล จากนั้นจะเก็บข้อมูลตั้งแต่ก่อนเที่ยงจนถึงหลังเที่ยง โดยเลือกวันที่ท้องฟ้าค่อนข้างปราศจากเมฆหรือมีเมฆน้อย และนำค่าศักย์ไฟฟ้าที่ได้จากเครื่องวัดที่ติดตั้งที่สถานีมาทำการเขียนกราฟความเข้มแสงสว่างซึ่งหาได้จากเครื่องวัดมาตรฐาน ค่าความชันของกราฟที่ได้นั้นจะเป็นค่าสภาพการตอบสนองของเครื่องลักซ์มิเตอร์สถานีนั้น โดยทั่วไปจะลดลงจากค่าที่ทำการสอบเทียบจากบริษัทผู้ผลิต ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ทำการสอบเทียบเครื่องลักซ์มิเตอร์ที่ติดตั้ง ณ สถานีต่าง ๆ จาก 11 แห่ง โดยใช้กระบวนการที่เหมือนกันกับการสอบเทียบเครื่องลักซ์มิเตอร์ของสถานีหลัก 4 แห่ง ซึ่งกราฟที่ได้จากการสอบเทียบเครื่องลักซ์มิเตอร์ของ 4 สถานีหลัก แสดงไว้ในรูปที่ 39-42



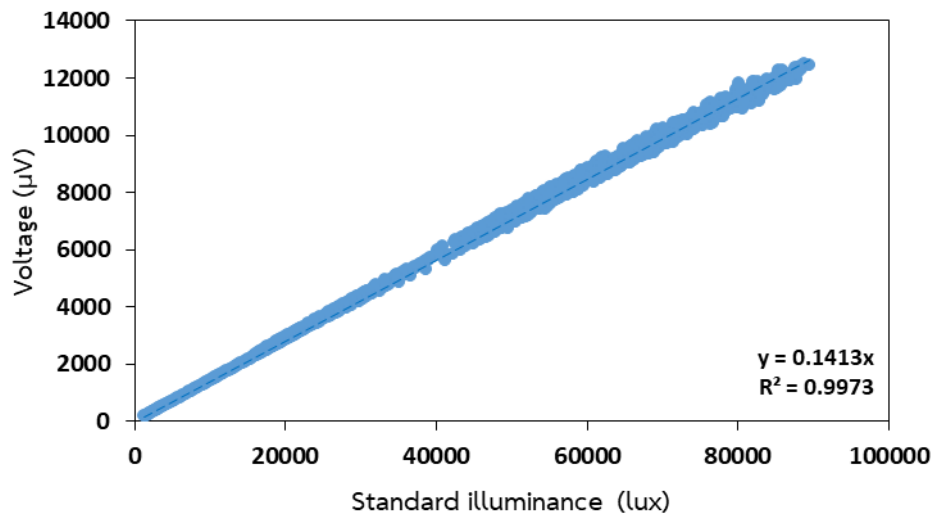
รูปที่ 38 การสอบเทียบเครื่องลักซ์มิเตอร์



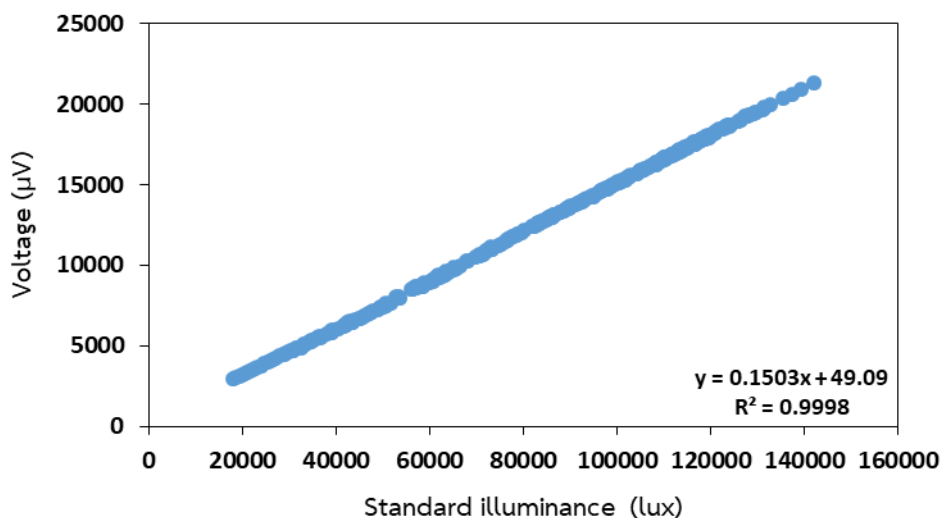
รูปที่ 39 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงสว่าง ที่ศูนย์อุตสาหกรรมวิทยุภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 40 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงสว่าง ที่ศูนย์อุตสาหกรรม
ตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 41 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงสว่าง ที่คณะวิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 42 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าศักย์ไฟฟ้ากับค่าความเข้มแสงสว่าง ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา

3.3 การควบคุมคุณภาพของข้อมูล

เนื่องจากเครื่องมือวัดซึ่งติดตั้งไว้ในที่โล่งแจ้ง ซึ่งมีสภาพแวดล้อมที่แปรปรวนหรือรุนแรง เช่น ฟ้าผ่า หรือไฟดับ ทำให้เครื่องมือวัดเสียหาย เป็นสาเหตุให้มีการขาดหายของข้อมูลในบางช่วงเวลา ดังนั้น ในการนำข้อมูลความเข้มแสงสว่างรวมนี้ไปใช้งานจึงจำเป็นต้องตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลก่อน (Data quality control) เพื่อกำจัดข้อมูลที่ผิดปกติ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องและครบถ้วน โดยผู้วิจัยได้ทำการควบคุมคุณภาพของข้อมูลดังข้อต่อไปนี้

1) เลือกใช้ข้อมูลความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงที่มุมเงยของดวงอาทิตย์มีค่ามากกว่า 5 องศาขึ้นไป เพื่อลดค่า error เนื่องจาก Cosine response ของหัววัด ซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้ข้อมูลในช่วงเวลาตั้งแต่ 09:00-16:00 น.

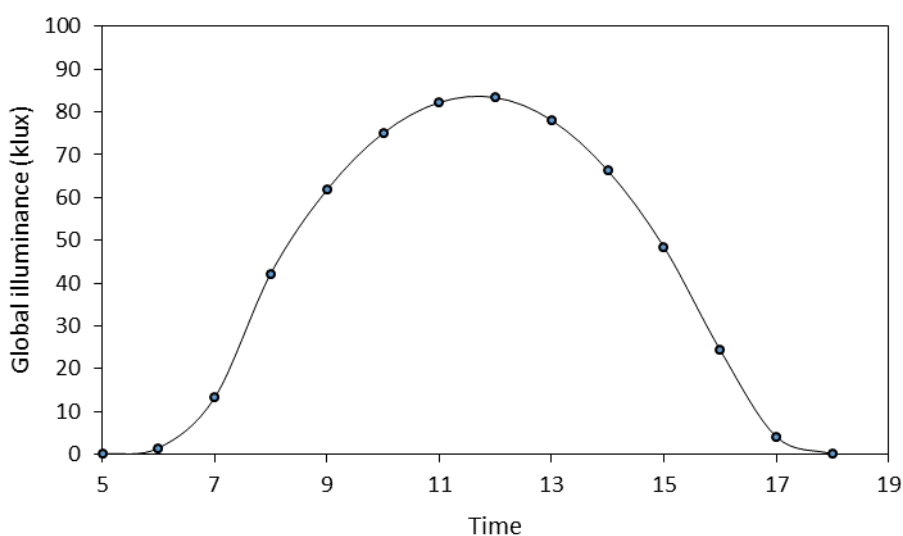
2) เปรียบเทียบข้อมูลความเข้มแสงสว่างรวมที่ได้นบนพื้นราบ (E_g) กับข้อมูลความเข้มแสงสว่างที่นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบ (E_{0h}) โดยค่าความเข้มแสงสว่างรวมจะต้องมีค่าน้อยกว่าหรือเท่ากับ ความเข้มแสงสว่างที่นอกบรรยากาศโลกดังสมการที่ 3.2 ซึ่งถ้าค่าความเข้มแสงสว่างบนพื้นราบมากกว่าความเข้มแสงสว่างที่นอกบรรยากาศโลกนั้น ถือว่าเป็นข้อมูลผิดพลาด ซึ่งผู้วิจัยจะไม่นำข้อมูลในส่วนนี้มาทำการวิเคราะห์

$$E_g \leq E_{0h} \quad (3.2)$$

เมื่อ E_{0h} คือ ความเข้มแสงสว่างที่นอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบ (klux)
 E_g คือ ความเข้มแสงสว่างรวมบนพื้นราบ (klux)

3) ทำการตรวจสอบข้อมูลเบื้องต้นด้วยสายตา ซึ่งจะเลือกดูข้อมูลในช่วงวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆหรือมีเมฆน้อย โดยลักษณะการแปรค่าของความเข้มแสงสว่างจะต้องมีลักษณะดังรูปที่

43



รูปที่ 43 ตัวอย่างกราฟบันทึกข้อมูลความเข้มแสงสว่างในวันที่ท้องฟ้าปราศจากเมฆ ซึ่งทำการวันที่
 สถานีนครปฐม ของวันที่ 5 ธันวาคม 2019

4) ตรวจสอบค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนทั้ง 15 สถานี ว่าในแต่ละปีมี
 แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกันหรือแตกต่างกัน

3.4 ปริมาณเมฆปกคลุมท้องฟ้า (cloud cover, C) จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view)

เมฆ (cloud) เกิดจากการรวมตัวกันหรือเกาะกลุ่มของหยดน้ำ หรือผลึกน้ำแข็งลอยตัวอยู่ใน
 ชั้นบรรยากาศที่สามารถมองเห็นได้ ซึ่งเกิดจากการควบแน่นและตกลงมาเป็นฝน ละอองน้ำ และเกล็ด
 น้ำแข็ง โดยทั่วไปอนุภาคภายในเมฆมีขนาดเล็กอยู่ระหว่าง $10 \mu\text{m} - 100 \mu\text{m}$ จะมีลักษณะโปร่งแสง
 จนไม่สามารถมองเห็นได้ รังสีอาทิตย์ที่ผ่านเข้ามายังชั้นบรรยากาศจะถูกกระเจิง โดยเมฆที่ปกคลุม
 ท้องฟ้าออกสู่นอกบรรยากาศโลก รังสีส่วนที่เหลือจะผ่านเข้ามายังบรรยากาศและกระเจิงในช่วงความ

ยาวคลื่นแสงสว่างที่ตาของมนุษย์สามารถมองเห็น โดยจะสะท้อนแสงให้เราเห็นเป็นก้อนสีขาว ในบางครั้งมุมตกกระทบของแสงและเงาของเมฆชั้นบนหรือเมฆที่อยู่ข้างเคียงจะทำให้เห็นเมฆเป็นก้อนสีเทา

เนื่องจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า นั้นเป็นตัวแปรที่สำคัญที่ส่งผลต่อการลดทอนของปริมาณแสงสว่างธรรมชาติ ดังนั้นในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยข้อมูลปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า ผู้วิจัยได้ใช้จากเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ของสถานีหลัก 4 แห่ง ได้แก่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา โดยเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าจะทำการถ่ายภาพตั้งแต่เวลา 05:00-19:00 น. ถ่ายภาพทุก ๆ 10 นาที ภาพที่ได้จะเป็นไฟล์ JPEG ผู้วิจัยจะเลือกใช้ข้อมูลในช่วงเวลา 09:00-16:00 น. และจะนำภาพที่ได้มาทำการสังเกตการณ์ด้วยตาเปล่า เพื่อดูปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้าและตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าของสถานีหลัก 4 แห่ง แสดงดังรูปที่ 44-51



รูปที่ 44 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่



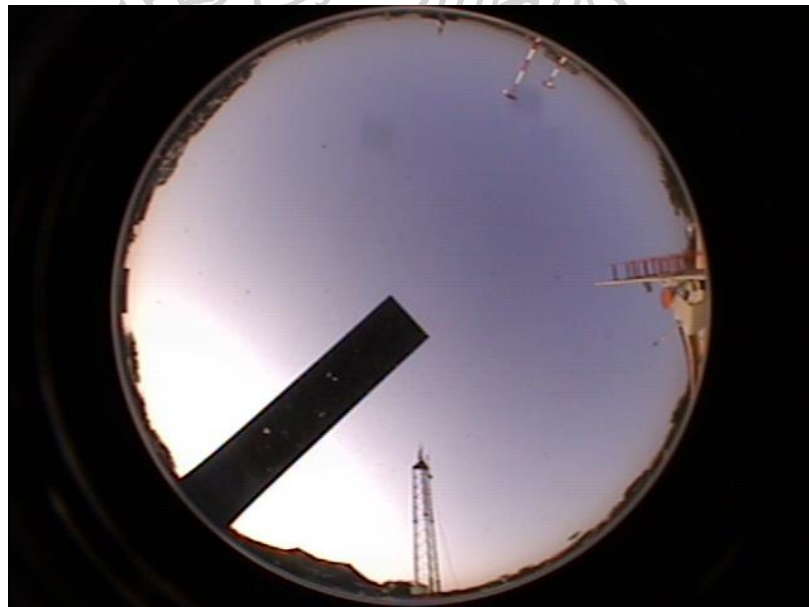
รูปที่ 45 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 46 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



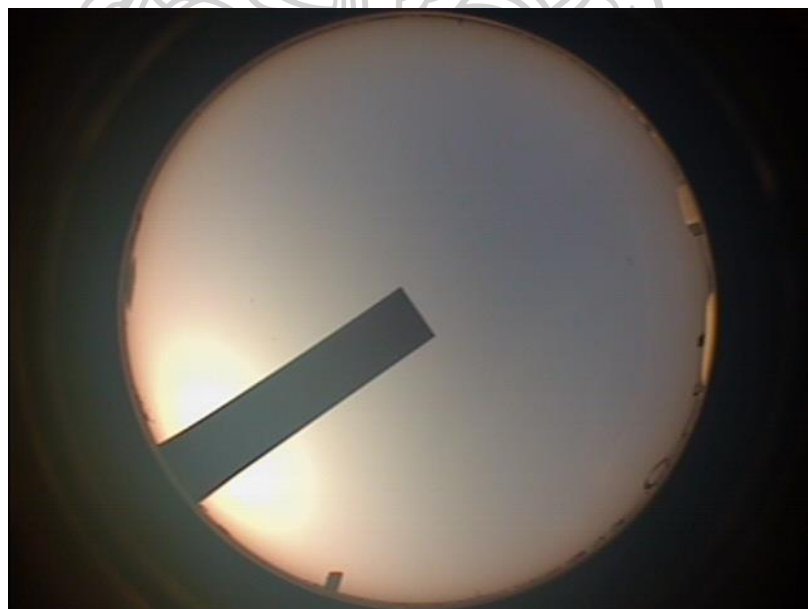
รูปที่ 47 เครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า (sky view) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา



รูปที่ 48 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่อง sky view ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ วันที่ 21 มกราคม 2020 เวลา 09:00 น.



รูปที่ 49 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่อง sky view ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี วันที่ 21 มกราคม 2020 เวลา 09:00 น.



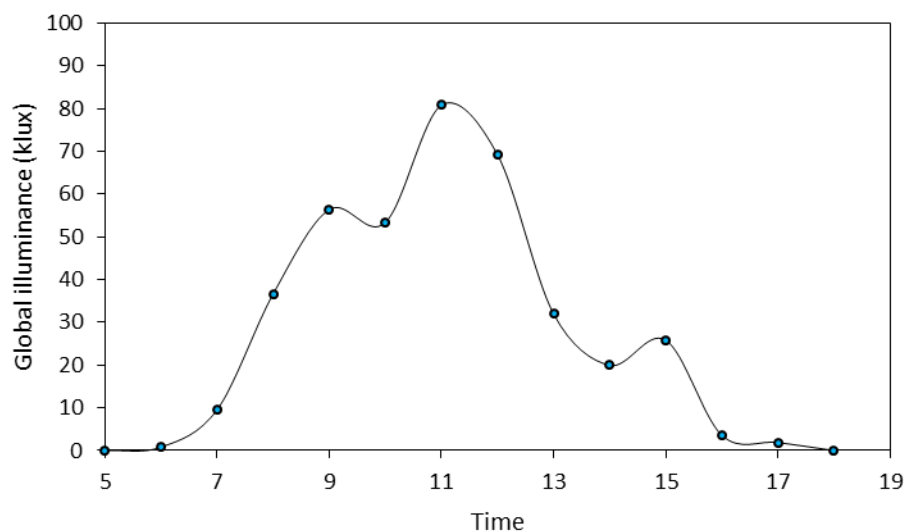
รูปที่ 50 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่อง sky view ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม วันที่ 21 มกราคม 2020 เวลา 09:00 น.



รูปที่ 51 ตัวอย่างภาพถ่ายท้องฟ้าจากเครื่อง sky view ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา วันที่ 21 มกราคม 2020 เวลา 09:00 น.

3.5 การพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า

เนื่องจากปริมาณของเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าส่งผลต่อปริมาณความเข้มแสงสว่างบนพื้นผิวโลก กล่าวคือถ้าปริมาณเมฆบดบังแสงจากดวงอาทิตย์มาก ปริมาณความเข้มแสงสว่างในวันนั้นจะมีค่าน้อย (รูปที่ 50) แต่ถ้าปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าน้อยหรือสภาพท้องปราศจากเมฆ (clear sky) จะทำให้ปริมาณความเข้มแสงสว่างมีค่าสูง ดังนั้นปริมาณความเข้มแสงสว่างธรรมชาติจะมีความสัมพันธ์กับปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยจึงได้ทำการพัฒนาแบบจำลองสำหรับคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมจากปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 52 ตัวอย่างกราฟบันทึกข้อมูลความเข้มแสงสว่างในวันที่ท้องฟ้ามีเมฆปกคลุม ซึ่งทำการวัดที่สถานี นครปฐม ของวันที่ 20 ธันวาคม 2019

3.5.1 ข้อมูล

ในการสร้างแบบจำลองสำหรับคำนวณปริมาณความเข้มแสงสว่างจำเป็นต้องใช้ข้อมูลต่างๆ ได้แก่ แสงสว่างรวมบนพื้นราบ ความเข้มแสงสว่างนอกระยะอากาศโลก และปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า โดยจะใช้ข้อมูลจำนวน 5 ปี (ค.ศ. 2015-2019) ในการสร้างแบบจำลอง และใช้ข้อมูลปี ค.ศ. 2020 ในการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง สำหรับรายละเอียดของข้อมูลแต่ละตัวมีดังนี้

1) ข้อมูลแสงสว่างรวมบนพื้นราบ

ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลแสงสว่างรวมบนพื้นราบที่ได้จากอุปกรณ์วัดปริมาณแสงสว่างธรรมชาติซึ่งได้ติดตั้งไว้ที่สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม และสงขลา โดยเป็นข้อมูลจากลักซ์มิเตอร์ที่ติดตั้งบนพื้นราบ ซึ่งทำการวัด global illuminance ในรูปของข้อมูลรายชั่วโมง แล้วทำการเฉลี่ยให้เป็นข้อมูลแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนมีหน่วยเป็น lux

2) ข้อมูลความเข้มแสงสว่างนอกระยะอากาศโลก

โดยทั่วไปค่าความเข้มแสงสว่างที่นอกระยะอากาศโลกจะขึ้นอยู่กับสเปกตรัมรังสีอาทิตย์นอกระยะอากาศโลกและสมบัติทางเรขาคณิตของรังสีอาทิตย์ ซึ่งสามารถหาค่าได้อย่างแม่นยำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงสามารถคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างนอกระยะอากาศโลกได้อย่างแม่นยำด้วย สำหรับความเข้มแสงสว่างที่นอกระยะอากาศโลกบนระนาบในแนวระดับที่ขนานกับพื้นผิวโลกสามารถคำนวณดังสมการที่

3.4 จากนั้นผู้วิจัยได้เฉลี่ยค่าความเข้มแสงสว่างที่นอกบรรยากาศโลกรายชั่วโมง ให้อยู่ในรูปราย ชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน เพื่อใช้สำหรับสร้างแบบจำลองและทดสอบแบบจำลอง

$$E_{oh} = E_{sc} E_0 \cos \theta_z \quad (3.4)$$

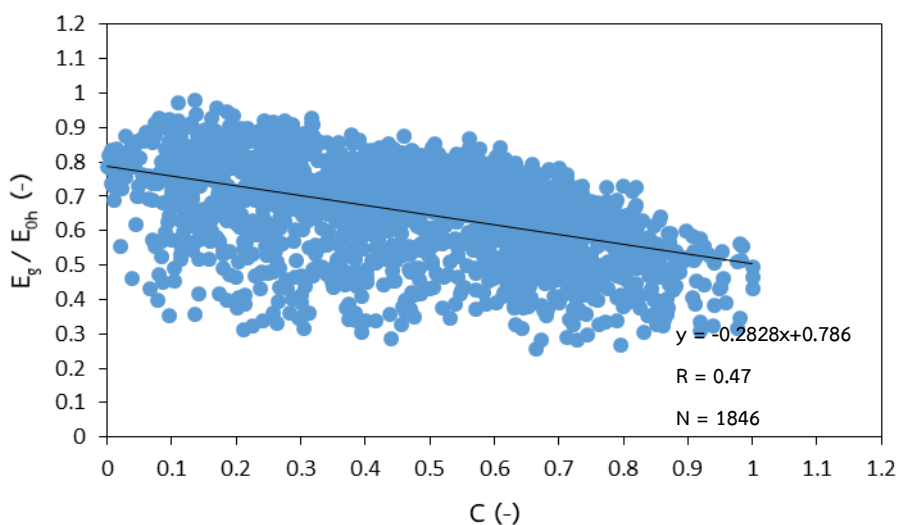
- เมื่อ E_{oh} คือ ความเข้มสว่างนอกบรรยากาศโลกบนพื้นราบ (klux)
 E_{sc} คือ ค่าคงตัวแสงสว่างธรรมชาติ มีค่าเท่ากับ 128 klux
 E_0 คือ แฟคเตอร์สำหรับแก้ผลการแปรค่าของระยะทางระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์ (-)
 θ_z คือ มุมเซนธิ์ของดวงอาทิตย์ (degree)

3) ข้อมูลปริมาณเมฆ

ในการใช้งานข้อมูลปริมาณเมฆ ผู้วิจัยจะนำข้อมูลภาพถ่ายท้องฟ้าที่ได้จากเครื่องถ่ายภาพ ท้องฟ้าตั้งแต่เวลา 9.00 -16.00 น. มาทำการตรวจวัดด้วยตาเปล่า โดยผู้วิจัยจะแบ่งท้องฟ้าออกเป็น 10 ส่วน และประมาณว่าในขณะนั้นมีเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้ากี่ส่วน ซึ่งจะประมาณค่าเมฆที่ทำการ สังเกตการณ์ดูด้วยตาเปล่าตั้งแต่ 0-1 ถ้ามีเมฆปกคลุมครึ่งท้องฟ้าหรือ 5 ส่วน จะถือว่ามีปริมาณเมฆ 0.5 จากนั้นจะนำค่าปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าที่เวลา 09:00, 09:10, 09:20, 09:30, 09:40 และ 09:50 น. มาทำการเฉลี่ยให้เป็นค่ารายชั่วโมง โดยจะทำเช่นนี้ทุกเวลาจนถึง 16.00 น. หลังจากนั้นจะ นำค่าที่เวลาเดียวกันของทั้งเดือนมาหาค่าเฉลี่ย เพื่อให้อยู่ในรูปปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้าราย ชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนสำหรับใช้สร้างแบบจำลองและทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองต่อไป

3.5.2 การสร้างแบบจำลอง

หลังจากที่ผู้วิจัยได้จัดเตรียมข้อมูลสำหรับใช้สร้างแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยจึงได้ทำการ สร้างแบบจำลองโดยหาความสัมพันธ์ระหว่าง E_g กับ C โดยการเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ ระหว่างอัตราส่วนความเข้มแสงสว่างรวมต่อความเข้มแสงสว่างรวมนอกบรรยากาศโลก (E_g/E_{oh}) และปริมาณเมฆ (cloud cover, C) รายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน ดังแสดงในรูปที่ 53



รูปที่ 53 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มแสงสว่างรวมต่อความเข้มแสงสว่างรวม
นอกระยากาศโลก (E_g/E_{oh}) กับปริมาณเมฆ (C) โดยเป็นข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2015-
2019

จากกราฟรูปที่ 3.23 จะเห็นว่าอัตราส่วนความเข้มแสงสว่างรวมต่อความเข้มแสงสว่างรวม
นอกระยากาศโลก (E_g/E_{oh}) มีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับปริมาณเมฆ (C) ซึ่งสามารถเขียนในรูป
สมการได้ดังนี้

$$\frac{E_g}{E_{oh}} = (a_0 + a_1 C) \quad (3.5)$$

เมื่อ E_g คือ ความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน (klux)
 E_{oh} คือ ความเข้มแสงสว่างนอกระยากาศโลกรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน (klux)
 C คือ ปริมาณเมฆ (-)
 a_0, a_1 คือ สัมประสิทธิ์ของแบบจำลอง (-) โดยที่ $a_0 = 0.786$ และ $a_1 = -0.2828$

3.5.3 การทดสอบสมรรถนะของแบบจำลอง

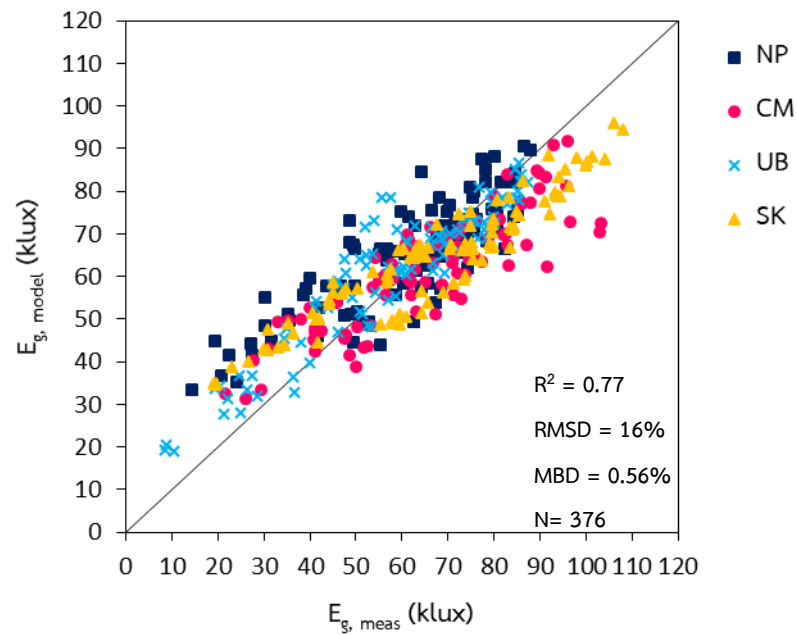
หลังจากที่ทำการสร้างแบบจำลองแล้ว ก่อนนำแบบจำลองไปใช้งาน ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบ
สมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น ในการทดสอบแบบจำลองนั้น ผู้วิจัยจะใช้ข้อมูลในปี ค.ศ. 2020
ซึ่งเป็นข้อมูลอิสระ (independent data) ซึ่งมีได้นำมาใช้ในการสร้างแบบจำลองมาใช้ในการทดสอบ โดย

ผู้วิจัยจะทำการคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างรวมนอกบรรยากาศโลก และค่าปริมาณเมฆที่ปกคลุม ท้องฟ้ารายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีหลัก 4 แห่ง ไปแทนในสมการที่ 3.5 ทำให้ได้ค่าความเข้มแสงสว่างรวมจากแบบจำลอง ($E_{g,model}$) หลังจากนั้นนำค่าดังกล่าวไปเปรียบเทียบกับค่าความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด ($E_{g,meas}$) ซึ่งจะแสดงผลในรูปของ root mean square difference (RMSD) และ mean bias difference (MBD) ซึ่งหาได้จากสมการ (3.6) และ (3.7) ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 54-58 และผู้วิจัยได้ทำการสรุปค่าความแตกต่างในเทอมของ RMSD และ MBD ของทั้ง 4 สถานีวัด ดังแสดงในตารางที่ 4

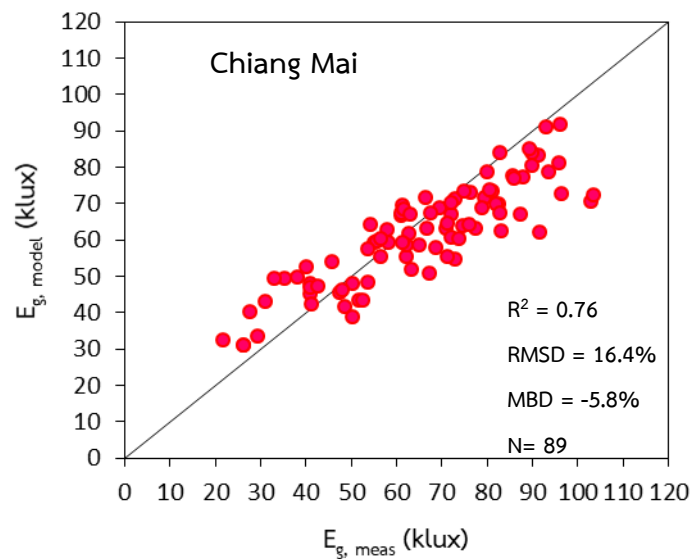
$$RMSD = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (E_{g,model} - E_{g,meas})^2}{N}}}{\frac{\sum_{i=1}^N E_{g,meas}}{N}} \times 100\% \quad (3.6)$$

$$MBD = \frac{\frac{\sum_{i=1}^N (E_{g,model} - E_{g,meas})}{N}}{\frac{\sum_{i=1}^N E_{g,meas}}{N}} \times 100\% \quad (3.7)$$

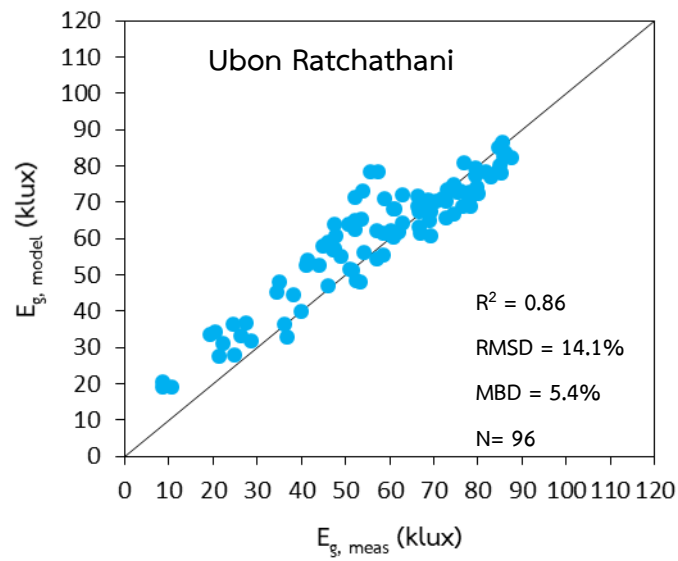
| | | |
|-------|---------------|--|
| เมื่อ | $E_{g,model}$ | คือ ค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากแบบจำลอง (klux) |
| | $E_{g,meas}$ | คือ ค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายวันเฉลี่ยต่อเดือนที่ได้จากการวัด (klux) |
| | N | คือ จำนวนข้อมูล |



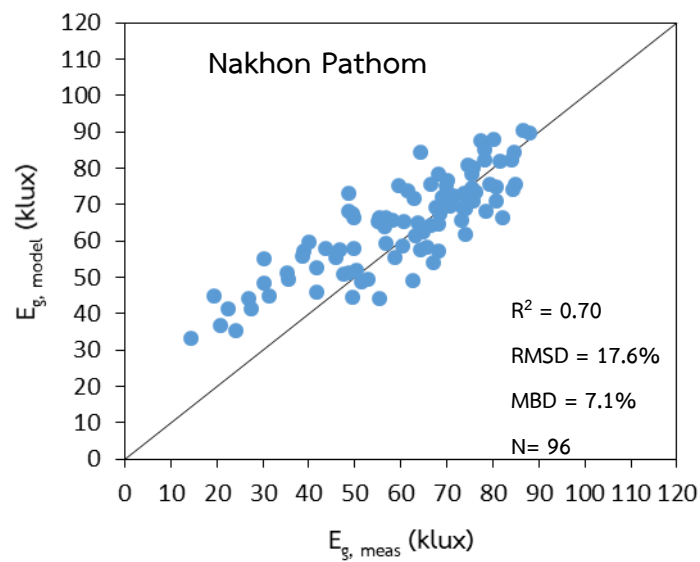
รูปที่ 54 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด ($E_{g, meas}$) กับความเข้มแสงสว่างที่ได้จากแบบจำลอง ($E_{g, model}$) ของสถานีวัดทั้ง 4 แห่งโดยเป็นข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2020



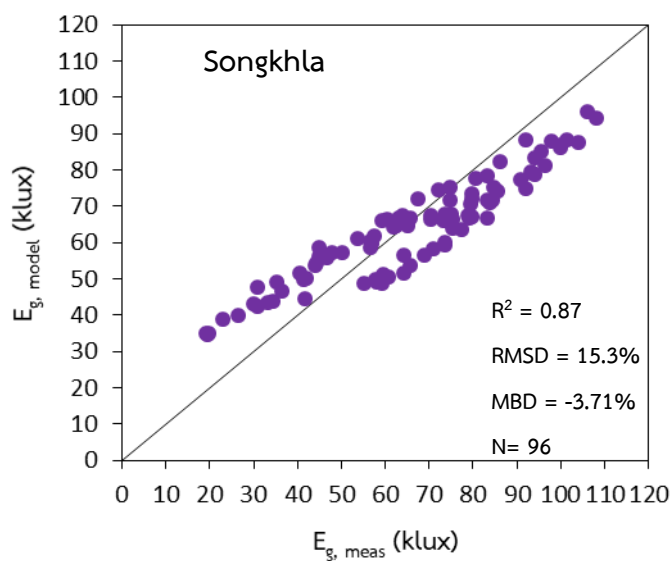
รูปที่ 55 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด ($E_{g, meas}$) กับความเข้มแสงสว่างที่ได้จากแบบจำลอง ($E_{g, model}$) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่



รูปที่ 56 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด ($E_{g, \text{meas}}$) กับความเข้มแสงสว่างที่ได้จากแบบจำลอง ($E_{g, \text{model}}$) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี



รูปที่ 57 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด ($E_{g, \text{meas}}$) กับความเข้มแสงสว่างที่ได้จากแบบจำลอง ($E_{g, \text{model}}$) ที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



รูปที่ 58 การเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัด ($E_{g,meas}$) กับความเข้มแสงสว่างที่ได้จากแบบจำลอง ($E_{g,model}$) ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา

ตารางที่ 4 ค่าความแตกต่างทางสถิติในรูป RMSD และ MBD ที่ได้จากการเปรียบเทียบความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัดกับความเข้มแสงสว่างที่ได้จากแบบจำลองของสถานีหลัก 4 แห่งในประเทศไทย

| ลำดับ | สถานี | RMSD (%) | MBD (%) |
|-------|--|----------|---------|
| 1 | ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ | 16.4 | -5.8 |
| 2 | ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี | 14.1 | 5.4 |
| 3 | คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม | 17.6 | 7.1 |
| 4 | ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา | 15.3 | -3.7 |
| 5 | รวมทั้ง 4 สถานี | 16.0 | 0.56 |

จากผลการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองดังแสดงในรูปที่ 3.25 – 3.29 จะเห็นว่าค่าความเข้มแสงสว่างที่คำนวณได้จากแบบจำลองส่วนใหญ่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการวัดภาคพื้นดิน โดยมีค่าความแตกต่างในรูปของ RMSD อยู่ในช่วง 14.1 – 17.6% และ MBD อยู่ในช่วงประมาณ -3.71 – 7.1% เมื่อพิจารณาแยกเป็นรายสถานี หากพิจารณารวมทั้ง 4 สถานี จะมีค่าความแตกต่างในรูป RMSD และ MBD เท่ากับ 16% และ 0.56% ตามลำดับ ผลการเปรียบเทียบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นมีสมรรถนะที่ดีสามารถนำไปคำนวณค่าความเข้มแสงสว่างได้ และแบบจำลองที่ผู้วิจัยทำการพัฒนาขึ้นนี้เป็นแบบจำลองอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน ซึ่งต่างจากแบบจำลองของ (Pattarapanitchai, Janjai et al. 2015) ที่ได้เสนอแบบจำลองสำหรับคำนวณความเข้มแสงสว่างรวมและได้ทดสอบความละเอียดถูกต้องของแบบจำลอง พบว่ามีค่า RMSD เท่ากับ 8.1% และ MBD เท่ากับ -0.8% ถึงแม้ว่าแบบจำลองของ (Pattarapanitchai, Janjai et al. 2015) จะมีความละเอียดถูกต้องกว่าแบบจำลองที่นำเสนอในงานวิจัยนี้เล็กน้อย แต่แบบจำลอง (Pattarapanitchai, Janjai et al. 2015) ต้องใช้ข้อมูลนำเข้า (input data) ที่มากกว่า และแบบจำลองมีความซับซ้อนกว่า ดังนั้นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้คำนวณความเข้มแสงสว่างรวมได้โดยง่าย และมีความละเอียดถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

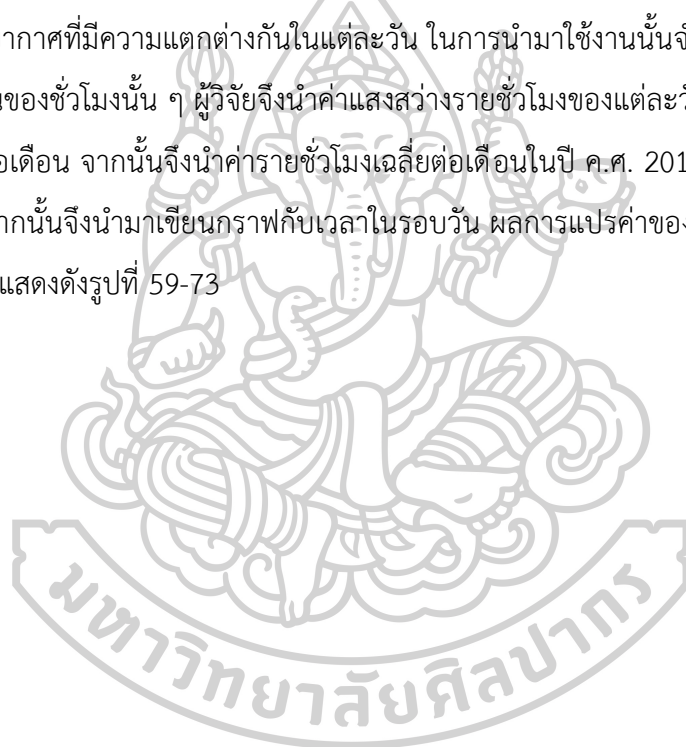
3.6 ลักษณะทางสถิติของแสงสว่างธรรมชาติในภูมิภาคต่างๆในประเทศไทย

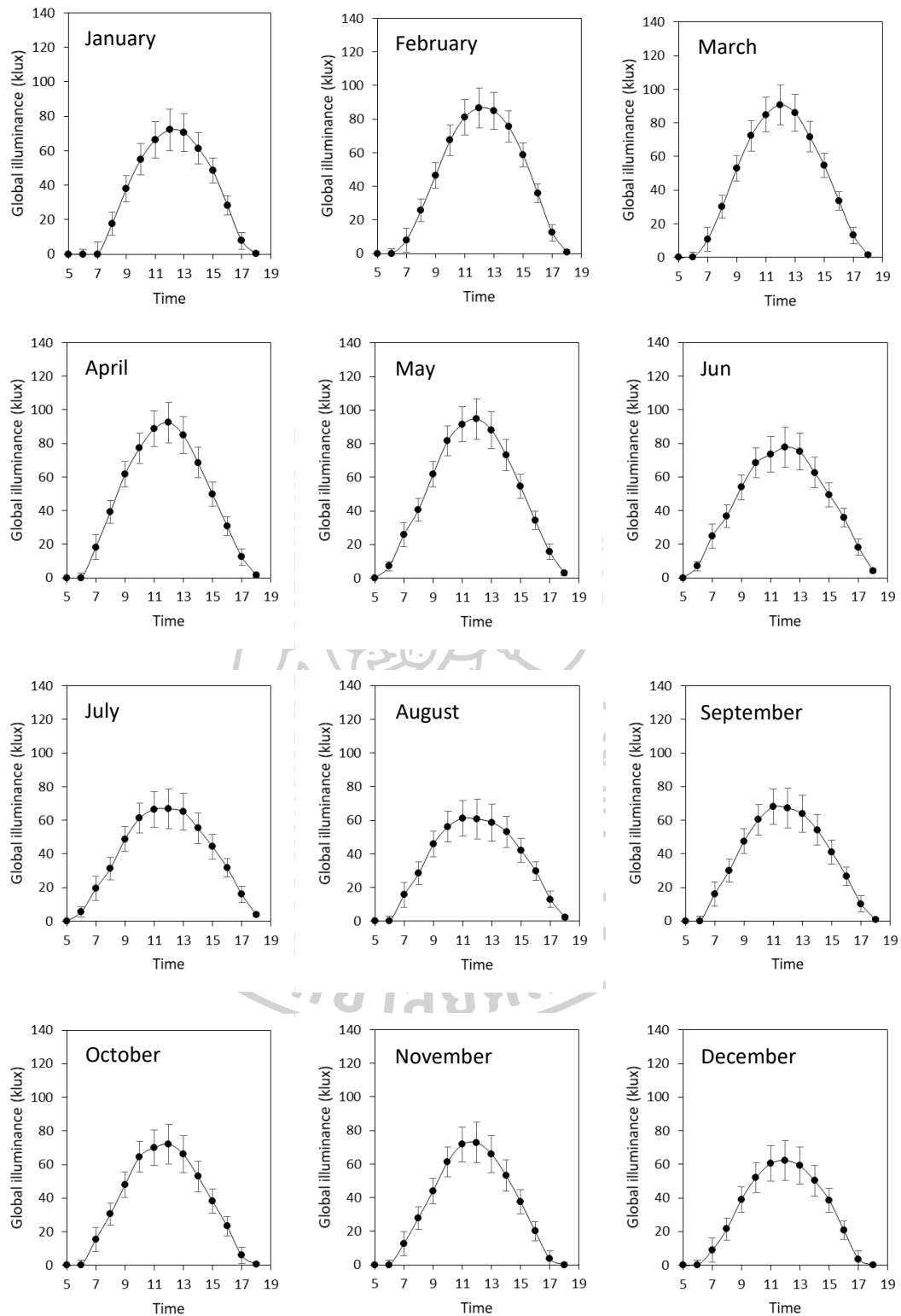
เนื่องจากปริมาณความเข้มแสงสว่างมีแหล่งกำเนิดมาจากดวงอาทิตย์ เมื่อผ่านบรรยากาศลงมายังชั้นผิวโลกจะได้รับปัจจัยของบรรยากาศที่สำคัญคือ ปริมาณเมฆ อนุภาคน้ำ ไอโซน และฝุ่นละออง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา อีกทั้งยังมีการเปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้าในเวลารอบวัน และการเปลี่ยนแปลงของเดคลิเนชัน (declination) ของดวงอาทิตย์ในรอบปีด้วย อย่างไรก็ตามการศึกษาลักษณะทางสถิติโดยใช้ข้อมูลย้อนหลังสามารถนำข้อมูลมาเป็นตัวแทนในการดูแนวโน้มได้ เช่น ในช่วงฤดูฝน จะพบว่าท้องฟ้าปกคลุมด้วยเมฆเกินกว่าครึ่งหนึ่งของท้องฟ้ามากกว่าในช่วงฤดูร้อนและฤดูหนาว เป็นต้น ทำให้ความเข้มแสงสว่างในช่วงเวลาดังกล่าวมีปริมาณความเข้มแสงสว่างน้อยกว่าในช่วงฤดูอื่น ดังนั้นการนำข้อมูลปริมาณความเข้มแสงสว่างมาใช้ จึงไม่สามารถเลือกเอาวันใดวันหนึ่งมาใช้งานได้ จึงต้องทำการศึกษากการเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสว่างในรอบวัน การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีและศึกษาการแจกแจงความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน เพื่อจะได้ทราบถึงศักยภาพของแสงสว่างของประเทศไทย สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านการอนุรักษ์พลังงานได้

ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำข้อมูลความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการวัดทั้ง 15 สถานี ที่ มา ทำการศึกษาลักษณะทางสถิติของแสงสว่างในประเทศไทย ซึ่งใช้ข้อมูลในช่วงปี ค.ศ. 2015-2020 มา ทำการวิเคราะห์และศึกษาลักษณะตามรายละเอียดดังนี้

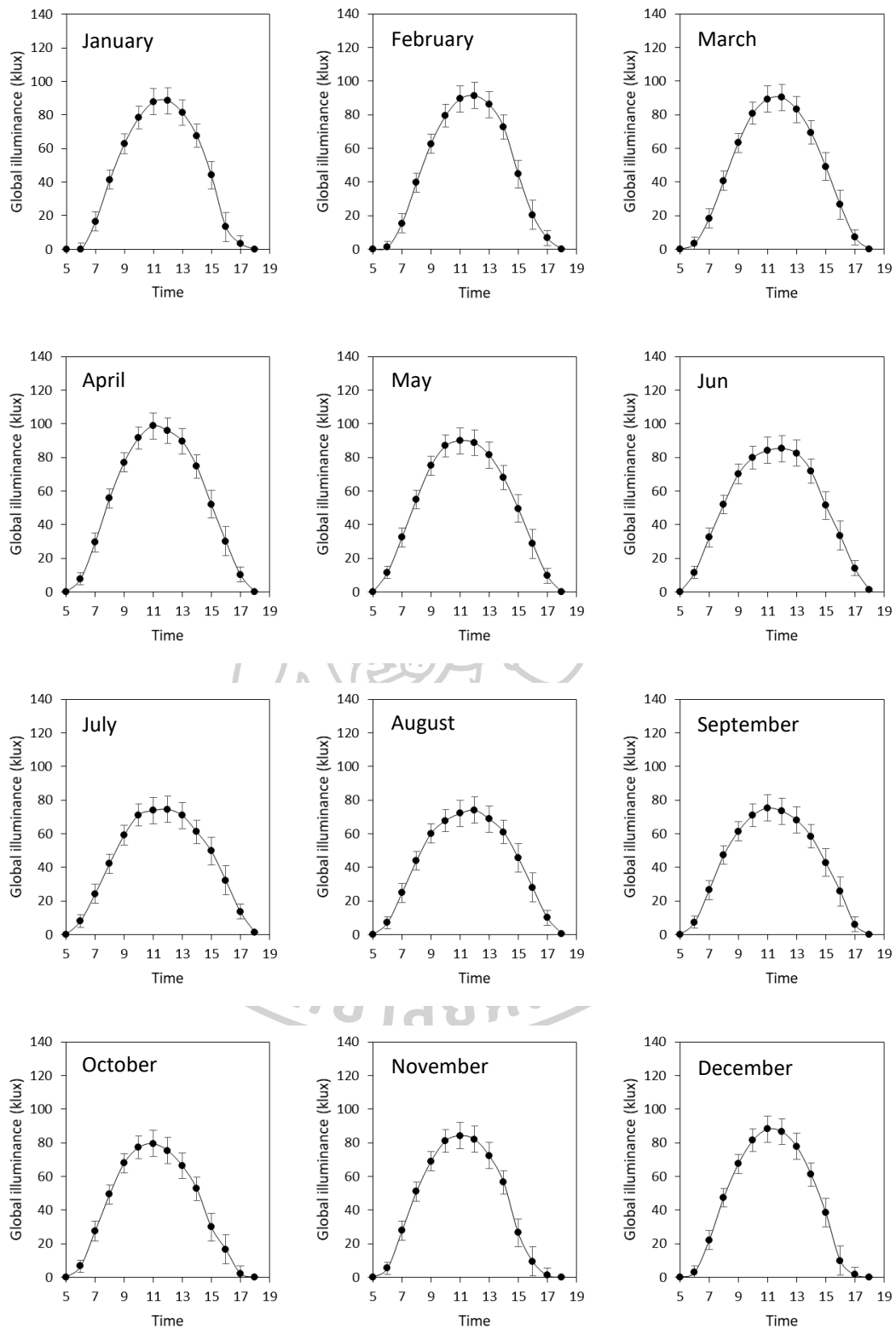
3.6.1 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงตามเวลาในรอบวัน

โดยทั่วไปความเข้มแสงสว่างมีการแปรค่าตามเวลาในรอบวัน ซึ่งค่าความเข้มแสงสว่างจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นในช่วงเวลาเช้าและมีค่ามากที่สุดในช่วงเวลาเที่ยงวันและจะค่อย ๆ ลดลง จนมีค่าต่ำสุด ในช่วงเย็นตอนพระอาทิตย์ตก ซึ่งเป็นผลมาจากทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์ ทำให้ค่าความเข้มแสงสว่างที่ช่วงเวลาเดียวกันในแต่ละวันจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากสภาพอากาศและองค์ประกอบต่าง ๆ ทางด้านบรรยากาศที่มีความแตกต่างกันในแต่ละวัน ในการนำมาใช้งานนั้นจำเป็นต้องทราบค่าเฉลี่ย ตลอดทั้งเดือนของชั่วโมงนั้น ๆ ผู้วิจัยจึงนำค่าแสงสว่างรายชั่วโมงของแต่ละวันมาคำนวณเป็นค่าราย ชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน จากนั้นจึงนำค่ารายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในปี ค.ศ. 2015-2020 มาทำการเฉลี่ย อีกครั้ง หลังจากนั้นจึงนำมาเขียนกราฟกับเวลาในรอบวัน ผลการแปรค่าของความเข้มแสงสว่างของ ทั้ง 15 สถานี แสดงดังรูปที่ 59-73

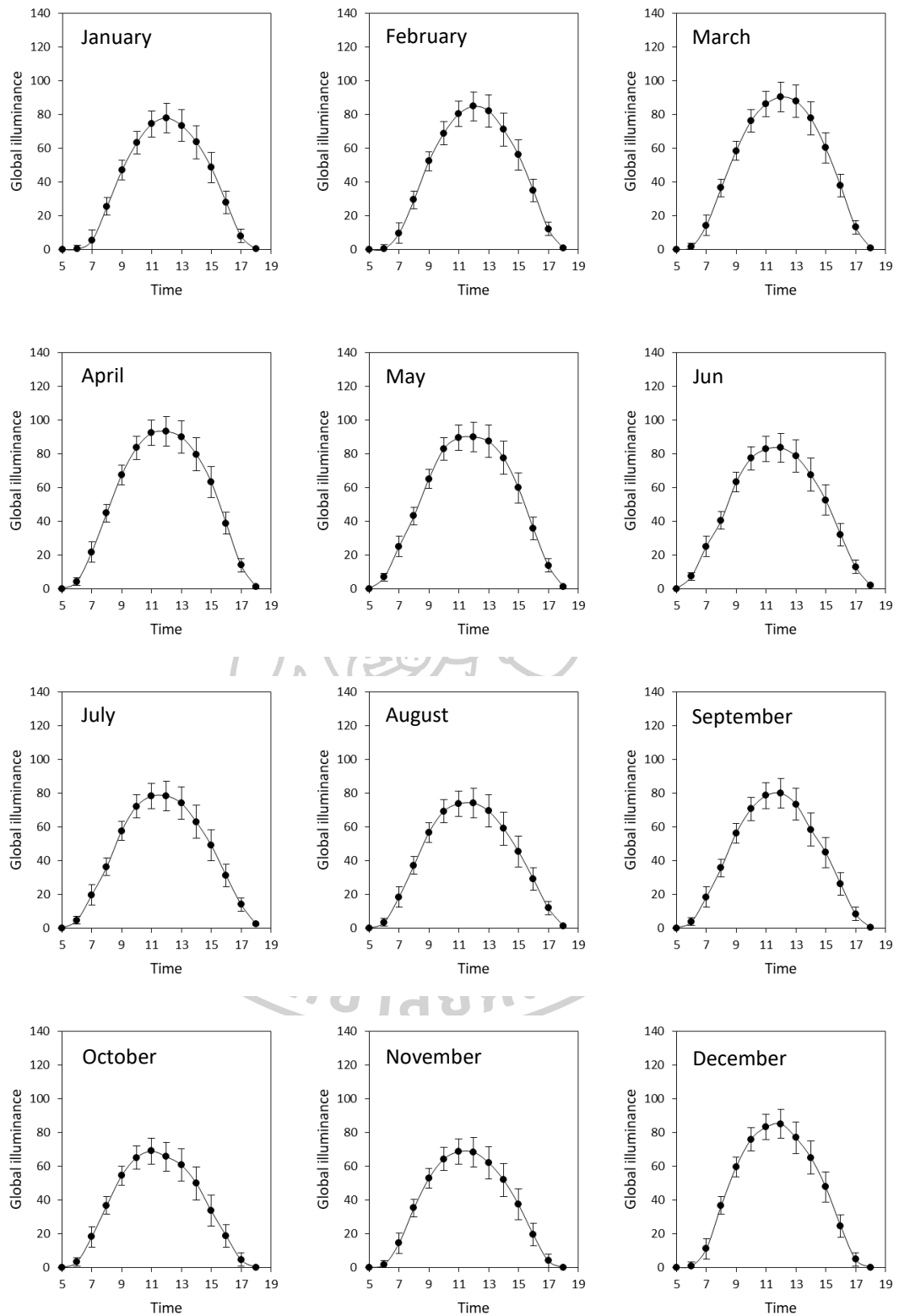




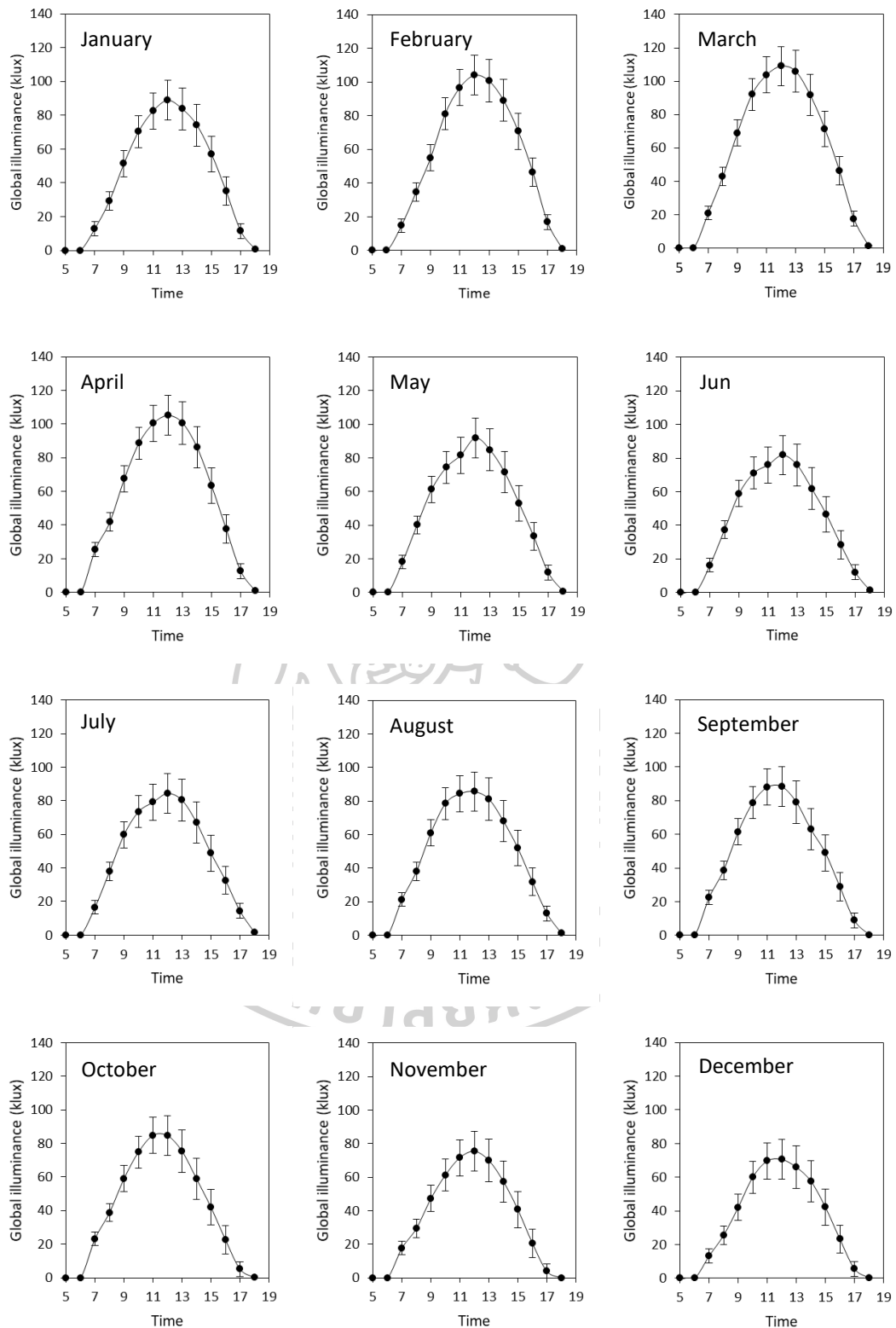
รูปที่ 59 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัด เชียงใหม่



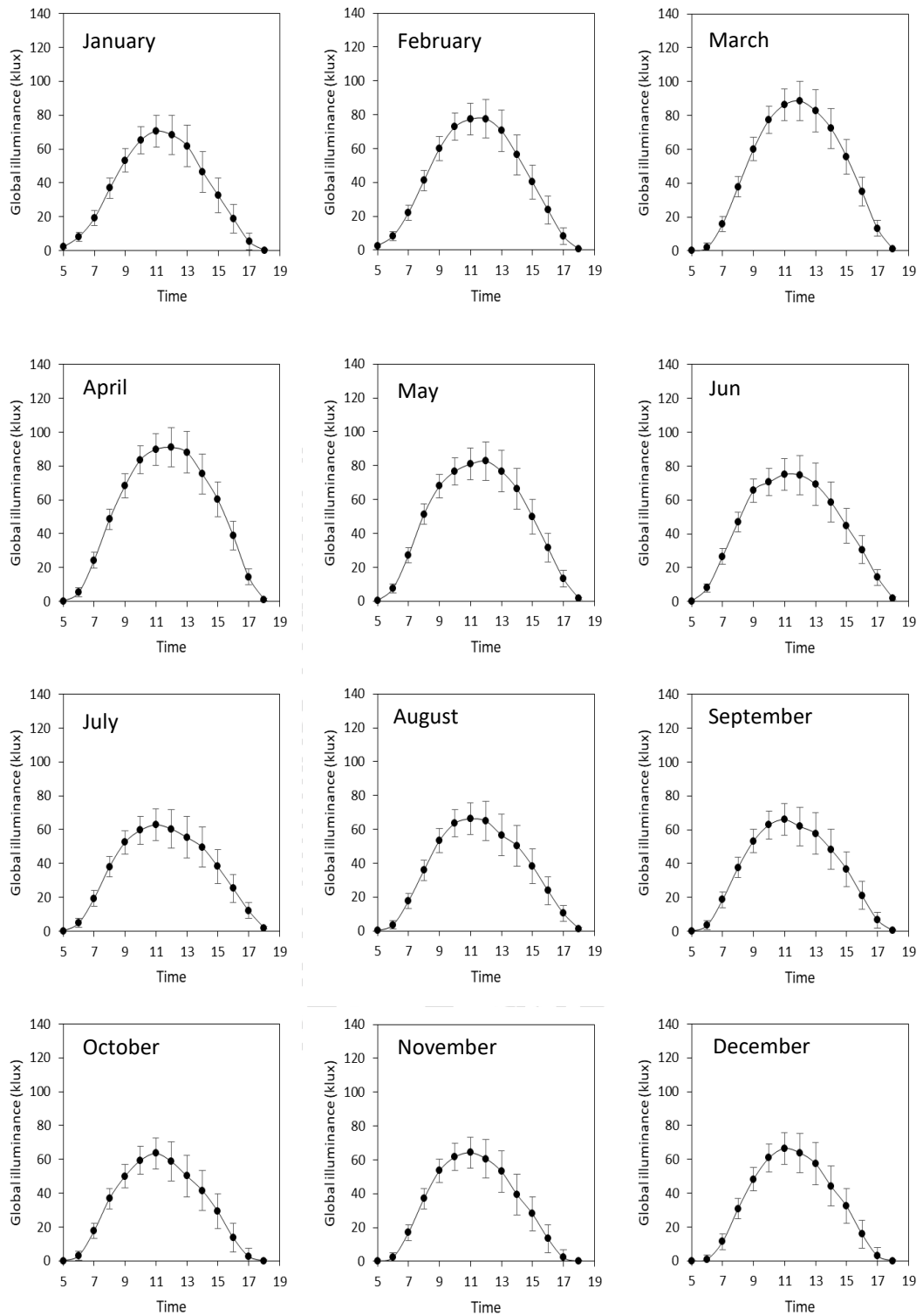
รูปที่ 60 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่ศูนย์อุตุนิยมภาค
ตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี



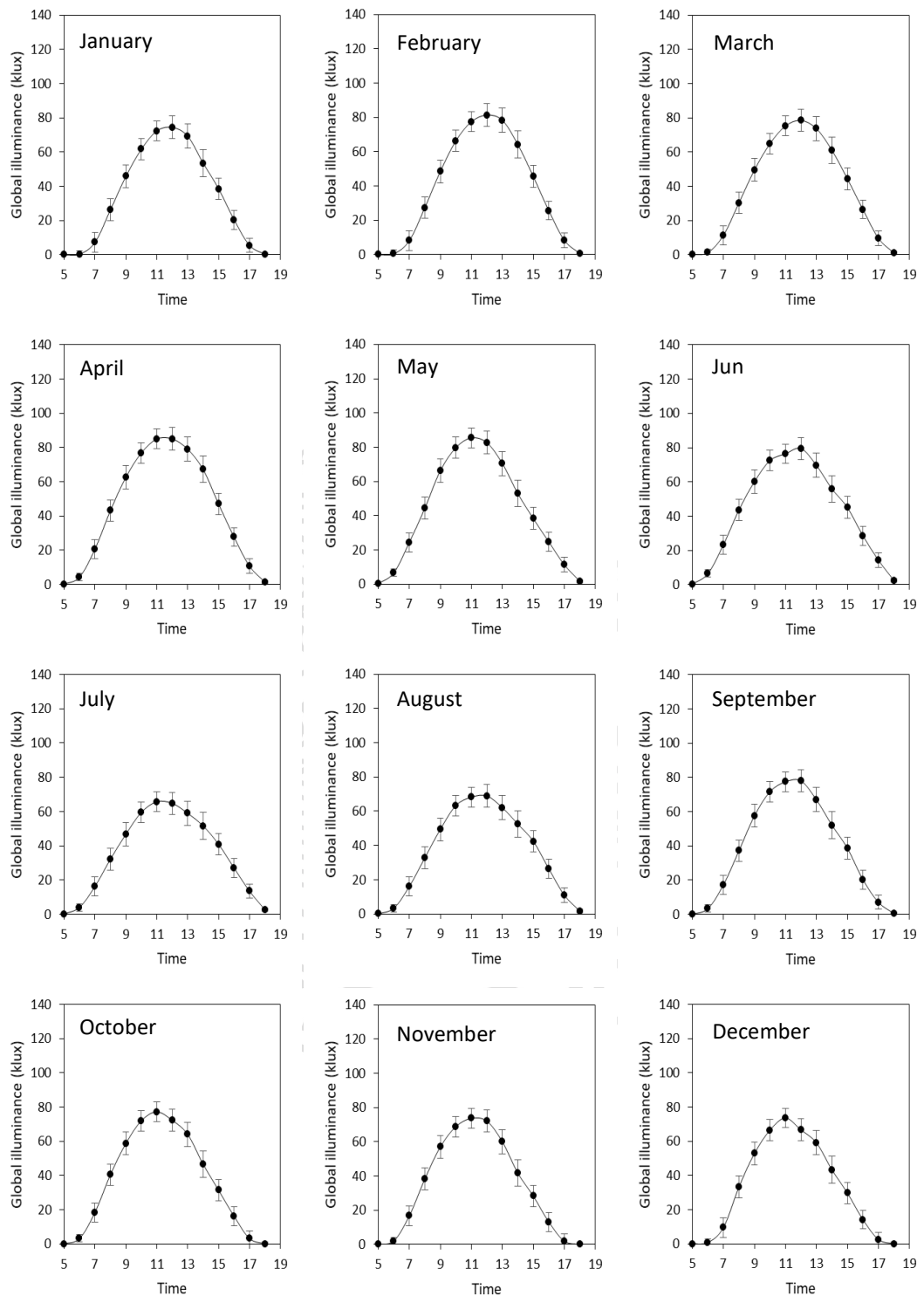
รูปที่ 61 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



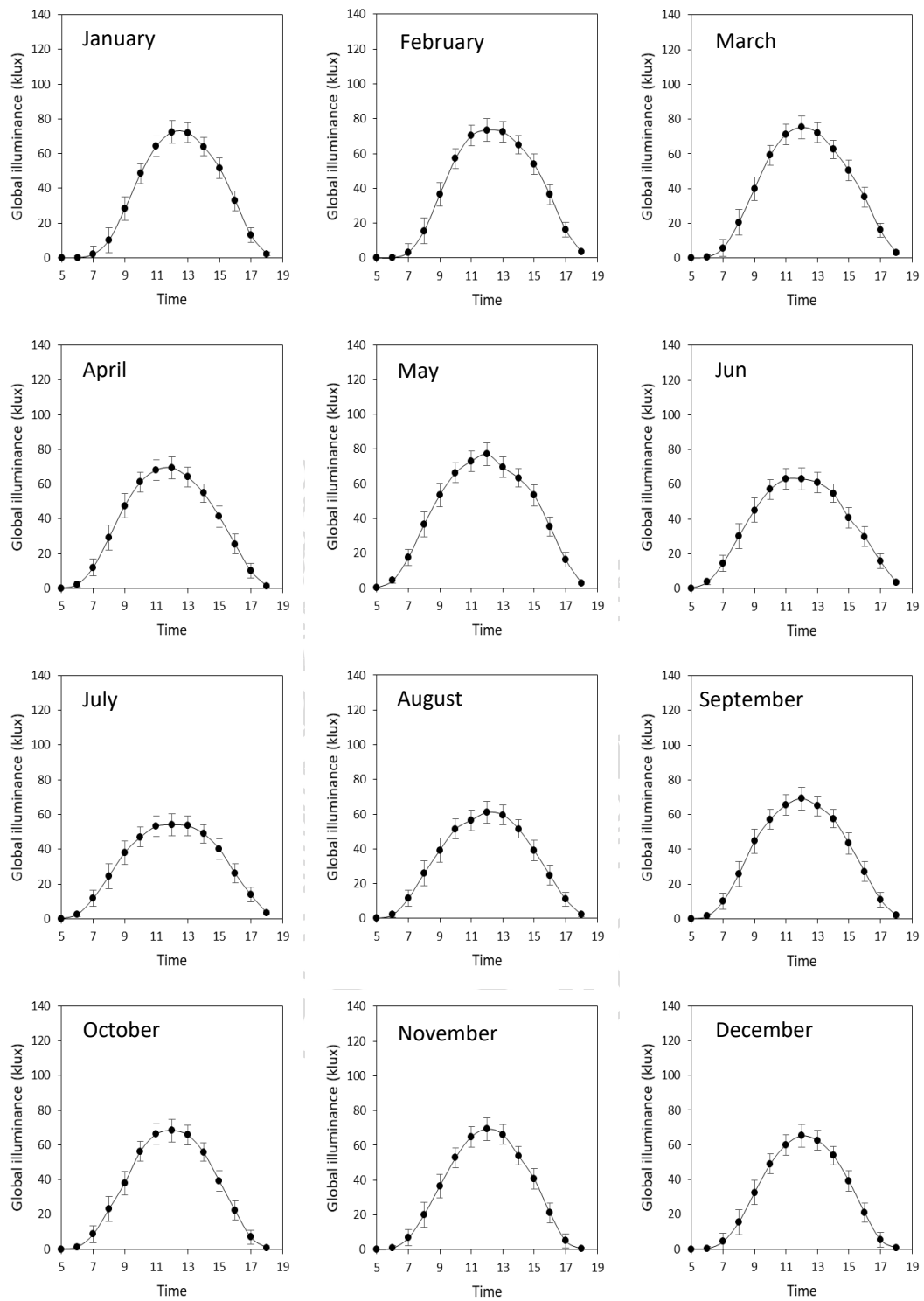
รูปที่ 62 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา



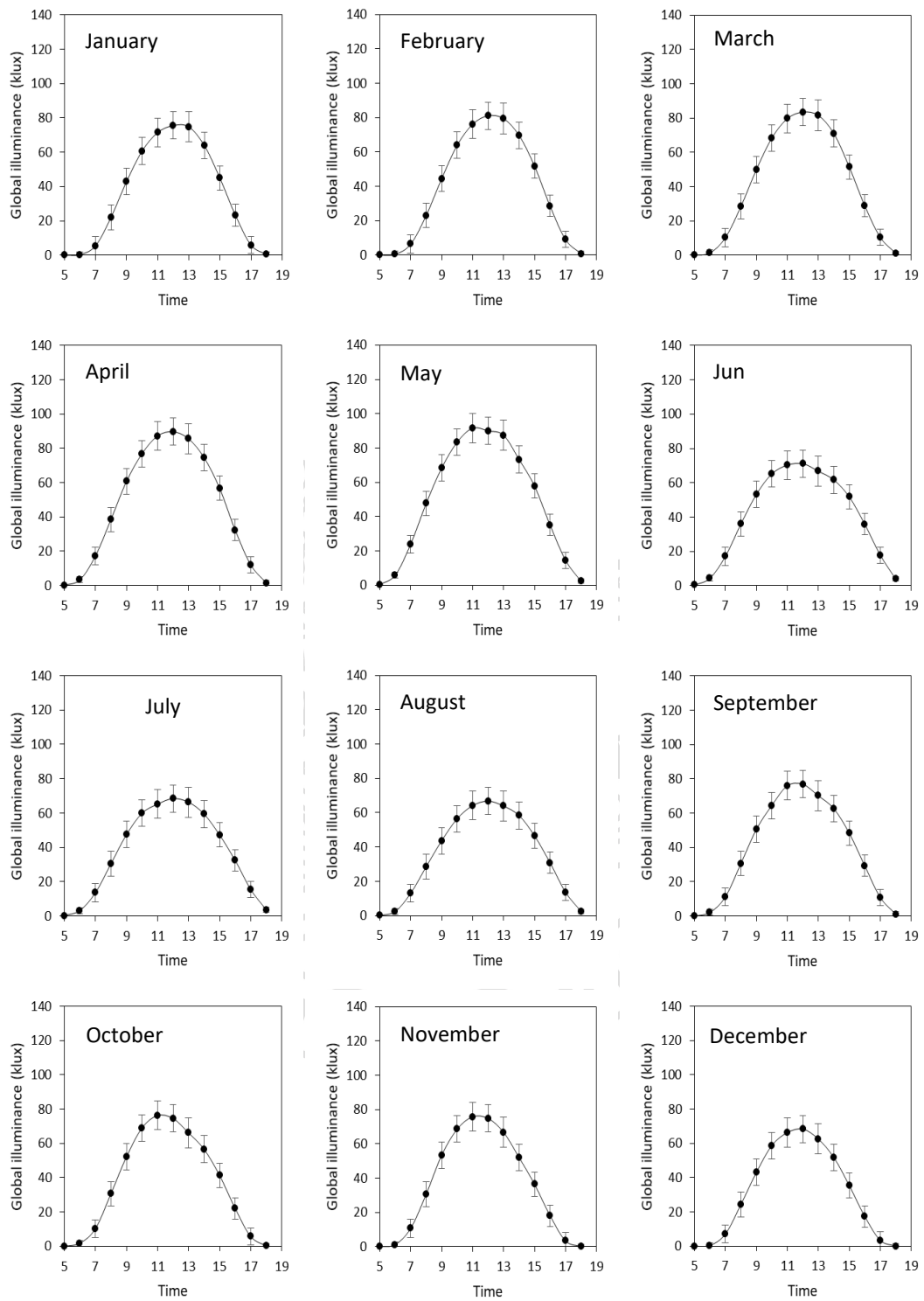
รูปที่ 63 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีกรุงเทพมหานคร



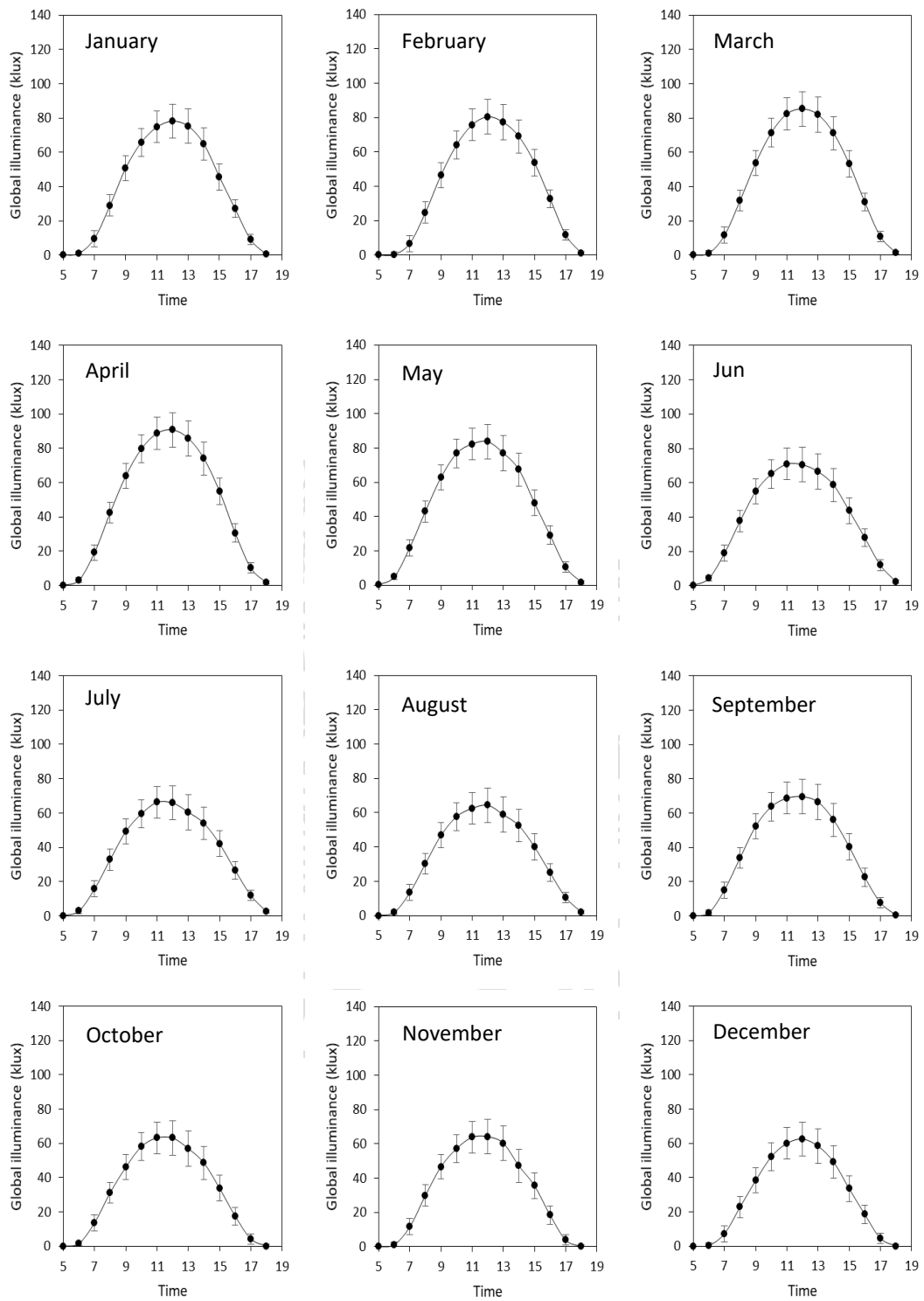
รูปที่ 64 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีเพชรบูรณ์



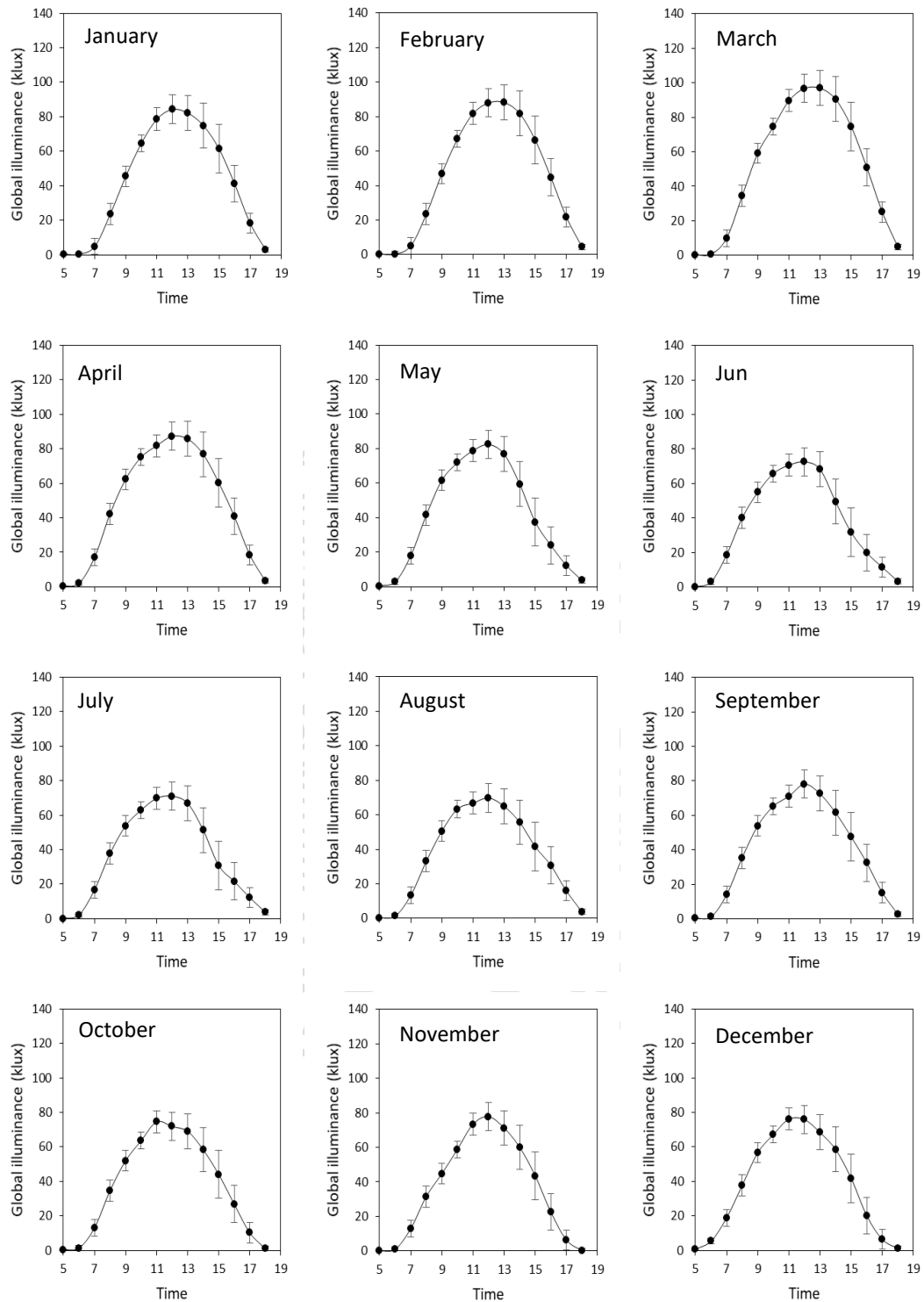
รูปที่ 65 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีแม่สะเรียง



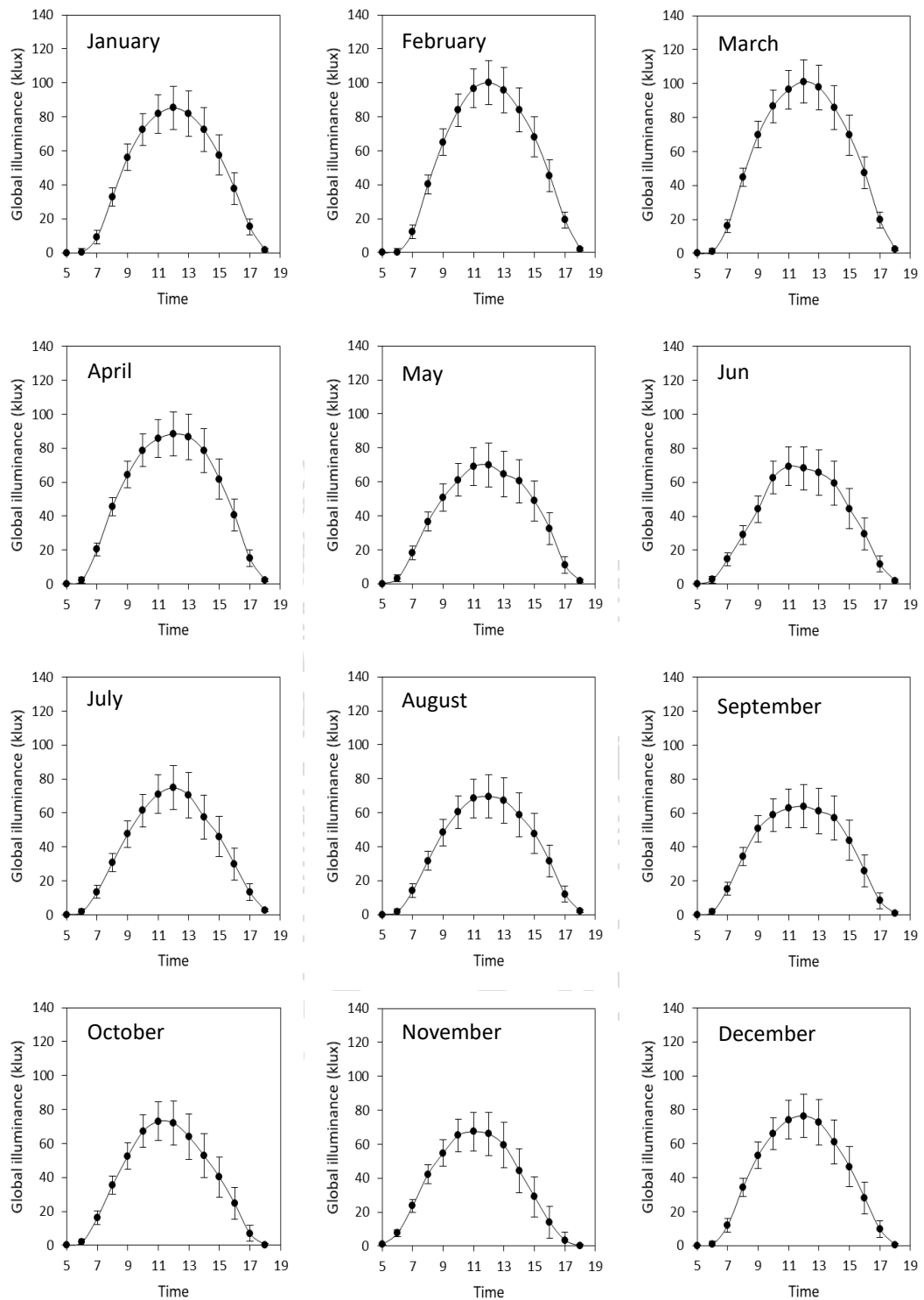
รูปที่ 66 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีแพร์



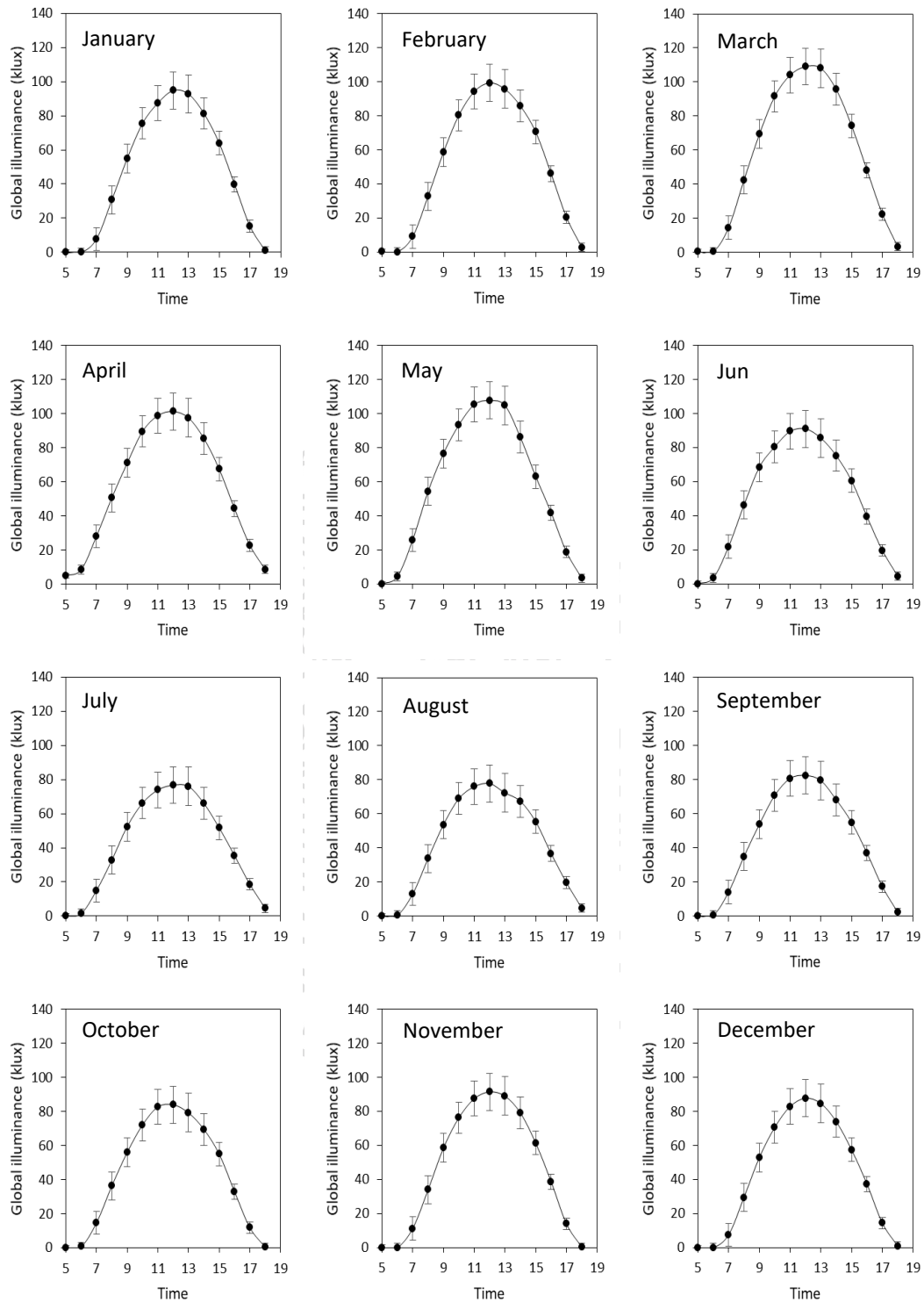
รูปที่ 67 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีกาญจนบุรี



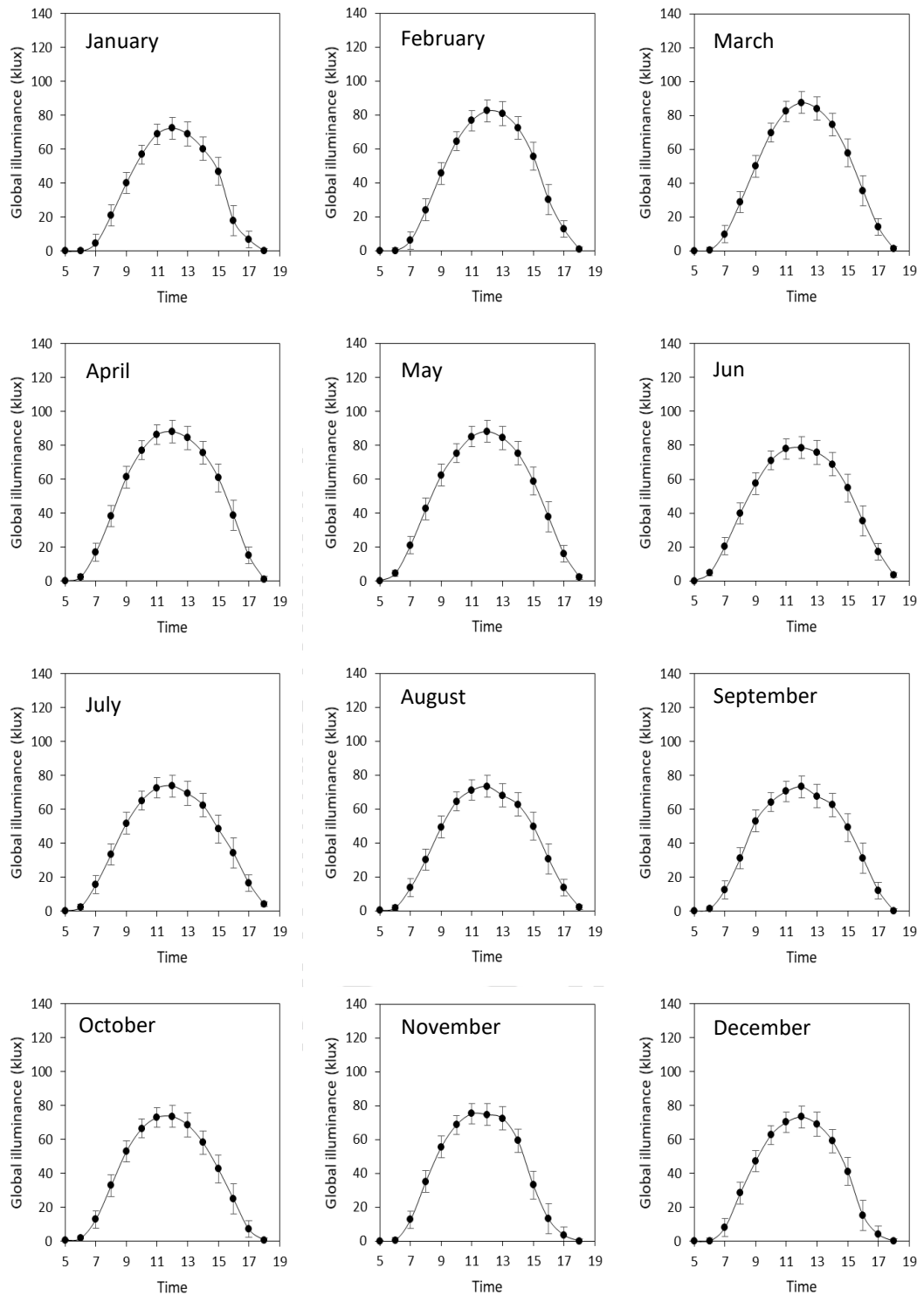
รูปที่ 68 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีชุมพร



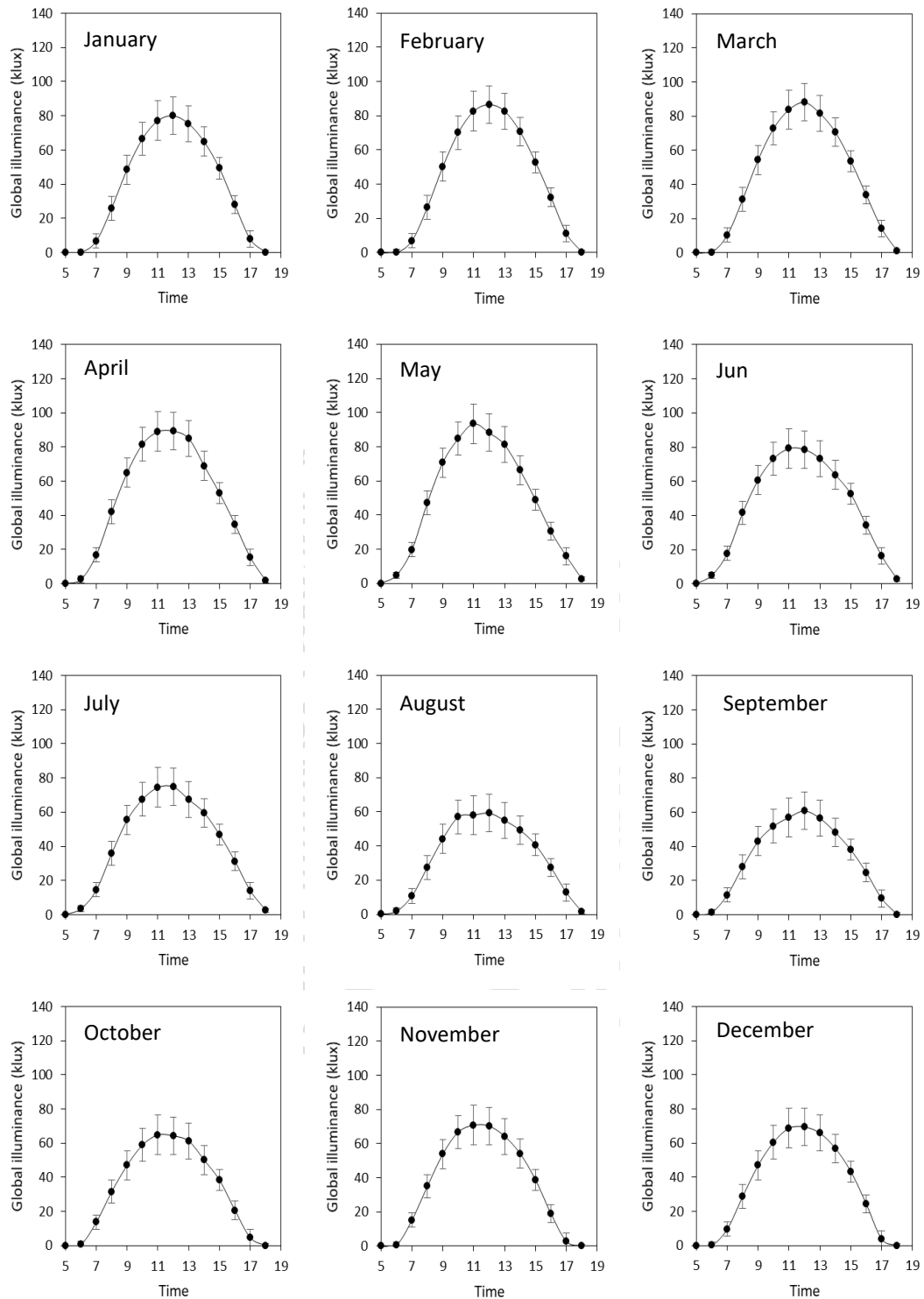
รูปที่ 69 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีภูเก็ต



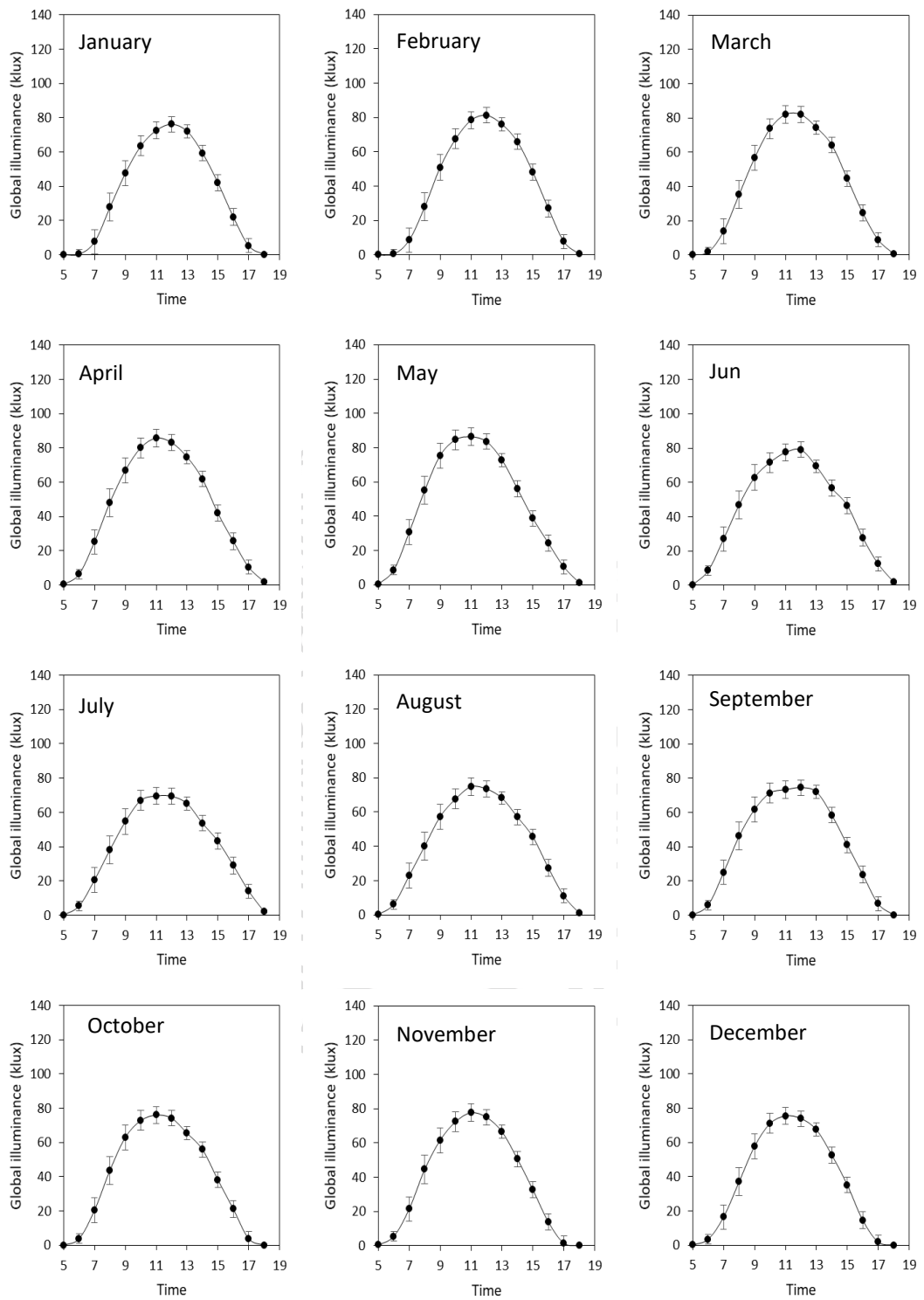
รูปที่ 70 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 71 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีนครสวรรค์



รูปที่ 72 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีลพบุรี



รูปที่ 73 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนที่สถานีนครราชสีมา

จากกราฟการแปรค่าความเข้มแสงสว่างธรรมชาติตามเวลาในรอบวันของ 15 สถานี ผู้วิจัยจะทำการสรุปผลเป็นรายภาค เริ่มต้นที่ภาคเหนือ ที่สถานีเชียงใหม่พบว่าความเข้มแสงสว่างค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและจะมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน จากนั้นค่าจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น ลักษณะการแปรค่าของข้อมูลมีลักษณะเป็นระฆังคว่ำซึ่งข้อมูลในช่วงเช้าและช่วงเย็นค่อนข้างสมมาตร เมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละเดือนพบว่าค่าความเข้มแสงสว่างในเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนพฤษภาคมในช่วงเที่ยงจะมีค่าสูงสุดเนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ส่วนเดือนอื่นๆ จะมีค่าต่ำกว่า โดยเดือนสิงหาคมซึ่งเป็นฤดูฝนจะมีค่าความเข้มแสงสว่างต่ำที่สุด สำหรับค่าสูงสุดในแต่ละเดือนจะแปรค่าอยู่ในช่วง 62–100 klux สำหรับสถานีเพชรบูรณ์ สถานีแม่สะเรียงและสถานีแพร่ จะมีการแปรค่าเช่นเดียวกันกับสถานีเชียงใหม่ ซึ่งจะค่าความเข้มแสงสว่างจะมีค่าสูงสุดในเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนพฤษภาคม ส่วนสถานีเพชรบูรณ์ สถานีแม่สะเรียงมีค่าต่ำสุดในเดือนกรกฎาคมเหมือนกัน ส่วนสถานีแพร่มีค่าต่ำสุดในเดือนสิงหาคม

สำหรับภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ที่สถานีอุบลราชธานีและนครราชสีมา ค่าความเข้มแสงสว่างค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและจะมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน จากนั้นค่าจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น เมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละเดือนพบว่าค่าความเข้มแสงสว่างในเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนพฤษภาคมในช่วงเที่ยงจะมีค่าสูงสุดเนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ส่วนเดือนอื่นๆ จะมีค่าต่ำกว่า โดยเดือนสิงหาคมและกรกฎาคมซึ่งเป็นฤดูฝนจะมีค่าความเข้มแสงสว่างต่ำที่สุด สำหรับค่าสูงสุดในแต่ละเดือนจะแปรค่าอยู่ในช่วง 70–100 klux

สำหรับภาคกลาง ที่สถานีนครปฐม กรุงเทพ กาญจนบุรี ลพบุรีและนครสวรรค์ ค่าความเข้มแสงสว่างค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและจะมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน จากนั้นค่าจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น เมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละเดือนพบว่าค่าความเข้มแสงสว่างในเดือนกุมภาพันธ์จนถึงเดือนพฤษภาคมในช่วงเที่ยงจะมีค่าสูงสุดเนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ส่วนเดือนอื่นๆ มีค่าต่ำกว่า สถานีนครปฐม กรุงเทพ ลพบุรี ในเดือนพฤศจิกายน สิงหาคม และตุลาคม ตามลำดับ จะมีค่าความเข้มแสงสว่างต่ำที่สุด ส่วนสถานีกาญจนบุรีและนครสวรรค์ ค่าความเข้มแสงสว่างจะมีค่าต่ำสุดในเดือนธันวาคมสำหรับค่าสูงสุดในแต่ละเดือนจะแปรค่าอยู่ในช่วง 60–95 klux

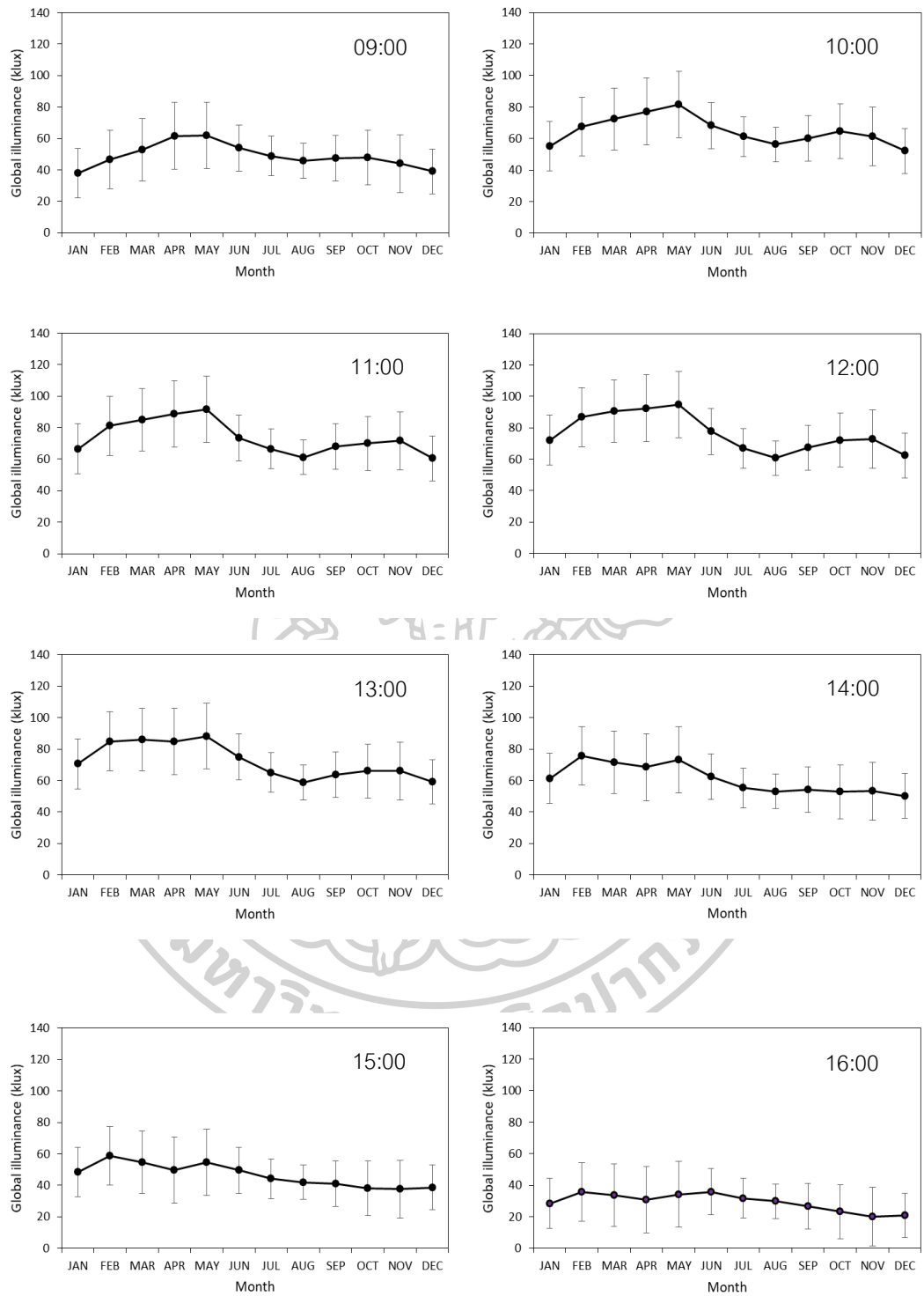
สำหรับภาคใต้ ที่สถานีสงขลา ประจวบคีรีขันธ์ ภูเก็ตและชุมพร ค่าความเข้มแสงสว่างค่อยๆ เพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าที่ดวงอาทิตย์ขึ้นและจะมีค่าสูงสุดในช่วงเที่ยงวัน จากนั้นค่าจะค่อยๆ ลดลงจนถึงช่วงเย็น เมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละเดือนพบว่าค่าความเข้มแสงสว่างในเดือน

คุณภาพันธุ์จนถึงเดือนพฤษภาคมในช่วงเที่ยงจะมีค่าสูงสุดเนื่องจากเป็นช่วงฤดูร้อนของประเทศไทย ส่วนเดือนอื่นๆ มีค่าต่ำกว่า สถานีสงขลา ประจวบคีรีขันธ์ ภูเก็ตและชุมพร ในเดือนพฤศจิกายน กรกฎาคม กันยายน และสิงหาคม ตามลำดับ มีค่าความเข้มแสงสว่างต่ำที่สุด สำหรับค่าสูงสุดในแต่ละเดือนจะแปรค่าอยู่ในช่วง 70–115 klux

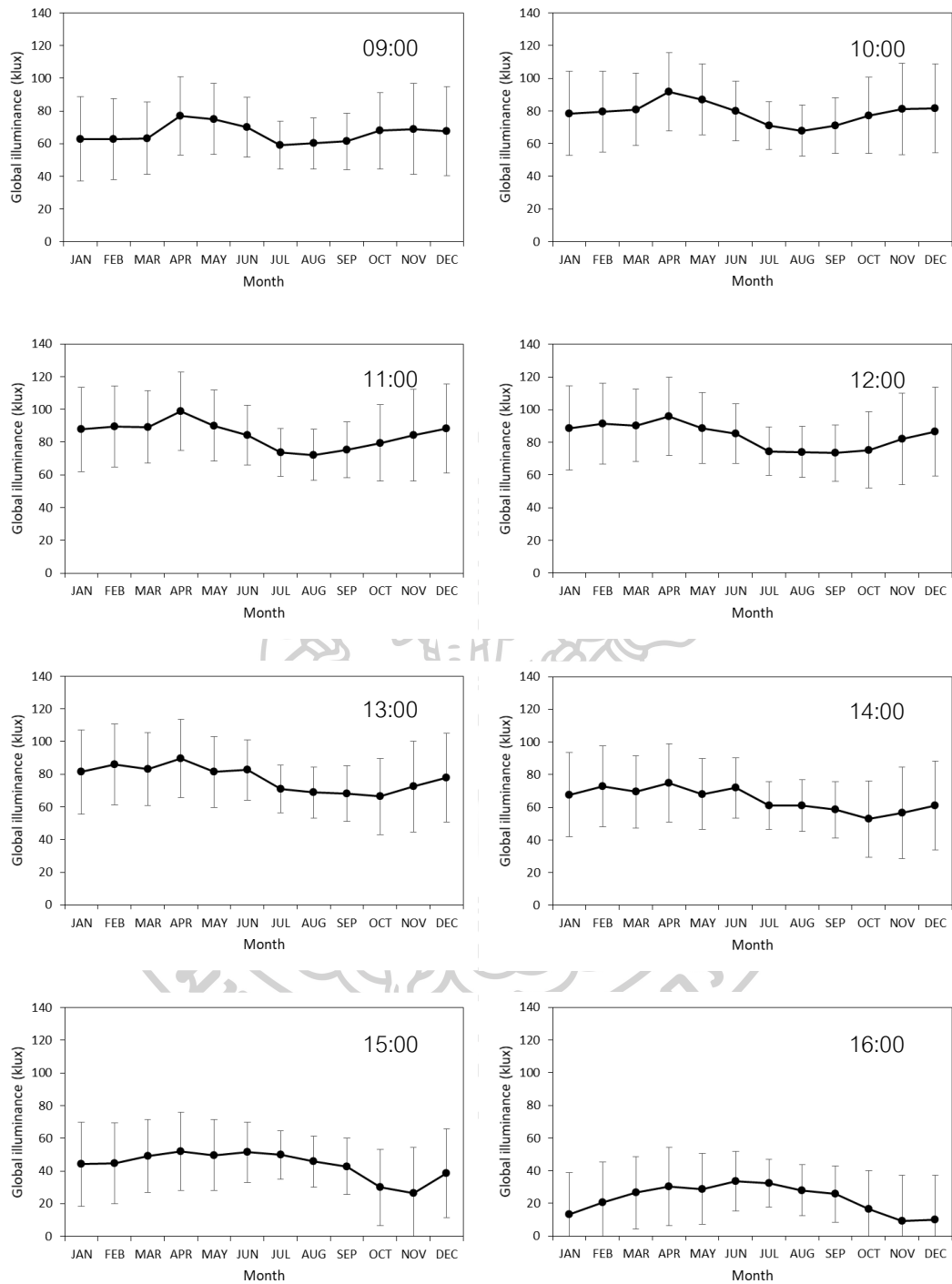
จากกราฟการแปรค่าดังกล่าวจะเห็นว่าปริมาณความเข้มแสงสว่างของประเทศไทยมีค่าค่อนข้างสูงตลอดทั้งปีในภูมิภาคของประเทศไทย ซึ่งเหมาะต่อการนำแสงสว่างธรรมชาติมาใช้ประโยชน์ด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารสำหรับประเทศไทย

3.6.2 การเปลี่ยนแปลงความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปี

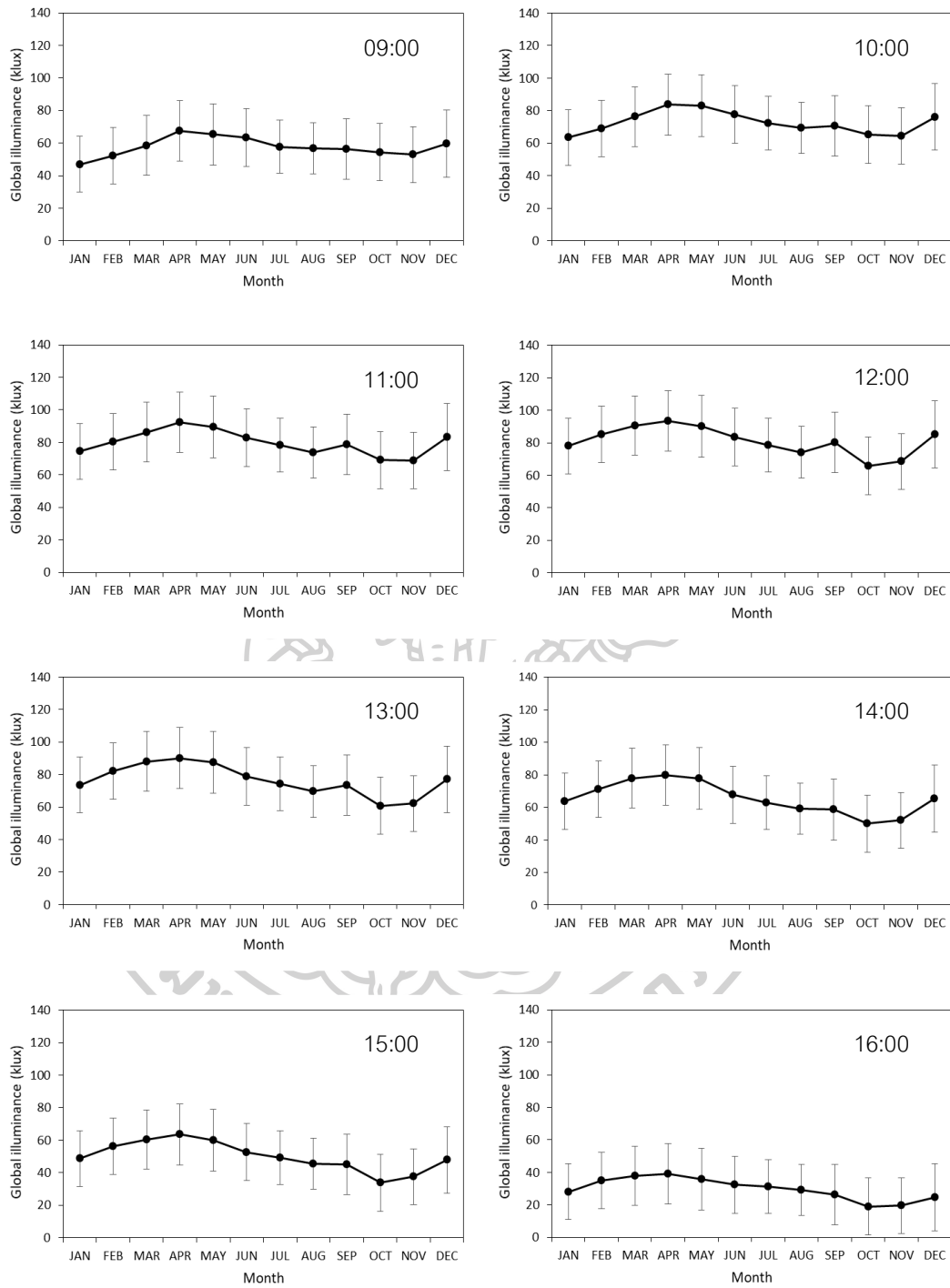
โดยทั่วไปความเข้มแสงสว่างจะมีการเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลในรอบปี ทั้งนี้เพราะความเข้มแสงสว่างจะขึ้นกับสภาพท้องฟ้า ซึ่งบอกด้วยปริมาณเมฆและตำแหน่งดวงอาทิตย์ โดยปริมาณดังกล่าวจะเปลี่ยนแปลงไปตามฤดูกาล เช่น ในช่วงฤดูฝน ท้องฟ้าจะมีเมฆปกคลุมเป็นส่วนใหญ่ ค่าความเข้มแสงสว่างจะเปลี่ยนแปลงไปตามสภาพของเมฆ ส่วนใหญ่ช่วงฤดูแล้ง ท้องฟ้าค่อนข้างแจ่มใส ค่าความเข้มแสงสว่างจะเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจึงได้ทำการหาค่าเฉลี่ยของค่าความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมง จากนั้นนำมาคำนวณเป็นค่ารายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน และสุดท้ายจะนำมาหาค่ารายชั่วโมงเฉลี่ยต่อปีที่เวลาเดียวกัน โดยใช้ข้อมูลช่วงปี ค.ศ. 2015-2020 แล้วนำมาเขียนกราฟในแต่ละชั่วโมงตามฤดูกาลเพื่อแสดงการเปลี่ยนแปลงในรอบปี ผลที่ได้ของ 15 สถานีแสดงดังรูปที่ 74-88



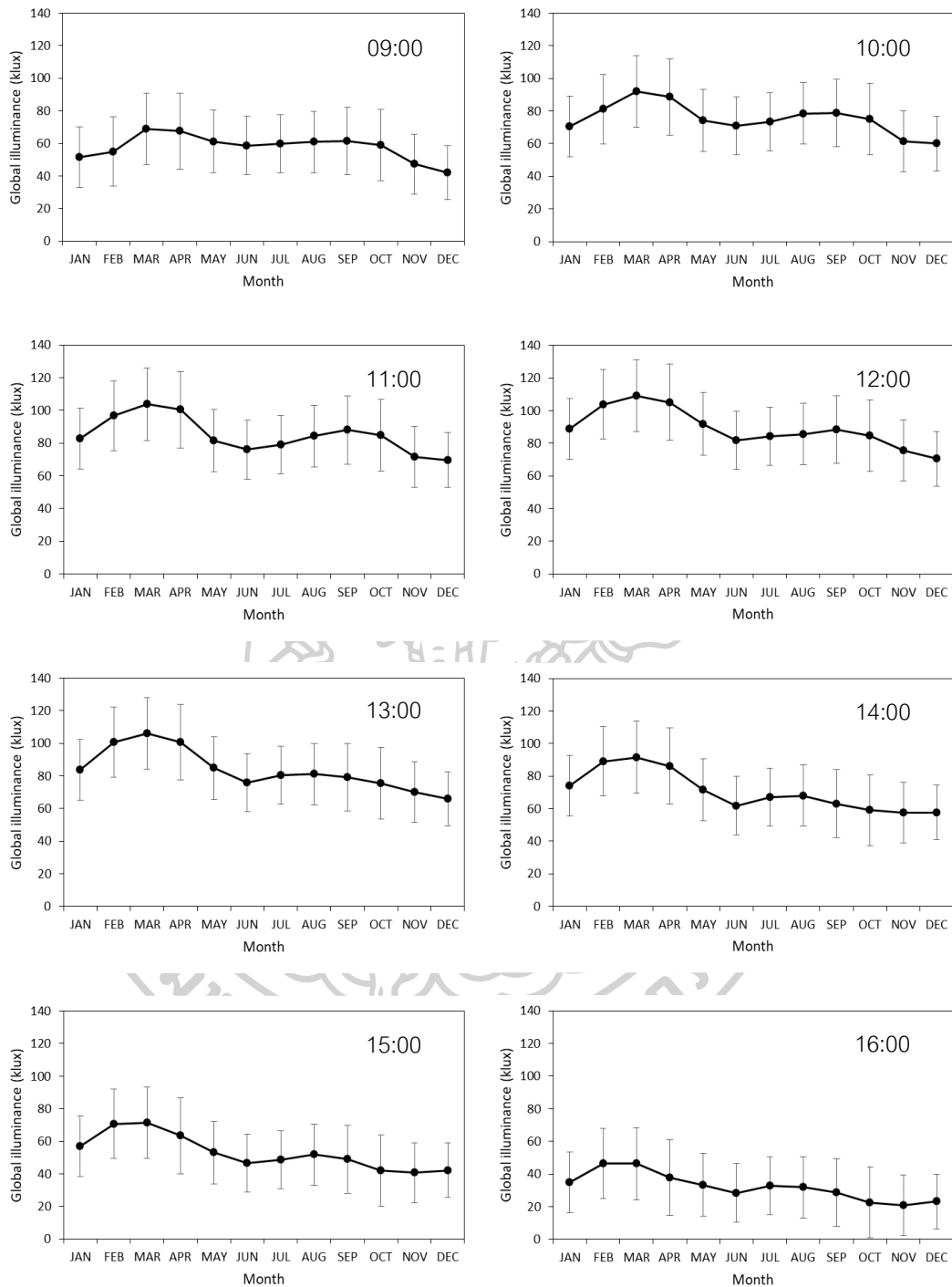
รูปที่ 74 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของที่ศูนย์อูดุณิยมหาวิทยาลัยภาคเหนือ จังหวัด เชียงใหม่



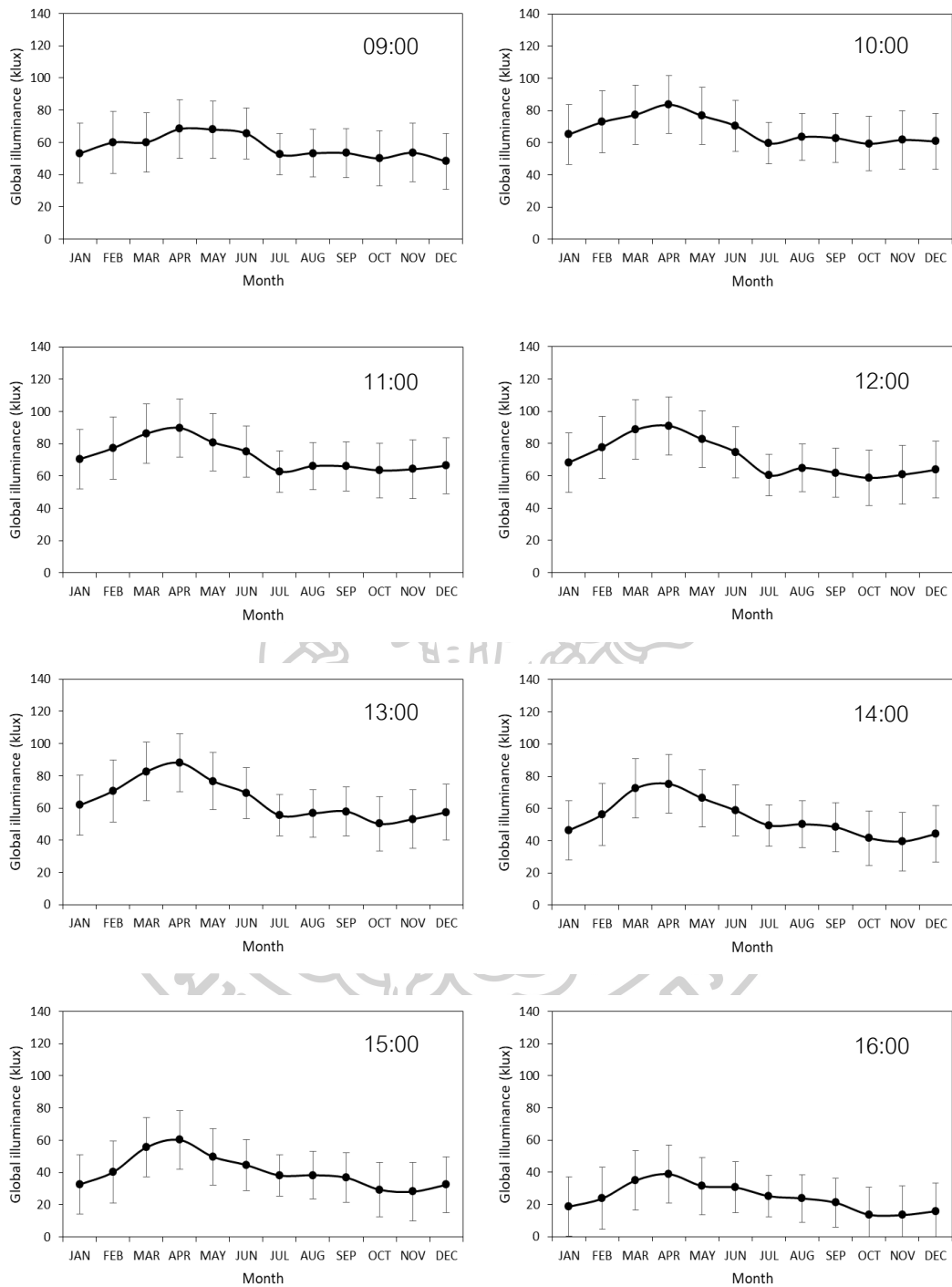
รูปที่ 75 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของศูนย์อตุณิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี



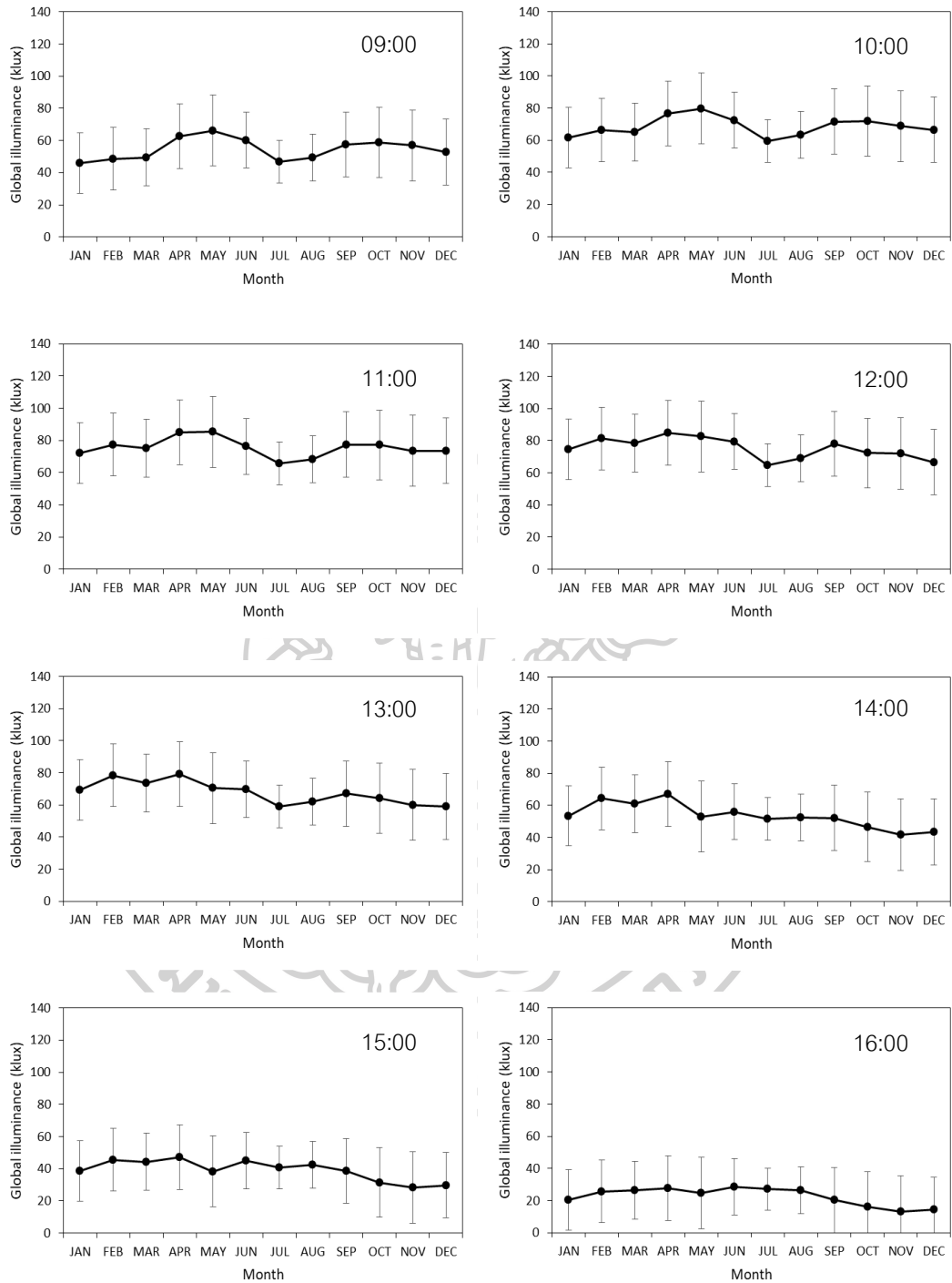
รูปที่ 76 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของคณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



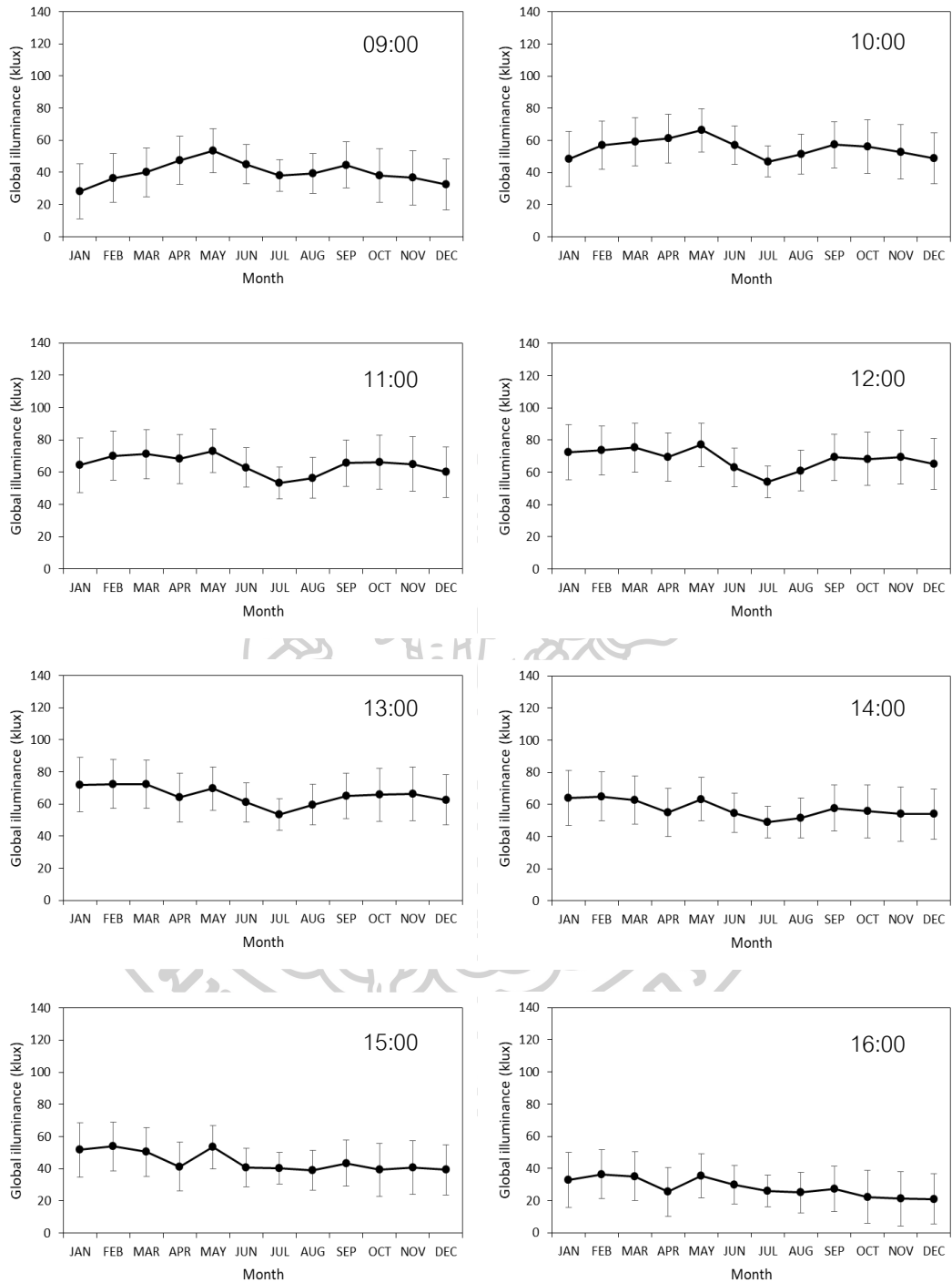
รูปที่ 77 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของศูนย์อูดุณิยมวิทยาภาคใต้ฝั่ง ตะวันออก จังหวัดสงขลา



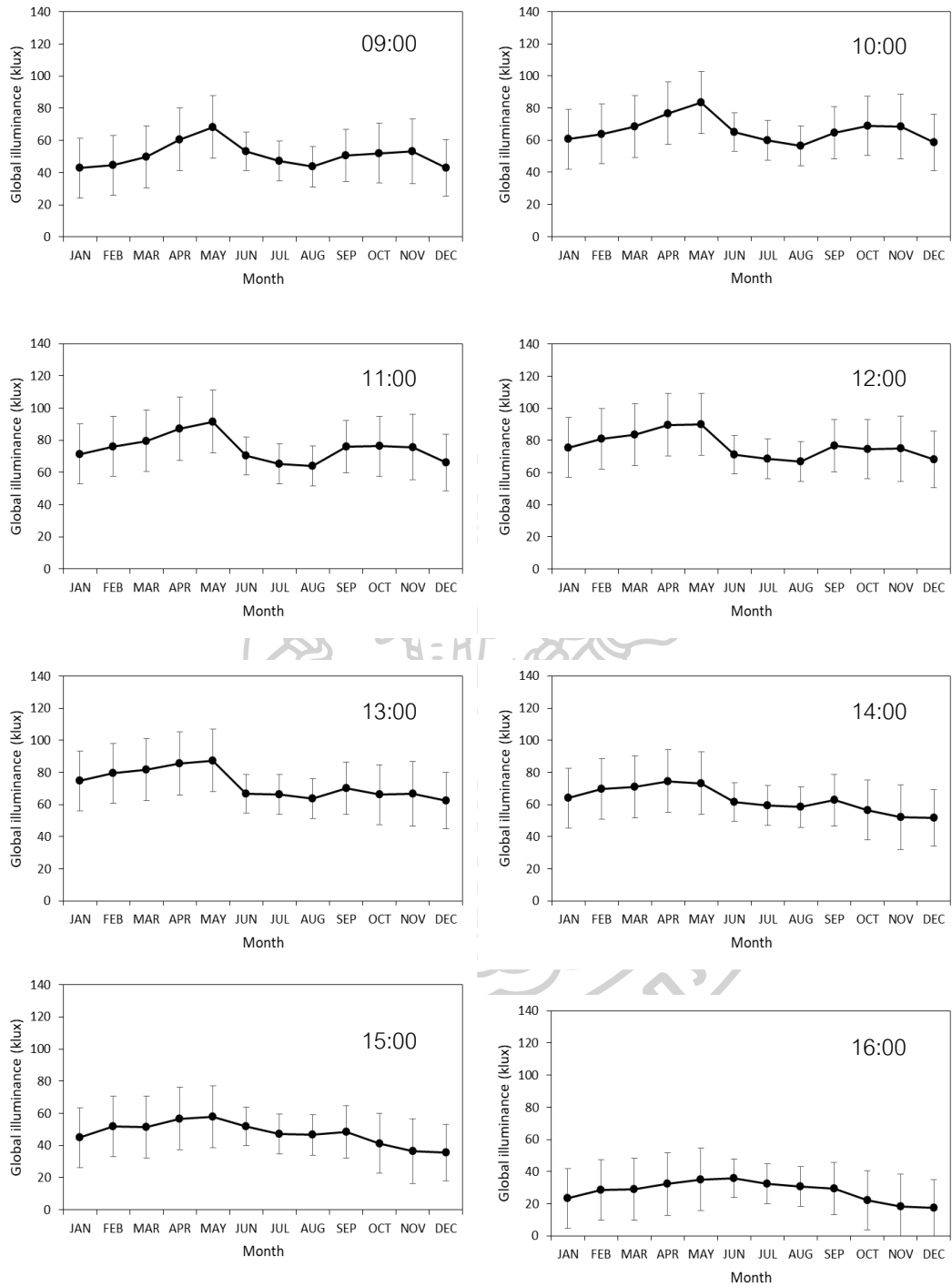
รูปที่ 78 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีกรุงเทพมหานคร



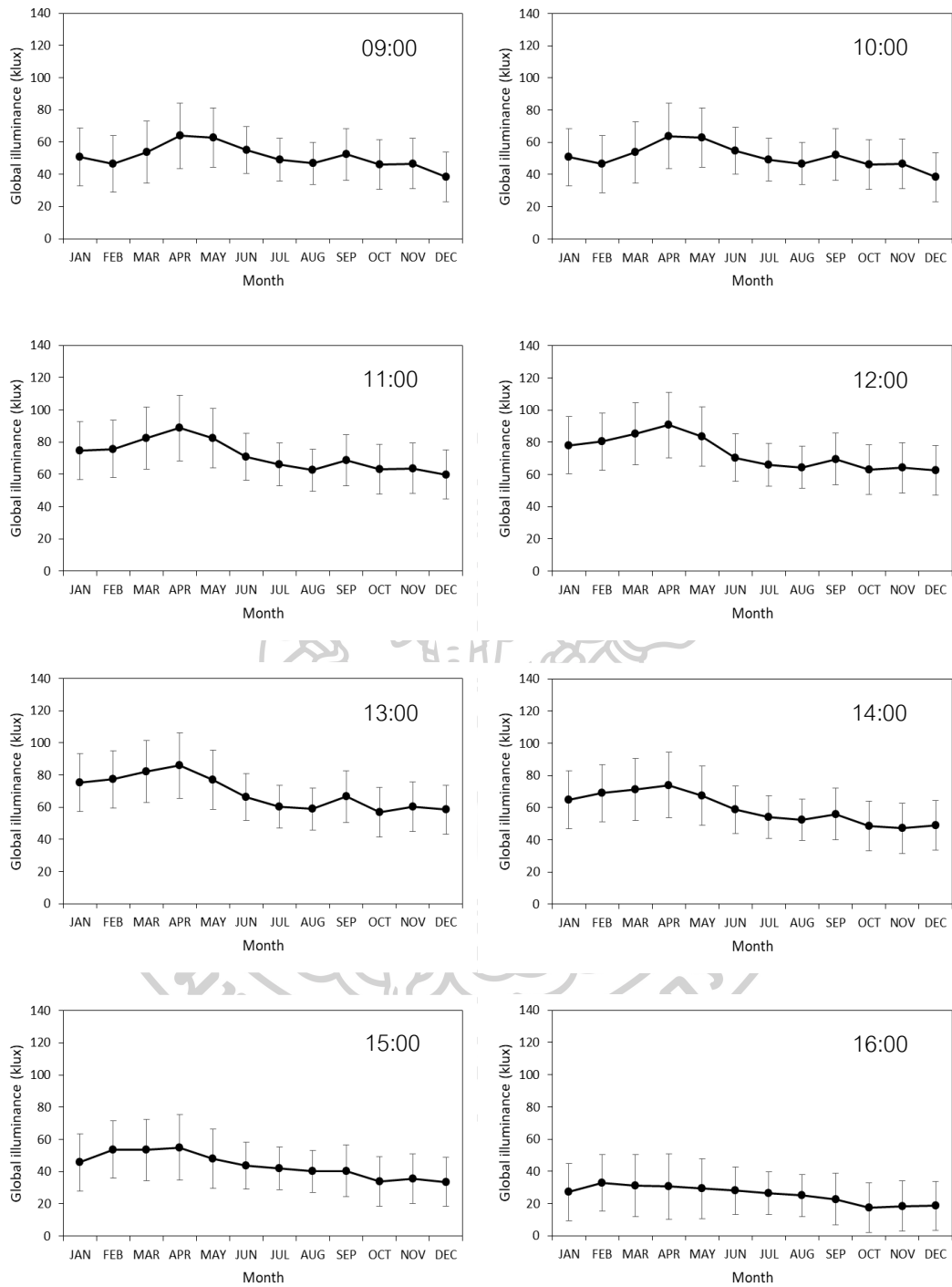
รูปที่ 79 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีเพชรบูรณ์



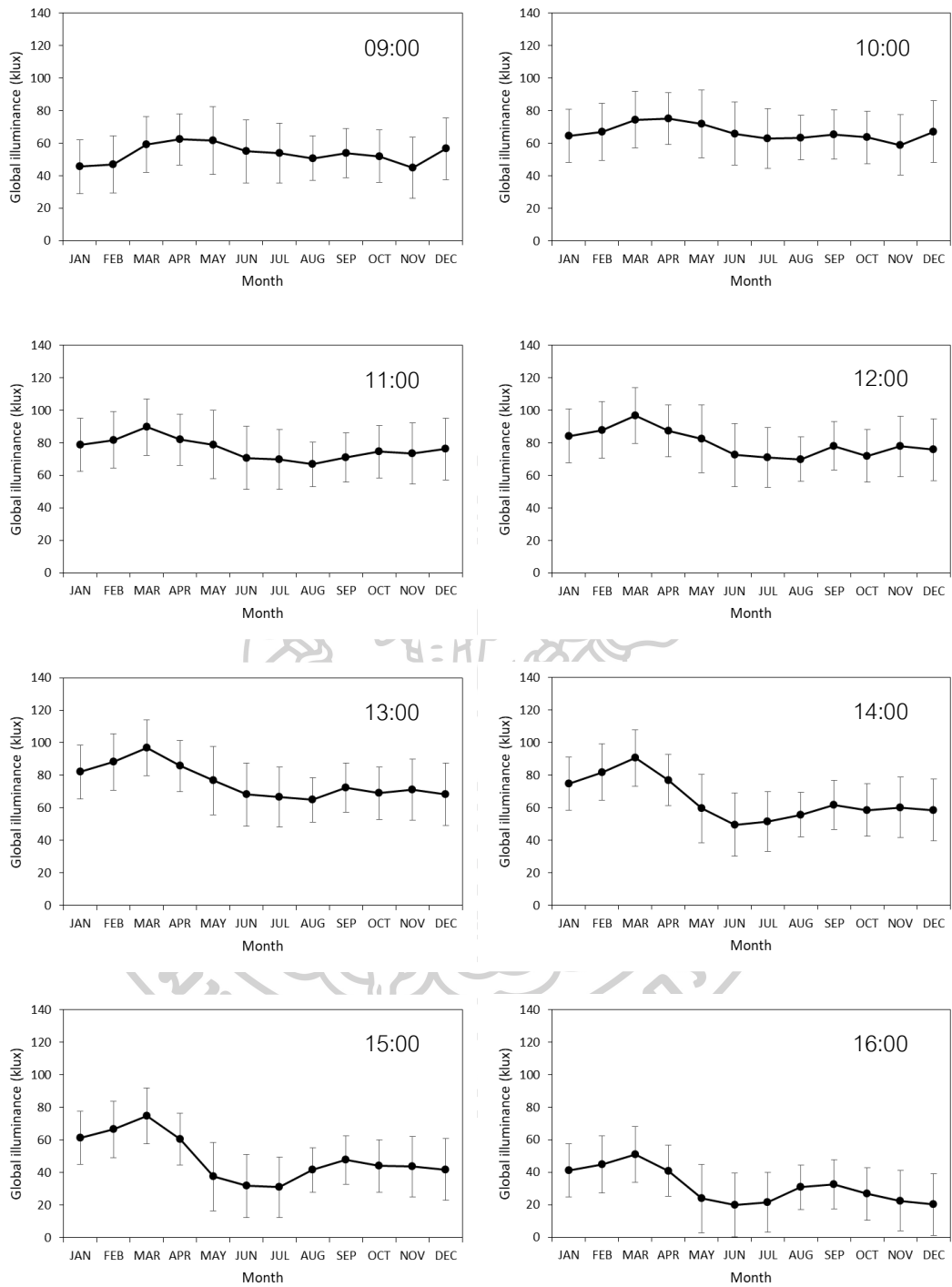
รูปที่ 80 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีแม่สะเรียง



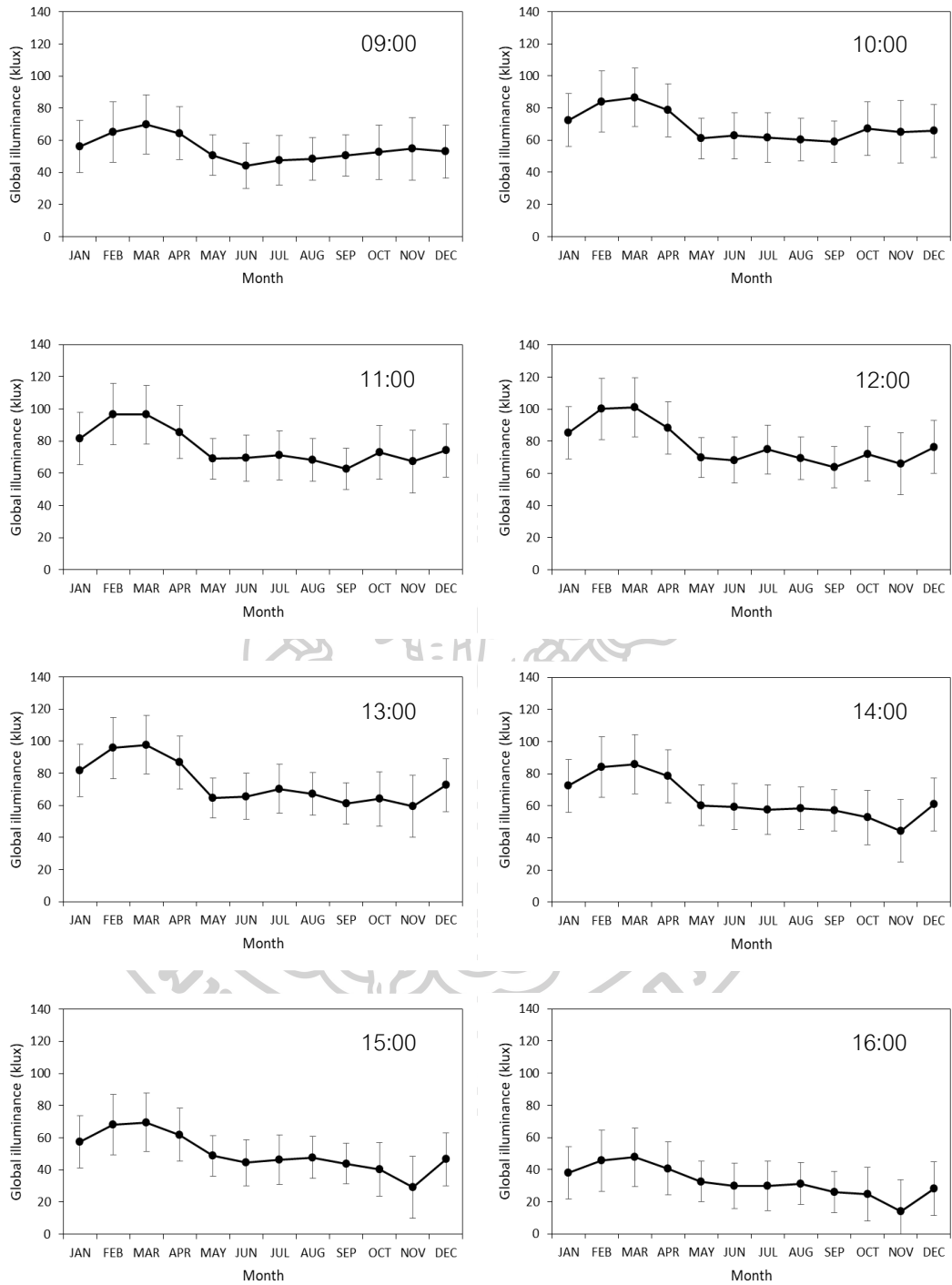
รูปที่ 81 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีแพร่



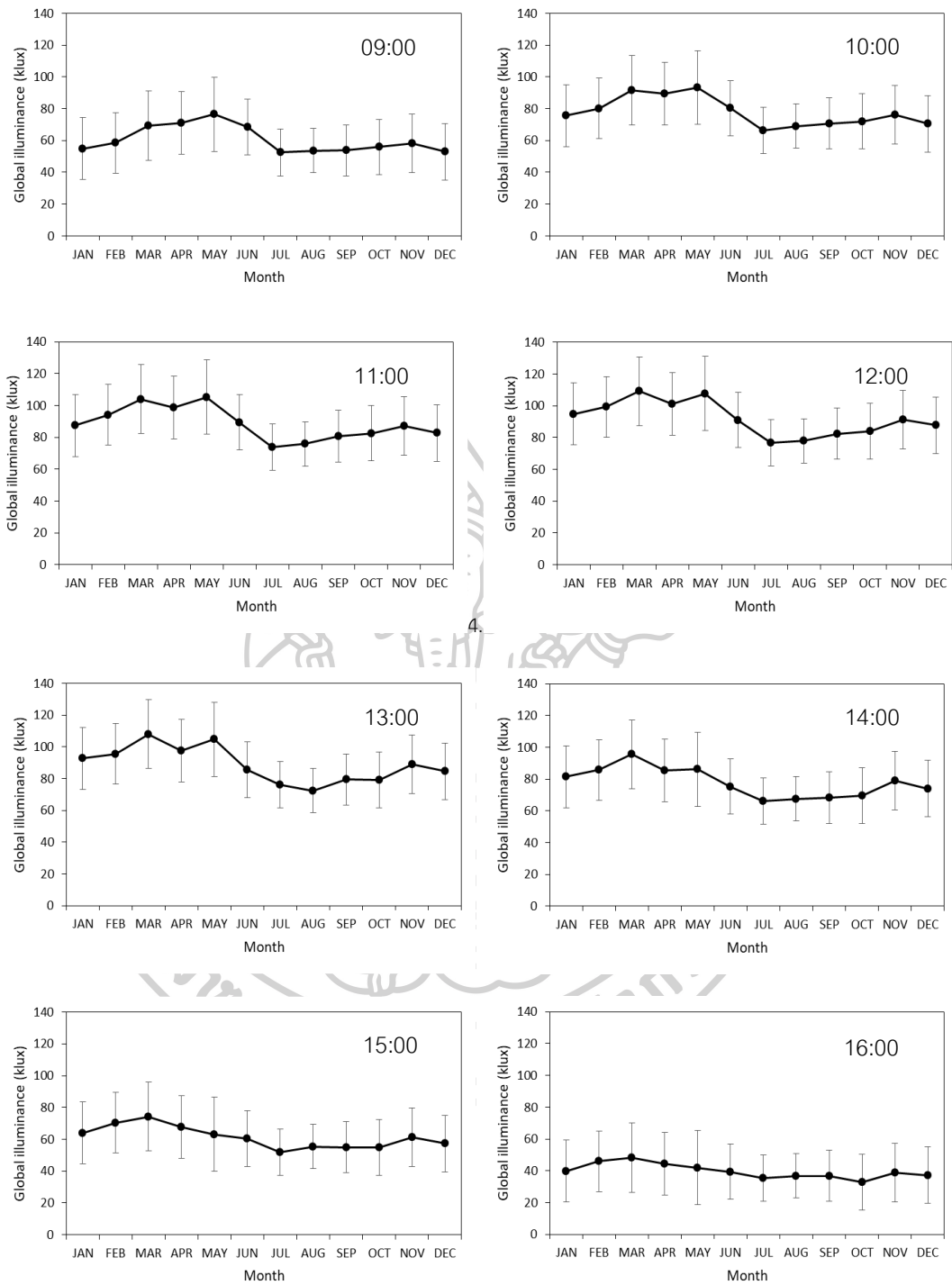
รูปที่ 82 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีกาญจนบุรี



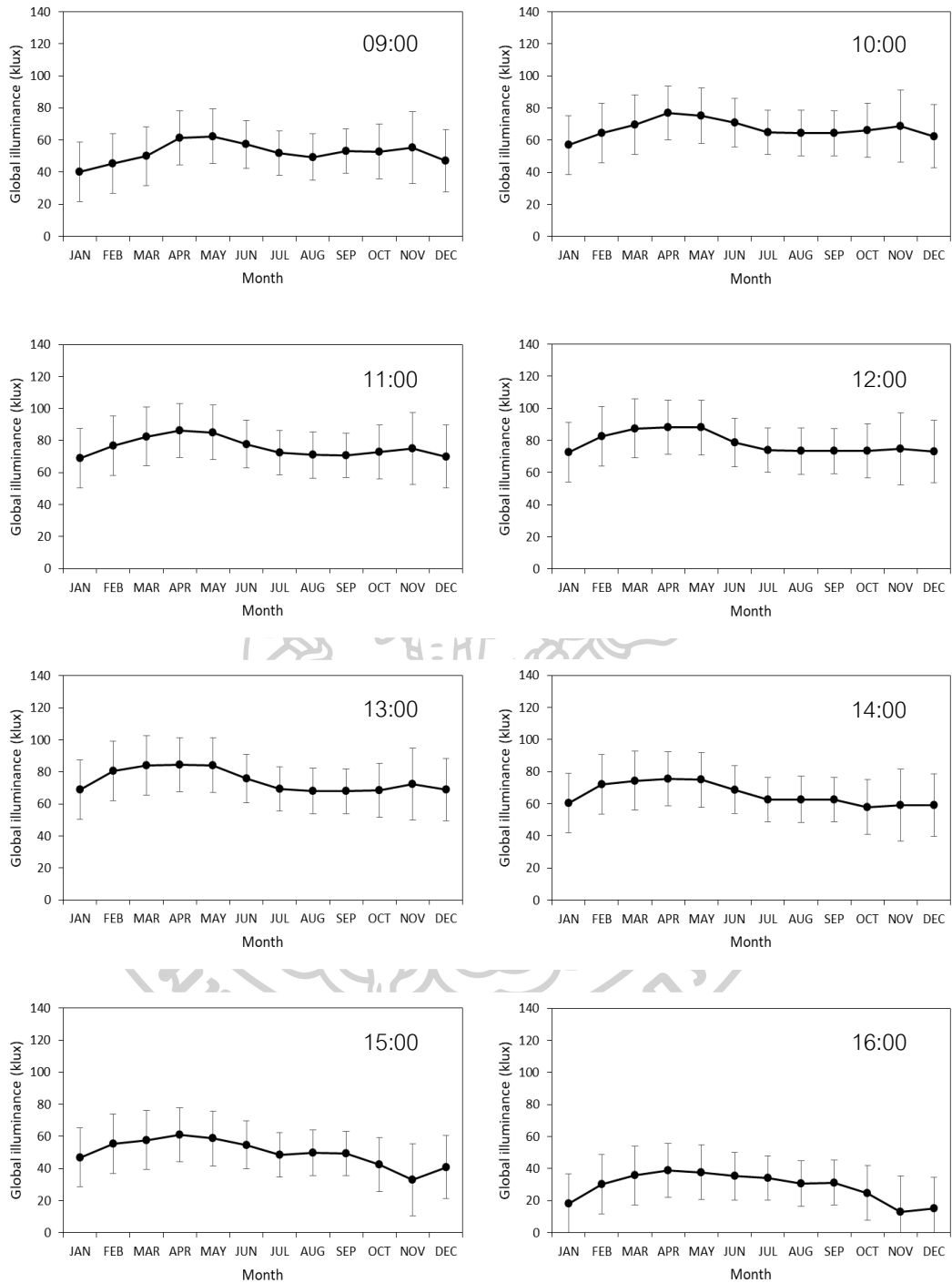
รูปที่ 83 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีชุมพร



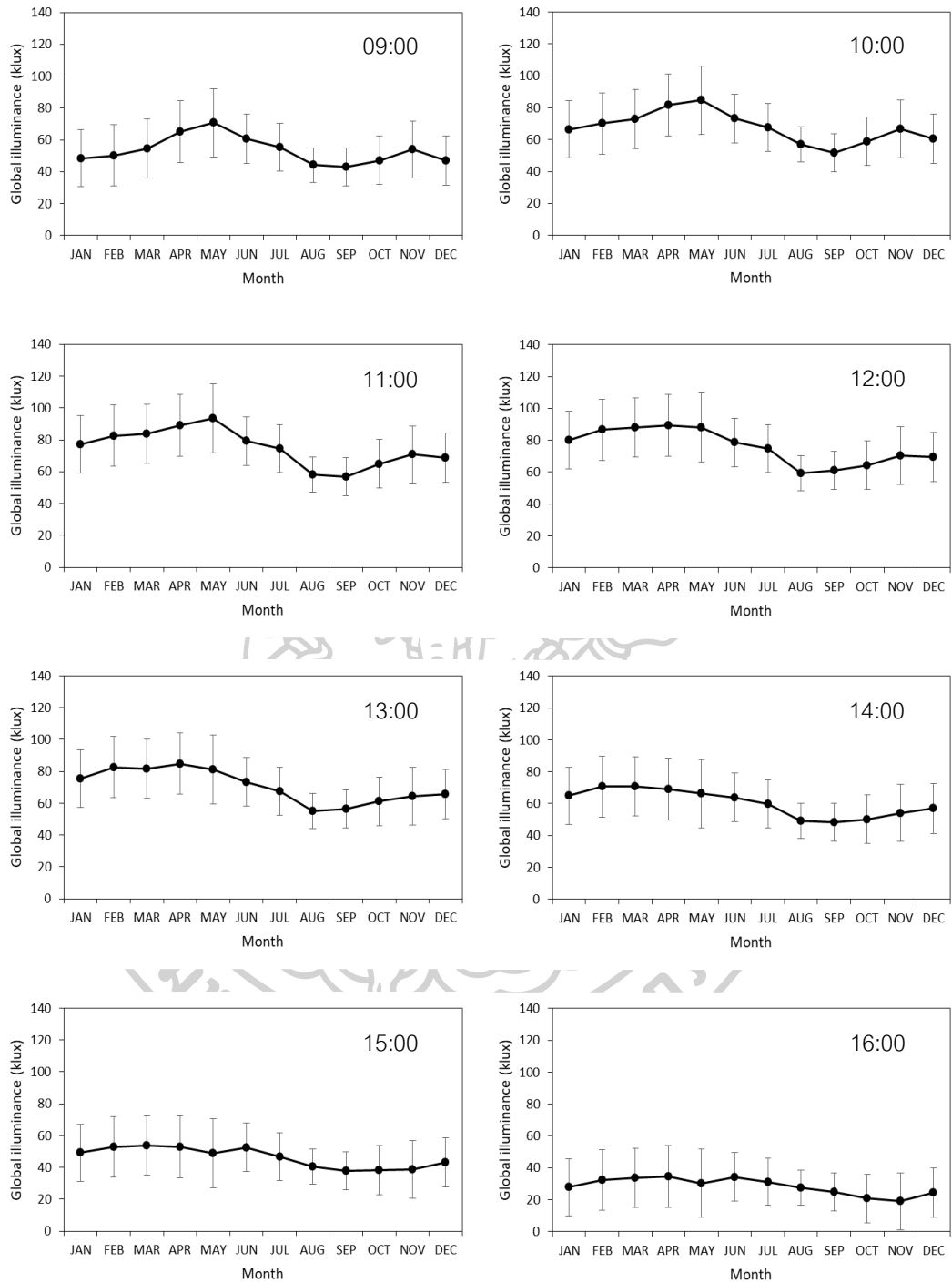
รูปที่ 84 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีภูเก็ต



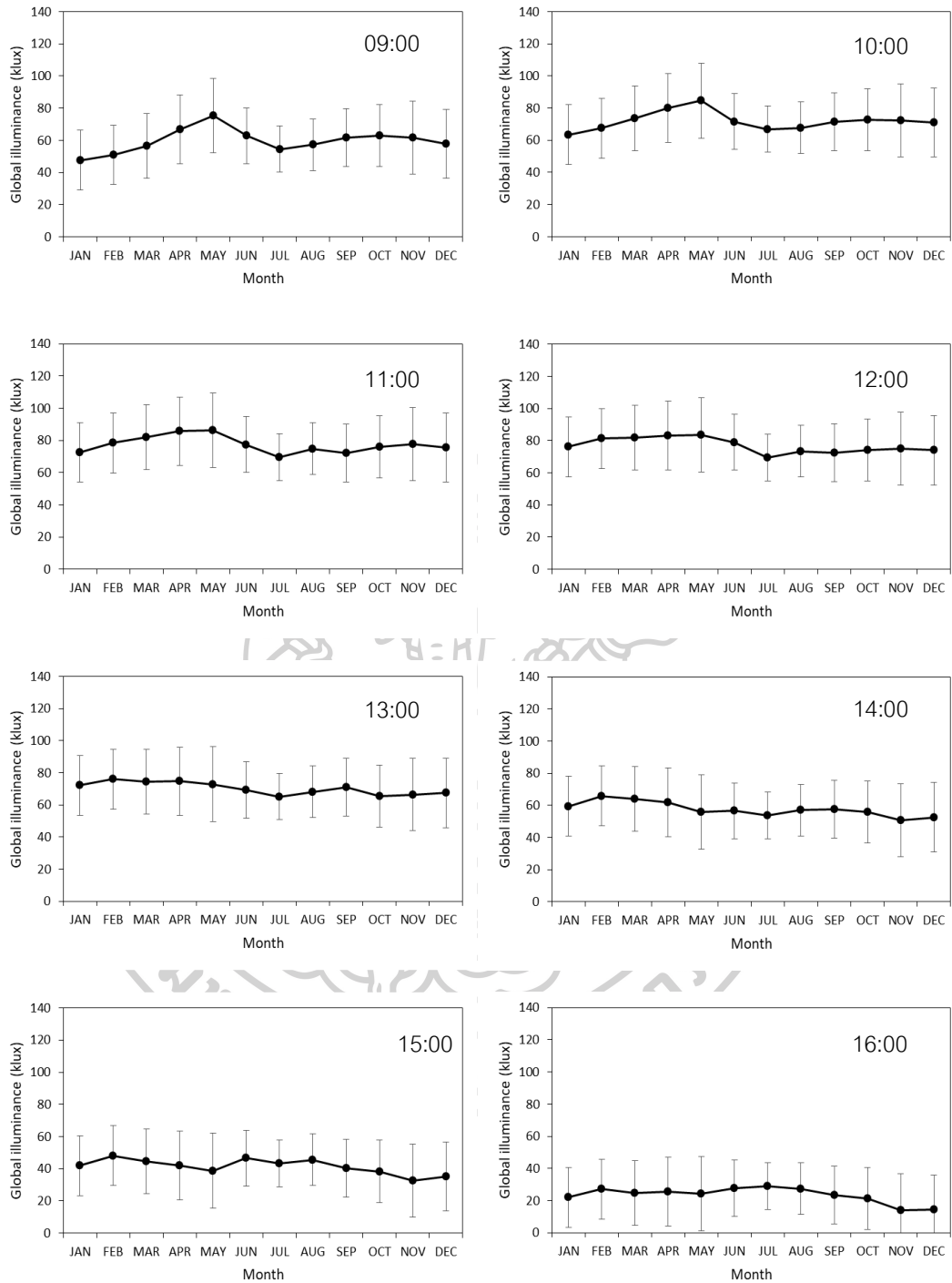
รูปที่ 85 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 86 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีนครสวรรค์



รูปที่ 87 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีลพบุรี

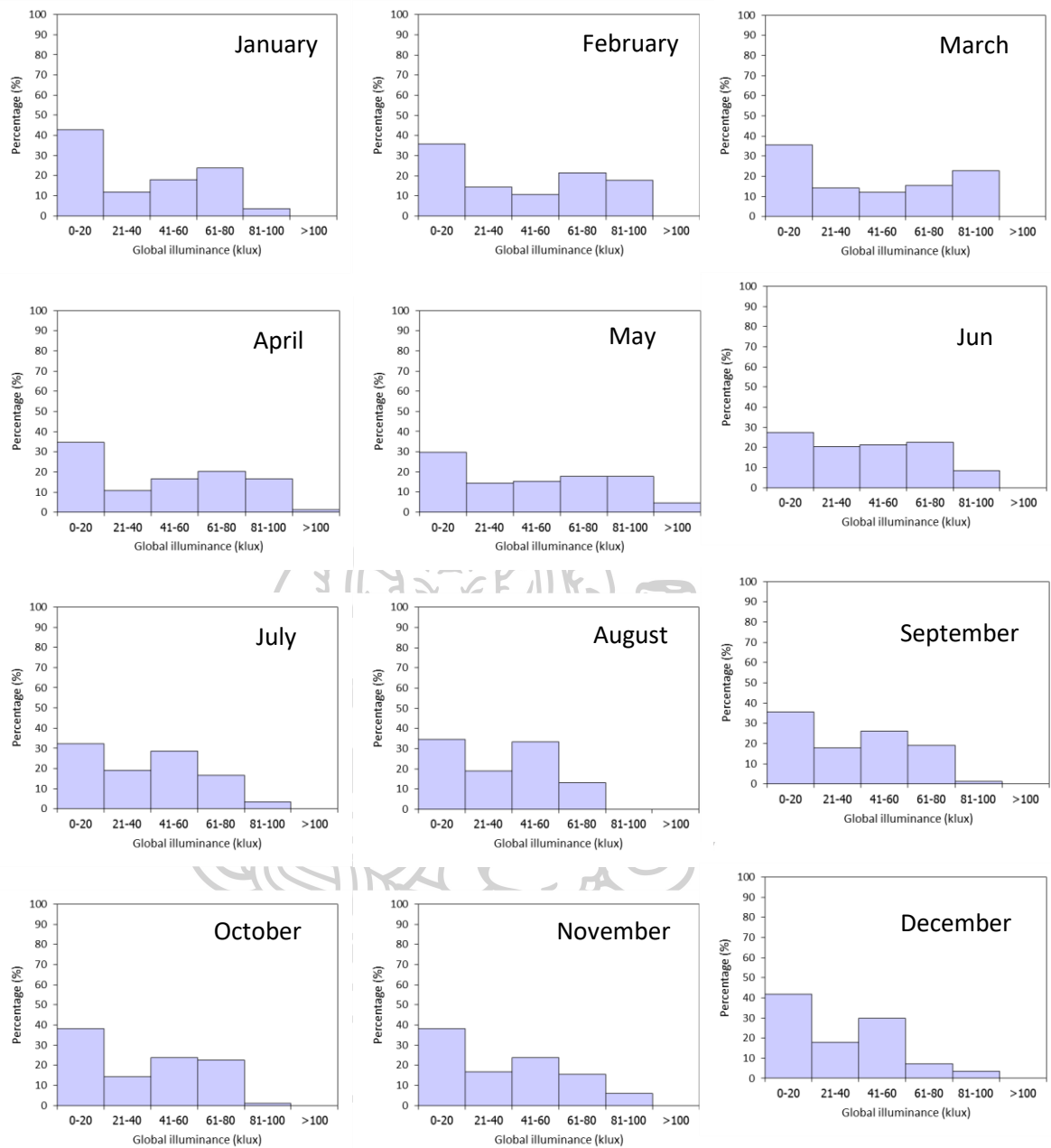


รูปที่ 88 การแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีของสถานีนครราชสีมา

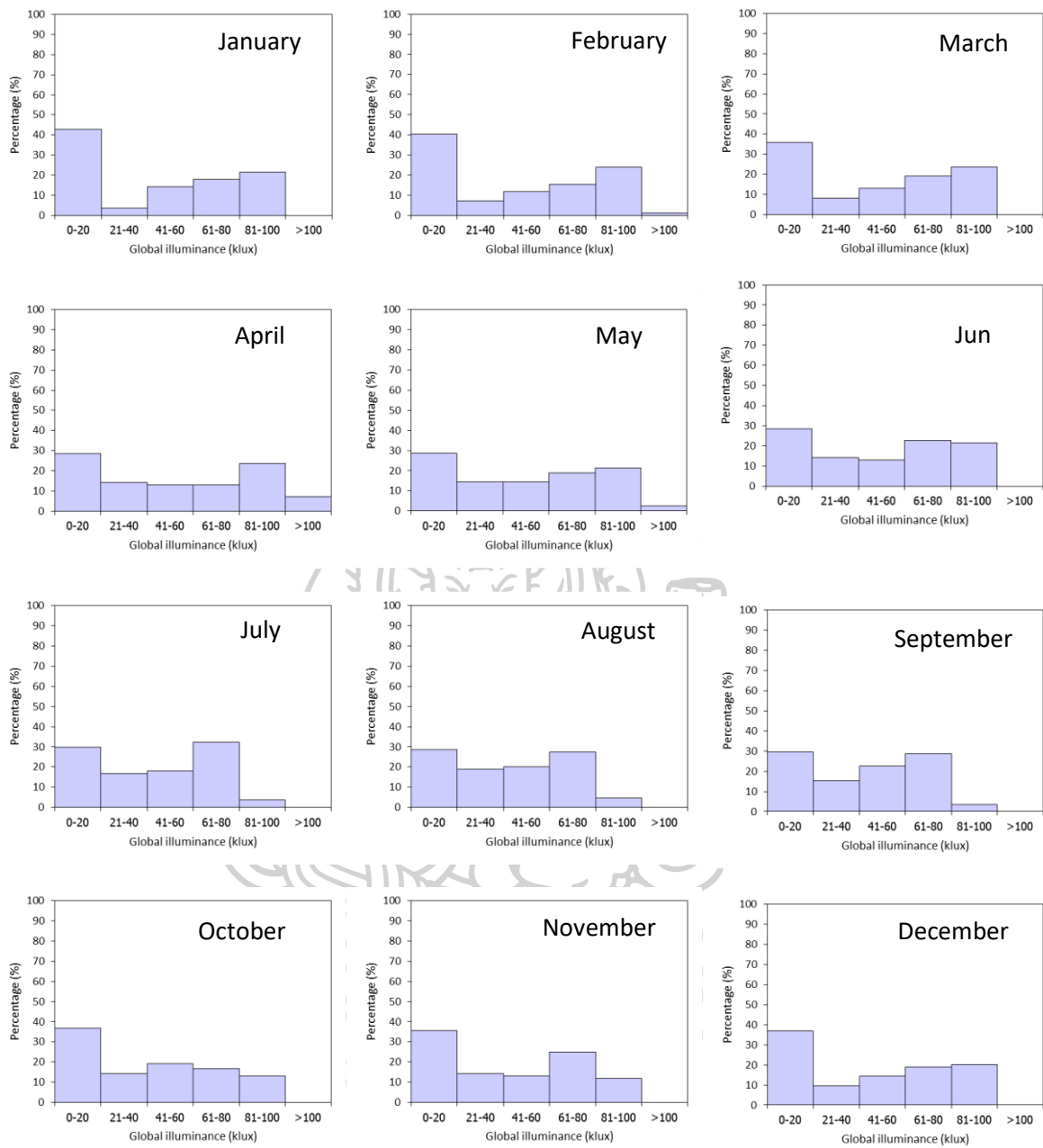
จากกราฟการแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีในแต่ละเวลา จะเห็นว่าค่าความเข้มแสงสว่างของทั้ง 11 สถานี คือ สถานีเชียงใหม่ กรุงเทพฯ เพชรบูรณ์ แม่สะเรียง แพร่ กาญจนบุรี ชุมพร ประจวบคีรีขันธ์ นครสวรรค์ ลพบุรีและนครราชสีมา มีการแปรค่าในรอบปีในลักษณะคล้าย ๆ กัน โดยเมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละช่วงเวลา พบว่าจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 09:00 จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12:00 - 13:00 น. จากนั้นมีค่าลดลงเรื่อยจนมีค่าต่ำสุดในเวลา 16:00 น. และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละเวลาในเดือนต่างๆ จะพบว่า ค่าความเข้มแสงสว่างจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายนและพฤษภาคม จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม และเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยในเดือนถัดไป จนถึงเดือนธันวาคมมีค่าลดลงเล็กน้อย ส่วนสถานีอุบลราชธานี นครปฐม สงขลา และภูเก็ต มีการแปรค่าในรอบปีในแต่ละช่วงเวลา มีลักษณะคล้ายกับ 11 สถานีเช่นเดียวกัน กล่าวคือค่าความเข้มแสงสว่างจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 09:00 จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12:00 - 13:00 น. จากนั้นมีค่าลดลงเรื่อยจนมีค่าต่ำสุดในเวลา 16:00 น. และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละเวลาในเดือนต่างๆ พบว่าค่าความเข้มแสงสว่างจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมและเมษายน จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน และกรกฎาคม จากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยในเดือนถัดไป และลดลงเล็กน้อยในเดือนพฤศจิกายน แต่เดือนธันวาคมกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งการแปรค่าตามฤดูกาลในรอบปีที่มีลักษณะดังที่กล่าวเป็นผลมาจากการเปลี่ยนแปลงของทางเดินปรากฏของดวงอาทิตย์บนท้องฟ้า หรือการเปลี่ยนมุมเดคลิเนชันของดวงอาทิตย์ และสภาวะทางอุตุนิยมวิทยา

3.6.3 การแจกแจงความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือน

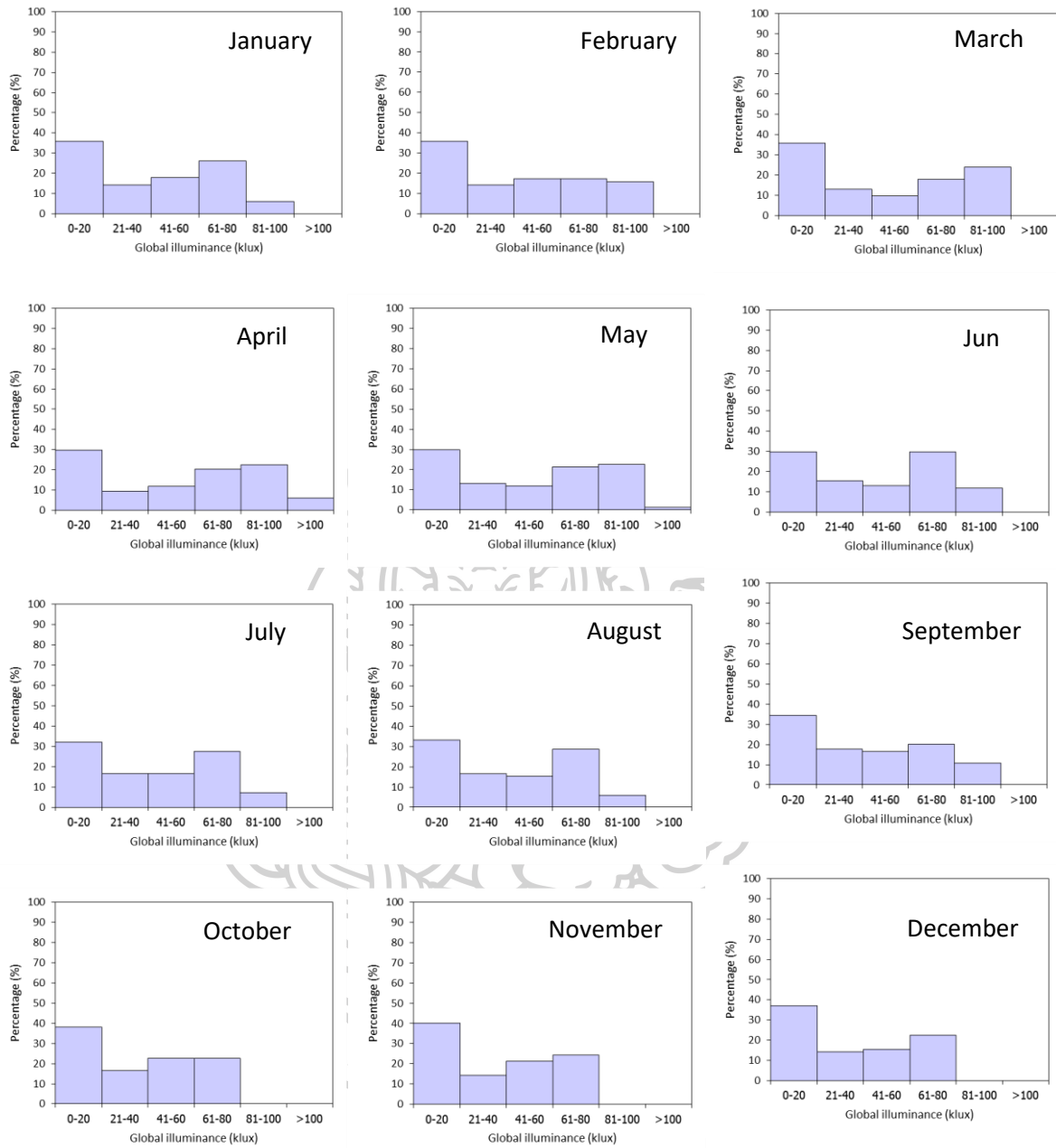
ความเข้มแสงสว่างรวมในสภาพท้องฟ้าทั่วไปจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลาในรอบวัน (diurnal variation) กล่าวคือ จะค่อย ๆ มีค่าเพิ่มขึ้นในเวลาเช้าและสูงสุดในเวลาเที่ยงวัน ซึ่งจะค่อย ๆ ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงช่วงเย็น แต่ในสภาพท้องฟ้าทั่วไปมีการเปลี่ยนแปลงจากปัจจัยของเมฆ ทำให้ค่าความเข้มแสงสว่างมีค่าต่ำ โดยข้อมูลความเข้มแสงสว่างรวมในสภาพท้องฟ้าทั่วไปจะมีเมฆปกคลุมจึงมีความสำคัญ ผู้วิจัยจึงนำข้อมูลความเข้มแสงสว่างรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในช่วงปี ค.ศ. 2015-2020 ของทั้ง 15 สถานีมาทำการแจกแจงเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยแบ่งความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนเป็นระดับต่าง ๆ ช่วงละ 20 klux การแจกแจงดังกล่าวจะทำให้ทราบค่าความน่าจะเป็นที่จะได้รับความเข้มแสงสว่างรวมในระดับต่าง ๆ ตามสถานที่และเดือนต่าง ๆ ในรอบปี และตลอดทั้งปี ผลที่ได้แสดงดังรูปที่ 89-10



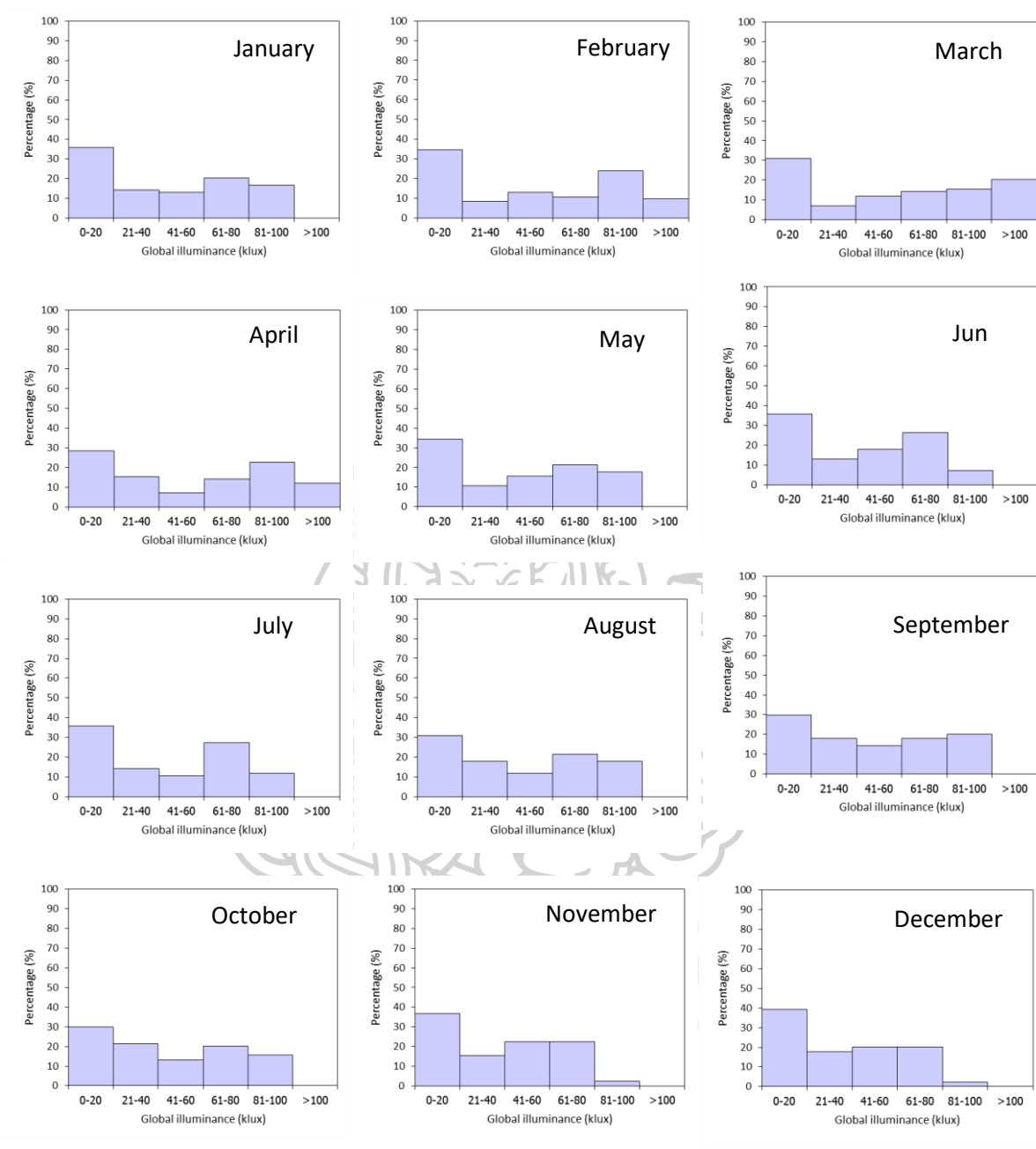
รูปที่ 89 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ ของศูนย์
 อุดุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่



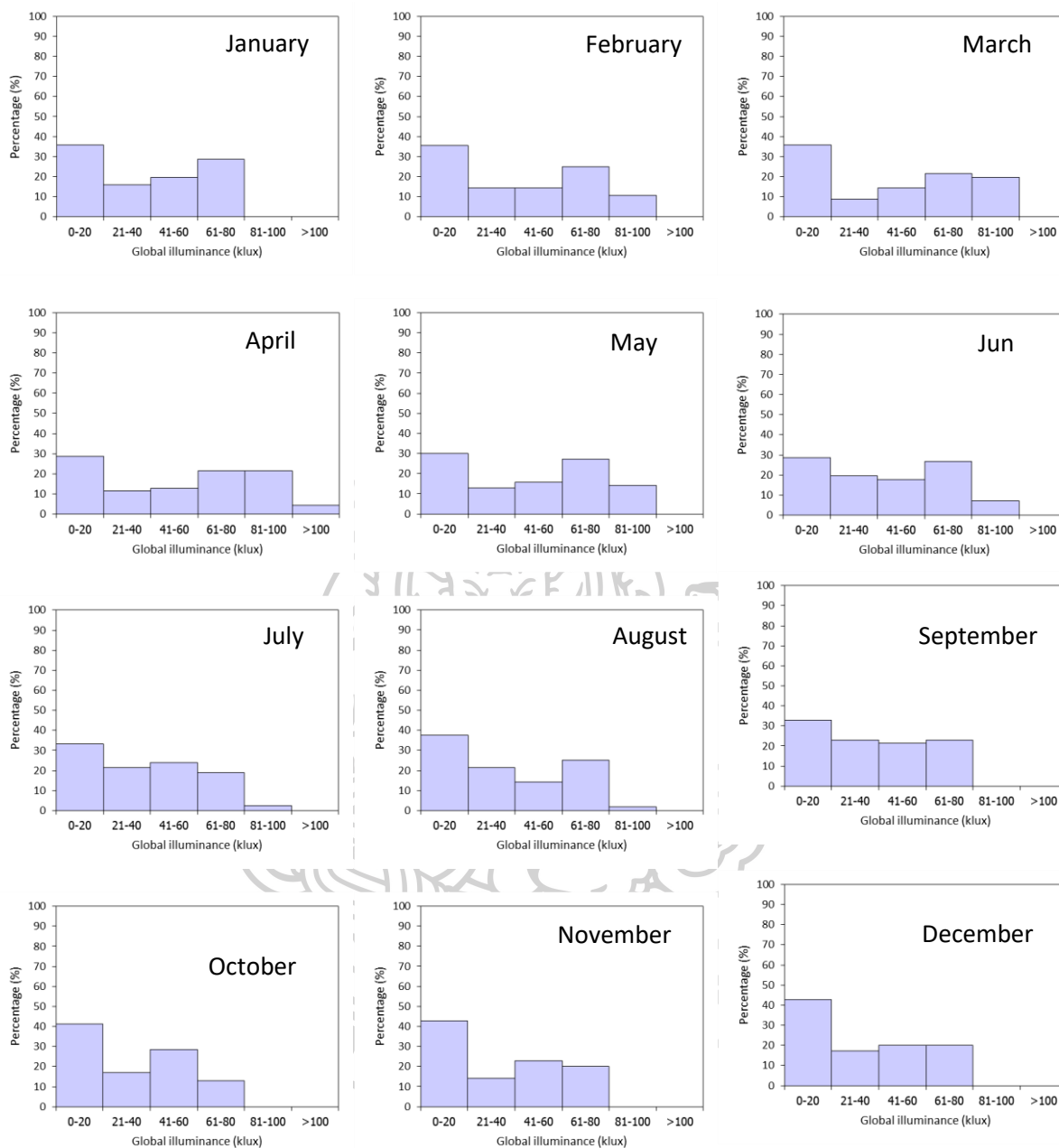
รูปที่ 90 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ ของศูนย์
 อุดุณิยมหาวิทยาลัยภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี



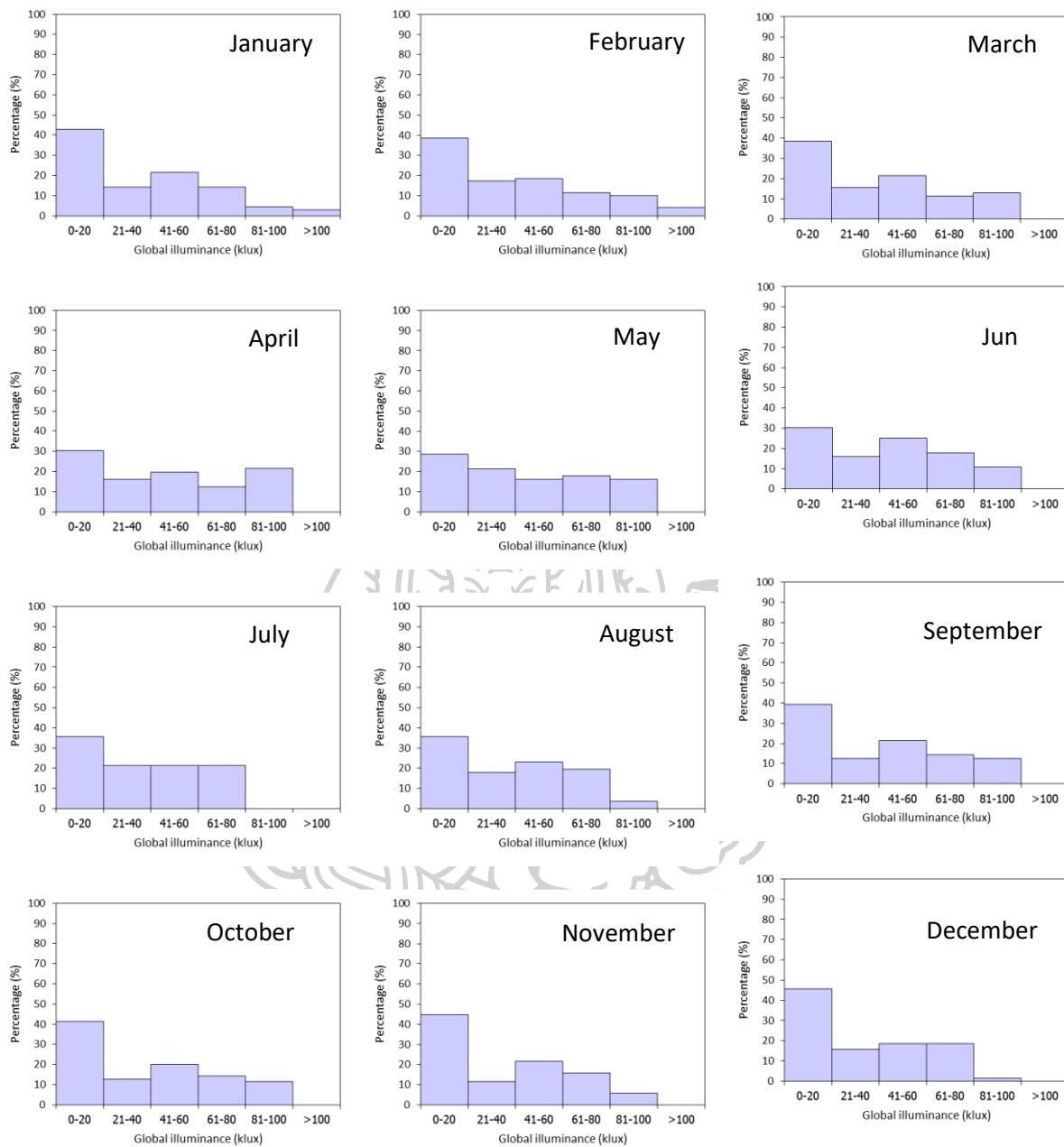
รูปที่ 91 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ ของคณะ
วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม



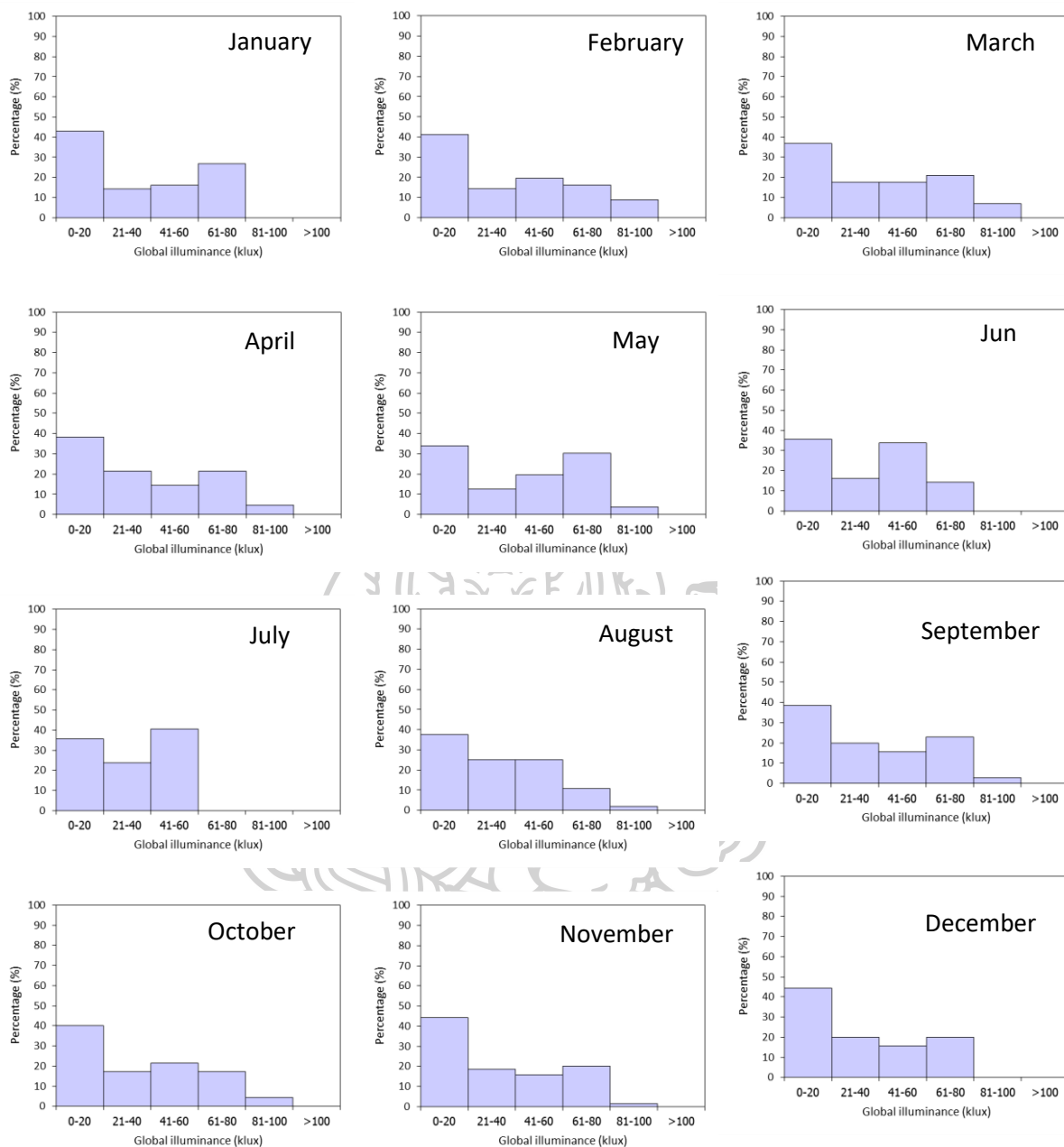
รูปที่ 92 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ ของศูนย์
 อุดุณิยมหาวิทยาลัยใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา



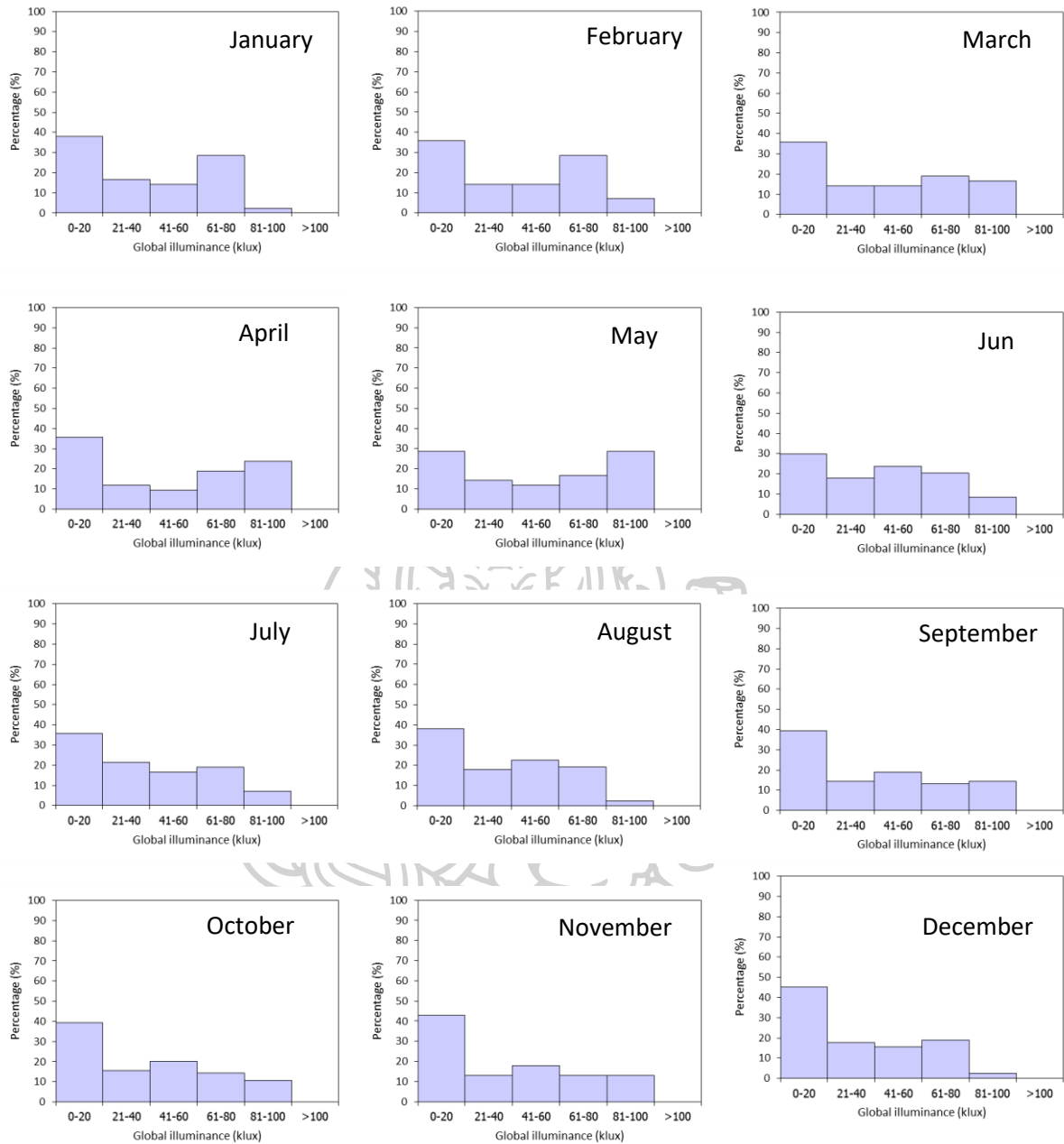
รูปที่ 93 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี กรุงเทพมหานคร



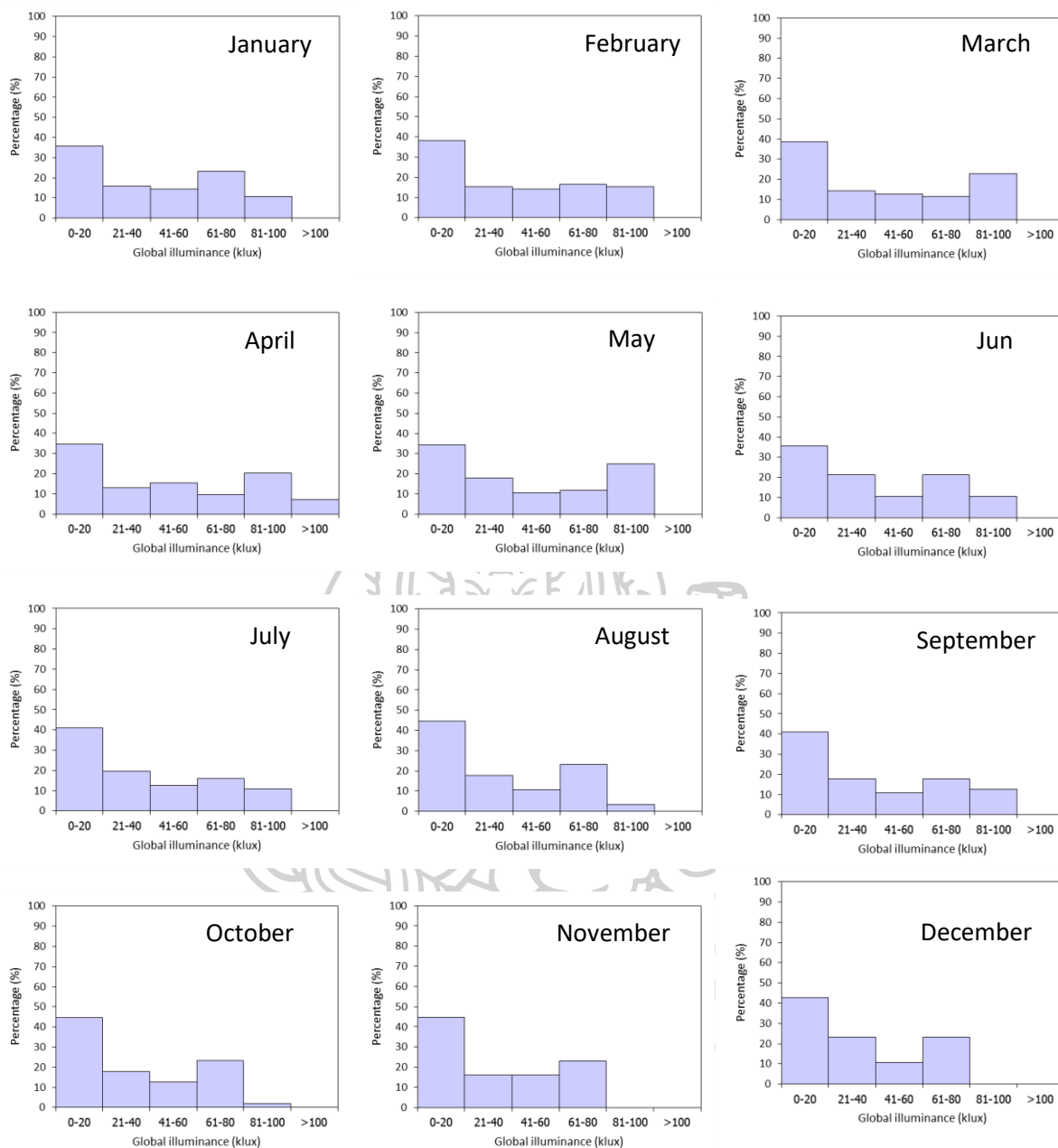
รูปที่ 94 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีเพชรบูรณ์



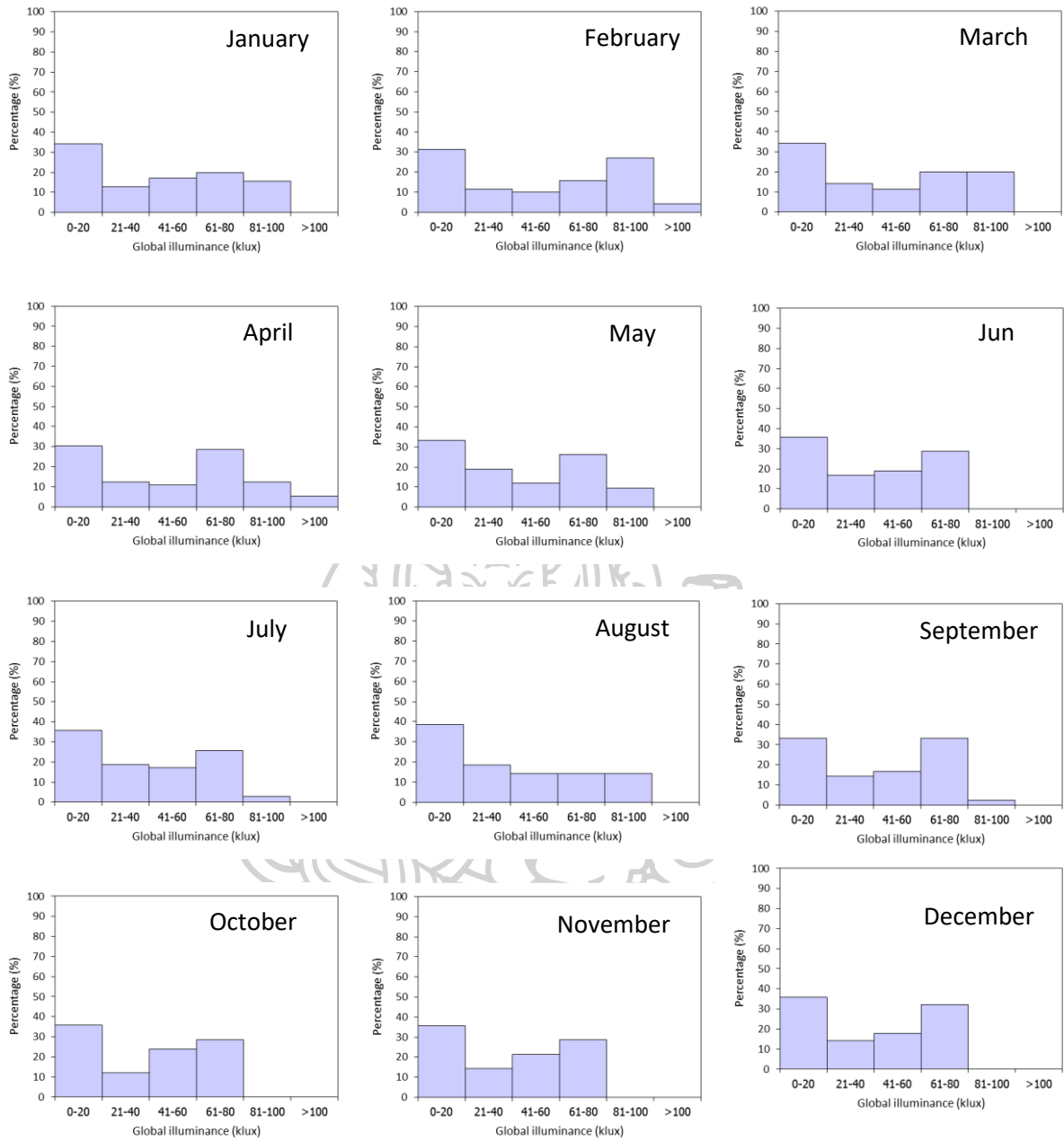
รูปที่ 95 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีแม่สะเรียง



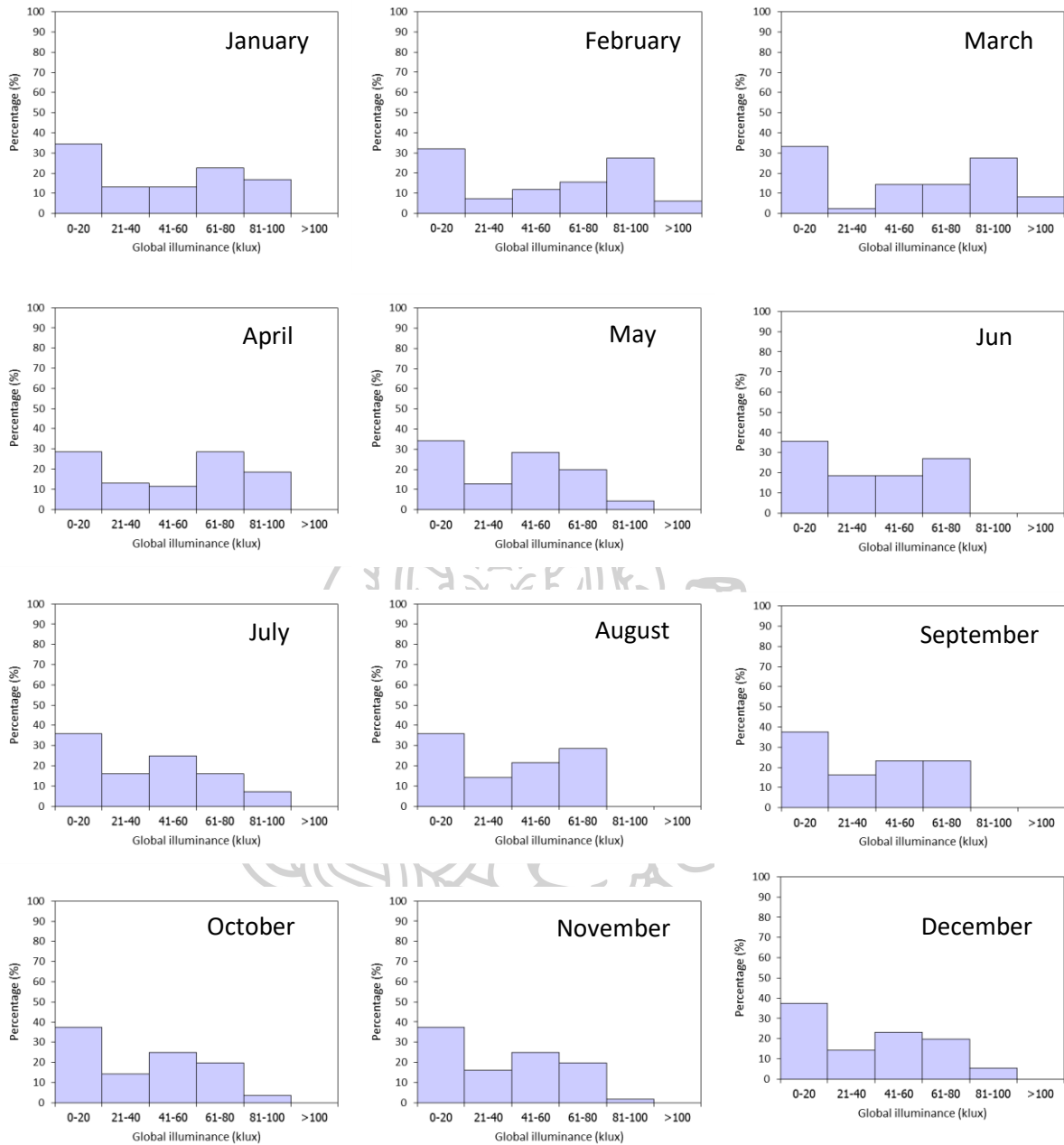
รูปที่ 96 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีแพร์



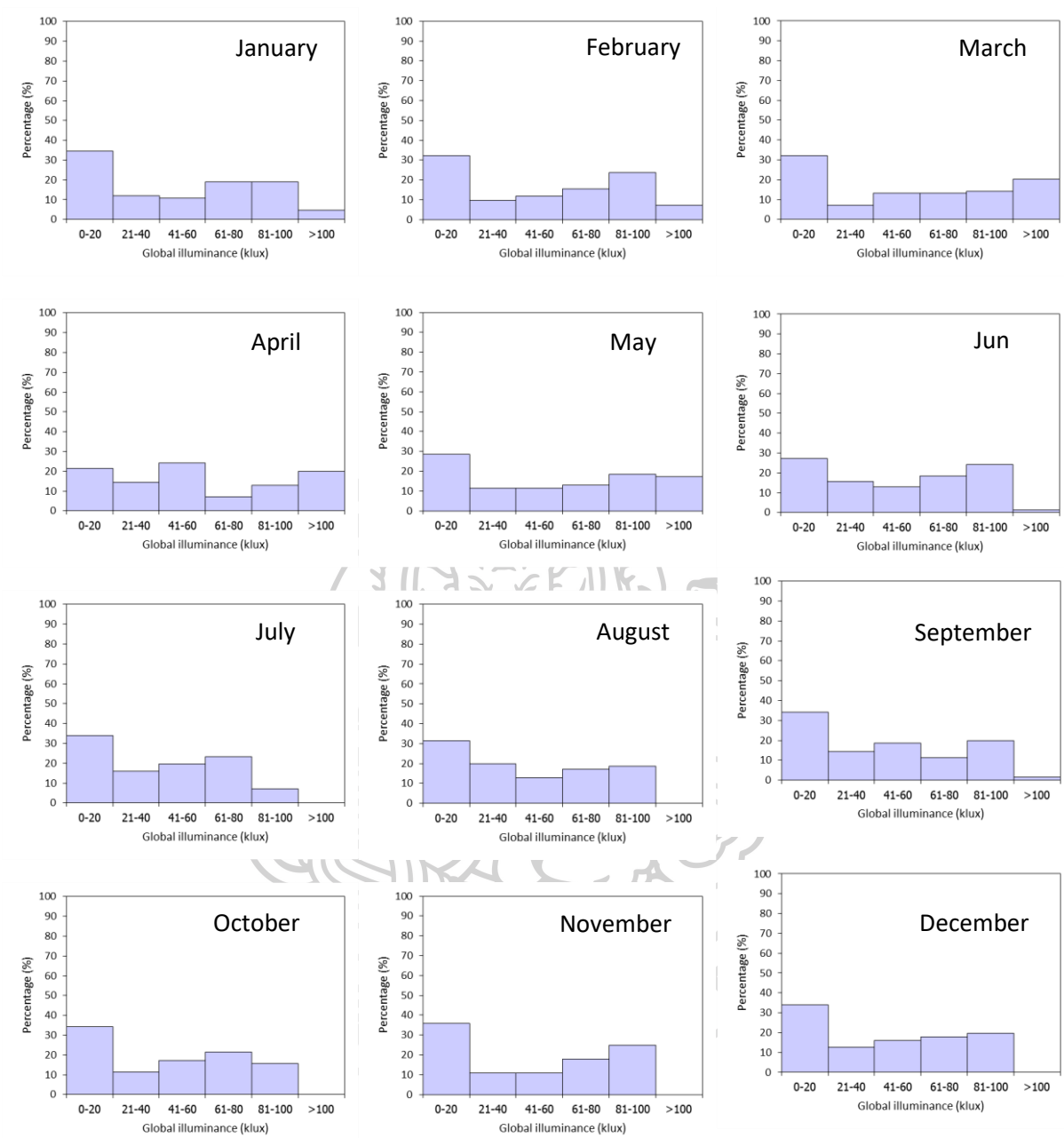
รูปที่ 97 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี
กาญจนบุรี



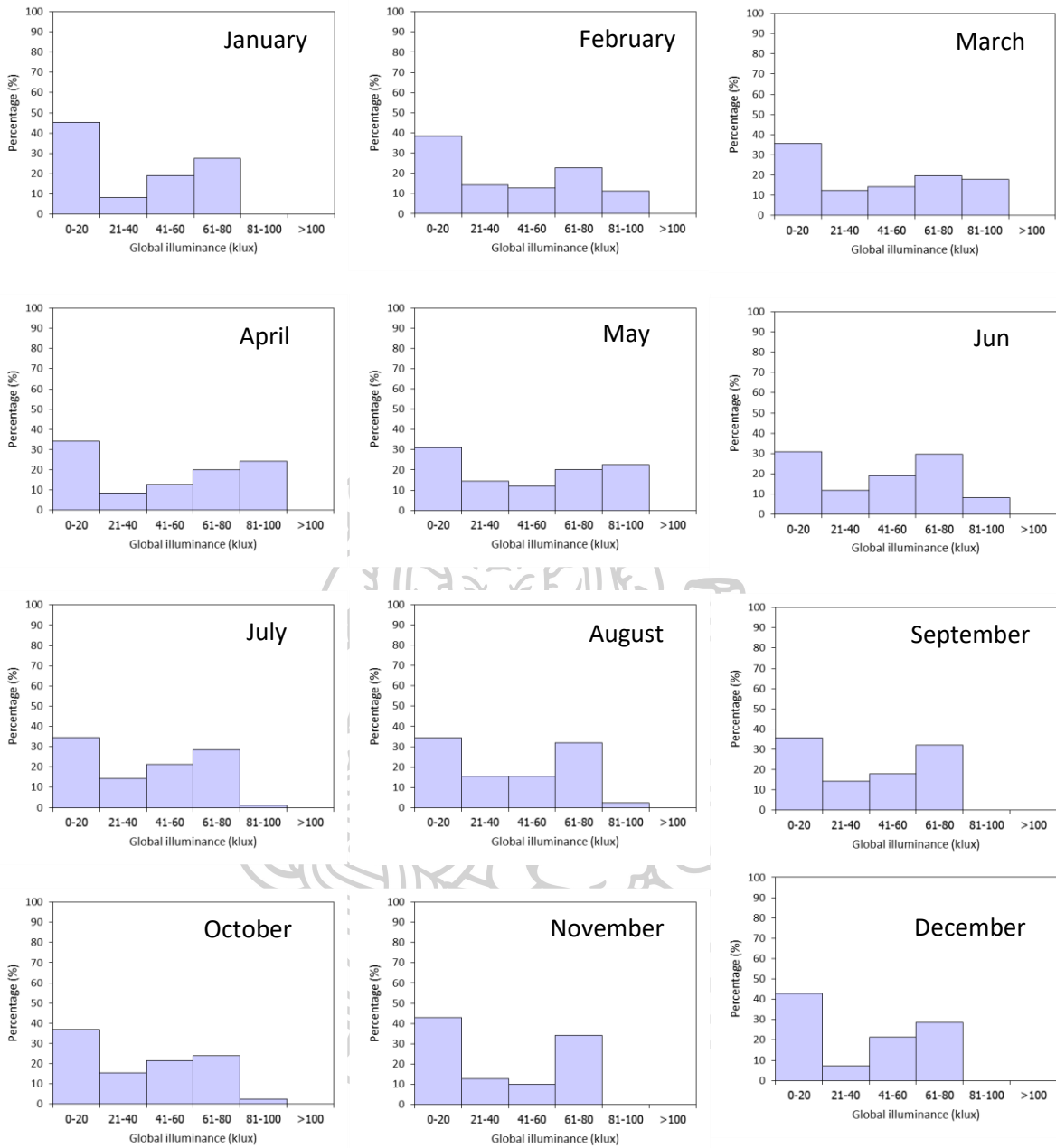
รูปที่ 98 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีชุมพร



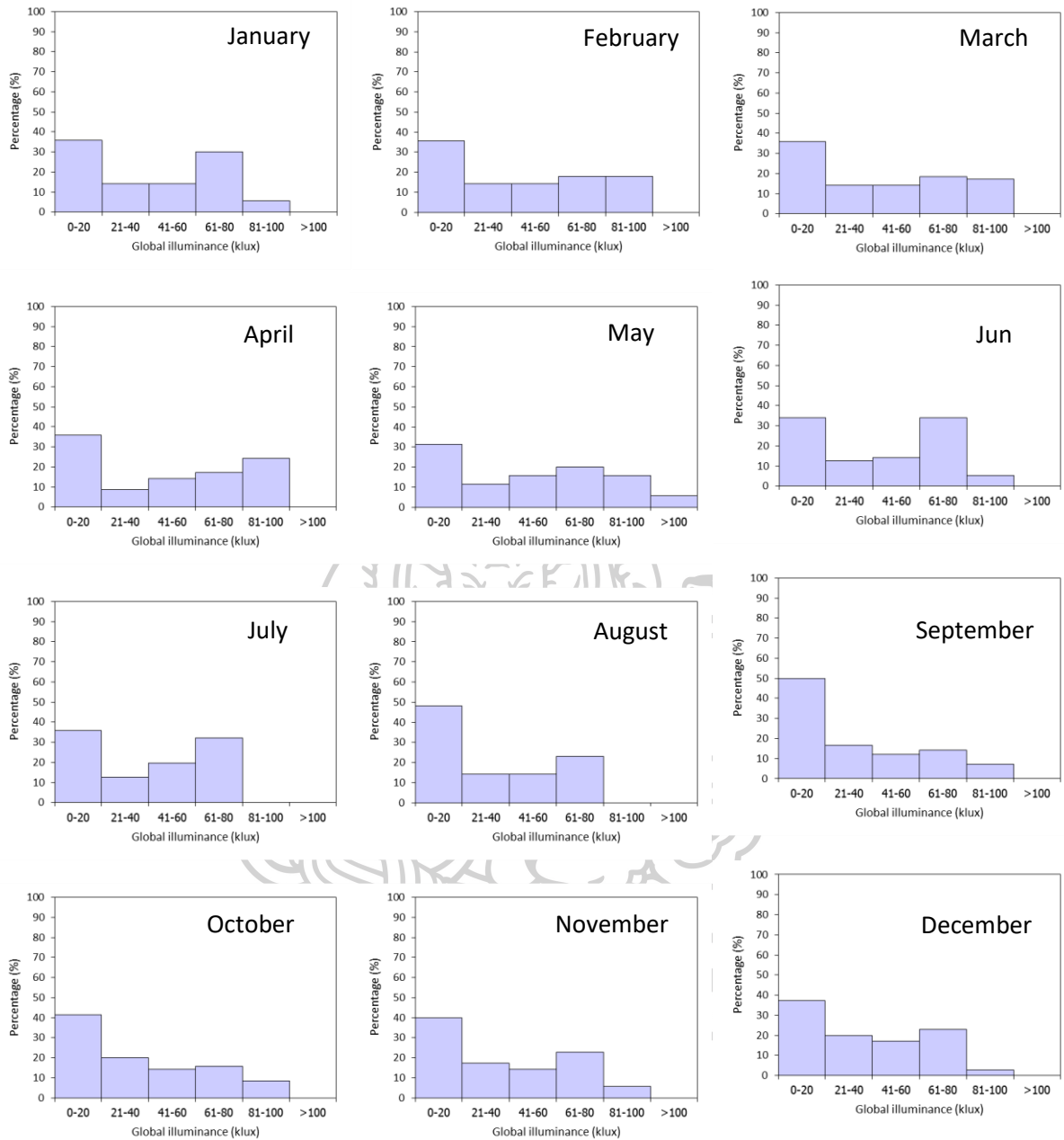
รูปที่ 99 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีภูเก็ต



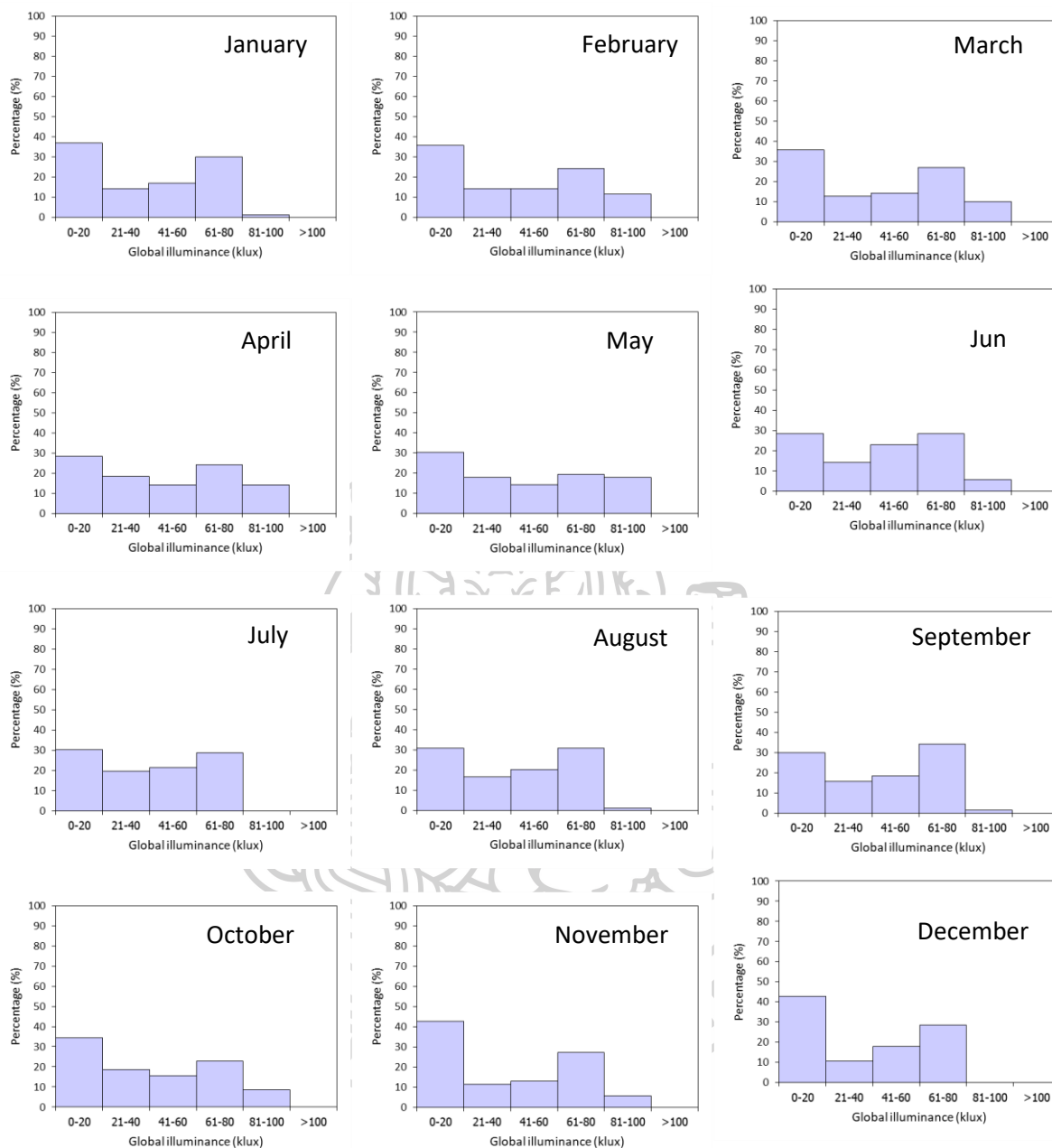
รูปที่ 100 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี
ประจวบคีรีขันธ์



รูปที่ 101 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีนครสวรรค์



รูปที่ 102 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานีลพบุรี



รูปที่ 103 การแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนในเดือนต่าง ๆ สถานี นครราชสีมา

จากกราฟแสดงการแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่างรวมรายชั่วโมงเฉลี่ยต่อเดือนของทั้ง 15 สถานี พบว่าทุกสถานีมีค่าความเข้มแสงสว่างรวมในช่วง 0-20 klux มากที่สุด คิดเป็น 40-50% ซึ่งค่าดังกล่าวจะอยู่ในช่วงเช้าและเย็น สำหรับสถานีส่วนใหญ่มีค่าความเข้มแสงสว่างรวมสูงสุดอยู่ที่ >100 klux ได้แก่ สถานีเชียงใหม่ อุบลราชธานี นครปฐม สงขลา กรุงเทพมหานคร เพชรบูรณ์ กาญจนบุรี ชุมพร ภูเก็ต และประจวบคีรีขันธ์ โดยเปอร์เซ็นต์ค่าความเข้มแสงสว่างสูงสุดของแต่ละสถานีแสดงดังตารางที่ 3.3 สำหรับสถานีแม่สะเรียง แพร่ นครสวรรค์ ลพบุรีและนครราชสีมา มีค่าความเข้มแสงสว่างรวมสูงสุดอยู่ที่ 81-100 klux โดยเปอร์เซ็นต์ของแต่ละสถานี แสดงดังตารางที่ 3.4 นอกจากนี้จะพบว่าทุกสถานีจะมีค่าความเข้มแสงสว่างรวมสูงเกิน 80 klux ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความเข้มแสงสว่างในประเทศไทยมีปริมาณค่อนข้างสูง สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้

ตารางที่ 5 เปอร์เซ็นต์จากการแจกแจงของเดือนที่มีค่าความเข้มแสงสว่างสูงสุด >100 klux ของ สถานีต่างๆ

| ลำดับ | สถานี | ค่าความเข้มแสงสว่างสูงสุด (%) | เดือนที่มีค่าสูงสุด |
|-------|-----------------|-------------------------------|---------------------|
| 1 | เชียงใหม่ | 4.76 | พฤษภาคม |
| 2 | อุบลราชธานี | 7.14 | เมษายน |
| 3 | นครปฐม | 5.95 | เมษายน |
| 4 | สงขลา | 20.23 | มีนาคม |
| 5 | กรุงเทพ | 4.28 | เมษายน |
| 6 | เพชรบูรณ์ | 4.28 | กุมภาพันธ์ |
| 7 | กาญจนบุรี | 7.14 | เมษายน |
| 8 | ชุมพร | 5.35 | พฤษภาคม |
| 9 | ภูเก็ต | 8.33 | มีนาคม |
| 10 | ประจวบคีรีขันธ์ | 20.23 | มีนาคม |
| 11 | ลพบุรี | 24.28 | เมษายน |

ตารางที่ 6 ค่าความเข้มแสงสว่างสูงสุด 81-100 klux คิดเป็นเปอร์เซ็นต์จากการแจกแจงรายชั่วโมง
เฉลี่ยต่อเดือน

| ลำดับ | สถานี | ค่าความเข้มแสงสว่างสูงสุด (%) | เดือนที่มีค่าสูงสุด |
|-------|------------|-------------------------------|---------------------|
| 1 | แม่สะเรียง | 8.92 | กุมภาพันธ์ |
| 2 | แพร่ | 28.57 | พฤษภาคม |
| 3 | นครสวรรค์ | 24.28 | เมษายน |
| 4 | นครราชสีมา | 14.28 | เมษายน |



บทที่ 4

สรุป

จากความสำคัญของความเข้มแสงสว่างธรรมชาติ ผู้วิจัยได้ทำการติดตั้งเครื่องวัดความเข้มแสงสว่างธรรมชาติในภูมิภาคต่างๆ ของประเทศ โดยภาคเหนือที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ จังหวัดเชียงใหม่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จังหวัดอุบลราชธานี ภาคกลางที่มหาวิทยาลัยศิลปากร จังหวัดนครปฐม และภาคใต้ที่ศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคใต้ฝั่งตะวันออก จังหวัดสงขลา โดยทำการวัดความเข้มแสงสว่างรวมบนพื้นราบ และติดตั้งเครื่องถ่ายภาพท้องฟ้า ณ สถานที่เดียวกันเพื่อหาปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า และนำข้อมูลที่ได้จำนวน 4 ปี (ค.ศ. 2015-2019) มาวิเคราะห์หาแบบจำลองอย่างง่ายซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเข้มแสงสว่างรวมต่อความเข้มแสงสว่างรวมนอกบรรยากาศโลก กับปริมาณเมฆที่ปกคลุมท้องฟ้า จากนั้นได้ทำการทดสอบสมรรถนะของแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ข้อมูลทั้ง 4 สถานที่ทำการวัดในปี ค.ศ. 2020 ผลการทดสอบพบว่าค่าความเข้มแสงสว่างที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นจะแตกต่างจากค่าที่ได้จากการวัดในรูป RMSD เท่ากับ 16.0 % และ MBD เท่ากับ 0.56 % จากการทดสอบแบบจำลองดังกล่าวทำให้เห็นว่าสามารถนำแบบจำลองไปใช้คำนวณความเข้มแสงสว่างรวมได้ และแบบจำลองที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นนี้เป็นแบบจำลองอย่างง่ายและไม่ซับซ้อน ซึ่งต่างจากแบบจำลองของนักวิจัยต่าง ๆ ที่ได้ทำการศึกษาและพัฒนาแบบจำลองพบว่ามีความละเอียดถูกต้องมากกว่า แต่แบบจำลองดังกล่าวจำเป็นต้องใช้ข้อมูลนำเข้ามากกว่า และแบบจำลองมีความซับซ้อนมากกว่า ดังนั้นแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยสามารถนำไปใช้คำนวณความเข้มแสงสว่างรวมได้โดยง่ายและมีความละเอียดถูกต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังได้ศึกษาลักษณะทางสถิติของแสงสว่างรวมที่วัดจากสถานีหลัก 4 แห่ง และสถานีในจังหวัดต่างๆ 11 แห่ง โดยทำการศึกษาค่าการแปรค่าของความเข้มแสงสว่างตามเวลาในรอบวัน การแปรค่าของความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปี และการแจกแจงของความเข้มแสงสว่าง สำหรับการแปรค่าตามเวลาในรอบวัน พบว่าทุกสถานีความเข้มแสงสว่างจะเพิ่มขึ้นจากช่วงเช้าจนถึงค่าสูงสุดในตอนเที่ยงวัน และค่อยๆ ลดลงจนถึงเย็น โดยมีการแปรค่าในช่วงเช้าและช่วงบ่ายค่อนข้างสมมาตร โดยมีการแปรค่าของค่าสูงสุดตอนเที่ยงวันของแต่ละสถานีในแต่ละภูมิภาคแตกต่างกัน ภาคเหนือมีค่าสูงสุดอยู่ในช่วง 62 -100 klux ภาคตะวันออกเฉียงเหนืออยู่ในช่วง 70-100 klux สำหรับภาคกลางอยู่ในช่วง 70-95 klux และของภาคใต้อยู่ในช่วง 70-115 klux

ในด้านการแปรค่าความเข้มแสงสว่างตามฤดูกาลในรอบปีนั้น พบว่าสถานีส่วนใหญ่มีการแปรค่าในรอบปีในลักษณะคล้าย ๆ กัน โดยเมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละช่วงเวลา พบว่าจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจาก 09:00 จนมีค่าสูงสุดในช่วงเวลา 12:00 - 13:00 น. จากนั้นมีค่าลดลงเรื่อยจนมีค่าต่ำสุดในเวลา 16:00 น. และเมื่อพิจารณาค่าความเข้มแสงสว่างในแต่ละเวลาในเดือนต่างๆ จะพบว่า ค่าความเข้มแสงสว่างจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนมีค่าสูงสุดในเดือนเมษายนและพฤษภาคม จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงในเดือนกรกฎาคมและสิงหาคม และเพิ่มขึ้นอีกครั้งเล็กน้อยในเดือนถัดไป จนถึงเดือนธันวาคมมีค่าลดลงเล็กน้อย ยกเว้นสถานีอุบลราชธานี นครปฐม สงขลา และภูเก็ต การแปรค่าในรอบปี พบว่าค่าความเข้มแสงสว่างจะมีค่าค่อย ๆ เพิ่มขึ้นจากเดือนมกราคมจนมีค่าสูงสุดในเดือนมีนาคมและเมษายน จากนั้นจะค่อย ๆ ลดลงจนมีค่าต่ำสุดในเดือนพฤษภาคม มิถุนายน และกรกฎาคม จากนั้นจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นอีกครั้งเล็กน้อยในเดือนถัดไป และลดลงเล็กน้อยในเดือนพฤศจิกายน แต่เดือนธันวาคมกลับมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย สำหรับการแจกแจงค่าความเข้มแสงสว่าง พบว่าทุกสถานีจะมีการแจกแจงในช่วง 0-20 klux มากที่สุด คิดเป็น 40-50% และพบว่าสถานีส่วนใหญ่มีค่าความเข้มแสงสว่างรวมสูงสุดอยู่ที่ค่ามากกว่า 100 klux ยกเว้นสถานีแม่สะเรียง แพร่ นครสวรรค์ ลพบุรี และนครราชสีมา ที่มีค่าความเข้มแสงสว่างรวมสูงสุดอยู่ที่ 81-100 klux จะเห็นได้ว่าการแจกแจงดังกล่าวพบว่าแสงสว่างในประเทศไทยมีปริมาณค่อนข้างสูงสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานด้านการอนุรักษ์พลังงานในอาคารได้

ข้อเสนอแนะ : เนื่องจากการวัดความเข้มแสงสว่างในประเทศไทยยังมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้นผู้วิจัยเสนอแนะให้เพิ่มจำนวนสถานีวัดและทำการวัดบนระนาบต่าง ๆ เพื่อนำมาใช้งานด้านแสงสว่างธรรมชาติอย่างกว้างขวางต่อไป และเสนอแนะให้มีการปรับปรุงแบบจำลองที่สามารถใช้งานในลักษณะ Real time ได้ รวมถึงการแจกแจงความถี่ของความเข้มแสงสว่างธรรมชาติให้เป็นแบบความถี่สะสม ซึ่งผู้ใช้สามารถหาผลการวิจัยไปใช้ได้โดยตรง

รายการอ้างอิง

- Benard, R., Menguy, G., and Schwartz. M. (1980). *Le rayonnement solaire. Conversion thermique et application.* Technique & Documentation, Paris.
- CIE (2003). *Spatial distribution of daylight-CIE standard general sky.* Commission Internationale d' Eclairage, Vienna, Austria.
- Dieste-Velasco, M., Díez-Mediavilla, M., Granados-Lopez, D., Gonzalez-Pena, D., and Alonso-Tristan, C. (2019). "Performance of global luminous efficacy models and proposal of a new model for daylighting in Burgos, Spain." *Renewable Energy* 133: 1000-1010.
- He, Y., Zhang¹, X., and Quan. L. (2020). "Estimation of hourly average illuminance under clear sky conditions in Chongqing." *Plos one* 15(8): e0237971.
- Iqbal, M. (1983). *Introduction to Solar Radiation.* Academic Press, New York.
- ISO (2007). *Optics and photonics-Spectral band (ISO 20473).* International Organization for Standardization., Geneva, Switzerland.
- Janjai, S., Jantarach, T., and Laksanaboonsong, J. (2003). "A model for calculating global illuminance from satellite data." *Renewable Energy* 28(15): 2355-2365.
- Janjai, S., Tohsing, K., Nunez, M., and Laksanaboonsong, J.(2008). "A technique for mapping global illuminance from satellite data." *Solar Energy* 82(6): 543-555.
- Muneer, T. (1997). *Solar radiation and daylight models for the energy efficient design of buildings.* Architectural Press, Oxford.
- Murdoch, J. B., and Murdoch, J. P. (1994). *Illumination engineering: from Edison's lamp to the laser,* Visions Communications.
- Pattarapanitchai, S., Janjai , S., Tohsing , K., and Prathumsit J. (2015). "A technique to map monthly average global illuminance from satellite data in the tropics using a simple semi-empirical model." *Renewable Energy* 74: 170-175.
- Perez, R., Seals, R., and Michalsky, J. (1993). "All-weather model for sky luminance distribution—preliminary configuration and validation." *Solar Energy* 50(3): 235-245.
- Petty, G. W. (2004). *A first course in atmospheres radiation.* Sundog Publishing, Madison, wisconsin.

- Robledo, L., and Soler, A. (2001). "Luminous efficacy of direct solar radiation for all sky types." *Energy* 26(7): 669-677.
- Tiba, C., and Leal, S. (2012). "Measuring and modelling illuminance in the semi-arid Northeast of Brazil." *Renewable Energy* 48: 464-472.
- Vartiainen, E. (2000). "A comparison of luminous efficacy models with illuminance and irradiance measurements." *Renewable Energy* 20(3): 265-277.





ประวัติผู้เขียน

| | |
|-------------------|--|
| ชื่อ-สกุล | นางสาวนัฐยาศร บุริวัน |
| วัน เดือน ปี เกิด | 20 มกราคม 2539 |
| สถานที่เกิด | ขอนแก่น |
| วุฒิการศึกษา | วท.บ. มหาวิทยาลัยราชภัฏเลย |
| ที่อยู่ปัจจุบัน | บ้านเลขที่ 14 หมู่ 10 ต.โนนทอง อ.แวงใหญ่ จ.ขอนแก่น 40330 |
| ผลงานตีพิมพ์ | - |
| รางวัลที่ได้รับ | - |

