บทที่ 2

พื้นฐานสำคัญของการวัดและวิธีคำนวนพลังงานแสงอาทิตย์โดยประมาณ

ความรู้ทั่วไป

พลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกเราได้รับอยู่ทุกขณะมีค่าคงที่ในหนึ่งหน่วยเวลา ซึ่งเกิดจากการที่โลก intercept กับแสงอาทิตย์ขณะที่เคลื่อนที่รอบดวงอาทิตย์ การวัดปริมาณของแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับกระทำได้โดยวัดค่าคงที่โซล่าร์ (Solar constant)

ค่าคงที่โซล่าร์มีจำกัดความว่า เป็นค่าเฉลี่ยของพลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ตั้งฉากกับรังสีดวงอาทิตย์ และอยู่นอกบรรยากาศของโลกที่ระยะทางเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์

จากการวัดทั้งบนโลกและในยานอวกาศของ NASA ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคงที่โซล่าร์เท่ากับ 1.353 กิโลวัตต์ต่อตารางเมตร(ค่าผิดพลาด ±2%) เนื่องจาก diametric plane ของโลกมีค่า 1.275×10^{14} ตารางเมตร ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์ที่โลกได้รับคือ $1.275 \times 10^{14} \times 1353 = 1.725 \times 10^{17}$ วัตต์ ซึ่งหมายความว่า ทุกๆวินาทีโลกได้รับพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 1.725×10^{17} จูล พลังงานนี้เข้ามายังโลกในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีส่วนประกอบของคลื่นตั้งแต่รังสีคอสมิคที่มีความยาวคลื่นสั้นมาก(10^{-15} เมตร) จนกระทั่งถึงคลื่นอินฟราเรดที่มีความยาวคลื่น 10^{-3} เมตร

เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบชั้นบรรยากาศของโลก คลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นมากเช่น คลื่นรังสีคอสมิค รังสีแกมม่า รังสีเอกซ์ จะสะท้อนกลับไปหรือถูกดูดกลืนไว้โดยก๊าซออกซิเจน โอโซน ฝุ่นละอองและโมเลกุลของอากาศที่ห่อหุ้มผิวโลกอยู่ ส่วนที่เหลืออยู่ประมาณ 70%จะเข้าสู่ชั้นบรรยากาศและตกกระทบผิวโลก พลังงานที่ตกกระทบผิวโลกในประเทศต่างๆจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งจะขึ้นอยู่กับที่ตั้งของประเทศนั้นๆว่าอยู่ส่วนใดของโลก นอกจากนี้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งยังเปลี่ยนแปลงตามฤดูกาลและตามภาวะอากาศในแต่ละวันอีกด้วย อย่างไรก็ตามพลังงานแสงอาทิตย์ที่วัดได้ในที่ต่างๆจะมีค่าสูงสุดอยู่ระหว่าง 500 - 1000 วัตต์

ต่อตารางเมตร เราเรียกพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีค่า 1 กิโลวัตต์ ว่า 1 SUN

ถึงแม้ว่าพลังงานแสงอาทิตย์ที่เข้ามายังโลกในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า จะมีส่วนประกอบของคลื่นหลายชนิดตั้งแต่คลื่นที่มีความยาวคลื่นสั้นมากคือรังสีคอสมิค ไปจนถึงคลื่นที่มีความยาวคลื่นยาวมากคือรังสีอินฟราเรด แต่คลื่นที่สนใจและเกี่ยวข้องในการวัดรังสีดวงอาทิตย์ทางวิศวกรรมจะมีความยาวคลื่นตั้งแต่ 0.2ถึง 100 ไมโครเมตร

การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกลงมายังพื้นโลกประกอบด้วยส่วนต่างดังนี้

$$H = H_{DN} \cos\theta + Hd + Hr \quad ...(2.10)$$

เมื่อ H = รังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดที่ตกลงมายังพื้นโลก

H_{DN} = รังสีตกกระทบโดยตรง ซึ่งทิศทางที่รังสีตกกระทบนั้นทำมุมตั้งฉากกับพื้นที่ที่รับรังสีนั้น ด้วยค่า intensity peak ที่ 0.48 ไมโครเมตร

θ = มุมที่รังสีตกกระทบกระทำกับเส้นปกติของผิวรับรังสี

Hd = รังสีกระจายหรือรังสีที่สะท้อนมาจากท้องฟ้าที่พื้นผิวโลกได้รับ (Diffuse or Scattered or Sky radiation)

Hr = รังสีที่ได้จากการสะท้อนของพื้นผิวที่อยู่ใกล้เคียง

โดยทั่วไป radiation fluxesสามารถแบ่งออกเป็น 2 spectral regions นั่นคือ solar หรือ shortwave radiation ซึ่งได้จากดวงอาทิตย์โดยสมมติให้ดวงอาทิตย์เป็นเสมือนหนึ่งวัตถุดำที่มีอุณหภูมิประมาณ 6000 $^{\circ}$K และ terrestrial หรือ long - wave radiation ซึ่งได้มาจากแหล่งกำเนิดอื่น(เช่น พื้นดิน ชั้นบรรยากาศ ท้องฟ้า หรือจากพื้นผิวอื่น) ที่มีอุณหภูมิประมาณ 200-400 $^{\circ}$K.

การจำแนกชนิดของเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์

การจำแนกชนิดของเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์นั้น พอจะแบ่งออกเป็นสองแบบใหญ่ ได้ดังนี้

ก. แบ่งตามลักษณะการทำงานของตัวดีเทคเตอร์

ข. แบ่งตามลักษณะการวัดรังสี

ก. การแบ่งตามลักษณะการทำงานของตัวดีเทคเตอร์

1. Thermal detectors ดีเทคเตอร์ชนิดนี้อาศัยผลของความร้อนที่เกิดขึ้นเมื่อรังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบตัวดีเทคเตอร์ ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางฟิสิคส์ขึ้นภายในตัวของมันเอง

2. Photon detectors ดีเทคเตอร์ชนิดนี้อาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ไปเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรง โดยพลังงานไฟฟ้าที่ได้จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเข้มของแสงอาทิตย์

ข. การแบ่งตามลักษณะการวัดรังสี

1. Pyrheliometer เป็นเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีตรง (Direct radiation) กล่าวคือ รังสีดวงอาทิตย์ต้องตกกระทบในแนวตั้งฉากกับผิวรับรังสีของตัวดีเทคเตอร์เสมอ ไพธีลิโอมิเตอร์มีอยู่ด้วยกันหลายชนิดมีทั้งแบบที่ใช้เทอร์มอลและโฟตอนดีเทคเตอร์

แบบที่เป็นโฟตอนดีเทคเตอร์ได้แก่ Photovoltaic Silicon Pyrheliometer ซึ่งออกแบบโดย Yellott โดยการใช้เซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิกอนเป็นตัวดีเทคเตอร์ ไพธีลิโอมิเตอร์แบบนี้มีข้อดีคือ ราคาถูกและมี response time เร็วมากสำหรับการวัดแบบ instantaneous ข้อเสียส่วนใหญ่ก็คือ ไม่สามารถเปลี่ยนรังสีดวงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้ในบางช่วงคลื่นของรังสีเพราะมีข้อจำกัดเนื่องจากสารกึ่งตัวนำมีแถบพลังงานต้องห้ามที่มีค่าแน่นอน จึงไม่สามารถดูดกลืนโฟตอนที่มีพลังงานน้อยกว่าค่าดังกล่าวได้ เซลล์แสงอาทิตย์นี้เปลี่ยนรังสีได้ดีในช่วงแสงสีแดงและในช่วงใกล้ๆกับแสงอินฟราเรด

แบบที่เป็นเทอร์มอลดีเทคเตอร์ได้แก่ Angstrom Compensation Pyrheliometer ซึ่งออกแบบโดย A.K. Angstrom ภายในเครื่องประกอบด้วยแผ่น manganin ซึ่งทาสีดำจำนวน 2 แผ่น โดยแผ่นหนึ่งจะวางรับแสงอาทิตย์เพื่อให้ดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์เอาไว้ ส่วนอีกแผ่นหนึ่งจะถูกทำให้ร้อนขึ้นโดยผ่านกระแสไฟฟ้าเข้าไป อาศัยหลักที่ว่า เมื่อแผ่น manganin ทั้งสองแผ่นมีอุณหภูมิเท่ากัน พลังงานไฟฟ้าที่ทำให้แผ่น manganin ร้อนขึ้นจะเท่ากับพลังงานแสงอาทิตย์ที่ถูกดูดกลืนไว้

นอกจากนี้ยังมีไพร์ลิโอมิเตอร์แบบอื่นอีก เช่น Michelson Bimetallic Pyrheliometer(Actinometer) ซึ่งอาศัยหลักการโค้งงอของ bimetallic strip เมื่อได้รับความร้อนจากแสงอาทิตย์ และแบบ Yanishevsky Thermoelectric Pyrheliometer ซึ่งไพร์ลิโอมิเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นแบบเทอร์มอลดีเทคเตอร์แทบทั้งสิ้น ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่วัดจะอยู่ในรูปของแรงดันไฟฟ้าแบบอนาลอก ซึ่งค่านี้จะถูกนำมาคำนวนเพื่อหาค่าการรับรังสีอีกครั้งหนึ่ง มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร หรือแคลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที

2. Pyranometer เป็นเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด (Global radiation) เป็นการวัดรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นราบในแนวนอน ไพรานอมิเตอร์มีหลายชนิด เช่น Eppley(180° Pyrheliometer)Pyranometer ออกแบบโดย Kimballและ Hobbs โดยอาศัยหลักที่ว่า แรงดันไฟฟ้าที่ได้จากพลังงานความร้อนจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของรังสีที่ตกกระทบ ภายในเครื่องประกอบด้วยวงแหวนเงิน 2 อันซึ่งมีจุดศูนย์กลางร่วมกัน วงแหวนอันในเคลือบหาสีดำไว้ ส่วนวงแหวนอันนอกเคลือบด้วยสีขาว(เป็นสารพวกแมกนีเซียมออกไซด์) ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของวงแหวนทั้งสองสามารถวัดได้โดยการใช้ thermopile ซึ่งติดอยู่ระหว่างผิวของวงแหวนทั้งสอง ส่วนประกอบทั้งหมดจะอยู่ภายในกระเปาะแก้วซึ่งบรรจุอากาศแห้งไว้ สำหรับสารแมกนีเซียมออกไซด์นี้มีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้ดี แต่จะสามารถดูดกลืนพลังงานได้มากสำหรับการแผ่รังสีแบบ terrestrial

สำหรับไพรานอมิเตอร์แบบอื่นๆ เช่น Moll-Gorczynski Pyranometer ต่างก็อาศัยหลักการเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานความร้อนบนแผ่นสีดำซึ่งดูดกลืนพลังงานแสงอาทิตย์ได้เกือบทั้งหมด แล้ววัดความแตกต่างของอุณหภูมิบนแผ่นสีดำนี้เทียบกับแผ่นสีขาวซึ่งมีคุณสมบัติสะท้อนแสงได้เกือบทั้งหมดโดยใช้เทอร์โมไพล์ ความแตกต่างระหว่างอุณหภูมินี้จะทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าขึ้น แล้วนำไปสอบเทียบเพื่อแสดงค่าออกมาเป็นกำลังงานต่อหน่วยพื้นที่ได้ ไพรานอมิเตอร์ส่วนใหญ่จะให้เอาท์พุทออกมาเป็นค่าแรงดันซึ่งมีหน่วยเป็นมิลลิโวลท์ แล้วสอบเทียบค่าแรงดันไฟฟ้านี้ให้อยู่ในรูปของกำลังงานต่อหน่วยพื้นที่ซึ่งมีหน่วยเป็น แคลอรี่ต่อตารางเซนติเมตรต่อนาที.

<u>การคำนวนหาค่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยประมาณ</u>

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการคำนวนหาค่าพลังงานแสงอาทิตย์โดยประมาณซึ่งจะใช้กับเครื่องวัดรังสีที่สร้างขึ้นเท่านั้น

ในแต่ละวันรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงมายังพื้นโลก ณ บริเวณใดบริเวณหนึ่ง จะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศและตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในเวลาต่างๆ ซึ่งอาจพิจารณาโดยการแทนการเปลี่ยนแปลงรังสีนี้ได้ด้วยเส้นโค้งเส้นหนึ่ง(เมื่อคิดเฉพาะ – การเปลี่ยนตำแหน่งของดวงอาทิตย์ในเวลาต่างๆ) ซึ่งแกนในแนวนอนเป็นแกนของเวลา และแกนในแนวดิ่งเป็นแกนของค่าการรับรังสีดวงอาทิตย์ มีหน่วยเป็น วัตต์ต่อตารางเมตร โดยเส้นโค้งนี้มีค่าสูงสุดอยู่ที่เวลา 12.00 น. และมีค่าต่ำสุดอยู่ที่เวลา 6.00 น. และ 18.00 น. ทุกๆจุดบนเส้นโค้งนี้จะเป็นค่าการรับรังสีในเวลาต่างๆกัน ดังนั้นพื้นที่ภายใต้ส่วนโค้งนี้จะแทนปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมดในเวลาหนึ่งวันที่พื้นที่นั้นได้รับ

ในการหาพื้นที่ใต้ส่วนโค้งนี้สามารถกระทำได้โดยแบ่งพื้นที่นี้ออกเป็นส่วนย่อย ซึ่งในกรณีนี้จะแบ่งออกเป็น 12 ส่วนเท่าๆกันตามแกนของเวลาโดยให้แต่ละส่วนเท่ากับหนึ่ง–ชั่วโมง และภายในส่วนย่อยเหล่านี้จะถูกแบ่งเป็นส่วนย่อยๆอีกครั้งหนึ่งซึ่งจะแบ่งออกเป็นกี่ส่วนก็ได้แล้วแต่ว่าต้องการความละเอียดถูกต้องมากน้อยเท่าใด พิจารณารูปที่ 2.1 และ 2.2 ในรูปที่ 2.2 จะเห็นว่าพื้นที่ภายใต้ส่วนโค้งระหว่างเวลา 11.00 น. และ 12.00 น.

ถูกแบ่งออกเป็น n ส่วนเท่าๆกันโดยมีช่วงกว้างเท่ากับ A จากนี้เราสามารถเขียนรูปสี่เหลี่ยม n รูปได้โดยให้จุดกึ่งกลางด้านบนของรูปสี่เหลี่ยมแต่ละรูปนั้นอยู่บนส่วนโค้ง จากนั้นลากเส้นจากจุดกึ่งกลางด้านบนของรูปสี่เหลี่ยมแต่ละรูปลงมาตัดกับแกนเวลา เส้นที่ลากลงมานี้จะแทนความสูงของรูปสี่เหลี่ยมกำหนดให้เป็น $x_1, x_2, \ldots, x_n$ ซึ่งค่า x เหล่านี้ก็คือค่าเฉลี่ยของรังสีดวงอาทิตย์ในช่วงเวลา A นั้นๆ ดังนั้นพื้นที่ภายใต้ส่วนโค้งนี้จะเท่ากับ

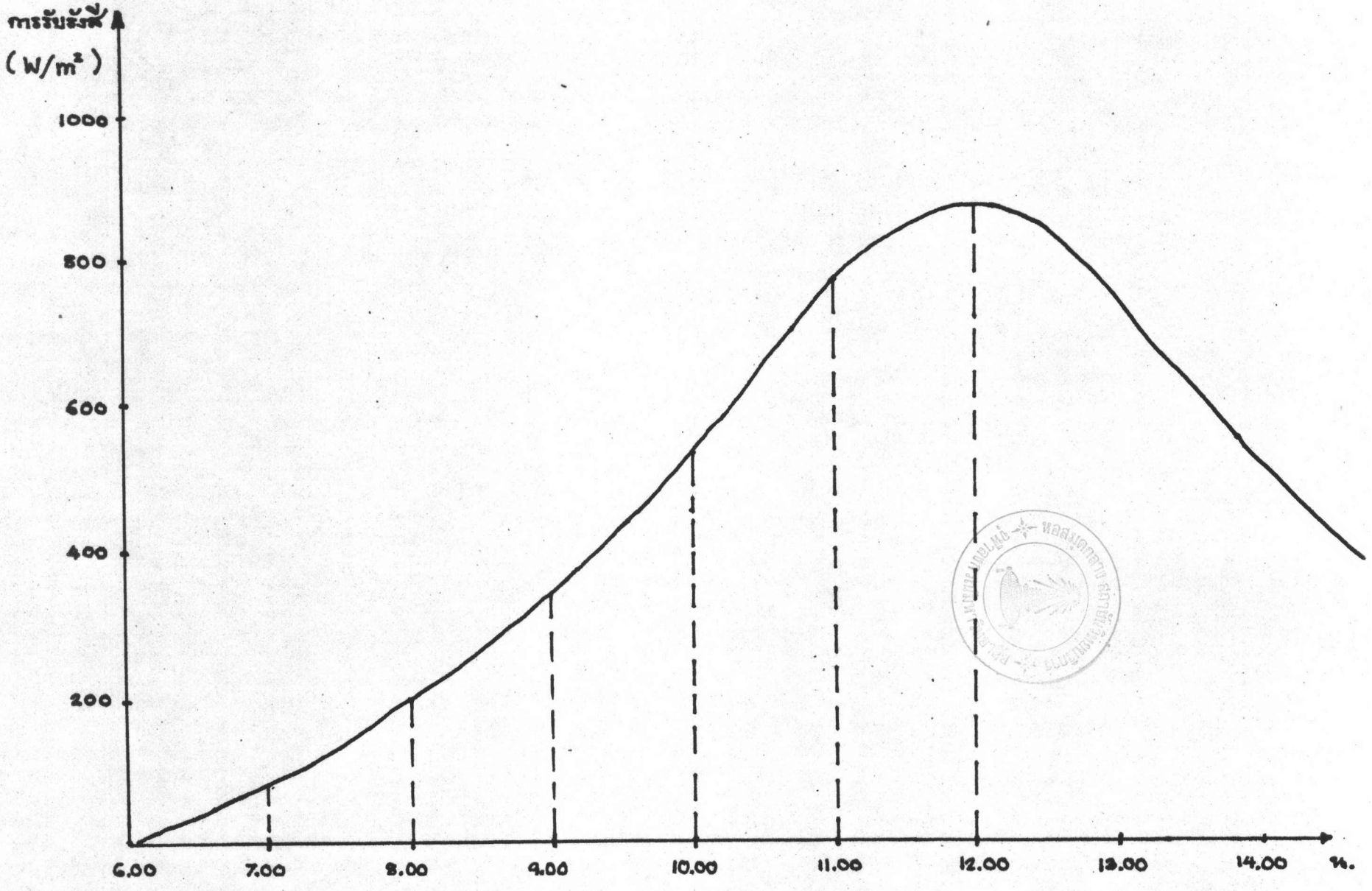
พื้นที่ใต้ส่วนโค้งระหว่างเวลา 11.00 น.ถึง 12.00 น.

$$= A (x_1 + x_2 + \cdots\cdots + x_n)$$

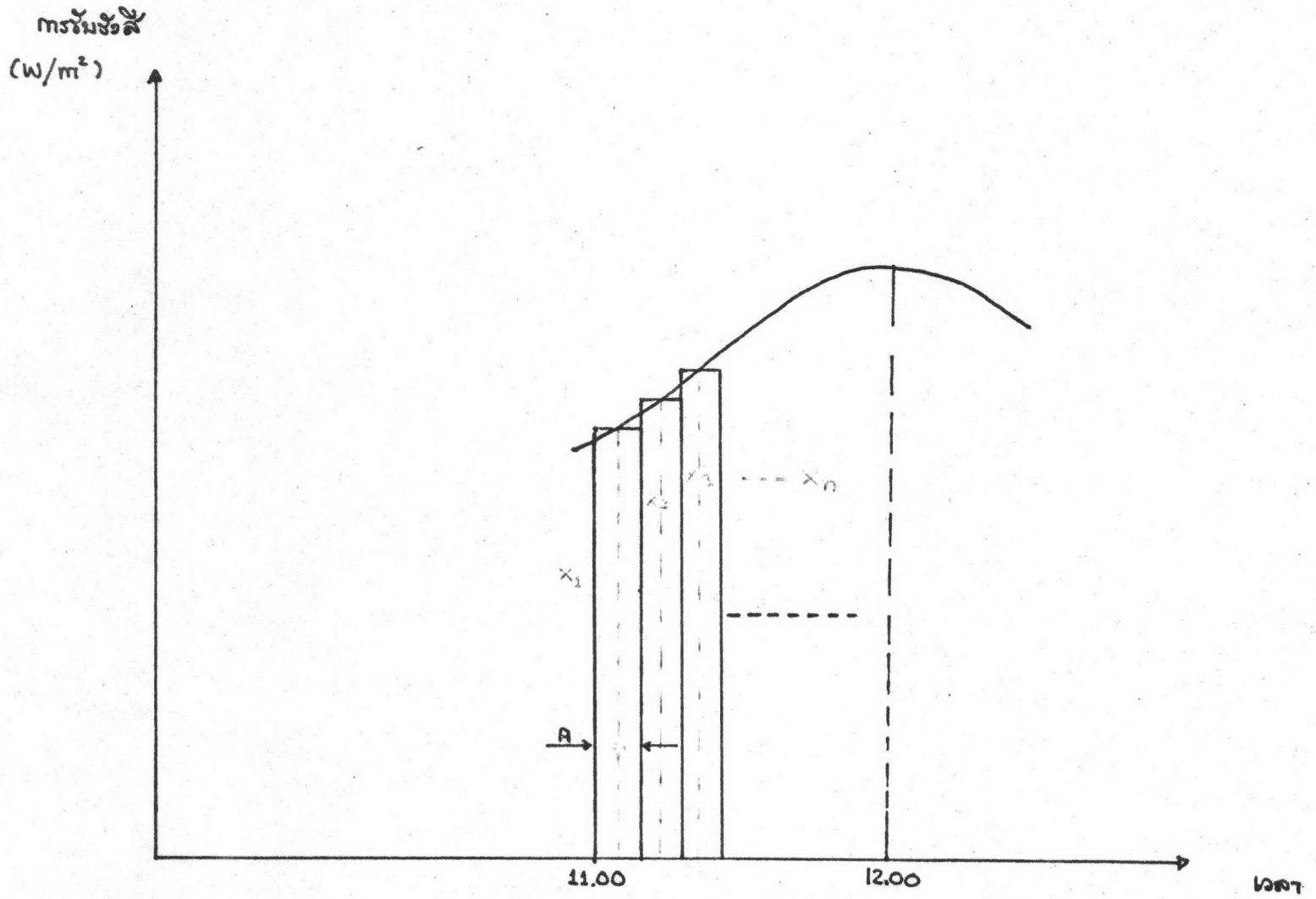
จากวิธีนี้ทำให้เราสามารถหาพื้นที่ภายใต้ส่วนโค้งในเวลาหนึ่งชั่วโมงได้ ซึ่งในวิธีเดียวกันก็สามารถหาพื้นที่ใต้ส่วนโค้งทั้งหมดได้ด้วยซึ่งจะเป็นค่าปริมาณรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกลงบนพื้นที่ใดพื้นที่หนึ่งในเวลาหนึ่งวัน

สำหรับวิธีนี้ความถูกต้องของค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับจำนวนในการแบ่งส่วนในแต่ละช่วง โดยถ้าจำนวนในการแบ่งมีค่ามากค่าที่ได้ก็จะถูกต้องมาก

สำหรับเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นก็อาศัยหลักคล้ายกันกับการคำนวณ โดยการเลือกวัดข้อมูลไปทุกๆ 30 วินาที แต่ค่าที่วัดได้นี้จะไม่ใช่ค่าเฉลี่ยในช่วง 30วินาทีจริงๆ แต่เราจะสมมติให้เป็นเสมือนค่าเฉลี่ยเมื่อเราต้องการหาค่ารังสีดวงอาทิตย์โดยประมาณเท่านั้น ดังนั้นค่าความผิดพลาดในการวัดนี้จะขึ้นอยู่กับการเปลี่ยนแปลงรังสีดวงอาทิตย์เป็นสำคัญ ถ้ายิ่งมีการเปลี่ยนแปลงรวดเร็วมากข้อมูลที่ได้ก็ยิ่งมีการผิดพลาดมากขึ้น



รูปที่ 2.1 แสดงการเปลี่ยนแปลงค่าการรับรังสีของดวงอาทิตย์ในรอบวัน.



รูปที่ 2.2. แสดงลักษณะการแบ่งส่วนย่อยๆในแต่ละชั่วโมง.