

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการสร้างเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์รวมด้วยโซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนแบบพกพา จำเป็นต้องพิจารณาถึงลักษณะและหลักการทำงานของไพรานอมิเตอร์ที่ใช้วัดรังสีรวม พิจารณาถึงลักษณะและหลักการทำงานของโซลาร์เซลล์ รวมถึงการเลือกใช้ระบบตรวจวัดสัญญาณไฟฟ้าที่ได้จากโซลาร์เซลล์ การบันทึกข้อมูลที่ต้องการและต่อเนื่อง ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อสมรรถนะการทำงานของเครื่องวัด ดังนั้นในการพิจารณาและสร้างเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์รวมด้วยโซลาร์เซลล์ชนิดซิลิกอนแบบพกพาจำเป็นต้องอาศัยทฤษฎีเบื้องต้นดังนี้

รังสีดวงอาทิตย์

รังสีดวงอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่หรือความยาวคลื่นต่างๆ พลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า พลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์ (thermonuclear) หลายกระบวนการ ทุกกระบวนการเริ่มด้วยการเปลี่ยนธาตุเริ่มต้นคือไฮโดรเจน จนเป็นธาตุสุดท้ายคือฮีเลียม (ในขณะที่ธาตุและอนุภาคที่เกิดในแต่ละปฏิกิริยาอาจแตกต่างกัน) ในปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์แต่ละปฏิกิริยา มวลรวมของอะตอมที่เข้าทำปฏิกิริยาจะน้อยกว่ามวลรวมหลังปฏิกิริยา มวลที่หายไปถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและส่วนน้อยเป็นพลังงานจลน์ของอะตอมและอนุภาค [1]

รังสีดวงอาทิตย์จัดเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงหนึ่งดังภาพ 1 ซึ่งกว่า 98% ของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์จะอยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.29 – 4.0 μm รังสีดวงอาทิตย์มักถูกแบ่งเป็น 3 ช่วงคือ ช่วงอุลตราไวโอเล็ต (Ultraviolet) อยู่ในช่วงความยาวคลื่น 0.29-0.4 μm พลังงานรังสีดวงอาทิตย์ช่วงนี้มีสัดส่วนประมาณ 8% ช่วงการมองเห็น (Visible light) อยู่ในย่าน 0.4-0.73 μm มีสัดส่วนประมาณ 43% และช่วงสุดท้ายคือช่วงใกล้อินฟราเรด (near infrared) มีความยาวคลื่นช่วง 0.73-4 μm มีสัดส่วนประมาณ 48% ของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ทั้งหมด

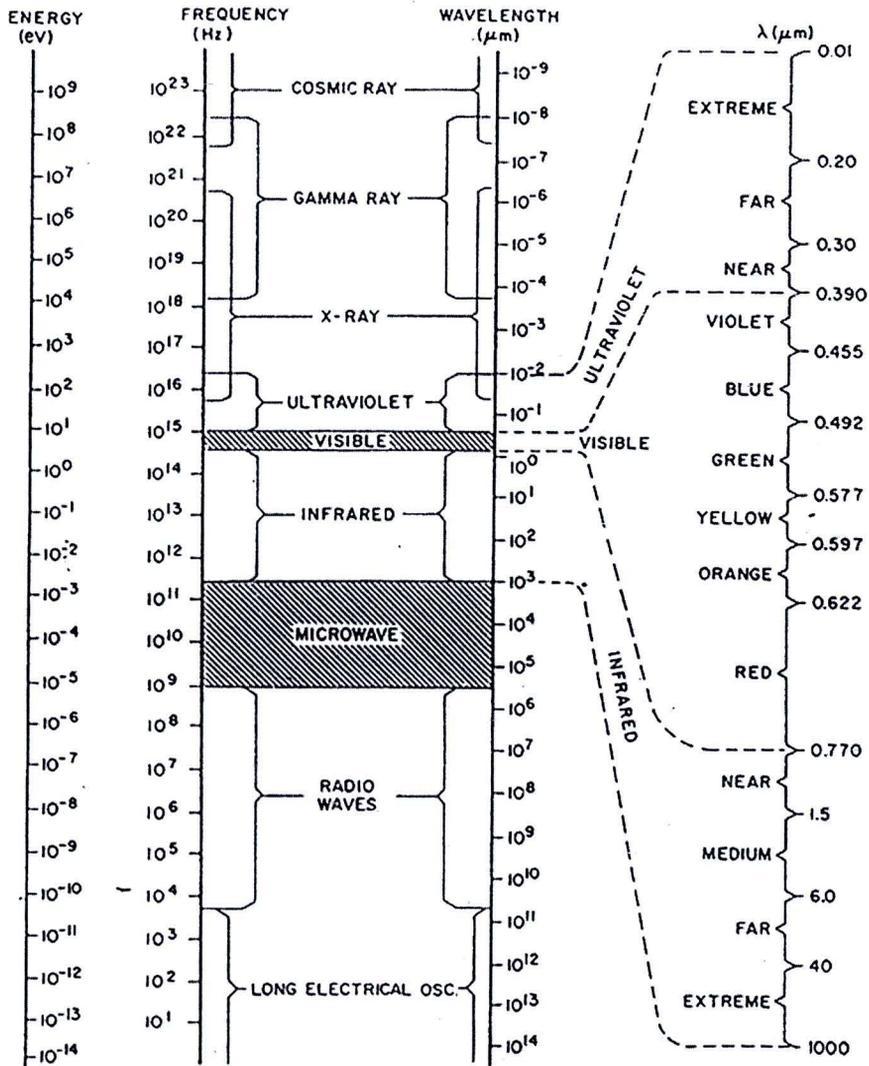


Chart of electromagnetic spectrum.

ภาพ 1 พลังงาน ความถี่ ความยาวคลื่นของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงต่างๆ

1. สเปกตรัมของการแผ่รังสีดวงอาทิตย์ [1]

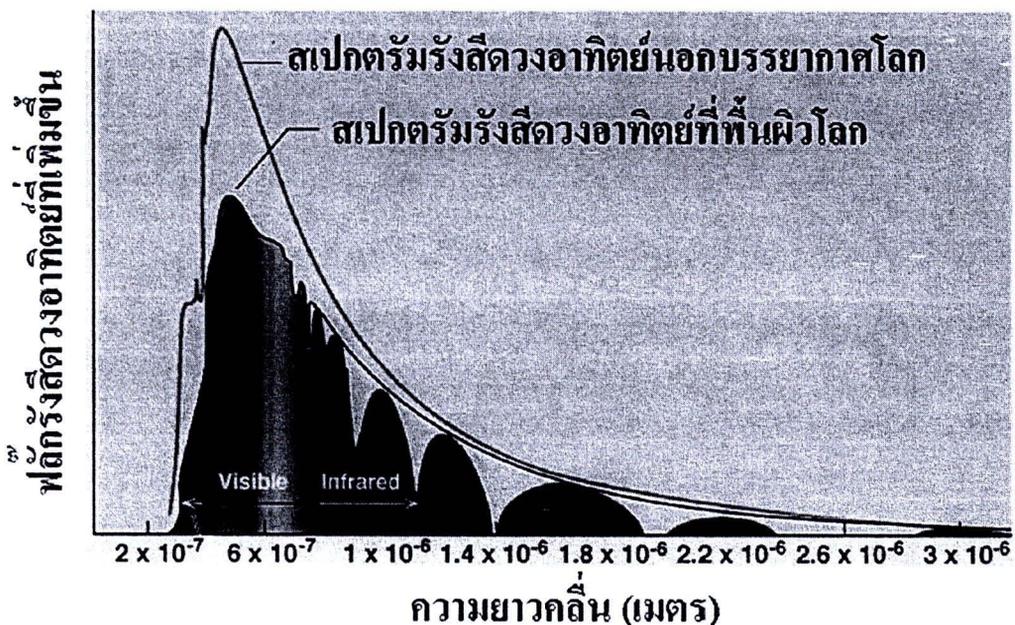
ประมาณ 90% ของพลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์เกิดจากบริเวณแกนดวงอาทิตย์ภายในระยะห่างจากศูนย์กลางประมาณหนึ่งในสี่ของรัศมี พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยออกอยู่ในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงรังสีเอ็กซ์และรังสีแกมมา

พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดภายในแกนจะถูกถ่ายทอดจากชั้นในออกมายังผิวนอกโดยการแผ่รังสี (เป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า) และโดยการพาความร้อน (เป็นพลังงานความร้อนหรือพลังงานจลน์ของอะตอมไฮโดรเจนที่เคลื่อนที่)

พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าและพลังงานความร้อนที่ส่งผ่านชั้นกลางของดวงอาทิตย์ จะถูกคลื่นด้วยอะตอมของไฮโดรเจนบริเวณชั้นกลางของดวงอาทิตย์ พร้อมกับมีการปลดปล่อยรังสี(เป็นพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า)ออกมาอีกต่อเนื่องกัน ตั้งแต่ชั้นในจนถึงผิวนอกต่อเนื่องตามลำดับ ลักษณะที่สำคัญคือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยออกจากบริเวณชั้นในจนถึงผิวนอก จะมีความยาวคลื่นมากขึ้นตามลำดับ จากรังสีแกมมาและรังสีเอกซ์ซึ่งมีความยาวคลื่นสั้น จนเป็นแสงที่ตามองเห็นซึ่งมีความยาวคลื่นยาวกว่า เนื่องจากอุณหภูมิที่ผิวจะต่ำกว่าอุณหภูมิที่แกน

เมื่อก้าวโดยรวมแล้ว สเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์จะมีลักษณะต่างจากสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุดำที่เพียงอุณหภูมิเดียว เพราะอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ในดวงอาทิตย์มีค่าไม่เท่ากัน เช่นที่แกนภายในมีอุณหภูมิประมาณ 10^7 K ที่ผิวดวงอาทิตย์เสมือนมีอุณหภูมิประมาณ 5760 K ส่วนชั้นโคโรนา (corona) ซึ่งสูงกว่าผิวดวงอาทิตย์ขึ้นมา มีอุณหภูมิประมาณ 10^6 K และตำแหน่งต่าง ๆ บนดวงอาทิตย์ไม่ได้แผ่รังสีแบบวัตถุดำ

ดังนั้นสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์จะเป็นผลรวมของสเปกตรัมหลายสเปกตรัมที่เกิดจากวัตถุหลายอุณหภูมิ และแต่ละวัตถุมีค่าเปล่งรังสีต่างกัน (ค่าเปล่งรังสี-emissivity เป็นสมบัติของวัตถุที่แสดงว่าวัตถุแผ่รังสีต่างจากวัตถุดำมากน้อยเพียงใด) เช่น ที่ความยาวคลื่นประมาณ 2400 nm สเปกตรัมดวงอาทิตย์จะเสมือนการแผ่รังสีจากวัตถุเท่าที่มีค่าการเปล่งรังสี 0.999 ที่อุณหภูมิ 6000 K ช่วงความยาวคลื่น 100-200 nm สเปกตรัมดวงอาทิตย์เสมือนมาจากวัตถุดำที่ 4500 K ช่วงความยาวคลื่น 4-10 nm เสมือนมาจากวัตถุดำที่ 500,000 K



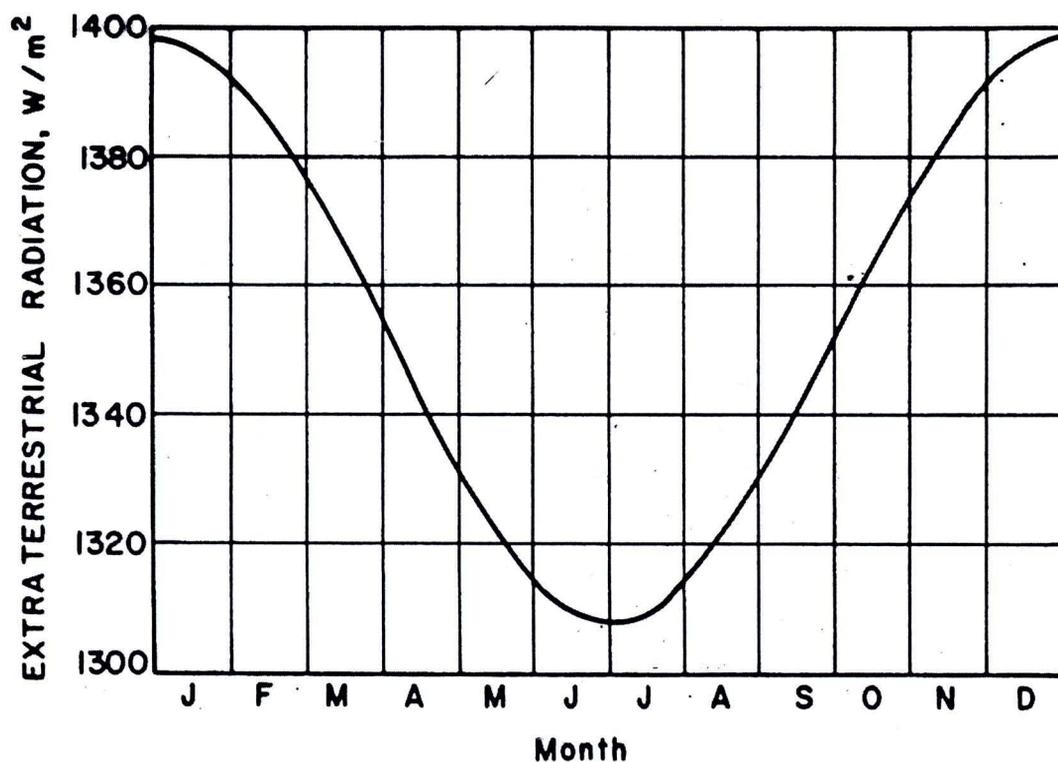
ภาพ 2 สเปกตรัมการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์นอกบรรยากาศและที่ผิวโลก

ถ้าพิจารณาว่าลักษณะสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ด้วยสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ได้จากวัตถุดำที่อุณหภูมิเพียงอุณหภูมิหนึ่ง พบว่าสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์จะใกล้เคียงสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุดำที่อุณหภูมิ 5762 K มากที่สุด เมื่อพิจารณาเฉพาะลักษณะองค์ประกอบสเปกตรัมแล้ว ในทางการแผ่รังสีเราเทียบเสมือนว่าดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำที่มีอุณหภูมิ 5762 K เราเรียกอุณหภูมินี้ว่าอุณหภูมิประสิทธิผล (Effective Temperature) ของดวงอาทิตย์ แต่เมื่อผ่านชั้นบรรยากาศของโลกลงมาแล้วที่มวลอากาศ 1.5 จะมีปริมาณพลังงานลดลงไปประมาณ 30% ดังภาพ 2 เนื่องจากรังสีดวงอาทิตย์ถูกระงับโดยชั้นบรรยากาศ

รังสีดวงอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แสดงในรูปของสเปกตรัม ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีน้อยกว่านอกชั้นบรรยากาศ ดังภาพ 2 เพราะในชั้นบรรยากาศเกิดการดูดกลืน การกระจายแสง และการสะท้อนแสง สาเหตุที่ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่พื้นผิวโลกมีน้อยกว่านอกชั้นบรรยากาศ เนื่องจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าถูกดูดกลืนโดยอะตอมและโมเลกุลของก๊าซ โดยช่วงอัลตราไวโอเล็ตถูกดูดกลืนด้วยอะตอมของออกซิเจน (O_2) ไนโตรเจน (N_2) และโอโซน (O_3) ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของบรรยากาศ ทำให้แสงอาทิตย์ที่ส่องผ่านบรรยากาศจนถึงพื้นโลกแทบจะไม่มีคลื่นช่วงอัลตราไวโอเล็ต ช่วงแสงอินฟราเรดจะถูกดูดกลืนโดยโมเลกุลของน้ำ (H_2O) และโมเลกุลของคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ซึ่งเกิดขึ้นในชั้นล่างของบรรยากาศ ภายในระยะทาง 50 กิโลเมตรจากพื้นโลก เป็นช่วงชั้นบรรยากาศที่มีน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์อยู่มาก พลังงานแสงช่วงอินฟราเรดที่ถูกดูดกลืนเกือบทั้งหมดทำให้บรรยากาศร้อนหรือทำให้พลังงานจลน์ของโมเลกุลอากาศสูงขึ้น [3]

วงโคจรของโลกรอบดวงอาทิตย์ไม่เป็นวงกลม ระยะห่างระหว่างโลกและดวงอาทิตย์จึงเปลี่ยนแปลงไปตลอดปี พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลก (Extraterrestrial Radiation) จึงมีค่าต่างกันทุกวันขึ้นอยู่กับตำแหน่งในวงโคจร ดังภาพ 3

ค่าความเข้มแสงอาทิตย์ที่ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างโลกกับดวงอาทิตย์เรียก ค่าคงที่แสงอาทิตย์ (Solar Constant) ค่าคงที่แสงอาทิตย์ที่ยอมรับในปัจจุบันคือ 1353 W/m^2

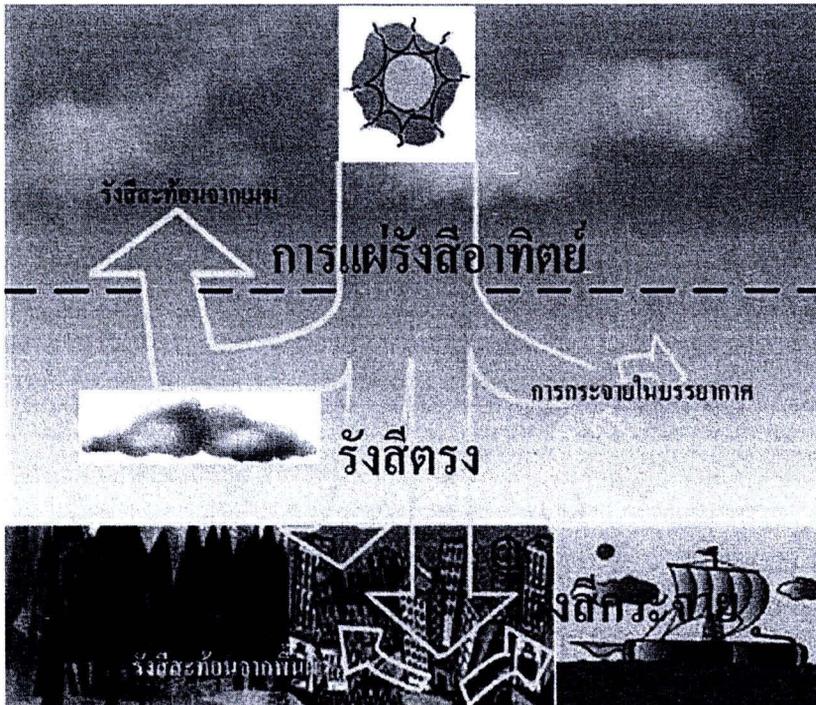


ภาพ 3 ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ที่ตกกระทบพื้นที่หนึ่งหน่วยเหนือ
บรรยากาศโลกในเดือนต่างๆ

2. รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลก [3]

รังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกได้ผ่านกระบวนการดูดกลืนและการแผ่รังสีดวงอาทิตย์โดยก๊าซในบรรยากาศเป็นผลให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไปซึ่งโมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละอองและเมฆทำให้รังสีอาทิตย์กระจัดกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect) ดังภาพ 4 แสดงผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของรังสีอาทิตย์เมื่อเข้าสู่บรรยากาศโลกและพื้นโลก

นอกเหนือจากการดูดกลืนรังสี และการแผ่รังสีโดยก๊าซในบรรยากาศ ทำให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไปจากสเปกตรัมนอกโลกแล้ว โมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละออง เมฆในบรรยากาศยังกระจาย (Scatter) และสะท้อน (Reflect) รังสีดวงอาทิตย์ ทำให้รังสีที่ตกกระทบผิวโลกเปลี่ยนไปจากรังสีที่ตกกระทบเหนือบรรยากาศการเปลี่ยนแปลงนี้มีทั้ง การเปลี่ยนความเข้มรวม การเปลี่ยนความเข้มแสงที่ความยาวคลื่นใด การเปลี่ยนทิศทางเมื่อเทียบกับรังสีเหนือบรรยากาศ



ภาพ 4 ผลกระทบต่างๆ ต่อรังสีดวงอาทิตย์ในบรรยากาศโลก

ประเภทของรังสีดวงอาทิตย์บนพื้นโลกประกอบไปด้วย

รังสีตรง (Direct Radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสง มีทิศทางที่แน่นอน ณ เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศของรังสีตรงอยู่ในแนวลำแสงอาทิตย์ เนื่องจากรังสีตรงมีทิศทางแน่นอนและมีลำแสงขนาน เราจึงสามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีตรงได้

รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) เป็นรังสีดวงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซ ฝุ่นละออง และวัตถุต่างๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสง รังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้าจึงไม่สามารถรวมแสงหรือโฟกัสรังสีกระจายได้

รังสีรวม (Total หรือ Global Radiation) เป็นผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายซึ่งจำกัดเฉพาะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน $4 \mu\text{m}$) ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีของพื้นผิวโลกและบรรยากาศกรณีผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง (incline plane) รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจายจากพื้นผิวโลก อาคารบ้านเรือน ซึ่งเกิดจากส่วนที่สะท้อนกลับจากพื้นโลก รังสีรวมในกรณีนี้เรียกว่า Total Radiation เมื่อผิวรับแสงเป็นพื้นราบ (horizontal plane) รังสีรวมบนพื้นราบประกอบด้วยรังสีตรง

และรังสีกระจายที่มาจากเครื่องทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีรังสีกระจายที่มาจากผิวโลก รังสีรวมบนพื้นราบ เรียก Global Radiation

เนื่องจากปริมาณเมฆ ฝุ่น หมอกควัน ต่างกันตามฤดูกาล ดังนั้นปริมาณรังสีรวม รังสีกระจายและรังสีตรงเปลี่ยนไปทั้งปี ในประเทศไทยฤดูแล้งมีค่ารังสีรวมและรังสีตรงสูงเพราะท้องฟ้าโปร่ง ในขณะที่ฤดูฝนจะมีรังสีรวมน้อยและรังสีส่วนมากเป็นรังสีกระจาย

3. การวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์

เครื่องมืออุปกรณ์สำหรับการวัดพลังงานแสงอาทิตย์ ได้แก่ ไพรานอมิเตอร์ (Pyranometer) สำหรับวัดรังสีรวมประเภทรังสีรวมบนพื้นราบ (Global Radiation) และไพเรลิโอมิเตอร์ (Pyrheliometer) สำหรับวัดรังสีตรง (Direct Radiation)

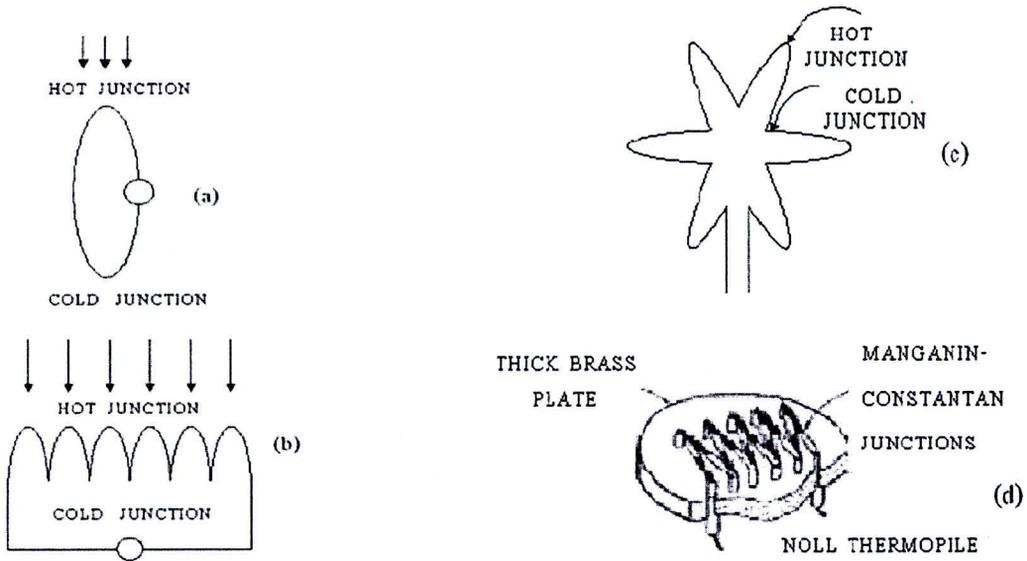
พลังงานแสงอาทิตย์มีวิธีการวัดโดยวัดค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ (Irradiation) โดยที่ค่าความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ คือความเข้มของกำลังงานที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์ช่วงขณะนั้นๆ บ่งบอกด้วยหน่วยของวัตต์ต่อตารางเมตร (W/m^2)

การวัดรังสีรวม [1]

การวัดความเข้มรังสีรวมเครื่องมือที่ใช้วัดรังสีรวมคือไพรานอมิเตอร์ เป็นเครื่องมือวัดรังสีดวงอาทิตย์พื้นฐานที่สุด โดยทั่วไปประกอบด้วยตัวรับแสง (light detector or receiver) ซึ่งแบ่งออกตามชนิดของตัวรับแสง ตัวรับแสงที่ใช้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆ ได้แก่ ตัวรับแสงที่อาศัยหลักการทางความร้อน (Thermal detector) และอาศัยหลักการตรวจจับโฟตรอน (Photo detector)

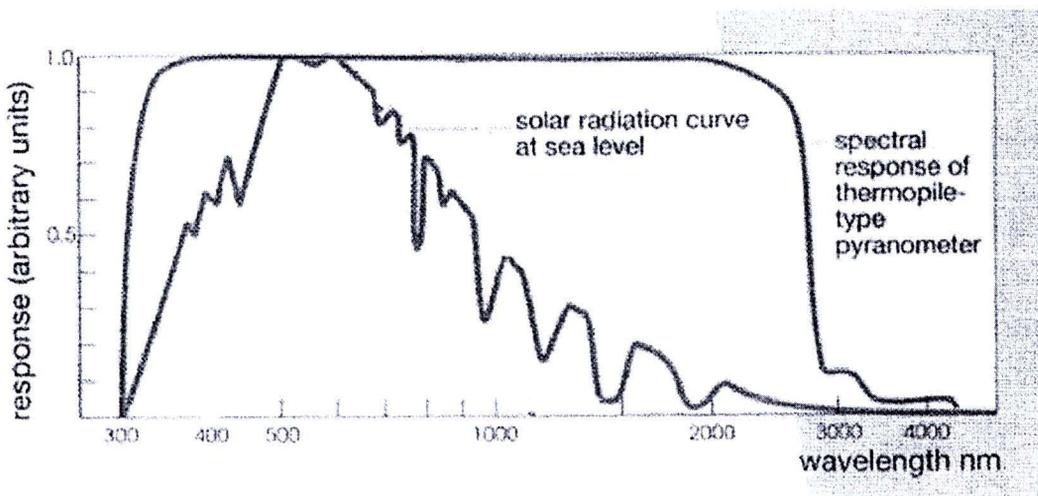
ตัวรับแสงที่อาศัยหลักการทางความร้อนทำงานโดยการดูดกลืนพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบแล้วทำให้เกิดความร้อนขึ้น ซึ่งอุณหภูมิของตัวตรวจจับจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มรังสีอาทิตย์ที่ตกกระทบ ตัวรับแสงประเภทนี้ที่นิยมและใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันคือเทอร์โมไพล์ (thermopile)

ตัวรับแสงชนิดที่เป็นเทอร์โมไพล์ประกอบด้วยเทอร์โมคัปเปิล (thermocouple) ที่ต่ออนุกรมกัน ดังภาพ 5 และตัวเทอร์โมคัปเปิลประกอบด้วยโลหะ 2 ชนิด มีปลายทั้งสองด้านเชื่อมติดกัน ผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้า โดยแรงเคลื่อนไฟฟ้าจะแปรตามผลต่างของอุณหภูมิ และถ้าเราปล่อยให้ปลายด้านหนึ่งของเทอร์โมคัปเปิลรับแสง (hot junction) และปลายอีกข้างหนึ่งไม่ถูกแสง (cold junction) จะทำให้อุณหภูมิทั้งสองด้านต่างกันแล้วจะทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าซึ่งแรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ได้จะแปรตามความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ

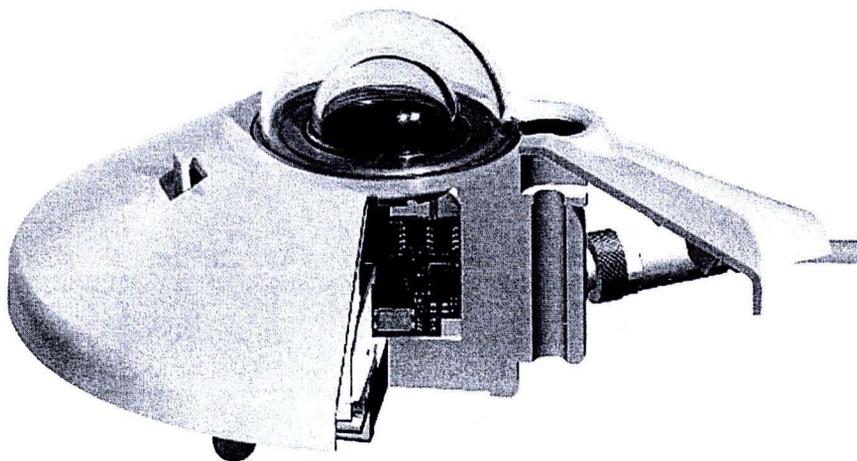


ภาพ 5 ลักษณะของเทอร์โมไพล์

ในไพรานอมิเตอร์ กลุ่มของรอยต่อร้อนและรอยต่อเย็น จะอยู่ใต้ผิวและสัมผัสกับผิวรับแสงที่ดูดแสงได้ต่างกันทำให้ผิวมีอุณหภูมิต่างกัน อุณหภูมิที่ต่างกันจะแปรตามความเข้มแสงอาทิตย์ ดังนั้นการต่อเทอร์โมคัปเปิลอย่างอนุกรมเป็นเทอร์โมไพล์ จะทำให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นและง่ายต่อการวัด



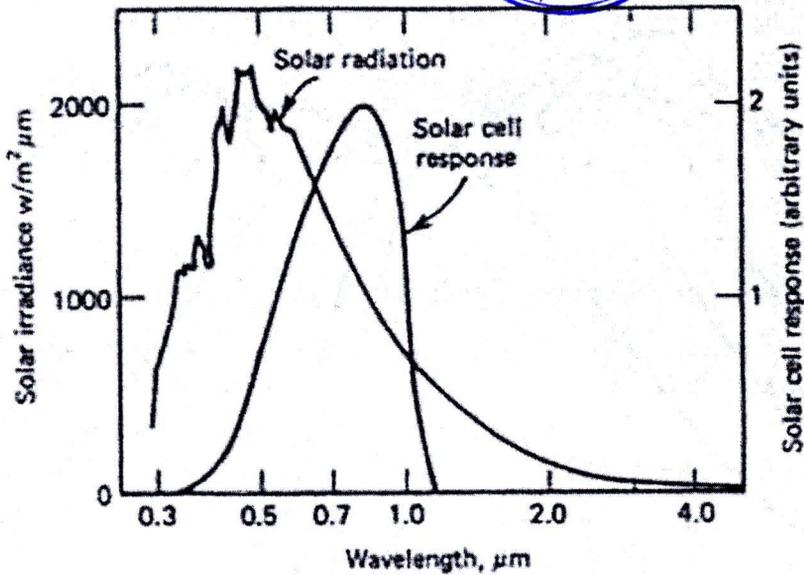
ภาพ 6 การตอบสนองสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ของไพรานอมิเตอร์แบบเทอร์โมไพล์



ภาพ 7 ไพรานอมิเตอร์แบบเทอร์โมไฟล์

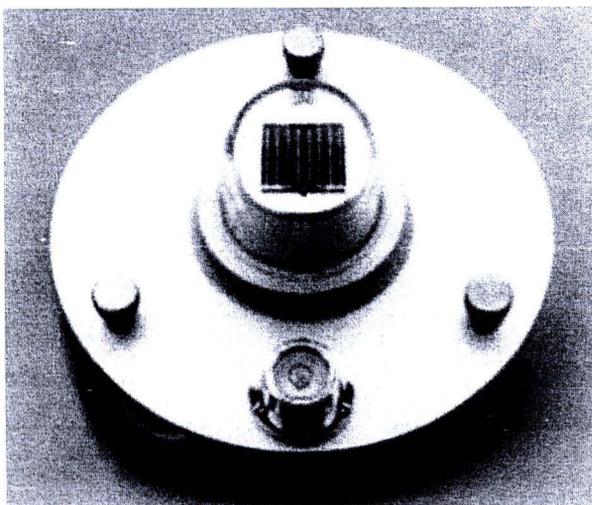
ไพรานอมิเตอร์แบบเทอร์โมไฟล์ดังภาพ 7 โดยทั่วไปประกอบด้วยโดมครึ่งทรงกลมปกติมี 2 ชั้น ทำด้วยควอทซ์หรือแก้วพิเศษที่โปร่งใสต่อช่วงสเปกตรัมแสงอาทิตย์ (ประมาณ 0.3 - 3 ไมโครเมตร) โดมทำหน้าที่ป้องกันตัวรับแสงจากฝน ความชื้น ฝุ่น และลม (ซึ่งจะพาความร้อนไปจากตัวรับแสง ทำให้อุณหภูมิลดลง และแรงดันไฟฟ้าลดลง) และไม่ให้อุณหภูมิตัวรับแสงเสียความร้อนไปเนื่องจากการพาและการแผ่รังสีความร้อน (ควอทซ์และแก้วที่บดอินฟราเรดแต่ที่บดต่างกัน) เนื่องจากตัวรับแสงต้องวัดค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่มาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้าเท่านั้น จึงต้องป้องกันรังสีที่สะท้อนจากพื้นดินและสิ่งรอบด้าน โดยมีจาน (guard) สวมอยู่โดยรอบโดมกันรังสีที่สะท้อนตัวไพรานอมิเตอร์มีสกรูปรับระดับ โดยปกติจะปรับให้ตัวรับแสงอยู่ในแนวราบ

อีกประเภทคือตัวรับแสงที่อาศัยหลักการตรวจจับโฟตรอนได้แก่ ตัวรับแสงแบบโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic) โฟโตคอนดักทีฟ (Photoconductive) และโฟโตอิมิตซีฟ (Photoemissive) โดยแบบที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบันคือแบบโฟโตโวลตาอิก เมื่อเทียบกับตัวรับแสงแบบเทอร์โมไฟล์มีข้อดีคือ ราคาถูกกว่ามาก ที่ระดับสัญญาณสูงกว่า และตอบสนองได้เร็วกว่ามาก ส่วนข้อด้อยคือผลของการตอบสนองมุมโคไซน์ (Cosine response) มีมากกว่า และไม่ตอบสนองทุกช่วงความยาวคลื่นของรังสีดวงอาทิตย์ คือตอบสนองช่วงความยาวคลื่น 0.3 - 1.1 μm ดังภาพ 8 แต่อย่างไรก็ตามช่วงความยาวคลื่นที่โซลาร์เซลล์ตอบสนองนั้น เป็นช่วงส่วนใหญ่ของพลังงานรังสีดวงอาทิตย์ ดังนั้นความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากการตอบสนองสเปกตรัมอยู่ในระดับที่สามารถยอมรับได้สำหรับการใช้งานหลาย ๆ ประเภท



ภาพ 8 การตอบสนองสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ของโซลาร์เซลล์

ไพรานอมิเตอร์ที่ใช้ตัวรับแสงแบบโฟโตโวลตาอิกที่นิยมคือ โซลาร์เซลล์ (solar cell) ซึ่งเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าด้วยปรากฏการณ์แบบโฟโตโวลตาอิก พลังงานไฟฟ้าที่ได้ขึ้นกับค่าความเข้มแสงอาทิตย์ ไพรานอมิเตอร์ชนิดนี้จะมีลักษณะดังภาพ 9



ภาพ 9 ไพรานอมิเตอร์แบบตัวรับแสงเป็นโซลาร์เซลล์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่... 1. 3. พ.ย. 2555
เลขทะเบียน..... 249752
เลขเรียกหนังสือ.....

ปกติไพโรนอมิเตอร์วัดค่าความเข้มแสง (solar radiation intensity, power flux) ให้ค่าออกเป็นแรงดันไฟฟ้า การหาค่าความเข้มแสงจะต้องใช้ค่าปรับเทียบ (calibration factor) ระหว่างความเข้มแสงและแรงดันไฟฟ้าจากตัวรับแสงจากผู้ผลิตซึ่งมากับเครื่อง ถ้าใช้ประกอบกับอุปกรณ์แสดงผลอิเล็กทรอนิกส์จะอ่านค่าความเข้มได้โดยตรง นอกจากนั้นถ้าใช้ประกอบกับ electronic integrator จะคำนวณค่าพลังงาน (solar energy) ในช่วงที่ integrate หาพลังงานได้ปกติจะหาพลังงานเป็นรายชั่วโมงหรือรายวัน องค์การอุตุนิยมวิทยาโลกได้แบ่งไพโรนอมิเตอร์วัดรังสีรวมเป็น 3 ระดับ ดังตาราง 1

ตาราง 1 รายละเอียดของไพโรนอมิเตอร์ตามการแบ่งขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก

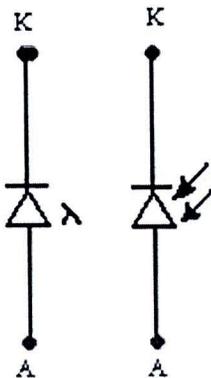
	Secondary standard	1 st class	2 nd class
Resolution($W.m^{-2}$)	± 1	± 5	± 10
Stability (% change per year)	± 1	± 2	± 5
Temperature (maximum error due to change of ambient temperature -%)	± 1	± 2	± 5
Selectivity (maximum error due to departure from assumed spectral response -%)	± 1	± 2	± 5
Linearity (maximum error due to nonlinearity not accounted for -%)	± 1	± 2	± 3
Response Time (99% response)	25 sec	1 min	4 min
Cosine response (deviation from that assumed, taken at sun elevation 10 on clear day-%)	± 3	± 7	± 15
Azimuth response (deviation from that assumed ,taken on clear day -%)	± 3	± 5	± 10

อุปกรณ์เซ็นเซอร์ทางแสง (Photo sensor) [4]

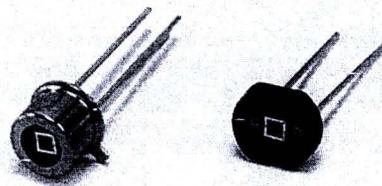
การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ในรูปของพลังงานทางไฟฟ้านั้น จำเป็นต้องพึ่งพาอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้อยู่ในรูปของสัญญาณทางไฟฟ้าเสียก่อน ซึ่งอุปกรณ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ทำหน้าที่ดังกล่าวมีหลากหลายชนิด ที่มีคุณสมบัติความเป็นเชิงเส้นระหว่างสัญญาณทางไฟฟ้ากับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ราคาถูกและหาได้ง่าย ได้แก่ โฟโตไดโอด ตัวต้านทานไวแสง และโซลาร์เซลล์

โฟโตไดโอด (Photo Diode)

โฟโตไดโอด ภาพ 10 เป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ทางแสงที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานในตัวของมันเองเมื่อได้รับพลังงานแสงจากภายนอก โฟโตไดโอด ประกอบด้วยรอยต่อพีเอ็น (p-n junction) การนำโฟโตไดโอดไปใช้งานจะต้องป้อนแรงดันไฟฟ้าในลักษณะไบอัสย้อนกลับ ซึ่งค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อของสารพีเอ็นในโฟโตไดโอดจะมีค่าสูงมาก เนื่องจากขอบเขตของ Depletion Region ถูกขยายให้กว้างขึ้น จึงทำให้ไม่มีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน โฟโตไดโอดได้ เราสามารถทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อพีเอ็นลดลงได้โดยการใช้แสงส่องไประหว่างรอยต่อพีเอ็น พลังงานแสงจะเข้าไปยังเขตของบริเวณปลอดพาหะ (Depletion Region) และสร้างอิเล็กตรอนอิสระขึ้นมาทำให้ค่าความต้านทานระหว่างรอยต่อลดลง กระแสไฟฟ้าจึงสามารถไหลผ่านโฟโตไดโอดได้ สภาพการนำไฟฟ้าของโฟโตไดโอดขึ้นอยู่กับความเข้มของแสง ถ้าความเข้มของแสงมากจำนวนอิเล็กตรอนอิสระก็จะเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านโฟโตไดโอดได้มากขึ้นตามไปด้วย



(ก)

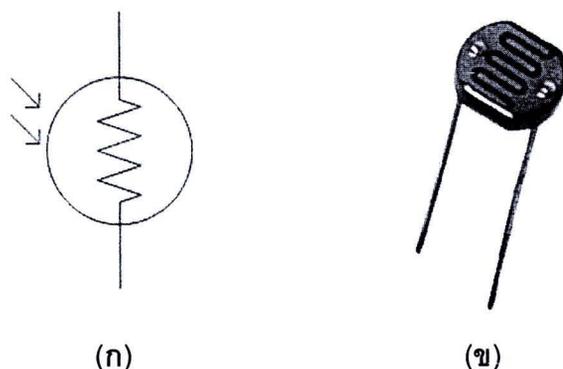


(ข)

ภาพ 10 (ก)สัญลักษณ์ของโฟโตไดโอด (ข)ลักษณะของโฟโตไดโอด

แอลดีอาร์

แอลดีอาร์ (LDR : Light Dependent Resistor) คือ ความต้านทานชนิดที่ไวต่อแสง กล่าวคือตัวความต้านทานนี้สามารถเปลี่ยนสภาพทางความนำไฟฟ้า ได้เมื่อมีแสงมาตกกระทบ บางครั้งเรียกว่า “โฟโตรีซิสเตอร์ (Photo Resistor)” หรือ “โฟโตคอนดักเตอร์ (Photo Conductor)” เป็นตัวต้านทานที่ทำมาจากการกึ่งตัวนำประเภทแคดเมียมซัลไฟด์ (Cds : Cadmium Sulfide) หรือ แคดเมียมซีลีไนด์ (CdSe : Cadmium Selenide) มาฉาบลงบนแผ่นเซรามิกที่ใช้เป็นฐานรองแล้ว ต่อขาจากสารที่ฉาบออกมา โดยความต้านทานจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับแสง



ภาพ 11 (ก) สัญลักษณ์ของแอลดีอาร์ (ข) ลักษณะของแอลดีอาร์

โครงสร้างโดยสังเขปของตัวต้านทานไวแสง ส่วนที่ขีดเป็นแนวเล็ก ๆ สีดำ ทำหน้าที่เป็นตัวต้านทานไวแสง และแนวสีดำนั้นจะแบ่งพื้นที่ของตัวต้านทานออกเป็น 2 ข้าง ซึ่งถ้าดูของจริงจะเห็นว่า ส่วนที่เป็นสีทองนั้นจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ทำหน้าที่สัมผัสกับตัวต้านทานไวแสงและเป็นที่สำหรับต่อขาออกมาภายนอก หรือเรียกว่าอิเล็กโทรด (Electrode) ส่วนที่เหลือจะเป็นฐานเซรามิก และอุปกรณ์สำหรับห่อหุ้มตัวต้านทานไวแสง ตัวต้านทานไวแสงมีผลตอบสนองต่อแสงที่ดีในช่วงแคบ คือในช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400-1000 นาโนเมตร

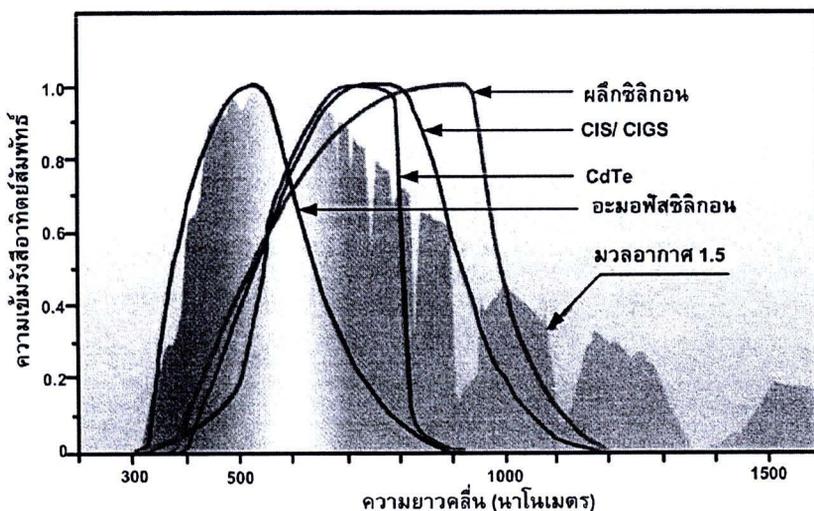
โซลาร์เซลล์ [3]

โซลาร์เซลล์ (Solar cell) เป็นอุปกรณ์ทางไฟฟ้าทำจากสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงเป็นไฟฟ้าโดยตรง อาศัยกระบวนการโฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic Effect) ซึ่งเกิดจากแรงดันไฟฟ้าภายในสารกึ่งตัวนำมีค่าแตกต่างกัน เมื่อได้รับแสงที่มีพลังงานมากพอ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระ โครงสร้างที่สำคัญของโซลาร์เซลล์ประกอบด้วยรอยต่อระหว่างวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันสองชั้น ได้แก่ สารกึ่งตัวนำชนิดพีเป็นขั้วบวก และสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นเป็นขั้วลบ สารกึ่งตัวนำที่นำมาใช้งานในลักษณะดังกล่าวส่วนมากเป็นซิลิคอน

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอน ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดพีผลิตขึ้นจากผลึกของซิลิคอนใช้สารเจือปน คือโบรอน เพื่อทำให้เป็นวัสดุขาดอิเล็กตรอนอิสระ ทั้งนี้การขาดอิเล็กตรอนทำให้เกิดช่องว่างเรียกว่า โฮล (Hole) และการขาดอิเล็กตรอนที่เป็นประจุลบ ทำให้ส่วนนี้เทียบได้กับอนุภาคประจุบวก ส่วนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นผ่านการเติมสารเจือปน คือฟอสฟอรัส เพื่อทำให้เกิดอิเล็กตรอนส่วนเกิน ซึ่งจุดเชื่อมต่อของสารกึ่งตัวนำสองชนิดนี้เรียกว่า รอยต่อพี-เอ็น

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น ได้แก่ อิเล็กตรอนและ โฮล โครงสร้างรอยต่อพี-เอ็นจะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้าภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะนำไฟฟ้าชนิดอิเล็กตรอนไปที่ขั้วลบ และพาหะนำไฟฟ้าชนิดโฮลไปที่ขั้วบวก ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้าแบบกระแสตรงที่ขั้วไฟฟ้าทั้งสอง เมื่อต่อให้ครบวงจรไฟฟ้าจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร และจะให้พลังงานไฟฟ้าอย่างต่อเนื่อง ตราบเท่าที่ยังมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์

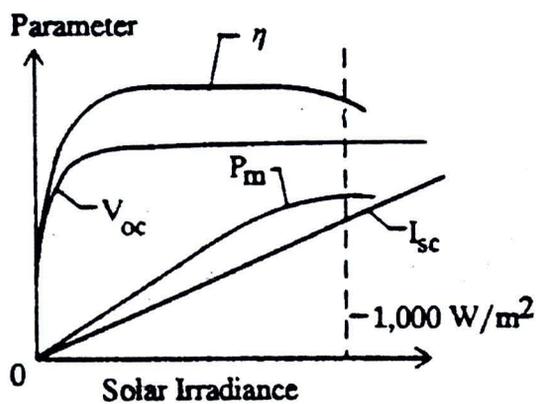
การตอบสนองต่อสเปกตรัมของรังสีดวงอาทิตย์ของโซลาร์เซลล์ชนิดผลึกซิลิคอนจะอยู่ในช่วงประมาณ 380-1100 นาโนเมตร ดังภาพ 12



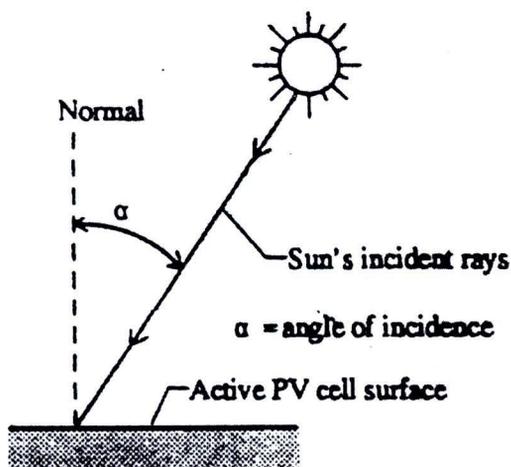
ภาพ 12 การตอบสนองต่อสเปกตรัมแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ประเภทต่างๆ

ลักษณะเอาต์พุตของโซลาร์เซลล์ [5]

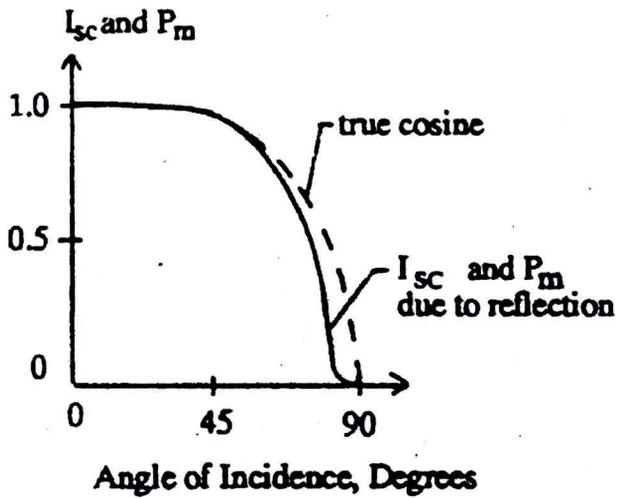
ลักษณะเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมเช่น ความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ อุณหภูมิ และมุมตกกระทบของรังสีดวงอาทิตย์ โดยคุณสมบัติที่สำคัญ ๆ ได้แก่ กระแสลัดวงจร (I_{sc}) ซึ่งจะแปรผันตรงกับความเข้มรังสีอาทิตย์ ดังภาพ 13 กำลังไฟฟ้าสูงสุด (P_m) มีลักษณะเช่นเดียวกับกระแสลัดวงจรแต่จะมีค่าลดลงไปบ้างที่ความเข้มรังสีอาทิตย์ค่าสูง ๆ อันเนื่องมาจากค่าความต้านทานอนุกรมภายในเซลล์ ส่วนแรงดันวงจรเปิด (V_{oc}) จะมีลักษณะความสัมพันธ์เป็นแบบลอการิทึมที่กับความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ นอกจากนี้ทั้ง I_{sc} และ P_m ยังเป็นผลเนื่องจากการมุมตกกระทบด้วย ดังภาพ 15



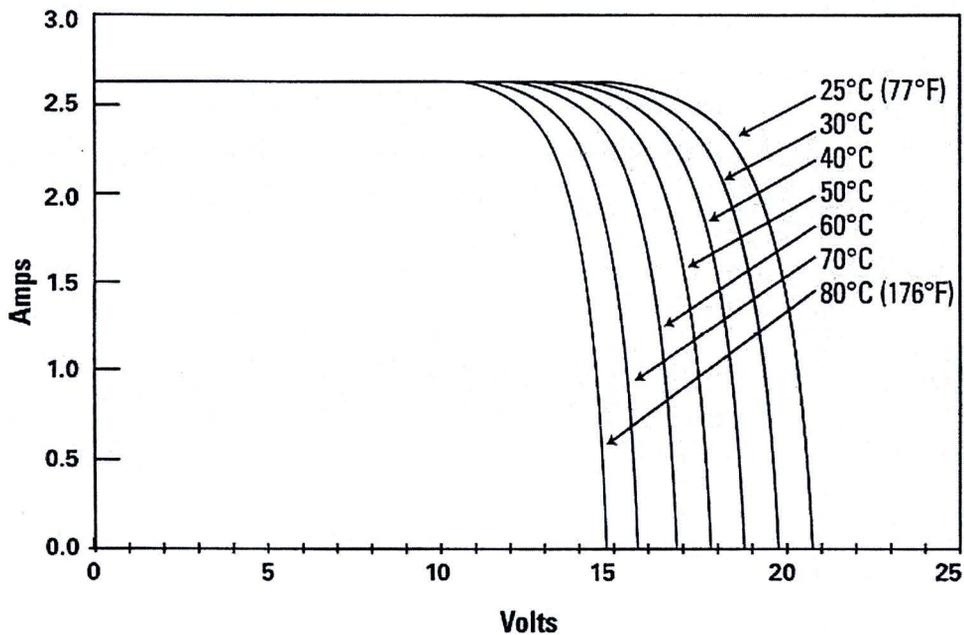
ภาพ 13 ผลของความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ต่อคุณสมบัติของโซลาร์เซลล์



ภาพ 14 แสดงความหมายของมุมตกกระทบ



ภาพ 15 ผลของมุมตกกระทบต่อเอาต์พุตของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพ 16 ผลของอุณหภูมิต่อแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดและกระแสลัดวงจร

ที่สภาวะอุณหภูมิสูงระยะห่างของแถบพลังงานจะลดลงเป็นผลให้แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์มีค่าน้อยลงแต่กระแสไฟฟ้าลัดวงจรเปลี่ยนแปลงน้อยมาก ดังภาพ 16 ทั้งนี้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะลดลงเมื่อความเข้มรังสีดวงอาทิตย์มีค่าน้อย เช่น ในวันที่ท้องฟ้ามีดีคริมมีเมฆบดบัง การบังเงาเนื่องจากเงาต้นไม้ เป็นต้น

ผลของมุมโคซายน์ต่อการวัดรังสีอาทิตย์โดยเซลล์แสงอาทิตย์ [6,7]

ค่าความคลาดเคลื่อนที่สำคัญที่สุดตัวหนึ่งคือผลของมุมโคซายน์ ซึ่งเป็นค่าคลาดเคลื่อนที่มีขนาดมากและยากต่อการแก้ไข ทั้งนี้เพราะคุณสมบัติการดูดกลืนของผิวทั่ว ๆ ไป นอกจากจะขึ้นอยู่กับสีและชนิดของวัสดุแล้ว มุมตกกระทบนับเป็นตัวแปรหลักของความสามารถในการดูดกลืนรังสีอาทิตย์ของวัสดุโดยค่ามุมตกกระทบของแสง ยิ่งมีค่ามากยิ่งทำให้ความสามารถในการดูดกลืนลดน้อยลงไป โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่มุมตกกระทบมากกว่า 80 องศา สำหรับไพรานอร์มิเตอร์รุ่นเก่า ๆ แล้วผลของความคลาดเคลื่อนดังกล่าวสูงถึง 25 % ความสามารถในการดูดกลืนนอกจากจะขึ้นอยู่กับ มุมตกกระทบของแสงแล้ว ยังมีผลมาจากความไม่สมบูรณ์ของตัวห่อหุ้มไพรานอร์มิเตอร์ การติดตั้งหรือการจัดวางไม่ได้แนวระดับ การเอียงของผิวรับแสงรวมทั้งการสะท้อนของแสงภายในตัวไพรานอร์มิเตอร์อีกด้วย

การลดผลของความคลาดเคลื่อนอันเนื่องมาจากผลของมุมโคซายน์หรือการชดเชยผลดังกล่าว อาจทำได้โดยการสอบเทียบไพรานอร์มิเตอร์เพื่อให้ได้ฟังก์ชันการตอบสนองที่มุมต่าง ๆ ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการปรับแก้ข้อมูลที่ได้รับจากการวัด แต่อย่างไรก็ตามการปรับแก้ดังกล่าวไม่เหมาะหรือไม่สามารถใช้ได้กับรังสีกระจาย เพราะทิศทางของรังสีกระจายไม่แน่นอน โดยขึ้นอยู่กับตำแหน่งดวงอาทิตย์ ความขุ่นมัวของบรรยากาศ และอิทธิพลของเมฆเป็นหลัก นอกจากนี้ค่าความคลาดเคลื่อนเนื่องจากผลของมุมโคซายน์ จะมีค่ามากในช่วงมุมดวงอาทิตย์ (sun elevation angle) มีค่าน้อย ๆ ซึ่งช่วงดังกล่าวค่ารังสีตรงจะมีค่าไม่มากเมื่อเทียบกับรังสีกระจาย ดังนั้นการใช้การปรับแก้ดังกล่าวกับรังสีกระจายอาจทำให้ผลการวัดที่ได้มีความคลาดเคลื่อนได้สูง

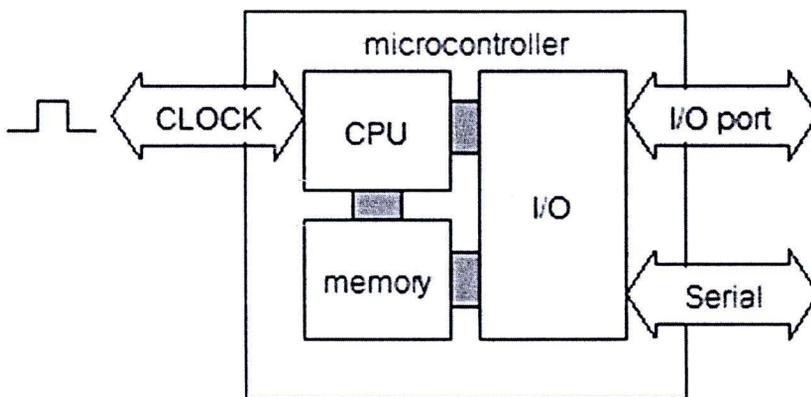
วิธีที่ใช้กันแพร่หลายและได้ผลสำหรับการลดผลหรือการชดเชยผลความคลาดเคลื่อนเนื่องจากมุมโคซายน์ที่นิยมกันมี 2 วิธี คือการใช้ตัวกระจายแสง (Diffuser) รูปร่างพิเศษติดไว้เหนือตัวเซนเซอร์ซึ่งทำให้ความสามารถในการรับแสงที่มุมตกกระทบมาก ๆ ทำได้ดีขึ้น สามารถใช้ได้ดีกับไพรานอร์มิเตอร์ของ EPPIey ที่ใช้วัดรังสีอาทิตย์ในวงอุตสาหกรรมโวลเทจ และการวัดความส่องสว่าง โดยเฉพาะไพรานอร์มิเตอร์ชนิดเซลล์แสงอาทิตย์ วิธีที่สองซึ่งเหมาะกับการใช้วัดรังสีอาทิตย์ในแนวราบ และการวัดรังสีกระจายคือการออกแบบตัวครอบเซนเซอร์ให้มีการชดเชยผลของการสะท้อนรังสีอาทิตย์ให้มีย่านน้อยลง

ไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ไอซี (IC: Integrated Circuit) ที่สามารถโปรแกรมการทำงานได้ซับซ้อน สามารถรับข้อมูลในรูปแบบสัญญาณดิจิทัลเข้าไปทำการประมวลผลแล้วส่งผลลัพธ์ข้อมูลดิจิทัลออกมาเพื่อนำไปใช้งานตามที่ต้องการได้

ไมโครคอนโทรลเลอร์ภายในชิปจะมีหน่วยความจำ, Port อยู่ในชิปเพียงตัวเดียวซึ่งอาจจะเรียกได้ว่าเป็นคอมพิวเตอร์ชิปเดียว ไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นไมโครโปรเซสเซอร์ชนิดหนึ่งเช่นเดียวกับหน่วยประมวลผลกลาง (CPU: Central Processing Unit) ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ แต่ได้รับการพัฒนาแยกออกมาภายหลังเพื่อนำไปใช้ในวงจรทางด้านงานควบคุม คือ แทนที่ในการใช้งานจะต้องวางจรรยาภายนอกต่าง ๆ เพิ่มเติมเช่นเดียวกับไมโครโปรเซสเซอร์ ก็จะทำการรวมวงจรที่จำเป็น เช่น หน่วยความจำ, ส่วนอินพุต/เอาต์พุต บางส่วนเข้าไปในตัว ไอซีเดียวกัน และเพิ่มวงจรบางอย่างเข้าไปด้วยเพื่อให้มีความสามารถเหมาะสมกับการใช้ในงานควบคุม เช่น วงจรตั้งเวลา, วงจรการสื่อสารอนุกรม วงจรแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัล

ไมโครคอนโทรลเลอร์ เปรียบเสมือนเป็นเครื่องคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก ที่สร้างขึ้นมาให้อยู่ในไอซีเพียงตัวเดียว นั่นคือ โครงสร้างภายในของไมโครคอนโทรลเลอร์นั้นประกอบด้วยระบบประมวลผลกลาง (CPU), ระบบหน่วยความจำ (Memory) และระบบอินพุตเอาต์พุต (I/O) อยู่ในตัวเองทั้งหมด [8]



ภาพ 17 โครงสร้างอย่างง่ายของไมโครคอนโทรลเลอร์

ไมโครคอนโทรลเลอร์มีหลายยี่ห้อ หลายตระกูล และหลายเบอร์ด้วยกัน ซึ่งแต่ละเบอร์ก็จะมีโครงสร้างภายในและความสามารถในการทำงานที่แตกต่างกันทำให้เลือกใช้กับงานได้อย่างเหมาะสม ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เช่น

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล PIC (บริษัทผู้ผลิต Microchip ไมโครชิป)

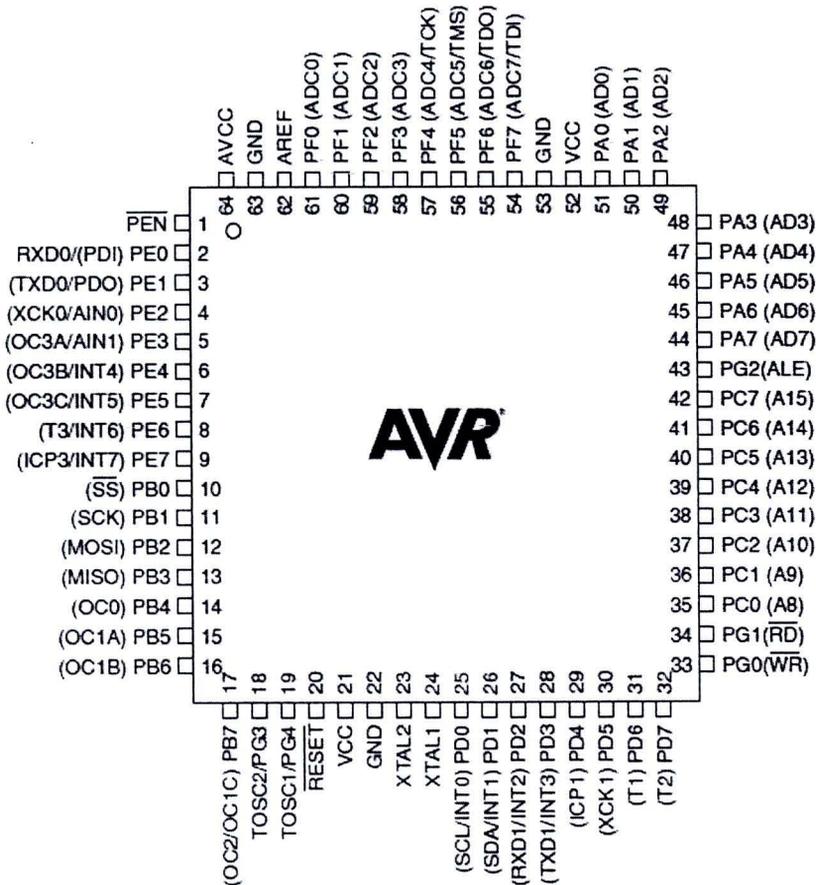
ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล MCS51 (บริษัทผู้ผลิต Atmel, Phillips)

ไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูล AVR (บริษัทผู้ผลิต Atmel)

ภาษาที่ใช้เขียน โปรแกรมควบคุมไมโครคอนโทรลเลอร์ ประกอบไปด้วย ภาษา Assembly, ภาษา Basic, ภาษา C ,ภาษา Pascal

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATMEGA128 ตัวถังแบบ TQFP [10]

ATmega128 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิตตระกูล AVR สถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer) มีตัวถังแบบ Thin Profile Plastic Quad Flat Package (TQFP) การจัดตำแหน่งขาพอร์ตแสดงดังภาพ 18



ภาพ 18 รายละเอียดขา ATmega128

คุณสมบัติที่สำคัญของ AVR ATmega128

ไมโครคอนโทรลเลอร์ขนาด 8 บิต กำลังไฟต่ำ ประสิทธิภาพสูง

สถาปัตยกรรมแบบ RISC (Reduced Instruction Set Computer)

1. 133 คำสั่ง มีความเร็วในการประมวลผล 1 คำสั่งต่อ 1 สัญญาณนาฬิกา
2. รีจิสเตอร์ใช้งาน 32 ตัวขนาด 8 บิต และรีจิสเตอร์ควบคุม
3. ความเร็วในการทำงานสูงถึง 16 MIPS ที่ความถี่สัญญาณนาฬิกา 16 MHz

หน่วยความจำโปรแกรมแบบ Nonvolatile และหน่วยความจำข้อมูล

1. หน่วยความจำข้อมูลแบบ FLASH ขนาด 128 กิโลไบต์ เขียน/ลบได้ 10,000 ครั้ง
2. หน่วยความจำข้อมูล EEPROM ขนาด 4 กิโลไบต์ เขียน/ลบได้ 100,000 ครั้ง
3. หน่วยความจำข้อมูล SRAM ขนาด 4 กิโลไบต์

มีวงจรถักอินเทอร์เฟซแบบ JTAG

โมดูลใช้งานประกอบไปด้วย

1. โมดูลไทมเมอร์/เคาน์เตอร์ ขนาด 8 บิต ตัวพร้อมปริสเกลเลอร์และโหมดเปรียบเทียบ
2. กำหนดให้ทำงานแบบ 16 บิตได้ ด้วยการให้ไทมเมอร์ 2 ตัว ทำงานร่วมกัน พร้อม

ปริสเกลเลอร์ โหมดเปรียบเทียบและโหมดตรวจจับสัญญาณอินพุต

3. ตัวนับเรียงลัทึมกับออสซิลเลเตอร์แยกเฉพาะ
4. โมดูลสร้างสัญญาณ PWM 8 ช่อง
5. PWM 6 ช่องกำหนดความละเอียดได้ตั้งแต่ 2 ถึง 16 บิต
6. โมดูลเชื่อมต่อแบบอนุกรม TWT (Two-wire Serial), SPI และ USART
7. โมดูลแปลงสัญญาณแอนะล็อกเป็นดิจิทัลขนาด 10 บิต
8. โมดูลเปรียบเทียบแรงดันแอนะล็อก

คุณสมบัติพื้นฐานสำหรับไมโครคอนโทรลเลอร์

1. เพาเวอร์อนรีเซตและเบราร์วเอาต์ดีเทคแบบโปรแกรมได้
2. RC ออสซิลเลเตอร์ภายในเพื่อสร้างสัญญาณความถี่
3. แหล่งอินเทอร์รัปต์ทั้งภายในและภายนอก
4. 6 โหมดสลีปประกอบด้วย โหมด Idle, ADC Noise Reduction, Power-save.
5. กำหนดโหมดสัญญาณความถี่นาฬิกาด้วยซอฟต์แวร์ขาพอร์ตอินพุต/เอาต์พุต 53 ขาประกอบด้วยพอร์ต A, B, C, D, F, G

รายละเอียดขาพอร์ต AVR ATmega128

ไมโครคอนโทรลเลอร์ AVR ATmega128 มีจำนวนขาพอร์ตอินพุตเอาต์พุตดิจิทัลทั้งสิ้น 53 ขา พอร์ตประกอบไปด้วยพอร์ต A ถึง F พอร์ตละ 8 บิต และพอร์ต G จำนวน 5 บิต โดยแต่ละขาพอร์ตสามารถทำหน้าที่ได้มากกว่าหนึ่งหน้าที่ โดยหน้าที่พิเศษเพิ่มเติมจะอ้างอิงกับคุณสมบัติของโมดูลต่างๆ มีรายละเอียดดังตาราง 2

ตาราง 2 รายละเอียดขาพอร์ตต่างๆ ของ ATmega128

ขาพอร์ต	ขาพอร์ตฟังก์ชันพิเศษ
PA7	AD7 (ขาเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก แอดเดรสและดาต้า บิตที่ 7)
PA6	AD6 (ขาเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก แอดเดรสและดาต้า บิตที่ 6)
PA5	AD5 (ขาเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก แอดเดรสและดาต้า บิตที่ 5)
PA4	AD4 (ขาเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก แอดเดรสและดาต้า บิตที่ 4)
PA3	AD3 (ขาเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก แอดเดรสและดาต้า บิตที่ 3)
PA2	AD2 (ขาเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก แอดเดรสและดาต้า บิตที่ 2)
PA1	AD1 (ขาเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก แอดเดรสและดาต้า บิตที่ 1)
PA0	AD0 (ขาเชื่อมต่อหน่วยความจำภายนอก แอดเดรสและดาต้า บิตที่ 0)
PB7	OC2/OC1C (โมดูลเปรียบเทียบและสร้างสัญญาณเอาต์พุต PWM สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์ 2 และเคาน์เตอร์1)
PB6-PB5	OC1B/OC1A (โมดูลเปรียบเทียบและสร้างสัญญาณเอาต์พุต PWM ช่อง B/A สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์1)
PB4	OC0 (โมดูลเปรียบเทียบและสร้างสัญญาณเอาต์พุต PWM สำหรับไทเมอร์/เคาน์เตอร์0)
PB3	MISO (ขาสัญญาณ อินพุตมาสเตอร์/เอาต์พุตสเลฟ สำหรับบัส SPI)
PB2	MISI (ขาสัญญาณ อินพุตมาสเตอร์/เอาต์พุตสเลฟ สำหรับบัส SPI)
PB1	SCK (ขาสัญญาณนาฬิกาบัส SPI)
PB0	\bar{SS} (ขาสัญญาณอินพุตเลือกสเลฟ สำหรับบัส SPI)
PC7	A15 (ขาสัญญาณแอดเดรส บิตที่ 15)

ตาราง 2 (ต่อ)

ขาพอร์ต	ขาพอร์ตฟังก์ชันพิเศษ
PC6	A14 (ขาสัญญาณแอดเดรส บิตที่ 14)
PC5	A13 (ขาสัญญาณแอดเดรส บิตที่ 13)
PC4	A12 (ขาสัญญาณแอดเดรส บิตที่ 12)
PC3	A11 (ขาสัญญาณแอดเดรส บิตที่ 11)
PC2	A10 (ขาสัญญาณแอดเดรส บิตที่ 10)
PC1	A9 (ขาสัญญาณแอดเดรส บิตที่ 9)
PC0	A8 (ขาสัญญาณแอดเดรส บิตที่ 8)
PD7	T2 (อินพุตสัญญาณ สำหรับไทเมอร์/เคาเตอร์ 2)
PD6	T1 (อินพุตสัญญาณ สำหรับไทเมอร์/เคาเตอร์ 1)
PD5	XCK1 (ขาอินพุตเอิร์ตสัญญาณนาฬิกาภายนอกสำหรับโมดูล USART1)
PD4	ICP1 (ขาอินพุตตรวจจับสัญญาณของไทเมอร์/เคาเตอร์ 1)
PD3	INT3/TXD1 (ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกช่องที่ 3)
PD2	INT2/TXD1 (ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกช่องที่ 2)
PD1	INT1/SDA (ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกช่องที่ 1)
PD0	INT0/SCL (ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกช่องที่ 0)
PE7	INT7/ICP3 (ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกช่องที่ 7 หรือขาอินพุตตรวจจับสัญญาณของไทเมอร์/เคาเตอร์ 3)
PE6	INT6/T3 (ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกช่องที่ 6 หรือขาอินพุตรับสัญญาณสำหรับไทเมอร์/เคาเตอร์ 3)
PE5	INT5/OC3C (ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกช่องที่ 5 หรือโมดูลเปรียบเทียบและสร้างสัญญาณเอาต์พุต PWM ช่อง C สำหรับไทเมอร์/เคาเตอร์ 3)
PE4	INT4/OC3B (ขาอินพุตอินเทอร์รัปต์เนื่องจากสัญญาณภายนอกช่องที่ 4 หรือโมดูลเปรียบเทียบและสร้างสัญญาณเอาต์พุต PWM ช่อง B สำหรับไทเมอร์/เคาเตอร์ 3)

ตาราง 2 (ต่อ)

ขาพอร์ต	ขาพอร์ตฟังก์ชันพิเศษ
PE3	AIN1/OC3A (อินพุตเปรียบเทียบแรงดันแอนะล็อกด้านลบหรือโมดูลเปรียบเทียบและสร้างสัญญาณเอาต์พุต PWM ช่อง A สำหรับไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 3)
PE2	AIN02XCK0 (อินพุตเปรียบเทียบแรงดันแอนะล็อกด้านบวก หรืออินพุตเอาต์พุตสัญญาณนาฬิกาจากภายนอกสำหรับโมดูล USART0)
PE1	PDO/TXD0 (ขาโปรแกรมข้อมูลเอาต์พุต หรือขาส่งข้อมูลโมดูล UART0)
PE0	PDI/RXD0 (ขาโปรแกรมข้อมูลอินพุต หรือขารับข้อมูลโมดูล UART0)
PF7	ADC7/TDI (ขาอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่องที่ 7 หรือขาทดสอบ JTAG สำหรับอินพุตข้อมูล)
PF6	ADC6/TDO (ขาอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่องที่ 6 หรือขาทดสอบ JTAG สำหรับเอาต์พุตข้อมูล)
PF5	ADC5/TMS (ขาอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่องที่ 5 หรือขาทดสอบ JTAG สำหรับเลือกโหมด)
PF4	ADC4/TCK (ขาอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่องที่ 4 หรือขาทดสอบ JTAG สำหรับสัญญาณนาฬิกา)
PF3	ADC3 (ขาอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่องที่ 3)
PF2	ADC2 (ขาอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่องที่ 2)
PF1	ADC1 (ขาอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่องที่ 1)
PF0	ADC0 (ขาอินพุตสัญญาณแอนะล็อกช่องที่ 0)
PG4	TOSC1 (ขา RTC ออสซิลเลเตอร์ 1 สำหรับไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0)
PG3	TOSC2 (ขา RTC ออสซิลเลเตอร์ 2 สำหรับไทม์เมอร์/เคาน์เตอร์ 0)
PG2	ALE (ขาแลตซ์แอดเดรสสำหรับเอ็นเอเบิลหน่วยความจำภายนอก)
PG1	\overline{RD} (ขาสโตป สัญญาณอ่านข้อมูลหน่วยความจำภายนอก)
PG0	\overline{WD} (ขาสโตป สัญญาณเขียนข้อมูลหน่วยความจำภายนอก)

ค่าความผิดพลาดของเครื่องวัด [11]

ค่าความคลาดเคลื่อน หมายถึง ปริมาณหรือตัวเลขที่แสดงความแตกต่างระหว่างค่าที่แท้จริงของสิ่งที่เราวัด (Expected Value) และค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด (Measured Value)

ความคลาดเคลื่อนอาจจำแนกได้ 3 ประเภท คือ

1. ความคลาดเคลื่อนจากผู้วัด (Gross Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นขณะใช้เครื่องวัด เช่นการอ่านค่าจากเครื่องวัดผิดพลาดการบันทึกข้อมูลในการทดสอบผิดพลาด หรือการใช้เครื่องวัดผิดวิธี

2. ความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ (Systematic Errors) เป็นความคลาดเคลื่อนที่เกิดจากองค์ประกอบต่าง ๆ ในกระบวนการใช้เครื่องวัด ประกอบด้วย

2.1 ความคลาดเคลื่อนในเครื่องวัด (Instrument Errors)

2.2 ความคลาดเคลื่อนจากสภาพแวดล้อม (Environmental Errors)

2.3 ความคลาดเคลื่อนในการสังเกตเพื่ออ่านค่าจากสเกล (Observational Errors)

3. ความคลาดเคลื่อนแบบแรนดอม (Random Errors) ความคลาดเคลื่อนนี้เป็นความคลาดเคลื่อนที่มีค่าต่ำมาก เมื่อเทียบกับความคลาดเคลื่อนโดยผู้วัด และความคลาดเคลื่อนเชิงระบบ จะมีความสำคัญเฉพาะกรณีที่ต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้นสำหรับการคำนวณหาต้องใช้วิธีการทางสถิติ

วิธีการหาค่าความคลาดเคลื่อนในการวัด

กำหนดให้

e = ความคลาดเคลื่อนของการวัด

Y_n = ค่าที่แท้จริงของสิ่งที่วัด

X_n = ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัด

$$e = X_n - Y_n \quad (1)$$

นอกจากนี้ค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนหาได้จาก

$$\text{Percent error} = \left| \frac{e}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (2)$$

แทนค่าสมการที่ 1 ลงในสมการที่ 2 จะได้

$$\text{Percent error} = \left| \frac{X_n - Y_n}{Y_n} \right| \times 100\% \quad (3)$$

ความถูกต้องและความเที่ยงตรง (Accuracy and precision)

ความถูกต้อง (Accuracy) หมายถึง ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดเข้าใกล้เคียงกับค่าที่เป็นจริงมากเพียงใดสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$A = 1 - \left| \frac{X_n - Y_n}{Y_n} \right| \quad (4)$$

$$a = 100\% - \text{Percent error} = A \times 100\% \quad (5)$$

เมื่อ

A = ความถูกต้อง

a = เปอร์เซนต์ความถูกต้อง

ความเที่ยงตรง (precision) หมายถึง ค่าที่อ่านได้จากการวัดแต่ละครั้งเข้าใกล้เคียงกันมากเพียงใดเมื่อทำการวัดสิ่งเดียวกันหลายๆครั้งเราสามารถหาค่าความเที่ยงตรงในการวัดได้จากสมการ

$$\text{Percent} = 1 - \left| \frac{Y_n - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \quad (6)$$

เมื่อ

X_n = ค่าที่อ่านได้แต่ละครั้งจากการวัด

\bar{X}_n = ค่าเฉลี่ยของการวัด

ดังนั้นจะได้สมการที่ 7

$$\bar{X}_n = \frac{\sum X}{n} = \frac{X_1 + X_2 + X_3 + \dots + X_n}{n} \quad (7)$$

เมื่อ

$\sum X$ = ผลรวมของค่าที่อ่านได้แต่ละครั้งจากการวัด

n = จำนวนครั้งที่ทำการอ่านค่า

เปอร์เซนต์ความเที่ยงตรง = Precision x 100% (8)



ความเป็นเชิงเส้น (Linearity) [4]

ความเป็นเชิงเส้นหมายถึงค่าที่อ่านได้จากเครื่องมือวัดมีความใกล้เคียงกับเส้นตรงมากที่สุด ในขณะที่มีการเปลี่ยนแปลงของสัญญาณในการวัดตลอดทั้งย่านการวัด เซ็นเซอร์ส่วนใหญ่จะถูกออกแบบมาเพื่อให้ค่าเอาต์พุตที่วัดได้มีความเป็นเชิงเส้นที่มีความสัมพันธ์กันและเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึงเสมอเป็นอันดับแรก เพราะจะทำให้จำนวนของการเก็บข้อมูลลดลงแต่มีความถูกต้องมากขึ้น ความเป็นเชิงเส้นนั้นพิจารณาจากความสามารถในการสร้างคุณสมบัติของอินพุต โดยสามารถเขียนให้อยู่ในรูปสมการได้ดังนี้

$$y = mx + c \quad (9)$$

เมื่อ y คือ ค่าเอาต์พุต

x คือ ค่าอินพุต

m คือ ความชัน

c คือ ค่าตัดแกนในกรณีที่จุดเริ่มต้นไม่เป็นศูนย์

การสอบเทียบ

การสอบเทียบ (Calibration) เป็นการหาค่าที่ได้ผลที่ถูกต้องเป็นค่ามาตรฐานเปรียบเทียบกับเอาต์พุตของระบบการวัด กระบวนการในการสอบเทียบเป็นผลจากการกำหนดมาตราส่วนของระบบการวัด ถ้าหากว่าผลตอบสนองของเอาต์พุต และ อินพุตของระบบมีค่าเป็นเชิงเส้น การสอบเทียบแบบ จุดเดียว (Single-Point) ก็เพียงพอ นั่นคือเพียงแต่ทราบค่ามาตรฐานทางอินพุตอย่างเดียวเป็นสิ่งสำคัญ ข้อมูลไม่เป็นเชิงเส้นต้องมีค่ามาตรฐานทางด้านอินพุตในการวัดระบบเพื่อสอบเทียบค่าทางด้านเอาต์พุตให้ถูกต้อง [11]

ลำดับขั้นของกระบวนการในการสอบเทียบมีดังต่อไปนี้

การสอบเทียบขั้นปฐมภูมิ (Primary Calibration) เมื่ออุปกรณ์หรือระบบถูกสอบเทียบในขั้นปฐมภูมิ กระบวนการดังกล่าวก็จะถูกจัดอยู่ในเทอมของการสอบเทียบขั้นปฐมภูมิ หลังจากการสอบเทียบปฐมภูมิแล้ว อุปกรณ์ดังกล่าวจะถูกนำไปเป็นอุปกรณ์สอบเทียบขั้นทุติยภูมิ

การสอบเทียบขั้นทุติยภูมิ (Secondary Calibration) เมื่ออุปกรณ์ที่ใช้ในการสอบเทียบขั้นทุติยภูมิถูกใช้ต่อไปในการสอบเทียบอุปกรณ์อื่น จะทำให้ความแน่นอนลดน้อยลงไป การสอบเทียบในขั้นทุติยภูมินี้ใช้งานกันอย่างกว้างขวางในการปฏิบัติงานของห้องทดลองทั่วไปในงานอุตสาหกรรม

การสอบเทียบโดยตรงเมื่อทราบค่าทางด้านอินพุท การสอบเทียบโดยตรงเมื่อรู้ค่าทางด้านอินพุท มีลักษณะเหมือนกันกับความแน่นอนของการสอบเทียบแบบทุติยภูมิ ดังนั้นอุปกรณ์ที่ถูกสอบเทียบโดยตรงจึงใช้เป็นอุปกรณ์สอบเทียบในชั้นทุติยภูมิด้วย ตัวอย่างเช่น มิเตอร์วัดอัตราการไหลที่เป็นแบบเทอร์ไบน์จะถูกสอบเทียบโดยตรงโดยใช้การวัดค่าจริง เช่น การวัดน้ำหนักที่แน่นอนของน้ำในถัง แล้วทำการบันทึกเวลาที่ใช้สำหรับให้น้ำจำนวนนี้ไหลผ่านมิเตอร์ทำนองเดียวกันนี้ มิเตอร์วัดอัตราการไหลตัวนี้ ก็จะถูกใช้เป็นการสอบเทียบชั้นทุติยภูมิของอุปกรณ์วัดอัตราการไหลตัวต่อไป เช่น ออริฟิซมิเตอร์ หรือเวนจูรีมิเตอร์

การสอบเทียบโดยทางอ้อม (Indirect Calibration) การสอบเทียบโดยทางอ้อมนี้เป็นการสมมูลกันระหว่างอุปกรณ์สองตัว ซึ่งสามารถใช้กับการวัดจำนวนทางกายภาพที่มีความแน่นอน

การสอบเทียบย่อย (Routine Calibration) การสอบเทียบย่อยเป็น กระบวนการตรวจสอบเป็นช่วง ๆ โดยดูความแน่นอนและความเหมาะสมในการทำงานของเครื่องมือวัดมาตรฐานที่ทราบค่า ซึ่งสามารถจะทำการตรวจสอบได้ดังนี้

1. การตรวจสอบด้วยตาเปล่า เพื่อหาข้อบกพร่องทางกายภาพ
2. ตรวจสอบเครื่องมือ ดูว่ามีความเหมาะสมในการติดตั้งหรือไม่
3. การปรับค่ามาตราส่วนให้อยู่ในค่าศูนย์ (zero setting)
4. การจัดวางระดับของอุปกรณ์ให้ถูกต้อง
5. ทดสอบการปฏิบัติงานตามคำแนะนำจากผู้ขาย เพื่อตรวจหาข้อบกพร่องใหญ่

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติ ผิวขาว [6] วิจัยเรื่องการสอบเทียบและปรับปรุงความไวของเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ภาคสนามของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยได้ทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของซิลิคอนเซลล์แสงอาทิตย์ไพรานอมิเตอร์ รุ่น PY03 หลังใช้งานมาแล้ว เพื่อปรับปรุงแก้ไขให้ไพรานอมิเตอร์เที่ยงตรงขึ้น ผลการทดสอบการตอบสนองของมุมโคซายน์ที่ทำการเปลี่ยนตัวกระจายแสงทำให้ความผิดพลาดที่เกิดจากมุมโคซายน์ ช่วงมุม 50-70 องศา ลดลง 5% และผลการทดสอบคุณสมบัติ พบว่าสัญญาณเอาต์พุตสูงขึ้น 0.1 % ต่องศาเซลล์เซียส ซึ่งยังอยู่ในข้อกำหนดขององค์การอุตุนิยมวิทยาโลก (WMO) ทำให้ไม่ต้องปรับปรุงผลของอุณหภูมิที่มีต่อไพรานอมิเตอร์

อนุรักษ์ เกษวัฒนากุล [12] ได้ประยุกต์ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์และศึกษาคุณสมบัติของอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เชิงแสงได้แก่ โฟโต้ทรานซิสเตอร์

ไฟโอดีไดโอด LDR และเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก จากการศึกษาพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ขนาดเล็ก วัดค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ให้ผลใกล้เคียงกับอุปกรณ์วัดความเข้มแสงหรือไพรานอ มิเตอร์มากที่สุด

Medugu, Burari and Abdulazeez [13] ได้ทำการศึกษาและสร้างไพรานอ มิเตอร์ หรือ หัววัดรังสีดวงอาทิตย์ที่มีความน่าเชื่อถือ รุ่น RMP001 เนื่องจากในประเทศไนจีเรียขาดแคลน เครื่องมือสำหรับการวัดรังสีดวงอาทิตย์ ต้องนำเข้าในราคาแพงและมีค่าบำรุงรักษาสูง จึงได้ ออกแบบไพรานอ มิเตอร์ที่มี Photodiode เป็นเซนเซอร์ตรวจจับรังสีดวงอาทิตย์ โดยคำนึงถึงการใช้งานจริงมีสอบเทียบเครื่องมือเพื่อความน่าเชื่อถือ และคำนึงถึงต้นทุนในการสร้าง Photodiode ที่ เลือกใช้เป็น BPW21 ซึ่งจะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านเมื่อมีแสงมาตกกระทบที่ผิวหน้าของ Photodiode โครงสร้างของไพรานอ มิเตอร์ทำจากพลาสติกล้อมรอบหัววัด สอบเทียบหัววัดที่สร้าง ขึ้นโดยไพรานอ มิเตอร์มาตรฐาน CMP3 ผลการทดสอบในวันที่ท้องฟ้าเปิดอยู่ในเกณฑ์ดี โดย RMP001 วัดรังสีดวงอาทิตย์ได้ 20.76 W/m^2 เทียบกับ CMP3 วัดรังสีดวงอาทิตย์ได้ 21.7 W/m^2 ที่ เวลาเดียวกัน

Raihan, et al. [14] ได้ออกแบบการวัดรังสีดวงอาทิตย์โดยใช้ซิลิคอนโซลาร์เซลล์เป็น เซนเซอร์ในการวัด และประยุกต์การรับส่งของข้อมูลการวัดด้วยระบบคลื่นวิทยุแบบ FM โดยมี ขั้นตอนเริ่มต้นที่ออกแบบเซนเซอร์วัดรังสีแสงอาทิตย์จากซิลิคอนโซลาร์เซลล์ จากนั้นออกแบบรับ สัญญาณไฟฟ้าจากโซลาร์เซลล์โดยการลดวงจรกระแสไฟฟ้าที่ได้จากรังสีดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบ โซลาร์เซลล์ แล้วแปลงค่าเป็นความต่างศักย์ไฟฟ้า หลังจากนั้นขยายสัญญาณไฟฟ้าให้เหมาะสม ก่อนแปลงเป็นความถี่ ด้วยวงจรแปลงความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นความถี่ เพื่อเชื่อมต่อกับเครื่องส่ง คลื่นวิทยุ FM จากการทดสอบพบว่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่เหมาะสมในการแปลงคือช่วง $0.422 - 2 \text{ V}$ เมื่อเครื่องรับวิทยุรับสัญญาณจากเครื่องส่งได้ก็นำข้อมูลมาวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม LabVIEW

โกวัล สุวรรณนที [15] ได้ศึกษาและออกแบบเครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์ควบคุมและ แสดงผลด้วยโปรแกรม LabVIEW เครื่องดังกล่าวแบ่งการทำงานได้ 2 ส่วน คือ ส่วนฮาร์ดแวร์ทำ หน้าที่รับแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงจากไพรานอ มิเตอร์รุ่น cm11 ส่งสัญญาณให้ส่วนที่ประมวลผล โดยคอมพิวเตอร์ผ่านโปรแกรม LabVIEW ผลที่ได้จากการทดสอบใช้เครื่องเป็นเวลา 3 วัน ณ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี เวลา 8.00 – 18.00 น. โดยวัดค่าทุกๆ 1 นาที ได้ค่าเฉลี่ยรังสีดวง อาทิตย์ที่ได้ประมาณ 598 W/m^2

สรุปทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษางานทฤษฎีและวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า ในการวิจัยด้านพลังงานแสงอาทิตย์ ค่าพารามิเตอร์พื้นฐานที่สำคัญคือความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ เครื่องมือที่ใช้วัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ก็คือไพรานอมิเตอร์ ซึ่งมีราคาแพง ไม่สะดวกในการใช้งานเท่าที่ควรเนื่องจากยังต้องใช้คอมพิวเตอร์หรือดาต้าล็อกเกอร์ซึ่งมีขนาดใหญ่ในการเก็บข้อมูล จึงมีผู้วิจัยหลายท่านพยายามออกแบบและสร้างเครื่องมือวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ขึ้นมาใช้งาน โดยเน้นที่ความถูกต้องของการวัด ราคาถูก มีความสะดวกในการใช้งาน จากงานวิจัยที่ทำการศึกษาพบว่าเซ็นเซอร์ที่เหมาะสมในการวัดความเข้มรังสีดวงอาทิตย์คือโซลาร์เซลล์ขนาดเล็ก แต่ต้องมีการปรับปรุงแก้ไขผลของมุมโคซายน์เพื่อให้ค่าที่วัดมีความเที่ยงตรงมากยิ่งขึ้น โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ควบคุมการวัดและแปลงค่าไปเป็นความเข้มรังสีดวงอาทิตย์ ซึ่งสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประยุกต์ให้เครื่องวัดรังสีดวงอาทิตย์มีความสะดวกในการใช้งานได้ต่อไป