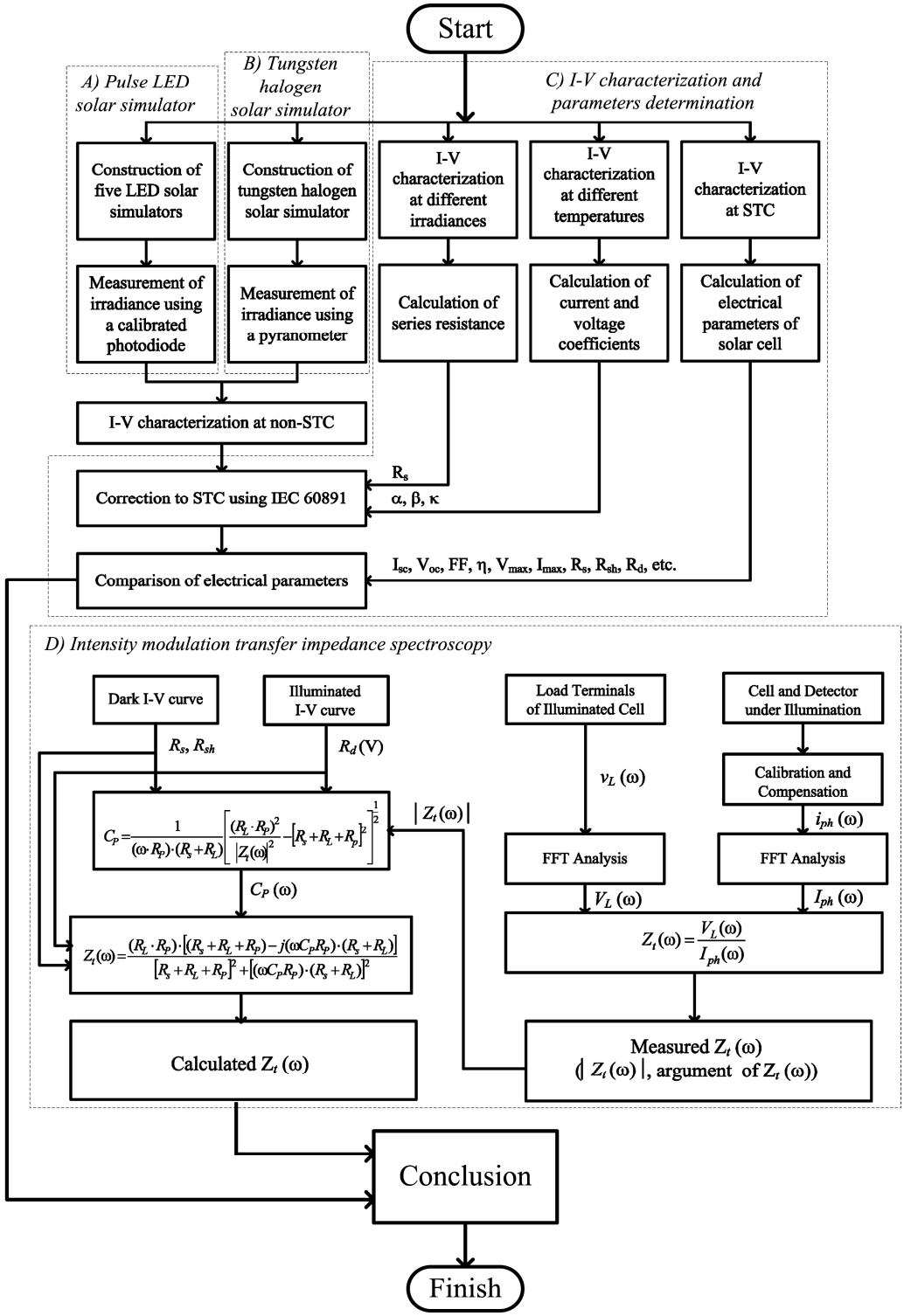
บทที่ 3 วิธีดำเนินงาน

การศึกษาลักษณะพลวัตของเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะมืดและสว่าง มีขั้นตอนหลักแสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 การศึกษาลักษณะพลวัตของเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะมืดและสว่าง ดัดแปลงจาก [101-102]

การทดลองและการวิเคราะห์ มี 4 ขั้นตอน คือ

ก) การสร้างแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม 4 แบบประกอบด้วย

: แหล่งกำเหนิดแสงเป็นไดโอดเปล่งแสง สีขาว แดง เขียว น้ำเงิน จ่ายแรงดันให้ไดโอดด้วยพัลส์แรงดันสูง

: แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน จ่ายแรงดันที่ 100, 110 และ 120 % ของแรงดันพิกัด

: แหล่งกำเนิดแสงเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจนและไดโอดสีน้ำเงิน

: แหล่งกำเหนิดแสงเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจนและไดโอดสีขาว หรือแดง หรือเขียว หรือน้ำเงิน

ข) การหาลักษณะกระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะมืดและสว่าง ภายใต้แสงอาทิตย์เทียม ซึ่งเป็นการวัดนอกสภาวะมาตรฐาน

ค) การเปลี่ยนลักษณะกระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ไปสู่สภาวะมาตรฐาน

ง) การศึกษาลักษณะพลวัตของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์

3.1 แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดไดโอดเปล่งแสง

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดไดโอดเปล่งแสง ถูกสร้างเพื่อใช้ทดสอบลักษณะกระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้สเปกตรัมเดี่ยว (monochromatic) ของไดโอดเปล่งแสงเทียบกับในภาวะมืดและภาวะทดสอบมาตรฐาน มีการดำเนินงานตามที่จะกล่าวต่อไป

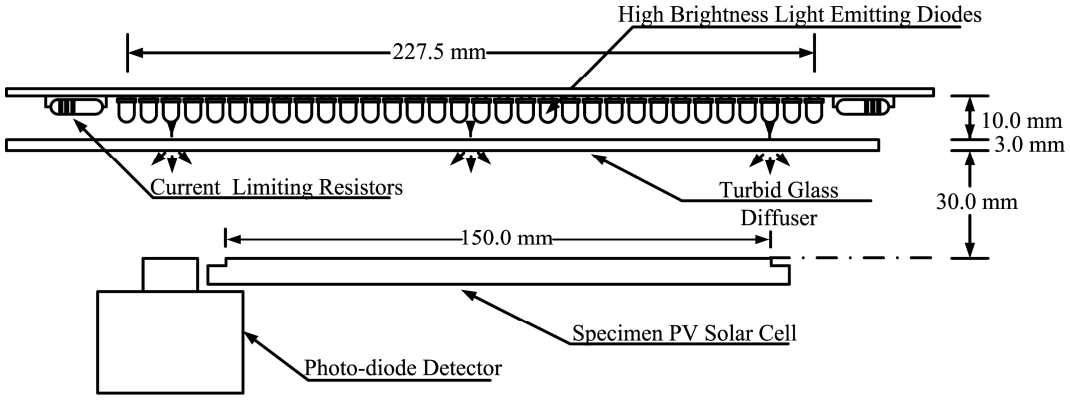
3.1.1 การสร้างแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดไดโอดเปล่งแสง

แผงไดโอดเปล่งแสงมีขนาด 22.8*22.8 ตารางเซนติเมตร ถูกใช้เพื่อสร้างแหล่งกำเนิดแสงสำหรับระบบแสงอาทิตย์เทียม มีรายละเอียดดังนี้

ก) ใช้ไดโอดเปล่งแสง 4 สีคือ สีน้ำเงิน 468 นาโนเมตร (TOL-50aUBdCEa-ETB6) สีเขียว 525 นาโนเมตร (TOL-50bUGdCTa-M4) สีแดง 632 นาโนเมตร (LTL2F3VEKNT) และสีขาว (LTW-2S3D7)

ข) สร้างแผงไดโอดเปล่งแสงสีเดี่ยว 4 แผง (น้ำเงิน เขียวแดง ขาว) แต่ละแผงประกอบด้วยไดโอด 1,024 ตัว แบ่งเป็น 64 สตริงขนาน และแต่ละสตริงมีไดโอด 16 ตัว ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานจำกัดกระแส

ค) สร้างแผงไดโอดเปล่งแสงสีผสม แดง – เขียว – น้ำเงิน ซึ่งประกอบด้วยไดโอด 1,024 ตัว จัดวงจรเป็น 128 สตริงขนาน แต่ละสตริงมีไดโอดแสงสีเดียว 8 ตัว ต่ออนุกรมกับตัวต้านทานจำกัดกระแส มีสัดส่วนของหลอดแดง-เขียว-น้ำเงิน เท่ากับ 35% 33% และ 32% ตามลำดับ



รูปที่ 3.2 โครงสร้างของแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดไดโอดเปล่งแสง [103]

แผงไดโอดเปล่งแสงติดตั้งในตู้ควบคุมอุณหภูมิ วางแผงไว้เหนือแผ่นกระจกฝ้ากระจายแสงระยะห่าง 3 มิลลิเมตร ระยะห่างระหว่างแผ่นกระจกฝ้ากระจายแสงและระนาบทดสอบ(test plane) เท่ากับ 30 มิลลิเมตร โซล่าเซลล์ที่ถูกทดสอบและโฟโตไดโอดดีเทคเตอร์ (13DAS003) ถูกวางบนระนาบทดสอบ แผ่นระบายความร้อนของไดโอดเปล่งแสงถูกระบายความร้อนด้วยลมเย็นเพื่อรักษาอุณหภูมิของแผงให้เท่ากับ 25 องศาเซลเซียส รูประบบแสงอาทิตย์เทียมแสดงดังรูปที่ 3.2

แหล่งจ่ายสัญญาณพัลส์แรงดันสูงสำหรับไดโอด สร้างจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงแรงดันสูง (Xantrex XDD20-600) วงจรจุดชนวนพัลส์โมโนสเตเบิล (LM555 – monostable) และสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์กำลังสูง (IRG4PH40UD) สัญญาณพัลส์สามารถควบคุมขนาดได้ระหว่าง 0-150 โวลต์ ควบคุมความกว้างพัลส์ (pulse width)ในช่วง 0.5-30 มิลลิวินาที และควบคุมคาบเวลา (pulse duration) ด้วยมือ ในการทดสอบ ได้ใช้กำลังงานพัลส์ที่ความกว้างพัลส์และคาบเวลาต่างกัน เพื่อศึกษาเปรียบเทียบการทำงานระหว่างการพัลส์กับการทำงานต่อเนื่อง

ก่อนสร้างแผงไดโอดเปล่งแสง ไดโอดตัวอย่างแต่ละสีถูกทดสอบขนาดพัลส์ที่ทำให้เกิดความเสียหายเนื่องจากอุณหภูมิเพิ่มที่ขึ้น การทดสอบนี้ทำให้พบว่า ในการพัลส์แรงดันช่วง 2-3 เท่าของแรงดันพิกัด ทำให้ไดโอดเปล่งแสงมีค่ากระแสสูงขึ้นในช่วง 8-10 เท่าของพิกัด และสามารถระบายความร้อนได้ด้วยการเป่าลมเย็น ทั้งนี้ ขึ้นกับความกว้างพัลส์ (Pulse width) และคาบเวลาพัลส์ (Pulse period)

3.1.2 คุณสมบัติทางความร้อนและความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดไดโอดเปล่งแสง

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดไดโอดเปล่งแสงแต่ละสี มีการทดสอบดังนี้

ก) ลักษณะทางความร้อนของแผงไดโอดเปล่งแสง เมื่อทำงานแบบพัลส์และแบบต่อเนื่อง

ข) ลักษณะทางแสงของแผงไดโอดแต่ละสี

3.1.2.1 การทดสอบลักษณะทางความร้อนของแผงไดโอดเปล่งแสง

แผงไดโอดเปล่งแสงแต่ละสีถูกเปรียบเทียบระหว่างการทำงานต่อเนื่อง กับการทำงานแบบพัลส์ที่ความกว้างพัลส์ 10 มิลลิวินาที คาบเวลาพัลส์ 1 วินาที เป็นเวลารวมทั้งหมด 300 วินาที และมีการระบายความร้อนแบบธรรมชาติ เมื่อครบกำหนดเวลา 300 วินาที แผ่นระบายความร้อนด้านหลังของแผงไดโอดถูกวัดอุณหภูมิด้วยเครื่องถ่ายภาพความร้อน (IR Thermo-photographer, NEC TH7700N)

3.2.2.2 การทดสอบลักษณะทางแสงของแผงไดโอดเปล่งแสงแต่ละสี

การทดสอบลักษณะทางแสงของแผงไดโอดเปล่งแสงแต่ละสี เมื่อแผงไดโอดถูก ดังรูปที่ 3.2 ประกอบด้วย การวัดความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสง การวัดเสียรภาพของความเข้มแสง และการวัดสเปกตรัมของแสง เพื่อประเมินสมรรถนะของแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม ตามเกณฑ์มาตรฐานไออีซี 60904-9 [66]

การวัดความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสง เป็นการวัดความเข้มแสงบนพื้นงานทดสอบที่แบ่งส่วนเป็นพื้นที่เล็ก ๆ 8*8 ส่วน ในการวัดนั้น โฟโตไดโอดดีเทคเตอร์ (13DAS003 with 13AMP003) ถูกสอบเทียบกับไพรานอมิเตอร์ (Kipp & Zonen CM11) ที่ความเข้มแสงกระแสตรง เพราะไพรานอมิเตอร์มีช่วงเวลาตอบสนองช้า จึงไม่สามารถวัดความเข้มแสงในช่วงเวลา 10 มิลลิวินาทีได้ เมื่อทราบอัตราส่วนระหว่างความเข้มแสง กับค่ากระแสลัดวงจรของโฟโตไดโอดดีเทคเตอร์ ภายใต้แสงจากแผงไดโอดแต่ละสี จึงนำโฟโตไดโอดดีเทคเตอร์ไปวัดความไม่สม่ำเสมอของแสงพัลส์ บนพื้นงานทดสอบขนาด 16*16 ตารางเซนติเมตร ด้วยความละเอียด 8*8 ส่วน และคำนวณค่าความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสงด้วยสมการที่ (2.13)

ในการวัดเสถียรภาพความเข้มแสงตลอดช่วงเวลาพัลส์ 10 มิลลิวินาที ความกว้างพัลส์ที่เลือกนี้ขึ้นกับเวลาในวัดลักษณะกระแส-แรงดันของอิเล็กทรอนิกส์โหลด ความเข้มแสงในช่วงเวลาดังกล่าวถูกวัดด้วยโฟโตไดโอดดีเทคเตอร์ และค่ากระแสลัดวงจรของโฟโตไดโอดดีเทคเตอร์ (13DAS003)

ถูกแปลงสัญญาณเป็นค่าแรงดันด้วยทรานส์อิมพีแดนส์ (Trans-impedance, 13AMP003) และวัดเสถียรภาพในช่วงเวลาดังกล่าว วัดด้วยออสซิลโลสโคป (Textronix 2014) นอกจากนี้ กระแสพัลส์ของแผงไดโอดเปล่งแสงถูกวัดเพื่อเปรียบเทียบลักษณะความเสถียรกับความเข้มแสงด้วย

สเปกตรัมของแผงไดโอดเปล่งแสงแต่ละสี ถูกวัดด้วยเรดิโอมิเตอร์ (StallarNet Fiber Optic Spectometer EEP 2000) เพื่อประเมินสัดส่วนของสเปกตรัมแสงในช่วง 400 ถึง 1100 นาโนเมตร

3.1.3 การวัดลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดพัลส์ไดโอดเปล่งแสง

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนผลึกเดี่ยว ขนาด 12.5*12.5 ตารางเซนติเมตร ผนึกระหว่างกระจก อีวีเอ (EVA) และแผ่นหลังเทดล่า (Tedlar) เป็นเซลล์ทดสอบ ถูกวัดลักษณะกระแส-แรงดันภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมอ้างอิงมาตรฐานไออีซี 60904-1 [35] ในลักษณะต่อไปนี้ คือ

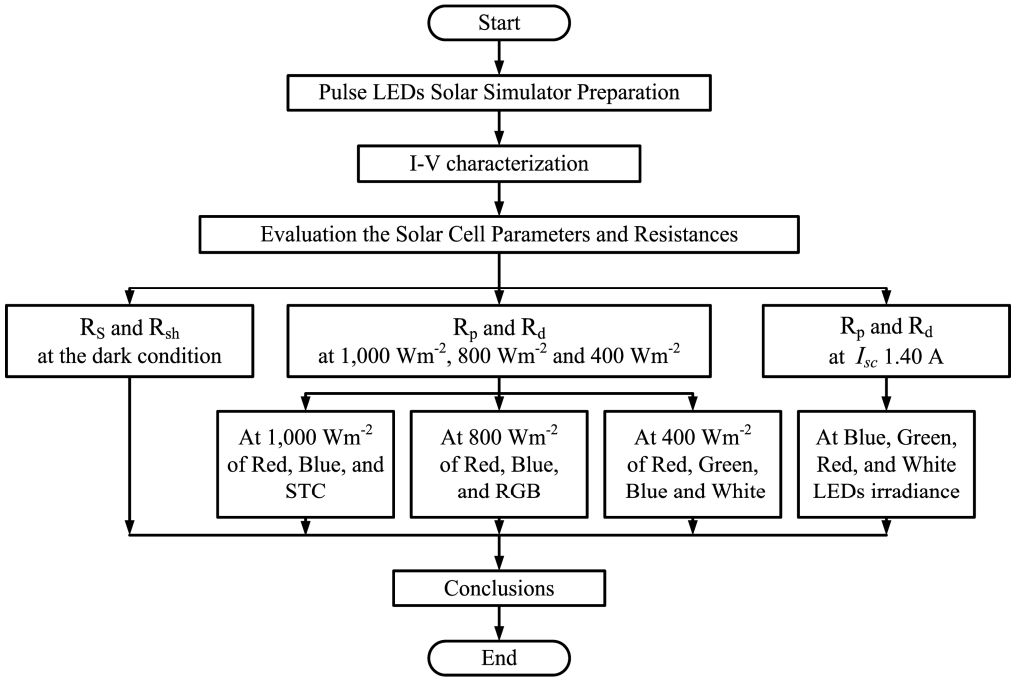
ก) ใช้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชั้นคุณภาพมาตรฐาน เอเอเอ (PASAN Simulator IIIc) แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมนี้วัดเทียบกับเซลล์อ้างอิง สามารถปรับความกว้างพัลส์ได้ 2-10 มิลลิวินาที และสามารถวัดแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้ถึงขนาด 2*2 ตารางเมตร

ข) ใช้ในการทดสอบ ลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ด้วยแสงสีแดง หรือน้ำเงิน

ค) ทดสอบที่ความเข้ม 800 วัตต์ต่อตารางเมตร ด้วยแสงสีแดง สีน้ำเงิน หรือสีผสมRGB

ง) ทดสอบที่ความเข้ม 400 วัตต์ต่อตารางเมตร ด้วยแสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน หรือสีขาว ใช้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมที่เป็นแผงไดโอดสีเดี่ยว 4 แผง และสีผสมแดง – เขียว – น้ำเงิน 1 แผง

เนื่องจากการวัดลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดพัลส์ไดโอดเปล่งแสง เป็นการวัดนอกภาะมาตรฐาน จึงถูกปรับแก้ค่าไปสู่ภาวะมาตรฐานด้วยวิธีการตามมาตรฐานไออีซี 60891 [63] ลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ปรับแก้ค่าไปสู่ภาวะมาตรฐานแล้ว นำมาใช้ในการคำนวณหาค่าสมรรถนะของเซลล์แสงอาทิตย์ กระแสลัดวงจร แรงดันเปิดวงจร กำลังงานสูงสุด ประสิทธิภาพ และฟิลแฟคเตอร์ รวมถึงค่าความต้านทานไดนามิกภายใน ตามขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 การวัดและคำนวณพารามิเตอร์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดไดโอดเปล่งแสง [103]

3.2 แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน มีประเด็นที่ศึกษาประกอบด้วย การสร้างแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน ความเข้มของแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน และ ลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน

3.2.1 การสร้างแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน

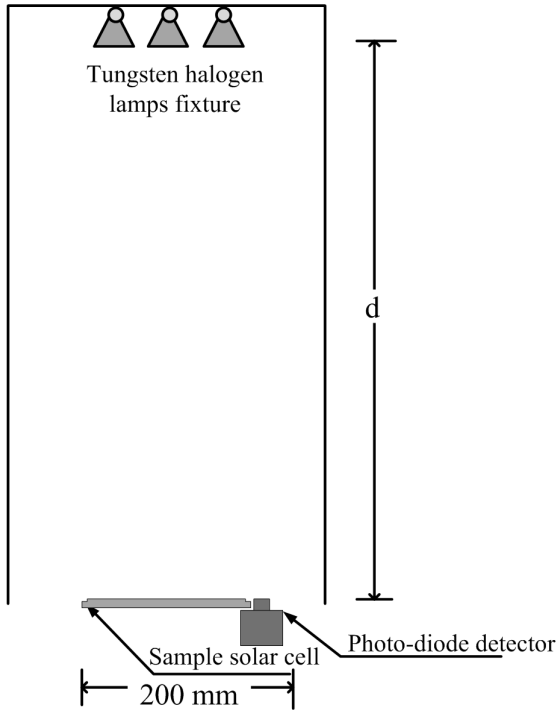
แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจน มีลักษณะสำคัญดังนี้

ก) ใช้หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Philips) พิกัด 12 โวลต์ 50 วัตต์ จำนวน 3*3 หลอด วางในดวงโคมที่สร้างขึ้น ระบายความร้อนโดยธรรมชาติ หลอดทั้งหมดต่ออนุกรมกันเพื่อรับแรงดันไฟฟ้าสูงจากแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคุณภาพสูง (Xantrex XDD20-600)

ข) ในการใช้งาน จ่ายแรงดันหลอดให้มีค่าเท่ากับ 100% 120% และ 140% ของแรงดันพิกัด ทำให้ความเข้มแสงบนพื้นงานทดสอบ ซึ่งวัดด้วยไพรานอมิเตอร์ (Kipp & Zonen CM11)

มีค่าเพิ่มสูงขึ้น และสเปกตรัมแสงที่วัดด้วยเรดิโอมิเตอร์ (StallarNet Fiber Optic Spectometer EEP 2000) มีจุดสูงสุดของสเปกตรัมเลื่อนมาทางสีน้ำเงิน

ค) เพื่อควบคุมความเข้มแสงบนพื้นงานให้คงที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ระยะห่างระหว่างพื้นงานกับหลอดจึงถูกปรับในอัตรา 100% 120% และ 140% ของพิกัด และมีระยะ 42, 62 และ 78 เซนติเมตร ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน

3.2.2 ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน

การวัดความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน มี2 กระบวนการ คือ ก) การควบคุมความเข้มแสง และ ข) การวัดคุณภาพแสง ดังต่อไปนี้

3.2.2.1 การควบคุมความเข้มแสงของหลอดทังสเตนฮาโลเจน

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน มีการควบคุมความเข้มแสงให้คงที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ด้วยการปรับระยะห่างระหว่างหลอดไฟกับพื้นงานทดสอบ เป็น 42, 62 และ 68 เซนติเมตร เมื่อปรับแรงดันของหลอดเท่ากับ 100%, 120%, และ 140% ตามลำดับ ทั้งนี้ เนื่องจากเมื่อแรงดันหลอดเพิ่มสูงขึ้น ทำให้หลอดได้รับกำลังงานเพิ่มและมีอุณหภูมิสูงกว่าเดิม บนพื้นงาน

ทดสอบจึงมีความเข้มแสง (ซึ่งวัดด้วยไพรานอมิเตอร์) เพิ่มสูงขึ้น การเพิ่มระห่างระหว่างพื้นงานกับหลอดสามารถควบคุมความเข้มแสงได้ตามกฎกำลังสองผกผัน (Inverse Square Law)

3.2.2.2 การวัดคุณภาพแสงของแหล่งกำเนิดอาทิตย์เทียมแสงชนิดทังสเตนฮาโลเจน
ความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสงบนพื้นงานทดสอบที่ระยะห่าง 42, 62 และ 68 เซนติเมตร ถูกประเมินค่าด้วยการวัดความเข้มแสงบนพื้นงานขนาด 16*16 ตารางเซนติเมตร ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็น 8*8 ส่วน โดยใช้ไพรานอมิเตอร์ ค่าความเข้มแสงเฉลี่ยของค่าที่วัดได้ทั้ง 64 ค่า ถูกนำไปใช้ในการปรับระห่างให้ละเอียดขึ้น เพื่อควบคุมความเข้มแสงให้ได้ระดับ 1,000 วัตต์ต่อตาราเมตร

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน เป็นแหล่งกำเนิดแสงคงที่ จึงสามารถวัดเสถียรภาพของความเข้มแสงในระยะเวลานานถึง 1 ชั่วโมงได้ ในการทดสอบเสถียรภาพของความเข้มแสง แหล่งกำเนิดแสงทังสเตนฮาโลเจน ถูกเปรียบเทียบระหว่างการรับพลังงานจากแหล่งจ่ายชนิดเรคติไฟร์ (Rectifier Power Supply) กับชนิดคุณภาพสูง (Xantrex XDD 20-60) โดยใช้ไพรานอมิเตอร์วัดความเข้มแสงบนพื้นงานทดสอบเป็นเวลา 60 นาที เพื่อประเมินเสถียรภาพแสง

สเปตรัมของแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน ถูกประเมินจากผลการวัดสเปกตรัมแสง ในการวัดเปรียบเทียบระหว่างแรงดันหลอด 100%, 120%, และ 140% นั้น เรดิโอมิเตอร์ถูกวางไว้ ณ ตำแหน่งความเข้มแสงเฉลี่ยบนพื้นงานทดสอบ สเปกตรัมแสงของหลอดทังสเตนฮาโลเจนที่ถูกเพิ่มแรงดันหลอดให้สูงขึ้น และมีอุณหภูมิสีเปลี่ยนไป จึงถูกนำมาประเมินคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐาน ไออีซี60904-9 [66] ต่อไป

3.2.3 การวัดลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน

เซลล์ทดสอบ ถูกวัดลักษณะกระแส-แรงดันภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมอ้างอิงมาตรฐานไออีซี 60904-1 [35] ในลักษณะต่อไปนี้

(ก) ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร

(ข) ในการทดสอบ มีการควบคุมแรงดันหลอดให้มีค่าเท่ากับ 100% 120% และ 140% ของแรงดันพิกัด โดยพื้นงานทดสอบ (Test plane area) มีระยะห่างจากหลอดเท่ากับ 42, 62 และ 78 เซนติเมตร ตามลำดับ เนื่องจากแรงดันที่จ่ายให้หลอดต่างกัน สเปคตรัมแสงที่ได้จึงต่างกัน และเนื่องจากเป็นการวัดนอกภาะมาตรฐาน ค่าจึงถูกปรับแก้ไปสู่ภาวะมาตรฐานตามมาตรฐานไออีซี 60891 [63]

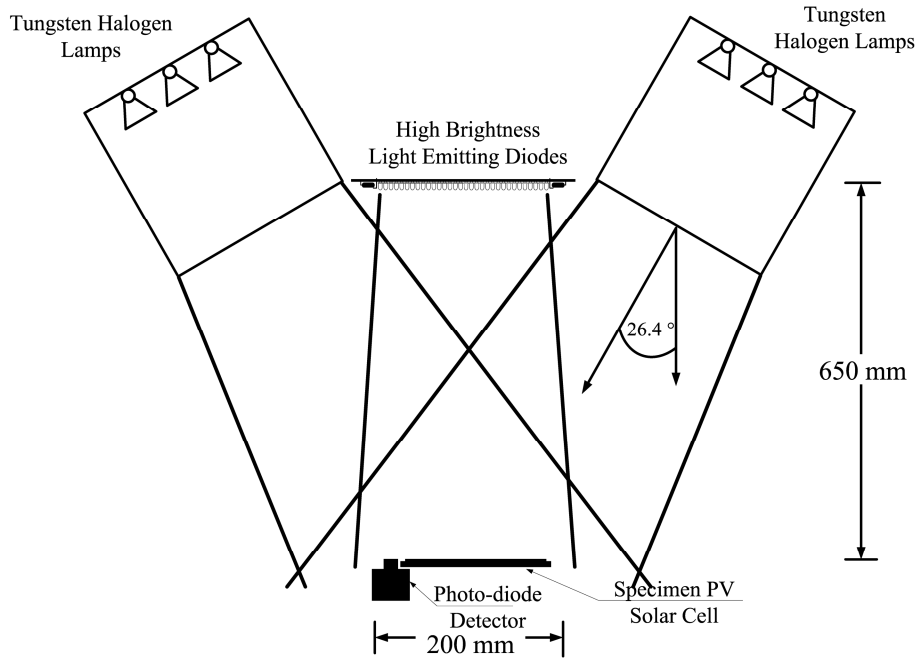
3.3 แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน-ไดโอดเปล่งแสง

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมเป็นหลอดทังสเตนฮาโลเจนและไดโอดเปล่งแสง มีลักษณะที่สำคัญดังนี้

ก) ดวงโคมสำหรับติดตั้งหลอดทังสเตนฮาโลเจน พิกัด 12 โวลต์ 50 วัตต์ 3*3 หลอดต่อโคม จำนวนทั้งหมด 2 ดวงโคม ดวงโคมทังสเตนฮาโลเจนทั้งสองทำมุมเอียง 26 องศา กับแนวระนาบ จ่ายแรงดันพิกัดให้กับหลอดทังสเตนฮาโลเจน

ข) แผงไดโอดเปล่งแสงสีเดี่ยว 4 แผง (น้ำเงิน เขียวแดง ขาว) มีลักษณะเหมือนแผงที่ระบุไว้ในส่วนที่ 3. 1 ถูกวางไว้ตรงกลางระหว่างดวงโคมทังสเตนฮาโลเจนทั้งสอง โดยมีการระบายความร้อนให้แผงไดโอดเปล่งแสงด้วยลมเย็น

ค) ระนาบทดสอบอยู่ใต้แผงไดโอดเปล่งแสงที่ระยะ 65 เซนติเมตร



รูปที่ 3.5 ไดอะแกรมแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน – ไดโอดเปล่งแสง [102]

a) Tungsten-halogen Lamps and White LEDs Array

b) Tungsten-halogen Lamps and Blue LEDs Array

c) Tungsten-halogen Lamps and Green LEDs Array

d) Tungsten-halogen Lamps and Red LEDs Array

รูปที่ 3.6 ภาพถ่ายแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน – ไดโอดเปล่งแสง

3.3.1 ความเข้มแสงของแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน – ไดโอดเปล่งแสง

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน – ไดโอดเปล่งแสง ถูกประเมินคุณภาพโดยใช้เกณฑ์ตามมาตรฐานไออีซี 60904-9 ความเข้มแสงบนพื้นงานทดสอบขนาด 16*16 ตารางเซนติเมตร ซึ่งแบ่งพื้นที่ออกเป็น 8*8 หรือ 64 ส่วน ถูกวัดค่าด้วยไพรานอมิเตอร์ เพื่อใช้ประเมินความเข้มแสงเฉลี่ย และควบคุมความเข้มแสงให้ได้ระดับ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร โดยการปรับละเอียดระยะห่างระหว่างหลอดกับพื้นงานทดสอบ นอกจากนี้ ค่าความเข้มแสงทั้ง 64 ค่า บนพื้นงานทดสอบยังถูกนำไปประเมินค่าความไม่สม่ำเสมอของความเข้มแสงด้วย

ความเข้มแสงบนพื้นงานทดสอบ ถูกวัดด้วยไพรานอมิเตอร์ และบันทึกค่าด้วยออสซิลโลสโคป เป็นเวลา 60 นาที เพื่อประเมินเสถียรภาพของความเข้มแสง และสเปกตรัมแสงถูกวัดด้วยสเปกโตรเรดิโอมิเตอร์เพื่อประเมินคุณภาพแสงในช่วง 400 ถึง 1,100 นาโนเมตร

3.3.2 การวัดลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน – ไดโอดเปล่งแสง

เซลล์ทดสอบ ถูกวัดลักษณะกระแส-แรงดันภายใต้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมอ้างอิงมาตรฐานไออีซี 60904-1 [35] ในลักษณะต่อไปนี้

ก) แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมชนิดทังสเตนฮาโลเจน-ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงินใช้ในการทดสอบลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์ ที่ความเข้มแสง 1,040 วัตต์ต่อตารางเมตร ไดไอดสีน้ำเงินถูกนำมาใช้กับหลอดทังสเตนฮาโลเจนเพื่อเพิ่มแสงส่วนน้ำเงินของสเปคตรัม เพราะสเปคตรัมของหลอดทังสเตนฮาโลเจนที่แรงดันพิกัดมีค่าต่ำ เช่นเดียวกันว่าการวัดนี้เป็นการวัดนอกภาะมาตรฐาน จึงถูกปรับแก้ค่าไปสู่ภาวะมาตรฐานด้วยวิธีการตามมาตรฐานไออีซี 60891 [63]

ข) ทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้แสงที่ได้จากการไบอัสแผงทังสเตนฮาโลเจนได้ที่ความเข้ม 1,007 วัตต์ต่อตารางเมตร และมอดูเลตสัญญาณแรงดันที่จ่ายแผงไดโอดสีแดง สีเขียว น้ำเงิน หรือสีขาว ในช่วงความถี่ 10 ถึง 10,000 เฮิรตซ์ จนความเข้มของแสงจากไดโอดต่ำกว่า 2% ของสัญญาณไบอัส ตามที่จะกล่าวต่อไปในส่วนที่ 4.5

ตารางที่ 3.1 แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมที่พัฒนาขึ้นและการใช้งาน

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม	การใช้งาน
แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม ชนิดไดโอดเปล่งแสง	(ก) ใช้ในการทดสอบ ลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ด้วยแสงสีแดง หรือน้ำเงิน (ข) ทดสอบที่ความเข้ม 800 วัตต์ต่อตารางเมตร ด้วยแสงสีแดง สีน้ำเงิน หรือสีผสมแดง-เขียว-น้ำเงิน (ค) ทดสอบที่ความเข้ม 400 วัตต์ต่อตารางเมตร ด้วยแสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน หรือสีขาว

ตารางที่ 3.1 แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมที่พัฒนาขึ้นและการใช้งาน (ต่อ)

แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม	การใช้งาน
แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม ชนิดทังสเตนฮาโลเจน	(ก) ใช้ในการทดสอบ ลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร (ข) ในการทดสอบ มีการควบคุมแรงดันหลอดให้มีค่าเท่ากับ 100% 120% และ 140% ของแรงดันพิกัด โดยระนาบทดสอบห่างจากหลอดเท่ากับ 42, 62 และ 78 เซนติเมตร ตามลำดับ
แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม ชนิดทังสเตนฮาโลเจน-ไดโอดเปล่งแสงสีน้ำเงิน	ใช้ในการทดสอบ ลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,040 วัตต์ต่อตารางเมตร
แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียม ชนิดทังสเตนฮาโลเจน-ไดโอดเปล่งแสง (แบบเปลี่ยนสีได้)	ใช้ในการทดสอบมอดูเลตความเข้มแสง ด้วยการไบอัสแสงทังสเตนฮาโลเจนด้วยความเข้ม 1,007 วัตต์ต่อตารางเมตร และมอดูเลตสัญญาณแสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน หรือสีขาว ด้วยความเข้มต่ำกว่า 2% ของสัญญาณไบอัส ในช่วงความถี่ 10 ถึง 10,000 เฮิรตซ์

3.4 การทดสอบลักษณะกระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะมืดและสว่าง

การทดสอบลักษณะกระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะมืดและสว่างใช้เป็นข้อมูลหาค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าและความต้านทานของเซลล์แสงอาทิตย์ และเปรียบเทียบพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าดังต่อไปนี้

<u>ภาวะทดสอบมาตรฐาน</u>

ก) ลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะทดสอบมาตรฐาน ใช้เครื่องวัดมาตรฐาน เอเอเอ ซึ่งให้สเปกตรัมแสงที่มวลอากาศ 1.5 ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และเซลล์มีอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในการวัด ค่าพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ถูกใช้

เป็นเกณฑ์อ้างอิงสำหรับการปรับแก้ค่าและการศึกษาค่าพารามิเตอร์ด้วยแหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมอื่นที่สร้างขึ้นในการศึกษานี้

ข) ความต้านทานอนุกรมและความต้านทานขนาน ถูกคำนวณหาค่าด้วยวิธีเส้นโค้งลักษณะกระแส-แรงดันในภาวะมืด ณ อุณหภูมิห้อง โดยใช้สมการที่ (2.3) และพบว่า ความต้านทานอนุกรมที่หาค่าได้จากวภาวะมือและสว่างมีค่าไม่ต่างกัน และเท่ากับ 0.03 โอห์ม จึงนำไปใช้ในการปรับแก้ค่าลักษณะกระแส-แรงดันนอกภาวะมาตรฐานไปสู่ภาวะมาตรฐาน

ส่วนความต้านทานขนานของเซลล์ถูกหาค่าจากเส้นโค้งลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ในภาวะมืด โดยใช้สมการที่ (2.4)

<u>นอกภาวะทดสอบมาตรฐาน</u>

ลักษณะกระแส – แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์นอกภาวะทดสอบมาตรฐาน วัดภายใต้แหล่ง กำเนิดแสง

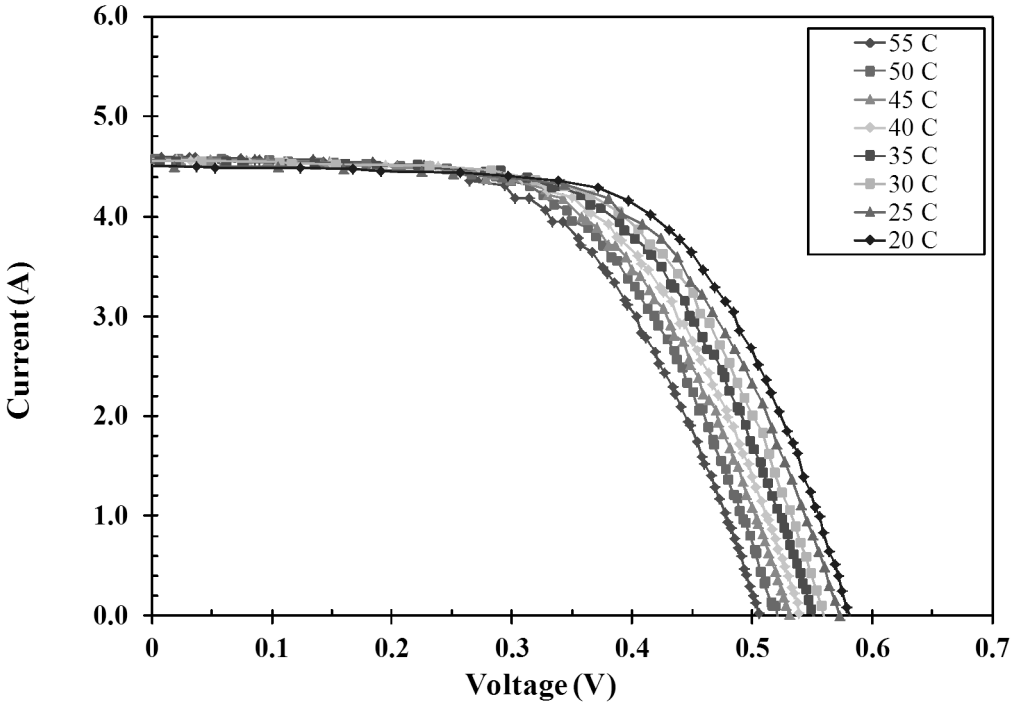
ก) ไดโอดเปล่งแสง ชนิดทังสเตนฮาโลเจน และชนิดผสมทังสเตนฮาโลเจน – ไดโอดเปล่งแสง ที่ระดับความเข้มแสง 1000, 925, 800 และ 400 วัตต์ต่อตารางเมตร ที่อุณหภูมิเซลล์ 25 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.1

ข) ไดโอดเปล่งแสงสีแดง สีเขียว สีแดง และสีขาว ด้วยความเข้มแสง 388, 250, 220, และ 308 วัตต์ต่อตารางเมตร ซึ่งให้ค่ากระแสลัดวงจรเท่ากับที่ 1.40 แอมแปร์ เพื่อนำไปใช้ศึกษาความต้านทานไดนามิกภายในของเซลล์แสงอาทิตย์

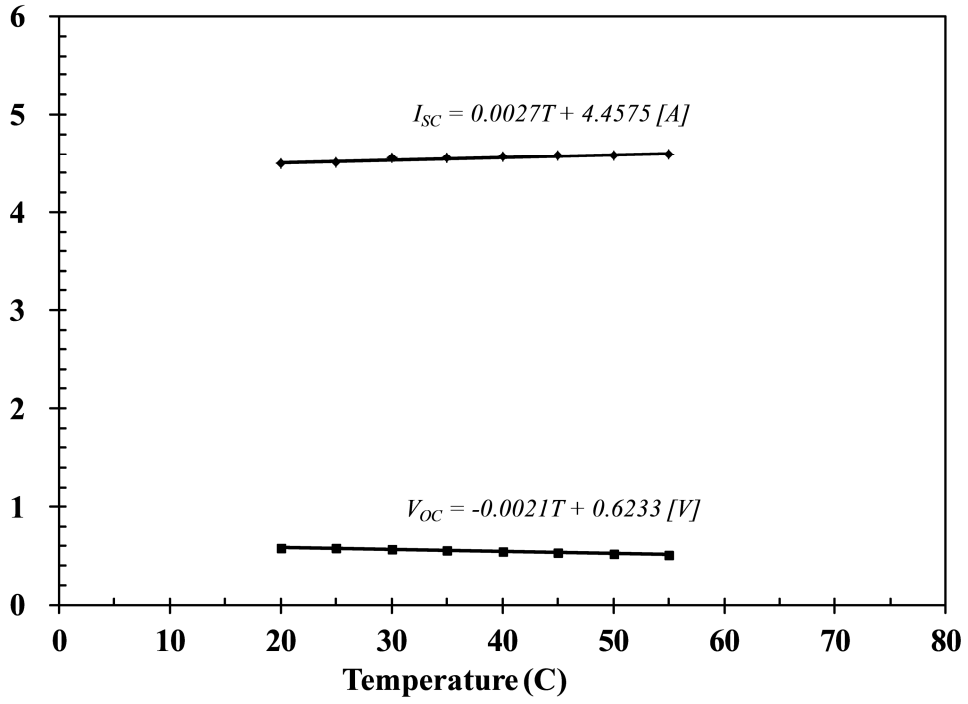
<u>สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของค่ากระแสลัดวงจรและค่าแรงดันเปิดวงจร</u>

การปรับแก้ค่ากระแส –แรงดันนอกภาวะมาตรฐาน อาศัยค่าสัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิของค่ากระแสลัดวงจรและค่าแรงดันเปิดวงจร และ ค่าแฟคเตอร์ปรับแก้เส้นโค้งลักษณะกระแส-แรงดัน ค่าดังกล่าวหาจากค่ากระแส –แรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิต่างกันจำนวน 7 เส้น ใต้แหล่งกำเนิดแสงอาทิตย์เทียมมาตรฐาน เอเอเอ ที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และเซลล์มีอุณหภูมิระหว่าง 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส โดยมีช่วงห่างอุณหภูมิ 5 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 3.7

ในการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ตามอุณหภูมิของแรงดันเปิดวงจร และกระแสลัดวงจร ค่าแรงดันเปิดวงจร และค่ากระแสลัดวงจร ณ ค่าอุณหภูมิ 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส ถูกนำมาพล๊อตกราฟความสัมพันธ์กับค่าอุณหภูมิ และคำนวณสัมประสิทธิ์เชิงเส้นของค่าทั้งสอง ดังรูปที่ 3.8



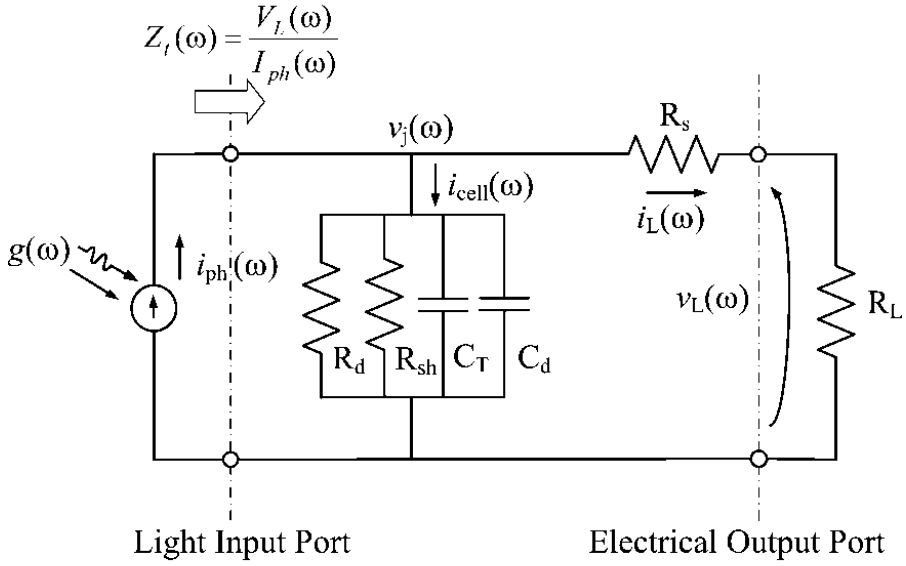
รูปที่ 3.7 ลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่อุณหภูมิ 20 ถึง 50 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.8 ลักษณะเชิงเส้นหรือสัมประสิทธิ์ตามอุณหภูมิค่าแรงดันเปิดวงจรและค่ากระแสลัดวงจร

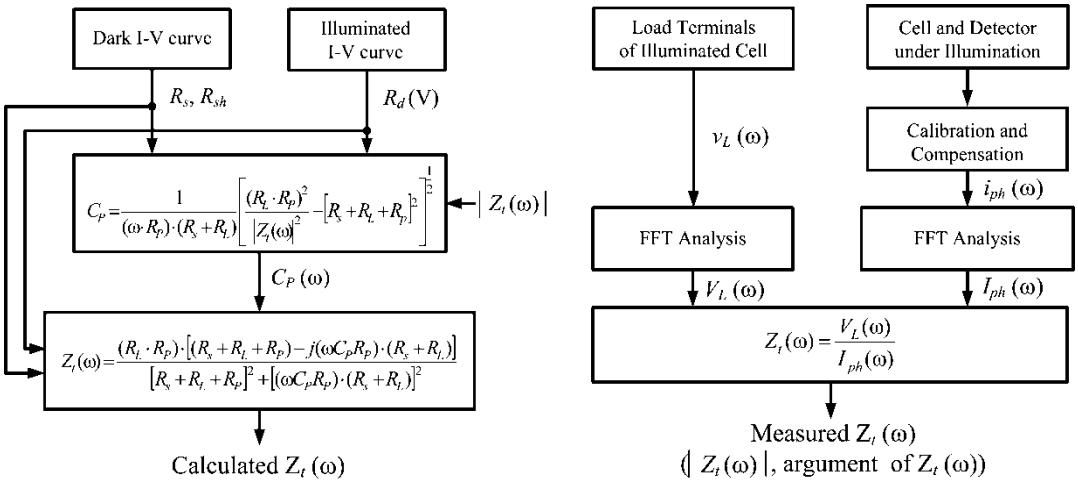
3.5 การศึกษาลักษณะพลวัตของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในส่วนที่ 2.3.3.3 ทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์(transfer impedance) เป็นอัตราส่วนระหว่างค่าแรงดันกระแสสลับ $V_L(\omega)$ ที่โหลดของเซลล์แสงอาทิตย์ กับค่ากระแส สลับที่เกิดจากแสง-โฟโตเคอเรนท์ (photocurrent) $I_{ph}(\omega)$ ที่เกิดในเซลล์แสงอาทิตย์ สามารถพิจารณาได้จากรูปที่ 3.5



รูป 3.9 วงจรสมมูลไดนามิกของโซล่าเซลล์เมื่อถูกแสง

โดยปรกติและในกรณีทั่วไป แสงตกกระทบเซลล์มีค่าค่อนข้างคงที่ กระแสเนื่องจากแสงจะเป็นกระแสตรง เราใช้วงจรสมมูลย์สแตติกอธิบายพฤติกรรมเซลล์ แต่ในการหาทรานเฟอร์อิมพีแดนซ์ แสงตกกระทบประกอบด้วย แสงที่ความเข้มคงที่ (constant bias light) และแสงที่มีอัมปลิจูดเปลี่ยนตามเวลา (alternating signal light) กระแสเนื่องจากแสงจึงมีสองส่วนเช่นกัน คือ กระแสตรงและกระแสสลับ



ก) ทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์และพารามิเตอร์องค์ประกอบ ข) ขั้นตอนการหาทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์

รูปที่ 3.10 การทดลองเพื่อหาทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์

ดังที่นิยามไว้ในสมการที่ (2.58) ในบทที่ 2 และแสดงได้ดังรูปที่ 3.9 ก) ทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ประกอบด้วยพารามิเตอร์ของเซลล์แสงอาทิตย์ 5 ตัว ได้แก่

: ความต้านทานอนุกรม R_Sความต้านทานขนาน R_{SH} ความต้านทานไดนามิกภายในR_D ซึ่งหาได้จากการวัดกระแส-แรงดันเซลล์แสงอาทิตย์ ในสภาะมืดและสภาะสว่าง

: คาปาซิแตนส์ - ทรานสิชันคาปาซิแตนส์ C_T และดิฟฟิวชันคาปาซิแตนส์ C_D

: ความต้านทานโหลดภายนอก R_L ที่ต่อเข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทราบค่า

เมื่อทราบขนาดและอะกิวเมนต์ของทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ ทำให้หาทรานสิชันคาปาซิแตนส์ และดิฟฟิวชันคาปาซิแตนส์ได้ ทั้งนี้ขนาดและอะกิวเมนต์ของทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ได้จากการวิเคราะห์ฟังชั่น $Z(\omega)$ หรือ $V_L(\omega) / I_{ph}(\omega)$ ด้วยเทคนิคฟาสต์ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fast Fourier Transform, FFT)

จากการทดลอง

: แรงดันที่โหลดที่ความถี่ ω หรือ $V_L(\omega)$ สามารถวัดได้โดยตรงหรือเป็นผลคูณของกระแสที่ไหลผ่านโหลดกับค่าโหลดความต้านทาน

: กระแสเนื่องจากแสงหรือกระแสโฟโต $I_{ph}(\omega)$ ไม่สามารถวัดได้โดยตรง เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.5 กระแสโฟโตเป็นผลรวมของกระแส 2 ส่วน คือ

ก) กระแสโฟโตไหลผ่านโหลด วัดได้โดยตรง

ข) กระแสโฟโตไหลผ่านเซลล์ หาได้จากแรงดันตกคร่อมเซลล์ และค่าพารามิเตอร์ R_{Sh} และ R_D ซึ่งทราบค่า และ C_T กับ C_D กระแสโฟโตส่วนนี้ไม่สามารถวัดค่าได้โดยตรง

ในการหาค่ากระแสโฟโตของเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อเซลล์แสงอาทิตย์ได้รับแสงไบอัส จึงกำเนิดกระแสโฟโต เมื่อเซลล์อยู่ในภาวะลัดวงจร สามารถวัดค่ากระแสลัดวงจร (I_{SC}) ของเซลล์แสงอาทิตย์ และนำมาใช้ในการประมาณค่ากระแสโฟโตของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ ดังสมการที่ (2.46) ที่แสดงไว้ในบทที่ 2 ดังนี้

$$i_{ph} = \left(\frac{R_S}{R_d} + \frac{R_S}{R_{sh}} + 1 \right) \cdot i_{sc} \approx \left(\frac{SR \cdot A}{SR_{photo-diode} \cdot A_{photo-diode}} \right) \cdot i_{sc-photo-diode} \qquad (2.46)$$

ณ แต่ละความถี่ ω ของการมอดูเลตสัญญาณแสง แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถวัดได้ที่ขั้วของเซลลซึ่งต่อกับโหลด ส่วนกระแสโฟโตสลับวัดโดยใช้โฟโตไดโอดที่สอบเทียบค่าความเข้มแสงและค่ากระแสแสงของเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อมีแสงมอดูเลตเข้ามาในแต่ละความถี่

การสอบเทียบค่ากระแสแสงมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ก) หาอัตราส่วนการแปลงระหว่างค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์และโฟโต ไดโอด เมื่อมีแสงความเข้มเดียวกันตกกระทบ

ข) กำหนดสมมติฐานว่า กระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ และค่ากระแสลัดวงจรของโฟโตไดโอด มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นภายใต้แสงที่ตกกระทบ

ค) คำนวณชดเชยและปรับแก้ค่ากระแสแสง จากค่าความต้านทานขนาน (6.40 โอห์ม) และค่าความต้านทานอนุกรม (0.3 โอห์ม)

การชดเชยและปรับแก้ค่านี้ ทำให้กระแสแสงมีค่าไม่เท่ากับค่ากระแสลัดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังนั้น เมื่อใช้โฟโตไดโอดวัดความเข้มแสงที่ฉายบนพื้นงาน จากค่ากระแสลัดวงจรของโฟโตไดโอดที่วัดได้ จะสามารถคำนวณหาค่ากระแสลัดวงจร และค่ากระแสแสงของเซลล์แสงแสงอาทิตย์ได้

ทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ ณ ค่าความถี่หนึ่ง มีค่าเท่ากับอัตราส่วนของค่าแรงดันที่ขั้วของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อค่ากระแสแสง ในการทดสอบนั้น สามารถวัดค่าแรงดันที่ขั้วของเซลล์แสงอาทิตย์ได้โดยตรง ส่วนค่ากระแสแสงหาได้จากค่ากระแสลัดวงจรและความต้านทานภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ ตามที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้นจึงคำนวณหาทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ได้

ในการหาค่าคาปาซิแตนส์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ณ ค่าความถี่ ω ที่ทดสอบ ค่าทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ นำมาคำนวณหาค่าคาปาซิแตน์โดยใช้สมการที่ (2.46)

ค่าคาปาซิแตนส์ที่คำนวณได้ ถูกเทียบค่าทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์โดยใช้สมการที่ (2.45) ความแตกต่างระหว่างค่าทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ที่คำนวณได้ กับที่ได้จากการทดสอบ เป็นดัชนีบ่งชี้ความถูกต้องของระบบการวัดนี้

เมื่อสามารถวัดและประมาณค่าแรงดันกระแสสลับที่โหลดของเซลล์แสงอาทิตย์ และค่ากระแสโฟโตกระแสสลับที่กำเนิดภายในเซลล์ จึงสามารถวัดค่าทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ของเซลล์แสงอาทิตย์ตามรูปที่ 3.9 ข) ได้

เมื่อทราบขนาดของทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ของเซลล์แสงอาทิตย์ และนำมาแทนค่าในสมการที่ (2.67) จึงสามารถคำนวณหาค่าคาปาซิแตนส์ของเซลล์แสงอาทิตย์ ดังรูปที่ 3.9 ก) ได้ สุดท้ายจึงนำมาคำนวณและแสดงลักษณะพลวัตของเซลล์แสงอาทิตย์ เปรียบเทียบกันระหว่างโมเดลกับการทดลองได้

3.5.1 ระดับของสัญญาณมอดูเลต

ระดับของสัญญาณมอดูเลต ดังตารางที่ 3.3 เป็นสัญญานขนาดเล็กของไดโอดเปล่งแสง เช่น ในการทดสอบด้วยแสงสีขาว มีสัญญานขนาดใหญ่จากหลอดทังสเตนมีความเข้มคงที่ 1007 วัตต์ต่อตารางเมตร สัญญาณแสงขนาดเล็กจากแผงไดโอดมีความเข้มคงที่ 25 วัตต์ต่อตารางเมตร และแสงไซนูซอยดาลที่มีอัมปลิจูด 20 วัตต์ต่อตารางเมตร ตลอดช่วง 10 Hz ถึง 10 kHz

ตารางที่ 3.2 จุดทำงานในการมอดูเลตความเข้มแสงของแผงไดโอดเปล่งแสง

แผงไดโอด	แรงดันไดโอด (V)	กระแสไดโอด (A)	ความเข้มแสงจากไดโอด (W/m^2)	Modulation ratio (%)
ไดโอดสีแดง	33.0 + 1.8 sinωt	0.36 + 0.2 sinωt	20.0 + 15.0 sinωt	1.5
ไดโอดสีเขียว	55.0 + 5.0 sinωt	1.16 + 0.6 sinωt	24.0 + 10.0 sinω	1.0
ไดโอด สีน้ำเงิน	50.0 + 1.8 sinωt	0.38 + 0.18 sinωt	33.0 + 18.0 sinωt	1.8
ไดโอดสีขาว	50.0 + 5.0 sinωt	0.65 + 0.45 sinωt	25.0 + 20.0sinωt	1.9

3.5.2 การควบคุมแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

เนื่องจากค่าความต้านทานไดนามิกภายในของเซลล์แสงอาทิตย์ เป็นพารามิเตอร์ที่แปรกับลักษณะกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ค่าความต้านทานนี้ขึ้นกับ

ก) ขนาดและความโค้งของลักษณะกระแส-แรงดัน ควบคุมด้วยความเข้มและสเปกตรัมแสง ในการศึกษานี้ ได้ควบคุมการทดสอบลักษณะพลวัตของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้ลักษณะกระแส-แรงดันที่ไม่แตกต่างกัน (เหมือนกัน)

ข) แรงดันจุดทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

โดยทั่วไปแล้ว ความต้านทานไดนามิกภายในและ C_D แปรตามแรงดันที่ตกคร่อมเซลล์ การทดลองหาไดนามิกส์อิมพีแดนซ์ที่ผ่านมา(และหา C_D) โดยเทคนิคอิมพีแดนส์สเปกโตรสโกปี ภายใต้แรงดันไบอัสที่เปลี่ยนไป ใช้การปรับค่าแรงดันแหล่งจ่ายและปรับโหลด วัดทั้งในภาวะมืดและสว่าง สัญญานไฟฟ้าสลับเป็นอินพุทของเซลล์

สำหรับการศึกษานี้ แสงเป็นสัญญาณอินพุทเดียวที่ป้อนให้กับเซลล์ ไม่มีสัญญานไฟฟ้าเป็นอินพุท การปรับแรงดันไบอัสเซลล์จึงทำได้ทางเดียวคือ ปรับค่าความต้านทานโหลด ทำให้กระแสผ่านโหลดและความต้านทานอนุกรมเปลี่ยน แรงดันตกคร่อมโหลดและความต้านทานอนุกรมเปลี่ยนตาม และแรงดันไบอัสเซลล์เปลี่ยนตามต่อมา

3.5.3 การวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์และคาปาซิแตนส์ของเซลล์แสงอาทิตย์

ค่าทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ และคาปาซิแตนส์ตามที่กล่าว ซึ่งเปลี่ยนตามแรงดันไปอัสเซลล์และความถี่ แสดงถึงพลวัตของเซลล์ งานวิจัยนี้ ได้ศึกษาพลวัตเซลล์ภายใต้เงื่อนไขต่อไปนี้

ก) ผลของรูปคลื่นสัญญาณ(signal waveform) ต่อทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ โดยการมอดูเลตด้วยรูปคลื่นสัญญาณสี่แบบคือ ไซนูซอยด์(sinusoidal) สี่เหลี่ยม(square wave) สามเหลี่ยม (triangular) และสามเหลี่ยมฟันเลื่อย (saw tooth)

ข) ผลของสเปกตรัมแสงต่อทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ โดยการมอดูเลตคลื่นสัญญาณไซนูซอยด์ โดยใช้ไดโอดสีแดง เขียว น้ำเงิน และขาว

ค) ผลของแรงดันจุดทำงานต่อลทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ โดยการควบคุมค่าความต้านทานโหลดให้มีค่าเท่ากับ 160, 260, 300, 400 และ 500 มิลลิโวลต์ แล้วมอดูเลตความเข้มแสง เพื่อศึกษาทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ ณ แรงดันจุดทำงานที่กำหนด

ง) ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคาปาซิแตนส์ของเซลล์ โดยควบคุมอุณหภูมิของเซลล์ให้ 300, 315 และ 330 K เพื่อเปรียบเทียบผลของอุณหภูมิที่มีต่อคาปาซิแตนส์ของเซลล์ ณ จุดกำลังงานสูงสุด

จ) แรงดันจุดทำงานต่อลักษณะคาปาซิแตนส์ – แรงดันของเซลล์ โดยหาทรานส์เฟอร์อิมพีแดนส์ ที่อุณหภูมิห้อง ปรับค่าแรงดันไบอัสในช่วง 160 – 500 mV ช่วงละ 20 mV เพื่อศึกษาลักษณะคาปาซิแตนส์ - แรงดันของเซลล์ซิลิกอนผลึกเดี่ยว