

## บทที่ 4

### วิธีการวิจัย

#### 4.1 วัสดุและอุปกรณ์

##### 4.1.1 วัสดุ

1. ไบตะไคร้สด
2. สาหร่ายจืด
- 3 ไบมะนาวสด
4. ไททาเนียมไดออกไซด์ (Titanium dioxide,  $TiO_2$ ) เกรดทางการค้า
5. น้ำยาล้างจานชนิดใสไม่มีสี
6. เมทานอล (Methanol) เกรดงานวิเคราะห์ BDH Laboratory Supplies, England
7. น้ำดีไอออนไนต์ (De-ionized water)
8. กรดอะซิติก (Acetic acid,  $CH_3COOH$ ) ความบริสุทธิ์ 99.8%บริษัท วิทยาศาสตร์

จำกัด

9. อะซิโตน (Acetone,  $(CH_3)_2CO$ ) ความบริสุทธิ์ 99.5% บริษัท แล็บสแกนเอเชีย

จำกัด

10. ไอโอดีน (iodine,  $I_2$ ) ความบริสุทธิ์ 100% BDH Laboratory Supplies, England
11. Tin(IV) chloride pentahydrate ( $SnCl_4 \cdot 5H_2O$ ) ความบริสุทธิ์ 99% (Lump) Aldrich
12. สารละลายอิมัลชัน Ferric chloride ( $FeCl_3$ ) ในคลอโรฟอร์ม (Chloroform,  $CHCl_3$ )
13. โพแทสเซียมไอโอไดด์ (Potassium iodide, KI) ความบริสุทธิ์ 99% Aldrich
14. แผ่นกระจกใส ขนาด  $10 \times 10 \text{ cm}^2$  หนา 3 mm
15. หลอดทดลอง บีกเกอร์ หลอดหยดสารและช้อนตักสาร
16. เทปกาวบางอย่างใส ขนาดความกว้าง 1 cm
17. ถ้วยบดสาร
18. ขวดสเปรย์พื้นละออง
19. เทียนไข

#### 4.1.2 อุปกรณ์

1. เครื่องชั่งดิจิตอลทศนิยม 3 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler รุ่น PG 503-5
2. มัลติมิเตอร์ ยี่ห้อ Fluke รุ่น 197
3. เครื่อง UV/Vis Spectrophotometer ยี่ห้อ Perkin Elmer รุ่น Lamda 35
4. เตาเผาอุณหภูมิสูง รุ่น Furnace 6000
5. สปอตไลท์ ขนาด 500 W ชนิด J
6. นาฬิกาจับเวลา
7. เครื่องวัดค่าการส่องสว่าง (ลักซ์มิเตอร์)
8. เตาให้ความร้อน (Hot Plate) ยี่ห้อ Merit Tech
9. ไมโครมิเตอร์

#### 4.2 วิธีการทดลอง

##### 4.2.1 การเตรียมขั้วไฟฟ้าโปร่งใส

ทำความสะอาดเตาเผาอุณหภูมิสูง โดยการเปิดเตาเผาที่อุณหภูมิ 1,200 °C นานประมาณ 12 ชั่วโมง (เนื่องจากที่อุณหภูมิดังกล่าวจะทำให้การเผาไหม้สมบูรณ์เป็นการลดการปนเปื้อนจากเตาเผา) เมื่อเตาเย็นตัวลง นำกระจก (ขนาด 10×10 cm<sup>2</sup>) ที่ผ่านการทำความสะอาดด้วยอะซิโตน จัดวางบนวัสดุฐานรองทนอุณหภูมิสูงแล้วจึงบรรจุในเตาเผา ปรับอุณหภูมิเตาที่ 650 °C (เนื่องจากเราต้องการอุณหภูมิ 600 °C แต่ในการทดลองครั้งนี้ เราต้องทำการเปิดเตาเผาเพื่อนำกระจกที่เตรียมออกมาฉีดพื้นละอองสารละลาย SnCl<sub>4</sub> แล้วนำกลับเข้าไปจึงทำให้อุณหภูมิลดลงเพื่อเป็นการชดเชยอุณหภูมิที่หายไป จึงต้องปรับอุณหภูมิเตาที่ 650 °C) แล้วจึงเริ่มการเผา เมื่อได้อุณหภูมิตามกำหนด นำกระจกพร้อมฐานรองออกจากเตาและฉีดพื้นละอองสารละลาย SnCl<sub>4</sub> (ละลาย Tin(IV) Chloride Pentahydrate 30 กรัม ในเมทานอล 300 มล. บรรจุในขวดสเปรย์พื้นละออง) อย่างรวดเร็วจำนวน 3 ครั้งต่อแผ่น ดังภาพประกอบที่ 4-1 และนำกลับสู่เตาเผาทันที เผาต่ออีกประมาณ 2 นาทีก่อนนำออกมาฉีดพื้นละอองสารละลาย SnCl<sub>4</sub> และเผาซ้ำทำเช่นนี้รวม 15 รอบ จากนั้นปิดเตาเผาให้กระจกเย็นตัวกลับสู่อุณหภูมิภายในเตาเผา จะได้ขั้วไฟฟ้าโปร่งใสพร้อมใช้ (Tanaka and Suib, 1984) และนำมาวัดค่าความต้านทานเฉลี่ย พบว่าค่าความเฉลี่ยต่อระยะทางเท่ากับ 8.38 kΩ/cm



ภาพประกอบที่ 4-1 การฉีดพื้นละลายสารละลาย  $\text{SnCl}_4$  เพื่อทำให้เกิดการนำไฟฟ้าบนกระจก

#### 4.2.2 การเตรียมสารละลายคลอโรฟิลล์

ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบคลอโรฟิลล์จากใบไม้ของพืช 3 ชนิด ด้วยกันคือจากใบมะนาว ใบตะไคร้และสาหร่ายจิ้งฉ่าย การเตรียมคลอโรฟิลล์ที่ใช้ในการทดสอบค่าการดูดกลืนนี้เตรียมโดยใบของมะนาว ใบตะไคร้และสาหร่ายจิ้งฉ่าย โดยตัดเป็นชิ้นเล็กๆ แช่ในอะซิโตนจำนวน 50 มล. ในขวดขนาด 100 มล. มีฝาปิดสนิท เขย่าขวดอย่างแรงประมาณ 200 ครั้งเพื่อให้ชิ้นใบมะนาว ใบตะไคร้สดและสาหร่ายจิ้งฉ่าย สัมผัสกับอะซิโตนให้ทั่ว จากนั้นตั้งไว้ 24 ชั่วโมง กรองเก็บสารละลายสีเขียวที่ได้ทั้ง 2 ชนิดจากใบมะนาว ใบตะไคร้และสีม่วงแก่จากสาหร่ายจิ้งฉ่าย ทดสอบวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV/Vis Spectrophotometer โดยใช้อะซิโตนเป็น Blank และคลอโรฟิลล์ที่ได้จากการสกัดนี้ได้นำมาประยุกต์ใช้เป็นคายเซนซิไทเซอร์



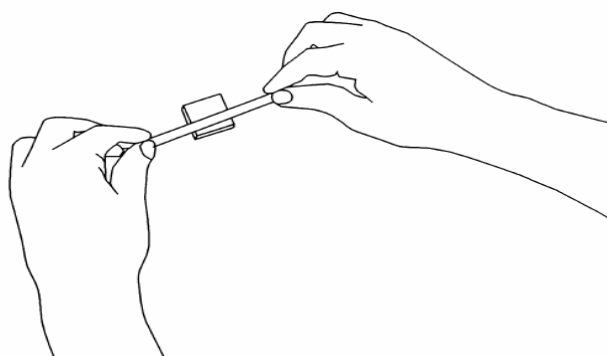
ภาพประกอบที่ 4-2 UV/Vis Spectrophotometer และลักษณะของสารละลายคลอโรฟิลล์

จากผลการวัดค่าการดูดกลืนแสง (ผลอยู่ในบทที่ 5) พบว่าค่าการดูดกลืนแสง ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าการดูดกลืนแสง อยู่ในช่วงวิลิเบิลไลท์ทั้ง 3 ชนิด ค่าการดูดกลืนแสง ที่ได้มีค่าใกล้เคียงกันมาก ผู้วิจัยจึงของเลือกใช้พีชที่สะดวกต่อการดำเนินงานวิจัยของผู้วิจัยเอง โดยจะเลือกใช้ใบมะนาว ในการนำมาทำเป็นตัวเซนซีไทเซออร์สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้สร้างขึ้น

#### 4.2.3 การเตรียมเซลล์แสงอาทิตย์ (Smestad and Gratzel, 1998)

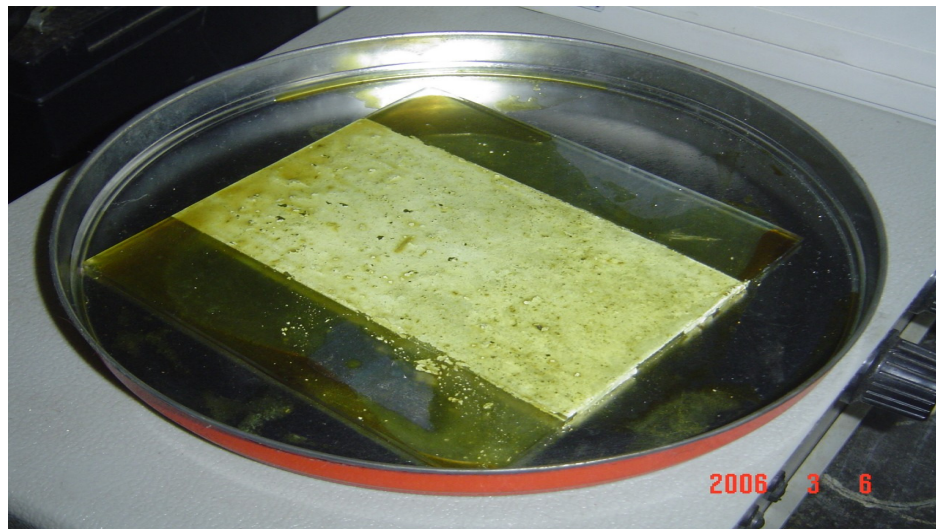
**ขั้นที่ 1** บด  $\text{TiO}_2$  จำนวน 10 กรัม ในถ้วยบดสารระหว่างทำการบดค่อยๆหยดกรดอะซิติกเจือจาง (กรดอะซิติก 0.1 mL ใน น้ำดีไอออนไนด์ 100 mL, 50 mL) ทีละน้อยๆลงไป ทำการบดจนกระทั่งได้  $\text{TiO}_2$  ที่มีความละเอียดมากพอโดยการสังเกตด้วยสายตา เติมน้ำยาล้างจานลงไปเล็กน้อยจนให้เข้ากับผง  $\text{TiO}_2$  ก่อนหน้านั้นจนได้เป็นของผสมลักษณะคล้ายโคลนเหลว

**ขั้นที่ 2** นำขั้วไฟฟ้าโปร่งใสที่เตรียมได้ ติดเทปกาวบางใสบนด้านที่นำไฟฟ้าของขั้วไฟฟ้าโปร่งใส ที่บริเวณริมด้านข้าง 2 ข้างตรงข้ามกันของแผ่นขั้วไฟฟ้าหนาจำนวน 5 ชั้นเทป เพื่อกำหนดพื้นที่บริเวณตรงกลางแผ่นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสให้มีพื้นที่ประมาณ  $70 \text{ cm}^2$  เทของเหลวคล้ายโคลนของ  $\text{TiO}_2$  ที่เตรียมได้ในบริเวณนี้ ใช้หลอดแก้วปาดให้โคลนเหลว  $\text{TiO}_2$  กระจายทั่วพื้นที่และปาดผิวหน้าให้เรียบเสมอกับระดับของชั้นเทปที่ติดไว้ซึ่งมีความหนาประมาณ  $250 \pm 10 \mu\text{m}$  ดังภาพประกอบที่ 4-3 จากนั้นทำให้แห้งโดยวางหงายด้านเคลือบ  $\text{TiO}_2$  ขึ้น บนเตาให้ความร้อนโดยใช้ความร้อนสูงสุดนาน 1 ชั่วโมง นำออกจากเตา รอให้เย็นตัวลงกลับสู่อุณหภูมิห้อง แล้วจึงนำไปแช่ในสารละลายคลอโรฟิลล์ที่สกัดเตรียมไว้ นาน 24 ชั่วโมง ดังภาพประกอบที่ 4-4 นำออกจากสารละลายคลอโรฟิลล์และปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง



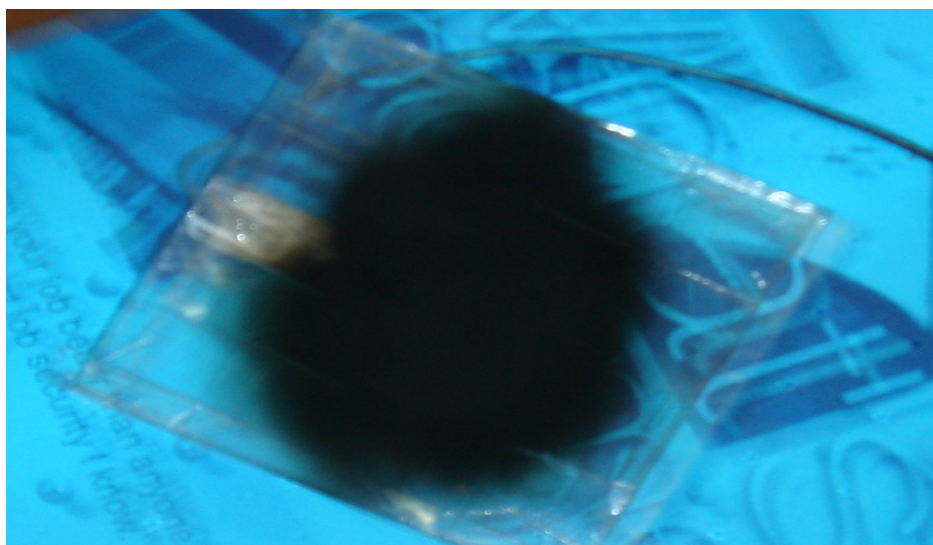
ภาพประกอบที่ 4-3 การเคลือบของผสมเข้มข้น  $\text{TiO}_2$  บนกระจกนำไฟฟ้าที่เตรียม

(ที่มา: Smestad. and Gratzel, 1998)



ภาพประกอบที่ 4-4 แผ่นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสที่มี  $\text{TiO}_2$  เคลือบอยู่มาแช่ในสารละลายคลอโรฟิลล์

**ขั้นที่ 3** นำขั้วไฟฟ้าโปร่งใสอีกแผ่นหนึ่ง ติดด้วยเทปกาวบางเช่นเดียวกับขั้วไฟฟ้าก่อนหน้า จากนั้นด้านที่นำไฟฟ้าอันบนเปลวไฟจากเทียนไขเพื่อให้เกิดเขม่าดำเกาะติดทั่วทั้งแผ่น โดยสังเกตได้จากสีดำที่เกิดขึ้นดังภาพประกอบที่ 4-4 เพื่อทำเป็นเคาเตอร์อิเล็กโทรด (Counter Electrode) ซึ่งจะทำหน้าที่ให้อิเล็กตรอนกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์และรับอิเล็กตรอนจากวงจรภายนอก เพื่อให้กระแสไฟฟ้าไหลครบวงจร



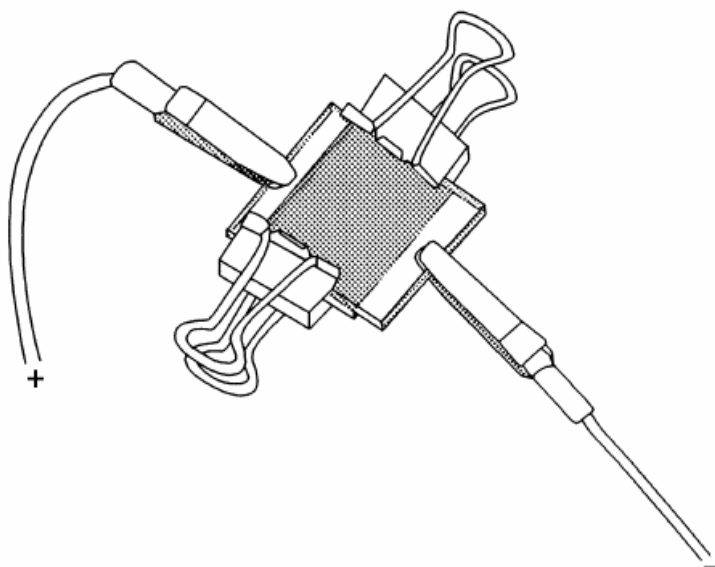
ภาพประกอบที่ 4-5 แผ่นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสที่เคลือบด้วยเขม่าดำ

#### ขั้นที่ 4 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

**เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ 1** นำแผ่นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสด้านที่เคลือบด้วยของผสม  $\text{TiO}_2$  และคลอโรฟิลล์ (จากขั้นที่ 2) ประกบเยื้องกันกับแผ่นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสด้านที่เคลือบด้วยเขม่าดำ (จากขั้นที่ 3) โดยใช้คลิปหนีบแผ่นขั้วไฟฟ้าทั้งสองเข้าด้วยกัน และให้มีพื้นที่สำหรับการต่อเชื่อมสายไฟฟ้า ดังภาพประกอบที่ 4-5 หยดด้วยสารละลาย  $\text{KI/I}_2$  (เตรียมโดยใช้ KI จำนวน 10 กรัม ในน้ำดีไอออนไนต์ 100 มล. ละลาย  $\text{I}_2$  จำนวน 5 กรัม) จำนวน 10 หยด ระหว่างแนวประกบแล้วจึงนำไปทดสอบ

**เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ 2** นำแผ่นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสด้านที่เคลือบด้วยของผสม  $\text{TiO}_2$  และคลอโรฟิลล์ วางคว่ำด้านเคลือบให้อยู่เหนือของแข็งไอโอดีนจำนวน 10 กรัม ในภาชนะปิดสนิท เป็นเวลานาน 3 วัน (ภาพประกอบที่ 4-6) ก่อนนำมาประกบเยื้องกันกับแผ่นขั้วไฟฟ้าด้านที่เคลือบด้วยเขม่าดำ หนีบด้วยคลิป และนำไปทดสอบประสิทธิภาพ

**เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดที่ 3** นำแผ่นขั้วไฟฟ้าโปร่งใสด้านที่เคลือบด้วยของผสม  $\text{TiO}_2$  และคลอโรฟิลล์ หยดด้วยสารละลายอิมัลชัน  $\text{FeCl}_3$  ในคลอโรฟอร์มจนทั่วแล้วปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน ก่อนนำมาประกบเยื้องกันกับแผ่นขั้วไฟฟ้าด้านที่เคลือบด้วยเขม่าดำ หนีบด้วยคลิป และนำไปทดสอบ



ภาพประกอบที่ 4-6 การประกบกันของด้านที่มี  $\text{TiO}_2$  และด้านที่มีเขม่าดำ (ที่มา: Smestad. and Gratzel, 1998)



ภาพประกอบที่ 4-7 การให้ไอระเหยของ  $I_2$  บนแผ่นขั้วไฟฟ้าโปร่งไส้ด้านที่มี  $TiO_2$  เคลือบอยู่

#### 4.3 การวัดการตอบสนองต่อแสง

ใช้สปอตไลท์ขนาด 500 W เป็นแหล่งกำเนิดแสงของการทดลองนี้ โดยตำแหน่งความสูงของสปอตไลท์เหนือเซลล์แสงอาทิตย์เท่ากับ  $60.00 \pm 0.05$  cm และปรับค่าการส่องสว่างของแสงที่ 1,000 Lux โดยทดสอบด้วยเครื่องวัดค่าการส่องสว่าง (ลักซ์มิเตอร์) ก่อนทำการทดลองเพื่อให้ได้ค่าการส่องสว่าง 1,000 Lux ตามที่ต้องการ และทำการทดลองเฉพาะเวลากลางคืนในห้องมืด เพื่อควบคุมแสงจากแหล่งรบกวนจากแหล่งอื่น ทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดของเซลล์แสงอาทิตย์ที่เตรียมได้ทั้ง 3 ชนิด ในที่สว่าง (1,000 Lux) และในที่มืด (0 Lux) ในที่มืดกระทำภายใต้กล่องทึบแสงที่ผ่านการปรับเทียบค่าการส่องสว่างเท่ากับ 0 Lux (Curri, *et. al.*, 2003)

##### 4.3.1 การวัดในสถานะที่มีค่าการส่องสว่างที่ 1,000 Lux

ทำวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด โดยให้สปอตไลท์ส่องตั้งฉากการเซลล์แสงอาทิตย์ทั้ง 3 ชนิดโดยการทดลองครั้งที่ 1 คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้สารละลาย  $KI/I_2$  ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้งโดยแต่ละครั้งก่อนการทดสอบหยดสารละลาย  $KI/I_2$  ประมาณ 10 หยด การทดลองครั้งที่ 2 คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไอของ  $I_2$  ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง การทดลองครั้งที่ 3 คือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้  $FeCl_3$  ทำการทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ก่อนทำการทดลองทุกครั้งจะต้องปรับเทียบค่าการส่องสว่างให้ได้ 1,000 Lux ทุกการทดลอง (โดยแต่การทดลองจะห่างกันประมาณ 15 วัน) ดังภาพประกอบที่ 4-8





ภาพประกอบที่ 4-8 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดที่ค่าการส่องสว่างที่ 1,000 Lux

#### 4.3.2 การวัดในสถานะที่มีความเข้มแห่งการส่องสว่างที่ 0 Lux

ทำวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดทุกๆ 1 นาที ต่อจากการวัดในสถานะความเข้มแห่งการส่องสว่างที่ 1,000 Lux ไปจนถึงนาฬิกาที่กำหนดไว้ในแต่ละการทดลอง โดยก่อนทำการทดลองทุกครั้งจะต้องปรับเทียบค่าการส่องสว่างให้ได้ 0 Lux ของทุกการทดลอง ดังภาพประกอบที่ 4-7





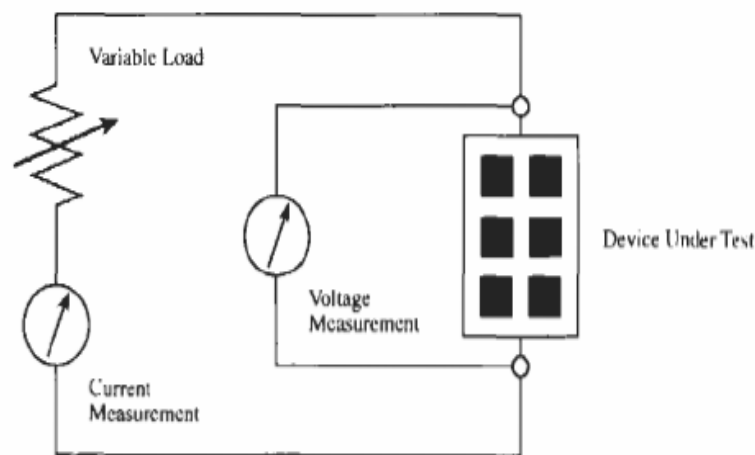
ภาพประกอบที่ 4-9 การวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ภายใต้ ค่าการส่องสว่าง 0 Lux

#### 4.3.3 การวัดการตอบสนองต่อแสง ของแสงอาทิตย์

ทำการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไอของ  $I_2$  ณ ช่วงเวลาที่แสงอาทิตย์มีค่าการส่องสว่างมากที่สุด คือ เวลาประมาณ 13 นาฬิกา และทำการทดลองเช่นเดียวกันกับการวัดแบบค่าการส่องสว่างที่ 1,000 Lux โดยทำการวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิดทุกๆ 1 นาที จนครบ 20 นาทีและวัดค่าแรงดันไฟฟ้าวงจรเปิด ต่อจากการทดลองครั้งแรกทุกๆ 1 นาที จนครบ 80 นาที ให้ค่าการส่องสว่าง 0 Lux กระทำโดยใช้กล่องทึบแสงปิดกันแสงและการปรับเทียบค่าการส่องสว่าง 0 Lux ใช้ลักซ์มิเตอร์วัดค่าการส่องสว่างก่อนทำการทดสอบ

#### 4.4 การวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดคายเซนซีไทเซอร์

นำเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ไอของ  $I_2$  ที่เตรียม มาต่อเป็นวงจรดังภาพประกอบที่ 4-8 เพื่อวัดค่ากระแสและค่าแรงดันไฟฟ้าที่ค่าความต้านต่าง ๆ จนได้กราฟดังแสดงในภาพประกอบที่ 3-3 แล้วจึงนำค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ มาคำนวณค่าประสิทธิภาพ ด้วยสมการ (3.34)



ภาพประกอบที่ 4-10 วงจรทดสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์  
(ที่มา:Markvart and Castaner, 2003)

$$\eta = \frac{P_{\max}(W)}{\text{Area}(m^2) \times P_{in}(W/m^2)} \times 100\%$$

$\eta$ : ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

$P_{\max}(W)$ : กำลังไฟฟ้าเอาต์พุตสูงสุด

$\text{Area}(m^2)$ : พื้นที่รับแสง

$P_{in}(W/m^2)$ : ความเข้มแสงที่ตกกระทบเซลล์

โดย  $P_{\max}(W)$  จะได้จาก  $I_{\max}$  และ  $V_{\max}$  เมื่อ  $I_{\max}$  คือค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด และ  $V_{\max}$  คือค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด