



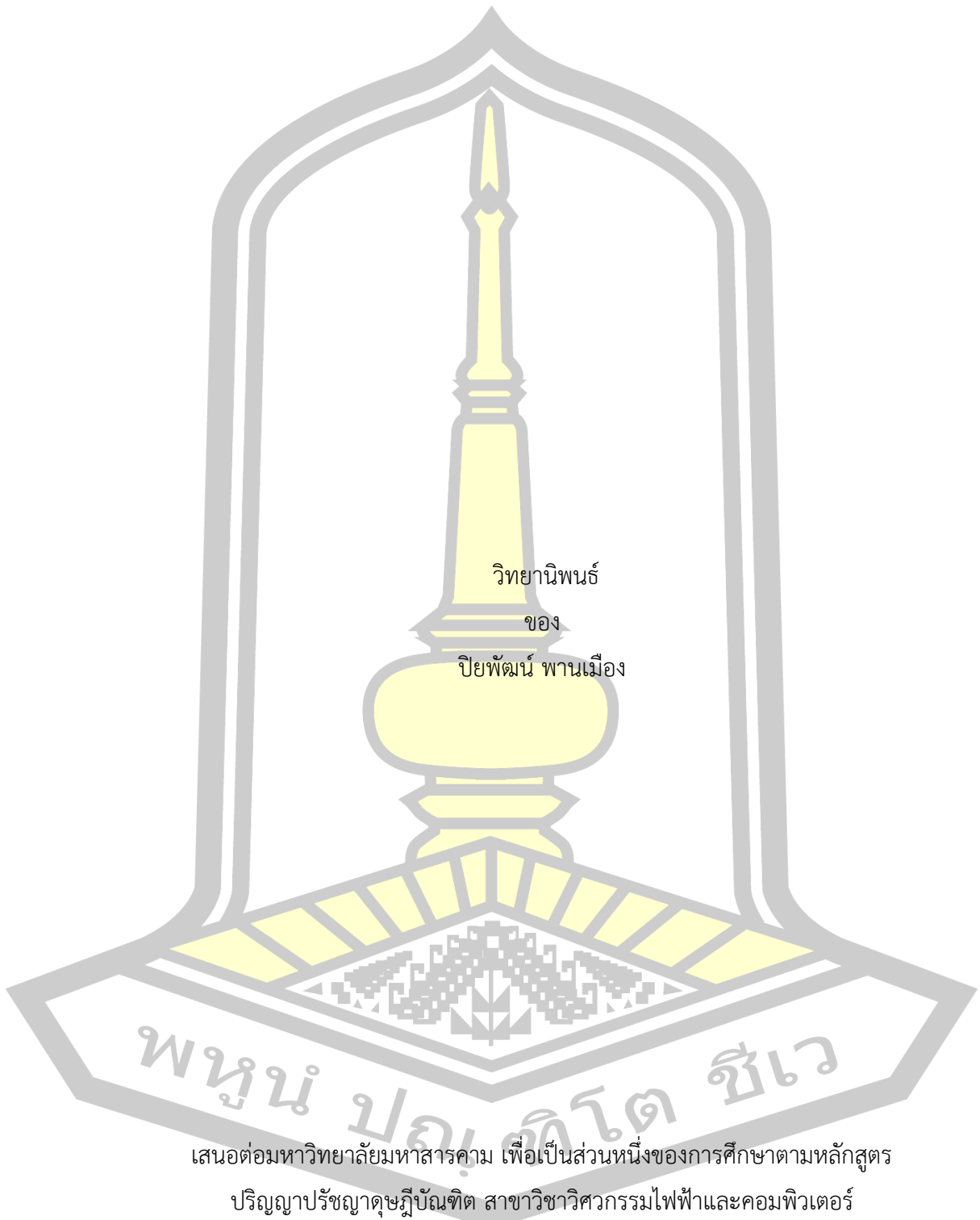
ผลของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

วิทยานิพนธ์  
ของ  
ปิยพัฒน์ พานเมือง

เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์  
กันยายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ผลของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน



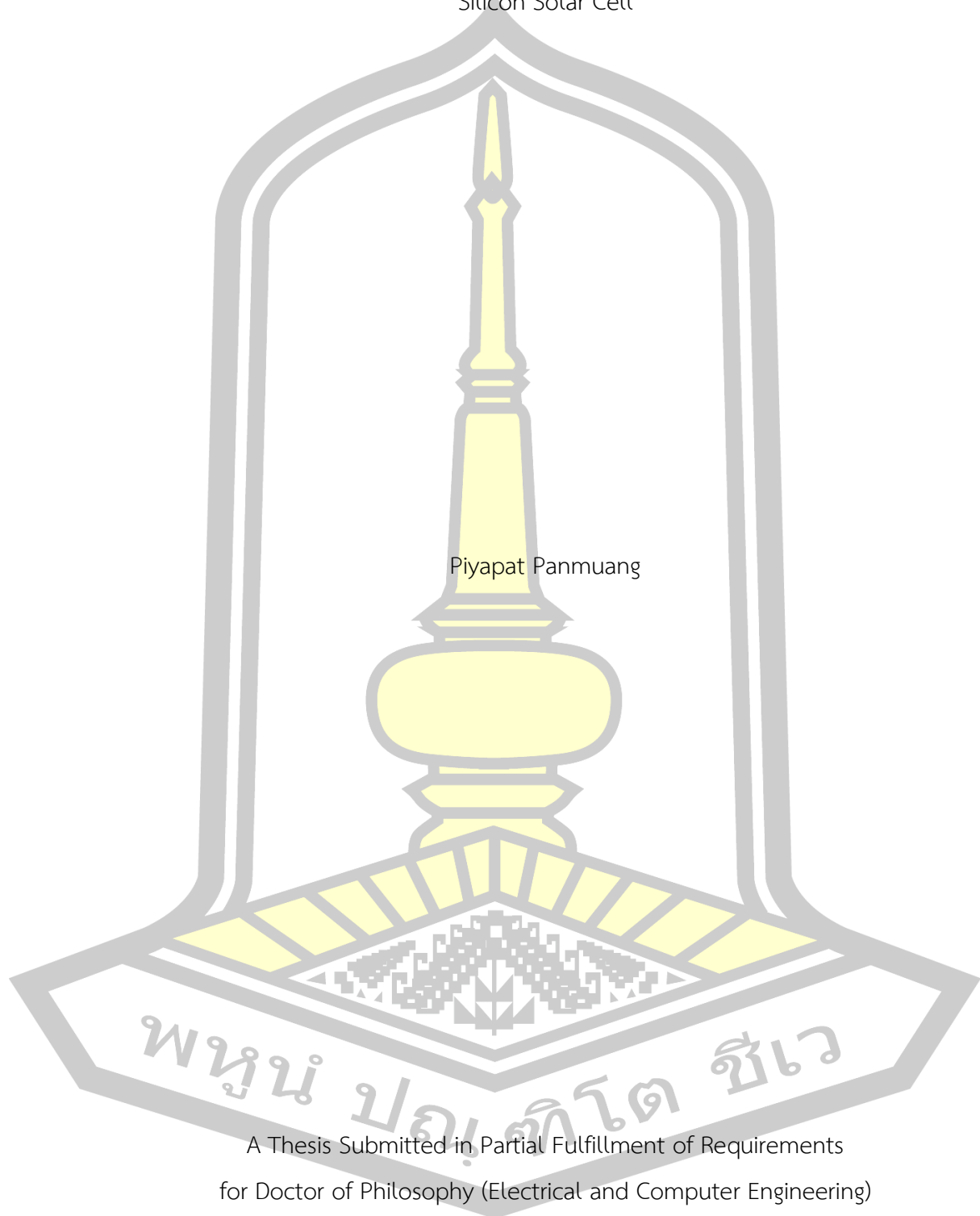
เสนอต่อมหาวิทยาลัยมหาสารคาม เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร

ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

กันยายน 2563

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Effects of Magnetic Field Intensity on Electrical Characteristics of Monocrystalline Silicon Solar Cell



Piyapat Panmuang

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of Requirements  
for Doctor of Philosophy (Electrical and Computer Engineering)

September 2020

Copyright of Mahasarakham University



คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของนายปิยพัฒน์ พานเมือง  
แล้วเห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชา  
วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัยมหาสารคาม

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร. อติเรก จันทะคุณ )

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รศ. ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง )

กรรมการ

(รศ. ดร. วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล )

กรรมการ

(ผศ. ดร. นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์ )

กรรมการ

(ผศ. ดร. ณัฐวุฒิ สุวรรณทา )

มหาวิทยาลัยขอนแก่นให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร  
ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ ของมหาวิทยาลัย  
มหาสารคาม

(รศ. ดร. เกียรติศักดิ์ ศรีประทีป )

คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(รศ. ดร. กริสน์ ชัยมูล )

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

**ชื่อเรื่อง** ผลของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

**ผู้วิจัย** ปิยพัฒน์ พานเมือง

**อาจารย์ที่ปรึกษา** รองศาสตราจารย์ ดร. ชลธิ์ โพธิ์ทอง

**ปริญญา** ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต **สาขาวิชา** วิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์

**มหาวิทยาลัย** มหาวิทยาลัยมหาสารคาม **ปีที่พิมพ์** 2563

### บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาผลของความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีต่อลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยทดสอบการทดลองภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จัดเตรียมขึ้นเพื่อสังเกตผลกระทบ ตรวจสอบและวิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าของเส้นโค้งกระแส แรงดันไฟฟ้า และค่าตัวแปรวิกฤตเซลล์แสงอาทิตย์ ผลการทดลองพบว่าการใช้ความเข้มสนามแม่เหล็ก 60 ถึง 260 มิลลิเทสลา มีผลต่อลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์อย่างมีนัยสำคัญ นั่นคือกระแสไฟฟ้าของเซลล์สูงสุด แรงดันไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าฟิลแฟกเตอร์ คิดเป็นร้อยละ 12.20 7.12 23.60 และ 3.69 ตามลำดับ

คำสำคัญ : ผลึกเดี่ยวซิลิกอน, เซลล์แสงอาทิตย์ซิลิกอน, ความเข้มสนามแม่เหล็ก, ฟิลแฟกเตอร์, คุณลักษณะเส้นโค้งเซลล์แสงอาทิตย์

พจนัน ปณฺ ทิโต ชีเว

**TITLE** Effects of Magnetic Field Intensity on Electrical Characteristics of Monocrystalline Silicon Solar Cell

**AUTHOR** Piyapat Panmuang

**ADVISORS** Associate Professor Chonlatee Photong , Ph.D.

**DEGREE** Doctor of Philosophy **MAJOR** Electrical and Computer Engineering

**UNIVERSITY** Mahasarakham University **YEAR** 2020

### ABSTRACT

In this research, effects of magnetic field intensity on electrical characteristics of a monocrystalline silicon solar cell were investigated. The experimental test-rig under Standard Test Condition was set up to observe the effects. The electrical characteristics in terms of current-voltage-power curves, critical solar cell parameters and fill factor were examined and analyzed. The experimental results showed that applying magnetic intensity of 60-260 mT significantly affected the solar cell characteristic curves of the cell; i.e., maximized cell current, voltage, power and fill factor by 12.20, 7.12, 23.60 and 3.69 % , respectively.

Keyword : monocrystalline, silicon solar cell, magnetic field intensity, fill factor, solar cell characteristic curves

พหุบัณฑิต ชีวะ

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีโดยได้รับความกรุณาและความช่วยเหลืออย่างสูงยิ่งจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลธิ์ โพธิ์ทอง อาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วรวัฒน์ เสงี่ยมวิบูล กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร อังควิศิษฐพันธ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐวุฒิ สุวรรณทา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดิเรก จันตะคุณ ประธานกรรมการสอบและเป็นผู้ทรงคุณวุฒิจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

ขอขอบพระคุณห้องวิจัยพลังงานรังสีอาทิตย์และแหล่งพลังงานสำรอง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์ สถานที่ และเก็บข้อมูล ขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์สำหรับการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และสุดท้ายนี้ขอขอบคุณครอบครัวผู้อยู่เบื้องหลัง ทั้งพ่อ แม่ และพี่สาว ที่เป็นกำลังใจสำคัญให้ข้าพเจ้าศึกษาระดับปริญญาเอกจนสำเร็จ

ปิยพัฒน์ พานเมือง



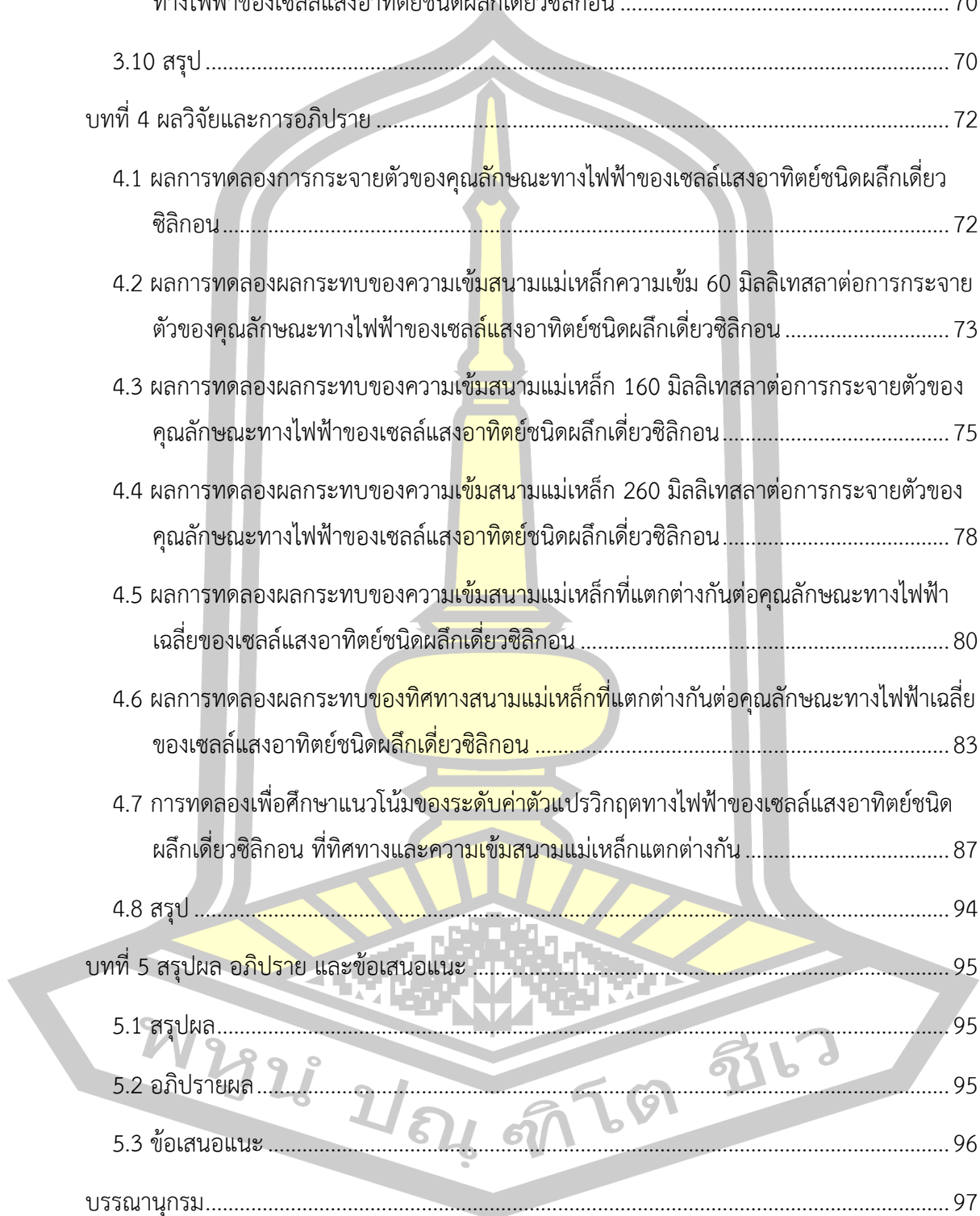
## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญภาพประกอบ.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย.....	4
1.3 สมมติฐานงานวิจัย.....	4
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	5
1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ.....	5
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	6
2.1 รังสีแสงอาทิตย์.....	6
2.2 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์.....	7
2.3 อัตราส่วนมวลอากาศ.....	8
2.4 การแผ่รังสีสู่พื้นโลก.....	8
2.5 โครงสร้างทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำ.....	9
2.6 แถบพลังงานจำลองต้นแบบของสารกึ่งตัวนำ.....	13
2.7 การเคลื่อนที่ของประจุในสารกึ่งตัวนำ.....	18
2.8 การกระตุ้นสารกึ่งตัวนำ.....	21
2.9 รอยต่อพี-เอ็น.....	23



2.10	แสงและผลกระทบของสารกึ่งตัวนำ.....	26
2.11	การสะท้อนแสงจากผิววัสดุ.....	29
2.12	หลักการการทำงานของไดโอดแสง.....	31
2.13	หลักการการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์.....	33
2.14	ผลจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าค่าสูงต่อสารกึ่งตัวนำ.....	35
2.15	ปรากฏการณ์ฮอลล์.....	37
2.16	สนามไฟฟ้า.....	39
2.17	วงจรสมมูลเซลล์และสมการเซลล์แสงอาทิตย์.....	40
2.18	คุณลักษณะทางไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์.....	42
2.19	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....		63
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง.....	63
3.2	วิธีการทดลอง.....	67
3.3	การทดลองการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน.....	68
3.4	การทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 60 มิลลิเทสลา.....	68
3.5	การทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 160 มิลลิเทสลา.....	69
3.6	การทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 260 มิลลิเทสลา.....	69
3.7	การทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน.....	69
3.8	การทดลองผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน.....	70

3.9 การทดลองผลกระทบของทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน .....	70
3.10 สรุป .....	70
บทที่ 4 ผลวิจัยและการอภิปราย .....	72
4.1 ผลการทดลองการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน .....	72
4.2 ผลการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กความเข้ม 60 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน .....	73
4.3 ผลการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็ก 160 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน .....	75
4.4 ผลการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็ก 260 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน .....	78
4.5 ผลการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน .....	80
4.6 ผลการทดลองผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน .....	83
4.7 การทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มของระดับค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน .....	87
4.8 สรุป .....	94
บทที่ 5 สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ .....	95
5.1 สรุปผล .....	95
5.2 อภิปรายผล .....	95
5.3 ข้อเสนอแนะ .....	96
บรรณานุกรม .....	97
ภาคผนวก .....	104
ประวัติผู้เขียน .....	206



## สารบัญภาพประกอบ

	หน้า
ภาพประกอบ 1.1 แสดงแบบจำลองการแยกประจุไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำจากการกระตุ้นด้วยพลังงานโฟตอน [12] .....	3
ภาพประกอบ 1.2 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [12] .....	3
ภาพประกอบ 2.1 แสดงระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์และโลก [17].....	6
ภาพประกอบ 2.2 แสดงสเปกตรัมภายในและภายนอกชั้นบรรยากาศแอมโมเนีย [20].....	7
ภาพประกอบ 2.3 แสดงอัตราส่วนมวลอากาศ x ไต ๆ เมื่อเทียบกับระยะทางตั้งฉากระหว่างชั้นบรรยากาศแอมโมเนียและพื้นโลก [22].....	8
ภาพประกอบ 2.4 แสดงการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สู่พื้นผิวโลก [25] .....	9
ภาพประกอบ 2.5 แสดงโครงสร้างและพลังงานของอะตอมไฮโดรเจน [27].....	10
ภาพประกอบ 2.6 แสดงการรับและปล่อยพลังงานโฟตอนของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจน [30] .....	11
ภาพประกอบ 2.7 แสดงตารางธาตุและชั้นพลังงานของอะตอม [31].....	12
ภาพประกอบ 2.8 แสดงโครงสร้างผลึกของซิลิกอน [32].....	12
ภาพประกอบ 2.9 แสดงโครงสร้างสารประกอบของแกเลียมอาร์เซไนด์และแคดเมียมเทลลูไรด์ตามลำดับ [34].....	13
ภาพประกอบ 2.10 แสดงแถบพลังงานวาเลนซ์และแถบตัวนำของสารกึ่งตัวนำ (ก) ที่อุณหภูมิเท่ากับ 0 องศาเคลวินและ (ข) ที่อุณหภูมิมากกว่า 0 องศาเคลวิน [34].....	14
ภาพประกอบ 2.11 แสดงเส้นและแถบพลังงานของจำนวนอะตอมที่แตกต่างกัน [35].....	15
ภาพประกอบ 2.12 แสดงแถบพลังงานที่แตกต่างกันของ ฉนวน สารกึ่งตัวนำ และโลหะ [36].....	16
ภาพประกอบ 2.13 แสดงค่าพลังงานของฉนวนและสารกึ่งตัวนำที่แตกต่างกันในการเข้าไปยังแถบตัวนำ [36].....	17

ภาพประกอบ 2.14 แสดงการหลุดและรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำซิลิกอน [37]	18
.....	
ภาพประกอบ 2.15 แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในผลึกที่มีสนามไฟฟ้า [38].....	20
ภาพประกอบ 2.16 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำกับมันนิ่งภายใต้สนามไฟฟ้า [38].....	20
ภาพประกอบ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแสในผลึก หลังจากได้รับการกระตุ้นพลังงานจากภายนอก ที่เวลาแตกต่างกัน [39] [38] .....	21
ภาพประกอบ 2.18 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระจากการเจือสารและแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น [39].....	22
ภาพประกอบ 2.19 แสดงการเกิดโฮลจากการเจือสารและแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดพี [41] [40].....	23
ภาพประกอบ 2.20 แสดงการเชื่อมรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น [41] .....	24
ภาพประกอบ 2.21 แสดงระดับค่าพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น [42].....	24
ภาพประกอบ 2.22 แสดงระดับค่าพลังงานเฟอร์มิจากการเชื่อมต่อสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นเข้าด้วยกัน [42].....	25
ภาพประกอบ 2.23 แสดงการจ่ายแรงดัน (ก) ไบแอสตรงคร่อมรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำ (ข) ไบแอสกลับคร่อมรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำ [42].....	26
ภาพประกอบ 2.24 แสดงแบบจำลองการดูดซับแสงของสารกึ่งตัวนำ [43] [42] .....	27
ภาพประกอบ 2.25 แสดงสารกึ่งตัวนำทางอ้อม โดยอิเล็กตรอนสามารถผลิตจากการดูดซับพลังงานและต้องเปลี่ยนแปลงทิศทางการสั้น [43].....	28
ภาพประกอบ 2.26 แสดงสารกึ่งตัวนำทางตรง โดยอิเล็กตรอนสามารถผลิตจากการดูดซับพลังงานแต่ไม่เปลี่ยนแปลงทิศทางการสั้น [43] .....	28
ภาพประกอบ 2.27 แสดงตารางเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับจากวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกันที่แสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร [43].....	29
ภาพประกอบ 2.28 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับแสงในวัสดุสารกึ่งตัวนำและค่าพลังงานโฟตอนที่แตกต่างกัน.....	29

ภาพประกอบ 2.29 แสดงการสะท้อนของแสงในวัสดุสองชนิดในแนวรังสีตั้งฉากและทำมุมแหลม กระทบผิวสัมผัส [44].....	30
ภาพประกอบ 2.30 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างผิวฉีกสารกึ่งตัวนำที่มีและ ไม่มีชั้นป้องกันการสะท้อนกลับ $n_s$ [44] .....	31
ภาพประกอบ 2.31 แสดงการแยกตัวของอิเล็กตรอน และโฮลในรอยต่อพี เอ็นจากการรับพลังงานโฟ ตอนของแสงภายนอก [44].....	32
ภาพประกอบ 2.32 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า และเส้นโค้งคุณสมบัติของไอโอดแสง .....	32
ภาพประกอบ 2.33 แสดงวงจรมูลของไดโอดแสง [45] .....	32
ภาพประกอบ 2.34 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการรับพลังงานโฟตอน [47] ..	34
ภาพประกอบ 2.35 แสดงแบบจำลองปรากฏการณ์รวมตัวกลับที่แตกต่างกัน ของสารกึ่งตัวนำต่าง ชนิดกัน [48].....	34
ภาพประกอบ 2.36 แสดงการเคลื่อนที่แบบวงกลมของอิเล็กตรอนและโฮลในสนามแม่เหล็ก [50] ..	36
ภาพประกอบ 2.37 แสดงปรากฏการณ์ฮอลล์ [52] .....	38
ภาพประกอบ 2.38 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ ( $V_H$ ).....	38
ภาพประกอบ 2.39 แสดงเส้นแรงประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ในสนามไฟฟ้า [53].....	40
ภาพประกอบ 2.40 วงจรมูลเซลล์แสงอาทิตย์ [54].....	40
ภาพประกอบ 2.41 ตารางค่าปัจจัยไดโอด ( $n$ ) ที่วัสดุสารกึ่งตัวนำที่แตกต่างกัน [55].....	41
ภาพประกอบ 2.42 ตารางคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ สัญลักษณ์ และหน่วย [57] .	42
ภาพประกอบ 2.43 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดัน ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน [57].....	43
ภาพประกอบ 2.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก ที่ความเข้ม ของแสงอาทิตย์แตกต่างกัน [57] .....	43
ภาพประกอบ 2.45 แสดงแบบจำลองความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ อัตราความเร็วเชิงมุมของอิเล็กตรอน ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [57].....	45
ภาพประกอบ 2.46 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้า และกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก แตกต่างกัน [57].....	45

ภาพประกอบ 2.47 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ค่าความเข้มข้นแสงแม่เหล็กแตกต่างกัน [57] .....	46
ภาพประกอบ 2.48 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำสองชนิด ที่มีและไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก [13].....	47
ภาพประกอบ 2.49 แสดงตารางการเปรียบเทียบค่าตัวแปรทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างมีและไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก [13].....	47
ภาพประกอบ 2.50 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบสองด้านภายใต้สนามแม่เหล็กภายนอก [58].....	48
ภาพประกอบ 2.51 แสดงกราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแสและความเร็วในรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [58].....	48
ภาพประกอบ 2.52 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงดันเปิดวงจรและความเร็วในรอยต่อสารกึ่งตัวนำที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [58].....	49
ภาพประกอบ 2.53 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าและความเร็วในรอยต่อสารกึ่งตัวนำที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [58] .....	49
ภาพประกอบ 2.54 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สองด้านภายใต้สนามแม่เหล็ก [59].....	50
ภาพประกอบ 2.55 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [59].....	50
ภาพประกอบ 2.56 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและแรงดัน ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [59].	51
ภาพประกอบ 2.57 แสดงตารางค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ที่ค่าความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [59].....	51
ภาพประกอบ 2.58 แสดงตารางค่ารวมตัวกลับ ค่าความต้านทานที่ค่าความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [59].....	51
ภาพประกอบ 2.59 แสดงแบบจำลองการป้อนสนามแม่เหล็กภายนอกให้เซลล์แสงอาทิตย์ [60] .....	52
ภาพประกอบ 2.60 แสดงโครงสร้างของผลึกสารกึ่งตัวนำก่อนและหลังกระบวนการเคลือบด้วยฟิล์ม [60].....	52
ภาพประกอบ 2.61 แสดงแบบจำลองการเคลื่อนที่ของประจุระหว่าง(ก) ไม่มีสนามแม่เหล็กและ (ข) มีสนามแม่เหล็กภายนอก [60].....	53

ภาพประกอบ 2.62 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์และทิศทางของสนามแม่เหล็กในการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ [61] .....	54
ภาพประกอบ 2.63 แสดงตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพและระยะเวลาชีวิตการรวมตัวกลับของอิเล็กตรอนและโฮล ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [61] .....	54
ภาพประกอบ 2.64 แสดงแบบจำลองผลกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สนามแม่ไฟฟ้าด้วยลำแสงฮีเลียมนีออน [62] .....	55
ภาพประกอบ 2.65 แสดงแบบจำลองผลกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ใต้นามแม่เหล็กด้วยลำแสงฮีเลียมนีออน [62] .....	56
ภาพประกอบ 2.66 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้ความสนามไฟฟ้าแตกต่างกัน ทดสอบด้วยลำแสงฮีเลียมนีออน [62] .....	56
ภาพประกอบ 2.67 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้ความสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน [62] .....	57
ภาพประกอบ 2.68 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้ความสนามไฟฟ้าแตกต่างกัน ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน [62].....	57
ภาพประกอบ 2.69 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สนามแม่เหล็กภายนอก [63] .....	58
ภาพประกอบ 2.70 แสดงกราฟประสิทธิภาพการแปลงผัน ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [63] .....	58
ภาพประกอบ 2.71 แสดงกราฟกระแสเทียบกับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [65].....	59
ภาพประกอบ 2.72 แสดงตารางพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสงอาทิตย์แตกต่างกัน [65].....	59
ภาพประกอบ 2.73 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สนามแม่เหล็ก [64] .....	60
ภาพประกอบ 2.74 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสลัดวงจรและแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดRu-bipyridyldye N719 ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [64] .....	60
ภาพประกอบ 2.75 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสลัดวงจรและแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Cds-sensitized Znonanobased ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [64].....	61

ภาพประกอบ 2.76 แสดงตารางเปรียบเทียบค่าความต้านทานในการขนย้ายประจุ ( $R_c$ ) ค่าความต้านทานการขนย้ายอิเล็กตรอน ( $R_d$ ) และอายุของอิเล็กตรอน ( $T_{eff}$ ) ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [64].....	61
ภาพประกอบ 2.77 แสดงกราฟร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรที่กำลังการผลิตสูงสุดที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [66].....	62
ภาพประกอบ 2.78 แสดงกราฟร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรที่แรงดันใกล้เคียงแรงดันเปิดวงจร ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน [66] .....	62
ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง.....	63
ภาพประกอบ 3.2 หลอดทั้งสแตน ฮาโลเจนจำลองแสงอาทิตย์ .....	64
ภาพประกอบ 3.3 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์.....	64
ภาพประกอบ 3.4 แม่เหล็กนีโอไดเมียม.....	65
ภาพประกอบ 3.5 แผ่นตรวจดูทิศทางแม่เหล็กไวเวอร์ .....	65
ภาพประกอบ 3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ .....	66
ภาพประกอบ 3.7 เครื่องวัดวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์ .....	66
ภาพประกอบ 3.8 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) กรณีด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีแหล่งจ่ายสนามแม่เหล็ก (ข) กรณีด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์มีแหล่งจ่ายสนามแม่เหล็กภาพประกอบ.....	67
ภาพประกอบ 3.9 แสดงแบบจำลองสำหรับการทดลอง.....	67
ภาพประกอบ 3.10 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง .....	68
ภาพประกอบ 4.1 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟ.....	72
ภาพประกอบ 4.2 แสดงกราฟกำลังเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟ.....	73
ภาพประกอบ 4.3 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 60 มิลลิเทสลา.....	74







ภาพประกอบ 4.30 แสดงค่าระดับฟิลแพกเตอร์ของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศเหนือสนามแม่เหล็ก ความเข้มแตกต่างกัน.....	89
ภาพประกอบ 4.31 แสดงค่าระดับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศใต้สนามแม่เหล็ก ความเข้มแตกต่างกัน.....	90
ภาพประกอบ 4.32 แสดงค่าระดับกระแสไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศใต้สนามแม่เหล็ก ความเข้มแตกต่างกัน.....	90
ภาพประกอบ 4.33 แสดงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศใต้ สนามแม่เหล็กความเข้มแตกต่างกัน.....	91
ภาพประกอบ 4.34 แสดงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศใต้สนามแม่เหล็ก ความเข้มแตกต่างกัน.....	91
ภาพประกอบ 4.35 แสดงค่าระดับกำลังไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศใต้สนามแม่เหล็ก ความเข้มแตกต่างกัน.....	92
ภาพประกอบ 4.36 แสดงค่าระดับฟิลแพกเตอร์ของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศใต้สนามแม่เหล็กความ เข้มแตกต่างกัน.....	92
ภาพประกอบ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบระดับค่าตัวแปรวิกฤตของเซลล์ฯ ในรูปแบบ Normalization ที่ทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน.....	93



## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

ปัจจุบันสถานการณ์การใช้พลังงานในโลกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการเติบโตของเศรษฐกิจและปริมาณจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น จากผลสำรวจการใช้พลังงาน ในปี ค.ศ. 2017 พบว่าพลังงานถูกใช้มากที่สุดในการผลิตพลังงานไฟฟ้าที่ร้อยละ 37.2 เนื่องจากเป็นรูปแบบพลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่อสะดวกที่สุด [1] การผลิตไฟฟ้าส่วนใหญ่เกิดจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิง เช่น ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ปิโตรเลียม เป็นต้น ซึ่งก่อให้เกิดมลพิษจากการเผาไหม้ ก่อให้เกิดภาวะเรือนกระจกของโลก [2] อย่างไรก็ตาม ยังมีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานทดแทนที่ไม่ก่อให้เกิดมลพิษ ได้แก่ การผลิตไฟฟ้าจากพลังงานลมและพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้น แต่พลังงานลมจำเป็นต้องขึ้นอยู่กับภูมิประเทศ แตกต่างจากพลังงานแสงอาทิตย์ที่มีในเกือบทุกภูมิประเทศ [3] และเป็นพลังงานที่น่าสนใจ เนื่องจากปริมาณพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องมายังพื้นโลกในหนึ่งวันประมาณ 120 เพตะวัตต์ (1 เพตะวัตต์ =  $10^{15}$  วัตต์) ซึ่งเพียงพอต่อปริมาณความต้องการพลังงานบนโลกมากกว่า 20 ปี [4] ดังนั้นพลังงานแสงอาทิตย์จึงเป็นพลังงานที่น่าสนใจที่จะนำไปผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อตอบสนองความต้องการใช้งานพลังงานของมนุษย์ในอนาคตได้

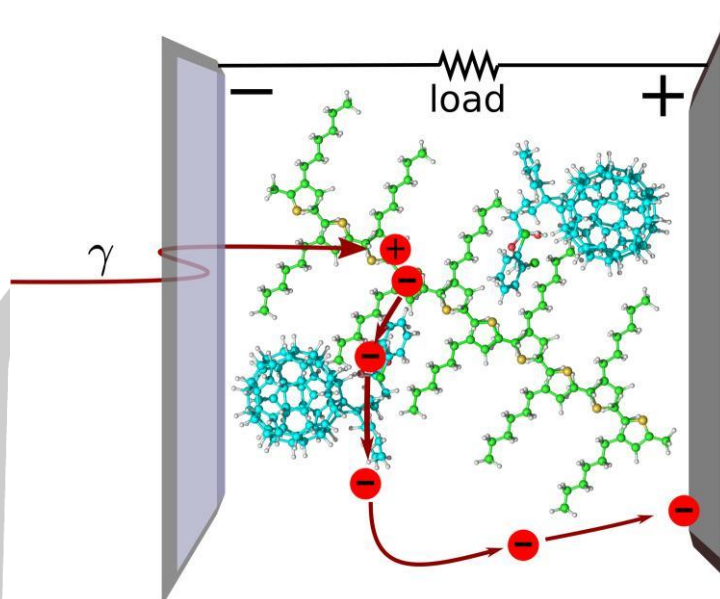
การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้ามีอยู่ด้วยกัน 2 แบบ ได้แก่ ทางตรงจากรังสีแสงอาทิตย์ เช่น เซลล์แสงอาทิตย์ (Photovoltaic Cell) และทางอ้อมในรูปแบบพลังงานความร้อน เช่น การรวมแสงอาทิตย์ (Concentrating Collectors) [5] แบบที่นิยมมากที่สุดคือเซลล์แสงอาทิตย์เพราะสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงไปเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงด้วยคุณสมบัติของวัสดุสารกึ่งตัวนำ เช่น ซิลิกอน ซึ่งมีราคาสูงและมีมากที่สุดบนพื้นโลก [6] ผ่านกระบวนการทางวิทยาศาสตร์เพื่อผลิตให้เป็นแผ่นบางบริสุทธิ์ เมื่อแสงอาทิตย์ตกกระทบบนแผ่นเซลล์ รังสีของแสงที่มีอนุภาคของพลังงานประกอบที่เรียกว่า โฟตอน (Photon) จะถ่ายเทพลังงานให้กับอิเล็กตรอน (Electron) ในสารกึ่งตัวนำจนมีพลังงานมากพอที่จะกระโดดออกมาจากพันธะของอะตอมและเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ครบวงจรจะทำให้เกิดไฟฟ้ากระแสตรงขึ้น [7]

อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันค่อนข้างต่ำที่ร้อยละ 13-46 ซึ่งเป็นปัญหาที่ท้าทายความสามารถของนักวิจัยในปัจจุบันเป็นอย่างมาก โดยงานวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์แบ่งออกด้วยกัน 5 กลุ่ม ได้แก่ ผลึกเซลล์ซิลิกอน เทคโนโลยีฟิล์มบาง วัสดุผสม แกลเลียมอาเซไนด์รอยต่อเดี่ยว และ วิถีหลายรอยต่อของเซลล์ [8] จากกลุ่มงานวิจัยดังกล่าวมีพื้นฐานในการปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์โดยการเจือสารหรือการผสมวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้ค่าพลังงานต่ำในการกระตุ้นอิเล็กตรอนจากวัสดุสารกึ่งตัวนำหลังจากได้รับพลังงานโฟ

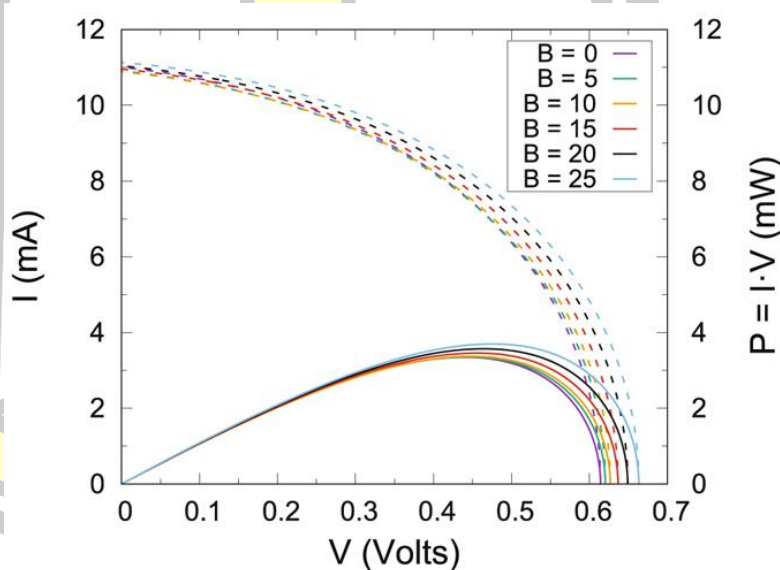
ตอนจากรังสีแสงอาทิตย์ ซึ่งกระบวนการดังกล่าวค่อนข้างซับซ้อน ต้นทุนสูง และในบางระบบต้องติดอุปกรณ์เครื่องกลเพิ่มเติมและมีในส่วนของเคลื่อนไหวซึ่งจะส่งผลต่อต้นทุนในการบำรุงรักษาอีกด้วย

จากการศึกษาของผู้วิจัยพบว่า นอกจากโฟตอนในแสงอาทิตย์ที่ช่วยเพิ่มค่าพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ในการหลุดออกจากแรงดึงดูดพันธะของอะตอมในสารกึ่งตัวนำแล้ว ยังมีสนามไฟฟ้า และสนามแม่เหล็กอีกด้วยที่ช่วยกระตุ้นและเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์ในสารกึ่งตัวนำ แต่สนามไฟฟ้าจำเป็นต้องใช้ความเข้มสูงถึง 10<sup>6</sup>-10<sup>7</sup> โวลต์ต่อ ตร.ซม [9] [10] ซึ่งจำเป็นต้องใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงเข้ามา ซึ่งส่งผลต่อต้นทุนของระบบสูงตามไปด้วย ซึ่งแตกต่างจากสนามแม่เหล็กที่มีอยู่แล้วในธรรมชาติ เช่น คลื่นสนามแม่เหล็กของรังสีแสงอาทิตย์ สนามแม่เหล็กโลก เป็นต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการใช้สนามแม่เหล็กเพื่อเพิ่มค่าพลังงานอิเล็กทรอนิกส์ในสารกึ่งตัวนำเพื่อหลุดออกจากพันธะซึ่งจะส่งผลต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย และการทดลองทางวิทยาศาสตร์ของ นาย เจเจ ทอมสัน (J.J. Thomson) [11] พิสูจน์ว่า สนามแม่เหล็กมีผลต่ออิเล็กทรอนิกส์โดยทดลองสร้างหลอดภาพสุญญากาศซึ่งมีขั้วแคโทดและแอโนดอยู่ใน และสามารถควบคุมให้ขั้วแคโทดปล่อยประจุลบหรืออิเล็กทรอนิกส์ออกมาและสามารถเบี่ยงเบนเส้นทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กทรอนิกส์ด้วยสนามแม่เหล็กได้ จากงานวิจัยของ S.Oviedo [12] ได้ทำการทดลองการแยกประจุระหว่างอิเล็กทรอนิกส์และโฮลในสารกึ่งตัวนำจำเป็นต้องมีการรับพลังงานจากภายนอก แต่ในทางกลับกัน อิเล็กตรอนและโฮลก็รวมตัวกันกลับได้อย่างรวดเร็ว (Recombination) ส่งผลต่อจำนวนอิเล็กทรอนิกส์ที่ผลิตได้ลดลงตามไปด้วย งานวิจัยนี้จึงใช้สนามแม่เหล็กมาช่วยในการลดการรวมตัวกลับของประจุ แสดงในภาพประกอบ 1.1 โดยทดลองที่ความเข้มของสนามแม่เหล็ก 0 5 10 15 20 และ 25 เทสลา ตามลำดับ ส่งผลต่อแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร กระแสลัดวงจร และกำลังไฟฟ้าสูงสุดแตกต่างกันออกไป แสดงในภาพประกอบ 1.2





ภาพประกอบ 1.1 แสดงแบบจำลองการแยกประจุไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำจากการกระตุ้นด้วยพลังงานโฟตอน [12]



ภาพประกอบ 1.2 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้า กระแส และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [12]

จากงานวิจัยของ Fang-Chi Hsu [13] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์พอลิเมอร์ พบว่า การเคลื่อนย้ายประจุที่ดีในวัสดุสารกึ่งตัวนำจะช่วยส่งผลต่อประสิทธิภาพที่เพิ่มสูงตามไปด้วย โดยใช้สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการ

เคลื่อนย้ายประจุ โดยแสดงกราฟเปรียบเทียบกระแส-แรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มสนามแม่เท่ากับ 0 และ 0.72 เทสลา ด้วยวัสดุสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิด ได้แก่ ZnO และ FePt พบว่า สามารถช่วยให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 60 และในงานวิจัยของ M.R.Molas [14] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่กระตุ้นอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำ โดยทำการทดลองกับสารกึ่งตัวนำแกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ (GaAlAs) และอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ (AlAs) โดยทดลองที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 0-14 เทสลา พบว่า ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นส่งผลต่อพลังงานอิเล็กตรอนในวัสดุสารกึ่งตัวนำทั้งสองเพิ่มขึ้นตามไปด้วย จากการศึกษาวิจัยข้างต้น ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการศึกษาผลของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ในการเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนเพื่อหลุดออกจากพันธะในสารกึ่งตัวนำเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ นอกเหนือจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนจากแสงอาทิตย์แล้ว และช่วยเพิ่มพลังงานอิเล็กตรอนในกรณีที่เซลล์แสงอาทิตย์ได้รับค่าพลังงานโฟตอนจากแสงอาทิตย์ไม่เพียงพอต่อการหลุดจากพันธะ จากการศึกษาอย่างดีแล้ว ยังไม่พบงานวิจัยใดที่ระบุค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่เหมาะสม ในสภาวะความเข้มของรังสีแสงอาทิตย์แตกต่างกัน พร้อมอธิบายหลักการทางฟิสิกส์ที่ช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพ ซึ่งการศึกษานี้จะเป็นประโยชน์และมีความสำคัญอย่างมากในเทคโนโลยีเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคต ซึ่งเทคนิคดังกล่าวไม่เพียงแต่เพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ แต่สามารถประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่เคยศึกษาและวิจัยในอดีตอีกด้วย

## 1.2 ความมุ่งหมายของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว
2. เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวระหว่างผลกระทบจากความเข้มสนามแม่เหล็กและไม่มีสนามแม่เหล็ก
3. เพื่อศึกษาค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวที่ความเข้มสนามแม่เหล็กและความเข้มของแสงแตกต่างกัน

## 1.3 สมมติฐานงานวิจัย

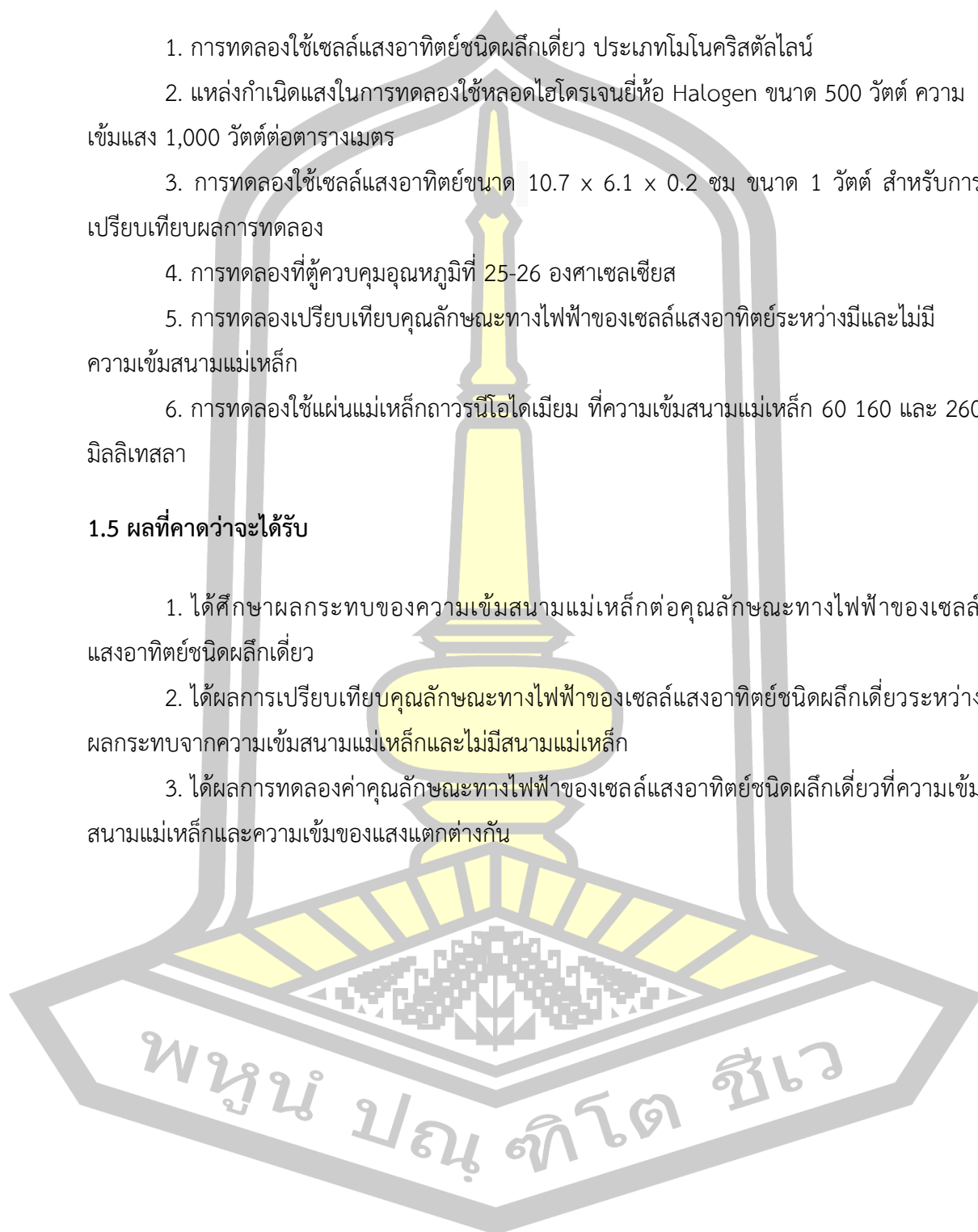
ความเข้มของสนามแม่เหล็กจะส่งผลดีกว่าต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวที่ไม่ได้รับการกระตุ้นภายนอกด้วยสนามแม่เหล็ก

#### 1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1. การทดลองใช้เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ประเภทโมโนคริสตัลไลน์
2. แหล่งกำเนิดแสงในการทดลองใช้หลอดไฮโดรเจนยี่ห้อ Halogen ขนาด 500 วัตต์ ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร
3. การทดลองใช้เซลล์แสงอาทิตย์ขนาด  $10.7 \times 6.1 \times 0.2$  ซม ขนาด 1 วัตต์ สำหรับการเปรียบเทียบผลการทดลอง
4. การทดลองที่ตู้ควบคุมอุณหภูมิที่ 25-26 องศาเซลเซียส
5. การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างมีและไม่มี ความเข้มสนามแม่เหล็ก
6. การทดลองใช้แผ่นแม่เหล็กถาวรนีโอไดเมียม ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 60 160 และ 260 มิลลิเทสลา

#### 1.5 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ศึกษาผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว
2. ได้ผลการเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวระหว่างผลกระทบจากความเข้มสนามแม่เหล็กและไม่มีสนามแม่เหล็ก
3. ได้ผลการทดลองค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวที่ความเข้มสนามแม่เหล็กและความเข้มของแสงแตกต่างกัน





## บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

จากบทที่ 1 ผู้วิจัยสนใจศึกษาผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กที่มีต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ในบทนี้ผู้วิจัยจะอธิบายถึงทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของเซลล์แสงอาทิตย์ และสนามแม่เหล็ก รวมถึงอธิบายหลักการทางฟิสิกส์ที่สนามแม่เหล็กสามารถช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

### 2.1 รังสีแสงอาทิตย์

ดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาฟิวชั่นที่แกนกลาง โดยอะตอมของไฮโดรเจน (Hydrogen) รวมตัวกันเพื่อเป็นอะตอมของฮีเลียม (Helium) ก่อให้เกิดอุณหภูมิสูงถึง 15 ล้านองศาเซลเซียส และปล่อยพลังงานออกไปโดยรอบในระบบสุริยะ [15] ภาพประกอบ 2.1 แสดงระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์และโลกที่เป็นหนึ่งในดาวเคราะห์ของระบบสุริยะ โดยมีระยะห่างประมาณ 150 ล้านกิโลเมตร ( $r=r_{SE}$ ) และกำลังจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบโลกประมาณ  $3.845 \times 10^{26}$  วัตต์ [16] โดยพลังงานแสงอาทิตย์ที่ส่องกระทบพื้นโลกแสดงในสมการดังต่อไปนี้

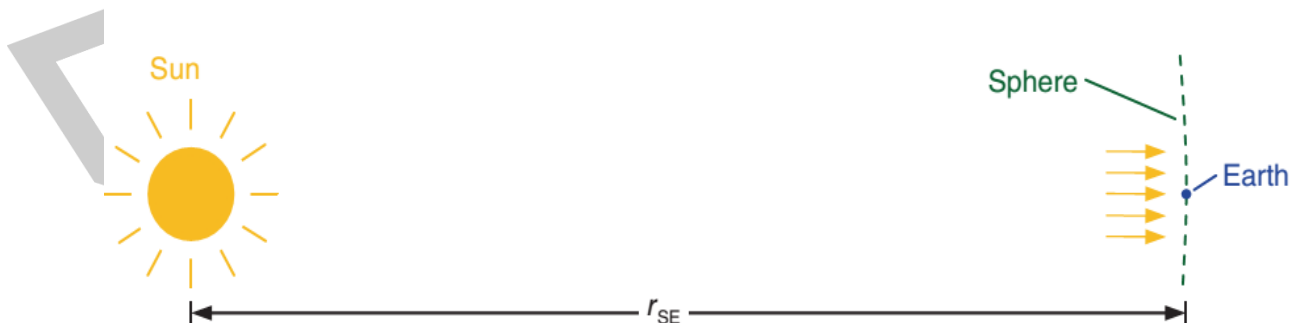
$$E_s = P_{sun} / 4\pi r^2 \quad (2.1)$$

เมื่อ

$E_s$  คือ พลังงานความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบต่อพื้นที่ ( $W/m^2$ )

$P_{sun}$  คือ กำลังจากรังสีแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบผิวโลก (W)

$r$  คือ ระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์และโลก (m)



ภาพประกอบ 2.1 แสดงระยะห่างระหว่างดวงอาทิตย์และโลก [17]

## 2.2 สเปกตรัมของแสงอาทิตย์

รังสีอาทิตย์เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าในรูปของสเปกตรัม จากกฎของแพลงค์ (Planck's Law) อธิบายความยาวคลื่นจากเส้นวัตถุดำ (Black Body Spectrum) ที่มีอุณหภูมิผิวของดวงอาทิตย์ 5,778 องศาเคลวิน [17] แสดงในภาพประกอบ 2.2 โดยสเปกตรัมภายนอกชั้นบรรยากาศแอมอสเฟียร์ (AM0) อ้างอิงจากเส้นวัตถุดำไม่ทะลุผ่านมาภายในชั้นบรรยากาศแอมอสเฟียร์ ส่วนสเปกตรัมภายในชั้นบรรยากาศแอมอสเฟียร์ (AM1.5) สามารถทะลุผ่านเข้ามาในชั้นบรรยากาศแอมอสเฟียร์ได้ โดยสเปกตรัมทั้งสองรวมกันเป็นรังสีที่มีความเข้ม 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร [18] ซึ่งเป็นค่าความเข้มเฉลี่ยของแสงอาทิตย์ อย่างไรก็ตาม สเปกตรัมที่ตกกระทบพื้นโลกเปลี่ยนเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศแอมอสเฟียร์ ซึ่งมีสาเหตุดังต่อไปนี้ [19]

### 1. แสงสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศ

แสงอาทิตย์ถูกสะท้อนที่ชั้นบรรยากาศ ก่อนจะผ่านชั้นบรรยากาศมาพื้นโลก

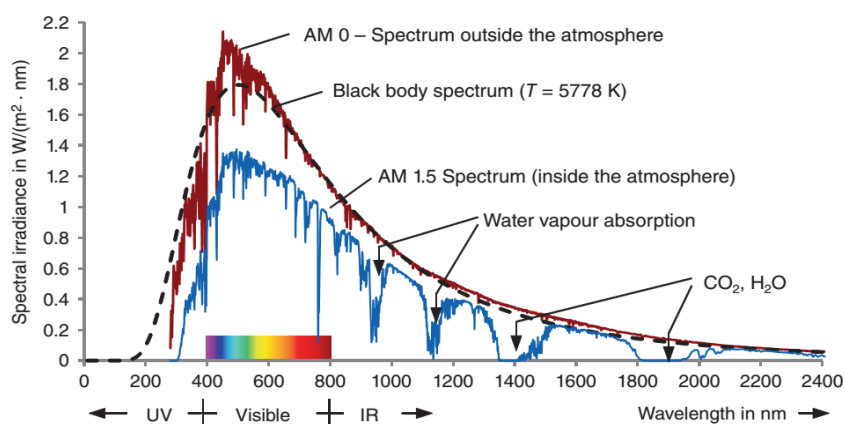
### 2. การดูดซับแสงของชั้นบรรยากาศ

แสงอาทิตย์ถูกดูดซับด้วยโมเลกุลในชั้นบรรยากาศ เช่น ออกซิเจน ( $O_2$ ) โอโซน ( $O_3$ ) ละอองน้ำ ( $H_2O$ ) ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ( $CO_2$ ) เป็นต้น ความยาวคลื่น 1,400 นาโนเมตร แสดงในภาพประกอบ 2.2

### 3. การกระจายของแสง

ถ้าแสงตกลงอนุภาคที่ขนาดเล็กกว่าความยาวคลื่นแสง เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การกระเจิงแบบราลี (Rayleigh Scattering) โดยการกระเจิงขึ้นอยู่กับสมการความยาวคลื่น ( $\sim 1/\lambda^4$ ) ดังนั้น เมื่อความยาวคลื่นสั้นจึงส่งผลต่อการกระเจิงของแสงเป็นอย่างยิ่ง

### 4. การกระจายของแสงในฝุ่นละอองในชั้นบรรยากาศ



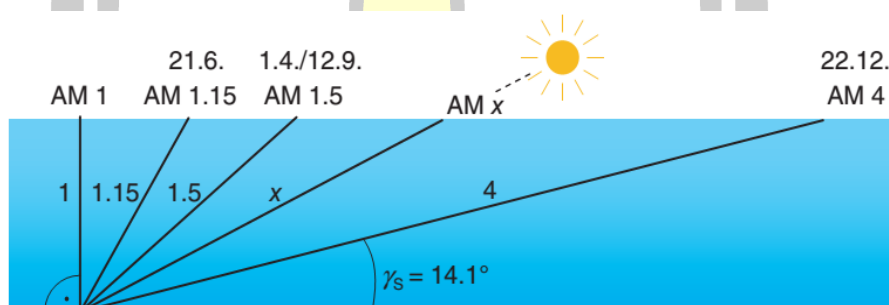
ภาพประกอบ 2.2 แสดงสเปกตรัมภายในและภายนอกชั้นบรรยากาศแอมอสเฟียร์ [20]

## 2.3 อัตราส่วนมวลอากาศ

สเปกตรัมของดวงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลกเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านชั้นบรรยากาศ ภาพประกอบ 2.3 แสดงในส่วนชั้นบรรยากาศ 1.5 (AM 1.5) หมายถึงแสงเดินทาง 1.5 เมื่อเทียบกับการเดินทางของแสงที่มีระยะห่างระหว่างชั้นบรรยากาศและพื้นโลกในแนวตั้ง (AM 1) [21] ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$x = \frac{1}{\sin \gamma_s} \quad (2.2)$$

เมื่อ  $x$  คือ ระดับชั้นบรรยากาศ  
 $\gamma_s$  คือ ความกว้างของมุมระหว่างแนวแสงอาทิตย์และระดับพื้นโลก  
 โดยความสูงดวงอาทิตย์ขึ้นอยู่กับระยะเวลาของวันและปี



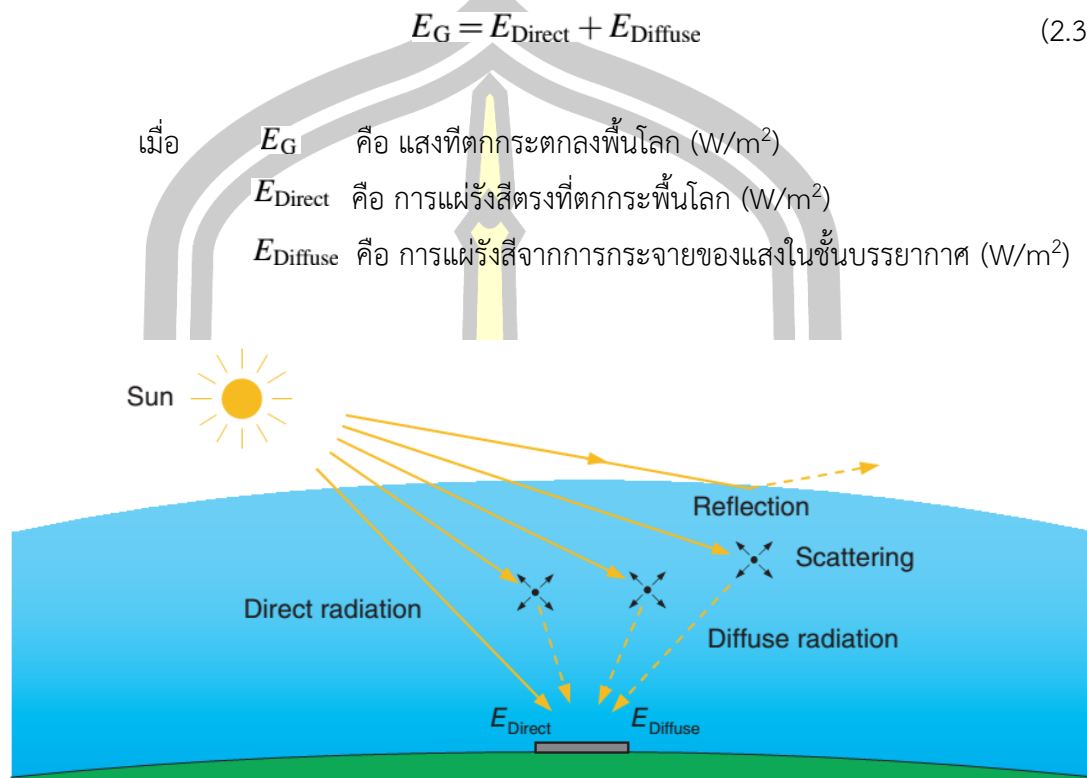
ภาพประกอบ 2.3 แสดงอัตราส่วนมวลอากาศ  $x$  ใด ๆ เมื่อเทียบกับระยะทางตั้งฉากระหว่างชั้นบรรยากาศแอตโมสเฟียร์และพื้นโลก [22]

## 2.4 การแผ่รังสีสู่พื้นโลก

การแผ่รังสีแสงอาทิตย์สู่โลกที่อัตราส่วนมวลอากาศ 0 (AM0) มีปัจจัยภายนอกที่น้อยที่สุด เนื่องจากไม่มีการกระจายของแสงและการดูดซับแสงในชั้นบรรยากาศ ในกรณีอัตราส่วนมวลอากาศ 1.5 (AM1.5) ความเข้มของแสงต่อพื้นโลกเพียง 835 วัตต์ต่อตารางเมตร จากความเข้มความแสงจากรังสีดวงอาทิตย์เท่ากับ 1,367 วัตต์ต่อตารางเมตร คิดเป็นร้อยละ 61 ที่โลกได้รับรังสีแสงอาทิตย์ เรียกว่า การแผ่รังสีตรง (Direct Radiation) [23] อย่างไรก็ตาม มีแสงจากการกระจายของแสงในชั้นบรรยากาศและแพร่กระจายในทุกทิศทางเมื่อสัมผัสกับเมฆ แก๊ส ฝุ่นละออง

หรืออนุภาคอื่นๆในชั้นบรรยากาศ รวมถึงการสะท้อนของชั้นบรรยากาศก่อนจะถึงผิวโลก เรียกว่า รังสีกระจาย (Diffuse Radiation) [24] แสดงในภาพประกอบ 2.4 ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$E_G = E_{\text{Direct}} + E_{\text{Diffuse}} \quad (2.3)$$



ภาพประกอบ 2.4 แสดงการแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์สู่พื้นผิวโลก [25]

## 2.5 โครงสร้างทางฟิสิกส์ของสารกึ่งตัวนำ

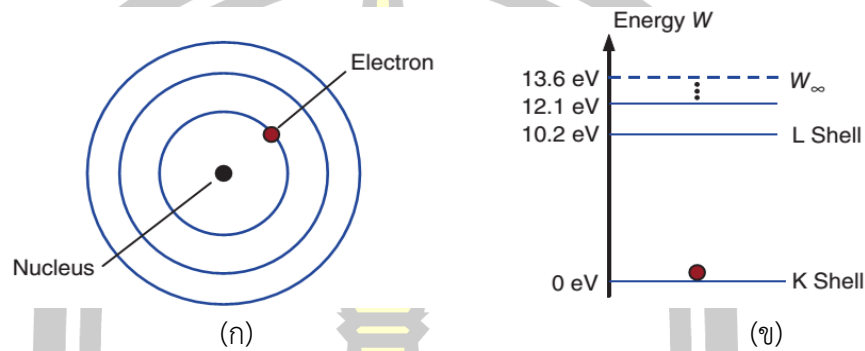
เซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยวัสดุสารกึ่งตัวนำ เพื่อที่จะเข้าใจหลักการการทำงาน ในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงโครงสร้างและคุณสมบัติของสารกึ่งตัวนำรวมถึงการพิจารณารอยต่อพี เอ็นของสารกึ่งตัวนำอีกด้วย

2.5.1 ทฤษฎีอะตอมของโบร์ (Bohr's Atomic Model) ใน ค.ศ. 1913 โบร์ ได้เสนอทฤษฎีอะตอมไฮโดรเจนแสดงในภาพประกอบ 2.5 (ก) ซึ่งคล้ายกับแบบจำลองของรัทเทอร์ฟอร์ด ที่อะตอมมีประจุบวกหรือนิวเคลียสตรงกลาง แต่ต่างที่อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสเป็นวงกลม โดยเสถียรและมีพลังงานไม่ต่อเนื่อง ตั้งบนพื้นฐานสมมติฐานดังนี้ [26]

- อิเล็กตรอนโคจรรอบนิวเคลียสเป็นวงกลมรอบนิวเคลียสอย่างเป็นอิสระ โดยอิเล็กตรอนแต่ละตัวมีความเร็วและพลังงานเฉพาะตัว
- อิเล็กตรอนสามารถเปลี่ยนวงโคจรจากวงโคจรตั้งต้น ซึ่งมีพลังงาน  $W_1$  ไปยังวงโคจรสุดท้ายได้ที่มีพลังงาน  $W_2$  ได้ โดยการดูดกลืนหรือคายพลังงานเท่ากับผลต่าง

ระหว่างพลังงานทั้งสอง

- อิเล็กตรอนในแต่ละวงโคจรมีโมเมนตัมเชิงมุม (Angular Momentum,  $L$ ) เป็นจำนวนเต็มเท่าของค่าคงตัวพลังค์คือ  $2\pi(L = nh/2\pi)$  เมื่อ  $n$  คือจำนวนเต็มบวก



ภาพประกอบ 2.5 แสดงโครงสร้างและพลังงานของอะตอมไฮโดรเจน [27]

จากภาพประกอบ 2.5 (ข) แสดงโครงสร้างและพลังงานของอะตอมไฮโดรเจน ที่มีเพียงโปรตอนและอิเล็กตรอนอย่างละหนึ่งตัว ซึ่งวงรอบอิเล็กตรอนแต่ละชั้นจะมีค่าพลังงานต่างกัน โดยกำหนดชั้นวงรอบอิเล็กตรอนจากค่าพลังงานน้อยไปมาก ได้แก่ ชั้น K ชั้น L ตามลำดับ เมื่ออิเล็กตรอนต้องการเปลี่ยนพลังงานจากชั้น K เป็นชั้น L นั้นหมายถึงต้องใช้ค่าพลังงานอย่างน้อย 10.2 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) ในกรณีที่อิเล็กตรอนต้องการแยกออกจากอะตอมอย่างสมบูรณ์ต้องใช้ค่าพลังงานอย่างน้อย 13.6 eV เรียกว่า ค่าพลังงานไอออไนซ์ (Ionizing Energy) [28] โดยค่าพลังงานในการเปลี่ยนชั้นพลังงานแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$\Delta W = W_2 - W_1 = hf \quad (2.4)$$

เมื่อ  $W_1$  คือ ค่าพลังงานก่อนถ่ายเทพลังงาน

$W_2$  คือ ค่าพลังงานหลังถ่ายเทพลังงาน

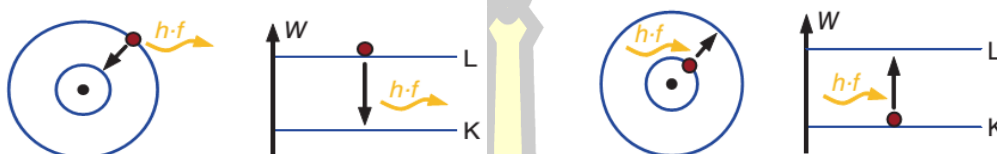
$h$  คือ ค่าคงที่พลังค์ (Planck's constant)  $6.6 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$

ในกรณีหาความยาวคลื่น ( $\lambda$ ) จากความถี่ ( $f$ ) แสดงในสมการต่อไปนี้

$$\lambda = c_0/f \quad (2.5)$$

เมื่อ  $c_0$  คือความเร็วของแสงในสุญญากาศเท่ากับ 299.792 km/s

จากสมการ (2.1) สามารถอธิบายการถ่ายเทค่าพลังงานได้ในภาพประกอบ 2.6 โดยอิเล็กตรอนในชั้นพลัง L ตกลงมาชั้นพลังงาน K หมายถึงค่าพลังงานที่อิเล็กตรอนปล่อยออกมาจากการรับโฟตอนของแสงอาทิตย์ เรียกว่า การปล่อยแสง (Light Emission) [29] และในทางตรงกันข้ามอิเล็กตรอนจากชั้นพลังงาน K ขึ้นไปยังชั้นพลังงาน L หมายถึงค่าพลังงานที่อิเล็กตรอนรับพลังงานจากโฟตอนของแสงอาทิตย์ เรียกว่าการดูดซับแสง (Absorption of Light)



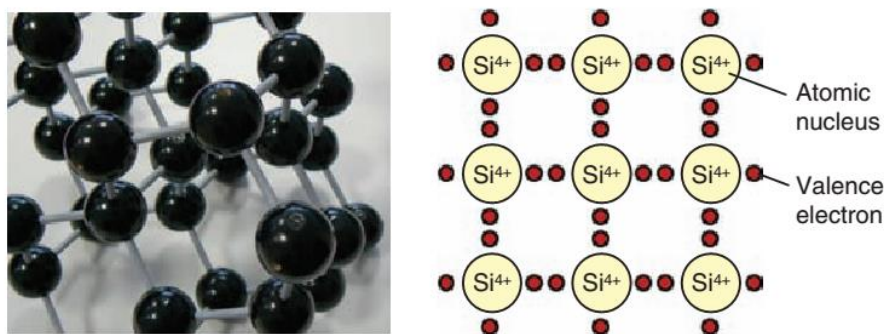
ภาพประกอบ 2.6 แสดงการรับและปล่อยพลังงานโฟตอนของอิเล็กตรอนของอะตอมไฮโดรเจน [30]

โดยอิเล็กตรอนของธาตุแต่ละชนิดก็มีค่าพลังงานแตกต่างกันออกไป แสดงในภาพประกอบ 2.7 โดยแต่ละแถวจะแบ่งค่าพลังงานในแต่ละชั้น (Shell) ด้วยจำนวนอิเล็กตรอนเรียงลำดับจากชั้นค่าพลังงานน้อยสุดไปชั้นสูงสุด ได้แก่ ชั้น K ชั้น L ชั้น M ชั้น N และ ชั้น O ตามลำดับ หรือชั้นที่ 1 2 3 4 5 6 ตามลำดับ เช่น จำนวนอิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงาน K มีได้ไม่เกิน  $2n^2 = 2 \times 1^2 = 2$  จำนวนอิเล็กตรอนในชั้นพลังงาน N มีได้ไม่เกิน  $2n^2 = 2 \times 4^2 = 32$  เป็นต้น เมื่อ n คือจำนวนชั้นของอิเล็กตรอน ส่วนอิเล็กตรอนที่อยู่นอกเหนือในแต่ละชั้น เรียกว่า เวเลนซ์อิเล็กตรอน (Valence Electron) ซึ่งเป็นอิเล็กตรอนที่สามารถร่วมในการสร้างพันธะเคมีสำหรับธาตุหมู่หลักได้โดยตารางธาตุแสดงในภาพประกอบ 2.7



Main group/valence								Shell
I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	
H Hydrogen 1							He Helium 2	K
Li Lithium 3	Be Beryllium 4	B Boron 5	C Carbon 6	N Nitrogen 7	O Oxygen 8	F Fluorine 9	Ne Neon 10	L
Na Sodium 11	Mg Magnesium 12	Al Aluminum 13	Si Silicon 14	P Phosphorous 15	S Sulfur 16	Cl Chlorine 17	Ar Argon 18	M
K Potassium 19	Ca Calcium 20	Ga Gallium 31	Ge Germanium 32	As Arsenic 33	Se Selenium 34	Br Bromine 35	Kr Krypton 36	N
Rb Rubidium 37	Sr Strontium 38	In Indium 49	Sn Tin 50	Sb Antimony 51	Te Telluride 52	I Iodine 53	Xe Xenon 54	O

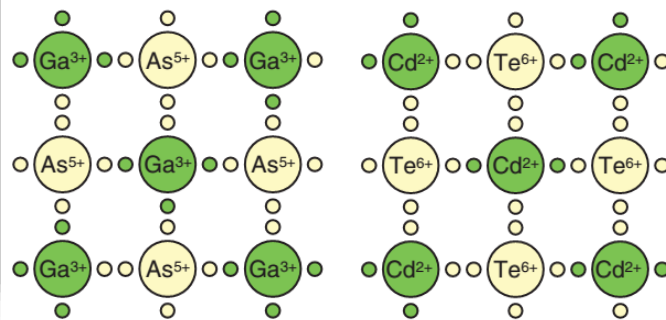
ภาพประกอบ 2.7 แสดงตารางธาตุและชั้นพลังงานของอะตอม [31]



ภาพประกอบ 2.8 แสดงโครงสร้างผลึกของซิลิกอน [32]

2.5.2 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำ ผลึกเดี่ยวอุดมคติมีโครงสร้างผลึก (Crystal Structure) ประกอบด้วยอะตอมเรียงตัวกันเป็นคาบ 3 มิติ แต่ละอะตอมจะล้อมรอบจุดสมมูลของตน จุดสมมูลอะตอมทั้งหมดในผลึกจึงแทนได้โดยพิกัด 3 มิติ เรียกว่า แลตทิซ (Lattice) และเชื่อมต่อกันหลายแลตทิซเป็นโครงสร้าง เรียกว่า ผลึก (Crystal) [33] แสดงในภาพประกอบ 2.8 แสดงตัวอย่างธาตุซิลิกอน โดยวาเลนซ์อิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์

2.5.3 สารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบ คือการนำธาตุที่อยู่ในหมู่ที่ 3 และหมู่ 5 หรือธาตุหมู่ 2 และหมู่ 6 มาประกอบเป็นสารกึ่งตัวนำ ถ้าเกิดจากการประกอภกันระหว่างธาตุ 2 ชนิด เรียกว่า สารประกอบกึ่งตัวนำแบบคู่ (Binary Semiconductor) เช่น แกลเลียมอาเซไนด์ (GaAs) เกิดจากการนำธาตุหมู่ 3 และธาตุหมู่ 5 แสดงในภาพประกอบ 2.10 หากธาตุประกอบกึ่งตัวนำประกอบด้วยธาตุ 3 ชนิด เรียกว่า สารประกอบประเภทอัลลอย (Alloy Semiconductor) [33] เช่น อะลูมิเนียมแกลเลียมอาเซไนด์ (AlGaAs) เป็นต้น และถ้าสารประกอบจากธาตุ 4 ชนิด เรียกว่า สารกึ่งตัวนำประเภทควอนเทอร์นารี (Quaternary Semiconductor) เช่น แกลเลียมอินเดียม อาเซไนด์ ฟอสไฟด์ (GaInAsP) เป็นต้น



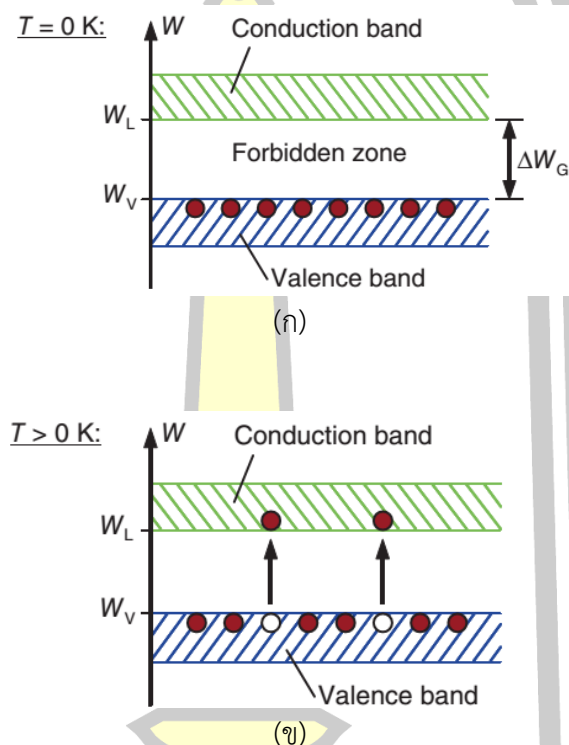
ภาพประกอบ 2.9 แสดงโครงสร้างสารประกอบของแกลเลียมอาเซไนด์และแคดเมียมเทลลูไรด์ตามลำดับ [34]

## 2.6 แถบพลังงานจำลองต้นแบบของสารกึ่งตัวนำ

2.6.1 แถบพลังงานต้นแบบ อิเล็กตรอนในผลึกแข็งมีพลังงานต่างจากในอะตอม อิเล็กตรอนในอะตอมมีพลังงานได้เพียงบางค่าไม่ต่อเนื่อง และค่าพลังงานแยกออกจากกันชัดเจน แต่อิเล็กตรอนในผลึกแข็งมีพลังงานได้ต่อเนื่อง แต่ไม่ไร้ขอบเขต หรือมีขอบเขตเป็นช่วง เรียกว่า แถบพลังงาน (Energy Band) [34] โดยแบ่งแถบพลังงานที่อิเล็กตรอนอยู่ซึ่งอิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ เรียกว่า แถบตัวนำ (Conduction Band) และแถบพลังงานที่ไม่มีอิเล็กตรอน เรียกว่า แถบต้องห้าม (Forbidden Band) และแถบที่อิเล็กตรอนรอรับพลังงานภายนอกมากกระตุ้นเพื่อข้ามแถบต้องห้ามไปยังแถบตัวนำ เรียกว่า แถบวาเลนซ์ (Valence Band) ซึ่งแถบพลังงานเป็นผลมาจากฟังก์ชันคลื่นของอิเล็กตรอนทับซ้อนกันระหว่างสสารเกิดการควบแน่น เช่น ระหว่างสร้างพันธะ (Bond) กลายเป็นโมเลกุล หรือระหว่างที่โมเลกุลตกผลึก (Crystalize) เป็นของแข็ง แสดงใน



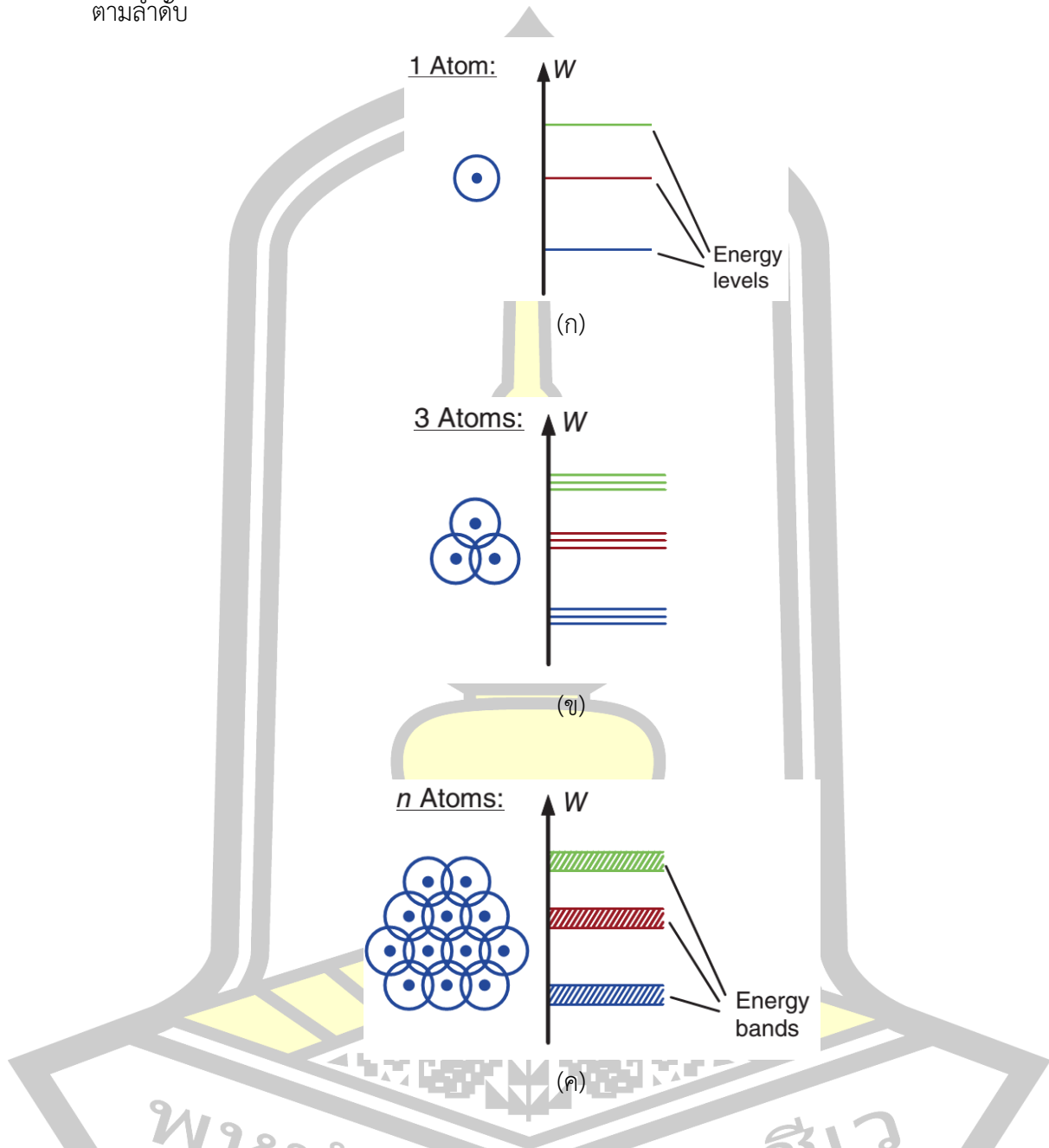
ภาพประกอบ 2.10 (ก) แสดงพฤติกรรมทางไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส วาเลนซ์อิเล็กตรอนจะยังคงอยู่ในพันธะเดิม ซึ่งในกรณีนี้จะไม่มีความวเลนซ์อิเล็กตรอนข้ามแถบต้องห้ามไปยังแถบตัวนำ แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นวาเลนซ์อิเล็กตรอนจะเริ่มเคลื่อนเนื่องจากได้รับการกระตุ้นจากพลังงานความร้อน ถ้าอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จะส่งผลให้วาเลนซ์อิเล็กตรอนสามารถหลุดจากแถบวาเลนซ์และข้ามผ่านแถบต้องห้ามไปยังแถบตัวนำได้ แสดงในภาพประกอบ 2.10 (ข)



ภาพประกอบ 2.10 แสดงแถบพลังงานวาเลนซ์และแถบตัวนำของสารกึ่งตัวนำ (ก) ที่อุณหภูมิเท่ากับ 0 องศาเซลเซียสและ (ข) ที่อุณหภูมิมากกว่า 0 องศาเซลเซียส [34]

โดยแถบพลังงานเกิดจากการรวมตัวของเส้นพลังงานจากหลายอะตอม แสดงในภาพประกอบ 2.11 โดยในภาพประกอบ 2.12(ก) แสดงหนึ่งอะตอมและมีเส้นระดับพลังงานแบ่งออกเป็น 3 เส้น ในภาพประกอบ 2.12(ข) แสดงอะตอม 3 อะตอมรวมตัวกันและทำให้ระดับของเส้นพลังงานเพิ่มขึ้นจากเส้นพลังงานของ 1 อะตอมเป็น 3 เท่า และในภาพประกอบ 2.12(ค) แสดงจำนวนอะตอมจำนวน  $n$  อะตอมรวมตัวกัน ทำให้เส้นพลังงานเพิ่มขึ้นจำนวน  $n$  เท่าจากจำนวนเส้นพลังงานของ 1 อะตอม ซึ่งจำนวนเส้นหลายๆเส้นดังกล่าวอาจเกิดการทับซ้อนกันและเกิดช่วงเส้นพลังงาน

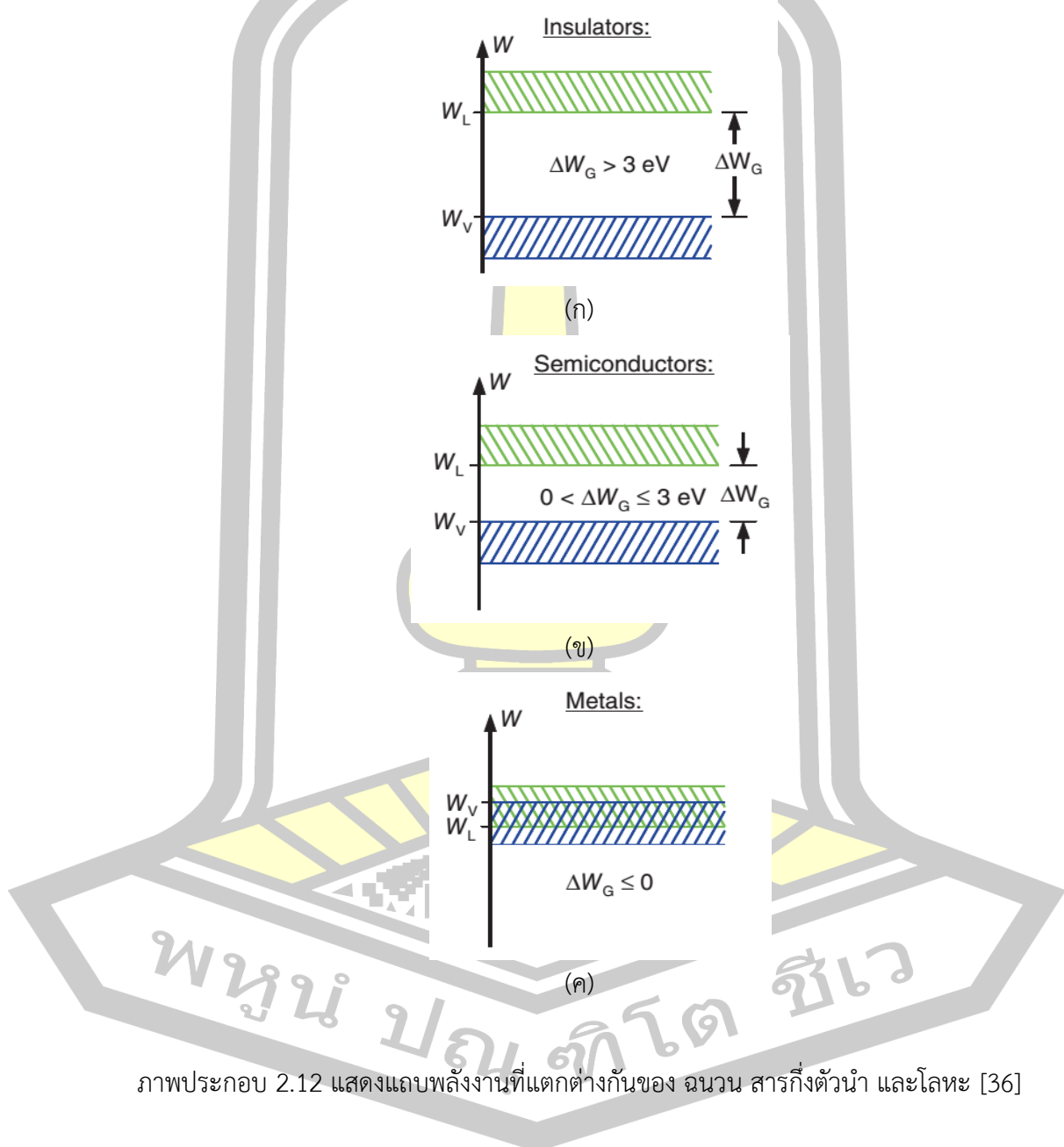
ออกเป็น 3 ช่วง เรียงลำดับจากบนลงล่างได้แก่ แถบตัวนำ แถบต้องห้าม และ แถบวาเลนซ์ ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2.11 แสดงเส้นและแถบพลังงานของจำนวนอะตอมที่แตกต่างกัน [35]

2.6.2 ความแตกต่างของแถบพลังงานระหว่างฉนวน สารกึ่งตัวนำ และตัวนำ แสดงในภาพประกอบ 2.13 แสดงการเปรียบเทียบระหว่างฉนวน สารกึ่งตัวนำ และโลหะ ซึ่งในกรณีของฉนวนจะมีช่องว่างของแถบต้องห้ามกว้าง แสดงในภาพประกอบ 2.13 (ก) ซึ่งฉนวนจะมีค่าพลังงานที่จะต้องใช้ในการข้ามไปยังแถบตัวนำมากกว่า 3 อิเล็กตรอนโวลต์ (eV) นั่นหมายถึงแถบจะไม่มี

อิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้น แม้อยู่สภาวะอุณหภูมิสูง ในกรณีสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิต่ำจะมีคุณลักษณะ คล้ายกับฉนวน แต่อย่างไรก็ตามค่าความนำจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิสูง (มากกว่า 200 องศาเซลเซียส) จะกลายสภาพเป็นตัวนำที่ดี แสดงในภาพประกอบ 2.13 (ข) ในกรณีของโลหะจะมีแถบตัวนำและ แถบวาเลนซ์ทับซ้อนกัน ซึ่งสามารถเป็นตัวนำได้ดีที่อุณหภูมิต่ำ แสดงในภาพประกอบ 2.13 (ค)

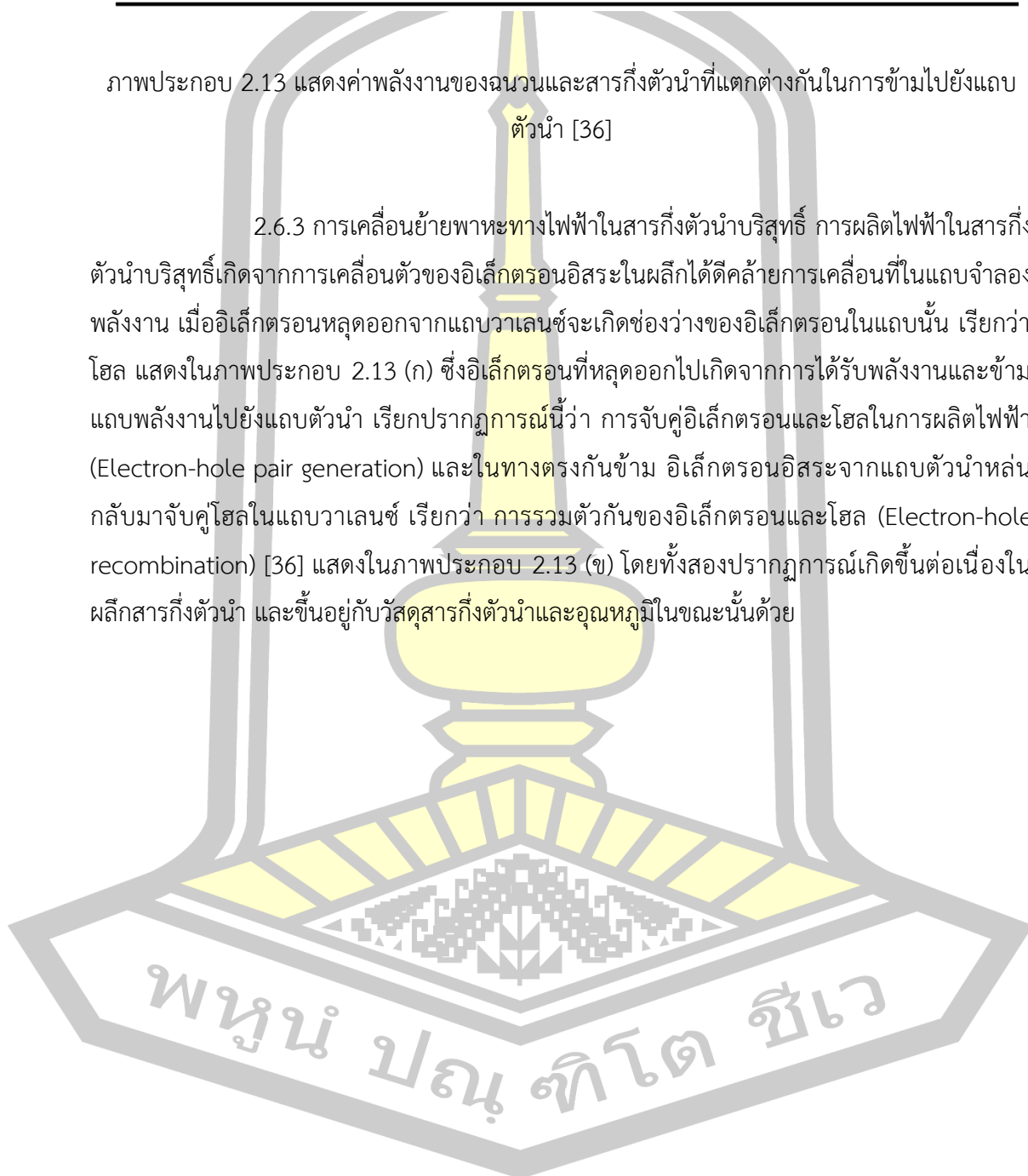


ภาพประกอบ 2.12 แสดงแถบพลังงานที่แตกต่างกันของ ฉนวน สารกึ่งตัวนำ และโลหะ [36]

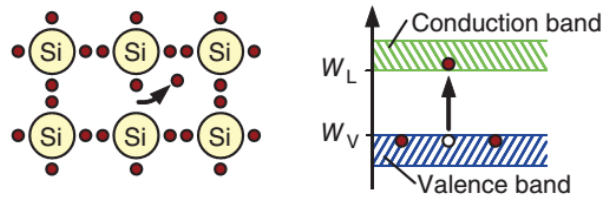
Material	Type of material	Bandgap $\Delta W_G$ (eV)
Diamond	Insulator	7.3
Gallium arsenide	Semiconductor	1.42
Silicon	Semiconductor	1.12
Germanium	Semiconductor	0.7

ภาพประกอบ 2.13 แสดงค่าพลังงานของฉนวนและสารกึ่งตัวนำที่แตกต่างกันในการข้ามไปยังแถบ  
ตัวนำ [36]

2.6.3 การเคลื่อนย้ายพาหะทางไฟฟ้าในสารกึ่งตัวนำบริสุทธิ์ การผลิตไฟฟ้าในสารกึ่ง  
ตัวนำบริสุทธิ์เกิดจากการเคลื่อนตัวของอิเล็กตรอนอิสระในผลึกได้คือการเคลื่อนที่ในแถบจำลอง  
พลังงาน เมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกจากแถบวาเลนซ์จะเกิดช่องว่างของอิเล็กตรอนในแถบนั้น เรียกว่า  
โฮล แสดงในภาพประกอบ 2.13 (ก) ซึ่งอิเล็กตรอนที่หลุดออกไปเกิดจากการได้รับพลังงานและข้าม  
แถบพลังงานไปยังแถบตัวนำ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การจับคู่อิเล็กตรอนและโฮลในการผลิตไฟฟ้า  
(Electron-hole pair generation) และในทางตรงกันข้าม อิเล็กตรอนอิสระจากแถบตัวนำหล่น  
กลับมาจับคู่อิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ เรียกว่า การรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโฮล (Electron-hole  
recombination) [36] แสดงในภาพประกอบ 2.13 (ข) โดยทั้งสองปรากฏการณ์เกิดขึ้นต่อเนื่องใน  
ผลึกสารกึ่งตัวนำ และขึ้นอยู่กับวัสดุสารกึ่งตัวนำและอุณหภูมิในขณะนั้นด้วย

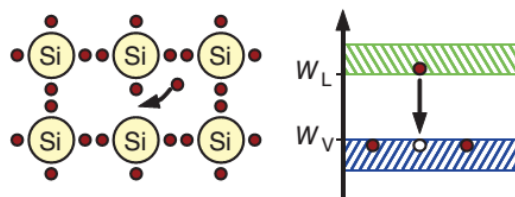


Electron-hole pair generation:



(ก)

Electron-hole pair recombination:



(ข)

ภาพประกอบ 2.14 แสดงการหลุดและรวมตัวกันของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำซิลิกอน [37]

## 2.7 การเคลื่อนที่ของประจุในสารกึ่งตัวนำ

2.7.1 สนามไฟฟ้า (Field Currents) ภาพประกอบ 2.15 แสดงผลึกซิลิกอนที่ถูกแรงดันไฟฟ้า (V) ฉายคร่อมไว้ ทำให้เกิดสนามไฟฟ้าคร่อมสารกึ่งตัวนำ ดังสมการต่อไปนี้ [37]

$$F = V/L \quad (2.6)$$

เมื่อ  $F$  คือ สนามไฟฟ้าในผลึก โวลต์ต่อเซนติเมตร (V/cm)

$V$  คือ แรงดันไฟฟ้า โวลต์ (V)

$L$  คือ ความกว้างของบริเวณสนามไฟฟ้า (cm)

อิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ด้วยความเร่งในทิศทางสวนกับสนามไฟฟ้า โดยทิศทางของกระแสไฟฟ้าผ่านสารกึ่งตัวนำเรียกว่า กระแสสนาม (Field Current) หรือ กระแสเลื่อน (Drift Current) อย่างไรก็ตาม อิเล็กตรอนในผลึกเกิดการชนกันและผลักกันกับนิวเคลียสของอะตอม เกิดการชะลอตัวและเร่งความเร็วอีกครั้งในสนามไฟฟ้า ซึ่งเรียกความเร็วของอิเล็กตรอนว่า ความเร็วเลื่อน

ลอย (Drift Velocity :  $V_D$ ) และมีสมการการเคลื่อนที่ดังต่อไปนี้

$$\mu_n = V_D / F \quad (2.7)$$

เมื่อ  $\mu_n$  คือ ความเร็วการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน หน่วยตร.ชมต่อโวลต์ ( $\text{cm}^2/\text{V}$ )

$V_D$  คือ ความเร็วเลื่อนลอย

การเพิ่มอุณหภูมิส่งผลต่อการสั้นของอิเล็กตรอนของแลตทิซในผลึก และเป็นสาเหตุให้เกิดการชนกันของอิเล็กตรอนกับอะตอมของนิวเคลียสอีกด้วย โดยจำนวนของอิเล็กตรอนในภาพประกอบ 2.16 โดยมีความสัมพันธ์สมการดังต่อไปนี้

$$N = nAL \quad (2.8)$$

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนอิเล็กตรอนต่อพื้นที่หน้าตัด

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดของผลึกหน่วย ตร.ชม ( $\text{cm}^2$ )

$L$  คือ ความกว้างของผลึก หน่วย ซม. (cm)

โดยอิเล็กตรอนถูกผลักด้วยสนามไฟฟ้าผ่านผลึกในช่วงเวลาสั้นๆ  $\Delta t = V_D \times t$  และมีค่ากระแสสนามดังสมการต่อไปนี้

$$I_F = (q \times N) / \Delta t \quad (2.9)$$

เมื่อ  $I_F$  คือ กระแสสนามไฟฟ้า หน่วยแอมแปร์ (A)

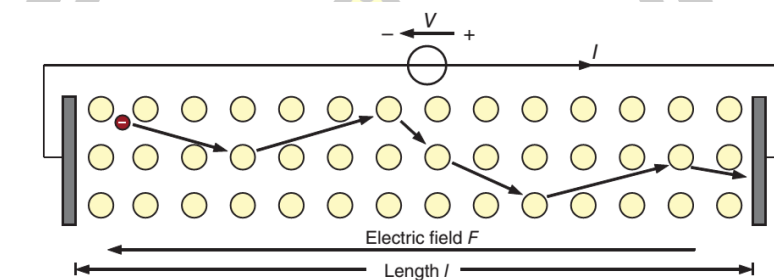
$q$  คือ ประจุไฟฟ้า หน่วยคูลอมบ์ (C)

$N$  คือ จำนวนอิเล็กตรอนในผลึก

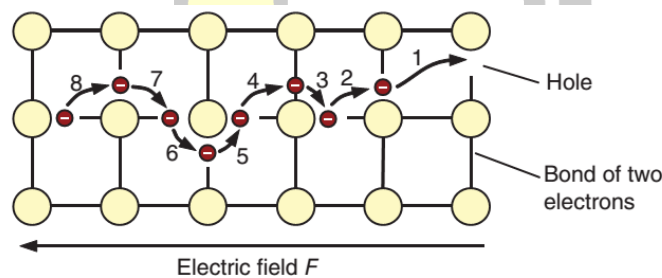
การขนส่งอิเล็กตรอนผ่านช่องว่างโฮลในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ในภาพประกอบ 2.17 เกิดจากการจ่ายสนามไฟฟ้าคร่อมผลึก และอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ว่างในทางตรงกันข้าม โฮลจะเคลื่อนที่ในทิศทางตรงกันข้ามกับอิเล็กตรอน เปรียบเทียบได้กับม้านั่งที่ว่างและถูกแทนตำแหน่งด้วยคนที่อยู่ใกล้ม้านั่งว่างนั้นต่อกันไปเรื่อย ๆ ซึ่งทิศทางของคนก็เปรียบเสมือน

อิเล็กตรอนซึ่งสวนทางกับทิศทางของที่ว่างของน้ำนิ่งที่เปรียบเสมือนโฮล

การเคลื่อนไหวของโฮลจะช้ากว่าอิเล็กตรอน เนื่องจากโฮลต้องรอให้อิเล็กตรอนเกิดการเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่ว่างก่อน ซึ่งเกิดขึ้นช้ามากในผลึก ในกรณีของสารกึ่งตัวนำซิลิกอนมีความเร็วในการเคลื่อนที่ของโฮล ( $\mu_p$ ) ประมาณ  $450 \text{ cm}^2/\text{V}$  ซึ่งแตกต่างจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ( $\mu_n$ ) ประมาณ  $1,400 \text{ cm}^2/\text{V}$



ภาพประกอบ 2.15 แสดงการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในผลึกที่มีสนามไฟฟ้า [38]



ภาพประกอบ 2.16 เปรียบเทียบการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำกับน้ำนิ่งภายใต้สนามไฟฟ้า [38]

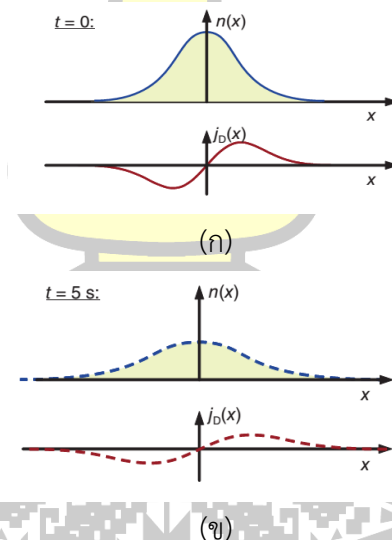
2.7.2 การแพร่ของกระแส คือผลข้างเคียงของกระแสสนามในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งมาจากการรวมกันของพลังงานความร้อนในการเคลื่อนที่ของโครงสร้างแลตทิซในผลึก เมื่ออิเล็กตรอนได้รับพลังงานกระตุ้นภายนอก เช่น โฟตอนของแสงอาทิตย์ พลังงานความร้อน จะเกิดการเคลื่อนที่ของประจุแต่จะไม่มีกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในผลึก และจะเกิดการแพร่ไปยังบริเวณที่มีความ

หนาแน่นน้อยกว่า ซึ่งสมการความหนาแน่นของกระแส แสดงในสมการต่อไปนี้

$$J_D = -q D \frac{d(n)}{dx} \quad (2.10)$$

เมื่อ  $J_D$  คือ ความหนาแน่นของกระแส  
 $Q$  คือ ประจุไฟฟ้า หน่วยเอ็นคูลอมบ์ (C)  
 $D$  คือ ค่าคงที่การกระจาย

การกระจายความหนาแน่นของกระแสในสารกึ่งตัวนำสามารถอธิบายอย่างง่ายด้วยกองทราย แสดงในภาพประกอบ 2.18 โดยการสันเปรียบเสมือนการได้รับพลังงานการกระตุ้นภายนอก ในภาพประกอบ 2.18(ก) เป็นกราฟกองทรายตอนเริ่มต้น ( $t=0$ ) จะเห็นว่ายอดของกองทรายสูงนั้น หมายถึงความหนาแน่นกระแสสูงตามไปด้วย แต่หลังจากได้รับการกระตุ้นหรือการสั่นจากภายนอก จะเห็นว่าขอบฐานของกองทรายกว้างและยอดของกองทรายเป็นดั่งเปรียบได้กับความหนาแน่นของกระแสที่เริ่มแพร่กระจายไปยังพื้นที่ใกล้เคียงและลดความหนาแน่นลง แสดงในภาพประกอบ 2.18(ข)



ภาพประกอบ 2.17 แสดงการเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแสในผลึก หลังจากได้รับการกระตุ้นพลังงานจากภายนอก ที่เวลาแตกต่างกัน [39] [38]

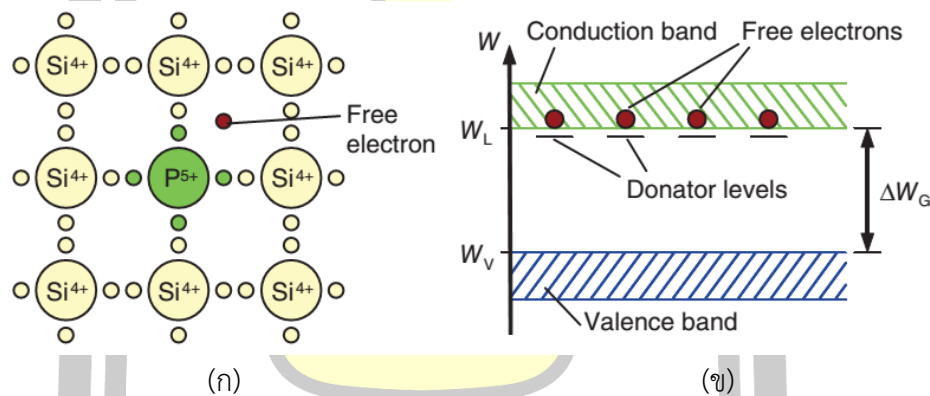
## 2.8 การกระตุ้นสารกึ่งตัวนำ

สารกึ่งตัวนำผ่านกระบวนการเจือสาร (Doping) เรียกว่า สารกึ่งตัวนำเอกทรินซิค (Extrinsic semiconductor) สารเจือปนที่เพิ่มลงไปนในสารกึ่งตัวนำ ถึงแม้จะมีปริมาณน้อยมากแต่



ส่งผลต่อการนำไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำอย่างมาก ซึ่งสามารถแบ่งชนิดของสารกึ่งตัวนำได้เป็น 2 ชนิด คือ ชนิดเอ็น (N-Type) และชนิดพี (P-type) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

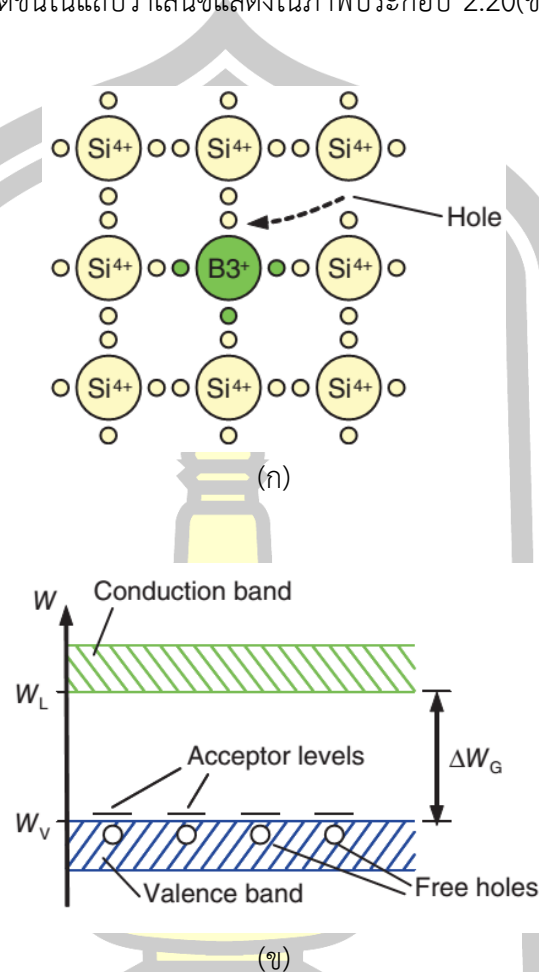
2.8.1 สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type semiconductor) [39] สารกึ่งตัวนำเอกทรินซิคถูกเจือด้วยธาตุในกลุ่มที่ 5 ของตารางธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส (P) สารหนู(As) พลวง(Pb) หลังจากถูกเจือด้วยธาตุกลุ่มดังกล่าวจะทำให้สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดีส่งผลให้มีประจุอิเล็กตรอนมากขึ้นที่แถบความนำ เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดยแต่ละอะตอมของสารเจือจะมีเวเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัวอยู่วงโคจรชั้นนอกสุด แสดงในภาพประกอบ 2.19 โดยซิลิกอนถูกเจือปนด้วยฟอสฟอรัสและมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระเกิดขึ้นระหว่างพันธะ แสดงในภาพประกอบ 2.19(ก) เมื่ออิเล็กตรอนอิสระถูกการกระตุ้นรับค่าพลังงานจากภายนอก เช่น พลังงานความร้อน โฟตอน เป็นต้น ก็จะสามารถข้ามจากแถบวาเลนซ์ผ่านแถบต้องห้ามมายังแถบตัวนำได้ แสดงในภาพประกอบ 2.19(ข)



ภาพประกอบ 2.18 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระจากการเจือสารและแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น [39]

2.8.2 สารกึ่งตัวนำชนิดพี (P-type semiconductor) [40] สารกึ่งตัวนำเอกทรินซิคถูกเจือด้วยธาตุในกลุ่มที่ 3 ของตารางธาตุ เช่น แกลเลียม (Ga) อินเดียม (In) โบรอน (B) อะลูมิเนียม (Al) หลังจากถูกเจือด้วยธาตุกลุ่มดังกล่าวจะทำให้สารกึ่งตัวนำมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าได้ดี ส่งผลให้มีโฮลเป็นพาหะที่มีประจุบวกเกิดในแถบวาเลนซ์อิเล็กตรอนจำนวนมาก เรียกว่า สารกึ่งตัวนำชนิดพีแต่ละอะตอมของสารชนิดพีจะมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนอยู่ 3 ตัว สารกึ่งตัวนำแต่ละชนิดจะมีประจุถ้าหากจำนวนไม่เท่ากัน ซึ่งสารกึ่งตัวนำชนิดพี จะมีโฮลมากกว่าอิเล็กตรอน โดยจะมีโฮลเป็นพาหะส่วนมาก (Majority Carriers) และประจุอาหารที่มีจำนวนน้อยกว่า เรียกว่า พาหะส่วนน้อย (Minority carriers) แสดงในภาพประกอบ 2.20 โดยซิลิกอนถูกเจือปนด้วยโบรอนและมีจำนวนโฮลอิสระเกิดขึ้น

ระหว่างพันธะ แสดงในภาพประกอบ 2.20(ก) และสามารถรับอิเล็กตรอนอิสระเข้ามาในเพื่อให้ครบพันธะได้ ซึ่งโฮลอิสระจะเกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์แสดงในภาพประกอบ 2.20(ข)



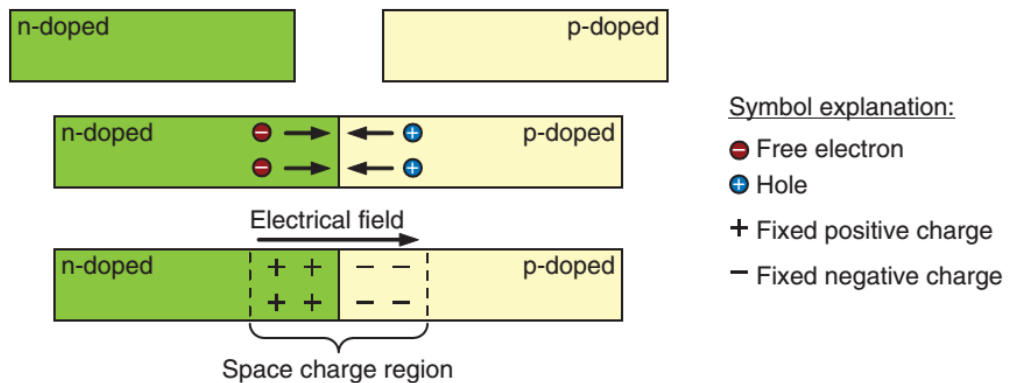
ภาพประกอบ 2.19 แสดงการเกิดโฮลจากการเจือสารและแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำชนิดพี [41]  
[40]

## 2.9 รอยต่อพี-เอ็น

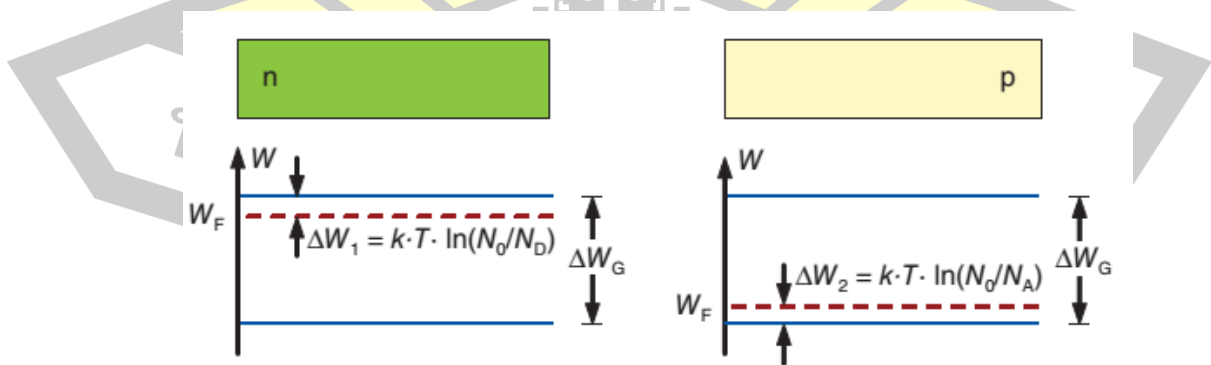
2.9.1 หลักการของรอยต่อพี-เอ็น เมื่อนำสารกึ่งตัวนำชนิดพี และชนิดเอ็นมาเชื่อมต่อกัน เรียกรอยต่อดังกล่าวว่า รอยต่อพี-เอ็น (p-n junction) [41] และส่วนของผิวสารทั้งสองที่เชื่อมต่อกัน เรียกว่า ผิวรอยต่อ (Junction Surface) ซึ่งเป็นบริเวณการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติสารกึ่งตัวนำ หลังจากที่เชื่อมต่อกันอิเล็กตรอนจากฝั่งเอ็นพยายามวิ่งเพื่อจับคูโฮลที่สารกึ่งตัวนำชนิดพี และขณะเดียวกันโฮลจากฝั่งพีวิ่งเพื่อจะจับคูอิเล็กตรอนในฝั่งเอ็น ทำให้เกิดกำแพงกันขึ้นและเกิดสนามไฟฟ้าบริเวณรอยต่อ เรียกว่า บริเวณประจุ (Space charge region) หรือ ชั้นดีพลีชั้น

(Depletion Layer) แสดงในภาพประกอบ 2.21

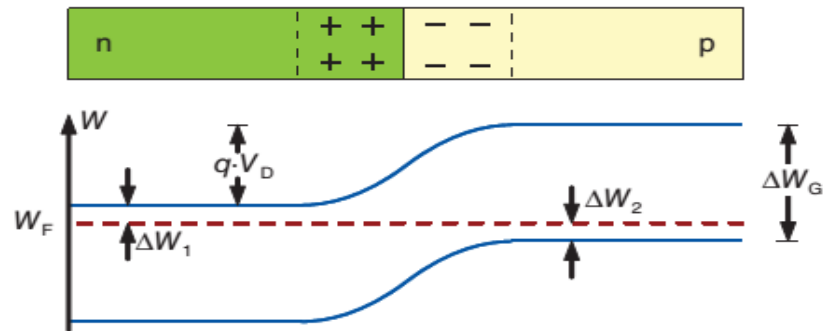
2.9.2 ค่าพลังงานเฟอร์มิ (Fermi Energy :  $W_F$ ) คือ ระดับพลังงานศักย์ของอิเล็กตรอนภายในผลึกที่มากกว่าร้อยละ 50 โดยสารกึ่งตัวนำที่ไม่ได้รับการเจือปนจะมีระดับค่าเฟอร์มิอยู่กึ่งกลางของระดับแถบต้องห้าม อิเล็กตรอนทุกๆตัวในแถบตัวนำจะสร้างโฮลในแถบวาเลนซ์ และจำนวนพลังงานในแถบตัวนำและแถบวาเลนซ์จะเท่ากัน ในกรณีสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น จะมีจำนวนอิเล็กตรอนอิสระในสารนั้นจำนวนมาก ซึ่งค่าระดับพลังงานเฟอร์มิจะอยู่ใกล้แถบตัวนำมาก เมื่อสารกึ่งตัวนำชนิดนี้ได้รับการกระตุ้นพลังงานจากภายนอก จึงสามารถข้ามผ่านแถบต้องห้ามไปยังแถบตัวนำได้ ซึ่งแตกต่างจากสารกึ่งตัวนำชนิดพี ที่มีค่าระดับพลังงานเฟอร์มิอยู่ต่ำมาก จึงเป็นไปได้ยากมากที่จะรับพลังงานจากภายนอกมากกระตุ้นและข้ามผ่านแถบต้องห้ามไปยังแถบตัวนำได้ แสดงในภาพประกอบ 2.22 และเมื่อมีการเชื่อมต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำสองชนิด ค่าระดับพลังงานเฟอร์มิก็จะมีระดับที่แตกต่างกันออกไปแสดงในภาพประกอบ 2.23



ภาพประกอบ 2.20 แสดงการเชื่อมรอยต่อระหว่างสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น [41]

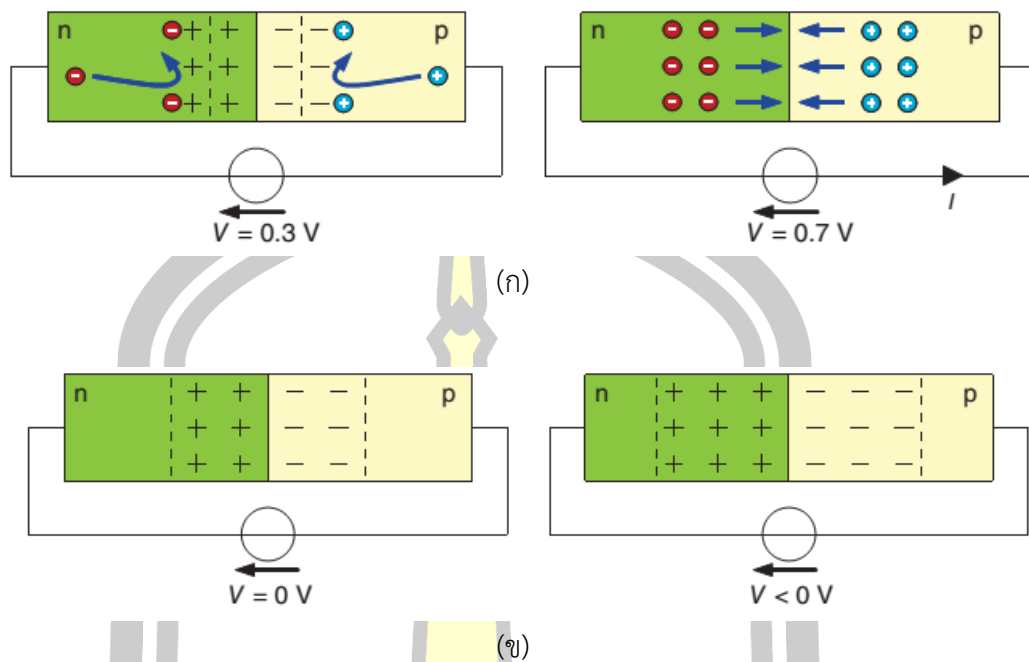


ภาพประกอบ 2.21 แสดงระดับค่าพลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็น [42]



ภาพประกอบ 2.22 แสดงระดับค่าพลังงานเฟอร์มิจากการเชื่อมต่อสารกึ่งตัวนำชนิดพีและเอ็นเข้าด้วยกัน [42]

2.9.3 พลวัตการรยต่อพีเอ็นเมื่อถูกจ่ายด้วยแรงดันไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะไหลหรือไม่ไหลในสารกึ่งตัวนำจะขึ้นอยู่กับทิศทางของแรงดันไฟฟ้า ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะมีอิเล็กตรอนอยู่เป็นจำนวนมาก และในสารกึ่งตัวนำชนิดพีก็จะมีโฮลอยู่เป็นจำนวนมากแต่ทั้งสองจะถูกกันด้วยรอยต่อพีเอ็นเสมือนมีกำแพงศักย์กันอยู่ ดังนั้นเมื่อนำสารกึ่งตัวนำมาเชื่อมต่อกันเพียงอย่างเดียวจะไม่มีอิเล็กตรอนไหล เพราะโฮลและอิเล็กตรอนจะไม่สามารถข้ามกำแพงนั้นไปได้ แต่ถ้ามีการเพิ่มแรงดันไฟฟ้าเข้าไปอิเล็กตรอนที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะถูกแรงดันไฟฟ้าบวก และโฮลที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดพีจะถูกแรงดันไฟฟ้าลบดึงดูด ดังนั้นอิเล็กตรอนและโฮลต่างจะพยายามข้ามรอยต่อไปอยู่ในฝั่งตรงข้าม ซึ่งการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลนั่นเองทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจร ซึ่งปริมาณแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับรอยต่อพีเอ็นก็ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุสารกึ่งตัวนำด้วย เรียกสภาวะดังกล่าวว่าการไบแอสตรง (Forward Bias) แสดงในภาพประกอบ 2.24(ก) แต่ในทางตรงกันข้ามเมื่อป้อนแรงดันไฟฟ้าในทิศทางที่กลับกัน โฮลที่อยู่สารกึ่งตัวนำชนิดพีจะถูกดึงไปทางขั้วมือและอิเล็กตรอนที่อยู่ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะถูกดึงไปทางขั้วมือ จึงไม่มีอิเล็กตรอนเคลื่อนผ่านรอยต่อและส่งผลให้ไม่มีกระแสไหลในวงจร สภาวะนี้เรียกว่าการไบแอสกลับ (Reverse Bias) แสดงในภาพประกอบ 2.23(ข)



ภาพประกอบ 2.23 แสดงการจ่ายแรงดัน (ก) โไบแอสตรงคร่อมรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำ

(ข) โไบแอสกลับคร่อมรอยต่อพี-เอ็นของสารกึ่งตัวนำ [42]

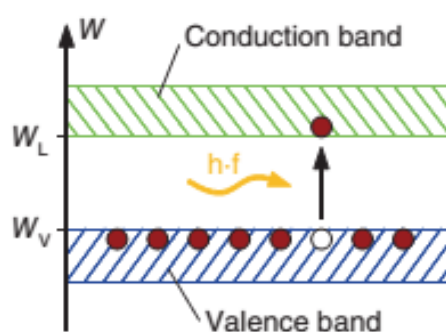
## 2.10 แสงและผลกระทบของสารกึ่งตัวนำ

2.10.1 ปฏิกิริยาการดูดซับแสง จากทฤษฎีของโบร์สามารถอธิบายปรากฏการณ์การดูดซับแสง ซึ่งพฤติกรรมคล้ายกับสารกึ่งตัวนำในส่วนของระดับพลังงานที่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตาม การที่อิเล็กตรอนจะข้ามไปยังแถบตัวนำได้ก็ต้องอาศัยพลังงานภายนอก ซึ่งในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการดูดซับแสงของสารกึ่งตัวนำ [42]

2.10.1.1 สัมประสิทธิ์การดูดซับแสง แสดงในภาพประกอบ 2.25 โดยแสดงผลกระทบของการดูดซับด้วยแสงในผลึกสารกึ่งตัวนำ โดยโฟตอนของแสงเพิ่มพลังงานให้กับอิเล็กตรอนในแถบวาเลนซ์ให้สามารถข้ามผ่านแถบต้องห้ามมายังแถบตัวนำได้ ซึ่งพลังงานโฟตอนจำเป็นต้องมากกว่าแถบต้องห้าม โดยมีสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

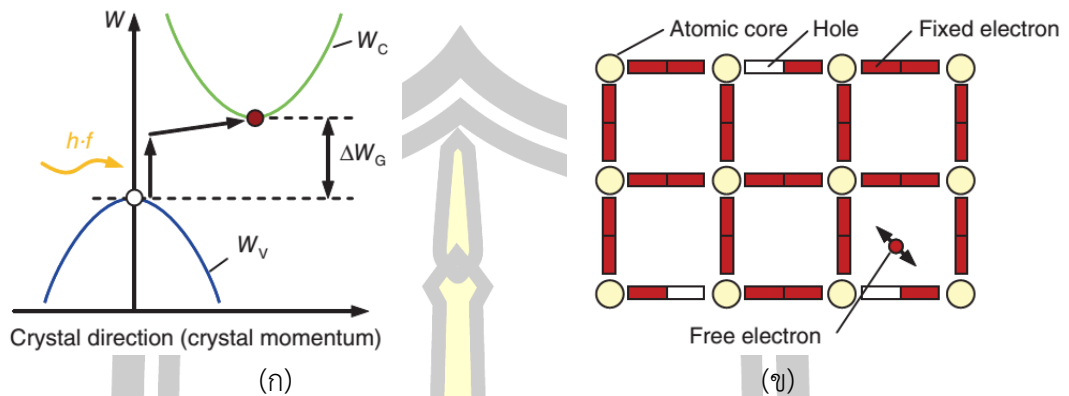
$$W_{ph} = h \times f = \Delta W_G \quad (2.11)$$

- เมื่อ  $\Delta W_G$  คือ ค่าพลังงานในการข้ามแถบต้องห้ามของอิเล็กทรอนิกส์  
 $W_{ph}$  คือ ค่าพลังงานโฟตอน  
 $H$  คือ ค่าคงที่พลังค์ (Planck's constant)  $6.6 \times 10^{-34} \text{ Ws}^2$   
 $f$  คือ ความถี่ของแสง

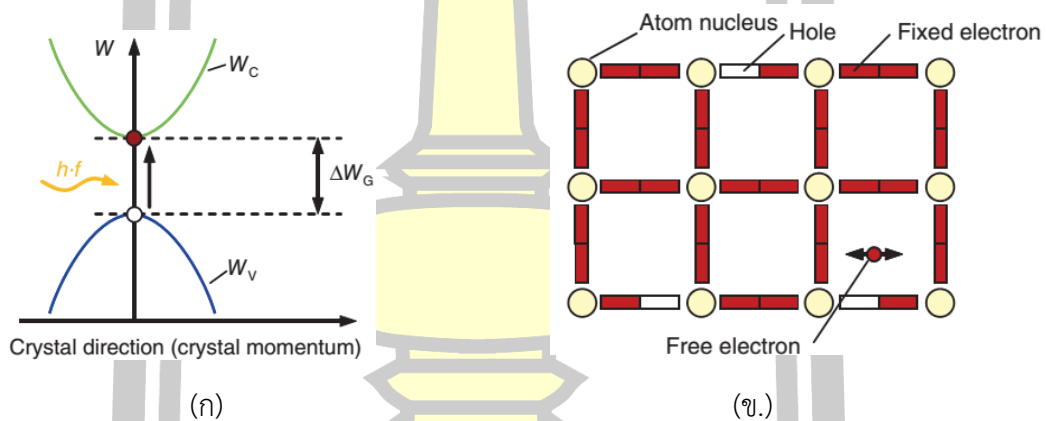


ภาพประกอบ 2.24 แสดงแบบจำลองการดูดซับแสงของสารกึ่งตัวนำ [43] [42]

2.10.1.2 การดูดซับแสงทางตรงและทางอ้อม ในวัสดุสารกึ่งตัวนำที่แตกต่างกันจะมีสัมประสิทธิ์ในการดูดซับแสงแตกต่างกันไปด้วย ผลึกสารกึ่งตัวนำคือระบบการสั่นของโครงสร้างแลตทิซในสารกึ่งตัวนำเพื่อจับคู่ แต่พลังงานในการสั่นของโครงสร้างแลตทิซไม่สามารถกระจายไปในทุกๆ ส่วนที่ต้องการพลังงานในสารกึ่งตัวนำได้ ในกรณีนี้คล้ายกันกับโฟตอนที่ไม่สามารถจัดสรรพลังงานให้ได้หมดทุกส่วนที่ต้องการพลังงานในสารกึ่งตัวนำ เช่น อนุภาคโฟนอนที่มีพลังงานต่ำแต่มีโมเมนตัมที่สูง ในแบบจำลองนี้อธิบายถึงการผลิตอิเล็กตรอนและโฮลจากแสงโฟตอนที่มีพลังงานสูงแต่โมเมนตัมต่ำ โดยสารกึ่งตัวนำแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ได้แก่ สารกึ่งตัวนำทางตรง และสารกึ่งตัวนำทางอ้อม เช่น ซิลิกอน โดยขอบต่ำสุดของแถบตัวนำจะอยู่ในโมเมนตัมผลึกทิศทางแตกต่างจาก ขอบสูงสุดของขอบของแถบวาเลนซ์ แสดงในภาพประกอบ 2.25(ก) และแสดงตัวอย่างสารกึ่งตัวนำซิลิกอนในการอธิบายการหลุดของวาเลนซ์อิเล็กตรอนหลังจากได้รับพลังงานโฟตอนจากแสง แสดงในภาพประกอบ 2.25(ข) ในกรณีอิเล็กตรอนและโฮลสามารถรวมกันโดยมีโฟนอนมีส่วนร่วม เรียกว่า สารกึ่งตัวนำทางตรง (Direct Semiconductor) อย่างไรก็ตาม โฟนอนไม่มีความจำเป็นที่ขอบต่ำสุดของแถบตัวนำและขอบสูงสุดของแถบวาเลนซ์เหมือนกับโมเมนตัมของผลึก แสดงในภาพประกอบ 2.26



ภาพประกอบ 2.25 แสดงสารกึ่งตัวนำทางอ้อม โดยอิเล็กตรอนสามารถผลิตจากการดูดซับพลังงาน และต้องเปลี่ยนแปลงทิศทางการสั้น [43]



ภาพประกอบ 2.26 แสดงสารกึ่งตัวนำทางตรง โดยอิเล็กตรอนสามารถผลิตจากการดูดซับพลังงานแต่ ไม่เปลี่ยนแปลงทิศทางการสั้น [43]

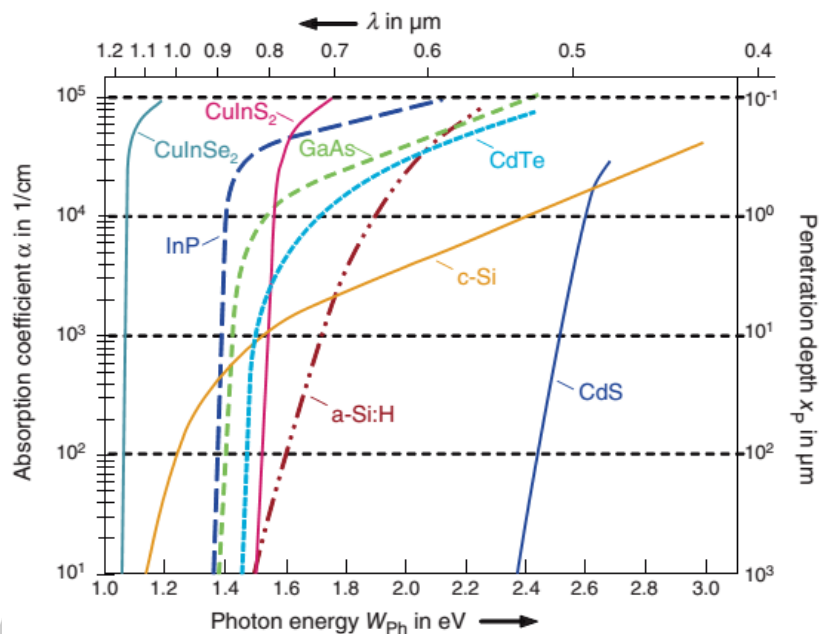
เมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างการเคลื่อนที่ของโฟตอน พบว่า มีการเคลื่อนที่ในสารกึ่งตัวนำทางอ้อมค่อนข้างไกลกว่า ด้วยสาเหตุนี้เองสารกึ่งตัวนำทางอ้อม เช่น ซิลิกอน หรือ เจอร์เมเนียม จึงมีสัมประสิทธิ์การดูดซับต่ำกว่า ซึ่งแตกต่างจากสารกึ่งตัวนำทางตรงที่สามารถดูดซับโฟตอนได้เร็วกว่าเพราะไม่ต้องใช้พลังงานในการเปลี่ยนแปลงทิศทางการสั้น ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การดูดซับสูงตามไปด้วย แสดงในภาพประกอบ 2.27

โดยพฤติกรรมของการดูดซับของสารกึ่งตัวนำแต่ละชนิด แสดงเป็นกราฟชัดเจนเพื่อเห็นถึงพฤติกรรมของสาร แสดงในภาพประกอบ 2.28 ในกรณีสารกึ่งตัวนำทางตรงมีเส้นสัมประสิทธิ์การดูดซับพุ่งขึ้นข้ามแถบพลังงานอย่างรวดเร็ว ในผลึกซิลิกอน อย่างไรก็ตาม เส้นพลังงานดังกล่าวพุ่งขึ้นถึง

ค่านี้ก็จะยิ่งสูง ส่งผลให้สัมประสิทธิ์การดูดซับภาพรวมมีค่าลดลงตามไปด้วย

Material	Type	Bandgap $\Delta W_G$ (eV)	Absorption coefficient $\alpha$ ( $\text{cm}^{-1}$ )	Penetration depth $x_p$ ( $\mu\text{m}$ )
c-Si	Indirect	1.12	4000	2.5
a-Si	Direct	1.7	40 000	0.25
CdTe	Direct	1.45	37 000	0.3
GaAs	Direct	1.42	47 000	0.2

ภาพประกอบ 2.27 แสดงตารางเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การดูดซับจากวัสดุสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ที่แสงความยาวคลื่น 600 นาโนเมตร [43]



ภาพประกอบ 2.28 แสดงสัมประสิทธิ์การดูดซับแสงในวัสดุสารกึ่งตัวนำและค่าพลังงานโฟตอนที่แตกต่างกัน

## 2.11 การสะท้อนแสงจากผิววัสดุ

2.11.1 ปัจจัยการสะท้อน (Reflection Factors : R) โดยพิจารณาการสะท้อนในวัสดุที่แตกต่างกันสองชนิด แสดงในภาพประกอบ 2.29 (ก) ถ้ำรังสีของแสงตกลงโครงสร้างภายในระหว่าง



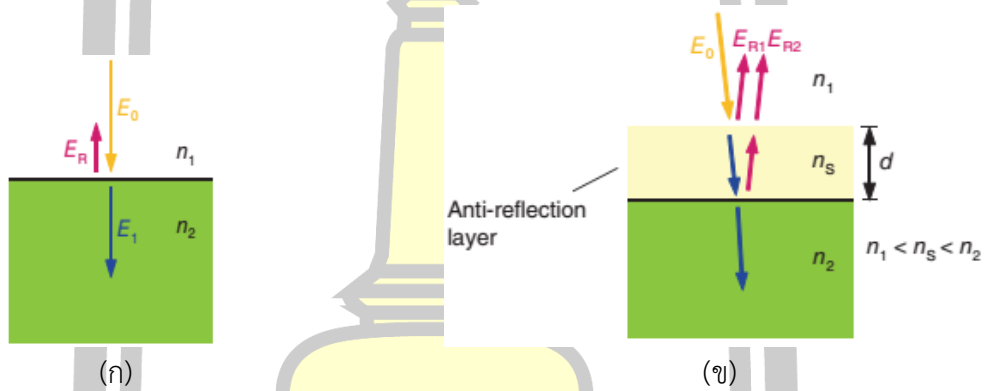
วัสดุสองชนิด เกิดการสะท้อนขึ้น ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

$$R = E_R / E_0 \tag{2.12}$$

เมื่อ  $E_0$  คือ รังสีตกกระทบ  
 $E_R$  คือ รังสีการสะท้อน

สำหรับรังสีแนวตั้งฉากกับพื้นผิว แสดงในภาพประกอบ 2.30(ก) มีสมการความสัมพันธ์ ดังต่อไปนี้

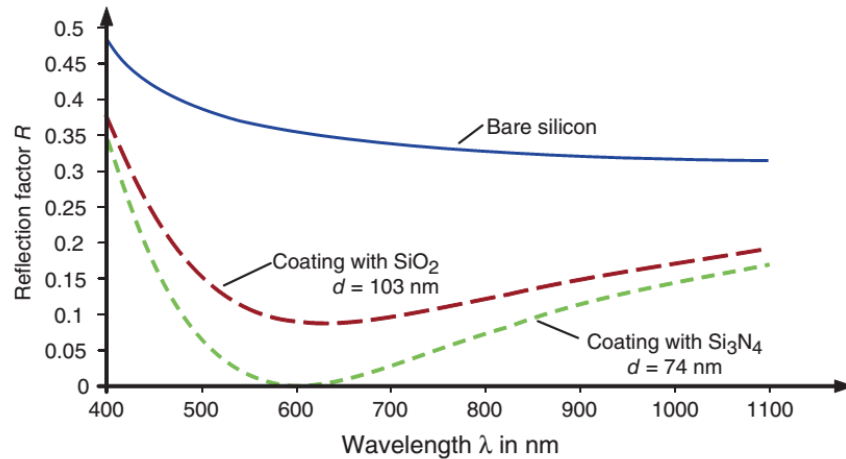
$$R = (n_1 - n_2)^2 / (n_1 + n_2)^2 \tag{2.13}$$



ภาพประกอบ 2.29 แสดงการสะท้อนของแสงในวัสดุสองชนิดในแนวรังสีตั้งฉากและทำมุมแหลม กระทบผิวสัมผัส [44]

2.11.2 การป้องกันการสะท้อน ค่าพลังงานการสะท้อนควรจะมีค่าพลังงานน้อยที่สุด เพื่อที่จะสามารถดูดซับพลังงานโฟตอนจากรังสีของแสง ส่งผลต่อสัมประสิทธิ์การดูดซับสูงตามไปด้วย แสดงในภาพประกอบ 2.29(ข) จะเห็นว่า มีชั้นต่อต้านการสะท้อนกลับ (Anti-reflection layer :  $n_s$ ) เมื่อรังสีตกกระทบชั้น  $n_s$  เกิดการสะท้อนกลับ  $E_{R1}$  และรังสีทะลุต่อไปตกกระทบชั้น  $n_2$  เกิดการสะท้อนกลับ  $E_{R2}$  ซึ่งเทคนิคที่จะช่วยลดการสะท้อนกลับให้มากที่สุด คือความหนาของชั้น  $n_s$  ซึ่งแนวรังสีจากชั้น  $n_1$  ไปชั้น  $n_2$  เริ่มมีแนวเส้นตรงทำมุมเข้าใกล้ 180 องศา ซึ่งจะช่วยให้เกิดการสะท้อนกลับและส่งผลต่อการดูดซับโฟตอนจากแสงอาทิตย์เพิ่มตามไปด้วยแสดงกราฟเปรียบเทียบระหว่างผิวผลึกซิลิกอนที่มีชั้น  $n_s$  ที่มีความหนาแตกต่างกัน และผิวผลึกซิลิกอนที่ไม่มีชั้น  $n_s$  จะเห็นว่าสัมประสิทธิ์

การสะท้อนแตกต่างกันอย่างชัดเจน แสดงในภาพประกอบ 2.30



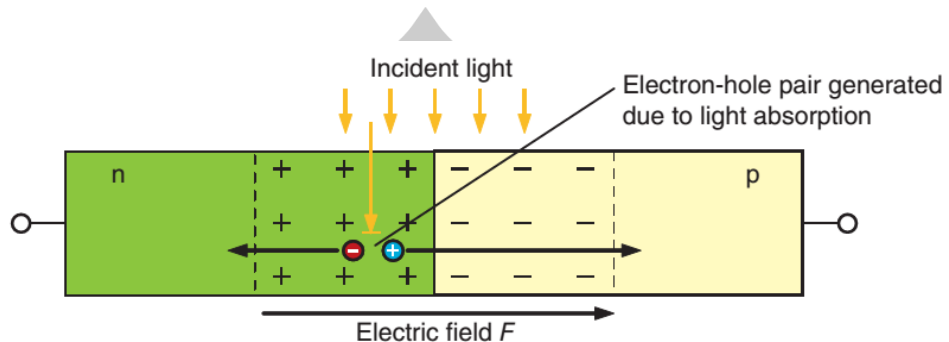
ภาพประกอบ 2.30 แสดงการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสะท้อนระหว่างผิวฉลิกสารกึ่งตัวนำที่มีและไม่มีชั้นป้องกันการสะท้อนกลับ  $n_s$  [44]

## 2.12 หลักการทำงานของไดโอดแสง

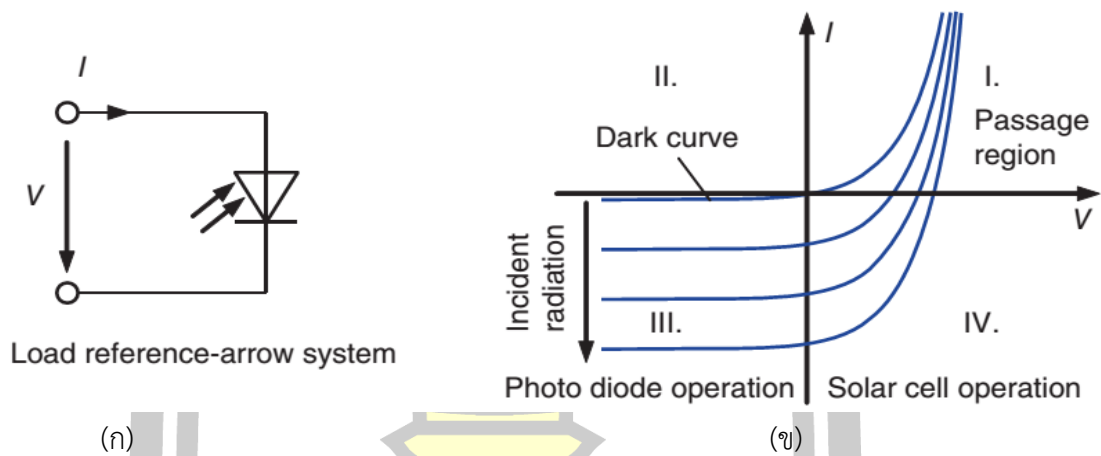
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงพื้นฐานการผลิตไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ รวมไปถึงแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.12.1 พิจารณาไดโอดแสง จากภาพประกอบ 2.31 แสดงโครงสร้างแบบจำลองที่ง่ายของรอยต่อพี-เอ็น ในไดโอด ซึ่งได้รับแสงจากภายนอก ซึ่งพลังงานโฟตอนถูกดูดซับในรอยต่อพี-เอ็นทำให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระ และโฮลอิสระขึ้น และประจุทั้งสองถูกแยกออกจากกันด้วยสนามไฟฟ้า แล้วกลับไปยังชนิดสารกึ่งตัวนำของแต่ละประจุในรอยต่อพี-เอ็น ซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า กระแสแสง (Photocurrent :  $I_{PH}$ ) ซึ่งรอยต่อพี-เอ็น รับพลังงานจากรังสีแสงอาทิตย์ (Irradiance :  $E$ ) ซึ่งมีสมการความสัมพันธ์ดังต่อไปนี้

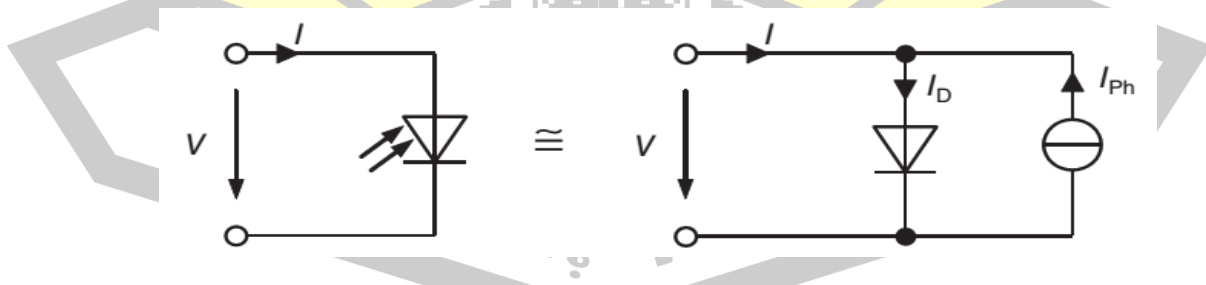
$$I_{PH} = \text{const } E \tag{2.14}$$



ภาพประกอบ 2.31 แสดงการแยกตัวของอิเล็กตรอน และโฮลในรอยต่อพี เอ็นจากการรับพลังงานโฟตอนของแสงภายนอก [44]



ภาพประกอบ 2.32 แสดงสัญลักษณ์ทางไฟฟ้า และเส้นโค้งคุณสมบัติของไอโอดแสง



ภาพประกอบ 2.33 แสดงวงจรสมมูลของไดโอดแสง [45]

โดยแสดงเส้นโค้งคุณสมบัติของไดโอด ในภาพประกอบ 2.33 ถ้าไม่มีแสงตกลงที่ ไดโอดแสง รอยต่อพีเอ็นจะเป็นปกติทั่วไป แต่ถ้ามีแรงดันไบแอสกลับ จะเกิดกระแสย้อนกลับเล็กน้อย เรียกว่า กระแสย้อนกลับ (Dark current) แต่เมื่อมีแสงจากภายนอกตกลงไดโอดแสงโดยไม่จำเป็นต้อง มีแรงดันภายนอก จะแสดงเส้นโค้งคุณสมบัติไดโอดดังภาพประกอบ 2.33 เนื่องจากกระแสไหลใน ทิศทางย้อนกลับและปริมาณกระแสไหลย้อนกลับแปรผันกับพลังงานโฟตอนจากแสงอาทิตย์ ดังแสดง ในครอเดรนท์ที่ 3 และในครอเดรนท์ที่ 4 การผลิตกระแสของไดโอดแสงเป็นหลักการทางงานเบื้องต้น ของเซลล์แสงอาทิตย์อีกด้วย แต่ในทางกลับกันเซลล์แสงอาทิตย์ไม่ได้รับแรงดันหรือพลังงานภายนอก เหมือนกับไดโอด แต่ผลิตพลังงานไฟฟ้าจากการรับพลังงานโฟตอนจากแสงอาทิตย์

2.12.2 วงจรสมมูลของไดโอดแสง แสดงในภาพประกอบ 2.34 พฤติกรรมทางไฟฟ้า ของไดโอดแสงสามารถอธิบายได้ด้วยสมการช็อคลีย์ (Shockly Equation) [46]แสดงในสมการ ดังต่อไปนี้

$$I = I_D - I_{PH} \quad (2.15)$$

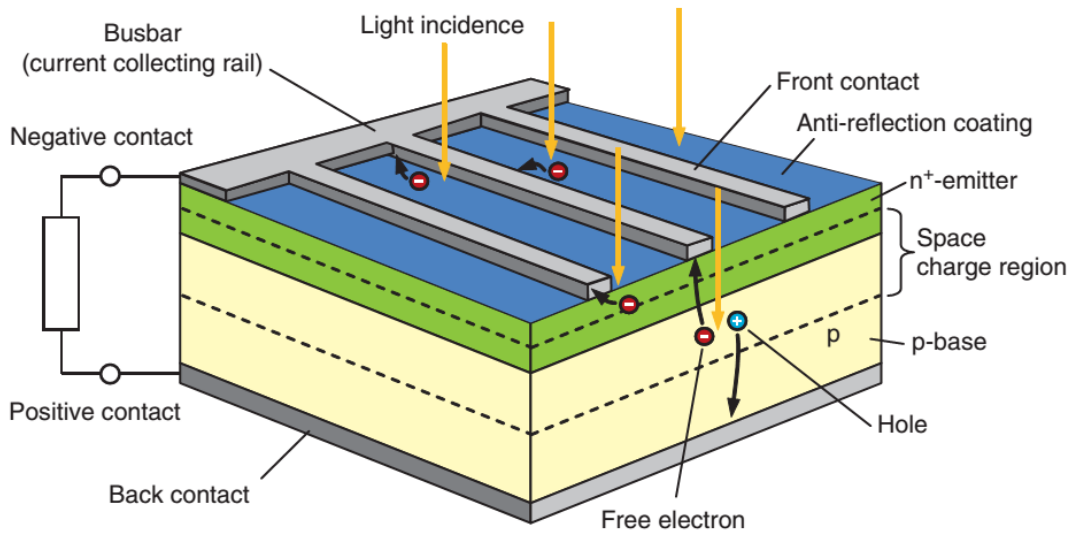
เมื่อ  $I$  คือ กระแสไหลในวงจร หน่วยแอมแปร์ (A)

$I_D$  คือ กระแสที่ไหลผ่านไดโอด หน่วยแอมแปร์ (A)

$I_{PH}$  คือ กระแสไหลจากการรับพลังงานโฟตอน หน่วยแอมแปร์ (A)

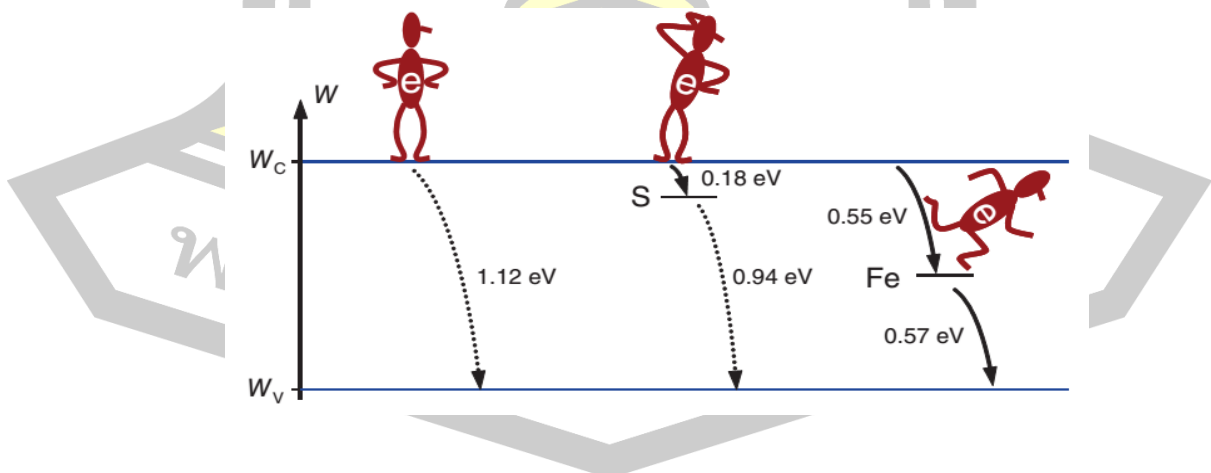
## 2.13 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

2.13.1 หลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ อธิบายด้วยโครงสร้างของเซลล์ แสงอาทิตย์แสดงในภาพประกอบ 2.34 โดยมีพื้นฐานหลักการทำงานคล้ายกับไดโอดแสงคือ ประกอบด้วยสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่อยู่ชั้นบน และสารกึ่งตัวนำชนิดพีที่อยู่ชั้นล่าง เมื่อแสงตกกระทบ ผิวของเซลล์ สารกึ่งตัวนำจะดูดซับพลังงานโฟตอนแล้วผลิตอิเล็กตรอนและโฮลอิสระขึ้นมา และประจุ ทั้งสองจะถูกแยกออกจากกันด้วยสนามไฟฟ้าระหว่างรอยต่อของสารกึ่งตัวนำสองชนิด โดย อิเล็กตรอนอิสระจะเคลื่อนที่สวนทางกับทิศทางสนามไฟฟ้าผ่านชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นไปยัง หน้าสัมผัสด้านบน และโฮลจะเคลื่อนที่ตามทิศทางของสนามไฟฟ้าผ่านลงไปชั้นสารกึ่งตัวนำชนิดพี ไปยังหน้าสัมผัสด้านล่าง



ภาพประกอบ 2.34 แสดงหลักการทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์ จากการรับพลังงานโฟตอน [47]

2.13.2 การรวมตัวกลับและระยะทางการแพร่ของอิเล็กตรอนและโฮล การผลิตอิเล็กตรอนและโฮลอิสระจากการดูดซับโฟตอนของแสงอาทิตย์ ไม่สามารถผลิตได้ทั้งหมดเนื่องจากค่าพลังงานจากโฟตอนมีค่าแตกต่างกันออกไปในทุกความถี่ของความยาวคลื่นแสง และทำให้เกิดปรากฏการณ์รวมตัวกลับของอิเล็กตรอนและโฮลในแถบพลังงานเดิมของแต่ละประจุ ส่งผลต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ลดลงตามไปด้วย และในกรณีที่ไม่มีพลังงานโฟตอนมากระตุ้นจะทำให้เกิดการรวมตัวกลับภายในเสี้ยววินาที ซึ่งปรากฏการณ์ดังกล่าว เรียกว่า การรวมตัวกลับ (Recombination) [49] แสดงในภาพประกอบ 2.35



ภาพประกอบ 2.35 แสดงแบบจำลองปรากฏการณ์รวมตัวกลับที่แตกต่างกัน ของสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน [48]

## 2.14 ผลจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าค่าสูงต่อสารกึ่งตัวนำ

ในหัวข้อนี้จะอธิบายผลกระทบจากสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าค่าสูงต่อการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำ เช่น ไซโคลตรอนเรโซแนนซ์ สัมประสิทธิ์ฮอลล์ ผลกระทบกันต์ โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.14.1 ไซโคลตรอนเรโซแนนซ์ [49] สำหรับประจุที่มีอิเล็กตรอน (e) และโฮล (h) เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (V) ถ้ามีสนามแม่เหล็ก (B) จากภายนอกกระทำในทิศทางตั้งฉาก ประจุทั้งสองจะเคลื่อนที่เป็นวงกลม แสดงในภาพประกอบ 2.37 ซึ่งมีความสัมพันธ์แสดงในสมการ 2.16

$$F = mv^2/r = Bav \quad (2.16)$$

เมื่อ F คือ แรงเข้าสู่ศูนย์กลางวงกลม หน่วยเป็นนิวตัน (N)

m คือ มวลของประจุ

v คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของประจุ หน่วยเมตรต่อวินาที (m/s)

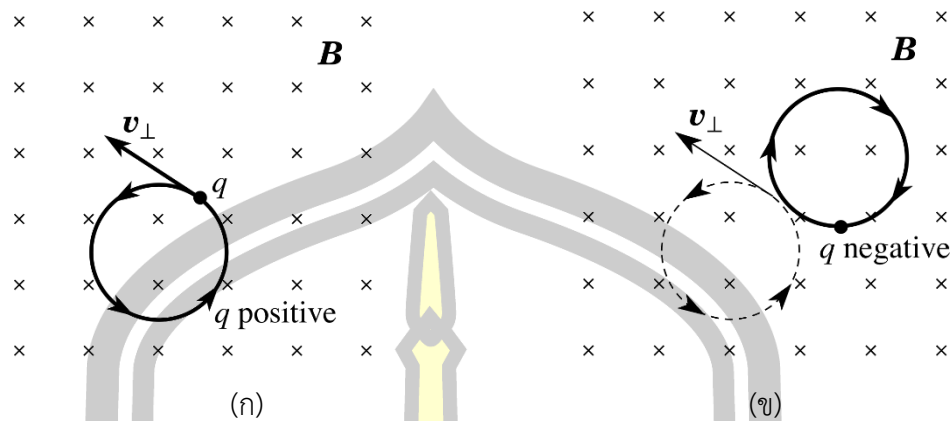
a คือ ความเร่งในการเคลื่อนที่ของประจุ หน่วยเป็นเมตรต่อวินาที<sup>2</sup> (m/s<sup>2</sup>)

r คือ รัศมีวงกลมการเคลื่อนที่ของประจุ หน่วยเป็นเมตร (m)

B คือ สนามไฟฟ้า หน่วยเป็นเทสลา (T)

โดยการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนและโฮลเป็นลักษณะวงกลม เรียกว่า การเคลื่อนที่แบบไซโคลตรอน โดยมีความถี่ในการเคลื่อนที่หรือความถี่ไซโคลตรอน (Cyclotron Frequency) แสดงในสมการ 2.17 สำหรับอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำที่มีสนามแม่เหล็กภายนอกกระทำในทิศทางตั้งฉาก และพุ่งออกจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งอิเล็กตรอนจะเคลื่อนที่ทวนเข็มนาฬิกา และโฮลจะเคลื่อนที่ตามเข็มนาฬิกา ด้วยความถี่เชิงมุม

พหุ ประถมศึกษา



ภาพประกอบ 2.36 แสดงการเคลื่อนที่แบบวงกลมของอิเล็กตรอนและโฮลในสนามแม่เหล็ก [50]

$$\omega = eB/m_{e,h} \quad (2.17)$$

เมื่อ	$\omega$	คือ ความเร็วเชิงมุม หน่วยเป็นเรเดียนต่อวินาที (rad/s)
	$e$	คือ อนุภาคอิเล็กตรอน $1.6021 \times 10^{-19}$ คูลอมบ์ (C)
	$B$	คือ สนามแม่เหล็ก หน่วยเป็นเทสลา (T)
	$m_{e,h}$	คือ มวลของอิเล็กตรอน หรือ โฮล $9.1093 \times 10^{-31}$ กิโลกรัม (kg)

ดังนั้น ความถี่ไซโคลตรอนจะมี 2 ความถี่ในสารกึ่งตัวนำ โดยเป็นอิเล็กตรอนค่าหนึ่ง และโฮลอีกค่าหนึ่ง โดยความถี่ทั้งสองสามารถวัดได้โดยส่งสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าช่วงย่านไมโครเวฟ เข้าไปในสารกึ่งตัวนำ โดยมีทิศทางเดียวกับสนามแม่เหล็ก และพลังงานของสัญญาณจะถูกดูดกลืนด้วยอิเล็กตรอนและโฮล ตามลำดับ

จากเทคนิคดังกล่าวยังสามารถใช้ในการแยกอิเล็กตรอนและโฮลได้อีกด้วย สมมุติถ้าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าผ่านเข้าไปเป็นคลื่นโพลาไรซ์ตามระนาบ (Plan polarized) โดยเป็นคลื่นโพลาไรซ์แบบวงกลม 2 คลื่นซึ่งมีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาและตามเข็มนาฬิกาและมีแอมพลิจูดเท่ากัน ผ่านสารกึ่งตัวนำและเกิดเรโซแนนซ์กับอิเล็กตรอน เนื่องจากวงโคจรของอิเล็กตรอนอยู่ในทิศทวนเข็มนาฬิกา ดังนั้นอิเล็กตรอนจะดูดกลืนพลังงานจากคลื่นโพลาไรซ์แบบวงกลมที่มีทิศทางทวนเข็มนาฬิกาเท่านั้น ส่วนคลื่นที่เหลือจะไม่ถูกรบกวน ดังนั้นคลื่นที่ผ่านออกมาจะไม่เป็นคลื่นที่โพลาไรซ์ตามระนาบอีกต่อไป แต่จะมีลักษณะโพลาไรซ์บางส่วนในทิศตามเข็มนาฬิกา และสังเกตได้ว่าผลลัพธ์แบบนี้เกิดจากอิเล็กตรอนเป็นตัวดูดกลืนพลังงาน ในกรณีของเรโซแนนซ์กับการดูดกลืนพลังงานของแสงจะมีต่อคลื่นตามเข็มนาฬิกา ดังนั้นคลื่นที่ผ่านออกไปจะมีทิศตรงข้ามกับอิเล็กตรอน

การทดลองไซโคลตรอนเรโซแนนซ์จะกระทำที่อุณหภูมิต่ำ และสารกึ่งตัวนำตัวอย่างจะต้องมีความบริสุทธิ์มากเพื่อที่จะให้ย่านความถี่ที่ถูกดูดกลืนสามารถสังเกตได้อย่างชัดเจน นั่นคือในช่วงเวลาก่อนเกิดการชนกันแต่ละครั้งอนุภาคจะต้องวิ่งเป็นวงกลมได้หลายรอบที่อุณหภูมิประมาณ 4 องศาเคลวิน ปกติงานทดลองเกี่ยวกับไซโคลตรอนเรโซแนนซ์จะอยู่ในย่านไมโครเวฟ แต่ในปัจจุบันได้มีนักวิจัยทดลองโดยใช้สัญญาณจากเลเซอร์อินฟราเรดโดยทำให้ไซโคลตรอนเรโซแนนซ์เข้ามาอยู่ในย่านอินฟราเรด ซึ่งต้องใช้สนามแม่เหล็กความเข้มสูงมากประมาณ 50 กิโลเกาส์ (kG) เมื่อความถี่ไซโคลตรอนเข้ามาอยู่ในย่านที่สูงกว่าไมโครเวฟจะทำให้สามารถสังเกตได้ละเอียดและชัดเจนกว่าเดิม

## 2.15 ปรากฏการณ์ฮอลล์

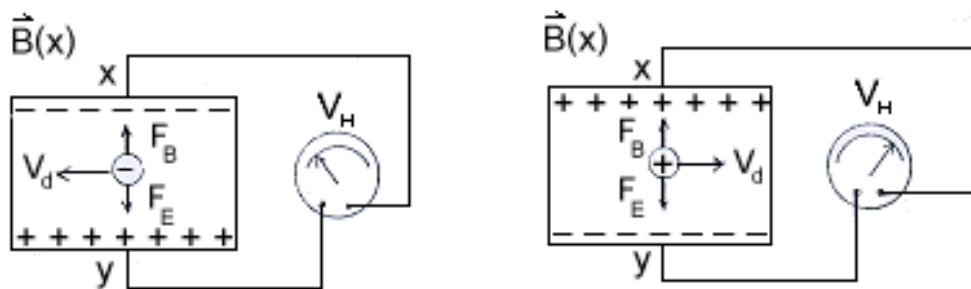
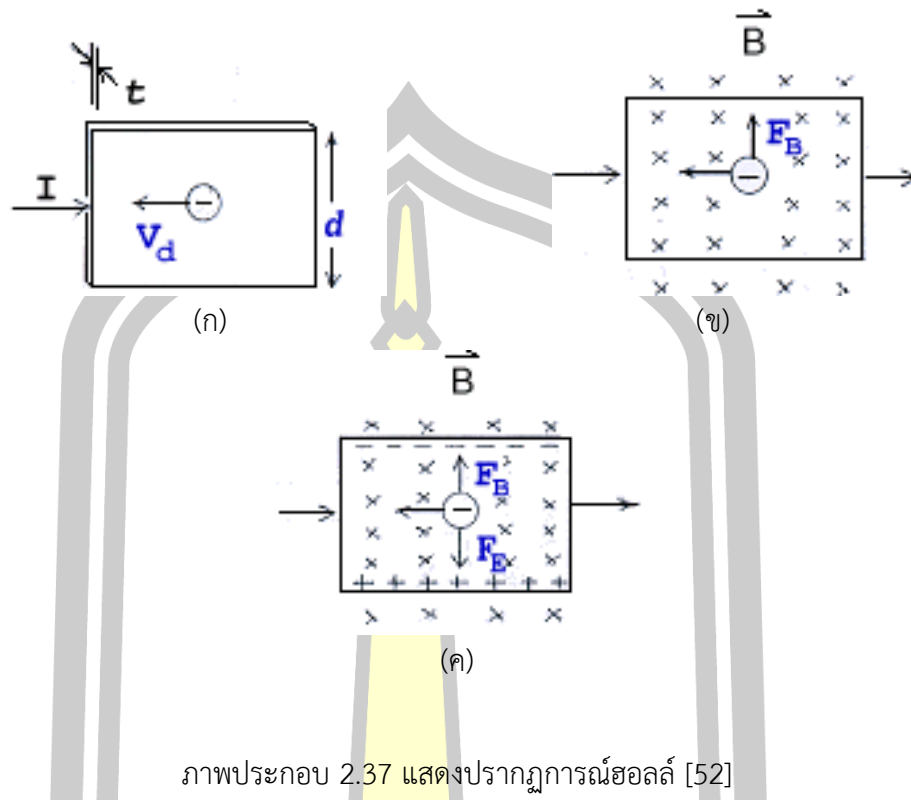
ใน ค.ศ. 1879 เอ็ดวิน ฮอลล์ (Edwin Hall) พบว่า เมื่อนำแผ่นตัวนำบางที่มีกระแสไฟฟ้าผ่านไปวางไว้ในบริเวณที่มีสนามแม่เหล็ก พาหะประจุ (charge carriers) ในตัวนำสามารถเบนไปจากแนวทางเดิมได้ และการเบนนี้มีผลทำให้เกิดสนามไฟฟ้าในตัวนำบางในทิศตั้งฉากกับทั้งกระแสไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก การค้นพบนี้เรียกว่า ปรากฏการณ์ฮอลล์ (Hall Effect) [51] แสดงในภาพประกอบ 2.38 ซึ่งอธิบายได้ตามรายละเอียดดังต่อไปนี้

ภาพประกอบ 2.38(ก) แสดงแผ่นตัวนำบางที่มีความกว้าง (d) หนา (t) และมีกระแสไฟฟ้า (conventional current) ผ่านในทิศจากซ้ายไปขวา พาหะประจุในแผ่นตัวนำคืออิเล็กตรอนเคลื่อนที่ด้วยอัตราเร็วลอยเลื่อน (Drift Velocity:  $V_D$ ) ในทิศตรงข้ามกับกระแสไฟฟ้าจากขวาไปซ้าย

ภาพประกอบ 2.38(ข) เมื่อมีสนามแม่เหล็กภายนอก (B) พุ่งเข้าแผ่นตัวนำในทิศทางฉากกับระนาบแผ่นตัวนำบางจะเกิดแรงแม่เหล็ก ( $F_B$ ) กระทำกับอิเล็กตรอน ทำให้อิเล็กตรอนเบนไปทางขอบด้านบนของแผ่นตัวนำบาง

ภาพประกอบ 2.38(ค) เมื่อเวลาผ่านไปจะมีอิเล็กตรอนถูกผลักไปที่ขอบด้านบนจำนวนมาก และในส่วนขอบด้านล่างก็จะเกิดประจุไฟฟ้าบวกจำนวนมากเช่นกัน เมื่อเกิดประจุไฟฟ้าต่างชนิดในแต่ละขอบของแผ่นตัวนำจะทำให้เกิดสนามไฟฟ้า เรียกว่า สนามไฟฟ้าฮอลล์ (hall field:  $E_H$ ) ในแผ่นตัวนำบางโดยมีทิศทางสนามไฟฟ้าจากประจุบวกไปประจุลบหรือจากขอบด้านล่างไปขอบด้านบน และสนามไฟฟ้าทำให้เกิดแรงไฟฟ้า ( $F_E$ ) กระทำกับอิเล็กตรอน ซึ่งจะทำให้อิเล็กตรอนถูกผลักไปทางขอบด้านล่าง อย่างไรก็ตาม เมื่อแรงไฟฟ้าและแรงแม่เหล็กมีขนาดเท่ากัน อิเล็กตรอนในแผ่นตัวนำจะเคลื่อนที่ในทิศไปทางซ้ายโดยไม่เบน





ภาพประกอบ 2.38 แสดงการวัดแรงดันไฟฟ้าฮอลล์ ( $V_H$ )

โดยสนามไฟฟ้าที่เกิดในแผ่นตัวนำแสดงในสมการ 2.18 ดังต่อไปนี้

$$E_H = V_H/d \tag{2.18}$$

- เมื่อ  $E_H$  คือ สนามไฟฟ้าในแผ่นโลหะบาง หน่วยเป็นโวลต์ต่อเซนติเมตร (V/cm)
- $V$  คือ แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ในแผ่นโลหะบาง หน่วยเป็นโวลต์ (V)
- $d$  คือ ความหนาของแผ่นโลหะบาง หน่วยเป็นเซนติเมตร (cm)

ความแตกต่างแรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในแผ่นโลหะตัวนำบาง เรียกว่า แรงดันไฟฟ้าฮอลล์ (hall potential difference หรือ hall voltage:  $V_H$ ) พบว่า แรงดันไฟฟ้าฮอลล์มีค่ามากที่สุด เมื่อแผ่นตัวนำบางทำจากสารกึ่งตัวนำ เช่น ซีลีคอน และเจอร์เมเนียม ส่วนตัวนำไฟฟ้าที่ดีจะมีแรงดันไฟฟ้าฮอลล์น้อย โดยการวัดแรงดันไฟฟ้าฮอลล์แสดงในภาพประกอบ 2.38

## 2.16 สนามไฟฟ้า

สนามไฟฟ้าเป็นบริเวณโดยรอบของประจุไฟฟ้า ซึ่งประจุไฟฟ้าสามารถส่งอำนาจไปถึง หรือบริเวณที่นำประจุไฟฟ้าเข้าทดสอบแล้วเกิดแรงกระทำบนประจุนั้น [52] โดยบริเวณต่างๆในสนามไฟฟ้าจะมีความเข้มของสนามไฟฟ้าแตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับระยะทางระหว่างประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ซึ่งทิศทางและแรงสนามไฟฟ้าของประจุแต่ละตัวแสดงในภาพประกอบ 2.39 จากภาพประกอบ 2.39(ก) แสดงสนามไฟฟ้าของประจุบวก โดยจะเห็นว่ามีเส้นพุ่งออกจากประจุเรียกว่าเส้นแรงไฟฟ้า เป็นเส้นที่แสดงทิศทางของสนามไฟฟ้า หรือเส้นที่ใช้แสดงทิศทางของแรงที่กระทำต่อประจุที่วางอยู่ในสนามไฟฟ้าที่จะแสดงความหนาแน่นและความเข้มของความเข้มสนามไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นตามความหนาแน่นของเส้นแรง โดยคุณสมบัติของเส้นแรงไฟฟ้า มีดังนี้

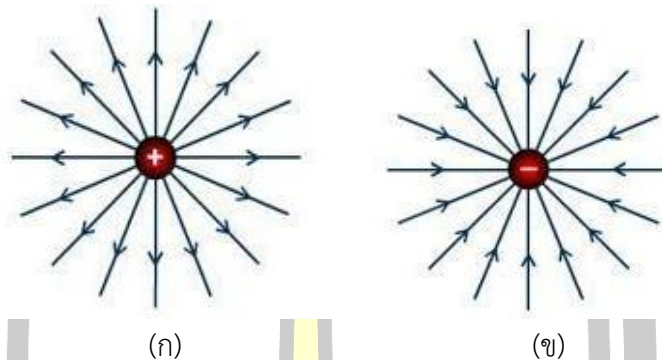
- เส้นแรงไฟฟ้ามีทิศพุ่งออกจากประจุบวกและพุ่งเข้าหาประจุลบ
- แนวเส้นแรงจะตั้งฉากกับผิวของวัตถุที่มีประจุ
- เส้นแรงไฟฟ้าไม่ตัดกัน
- เส้นแรงไฟฟ้าเริ่มต้นหรือสิ้นสุดที่ผิวนอกของตัวนำ (ภายในตัวนำไม่มีเส้นแรงไฟฟ้า)

โดยลักษณะของสนามไฟฟ้าคล้ายกับกฎแรงโน้มถ่วงของนิวตัน คือ ประจุไฟฟ้าจะให้สนามออกมาบริเวณต่างๆ และประจุตัวอื่นที่อยู่ภายในสนามไฟฟ้านั้นจะทำอันตรกริยากับสนามไฟฟ้าของประจุตัวแรก ซึ่งเราสามารถหาค่าสนามไฟฟ้าและหาค่าแรงจากค่าสนามไฟฟ้านั้น ของกลุ่มประจุที่รวมกันในเทอมของแรงไฟฟ้า สามารถเขียนเป็นสมการไฟฟ้าได้ดังนี้

$$E = \frac{F}{q_0}$$

(2.19)

- เมื่อ  $E$  คือทิศทางของสนามไฟฟ้า หน่วยนิวตันต่อคูลอมบ์ (N/C)  
 $F$  คือทิศทางของแรงในสนามไฟฟ้า หน่วยนิวตัน (N)  
 $q_0$  คือประจุที่อยู่ในสนามไฟฟ้า หน่วยคูลอมบ์ (C)

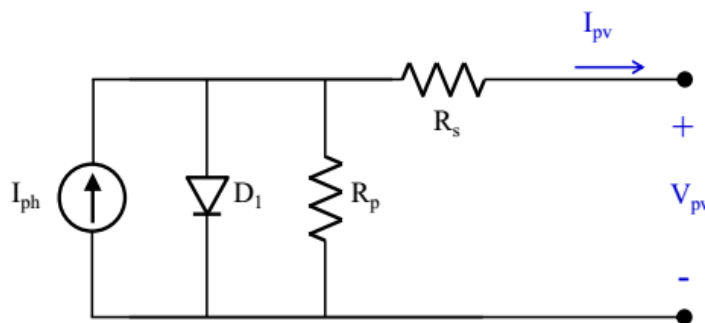


ภาพประกอบ 2.39 แสดงเส้นแรงประจุไฟฟ้าที่แตกต่างกัน ในสนามไฟฟ้า [53]

### 2.17 วงจรสมมูลเซลล์และสมการเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ถูกนำเสนอในรูปแบบวงจรสมมูลทางไฟฟ้า แสดงในภาพประกอบ 2.40

- แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง ( $I_{ph}$ ) แทนวงจรกำเนิดไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
- ไดโอด ( $D_1$ ) ใช้ในการเก็บประจุไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์
- ความต้านทานอนุกรม ( $R_s$ ) ซึ่งเป็นค่าความต้านทานภายในของพื้นผิวและหน้าสัมผัสในการเชื่อมต่อในระบบ
- ความต้านทานขนาน ( $R_p$ ) ซึ่งเป็นค่าความนำไฟฟ้าของวัสดุสารกึ่งตัวนำ
- กระแสขาออก ( $I_{pv}$ ) และแรงดันขาออก ( $V_{pv}$ ) ของเซลล์แสงอาทิตย์



ภาพประกอบ 2.40 วงจรสมมูลเซลล์แสงอาทิตย์ [54]

จากภาพประกอบ 2.41 กระแสขาออก ( $I_{pv}$ ) ของวงจรมารถอธิบายด้วยสมการต่อไปนี้

$$I_{pv} = I_{ph} - I_{so} \left( e^{\frac{q(V_{pp} + I_{pv}R_s)}{nkT}} - 1 \right) - \frac{(V_{pv} + I_{pv}R_s)}{nkT} \quad (2.20)$$

เมื่อ

$I_{pv}$	คือ กระแสขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์
$V_{pv}$	คือ แรงดันขาออกของเซลล์แสงอาทิตย์
$I_{ph}$	คือ กระแสขาของเซลล์แสงอาทิตย์
$I_{so}$	คือ กระแสไดโอดไบอัสกลับ
$R_s$	คือ ความต้านทานอนุกรมเซลล์แสงอาทิตย์
$R_p$	คือ ความต้านทานขนานเซลล์แสงอาทิตย์
$n$	คือ ค่าปัจจัยของไดโอดในอุดมคติ
$T$	คือ อุณหภูมิรอบข้าง (เคลวิน)
$q$	คือ ประจุไฟฟ้า ( $1.6021765 \times 10^{-19}$ C)
$k$	คือ ค่าคงที่โบลท์แมน ( $1.3806504 \times 10^{-23}$ J.K <sup>-1</sup> )

เทอมแรกของสมการ (2.1) อ้างถึงกระแสที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ทางกล เทอมที่สอง อ้างถึงกระแสไบอัสกลับของไดโอด  $D_1$  และเทอมสุดท้ายอ้างถึงกระแสในความต้านทานขนาน  $R_p$

ค่าปัจจัยไดโอดในอุดมคติ ( $n$ ) เป็นค่าตัวแปรที่ช่วยในการกำหนดและเปรียบเทียบระหว่าง ไดโอดอุดมคติและไดโอดที่ใช้ในทางปฏิบัติ โดยค่า  $n$  ที่สูงขึ้นจะส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วยซึ่งค่าดังกล่าวจะแปรผันตามกับคุณสมบัติสารกึ่งตัวนำของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แตกต่างกันอีกด้วย แสดงในภาพประกอบ 2.42

Material-Technology	Diode Ideality Factor ( $n$ )
Si-mono	1.2
Si-poly	1.3
a-Si:H	1.8
a-Si:H tandem	3.3
a-Si:H triple	5.0
CdTe	1.5
CIS	1.5
AsGa	1.3

ภาพประกอบ 2.41 ตารางค่าปัจจัยไดโอด ( $n$ ) ที่วัสดุสารกึ่งตัวนำที่แตกต่างกัน [55]

## 2.18 คุณลักษณะทางไฟฟ้าเซลล์แสงอาทิตย์

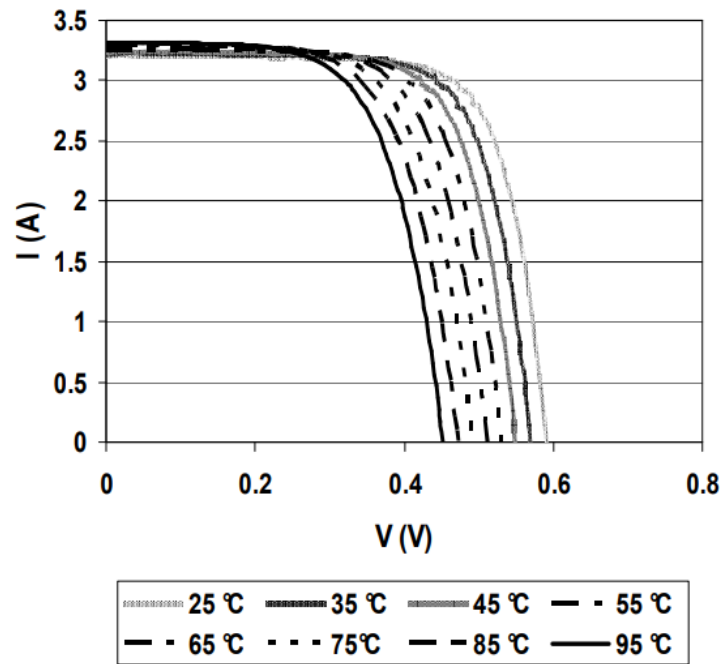
มาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ (Standard Condition Test: STD) [56] ที่ความเข้มแสง (Irradiance) 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ชั้นมวลบรรยากาศ (Air Mass : AM) 1.5 และอุณหภูมิ (Temperature) 25 องศาเซลเซียส โดยทดสอบคุณลักษณะทางไฟฟ้าได้แก่ กระแสลัดวงจร ( $I_{SC}$ ) แรงดันเปิดวงจร ( $V_{OC}$ ) ฟิลล์แฟกเตอร์ (FF) แรงดันที่กำลังสูงสุด ( $V_{MPP}$ ) และ กระแสที่กำลังสูงสุด ( $I_{MPP}$ ) แสดงในภาพประกอบ 2.42

Parameter	Notation	Units
Short circuit current	$I_{SC}$	A
Open circuit voltage	$V_{OC}$	V
Conversion efficiency	$\eta$	%
Fill factor	FF	%
Power at MPP	$P_m$	W
Voltage at MPP	$V_{mp}$	V
Current at MPP	$I_{mp}$	A
Series resistance	$R_s$	$\Omega$
Parallel resistance	$R_p$	$\Omega$

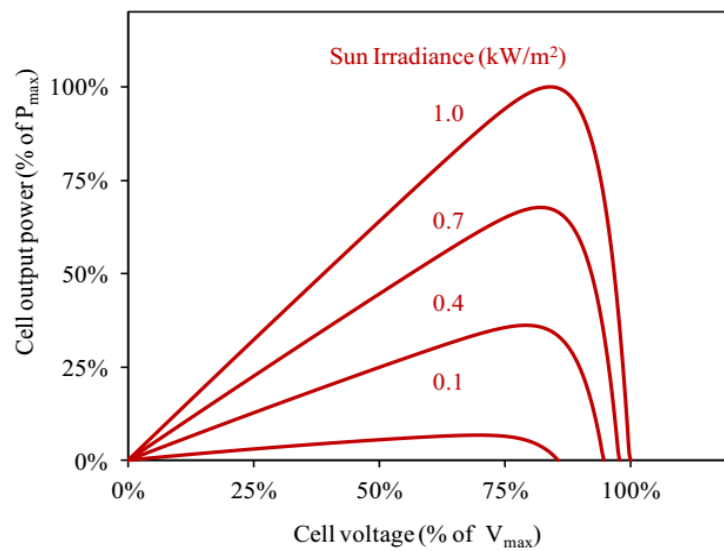
ภาพประกอบ 2.42 ตารางคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ สัญลักษณ์ และหน่วย [57]

คุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์สามารถผลิตได้ขึ้นอยู่กับ 2 ปัจจัยภายนอก ได้แก่ ความเข้มของแสงอาทิตย์ และอุณหภูมิ แสดงในภาพประกอบ 2.43 และภาพประกอบ 2.44

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ



ภาพประกอบ 2.43 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดัน ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน [57]



ภาพประกอบ 2.44 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าขาออก ที่ความเข้มของแสงอาทิตย์แตกต่างกัน [57]

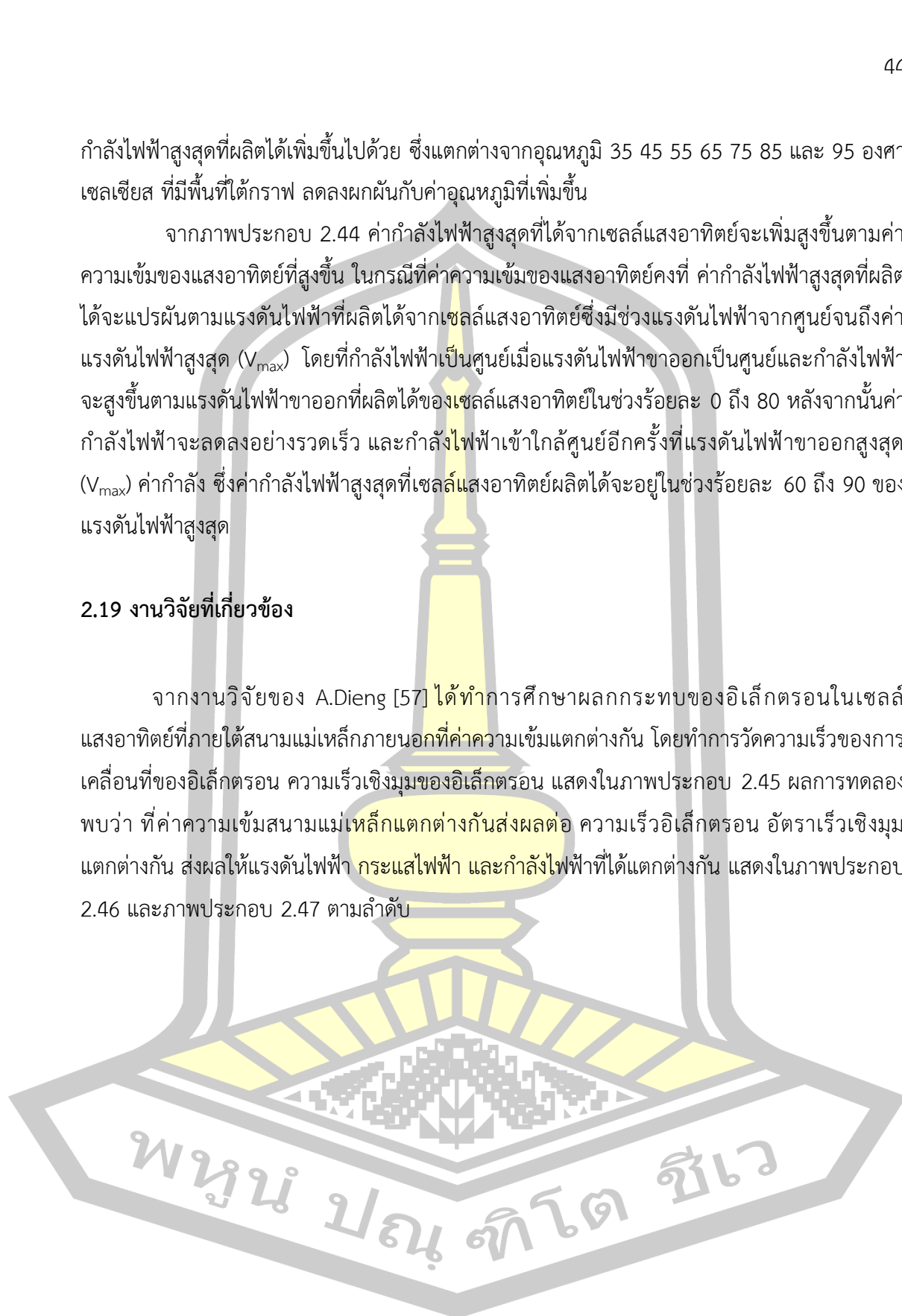
จากภาพประกอบ 2.43 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้า (I-V Curve) ที่อุณหภูมิแตกต่างกัน พบว่า พื้นที่ใต้กราฟมากที่สุดที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ส่งผลต่อ

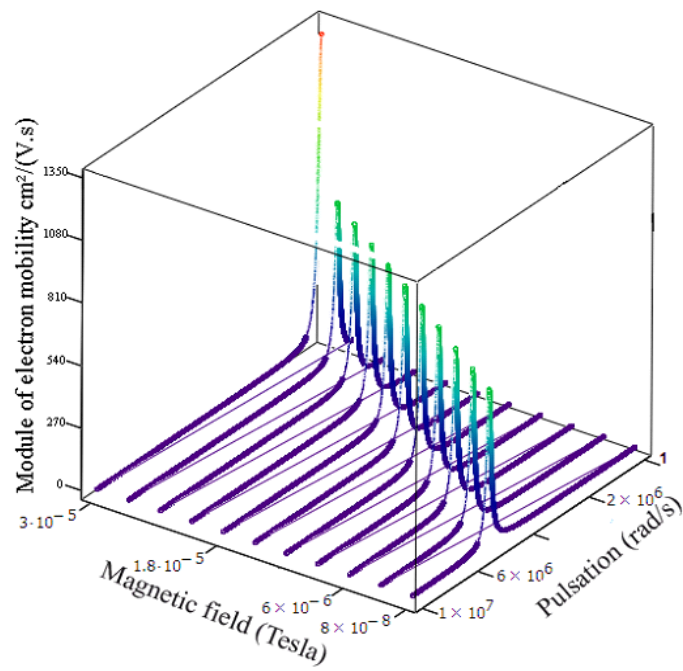
กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้เพิ่มขึ้นไปด้วย ซึ่งแตกต่างจากอุณหภูมิ 35 45 55 65 75 85 และ 95 องศาเซลเซียส ที่มีพื้นที่ใต้กราฟ ลดลงผผันกับค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น

จากภาพประกอบ 2.44 ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์จะเพิ่มสูงขึ้นตามค่าความเข้มของแสงอาทิตย์ที่สูงขึ้น ในกรณีที่ค่าความเข้มของแสงอาทิตย์คงที่ ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ผลิตได้จะแปรผันตามแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งมีช่วงแรงดันไฟฟ้าจากศูนย์จนถึงค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ( $V_{max}$ ) โดยที่ค่ากำลังไฟฟ้าเป็นศูนย์เมื่อแรงดันไฟฟ้าขาออกเป็นศูนย์และกำลังไฟฟ้าจะสูงขึ้นตามแรงดันไฟฟ้าขาออกที่ผลิตได้ของเซลล์แสงอาทิตย์ในช่วงร้อยละ 0 ถึง 80 หลังจากนั้นค่ากำลังไฟฟ้าจะลดลงอย่างรวดเร็ว และกำลังไฟฟ้าเข้าใกล้ศูนย์อีกครั้งที่แรงดันไฟฟ้าขาออกสูงสุด ( $V_{max}$ ) ค่ากำลัง ซึ่งค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุดที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้จะอยู่ในช่วงร้อยละ 60 ถึง 90 ของแรงดันไฟฟ้าสูงสุด

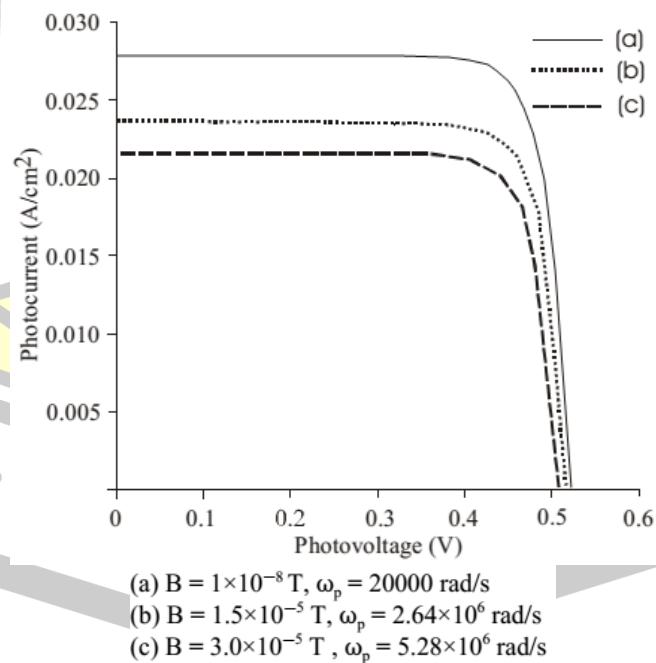
## 2.19 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากงานวิจัยของ A.Dieng [57] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของอิเล็กทรอนิกส์ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่ภายใต้สนามแม่เหล็กภายนอกที่ค่าความเข้มแตกต่างกัน โดยทำการวัดความเร็วของการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ความเร็วเชิงมุมของอิเล็กตรอน แสดงในภาพประกอบ 2.45 ผลการทดลองพบว่า ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกันส่งผลต่อ ความเร็วอิเล็กตรอน อัตราเร็วเชิงมุมแตกต่างกัน ส่งผลให้แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าที่ได้แตกต่างกัน แสดงในภาพประกอบ 2.46 และภาพประกอบ 2.47 ตามลำดับ



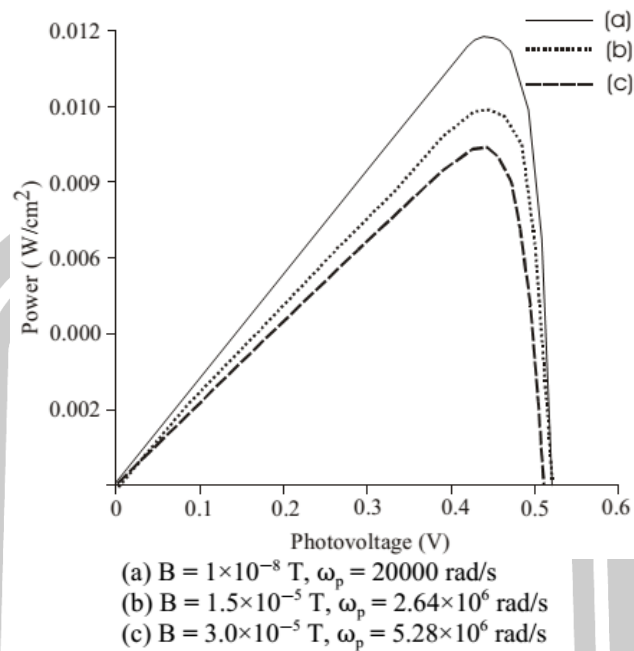


ภาพประกอบ 2.45 แสดงแบบจำลองความสัมพันธ์การเคลื่อนที่ อัตราความเร็วเชิงมุมของอิเล็กตรอน ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [57]



ภาพประกอบ 2.46 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้า และกระแสของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [57]



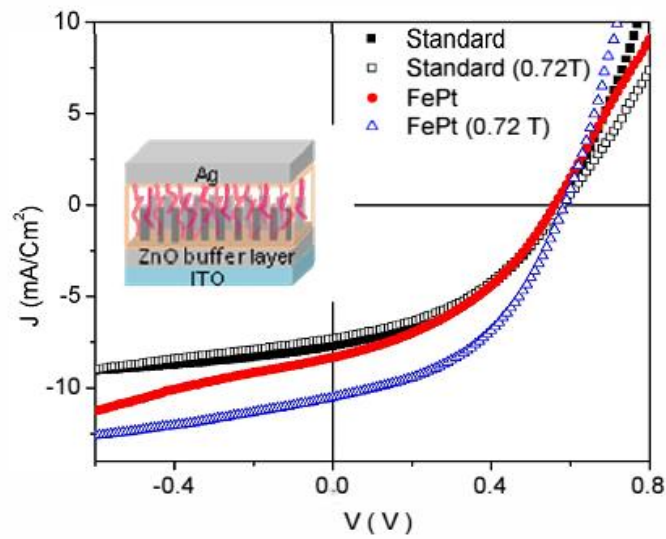


ภาพประกอบ 2.47 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [57]

จากงานวิจัยของ Fang-Chi Hsu [13] ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์พอลิเมอร์ โดยพบว่าการเคลื่อนย้ายประจุที่ดีในวัสดุสารกึ่งตัวนำจะช่วยส่งผลต่อประสิทธิภาพที่เพิ่มสูงตามไปด้วย โดยใช้สนามแม่เหล็กในทิศทางตั้งฉากช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเคลื่อนย้ายประจุแสดงในภาพประกอบ 2.48 โดยแสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กเท่ากับ 0 และ 0.72 เทสลา ด้วยวัสดุสารกึ่งตัวนำ 2 ชนิดได้แก่ ZnO และ FePt พบว่าสามารถช่วยให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ

60

พหุ ประถม โท ชีวะ

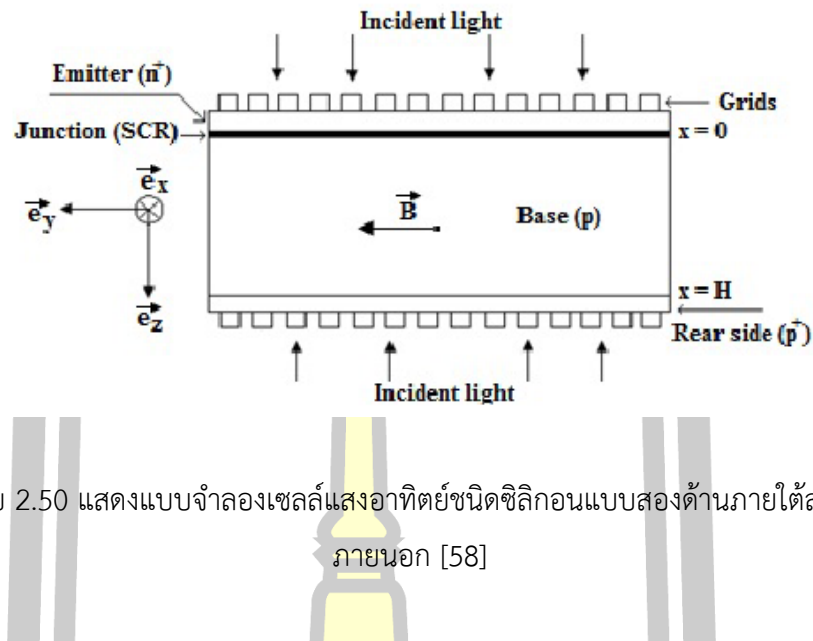


ภาพประกอบ 2.48 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสและแรงดันไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำสองชนิด ที่มีและไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก [13]

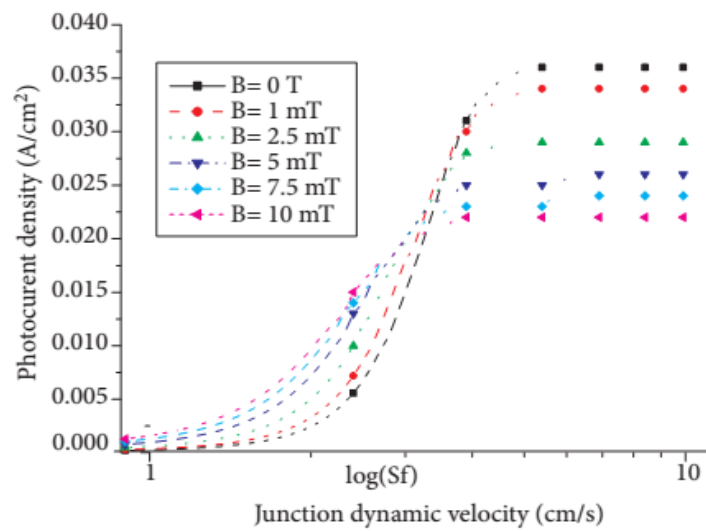
	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	$FF$ (%)	$\eta$ (%)
Standard	7.70	0.57	40.7	1.79
Standard (B)	7.30	0.58	41.1	1.74
FePt	8.32	0.56	39.4	1.83
FePt (B)	10.52	0.58	44.8	2.75

ภาพประกอบ 2.49 แสดงตารางการเปรียบเทียบค่าตัวแปรทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างมีและไม่มีสนามแม่เหล็กภายนอก [13]

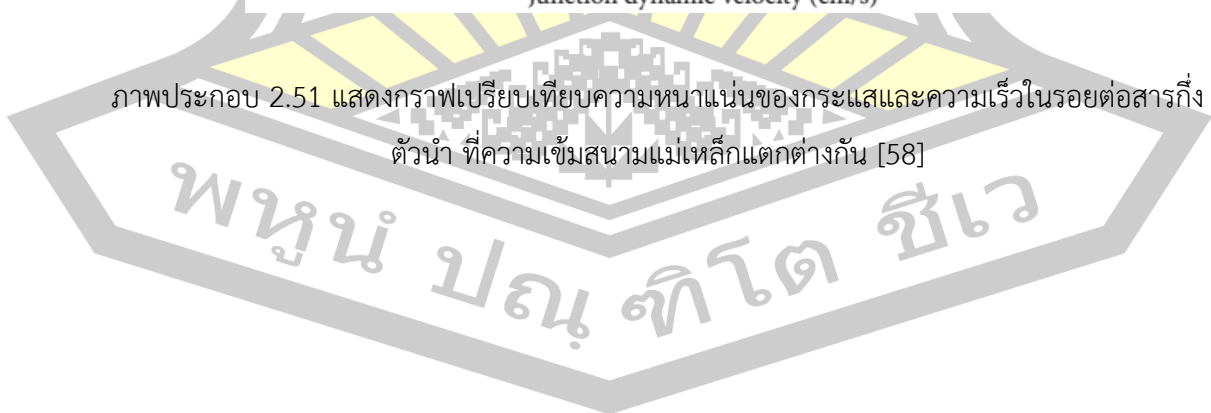
จากงานวิจัยของ Issa Zerbo [58] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กภายนอกต่อค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบสองด้าน โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์และความเร็วในรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ที่ความเข้มแม่เหล็ก 0 1 2.5 5 7.5 และ 10 มิลลิเทสลา พบว่าที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย โดยแสดงในภาพประกอบ 2.50

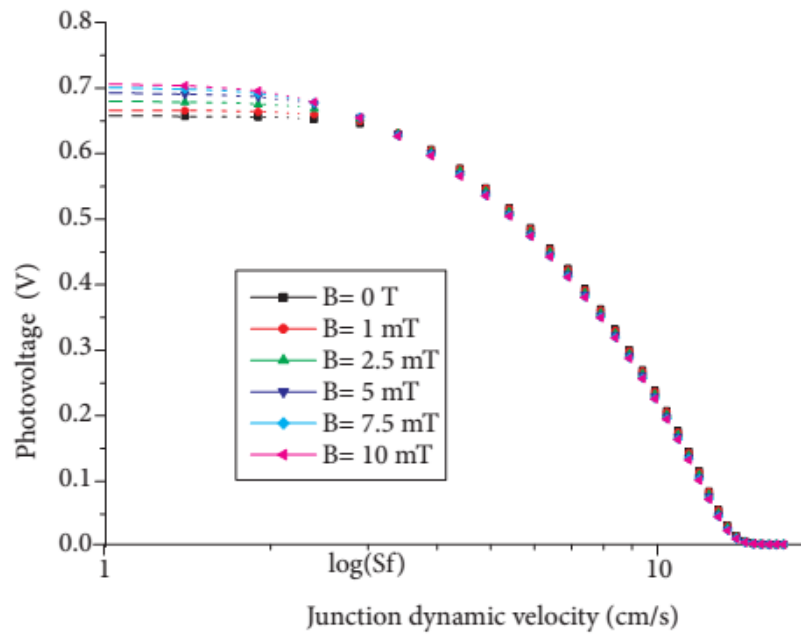


ภาพประกอบ 2.50 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบสองด้านภายใต้สนามแม่เหล็กภายนอก [58]

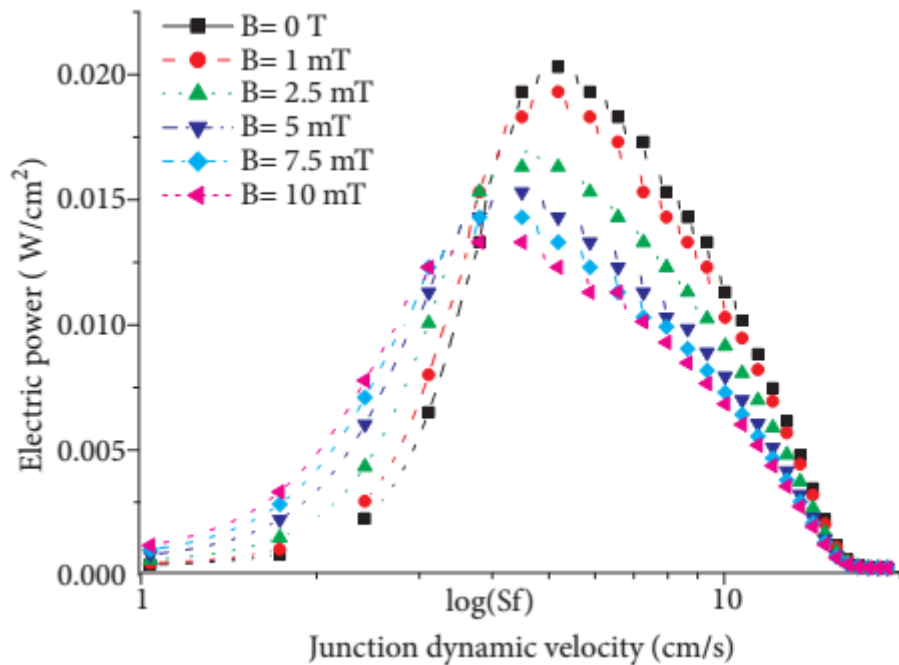


ภาพประกอบ 2.51 แสดงกราฟเปรียบเทียบความหนาแน่นของกระแสและความเร็วในรอยต่อสารกึ่งตัวนำ ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [58]



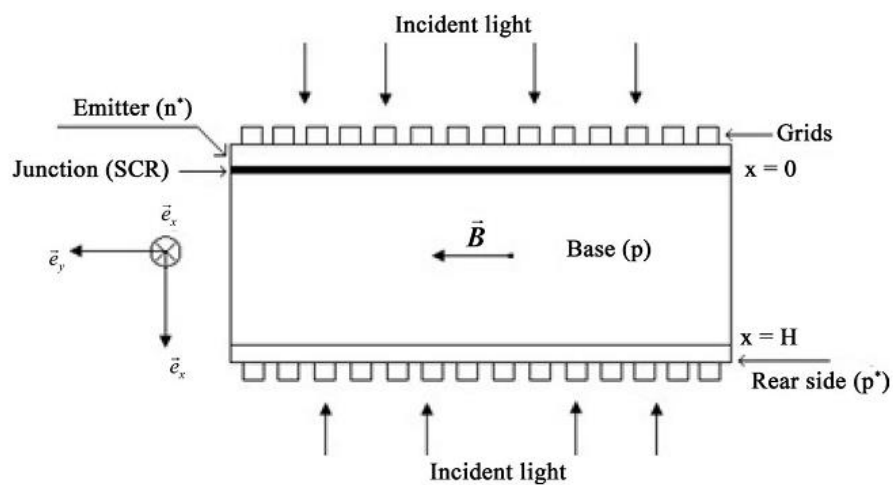


ภาพประกอบ 2.52 แสดงกราฟเปรียบเทียบแรงดันเปิดวงจรและความเร็วในรอยต่อสารกึ่งตัวนำที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [58]

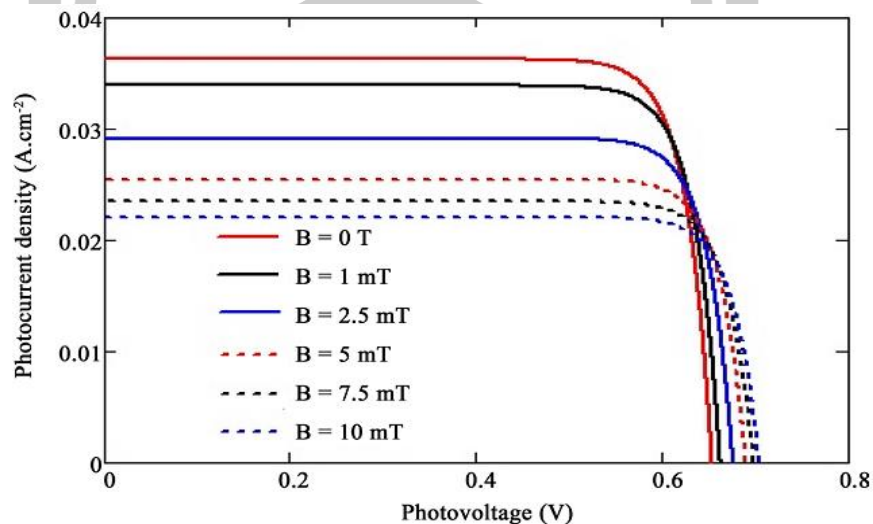


ภาพประกอบ 2.53 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าและความเร็วในรอยต่อสารกึ่งตัวนำที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [58]

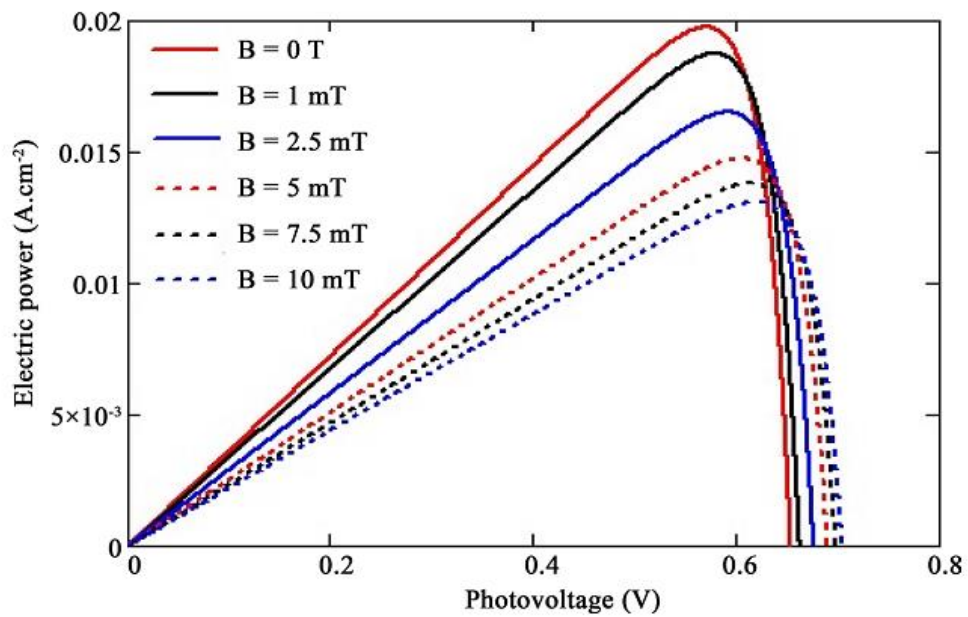
จากงานวิจัยของ Issa Zerbo [59] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กภายนอกต่อค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า เช่น ค่ากำลังสูงสุด ค่าฟิลแฟคเตอร์ และค่าความต้านทานของโหลด ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิกอนแบบสองด้าน แสดงในภาพประกอบ 2.54 โดยทำการเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า ของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อแรงดันไฟฟ้า ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 0 1 2.5 5 7.5 และ 10 มิลลิเทสลา พบว่า ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันส่งผลต่อค่าพารามิเตอร์ไฟฟ้าที่แตกต่างกันด้วย แสดงในภาพประกอบ 2.55 2.56 2.57 และ 2.58 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 2.54 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์สองด้านภายใต้สนามแม่เหล็ก [59]



ภาพประกอบ 2.55 แสดงกราฟเปรียบเทียบกำลังไฟฟ้าและแรงดันที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [59]



ภาพประกอบ 2.56 แสดงกราฟกำลังไฟฟ้าและแรงดัน ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [59]

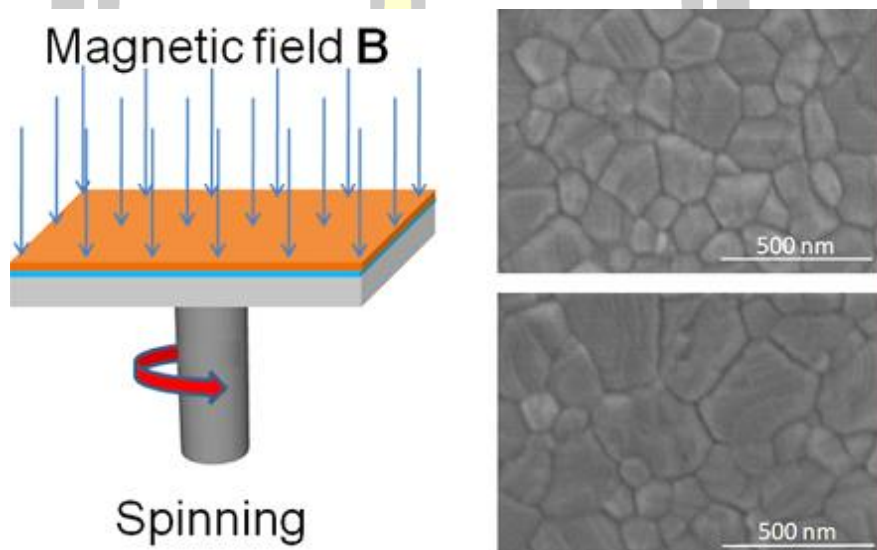
$B$ (mT)	0	1	2.5	5	7.5	10
$P_p$ (mW/cm <sup>2</sup> )	19.759	18.757	16.526	14.776	13.810	13.104
$V_p$ (mV)	571.150	578.250	592.120	604.700	612.110	619.460
$J_p$ (mA/cm <sup>2</sup> )	34.591	32.437	27.952	24.435	22.561	21.167
$V_{oc}$ (mV)	653.890	662.690	676.430	690.000	698.270	704.400
$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	36.272	33.909	29.183	25.507	23.512	22.095
$FF$	0.833	0.835	0.838	0.840	0.841	0.842
$R_{MPP}$ ( $\Omega$ .cm <sup>2</sup> )	16.512	17.827	21.183	24.747	27.177	29.265

ภาพประกอบ 2.57 แสดงตารางค่าพารามิเตอร์ทางไฟฟ้า ที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [59]

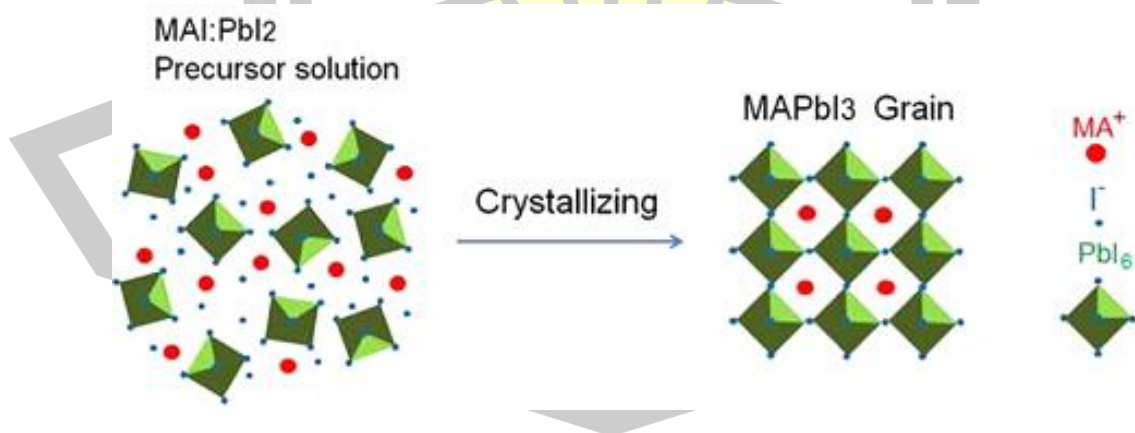
$B$ (mT)	0	1	2.5	5	7.5	10
$P_{max}$ (mW/cm <sup>2</sup> )	19.759	18.757	16.526	14.775	13.810	13.104
$Sf_{MPP}$ (cm/s)	$2.928 \times 10^4$	$1.942 \times 10^4$	$1.027 \times 10^4$	$5.727 \times 10^3$	$3.862 \times 10^3$	$2.922 \times 10^3$
$R_{MPP}$ ( $\Omega$ .cm <sup>2</sup> )	16.512	17.827	21.183	24.747	27.177	29.265

ภาพประกอบ 2.58 แสดงตารางรวมตัวกลับ ค่าความต้านทานที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [59]

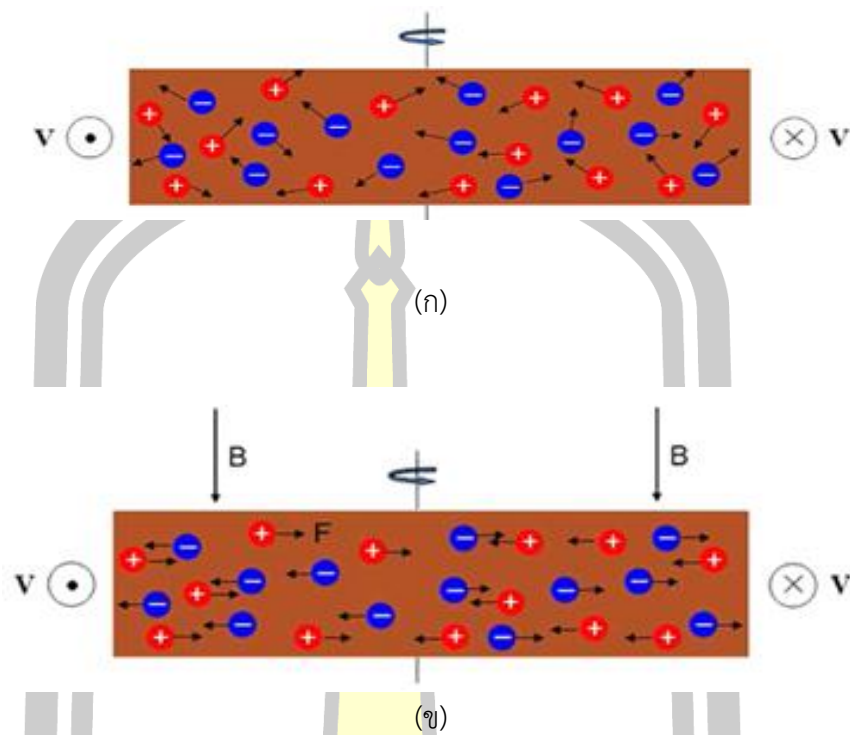
จากงานวิจัยของ Haoxu Wang [60] ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดเพอร์รอฟสไกต์ ซึ่งมีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานได้ค่อนข้างสูง โดยเปรียบเทียบระหว่างไม่มีและมีส่วนผสมแม่เหล็กภายนอก แสดงในภาพประกอบ 2.59 พบว่า การใช้ส่วนผสมแม่เหล็กช่วยให้อายุการเคลื่อนที่ของพาหะในผลึกสารกึ่งตัวนำนานขึ้น ซึ่งมีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเฉลี่ยได้ร้อยละ 17.84 และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงสุดได้ถึงร้อยละ 18.56 ที่ความเข้มข้นแม่เหล็ก 80 มิลลิเทสลา ซึ่งต่างจากกรณีที่ไม่มีส่วนผสมแม่เหล็กภายนอกที่มีประสิทธิภาพการแปลงพลังงานเฉลี่ยเพียงร้อยละ 15.52 และประสิทธิภาพการแปลงพลังงานสูงสุดเพียงร้อยละ 16.72



ภาพประกอบ 2.59 แสดงแบบจำลองการป้อนส่วนผสมแม่เหล็กภายนอกให้เซลล์แสงอาทิตย์ [60]



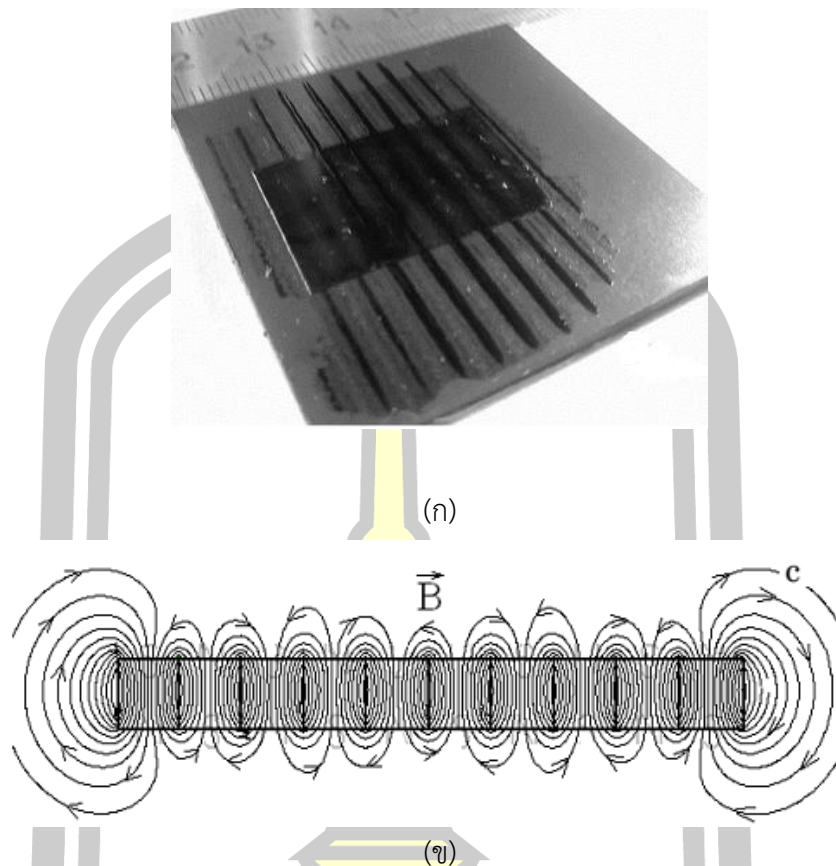
ภาพประกอบ 2.60 แสดงโครงสร้างของผลึกสารกึ่งตัวนำก่อนและหลังกระบวนการเคลือบด้วยฟิล์ม



ภาพประกอบ 2.61 แสดงแบบจำลองการเคลื่อนที่ของประจุระหว่าง(ก) ไม่มีสนามแม่เหล็กและ (ข) มีสนามแม่เหล็กภายนอก [60]

จากงานวิจัยของ R.V.Zaitsev [61] ได้ทำการทดลองประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด ซิลิกอน 1 รอยต่อ แสดงในภาพประกอบ 2.62 โดยใช้สนามแม่เหล็กภายนอกเพื่อช่วยในการลด ปริมาณการรวมตัวกลับของอิเล็กตรอนและโฮลให้นานขึ้น โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพและ ระยะเวลาการรวมตัวกลับของอิเล็กตรอน ระหว่างไม่มีและมีสนามแม่เหล็กภายนอก โดยกระตุ้นไว้ 7 วัน และแบบสนามแม่เหล็กฟิล์มบางติดตลอดความเข้ม 0.05 เทสลา พบว่า การใช้สนามแม่เหล็กมีช่วยทั้ง สองกรณีมีระยะเวลาการรวมตัวกลับของอิเล็กตรอนและโฮลนานกว่า เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มี สนามแม่เหล็กภายนอก ดังแสดงในภาพประกอบ 2.63





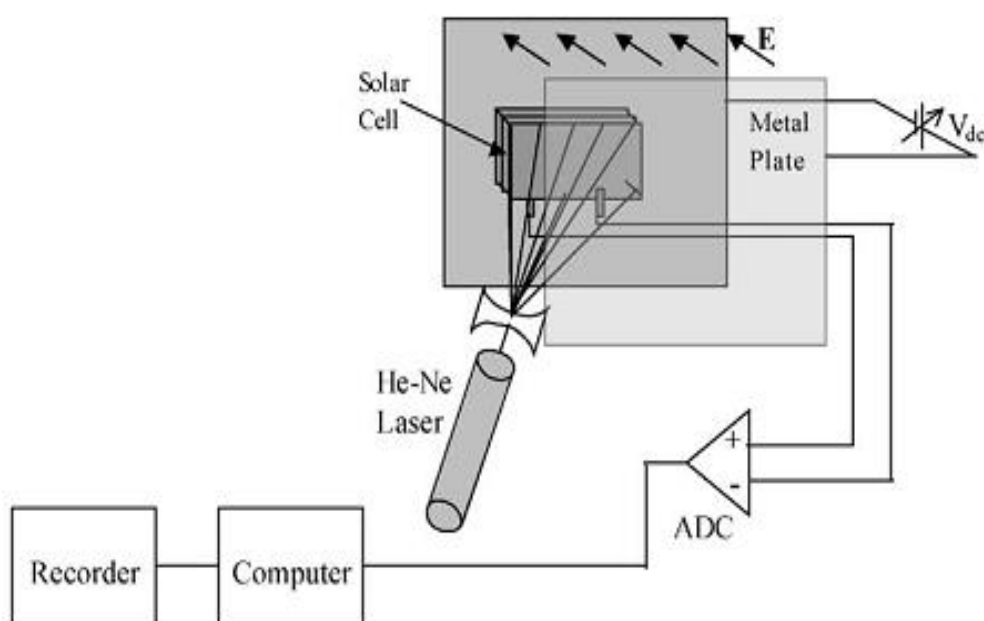
ภาพประกอบ 2.62 แสดงเซลล์แสงอาทิตย์และทิศทางของสนามแม่เหล็กในการเพิ่มประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ [61]

Parameters	Original state ( $B = 0$ )	Initial state ( $B = 0$ )	After processing in SMF				
			After storage				
			$B = 0$	In contact with magnetic vinyl ( $B = 0.05$ T)			
			7 days	7 days	14 days	21 days	30 days
$\eta, \%$	10.3-11.1	11.8-12.5	9.2-10.5	11.8-12.4	11.6-12.2	11.5-12.2	11.5-12.2
$\tau_n^{ef}, \mu s$	34-40	50-56	25-33	50-54	48-52	48-52	48-52

ภาพประกอบ 2.63 แสดงตารางเปรียบเทียบประสิทธิภาพและระยะเวลาชีวิตการรวมตัวกลับของอิเล็กตรอนและโฮล ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [61]

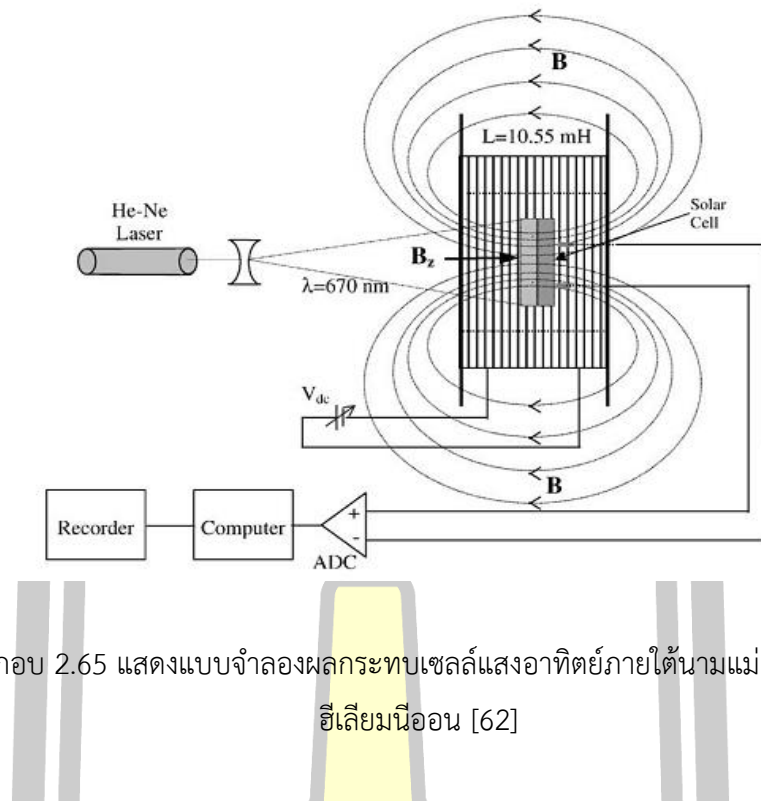
จากงานวิจัยของ Serafettin Erel [62] ได้ทำการศึกษาผลกระทบของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็กต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดแคดเมียมซัลไฟด์ (CdS) โดยทดลองที่ความเข้มสนามไฟฟ้า 0 ถึง 35,000 โวลต์ต่อเมตร ( $V_{dc}/m$ ) ด้วยลำแสงฮีเลียมนีออน (He-Ne laser) ที่ความยาวคลื่น 670 นาโนเมตร แสดงในภาพประกอบ 2.64 พบว่า แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์เปลี่ยนแปลงในค่าความเข้มสนามไฟฟ้าที่แตกต่างกัน แสดงในภาพประกอบ 2.65 นอกจากการ

ทดลองด้วยสนามไฟฟ้าแล้ว งานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองผลกระทบของสนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 0.003 ถึง 0.079 เทสลา โดยใช้ขดลวดโซลินอยด์ 10.55 มิลลิเฮนรี่ (mH) โดยทำการทดสอบกับแสงขาวที่ความเข้ม 50 100 150 และ 250 ลักซ์ (Lux) ตามลำดับ แสดงในภาพประกอบ 2.65 พบว่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรแปรผันตรงกับความเข้มของสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น แสดงในภาพประกอบ 2.66 และยังทำการทดลองป้อนสนามไฟฟ้าช่วง 0 ถึง 35,000 โวลต์ต่อเมตร ( $V_{dc}/m$ ) ให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทดสอบด้วยแสงขาวที่ความเข้มของแสงเท่ากัน แสดงผลการทดลองในภาพประกอบ 2.67 และภาพประกอบ 2.68 ตามลำดับ

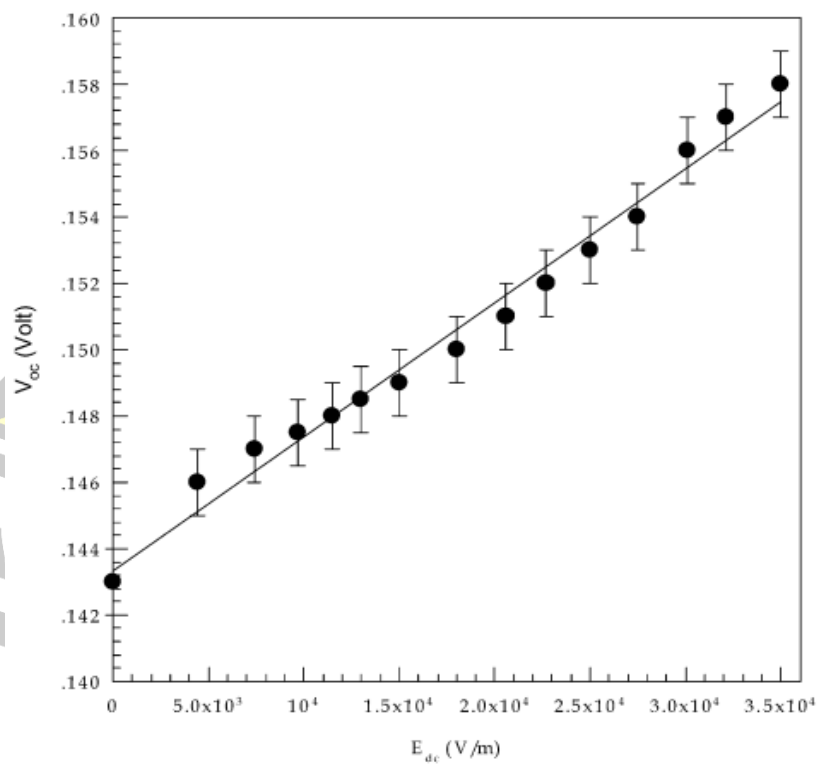


ภาพประกอบ 2.64 แสดงแบบจำลองผลกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สนามแม่ไฟฟ้าด้วยลำแสงฮีเลียมนีออน [62]

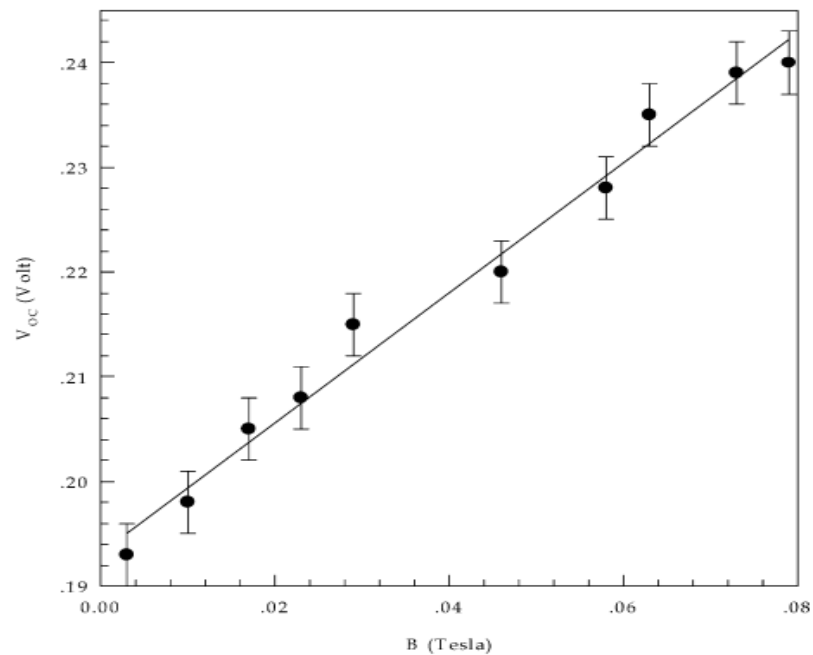




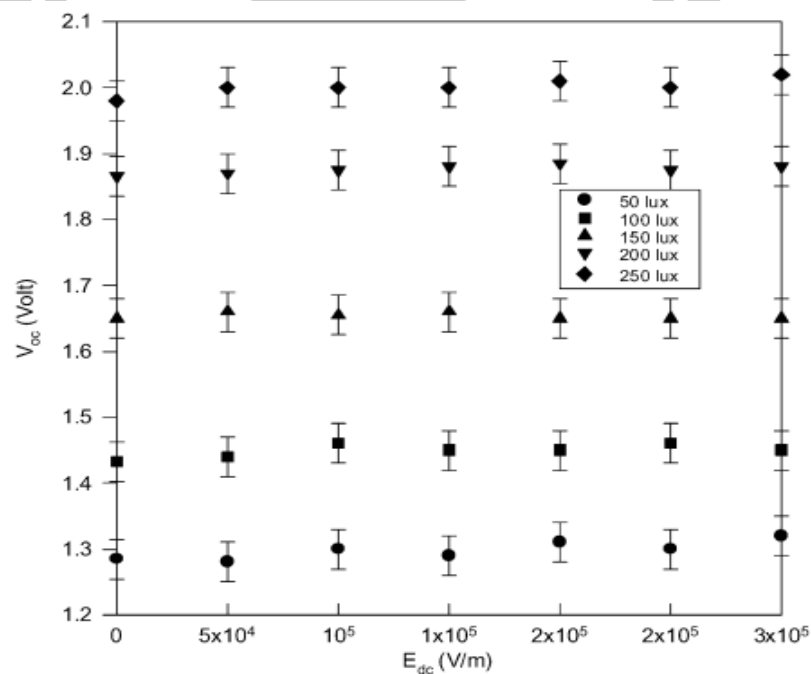
ภาพประกอบ 2.65 แสดงแบบจำลองผลกระทบเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สนามแม่เหล็กด้วยลำแสงฮีเลียมนีออน [62]



ภาพประกอบ 2.66 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้ความสนามไฟฟ้าแตกต่างกัน ทดสอบด้วยลำแสงฮีเลียมนีออน [62]

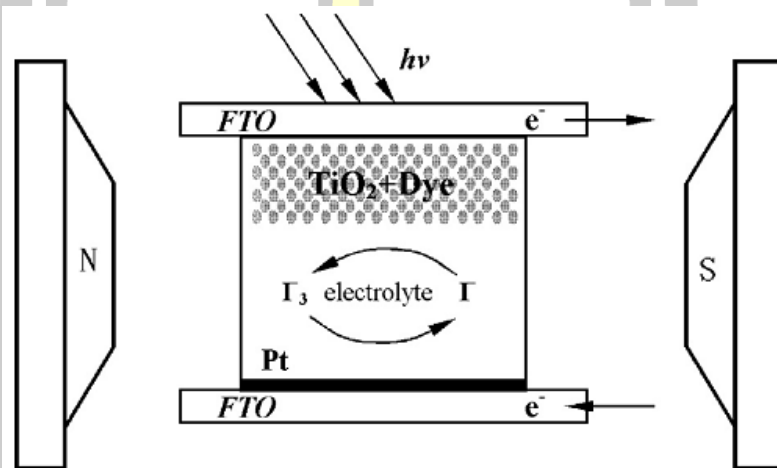


ภาพประกอบ 2.67 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้ความ สนามแม่เหล็กแตกต่างกัน ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน [62]

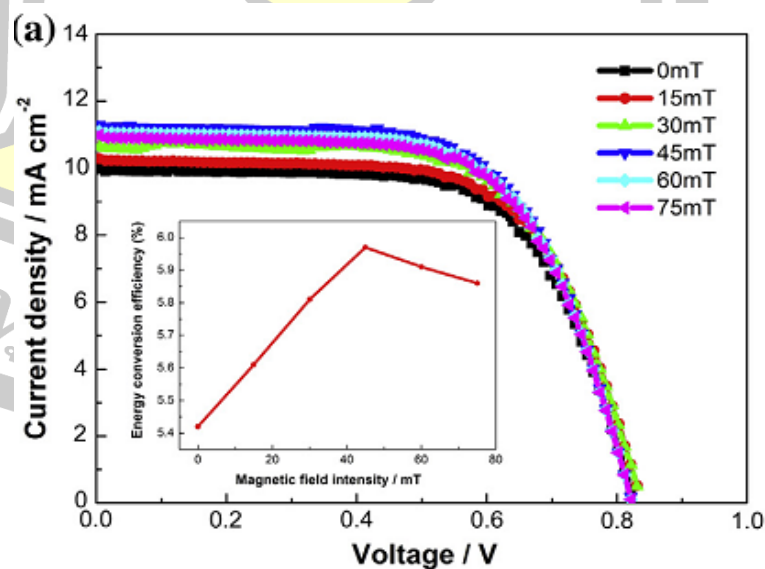


ภาพประกอบ 2.68 แสดงกราฟแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ ภายใต้ความ สนามไฟฟ้า แตกต่างกัน ที่ความเข้มแสงแตกต่างกัน [62]

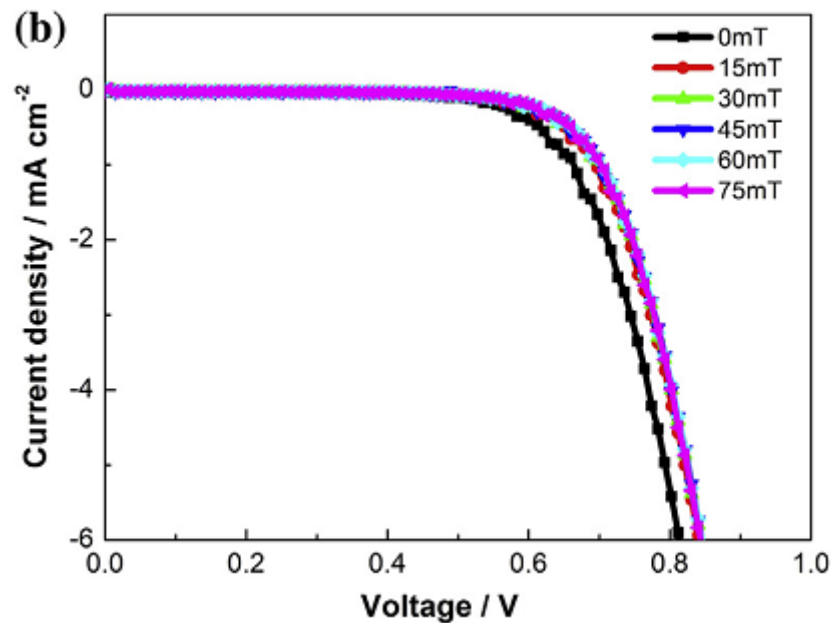
จากงานวิจัยของ Fengshi Cai [63] ได้ศึกษาประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดสีย้อมไวแสง (Dye-sensitized solar cell) แสดงในภาพประกอบ 2.69 พบว่า กระแสลัดวงจรเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 13 ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กภายนอก 45 มิลลิเทสลา (mT) ทดสอบที่ความเข้มแสง 100 มิลลิวัตต์ต่อตารางเมตร ( $\text{mW}/\text{cm}^2$ ) แสดงในภาพประกอบ 2.70 และประสิทธิภาพในการแปลงผันพลังงานเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 10 หลังจากนำสนามแม่เหล็กออก ประสิทธิภาพไม่ลดลงอย่างทันที ยังคงรักษาประสิทธิภาพไว้ได้ใกล้เคียงกับช่วงแรก จากผลการศึกษาจะเห็นว่าสามารถใช้แม่เหล็กความเข้มสนามแม่เหล็กอ่อนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพได้



ภาพประกอบ 2.69 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สนามแม่เหล็กภายนอก [63]



ภาพประกอบ 2.70 แสดงกราฟประสิทธิภาพการแปลงผัน ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [63]



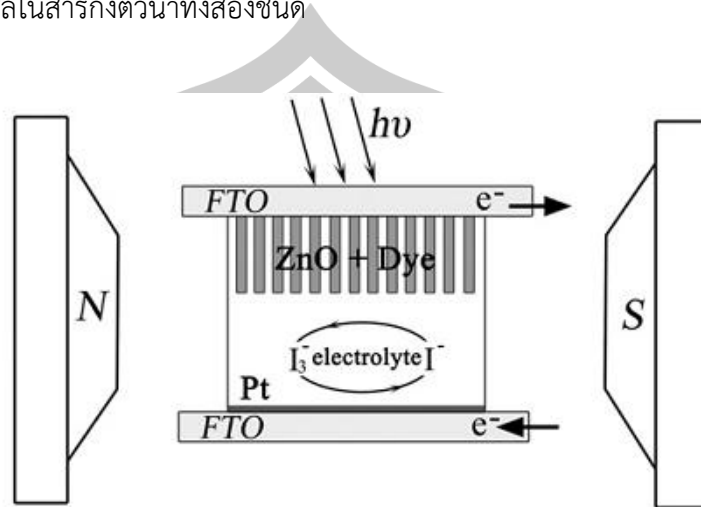
ภาพประกอบ 2.71 แสดงกราฟกระแสเทียบกับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [65]

$B$ (mT)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	$FF$	$\eta$ (%)
0	9.94	0.82	0.66	5.42
15	10.25	0.83	0.66	5.61
30	10.64	0.83	0.66	5.81
45	11.30	0.82	0.65	5.97
60	11.07	0.82	0.65	5.91
75	10.93	0.82	0.65	5.86

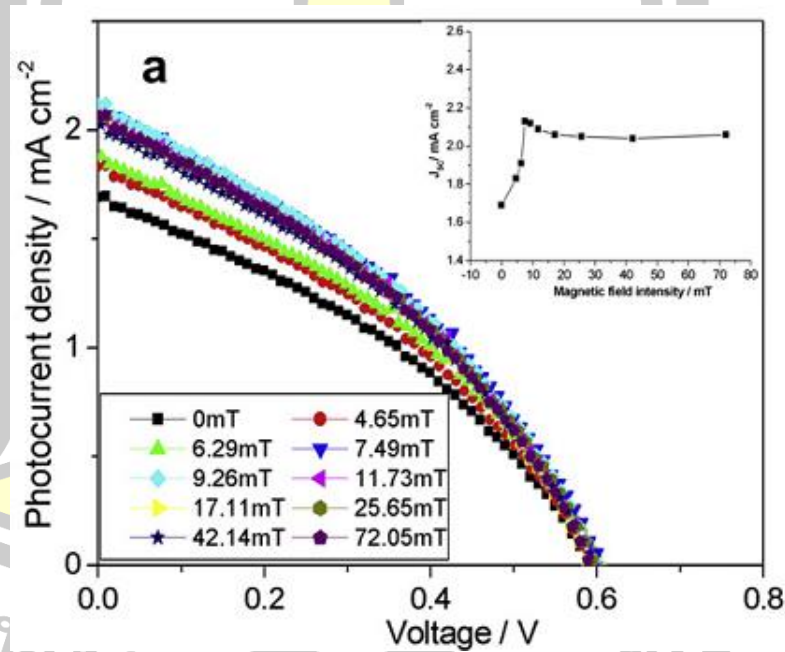
ภาพประกอบ 2.72 แสดงตารางพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสงอาทิตย์แตกต่างกัน [65]

จากงานวิจัยของ Fengshi Cai [64] ได้ศึกษาผลกระทบสนามแม่เหล็กต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ 2 ชนิด ได้แก่ Ru-bipyridyl dye N719 และ Cds-sensitized ZnO-based แสดงในภาพประกอบ 2.73 พบว่า การใช้สนามแม่เหล็กภายนอกน้อยกว่า 10 มิลลิเทสลา (mT) ช่วยเพิ่มกระแสลัดวงจรร้อยละ 25 และ 34 ตามลำดับ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานร้อยละ 31

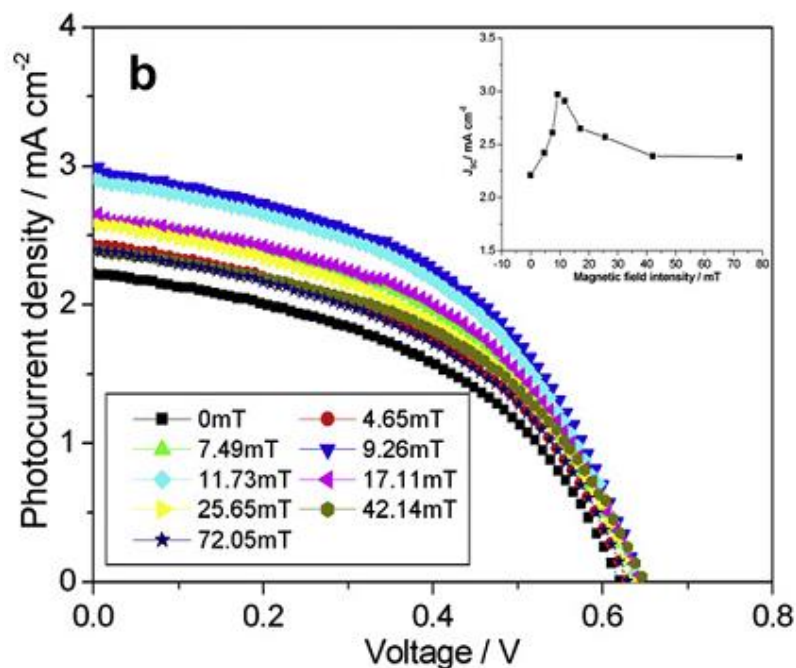
และ 46 ตามลำดับอีกด้วย เพราะสนามแม่เหล็กภายนอกช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการแยกตัวของ อิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิด



ภาพประกอบ 2.73 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ภายใต้สนามแม่เหล็ก [64]



ภาพประกอบ 2.74 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสลัดวงจรและแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Ru-bipyridyl dye N719 ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [64]



ภาพประกอบ 2.75 แสดงกราฟเปรียบเทียบกระแสลัดวงจรและแรงดันเปิดวงจรของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด Cds-sensitized Znnonobased ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [64]

$B$ (mT)	$R_{ct}$ ( $\Omega$ )	$R_d$ ( $\Omega$ )	$\tau_{eff}$ (s)
0	108.6	34.2	0.015
4.65	96.3	30.4	0.017
6.29	93.5	29.6	0.018
7.49	82.1	25.3	0.023
9.26	87.9	27.3	0.020
11.73	96.8	30.2	0.018
17.11	102.7	32.9	0.017

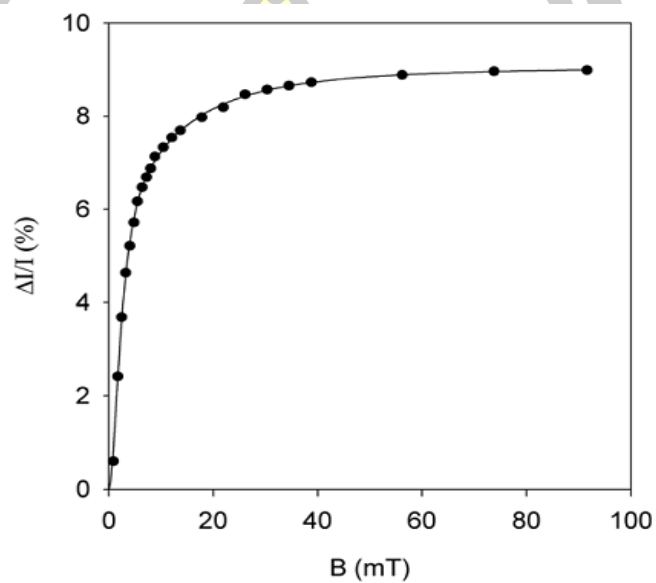
ภาพประกอบ 2.76 แสดงตารางเปรียบเทียบค่าความต้านทานในการขนย้ายประจุ ( $R_{ct}$ ) ค่าความต้านทานการขนย้ายอิเล็กตรอน ( $R_d$ ) และอายุของอิเล็กตรอน ( $\tau_{eff}$ ) ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [64]

จากงานวิจัยของ H.Tajima [65] ได้ทำการศึกษาเวลาในการรวมตัวกลับอิเล็กตรอนและโฮลในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นด้วยสนามแม่เหล็กอ่อน พบว่าระยะเวลาการรวมตัวกลับเพิ่มขึ้น มากกว่า 2 เท่า

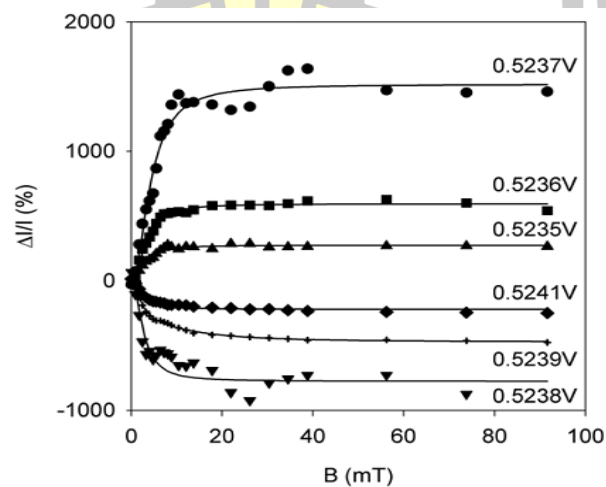


จาก 3 ไมโครวินาที เป็น 7 ไมโครวินาที โดยตรวจสอบด้วยกล้องจุลทรรศน์ ซึ่งถือว่าเป็นเทคนิคสำคัญ สำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์

จากงานวิจัยของ P.Shakya [66] ได้ทำการศึกษาผลกระทบสนามแม่เหล็กภายนอกต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด bulk heterojunction พบว่า กระแสลัดวงจรเพิ่มขึ้นร้อยละ 9 ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กน้อยกว่า 100 มิลลิเทสลา แสดงในภาพประกอบ 2.77



ภาพประกอบ 2.77 แสดงกราฟร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรที่กำลังการผลิตสูงสุดที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [66]



ภาพประกอบ 2.78 แสดงกราฟร้อยละการเปลี่ยนแปลงของกระแสลัดวงจรที่แรงดันใกล้เคียงแรงดันเปิดวงจร ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน [66]

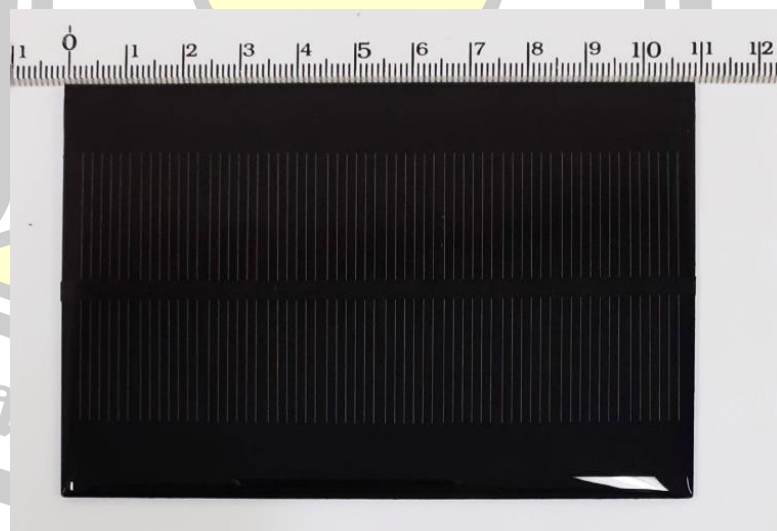
### บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย

จากบทที่ 2 ผู้วิจัยได้นำเสนอทฤษฎี ความรู้พื้นฐาน ของเซลล์แสงอาทิตย์และสนามแม่เหล็ก รวมถึงหลักการในการเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีหลากหลายวิธีแต่วิธีส่วนใหญ่เป็นการเพิ่มเติมอุปกรณ์เข้ามาในระบบการผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ ส่งผลต่อความยุ่งยากและต้นทุนที่เพิ่มสูงตามไปด้วย จากการศึกษาของผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะเพิ่มประสิทธิภาพสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยสนามแม่เหล็ก โดยทำการทดลองเบื้องต้นกับแผ่นแม่เหล็กถาวรที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน

ในบทนี้ผู้วิจัยได้นำเสนออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง และออกแบบการทดลองเพื่อเก็บข้อมูลคุณลักษณะทางไฟฟ้า ได้แก่ คุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเทียบแรงดัน คุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดัน และตัวแปรวิกฤตของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

1.เซลล์แสงอาทิตย์ ชนิด Monocrystalline Silicon Solar Cell ของบริษัท The bifacial PV cell company ขนาด 110 มม x 60 มม ; 200 มม (ประสิทธิภาพ 17.5% - 18.39%).



ภาพประกอบ 3.1 ลักษณะภายนอกเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลอง

## 2. หลอดไฟจำลองแสงอาทิตย์ทั้งสแตน ฮาโลเจน



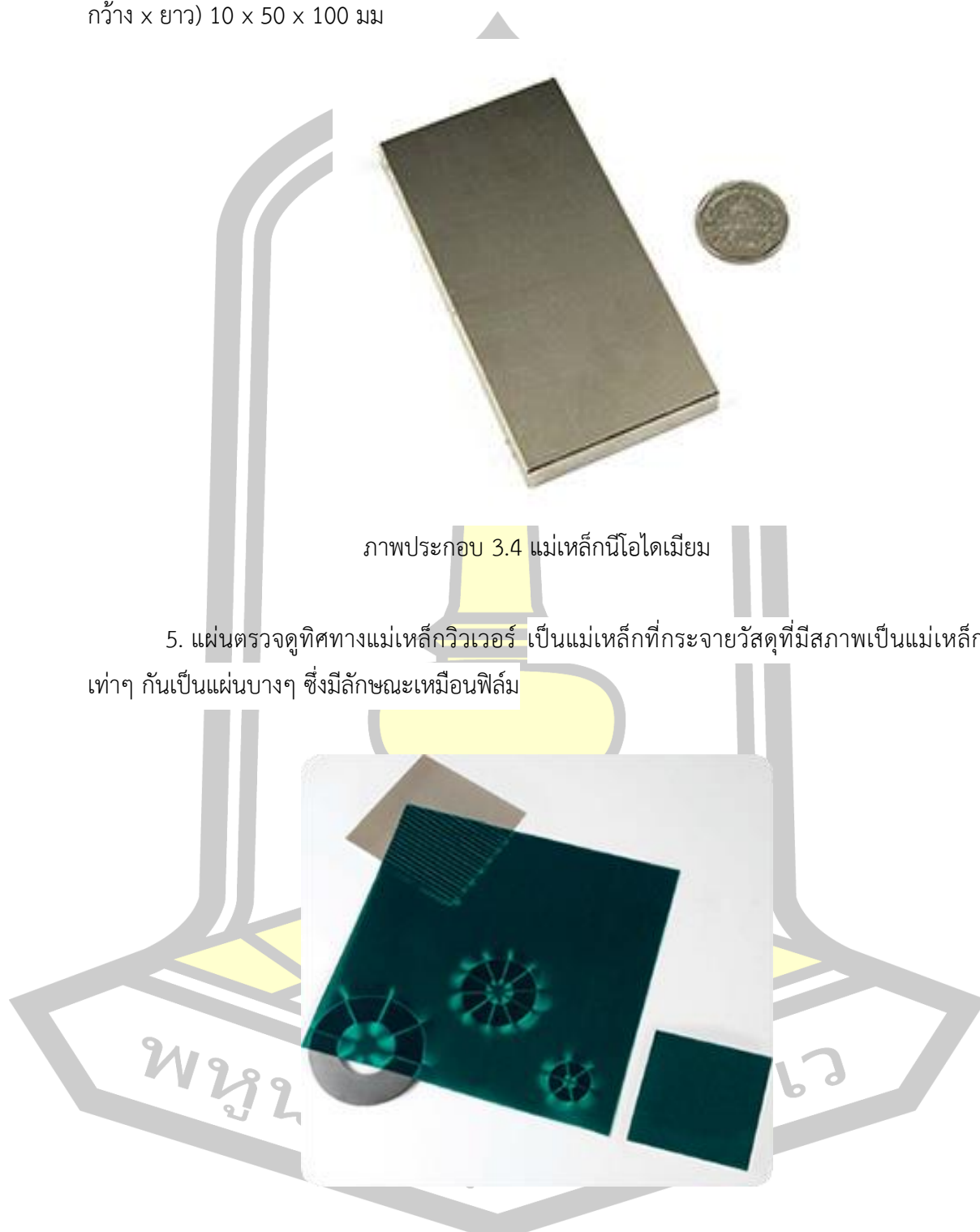
ภาพประกอบ 3.2 หลอดทั้งสแตน ฮาโลเจนจำลองแสงอาทิตย์

3. เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ หมายเลขรหัสสินค้า SPM001 ยี่ห้อ TENMARS รุ่น TM-206 วัดค่าได้สูงสุด 1,999 วัตต์ต่อตร.ม ขนาด (ยาว x กว้าง x สูง) 132 x 60 x 38 มม. น้ำหนัก 150 กรัม



ภาพประกอบ 3.3 เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์

4. แม่เหล็กนีโอไดเมียม ชนิดนีโอไดเมียม เกรด N35 น้ำหนัก 750 กรัม ขนาด (หนา x กว้าง x ยาว) 10 x 50 x 100 มม



ภาพประกอบ 3.4 แม่เหล็กนีโอไดเมียม

5. แผ่นตรวจดูทิศทางแม่เหล็กไวเวอรี่ เป็นแม่เหล็กที่กระจายวัสดุที่มีสภาพเป็นแม่เหล็กเท่าๆ กันเป็นแผ่นบางๆ ซึ่งมีลักษณะเหมือนฟิล์ม

ภาพประกอบ 3.5 แผ่นตรวจดูทิศทางแม่เหล็กไวเวอรี่

## 6. เครื่องวัดอุณหภูมิ Digital Thermo Hygrometer

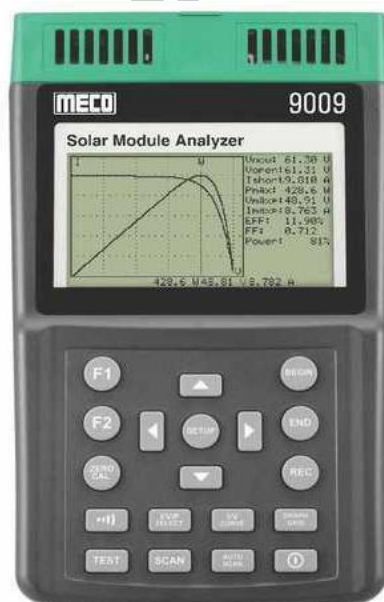


### Specifications

Specifications	
Operating Range	0 °C to 50 °C (32 °F to 122 °F); 0 % RH to 100 % RH
Calibrated Temperature Accuracy ("H" Model)	± 0.125 °C from 16 °C to 24 °C (± 0.225 °F from 60.8 °F to 75.2 °F)
Calibrated temperature Accuracy ("S" Model)	± 0.25 °C from 15 °C to 35 °C (± 0.45 °F from 59 °F to 95 °F)
Calibrated RH Accuracy ("H" Model)	± 1.5 % RH from 20 % RH to 70 % RH
Calibrated RH Accuracy ("S" Model)	± 2 % RH from 20 % RH to 70 % RH
Expected Extrapolated Performance (Uncertified)	± 0.5 °C (± 0.9 °F) outside calibrated range ± 3 % RH outside calibrated range
Delta Temperature Accuracy	± 0.025 °C for ± 1 ° changes within 15 °C to 35 °C (± 0.045 °F for ± 1 ° changes within 59 °F to 95 °F)
Temperature Resolution	User selectable up to 0.001 °C/°F on front-panel display (0.01° recorded)
Delta Humidity Accuracy	± 1.0 % RH for ± 5 % changes within 20 % RH to 70 % RH

ภาพประกอบ 3.6 เครื่องวัดอุณหภูมิ

## 7. เครื่องวัดวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์ กำลังงานแผงโซลาร์เซลล์ Solar Analyzer



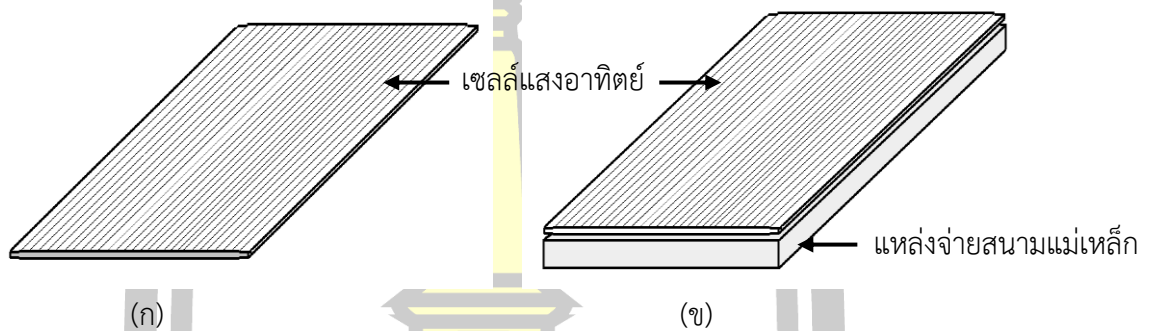
### General Specifications

<b>Battery Type</b>	Rechargeable Lithium Battery, 3400mAh
<b>Battery Life</b>	400 times of linear scan from 60V to 0V and 0A to 12A.
<b>Data Logging Memory Size</b>	100 records
<b>AC Adaptor</b>	AC 100 ~ 240V Input, DC 15V / 1 ~ 3A Output
<b>Dimension</b>	260 x 158 x 64mm
<b>Weight</b>	1425gms Including Battery (aaprox.)
<b>Operation Environment</b>	5°C ~ 50°C, 85% RH
<b>Temperature Coefficient</b>	0.1% of full scale / °C (<18°C or >28°C)
<b>Storage Environment</b>	-20°C ~ 60°C, 75% RH
<b>Accessories</b>	User Manual x 1, AC Adaptor x 1, Optical USB Cable x 1, Rechargeable Lithium Battery x 1, Software CD x 1, Software Manual x 1, Kelvin Clips (12A max) x 1 Set, 4 Wire to 2 Wire Connector x 1 set, Carrying Bag x 1

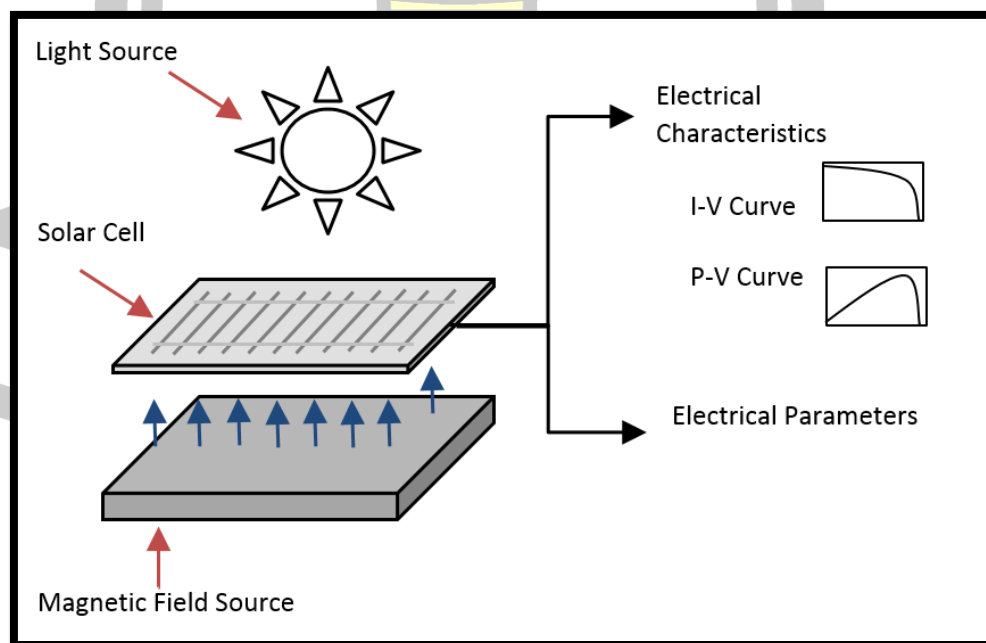
ภาพประกอบ 3.7 เครื่องวัดวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์

### 3.2 วิธีการทดลอง

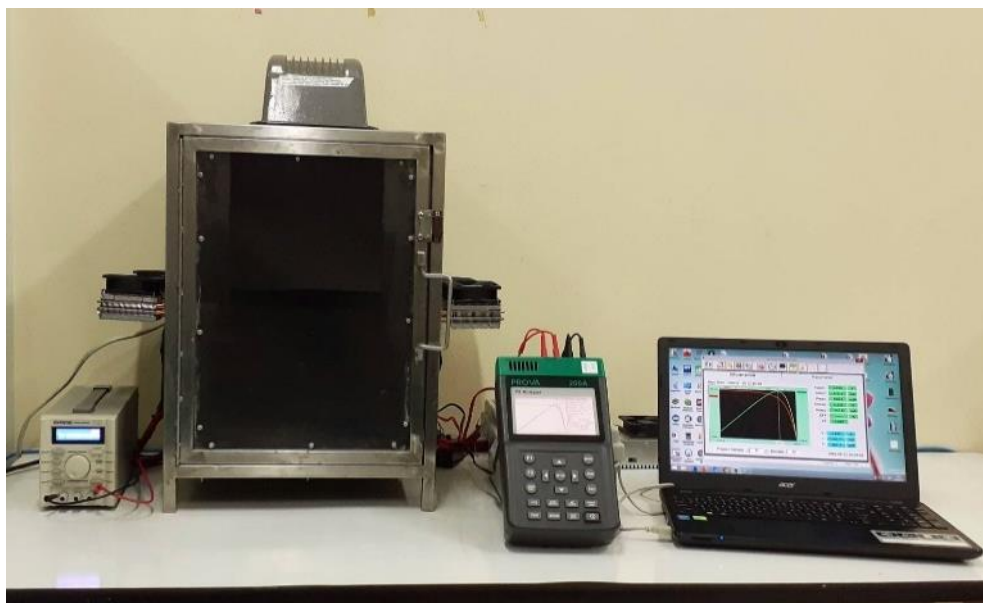
การทดลองผลกระทบของสนามแม่เหล็กต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้า ได้แก่ คุณลักษณะ กระแสเทียบแรงดัน และกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว 1 วัตต์ ทดสอบ ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส การทดลองจะเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ระหว่างไม่มีและมีสนามแม่เหล็ก โดยกำหนดให้แหล่งจ่ายสนามแม่เหล็กคือแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม สนามแม่เหล็ก 60 160 และ 260 มิลลิเทสลา ติดไว้ที่ด้านหลังเซลล์ฯ แสดงในภาพประกอบ 3.8 และ ทดสอบในกล่องทึบเพื่อควบคุมความเข้มแสง และอุณหภูมิให้คงที่ แสดงในภาพประกอบ 3.9



ภาพประกอบ 3.8 แสดงแบบจำลองเซลล์แสงอาทิตย์ (ก) กรณีด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มี แหล่งจ่ายสนามแม่เหล็ก (ข) กรณีด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์มีแหล่งจ่ายสนามแม่เหล็กภาพประกอบ



ภาพประกอบ 3.9 แสดงแบบจำลองสำหรับการทดลอง



ภาพประกอบ 3.10 แสดงอุปกรณ์ในการทดลอง

### 3.3 การทดลองการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

การทดลองการกระจายตัวของคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อเก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร และแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ฯ ซึ่งผลการทดลองจะถูกนำเสนอในหัวข้อ 4.1 ซึ่งผลการทดลองนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณีเซลล์ฯ ได้รับสนามแม่เหล็กในทิศทางและค่าความเข้มที่แตกต่างกันในการทดลองหัวข้อ 3.4 3.5 และ 3.6

### 3.4 การทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 60 มิลลิเทสลา

การทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็ก 60 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อเก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร และแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ฯ และกราฟผลการทดลองจะถูกนำเสนอในหัวข้อ 4.2 ซึ่งผลการทดลองนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณีการกระจายตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ในหัวข้อ 3.3 3.5 และ 3.6

### 3.5 การทดลองผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ความเข้มข้นแม่เหล็ก 160 มิลลิเทสลา

การทดลองผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็ก 160 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อเก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร และแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ฯ และกราฟผลการทดลองจะถูกนำเสนอในหัวข้อ 4.3 ซึ่งผลการทดลองนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณีการกระจายตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ในหัวข้อ 3.3 3.4 และ 3.6

### 3.6 การทดลองผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ความเข้มข้นแม่เหล็ก 260 มิลลิเทสลา

การทดลองผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็ก 260 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะกระแสไฟฟ้าเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง เพื่อเก็บข้อมูลค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร และแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ฯ และกราฟผลการทดลองจะถูกนำเสนอในหัวข้อ 4.4 ซึ่งผลการทดลองนี้จะนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองในกรณีการกระจายตัวของเซลล์แสงอาทิตย์ในหัวข้อ 3.3 3.4 และ 3.5

### 3.7 การทดลองผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

การทดลองผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ย ได้แก่ คุณลักษณะกระแสเทียบแรงดัน และกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง ตามการทดลองในหัวข้อ 3.1 ถึง 3.6 แล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าระหว่างกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ไม่มีสนามแม่เหล็ก และกรณีมีสนามแม่เหล็กที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน เพื่อเปรียบเทียบระดับช่วงระดับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเฉลี่ย และช่วงระดับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย พร้อมกันนำเสนอผลการทดลองกราฟคุณลักษณะในหัวข้อ 4.5



### 3.8 การทดลองผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

การทดลองผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ย ได้แก่ คุณลักษณะกระแสเทียบแรงดัน และกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไขมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ทำการทดลองทั้งหมด 5 ครั้ง แล้วนำมาเฉลี่ยตามการทดลองในหัวข้อ 3.7 เพื่อเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าระหว่างกรณีทิศเหนือสนามแม่เหล็ก และกรณีทิศใต้สนามแม่เหล็กด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเปรียบเทียบระดับช่วงระดับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเฉลี่ย และช่วงระดับแรงดันไฟฟ้าเฉลี่ย พร้อมก็นำเสนอผลการทดลองกราฟคุณลักษณะในหัวข้อ 4.6

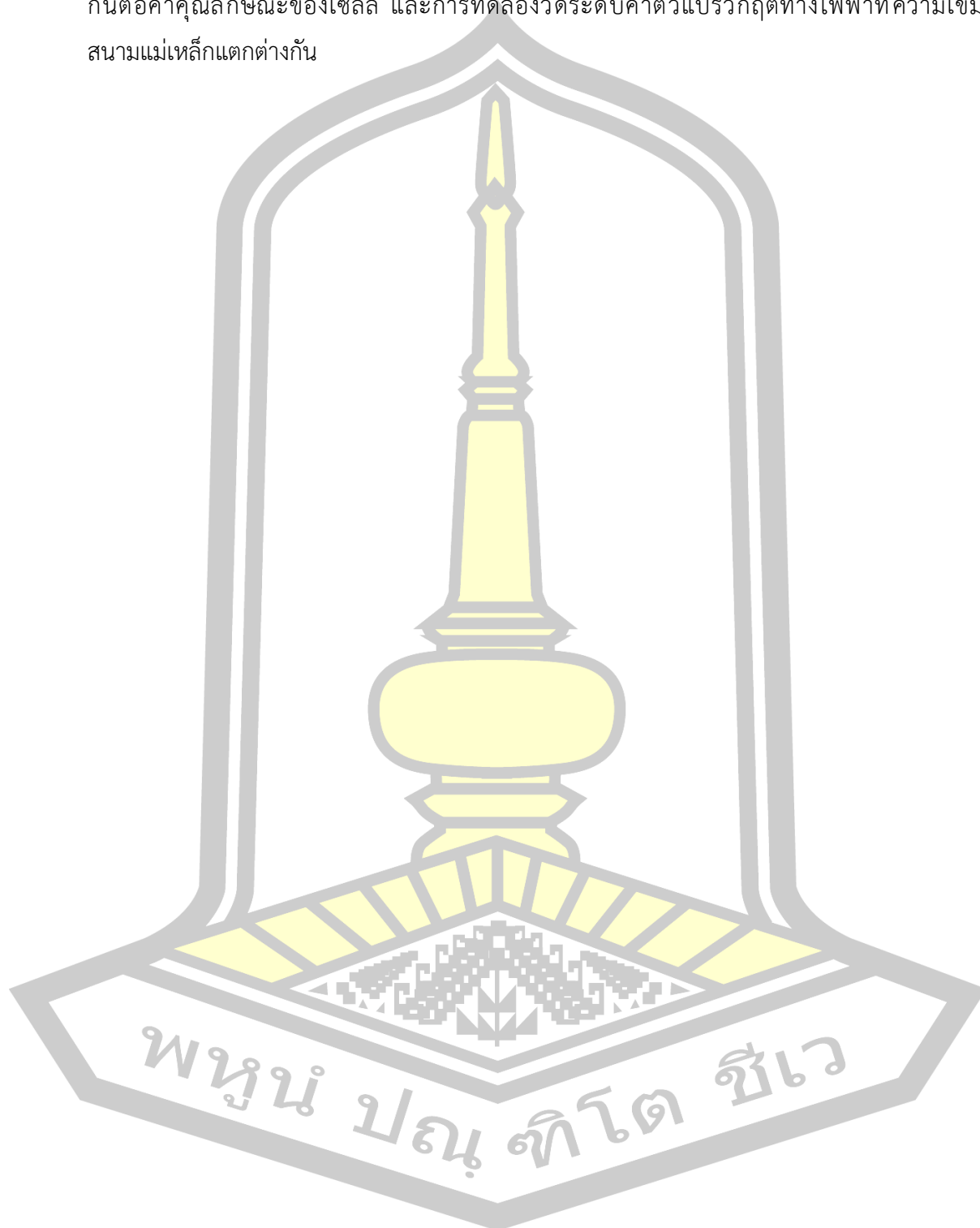
### 3.9 การทดลองผลกระทบของทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

การทดลองผลกระทบของทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน จะนำค่าเฉลี่ยตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจร ค่ากระแสไฟฟ้าสูงสุด ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุด ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าฟิลแฟกเตอร์ จากการทดลองในหัวข้อ 3.1 ถึง 3.4 มาเฉลี่ยเพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าที่ทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน พร้อมทั้งแสดงกราฟนอร์มอลไลเซชันเพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาถึงแนวโน้มของค่าตัวแปรวิกฤต ซึ่งจะนำเสนอผลการทดลองในหัวข้อ 4.7

### 3.10 สรุป

ในบทนี้ได้นำเสนออุปกรณ์ในการทดลอง และวิธีการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็ก ต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้า ได้แก่ คุณลักษณะกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ทำการทดลองภายใต้มาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าระหว่างกรณีเซลล์ที่ไม่มีและมีสนามแม่เหล็กภายนอกแม่เหล็กถาวร ซึ่งประกอบไปด้วย การทดลองเพื่อศึกษาการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน การทดลองเปรียบเทียบคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์ภายใต้

ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน การทดลองเปรียบเทียบทิศทางของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อค่าคุณลักษณะของเซลล์ และการทดลองวัดระดับค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน



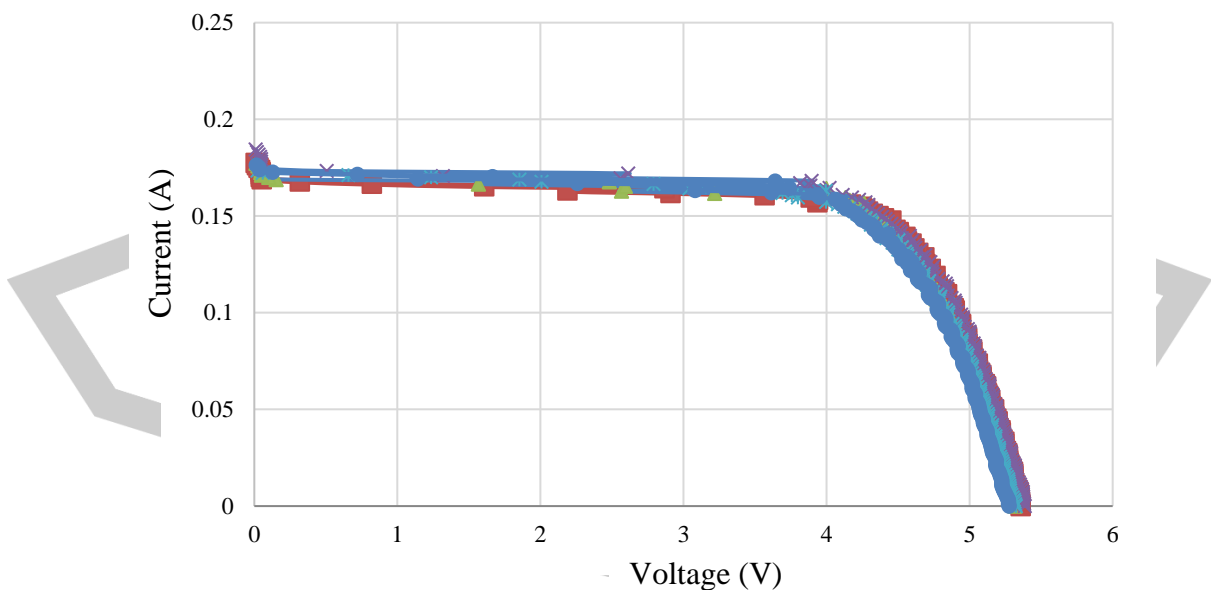
## บทที่ 4

### ผลวิจัยและการอภิปราย

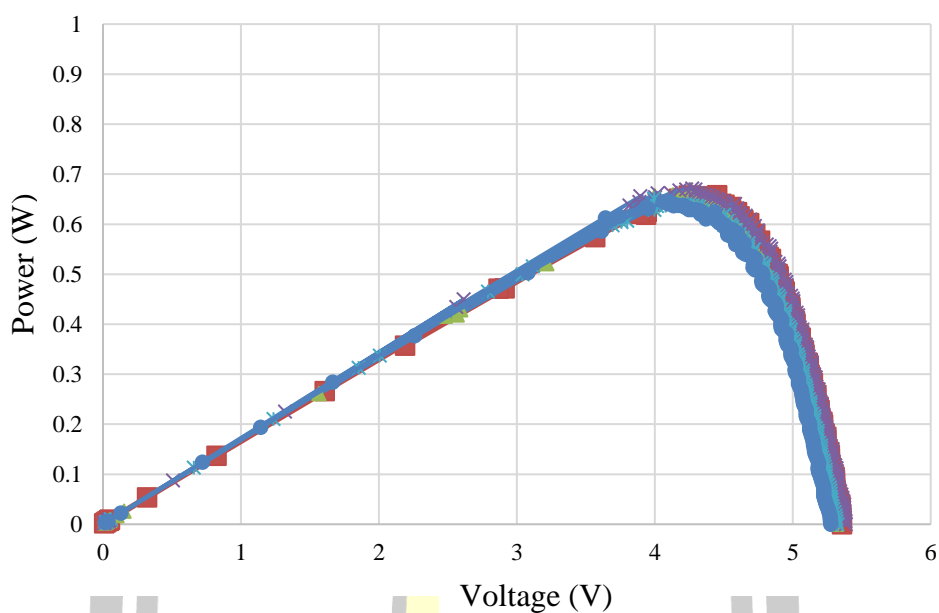
จากบทที่ 3 ได้เสนอเกี่ยวกับ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง และการออกแบบสำหรับการทดลองกับ เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดลอง ได้แก่ ผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กต่อค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ย ผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กที่ แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และผลกระทบของทิศทางและความเข้ม ของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีรายละเอียด ดังต่อไปนี้

#### 4.1 ผลการทดลองการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ซิลิกอน

ผลการทดลองการกระจายตัวของคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดันของเซลล์ แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกระจายในช่วง 0.175-0.179 แอมป์ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรกระจายในช่วง 5.25-5.37 โวลต์ และกำลังไฟฟ้ากระจายในช่วง 639- 669 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบ แรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.1 และภาพประกอบ 4.2 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.1 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟ

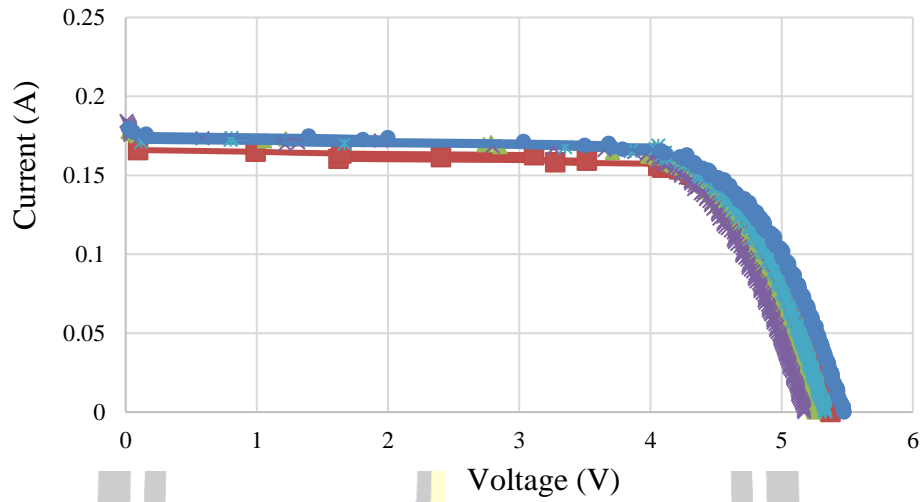


ภาพประกอบ 4.2 แสดงกราฟกำลังเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟ

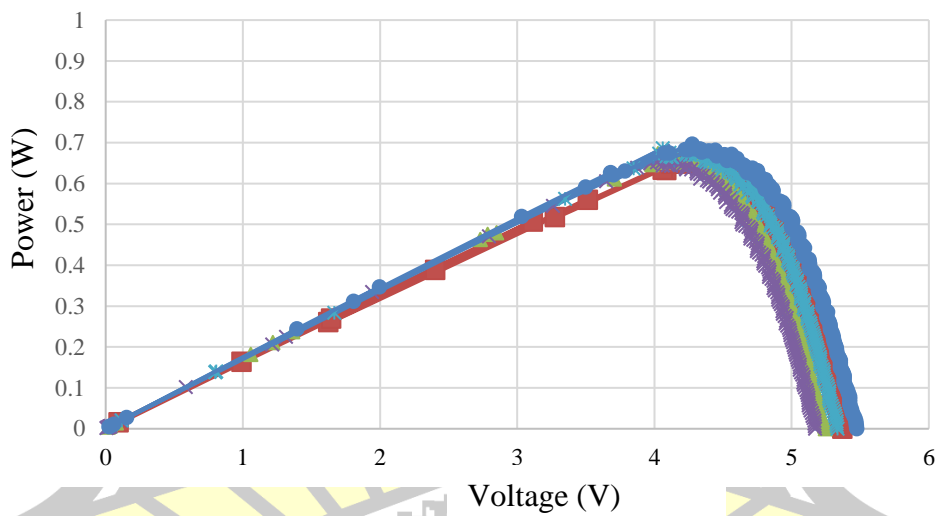
#### 4.2 ผลการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กความเข้ม 60 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

ผลการทดลองผลกระทบของทิศเหนือสนามแม่เหล็กความเข้ม 60 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกระจายในช่วง 0.167-0.186 แอมป์ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรกระจายในช่วง 5.18-5.49 โวลต์ และกำลังไฟฟ้ากระจายในช่วง 656-697 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.3 และภาพประกอบ 4.4 ตามลำดับ

ผลการทดลองผลกระทบของทิศใต้สนามแม่เหล็กความเข้ม 60 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกระจายในช่วง 0.178-0.187 แอมป์ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรกระจายในช่วง 5.29-5.55 โวลต์ และกำลังไฟฟ้ากระจายในช่วง 665-720 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.5 และภาพประกอบ 4.6 ตามลำดับ

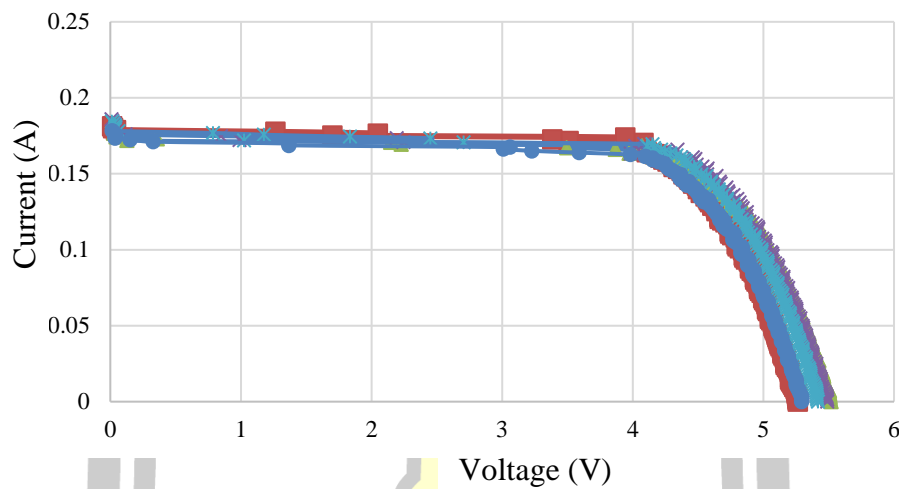


ภาพประกอบ 4.3 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟ ซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 60 มิลลิเทสลา

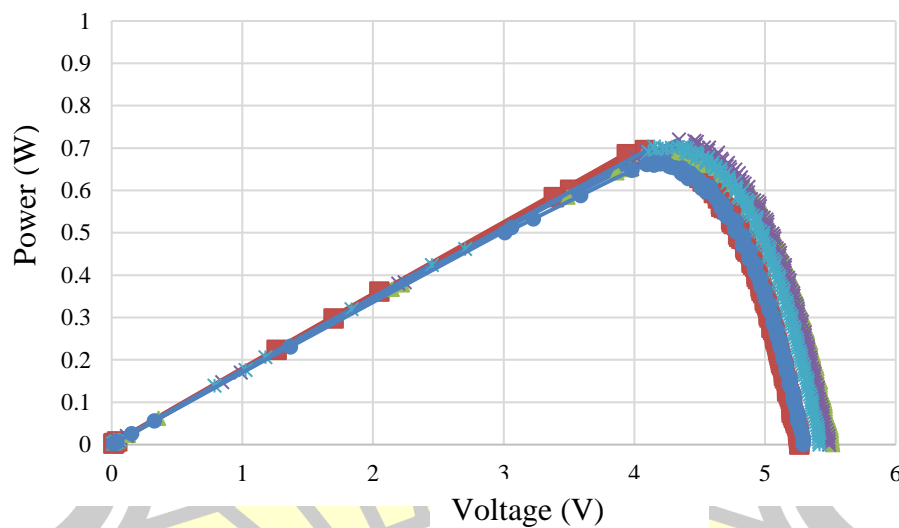


ภาพประกอบ 4.4 แสดงกำลังเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่ง ด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 60 มิลลิเทสลา

พหุ ประถม ชาติ ชีวะ



ภาพประกอบ 4.5 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟ ซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 60 มิลลิเทสลา



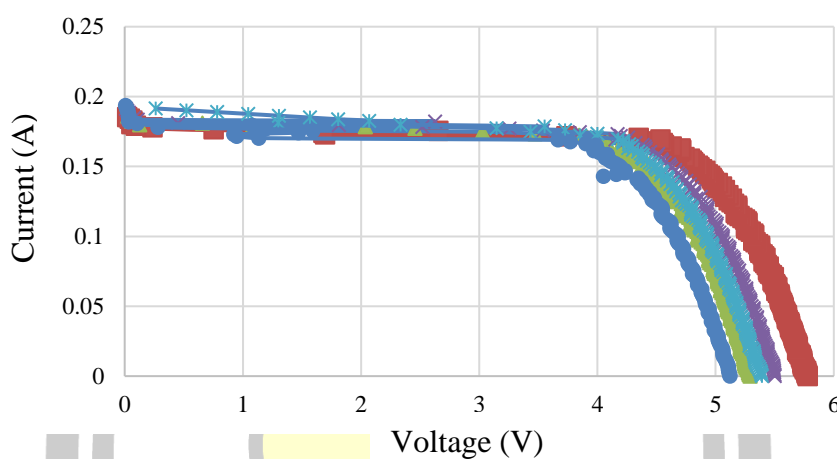
ภาพประกอบ 4.6 แสดงกำลังเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 60 มิลลิเทสลา

#### 4.3 ผลการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็ก 160 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

ผลการทดลองผลกระทบของทิศเหนือสนามแม่เหล็กความเข้ม 160 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกระจายในช่วง 0.187-0.193 แอมป์ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรกระจายในช่วง 5.30-5.81 โวลต์ และกำลังไฟฟ้ากระจายในช่วง 697-767 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้น

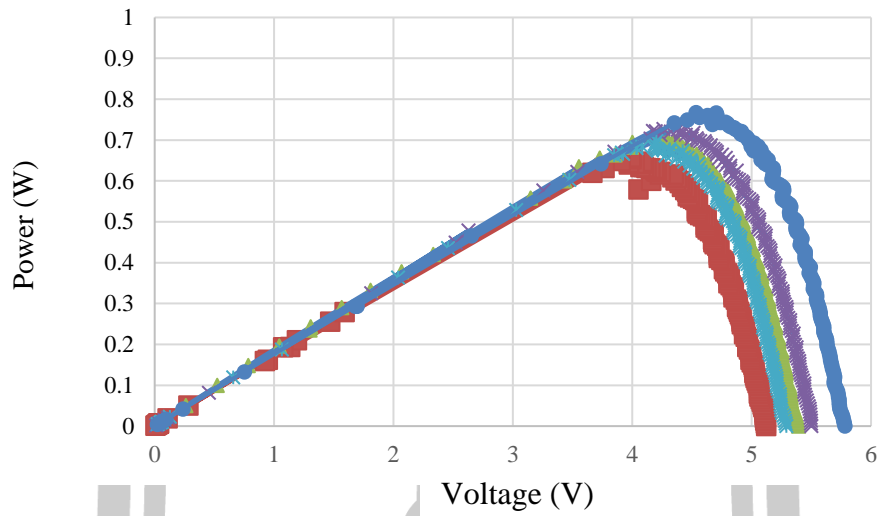
โค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.7 และภาพประกอบ 4.8 ตามลำดับ

ผลการทดลองผลกระทบของทิศใต้สนามแม่เหล็กความเข้ม 160 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกระจายในช่วง 0.187-0.198 แอมป์ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรกระจายในช่วง 5.34-5.72 โวลต์ และกำลังไฟฟ้ากระจายในช่วง 718-776 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.9 และภาพประกอบ 4.10 ตามลำดับ

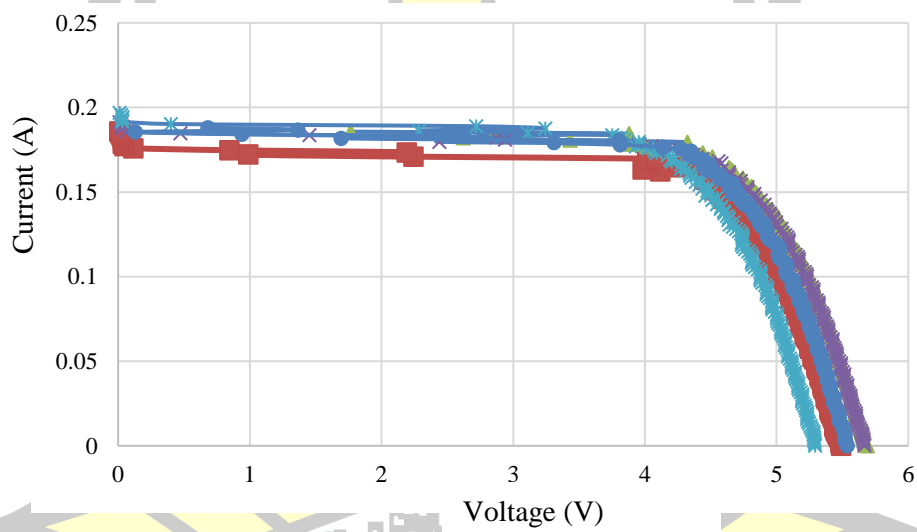


ภาพประกอบ 4.7 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟ ซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 160 มิลลิเทสลา





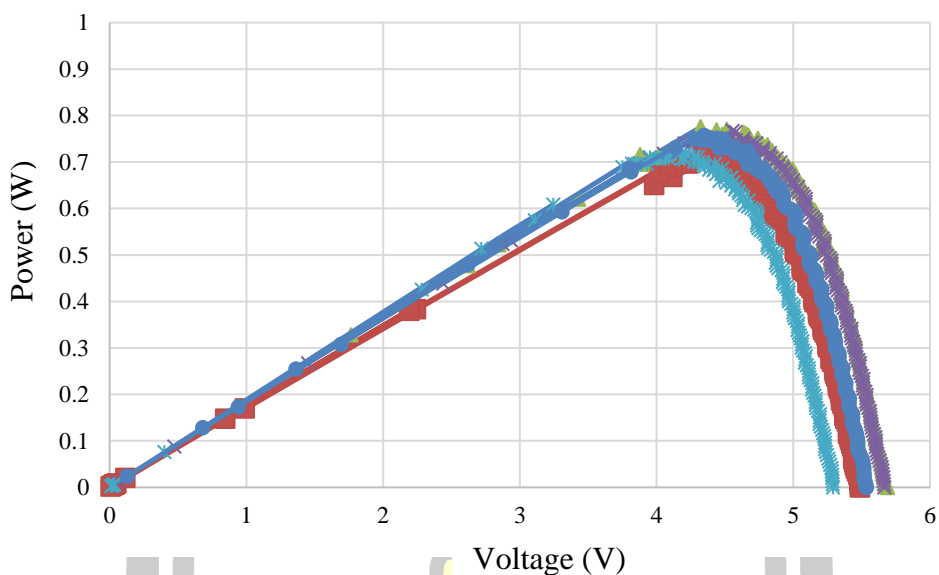
ภาพประกอบ 4.8 แสดงกำลังเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่ง  
ซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 60 มิลลิเทสลา



ภาพประกอบ 4.9 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟ  
ซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 160 มิลลิเทสลา

พหุ ประถม ชาติ ชีว



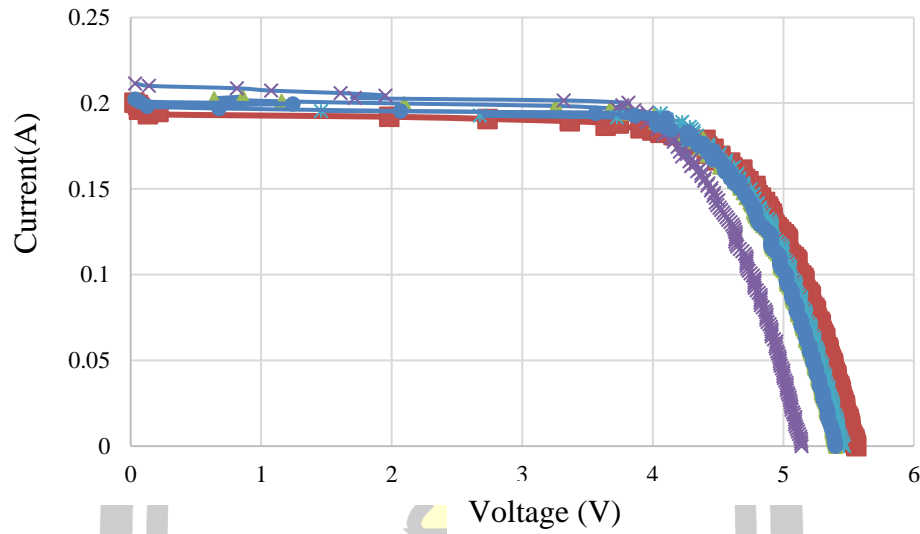


ภาพประกอบ 4.10 แสดงกำลังเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 160 มิลลิเทสลา

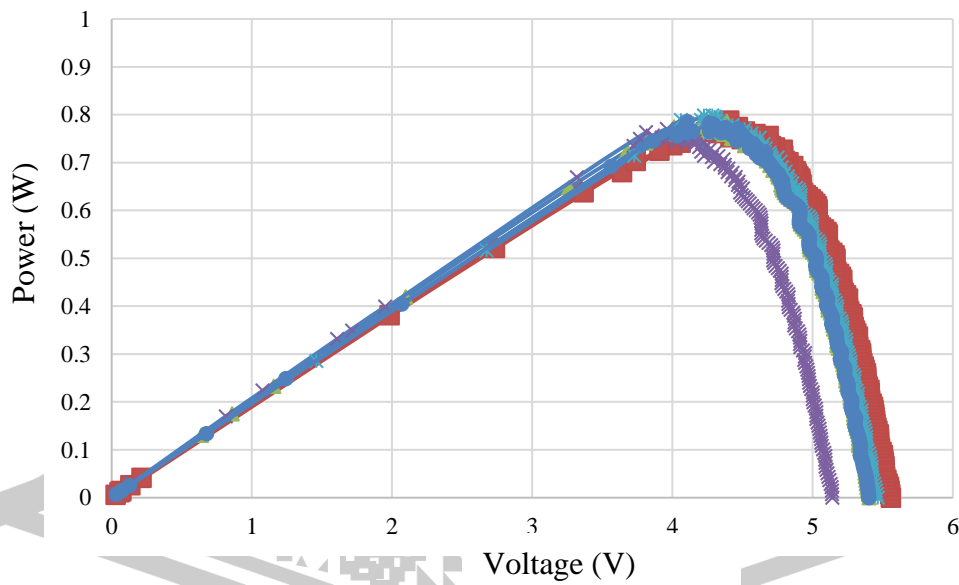
#### 4.4 ผลการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็ก 260 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

ผลการทดลองผลกระทบของทิศเหนือสนามแม่เหล็กความเข้ม 260 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกระจายในช่วง 0.197-0.213 แอมป์ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรกระจายในช่วง 5.17-5.58 โวลต์ และกำลังไฟฟ้ากระจายในช่วง 770-799 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.11 และภาพประกอบ 4.12 ตามลำดับ

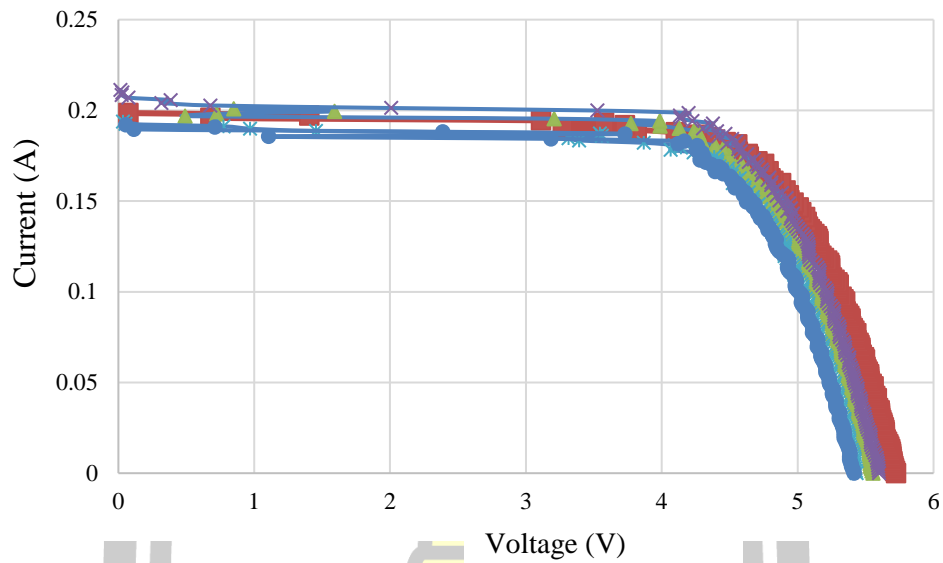
ผลการทดลองผลกระทบของทิศใต้สนามแม่เหล็กความเข้ม 260 มิลลิเทสลาต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรกระจายในช่วง 0.188-0.213 แอมป์ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรกระจายในช่วง 5.56-5.82 โวลต์ และกำลังไฟฟ้ากระจายในช่วง 782-844 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.13 และภาพประกอบ 4.14 ตามลำดับ



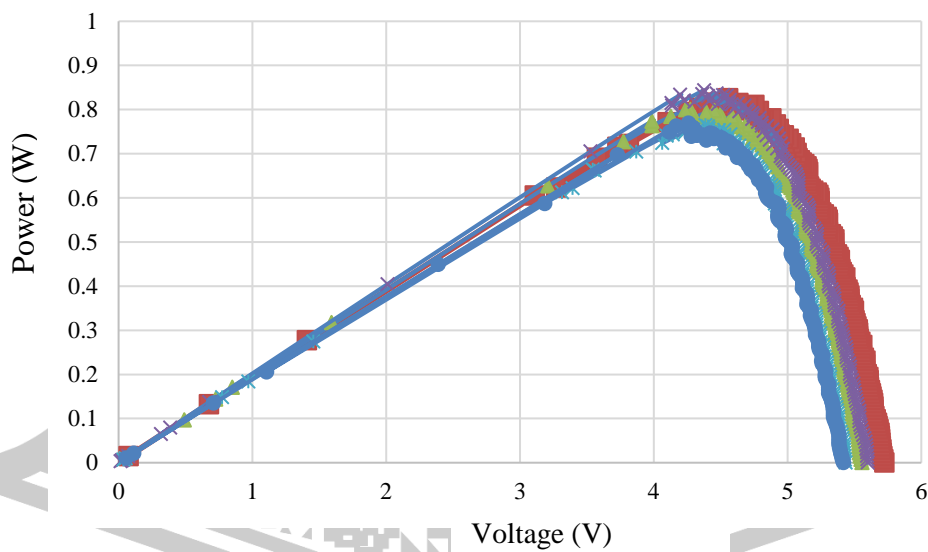
ภาพประกอบ 4.11 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 260 มิลลิเทสลา



ภาพประกอบ 4.12 แสดงกำลังเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 260 มิลลิเทสลา



ภาพประกอบ 4.13 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 260 มิลลิเทสลา



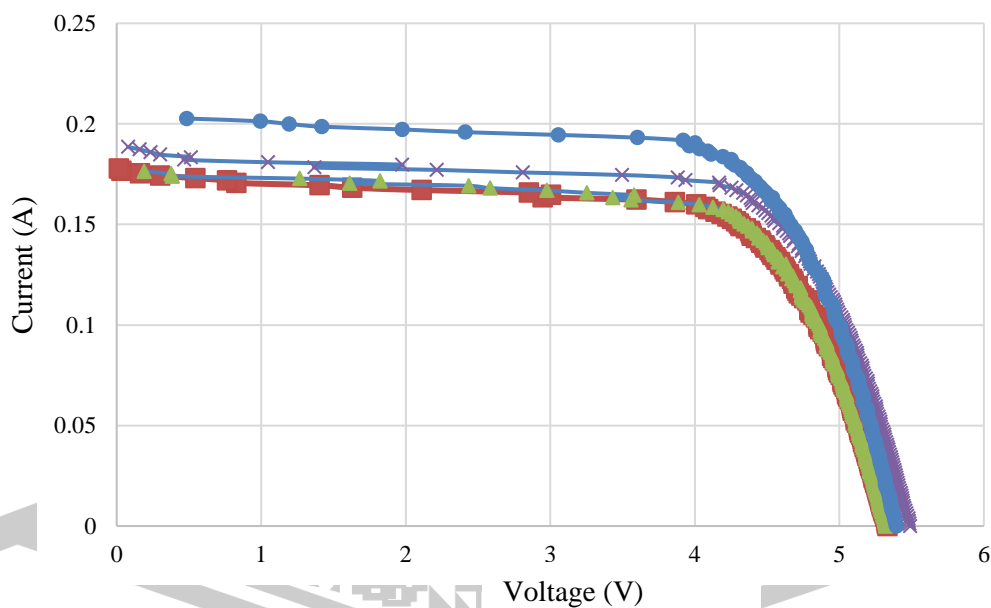
ภาพประกอบ 4.14 แสดงกำลังเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวจำนวน 5 กราฟซึ่งด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรที่ความเข้ม 260 มิลลิเทสลา

#### 4.5 ผลการทดลองผลกระทบของความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

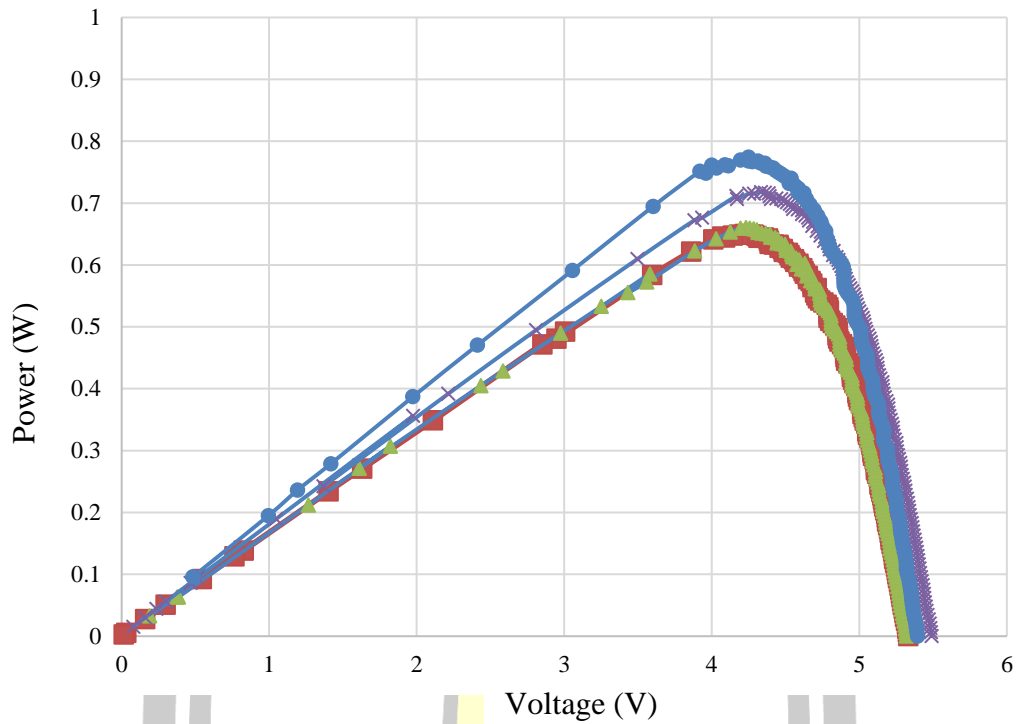
ผลการทดลองผลกระทบของทิศเหนือสนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 0 60 160 และ 260 มิลลิเทสลา ต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเฉลี่ยเท่ากับ 0.177 0.178 0.189 และ 0.204 แอมป์ ตามลำดับ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรเฉลี่ย 5.29 5.33 5.41 และ 5.50 โวลต์ ตามลำดับ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 650 673 725 และ 785 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.15 และภาพประกอบ 4.16 ตามลำดับ

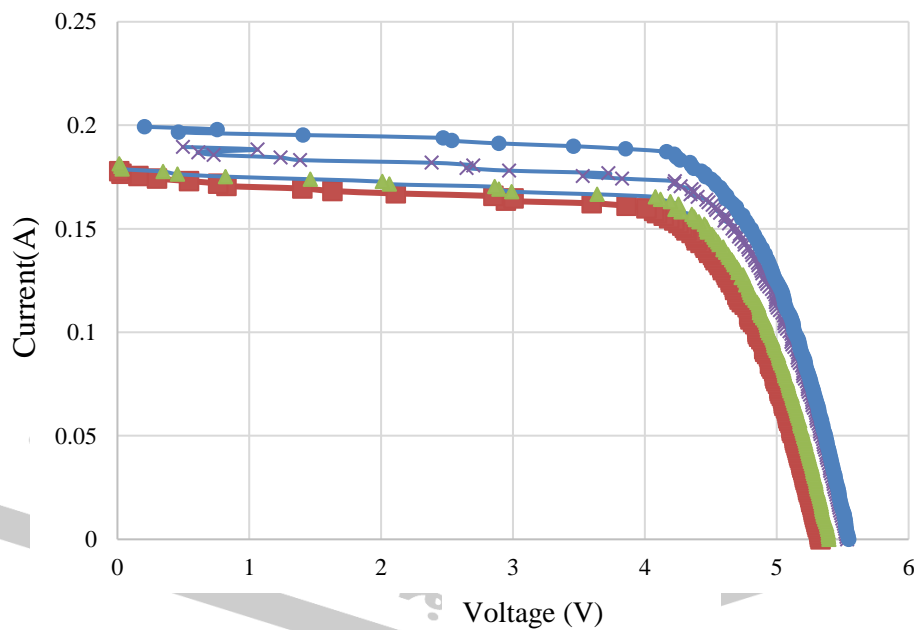
ผลการทดลองผลกระทบของทิศใต้สนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 0 60 160 และ 260 มิลลิเทสลา ต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนพบว่า ค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรเฉลี่ยเท่ากับ 0.177 0.182 0.190 และ 0.199 แอมป์ ตามลำดับ และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรเฉลี่ย 5.29 5.41 5.56 และ 5.67 โวลต์ ตามลำดับ และกำลังไฟฟ้าสูงสุดเฉลี่ย 650 694 747 และ 804 มิลลิวัตต์ โดยแสดงคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์ฯ ในภาพประกอบ 4.17 และภาพประกอบ 4.18 ตามลำดับ



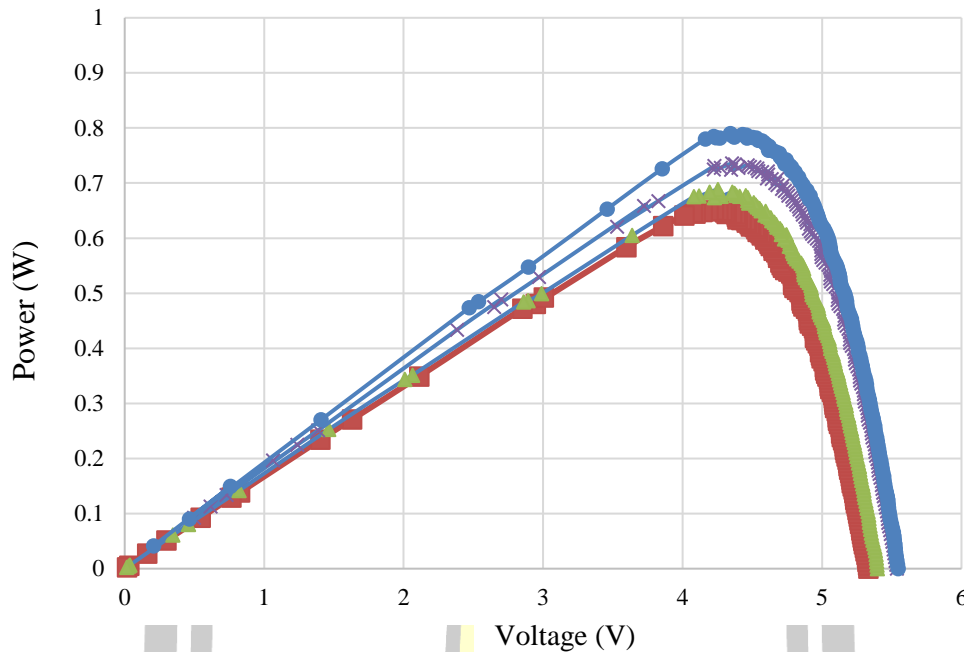
ภาพประกอบ 4.15 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่ด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4.16 แสดงกราฟกำลังเทียบแรงดันเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่ด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4.17 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่ด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน

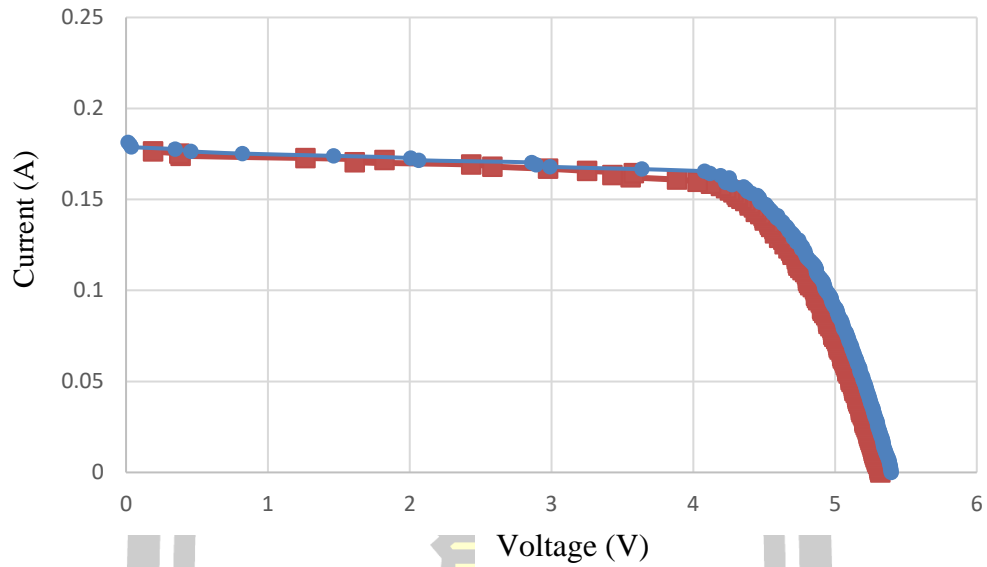


ภาพประกอบ 4.18 แสดงกราฟกระแสเทียบแรงดันเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่ด้านหลังเซลล์ติดกับขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน

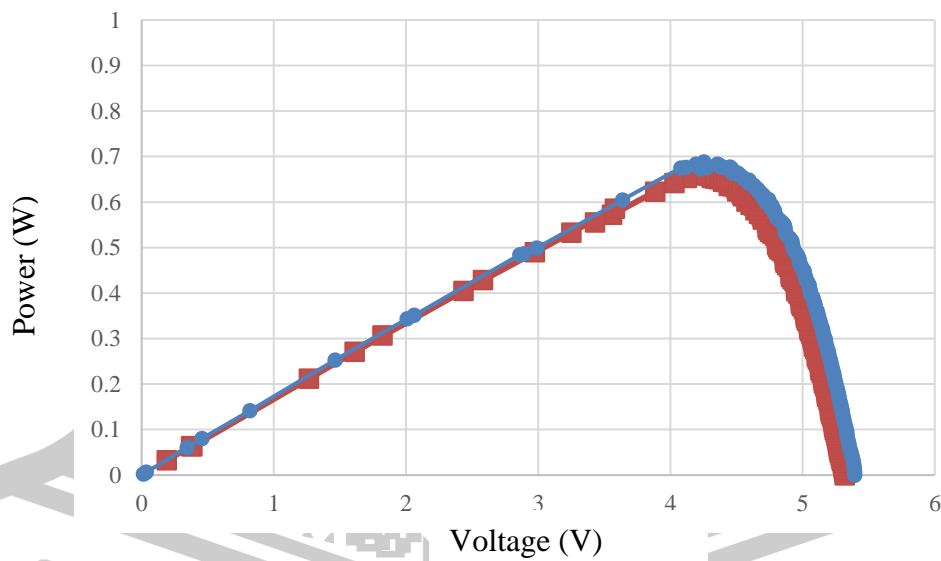
#### 4.6 ผลการทดลองผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

4.6.1 ผลการทดลองผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กความเข้ม 60 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่าในกรณีใช้ขั้วใต้ส่งผลดีกว่าขั้วเหนือต่อคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะเส้นโค้งกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงในภาพประกอบ 4.19 และภาพประกอบ 4.20 ตามลำดับ



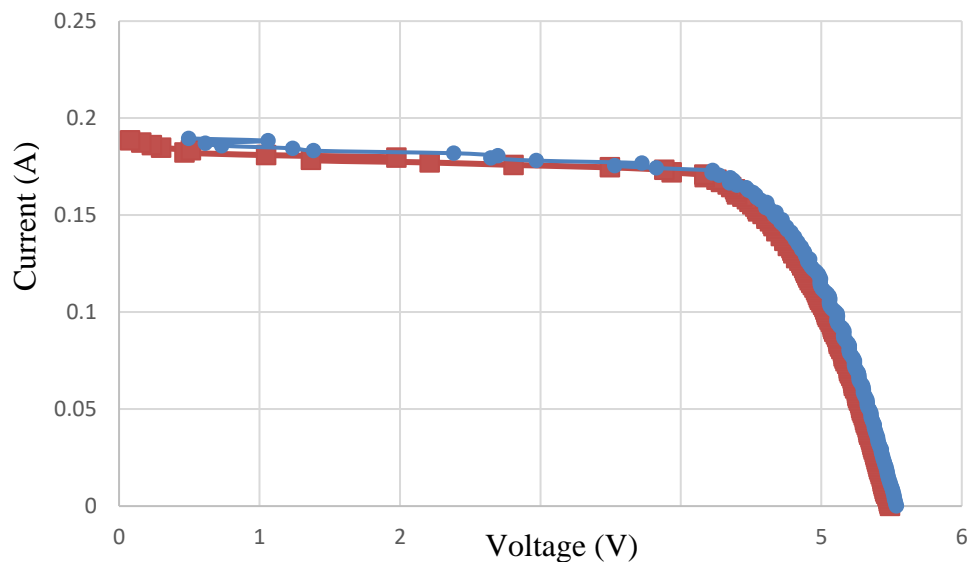


ภาพประกอบ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบกราฟกระแสเทียบแรงดันเฉลี่ยระหว่างการติดด้านหลังเซลล์ด้วยขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มข้นแม่เหล็ก 60 มิลลิเทสลา

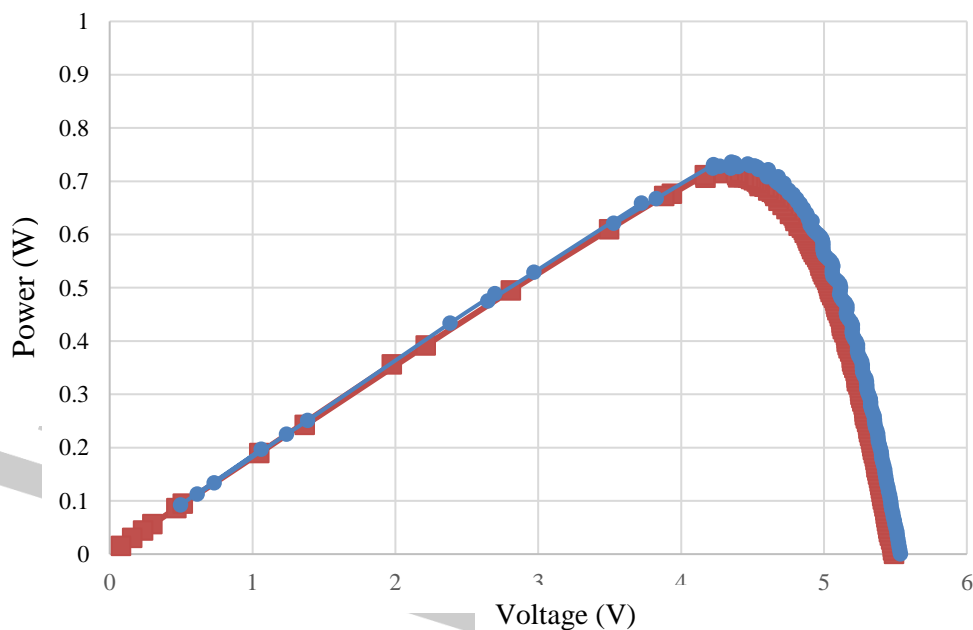


ภาพประกอบ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบกราฟกำลังเทียบแรงดันเฉลี่ยระหว่างการติดด้านหลังเซลล์ด้วยขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มข้นแม่เหล็ก 60 มิลลิเทสลา

4.6.2 ผลการทดลองผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กความเข้ม 160 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่าในกรณีใช้ขั้วได้ส่งผลดีกว่าขั้วเหนือต่อคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะเส้นโค้งกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงในภาพประกอบ 4.21 และภาพประกอบ 4.22 ตามลำดับ



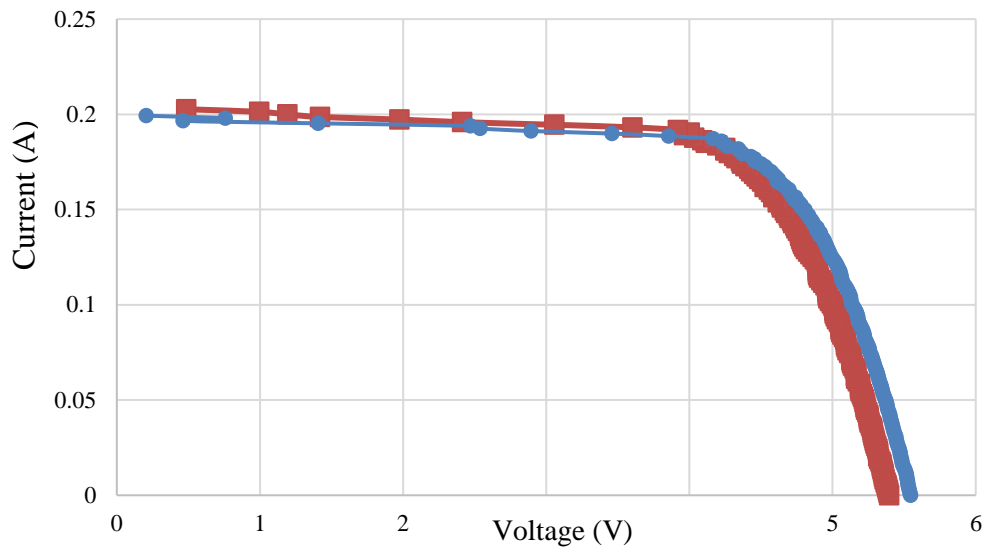
ภาพประกอบ 4.21 แสดงการเปรียบเทียบกราฟกระแสเทียบแรงดันเฉลี่ยระหว่างการติดตั้งหลังเซลล์ด้วยขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 160 มิลลิเทสลา



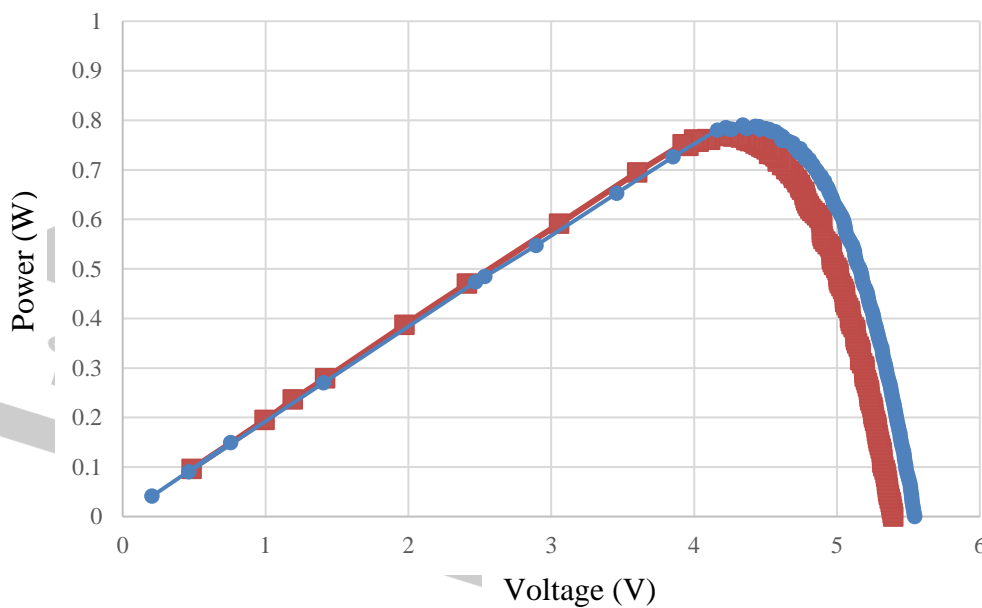
ภาพประกอบ 4.22 แสดงการเปรียบเทียบกราฟกำลังเทียบแรงดันเฉลี่ยระหว่างการติดตั้งหลังเซลล์ด้วยขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 160 มิลลิเทสลา



4.6.3 ผลการทดลองผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กความเข้ม 260 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน พบว่าในกรณีใช้ขั้วได้ส่งผลดีกว่าขั้วเหนือต่อคุณลักษณะเส้นโค้งกระแสเทียบแรงดัน และคุณลักษณะเส้นโค้งกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ แสดงในภาพประกอบ 4.23 และภาพประกอบ 4.24 ตามลำดับ



ภาพประกอบ 4.23 แสดงการเปรียบเทียบกราฟกระแสเทียบแรงดันเฉลี่ยระหว่างการติดตั้งหลังเซลล์ด้วยขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 260 มิลลิเทสลา

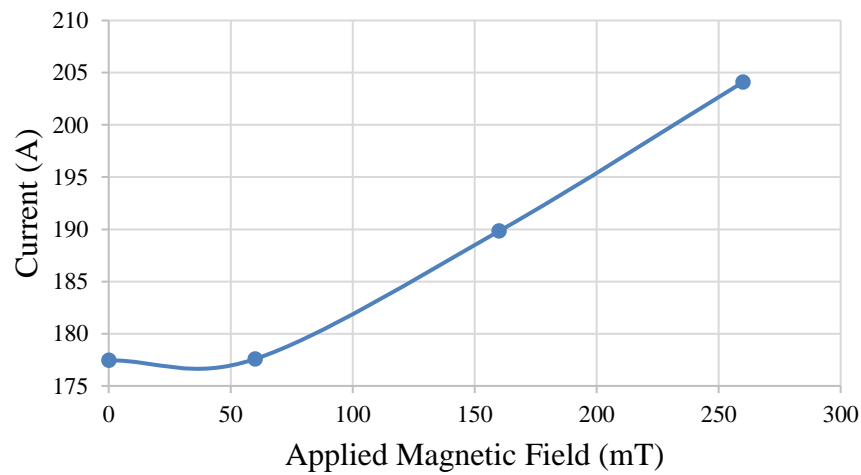


ภาพประกอบ 4.24 แสดงการเปรียบเทียบกราฟกำลังเทียบแรงดันเฉลี่ยระหว่างการติดตั้งหลังเซลล์ด้วยขั้วเหนือและขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวร ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 260 มิลลิเทสลา

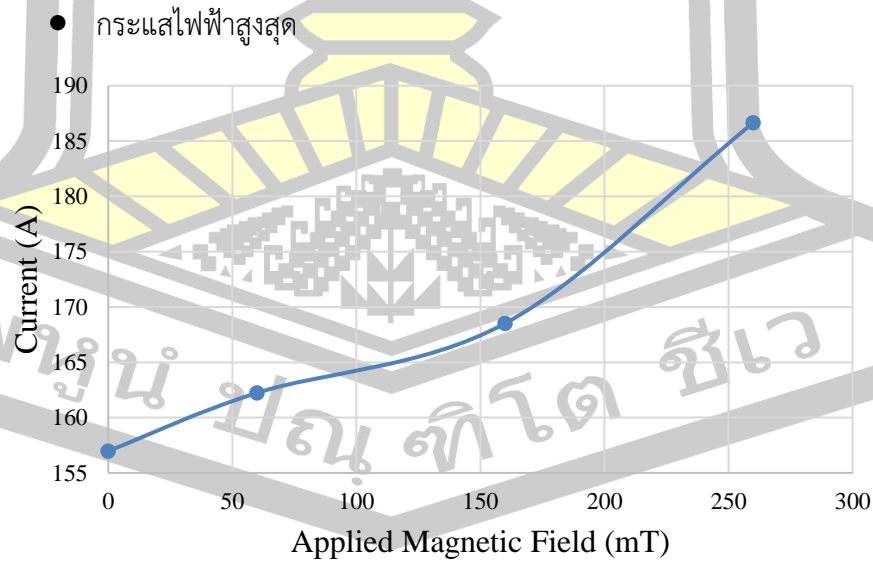
#### 4.7 การทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มของระดับค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ทิศทางและความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกัน

4.7.1 การทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มของระดับค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ทิศทางและความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกันตัวแปร ซึ่งตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

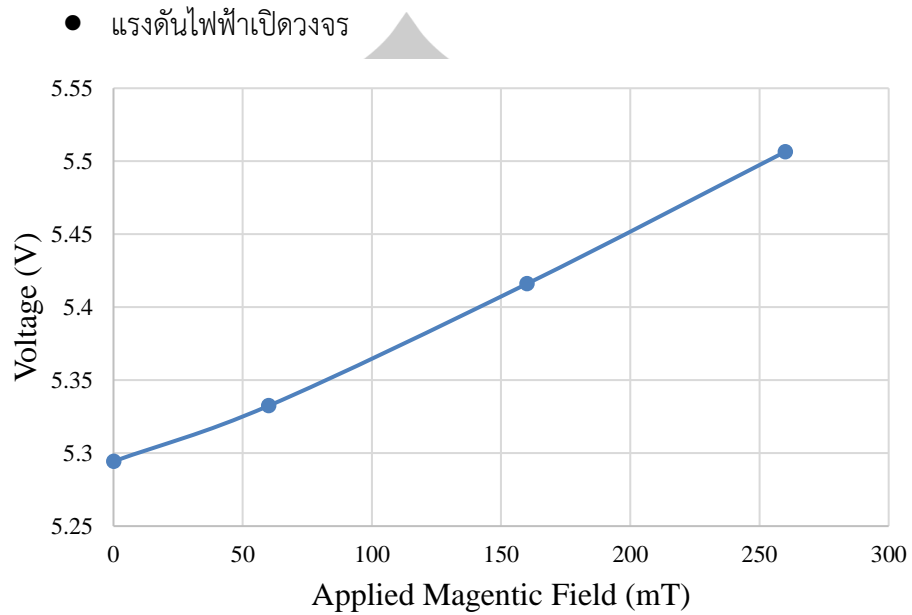
- กระแสไฟฟ้าลัดวงจร



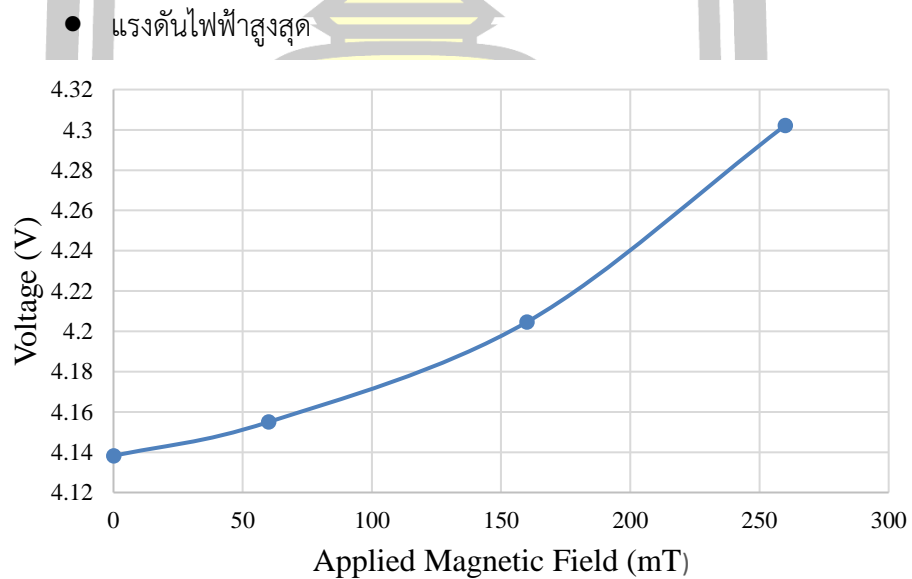
ภาพประกอบ 4.25 แสดงค่าระดับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศทางสนามแม่เหล็กความเข้มแตกต่างกัน



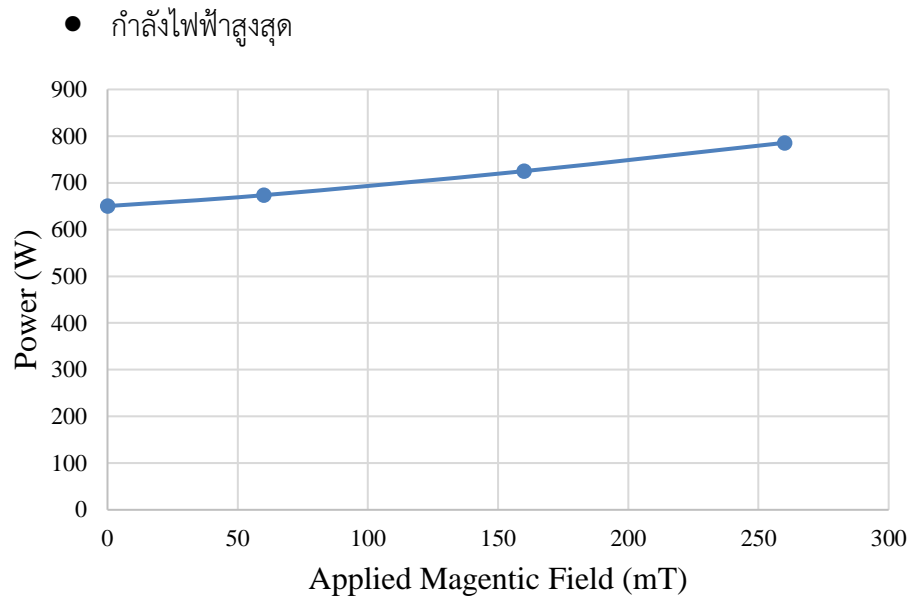
ภาพประกอบ 4.26 แสดงค่าระดับกระแสไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศทางสนามแม่เหล็กความเข้มแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4.27 แสดงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศเหนือ  
สนามแม่เหล็กความเข้มแตกต่างกัน

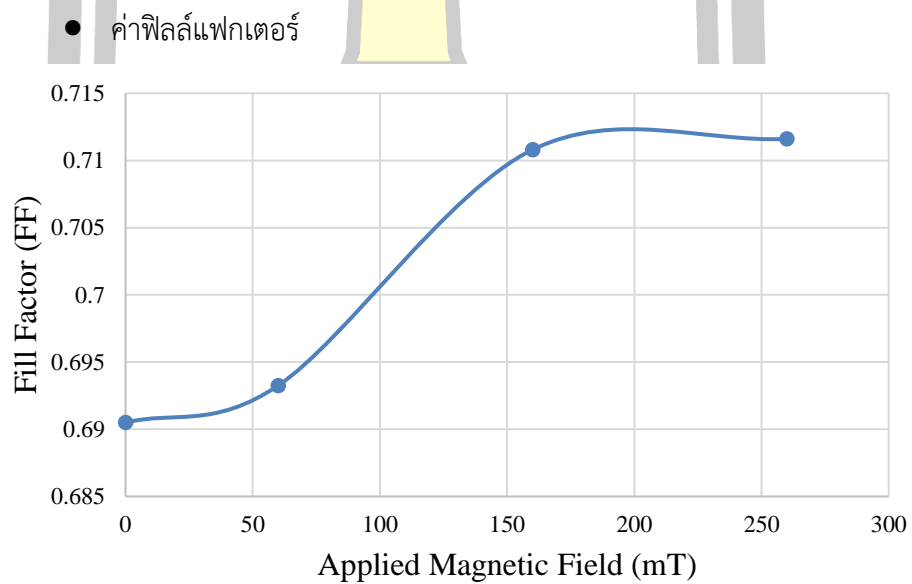


ภาพประกอบ 4.28 แสดงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศเหนือ  
สนามแม่เหล็กความเข้มแตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4.29 แสดงค่าระดับกำลังไฟฟ้สูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศเหนือสนามแม่เหล็ก

ความเข้มแตกต่างกัน

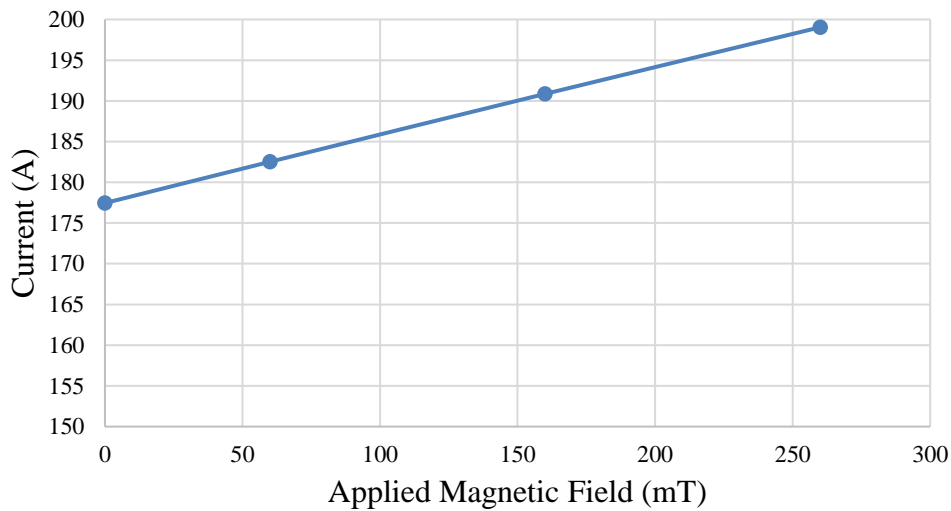


ภาพประกอบ 4.30 แสดงค่าระดับฟิลล์แฟกเตอร์ของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิศเหนือสนามแม่เหล็ก

ความเข้มแตกต่างกัน

4.7.2 การทดลองเพื่อศึกษาแนวโน้มของระดับค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ทดสอบได้และความเข้มสนามแม่เหล็กแตกต่างกันตัวแปร ซึ่งตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

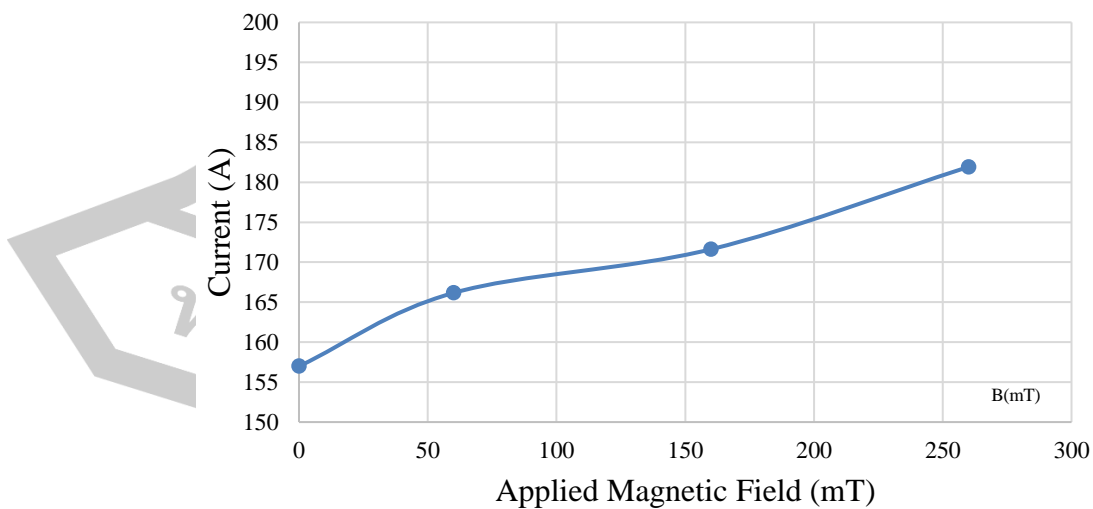
● กระแสไฟฟ้าลัดวงจร



ภาพประกอบ 4.31 แสดงค่าระดับกระแสไฟฟ้าลัดวงจรของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิสได้สนามแม่เหล็ก

ความเข้มแตกต่างกัน

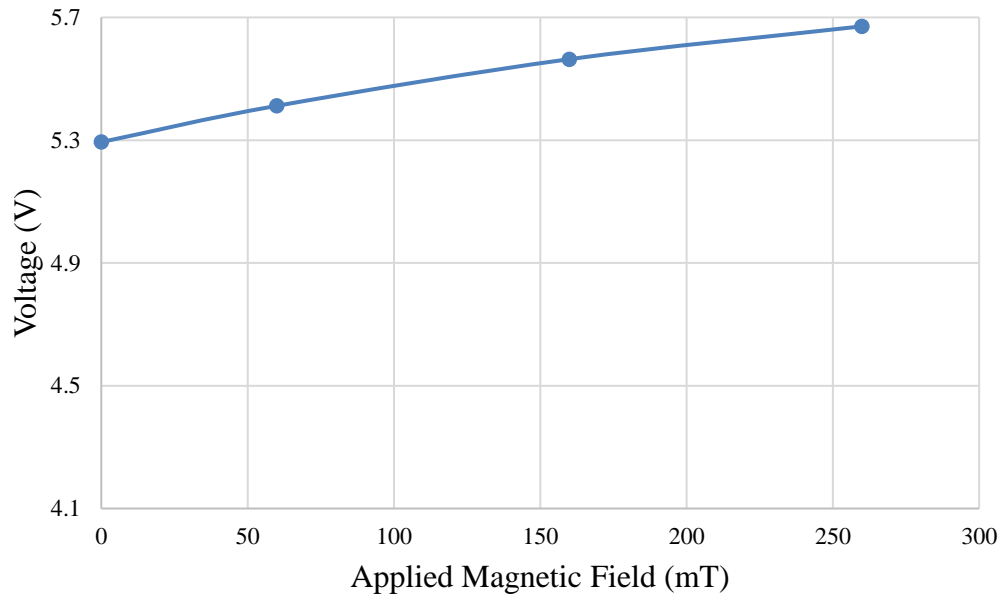
● กระแสไฟฟ้าสูงสุด



ภาพประกอบ 4.32 แสดงค่าระดับกระแสไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิสได้สนามแม่เหล็ก

ความเข้มแตกต่างกัน

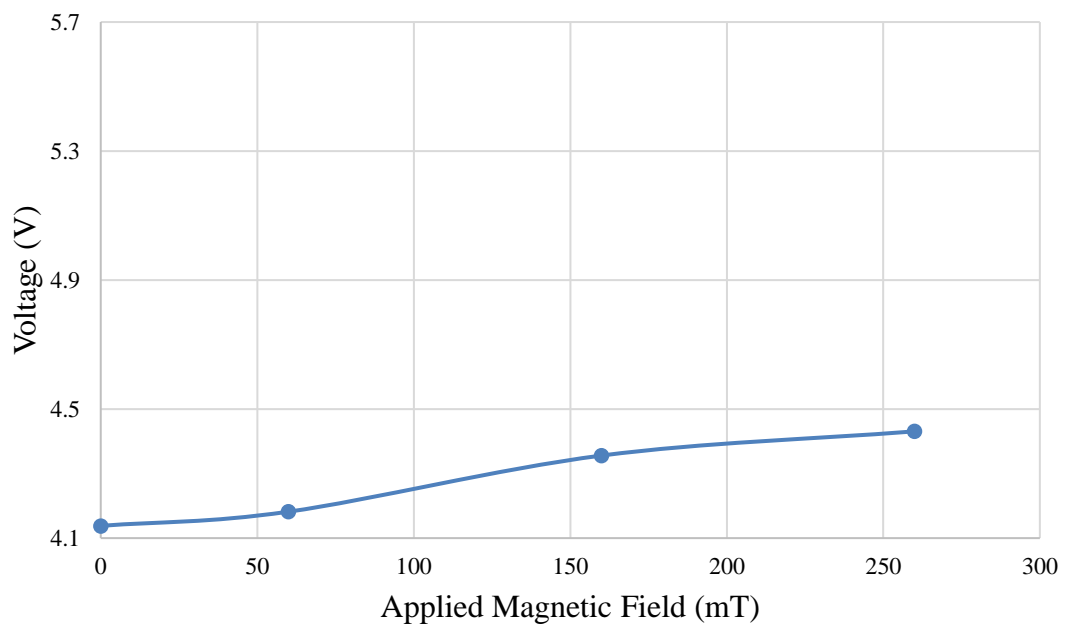
● แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร



ภาพประกอบ 4.33 แสดงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิสได้

สนามแม่เหล็กความเข้มแตกต่างกัน

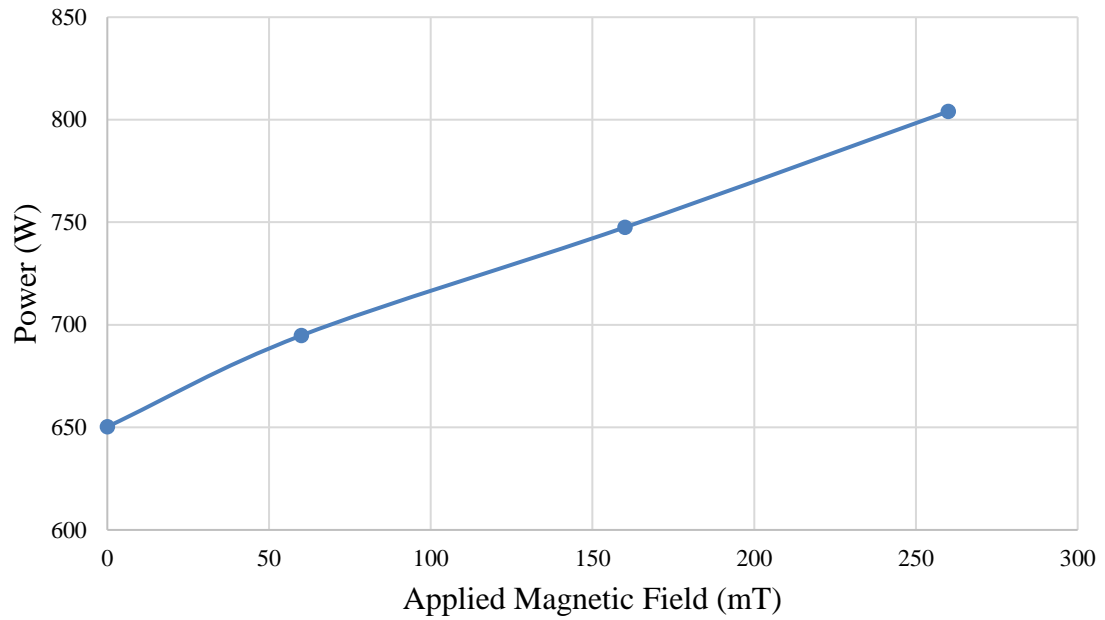
● แรงดันไฟฟ้าสูงสุด



ภาพประกอบ 4.34 แสดงค่าระดับแรงดันไฟฟ้าสูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิสได้สนามแม่เหล็ก

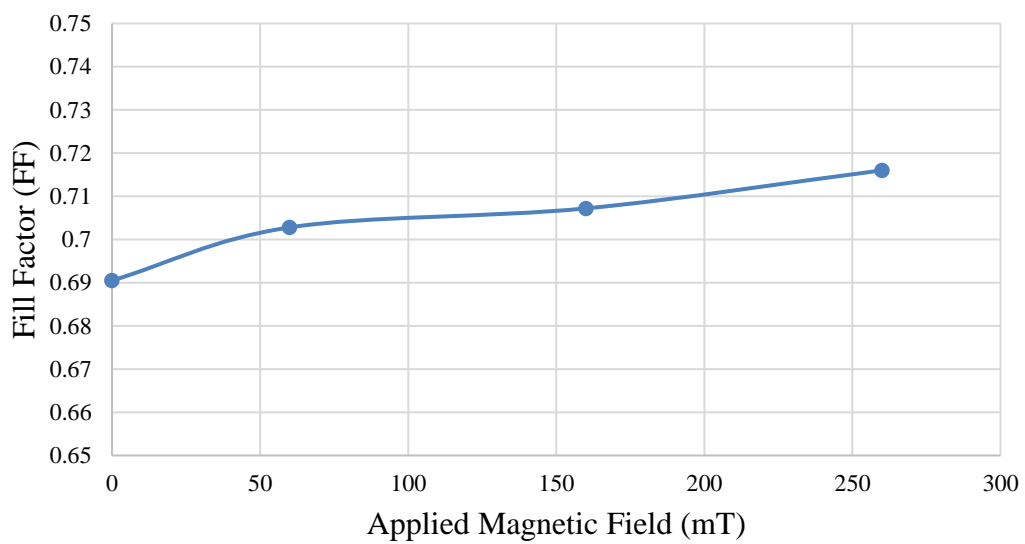
ความเข้มแตกต่างกัน

- กำลังไฟสูงสุด



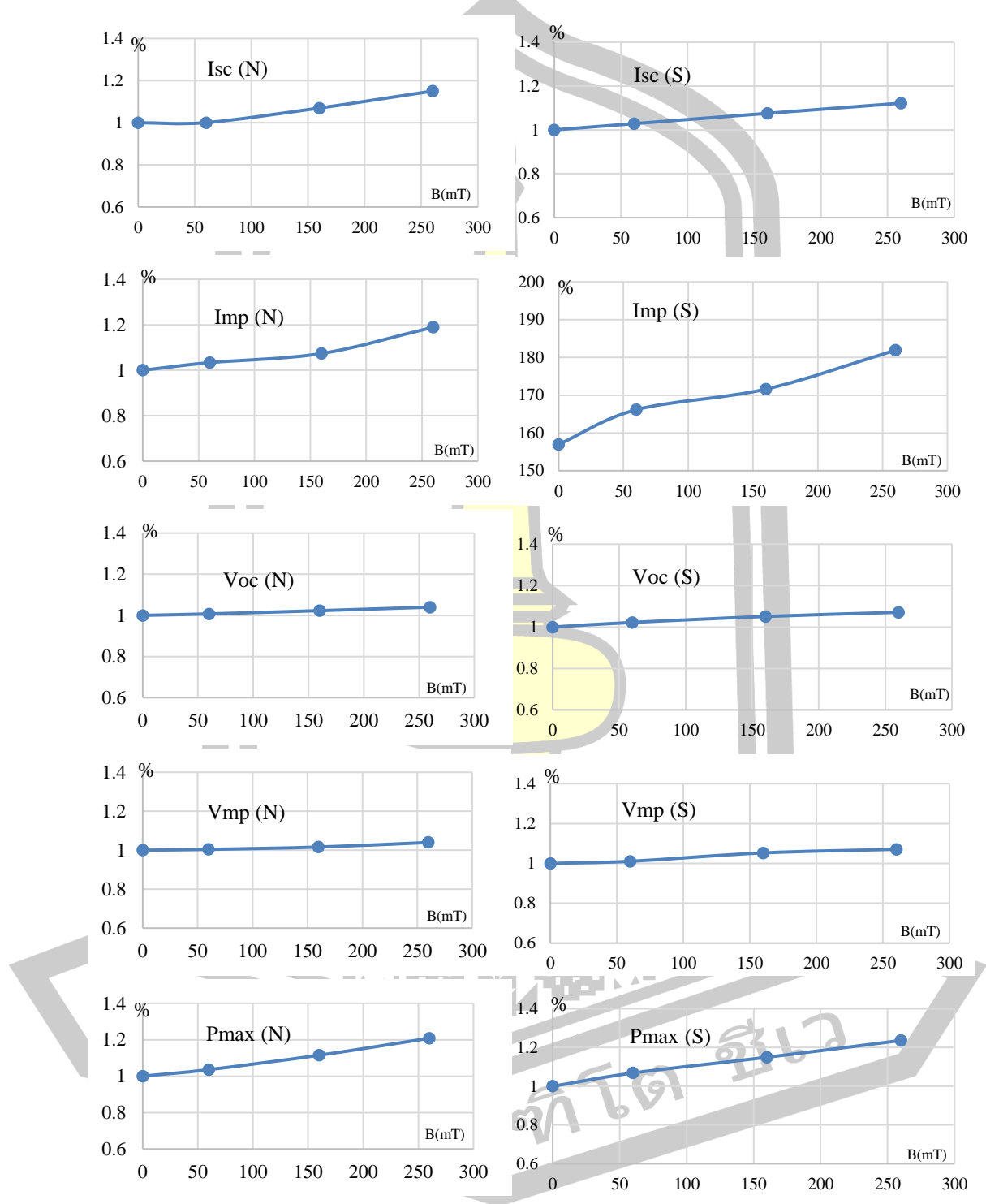
ภาพประกอบ 4.35 แสดงค่าระดับกำลังไฟสูงสุดของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิตได้นามแม่เหล็ก ความเข้มแตกต่างกัน

- ค่าฟิลล์แฟกเตอร์



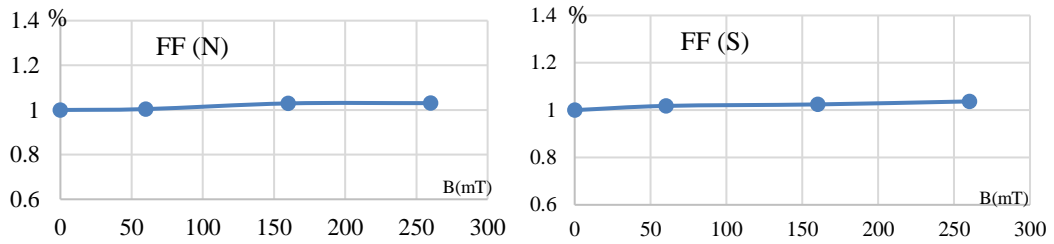
ภาพประกอบ 4.36 แสดงค่าระดับฟิลแฟกเตอร์ของเซลล์ฯ ที่ทดสอบด้วยทิตได้นามแม่เหล็กความเข้มแตกต่างกัน

4.7.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองของตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน



ภาพประกอบ 4.37 แสดงการเปรียบเทียบระดับค่าตัวแปรวิกฤตของเซลล์ฯ ในรูปแบบ Normalization ที่ทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน





ภาพประกอบ 4.37 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบระดับค่าตัวแปรวิกฤตของเซลล์ฯ ในรูปแบบ Normalization ที่ทิศทางและความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน

#### 4.8 สรุป

ผลการทดลองผลกระทบจากความเข้มสนามแม่เหล็กต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้า ได้แก่ กระแสเทียบแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าเทียบแรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ขนาด 1 วัตต์ โดยทดลองภายใต้มาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร และ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส พบว่า ค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยทั้งกรณีกระแสเทียบแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันมีระดับเพิ่มขึ้นที่ความเข้มสนามแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น และยังพบว่าค่าตัวแปรสำคัญทางไฟฟ้า ได้แก่ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร กระแสไฟฟ้าสูงสุด แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร แรงดันไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าฟิลล์แฟกเตอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นที่ค่าความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตาม เมื่อความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้นจะส่งผลกระทบต่อการกระจายตัวของคุณลักษณะทางไฟฟ้าที่มีการกระจายตัวมากขึ้นไปด้วย

พหุ ประถมศึกษา

## บทที่ 5

### สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ

ในบทนี้นำเสนอสรุปผลการทดลอง อภิปรายผล และข้อเสนอแนะจากผลการวิจัยโดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

#### 5.1 สรุปผล

การศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยทดสอบกับเซลล์ฯ 1 วัตต์ ภายใต้มาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ ที่ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อเปรียบเทียบค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้า ได้แก่ ค่าคุณลักษณะกระแสเทียบแรงดัน และ กำลังไฟฟ้าเทียบแรงดัน ของเซลล์แสงอาทิตย์ระหว่างกรณีเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่ได้รับสนามแม่เหล็ก และกรณีรับสนามแม่เหล็กจากแม่เหล็กถาวรที่ความเข้มข้นแม่เหล็กแตกต่างกันทั้งหมด 3 ค่า คือ 60 160 และ 260 มิลลิเทสลา ซึ่งสรุปได้ดังต่อไปนี้

5.1.1 ผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อการกระจายตัวของค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าทั้ง ค่าคุณลักษณะกระแสเทียบแรงดัน และกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

5.1.2 ผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้น ส่งผลต่อค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยเพิ่มขึ้นทั้ง ค่าคุณลักษณะกระแสเทียบแรงดัน และกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

5.1.3 ผลกระทบของทิศทางสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกันด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าการติดตั้งด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรส่งผลต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าเฉลี่ยทั้ง ค่าคุณลักษณะกระแสเทียบแรงดัน และกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน ที่ดีกว่ากรณีติดตั้งด้านหลังเซลล์ด้วยขั้วเหนือของแม่เหล็กถาวร

5.1.4 ผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กที่เพิ่มขึ้นทั้งกรณีทิศเหนือและทิศใต้ด้านหลังเซลล์ ส่งผลต่อแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้า ได้แก่ กระแสไฟฟ้าลัดวงจร กระแสไฟฟ้าสูงสุด แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร แรงดันไฟฟ้าสูงสุด กำลังไฟฟ้าสูงสุด และค่าฟิลแฟกเตอร์ ของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน

#### 5.2 อภิปรายผล

5.2.1 จากการศึกษาดังกล่าวข้างต้นพบว่าผลกระทบของความเข้มข้นแม่เหล็กต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน โดยด้านหลังของเซลล์ฯ ติดด้วยแม่เหล็กถาวร ส่งผลต่อทิศของพลาซมามาแม่เหล็กพุ่งใน

ทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิวของเซลล์ จึงส่งผลให้ค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าและค่าตัวแปรทางไฟฟ้าเพิ่มขึ้น ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยที่ส่วนใหญ่ประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับพื้นผิวเซลล์ แสงอาทิตย์ซึ่งส่งผลให้ค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด และกระแสไฟฟ้าลัดวงจรมีค่าลดลงเมื่อความเข้มสนามแม่เหล็กเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กในทิศทางขนานกับเซลล์ก็ยังคงส่งผลต่อค่า แรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร แรงดันไฟฟ้าสูงสุด และค่าฟิลแพกเตอร์ ที่เพิ่มขึ้นสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยนี้ที่ประยุกต์ใช้สนามแม่เหล็กในทิศทางของฟลักซ์ตั้งฉากกับพื้นผิวของเซลล์

5.2.2 จากผลการทดลองติดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยขั้วของสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน พบว่าการติดขั้วใต้ที่ด้านหลังเซลล์ฯ จะส่งผลต่อค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้า ทั้งค่าคุณลักษณะกระแสเทียบแรงดัน และค่าคุณลักษณะกำลังไฟฟ้าเทียบแรงดันที่ดีกว่า ซึ่งสนามแม่เหล็กจะส่งผลต่อการสปีนตัวของอิเล็กตรอนตามหลักกลศาสตร์ควอนตัม แต่อย่างไรก็ตามทิศทางในการสปีนของอิเล็กตรอนยังขึ้นอยู่กับค่าความถี่ของรังสีแสงอาทิตย์ที่เหมาะสมอีกด้วย ซึ่งในการทดลองสำหรับงานวิจัยนี้ไม่ได้กำหนดค่าความถี่ของแหล่งจ่ายแสง แต่ได้กำหนดเงื่อนไขความเข้มแสงที่ 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร ตามมาตรฐานการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์แทน และพบว่าการประยุกต์ใช้ขั้วใต้ของแม่เหล็กถาวรติดด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ส่งผลดีกว่ากรณีขั้วเหนือทุกค่าความเข้มสนามแม่เหล็กในการทดลอง

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

การศึกษาผลกระทบของสนามแม่เหล็กต่อเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอนในงานวิจัยนี้ได้กำหนดเงื่อนไขการทดลองที่ ค่าความเข้มแสงอาทิตย์คงที่ และอุณหภูมิคงที่ ซึ่งผลการทดลองพบว่าความเข้มสนามแม่เหล็กส่งผลต่อค่าคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ และระดับค่าตัวแปรวิกฤตทางไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้น ซึ่งในการประยุกต์ใช้งานจริงจะมีค่าความเข้มแสงและอุณหภูมิรอบข้างไม่คงที่ตามสภาพอากาศ จึงเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัยในอนาคตสำหรับการทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่ค่าความเข้มแสง อุณหภูมิ และความเข้มสนามแม่เหล็กที่แตกต่างกัน ซึ่งผลการทดลองดังกล่าวจะเป็นข้อมูลวิจัยที่สำคัญสำหรับการพัฒนาเซลล์แสงอาทิตย์ในอนาคตอีกด้วย

พูน ปณ ทิโต ชีเว

บรรณานุกรม



## บรรณานุกรม

1. Berry, G. and W. Daily III, *Energy Flowchart Scenarios of Future US Energy Use Incorporating Hydrogen Fueled Vehicles*. 2004, Lawrence Livermore National Lab.(LLNL), Livermore, CA (United States).
2. Armaroli, N. and V. Balzani, *The future of energy supply: challenges and opportunities*. *Angewandte Chemie International Edition*, 2007. 46(1-2): p. 52-66.
3. Blaabjerg, F., K. Ma, and D. Zhou. *Power electronics and reliability in renewable energy systems*. in *2012 IEEE International Symposium on Industrial Electronics*. 2012. IEEE.
4. Hodas, D., *Integrating Vehicles and the Electricity Grid to Store and Use Renewable Energy*. *Delivering Energy Policy in the EU and US: A Multi-Disciplinary Reader*,(Heffron and Little, eds.)(Edinburgh University Press, 2016), 2016: p. 16-13.
5. Hottel, H.C., *A simple model for estimating the transmittance of direct solar radiation through clear atmospheres*. *Solar energy*, 1976. 18(2): p. 129-134.
6. Fonash, S., *Solar cell device physics*. 2012: Elsevier.
7. Chen, I.-C., S. Holland, and C. Hu, *Electron-trap generation by recombination of electrons and holes in SiO<sub>2</sub>*. *Journal of applied physics*, 1987. 61(9): p. 4544-4548.
8. Blakers, A., *Development of the PERC solar cell*. *IEEE Journal of Photovoltaics*, 2019. 9(3): p. 629-635.
9. Canali, C., et al., *Electron drift velocity in silicon*. *Physical Review B*, 1975. 12(6): p. 2265.
10. Borzdov, A., D. Pozdnyakov, and V. Borzdov, *Electron drift velocity control in GaAs-in-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> quantum wire transistor structure due to the electron scattering rate alteration*. arXiv preprint arXiv:0806.3181, 2008.
11. Smith, G.E., *JJ Thomson and the electron, 1897-1899*. *Histories of the electron: The birth of microphysics*, 2001: p. 21-76.

12. Oviedo-Casado, S., A. Urbina, and J. Prior, *Magnetic field enhancement of organic photovoltaic cells performance*. Scientific Reports, 2017. 7(1): p. 1-9.
13. Hsu, F.-C., et al. *The application of a magnetic field to improve polymer: Fullerene solar cell performance*. in *2014 IEEE 40th Photovoltaic Specialist Conference (PVSC)*. 2014. IEEE.
14. Molas, M., et al., *Magnetic Field Effect on the Excitation Spectrum of a Neutral Exciton in a Single Quantum Dot*. Acta Physica Polonica, A., 2014. 126(5).
15. Silk, J., K. Olive, and M. Srednicki, *The photino, the sun, and high-energy neutrinos*. Physical Review Letters, 1985. 55(2): p. 257.
16. Iqbal, M., *An introduction to solar radiation*. 2012: Elsevier.
17. Banerjee, R. and B.R. Majhi, *Hawking black body spectrum from tunneling mechanism*. Physics Letters B, 2009. 675(2): p. 243-245.
18. Young, A.T., *Air mass and refraction*. Applied optics, 1994. 33(6): p. 1108-1110.
19. Mohandes, M., S. Rehman, and T. Halawani, *Estimation of global solar radiation using artificial neural networks*. Renewable energy, 1998. 14(1-4): p. 179-184.
20. Monteith, J., *Solar radiation and productivity in tropical ecosystems*. Journal of applied ecology, 1972. 9(3): p. 747-766.
21. Riordan, C.J., R. Hulstrom, and D. Myers, *Influences of atmospheric conditions and air mass on the ratio of ultraviolet to total solar radiation*. 1990, Solar Energy Research Inst., Golden, CO (USA).
22. Chevalier, A., C.W. Vigild, and E. Hendricks, *Predicting the port air mass flow of SI engines in air/fuel ratio control applications*. SAE transactions, 2000: p. 183-210.
23. Weiss, A. and J. Norman, *Partitioning solar radiation into direct and diffuse, visible and near-infrared components*. Agricultural and Forest meteorology, 1985. 34(2-3): p. 205-213.
24. Kniffen, D., et al., *EGRET Observations of the high latitude diffuse radiation*. Astronomy and Astrophysics Supplement Series, 1996. 120: p. 615-617.

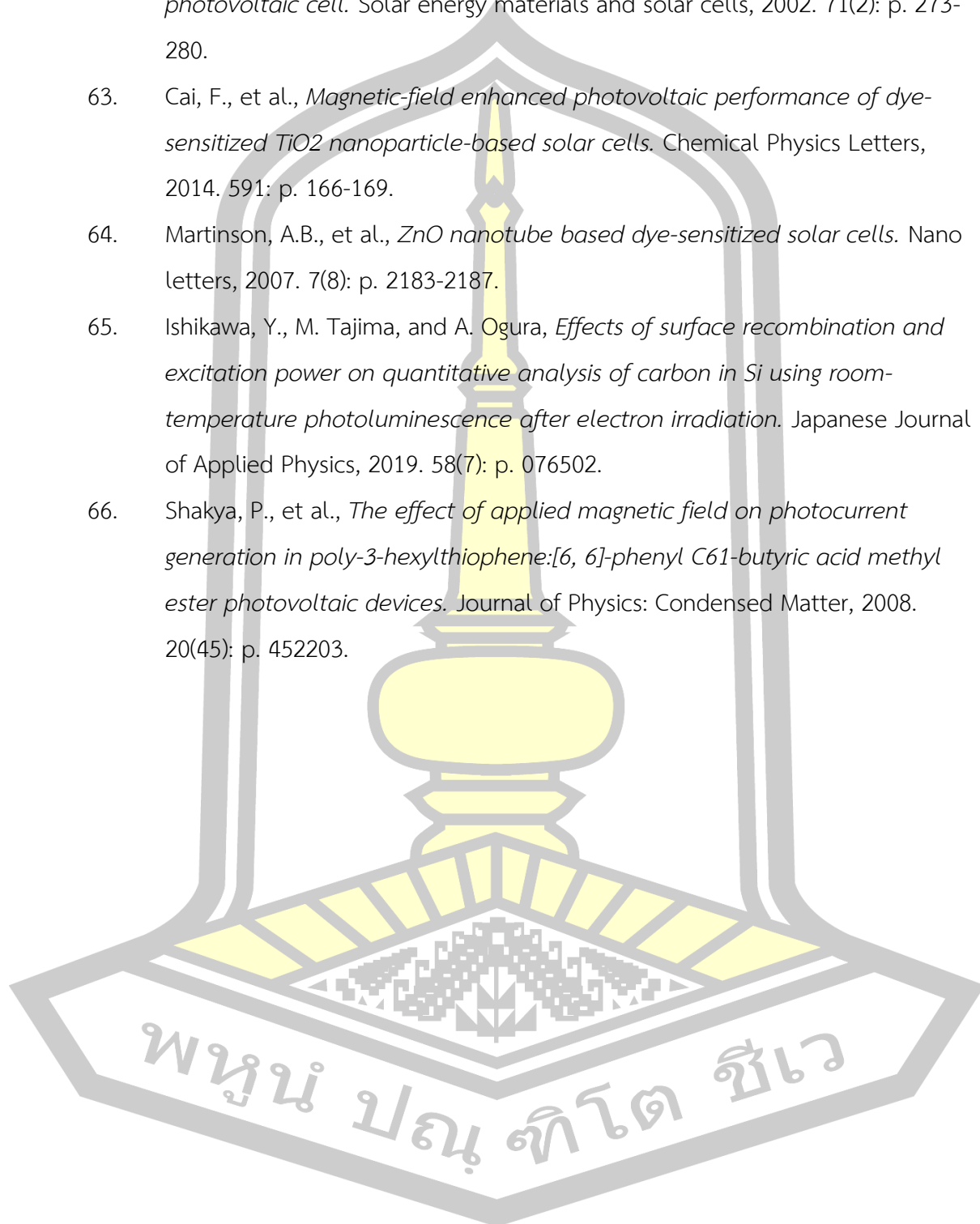
25. Ghosh, H., et al., *Estimation of monthly averaged daily and hourly global & diffuse radiation for Bangladesh*. The Dhaka University Journal of Science, 2006. 54(1): p. 109-113.
26. Fischler, H. and M. Lichtfeldt, *Modern physics and students' conceptions*. International journal of science education, 1992. 14(2): p. 181-190.
27. Honner, J., *The description of nature: Niels Bohr and the philosophy of quantum physics*. 1987.
28. Mulder, R., *Ionizing energy treatment of poultry*, in *Ionizing energy treatment of foods*. 1983.
29. Finkel, Z.V., *Light absorption and size scaling of light-limited metabolism in marine diatoms*. Limnology and oceanography, 2001. 46(1): p. 86-94.
30. Ni, M., et al., *A review and recent developments in photocatalytic water-splitting using TiO<sub>2</sub> for hydrogen production*. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2007. 11(3): p. 401-425.
31. Levi, P. and R. Rosenthal, *The periodic table*. 1984: Schocken Books New York.
32. Lee, J.-S., et al., *The crystal structure of natural 33R moissanite from Tibet*. Zeitschrift für Kristallographie-Crystalline Materials, 2006. 221(3): p. 213-217.
33. Stevenson, R., *Europe's Compound Semiconductor Industry*.
34. Shockley, W., *Energy band structures in semiconductors*. Physical Review, 1950. 78(2): p. 173.
35. Zhang, Z., et al., *Enhancement of visible-light photocatalysis by coupling with narrow-band-gap semiconductor: a case study on Bi<sub>2</sub>S<sub>3</sub>/Bi<sub>2</sub>WO<sub>6</sub>*. ACS applied materials & interfaces, 2012. 4(2): p. 593-597.
36. McLean, F., H. Boesch Jr, and T. Oldham, *Electron-hole generation, transport and trapping in SiO<sub>2</sub>*, in *Ionizing radiation effects in MOS devices and circuits*. 1989.
37. Moore, A., *Electron and hole drift mobility in amorphous silicon*. Applied Physics Letters, 1977. 31(11): p. 762-764.
38. Maki, K., *Creation of soliton pairs by electric fields in charge-density—wave condensates*. Physical Review Letters, 1977. 39(1): p. 46.

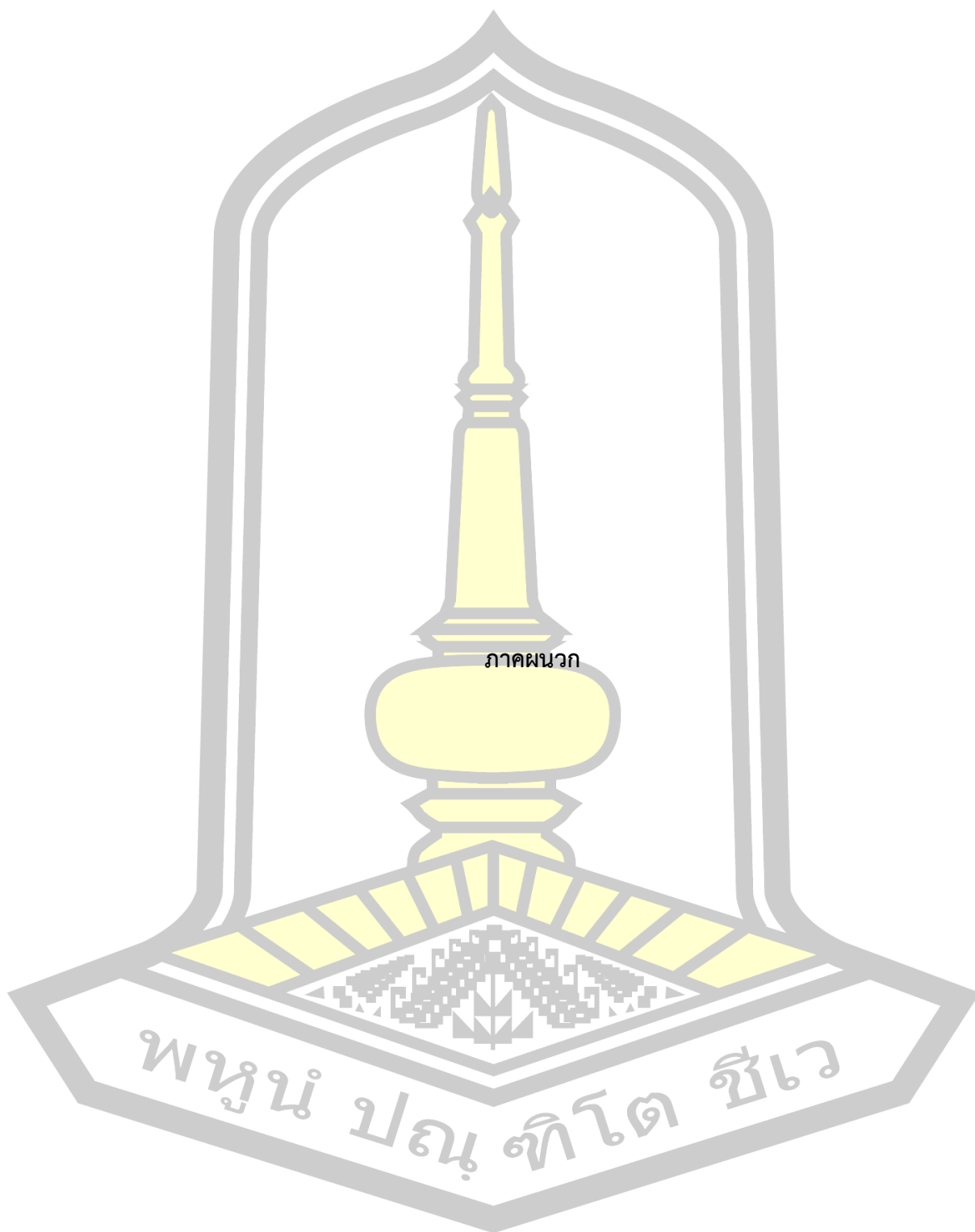
39. Isa, T., et al., *Semiconductor device, electronic device, and method of manufacturing semiconductor device*. 2009, Google Patents.
40. Abate, A., et al., *Lithium salts as "redox active" p-type dopants for organic semiconductors and their impact in solid-state dye-sensitized solar cells*. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2013. 15(7): p. 2572-2579.
41. Sah, C.-T., R.N. Noyce, and W. Shockley, *Carrier generation and recombination in pn junctions and pn junction characteristics*. *Proceedings of the IRE*, 1957. 45(9): p. 1228-1243.
42. Grandidier, J., et al., *Light absorption enhancement in thin-film solar cells using whispering gallery modes in dielectric nanospheres*. *Advanced materials*, 2011. 23(10): p. 1272-1276.
43. Wang, P., et al., *A high molar extinction coefficient sensitizer for stable dye-sensitized solar cells*. *Journal of the American Chemical Society*, 2005. 127(3): p. 808-809.
44. Kasperbauer, M.J., *Far-red light reflection from green leaves and effects on phytochrome-mediated assimilate partitioning under field conditions*. *Plant physiology*, 1987. 85(2): p. 350-354.
45. Azzouzi, M., D. Popescu, and M. Bouchahdane, *Modeling of electrical characteristics of photovoltaic cell considering single-diode model*. *Journal of Clean Energy Technologies*, 2016. 4(6): p. 414-20.
46. Park, N., et al., *The effect of encapsulant discoloration and delamination on the electrical characteristics of photovoltaic module*. *Microelectronics Reliability*, 2013. 53(9-11): p. 1818-1822.
47. Fesharaki, V.J., et al. *The effect of temperature on photovoltaic cell efficiency*. in *Proceedings of the 1st International Conference on Emerging Trends in Energy Conservation-ETEC, Tehran, Iran*. 2011.
48. Aspnes, D., *Recombination at semiconductor surfaces and interfaces*. *Surface Science*, 1983. 132(1-3): p. 406-421.
49. Beauchamp, J.L., *Ion cyclotron resonance spectroscopy*. *Annual Review of Physical Chemistry*, 1971. 22(1): p. 527-561.



50. Buhmann, H., et al., *Electron-concentration-dependent quantum-well luminescence: Evidence for a negatively charged exciton*. Physical Review B, 1995. 51(12): p. 7969.
51. Hirsch, J., *Spin hall effect*. Physical Review Letters, 1999. 83(9): p. 1834.
52. Gunn, R., *Electric field intensity inside of natural clouds*. Journal of Applied Physics, 1948. 19(5): p. 481-484.
53. Lee, P. and T. Rice, *Electric field depinning of charge density waves*. Physical Review B, 1979. 19(8): p. 3970.
54. Ikegami, T., et al., *Estimation of equivalent circuit parameters of PV module and its application to optimal operation of PV system*. Solar energy materials and solar cells, 2001. 67(1-4): p. 389-395.
55. Cheng, Y., *Quantum dots for Photovoltaic Applications*. 2017.
56. Blaesser, G. and E. Rossi, *Extrapolation of outdoor measurements of PV array I-V characteristics to standard test conditions*. Solar Cells, 1988. 25(2): p. 91-96.
57. Chow, T.T., *A review on photovoltaic/thermal hybrid solar technology*. Applied energy, 2010. 87(2): p. 365-379.
58. Zerbo, I., et al., *External magnetic field effect on bifacial silicon solar cell's electrical parameters*. Energy and Power Engineering, 2016. 8(3): p. 146-151.
59. Zerbo, I., et al., *External magnetic field effect on bifacial silicon solar cell's electric power and conversion efficiency* External magnetic field effect on bifacial silicon solar cell's electric power and conversion efficiency. Turkish Journal of Physics, 2015. 39(3): p. 288-294.
60. Wang, H., et al., *Magnetic field-assisted perovskite film preparation for enhanced performance of solar cells*. ACS Applied Materials & Interfaces, 2017. 9(26): p. 21756-21762.
61. Zaitsev, R., *Cost-effective Silicon Solar Cells Efficiency Increase by the Magnetic Field Treatment*. **Журнал нано-та електронної фізики**, 2015(7, No. 2): p. 02024-1-02024-4.

62. Erel, S., *The effect of electric and magnetic fields on the operation of a photovoltaic cell*. Solar energy materials and solar cells, 2002. 71(2): p. 273-280.
63. Cai, F., et al., *Magnetic-field enhanced photovoltaic performance of dye-sensitized TiO<sub>2</sub> nanoparticle-based solar cells*. Chemical Physics Letters, 2014. 591: p. 166-169.
64. Martinson, A.B., et al., *ZnO nanotube based dye-sensitized solar cells*. Nano letters, 2007. 7(8): p. 2183-2187.
65. Ishikawa, Y., M. Tajima, and A. Ogura, *Effects of surface recombination and excitation power on quantitative analysis of carbon in Si using room-temperature photoluminescence after electron irradiation*. Japanese Journal of Applied Physics, 2019. 58(7): p. 076502.
66. Shakya, P., et al., *The effect of applied magnetic field on photocurrent generation in poly-3-hexylthiophene:[6, 6]-phenyl C<sub>61</sub>-butyric acid methyl ester photovoltaic devices*. Journal of Physics: Condensed Matter, 2008. 20(45): p. 452203.





ภาคผนวก

พหุมนุ ปณฺ ทิโต ชีเว

# PROVA<sup>®</sup>

## PROVA 200A-24 Solar Module Analyzer

### Features:

- I-V curve test for solar cell/panel
- Max. solar panel power (Pmax) search by auto-scan: 24V, 600mA
- Best resolution: 1mV, 10μA
- Manual single point I-V test
- Max. voltage (Vmaxp) at Pmax
- Max. current (Imaxp) at Pmax
- Voltage at open circuit (Vopen)
- Current at short circuit (Ishort)
- I-V curve with cursor to display each data point
- Efficiency (%) calculation of solar panel
- Solar panel area setting: 0.001 m<sup>2</sup> ~ 9999 m<sup>2</sup>
- Standard light source setting: 10 W/m<sup>2</sup> ~ 1000 W/m<sup>2</sup>
- Communicate with PC via USB cable
- Min. power setting for alarm function
- Built-in calendar clock
- Built-in battery charging circuit
- AC power adapter
- Rechargeable lithium batteries: 11.1V 1600mAh x 1pc.
- Memory size: 100 records
- Large LCD with backlight
- **Application:** Quality control in the production line, warehouse, or site of installation.  
Identify the solar power system requirement.  
Maintenance of solar panels.  
Verify the best installation angle of solar panels

### Electrical Specifications:

(23°C±5°C, four-wire measurement)

#### DC Voltage Measurement:

Range (24V / 600mA)	Resolution	Accuracy of Reading
0 ~ 10 V	0.001 V	±1% ± (1% of Vopen ± 9mV)
10 ~ 24 V	0.01 V	±1% ± (1% of Vopen ± 0.09V)

Vopen: open circuit voltage of solar cell or module.

ภาพประกอบ น1 Solar Module Analyzer Specification

# TENMARS

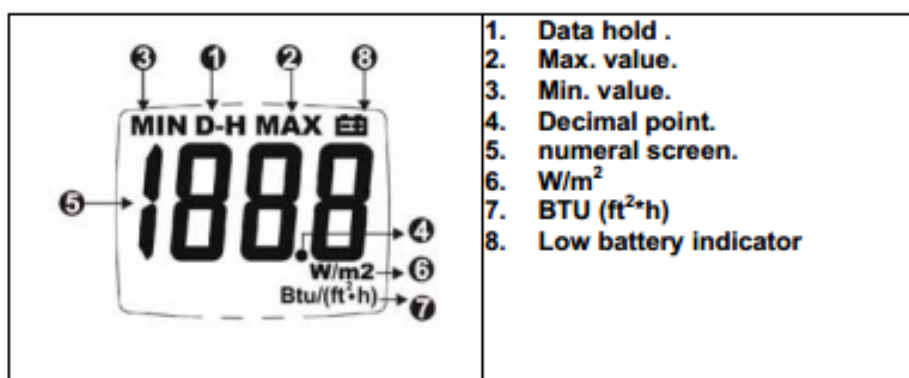
SOLAR POWER METER  
TM-206

User's Manual

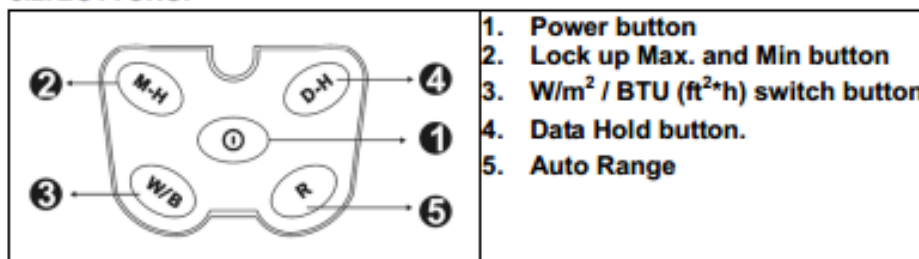


## 5. NAME AND FUNCTION OF EACH PART



### 5.1. THE LCD DISPLAY SHOWS:








### 5.2. BUTTONS:





### 5.2.1. Power button :

- Press the "  " button to turn ON the power. The display comes alive.
- Press the "  " button once again to turn OFF the power and put the device go into sleep mode. The display changes from light to dark.


### 5.2.2. Lock up Max. and Min button:

- When you test in  $W/m^2$  or  $BTU (ft^2 \cdot h)$  press the "  " button to display the max. or min. reading.
- Press and hold the "  " button for 1 second to allow the device to read the max. value. Press the button one more time to read the min. value.
- Press and hold the "  " button for more than 1 second, and the max. and min. come off.
- When the "  " button is functional, the "  " button is disabled.

### 5.2.3. $BTU (ft^2 \cdot h)$ / $W/m^2$ button :

- Press the "  " button to turn ON the power and put the device to operating mode. The screen displays  $BTU (ft^2 \cdot h)$ . Press the "  " button to switch from  $BTU (ft^2 \cdot h)$  to  $W/m^2$ . To select a different unit, just press this button once again.



### 5.2.4. Data hold button:

- Press the "  " button to go into hold mode, and " D-H " appears on the screen to allow you to read the data. Press this button once again to deactivate it.


ภาพประกอบ ๗2 Solar Module Analyzer Specification (ต่อ)

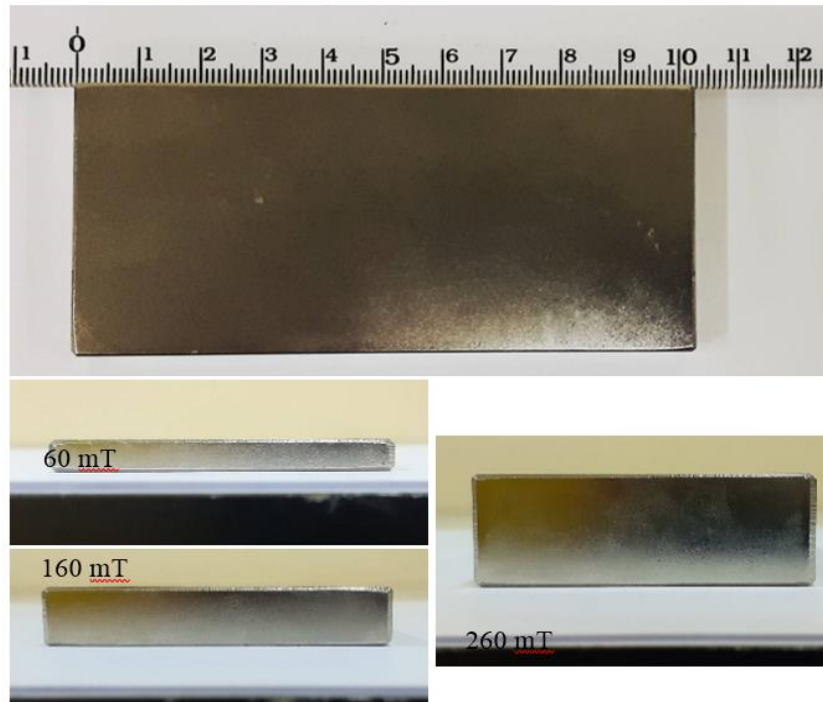


### 5.2.5. Auto Range button :

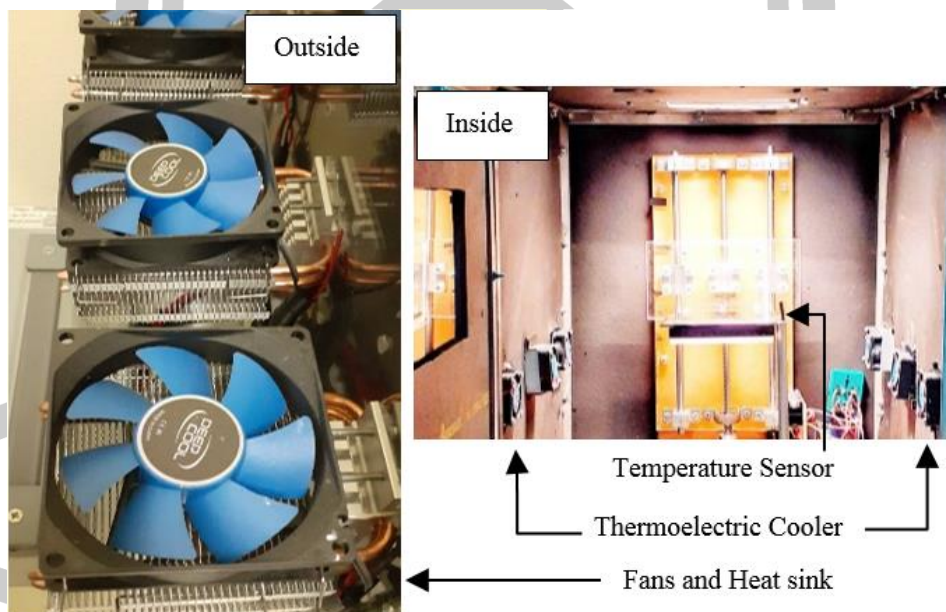
- Press the "  " power button to turn ON the power and put the device to operating mode. If "199.9" comes up on the screen, it suggests
- the device will become overloaded or has become overloaded "OL". In this case, press the "  " button, and "1999" or your acquired value then comes up.

### 5.3. TEST PROCEDURE

- Press the ZERO adjustment for the zero adjustment if any digits is appear
- If performing the zero adjustment after powering on, several digits may not disappear. In this case, perform the zero adjustment again.
- Measure your car's headlights:
- Turn ON your car's headlights. Then turn ON the TM-206 solar meter, and "00.0" appears on the screen. Put the device down close to the headlights. Switch between high beam and low beam, and light intensity values appear on the screen. Both the right and left headlights must be tested. Note the values and put them in your car for reference. (Picture 2)
- Measure the effect of solar insulation of your vehicle's windows:
- Press the "  " button to turn ON the TM-206 solar meter, "00.0" appears on the screen. Aim the device at the sun and close to a window, and the intensity appears on the screen. Open the window and aim the device at the sun. Compare the value against that acquired when the window is closed to understand the efficiency of the window's solar film. Test your new car and preserve the measurements in it. After that, test it at least once every year. (Picture 2)
- NOTE. : When the light sensor cover is not attached "CAP" is indicated. Make sure that it is attached. If performing the zero adjustment after powering on, several digits may not disappear. In this case, perform the zero adjustment again.



ภาพประกอบ ผ3 แสดงภาพแม่เหล็กถาวรสำหรับการทดลอง



ภาพประกอบ ผ4 แสดงภาพระบบควบคุมอุณหภูมิในบริเวณปิดที่ 25 องศาเซลเซียส



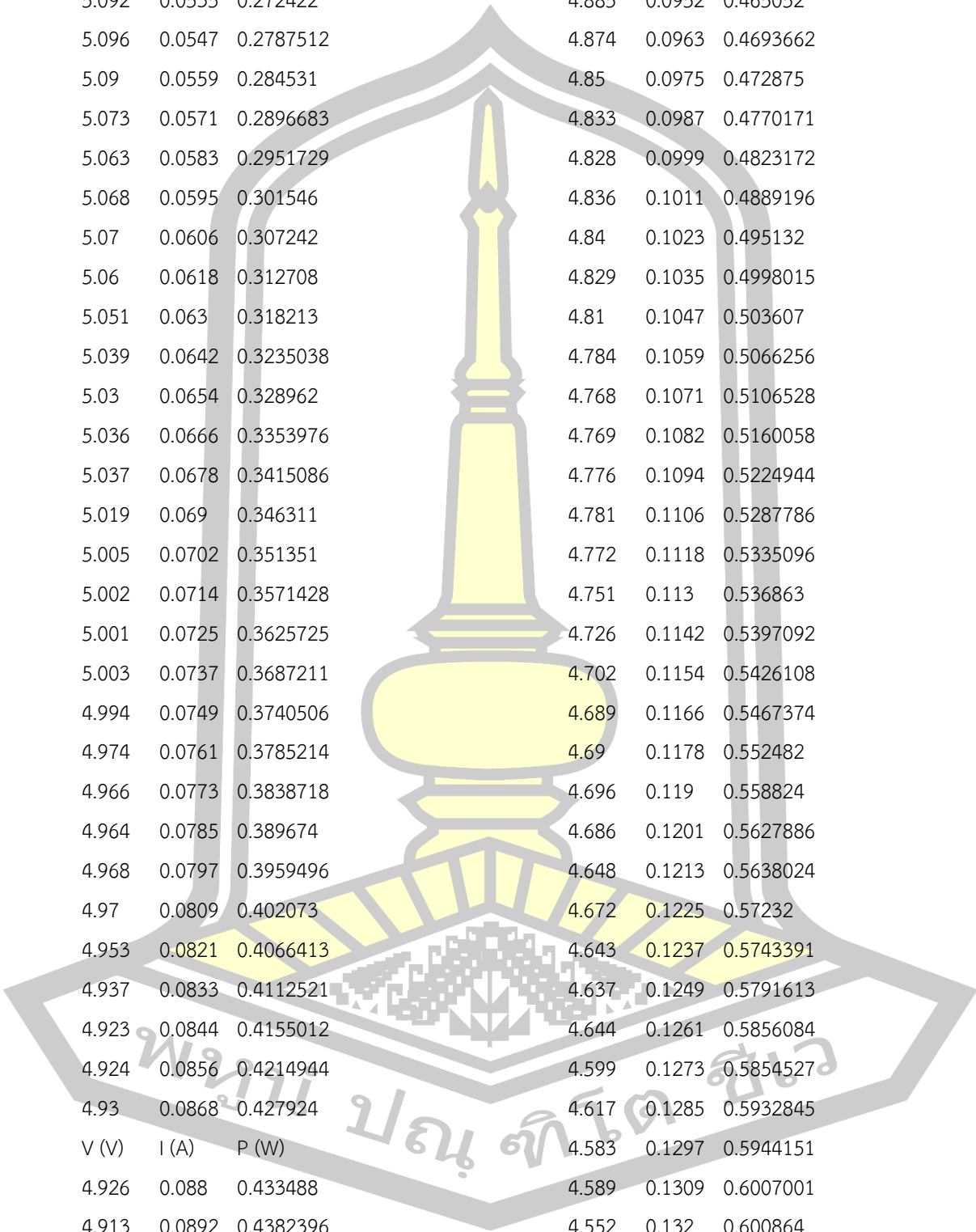
ตาราง 1 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่  
ความเข้มสนามแม่เหล็ก 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส

ครั้งที่ 1

Vopen (V) 5.367			5.243	0.0333	0.1745919
Ishort (A) 0.178			5.231	0.0345	0.1804695
			5.218	0.0357	0.1862826
V (V)	I (A)	P (W)	5.217	0.0369	0.1925073
5.357	0	0	5.22	0.0381	0.198882
5.355	0.0011	0.0058905	5.217	0.0393	0.2050281
5.353	0.0023	0.0123119	5.203	0.0405	0.2107215
5.352	0.0035	0.018732	V (V)	I (A)	P (W)
5.349	0.0047	0.0251403	5.19	0.0416	0.215904
5.347	0.0059	0.0315473	5.192	0.0428	0.2222176
5.345	0.0071	0.0379495	5.196	0.044	0.228624
5.336	0.0083	0.0442888	5.189	0.0452	0.2345428
5.327	0.0095	0.0506065	5.174	0.0464	0.2400736
5.319	0.0107	0.0569133	5.165	0.0476	0.245854
5.314	0.0119	0.0632366	5.169	0.0488	0.2522472
5.309	0.0131	0.0695479	5.172	0.05	0.2586
5.306	0.0142	0.0753452	5.158	0.0512	0.2640896
5.306	0.0154	0.0817124	5.143	0.0524	0.2694932
5.307	0.0166	0.0880962	5.144	0.0536	0.2757184
5.304	0.0178	0.0944112	5.146	0.0548	0.2820008
5.295	0.019	0.100605	5.14	0.0559	0.287326
5.286	0.0202	0.1067772	5.13	0.0571	0.292923
5.279	0.0214	0.1129706	5.122	0.0583	0.2986126
5.274	0.0226	0.1191924	5.115	0.0595	0.3043425
5.27	0.0238	0.125426	5.113	0.0607	0.3103591
5.269	0.025	0.131725	5.116	0.0619	0.3166804
5.269	0.0262	0.1380478	5.108	0.0631	0.3223148
5.264	0.0274	0.1442336	5.089	0.0643	0.3272227
5.254	0.0285	0.149739	5.082	0.0655	0.332871
5.242	0.0297	0.1556874	5.086	0.0667	0.3392362
5.242	0.0309	0.1619778	5.082	0.0679	0.3450678
5.244	0.0321	0.1683324	5.073	0.069	0.350037

5.061	0.0702	0.3552822	4.801	0.1119	0.5372319
5.048	0.0714	0.3604272	4.778	0.1131	0.5403918
5.049	0.0726	0.3665574	4.763	0.1143	0.5444109
5.058	0.0738	0.3732804	4.758	0.1155	0.549549
5.044	0.075	0.3783	4.761	0.1167	0.5556087
5.029	0.0762	0.3832098	4.731	0.1179	0.5577849
5.017	0.0774	0.3883158	4.763	0.1191	0.5672733
5.012	0.0786	0.3939432	4.727	0.1203	0.5686581
5.021	0.0798	0.4006758	4.705	0.1215	0.5716575
5.017	0.081	0.406377	4.729	0.1227	0.5802483
5.002	0.0822	0.4111644	4.683	0.1238	0.5797554
V (V)	I (A)	P (W)	4.694	0.125	0.58675
4.987	0.0833	0.4154171	4.683	0.1262	0.5909946
4.975	0.0845	0.4203875	4.643	0.1274	0.5915182
4.983	0.0857	0.4270431	4.685	0.1286	0.602491
4.984	0.0869	0.4331096	4.615	0.1298	0.599027
4.979	0.0881	0.4386499	V (V)	I (A)	P (W)
4.954	0.0893	0.4423922	4.643	0.131	0.608233
4.938	0.0905	0.446889	4.607	0.1322	0.6090454
4.933	0.0917	0.4523561	4.616	0.1334	0.6157744
4.94	0.0929	0.458926	4.561	0.1346	0.6139106
4.942	0.0941	0.4650422	4.596	0.1358	0.6241368
4.934	0.0953	0.4702102	4.564	0.137	0.625268
4.912	0.0964	0.4735168	4.53	0.1381	0.625593
4.893	0.0976	0.4775568	4.553	0.1393	0.6342329
4.886	0.0988	0.4827368	4.508	0.1405	0.633374
4.897	0.1	0.4897	4.506	0.1417	0.6385002
4.898	0.1012	0.4956776	4.483	0.1429	0.6406207
4.89	0.1024	0.500736	4.417	0.1441	0.6364897
4.867	0.1036	0.5042212	4.442	0.1453	0.6454226
4.842	0.1048	0.5074416	4.447	0.1465	0.6514855
4.829	0.106	0.511874	4.453	0.1477	0.6577081
4.83	0.1072	0.517776	4.403	0.1489	0.6556067
4.838	0.1084	0.5244392	4.364	0.1501	0.6550364
4.843	0.1096	0.5307928	4.325	0.1512	0.65394
4.825	0.1107	0.5341275	4.29	0.1524	0.653796

4.27	0.1536	0.655872	5.271	0.0119	0.0627249
4.245	0.1548	0.657126	5.267	0.013	0.068471
4.173	0.156	0.650988	5.263	0.0142	0.0747346
3.938	0.1572	0.6190536	5.253	0.0154	0.0808962
3.942	0.1584	0.6244128	5.244	0.0166	0.0870504
3.89	0.1596	0.620844	5.238	0.0178	0.0932364
3.569	0.1608	0.5738952	5.239	0.019	0.099541
2.911	0.162	0.471582	5.241	0.0202	0.1058682
2.19	0.1632	0.357408	5.235	0.0214	0.112029
2.867	0.1644	0.4713348	5.224	0.0226	0.1180624
1.608	0.1655	0.266124	5.212	0.0238	0.1240456
0.823	0.1667	0.1371941	5.211	0.0249	0.1297539
0.32	0.1679	0.053728	5.209	0.0261	0.1359549
0.052	0.1691	0.0087932	5.208	0.0273	0.1421784
0.047	0.1703	0.0080041	5.203	0.0285	0.1482855
0.047	0.1715	0.0080605	5.198	0.0297	0.1543806
0.047	0.1727	0.0081169	5.193	0.0309	0.1604637
0.041	0.1739	0.0071299	5.186	0.0321	0.1664706
0.031	0.1751	0.0054281	5.179	0.0333	0.1724607
0.02	0.1763	0.003526	5.177	0.0345	0.1786065
0.01	0.1775	0.001775	5.175	0.0357	0.1847475
ครั้งที่ 2			5.171	0.0368	0.1902928
Vopen (V)		5.312	5.163	0.038	0.196194
Ishort (A)		0.178	5.155	0.0392	0.202076
V (V)	I (A)	P (W)	5.153	0.0404	0.2081812
5.317	0	0	5.15	0.0416	0.21424
5.313	0.0011	0.0058443	5.144	0.0428	0.2201632
5.308	0.0023	0.0122084			
5.304	0.0035	0.018564	V (V)	I (A)	P (W)
5.295	0.0047	0.0248865	5.138	0.044	0.226072
5.286	0.0059	0.0311874	5.132	0.0452	0.2319664
5.277	0.0071	0.0374667	5.127	0.0464	0.2378928
5.276	0.0083	0.0437908	5.122	0.0476	0.2438072
5.276	0.0095	0.050122	5.119	0.0487	0.2492953
5.275	0.0107	0.0564425	5.116	0.0499	0.2552884
			5.107	0.0511	0.2609677



5.095	0.0523	0.2664685	4.889	0.094	0.459566
5.092	0.0535	0.272422	4.885	0.0952	0.465052
5.096	0.0547	0.2787512	4.874	0.0963	0.4693662
5.09	0.0559	0.284531	4.85	0.0975	0.472875
5.073	0.0571	0.2896683	4.833	0.0987	0.4770171
5.063	0.0583	0.2951729	4.828	0.0999	0.4823172
5.068	0.0595	0.301546	4.836	0.1011	0.4889196
5.07	0.0606	0.307242	4.84	0.1023	0.495132
5.06	0.0618	0.312708	4.829	0.1035	0.4998015
5.051	0.063	0.318213	4.81	0.1047	0.503607
5.039	0.0642	0.3235038	4.784	0.1059	0.5066256
5.03	0.0654	0.328962	4.768	0.1071	0.5106528
5.036	0.0666	0.3353976	4.769	0.1082	0.5160058
5.037	0.0678	0.3415086	4.776	0.1094	0.5224944
5.019	0.069	0.346311	4.781	0.1106	0.5287786
5.005	0.0702	0.351351	4.772	0.1118	0.5335096
5.002	0.0714	0.3571428	4.751	0.113	0.536863
5.001	0.0725	0.3625725	4.726	0.1142	0.5397092
5.003	0.0737	0.3687211	4.702	0.1154	0.5426108
4.994	0.0749	0.3740506	4.689	0.1166	0.5467374
4.974	0.0761	0.3785214	4.69	0.1178	0.552482
4.966	0.0773	0.3838718	4.696	0.119	0.558824
4.964	0.0785	0.389674	4.686	0.1201	0.5627886
4.968	0.0797	0.3959496	4.648	0.1213	0.5638024
4.97	0.0809	0.402073	4.672	0.1225	0.57232
4.953	0.0821	0.4066413	4.643	0.1237	0.5743391
4.937	0.0833	0.4112521	4.637	0.1249	0.5791613
4.923	0.0844	0.4155012	4.644	0.1261	0.5856084
4.924	0.0856	0.4214944	4.599	0.1273	0.5854527
4.93	0.0868	0.427924	4.617	0.1285	0.5932845
V (V)	I (A)	P (W)	4.583	0.1297	0.5944151
4.926	0.088	0.433488	4.589	0.1309	0.6007001
4.913	0.0892	0.4382396	4.552	0.132	0.600864
4.889	0.0904	0.4419656			
4.881	0.0916	0.4470996	V (V)	I (A)	P (W)
4.881	0.0928	0.4529568	4.575	0.1332	0.60939

4.504	0.1344	0.6053376		4.261	0.157	0.668977
4.548	0.1356	0.6167088		4.163	0.1582	0.6585866
4.515	0.1368	0.617652		4.132	0.1594	0.6586408
4.492	0.138	0.619896		4.001	0.1642	0.6568
4.492	0.1392	0.6252864		3.97	0.1606	0.637582
4.465	0.1404	0.626886		3.219	0.1618	0.5208342
4.476	0.1416	0.6338016		2.568	0.163	0.418584
4.431	0.1428	0.6327468		2.594	0.1654	0.4290476
4.402	0.1439	0.6334478		1.567	0.1666	0.2610622
4.42	0.1451	0.641342		2.482	0.1677	0.4162314
4.422	0.1463	0.6469386		0.154	0.1689	0.0260106
4.369	0.1475	0.6444275		0.103	0.1701	0.0175203
4.328	0.1487	0.6435736		0.05	0.1713	0.008565
4.302	0.1499	0.6448698		0.047	0.1725	0.0081075
4.303	0.1511	0.6501833		0.048	0.1737	0.0083376
4.271	0.1523	0.6504733		0.04	0.1749	0.006996
4.254	0.1535	0.652989		0.026	0.1761	0.0045786
4.211	0.1547	0.6514417		0.013	0.1773	0.0023049
4.211	0.1558	0.6560738				
				5.188	0.0131	0.0679628
ครั้งที่ 3				5.182	0.0143	0.0741026
Vopen (V)	5.249			5.171	0.0155	0.0801505
Ishort (A)	0.179			5.161	0.0167	0.0861887
V (V)	I (A)	P (W)		5.154	0.0179	0.0922566
5.229	0	0		5.154	0.0191	0.0984414
5.223	0.0011	0.0057453		5.154	0.0202	0.1041108
5.218	0.0023	0.0120014		5.153	0.0214	0.1102742
5.212	0.0035	0.018242		5.149	0.0226	0.1163674
5.208	0.0047	0.0244776		5.145	0.0238	0.122451
5.205	0.0059	0.0307095		5.137	0.025	0.128425
5.202	0.0071	0.0369342		5.126	0.0262	0.1343012
5.201	0.0083	0.0431683		5.117	0.0274	0.1402058
5.2	0.0095	0.0494		5.119	0.0286	0.1464034
5.199	0.0107	0.0556293		5.121	0.0298	0.1526058
5.193	0.0119	0.0617967		5.116	0.031	0.158596
				5.105	0.0322	0.164381

5.093	0.0334	0.1701062	4.919	0.0728	0.3581032
5.093	0.0346	0.1762178	4.912	0.074	0.363488
5.093	0.0358	0.1823294	4.908	0.0752	0.3690816
5.09	0.037	0.18833	4.914	0.0764	0.3754296
5.081	0.0382	0.1940942	4.91	0.0776	0.381016
5.073	0.0394	0.1998762	4.887	0.0788	0.3850956
5.071	0.0405	0.2053755	4.876	0.0799	0.3895924
5.07	0.0417	0.211419	4.872	0.0811	0.3951192
5.065	0.0429	0.2172885	4.876	0.0823	0.4012948
			4.883	0.0835	0.4077305
			4.862	0.0847	0.4118114
V (V)	I (A)	P (W)	4.844	0.0859	0.4160996
5.055	0.0441	0.2229255	4.83	0.0871	0.420693
5.046	0.0453	0.2285838	V (V)	I (A)	P (W)
5.045	0.0465	0.2345925	4.833	0.0883	0.4267539
5.044	0.0477	0.2405988	4.842	0.0895	0.433359
5.037	0.0489	0.2463093	4.831	0.0907	0.4381717
5.029	0.0501	0.2519529	4.813	0.0919	0.4423147
5.026	0.0513	0.2578338	4.787	0.0931	0.4456697
5.027	0.0525	0.2639175	4.785	0.0943	0.4512255
5.023	0.0537	0.2697351	4.788	0.0955	0.457254
5.009	0.0549	0.2749941	4.797	0.0967	0.4638699
4.998	0.0561	0.2803878	4.783	0.0979	0.4682557
5.003	0.0573	0.2866719	4.762	0.0991	0.4719142
5.009	0.0585	0.2930265	4.736	0.1002	0.4745472
4.991	0.0597	0.2979627	4.728	0.1014	0.4794192
4.975	0.0608	0.30248	4.732	0.1026	0.4855032
4.975	0.062	0.30845	4.74	0.1038	0.492012
4.977	0.0632	0.3145464	4.736	0.105	0.49728
4.972	0.0644	0.3201968	4.714	0.1062	0.5006268
4.965	0.0656	0.325704	4.687	0.1074	0.5033838
4.953	0.0668	0.3308604	4.666	0.1086	0.5067276
4.941	0.068	0.335988	4.663	0.1098	0.5119974
4.943	0.0692	0.3420556	4.678	0.111	0.519258
4.949	0.0704	0.3484096	4.68	0.1122	0.525096
4.935	0.0716	0.353346	4.669	0.1134	0.5294646

4.645	0.1146	0.532317	4.288	0.1468	0.6294784
4.614	0.1158	0.5343012	4.215	0.148	0.62382
4.593	0.117	0.537381	4.135	0.1492	0.616942
4.584	0.1182	0.5418288	4.14	0.1504	0.622656
4.586	0.1194	0.5475684	4.142	0.1516	0.6279272
4.601	0.1205	0.5544205	4.139	0.1528	0.6324392
4.568	0.1217	0.5559256	4.145	0.154	0.63833
4.553	0.1229	0.5595637	4.116	0.1552	0.6388032
4.56	0.1241	0.565896	4.085	0.1564	0.638894
4.53	0.1253	0.567609	4	0.1576	0.6304
4.529	0.1265	0.5729185	3.942	0.1588	0.6259896
4.516	0.1277	0.5766932	3.925	0.1599	0.6276075
4.491	0.1289	0.5788899	3.879	0.1611	0.6249069
4.504	0.1301	0.5859704	3.434	0.1623	0.5573382
4.443	0.1313	0.5833659	3.566	0.1635	0.583041
4.479	0.1325	0.5934675	3.445	0.1647	0.5673915
V (V)	I (A)	P (W)	3.231	0.1659	0.5360229
4.435	0.1337	0.5929595	2.617	0.1671	0.4373007
4.431	0.1349	0.5977419	3.54	0.1683	0.595782
4.405	0.1361	0.5995205	0.831	0.1695	0.1408545
4.414	0.1373	0.6060422	1.202	0.1707	0.2051814
4.336	0.1385	0.600536	0.869	0.1719	0.1493811
4.392	0.1396	0.6131232	0.061	0.1731	0.0105591
4.338	0.1408	0.6107904	0.031	0.1743	0.0054033
4.331	0.142	0.615002	0.046	0.1755	0.008073
4.304	0.1432	0.6163328	0.033	0.1767	0.0058311
4.263	0.1444	0.6155772	0.016	0.1779	0.0028464
4.288	0.1456	0.6243328			

พหุ ประถมศึกษา ชีวะ

## ครั้งที่ 4

Vopen (V)	5.411		5.239	0.0383	0.2006537
Ishort (A)	0.185		5.233	0.0396	0.2072268
V (V)	I (A)	P (W)	5.228	0.0408	0.2133024
5.386	0	0	5.223	0.042	0.219366
5.382	0.0012	0.0064584	5.218	0.0433	0.2259394
5.379	0.0024	0.0129096	5.213	0.0445	0.2319785
5.376	0.0037	0.0198912			
5.375	0.0049	0.0263375			
5.374	0.0061	0.0327814	V (V)	I (A)	P (W)
5.374	0.0074	0.0397676	5.207	0.0458	0.2384806
5.367	0.0086	0.0461562	5.201	0.047	0.244447
5.36	0.0099	0.053064	5.193	0.0482	0.2503026
5.353	0.0111	0.0594183	5.189	0.0495	0.2568555
5.344	0.0123	0.0657312	5.189	0.0507	0.2630823
5.334	0.0136	0.0725424	5.187	0.0519	0.2692053
5.327	0.0148	0.0788396	5.172	0.0532	0.2751504
5.327	0.016	0.085232	5.159	0.0544	0.2806496
5.327	0.0173	0.0921571	5.162	0.0557	0.2875234
5.325	0.0185	0.0985125	5.166	0.0569	0.2939454
5.321	0.0198	0.1053558	5.156	0.0581	0.2995636
5.317	0.021	0.111657	5.14	0.0594	0.305316
5.308	0.0222	0.1178376	5.137	0.0606	0.3113022
5.297	0.0235	0.1244795	5.14	0.0619	0.318166
5.287	0.0247	0.1305889	5.136	0.0631	0.3240816
5.288	0.0259	0.1369592	5.126	0.0643	0.3296018
5.29	0.0272	0.143888	5.115	0.0656	0.335544
5.287	0.0284	0.1501508	5.104	0.0668	0.3409472
5.275	0.0297	0.1566675	5.101	0.068	0.346868
5.264	0.0309	0.1626576	5.104	0.0693	0.3537072
5.262	0.0321	0.1689102	5.095	0.0705	0.3591975
5.26	0.0334	0.175684	5.077	0.0718	0.3645286
5.258	0.0346	0.1819268	5.071	0.073	0.370183
5.25	0.0359	0.188475	5.07	0.0742	0.376194
5.244	0.0371	0.1945524	5.07	0.0755	0.382785

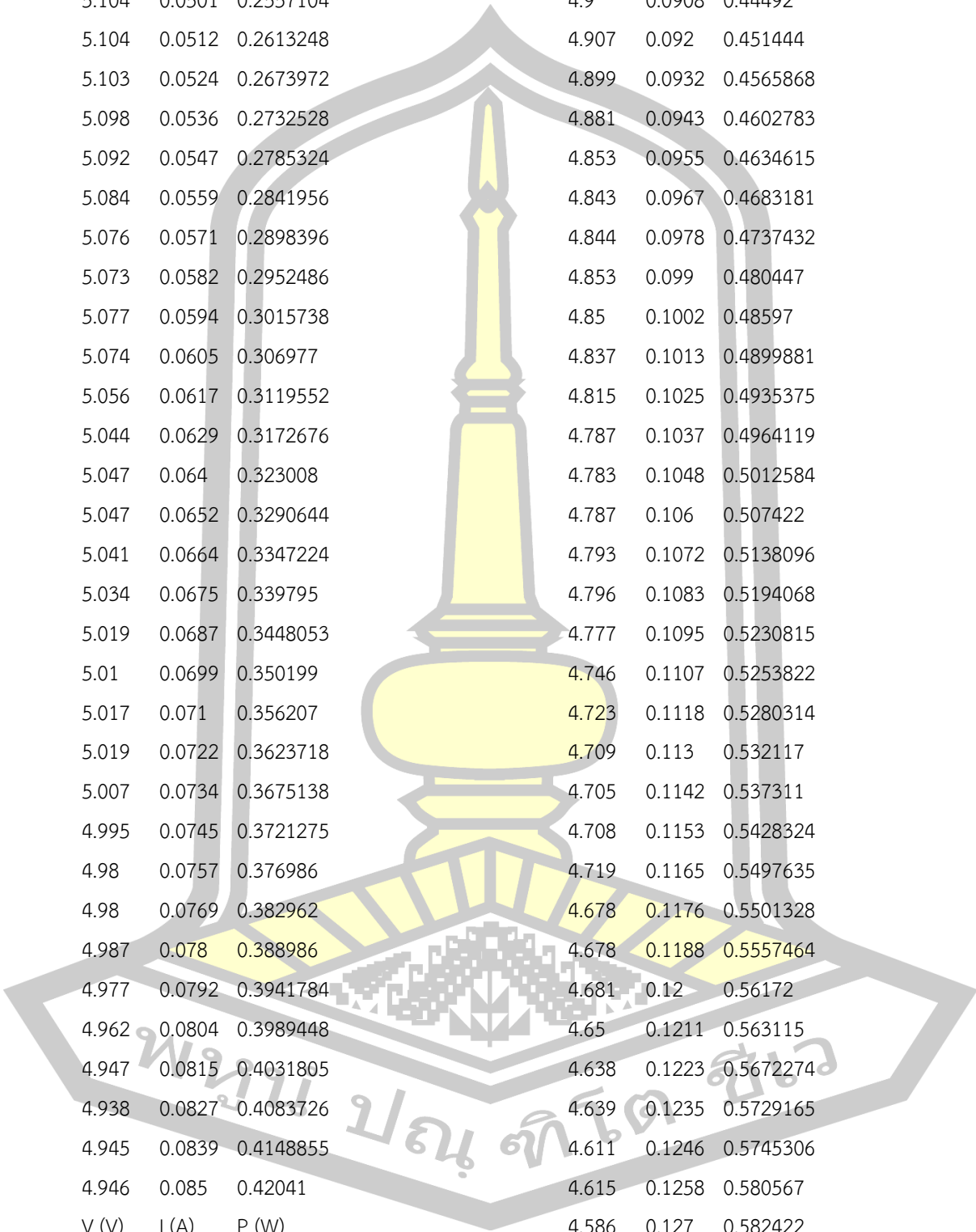


5.07	0.0767	0.388869	4.743	0.12	0.56916
5.052	0.0779	0.3935508	4.739	0.1213	0.5748407
5.036	0.0792	0.3988512	4.737	0.1225	0.5802825
5.036	0.0804	0.4048944	4.748	0.1238	0.5878024
5.037	0.0817	0.4115229	4.682	0.125	0.58525
5.039	0.0829	0.4177331	4.726	0.1262	0.5964212
5.028	0.0841	0.4228548	4.685	0.1275	0.5973375
5.01	0.0854	0.427854	4.666	0.1287	0.6005142
5	0.0866	0.433	4.691	0.1299	0.6093609
4.996	0.0878	0.4386488	4.621	0.1312	0.6062752
5.005	0.0891	0.4459455	4.658	0.1324	0.6167192
5	0.0903	0.4515	4.622	0.1337	0.6179614
V (V)	I (A)	P (W)	4.615	0.1349	0.6225635
4.989	0.0916	0.4569924	4.589	0.1361	0.6245629
4.966	0.0928	0.4608448	4.599	0.1374	0.6319026
4.952	0.094	0.465488	V (V)	I (A)	P (W)
4.948	0.0953	0.4715444	4.527	0.1386	0.6274422
4.956	0.0965	0.478254	4.583	0.1398	0.6407034
4.954	0.0978	0.4845012	4.522	0.1411	0.6380542
4.941	0.099	0.489159	4.51	0.1423	0.641773
4.917	0.1002	0.4926834	4.494	0.1436	0.6453384
4.901	0.1015	0.4974515	4.471	0.1448	0.6474008
4.895	0.1027	0.5027165	4.453	0.146	0.650138
4.899	0.1039	0.5090061	4.429	0.1473	0.6523917
4.904	0.1052	0.5159008	4.414	0.1485	0.655479
4.898	0.1064	0.5211472	4.389	0.1497	0.6570333
4.875	0.1077	0.5250375	4.361	0.151	0.658511
4.847	0.1089	0.5278383	4.342	0.1522	0.6608524
4.829	0.1101	0.5316729	4.314	0.1535	0.662199
4.828	0.1114	0.5378392	4.288	0.1547	0.6633536
4.839	0.1126	0.5448714	4.294	0.1559	0.6694346
4.844	0.1138	0.5512472	4.272	0.1572	0.6715584
4.834	0.1151	0.5563934	4.228	0.1584	0.6697152
4.812	0.1163	0.5596356	4.179	0.1597	0.6673863
4.782	0.1176	0.5623632	4.115	0.1609	0.6621035
4.757	0.1188	0.5651316	3.998	0.1621	0.6480758

4.002	0.1634	0.6539268	0.045	0.1745	0.0078525
4.022	0.1646	0.6620212	0.049	0.1757	0.0086093
3.889	0.1658	0.6447962	0.048	0.177	0.008496
3.816	0.1671	0.6376536	0.049	0.1782	0.0087318
3.896	0.1683	0.6556968	0.048	0.1795	0.008616
2.561	0.1696	0.4343456	0.041	0.1807	0.0074087
1.32	0.1708	0.225456	0.031	0.1819	0.0056389
2.615	0.172	0.44978	0.02	0.1832	0.003664
0.507	0.1733	0.0878631	0.01	0.1844	0.001844

ครั้งที่ 5

Vopen (V)	5.337	5.222	0.0244	0.1274168	
Ishort (A)	0.174	5.214	0.0256	0.1334784	
V (V)	I (A)	P (W)	5.206	0.0268	0.1395208
5.324	0	0	5.206	0.0279	0.1452474
5.319	0.0011	0.0058509	5.207	0.0291	0.1515237
5.315	0.0023	0.0122245	5.205	0.0302	0.157191
5.31	0.0034	0.018054	5.193	0.0314	0.1630602
5.303	0.0046	0.0243938	5.181	0.0326	0.1689006
5.294	0.0058	0.0307052	5.178	0.0337	0.1744986
5.287	0.0069	0.0364803	5.181	0.0349	0.1808169
5.284	0.0081	0.0428004	5.182	0.0361	0.1870702
5.281	0.0093	0.0491133	5.17	0.0372	0.192324
5.279	0.0104	0.0549016	5.156	0.0384	0.1979904
5.276	0.0116	0.0612016	5.153	0.0396	0.2040588
5.273	0.0128	0.0674944	5.157	0.0407	0.2098899
5.27	0.0139	0.073253	5.159	0.0419	0.2161621
5.261	0.0151	0.0794411			
5.251	0.0163	0.0855913			
5.242	0.0174	0.0912108	V (V)	I (A)	P (W)
5.242	0.0186	0.0975012	5.144	0.0431	0.2217064
5.241	0.0198	0.1037718	5.13	0.0442	0.226746
5.239	0.0209	0.1094951	5.128	0.0454	0.2328112
5.233	0.0221	0.1156493	5.131	0.0466	0.2391046
5.228	0.0233	0.1218124	5.128	0.0477	0.2446056



5.116	0.0489	0.2501724	4.896	0.0897	0.4391712
5.104	0.0501	0.2557104	4.9	0.0908	0.44492
5.104	0.0512	0.2613248	4.907	0.092	0.451444
5.103	0.0524	0.2673972	4.899	0.0932	0.4565868
5.098	0.0536	0.2732528	4.881	0.0943	0.4602783
5.092	0.0547	0.2785324	4.853	0.0955	0.4634615
5.084	0.0559	0.2841956	4.843	0.0967	0.4683181
5.076	0.0571	0.2898396	4.844	0.0978	0.4737432
5.073	0.0582	0.2952486	4.853	0.099	0.480447
5.077	0.0594	0.3015738	4.85	0.1002	0.48597
5.074	0.0605	0.306977	4.837	0.1013	0.4899881
5.056	0.0617	0.3119552	4.815	0.1025	0.4935375
5.044	0.0629	0.3172676	4.787	0.1037	0.4964119
5.047	0.064	0.323008	4.783	0.1048	0.5012584
5.047	0.0652	0.3290644	4.787	0.106	0.507422
5.041	0.0664	0.3347224	4.793	0.1072	0.5138096
5.034	0.0675	0.339795	4.796	0.1083	0.5194068
5.019	0.0687	0.3448053	4.777	0.1095	0.5230815
5.01	0.0699	0.350199	4.746	0.1107	0.5253822
5.017	0.071	0.356207	4.723	0.1118	0.5280314
5.019	0.0722	0.3623718	4.709	0.113	0.532117
5.007	0.0734	0.3675138	4.705	0.1142	0.537311
4.995	0.0745	0.3721275	4.708	0.1153	0.5428324
4.98	0.0757	0.376986	4.719	0.1165	0.5497635
4.98	0.0769	0.382962	4.678	0.1176	0.5501328
4.987	0.078	0.388986	4.678	0.1188	0.5557464
4.977	0.0792	0.3941784	4.681	0.12	0.56172
4.962	0.0804	0.3989448	4.65	0.1211	0.563115
4.947	0.0815	0.4031805	4.638	0.1223	0.5672274
4.938	0.0827	0.4083726	4.639	0.1235	0.5729165
4.945	0.0839	0.4148855	4.611	0.1246	0.5745306
4.946	0.085	0.42041	4.615	0.1258	0.580567
V (V)	I (A)	P (W)	4.586	0.127	0.582422
4.945	0.0862	0.426259	4.589	0.1281	0.5878509
4.92	0.0874	0.430008	4.565	0.1293	0.5902545
4.901	0.0885	0.4337385	V (V)	I (A)	P (W)

4.561	0.1305	0.5952105	4.199	0.1526	0.6407674
4.55	0.1316	0.59878	4.158	0.1538	0.6395004
4.504	0.1328	0.5981312	4.125	0.1549	0.6389625
4.527	0.134	0.606618	4.08	0.1561	0.636888
4.486	0.1351	0.6060586	3.997	0.1573	0.6287281
4.464	0.1363	0.6084432	4.016	0.1584	0.6361344
4.503	0.1375	0.6191625	3.801	0.1596	0.6066396
4.421	0.1386	0.6127506	3.758	0.1608	0.6042864
4.425	0.1398	0.618615	3.694	0.1619	0.5980586
4.423	0.141	0.623643	3.995	0.1631	0.6515845
4.38	0.1421	0.622398	3.042	0.1643	0.4998006
4.382	0.1433	0.6279406	3.117	0.1654	0.5155518
4.344	0.1445	0.627708	2.791	0.1666	0.4649806
4.31	0.1456	0.627536	2.008	0.1678	0.3369424
4.315	0.1468	0.633442	1.854	0.1689	0.3131406
4.306	0.1479	0.6368574	1.236	0.1701	0.2102436
4.275	0.1491	0.6374025	0.66	0.1713	0.113058
4.241	0.1503	0.6374223	0.059	0.1724	0.0101716
4.218	0.1514	0.6386052	0.025	0.1736	0.00434

ตาราง 2 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่  
ความเข้มสนามแม่เหล็ก 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความเข้ม  
สนามแม่เหล็กทิศเหนือ 60 มิลลิเทสลา  
ครั้งที่ 1

Vopen (V)	5.367	Ishort (A)	0.174	5.299	0.0093	0.0492807
V (V)	I (A)	P (W)		5.292	0.0104	0.0550368
5.334	0	0		5.286	0.0116	0.0613176
5.331	0.0011	0.0058641		5.28	0.0128	0.067584
5.329	0.0023	0.0122567		5.274	0.0139	0.0733086
5.327	0.0034	0.0181118		5.274	0.0151	0.0796374
5.323	0.0046	0.0244858		5.274	0.0163	0.0859662
5.319	0.0058	0.0308502		5.275	0.0174	0.091785
5.315	0.0069	0.0366735		5.268	0.0186	0.0979848
5.308	0.0081	0.0429948		5.262	0.0198	0.1041876

5.256	0.0209	0.1098504	5.095	0.0605	0.3082475
5.248	0.0221	0.1159808	5.082	0.0617	0.3135594
5.24	0.0233	0.122092	5.069	0.0629	0.3188401
5.235	0.0244	0.127734	5.069	0.064	0.324416
5.235	0.0256	0.134016	5.069	0.0652	0.3304988
5.235	0.0268	0.140298	5.066	0.0664	0.3363824
5.228	0.0279	0.1458612	5.064	0.0675	0.34182
5.218	0.0291	0.1518438	5.05	0.0687	0.346935
5.21	0.0302	0.157342	5.036	0.0699	0.3520164
5.21	0.0314	0.163594	5.041	0.071	0.357911
5.21	0.0326	0.169846	5.045	0.0722	0.364249
5.207	0.0337	0.1754759	5.032	0.0734	0.3693488
5.2	0.0349	0.18148	5.021	0.0745	0.3740645
5.193	0.0361	0.1874673	5.012	0.0757	0.3794084
5.189	0.0372	0.1930308	5.008	0.0769	0.3851152
5.184	0.0384	0.1990656	5.015	0.078	0.39117
5.179	0.0396	0.2050884	5.01	0.0792	0.396792
			4.994	0.0804	0.4015176
V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5.175	0.0407	0.2106225	4.983	0.0815	0.4061145
5.17	0.0419	0.216623	4.973	0.0827	0.4112671
5.165	0.0431	0.2226115	4.979	0.0839	0.4177381
5.16	0.0442	0.228072	4.98	0.085	0.4233
5.155	0.0454	0.234037	4.972	0.0862	0.4285864
5.149	0.0466	0.2399434	4.956	0.0874	0.4331544
5.144	0.0477	0.2453688	4.937	0.0885	0.4369245
5.14	0.0489	0.251346	4.941	0.0897	0.4432077
5.137	0.0501	0.2573637	4.946	0.0908	0.4490968
5.128	0.0512	0.2625536	4.947	0.092	0.455124
5.118	0.0524	0.2681832	4.933	0.0932	0.4597556
5.116	0.0536	0.2742176	4.915	0.0943	0.4634845
5.119	0.0547	0.2800093	4.9	0.0955	0.46795
5.114	0.0559	0.2858726	4.901	0.0967	0.4739267
5.097	0.0571	0.2910387	4.906	0.0978	0.4798068
5.088	0.0582	0.2961216	4.906	0.099	0.485694
5.093	0.0594	0.3025242	4.887	0.1002	0.4896774

4.866	0.1013	0.4929258	4.56	0.1375	0.627
4.848	0.1025	0.49692	4.541	0.1386	0.6293826
4.85	0.1037	0.502945	4.561	0.1398	0.6376278
4.855	0.1048	0.508804	4.497	0.141	0.634077
4.86	0.106	0.51516	4.504	0.1421	0.6400184
4.85	0.1072	0.51992	4.491	0.1433	0.6435603
4.825	0.1083	0.5225475	4.468	0.1445	0.645626
4.801	0.1095	0.5257095	4.471	0.1456	0.6509776
4.791	0.1107	0.5303637	4.443	0.1468	0.6522324
4.798	0.1118	0.5364164	4.407	0.1479	0.6517953
4.806	0.113	0.543078	4.38	0.1491	0.653058
4.804	0.1142	0.5486168	4.366	0.1503	0.6562098
4.788	0.1153	0.5520564	4.378	0.1514	0.6628292
4.764	0.1165	0.555006	4.375	0.1526	0.667625
4.755	0.1176	0.559188	4.361	0.1538	0.6707218
4.765	0.1188	0.566082	4.34	0.1549	0.672266
4.72	0.12	0.5664	4.296	0.1561	0.6706056
4.715	0.1211	0.5709865	4.259	0.1573	0.6699407
4.742	0.1223	0.5799466	4.233	0.1584	0.6705072
4.679	0.1235	0.5778565	4.236	0.1596	0.6760656
4.7	0.1246	0.58562	4.128	0.1608	0.6637824
4.692	0.1258	0.5902536	4.118	0.1619	0.6667042
4.647	0.127	0.590169	4.088	0.1631	0.6667528
V (V)	I (A)	P (W)	4.11	0.1643	0.675273
4.692	0.1281	0.6010452	3.849	0.1654	0.6366246
4.627	0.1293	0.5982711	4.036	0.1666	0.6723976
4.639	0.1305	0.6053895	3.349	0.1678	0.5619622
4.634	0.1316	0.6098344	4.06	0.1689	0.685734
4.605	0.1328	0.611544	1.667	0.1701	0.2835567
4.596	0.134	0.615864	0.118	0.1713	0.0202134
4.592	0.1351	0.6203792	0.8	0.1724	0.13792
4.58	0.1363	0.624254	0.807	0.1736	0.1400952

ครั้งที่ 2

Vopen (V)

5.384

Ishort (A)

0.167

V (V)

I (A)

P (W)

5.371

0

0

5.364

0.0011

0.0059004

5.358	0.0022	0.0117876			
5.352	0.0033	0.0176616	V (V)	I (A)	P (W)
5.35	0.0044	0.02354	5.208	0.0412	0.2145696
5.349	0.0055	0.0294195	5.194	0.0423	0.2197062
5.348	0.0066	0.0352968	5.19	0.0434	0.225246
5.345	0.0078	0.041691	5.195	0.0445	0.2311775
5.343	0.0089	0.0475527	5.195	0.0457	0.2374115
5.341	0.01	0.05341	5.18	0.0468	0.242424
5.333	0.0111	0.0591963	5.166	0.0479	0.2474514
5.325	0.0122	0.064965	5.168	0.049	0.253232
5.316	0.0133	0.0707028	5.172	0.0501	0.2591172
5.311	0.0144	0.0764784	5.166	0.0512	0.2644992
5.305	0.0156	0.082758	5.153	0.0523	0.2695019
5.3	0.0167	0.08851	5.145	0.0535	0.2752575
5.301	0.0178	0.0943578	5.145	0.0546	0.280917
5.302	0.0189	0.1002078	5.143	0.0557	0.2864651
5.302	0.02	0.10604	5.137	0.0568	0.2917816
5.292	0.0211	0.1116612	5.131	0.0579	0.2970849
5.283	0.0222	0.1172826	5.121	0.059	0.302139
5.275	0.0234	0.123435	5.111	0.0601	0.3071711
5.272	0.0245	0.129164	5.116	0.0613	0.3136108
5.268	0.0256	0.1348608	5.122	0.0624	0.3196128
5.266	0.0267	0.1406022	5.104	0.0635	0.324104
5.265	0.0278	0.146367	5.087	0.0646	0.3286202
5.264	0.0289	0.1521296	5.089	0.0657	0.3343473
5.254	0.03	0.15762	5.092	0.0668	0.3401456
5.244	0.0312	0.1636128	5.085	0.0679	0.3452715
5.239	0.0323	0.1692197	5.076	0.0691	0.3507516
5.241	0.0334	0.1750494	5.06	0.0702	0.355212
5.243	0.0345	0.1808835	5.049	0.0713	0.3599937
5.232	0.0356	0.1862592	5.057	0.0724	0.3661268
5.22	0.0367	0.191574	5.059	0.0735	0.3718365
5.214	0.0378	0.1970892	5.046	0.0746	0.3764316
5.218	0.039	0.203502	5.034	0.0757	0.3810738
5.222	0.0401	0.2094022	5.019	0.0769	0.3859611
			5.022	0.078	0.391716

5.031	0.0791	0.3979521	4.743	0.1181	0.5601483
5.019	0.0802	0.4025238	4.758	0.1192	0.5671536
5.005	0.0813	0.4069065	4.712	0.1203	0.5668536
V (V)	I (A)	P (W)	4.717	0.1214	0.5726438
4.989	0.0824	0.4110936	4.726	0.1226	0.5794076
4.985	0.0836	0.416746	4.667	0.1237	0.5773079
4.99	0.0847	0.422653	V (V)	I (A)	P (W)
4.987	0.0858	0.4278846	4.706	0.1248	0.5873088
4.977	0.0869	0.4325013	4.661	0.1259	0.5868199
4.955	0.088	0.43604	4.661	0.127	0.591947
4.949	0.0891	0.4409559	4.64	0.1281	0.594384
4.951	0.0902	0.4465802	4.645	0.1293	0.6005985
4.958	0.0914	0.4531612	4.609	0.1304	0.6010136
4.948	0.0925	0.45769	4.608	0.1315	0.605952
4.932	0.0936	0.4616352	4.597	0.1326	0.6095622
4.91	0.0947	0.464977	4.605	0.1337	0.6156885
4.906	0.0958	0.4699948	4.549	0.1348	0.6132052
4.909	0.0969	0.4756821	4.564	0.1359	0.6202476
4.917	0.098	0.481866	4.545	0.1371	0.6231195
4.904	0.0992	0.4864768	4.524	0.1382	0.6252168
4.882	0.1003	0.4896646	4.547	0.1393	0.6333971
4.86	0.1014	0.492804	4.487	0.1404	0.6299748
4.856	0.1025	0.49774	4.449	0.1415	0.6295335
4.865	0.1036	0.504014	4.458	0.1426	0.6357108
4.87	0.1047	0.509889	4.458	0.1437	0.6406146
4.864	0.1058	0.5146112	4.423	0.1449	0.6408927
4.841	0.107	0.517987	4.393	0.146	0.641378
4.813	0.1081	0.5202853	4.376	0.1471	0.6437096
4.803	0.1092	0.5244876	4.356	0.1482	0.6455592
4.809	0.1103	0.5304327	4.337	0.1493	0.6475141
4.817	0.1114	0.5366138	4.311	0.1504	0.6483744
4.809	0.1125	0.5410125	4.307	0.1515	0.6525105
4.772	0.1136	0.5420992	4.293	0.1527	0.6555411
4.77	0.1148	0.547596	4.218	0.1538	0.6487284
4.792	0.1159	0.5553928	4.087	0.1549	0.6330763
4.738	0.117	0.554346	4.06	0.156	0.63336



4.125	0.1571	0.6480375	3.113	0.1627	0.5064851
3.274	0.1582	0.5179468	1.643	0.1638	0.2691234
3.515	0.1593	0.5599395	0.99	0.1649	0.163251
1.622	0.1605	0.260331	0.094	0.166	0.015604
2.401	0.1616	0.3880016			

ครั้งที่ 3

Vopen (V)	5.242		5.128	0.0286	0.1466608
Ishort (A)	0.179		5.13	0.0298	0.152874
V (V)	I (A)	P (W)	5.128	0.031	0.158968
5.246	0	0	5.116	0.0322	0.1647352
5.242	0.0011	0.0057662	5.104	0.0334	0.1704736
5.237	0.0023	0.0120451	5.101	0.0346	0.1764946
5.233	0.0035	0.0183155	5.104	0.0358	0.1827232
5.224	0.0047	0.0245528	5.106	0.0369	0.1884114
5.215	0.0059	0.0307685	5.094	0.0381	0.1940814
5.206	0.0071	0.0369626	5.082	0.0393	0.1997226
5.202	0.0083	0.0431766	5.08	0.0405	0.20574
5.199	0.0095	0.0493905	5.082	0.0417	0.2119194
5.196	0.0107	0.0555972	5.08	0.0429	0.217932
5.195	0.0119	0.0618205			
5.195	0.0131	0.0680545	V (V)	I (A)	P (W)
5.195	0.0143	0.0742885	5.067	0.0441	0.2234547
5.185	0.0155	0.0803675	5.054	0.0453	0.2289462
5.175	0.0167	0.0864225	5.054	0.0465	0.235011
5.166	0.0179	0.0924714	5.057	0.0477	0.2412189
5.164	0.019	0.098116	5.051	0.0489	0.2469939
5.161	0.0202	0.1042522	5.036	0.0501	0.2523036
5.159	0.0214	0.1104026	5.026	0.0513	0.2578338
5.157	0.0226	0.1165482	5.03	0.0525	0.264075
5.154	0.0238	0.1226652	5.035	0.0537	0.2703795
5.147	0.025	0.128675	5.021	0.0548	0.2751508
5.137	0.0262	0.1345894	5.005	0.056	0.28028
5.126	0.0274	0.1404524	5.003	0.0572	0.2861716
			5.005	0.0584	0.292292

5.002	0.0596	0.2981192	4.783	0.1014	0.4849962
4.995	0.0608	0.303696	4.768	0.1026	0.4891968
4.986	0.062	0.309132	4.747	0.1038	0.4927386
4.974	0.0632	0.3143568	4.731	0.105	0.496755
4.969	0.0644	0.3200036	4.722	0.1062	0.5014764
4.974	0.0656	0.3262944	4.726	0.1074	0.5075724
4.97	0.0668	0.331996	4.732	0.1085	0.513422
4.953	0.068	0.336804	4.73	0.1097	0.518881
4.943	0.0692	0.3420556	4.715	0.1109	0.5228935
4.941	0.0704	0.3478464	4.687	0.1121	0.5254127
4.94	0.0716	0.353704	4.665	0.1133	0.5285445
4.942	0.0727	0.3592834	4.651	0.1145	0.5325395
4.933	0.0739	0.3645487	4.65	0.1157	0.538005
4.913	0.0751	0.3689663	4.657	0.1169	0.5444033
4.905	0.0763	0.3742515	4.664	0.1181	0.5508184
4.905	0.0775	0.3801375	4.657	0.1193	0.5555801
4.906	0.0787	0.3861022	4.611	0.1205	0.5556255
4.908	0.0799	0.3921492	4.611	0.1217	0.5611587
4.889	0.0811	0.3964979	4.623	0.1229	0.5681667
4.873	0.0823	0.4010479	4.582	0.1241	0.5686262
4.867	0.0835	0.4063945	4.599	0.1253	0.5762547
4.867	0.0847	0.4122349	4.576	0.1264	0.5784064
4.875	0.0859	0.4187625	4.562	0.1276	0.5821112
4.864	0.0871	0.4236544	4.571	0.1288	0.5887448
V (V)	I (A)	P (W)	4.526	0.13	0.58838
4.847	0.0883	0.4279901	4.554	0.1312	0.5974848
4.829	0.0895	0.4321955	4.511	0.1324	0.5972564
4.822	0.0906	0.4368732	V (V)	I (A)	P (W)
4.828	0.0918	0.4432104	4.512	0.1336	0.6028032
4.831	0.093	0.449283	4.501	0.1348	0.6067348
4.826	0.0942	0.4546092	4.485	0.136	0.60996
4.808	0.0954	0.4586832	4.463	0.1372	0.6123236
4.789	0.0966	0.4626174	4.482	0.1384	0.6203088
4.775	0.0978	0.466995	4.416	0.1396	0.6164736
4.779	0.099	0.473121	4.449	0.1408	0.6264192
4.785	0.1002	0.479457	4.429	0.142	0.628918

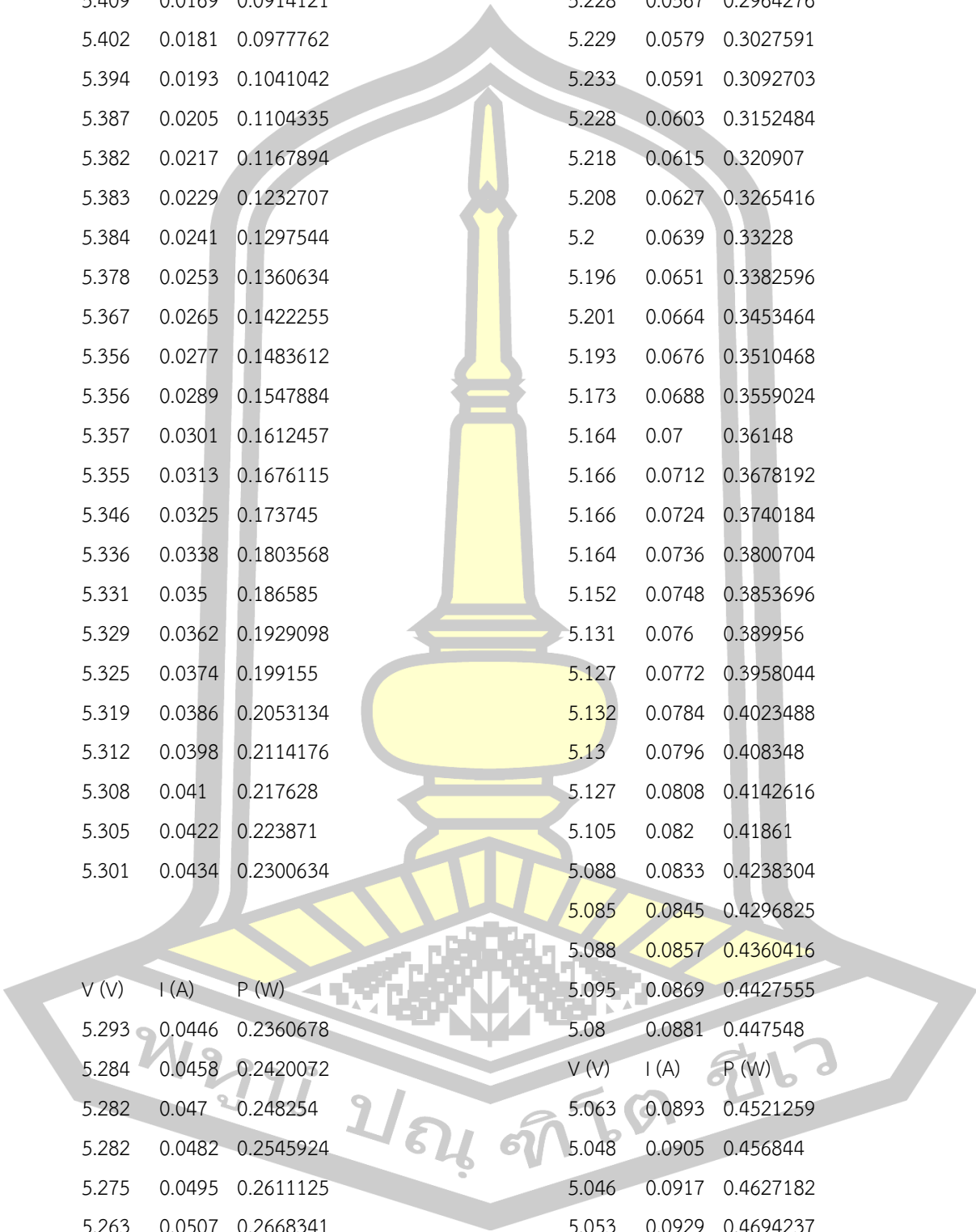
4.395	0.1432	0.629364	4.043	0.1611	0.6513273
4.391	0.1443	0.6336213	3.981	0.1622	0.6457182
4.379	0.1455	0.6371445	3.976	0.1634	0.6496784
4.358	0.1467	0.6393186	3.709	0.1646	0.6105014
4.336	0.1479	0.6412944	4.052	0.1658	0.6718216
4.33	0.1491	0.645603	4.027	0.167	0.672509
4.33	0.1503	0.650799	2.851	0.1682	0.4795382
4.298	0.1515	0.651147	2.731	0.1694	0.4626314
4.273	0.1527	0.6524871	2.785	0.1706	0.475121
4.242	0.1539	0.6528438	1.058	0.1718	0.1817644
4.21	0.1551	0.652971	1.219	0.173	0.210887
4.171	0.1563	0.6519273	1.363	0.1742	0.2374346
4.149	0.1575	0.6534675	0.079	0.1754	0.0138566
4.158	0.1587	0.6598746	0.037	0.1766	0.0065342
4.124	0.1599	0.6594276	0.019	0.1778	0.0033782

## ครั้งที่ 4

Vopen (V)	5.176	5.114	0.0173	0.0884722
Ishort (A)	0.185	5.108	0.0185	0.094498
V (V)	I (A)	5.098	0.0198	0.1009404
	P (W)	5.089	0.021	0.106869
5.172	0	5.086	0.0222	0.1129092
5.17	0.0012	5.087	0.0235	0.1195445
5.168	0.0024	5.088	0.0247	0.1256736
5.167	0.0037	5.078	0.026	0.132028
5.16	0.0049	5.068	0.0272	0.1378496
5.154	0.0061	5.06	0.0284	0.143704
5.148	0.0074	5.059	0.0297	0.1502523
5.14	0.0086	5.059	0.0309	0.1563231
5.132	0.0099	5.053	0.0322	0.1627066
5.124	0.0111	5.046	0.0334	0.1685364
5.124	0.0123	5.04	0.0346	0.174384
5.123	0.0136	5.034	0.0359	0.1807206
5.122	0.0148	5.029	0.0371	0.1865759
5.117	0.0161	5.025	0.0383	0.1924575
		5.02	0.0396	0.198792

5.016	0.0408	0.2046528	4.808	0.0829	0.3985832
5.01	0.0421	0.210921	4.796	0.0842	0.4038232
5.004	0.0433	0.2166732	4.793	0.0854	0.4093222
4.999	0.0445	0.2224555	4.798	0.0867	0.4159866
			4.8	0.0879	0.42192
V (V)	I (A)	P (W)	4.782	0.0891	0.4260762
4.993	0.0458	0.2286794	4.764	0.0904	0.4306656
4.989	0.047	0.234483	V (V)	I (A)	P (W)
4.985	0.0483	0.2407755	4.747	0.0916	0.4348252
4.98	0.0495	0.24651	4.748	0.0929	0.4410892
4.968	0.0507	0.2518776	4.751	0.0941	0.4470691
4.957	0.052	0.257764	4.754	0.0953	0.4530562
4.96	0.0532	0.263872	4.739	0.0966	0.4577874
4.964	0.0545	0.270538	4.722	0.0978	0.4618116
4.951	0.0557	0.2757707	4.701	0.099	0.465399
4.936	0.0569	0.2808584	4.699	0.1003	0.4713097
4.934	0.0582	0.2871588	4.702	0.1015	0.477253
4.938	0.0594	0.2933172	4.71	0.1028	0.484188
4.934	0.0606	0.2990004	4.702	0.104	0.489008
4.921	0.0619	0.3046099	4.686	0.1052	0.4929672
4.912	0.0631	0.3099472	4.662	0.1065	0.496503
4.904	0.0644	0.3158176	4.641	0.1077	0.4998357
4.901	0.0656	0.3215056	4.635	0.109	0.505215
4.904	0.0668	0.3275872	4.637	0.1102	0.5109974
4.896	0.0681	0.3334176	4.644	0.1114	0.5173416
4.877	0.0693	0.3379761	4.646	0.1127	0.5236042
4.869	0.0706	0.3437514	4.634	0.1139	0.5278126
4.873	0.0718	0.3498814	4.612	0.1151	0.5308412
4.872	0.073	0.355656	4.588	0.1164	0.5340432
4.869	0.0743	0.3617667	4.569	0.1176	0.5373144
4.855	0.0755	0.3665525	4.557	0.1189	0.5418273
4.836	0.0767	0.3709212	4.557	0.1201	0.5472957
4.836	0.078	0.377208	4.569	0.1213	0.5542197
4.84	0.0792	0.383328	4.524	0.1226	0.5546424
4.835	0.0805	0.3892175	4.555	0.1238	0.563909
4.828	0.0817	0.3944476	4.518	0.1251	0.5652018

4.513	0.1263	0.5699919	4.121	0.156	0.642876
4.517	0.1275	0.5759175	4.098	0.1573	0.6446154
4.479	0.1288	0.5768952	4.06	0.1585	0.64351
4.499	0.13	0.58487	4.119	0.1597	0.6578043
4.462	0.1312	0.5854144	4.062	0.161	0.653982
4.463	0.1325	0.5913475	4.019	0.1622	0.6518818
4.45	0.1337	0.594965	3.971	0.1635	0.6492585
4.422	0.135	0.59697	3.875	0.1647	0.6382125
4.429	0.1362	0.6032298	3.649	0.1659	0.6053691
4.4	0.1374	0.60456	3.26	0.1672	0.545072
V (V)	I (A)	P (W)	2.795	0.1684	0.470678
4.384	0.1387	0.6080608	1.214	0.1696	0.2058944
4.401	0.1399	0.6156999	1.314	0.1709	0.2245626
4.333	0.1412	0.6118196	1.943	0.1721	0.3343903
4.357	0.1424	0.6204368	0.584	0.1734	0.1012656
4.334	0.1436	0.6223624	0.112	0.1746	0.0195552
4.31	0.1449	0.624519	0.035	0.1758	0.006153
4.306	0.1461	0.6291066	0.03	0.1771	0.005313
4.31	0.1474	0.635294	0.033	0.1783	0.0058839
4.268	0.1486	0.6342248	0.033	0.1796	0.0059268
4.232	0.1498	0.6339536	0.029	0.1808	0.0052432
4.226	0.1511	0.6385486	0.022	0.182	0.004004
4.237	0.1523	0.6452951	0.014	0.1833	0.0025662
4.206	0.1535	0.645621	0.007	0.1845	0.0012915
4.18	0.1548	0.647064			
			5.46	0.0048	0.026208
ครั้งที่ 5			5.452	0.006	0.032712
Vopen (V)	5.493		5.443	0.0072	0.0391896
Ishort (A)	0.181		5.437	0.0084	0.0456708
V (V)	I (A)	P (W)	5.43	0.0096	0.052128
5.475	0	0	5.424	0.0108	0.0585792
5.472	0.0012	0.0065664	5.424	0.012	0.065088
5.47	0.0024	0.013128	5.424	0.0132	0.0715968
5.468	0.0036	0.0196848	5.424	0.0144	0.0781056



5.417	0.0156	0.0845052	5.245	0.0555	0.2910975
5.409	0.0169	0.0914121	5.228	0.0567	0.2964276
5.402	0.0181	0.0977762	5.229	0.0579	0.3027591
5.394	0.0193	0.1041042	5.233	0.0591	0.3092703
5.387	0.0205	0.1104335	5.228	0.0603	0.3152484
5.382	0.0217	0.1167894	5.218	0.0615	0.320907
5.383	0.0229	0.1232707	5.208	0.0627	0.3265416
5.384	0.0241	0.1297544	5.2	0.0639	0.33228
5.378	0.0253	0.1360634	5.196	0.0651	0.3382596
5.367	0.0265	0.1422255	5.201	0.0664	0.3453464
5.356	0.0277	0.1483612	5.193	0.0676	0.3510468
5.356	0.0289	0.1547884	5.173	0.0688	0.3559024
5.357	0.0301	0.1612457	5.164	0.07	0.36148
5.355	0.0313	0.1676115	5.166	0.0712	0.3678192
5.346	0.0325	0.173745	5.166	0.0724	0.3740184
5.336	0.0338	0.1803568	5.164	0.0736	0.3800704
5.331	0.035	0.186585	5.152	0.0748	0.3853696
5.329	0.0362	0.1929098	5.131	0.076	0.389956
5.325	0.0374	0.199155	5.127	0.0772	0.3958044
5.319	0.0386	0.2053134	5.132	0.0784	0.4023488
5.312	0.0398	0.2114176	5.13	0.0796	0.408348
5.308	0.041	0.217628	5.127	0.0808	0.4142616
5.305	0.0422	0.223871	5.105	0.082	0.41861
5.301	0.0434	0.2300634	5.088	0.0833	0.4238304
			5.085	0.0845	0.4296825
			5.088	0.0857	0.4360416
			5.095	0.0869	0.4427555
			5.08	0.0881	0.447548
V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5.293	0.0446	0.2360678	5.063	0.0893	0.4521259
5.284	0.0458	0.2420072	5.048	0.0905	0.456844
5.282	0.047	0.248254	5.046	0.0917	0.4627182
5.282	0.0482	0.2545924	5.053	0.0929	0.4694237
5.275	0.0495	0.2611125	5.052	0.0941	0.4753932
5.263	0.0507	0.2668341	5.043	0.0953	0.4805979
5.255	0.0519	0.2727345	5.021	0.0965	0.4845265
5.258	0.0531	0.2791998			
5.262	0.0543	0.2857266			

5.005	0.0977	0.4889885	4.649	0.1388	0.6452812
4.998	0.099	0.494802	4.624	0.14	0.64736
5.003	0.1002	0.5013006	4.612	0.1412	0.6512144
5.008	0.1014	0.5078112	4.591	0.1424	0.6537584
5.004	0.1026	0.5134104	4.603	0.1436	0.6609908
4.991	0.1038	0.5180658	4.53	0.1448	0.655944
4.967	0.105	0.521535	4.539	0.146	0.662694
4.947	0.1062	0.5253714	4.562	0.1472	0.6715264
4.933	0.1074	0.5298042	4.512	0.1485	0.670032
4.935	0.1086	0.535941	4.455	0.1497	0.6669135
4.944	0.1098	0.5428512	4.449	0.1509	0.6713541
4.944	0.111	0.548784	4.451	0.1521	0.6769971
4.933	0.1122	0.5534826	4.443	0.1533	0.6811119
4.913	0.1134	0.5571342	4.398	0.1545	0.679491
4.885	0.1146	0.559821	4.345	0.1557	0.6765165
4.862	0.1159	0.5635058	4.345	0.1569	0.6817305
4.854	0.1171	0.5684034	4.331	0.1581	0.6847311
4.858	0.1183	0.5747014	4.297	0.1593	0.6845121
4.867	0.1195	0.5816065	4.248	0.1605	0.681804
4.862	0.1207	0.5868434	4.224	0.1617	0.6830208
4.808	0.1219	0.5860952	4.276	0.1629	0.6965604
4.837	0.1231	0.5954347	4.11	0.1641	0.674451
4.813	0.1243	0.5982559	4.075	0.1654	0.674005
4.784	0.1255	0.600392	3.785	0.1666	0.630581
4.809	0.1267	0.6093003	3.702	0.1678	0.6211956
4.757	0.1279	0.6084203	3.498	0.169	0.591162
4.771	0.1291	0.6159361	3.681	0.1702	0.6265062
4.749	0.1303	0.6187947	3.031	0.1714	0.5195134
4.723	0.1315	0.6210745	1.807	0.1726	0.3118882
4.752	0.1328	0.6310656	1.997	0.1738	0.3470786
4.676	0.134	0.626584	1.395	0.175	0.244125
V (V)	I (A)	P (W)	0.154	0.1762	0.0271348
4.715	0.1352	0.637468	0.059	0.1774	0.0104666
4.661	0.1364	0.6357604	0.037	0.1786	0.0066082
4.662	0.1376	0.6414912	0.024	0.1798	0.0043152

ตาราง 3 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่  
ความเข้มสนามแม่เหล็ก 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความเข้ม  
สนามแม่เหล็กที่ใส่ 60 มิลลิเทสลา

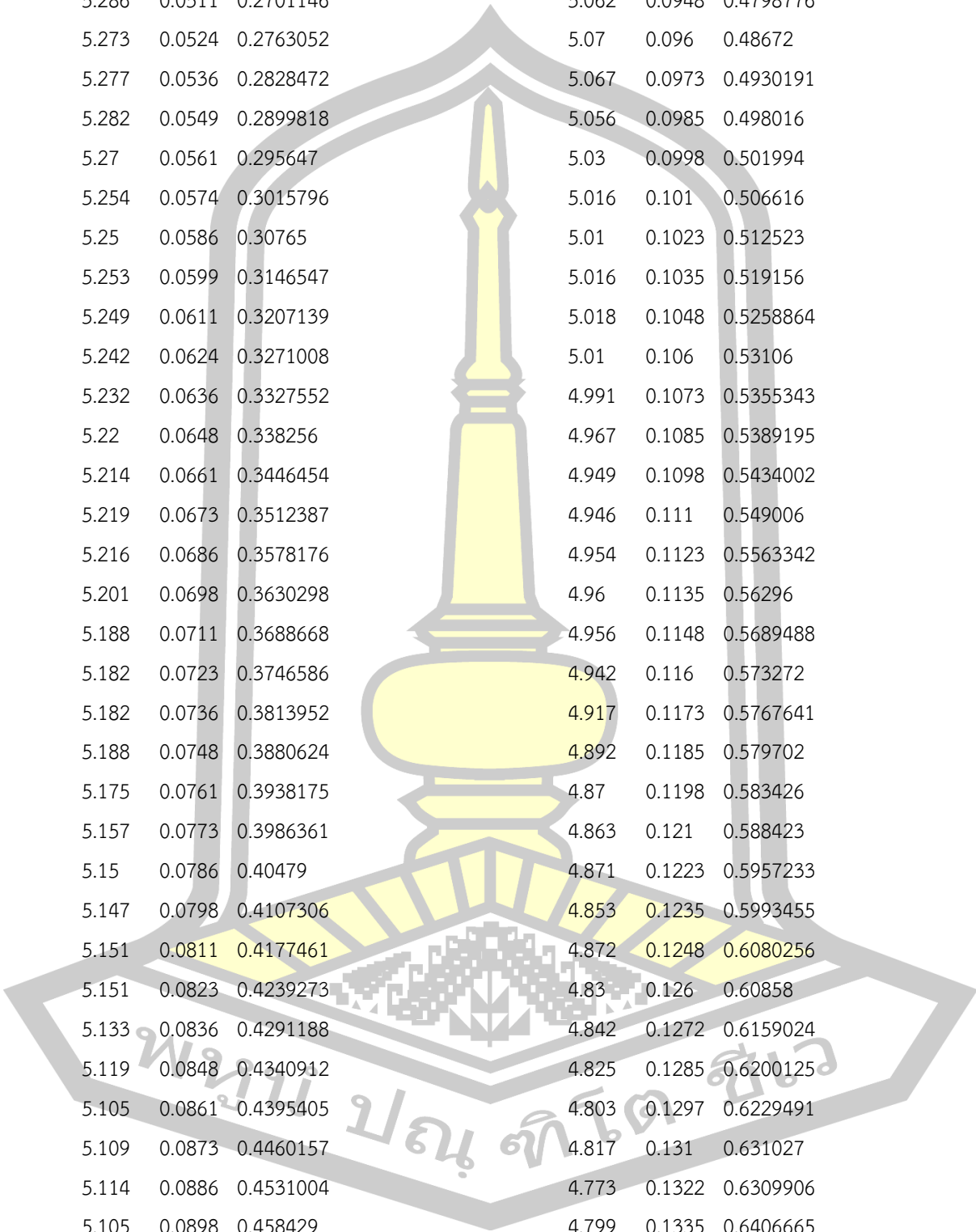
ครั้งที่ 1

Vopen (V)	5.295	Ishort (A)	0.182	5.145	0.034	0.17493
V (V)	I (A)	P (W)		5.14	0.0352	0.180928
5.263	0	0		5.13	0.0365	0.187245
5.261	0.0012	0.0063132		5.122	0.0377	0.1930994
5.259	0.0024	0.0126216		5.119	0.0389	0.1991291
5.257	0.0036	0.0189252		5.116	0.0401	0.2051516
5.255	0.0048	0.025224		5.111	0.0413	0.2110843
5.253	0.006	0.031518				
5.251	0.0073	0.0383323		V (V)	I (A)	P (W)
5.244	0.0085	0.044574		5.106	0.0425	0.217005
5.236	0.0097	0.0507892		5.1	0.0438	0.22338
5.229	0.0109	0.0569961		5.097	0.045	0.229365
5.221	0.0121	0.0631741		5.093	0.0462	0.2352966
5.212	0.0133	0.0693196		5.087	0.0474	0.2411238
5.203	0.0146	0.0759638		5.081	0.0486	0.2469366
5.204	0.0158	0.0822232		5.076	0.0498	0.2527848
5.205	0.017	0.088485		5.075	0.0511	0.2593325
5.205	0.0182	0.094731		5.072	0.0523	0.2652656
5.201	0.0194	0.1008994		5.06	0.0535	0.27071
5.196	0.0206	0.1070376		5.048	0.0547	0.2761256
5.189	0.0219	0.1136391		5.05	0.0559	0.282295
5.18	0.0231	0.119658		5.055	0.0571	0.2886405
5.17	0.0243	0.125631		5.048	0.0584	0.2948032
5.168	0.0255	0.131784		5.034	0.0596	0.3000264
5.17	0.0267	0.138039		5.027	0.0608	0.3056416
5.172	0.0279	0.1442988		5.029	0.062	0.311798
5.163	0.0292	0.1507596		5.028	0.0632	0.3177696
5.152	0.0304	0.1566208		5.022	0.0644	0.3234168
5.145	0.0316	0.162582		5.015	0.0657	0.3294855
5.145	0.0328	0.168756		5.004	0.0669	0.3347676



4.997	0.0681	0.3402957	4.745	0.1107	0.5252715
5.001	0.0693	0.3465693	4.74	0.1119	0.530406
5	0.0705	0.3525	4.745	0.1131	0.5366595
4.986	0.0717	0.3574962	4.749	0.1143	0.5428107
4.973	0.073	0.363029	4.745	0.1155	0.5480475
4.967	0.0742	0.3685514	4.731	0.1168	0.5525808
4.965	0.0754	0.374361	4.708	0.118	0.555544
4.969	0.0766	0.3806254	4.683	0.1192	0.5582136
4.962	0.0778	0.3860436	4.665	0.1204	0.561666
4.945	0.079	0.390655	4.662	0.1216	0.5668992
4.936	0.0803	0.3963608	4.665	0.1228	0.572862
4.933	0.0815	0.4020395	4.672	0.1241	0.5797952
4.938	0.0827	0.4083726	4.64	0.1253	0.581392
4.942	0.0839	0.4146338	4.64	0.1265	0.58696
V (V)	I (A)	P (W)	4.636	0.1277	0.5920172
4.925	0.0851	0.4191175	4.607	0.1289	0.5938423
4.91	0.0863	0.423733	4.611	0.1301	0.5998911
4.897	0.0876	0.4289772	4.592	0.1314	0.6033888
4.898	0.0888	0.4349424	4.581	0.1326	0.6074406
4.906	0.09	0.44154	V (V)	I (A)	P (W)
4.898	0.0912	0.4466976	4.574	0.1338	0.6120012
4.887	0.0924	0.4515588	4.557	0.135	0.615195
4.866	0.0936	0.4554576	4.559	0.1362	0.6209358
4.853	0.0949	0.4605497	4.521	0.1374	0.6211854
4.848	0.0961	0.4658928	4.547	0.1387	0.6306689
4.855	0.0973	0.4723915	4.498	0.1399	0.6292702
4.853	0.0985	0.4780205	4.503	0.1411	0.6353733
4.843	0.0997	0.4828471	4.491	0.1423	0.6390693
4.818	0.1009	0.4861362	4.46	0.1435	0.64001
4.801	0.1022	0.4906622	4.458	0.1447	0.6450726
4.795	0.1034	0.495803	4.435	0.146	0.64751
4.803	0.1046	0.5023938	4.426	0.1472	0.6515072
4.807	0.1058	0.5085806	4.407	0.1484	0.6539988
4.803	0.107	0.513921	4.388	0.1496	0.6564448
4.786	0.1082	0.5178452	4.384	0.1508	0.6611072
4.759	0.1095	0.5211105	4.373	0.152	0.664696

4.346	0.1533	0.6662418	5.446	0.0099	0.0539154
4.311	0.1545	0.6660495	5.44	0.0112	0.060928
4.312	0.1557	0.6713784	5.44	0.0124	0.067456
4.3	0.1569	0.67467	5.44	0.0137	0.074528
4.266	0.1581	0.6744546	5.439	0.0149	0.0810411
4.232	0.1593	0.6741576	5.432	0.0162	0.0879984
4.212	0.1606	0.6764472	5.425	0.0174	0.094395
4.193	0.1618	0.6784274	5.418	0.0187	0.1013166
4.166	0.163	0.679058	5.411	0.0199	0.1076789
4.106	0.1642	0.6742052	5.403	0.0212	0.1145436
4.075	0.1654	0.674005	5.401	0.0224	0.1209824
4.084	0.1666	0.6803944	5.402	0.0237	0.1280274
4.058	0.1679	0.6813382	5.404	0.0249	0.1345596
4.045	0.1691	0.6840095	5.392	0.0262	0.1412704
4.082	0.1703	0.6951646	5.381	0.0274	0.1474394
3.507	0.1715	0.6014505	5.374	0.0287	0.1542338
3.382	0.1727	0.5840714	5.375	0.0299	0.1607125
3.941	0.1739	0.6853399	5.376	0.0312	0.1677312
1.698	0.1752	0.2974896	5.369	0.0324	0.1739556
2.047	0.1764	0.3610908	5.36	0.0336	0.180096
1.262	0.1776	0.2241312	5.351	0.0349	0.1867499
0.043	0.1788	0.0076884	5.35	0.0361	0.193135
0.02	0.18	0.0036	5.349	0.0374	0.2000526
0.013	0.1812	0.0023556	5.343	0.0386	0.2062398
ครั้งที่ 2			5.334	0.0399	0.2128266
Vopen (V)	5.209		5.328	0.0411	0.2189808
Ishort (A)	0.177		5.327	0.0424	0.2258648
V (V)	I (A)	P (W)	5.326	0.0436	0.2322136
5.489	0	0	5.316	0.0449	0.2386884
5.487	0.0012	0.0065844			
5.485	0.0024	0.013164			
5.484	0.0037	0.0202908			
5.476	0.0049	0.0268324	V (V)	I (A)	P (W)
5.467	0.0062	0.0338954	5.306	0.0461	0.2446066
5.459	0.0074	0.0403966	5.302	0.0474	0.2513148
5.452	0.0087	0.0474324	5.304	0.0486	0.2577744



5.3	0.0499	0.26447	5.062	0.0936	0.4738032
5.286	0.0511	0.2701146	5.062	0.0948	0.4798776
5.273	0.0524	0.2763052	5.07	0.096	0.48672
5.277	0.0536	0.2828472	5.067	0.0973	0.4930191
5.282	0.0549	0.2899818	5.056	0.0985	0.498016
5.27	0.0561	0.295647	5.03	0.0998	0.501994
5.254	0.0574	0.3015796	5.016	0.101	0.506616
5.25	0.0586	0.30765	5.01	0.1023	0.512523
5.253	0.0599	0.3146547	5.016	0.1035	0.519156
5.249	0.0611	0.3207139	5.018	0.1048	0.5258864
5.242	0.0624	0.3271008	5.01	0.106	0.53106
5.232	0.0636	0.3327552	4.991	0.1073	0.5355343
5.22	0.0648	0.338256	4.967	0.1085	0.5389195
5.214	0.0661	0.3446454	4.949	0.1098	0.5434002
5.219	0.0673	0.3512387	4.946	0.111	0.549006
5.216	0.0686	0.3578176	4.954	0.1123	0.5563342
5.201	0.0698	0.3630298	4.96	0.1135	0.56296
5.188	0.0711	0.3688668	4.956	0.1148	0.5689488
5.182	0.0723	0.3746586	4.942	0.116	0.573272
5.182	0.0736	0.3813952	4.917	0.1173	0.5767641
5.188	0.0748	0.3880624	4.892	0.1185	0.579702
5.175	0.0761	0.3938175	4.87	0.1198	0.583426
5.157	0.0773	0.3986361	4.863	0.121	0.588423
5.15	0.0786	0.40479	4.871	0.1223	0.5957233
5.147	0.0798	0.4107306	4.853	0.1235	0.5993455
5.151	0.0811	0.4177461	4.872	0.1248	0.6080256
5.151	0.0823	0.4239273	4.83	0.126	0.60858
5.133	0.0836	0.4291188	4.842	0.1272	0.6159024
5.119	0.0848	0.4340912	4.825	0.1285	0.6200125
5.105	0.0861	0.4395405	4.803	0.1297	0.6229491
5.109	0.0873	0.4460157	4.817	0.131	0.631027
5.114	0.0886	0.4531004	4.773	0.1322	0.6309906
5.105	0.0898	0.458429	4.799	0.1335	0.6406665
5.089	0.0911	0.4636079	4.747	0.1347	0.6394209
V (V)	I (A)	P (W)	4.771	0.136	0.648856
5.07	0.0923	0.467961	4.732	0.1372	0.6492304

4.729	0.1385	0.6549665	4.117	0.1622	0.6677774
			3.983	0.1634	0.6508222
			4.232	0.1647	0.6970104
V (V)	I (A)	P (W)	4.34	0.1659	0.720006
4.705	0.1397	0.6572885	4.115	0.1672	0.688028
4.715	0.141	0.664815	4.018	0.1684	0.6766312
4.646	0.1422	0.6606612	4.086	0.1697	0.6933942
4.672	0.1435	0.670432	2.242	0.1709	0.3831578
4.665	0.1447	0.6750255	0.988	0.1722	0.1701336
4.599	0.146	0.671454	2.192	0.1734	0.3800928
4.624	0.1472	0.6806528	0.846	0.1747	0.1477962
4.639	0.1485	0.6888915	0.115	0.1759	0.0202285
4.569	0.1497	0.6839793	0.049	0.1772	0.0086828
4.534	0.151	0.684634	0.036	0.1784	0.0064224
4.564	0.1522	0.6946408	0.037	0.1797	0.0066489
4.571	0.1535	0.7016485	0.037	0.1809	0.0066933
4.532	0.1547	0.7011004	0.033	0.1822	0.0060126
4.487	0.156	0.699972	0.025	0.1834	0.004585
4.453	0.1572	0.7000116	0.016	0.1847	0.0029552
4.468	0.1584	0.7077312	0.008	0.1859	0.0014872
4.478	0.1597	0.7151366			
4.458	0.1609	0.7172922			
ครั้งที่ 3			5.376	0.0123	0.0661248
Vopen (V)		5.426	5.367	0.0136	0.0729912
Ishort (A)		0.185	5.36	0.0148	0.079328
V (V)	I (A)	P (W)	5.36	0.016	0.08576
5.416	0	0	5.36	0.0173	0.092728
5.413	0.0012	0.0064956	5.358	0.0185	0.099123
5.41	0.0024	0.012984	5.354	0.0197	0.1054738
5.408	0.0037	0.0200096	5.35	0.021	0.11235
5.406	0.0049	0.0264894	5.343	0.0222	0.1186146
5.404	0.0061	0.0329644	5.333	0.0235	0.1253255
5.403	0.0074	0.0399822	5.323	0.0247	0.1314781
5.396	0.0086	0.0464056	5.323	0.0259	0.1378657
5.39	0.0098	0.052822	5.326	0.0272	0.1448672
5.384	0.0111	0.0597624	5.326	0.0284	0.1512584

5.315	0.0296	0.157324	5.145	0.0705	0.3627225
5.303	0.0309	0.1638627	5.134	0.0717	0.3681078
5.299	0.0321	0.1700979	5.122	0.073	0.373906
5.299	0.0334	0.1769866	5.11	0.0742	0.379162
5.299	0.0346	0.1833454	5.101	0.0754	0.3846154
5.29	0.0358	0.189382	5.109	0.0767	0.3918603
5.28	0.0371	0.195888	5.107	0.0779	0.3978353
5.275	0.0383	0.2020325	5.093	0.0791	0.4028563
5.273	0.0395	0.2082835	5.079	0.0804	0.4083516
5.27	0.0408	0.215016	5.067	0.0816	0.4134672
5.261	0.042	0.220962	5.07	0.0829	0.420303
5.252	0.0433	0.2274116	5.077	0.0841	0.4269757
5.249	0.0445	0.2335805	5.068	0.0853	0.4323004
			5.055	0.0866	0.437763
			5.035	0.0878	0.442073
V (V)	I (A)	P (W)	5.028	0.089	0.447492
5.248	0.0457	0.2398336	5.032	0.0903	0.4543896
5.244	0.047	0.246468	V (V)	I (A)	P (W)
5.234	0.0482	0.2522788	5.033	0.0915	0.4605195
5.223	0.0494	0.2580162	5.027	0.0928	0.4665056
5.225	0.0507	0.2649075	5.009	0.094	0.470846
5.228	0.0519	0.2713332	4.992	0.0952	0.4752384
5.218	0.0532	0.2775976	4.978	0.0965	0.480377
5.203	0.0544	0.2830432	4.982	0.0977	0.4867414
5.198	0.0556	0.2890088	4.985	0.0989	0.4930165
5.203	0.0569	0.2960507	4.984	0.1002	0.4993968
5.201	0.0581	0.3021781	4.964	0.1014	0.5033496
5.188	0.0593	0.3076484	4.944	0.1026	0.5072544
5.175	0.0606	0.313605	4.928	0.1039	0.5120192
5.173	0.0618	0.3196914	4.922	0.1051	0.5173022
5.17	0.0631	0.326227	4.931	0.1064	0.5246584
5.167	0.0643	0.3322381	4.935	0.1076	0.531006
5.164	0.0655	0.338242	4.931	0.1088	0.5364928
5.148	0.0668	0.3438864	4.905	0.1101	0.5400405
5.134	0.068	0.349112	4.88	0.1113	0.543144
5.14	0.0692	0.355688	4.865	0.1125	0.5473125

4.86	0.1138	0.553068	4.524	0.1497	0.6772428
4.863	0.115	0.559245	4.465	0.1509	0.6737685
4.87	0.1163	0.566381	4.484	0.1521	0.6820164
4.871	0.1175	0.5723425	4.48	0.1534	0.687232
4.861	0.1187	0.5770007	4.469	0.1546	0.6909074
4.834	0.12	0.58008	4.413	0.1559	0.6879867
4.806	0.1212	0.5824872	4.395	0.1571	0.6904545
4.793	0.1224	0.5866632	4.406	0.1583	0.6974698
4.82	0.1237	0.596234	4.392	0.1596	0.7009632
4.772	0.1249	0.5960228	4.371	0.1608	0.7028568
4.781	0.1262	0.6033622	4.333	0.162	0.701946
4.778	0.1274	0.6087172	4.288	0.1633	0.7002304
4.732	0.1286	0.6085352	4.246	0.1645	0.698467
4.77	0.1299	0.619623	4.215	0.1658	0.698847
4.713	0.1311	0.6178743	4.161	0.167	0.694887
4.721	0.1323	0.6245883	4.107	0.1682	0.6907974
4.72	0.1336	0.630592	4.15	0.1695	0.703425
4.679	0.1348	0.6307292	2.704	0.1707	0.4615728
4.697	0.1361	0.6392617	1.023	0.1719	0.1758537
4.665	0.1373	0.6405045	2.449	0.1732	0.4241668
V (V)	I (A)	P (W)	1.835	0.1744	0.320024
4.658	0.1385	0.645133	1.175	0.1757	0.2064475
4.657	0.1398	0.6510486	0.786	0.1769	0.1390434
4.621	0.141	0.651561	0.063	0.1781	0.0112203
4.62	0.1422	0.656964	0.036	0.1794	0.0064584
4.595	0.1435	0.6593825	0.037	0.1806	0.0066822
4.598	0.1447	0.6653306	0.034	0.1818	0.0061812
4.548	0.146	0.664008	0.022	0.1831	0.0040282
4.547	0.1472	0.6693184	0.011	0.1843	0.0020273
4.563	0.1484	0.6771492			

ครั้งที่ 4

Vopen (V)

5.297

Ishort (A)

0.179

V (V)

5.292

0

0

5.291

0.0011

0.0058201

5.291

0.0023

0.0121693

			V (V)	I (A)	P (W)
5.291	0.0035	0.0185185	5.122	0.0442	0.2263924
5.285	0.0047	0.0248395	5.112	0.0454	0.2320848
5.278	0.0059	0.0311402	5.114	0.0466	0.2383124
5.272	0.0071	0.0374312	5.117	0.0478	0.2445926
5.264	0.0083	0.0436912	5.105	0.049	0.250145
5.257	0.0095	0.0499415	5.091	0.0502	0.2555682
5.249	0.0107	0.0561643	5.086	0.0514	0.2614204
5.249	0.0119	0.0624631	5.09	0.0526	0.267734
5.25	0.0131	0.068775	5.089	0.0538	0.2737882
5.25	0.0143	0.075075	5.074	0.055	0.27907
5.242	0.0155	0.081251	5.063	0.0562	0.2845406
5.234	0.0167	0.0874078	5.064	0.0574	0.2906736
5.227	0.0179	0.0935633	5.066	0.0586	0.2968676
5.222	0.0191	0.0997402	5.058	0.0598	0.3024684
5.216	0.0203	0.1058848	5.051	0.061	0.308111
5.214	0.0215	0.112101	5.04	0.0622	0.313488
5.214	0.0227	0.1183578	5.028	0.0634	0.3187752
5.214	0.0239	0.1246146	5.03	0.0646	0.324938
5.206	0.0251	0.1306706	5.036	0.0658	0.3313688
5.194	0.0263	0.1366022	5.022	0.067	0.336474
5.184	0.0275	0.14256	5.005	0.0682	0.341341
5.186	0.0287	0.1488382	4.999	0.0694	0.3469306
5.188	0.0299	0.1551212	4.996	0.0706	0.3527176
5.184	0.0311	0.1612224	4.998	0.0718	0.3588564
5.173	0.0323	0.1670879	5.001	0.0729	0.3645729
5.162	0.0335	0.172927	4.984	0.0741	0.3693144
5.162	0.0347	0.1791214	4.965	0.0753	0.3738645
5.162	0.0359	0.1853158	4.963	0.0765	0.3796695
5.159	0.037	0.190883	4.961	0.0777	0.3854697
5.149	0.0382	0.1966918	4.965	0.0789	0.3917385
5.138	0.0394	0.2024372	4.957	0.0801	0.3970557
5.138	0.0406	0.2086028	4.939	0.0813	0.4015407
5.139	0.0418	0.2148102	4.927	0.0825	0.4064775
5.134	0.043	0.220762	4.918	0.0837	0.4116366
			4.926	0.0849	0.4182174

4.928	0.0861	0.4243008	4.607	0.128	0.589696
4.917	0.0873	0.4292541	4.592	0.1292	0.5932864
V (V)	I (A)	P (W)	4.593	0.1304	0.5989272
4.898	0.0885	0.433473	4.544	0.1316	0.5979904
4.877	0.0897	0.4374669	4.581	0.1328	0.6083568
4.877	0.0909	0.4433193	V (V)	I (A)	P (W)
4.88	0.0921	0.449448	4.514	0.134	0.604876
4.887	0.0933	0.4559571	4.538	0.1352	0.6135376
4.875	0.0945	0.4606875	4.507	0.1364	0.6147548
4.856	0.0957	0.4647192	4.493	0.1376	0.6182368
4.831	0.0969	0.4681239	4.495	0.1388	0.623906
4.825	0.0981	0.4733325	4.468	0.14	0.62552
4.829	0.0993	0.4795197	4.466	0.1412	0.6305992
4.838	0.1005	0.486219	4.413	0.1424	0.6284112
4.835	0.1017	0.4917195	4.431	0.1436	0.6362916
4.82	0.1029	0.495978	4.43	0.1447	0.641021
4.798	0.1041	0.4994718	4.372	0.1459	0.6378748
4.776	0.1053	0.5029128	4.357	0.1471	0.6409147
4.766	0.1065	0.507579	4.365	0.1483	0.6473295
4.768	0.1077	0.5135136	4.366	0.1495	0.652717
4.775	0.1088	0.51952	4.328	0.1507	0.6522296
4.78	0.11	0.5258	4.304	0.1519	0.6537776
4.766	0.1112	0.5299792	4.279	0.1531	0.6551149
4.743	0.1124	0.5331132	4.262	0.1543	0.6576266
4.719	0.1136	0.5360784	4.252	0.1555	0.661186
4.7	0.1148	0.53956	4.239	0.1567	0.6642513
4.69	0.116	0.54404	4.196	0.1579	0.6625484
4.693	0.1172	0.5500196	4.149	0.1591	0.6601059
4.7	0.1184	0.55648	4.15	0.1603	0.665245
4.665	0.1196	0.557934	4.094	0.1615	0.661181
4.679	0.1208	0.5652232	3.981	0.1627	0.6477087
4.668	0.122	0.569496	3.588	0.1639	0.5880732
4.644	0.1232	0.5721408	3.226	0.1651	0.5326126
4.647	0.1244	0.5780868	3.008	0.1663	0.5002304
4.625	0.1256	0.5809	3.06	0.1675	0.51255
4.616	0.1268	0.5853088	1.367	0.1687	0.2306129



1.367	0.1699	0.2322533	0.036	0.1747	0.0062892
0.327	0.1711	0.0559497	0.037	0.1759	0.0065083
0.151	0.1723	0.0260173	0.026	0.1771	0.0046046
0.036	0.1735	0.006246	0.013	0.1783	0.0023179

ครั้งที่ 5

Vopen (V)	5.912	5.77	0.032	0.18464	
Ishort (A)	0.192	5.765	0.0332	0.191398	
V (V)	I (A)	P (W)	5.753	0.0345	0.1984785
5.88	0	0	5.741	0.0358	0.2055278
5.87	0.0012	0.007044	5.742	0.0371	0.2130282
5.86	0.0025	0.01465	5.744	0.0384	0.2205696
5.85	0.0038	0.02223	5.741	0.0396	0.2273436
5.845	0.0051	0.0298095	5.728	0.0409	0.2342752
5.84	0.0064	0.037376	5.715	0.0422	0.241173
5.836	0.0076	0.0443536	5.718	0.0435	0.248733
5.835	0.0089	0.0519315	5.722	0.0448	0.2563456
5.834	0.0102	0.0595068	5.716	0.046	0.262936
5.833	0.0115	0.0670795			
5.828	0.0128	0.0745984	V (V)	I (A)	P (W)
5.823	0.014	0.081522	5.703	0.0473	0.2697519
5.818	0.0153	0.0890154	5.692	0.0486	0.2766312
5.807	0.0166	0.0963962	5.696	0.0499	0.2842304
5.797	0.0179	0.1037663	5.699	0.0512	0.2917888
5.789	0.0192	0.1111488	5.689	0.0524	0.2981036
5.789	0.0204	0.1180956	5.677	0.0537	0.3048549
5.788	0.0217	0.1255996	5.672	0.055	0.31196
5.786	0.023	0.133078	5.671	0.0563	0.3192773
5.784	0.0243	0.1405512	5.669	0.0576	0.3265344
5.782	0.0256	0.1480192	5.664	0.0588	0.3330432
5.778	0.0268	0.1548504	5.658	0.0601	0.3400458
5.772	0.0281	0.1621932	5.646	0.0614	0.3466644
5.767	0.0294	0.1695498	5.635	0.0627	0.3533145
5.768	0.0307	0.1770776	5.639	0.064	0.360896
			5.643	0.0652	0.3679236

5.627	0.0665	0.3741955	5.398	0.1113	0.6007974
5.61	0.0678	0.380358	5.406	0.1126	0.6087156
5.609	0.0691	0.3875819	5.399	0.1139	0.6149461
5.609	0.0704	0.3948736	5.383	0.1152	0.6201216
5.609	0.0716	0.4016044	5.363	0.1164	0.6242532
5.609	0.0729	0.4088961	5.34	0.1177	0.628518
5.593	0.0742	0.4150006	5.326	0.119	0.633794
5.575	0.0755	0.4209125	5.322	0.1203	0.6402366
5.574	0.0768	0.4280832	5.326	0.1216	0.6476416
5.574	0.078	0.434772	5.33	0.1228	0.654524
5.574	0.0793	0.4420182	5.331	0.1241	0.6615771
5.57	0.0806	0.448942	5.33	0.1254	0.668382
5.552	0.0819	0.4547088	5.315	0.1267	0.6734105
5.541	0.0832	0.4610112	5.279	0.128	0.675712
5.54	0.0844	0.467576	5.266	0.1292	0.6803672
5.541	0.0857	0.4748637	5.276	0.1305	0.688518
5.543	0.087	0.482241	5.241	0.1318	0.6907638
5.53	0.0883	0.488299	5.249	0.1331	0.6986419
5.514	0.0896	0.4940544	5.234	0.1344	0.7034496
5.502	0.0908	0.4995816	5.223	0.1356	0.7082388
5.497	0.0921	0.5062737	5.22	0.1369	0.714618
5.503	0.0934	0.5139802	5.192	0.1382	0.7175344
V (V)	I (A)	P (W)	5.203	0.1395	0.7258185
5.504	0.0947	0.5212288	5.145	0.1408	0.724416
5.498	0.096	0.527808	5.192	0.142	0.737264
5.478	0.0972	0.5324616	V (V)	I (A)	P (W)
5.461	0.0985	0.5379085	5.134	0.1433	0.7357022
5.449	0.0998	0.5438102	5.147	0.1446	0.7442562
5.456	0.1011	0.5516016	5.136	0.1459	0.7493424
5.461	0.1024	0.5592064	5.101	0.1472	0.7508672
5.463	0.1036	0.5659668	5.12	0.1484	0.759808
5.449	0.1049	0.5716001	5.091	0.1497	0.7621227
5.43	0.1062	0.576666	5.069	0.151	0.765419
5.408	0.1075	0.58136	5.087	0.1523	0.7747501
5.395	0.1088	0.586976	5.058	0.1536	0.7769088
5.394	0.11	0.59334	5.022	0.1548	0.7774056

5.029	0.1561	0.7850269	4.818	0.174	0.838332
5.036	0.1574	0.7926664	4.759	0.1753	0.8342527
4.987	0.1587	0.7914369	4.699	0.1766	0.8298434
4.949	0.16	0.79184	4.609	0.1779	0.8199411
4.949	0.1612	0.7977788	4.59	0.1792	0.822528
4.968	0.1625	0.8073	4.627	0.1804	0.8347108
4.951	0.1638	0.8109738	4.638	0.1817	0.8427246
4.91	0.1651	0.810641	4.476	0.183	0.819108
4.88	0.1664	0.812032	4.557	0.1843	0.8398551
4.878	0.1676	0.8175528	4.492	0.1856	0.8337152
4.866	0.1689	0.8218674	4.292	0.1868	0.8017456
4.861	0.1702	0.8273422	4.256	0.1881	0.8005536
4.851	0.1715	0.8319465	2.827	0.1894	0.5354338
4.814	0.1728	0.8318592	1.413	0.1907	0.2694591

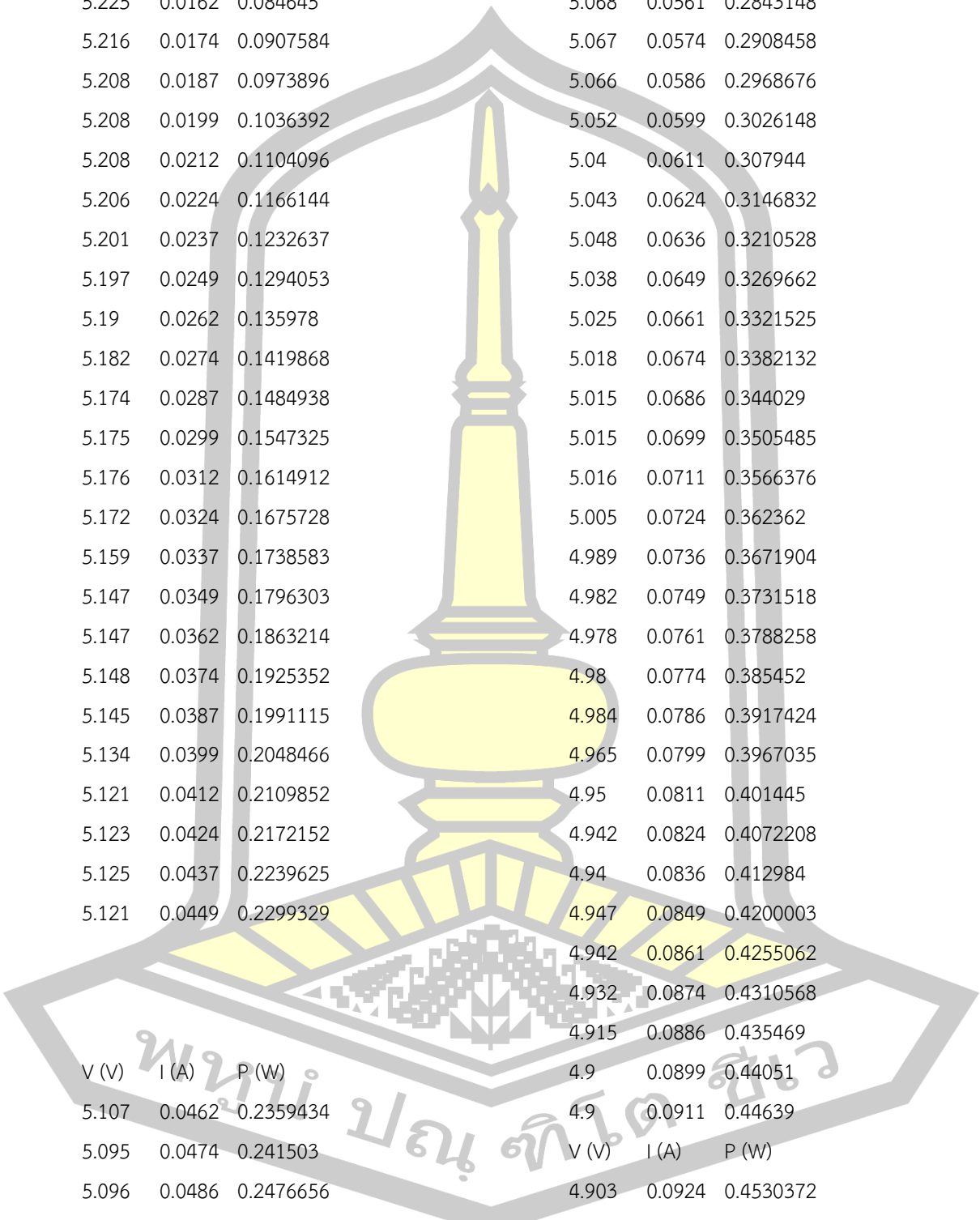
ตาราง 4 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่ ความเข้มสนามแม่เหล็ก 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามแม่เหล็กทิศเหนือ 160 มิลลิเทสลา

#### ครั้งที่ 1

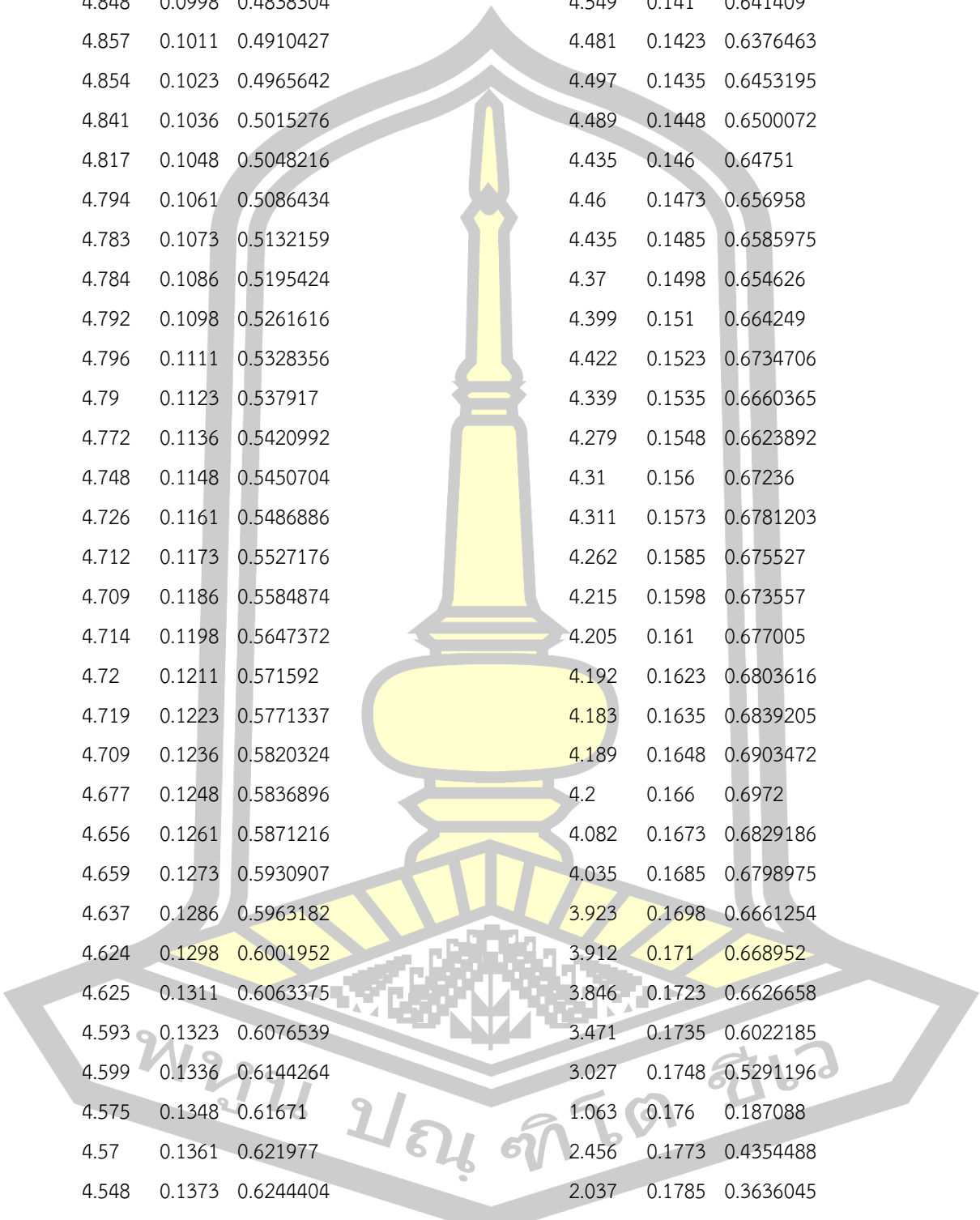
Vopen (V)	5.807	Ishort (A)	0.186	5.718	0.0149	0.0851982
V (V)	I (A)	P (W)	5.708	0.0161	0.0918988	
5.78	0	0	5.697	0.0174	0.0991278	
5.774	0.0012	0.0069288	5.69	0.0186	0.105834	
5.769	0.0024	0.0138456	5.692	0.0199	0.1132708	
5.764	0.0037	0.0213268	5.694	0.0211	0.1201434	
5.755	0.0049	0.0281995	5.69	0.0224	0.127456	
5.746	0.0062	0.0356252	5.683	0.0236	0.1341188	
5.737	0.0074	0.0424538	5.676	0.0248	0.1407648	
5.735	0.0087	0.0498945	5.67	0.0261	0.147987	
5.733	0.0099	0.0567567	5.665	0.0273	0.1546545	
5.732	0.0112	0.0641984	5.659	0.0286	0.1618474	
5.727	0.0124	0.0710148	5.656	0.0298	0.1685488	
5.723	0.0136	0.0778328	5.652	0.0311	0.1757772	

5.646	0.0323	0.1823658	5.449	0.0746	0.4064954
5.638	0.0336	0.1894368	5.444	0.0759	0.4131996
5.631	0.0348	0.1959588	5.449	0.0771	0.4201179
5.629	0.036	0.202644	5.448	0.0784	0.4271232
5.627	0.0373	0.2098871	5.432	0.0796	0.4323872
5.622	0.0385	0.216447	5.418	0.0809	0.4383162
5.612	0.0398	0.2233576	5.406	0.0821	0.4438326
5.604	0.041	0.229764	5.41	0.0833	0.450653
5.603	0.0423	0.2370069	5.42	0.0846	0.458532
			5.41	0.0858	0.464178
V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5.602	0.0435	0.243687	5.397	0.0871	0.4700787
5.595	0.0448	0.250656	5.377	0.0883	0.4747891
5.586	0.046	0.256956	5.369	0.0896	0.4810624
5.578	0.0472	0.2632816	5.37	0.0908	0.487596
5.575	0.0485	0.2703875	5.376	0.0921	0.4951296
5.573	0.0497	0.2769781	5.374	0.0933	0.5013942
5.568	0.051	0.283968	5.358	0.0945	0.506331
5.563	0.0522	0.2903886	5.336	0.0958	0.5111888
5.555	0.0535	0.2971925	5.318	0.097	0.515846
5.547	0.0547	0.3034209	5.317	0.0983	0.5226611
5.542	0.056	0.310352	5.322	0.0995	0.529539
5.544	0.0572	0.3171168	5.327	0.1008	0.5369616
5.541	0.0584	0.3235944	5.318	0.102	0.542436
5.526	0.0597	0.3299022	5.297	0.1033	0.5471801
5.514	0.0609	0.3358026	5.276	0.1045	0.551342
5.517	0.0622	0.3431574	5.258	0.1057	0.5557706
5.521	0.0634	0.3500314	5.256	0.107	0.562392
5.511	0.0647	0.3565617	5.261	0.1082	0.5692402
5.502	0.0659	0.3625818	5.269	0.1095	0.5769555
5.49	0.0672	0.368928	5.265	0.1107	0.5828355
5.48	0.0684	0.374832	5.249	0.112	0.587888
5.485	0.0697	0.3823045	5.227	0.1132	0.5916964
5.491	0.0709	0.3893119	5.201	0.1145	0.5955145
5.475	0.0721	0.3947475	5.18	0.1157	0.599326
5.458	0.0734	0.4006172	5.17	0.1169	0.604373

5.174	0.1182	0.6115668	4.709	0.1618	0.7619162
5.179	0.1194	0.6183726	4.703	0.163	0.766589
5.183	0.1207	0.6255881	4.629	0.1642	0.7600818
5.18	0.1219	0.631442	4.564	0.1655	0.755342
5.157	0.1232	0.6353424	4.551	0.1667	0.7586517
5.133	0.1244	0.6385452	4.461	0.168	0.749448
5.109	0.1257	0.6422013	4.534	0.1692	0.7671528
5.136	0.1269	0.6517584	4.35	0.1705	0.741675
5.079	0.1282	0.6511278	3.737	0.1717	0.6416429
5.106	0.1294	0.6607164	1.695	0.173	0.293235
5.077	0.1306	0.6630562	1.681	0.1742	0.2928302
5.059	0.1319	0.6672821	2.652	0.1754	0.4651608
5.077	0.1331	0.6757487	0.751	0.1767	0.1327017
5.016	0.1344	0.6741504	0.235	0.1779	0.0418065
5.053	0.1356	0.6851868	0.094	0.1792	0.0168448
V (V)	I (A)	P (W)	0.055	0.1804	0.009922
4.996	0.1369	0.6839524	0.067	0.1817	0.0121739
5.018	0.1381	0.6929858	0.065	0.1829	0.0118885
4.986	0.1394	0.6950484	0.043	0.1842	0.0079206
4.974	0.1406	0.6993444	0.022	0.1854	0.0040788
4.965	0.1418	0.704037	ครั้งที่ 2		
4.952	0.1431	0.7086312	Vopen (V)	5.298	
4.933	0.1443	0.7118319	Ishort (A)	0.187	
4.91	0.1456	0.714896	V (V)	I (A)	P (W)
4.913	0.1468	0.7212284	5.29	0	0
4.885	0.1481	0.7234685	5.284	0.0012	0.0063408
4.863	0.1493	0.7260459	5.279	0.0024	0.0126696
4.849	0.1506	0.7302594	5.274	0.0037	0.0195138
4.824	0.1518	0.7322832	5.266	0.0049	0.0258034
4.808	0.153	0.735624	5.256	0.0062	0.0325872
4.797	0.1543	0.7401771	5.248	0.0074	0.0388352
4.781	0.1555	0.7434455	5.244	0.0087	0.0456228
4.736	0.1568	0.7426048	5.242	0.0099	0.0518958
4.671	0.158	0.738018	5.24	0.0112	0.058688
4.665	0.1593	0.7431345	5.238	0.0124	0.0649512
4.69	0.1605	0.752745	5.237	0.0137	0.0717469



5.236	0.0149	0.0780164	5.073	0.0549	0.2785077
5.225	0.0162	0.084645	5.068	0.0561	0.2843148
5.216	0.0174	0.0907584	5.067	0.0574	0.2908458
5.208	0.0187	0.0973896	5.066	0.0586	0.2968676
5.208	0.0199	0.1036392	5.052	0.0599	0.3026148
5.208	0.0212	0.1104096	5.04	0.0611	0.307944
5.206	0.0224	0.1166144	5.043	0.0624	0.3146832
5.201	0.0237	0.1232637	5.048	0.0636	0.3210528
5.197	0.0249	0.1294053	5.038	0.0649	0.3269662
5.19	0.0262	0.135978	5.025	0.0661	0.3321525
5.182	0.0274	0.1419868	5.018	0.0674	0.3382132
5.174	0.0287	0.1484938	5.015	0.0686	0.344029
5.175	0.0299	0.1547325	5.015	0.0699	0.3505485
5.176	0.0312	0.1614912	5.016	0.0711	0.3566376
5.172	0.0324	0.1675728	5.005	0.0724	0.362362
5.159	0.0337	0.1738583	4.989	0.0736	0.3671904
5.147	0.0349	0.1796303	4.982	0.0749	0.3731518
5.147	0.0362	0.1863214	4.978	0.0761	0.3788258
5.148	0.0374	0.1925352	4.98	0.0774	0.385452
5.145	0.0387	0.1991115	4.984	0.0786	0.3917424
5.134	0.0399	0.2048466	4.965	0.0799	0.3967035
5.121	0.0412	0.2109852	4.95	0.0811	0.401445
5.123	0.0424	0.2172152	4.942	0.0824	0.4072208
5.125	0.0437	0.2239625	4.94	0.0836	0.412984
5.121	0.0449	0.2299329	4.947	0.0849	0.4200003
			4.942	0.0861	0.4255062
			4.932	0.0874	0.4310568
			4.915	0.0886	0.435469
V (V)	I (A)	P (W)	4.9	0.0899	0.44051
5.107	0.0462	0.2359434	4.9	0.0911	0.44639
5.095	0.0474	0.241503	V (V)	I (A)	P (W)
5.096	0.0486	0.2476656	4.903	0.0924	0.4530372
5.098	0.0499	0.2543902	4.906	0.0936	0.4592016
5.093	0.0511	0.2602523	4.894	0.0948	0.4639512
5.085	0.0524	0.266454	4.876	0.0961	0.4685836
5.078	0.0536	0.2721808	4.855	0.0973	0.4723915



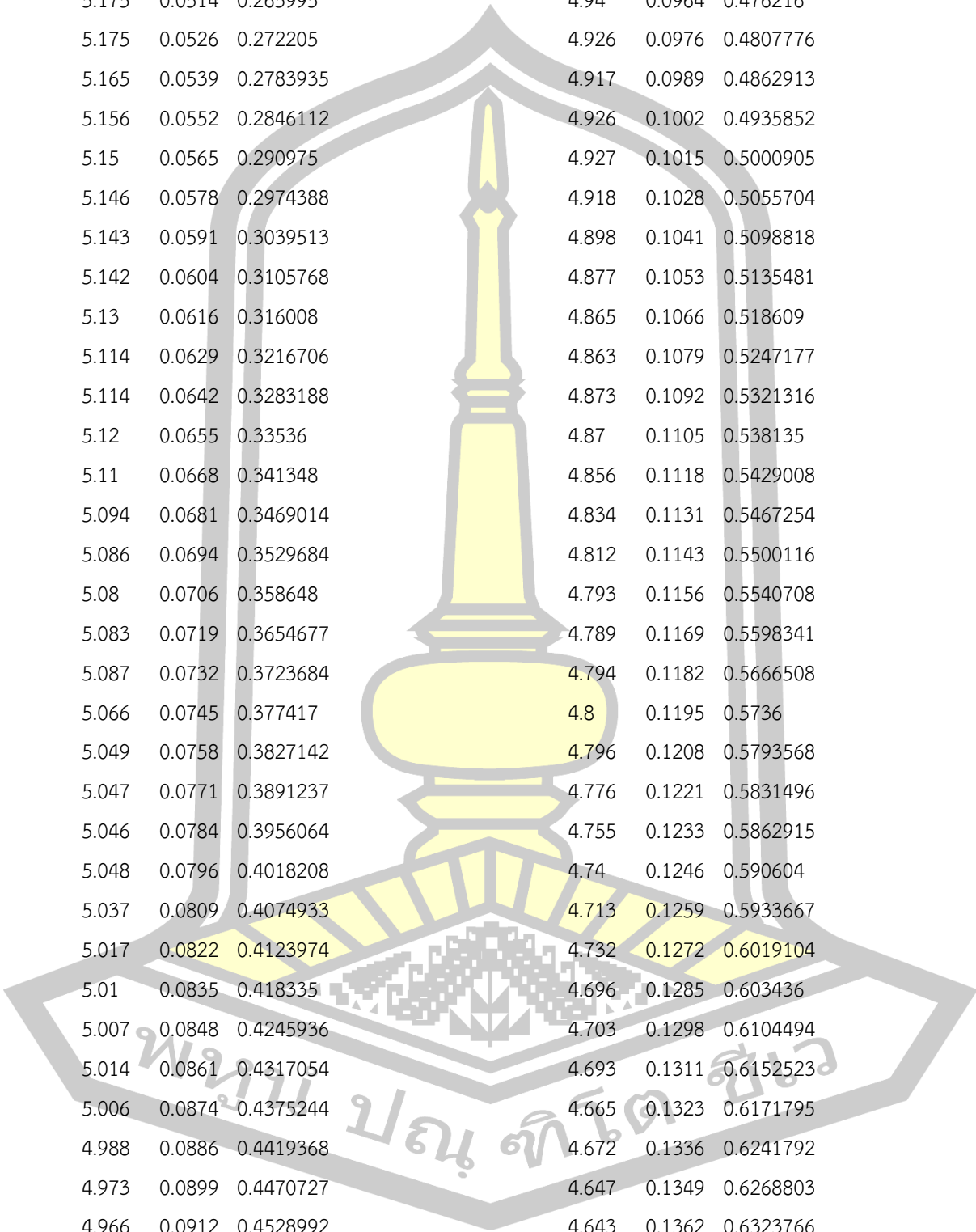
4.848	0.0986	0.4780128	4.509	0.1398	0.6303582
4.848	0.0998	0.4838304	4.549	0.141	0.641409
4.857	0.1011	0.4910427	4.481	0.1423	0.6376463
4.854	0.1023	0.4965642	4.497	0.1435	0.6453195
4.841	0.1036	0.5015276	4.489	0.1448	0.6500072
4.817	0.1048	0.5048216	4.435	0.146	0.64751
4.794	0.1061	0.5086434	4.46	0.1473	0.656958
4.783	0.1073	0.5132159	4.435	0.1485	0.6585975
4.784	0.1086	0.5195424	4.37	0.1498	0.654626
4.792	0.1098	0.5261616	4.399	0.151	0.664249
4.796	0.1111	0.5328356	4.422	0.1523	0.6734706
4.79	0.1123	0.537917	4.339	0.1535	0.6660365
4.772	0.1136	0.5420992	4.279	0.1548	0.6623892
4.748	0.1148	0.5450704	4.31	0.156	0.67236
4.726	0.1161	0.5486886	4.311	0.1573	0.6781203
4.712	0.1173	0.5527176	4.262	0.1585	0.675527
4.709	0.1186	0.5584874	4.215	0.1598	0.673557
4.714	0.1198	0.5647372	4.205	0.161	0.677005
4.72	0.1211	0.571592	4.192	0.1623	0.6803616
4.719	0.1223	0.5771337	4.183	0.1635	0.6839205
4.709	0.1236	0.5820324	4.189	0.1648	0.6903472
4.677	0.1248	0.5836896	4.2	0.166	0.6972
4.656	0.1261	0.5871216	4.082	0.1673	0.6829186
4.659	0.1273	0.5930907	4.035	0.1685	0.6798975
4.637	0.1286	0.5963182	3.923	0.1698	0.6661254
4.624	0.1298	0.6001952	3.912	0.171	0.668952
4.625	0.1311	0.6063375	3.846	0.1723	0.6626658
4.593	0.1323	0.6076539	3.471	0.1735	0.6022185
4.599	0.1336	0.6144264	3.027	0.1748	0.5291196
4.575	0.1348	0.61671	1.063	0.176	0.187088
4.57	0.1361	0.621977	2.456	0.1773	0.4354488
4.548	0.1373	0.6244404	2.037	0.1785	0.3636045
4.56	0.1386	0.632016	0.126	0.1798	0.0226548
			0.657	0.181	0.118917
			0.058	0.1823	0.0105734
V (V)	I (A)	P (W)	0.056	0.1835	0.010276

0.049	0.1848	0.0090552	5.373	0.0346	0.1859058
0.025	0.186	0.00465	5.376	0.0359	0.1929984
			5.363	0.0372	0.1995036
			5.35	0.0385	0.205975
ครั้งที่ 3			5.344	0.0397	0.2121568
Vopen (V)	5.523		5.347	0.041	0.219227
Ishort (A)	0.192		5.35	0.0423	0.226305
V (V)	I (A)	P (W)	5.335	0.0436	0.232606
5.499	0	0	5.321	0.0449	0.2389129
5.497	0.0012	0.0065964	5.318	0.0462	0.2456916
5.495	0.0025	0.0137375			
5.494	0.0038	0.0208772			
5.491	0.0051	0.0280041			
5.488	0.0064	0.0351232	V (V)	I (A)	P (W)
5.486	0.0077	0.0422422	5.322	0.0474	0.2522628
5.478	0.0089	0.0487542	5.321	0.0487	0.2591327
5.469	0.0102	0.0557838	5.306	0.05	0.2653
5.461	0.0115	0.0628015	5.292	0.0513	0.2714796
5.453	0.0128	0.0697984	5.293	0.0526	0.2784118
5.446	0.0141	0.0767886	5.295	0.0539	0.2854005
5.44	0.0154	0.083776	5.289	0.0551	0.2914239
5.44	0.0166	0.090304	5.277	0.0564	0.2976228
5.441	0.0179	0.0973939	5.268	0.0577	0.3039636
5.439	0.0192	0.1044288	5.263	0.059	0.310517
5.43	0.0205	0.111315	5.259	0.0603	0.3171177
5.421	0.0218	0.1181778	5.259	0.0616	0.3239544
5.413	0.0231	0.1250403	5.258	0.0628	0.3302024
5.407	0.0243	0.1313901	5.241	0.0641	0.3359481
5.401	0.0256	0.1382656	5.225	0.0654	0.341715
5.399	0.0269	0.1452331	5.229	0.0667	0.3487743
5.399	0.0282	0.1522518	5.233	0.068	0.355844
5.397	0.0295	0.1592115	5.224	0.0693	0.3620232
5.385	0.0308	0.165858	5.215	0.0705	0.3676575
5.375	0.032	0.172	5.202	0.0718	0.3735036
5.37	0.0333	0.178821	5.189	0.0731	0.3793159
			5.192	0.0744	0.3862848



5.198	0.0757	0.3934886	4.929	0.1206	0.5944374
5.184	0.077	0.399168	4.914	0.1219	0.5990166
5.172	0.0782	0.4044504	4.892	0.1232	0.6026944
5.16	0.0795	0.41022	4.871	0.1244	0.6059524
5.152	0.0808	0.4162816	4.85	0.1257	0.609645
5.157	0.0821	0.4233897	4.835	0.127	0.614045
5.156	0.0834	0.4300104	4.873	0.1283	0.6252059
5.146	0.0847	0.4358662	4.821	0.1296	0.6248016
5.131	0.0859	0.4407529	4.818	0.1309	0.6306762
5.112	0.0872	0.4457664	4.82	0.1321	0.636722
5.113	0.0885	0.4525005	4.779	0.1334	0.6375186
5.116	0.0898	0.4594168	4.8	0.1347	0.64656
5.118	0.0911	0.4662498	4.754	0.136	0.646544
5.108	0.0924	0.4719792	4.782	0.1373	0.6565686
5.09	0.0936	0.476424	4.724	0.1386	0.6547464
V (V)	I (A)	P (W)	4.751	0.1398	0.6641898
5.07	0.0949	0.481143	4.709	0.1411	0.6644399
5.055	0.0962	0.486291	4.708	0.1424	0.6704192
5.059	0.0975	0.4932525			
5.061	0.0988	0.5000268			
5.061	0.1001	0.5066061	V (V)	I (A)	P (W)
5.049	0.1013	0.5114637	4.695	0.1437	0.6746715
5.031	0.1026	0.5161806	4.678	0.145	0.67831
5.011	0.1039	0.5206429	4.651	0.1463	0.6804413
5	0.1052	0.526	4.658	0.1475	0.687055
5	0.1065	0.5325	4.626	0.1488	0.6883488
5.006	0.1078	0.5396468	4.613	0.1501	0.6924113
5.009	0.109	0.545981	4.607	0.1514	0.6974998
4.997	0.1103	0.5511691	4.569	0.1527	0.6976863
4.979	0.1116	0.5556564	4.546	0.154	0.700084
4.958	0.1129	0.5597582	4.54	0.1552	0.704608
4.938	0.1142	0.5639196	4.497	0.1565	0.7037805
4.927	0.1155	0.5690685	4.504	0.1578	0.7107312
4.924	0.1167	0.5746308	4.513	0.1591	0.7180183
4.927	0.118	0.581386	4.447	0.1604	0.7132988
4.932	0.1193	0.5883876	4.406	0.1617	0.7124502

4.407	0.1629	0.7179003	5.345	0.0089	0.0475705
4.401	0.1642	0.7226442	5.338	0.0102	0.0544476
4.382	0.1655	0.725221	5.332	0.0115	0.061318
4.321	0.1668	0.7207428	5.331	0.0128	0.0682368
4.235	0.1681	0.7119035	5.329	0.0141	0.0751389
4.152	0.1694	0.7033488	5.327	0.0154	0.0820358
4.26	0.1706	0.726756	5.323	0.0167	0.0888941
4.196	0.1719	0.7212924	5.32	0.0179	0.095228
4.171	0.1732	0.7224172	5.31	0.0192	0.101952
3.85	0.1745	0.671825	5.298	0.0205	0.108609
3.539	0.1758	0.6221562	5.287	0.0218	0.1152566
3.255	0.1771	0.5764605	5.288	0.0231	0.1221528
2.519	0.1783	0.4491377	5.289	0.0244	0.1290516
1.811	0.1796	0.3252556	5.287	0.0257	0.1358759
0.452	0.1809	0.0817668	5.281	0.0269	0.1420589
2.626	0.1822	0.4784572	5.274	0.0282	0.1487268
0.111	0.1835	0.0203685	5.267	0.0295	0.1553765
0.08	0.1848	0.014784	5.259	0.0308	0.1619772
0.033	0.186	0.006138	5.255	0.0321	0.1686855
0.033	0.1873	0.0061809	5.255	0.0334	0.175517
0.034	0.1886	0.0064124	5.255	0.0347	0.1823485
0.022	0.1899	0.0041778	5.244	0.0359	0.1882596
0.011	0.1912	0.0021032	5.231	0.0372	0.1945932
			5.226	0.0385	0.201201
			5.228	0.0398	0.2080744
ครั้งที่ 4			5.229	0.0411	0.2149119
Vopen (V)		5.398	5.215	0.0424	0.221116
Ishort (A)		0.192	5.201	0.0437	0.2272837
V (V)	I (A)	P (W)	5.199	0.0449	0.2334351
5.391	0	0	5.202	0.0462	0.2403324
5.386	0.0012	0.0064632			
5.382	0.0025	0.013455			
5.378	0.0038	0.0204364			
5.369	0.0051	0.0273819	V (V)	I (A)	P (W)
5.361	0.0064	0.0343104	5.198	0.0475	0.246905
5.352	0.0077	0.0412104	5.185	0.0488	0.253028



5.175	0.0501	0.2592675	4.963	0.0951	0.4719813
5.175	0.0514	0.265995	4.94	0.0964	0.476216
5.175	0.0526	0.272205	4.926	0.0976	0.4807776
5.165	0.0539	0.2783935	4.917	0.0989	0.4862913
5.156	0.0552	0.2846112	4.926	0.1002	0.4935852
5.15	0.0565	0.290975	4.927	0.1015	0.5000905
5.146	0.0578	0.2974388	4.918	0.1028	0.5055704
5.143	0.0591	0.3039513	4.898	0.1041	0.5098818
5.142	0.0604	0.3105768	4.877	0.1053	0.5135481
5.13	0.0616	0.316008	4.865	0.1066	0.518609
5.114	0.0629	0.3216706	4.863	0.1079	0.5247177
5.114	0.0642	0.3283188	4.873	0.1092	0.5321316
5.12	0.0655	0.33536	4.87	0.1105	0.538135
5.11	0.0668	0.341348	4.856	0.1118	0.5429008
5.094	0.0681	0.3469014	4.834	0.1131	0.5467254
5.086	0.0694	0.3529684	4.812	0.1143	0.5500116
5.08	0.0706	0.358648	4.793	0.1156	0.5540708
5.083	0.0719	0.3654677	4.789	0.1169	0.5598341
5.087	0.0732	0.3723684	4.794	0.1182	0.5666508
5.066	0.0745	0.377417	4.8	0.1195	0.5736
5.049	0.0758	0.3827142	4.796	0.1208	0.5793568
5.047	0.0771	0.3891237	4.776	0.1221	0.5831496
5.046	0.0784	0.3956064	4.755	0.1233	0.5862915
5.048	0.0796	0.4018208	4.74	0.1246	0.590604
5.037	0.0809	0.4074933	4.713	0.1259	0.5933667
5.017	0.0822	0.4123974	4.732	0.1272	0.6019104
5.01	0.0835	0.418335	4.696	0.1285	0.603436
5.007	0.0848	0.4245936	4.703	0.1298	0.6104494
5.014	0.0861	0.4317054	4.693	0.1311	0.6152523
5.006	0.0874	0.4375244	4.665	0.1323	0.6171795
4.988	0.0886	0.4419368	4.672	0.1336	0.6241792
4.973	0.0899	0.4470727	4.647	0.1349	0.6268803
4.966	0.0912	0.4528992	4.643	0.1362	0.6323766
4.972	0.0925	0.45991	4.616	0.1375	0.6347
4.971	0.0938	0.4662798	4.635	0.1388	0.643338
V (V)	I (A)	P (W)	4.586	0.1401	0.6424986

4.594	0.1413	0.6491322	1.806	0.1838	0.3319428
4.584	0.1426	0.6536784	1.566	0.185	0.28971
			1.305	0.1863	0.2431215
			1.044	0.1876	0.1958544
V (V)	I (A)	P (W)	0.783	0.1889	0.1479087
4.536	0.1439	0.6527304	0.522	0.1902	0.0992844
4.549	0.1452	0.6605148	0.261	0.1915	0.0499815
4.54	0.1465	0.66511			
4.505	0.1478	0.665839			
4.493	0.149	0.669457			
4.486	0.1503	0.6742458	ครั้งที่ 5		
4.464	0.1516	0.6767424	Vopen (V)		5.055
4.444	0.1529	0.6794876	Ishort (A)		0.186
4.42	0.1542	0.681564	V (V)	I (A)	P (W)
4.388	0.1555	0.682334	5.121	0	0
4.376	0.1568	0.6861568	5.117	0.0013	0.0066521
4.385	0.158	0.69283	5.113	0.0026	0.0132938
4.368	0.1593	0.6958224	5.109	0.0039	0.0199251
4.342	0.1606	0.6973252	5.107	0.0052	0.0265564
4.301	0.1619	0.6963319	5.106	0.0065	0.033189
4.26	0.1632	0.695232	5.105	0.0078	0.039819
4.288	0.1645	0.705376	5.097	0.0091	0.0463827
4.268	0.1658	0.7076344	5.09	0.0104	0.052936
4.218	0.167	0.704406	5.082	0.0117	0.0594594
4.215	0.1683	0.7093845	5.074	0.013	0.065962
4.175	0.1696	0.70808	5.065	0.0143	0.0724295
3.993	0.1709	0.6824037	5.06	0.0156	0.078936
3.854	0.1722	0.6636588	5.061	0.0169	0.0855309
4	0.1735	0.694	5.062	0.0182	0.0921284
3.434	0.1748	0.6002632	5.058	0.0195	0.098631
3.726	0.176	0.655776	5.049	0.0208	0.1050192
3.147	0.1773	0.5579631	5.04	0.0221	0.111384
3.552	0.1786	0.6343872	5.033	0.0234	0.117722
2.333	0.1799	0.4197067	5.027	0.0247	0.1241669
1.3	0.1812	0.23556	5.021	0.026	0.130546
2.068	0.1825	0.37741	5.021	0.0273	0.1370733
			5.02	0.0286	0.143572

5.013	0.0299	0.1498887	4.822	0.0715	0.344773
5.001	0.0312	0.1560312	4.804	0.0728	0.3497312
4.989	0.0325	0.1621425	4.808	0.0741	0.3562728
4.991	0.0338	0.1686958	4.814	0.0754	0.3629756
4.994	0.0351	0.1752894	4.804	0.0767	0.3684668
4.989	0.0364	0.1815996	4.794	0.078	0.373932
4.976	0.0377	0.1875952	4.777	0.0793	0.3788161
4.963	0.039	0.193557	4.767	0.0806	0.3842202
4.965	0.0403	0.2000895	4.771	0.0819	0.3907449
4.968	0.0416	0.2066688	4.77	0.0832	0.396864
4.962	0.0429	0.2128698	4.764	0.0845	0.402558
4.948	0.0442	0.2187016	4.745	0.0858	0.407121
4.937	0.0455	0.2246335	4.724	0.0871	0.4114604
4.941	0.0468	0.2312388	4.723	0.0884	0.4175132
			4.724	0.0897	0.4237428
			4.728	0.091	0.430248
			4.722	0.0923	0.4358406
V (V)	I (A)	P (W)	4.71	0.0936	0.440856
4.944	0.0481	0.2378064	4.688	0.0949	0.4448912
4.932	0.0494	0.2436408	V (V)	I (A)	P (W)
4.918	0.0507	0.2493426	4.677	0.0962	0.4499274
4.913	0.052	0.255476	4.675	0.0975	0.4558125
4.913	0.0533	0.2618629	4.682	0.0988	0.4625816
4.91	0.0546	0.268086	4.682	0.1001	0.4686682
4.901	0.0559	0.2739659	4.67	0.1014	0.473538
4.892	0.0572	0.2798224	4.649	0.1027	0.4774523
4.885	0.0585	0.2857725	4.63	0.104	0.48152
4.878	0.0598	0.2917044	4.615	0.1053	0.4859595
4.879	0.0611	0.2981069	4.615	0.1066	0.491959
4.881	0.0624	0.3045744	4.619	0.1079	0.4983901
4.865	0.0637	0.3099005	4.623	0.1092	0.5048316
4.847	0.065	0.315055	4.615	0.1105	0.5099575
4.847	0.0663	0.3213561	4.59	0.1118	0.513162
4.85	0.0676	0.32786	4.566	0.1131	0.5164146
4.845	0.0689	0.3338205	4.548	0.1144	0.5202912
4.838	0.0702	0.3396276	4.538	0.1157	0.5250466

4.541	0.117	0.531297	4.066	0.156	0.634296
4.547	0.1183	0.5379101	4.083	0.1573	0.6422559
4.55	0.1196	0.54418	4.083	0.1586	0.6475638
4.543	0.1209	0.5492487	4.018	0.1599	0.6424782
4.526	0.1222	0.5530772	3.97	0.1612	0.639964
4.507	0.1235	0.5566145	3.97	0.1625	0.645125
4.482	0.1248	0.5593536	3.992	0.1638	0.6538896
4.463	0.1261	0.5627843	3.987	0.1651	0.6582537
4.481	0.1274	0.5708794	3.901	0.1664	0.6491264
4.459	0.1287	0.5738733	3.768	0.1677	0.6318936
4.442	0.13	0.57746	3.666	0.169	0.619554
4.444	0.1313	0.5834972	1.135	0.1703	0.1932905
4.415	0.1326	0.585429	0.946	0.1716	0.1623336
4.417	0.1339	0.5914363	0.923	0.1729	0.1595867
4.397	0.1352	0.5944744	1.469	0.1742	0.2558998
4.391	0.1365	0.5993715	1.591	0.1755	0.2792205
4.363	0.1378	0.6012214	1.19	0.1768	0.210392
4.373	0.1391	0.6082843	0.282	0.1781	0.0502242
4.336	0.1404	0.6087744	1.076	0.1794	0.1930344
4.347	0.1417	0.6159699	0.106	0.1807	0.0191542
4.051	0.143	0.579293	0.034	0.182	0.006188
4.159	0.1443	0.6001437	0.033	0.1833	0.0060489
			0.034	0.1846	0.0062764
			0.033	0.1859	0.0061347
V (V)	I (A)	P (W)	0.033	0.1872	0.0061776
4.231	0.1456	0.6160336	0.03	0.1885	0.005655
4.235	0.1469	0.6221215	0.024	0.1898	0.0045552
4.203	0.1482	0.6228846	0.018	0.1911	0.0034398
4.193	0.1495	0.6268535	0.012	0.1924	0.0023088
4.179	0.1508	0.6301932	0.006	0.1937	0.0011622
4.149	0.1521	0.6310629			
4.117	0.1534	0.6315478			
4.097	0.1547	0.6338059			

ตาราง 5 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่  
ความเข้มแสง 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามแม่เหล็ก  
ทิศใต้ 160 มิลลิเทสลา

ครั้งที่ 1

Vopen (V)	Ishort (A)	0.192	5.528	0.0372	0.2056416
V (V)	I (A)	P (W)	5.515	0.0385	0.2123275
5.667	0	0	5.509	0.0398	0.2192582
5.664	0.0012	0.0067968	5.511	0.041	0.225951
5.662	0.0025	0.014155	5.514	0.0423	0.2332422
5.66	0.0038	0.021508	5.503	0.0436	0.2399308
5.656	0.0051	0.0288456			
5.652	0.0064	0.0361728	V (V)	I (A)	P (W)
5.649	0.0077	0.0434973	5.49	0.0449	0.246501
5.641	0.0089	0.0502049	5.484	0.0462	0.2533608
5.631	0.0102	0.0574362	5.488	0.0475	0.26068
5.622	0.0115	0.064653	5.489	0.0487	0.2673143
5.616	0.0128	0.0718848	5.476	0.05	0.2738
5.611	0.0141	0.0791151	5.462	0.0513	0.2802006
5.605	0.0154	0.086317	5.458	0.0526	0.2870908
5.605	0.0166	0.093043	5.458	0.0539	0.2941862
5.605	0.0179	0.1003295	5.453	0.0552	0.3010056
5.602	0.0192	0.1075584	5.446	0.0564	0.3071544
5.592	0.0205	0.114636	5.439	0.0577	0.3138303
5.582	0.0218	0.1216876	5.43	0.059	0.32037
5.575	0.0231	0.1287825	5.423	0.0603	0.3270069
5.572	0.0243	0.1353996	5.425	0.0616	0.33418
5.569	0.0256	0.1425664	5.428	0.0629	0.3414212
5.566	0.0269	0.1497254	5.41	0.0642	0.347322
5.564	0.0282	0.1569048	5.393	0.0654	0.3527022
5.561	0.0295	0.1640495	5.393	0.0667	0.3597131
5.55	0.0308	0.17094	5.395	0.068	0.36686
5.539	0.0321	0.1778019	5.39	0.0693	0.373527
5.534	0.0333	0.1842822	5.383	0.0706	0.3800398
5.536	0.0346	0.1915456	5.37	0.0719	0.386103
5.538	0.0359	0.1988142	5.356	0.0731	0.3915236

5.356	0.0744	0.3984864	5.09	0.1194	0.607746
5.361	0.0757	0.4058277	5.094	0.1206	0.6143364
5.353	0.077	0.412181	5.092	0.1219	0.6207148
5.344	0.0783	0.4184352	5.082	0.1232	0.6261024
5.327	0.0796	0.4240292	5.068	0.1245	0.630966
5.314	0.0808	0.4293712	5.045	0.1258	0.634661
5.319	0.0821	0.4366899	5.021	0.1271	0.6381691
5.322	0.0834	0.4438548	5.037	0.1284	0.6467508
5.318	0.0847	0.4504346	5.004	0.1296	0.6485184
5.305	0.086	0.45623	4.992	0.1309	0.6534528
5.283	0.0873	0.4612059	4.996	0.1322	0.6604712
5.276	0.0885	0.466926	4.976	0.1335	0.664296
V (V)	I (A)	P (W)	4.972	0.1348	0.6702256
5.275	0.0898	0.473695	4.952	0.1361	0.6739672
5.28	0.0911	0.481008	4.945	0.1373	0.6789485
5.281	0.0924	0.4879644	4.93	0.1386	0.683298
5.268	0.0937	0.4936116	4.922	0.1399	0.6885878
5.248	0.095	0.49856	V (V)	I (A)	P (W)
5.227	0.0963	0.5033601	4.89	0.1412	0.690468
5.225	0.0975	0.5094375	4.908	0.1425	0.69939
5.227	0.0988	0.5164276	4.859	0.1438	0.6987242
5.233	0.1001	0.5238233	4.88	0.145	0.7076
5.228	0.1014	0.5301192	4.838	0.1463	0.7077994
5.216	0.1027	0.5356832	4.824	0.1476	0.7120224
5.192	0.104	0.539968	4.832	0.1489	0.7194848
5.174	0.1052	0.5443048	4.782	0.1502	0.7182564
5.163	0.1065	0.5498595	4.776	0.1515	0.723564
5.164	0.1078	0.5566792	4.781	0.1527	0.7300587
5.17	0.1091	0.564047	4.726	0.154	0.727804
5.17	0.1104	0.570768	4.687	0.1553	0.7278911
5.161	0.1117	0.5764837	4.729	0.1566	0.7405614
5.144	0.1129	0.5807576	4.7	0.1579	0.74213
5.121	0.1142	0.5848182	4.639	0.1592	0.7385288
5.1	0.1155	0.58905	4.637	0.1605	0.7442385
5.086	0.1168	0.5940448	4.64	0.1617	0.750288
5.084	0.1181	0.6004204	4.583	0.163	0.747029



4.529	0.1643	0.7441147	5.248	0.0132	0.0692736
4.516	0.1656	0.7478496	5.24	0.0145	0.07598
4.581	0.1669	0.7645689	5.233	0.0158	0.0826814
4.558	0.1682	0.7666556	5.233	0.0171	0.0894843
4.438	0.1694	0.7517972	5.233	0.0184	0.0962872
4.394	0.1707	0.7500558	5.232	0.0198	0.1035936
4.367	0.172	0.751124	5.226	0.0211	0.1102686
4.249	0.1733	0.7363517	5.22	0.0224	0.116928
4.265	0.1746	0.744669	5.212	0.0237	0.1235244
4.206	0.1759	0.7398354	5.202	0.0251	0.1305702
4.054	0.1771	0.7179634	5.193	0.0264	0.1370952
3.955	0.1784	0.705572	5.193	0.0277	0.1438461
2.44	0.1797	0.438468	5.195	0.029	0.150655
2.937	0.181	0.531597	5.197	0.0303	0.1574691
2.873	0.1823	0.5237479	5.183	0.0317	0.1643011
1.453	0.1836	0.2667708	5.171	0.033	0.170643
0.474	0.1848	0.0875952	5.165	0.0343	0.1771595
0.064	0.1861	0.0119104	5.165	0.0356	0.183874
0.028	0.1874	0.0052472	5.165	0.0369	0.1905885
0.034	0.1887	0.0064158	5.157	0.0383	0.1975131
0.024	0.19	0.00456	5.147	0.0396	0.2038212
0.012	0.1913	0.0022956	5.141	0.0409	0.2102669
ครั้งที่ 2			5.14	0.0422	0.216908
Vopen (V)	5.33		5.14	0.0436	0.224104
Ishort (A)	0.198		5.129	0.0449	0.2302921
V (V)	I (A)	P (W)	5.119	0.0462	0.2364978
5.293	0	0	5.115	0.0475	0.2429625
5.29	0.0013	0.006877			
5.288	0.0026	0.0137488			
5.286	0.0039	0.0206154			
5.284	0.0052	0.0274768			
5.282	0.0066	0.0348612	V (V)	I (A)	P (W)
5.28	0.0079	0.041712	5.116	0.0488	0.2496608
5.272	0.0092	0.0485024	5.114	0.0502	0.2567228
5.264	0.0105	0.055272	5.101	0.0515	0.2627015
5.256	0.0118	0.0620208	5.087	0.0528	0.2685936
			5.088	0.0541	0.2752608

5.092	0.0554	0.2820968	4.879	0.1017	0.4961943
5.085	0.0568	0.288828	4.877	0.103	0.502331
5.072	0.0581	0.2946832	4.858	0.1043	0.5066894
5.063	0.0594	0.3007422	4.837	0.1057	0.5112709
5.066	0.0607	0.3075062	4.818	0.107	0.515526
5.067	0.0621	0.3146607	4.813	0.1083	0.5212479
5.059	0.0634	0.3207406	4.814	0.1096	0.5276144
5.051	0.0647	0.3267997	4.821	0.1109	0.5346489
5.041	0.066	0.332706	4.811	0.1123	0.5402753
5.032	0.0673	0.3386536	4.799	0.1136	0.5451664
5.034	0.0687	0.3458358	4.784	0.1149	0.5496816
5.038	0.07	0.35266	4.762	0.1162	0.5533444
5.027	0.0713	0.3584251	4.746	0.1175	0.557655
5.013	0.0726	0.3639438	4.737	0.1189	0.5632293
5.006	0.0739	0.3699434	4.736	0.1202	0.5692672
5.001	0.0753	0.3765753	4.743	0.1215	0.5762745
5.003	0.0766	0.3832298	4.741	0.1228	0.5821948
5.005	0.0779	0.3898895	4.739	0.1242	0.5885838
4.988	0.0792	0.3950496	4.731	0.1255	0.5937405
4.968	0.0806	0.4004208	4.715	0.1268	0.597862
4.966	0.0819	0.4067154	4.694	0.1281	0.6013014
4.965	0.0832	0.413088	4.669	0.1294	0.6041686
4.968	0.0845	0.419796	4.645	0.1308	0.607566
4.965	0.0858	0.425997	4.674	0.1321	0.6174354
4.95	0.0872	0.43164	4.634	0.1334	0.6181756
4.937	0.0885	0.4369245	4.637	0.1347	0.6246039
4.924	0.0898	0.4421752	4.623	0.136	0.628728
4.926	0.0911	0.4487586	4.604	0.1374	0.6325896
4.932	0.0924	0.4557168	4.601	0.1387	0.6381587
4.926	0.0938	0.4620588	4.576	0.14	0.64064
4.914	0.0951	0.4673214	4.582	0.1413	0.6474366
4.891	0.0964	0.4714924	4.547	0.1427	0.6488569
V (V)	I (A)	P (W)	4.563	0.144	0.657072
4.879	0.0977	0.4766783	4.512	0.1453	0.6555936
4.874	0.0991	0.4830134	4.55	0.1466	0.66703
4.879	0.1004	0.4898516			

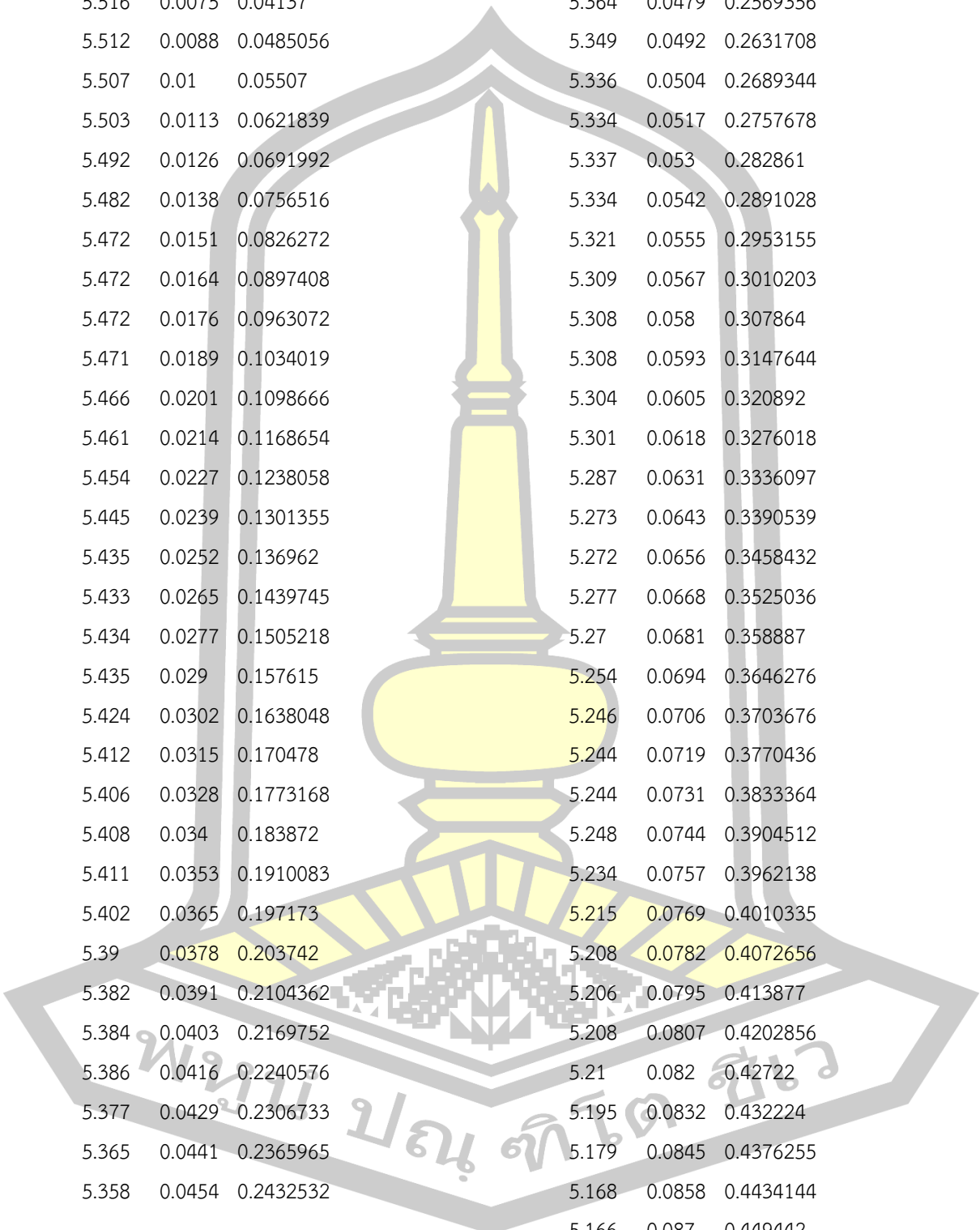
			0.03	0.1929	0.005787
V (V)	I (A)	P (W)	0.033	0.1942	0.0064086
4.46	0.1479	0.659634	0.024	0.1955	0.004692
4.498	0.1493	0.6715514	0.012	0.1968	0.0023616
4.475	0.1506	0.673935			
4.437	0.1519	0.6739803			
4.482	0.1532	0.6866424			
4.416	0.1545	0.682272	ครั้งที่ 3		
4.387	0.1559	0.6839333	Vopen (V)	5.495	
4.429	0.1572	0.6962388	Ishort (A)	0.187	
4.355	0.1585	0.6902675	V (V)	I (A)	P (W)
4.343	0.1598	0.6940114	5.489	0	0
4.34	0.1612	0.699608	5.487	0.0012	0.0065844
4.308	0.1625	0.70005	5.485	0.0024	0.013164
4.275	0.1638	0.700245	5.484	0.0037	0.0202908
4.303	0.1651	0.7104253	5.476	0.0049	0.0268324
4.278	0.1664	0.7118592	5.467	0.0062	0.0338954
4.205	0.1678	0.705599	5.459	0.0074	0.0403966
4.191	0.1691	0.7086981	5.452	0.0087	0.0474324
4.214	0.1704	0.7180656	5.446	0.0099	0.0539154
4.174	0.1717	0.7166758	5.44	0.0112	0.060928
4.09	0.173	0.70757	5.44	0.0124	0.067456
4.074	0.1744	0.7105056	5.44	0.0137	0.074528
4.023	0.1757	0.7068411	5.439	0.0149	0.0810411
3.931	0.177	0.695787	5.432	0.0162	0.0879984
3.96	0.1783	0.706068	5.425	0.0174	0.094395
3.953	0.1797	0.7103541	5.418	0.0187	0.1013166
3.844	0.181	0.695764	5.411	0.0199	0.1076789
3.822	0.1823	0.6967506	5.403	0.0212	0.1145436
3.752	0.1836	0.6888672	5.401	0.0224	0.1209824
3.11	0.1849	0.575039	5.402	0.0237	0.1280274
2.283	0.1863	0.4253229	5.404	0.0249	0.1345596
3.245	0.1876	0.608762	5.392	0.0262	0.1412704
2.719	0.1889	0.5136191	5.381	0.0274	0.1474394
0.401	0.1902	0.0762702	5.374	0.0287	0.1542338
0.032	0.1915	0.006128	5.375	0.0299	0.1607125
			5.376	0.0312	0.1677312

5.369	0.0324	0.1739556	5.182	0.0723	0.3746586
5.36	0.0336	0.180096	5.182	0.0736	0.3813952
5.351	0.0349	0.1867499	5.188	0.0748	0.3880624
5.35	0.0361	0.193135	5.175	0.0761	0.3938175
5.349	0.0374	0.2000526	5.157	0.0773	0.3986361
5.343	0.0386	0.2062398	5.15	0.0786	0.40479
5.334	0.0399	0.2128266	5.147	0.0798	0.4107306
5.328	0.0411	0.2189808	5.151	0.0811	0.4177461
5.327	0.0424	0.2258648	5.151	0.0823	0.4239273
5.326	0.0436	0.2322136	5.133	0.0836	0.4291188
5.316	0.0449	0.2386884	5.119	0.0848	0.4340912
			5.105	0.0861	0.4395405
			5.109	0.0873	0.4460157
			5.114	0.0886	0.4531004
V (V)	I (A)	P (W)	5.105	0.0898	0.458429
5.306	0.0461	0.2446066	5.089	0.0911	0.4636079
5.302	0.0474	0.2513148	V (V)	I (A)	P (W)
5.304	0.0486	0.2577744	5.07	0.0923	0.467961
5.3	0.0499	0.26447	5.062	0.0936	0.4738032
5.286	0.0511	0.2701146	5.062	0.0948	0.4798776
5.273	0.0524	0.2763052	5.07	0.096	0.48672
5.277	0.0536	0.2828472	5.067	0.0973	0.4930191
5.282	0.0549	0.2899818	5.056	0.0985	0.498016
5.27	0.0561	0.295647	5.03	0.0998	0.501994
5.254	0.0574	0.3015796	5.016	0.101	0.506616
5.25	0.0586	0.30765	5.01	0.1023	0.512523
5.253	0.0599	0.3146547	5.016	0.1035	0.519156
5.249	0.0611	0.3207139	5.018	0.1048	0.5258864
5.242	0.0624	0.3271008	5.01	0.106	0.53106
5.232	0.0636	0.3327552	4.991	0.1073	0.5355343
5.22	0.0648	0.338256	4.967	0.1085	0.5389195
5.214	0.0661	0.3446454	4.949	0.1098	0.5434002
5.219	0.0673	0.3512387	4.946	0.111	0.549006
5.216	0.0686	0.3578176	4.954	0.1123	0.5563342
5.201	0.0698	0.3630298	4.96	0.1135	0.56296
5.188	0.0711	0.3688668	4.956	0.1148	0.5689488

4.942	0.116	0.573272	4.453	0.1572	0.7000116
4.917	0.1173	0.5767641	4.468	0.1584	0.7077312
4.892	0.1185	0.579702	4.478	0.1597	0.7151366
4.87	0.1198	0.583426	4.458	0.1609	0.7172922
4.863	0.121	0.588423	4.117	0.1622	0.6677774
4.871	0.1223	0.5957233	3.983	0.1634	0.6508222
4.853	0.1235	0.5993455	4.232	0.1647	0.6970104
4.872	0.1248	0.6080256	4.34	0.1659	0.720006
4.83	0.126	0.60858	4.115	0.1672	0.688028
4.842	0.1272	0.6159024	4.018	0.1684	0.6766312
4.825	0.1285	0.6200125	4.086	0.1697	0.6933942
4.803	0.1297	0.6229491	2.242	0.1709	0.3831578
4.817	0.131	0.631027	0.988	0.1722	0.1701336
4.773	0.1322	0.6309906	2.192	0.1734	0.3800928
4.799	0.1335	0.6406665	0.846	0.1747	0.1477962
4.747	0.1347	0.6394209	0.115	0.1759	0.0202285
4.771	0.136	0.648856	0.049	0.1772	0.0086828
4.732	0.1372	0.6492304	0.036	0.1784	0.0064224
4.729	0.1385	0.6549665	0.037	0.1797	0.0066489
			0.037	0.1809	0.0066933
			0.033	0.1822	0.0060126
			0.025	0.1834	0.004585
V (V)	I (A)	P (W)	0.016	0.1847	0.0029552
4.705	0.1397	0.6572885	0.008	0.1859	0.0014872
4.715	0.141	0.664815			
4.646	0.1422	0.6606612			
4.672	0.1435	0.670432			
4.665	0.1447	0.6750255			
4.599	0.146	0.671454			
4.624	0.1472	0.6806528	Vopen (V)	5.568	
4.639	0.1485	0.6888915	Ishort (A)	0.189	
4.569	0.1497	0.6839793	V (V)	I (A)	P (W)
4.534	0.151	0.684634	5.536	0	0
4.564	0.1522	0.6946408	5.53	0.0012	0.006636
4.571	0.1535	0.7016485	5.524	0.0025	0.01381
4.532	0.1547	0.7011004	5.519	0.0037	0.0204203
4.487	0.156	0.699972	5.518	0.005	0.02759

ครั้งที่ 4

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี



5.517	0.0063	0.0347571	5.36	0.0466	0.249776
5.516	0.0075	0.04137	5.364	0.0479	0.2569356
5.512	0.0088	0.0485056	5.349	0.0492	0.2631708
5.507	0.01	0.05507	5.336	0.0504	0.2689344
5.503	0.0113	0.0621839	5.334	0.0517	0.2757678
5.492	0.0126	0.0691992	5.337	0.053	0.282861
5.482	0.0138	0.0756516	5.334	0.0542	0.2891028
5.472	0.0151	0.0826272	5.321	0.0555	0.2953155
5.472	0.0164	0.0897408	5.309	0.0567	0.3010203
5.472	0.0176	0.0963072	5.308	0.058	0.307864
5.471	0.0189	0.1034019	5.308	0.0593	0.3147644
5.466	0.0201	0.1098666	5.304	0.0605	0.320892
5.461	0.0214	0.1168654	5.301	0.0618	0.3276018
5.454	0.0227	0.1238058	5.287	0.0631	0.3336097
5.445	0.0239	0.1301355	5.273	0.0643	0.3390539
5.435	0.0252	0.136962	5.272	0.0656	0.3458432
5.433	0.0265	0.1439745	5.277	0.0668	0.3525036
5.434	0.0277	0.1505218	5.27	0.0681	0.358887
5.435	0.029	0.157615	5.254	0.0694	0.3646276
5.424	0.0302	0.1638048	5.246	0.0706	0.3703676
5.412	0.0315	0.170478	5.244	0.0719	0.3770436
5.406	0.0328	0.1773168	5.244	0.0731	0.3833364
5.408	0.034	0.183872	5.248	0.0744	0.3904512
5.411	0.0353	0.1910083	5.234	0.0757	0.3962138
5.402	0.0365	0.197173	5.215	0.0769	0.4010335
5.39	0.0378	0.203742	5.208	0.0782	0.4072656
5.382	0.0391	0.2104362	5.206	0.0795	0.413877
5.384	0.0403	0.2169752	5.208	0.0807	0.4202856
5.386	0.0416	0.2240576	5.21	0.082	0.42722
5.377	0.0429	0.2306733	5.195	0.0832	0.432224
5.365	0.0441	0.2365965	5.179	0.0845	0.4376255
5.358	0.0454	0.2432532	5.168	0.0858	0.4434144
			5.166	0.087	0.449442
			5.173	0.0883	0.4567759
			5.166	0.0896	0.4628736
V (V)	I (A)	P (W)	5.156	0.0908	0.4681648

5.136	0.0921	0.4730256	4.834	0.1362	0.6583908
V (V)	I (A)	P (W)	4.843	0.1375	0.6659125
5.123	0.0933	0.4779759	4.814	0.1388	0.6681832
5.117	0.0946	0.4840682	4.809	0.14	0.67326
5.125	0.0959	0.4914875			
5.129	0.0971	0.4980259			
5.12	0.0984	0.503808	V (V)	I (A)	P (W)
5.102	0.0996	0.5081592	4.8	0.1413	0.67824
5.08	0.1009	0.512572	4.758	0.1426	0.6784908
5.073	0.1022	0.5184606	4.779	0.1438	0.6872202
5.072	0.1034	0.5244448	4.728	0.1451	0.6860328
5.074	0.1047	0.5312478	4.731	0.1463	0.6921453
5.08	0.106	0.53848	4.724	0.1476	0.6972624
5.075	0.1072	0.54404	4.667	0.1489	0.6949163
5.061	0.1085	0.5491185	4.698	0.1501	0.7051698
5.037	0.1097	0.5525589	4.694	0.1514	0.7106716
5.021	0.111	0.557331	4.643	0.1527	0.7089861
5.014	0.1123	0.5630722	4.636	0.1539	0.7134804
5.014	0.1135	0.569089	4.667	0.1552	0.7243184
5.018	0.1148	0.5760664	4.624	0.1564	0.7231936
5.021	0.1161	0.5829381	4.573	0.1577	0.7211621
5.018	0.1173	0.5886114	4.569	0.159	0.726471
5.006	0.1186	0.5937116	4.57	0.1602	0.732114
4.985	0.1198	0.597203	4.527	0.1615	0.7311105
4.96	0.1211	0.600656	4.484	0.1627	0.7295468
4.94	0.1224	0.604656	4.455	0.164	0.73062
4.932	0.1236	0.6095952	4.451	0.1653	0.7357503
4.929	0.1249	0.6156321	4.489	0.1665	0.7474185
4.926	0.1262	0.6216612	4.442	0.1678	0.7453676
4.927	0.1274	0.6276998	4.442	0.1691	0.7511422
4.916	0.1287	0.6326892	4.384	0.1703	0.7465952
4.884	0.1299	0.6344316	4.353	0.1716	0.7469748
4.907	0.1312	0.6437984	4.326	0.1728	0.7475328
4.864	0.1325	0.64448	4.349	0.1741	0.7571609
4.865	0.1337	0.6504505	4.275	0.1754	0.749835
4.856	0.135	0.65556	4.137	0.1766	0.7305942

3.814	0.1779	0.6785106		5.574	0.0261	0.1454814
3.309	0.1792	0.5929728		5.571	0.0274	0.1526454
3.804	0.1804	0.6862416		5.568	0.0286	0.1592448
1.693	0.1817	0.3076181		5.564	0.0299	0.1663636
2.624	0.1829	0.4799296		5.56	0.0311	0.172916
0.941	0.1842	0.1733322		5.555	0.0324	0.179982
0.13	0.1855	0.024115		5.549	0.0336	0.1864464
1.364	0.1867	0.2546588		5.543	0.0349	0.1934507
0.682	0.188	0.128216		5.538	0.0361	0.1999218
				5.535	0.0374	0.207009
				5.532	0.0386	0.2135352
ครั้งที่ 5				5.525	0.0398	0.219895
Vopen (V)	5.341			5.517	0.0411	0.2267487
Ishort (A)	0.185			5.512	0.0423	0.2331576
V (V)	I (A)	P (W)		5.51	0.0436	0.240236
5.689	0	0		5.508	0.0448	0.2467584
5.68	0.0012	0.006816				
5.671	0.0024	0.0136104				
5.662	0.0037	0.0209494				
5.657	0.0049	0.0277193		V (V)	I (A)	P (W)
5.652	0.0062	0.0350424		5.501	0.0461	0.2535961
5.647	0.0074	0.0417878		5.495	0.0473	0.2599135
5.645	0.0087	0.0491115		5.487	0.0486	0.2666682
5.644	0.0099	0.0558756		5.48	0.0498	0.272904
5.643	0.0112	0.0632016		5.474	0.0511	0.2797214
5.638	0.0124	0.0699112		5.474	0.0523	0.2862902
5.632	0.0137	0.0771584		5.474	0.0536	0.2934064
5.626	0.0149	0.0838274		5.463	0.0548	0.2993724
5.617	0.0162	0.0909954		5.45	0.0561	0.305745
5.608	0.0174	0.0975792		5.449	0.0573	0.3122277
5.599	0.0187	0.1047013		5.454	0.0585	0.319059
5.6	0.0199	0.11144		5.451	0.0598	0.3259698
5.601	0.0211	0.1181811		5.435	0.061	0.331535
5.6	0.0224	0.12544		5.423	0.0623	0.3378529
5.591	0.0236	0.1319476		5.424	0.0635	0.344424
5.581	0.0249	0.1389669		5.424	0.0648	0.3514752



5.42	0.066	0.35772	5.159	0.1097	0.5659423
5.415	0.0673	0.3644295	5.158	0.1109	0.5720222
5.401	0.0685	0.3699685	5.161	0.1122	0.5790642
5.387	0.0698	0.3760126	5.166	0.1134	0.5858244
5.391	0.071	0.382761	5.166	0.1146	0.5920236
5.396	0.0723	0.3901308	5.155	0.1159	0.5974645
5.385	0.0735	0.3957975	5.136	0.1171	0.6014256
5.375	0.0748	0.40205	5.112	0.1184	0.6052608
5.363	0.076	0.407588	5.089	0.1196	0.6086444
5.351	0.0772	0.4130972	5.076	0.1209	0.6136884
5.357	0.0785	0.4205245	5.074	0.1221	0.6195354
5.361	0.0797	0.4272717	5.075	0.1234	0.626255
5.35	0.081	0.43335	5.075	0.1246	0.632345
5.338	0.0822	0.4387836	5.064	0.1259	0.6375576
5.319	0.0835	0.4441365	5.039	0.1271	0.6404569
5.313	0.0847	0.4500111	5.064	0.1284	0.6502176
5.317	0.086	0.457262	5.016	0.1296	0.6500736
5.318	0.0872	0.4637296	5.033	0.1309	0.6588197
5.317	0.0885	0.4705545	5.021	0.1321	0.6632741
5.295	0.0897	0.4749615	4.986	0.1333	0.6646338
5.277	0.091	0.480207	5.016	0.1346	0.6751536
V (V)	I (A)	P (W)	4.955	0.1358	0.672889
5.271	0.0922	0.4859862	4.996	0.1371	0.6849516
5.273	0.0935	0.4930255	4.927	0.1383	0.6814041
5.28	0.0947	0.500016			
5.277	0.0959	0.5060643			
5.266	0.0972	0.5118552	V (V)	I (A)	P (W)
5.245	0.0984	0.516108	4.961	0.1396	0.6925556
5.228	0.0997	0.5212316	4.919	0.1408	0.6925952
5.218	0.1009	0.5264962	4.924	0.1421	0.6997004
5.224	0.1022	0.5338928	4.903	0.1433	0.7025999
5.228	0.1034	0.5405752	4.893	0.1446	0.7075278
5.228	0.1047	0.5473716	4.883	0.1458	0.7119414
5.218	0.1059	0.5525862	4.865	0.1471	0.7156415
5.197	0.1072	0.5571184	4.849	0.1483	0.7191067
5.175	0.1084	0.56097	4.845	0.1496	0.724812

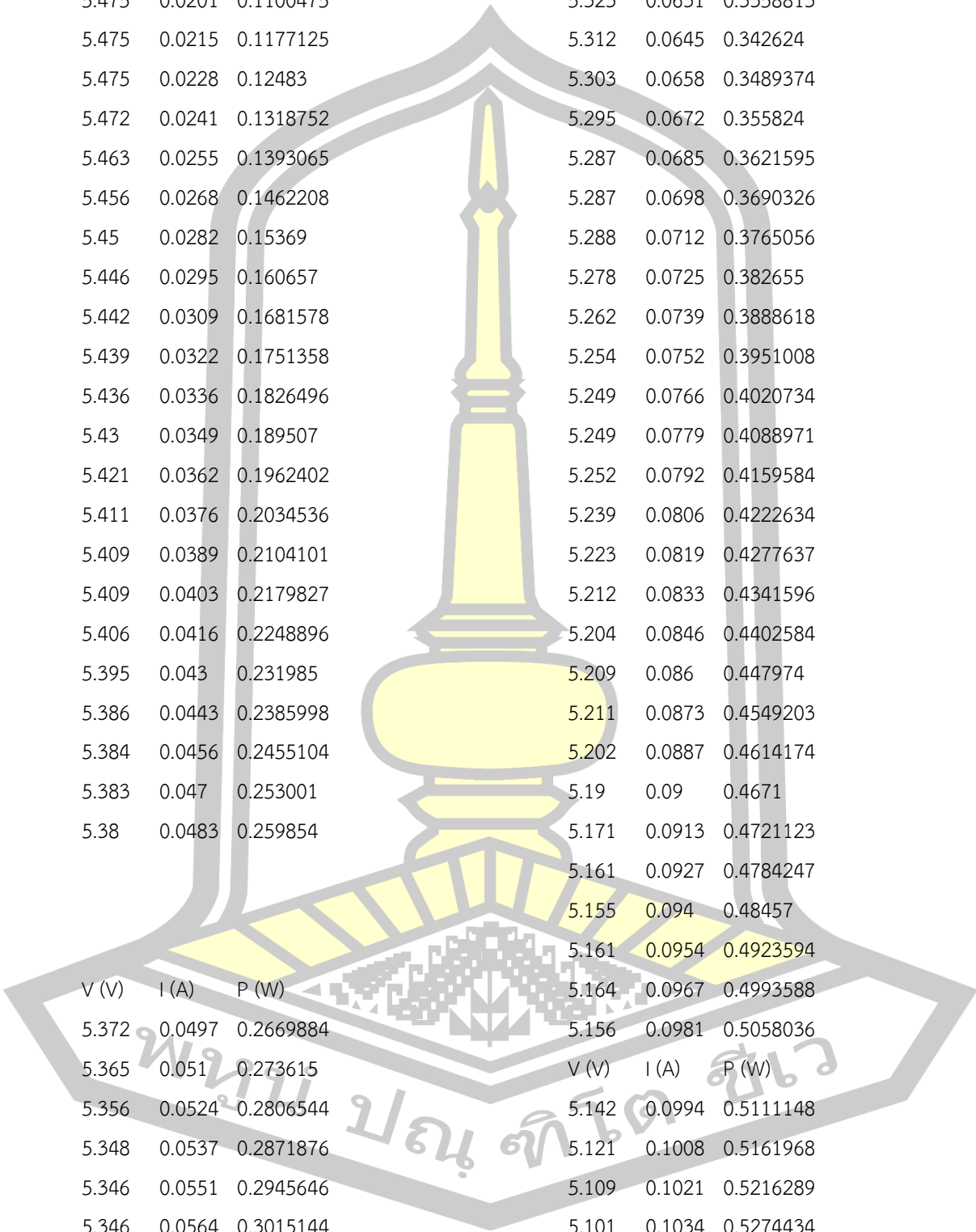
4.816	0.1508	0.7262528	4.514	0.1707	0.7705398
4.801	0.152	0.729752	4.431	0.172	0.762132
4.811	0.1533	0.7375263	4.439	0.1732	0.7688348
4.777	0.1545	0.7380465	4.32	0.1745	0.75384
4.707	0.1558	0.7333506	4.094	0.1757	0.7193158
4.732	0.157	0.742924	4.014	0.177	0.710478
4.743	0.1583	0.7508169	3.901	0.1782	0.6951582
4.69	0.1595	0.748055	4.323	0.1795	0.7759785
4.658	0.1608	0.7490064	3.431	0.1807	0.6199817
4.675	0.162	0.75735	2.622	0.182	0.477204
4.657	0.1633	0.7604881	2.848	0.1832	0.5217536
4.64	0.1645	0.76328	3.88	0.1845	0.71586
4.567	0.1658	0.7572086	1.767	0.1857	0.3281319
4.508	0.167	0.752836			
4.501	0.1683	0.7575183			
4.481	0.1695	0.7595295			

ตาราง 6 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่  
ความเข้มสนามแม่เหล็ก 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความเข้ม  
สนามแม่เหล็กทิศเหนือ 260 มิลลิเทสลา  
ครั้งที่ 1

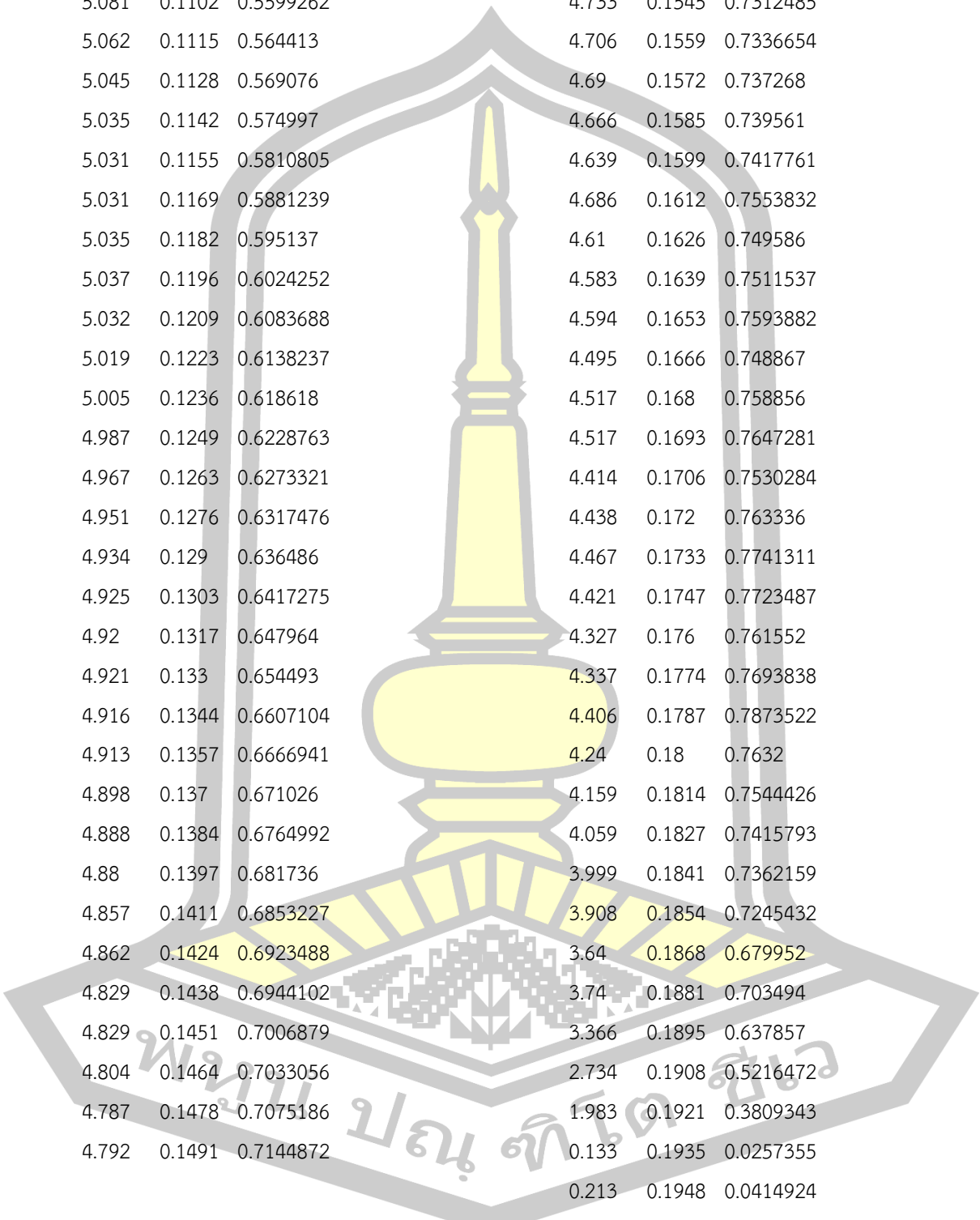
Vopen (V)	5.174	Ishort (A)	0.213	5.083	0.0184	0.0935272
V (V)	I (A)	P (W)		5.075	0.0198	0.100485
5.141	0	0		5.066	0.0213	0.1079058
5.139	0.0014	0.0071946		5.063	0.0227	0.1149301
5.138	0.0028	0.0143864		5.061	0.0241	0.1219701
5.137	0.0042	0.0215754		5.057	0.0255	0.1289535
5.13	0.0056	0.028728		5.053	0.0269	0.1359257
5.121	0.0071	0.0363591		5.049	0.0284	0.1433916
5.113	0.0085	0.0434605		5.043	0.0298	0.1502814
5.106	0.0099	0.0505494		5.035	0.0312	0.157092
5.1	0.0113	0.05763		5.028	0.0326	0.1639128
5.093	0.0127	0.0646811		5.027	0.034	0.170918
5.092	0.0142	0.0723064		5.027	0.0355	0.1784585
5.091	0.0156	0.0794196		5.025	0.0369	0.1854225
5.091	0.017	0.086547		5.016	0.0383	0.1921128

5.007	0.0397	0.1987779	4.827	0.088	0.424776
5.002	0.0411	0.2055822	4.812	0.0894	0.4301928
5.002	0.0426	0.2130852	4.798	0.0908	0.4356584
5.001	0.044	0.220044	4.784	0.0923	0.4415632
4.991	0.0454	0.2265914	4.779	0.0937	0.4477923
4.981	0.0468	0.2331108	4.78	0.0951	0.454578
4.976	0.0482	0.2398432	4.781	0.0965	0.4613665
			4.781	0.0979	0.4680599
V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
4.975	0.0497	0.2472575	4.767	0.0994	0.4738398
4.973	0.0511	0.2541203	4.752	0.1008	0.4790016
4.968	0.0525	0.26082	4.737	0.1022	0.4841214
4.962	0.0539	0.2674518	4.726	0.1036	0.4896136
4.955	0.0553	0.2740115	4.719	0.105	0.495495
4.946	0.0568	0.2809328	4.719	0.1065	0.5025735
4.941	0.0582	0.2875662	4.72	0.1079	0.509288
4.944	0.0596	0.2946624	4.721	0.1093	0.5160053
4.947	0.061	0.301767	4.716	0.1107	0.5220612
4.93	0.0624	0.307632	4.706	0.1121	0.5275426
4.913	0.0639	0.3139407	4.686	0.1136	0.5323296
4.911	0.0653	0.3206883	4.667	0.115	0.536705
4.912	0.0667	0.3276304	4.649	0.1164	0.5411436
4.91	0.0681	0.334371	4.64	0.1178	0.546592
4.905	0.0695	0.3408975	4.634	0.1192	0.5523728
4.896	0.071	0.347616	4.634	0.1207	0.5593238
4.881	0.0724	0.3533844	4.637	0.1221	0.5661777
4.87	0.0738	0.359406	4.637	0.1235	0.5726695
4.872	0.0752	0.3663744	4.634	0.1249	0.5787866
4.873	0.0766	0.3732718	4.629	0.1263	0.5846427
4.868	0.0781	0.3801908	4.622	0.1278	0.5906916
4.862	0.0795	0.386529	4.611	0.1292	0.5957412
4.845	0.0809	0.3919605	4.596	0.1306	0.6002376
4.83	0.0823	0.397509	4.58	0.132	0.60456
4.828	0.0837	0.4041036	4.567	0.1334	0.6092378
4.827	0.0852	0.4112604	4.553	0.1349	0.6141997
4.83	0.0866	0.418278	4.539	0.1363	0.6186657

4.525	0.1377	0.6230925	4.048	0.1874	0.7585952
4.512	0.1391	0.6276192	3.953	0.1888	0.7463264
4.496	0.1405	0.631688	4.04	0.1902	0.768408
4.484	0.142	0.636728	3.923	0.1917	0.7520391
4.503	0.1434	0.6457302	3.875	0.1931	0.7482625
4.484	0.1448	0.6492832	3.96	0.1945	0.77022
4.467	0.1462	0.6530754	3.861	0.1959	0.7563699
4.472	0.1476	0.6600672	3.724	0.1973	0.7347452
4.446	0.1491	0.6628986	3.768	0.1988	0.7490784
4.452	0.1505	0.670026	3.813	0.2002	0.7633626
4.42	0.1519	0.671398	3.318	0.2016	0.6689088
4.428	0.1533	0.6788124	1.717	0.203	0.348551
4.395	0.1547	0.6799065	1.952	0.2044	0.3989888
V (V)	I (A)	P (W)	1.61	0.2059	0.331499
4.4	0.1562	0.68728	1.078	0.2073	0.2234694
4.374	0.1576	0.6893424	0.814	0.2087	0.1698818
4.374	0.159	0.695466	0.141	0.2101	0.0296241
4.341	0.1604	0.6962964	0.036	0.2115	0.007614
4.365	0.1618	0.706257	ครั้งที่ 2		
4.296	0.1633	0.7015368	Vopen (V)	5.575	
4.329	0.1647	0.7129863	Ishort (A)	0.201	
4.282	0.1661	0.7112402	V (V)	I (A)	P (W)
4.304	0.1675	0.72092	5.56	0	0
4.225	0.1689	0.7136025	5.555	0.0013	0.0072215
4.264	0.1704	0.7265856	5.55	0.0026	0.01443
4.208	0.1718	0.7229344	5.545	0.004	0.02218
4.25	0.1732	0.7361	5.536	0.0053	0.0293408
4.191	0.1746	0.7317486	5.527	0.0067	0.0370309
4.211	0.176	0.741136	5.518	0.008	0.044144
4.163	0.1775	0.7389325	5.516	0.0094	0.0518504
4.159	0.1789	0.7440451	5.514	0.0107	0.0589998
4.146	0.1803	0.7475238	5.513	0.012	0.066156
4.084	0.1817	0.7420628	5.509	0.0134	0.0738206
4.119	0.1831	0.7541889	5.505	0.0147	0.0809235
4.035	0.1846	0.744861	5.501	0.0161	0.0885661
4.065	0.186	0.75609	5.492	0.0174	0.0955608



5.482	0.0188	0.1030616	5.319	0.0618	0.3287142
5.475	0.0201	0.1100475	5.323	0.0631	0.3358813
5.475	0.0215	0.1177125	5.312	0.0645	0.342624
5.475	0.0228	0.12483	5.303	0.0658	0.3489374
5.472	0.0241	0.1318752	5.295	0.0672	0.355824
5.463	0.0255	0.1393065	5.287	0.0685	0.3621595
5.456	0.0268	0.1462208	5.287	0.0698	0.3690326
5.45	0.0282	0.15369	5.288	0.0712	0.3765056
5.446	0.0295	0.160657	5.278	0.0725	0.382655
5.442	0.0309	0.1681578	5.262	0.0739	0.3888618
5.439	0.0322	0.1751358	5.254	0.0752	0.3951008
5.436	0.0336	0.1826496	5.249	0.0766	0.4020734
5.43	0.0349	0.189507	5.249	0.0779	0.4088971
5.421	0.0362	0.1962402	5.252	0.0792	0.4159584
5.411	0.0376	0.2034536	5.239	0.0806	0.4222634
5.409	0.0389	0.2104101	5.223	0.0819	0.4277637
5.409	0.0403	0.2179827	5.212	0.0833	0.4341596
5.406	0.0416	0.2248896	5.204	0.0846	0.4402584
5.395	0.043	0.231985	5.209	0.086	0.447974
5.386	0.0443	0.2385998	5.211	0.0873	0.4549203
5.384	0.0456	0.2455104	5.202	0.0887	0.4614174
5.383	0.047	0.253001	5.19	0.09	0.4671
5.38	0.0483	0.259854	5.171	0.0913	0.4721123
			5.161	0.0927	0.4784247
			5.155	0.094	0.48457
			5.161	0.0954	0.4923594
			5.164	0.0967	0.4993588
			5.156	0.0981	0.5058036
V (V)	I (A)	P (W)	V (V)	I (A)	P (W)
5.372	0.0497	0.2669884	5.142	0.0994	0.5111148
5.365	0.051	0.273615	5.121	0.1008	0.5161968
5.356	0.0524	0.2806544	5.109	0.1021	0.5216289
5.348	0.0537	0.2871876	5.101	0.1034	0.5274434
5.346	0.0551	0.2945646	5.102	0.1048	0.5346896
5.346	0.0564	0.3015144	5.107	0.1061	0.5418527
5.34	0.0577	0.308118	5.108	0.1075	0.54911
5.326	0.0591	0.3147666			
5.316	0.0604	0.3210864			



5.1	0.1088	0.55488	4.711	0.1532	0.7217252
5.081	0.1102	0.5599262	4.733	0.1545	0.7312485
5.062	0.1115	0.564413	4.706	0.1559	0.7336654
5.045	0.1128	0.569076	4.69	0.1572	0.737268
5.035	0.1142	0.574997	4.666	0.1585	0.739561
5.031	0.1155	0.5810805	4.639	0.1599	0.7417761
5.031	0.1169	0.5881239	4.686	0.1612	0.7553832
5.035	0.1182	0.595137	4.61	0.1626	0.749586
5.037	0.1196	0.6024252	4.583	0.1639	0.7511537
5.032	0.1209	0.6083688	4.594	0.1653	0.7593882
5.019	0.1223	0.6138237	4.495	0.1666	0.748867
5.005	0.1236	0.618618	4.517	0.168	0.758856
4.987	0.1249	0.6228763	4.517	0.1693	0.7647281
4.967	0.1263	0.6273321	4.414	0.1706	0.7530284
4.951	0.1276	0.6317476	4.438	0.172	0.763336
4.934	0.129	0.636486	4.467	0.1733	0.7741311
4.925	0.1303	0.6417275	4.421	0.1747	0.7723487
4.92	0.1317	0.647964	4.327	0.176	0.761552
4.921	0.133	0.654493	4.337	0.1774	0.7693838
4.916	0.1344	0.6607104	4.406	0.1787	0.7873522
4.913	0.1357	0.6666941	4.24	0.18	0.7632
4.898	0.137	0.671026	4.159	0.1814	0.7544426
4.888	0.1384	0.6764992	4.059	0.1827	0.7415793
4.88	0.1397	0.681736	3.999	0.1841	0.7362159
4.857	0.1411	0.6853227	3.908	0.1854	0.7245432
4.862	0.1424	0.6923488	3.64	0.1868	0.679952
4.829	0.1438	0.6944102	3.74	0.1881	0.703494
4.829	0.1451	0.7006879	3.366	0.1895	0.637857
4.804	0.1464	0.7033056	2.734	0.1908	0.5216472
4.787	0.1478	0.7075186	1.983	0.1921	0.3809343
4.792	0.1491	0.7144872	0.133	0.1935	0.0257355
			0.213	0.1948	0.0414924
			0.064	0.1962	0.0125568
V (V)	I (A)	P (W)	0.069	0.1975	0.0136275
4.741	0.1505	0.7135205	0.057	0.1989	0.0113373
4.788	0.1518	0.7268184	0.029	0.2002	0.0058058

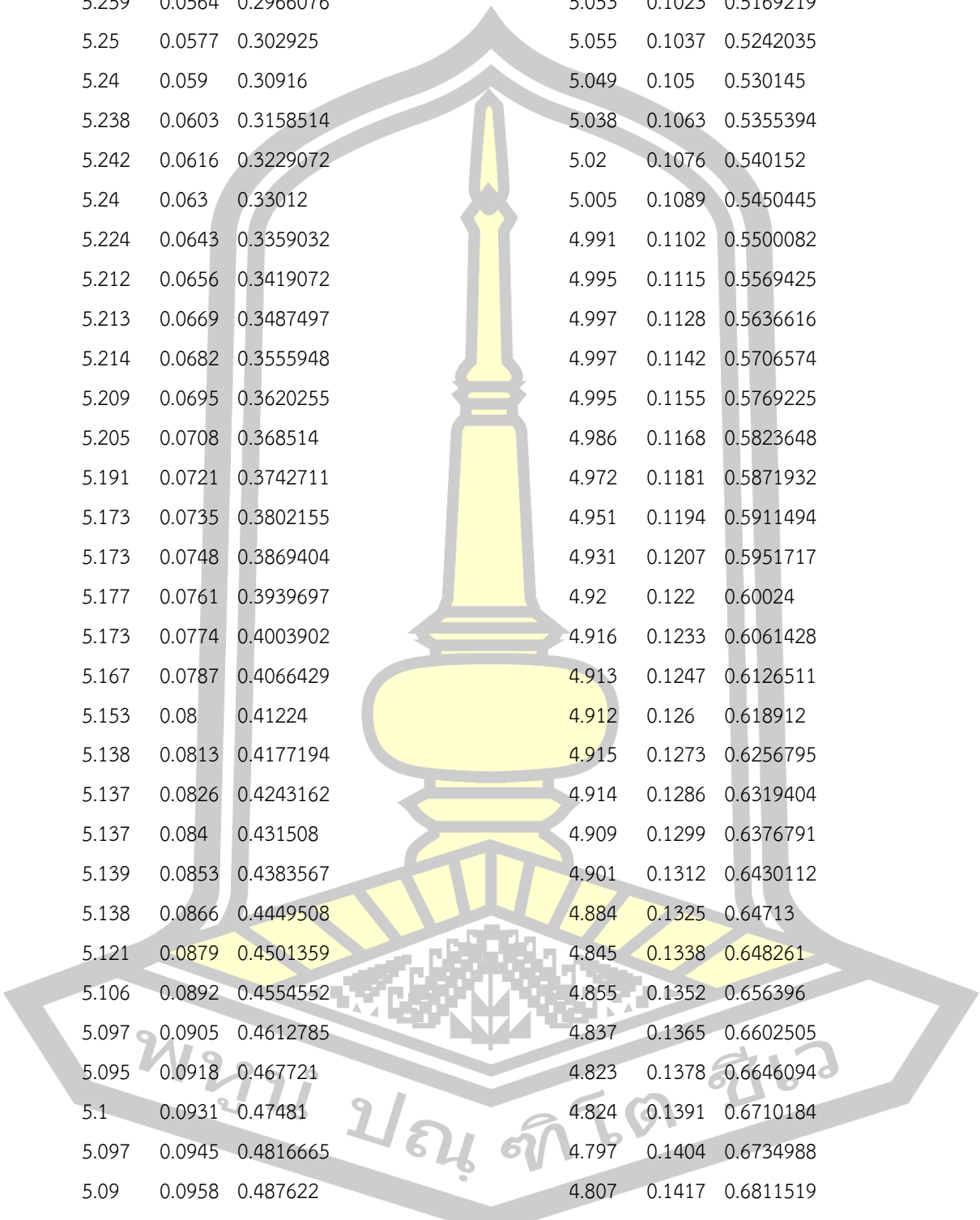
ครั้งที่ 3

Vopen (V)	5.427		5.266	0.041	0.215906
Ishort (A)	0.205		5.266	0.0424	0.2232784
V (V)	I (A)	P (W)	5.255	0.0437	0.2296435
5.404	0	0	5.244	0.0451	0.2365044
5.398	0.0013	0.0070174	5.238	0.0465	0.243567
5.393	0.0027	0.0145611	5.238	0.0479	0.2509002
5.387	0.0041	0.0220867	5.237	0.0492	0.2576604
5.384	0.0054	0.0290736	V (V)	I (A)	P (W)
5.38	0.0068	0.036584	5.23	0.0506	0.264638
5.377	0.0082	0.0440914	5.223	0.052	0.271596
5.375	0.0095	0.0510625	5.216	0.0533	0.2780128
5.374	0.0109	0.0585766	5.209	0.0547	0.2849323
5.373	0.0123	0.0660879	5.203	0.0561	0.2918883
5.368	0.0136	0.0730048	5.2	0.0574	0.29848
5.362	0.015	0.08043	5.198	0.0588	0.3056424
5.356	0.0164	0.0878384	5.184	0.0602	0.3120768
5.347	0.0177	0.0946419	5.172	0.0615	0.318078
5.338	0.0191	0.1019558	5.173	0.0629	0.3253817
5.329	0.0205	0.1092445	5.18	0.0643	0.333074
5.329	0.0218	0.1161722	5.175	0.0656	0.33948
5.329	0.0232	0.1236328	5.161	0.067	0.345787
5.327	0.0246	0.1310442	5.15	0.0684	0.35226
5.32	0.026	0.13832	5.146	0.0698	0.3591908
5.312	0.0273	0.1450176	5.144	0.0711	0.3657384
5.305	0.0287	0.1522535	5.146	0.0725	0.373085
5.299	0.0301	0.1594999	5.144	0.0739	0.3801416
5.294	0.0314	0.1662316	5.127	0.0752	0.3855504
5.292	0.0328	0.1735776	5.111	0.0766	0.3915026
5.291	0.0342	0.1809522	5.11	0.078	0.39858
5.289	0.0355	0.1877595	5.109	0.0793	0.4051437
5.279	0.0369	0.1947951	5.11	0.0807	0.412377
5.27	0.0383	0.201841	5.107	0.0821	0.4192847
5.266	0.0396	0.2085336	5.09	0.0834	0.424506

5.075	0.0848	0.43036	4.799	0.1327	0.6368273
5.069	0.0862	0.4369478	4.788	0.1341	0.6420708
5.067	0.0875	0.4433625	4.781	0.1354	0.6473474
5.073	0.0889	0.4509897	4.773	0.1368	0.6529464
5.07	0.0903	0.457821	4.777	0.1382	0.6601814
5.059	0.0917	0.4639103	4.772	0.1396	0.6661712
5.045	0.093	0.469185	4.755	0.1409	0.6699795
5.029	0.0944	0.4747376	4.749	0.1423	0.6757827
5.026	0.0958	0.4814908	4.745	0.1437	0.6818565
5.025	0.0971	0.4879275	4.716	0.145	0.68382
5.031	0.0985	0.4955535	4.73	0.1464	0.692472
5.027	0.0999	0.5021973	4.695	0.1478	0.693921
V (V)	I (A)	P (W)	4.701	0.1491	0.7009191
5.016	0.1012	0.5076192	4.671	0.1505	0.7029855
4.999	0.1026	0.5128974	4.668	0.1519	0.7090692
4.982	0.104	0.518128			
4.977	0.1053	0.5240781			
4.976	0.1067	0.5309392	V (V)	I (A)	P (W)
4.978	0.1081	0.5381218	4.654	0.1532	0.7129928
4.978	0.1094	0.5445932	4.628	0.1546	0.7154888
4.972	0.1108	0.5508976	4.629	0.156	0.722124
4.959	0.1122	0.5563998	4.605	0.1573	0.7243665
4.942	0.1135	0.560917	4.599	0.1587	0.7298613
4.926	0.1149	0.5659974	4.581	0.1601	0.7334181
4.913	0.1163	0.5713819	4.591	0.1615	0.7414465
4.907	0.1177	0.5775539	4.516	0.1628	0.7352048
4.907	0.119	0.583933	4.553	0.1642	0.7476026
4.911	0.1204	0.5912844	4.525	0.1656	0.74934
4.911	0.1218	0.5981598	4.494	0.1669	0.7500486
4.908	0.1231	0.6041748	4.502	0.1683	0.7576866
4.9	0.1245	0.61005	4.421	0.1697	0.7502437
4.886	0.1259	0.6151474	4.455	0.171	0.761805
4.867	0.1272	0.6190824	4.424	0.1724	0.7626976
4.845	0.1286	0.623067	4.367	0.1738	0.7589846
4.826	0.13	0.62738	4.407	0.1751	0.7716657
4.812	0.1313	0.6318156	4.357	0.1765	0.7690105



4.291	0.1779	0.7633689	5.418	0.0131	0.0709758
4.387	0.1792	0.7861504	5.414	0.0144	0.0779616
4.303	0.1806	0.7771218	5.411	0.0157	0.0849527
4.186	0.182	0.761852	5.403	0.017	0.091851
4.253	0.1834	0.7800002	5.393	0.0183	0.0986919
4.256	0.1847	0.7860832	5.384	0.0196	0.1055264
4.214	0.1861	0.7842254	5.384	0.021	0.113064
4.072	0.1875	0.7635	5.384	0.0223	0.1200632
4.027	0.1888	0.7602976	5.383	0.0236	0.1270388
4.046	0.1902	0.7695492	5.378	0.0249	0.1339122
4.079	0.1916	0.7815364	5.373	0.0262	0.1407726
4.013	0.1929	0.7741077	5.366	0.0275	0.147565
3.811	0.1943	0.7404773	5.359	0.0288	0.1543392
3.815	0.1957	0.7465955	5.351	0.0301	0.1610651
3.677	0.197	0.724369	5.348	0.0315	0.168462
3.261	0.1984	0.6469824	5.348	0.0328	0.1754144
2.097	0.1998	0.4189806	5.349	0.0341	0.1824009
1.157	0.2011	0.2326727	5.338	0.0354	0.1889652
0.641	0.2025	0.1298025	5.327	0.0367	0.1955009
0.859	0.2039	0.1751501	5.321	0.038	0.202198
			5.322	0.0393	0.2091546
			5.323	0.0406	0.2161138
ครั้งที่ 4			5.314	0.042	0.223188
Vopen (V)	5.601		5.303	0.0433	0.2296199
Ishort (A)	0.206		5.296	0.0446	0.2362016
V (V)	I (A)	P (W)	5.299	0.0459	0.2432241
5.466	0	0	5.301	0.0472	0.2502072
5.459	0.0013	0.0070967			
5.452	0.0026	0.0141752			
5.446	0.0039	0.0212394			
5.439	0.0052	0.0282828	V (V)	I (A)	P (W)
5.432	0.0065	0.035308	5.291	0.0485	0.2566135
5.425	0.0078	0.042315	5.278	0.0498	0.2628444
5.423	0.0091	0.0493493	5.272	0.0511	0.2693992
5.422	0.0105	0.056931	5.272	0.0525	0.27678
5.421	0.0118	0.0639678	5.271	0.0538	0.2835798



5.265	0.0551	0.2901015	5.05	0.101	0.51005
5.259	0.0564	0.2966076	5.053	0.1023	0.5169219
5.25	0.0577	0.302925	5.055	0.1037	0.5242035
5.24	0.059	0.30916	5.049	0.105	0.530145
5.238	0.0603	0.3158514	5.038	0.1063	0.5355394
5.242	0.0616	0.3229072	5.02	0.1076	0.540152
5.24	0.063	0.33012	5.005	0.1089	0.5450445
5.224	0.0643	0.3359032	4.991	0.1102	0.5500082
5.212	0.0656	0.3419072	4.995	0.1115	0.5569425
5.213	0.0669	0.3487497	4.997	0.1128	0.5636616
5.214	0.0682	0.3555948	4.997	0.1142	0.5706574
5.209	0.0695	0.3620255	4.995	0.1155	0.5769225
5.205	0.0708	0.368514	4.986	0.1168	0.5823648
5.191	0.0721	0.3742711	4.972	0.1181	0.5871932
5.173	0.0735	0.3802155	4.951	0.1194	0.5911494
5.173	0.0748	0.3869404	4.931	0.1207	0.5951717
5.177	0.0761	0.3939697	4.92	0.122	0.60024
5.173	0.0774	0.4003902	4.916	0.1233	0.6061428
5.167	0.0787	0.4066429	4.913	0.1247	0.6126511
5.153	0.08	0.41224	4.912	0.126	0.618912
5.138	0.0813	0.4177194	4.915	0.1273	0.6256795
5.137	0.0826	0.4243162	4.914	0.1286	0.6319404
5.137	0.084	0.431508	4.909	0.1299	0.6376791
5.139	0.0853	0.4383567	4.901	0.1312	0.6430112
5.138	0.0866	0.4449508	4.884	0.1325	0.64713
5.121	0.0879	0.4501359	4.845	0.1338	0.648261
5.106	0.0892	0.4554552	4.855	0.1352	0.656396
5.097	0.0905	0.4612785	4.837	0.1365	0.6602505
5.095	0.0918	0.467721	4.823	0.1378	0.6646094
5.1	0.0931	0.47481	4.824	0.1391	0.6710184
5.097	0.0945	0.4816665	4.797	0.1404	0.6734988
5.09	0.0958	0.487622	4.807	0.1417	0.6811519
V (V)	I (A)	P (W)	4.771	0.143	0.682253
5.074	0.0971	0.4926854	4.781	0.1443	0.6898983
5.06	0.0984	0.497904	4.735	0.1457	0.6898895
5.05	0.0997	0.503485			

V (V)	I (A)	P (W)			
			3.727	0.1916	0.7140932
			2.676	0.1929	0.5162004
4.772	0.147	0.701484	4.061	0.1942	0.7886462
4.707	0.1483	0.6980481	1.46	0.1955	0.28543
4.75	0.1496	0.7106			
4.697	0.1509	0.7087773			
4.7	0.1522	0.71534	ครั้งที่ 5		
4.694	0.1535	0.720529	Vopen (V)	5.424	
4.659	0.1548	0.7212132	Ishort (A)	0.203	
4.667	0.1562	0.7289854	V (V)	I (A)	P (W)
4.64	0.1575	0.7308	5.401	0	0
4.651	0.1588	0.7385788	5.398	0.0013	0.0070174
4.592	0.1601	0.7351792	5.396	0.0027	0.0145692
4.597	0.1614	0.7419558	5.394	0.004	0.021576
4.624	0.1627	0.7523248	5.391	0.0054	0.0291114
4.562	0.164	0.748168	5.387	0.0067	0.0360929
4.56	0.1653	0.753768	5.384	0.0081	0.0436104
4.564	0.1667	0.7608188	5.377	0.0095	0.0510815
4.498	0.168	0.755664	5.37	0.0108	0.057996
4.506	0.1693	0.7628658	5.363	0.0122	0.0654286
4.516	0.1706	0.7704296	5.357	0.0135	0.0723195
4.455	0.1719	0.7658145	5.35	0.0149	0.079715
4.418	0.1732	0.7651976	5.343	0.0162	0.0865566
4.43	0.1745	0.773035	5.343	0.0176	0.0940368
4.428	0.1758	0.7784424	5.343	0.019	0.101517
4.367	0.1772	0.7738324	5.343	0.0203	0.1084629
4.273	0.1785	0.7627305	5.338	0.0217	0.1158346
4.312	0.1798	0.7752976	5.332	0.023	0.122636
4.338	0.1811	0.7856118	5.326	0.0244	0.1299544
4.314	0.1824	0.7868736	5.317	0.0258	0.1371786
4.315	0.1837	0.7926655	5.308	0.0271	0.1438468
4.3	0.185	0.7955	5.304	0.0285	0.151164
4.285	0.1863	0.7982955	5.306	0.0298	0.1581188
4.204	0.1877	0.7890908	5.307	0.0312	0.1655784
4.225	0.189	0.798525	5.298	0.0325	0.172185
4.107	0.1903	0.7815621	5.286	0.0339	0.1791954

5.277	0.0353	0.1862781	5.099	0.0787	0.4012913
5.279	0.0366	0.1932114	5.104	0.0801	0.4088304
5.281	0.038	0.200678	5.107	0.0814	0.4157098
5.275	0.0393	0.2073075	5.098	0.0828	0.4221144
5.263	0.0407	0.2142041	5.088	0.0841	0.4279008
5.253	0.042	0.220626	5.072	0.0855	0.433656
5.254	0.0434	0.2280236	5.066	0.0869	0.4402354
5.255	0.0448	0.235424	5.069	0.0882	0.4470858
5.249	0.0461	0.2419789	5.069	0.0896	0.4541824
5.237	0.0475	0.2487575	5.066	0.0909	0.4604994
5.227	0.0488	0.2550776	5.052	0.0923	0.4662996
			5.035	0.0937	0.4717795
			5.027	0.095	0.477565
			5.023	0.0964	0.4842172
V (V)	I (A)	P (W)	5.028	0.0977	0.4912356
5.229	0.0502	0.2624958	5.028	0.0991	0.4982748
5.231	0.0516	0.2699196	V (V)	I (A)	P (W)
5.221	0.0529	0.2761909	5.023	0.1004	0.5043092
5.206	0.0543	0.2826858	5.006	0.1018	0.5096108
5.199	0.0556	0.2890644	4.99	0.1032	0.514968
5.204	0.057	0.296628	4.978	0.1045	0.520201
5.207	0.0583	0.3035681	4.975	0.1059	0.5268525
5.193	0.0597	0.3100221	4.975	0.1072	0.53332
5.179	0.0611	0.3164369	4.98	0.1086	0.540828
5.175	0.0624	0.32292	4.977	0.1099	0.5469723
5.173	0.0638	0.3300374	4.967	0.1113	0.5528271
5.171	0.0651	0.3366321	4.951	0.1127	0.5579777
5.168	0.0665	0.343672	4.933	0.114	0.562362
5.159	0.0679	0.3502961	4.915	0.1154	0.567191
5.145	0.0692	0.356034	4.906	0.1167	0.5725302
5.137	0.0706	0.3626722	4.905	0.1181	0.5792805
5.141	0.0719	0.3696379	4.908	0.1195	0.586506
5.141	0.0733	0.3768353	4.91	0.1208	0.593128
5.132	0.0746	0.3828472	4.91	0.1222	0.600002
5.122	0.076	0.389272	4.903	0.1235	0.6055205
5.108	0.0774	0.3953592	4.888	0.1249	0.6105112

4.869	0.1262	0.6144678	4.538	0.1643	0.7455934
4.848	0.1276	0.6186048	4.52	0.1656	0.748512
4.827	0.129	0.622683	4.46	0.167	0.74482
4.813	0.1303	0.6271339	4.502	0.1683	0.7576866
4.803	0.1317	0.6325551	4.458	0.1697	0.7565226
4.797	0.133	0.638001	4.425	0.1711	0.7571175
4.793	0.1344	0.6441792	4.467	0.1724	0.7701108
4.791	0.1358	0.6506178	4.408	0.1738	0.7661104
4.779	0.1371	0.6552009	4.352	0.1751	0.7620352
4.785	0.1385	0.6627225	4.379	0.1765	0.7728935
4.763	0.1398	0.6658674	4.33	0.1778	0.769874
4.761	0.1412	0.6722532	4.267	0.1792	0.7646464
4.752	0.1425	0.67716	4.27	0.1806	0.771162
4.731	0.1439	0.6807909	4.29	0.1819	0.780351
4.724	0.1453	0.6863972	4.265	0.1833	0.7817745
4.707	0.1466	0.6900462	4.143	0.1846	0.7647978
4.701	0.148	0.695748	4.101	0.186	0.762786
4.686	0.1493	0.6996198	4.031	0.1874	0.7554094
4.665	0.1507	0.7030155	4.082	0.1887	0.7702734
			4.101	0.1901	0.7796001
			4.105	0.1914	0.785697
V (V)	I (A)	P (W)	3.862	0.1928	0.7445936
4.669	0.152	0.709688	3.563	0.1941	0.6915783
4.624	0.1534	0.7093216	2.069	0.1955	0.4044895
4.664	0.1548	0.7219872	0.678	0.1969	0.1334982
4.597	0.1561	0.7175917	0.127	0.1982	0.0251714
4.608	0.1575	0.72576	1.244	0.1996	0.2483024
4.602	0.1588	0.7307976	0.072	0.2009	0.0144648
4.552	0.1602	0.7292304	0.034	0.2023	0.0068782
4.577	0.1616	0.7396432			
4.547	0.1629	0.7407063			

ตาราง 7 แสดงค่ากระแสไฟฟ้า แรงดันไฟฟ้า และกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยว ที่ความเข้มสนามแม่เหล็ก 1,000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความเข้มสนามแม่เหล็กที่ใส่ได้ 260 มิลลิเทสลา

ครั้งที่ 1

Vopen (V) 5.643 Ishort (A) 0.212

V (V) I (A) P (W)

5.6 0 0

5.597 0.0014 0.0078358

5.595 0.0028 0.015666

5.593 0.0042 0.0234906

5.589 0.0056 0.0312984

5.586 0.007 0.039102

5.583 0.0085 0.0474555

5.574 0.0099 0.0551826

5.565 0.0113 0.0628845

5.556 0.0127 0.0705612

5.549 0.0141 0.0782409

5.543 0.0155 0.0859165

5.537 0.017 0.094129

5.537 0.0184 0.1018808

5.537 0.0198 0.1096326

5.536 0.0212 0.1173632

5.528 0.0226 0.1249328

5.519 0.0241 0.1330079

5.512 0.0255 0.140556

5.507 0.0269 0.1481383

5.502 0.0283 0.1557066

5.498 0.0297 0.1632906

5.494 0.0311 0.1708634

5.491 0.0326 0.1790066

5.481 0.034 0.186354

5.472 0.0354 0.1937088

5.466 0.0368 0.2011488

5.467 0.0382 0.2088394

5.468 0.0397 0.2170796

5.46 0.0411 0.224406

5.448 0.0425 0.23154

5.44 0.0439 0.238816

5.441 0.0453 0.2464773

5.442 0.0467 0.2541414

5.435 0.0482 0.261967

V (V) I (A) P (W)

5.425 0.0496 0.26908

5.417 0.051 0.276267

5.414 0.0524 0.2836936

5.411 0.0538 0.2911118

5.405 0.0553 0.2988965

5.399 0.0567 0.3061233

5.392 0.0581 0.3132752

5.382 0.0595 0.320229

5.376 0.0609 0.3273984

5.379 0.0623 0.3351117

5.38 0.0638 0.343244

5.366 0.0652 0.3498632

5.352 0.0666 0.3564432

5.35 0.068 0.3638

5.35 0.0694 0.37129

5.345 0.0709 0.3789605

5.34 0.0723 0.386082

5.328 0.0737 0.3926736

5.312 0.0751 0.3989312

5.307 0.0765 0.4059855

5.311 0.0779 0.4137269

5.309 0.0794 0.4215346

5.304 0.0808 0.4285632

5.292 0.0822 0.4350024

5.276 0.0836 0.4410736

V (V) I (A) P (W)

5.268 0.085 0.44778

5.267 0.0864 0.4550688

5.268 0.0879 0.4630572

5.269 0.0893 0.4705217

5.258 0.0907 0.4769006

5.243 0.0921 0.4828803

5.228 0.0935 0.488818

5.216 0.095 0.49552

5.218	0.0964	0.5030152	4.951	0.146	0.722846
5.22	0.0978	0.510516	4.89	0.1474	0.720786
V (V)	I (A)	P (W)	4.936	0.1488	0.7344768
5.22	0.0992	0.517824	4.867	0.1503	0.7315101
5.212	0.1006	0.5243272	4.918	0.1517	0.7460606
5.2	0.102	0.5304	4.844	0.1531	0.7416164
5.181	0.1035	0.5362335	4.885	0.1545	0.7547325
5.166	0.1049	0.5419134	V (V)	I (A)	P (W)
5.158	0.1063	0.5482954	4.821	0.1559	0.7515939
5.158	0.1077	0.5555166	4.848	0.1573	0.7625904
5.161	0.1091	0.5630651	4.806	0.1588	0.7631928
5.163	0.1106	0.5710278	4.807	0.1602	0.7700814
5.157	0.112	0.577584	4.778	0.1616	0.7721248
5.146	0.1134	0.5835564	4.791	0.163	0.780933
5.129	0.1148	0.5888092	4.734	0.1644	0.7782696
5.111	0.1162	0.5938982	4.744	0.1659	0.7870296
5.093	0.1176	0.5989368	4.734	0.1673	0.7919982
5.084	0.1191	0.6055044	4.707	0.1687	0.7940709
5.081	0.1205	0.6122605	4.697	0.1701	0.7989597
5.082	0.1219	0.6194958	4.64	0.1715	0.79576
5.082	0.1233	0.6266106	4.677	0.1729	0.8086533
5.081	0.1247	0.6336007	4.604	0.1744	0.8029376
5.078	0.1262	0.6408436	4.628	0.1758	0.8136024
5.071	0.1276	0.6470596	4.581	0.1772	0.8117532
5.063	0.129	0.653127	4.562	0.1786	0.8147732
5.051	0.1304	0.6586504	4.568	0.18	0.82224
5.035	0.1318	0.663613	4.478	0.1815	0.812757
5.018	0.1332	0.6683976	4.547	0.1829	0.8316463
5.002	0.1347	0.6737694	4.518	0.1843	0.8326674
4.988	0.1361	0.6788668	4.416	0.1857	0.8200512
4.975	0.1375	0.6840625	4.469	0.1871	0.8361499
4.962	0.1389	0.6892218	4.406	0.1885	0.830531
4.949	0.1403	0.6943447	4.304	0.19	0.81776
4.954	0.1418	0.7024772	4.362	0.1914	0.8348868
4.965	0.1432	0.710988	4.376	0.1928	0.8436928
4.922	0.1446	0.7117212	4.225	0.1942	0.820495

4.136	0.1956	0.8090016	0.316	0.2041	0.0644956
4.133	0.1971	0.8146143	0.385	0.2056	0.079156
4.198	0.1985	0.833303	0.073	0.207	0.015111
3.526	0.1999	0.7048474	0.025	0.2084	0.00521
2.009	0.2013	0.4044117	0.028	0.2098	0.0058744
0.678	0.2027	0.1374306	0.014	0.2112	0.0029568

ครั้งที่ 2

Vopen (V)	5.755	5.606	0.0319	0.1788314	
Ishort (A)	0.199	5.605	0.0333	0.1866465	
V (V)	I (A)	P (W)	5.603	0.0346	0.1938638
5.723	0	0	5.592	0.0359	0.2007528
5.716	0.0013	0.0074308	5.58	0.0373	0.208134
5.71	0.0026	0.014846	5.576	0.0386	0.2152336
5.704	0.0039	0.0222456	5.579	0.0399	0.2226021
5.701	0.0053	0.0302153	5.583	0.0413	0.2305779
5.697	0.0066	0.0376002	5.57	0.0426	0.237282
5.694	0.0079	0.0449826	5.557	0.0439	0.2439523
5.692	0.0093	0.0529356	5.551	0.0453	0.2514603
5.689	0.0106	0.0603034	5.554	0.0466	0.2588164
5.687	0.0119	0.0676753	5.558	0.0479	0.2662282
5.681	0.0133	0.0755573	V (V)	I (A)	P (W)
5.674	0.0146	0.0828404	5.544	0.0493	0.2733192
5.668	0.0159	0.0901212	5.531	0.0506	0.2798686
5.658	0.0173	0.0978834	5.527	0.0519	0.2868513
5.649	0.0186	0.1050714	5.527	0.0533	0.2945891
5.641	0.0199	0.1122559	5.525	0.0546	0.301665
5.641	0.0213	0.1201533	5.516	0.0559	0.3083444
5.641	0.0226	0.1274866	5.507	0.0573	0.3155511
5.64	0.0239	0.134796	5.5	0.0586	0.3223
5.634	0.0253	0.1425402	5.494	0.0599	0.3290906
5.628	0.0266	0.1497048	5.493	0.0613	0.3367209
5.622	0.0279	0.1568538	5.495	0.0626	0.343987
5.615	0.0293	0.1645195	5.488	0.0639	0.3506832
5.608	0.0306	0.1716048			



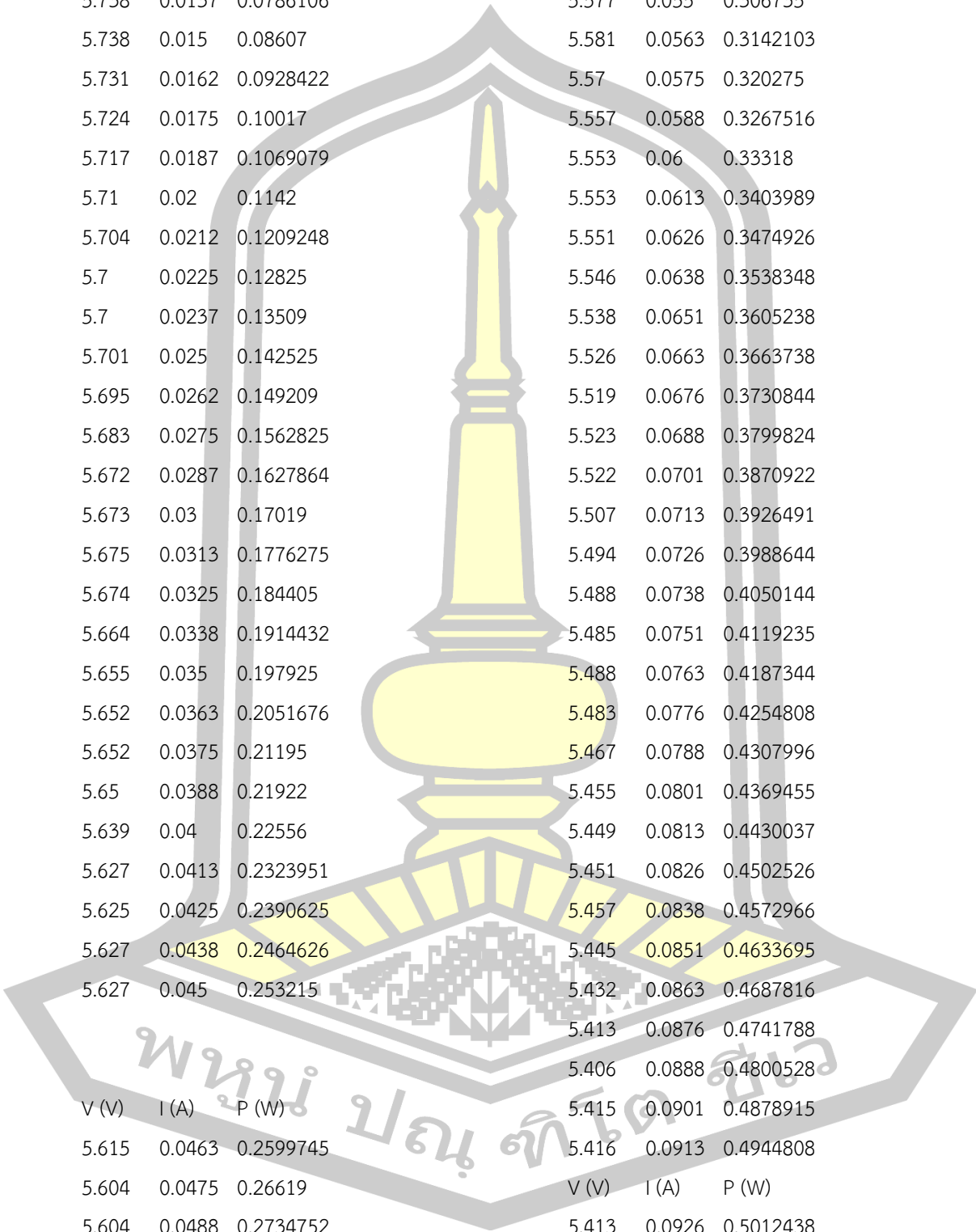
5.472	0.0653	0.3573216	5.236	0.1119	0.5859084
5.462	0.0666	0.3637692	5.239	0.1132	0.5930548
5.463	0.0679	0.3709377	5.238	0.1146	0.6002748
5.463	0.0692	0.3780396	5.231	0.1159	0.6062729
5.455	0.0706	0.385123	5.218	0.1172	0.6115496
5.447	0.0719	0.3916393	5.193	0.1186	0.6158898
5.434	0.0732	0.3977688	5.174	0.1199	0.6203626
5.421	0.0746	0.4044066	5.16	0.1212	0.625392
5.426	0.0759	0.4118334	5.15	0.1226	0.63139
5.431	0.0772	0.4192732	5.146	0.1239	0.6375894
5.418	0.0786	0.4258548	5.148	0.1252	0.6445296
5.406	0.0799	0.4319394	5.151	0.1266	0.6521166
5.395	0.0812	0.438074	5.153	0.1279	0.6590687
5.385	0.0826	0.444801	5.149	0.1292	0.6652508
5.389	0.0839	0.4521371	5.141	0.1306	0.6714146
5.39	0.0852	0.459228	5.124	0.1319	0.6758556
5.381	0.0866	0.4659946	5.105	0.1332	0.679986
5.369	0.0879	0.4719351	5.091	0.1345	0.6847395
5.353	0.0892	0.4774876	5.075	0.1359	0.6896925
5.345	0.0906	0.484257	5.06	0.1372	0.694232
5.345	0.0919	0.4912055	5.067	0.1385	0.7017795
5.347	0.0932	0.4983404	5.029	0.1399	0.7035571
5.35	0.0946	0.50611	5.054	0.1412	0.7136248
5.338	0.0959	0.5119142	4.989	0.1425	0.7109325
5.323	0.0972	0.5173956	5.026	0.1439	0.7232414
V (V)	I (A)	P (W)	4.978	0.1452	0.7228056
5.302	0.0986	0.5227772	5.007	0.1465	0.7335255
5.296	0.0999	0.5290704	4.962	0.1479	0.7338798
5.298	0.1012	0.5361576	V (V)	I (A)	P (W)
5.302	0.1026	0.5439852	4.971	0.1492	0.7416732
5.301	0.1039	0.5507739	4.94	0.1505	0.74347
5.292	0.1052	0.5567184	4.933	0.1519	0.7493227
5.272	0.1066	0.5619952	4.934	0.1532	0.7558888
5.253	0.1079	0.5667987	4.889	0.1545	0.7553505
5.238	0.1092	0.5719896	4.912	0.1559	0.7657808
5.235	0.1106	0.578991	4.872	0.1572	0.7658784

4.846	0.1585	0.768091	4.493	0.1799	0.8082907
4.879	0.1599	0.7801521	4.555	0.1812	0.825366
4.821	0.1612	0.7771452	4.47	0.1825	0.815775
4.801	0.1625	0.7801625	4.388	0.1839	0.8069532
4.778	0.1639	0.7831142	4.34	0.1852	0.803768
4.747	0.1652	0.7842044	4.259	0.1865	0.7943035
4.786	0.1665	0.796869	4.103	0.1879	0.7709537
4.75	0.1679	0.797525	3.815	0.1892	0.721798
4.717	0.1692	0.7981164	3.272	0.1905	0.623316
4.753	0.1705	0.8103865	3.729	0.1919	0.7155951
4.704	0.1719	0.8086176	3.574	0.1932	0.6904968
4.625	0.1732	0.80105	3.111	0.1945	0.6050895
4.639	0.1745	0.8095055	0.676	0.1959	0.1324284
4.632	0.1759	0.8147688	1.406	0.1972	0.2772632
4.56	0.1772	0.808032	0.075	0.1985	0.0148875
4.489	0.1785	0.8012865			

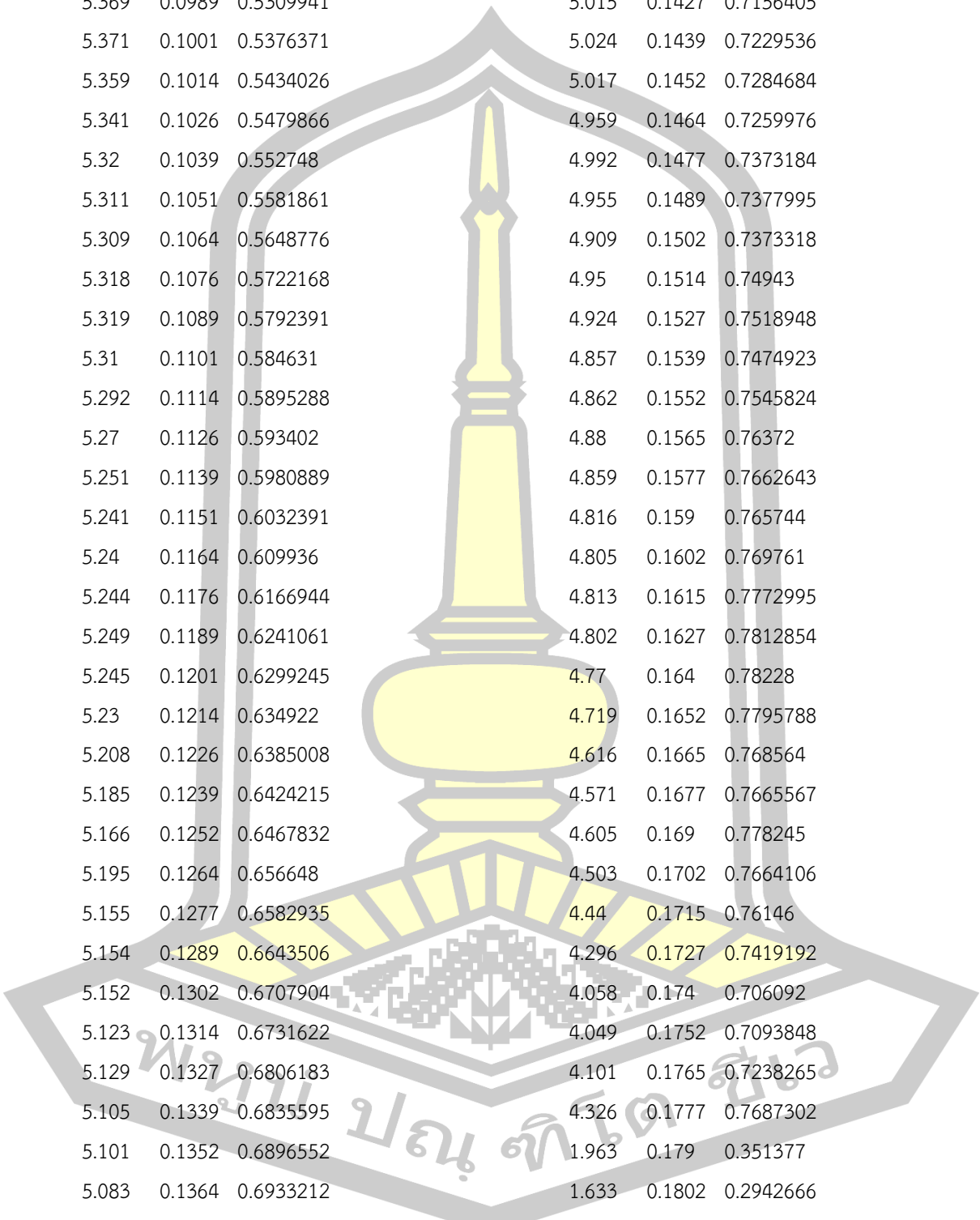
ครั้งที่ 3			5.493	0.0175	0.0961275
Vopen (V)	5.583		5.489	0.0188	0.1031932
Ishort (A)	0.202		5.484	0.0202	0.1107768
V (V)	I (A)	P (W)	5.483	0.0215	0.1178845
5.555	0	0	5.481	0.0229	0.1255149
5.548	0.0013	0.0072124	5.477	0.0242	0.1325434
5.542	0.0026	0.0144092	5.467	0.0256	0.1399552
5.536	0.004	0.022144	5.458	0.0269	0.1468202
5.534	0.0053	0.0293302	5.453	0.0283	0.1543199
5.532	0.0067	0.0370644	5.453	0.0296	0.1614088
5.531	0.008	0.044248	5.453	0.031	0.169043
5.529	0.0094	0.0519726	5.446	0.0323	0.1759058
5.527	0.0107	0.0591389	5.438	0.0337	0.1832606
5.525	0.0121	0.0668525	5.431	0.035	0.190085
5.517	0.0134	0.0739278	5.428	0.0363	0.1970364
5.507	0.0148	0.0815036	5.424	0.0377	0.2044848
5.498	0.0161	0.0885178	5.419	0.039	0.211341

5.413	0.0404	0.2186852	5.228	0.0835	0.436538
5.407	0.0417	0.2254719	5.216	0.0849	0.4428384
5.404	0.0431	0.2329124	5.214	0.0862	0.4494468
5.401	0.0444	0.2398044	5.222	0.0876	0.4574472
5.395	0.0458	0.247091	5.218	0.0889	0.4638802
5.389	0.0471	0.2538219	5.207	0.0903	0.4701921
5.382	0.0485	0.261027	5.192	0.0916	0.4755872
			5.174	0.093	0.481182
			5.17	0.0943	0.487531
			5.169	0.0957	0.4946733
V (V)	I (A)	P (W)	5.173	0.097	0.501781
5.38	0.0498	0.267924	5.169	0.0984	0.5086296
5.378	0.0512	0.2753536	V (V)	I (A)	P (W)
5.37	0.0525	0.281925	5.159	0.0997	0.5143523
5.357	0.0539	0.2887423	5.142	0.1011	0.5198562
5.352	0.0552	0.2954304	5.126	0.1024	0.5249024
5.355	0.0566	0.303093	5.117	0.1037	0.5306329
5.357	0.0579	0.3101703	5.114	0.1051	0.5374814
5.342	0.0593	0.3167806	5.114	0.1064	0.5441296
5.327	0.0606	0.3228162	5.118	0.1078	0.5517204
5.326	0.062	0.330212	5.115	0.1091	0.5580465
5.328	0.0633	0.3372624	5.105	0.1105	0.5641025
5.324	0.0647	0.3444628	5.083	0.1118	0.5682794
5.317	0.066	0.350922	5.063	0.1132	0.5731316
5.307	0.0674	0.3576918	5.048	0.1145	0.577996
5.296	0.0687	0.3638352	5.046	0.1159	0.5848314
5.289	0.07	0.37023	5.047	0.1172	0.5915084
5.295	0.0714	0.378063	5.05	0.1186	0.59893
5.295	0.0727	0.3849465	5.055	0.1199	0.6060945
5.278	0.0741	0.3910998	5.047	0.1213	0.6122011
5.265	0.0754	0.396981	5.038	0.1226	0.6176588
5.258	0.0768	0.4038144	5.024	0.124	0.622976
5.254	0.0781	0.4103374	5.007	0.1253	0.6273771
5.258	0.0795	0.418011	4.986	0.1267	0.6317262
5.258	0.0808	0.4248464	4.969	0.128	0.636032
5.242	0.0822	0.4308924	4.957	0.1294	0.6414358

4.949	0.1307	0.6468343	4.599	0.1658	0.7625142
4.945	0.1321	0.6532345	4.628	0.1671	0.7733388
4.946	0.1334	0.6597964	4.557	0.1685	0.7678545
4.941	0.1348	0.6660468	4.585	0.1698	0.778533
4.927	0.1361	0.6705647	4.584	0.1711	0.7843224
4.926	0.1374	0.6768324	4.5	0.1725	0.77625
4.908	0.1388	0.6812304	4.507	0.1738	0.7833166
4.899	0.1401	0.6863499	4.496	0.1752	0.7876992
4.89	0.1415	0.691935	4.423	0.1765	0.7806595
4.87	0.1428	0.695436	4.405	0.1779	0.7836495
4.872	0.1442	0.7025424	4.452	0.1792	0.7977984
4.846	0.1455	0.705093	4.393	0.1806	0.7933758
4.84	0.1469	0.710996	4.304	0.1819	0.7828976
4.824	0.1482	0.7149168	4.25	0.1833	0.779025
4.809	0.1496	0.7194264	4.274	0.1846	0.7889804
V (V)	I (A)	P (W)	4.277	0.186	0.795522
4.814	0.1509	0.7264326	4.273	0.1873	0.8003329
4.764	0.1523	0.7255572	4.237	0.1887	0.7995219
4.806	0.1536	0.7382016	4.128	0.19	0.78432
4.738	0.155	0.73439	3.987	0.1914	0.7631118
4.755	0.1563	0.7432065	3.773	0.1927	0.7270571
4.733	0.1577	0.7463941	3.986	0.1941	0.7736826
4.701	0.159	0.747459	3.208	0.1954	0.6268432
4.703	0.1604	0.7543612	0.491	0.1968	0.0966288
4.669	0.1617	0.7549773	0.725	0.1981	0.1436225
4.688	0.1631	0.7646128	1.591	0.1995	0.3174045
4.631	0.1644	0.7613364	0.849	0.2008	0.1704792
ครั้งที่ 4			5.78	0.0037	0.021386
Vopen (V)		5.817	5.771	0.005	0.028855
Ishort (A)		0.187	5.763	0.0062	0.0357306
V (V)	I (A)	P (W)	5.754	0.0075	0.043155
5.796	0	0	5.749	0.0087	0.0500163
5.79	0.0012	0.006948	5.745	0.01	0.05745
5.785	0.0025	0.0144625	5.74	0.0112	0.064288



5.739	0.0125	0.0717375	5.573	0.0538	0.2998274
5.738	0.0137	0.0786106	5.577	0.055	0.306735
5.738	0.015	0.08607	5.581	0.0563	0.3142103
5.731	0.0162	0.0928422	5.57	0.0575	0.320275
5.724	0.0175	0.10017	5.557	0.0588	0.3267516
5.717	0.0187	0.1069079	5.553	0.06	0.33318
5.71	0.02	0.1142	5.553	0.0613	0.3403989
5.704	0.0212	0.1209248	5.551	0.0626	0.3474926
5.7	0.0225	0.12825	5.546	0.0638	0.3538348
5.7	0.0237	0.13509	5.538	0.0651	0.3605238
5.701	0.025	0.142525	5.526	0.0663	0.3663738
5.695	0.0262	0.149209	5.519	0.0676	0.3730844
5.683	0.0275	0.1562825	5.523	0.0688	0.3799824
5.672	0.0287	0.1627864	5.522	0.0701	0.3870922
5.673	0.03	0.17019	5.507	0.0713	0.3926491
5.675	0.0313	0.1776275	5.494	0.0726	0.3988644
5.674	0.0325	0.184405	5.488	0.0738	0.4050144
5.664	0.0338	0.1914432	5.485	0.0751	0.4119235
5.655	0.035	0.197925	5.488	0.0763	0.4187344
5.652	0.0363	0.2051676	5.483	0.0776	0.4254808
5.652	0.0375	0.21195	5.467	0.0788	0.4307996
5.65	0.0388	0.21922	5.455	0.0801	0.4369455
5.639	0.04	0.22556	5.449	0.0813	0.4430037
5.627	0.0413	0.2323951	5.451	0.0826	0.4502526
5.625	0.0425	0.2390625	5.457	0.0838	0.4572966
5.627	0.0438	0.2464626	5.445	0.0851	0.4633695
5.627	0.045	0.253215	5.432	0.0863	0.4687816
			5.413	0.0876	0.4741788
			5.406	0.0888	0.4800528
V (V)	I (A)	P (W)	5.415	0.0901	0.4878915
5.615	0.0463	0.2599745	5.416	0.0913	0.4944808
5.604	0.0475	0.26619	V (V)	I (A)	P (W)
5.604	0.0488	0.2734752	5.413	0.0926	0.5012438
5.607	0.05	0.28035	5.392	0.0939	0.5063088
5.601	0.0513	0.2873313	5.376	0.0951	0.5112576
5.586	0.0525	0.293265	5.363	0.0964	0.5169932



5.365	0.0976	0.523624	5.065	0.1414	0.716191
5.369	0.0989	0.5309941	5.015	0.1427	0.7156405
5.371	0.1001	0.5376371	5.024	0.1439	0.7229536
5.359	0.1014	0.5434026	5.017	0.1452	0.7284684
5.341	0.1026	0.5479866	4.959	0.1464	0.7259976
5.32	0.1039	0.552748	4.992	0.1477	0.7373184
5.311	0.1051	0.5581861	4.955	0.1489	0.7377995
5.309	0.1064	0.5648776	4.909	0.1502	0.7373318
5.318	0.1076	0.5722168	4.95	0.1514	0.74943
5.319	0.1089	0.5792391	4.924	0.1527	0.7518948
5.31	0.1101	0.584631	4.857	0.1539	0.7474923
5.292	0.1114	0.5895288	4.862	0.1552	0.7545824
5.27	0.1126	0.593402	4.88	0.1565	0.76372
5.251	0.1139	0.5980889	4.859	0.1577	0.7662643
5.241	0.1151	0.6032391	4.816	0.159	0.765744
5.24	0.1164	0.609936	4.805	0.1602	0.769761
5.244	0.1176	0.6166944	4.813	0.1615	0.7772995
5.249	0.1189	0.6241061	4.802	0.1627	0.7812854
5.245	0.1201	0.6299245	4.77	0.164	0.78228
5.23	0.1214	0.634922	4.719	0.1652	0.7795788
5.208	0.1226	0.6385008	4.616	0.1665	0.768564
5.185	0.1239	0.6424215	4.571	0.1677	0.7665567
5.166	0.1252	0.6467832	4.605	0.169	0.778245
5.195	0.1264	0.656648	4.503	0.1702	0.7664106
5.155	0.1277	0.6582935	4.44	0.1715	0.76146
5.154	0.1289	0.6643506	4.296	0.1727	0.7419192
5.152	0.1302	0.6707904	4.058	0.174	0.706092
5.123	0.1314	0.6731622	4.049	0.1752	0.7093848
5.129	0.1327	0.6806183	4.101	0.1765	0.7238265
5.105	0.1339	0.6835595	4.326	0.1777	0.7687302
5.101	0.1352	0.6896552	1.963	0.179	0.351377
5.083	0.1364	0.6933212	1.633	0.1802	0.2942666
5.074	0.1377	0.6986898	2.318	0.1815	0.420717
5.07	0.1389	0.704223	0.599	0.1827	0.1094373
V (V)	I (A)	P (W)	0.217	0.184	0.039928
5.039	0.1402	0.7064678	0.044	0.1852	0.0081488

0.032 0.1865 0.005968

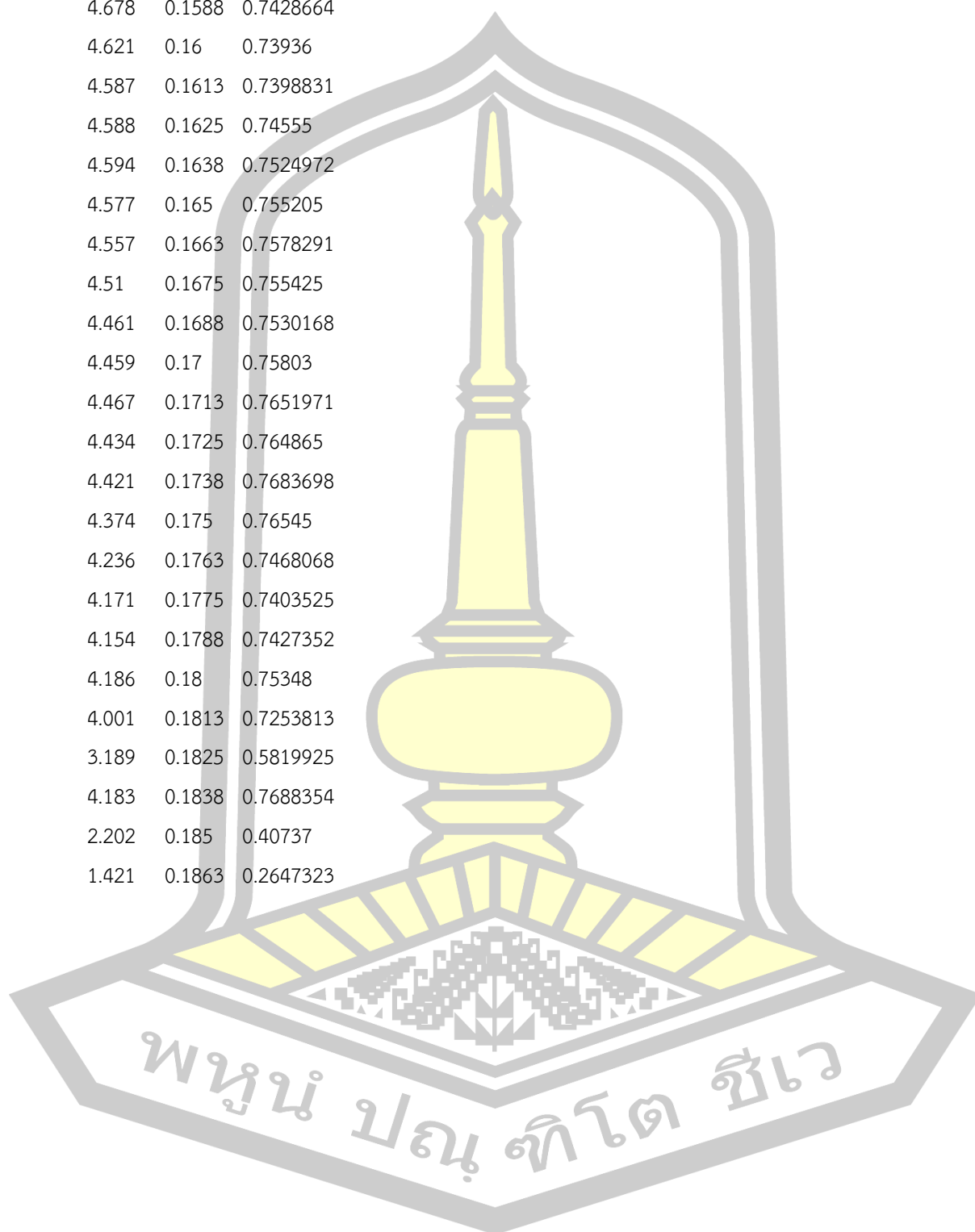
ครั้งที่ 5

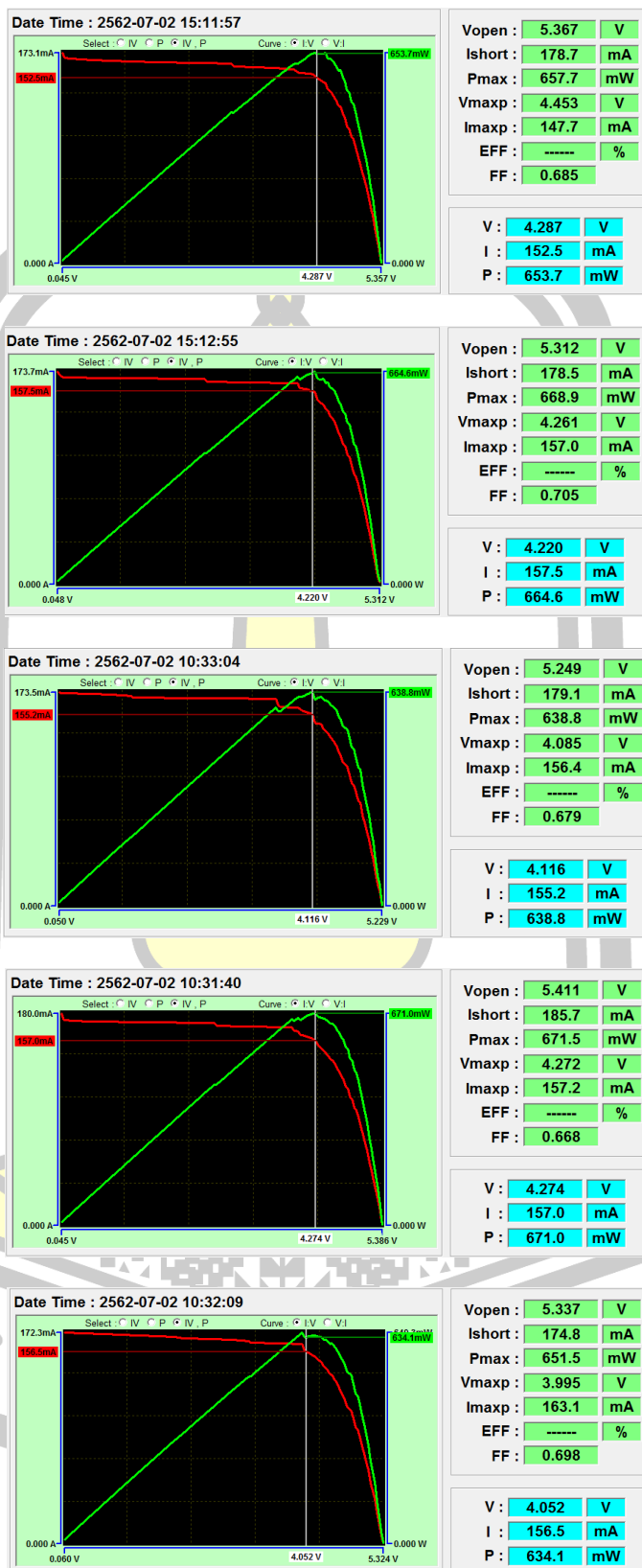
			5.403	0.035	0.189105
Vopen (V)	5.947		5.397	0.0362	0.1953714
Ishort (A)	0.184		5.401	0.0375	0.2025375
V (V)	I (A)	P (W)	5.404	0.0387	0.2091348
5.543	0	0	5.394	0.04	0.21576
5.535	0.0012	0.006642	5.382	0.0412	0.2217384
5.527	0.0025	0.0138175	5.374	0.0425	0.228395
5.52	0.0037	0.020424	5.377	0.0437	0.2349749
5.512	0.005	0.02756	5.38	0.045	0.2421
5.506	0.0062	0.0341372			
5.499	0.0075	0.0412425			
5.498	0.0087	0.0478326			
5.498	0.01	0.05498	V (V)	I (A)	P (W)
5.498	0.0112	0.0615776	5.368	0.0462	0.2480016
5.495	0.0125	0.0686875	5.354	0.0475	0.254315
5.492	0.0137	0.0752404	5.349	0.0487	0.2604963
5.489	0.015	0.082335	5.352	0.05	0.2676
5.479	0.0162	0.0887598	5.354	0.0512	0.2741248
5.469	0.0175	0.0957075	5.342	0.0525	0.280455
5.459	0.0187	0.1020833	5.332	0.0537	0.2863284
5.46	0.02	0.1092	5.328	0.055	0.29304
5.461	0.0212	0.1157732	5.326	0.0562	0.2993212
5.461	0.0225	0.1228725	5.324	0.0575	0.30613
5.455	0.0237	0.1292835	5.321	0.0587	0.3123427
5.448	0.025	0.1362	5.315	0.06	0.3189
5.442	0.0262	0.1425804	5.302	0.0612	0.3244824
5.434	0.0275	0.149435	5.29	0.0625	0.330625
5.427	0.0287	0.1557549	5.295	0.0637	0.3372915
5.425	0.03	0.16275	5.3	0.065	0.3445
5.426	0.0312	0.1692912	5.286	0.0662	0.3499332
5.428	0.0325	0.17641	5.271	0.0675	0.3557925
5.416	0.0337	0.1825192	5.266	0.0687	0.3617742

5.262	0.07	0.36834	5.061	0.1138	0.5759418
5.264	0.0712	0.3747968	5.044	0.115	0.58006
5.267	0.0725	0.3818575	5.025	0.1163	0.5844075
5.254	0.0737	0.3872198	5.007	0.1175	0.5883225
5.237	0.075	0.392775	4.991	0.1188	0.5929308
5.233	0.0762	0.3987546	4.988	0.12	0.59856
5.232	0.0775	0.40548	4.991	0.1213	0.6054083
5.232	0.0787	0.4117584	4.995	0.1225	0.6118875
5.233	0.08	0.41864	4.995	0.1238	0.618381
5.217	0.0812	0.4236204	4.992	0.125	0.624
5.201	0.0825	0.4290825	4.981	0.1263	0.6291003
5.195	0.0837	0.4348215	4.939	0.1275	0.6297225
5.192	0.085	0.44132	4.946	0.1288	0.6370448
5.198	0.0862	0.4480676	4.944	0.13	0.64272
5.195	0.0875	0.4545625	4.914	0.1313	0.6452082
5.183	0.0887	0.4597321	4.931	0.1325	0.6533575
5.165	0.09	0.46485	4.898	0.1338	0.6553524
5.149	0.0912	0.4695888	4.903	0.135	0.661905
V (V)	I (A)	P (W)	4.883	0.1363	0.6655529
5.155	0.0925	0.4768375	4.88	0.1375	0.671
5.158	0.0938	0.4838204	4.868	0.1388	0.6756784
5.158	0.095	0.49001	V (V)	I (A)	P (W)
5.145	0.0963	0.4954635	4.846	0.14	0.67844
5.129	0.0975	0.5000775	4.861	0.1413	0.6868593
5.11	0.0988	0.504868	4.815	0.1425	0.6861375
5.105	0.1	0.5105	4.833	0.1438	0.6949854
5.11	0.1013	0.517643	4.804	0.145	0.69658
5.116	0.1025	0.52439	4.785	0.1463	0.7000455
5.112	0.1038	0.5306256	4.812	0.1475	0.70977
5.102	0.105	0.53571	4.752	0.1488	0.7070976
5.082	0.1063	0.5402166	4.763	0.15	0.71445
5.066	0.1075	0.544595	4.765	0.1513	0.7209445
5.054	0.1088	0.5498752	4.705	0.1525	0.7175125
5.055	0.11	0.55605	4.705	0.1538	0.723629
5.061	0.1113	0.5632893	4.73	0.155	0.73315
5.064	0.1125	0.5697	4.68	0.1563	0.731484

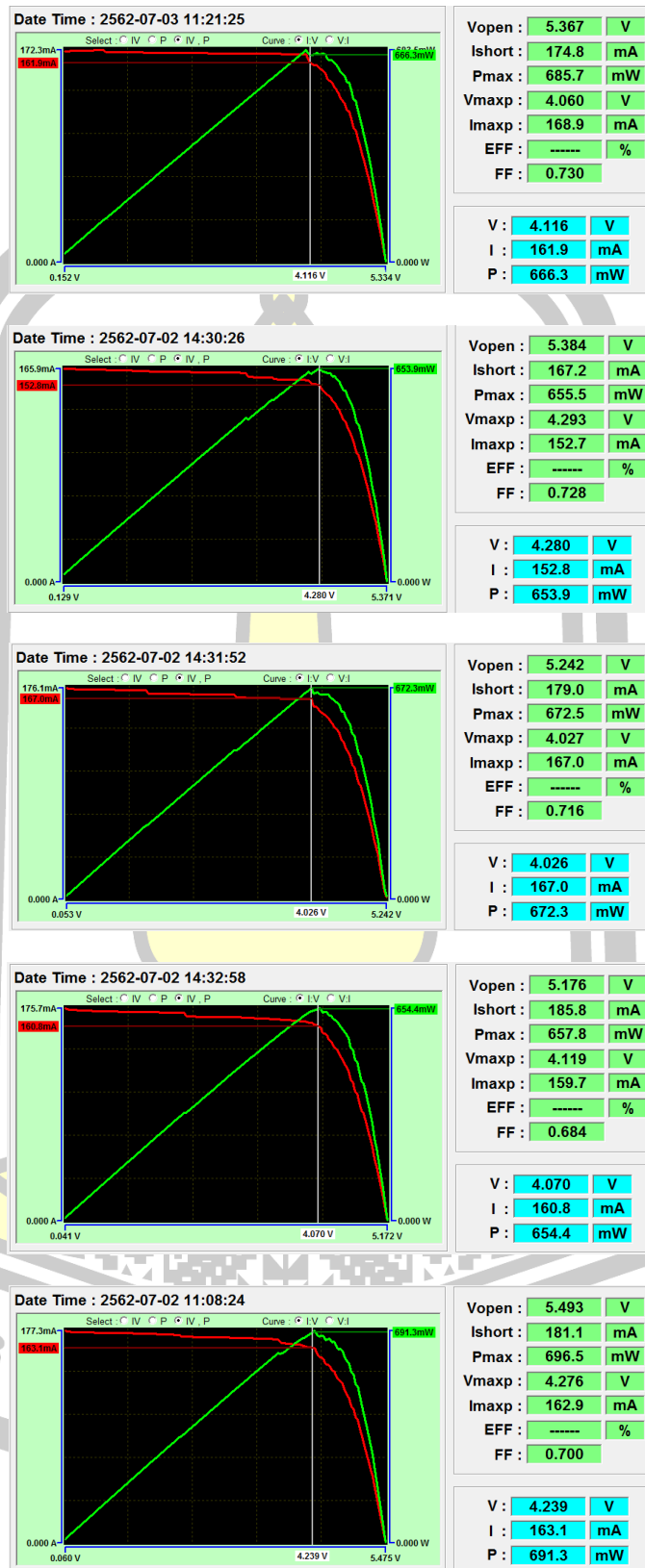


4.681	0.1575	0.7372575
4.678	0.1588	0.7428664
4.621	0.16	0.73936
4.587	0.1613	0.7398831
4.588	0.1625	0.74555
4.594	0.1638	0.7524972
4.577	0.165	0.755205
4.557	0.1663	0.7578291
4.51	0.1675	0.755425
4.461	0.1688	0.7530168
4.459	0.17	0.75803
4.467	0.1713	0.7651971
4.434	0.1725	0.764865
4.421	0.1738	0.7683698
4.374	0.175	0.76545
4.236	0.1763	0.7468068
4.171	0.1775	0.7403525
4.154	0.1788	0.7427352
4.186	0.18	0.75348
4.001	0.1813	0.7253813
3.189	0.1825	0.5819925
4.183	0.1838	0.7688354
2.202	0.185	0.40737
1.421	0.1863	0.2647323

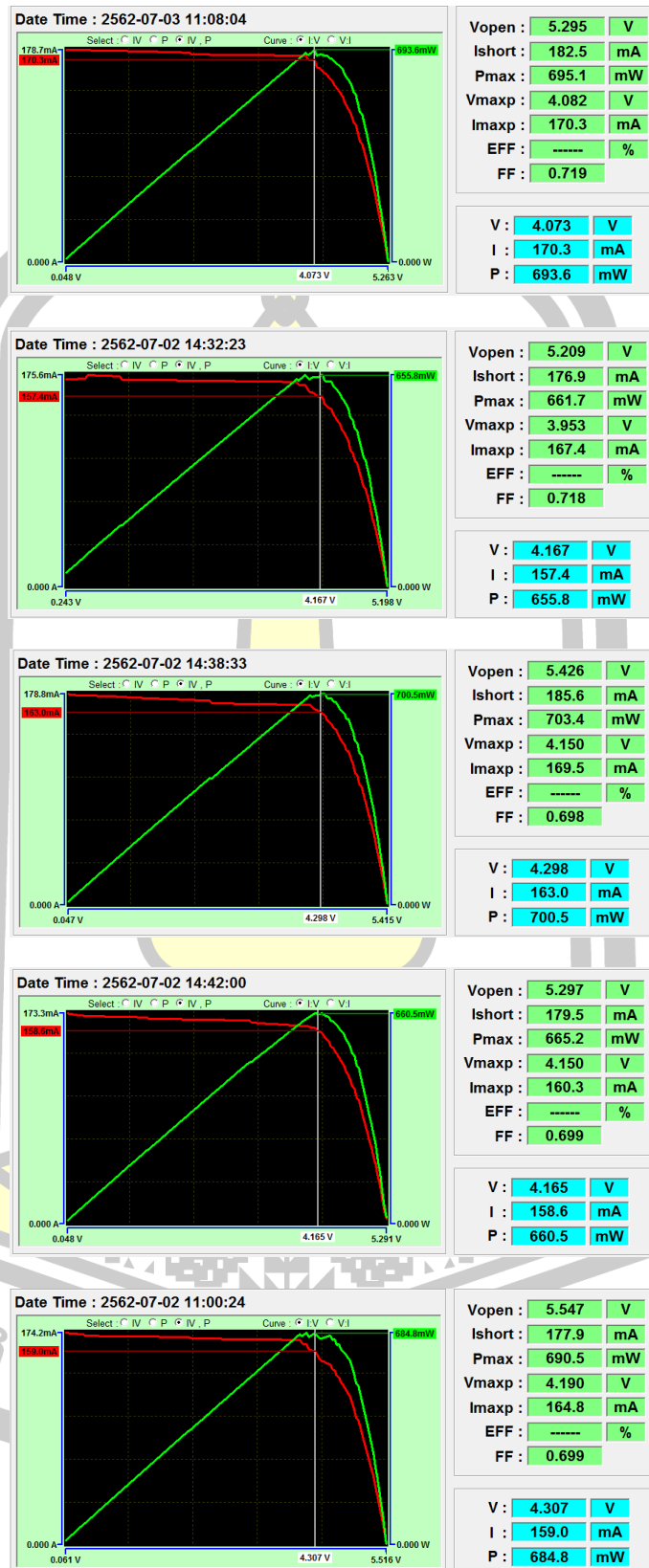




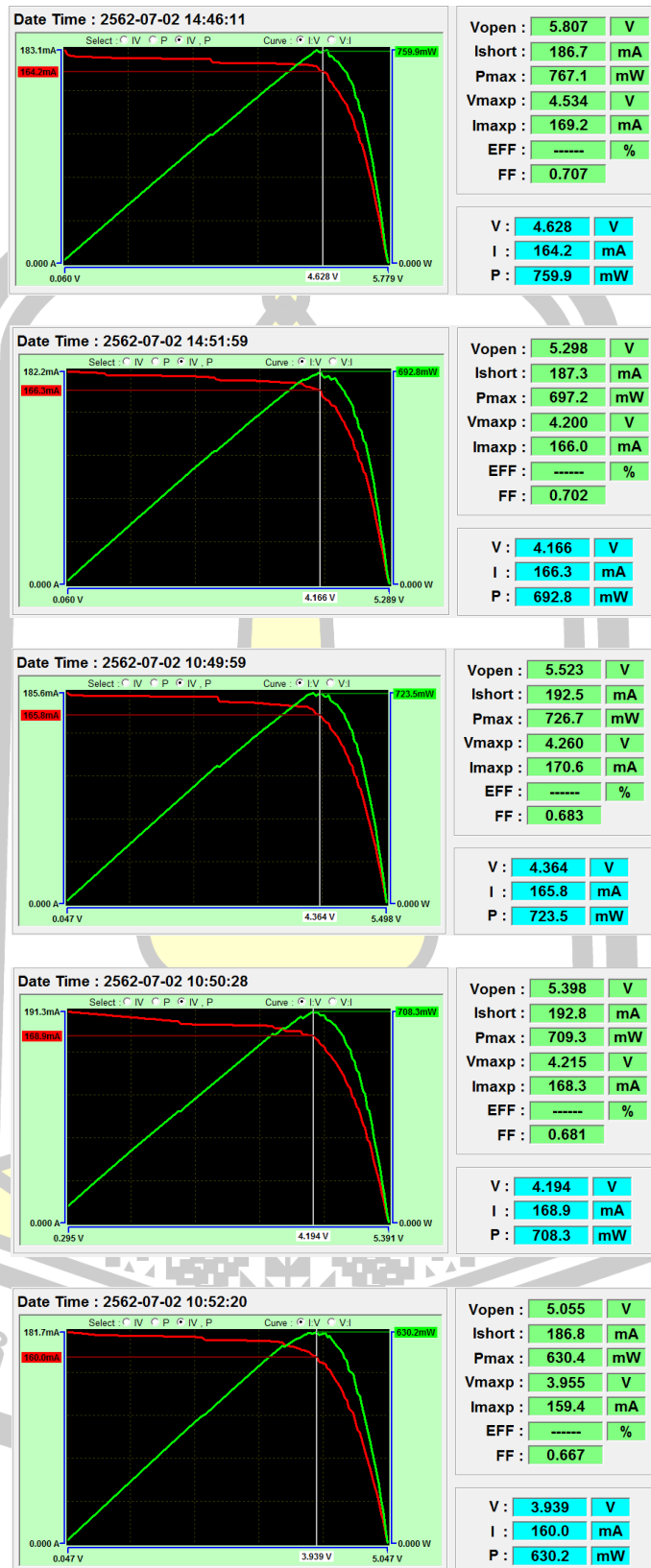
ภาพประกอบ 1 แสดงคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัตต์ ทดสอบ 5 ครั้ง ที่ความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



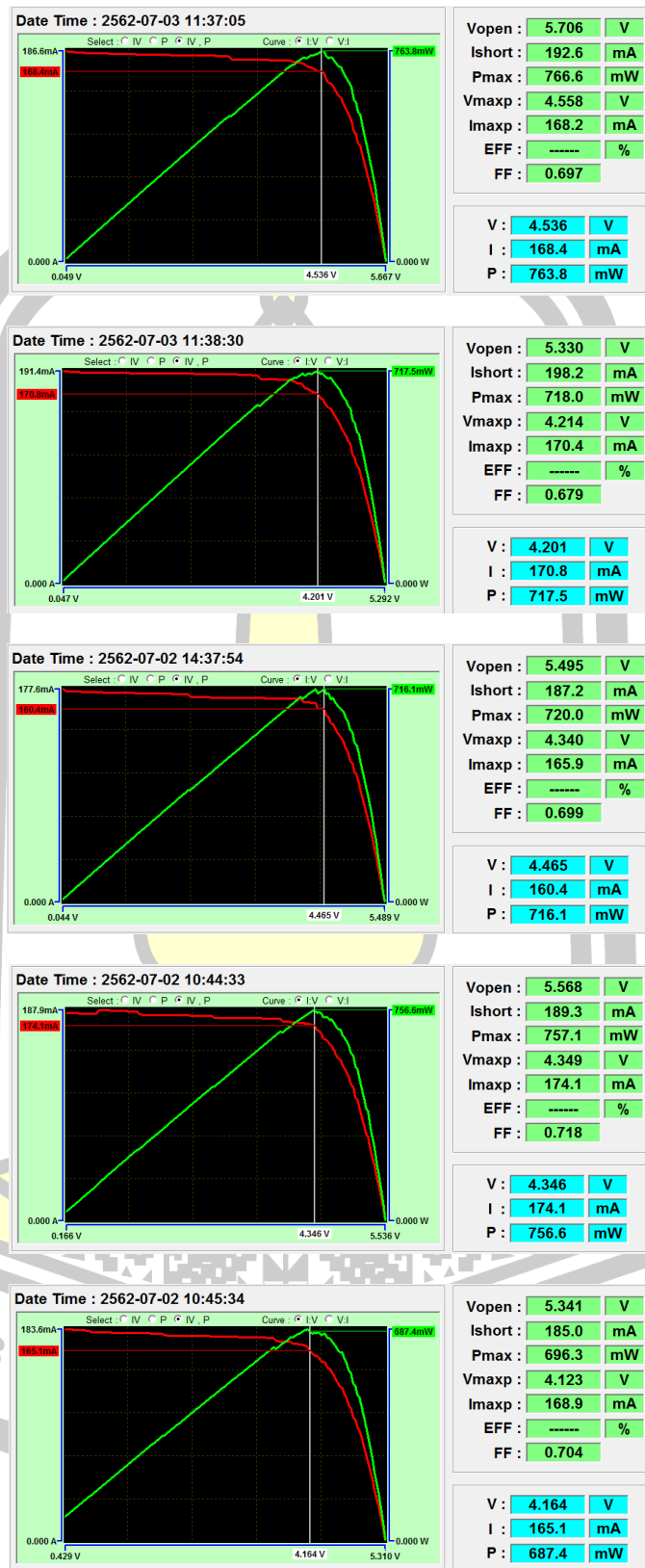
ภาพประกอบ 2 แสดงผลกระทบบของขั้วเหนือสนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 60 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัตต์ ทดสอบ 5 ครั้ง ที่ความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



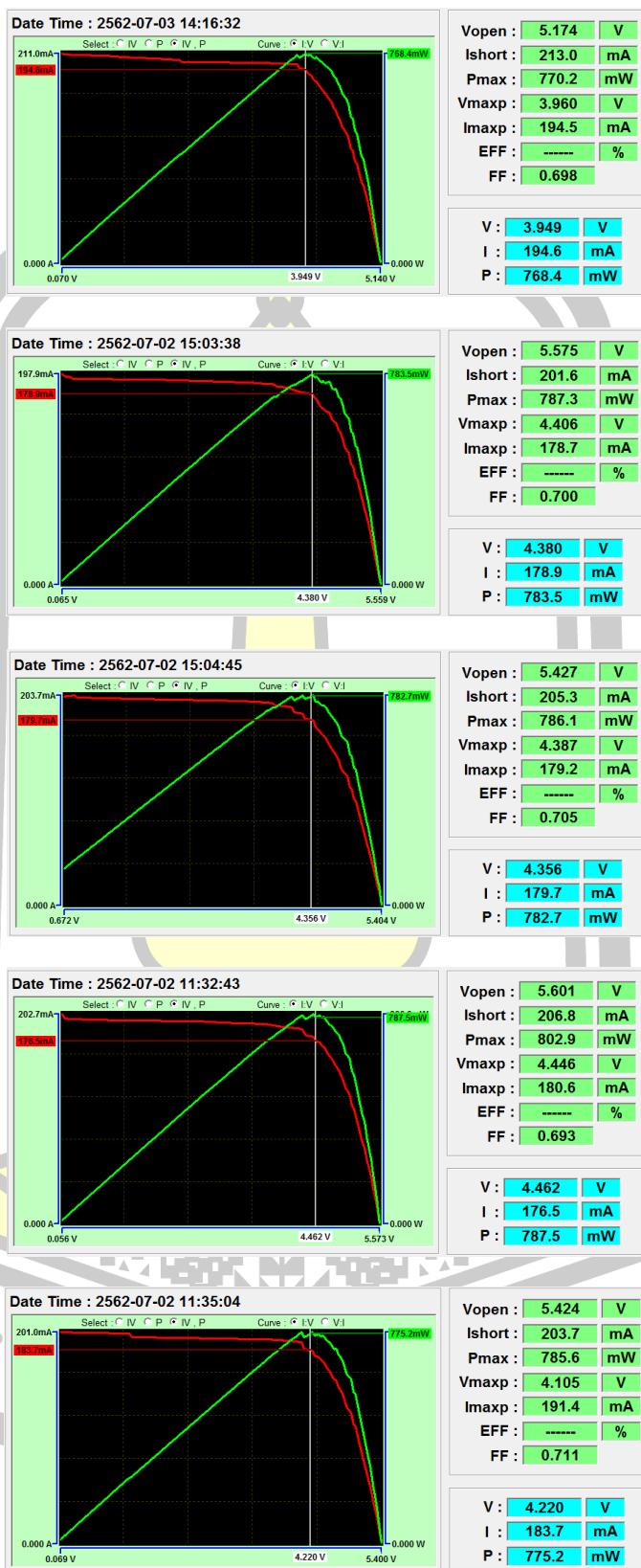
ภาพประกอบ 3 แสดงผลกระทบของข้อได้เสียแม่เหล็กที่ความเข้ม 60 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัตต์ ทดสอบ 5 ครั้ง ที่ความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



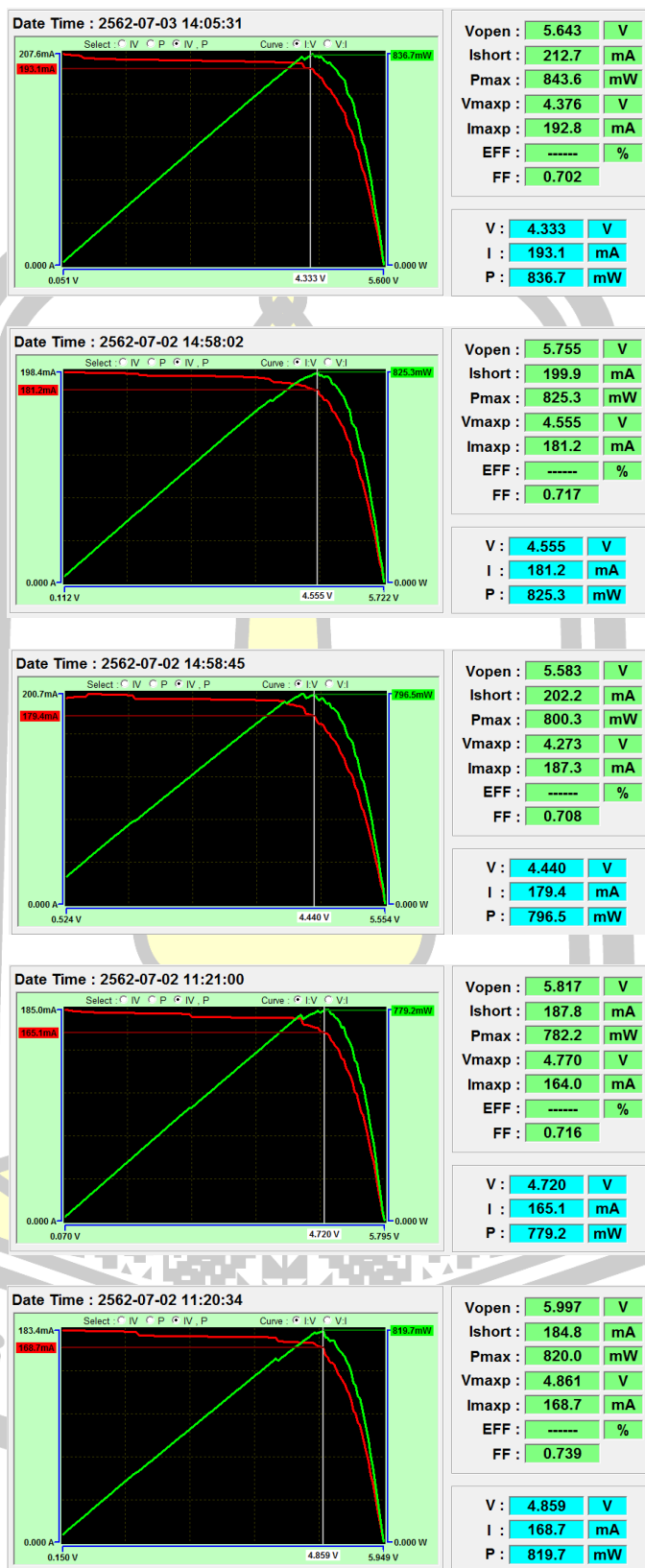
ภาพประกอบ 4 แสดงผลกระทบของขั้วเหนื่อสนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 160 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัตต์ ทดสอบ 5 ครั้ง ที่ความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 5 แสดงผลกระทบบของขั้วได้สนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 160 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัตต์ ทดสอบ 5 ครั้ง ที่ความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 6 แสดงผลกระทบของชั่วโมงสolationแม่เหล็กที่ความเข้ม 260 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัตต์ ทดสอบ 5 ครั้ง ที่ความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



ภาพประกอบ 7 แสดงผลกระทบบของขั้วได้สนามแม่เหล็กที่ความเข้ม 260 มิลลิเทสลาต่อคุณลักษณะทางไฟฟ้าของ เซลล์แสงอาทิตย์ 1 วัตต์ ทดสอบ 5 ครั้ง ที่ความเข้มแสง 1000 วัตต์ต่อตารางเมตร อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส



## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ นายปิยพัฒน์ พานเมือง  
วันเกิด วันที่ 30 ตุลาคม พ.ศ. 2532  
สถานที่เกิด จังหวัดขอนแก่น  
สถานที่อยู่ปัจจุบัน บ้านเลขที่ 157/1 หมู่ 24 ตำบลหัวขวาง อำเภอโกสุมพิสัย จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44140  
ตำแหน่งหน้าที่การงาน อาจารย์  
สถานที่ทำงานปัจจุบัน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม รหัสไปรษณีย์ 44150  
โทรศัพท์ : 043-754321-40 ต่อ 3011 - 3058  
โทรสาร : 043-754316  
Email : engineer@msu.ac.th  
ประวัติการศึกษา  
พ.ศ. 2554 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.)  
สาขาวิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยขอนแก่น  
พ.ศ. 2559 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วศ.ม.)  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม  
พ.ศ. 2563 ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต (ปร.ด.)  
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

พูนุ่ ปณุ่ ทิโต ชีเว