

## Research Methodology of Fabrication Technology of Solar Cells

Dusit Kruangam

### ABSTRACT

*A series of research methodology of fabrication technology of amorphous silicon thin film solar cells at the faculty of engineering, Chulalongkorn University are presented. The research on the fabrication of solar cells needs a large amount of budget and a lot of facilities including fabrication machines and characterization systems. The Semiconductor Device Research Laboratory (SDRL) has been established since 1974. Therefore, in order to conduct the research on the fabrication of solar cells, only the budget for additional equipment for the fabrication of solar cells had to be prepared. The main equipment for the fabrication of amorphous silicon solar cells is the plasma chemical vapor deposition. The first step of the research begins with the designs of the structure of solar cells and their theoretical works. A researcher has to have basic knowledge of material science including chemical and physic properties, computers, electronics and mechanical engineering. Some analyses of materials have to be conducted at external facilities, such as the scientific and technological research equipment center, e.g. infrared light absorption, electron spin resonance, etc. In some cases, samples have to be sent abroad. The evaluation of the success of the projects usually based on knowledge outcome and conversion efficiency of the solar cells.*

## วิธีการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

ดุสิต เครืองาม

### บทคัดย่อ

บทความนี้จะกล่าวถึงวิธีการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนที่ดำเนินที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย การทำวิจัยเรื่องการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ต้องใช้งบประมาณสูงและต้องมีความพร้อมทั้งอาคารสถานที่ ห้องปฏิบัติการ เครื่องมือ เครื่องจักรต่างๆ ที่ใช้ในการผลิต และที่สำคัญและขาดไม่ได้คือ ต้องมีเครื่องมือสำหรับวัดและวิเคราะห์หาคุณสมบัติของวัสดุและเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้ เนื่องจากห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้ก่อตั้งมานานแล้ว ดังนั้น ความพร้อมด้านพื้นฐานจึงมีอยู่ระดับหนึ่ง เพราะฉะนั้นเมื่อผู้ทำวิจัยจะผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน จึงเพียงแค่จัดหางบประมาณและติดตั้งเครื่องมือเฉพาะบางส่วนเพิ่มเติม เช่น ได้ติดตั้งระบบการปลูกฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนขึ้น (Plasma CVD) ในการดำเนินการวิจัยต้องมีการศึกษาและออกแบบทางทฤษฎีและนำผลการออกแบบนั้นไปใช้ในการผลิตด้วยการใช้โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ออกแบบไว้แล้ว ตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตมีมากมายซึ่งผู้ทำวิจัยจะต้องมีความรอบรู้ในสหวิทยาการทั้งด้านเคมี ฟิสิกส์ วัสดุศาสตร์ คอมพิวเตอร์ อิเล็กทรอนิกส์ และเครื่องกล เป็นต้น ในหลายกรณีการวัดวิเคราะห์ต้องใช้เครื่องมือนอกหน่วยงาน ได้แก่ เครื่องมือที่ศูนย์เครื่องวิเคราะห์วิทยาศาสตร์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เช่น เครื่องวัดการดูดกลืนแสงอินฟราเรด เครื่องวัดอิเล็กทรอนิกส์ป็นเรโซแนนซ์ และบางครั้งก็ต้องส่งชิ้นงานไปวัดในต่างประเทศ เช่น การวัดการกระเจิงของรามัน การประเมินผลการวิจัยจะเน้นที่องค์ความรู้และเทคโนโลยีที่ได้จากการวิจัย และคุประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ว่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสากลหรือไม่

## 1. บทนำ

ในยุคเทคโนโลยีและอุตสาหกรรมในปัจจุบัน “วัสดุ” ถือเป็นองค์ประกอบ “ต้นน้ำ” ที่สำคัญมากที่สุดในการทำให้เกิดผลิตภัณฑ์และสินค้าต่าง ๆ ที่สร้างความเจริญและความสะดวกสบายให้กับมนุษย์ การได้มาซึ่งวัสดุแต่ละชนิดนั้น จะต้องผ่านกระบวนการและกรรมวิธีในการผลิตแบบสหวิทยาการมากมายหลายขั้นตอน เช่น กระบวนการทางโลหกรรม กระบวนการทางเคมี กระบวนการทางฟิสิกส์ กระบวนการทางชีววิทยา กระบวนการทางไฟฟ้า หรืออื่น ๆ อีกมากมาย อาจกล่าวได้ว่าประเทศที่พัฒนาแล้วหรือประเทศผู้นำทางอุตสาหกรรมนั้น แท้ที่จริงแล้วก็คือประเทศที่มีเทคโนโลยีการผลิตวัสดุ “เหนือ” ประเทศอื่นนั่นเอง

สำหรับประเทศไทย อาจกล่าวได้ว่า เทคโนโลยีการผลิตและการใช้งานวัสดุยังล้าหลังอยู่มาก แม้ว่าประเทศไทยจะเป็นประเทศที่มีทรัพยากรธรรมชาติอยู่มากก็จริง แต่ยังขาดเทคโนโลยีที่เป็นของตนเองที่จะสามารถนำทรัพยากรของตนเองขึ้นมาใช้ได้อย่างคุ้มค่า แทบทั้งหมดต้อง “ขอยืม” เทคโนโลยีของต่างประเทศเพื่อมา “ขุด” ทรัพยากรของประเทศและถูกนำไปแปรรูปเป็นวัสดุขั้นสูงหรือผลิตภัณฑ์ที่มีมูลค่าสูง และถูกส่งกลับมายาขายในประเทศไทยในราคาแพงต่อไป วัฏจักรนี้ คนไทยทราบมานานแล้ว ผู้บริหารประเทศก็ทราบมานานแล้ว แต่ยังไม่สามารถแก้ไขได้ เพราะยังขาดวิสัยทัศน์ในการปูพื้นฐานความรู้และการลงทุนด้านการวิจัยและการผลิตที่ถูกจุด ผู้ลงทุนของประเทศมักจะสนใจอุตสาหกรรมที่ให้อัตราค่าตอบแทน (rate of return) สูงในระยะสั้น ซึ่งส่วนใหญ่คืออุตสาหกรรมการประกอบชิ้นส่วน (assembling industry) ในขณะที่การลงทุนด้านอุตสาหกรรมการผลิตวัสดุ (material production industry) ต้องใช้งบประมาณในการลงทุนสูง และอัตราค่าตอบแทนกว่าจะเกิดขึ้นต้องใช้ระยะเวลาานกว่า

งานวิจัยที่ผู้เขียนรับผิดชอบหลักอยู่ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ได้แก่ การพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตวัสดุและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ โดยเน้น เรื่องเซลล์แสงอาทิตย์ (ดุลิต เครื่องาม และคณะ, 2533) และจอภาพแสดงผลแบบบาง (ดุลิต เครื่องาม และคณะ, 2538) ผู้เขียนพบว่า การทำวิจัยด้านการพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตวัสดุและชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์ต้องใช้ความรู้และบุคลากรในลักษณะของ “สหวิทยาการ” มากพอสมควร

ในบทความนี้จะกล่าวถึงวิธีการทำวิจัยเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งดำเนินการอยู่ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2. เหตุจูงใจของการทำวิจัยเรื่องการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

ในแต่ละปี ประเทศไทยต้องนำเข้าเชื้อเพลิงฟอสซิล เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน เพื่อใช้เป็นพลังงานในการผลิตกระแสไฟฟ้าสูงถึง 3 แสนล้านบาท และในอนาคตอันใกล้

เชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ก็จะลดน้อยลงและหมดไปจากโลก (น้ำมันจะหมดใน 40 ปี ก๊าซธรรมชาติจะหมดใน 60 ปี และถ่านหินจะหมดใน 200 ปี) ดังนั้นการพัฒนาค้นหาแหล่งพลังงานทดแทนที่ยั่งยืนและจัดหาได้ในประเทศจึงถือว่าเป็นยุทธศาสตร์ที่สำคัญของทุก ๆ ประเทศ สำหรับประเทศไทยเนื่องจากมีแสงอาทิตย์มากตลอดปี ดังนั้น การใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานทดแทนสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า จึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจมากที่สุดวิธีการหนึ่ง

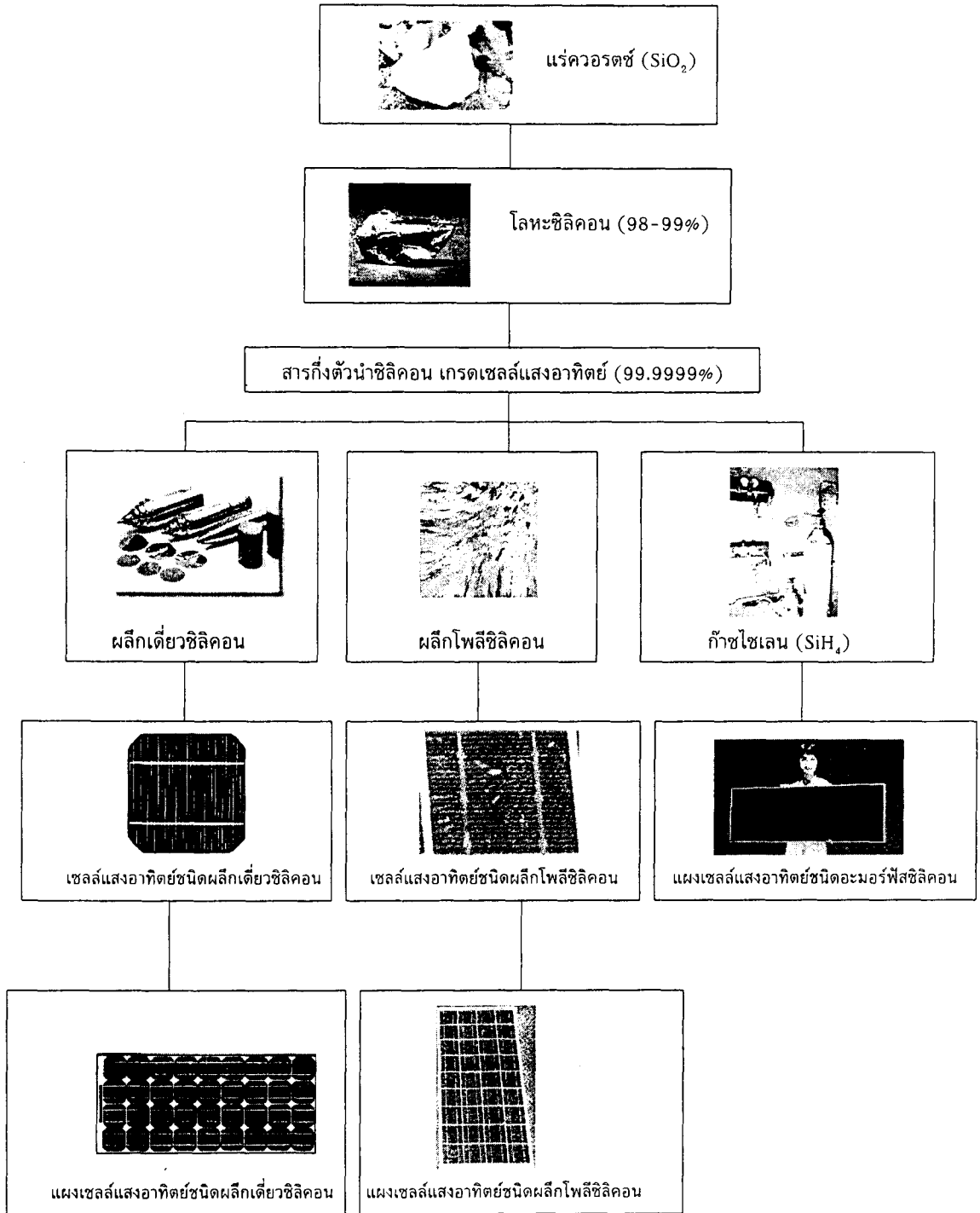
วิธีการผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยแสงอาทิตย์โดยตรงที่ดีที่สุดวิธีหนึ่งได้แก่ การใช้สิ่งประดิษฐ์ที่เรียกว่า “เซลล์แสงอาทิตย์” (solar cells) เป็นอุปกรณ์รับแสงอาทิตย์และแปลงพลังงานแสงอาทิตย์เป็นพลังงานไฟฟ้าทันที วัสดุที่สำคัญที่สุดในเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งทำหน้าที่ดูดกลืนแสงอาทิตย์และผลิตกระแสไฟฟ้าได้คือ สารกึ่งตัวนำ (Semiconductors) โดยที่สารกึ่งตัวนำนั้นก็ผลิตจากธาตุหรือสารประกอบหลายชนิด แต่สารกึ่งตัวนำที่มีมากที่สุดและราคาถูกที่สุดคือ ซิลิคอน (Silicon) เซลล์แสงอาทิตย์ในปัจจุบันจึงผลิตจากซิลิคอนมากที่สุด

นอกจากเซลล์แสงอาทิตย์จะเป็นแหล่งพลังงานทดแทนที่สะอาดแล้ว ยังมีความสำคัญและเป็นมิตรต่อการดำรงชีวิตในด้านอื่นๆ ด้วย เช่น การผลิตไฟฟ้าด้วยเซลล์แสงอาทิตย์ไม่สร้างมลภาวะขณะใช้งาน ไม่ทำลายสภาพแวดล้อม ทำงานได้โดยไม่สร้างเสียงรบกวนหรือการเคลื่อนไหว มีอายุการใช้งานนาน (20 ปีขึ้นไป) เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ทำงานโดยใช้พลังงานแสงอาทิตย์เท่านั้น จึงเป็นการประหยัดน้ำมันและอนุรักษ์พลังงาน และสามารถผลิตกระแสไฟฟ้าได้จากแสงอาทิตย์ซึ่งเป็นพลังงานที่มนุษย์ได้มาฟรีและมีไม่สิ้นสุด นอกจากนี้ วัสดุดิบของเซลล์แสงอาทิตย์กล่าวคือ ซิลิคอนนั้น แปรรูปได้จาก “แร่ควอร์ตซ์” ซึ่งเป็นแร่ที่กระจายอยู่ทั่วไปหลาย ๆ ประเทศ รวมทั้งในประเทศไทยก็มีปริมาณมหาศาลด้วย ดังนั้น หากประเทศไทยต้องการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์จำนวนมาก ๆ ก็ไม่เกิดปัญหาการขาดแคลนวัตถุดิบ

ด้วยเหตุข้อดีต่างๆ และความเหมาะสมของเซลล์แสงอาทิตย์ดังกล่าวข้างต้น จึงทำให้ผู้เขียนเลือกที่จะทำวิจัยคิดค้นพัฒนาเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ขึ้นในประเทศไทยตั้งแต่ พ.ศ. 2531 เป็นต้นมา

### 3. เทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ทั่วไป

การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆ ดังนี้ การแปรรูปวัตถุดิบคือ แร่ควอร์ตซ์เป็นโลหะซิลิคอน การทำให้ซิลิคอนมีความบริสุทธิ์ขึ้น การผลิตผลึกซิลิคอน การผลิตแผ่นซิลิคอน การสร้างรอยต่อพีเอ็น การสร้างขั้วไฟฟ้า การประกอบแผงและการตรวจสอบคุณภาพตามที่แสดงในรูปที่ 1 และตารางที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่การแปรรูปแร่ควอร์ตซ์

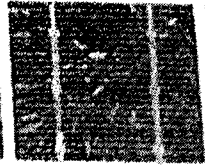
ตารางที่ 1 ขั้นตอนการผลิตแผงเซลล์แสงอาทิตย์ตั้งแต่อุตสาหกรรมต้นน้ำ ไปจนถึงอุตสาหกรรมปลายน้ำ

อุตสาหกรรม	ขั้นตอนที่	วัตถุประสงค์หลัก	สาขาวิชาที่เกี่ยวข้องมากที่สุด
ต้นน้ำ	1	การนำวัตถุดิบ แร่ควอตซ์ ( $\text{SiO}_2$ ) ซึ่งมีลักษณะเป็นก้อนหินสีขาวมาหลอมด้วยเตาไฟฟ้า เพื่อแยกออกซิเจนออกไป และให้เหลือเฉพาะโลหะซิลิคอนซึ่งเป็นของแข็งสีดำ โลหะซิลิคอน ที่ได้ในขั้นตอนนี้มีความบริสุทธิ์ประมาณ 98-99%	วิศวกรรมโลหกรรม
ต้นน้ำ	2	การนำโลหะซิลิคอนไปทำให้เป็นสารกึ่งตัวนำที่มีความบริสุทธิ์ประมาณ 99.9999%	วิศวกรรมเคมี
กลางน้ำ	3	การนำสารกึ่งตัวนำซิลิคอนไปปลูกเป็นผลึกเดี่ยวซิลิคอน หรือผลึกโพลีซิลิคอน และตัดให้เป็นแผ่น (wafers) บางประมาณ 0.3 มิลลิเมตร หรือแปรรูปเป็นก๊าซไซเลน	วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมเคมี วิศวกรรมเครื่องกล (precision engineering)
กลางน้ำ	4	การนำแผ่นผลึกเดี่ยวซิลิคอน หรือแผ่นผลึกโพลีซิลิคอน หรือก๊าซไซเลน ไปผลิตเป็นแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ (solar cells) ชนิดต่าง ๆ <ul style="list-style-type: none"> <li>• เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิคอน</li> <li>• เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกโพลีซิลิคอน</li> <li>• เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน</li> </ul>	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุศาสตร์
ปลายน้ำ	5	การนำแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ไปประกอบเป็นแผงเซลล์แสงอาทิตย์ (panels หรือ modules)	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วัสดุศาสตร์ วิศวกรรมเครื่องกล
ปลายน้ำ	5	การทดสอบคุณภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม

ในขั้นตอนที่ 4 นั้น ผู้ผลิตสามารถเลือกได้ว่าจะผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดใดซึ่งมี 3 ชนิด โดยที่แตกต่างกันที่ชนิดของวัตถุดิบตามที่ในรูปที่ 2



(ก) ผลึกเดี่ยวซิลิคอน



(ข) ผลึกโพลีซิลิคอน



(ค) ฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

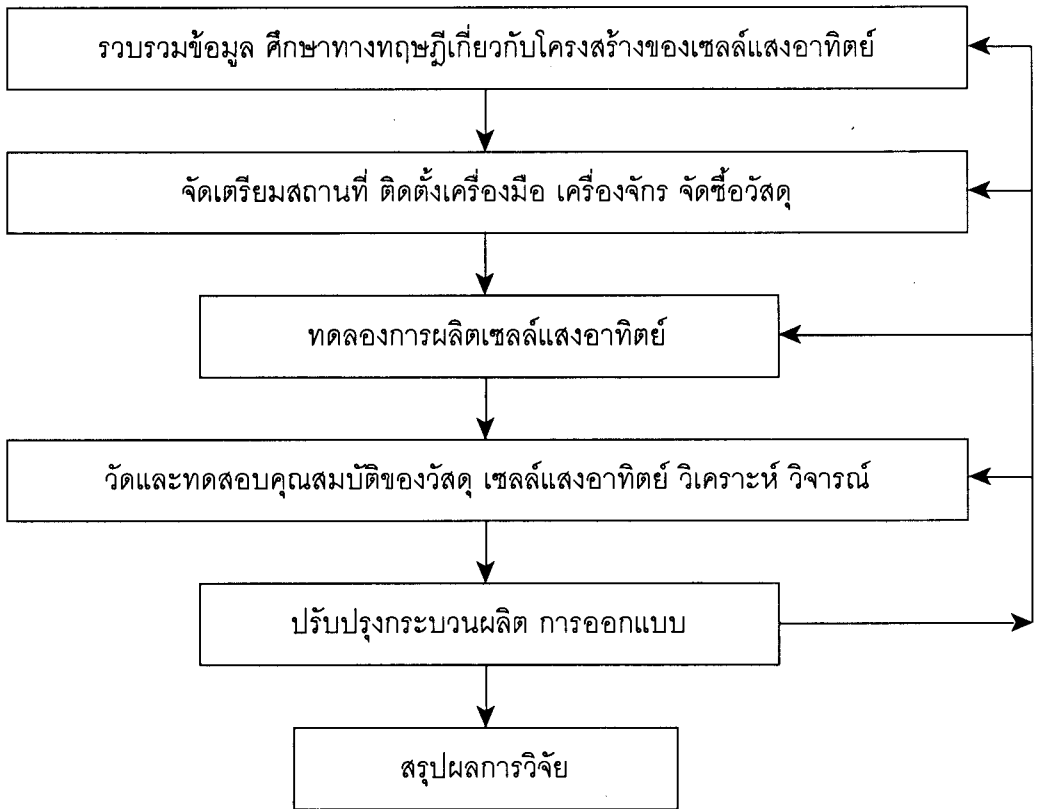
รูปที่ 2 ภาพเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดต่าง ๆ

#### 4. วิธีการวิจัยการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การทำวิจัยในมหาวิทยาลัยในประเทศไทย โดยทั่วไปจะเริ่มตั้งแต่ขั้นตอนที่ 4 (ตารางที่ 1) ซึ่งเริ่มจากการผลิตแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ ในกรณีของผู้เขียนซึ่งทำวิจัยอยู่ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยนั้น ได้ทำการวิจัยการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนตั้งแต่ พ.ศ. 2531 ซึ่งเป็นการเคลือบแผ่นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนที่มีความบางมากลงบนแผ่นกระจกใส วัตถุดิบได้แก่ ก๊าซไซเลน ซึ่งต้องนำเข้าจากต่างประเทศในรูปของถังก๊าซ (ดุสิต เครื่องงาม และคณะฯ, 2533, 1991, 1993)

##### 4.1 ขั้นตอนการทำวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยได้เริ่มจาก การศึกษารวบรวมข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสารต่างๆ และศึกษาทางทฤษฎีเกี่ยวกับการออกแบบโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ จากนั้นจึงดำเนินการติดตั้งเครื่องมือเครื่องจักร และดำเนินการทดลองผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ นำวัสดุหรือเซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตได้มาวัดและทดสอบคุณภาพและวิเคราะห์วิจารณ์ผลที่ได้รับ ต่อจากนั้น จึงหาวิธีการปรับปรุงกระบวนการผลิตเพื่อให้ได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีคุณภาพดีขึ้น และสุดท้ายคือ สรุปงานวิจัย รูปที่ 3 แสดงขั้นตอนวิธีการวิจัยดังกล่าวโดยย่อ



**รูปที่ 3** ขั้นตอนวิธีการทำวิจัยการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

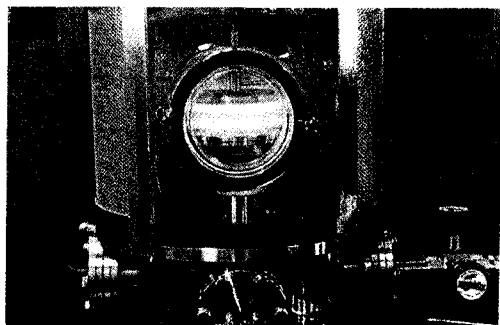
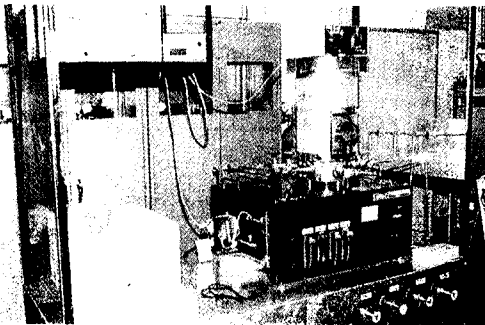
#### 4.2 การจัดเตรียมสถานที่ เครื่องมือ เครื่องจักร

ในการทำวิจัยนั้น ก่อนที่จะสามารถดำเนินการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ตามที่กล่าวในตารางที่ 2 นั้น จะต้องมีการเตรียมการต่างๆ มากมาย เพื่อให้เกิดความพร้อมในหลายๆ ด้าน ทั้งด้านอาคารสถานที่ เครื่องมือ ทฤษฎีพื้นฐานของสิ่งประดิษฐ์ การออกแบบรายละเอียดของโครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยการคำนวณจากแบบจำลอง ซึ่งจะเห็นว่า ต้องรวบรวมบุคลากรช่างเทคนิค ที่มีความรู้ความสามารถในด้านต่างๆ เข้าร่วมทีมจึงสามารถจัดสถานที่และติดตั้งเครื่องมือได้ ตัวอย่างการจัดเตรียมอาคารสถานที่และเครื่องมือแสดงในตารางที่ 3 รูปที่ 4 แสดงภาพถ่ายเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน



**ตารางที่ 3** ตัวอย่างการจัดเตรียมสถานที่ เครื่องมือ เครื่องจักร ที่จำเป็นต้องใช้ในการ  
ทำวิจัยการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

สถานที่ เครื่องมือ เครื่องจักร	ประโยชน์ วัตถุประสงค์	ความเชี่ยวชาญที่ต้องใช้
ห้องเคมี	เก็บสารเคมี ได้ะปฏิบัติการ	เคมี
Laminar Hood	ได้ะดูดควันของสารเคมีที่ใช้ล้าง แผ่นกระจก ฯลฯ	เคมี ฟิสิกส์
เครื่องล้างด้วยระบบอัลตราซาวด์	ล้างแผ่นกระจกด้วยคลื่นเหนือเสียง	อิเล็กทรอนิกส์
เครื่องเคลือบด้วยระบบลำ อิเล็กตรอน	เคลือบฟิล์มบาง Indium Tin Oxide	สุญญากาศ ไฟฟ้าแรงดันสูง
ห้องเก็บถังก๊าซ	ตู้เก็บถังก๊าซอันตรายต่างๆ	ก๊าซ เคมี
ระบบท่อก๊าซอันตราย	ควบคุมการไหลของก๊าซที่ใช้ ผลิตเซลล์แสงอาทิตย์	ก๊าซอันตราย สารเคมี ก๊าซแรงดันสูง
เครื่อง Plasma Enhanced CVD	เคลือบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน	สุญญากาศ ไฟฟ้าแรงดันสูง ก๊าซอันตราย อิเล็กทรอนิกส์
เครื่องเคลือบไอระเหยของโลหะ	เคลือบฟิล์มบางอะลูมิเนียม	สุญญากาศ ไฟฟ้าแรงดันสูง



**รูปที่ 4** ภาพถ่ายเครื่องจักร (Plasma CVD) ที่ใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน

4.3 กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

กระบวนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนแสดงโดยย่อในตารางที่ 2

**ตารางที่ 2** ขั้นตอนการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

ลำดับที่	กระบวนการ	ความรู้ หรือ สาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง
1	ตัดแผ่นกระจกหนา 1 มม. ให้มีขนาดประมาณ 5 ซม. X 10 ซม. ล้างทำความสะอาดแผ่นกระจกด้วยสารละลายต่างๆ	ปฏิกิริยาของสารเคมีต่างๆ
2	เคลือบฟิล์มบางชั้นไฟฟ้าโปร่งใส (Indium Tin Oxide) ด้วยวิธี Electron Beam Evaporator (EB)	เทคโนโลยีสุญญากาศ ไฟฟ้าแรงดันสูง
3	เคลือบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนชนิด p, i และ n ด้วยวิธี Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition	เทคโนโลยีสุญญากาศ ไฟฟ้าแรงดันสูง อิเล็กทรอนิกส์ เทคโนโลยีพลาสมา
4	เคลือบฟิล์มบางชั้นไฟฟ้าอะลูมิเนียม	เทคโนโลยีสุญญากาศ อิเล็กทรอนิกส์
5	การประกอบแผงเซลล์แสงอาทิตย์	เครื่องกล
6	การวัดทดสอบประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์	อิเล็กทรอนิกส์ สิ่งแวดล้อม

#### 4.4 การวัดคุณสมบัติของวัสดุและสิ่งประดิษฐ์

ในการทำวิจัย สิ่งที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การวัดคุณสมบัติของวัสดุและสิ่งประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ที่ผลิตขึ้นมาได้ ในการวัดดังกล่าวนี้ ต้องใช้เครื่องมือหลายชนิดหลายสาขาดังที่ยกตัวอย่างในตารางที่ 4

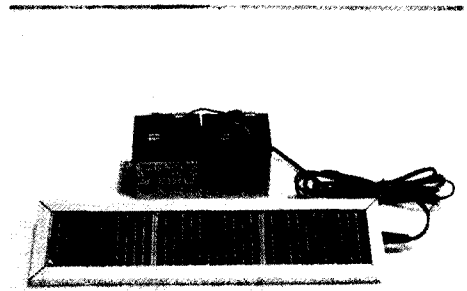
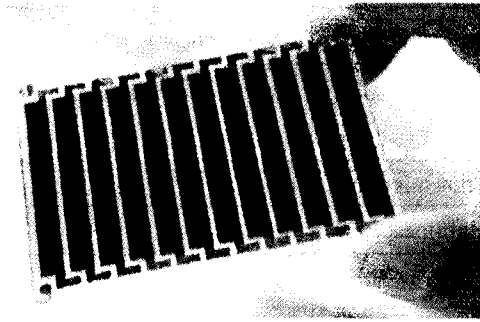
**ตารางที่ 4** การตรวจวิเคราะห์หาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุอะมอร์ฟัสซิลิคอน

SDRL: ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ

ประเภทคุณสมบัติ	วัตถุประสงค์การวิเคราะห์	วิธีการวัด หรือ เครื่องมือ	ความรู้ที่ต้องใช้	สถานที่วัด
คุณสมบัติทางโครงสร้าง	ความหนาของฟิล์ม	สเปกตรัมการแทรกสอดแสง	แสง	SDRL
	พันธะต่างๆ	การดูดกลืนแสงอินฟราเรด	เคมี	ศูนย์เครื่องมือฯ จุฬาฯ
	จุดบกพร่อง	Electron Spin Resonance	อิเล็กทรอนิกส์	ศูนย์เครื่องมือฯ จุฬาฯ
คุณสมบัติทางแสง	การเรียงตัวของอะตอม	Raman Scattering	เคมี	ประเทศญี่ปุ่น
	สัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสง	UV Transmission	แสง	SDRL
	ช่องว่างพลังงาน	UV Transmission	แสง	SDRL
คุณสมบัติทางไฟฟ้า	การเปล่งแสง	Photoluminescence	แสง	SDRL
	สภาพนำไฟฟ้ามีด	I-V	ไฟฟ้า	SDRL
	สภาพนำไฟฟ้า	I-V	ไฟฟ้า	SDRL
เซลล์แสงอาทิตย์	ด้วยแสง			
	ประสิทธิภาพ	I-V	ไฟฟ้า	SDRL
	สเปกตรัมผลตอบสนองต่อแสง	สเปกโตรมิเตอร์	ไฟฟ้า	SDRL



รูปที่ 5 ภาพถ่ายเครื่องมือที่ใช้วัดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 6 เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน ที่ผลิตได้จากงานวิจัย

## 5. การเผยแพร่ผลงานวิจัย

การเผยแพร่ผลงานวิจัยถือว่าเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งในกระบวนการทำวิจัย เพราะการเผยแพร่ นั้น จะทำให้ได้ข้อวิจารณ์และความคิดเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในวงกว้างทั้งในประเทศและต่างประเทศ การนำผลงานในนำเสนอในที่ประชุมทั้งระดับประเทศและระดับนานาชาติ ได้ทำให้ผู้วิจัยมีความมั่นใจในวิธีการวิจัยและยังสามารถนำข้อเสนอแนะมาใช้ปรับปรุงวิธีการทำวิจัยได้อีกด้วย

## 6. สรุป

วิธีการวิจัยเรื่องเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ประกอบด้วย วิธีทั้งการศึกษาทางทฤษฎี และทดลองปฏิบัติ ยิ่งไปกว่านั้น ผู้วิจัยต้องมีความรอบรู้ด้านวัสดุศาสตร์และไฟฟ้า ซึ่งต้องใช้สหวิทยาการ เช่น ไฟฟ้า เคมี ฟิสิกส์ ชีววิทยา เครื่องกล ความรู้ด้านควอนตัมฟิสิกส์จัดว่ามีความสำคัญมากที่สุดด้านหนึ่ง มีการใช้คอมพิวเตอร์มาช่วยทั้งในกระบวนการผลิต การวัด การวิเคราะห์ การสรุปผล เนื่องจากการทำวิจัยเรื่องนี้ เป็นการสร้างสิ่งประดิษฐ์ขึ้นมา ดังนั้นจึงถือว่าเป็นเรื่องที่สนุกสนาน มีความท้าทาย และผลงานที่สร้างขึ้น ยังสามารถเปรียบเทียบคุณภาพในระดับนานาชาติได้อีกด้วย

## กิตติกรรมประกาศ

ช่วง พ.ศ. 2531 - 2545 ผู้วิจัยขอขอบพระคุณแหล่งทุนวิจัยต่างๆ ที่ได้ให้การสนับสนุนทำวิจัยเรื่อง การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน ได้แก่ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ และ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

## เอกสารอ้างอิง

- ดุสิต เครื่องงาม และคณะ. (2533). **การประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ราคาถูกรูปแบบฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน**. รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เสนอสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ.
- ดุสิต เครื่องงาม, บรรยง โตประเสริฐพงศ์, และชุมพล อันตรเสน. (2535). **เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดอะมอร์ฟัสซิลิคอน**. รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เสนอศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ.
- Kruangam, D., and Panyakeow (1989). **A Study of Hydrogenated Amorphous Silicon for Optoelectronic Devices**, Second Regional Symposium on Optoelectronics, Jarkata, Indonesia, November 27-28, pp. 11-14.
- Kruangam, D., Siamchai P., Boonkosum W., & Panyakeow S. (1993). **Integrated Type a-Si:H Solar Cells Having Simple Configuration**, Proc. of 17<sup>th</sup> International Phovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-7), Nagoya, Japan, November 22-26, pp.217-218.
- ดุสิต เครื่องงาม. (2536). **ไดโอดเปล่งแสงแบบฟิล์มบางชนิดวัสดุสารกึ่งตัวนำอะมอร์ฟัส**. รายงานการวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เสนอฝ่ายวิจัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

## บทปริทัศน์บทความเรื่อง วิธีการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

พอพนธ์ สีชฌนุกฤษฎ์

เกี่ยวกับการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ที่ รศ. ดร. ดุสิต เครืองาม ได้รวบรวมและได้นำเสนอในการประชุมวิชาการเรื่อง วิธีวิทยาการวิจัยสหวิทยาการ ครั้งที่ 2 นั้น ในภาพรวมผู้ปริทัศน์มีความเห็นสอดคล้องกับวิธีการวิจัยดังกล่าว โดยผู้ปริทัศน์มีความเห็นและข้อเสนอแนะเพิ่มเติม ซึ่งสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้คือ

- ผู้ปริทัศน์เอง ก็มีประสบการณ์คล้าย ๆ กันกับ รศ. ดร. ดุสิต เครืองาม กล่าวคือ ไม่ได้เข้ารับการอบรมเกี่ยวกับวิธีวิทยาการวิจัย การทำวิจัยที่ผ่านมา ได้เรียนรู้มาจากรุ่นพี่หรืออาจารย์ที่ห้องวิจัยในมหาวิทยาลัย หรือที่ญี่ปุ่นจะไม่มีการอบรมเป็นพิเศษเกี่ยวกับเรื่องนี้
- ผู้ปริทัศน์มีความเห็นว่า **ควรจะให้ความสำคัญกับการตั้งหัวข้อทำวิจัย** มากกว่าที่เป็นอยู่ เนื่องจากปัจจุบันพบว่า ผลการวิจัยต่าง ๆ ไม่ได้ถูกนำมาใช้งานจริงเท่าไรนัก จำเป็นต้องมีการใช้เวลาในการหาข้อมูลต่าง ๆ เพื่อมากำหนดหัวข้อ และขอบเขตของงานวิจัยในตอนแรก นอกจากนี้ การตั้งหัวข้อวิจัยควรกระทำในรูปแบบเป็น “ชุดโครงการ” เพื่อให้หัวข้อวิจัยต่าง ๆ มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และไม่เกิดความซ้ำซ้อนในการทำวิจัย
- วิธีการวิจัยทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ โดยเฉพาะทางด้านการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ จะต้องคู่ไปกับการทำการทดลองโดยใช้เครื่องจักร ไม่สามารถทำวิจัยโดยการรวบรวมข้อมูลผ่านแบบสอบถาม อย่างที่ฝ่ายสังคมศาสตร์สามารถทำได้ เพราะฉะนั้นวิธีการวิจัย จะไม่ใช่ประเด็นสำคัญทางด้านวิศวกรรมศาสตร์ **ประเด็นที่สำคัญคือ การได้มาซึ่งงบประมาณ เพื่อจัดหาเครื่องจักร เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทำวิจัยต่างหาก** ที่เป็นส่วนสำคัญ
- นอกจากเครื่องจักร เครื่องมือดังกล่าวแล้ว การเตรียมความพร้อมทางด้านโครงสร้างพื้นฐานก็เป็นสิ่งที่สำคัญ เพื่อให้งานวิจัยสามารถกระทำได้ เช่น การทำวิจัยทางด้านเทคโนโลยีการประดิษฐ์แผ่นเวเฟอร์ (wafer fabrication) ในอุตสาหกรรมผลิตแผ่นวงจรรวม จำเป็นต้องใช้น้ำที่บริสุทธิ์ และไฟฟ้าที่มีคุณภาพสูง

◆ วิธีการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ ◆

- ในการทำการทดลองนั้น ควรพยายามทำให้ตัวแปรต่างๆเหมือนกัน และเปลี่ยนค่าตัวแปรเพียงตัวเดียวเพื่อค้นหาว่า ตัวแปรที่เปลี่ยนค่าไปนั้น มีผลอย่างไรกับการทดลอง ตัวแปรต่าง ๆ เช่น คนที่ทำการทดลอง ความชื้นของสถานที่ทำการทดลอง ก็เป็นตัวแปรที่ควรจะให้ความสนใจด้วย
- ควรมีการสรุปผลการทดลอง วิเคราะห์บ่อย ๆ อาจจะเป็นทุกอาทิตย์ หรือทุกเดือน เป็นต้น เพื่อที่จะสามารถนำผลที่ได้ไปปรับปรุงกระบวนการหรือแนวทางการทำการทดลองต่อไป



## บทปริทัศน์บทความเรื่อง วิธีการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์

กรกฎ วัฒนวิเชียร

เมื่อพิจารณาโดยภาพรวม บทความเรื่อง วิธีการวิจัยเทคโนโลยีการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ของ รองศาสตราจารย์ ดร. ดุสิต เควีองาม อยู่ในเกณฑ์ค่อนข้างดีมาก เพราะสามารถถ่ายทอดเรื่องที่เป็นเทคโนโลยีระดับสูงให้เข้าใจได้ง่าย และมีการเรียงลำดับเนื้อเรื่องได้ดี โดยในเนื้อเรื่องได้เขียนอ้างอิงถึงการใช้ความรู้ในสหวิทยาการหลายด้าน เพื่อทำวิจัยในด้านเทคโนโลยี อย่างไรก็ตาม บทความนี้จะสมบูรณ์ยิ่งขึ้น หากได้กล่าวถึงการนำเสนอเซลล์แสงอาทิตย์มาใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งถือว่าเป็นพลังงานทดแทนรูปแบบหนึ่งที่เป็นพลังงานสะอาด และสังคมไทยเราก็กำลังรณรงค์ในด้านนี้ด้วย ทั้งนี้เพื่อให้ผู้ใช้ตระหนักถึงความสำคัญของเทคโนโลยี นอกจากนี้ หากได้นำความรู้ในแง่เศรษฐศาสตร์มาช่วยวิเคราะห์ในการกล่าวถึงการลงทุนทางอุตสาหกรรมผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ในประเทศไทยว่ามีมูลค่าเท่าไรในแต่ละขั้นตอน เช่น ในตารางที่ ๑ ของบทความ หากได้แจกแจงว่าอุตสาหกรรมแต่ละขั้นตอนที่กล่าวถึงต้องใช้เงินลงทุนประมาณเท่าไร จะทำให้ผู้อ่านเห็นภาพการลงทุนที่ชัดเจนขึ้น

กล่าวโดยสรุป บทความนี้ หากได้เพิ่มในส่วนการนำเสนอเซลล์แสงอาทิตย์ไปประยุกต์ใช้งานในด้านต่างๆ ซึ่งถือเป็นการขยายวิทยาการไปในด้านมนุษย์และสังคม และหากได้เพิ่มการวิเคราะห์ค่าใช้จ่ายในการลงทุนทางอุตสาหกรรมการผลิตเซลล์ และจุดคุ้มทุนซึ่งถือเป็นการขยายวิทยาการไปในด้านเศรษฐศาสตร์ บทความนี้ก็จะมีความสมบูรณ์เป็นอย่างยิ่ง

