

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การออกแบบสร้างและทดสอบประสิทธิภาพของระบบติดตามดวงอาทิตย์อัตโนมัติแบบ 2 แกน สำหรับแผงโซลาร์เซลล์นั้น ระบบจะติดตามและควบคุมให้แผงโซลาร์เซลล์ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ไปตลอดทั้งวันตั้งแต่แผงโซลาร์เซลล์เริ่มรับความเข้มแสงในตอนเช้าและหมุนกลับไปย้ตำแหน่งเริ่มต้นอีกครั้งเมื่อสุดทางทิศตะวันตก ในแต่ละฤดูตำแหน่งการเคลื่อนที่ของดวงอาทิตย์จะเปลี่ยนไประบบติดตามก็จะควบคุมให้แผงโซลาร์เซลล์ให้ตั้งฉากกับดวงอาทิตย์ได้เช่นกันดังนั้นระบบติดตามดวงอาทิตย์นี้จะทำให้แผงโซลาร์เซลล์ผลิตกำลังไฟฟ้าได้อย่างเต็มประสิทธิภาพโดยไม่ขึ้นอยู่กับฤดูกาล วิทยานิพนธ์นี้มุ่งทดสอบและเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าที่ได้จากการทำงานของแผงโซลาร์เซลล์ ระบบติดตามอัตโนมัติแบบ 2 แกน ระบบติดตามอัตโนมัติแบบ 1 แกนและระบบที่ติดตั้งอยู่กับที่

2.1 รายละเอียดทางทฤษฎีที่ใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์

2.1.1 ข้อมูลทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell)

พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบพื้นโลก บนพื้นที่ 1 ตารางเมตร โดยเฉลี่ยจะมีพลังงาน ประมาณ 4-5 กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546) ซึ่งหมายความว่าในวันหนึ่งๆบนพื้นที่เพียง 1 ตารางเมตร จะมีพลังงานแสงอาทิตย์ตกกระทบถึง 1,000 วัตต์ เป็นเวลานานถึง 4-5 ชั่วโมง ดังนั้นหากสามารถ แปลงพลังงานแสงอาทิตย์ดังกล่าวเป็นพลังงานไฟฟ้าเพื่อนำมาใช้งานได้ก็จะสามารถประหยัด พลังงานจากธรรมชาติ ดังนั้น การแสวงหาแหล่งพลังงานทดแทนนับเป็นสิ่งสำคัญในขณะนี้โลก กำลังเผชิญกับปัญหาวิกฤตทางด้านพลังงาน ปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีที่พัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงมีการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้งานอย่างจริงจัง เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Cell) เป็นสิ่งประดิษฐ์ทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สร้างจากสารกึ่งตัวนำ ซึ่งสามารถเปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ (หรือแสงจากหลอด แสงสว่าง) ให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง และไฟฟ้าที่ได้นั้นจะเป็นไฟฟ้า กระแสตรง (Direct Current) จัดว่าเป็นแหล่งพลังงานทดแทนชนิดหนึ่ง (Renewable Energy) สะอาดและไม่สร้างมลภาวะใดๆ เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานเท่ากับร้อยละ 15 ซึ่งหมายความว่า เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีพื้นที่ 1 ตารางเมตร ซึ่งรับพลังงานจากแสงอาทิตย์ 1,000 วัตต์ จะสามารถผลิต พลังงานไฟฟ้าได้ 150 วัตต์หรือเฉลี่ย 600-750 วัตต์ต่อชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน (สำนักงาน คณะกรรมการนโยบายพลังงานแห่งชาติ, 2543)

2.1.2 ประวัติความเป็นมาของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ถูกสร้างขึ้นมาครั้งแรกในปี ค.ศ. 1954 (พ.ศ. 2497) โดย แชปปีน (Chapin) ฟูลเลอร์ (Fuller) และเพียร์สัน (Pearson) แห่งเบลล์เทเลโฟน (Bell Telephone) โดยทั้ง 3 ท่านนี้ได้ค้นพบเทคโนโลยีการสร้างรอยต่อ พี-เอ็น (P-N) แบบใหม่ โดยวิธีการแพร่สารเข้าไปใน ผลึกของซิลิกอน จนได้เซลล์แสงอาทิตย์อันแรกของโลก ซึ่งมีประสิทธิภาพเพียง 6% ซึ่งปัจจุบันนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ได้ถูกพัฒนาขึ้นจนมีประสิทธิภาพสูงกว่า 15% แล้ว ในระยะแรกเซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะใช้สำหรับโครงการด้านอวกาศ ดาวเทียมหรือยานอวกาศที่ส่งจากพื้นโลกไปโคจรใน อวกาศ ก็ใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์เป็นแหล่งกำเนิดพลังงานไฟฟ้า ต่อมาจึงได้มีการนำเอาแผงเซลล์ แสงอาทิตย์มาใช้บนพื้นโลก เช่นในปัจจุบันนี้ เซลล์แสงอาทิตย์ในยุคแรกๆ ส่วนใหญ่จะมีสีดำ แต่ในปัจจุบันนี้ได้มีการพัฒนาให้เซลล์แสงอาทิตย์มีสีต่างๆ กันไป เช่น แดง น้ำเงิน เขียว ทอง เป็นต้น เพื่อความสวยงาม (กองพัฒนาทดแทน ฝ่ายพัฒนาพลังงานทดแทน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550) [8]

2.1.3 ประเภทของเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบันจะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.1.3.1 กลุ่ม เซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิกอน จะแบ่งตาม ลักษณะของผลึกที่เกิดขึ้น คือ

1) แบบที่เป็น รูปผลึก (Crystal) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด

ก) ชนิดผลึกเดี่ยวซิลิกอน (Single Crystalline Silicon Solar Cell)

ข) ชนิดผลึกรวมซิลิกอน (Poly Crystalline Silicon Solar Cell)

2) แบบที่ไม่เป็นรูปผลึก (Amorphous) คือ ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัส ซิลิกอน (Amorphous Silicon Solar Cell) ได้แก่ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในเครื่องคิดเลข ซึ่งมีลักษณะสีม่วง น้ำตาล มีความบางเบา ราคาถูก ผลิตให้เป็นพื้นที่เล็กไปจนถึงใหญ่หลายตารางเมตรได้ใช้ธาตุ ซิลิกอนเช่นกัน แต่เคลือบให้เป็นฟิล์มบางเพียง 0.5 ไมครอน หรือ 0.0005 มิลลิเมตรเท่านั้น

2.1.3.2 กลุ่มเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจากสารประกอบที่ไม่ใช่ซิลิกอน ซึ่งประเภทนี้จะ เป็นเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีประสิทธิภาพสูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไปแต่มีราคาสูงมากไม่นิยมนำมาใช้ บนพื้นโลก จึงใช้งานสำหรับดาวเทียมและระบบรวมแสงเป็นส่วนใหญ่ แต่การพัฒนาขบวนการผลิตสมัยใหม่จะทำให้มีราคาถูกลงและนำมาใช้มากขึ้นในอนาคตซึ่งในปัจจุบันมีการ นำมาใช้เพียง 7 เปอร์เซ็นต์ของปริมาณที่ใช้ทั้งหมด (LEONICS CO., LTD., 2550)

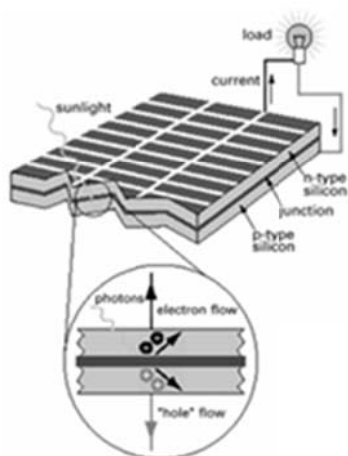


รูปที่ 2.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์แบบต่างๆ

ที่มา : LEONICS CO., LTD., 2550

2.1.4 หลักการทำงานและการใช้งานทั่วไปของเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้กันแพร่หลายที่สุดได้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ของสารกึ่งตัวนำซิลิกอน (สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546) ซึ่งถลุงได้จากควอตซ์หรือทราย ซึ่งเป็นวัสดุกึ่งตัวนำที่ราคาถูกที่สุด และมีมากที่สุดบนพื้นโลก เซลล์แสงอาทิตย์หนึ่งแผ่นอาจมีรูปร่างเป็นแผ่นวงกลม (เส้นผ่าศูนย์กลาง 5 นิ้ว) หรือแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (ด้านละ 5 นิ้ว) มีความหนา 200-400 ไมครอน (ประมาณ 0.2-0.4 มิลลิเมตร) โดยจะต้องนำมาผ่านกระบวนการแพร่ซึมสารเจือปนในเตาอุณหภูมิสูง (ประมาณ 1,000 องศาเซลเซียส) เพื่อสร้างรอยต่อพีเอ็นด้านหลังเป็นผิวสัมผัสโลหะเต็มหน้า ส่วนด้านหน้าที่รับแสงจะมีลักษณะเป็นลายเส้นคล้ายกากปลา



รูปที่ 2.2 การทำงานของเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2546

เมื่อมีแสงอาทิตย์ตกกระทบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดการสร้างพาหะนำไฟฟ้าประจุลบและบวกขึ้น โครงสร้างรอยต่อพีเอ็นของสารกึ่งตัวนำ จะทำหน้าที่สร้างสนามไฟฟ้า ภายในเซลล์ เพื่อแยกพาหะไฟฟ้าชนิดลบ (อิเล็กตรอน) ให้ไหลไปที่ขั้วลบและทำให้พาหะนำไฟฟ้าชนิดบวก (โฮล) ไหลไปที่ขั้วบวกด้วยเหตุนี้ทำให้เกิดแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงขึ้นที่ขั้วทั้งสองเซลล์แสงอาทิตย์ ที่มีขายในท้องตลาดจะถูกออกแบบให้อยู่ในกรอบอลูมิเนียมสีเหลี่ยมผืนผ้าซึ่งเรียกว่า แผง หรือมอดูล เซลล์แสงอาทิตย์ 1 มอดูล จะให้กระแสไฟฟ้าลัดวงจรประมาณ 3 แอมแปร์ และให้แรงดันไฟฟ้า วงจรเปิดประมาณ 0.5 โวลต์ ถ้าต้องการให้ได้กระแสไฟฟ้ามากๆ ก็ทำได้โดยการนำเซลล์มาต่อ ขนานกันหรือถ้าต้องการให้ได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นก็สามารถทำได้โดยนำเซลล์มาต่ออนุกรมกัน

เนื่องจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลออกจากเซลล์แสงอาทิตย์เป็นชนิดกระแสตรง ดังนั้น ถ้า ต้องการจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรง เช่น หลอดแสงสว่างกระแสตรงสามารถต่อเซลล์ แสงอาทิตย์กับเครื่องใช้ไฟฟ้ากระแสตรงได้ โดยตรงแต่ถ้าหากต้องการจ่ายไฟฟ้าให้เครื่องใช้ ไฟฟ้า กระแสสลับในเวลากลางวันเช่น ตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ ในระบบจะต้องต่อเซลล์แสงอาทิตย์เข้ากับ อินเวอร์เตอร์ (Inverter) ซึ่งเป็นอุปกรณ์แปลงไฟฟ้ากระแสตรงให้เป็นกระแสสลับก่อน ถ้าหากต้องการใช้ไฟฟ้าในเวลากลางวัน จะต้องมีแบตเตอรี่ ซึ่งจะเก็บประจุไฟฟ้า และจ่ายกระแสไฟฟ้าในรูปไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มเข้ามาในระบบด้วย โดยใช้กลไกควบคุมการประจุ ไฟฟ้า ซึ่งทำหน้าที่เลือกที่จะส่งกระแสไฟฟ้าที่เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตได้ไปยังอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่าย

ให้อุปกรณ์ไฟฟ้าหรือส่งไปเก็บประจุไฟฟ้ายังแบตเตอรี่ซึ่งในเวลากลางวันจะทำหน้าที่ตัดเซลล์แสงอาทิตย์ออกจากระบบและต่อแบตเตอรี่ไปยังอินเวอร์เตอร์เพื่อจ่ายให้อุปกรณ์ไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับแปลงไฟฟ้ากระแสตรง ให้เป็นไฟฟ้ากระแส สลับในการแปลงดังกล่าวจะมีการสูญเสียเกิดขึ้นเสมอโดยทั่วไปประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ มีค่าประมาณร้อยละ 85-90 หมายความว่า ถ้าต้องการไฟฟ้า 85-90 วัตต์ เราควรเลือกใช้อินเวอร์เตอร์ ขนาด 100 วัตต์ เป็นต้นในการใช้งานควรติดตั้งอินเวอร์เตอร์ในที่ร่มอุณหภูมิไม่เกิน 40 องศาเซลเซียส ความชื้นไม่เกินร้อยละ 60 อากาศระบายได้ดี ไม่มีสัตว์ เช่น หนู งู มารบกวนและมีพื้นที่ ให้บำรุงรักษาได้เพียงพอ

สถานที่ติดตั้งแผงเซลล์แสงอาทิตย์ควรเป็นที่โล่ง ไม่มีเงามาบังเซลล์แสงอาทิตย์ ไม่อยู่ใกล้สถานที่เกิดฝุ่น อาจอยู่บนพื้นดินหรือบนหลังคาบ้านก็ได้ ควรวางให้แผงเซลล์มีความลาดเอียงประมาณ 10-15 องศา จากระดับแนวนอนและหันหน้าไปทางทิศใต้ การวางแผงเซลล์ให้มี ความลาดดังกล่าว จะช่วยให้เซลล์รับแสงอาทิตย์ได้มากที่สุด และช่วยระบายน้ำฝนได้รวดเร็ว(สถาบันวิจัยและพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,2546)

2.1.5 อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ผลิตไฟฟ้ากระแสตรงจึงนำกระแสไฟฟ้าไปใช้ได้เฉพาะกับอุปกรณ์ ไฟฟ้ากระแสตรงเท่านั้นหากต้องการนำไปใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้ไฟฟ้ากระแสสลับหรือเก็บ สะสมพลังงานไว้ใช้ต่อไปจะต้องใช้ร่วมกับอุปกรณ์อื่นๆอีกโดยรวมเข้าเป็นระบบที่ผลิต กระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์ อุปกรณ์สำคัญๆมีดังนี้



รูปที่ 2.3 อุปกรณ์สำคัญของระบบการผลิตกระแสไฟฟ้าจากเซลล์แสงอาทิตย์

ที่มา : LEONICS CO., LTD., 2550

2.1.5.1 แผงเซลล์แสงอาทิตย์ (Solar Module) ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานแสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ซึ่งเป็นไฟฟ้ากระแสตรงและมีหน่วยเป็นวัตต์ (Watt) มีการนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์หลายๆ เซลล์มาต่อกันเป็นแถวหรือเป็นชุด (Solar Array) เพื่อให้ได้พลังงานไฟฟ้าใช้งานตามที่ต้องการ โดยการต่อกันแบบอนุกรม จะเพิ่มแรงดันไฟฟ้าและการต่อกันแบบขนานจะเพิ่มพลังงานไฟฟ้าหากสถานที่ตั้งทางภูมิศาสตร์แตกต่างกันก็จะมีผลให้ปริมาณของค่าเฉลี่ยพลังงานสูงสุดในหนึ่งวันไม่เท่ากันด้วยรวมถึงอุณหภูมิก็มีผลต่อการผลิตพลังงานไฟฟ้าหากอุณหภูมิสูงขึ้นการผลิตพลังงานไฟฟ้าจะลดลง

2.1.5.2 เครื่องควบคุมการประจุ (Charge Controller) ทำหน้าที่ประจุกระแสไฟฟ้าที่

ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์เข้าสู่แบตเตอรี่ และควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าให้มีปริมาณเหมาะสมกับแบตเตอรี่ เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่ รวมถึงการจ่ายกระแสไฟฟ้าออกจากแบตเตอรี่ด้วย ดังนั้น การทำงานของเครื่องควบคุมการประจุ คือ เมื่อประจุกระแสไฟฟ้าเข้าสู่แบตเตอรี่จนเต็มแล้วจะหยุดหรือลดการประจุกระแสไฟฟ้า (และมักจะมีคุณสมบัติในการตัดการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับอุปกรณ์ไฟฟ้า กรณีแรงดันของแบตเตอรี่ลดลงด้วย) ระบบพลังงานแสงอาทิตย์

จะใช้เครื่องควบคุมการประจุกระแสไฟฟ้าในกรณีที่มีการเก็บพลังงานไฟฟ้าไว้ในแบตเตอรี่ เท่านั้น

2.1.5.3 แบตเตอรี่ (Battery) ทำหน้าที่เป็นตัวเก็บพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ใช้เวลาที่ต้องการ เช่น เวลาที่ไม่มีแสงอาทิตย์เวลากลางคืนหรือนำไปประยุกต์ใช้งานอื่นๆ

2.1.5.4 เครื่องแปลงกระแสไฟฟ้า (Inverter) ทำหน้าที่แปลงพลังงานไฟฟ้าจากกระแสตรง (DC) ที่ผลิตได้จากแผงเซลล์แสงอาทิตย์ให้เป็นพลังงานไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) เพื่อให้สามารถใช้ได้กับอุปกรณ์ไฟฟ้ากระแสสลับ

2.1.5.5 ระบบป้องกันฟ้าผ่า (Lightning Protection) ทำหน้าที่ป้องกันความเสียหายที่เกิดกับอุปกรณ์ไฟฟ้าเมื่อฟ้าผ่าหรือเกิดการเหนี่ยวนำทำให้ความต่างศักย์สูง ในระบบทั่วไปมักไม่ใช้อุปกรณ์นี้ จะใช้สำหรับระบบขนาดใหญ่และมีความสำคัญเท่านั้น รวมถึงต้องมีระบบสายดินที่มีประสิทธิภาพด้วย

2.1.6 ลักษณะเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์

1. ใช้พลังงานจากธรรมชาติ คือ แสงอาทิตย์ ซึ่งสะอาดและบริสุทธิ์ไม่ก่อปฏิกิริยา ที่จะทำให้เกิดมลพิษ
2. เป็นนำพลังงานจากแหล่งธรรมชาติมาใช้อย่างคุ้มค่าและไม่มีวันหมดไปจากโลกนี้
3. มีการบำรุงรักษาน้อยมากและใช้งานแบบอัตโนมัติได้ง่าย
4. ประสิทธิภาพสูงที่ไม่ขึ้นกับขนาด อายุการใช้งานยืนยาว
5. สามารถผลิตเป็นแผงขนาดต่างๆได้ง่ายทำให้สามารถผลิตได้ในปริมาณมากๆ
6. ผลิตไฟฟ้าได้แม้มีแสงแดดอ่อนหรือมีเมฆ
7. มีน้ำหนักเบา ติดตั้งง่าย เคลื่อนย้ายสะดวกและรวดเร็ว
8. ช่วยลดปัญหาการสะสมของก๊าซต่างๆในบรรยากาศ

2.1.7 คุณสมบัติและตัวแปรที่สำคัญของเซลล์แสงอาทิตย์

ตัวแปรที่สำคัญที่มีส่วนทำให้เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพการทำงานในแต่ละพื้นที่ต่างกันและมีความสำคัญในการพิจารณานำไปใช้ในแต่ละพื้นที่ตลอดจนการนำไปคำนวณ ระบบหรือคำนวณจำนวนแผงแสงอาทิตย์ที่ต้องใช้ในแต่ละพื้นที่มีดังนี้

2.1.7.1 ความเข้มของแสง

กระแสไฟ (Current) จะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มของแสง หมายความว่าเมื่อความเข้มของแสงสูง กระแสที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ก็จะสูงขึ้น ในขณะที่แรงดันไฟฟ้าหรือ โวลต์แทบจะไม่แปรไปตามความเข้มของแสงมากนัก ความเข้มของแสงที่ใช้วัดเป็นมาตรฐานคือ ความเข้มของแสงที่วัดบนพื้นโลกในสภาพอากาศปลอดโปร่งปราศจากเมฆหมอกและวัดที่ระดับน้ำทะเลในสภาพที่แสงอาทิตย์ตั้งฉากกับพื้นโลก ซึ่งความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับ 100 mW ต่อตารางเซนติเมตรหรือ 1,000 W ต่อตารางเมตร ซึ่งมีค่าเท่ากับ AM 1.5 (Air Mass 1.5) และถ้า แสงอาทิตย์ทำมุม 60 องศา กับพื้นโลก ความเข้มของแสงจะมีค่าเท่ากับประมาณ 75 mW ต่อตารางเซนติเมตร หรือ 750 W ต่อตารางเมตร (กองพัฒนาทดแทน ฝ่ายพัฒนาพลังงานทดแทน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย, 2550)

2.1.7.2 อุณหภูมิ

กระแสไฟ (Current) จะไม่แปรตามอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงไป ในขณะที่ แรงดันไฟฟ้า (โวลท์) จะลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วทุกๆ 1 องศาที่เพิ่มขึ้น จะทำให้ แรงดันไฟฟ้าลดลง 0.5 เปอร์เซ็นต์ และในกรณีของแผงเซลล์แสงอาทิตย์มาตรฐานที่ใช้กำหนด ประสิทธิภาพของแผงแสงอาทิตย์คือ ณ อุณหภูมิ 25 องศา C เช่น กำหนดไว้ว่าแผงแสงอาทิตย์มี แรงดันไฟฟ้าที่วงจรเปิด (Open Circuit Voltage หรือ V องศาเซลเซียส) ที่ 21 V ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ก็จะหมายความว่า แรงดันไฟฟ้าที่จะได้จากแผงแสงอาทิตย์เมื่อยังไม่ได้ต่อกับ อุปกรณ์ไฟฟ้า ณ อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จะเท่ากับ 21 V ถ้าอุณหภูมิสูงกว่า 25 องศาเซลเซียส เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสจะทำให้ แรงดันไฟฟ้าของแผงแสงอาทิตย์ลดลง 2.5 เปอร์เซ็นต์ (0.5 เปอร์เซ็นต์ x 5 องศาเซลเซียส) สรุปได้ว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น แรงดันไฟฟ้าก็จะลดลง ซึ่งมีผลทำให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดของแผงแสงอาทิตย์ลดลงด้วย

2.2 ทฤษฎีทางไฟฟ้าและทางแสงของหลอดไฟฟ้า

การวิเคราะห์ค่าประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟฟ้าศึกษาจาก ค่ากำลังไฟฟ้า(Power)ค่าฟลักซ์การส่องสว่าง (Luminous flux) ค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Efficacy)หลอดใดมีตัวเลข lm/W สูงกว่าแสดงว่ามีประสิทธิภาพพลังงานดีกว่าข้อมูลที่สำคัญอีกตัวแปรคือ อายุการใช้งานของหลอด ซึ่งเป็นอายุการใช้งานเฉลี่ยของหลอด

2.2.1 หลอดอินแคนเดสเซนต์ (Incandescent lamp)

หลอดประเภทนี้อาศัยหลักการจ่ายกระแสไฟฟ้าผ่านไส้หลอดทั่วไปทำจากทังสแตน ซึ่งทำให้เกิดความร้อนและแสงสว่างขึ้น เป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างน้อยที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมด

อายุการใช้งานที่ค่อนข้างสั้นคือประมาณ 1,000 – 3,000 ชั่วโมง มีราคาถูกสามารถ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

1. หลอดไส้แบบธรรมดา (Normal Incandescent Lamp)
2. หลอดทังสเตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

2.2.1.1 หลอดไส้แบบธรรมดาเป็นหลอดที่นิยมใช้กันมากที่สุดในหลอดไส้เหมาะสำหรับการให้แสงสว่างทั่วไปโดยเฉพาะบริเวณที่ต้องการความรู้สึกแบบอบอุ่นการให้แสงเน้นบรรยากาศเช่น บ้าน โรงแรม และร้านอาหาร



รูปที่ 2.4 หลอดไส้แบบธรรมดา (Normal Incandescent Lamp)

ตารางที่ 2.1 แสดงกำลังไฟฟ้ากับประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไส้แบบธรรมดา

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
25	200	8
40	400	10
60	700	11.7
75	900	12
100	1350	13.50

2.2.1.2 หลอดทังสเตนฮาโลเจน

เป็นหลอดไส้ที่ป้องกันการเกิดขี้หลอดดำ (Blackening) เนื่องจากการเกาะเป็นคราบของไอไส้หลอดทังสเตนซึ่งทำได้โดยการบรรจุก๊าซฮาโลเจนเพิ่มลงไป ทำให้อายุการใช้งานของหลอดเพิ่มขึ้นหลอดทังสเตนฮาโลเจนมีขนาดเล็กจึงเหมาะสำหรับทำเป็นหลอดแบบส่องเน้น เพราะสามารถให้ลำแสง

แบบได้ แบ่งได้เป็น 2 ประเภทตามระดับแรงดันการใช้งานได้แก่

1. หลอดทั้งสแตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันปกติ
2. หลอดทั้งสแตนฮาโลเจนชนิดใช้งานกับแรงดันต่ำ



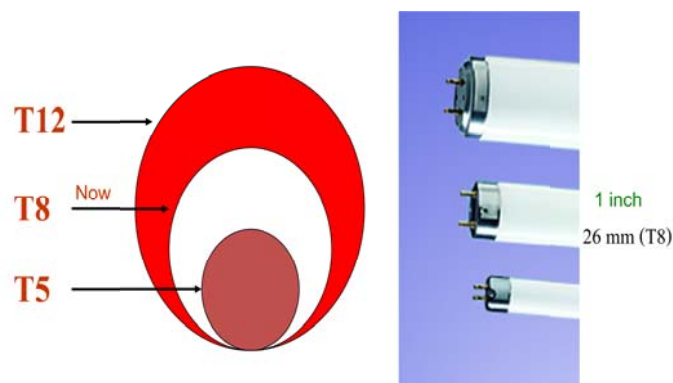
รูปที่ 2.5 หลอดทั้งสแตนฮาโลเจน (Tungsten Halogen Lamp)

ตารางที่ 2.2 แสดงกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการส่องสว่างของทั้งสแตนฮาโลเจน

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
20	320	16
35	600	17.1
50	930	18.6
75	1450	19.3
90	1800	20

2.2.2 หลอดฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp)

หลอดฟลูออเรสเซนต์เป็นหลอดที่บรรจุความดันต่ำ ไอของปรอทถูกทำให้ดีสชาร์จในหลอดแก้ว ซึ่งจะให้พลังงานในช่วงรังสีอัลตราไวโอเลต (ความยาวคลื่น 254 nm) พลังงานนี้จะไปชนผงฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Powder) หรือ ฟอสเฟอร์ (Phosphor) ที่เคลือบไว้ที่หลอด ซึ่งจะเปลี่ยนรังสีอัลตราไวโอเลตในช่วงที่ตามนุษย์สามารถมองเห็นได้ (Visible Light) สารเคลือบหลอด (Fluorescent Coating) เป็นตัวกำหนดคุณลักษณะของแสง ได้แก่ อุณหภูมิสี และค่าดัชนีบอกความถูกต้องของสี และค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง (Efficacy) ของหลอด



รูปที่ 2.6 หลอดฟลูออเรสเซนต์ทรงกระบอกยาว (Tubular Fluorescent)

หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นแรก ที่ผลิตออกมาได้รับความนิยมมาก เนื่องจากมีประสิทธิภาพสูง มีอายุการใช้งานที่นานกว่าหลอดไส้ หลอดประเภทนี้ได้มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น และใช้กำลังไฟลดลง ปัจจุบันหลอดฟลูออเรสเซนต์แบบปลั๊กการส่องสว่างสูง ได้พัฒนาเทคโนโลยีสารเรืองแสงที่เคลือบด้านในใหม่ เรียกว่าไตรฟอสเฟอร์ (Tri-phosphor)



รูปที่ 2.7 แสดงเทคโนโลยีการเคลือบสารเรืองแสงของหลอดฟลูออเรสเซนต์

หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่คือหลอดปลั๊กการส่องสว่างสูง ประสิทธิภาพสูง (High Efficiency Lamps: HE Lamps) (T5) หลอดฟลูออเรสเซนต์รุ่นใหม่นี้มีขนาดเล็กมาก คือมีเส้นผ่านศูนย์กลางเพียง 16 mm (หรือ 5/8 นิ้ว) หลอดประเภทนี้จะต้องใช้ร่วมกับอิเล็กทรอนิกส์บัลลาสต์ โดยขนาดที่นิยมใช้ได้แก่ 14 W 21 W 28 W และ 35W

ตารางที่ 2.3 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบปลั๊กการส่องสว่างสูงระหว่าง Day Light และ Cool-White

	กำลังไฟฟ้า (W)	ปลั๊กการส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
Day Light	14	1100	78.6
	21	1750	83.3
	28	2400	85.7
	35	3100	88.6
Cool-White	14	1200	85.7
	21	1900	90.5
	28	2600	92.9
	35	3300	94.3

2.2.3 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ (Compact Fluorescent)

หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ทดแทนหลอดอินแคนเดสเซนต์ มีอายุการใช้งานประมาณ 8,000 ชั่วโมง ประหยัดไฟได้มากกว่าหลอดอินแคนเดสเซนต์ เนื่องจากหลอดประเภทนี้มีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 50-80 ลูเมนต่อวัตต์ สามารถใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์ได้ในบางพื้นที่หรือบางกิจกรรมการใช้หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์เพื่อทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์เช่นการส่องสว่างในสำนักงานนั้นจะต้องพิจารณาจากคุณลักษณะของแหล่งกำเนิดแสง เนื่องจากหลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์มีลักษณะของแสงที่เป็นจุด ดังนั้นหากใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ซึ่งลักษณะของแสงเป็นแนวยาวจะทำให้เกิดเงาขึ้นเป็นจำนวนมาก



รูปที่ 2.8 หลอดคอมแพคฟลูออเรสเซนต์

ตารางที่ 2.4 แสดงประสิทธิผลการส่องสว่างระหว่างบัลลาสต์แยกภายนอกและบัลลาสต์ในตัว

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิผลการส่องสว่าง (lm/W)
บัลลาสต์แยก ภายนอก	8	360	45
	14	720	51.5
	18	1,000	55.6
บัลลาสต์ในตัว	8	420	52.5
	11	650	59.1
	15	950	63.4
	23	1,350	58.7

2.2.4 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ (Induction Fluorescent)

เมื่อรับไฟจากบาลาสต์อิเล็กทรอนิกส์พิเศษที่ควบคุมปฏิกิริยาบนแกนเฟอร์ไรต์ ตัวหลอด เสมือนเป็น
ทุติยภูมิ ไฟฟ้า AC Hi-freq จากขดลวดปฐมภูมิ สร้างสนามแม่เหล็กรอบตัวหลอด ทำให้เกิดแรงดัน
สูงเหนี่ยวนำขึ้นที่หลอด ทำให้อิเล็กตรอนภายในหลอดแตกตัว วิ่งไปกระทบกับอะตอมปรอทปล่อย
รังสียูวี และผ่านสารเรืองแสงที่เคลือบด้านในผิวหลอดกลายเป็นแสงที่มองเห็นได้ หลักการคล้าย
หลอดฟลูออเรสเซนต์ทั่วไป



รูปที่ 2.9 หลอดฟลูออเรสเซนต์แบบเหนี่ยวนำ

ตารางที่ 2.5 แสดงกำลังไฟฟ้าและประสิทธิภาพการส่องสว่าง

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
100	8,000	80
150	12,000	80

2.2.5 หลอดโซเดียมความดันต่ำ (Low Pressure Sodium)

มีประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงที่สุดในบรรดาหลอดทั้งหมดคือจะมีค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง 100 – 189 lm/W ช่วงเวลาที่ใช้ในการจุดติดหลอดและช่วงเริ่มเปล่งแสง (Run-Up) ประมาณ 12-15 นาที หลอดชนิดเหมาะที่จะใช้เพื่อการอนุรักษ์พลังงานในกรณีที่ต้องเปิดไฟไว้เป็นระยะเวลานาน อาทิเช่น ไฟส่องบริเวณ อย่างไรก็ตามหลอดให้ความเย็นสีสูง หากกิจกรรมหรือบริเวณดังกล่าวต้องการความถูกต้องของสีสูงไม่ควรใช้หลอดโซเดียมความดันต่ำเด็ดขาด

ตารางที่ 2.6 แสดงประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดโซเดียมความดันต่ำ

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
35	4500	128.6
55	7800	141.8
90	13000	144.4
135	20800	154.1
180	32500	180.6

2.2.6 หลอดปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury)

หลอดปรอทความดันสูง หรือหลอดแสงจันทร์ เป็นหลอดดีสารเรืองแสงชนิดแรกที่มีการผลิตขึ้นมาใช้งาน เพื่อใช้ทดแทนหลอดฟลูออเรสเซนต์ หลอดชนิดนี้ที่ใช้เป็นไฟส่องสว่างสำหรับไฟถนน ในซอย หลอดไอปรอทความดันสูง สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

1. แบบใส
2. แบบเคลือบสารช่วยกระจายแสง



รูปที่ 2.10 หลอดปรอทความดันสูง (High Pressure Mercury)

ตารางที่ 2.7 แสดงประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดปรอทความดันสูง

	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
ใส	125	5900	47.2
	400	21000	52.5
เคลือบ	50	1800	36
	80	3700	46.3
	125	6300	50.4
	250	13000	52
	400	22000	55
	1000	58000	58

2.2.7 หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium)

เป็นหลอดที่ให้ประสิทธิภาพการมองเห็นที่ดีที่สุดเนื่องจากหลอดให้เปล่งแสงสีทอง-เหลือง ซึ่งเป็นสีที่ไวต่อการมองเห็นของมนุษย์ หลอดประเภทนี้ มีอายุการใช้งานยาวนานจึงนิยมใช้สำหรับการให้แสงสว่างภายนอกอาคารอาทิเช่น ที่จอดรถ ลานรับ-ส่งสินค้า ไฟสนามกีฬา เป็นต้น



รูปที่ 2.11 หลอดโซเดียมความดันสูง (High Pressure Sodium)

หลอดโซเดียมความดันสูงเป็นหลอดที่มีประสิทธิภาพการส่องสว่างค่อนข้างสูง 70 – 140 lm/W แต่ให้ความถูกต้องของสีค่อนข้างต่ำ (CRI = 23) ยกเว้นรุ่นที่มีการปรับปรุงคุณภาพของแสงซึ่งจะให้ความถูกต้องของสีประมาณ 60 – 85 หลอดโซเดียมความดันสูงสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทดังนี้ คือ หลอดโซเดียมความดันสูงแบบมาตรฐาน หลอดโซเดียมความดันสูงแบบประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง หลอดโซเดียมที่ออกแบบให้ใช้แทนหลอดไอปรอทความดันสูง

ตารางที่ 2.8 แสดงประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดโซเดียมความดันสูง

กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)	ประสิทธิภาพการส่องสว่าง (lm/W)
50	3450	69
70	5600	80
150	14500	96.7
250	26500	106
400	49000	122.5
1000	130000	130

2.2.8 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide)

มีลักษณะการทำงานคล้ายหลอดไอปรอทความดันสูง แต่แตกต่างกันตรงที่ภายในหลอดประเภทนี้จะเติมสารประกอบเมทัลฮาไลด์เข้าไปกับปรอท เพื่อให้ได้สีของแสงดีขึ้น มีคุณสมบัติทางสีที่ดีเหมาะสำหรับใช้ในงานที่ต้องการแสงสีที่ดี เช่น สนามกีฬา และ โรงงานอุตสาหกรรมที่ต้องการเห็นแสงสี

ของวัสดุ เป็นต้น ประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดเมทัลฮาไลด์ขึ้นอยู่กับขนาดกำลังไฟฟ้า แต่โดยทั่วไปแล้วจะมีค่าประมาณ 65 - 95 ลูเมนต่อวัตต์



รูปที่ 2.12 หลอดเมทัลฮาไลด์ (Metal Halide)

ตารางที่ 2.9 แสดงประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดเมทัลฮาไลด์

	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่องสว่าง (lm)
ขั้วเดี่ยว (Tubular)	250	17000
	400	31500
	1000	81000
	2000	189000
สองขั้ว	70	5500
	250	20000

2.2.9 หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode, LED)

หลอดแอลอีดีเป็นอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำที่มีการเปล่งแสงและถูกควบคุมการกระจายแสงด้วยเลนส์ที่เคลือบไว้ เมื่อใช้งานกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง อิเล็กตรอนจะผ่านไปตามอุปกรณ์เซมิคอนดักเตอร์ทำให้เกิดแสงออกมาตามความถี่ของแสงที่ได้กำหนดไว้ ปัจจุบันได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีหลอดแอลอีดีให้มีความเข้มการส่องสว่างสูง จนสามารถใช้งานด้านแสงสว่างได้ ข้อดีเมื่อเทียบกับหลอดประเภทอื่น คือ ขนาดเล็กกระทัดรัด ทนการสั่นสะเทือนสูง เปิดปิดได้บ่อยครั้ง อายุยาวนาน มี

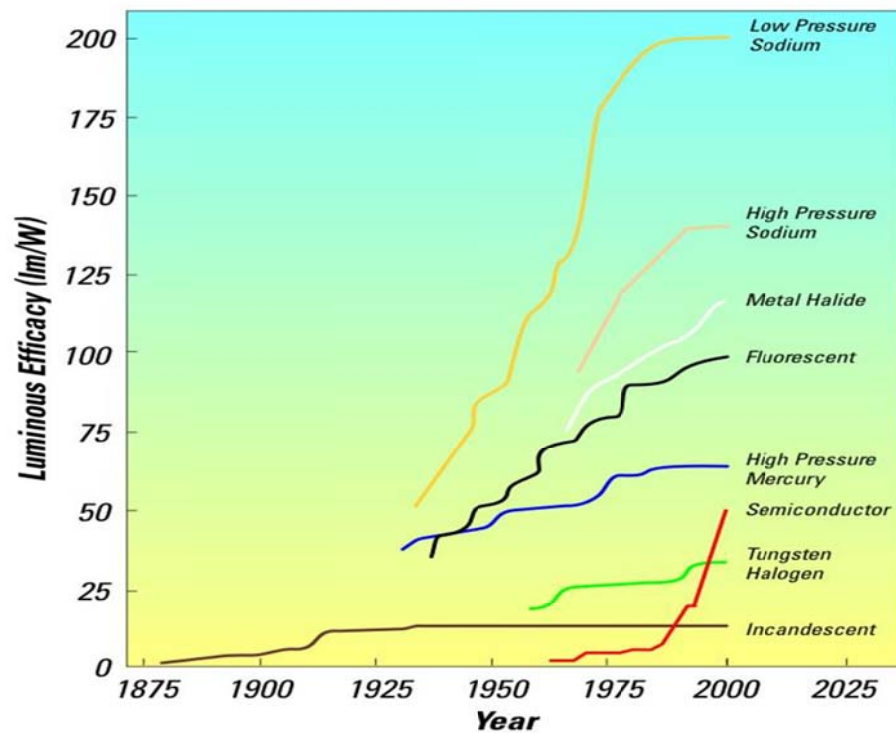
ประสิทธิภาพด้านแสงสูง หลอดแอลอีดีสมรรถนะสูงขนาด 1 วัตต์ สีแดงจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 37 ลูเมนต่อวัตต์ สีเขียวจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 40 ลูเมนต่อวัตต์ สีน้ำเงินจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 12 ลูเมนต่อวัตต์ และสีขาวจะให้ประสิทธิภาพการส่องสว่างประมาณ 34 ลูเมนต่อวัตต์ นอกจากนี้ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแอลอีดีให้อยู่ในรูปหลอดไฟที่มีหัวหลอดแบบทั่วไป เช่น E27 และ E40 ซึ่งสามารถเปลี่ยนทดแทนหลอดไส้ หรือหลอดปล่อยประจุความเข้มแสงสูง (HID) ได้เลย สามารถใช้ได้ทั้งในและนอกอาคาร



รูปที่ 2.13 หลอดแอลอีดี (Light Emitting Diode, LED)

2.3 การเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพพลังงานของหลอดไฟ

การเลือกหลอดไฟฟ้าเพื่อการอนุรักษ์พลังงานอาจพิจารณาได้จากค่าประสิทธิภาพการส่องสว่าง หลอดที่มีประสิทธิภาพที่สูงหมายถึงหลอดไฟฟ้านั้นประหยัดพลังงานมากกว่าหลอดไฟที่มีค่าประสิทธิภาพที่ต่ำ อย่างไรก็ตามหลอดแต่ละประเภทมีความแตกต่างด้านการใช้งานที่ต่างกัน จึงไม่ควรพิจารณาเฉพาะค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างเพียงอย่างเดียว ปัจจัยอื่นที่ควรพิจารณา เช่น พลังงานการส่องสว่าง กำลังไฟฟ้า อุปกรณ์ประกอบ อายุการใช้งาน ความถูกต้องของสี ราคาหลอดไฟ ประเภทกิจกรรม และอื่นๆ



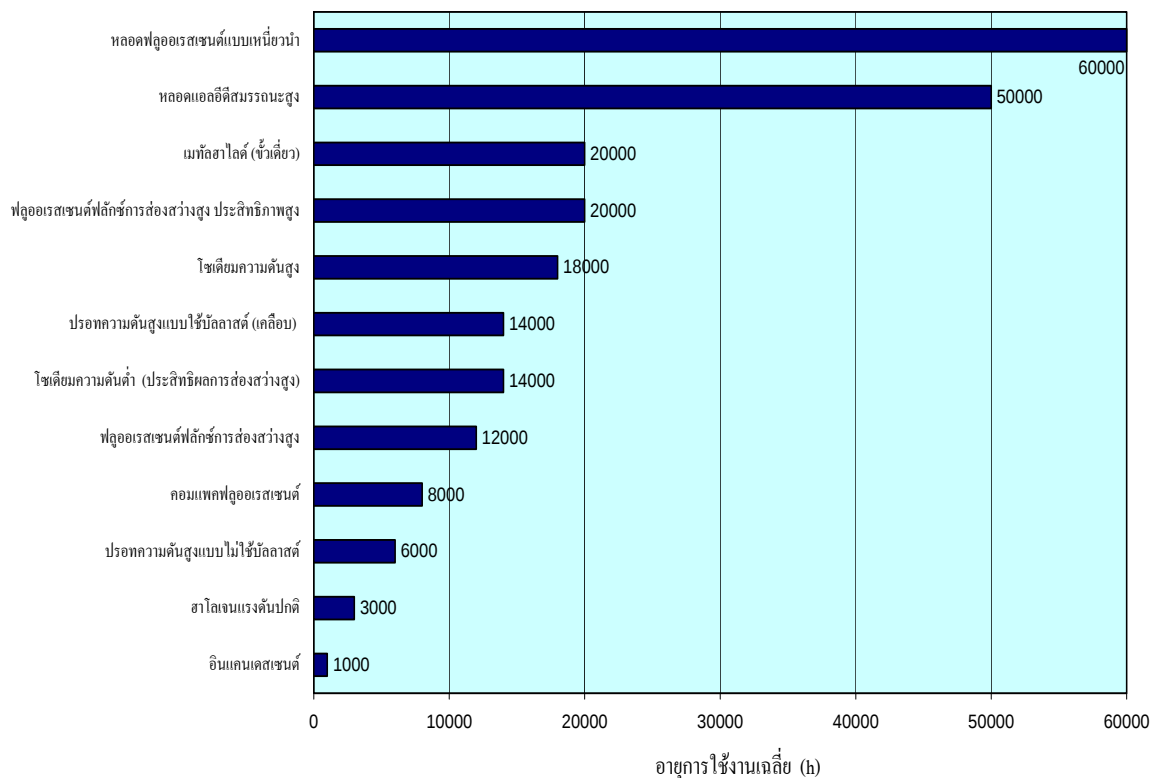
รูปที่ 2.14 แสดงค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไฟ

ตารางที่ 2.10 แสดงประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่อง สว่าง (lm)	ประสิทธิภาพ การส่องสว่าง (lm/w)	อายุการใช้ งาน (h)
อินแคนเดสเซนต์	15-500	120-8,400	8-17	1,000
ฟลูออเรสเซนต์ ฟลักซ์การส่องสว่างสูง	18-36	1,300-3,350	72-93	12,000
คอมแพคฟลูออเรสเซนต์ บัลลาสต์ในตัว	8-23	420-1,350	53-64	8,000
แอลอีดีสมรรถนะสูง (E27)	5	300	60	50,000
ไฮโปรทความดันสูง (เคิลือบ)	50-1,000	1,800-58,000	36-58	14,000
โซเดียมความดันสูง ประสิทธิภาพการส่องสว่างสูง	100-400	10,000-56,000	100-140	18,000

ตารางที่ 2.10 แสดงประสิทธิภาพการส่องสว่างของหลอดไฟฟ้า (ต่อ)

ชนิด	กำลังไฟฟ้า (W)	ฟลักซ์การส่อง สว่าง (lm)	ประสิทธิภาพ การส่องสว่าง (lm/w)	อายุการใช้ งาน (h)
เมทัลฮาไลด์ (ข้าวเดี๋ยว)	70-2,000	5,100-189,000	73-95	20,000
โซเดียมความดันต่ำ (ประสิทธิภาพการส่องสว่าง สูง)	18-180	1,800-32,500	100-181	14,000



รูปที่ 2.15 อายุการใช้งานเฉลี่ยในหน่วยชั่วโมง

2.4 ทฤษฎีการกระจายแสงของดวงโคมไฟฟ้า

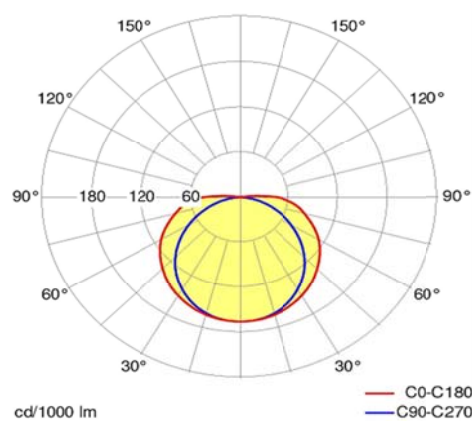
หลักการเกี่ยวกับการกระจายแสงของโคมไฟประเภทต่างๆ ทั้งในเชิงอุตสาหกรรม และเชิงพาณิชย์ไปแล้ว ในฉบับนี้เราจะเรียนรู้ถึงการกระจายแสงของโคมไฟ ที่ใช้ภายในบ้านที่อยู่อาศัย (Residential Lighting) กันบ้างกลุ่มแรกจะเป็นพวก โคมไฟติดเพดาน (Ceiling Light) ซึ่งในฉบับที่แล้ว เราได้พูด

ถึงโคมDownlight ว่าเป็นโคมฝังเพดานให้แสงสว่างในแนวดิ่งไป แต่ในฉบับนี้เราจะมีการใช้งานของ โคมติดลอย(Surface Mounted) หรือกึ่งติดลอย (Semi-Recessed Mounted) มาแสดงให้ดูกัน ซึ่งโคมไฟลักษณะนี้เป็นที่นิยมใช้ในที่อยู่อาศัย



รูปที่ 2.16 โคมไฟติดเพดาน

โคมไฟประเภทนี้ สามารถใช้ได้กับหลอดฟลูออเรสเซนต์รูปแบบต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นหลอดทรงกลม (Circular Lamp), หลอดยาว (Linear Fluorescent Lamp) หรือหลอดขนาดคอมแพค (Compact Fluorescent Lamp) ซึ่งจะเป็นหลอดที่ประหยัดไฟ ไม่ร้อน สามารถเลือกสีของแสงได้หลาย โทน และมีการกระจายในมุมกว้าง มีฝาครอบโคมกันแสงแยงตา เพื่อให้มีแสงสว่างกระจายครอบคลุม พื้นที่ในห้องต่างๆ



รูปที่ 2.17 แสดงการกระจายแสงแบบลงด้านล่าง

โคมติดเพดานยังมีแบบที่ห้อยลงมา (Pendant) โคมแบบนี้จะเหมาะสำหรับเพดานสูงกว่า 3 เมตร หรือห้อยลงมาบริเวณ พื้นที่ที่ต้องการความสว่างเฉพาะ เช่น โต๊ะทานอาหาร หรือตรงกลางห้องโถงเพื่อต้องการแสงแบบเฉพาะที่



รูปที่ 2.18 แสดงโคมติดเพดานแบบห้อย

โคมแบบห้อยนี้ สามารถให้แสงกระจายแบบ Direct (ในแนวส่องลง) และ Indirect (ในแนวส่องขึ้น) ได้ ซึ่งแสงที่ส่องขึ้น จะไปกระทบกับ ฝ้า เพดาน แล้วสะท้อนลงมาอีกทีหนึ่ง ผลที่ได้จากแสงแบบ Indirectนี้จะทำให้ไม่เกิดแสงแยงตา (Glare) ไม่เกิดเงา และยังไม่ทำให้ห้องดูอึดอัด เพราะโคมประเภทนี้จะให้มุมกระจายแสงแบบกว้าง ครอบคลุมพื้นที่ตามต้องการ

2.5 ทฤษฎีการตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง

การตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานเกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียงภายในในสภาวะที่เป็นจริงของสภาพการทำงาน อย่างน้อยปีละ 1 ครั้ง กรณีที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลงเครื่องจักร อุปกรณ์ กระบวนการผลิต วิธีการทำงาน หรือการดำเนินการใดๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน แสงสว่าง หรือการดำเนินการใดๆ ที่อาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงระดับความร้อน แสงสว่าง หรือเสียง ดำเนินการจัดให้มีการตรวจวัดและวิเคราะห์สภาวะการทำงานฯ เพิ่มเติมที่มีการปรับปรุงหรือเปลี่ยนแปลง ตรวจวัดความเข้มของแสงสว่างใน โดยให้ตรวจวัด “บริเวณพื้นที่ทั่วไป” บริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตที่ทำงาน และบริเวณที่ต้องทำงานโดยใช้สายตามองเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาอยู่กับที่ในการทำงาน ในสภาพการทำงานปกติและในช่วงเวลาที่มีแสงสว่างตามธรรมชาติน้อยที่สุดการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างภายในอาคาร

วิธีการตรวจวัดโดยทั่วไปมี 2 วิธี คือ

2.5.1 วัดที่จุดทำงาน

2.5.2 วัดแบบค่าเฉลี่ยของพื้นที่ทั่วไป

2.5.1 การวัดแบบจุด (Spot Measurement)

เป็นการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างบริเวณที่ลูกจ้างต้องทำงาน โดยใช้สายตาเฉพาะจุดหรือต้องใช้สายตาคู่กับที่ในการทำงาน ตรวจวัดในจุดที่สายตาทะลุขึ้นงานหรือจุดที่ทำงานของคนงาน (Point of Work) โดยวางเครื่องวัดแสงในแนวระนาบเดียวกับชิ้นงาน หรือพื้นผิวที่สายตาทะลุขึ้นงาน แล้วอ่านค่าที่อ่านได้นำไปเปรียบเทียบกับมาตรฐานตามกฎกระทรวง กำหนดมาตรฐานในการบริหารและการจัดการด้านความปลอดภัย อาชีวอนามัย และสภาพแวดล้อมในการทำงาน เกี่ยวกับ ความร้อน แสงสว่าง และเสียง

2.5.2 การวัดแสงเฉลี่ยแบบพื้นที่ทั่วไป (Area Measurement)

เป็นการตรวจวัดความเข้มแสงสว่างในบริเวณพื้นที่ทั่วไปภายในสถานประกอบการ เช่นทางเดิน และบริเวณพื้นที่ใช้ประโยชน์ในกระบวนการผลิตที่ลูกจ้างทำงานการตรวจวัดแบบนี้สามารถทำได้สองวิธี คือ

1. แบ่งพื้นที่ทั้งหมดออกเป็น 2 x 2 ตารางเมตร โดยถือเซลล์รับแสงในแนวระนาบสูงจากพื้น 30 นิ้ว (75 เซนติเมตร) แล้วอ่านค่า (ในขณะที่วัดนั้นต้องมีให้เงาของผู้วัดบังแสงสว่าง) นำค่าที่วัดได้มาหาค่าเฉลี่ย

2. หากการติดหลอดไฟฟ้ามีลักษณะที่แน่นอนซ้ำๆ กัน สามารถวัดแสงในจุดที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่มีแสงตกกระทบในลักษณะเดียวกัน ตามวิธีการวัดแสงและการคำนวณค่าเฉลี่ย ของ IES Lighting Handbook 1981 (Reference Volume)] หรือเทียบเท่า การวัดในลักษณะนี้ช่วยให้จำนวนจุดตรวจวัดน้อยลงได้

2.5.3 ขั้นตอนและเทคนิควิธีการวัดแสงสว่าง

1. ปรับให้เครื่องอ่านค่าที่ศูนย์ก่อนทำการตรวจวัดแสงสว่าง ต้องปรับให้เครื่องอ่านค่าที่ศูนย์ก่อนทุกครั้ง การปรับเครื่องเช่นนี้ เรียกว่า Zeroing ซึ่งไม่ใช่การปรับเทียบความถูกต้อง (Calibration) ของเครื่องมือ การปรับให้เครื่องอ่านค่าที่ศูนย์ ก่อนการเริ่มอ่านค่าเป็นสิ่งจำเป็น สามารถทำได้โดยใช้วัสดุสีดำทึบแสงปิดที่เซลล์รับแสงแล้วเปิดเครื่องและอ่านค่า ค่าที่อ่านได้ควรเป็นศูนย์ เนื่องจากไม่มีแสงตกกระทบเซลล์รับแสง หากไม่เป็นเช่นนั้น ต้องปรับมิเตอร์ให้อ่านค่าศูนย์ก่อนเริ่มการตรวจวัด

2. ปรับมิเตอร์ โดยมิเตอร์บางรุ่นจะมีปุ่มให้ปรับเลือกช่วงของความเข้มแสงสว่างระดับต่างๆ หากไม่แน่ใจว่าระดับความเข้มของแสงสว่างเป็นปริมาณเท่าไรให้ปรับปุ่มไปช่วงของการวัดที่ระดับสูงก่อนถ้าไม่ใช่ช่วงการวัดนั้นจึงค่อยปรับสเกลต่ำลงมา
3. ศึกษาลักษณะการทำงานของผู้ปฏิบัติงาน ขนาดของชิ้นงาน ความละเอียดของงาน ปัจจัยแวดล้อมที่ส่งผลกระทบต่อการมอง การส่องสว่าง และคุณภาพของการส่องสว่าง
4. วางเซลรับแสง ระบายเดียวกับพื้นผิวงานของผู้ปฏิบัติงานนั้น อ่านค่าความเข้มแสงสว่าง ผู้ทำการตรวจวัดฯ ต้องระวังไม่ให้เงาของตัวเองทอดบังบนเซลรับแสง ซึ่งทำให้ค่าความเข้มแสงสว่างผิดจากความเป็นจริง
5. ให้เซลรับแสงรับแสงจนค่าแน่นอนทุกครั้ง (โดยทั่วไปประมาณ 5 – 15 นาที) จึงอ่านค่ามิเตอร์และบันทึกผล
6. นำผลการตรวจวัดเปรียบเทียบกับกฎกระทรวงฯ เกี่ยวกับความร้อน แสงสว่าง และเสียง พ.ศ.2549 หมวด 2 แสงสว่าง
7. การตรวจวัดความเข้มแสงสว่าง จะทำการตรวจวัดตามสภาพความเป็นจริง เช่น หากปฏิบัติงานโดยไม่เปิดไฟ แต่ใช้แสงสว่างจากธรรมชาติ ก็ทำการตรวจวัดตามสภาพจริงนั้น แต่หากปกติการทำงานนั้นเปิดหลอดไฟฟ้าในขณะทำงาน ให้เปิดหลอดไฟฟ้าไว้อย่างน้อย 20 นาที ก่อนทำการตรวจวัด ทั้งนี้เพื่อให้หลอดไฟส่องสว่างเต็มที่
8. ต้องวัดแสงในขณะที่ผู้ปฏิบัติงานอยู่ในลักษณะการทำงานจริงๆ แม้การทำงานนั้นจะทำให้เกิดเงาในการวัดแสง ควรพิจารณาคำแนะนำของดวงอาทิตย์และสภาพอากาศขณะที่ทำการวัดด้วย
9. งานที่ปฏิบัติในเวลากลางวัน ต้องทำการวัดแสงในตอนกลางวัน แต่ถ้างานที่ปฏิบัตินั้นเป็นเวลากลางคืนก็ต้องทำการตรวจวัดในเวลากลางคืน
10. บันทึกผลการตรวจวัดแสงสว่างและปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น สภาพห้อง เพดาน

2.6 ประสิทธิภาพในการส่องสว่าง

2.6.1 ความส่องสว่าง หรือ สภาพส่องสว่าง (Luminance หรือ luminosity) เป็นการวัดเชิงแสง (photometric) เพื่อบอกความเข้ม ของความเข้มส่องสว่าง (density of luminous intensity) ในทิศทางที่กำหนด โดยจะระบุปริมาณแสงที่ผ่านทะลุ หรือเปล่งแสงออกมาจากพื้นที่หนึ่งๆ และตกกระทบในมุมตันที่กำหนด

2.6.2 หน่วยเอสไอ (SI) ของค่าความส่องสว่างนั้น เรียกว่า "แคนเดลา ต่อ ตารางเมตร" (candela per square metre) เขียนย่อเป็น (cd/m²) สำหรับหน่วย CGS ของค่าความส่องสว่าง คือ

(stilb) ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1 แคนเดลาต่อตารางเซนติเมตร หรือ 10 kcd/m^2 ค่าความส่องสว่างนั้น มักจะใช้ระบุถึงการเปล่งแสง หรือการสะท้อนแสงจากพื้นผิวราบที่กระจายแสง ความส่องสว่างนี้จะบอกว่าตาของเราที่มองดูพื้นผิวจากมุมหนึ่งๆ นั้น รับรู้ถึงกำลังความส่องสว่างได้มากเท่าใด ความส่องสว่างจึงเป็นตัวบ่งบอกว่าพื้นผิวนั้นดูสว่างเพียงใด ในกรณีนี้ มุมตันที่แสงตกกระทบนั่น จึงเป็นมุมตันที่เกิดจากระนาบของจากรู่ม่านตานั่นเอง

ในอุตสาหกรรมภาพวิดีโอจะใช้ค่าความส่องสว่าง เป็นตัวบอกถึงความสว่างของจอแสดงผลภาพ และในอุตสาหกรรมนี้ จะเรียกหน่วยค่าความสว่าง 1 แคนเดลาต่อตารางเมตร ว่า nit สำหรับจอคอมพิวเตอร์โดยทั่วไป จะให้ค่าความส่องสว่างประมาณ 50 – 300 nit

ความส่องสว่างนั้นแปรผันต่างกันไปในบรรดาทัศนอุปกรณ์ทางเรขาคณิต นั้นหมายความว่า สำหรับระบบทัศนอุปกรณ์ในอุดมคติหนึ่งๆ ค่าความส่องสว่างขาออก จะเท่ากับค่าความส่องสว่างขาเข้า ตัวอย่างเช่น หากเราสร้างภาพย่อด้วยเลนส์ กำลังความส่องสว่างจะถูกบีบในพื้นที่ขนาดเล็กลง นั้นหมายความว่า ค่าความส่องสว่างที่ภาพดังกล่าวจะสูงขึ้น แต่แสงที่ระนาบของภาพจะเดิมมุมตันที่ใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าความส่องสว่างออกมาเท่าเดิม โดยถือว่าไม่มีการสูญเสียที่เลนส์ และภาพนั้นก็ไม่มีทางที่จะสว่างมากไปกว่าภาพเดิม

การหาค่าความส่องสว่าง อาจคิดได้จากสูตรต่อไปนี้

$$L_v = \frac{d^2 F}{dA d\Omega \cos \theta}$$

โดยที่

L_v	คือ	ค่าความส่องสว่าง (cd/m²)
F	คือ	ฟลักซ์ส่องสว่าง หรือกำลังความส่องสว่าง (lm)
θ	คือ	มุมระหว่างพื้นผิวปกติและทิศทางนั้นๆ
A	คือ	พื้นที่ของแหล่งกำเนิดแสง (m²)
Ω	คือ	มุมตันค่าความส่องสว่าง (sr)

2.7 ทฤษฎีการเปล่งแสงของหลอดไฟฟ้า

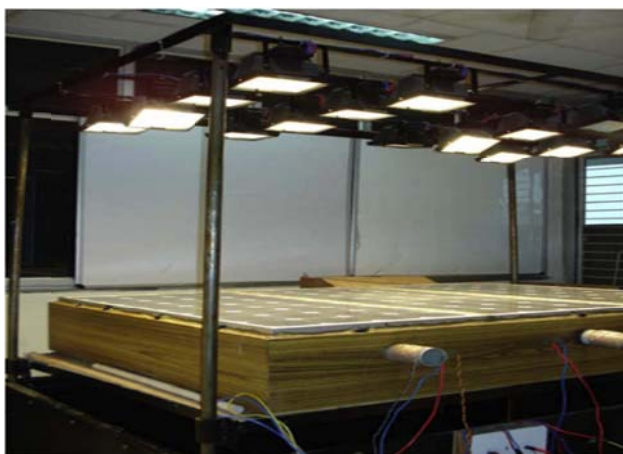
การเปล่งแสง (incandescence) คือ การปลดปล่อยแสง ซึ่งเป็นรังสีแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองเห็นได้จากวัตถุร้อนเนื่องจากอุณหภูมิของมันในเชิงปฏิบัติ สสารในสถานะของแข็งหรือของเหลวเกือบทุกชนิดเริ่มเปล่งแสงที่อุณหภูมิประมาณ 798K (525°C) โดยมีสีแดงมัวมาก เพราะไม่มีปฏิกิริยาเคมี

เกิดขึ้นซึ่งทำให้เกิดแสงอันเป็นผลมาจากกระบวนการ คายความร้อน จี๊ดจำกัดนี้เรียกว่า จุดเคิร์ฟเพอร์ การเปล่งแสงนั้นไม่ได้หายไปอย่างสิ้นเชิงในอุณหภูมิค่าก่านั้น เพียงแต่อ่อนเกินไปในสเปกตรัมที่มองเห็นได้กว่าที่จะสังเกตได้ การเปล่งแสงนั้นเกิดขึ้นในหลอดไส้ร้อนแบบธรรมดา ซึ่งไส้หลอดนั้นได้รับความร้อนจนถึงอุณหภูมิที่ส่วนหนึ่งของรังสีตกอยู่ใน ช่วงสเปกตรัมที่มองเห็นได้ อย่างไรก็ตาม รังสีส่วนใหญ่ปลดปล่อยในช่วงคลื่นอินฟราเรดของสเปกตรัม จึงทำให้หลอดไส้เป็นแหล่งกำเนิดแสงที่ค่อนข้างไร้ประสิทธิภาพ หลอดฟลูออเรสเซนต์ไม่ได้ทำงานโดยหลักการเปล่งแสง แต่ใช้การปล่อยเนื่องจากความร้อนและการกระตุ้นของอะตอมเนื่องจากการชนกับ อิเล็กตรอนพลังงานสูงแทน ในหลอดไส้ มีเพียงอิเล็กตรอนบนขดแถบเท่านั้นที่สามารถชนได้ ขณะที่อุณหภูมิที่สูงขึ้นสามารถเพิ่มประสิทธิภาพได้ แต่ปัจจุบันยังไม่มีวัสดุที่สามารถทนอุณหภูมิเช่นนั้นได้ซึ่งเหมาะที่จะใช้ ในหลอดไฟ

2.8 รายงานการค้นคว้า การศึกษาและการวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.8.1 การจำลองภายในห้องและการทดสอบความร้อนแสง(PV/T)สะสมในอากาศ

การทดลองแบบจำลองภายในห้องนี้เป็นการทดลองระหว่างอุณหภูมิความร้อนกับพลังงานไฟฟ้า สำหรับการทดลอง PV/T solar air heater เป็นการออกแบบและสร้างเพื่อหาประสิทธิภาพ บนตัวแปรที่แตกต่างกันและสมมุติฐาน สมการพลังงานแบบจำลองถูกพัฒนาขึ้นเพื่อเปรียบเทียบการทดลองกับ ทฤษฎีอย่างสมบูรณ์ระหว่างอุณหภูมิความร้อนที่ได้ 42 % และความร้อนของพลังงานไฟฟ้าได้ 8.4 % การทดลองสามารถนำไปทดลองกับโซลาร์เซลล์ชนิดอื่นๆได้



รูปที่ 2.19 การจำลองภายในห้องและการทดสอบความร้อนแสง (PV / T) สะสมในอากาศ

ปัญหาสิ่งแวดล้อมนับวันจะเป็นปัญหาเพิ่มขึ้นของโลกทุกปี การนำพลังงานที่ไม่มีวันหมด เช่น แหล่งพลังงานสะอาดถูกนำมาพิจารณาเพื่อแก้ปัญหา พลังงานแสงแดดเป็นหนึ่งในพลังงานที่มีความสำคัญที่นำมาเป็นพลังงานที่ไม่มีวันหมด โดยทั่วไปพลังงานแสงแดดแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ พลังงานไฟฟ้าร่วมกับพลังงานความร้อนและโวลตาเซลล์จะเป็น Hybrid หรือ Photovoltaic thermal collector (PV/T) PV/T สร้างความร้อนและพลังงานไฟฟ้าให้เกิดขึ้นพร้อมกันโดยการทดลองนี้สามารถนำไปทดลองได้ทั้งอากาศร้อนและน้ำได้ แต่แบบการจำลองนี้ทดลองเฉพาะอากาศร้อนเท่านั้น เพราะด้วยการออกแบบและการสร้างชุดจำลองเฉพาะอากาศเท่านั้น การทดลองนี้ได้ ออกแบบและสร้างเพื่อหาประสิทธิภาพบนพื้นฐานการทำงานที่แตกต่างกันระหว่างการเปลี่ยนแปลงของอัตราการไหลของอากาศกับความเข้มแสง

2.8.1.1 อุปกรณ์ชุดจำลองภายใน

- โครงสร้างชุดจำลองที่เป็นหลัก
- พัดลม DC 12 V 1.5 A
- ท่อเพื่อให้อากาศไหล

2.8.1.2 เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลอง

- Inlet air temperature.
- Outlet air temperature for all the ducts.
- Room temperature.
- Solar cell temperature.
- Air velocity.
- Solar intensity.
- Load current (IL) and load voltage (VL).
- Short circuit current (Isc) and open circuit voltage (Voc).

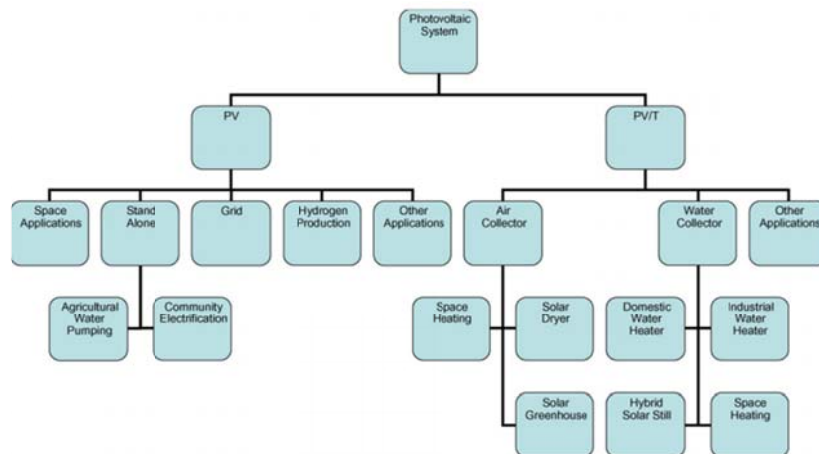
2.8.1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการจำลองภายในห้องและการทดสอบความร้อนแสง(PV/T)สะสมในอากาศ

1. เพื่อหาประสิทธิภาพของชุดทดลองการจำลองภายในห้อง
2. เพื่อหาข้อแตกต่างระหว่างการทดลองภายในห้องและการทดลอง นอกห้อง

2.8.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์

ในบทความนี้เป็นการศึกษาประสิทธิภาพการทำงานของระบบความร้อนแสงอาทิตย์และเซลล์

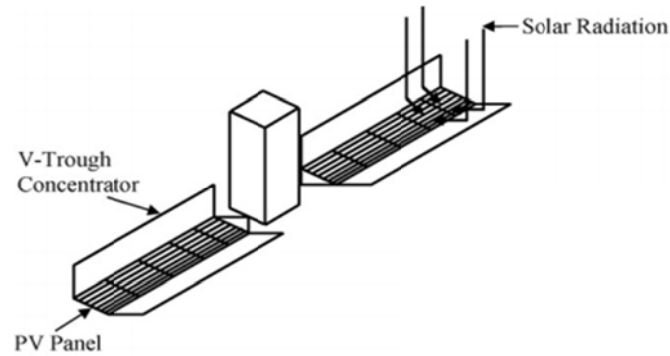
แสงอาทิตย์จะทำบนพื้นฐานของผลที่เกิดไฟฟ้าเป็นและความร้อนระบบไฟฟ้าโซลาร์เซลล์จะจำแนกตามกับการใช้งาน คือการผลิตไฟฟ้าและความร้อนที่ใช้งานพร้อมกับ การผลิตกระแสไฟฟ้าการประยุกต์ใช้ระบบโซลาร์เซลล์ต่างๆ ยังกล่าวถึงรายละเอียด ประสิทธิภาพการทำงานรวมทั้งการวิเคราะห์ทุกแง่มุมเช่น ไฟฟ้าความร้อนพลังงานและพลังงานที่มีประสิทธิภาพ จะยังอธิบายกรณีศึกษาสำหรับระบบ PV และ PV / T จากการวิเคราะห์



รูปที่ 2.20 การทดลองระบบ PV และ PV / T

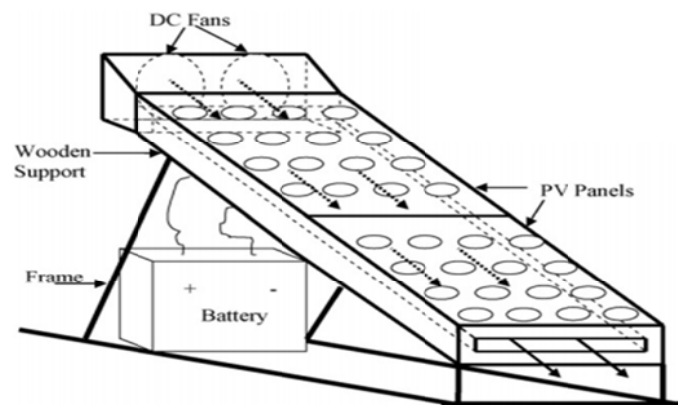
2.8.2.1 ระบบ PV และ PV / T

ระบบ PV พลังงานไฟฟ้าของระบบเซลล์แสงอาทิตย์จะเกิดขึ้นอยู่กับส่วนประกอบคือพลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ในขณะที่ไฟฟ้าถูกสร้างขึ้นโดยแผงเซลล์แสงอาทิตย์และแผงเซลล์แสงอาทิตย์เซลล์ ยังได้รับความร้อนเนื่องจากพลังงานความร้อนในแสงอาทิตย์การแผ่รังสี (พลังงานไฟฟ้า) สร้างโดยระบบไฟฟ้า เป็นพลังงานที่สามารถนำไปใช้อย่างแพร่หลายในการใช้งานตามความต้องการ พลังงานความร้อนที่มีอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์พื้นผิวจะไม่ถูกนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่เป็นประโยชน์ในกรณีของแสงอาทิตย์เพียงอย่างเดียวและเรียกด้วยเหตุนี้การสูญเสียความร้อนโดยรอบ แต่ความร้อนนี้สามารถนำมาใช้เพื่อวัตถุประสงค์ที่เป็นประโยชน์ในกรณีของระบบ PV / T ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของระบบ PV สามารถกำหนดเป็นอัตราส่วนของทั้งหมดพลังงานเพื่อพลังงานแสงอาทิตย์ทั้งหมดตกอยู่บนพื้นผิวของแผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 2.21 แสดงดาวเทียมโดยใช้แผงเซลล์แสงอาทิตย์และ รางตัว V

2.8.2.2 ระบบ PV/T แตกต่างจากแสงอาทิตย์ใช้พลังงานความร้อนที่มีอยู่บนแผงเซลล์แสงอาทิตย์ และเวลาที่ได้รับพลังงานความร้อนไม่ได้นำไปใช้เป็นพลังงานที่มีประโยชน์ ดังนั้นพลังงานจากระบบ PV / T จะกลายเป็นผลรวมของ พลังงานไฟฟ้าและพลังงานความร้อน ของระบบและพลังงานที่มีประสิทธิภาพ



รูปที่ 2.22 แสดงไฮบริด PV / T อากาศสะสม

2.8.3 กรณีศึกษา

1. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ PV
2. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบ PV / T
3. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของ PV / T คู่ (อากาศและน้ำ)

2.8.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการทดลอง

การใช้งานของระบบ PV และ PV / T ได้มีการนำเสนอรายละเอียด วิธีการต่างๆ ที่ได้กล่าวถึงผลการทดลองหาประสิทธิภาพของ ระบบ PV และ PV / T มีวิธีการหลายวิธีในการหาประสิทธิภาพของระบบ PV และ ระบบPV / T ได้กล่าวถึงและระบบที่เกิดขึ้นสามารถนำไปใช้จริง การใช้สูตรเหล่านี้จะแสดงความแตกต่างระหว่าง ประสิทธิภาพพลังงานที่ได้จาก PV และ PV / T ข้อเสนอแนะของการวิเคราะห์พลังงาน ควรใช้สำหรับการประเมินผลระบบ PV และการประเมินผล เพื่อให้มีเหตุผลมากขึ้นการประเมินผลและการสร้างแบบจำลองและการวางแผนสำหรับระบบ PV

1. ได้ศึกษาประสิทธิภาพของพลังงานที่ได้จากระบบ PV / T มีประสิทธิภาพมากกว่าพลังงานที่ได้จากระบบPV
2. การเพิ่มพื้นที่ผิวของอากาศ และ น้ำท่อ โดยการวางโลหะบางหรือแผ่นซีโครงหรือครีป และการรวมกันของทั้งสามภายในท่อ การกำจัดความร้อนจากพื้นผิว PV ได้เร็ว
3. การใช้พื้นที่ผิวสะท้อนความร้อน จะมีประสิทธิภาพจะเพิ่มขึ้นเป็นการแผ่รังสีที่มากขึ้น พื้นผิวดกอยู่ใน PV T สะสมในอากาศ เนื่องจากความหนาแน่นที่สูงของน้ำ

2.9 คำจำกัดความ

เซลล์แสงอาทิตย์ (Solar cell) หมายถึง กระบวนการผลิตไฟฟ้าจากการตกกระทบของ แสงบนวัตถุที่มีความสามารถในการเปลี่ยนพลังงานแสงเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง

ความเข้มแสง (Illuminance) หมายถึง ปริมาณแสงที่ตกกระทบบนหนึ่งหน่วยพื้นที่ ที่กำหนดหน่วยวัดความเข้มแสง มีหน่วยเป็น ลักซ์ (Lux) หรือเป็น ฟุตเทียน (Foot Candle) 1 ฟุตเทียน = 10.76 ลักซ์