

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการวิจัย

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้นำเสนอการออกแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างด้วยการนำเอา 6 ฟังก์ชันการทำงานหลักในการประหยัดพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างที่ถูกพัฒนามาแยกจากกัน ให้ทำงานร่วมกันให้ได้มากที่สุดเป็นระบบเดียวซึ่งประกอบด้วย

- 1) ฟังก์ชันตรวจจับการเคลื่อนไหว (Occupancy Control: OCT)
- 2) ฟังก์ชันการควบคุมการเปิด/ปิดไฟอย่างอัตโนมัติตามตารางเวลาทำงานที่กำหนดไว้ (Time Scheduling: TSD)
- 3) ฟังก์ชันการใช้ประโยชน์จากแสงสว่างภายนอก (Daylight Control: DCT)
- 4) ฟังก์ชันการใช้แสงสว่างเฉพาะจุดหรือเฉพาะบริเวณที่มีผู้ใช้งาน (Task Control: TCT)
- 5) ฟังก์ชันการควบคุมความสว่างหลอดไฟด้วยผู้ใช้ไฟเอง (Personal Control: PCT)
- 6) ฟังก์ชันการควบคุมการใช้พลังงานโดยรวมทั้งระบบจากปริมาณค่ากำลังไฟฟ้าสูงสุด (Variable Power Shedding: VPS)

โดยการเลือกใช้ฟังก์ชันตามความเหมาะสมของหลักการทำงานในแต่ละฟังก์ชัน ในการออกแบบมีการคำนึงถึงสภาพแวดล้อมและกิจกรรมที่ใช้ในบริเวณนั้น อีกทั้งการเลือกใช้อุปกรณ์ในการควบคุมระบบ เพื่อให้ได้ระบบที่มีประสิทธิภาพในการทำงานใช้งานง่าย รวมถึงมีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงานและมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งที่เหมาะสม นอกจากนี้ได้นำเสนอการออกแบบการทำงานของฟังก์ชันตามลำดับความสำคัญของแต่ละฟังก์ชัน (Priority Sequence Method) ซึ่งวิธีการนี้จะช่วยให้ระบบสามารถควบคุมการทำงานได้ง่ายไม่ซับซ้อน และยังสามารถช่วยลดการใช้พลังงานลงได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย

นอกจากนั้นในส่วนของวิธีการควบคุมการทำงานของระบบได้ออกแบบการควบคุมเป็น 2 รูปแบบ ได้แก่ ระบบควบคุมด้วยวิธีเปิด/ปิดหลอดไฟโดยไม่สามารถปรับระดับปริมาณแสงสว่างของหลอดไฟได้ (Switching Control) และระบบควบคุมที่สามารถปรับระดับปริมาณแสงสว่าง

จากหลอดไฟได้ (Dimming Control) โดยทั้งสองระบบสามารถควบคุมหรือสั่งการได้ทั้งการรับคำสั่งจากผู้ใช้งานโดยตรง (Personal Control) และสั่งการแบบอัตโนมัติตามโปรแกรมที่ได้โปรแกรมไว้ (Automatic Control) ซึ่งระบบส่วนใหญ่จะเป็นการทำงานแบบอัตโนมัติที่จะลดภาระลงให้กับผู้ใช้งานหรืออำนวยความสะดวกให้ผู้ใช้งานได้มากขึ้น ส่งผลให้เป็นข้อดีอีกส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้

จากนั้นได้ดำเนินการสร้างระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างซึ่งประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก คือ ส่วน Hardware และ Software โดยส่วน Hardware จะประกอบด้วยอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของระบบ ได้แก่ ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่จะรับข้อมูลจากเซนเซอร์รวมถึงสั่งการผ่านวงจรอิเล็กทรอนิกส์ในการควบคุมหลอดไฟ และอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ประมวลผลระบบ ได้แก่ Raspberry Pi ในส่วนของ Software จะมีการใช้โปรแกรม Gambus เป็นเหมือนสถานีศูนย์กลางในการจัดการควบคุมการทำงานของระบบ (Operation Station) โดยมีหน้าที่เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL เพื่อประมวลผลคำสั่งเปิด/ปิดหลอดไฟจากผู้ใช้งานโปรแกรมจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง (Lighting Program) ที่ได้พัฒนาขึ้นทั้งผ่านทางจอ Touch Screen และหน้า Webpage เพื่อสั่งการต่อไปให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานต่อไป อีกทั้งยังทำหน้าที่จัดเก็บข้อมูลการใช้ไฟฟ้าในระบบแสงสว่างจากมิเตอร์ลงฐานข้อมูล MySQL และนำข้อมูลมาแสดงผลในรูปแบบตารางและกราฟ

ระบบที่ได้พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้เป็นการนำเอา 6 ฟังก์ชันที่เหมาะสมให้ทำงานร่วมกันเป็นระบบเดียวด้วยหลักการทำงานที่ง่ายแต่มีประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน และเลือกใช้อุปกรณ์ที่ราคาเหมาะสม อีกทั้งอุปกรณ์สามารถทำงานร่วมกันได้อย่างมีประสิทธิภาพสามารถใช้งานง่าย โดยกำหนดให้ระบบมีทั้งการควบคุมด้วยระบบควบคุมที่ไม่สามารถปรับระดับปริมาณแสงสว่างของหลอดไฟได้ และระบบควบคุมที่สามารถปรับระดับปริมาณแสงสว่างของหลอดไฟได้ ซึ่งในระบบก่อนหน้านี้นี้ฟังก์ชันแต่ละฟังก์ชันถูกพัฒนาและนำไปใช้งานอย่างกระจัดกระจาย กล่าวคือ ฟังก์ชันถูกพัฒนาและนำไปใช้เพียงแค่วิธีเดียวหรือเลือกใช้แค่บางฟังก์ชันการทำงานเท่านั้น ซึ่งในความจริงแล้วการเลือกใช้ฟังก์ชันการทำงานที่หลากหลายสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของระบบได้ อีกทั้งบางวิธีมีหลักการที่ซับซ้อนยากต่อการประยุกต์ใช้งาน นอกจากนี้ยังขาดการคำนึงถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้อุปกรณ์ในบริเวณต่าง ๆ และอุปกรณ์มีความจำเพาะในการทำงาน ทำให้ต้องใช้อุปกรณ์จำนวนมากซึ่งส่งผลให้ระบบที่ได้ควบคุมได้ยากอีกด้วย

จากการออกแบบระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างและติดตั้งทดลองใช้งานจริงภายในห้องของอาคารพาณิชย์และบริเวณบ้านพักอาศัย ซึ่งถูกออกแบบและติดตั้งที่แตกต่างกัน เนื่องจากอาคารทั้งสองประเภทมีการใช้งานที่แตกต่างกัน หรือกล่าวได้ว่าอาคารบ้านพักอาศัยจะมีการใช้งานหรือกิจกรรมต่าง ๆ ที่มีความหลากหลายมากกว่า ทำให้ต้องมีการติดตั้งเซนเซอร์หรืออุปกรณ์ที่มากกว่า รวมถึงการโปรแกรมเพื่อสั่งการควบคุมระบบจะซับซ้อนกว่า ในการทดสอบได้มีการทดสอบระบบที่ได้พัฒนาขึ้นกับหลอดไฟ 2 ชนิด ได้แก่ หลอดฟลูออเรสเซนต์ และหลอด LED แต่อย่างไรก็ตามในหลอดฟลูออเรสเซนต์จะทดลองเฉพาะระบบควบคุมหลอดไฟที่ไม่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้ ส่วนหลอด LED มีการทดลองทั้งระบบที่ไม่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้และระบบที่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้

หลังจากทำการติดตั้งใช้งานระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างในหลากหลายรูปแบบตามฟังก์ชันที่เลือกใช้ พบว่าในอาคารทั้ง 2 ประเภทได้ผลการทดลองไปในทางเดียวกัน โดยทั้งการควบคุมด้วยระบบที่ไม่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้และระบบที่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้สามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีประสิทธิผลในการช่วยประหยัดพลังงาน ซึ่งในกรณีที่ระบบทั้งสองมีการออกแบบและพิจารณาเลือกใช้ฟังก์ชันการทำงานหลากหลายฟังก์ชันที่เหมาะสมให้ทำงานร่วมกันเป็นระบบเดียวตามวัตถุประสงค์ที่ได้นำเสนอ สามารถประหยัดพลังงานได้มากที่สุดเมื่อเทียบกับกรณีอื่นที่ใช้เพียงบางฟังก์ชัน (โดยใช้กรณีที่ไม่มีติดตั้งระบบควบคุมจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างหรือกรณีที่ 1 เป็นกรณีพื้นฐานในการเปรียบเทียบการประหยัดพลังงาน)

โดยในอาคารพาณิชย์ในระบบที่ไม่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้ที่นำเอา 6 ฟังก์ชันให้ทำงานร่วมกันเป็นระบบเดียว (กรณีที่ 5) สามารถประหยัดพลังงานลงได้มากที่สุดถึง 48% ในหลอดฟลูออเรสเซนต์ และ 86% ในหลอด LED ในส่วนอาคารบ้านพักอาศัยเมื่อมีการนำเอา 6 ฟังก์ชันให้ทำงานร่วมกันเป็นระบบเดียวซึ่งทำการควบคุมด้วยระบบที่ไม่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้ (กรณีที่ 4) สามารถประหยัดพลังงานลงได้มากที่สุดเช่นเดียวกัน โดยลดลง 43% ในหลอดฟลูออเรสเซนต์ และ 71% ในหลอด LED เมื่อเทียบกับระบบพื้นฐาน

ยิ่งไปกว่านั้นพบว่ากรณีที่ระบบที่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้จะช่วยลดการใช้พลังงานลงไปได้อีก เนื่องจากการปรับระดับปริมาณแสงสว่างจะสามารถควบคุมระดับการใช้กำลังไฟฟ้าของหลอดไฟแต่ละดวงได้ โดยในการทดลองของหลอด LED ในอาคารพาณิชย์ระบบที่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้จะช่วยให้ระบบสามารถประหยัดพลังงานได้ถึง 90% และในอาคารบ้านพักอาศัยประหยัดได้ 75 % เมื่อเทียบกับกรณีพื้นฐาน

ทางเศรษฐศาสตร์ในการออกแบบ สร้าง และพัฒนาระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถช่วยลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าลงได้จริง อีกทั้งจากการพิจารณาเลือกใช้อุปกรณ์ที่เหมาะสม และสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์อื่นได้จะทำให้มีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งลดลง โดยระบบที่ไม่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้สามารถลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าลงได้ถึง 48% ต่อเดือน และระบบที่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้สามารถลดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าลงได้สูงสุดถึง 90% ต่อเดือน

นอกจากนั้นถ้ามองถึงการคุ้มค่าในการใช้งานในการใช้งานในอาคารเล็ก ๆ มีการใช้ไฟฟ้าแสงสว่างไม่มาก ควรใช้วิธีการเปลี่ยนมาใช้หลอด LED ที่มีการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยกว่าหลอดฟลูออเรสเซนต์ โดยเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการลดการใช้พลังงานลงแบบไม่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการติดตั้งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่าง ซึ่งเพียงพอต่อการลดการใช้พลังงานลง เนื่องจากโดยการติดตั้งระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจะทำให้ต้นทุนในการติดตั้งเพิ่มขึ้น แต่หลอด LED มีการใช้กำลังไฟฟ้าน้อยทำให้การจัดการพลังงานจะไม่มีผลมากนัก นั่นคือระบบก็จะลดการใช้พลังงานลงไปได้น้อยทำให้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าลงได้เล็กน้อย แต่ต้องเพิ่มค่าใช้จ่ายในการลงทุน ส่งผลถึงระยะเวลาคืนทุนที่ยาวนานเพิ่มขึ้น แต่ผลด้านอายุการใช้งานของอุปกรณ์ที่ไม่สามารถทำนานได้นานจนถึงช่วงเวลาคืนทุน

ดังนั้นระบบจัดการพลังงานไฟฟ้าแสงสว่างจึงเหมาะสมกับการติดตั้งใช้งานในหลอดฟลูออเรสเซนต์ หรือ ในอาคารที่มีการใช้ไฟฟ้ามากไม่ว่าจะใช้หลอดฟลูออเรสเซนต์หรือหลอด LED เนื่องจากผลการประหยัดพลังงานก็จะมากขึ้นตามอัตราการใช้ไฟฟ้า ส่งผลให้ผู้ใช้สามารถประหยัดค่าใช้จ่ายไฟฟ้าลงได้มากขึ้นและระยะเวลาคืนทุนก็จะยิ่งสั้นลง โดยผู้ใช้จะได้รับความสะดวกสบายและความน่าสมมุติในการใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามราคาการติดตั้งระบบจะขึ้นกับความพึงพอใจของผู้ใช้เป็นหลักที่ต้องการความสะดวกสบายและความน่าสมมุติมากน้อยเพียงใด ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ทำให้ต้นทุนการติดตั้งเพิ่มขึ้น

จากการทดลองสามารถสรุปรายละเอียดอุปกรณ์หลักที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของแต่ละฟังก์ชัน และข้อดี/ข้อเสียของแต่ละฟังก์ชันได้ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 รายละเอียดอุปกรณ์หลักที่มีหน้าที่ควบคุมการทำงานของแต่ละฟังก์ชัน และ ข้อดี/ข้อเสีย ของแต่ละฟังก์ชัน

ฟังก์ชัน	อุปกรณ์ควบคุมหลัก	ข้อดี	ข้อเสีย
1. OCT	Motion sensor	- อุปกรณ์ราคาไม่แพง - การเขียนโปรแกรมควบคุมง่าย - ระบบติดตั้งง่าย - เป็นระบบอัตโนมัติทำให้ผู้ใช้มีสะดวกสบายมากขึ้น - เหมาะสมทั้งอาคารพาณิชย์และบ้านพักอาศัย	- ไม่เหมาะสมกับสถานที่ภายนอกอาคาร เนื่องจากระบบอาจทำงานผิดพลาดจากการเคลื่อนไหวของใบไม้หรือสัตว์เป็นต้น - ข้อจำกัดในเรื่องระยะของเซนเซอร์ที่สามารถตรวจจับได้
2. TSD	โปรแกรม-	- สามารถกำหนดการเปิด/ปิดไฟไว้ตามช่วงเวลาที่มีการใช้งาน - เป็นระบบอัตโนมัติทำให้ผู้ใช้มีสะดวกสบายมากขึ้น - เหมาะสมกับพื้นที่ ๆ มีการกำหนดการใช้งานล่วงหน้า	- ไม่เหมาะสมกับบริเวณที่มีการใช้งานที่หลากหลาย ไม่มีกำหนดการใช้งานที่แน่นอนในแต่ละวัน เช่นในบ้านพักอาศัย
3. DCT	Light meter	- สามารถลดการใช้พลังงานได้ในช่วงเวลากลางวัน ในห้องที่แสงสว่างสามารถส่องเข้าไปได้ - เป็นระบบอัตโนมัติทำให้ผู้ใช้มีสะดวกสบายมากขึ้น	- ไม่เหมาะสมในห้องปิดหรือห้องที่ไม่มีหน้าต่าง - จะไม่มีประโยชน์ในช่วงเวลากลางคืน
4. TCT	ฟังก์ชันนี้จะช่วยลดจำนวนการใช้หลอดไฟลง แต่ไม่ส่งผลกระทบต่อผู้ใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามฟังก์ชันนี้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานร่วมกับฟังก์ชันอื่นเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการประหยัดพลังงาน		

ฟังก์ชัน	อุปกรณ์ควบคุมหลัก	ข้อดี	ข้อเสีย
5. PCT	โปรแกรม	- ผู้ใช้สามารถกำหนดปริมาณแสงสว่างได้ตามความต้องการ - เหมาะสมใช้งานในอาคารที่มีขนาดใหญ่ ผู้ใช้สามารถควบคุมหลอดไฟได้โดยไม่ต้องเดินไป ณ บริเวณนั้น	- ผู้ใช้ยังคงต้องเปิด/ปิดหลอดไฟเอง ทำให้ไม่สะดวกสบายเหมือนระบบอัตโนมัติ
6. VPS	โปรแกรม	- เหมาะสมใช้งานในอาคารที่มีขนาดใหญ่ ที่มีการใช้ไฟเป็นจำนวนมาก	- การจะนำไปใช้ในอาคารขนาดเล็ก อาจไม่ประโยชน์ไม่มากนัก

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการออกแบบ สร้าง และพัฒนางานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้หลอดไฟกระแสดตรงในระบบควบคุมที่สามารถปรับระดับแสงสว่างได้ อาจศึกษาการใช้หลอดไฟกระแสดสลับในระบบควบคุมทดแทนเพื่อลดความซับซ้อนของอุปกรณ์ในระบบ แต่ต้องคำนึงถึงความคุ้มค่าในการลงทุนด้วย เนื่องจากหลอดไฟกระแสดสลับที่สามารถหรี่ไฟยังมีราคาสูงอยู่ และอุปกรณ์ควบคุมในระบบอย่างบอร์ด Raspberry Pi ยังประสิทธิภาพการประมวลผลของบอร์ดไม่มากหรือมีความเร็วในการทำงานน้อยอนาคตอาจทดลองใช้บอร์ดชนิดอื่นที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น อีกทั้งบอร์ด Raspberry Pi ในงานวิจัยนี้ทำงานด้วยระบบปฏิบัติการ Linux ที่มีการควบคุมผ่าน Command Line ซึ่งสามารถทดลองใช้ระบบปฏิบัติการอื่นได้ เพื่อให้สามารถใช้งานได้ง่ายขึ้น นอกจากนั้นฟังก์ชันการทำงานแต่ละฟังก์ชันยังสามารถนำไปออกแบบใช้งานในสถานที่อื่นได้ เช่น ร้านอาหาร สนามกีฬา หรือโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น หรือจะเป็นการพัฒนาให้ผู้ใช้สามารถควบคุมแสงสว่างผ่านทางโทรศัพท์มือถือเพื่อให้ระบบใช้งานได้สะดวกมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามในการออกแบบการทำงานของระบบต้องใช้ระยะเวลาในการศึกษาพฤติกรรมของการใช้งานในบริเวณต่าง ๆ อย่างละเอียด เพราะสามารถส่งผลกระทบต่อผู้ใช้ทั้งในด้านการทำงานและความปลอดภัยได้