บทที่ 6
บทสรุป

ในงานวิจัยนี้ไดทำการศึกษาการนำพลังงานที่มีราคาถูกเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและไม่สิ้นเปลืองมาใช้ร่วมกับพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้าให้มีประสิทธิภาพ โดยทำการสมมติฐานว่าแหล่งพลังงานราคาถูกอาจมีพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง คือ แรงดันของแหล่งจ่ามีค่าไม่คงที่และภาระของแหล่งจ่ายดังกล่าวมีการเปลี่ยนแปลง โดยเงื่อนไขในการศึกษานั้น มีดังนี้

- ภาระของแหล่งจ่ายพลังงานคือ มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงสองตัวแบ่งเป็นมอเตอร์ตัวเสริมและมอเตอร์ตัวหลัก

    - มอเตอร์ตัวหลัก ใช้แหล่งพลังงานที่มีราคาถูก ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้พลังงานจากเซลล์แสงอาทิตย์ แต่เพื่อความสะดวกในการศึกษาในเรื่องการเปลี่ยนแปลงแรงดันของแหล่งจ่ายพลังงาน จึงใช้แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงที่สามารถปรับค่าได้แทน
    - มอเตอร์ตัวเสริม ใช้แหล่งพลังงานไฟฟ้าของการไฟฟ้า

- เงื่อนไขการเลือกใช้แหล่งพลังงาน

    ในกรณีที่มอเตอร์ตัวหลักสามารถทำงานตามความเร็วที่กำหนดได้แหล่งพลังงานที่ใช้ก็จะเป็นพลังงานที่มีราคาถูกเพียงแหล่งเดียวเท่านั้น แต่เมื่อมอเตอร์ตัวหลักไม่สามารถทำงานตามความเร็วที่กำหนดได้แต่ยังสามารถขับภาระได้ มอเตอร์ตัวเสริมก็จะเข้ามาทำงานร่วมกับมอเตอร์ตัวหลัก เป็นกรณีที่ใช้แหล่งพลังงานทั้งสองร่วมกัน และถ้ามอเตอร์มีสถานะไม่พร้อมในการทำงานอันเนื่องมาจากแกล่งจ่ายพลังงานมีค่าไม่เพียงพอกับความต้องการน้อยสุดของมอเตอร์ตัวหลัก มอเตอร์ตัวเสริมก็จะเข้ามาทำงานแทน ซึ่งเป็นการใช้แหล่งพลังงานจากการไฟฟ้า จากเงื่อนไขดังกล่าวจะเห็นว่าจะใช้พลังงานที่มีราคาถูกเป็นหลัก และจะนำพลังงานของการไฟฟ้ามาใช้เมื่อแหล่งพลังงานราคาถูกเพียงแหล่งเดียวไม่เพียงพอ

ตาราง 6-1 สรุปผลการทดลอง ณ เงื่อนไขการรบกวนต่างๆ

เงื่อนไขการทดลอง	ความเร็วเทียบกับระดับอ้างอิง	การตอบสนอง	เวลาที่ปรับความเร็วสู่ระดับอ้างอิง (วินาที)	ความเร็วเทียบกับระดับอ้างอิง	การตอบสนอง	เวลาที่ปรับความเร็วสู่ระดับอ้างอิง (วินาที)
1. จ่ายแรงดันคงที่ 12 โวลต์ให้กับมอเตอร์ตัวหลัก						
1.1	**จ่ายภาระ 1 หลอด**			**ปลดภาระออก**		
	ลด 9.3 %	ปกติ	0.16± 0.03	เพิ่ม 6.6%	ปกติ	0.06± 0.03
1.2	**จ่ายภาระ 1 หลอด**			**เพิ่มเป็น 2 หลอด**		
	ลด 10.4 %	ปกติ	0.22± 0.02	ลด 15.90%	เสริมกำลัง	0.30 ± 0.02
1.3	**จ่ายภาระ 1 หลอด**			**เพิ่มเป็น 3 หลอด**		
	ลด 9.9%	ปกติ	0.11± 0.02	ลด 20.7%	เสริมกำลัง	0.18± 0.02
1.4	**จ่ายภาระ 2 หลอด**			**ปลดภาระออก**		
	ลด 14.9 %	เสริมกำลัง	0.32 ± 0.03	เพิ่ม 15.7 %	หยุดเสริม	0.25 ± 0.03
1.5	**จ่ายภาระ 2 หลอด**			**ลดเป็น 1 หลอด**		
	ลด 15.9 %	เสริมกำลัง	0.32 ± 0.03	เพิ่ม 10.0%	หยุดเสริม	0.23 ± 0.03
1.6	**จ่ายภาระ 2 หลอด**			**เพิ่มเป็น 3 หลอด**		
	ลด 14.4 %	เสริมกำลัง	0.36 ± 0.03	ลด 5.4 %	เสริมกำลัง	0.15 ± 0.03
1.7	**จ่ายภาระ 3 หลอด**			**ปลดภาระออก**		
	ลด 23.9 %	เสริมกำลัง	0.31 ± 0.03	เพิ่ม 16.6 %	หยุดเสริม	0.27 ± 0.03
1.8	**จ่ายภาระ 3 หลอด**			**ลดเป็น 1 หลอด**		
	ลด 26.9 %	เสริมกำลัง	0.36 ± 0.03	เพิ่ม 12.2 %	หยุดเสริม	0.33 ± 0.03
1.9	**จ่ายภาระ 3 หลอด**			**ลดเป็น 2 หลอด**		
	ลด 23.6 %	เสริมกำลัง	0.36 ± 0.03	เพิ่ม 4.5 %	เสริมกำลัง	0.17 ± 0.03
2. จ่ายแรงดันคงที่ 9 โวลต์ให้กับมอเตอร์ตัวหลัก						
2.1	**จ่ายภาระ 1 หลอด**			**ปลดภาระออก**		
	ลด 9.9 %	เสริมกำลัง	0.31 ± 0.03	เพิ่ม 7.3 %	เสริมกำลัง	0.17 ± 0.03
2.2	**จ่ายภาระ 1 หลอด**			**เพิ่มเป็น 2 หลอด**		
	ลด 12.5 %	เสริมกำลัง	0.13 ± 0.02	เพิ่ม 9.3 %	เสริมกำลัง	0.13 ± 0.02

เงื่อนไขการทดลอง (ต่อ)	ความเร็วเทียบกับระดับอ้างอิง (ต่อ)	การตอบสนอง (ต่อ)	เวลาที่ปรับความเร็วสู่ระดับอ้างอิง (วินาที) (ต่อ)	ความเร็วเทียบกับระดับอ้างอิง (ต่อ)	การตอบสนอง (ต่อ)	เวลาที่ปรับความเร็วสู่ระดับอ้างอิง (วินาที) (ต่อ)
2.3	**จ่ายภาระ 1 หลอด**			**เพิ่มเป็น 3 หลอด**		
	ลด 12.5 %	เสริมกำลัง	0.32 ± 0.02	เพิ่ม 16.4 %	เสริมกำลัง	0.20 ± 0.02
2.4	**จ่ายภาระ 2 หลอด**			**ปลดภาระออก**		
	ลด 21.5 %	เสริมกำลัง	0.15 ± 0.02	เพิ่ม 10.2 %	เสริมกำลัง	0.24 ± 0.02
2.5	**จ่ายภาระ 2 หลอด**			**ลดเหลือ 1 หลอด**		
	ลด 20.7%	เสริมกำลัง	0.12 ± 0.02	เพิ่ม 7.0 %	เสริมกำลัง	0.18 ± 0.02
2.6	**จ่ายภาระ 2 หลอด**			**เพิ่มเป็น 3 หลอด**		
	ลด 21.5%	เสริมกำลัง	0.26 ± 0.02	ลด 7.7%	เสริมกำลัง	0.15 ± 0.02
2.7	**จ่ายภาระ 3 หลอด**			**ปลดภาระออก**		
	ลด 30.5%	เสริมกำลัง	0.15 ± 0.03	เพิ่ม 10.5 %	เสริมกำลัง	0.18 ± 0.03
2.8	**จ่ายภาระ 3 หลอด**			**ลดเหลือ 1 หลอด**		
	ลด 26.5%	เสริมกำลัง	0.16 ± 0.02	เพิ่ม 8.4 %	เสริมกำลัง	0.13 ± 0.02
2.9	**จ่ายภาระ 3 หลอด**			**ลดเหลือ 2 หลอด**		
	ลด 28.2%	เสริมกำลัง	0.13 ± 0.02	อยู่ในช่วงความผิดพลาด	เสริมกำลัง	-
3. เปลี่ยนแรงดันที่จ่ายให้มอเตอร์ตัวหลักอย่างรวดเร็ว						
3.1	**หยุดจ่ายไฟมอเตอร์ตัวหลัก**			**จ่ายแรงดัน 9 โวลต์ให้มอเตอร์ตัวหลัก**		
	ลด 36.4%	เสริมกำลัง	0.11 ± 0.02	ลด 21.9%	เสริมกำลัง	0.18 ± 0.02
3.2	**หยุดจ่ายไฟมอเตอร์ตัวหลัก**			**จ่ายแรงดัน 12 โวลต์ให้มอเตอร์ตัวหลัก**		
	ลด 33.6%	เสริมกำลัง	0.15 ± 0.03	ลด 14.9%	หยุดเสริม	0.19 ± 0.03
3.3	**ลดแรงดันมอเตอร์ตัวหลักเป็น 6 โวลต์**			**เพิ่มเป็น 9 โวลต์**		
	ลด 33.3%	เสริมกำลัง	0.19 ± 0.02	ลด 19.9%	เสริมกำลัง	0.19 ± 0.02
3.4	**ลดแรงดันมอเตอร์ตัวหลักเป็น 6 โวลต์**			**เพิ่มเป็น 12 โวลต์**		
	ลด 37.2%	เสริมกำลัง	0.29 ± 0.02	ลด 14.0%	หยุดเสริม	0.13 ± 0.02

เงื่อนไขการทดลอง (ต่อ)	ความเร็วเทียบกับระดับอ้างอิง (ต่อ)	การตอบสนอง (ต่อ)	เวลาที่ปรับความเร็วสู่ระดับอ้างอิง (วินาที) (ต่อ)	ความเร็วเทียบกับระดับอ้างอิง (ต่อ)	การตอบสนอง (ต่อ)	เวลาที่ปรับความเร็วสู่ระดับอ้างอิง (วินาที) (ต่อ)
3.5	**ลดแรงดันมอเตอร์ตัวหลักเป็น 9 โวลต์**			**หยุดจ่ายไฟมอเตอร์ตัวหลัก**		
	ลด 17.3%	เสริมกำลัง	0.15 ± 0.02	ลด 29.7%	เสริมกำลัง	0.11 ± 0.02
3.6	**ลดแรงดันมอเตอร์ตัวหลักเป็น 9 โวลต์**			**ลดแรงดันมอเตอร์ตัวหลักเป็น 6 โวลต์**		
	ลด 18.1%	เสริมกำลัง	0.50 ± 0.02	ลด 37.4%	เสริมกำลัง	0.15 ± 0.02
3.7	**ลดแรงดันมอเตอร์ตัวหลักเป็น 9 โวลต์**			**เพิ่มแรงดันมอเตอร์ตัวหลักเป็น 12 โวลต์**		
	ลด 21.5%	เสริมกำลัง	0.52 ± 0.02	เพิ่ม 22.2%	หยุดเสริม	0.16 ± 0.02

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ เครื่องมือต้นแบบในการทำการศึกษานั้นสามารถทำงานโดยใช้พลังงานที่มีราคาถูกเป็นหลัก และจะใช้พลังงานจากแหล่งจ่ายไฟของการไฟฟ้า เมื่อมอเตอร์ตัวหลักไม่สามารถทำงานได้ตามความเร็วที่กำหนดเป็นไปตามเงื่อนไขที่กล่าวไว้แล้วข้างต้น และการรักษาความเร็วทั้งสามกรณีเมื่อไม่มีการรบกวนจากการเปลี่ยนภาระ คือ กรณีที่ใช้แหล่งพลังงานที่มีราคาถูกเพียงแหล่งเดียว,ใช้พลังงานทั้งสองแหล่งรวมกันและ ใช้พลังงานจากการไฟฟ้าเพียงแหล่งเดียว ระบบสามารถรักษาความเร็วใกล้เคียงกับระดับอ้างอิง ถือว่าอยู่ในเกณฑ์ดี และเมื่อทำการเปลี่ยนภาระและปรับแหล่งจ่ายให้กับมอเตอร์ตัวหลักนั้นการตอบสนองทั้งสองกรณี ในการตัดสินใจการเลือกใช้แหล่งพลังงานและปรับความเร็วเข้าสู่ระดับอ้างอิงนั้นทำได้ดี ซึ่งในกรณีต่างๆที่กล่าวมานั้นการควบคุมความเร็วทั้งหมด ซึ่งเกี่ยวข้องกับเวลาที่จะสามารถปรับความเร็วของระบบสู่ค่าอ้างอิง ใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกเพียงตัวเดียว ไม่ว่าจะทำงานในกรณีที่ใช้แหล่งพลังงานเพียงแหล่งเดียว และการใช้พลังงานสองแหล่งร่วมกัน แสดงให้เห็นว่าตัวควบคุมสามารถควบคุมการใช้พลังงานจากสองแหล่งได้อย่างมีประสิทธิภาพ มีความยืดหยุ่นและมั่นคงต่อการรบกวนและการเปลี่ยนแปลงลักษณะในการควบคุม จากผลดังกล่าวแนวคิดนี้สามารถนำไปใช้กับระบบต่างๆ ที่เดิมมีมอเตอร์เพียงตัวเดียวในการขับภาระ โดยนำพลังงานที่สะอาดมาใช้ร่วมกับระบบเดิมโดยที่ไม่ต้องทำการเปลี่ยนแปลงระบบทั้งหมด และระบบโดยรวมน่าเชื่อถือ เพราะมีระบบเก่าที่สามารถทำงานตามลำพังได้เหมือนเดิมจึงมั่นใจได้ว่าระบบจะไม่ติดขัดเนื่องจากพลังงานมีไม่เพียงพอ

ข้อเสนอแนะ

การควบคุมแบบฟัซซีลอจิกซึ่งใช้งานกับไมโครคอนโทรลเลอร์ ค่อนข้างมีข้อจำกัดเรื่องของความสะดวกในการเปลี่ยนกฎการควบคุม, ฟัซซีเซต และความเร็วในการประมวลผลซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพในการควบคุม แต่มีข้อดีในเรื่องของระบบการควบคุมมีขนาดเล็กราคาในการสร้างและการบำรุงรักษาไม่แพง เมื่อเทียบกับคอมพิวเตอร์ ดังนั้น ถ้าสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีความเร็วสูงๆ และมีความสามารถในการคำนวณและประมวลผลสัญญาณอะนาล็อกที่ทำการแปลงไปเป็นดิจิตอลแล้วอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น ไมโครอคอนโทรลเลอร์แบบ DSP (Digital Signal Processing) จะสามารถทำงานได้รวดเร็วและสามารถใช้หลักการประมวลผลสัญญาณแบบดิจิตอลเพื่อช่วยลดสัญญาณรบกวนได้ดีขึ้น นอกจากนี้ ในการทดลองควรจะมีการแสดงค่าวัฏจักรงานขณะทำการควบคุมเพื่อแสดงให้เห็นการปรับค่าขณะมีการรบกวนระบบ ส่วนการทดลองเมื่อแรงดันและมีภาระที่เวลาเดียวกันนั้นค่อนข้างทดลองได้ยากและมีโอกาสเป็นไปได้น้อยมากที่จะตรงกันที่เสี้ยววินาทีนั้นๆ จึงทำการทดลองโดยลดแรงดันของมอเตอร์ตัวหลักลงก่อนประมาณ 1- 2 วินาทีแล้วค่อยจ่ายภาระให้กับระบบ

การนำไปใช้งาน

ในการนำไปใช้งานนั้นอาจแบ่งเป็น 2 กรณี คือ

เครื่องยนต์ กับมอเตอร์

กรณีนี้ คือ ระบบเก่าเป็นเครื่องยนต์วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ ให้เครื่องยนต์ เป็นตัวเสริมกำลัง และมอเตอร์จะเป็นตัวขับเคลื่อนตัวหลักโดยมอเตอร์จะทำงานที่ความเร็วสูงกว่าเครื่องยนต์เล็กน้อย โดยที่เครื่องยนต์ทำงานที่ความเร็วต่ำไม่จำเป็นต้องขับเคลื่อนที่ความเร็วสูงสุดจะทำให้ประหยัดน้ำมัน หรืออาจจะมีการปรับปรุงระบบเล็กน้อยโดยมีระบบคลัชหรือเกียร์แบบ CVT มาเพื่อควบคุมการขับเคลื่อนเครื่องยนต์

มอเตอร์ กับมอเตอร์

กรณีนี้จะเหมือนกับการทดลองโดยระบบเก่าจะมีมอเตอร์อยู่แล้ว มอเตอร์ตัวเก่าจะเป็นตัวเสริม ส่วนมอเตอร์ตัวใหม่จะเป็นมอเตอร์ตัวหลัก หากมอเตอร์ตัวเก่าเป็นแบบกระแสสลับ ก็ยังสามารถควบคุมด้วยตัวควบคุมในงานวิจัยนี้ได้เพียงเพิ่มคอนเวอร์เตอร์แบบ PWM เพื่อที่จะควบคุมความเร็วโดยวิธีการปรับวัฏจักรงานแบบ PWM