บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ นำเสนอการพัฒนาเครื่องอินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์เพื่อการประหยัดพลังงาน ผลการทดสอบเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ในระดับห้องปฏิบัติการ สามารถสรุปประโยชน์และคุณสมบัติที่สำคัญของอินเวอร์เตอร์นี้ ได้ดังนี้

1. ในงานวิจัยนี้ ได้นำเสนอการพัฒนาเครื่องอินเวอร์เตอร์ที่รวมตัวควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดเพื่อการประหยัดพลังงาน ซึ่งอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ มีคุณสมบัติที่สำคัญดังนี้ คือ แรงดันไฟฟ้าด้านออก (Output Voltage) 0 – 380 V กระแสไฟฟ้าพิกัด (Output Current) 14 A ความถี่ 0 – 50 Hz มีความสามารถมอเตอร์พัดลม 1.5 แรงม้า ได้สูงสุด 4 ตัว มีระบบป้องกันแรงดันไฟฟ้าเกิน 420 Vrms แรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 340 Vrms กระแสไฟฟ้าเกิน 20 A ตั้งค่าการควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศได้อัตโนมัติ มีความสะดวกในการใช้งานต่อผู้ใช้งาน โดยตั้งค่าใช้งานผ่านหน้าจอแสดงผลแบบมีรูปภาพ (Graphic LCD)

2. เพื่อทดสอบหาคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ จึงได้ทำการทดลองดังนี้ คือ (1) การลดกระแสสูงขณะเริ่มสตาร์ท (Inrush Current) ของมอเตอร์ (2) การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า (3) ระบบป้องกันอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ และ (4) การปรับเปลี่ยนความเร็วลมและความเร็วรอบพัดลม

3. อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ สามารถลดกระแสที่สูงขณะสตาร์ท (Inrush Current) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ได้ 1/8 เท่าของการสตาร์ทด้วยวิธีเปิด-ปิด สำหรับการควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดด้วยวิธีเปิด-ปิด มอเตอร์เหนี่ยวนำจะถูกเปิด-ปิด อยู่ตลอดเวลา ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าสูงขณะสตาร์ท ตามการเปิด-ปิด ผลนี้จะทำให้อายุการใช้งานของมอเตอร์พัดลมสั้นลง ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอช่วยลดกระแสไฟฟ้าที่สูงขณะสตาร์ท จึงเป็นการยืดอายุการใช้งานมอเตอร์พัดลม

4. การใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลม 1.5 แรงม้าจำนวน 2 ตัวเท่ากันทั้ง 2 วิธี พบว่าในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอสามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้าได้ โดยการปรับลดความเร็วหรือความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม เมื่อนำพลังงานไฟฟ้าและความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์หรือความเร็วมอเตอร์พัดลม เมื่อนำไปวิเคราะห์พบว่า พลังงานไฟฟ้ามี

ความสัมพันธ์กับความเร็วกำลังสาม ซึ่งเป็นไปตามกฎของพัดลม (Affinity Law) ที่กล่าวว่า "กำลังไฟฟ้าแปรผันตามความเร็วพัดลมกำลังสาม" ซึ่งในที่นี้ พลังงานไฟฟ้าก็เป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังไฟฟ้า ในขณะที่การใช้พลังงานฟ้าในวิธีเปิด-ปิด จะมีค่าคงที่ตลอด ไม่สามารถปรับลดการพลังงานไฟฟ้าได้

5. อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ ออกแบบให้สามารถขับมอเตอร์พัดลมขนาด 1.5 แรงม้า จำนวน 4 ตัว ในการทดลองจริงสามารถขับมอเตอร์พัดลมดังกล่าวได้ 4 ตัว ตามที่ออกแบบ นอกจากนั้นยังสามารถขับมอเตอร์พัดลมที่จำนวน 5 ตัวได้ ผลการทดสอบนี้ยืนยันคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ที่สามารถขับมอเตอร์พัดได้ถึง จำนวน 5 ตัว หรือขับโหลดได้ 7.5 แรงม้า หรือ 5,595 kW กำลังไฟฟ้าด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์เท่ากับ 7,597 W หรือกล่าวอีกทางหนึ่งได้ว่า ต้องใส่กำลังไฟฟ้าเข้า 7,597 W ที่อินเวอร์เตอร์ เพื่อขับมอเตอร์ที่มีโหลดพัดลม 1.5 แรงม้า จำนวน 5 ตัว (5,595 W) ที่ความถี่ 100 % (50 Hz) เนื่องจากมีกำลังไฟฟ้าที่สูญเสียที่เครื่องอินเวอร์เตอร์และที่ตัวมอเตอร์พัดลม กำลังไฟฟ้าที่ใส่เข้าไปที่อินเวอร์เตอร์ (Input Power) จึงต้องมากกว่า กำลังไฟฟ้าของมอเตอร์ (Output Power) ดังนั้นคิดเป็นประสิทธิภาพรวมของระบบได้เท่ากับ 73 %

6. ทำการหาประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ พบว่าประสิทธิภาพเปลี่ยนตามความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม ประสิทธิภาพสูงขึ้น เมื่อปรับความถี่สูงขึ้น ที่ความถี่ 100 % (50 Hz) ประสิทธิภาพของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ เท่ากับ 96.7 %

7. อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ มีคุณสมบัติที่สำคัญ คือสามารถป้องกันการเกิดความเสียหาย ที่เกิดมาจากผลทางไฟฟ้าใน 3 กรณี คือ (ก) กรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าเกินกว่า 420 Vrms (ข) กรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่า 340 Vrms และ (ค) กรณีที่เกิดกระแสเกินกว่า 20 Arms แต่ในการทดลองตั้งค่ากระแสเกินไว้ที่ทดสอบที่ 6 Arms เนื่องจากข้อจำกัดของโหลดที่มีอยู่ เมื่อเกิดผลทางไฟฟ้าขึ้นในกรณีใดกรณีหนึ่งจากทั้ง 3 กรณี อินเวอร์เตอร์จะหยุดขับมอเตอร์พัดลมทันทีและสั่งให้รีเลย์ปิดสวิตช์ (Closed Switch) เพื่อให้ระบบสำรองทำงานแทนอินเวอร์เตอร์ ในกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินและแรงดันต่ำกว่ากำหนด อินเวอร์เตอร์นี้ถูกออกแบบให้หยุดทำงาน ตามมาตรฐานแรงดันไฟฟ้าเกินและตก ของ IEEE 1159 ผลการทดลองพบว่า ในกรณีแรงดันไฟฟ้าเกินและต่ำกว่ากำหนด รีเลย์จะปิดสวิตช์ภายในเวลา 325 ms นับตั้งแต่แรงดันไฟฟ้าเกินหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนด และในกรณีกระแสไฟฟ้าเกินกว่าที่กำหนด รีเลย์จะปิดสวิตช์ภายในเวลา 425 ms นับตั้งแต่กระแสไฟฟ้าเริ่มเกินกว่าค่าที่กำหนด ผลการทดลองนี้ ยืนยันคุณสมบัติของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ อย่างไรก็ตาม อินเวอร์เตอร์นี้ ได้ออกแบบไว้ให้ป้องกันเฉพาะตัวอินเวอร์เตอร์ ไม่ได้ป้องกันครอบคลุมไปถึงตัวมอเตอร์พัดลม

8. จากการทดลองวัดความเร็วลมในอุโมงค์โดยใช้วิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอขับมอเตอร์พัดลม พบว่าขับอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ มีคุณสมบัติสามารถปรับเปลี่ยนความเร็วลมได้ โดยการปรับเปลี่ยนความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม ความเร็วลมทุกๆตำแหน่งในอุโมงค์ลม จะแปรเปลี่ยนตามความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลมโดยตรง ซึ่งลักษณะเป็นเชิงเส้น ขณะที่วิธีเปิด-ปิดไม่สามารถที่จะปรับเปลี่ยนความเร็วลมในอุโมงค์ลม ความเร็วลมจะคงที่ ที่ค่าเดียวตลอด นี้จึงเป็นข้อเสียของวิธีเปิด-ปิดเมื่อประยุกต์ใช้ในโรงเรือนปิด เนื่องจากสัตว์ในโรงเรือนไม่ได้ต้องการความเร็วลมที่คงที่ ค่าเดียวตลอด ในแต่ละช่วงอายุของสัตว์ต้องการความเร็วลมที่ต่างกัน และต้องการความเร็วที่เหมาะสม ดังนั้นการปรับเปลี่ยนความเร็วลมให้เหมาะสมแก่สัตว์ในโรงเรือน จึงเป็นผลดีโดยตรงต่อสัตว์ในโรงเรือน

9. ความเร็วลมในอุโมงค์ลมในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 360 Vrms ถึง 420 Vrms พบว่าทั้ง 2 วิธีดังกล่าวความเร็วลมเปลี่ยนแปลงตามแรงดันไฟฟ้า คือ เมื่อแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนจาก 380 Vrms เป็น 360 Vrms ความเร็วลมลดลงตามแรงดันไฟฟ้าและเมื่อแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนจาก 380 Vrms เป็น 420 Vrms ความเร็วลมก็จะเพิ่มขึ้นตามแรงดันไฟฟ้า เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนของความเร็วลมตามแรงดันไฟฟ้าของวิธีเปิด-ปิด พบว่า ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลง 380 Vrms เป็น 360 Vrms วิธีอินเวอร์เตอร์มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมน้อยกว่าวิธีเปิด-ปิด อยู่ 1.63 % ในแนวแกน X ของอุโมงค์ลม แต่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมมากกว่าวิธีเปิด-ปิดอยู่ 1.73 % ในแนวแกน Y ของอุโมงค์ลม สำหรับกรณีแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงจาก 380 Vrms เป็น 420 Vrms วิธีอินเวอร์เตอร์มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วน้อยกว่าวิธีเปิด-ปิด อยู่ 0.88 % ในแนวแกน X ของอุโมงค์ลม แต่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมมากกว่าวิธีเปิด-ปิดอยู่ 2.1 % ในแนวแกน Y ของอุโมงค์ลม

10.ความเร็วรอบพัดลมมีความสัมพันธ์กับความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์โดยตรง เมื่อเพิ่มความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม ความเร็วรอบใบพัดลมก็จะเพิ่มขึ้นตามและเมื่อลดความถี่กระแสไฟฟ้าความเร็วรอบใบพัดลม ก็จะลดลงตาม ที่ความถี่ 15 % (7.5 Hz) ความเร็วรอบใบพัดลมเท่ากับ 60 รอบต่อนาที และที่ความถี่ 100 % (50 Hz) ความเร็วรอบใบพัดลมเท่ากับ 447.33 รอบต่อนาที

11. ในวิทยานิพนธ์ยังมีการดำเนินการทดลองที่ยังไม่เสร็จสมบูรณ์ คือ การทดลองสายไฟยาว และการวัดผลการตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในวิธีเปิด-ปิด ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก จ และ ซ ตามลำดับ สำหรับการทดลองสายไฟยาว คือการทดลองอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอขณะขับมอเตอร์พัดลมด้วยความยาวสายไฟ 7 เมตร 14 เมตร 25 เมตร และ 40 เมตร เมื่อมีและไม่มีชุดฟิลเตอร์กับรีแอคเตอร์ในวงจรทดลอง แรงดันไฟฟ้าด้านออกของอินเวอร์เตอร์จะเกิดแรงดันสไปท์ (Spike Voltage)

และการออสซิเลชั่นของแรงดัน (Oscillation Voltage) ซึ่งผลนี้จะมีมาก ตามลำดับความยาวสายไฟที่เพิ่มขึ้น และเมื่อต่อฟิลเตอร์ด้านเข้าและต่อรีแอคเตอร์ด้านออกของอินเวอร์เตอร์ จะลดผลแรงดันสไปท์และการออสซิเลชั่นของแรงดันจะลดลง ในงานครั้งต่อไปด้านออกของอินเวอร์เตอร์ ควรใส่ LC Filter ทางด้านออกของอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้แรงดันไฟฟ้าใกล้เคียงรูปคลื่นไซน์มากขึ้น สำหรับผลตอบสนองอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ในวิธีเปิด-ปิด เกิดการกวัดแกว่งของอุณหภูมิเท่ากับ ± 3.2 C^{o} ที่อุณหภูมิต้องการควบคุม และเกิดการกวัดแกว่งของความชื้นเท่ากับ ± 13 %RH ในงานครั้งต่อไปควรทำการวัดผลตอบสนองของอุณหภูมิและความชื้นในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เพื่อยืนยัน การลดการกวัดแกว่งของอุณหภูมิและความชื้นดังกล่าว

5.2 ข้อเสนอแนะ

สำหรับการทำงานวิจัยในครั้งนี้ มีประเด็นที่สำคัญบางประการที่ควรพิจารณาและศึกษาวิจัยเพิ่มเติม เพื่อพัฒนาขีดความสามารถของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอสำหรับควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดนี้ ให้ดียิ่งขึ้น ดังนี้

1. เนื่องจากการทดสอบอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอสำหรับควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศในโรงเรือนปิดปศุสัตว์นี้ ทำการทดสอบในระดับห้องปฏิบัติการ ดังนั้นในงานวิจัยครั้งต่อไป ควรมีการทดสอบการทำงานของอินเวอร์เตอร์นี้ในแต่ละโหมดการทำงาน ในโรงเรือนปิดปศุสัตว์จริง เพื่อหาข้อบกพร่องที่จะนำไปสู่การพัฒนาต่อไป

2. ควรมีการทดลองเปรียบเทียบการใช้พลังงานไฟฟ้าระหว่างการควบคุมสภาวะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปศุสัตว์จริง โดยวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ โดยทดลองในช่วงระยะจำนวนวันและเวลาเท่ากัน ขนาดโรงเรือนเท่ากัน สภาพแวดล้อมภายนอกใกล้เคียงกัน

3. เนื่องจากกระแสไฟฟ้าด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ เป็นกระแสไฟฟ้าที่ประกอบฮาร์มอนิกส์สูง ซึ่งเป็นผลให้เกิดความสูญเสียกำลังไฟฟ้าภายในอินเวอร์เตอร์ และรวมไปประสิทธิภาพที่ต่ำลงของอินเวอร์เตอร์ อาจมีชุดวงจรเพื่อปรับปรุงเพาเวอร์แฟกเตอร์ (PFC) เพื่อลดการเกิดฮาร์มอนิกส์ในกระแสไฟฟ้า

4. เนื่องจากอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ เป็นการควบคุมความเร็วแบบเปิด (Open Loop Speed Control) ควรมีปรับปรุงให้เป็นการควบคุมความเร็วแบบปิด (Closed Loop Speed Control) เพื่อให้สามารถควบคุมความเร็วลมได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น