

บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง

ในบทนี้แสดงผลการทดลองอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอสำหรับควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศในโรงเรือนปิดปลูกพืช ซึ่งมีประโยชน์ที่สำคัญคือ (1) ลดกระแสที่สูงขณะสตาร์ท (Inrush Current) ของมอเตอร์ (2) ลดการใช้พลังงานไฟฟ้า (3) มีระบบป้องกันของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ และ (4) ปรับเปลี่ยนความเร็วลมได้ ซึ่งประโยชน์เหล่านี้แสดงให้เห็นว่าช่วยลดปัญหาของการควบคุมสถานะอากาศและระบายอากาศด้วยวิธีเปิด-ปิด สำหรับการทดลองมีรายละเอียดและแบ่งการทดลองเป็นดังนี้

- 4.1 การลดกระแสที่สูงขณะเริ่มสตาร์ท (Inrush Current) ของมอเตอร์
- 4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการขับมอเตอร์ 1.5 แรงม้า
- 4.3 ระบบป้องกันของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ
- 4.4 การปรับเปลี่ยนความเร็วลมและความเร็วรอบพัดลม

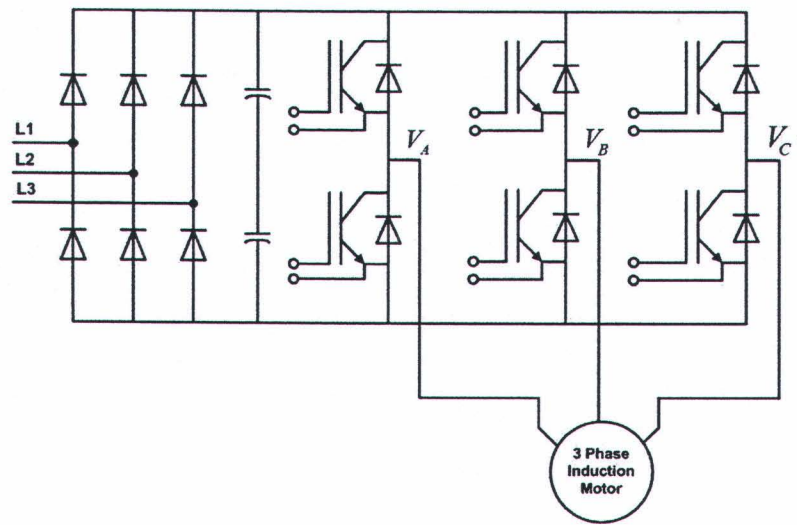
4.1 การลดกระแสที่สูงขณะเริ่มสตาร์ท (Inrush Current) ของมอเตอร์

ในหัวข้อนี้ เป็นทดลองวัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทมอเตอร์ด้วยวิธีเปิด-ปิด และวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เพื่อมุ่งเน้นให้เห็นการลดกระแสที่สูงขณะของการสตาร์ทด้วยวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ รูปที่ 4.1 เป็นวงจรอินเวอร์เตอร์อย่างง่าย เพื่อแสดงให้เห็นจุดที่วัดสัญญาณแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าในการทดลอง มีจุดวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านเข้าที่จุด L1 L2 และ L3 สำหรับจุดวัดแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าด้านออกที่จุด V_A V_B V_C การทดลองทั้งในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ต่อกับโหลดมอเตอร์จำนวนเท่ากัน ซึ่งประกอบไปด้วย (1) มอเตอร์มีโหลดใบพัดลม ขนาด 1.5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว มีกระแสที่สถานะคงตัวเท่ากับ 2.65 A ต่อตัว (2) มอเตอร์ไม่มีโหลดใบพัดลมขนาด 0.5 แรงม้า จำนวน 1 ตัว มีกระแสที่สถานะคงตัวเท่ากับ 0.80 A และ (3) มอเตอร์ไม่มีโหลดใบพัดลมขนาด 1.5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว มีกระแสที่สถานะคงตัวเท่ากับ 2.16 A และพิกัดทางไฟฟ้าอื่นๆ ของมอเตอร์เหล่านี้ แสดงดังตารางที่ 4.1

อุปกรณ์สำหรับการทดลอง 4.1 ดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 Vrms 50 Hz
2. มอเตอร์เหนี่ยวนำ 1.5 แรงม้า 3 เฟส 380 โวลต์ 4 Pole ยี่ห้อ Toshiba
3. Oscilloscope ยี่ห้อ YOGOKAWA รุ่น DL1640
4. Differential Prop ยี่ห้อ SAPPHIRE INSTRUMENTS รุ่น SI-9110
5. Current Clamp ยี่ห้อ FLUKE รุ่น i30s

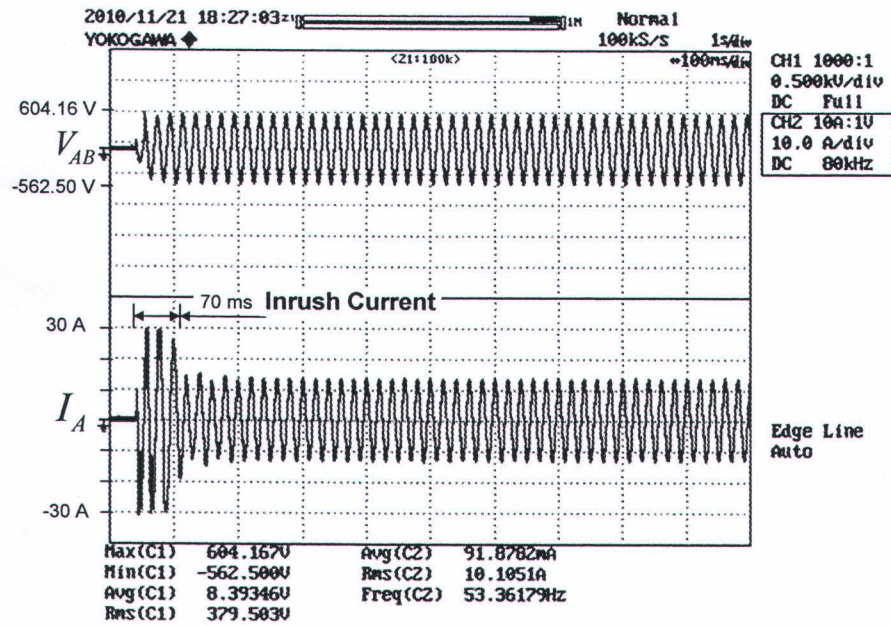
ในรูปที่ 4.2 แสดงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะสตาร์ทด้วยวิธีเปิด-ปิด แรงดันไฟฟ้า 380 V(rms) 50 Hz ถูกจ่ายเข้าไปยังมอเตอร์โดยตรง เป็นผลให้เกิดกระแสสูงประมาณ 30 A ในช่วงเวลา 70 ms ในขณะที่รูปที่ 4.3 แสดงแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะ สตาร์ทด้วยอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ผลจากอินเวอร์เตอร์ค่อยๆปรับแรงดันและความถี่ ทำให้ กระแสไฟฟ้าขณะสตาร์ทประมาณ 3.9 A ผลนี้แสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์ลดกระแสที่สูงขณะ สตาร์ทของมอเตอร์ หรือกล่าวได้อีกทางหนึ่งว่า อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ช่วยลดกระแสที่สูงขณะ สตาร์ท (Inrush Current) ของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ได้ 1/8 เท่าของการสตาร์ทด้วยวิธีเปิด-ปิด



รูปที่ 4.1 วงจรไฟฟ้าภาคกำลังของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอและตำแหน่งวัดแรงดันไฟฟ้า

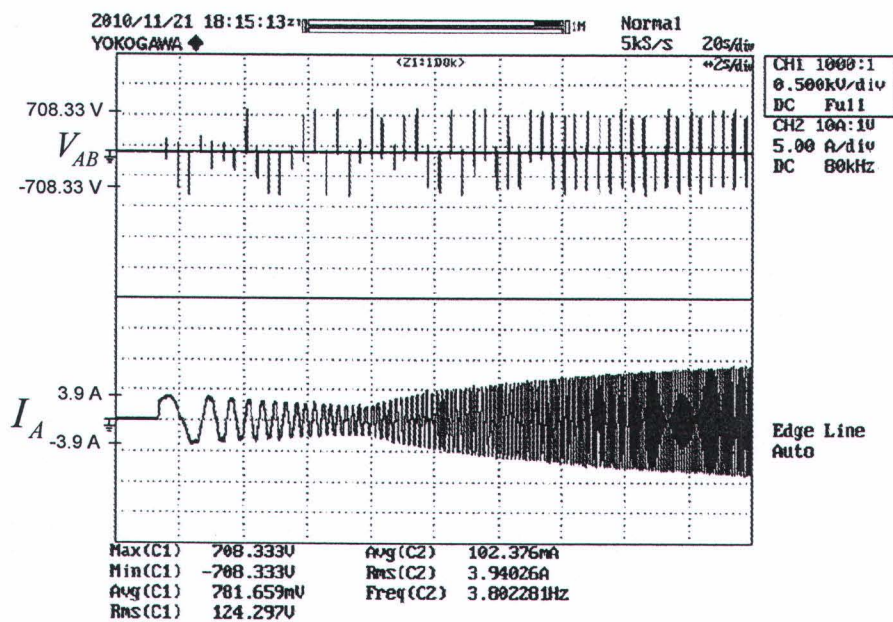
ตารางที่ 4.1 พิกัดของมอเตอร์เหนี่ยวนำและจำนวนมอเตอร์ ที่ใช้ทดลองในหัวข้อ 4.1

ประเภทมอเตอร์	แรงม้า (HP)	พิกัด แรงดัน (V)	พิกัด กระแส/ตัว (A)	ความถี่ (Hz)	จำนวนขั้ว (Pole)	จำนวน มอเตอร์
มีโหลดใบพัดลม	1.5	380	2.8	50	4	2
ไม่มีโหลดพัดลม	1.5	380	2.8	50	4	2
ไม่มีโหลดพัดลม	0.5	380	1.3	50	4	1



รูปที่ 4.2 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะสตาร์ทด้วยวิธีเปิด-ปิด

(V_{AB} : 0.500 kV/div : I_A : 10.00 A/div : 100ms/div)



รูปที่ 4.3 แรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์ขณะสตาร์ทด้วยอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

(V_{AB} : 0.500 kV/div : I_A : 10.00 A/div : 2s/div)

4.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าโดยการขับเคลื่อนมอเตอร์ 1.5 แรงม้า

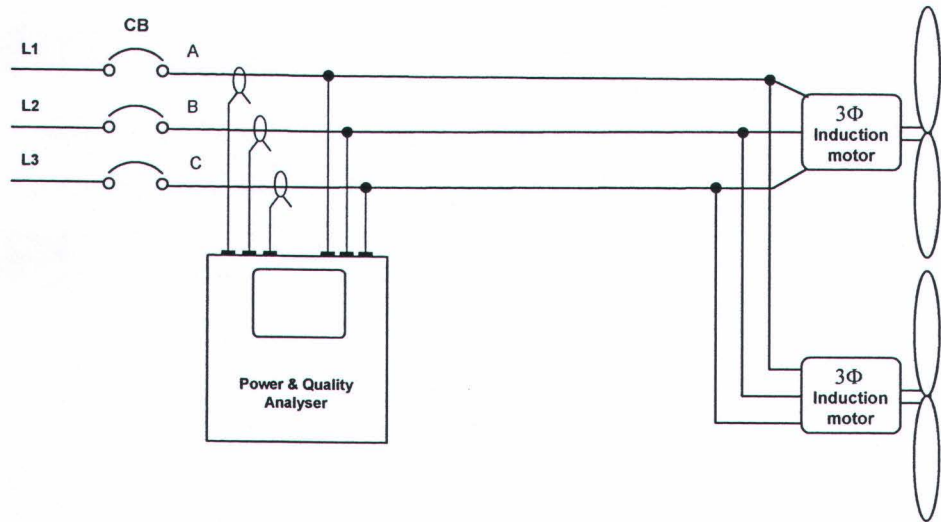
ในหัวข้อนี้ แบ่งการทดลองออกเป็น 2 ส่วนเพื่อประเมินการใช้พลังงานไฟฟ้า ดังนี้คือ (1) การใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อขับเคลื่อนมอเตอร์พัฒนา 1.5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว ในวิธีเปิด-ปิดเปรียบเทียบกับวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ และ (2) การใช้พลังงานไฟฟ้าเมื่อขับเคลื่อนมอเตอร์พัฒนาขนาด 1.5 แรงม้า จำนวน 1 ถึง 5 ตัว โดยทั้ง 2 การทดลองมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1 การใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

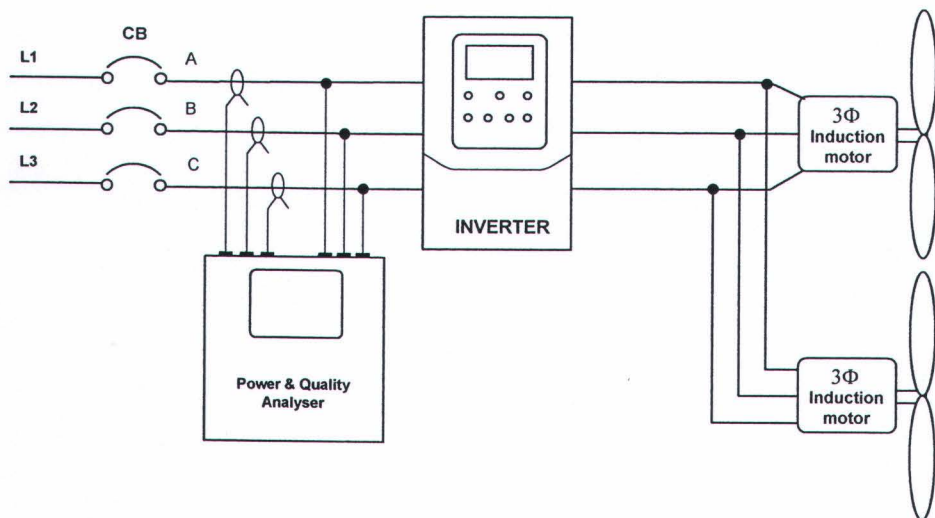
การทดลองในหัวข้อนี้ ทำการทดลองวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อทั้ง 2 วิธี ขับมอเตอร์พัฒนา 1.5 แรงม้า จำนวน 2 ตัว เพื่อพิจารณาผลการการใช้พลังงานไฟฟ้าของทั้ง 2 วิธี ในรูปที่ 4.4 แสดงการเชื่อมต่อวงจรทดลองสำหรับวิธีเปิด-ปิด ที่ประกอบด้วย แหล่งจ่ายไฟ 380 V(rms) 50 Hz เซอร์กิตเบรกเกอร์ (CB) เครื่องวัดพลังงานไฟฟ้า (Power & Quality Analyser) และมอเตอร์พัฒนา 1.5 แรงม้า 2 ตัว สำหรับรูปที่ 4.5 แสดงการเชื่อมต่อวงจรทดลองสำหรับวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ที่ประกอบด้วยอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ และอุปกรณ์อื่นๆ เหมือนการทดลองในวิธีเปิด-ปิด ดังรูปที่ 4.4 ผลการทดลองทั้ง 2 วิธี แสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงความถี่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า (3 ϕ) พลังงานไฟฟ้า (3 ϕ) ภายใน 30 นาที และเพาเวอร์แฟกเตอร์ ในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ซึ่งในแต่ละวิธีนั้นขับโหลดมอเตอร์พัฒนา 2 ตัว ผลการควบคุมมอเตอร์พัฒนาในวิธีเปิด-ปิดนั้น ใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที คงที่ที่ 1,432.05 kW-hr ที่ความถี่ 100 % (50 Hz) ในขณะที่วิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที 1421.95 kW-hr ที่ความถี่ 100 % (50 Hz) พลังงานไฟฟ้าจะลดลง เมื่อลดความถี่ลง เช่น ที่ความถี่ 80 % (40 Hz) 60 % (30 Hz) และ 40 % (20 Hz) ใช้พลังงานไฟฟ้า 812.620 kW-hr 409.210 kW-hr และ 175.050 kW-hr ตามลำดับ ในขณะที่วิธีเปิด-ปิดนั้น ไม่สามารถลดการใช้พลังงานไฟฟ้า โดยการลดความถี่มอเตอร์พัฒนาได้

รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ของความถี่มอเตอร์พัฒนาและพลังงานไฟฟ้ารวม 3 เฟส ภายใน 30 นาที เมื่ออินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขับมอเตอร์พัฒนา 2 ตัว จากรูปดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า พลังงานไฟฟ้าจะแปรผันตรงตามความถี่มอเตอร์พัฒนา พลังงานไฟฟ้าลดลงได้ เมื่อปรับความถี่มอเตอร์พัฒนาลดลง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่า อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอนี้ลดการใช้พลังงานไฟฟ้ามอเตอร์พัฒนา โดยที่อินเวอร์เตอร์นี้ จะปรับลดความถี่มอเตอร์พัฒนา



รูปที่ 4.4 วงจรการทดลองสำหรับวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีเปิด-ปิด

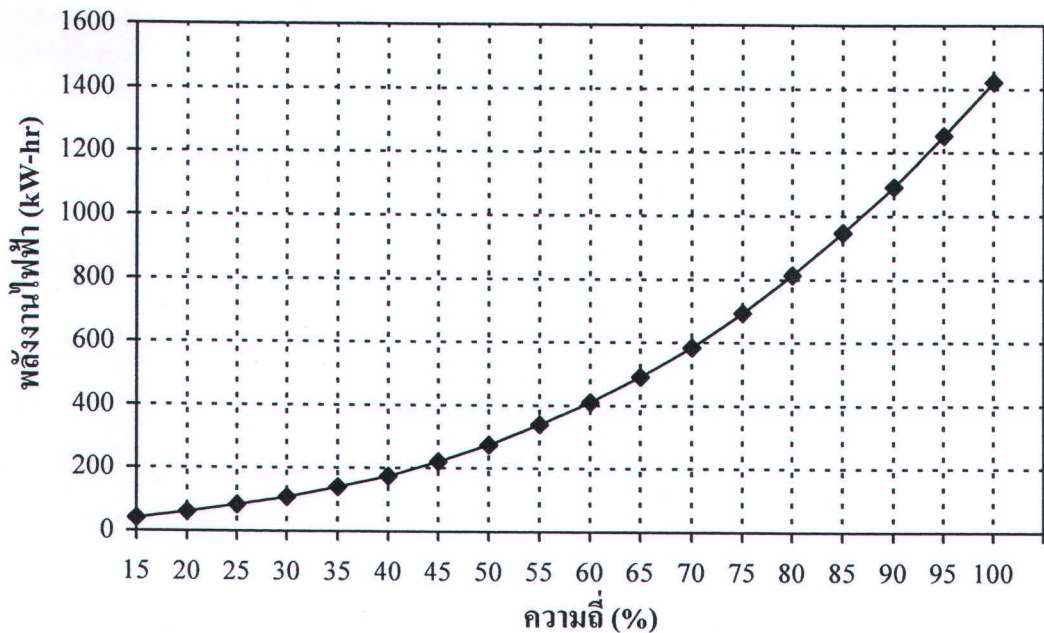


รูปที่ 4.5 วงจรการทดลองสำหรับวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ตารางที่ 4.2 ความถี่ แรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า (3 ϕ) พลังงานไฟฟ้า (3 ϕ) 30 นาที และ เพาเวอร์แฟกเตอร์ ในวิธีการควบคุมแบบเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่มีโหลดพัดลม 2 ตัว

วิธีการทดลอง	Freq (%)	V _{L1-L2} (V)	A (average,3 ϕ) (A)	P (3 ϕ) (W)	Energy (3 ϕ) (W-hr)	PF
เปิด-ปิด	100	380.0	5.127	2868.04	1,432.05	0.84
อินเวอร์เตอร์ ที่นำเสนอ	15	389.1	0.338	83.739	41.180	0.34
	20	389.8	0.478	121.611	60.810	0.37
	25	392.0	0.631	164.667	82.330	0.39
	30	393.1	0.790	215.784	107.890	0.40
	35	394.2	0.931	278.324	139.160	0.43
	40	384.3	1.180	350.080	175.050	0.45
	45	386.2	1.440	442.880	221.450	0.46
	50	383.6	1.725	548.810	274.410	0.47
	55	384.2	2.048	675.480	337.750	0.49
	60	381.5	2.430	818.410	409.210	0.51
	65	381.3	2.799	980.990	490.500	0.53
	70	380.1	3.165	1167.31	583.660	0.54
	75	381.9	3.726	1385.09	692.550	0.56
	80	380.4	4.296	1625.22	812.620	0.57
	85	382.3	4.848	1894.28	947.150	0.59
	90	384.8	5.440	2184.9	1091.85	0.60
	95	385.5	6.099	2506.42	1253.21	0.61
	100	380.7	6.928	2843.88	1421.95	0.62

หมายเหตุ ความถี่ 100 % = 50 Hz



รูปที่ 4.6 ความถี่มอเตอร์และพลังงานไฟฟ้ารวม 3 เฟส ภายใน 30 นาที ด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่
นำเสนอขณะขับเคลื่อนมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่มีโหลดพัฒนา 2 ตัว

4.2.2 การใช้พลังงานไฟฟ้าในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อปรับเปลี่ยนมอเตอร์

ในหัวข้อ 4.2.2 เป็นการทดลองให้อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขับมอเตอร์ไม่มีโหลดพัฒนาจำนวน 1 ตัว และ 2 ตัว และขับเคลื่อนมอเตอร์มีโหลดพัฒนาจำนวน 1 ตัว ถึง 5 ตัว เพื่อศึกษาขนาดกำลังของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ว่าสามารถขับเคลื่อนมอเตอร์พัฒนาขนาด 1.5 แรงม้า ได้ตรงตามจำนวนที่ออกแบบไว้หรือไม่ และเพื่อศึกษาการใช้พลังงานไฟฟ้า กำลังไฟฟ้า และกระแสไฟฟ้า เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ดังกล่าว ในการทดลอง จ่ายแรงดันไฟฟ้า 380 Vrms 50 Hz เข้าทางด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ และอินเวอร์เตอร์จะขับเคลื่อนตั้งแต่ความถี่ 15 % ถึง 100 % (7.5 Hz ถึง 50 Hz) และทำการปรับเปลี่ยนจำนวนมอเตอร์ ผลการทดลองนี้แสดงดังตารางที่ ค.1 ถึง ค.7 ในภาคผนวก ค และนำมาแสดงผลเป็นกราฟในรูปที่ 4.7 ถึง 4.12 และมีรายละเอียดดังนี้

ในรูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟส และความถี่มอเตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไม่มีโหลดพัฒนา 1.5 แรงม้า จำนวน 1 ตัว และ 2 ตัว กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟส แปรผันตามความถี่มอเตอร์ กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น ตามความถี่มอเตอร์ ที่ความถี่ 15 % กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟส มีค่าเท่ากับ 0.167 Arms และ 0.275 Arms ในกรณีที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อน 1 ตัว และ 2 ตัว ตามลำดับ สำหรับที่ความถี่ 100 % กระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟส มีค่าเท่ากับ 0.72 Arms และ 1.16 Arms ในกรณีที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อน 1 ตัว และ 2 ตัว ตามลำดับ

ในรูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ของกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟส และความถี่มอเตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนที่มีโหลดพัฒนา 1 ตัว ถึง 5 ตัว ที่ความถี่ 15 % และ 100 % เมื่ออินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนพัฒนา 1.5 แรงม้า จำนวน 5 ตัว กระแสไฟฟ้าเฉลี่ยมีค่าเท่ากับ 1.52 Arms และ 18 Arms ตามลำดับความถี่ ผลนี้แสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ สามารถขับเคลื่อนพัฒนา 1.5 แรงม้า ได้จำนวน 5 ตัว ในขณะที่ออกแบบไว้เพื่อทำงานกับจำนวนมอเตอร์พัฒนา จำนวน 4 ตัว นอกจากนี้แล้วยังทราบอีกด้วยว่ากระแสไฟฟ้าสูงสุดของอินเวอร์เตอร์มีค่าเท่ากับ 18 Arms เมื่อขับเคลื่อนพัฒนาสูงสุดที่ 5 ตัว ดังนั้น ในการติดตั้งอินเวอร์เตอร์สำหรับขับเคลื่อนพัฒนา ต้องใช้สายไฟฟ้าที่ทนกระแสไฟฟ้าได้มากกว่า 18 Arms

ในรูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟส และความถี่มอเตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนที่ไม่มีโหลดพัฒนา จำนวน 1 ตัว และ 2 ตัว กำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟสในรูปที่ 4.9 มีลักษณะคล้ายกันกับกระแสไฟฟ้าเฉลี่ยในรูปที่ 4.7 เนื่องจากกระแสไฟฟ้ามีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังไฟฟ้า พิจารณาสมการที่ (4.1) แรงดันไฟฟ้าระหว่างสาย (V_L) มีค่าคงที่ $\cos\theta$ จะเพิ่มขึ้นตามกระแสไฟฟ้า ดังนั้นเมื่อกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้น กำลังไฟฟ้า (P) จะเพิ่มขึ้น

$$P = \sqrt{3}V_L I_L \cos\theta \quad (4.1)$$

ในรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ของกำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟส และความถี่มอเตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนที่มีโหลดพัฒนา 1 ตัว ถึง 5 ตัว จากรูปที่ 4.10 นำค่ากำลังไฟฟ้าและความถี่ ไปวิเคราะห์ในโปรแกรม Matlab เพื่อหา Fitting Curve และได้สมการออกมาดังสมการที่ (4.2) จะเห็นได้ว่ากำลังไฟฟ้า (P) แปรผันตามความถี่หรือความเร็วพัฒนา (X) กำลังสาม ซึ่งเป็นไปตามกฎของพัฒนา (Affinity Law; $P \propto \text{Speed}^3$) ที่กล่าวว่า “กำลังไฟฟ้าแปรผันตามความเร็วพัฒนากำลังสาม”

$$P = P_1 X^3 + P_2 X^2 + P_3 X + P_4 \quad (4.2)$$

โดยที่

X คือ ความถี่หรือความเร็วพัฒนา

P คือ กำลังไฟฟ้า

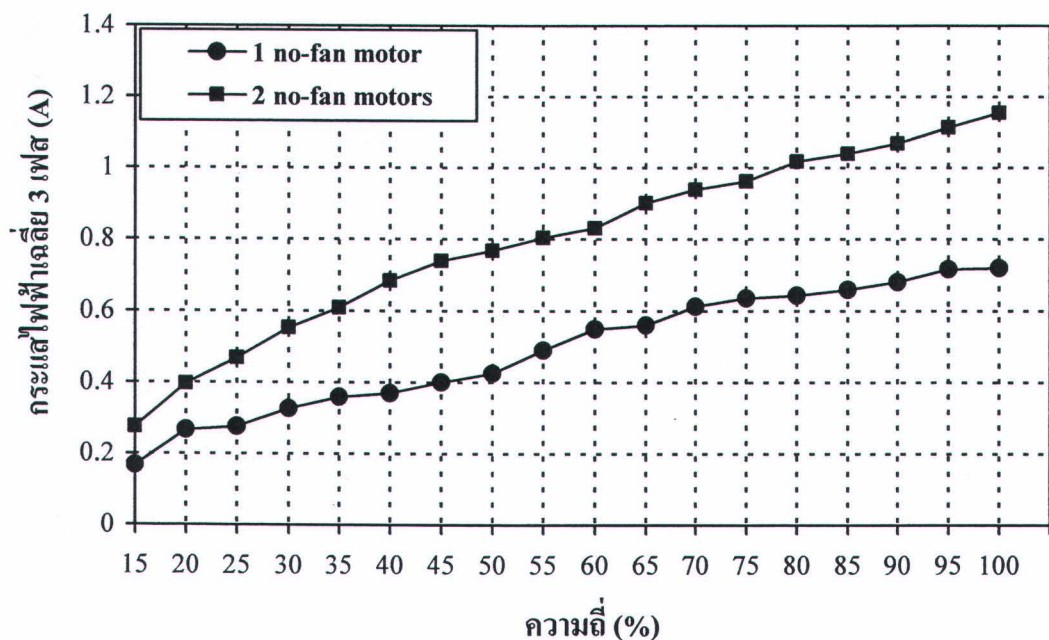
$$P_1 = 0.0009955, P_2 = 0.02912, P_3 = 1.248 \text{ และ } P_4 = 1.248$$

พิจารณาที่ความถี่ 15 % และความถี่ 100 % ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนที่มีโหลดพัฒนา จำนวน 5 ตัว กำลังไฟฟ้าด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ มีค่าเท่ากับ 375.23 W และ 7,597 W ตามลำดับความถี่ ดังนั้น

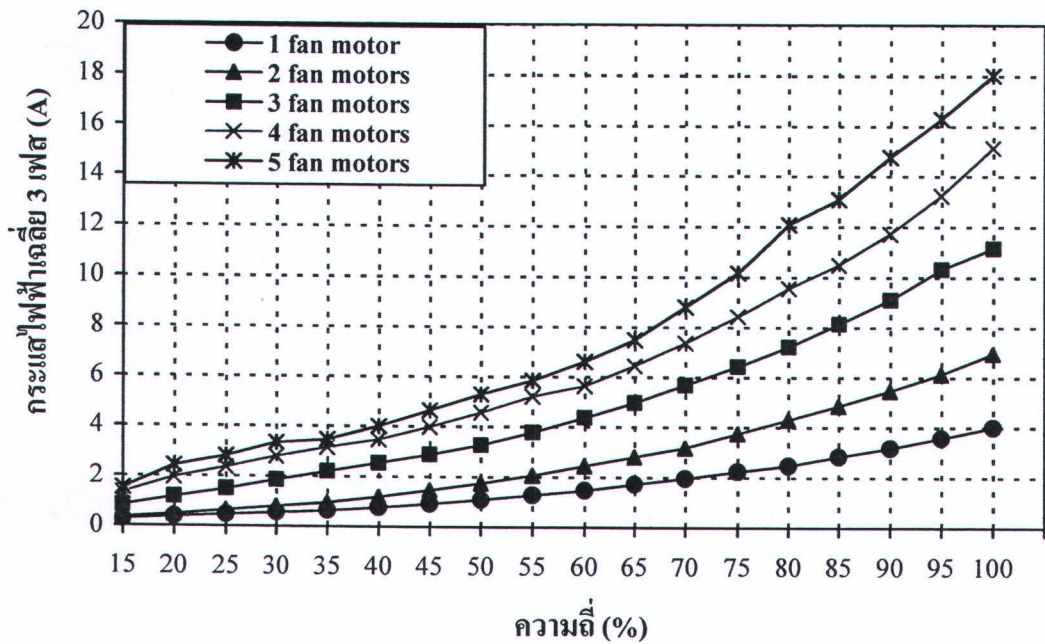
ผลตรงนี้ จึงสรุปได้ว่า ต้องใส่กำลังไฟฟ้าเข้า 7,597 W ที่อินเวอร์เตอร์ เพื่อขับเคลื่อนมอเตอร์ที่มีโหลดพัฒนา 1.5 แรงม้า จำนวน 5 ตัว (5,595 W) ที่ความถี่ 100 % (50 Hz) ในระบบนี้ จะมีการสูญเสียกำลังไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์และที่ตัวมอเตอร์พัฒนาคือ และคิดเป็นประสิทธิภาพของระบบได้เท่ากับ 73 %

$$(\eta = (p_{out} / p_{in}) \times 100 = (5,595 / 7,595) \times 100 = 73\%)$$

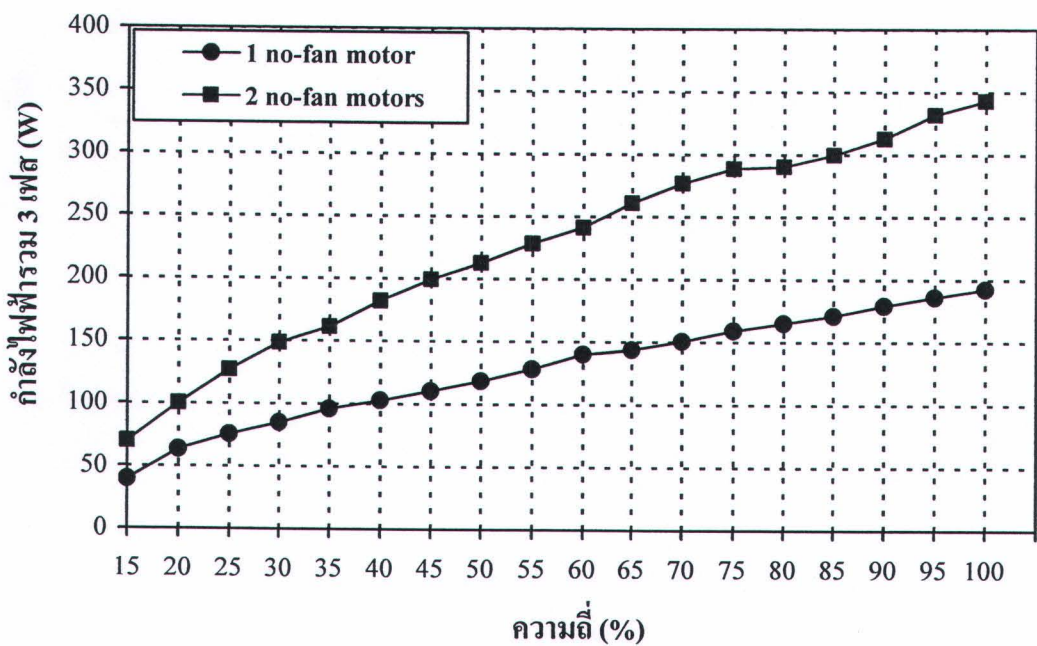
ในรูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที ที่ทางด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ และความถี่มอเตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ไม่มีโหลดพัฒนาจำนวน 1 ตัวและ 2 ตัว กราฟพลังงานไฟฟ้านี้ มีลักษณะคล้ายกับกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้าในรูปที่ 4.7 และ 4.9 ตามลำดับ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าและกำลังไฟฟ้ามีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับพลังงานไฟฟ้า ที่ความถี่ 100 % อินเวอร์เตอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที เท่ากับ 96.1 W-hr และ 171 W-hr สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์ไม่มีโหลดพัฒนา 1 ตัวและ 2 ตัว ตามลำดับ สำหรับรูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ของพลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที ที่ทางด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์และความถี่มอเตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์ที่มีโหลดพัฒนาจำนวน 1 ถึง 5 ตัว พลังงานไฟฟ้าแปรผันกับความถี่หรือความเร็วมอเตอร์ ลักษณะกราฟเป็นไปตามลักษณะโหลดประเภทพัฒนา คือ กำลังไฟฟ้าหรือพลังงานไฟฟ้า แปรตามความถี่หรือความเร็วมอเตอร์กำลังสาม ที่ความถี่ 100 % อินเวอร์เตอร์ใช้พลังงานไฟฟ้าภายใน 30 นาที เท่ากับ 3,779 W-hr สำหรับขับเคลื่อนมอเตอร์มีโหลดพัฒนาจำนวน 5 ตัว



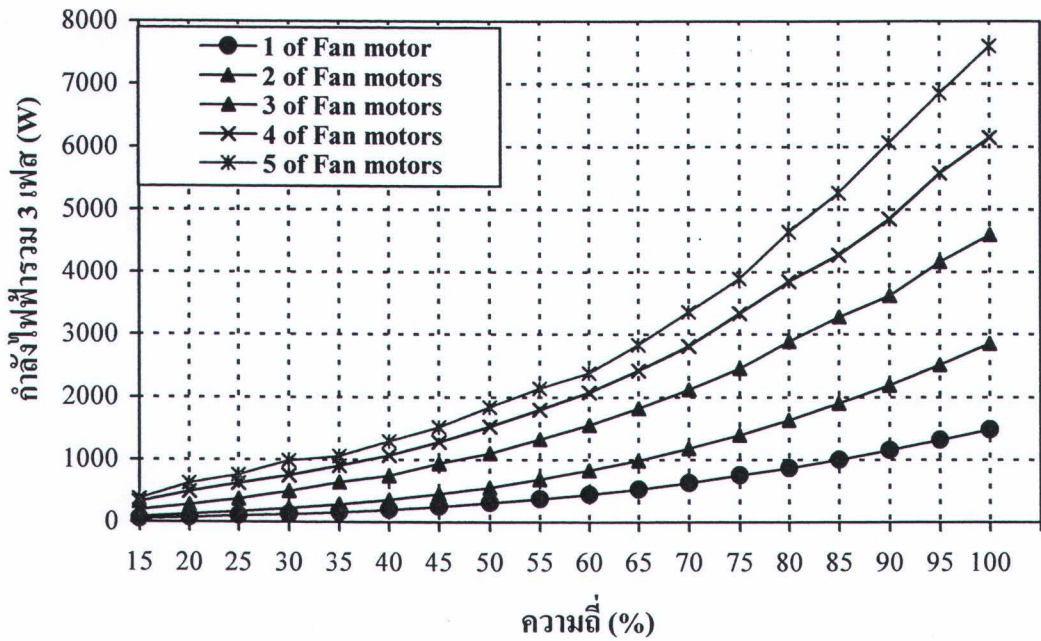
รูปที่ 4.7 ความถี่ของมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟสด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับเคลื่อนขนาด 1.5 แรงม้า ที่ไม่มีโหลดพัฒนา 1 ตัว และ 2 ตัว



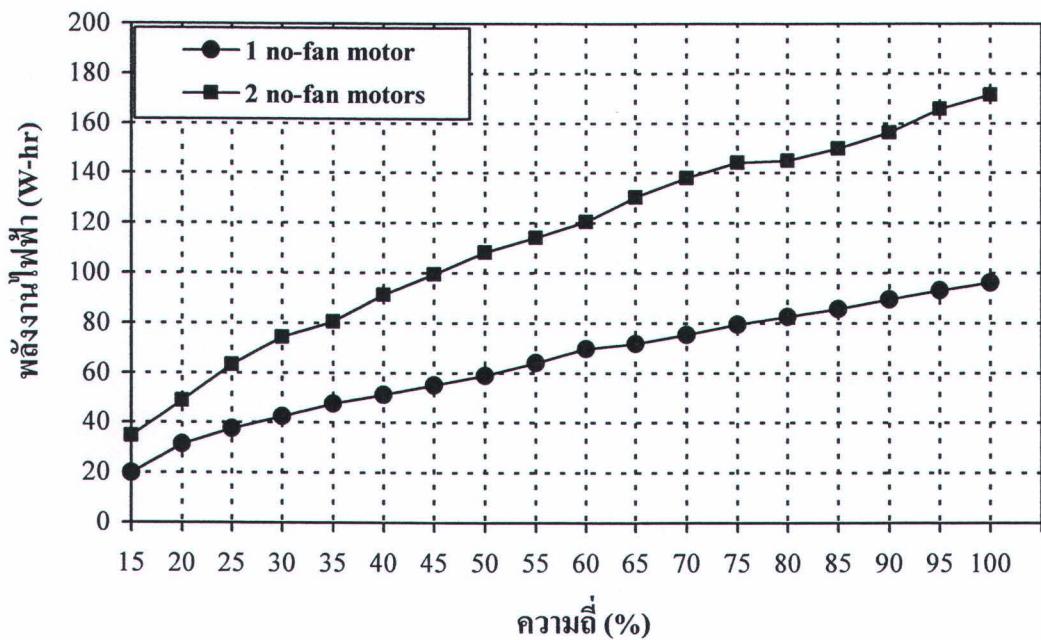
รูปที่ 4.8 ความถี่ของมอเตอร์และกระแสไฟฟ้าเฉลี่ย 3 เฟสด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะขับเคลื่อนขนาด 1.5 แรงม้า ที่มีโหลดพัฒนา 1 ตัว ถึง 5 ตัว



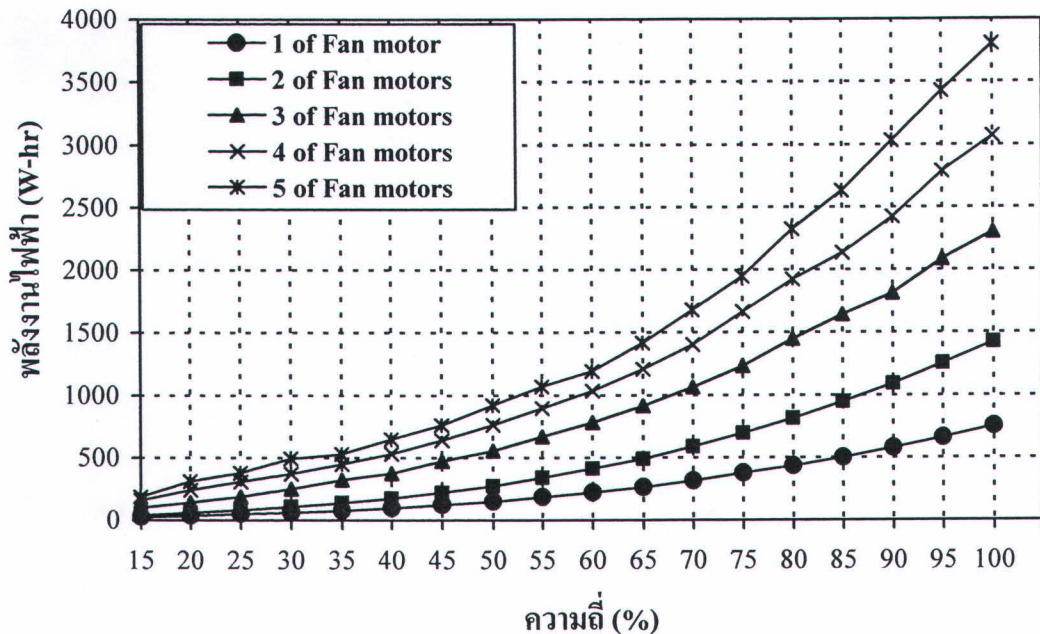
รูปที่ 4.9 ความถี่ของมอเตอร์และกำลังไฟฟ้ารวม 3 เฟสด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะขับเคลื่อนขนาด 1.5 แรงม้า ที่ไม่มีโหลดพัฒนา 1 ตัว และ 2 ตัว



รูปที่ 4.10 ความถี่ของมอเตอร์และกำลังไฟรวม 3 เฟสด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่ไม่มีโหลดพัฒนา 1 ตัว ถึง 5 ตัว



รูปที่ 4.11 ความถี่ของมอเตอร์และพลังงานไฟรวม 3 เฟส ภายใน 30 นาที ด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่ไม่มีโหลดพัฒนา 1 ตัว และ 2 ตัว



รูปที่ 4.12 ความถี่ของมอเตอร์และพลังงานไฟฟ้ารวม 3 เฟส ภายใน 30 นาที ด้านเข้าของอินเวอร์เตอร์
ที่นำเสนอ ขณะขับมอเตอร์ขนาด 1.5 แรงม้า ที่มีโหลดพัฒนา 1 ตัว ถึง 5 ตัว

4.3 ระบบป้องกันของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ตามข้อกำหนดมาตรฐาน IEEE 1159 [28] ว่าด้วยเรื่องการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า สำหรับการเปลี่ยนแหล่งแรงดันไฟฟ้ามีหลายประเภทด้วยกัน ในที่นี้จะอธิบายเฉพาะอธิบายเฉพาะประเภทแรงดันไฟฟ้าเกินและแรงดันไฟฟ้าตกเท่านั้น ในความหมายของการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้าทั้ง 2 ประเภทเป็นดังนี้ แรงดันไฟฟ้าตก คือ แรงดันไฟฟ้าประสิทธิผล (V_{rms}) ที่มีการเปลี่ยนแปลง 10 ถึง 90 % ของแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด ในช่วงเวลา 10 msec ถึง 1 min และแรงดันไฟฟ้าเกิน คือ แรงดันไฟฟ้าประสิทธิผล ที่มีการเปลี่ยนแปลง 110 ถึง 180 % ของแรงดันไฟฟ้าที่พิกัด เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกระทบต่ออินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอและให้พัดลมระบายอากาศในโรงเรือนทำงานได้ต่อและเพื่อให้กระทบต่อสัตว์ในโรงเรือน โดยเฉพาะกรณีแรงดันไฟฟ้าตก จะทำให้เกิดเสกกระชากปริมาณสูงไหลภายในอุปกรณ์ อินเวอร์เตอร์จึงต้องหยุดทำงานทันที เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหาย ดังนั้นอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอจึงมีการออกแบบให้มีการหยุดทำงานใน 3 กรณี คือ (1) เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าเกินกว่ากำหนด (2) เมื่อเกิดแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่ากำหนด และ (3) เมื่อเกิดกระแสไฟฟ้าเกินกว่ากำหนด และเพื่อไม่ให้มอเตอร์พัดลมหยุดทำงานในขณะที่เกิดเหตุการณ์ทั้ง 3 กรณีดังกล่าว ซึ่งจะทำให้เกิดความเสียหายต่อสัตว์ในโรงเรือน จึงออกแบบให้มีระบบที่ทำงานแทนอินเวอร์เตอร์นี้ เรียกระบบนี้ว่า “ระบบสำรอง” (Back Up System) ซึ่งในขณะที่อินเวอร์เตอร์หยุดทำงาน อินเวอร์เตอร์จะสั่งให้ระบบสำรองทำงานแทน โดยสั่งการผ่านรีเลย์สวิตช์ ให้รีเลย์ปิดวงจร (Closed Switch)

สำหรับการทดลองในหัวข้อ 4.3 นี้ เป็นการจำลองการทำงานของอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ในกรณีเกิดเหตุการณ์ 3 กรณีดังกล่าว วงจรการทดลองแสดงดังรูปที่ 4.13 ซึ่งประกอบด้วย (1) แหล่งจ่ายไฟฟ้า 3 เฟส 380 V 50 Hz (2) เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (3) อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ (4) ระบบสำรอง (5) มอเตอร์พัดลม โดยมีเงื่อนไขทางไฟฟ้าสำหรับการทดลองดังนี้

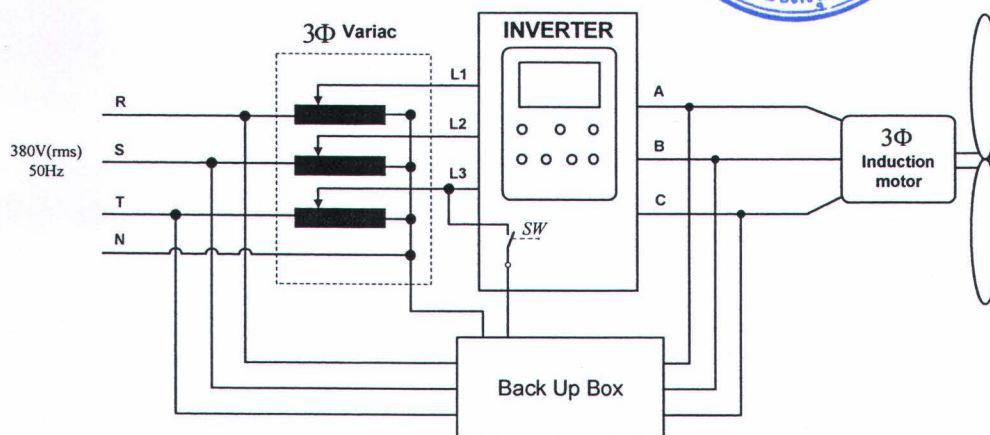
1. เมื่อแรงดันไฟฟ้ามากกว่า 420 V(rms) อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงานและรีเลย์สวิตช์จะปิดวงจร
2. เมื่อแรงดันไฟฟ้าน้อยกว่า 340 V(rms) อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงานและรีเลย์สวิตช์จะปิดวงจร
3. เมื่อกระแสไฟฟ้าเกิน 6 A(rms) อินเวอร์เตอร์จะหยุดทำงานและรีเลย์สวิตช์จะปิดวงจร

ในรูปที่ 4.14 แสดงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ (V_{L1-L2}) กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (I_A) และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์ (V_{SW}) ในรูปนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ (V_{L1-L2}) เพิ่มขึ้นจาก 380 V (rms) เป็น 434.29 V (rms) ซึ่งเกินกว่าค่าแรงดันที่กำหนด (420 Vrms) จากนั้นอีกประมาณ 325 ms จะสวิตช์รีเลย์จะปิดวงจร เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์ (V_{SW}) เท่ากับ 0 V แล้วความเร็วและกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ และจะหยุดนิ่ง ที่เวลา 67.5 s นับจากที่สวิตช์รีเลย์ปิดวงจร

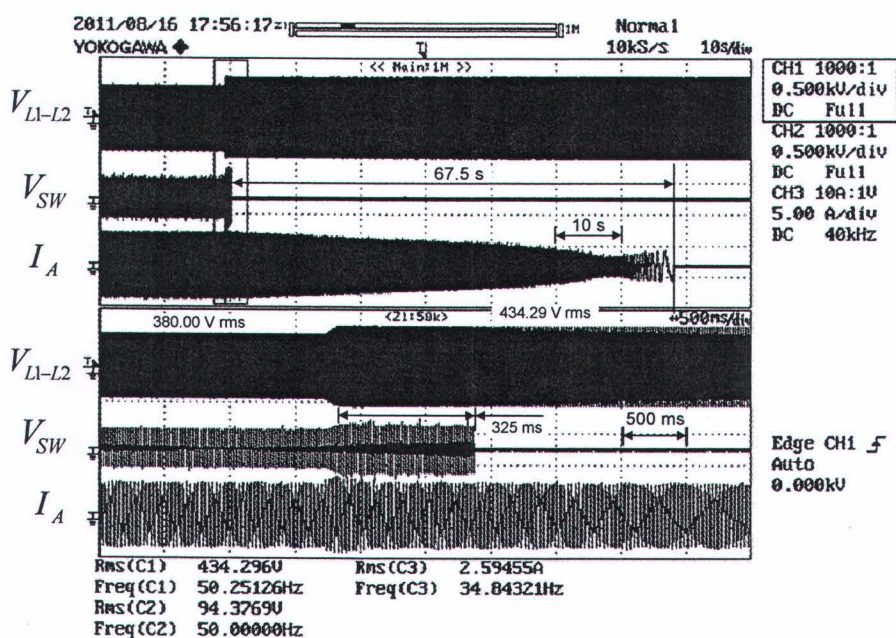
ในรูปที่ 4.15 แสดงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ (V_{L1-L2}) กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (I_A) และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์ (V_{SW}) ในรูปนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อแรงดันด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ (V_{L1-L2}) ที่ลดลงจาก 380 V (rms) เป็น 274.25 V(rms) ซึ่งแรงดันไฟฟ้าต่ำกว่าที่กำหนด (340 Vrms) จากนั้นอีกประมาณ 325 ms จะสวิตช์รีเลย์จะปิดวงจร เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์ (V_{SW}) เท่ากับ 0 V แล้วความเร็วและกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (I_A) ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ และจะหยุดนิ่ง ที่เวลา 70.5 s นับจากที่สวิตช์รีเลย์ปิดวงจร

ในรูปที่ 4.16 แสดงแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ (V_{L1-L2}) กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (I_A) และแรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์ (V_{SW}) ในรูปนี้แสดงให้เห็นว่าเมื่อกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (I_A) ที่เพิ่มจาก 5.399 A เป็น 37 A ซึ่งเกินกว่ากระแสที่กำหนดไว้ (6 A) จากนั้นอีกประมาณ 425 ms จะสวิตช์รีเลย์จะปิดวงจร เป็นผลให้แรงดันไฟฟ้าตกคร่อมสวิตช์รีเลย์ (V_{SW}) เท่ากับ 0 V แล้วความเร็วและกระแสไฟฟ้ามอเตอร์ (I_A) ค่อยๆ ลดลงเรื่อยๆ และจะหยุดนิ่ง ที่เวลา 71.5 s นับจากที่สวิตช์รีเลย์ปิดวงจร

อย่างไรก็ตาม ระบบการป้องกันอันเนื่องมาจากการเกิดผลกระทบทางไฟฟ้าทั้ง 3 กรณีดังกล่าว ได้ออกแบบไว้สำหรับป้องกันเฉพาะเครื่องอินเวอร์เตอร์ ไม่ได้ป้องกันมอเตอร์พัดลมด้วย

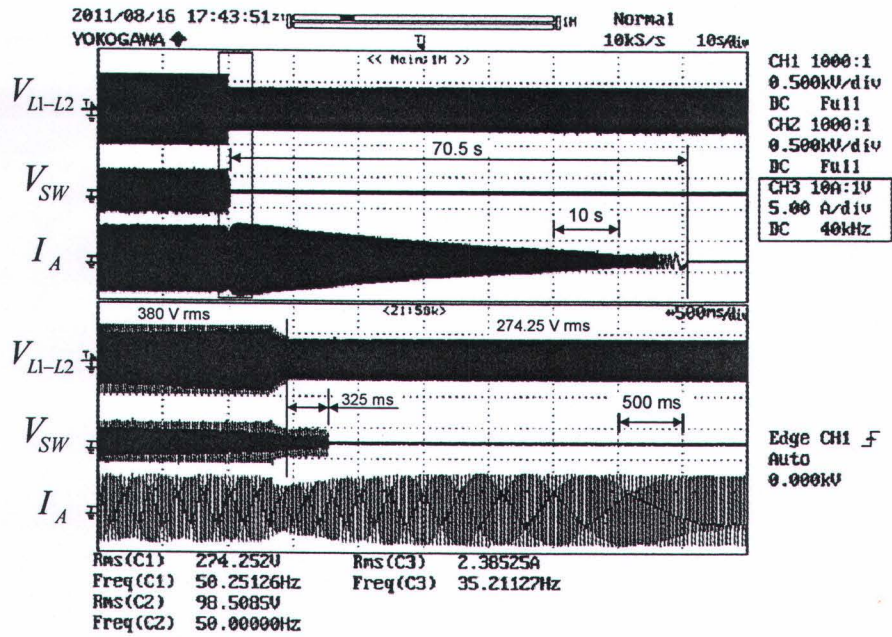


รูปที่ 4.13 การเชื่อมต่อวงจรการทดลองสำหรับป้องกันอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ



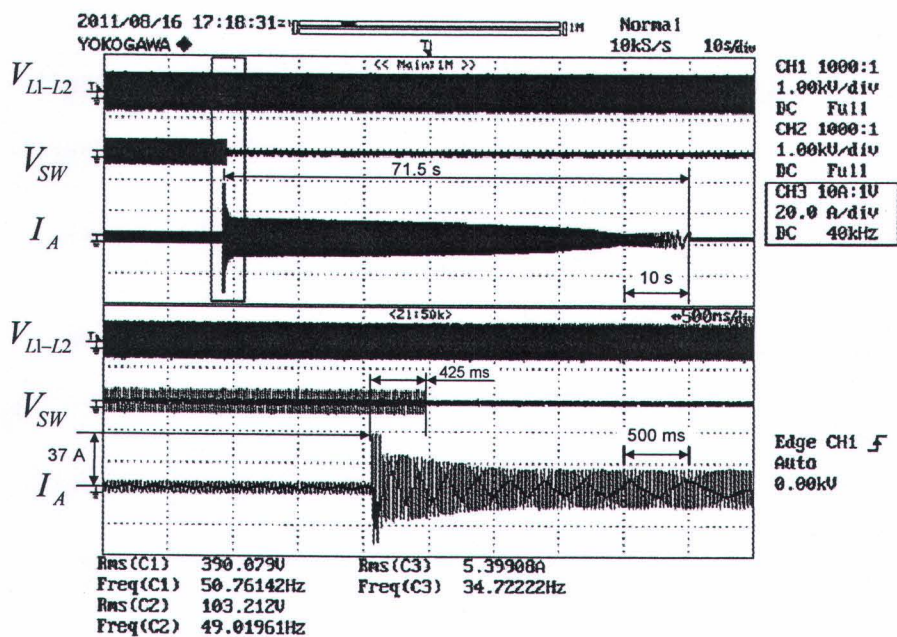
รูปที่ 4.14 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ แรงดันไฟฟ้าคกร้อมสวิตช์รีเลย์ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์
พัฒนาในกรณีที่แรงดันด้านเข้าเกินที่กำหนด

(V_{L1-L2} : 0.500 kV/div; V_{SW} : 0.500 kV/div ; I_A : 5.00 A/div :10s/div)



รูปที่ 4.15 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ แรงดันไฟฟ้าคกร่อมสวิตซ์รีเลย์ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์
ในกรณีที่แรงดันต่ำกว่าที่กำหนด

(V_{L1-L2} : 1.00 kV/div ; V_{SW} : 1.00 kV/div ; I_A : 5.00 A/div : 10s/div)



รูปที่ 4.16 แรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ แรงดันตกไฟฟ้าคร่อมสวิตซ์รีเลย์ กระแสไฟฟ้ามอเตอร์
ในกรณีที่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์เกินกว่ากำหนด

(V_{L1-L2} : 1.00 kV/div ; V_{SW} : 1.00 kV/div ; I_A : 20.00 A/div : 10s/div)

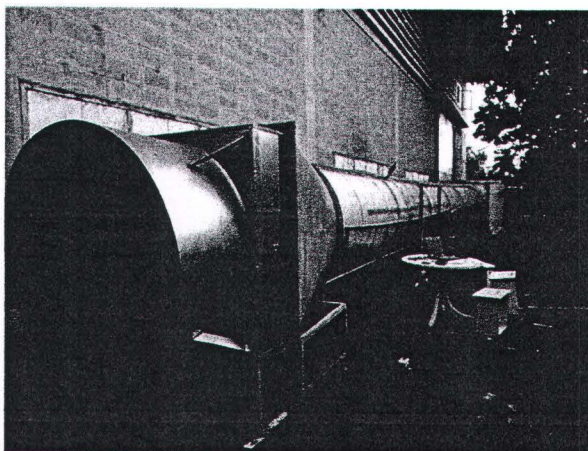
4.4 การปรับเปลี่ยนความเร็วลมและความเร็วรอบพัดลม

การทดลองวัดความเร็วลมนี้ ทำการวัดความเร็วในอุโมงค์ลมที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.30 เมตรและความยาว 16 เมตร รูปที่ 4.17 (ก) แสดงอุโมงค์ลมที่ใช้ในการทดลอง สำหรับรูปที่ 4.17 (ข) แสดงตำแหน่งในการวัดความเร็วภายในอุโมงค์ลม ตำแหน่งที่วัดแบ่งเป็นตามแกน X ได้แก่ X1 X2 X3 X4 และ X5 ซึ่งแต่ละตำแหน่งมีระยะห่างจากด้านนอกขอบอุโมงค์เป็น 127 มิลลิเมตร 176 มิลลิเมตร 225 มิลลิเมตร 274 มิลลิเมตรและ 545 มิลลิเมตรตามลำดับ สำหรับตำแหน่งวัดตามแกน Y ได้แก่ Y1 Y2 Y3 Y4 และ Y5 ซึ่งแต่ละตำแหน่งมีระยะห่างจากด้านนอกขอบอุโมงค์เท่ากับแนวแกน X การทดลองวัดความเร็วลมในอุโมงค์นี้ ได้แบ่งการเป็นทดลองเป็นดังนี้

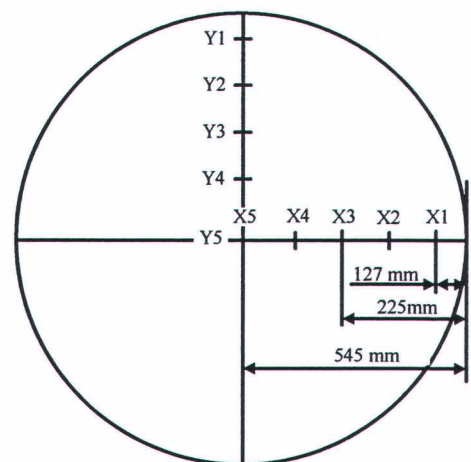
- 4.4.1 ความเร็วลมในอุโมงค์ของวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ
- 4.4.2 ความเร็วลมในอุโมงค์ของวิธีเปิด-ปิด และวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า
- 4.4.3 ความเร็วรอบพัดลม

อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง 4.4 ดังนี้

1. อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศ
2. เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer) และหัววัด ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-45
3. หม้อแปลงไฟฟ้าปรับแรงดัน 3 เฟส (3 phase Variac)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.17 สถานที่ อุโมงค์ลมและตำแหน่งที่ใช้วัดความเร็วลม

(ก) อุโมงค์ลมที่ใช้วัดความเร็วลม

(ข) ตำแหน่งภายในอุโมงค์ลมที่ใช้วัดความเร็ว

4.4.1 ความเร็วลมในอุโมงค์ของวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ในหัวข้อนี้ทดลองวัดความเร็วในอุโมงค์ลม โดยการควบคุมมอเตอร์พัดลมในวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ซึ่งวิธีเปิด-ปิดนั้น จ่ายแรงดันไฟฟ้า 380 Vrms 50 Hz เข้าไปที่มอเตอร์พัดลมโดยตรง และทำการวัดความเร็วลมแต่ละตำแหน่ง และสำหรับวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ มอเตอร์พัดลมจะถูกขับด้วยอินเวอร์เตอร์ที่ความเร็ว (ความถี่กระแสไฟฟ้า) ตั้งแต่ 15 % ถึง 100 % โดยในช่วงละ 5 % แล้ววัดความเร็วในอุโมงค์ลมแต่ละตำแหน่งเช่นกัน ผลของความเร็วลมทั้งสองวิธีมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.3 แสดงความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมของวิธีเปิด-ปิด ความเร็วลมทั้งในแนวแกน X และแนวแกน Y ทุกๆ ตำแหน่งนั้นมีค่าคงที่ตลอด วิธีไม่สามารถปรับความเร็วลมได้ สำหรับตารางที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลความเร็วลมในอุโมงค์ลมแต่ละจุดตามแนวแกน X และแกน Y กับความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลมของวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.18 และรูปที่ 4.19 ตามแกน X และ Y ตามลำดับ

ในรูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ของความเร็วลมในเร็วลมในแนวแกน X กับความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ความเร็วลมที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางอุโมงค์ลม (X5) มีความเร็วสูงสุดที่ทุกๆ ความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม เมื่อเทียบกับความเร็วลมในตำแหน่งอื่นๆ ในขณะที่ความเร็วลมตำแหน่ง X1 มีความเร็วลมต่ำสุด ที่ทุกๆ ความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม ในรูปที่ 4.19 แสดงความเร็วลมในแนวแกน Y มีความเร็วลมสูงสุดและต่ำสุดที่ตำแหน่งจุดศูนย์กลางอุโมงค์ลม (Y5) และ Y1 ตามลำดับ

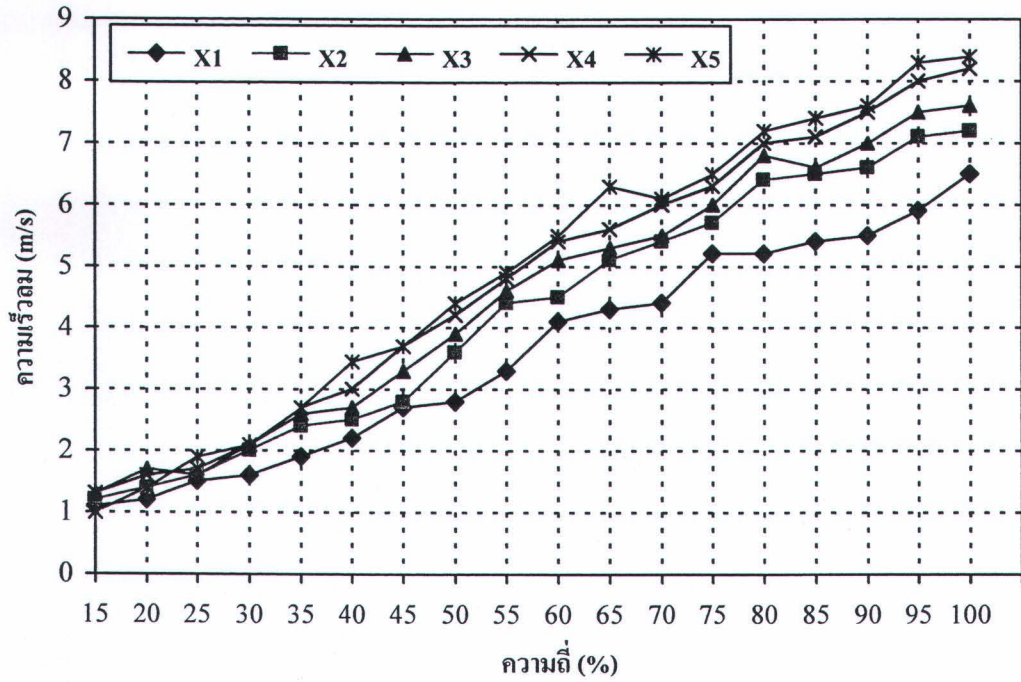
จากความเร็วลมในอุโมงค์ลมทั้งแกน X และ Y จะเห็นได้ว่าความเร็วลมเปลี่ยนแปลงตามความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์หรือความเร็วมอเตอร์พัดลมที่ถูกปรับโดยอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อปรับเพิ่มความเร็วมอเตอร์พัดลม ความเร็วลมก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และเมื่อลดความเร็วมอเตอร์พัดลมลง ความเร็วลมก็จะลดลงตาม จากผลนี้ แสดงให้เห็นว่าอินเวอร์เตอร์สามารถที่จะปรับเปลี่ยนความเร็วลมได้ตามที่ต้องการ ซึ่งเป็นข้อดี ในลักษณะประยุกต์ใช้งาน เพื่อปรับความเร็วลมให้เหมาะสมแก่สัตว์ในโรงเรือนแต่ละช่วงอายุ ในขณะที่วิธีเปิด-ปิดนั้น ไม่สามารถปรับเปลี่ยนความเร็วลมได้

ตารางที่ 4.3 ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y ของวิธีเปิด-ปิด

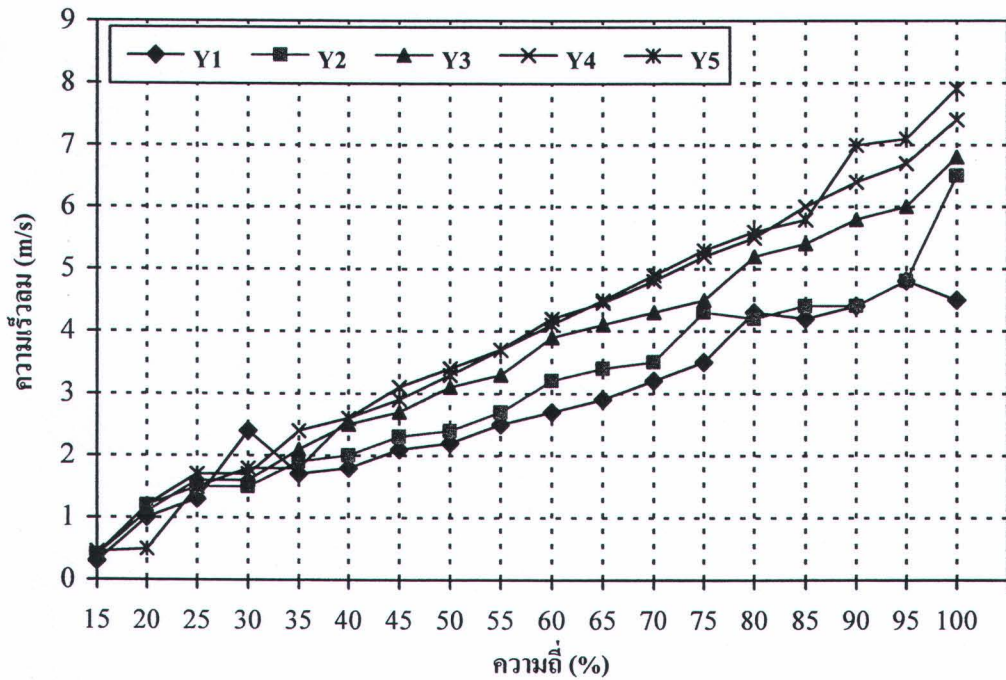
แรงดันไฟฟ้า เข้ามอเตอร์ (V _{L-L})	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลม (m/s)									
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
380	4.628	5.232	5.480	6.084	6.356	3.308	3.888	5.288	5.96	6.164

ตารางที่ 4.4 ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับความถี่
กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม ของวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

ความถี่ กระแสไฟฟ้า มอเตอร์พัดลม (%)	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลม (m/s)									
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
15	1.10	1.2	1.0	1.3	1.0	0.3	0.4	0.4	0.4	0.5
20	1.2	1.4	1.7	1.6	1.4	1.0	1.2	1.1	1.2	1.5
25	1.5	1.6	1.6	1.7	1.9	1.3	1.5	1.6	1.7	1.8
30	1.6	2.0	2.1	2.1	2.1	2.4	1.5	1.6	1.7	1.8
35	1.9	2.4	2.6	2.7	2.7	1.7	1.9	2.1	2.4	2.6
40	2.2	2.5	2.7	3.0	3.45	1.8	2.0	2.5	2.6	2.9
45	2.7	2.8	3.3	3.7	3.7	2.1	2.3	2.7	3.1	3.3
50	2.8	3.6	3.9	4.2	4.4	2.2	2.4	3.1	3.4	3.7
55	3.3	4.4	4.6	4.8	4.9	2.5	2.7	3.3	3.7	4.1
60	4.1	4.5	5.1	5.4	5.5	2.7	3.2	3.9	4.2	4.5
65	4.3	5.1	5.3	5.6	6.3	2.9	3.4	4.1	4.45	4.9
70	4.4	5.4	5.5	6.0	6.1	3.2	3.5	4.3	4.8	5.3
75	5.2	5.7	6.0	6.3	6.5	3.5	4.3	4.5	5.2	5.6
80	5.2	6.4	6.8	7.0	7.2	3.8	4.2	5.2	5.5	5.8
85	5.4	6.5	6.6	7.1	7.4	3.9	4.4	5.4	6.0	6.8
90	5.5	6.6	7.0	7.5	7.6	4.0	4.4	5.8	6.4	7.0
95	5.9	7.1	7.5	8.0	8.3	4.2	4.8	6.0	6.7	7.1
100	6.5	7.2	7.6	8.2	8.4	4.6	6.5	6.8	7.4	7.9



รูปที่ 4.18 ความถี่ของมอเตอร์พัฒนากับความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ



รูปที่ 4.19 ความถี่ของมอเตอร์พัฒนากับความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ

4.4.2 ความเร็วลมในอุโมงค์ลมของวิธีเปิด-ปิดและวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า

กรณีความเร็วลมในอุโมงค์ลมของวิธีเปิด-ปิด เมื่อปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า : การทดลองนี้เป็น การทดลองจำลองการทำงานของมอเตอร์พัดลม ในกรณีที่เกิดแรงดันไฟฟ้าตกและเกิน ตารางที่ 4.5 แสดงผลของความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแนวแกน X และแกน Y เมื่อจ่ายแรงดันไฟฟ้า 3 เฟส เข้าที่มอเตอร์พัดลมโดยตรง โดยปรับระดับแรงดันตั้งแต่ 340-420 V (rms) ผลจากตารางที่ 4.5 นำมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.20 และ 4.21 สำหรับความเร็วลมตามแนวแกน X และแกน Y ตามลำดับ ผลนี้จะเห็นว่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์พัดลมแปรเปลี่ยนโดยตรงกับความเร็วลมในอุโมงค์ คือแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายเข้ามอเตอร์ลดลง ความเร็วลมก็ลดลงไปด้วย

กรณีความเร็วลมในอุโมงค์ลมของวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ เมื่อปรับเปลี่ยนแรงดันไฟฟ้าด้านเข้า : การทดลองนี้เป็นการทดลองวัดความเร็วลมที่ตำแหน่งต่างๆ ในอุโมงค์เปรียบเทียบกับแรงดันไฟฟ้าทางด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ที่ถูกปรับระดับตั้งแต่ 360-420 V (rms) การทดลองนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อดูการผลของความเร็วลมในขณะที่อินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอขับมอเตอร์พัดลม เมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ การทดลองนี้ได้แบ่งการทดลองเป็น 2 การทดลองดังนี้

- (ก) ความเร็วลมขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 100 %
- (ข) ความเร็วลมขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 20 %

(ก) : ตารางที่ 4.6 แสดงความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 100% และผลในตารางที่ 4.6 ได้นำมาแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.22 และ 4.23 ตามแนวแกน X และ Y ตามลำดับ ตามความเร็วแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมที่วัดได้เปลี่ยนแปลงตามระดับแรงดันด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ถ้าแรงดันไฟฟ้าลดลง ความเร็วลมก็จะลดลงตามและถ้าแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์เพิ่มขึ้น ความเร็วลมก็จะเพิ่มขึ้นตาม แต่อย่างไรก็ตามการเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมในระดับนี้ ถือได้ว่าเป็นการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย เช่น การเปลี่ยนของแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์จาก 380 Vrms เป็น 360 Vrms ที่ตำแหน่ง X1 เกิดความเปลี่ยนแปลงของความเร็วลมจาก 4.712 m/s เป็น 4.444 m/s ตามลำดับ เป็นต้น สำหรับที่ระดับแรงดันไฟฟ้า 340 Vrms และ 350 Vrms อินเวอร์เตอร์ไม่ทำงานเนื่องจากแรงดันไฟฟ้างดต่ำกว่าแรงดันไฟฟ้าที่อินเวอร์เตอร์ตั้งไว้ทำงาน (Under Voltage) ความเร็วลมของวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ในตารางที่ 4.6 นี้ เมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วลมของวิธีเปิด-ปิด ในตารางที่ 4.5 ขณะเกิดการเปลี่ยนแปลงของแรงดันไฟฟ้าระหว่าง 360 -420 Vrms ความเร็วลมของวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ มีค่าสูงกว่าในวิธีเปิด-ปิด ในทุกๆตำแหน่งในอุโมงค์ลม ทั้งตามแนวแกน X

และ ตามแนวแกน Y เนื่องจากเมื่อขับเคลื่อนมอเตอร์พัลคมด้วยอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ที่ความถี่ 100 % วัดความเร็วรอบได้เท่ากับ 447.33 รอบต่อวินาที ขณะที่ขับเคลื่อนด้วยวิธีเปิด-ปิด วัดความเร็วรอบได้เท่ากับ 430 รอบต่อวินาที ดังนั้นความเร็วรอบในวิธีอินเวอร์เตอร์มากกว่า จึงให้ความเร็วลมมากกว่า

สำหรับการเปลี่ยนแปลงความเร็วลม เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงแรงดันไฟฟ้า พิจารณาออกเป็น 2 กรณี ดังนี้ คือ

(ก.1) กรณีเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงจาก 380 Vrms เหลือ 360 Vrms ความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไปเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X และ Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ คือ 2.84 % และ 6.83 % ตามลำดับแกน สำหรับวิธีเปิด-ปิด ความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไปเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X และ Y คือ 4.47 % และ 5.08 % ตามลำดับแกน วิธีอินเวอร์เตอร์มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมน้อยกว่าวิธีเปิด-ปิด อยู่ 1.63 % ในแนวแกน X แต่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมมากกว่าวิธีเปิด-ปิดอยู่ 1.73 % ในแนวแกน Y

(ก.2) กรณีเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มจาก 380 Vrms เป็น 420 Vrms ความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไปเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X และ Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ คือ 0.73 % และ 5.53 % ตามลำดับแกน สำหรับวิธีเปิด-ปิด ความเร็วลมที่เปลี่ยนแปลงไปเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X และ Y คือ 1.61 % และ 3.43 % ตามลำดับแกน วิธีอินเวอร์เตอร์มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมน้อยกว่าวิธีเปิด-ปิด อยู่ 0.88 % ในแนวแกน X แต่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมมากกว่าวิธีเปิด-ปิดอยู่ 2.1 % ในแนวแกน Y

(ข) : จากตารางที่ 4.7 ผลของความเร็วลมแต่ละจุดในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนพัลคมที่ความถี่ 20 % ผลการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมแต่ละตำแหน่งต่างกัน เมื่อแรงดันไฟฟ้าเปลี่ยนจากระดับ 380 Vrms ซึ่งเป็นระดับแรงดันปกติ คิดความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเป็นเปอร์เซ็นต์ ตามแนวแกน X และ แกน Y ดังนี้

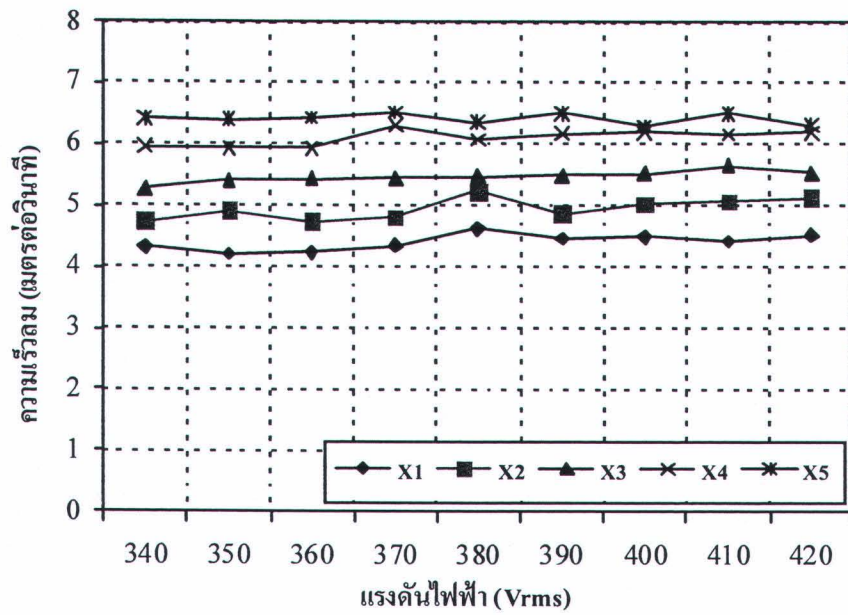
(ข.1) กรณีเมื่อแรงดันไฟฟ้าลดลงจาก 380 Vrms เหลือ 360 Vrms เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในตำแหน่ง X1 X2 X3 X4 และ X5 คือ 17.79 % 1.49 % 6.23 % 2.27 % และ 4.37 % ตามลำดับ และคิดเป็นความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X คือ 6.42 % สำหรับตำแหน่ง Y1 Y2 Y3 Y4 และ Y5 คือ 3.04 % 2.04 % 0.30 % 3.0 % และ 3.40 % ตามลำดับ และคิดเป็นความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน Y คือ 2.36 %

(ข.2) กรณีเมื่อแรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 380 Vrms เป็น 420 Vrms เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมในตำแหน่ง X1 X2 X3 X4 และ X5 คือ 11.04% 0.58% 5.14% 14.24% และ 22.10 % ตามลำดับ และคิดเป็นความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X คือ 10.62 % สำหรับตำแหน่ง Y1 Y2 Y3 Y4 และ Y5 คือ 14.78 % 1.70 % 6.79 % 1.91 % และ 4.45 % ตามลำดับ และคิดเป็นความเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน Y คือ 5.92 %

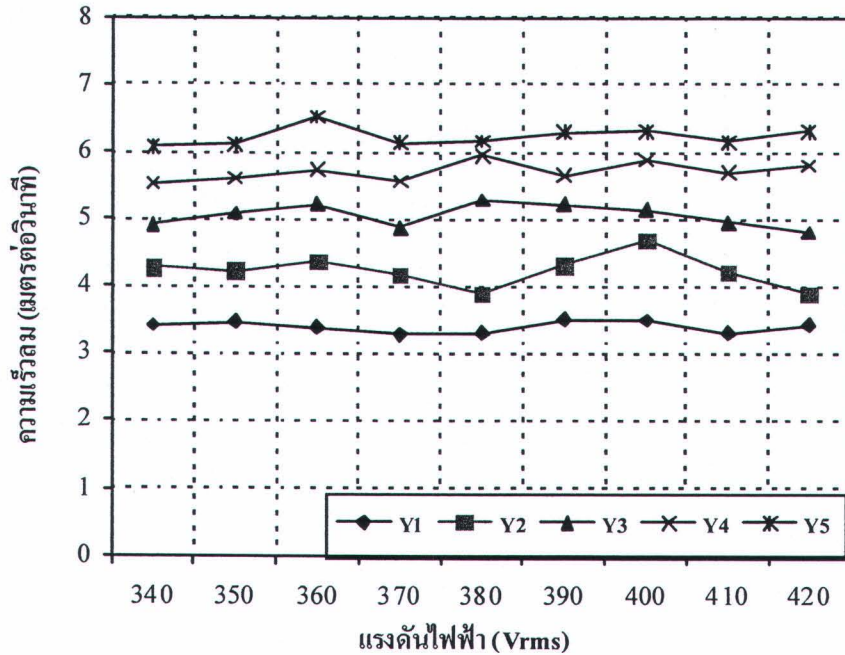
เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนของความเร็วลมขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัฒนาที่ความถี่ 100 % และ 20 % พบว่า ในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าลดลงจาก 380 Vrms เหลือ 360 Vrms ที่ความถี่ 20 % เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X มากกว่าที่ความถี่ 100 % อยู่ 3.58 % แต่การเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X น้อยกว่าที่ความถี่ 100% อยู่ 4.47 % และสำหรับในกรณีที่แรงดันไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจาก 380 Vrms เป็น 420 Vrms ที่ความถี่ 20 % เกิดการเปลี่ยนแปลงความเร็วลมเฉลี่ยทั้ง 5 ตำแหน่งตามแนวแกน X และ Y มากกว่าที่ความถี่ 100 % อยู่ 9.89 % และ 0.39 %

ตารางที่ 4.5 ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้ามอเตอร์พัฒนา ในวิธีเปิด-ปิด

แรงดันไฟฟ้า เข้ามอเตอร์ (V _{L-L})	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลม (m/s)									
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
340	4.332	4.736	5.276	5.968	6.416	3.408	4.272	4.916	5.528	6.076
350	4.208	4.916	5.412	5.948	6.408	3.46	4.212	5.084	5.608	6.116
360	4.232	4.748	5.428	5.932	6.428	3.38	4.368	5.22	5.736	6.527
370	4.340	4.802	5.450	6.316	6.520	3.284	4.168	4.876	5.564	6.128
380	4.628	5.232	5.480	6.084	6.356	3.308	3.888	5.288	5.96	6.164
390	4.470	4.876	5.500	6.184	6.516	3.504	4.312	5.208	5.664	6.296
400	4.500	5.030	5.530	6.200	6.300	3.484	4.680	5.148	5.884	6.312
410	4.42	5.060	5.666	6.160	6.500	3.308	4.200	4.964	5.692	6.152
420	4.53	5.125	5.550	6.200	6.308	3.416	3.884	4.812	5.804	6.300



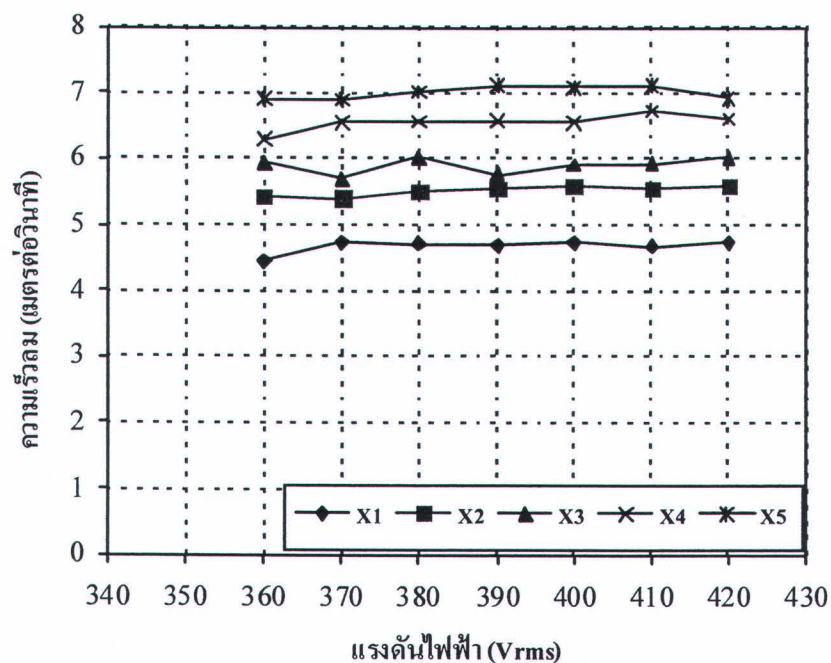
รูปที่ 4.20 แรงดันไฟฟ้าเข้ามอเตอร์พัฒนาและความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีเปิด-ปิด



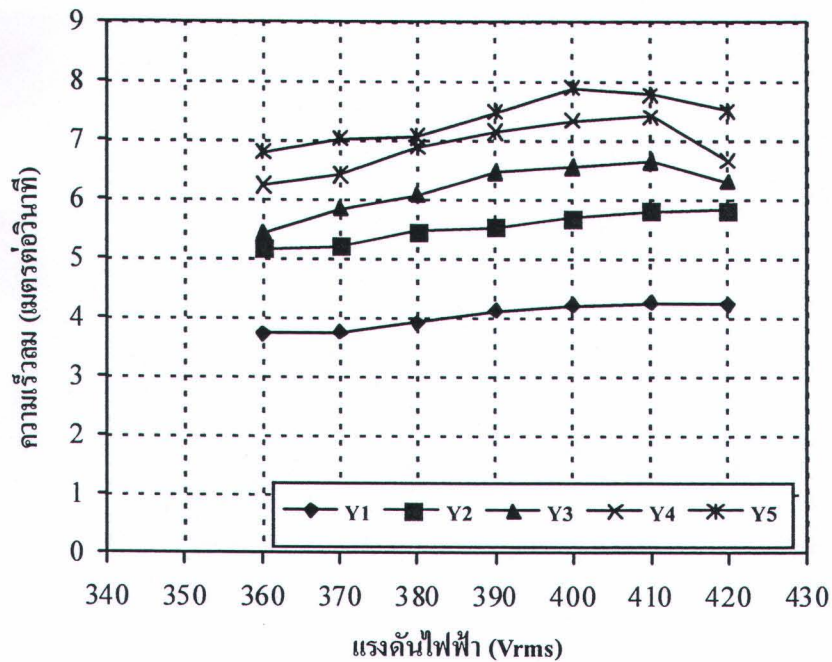
รูปที่ 4.21 แรงดันไฟฟ้าเข้ามอเตอร์พัฒนาและความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีเปิด-ปิด

ตารางที่ 4.6 ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขับมอเตอร์พัดลมที่ความถี่ 100 %

แรงดันไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ (V_{L-L} input)	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลม (m/s)									
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
360	4.444	5.424	5.948	6.296	6.904	3.728	5.164	5.428	6.236	6.792
370	4.728	5.396	5.708	6.544	6.888	3.752	5.212	5.852	6.424	7.024
380	4.712	5.516	6.024	6.564	7.012	3.912	5.46	6.076	6.900	7.06
390	4.68	5.556	5.768	6.58	7.104	4.12	5.510	6.472	7.148	7.480
400	4.732	5.592	5.916	6.556	7.08	4.196	5.688	6.558	7.344	7.900
410	4.664	5.552	5.924	6.728	7.10	4.244	5.796	6.652	7.412	7.780
420	4.724	5.592	6.032	6.608	6.924	4.22	5.820	6.300	6.672	7.500



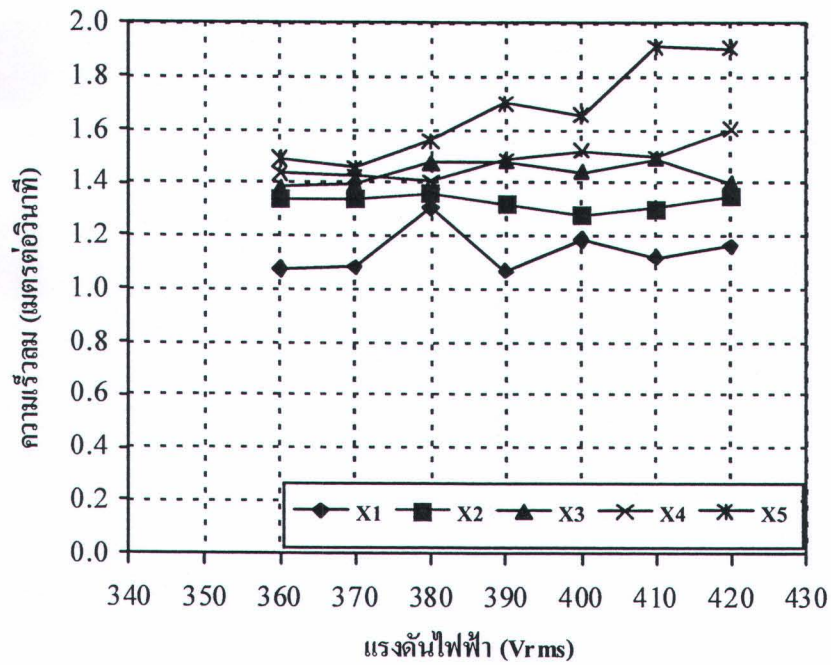
รูปที่ 4.22 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับมอเตอร์พัดลมด้วยความถี่ 100 %



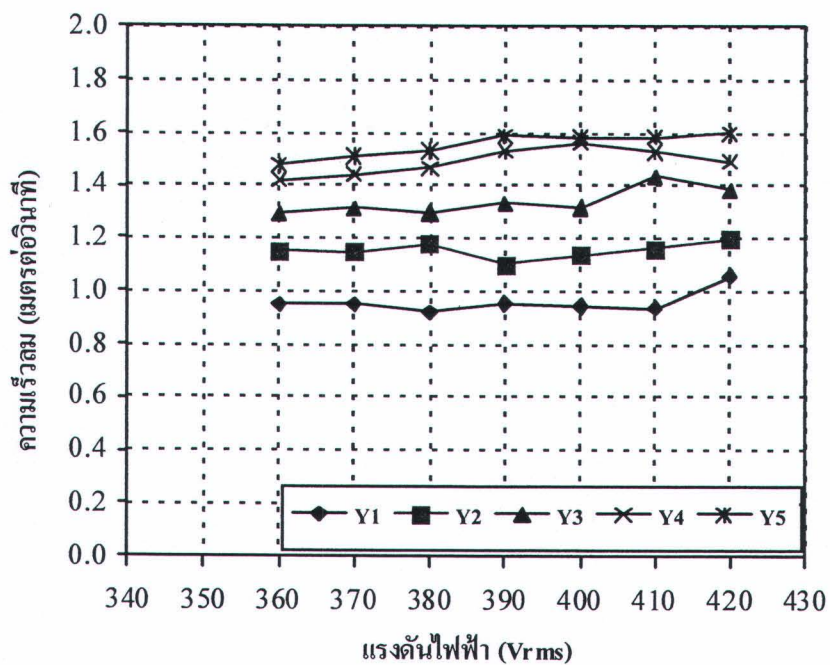
รูปที่ 4.23 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขั้วมอเตอร์พัฒน์ด้วยความถี่ 100 %

ตารางที่ 4.7 ผลของความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแนวแกน X และแกน Y กับแรงดันไฟฟ้าด้านเข้าอินเวอร์เตอร์ ขณะที่อินเวอร์เตอร์ขั้วมอเตอร์พัฒน์ที่ 20 %

แรงดันไฟฟ้า อินเวอร์เตอร์ (V_{L-L})	ความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลม (m/s)									
	X1	X2	X3	X4	X5	Y1	Y2	Y3	Y4	Y5
360	1.072	1.336	1.384	1.436	1.488	0.948	1.152	1.292	1.42	1.476
370	1.08	1.34	1.396	1.424	1.456	0.948	1.148	1.312	1.44	1.508
380	1.304	1.356	1.476	1.404	1.556	0.920	1.176	1.296	1.464	1.528
390	1.060	1.316	1.480	1.484	1.696	0.952	1.100	1.332	1.532	1.588
400	1.184	1.276	1.440	1.520	1.652	0.942	1.136	1.316	1.560	1.580
410	1.116	1.304	1.492	1.496	1.908	0.933	1.160	1.436	1.528	1.580
420	1.160	1.348	1.400	1.604	1.900	1.056	1.196	1.384	1.492	1.596



รูปที่ 4.24 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน X ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยความถี่ 20 %



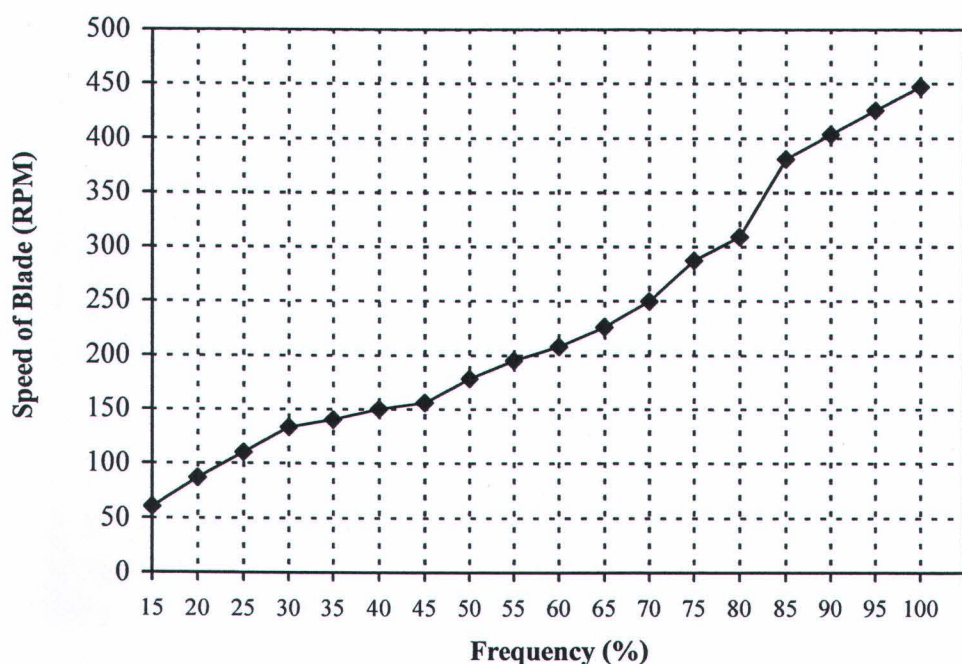
รูปที่ 4.25 แรงดันไฟฟ้าเข้าอินเวอร์เตอร์และความเร็วลมแต่ละตำแหน่งในอุโมงค์ลมตามแกน Y ในวิธีอินเวอร์เตอร์ที่นำเสนอ ขณะที่ขับเคลื่อนมอเตอร์ด้วยความถี่ 20 %

4.4.3 การปรับเปลี่ยนความเร็วรอบพัดลม

การทดลองนี้คือทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วรอบพัดลมกับความถี่ (%) ที่อินเวอร์เตอร์จ่ายให้มอเตอร์พัดลม การทดลองนั้นจะให้อินเวอร์เตอร์จ่ายความถี่ให้มอเตอร์พัดลม ตั้งแต่ 15 ถึง 100 % (7.5 ถึง 50 Hz) โดยห่างกันช่วงละ 5 % แล้วทำการวัดความเร็วรอบพัดลม ที่ใบพัดลม สำหรับอุปกรณ์สำหรับการทดลอง 4.4.3 มีดังนี้

1. แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส 380 V (rms) 50 Hz
2. เครื่องวัดความเร็วรอบพัดลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DT-245P
3. อินเวอร์เตอร์สำหรับควบคุมสภาวะอากาศและการระบายอากาศ
4. มอเตอร์พัดลมขนาด 50 นิ้ว ประเภท 6 ใบพัด
5. อัตราการทดของพูลเลย์ (Pulley) เท่ากับ 1.13 : 3

ลักษณะการติดตั้งใบพัดลม พูลเลย์และสายพาน ของพัดลมที่ใช้ทดสอบ แสดงดังรูปที่ 2.9 (ข) และมีอัตราทดของพูลเลย์เล็กต่อพูลเลย์ใหญ่เท่ากับ 1.13 : 3 ในตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบใบพัดลม (รอบต่อนาที) และความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม และแสดงเป็นกราฟได้ดังรูปที่ 4.26 ความเร็วรอบใบพัดลมแปรเปลี่ยนตามความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์พัดลม เมื่อเพิ่มความถี่กระแสไฟฟ้ามอเตอร์ ความเร็วรอบใบพัดลมก็เพิ่มตาม และความสัมพันธ์ของความเร็วรอบและความถี่ดังกล่าวนี้ เป็นลักษณะใกล้เคียงเส้นตรง และมีส่วนโค้งงอ เนื่องจากความหน่วงของอากาศที่มีแรงต้านกับทิศทางการหมุนของใบพัดลม



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบใบพัดลมกับความถี่ของมอเตอร์

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของความเร็วรอบใบพัดลมและความถี่ที่อินเวอร์เตอร์ขับเคลื่อนมอเตอร์พัดลม

Frequency (%)	Speed of Blade fan (RPM)
15	60.000
20	86.660
25	110.000
30	133.033
35	140.00
40	150.000
45	155.860
50	178.333
55	195.00
60	207.600
65	226.000
70	250.00
75	287.33
80	309.00
85	380.66
90	403.33
95	425.333
100	447.333