

การเปรียบเทียบการควบคุมระบบ VAV ด้วยการใช้ VSD และ Inlet Guide Vane

คุณสุมาลี โฆษิตาพันธ์
Danfoss (THAILAND) Co.,Ltd.

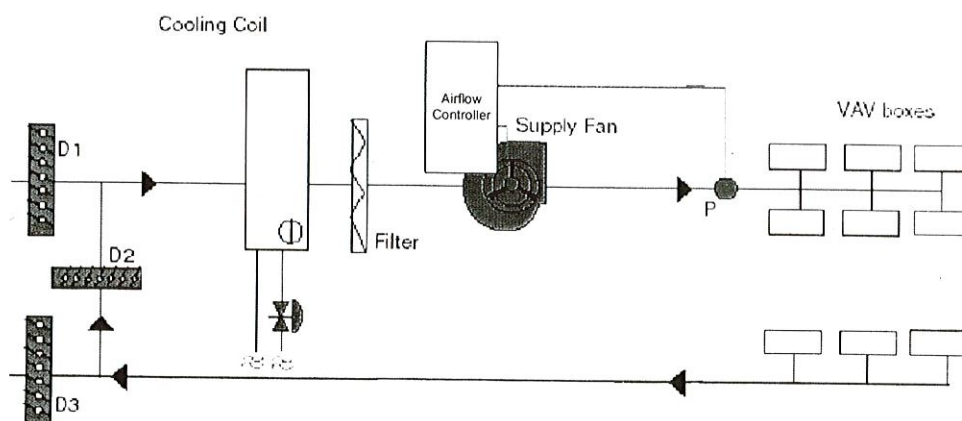
ปัจจุบันนี้ การใช้ Variable Speed Drive (VSD) เป็นที่นิยมแพร่หลายและยอมรับมากขึ้น ด้วยเหตุผลหลายประการ อาทิเช่น

1. VSD มีราคาถูกลงเป็นอย่างมากเมื่อเทียบกับสมัยก่อน
2. กระแสการอนุรักษ์พลังงานกำลังเป็นที่ตื่นตัวกันมากและ VSD ได้รับการยอมรับว่าเป็นอุปกรณ์ที่สามารถประหยัดพลังงานได้สูงอยู่ในลำดับต้นๆ
3. มีความรู้ความเข้าใจกันมากขึ้นในการประยุกต์ใช้ VSD กับอุปกรณ์ต่างๆในระบบปรับอากาศ

บทความนี้ได้รับแรงบันดาลใจมาจากการที่ผู้เขียนไปบรรยายเรื่อง “ การติดตั้งและการควบคุม Variable Speed Drive ที่ถูกต้องและการอนุรักษ์พลังงาน ” เมื่อวันที่ 8 กรกฎาคม 2546 ให้กับสมาคมวิศวกรรมปรับอากาศ ที่โรงงาน KRUGER Ventilation Industry (Thailand) และได้รับความอนุเคราะห์จากคุณชัยเอก สอนโพธิ์ Managing Director ของโรงงาน KRUGER ในการอำนวยความสะดวกอุปกรณ์และสถานที่ เพื่อสาธิตการจำลองการควบคุมระบบ VAV ด้วยการใช้ VSD เปรียบเทียบกับ Inlet Guide Vane

VAV คืออะไร

VAV ย่อมาจากคำว่า Variable Air Volume คือการจ่ายลมในเครื่องส่งลมเย็น (Air handling Unit) แบบเปลี่ยนแปลงปริมาณลมไปตามภาระความเย็น ซึ่งจะทำให้ประหยัดพลังงานได้ที่มีมอเตอร์ของเครื่องจ่ายลมเย็น ในขณะที่ภาระต่ำๆ และเมื่อเทียบกับเครื่องจ่ายลมเย็นที่จ่ายลมแบบ CAV (Constant Air Volume) ซึ่งจ่ายลมแบบคงที่ไม่ว่าภาระจะเปลี่ยนไปอย่างไรก็ตาม ระบบ CAV จะใช้พลังงานที่มีมอเตอร์เครื่องจ่ายลมเย็นค่อนข้างคงที่ด้วยระบบ VAV เครื่องจ่ายลมเย็นจะควบคุมปริมาณลมตามภาระอาคาร โดยการรักษาสตัทิก pressure ที่ท่อลมจ่าย ด้วยการปรับลมในพัดลมจ่าย กล้อง VAV จะจ่ายลมเข้าสู่ห้องปรับอากาศโดยเปลี่ยนแปลงปริมาณลมออก และให้ลมจ่ายออก มีอุณหภูมิคงที่ ส่วนที่ประหยัดมาจากระบบจ่ายลมจากส่วนกลาง ซึ่งจะสามารถออกแบบให้มีขนาดเล็กลงได้ รวมทั้งส่วนประกอบอื่นๆ และระบบการกระจายลม ก็สามารถเล็กลงไปได้ด้วย ขณะเดียวกันสามารถลดการใช้พลังงานที่เครื่องจ่ายลมเย็นส่วนกลางได้



การออกแบบดั้งเดิม

เราควบคุมอุณหภูมิและความชื้นที่เข้าสู่พื้นที่ด้วย Cooling coil ใน AHU และผ่านลมเข้าพื้นที่ด้วยท่อลม กล้อง VAV แต่ละกล้องจะควบคุมปริมาณลมที่เข้าพื้นที่แต่ละ Zone อีกทีหนึ่ง

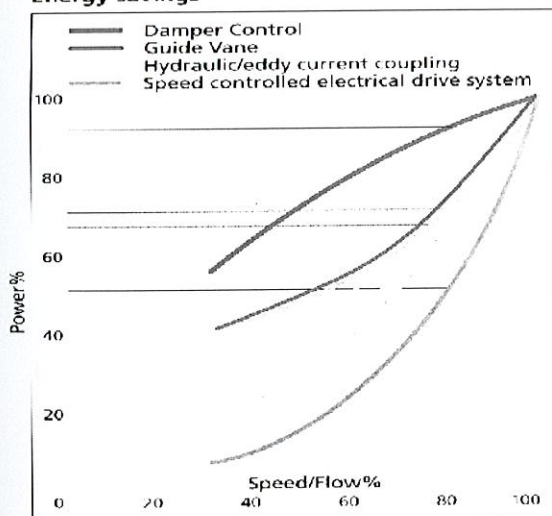
Temperature sensor ที่อยู่ในแต่ละ Zone จะปรับ damper ใน VAV box เพื่อรักษาอุณหภูมิที่ตั้งไว้ และเมื่อสามารถรักษาอุณหภูมิที่ต้องการได้แล้ว VAV box จะปรับตัวหรือผลก็คือ pressure ในท่อลม เริ่มสูงขึ้น ขณะที่ VAV เริ่มปิดตัวลงเพื่อรักษา flow

แนวความคิดดั้งเดิม เราใช้ Inlet dampers หรือ Inlet Guide Vane (IGV) หรือ Discharge Damper ติดตั้งที่เครื่องจ่ายลมเพื่อปรับปริมาณลม อุปกรณ์ทั้งสองอย่างนี้ ทำงานโดยการเพิ่มแรงต้านทานแก่ลมเข้าในระบบท่อลม หรือก็คือการลดประสิทธิภาพของพัดลมนั่นเอง และเมื่อ VAV box ทำงานไปถึงจุดที่เป็น Minimum flow, AHU damper จะหรือลงเพื่อรักษา Duct static pressure โดยที่ damper หรือ IGV นี้จะทำงานจากคำสั่งของชุดควบคุมของ Static pressure

การออกแบบโดยใช้ VSD

ด้วยการใช้ VSD เราสามารถปรับปรุงระบบ และลดความซับซ้อนของการควบคุมลงได้ แทนที่เราจะสร้างแรงต้านทานเทียมแก่ inlet damper หรือลดประสิทธิภาพของพัดลมลงด้วยการใช้ Inlet Guide Vane (IGV) การใช้ VSD เพื่อควบคุมความเร็วรอบของพัดลม สามารถเพิ่มลดปริมาณลมได้ทันทีโดยการเปลี่ยนแปลงความเร็วรอบของมอเตอร์ ทำให้ได้ปริมาณลมที่ถูกต้องตามต้องการ และสร้างแรงดันส่งเพิ่มเติมที่เท่าที่ระบบต้องการ และหากขนาดพัดลมที่เลือกมาใหญ่เกินไป เราจะสามารถปรับแต่งได้ง่ายด้วยวิธีเดียวกัน

Energy savings



หาก VSD ที่ใช้มี PID controller จะยิ่งทำให้ลดความต้องการการใช้ Controller ภายนอก ทำให้ต้นทุนในการ ติดตั้งลดลงไปอีก

หากเราใช้ Discharge damper หรือ Inlet Guide Vane จะทำให้ประสิทธิภาพของพัดลมลดลง แต่เมื่อเราใช้ VSD ประสิทธิภาพของพัดลมจะยังคงที่ เป็นผลให้ประหยัดพลังงานได้สูงยิ่งขึ้นไปอีก และเมื่อพิจารณาตาม Affinity law ที่เคยกล่าวไว้ในเล่มก่อนๆ จะเห็นว่าแม้จะลดลมลงในปริมาณเล็กน้อย แต่จะส่งผลการประหยัดพลังงานมากอย่างเห็นได้ชัด

รูปด้านบนแสดงการใช้พลังงานที่เครื่องจ่ายลมเป็นด้วยรูปแบบของอุปกรณ์ปรับลดลมหลายๆแบบ เส้นล่างสุด (สีเขียว) คือการปรับลมด้วยการใช้ VSD ปรับลมด้วยการเปลี่ยนความเร็วรอบมอเตอร์ ขณะที่เส้นบนสุด (สีแดง) ปรับลมโดยใช้ Outlet Damper กับพัดลมที่ความเร็วรอบคงที่ เส้นกลาง (สีชมพู) ปรับลมโดยใช้ inlet Guide Vane กับพัดลมที่ความเร็วรอบคงที่ ซึ่งจะเห็นว่าอุปกรณ์ที่ประหยัดพลังงานมากที่สุดคือ การใช้ VSD ประหยัดพลังงานได้ใกล้เคียงกับ Affinity Law มากที่สุด

หมายเหตุ Affinity Law กล่าวว่า พลังงานที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลม จะเปลี่ยนแปลงเป็นกำลังสามของปริมาณลมที่จ่าย

ตำแหน่งของ Sensor

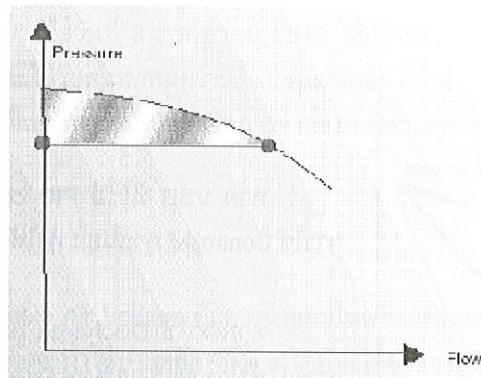
การจะประหยัดพลังงานตามที่กล่าวมา จำเป็นต้องติดตั้ง Sensor ในตำแหน่งที่ถูกต้อง โดยทั่วไปแล้ว เรามักมองข้ามความสำคัญของตำแหน่ง Sensor ไป เพื่อการประหยัดพลังงานสูงสุดแล้ว จำเป็นต้องติดตั้ง Sensor ในตำแหน่งที่ถูกต้องเสมอ

ในระบบ VAV ควรติดตั้ง Sensor ที่ระยะ 2 ใน 3 ของระยะท่อลม ที่ตำแหน่งนี้ ได้ประโยชน์จากแรงต้านทานในท่อลม ลดลง เนื่องจากปริมาณลมลดลง ทำให้ค่า Pressure ที่ขาออกจากพัดลม ลดต่ำลงได้เมื่อภาระต่ำ

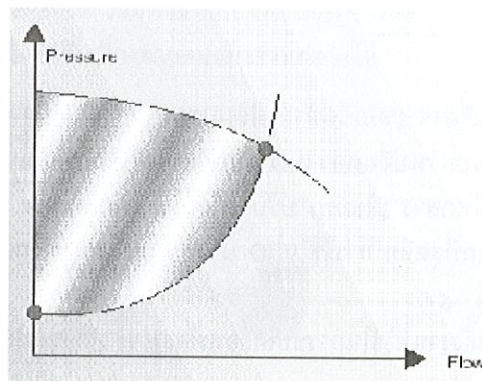
วัตถุประสงค์ของพัดลม คือรักษาระดับ Static Pressure ที่ต่ำที่สุดที่ทางลมเข้า VAV box ซึ่งจะทำให้ VAV box ทำงานได้อย่างถูกต้อง และจ่ายลมได้ราบเรียบในพื้นที่ที่ควบคุมนั้นๆ อย่างไรก็ตาม การคำนวณ Fan Discharge Pressure ต้องเผื่อ Static Pressure ที่เกิดขึ้นจากกล่อง VAV เมื่อทำงานที่ปริมาณลมสูงสุดด้วย ยังควรต้องมีส่วนสำรองเผื่อ (Safety margin) กรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่ไม่ได้คิดไว้ เกิดขึ้นในระหว่างการติดตั้งด้วย

ทางกลับกัน ถ้าวาง Pressure Sensor ไว้ที่ขาออกของพัดลมโดยตรง นั้นหมายถึงว่าเราสมมติให้แรงดันลมในท่อลม เกิดขึ้นที่ปริมาณลมสูงสุด เพื่อเป็นการทำให้แน่ใจว่ามีแรงดันลมก่อนเข้ากล่อง VAV แน่นอน ในการนี้จะทำให้ Setpoint เท่ากับ Design Pressure ที่พัดลม และเมื่อลมลดลง พัดลมจะยังคงสร้าง Pressure สูงอยู่แม้ว่าแรงดันลมในท่อจะลดลงมากแล้ว เนื่องจากลมที่ลดลง ดังนั้น แรงดันที่เข้า VAV box จะสูงมากเกินไปจนความจำเป็น ด้วยวิธีนี้ เป็นการ Over Pressurization ที่ภาระต่ำ แม้ว่าจะสามารถประหยัดพลังงานได้ แต่ไม่สามารถประหยัดพลังงานได้สูงสุดตามที่ควรจะเป็น

แต่เมื่อเราวาง Sensor ไว้ที่ใกล้กล่อง VAV box จะเป็นการชดเชยแรงดันลมในท่อลมตามความจริงที่เกิดขึ้น ผลก็คือ พัดลมจะทำงานเท่าที่จำเป็นเพื่อสร้างแรงดันที่ต้องการที่กล่อง VAV ไม่ว่าปริมาณลมจะเป็นอย่างไร Setpoint ที่ตั้งจะเป็นค่าต่ำสุดที่สอดคล้องกับความต้องการของระบบเท่านั้น เพื่อศักยภาพในการประหยัดพลังงานสูงสุด



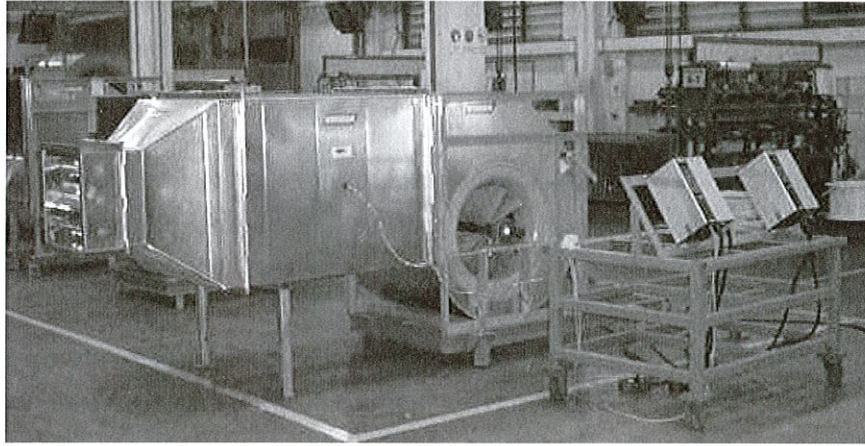
รูปด้านบนแสดงถึงผลของการประหยัดพลังงาน ตามพื้นที่แรเงา ซึ่งเกิดจากการที่วาง Sensor ไว้ที่ขาออกของพัดลม ซึ่ง Setpoint จะอยู่ตำแหน่งสูงสุด ที่ปริมาณลมมากที่สุด เมื่อภาระลดต่ำลง ปริมาณลมลดลง แต่ Setpoint ไม่ได้ลดลงไปด้วย ทำให้การประหยัดพลังงานเกิดขึ้นน้อย



รูปด้านบนนี้ แสดงผลการประหยัดพลังงาน ตามพื้นที่แรเงา ซึ่งเกิดจากการวางตำแหน่ง Sensor ไว้ในตำแหน่งที่ถูกต้อง ซึ่งจะให้ผลการประหยัดพลังงานสูงสุดตามที่กล่าวมาแล้ว

กรณีที่ผู้ผลิตเครื่องจ่ายลมเย็น (OEM) ผู้ติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมปริมาณลมพร้อมกับ AHU อาจจะจัด Pressure Transmitter ไว้ที่ปากทางออกของพัดลม ในการนี้จะทำให้ลดศักยภาพในการประหยัดพลังงานลงไป แต่ก็ยังคงประโยชน์ในการปรับลมได้อยู่ ด้วยวิธีนี้ทำให้เราสามารถปรับแต่งและปรับสมดุลระบบได้ง่ายขึ้น และถ้าเราใช้ VAV ประเภท Pressure Independent ซึ่งจ่ายลมโดยไม่ขึ้นกับแรงดันของระบบ จะยิ่งทำให้การเปลี่ยนแปลงแรงดันที่เข้า VAV ไม่มีผลต่อ VAV

การทดสอบระบบ VAV โดยเปรียบเทียบระหว่าง Inlet Guide Vane และ VSD



อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหลักๆ มีดังนี้

พัดลม / ตัวแทนเครื่องจ่ายลมเย็น

Kruger BDA710 TM CW90 พร้อม Inlet guide vane 900 rpm

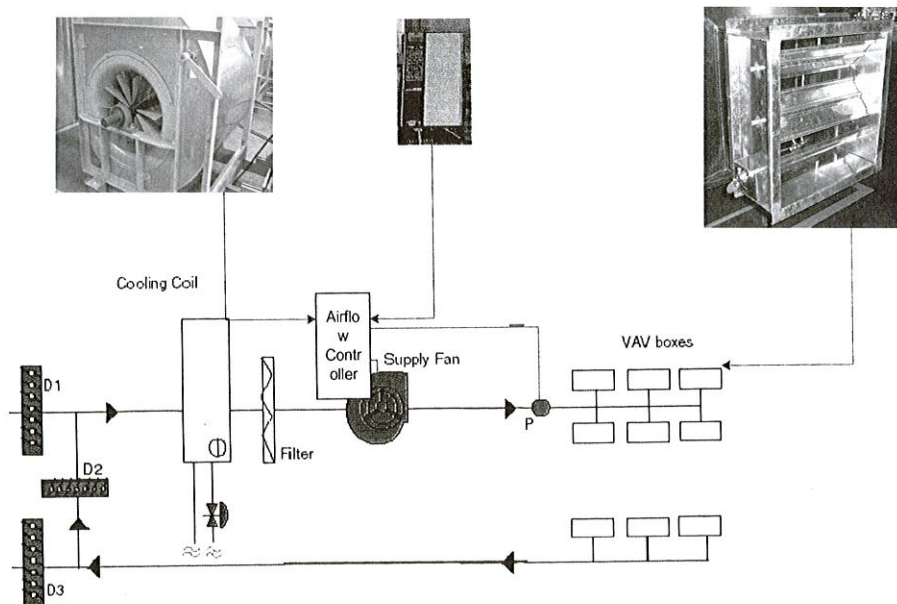
และ มอเตอร์ WE 7.5 kW/4p/380V, 1440 rpm, 15.6 FLA

VSD ใช้กับพัดลมเครื่องเดียวกัน

Danfoss VLT6008 สำหรับมอเตอร์ 5.5 kW / 15.4 A

Sensor

Landis & Staefa QBM62.202, range 250 pa, 500 pa



ภาพแสดง Volume damper จำนวน 1 หัว ที่ใช้แทน กล้อง VAV ทั้งหมดสามารถปรับโดยใช้มือ เพื่อสมมุติแทนภาระจากกล้อง VAV

ภาพแสดงทางเข้าของพัดลมพร้อม Inlet Guide Vane ที่สามารถปรับตำแหน่งได้

ตัวกลางคือ VSD ที่ใช้ควบคุมลมแทน Inlet Guide Vane กรณีที่ควบคุมด้วย Inlet Guide Vane ก็ไม่ต้องใช้ VSD กรณีที่ใช้ VSD ควบคุม เราจะเปิด Inlet Guide Vane เต็มที่ เสมือนว่าไม่มี Inlet Guide Vane อยู่เลย เพื่อเปรียบเทียบการใช้กระแสไฟฟ้าของการควบคุมทั้ง 2 อย่าง

ผลการทดสอบ

ภาพด้านบนแสดงผลของการทดสอบ ที่นำมาเขียนในตารางให้เห็นชัดเจน หากจะสรุปให้เห็นชัดเจน จะได้ตามตารางด้านล่าง

	DAMPER/ VAV (%)	PRES. (Pa)	IGV (°)	HZ	AMP	KW	VOLT
	100%	442	90°	50	10.2	5	380
IVC	75%	430	25°	50	8.7	3.7	380
VSD	75%	430	100%	42.2	7.8	2.8	300
IVC	50%	430	9°	50	8	2.9	380
VSD	50%	430	100%	39.3	6.5	1.8	267

ภาระ load			ข้อมูลทางไฟฟ้า				ควบคุมโดย
ตำแหน่ง การเปิด VAV (%)	Diff press (pa)	IGV (degree)	Motor (HZ)	Current (Amp)	Output voltage (V)	Power consumption (kW)	
1. เปิด VAV และ IGV สุด เพื่อดูลักษณะของ diff pressure และการใช้ไฟฟ้า โดยไม่มีการควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์							
100%	442	90	50	10.2	380	5.0	ไม่มีการควบคุม
2. สมมติว่า VAV มี load เปิดที่ 75% และควบคุม diff pressure ไว้ที่ 430 pa							
75%	430	25	50	8.7	380	3.7	ควบคุมโดยใช้ IGV
75%	430	90	42.2	7.8	300	2.8	ควบคุมโดยใช้ VSD
3. สมมติว่า VAV มี load เปิดที่ 50% และควบคุม diff pressure ไว้ที่ 430 pa							
50%	430	9	50	8	380	2.9	ควบคุมโดยใช้ IGV
50%	430	90	39.3	6.5	267	1.8	ควบคุมโดยใช้ VSD

ผลสรุปในแง่พลังงาน

สภาวะของ load (การ เปิดปิด VAV)	การใช้พลังงาน โดยไม่มีตัว ควบคุม	การใช้พลังงานโดย ใช้ IGV ควบคุม	การใช้พลังงาน โดยใช้ VSD ควบคุม	VSD ใช้ พลังงานน้อย กว่า IGV
เปิด VAV 100%	100%	100%	100%	0%
เปิด VAV 75%	-	100%	75%	25%
เปิด VAV 50%	-	100%	62%	38%

จะเห็นว่าแม้ผลการทดลองเป็นเพียงการทดสอบ แต่การทำงานจริงๆในระบบ VAV คงให้ผลไม่แตกต่างจากนี้มากนัก อย่างไรก็ตาม จากการสังเกตการทำงานจริงของระบบ พบว่า Inlet guide vane ส่วนใหญ่มีอายุการใช้งานสั้น ต้องมีการบำรุงรักษา และตรวจสอบสภาพการใช้งานอย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้ Inlet Guide Vane เป็น Mechanism ที่มีชิ้นส่วนจำนวนมาก และมีโอกาสชำรุดได้ง่าย ผลของการประหยัดพลังงานโดยใช้ IGV ควบคุมจึงมักไม่เป็นไปตามที่ควรจะเป็น ทำให้ VSD ประหยัดพลังงานได้มากขึ้นไปอีกเมื่อเทียบกับ Inlet Guide Vane ที่ชำรุด

การศึกษา VAV ของต่างประเทศ

จากการศึกษาในต่างประเทศ โดย Brothers และ Warren ได้ทำการเปรียบเทียบในอาคารจริงของการใช้พลังงานที่พัฒนา สำหรับอุปกรณ์ปรับลม 3 อย่าง คือ 1) ใช้ Damper ที่พัฒนาด้านขาออก 2) ใช้ Inlet guide vane และ 3) ใช้ VSD ควบคุมมอเตอร์พัดลม โดย Simulate กับอาคารพาณิชย์ ขนาด 10,000 ตารางฟุต ที่มีระบบ VAV โดยใช้การควบคุม 3 แบบดังกล่าว และยังได้ลองกับพัดลม 2 ประเภท คือ Centrifugal และ Vaneaxial แม้ว่าปกติ Vaneaxial จะไม่ได้ใช้กับระบบของเราเท่าไรนัก เพราะอาจทำให้เกิด overload ที่มอเตอร์ได้ มักใช้การปรับโดย Variable-pitch blades แทน แต่การศึกษานี้ไม่พิจารณาถึง Variable-pitch blades ดังกล่าว

การศึกษาวិเคราะห์นี้ได้ใช้ข้อมูลของเมืองต่างๆ 5 เมือง คือ Fresno, CA; Forth Worth, TX; Miami, FL; Phoenix, AZ; และเมือง Washington, DC ได้ผลของการศึกษาตามตารางด้านล่าง ซึ่งจะเห็นว่าไม่ว่าเมืองใดก็ตาม การใช้พัดลมชนิด Centrifugal ใช้พลังงานน้อยกว่า Vaneaxial โดยที่ Vaneaxial อาจมีประสิทธิภาพสูงกว่าที่จุดออกแบบที่ Full Load แต่ที่การทำงานนอกจุดออกแบบ พัดลมชนิด Centrifugal จะมีการทำงานที่ดีกว่าและเป็นผลให้ใช้พลังงานโดยรวมต่ำกว่า

ตารางแสดงการใช้พลังงานโดยการปรับลมรูปแบบต่างๆ

		พลังงานที่ใช้ที่พัดลม (10^3 kWh)				
ชนิดของพัดลม	การปรับลมโดย	เมือง Fresno	เมือง Fort Worth	เมือง Maimi	เมือง Phoenix	เมือง Washington DC
Backward inclined centrifugal	System Damper	12.6	12.9	13.9	17.9	11.5
	Inlet Vane	10.2	10.4	10.1	14.4	9.5
	VSD	4.1	4.5	5.9	5.8	3.3
Vaneaxial	System Damper	16.0	16.2	15.5	22.8	15.0
	Inlet Vane	10.8	11.0	10.9	15.4	10.0

ที่มา : ASHRAE HVAC Application 1995

ในกรณีที่เป็น Centrifugal การปรับลมแบบ Inlet vane จะประหยัดพลังงานกว่า Outlet Damper ประมาณ 20% และเมื่อเทียบกับ Inlet vane แล้ว การใช้ VSD จะประหยัดพลังงานกว่าเฉลี่ย 57%

การทดลองของเรากับการทดลองโดยการ Simulate ในต่างประเทศอาจให้ผลเป็นตัวเลขที่ไม่เท่ากัน

ทั้งนี้อาจเป็นเพราะรูปแบบของระบบ สภาพอากาศ และการใช้งาน อย่างไรก็ตาม ผลที่ได้มีทิศทางเดียวกัน คือ Outlet damper จะใช้พลังงานสูงสุด Inlet Vane ใช้พลังงานน้อยลง และ VSD ประหยัดพลังงานที่สุด

