ศักยภาพการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ของการออกแบบท่อลมชนิด PID ด้วยวิธี Equal Friction และ วิธี Static Regain ในระบบปรับอากาศแบบ CAV

Energy Saving Potential and Economic Return of PID Duct Design by Equal Friction Method and Static Regain Methods Design in CAV Air Conditioning System

ชลทศ ประเทืองสุขพงษ์*
Chonlatos Pratuengsukpong

การไฟฟ้านครหลวง เลขที่ 121 ถนนจักรเพชร แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กทม. 10200
***ผู้ติดต่อ: Chonlatos.pra@gmail.com**
เบอร์โทรศัพท์: 02-220-5870, เบอร์โทรสาร: 02-220-5583

บทคัดย่อ

ในพื้นที่ปรับอากาศขนาดเล็กมักติดตั้งเครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนภายในพื้นที่ปรับอากาศ ส่วนพื้นที่ขนาดใหญ่มักติดตั้งเครื่องปรับอากาศขนาดใหญ่แล้วใช้ท่อลมส่งลมเย็นไปปรับอากาศภายในพื้นที่ หอประชุมกรณีศึกษามีภาระความร้อนที่ใกล้เคียงกันในแต่ละตำแหน่งของพื้นที่ จึงออกแบบระบบปรับอากาศแบบ Constant Air Volume (CAV) โดยติดตั้งเครื่องปรับอากาศไว้ภายนอกอาคารแล้วต่อท่อลมเข้าไปในพื้นที่ปรับอากาศ ซึ่งท่อลมที่ใช้เป็นชนิด Pre Insulation Duct (PID) เนื่องจากมีค่าความเป็นฉนวนสูงและน้ำหนักเบา จึงเหมาะกับอาคารเก่า จากการศึกษาพบว่าหากออกแบบท่อลมด้วยวิธี Static Regain จะใช้พลังงานน้อยกว่าการออกแบบด้วยวิธี Equal Friction 7,359 kWh/yr. สาเหตุเป็นเพราะการออกแบบด้วยวิธี Static Regain ใช้ความดันพัดลมน้อยกว่าการออกแบบด้วยวิธี Equal Friction 121.1 Pa (36.8%) อย่างไรก็ตามการออกแบบด้วยวิธี Static Regain ต้องใช้เงินลงทุนสูงกว่าเนื่องจากใช้พื้นที่ท่อลมมากกว่า ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์จะพบว่า การออกแบบท่อลมด้วยวิธี Static Regain ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุนสำหรับระบบปรับอากาศในหอประชุมแห่งนี้ เนื่องจากให้อัตราผลตอบแทนภายใน 4.6%

Abstract

Spilt-type air-conditioner is normally installed in small place whereas large place usually install large air-conditioner linked with duct to supply air-cooled to the area. Studied auditorium need the same cooling load in every position of the areas. So that designer designs Constant Air Volume (CAV) system by installing outdoor air-conditioner, supplying air-cooled to indoor by Pre Insulation Duct (PID) in consequence of its high thermal resistance and low weight which is suitable for old structure. In this study, if we design duct by using Static Regain method, it will consume energy less than the duct designed by using Equal Friction method in the amount of 7,359 kWh per year because duct designed by Static Regain has lower fan's pressure than the duct designed by Equal Friction 121.1 Pa or approximately 36.8%. However, this method has higher investment cost because it needs to use more duct's area comparatively. In perspective of economic worthiness, we found that if we design duct by using Static Regain method, this project is not worth investment at all as its interval rate of return is 4.6%.

Keywords: Energy saving/ Equal friction method/ Pre insulation duct/ Static regain method

1. บทนำ [1, 2, 3]

ในพื้นที่ปรับอากาศขนาดเล็กมักใช้เครื่องปรับอากาศแบบแยกส่วนติดตั้งภายในพื้นที่ แต่สำหรับพื้นที่ขนาดใหญ่มักใช้ระบบปรับอากาศแบบรวมศูนย์ โดยเครื่องปรับอากาศจะไม่ได้อยู่ในพื้นที่ที่มีการปรับอากาศ แต่จะอยู่แยกออกไป ดังนั้นการจะนำลมเย็นไปปรับอากาศในพื้นที่จำเป็นต้องใช้ท่อลมและหัวจ่ายลมเข้าช่วย หน้าที่หลักของท่อลมคือนำปริมาณลมที่เหมาะสมไปยังหัวจ่ายลมแต่ละหัวภายในพื้นที่หรือห้องต่างๆ การออกแบบท่อลมที่ดีต้องคำนึงถึงองค์ประกอบต่างๆ ได้แก่ ขนาดท่อ (ส่งผลต่อค่าติดตั้ง) ความดันสูญเสียในระบบ(ส่งผลต่อค่าพลังงาน) เสียง(ส่งผลต่อค่าติดตั้งอุปกรณ์ลดเสียง) และความดันลม(ส่งผลต่อค่าปรับสมดุลลม) กล่าวได้ว่าระบบท่อลมนั้นมีความซับซ้อนและมีราคาแพง การออกแบบท่อลมที่ดีจะช่วยลดต้นทุนตลออายุการใช้งาน (10-20 ปี) ทั้งค่าติดตั้ง ค่าพลังงาน และค่าปรับสมดุลลม

วิธีออกแบบท่อลมที่นิยมกันในปัจจุบันมี 3 วิธี ได้แก่ Equal Friction Method, Static Regain Method และ Velocity Reduction Method ซึ่งแต่ละวิธีก็มีข้อดีข้อเสียต่างกันไป โดยในการศึกษาครั้งนี้ผู้เขียนจะเปรียบเทียบผลการประหยัดพลังงานและความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้น เมื่อออกแบบท่อลม(ชนิด PID) ด้วยวิธี Equal Friction และ Static Regain ของหอประชุมแห่งหนึ่งที่ใช้ระบบปรับอากาศแบบ CAV

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 วัสดุท่อลม

วัสดุทำท่อลมสามารถทำจากแผ่นเหล็กอาบสังกะสี (Galvanized Iron Sheet Metal) แผ่นอลูมิเนียม (Aluminium Sheet Metal) หรือ แผ่นเหล็กดำ (Black Sheet) ก็ได้ แต่โดยส่วนใหญ่จะใช้แผ่นเหล็กอาบสังกะสี เพราะสังกะสีที่เคลือบผิวจะป้องกันสนิมโดยไม่ต้องทาสี โดยรูปแบบท่อลม ก็มีทั้งท่อกลม ท่อสี่เหลี่ยม ท่อวงรี และท่อ Flex อ่อน [3]

ปัจจุบันมีท่อลม PID (Pre Insulation Duct) ที่ทำจากวัสดุที่เป็นฉนวนในตัวมีจุดเด่นคือค่าการนำความร้อนที่เทียบเท่าท่อลมสังกะสีหุ้มยางดำ กล่าวได้ว่ามีคุณสมบัติความเป็นฉนวนไม่ต่างกัน นอกจากนี้ยังมีน้ำหนักเบากว่า อย่างไรก็ตามท่อลม PID มีราคาที่สูงกว่าเช่นกัน[4]

2.2 ความดันในท่อลม[3]

การเคลื่อนที่ของลมภายในท่อเกิดจากความแตกต่างของแรงดันแต่ละจุด ความแตกต่างของความดันยิ่งมาก การไหลของลมยิ่งแรง ชนิดของความดันภายในท่อ ประกอบด้วย Static Pressure (Ps), Velocity Pressure (Pv) และ Total Pressure (Pt) มีความสัมพันธ์ดังสมการที่ 1

$$Pt = Ps + Pv \qquad \text{สมการที่ 1}$$

ความดันสูญเสียในท่อลม เกิดจากแรงเสียดทานการไหลระหว่างผิวลมและผิวท่อลมภายใน หากเป็นการสูญเสียเนื่องจากการไหลของลมในท่อตรงเรียกว่า “Friction Loss” หากความดันสูญเสียเนื่องจากการไหลผ่านข้องอ เรียกว่า “Pressure Loss” และหากเป็นการไหลผ่านการเปลี่ยนแปลงขนาดท่อลม เรียกว่า “Dynamic Loss”

2.3 วิธีออกแบบท่อลม

– Velocity Reduction Method[3]

การออกแบบด้วยวิธี Velocity Reduction จะกำหนดความเร็วลมภายในท่อตามต้องการ จึงเป็นการป้องกันเสียงดังเนื่องจากความเร็วลมสูง หลักการคือเมื่อกำหนดความเร็วลมในท่อได้แล้วจะเลือกขนาดท่อลมต่อไป ข้อดีของการออกแบบวิธีนี้คือไม่ซับซ้อน และป้องกันเสียงลมดัง

– Equal Friction Method[3, 5]

การออกแบบด้วยวิธี Equal Friction เป็นที่นิยมใช้อย่างแพร่หลาย วิธีนี้จะกำหนดความดันสูญเสียต่อความยาวท่อคงที่ตลอดทั้งระบบ เมื่อกำหนดความดันสูญเสียได้แล้ว จะหาขนาดท่อที่เหมาะสมกับปริมาณลมภายในท่อ อย่างไรก็ตามการออกแบบด้วยวิธีนี้จะมีความยุ่งยากตอนทำการปรับสมดุลลม ถ้าระบบท่อประกอบด้วยท่อแยกที่มีความยาวไม่เท่ากัน ความดันระหว่างท่อสั้นและท่อยาวจะมีค่าแตกต่างกัน ส่งผลให้มีความจำเป็นต้องใช้ใบปรับลม (Volume Damper) แต่หากท่อแยกมีความยาวเท่ากัน และมีขนาดเท่ากัน ก็ไม่มีความจำเป็นต้องใช้ใบปรับลม

– Static Regain Method[3, 5]

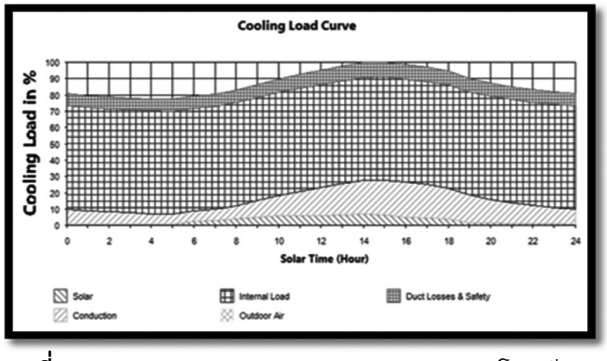
การออกแบบด้วยวิธี Static Regain เป็นการออกแบบให้ Static Pressure คงที่ที่ทุกทางออกของหัวจ่ายลม ข้อดีคือการปรับสมดุลลมจะง่ายมาก ไม่มีความจำเป็นต้องติดตั้งใบปรับลม มีหลักการคือสร้าง Static Pressure เพิ่ม โดยการลด Velocity Pressure ลง ข้อเสียของวิธีนี้คือ มีความซับซ้อนและใช้เวลาในการออกแบบมาก นอกจากนี้การออกแบบด้วยวิธีนี้จะใช้วัสดุผิวท่อลมมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการออกแบบด้วยวิธี Equal Friction

2.4 ตัวอย่างการศึกษา

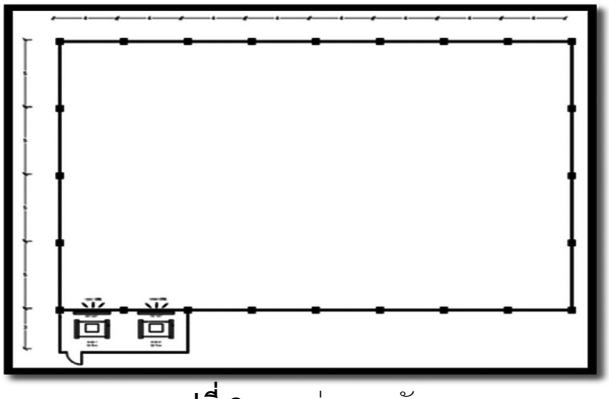
Engr. K.H., Kong[6] ได้เปรียบเทียบการออกแบบท่อลมของระบบปรับอากาศแบบ VAV ด้วยวิธี Equal Friction และ Static Regain ในพื้นที่แห่งหนึ่ง พบว่าการออกแบบด้วยวิธี Equal Friction จะทำให้มี Friction Loss ในระบบสูงกว่าวิธี Static Regain 12.5% และวิธี Equal Friction ยังใช้เวลาในการปรับสมดุลลมที่ยาวนานกว่า แต่วิธี Static Regain สามารถปรับสมดุลลมในระบบด้วยตัวเอง ดังนั้นแม้ว่าจะไม่ปรับลม ปริมาณลมแต่ละหัวจ่ายก็ต่างกันไม่มากนัก กล่าวได้ว่าวิธี Static Regain จะเหมาะสมกับระบบปรับอากาศที่เป็น VAV มาก เนื่องจากในขณะที่ลดปริมาณลมลง ความดันสูญเสียในระบบของท่อลมทุกๆท่อนจะลดลงด้วย ส่งผลให้สามารถลดรอบความเร็วพัดลมได้โดยไม่ทำให้สมดุลลมเสีย ซึ่งทำให้ประหยัดพลังงาน ถึงแม้ว่าต้นทุนการติดตั้งท่อลมแบบ Static Regain จะสูงกว่า Equal Friction แต่ก็ได้ผลประโยชน์จากค่าพลังงานที่ลดลงในระยะยาว

3. วิธีการศึกษา

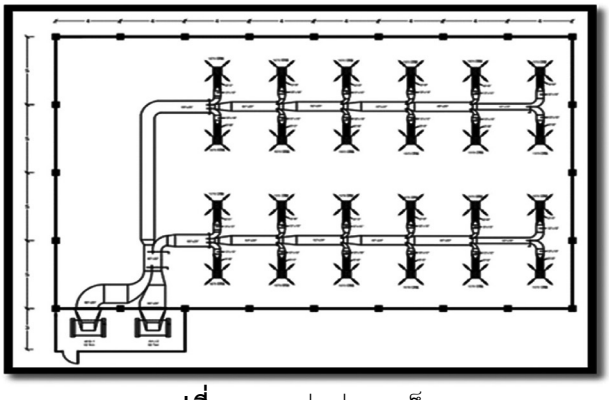
หอประชุมกรณีศึกษามีพื้นที่ทั้งสิ้น 640 ตร.ม. ใช้งานวันละ 7 ชม (2,555 ชม./ปี) โดยใช้งานช่วงเวลากลางวันเป็นหลัก(8.30 น. - 16.30 น. หยุด 12.00 น. — 13.00 น.) ภาระความร้อนส่วนใหญ่มาจากจำนวนคนภายในอาคารจำนวนมาก ส่วนกรอบอาคารถึงแม้ว่าล้อมรอบด้วยกระจกทั้ง 2 ด้าน แต่มี Shading ที่ลึก ส่งผลให้ความร้อนเข้าสู่อาคารไม่มาก ความร้อนแต่ละตำแหน่งในหอประชุมจึงไม่แตกต่างกันนัก การออกแบบด้วยระบบ CAV จึงมีความเหมาะสมมากกว่า VAV เพื่อให้สามารถทำความเย็นได้ตามความต้องการของผู้ใช้อาคาร ผู้ออกแบบได้ออกแบบเครื่องปรับอากาศสำหรับทำความเย็นขนาด 52 ตันความเย็น จำนวน 2 เครื่อง ปริมาณลมเครื่องละ 18,900 cfm (8.92 m^3/s) จ่ายลมให้หัวจ่ายลม 1,575 cfm/หัว จำนวนทั้งสิ้น 24 หัว โดยเลือกใช้ท่อลมชนิด PID เนื่องจากมีค่าความเป็นฉนวนสูง น้ำหนักเบา ติดตั้งได้ง่ายและรวดเร็ว จึงมีความเหมาะสมสำหรับโครงสร้างเก่า สำหรับแนวการเดินท่อลม เป็นดังรูปที่ 2 และ 3 จากนั้นผู้เขียนจะทำการทดสอบออกแบบขนาดท่อลมด้วยวิธี Equal Friction และวิธี Static Regain



รูปที่ 1 Cooling Load Profile ของหอประชุมโรงเรียน



รูปที่ 2 แนวท่อลมกลับ

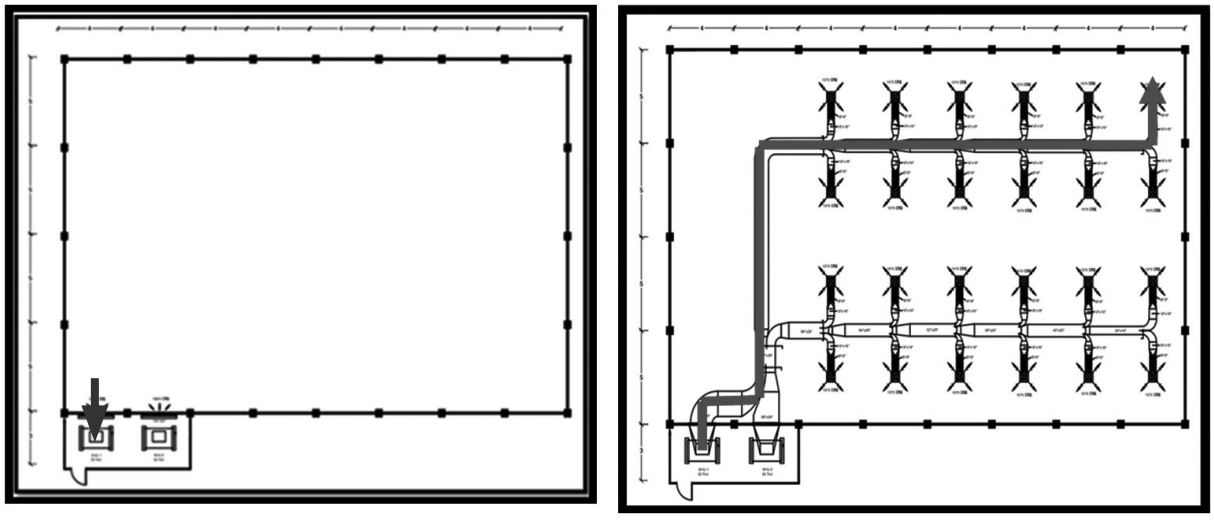


รูปที่ 3 แนวท่อส่งลมเย็น

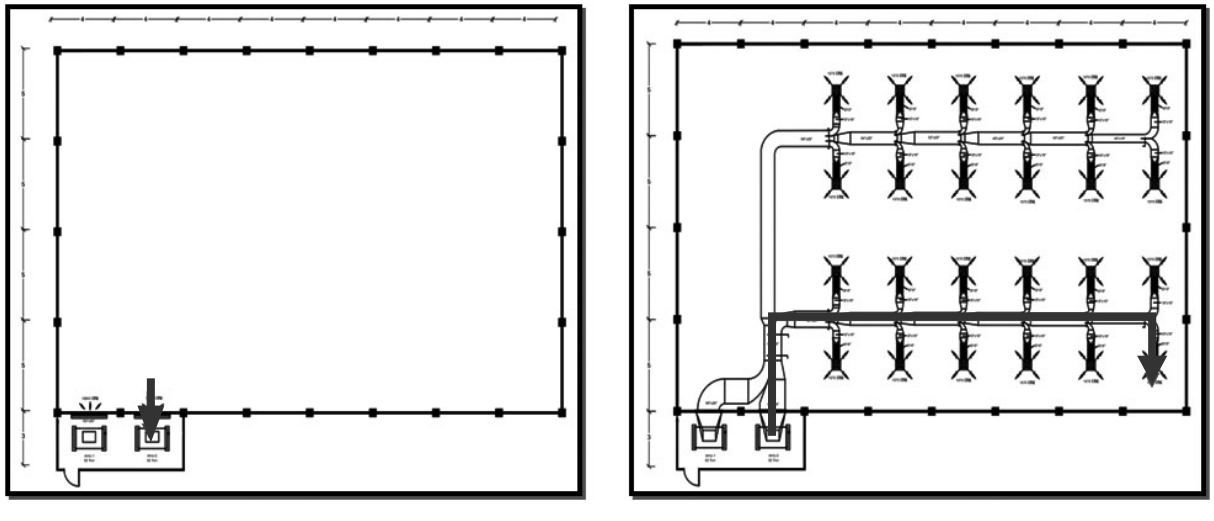
4. ผลการศึกษา

4.1 ออกแบบท่อลมด้วยวิธี Equal Friction

ผู้ออกแบบได้ออกแบบหาขนาดท่อลมด้วยวิธี Equal Friction กำหนดค่าความดันสูญเสียต่อความยาวท่อ 0.1 in.wg/100 ft.wg จะได้ค่าความดันสูญเสียรวมปลายทางเส้นท่อที่ไกลที่สุดเท่ากับ 1.322 in.wg (329.3 Pa) จากนั้นจึงนำค่าความดันสูญเสียรวมดังกล่าวมาคำนวณหา Static Pressure Profile (Ps Profile) แต่ละช่วงท่อ ทั้งเส้นท่อไกล และเส้นท่อใกล้ (ดังตารางที่ 1 และ 2) เมื่อนำ Static Pressure Profile แต่ละช่วงท่อดังกล่าว มาหักค่า Friction Loss ของท่อ Branch หัวจ่ายลม จะได้ค่า Static Pressure (Ps) ของลมที่ออกจากหัวจ่ายแต่ละหัว (ดังตารางที่ 3) ซึ่งจะสังเกตได้ว่า ค่า Static Pressure แต่ละหัวจ่ายไม่เท่ากัน ส่งผลให้การปรับสมดุลลมด้วยใบปรับลมที่แต่ละหัวไม่เท่ากันเช่นกัน โดยหัวจ่ายลมของท่อลมท่อน R เป็นหัวจ่ายที่ไกลที่สุด จึงไม่จำเป็นต้องหรี่ใบปรับลม



รูปที่ 4 แนวท่อลมกลับและท่อส่งลมเย็น (เส้นท่อไกล)



รูปที่ 5 แนวท่อลมกลับและท่อส่งลมเย็น (เส้นท่อใกล้)

ตารางที่ 1 ขนาดท่อลมของเส้นท่อไกล เมื่อออกแบบด้วยวิธี Equal Friction

NO.	Sec	Description	Flow	Size		Ps Profile
			cfm	in	in	in.wg
1		Return Air Grille	18,900	100	50	-0.122
2		Return Duct	18,900	100	50	-0.123
3		AHU Inlet	18,900	66	26	-0.358
4		AHU Outlet	18,900	66	26	0.905
5	A	Straight Duct	18,900	66	26	0.893
6	B	Elbow 90 deg	18,900	66	26	0.853
7	C	Straight Duct	18,900	66	26	0.851
8	D	Elbow 90 deg	18,900	66	26	0.811
9	E	Joint	37,800	90	36	-0.019
10	F	Straight Duct	18,900	66	26	0.645
11	G	Elbow 90 deg	18,900	66	26	0.605
12	H	Straight Duct	18,900	66	26	0.601
13	I	Joint	15,750	64	26	0.048
14	J	Straight Duct	15,750	64	26	0.479
15	K	Joint	12,600	52	26	-0.075
16	L	Straight Duct	12,600	52	26	0.325
17	M	Joint	9,450	46	24	-0.126
18	N	Straight Duct	9,450	46	24	0.209
19	O	Joint	6,300	40	20	-0.177
20	P	Straight Duct	6,300	40	20	0.107
21	Q	Joint	3,150	30	16	-0.140
22	R	Straight Duct	3,150	30	16	0.054
23	S	Elbow 90 deg	1,575	18	16	0.070
24	T	Straight Duct	1,575	18	16	0.068
25	U	Flexible Duct	1,575			0.066
26	V	Supply Air Grille	1,575	22	22	-0.023

ตารางที่ 2 ขนาดท่อลมของเส้นท่อใกล้ เมื่อออกแบบด้วยวิธี Equal Friction

NO.	Sec	Description	Flow	Size		Ps Profile
			cfm	in	in	in.wg
1		Return Air Grille	18,900	100	50	-0.122
2		Return Duct	18,900	100	50	-0.123
3		AHU Inlet	18,900	66	26	-0.358
4		AHU Outlet	18,900	66	26	0.905
5	A1	Straight Duct	18,900	66	26	0.893
6	B1	Straight Duct	18,900	66	26	0.890
7	E	Joint	37,800	90	36	0.060
8	G1	Elbow 90 deg	18,900	66	26	0.715
9	H1	Straight Duct	18,900	66	26	0.710
10	I1	Joint	15,750	64	26	0.158
11	J1	Straight Duct	15,750	64	26	0.588
12	K1	Joint	12,600	52	26	0.034
13	L1	Straight Duct	12,600	52	26	0.434
14	M1	Joint	9,450	46	24	-0.016
15	N1	Straight Duct	9,450	46	24	0.318
16	O1	Joint	6,300	40	20	-0.068
17	P1	Straight Duct	6,300	40	20	0.216
18	Q1	Joint	3,150	30	16	-0.030
19	R1	Straight Duct	3,150	30	16	0.163
20	S1	Elbow 90 deg	1,575	18	16	0.179
21	T1	Straight Duct	1,575	18	16	0.176
22	U1	Flexible Duct	1,575			0.173
23	V1	Supply Air Grille	1,575	22	22	0.085

ตารางที่ 3 ค่า Static Pressure(Ps) ที่แต่ละหัวจ่ายลม เมื่อออกแบบด้วยวิธี Equal Friction

NO.	Sec	Ps Profile	Static Loss at Branch	Ps at SAG	Reduce Pressure (By Volume Damper)
		in.wg	in.wg	in.wg	in.wg
1	H 1	0.710	0.076	0.634	0.66
2	J 1	0.588	0.076	0.512	0.53
3	L 1	0.434	0.076	0.358	0.38
4	N 1	0.318	0.076	0.242	0.26
5	P 1	0.216	0.076	0.140	0.16
6	R 1	0.163	0.076	0.087	0.11
7	H	0.601	0.076	0.524	0.55
8	J	0.479	0.076	0.402	0.42
9	L	0.325	0.076	0.248	0.27
10	N	0.209	0.076	0.133	0.16
11	P	0.107	0.076	0.031	0.05
12	R	0.054	0.076	-0.023	Reference

พลังงานที่ต้องใช้สำหรับพัดลมเมื่อออกแบบท่อลมด้วยวิธี Equal Friction สามารถคำนวณได้ดังนี้

กำลังพัดลม(W)

= ความดัน(Pa) x ปริมาณลม(m^3/s) / Eff

= (329.3 Pa) x (8.92 m^3/s) x (2 เครื่อง) / 0.75

= 7.83 kW

เมื่อพิจารณาถึงขนาดท่อลมที่ต้องใช้จากการออกแบบด้วยวิธีนี้ จะได้ขนาดพื้นที่แผ่น PID สำหรับทำท่อลมทั้งสิ้น 24,816 ตร.ฟุต เมื่อคิดต้นทุนท่อลม PID ที่ 200 บาท/ตร.ฟุต(ตามราคาประมูลจริง) ต้องลงทุนทั้งสิ้น 4,963,200 บาท

4.2 ออกแบบท่อลมด้วยวิธี Static Regain

การออกแบบท่อลมด้วยวิธีนี้จะเน้นให้ Static Pressure(Ps) ของลมที่ออกจากหัวจ่ายแต่ละหัวมีค่าเท่ากัน เพื่อให้การปรับลมเป็นไปได้ง่าย เมื่อออกแบบด้วยวิธีนี้จะได้ความดันสูญเสียรวมเท่ากับ 0.836 in.wg (208.2 Pa) จากนั้นจึงนำค่าความดันสูญเสียรวมดังกล่าวมาคำนวณหาค่า Static Pressure Profile (Ps Profile) แต่ละช่วงท่อ(ดังตารางที่ 4 และ 5) เมื่อนำค่า Static Pressure Profile แต่ละช่วงท่อมาลบค่า Static Loss ของท่อ Branch หัวจ่ายลม จะได้ค่า Static Pressure (Ps) ของลมที่ออกจากหัวจ่ายแต่ละหัว (ดังตารางที่ 6) ซึ่งจะเห็นได้ว่า Static Pressure แต่ละหัวจ่ายมีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นต้องปรับสมดุลลม

ตารางที่ 4 ขนาดท่อลมของเส้นท่อไกล เมื่อออกแบบด้วยวิธี Static Regain

NO.	Sec	Description	Flow	Size		Ps Profile
			cfm	in	in	in.wg
1		Return Air Grille	18,900	100	50	-0.122
2		Return Duct	18,900	100	50	-0.123
3		AHU Inlet	18,900	66	26	-0.358
4		AHU Outlet	18,900	66	26	0.419
5	A	Straight Duct	18,900	66	26	0.407
6	B	Elbow 90 deg	18,900	66	26	0.367
7	C	Straight Duct	18,900	66	26	0.365
8	D	Elbow 90 deg	18,900	66	26	0.325
9	E	Joint	37,800	90	36	-0.505
10	F	Straight Duct	18,900	66	26	0.159
11	G	Elbow 90 deg	18,900	66	26	0.119
12	H	Straight Duct	18,900	66	26	0.115
13	I	Joint	15,750	73	26	-0.152
14	J	Straight Duct	15,750	73	26	0.117
15	K	Joint	12,600	74	30	0.000
16	L	Straight Duct	12,600	74	30	0.120
17	M	Joint	9,450	82	30	0.062
18	N	Straight Duct	9,450	82	30	0.118
19	O	Joint	6,300	74	30	0.086
20	P	Straight Duct	6,300	74	30	0.116
21	Q	Joint	3,150	48	30	0.097
22	R	Straight Duct	3,150	48	30	0.113
23	S	Elbow 90 deg	1,575	18	16	0.073
24	T	Straight Duct	1,575	18	16	0.072
25	U	Flexible Duct	1,575			0.070
26	V	Supply Air Grille	1,575	22	22	-0.023

ตารางที่ 5 ขนาดท่อลมของเส้นท่อใกล้ เมื่อออกแบบด้วยวิธี Static Regain

NO.	Sec	Description	Flow	Size		Ps Profile
			cfm	in	in	in.wg
1		Return Air Grille	18,900	100	50	-0.122
2		Return Duct	18,900	100	50	-0.123
3		AHU Inlet	18,900	66	26	-0.358
4		AHU Outlet	18,900	66	26	0.419
5	A1	Straight Duct	18,900	66	26	0.407
6	B1	Straight Duct	18,900	66	26	0.404
7	E	Joint	37,800	90	36	-0.426
8	G1	Elbow 90 deg	18,900	66	26	0.229
9	H1	Straight Duct	18,900	46	26	0.116
10	I1	Joint	15,750	48	30	-0.307
11	J1	Straight Duct	15,750	48	30	0.111
12	K1	Joint	12,600	60	30	-0.071
13	L1	Straight Duct	12,600	60	30	0.116
14	M1	Joint	9,450	68	30	0.042
15	N1	Straight Duct	9,450	68	30	0.120
16	O1	Joint	6,300	74	30	0.095
17	P1	Straight Duct	6,300	74	30	0.125
18	Q1	Joint	3,150	48	30	0.106
19	R1	Straight Duct	3,150	48	30	0.123
20	S1	Elbow 90 deg	1,575	18	16	0.083
21	T1	Straight Duct	1,575	18	16	0.081
22	U1	Flexible Duct	1,575			0.080
23	V1	Supply Air Grille	1,575	22	22	-0.013

ตารางที่ 6 ค่า Static Pressure(Ps) ที่แต่ละหัวจ่ายลม เมื่อออกแบบด้วยวิธี Static Regain

NO.	Sec	Ps Profile	Static Loss at Branch	Ps at SAG	Reduce Pressure (By Volume Damper)
		in.wg	in.wg	in.wg	in.wg
1	H 1	0.116	0.136	-0.020	0.00
2	J 1	0.111	0.136	-0.025	0.00
3	L 1	0.116	0.136	-0.020	0.00
4	N 1	0.120	0.136	-0.015	0.01
5	P 1	0.125	0.136	-0.011	0.01
6	R 1	0.123	0.136	-0.013	0.01
7	H	0.115	0.136	-0.021	0.00
8	J	0.117	0.136	-0.019	0.00
9	L	0.120	0.136	-0.016	0.01
10	N	0.118	0.136	-0.018	0.00
11	P	0.116	0.136	-0.020	0.00
12	R	0.113	0.136	-0.023	Reference

พลังงานที่ต้องใช้สำหรับพัดลม เมื่อออกแบบด้วยวิธี Static Regain สามารถคำนวณได้ดังนี้

กำลังพัดลม(W)

= ความดัน(Pa) x ปริมาณลม (m^3/s) / Eff

= (208.2 Pa) x (8.92 m^3/s) x (2 เครื่อง) / 0.75

= 4.95 kW

เมื่อพิจารณาถึงขนาดท่อลมที่ต้องใช้จากการออกแบบด้วยวิธีนี้ จะได้ขนาดพื้นที่แผ่น PID สำหรับทำท่อลมทั้งสิ้น 27,660 ตร.ฟุต เมื่อคิดต้นทุนท่อลม PID ที่ 200 บาท/ตร.ฟุต(ตามราคาประมูลจริง) ต้องลงทุนทั้งสิ้น 5,532,000 บาท

4.3 วิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์

กำหนดให้การออกแบบด้วยวิธี Equal Friction เป็นการออกแบบกรณีฐาน (Base Design) แล้วพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดจากการออกแบบด้วยวิธี Static Regain โดยอ้างอิงสมมุติฐานทางการเงิน ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 สมมุติฐานทางการเงิน

ดอกเบี้ยเงินกู้[7]	7 % ต่อปี
อัตราเงินเฟ้อ[8]	4 % ต่อปี
*ดอกเบี้ยโครงการ	11.3 % ต่อปี
ค่าไฟฟ้า ปีที่ 0[9]	3.91 บาท/kWh
อัตราการเพิ่มขึ้นของราคาไฟฟ้า	5 % ต่อปี
อายุท่อลม	20 ปี

*เนื่องจากการคาดการณ์เงินชุดหนึ่งที่ต้องเปลี่ยนแปลงในเวลาใดๆในอนาคต จะต้องกำหนดอัตราดอกเบี้ยและอัตราผลตอบแทนให้อยู่ในช่วงเวลาเดียวกับอัตราเงินเฟ้อ และจะต้องนำอัตราเงินเฟ้อมาปรับค่าอัตราดอกเบี้ยด้วย ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 2

ดอกเบี้ยโครงการ = (1+i)(1+f) - 1 สมการที่ 2

โดยที่ i = อัตราเงินเฟ้อ

f = อัตราดอกเบี้ยเงินกู้

ดอกเบี้ยโครงการ = (1+0.04)(1+0.07) - 1

= 0.113 (11.3%)

โดยตัวแปรทางการเงินที่จะพิจารณาคือ ระยะเวลาคืนทุน และอัตราผลตอบแทนภายใน (Internal Rate of Return, IRR) ผลออกมาแสดงดังตารางที่ 8 ซึ่งจะสังเกตได้ว่า การติดตั้งท่อลม PID จากการออกแบบด้วยวิธี Static Regain ไม่เกิดความคุ้มค่าทางการลงทุน เมื่อเทียบกับการออกแบบด้วยวิธี Equal Friction Method

ตารางที่ 8 สรุปผลการออกแบบท่อลมทั้ง 2 วิธี

รายการ	ออกแบบด้วยวิธี Equal Friction	ออกแบบด้วยวิธี Static Regain
Total Pressure Loss	329.3 Pa	208.2 Pa
Power of Fan	7.83 kW	4.95 kW
Energy Consumption	20,006 kWh/yr	12,647 kWh/yr
Duct's Area	24,816 ตร.ฟุต	27,600 ตร.ฟุต
Capital Cost	4,963,200 บาท	5,532,000 บาท
Simple Payback Period	Base Case	14.1 ปี
Dynamic Payback Period	Base Case	ไม่คืนทุน
IRR	Base Case	4.6 %

5. สรุป

จากผลการออกแบบท่อลมด้วยทั้ง 2 วิธี พบว่าการออกแบบท่อลมด้วยวิธี Static Regain สามารถใช้ความดันพัดลมน้อยกว่าการออกแบบท่อลมด้วยวิธี Equal Friction 121.1 Pa (36.8%) กำลังไฟฟ้าของพัดลมที่ใช้จึงลดลง 2.88 kW (36.8%) ส่งผลให้การใช้พลังงานลดลง 7,359 kWh/yr. อย่างไรก็ตามการออกแบบด้วยวิธี Static Regain ต้องใช้พื้นที่ผิวท่อลมที่มากขึ้น 2,784 ตร.ฟุต (11.2%) จึงส่งผลให้มีการลงทุนแรกเริ่มมากขึ้น 568,800 บาท เมื่อวิเคราะห์ความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ที่เกิดขึ้นโดยกำหนดให้การออกแบบด้วยวิธี Equal Friction เป็นการออกแบบกรณีฐาน จะพบว่าการออกแบบด้วยวิธี Static Regain จะคืนทุนในระยะเวลา 14 ปี หากไม่คิดผลของอัตราดอกเบี้ยโครงการ แต่หากคิดผลกระทบจากอัตราดอกเบี้ยโครงการจะไม่สามารถคืนทุนได้ตลอดอายุโครงการ ส่วนอัตราผลตอบแทนภายในมีค่าเท่ากับ 4.6% ดังนั้นเมื่อพิจารณาความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ของโครงการจากตัวแปรทางการเงินดังกล่าว จึงเลือกการออกแบบท่อลมด้วยวิธี Equal Friction สำหรับติดตั้งในหอประชุมกรณีศึกษาแห่งนี้ ถึงแม้ว่าการติดตั้งท่อลมที่ผ่านการออกแบบด้วยวิธี Static Regain จะให้ Static Pressure ของลมที่ออกจากหัวจ่ายลมใกล้เคียงกันทุกหัว ทำให้การปรับสมดุลลมทำได้ง่าย อย่างไรก็ตามการติดตั้งท่อลมที่ออกแบบด้วยวิธี Equal Friction ก็สามารถปรับสมดุลลมโดยใช้ใบปรับลมได้เช่นกัน

7. เอกสารอ้างอิง

[1] JJW(Bill) Siganto, Murray Mason, Basics of Duct Design, **Skills Workshop,** Vol.22, pp. 15.

[2] Robert W. Besant, P.Eng., Yaw Asiedu (2000), Sizing and Balancing Air Duct Systems, **ASHRAE Journal,** pp. 24.

[3] Mudedla Yamini, Nerusu Kiranmayee (2016), Design and Analysis of an Air Distribution System for a Multi-story Building, **International Journal of Engineering Research-Online,** Vol.4, Issue.6, pp.118-126.

[4] Available online: http://www.wisetair.co.th

[5] Noel de Villiers (2016), A Guide to the Design of an Effective Low-Pressure VAV Air-Distribution System, **Ecolibrium,** Vol. 15.11, pp. 28-35.

[6] Engr. K.H., Kong, Static Balance Duct Sizing Method, **Mechanical Engineering,** pp. 2-4 & 19-24.

[7] Available online: http://www.ktb.co.th [1 April 2017]

[8] Available online: http://www.bot.or.th [1 April 2017]

[9] Available online: http://www.mea.or.th [1 April 2017]