

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์ PC
CPU: AMD AthlonXP3000 64 Bits 2GHz
HDD: 80G (2 Compartments)
RAM: DDR 2 x 1GB/400
การ์ดจอ: VGA 128MB / bit
2. เครื่องพิมพ์ภาพสี HP Deskjet 810C
3. โปรแกรม SolidWorks 2004 และ CosmosFlowworks 2004
4. เครื่องมือวัดลม และอุณหภูมิอากาศ (Anemometer) DIGICON รุ่น DA-43
5. เครื่องมือวัดอุณหภูมิผิวด้วยแสงอินฟราเรด Raytech
6. กล้องถ่ายภาพดิจิทัล
7. ดัลบีเมตร

วิธีการ

การวิจัยด้วยวิธีสร้างแบบจำลองห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าในโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อช่วยในการวิเคราะห์ มีขั้นตอน และวิธีการดังต่อไปนี้

1. ศึกษาข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ได้แก่ ส่วนประกอบของตัวเครื่อง และความร้อนที่เกิดขึ้นจากการทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จากข้อมูลของผู้ผลิต และมาตรฐานสากล

2. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง คือ การถ่ายเทความร้อน กลศาสตร์ของไหล และหลักการคำนวณพลศาสตร์ของไหล
3. ศึกษาปัจจัยแวดล้อม จากความเข้าใจในหลักการตามทฤษฎี นำมาศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับปัจจัยแวดล้อมที่มีผลต่อการวิเคราะห์ เช่น อุณหภูมิอากาศ ความดันบรรยากาศ ขนาดของห้อง ช่องเปิด และความดันลดที่เกิดจากวัสดุดูดซับเสียง และแผงดักทราย
4. ศึกษาการใช้โปรแกรม ทำความเข้าใจหลักการทำงานของโปรแกรม เพื่อให้การใส่ข้อมูล และการกำหนดเงื่อนไขสอดคล้องกับวิธีการคำนวณของโปรแกรม และการนำผลการคำนวณมาใช้ได้อย่างถูกต้อง
5. สร้างแบบจำลองห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า สร้างแบบจำลองโดยใช้โปรแกรม SolidWorks 2004 เป็นรูปทรงสามมิติ ตามห้องต้นแบบ
6. คำนวณผล ใช้โปรแกรม CosmosFloWorks 2004 คำนวณการพาความร้อนภายในห้องที่สภาวะ Steady state จากข้อมูลที่ได้ศึกษาไว้ตามข้อ 1. และ ข้อ 3.
7. ตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูล เนื่องจากห้องต้นแบบอยู่ในระหว่างการออกแบบ ไม่สามารถวัดผลจากตัวอย่างจริงได้ จึงทำการตรวจสอบด้วยการเปรียบเทียบผลจากห้องต้นแบบอื่นซึ่งเป็นห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลักษณะเดียวกันที่สามารถเก็บข้อมูลจากสถานที่จริงได้ เพื่อยืนยันความถูกต้องของการใช้งานโปรแกรม
8. วิเคราะห์ผลการคำนวณ เพื่อดูความเพียงพอของการระบายความร้อน และทดสอบหาวิธีการปรับปรุงระบบตามปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
9. สรุปผลพร้อมเสนอแนวทางการปรับปรุง และข้อเสนอแนะ

สมมติฐาน

1. การถ่ายเทความร้อนภายในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า อาจเกิดการสะสมความร้อนบริเวณโดยรอบตัวเครื่องสูงพอที่จะมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการผลิตกำลังไฟฟ้า เนื่องจากมีช่องเปิดไม่เพียงพอ
2. ความร้อนที่สะสมภายในห้องอาจเป็นอันตรายต่อผู้ปฏิบัติงานข้างภายในห้อง และอาจทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และอุปกรณ์ไฟฟ้าเสียหายหรือทำงานผิดพลาดได้
3. การไหลของลมอาจมีปัญหาด้านความดันลดยิ่งกว่ามาตรฐาน เป็นผลให้เครื่องยนต์ไม่สามารถทำงานต่อเนื่องได้ ซึ่งอาจมีสาเหตุจากขนาดช่องเปิดที่ไม่เพียงพอ และมีวัสดุกั้นขวางทางลม คือ แผงค้ำทราย และแผงลดทอนเสียง

ผลและวิจารณ์

ข้อมูลการวิจัย

ข้อมูลของงานวิจัยการระบายความร้อนในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

1. การตั้งค่าทั่วไป

การตั้งค่าทั่วไปใช้กำหนดรูปแบบการคำนวณของปัญหาการไหล เช่น หน่วย ประเภทการไหล สภาวะอุณหภูมิ ความดัน และความละเอียดในการคำนวณ ดังตารางที่ 4 ตารางที่ 5 และตารางที่ 6 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 ปัจจัยนำเข้ารูปแบบการคำนวณของปัญหาการไหล

หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Units system	SI (m-kg-s)	
Analysis type	Internal	การไหลภายในปริมาตร
Exclude cavities without flow	Off	
Coordinate system	Global Coordinate System	
Reference Axis	X	
Fluid type	Air	
Flow type	Laminar and Turbulent	
High Mach number flow	Off	
Default roughness	0 micrometer	
Default wall conditions	Adiabatic wall	ไม่คิดการถ่ายเทความร้อนผ่านผนัง

ตารางที่ 5 ปัจจัยนำเข้าของสถานะเริ่มต้น (Initial conditions)

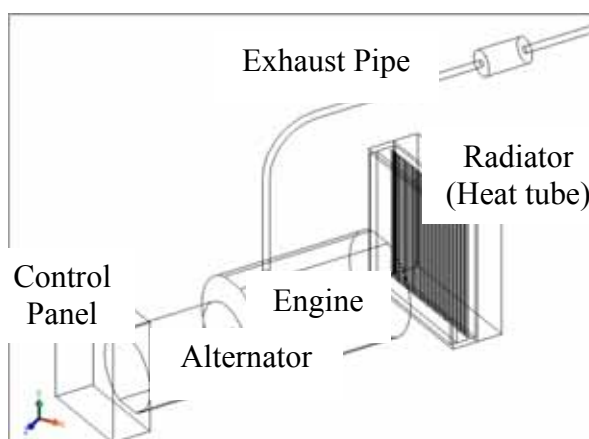
หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Thermodynamic parameters		
Static Pressure	101325 Pa	ความดันบรรยากาศ
Temperature	318.15 K	45 องศาเซลเซียส
Velocity parameters	0 m/s	ใช้ในการหา External flows
Turbulence parameters		
Intensity	2 %	
Length	0.126 m	

ตารางที่ 6 ปัจจัยนำเข้าของความละเอียดในการคำนวณ (Mesh Settings)

หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Initial Mesh Settings		Mesh ของทั้งปริมาตร
Automatic Initial Mesh	On	
Result resolution level	1	
Minimum gap size	0.05 m	
Minimum wall thickness	0.05 m	
Local Mesh Settings		
Small solid refinement level	2	การตั้ง Mesh ที่ช่องเปิดลมเข้า-ออก
Curvature refinement level	0	
Tolerance refinement criterion	0.0125 m	
Cells across a narrow channel	2	
Small solid refinement level	2	การตั้ง Mesh ที่ท่อลม (Duct)
Curvature refinement level	5	
Tolerance refinement criterion	0.0125 m	
Cells across a narrow channel	1	

2. ความร้อนจากแหล่งกำเนิด

ความร้อนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ใ้ค่าในการคำนวณเป็น ฟลักซ์ความร้อนต่อพื้นที่ผิวของแต่ละส่วน โดยแปลงค่าจากอัตราการถ่ายเทความร้อน ดังตารางที่ 7 เนื่องจากโปรแกรมจะคำนวณค่าการถ่ายเทความร้อนจากผิววัตถุสู่อากาศ ในรูปของฟลักซ์ความร้อนเท่านั้น



ภาพที่ 12 ส่วนที่เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

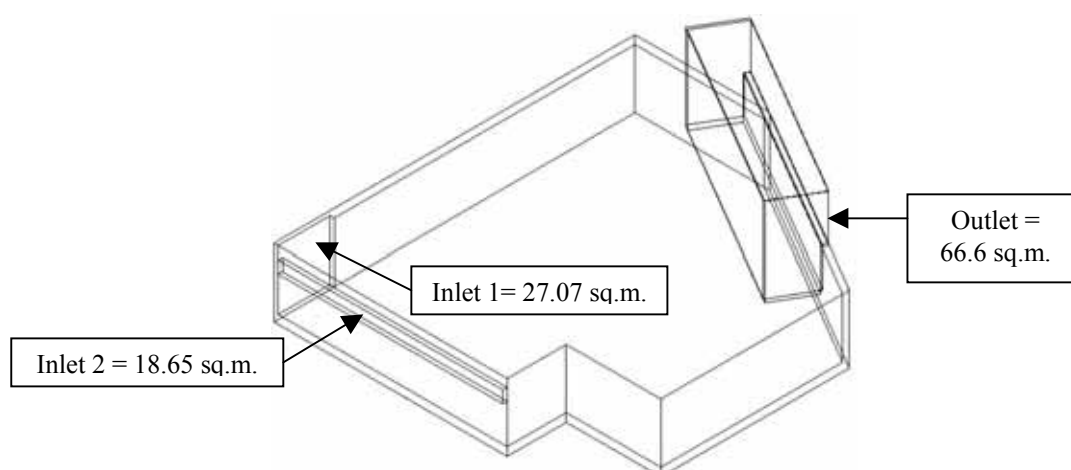
ตารางที่ 7 ฟลักซ์ความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2000 kVA

แหล่งกำเนิดความร้อน	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)	พื้นที่ผิวของแหล่งกำเนิด (m ²)	ฟลักซ์ความร้อน (W/m ²)
การถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศของ Alternator	63.58	7.56	8,410
การถ่ายเทความร้อนสู่บรรยากาศของ Engine	160	15.98	10,013
การถ่ายเทความร้อนสู่ไอเสีย (Exhaust)	1195	-	-
การถ่ายเทความร้อนสู่น้ำหล่อเย็น	460	-	-

ในกรณีศึกษาจะไม่คิดการถ่ายเทความร้อนสู่ไอเสีย และการถ่ายเทความร้อนสู่ น้ำหล่อเย็น เพราะไอเสีย และลมที่ใช้ระบายความร้อนออกจาก Radiator จะถูกเป่าออกสู่ภายนอกห้อง และในการติดตั้งจริงส่วนของท่อไอเสีย และ Radiator จะถูกหุ้มด้วยวัสดุฉนวนกันความร้อนทั้งหมด ทำให้ความร้อนในส่วนดังกล่าวมีผลต่ออุณหภูมิภายในห้องน้อยมาก

3. ข้อมูลด้านการระบายอากาศ

ข้อมูลด้านการระบายอากาศ เกี่ยวข้องกับเงื่อนไขขอบเขตตามที่แสดงในตารางที่ 8 และพัดลมที่ใช้เพิ่มการไหลของอากาศ ซึ่งภายในห้องมีพัดลมที่ติดตั้งมากับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทั้งหมด 4 ตัว ที่มีขนาดเท่ากันและมีข้อมูลแสดงในตารางที่ 9



ภาพที่ 13 ภาพแสดงเงื่อนไขขอบเขตที่เป็นช่องเปิด

ตารางที่ 8 ปัจจัยนำเข้าของเงื่อนไขขอบเขต (Boundary conditions)

หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Pressure Openings	Inlet 1 : Static Pressure	ช่องเปิดด้านลมเข้า
	Inlet 2 : Static Pressure	ช่องเปิดด้านลมเข้า
	Outlet : Static Pressure	ช่องเปิดด้านลมออก

ตารางที่ 9 ปัจจัยนำเข้าของพัดลมแต่ละตัว

หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Type	Internal Fan	
Fan curve	User Defined\AXV1250-6 875PA	ปริมาณลม 26.5 m ³ /s ที่ความดัน 875 Pa
Inlet flow vector direction	Normal to face	
Outlet flow vector direction	Normal to face	

4. วัสดุรูพรุน

รังผึ้ง แฝงดักทราย และแผงลดทอนเสียง เป็นวัสดุที่ขวางกั้นการไหลของอากาศโดยมีอัตราส่วนพื้นที่ที่ยอมให้อากาศผ่านไปได้ต่อส่วนที่บีบเป็นเปอร์เซ็นต์

การใส่ค่าในโปรแกรม ต้องกำหนดวัสดุเป็นรูพรุน (Porous conditions) ดังตัวอย่างของแผงดักทรายที่แสดงในตารางที่ 10

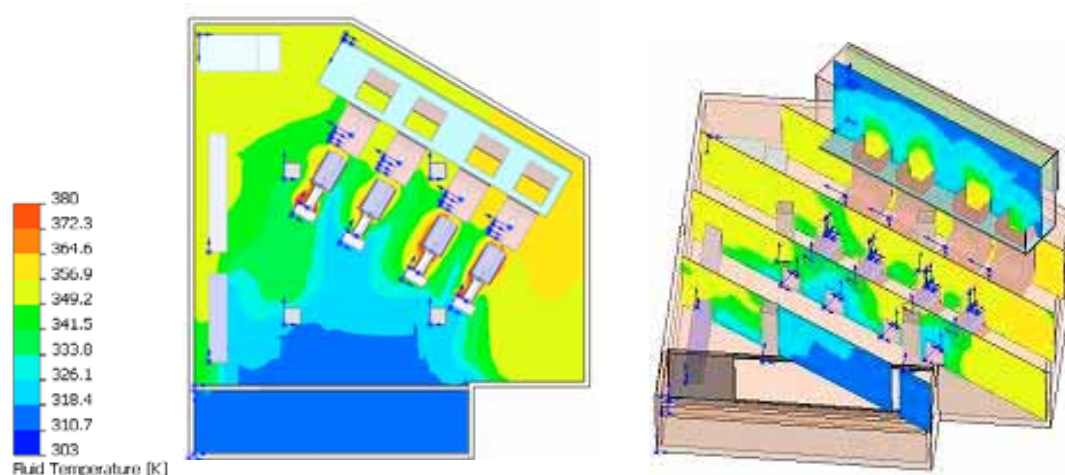
ตารางที่ 10 ปัจจัยนำเข้าของแผงดักทราย

หัวข้อ	ปัจจัยนำเข้า	หมายเหตุ
Component Control Info	Disabled components: Sand trap-1	
Porous medium	SandTrap	
Porosity	0.27	
Permeability type	Isotropic	รูปแบบการไหลอิสระ
Resistance cal. formula	Pressure Drop, flow rate, Dimensions	
Pressure drop vs. Flow rate	Volumn flow rate	
Length	0.1 m	ความหนาวัสดุ
Area	63 m2	

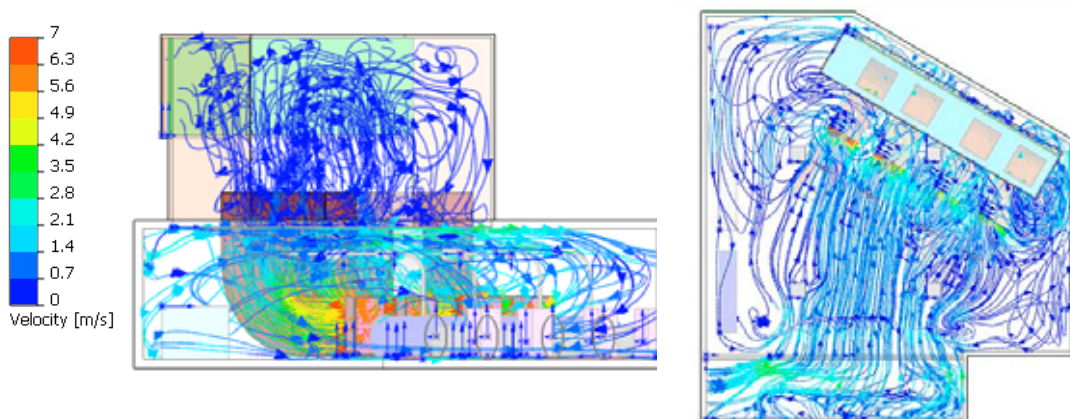
ผลการระบายความร้อนภายในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

ผลของอุณหภูมิแสดงดังภาพที่ 14 การถ่ายเทความร้อนจากเครื่องกำเนิดไฟฟ้าสู่อากาศภายในห้อง มีการสะสมความร้อนที่บริเวณด้านหลังห้อง และบริเวณที่มีการไหลของอากาศต่ำ ไม่อยู่ในแนวการดูดอากาศของพัดลมของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยที่สภาวะ Steady state จากโปรแกรม 340 องศาเซลวิน หรือ 66.85 องศาเซลเซียส ขึ้นมาจากอุณหภูมิห้องที่ 45 องศาเซลเซียส ก่อนที่เครื่องจะทำงาน 21.85 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 14 อุณหภูมิที่สภาวะ Steady state (มุมมองด้านบน +1.20 ม. และ ภาพตัด)



ภาพที่ 15 แสดงการไหลของอากาศ

ผลกระทบต่อผู้ปฏิบัติงาน การทำงานของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ที่เกิดจากอุณหภูมิภายในห้องสูง มีดังนี้

1. ตามประกาศกระทรวงมหาดไทย พ.ศ. 2519 ผู้ที่ปฏิบัติงานในบริเวณที่มีความร้อนสูงกว่า 45 องศาเซลเซียส ต้องสวมชุดป้องกันความร้อน แต่จากผลการคำนวณ นอกจากอุณหภูมิเฉลี่ย 66.85 องศาเซลเซียส โปรแกรมยังแสดงบริเวณที่มีความร้อนสูงกว่าค่าเฉลี่ยดังกล่าวซึ่งเป็นอันตรายต่อผู้ที่เข้าไปปฏิบัติงานภายในห้อง ดังนั้นจึงควรปรับปรุงการระบายอากาศ เพื่อช่วยให้มีการถ่ายเทความร้อนออกจากห้องมากขึ้นกว่าเดิม

2. ทำให้ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าลดลง จากการตรวจเอกสารอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น จาก 50 องศาเซลเซียส ทุก ๆ 10 องศาเซลเซียส จะทำให้ประสิทธิภาพลดลง 11.6%

ดังนั้นจะทำให้ประสิทธิภาพลดลง $((66.85 - 50) \times 11.6) / 10 = 19.55\%$
 เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 2000 kVA จะสามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าได้ $2000 \text{ kVA} \times (1 - 0.1955) = 1609 \text{ kVA}$
 ผลจากประสิทธิภาพการจ่ายกำลังไฟฟ้าลดลง จะกระทบโดยตรงกับโหลดไฟฟ้าฟลักเงินที่ใช้ในการช่วยชีวิต และระบบปรับอากาศในห้องที่ต้องควบคุมอุณหภูมิ เช่น ห้องผ่าตัด ห้องผู้ป่วย โรคติดต่อร้ายแรง ห้องเก็บโลหิต และห้องเย็นต่าง ๆ

3. อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์สำหรับวงจรควบคุมจะทำงานผิดพลาดได้ในภาวะที่มีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 50 องศาเซลเซียส จากภาพที่ 14 จะเห็นว่าแผงจ่ายกำลังไฟฟ้าทางด้านซ้ายของห้อง (GCP.1 และ GCP.2) มีความเสี่ยงที่จะเกิดความเสียหาย เพราะมีอุณหภูมิบริเวณรอบแผงประมาณ 340 ถึง 360 องศาเซลวิน (66.85 ถึง 86.85 องศาเซลเซียส)

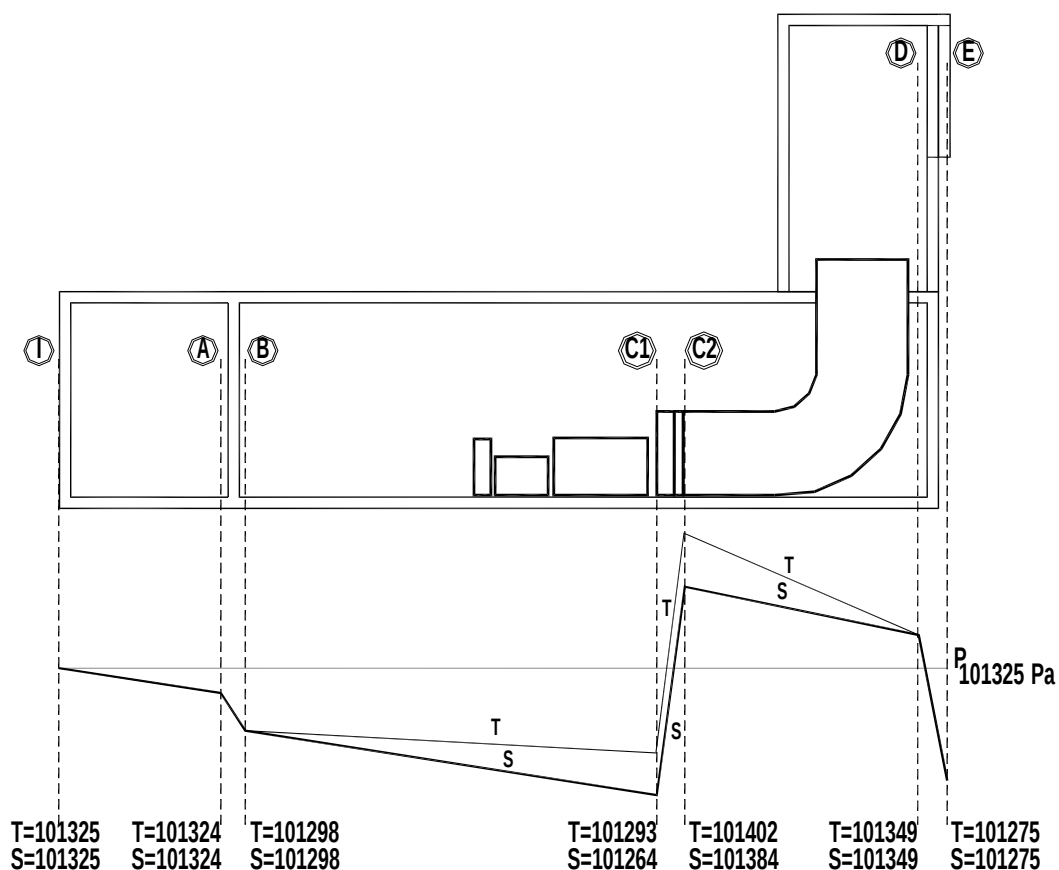
การไหลของอากาศต่อผลของความดันลด

อัตราการไหลของอากาศมีผลกับการถ่ายเทความร้อนในห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้า และมีผลกับความดันลดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า คือ การไหลของอากาศจากด้านเข้า สู่อานออกของ Radiator จะต้องมียค่า Static restriction ไม่เกิน 125 Pa ตามข้อกำหนดของ NFPA 110 เพราะหากความดันลดมีค่าสูง จะทำให้การถ่ายเทความร้อนออกจากตัวเครื่องลดลง มีผลให้เครื่องยนต์มีความร้อนสะสมมากขึ้น และหยุดทำงานที่สภาวะความร้อนสูงเกินปกติได้



ภาพที่ 16 ความดันลดที่เป็นผลจากอัตราการไหล (มุมมองด้านบน +1.20 ม.)

ผลค่าความดันในแต่ละตำแหน่ง จากการคำนวณของโปรแกรมแสดงในภาพที่ 17



A = ด้านหน้าแผงดักทราย

C1 = พัดลมด้านเข้า

B = ด้านหลังแผงลดทอนเสียง

C2 = พัดลมด้านออก

D = หน้าแผงลดทอนเสียงด้านออก

E = ช่องเปิดด้านอากาศออก

I = ช่องเปิดด้านอากาศเข้า

T = Total Pressure

S = Static Pressure

ภาพที่ 17 ความดันลดตามตำแหน่งที่มีอัตราการไหลของอากาศ

หมายเหตุ พื้นที่ช่องเปิดด้านอากาศเข้า 39.72 ตารางเมตร

พื้นที่ช่องเจาะใส่แผงดักทราย และแผงลดทอนเสียง 63 ตารางเมตร

จากภาพที่ 17 สามารถคำนวณหาความดันลด Static Pressure ของระบบได้ดังสมการที่ 20

$$\begin{aligned}
 \Delta P &= (I-A) + (A-B) + (B-C1) + (C2-D) + (D-E) \\
 &= (101325-101324) + (101324-101298) + (101298-101264) + \\
 &\quad (101384-101349) + (101349-101275) \\
 &= 1 + 26 + 34 + 35 + 74 \\
 &= 170 \text{ Pa}
 \end{aligned}
 \tag{20}$$

ผลของความดันลดของระบบ 170 Pa สูงกว่ามาตรฐาน NFPA 110 และสูงกว่าข้อกำหนดทางเทคนิคของเครื่อง คือ 125 Pa ซึ่งเป็นไปตามสมมติฐาน

ดังนั้นการไหลของอากาศจากด้านเข้าสู่ด้านออกจึงน้อยกว่าปกติ ทำให้มีความร้อนสะสมสูง ดังผลการคำนวณอุณหภูมิของโปรแกรมที่แสดงในภาพที่ 14 ซึ่งอาจทำให้เกิดปัญหาเครื่องกำเนิดไฟฟ้าทำงานได้ประสิทธิภาพต่ำ หรือหยุดทำงานที่สภาวะความร้อนสูงเกินพิกัดตามมา

การแก้ไขปัญหความดันลดจะพิจารณาตามส่วนที่มีค่ามาก คือ ปัญหาด้านช่องเปิดอากาศเข้าที่ต้องทำการเพิ่มขนาด และด้านท่อลมออกที่ต้องทำการแก้ไข ซึ่งจะแสดงในหัวข้อต่อไปเรื่องการวิเคราะห์แนวทางการปรับปรุง

วิเคราะห์แนวทางการปรับปรุง

จากการแสดงผลของโปรแกรมที่มีอุณหภูมิภายในห้องสูง และมีความดันลดรวมมากกว่ามาตรฐานกำหนด นำมาวิเคราะห์หาแนวทางการปรับปรุงโดยแบ่งตามประเภทของปัญหาคือ

1. แนวทางปรับปรุงปัญหาการถ่ายเทความร้อน

อุปกรณ์ควบคุมต่างๆ มีข้อกำหนดทางด้านวัสดุที่สอดคล้องกับประเทศที่มีอากาศร้อนให้สามารถทำงานได้เป็นปกติที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ซึ่งจะกำหนดเป็นค่าเป้าหมายของการปรับปรุงปัญหาการถ่ายเทความร้อน ห้องเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีพื้นที่ช่องเปิดจำกัด และตั้งอยู่ชั้นใต้ดิน วิธีปรับปรุงการถ่ายเทความร้อนที่สามารถทำได้ในเบื้องต้นคือ

1.1 กั้นแยกส่วนแผงกระจายกำลังไฟฟ้า และถังเก็บน้ำมันออกจากส่วนของห้องเครื่อง เพื่อป้องกันปัญหาจากอุณหภูมิสูง

1.2 คัดตั้งพัดลมระบายอากาศที่เพดานโดยระบายออกบนระดับดิน การเลือกขนาดและจำนวนของพัดลมให้เพียงพอต่อการระบายความร้อน สามารถคำนวณได้จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อน และอัตราการไหลดังต่อไปนี้

$$Q = \rho q C_p \Delta T \quad (9)$$

โดยที่	Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน (kJ/s)
	ρ	=	ความหนาแน่นของอากาศ (Kg/m ³)
	q	=	อัตราการไหลของอากาศ (m ³ /s)
	C_p	=	ค่าความร้อนจำเพาะ (kJ/kg-K)
	ΔT	=	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (K)

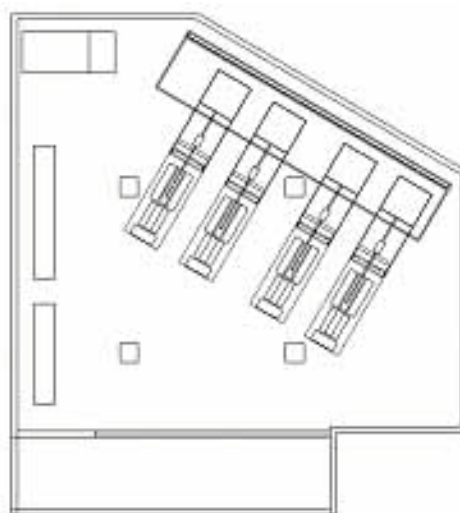
อัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่มีผลกับอุณหภูมิภายในห้อง เกิดจากสองแหล่งรวมกัน คือ Engine + Alternator = 223.58 kW ต่อ 1 เครื่อง และมีค่าเท่ากับ 223.60 kJ/s (1kW = 3412.66 Btu/h, 1Btu = 1.055kJ) ดังการแทนค่าด้านล่างในสมการที่ (9)

Q	=	223.60 kJ/s
ρ	=	1.1 Kg/m ³ (ความหนาแน่นของอากาศที่ 318.15 K)
q	=	อัตราการไหลของอากาศ (m ³ /s)
C_p	=	1.008 kJ/kg-K (ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ 318.15 K)
ΔT	=	5 K (คิดที่ความต้องการอุณหภูมิสูงขึ้นเป็น 323.15 K หรือ 50 C)

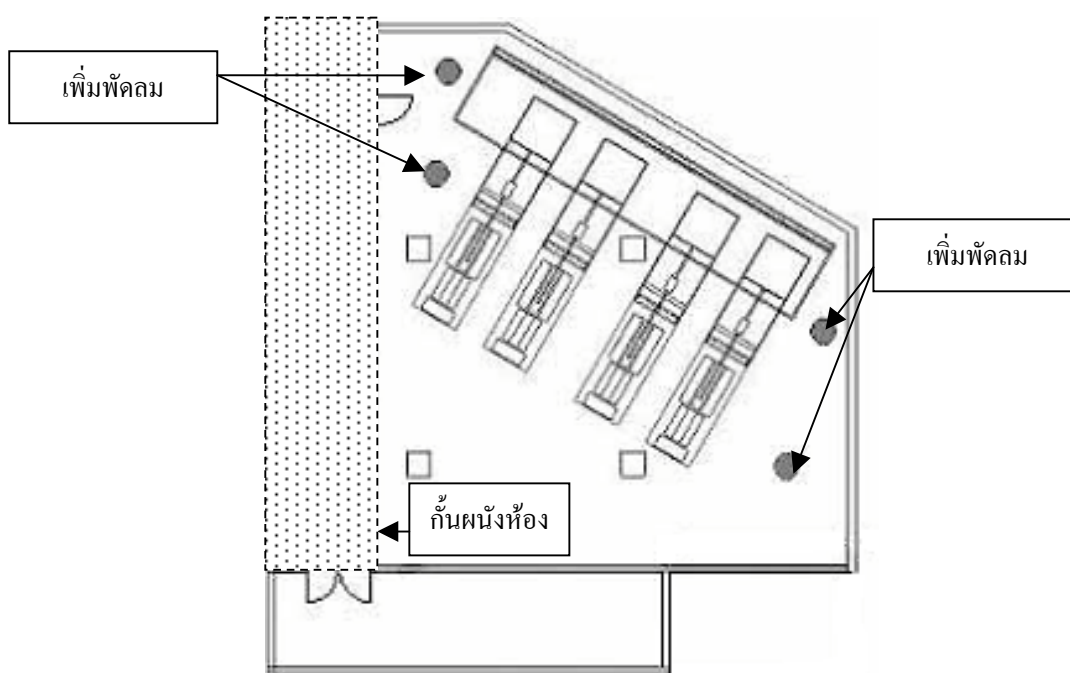
$$q = \frac{223.60}{1.1 \times 1.008 \times 5} = 40.33 \text{ m}^3/\text{s}$$

อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการต่อเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 1 เครื่อง คือ $40.33 \text{ m}^3/\text{s}$
 ดังนั้น เครื่องกำเนิดไฟฟ้า 4 เครื่อง จึงต้องการอัตราการไหลของอากาศรวม $161.32 \text{ m}^3/\text{s}$
 ปัจจุบันเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีพัฒนาระบายอากาศ ตัวละ $26.4 \text{ m}^3/\text{s}$ และจะเพิ่มขนาดเป็น $30 \text{ m}^3/\text{s}$
 จึงต้องคิดพัฒนาระบายอากาศเพิ่ม $161.32 \text{ m}^3/\text{s} - (4 \times 30 \text{ m}^3/\text{s}) = 41.32 \text{ m}^3/\text{s}$

เลือกติดตั้งพัดลมที่ทำงานพร้อมกันด้านละ 2 ตัวในบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ดังภาพที่ 19
 ดังนั้นจะได้ขนาดพัดลมจากการคำนวณตัวละ $10.33 \text{ m}^3/\text{s}$ โดยจะเลือกใช้ขนาด $11 \text{ m}^3/\text{s}$ ตามรุ่น
 มาตรฐานของผู้ผลิตพัดลม



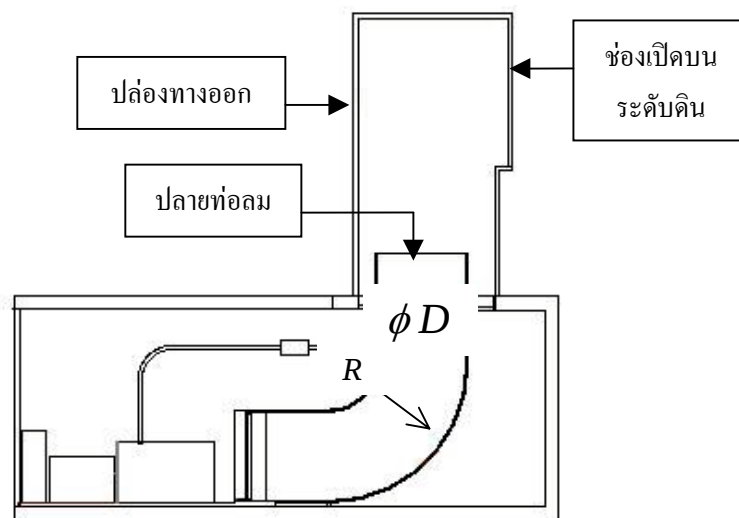
ภาพที่ 18 รูปแบบห้องก่อนปรับปรุง



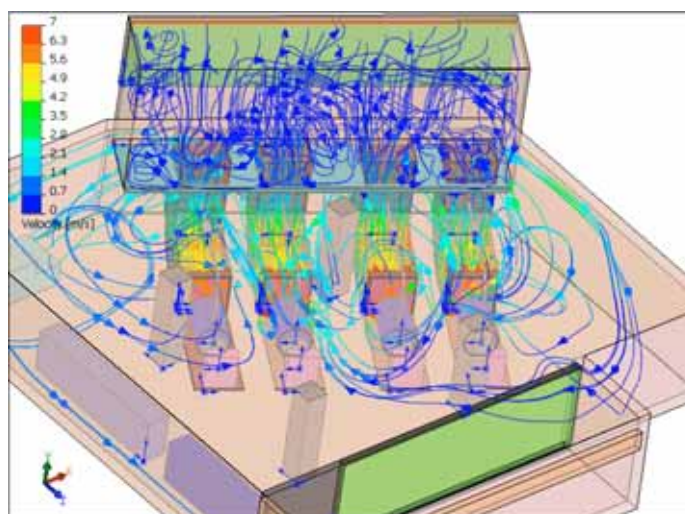
ภาพที่ 19 รูปแบบห้องที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

2. แนวทางปรับปรุงปัญหาความดันลด

ปัญหาความดันลดที่แสดงผลจากโปรแกรมด้านอากาศเข้าได้ทำการขยายช่องเปิดในหัวข้อของการถ่ายเทความร้อน ด้านท่อลมอากาศออกมีสาเหตุมาจากแรงเสียดทานของอากาศที่ผ่านภายในท่อที่มีความโค้ง ($R/D = 1$) และมีความยาวไม่ถึงช่องเปิดอากาศออกบนระดับพื้นดิน ทำให้สูญเสียความเร็วลม และหมุนวนในช่วงปลายปล่องทางออก

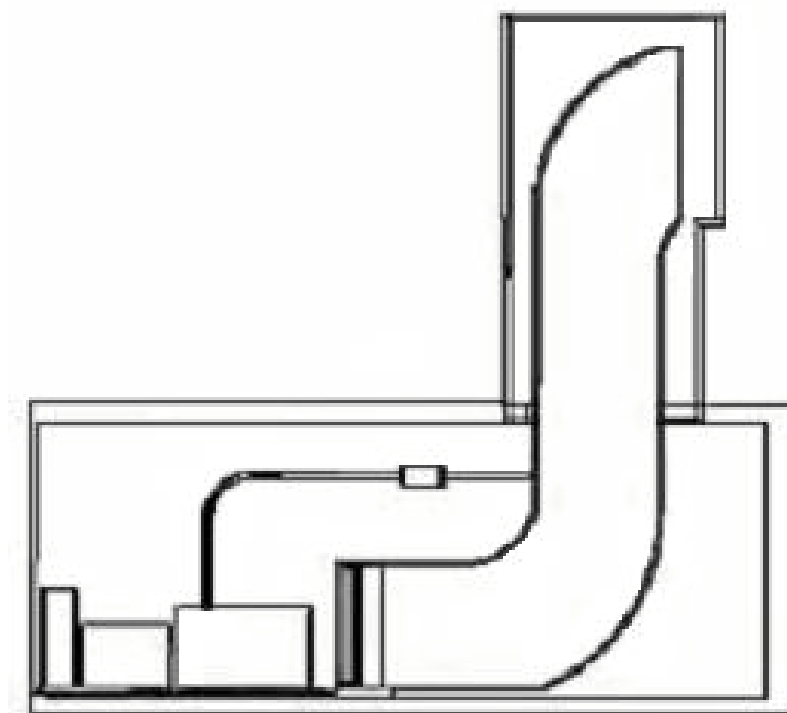


ภาพที่ 20 ท่อลมออกก่อนการปรับปรุง(ขนาด 2.2 ม. x 2.2 ม.)



ภาพที่ 21 กระแสการไหลและความเร็วลมภายในท่อลมก่อนการปรับปรุง

ปรับปรุงท่อลมออกด้วยการเพิ่มความยาวขึ้นไปถึงช่องเปิดบนระดับดินดังแสดง
ในภาพที่ 22



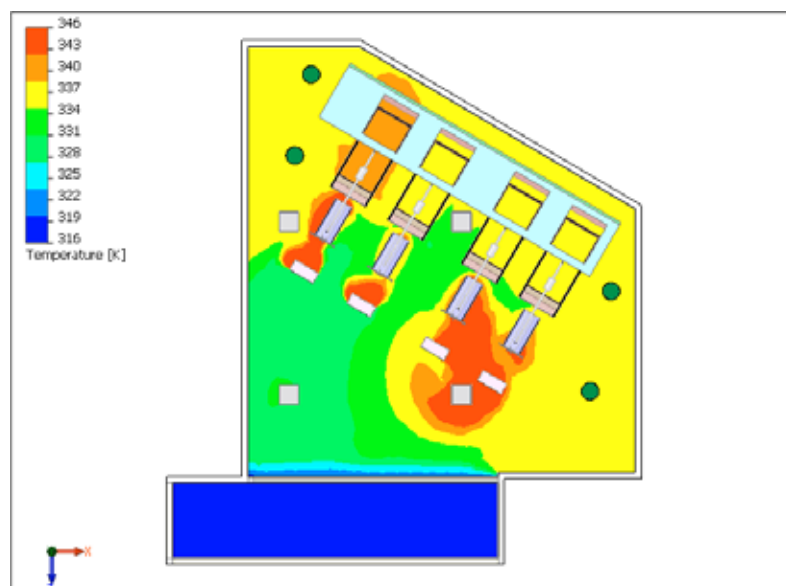
ภาพที่ 22 ท่อลมออกหลังการปรับปรุงครั้งที่ 1 (ขนาด 2.2 ม. x 2.2 ม.)

ผลการปรับปรุง

1. การปรับปรุงครั้งที่ 1 ด้านการถ่ายเทความร้อน และความดันลดของท่อลมออก

ผลการปรับปรุงตามแนวทางที่ได้วิเคราะห์ไว้ในด้านการถ่ายเทความร้อน และความดันลด มีผลดีขึ้น แต่ยังคงเป็นปัญหาอยู่ทั้งสองด้าน คือ อุณหภูมิบริเวณรอบตัวเครื่องลดลงมาที่ 331 ถึง 337 องศาเซลเซียส หรือ 57.85 ถึง 63.85 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 23 และผลความดันลดภายใน ท่อลมออกลดลงจากเดิม 35 Pa เหลือ 21 Pa

ดังนั้นพัดลมระบายอากาศที่ติดตั้งเพิ่ม 4 ตัว ตัวละ $11 \text{ m}^3/\text{s}$ ยังไม่เพียงพอต่อการพา ความร้อนออกไปจากห้องให้ได้ตามเป้าหมาย และการเพิ่มความยาวของท่อลมออกเพียง อย่างเดียวยังไม่สามารถทำให้ผลความดันลดรวมน้อยกว่า 125 Pa ได้



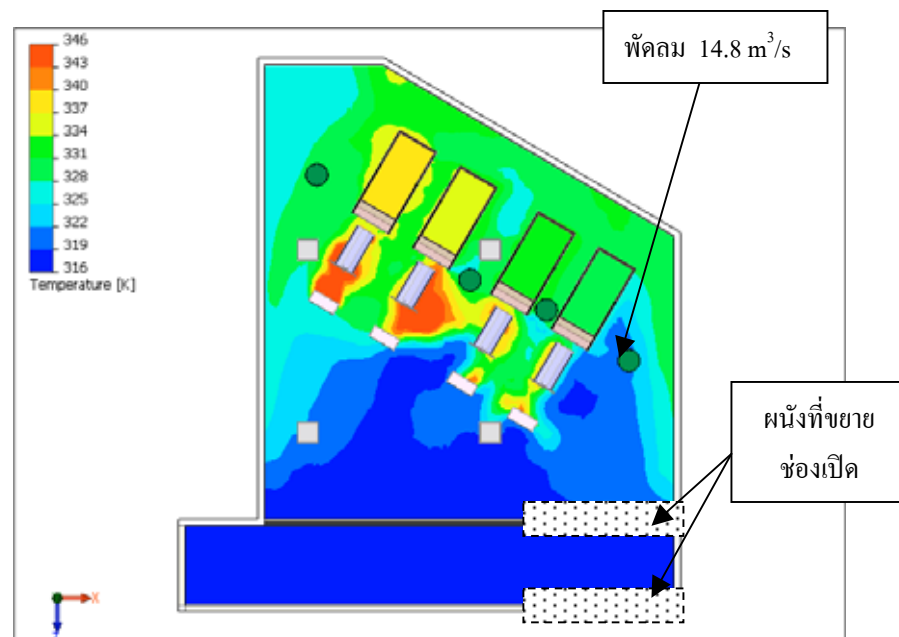
ภาพที่ 23 แสดงอุณหภูมิของการปรับปรุงครั้งที่ 1 (มุมมองด้านบน +1.50 ม.)

2. การปรับปรุงครั้งที่ 2 ด้านการถ่ายเทความร้อน และความดันลดด้านช่องเปิด

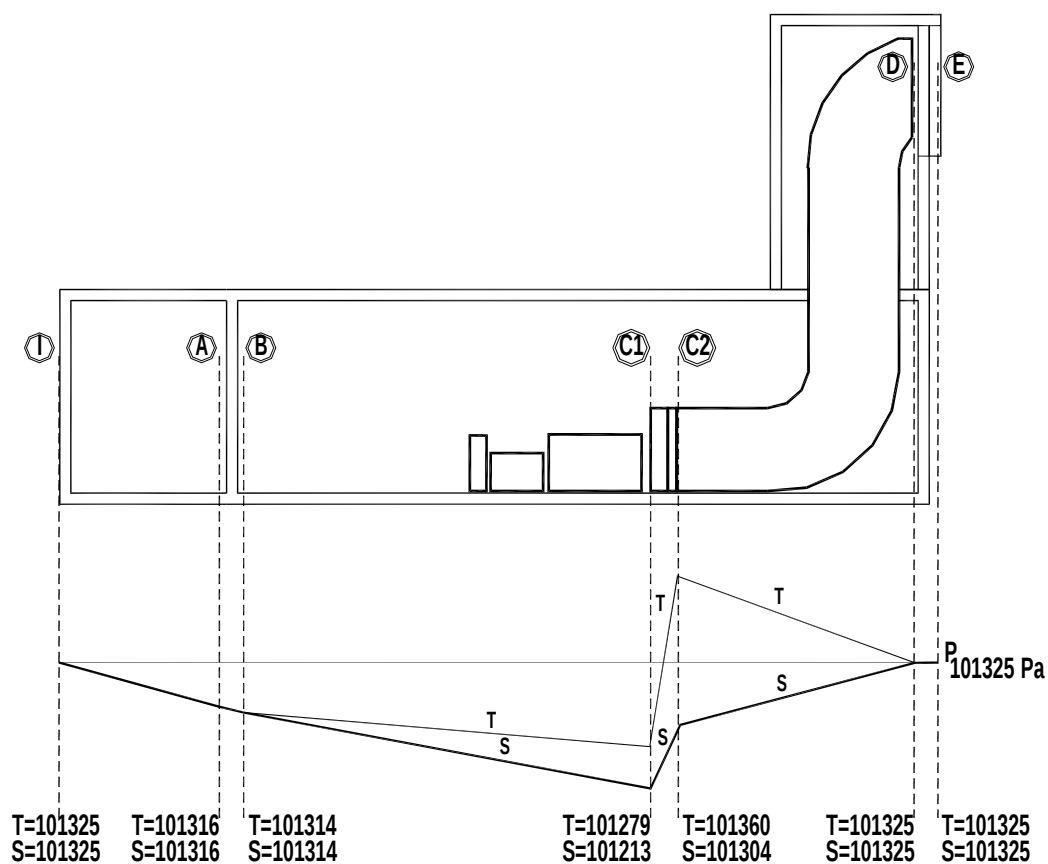
การปรับปรุงเพิ่มเติมมีดังนี้

2.1 เพิ่มพื้นที่ช่องเปิดที่สามารถขยายได้ แสดงตามภาพที่ 24

2.2 ย้ายตำแหน่งพัดลมระบายอากาศ เพื่อให้อยู่ใกล้กับตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ซึ่งเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน และเพิ่มปริมาณลมของพัดลมทุกตัวเป็น $14.8 \text{ m}^3/\text{s}$ ตามรุ่นมาตรฐานของผู้ผลิตพัดลม ได้ผลของอุณหภูมิบริเวณรอบตัวเครื่องลดลงดังภาพที่ 24 ซึ่งจะเห็นว่ายังมีบริเวณที่มีความร้อนสูงระหว่างเครื่องชุดที่ 2 และ 3 อยู่



ภาพที่ 24 แสดงอุณหภูมิของการปรับปรุงครั้งที่ 2 (มุมมองด้านบน +1.5 ม.)



- | | |
|------------------------------|--------------------------|
| A = ด้านหน้าแผงดักทราย | C1 = พัดลมด้านเข้า |
| B = ด้านหลังแผงลดทอนเสียง | C2 = พัดลมด้านออก |
| D = หน้าแผงลดทอนเสียงด้านออก | E = ช่องเปิดด้านอากาศออก |
| I = ช่องเปิดด้านอากาศเข้า | T = Total Pressure |
| S = Static Pressure | |

ภาพที่ 25 แสดงความดันของการปรับปรุงครั้งที่ 2

หมายเหตุ พื้นที่ช่องเปิดด้านอากาศเข้า 47.57 ตารางเมตร

พื้นที่ช่องเจาะใส่แผงดักทราย และแผงลดทอนเสียง 108.78 ตารางเมตร

การปรับปรุงความดันลดจากการเพิ่มพื้นที่ช่องเปิดขึ้นจากเดิม 1.2 เท่า และเพิ่มพื้นที่ช่องเจาะให้มากขึ้น 1.73 เท่า มีผลลดลงอย่างชัดเจนจาก 170 Pa เหลือ 133 Pa

3. การปรับปรุงครั้งที่ 3 ด้านการถ่ายเทความร้อน และความดันลด

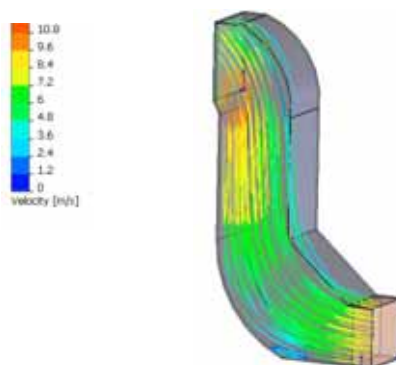
จากผลการปรับปรุงครั้งที่ 2 แสดงให้เห็นว่าการวางพัฒนาระบายอากาศระหว่างตัวเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ช่วยเพิ่มการไหลของอากาศเย็นผ่านตัวเครื่องมากขึ้น และมีผลดีต่อการลดอุณหภูมิ โดยรอบการปรับปรุงในครั้งที่ 3 มีดังนี้

3.1 ทำการติดตั้งพัฒนาระบายอากาศเพิ่ม 1 ตัว ระหว่างเครื่องกำเนิดไฟฟ้าชุดที่ 1 และ 2 จากด้านซ้าย เพื่อเพิ่มการไหลของอากาศบริเวณรอบ ๆ เครื่องดังกล่าว

3.2 การปรับปรุงด้านความดันลดโดยการเพิ่มขนาดท่อลมออกเป็น 2.85 m. x 2.2 m. และเพิ่มปริมาตรช่วงข้ออขึ้นด้วยการตัดส่วนโค้งเป็นแนวตรง ดังภาพที่ 26 ลักษณะการไหลภายหลังการปรับปรุงแสดงดังภาพที่ 27



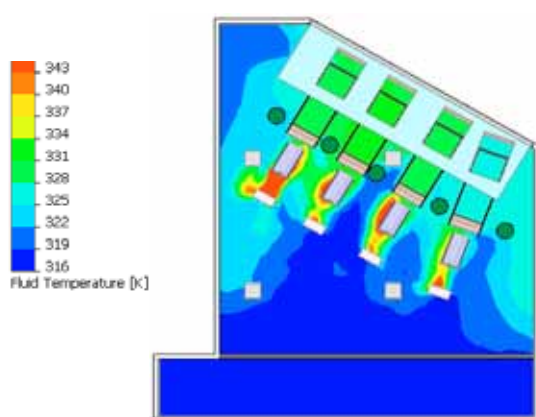
ภาพที่ 26 ท่อลมออกของการปรับปรุงครั้งที่ 3 (ขนาด 2.85 ม. x 2.2 ม.)



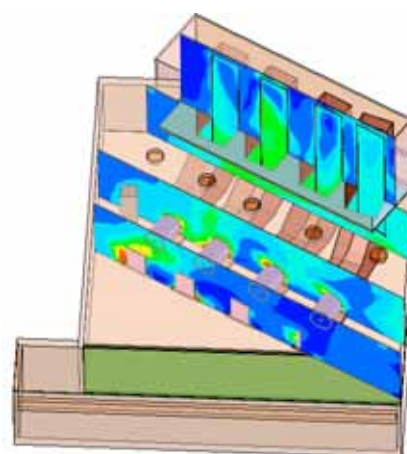
ภาพที่ 27 แสดงการไหลของอากาศในท่อลมออกของการปรับปรุงครั้งที่ 3

3.3 จากปัญหาความดันลดลงของแผงดูดซับเสียงด้านท่อลมออก จึงนำมาวิเคราะห์ความดันลดกรณีที่ไม่ใส่แผงดูดซับเสียง

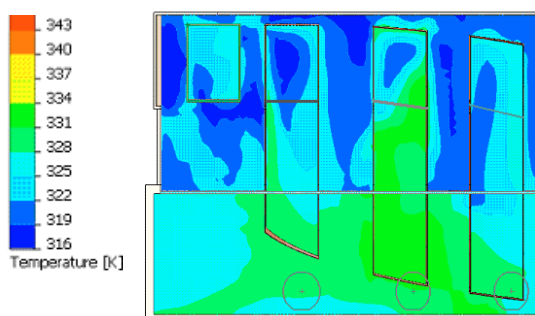
ผลการปรับปรุงอุณหภูมิครั้งที่ 3 มีอุณหภูมิเฉลี่ยภายในห้อง 322.5 องศาเซลวิน หรือ 49.35 องศาเซลเซียส ซึ่งใกล้เคียงกับเป้าหมายที่ต้องการให้อุณหภูมิภายในห้องอยู่ที่ 50 องศาเซลเซียส และมีอุณหภูมิบริเวณรอบๆชุดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 325 ถึง 334 องศาเซลวิน หรือ 51.85 ถึง 60.85 องศาเซลเซียส ดังแสดงในภาพที่ 28



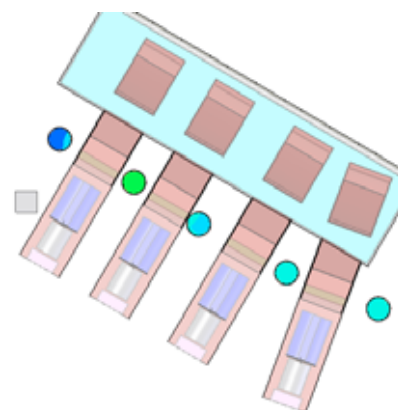
มุมมองด้านบน +1.5 ม.



ภาพตัด



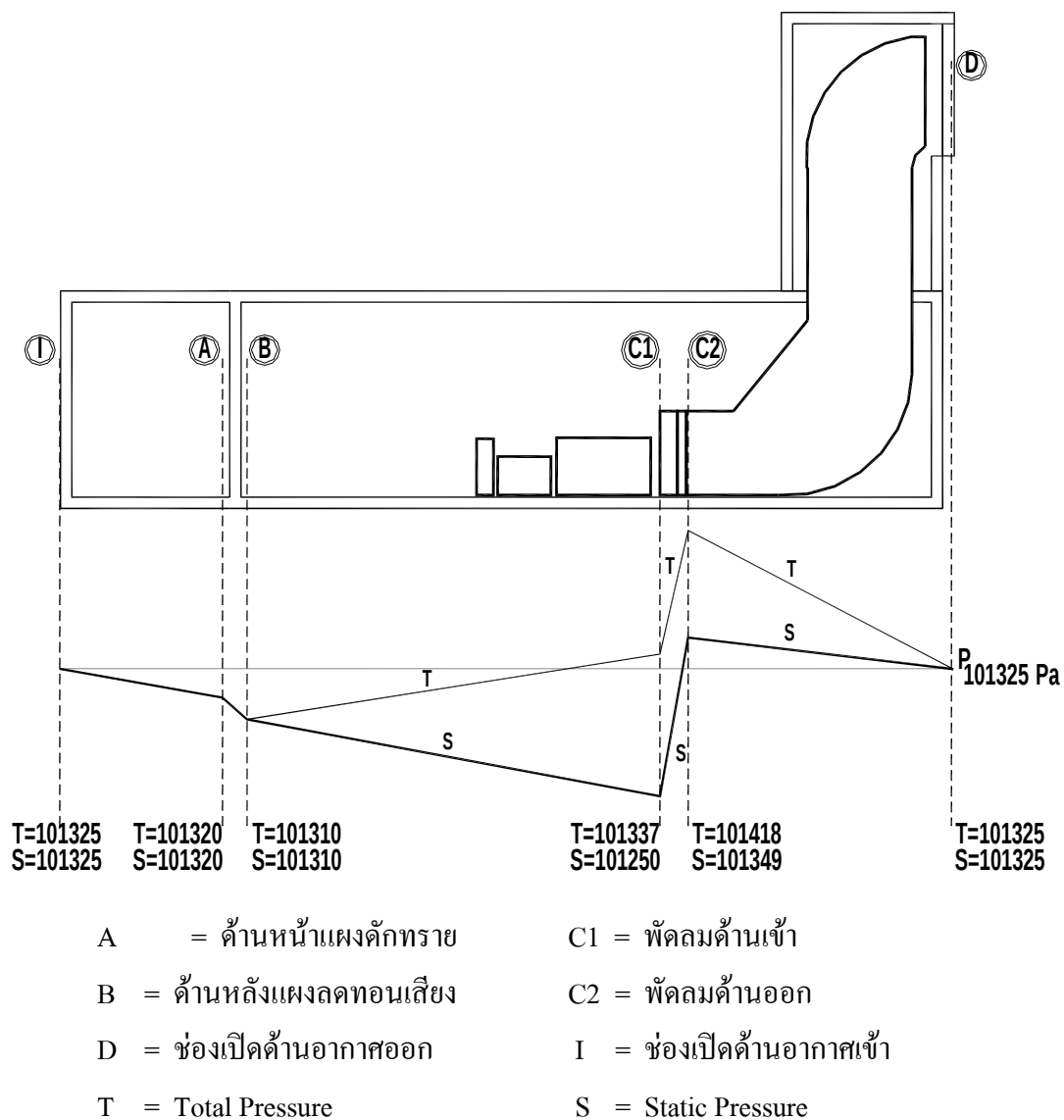
มุมมองด้านหลัง



มุมมองด้านบนเน้นพัดลม

ภาพที่ 28 แสดงอุณหภูมิของการปรับปรุงครั้งที่ 3

การปรับปรุงความดันลมมีผลรวม 99 Pa ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนดของ NFPA 110
 ดังแสดงในภาพที่ 29



ภาพที่ 29 แสดงความดันลมของการปรับปรุงครั้งที่ 3

หมายเหตุ พื้นที่ช่องเปิดด้านอากาศเข้า 47.57 ตารางเมตร

พื้นที่ช่องเจาะใส่แผงคัดทราย และแผงลดทอนเสียง 108.78 ตารางเมตร

การเพิ่มขนาดของท่อลมออก และยกเลิกแผงลดทอนเสียงทำให้สามารถแก้ปัญหาความดันลดได้ตามที่มาตรฐานกำหนด

4. ตรวจสอบผลอัตราการถ่ายเทความร้อน

คำนวณเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนตามข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ากับผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมที่แสดงอุณหภูมิดังภาพที่ 28

4.1 อัตราการถ่ายเทความร้อนตามข้อมูลของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ารวมกัน 4 เครื่อง คือ

$$223.6 \text{ kJ/s} \times 4 = 894.4 \text{ kJ/s}$$

4.2 คำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนจากผลของโปรแกรม โดยใช้สมการที่ (9)

$$Q = \rho q C_p \Delta T \quad (9)$$

โดยที่	Q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของช่องเปิดด้านอากาศออก (kJ/s)
	ρ	=	1.1 Kg/m^3 (ความหนาแน่นของอากาศที่ 318.15 K)
	q	=	อัตราการไหลของอากาศ (m^3/s)
	C_p	=	1.008 kJ/kg-K (ความร้อนจำเพาะของอากาศที่ 318.15 K)
	ΔT	=	อุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลง (K)

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมของช่องเปิดด้านอากาศออก คือ

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6 + Q_7 + Q_8 + Q_9 \quad (21)$$

โดยที่	Q_1	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางท่อลมออกตัวที่ 1
	Q_2	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางท่อลมออกตัวที่ 2
	Q_3	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางท่อลมออกตัวที่ 3

Q_4	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางท่อลมออกตัวที่ 4
Q_5	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางพัดลมดูดอากาศตัวที่ 1
Q_6	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางพัดลมดูดอากาศตัวที่ 2
Q_7	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางพัดลมดูดอากาศตัวที่ 3
Q_8	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางพัดลมดูดอากาศตัวที่ 4
Q_9	=	อัตราการถ่ายเทความร้อนทางพัดลมดูดอากาศตัวที่ 5

ตารางที่ 11 อัตราการถ่ายเทความร้อนที่คำนวณตามสมการที่ 9

	ρ kg/m ³	V m/s	Outlet Area m ²	T ₂ K	T ₁ K	$\rho \times V \times \text{Outlet Area} \times (T_2 - T_1)$ kJ/s
Q1	1.1	5.0	6.27	323	318	172.43
Q2	1.1	5.0	6.27	326	318	275.88
Q3	1.1	5.0	6.27	320	318	68.97
Q4	1.1	5.0	6.27	325	318	241.40
Q5	1.1	3.0	1.13	322	318	14.92
Q6	1.1	2.5	1.13	333	318	46.61
Q7	1.1	1.7	1.13	324	318	12.68
Q8	1.1	3.0	1.13	327	318	33.56
Q9	1.1	1.5	1.13	327	318	16.78
ΣQ						883.22

หมายเหตุ V คือ ความเร็วเฉลี่ยของการไหล, T₁ คือ อุณหภูมิแวดล้อม, T₂ คือ อุณหภูมิเฉลี่ยที่ช่องเปิดด้านลมออก

จากการเปรียบเทียบข้อมูลอัตราการถ่ายเทความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า 894.4 kJ/s กับผลการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม 883.22 kJ/s มีค่าใกล้เคียงกัน แสดงว่าระบบการระบายความร้อนออกจากห้องที่ได้ทำการปรับปรุงแล้วมีความเพียงพอกับความร้อนที่เครื่องกำเนิดไฟฟ้าปล่อยออกมา จึงสามารถควบคุมอุณหภูมิภายในห้องที่ 50 องศาเซลเซียส ได้ตามวัตถุประสงค์

จากการปรับปรุงแต่ละขั้นตอนทำให้ทราบถึงปัจจัยที่มีผลต่อการระบายความร้อนของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่อยู่ชั้นใต้ดินคือ ลักษณะทางกายภาพ ได้แก่ ขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตำแหน่งการจัดวาง ระยะห่างระหว่างเครื่อง ระยะห่างจากช่องเปิด รูปลักษณะของห้อง สิ่งกีดขวางทางลม ขนาดช่องเปิด ความสูงของท่อลมออก และปัจจัยทางด้านสภาวะการไหล ได้แก่ อุณหภูมิแวดล้อม ความเร็ว และปริมาณของการไหล ทิศทางการไหล และความดันของการไหลโดยถือว่าความหนาแน่นของอากาศในช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ คงที่ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงน้อยมากอย่างไม่มีนัยสำคัญ