บทที่ 3
การทดลอง

ในการศึกษานี้ได้มีการสร้างตู้อบลมร้อนโดยการจำลองแบบมาจากตู้อบที่ใช้ในโรงงานผลิตเลนส์แว่นตา โดยตู้อบที่สร้างขึ้นนี้ทำมาจากแผ่นเหล็กบุด้วยฉนวน 5 ด้านยกเว้นที่พื้นตู้ ตู้อบนี้มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เป็น 60 ซ.ม. x 90 ซ.ม. x 87 ซ.ม. ซึ่งคิดเป็น 0.4 เท่าของขนาดจริง สำหรับการศึกษาการกระจายตัวของความร้อนในตู้อบได้แบ่งกลุ่มการทดลองออกเป็น 3 กลุ่มหลักคือ (I) กลุ่มที่มีแหล่งให้ความร้อนหลัก (Major heat source) อยู่ภายในตู้อบ, (II) กลุ่มที่แหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ภายนอกตู้อบ และ (III) กลุ่มที่มีแหล่งให้ความร้อนย่อย (Minor heat source) อยู่ภายในห้องอบ

ทั้งนี้ได้มีการกำหนดการทดลองในสภาวะที่แตกต่างกัน เพื่อศึกษาปัจจัยต่างๆ ที่คาดว่าจะมีผลกระทบต่อการกระจายตัวของความร้อนภายในตู้อบ โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 3-1
แสดงรายละเอียดของการทดลอง

กรณีที่	แหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ภายในตู้อบ	แหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ภายนอกตู้อบ	แหล่งให้ความร้อนย่อยอยู่ภายในตู้อบ	ปริมาณลมร้อน (เมตร^3/วินาที)	จำนวนชั้นภายในตู้	สิ่งกีดขวางบนชั้น
1	●			0.48	0	
2		●		0.48	0	
3		●		0.48	2	
4		●		0.48	4	
5		●		0.48	9	
6		●		0.48	9	●
7			●	-	2	
8		●	●	0.48	2	
9		●	●	0.80	2	
10			●	-	4	
11		●	●	0.48	4	
12		●	●	0.80	4	

จากตารางที่ 3-1 กลุ่มที่มีแหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ภายในตู้อบได้แก่ กรณีที่ 1 ซึ่งเป็นการจำลองแบบตู้อบมาจากตู้อบที่ใช้งานจริงในโรงงานผลิตเลนส์แว่นตา

กลุ่มที่สองซึ่งเป็นกลุ่มที่ได้ทำการย้ายแหล่งให้ความร้อนหลักออกไปอยู่นอกตู้อบ แล้วป้อนเฉพาะลมร้อนเข้าสู่ตู้อบ กลุ่มนี้ประกอบด้วยกรณีที่ 2, 3, 4, 5 และ 6 โดยในแต่ละกรณีจะมีการเปลี่ยนโครงสร้างภายในตู้อบด้วยการเพิ่มแผ่นเหล็กเข้าไปวางขวางในส่วนของห้องอบในลักษณะเดียวกันกับการใช้ถาดเป็นชั้นๆ เพื่อวางชิ้นงานในตู้อบในโรงงานซึ่งจำนวนชั้นเหล่านี้สามารถปรับเปลี่ยนได้ตามความต้องการ การทดลองในกรณีที่ 3, 4, 5 และ 6 ที่มีการเพิ่มจำนวนชั้นขึ้นเป็น 2, 4, 9 และ 9 ชั้นตามลำดับ โดยในกรณีที่ 6 ได้มีการเพิ่มกล่องพลาสติก ซึ่งใช้เป็นตัวแทนของชิ้นงานเข้าไปที่แต่ละชั้น เพื่อศึกษาถึงผลของสิ่งกีดขวาง

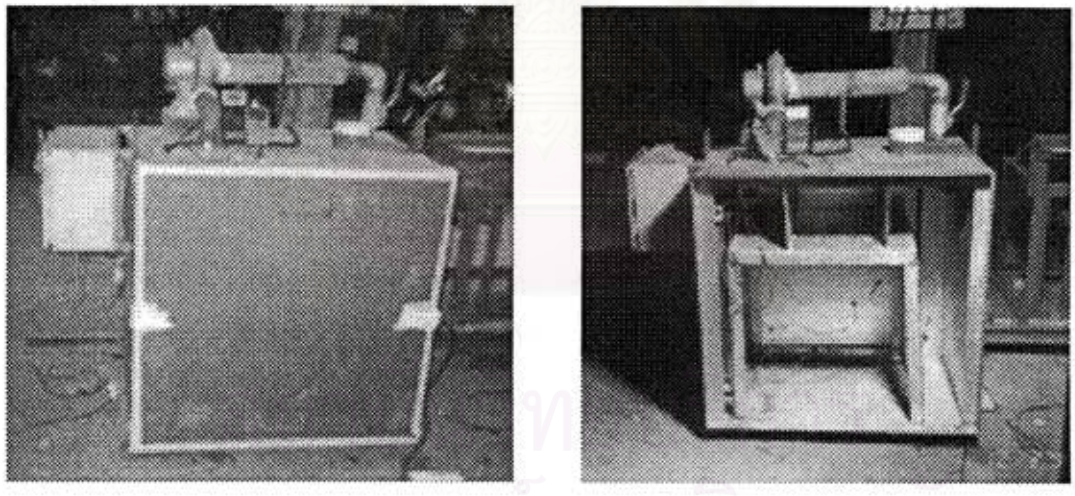
กลุ่มที่สามเป็นกลุ่มที่มีแหล่งให้ความร้อนหลักอยู่ภายนอกตู้อบ และได้เพิ่มแหล่งให้ความร้อนย่อยไว้ภายในห้องอบด้วย เพื่อเป็นการจำลองแบบการเกิดการคายความร้อนจากปฏิกิริยาในการทำงานจริง โดยมีการแบ่งออกเป็นสองชุดที่มีโครงสร้างภายในแตกต่างกัน ชุดแรกประกอบด้วยกรณีที่ 7, 8 และ 9 มีการแบ่งชั้นในห้องอบออกเป็นสองชั้น ส่วนชุดที่สองประกอบด้วยกรณีที่ 10, 11 และ 12 มีการแบ่งชั้นในห้องอบออกเป็นสี่ชั้น กรณีที่ 7 และ 10 เป็นการปล่อยให้ความร้อนเข้าหรือออกมาจากแหล่งให้ความร้อนย่อยอย่างอิสระไม่มีการใช้ลมร้อนช่วยพาความร้อนออกไปแต่อย่างใด ซึ่งการทดลองกรณีดังกล่าวได้จัดขึ้นเพื่อใช้เป็นตัวเปรียบเทียบ (Blank) สำหรับการทดลองในกรณีต่อไป ส่วนกรณีที่ 8 และ 11 เป็นการใช้ลมร้อนที่มีอัตราการไหล 0.48 เมตร^3/วินาที เป็นตัวพาความร้อนออกจากแหล่งให้ความร้อนย่อยที่ติดตั้งไว้ และกรณีที่ 9 และ 12 เป็นการเพิ่มอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้เป็น 0.80 เมตร/วินาที เพื่อศึกษาถึงอิทธิพลของอัตราการไหลของลมร้อนในการพาความร้อนในห้องอบ

<u>ชุดการทดลอง</u>

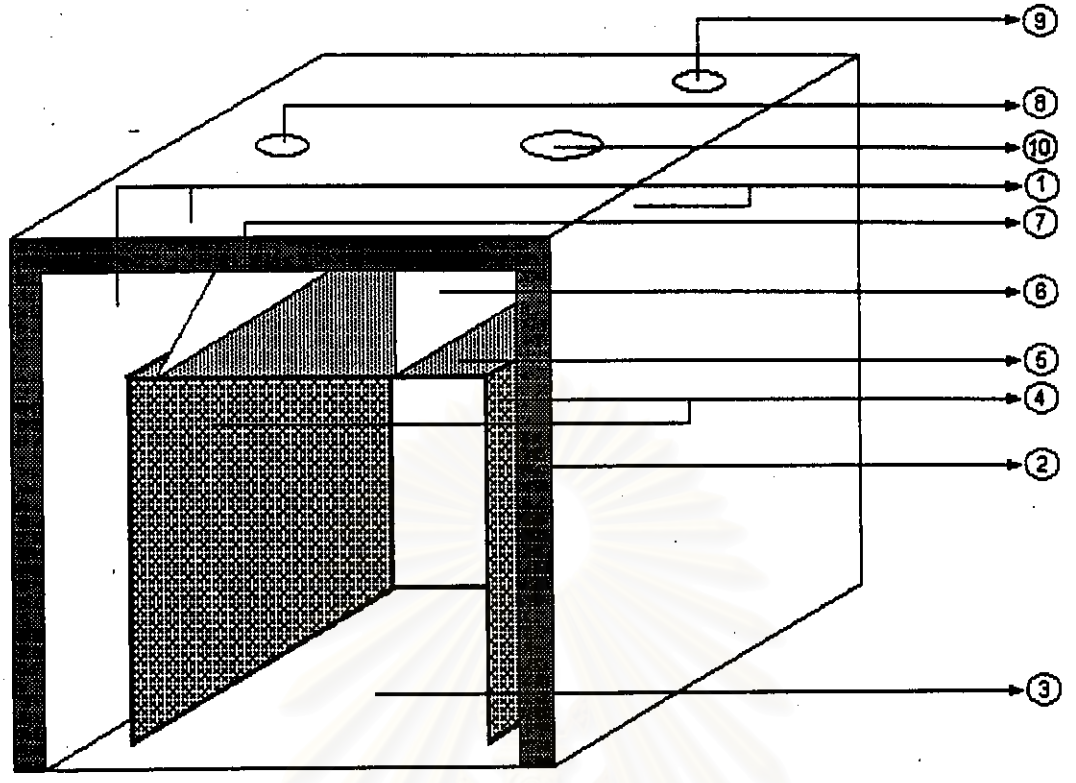
รูป 3-1 ก. และ 3-1 ข. แสดงตู้อบจำลองที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีโครงสร้างภายนอก ① เป็นเหล็กทึบ โดยบุด้วยฉนวนใยแก้ว ② ที่ผนังทุกด้านยกเว้นบริเวณพื้นตู้ ③ ภายในตู้อบได้ถูกกั้นแบ่งออกเป็นส่วนของห้องอบโดยใช้แผ่นเหล็กทึบปิดด้านบน ⑤ และใช้แผ่นตะแกรงเหล็กติดตั้งไว้ที่ด้านข้าง ④ เพื่อกระจายลมร้อนเข้าสู่ห้องอบที่มีขนาดกว้าง x ยาว x สูง เป็น 50 ซ.ม. x 60 ซ.ม. x 60 ซ.ม.

การหมุนเวียนของลมภายในตู้อบเกิดขึ้นโดยการใช้พัดลม (Blower) ดูดอากาศผ่านเครื่องทำความร้อน (Heater) ซึ่งมีการออกแบบให้สามารถติดตั้งได้ทั้งภายในและภายนอกตู้อบ โดยในกรณีที่เครื่องทำความร้อนอยู่ภายในตู้อบนั้น (ดังแสดงในรูป 3-2 ก.) ลมร้อนจะถูกดูดจากช่องเปิด ⑨ ผ่าน

เครื่องวัดความเร็วลม (Anemometer รุ่น AVM-01 ของ Davis USA ที่มีความละเอียดของค่าที่อ่านได้ 0.1 เมตร/วินาที ความเที่ยงตรง ± 0.1 เมตร/วินาที) แล้วเข้าสู่ตู้อบที่ทางเข้า ⑧ ส่วนในกรณีที่เครื่องทำความร้อนถูกติดตั้งไว้ภายนอกตู้อบ (ดังแสดงในรูป 3-2 ข.) ช่องเปิด ⑨ จะถูกปิด ลมร้อนจะถูกส่งเข้าไปที่ทางเข้า ⑧ โดยตรง เมื่อลมร้อนไหลเข้าสู่ตู้อบ ลมร้อนจะปะทะกับแผ่นเหล็กทึบ ⑦ ซึ่งติดตั้งไว้เพื่อช่วยบังคับทิศทางการไหลของมัน จากนั้นลมร้อนจะไหลผ่านแผ่นเหล็กที่เจาะรูพรุน ④ เข้าสู่ห้องอบ แล้วผ่านแผ่นเหล็กที่เจาะรูพรุน ④ อีกด้านออกไปจากตู้อบทางช่องระบายลมออก ⑩ โดยมีแผ่นเหล็ก ⑥ ช่วยบังคับทิศทางการไหลของลมร้อน ในบริเวณห้องอบจะมีการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple) ชนิด ทองแดง-อลูมิเนียมเพื่อวัดอุณหภูมิที่จุดต่างๆ จำนวน 14 จุดดังแสดงในรูปที่ 3-3 อุณหภูมิในแต่ละจุดจะถูกอ่านค่าด้วยเครื่องแปลงสัญญาณอุณหภูมิ เครื่องแปลงสัญญาณอุณหภูมิ (รุ่น KM 3000 ของ Kane-May Ltd. Great Britain ความละเอียดของค่าที่อ่านได้ 0.1 องศาเซลเซียส ความเที่ยงตรง ± 0.1 องศาเซลเซียส)



รูปที่ 3-1 ก. รูปถ่ายแสดงตู้อบที่ใช้ในการทดลอง



① ผนังตู้ทั้งด้านนอกและด้านในซึ่งเป็นแผ่นเหล็กทึบ

② ฉนวนใยแก้ว

③ พื้นตู้

④ ผนังด้านข้างห้องอบซึ่งเป็นแผ่นตะแกรงเหล็ก

⑤ ผนังด้านบนห้องอบซึ่งเป็นแผ่นเหล็กทึบ

⑥ แผ่นเหล็กช่วยบังคับทิศทางการไหลของลมร้อน

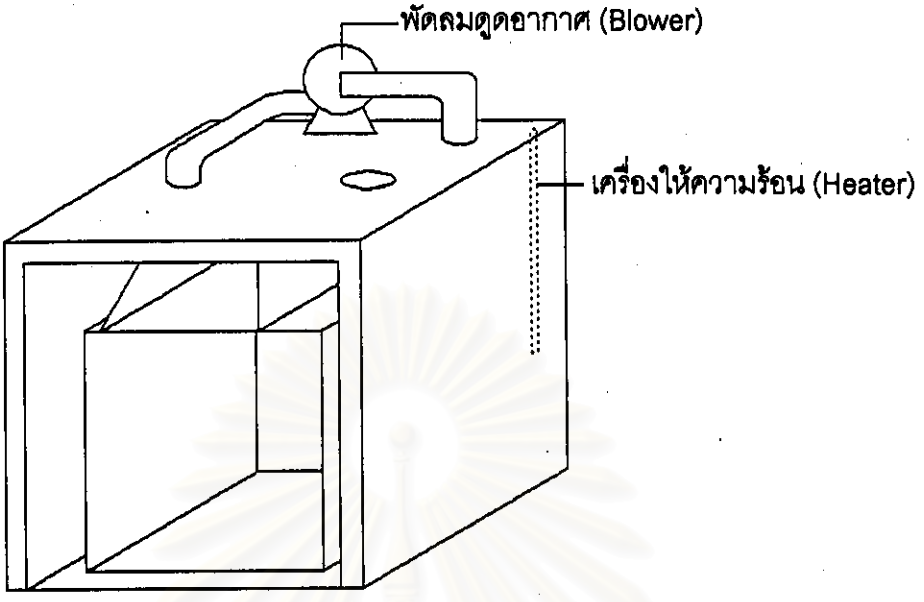
⑦ แผ่นเหล็กช่วยบังคับทิศทางการไหลของลมร้อน

⑧ ช่องลมเข้าตู้อบ

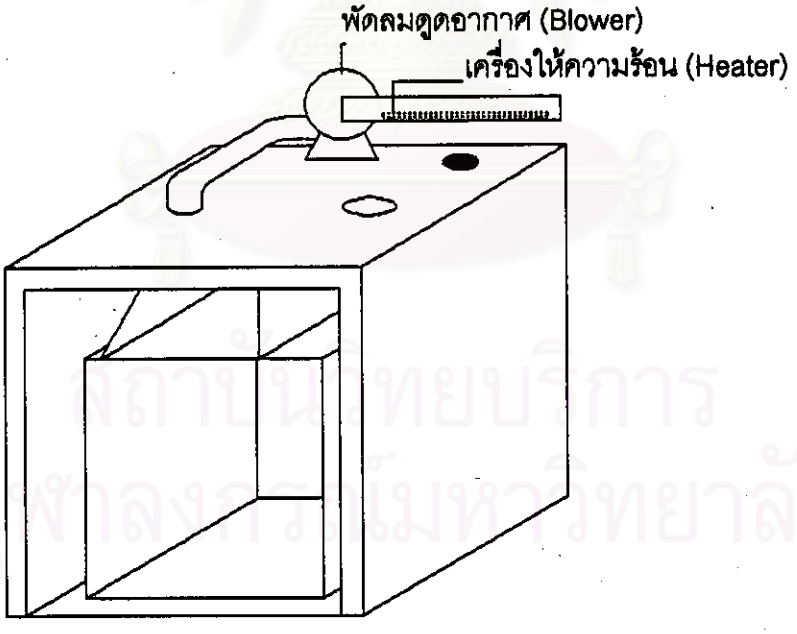
⑨ ช่องลมออกจากตู้อบเพื่อเข้าสู่ช่องลมเข้าตู้อบต่อไป

⑩ ช่องระบายลมออก

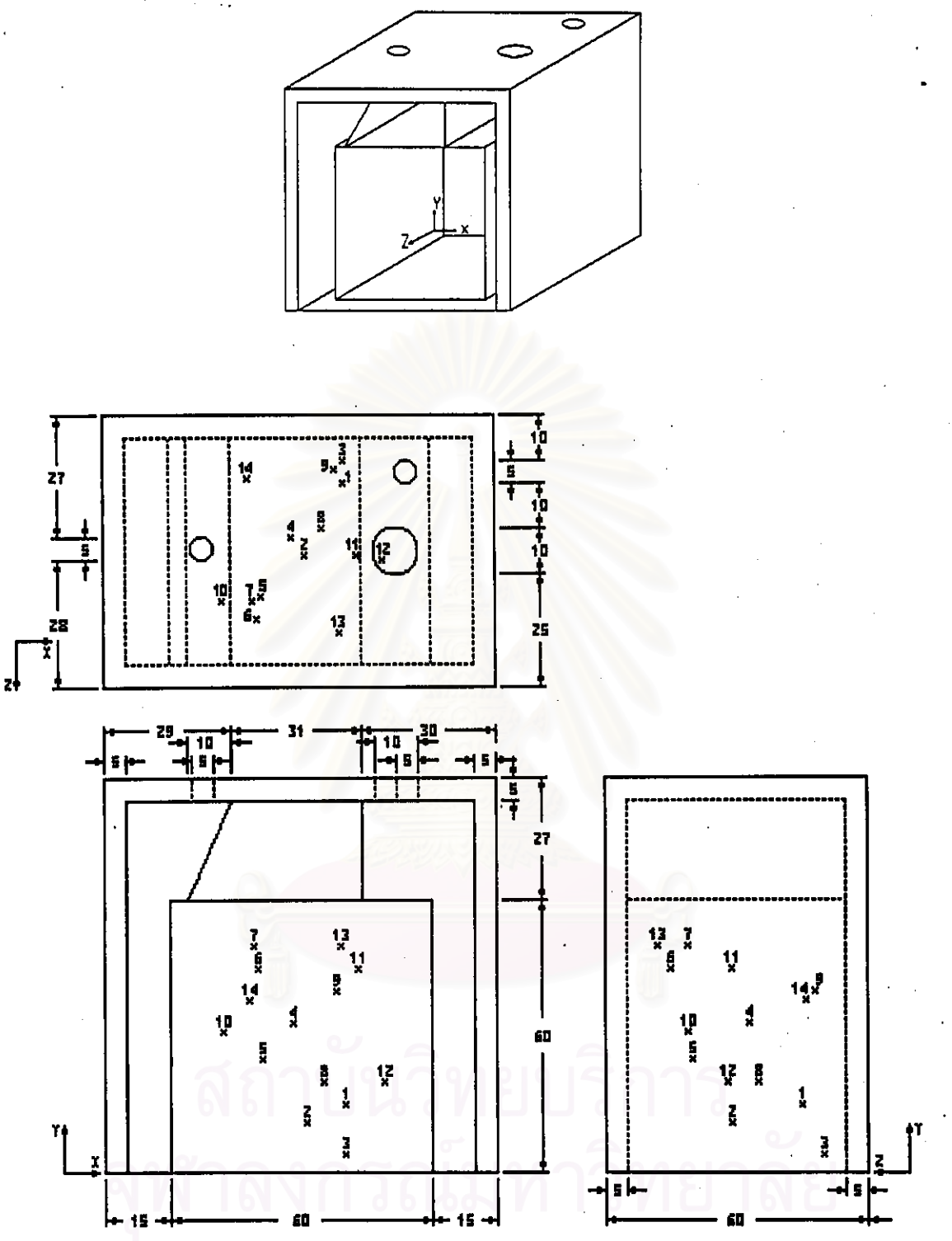
รูปที่ 3-1 ข. รูปเขียนแสดงตู้อบที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-2 ก. การติดตั้งเครื่องทำความร้อนไว้ภายในตู้อบ



รูปที่ 3-2 ข. การติดตั้งเครื่องทำความร้อนไว้ภายนอกตู้อบ



หน่วย : เซนติเมตร

รูปที่ 3-3 ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งในห้องอบ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3-2

ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลที่ติดตั้งไว้ในห้องอบ

ตำแหน่งที่	ระยะตามแกน (ซม.)		
	X	Y	Z
1	40	15	10
2	31	11	26
3	40	4	5
4	28	33	22
5	21	25	35
6	20	45	40
7	19	50	36
8	35	20	20
9	38	40	7
10	12	31	36
11	43	45	26
12	49	20	27
13	39	50	43
14	18	38	9

<u>โครงสร้างภายในตู้อบ</u>

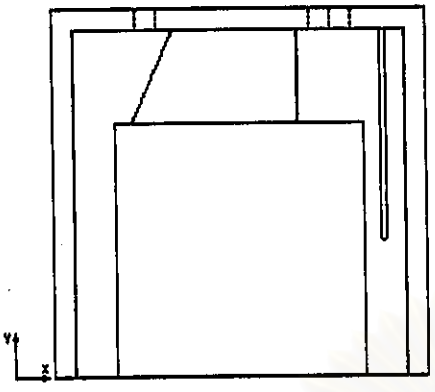
กรณีที่ 1, 2 เป็นตู้เปล่า โดยกรณีที่ 1 จะมีเครื่องทำความร้อนอยู่ภายในตู้อบ ส่วนกรณีที่ 2 นั้นจะมีเครื่องทำความร้อนออกมาไว้ภายนอกตู้อบ

กรณีที่ 3 วางแผ่นเหล็กขนาด 50 ซ.ม. x 45 ซ.ม. จำนวน 1 แผ่น ซึ่งจะแบ่งห้องอบออกเป็นสองส่วน แต่ละส่วนมีความสูง 32 ซ.ม. และ 28 ซ.ม. ตามลำดับ

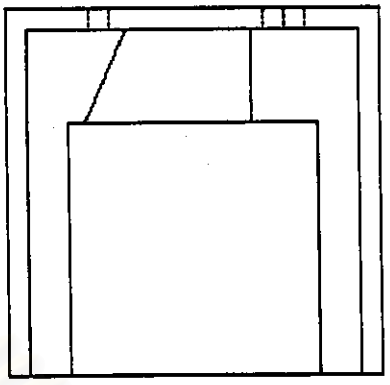
กรณีที่ 4, 5 วางแผ่นเหล็กเช่นเดียวกับกรณีที่ 3 จำนวน 3 และ 8 แผ่น ซึ่งจะแบ่งตู้ออกเป็น 4 ส่วน แต่ละส่วนมีความสูง 18, 14, 14 และ 14 ซ.ม. และ 9 ส่วนแต่ละส่วนมี ความสูง 4, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7, 7 ซ.ม. ตามลำดับ

กรณีที่ 6 มีลักษณะโครงสร้างภายในเช่นเดียวกันกับกรณีที่ 5 และวางกล่องพลาสติกขนาด 7 ซ.ม x 45 ซ.ม. x 3 ซ.ม. ชั้นละ 3 กล่อง รวมทั้งสิ้น 27 กล่อง กล่องนี้จะเป็นสิ่งกีดขวางการไหลของอากาศร้อนที่ผ่านเข้ามา ซึ่งจะมีลักษณะเทียบเท่ากับเลนส์แว่นตาซึ่งอยู่ในตู้อบ

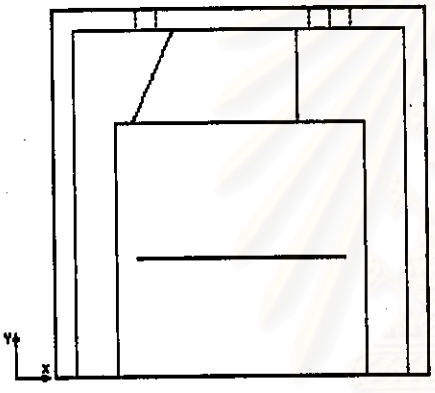
รายละเอียดของโครงสร้างภายในตู้อบแสดงได้ดังรูปที่ 3-4 ก. ถึง 3-4 ฉ.



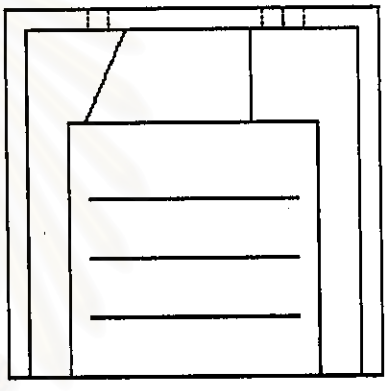
รูปที่ 3-4 ก. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 1



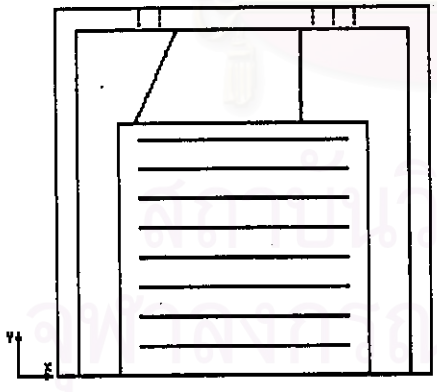
รูปที่ 3-4 ข. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 2



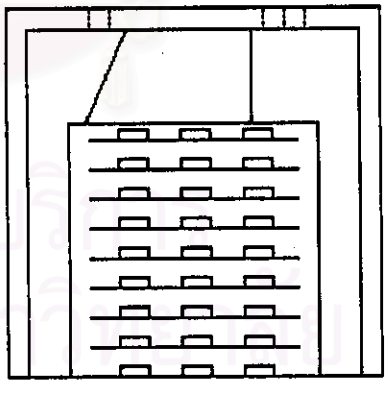
รูปที่ 3-4 ค. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 3



รูปที่ 3-4 ง. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 4



รูปที่ 3-4 จ. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 5

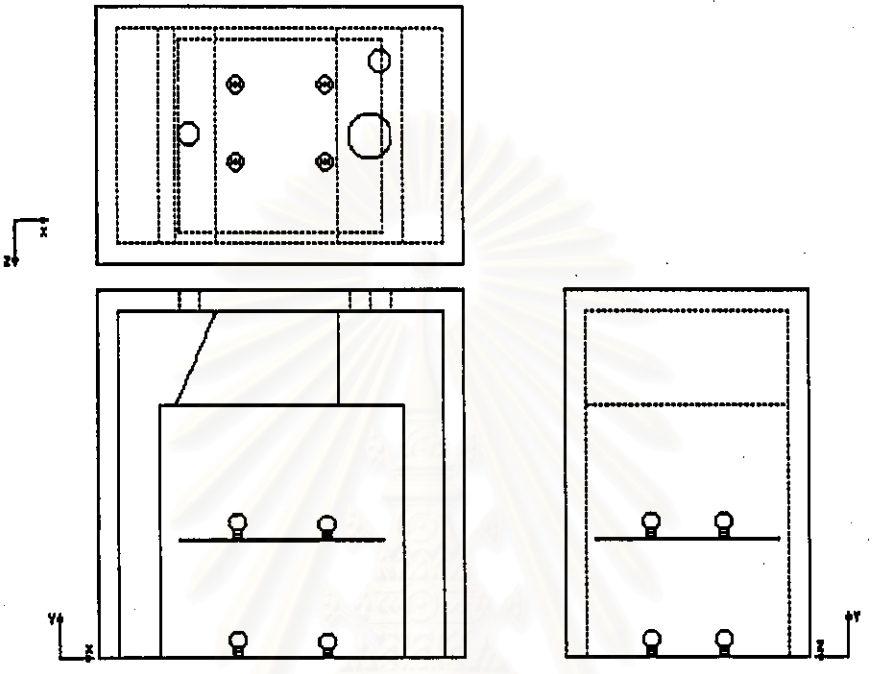


รูปที่ 3-4 ฉ. แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 6

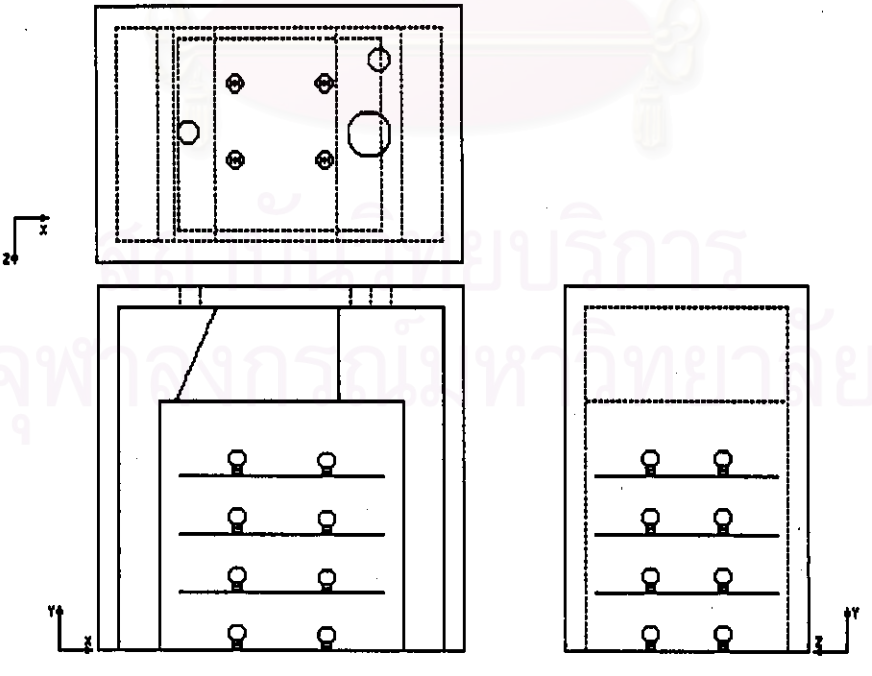
กรณีข้างต้นเป็นการศึกษาผลกระทบของโครงสร้างภายในที่ไม่รวมถึงผลของการถ่ายเทความร้อนจากแหล่งให้ความร้อนภายใน ในกรณีที่ 7 ถึง 12 จะพิจารณาผลกระทบของการกระจายตัวของอุณหภูมิที่มีโครงสร้างภายในต่างกัน และมีแหล่งให้ความร้อนย่อยอยู่ภายใน โดยมีการแบ่งห้องอบ

ออกเป็น 2 ส่วนและ 4 ส่วนคล้ายกับกรณีที่ 3 และ 4 และได้วางหลอดไฟขนาด 40 วัตต์ไว้ชั้นละ 4 หลอด หลอดไฟนี้จะทำหน้าที่คล้ายสิ่งกีดขวางดังในกรณีที่ 6 ในขณะเดียวกันก็เป็นแหล่งให้ความร้อนด้วย

รายละเอียดของโครงสร้างภายในตู้อบของกรณีที่ 7 ถึง 12 แสดงได้ดังรูปที่ 3-5 และ 3-6



รูปที่ 3-5 แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 7, 8 และ 9



รูปที่ 3-6 แสดงโครงสร้างภายในตู้อบกรณีที่ 10, 11 และ 12

การทดลอง

ก่อนการวัดอุณหภูมิของแต่ละชุดการทดลองจะปล่อยให้สภาวะของตู้อบเข้าสู่สภาวะคงที่ โดยมีลมร้อนไหลผ่านเข้าออกอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา โดยเฉลี่ยจะใช้เวลาอย่างน้อยหนึ่งชั่วโมงก่อนที่จะเริ่มวัดอุณหภูมิ ในการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆ จะวัดค่าอย่างน้อย 3 ครั้ง แล้วจึงนำมาหาค่าเฉลี่ยของจุดนั้นๆ ทำการวัดทุกๆ จุดที่ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล แล้วจึงหาค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของการกระจายตัวของอุณหภูมิดังสมการ

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (t - \bar{t})^2}{N}}$$

โดยที่

SD = ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

t = อุณหภูมิที่ตำแหน่งใดๆ (ตำแหน่งที่ 1 ถึง 14)

$\bar{t}$ = อุณหภูมิเฉลี่ย

N = จำนวนสมาชิกในกลุ่ม (14)

และหาค่าพิสัยจากสมการ

$$R = t_{max} - t_{min}$$

โดยที่

R = พิสัย

t_{max} = อุณหภูมิที่สูงที่สุดของกลุ่ม

t_{min} = อุณหภูมิที่ต่ำที่สุดของกลุ่ม

การทดลองในกรณีที่ 1 ถึง 6 มีอุณหภูมิของลมร้อน 55.5 องศาเซลเซียสเท่ากัน และมีอัตราการไหล 0.48 เมตร^3/วินาทีเท่ากัน หลังจากทำการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 3-3 ต่อไปนี้ (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 1)

ตารางที่ 3-3

ผลการทดลองกรณีที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6

ตำแหน่งที่	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ (°C) ในกรณีที่					
	1	2	3	4	5	6
1	55.33	50.53	50.80	50.17	50.77	50.83
2	51.57	49.87	49.53	49.90	50.03	51.50
3	50.47	50.00	49.43	49.47	49.73	49.47
4	53.73	51.47	52.20	53.40	51.63	51.87
5	52.30	51.73	52.67	53.40	51.87	52.63
6	52.43	52.97	52.53	52.63	53.03	51.33
7	52.13	52.97	52.53	52.83	53.00	51.10
8	54.50	50.97	51.70	52.33	51.27	52.67
9	60.00	52.63	52.97	52.93	52.57	52.40
10	51.70	51.93	52.83	53.07	52.27	52.97
11	58.93	52.50	53.07	52.53	52.73	51.67
12	56.00	51.40	52.27	52.73	51.93	52.57
13	57.47	52.87	53.00	52.87	53.13	52.47
14	52.47	52.63	52.93	52.90	52.80	52.53
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	2.94	1.08	1.24	1.33	1.11	0.96
พิสัย (Range)	9.53	3.10	3.63	3.93	3.40	3.50

การทดลองในกรณีที่ 7-12 จะมีความแตกต่างของอุณหภูมิและอัตราการไหลของลมที่เข้าสู่ห้องอบโดยที่กรณีที่ 7 และ 10 ไม่มีการให้ลมร้อนเข้าสู่ตู้อบ แต่เปิดหลอดไฟซึ่งเป็นแหล่งให้ความร้อนย่อยภายในไว้ ส่วนกรณีที่ 8 และ 11 จะปล่อยให้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 55.5 องศาเซลเซียสไหลเข้าสู่ตู้อบโดยมีอัตราการไหล 0.48 เมตร^3/วินาทีเท่ากัน และกรณีที่ 9 และ 12 จะปล่อยให้ลมร้อนที่มีอุณหภูมิ 55.5 องศาเซลเซียสไหลเข้าสู่ตู้อบโดยมีอัตราการไหล 0.80 เมตร^3/วินาทีเท่ากัน หลังจากทำการทดลองสามารถสรุปผลได้ดังตารางที่ 3-4 ต่อไปนี้ (รายละเอียดของผลการทดลองแสดงไว้ในภาคผนวกที่ 1)

ตารางที่ 3-4

ผลการทดลองกรณีที่ 7, 8, 9, 10, 11 และ 12

ตำแหน่งที่	ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ (°C) ในกรณีที่					
	7	8	9	10	11	12
1	51.97	57.77	57.20	67.77	67.50	63.70
2	52.13	57.83	57.50	66.60	66.80	64.47
3	49.33	55.83	56.33	63.87	64.47	61.67
4	60.97	64.00	62.10	90.20	77.83	73.07
5	56.10	57.93	59.77	84.80	80.20	74.77
6	52.27	55.40	57.47	85.87	73.57	68.70
7	51.77	55.47	57.07	87.17	74.23	68.80
8	51.77	59.63	59.13	80.10	77.73	72.67
9	63.80	68.13	64.27	93.77	81.67	76.77
10	73.77	71.97	72.13	99.23	89.33	84.50
11	52.27	56.70	57.37	88.33	75.73	70.13
12	51.73	58.20	57.90	79.60	75.60	72.03
13	51.77	57.20	57.80	86.47	74.30	72.30
14	63.77	65.63	63.93	95.67	81.90	77.47
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)	7.00	5.20	4.34	10.90	6.62	6.02
พิสัย (Range)	24.43	16.57	15.80	35.37	24.87	22.83

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย