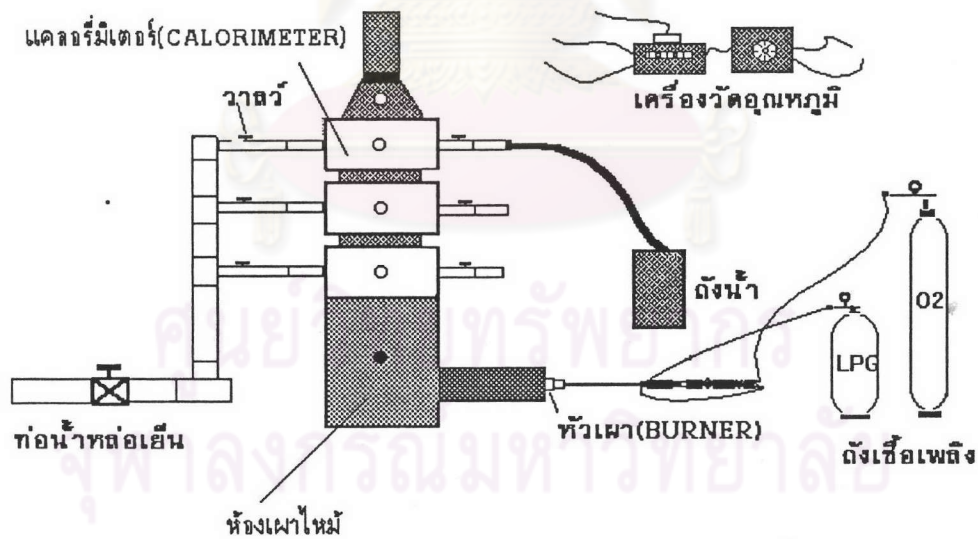


การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

สมรรถนะของเครื่องมือทดลอง

เครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไปยังตัวรับความร้อนคือผนังท่อไฟ ดังแสดงในรูปที่ (7.1) ซึ่งเครื่องมือทดลองดังกล่าวสามารถผลิตความร้อนได้สูงสุด ประมาณ 160,000 Btu/hr (47 KW), อุณหภูมิสูงสุด ของก๊าซร้อนจากการเผาไหม้ภายในระบบเตา ออกแบบไว้ไม่เกิน 2732 F (1500 C) ลักษณะของเครื่องมือทดลองดูรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 แสดงเครื่องมือทดลอง

## ผลของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

### 1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ศึกษากระบวนการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังตัวรับความร้อนคือผนังท่อไฟที่สภาวะต่างๆประกอบด้วยสมการหลักๆ 2 สมการคือ สมการที่ (4.11) และ (4.13)

### 2 การทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จากสมการที่ (4.11) และ (4.13) จะใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการแก้ปัญหาโดยเขียนด้วยภาษาปาสคาลเวอร์ชัน 5.5 โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้เขียนขึ้นนี้สามารถอำนวยความสะดวกต่อผู้ใช้งานได้เป็นอย่างดี ตัวโปรแกรมนอกจากจะใช้งานกับระบบที่ทำการวิจัยครั้งนี้แล้ว ยังสามารถที่จะนำไปพัฒนาหรือดัดแปลงเข้ากับระบบอื่นที่ใกล้เคียงได้อีกด้วยโดยผู้ใช้โปรแกรมสามารถที่จะเข้าไปทำการแก้ไขหรือเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ต่างๆในตัวโปรแกรมน้อย (Sub program) ได้โดยตรง

สำหรับตัวโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้นมานี้มีทั้งหมดประมาณ 3000 บรรทัดใช้เนื้อที่ดิสค์ทั้งหมด 374500 ไบต์ สามารถคอมไพล์ และรันบนโปรแกรมภาษาปาสคาลเวอร์ชัน 5.5 การประมวลผลการคำนวณของงานวิจัยครั้งนี้ กินเวลาประมาณ 25 วินาทีเท่านั้น ซึ่งรวดเร็วมากซึ่งถ้าเทียบกับการคำนวณด้วยมือแล้วจะกินเวลาหลายอาทิตย์เลยทีเดียว

### 3 ผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ขีดความสามารถของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนขึ้นมา นอกจากสามารถ

ประมวลผลออกมาเป็นเชิงตัวเลขแล้วยังสามารถประมวลผลเป็นรูปภาพพิกัดได้ด้วย และเพื่อความสะดวกในการใช้โปรแกรมจะมีเมนูถามตอบระหว่างผู้ใช้โปรแกรมกับ หน้าจอคอมพิวเตอร์

การประมวลผลและการวิเคราะห์ผลที่ได้จากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มีดังนี้

### 3.1 ผลของปริมาณออกซิเจนส่วนเกินต่ออัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไผ

จากความสัมพันธ์ที่สภาวะต่างๆที่แสดงในรูปภาพที่(7.1)ถึง(7.5) พบว่า อัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไผจะมีค่าลดลงเมื่อปริมาณออกซิเจนส่วนเกินเพิ่มขึ้นโดยจะมีค่าสูงสุดที่ปริมาณอากาศส่วนเกิน 0 % ซึ่งก็คือจุดที่เป็นอัตราส่วนของออกซิเจนต่อเชื้อเพลิงทางทฤษฎีนั่นเอง

เมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนส่วนเกินทำให้มวลของก๊าซร้อนในระบบมีมากขึ้น ผลทำให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนลดลง และเทอมของการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนซึ่งเป็นฟังก์ชันของอุณหภูมิของก๊าซร้อนยกกำลังสี่ก็จะมีค่าลดลงตาม เช่นเดียวกันมวลของก๊าซร้อนที่เพิ่มขึ้นทำให้ความร้อนบางส่วนสูญเสียออกไปทางปล่องไผเพิ่มขึ้น

สาเหตุที่สำคัญอีกประการที่ทำให้จุดดังกล่าวมีอัตราการดูดกลืนความร้อนสูงสุด เพราะเนื่องจากค่าการเปล่งรังสีจากก๊าซร้อนเป็นฟังก์ชันของความดันย่อย (Partial Pressure) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่อยู่ในก๊าซร้อน (พิจารณาสมการที่ (4.5), (4.6), (ก.2) และ (ก.3) ) เนื่องจากที่ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินต่างๆ เช่นที่ 0 % เป็นจุดที่ทำให้ความดันย่อยมีค่าสูง ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้ค่าการเปล่งรังสีที่โปรแกรมคอมพิวเตอร์อ่านจากไฟล์ดาต้าจึงมีค่าสูงขึ้นจึงเป็นผลทำให้เทอมของการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนซึ่งเกิดขึ้นเป็นหลักจึงมีค่าสูงกว่าที่ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินที่ตำแหน่งอื่นๆ

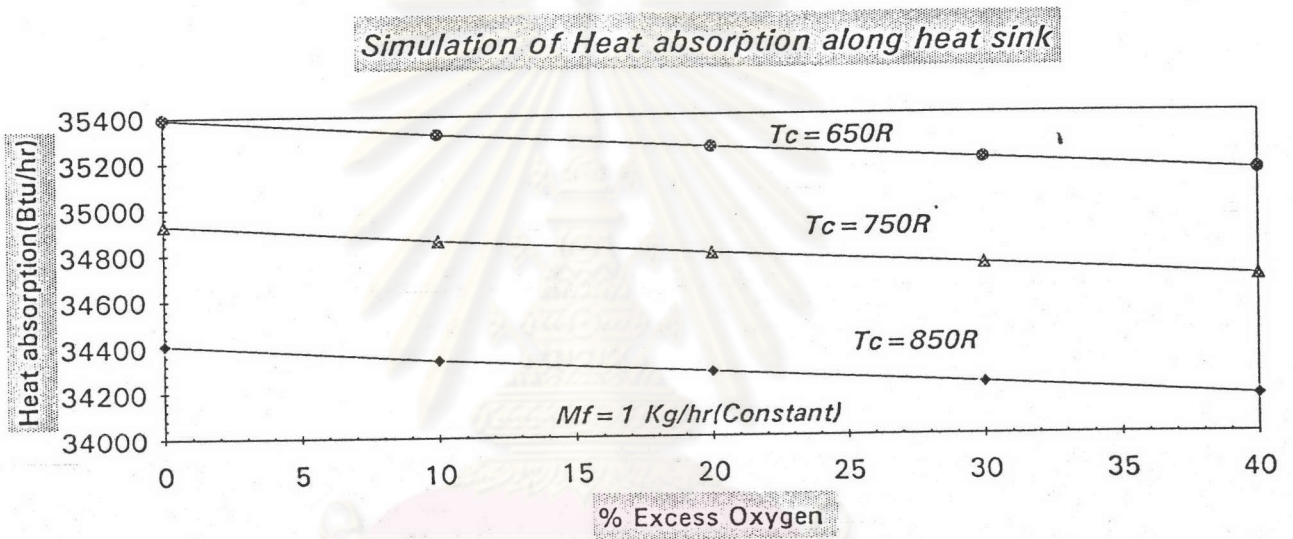
อย่างไรก็ตามผลของปริมาณออกซิเจนส่วนเกินจะมีอิทธิพลต่อการถ่ายเทความร้อนน้อยมากเมื่อเทียบกับผลของการแปรเปลี่ยนอัตราการป้อนเชื้อเพลิงซึ่งสังเกต

จากกราฟรูปที่ 7.9 ถึง 7.10 ลักษณะเส้นโค้งของกราฟเกือบจะเป็นเส้นตรงเมื่อ  
แปรเปลี่ยนปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

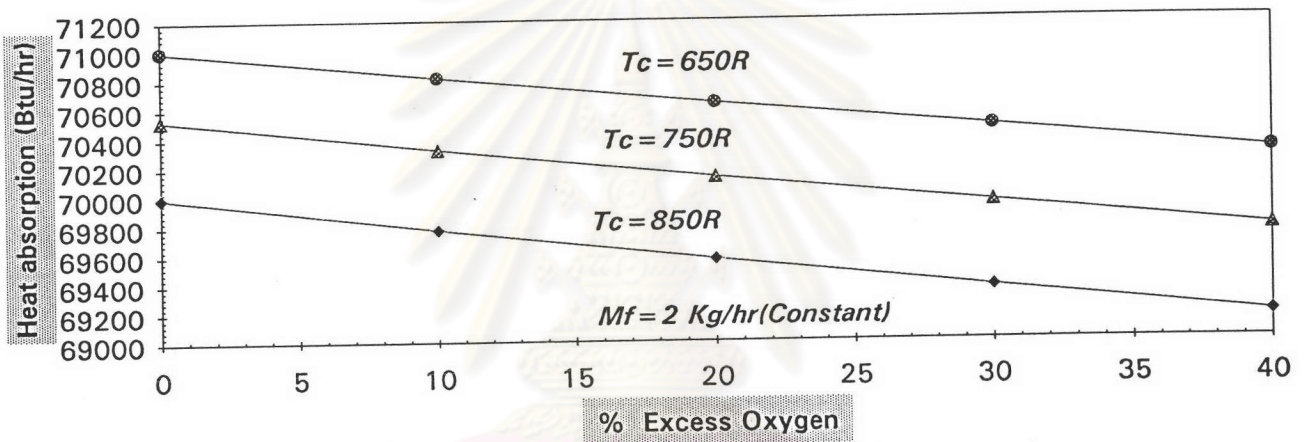
กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไปกับปริมาณออกซิเจนส่วนเกินที่สภาวะต่างๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

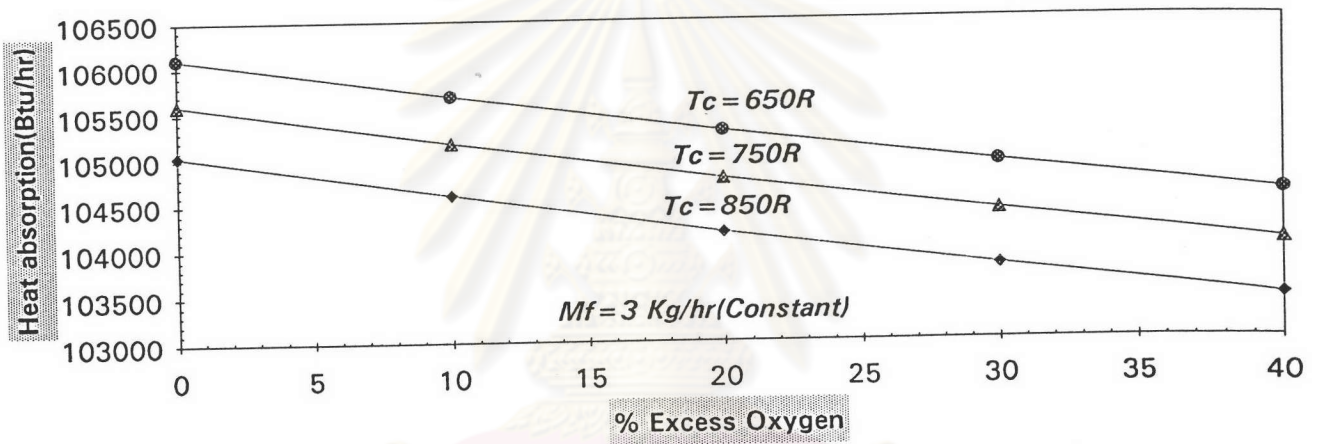


*Simulation of Heat absorption along heat sink*



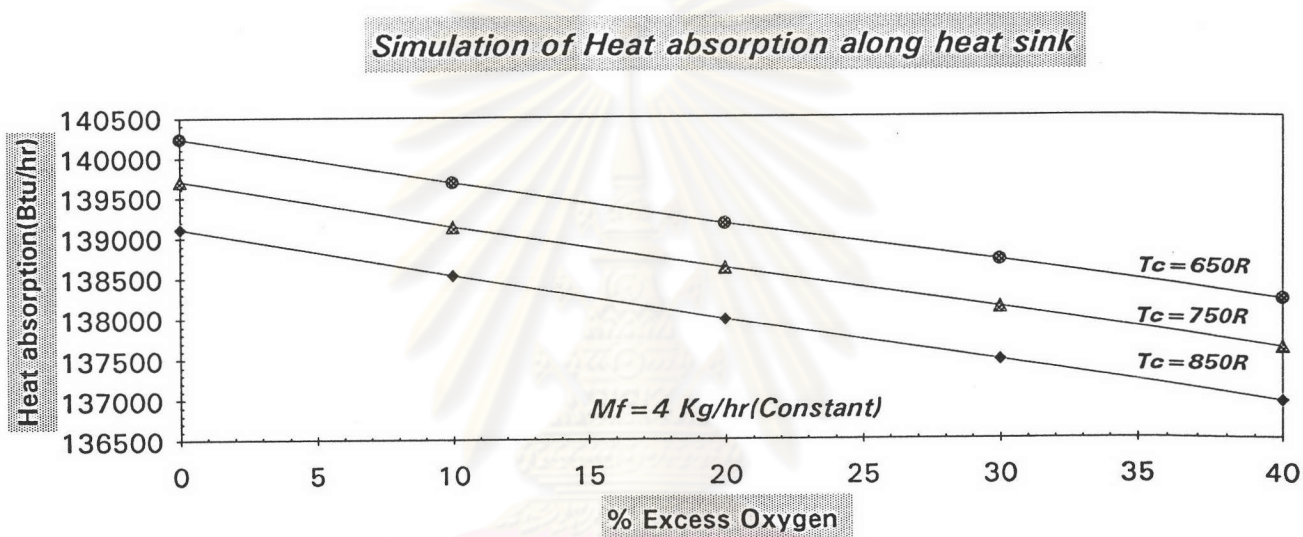
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Simulation of Heat absorption along heat sink*



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

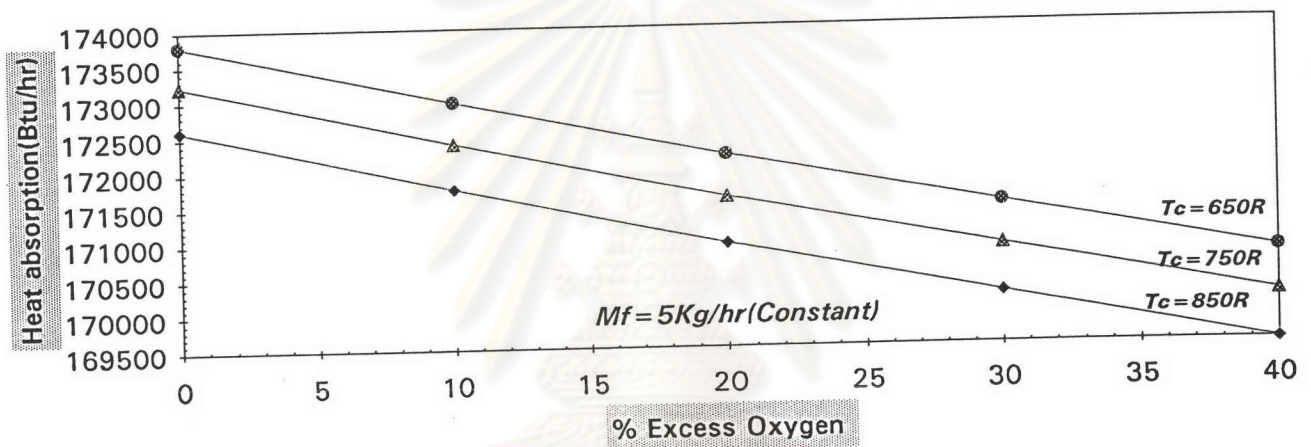
รูปที่ 7.3



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



*Simulation of Heat absorption along heat sink*



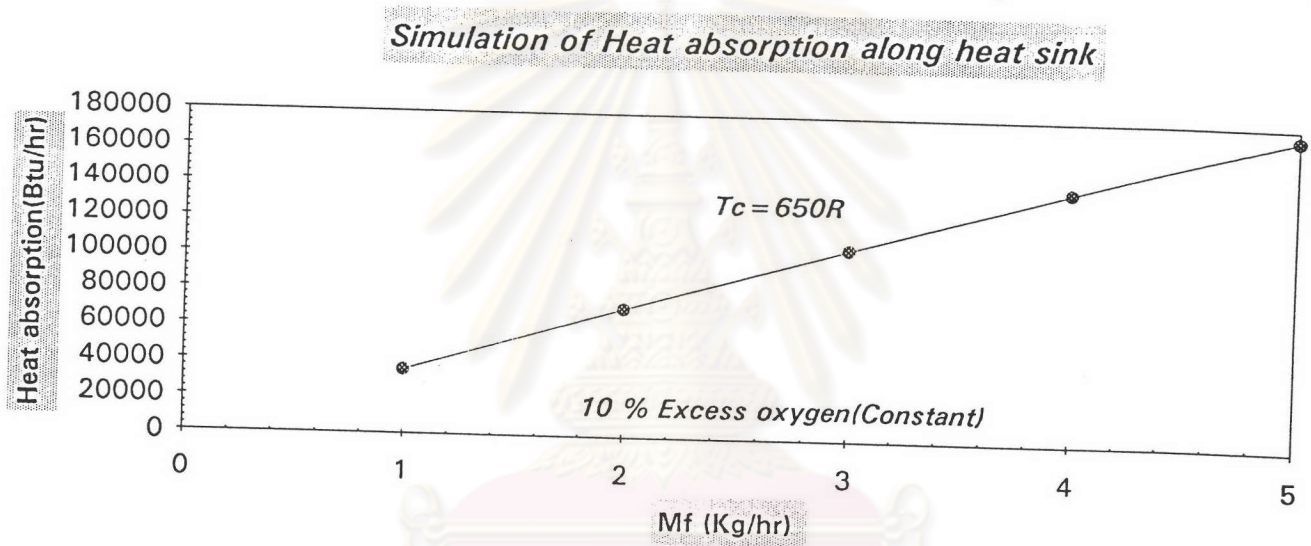
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.2 ผลของอัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ออัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้ โดยผนังท่อไผ

จากความสัมพันธ์ในรูปกราฟที่(7.6)ถึง(7.8) จะเห็นว่าอัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไผจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นและที่สภาวะเดียวกันหากมีการเปลี่ยนอนุหภูมิของผนังท่อไผพบว่ามผลกระทบต่ออัตราความร้อนที่ดูดกลืนโดยผนังท่อไผเล็กน้อย

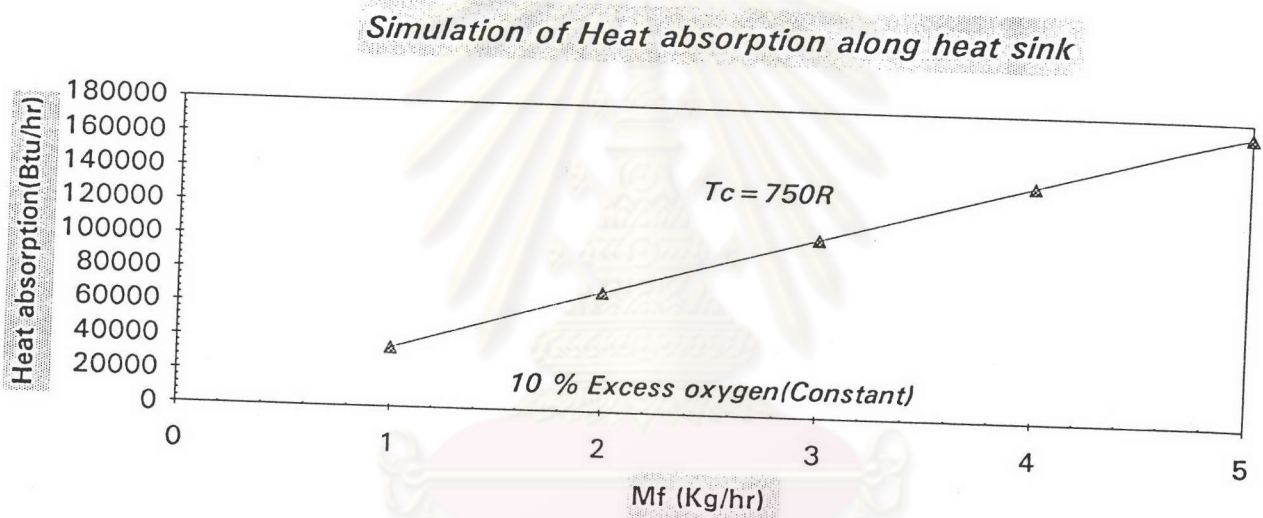


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



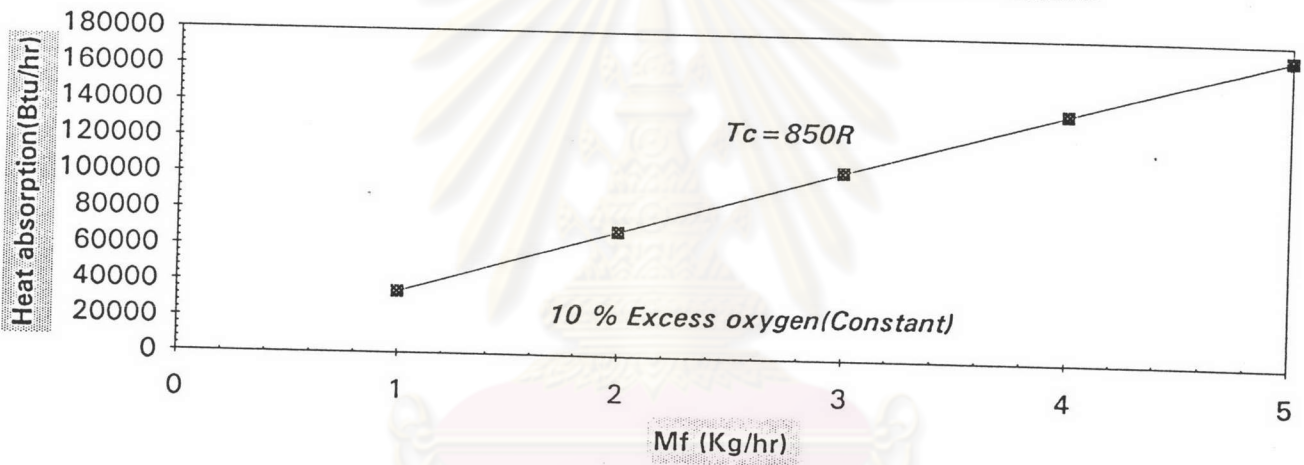
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.6



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Simulation of Heat absorption along heat sink

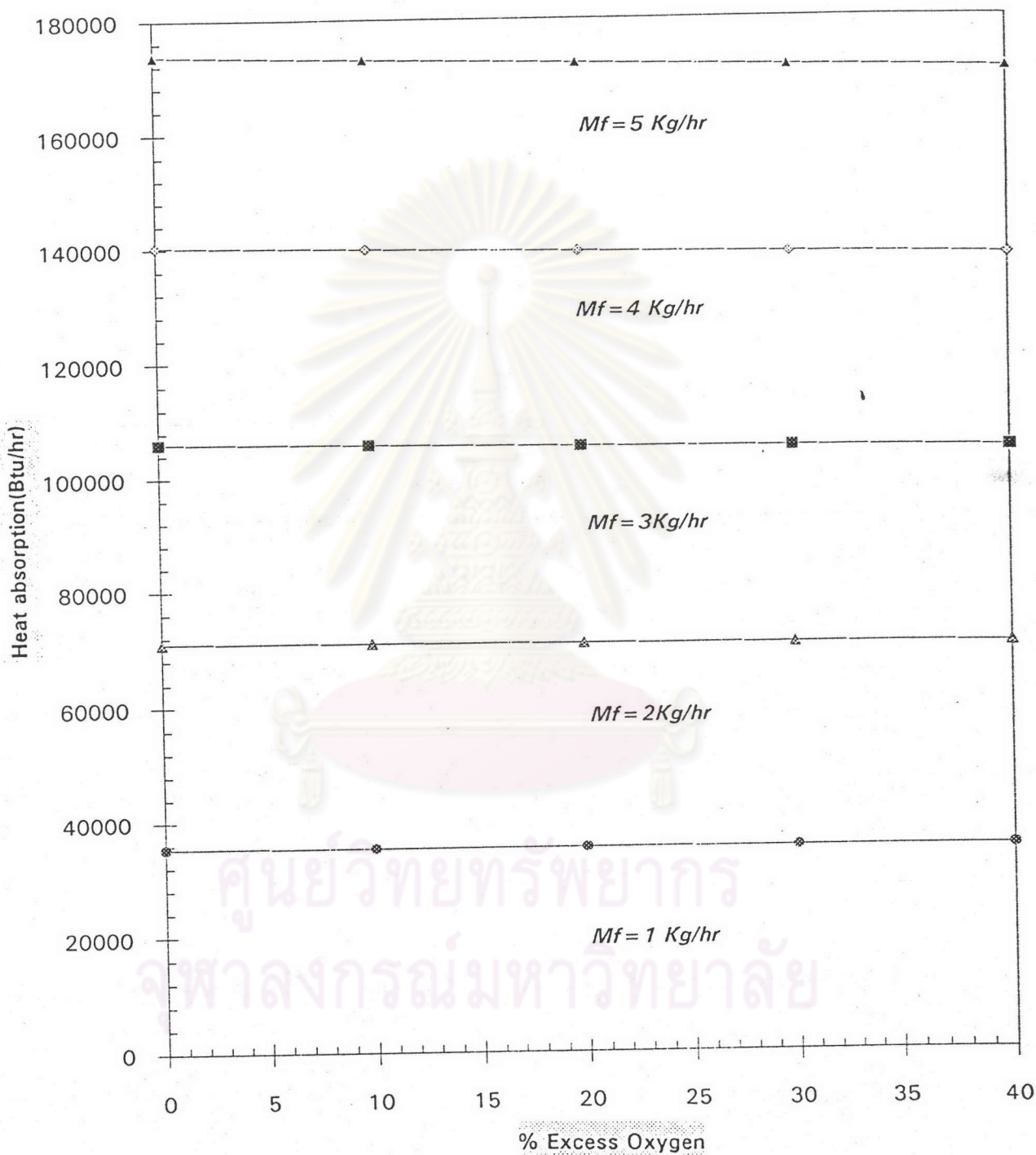


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.8

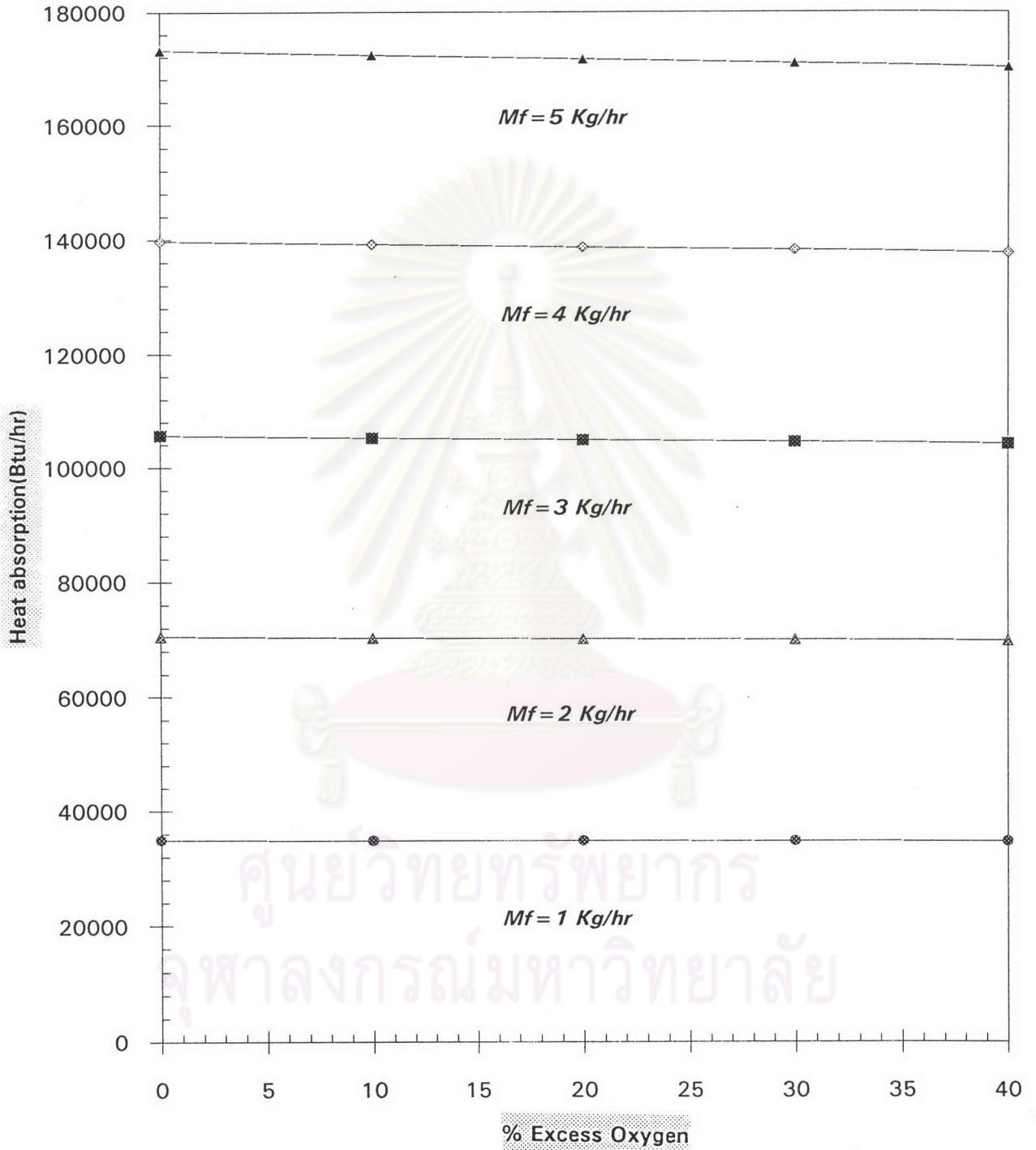
รูปที่ 7. 9-7.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟที่สภาวะต่างๆ

Heat absorption at various condition [ $T_c = 650$ (Constant) ]



รูปที่ 7. 9

**Heat absorption at various condition [ $T_c = 650R(\text{Constant})$  ]**



รูปที่ 7. 10

### 3.3 ผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผ

จากความสัมพันธ์ในรูปกราฟที่(7.11) พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มปริมาณออกซิเจนส่วนเกินเช่นกันจากกราฟรูปที่(7.12) อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่เพิ่มขึ้นด้วย

สำหรับที่สภาวะเดียวกันหากเปลี่ยนอุณหภูมิของผนังท่อไผเช่น 650R, 750R และ 850R จะเห็นว่า อุณหภูมิของผนังท่อไผต่ำๆอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนจะมีค่ามากกว่าที่อุณหภูมิของผนังท่อไผสูงๆ

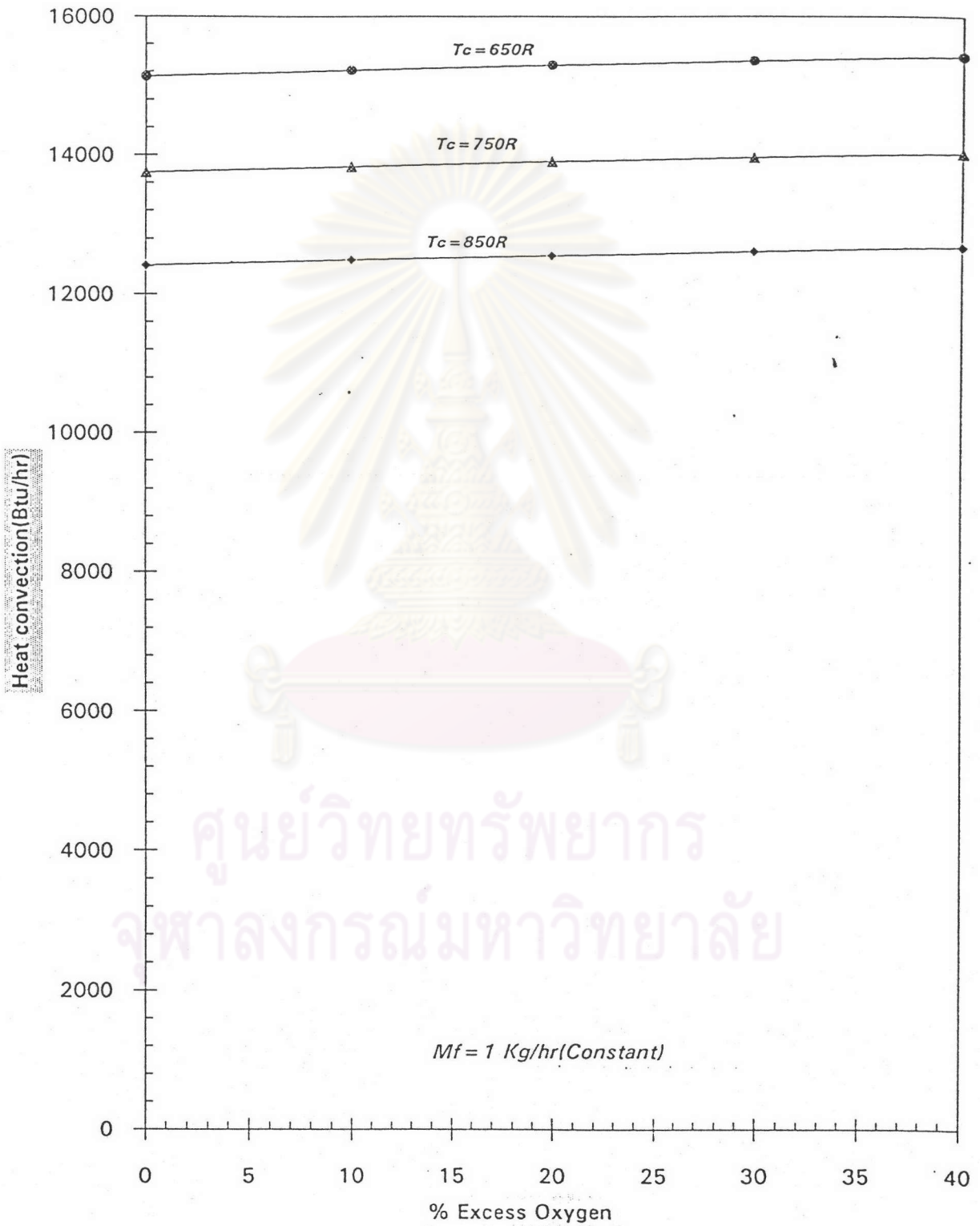


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนกับปริมาณออกซิเจนส่วนเกินที่สภาวะต่างๆ

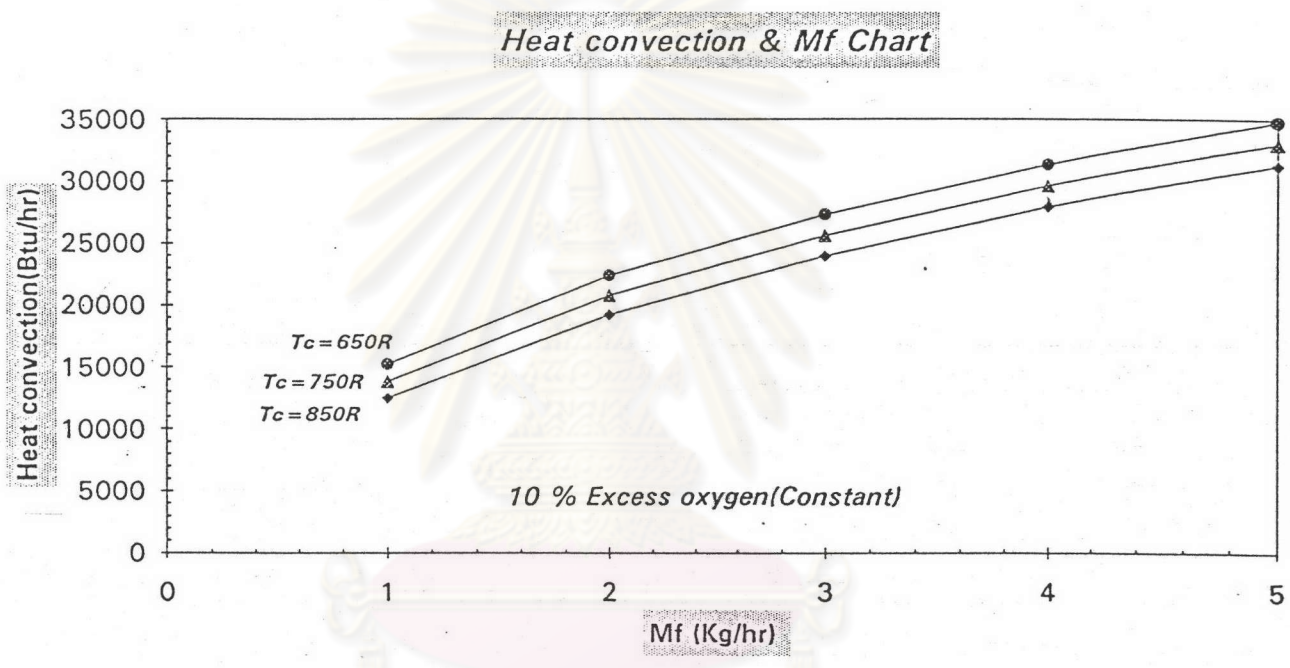
**Heat convection & %Excess Oxygen Chart**



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.11

รูปที่ 7.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่สภาวะต่างๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### 3.4 ผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผ

อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผ นับว่ามีความสำคัญที่สุดในกระบวนการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังตัวรับความร้อนใดๆ เมื่อนำผลที่ประมวลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาแสดงความสัมพันธ์เป็นรูปกราฟที่สภาวะต่าง ๆ ดังนี้

จากกราฟรูปที่ (7.13) ถึง (7.15) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผ กับปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน โดยควบคุมให้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอุณหภูมิของผนังท่อไผ คงที่ และจากกราฟรูปที่ (7.16) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผ กับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเมื่อควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินและอุณหภูมิผนังท่อไผ คงที่

เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ (7.13) ถึง (7.15) พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนมีค่าลดลงเมื่อปริมาณออกซิเจนส่วนเกินเพิ่มขึ้น โดยจะควบคุมให้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอุณหภูมิผนังท่อไผ คงที่ เหตุผลก็ดังที่อธิบายไว้ในหัวข้อ 3.1

เมื่อพิจารณาจากกราฟจะเห็นว่า ในช่วงของปริมาณออกซิเจนส่วนเกินตั้งแต่ 0 % ถึง 40 % ที่กำหนดให้ค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อนก็ไม่ได้แตกต่างกันมากนักที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำๆ แต่ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงๆ เช่นที่ 3-5 Kg/hr จะเห็นความแตกต่างได้มากขึ้นสังเกตได้จากลักษณะกราฟจะชันมากขึ้น

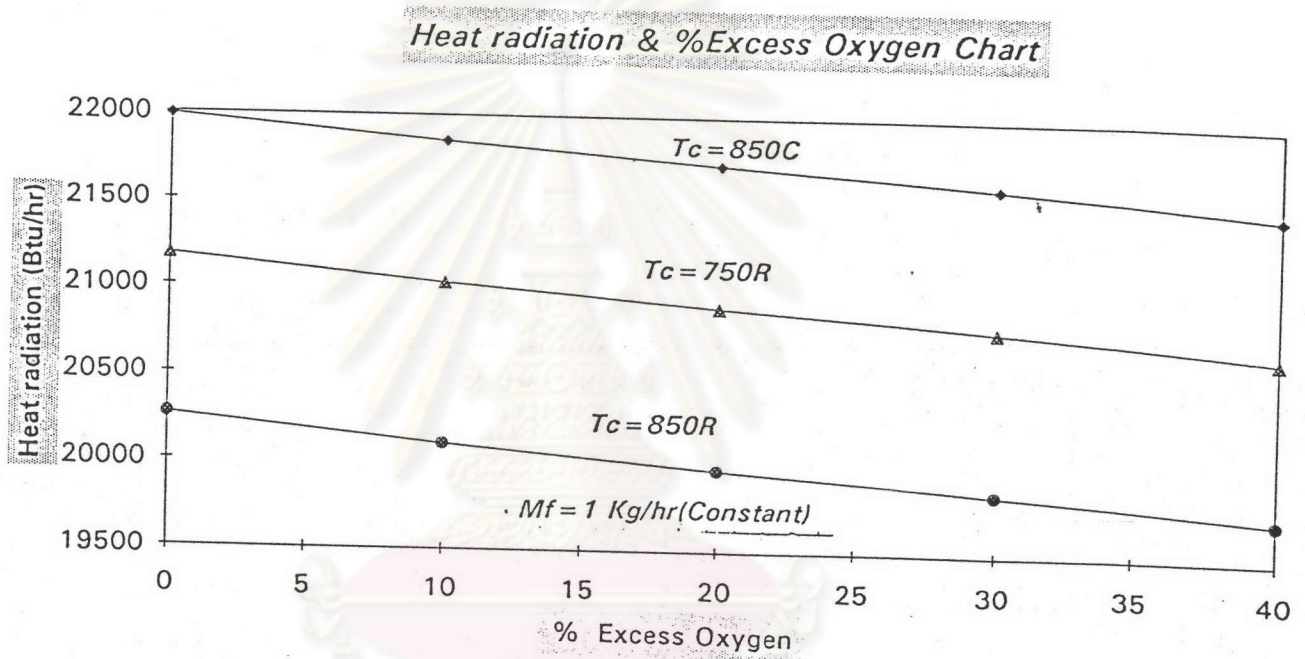
เช่นเดียวกันเมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ (7.16) พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผ จะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงโดยที่ควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน และอุณหภูมิของผนังท่อ

### ไฟดวงที่

ทั้งนี้เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟแปรโดยตรงกับอุณหภูมิสัมบูรณ์ยกกำลัง 4 ดังนั้นเมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาเพิ่มขึ้น เป็นผลทำให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟจึงมีค่าเพิ่มตามอัตราการป้อนเชื้อเพลิง



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

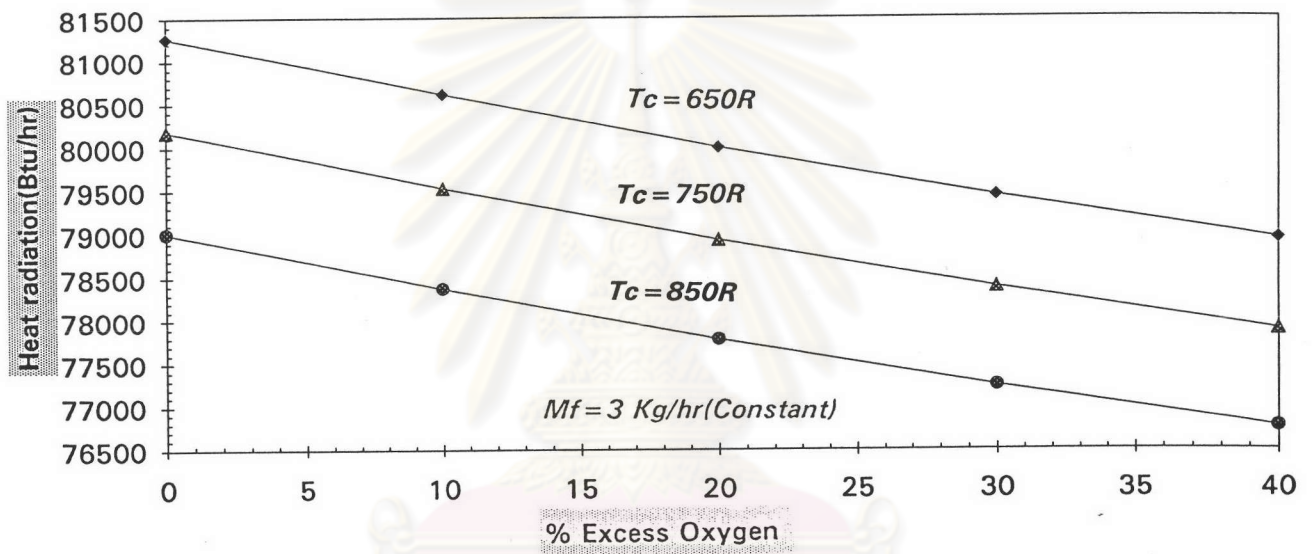


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.13

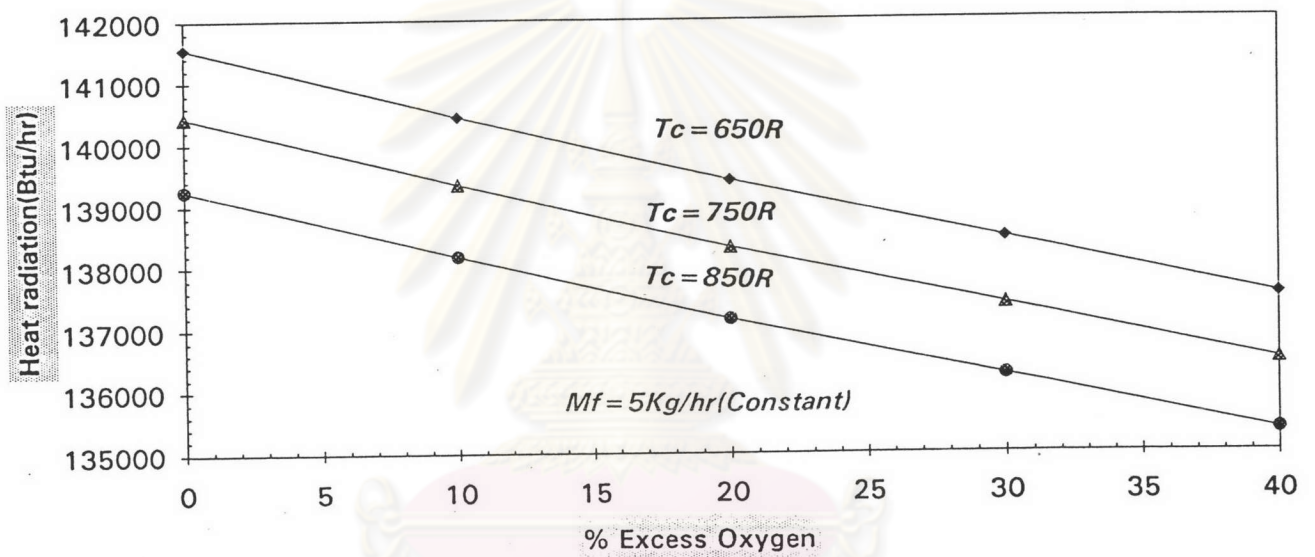


**Heat radiation & % Excess Oxygen Chart**



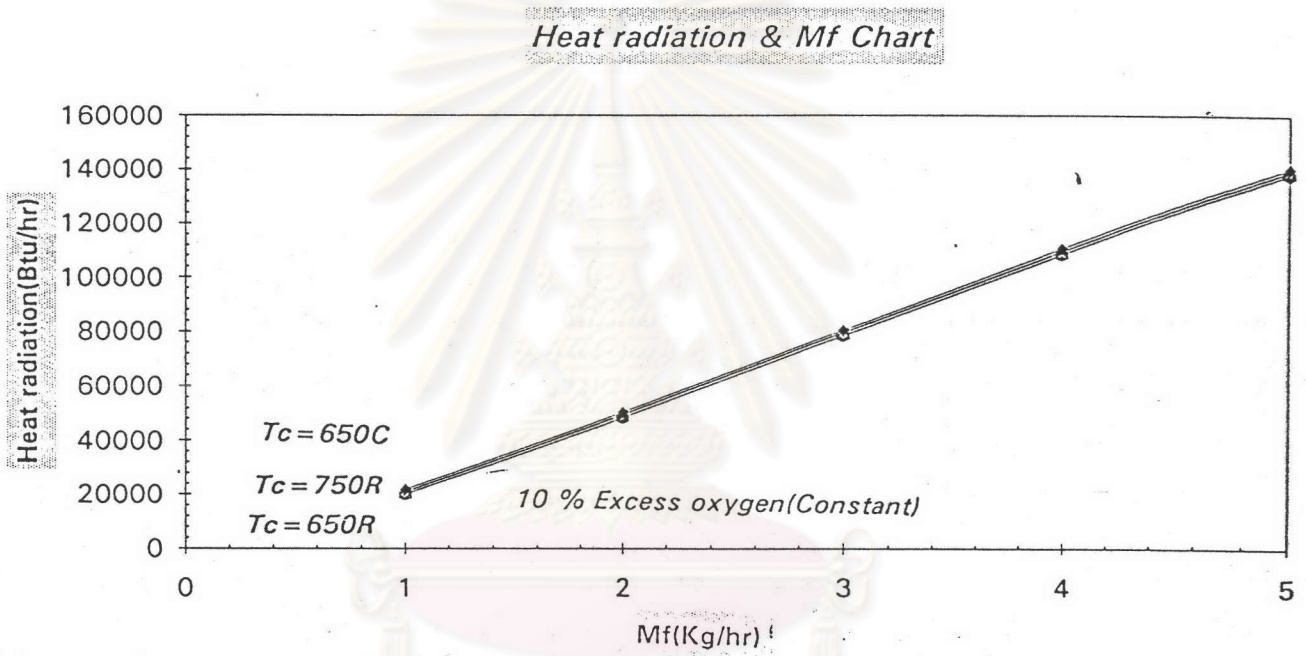
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Heat radiation & % Excess Oxygen Chart**



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงที่สามารถต่างๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.16



### 3.5 ผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผ

อัตราการถ่ายเทความร้อนรวมจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผเป็นผลรวมของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผ

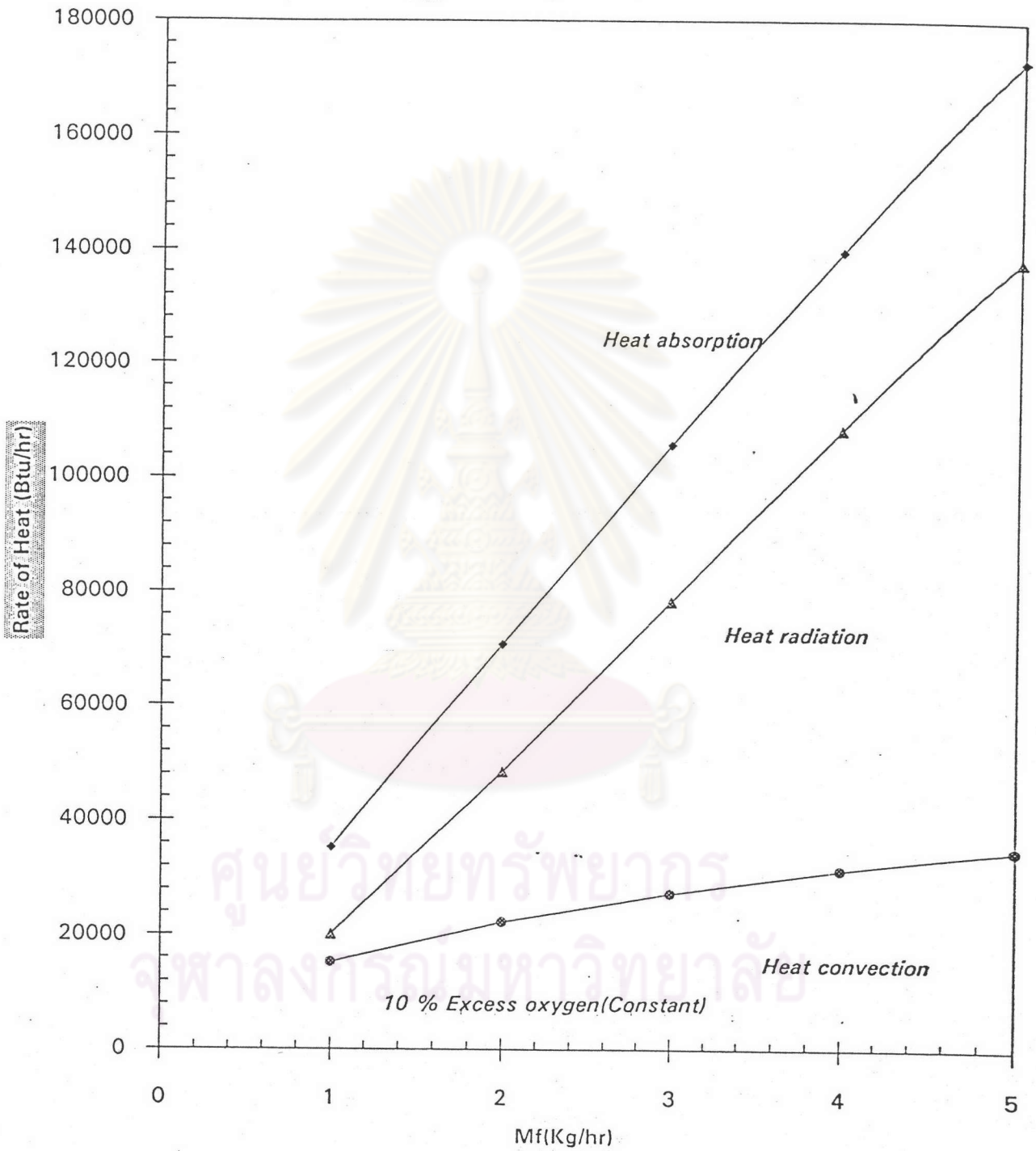
เมื่อพิจารณาให้ระบบมีสภาวะคงตัวผลรวมของอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งคู่ก็คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไผดังแสดงในหัวข้อ 3.1 นั้นเอง สำหรับในหัวข้อนี้จะแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของอัตราการถ่ายเทความร้อนในแต่ละชนิดอย่างชัดเจน และจากกราฟที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างๆ เช่น 1 kg/hr ถ้าคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไผจะพบว่ามีสัดส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อน 56 เปอร์เซ็นต์และอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อน 44 เปอร์เซ็นต์

และที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูง ๆ เช่นที่ 3 ถึง 5 kg/hr พบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไผของแต่ละชนิด จะต่างกันค่อนข้างมากโดยเฉพาะ

เมื่อมีอัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงๆ เช่นที่ อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 3 kg/hr จะมีสัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อน 73 เปอร์เซ็นต์ และสัดส่วนอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อน 2 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 4 kg/hr จะมีสัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อน 77 เปอร์เซ็นต์

และสัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อน 23 เปอร์เซ็นต์ และที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 5 kg/hr จะมีสัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อน 79 เปอร์เซ็นต์และสัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อน 21 เปอร์เซ็นต์

Simulation of Heat absorption along heat sink



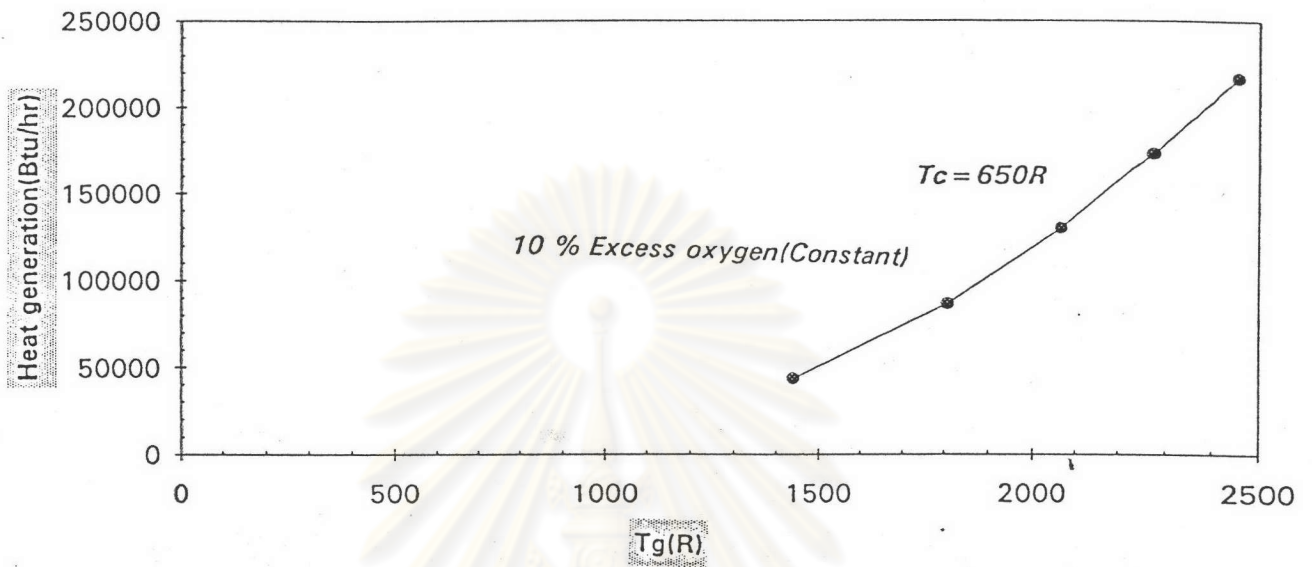
### 3.6 ผลของอุณหภูมิของก๊าซร้อนในท่อไฟ

จากกราฟรูปที่ 7.18 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิของก๊าซร้อนในท่อไฟ,  $T_o$  กับอัตราความร้อนที่ผลิตได้,  $Q_o$  ที่เส้นอุณหภูมิผนังท่อไฟคงที่ คือที่ 650 R และ 850 R จะพบว่าอัตราความร้อนที่ผลิตได้จะแปรโดยตรงกับอุณหภูมิของก๊าซร้อน เมื่อพิจารณาที่เส้นอุณหภูมิของผนังท่อไฟคงที่และอุณหภูมิของก๊าซร้อนคงที่ ค่าอัตราความร้อนที่ผลิตได้จะมีค่าเพิ่มขึ้นที่เส้นอุณหภูมิผนังท่อไฟมีค่าต่ำๆ

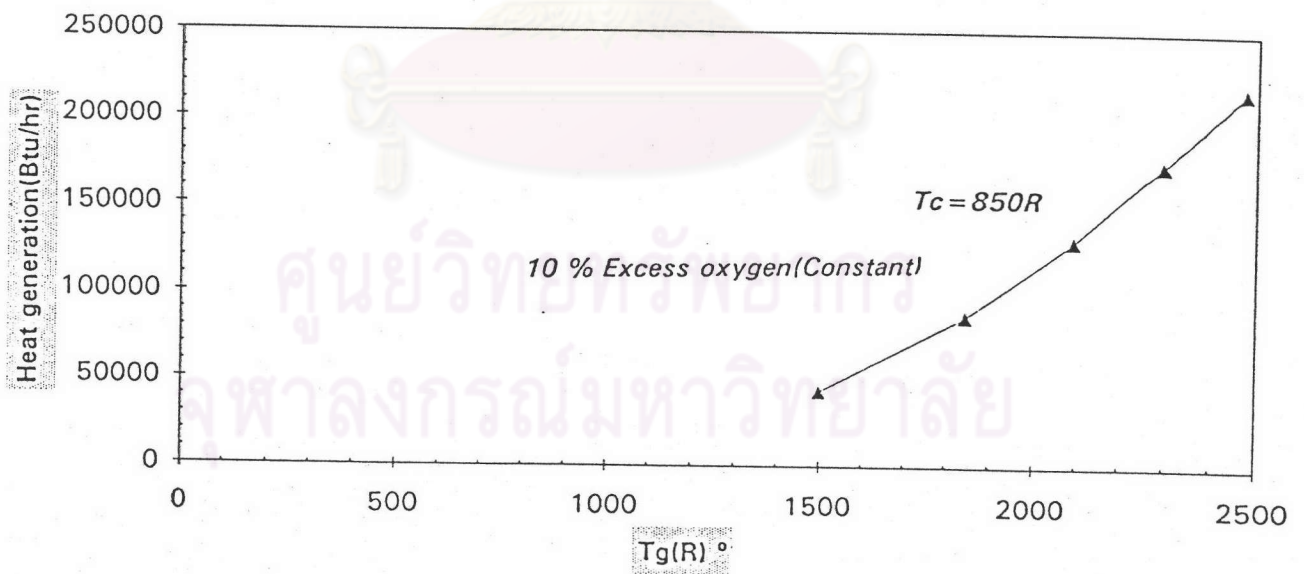


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Heat generation & Combustion Gas Temperature Chart*



*Heat generation & Combustion Gas Temperature Chart*



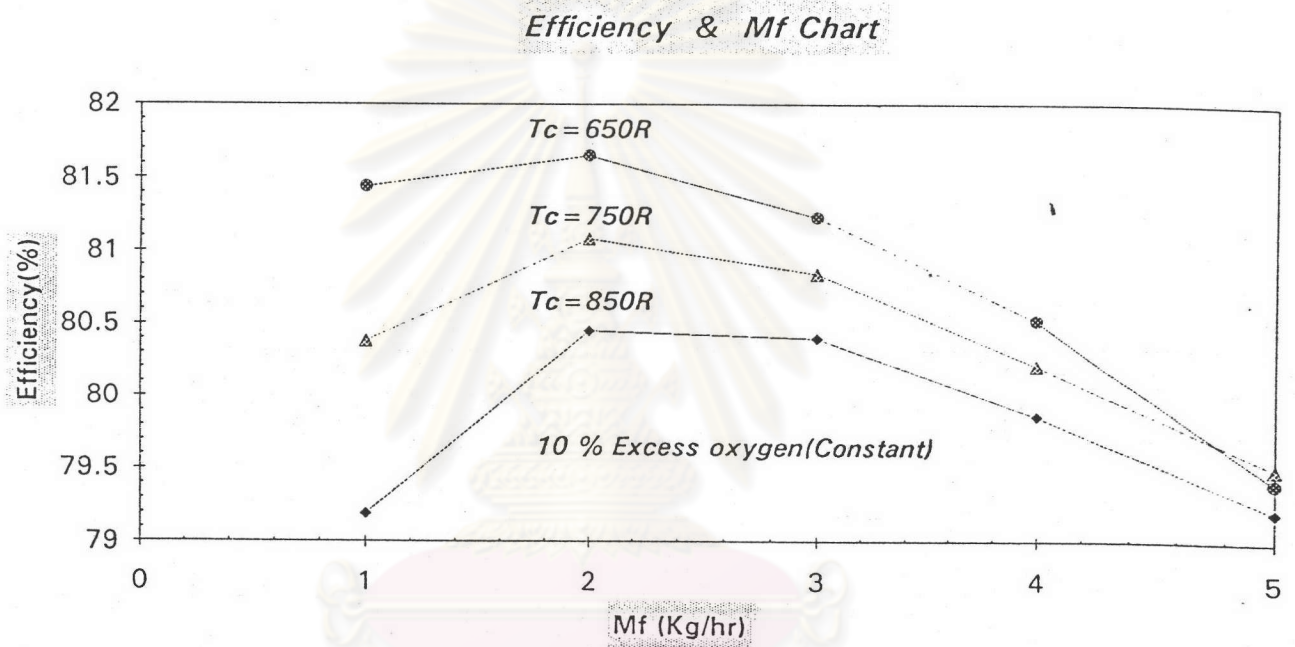
### 3.7 ผลของประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนของผนังท่อไฟ

เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 7.19 พบว่าค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนของท่อไฟมีแนวโน้มขึ้นอย่างต่อเนื่องที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 1-2 Kg/hr แต่หลังจากเลยจุดนี้แล้วค่าประสิทธิภาพจะลดลงอย่างต่อเนื่อง และเมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิผนังท่อไฟคงที่ ค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนจะเพิ่มขึ้นที่อุณหภูมิผนังท่อไฟต่ำๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.19 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟที่สภาวะต่างๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

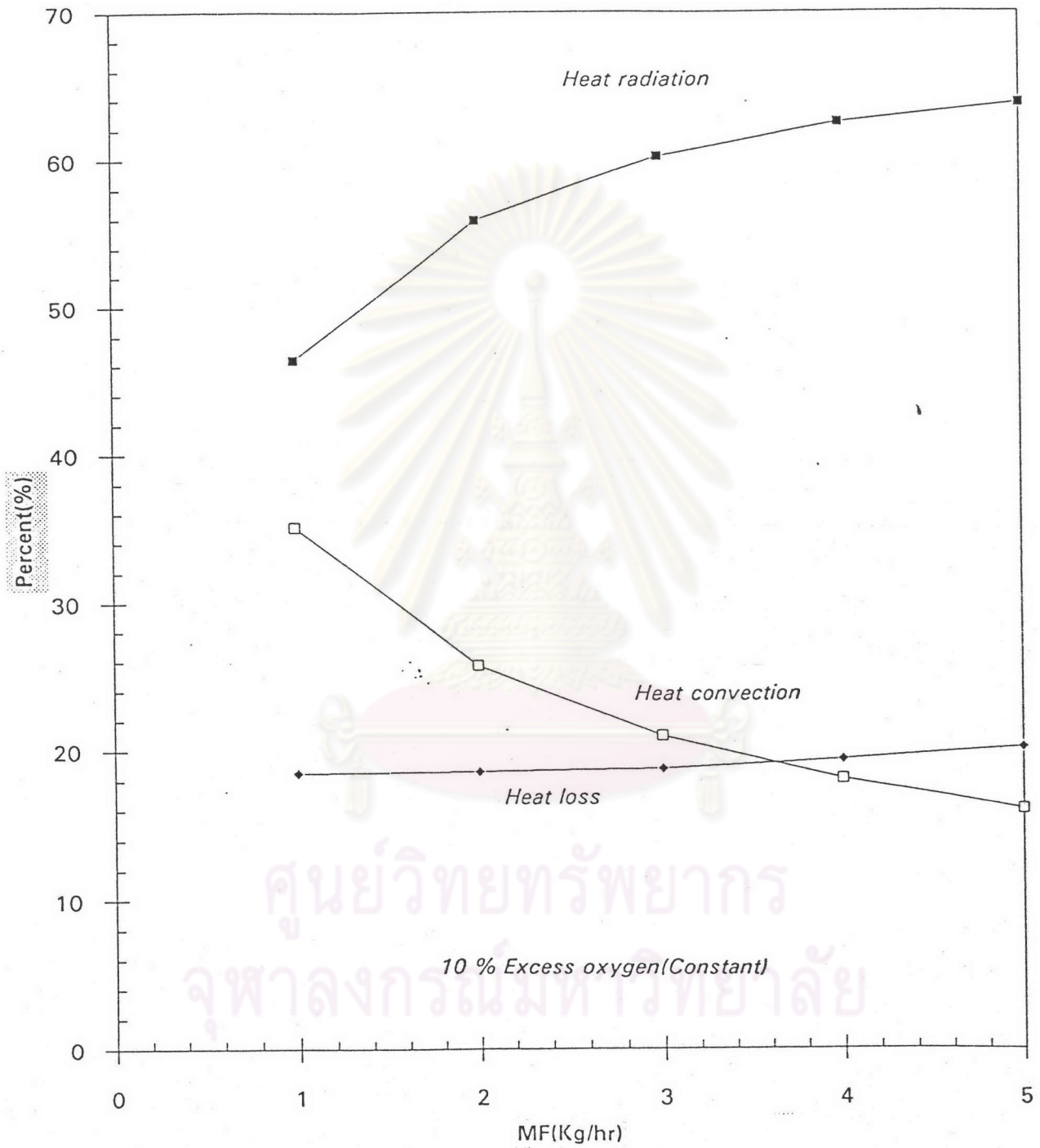
3.8 สัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนชนิดต่างๆเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราความร้อนต่อชั่วโมงที่เชื้อเพลิงปลดปล่อยออกมา

เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 7.20: จะเห็นได้ว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่างๆ เช่นที่ 1 Kg/hr เปอร์เซ็นต์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีและการพา จะไม่แตกต่างกันมากนัก นั่นคือเท่ากับ 46 % และ 35 % ตามลำดับ และอัตราความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบ โดยการแผ่รังสีออกจากช่องทางเปิดของท่อไฟและทางผนัง วัตถุทนไฟเท่ากับ 18.5 %

แต่เมื่อเพิ่มอัตราการป้อนเชื้อเพลิงขึ้นสูงเรื่อยๆ ค่าเปอร์เซ็นต์ต่างๆ ก็ยังแตกต่างกันมากขึ้นเรื่อยๆ เช่นที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 5 Kg/hr จะมีเปอร์เซ็นต์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีและการพาเท่ากับ 63 % และ 16 % ตามลำดับ และอัตราความร้อนที่สูญเสียออกจากระบบเท่ากับ 20 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Percent rate of heat Chart[  $T_c = 650R(\text{Constant})$  ]



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย





การวิเคราะห์และคำนวณผลจากข้อมูลในตารางที่ (ค.1), (ค.2) และ (ค.3)

จากข้อมูลในตารางที่ (ค.1), (ค.2) และ (ค.3) จะถูกนำมาคำนวณเพื่อหา อัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังตัวรับความร้อนคือผนังท่อไฟ ซึ่งอัตราการถ่ายเทความร้อนที่สามารถหาได้ประกอบไปด้วย อัตราการถ่ายเทความร้อน เนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ, อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ ซึ่งผลรวมของอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งสองคือ อัตราความร้อนรวมที่ผนังท่อไฟดูถูกสิ้นไว้ โดยที่ขั้นตอนในการคำนวณทั้งหมดมีดังนี้

1 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่ดูถูกสิ้นไว้โดยผนังท่อไฟ

จากกฎของการสมดุลพลังงาน (แสดงเป็นสมการในบทที่ 4) ทำให้เราทราบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟจะประกอบไปด้วย อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนและอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังท่อไฟ และเมื่อพิจารณาให้สภาวะไม่แปรตามเวลา (Steady state) อัตราความร้อนทั้งหมดที่ดูถูกสิ้นไว้โดยผิวผนังท่อไฟด้านในจะส่งผ่านไปยังผิวผนังท่อไฟด้านนอกทันทีโดยการนำความร้อนแล้วมันก็จะไหลผ่านผิว ผนังท่อไฟด้านนอกไปยังน้ำหล่อเย็นซึ่งอยู่รอบๆผิวผนังท่อไฟด้านนอกโดยการพาความร้อน ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาในช่วงสุดท้ายคือสมการที่ (4.17) นั้นเอง

และจากหลักการสมดุลพลังงานเราทราบว่าอัตราความร้อนทั้งหมดที่ดูถูกสิ้นไว้โดยผนังท่อไฟก็คืออัตราการถ่ายเทความร้อนที่ปลดปล่อยให้กับน้ำหล่อเย็นที่ไหลอยู่รอบๆนั้นเอง ซึ่งก็คือค่าเอนทัลปีของน้ำที่เพิ่มขึ้นมานั้นเองดังนั้นเราจึงสามารถคำนวณหา อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูถูกสิ้นไว้โดยผนังท่อไฟก็คือสมการที่ (4.18) นั้นเอง

เนื่องจากการทดลองจริงได้แบ่งบริเวณรอบนอกของผนังท่อไฟออกเป็น 3 ส่วนเท่าๆกันและแต่ละส่วนก็จะมีน้ำหล่อเย็นไหลรอบๆที่อัตราการไหลเดียวกัน เราจะเรียกแต่ละส่วนนี้ว่าแคลอริมิเตอร์ (Calorimeter) ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟก็คือสมการที่ (4. 19)

ผลการคำนวณทั้งหมดแสดงในช่องที่ (6) ของตารางที่ (ค. 4), (ค. 5) และ (ค. 6) ตามลำดับ

## 2 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ

เนื่องจากอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟไม่สามารถวัดได้โดยตรง แต่เราสามารถวัดอุณหภูมิของก๊าซร้อนในท่อไฟและอุณหภูมิของผนังท่อไฟได้ เราก็สามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีของก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟได้ และในการทดลองครั้งนี้จะใช้แผนภูมिरูปที่ (ข. 4) ในภาคผนวก (ข) ซึ่งแสดงโดย Hoyt Hottel [9] มาใช้ประกอบการคำนวณด้วยตั้งนั้นจากสมการที่ (3. 2) ในบทที่ (3) คือ

$$Q_R = h'_{gR} A_C (T_G - T_C)$$

- เมื่อ  $T_G$  คืออุณหภูมิเฉลี่ยของก๊าซร้อนในท่อไฟ ซึ่งวัดได้โดยการใช้เทอร์โมคัปเปิล
- $T_C$  คืออุณหภูมิเฉลี่ยของผนังท่อไฟซึ่งวัดได้โดยการใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิดที่ฝังที่ผิวผนังท่อไฟได้
- $h'_{gR}$  คือสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากก๊าซร้อนซึ่งเกิดจากการเผาไหม้ไปยังผนังท่อไฟ ซึ่งหาได้จากแผนภูมिरูปที่ (ข. 4)

ขั้นตอนในการหาค่า  $h'_{gRr}$  ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาผลคูณระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของลำก๊าซ (D) ซึ่งก็คือเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อไฟนั้นเองกับความดันย่อย (P) ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำที่อยู่ในก๊าซร้อนดังนั้นเราจะได้ค่า  $DP_{CO_2}, DP_{H_2O}$

ขั้นตอนที่ 2 หาอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างอุณหภูมิของก๊าซร้อน ( $T_g$ ) และอุณหภูมิของผนังท่อไฟ ( $T_c$ )

ขั้นตอนที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ,  $h_{gr}$  สามารถอ่านได้จากแผนภูมิรูปที่ (ข. 4) โดยจะหาแยกกันระหว่าง  $h_{gr}$  ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และ  $h_{gr}$  ของไอน้ำแล้วจึงค่อยนำมารวมกันทีหลัง เมื่อนำค่า DP ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มากำหนดจุดลงบนสเกลของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในแผนภูมิจากนั้นก็ลากเส้นตรงไปยังสเกลของอุณหภูมิซึ่งเราหาได้มาก่อนแล้วโดยจะเป็นอุณหภูมิเฉลี่ยระหว่าง  $T_g$  และ  $T_c$  หลังจากนั้นก็ลากเส้นตรงต่อไปอีกจนตัดกับสเกล  $h_{gr}$  ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ก็จะได้  $h_{gr}$  ของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ตามที่ต้องการ

สำหรับ  $h_{gr}$  ของไอน้ำก็สามารถหาได้จากวิธีการเดียวกับที่กล่าวมาเพียงแต่เปลี่ยนค่าความดันย่อยใหม่เป็นไอน้ำแล้วกำหนดจุดลงสเกลของไอน้ำแล้วลากเส้นตรงไปตัดกับสเกลอุณหภูมิที่ตำแหน่งเดียวกับการหา  $h_{gr}$  ของไอน้ำก็จะได้  $h_{gr}$  ของไอน้ำตามต้องการ

ขั้นตอนที่ 4 รวมค่าสัมประสิทธิ์การแผ่รังสีของทั้งก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำเข้าด้วยกันก็จะได้ค่า  $h_{gr}$  ของระบบแล้วจึงนำไปคูณกับค่าการเปล่งรังสีของผนังท่อไฟแล้วนำไปแทนในสมการที่ (3. 2) ก็สามารถคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟได้ ซึ่งผลการคำนวณดังแสดงในช่องที่ (7) ของตารางที่ (ค. 4), (ค. 5) และ (ค. 6)



### 3 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ

จากหลักการสมดุลย์พลังงานที่ผ่านมาทำให้เราทราบว่าอัตราการความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ,  $Q_{abs}$  คือผลรวมของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อน,  $Q_R$  และอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อน,  $Q_c$  ไปยังผนังท่อไฟ

ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ,  $Q_c$  คือผลต่างระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟกับอัตราการถ่ายเทความร้อนจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ หรือเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$Q_c = Q_{abs} - Q_R$$

ซึ่งผลการคำนวณดังแสดงในช่องที่(8) ของตารางที่(ค.4), (ค.5) และ(ค.4)

### 4 การคำนวณหาประสิทธิภาพในการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟ

ประสิทธิภาพในการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟ,  $\eta_{abs}$  เป็นอัตราส่วนระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟกับอัตราความร้อนที่ปลดปล่อยจากเชื้อเพลิงนั้นคือ

$$\eta_{abs} = \frac{Q_{abs}}{i}$$

ซึ่งผลการคำนวณดังแสดงในช่องที่(9) ของตารางที่ (ค.4), (ค.5) และ (ค.6)

#### 4 ตัวอย่างการคำนวณ

ในที่นี้ตัวอย่างการคำนวณจะอ้างอิงข้อมูลในตารางที่(ค.1) ที่อุณหภูมิเฉลี่ยของตัวรับความร้อนคือผนังท่อไฟ  $T_c=650R$ , อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 1 Kg/hr และปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน 10 % ซึ่งรายละเอียดการคำนวณมีดังนี้

4.1 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ

จากตารางที่(ค.1) เมื่อข้อมูลจากการทดลองมีดังนี้

อัตราการไหลของน้ำที่หล่อเย็นของแต่ละแคลอรีมิเตอร์ = 276 lb/hr

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางเข้าแคลอรีมิเตอร์ = 84.89 F

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางออกของแคลอรีมิเตอร์ตัวที่ 1

$T_{cal.1} = 129.79 F$

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางออกของแคลอรีมิเตอร์ตัวที่ 2

$T_{cal.2} = 123.80 F$

อุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางออกของแคลอรีมิเตอร์ตัวที่ 3

$T_{cal.3} = 116.02 F$

จากตารางที่(ค.6) ภาคผนวก(ค) เมื่อทราบอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นที่ทางออกของแคลอรีมิเตอร์แต่ละตัวก็สามารถหาค่าเอนทัลปีของน้ำหล่อเย็นดังกล่าวได้คือ

ที่  $T_{cal.1}$  จะได้  $h_o = 97.88 Btu/lb$

ที่  $T_{cal.2}$  จะได้  $h_o = 91.89 Btu/lb$

ที่  $T_{cal.3}$  จะได้  $h_o = 83.92 Btu/hr$

และที่ทางเข้าของแคลอรีมิเตอร์ ค่าเอนทัลปีของน้ำหล่อเย็นเท่ากับ 53 Btu/lb เมื่อแทนค่าในสมการที่(4.19)จะได้

$$\begin{aligned}
 Q_{\text{abs}} &= \Sigma Q = 276((97.88-53)+(91.89-53)+(89.01-53)) \\
 &= 12386.88+10733.64+9955.32 \\
 &= 33075.84 \text{ Btu/hr}
 \end{aligned}$$

4.2 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ

จากตารางที่(ค.1)เมื่อข้อมูลจากการทดลองมีดังนี้  
อุณหภูมิเฉลี่ยของก๊าซร้อนในท่อไฟคือ 1271 R หรือ = 811 F  
อุณหภูมิเฉลี่ยของผนังท่อไฟคือ 650 R หรือ = 190 F  
ดังนั้นอุณหภูมิเฉลี่ยของทั้งสอง =  $\frac{811+190}{2} = 505.5 \text{ F}$  หรือ 965 R

2

จากสมการที่(ก.2)ภาคผนวก(ก)สามารถหาความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์,  $P_{CO_2} = 40.515\%$  และจากสมการที่(ก.3)ก็สามารถหาความดันย่อยของไอน้ำ,  $P_{H_2O} = 52.79\%$  และเมื่อทราบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลำก๊าซซึ่งก็คือเส้นผ่านศูนย์กลางกลางของท่อไฟนั่นเองดังนั้น  $D = 0.984 \text{ ft}$  ดังนั้นค่าผลคูณของความดันย่อยของก๊าซแต่ละชนิดกับขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของลำก๊าซคือ

$$\text{สำหรับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์, } DP_{CO_2} = 0.984 \times 40.51 = 39.87$$

$$\text{สำหรับไอน้ำ, } DP_{H_2O} = 0.984 \times 52.79 = 51.95$$

จากแผนภูมิรูปที่(ข.4) เมื่อนำค่า  $DP_{H_2O}$  ซึ่งเท่ากับ 39.87 กำหนดจุดลงบนกราฟของ  $CO_2$  แล้วลากเส้นผ่านกราฟพหุคูณเท่ากับ 505 F แล้วลากต่อไปตัดกับกราฟของ  $h_{gr}$  ก็จะได้  $h_{gr}$  ของ  $CO_2$  เท่ากับ 0.8 เช่นเดียวกันกับวิธีดังกล่าวเราสามารถหาค่า  $h_{gr}$  ของ  $H_2O$  ได้เท่ากับ 1.9 เมื่อรวมค่าทั้งสองเข้าด้วยกันจะได้  $h_{grT}$  คือเท่ากับ 2.7 และเมื่อนำค่า  $h_{grT}$  ที่ได้คูณกับค่าการเปล่งรังสีของผนังท่อไฟคือเท่ากับ 0.8 ก็จะได้ค่า  $h'_{grT}$  ที่แท้จริงแล้วนำค่าแทนในสมการที่ (3.2) จะได้

$$\begin{aligned} Q_R &= 2.2(811-190) \\ &= 1366.2 \text{ Btu/hrft}^2 \end{aligned}$$

หรือคิดเป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนต่อพื้นที่ผิวการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดเท่ากับ 18760.41 Btu/hr

4.3 การคำนวณหาอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ

อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ ก็คือผลต่างระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ กับอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟนั่นเอง ดังนั้นจากสมการที่การพาความร้อนจะได้

$$\begin{aligned} Q_{\text{conv}} &= 33075.84 - 18760.41 \\ &= 14315.43 \text{ Btu/hr} \end{aligned}$$

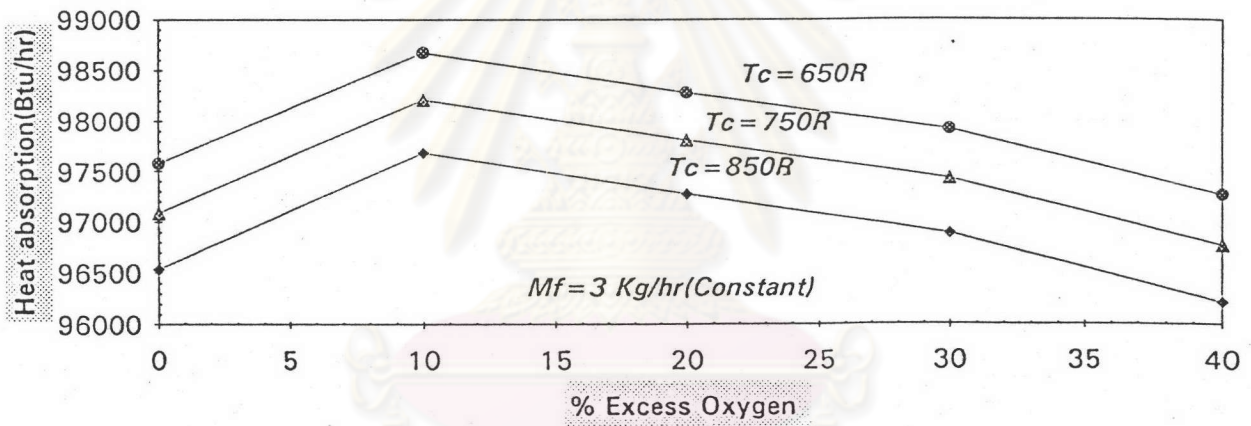
4.4 การคำนวณหาประสิทธิภาพในการดูดกลืนความร้อนของท่อไฟ ประสิทธิภาพในการดูดกลืนความร้อนของท่อไฟ สามารถคำนวณได้โดยการใช้สมการที่(4.20) จะได้

$$\begin{aligned} &= \frac{33075.84}{43369.94} \times 100 \\ &= 76 \% \end{aligned}$$

เมื่ออัตราการความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิง,  $i = 43369.99 \text{ Btu/hr}$

รูปที่ 7.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟกับปริมาณออกซิเจนส่วนเกินที่สภาวะต่างๆ

Experiment of Heat absorption along Heat sink



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



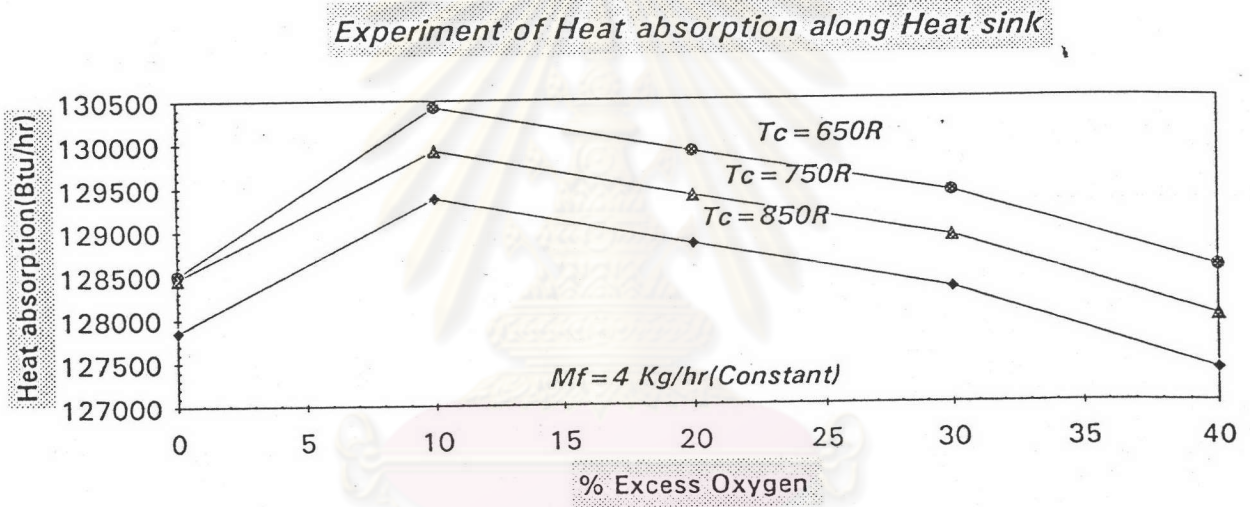
## การวิเคราะห์ผลการทดลอง

1 ผลของปริมาณออกซิเจนส่วนเกินต่ออัตราความร้อนจากที่ดูดกลืนไว้ โดยผนังท่อไฟจากข้อมูลในตารางที่ (ค.4) , (ค.5) และ (ค.6) เมื่อนำมาแสดงความสัมพันธ์ เป็นรูปกราฟที่สภาวะต่างๆดังแสดงในรูปที่ (7.21) ถึง ( 7.22 )

จากกราฟที่แสดงในรูปที่ ( 7.21 ) ถึง ( 7.22 ) แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟกับปริมาณออกซิเจนส่วนเกินโดยควบคุมให้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอุณหภูมิของผนังท่อไฟคงที่ พบว่าที่ช่วงของปริมาณออกซิเจนส่วนเกินต่ำ ๆ อัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน และจะเกิดขึ้นสูงสุดที่ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน 10 % หลังจากผ่านจุดสูงสุดแล้วจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อย ๆ และจะมีค่าต่ำสุดที่ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน 40 %

สำหรับจุดที่มีอัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟสูงสุด เกิดขึ้นทั้งนี้ เพราะจุดดังกล่าวเป็นจุดที่มีการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงดีที่สุด และปลดปล่อยความร้อนออกมาสูงสุด และเมื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนส่วนเกินที่สภาวะดังกล่าวอัตราความร้อนที่ดูดกลืนโดยผนังท่อไฟจะมีค่าลดลงทั้งนี้ เพราะเมื่อปริมาณออกซิเจนส่วนเกินมากเกินไป จะทำให้ปริมาณความร้อนส่วนหนึ่งจะสูญเสียไปกับก๊าซไอเสียทางปล่องไฟเพิ่มขึ้นและอีกประการหนึ่งเราทราบว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนส่วนใหญ่ในท่อไฟจะเป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อน ดังนั้นเมื่อปริมาณออกซิเจนส่วนเกินมากเกินไปก็จะไปลดการแผ่รังสีความร้อนของก๊าซในท่อไฟ จึงเป็นเหตุทำให้อัตราความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟมีค่าลดลงเมื่อปริมาณออกซิเจนส่วนเกินมากขึ้นและจากรูปที่ ( 7.21. ) ถึง (7.22 ) จะเห็นได้ว่าเมื่อเปรียบเทียบอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟที่สภาวะเดียวกันแต่มีอุณหภูมิของผนังท่อไฟต่างกันคือ 650 R, 750 R และ 850 R พบว่าที่อุณหภูมิของผนังท่อไฟต่ำๆ อัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟจะเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะอัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองคือ อุณหภูมิของก๊าซร้อนในท่อไฟและอุณหภูมิของผนังท่อไฟ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟกับปริมาณออกซิเจนส่วนเกินที่สภาวะต่างๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## 2 ผลของความยาวท่อไฟต่ออัตราการความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนัง

ท่อไฟ

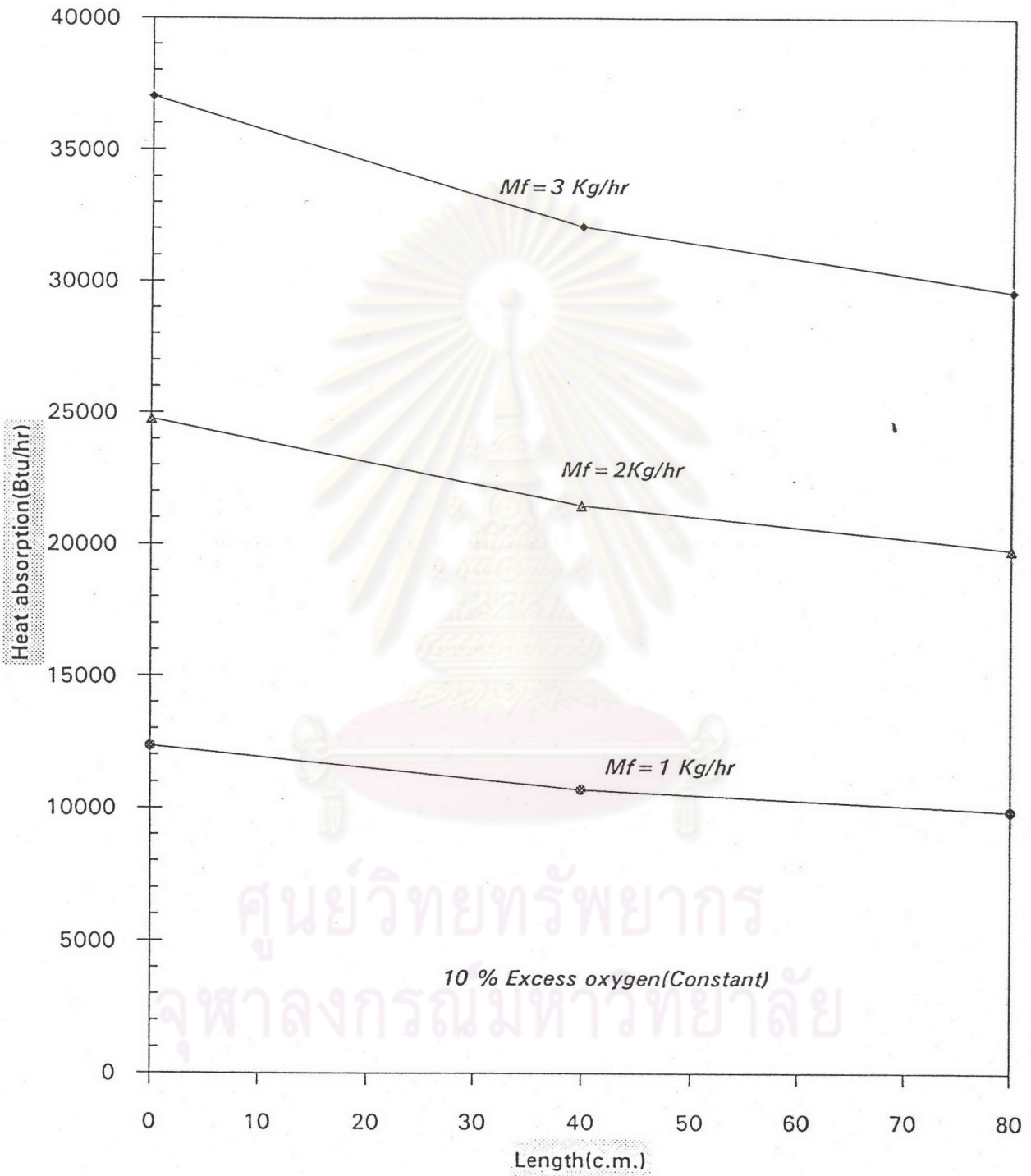
ผลของการกระจายของอัตราการความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟตลอดพื้นที่ผิวพื้นที่ผิวผนังท่อไฟที่สภาวะดังแสดงให้เห็นในกราฟรูปที่ ( 7.23 ) จะพบว่าแคลอริมิเตอร์อันแรกจะมีอัตราการดูดกลืนความร้อนไว้สูงสุดและจะลดลงในแคลอริมิเตอร์อันที่สองและสามตามลำดับ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อกับความยาวของผนังท่อไฟที่สภาวะต่างๆ

Experiment of Heat absorption in different length [ $T_c = 650R(\text{Constant})$ ]



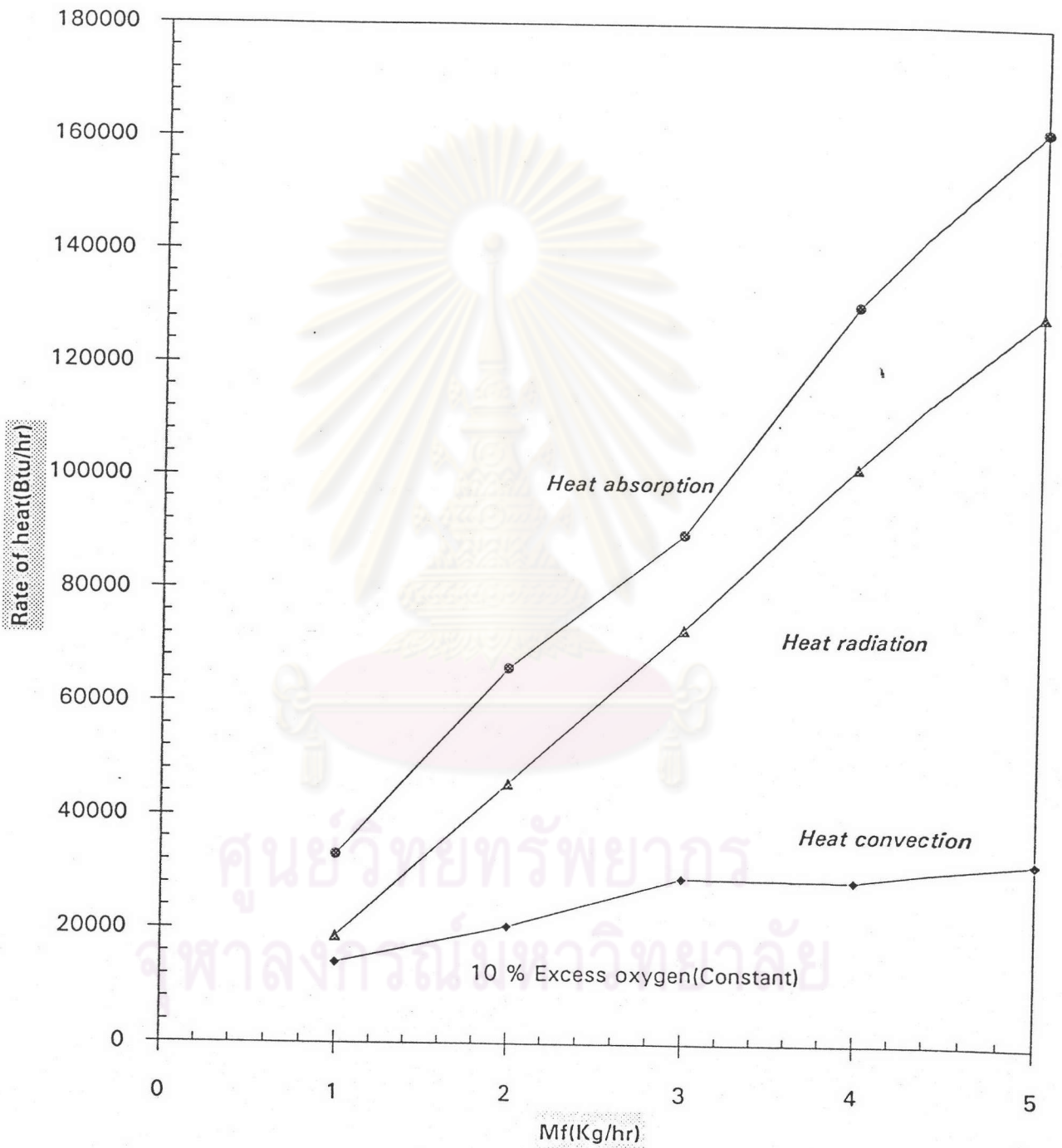
### 3 ผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ

จากข้อมูลในตารางที่ (ค.4) , (ค.5) และ (ค.6) เมื่อนำมาแสดงความสัมพันธ์เป็นรูปกราฟที่สภาวะต่างๆดังแสดงในรูปที่ (7.24 )

จากกราฟรูปที่ ( 7.24 ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนรวมจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเมื่อควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนส่วนเกินและอุณหภูมิของผนังท่อไฟคงที่ค่าหนึ่ง พบว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำๆผลต่างระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีและการพาจากก๊าซไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงๆพบว่าผลต่างระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งสองยิ่งต่างกันมากขึ้นจึงอาจสรุปได้ว่าที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงๆอิทธิพลของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีก็จะมีมากตาม ยกตัวอย่างที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 1 Kg/hr จะมีสัดส่วนของอัตราการถ่ายเทความร้อนเมื่อคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟดังนี้ อัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีคิดเป็น 56.71 % และการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพา 43.28 % แต่ที่อัตราป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 5 Kg/hr จะมีอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสี 80 % และจากการพา 20 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Simulation of Heat absorption along heat sink  
[ $T_c = 650R(\text{Constant})$ ]



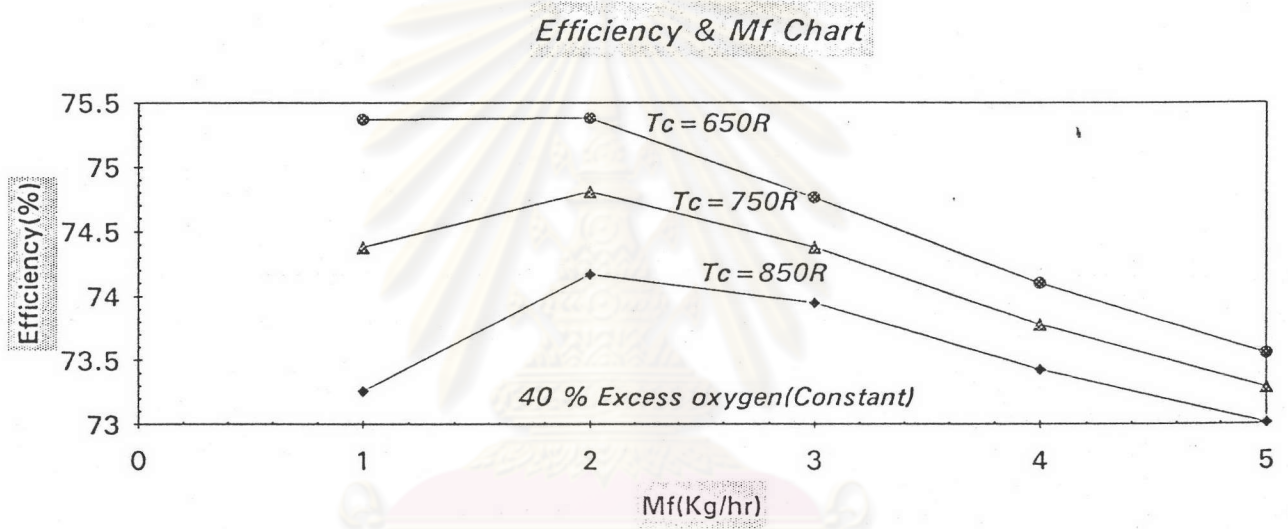
#### 4 ผลของประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟ

กราฟรูปที่ .26 จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพสูงสุดจะเกิดขึ้นที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงเท่ากับ 2 Kg/hr ที่ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน 10 % และอุณหภูมิของผนังท่อไฟ 650R ซึ่งลักษณะกราฟที่ได้ค่อนข้างจะสอดคล้องกับผลที่ได้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.25 กราฟแสดงค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนที่สภาวะต่างๆ



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



## การเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองกับผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาแสดงความสัมพันธ์เป็นรูปภาพที่สภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ (7.26) ถึง (7.29)

### 1 ผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ

จากกราฟรูปที่ (7.26) ถึง (7.29) เป็นกราฟเปรียบเทียบผลของการทดลองและแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยจะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟกับปริมาณออกซิเจนส่วนเกินเมื่อควบคุมให้อัตราการป้อนเชื้อเพลิงและอุณหภูมิของผนังท่อไฟคงที่ และความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนของก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟกับอัตราการป้อนเชื้อเพลิงเมื่อควบคุมให้ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน และอุณหภูมิของผนังท่อไฟคงที่

พบว่าผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะสูงกว่าผลที่ได้จากการทดลองจริงโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดประมาณ 8 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เพราะในการทดลองจริงแล้วอุณหภูมิของก๊าซร้อนและผนังท่อไฟไม่ได้สม่ำเสมอตั้งสมมติไว้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แต่อุณหภูมิของก๊าซร้อนและผนังท่อไฟจะเริ่มลดลงตามระยะความยาวท่อไฟที่เพิ่มขึ้น (เมื่อคิดเทียบกับจุดอ้างอิงที่ฐาน) สิ่งเกิดได้จากอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟในแคลอรีมิเตอร์แต่ละอันจะไม่เท่ากัน ซึ่งสิ่งเกิดได้จากกราฟรูปที่ (7.23) และหากนำเอาอัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟในแคลอรีมิเตอร์แต่ละตัวมารวมกันก็จะมีค่าน้อยกว่าค่าอัตราการความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

และอีกประการหนึ่งก็คือในการทดลองจริง ๆ จะมีความร้อนส่วนหนึ่งสูญเสียจากระบบได้ เช่นที่บริเวณผิวด้านนอกของแคลอรีมิเตอร์, บริเวณรอยต่อระหว่างแคลอรีมิเตอร์แต่ละตัว ถึงแม้ว่าจะหุ้มฉนวนไว้แล้วเป็นอย่างดี นอกจากนี้อาจจากเกิดจากเครื่องมือวัด เช่นที่เทอร์โมมิเตอร์ซึ่งใช้วัดอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นทั้งที่ทาง

เข้าและทางออกของแคลอริมิเตอร์ อาจอ่านอุณหภูมิบางค่าผิดพลาดจากความเป็นจริงได้ ทั้งนี้เนื่องจากอิทธิพลของการเคลื่อนที่ทางพลศาสตร์ของกระแสที่ไหลผ่านกระเปาะวัดของเทอร์โมมิเตอร์ ความผิดพลาดจากการอ่านค่าเครื่องมือวัดของผู้ทดลอง ก็เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้ผลการทดลองผิดพลาดได้

สำหรับในตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก็มีโอกาสคลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้เหมือนกัน โดยเฉพาะค่าอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนซึ่งเป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนหลักที่เกิดขึ้นมาก เพราะข้อมูลที่ใช้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์ เช่น ค่าการเปล่งรังสีความร้อน ของก๊าซที่สภาวะต่าง ๆ ได้จากการแปลงข้อมูลจากกราฟรูปที่ (3.2) และ (3.3) มาเก็บเป็นไฟล์ข้อมูลซึ่งเป็นตารางตัวเลข ซึ่งทำได้โดยการพล็อตจุดด้วยมือ ทำให้ค่าที่ได้มาอาจไม่ละเอียดเท่าที่ควรจึงทำให้ผลของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผิดพลาดไปได้บ้าง

สำหรับอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนคือผลต่างของอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ตุ่ดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ กับอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนไปยังผนังท่อไฟ ดังนั้นแนวโน้มของเส้นโค้งในกราฟของอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนจะเป็นไปตามผลต่างระหว่างอัตราการถ่ายเทความร้อนทั้งสอง

และเมื่อนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองมาคำนวณย้อนกลับหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากก๊าซร้อนในผนังท่อไฟที่สภาวะต่างๆ จะได้ค่าประมาณ 2-3 Btu/hr.F ซึ่งใกล้เคียงกับที่สมมุติไว้ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ 2 Btu/hr F

ในที่นี้จะยกตัวอย่างการคำนวณหาค่า  $h_c$  โดยอ้างอิงที่ตาราง (ค.4) ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิง 2 Kg/hr, ปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน 10 % ดังนี้

จากตารางช่องที่ 8 เมื่อทราบอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากก๊าซร้อนเท่ากับ 20469.42 Btu/hr และเมื่อทราบค่าอุณหภูมิต่างๆ แล้วแทนค่าในสมการการพาความร้อน นั่นคือ

$$Q_c = h_c A_c (T_a - T_c)$$

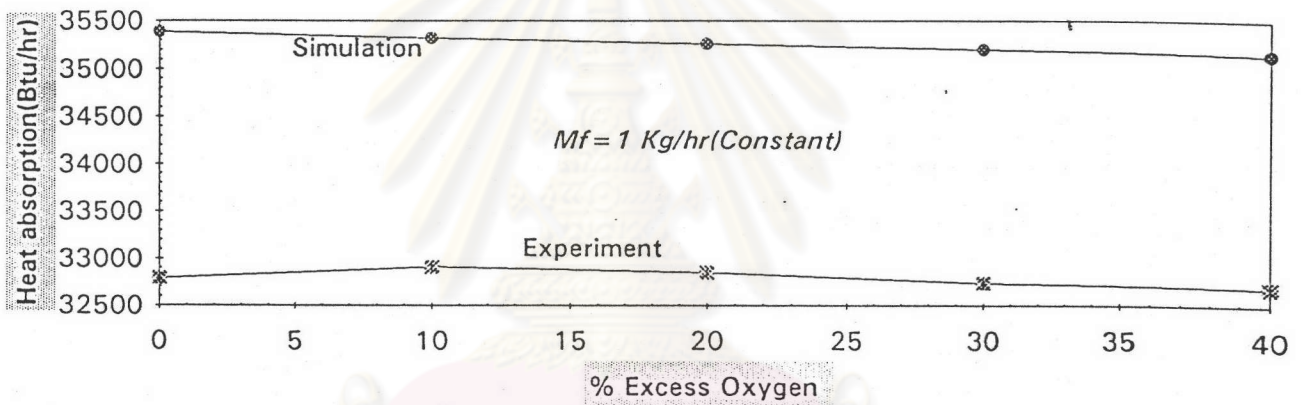
$$20469.42 = h_c * 10.764 (1129.17 - 190)$$

$$h_c = 2.02 \text{ Btu/hrF}$$



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Comparison of Heat absorption along Heat sink  
[ $T_c = 650R(\text{Constant})$ ]

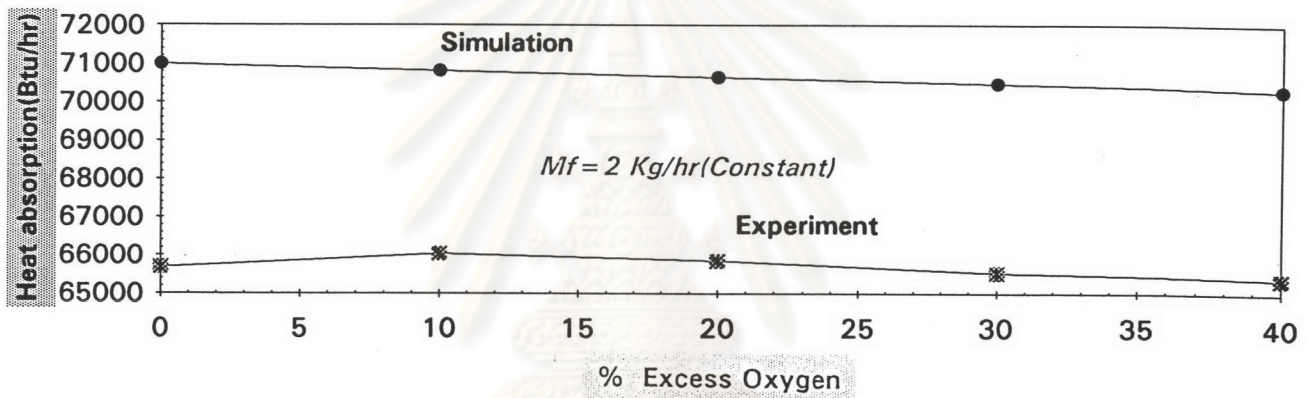


ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.26 กราฟแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ



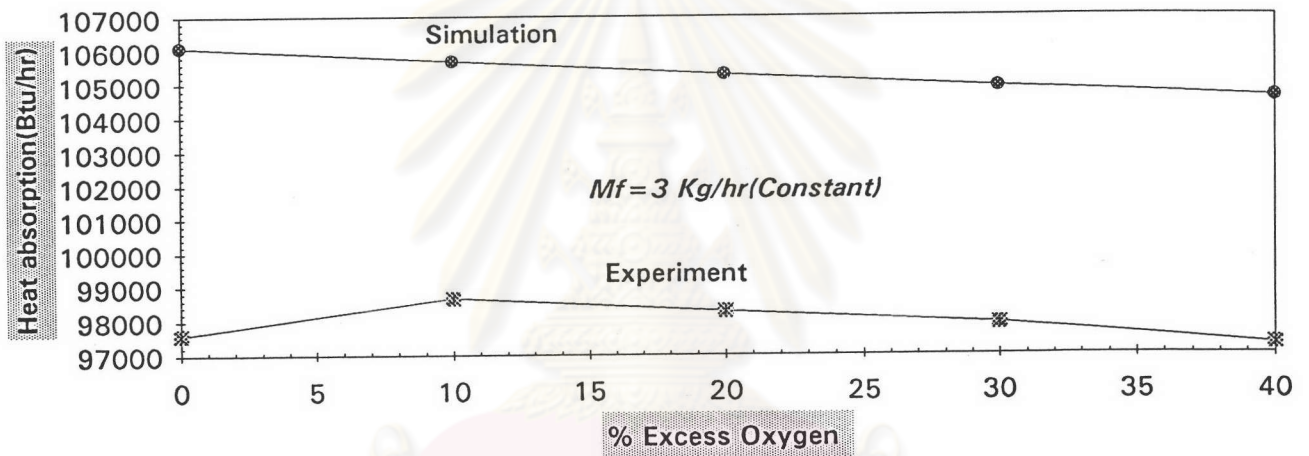
*Comparison of Heat absorption along Heat sink  
[ $T_c = 650R(\text{Constant})$ ]*



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.27 กราฟแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ

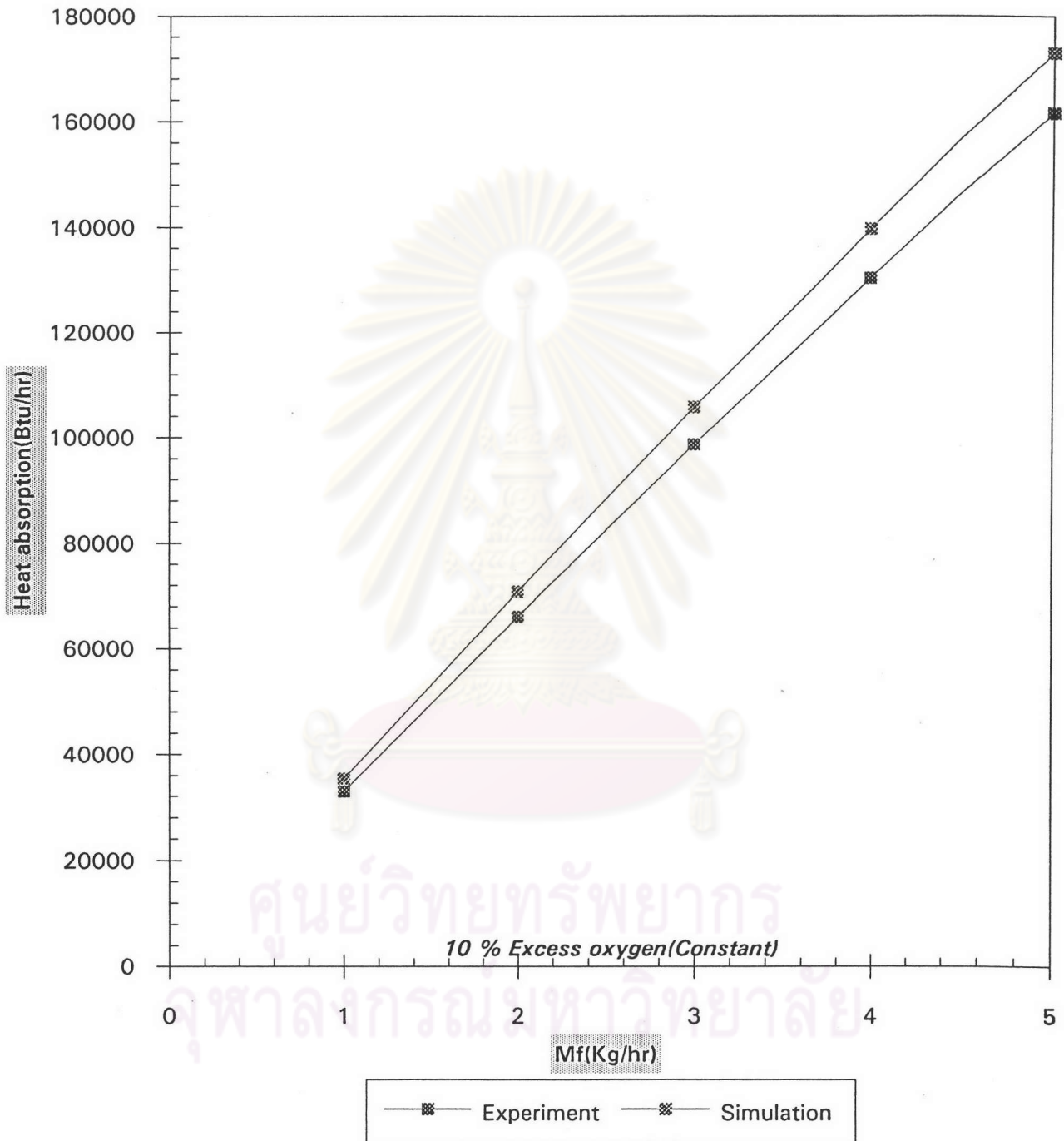
*Comparison of Heat absorption along Heat sink  
[Tc = 650R(Constant) ]*



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 7.28 กราฟแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ

**Comparison of Heat absorption along Heat sink**  
**[ $T_c = 650R(\text{Constant})$ ]**



รูปที่ 7.29 กราฟแสดง อัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ

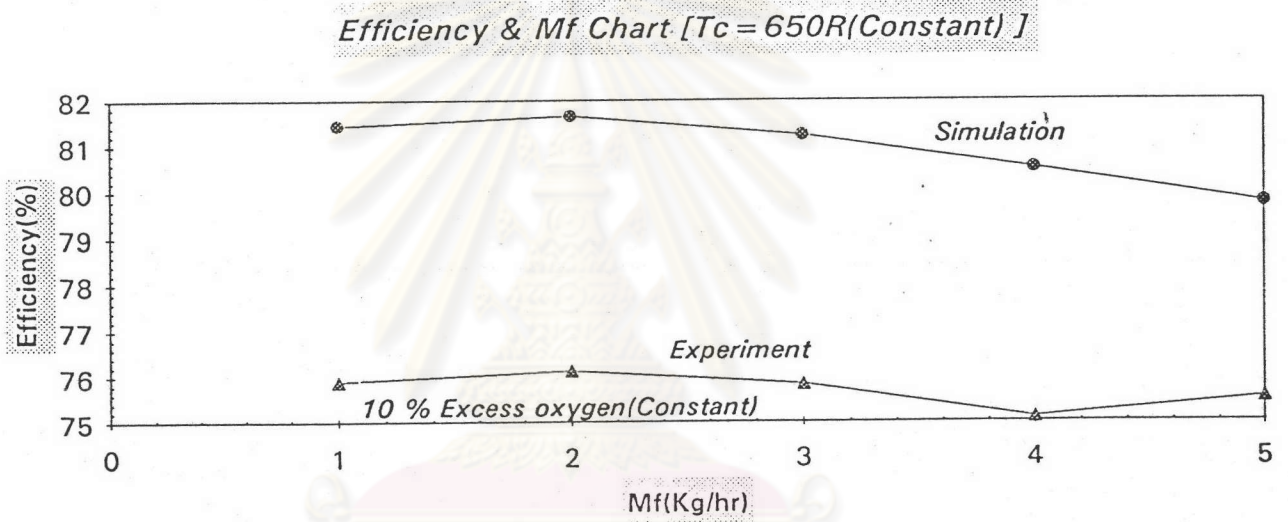
## 2 ค่าประสิทธิภาพของการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟ

เมื่อเปรียบเทียบผลของการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สภาวะต่าง ๆ ดังแสดงในรูปที่ (7.30) จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟจากการทดลองจะมีค่าต่ำกว่าในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพราะประสิทธิภาพของการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟเป็นอัตราส่วนของอัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ กับอัตราความร้อนที่ปลดปล่อยออกมาจากเชื้อเพลิงที่ป้อนเข้าห้องเผาไหม้ แต่เนื่องจากอัตราความร้อนจากที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟที่ได้จากการทดลองมีค่าต่ำกว่าอัตราความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ตามที่ได้เคยวิเคราะห์มาแล้ว ดังนั้นจึงเป็นผลทำให้ค่าประสิทธิภาพของการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟจากการทดลองจึงมีค่าต่ำกว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไประหว่างค่าที่ได้จากการทดลองกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สภาวะต่างๆ



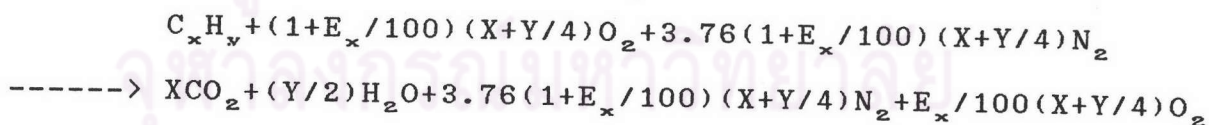
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลของการใช้ปริมาณอากาศส่วนเกินแทนปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน

ในความเป็นจริงแล้วเราทราบกันดีว่ากระบวนการเผาไหม้โดยทั่วไป จะใช้อากาศในบรรยากาศปกติป้อนเข้าสู่ห้องเผาไหม้ เพราะอากาศเป็นสิ่งที่ได้เปล่า โดยปกติอากาศจะมีองค์ประกอบของไนโตรเจน 79 % และออกซิเจน 21 % โดยปริมาตร

สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ก็ออกแบบให้สามารถคำนวณผลของอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนไปยังตัวรับความร้อนขณะเมื่อป้อนปริมาณอากาศส่วนเกินได้ด้วย ถึงแม้ว่าในการทดลองจริงจะกระทำเฉพาะใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ป้อนเข้าห้องเผาไหม้เพื่อสันดาปกับเชื้อเพลิงคือ LPG ทั้งนี้เพราะหากใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์สามารถทำให้การเผาไหม้เป็นไปอย่างสมบูรณ์ยิ่งขึ้น ก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ก็จะสะอาดและเป็นลักษณะ nonluminous และองค์ประกอบของก๊าซร้อนส่วนใหญ่จะเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำเป็นหลัก ซึ่งก๊าซทั้งสองถือว่ามีอิทธิพลต่อการแผ่รังสีมากที่สุดตรงตามสมมุติฐานที่ตั้งไว้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อศึกษาอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟ เมื่อป้อนปริมาณอากาศส่วนเกินทำได้โดยเปลี่ยนสมการการเผาไหม้ในโปรแกรมคอมพิวเตอร์คือสมการ ก.1 ในภาคผนวก ก มาเป็น



ผลของการคำนวณที่สภาวะต่างๆเมื่อนำมาแสดงเป็นรูปกราฟ รูปที่ ( 7.31 ) ถึง ( 7.33 )

เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ (7.31) จะเห็นได้กราฟของว่าอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟเมื่อป้อนปริมาณอากาศส่วนเกิน จะคล้ายคลึงกับกราฟของอัตราการถ่ายเทความร้อนจากก๊าซร้อนเมื่อป้อนปริมาณออกซิเจนส่วนเกินเมื่อพิจารณาที่สภาวะเดียวกัน

และจากกราฟรูปที่ (7.32) เมื่อทำการเปรียบเทียบผลของการป้อนปริมาณออกซิเจนส่วนเกินและปริมาณอากาศส่วนเกินที่สภาวะเดียวกัน พบว่าอัตราความร้อนที่ดูดกลืนโดยผนังท่อไฟ เมื่อป้อนปริมาณอากาศส่วนเกินจะมีค่าน้อยกว่าเมื่อป้อนปริมาณออกซิเจนส่วนเกินโดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างประมาณ 5 % ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงต่ำๆ และประมาณ 13 % ที่อัตราการป้อนเชื้อเพลิงสูงๆ

สาเหตุที่สำคัญที่ทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนลดลงในขณะที่ทำการป้อนปริมาณอากาศส่วนเกิน เพราะในอากาศจะมีองค์ประกอบของไนโตรเจนอยู่ด้วย ดังนั้นมวลของก๊าซร้อนที่เกิดจากการเผาไหม้ย่อมสูงกว่าเมื่อเทียบกับการใช้ออกซิเจนบริสุทธิ์ ผลทำให้อุณหภูมิของก๊าซร้อนในระบบจะมีค่าลดลง และจากที่ได้ทราบมาว่าค่าการเปล่งรังสีของก๊าซร้อนขึ้นอยู่กับค่าความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และไอน้ำเป็นสำคัญ ดังนั้นถ้าหากพิจารณาจากสมการหาค่าความดันย่อยของก๊าซทั้งสองชนิดเมื่อป้อนปริมาณอากาศส่วนเกิน และเมื่อนำมาแสดงเป็นสมการดังนี้

$$\begin{aligned} & \text{ค่าความดันย่อยของก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO}_2\text{)} \\ & = \frac{X}{X+(Y/2)+3.76(1+E_x/100)(X+Y/4)+(E_x/100)(X+Y/4)} * (1 \text{ atm}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{ค่าความดันย่อยของไอน้ำ (H}_2\text{O)} \\ & = \frac{Y/2}{X+(Y/2)+3.76(1+E_x/100)(X+Y/4)+(E_x/100)(X+Y/4)} * (1 \text{ atm}) \end{aligned}$$

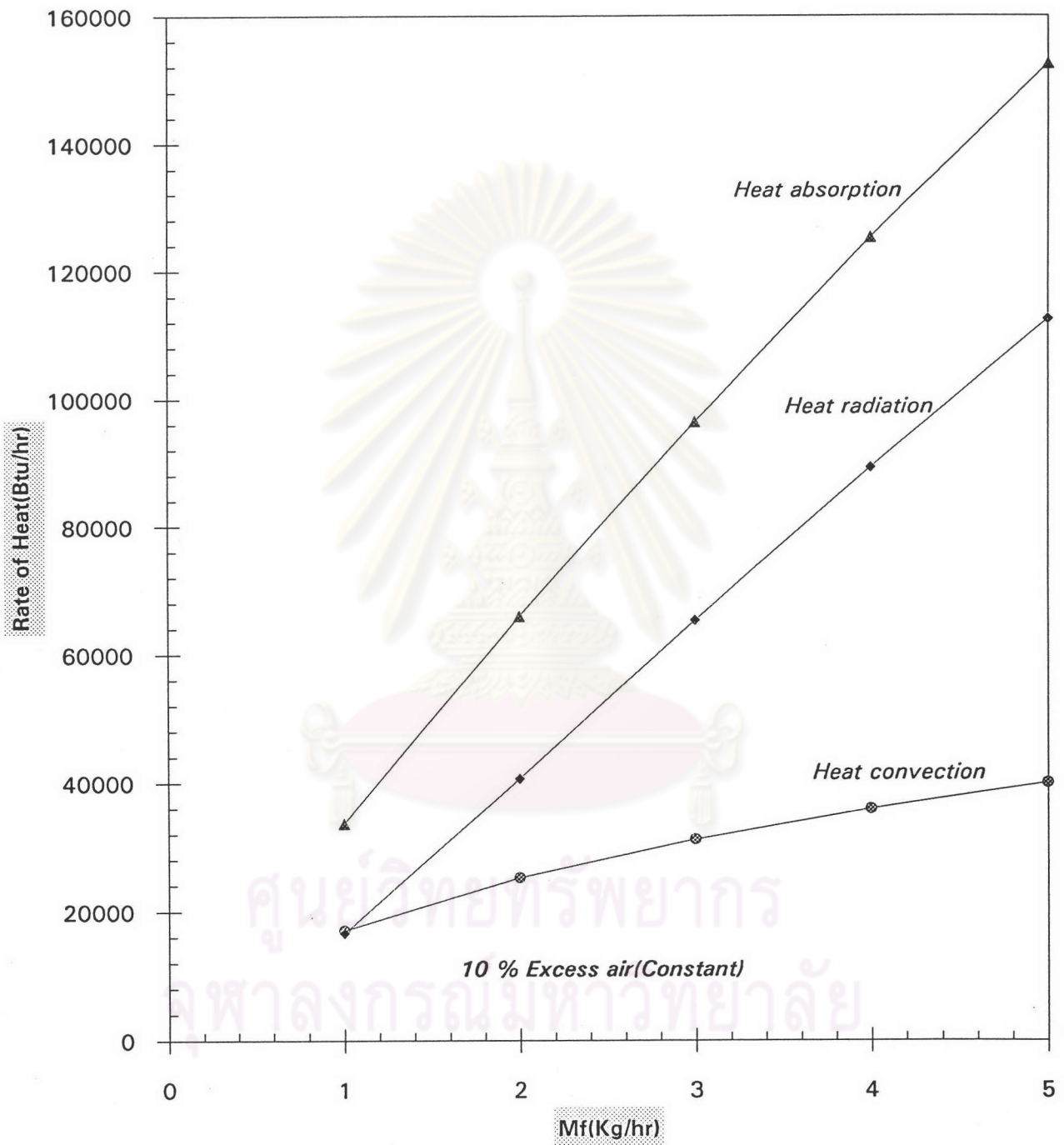
เมื่อความดันรวมของระบบมีค่าเท่ากับ 1 บรรยากาศ

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับสมการ (ก. 1) และ (ก. 2) ในภาคผนวก (ก) จะเห็นได้ว่าเทอมที่เป็นส่วนของสมการข้างบนนี้จะมีจำนวนโมลของไนโตรเจนอยู่ด้วยจึงทำให้ตัวหามีค่าเพิ่มขึ้น ผลคือค่าความดันย่อยของก๊าซแต่ละชนิดมีค่าลดลงทำให้ค่าการเปล่งรังสีความร้อนของก๊าซร้อนลดลงดังนั้นเทอมอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีจากก๊าซร้อนซึ่งเป็นอัตราการถ่ายเทความร้อนหลักจะมีค่าลดลง อัตราการถ่ายเทความร้อนที่ดูดกลืนไว้โดยผนังท่อไฟจึงมีค่าลดลงตาม

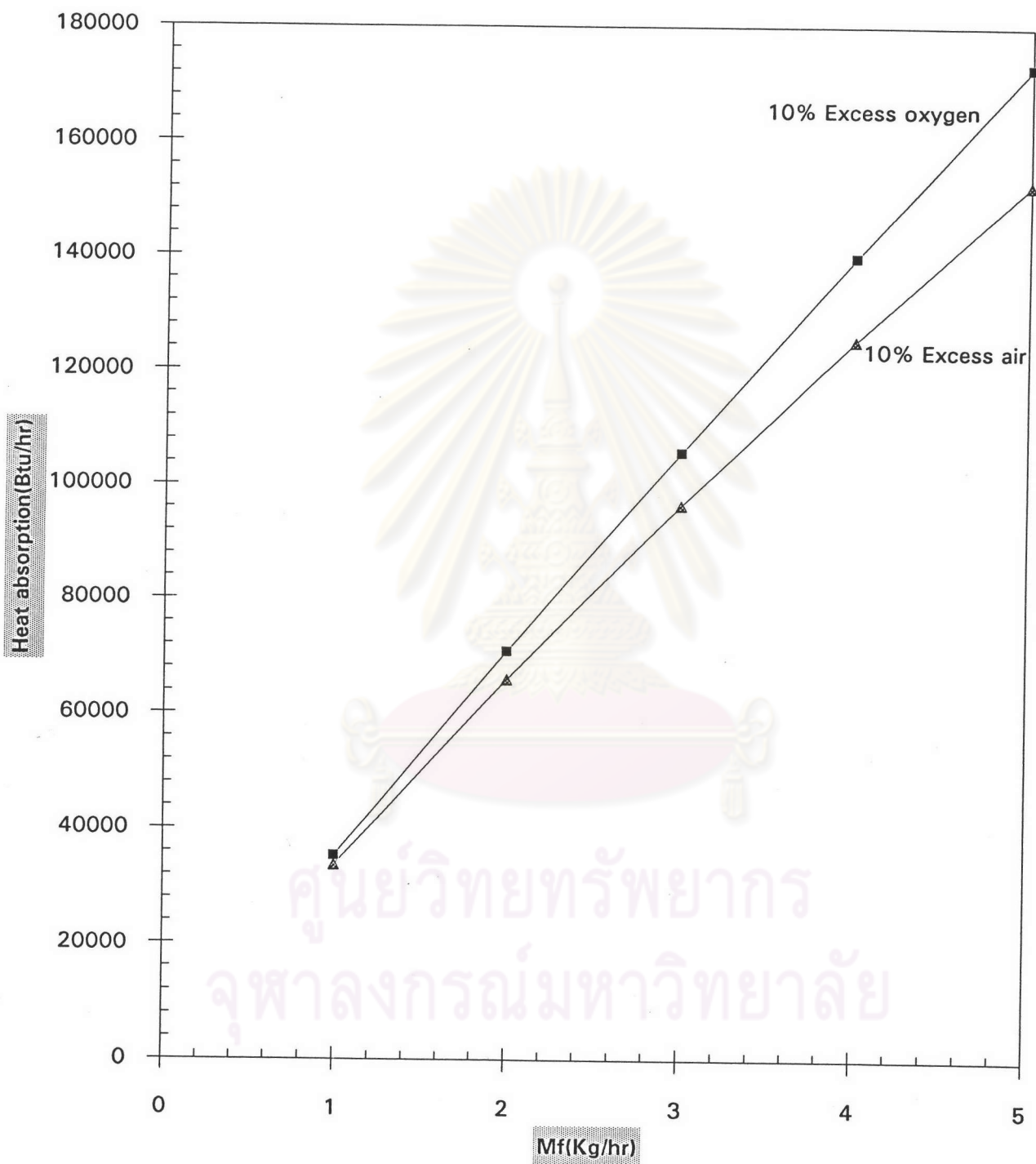
สำหรับค่าประสิทธิภาพการดูดกลืนความร้อนโดยผนังท่อไฟแสดงให้เห็นในรูปที่ ( 7.33 ) จะเห็นว่าค่าประสิทธิภาพจะมีค่าลดลงในทุกสภาวะเมื่อมีการป้อนปริมาณอากาศส่วนเกินแทนปริมาณออกซิเจนส่วนเกิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

*Simulation of Rate of Heat along heat sink Chart  
[ $T_c = 650R(\text{Constant})$ ]*

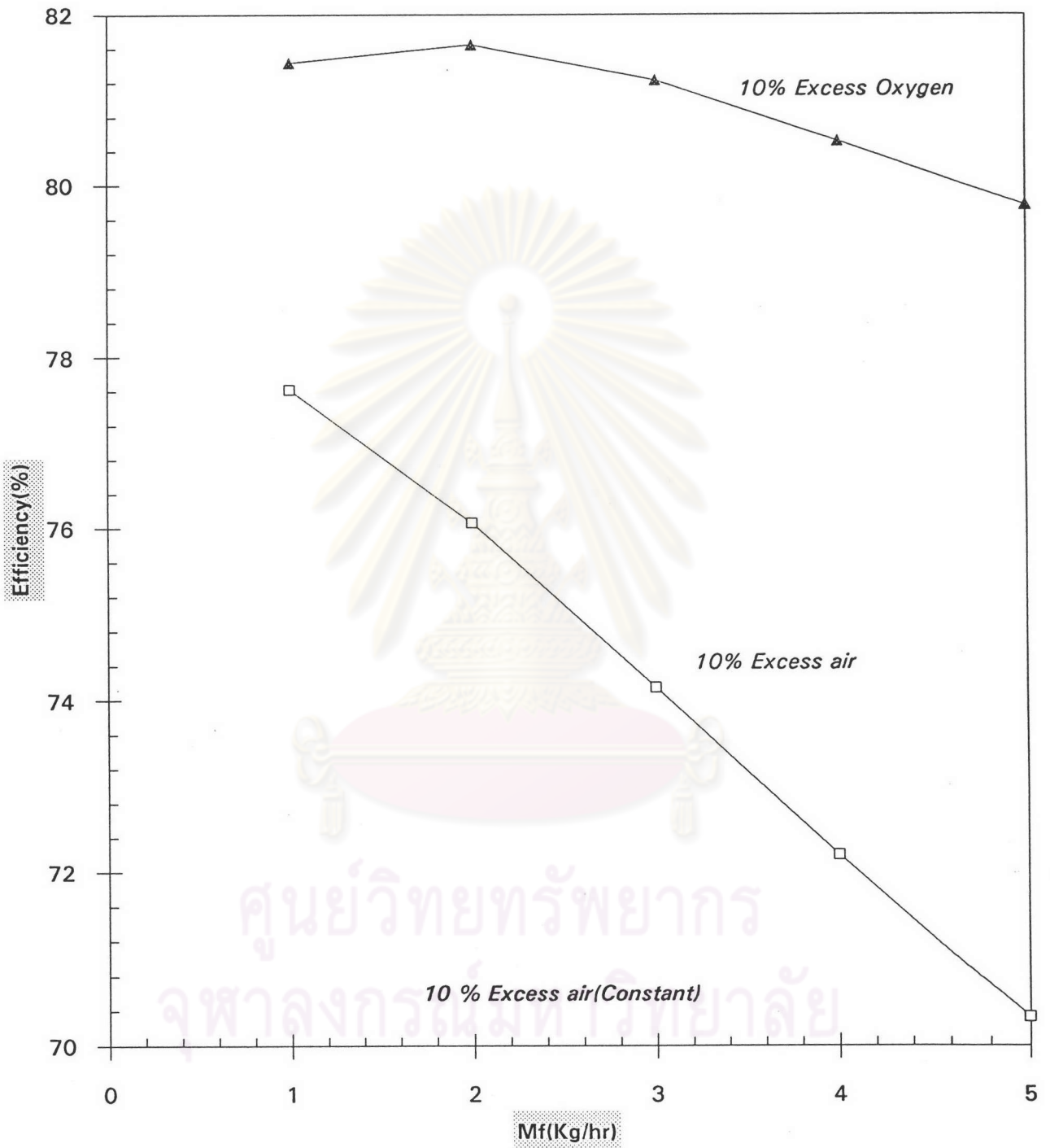


**Comparison of Heat absorption Chart [Tc = 650(Constant) ]**



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**Comparison of Efficiency Chart [ $T_c = 650R(\text{Constant})$ ]**



7.33

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย